

沖縄における地盤災害と  
その対策に関する研究

上 原 方 成

昭和52年1月

# 沖縄における地盤災害と その対策に関する研究

上 原 方 成

昭和52年1月

# 目 次

第 I 章	緒 論	1
1・1	沖縄の開発とその問題点	1
1・2	沖縄の気候風土	2
	参考文献	7
第 II 章	沖縄諸島の地質および土質条件	8
2・1	沖縄諸島の地形	8
2・1・1)	沖縄島の地形区分	10
2・1・2)	宮古島の地形区分	15
2・1・3)	石垣島・西表島の地形区分	16
2・1・4)	石灰岩地形	17
2・2	沖縄諸島の地質	24
2・2・1)	琉球列島の地史・地層	24
2・2・2)	主要島の地質概要	37
2・2・2)・a	沖縄島	37
2・2・2)・b	宮古島	61
2・2・2)・c	石垣島および西表島	66
2・2・3)	むすび	81
2・3	沖縄諸島の地形・地質に関する Bibliography	82
2・4	沖縄諸島の土質・地盤	93
2・4・1)	土壌・土質の分布	94
2・4・1)・(1)	沖縄島の土壌・土質	96
2・4・1)・(2)	宮古島の土壌・土質	101
2・4・1)・(3)	石垣島の土壌・土質	103
2・4・2)	主要土壌・土質の鉱物組成	106
2・4・3)	日本統一土質分類法の適用	109
2・4・3)・(1)	器具の相違による液性限界値のちがいについて	110
2・4・3)・(2)	フォールコン法の適用について	116
2・4・3)・(3)	一点法の適用について	117
2・4・3)・(4)	土の分類について	122
2・4・4)	基礎地盤	152
2・4・4)・(1)	那覇市の地盤について	153

2・4・4 ) , (2) 中北部海浜砂レキ層地盤について	168
2・4・5 ) 結 語	170
参考文献	172
第Ⅲ章    地盤災害とその対策	175
3・1    まえがき	175
3・2    地下資源開発利用とその問題点	175
3・2・1 )    鉱山資源の開発利用	175
3・2・1 ) , (1) 骨材について	176
3・2・2 ) , (2) 石材について	189
3・2・2 )    地下水の開発利用	193
3・2・2 ) , (1) 沖縄の水資源問題について	193
3・2・2 ) , (2) 地下水賦存状況とその利用	197
3・3    山崩れ・地すべり等災害	208
3・3・1 )    山崩れ・地すべり等の定義	208
3・3・2 )    中・古生層地帯におけるすべり・崩壊	211
3・3・3 )    第三紀中新世層地帯におけるすべり・崩壊	216
3・3・4 )    第三紀鮮新世～第四紀洪積層地帯におけるすべり・崩壊	225
3・3・5 )    地すべり地形の区分と分布	229
3・3・6 )    地すべり・崩壊対策	231
3・3・7 )    総 括	240
3・4    軟弱地盤その他災害	250
3・4・1 )    軟弱地盤における事故・災害	250
3・4・2 )    陥没, 泥流等事故・災害	257
3・5    結 語	258
参考文献	265
第Ⅳ章    土質および地盤の改良	268
4・1    まえがき	268
4・2    土の締固め	268
4・2・1 )    土の締固まり特性	268
4・2・2 )    締固められた土の特性	284
4・3    路床・路盤等の安定処理	294
4・3・1 )    路床・基盤としての島尻層構成土	294
4・3・1 ) , (1) 島尻層泥岩(土)の工学的特性	295

4・3・1 ) , (2) 島尻層砂岩(土)の工学的特性	315
4・3・1 ) , (3) 路床土としての島尻層風化泥岩土	333
4・3・2 ) 路盤等材料としてのコーラルリーフロック	340
4・3・3 ) 路盤等材料としてのビーチコーラル	355
4・3・4 ) 国頭レキ層土の安定処理	359
4・3・5 ) コーラルリーフロックの安定処理	369
4・3・6 ) 島尻層泥岩土の安定処理	387
4・4 結 語	400
参考文献	403
第V章 結 論	407
5・1 地形・地質の諸問題	407
5・2 地質工学的諸問題	409
5・3 土質工学的諸問題	412
5・4 結 語	414
あとがき・謝辞	416

# 第I章 緒 論

## 1. 沖縄の開発とその問題点

わが国において、今日の問題として「開発と自然および生活環境の保護」ということが大きくとり上げられている。沖縄においても、戦争による環境破壊に続いて、戦後復興に向けて土地環境の整備改変が行なわれ、さらに祖国復帰前後からの経済基盤整備事業とともに、先行投資による開発行為によって、これまでにかつてなかった急激な自然・生活環境の変貌および事故災害がもたらされている。これらのことに、直接間接にかゝりのある土木工学、土木技術にたずさわる者として、この今日の問題について真剣に、そして土木工学の全力を投じて、取組む責任を吾々はもっていると考える。また、そのための努力がこれまでになされており、土木工学の発展に伴って幾多の実績が残されてはいる。たとえば、土木学会の環境問題小委員会の設置とそれに関連するシンポジウムの開催や災害、公害問題等特集号（土木学会誌）の発刊などがあり、沖縄ではその開発と自然環境保護の問題提起<sup>1)</sup> 沖縄の自然災害報告など<sup>2),3)</sup>がある。

さて、沖縄の、今次大戦後の長期の悪条件（軍事政権下）による空白をとりもどすべく、諸々の振興開発計画がなされてきたが、その中で昭和45年9月に当時の琉球政府が策定した「長期経済開発計画」<sup>4)</sup>や昭和47年復帰時の「沖縄振興開発計画」<sup>5)</sup>が特筆されるものである。何れも10年計画として策定されたが、前者「長期経済開発計画」（以後長計と呼ぶ）は2年を経ずして総理大臣の策定（沖縄開発三法の一で、昭和57年3月までの時限立法である沖縄振興開発特別措置法によって）の沖縄振興開発計画（以後沖振計と呼ぶ）にとってかわられたいきさつがあり、自主計画としての「長計」は消滅した。筆者が参画した「長計」においては「本県の経済社会体制を本土のそれに円滑移行」させることが意義づけられ、「所得、社会資本、生産基盤、生活基盤等において本土との較差是正」を目標にし、目標時点で「県民一人びとが平和で豊かな生活を楽しむ」ことをビジョンとした。

「沖振計」の策定当初は「長計」の路線を基本的には踏襲したと言えるが、それまでにおきた自然生活環境の問題が反省され生活環境整備の比重が大きくなった点特徴的である。そして自然環境の基礎調査、動植物生態系の調査研究 etc. 沖縄の自然環境に関する諸資料の蒐集、蓄積を早急に行なう必要性がうたわれた。何れにしても、上記計画で沖縄の社会資本の充実、社会経済、生活基盤の整備充実に急務としており、土地利用計画、水問題の解決が重要事項としてとり上げられている。しかし、これらの問題は一朝一夕にして解決されるものではなく、そのためには、沖縄の自然環境に関するより詳細な調査研究や資料の蓄積がなされることが前提とならう。

上述した自然環境の改変あるいは破壊のほか、沖縄のもつ自然災害の厳しさなども考える時、沖縄の開発計画、土地利用計画<sup>6)</sup>を策定し、実行に移す際、これらの問題解決ぬきにしてはできず、土木工学の実践はありえないと思うし、そのためにも沖縄の自然環境（特に土木工学の場にある者としては気候、地形地質諸条件）に関する基礎資料の蒐集、調査研究が必要とされる。残念ながら、これら資料の著積、調査研究が沖縄のこれまで置かれた事情下において、非常に少ないまゝに今日に至っていることとは否めない。しかし、自然および生活環境問題がクローズアップされるにつれ、これらの基礎資料の蒐集、Reviewその他適用性について早急な検討の必要性にせまられている。

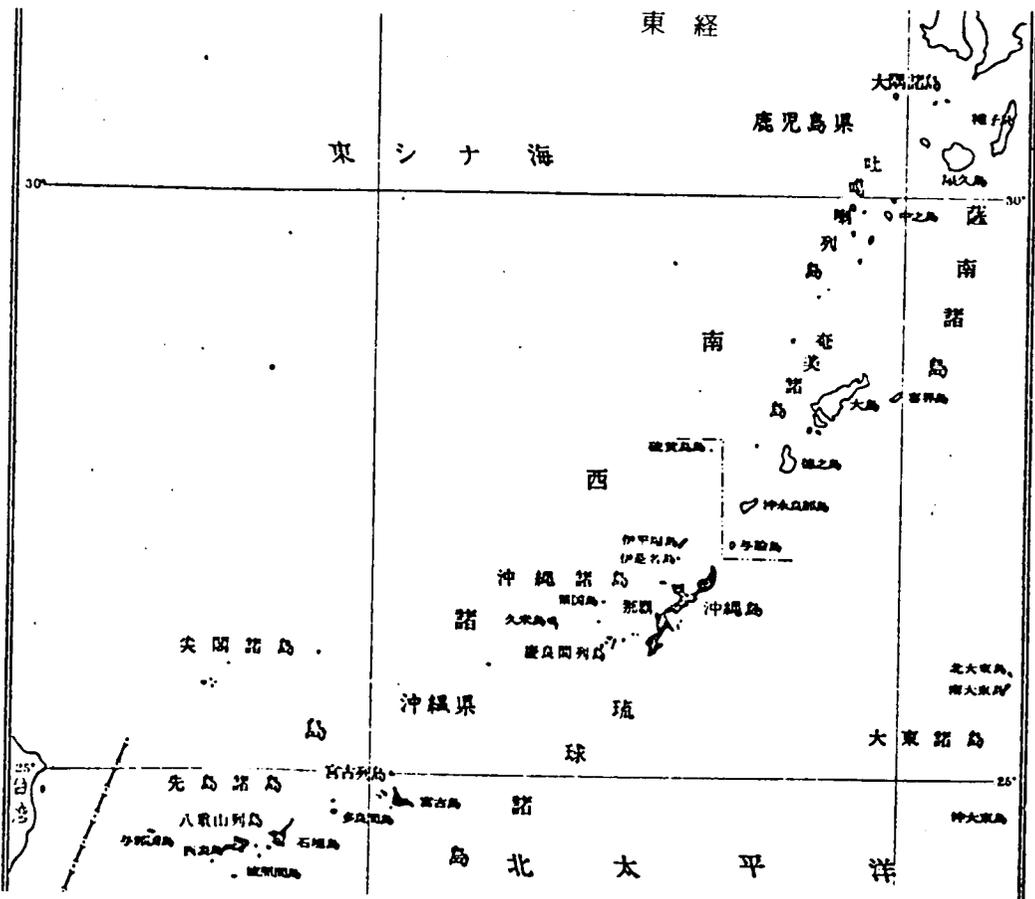
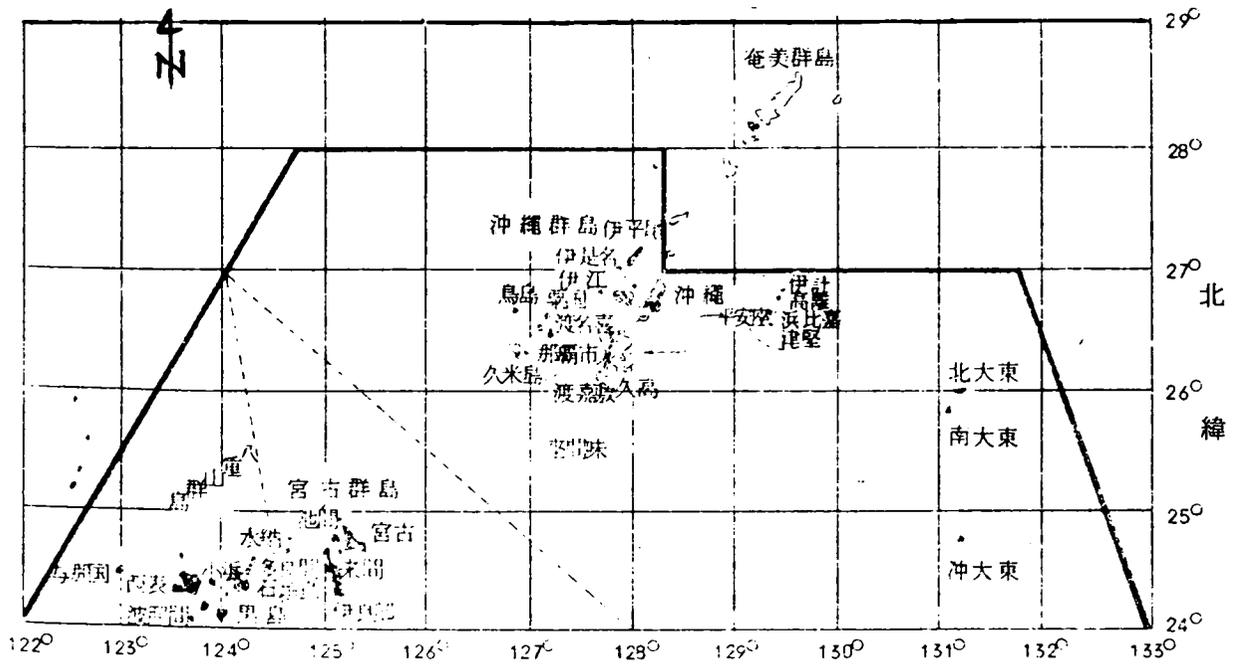
## 2. 気候風土

沖縄諸島（琉球列島のうち）の地理的位置は、図Ⅱ-1-1に示すように、ほぼ北緯28°～24°、東経122°～133°の範囲内において、大小60余の島々から成り、大きく三つの群島—沖縄群島、宮古群島、八重山群島—に分けられる。緯度の上からは、北回帰線が北緯23°27'分のところにあるので、悪熱帯に属するが、沿岸は熱帯に端を発する黒潮諸島の西側を流れ（8月には両側を流れるようである）ているので海洋性気候の性格をもち、したがって地理的位置から考えられるよりも高温で湿度も高い。気温の変化は、1年中の格差もともに少ないが、気温は平均的に冬季15°～18℃、夏季27°～29℃（年平均22℃）である。冬季には、アジア大陸からの影響を受けた湿気を含んだ空気が、夏季には、逆に、大陸に向かって吹く風があり、降雨をもたらす、さらに、夏季には台風などの異常気象が多い。

一方、名越昭男（1974年未公表）によれば、西太平洋における沖縄の気候的位置として気温および絶対湿度との対比を行ってみると、夏7月の気候は明らかに、スリガオやマニラなどと同様に、熱帯的位置付けが考えられる。なお農業的には、湿潤熱帯性として考えられている。

年間降雨量は、沖縄本島中南部で平均2,000mm余もあり、本土と比してかなり多い。ただ、この降雨は、ほとんどが梅雨期と台風シーズンにおいて集中的に発生し、ドシャブリ的性格（雨滴も大きく、2mm以上の量は、本土よりかなり多いことも注目される）をもっている。この降雨は山岳地帯はもちろん、海岸付近においても鉄砲水的様相を呈して海に流失するほか、低地での浸水災害をもたらす。こゝで、沖縄本島、宮古島、八重山の気象、海象関係資料を提示して参考に供したい。（表Ⅰ-1-1～4、図Ⅰ-1-1～2）。

上述のように、沖縄諸島の（亜）熱帯的気候風土、異常気象の多発は、沖縄諸島の地質条件、土質上条件に大きな影響を与えていることは当然で、土木工学の立場から岩石の侵食、風化、土壌化は重大事であり、災害事故に深い結びつきをもつものとしてその防止が計画、施工の面で強調されなければならない。



図I-1-1 沖縄の地理的位置 (沖縄統計年鑑 1968年)

表I-1-1 気温(平均℃)降水量(月量mm)湿度(平均%)

	月 地名													平均 または 合計	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
気	那 覇	15.5	13.4	17.1	19.8	23.1	24.9	28.4	28.1	27.0	23.8	20.7	19.3	21.8	1968年
	宮古島	16.7	14.9	18.3	20.8	24.2	25.8	28.2	27.9	26.7	23.9	21.3	19.9	22.4	
温	石垣島	17.3	15.3	19.0	21.4	25.1	27.0	29.2	28.7	27.1	24.2	21.7	20.5	23.0	
降	那 覇	69.0	110.0	230.5	119.0	112.5	256.5	12.5	188.5	80.0	37.5	86.5	95.5	1398.0	1968
	宮古島	99.0	202.0	266.0	101.5	41.0	193.5	256.5	190.5	339.0	178.5	85.5	66.5	2019.5	
水	石垣島	65.5	173.5	170.5	92.5	28.0	199.0	299.0	140.0	100.0	250.0	55.0	126.0	1699.0	
量	那 覇	67	72	76	76	78	86	83	82	79	71	69	75	1968	
湿	度														

表I-1-2 10年間年降水量(mm)(中島, 沖縄の自然災害調査報告書, 昭47.)<sup>2)</sup>

年	那 覇		宮 古		石 垣		日降水量 30mm以上の 雨による比率 (%)
	年降水量	30mm以上の 雨による比 率(%)	年降水量	30mm以上の 雨による比 率(%)	年降水量	30mm以上の 雨による比 率(%)	
1961	1954.7	5.5	1847.4	4.3	1897.2	4.3	
1962	1943.9	4.3	1864.7	5.8	1544.3	4.7	
1963	969.6	3.9	1298.7	5.8	1271.6	6.1	
1964	2281.4	6.6	2038.3	5.1	1772.3	4.3	
1965	2365.4	5.8	1872.8	4.2	2163.8	5.7	
1966	3176.2	6.8	3242.7	6.9	3371.2	6.8	
1967	1779.5	5.9	1696.9	4.6	1991.9	5.8	
1968	1398.0	2.7	2020.0	6.0	1699.0	6.1	
1969	2781.0	6.9	2259.0	5.8	1605.5	5.1	
1970	2090.5	6.1	2604.5	5.7	3069.0	6.8	
平均	2074.0	5.4.5	2074.7	5.4.2	2038.6	5.5.7	

表 I - 1 - 3 沖縄各地における降水量 (mm) の記録 (1970 年まで) 2)

	最大 10 分間降水量	最大 1 時間降水量	最大日降水量
那 覇	23.3 ( 24 )	92.6 ( 65 )	468.9 ( 80 )
宮 古 島	33.0 ( 30 )	138.0 ( 32 )	401.9 ( 32 )
石 垣 島	38.2 ( 72 )	111.8 ( 74 )	378.9 ( 74 )

( from 城間, 昭 47. )

注 ( ) 内は統計年数

表 I - 1 - 4 台風発生数と 300 キロ以内に接近した中心気圧 990 mb 以下の台風数 (1941 ~ 1970) 2)

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年	年平均
台風発生数	15	12	10	22	28	56	127	188	148	118	72	38	834	27.8
琉球全域				2	6	14	34	53	50	18	17	3	197	7.6
沖 縄				1	2	7	17	32	26	11	9	3	108	3.6
南 大 東					4	5	13	28	28	14	15	2	109	3.6
宮 古					3	8	20	27	27	10	7	2	104	3.5
石垣, 与那国				2	4	9	26	26	30	7	7	2	113	3.8

注 : 中心気圧 990 mb 以上でも現地で 20 m/s 以上の最大風速を観測したものを含む。

( from 城間, 石垣, 糸数, 比嘉, 昭 47. )

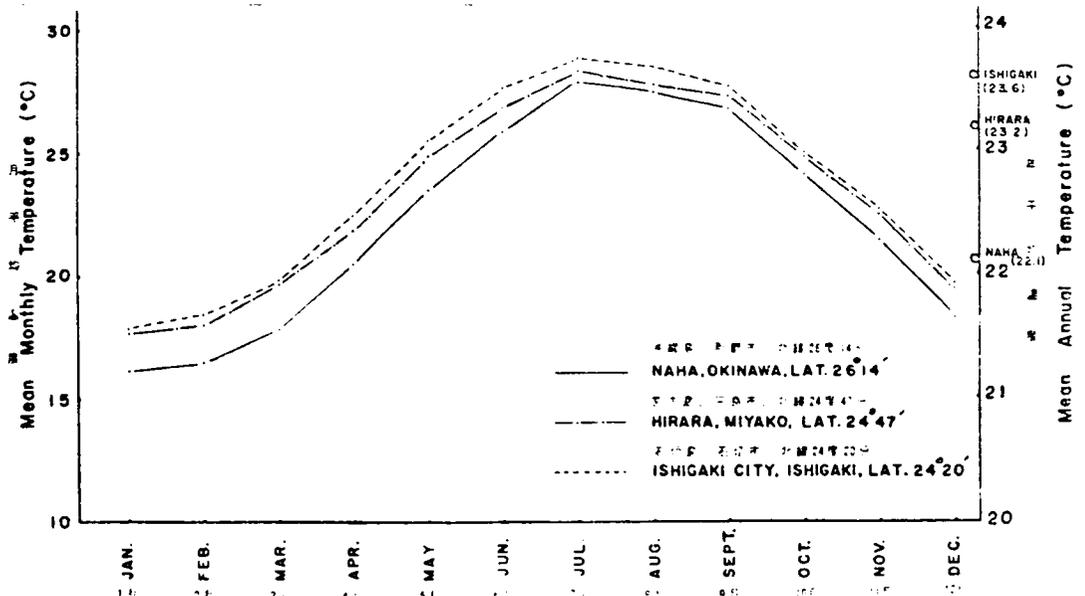


図 I - 1 - 2, a) 月間平均温度と年間平均温度 7)

from 鎮西ら (1967)

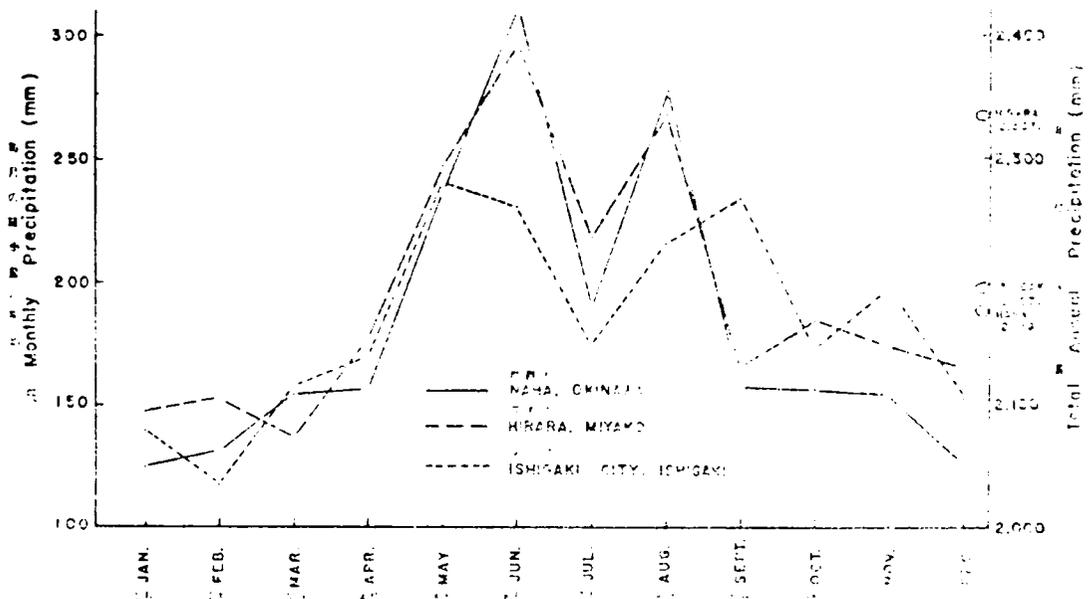


図 I-1-2.b) 月間平均降水量と年間平均降水量 7)  
from 鎮西ら(1967)

### むすび

上に述べたようなことから、本研究は、沖縄諸島の自然環境条件と土木工学的諸問題とのかゝわりを重視し、第2章において、沖縄諸島の地形・地質についてreview、総括し、次いで、土質・地盤条件を解明している。このような諸条件の総括をもとにしてこそ、沖縄の開発計画策定がすゝめられ、具体的な土地利用および建設工事が、安全かつ合理的に、実施されるものと考えられる。

続いて、開発事業に伴なう地盤等の諸事故・災害や自然災害の問題をとりあげ、地質工学的および土質工学的立場からの究明を第3章で行なう。

さらに、第4章では、道路その他の土木工事の場における基盤、路床および路盤等の条件および改良(安定処理)に関する一連の基礎的研究の成果について、検討を行なう。

最後に、沖縄諸島において、地形・地質に関する諸問題、地質工学的諸問、および土質工学的諸問題と分けて、結論的に、本研究の成果を要約し、その課題と展望を述べる。

## 参 考 文 献

- 1) 上原・上間 沖縄の開発と自然環境 公害研究(岩波書店) vol. 4 No.2, 1974,  
p.p. 37~47
- 2) 文部省・昭和47年度自然災害特別研究「沖縄の自然災害の調査報告書(代表者  
中島暢太郎)」中の地盤災害における問題点, 藤川, 上原他  
文部省, 昭和48年度・49年度自然災害特別研究 沖縄開発に伴う土地環境の  
変化と防災に関する研究(代表者 藤川武信)」中の島尻層, 地すべ  
り・斜面崩壊の特性と防災 上原・高山, 新城
- 3) 上原方成 地盤災害・本部半島総合学術調査報告書(第一次調査分)  
日本科学者会議沖縄支部 昭49
- 4) 琉球政府 長期経済開発計画 1970年 9月
- 5) 日本政府 沖縄振興開発計画 1972年 12月
- 6) 政策科学研究所 沖縄土地利用計画 1973年
- 7) 鎮西, 大屋, 古謝 琉球の土壌と土地利用 1967 1~186

## 第Ⅱ章 沖縄諸島の地質および土質条件

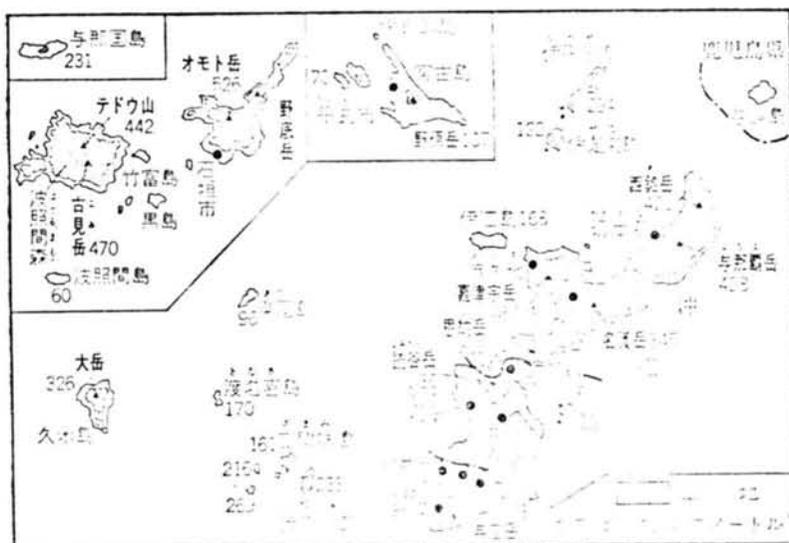
沖縄の開発を計画し、実施に移す場合、社会・経済等の条件を考慮に入れることは勿論大切であるが、昨今のように、開発行爲による事故災害、公害および自然環境乱開発が問題とされていることを思う時、沖縄の自然環境の諸条件を充分考慮に入れた計画および施工が切に望まれる。そのために、沖縄の自然環境、特に天文気象の厳しさ、その影響を多分に受ける地質・土質条件、動植物生態の状況等の資料蒐集、調査およびその効果的利用が考えられなければならない、このことについては、筆者も日本学術会議沖縄問題特別委員会「沖縄における学術研究体制の現状と課題（中間報告）」（1974年4月、178頁）など、機会あるごとに強調してきたし、その資料蓄積に努めてきたが、未だに不十分である。地質関係資料については、地質工学の立場から、一般地質および土木地質に役立てる意味で「沖縄の地形地質に関する Bibliography」（1969）を公表し、さらに「沖縄の地質および土質事情」（1971）その他調査、研究報告の中で、これまでの沖縄諸島の地形地質に関する資料をもとに総括を試みた。しかしながら、その後（1972年復帰前後）多数の地質学関係者によって種々の知見または資料などの提示、報告がなされて、筆者が属している沖縄地学会においても、「南西諸島地学文献集」（1974年8月）を発刊するに至り、かつ、沖縄諸島の地質についての部分的あるいは所によっては全面的な修正もなされるようになった。

一方、復帰後に文部省、昭和47年度以降自然災害特別研究に参加する機会を得て、沖縄諸島の異常気象（風、雨等）、水（河川、海岸）および地盤関係の自然災害に関する資料の蒐集、実態調査および研究にたずさわった。

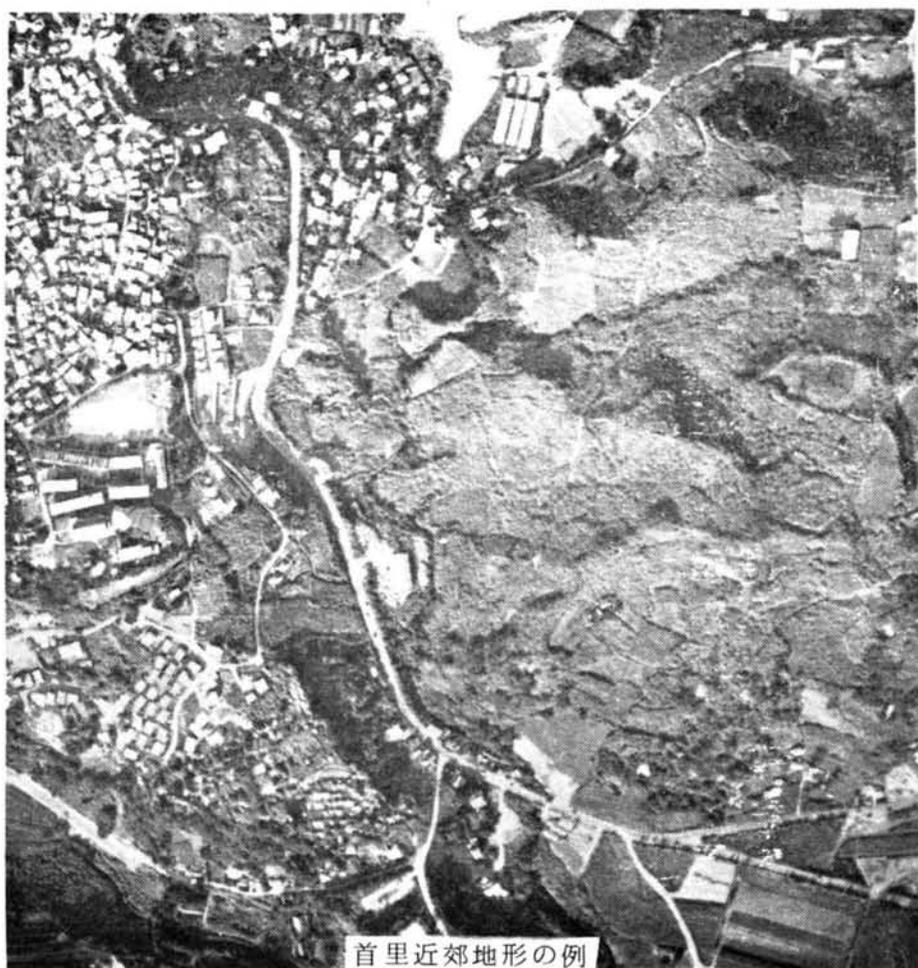
これらの調査・研究を続けるにあたって、こゝにあらためて、沖縄諸島の地形・地質に関する Review を行なう必要を感じ、これまでの文献その他資料や踏査をもとにして論述することにした。なお、本章末尾に土木地質的資料として、前述の「Bibliography」をもとに地学文献集を再編したものをかゝげて参考資料とする。

### 1. 沖縄諸島の地形

沖縄諸島は、総面積 2,388.24 km<sup>2</sup> をもつが、四面海に囲まれた多くの小さい島々から成っている。このうち、沖縄島が全体の約53%、次いで西表島、石垣島、宮古島そして久米島の順になっているが、これら5つの島で全体の約85%の面積を占めている。これら主要島々の地形概要は、次のようであり、図Ⅱ-1-1に示してある。



図Ⅱ-1-1 沖縄の地形図 from「沖縄の地理」仲松・田里



首里近郊地形の例

沖縄本島北部（石川一仲泊以北）は、台地状の中央に高い山岳をもち、短い川によって侵食されて不連続的であり、かつ、沿岸は急な傾斜をなし、平野部は少ないが河口付近の入江部分に低地のやゝ広い部分があるのみである。同島中南部は、ゆるやかな波浪状の地形をなし、高い山岳はなくて、丘陵地と呼ぶべきものと、石灰岩台地や海岸平野がいくつかある。

宮古島は、東と南の沿岸が絶壁状で、内部は台地状で西に傾むく六つの低い山陵が平行に走っている。

西表島は、中央に高い山があって、四方へ山地が走り、多くの川によって平坦な頂の山に切り開かれたり、分割されたりしていて遠くからは台地のようにもみえる。

石垣島は、中央に沖縄一高いオモト岳（526m）があり、北部は、いたる所海岸台地で囲まれているが、南部の宮良川、名蔵川の流域にはわりあい広い平野が開けている。（1960改訂沖縄の地理）。

久米島は、3つの地域に大別され、島の中心部を占める宇江城岳（320m）その他の山々を含む地域、南部のアーラ岳（287.0m）を主とする地域、そして西部あるいは北西部で、山麓地域（海拔70～80m）から西に向けて次第に低くなっている。

なお、島々の河川は流域面積が小さく、流路延長も短かく急勾配であり、地形・地質の面からも保水能力は乏しい。

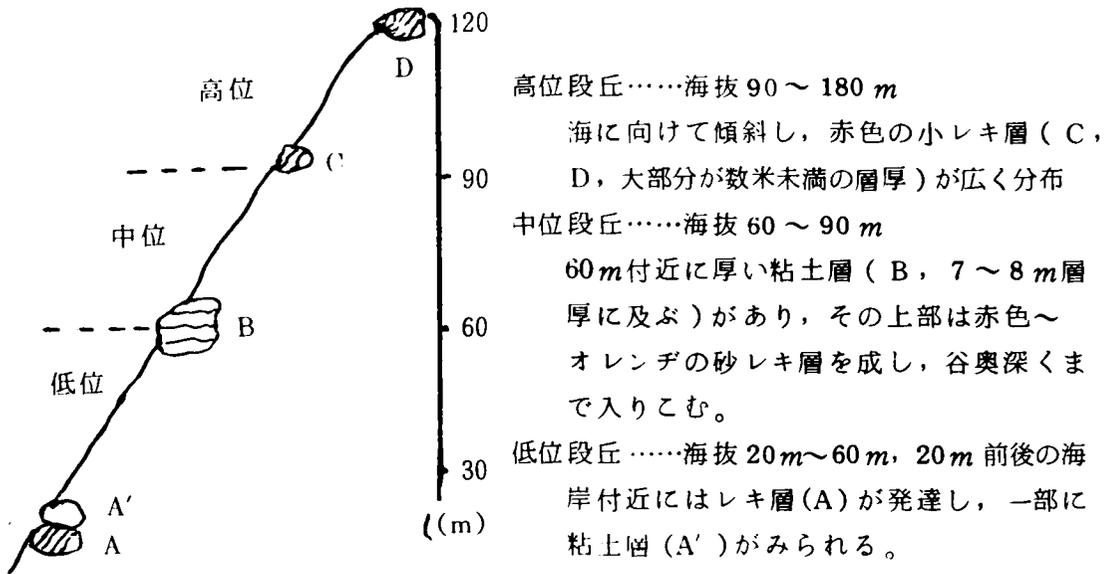
つぎに、沖縄本島、宮古島、石垣島、西表島の地形区分および沖縄諸島に多い琉球石灰岩地形について述べておこう。たゞ沖縄諸島の地形の分類や区分についての調査研究が極めて少なく、半沢博士（1935）、大井上義近氏（1922）、花井重次氏（1959、1961）らの報文や武永、西村氏らの自然地理研究（1972）山里清氏らのサンゴ礁（又は琉球石灰岩）関連の報文（1960、1961）があるが、十分とは言えない。

### 1) 沖縄島の地形区分

沖縄島の地形区分については、半沢博士や花井氏、それらを踏まえての琉大地理研究会の報告（1969）があるのでこれらを引用しよう。これらの地形の地すべり・崩壊に関係する要素については、後に、地盤災害を検討する所で、あらためて述べることにする。

半沢博士は沖縄島（1,290 Km<sup>2</sup>）を三つの地形区に分け、石川地狭（天願断層）以北を北地形区、石川地狭以南那覇一与那原地溝（首里断層）以北を中央地形区、同地溝以南を南地形区とした。花井氏は半沢博士の北地形区を国頭地形区として(1)国頭小地形区、(2)石川小地形区、(3)本部小地形区に3分し、中央地形区と南地形区を島尻地形区として、(4)コザ小地形区、(5)普天間一首里小地形区、(6)崎尻小地形区に3分した。

国頭地形区は古生層と中生層より成る地質構造をもち、名護断層によって分かたれたほぼ五角形の本部半島が一つの小地形区を形成するわけで、この小地形区(3)は、本部町渡久地—今帰仁村湧川線によって北部地塊と南部地塊に分けられ、北部に乙羽岳(277m)や無名峯(300m)等の古生層石灰岩の岩峯が東西につらなり、南部に嘉津宇岳(451m)や八重岳(453m)の同上岩峯が海蝕台地に突出している。さらに、国頭地形区の他の二小地形区は大宜味村塩屋—東村平良地狭川を境にして、以北と以南(石川地狭まで)の小地形区に分たれ、石川小地形区に、石川岳(224m)、恩納岳(363m)、漢那岳(233m)、久志岳(335m)、多野岳(396m)、津波山(236m)、国頭小地形区に玉辻山(289m)、伊湯岳(449m)、与那覇岳(498m)牛首岳(457m)伊部岳(354m)、西銘山(420m)、尾西山(272m)辺土崎山(248m)などの何れも山頂平坦な山塊が島軸に連なっている。これら地形区は島軸を横断する多くの断層によりブロック化され、東部太平洋岸は多く沈水谷が発達している。また全体的に東方に傾斜しており、海蝕台地面も開析され、深い幼年谷を形成している。なお、沖縄第4紀調査団の最近の調査(1974)によれば国頭小地形区の南境東村川田湾—大宜味村塩屋湾線について、次のように段丘レベルを提示している。



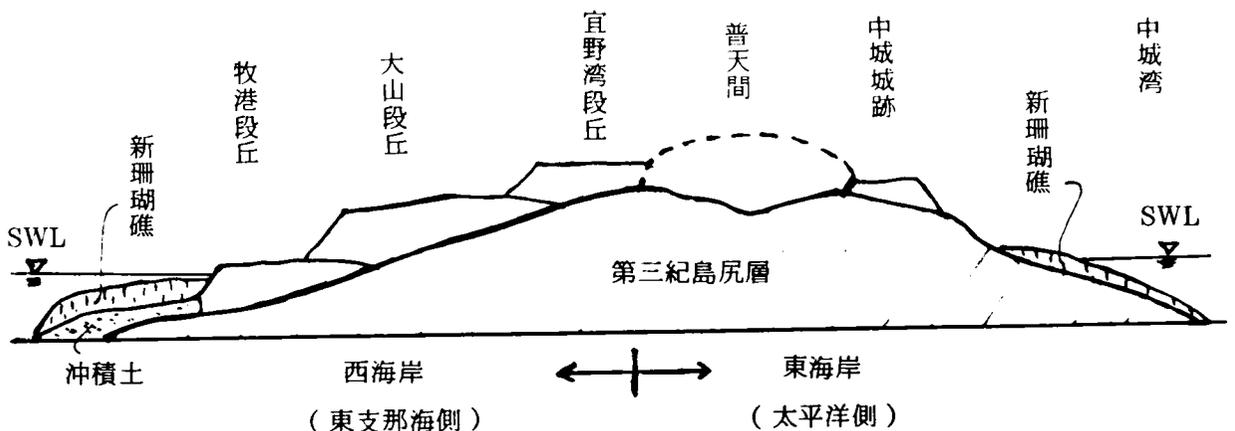
段丘編年表

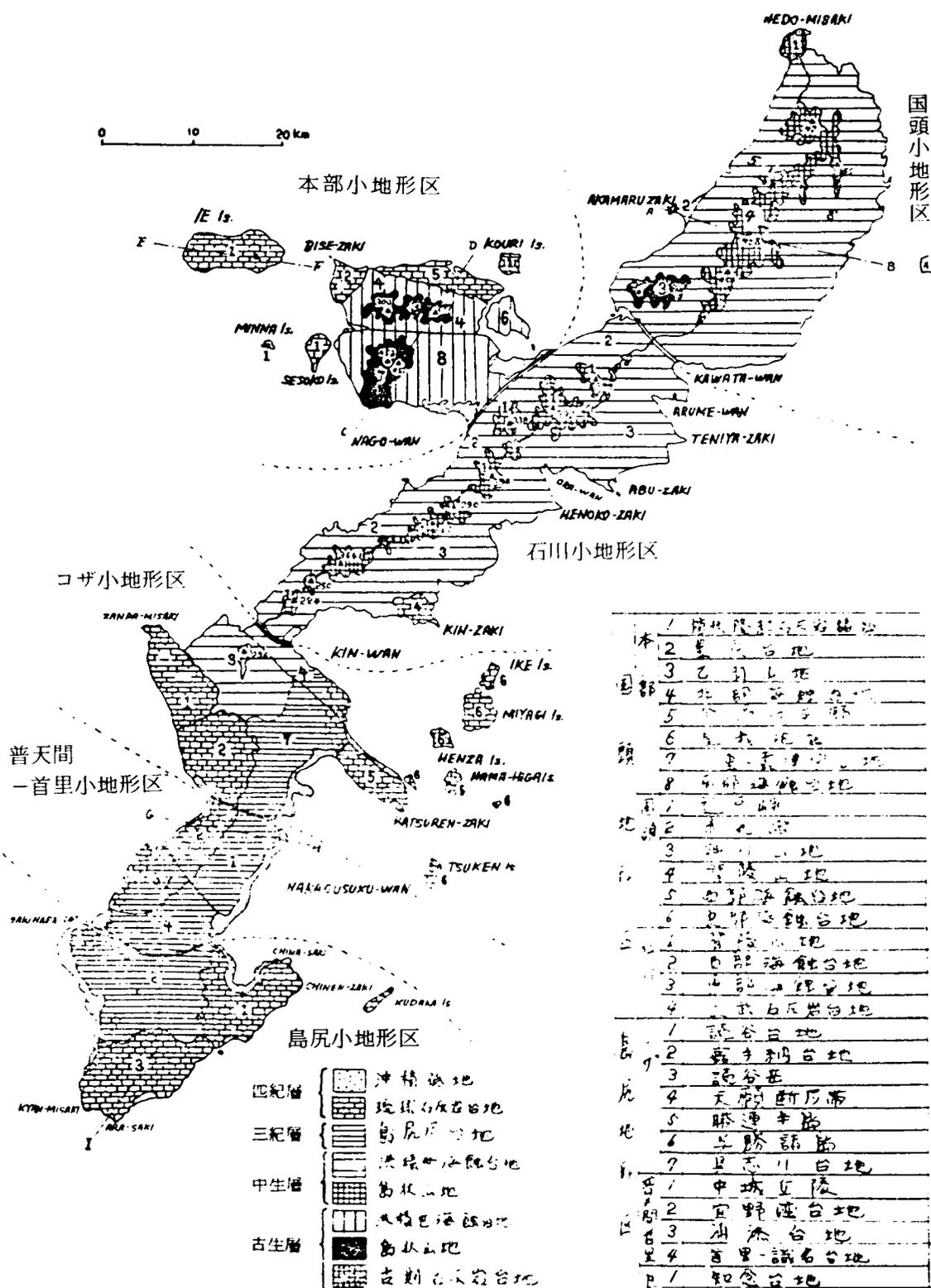
100～200 m	高位段丘	洪積世前・中期	真赤
40～80	中位段丘	” 中期	橙
10～20	低位段丘	” 後期	黄色
5～10	沖積世段丘	沖積世	

(段丘堆積物—国頭レキ層)

島尻地形区は、ほとんど第三紀層（島尻層）を基盤とし、その上を不整合に板状に琉球石灰岩が覆っていた台地である。断層が多く、断層地塊となり、全体的に南方に傾斜している。コザ小地形区は、石川地狭以南、北谷村北谷川—北中城村和仁屋線以北の台地で、北部部には中生層より成る読谷岳（236m）の島状山地があり、その周辺は国頭レキ層の分布する丘陵がある。読谷村や嘉手納村附近には、広い循状の琉球石灰岩台地があり、東部金武湾に面する北辺には、島軸を横断する断層が数本平行に走り、東方海上に勝連半島が突出している。宜野湾市普天間—首里小地形区には、島軸に直角な断層とそれに平行する多くの断層により井状の地塊が発達し、東部は崖を成して中城湾に面し、西方はゆるやかに傾斜し、海に入っている。那覇—与那原線以南の島尻小地形区は多くの断層により切断され、小地塊となっており、中央部は基盤岩（島尻層）の露出する波浪状地形をなし、それを囲むかのように西—南—東にかけて琉球石灰岩台地が広がっている。

以上、沖縄本島の地形区分が試みられているが、詳細な自然地理的性格が諸処にあらわれているので、これらをまとめて図や表によって提示しておく（図II-1-1 a, b）。また、脇水鉄五郎氏（1954. 琉球群島地形地質及鉱体 p. p. 63~65）によれば、珊瑚礁台地と段丘が本島中南部の特異な地形を形成し、農工業等人文にも大なる関係があるとしている。その一例として中城湾—中城城跡—大山海岸（宜野湾市西部）の断面を提示する（下図参照）。

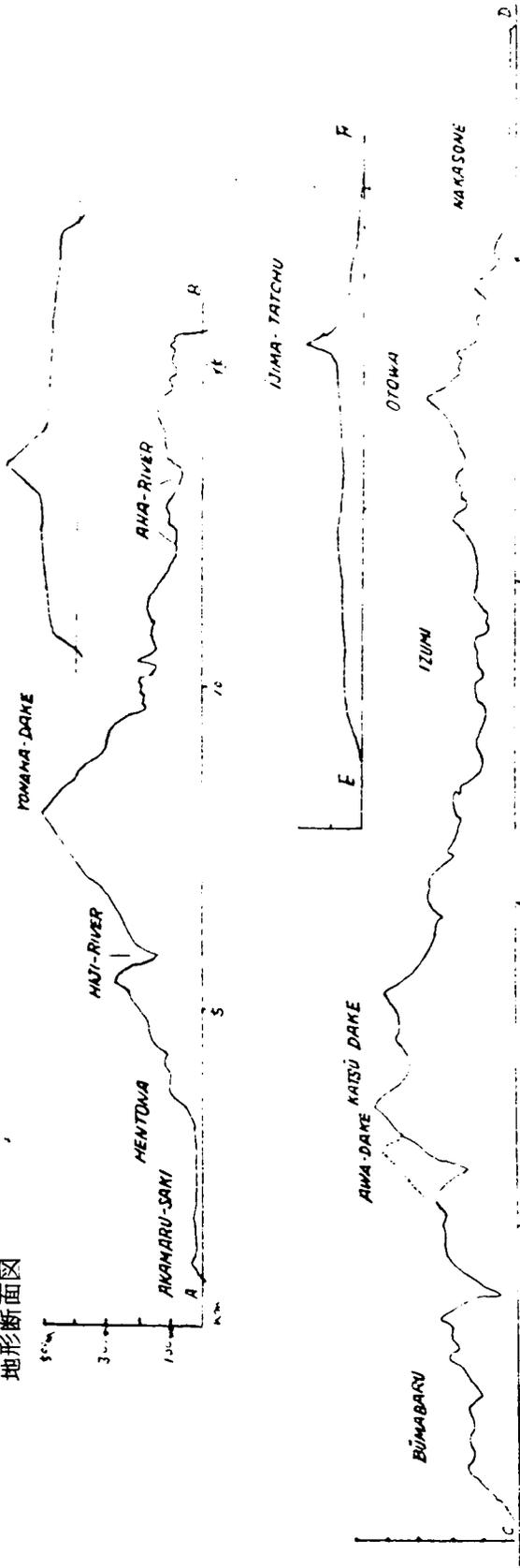




図Ⅱ-1-1(a) 沖縄島地形区分図  
 (琉大地理8号, 1969)

- |    |         |
|----|---------|
| 1  | 琉球石灰岩台地 |
| 2  | 島尻沖積地   |
| 3  | 乙羽台地    |
| 4  | 北那覇台地   |
| 5  | 南那覇台地   |
| 6  | 糸島台地    |
| 7  | 宮古台地    |
| 8  | 石川台地    |
| 9  | コザ台地    |
| 10 | 石川台地    |
| 11 | 石川台地    |
| 12 | 石川台地    |
| 13 | 石川台地    |
| 14 | 石川台地    |
| 15 | 石川台地    |
| 16 | 石川台地    |
| 17 | 石川台地    |
| 18 | 石川台地    |
| 19 | 石川台地    |
| 20 | 石川台地    |
| 21 | 石川台地    |
| 22 | 石川台地    |
| 23 | 石川台地    |
| 24 | 石川台地    |
| 25 | 石川台地    |
| 26 | 石川台地    |
| 27 | 石川台地    |
| 28 | 石川台地    |
| 29 | 石川台地    |
| 30 | 石川台地    |

地形断面図



模式図

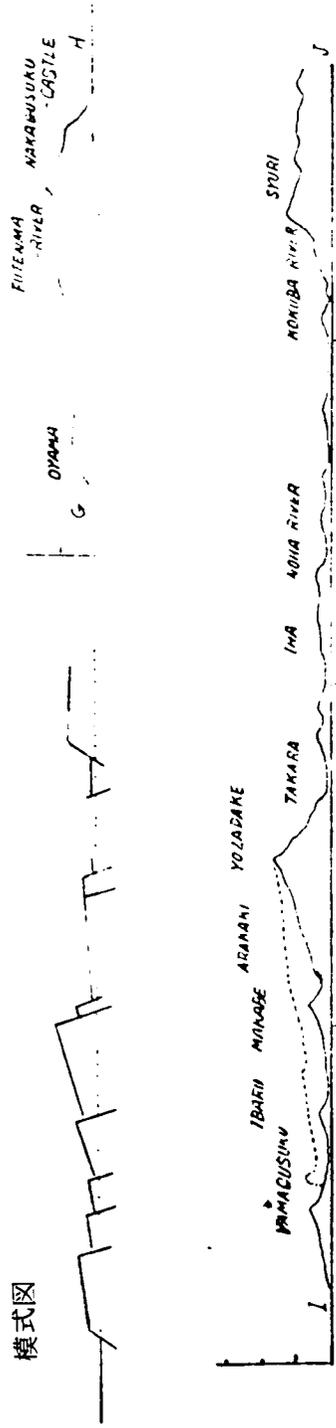
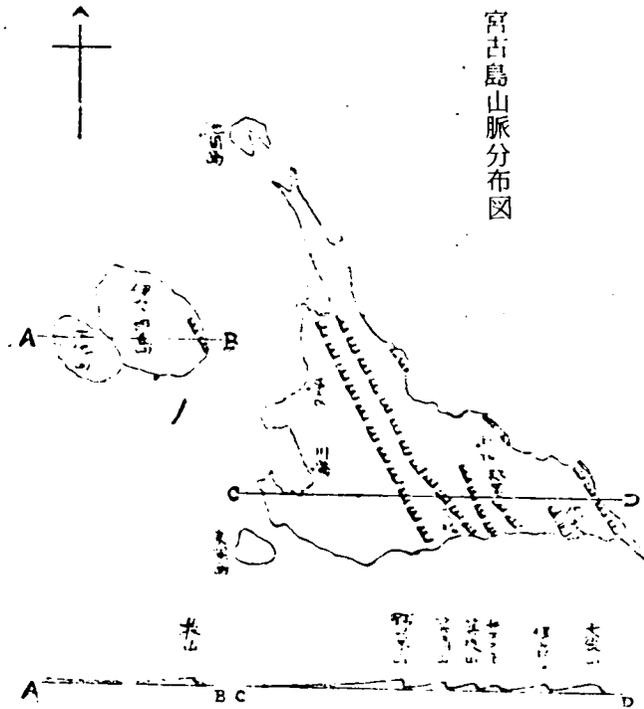


図 II - 1 - 1 (b) 地形断面および模式図

## 2) 宮古島の地形区分

宮古島(134.64km<sup>2</sup>)は不等辺三角形をなして、琉球石灰岩(わが国ではサンゴ島として大きい部類に属する)が、ほぼ全域を覆っている。本島には、北西-南東方向に走る丘陵列(六条の小連山 ridge ともいえる)があって、その主なものは、大井上(1922)によれば、野原岳(107m); 下川野原-友利, 長山(105m); 西原-友利, 東部, 横武; 横武-仲原, サデフネ; 福里-サデフネがあり、南東部先端の保良山(65.8m)や割れ目に小突起がある(図II-1-2参照)。



図II-1-2 宮古島の地形, from 大井上(1922)

山里(1960)によれば、本島各地に発達した段丘を6段15~10, 20~30, 40~45, 67~73, 80~85, 95~107に区別しているが、石灰岩(reef ridgeとreef flat)と関連して考察しているので、後に述べる。地形区分を行なうとすればこれら陵山の北側地形区と南側地形区に大別でき、北部に第三系の島尻層、洪積世下位の層(友利石灰岩)が、南部に洪積世中、上位の層(上野、平良石灰岩および粘土層)が主としてみられる。

### 3) 石垣島、西表島の地形区分

これらの島に関する地理学上の地形区分の調査報告は、これまでのところ、なされていないのが実状である。たゞ、半沢博士、Foster 女史(1965)、大阪市大グループ(1963)、山里氏ら(1960, 1961)の報文をもとにして、地形概略をまとめてみると次のようである。

石垣島(258.34 km<sup>2</sup>)の主体は、ほぼ四辺形で、海岸線が比較的出入に富み、数多くの入江をもつ一方、北東部に伊原間、平久保半島、北西隅部に川平半島(屋良部崎、川平半島)が突出している。本島中心部をなすオモト岳から東北方にはホウラ岳(351m)野底岳(282m)、金武岳(201m)、ハンナ岳(239m)、安良山(366m)など大小の山々が連なり、山岳地帯を成して平久保半島にのびている。この中央山脈は伊原間および明石で低く、狭地となっている。オモト岳から西方には川平岳(前岳、大岳256m)および屋良部岳(217m)などが起伏してつながり、西南方には、バンナ岳(231m)乃勢岳(197m)皆野底森(89m)、さらに東南部に西水、東水岳(152m)カーラ岳(136m)などが断続している。

北部の山岳地帯は、概ね本島の東北から西南にかゝる分水嶺をなしており、オモト岳を中心にして、東南に轟川、南に宮良川、南西に名蔵川、北に荒川、吹通川などの河川が流れ、南部の河川流域がわりあい広い平坦地を形成している。

上述のことから、本島は北部山岳地帯と南部の波浪状丘陵地帯の二地形区に大別されようが、さらに各半島および主要河川によって小地形区に分けられるものと思われるが、今後の検討が必要である。また、100 m(または80 m)以下は海蝕台が明瞭であり、このゆるい斜面には階段状に琉球石灰岩の帯がみられるが、これについては後に述べる。

西表島(321.89 km<sup>2</sup>)は、ほぼ平行四辺形をなし、100 m以下の海岸には段丘の発達もみられ、サンゴ石灰岩(堡礁)がこれを取りまく。東海岸は単調で屈曲は少ないが西部は多くの地塊に分離されがちで、のこ歯状を呈し、出入が著しい。島の中央部が山岳地帯で、やゝ西部に波照間森(422m)テドウ山(442m)ウーシーク森(354m)中心部に御座岳(400m)、南部に南風見岳(425m)、北東部に古見岳(470m)や無

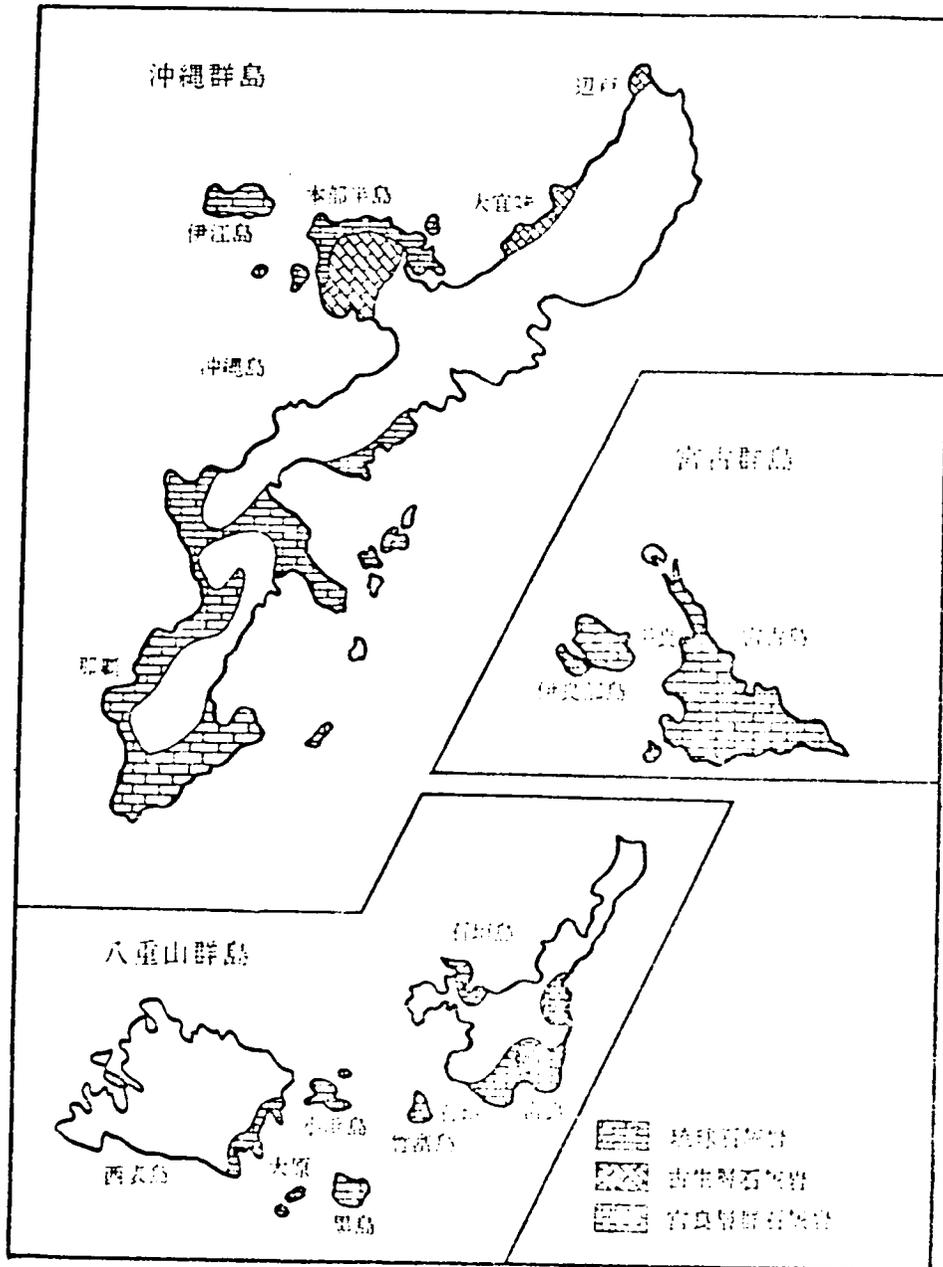
名山(421, 428m)が連なっており、島の大部分を占めている。本島の西及び南の海岸は急激な傾斜となったり、200~400mの崖状を呈しているが、北及び東海岸では開析された山が高い台地で縁付けられている。地形的に特徴づけるものとして、西部のクイラ川、仲良川、浦内川、髪川竜のある川、東部の仲間川、後良川などがあり下流で広がって、入口は海水が自由に流れこむことができる。これらのことから、西表島は中央山岳地帯と、多くの川によって開析された平坦な頂の山地塊および台地などにもとづいて、いくつかの地形区分がなされると考えるが、これも今後の専門家の検討が望まれる。

#### 4) 石灰岩地形

沖縄諸島の地質構成に、石灰岩が果す部分が多い(全面積の約 $\frac{1}{4}$ )。これらの分布を概略図Ⅱ-1-3に示してある。沖縄諸島に分布する石灰岩には、結晶質な古生代石灰岩(本部層)、琉球石灰岩、造礁石灰岩(隆起サンゴ礁)のほか、宮良層群中のち密な石灰岩、祖納レキ層中の石灰岩などがあるが、こゝでは、ほゞ現在の地形ができた時点をとらえて琉球石灰・隆起サンゴ礁を対象とする。石灰岩層は雨水等による溶蝕(岩石の風化)、海水による侵蝕などを受けて特殊な地形を形成するが、こゝでは、脇坂らの報文(1963)や平田らの報文(1961)などをもとにして特にカルスト地形(石灰岩地形)について述べる。

沖縄諸島の石灰岩地形は、その気候風土(亜熱帯・熱帯性、海洋性、島嶼性)と地質構造の関係をもとにして発達してきたもので、台状地形、断崖、カーレンフェルト、ドリーネ、ウバーレ(凹地)、ポリエ、湯泉、石灰洞穴などがあげられる。石灰岩台地(この台地は段丘地形に似ているが、海岸段とはそのでき方がちがいが、まず平らな石灰岩層が他の地層と重なってひしもちのような積み重なりがもともになっているメサ台地)では一般に石灰岩柱(ラピエ)の林立するカーレンフェルトが展開し(沖縄島北端辺土岬など)、石灰岩中の表面には雨水の溶蝕による溶蝕紋がみられる石灰岩台地の周辺部には一般に断崖が多い(沖縄島南端部摩文仁海岸など)。また、海岸段丘が5~6段をなしている所もあり、その海岸線は海蝕を受けて急崖(沖縄島南部海岸など)となっている。

沖縄島の首里や中城城一帯は、隆起サンゴ礁(石灰岩)の礁冠上に位置しているが、石灰岩台地の中央が低地帯となってポリエを形成している地形が特徴的であろう。このような溶蝕平野にいたるカルスト凹地の発達は各地でみられる。また、溶蝕性のドリーネ、陥没性ドリーネ、またはドリーネが複合してできたウバーレやポリエの底面には地下水が湧出することが多く、この地下水系の発達も石灰岩地形の特徴である



図Ⅱ-1-3 石灰岩の分布概略図

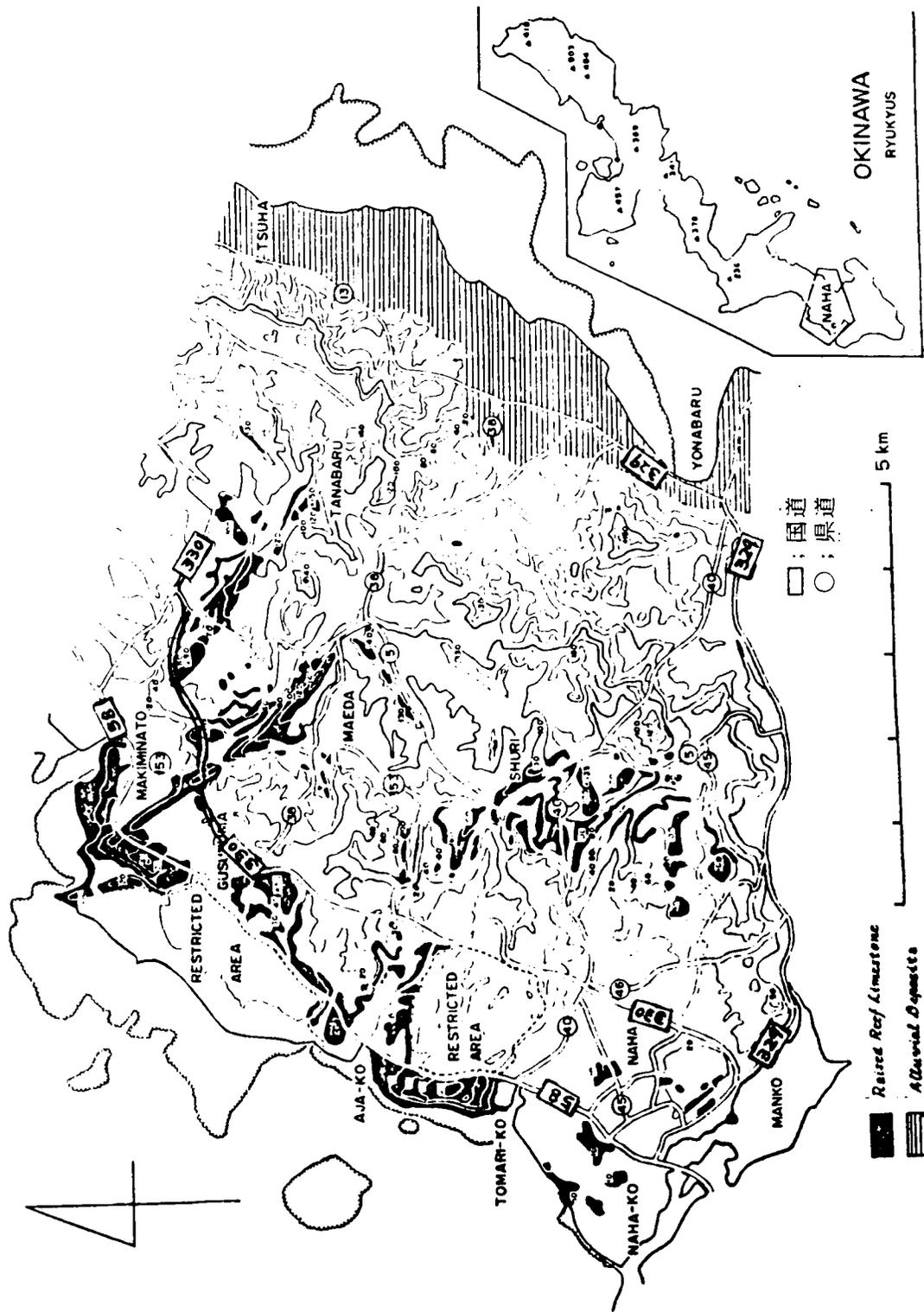
(地下水系については後に述べる)。沖縄島における隆起サンゴ礁石灰岩は、南部に多く分布しているが、平田・山里(1961)や上原・砂川(1973)によって那覇市およびその近郊の分布についてほぼ確認された。それらによると、首里高台を境にして、東部台地またはその斜面には、サンゴ礁石灰岩があまり発達せず、西側斜面(那覇市街地～西海岸に向けて)に発達しているのが特徴的であり、その概要は次のようである。

- ① 浦添市前田一牧港地域；標高 140 m まで、10 段丘
- ② 西原村棚原一牧港地域；標高 150～60m, 5 段丘
- ③ 首里北部一安謝港, 浦添市城間；標高 135 m まで 8 段丘
- ④ 首里南部(識名)一泊・那覇港；標高 135 m まで 8 段丘

(但し、この調査結果には市内及び近郊の軍用地内は除外されている)

これら 4 つの主な石灰岩群は基盤はすべて島尻層であり、ちがった時代に、ちがった海面下に形成された多数のサンゴ礁よりなる複合体と考えられている。また、これら段丘は断層崖または河川による侵蝕崖上に何れも、島を横断する方向によく発達しているが、石灰岩の厚さは何れも 4～5 m (または 10 m) 程度である。これらを図 II-1-4 に示す。一方、沖縄第四紀調査団による本島南部(知念半島～糸満)における最近(1974)の調査によれば、那覇、読谷、牧港三琉球石灰岩は一連のものであるが、那覇石灰岩、読谷石灰岩と牧港石灰岩(栗石)の新旧二つのものとするかについて検討されたが、ほぼ後者に落着いたようである。そして、アワ石石灰岩は段丘堆積である可能性が強いとし、那覇石灰岩・読谷石灰岩は 160～200 m 台地(非段丘性)石灰岩と規定されており、今後、互層型石灰岩(那覇累層一石灰質レキ、砂泥の累層)も含めて、さらに検討される必要があるが、後述の地質的面で追加したい。

宮古島では石灰岩層がかなり発達しており、突出部では露出し、低平地では赤土層におおわれている。本島では前述のように島の主脈をなすとも言える 6 (又は 4) 列の段丘があるが、その形成過程については明瞭ではない。半沢博士は石灰岩の地塊運動に先立って、大塚は石灰岩堆積後の地塊運動により北西一南東方向に沿って形成されたと説明している。山里(1960)によれば、本島の石灰岩厚さは、厚い所で 30 m 内外、大部分の地域では 20 m 内外とみられ、図 II-1-5 に示すように標高 5～10 m, 20～30 m, 40～45 m, 60～73 m, 80～85 m, 95～107 m の 6 段丘に区別される。一方、占川(1973)は地下水帯水層の調査に関連して、琉球石灰岩層を 10 m 面形成、20～30 m 面形成、40～60 m 面形成、70～80 m 面形成に区分しており、その堆積状況と地形(段丘等)との関連について検討すべき点があると考えられる。さらに、沖縄第四紀調査団による、本島の石灰岩区分の検討(一元論)が行なわれており、段丘の



図II-1-1-4 那覇市及びその近郊における石灰岩の分布  
from 平田, 山里 (1961)

成因について二つの考え方 ( reef ridge と reef flat のパターンと Erosion によるもの ) を提示しており、さらに詳細な検討が必要であろう。

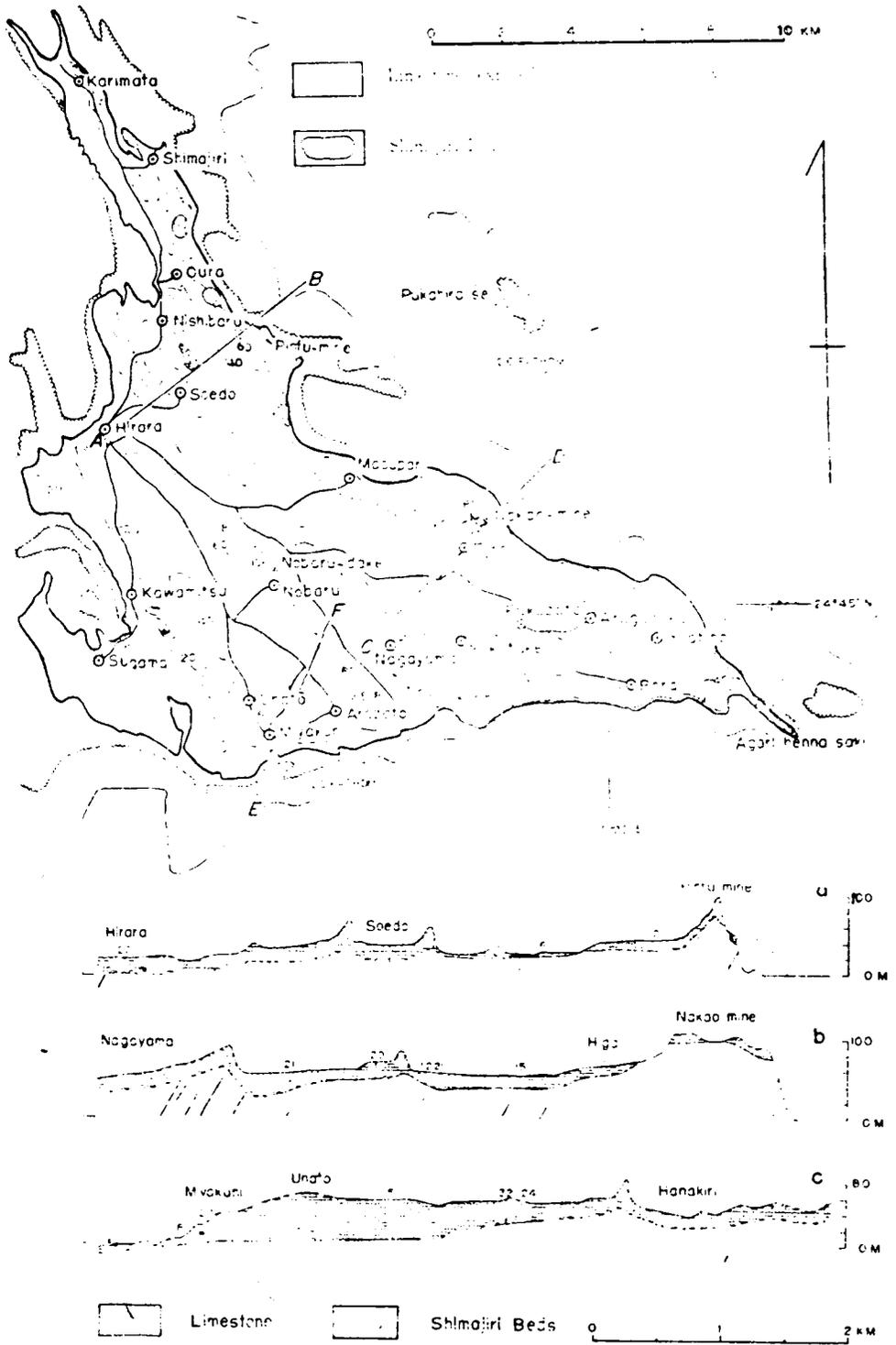


図 II - 1 - 5 宮古島の石灰岩地形, from 山里清 (1960)

石垣島については、半沢博士によれば本島南部に最もよく発達した隆起サンゴ礁石灰岩（琉球石灰岩）がみられ、平田・山里（1961）の調査研究もこの地域についてなされており、これらをまとめて述べるとおよそ次のようである。調査地域は西は観音崎から東は白保東方に至り、高度は西端87mの丘全域、マセ丘南麓（90～100m以下）、バナナ丘南麓（90～100m以下）、磯辺川及び宮良川流域（平地）宮良～白保背後の88.7m丘等を含む南部地帯である。調査の結果、80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10～13, 5～8mの隆起サンゴ礁石灰岩の9段丘に区別されることがわかった。この中でも20mの石灰岩脈が最も規模が大きく、他は小規模で短期間の形成物であると考えられ、その時代も未だ明確にはなっていないようである。これらの分布を図Ⅱ-1-6に示す。なお、琉球列島における隆起サンゴ礁の段丘数は、宝島3段、与論島6～7段、那覇市附近で10段、久米島5段、石垣島8～9段、西表島1～2段といわれ、隆起または沈降の現象が地域によって差異があるように思われる。また、これら陸上にあるサンゴ礁石灰岩は、第四紀中期以後のもので、第三紀初頭のは海底斜面に横たわっていると結論づけられている。

一方、古川は、琉球石灰岩を10m面形成、20m面形成、中位段丘堆積層、40～60m面形成と区分している。

今後、琉球石灰岩（隆起サンゴ礁石灰岩）の層序、岩質の時間的・空間的変移の追跡がなされ、これまでの地形学的対比論をさらに発展させることが（地理学、生物学、地質学の学際的協力）沖縄諸島の琉球石灰岩の地形・地質学条件につながるものと思われる。



奥武島（玉城村）

写真 1. 石灰岩地形の例

万座毛（恩納村）



図II-1-6 石垣島南部における礁石灰岩の分布  
 from 平田, 山里(1960)

## 2. 沖縄諸島の地質

琉球列島（または南西諸島）は、通常、琉球弧と呼ばれて、大平洋西北部の地質学的特徴として、アジア大陸東岸特有の地勢として有名な花列島（Feston Islands）—朝鮮・琉球弧—の南半分にあたる。この弧状列島は、九州と台湾との間にあって、中央部は太平洋に押し出され、その両端は大陸側にひきつけられた格好の、北東から南西につらなる長さ約1,200 Kmにも及ぶものである。この列島の海拔はさほど高くないが、列島沿いに外側（東部）に深さ6,000 m（又は7,000 m）以上にも達する琉球海溝があり、内側（西部）に約2,000 mにも達する没海溝（舟型の琉球母状海盆とも呼ばれる）、東支那海没地溝帯を伴っており、火山帯でもある（図I-1-1参照）。沖縄諸島の地質全般については（鹿児島奄美諸島も含めて南西として同時に論ぜられるのが普通である）、半沢博士ら（1935 etc.）のすぐれた調査研究報告があって、以後これらがもとになって今日に至っている。今次大戦後は、米軍が米国地質協会等の協力を得て、軍事目的と関連させてはいるが、かなり詳しい調査報告（Military Geology 1959~1960）を出している。

また、個々には、F. S. Mac Neil（1960）、H. L. Foster（1965）、小西健二（1963~1965）らの新しい報告があり、沖縄の天然ガス調査団や水資源調査団（共に工業技術院地質調査所）による調査報告（1960~1970）、最近の沖縄第四紀調査団、沖縄地学会共同調査による新知見（1973~1974）などが続々公表されつゝある。

こゝでは、緒論でも述べたが、これら数多の報文、知見を総括的にまとめて説明し、詳細はそれぞれの文献を参照できるように、文献リストをかゝげておく。

なお、本論のすゝめ方は、先ず、総論として沖縄諸島の全般的な地史、地質構造、地層について述べ、後に主要島々についてとり上げて各論的にその地質概要を提示する方法をとる。

### 1) 琉球列島の地史・地層

半沢博士によれば、琉球群島（南西諸島）の地史は、古生代二疊紀から始まる。この海成二疊紀の岩石は、二疊紀後期と中生代の前期に於て、火成岩によって貫かれています。後代の琉球主軸山脈の核心となった。その後火山爆発、種々の地殻変動、陸地の上昇・沈降をくり返し現在の琉球列島の島々を形成したが、新生代第四紀洪積期前期以後は台湾および日本本土の地史と似ている。これをまとめて地史一覧表をかゝげる（表II-2-1半沢）

表Ⅱ-2-1 琉球群島の地史一覽表

	地質時代		地質變動		備考
	世界	琉球	琉球群島	日本	
1	古生代 (二疊紀)		琉球群島の主軸山脈の核心成る		奄美大島, 沖縄本島北部 伊平屋列島, 慶良間列島 石垣島, 小浜島成る
2	中生代 上部二疊紀 下部中生代		火成岩噴出し, 地殻變動を起こす。 大気の風化作用を受ける。		地層の歪曲, 褶曲, 断層等を生ず。脊梁山脈は数個の山塊に分割さる
3	新生代古 第三期前期	宮良期	陸地下降す。宮良層堆積。	秋津期	
4	同古第三期 後期		陸地上昇す。宮良層海上露出	高千穂期	
5	同新第三期 前期	八重山期	陸地降下す。八重山夾炭層堆積。		八重山夾炭層下部に火山灰の薄層あり
6	同新第三期 中期	島尻期	島尻層, 祖納礫層堆積す。 火山爆発	瑞穂期	琉球群島の大部分海中, トカラ列島鳥島, 栗国島, 久米島爆発
7	同新第三期 後期	後島尻期	陸地著るしく上昇す。	矢部教授説 大陸時代	全日本, 琉球群島, 台湾, アジア大陸接続, 約 700 米 上昇
8	同上	同上	陸地著るしく降下す。 造礁珊瑚繁殖		琉球群島の高山の山頂のみ 海面上にあり 約 720 米沈下
9	新生代第四 紀洪積期	琉球期	陸地上昇す。琉球石灰岩海上露出		
10	同第四紀 洪積期中期	後琉球期	陸地降下す。国頭礫層堆積	敷島期	
11	同第四紀 洪積期後期	国頭期	陸地上昇す。国頭礫層露出		
12	同第四紀 沖積期前期	後国頭期	陸地降下す。沿岸に裾礁		各島 20 米以上沈下
13	同上		陸地上昇す。陸起珊瑚礁露出		各島 2~20 米上昇, 海岸段丘 (ベンチ) 作る

琉球孤状列島の構造と成因については、古くは小藤(1898)、近くは小林(1941, 1956.)、江原(1960)小西(1963, 1965)門田(1967)らの報文があり、詳細はそれぞれの文献にゆずるが、こゝでは門田、小西のものをもとにしてその概要を述べておく。

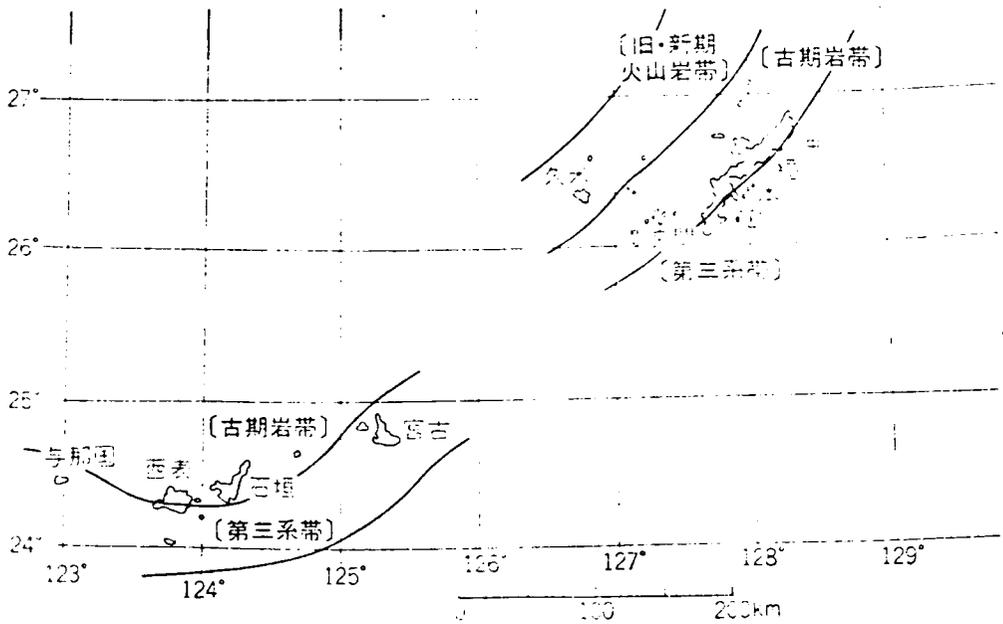
門田は、基本構造は烈しく褶曲した一種の褶曲山脈で、大陸側から南東向きの横圧が働いて、中心部が海洋側に押し出されたような形になっているとして、これら造山運動や横圧力の起源について、さらに、琉球列島を西南日本の場合と同様構造上、内外二帯に大別して論じている。

小西はその「琉球列島の構造区分」において、おゝよそ次のように論じている。本報文は未解の「構造地質」について一大光明をもたらし、以後、沖縄諸島の地質条件の解明に多大な貢献をなしていることを付記したい。なお小藤(1897)は火山岩帯(内側)古生層帯(or古期岩帯)(中央)第三紀層帯(外側)の「3重列」を提示した。孤状列島としての地形的特徴をもつ琉球列島とその周辺は次のような地形区(または現在の地質構造区)に区分される(表II-2-2、図II-2-1参照)。

表II-2-2 琉球列島と周辺の地形区(または現在の地質構造区)、小西健二 1965

1	東海陸棚区 (Tunghai Shelf)
2	琉球後背海盆区 (Ryukyu Hinterbasin)
3	古期琉球火山岩区 (Paleo-Ryukyu Volcanic Belt)
4	琉球火山帯または霧島火山帯 (Ryukyu Volcanic Belt or Kirishima Volcanic Belt)
5	琉球地背斜区 (Ryukyu Geanticline)
	a. 東北琉球 (Northeast Ryukyus) ……大隅群島
	b. 中部琉球 (Central Ryukyus) ……沖縄・奄美大島群島
	c. 西南琉球 (Southwest Ryukyus) ……先島群島
6	宮古凹地 (Miyako Depression) とトカラ海峡 (Tokara Channel)
7	琉球海溝 (Ryukyu Trench)
8	フィリピン海盆区 (Philippine Sea Basin)
	a. 西部フィリピン海盆区
	b. 東部フィリピン海盆区
9	九州パラオ海底山稜 (Kyushu-Palau Ridge)
10	大東山地区 (Daito Mountains)

琉球列島として海上に露出する岩体は、ほとんど3, 4, 及び5に属するもので、これらにやゝ説明を加えると次のようになる。



図Ⅱ-2-1 沖縄諸島の地質構造図

#### 古期琉球火山岩区

第三紀中新統～鮮新統の安山岩質を主とする火山岩類で特徴づけられる“新第三紀火山帯”で、琉球地背斜区にほぼ平行に、その内側沿いに、八重山群島（石垣・西表諸島）から南九州南西部にかけて追跡され、西表島、石垣島、久米島、粟国島、トカラ列島、草垣群島などがその中に入る。基盤岩類は殆んど島の露出しない。この地質区は後述の琉球火山帯と時空的に密接な関連をもち、両者の区別をしない立場もとれる。一部に淡水成（粟国島）や海成（久米島）の堆積岩層も夾在する。また、紫蘇輝石質岩系の安山岩類が最も広く知られているが、ピシオン輝石質岩系の安山岩（石垣島）やソレイアイト質玄武岩（久米島）の分布や金、銀を伴う鉱床の発達も確認されている。さらに、配列方向の上で、後述の琉球地背斜区内の中新世以前の構造をもって発達していて、この地質区の基盤が、本部累帯の所で、古銅輝石安山岩や黒雲田玢岩が見出され、いわゆる“瀬戸内型火山岩区”と類似している。

琉球火山帯（霧島火山帯，西日本火山帯の一部）

第四紀の高アルミナ玄武岩型のマグマに由来すると考えられる火山岩類で特徴づけられ、有史記録をもつ火山も少なくない。大局的には、古期琉球火山岩区の外側の位置を占める傾向にあるが、琉球地背斜軸に対しては平走（若干の斜交）が認められている。主部は東北琉球にあり、硫黄島から、諏訪之瀬島，中之島，国之永良部島鬼界カルデラを経て開聞岳火山，桜島火山，霧島火山へと追跡される（従来は、中新期琉球火山帯に久米島，粟国島が入れられていた）。

#### 琉球地背斜区

琉球列島の脊梁山地に相当する部分で、西表島，石垣島，宮古島，沖縄島，与論島徳之島，奄美大島，屋久島及び島間の“陸棚部”へと追跡される主隆起軸が考えられる。この区は、さらに、たがいに並走するいくつかの構造累帯（tectonic belts）に区分することができるが、地背斜の主隆起軸方向と累帯構造の一般走向とは一致していない。大きくみて、先島群島（宮古，八重山群島＝西南琉球），沖縄・奄美大島群島（中部琉球），大隅群島（東北琉球）に3分され、新第三系下の基盤岩類は、石垣累帯，本部累帯，国頭累帯，島尻累帯および熊毛累帯の順に構造累帯として内側（大体時代的に古い）のものから次第に外側（新しい）のものになるように、雁行状に配列する特徴がみられる。これらの累帯について若干つけ加えると次のようであり後述の地層各論と関連づけられるものである（図Ⅱ-2-2, 3及び表Ⅱ-2-3, 4参照）

#### ① 甌島累帯（Koshikijima Belt）

浅海相の上部白亜系の発達と、赤紫色頁岩を含む礫岩・砂岩質の古第三系の発達で特徴づけられるが、甌島列島と宇治群島が本累帯中の海面上露出にあたり、与那国島の基盤岩類も本累帯か次の石垣累帯と考えられ、琉球列島中部以南では明瞭でない。

#### ② 石垣累帯（Ishigaki Belt）

藍閃片岩相で特徴づけられ、複雑に褶曲する結晶片岩類（古生界）から成り、それを不整合（nonconformable）におく第三系中新統（下部，一部海成）が発達している。古期琉球火山岩区の一部と重なり、第三系中新統（～鮮新統）の安山岩質火山岩類や火砕岩類や花崗斑岩が発達する。

石垣島の北部（平久保，伊原間，野底半島部と屋良部・川平半島部）西表島・嘉弥真島，小浜島，久米島，粟国島，硫黄島，上之根島，横当島，宝島等が本累帯に入る。

#### ③ 本部累帯（Motobu Belt）

比較的ゆるやかに、大きな波長で撓曲する部分と西北側に軸面をむける同斜撓曲や、同傾向の衝上断層の発達する部分とから成る。古生界の堆積岩類（石灰岩・チャート・砂岩頁岩・凝灰岩等）と緑色岩類（輝緑岩、斑粉岩等）を主としその上に斜交不整合にのり、現在は古生界の間にたゞみこまれたように向斜状に保存される瀬海ないし汽水成の白亜系(?)やさらに弱い変形を受けた浅海相の第三系始新統（宮良累層）の存在で特徴づけられる。古生界石灰岩の一部からは二疊系中上部（本部累層、与那嶺累層、渡名喜累層）の化石が見出だされ、一部に第三系（中新統）と中生代(?)の花崗岩類や閃緑岩類（何れも不均質）が古生界を貫いて発達している。本累帯は渡名喜累帯（北部）、伊是名帯（中帯）及び嘉津宇帯（南帯）の3帯に細分される。本累帯の見掛けの露出の幅は中部琉球で23～40 Kmである。

石垣島主部（南半部）、黒島、竹富島、新城島、渡名喜島、出砂島、伊平屋島、伊是名島、伊江島、屋那覇島、具志川島、野甫島、屋我地島、古宇利島、瀬底島、沖縄本島本部半島と西海岸の岬部（赤丸崎、辺土岬）、与論島、沖永良部島、徳之島、奄美大島西半部、加計呂麻島西半部、請島西半部、草垣群島等がこの累帯に属する。

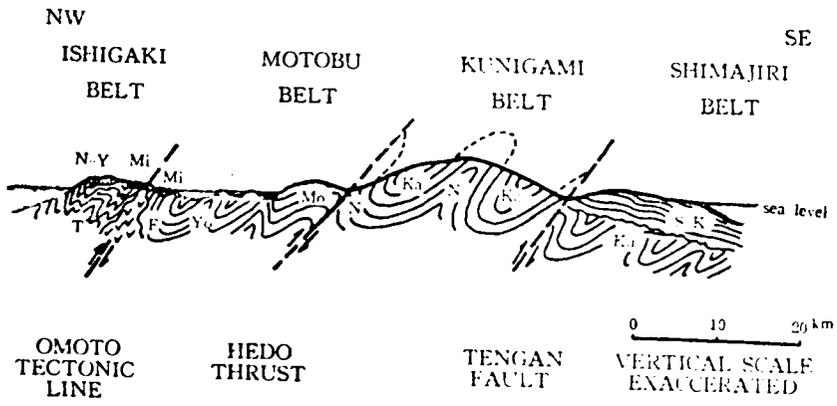
#### ④ 国頭累帯（Kunigami Belt.）

複雑に撓曲し、部分的に層状含銅硫化鉄鉱床を胚胎する緑色片岩相の結晶片岩類・千枚岩類から成る累層（名護累層）と白亜紀化石と多量の生痕化石を産する砂岩（アルコースまたは長石質グレイワッケ）頁岩の単調なくり返しから成る厚い累層一層間隙岩もみられる一（嘉陽累層）の発達で特徴づけられる。本累帯には、第三系の酸性深成一半深成岩類の進貫入がみられ、見掛けの露出の幅は、中部琉球で約20 Kmである。

沖縄島の脊梁山地（本部半島と西海岸の一部を除く国頭地方の大部分）、慶良間群島、加計呂麻島東半部、諸島東半部、奄美大島東半部が本累帯に属する。

#### ⑤ 島尻累帯（Shimgjiri Belt.）

中部琉球では、小藤文次郎（1897）による第三系帯と呼ばれた部分に一致するが基盤岩類は殆んど Subsurface であり、西南琉球では海面下、東北琉球では火山島の基盤岩類に追跡される。この累帯の基盤岩類の内容については、島尻層の基底下に Flysch 相の古期新生界と一部に新期中生界が埋没していると考えられ、那覇市の天然ガス調査井によって約 1,000 m 下に硬質泥質微粒砂岩と黒色粘板岩の互層が見出された。島尻層群は浅海ないし半深海相の純海成中新統～鮮新統の砂岩・泥岩の厚層で、現在 box-fold 型の撓曲変形（沖縄島の首里、中城ドー



図II-2-3 Schematic cross section of the Ryukyu Islands; F, Fusaki Formation; Ka, Kayo Formation; Ku, Kumage Formation; Mi, Miyara Formation; Mo, Motobu Formation; N, Nago Formation; N-Y, Nosoko and Yaeyama Formations; S-K, Shimajiri and Kakinaga Formations; T, Tumuru Formation; Yo, Yonamine Formation. from 小西(1963)



図II-2-2 沖縄島带状構造 from 小西(1965)

帯	石垣	垣	本部	国頭	島尻
時代	20~35km	25~45km	20km	60~75km	
層	隆起サンゴ礁				
第	琉球石灰岩		牧港石灰岩	読谷石灰岩	那覇石灰岩
行	名蔵層		心屋層	国頭層	知念層
鮮	島尻層				
中					
三					
新					
第					
一					
第					
三					
第					
一					
第					
一					
第					
一					

表II-2-3 沖縄の地構造区分と地質層序表

表II-2-4 Structural zonation of the pre-Miocene basement complex of the Ryukyus (KONNO, 1973)

Name of Belt	Age	Main lithologies (original)	Metamorphic facies	Ore deposits manganese cuprif. iron sulfides	Intruded by	Overlain by	Distribution
Ishigaki	Paleozoic	shales, pyroclastics, lavas, cherts, sandstones and others.	facies		granophyre, granite, (Ishigaki); andesite and basalt (Kume)	Miyara Fmt. (Eocene), Nagoke Fmt. (Mio.?) Yaeyama Gr. (Miocene), "Shimairi Fmt." (Miocene), Ryukyu Group.	Northern Ishigaki and Iriomote; Kume (subsurf.); Aguni (subsurf.)?
		limestone and chert in assoc. with pyroclastics and sandstones/shale	glaucophane schist facies		andesitic porphyry (Okinawa); granite (Tonaki, Okinorabu, Takamoshima); diabase or serpentinite (Takamoshima)	Ryukyu Group (late Pliocene Pleistocene); Goga Formation (late Pliocene)	Okinawa (Motobu), Tonaki, Ie, Iheya, Izezu, Yoron, Okinorabu, Takamoshima, Amami (western), southern part of Ishigaki
Kerama and	Miocene	slates and pyroclastics with greenstones and subordinate limestone	phyllite	X			
		sandstones and shales with conglomerate lentils	greenschist facies		X	Mostly gravelly facies ("Kuniga-Kit" of (Okinawa), Ryukyu Group (late Pliocene - Pleistocene)	Okinawa (main), Kerama, Amami (eastern)
Shimajiri	Cenozoic	slates and pyroclastics with shales with conglomerate beds; rarely basic lava flows	Only very slightly recrystallized in the original texture				

OMOYO LINE

HEHO FAULT

TENGAN FAULT

ム)をなしている。本累帯の見掛けの露出幅はほぼ70~75 Kmに達するものと考えられ、北部の国頭累帯とは、高角衝上性の天願精造線でもって境とされている。沖繩島南部、喜界島、奄美大島笠利半島、薩南黒島、竹島、粟石島、諏訪之瀬島中之島、口之永楽部島等が本累帯に属する。

⑥ 熊毛累帯 (Kumage Belt)

複雑に褶曲した Flysch 相の古第三系の厚層と、それを斜交不整合におくう浅海成第三系中新統の発達で特徴づけられる。種子島、馬毛島、屋久島がこの累帯に属する。

以上で地史・地質構造の概述をとめて、次に、先にかゝげた9つの地層を構成する岩石、構造、露出地をまとめてみると表Ⅱ-2-5のようになる(半沢、門田らの報文参考にしてつくった)。

表Ⅱ-2-5

地層	岩石および地質構造	分布地(島名)
古 生 層	<p>粘板岩、千枚岩、輝緑岩、輝緑凝灰岩、放散虫板岩、砂岩、硬砂岩、珪板岩、珪石、礫岩、石墨片岩、雲母片岩、石英片岩、緑泥片岩、半晶質石灰岩。</p> <p>上記岩石の一部は霞石閃長岩および石英斑岩(沖繩島)や黒雲母花崗岩(石垣島、奄美大島)などの火成岩によって貫入され、激しい褶曲および反転を受く。板岩と砂岩は変成作用を受けて千枚岩、結晶質片岩となっているものもある。半晶質石灰岩は灰白色または暗緑色を呈し、累層の上位を占め、沖繩島本部半島、北部の西海岩、塩屋、赤丸崎、辺土岬および石垣島伊原間、平久保半島万那岳南麓に分布。</p> <p>強い横方向の力を受け、地層錯乱(横臥褶曲、断裂等)の為、走向傾斜はまちまちであるが、一般走向は、沖繩島および大島で北北東-南々西八重山群島では東-西、傾斜は前者が西に向けて緩傾斜、後者が北に向けて種々の角度を有している。</p> <p>注)小西や石橋によれば一部は中生層に属する (1967, 1970)</p>	<p>奄美大島、徳之島 沖之永良部島、与論島、沖繩島、古宇利島、伊江島、瀬底島、屋我地島、伊平屋島、慶良間群島、石垣島、小浜島、竹富島、西表島、嘉屋真島</p>

地層	岩石および地質構造	分布地(島名)
宮良層群	<p>ち密な石灰岩(上部始新世ホラミニフェラ, 石灰質海藻を含む)が主で, 下部に中～粗粒質淡褐色の砂岩, レキ岩(板岩, 砂岩, 花崗岩, 石英脈岩の円または角レキ)を随伴。古第三紀暁新世～上部始新統で, その分布は極めて局部的であり, 激しく褶曲せる古生層の削磨された表面に堆積。丘麓部では, 琉球石灰岩台地の下にかくれている。各所で急な傾斜をみせるが, 宮良北方では走向北 20° 西, 傾斜南西 20°</p>	石垣島, 小浜島
八重山夾炭層	<p>安山岩質の熔岩, 同凝灰岩および集塊岩を下盤にして, 軟い淡褐色の粗粒質砂岩と灰青色の頁岩とが互層をなしている(上下二部層に分けられる, 全層厚 300m 以上)砂岩・頁岩互層中に石炭層を夾在し, 与那国島で夾炭層の上に不純な石灰岩が存在。西表島では基礎の古生層を別に, 島積の約80%を占めている。 注) 斎藤らはこれを由布火山岩類と八重山層群とに区分</p>	西表島, 与那国島, 鳩間島, 小浜島, 石垣島, 波照間島, 仲の御神島
島尻層群	<p>半沢によれば軟質の淡青色の泥灰岩(泥岩)と軟質の褐色砂岩から成る。脇水氏は青灰色泥板岩, 細粒質赤褐色砂岩, 砂質粘板岩, 青色マール質粘板岩およびこれらの互層から成るとしているが, 福田らは, 新里凝灰岩層, 与那原層(泥岩, 砂岩), 那覇層(豊見城層と改称, 泥岩・砂岩)と区分していて, 泥(灰)岩, 砂岩, および凝灰岩層から成るとするのが妥当であろう。 これらの層中には大径の硬い団塊(瘤塊またはノジュール), 硬い石灰質砂岩塊(俗称ニービの骨)を包含することがある。泥灰岩は非常に微細な粒子から成り, 油称な感触があって水浸によって容易に崩壊する, 一方砂岩には硬質, 軟質三つのタイプに大別(上原)され, シルト質～粗砂質の粒子から成る。(詳細は後述) 多量の顕微鏡的な有キ物遺体や軟体動物, サングの遺骸を含むほか, 古生代の岩石の小さい丸レキを含むこともある。</p>	喜界島, 沖繩島, 平安座島, 池離島, 浜比嘉島, 久米島, 宮古島

地層	岩石および地質構造	分布地(島名)
島 尻 層 群	<p>著しい褶曲相を呈し、横臥しているところもあり、断層も処々に発生している。これは本層堆積後に激しい地殻運動と火山活動のあったことを示す。沖縄島では古生層(あるいは中生層?)の削磨面に直接重なり、首里付近(中南部)では琉球石灰岩の残留丘によって被覆され、沖縄市北部などでは国頭レキ層によっておゝわれている。宮古島では地表ほとんど琉球石灰岩でおゝわれている。</p> <p>沖縄島に付属せる他の島々では、島尻層より古い時代の地層が見出されないののでこれらの島々の基盤を構成していると言える。</p>	
祖 納 レ キ 層	<p>非常に固く珪酸分で膠結され、よく丸く削磨された硬砂岩、頁岩、石英斑岩および石灰岩等のレキと漂石から構成され、レキの大きさは普通直径10~20cmであるが、たまには2m大のものもある。</p> <p>海山層特有の化石が含まれ、(新第三紀層)八重山夾炭層よりは若く琉球石灰岩より古いが、島尻層の上部か下部かはなお疑問である。</p>	西表島祖納東部、内離島西端
琉 球 石 灰 岩	<p>白色または淡黄色を呈し、サンゴ礁の有機物質を含む。この有機物質はサンゴの遺骸、深海性サンゴおよび石灰質海藻類を含んでいるが、生成場所によって異なり forminifera 11種発見されている。琉球石灰岩層の底部には、時には、下部地層から分離したレキを多量に包含することがある。</p> <p>琉球石灰岩は再々削磨作用を受けたために、その本来の層厚を知ることは困難であるが、処によってはボーリングその他の調査でその厚さが知られ、その最大の厚さは100mを僅に越している(石灰岩地形の項参照)。古生層、宮良層、八重山夾炭層、島尻層および祖納レキ層など他の古い層のすべての上に不整合で重なっている。このことは、それ以前の層</p>	トカラ列島、慶良間群島、渡名喜島、粟国島、伊平屋島、伊是名島、仲の御神島を除く、ほとんどすべての琉球群島

地層	岩石および地質構造	分布地(島名)
	<p>が長い期間大気の削剝作用を受けたことを表現している(半沢の後島尻期)。</p> <p>琉球石灰岩層は多くの場合硬く、洞穴が多いが、所々には粗で結合力が弱くて割り易い層と互層をなすことがある。大概水平であるが時には、わずかに傾斜している。</p> <p>なお、F. S. MacNeil は本層を下部より那覇石灰岩(第三紀鮮新世)、読谷石灰岩(第四紀氷河期)、牧港石灰岩(第四紀氷河期後期、俗称粟石)に区分し、沖縄県地質図の中では、那覇累層上部の石灰岩部、読谷石灰岩、牧港石灰岩(牧港石灰岩は次の国頭レキ層と同時または後時期としている)と区分され、さらに最近の諸調査による新知見も出され、“琉球石灰岩”の性格再検討の時期にきている(後述)</p>	
国頭レキ層	<p>古生層、中生層の山岳地の段丘上、石垣島では琉球石灰岩の台地上に数メートル厚さをもつレキ層で、海岸に沿って連続した台地状に広く分布している。一般に赤土とこの層よりも前にできた岩石の丸いレキから構成されている。土質は一般に赤褐色の砂レキ質であるが、所々に粘土質～ローム質(火山灰堆積)のところもある。レキ分は背後の山や台地の基盤から運ばれたもので、古生層の粘板岩、珪岩、砂岩、結晶片岩、石灰岩等の碎片で、石垣島では琉球石灰岩のレキも混在している。丸味をおびていること(水蝕)と土層が明瞭な層理を示すことから海底堆積産物である。この層の表面は概して赤色または褐色を呈していて、再々砂と淡黄色あるいは青味がかかった褐色の粘土から成る薄層と互層をなしている。標高は80~100mで、200mに達することも稀にはあり、標高からみて、屋久島、北大東島の台地と沖縄およびその他の諸島の高い台地とは同時代であると考えられており、本層は谷によって切開かれている。</p>	<p>与那国島、鳩間島、波照間島、竹富島および宮古諸島を除く大方の島々</p>

地層	岩石および地質構造	分布地(島名)
隆起サンゴ礁及び沿岸堆積	<p>隆起サンゴ礁の主成分は造礁サンゴであるが、暗礁に付着する有機物質も伴っている。このサンゴ礁は最も低い沿岸台地を構成し、20米の標高の台地はゆるい角度で、海に向かって傾斜し、遂に海水面と接続するので、隆起サンゴ礁の縁は現在の沿岸サンゴ礁と直接連続しているといえる。たゞ琉球石灰岩が直接海に突入している所では直立した崖となっていて、波の作用によって影響を受けたあとをもっている。(石灰岩地形参照)</p> <p>この細長い台地(ベンチ)は古い地盤の上に斜に重なっているが、石灰質の沈澱物(造礁サンゴの碎屑、ホラミニフェアテスト、有機物質)の上塗で再々おゝわれている。なお、沖積層として他に河成と海成の層がある(後述)。</p>	<p>各島の最も低い台地。 久米島、喜界島が最も典型的。</p>
砂丘	<p>主として有孔虫の砂から成っているが、この有孔虫は再々軟い石灰岩と結合している。腐粘土もはさまれる。久米島の海岸や奥地の砂丘が典型的。</p> <p>標高5~20m程度で幅10~100m、長さ数kmのものが多い。</p>	<p>喜界島、奄美大島、久米島その他の諸島の海岸</p>

## 2) 主要島地質概要

### a) 沖縄島

沖縄島の地質図は図Ⅱ-2-4に示され、その地層構成は、表Ⅱ-2-6の通りである。

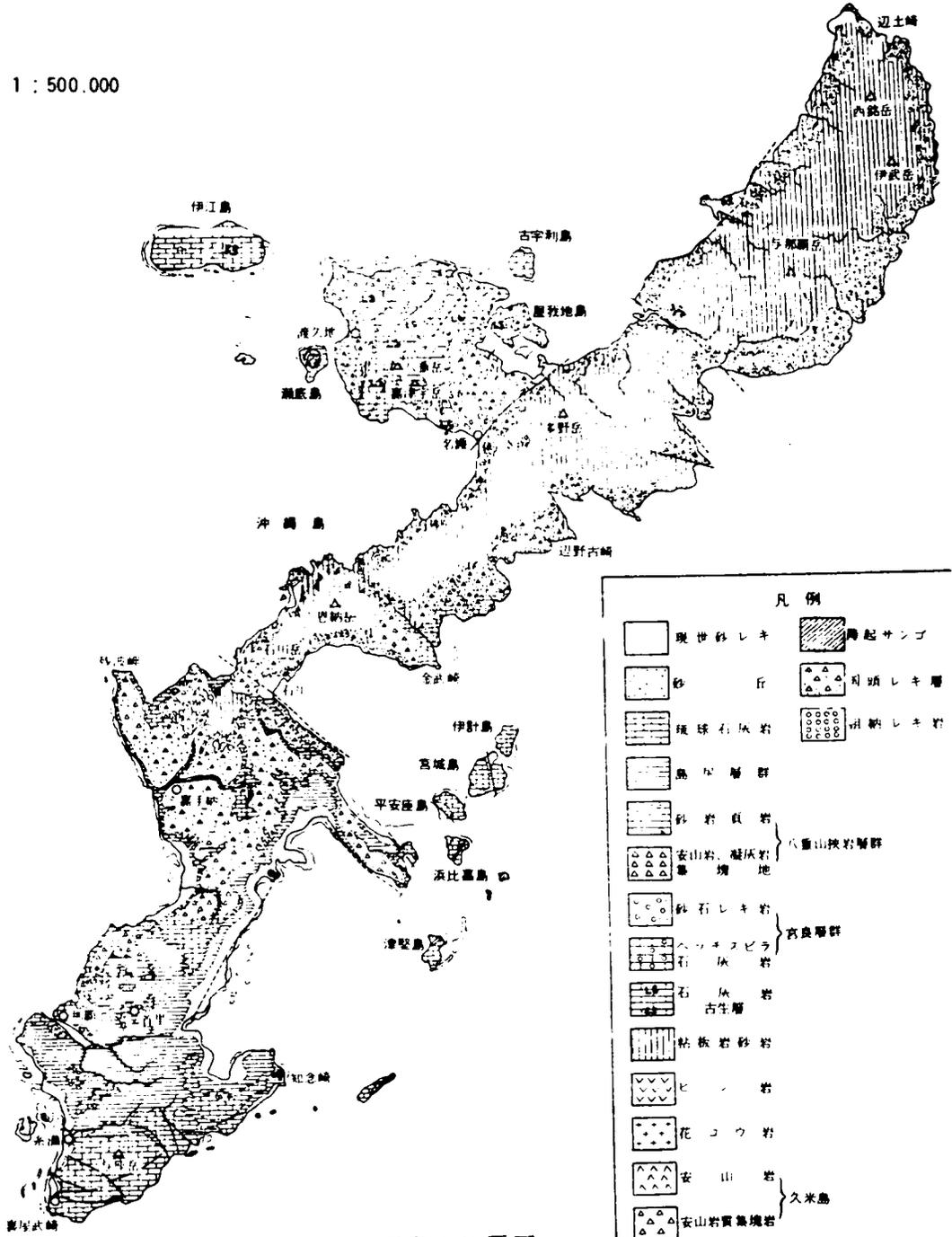
表Ⅱ-2-6 地層構成

(沖縄県地質図, 1973)

地質時代			地層名	解説	
第四紀	現世		沖積層	海岸堆積物(砂嘴, 砂丘, ビーチロック), 河口堆積物, 隆起サンゴ礁	
			牧港石灰岩	黄~黄褐色のやゝ硬化した多孔質透水性の石灰質砂岩, 有孔虫の化石を多く含む。	
	洪積世		国頭礫層	残存段丘上の貧弱な, 泥・砂・礫質の堆積物。	
			読谷石灰岩	多孔質・透水性の白色石灰岩。サンゴのかけらに富む。	
第三紀	新第三紀	鮮新世	那覇累層	石灰岩部層	縞模様のめだたない石灰岩。貝がらのかけらや細かい石灰の沈澱したものを含む。
				石英砂質岩部層	黄色で10%以上の非石灰質シルト砂礫を含む。 変成岩分布地域近くにみられる。
				石灰質シルト部層	灰色~褐色の凝固していない石灰質シルトから成る。貝化石を多く含む 本部半島に限って分布
				礫部層	泥質及び砂・礫の部層。谷底や盆地の厚い堆積層を形成し, 基底部には炭化した流片木を伴う灰色泥がある

新 生 代	第 三 紀	新 第 三 紀	鮮 新 世	知 念 砂 層	灰色～褐色のシルト質砂岩。 南部では上方に向って石灰岩へ移行
				吳 我 礫 層	未固結の砂礫と泥の堆積物が互層を形成し、基底部近くに火山灰層がある。
				新 里 層	白色～黄色多孔質透水性シルト質凝灰岩。 軽石や貝化石を含む。
				与 那 原 層	帯緑～帯青色のシルト質粘土から成り砂岩や凝灰岩をはさむ。
				那 覇 層 (豊見城層, 小禄砂岩)	帯緑灰色の細粒砂岩から成り、風化すると黄褐色となる。 全般的に雲母片に富む。
中 生 代	白 亜 紀	新 第 三 紀	中 新 世 (上 部)	嘉 陽 層	アルコース砂岩を主とした頁岩との互層で、千枚岩や礫岩を伴う。 緻密暗色の硬い岩石だが風化すると淡黄色を呈し多孔質で軟弱になる。
				緑 色 岩 部 層	微細粒の緑色岩で、局地的には結晶片岩になっている。 結晶片岩への過渡期の岩石である。
				名 護 層	粘板岩、千枚岩を主とし、部分的には結晶片岩、砂岩から成る。 新鮮なものは一般に灰～緑黒色で風化した所は赤褐色～灰色を呈す。
古 生 代	二 疊 紀	新 第 三 紀	中 新 世 (上 部)	本 部 層	緻密灰色の変成作用を受けた石灰岩とわずかな粘板岩から成る。 粗粒の白や黒の方解石で脈状に貫かれている。
				与 那 嶺 層	チャート、千枚岩、石灰岩、緑色岩などの互層から成る。

1 : 500,000



図II-2-4 沖縄島の地質図

沖縄本島の基盤岩類は本部半島を構成する石灰岩，チャート，千枚岩，粘板岩および緑色岩から成る二壘系の本部累帯（本部累層と与那嶺層を主とするが，石橋 1969 によれば与那嶺累層の一部は三壘系＝今帰仁累層であるとされている），本島の主部を構成し中生界とされている。千枚岩および砂岩を主とする地層から成る国頭累帯，および島尻層群に被覆され，古期新生界および新期中生界から成ると推定されている島尻累帯の 3 累帯に分けられている（小西 1965）（図Ⅱ-2-5 参照）。

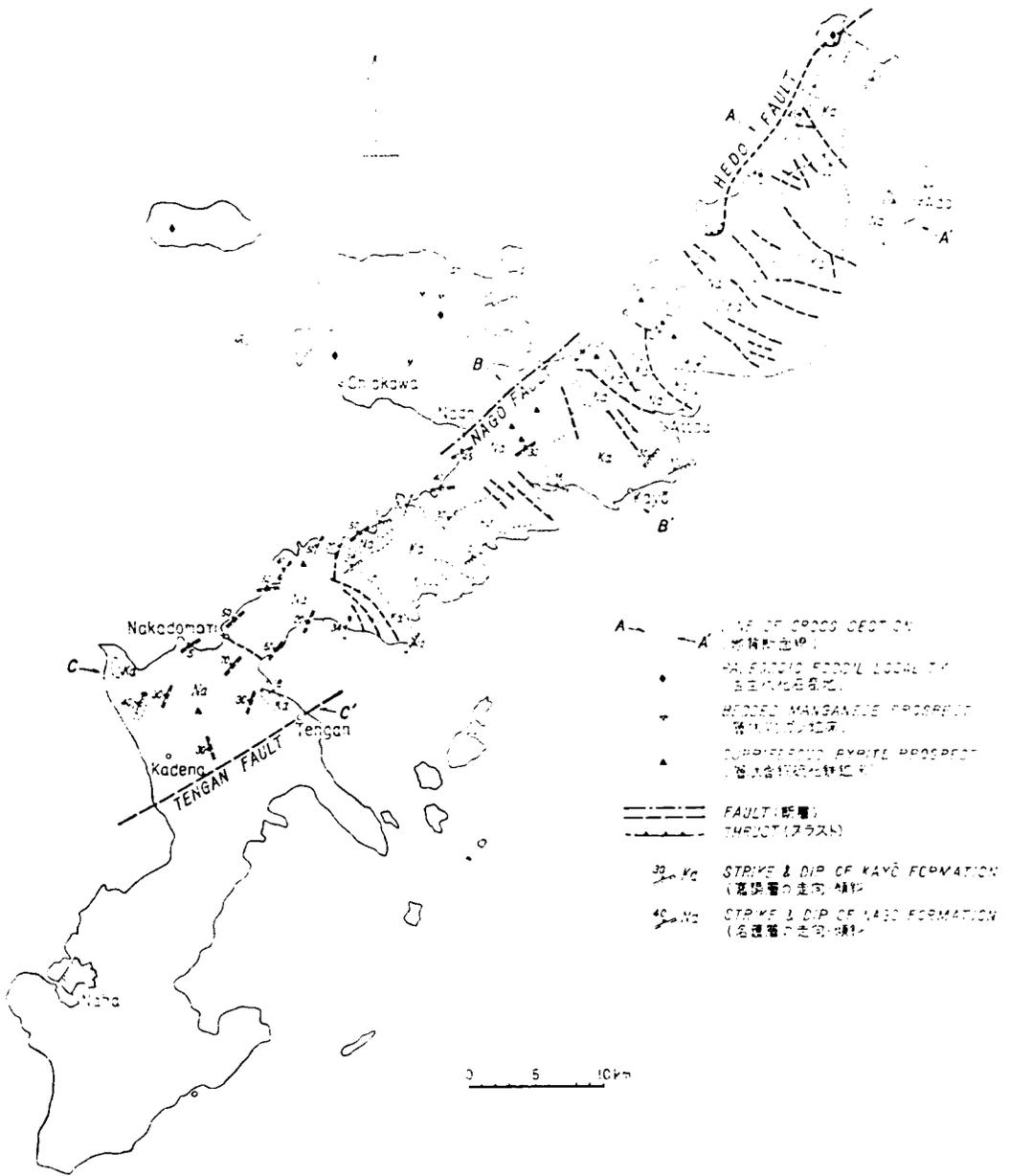
前述のように本部累帯，国頭累帯は古期岩類帯で，前者は本部半島の大部分をなして古生界の堆積岩類（石灰岩，チャート，砂岩，頁岩，凝灰岩）と緑色岩類（輝緑岩，斑レイ岩 etc.）を主とし，後者は名護層（下層；千枚岩から片岩）と嘉陽層（上層；砂岩，頁岩等）とで構成されている。島尻層は，第三系帯に属し，上記二壘帯を覆って，本島中南部に広く分布し半固結～弱固結の泥岩や砂岩から成るが，層厚もかなり（1,000～2,000m）もあって基盤をなすとみてよい。

沖縄本島の，上記基盤岩類の上位には新时期地層として，前述のように，琉球石灰岩段丘砂レキ層（国頭レキ層），砂丘，沖積層などがあげられ，地質学的に特異なものをもつが，こゝでは基盤岩類も含めて土木地質および土木工学の場に関連する諸層，について，次に説明を加える。

#### ① 名 護 層

本層は，広域受成作用の結果生じた千枚岩から片岩までの各種の岩層（泥質千枚岩，同片岩，砂岩片岩，互層片岩，緑色片岩 etc. の変成岩）から成っていて，そのおもなものは次のようである（写真 2 参照）

- a) 黒色片岩 — 細粒の泥質岩が変成したもので，石墨を主とするものと，絹雲母や緑泥岩を主とするものがある。
- b) 互層片岩 — 砂岩と頁岩の互層を原岩とするもので，変成度の低いものには互層が明瞭にみられるが，変成作用を強く受けたと思われる地域では，砂岩部がレンズ状に配列している所がある。
- c) 砂岩片岩 — 砂岩およびレキ岩を厚岩とするもので，砂岩には片理が，また礫岩片岩 レキ岩にはつぶれた礫がみられる。

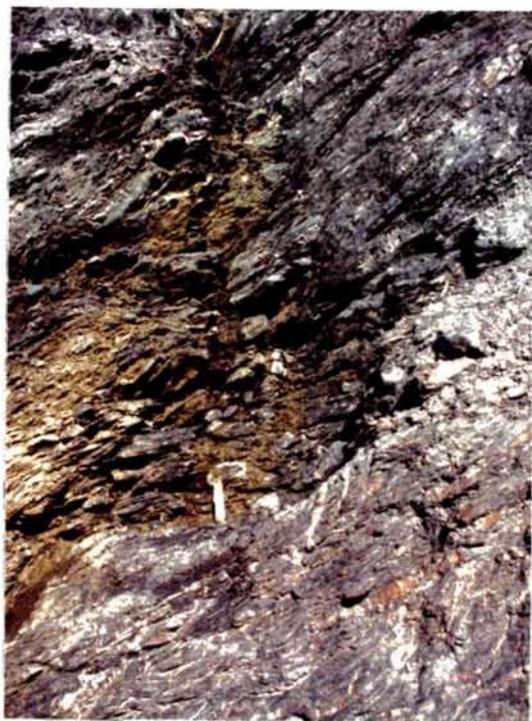


図II-2-5, (a) 沖縄本島基盤岩類分布略図  
 from 小西健二(1963)

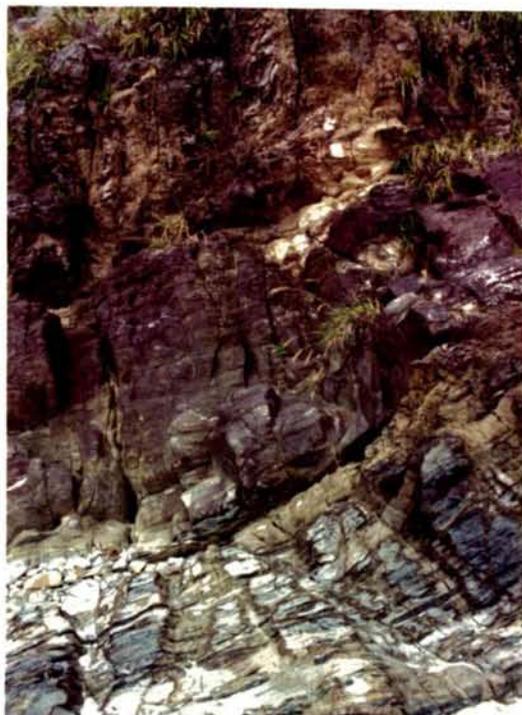


Ka : 嘉陽層  
Na : 名護層

図Ⅱ-2-5(b)  
国頭累帯の地質  
断面概念図



名護層



嘉陽層

写真-2 中生層

- ② 嘉陽層； 本層は名護層にひき続いて堆積したとみなされる砂岩の優勢な地層で、粘板岩、泥質千枚岩、砂岩片岩、レキ岩質片岩、角レキ岩の互層を伴う。(Flintら, 1959)。本層は厚さ1,000mを超すとみられ下部は、非常に厚い砂岩およびシルト岩と厚い粘板岩との互層で成り一方、上部は、数ミリメートルから4m以上もある。砂岩、シルト岩と通常20センチ厚さ以下の板岩、千枚岩の層またはレンズとの互層から成る。主たる砂岩は中粒～粗粒質で、石英、長石および絹雲母、緑泥石、粘土マトリックスのチャートから成り、硬砂岩(graywackes)が最も多いが局地的にはアルコース型もある(前述の沖縄県地質図中の説明とは異なっている)。なお、特徴的重鉱物としてはジルコン(>30%)電気石(10~20%)があげられる。

Cross-bedding Ripple markなどの堆積一次構造も局地的にみられる。露出した本層は風化して赤褐色を呈している。本層中のレキ岩には3つのタイプがあり、これらは1) Flat, Shale pebble conglomerate and breccia, 2) Oligomictic conglomerate of argillaceous matrix, and 3) polymictic conglomerate of silty matrixである。

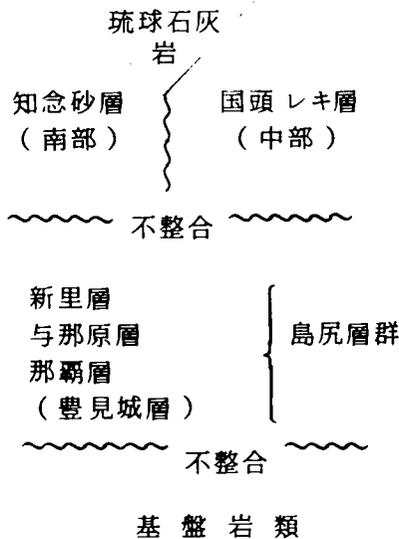
(小西, 1963)

- 1) は、扁平な頁岩質レキ岩及び角レキ岩で、レキ分は黒色、扁平、角ばったものである。多分同時代、水中での破砕および再堆積があったものと思われ、瀬嵩、嘉陽、川田地域によくみられ嘉陽層の最も普通のレキ岩である。
- 2) は粘土質マトリックス型のレキ岩で、1)の次に多いタイプであるレキ分は大部分が片岩質砂岩およびチャートで、時に丸くなった弱質の石英片岩もみとめられる。
- 3) はシルト質マトリック型のレキ岩で化石を含む石灰岩のレキ分やその他の岩石碎片(砂岩、頁岩が多い)をもつレキ岩であるがその分布は極めて少ない。

名護・嘉陽両累層は複雑な褶曲構造を示し、かつ褶曲軸に直交する多くの断層で切られ、極めて錯綜した分布を示すといわれる。さらに、石英斑岩花崗斑岩等の岩脈がずい所においてこれらを一貫している。

### ③ 島尻層群

本層群は本島中、南部地域に基盤的な層として広く分布するが層序は大要の次の通りである（上位から）



本層群は、上部中新統の最下部から鮮新統にまたがる地層であるということはできるが各層の境界その他未知の点も未だ多い。天然ガス調査団（1970）により解明された本層群の概略は次のようである（図Ⅱ-2-6および表Ⅱ-2-6'、7参照）：照）。この地域の地質構造で特徴的なものは、北谷村砂辺に始まって、嘉手納米軍基地を南西—北東に走り、沖縄市白川、平田、登川を経て具志川市宇堅天願川下流方向にのびている“天願断層（南落ちの正断層とみられる）”と、那覇市泊港から安里、松川、大道、南風原村新川を経て与那原町与那原に至る北西西—南東東の走向をもつ“首里断層（西半部で北落ち、東半部で南落ち）”である。首里断層は松川付近から東方には、ほぼ東西方向に走る東断層の副断層がかなり認められる。首里断層の南側の地域の地質構造は、南東方向に傾斜する単斜構造を基調とした単調なもので、那覇港付近にみられる半ドーム構造、大里城跡付近の起伏が上げられる。しかし、階段断層群を構成する小断層の発達が顕著な所があり、天然ガス鉱床との関連で今後もっと調査が必要とされている。首里断層の北側の地域の構造はかなり複雑で、大局的にみれば、南東東方向に傾斜する単斜構造である。しかし浦添市牧港付近から首里にかけては南に沈む顕著な半ドーム構造があるほか、その周囲には複雑な小褶曲のくり返しがみられる。また中城湾では南東方向

に島尻層群下の基盤の高まりが推定されている。

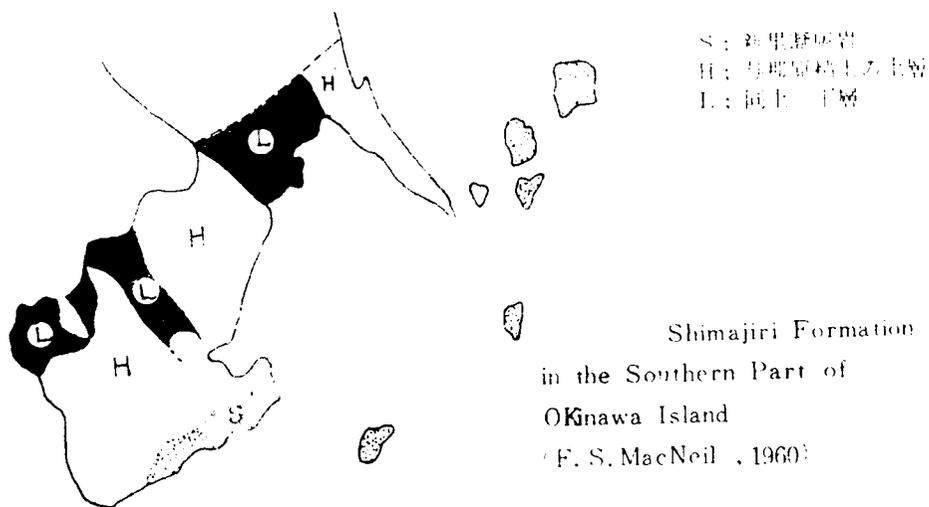
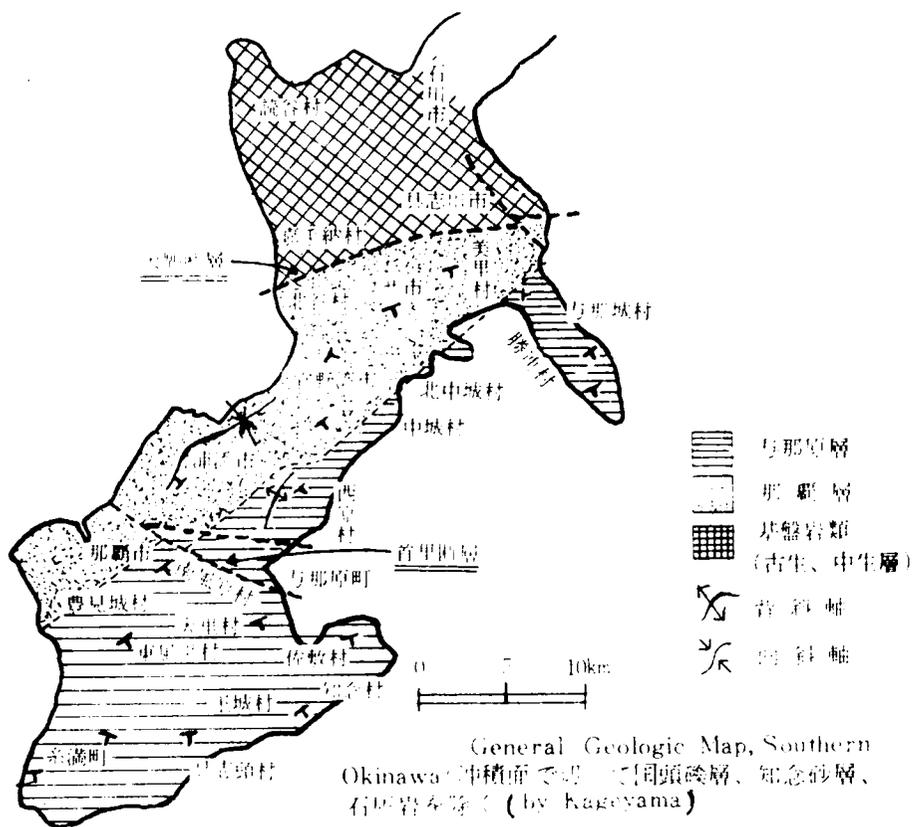
島尻層群はこれまで述べてきたように新里，与那原，那覇（豊見城）の3層から成り全層厚は2,300m以上に達しその分布および地層概要についてまとめると次のようになる。

表Ⅱ-2-6' 沖縄本島中南部の新世界層序区分対照表

紀	世	半沢(1935)	Mac Neil(1960)	牧野・桶口(1967)	福田・影山(1967)	
第四紀	更新世		隆起海浜堆積物及び砂丘			
	洪積世	隆起海浜堆積物	琉球 礫層 (一部国頭礫層)	牧港石灰岩	琉球石灰岩	琉球石灰岩
		国頭礫層		読谷石灰岩		
	鮮新世	琉球石灰岩	那覇石灰岩	知念砂層		
第三紀	中新世	島尻層群	新里凝灰岩	新里層	新里層	
			島尻累層	与那原粘土層	島尻層群	与那原層
			粘土・シルト質砂層	与那原層	南風原部層	
			塊状砂層	小緑部層	那覇層	
					小緑砂岩	
					未区分	



写真-3  
首里断層  
(崎山・金城  
～繁多川)



図II-2-6. (a) 島尻層群分布概略地質図

時代	地 層		層厚 m	柱状	
鮮 新 世	琉球石灰岩				
	島 尻 層	新里層		300	貝、サンゴ 炭化木片 軽石
与那原層		上 部		320	貝
		中 下 部		550	小型貝 有孔虫
那覇層		小禄砂岩		80	

Soil Profile of Shimajiri F. in southern Okinawa  
 (工業研究指導報告第2号、1968)

 砂岩   
  粘土岩   
  互層  
 凝灰岩   
 化石を含む(貝、軽石、サンゴなど)

図II-2-6. (b) 島尻層群土層断面概略図

写真4.  
新里凝灰岩層





島尻層 - 与那原層



島尻層 - 小祿砂岩層 ( ナハ層 )

写真 - 5 島尻層群

表Ⅱ-2-7 地表地質調査による島尻層群地質層序

(第五次沖縄天然ガス資源調査)  
研究報告書、1970 より作成

地層名	層厚	特 徴
新 里 層	250m	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 与那原層の上に整合に重なる</li> <li>2. 琉球石灰岩を主とする第四系におゝわれている</li> <li>3. 基底部が砂岩を主に、それより上位が粘土岩を主にした互層である</li> <li>4. 基底より上位約20mは砂岩と粘土岩の互層で、基底部には磨砂凝灰岩(安山岩質結晶凝灰岩)を2~3枚はさむほか、軽石の円隙を多量に含む細~中粒砂岩(厚さ約5.5m)がある。この砂岩には顕著な偽層がみられ、上位互層部には、貝化石およびサンゴ化石を多産するほか岩化木片を含む</li> <li>5. 本層の主体をなすのは基底部の上に重なる帯緑灰色粘土岩を主とし砂岩を従とする互層で、この部分の上部にも凝灰岩がはさまれており、中部および上部に貝化石を多産することがある</li> </ol>
全 体	900m	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 地表でみられる島尻層群の主体をなすものでその分布も広い</li> <li>2. 本層は主として帯緑あるいは帯青灰色のシルト質粘土岩から成り散在する浮石片に富んでいて、砂岩および凝灰岩をはさんでいる</li> <li>3. 便宜的に一応上・中・下の3部層に区分</li> </ol>
上 部 層	350m	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本部層の下限は、厚さ4~5mの微細粒砂岩の始まる場所とした</li> <li>2. 本部層の上位と下位には、厚さ20~30cmの磨砂凝灰岩および安山岩質結晶凝灰岩があり、とくに上位のものは、南部地域では厚さ数mに達する場合もある</li> <li>3. 本部層は、主として灰色ないし帯緑灰色ないし帯緑灰色のシルト質粘土岩から成り、砂岩および凝灰岩を夾有する</li> <li>4. 本部層は下位の中・下部層に較べて貝化石が多い</li> </ol>
中 部	500m	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本部層の下限は、シルト質粘土岩を主体とする一連の厚層の下底とした</li> <li>2. 本部層は、主として散在する浮石片に富む帯緑あるいは帯青灰色のシルト質粘土岩から成り、上部層に較べて一般に粘土分の占める割合が少ない</li> </ol>

地層名	層厚	特 徴
層		<p>3.本部層のシルト質粘土岩は、一般に水に溶けやすく、雨天の際は崖の付近が泥濘化する</p> <p>4.本部層は全層にわたって凝灰岩の薄層を夾有するが、上半部のもは、安山岩質、下半部のもは石英安山岩質である</p>
下部層	50~80m	<p>1.本部層の最上位には、ほぼ全域にわたって含貝化石細粒砂岩があり、与那原層中の良好な鍵層となっている</p> <p>2.この砂岩の厚さは、地域によってかなり変化し、中城村では4~6m、与那原町~首里付近では約30m、糸満北方で8mである</p> <p>3.この砂岩は風化すると黄褐色になり、特に厚く発達する所では小禄砂岩に似ているが、この砂岩には貝化石が含まれていることおよび重鉱物組成が異なることなどから両者を区別することができる</p> <p>4.この砂岩は、分布地域の殆んど全域にわたって異常堆積を示す特徴がある</p> <p>5.本部層の主体をなす粘土岩は上記砂層の下位にあり、帯緑灰色で中位には厚さ数10cm以下の細~中粒砂岩数枚と凝灰岩(石質凝灰岩)の薄層を夾有する</p> <p>6.本部層の粘土岩は上部層の最上部および最下部のものと同様に、特に粘土分が多いし、小型の貝化石や大型の有孔虫化石がみられる</p>
那覇層(豊見城層)	1150m	<p>1.大部分が地下に発達し、その層厚は約1,150mに及ぶ厚い地層であるが、地表にはその最上部の65mほどしか露出していない。そのうち60mは小禄砂岩として知られている砂質岩層である</p> <p>2.小禄砂岩は主として帯緑灰色の粘土、シルト質微細粒~細粒砂岩から成るが、上部はしばしば粘土岩の薄層を夾有する。この砂岩は風化すると黄褐色になる。全般的に雲母片に富んでいる</p> <p>3.小禄砂岩以下の地層が、地表で見られるのは、小禄付近、豊見城村我那覇付近および北谷村謝苺付近だけで、3地域とも層厚5m前後の帯緑灰色粘土岩が、わずかに頭部をのぞかせているにすぎない。この粘土岩には、石英安山岩質結晶凝灰岩の薄層が夾有されている</p>

天然ガス調査団によって、天然ガス鉱床学的情報を得るため、試験井が次のように掘削され、他に地表地質調査、重力探査、重鉱物調査、

- 1号井 昭和41年 那覇市国場、国場橋近傍 深度 435m(第3次)
- 2号井 昭和43年 " 奥武山埋立地点 " 943m(第5次)
- 3号井 昭和44年 糸満市潮平海岸 " 1,010m(第6次)

有孔虫調査等が実施され、島尻層群の実体、堆積環境および基盤の地質・鉱床学的性格が次第に明らかにされた。これらの成果から次のような事項をあげる。

- ① 本島中・南部地区の島尻層の岩石層位学的区分(前出 表-Ⅱ-2-7および下図)

那覇2号井の坑井地質の岩相層序(工研報告3号)

深度区分	地層名	柱状図	岩相	層厚	深度区分	地層名	柱状図	岩相	層厚
50	176~1035m	F	主として灰色の微細粒砂岩からなり中部に厚さ22mの帯緑色砂質粘土岩を夾有する。	86.5m	550	5252~5774m	N	灰色微細粒砂岩と粘土岩の互層からなり、含砂率は84.1%	52.2m
100	1035~1578m	G	帯緑灰色粘土岩(微細粒砂岩塊)に重む。	54.8m	600	5774~7040m	O	帯緑灰色粘土岩	126.6m
150	1578~1740m	H	灰色微細粒砂岩、帯緑灰色粘土岩、帯緑灰色砂岩	16.2m	650	7040~7196m	P	灰色微細粒砂岩と粘土岩の互層からなる。	15.6m
200	1740~2174m	I	主として帯緑灰色粘土岩からなるが、最下部に厚さ約11mの砂質粘土岩を夾有する。	43.4m	700	7196~8315m	Q	上部の約80mは帯緑灰色粘土岩であるが、それ以降は帯黄褐色白岩からなる。	111.9m
250	2174~863.8m	J	灰色微細粒砂岩と粘土の互層からなる。含砂率は72.2%	149.9m	750	8315~8428m	R	灰色微細粒砂岩を主とし、若干帯緑灰色粘土岩を夾有する。深度933.8~942.8m間の岩相は帯緑灰色粘土岩と帯黄褐色白岩の互層からなる。	111.8m
300	363.8~406.0m	K	帯緑灰色粘土岩	41.7m	800	942.8m~	帯黄褐色白岩	帯黄褐色白岩と帯緑灰色粘土岩の互層からなる。	
350	406.0~426.4m	L	灰色微細粒砂岩と粘土岩の互層からなる。	21.4m	850				
400	426.4~525.2m	M	帯緑灰色粘土岩	98.8m	900				
450					950				

② 重鉱物調査によって、島尻層群は、その堆積期間を通じて変成岩から物質の供給を受けていたとされている。このことについて佐藤他 1 (1968) によれば島尻層砂岩42個 (小禄, 方那原, 新里, 知念, 旧コザ市南東部) について調べた結果紫蘇輝石, 普通輝石, 普通角閃石, 青緑色角閃石, 緑レン石, が多量に含まれ, 次のようである。

小禄砂岩—多量の青緑色角閃石, 緑レン石および10~20%の普通角閃石 (那覇層)

与那原層—下部層中キークサント; 多量の普通角閃石および普通輝石

上部層中凝灰岩; 多量の紫蘇輝石および普通輝石, 普通角閃石

新里層—50%近い紫蘇輝石および20~30%の普通輝石, 普通角閃石

これら鉱物のうち, 紫蘇輝石, 普通輝石は火山岩ないし火山砕屑物起源, 普通角閃石は上記の他に変成岩類にも存在, 青緑色角閃石は変成岩起源, 緑レン石は変成岩類ないしは, その他岩石の変質した場合に生ずるとされており, したがって島尻層群は変成岩類の露出地域から供給され, 火山物質の供給は与那原層の堆積期であり与那原層上部から新里層の堆積期は火山活動が盛んであったとみなされる。なお, 島尻層群のほか, 嘉陽層, 知念砂岩 (那覇累層中の) に含まれる特徴的重鉱物を対比すると表Ⅱ-2-8のようである。

表Ⅱ-2-8 各地層の特徴的重鉱物

Characteristic heavy minerals in each formation

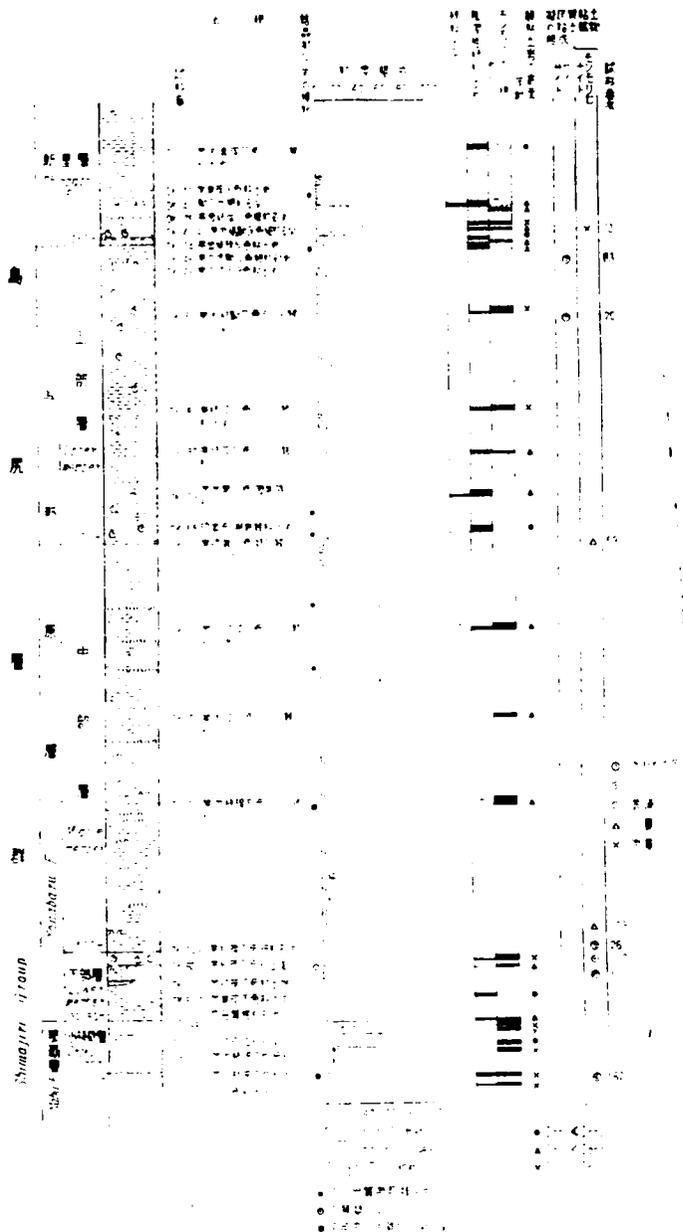
層名	紫蘇輝石	普通輝石	普通角閃石	青緑色角閃石	緑レン石
小禄砂岩	多量	多量	10~20%	多量	多量
与那原層 (下部)	多量	多量	多量	多量	多量
与那原層 (上部)	多量	多量	多量	多量	多量
新里層	50%以上	20~30%	多量	多量	多量
嘉陽層	多量	多量	多量	多量	多量
知念砂岩	多量	多量	多量	多量	多量

----- >30%      ————— 10~20%      - - - - - <10%

from 福田ら (1970)

※嘉陽層は花崗岩供給, 知念砂層は  
変成岩供給とみられる。

また粘土鉱物，非粘土鉱物としては泥岩（粘土岩），砂岩とも，雲母粘土鉱物，膨潤性緑泥石，モンモリナイト様鉱物を含み，石英，長石，方解石，混合層鉱物も含んでいる。さらに与那原層上部にハロイサイト化した凝灰岩もあること（一般に淡水域に多い）は注目に値する。粘土鉱物その他について，土質工学的な問題としては，後に述べるが本島尻層群の総括図を次に示しておく。



島尻層群の粘土鉱物調査結果総括図  
from 福田他 24, 第 5 次沖縄天然ガス調査団

④ 琉球石灰岩

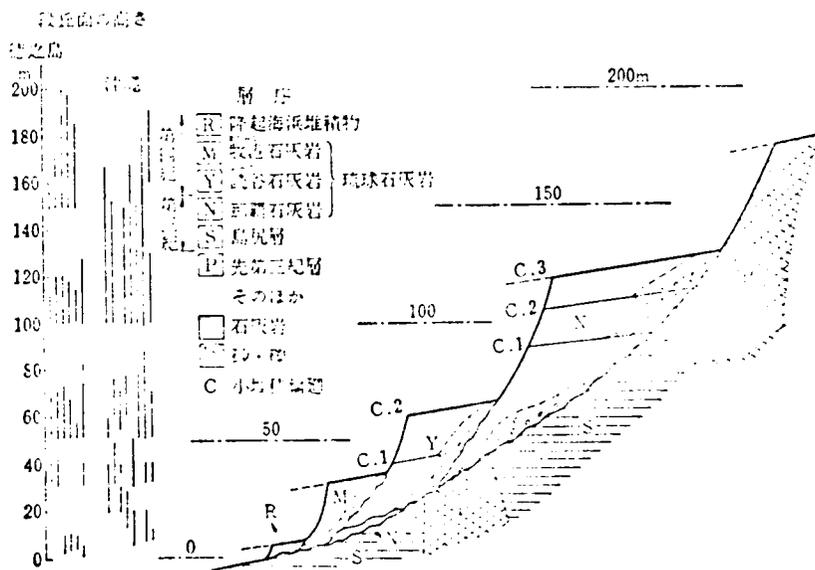
沖縄本島においては、半沢博士の“琉球石灰岩” Mac Neil の“琉球石灰岩（牧港，読谷，那覇石灰岩）”さらに最近の、沖縄第四紀調査団および沖縄地学会による“琉球石灰岩（栗石，互層型，那覇，糸数石灰岩等）”など多様であるが、こゝでは、これらをひとまとめにして、“琉球石灰岩の総称”として述べることにする。琉球石灰岩の堆積（層位，層序）および岩石学的特徴については若干前節で述べたが、琉球石灰岩の地質として表-II-3-8により提示し、さらに庄司（1968）や沖縄第四紀調査団（1974）の成果から、今少し追加説明を加えると以下のようなものである。

表-II-2-8 琉球石灰岩の地質（by MacNeil, 1960）

地層名	層厚	特徴
牧港石灰岩 （第四紀後水期）	20~30m	<ul style="list-style-type: none"> <li>○浦添市牧港の海岸に産することからこの名が出たが具志頭市港川，玉城村堀川付近に大規模に堆積す。</li> <li>○島尻層や那覇石灰岩を不整合におおう。</li> <li>○約2m厚さの基底礫岩にはじまる約10mの含造礁サンゴ石灰岩とその上10数mの成層した有孔虫砂層から成る。</li> <li>○有孔虫の化石は沖縄の新生界第三系，第四系の島尻層群や琉球石灰岩には普通に産出するが，特に本石灰岩の上部に多い。</li> <li>○有孔虫の石灰岩；石灰質有孔虫の遺がいが堆積固結したもので，港川採石場で地表14m，堀川採石場で地表10m以上露出している。部分的に差はあるが90%近くが有孔虫 <i>Amphistegina radiata</i> で他に磨滅して固定できない有孔虫や貝の破片等が混じっている。栗粒が密着したように見えるので栗石と俗に呼ばれ古くから石垣や建築石材として切り出されている。</li> </ul>
読谷石灰岩 （第四紀水期）	30~50m	<ul style="list-style-type: none"> <li>○那覇石灰岩に比して一般に粗粒で硬く固結すること少なく多孔質であり軟質のものが多い。ときに粒径30cmにもおよぶ礫から成ることもある。</li> <li>○古生層，島尻層，那覇石灰岩の各層を不整合におおい，特に那覇石灰岩とは明らかな侵食面で隔てられた平行不整合関係にある。</li> <li>○産出する化石には現生種が多く <i>Tridacna</i>, <i>Corbis</i>, <i>Chlamys Pallium Lime</i> が普通でこの種の化石は那覇石灰岩には産出しない。</li> <li>○読谷村楚辺付近に最も代表的な産地がある。</li> </ul>

地層名	層 厚	特 徴
那覇石灰岩	~100~m	<ul style="list-style-type: none"> <li>○那覇港南岸に産するところからこの名がつけられた。</li> <li>○第三紀鮮新世のもので海岸線から600呎の高さのところまでに分布し、200呎の高さに多く産する。</li> <li>○中南部地域に広く分布し、硬質から軟質のものまであり、中粒または粗粒の石灰砂の部分や、ち密な部分が主で石英砂や礫をはさむことがある。</li> <li>○化石が多く、特に Cf. <i>Pecten byori tsue-nsis</i> Nomura, <i>Chlamys satoi</i> Amussiopecten <i>pracsignis</i> Yokが多い。</li> </ul>

庄司によれば、琉球石灰岩は下位より那覇石灰岩、読谷石灰岩および牧港石灰岩に区分され、図-II-2-7のように層位関係が示された。各層は、いくつかの小堆積輪廻より成り、一つのサイクルは標式的には、下位より砂レキ、砂、粗晶質方解石、微晶質方解石岩より成っており、これを図-II-2-8に示す。この結果は海面または地盤運動の発展経緯を示すものとして意義をもつ。



図II-2-7 沖縄における第四紀層の堆積と層位関係 (庄司, 1968)

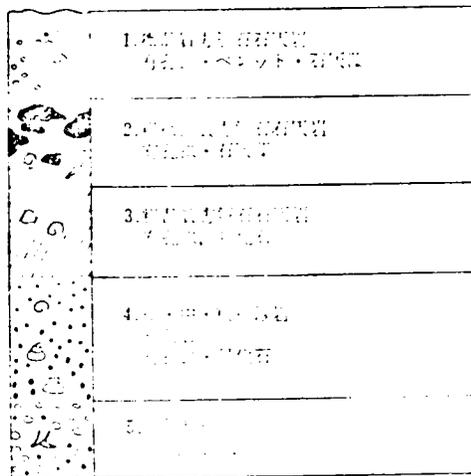
一方、沖縄第四紀調査団によれば石灰岩は基本的には新旧二つの型があり、それらは、礁性および互層型石灰岩と粟石（段丘型）石灰岩とである。本島南部の200m台地をつくる石灰岩が“糸数および那覇石灰岩”であり、その他は大部分が“読谷石灰岩”にあたるということであり、また港川など玉城村港川など段丘面にある海浜石灰砂岩が“粟石石灰岩”である。

石灰岩については、他の岩石とちがって、その構成鉱物による分類

というより、石灰岩が主に生物遺骸からできているので、その種類（サンゴ石灰岩、有孔虫石灰岩との名称）や成因（とりこまれ方、堆積機構）によって分類する方が合理的のようである。このような観点に立つと、琉球石灰岩は（化学成分は等しいが、できかたがちがう）、表-II-2-9のように4つのタイプに区別される。

表II-2-9 “琉球石灰岩” の分類（by 第四紀調査団）：

分類	特徴
礁性石灰岩 (生物岩)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○サンゴ礁の化石ともいうべきで、サンゴや石灰藻が、そのまま保存され、そのすきまを、波で運ばれたレキや砂が埋めている。</li> <li>○島の台地をつくっているが、現在のサンゴ礁石灰岩とは別のものである。</li> <li>○基質は普通粗晶の方解石を伴う。</li> </ul>
石灰藻ホール石灰岩	<ul style="list-style-type: none"> <li>○生物遺骸片や石灰岩片に石灰藻が着生して、それが海底を転動しながら成長して球状になったもの</li> <li>○水流の中で成長するので、微粒は流失し、基質は粗晶の方解石になるのが普通であるが、実際には、微粒石灰が基質であることも多い。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○砂粒の固まった砂岩であるが、岩片が石灰岩片や生物遺骸片が種々まざりあって多くの種類がある。</li> </ul>



図II-2-8 琉球石灰岩の標式輪廻層  
from 庄司「堆積学」

分類	特徴
石灰砂岩	<ul style="list-style-type: none"> <li>○一般に粗粒質方解石基質のもの（海浜環境で発達）と微粒質方解石基質のもの（ラグーンや礁前面の比較的深い所で発達）とがある。</li> </ul>
石灰岩レキ岩	<ul style="list-style-type: none"> <li>○石灰岩のレキをもつ石灰岩としてまとめられるが、古い時代の石灰岩のレキから成るもの、石灰岩以外の岩石のレキをもつもの、ほとんど同時期の石灰岩のレキから成るものの三種類に分けられる。</li> <li>○サンゴがすきまに石灰砂や泥をもったまゝ死んで、レキとして運搬され、堆積されたものや、サンゴのかけらが主な構成物で第一次間ゲキを有孔虫砂が埋め、次にさらに小さい間ゲキを石灰泥が埋め、最後に残された間ゲキを粗晶質の方解石が全部埋めて緻密な石灰岩となったものなどがあり、現在の海岸で見られるビーチロック（板干）もその一種である。</li> </ul>

次に、“基本的”石灰岩には新旧二つの型があることは先に述べたが、時代的には、本島中南部の琉球石灰岩については、次のように三通りに区分けできようである。

#### 琉球石灰岩形成区分け

時代区分	特徴
前期の石灰岩 (糸数石灰岩)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○第四紀洪積世のごく初期に、島尻層泥岩を土台として発生し、高さ200 m位の台地（糸数城跡、玉城城跡）を形成</li> <li>○下部は泥質で、レキも多く含まれ、サイクロクリペウス（巨大有孔虫）も多くみられる。</li> </ul>
中期の石灰岩 (那覇石灰岩) (互層型石灰岩)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○前期の石灰岩堆積後、海城各所隆起し、島々のすそをおよように沖合い遠くまで堆積。第四紀洪積世前半</li> <li>○琉球石灰岩形成の全盛時代で、一部にサンゴ礁石灰岩も形成された。</li> <li>○この時期に、陸地の前期石灰岩が侵食され、それらがとりこまれたものもある。</li> <li>○同時に、中期石灰岩自体も侵食を受け、生物岩レキ岩石灰砂岩、石灰岩レキ岩、石灰藻ボールなどが交互に重なって、層理をもつ石灰岩が形成された。この層理は陸上で海側に向かって5~10°の緩い傾きをもっている。</li> </ul>

時代区分	特 徴
後期の石灰岩 (粟石石灰岩)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 洪積世後半，段丘時代に形成され，その頃までには海陸の状況は現在の様相に近づいていた。</li> <li>○ “粟石”と呼ばれる海浜石灰砂岩（牧港石灰岩）が代表的</li> <li>○ 小規模なサンゴ礁の形成</li> </ul>



図II-2-9 沖縄南部地質断面図 from 沖縄の自然, (1974)

以上，従来の那覇，読谷，牧港石灰岩という区分けに対して，最近の調査成果の一部を示し，“琉球石灰岩”の解明がすゝめられていることを述べた。もともと石灰岩にはすきまが多いのは，これをつくるサンゴ，有孔虫，貝殻，石灰藻およびこれらの碎片は，いずれも生物骨格であって，すきまや空ゲキがあるのは当然といえよう。ち密な石灰岩は，外部からとけた石灰分が搬入されてすきまを充てんした結果である。この点を“琉球石灰岩”を考える場合に注意しなければならないだろう。さらに，従来の考え方と最近の考え方をまとめあわせてみると，従来の“那覇石灰岩”としては糸数および那覇石灰岩（図-II-2-9参照）が担当し，礁性石灰岩と総称される。“読谷石灰岩”としては，中期石灰岩時代を通じての生物岩レキ岩，石灰砂岩，石灰藻ボール石灰岩の互層型石灰岩を指し（この互層石灰岩を不整合に切る礁性石灰岩もみられるので，読谷石灰岩という名称は混乱が多く保留すべきとの意見もある）那覇累層もその意にとられる。“牧港石灰”は国頭レキ層より若い，後期の石灰岩（海浜石灰砂岩）いわゆる粟石石灰岩を示すものである。

写真6  
各種  
石灰岩



### ⑤ 国頭レキ層

沖縄本島で80~100 m面の段丘が広く分布して、とくに石川市以北国頭村、東村一帯に分布いちじるしく、“国頭レキ層”(土壌としては国頭マージ)と呼ばれて一括されている。本層は前述のとおり、未固結の砂レキより構成されており、一部に粘土質、ローム質層をはさんでおり、層厚は厚いところで10 m以上もある。国頭レキ層からは、海産化石らしいものは発見されていないが、他の島々にマンガンの団塊や外国の浮石の塊が発見され(海の削磨作用のあらわれ)、かつレキが水食をによる丸味を帯びて、土層が明瞭な層理を示すことなどから海底で堆積されたものであることが論究されている。たゞ本層中には、洪積世中期の造礁サンゴ片が含まれていないので、この時期の海は造礁サンゴ虫がいない海であることになり、ローム質を帯びているのは、この時期に火山活動が活発で、火山灰の堆積が多かったものと推定される。国頭レキ層は、海拔200 mの高位段丘にも堆積しているので、その堆積後にも海水面の昇降が少なくとも200 m以上の変化があったことが知れる(半沢称するところの後琉球期および国頭期)。本層の地表面は、わりあい平坦で、現在畑地(パイン etc.)として利用され、土壌は赤黄色酸性を呈している。本層の中(表層)には、灰白色の砂ないし、シルト質になったもの(漂白層)があり、下層よりも粘土分が少ないがその成因(本土寒冷地に多い漂白層とはちがう)については未だはっきりしていない。



写真-7 国頭レキ層

## ⑥ 沖積層

沖積層は成因上、a河成、b海成、c隆起サンゴ礁の三種に分けられよう。

- 河成沖積層は上流地方の土壌や岩屑物が運搬されて、沿岸地または河口付近に堆積したものであるが、東京、大阪などのような沖積平野の発達はみられず、中小河川沿いに流れてきてせまい範囲で分布している。那覇市内の安里川、国場川、下流域、中北部の小規模河口（塩屋湾、羽地内海、渡久地港、大浦湾など）がその代表的なもので、軟弱地盤として知られている。
- 海成沖積層は海波の破碎、運搬、堆積作用および風力に伴なうもので、サンゴ、貝殻等の碎片粒から成る場合が多いが、海岸付近の地質の影響によって石英砂または粘土質の土層のところもある。沖縄本島各地の海岸に、規模はさして大きくないが、標高5~20m程度、巾数10m~100m、長さ数Kmのものが多く分布している。砂丘砂は有孔虫砂、石灰岩の細粒が多く、本土の場合より新しい時代（弥生時代以降とみられる）に形成されたものが多い。海成沖積層の代表的な分布地としては東海岸沿いの中城湾沿岸、金武湾沿岸、西海岸沿い、名護湾などがあげられる。
- 隆起サンゴ礁は本島の海岸では、何処でも普通にみられる。これは現世の海に棲息するサンゴや有孔虫などの石灰分泌海棲生物の遺骸や破片が固結し、岩礁となったものが隆起したもので一種の不純石灰岩であり、“琉球石灰岩”とは区別して考えられるべきものである。



写真8 海浜沖積層

b) 宮古島およびその属島

宮古島およびその属島のほとんど全面にわたって石灰岩から成り、地質図は、沖縄県地質図および第6次天然ガス調査団(1970)によれば図-Ⅱ-2-10のように示され、その地層構成は、ほぼ表-Ⅱ-2-10のようにまとめられる(工研第4号, 1971)。

表Ⅱ-2-10 地層構成

地質時代		地層名	解 説	
第 四 紀	現 世	砂丘砂層 沖積層	一次砂丘, 永久砂丘, 現生石灰岩(隆起サンゴ礁) 大浦砂泥互層 海浜や小河口また湾に沿って小規模の発達	
	後 期 洪 積 世	琉	平良石灰岩層  平良市街地, 平良港一帯によく発達するほか, 狩俣と大浦間のほゞ中間の西海岸の一部に小 範囲分布。 主として石灰藻および有孔虫から成る未固結 の石灰岩で, 風化面では石灰藻がボール状に 見えるのが特徴的 層厚 20~30 m で上, 下のどの地層とも不整 合関係	
		球	洲鎌粘土層	下地町洲鎌から入江につながる低地帯, 上地 および与那覇, 平良市久松; 同市富名腰, 宮 古空港付近; 上野村野原, 西原付近に分布。
		群		褐色ないし赤色の粘土層から成り, 風化した ものは一見関東ローム状を呈する。一部には, 黒色炭酸化鉄の網状沈積がみられ, 大野粘土 層と似ているが多少赤味が少ない。  層厚は15 m 以下で, 上, 下の層とも不整 合関係
中 期		上野石灰岩 積間石灰岩	下地町積間付近, 上野村側嶺付近, 城辺町与 那原付近に分布 下位の新しい石灰岩とは整合で上位の洲鎌粘土 層とは不整合。	

中期	琉球層群	新里石灰岩	上野村新里海岸を代表的とするも本層は宮古島全島に最も広く分布，大浦湾と城辺町友利東方を結ぶ線の西半部丘陵地に主分布。 ち密良質な石灰岩と多孔質な石灰藻を主とする石灰岩の互層から成る 20～60 mの層厚で下位の大野越粘土層とは不整合関係	
		平安名石灰岩	城辺町平安名海岸を主とし，平良市久松，下地町南部海岸に分布 新里石灰岩とは横の関係にあり，脳サンゴ，菊サンゴ，造礁サンゴの巨レキが目立つ石灰岩で一部に粗悪な建材用石灰岩を夾有する。層厚は10～20 mで，上位の積間石灰岩とは整合，下位の地層とは明瞭な不整合関係。	
		大野越粘土層	平良市大野越付近および城辺町吉野付近に分布。本層は褐色ないし赤色の粘土を主とし，一部に炭酸鉄のしみこみがみられる。 赤色粘土の化学組成は， $\text{SiO}_2$ 13.36% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 57.72% $\text{Al}_2\text{O}_3$ 9.00% $+\text{H}_2\text{O}$ 14.88% %のようである。 層厚は1～7 mで，下位の友利石灰岩とは不整合，上位の平安名石灰岩とは不整合の関係	
前期		友利石灰岩	上野村友利南東海岸を主として，平良市下川と友利を結ぶ線の東側に広く分布。 半ば固結した有孔虫砂を主体とする石灰岩で，薄い層理がよく発達。 層厚20～90 mで，上下の諸層とは不整合の関係	
第三紀	新第三系鮮新統	島尻層群	城辺泥岩層	城辺町長間付近を主とし同町東部海岸沿いに分布。 主としてシルトおよび粘土から成り，しばしば微細～細粒砂を夾有する。これら砂は石英に富み浮石も含む。重鉱物としては，普通角閃石，紫蘇輝石が圧倒的に多く，酸化角閃石，ジルコン，ザクロ石，電気石などが少量含まれる。 本層は全般的に有孔虫化石に富むほか，貝化石や巢孔化石を含む。

層厚は、連続して露出しているところでは  
120 mである。

池間砂岩層

池間島および平良市大浦～島尻付近（島の北部のみ）に分布。

主として細～中粒の砂から成りときに粘土の薄層を夾有する。まれに、炭塊を含むこともある。本累層には大型化石は少ないが粘土薄層には有孔虫化石が多い。

重鉱物組成は大神砂岩層のものと同じである。

層厚は不明だが、池間島ではおよそ50 m

大神砂岩層

およそ70 m厚さを有する本累層は大神島のみ  
に分布。

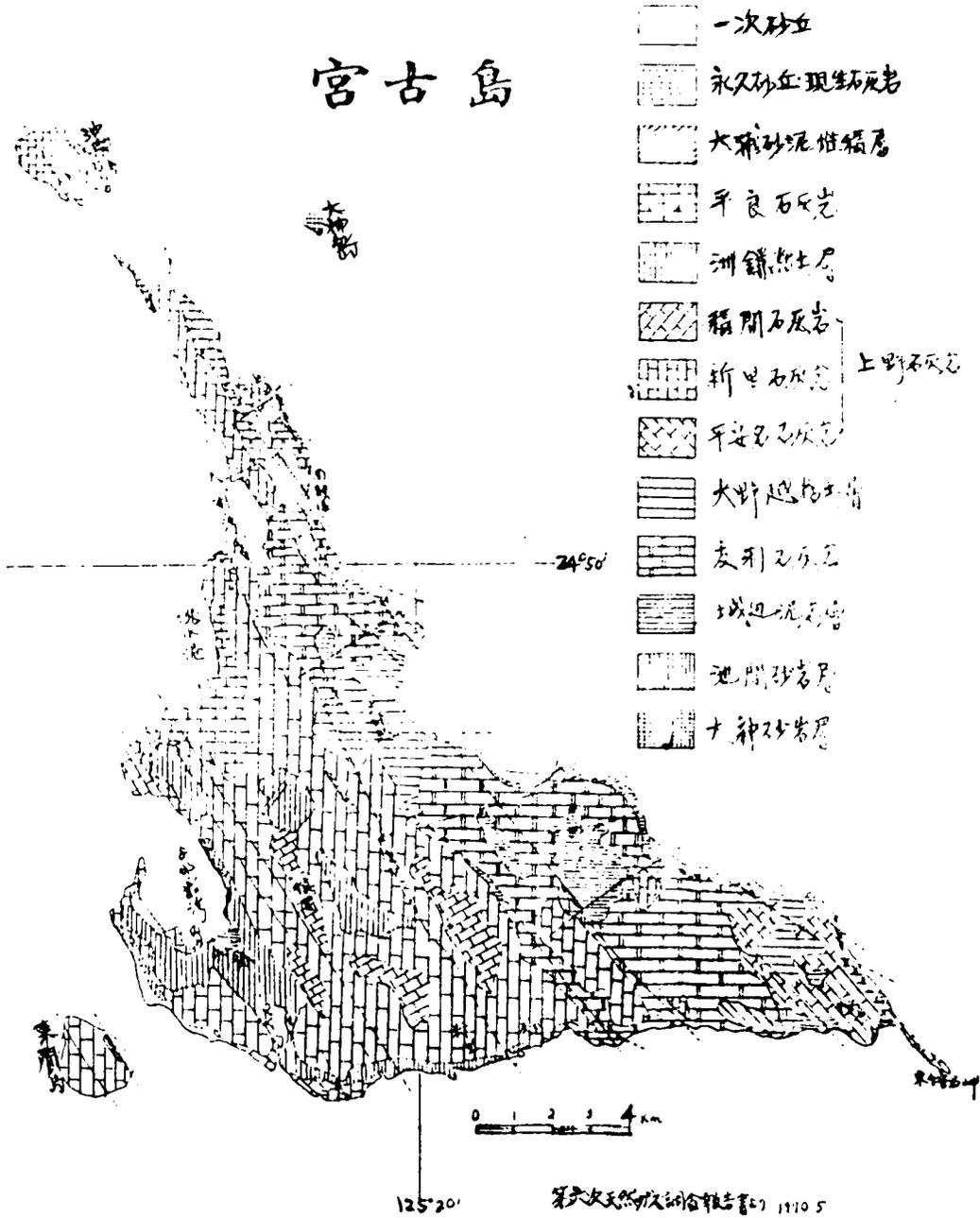
主として細～中粒の固結度の低い砂岩から成り、ときに粘土を夾有し、本累層中部のやゝ厚い粘土には40cm程度の垂炭がはさまれている。

下部の砂岩は斜層理に富み、暗灰色の非顕晶質火成岩、珪長岩、グレイワッケ、藍閃石片岩、緑泥石片岩、変質珪岩、変質火成岩などの小レキを含む。

本累層中には貝類化石破片がみられ、粘土中には、花粉化石、有孔中がみられる。

重鉱物組成は、ジルコン、ザクロ石、緑簾石などが多く、青緑色角閃石、十字石、および鋭錐石なども含まる。

# 宮古島



図II-2-10 宮古島地質図 from 沖縄県地質図(1973)

地質時代	地層名	柱状	岩質	摘要
	琉球石灰岩			
新 第 三 紀  (下部鮮新世)	城辺泥岩層		<p>軟質粘土岩</p> <p>粘土岩・シルト岩・細粒砂岩・細互層</p> <p>スランピング構造(乱堆積)帯あり</p> <p>貝化石密集帯(部分的)包含物質は大し レンズ状に凝灰岩挟有 砂屑質礫岩</p> <p>シルト岩・浮遊性有孔虫化石密集帯あり</p> <p>軽石の集合帯あり</p> <p>微細粒砂岩</p> <p>貝化石点在</p> <p>炭質物挟有</p> <p>砂管(生痕化石)含有</p>	<p>平安名南方</p> <p>浦底ダム付近</p> <p>比叡東方海岸</p> <p>長間底付近</p> <p>福山東方海岸</p> <p>西原東方海岸</p> <p>南静岡付近</p> <p>島尻海岸</p>
	池間砂岩層		<p>砂管多数含有 一部礫質</p> <p>泥岩の同時礫岩有 偽層あり</p> <p>炭礫含</p> <p>小型貝化石多産</p>	
	大神砂岩層		<p>褐鉄質礫含有 軟質細粒砂岩</p> <p>細～中粒砂岩 貝化石多産</p> <p>亜成層(40cm)挟有</p> <p>全般的に成層性の堆積相を示す</p> <p>Ostrea sp. 時に密集 一部礫質 中粒～粗粒砂岩 偽層発達</p>	<p>池間島</p> <p>大神島</p>

本島北東海岸確認層厚 160m

大神島・本島・島尻型の堆積相間隔 550m

図II-2-11 宮古島北・東海岸および池間・大神島模式地質柱状図 from 工研報告No.4 (1971)

宮古島は結局いわゆる島尻層群基盤として大部分が琉球石灰岩を主とする琉球層群におゝわれているといえるがその地質構造については、概略次のようである。

島尻層群は島の北部地域に下位層が分布し、南部地域に上位層が分布している。島尻層群の模式的な地質柱状層図は図-II-2-11 のとおりである。地層の走向、傾斜についてみると、走向が東西方向または北西-南東方向であり、傾斜はゆるく南ないし南西方向である。重力探査によって推定される基盤の深度が北々西から南々東方向（平良市島尻から城辺町平安名畔方向）に向って深くなるのに対して、地表においてみられる地層の傾斜が南ないし南西方向である点興味深いものがある。

断層についてみると北々西-南々東の方向をもつものが多いが、10余もあると考えられている。また、これらの断層とは別に、北東-南西方向の断層が数条発達し、これらは前記の断層に直交またはほぼ直交している。これらの断層はおそらく二次的発生したものであろう。

本島の島尻層群の堆積環境は一般に外海の真浅海岸であるが、大神砂岩層は内湾の堆積物である。また、城辺泥岩層の有孔虫群集のなかには、半深海帯の上部を示すものおよび外海の水が流れこみやすい浅い内湾性の環境を示すものもある。

### c) 石垣島および西表島

石垣島および西表島は八重山群島の中で大きな島であり、開発の問題もからんでクローズアップされているので、こゝでこの二つの島をとり上げた。もっとも、この両島についての地質調査は、沖縄本島などに比して、未だ十分なものではなく文献資料も少ない現状である。

八重山群島の地質および地史については、半沢博士の古い報告(1932)があり、戦後米軍の石垣島、西表島の軍事地質報告、Foster 女史の *Geology of Ishigaki-Shima* (1965)、斉藤、千葉、宮城らの *Geology of Iriomote-jima* (1973) などその他若干の報文(たとえば松本ら、1964)があり、これらをもとにして論をすゝめる。

八重山群島の地質および地史概観としては、半沢の報告をもとにしてまとめると次のように述べられる。

いわゆる古生層としては、最下部の地層で、結晶片岩、放散虫珪岩、砂岩、粘板岩、および結晶石灰岩より成る。激しく褶曲し、花崗岩質岩により貫かれ、石垣島においては高い山地を形成している。

始新时期層(古第三紀)は、古生層削剥面上に不整合に堆積した岩類で、石灰岩、安山岩質凝灰岩、レキ岩、砂岩などより成る。石垣島小浜島で山地、丘陵地を形成している。

中新期層(新第三紀)は、西表島で古生層岩の削磨面上に、石垣島、小浜島で古生層

および始新时期層の転位削磨面上に、それぞれ不整合にのり、砂岩、頁岩、安山岩質凝灰岩、レキ岩など、互層もみられ、とくに炭層を夾有しているのが特徴的である。洪積層としては、祖納レキ岩層、琉球石灰、国頭レキ層があげられる。祖納レキ層は砂レキ層として、石灰岩、硬砂岩の円レキ(10~20 cm, ときには1~2 m大)より成り、琉球石灰岩は、八重山群島全島にわたって、中新期層、始新时期層または古生層の転位削磨面上に不整合にのっていて、おむね白色または淡黄色で堅硬かつ空隙多く、有孔虫、苔蘚虫、造礁サンゴ、石灰藻類の遺骸などで構成されている。

Era	Period	Epoch	Group	Formation or deposit	Type of rock or sediments	Thickness (in meters)	
Cenozoic	Quaternary	Recent		Alluvium	Gravel, sand, silt, and clay	Commonly 1-10	
				Beach deposits	Sand and gravel	0.3-15+	
				Beachrock deposits (Elevated deposits)	Conglomerate Sand and gravel		
	Tertiary	Pleistocene	?	Sakishima	UNCONFORMITY		1-20+
					Ryukyu Limestone	Sandy and coralliferous limestone	
		Pliocene	?		Nagura Gravel	Gravel, sand, and clay	1-23+
					Bunara Clay Member	Gray, fossiliferous clay	
					UNCONFORMITY		
		Miocene(?) Oligocene(?)			Nosoko Formation	Andesite, andesitic breccia, and tuff	300±
					UNCONFORMITY?		
Eocene			Miyara Formation	Limestone, sandstone, conglomerate	1-141+		
			UNCONFORMITY				
Paleozoic(?)			Ishigaki	Fu-saki Formation	Chert, schist, phyllite, marble, meta-andesite, metaconglomerate	170±	
				Tumuru Formation	Schist	600±	
				Tertiary(?)	Igneous intrusive rocks	Sakieda Rhyolite; locally includes granophyre and mylonite Cha-yama Granodiorite Omoto Granite	

表II-2-11 Stratigraphy of Ishigaki-Shima from Foster (1965)

国頭レキ層は段丘レキ層として、琉球石灰岩の構成する海岸段丘の上をおよい、琉球石灰岩と不整合の関係にある。構成は場所によりちがひ、古生層、始新期、中新期層の円レキまた花崗岩質岩をもととする石英質砂などより成り、厚さも場所により変化している（FosterによればNagura gravel, Bunera clay Memberと呼んで区別）。沖積層（現世）としては隆起サンゴ礁質堆積砂層（海浜）および低湿地、低位段丘堆積層があげられる。サンゴ碎片、砂質レキ質および泥質土によってそれぞれ構成されとくに石垣島西表島のやゝ大きい河川沿い河口には比較的広い沖積地が開け、その厚さが20 mを越すところもある。

## 石垣島

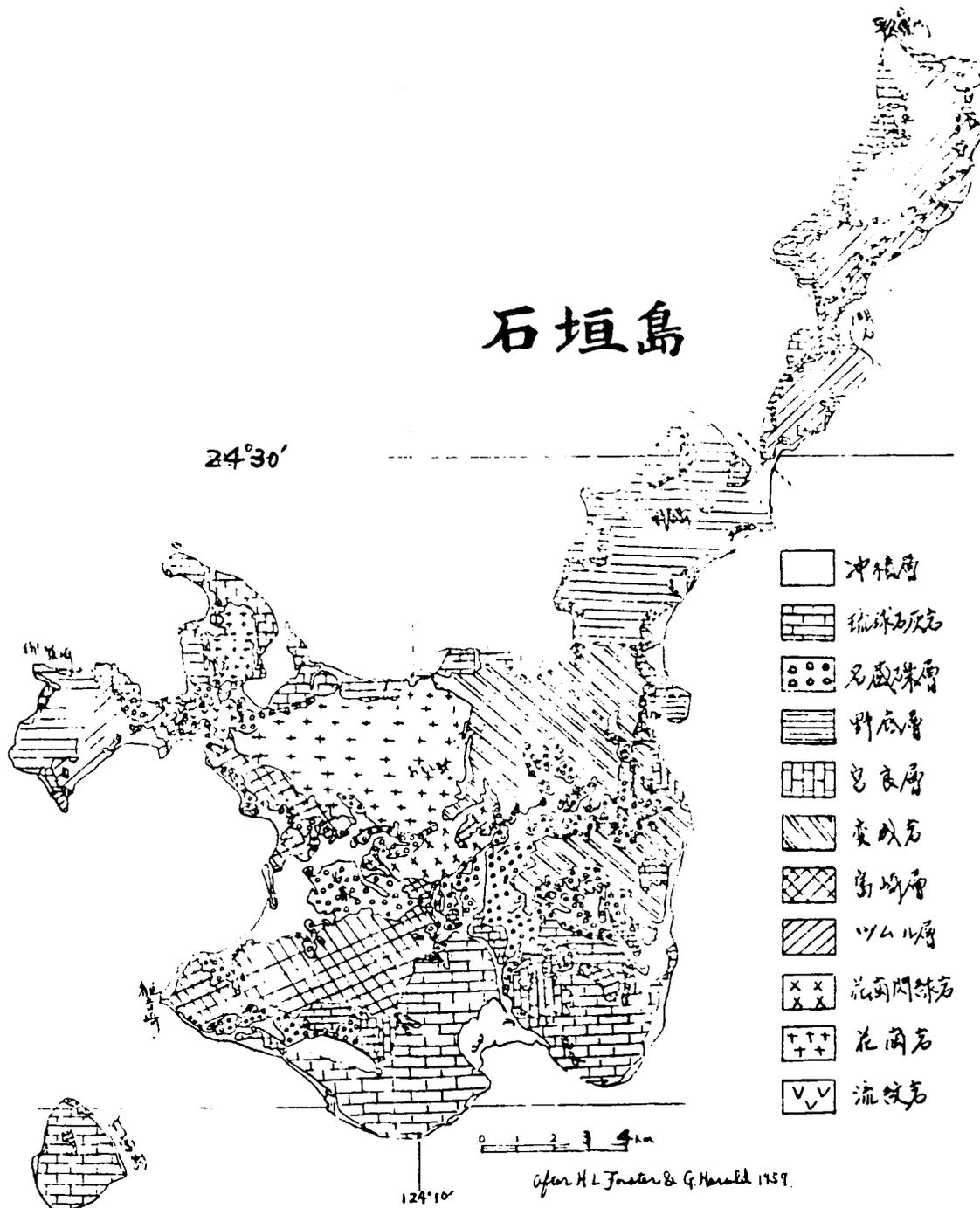
石垣島の地質概要は、沖縄県地質図によれば図-II-2-12に示されたとおりである。その地質構成については、H.L. Fosterの地質学および古生物学的研究（1965）によって、かなり明らかになり、これをもとにして5万分9-地質図が作成された。Fosterによれば石垣島の地層構成は表-II-2-11のようである。

石垣島は島が小さい割には多種多様の岩石を有しているのが特徴的で、露出している最古の岩石は石垣群（Ishigaki Group, 古生代とみられている）に属する変成岩である。中生代の岩石はないとされているが、一部変成岩また深成火成岩がこの時代に属するとも考えられている。

変成を受けない最も古い堆積岩としては、新生代第三紀の始新世後期の宮良層（Miyara Formation）があげられるが、本層は所によって火山岩である野底層（Nosoko F.）を下位にもっている。たゞ野底層の正確な時代はわからず、ほとんどが宮良層より若くて名蔵レキ層（Nagura Gravel）より古いことだけは明らかである。他の堆積岩は第四紀洪積世（更新世）または現世のものであろうし、名蔵レキ（Bunera Clay Member 含めて）、琉球石灰岩、サンゴ石灰岩、浜砂レキおよびその他沖積層がそれである。花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩は多分第三紀の頃変成岩に貫入したであろうし、流紋岩、花崗斑岩も同時期のものであると考えられている。

○トムル層（Tumuru Formation）は、石垣島の北東岸のトムル崎（伊原間牧場北部）付近に代表的にみられることで、Foster（1960）によって命名されたものである。分布ヶ所は伊原間、平久保半島の大部分と屋良部半島南東部分であり、緑色片岩が最も多く藍閃片岩、雲母片岩その他が含まれている。層厚はほゞ600 mと推定され、本層はその構成岩石からみて、geosynclineにおける堆積物および火山噴出物によって形成され、中でも60%以上はmafic火山物質からできたものと考えられる。

# 石垣島



図Ⅱ-2-12 石垣島地質図  
from 沖縄県地質図(1973)

○富崎層 (Fusaki Formation) は、石垣島南西部 (バンナ岳付近～富崎観音堂付近 および名蔵～赤崎 (屋良部半島へ) に分布し、Foster ら (1960) によって模式的地点の富崎の名をとってつけられた。観音崎の層序については、表層は侵食を受け、基盤は知られていない、下部はレキ岩 (20～30m 厚)、その上に暗灰色の千枚岩 (2～3m)、チャート (7～14m)、暗灰色千枚岩 (7～12m)、マツシブな砂岩 (7～12m)、暗灰色千枚岩 (760m、千枚岩レンズをはさむ) と重なっており、一部に千枚岩が片岩に変移ないし代替されている所もある。また大理石やホルンヘルスや珪岩なども含まれている。層厚は約 170m である。本層中のレキ岩は主として、角ばったものからやゝ円い、明るい灰色珪岩の碎片が黒い細粒質炭酸系を多くもつ灰色頁岩質マトリックスの中にとりこまれてできている。

チャートは、富崎層の特徴的な岩石の一つで、侵食に対する抵抗性の故にこぶ (knob)、丘 (hill)、巨レキ (boulder) を形成している。大部分のチャートは明るい灰色または白色を呈しているが、時に赤色を呈することもある。また、本チャートは珪岩 (Quartzite) に似た岩石に移行しつゝあり、化石類もみられず、褶曲が激しく多くわれ形をみせている。

砂岩は灰色または黄褐色のマツシブなもので、名蔵湾付近に顕微である。典型的な砂岩は主として石英と斜長石の粒子で構成されるが、後者の方が前者より多いのが普通である。各粒子は角ばっているかやゝ角ばっており、セメンティングとしては再結晶した白雲母、緑泥石、粘土鉱物が普通で、珪酸質のものもみられる。

千枚岩には一般的な二つの型があり、その一つは、暗灰色で頁岩に似ているが、他は明るい灰色の千枚岩である。

富崎層の堆積はもともと地向斜において、花崗砂岩、頁岩、チャートなどが起源と考えられるが、結局のところ花崗砂岩、炭酸塩泥およびシルトなどが大量に蓄積された。

○宮良層 (Miyara F.) はレキ岩、砂岩、石灰岩および頁岩などで構成され、石垣群の上に不整合におうている。場所によって (屋良部半島など) 本層より若い先島群 (Sakishima group) によっておゝわれ、層の傾斜はほとんど南ないし南西に 15°～35° となっている。露出地としては、平久保半島の久宇良北部、宮良湾宮良川東部などがあげられ、屋良部半島や島の東方海岸星野部落付近にも本層の石灰岩が露頭を出している。また、本層中の砂岩、レキ岩はやゝ丘陵地の表面を形成し、旧石垣市の北東部 (大川、登野城北方) や宮良の北西に最も大きく露出している。頁岩は屋良部半島南西部河谷や伊原間半島の南西海岸沿いにみられる。

本層の主要岩は砂岩、レキ岩、石灰岩であるが、頁岩のほかに凝灰質砂岩、石灰質安山岩質凝灰岩も夾有している。たゞ多くの火山系岩石は次の野底層に入れられる

のが普通である。本層は海成起源でその大部分は海浜ないし浅海で堆積したものであろうことは石垣群の変成岩片がとりこまれていることから考えられる。

代表的な地点の層序としては、伊原間西岸で上位から砂岩、石灰岩、砂岩、石灰岩のくり返しがみられ層厚は全体として約 140m、屋良部半島では砂岩、石灰岩のくり返しと下部に頁岩が夾まれて、層厚約 52m を形成しているのが知られている。砂岩はレキ岩との互層をなし、普通黄褐色または褐色（風化面上）、黄褐色または灰色（新鮮）を呈して、角ばった石英粒子、乳白色石灰やチャートの碎片から成っている、マトリックスとしては緑泥石、方解石を含有している。

レキ岩は円いものからやゝ円い中レキが、灰色、緑灰色、赤褐色または黄褐色の砂質、泥質ないし石灰質のマトリックスにとりこまれている。岩石片はおもに乳色石英、チャート、緑色片岩、緑青色片岩、石英雲母片岩であり、他に変成岩片がみられる。

石灰岩は、宮良層中では、大抵明るい灰色または黄褐色を呈し密実で細結晶質で化石を含むことが多い。これは、生物石灰岩であり、石灰質藻類、有孔虫類遺骸、貝殻片などで形成されている。他に暗灰色石灰岩、褐色砂質石灰岩、レキ質石灰岩もみられる。頁岩は一般に明灰色～暗灰色を呈し、石灰質で貝殻状破壊面を示し、屋良部半島でよくその露頭をみる。

○野底層（Nosoko F.）は 300 m の層厚をもち、層をなす凝灰岩、火山質砂岩、火山質角レキ岩、へい入溶岩流などで構成されている。野底岳にちなんで Foster によって命名され、第三紀多分始新世から中新世にかけて、各火山爆発ののちに海水中で堆積されたとみられる。野底石崎から浦底付近にかけて底く分布し、また屋良部半島西部や川平半島西部、平久保半島久宇良岳西方にもみられる。溶岩流（lavas）は輝石質安山岩が主で、玄武岩、玄武岩質安山岩、石英安山岩および流紋岩などもみられる。安山岩はガラス質で均一細粒または斑岩質を示す。

凝灰岩、火山質角レキ岩は、野底層の大部分を構成し、ほとんどが緑色ないし緑灰色を呈する。起源は火山灰中の安山岩質、溶岩流碎片の安山岩、石英安山岩とみられるが、中には石灰岩、片岩、炭酸塩岩の碎片を含むものもある、

○名蔵レキ層（Nagura gravel, Bunera Clay Member）

名蔵レキ層は先島群（Sakishima Group）の一つで、Foster ら（1960）によって名付けられ、もう一つの琉球石灰岩は層序的に近く、露出もほぼ同域にみられる。名蔵レキ層は、非圧密の、赤茶色または黄褐色のローム質マトリックスと角ばったものからやゝ円い岩片との堆積物である。所によっては、このレキ層下に海成の、ブネラ粘土（Bunera Clay Member）と呼ばれる灰色の粘土が存在し、名蔵レキ層

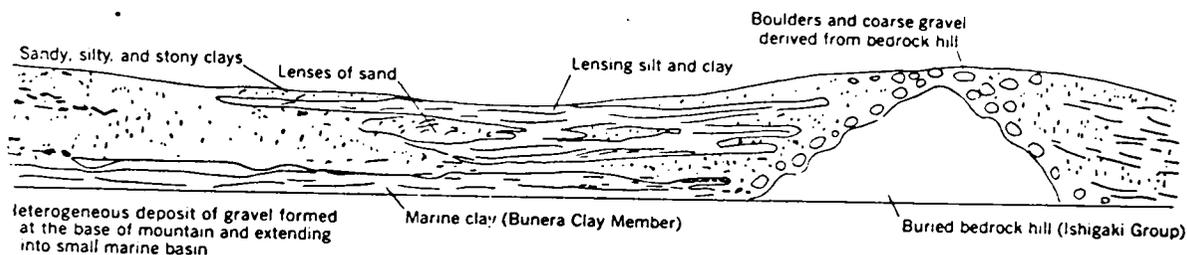
に包含される。本層は石垣島のより古い岩石の上に不整合に、急な傾斜をなして堆積している。本層中のレキ状岩石片は乳色石英，チャート，片岩の順に多く，火山岩片，花崗岩片，花崗閃緑岩片または閃緑岩片が含まれる所もある。ブネラ粘土がない所では大きな巨レキが基盤を構成することもあり，中レキ，大レキは露頭によって異なった円みをもっている。

マトリックスは普通砂質であり，レキ分の40%以下である。

本層は屋良部半島および川平半島の首部，名蔵川・宮良川・轟川の上流川沿い，旧石垣市～富崎にかけて，大里付近および明石付近に分布し，うすい方で数m以下で厚い方で25ないし30mの層厚をもっている。（名蔵川，宮良川，轟川上流近郊が最も多い）半沢は先に（1935）これらのレキ層を“国頭レキ層”としたがこれは琉球石灰岩の堆積以後のもものと判断したことによるもので，石垣島でのレキ層はその層序の上で琉球石灰岩より古いものであるから別の見解が支持されよう。

本層の堆積環境は海中で古い岩石の風化碎片より成ると考えられ，レキ分には化石類は含まれていないが，ブネラ粘土には大小の有孔虫，サンゴ，腹足動物，植物遺物が多い。

名ぐらレキ層の典型的層の広がりを描くと図-Ⅱ-2-13のようになる。。



図Ⅱ-2-13 名ぐらレキ層断面概図, from Foster (1965)

## 琉球石灰岩

こゝでいう琉球石灰岩はすべて新第三紀中新世以降のものについての呼称である。本層は石垣群，宮良層，野底層，および於茂登花崗岩を不整合におよんでいる。石垣島の南部では名蔵層の上に，整合および不整合に堆積しているが，数少ないヶ所で，名蔵層が琉球石灰岩にはさまれていることがある。

**TAIWAN**  
(After Chang, 1958)

**ISHIGAKI-SHIMA**  
**MIYAKO-JIMA**  
(Data from Doan and others, 1960, p. 76)

**NORTHERN OKINAWA-JIMA**  
(After Flint and others, 1959)

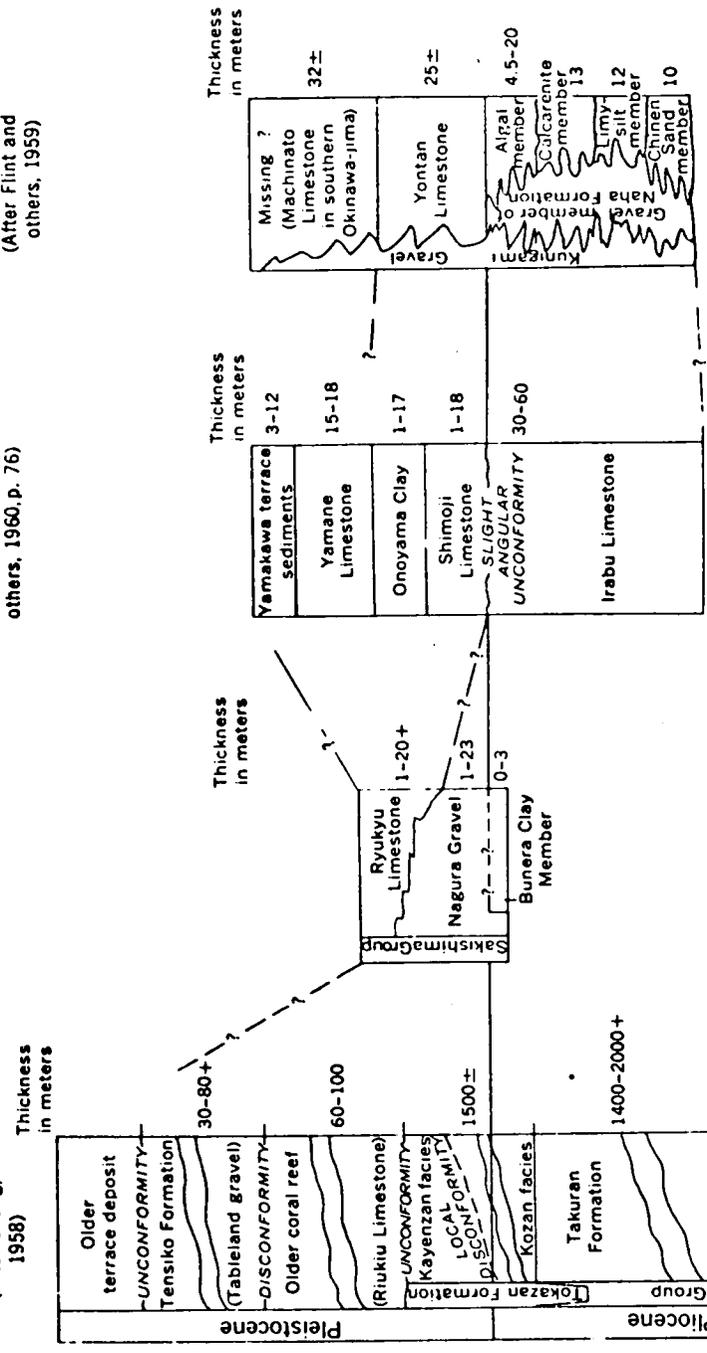


Figure 12-2-14 — Pliocene and Pleistocene stratigraphic relations of the southern Ryukyu Islands and Taiwan.

石垣島の琉球石灰岩は、二つの基本的タイプ—成層砂質有孔虫石灰岩とマツシグなサンゴ礁石灰岩—があるが下位にはレキ岩質石灰岩も存在する。

分布は石垣島の南部、旧石垣市から白保にかけて数キロ平方メートルほどの地域をおうているのが典型的で、屋良部、川平半島および北部海岸沿い、吉原～富野にかけて、さらに伊原間・平久保半島の西海岸沿いにも連続して露頭がみられる。層厚は1 mから20 m以上であるが所によっていろいろ変化している。

砂質有孔虫石灰岩は炭酸カルシウムによってルーズなものから固いものまで膠着された砂粒径の粒子からなっている。それは白色、明褐色またはクリーム色を呈しており、大部分が有孔虫介殻であるが、石灰質動物遺骸やたまに石英ないしチャートの粒子などがわずかに含まれている。本岩石はすきまだらけであり、よく層位を形成し、ところによっては薄層をなしている。本層の表面は空気中にさらされる弱い固結物質が硬くなるのは異色である。

サンゴ礁石灰岩は大部分が、有孔虫の殻片、サンゴの碎片、薄類の片や石灰質動物片および結晶方解石中に含まれるタイプの化石とから成るよく岩石化した、生物碎片性の再結晶質石灰岩である。中にはサンゴや石灰薄で大部できた構造上良質な石灰岩もある。

本石灰岩は一般に多孔質で、間ゲキに粘土質物質が存在することもあり、大部分は風化面で明灰色、未風化面で白色、乳色または黄褐色を呈している。層はほぼ平担であるが、所によっては $3^{\circ}$ ～ $10^{\circ}$ の傾斜をなし層厚は通常8 m (0.3～20 m)である。

石垣島の鮮新世および更新世の層序と宮古、沖縄の各島と対比すると図-Ⅱ-2-14のようである。

## 現世堆積物

更新世より後の時代の堆積物には隆起海浜およびサンゴ礁堆積物、現世海浜の砂やレキ、砂丘、ビーチロック、古い時代の薄い海岸レキ堆積物、河岸および河底をつくる沖積層などがあげられる。若干の谷合にはビートもみられる。

隆起海浜砂及び隆起サンゴ礁：

化石の多い石灰質な海砂は海浜とサンゴ礁の縁との間の化石石灰質の砂や砂とレキ層の堆積物であり、標高(海拔)3～24 mの所、石垣島の南部および東部に分布している。0.6～5 m (時に11 m厚)の層厚をもち、層位形成は不十分なものからよいものまであり、中に褐色の軽石層(海底火山の産物と思われる)をはさんでいる。また多くの化石類は現今の種属のものである。

隆起石灰質海浜砂やサンゴ礁は石垣島の南海岸に広く、標高1～9 mの所に分布しているが、白保から伊原間方面の東海岸にも分布している。

## 海浜堆積物

現海浜では細砂から巨レキにいたる堆積物がみられるが、大部分は砂と普通レキであり、サンゴや貝殻片を多く含むものである。また石英や他の非石灰質鉱物や岩石破片も量にちがいはあるが含有されており、その多くは隆起海浜海浜堆積物が起源である。

## 砂丘

伊原間、平久保半島の明石、船越あたりには砂丘がみられ、砂は大部分が石灰質で有孔虫、サンゴ、貝殻の片々が含まれている。色は明るい黄褐色を呈するのが多く細から粗にいたる粒子であるが中程度のもが多い。草やその他植物がはえており波や風で現在の位置に吹き寄せられたものと思われる。

## ビーチロック

砂やレキがセメント作用を受けて、1~100 cm 厚さで海浜に散在しており、現在の貝殻、その破片、サンゴなどもとりこまれている。中には波の作用により破壊され移動したのものもある。

## 沖積堆積物

本堆積物は、石垣島においては、非均質なもので、花崗岩、閃緑岩、変成岩や火山岩の巨レキ（boulders）から石英砂、シルト、粘土までの種々のものが存在している。この島の大きな川である、宮良川、名蔵川、轟川の流域はもちろん吹通川、安良川沿いや旧石垣市の北郊外地域（現在の水道）にもみられ、層厚は1.5~21mとされ、最高は30mをも越すといわれる。宮良川などマングローブの繁茂している所もある。

## 泥炭（PEAT）

名蔵川、宮良川、轟川の平坦谷部に、主として、PEATが堆積されている。そのほか、平久保半島、重石垣川沿い、屋良部半島にも小規模ながらPEATが存在し、全体で700エーカーものPEAT分布地帯がある。宮良川の上流のPEATから990±180年とされる炭素14が得られている。

以上で石垣島の構成地層の概要が述べられたが、特に地質岩石学的特質としてよく言われる於茂登岳連峯付近の於茂登花崗岩や茶山、花崗閃緑岩、崎支流紋岩などが进入火成岩としてFosterら(1960)によって紹介されていることをつけ加えておきたい。

## 西表島

西表島の地質層序は、下位からトゥムル層、宮良層、由布火山岩類、八重山層群、租納レキ岩、琉球石灰岩、段丘レキ層および現世堆積物に区分される。これらの層序は図-Ⅱ-2-15(斎藤, 千葉, 宮城 1973)によって、地質図は図-Ⅱ-2-16(同上)によって示される。

西表島の地質概要については半沢博士(1935)によって与えられたが、戦後1960年に米軍のもとに、スタンフォード大学関係者によって、近年、佐々木, 市川(1964)松本(1964), 小原・松本(1964), 黒田・宮城(1967), 門田(1967), 斎藤・千葉・宮城(1973)らによって部分的に明らかにされつゝある。特に松本の地質総表(1964)や斎藤ら(1973)のGeology of Iriomote-jima, Ryukyu Islandsによって地質図の作成が試みられて、西表島の地質がかなり明確になってきた。

### トゥムル層(Tumuru Formation)(または富崎層)

Fosterら(1960)は石垣島や西表島の最古層は石垣グループに属する層で、これを宮崎層とTumuru層に分けた。何れも変成岩を主とするものであり、スタンフォード大学関係者や松本は、前者をもって西表島の最古層(古生代一結晶片岩)としたが、斎藤らはその岩石学的類似性から後者の呼称を与えている。

本層は主として火山生成であろう緑色片岩と藍閃片岩から成り、黒色片岩や再結晶した石灰岩のレンズを間にはさんでいる。宮崎層の特徴的チャートは本層ではみられないようである。本層は島の北東部を占める古見岳東部にのみ分布し、概して走向は北-南傾斜は急な方である。その時代は明確ではないが、次の宮良層によって不整合におこわれていることなどから多分古生代であろうと考えられる。

### 宮良層(Miyara Formation)

本層は石垣島における宮良層(by Foster, 1965)との岩石学および古生物学的類似性にちなんで、呼称されている。

後期始新世の大型有孔虫および石灰質藻類を多く含み、硬質で密な、よく結晶化している石灰岩から成り、明灰色~暗灰色または褐色灰色を呈し、石灰質貝殻を夾有している。

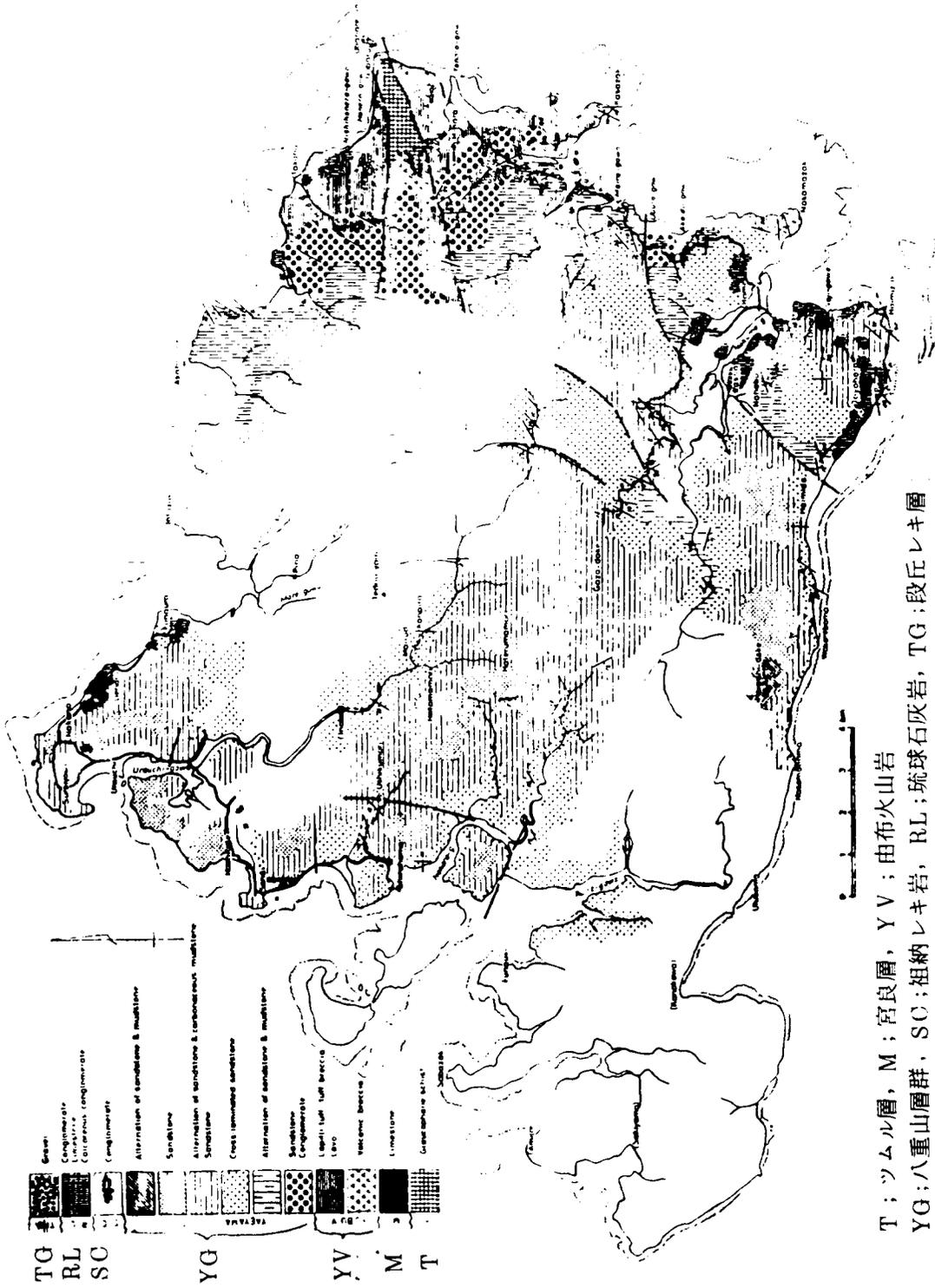
本層の分布は、島の北東部ヨナラ川上流北斜面にのみ、トゥムル層を不整合におうている。本層の露出層厚は約15mで、ほぼ水平な構造をもち急峻な崖をもたらしており、砂岩、レキ岩は存在しない。なお半沢(1935), Fosterら(1960), 松本(1964)は本層の存在について触れていないが、斎藤らによってはじめて認められており、前者の地質層序では示されていない。

時代	層序区分	構成岩石	
沖積層	現世堆積物	砂・礫・粘土	
	隆起珊瑚礁および 段丘堆積層	珊瑚石灰岩・砂・礫	
更新世	琉球層群	國頭礫岩層	礫岩
		琉球石灰岩層	石灰岩・石灰質礫岩
鮮新世			
?	粗粒礫岩層	礫岩	
下部中新世	八景山層群	砂岩・頁岩・礫岩・石灰 安山岩・凝灰岩・流紋岩	
	火山岩類		
古生代	富崎層	結晶片岩	

\* 本表は HANZAWA (1935), FORSTER (1960), スタンフォード研究室 (1960) を参考に  
にして作成した (松本1964)。

Age	Formation name	Column	Thick- ness	Lithology (fossil)
Holocene	Recent deposits			raised coral reef, sand, gravel, clay
Pleistocene	Terrace Gravel Deposits		20m-	Gravel
	Ryukyu Limestone		20m.	limestone, calcareous conglomerate
	Sonai Conglomerate		50m.	conglomerate
Miocene	Yaeyama Group		120m.	sandstone alternation of sandst. & mudst.
			100m-	sandstone
			70m 120m	alternation of sandst. & carbonaceous mudst. (plants)
			80m± 70m±	sandstone bedded sandstone alternation of sandst. & mudst.
	Yubu Volcanics		170m.	conglomerate, sandstone
				250m.
Late Eocene	Miyara Formation		15m-	Limestone (larger foraminifera)
PALEOZOIC	Tumuru Formation			Glaucophane schist

図 II - 2 - 15 Generalized columnar section of Iriomote-jima.  
from 斎藤ら (1973)



T ; ツムル層, M ; 宮良層, YV ; 由布火山岩  
 YG ; 八重山層群, SC ; 祖納レキ岩, RL ; 琉球石灰岩, TG ; 段丘レキ層

図Ⅱ-2-16 西表島地質図 from 斎藤ら(1973)

## 由布火山岩類 Yubu Volcanics

本層は斎藤らによって新らしく提案されたものであるが、半沢博士の八重山夾炭層最下位火山岩類（松本の表についても同様）に相当するものである。

本層は西表島の北東部 $\frac{1}{4}$ 地域に露出し、由布島、三原、高那近郊のものが典型的で層厚は約250m（以上）もあると推定され、傾斜は西にゆるやかに下っている。

本層は火山角レキ岩、レキ質凝灰岩、成層凝灰岩から成っているが、溶岩流が脈岩に沿ってへい入的にはさまれている。下半部は主に安山岩質の火山角レキ岩（大レキ～巨レキまたはそれ以上）と溶岩流から成り、上半部はレキ質凝灰岩や成層凝灰岩のような $\times$ 細かい火山砕屑物から成っている。本層中には化石類は認められず深く風化しているので新鮮な面はめったにみられない。本層は宮良層と不整合の関係にあると推定され、後期始新世ないし漸新、中新世の時代のものであるが、石垣島の野底層と関連づけられている。本層中の花山岩類には、火山角レキ岩（ヒン岩質安山岩）石英安山岩、流紋岩、玄武岩、凝灰岩などがある。

## 八重山層群

本層群は半沢博士提案の「八重山夾炭層」、スタンフォード大学関係者や松本の「Yaeyama Group」に呼称上相当するものであるが、岩相や不整合関係などから、従来言われている八重山層群を二つの層に分け、一つを、上記由布火山岩類、もう一つを「互層」とする方がよいようである。3 membersに分けたケースもある（佐々木、市川1964）。したがって、こゝでいう八重山層群は、下位よりレキ岩、レキ質砂岩、シルト岩をはさみ層理の発達した砂岩、斜交層理の発達した砂岩、砂岩と炭質シルト岩の互層、厚い砂岩、および砂岩・泥岩の互層によって構成される層群を指している。本層群は中新世のもので、レキ岩は170mの層厚をもち下位の層に不整合関係を有し、中～粗粒の砂岩マトリックス中によく円磨されたレキ～中レキ（大部分がチャート）を含有し、レキ質砂岩への転移もみられる。

成層砂岩は70m位の層厚で島の東部に分布（古見岳付近）し、砂岩と砂質炭質シルト岩の互層ともなり、シルト岩中には植物片が多い。

斜交層理の砂岩は層厚80mで、明るい褐色から鈍黄色を呈し、しばしば砂質シルト岩の層をはさんでいる。この岩は島の西部に上記成層砂岩の上に広く分布している。この岩の上に、うすい層の砂岩と炭質シルト岩（70～120m 層厚）の互層がわずかな石炭層を伴って、島の北東隅部をのぞいて広く分布している。

厚い砂岩層（100m厚さ）は上記互層の上に堆積し、斜交層理がよく発達している。島の北西岸によくみられ、化石をみかけない。

本層群は島の大部分を形成し、ゆるい褶曲を呈しながらも全体として西側に傾動した構造を示す。

小原，松本（1964）によれば八重山層群砂岩中の重鉱物はジルコン，電気石，ざくろ石，金紅石，モナズ石，石，十字石，鋭錐石のほか，白雲母，黒雲母，絹雲母，緑泥石などが認められ角閃石，輝石，緑簾石は認められない。

#### 祖納レキ岩層（Sonai Conglomerate）

半沢博士命名の，祖納地域および内離島にのみ分布するレキ岩層で，その層厚は約50mあるいはそれ以下である（半沢は100m以上としている）本層はよく円磨された大レキ～巨レキ（砂岩や石灰岩）から成り（5～30cm，1～2m），マトリックスは砂質である。また，石灰岩レキからは中新世の大型有孔虫が知られている。本層はすべて次の琉球石灰岩によって不整合におよわれている。

#### 琉球石灰岩（Ryukyu Limestone）

西表島における“琉球石灰岩”の呼称も半沢博士（1935）以来の他の沖縄諸島におけるそれと同様で，かつMac Neil（1960）による“Ryukyu Group”に相当するものである。しかしながら，この島においては，琉球石灰岩は海岸に沿って，継続的にみられるように，非常に発達が悪く，沖縄本島におけるように区分け（MacNeil）はされておらず今後の調査研究が必要である。この岩石は硬質で洞窟がみられ，生物遺骸から成ることが多いが，下部では八重山層群に由来する砂岩のレキを含むことが多い。

層厚は数mから20m余にわたるが，島の東南豊原から大原，仲間川および高那，古見，大富の東海岸沿いに多く，島の西部では北西海岸の船浦，上原地域にみられるのみでこの島ではかなりの侵食を受けたと考えられる。

#### 段丘レキ層（Terrace Gravel Deposits）

本層は半沢博士によって“国頭レキ層”と呼ばれてはいるが，こゝでは他の島々における場合との関連が未だ明確になっていないので国頭レキ層の呼称をさけた。

今後の調査研究が必要である。

本層は層厚約20m以下で，かなり侵食を受けたとみられるが，島の東部，野原南東古見北部，大富北西に分布している。大部分が赤色土壌と八重山層群由来の円い中レキ～巨レキ（砂岩）によって構成されているが，特に火山岩や古い層の変成岩が含まれることがある。北石は知られておらず，レキ分は更新世のものとされている。本層は80m段丘の上の琉球石灰岩を不整合におうている（島の北東部）が，琉球石灰岩の分布しない所のものは，琉球石灰岩よりも古い可能性がある。

## 沖積層

隆起サンゴ礁および段丘堆積層（砂・レキ）や現世堆積物として大小の川の河口付近から中流付近に、低地に沿うて狭長な発達が見られ、所々に沼沢地をなす所もある。また北部海岸には広い砂丘地帯の発達もみられる。

### 3) むすび

以上、沖縄諸島の地形地質の概要、ことに沖縄本島、宮古島、石垣島、および西表島4つの主要島についてこれまでに知られている研究成果をふまえて総括を試みた。これら島々のほかに、多く離島をかかえている沖縄県としては、今後、大小の島々についての調査研究が望まれ、開発のみならず、南西諸島の生成の歴史（地形・地質上の問題点—生成—堆積環境—地盤変動）をひもどくためにも多くの専門家の努力が待たれる。ことに、半沢博士らの偉大な業績のあと、今次大戦後の悪条件下で、地形、地質学的調査研究が非常におくれていることは専門家の一致する意見であり、特に沖縄諸島の生いたちについて（たとえば構造地質）は、未知な点が多く、一方各島々の個々の層序構成も明らかでないことだらけと言ってもよい。このことは、開発行為とかかわる土木工学にとっても負荷となっており、学際的立場での調査研究も今後すゝめてゆかねばならない。

最後にこれまでの多く調査研究の文献表を、土木工学的立場（土木地質）に関連をもたせて、かゝげ、上述の内容をこれら文献によって補足してもらい、また引用文献としての謝意をも含めさせてもらうことにする。この文献表中には一般地質学的事項のほか、地形（自然地理）、地下水（水質も）等地下資源、土木地質調査報告および農林土壌の調査・研究報告等が含まれている。

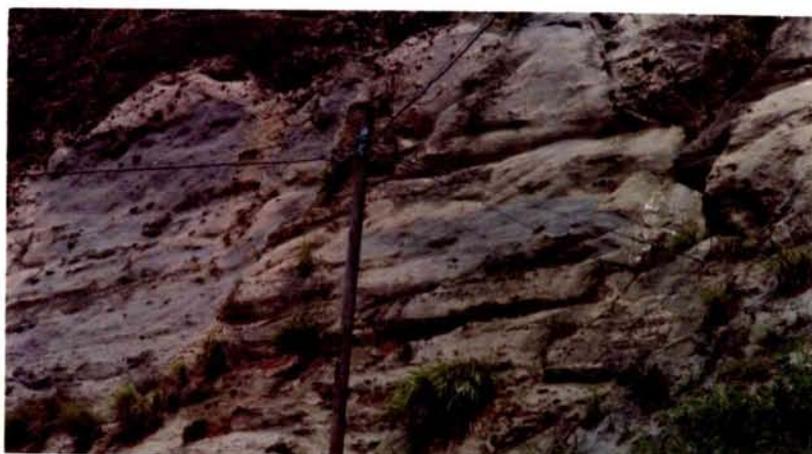


写真9. 知念砂岩層（知念村）

### 3. 沖繩諸島の地形，地質に関する Bibliography

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻-号-頁
1893~ 94	沖繩島について	黒岩 恒	地質学雑誌 1-4. 172~176 1-7. 265~271 1-9. 332~339
1896	沖繩地方学のおとずれ	黒岩 恒	地質学雑誌 4-37. 32~35
1897	琉球列島の地質構造	小藤文次郎	同上 5-49. 1~12
1898	久米島の地質	黒岩 恒	同上 5-59. 409~419
"	尖閣群島	同上	同上 5-60. 498
"	琉球における珊瑚石灰岩中の鯨化石	同上	同上 499
1899	石垣島 1, 2	同上	6-71. 283~289 6-72. 307~310
1900	台湾, 琉球, 大島の石灰岩	徳永 重康 (吉原)	地質学雑誌 7-81. 230
"	琉球旅行	同上	地学雑誌 12-140. 484~489 141. 557~558
"	尖閣列島探検記事	同上	地学雑誌 12. 476~483 528~543
1901	Notes on the Raised Coral Reefs in the Island of the Riukiu Curve.	Tokunaga, (Yoshiwara) S.	Jour. Coll. Sci., Tokyo Imp. Univ., vol. 16. (1), 1~14
"	The Geological Structure of the Riukiu Curve, and its Relation to the Northern Part of Formosa.	同上	同上 16. (2), 1~67
1902	On Some Fossils from the Islands of Formosa and Riukiu	Newton, R. B. Holland, R.	同上 17. (1) 1~23
1906	沖繩視察談	脇水鉄五郎	同上 18-214, 647~659, 732~742, 812~825
"	貨幣石琉球にも産す	一	地質学雑誌 13-157. 361~362
1913	八重山列島の地形及岩石	脇水鉄五郎	同上 20-239. 185~186
1920	Reports of Geological and Mineralogical Natural Monuments in Okinawa-Ken.	Awazu, H.	史蹟名所天然記念物報告 (10), 1~42
"	日本の高等有孔虫を含む第三紀岩琉球の部	矢部 長克	地質学雑誌 27-318. 86~94
1921~23	同上補遺 第一, 第二	矢部, 半沢	同上 28. 359~360 30. 457~465
1922	沖繩県宮古島の地形について	大井上義近	地学雑誌 34-401. 274~277
1925	沖繩島及小笠原島の含有孔虫岩	半沢正四郎	地質学雑誌 32-386. 401~485
"	A Geological Problem Concerning the Raised Coral Reefs of the Riukiu Islands and Taiwan.	Yabe, H. Hanzawa, S.	Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Sec. 2. 7. (2) 20-57
"	Notes on some foraminiferous rocks from Okinawa-Jima and the Ogasawara Is.	Hanzawa, S.	Jour. Geol. Soc. Tokyo 31 (386) 1~24
"	Globigerina-Marl and Other Foraminiferous Rocks Underlying the Raised Coral Reef Formation of Okinawa-Jima, Riukiu Islands.	Hanzawa, S.	Japan. Jour. Geol. Geogr. 4. (1)-(2), 33~45
1929	琉球列島の成因とその変遷	武見 芳二	科学画報 12 (3)

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一号一頁
1929	The Latest Land Connection of the Japanese Islands to the Asiatic Continent.	Yabe, H.	Proc. Imp. Acad. Tokyo, 5 (4), 162 ~ 164
1930	久米島大原の砂丘	小牧 実繁	歴史と地理 26 - 2, 21 ~ 26
1932	琉球八重山群島の地質概観	半沢正四郎	地理学評論 8 (2), 119 ~ 131
"	On Outline of the Geology and Geologic History of Yaeyama Group.	Hanzawa, s.	Proc. Imp. Acad. Tokyo, 7. (2), 119 - 130.
"	沖縄島に Neoschwagerina 石灰岩の発見	半沢正四郎	地質学雑誌 39 - 469 672
"	琉球列島特に宮古石垣両島嶼の地質地形について	青木廉二郎	日本学術協会報告 7. (3), 339 ~ 345
"	Notes on the Geology and Topography of Miyako and Ishigaki-Jima, Ryukyu Curve.	Aoki, R.	Trans. Japan. Assoc. of the Sci., 7 (3), 333
1933	琉球群島における鋳匙術の奇異なる分布と同群島地質との関係	半沢正四郎	地質学雑誌 40 - 477. 323 ~ 325
"	On a Neoschwagerina Limestone from Okinawa-Jima the Riukiu Islands.	Hanzawa, S.	Jap. Jour. Geol. Geogr., 10. 107 ~ 110
"	沖縄県土性調査報告 第一編 沖縄本島の部	嶋下, 横井, 兼松	
"	同上 第二編 先島群島の部	横井, 兼松	
1934	北大東島試錐について	杉山 敏郎	東北大学地質学古生物学教室邦文研究報告 (1), 44
"	南北両大東島の地形地質	青木廉二郎	地質学雑誌 41 - 489, 341 ~ 343
"	琉球・島尻層群の貝化石について	野村, 神保	同上 41 - 489, 382 ~ 384
1935	尖閣列島の海岸段丘	山田 貞夫	地理評論 11, 203 ~ 205
"	北大東島試錐調査における試錐方法	遠藤 六郎	東北大学地質学古生物学教室邦文研究報告 (14)
"	Topography and Geology of the Ryukyu Islands.	Hanzawa, S.	Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Sec. 2, 17. 1 - 61.
"	Geologic History of the Ryukyu Islands.	同上	Proc. Imp. Acad. 11, (2), 58 - 61
"	沖縄旅行 その 1, 2	石井 清彦	地学雑誌 47, 225 ~ 265, 318 ~ 325
"	沖縄第三紀層中の或結核について	河田喜代助	博物雑誌 33 (54) 47 ~ 50
"	On some Glaucophane Rocks from the Ryukyu Archipelago.	Yoshii, M.	Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Sec. 2. 16. (4), 225 - 248.
1936	第2回北大東島試錐について	杉山 敏郎	東北大学地質学古生物教室邦文研究報告 (25), 1 ~ 34
"	A Note of the Fossil Marine Fauna from Okinawa-Jima, Ryukyu Group.	Nomura, S.	Jour. Geol. Soc. Tokyo, 43. 336 ~ 340
"	Molluscan Fossils from the Shimajiri Beds of Okinawa Island.	Nomura, S. Zinbo, N.	Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Sec. 2. 18, (3), 230 - 266.
"	西南日本外帯および琉球列島に発達せる花崗岩質岩石について	鈴木 醇	地質学雑誌 43 - 513, 402. ~ 404
1937	同上	同上	同上 44 - 526, 625 ~ 660

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一頁一頁
1938	琉球列島に於て発見せる鹿化石	徳永, 高井	地質学雑誌 45 - 537, 470
"	北大東島試錐ならびに大東石灰岩の 化学分析結果について	太田 恭	同上 45 - 537, 511 ~ 512
"	Studies on the Foraminifera Fauna in the Boring Cores from the Deep Well in Kita-Daito-Jima.	Hanzawa, S.	Proc. Imp Acad. 14. 384 - 390.
"	New Species of Calcareous Algae from Several Tertiary and Later Lime-stones from Various Localities of the Ryukyu Islands.	Ishijima, W.	Japan. Jour. Geol. Geogr., 15. 13-16.
"	西表島における八重山含炭層の砂岩	市村 毅	台湾地学記事 9 (4) 13 ~ 16
1941	Additional Fossils from the Shimajiri Beds of Okinawa-Jima. Ryukyu Islands.	Yabe, H. Hatai, K.	Jap. Jour. Geol. Geogr., 18. 71-78.
"	On the Stratigraphic Horizon of Elephas from Miyako Island, Ryu- kyu Islands.	Otsuka, Y.	Proc. Imp. Acad. Japan, 17. 43-47.
1943	沖縄島におけるチャーガル並にマー チ土壌とその母岩について	川島, 永田	日本土壌肥科学雑誌 17. 451~454
1947	Geology and Water Resources of Southern Okinawa.	Cederstrom. D. J.	Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 31. (10), 1752-1783.
1948	琉球石灰岩の有孔虫群と琉球群島近 海現生有孔虫群との比較研究	半沢正四郎	地質学雑誌 54 (637) 123 ~ 124
1949	Subsurface Conditions at Futema Airfield, Okinawa.	Flint, D. E.	Mil Geol. Br., U.S. Geol. Intel. Div. Off. Eng., GHQ, Far East Command, 15.
"	Subsurface Conditions at Kadena Airfield, Okinawa.	Saplis, R.A.	同上 17.
"	Subsurface Conditions at Belo and Yontan Airfield, Okinawa.	Mason, A.C.	同上 29.
1950	Geological Investions of Subsidence and Collapse at Kadena Airfield Okinawa.	Nicol, A.H.	同上 26.
"	Supplemental Report 系 1. 同上	"	同上 43.
"	同上 系 2.	"	同上 43.
"	Planation of Recent Reef Flat on Okinawa	MacNeil, F. S.	Bull. Geol. Soc. Amer. 61. 1301 - 1308.
1951	Application of Geophysical Methods to Location of Varieties in Residual Soil and Caverns in Coralline Limestone.	Nicol, A.H.	Mil. Geol. Br. U. S. Geol. Surv. Intell. Div. Off. Eng. G.H.Q., Far East Command, 44.
"	Engineering Geology. Okinawa.	Nicol, A.H. Flint, D. E. Saplis, R.A.	同上 43.
"	琉球火山帯の火山活動史	桑原 寛	鉱物と地質 4. 19 ~ 20
1953	Limestone Walls of Okinawa.	Flint, D.E. Corwin, G., Ding, M.G., Fuller, W.T. Mac Neil, F.S. Saplis, R.A.	Bull. Geol. Soc. Amer., 64, 1247 - 1260

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一号一頁
1954	琉球群島の地形・地質及鉱床		琉球政府経済局 1~171
"	Mineral Resources of Ryukyu-Retto.	Flint, Saplis. Corwing.	U. S. Army Corps of Engineers. Personnel of U. S. Geol. Surv. Geol. Surv. Br. Intell. Div. Off. Eng. Hq. U. S. Army Forces.
1957	琉球列島の地質及び鉱産資源(予報)	門田 重行	鹿大・琉大共同学術調査研究速報(1)
"	Tertiary and Pleistocene Brachiopods of Okinawa.	Cooper. G. A.	U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. (314-A)
"	Military Geology of Okinawa-Jima, Ryukyu Retto. vol. IV, Soils.	Stensland. C. H.	Intel. Div. Off. Engineer. Hq. U. S. Army, Japan with Personnel of the U. S. G. S.
1958	琉球列島における珊瑚礁の諸問題	平田, 山里	鹿大・琉大共同学術調査研究速報(1)
"	北大東島のドロマイト化石に関する考察	福田, 高橋	石膏と石灰(36), 48~56 42~47
"	Military Geology of Okinawa-Jima, Ryukyu-Retto. vol. II Water Resources.	Cameron, C. C. Flint, D. E.	Intal. Div. Off. Engineer, Hq. U. S. Army. Japan. with Personnel of the U. S. G. S.
1959	沖縄島の地形について	花井 重次	新地理 7-31, 34
"	Ecological Studies on the Coral Reefs of Kume Island, I.	Yamazato, K.	琉球大学文理学部紀要 理学篇(3) 53~64
"	琉球の天然ガス	兼島 清	天然ガス 2-7, 23~25
"	Military Geology of Okinawa-Jima, Ryukyu-Retto, vol. 5. Geology.	Flint, D. E. Saplis, R. A. Corwin, G.	Intel. Div., Off. Engr. Hq. U. S. Army, Japan. with Personnel of U. S. G. S.
"	Geotectonics of the Ryukyu Arcuate Is. and its Influence upon the Western Part of Southwestern Japan.	Ehara, S.	地質学雑誌, 66, (715), 129-241
1960	石垣島の隆起珊瑚礁の諸問題	平田, 山里	鹿大・琉大共同学術調査研究速報(3) 17~23
"	宮古島の石灰岩について	山里 清	琉大文理学部紀要 理学篇(4) 88~92
"	The Tertiary and Quaternary Gastropoda of Okinawa.	Mac Neil, F. S.	U. S. G. S., Prof. Pap. (339) 1-148
"	Exploration, Testing and Development of Groundwater in the Kadena Air Base Area.	Brown, J. C.	U. S. Dist. Eng. Okinawa.
"	Military Geology of Miyako Archipelago Ryukyu-Retto.	Doan, D. B. Paseur, J. E.	Geol. Surv. Branch, Intell. Div. Off. Eng. Hq. U. S. Army Forces, Far East with Personnel of U. S. G. S.
"	Military Geology of Ishigaki-Sima, Ryukyu-Retto. (I), (II).	Fosberg, E. R. Foster, H. L. Stensland, C. H. May, H. G., Fosberg, F. R. Alvis, R. L. J.	同上
"	改訂, 沖縄の地理	仲松, 山里	沖縄県中学校社会科教育研究会編 1~80
"	Geology and Mineral Resources and Economic Potential of Iriomote Island.	Beatty, W. B. Westphal, W. H.	U. S. Civil Administr. Stanford Research Inst. S. R. I. Project. No. SV-3248

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻-号-頁
1960	沖縄における治山治水対策調査報告書	木村 正昭 諸橋 運治 田中 正夫	1 ~ 64
1961	沖縄島の地形の問題点について	花井 重次	辻村太郎先生古稀記念地理学論文集 159~173
"	沖縄島那覇市付近の隆起さんご礁	平田, 山里	鹿大, 琉大 琉球諸島共同調査報告(1) 46 ~ 52
"	石垣島の隆起さんご礁	平田, 山里	同上 53 ~ 60
"	琉球西表島の土壤に関する研究	小林 嵩	鹿児島大農学部学術報告(10) 108 ~ 168
"	沖縄の変成岩	種子田定勝	岩鉱 46 (5) 187 ~ 190 及地質学雑誌 67. 705
"	琉球の天然ガス	本島, 牧野	地質ニュース 77. 6 ~ 12
1962	九州地方(日本地方地質誌)	松本, 野出, 宮久	朝倉書店
1963	八重山群島の地理学的研究	端 信行	大阪市大八重山学術調査隊報告書
"	琉球の石灰岩地形	脇坂, 庫本	宇部短大学術年報 3. 「琉球学術調査報告」 153 ~ 163
"	琉球の湧水と洞窟	脇坂 宜尚	同上 165 ~ 180
"	琉球の地下水と地表水の水質(1), (2)	森江 堯子	" 191 ~ 202
"	沖縄本島土壤調査報告書	松坂, 音羽 出井, 辰崎	琉球政府経済局農務課 1 ~ 60
"	琉球群島の地形・地質	半沢編, 朝武 士監修	中部高等学校理科教育研究会 Ryukyu Domestic Water Corporation U. S. Army Engineer District, Okinawa, Corps of Engineers.
"	Stage III. Well Development, Kadena Tengan Aquifer.		工業用水(57, 58) 70 ~ 80, 68 ~ 78 Sci. Rep. Kanazawa Univ. 8, (2), 569 - 602.
"	沖縄の水を訪ねて(その1, 2)	岩崎 岩次	
"	Pre-Miocene Basement Complex of Okinawa and the Tectonic Belt of the Ryukyu Islands.	Konishi, K.	
1964	石垣島, 宮古島土壤調査報告書	山本, 山田, 本村, 市来	琉球政府経済局農務課
"	南西諸島の亜熱帯森林土壤(1)	竹原 秀雄	日本林学会誌 46.
"	石灰質母材に由来する土壤について		
"	同上(2)非石灰質母材の赤, 黄色土について	同上	同上 47.
"	Irrigation Master Plan for Miyako-Jima, Ryukyu Island.	Tang, G.	U. S. Army Eng. Dist. Okinawa.
"	宮古島の水質および石灰岩に関する報告書		琉球政府, 工業研究指導所
"	Smaller Foraminifera from the Late Tertiary of Southern Okinawa.	Leroy, L. W.	U. S. G. S. Prof. Pap. 454 - F.
"	琉球列島の地帯構造区分	小西 健二	地質学雑誌 70 - 826. 398.
"	Geologic Notes on Tonaki-Jima and Width of Motobu Belt, Ryukyu Islands.	Konishi, K.	Sci. Rep. Kanazawa Univ. 9, (2), 169 - 188.
"	沖縄のサンゴ礁石灰岩	南雲 貞夫	土木技術資料(6), 6 ~ 8
"	琉球西表島炭田地質調査報告	佐々木 ほか	地質調査所月報 15 (8) 447 ~

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一号一頁
1964	八重山群島西表島における八重山層群石炭の花粉分析	高橋, 松本	九大八重山群島学術調査報告(2), 35~46
"	同上 八重山層群砂岩の重鋳物	小原, 松本	同上, 47~56
"	八重山群島西表島における火山岩類	松本 征夫	" , 57~73
1965	琉球諸島に産する各種石灰岩の比較	兼島 清	琉球大学文理学部紀要 理学篇(8), 23~54
"	沖縄南大東島の池沼と地下水	武永健一郎	地理科学 4, 6~14
"	湧泉の見掛け単位面積, 排水量に関する考察 主としてカルスト泉の水理地質について	清水 欣一	応用地質 16 (3)
"	カルスト泉に関する若干の知見	同上	日本地下水学会誌 9, 6~9
"	沖縄の河川および地下水の水質	兼島 清	工業用水(81) 30~37
"	琉球列島(南西諸島)の構造区分	小西 健二	地質学雑誌 71, 437~457
"	Geology of Ishigaki-Shima, Ryukyu-Retto.	Foster, H. L.	U. S. Geol. Surv. Pap., (399-A).
"	琉球の天然ガス資源	本島, 牧野	地質調査所月報 16 (4) 193~216
1966	沖縄南大東島の Shore Feature	武永健一郎	地理科学 5, 1~22
"	南西諸島の土壤に関する研究 1.	小林, 品川	鹿児島大農学部学術報告 16, 11~55
"	与那国・久米島土壤調査報告書	松坂, 木下, 山田, 金子	日本政府技術援助調査団(琉球政府)
"	Water Development, Kadena-Tengan, Okinawa, Ryukyu Islands. Northern Okinawa Water Development.		Ryukyu Domestic Water Corporation Ryukyu Domestic Water Corp. New England Division, Corps of Engineers. U. S. Army Okinawa.
"	沖縄の地下水	清水 欣一	応用地質 7 (3), 109~128
"	琉球石灰岩の湧泉に関する若干の知見, 沖縄南部の湧泉について	同上	日本地下水学会誌 11, 17~21
"	Revision of Pre-Miocene Stratigraphy of the Ryukyu Island Arc.	Konishi, K. Ishibashi, T. Ishida, S.	11th Pacific Sci. Congr. Tokyo, 4, Major and Minor Geotectonics, 10.
1967	第3次沖縄天然ガス鉱床調査の記録	福田理 他~	地質ニュース 157, 14~31 158, 16~22
"	沖縄本島南部の天然ガス, 鉱床の地質学的考察	牧野, 樋口	石油技術協会誌 32(2), 1~36
"	南・北大東島, 伊良部島, 伊江島等土壤調査報告	森, 阿部, 福土, 石井	琉球政府農林局
"	琉球の土壤と土地利用	鎮西, 大屋 他~	琉球大学農学部農芸化学科
"	Master Water Plan for Itoman and Tomigusuku Area Southern Okinawa.		Ryukyu Domestic Water Corp.
"	琉球列島の地質について	門田 重行	鹿児島大学教育学部研究紀要 自然科学編 19, 54~76
"	沖縄石垣島の変成岩類	黒田, 宮城	紫田秀堅教授退官記念論文集 148~152
"	沖縄諸島の中生代新統基盤岩類に関する新知見	石橋, 小西	地質学雑誌 73 (857), 132
"	太平洋域周縁相確性石灰岩の年代測定と地殻変動率率	小西 健二	第四紀研究 (6), 207~223

発表(刊)年	主 題 または 書 名	著 者	発行所または書(誌)名, 巻 号 一 頁
1968	安謝港地質調査報告 沖繩本島南部水資源調査報告書		総合土木コンサルタンツ, (株)応用地質 南部振興会 調査事務所
"	沖繩, 久米, 大神の新第三紀層産微 化石	高橋 清	長崎大学教養部紀要, 自然科学 8,
"	K-Ar Age of Muscovite from the Crystalline Schist of the Northern Ishigaki-shima, Ryukyu.	Shibata, K. Konishi, K. Nozawa, T.	Bull. Geol. Surv. Japan. 19. 529 ~ 533
"	南西諸島の火山史	諏訪 彰	地理 (13), 25 ~ 31
"	Bedrock Geology of Iheya Islands. Okinawa Group.	Ishibashi, T.	Sci. Rep. Kanazawa Univ. 13. 51 - 72.
"	台湾ならびに琉球の「琉球石灰岩」 と「隆起珊瑚礁」産珊瑚化石の U, Th. 及び Pa 年令	小西, 大村 木村	地質学雑誌 74, 98
"	Sedimentological Studies on the Ryukyu Limestone of Okinawa, Ryukyu Islands.	Shoji, R	Sci. Rep. Tohoku Univ. Sec. 2. 40. (1), 65 ~ 77.
"	工業研究指導報告第 2 号		琉球政府
"	Smaller Foraminifera from Miyako-Jima, Ryukyu.	Huang, T.	Sci. Rep. Tohoku Univ. Sec. 2. 40. (1), 47 ~ 63.
"	沖繩の家庭燃料事情と天然ガス (1), (2), (3),	福田理 他	地質ニュース 164, 176, 185 (1968 ~ 1970)
1969	沖繩島の地形区分	上原, 高良, 石川	琉大地理 8, 33 ~ 43
"	那覇 2 号井 自噴す	第 5 次沖繩天 然ガス調査団	地質ニュース 181, 1 ~ 15
"	沖繩の天然ガスについて	影山 邦夫	石油技術協会誌 34 (4), 176 ~
"	沖繩の森林土壤概説	黒島, 小島	日本林学会誌 51, (3)
"	尖閣列島の水質	兼島 清	工業用水 (128), 42 ~ 45
"	沖繩の水資源 (1) ~ (3)	小西泰次郎他	地質ニュース, 182, 184, 195. (1969 ~ 1970)
"	沖繩本島中部水資源調査報告書		中部振興会
"	第 4 次沖繩天然ガス資源調査研究概 要	福田理 (ほか)	地質調査所月報 20 (2) 101 ~ 124
"	沖繩諸島の地質・地形に関する Bibliography	上原 方成	琉球技術協会誌「技術」(4), 73 ~ 76
"	沖繩本部半島の三角江ふきんの地質	若生 達夫	第 4 紀研究 8 (4), 139 ~ 141
"	沖繩本島中南部地域の地質	影山, 鈴木	石油技術協会誌 34 (4), 176 ~ 178
"	Stratigraphy of the Triassic Formation in Okinawa-Jima, Ryukyus.	Ishibashi, T.	Mem. Fac. Sci. Kyushu. Univ. D. Geology, 19, (3), 373 ~ 385.
"	Bathymetric Distribution of Corals in the Ryukyu Islands.	Yamazato, K.	Proc. Symp. Corals and Coral Reef, Mar. Biol. Ass. India, 121 ~ 133.
"	琉球列島における第四紀海水準化,	中川 久夫	日本の第四系 (地団研専報, 15 ) 429 ~ 435
1970	琉球列島中部地域のサンゴ礁地形	武永健一郎	地理学評論 43-2, 95 ~ 96
"	世界第 2 位の沖繩本島南部の含ヨー ド水溶性ガス鉱床	沖繩天然ガス 調査団	地質ニュース 192, 42 ~ 44
"	沖繩の水資源開発	河島 寛	水利科学 (74) 110 ~ 120

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻・号・頁
1970	第3次沖縄天然ガス資源調査・研究報告	福田理他	地質調査所月報 21 (8)
"	第5次沖縄天然ガス資源調査研究概報	同上	同上 21 (11)
"	宮古島の地下水	磯崎 義正	応用地質 11 (1) 12~25
"	Paleontological Notes on Few Brachiopods from Pliocene Naha Limestone.	Nohara, T.	琉大理工学部紀要 理学編 (13) 171~178
"	沖縄本島の三疊系	石橋 毅	地質学雑誌 76 (892)
"	Upper Triassic Ammonites from Okinawa-Jima Ⅰ (Paleontological study of the Ryukyu Island II).	Ishibashi, T.	Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. D. (Geology), 20, (3), 195~223.
"	沖縄の洞くつをみて	亀井 節夫	洞くつ研究 (2), 70~77
"	Neotectonic Rates in the Central Ryukyu Islands derived from 230-Th Coral Ages.	Konishi, K. et al	Marine Geology, 9, 225~240
"	工業研究指導報告第3号		琉球政府
"	第2次 1970年度 沖縄水資源開発調査技術指導および現地調査に関する中間報告		地質調査所
	沖縄水資源開発調査報告		地質調査所
	第1部, 第2部, 第3部		
1971	同上 第4部		同上
"	沖縄の地質および土質事情	上原 力成	全日本建設技協会第68回講習会テキスト 97~128
"	工業研究指導報告第4号		琉球政府
"	沖縄における天然ガス資源調査の経緯と成果	沖縄天然ガス研究グループ	石油技術協会誌 36 (3)
"	沖縄本島, 久米島の土壌の分類について	松本, 音羽 山田, 浜輪	農業技術研究所報告B (22) 305~404
"	尖閣列島の地質(予報)	野原 朝秀	琉大尖閣列島学術調査報告 8~14
"	尖閣列島の水質調査	吉田, 平良, 渡久山	琉大尖閣列島学術調査報告 14~36
"	沖縄中部ガス用の堆積地球化学と地質構造	本島, 比留川	地質調査所月報 22 (1) 51~
"	沖縄の水資源 (4)	小西泰次郎他	地質 - ニュース (206) 1~19
"	日本の地下水誌 - 沖縄	小西泰次郎	日本地下水学会誌 (19)
"	尖閣列島の水質	兼島, 渡久山	琉大理工学部紀要, 理学篇 (14) 22~30
"	沖縄水資源開発調査について	中村 範次	工業用水 (148)
"	日本列島における新第三系	沖縄天然ガス研究グループ 地質物探班	九州周辺海域の地質学的諸問題シンホ資料
"	New Anadarid and Associated Molluscan Fauna from the Haneji Formation, Okinawa-Jima, Ryukyu Islands.	Noda, H.	Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan, N.S., 81, 27~51.
"	Geology and Paleontology of Yonaguni-Jima.	Nohara, T.	琉大理工学部紀要, 理学篇 (14) 64~103
"	沖縄県露頭集 第一集		沖縄県高等学校地学教育研究会 1~50

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一頁
1971	沖縄の水資源開発調査	岡本 隆一	土木技術資料 13 (5), 45 ~ 48
"	八重山群島西表島の変成岩類	松本 征夫	松下久道教授記念論文集 49 ~ 55
"	尖閣列島	星野 通平	国土と教育 (5)
"	尖閣諸島付近および九州西方海域の大陸棚外縁の地形地質	菅野, 上砂, 星野	九州周辺海域の地質学的諸問題シンポジウム資料
1972	Pleistocene Dolomite and Associated Carbonates in South Okinawa of the Ryukyu Islands.	Konishi, K. Kaneshima, K. Nakagawa, K. Sakai, H.	Geoch. Jour. 6, 17 ~ 22.
"	Recent Uotsuri Limestone of the Senkaku-Retto.	Nohara, T.	琉大理工学部紀要 理学篇 (15) 170 ~ 174
"	世界の宝, 沖縄本島南部ガス田	沖縄天然ガス 調査団	地質ニュース 213, 34 ~ 47
"	沖縄の水資源(5)	小西泰次郎他	同上 213, 14 ~ 28
"	沖縄の地形・地質及び土木地質上の問題点	岡本 隆一	土木技術資料 14 (5) 16 ~ 22
"	沖縄本部半島西部伊江島の地質	大城 逸郎	Biol. Mag. Okinawa, 9, 25 ~ 33
"	沖縄の水問題の特質と供給施設整備のあり方.	広瀬 利雄	土木技術資料 14 (5), 23 ~ 26
"	Geological Significance of <i>Saxiolomus Purpuratus</i> from the Pliocene Haneji Formation in Okinawa-Jima.	Noda, H.	Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S. 88
"	沖縄の自然地理研究	西村, 武永	九学会連合年報 人類科学 (24) 9 ~ 19
"	The Islands of the Ryukyus.	McCune, S.	Ryukyu Isl. Proj. Res. & Inf. Papers. Dept. Geog. Florida Univ. Nos. 10, 11, 12, 20, 21 ( '72 ~ '73 )
"	沖縄および宮崎における上部新生界浮遊性有孔虫層序(予報)	名取, 福田 石田	石油技術協会誌 37 (1)
"	沖縄の自然と地質—沖縄本島を中心として	木野 義人	地質ニュース (217) 13 ~ 27
"	琉球から台湾まで	小西, 須藤	科学 42 (4), 221 ~ 230
"	今帰仁仲尾次地下水試験調査報告書		合資会社 高良さく井工業
"	堆積環境における元素の移動(第3報)石灰岩地方の水(1)	渡久山 章	琉大理工学部紀要理学篇 15号 81 ~ 98
"	Geochemical Behavior of Chemical Species in the Processes of Limestone Formation Part 1. Chemical Composition of Corals and Limestone in the Ryukyu Islands.	Tokuyama, A. Kitano, Y. Kaneshima, K.	Geoch. Jour. 6.
"	On the Occurrence of Fossil Deers from Kuniyoshi, Itoman-cho Okinawa-Jima.	Nohara, T. Oshiro, I.	琉大理工学部紀要, 理学篇(15) 166 ~ 169
"	沖縄水資源開発調査報告		地質調査所
1973	同上(八重山地方)		同上
"	那覇市の地盤について	上原, 砂川	琉大理工学部紀要 工学篇第6号 101 ~ 162

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一号一頁
1973	南・北大東島の地形及び地質	野原 朝秀	大東島天然記念物特別調査報告 文化庁 沖縄総合事務局 1~197
"	水資源総合開発調査報告書		同上 農村水産部 1~148
"	沖縄と水—その特性と現況		同上
"	国営土地改良事業 宮良川 地区調査 報告書(地質・地下水)		同上
"	沖縄の地質・地下水・関係文献集		同上
"	沖縄の自然災害の調査報告書	藤川, 上原他	昭47. 文部省自然災害特別研究 (代表者 中島鴨太郎)
"	Geomorphology of Motobu Peninsula and Island off. West Central Coast of Okinawa.	Nishimura, K. Nakata, T. Chida, N.	Sci. Rep. Tohoku University, Sec. 7. 23. 135~15.
"	沖縄雑感	大草 重康	土と基礎 21 (1), 53~58
"	Geology of Iriomote-Jima. Ryukyu Islands.	Saito, Y. Tiba, T. Miyagi, H.	Mem. Nat. Sci. Mus. 16), 9~22.
"	沖縄における地下水調査について	古川 博恭	農業土木の機械化 7 (3) 34~37
"	南西諸島上部新生界石灰質微化石 群の予察的研究	西田 史郎	地質学論集 (8), 65~75
"	Find of Nummulites and Orthoquartzitic Pebbles from the Eocene Turbidites in Shimajiri Belt, Okinawa.	Konishi, K. Ishibashi, T. Tsuruya, K.	Sci. Rep. Kanazawa Univ., 18, (1), 43~53
"	尖閣列島魚釣島, 北小島, 南小島の 地質	松本, 辻和	長崎大教養部紀要 自然科学 14.
"	Upper Triassic Ammonites from Okinawa-Jima (II), (Paleontological Study of the Ryukyu Island III).	Ishibashi, T.	Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. D. Geology, 22. (1), 1~12.
"	粟国島の地質—特に火山岩類につい て	神谷 厚昭	沖縄県立教育センター研究集録 2. (6), 18~31
"	The Study on the Ryukyu Limestone and Associated Materials.	兼島, 平良, 渡久山, 大森	琉大理工学部紀要 理学篇 16号 134~161
"	沖縄の地盤	松井, 横山	土木学会誌 58 (10), 59~67
"	沖縄土地利用計画 附属資料—沖縄 の自然環境		政策科学研究所
"	沖縄第四紀調査団発行誌 珊瑚礁		沖縄第四紀調査団 Nos. 1~8 ( '73 ~ '74 )
"	Upper Eocene Larger Foraminifera from Yaeyama-gunto, Ryukyu Island.	Ujiie, H. Miyagi H.	Mem. Nat. Sci. Mus. Tokyo, (6),
1974	沖縄県における水源整備について		沖縄県農林水産部建設課 1~172
"	沖縄南部地方の水利(玉城村, 知念 村)		沖縄総合事務局開発建設部 1~129
"	On Some Kaolin Minerals Found in the Okinawa Island.	Negishi, T.	Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Geol., 69. 9~17.
"	Clay Mineral Compositions in Recent Marine Sediments around Nansei-Syoto Islands, South of Kyusyu, Japan.	Aoki, S. Oinuma, K.	Jour. Geol. Soc. Japan. 80. 57~63.

発表(刊)年	主題または書名	著者	発行所または書(誌)名, 巻一頁一頁
1974	沖縄島辺土岬の三累系	石橋 毅	地質学雑誌 80. 329 ~ 330
"	昭和48年度 伊是名村地下水試掘調査報告書		沖縄県, 東洋航空事業株式会社
"	第三紀島尻層における地すべり・崩壊について	上原 方成	琉大理工学部紀要 工学篇第7号, 103 ~ 115
"	沖縄の自然	木崎甲子郎	沖縄第四紀調査団, 沖縄地学会, 平凡社
"	沖縄県伊是名島の地質	高安 克己	沖縄地学会, 沖縄第四紀調査団
"	沖縄県久米島の地質	大城 逸郎	"
"	沖縄県宮古島の地質	中井 均	" (各, 1974年9月の地質学会, 北海道にて発表)
"	沖縄南部および宮古島の洞くつ	堀口 万吉	"
"	沖縄本島南部の琉球石灰岩層序	羽島 謙三	"
"	琉球石灰岩の岩石学的検討	沖村 雄二	"
"	琉球石灰岩の古生物学的検討	佐藤 敏彦	"
1975	沖縄開発に伴う土地環境の変化と防災に関する研究	上原, 高山 新城, 大成	昭 47, 48 自然災害特別研究成果報告 (代表者 藤川武信) 1 ~ 108
"	一地すべり・斜面崩壊の特性と防災一		
"	琉球列島の成立	木崎, 高安	海洋科学 8 - 1, 50 ~ 57
"	琉球石灰岩の圧縮強度について	新城, 中村	琉球大学農学部学術報告 第22号, 269 ~ 277
1976	最近の第四紀地質学	沖村, 高安	土と基礎, 24 - 1, 65 ~ 72
"	一石灰岩地帯の第四紀地質学一		
"	沖縄県本部半島北部の第四紀石灰岩	高安 克己	地質学雑誌 82 - 3. 153 ~ 162
"	南島つれづれの記	矢崎 清貫	地質ニュース 264, 41 ~ 51
"	一石灰岩からみた宮古島のおいたち一		
"	岩盤D区分の調査方法と細分	石橋, 佐藤	第11回土質工学研究発表会講演集 909 ~ 912
"	琉球石灰岩の力学ならびに物理特性について	神村, 広谷 佐藤	第11回土質工学研究発表会講演集 949 ~ 952
"	沖縄・宮古群島の第四系, 特に琉球石灰岩について	沖縄第四紀 調査団	地球科学 30 - 3. 145 ~ 162

#### 4. 沖縄諸島の土質・地盤

沖縄諸島の地形・地質条件に関して先に述べたが、これらの条件と気象条件とが複雑に作用しあって、沖縄の土壌・土質の生成・分布（Locality特性）および土質性状（Material特性）に沖縄地方の土としての特徴が作りあげられてきた。このことは、日本列島の南端で、亜熱帯ないし熱帯的条件下の“沖縄の土”として農学上、以前から位置づけられていること、あわせ考えてもわかることである。

一方、土というものが“千差万別”という表現があてはまるほどその種類および状態のうえでさまざまであり、たとえ同一母岩から、また同一環境条件下で生成した土でも、その後の歴史過程でいかようにも変化しうるし、また“同一土”といえるものでも、そのシチュエーション（内的または外的要因にもとづく）によって、その物理諸量、化学的諸量はもちろんのこと力学的挙動もいかようにも変化するものである。したがって土の分類その他の“区分け”は、容易なことではなく、一概に、どこそこの土はどのようなもので等々、公式集にのるような画然とした表示は、特に工学的観点から困難なわざといえよう。

上記のようなことから、沖縄諸島の土についても、その土質工学的諸問題を論ずるにあたって、先ず出会う問題であり、このことに関しての土質工学の分野からの調査研究の必要性が強調されるゆえんでもある。たゞ、この道のりは長く、また、検討、再検討の積み重ねが必要であり、特にCase by Case的な判断も加えつゝ目下すゝめられているのが現状であるといえよう。

しかしながら、現実に建設行為がすゝめられるなかで、一方、実際工学としての場で知見として役立たせるために、マクロ的な立場に立つ区分けも急を要することからであり、各所でのいわゆる“土質分類”が、地質条件とかゝわらせて、あるいは土質試験に基づいて、定規的区分けがなされているのも事実である。これら実績を、単に画一的な分類呼称としてでなく、現在利用されている日本統一土質分類法と対比させ、かつ、工学的諸特性との関連で再検討しなければ、場合によっては、固定的な分類指標になり、有害なものにさえなるおそれがある。

こゝでは、このようなことを考慮に入れつゝ、沖縄の土壌・土質の問題について述べていこうとするものである。たゞ、沖縄における土壌・土質については、農学の場合からは、かなり前から調査研究がすゝめられ、それなりの成果をあげているが、土質工学的立場からのものは少ない現状であり、今後ともこれらの問題についての検討はますます必要である。以下、地質条件を十分考慮しながら、土壌・土質の分布、分類および地盤特性（代表的な土や地盤を主対象にして）について論をすゝめ、そのなかで、液

性限界に関連して、装置のちがいが、フォールコン法、および一点法の問題についても言及している。

### 1) 土壌・土質の分布 (Soil Map)

沖縄諸島におけるほとんどの土の生成は、その地質条件にかゝるもので、新生代現世沖積層、同上第四紀洪積世堆積物(たとえば石灰岩及び国頭レキ層)、同上第三紀鮮新世;中新世堆積物(たとえば、石灰岩、島尻層泥岩、砂岩)および中生代白亜紀、ジュラ紀堆積物(たとえば、嘉陽層、名護層の粘板岩、千枚岩、片岩、砂岩、頁岩等)や古生代二疊紀堆積物(本部層、与那嶺層の石灰岩、粘板岩、チャート、千枚岩等)に由来することになるが、農学分野からみた表層土壌型についてはかなり前1932年に表Ⅱ-4-1のような提示がなされている。<sup>1)</sup>

表Ⅱ-4-1 沖縄本島における土壌型(鴨下, 横井, 兼松<sup>2)</sup>)

土 壌 型	地質的系統及び母岩	沖 縄 俗 称	
気候的土壌型赤色土	国頭レキ層(洪積世)	国頭マーヂ	
岩石土壌型—	テラロサ	隆起サンゴ礁(洪積世)	
	様土	古生層石灰岩	島尻マーヂ
		第三紀層泥灰岩(クチャ)	国頭マーヂ
	レンジナ	第三紀層砂岩(ニービ)	ジャーガル
地形土壌型・岩屑土	第三紀層砂岩(ニービ)	ウジマ	
地下水土壌型	古生層粘板岩等	国頭マーヂ	
	沖積層	カニク	

さらに、鴨下らの調査結果からこれら土壌型について次のように概略まとめられる。

赤色土は、気候的土壌型の一つとして高温多湿なる気候下に生成し、わが国本州中部以西より台湾にわたって出現する。

沖縄島では国頭地域東部、本部半島東部、中頭地域、北部の台地上に分布している。一般に大中レキのほか粗砂から微砂、粘土分までを含有し、強酸性土として知られ  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  が多く検出されている。

テラロサ様土は、元来、冬季湿潤低温、夏季乾燥高温(地中海地域)下の石灰岩地帯に生成するが、沖縄では、サンゴ礁の風化の際にサンゴ中の不純物特に鉄、石灰珪酸等が赤色または赤褐色の土壌を呈する残滓として地表に堆積したようである。沖縄島島尻地域、南部、中頭地域西部の隆起サンゴ礁上に広く分布するが本部町村、国頭地域北部の如き古生層石灰岩地帯の削剝の結果生成されたカルスト地形面上にも分布している。一般にレキ、粗砂分は少なく、細微砂分がそれよりやゝ多く、粘土分がかなり多く含まれている中性~微アルカリ土壌で、 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  が多く検出されている。

レンジナ様土は、母岩の化学性が著しく影響している土壤型で、石灰質母岩の破片を含み、黒色または暗灰色を呈し、炭酸石灰を多分に含んでいる。沖縄島南部から中頭地域にかけての西部および東部丘陵地に広く分布し、泥(灰)岩に由来するものと石灰質砂岩に由来するものがある。前者は、細微砂がやゝ含まれるが、粘土分が圧倒的に多く、中性または微アルカリ性土で、やはり $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ が多く検出されている。後者は、砂質土で細微分がかなり多く乾燥しやすく、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ の含有が多いようである。

岩屑土は、古・中生層地帯を主とした粘板岩等分布地域に分布し、灰色を呈しているが時を経て赤色に向かう傾向にあるといわれる。レキ、粗細微砂をほぼ一様に含有し、粘土分がそれより多いのが普通である。一般に $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ が多く検出され、強酸性土である。

地下水土壤型は、地下水の影響を著しく受けて、酸化鉄、亜酸化鉄の存在により赤褐色、青緑色を呈している土であり、沖縄島では南・中・北部地域の海岸地の低地帯や河川沖積地帯(灰色を呈す)に局部的に分布している。一般に粗、細、微砂、粘土分の順に多くなっており、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ が多く検出されている。

以上沖縄本島土壤型について古い報告があるが、その後地形・地質条件の様相がだんだん明らかにされ、また一方、わが国における土壤分類の方式の改変(土壤分類の単位として統を用いる)がなされ、沖縄でも1963年からこの土壤統方式による土壤分類が行なわれたので、このことについて鎮西ら<sup>3)</sup>、松坂ら<sup>3)</sup>、山本ら<sup>3)</sup>の報告をもとにしてまとめるとおよそ次のようになる。こゝでは沖縄島、宮古島、石垣島についてとりあげる。

土壤統方式とは、地形及び土地利用の状況を考慮に入れて調査断面( Soil Profile Pedon )の選定が行なわれ、母材料、地形、断面形態の類似する土壤は一つの土壤統にまとめられ、この場合、土層の深さ、レキおよび腐植含量、土色斑点、反応、コンシステンス、マンガン及び鉄の酸化物含量なども土壤の特性識別に考慮されている。この結果、沖縄の土壤は5つの大土壤群に分けられ、それぞれがまた土壤統に細分されている。

#### 大土壤群( Great Soil Group )

1. 赤黄色ポツゾール性土壤( Red-Yellow Pedzolic Soils )
2. 褐色森林土壤( Brown Forest Soils )
3. 沖積土壤( Alluvial Soils )
4. レゴソール( Regosols )
5. リトソール( Lithosols )

(1) 沖縄本島の土壌・土質

沖縄本島の土壌分布を大土壌群を主にしてつくられたのが、図-II-4-1<sup>3)</sup>であり、土壌統一覧<sup>3)</sup>を前記鴨下らの分類と対比させつゝ示すと次のような表になる。

表-II-4-2 土壌統一覧表 (Japanese Soil Series)

大土壌群	土壌統	土壌の性質	母材及び堆積状態	鴨下ら分類
赤黄色ポゾル性土壌	安田統 国頭村 字安田	肥沃度下，透水性良好，細～中粒質土性 レキに富む，赤褐色～黄褐色，弱～強酸性，土層やゝ深い	国頭レキ層 洪積世堆積 国頭村 金武村 大宜味村 名護市 読谷村 今帰仁 具志川市 本部町 宜野座村 沖縄市	赤色土 (国頭マーシ)
	中川統 金武村 字中川	肥沃度中，透水性中 微粒質土性，レキ含量小，黄橙色～赤褐色，弱～強酸性，土層深い	同上 国頭村，本部町，具志川市 名護市，恩納村，読谷村 宜野座村，金武村，宜野湾市	同上
	並里統 (深層) 国頭村 宜名真	肥沃度中，透水性中 細粒質土性，赤色，赤褐色～黄褐色，酸性～微アルカリ性，土層深い	古生層石灰岩 粘板岩残(崩)積 山岳急傾斜地 国頭村，大宜味村 本部町	テラロサ様土 (国頭マーシ)
	具志堅統 本部町字 具志堅	肥沃度下，透水性中 細粒質土性，赤色～赤褐色，酸性，土層深い	古生層粘板岩の 残(崩)積 山岳緩傾斜地 国頭村，大宜味村 名護市・今帰仁村 本部町	岩屑土 (国頭マーシ)
褐色森林土壌	糸洲 糸満市 字糸洲	肥沃度上，透水性中 細粒質土性，赤褐色～黄褐色，中性～微アルカリ性，土層やや深い	さんご石灰 岩の残(崩)積 海岸沿段丘 または丘陵地 名護市，本部町， 今帰仁村，恩納村 石川市，勝連村，具志川市，沖縄市 読谷村，東風平村，具志頭村，玉城村， 佐敷村，知念村，大里村，糸満市	テラロサ様土 (島尻マーシ)

沖 積 土 壤	奥 統 国頭村 字奥	肥沃度下，排水不良 中～粗粒質土性レキ含 む，灰色 強酸性～中性 グライ層あるいは黒泥 層の上に斑紋顕著	小河川の狭い谷間 河川沖積 国頭村，大宜味村 東村，名護市久志 石川市，具志川市 与那城村，読谷村	地下水 土壤型
	名護統 名護市 名護字 大袋	肥沃度中，排水不良， 細～微粒質土性，レキ 混入あり。泥炭混入も あり。灰色，酸性 グライ層あるいは黒泥 層の上に斑紋顕著	海岸沿い平野 山川谷間小河川沖積 国頭村，大宜味村 東村，名護市，石川市 本部町，恩納村，宜野座村	地下水 土壤型
	志喜屋統 知念村 志喜屋	肥沃度中，排水不良， 粗～微粒質土性。サン ゴ，貝殻破片を含む 灰色，石灰質	海岸沿い低地 河海沖積 国頭村，屋我地 今帰仁村 本部町，名護市 宜野座村，金武村 与那城村，具志川市 宜野湾市，浦添市 豊見城村，玉城村，知念村	地下水 土壤型
	伊豆味統 (細粒) 東村平良	肥沃度中，透水性中 中～粗粒質土性，黄褐 色，弱酸性	山間谷面，海岸 沿い河川沖積 東村，名護市羽地 本部町，恩納村	同上
	伊豆味統 (細粒) 本部町伊豆味	肥沃度中，透水性中 微～細粒質土性， 黄褐色，酸性。	同上	同上
	屋部統 名護市屋部	肥沃度中，透水性上， 中～粗粒質土性，サン ゴ，貝殻破片含む，黄 褐色，石灰質，アルカ リ性	海岸沿い平野 河海沖積 名護市，恩納村 玉城村，知念村 与那原町，糸満市	同上
	安慶田統 沖繩市 安慶田	肥沃度土，透水性下， 細粒質土性，灰色～ 暗緑灰色，石灰質 アルカリ性	丘陵谷間の泥灰岩 由来の沖積 沖繩市，勝連村 具志川市，中城村 西原村，浦添市 豊見城村，東風平村 具志頭村，玉城村，大里村 南風原村 糸満市	レンジナ様土 (ジャーガル)

	<p>小那覇統 西原村 小那覇</p>	<p>肥沃度上，透水性中， 細粒質土性，褐灰色～ 暗緑灰色，石灰質，土層深い アルカリ性</p>	<p>海岸沿い平坦地 緩波状地及丘陵 間の低地 泥灰岩母材の 冲積土 冲縄市，与那城村，勝連村 具志川市，中城村，西原村 豊見城村，東風平村 知念村，佐敷村，南風原村</p>
レ ゴ ソ ー ル	<p>稲嶺統 大里村 稲嶺</p>	<p>肥沃度上，透水性中， 細粒質土性，灰色～黄灰色 石灰質，アルカリ性，土層 深い</p>	<p>内陸波状丘陵地 の平坦部，傾斜面 土残（崩）積 泥灰岩母材 冲縄市，与那城村 具志川市，北中城村 中城村，宜野湾市，知念村 西原村，浦添市，玉城村 首里，豊見城村，東風平村 具志頭村，大里村，与那原町 南風原村，糸満市，佐敷村</p>
	<p>伊集統 中城村 伊集</p>	<p>肥沃度上，透水性中， 細粒質土性，灰色～黄灰色 石灰質，土層やゝ深い アルカリ性</p>	<p>内陸丘陵地の比較 的急傾斜面残積 泥灰岩母材 具志川市，北中城村 中城村，西原村 浦添市，首里，東風平村 具志頭村，玉城村，大里村， 知念村，南風原村</p>
リ ソ ン ー ル	<p>摩文仁統 糸満市 摩文仁</p>	<p>肥沃度上，透水性上 細粒質土性，赤褐色～黄褐 色，中性～アルカリ性 土層浅い</p>	<p>サンゴ石灰岩残積 今帰仁村，本部町 与那城村，読谷村（島尻 具志頭村，玉城村 糸満市 テラロサ 様土 （国頭マージ）</p>
	<p>並里統 （浅層） 本部町 並里</p>	<p>肥沃度中，透水性中 細粒質土性，赤色～ 赤褐色～黄褐色 酸性～微アルカリ性，土層 浅い</p>	<p>古生層石灰岩，部分的 に粘板岩混在 山岳急斜層母残積 大宜味村，本部町 テラロサ 様土 （国頭マージ）</p>
	<p>屋名座統 本部町 屋名座</p>	<p>肥沃度下，透水性上， 細粒質土性，レキ含量大， 黄褐色，微酸性，土層浅い</p>	<p>粘板岩，千枚岩を 主体とする山岳丘 陵地急斜面残積 国頭村，大宜味村，名護市， 読谷村，今帰仁村，本部町， 恩納村，宜野座村 岩屑土 （国頭マージ）</p>

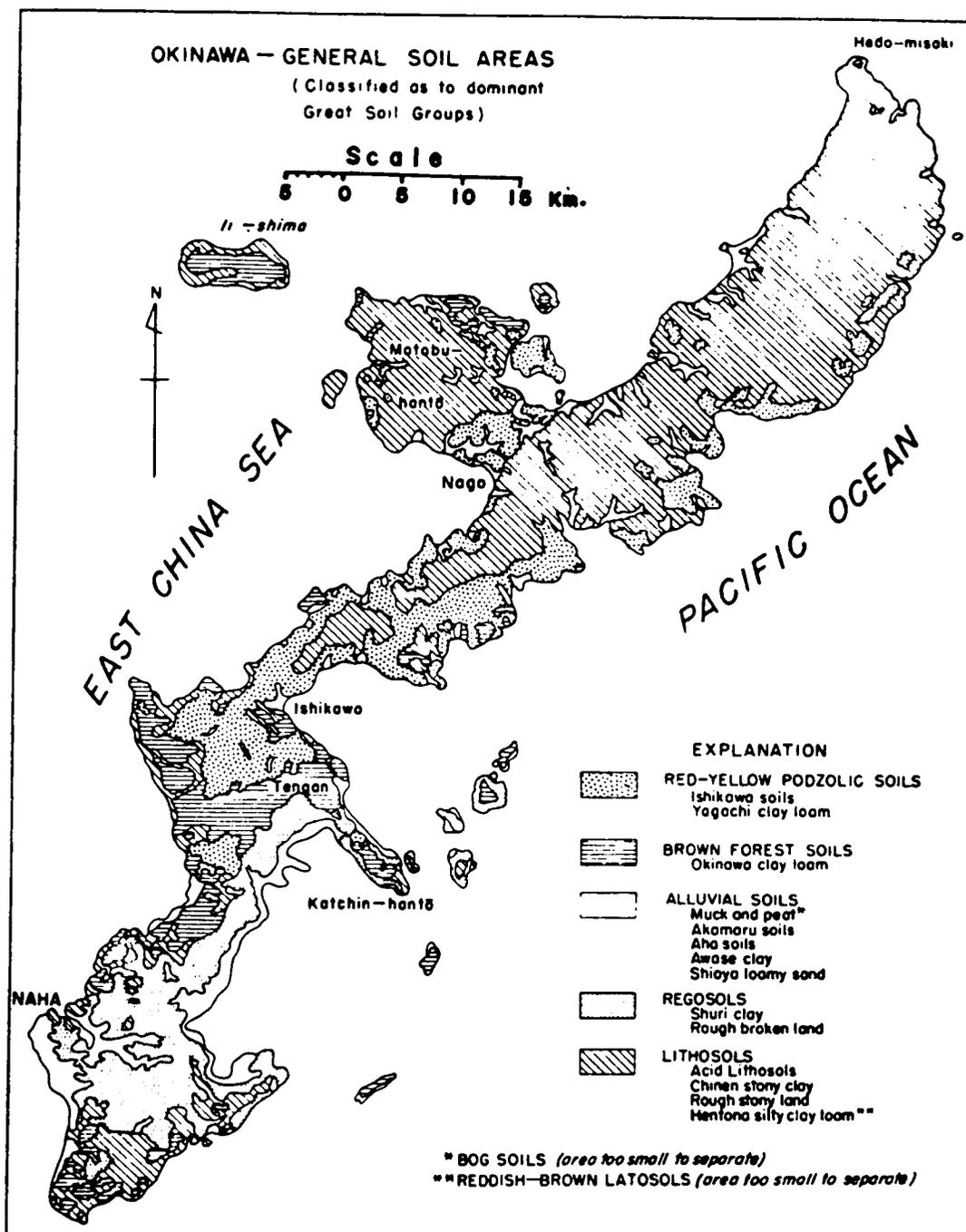


図-Ⅱ-4-1 沖縄本島土壤分布 (from 鎮西ら, 1967)

なお、沖縄本島土壤図 (10枚一組, 1966年1月), 石垣島土壤図 (1枚, 1965年4月) 宮古島土壤図 (1枚, 1965年4月) が、出版されているので詳しい状況についてはこれらを参照されたい。さらに沖縄本島の主要四土壤の物理的及化学的性質を鎮西らや松坂らの報告書のデータから引用すると次表 (表Ⅱ-4-3) のようである。

表一Ⅱ-4-3 沖繩本島主要土壤の化学的性質及物理的性質

土 壤 統 Soil Series	深 さ Depth (cm)	PH (H <sub>2</sub> O)	陽イオン置換容量 Cation exchange capacity (me/100g)	置 換 性			塩 基		深 さ Depth (cm)	固 相 Solid phase (%)	容 積 比 重 # Bulk density
				Ca	Mg	K	bases(me/100g)	Na			
中 川 Nakazawa 赤色土 [国頭マーシ]	0 - 11	5.4	9.1	3.3	1.4	0.31	0.26	0 - 22	4 1.7	1.1	
	11 - 29	5.3	9.1	3.0	2.7	0.13	0.30				
	29 +	5.0	9.4	1.2	3.7	0.08	0.26	22 +	5 2.5	1.4	
糸 洲 Itosu テラロサ様土 島尻マーシ	0 - 32	7.6	1 8.3	18.5	4.8	0.31	0.48	0 - 29	3 7.1	1.0	
	32 +	8.0	1 7.1	19.2	3.2	0.23	0.48	29 - 46 46 +	4 5.0 4 7.9	1.2 1.2	
糸 嶺 Inamine レシジナ様土 ジャ-ーガル	0 - 17	8.1	2 9.5	6.24*	5.4	0.74	0.74	0 - 23	4 1.4	1.1	
	17 - 39	8.1	2 6.3	6.91*	3.4	0.49	0.83	23 - 44	5 0.0	1.3	
	39 +	7.9	2 4.5	6.69*	2.7	0.46	0.83	44 +	5 3.7	1.4	
具志堅 Gushiken 岩屑土 国頭マーシ	0 - 20	4.7	1 2.6	4.8	3.7	0.31	0.26	0 - 30	4 5.2	1.2	
	20 - 40	4.7	1 0.0	4.0	2.4	0.15	0.26				
	40 +	4.7	1 5.9	3.1	2.1	0.05	0.43	30 +	5 3.4	1.4	

\*この上層は遊離炭酸石灰を含有， #松坂らは「仮比重」として表示。

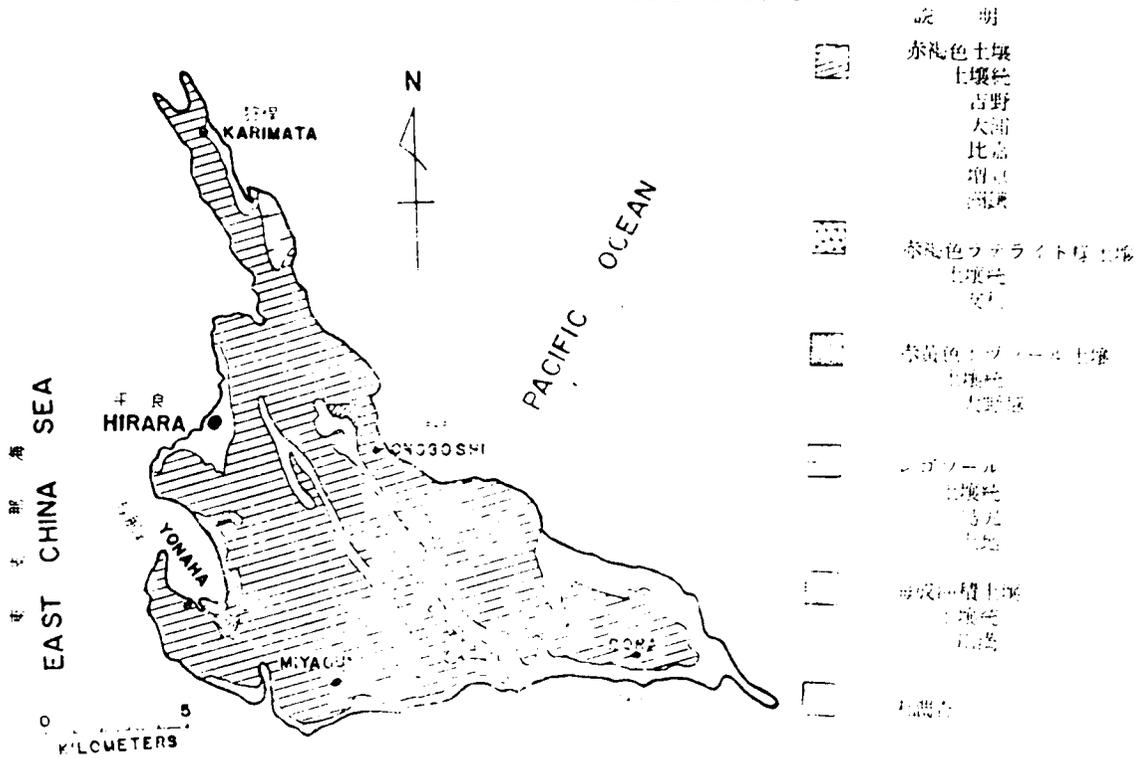
(2) 宮古島の土壤・土質

鎮西らや山本らの報告から、宮古島の概略土壤図（大土壤群による分類）や内容を示すと、Ⅱ-4-2およびⅡ-4-4のとおりである。

また、物理的及化学的性質を示したのがⅡ-4-5である。

MIYAKO — GENERAL SOIL AREAS

CLASSIFIED AS 10 DOMINANT GREAT SOIL GROUPS



図Ⅱ-4-2 宮古島土壤分布 (from 鎮西ら, 1967)

表-Ⅱ-4-4 宮古島の土壤(要約)

大土壤群	土壤統	土壤の性質	母材料及び堆積状態
赤褐色土壤	吉野	肥沃度中, 透水性中, 細~微粒質, 暗褐色~赤褐色, マンガン沈積物あり, 弱酸性~中性, 土層浅い	さんご石灰岩上の非固結物, 残積
	大浦	肥沃度中, 透水性中, 細~微粒質, 暗褐色~赤褐色, マンガン沈積物あり, 微酸性~中性, 土層や>深い	同上
	比嘉	肥沃度中, 透水性中, 細~微粒質, 暗褐色~明褐色マンガン富む, 中性, 土層浅い	さんご石灰岩上の非固結物, 残積(崩積の影響あり)
	増原	肥沃度中, 透水性中, 中~微粒質, 黄褐灰色, マンガン沈積物あり, 弱酸性~弱アルカリ性, 土層や>深い	同上

	洲 鎌	肥沃度中, 透水性中, 細~微粒質, 黄褐色, マンガン結核顕著, 中性, 土層や>深い	さんご石灰岩上の非固結物, 残積
赤褐色ラテライト性土壌	友 利	肥沃度中, 透水性小, 細~微粒質, 暗灰色~赤褐色, マンガン沈積物あり, 土層や>深い	同 上
赤黄色ポツポール性土壌	大 野 越	肥沃度下, 透水性中, 細~微粒質, 赤褐色, 中性, 土層や>深い	洪積世堆積物, 緩波状台地
レゴソール	島 尻	肥沃度下, 透水性大, 粗粒質, 黄褐色弱酸性, 土層や>深い	第3系砂岩及び頁岩, 緩波状地, 崩積的影響あり
	上 地	肥沃度中, 透水性中, 微粒質, 灰色~黄灰色, マンガン富む, 弱酸性~中性土層や>深い	泥灰岩様材料, 海岸段丘上残積
沖積土壌	川 満	肥沃度上, 透水性中, 中~細粒質, 黄褐色, 黒泥層あり	海成沖積低地

表-Ⅱ-4-5 宮古島主要土壌の化学的性質\*及び物理的性質\*\*

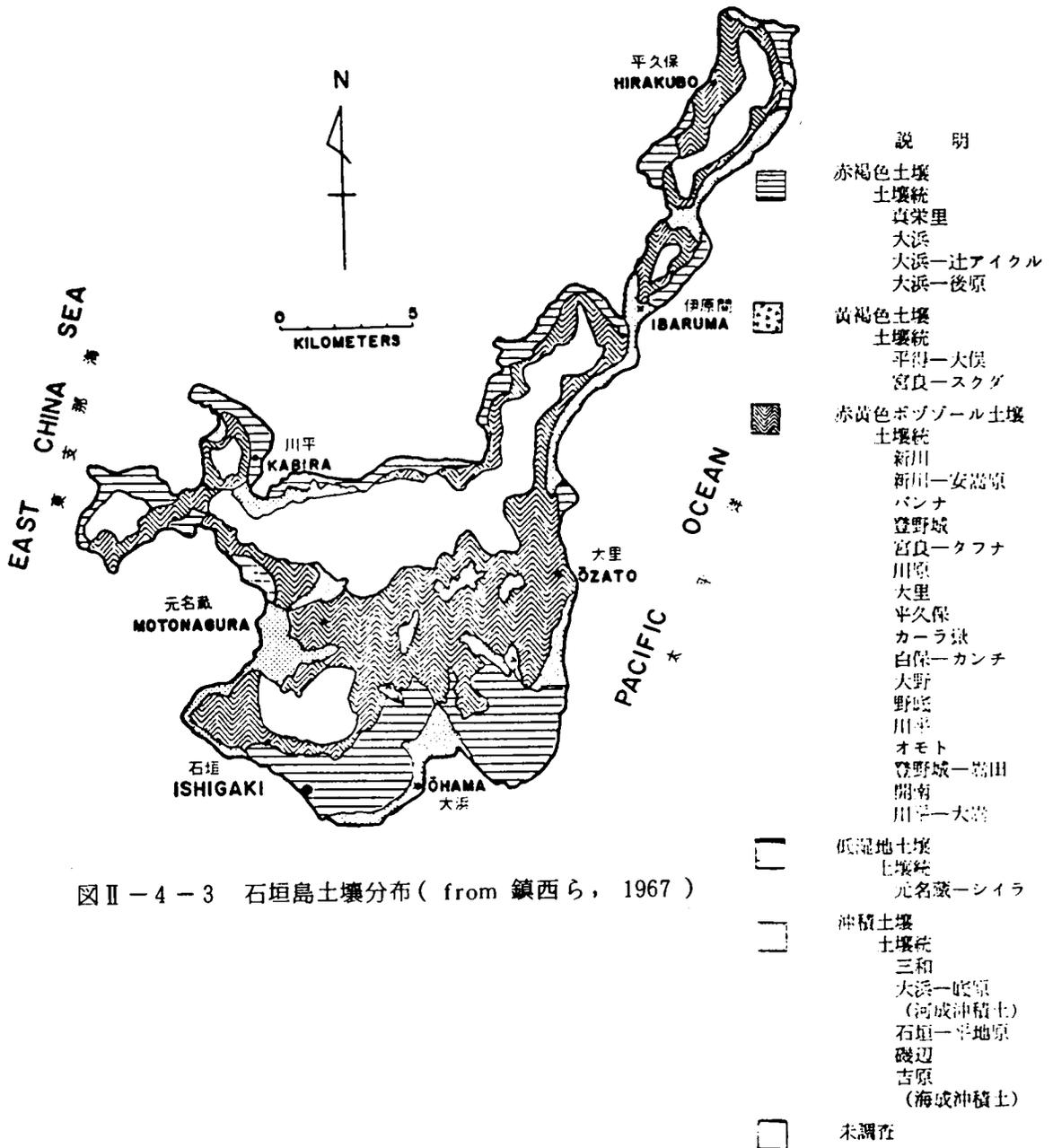
土 壌 統	深 さ		陽イオン置換容量	置 換 性 塩 基			深 さ	固 相
Soil Series	Depth (cm)	PH (H <sub>2</sub> O)	Cation Exchange Capacity (me/100g)	Exchangeable bases(me/100g)			Depth (cm)	Solid phase (%)
				Ca	Mg	K		
大 浦 Oura	0-25	7.7	16.3	13.3	1.8	0.5	0-25	44
	25+	7.2	11.5	11.0	0.8	0.2	25+	52
友 利 Tomori	00-16	8.2	15.0	11.8	4.0	0.8	0-16	38
							16-51	52
	16-51	6.1	12.1	7.9	1.9	0.2	51+	53
増 原 Masuhara	0-13	7.9	26.3	11.4	12.9	1.1	0-13	37
	13-46	8.0	25.6	11.1	16.2	1.0	13-46	42

\* 山本らの報告書には置換性ナトリウム(Na)についての記載なし。

\*\* これらの土壌の容積比重(仮比重)についてのデータは山本らの報告には記載してない。

# ISHIGAKI — GENERAL SOIL AREAS

CLASSIFIED AS TO DOMINANT GREAT SOIL GROUPS



図Ⅱ-4-3 石垣島土壤分布 (from 鎮西ら, 1967)

### (3) 石垣島の土壤・土質

鎮西らや山本らの報告から、石垣島の概略土壤図やその内容を示すと図-Ⅱ-4-3 および表Ⅱ-4-6のとおりである。また、物理的、化学的性質を示したのが表Ⅱ-4-7である。)

表II-4-6 石垣島の土壤（要約）

大土壌群	土壌統	土 壌 の 性 質	母材料及び堆積状態
赤褐色土壌	真栄里	肥沃度中，透水性中，細～微粒質，赤褐色，マンガン沈積物あり，弱酸性～弱アルカリ性，土層浅い	低位段丘のさんご石灰岩上非固結物，残積
	大 浜	肥沃度上，透水性上，細～微粒質，暗褐色～赤褐色，マンガン沈積物あり，酸性～弱アルカリ性，土層や>深い	高位段丘のさんご石灰岩上非固結物，残積
	大浜辻 アイクル	肥沃度中～上，透水性中，粗粒質，暗褐色～褐色，マンガン富む，弱酸性～弱アルカリ性，土層や>深い	さんご石灰岩上非固結物，残積（崩積の影響あり）
	大浜後原	肥沃度中～上，透水性小，粗～微粒質，暗褐色～明黄色，弱酸性～弱アルカリ性，土層や>深い	同 上
黄褐色土壌	平得大俣	肥沃度中～上，排水や>良好，中～細粒質黄褐色，マンガン沈積物あり，弱酸性，土層や>深い	河岸段丘上の沖積
	宮良底田	肥沃度中～上，排水や>良好，粗粒質，灰褐色～黄褐色，微酸性，砂礫層あり	河口の沖積
赤黄色ポツソール性土壌	新 川	肥沃度中～下，透水性中，細～微粒質，赤褐色，強酸性，土層浅い	緩波状地及び丘陵緩傾斜上の石英質岩石（角岩，砂岩，礫岩）及び千枚岩，残積
	新川安嵩原	肥沃度中～下，透水性中，細～微粒質，赤褐色，強酸性，土層や>深い	同 上
	バンナ	肥沃度中～下，透水性小，細～微粒質，黄褐色，強酸性，土層や>深い	同 上
	登野城	肥沃度下，透水性中，中～微粒質，赤褐色，強酸性，土層浅い	洪積世堆積（名蔵礫層）丘陵緩傾斜上残積
	宮良タフナ	肥沃度下，透水性中，中～微粒質，赤褐色，微酸性，土層や>深い	同 上
	川 原	肥沃度下，透水性中，粗～微粒質，黄褐色，弱酸性，土層や>深い	洪積世堆積（名蔵礫層），緩波状地残積
（赤黄色ポツソール性土壌）	大 里	肥沃度中，透水性中，細～微粒質，赤褐色，微酸性，土層浅い	変成岩，緩波状地及び山ろくの緩傾斜上残積
	平久保	肥沃度中，透水性中，細～微粒質，赤褐色，強酸性，土層深い	同 上

	カーラ岳	肥沃度中, 透水性中, 細～微粒質, 黄褐色, 強酸性, 土層浅い	同 上
	白保カンチ	肥沃度中, 透水性中, 粗～微粒質, 黄褐色, 強酸性, 土層や>深い	同 上
	大野	肥沃度中～下, 透水性小, 中～微粒質, 赤褐色, 弱酸性, 土層浅い	安山岩, 山ろくの急傾斜上残積
	野底	肥沃度中～下, 透水性小, 細～微粒質, 赤褐色, 微酸性, 土層や>深い	同 上
(赤黄色ポツゾール性土壤)	川平	肥沃度中, 透水性大, 中～粗粒質, 赤褐色, 微酸性, 土層や>深い	花崗岩, 山ろく緩傾斜上残積
	於茂登	肥沃度中, 透水性中, 細～微粒質, 赤褐色, 微酸性	花崗岩, 山地の緩傾斜及び急傾斜上残積
	登野城嵩田	肥沃度中, 透水性中, 中～微粒質, 黄褐色, 強酸性, 土層浅い	花崗岩, 山ろくの波状台地上崩積
	開南	肥沃度中, 透水性中, 中～細粒質, 黄褐色, 弱酸性, 土層深い	同 上
	川平大嵩	肥沃度下, 透水性大, 粗粒質, 強酸性, 明瞭な溶脱層及び集積層あり	山ろくの高位段丘上洪積世堆積
泥炭質土壤	元名蔵シーラ	肥沃度中, 粗～中粒質, 黒褐色, 弱酸性の水田土壤, 泥炭層あり	低湿地のマングローブ泥炭
沖積土壤	三和	排水不良, 細～微粒質, 灰色水田土壤, グライ層あり	沖積, 河口及び谷間の川沿い
	大浜底原	肥沃度上, 中～微粒質, 排水不良, 灰色～灰褐色, 強酸性水田土壤	沖積, 河川段丘上
	石垣平地原	肥沃度下, 透水性大, 粗粒質, 黒色～黄色, 微酸性～弱アルカリ性, 腐植の集積あり	海成沖積, 海岸平野
	礎辺	肥沃度下, 透水性大, 粗粒質, 灰黄色～暗褐色, 石灰質, 土層や>深い	同 上
	吉原	肥沃度下, 透水性大, 粗粒質, 暗～黄褐色, 土層や>深い	海成沖積, 海岸平野及び丘陵の緩傾斜

表Ⅱ-4-7 石垣島主要土壌の化学的性質及び物理的性質<sup>#</sup>

土 壌 統 Soil Series	深 さ Depth (cm)	P H (H <sub>2</sub> O)	陽イオン置換容量 Cation exchange Capacity (me/100g)		置 換 性 塩 基 Exchangeable bases(me/100) <sup>*</sup>			深 さ Depth (cm)	固 相 Solid phase (%)
			Ca	Mg	K				
新川安嵩原 Arakawa- yasutake- baru	0-10	4.8	8.1	3.8	0.8	0.2	0-10	5 1	
	10-22	6.0	8.2	6.4	1.3	0.2	10-22	5 0	
野 底 Nosoko	0-13	4.7	12.0	3.5	1.7	0.4	0-13	4 3	
							13-33	5 0	
	13-33	4.6	12.2	2.9	1.6	0.3	33-74	4 7	
於茂登 Omoto	0-20	5.8	9.2	4.7	1.4	0.5	0-20	4 5	
							20-30	5 2	
	20-30	4.9	8.1	2.5	0.8	0.3	30-75	4 9	
石垣平平原 Ishigaki- heichibaru	0-22	8.0	15.2	4 1.8 <sup>**</sup>	0.9	0.3	0-22	4 5	
	22-40	8.6	12.7	4 3.8 <sup>**</sup>	1.8	0.1	22-40	5 4	

\* 山本らの報告書には置換性ナトリウム(Na)についての記載なし。

\*\* 此の土壌は遊離炭酸石灰を含んでいる。

# これらの土壌の容積比重(仮比重)についてのデータは山本らの報告書には記載なし。

## 2) 主要土壌・土質の鉱物組成

前述各土壌の含有細砂分の鉱物は、長石類が30%以上、石英1~10%、その他輝石類、角閃石類、磁鉄鉱、燐灰石、カンラン石、ジルコンなどが微量検出されている。<sup>1)</sup>

粘土鉱物については、小林、品川<sup>4)</sup>によれば、次のようにまとめられる(鴨下らの土壌型に対応させて述べる)。

### 岩屑土

- 中、古生層粘板岩に由来する上；1：1型のほか2：1型鉱物の存在もうかがわれ、14A° 鉱物として少量のAlを層間にはさむバーミキュライト、10A°の鉱物のイライト、7A° 鉱物のハロイサイトが認められ、その他にゲータイト、マグネタイトが考えられる。

レンジナ様土

- 島尻層泥岩由来土；14 A° 鉱物としてモンモリロナイト，バイデライト，ノントロナイト型の膨脹型 2；1型鉱物が主で，10 A° 鉱物としてはイライトの存在が考えられる。Mg粘土（14 A°），K粘土（13 A°）などがX線分析によって認められる。
- 島尻層砂岩由来土；パーミキュライト類，イライト，ハロイサイト，ギブサイト，ゲータイトが主要鉱物である。なお，沖縄天然ガス調査団<sup>5)</sup>（地質編にて述べた）によれば未風化の島尻層泥岩，砂岩ともに粘土鉱物組成に大きな変化はみられず雲母粘土鉱物，膨潤性緑泥石，モンモリロナイト様鉱物が主で，一部にハロイサイトを含む可能性がある。

テラロサ様土

- 古生層石灰岩  
硫球石灰岩 由来土；イライト，パーミキュライト，ハロイサイト，ギブサイト，ゲータイトがあげられるが，前者にはハロイサイトの方が多く，後者にはイライト，パーミキュライトが多いようである。

赤色土

- 国頭レキ層に由来する土壤；イライトや14 A° 鉱物が支配的で，他にギブサイト，マグネタイト，ヘマタイトのピークがX線回析結果で認められている。一方大城<sup>6)</sup>はX線分析に沖縄本島の主要土壤統の一次鉱物と粘土鉱物の同定を行っているが，その結果は次表のようにまとめられる。（一次鉱物は砂分（0.002～2 mm）について実施した）

表Ⅱ-4-8 沖縄本島主要土壤統の鉱物

土壤統	母材	採取地点	鉱物組成
中川統	国頭レキ層	金武村中川	一次鉱物；石英がほとんど 粘土鉱物；パーミキュライト（14 A°）を主とするマイカ（10 A°）との混合体，カオリナイト，ギブサイト
糸洲統	硫球石灰岩	玉城村親ヶ原	一次鉱物；石英がほとんど 粘土鉱物；パーミキュライトとマイカがほぼ同割合の混合体，カオリナイト，ギブサイト
具志堅統	粘板岩	宜野座村 松田港原	一次鉱物；石英がほとんど 粘土鉱物；パーミキュライトを主とするマイカとの混合体，カオリナイト，ギブサイト
稲嶺統	泥（灰）岩	首里石嶺硫大農場	一次鉱物；石英，わずかな長石類 粘土鉱物；モンモリロナイト，マイカ，カオリナイト

これらの結果から、沖縄本島の主要土壌統の一次鉱物が殆んど石英だけであること、小林、品川<sup>4)</sup>の土壌中細砂の鉱物組成に関する結果とについてまとめてみると次のようである。

沖縄諸島の土壌は一般に表層土の方が下層土よりレキ、砂の含量が多く、粘土が少ない傾向にあり、若し微細粒子の流亡が考えられない環境下で風化が進行すれば、表層土ほど粘土含量が多く、かつ風化に対して最も抵抗性の強い石英も多く含まれる筈である。

小林、品川らによれば、なるほど、一次鉱物中の軽鉱物は長石類と石英が主体を占めて（重鉱物の量は2%以下）おり、一般に長石は30%以上、石英は1~10%程度とあるが、石英は表層土の方が多く下層土に少ない傾向にある。

したがって、表層土は粘土分が少ないのに、石英が多い事実は、表層土が下層土より風化が進んでいるが、沖縄諸島の気象条件すなわち激しい降雨などによって表層土中の微細分流亡がその原因であると考えられる。また、長石類では風化が進みがちで、風化分解しやすいCa長石は少なく、Na,K-長石類が細砂の一次鉱物の主体を占めているようである。

一方、大城によれば、砂(0.05~2mm)、微砂(0.002~0.05mm)の両方について行なったが両方とも同様の結果が出ており、かつ、表層土、下層土の対比においても同様の結果を得たとしている。

両者のちがいは、サンプリングスポットおよびサンプリング、テストの条件によるものと考えられるが、何れにしても風化が進行してゆけば石英がやはり第一位を占めるものとして沖縄諸島土壌と風化状況との関連を留意すべきであろう。

なお、大城の結果から沖縄諸島の主要土壌統の第一次鉱物組成は石英が主体であること、粘土鉱物が互いに類似していることから、これらの土壌がきわめて類似した母材に由来しているとし、とくに琉球石灰岩を母材とする糸洲統（島尻マージ）と国頭レキ層を母材とする中川統（国頭マージ）—たゞしマイカとパーミキュライトの混合体の割合にちがいが認められている—がきわめて類似していることに注目し、これまで島尻マージを単に石灰岩風化残積土と考えていたことに疑問を提起している。このことについては、沖縄の島々の生成を考え、古い時代の粘板岩、片岩、千枚岩、砂岩、石灰岩がその後の岩類土質の生成（島尻層、琉球石灰岩、国頭レキ層）に種々の影響を与えていることに関連があると思われる。

以上主として農学関係者による“農業土壌”についての化学組成、鉱物組成等に関して述べてきたが、土質工学の立場からの同様資料は現在非常に少ないのでこれ以上のことは述べられないのは残念である。たゞしかし、島尻層構成層（泥岩土、砂岩土、凝灰岩）については天然ガス調査団<sup>5)</sup>の調査によりほゞ明らかにされており（地質の項で述べた）、また、筆者の関係試料土（京大土質力学研究

の御好意などによって)についてのチェックからもほゞ類似の化学的性質，鉱物組成を得ているので，風化の条件(表層土壌)を考慮しつゝも，地質的条件等を一にするものとして，沖縄の“土質”について同様に考えて大きなちがいはないものと思う。なお，これら性質については後に各土関連の項で述べることにする。

### 3) 日本統一土質分類法の適用

建設材料としての土の分類上の位置づけと地盤(mass)としての土の工学特性とについては土質工学における車の両輪のようなものである。したがって，これらの資料を集め，より合理的な“土地利用”を検討することは，それぞれの地域の開発計画および実施における基礎資料として不可欠の条件といえよう。すでに述べたように，沖縄の現今の開発行為(建設事業)は急速にすゝめられている中でやはりこれら資料の不足不備は建設当事者にとって悩みの種であることは申すまでもない。このようなことから，筆者自身のこれまでの沖縄地方における土の分類，地盤の性状等に関する調査研究の成果はもちろんのこと，他の調査資料などをもふまえてこゝに総括を行ないたいと思う。以下，沖縄の主要島々の土の分類に関連しての問題と地盤の問題とを主にして論述する。

沖縄諸島に分布する土は，その地質的条件等からおゝよそ次のように大分類できる。

- 古生層・中生層由来の土層；A. 古生層石灰岩および粘板岩，砂岩，千枚岩，片岩，頁岩などの風化残積土  
沖縄島北部，石垣島，西表島の山岳地帯に分布
- 新生代岩層由来の土層；B. 第三紀層—島尻層(泥岩，砂岩)の残積土，沖縄島中南部  
宮古島の一部地域に分布
- C. 第四紀層—石灰岩およびその残積土 各島々に分布
- D. 第四紀層—国頭レキ層土，沖縄島中北部，石垣島(名蔵層)西表島(段丘レキ層)に分布
- E. 沖積層—砂泥土で各島の河・海領域に分布

これらの土質の中でこれまで建設工事にかゝわり，かつある程度層厚があつて広い分布をもつものはまた限られており，したがって調査研究の対象としてとりあげられるものは，深層，基盤的なものを除くと次の4種となり，こゝでも主としてこれらの土について述べられることになる。

#### ○ 島尻層泥岩土

- 島尻層砂岩土
- 国頭レキ層（同類）土
- 石灰岩（コーラルリーフロック）  
及びサンゴ砂利

このうちコーラルリーフロックおよびフィンガーコーラル（サンゴ砂利）は沖縄特有のいわゆる特殊土<sup>7)</sup>というべきもので本来のSoilsとは別に考えている。

以上、沖縄諸島の主要“土質”の存在を考慮に入れつゝ、沖縄の土、とりわけ“細粒土”（日本統一土質分類上の細粘土としてではなく、 $2,000\mu$ フルイ通過分を指す）について、主として物理的性質等を調べ、日本統一土質分類（1973年土質工学会規準）に照らして検討を行なうこととする。サンゴ砂利とコーラルリーフロックについて項をあらためて述べる。

土の物理的性質を調べるのは、主として土の判別分類のためであり、土粒子の比重試験、粒度試験、コンシステンシー試験などの手段があげられる。その他に、土の状態を知るための物理量試験（含水量、間ゲキ比、単位体積重量 etc.）もあるが、ここでは対象としないことにする。物理試験だけではないが、それぞれの試験にはその目的や役割があり、これら試験の方法及び結果の評価、適用についても種々の問題があることはこれまでも土質試験法の問題点として多くの指摘がなされている<sup>8)</sup>のは周知のとおりである。

沖縄では、特殊事情下にあつて、米国方式（ASTM procedures）と日本方式（JIS）とが米軍、民の間で用いられていた事実にかゝがみ、また、米国の文献などをみる場合においても、特に細粒土の判別分類のためのコンシステンシー試験結果（とりわけ液性限界試験装置のちがい）の影響はしばしば問題となった。したがってこの点に着目して、欧米でもすでに報告があつたが、沖縄の土を試料として液性限界試験および関連事項について検討を試みた。

(1) 器具の相違による液性限界値（以後 L. L. 値と称す。）ちがいについて<sup>9)</sup>

試験器具 1. 日本 M. T. 社 製品 液性限界測定装置 JIS A 1205 適用

2. 米国 S. T. 社 製品 Stanclarel Liquid Limit Device

ASTM D-123, AASHTO T-89 適用（図 II-4-4 参照）

おもなる相違点

① 硬ゴム台

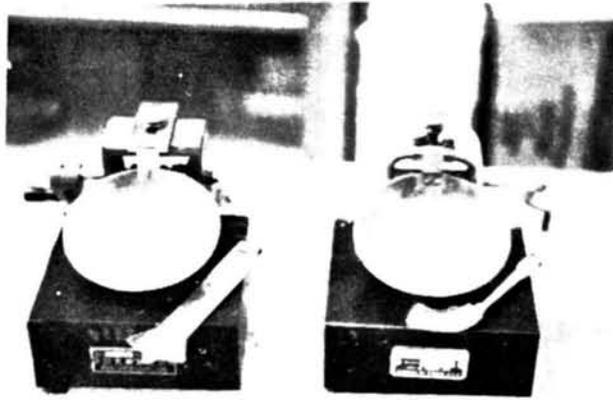
S. T. 製品は非常に硬く、爪あとがつかない。

単に Hard Rubber との標示があるが、反撥力大で、真鍮皿の落下音が高い

M. T. 製品は爪あとが付き、落下音はにぶく、BS規格21～25ゴムを使用との表示あり。

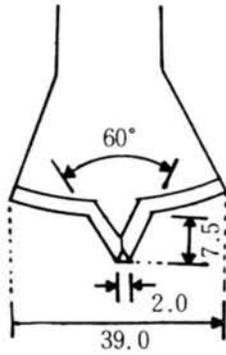
② ミゾキリ

S. T. 製品は三角形断面をなし、試料土を側方に押し

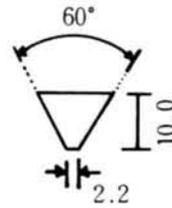


Liquid Limit devices.

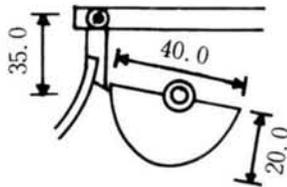
Left: JIS type Right: ASTM type



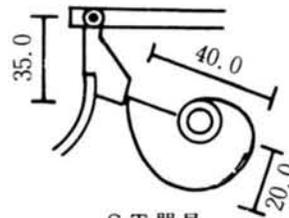
MT 器具  
(JIS)



ST 器具  
(ASTM)



MT 器具



ST 器具

Dimensions of grooving tools and cams (mm)

図 - II - 4 - 4 液性限界測定装置

分け（ミゾ面に圧力がかゝる）てミゾをつくる。

M. T. 製品はカサグランデ提案の平板形をなし、試料土をひきさくようにしてミゾをつくるのでミゾ面が乱されがちで、ソ性度の低い土に対して正しくミゾをきることが困難な場合が多い。

### ③ 真ちゆう皿および衝撃装置カム

S. T. 製品は重量 175.3 g にて、皿底はやゝ深く丸味を帯び、皿の傾斜角度は約70度である。

M. T. 製品は重量 178.1 g にて、皿底はやゝ浅く、傾斜角度は約75度である。

なお、カムの形状は図のように異なっている。

### i) 試料土及び試験方法

試料土は沖縄本島の南，中，北部地域の原野または畑地の地表面下 .5~1.0 m の位置でサンプリングし、実験室で気乾し JIS A 1201改訂案（土質工学会土質試験法 昭39年版<sup>11)</sup>）にしたがって試料調整を行なった。

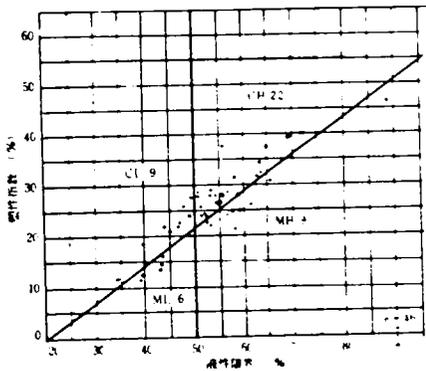
試験方法については、JIS A-1205<sup>11)</sup>と ASTM D-423-54<sup>12)</sup>では、その方法の細部<sup>8)</sup>にあって規定の差異がある。このちがいは試験結果に及ぼす影響が大きいので、本研究では、両器具の装置上のちがいによる試験値のちがいを先ず比較するために根本的には JIS A-1205 の方法に準じつゝも次のような条件を加えて試験を行なった。

- ① 多くのためしねりののち、最初の注水量をできるだけ40ccとし、やむをえぬ場合に、粘性の高低によって50ccあるいは30ccとする。
- ② 最初の注水後5分間よくねり合わせ、以後落下回数が30付近でミゾが約15 cmとじるような状態になるまでは、毎回2ccずつの水を追加して2分間ねり合わせる操作をくりかえす。
- ③ ②の操作後30分間、しめった布でおゝって放置する。
- ④ 測定は、これまでの例からみて、流動曲線が直線となるようできるだけ落下回数を15~35の範囲で行なう。
- ⑤ ミゾキリは手前にひくようにして動かす。

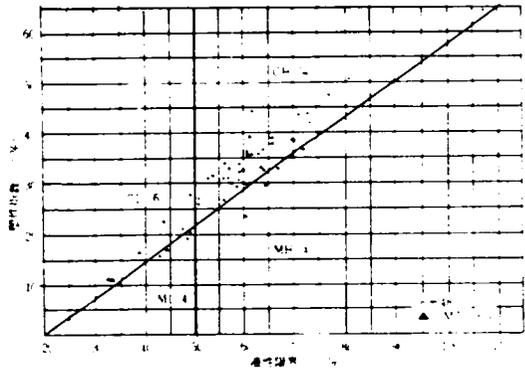
なお、塑性限界は JIS A-1206 にしたがって測定した。

### ii) 試験結果の検討

試験結果をカサグランデの塑性図にプロットしたのが図-Ⅱ-4-5である。ゝる。



a) Plasticity chart (by ST.)



b) Plasticity chart by MT.

図-Ⅱ-4-5 カサグランド塑性図による分類

③ 塑性図上での土の分類結果におよぼす影響

図Ⅱ-4-5から、器具の相違によって土の分類結果に変動を生じていることがわかる。絶対的な傾向として、M.T.製器具を使うとL.L.値が高くなり、したがってシルト質土や塑性土の低い粘土というものが塑性土の高い粘土の部に移動している。その内訳は表Ⅱ-4-9の通りである。

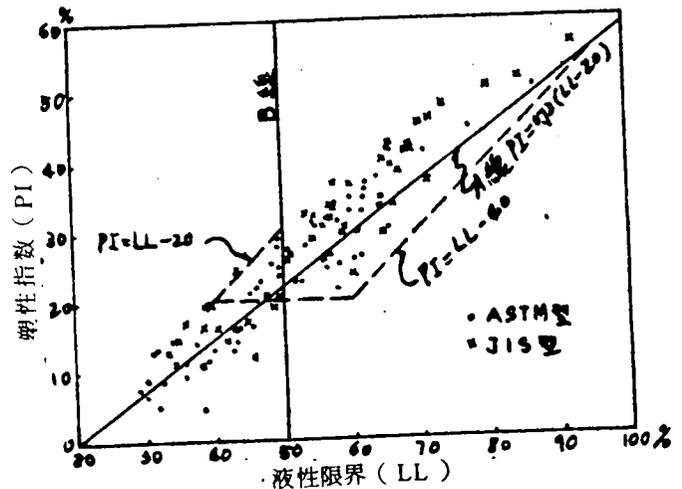
表Ⅱ-4-9 分類結果

器具	全体	CH	CL	MH	ML
ST	46	22	9	9	6
MT	48	34	4 (6)	4	4

これから、吾々がASTMに準じた外国の報告に接する時は、L.L.値の割引き、したがってせん断強さの割増<sup>13)</sup>を考慮に入れるべきであることがわかる。

さらに後日の試験結果<sup>10)</sup>で、土の分類上の移動の状態について検討した結果をつけ加えると、次のようなことが言える。(右図参照)

土質の型(分類上の位置づけ)が試験器具の型により、CLからCHへ、MHからCHへ、MLからCHへ、MLからCLに変化している。さらに変化



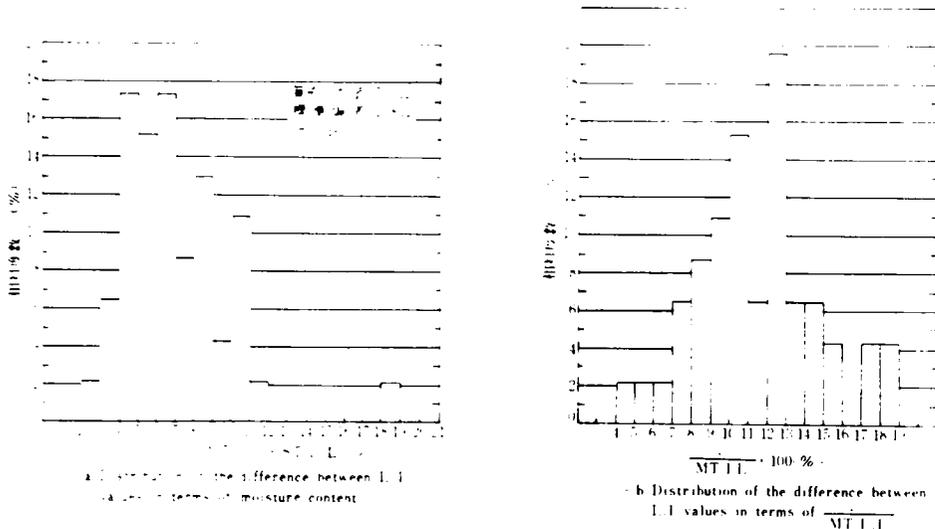
はなくとも塑性図上プロットの移動が認められる。移動の方向は、全般的にA線傾斜角より急な方向へ移動して(したがってCH方向への移動)いる。

これは、先にも述べたようにJIS型式によるL.L.値がASTM型式によるそれよりも大きくなっていることに起因している。

注)今回はC'Hに相当する範囲をPI = LL - 40としてみたら、ほとんどがその範囲内にあった。

b) L.L. 値差の検討

図-Ⅱ-4-6に、両器具による液性限界値の差およびM.T.器具のL.L.値に対する差率の分布をヒストグラムで示してある。試料数が少ないので、いずれも



図Ⅱ-4-6 L.L.値差の分布

凹凸がみられるが、一応正規分布的性格をもっている。これまでの報告例<sup>13)</sup>のように、単に差についての平均値および標準偏差を計算してみると、次のようになる。

$$\text{平均値} = 7.012 (\%)$$

$$\text{標準偏差} = 2.812$$

中にはかけはなれた値もあったが仮設検定の結果それらを除外する必要はなく全体について95%信頼区間はt分布表を使って

$$7.012 \pm 0.838 = \begin{cases} 7.850 (\%) \\ 6.174 \end{cases}$$

となった。

L. E. J. Norman<sup>13)</sup>によれば、ゴム台のみの相違による場合Micarta Base と B.S. 1377 BaseのL.L.値のちがいは、含水比で3~4%となっている。また J. E. Mitchell<sup>14)</sup>によれば、ASTM型ミゾキリはカサグランデ型よりもミゾを深くきり、低いL.L.値を与えている。一方、M. D. Morris<sup>15)</sup>らによれば、ASTM

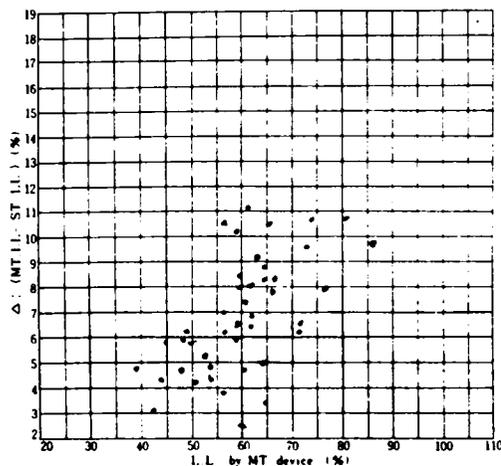
型ミゾキリとHard rubber の組合せは、カサグランデ型ミゾキリとHard rubber baseの組合わせよりも、平均約4%低いL.L.値を与えている。<sup>\*</sup>

※Norman はB. S. 規格器具でL.L. = 41.0~72.0%を、Mitchell はカサグランデミゾキリを使って、L.L. = 18.5~49.0%の土を、Morris らはカサグランデミゾキリとHard rubberの組合わせでL.L. = 16.0~59.0%の土を試験した。

とは言え、カサグランデ<sup>16)</sup>も指摘しているように、ゴム台やミゾキリ以外にも、L.L.値の変動を生ずる要因は多く、たとえば、液性限界測定値自体のバラツキも問題を含んでいる。J. Feda<sup>17)</sup>らによれば、L.L.値が30~35%の試料を使ったTesoriereのくり返し測定で、平均変動係数は3.3%(max. 6.72%, min. 0.65%)、L.L.値が84.6%と54.8%の試料を使ったKohoutekの測定では、平均変動係数3.56%となっている。

そこで、たゞ単に、両器具の差の平均値を問題にするよりも、各種の土に対して総体的なとらえ方として、M.T. 器具によるL.L. 値に対する両器具のL.L.値の差の関係をプロットしてみた。当然L.L. 値の個人差の問題<sup>18)</sup>もあるが、こゝでは同一人のテスト結果のみから判断した(下図参照)。この方法によれば、L.L. 値の高い土ほど両器具のL.L. 値差が大きくなる傾向があり、全体として次のような関係式が見出される。

土の液性限界に伴って変化する両器具の値の差 →



$$\Delta = 0.133 \text{ L.L.} - 1.018$$

但し、 $\Delta$  = 両器具L.L. 値の差 (%)

L.L. = M.T. 器具によるL.L. 値 (%)

以上のことから、液性限界試験については、すでに述べたように種々の問題が提起され、現行試験法の不備など指摘されているものゝ、土の分類等現行試験装置および規定に準じて実施されている今日、米国などの文献におけるL.L. 値に対する認識を再確認しておく必要がある。

## (2) フォールコーン法の適用について<sup>10)</sup>

上に述べたような現行液性限界測定装置による方法に代わってフォールコーン試験装置による液性限界相当値を求める方法が提唱され、従来方法によるL.L.値とこのコーン貫入試験方式による試験値との比較対応がなされ、比較的良好一致することが知られている。<sup>19)</sup> この方式はスウェーデンで古くから行なわれ、容器に詰めた試料土中にコーンを自重で貫入させて、その沈下量を測定する。その沈下量がちょうど10mmであるような含水量をその土のファイネスナンバーFと称して、従来の液性限界と対応させるのである。

わが国でもこのフォールコーン型方式の実験的研究が箭内、西電、<sup>20)</sup>ほかによってなされているが、本研究では下記のような市販の装置を用い、沖縄本島内の試料土(自然乾燥させたもの)について、JIS方式との対応を試みた。<sup>10)</sup>

### ○装 置

コーン先端角 ; 60°, 90°

コーン重量 ; 60g<sup>1)</sup>で100gに調整できる分銅付属

容器寸法 ; 上縁直径6cm 底直径5cm 深さ2.5cm

ダイヤルゲージ ; 100分の1mm

### i) 方 法

試料を試し練り、最初の注水量を粘性の高低に応じて30ccから50ccの範囲にする。注水後は30分間しめった布でおくって放置する、次にスパチュラで試料を容器につめ、上面を水平にならしてコーンを試料面に接して固定する。次に自由落下によるコーンの貫入量をダイヤルゲージで読みとる。この場合貫入量が7mm~13mmの範囲で10mm前後になるような2つの異なる含水比でテストし、10mmのときの含水比をもってファイネスナンバーとした。

### ii) 結果及びその検討

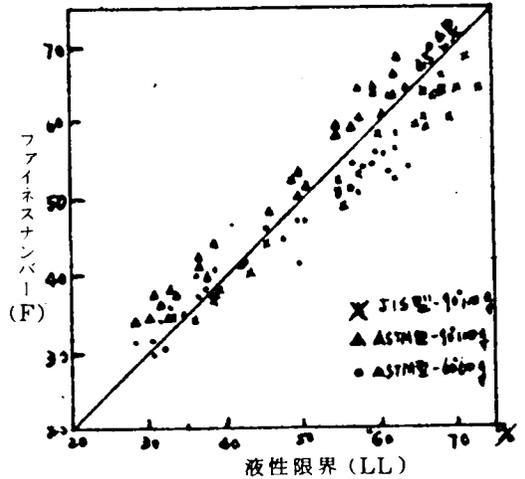
試験結果は、下記のような対比で図Ⅱ-4-7に示してある。

(i) ASTM型 ↔ 60°, 60g<sup>1)</sup> コーン

(ii) JIS型 ↔ 90°, 100g<sup>1)</sup> コーン

(iii) ASTM型 ↔ 90°, 100g<sup>1)</sup> コーン

図から、従来方式によるL.L. 値とファイネスナンバーの相関性が認められるが、(i),(ii)のケースに比して(iii)のケースが比較的良好一致しているようである。もっとも北郷ら<sup>21)</sup>によるとJIS型とフォーコーン90°, 100φFの場合がよく一致するようであるが、容器などの相違もあって、本研究の結果とは直接比較することはできない。



図II-4-7 LL-F比較

(3) 一点法の適用について<sup>9)</sup>

一点法については、カサグランデの発議以来、米、英、カナダなどで検討され実用化しているところもあり、わが国でも、藤本<sup>22)</sup>、横瀬<sup>23)</sup>、柳瀬<sup>24)</sup>らの報告があってその精度は良好のようである。本研究では、沖縄の土に対する一点法の適用性を前章のデータを利用して器具別に検討した。一点法は大別して三つの型に分けられる<sup>25)</sup>が、こゝでは最も多く使われている次式についてのみ検討した。

$$W_L = W_x \left( \frac{N_x}{25} \right) \tan \beta$$

但し、 $W_L$  = 一点法によるL.L. (%)

$W_x$  =  $N_x$  に対する含水比 (%)

$N_x$  = 測定された任意の打撃回数 (回)

$\tan \beta$  = 両対数紙上の流動曲線の傾度

カサグランデによれば、一点法は共通な地質学起源の土について有効であり、また、有機質土や火山灰土のあるものには適用しがたいとも言われている。しかし、米国Waterways Experiment Station<sup>26)</sup>や藤本ら<sup>22,24)</sup>の報告から一概にそうとは言えないようである。したがって、こゝでは全試料について一点法が適用可能として算定を行なった。勿論、資料数が多いほどその精度はよくなるが、後述のように、少ない資料でもかなりよい結果が得られた。

i) 実験式の決定

実験式に採用する  $\tan \beta$  の代表値を表わすのに、算術平均、幾何平均、モード、メディアンなどがあるが、こゝでは、算術平均をとり、標準偏差と共に表-II-4-10に示す。これから、実験式は次のように表わされる。

表 II-4-10  $\tan \beta$  の比較

器具	資料数	$\tan \beta$ 平均値	標準偏差	95% 信頼区間
ST	46	0.130	$\pm 0.070$	0.151~0.109
MT	48	0.098	$\pm 0.055$	0.114~0.082

S. T. 製器具の場合

$$W_L = W_x \left( \frac{N_x}{25} \right) 0.130$$

M. T. 製器具の場合

$$W_L = W_x \left( \frac{N_x}{25} \right) 0.098$$

ii) 結果の検討

(1)  $W_L$  と  $I_f$  の関係

一般に、一点法が適用できる土は、L.L. と流動指数との間に相関関係がみられると言われているが、これも必ずしもそうとは言えないようである。<sup>22,24)</sup>

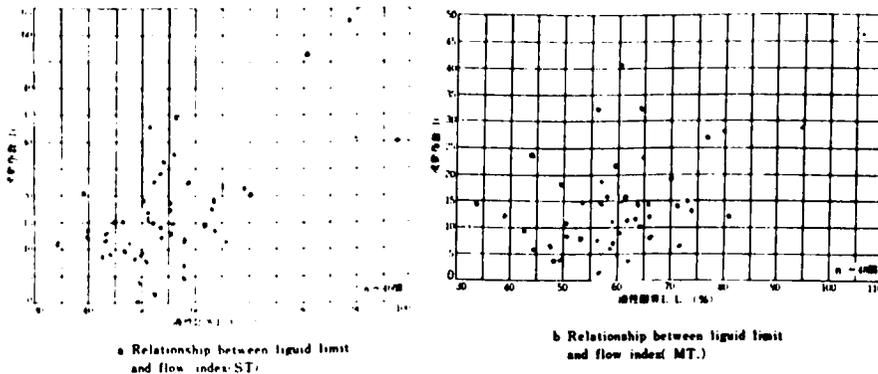


図-II-4-8 液性限界と流動指数との関係

本実験についても図-II-4-8 に示すように、その明確な関係はみられないしかしその精度は良好であった。

(2) 全試料の  $\tan \beta$  の分布

全試料について、その相対度数の分布を示すと図-II-4-9 のようになる。いづれもある程度の凹凸がみられるが、一応正規分布をなしているものと考えてよからう。

(3) 標準試験値と一点法値との誤差

標準液性限界試験によるL.L. 値との間には，当然誤差が考えられ，その誤

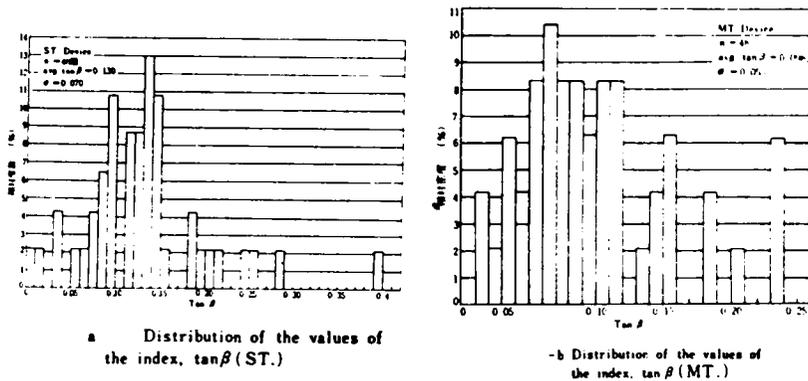
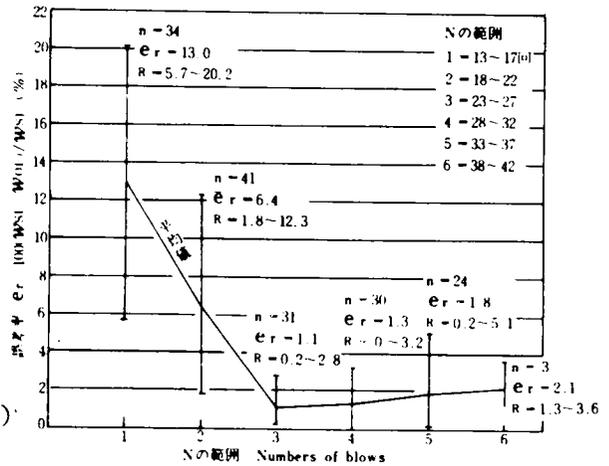


図-II-4-9  $\tan\beta$  のヒストグラム

差は液性限界の定義から25付近で小さく，それより落下回数が増えるかまたは減るかにしたがって誤差も大きくなることは想像に難くない。

a Errors of  $W(\frac{N}{25})^{0.13}$  L.L. values (WOL) from standard L.L. test values (W<sub>SL</sub>) (ST.)



b Errors of  $W(\frac{N}{25})^{0.098}$  values (WOL) from standard L.L. test values (W<sub>SL</sub>) (MT.)

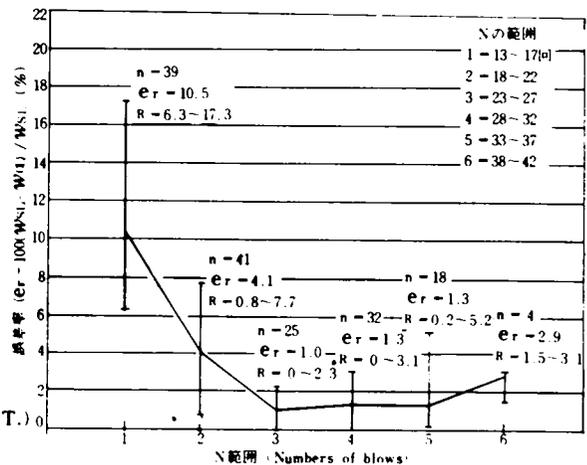


図-II-4-10-a, b 標準試験値と一点法値との誤差

図-Ⅱ-4-10 に、この関係をプロットしてあるが、誤差率はこれまでの報告例にならって、

$$er. (\%) = 100 (W_{LS} - W_{OL}) / W_{SL}$$

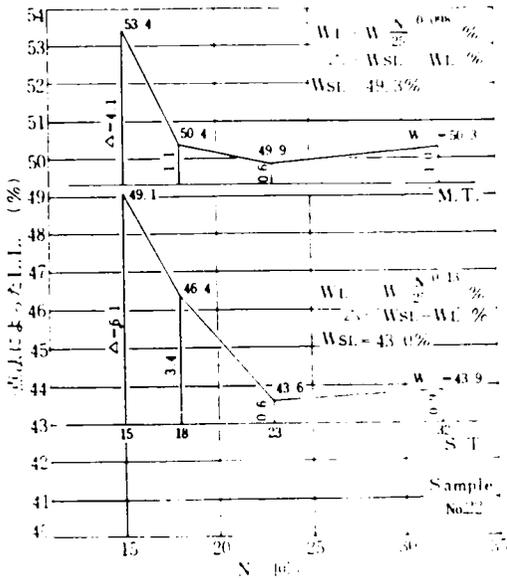
但し、 $er$  = 誤差率 (%)

$W_{SL}$  = 標準試験 L.L. 値 (%)

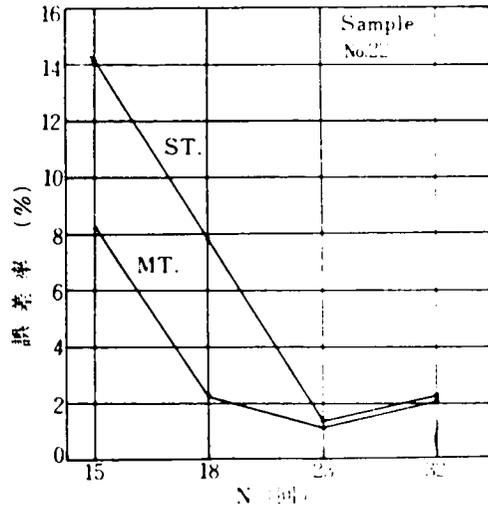
$W_{OL}$  = 一点法 L.L. 値 (%)

とした、落下回数  $N$  の範囲を① 13 ~ 17、② 18 ~ 22、③ 23 ~ 27、④ 28 ~ 32、⑤ 33 ~ 37、⑥ 38 ~ 42 の 6 グループに区切り、各範囲の中にある全試料の誤差のバラツキおよび平均値を調べてみた。

図から明らかなように、 $N = 25$  付近③を最低にして、両者とも  $N$  が大きくなっても小さくなくても誤差率は増加している。その増加の度合いは、 $N$  が小さい側では非常に大きく、 $N$  が大きい側では小さい。しかもそのバラツキの程度も同様な傾向を示している。また、器具の相違による誤差率のちがいも見出される。この誤差率は  $N = 20 \sim 30$  の範囲ならば 3% 以内におさえられ、標準試験値の各種要因によるバラツキを思えば、納得できるものと考えてよかろう。また、両器具の落下回数がたまたま一致しているサンプルを取りあげて、一点法による L.L. 値と各落下回数に対する誤差、誤差率と落下回数との関係をプロットしたのが、図Ⅱ-4-11である。



a) Differences of one-point method L.L. values for different numbers of blows



b) Errors of one-point L.L. values from standard L.L. test values for numbers of blows

図-Ⅱ-4-11 一点法による結果

これらから、両器具とも先に述べたような、同傾向をもっており、Nが25前後では、器具の相違によるちがいはあまりみられない。

次に、実験式決定に用いなかった資料について、標準試験によるL.L値と実験式を使って得たL.L値との関係をプロットしたのが図-Ⅱ-4-12である。

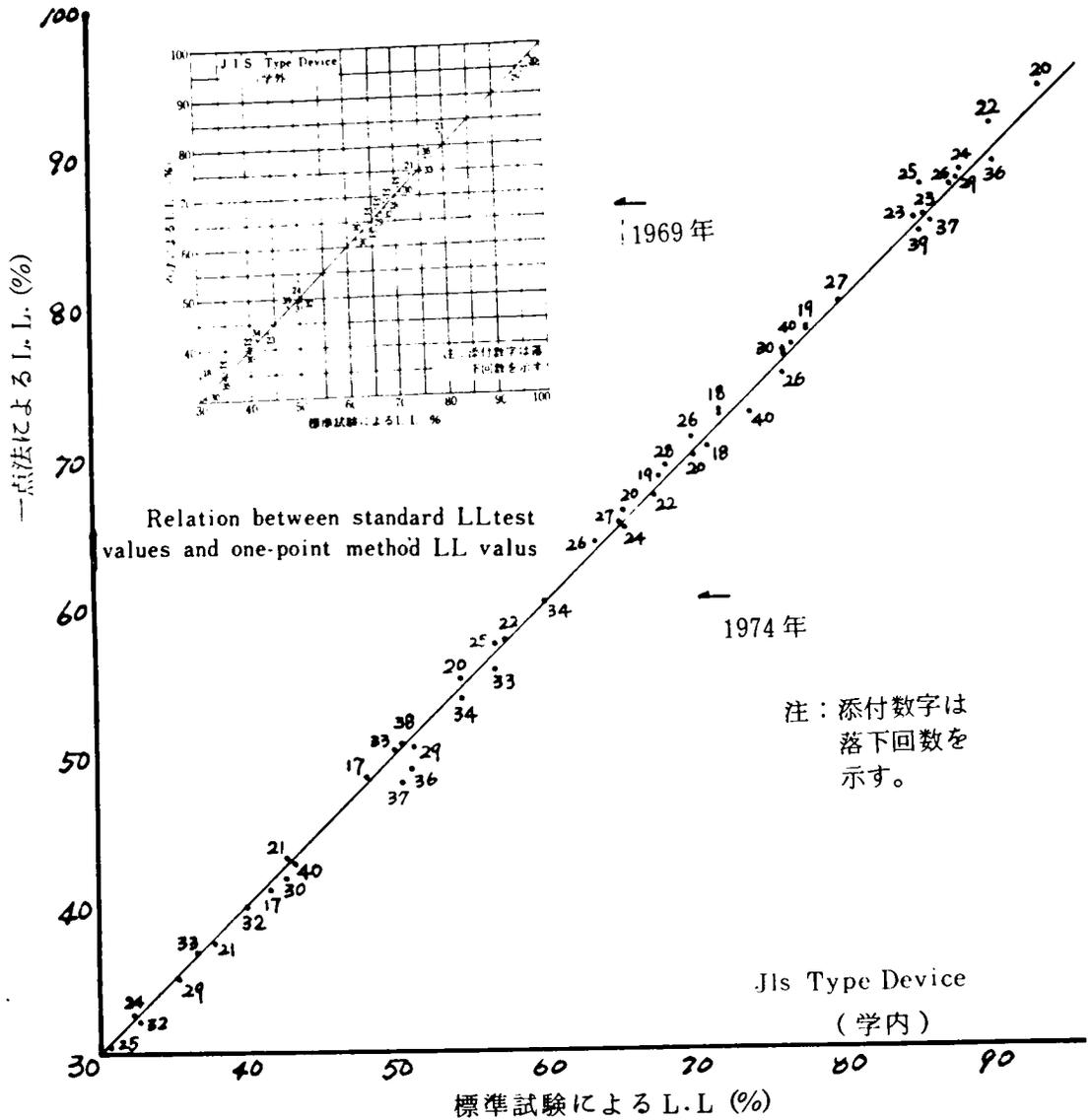


図-Ⅱ-4-12 一点法による結果の検定

図Ⅱ-4-12はJIS型器具を使った学内外の資料によるものである。いずれも、落下回数は、なるべく20から40の範囲のものを採用して計算した。これらの図から、落下回数を適当にとれば、本実験式を適用してかなりよい結果が得られるよ

うである。落下回数のとり方でも、Nを25以下にとるよりはNを25以上にとった方が、精度はよいようであるが、今後資料数をふやして確認してゆきたい。

なお、一点法の適用においては、これまでの報告からみて指数  $\tan \beta$  の値はその大きさによって、ASTM type と B. S. type とに大別され、沖縄の土の場合、ST製器具を用いれば値がやはり大きくて ASTM type に属し、MT製器具 (JIS型) を使えば値はやゝ小さく B. S. type に属することがわかる。このことから、一点法の適用は、試験装置および方法に関する考慮の必要があろう。

#### (4) 土の分類について

「世界各地に分布する広範囲の各種の土や地盤が、土質工学の対象として扱われ研究され、その結果が情報として流布されるとき、どんな土を扱ったときの経験であり、研究であるかを正確に伝えないとその情報は無益であるばかりか、有害さえある。そのようなわけで、土や地盤に関する経験も、その後の設計や工事に役立てるために、土質や地盤の分類が古くから行なわれてきた。」<sup>27)</sup>こゝでは、上記の趣旨をふまえ、さらに土質工学会「土の判別分類法委員会」の調査研究の成果である「日本統一土質分類法 (土質工学会基準昭48)」に基づいて、これまで沖縄でも多く用いられてきた「アメリカ式」三角座標分類、統一土質分類による土質分類を再検討し、かつ不十分な、あるいは未知の土の分類・分布状況を明らかにしてゆこうとする作業の成果を述べる。もっともこの総括作業はこれからも継続され、追加、修正、充実されなければならないものである。特に今後、沖縄の開発行為がすゝめられ (これまでも不十分な資料・情報の中で工事遂行がなされてきたが) 中で、是非とも必要な情報であることは言を待たない。

##### 1) 試料の採取および試験方法

試料の採取方法としては、深さ約50cmまでの表土を除去し、その下から約2～3kgの土を採取してビニール袋に入れて持ち帰った。

但し、ショベル等で掘削困難なところは深さ20～30で採取した。実験室に持ち帰った試料土から、たゞちに含水比を求め、これを一応自然含水比とした。残りの土を室内で自然乾燥させて土粒子の分離をはかり、2000 $\mu$ および420 $\mu$ フルイを用いてふるい、前者を比重試験および粒度試験に、後者を液性限界試験に供した。各試験方法は土質工学会「土質試験法」(昭和48年版)に原則として準拠したが、次のような点をつけ加えたい。

- ① 比重試験の試料土は2000 $\mu$ フルイを通過した試料である。
- ② 石灰岩系風化残積土の粒度試験では綿毛化を防ぐためケイ酸ナトリウム結晶の代わりにトリポリリン酸ナトリウム1%<sup>1)</sup>を添加して実施した。

注； 米軍関係ではこの方法を実施してきた。また宮城の報告<sup>28)</sup>でも比較的よい結果を得ている。

③ 液性限界試験においては、ためしねりし、最初の注水量を粘性の高低に応じて30～50ccの範囲にし、注水後30分間湿った布でおおっておく。

ii) 試験結果および検討

比重および粒度特性については、表 - II - 4 - 11 ~ 13 に筆者らの試験結果<sup>29)</sup>に補って資料として沖縄県材料試験所のデータ<sup>30)</sup>を添えて表示した。

なお、粒度試験結果は日本統一土質分類法三角座標による分類のほか、旧試験法三角座標による分類(カッコ内表示)をも行なった。また、他からのデータは必ずしも2,000μフルイ試料土についてのみの試験結果ではないので以下検討の対象とはしない。

なお、参考のために、図 - R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> に日本統一土質分類基準および旧三角座標をかかげてある。

粒徑の区分とその呼び名(日本統一分類法)

	1φ	5φ	71φ	0.42mm	2.0mm	5.0mm	20mm	75mm	30cm
呼び名	粘土	粉土	細砂	粗砂	粗みき	中みき	粗みき	粗みき	粗みき
旧分類法	粘土	粉土	細砂	粗砂	粗みき	中みき	粗みき	粗みき	粗みき
土質材料	土質材料						岩石質材料		

(a) 土質材料の粒徑区分による粒子名を意味するときは、上記の区分名に「粒子」という言葉をつき、上記の粒徑区分の構成成分を意味するときは、上記の区分名に「分」という言葉をつき、区分名・土質名と区別する。  
 (b) 土質材料の71φ以下の構成成分を「細粒分」、71φから75mmまでの構成成分を「粗粒分」という。

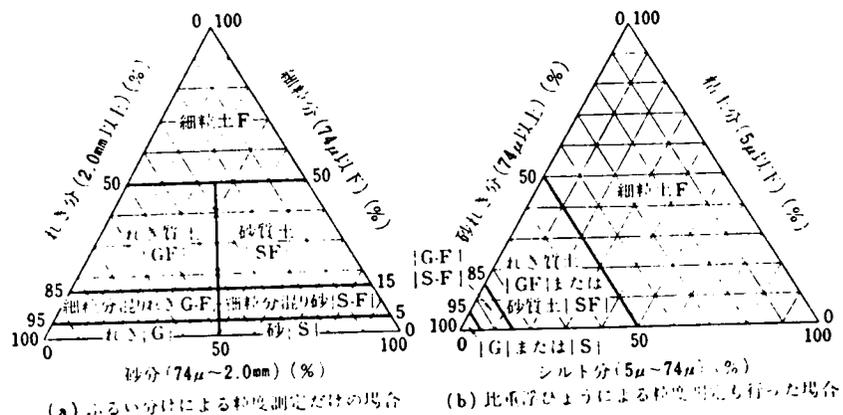
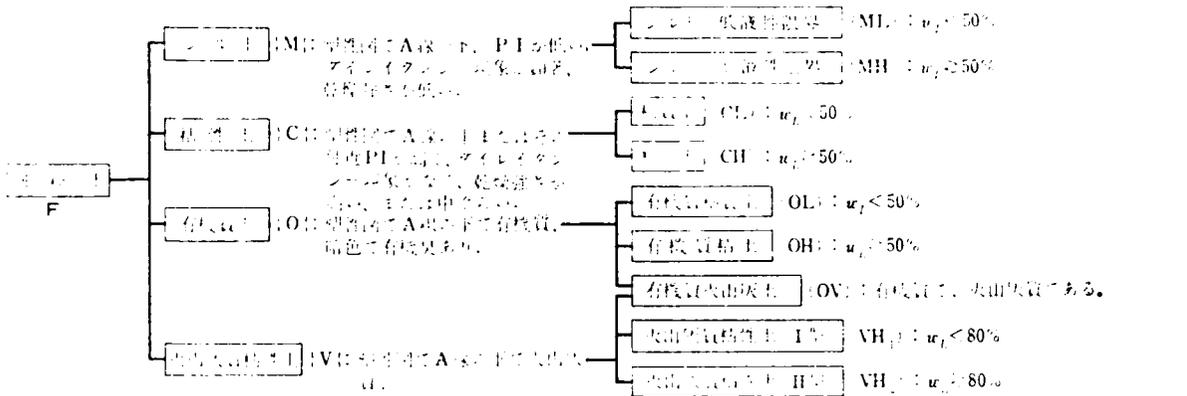
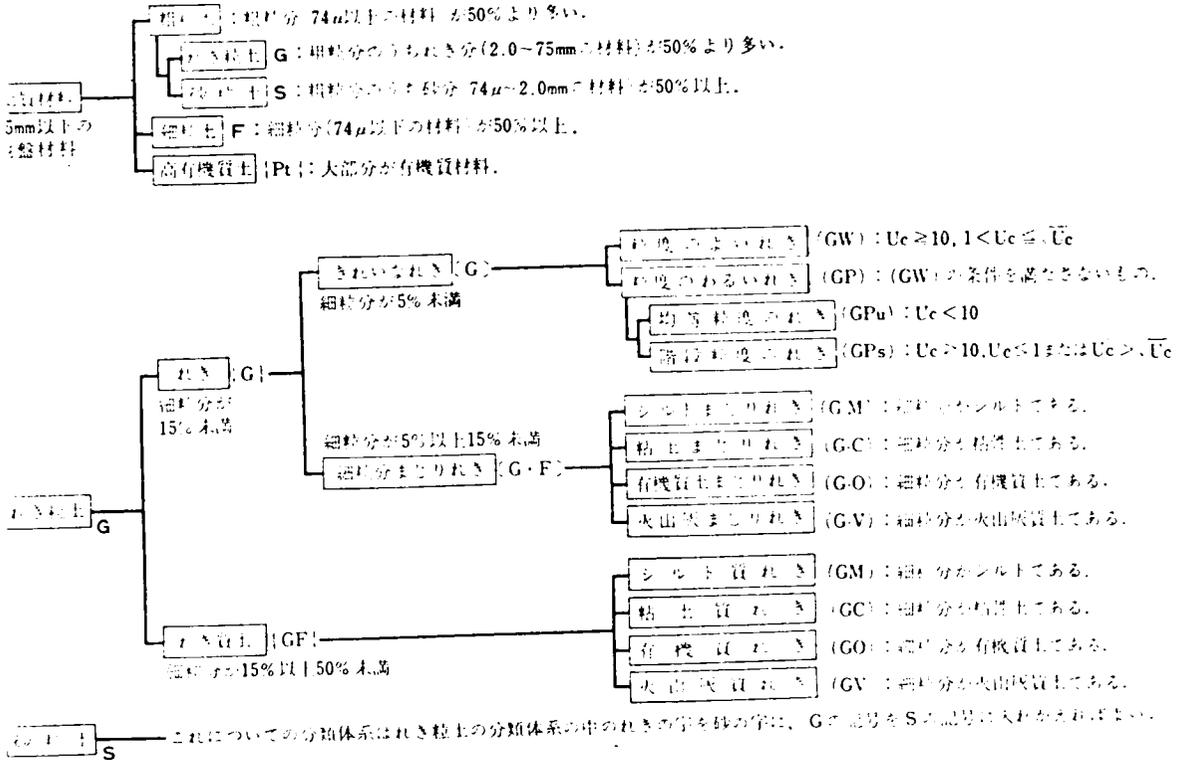


図 - R<sub>1</sub> 日本統一土質分類基準

日本統一分類法の分類基準



- 注1: 本分類体系は、空溜り以外の土で、 $w_L$ と $w_p$ の両方から土質を分類するのではなく、液性限界のみに基づいて土質を分類することである。
- 注2: (GF)土質の記号は、分類記号の組合せは、(G・F)の組合せから成る。A級土W、P土質の記号から、(GW)、(GP)、(GPa)などとなることである。(S・F)の記号も同様の記号の場合には適用される。

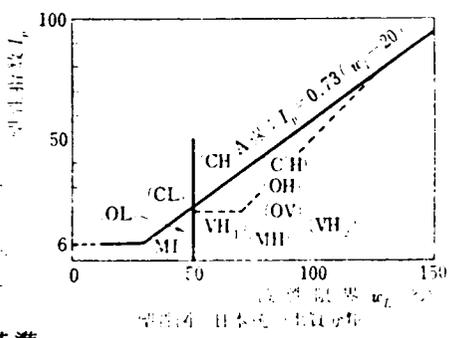


図-R2 日本統一土質分類基準



表-II-4-11 沖縄島の土の粒度試験結果

試料 番号	採取地 市 町 村	比重 GS	レキ分 (%) 2,000 $\mu$ 以上	砂分 (%) 74~ 2,000 $\mu$	シルト分 (%) 5~74 $\mu$	粘土分 (%) 5 $\mu$ 以下	均等 係数	曲率 係数	日本統一分類 三角座標	地 層
北部 (石川市, 嘉手納村以北) 地区										
1*	国頭村 半地	2.79	69.2	19.9	6.4	4.5	157.1		[G・F]レキ	名ゴ層
2	" 辺土名	2.77		30.3	39.0	30.7	27.1	0.85	F (e)	"
3	" "	2.72		56.0	24.0	20.0	67.3	0.51	{S・F} (d)	"
4	" 辺土岬	2.81		27.9	18.9	53.2		-	F (a)	"
5	" 辺土~奥	2.80		55.2	25.1	19.7	70.4	0.29	{SF} (b)	"
6	" 伊部	2.76		33.5	30.6	35.9		-	F (a)	"
7	" 伊江	2.73		55.5	25.7	18.8	137.0	0.30	{SF} (h)	"
8	" 楚州	2.72		71.1	15.7	13.2	60.4	1.84	{SF} (b)	"
9	" 安田	2.81		15.2	14.8	70.0	-	-	F (a)	"
10	" 安良	2.76		42.1	23.9	34.0	-	-	F (a)	"
11	" 新	2.75		34.3	21.4	44.3	-	-	F (a)	"
12	東村 豊田	2.77		63.5	20.6	15.9	274	3.33	SF (h)	嘉陽層
13	" 有路	2.71		38.5	13.3	48.2	-	-	F (a)	"
14	大宜味村 喜屋	2.79		47.1	24.5	28.4	113	0.27	F (e)	名護層
15*	" 根路		81.6	11.9	6.5		31.5		[G・F]レキ	"
16*	" "		37.1	45.0	17.9		-	レキ混り	{SF} (g)	"
17	" 謝名城	2.87		38.3	12.0	49.7	-	-	F (a)	"
18	名護市 三原	2.70		56.1	14.9	29.0	-	-	SF (d)	"
19	" 辺野古	2.80		23.1	9.6	67.3	-	-	F (a)	"
20*	" "		82.4	10.9	6.7		50.0		[G・F]レキ	"
21	" "	2.75		27.3	25.5	47.2	-	-	F (a)	"
22	" 世富慶	2.75		19.2	19.8	61.0	-	-	F (a)	"
23*	恩納村 喜瀬武原	2.67		46.4	29.1	24.5			F (e)	"
24*	" "	2.65		48.3	24.7	27.0			F (e)	"
25	" 恩納	2.82		12.6	11.4	76.0	-	-	F (a)	"
26	" 谷茶	2.70		48.1	30.8	21.1	-	-	F (e)	"
27	" 富着	2.71		46.1	31.9	22.0	184	0.30	F (e)	"
28	" "	2.71		44.2	32.8	23.0	120	0.43	F (e)	"
29	" 山田	2.71		44.7	39.3	16.0	42.5	0.43	F (i)	国頭 レキ層
30*	" "	2.76	6.8	28.9	42.3	22.0		レキ混り	F (i)	名護層
31*	" "	2.78	30.6	23.5	30.9	15.0			{GF}レキ	"

注) \*印は文献 30より転載.

試料 番号	採取地 市町村	比重 Gs	レキ分 2,000 $\mu$ 以上	砂分 74~ 2,000 $\mu$	シルト 分 5~74 $\mu$	粘土分 5 $\mu$ 以下	均等 係数	曲率 係数	日本統一分類 三角座標	地 層
32	菟谷村 喜納	2.87		5.8	14.1	80.1	-	-	F (a)	国頭 レキ層
33	" "	2.73	13.9	3.03	32.7	23.1	120	レキ混り	F (e)	"
34	" "	2.73	7.0	3.16	37.4	24.0	65	"	F (e)	"
35	" "	2.79	-	18.0	39.0	43.0			F (a)	"
36	" "	2.75	-	3.00	26.0	44.0			F (a)	"
37	嘉手納村屋良	2.78	14.4	32.2	25.4	28.0		レキ混り	{SF} (e)	"
38	" "	2.77	19.6	38.5	28.7	13.2	153	"	{SF} (h)	"
39	宜野座村宜野座			1.6	21.6	76.8			F (a)	那覇 層
40	" "			38.3	27.8	33.9			F (a)	"
41	宜野座村漢那	2.77		27.3	10.5	62.2	-	-	F (a)	"
42	" 大久保			2.0	18.0	80.0	-	-	F (a)	"
43	金武村 金武	2.63		20.0	20.0	60.0	-	-	F (a)	"
44	" 屋嘉	2.57		5.0	23.0	72.0	-	-	F (a)	"
45	" "		47.4	22.1	30.5				{GF} レキ質	国頭 レキ層
46	" "		21.1	78.5	0.4		4.5		[S] (g)	"
47	石川市 石川	2.71	4.0	38.0	26.0	32.0	140	レキ混り	F (a)	"
48	" "	2.74	6.5	33.3	21.2	39.0		"	F (a)	"
本部半島地区										
1	本部町 八重岳	2.88		39.9	18.3	41.8	-	-	F (a)	国頭 レキ層
2	" "	2.70		13.1	40.1	46.8	-	-	F (a)	与那嶺
3	" 伊野波	2.74		35.7	34.1	30.0	-	-	F (a)	"
4	" 並里	2.80		21.4	20.0	58.6	-	-	F (a)	"
5	" 伊豆味	2.77	36.5	23.8	22.6	17.0	400		{GF} レキ質	"
6	" 塩川	2.87		4.4	5.6	90.0	-	-	F (a)	本部層
7	今帰仁村親泊	2.80		12.2	6.9	80.9	-	-	F (a)	那覇 層
8	" "	2.81		26.8	14.3	68.9	-	-	F (a)	"
9	" 諸志	2.79	30.9	31.3	19.7	18.2	468	レキ混り	{SF} (h)	"
10	" "	2.76		20.5	28.5	51.0			F (a)	"
11	" "	2.70		15.0	22.0	63.0			F (a)	"
12	" 上運天	2.80		9.6	10.2	80.2	-	-	F (a)	"
13	" 謝名	2.88		11.1	18.8	70.1	-	-	F (a)	本部層
14	" "	2.75		28.2	20.3	51.5	-	-	F (a)	与那嶺 層
15	" 湧川	2.78		7.3	32.5	60.2	-	-	F (a)	"
16	" "	2.72		26.3	35.6	38.1	-	-	F (a)	"

試料 番号	採取地 市町村	比重 Gs	レキ分 2,000 $\mu$ 以上	砂分 74 $\mu$ 2,000 $\mu$ 以下	シルト分 5 $\mu$ ~74 $\mu$	粘土分 5 $\mu$ 以下	均等 係数	曲率 係数	日本統一分類 三角座標	地 層
17	名護市 部間	2.75		28.2	20.3	51.5	-	-	F (a)	本部層
18	" 山入端	2.81		16.2	12.0	71.8	-	-	F (a)	"
中南部（具志川市、北谷村以南）地区										
1	糸満市	2.74		4.0	12.0	84.0	-	-	F (a)	泥岩
2	"	2.82		0.8	10.1	89.1	-	-	F (a)	L.S
3	"	2.82		0.1	10.9	89.0	-	-	F (a)	"
4	"	2.76		3.8	35.7	60.5	-	-	F (a)	"
5	"	2.72		18.6	18.9	62.5	-	-	F (a)	"
6*	"		45.3	35.9	9.4		43.5		[G・F]レキ	
7*	"			5.7	15.3	79.0			F (a)	泥岩
8*	" 兼城	2.76		3.8	35.7	60.5			F (a)	L.S
9*	" 山城	2.76		3.6	36.4	60.0			F (a)	"
10*	" 真栄平	2.77		0.7	37.3	62.0			F (a)	"
11*	" "	2.73		3.6	47.4	49.0			F (a)	"
12*	" 摩文仁	2.79		0.6	31.4	68.0			F (a)	"
13*	" "	2.73		3.6	47.4	51.0			F (a)	島尻層
14	具志頭村	2.75		32.3	18.9	48.8	-	-	F (a)	泥岩
15	"	2.71		42.3	50.8	6.9	-	-	F (j)	"
16*	" 新城	2.72	55.0	14.0	8.8	22.2			{GF}レキ質	
17	玉城村	2.70		2.5	49.5	48.0	-	-	F (a)	泥岩
18	"	2.71		5.5	13.5	81.0	-	-	F (a)	L.S
19	"	2.75		3.1	31.9	65.0	-	-	F (a)	"
20	知念村	2.76		1.4	34.6	64.0	-	-	F (a)	泥岩
21	"	2.76		5.9	8.6	85.0	-	-	F (a)	L.S
22	佐敷村	2.80		32.1	6.6	61.3	-	-	F (a)	"
23	" 新里	2.74		0.6	37.1	62.3	-	-	F (a)	泥岩
24	" "	2.79		1.8	34.2	64.0	-	-	F (a)	"
25	" "	2.79		38.2	27.8	34.0	-	-	F (a)	"
26*	与那原町	-		1.0	11.6	87.4	-	-	F (a)	"
27*	東風平村	2.68		2.4	49.6	48.0	-	-	F (a)	"
28	大里村	2.76		1.1	32.4	66.5	-	-	F (a)	"
29	南風原村	2.76		1.2	46.8	52.0	-	-	F (a)	"
30	"	2.76		0.2	41.8	58.0	-	-	F (a)	"
31*	" 大名	2.71		5.9	54.1	40.0	-	-	F (a)	"

試料 番号	採取地 市 町 村	比重 Gs	レキ分%	砂分%	シルト分	粘土分	均等 係数	曲率 係数	日本統一分類 三角座標	地 層
			2,000 $\mu$ 以上	74~ 2,000 $\mu$	5~74 $\mu$	5 $\mu$ 以下				
32*	那覇市 与儀	2.76		1.1	24.9	74.0	-	-	F (a)	泥 岩
33	那覇市	2.71		44.7	45.8	9.5	12.8	3.8	F (i)	"
34	"	2.70		6.9	65.1	28.0	18.2	1.4	F (i)	"
35	"	2.70		49.6	37.4	13.0	60.0	11.9	F (i)	"
36	"	2.73		26.8	52.4	20.8	36.6	3.0	F (f)	"
37	"	2.71		13.5	31.4	55.1	-	-	F (a)	"
38	"	2.71		0.6	35.4	64.0	-	-	F (a)	"
39	"	2.76		16.6	18.4	65.0	-	-	F (a)	"
40	"	2.74		2.8	15.3	81.9	-	-	F (a)	"
41	"	2.72		17.1	14.4	68.5	-	-	F (a)	"
42	"	2.71		46.7	38.0	15.3	50.0	4.6	F (i)	"
43	"	2.70		64.8	27.2	8.0	13.5	4.2	SF (h)	砂 岩
44	"	2.70		56.8	34.2	9.0	11.9	4.0	SF (h)	"
45	"	2.71		56.3	34.7	9.0	17.5	5.2	SF (h)	"
46	"	2.71		5.4	36.6	58.0	-	-	F (a)	泥 岩
47	"	2.71		12.3	37.7	50.0	-	-	F (a)	"
48	"	2.74		5.5	26.5	68.0	-	-	F (a)	"
49	"	2.69		14.0	41.4	44.6	-	-	F (a)	"
50	"	2.73		24.8	67.7	7.5	8.9	2.1	F (j)	"
51	"	2.69		9.2	34.3	56.5	-	-	F (a)	"
52	"	2.77		31.3	35.6	33.1	-	-	F (a)	"
53	那覇市 具志	2.72		56.7	37.0	6.3	-	-	{SF} (h)	砂 岩
54	"	2.70		59.4	35.6	5.0	-	-	{SF} (h)	"
55	"	2.72		71.4	23.6	5.0	-	-	{SF} (h)	"
56	"	2.72		60.2	35.6	4.4	-	-	{SF} (h)	"
57	"	2.73		71.0	24.8	4.2	-	-	{SF} (h)	"
58	"	2.73		73.3	22.7	4.0	-	-	{SF} (h)	"
59	"	2.82		23.6	40.4	36.0	-	-	F (a)	泥 岩
60	" 宇栄原	2.74		56.4	38.6	5.0	-	-	{SF} (h)	砂 岩
61	" "	2.73		72.8	22.7	4.5	-	-	{SF} (h)	"
62	西原村	2.76		9.0	44.0	47.0	-	-	F (a)	泥 岩
63	"	2.74		5.0	23.0	72.0	-	-	F	"
64*	" 翁長	2.75		75.6	14.4	10.0	29.4	-	{SF} (h)	砂 岩
65	" 棚原	2.80		44.0	36.0	20.0	-	-	F (e)	泥 岩

試料 番号	採取地 市町村	比重 Gs	レキ分	砂分	シルト分	粘土分	均等 係数	曲率 係数	日本統一分類 三角座標	地 層
			2,000 $\mu$ 以上	74~ 2,000 $\mu$	5~74 $\mu$	5 $\mu$ 以下				
66	西原村 棚原	2.79		11.9	38.1	40.0	-	-	F (a)	泥岩
67	" 運玉森	2.74		50.4	43.6	6.0	-	-	{SF} (h)	砂岩
68	浦添市 前田	2.74		55.6	36.3	8.1	-	-	{SF} (h)	"
69	" "	2.72		31.8	61.2	7.0	-	-	F (j)	砂岩
70	" "	2.75		65.2	28.8	6.0	-	-	{SF} (h)	"
71	" "	2.73		66.5	27.2	6.3	-	-	{SF} (h)	"
72	" "	2.81		4.7	29.3	66.0	-	-	F (a)	泥岩
73	" "	2.79		9.4	30.8	59.8	-	-	F (a)	"
74	" 伊祖	2.74		14.8	54.2	31.0	-	-	F (a)	砂岩
75	" "	2.73		43.8	49.2	7.0	-	-	F (i)	"
76	" "	2.74		8.6	68.4	23.0	-	-	F (f)	泥岩
77	" 経塚	2.76		29.8	50.2	2.0	-	-	F (j)	砂岩
78	" "	2.73		53.8	37.2	9.0	-	-	{SF} (h)	"
79*	" 内間	2.84		4.0	40.0	56.0			F (a)	泥岩
80	中城村	2.70		3.6	81.2	15.2	-	-	F (j)	"
81	" 泊	2.76		15.3	36.7	48.0	-	-	F (a)	"
82*	" 伊舎堂		19.8	16.8	63.4			レキ混り	F (j)	
83*	" "		16.2	23.2	60.6			"	F (j)	
84*	"			0.4	12.9	86.7			F (a)	L.S
85	宜野湾市	2.79		1.4	52.6	46.0	2.2	8.8	F (a)	泥岩
86	"	2.80		6.2	29.6	64.2	-	-	F (a)	L.S
87	"	2.80		20.4	13.1	66.5	-	-	F (a)	L.S
88	北中城村安谷屋	2.79		77.8	11.4	10.8	-	-	{SF} (h)	砂岩
89*	北谷村 謝刃	2.76	3.9	33.8	30.4	31.9		レキ混り	F (a)	レキ層
90*	" 山内	2.70	5.8	38.1	31.1	25.0		レキ混り	F (e)	
91*	"	2.66		67.0	22.0	11.0	34.5		{SF} (h)	
92*	"	2.72		50.7	16.3	33.0			{SF} (a)	
93	沖縄市 旧コザ	2.78		0.3	57.5	42.2	-	-	F (c)	泥岩
94	" "	-		38.3	61.7		-	-	F (j)	砂岩
95	" 旧美里村	2.78		0.4	45.6	54.0	-	-	F (a)	泥岩
96	"	2.71		61.3	30.7	8.0	7.6	1.5	{SF} (h)	砂岩
97	" 室川	2.83		1.4	27.8	70.8	-	-	F (a)	泥岩
98	" 泡瀬	2.71		63.7	29.3	7.0	-	-	{SF} (h)	砂岩
99	" 古謝	2.71		43.3	48.9	7.8	-	-	F (i)	"

試料 番号	採取地 市町村	比重 Gs	レキ分 $\%$ 2,000 $\mu$ 以上	砂分 $\%$ 74~ 2,000 $\mu$	シルト分 $\%$ 5~74 $\mu$	粘土分 $\%$ 5 $\mu$ 以下	均等 係数	曲率 係数	日本統一分類 三角座標	地 層
100	沖縄市 桃原	2.79		0.3	32.3	67.4	-	-	F (a)	泥岩
101	" "	2.78		0.4	26.0	73.6	-	-	F (a)	"
102	" "	2.78		0.6	29.7	69.7	-	-	F (a)	"
103	" "	2.77		0.5	15.5	84.0	-	-	F (a)	"
104	" 比屋根	2.71		68.5	25.5	6.0	-	-	{SF} (h)	砂岩
105	" "	2.73		67.0	23.0	10.0	-	-	{SF} (h)	"
106	具志川市	2.79		1.0	86.0	13.0	9.2	4.3	F (j)	"
107	" 豊原	2.75		0.5	22.7	76.8	-	-	F (a)	泥岩
108	" "	2.79		1.2	32.8	66.0	-	-	F (a)	"
109※	" 栄野比			0.1	6.9	93.0			F (a)	
110※	" "			3.2	22.9	73.9			F (a)	
111	与那城村	2.74		4.0	33.5	62.5	-	-	F (a)	泥岩
112	"	2.70		20.0	47.5	32.5	-	-	F (a)	"
113	"	2.70		42.5	40.0	17.5	63.9	3.0	F (i)	"
114	"	2.70		35.0	42.0	23.0	-	-	F (e)	"
115	"	2.74		30.0	37.0	33.0	-	-	F (a)	"
116	"	2.73		3.0	30.0	67.0	-	-	F (a)	"
117	勝連村	2.75		10.0	17.0	73.0	-	-	F (a)	L.S

( )内  
旧法

表-Ⅱ-4-12 宮古島の土の粒度試験結果

試料 番号	採取地 (市町村)	比重 (Gs)	レキ分%	砂分%	シルト分%	粘土分%	均等 係数	曲率 半径	日本統一 分類	地層
			2,000 $\mu$ 以上	74~ 2,000 $\mu$	5~74 $\mu$					
1	平良市 大浦入口	2.78		54.4	14.9	30.7	-	-	F (a)	池砂 間 上野
2	" 島尻入口	2.83		0.6	19.2	80.2	-	-	F (a)	池砂 間 上野
3	" 島尻~南静園	2.71		5.2	56.0	28.8	-	-	F (c)	池砂 間
4	" "	2.77		1.7	69.0	23.9	-	-	F (f)	"
5	" 南静園	2.81		2.4	18.4	79.2	-	-	F (a)	友利 石灰岩
6	" 大浦東方	2.80		11.8	36.4	51.8	-	-	F (a)	"
7	" 福山東方	2.76		0.9	64.8	34.3	-	-	F (c)	池砂 間 上野
8	" 植物園北方	2.80		1.0	23.7	75.3	-	-	F (a)	大野越
9	" 大野越	2.78		1.3	22.2	76.5	-	-	F (a)	"
10	" 野原越	2.83		16.8	30.2	43.0	-	-	F (a)	友利 石灰岩
11	" 鏡原北方	2.73		13.6	56.4	30.0	-	-	F (c)	平良 石灰岩
12	" 下里東方	2.81		15.3	17.4	67.3	-	-	F (a)	池砂 間 上野
13	" 久貝北方	2.77		4.8	57.7	37.5	-	-	F (c)	池砂 間 上野
14*	" 富名腰	2.74	1.0	5.1	46.1	47.8			F (a)	池砂 間 上野
15*	" 添道	2.72		3.1	23.9	73.0			F (a)	友利
16	城辺町 更竹	2.77		4.5	12.8	82.7	-	-	F (a)	城辺泥
17	" 長間	2.73		8.8	53.2	38.0	-	-	F (a)	城辺泥 石灰岩
18	" 加治道	2.85		10.5	25.5	64.0	-	-	F (a)	池砂 間 上野
19	" 七又	2.81		5.9	42.1	52.0	-	-	F (a)	池砂 間 上野
20	" 仲原~友利	2.78		4.5	45.0	50.5	-	-	F (a)	"
21	" 花切	2.76		5.6	38.1	56.3	-	-	F (a)	"
22	上野村千代田西方	2.77		9.6	64.7	25.7	-	-	F (f)	平良 石灰岩
23	" 新里~大嶺	2.78		2.5	22.5	75.0	-	-	F (a)	池砂 間 上野
24	" 名嘉島	2.72		13.9	48.9	37.2	-	-	F (a)	"
25	下地町 入江	2.82		3.4	11.8	74.8	-	-	F (a)	"
26	" 洲鎌	2.75		6.7	34.0	59.3	-	-	F (a)	洲鎌 粘土層
27	" 上地	2.77		0.8	65.7	33.5	-	-	F (c)	"
28	" 与那覇	2.82		2.6	31.9	65.5	-	-	F (a)	池砂 間 上野
29	" 川満北方	2.77		8.9	57.6	33.5	-	-	F (c)	"

表-II-4-13 石垣島の土の粒度試験結果

試料 番号	採取地	比重 G <sub>s</sub>	レキ分(%) 砂分(%) シルト分(%) 粘土分(%)				均等 係数	曲率 半径	日本統一分類 三角座標	
1	石垣市野底	2.59		8.1	76.9	15.0	13.57		F	(j)
2	〃	2.72		18.7	15.3	66.0			F	(a)
3	〃 於茂登	2.72	12.7	55.3	5.0	27.0		レキ混り	{SF}	(d)
4	〃 底原	2.82		10.1	31.9	58.0			F	(a)
5	〃 白保	2.70	9.2	24.8	43.0	23.0			F	(e)
6	〃 大浜	2.76	2.2	34.1	29.7	34.0			F	(a)
7	〃 真栄里	2.69		20.5	11.5	68.0			F	(a)
8	〃 平得	2.66	14.1	31.1	18.8	36.0		レキ混り	F	(a)
9	〃 開南	2.77	4.3	22.8	32.9	40.7			F	(a)
10	〃 名茂	2.76	21.6	27.4	26.0	25.0		レキ混り	{SF}	

次に沖縄島，宮古島，石垣島の細粒度（ $< 2,000 \mu$ ）についてのコンシステンシー試験結果を示したのが表-II-4-14~17である。<sup>29)</sup>

なお，粒度試験結果で均等係数及び曲率係数の欄の一印は実験上得られなかったことを意味する。すなわち比重浮ヒヨウによる粒度試験から得られる最小粒径が $0,001 \text{ mm}$ となっているため，試料土の $D_{10}$ が $0,001 \text{ mm}$ 以下で求められないことを示している。また液性限界および塑性限界の欄の一印は，実験測定が非常に困難ないし不可能なことを意味しており，統一土質分類の欄で\*印は分類型式にあてはまらないことを意味している。このことについては後で論じたい。

表-II-4-14 沖縄島中南地域の土の液性・塑性限界試験結果

試料 番号	採取地 (市町村)	自然含水比 Wn (%)	液性限界 WL (%)	塑性限界 WP (%)	塑性指数 Ip=WL-Wp	流動指数 If	日本統一 土質分類
1	糸 満	41.0	68.3	31.1	37.9	17.9	C'H
2	具 志	24.8	46.7	26.5	20.2	24.4	CL
3	" "	20.3	34.8	21.1	13.7	4.2	"
4	玉 城	29.5	54.4	27.3	27.1	8.8	CH
5	大 里	30.6	64.9	25.3	39.6	10.9	"
6	東 風	27.4	69.1	26.4	42.7	19.2	"
7	知 平	28.5	53.0	24.4	28.6	15.3	"
8	南 風	24.8	48.7	22.5	26.2	13.0	CL
9	" "	27.9	67.2	25.8	41.4	11.7	CH
10	那 覇	12.3	24.1	-	-	10.0	*
11	" "	26.4	35.6	20.7	14.9	4.0	CL
12	" "	13.7	23.4	-	-	7.1	*
13	" "	20.3	34.8	19.0	15.8	14.1	CL
14	" "	42.9	57.1	24.0	33.1	14.2	CH
15	" "	53.9	64.6	25.6	39.0	15.6	"
16	" "	31.1	60.8	29.2	31.6	17.2	"
17	" "	33.0	73.4	30.8	42.6	19.9	"
18	" "	22.9	58.4	26.3	32.1	8.7	"
19	" "	21.9	27.0	20.3	6.7	7.9	CL
20	" "	25.7	-	-	-	-	SM
21	" "	27.0	21.8	-	-	6.6	"
22	" "	26.1	-	-	-	-	"
23	" "	48.1	53.3	24.2	29.1	11.4	CH
24	" "	46.7	45.0	28.3	16.7	9.8	MH
25	" "	30.9	67.2	29.3	37.9	17.8	CH
26	" "	40.7	62.2	38.7	23.5	11.9	C'H
27	" "	42.6	-	-	-	-	*
28	" "	43.1	58.7	27.2	31.5	14.3	CH
29	" "	22.6	32.5	12.7	19.8	9.2	CL
30	西 原	40.8	55.0	25.2	29.8	17.0	CH
31	" "	44.4	67.3	30.3	37.0	13.6	"
32	宜 野	27.2	53.1	27.7	25.4	13.0	"
33	中 灣	25.1	48.7	19.8	28.9	10.7	CL
34	美 城	23.3	57.6	23.1	34.5	8.5	CH
35	コ 里	27.4	75.1	27.9	47.2	28.0	"
36	美 美	13.8	23.1	-	-	6.4	SM
37	具 志	30.6	65.5	27.1	38.4	14.3	CH
38	与 那	35.7	69.2	29.2	40.0	23.7	"
39	" "	40.1	45.0	30.0	15.0	13.7	ML
40	" "	30.1	38.4	26.4	12.0	6.1	"
41	" "	40.8	42.9	28.1	14.8	13.3	"
42	" "	29.9	34.1	20.3	13.8	17.0	CL
43	" "	39.3	68.9	30.2	38.7	21.4	CH
44	糸 満	40.2	97.1	38.1	59.0	22.3	"
45	" "	38.4	96.8	40.1	56.7	22.3	"
46	" "	30.5	69.0	26.5	42.5	17.5	"
47	" "	24.3	58.6	29.1	29.5	31.0	"
48	玉 城	46.3	105.9	37.2	68.7	33.3	"
49	" "	30.1	74.5	31.4	43.1	18.9	"
50	" "	37.9	91.9	38.1	53.8	22.6	"
51	知 念	45.0	66.8	33.5	33.3	16.7	C'H
52	佐 敷	41.2	79.8	34.4	45.4	21.7	CH
53	宜 野	31.8	56.2	28.6	27.6	13.9	"

注) No44~53は石灰岩風化残積土(島尻マージ)で他は島尻層構成土(泥岩土, 砂岩土)である。

表-II-4-15 沖縄島北部・本部半島地域の土の液性、塑性限界試験結果

試料 番号	採取地	自然含水比	液性限界	塑性限界	塑性指数	流動指数	日本統一 土質分類	備考
		W <sub>n</sub> (%)	WL(%)	W <sub>p</sub> (%)	$I_p =$ WL-W <sub>p</sub>			
北部	大宜味村							
1	" 塩屋～上原	19.2	36.79	23.49	13.30	11.20	CL	名護層
2	" "	28.4	65.40	29.10	36.30	15.85	CH	"
3	国頭村 辺土名	14.8	42.80	21.98	20.82	8.70	CL	"
4	" "	17.2	32.50	20.90	11.60	10.70	"	"
5	国頭村 辺土岬	2.21	43.89	27.69	16.20	14.07	ML	本部層
6	" 辺土～奥	18.1	-	-	-	-	SM	名護層
7	" 伊部西方	19.9	42.53	22.51	20.02	13.35	CL	"
8	" 奥～伊江	18.7	41.60	26.55	15.05	5.39	ML	"
9	" 楚州～我地	12.5	-	-	-	-	SM	"
10	" 安田 西方	37.7	84.50	37.84	46.66	27.00	CH	"
11	" 安波 南方	24.4	38.89	23.44	15.45	12.60	CL	"
12	" 安波～新川	22.5	55.50	24.98	30.52	25.85	GH	"
13	東村 慶佐次～有銘	17.3	-	-	-	-	SM	嘉陽層
14	" "	26.5	51.25	23.87	27.38	25.60	CH	"
15	名護市 三原 東方	16.1	29.81	16.72	13.09	12.75	CL	"
16	" 辺野古 北方	29.2	68.33	27.90	40.43	30.70	CH	"
17	読谷村 喜納 北方		73.30	38.28	35.02	7.40	CH	国頭礫層
18	恩納村 山田入口		-	-	-	-	*	"
19	" 富着		-	-	-	-	*	名護層
20	" "		-	-	-	-	*	"
21	" 谷茶		-	-	-	-	*	"
22	" 恩納		65.50	33.96	31.54	20.25	CH	"
23	名護市 世富～辺野古		66.30	31.04	35.26	24.55	CH	"
24	" 辺野古		40.00	22.04	17.96	11.10	CL	"
25	宜野座村 漢那		71.20	29.36	41.84	12.64	CH	那覇累層
本部	本部町							
1	" 八重岳	50.8	76.80	50.03	26.65	16.15	CH	国頭礫層
2	" "	32.5	50.04	33.28	16.76	9.50	MH	与那嶺層
3	今帰仁村 親泊橋	30.6	86.50	31.16	55.34	30.50	CH	那覇累層
4	" "	26.9	57.50	26.40	31.10	13.50	"	"
5	" 湧川	24.8	48.20	27.53	20.67	13.00	CL	国頭礫層
6	" "	13.5	43.30	22.07	21.23	11.70	"	"
7	本部町 伊野波	20.3	37.90	20.93	16.97	3.50	"	与那嶺層
8	名護市 部間権現	18.5	88.50	38.33	50.17	19.50	CH	那覇累層
9	本部町 塩川	21.7	94.00	35.82	58.18	25.72	"	本部層
10	" 伊豆見～渡久地	27.5	50.52	25.44	25.08	10.27	"	与那嶺層
11	今帰仁村 上運天	29.1	80.04	29.40	50.64	15.30	"	那覇累層
12	" レジャー用地	4.34	67.60	34.66	32.94	13.00	CH	本部層
13	" "	31.8	50.50	22.72	27.78	25.50	CH	与那嶺層
14	名護市 山入端	22.5	85.40	28.21	57.19	16.50	"	本部層
15	" 名護城跡	19.5	48.50	26.14	22.36	33.50	CL	名護層

注) No. 6, 9, 13, 18, 19, 20, 21, 測定不可能

粒度試験 No. 5, 8, 12, 29, 28, 27, 26 にそれぞれ対応させてみる必要あり。

表-II-4-16 宮古島の土の液性・塑性試験結果

試料 番号	採取地	自然 含水比 W <sub>n</sub> (%)	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>p</sub> (%)	塑性指数 I <sub>p</sub> = W <sub>L</sub> -W <sub>p</sub>	流動指数 I <sub>f</sub>	日本統一 土質分類	備考
宮古1	平良市 大浦入口	23.1	32.95	19.22	13.94	9.58	CL	池間砂岩層
2	" 島尻入口	37.2	85.95	36.13	49.82	11.33	CH	上野石灰岩
3	" 島尻～南静園	18.4	37.76	25.97	11.79	15.72	ML	池間砂岩層
4	" "	17.7	35.46	23.54	11.92	8.67	CL	"
5	" 南静園	40.9	76.25	36.11	40.14	13.48	C'H	友利石灰岩
6	" 大浦 東方	32.5	71.90	29.63	42.27	17.83	CH	"
7	" 福山 東方	15.1	39.41	21.73	17.68	11.51	CL	池間砂岩層
8	" 植物園 北方	43.8	85.50	35.85	49.65	10.23	CH	大野越粘土層
9	" 大野越	27.2	85.77	27.23	58.54	22.92	"	"
10	" 野原越	41.7	77.86	36.61	41.25	18.58	C'H	友利石灰岩
11	城辺町 更竹	40.0	70.48	39.93	30.55	19.91	"	城辺泥岩層
12	" 長間	27.7	51.46	19.47	31.99	10.91	CH	"
13	" 加治道	46.9	90.62	42.73	47.89	2.421	C'H	友利石灰岩
14	" 七又	45.9	88.27	42.67	45.60	2.824	"	上野石灰岩
15	" 仲原～友利	38.9	65.42	38.26	27.16	2.475	"	"
16	" 花切	37.5	69.65	33.51	36.14	2.414	"	"
17	平良市 鏡原 北方	33.9	53.78	31.66	22.12	2.261	"	平良石灰岩
18	上野村 千代田 西方	33.0	51.98	30.79	21.19	17.36	"	上野石灰岩
19	" 新里～大嶺	37.4	67.94	40.26	27.68	25.46	"	"
20	" 名嘉島	35.8	56.73	36.50	20.23	18.43	"	"
21	下地町 入江	42.4	87.84	41.73	46.11	17.70	"	"
22	" 洲鎌	43.4	75.89	36.35	39.54	20.01	"	洲鎌粘土層
23	" 上地	27.1	63.50	24.88	38.62	9.36	CH	"
24	" 与那覇	39.4	73.99	35.87	38.12	20.95	C'H	上野石灰岩
25	" 川満 北方	31.8	54.53	28.38	26.15	17.81	CH	"
26	平良市 下里 東方	38.4	70.18	43.65	26.53	12.92	C'H	"
27	" 久貝 北方	29.1	65.32	28.25	37.07	15.56	CH	平良石灰岩

表-II-4-17 石垣島の土の液性・塑性試験結果

試料 番号	採取地 (市町村)	自然含水比 W <sub>n</sub> (%)	液性限界 W <sub>L</sub> (%)	塑性限界 W <sub>p</sub> (%)	塑性指数 I <sub>p</sub>	流動指数 I <sub>f</sub>	日本統一土質 分類	基盤岩層 法
1	石垣島 石垣市 野底		47.5	35.8	11.7		ML	琉球石灰岩
2	" "		64.0	33.1	30.9		C'H	"
3	" 於茂登	15.2	63.0	16.3	46.7		CH	レキ混り 花崗岩
4	" 底原	26.2	71.5	27.3	44.2		CH	"
5	" 白保		39.5	24.4	15.1		ML	レキ混り 琉球石灰岩
6	" 大浜		44.7	21.7	23.0		CL	"
7	" 真栄里		61.0	22.5	38.5		CH	"
8	" 平得		44.5	17.0	27.5		CL	レキ混り
9	" 開南		50.8	17.7	33.1		CH	名蔵レキ層
10	" 名蔵		46.1	23.3	22.8		CL	レキ混り

#### 1) 沖縄島中南部の土について

沖縄島中南部の地質構成から言って、北部とは異なり、その土の種類も島尻層由来の土といわゆる琉球石灰岩由来の土とに大別できることは、すでに述べたとおりである。前者はさらに層構成岩によって泥岩由来の土と砂岩由来の土とに分けられるので、中南部の土は泥岩土、砂岩土、石灰岩土の三つの型（沖積層土は今回対象としていない）に分けられる。これらを端的に特徴づけるならば、泥岩土が僅少の砂・レキを含むシルト、粘土質の油質感触の青～黒灰色の土であり、砂岩土は砂分が圧倒的に多い微砂ないしシルト岩の粉碎された黄褐色の土であり、石灰岩土は粘土分の圧倒的に多い赤～黄褐色の粘質土である。この三者はいづれも一見して区別できるほどであり、地元ではクチャ（ジャーガル）、ニービ、マーヂと俗に呼ばれている。

以下、中南部の土について、主として島尻層土と石灰岩（風化残積）土とを対応させつゝ検討していきたい。<sup>29)</sup>

島尻層土の自然含水比は上部風化土で一般に30～50%であり、未風化の層で20%前後である。泥岩層は砂岩層に比して含水比が大きい傾向にあるが、その置かれた状況（環境）によっては差異が認められないこともある。たとえば湿地帯にあっては、砂岩層も大きい自然含水比を維持している。島尻層土の自然含水比は一般に液性限界と塑性限界との間にあるが、泥岩土の風化土では、どちらかといえば液性限界よりあり、砂岩の風化土では塑性限界よりある。たゞ、このことと島尻層の“過圧密現象”とを結びつけて考えることは、こゝではさしひかえたい。石灰岩風化残積土の自然含水比は島尻層の未風化の層より大きく、風化した土にほゞ近似している。この場合も自然含水比は液性限界と塑性限界との間にあるがどちらかといえば塑性限界に近い状態にあるといえる。

比重は、島尻層土で大体2.65～2.80の範囲にあり、粘土分の多い土は砂分の多い土に比較して大きく出る傾向にある。すなわち泥岩土の比重は砂岩土のそれより大きい。石灰岩風化残積土は島尻層土より大きく、2.70～2.85の範囲にある。

粒度試験結果によると、石灰岩風化残積土においては砂分が少なく島尻層土に比して粘土分が多いのが特徴的である。また、島尻層土においては、前述のように均等係数および曲率係数が求められない場合と求められる場合があり、石灰岩残積土では、ほとんど求められない。これは、これらの土の試験に際して2mm以上の未風化レキ分を除去したことや試料採取にあたって、特に石灰岩風化残積土地域では、砂レキの混在地点を避けたことによっていると考えられる。一方、風化の条件とかゝわりをもって、0.001mm以下の粒子すなわちコロイド分が顕著な土としても想定されるので、亜熱帯（又は熱帯）性土質の特性として、後に述べる粒度分布およびコンシステンシー特性との関連において今後考察をすゝめる必

要があろう。

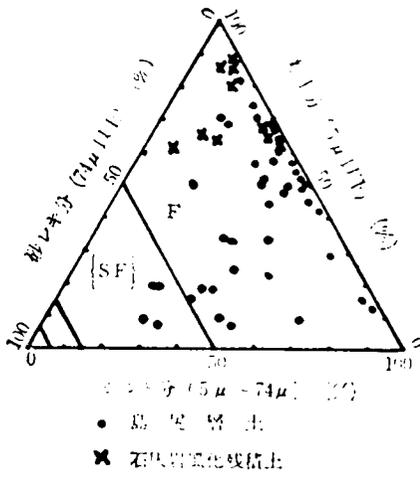
コンシステンシー試験結果によると、液性限界は島尻層土の上限では $\geq 80\%$ （泥岩土）であり、下限は約 $20\%$ （砂岩土）で、それ以下は測定不可能となる。石灰岩風化残積土の上限はさらに大きく約 $110\%$ で、下限は約 $50\%$ である。石灰岩残積土が島尻層土に比較して液性限界が大きいことは物理化学的性質のちがいであろうが、粘土分含有量が多いことによることが考えられる。塑性限界においても石灰岩残積土は島尻層土より大きな値を示し、島尻層土の粘性土（泥岩系）は砂質土（砂岩系）より大きな値を示している。もっとも、砂岩土の塑性限界試験は実際非常に困難ないし不可能に近いのが普通である。流動指数は島尻層土において一般に $20$ 以下であるが時に、 $20$ を越える場合もある。石灰岩風化残積土の場合はさらに大きく $30$ を越えるケースもある。一般に粘土分の多い土ほど流動指数が大きいということがこゝでもいえる。

続いて、筆者らの試験結果をもとにして中南部の土の土質分類上および物理化学的な特性に関連して検討を加えると以下のようになる。

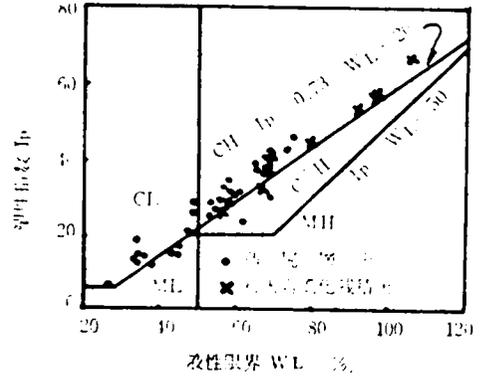
図-II-4-13は粒度組成を三角座標（日本統一土質分類）に示したものである。島尻層土の場合は細粒土と砂質土に分類され、粗粒分（ $74\mu \sim 75mm$ ）が $85\%$ 以上、つまり細粒分（ $74\mu$ 以下）が $15\%$ 未満の土はないものと考えられる。従って、日本統一土質分類による砂{S}に属するものではなく、砂質土{SF}と細粒土Fに分類されるものと考えられる。石灰岩風化残積土はすべて細粒土Fに入り、しかも三角座標では上部に位置し、粘土分が多いことを示している。石灰岩風化残積土は砂分が少なく粘土分が多いということは、島尻層土の砂岩層土と対称的である。

コンシステンシー試験結果の関係を塑性図（日本統一土質分類）にプロットしたものが図-II-4-14である。この場合は三角座標における砂質土と液性限界や塑性限界のいずれかが測定不可能な土が除かれている。分類特性から見れば、島尻土は一般にCH, C'H, MH, CL, ML, SM, SCに分類されることになるが、この中でもCH, CL, ML, SMが主で他はごくまれであろう。石灰岩風化残積土は、CHとC'Hに分類されるが、CHが主でC'Hはまれであろう。C'Hに分類される土は、例えば試料を準備する段階で土の粒子を分類する際誤って未風化の石灰岩粒子をつぶす場合、これが試験結果に影響し、C'Hに分類されることも考えられる。

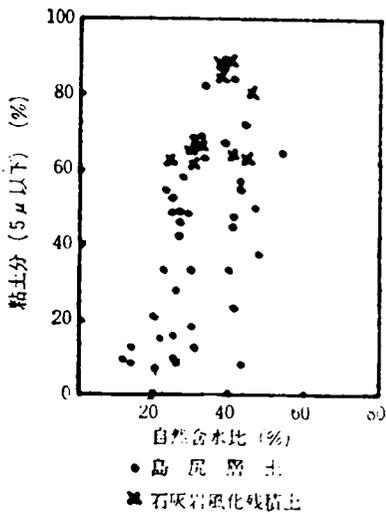
島尻層土で粘土分（ $5\mu$ 以下）含有量が約 $8\%$ 以下の土の液性限界及び塑性限界試験はほとんど不可能で、粘土分約 $8\%$ 付近での液性限界は約 $20\%$ である。これが測定し得る液性限界の下限であろう。粘土分が $8\%$ 付近でも粗粒分（ $74\mu$ 以上）が $50\%$ 以上の場合は問題なく分類上粗粒土とし、さらに細分類すればよい



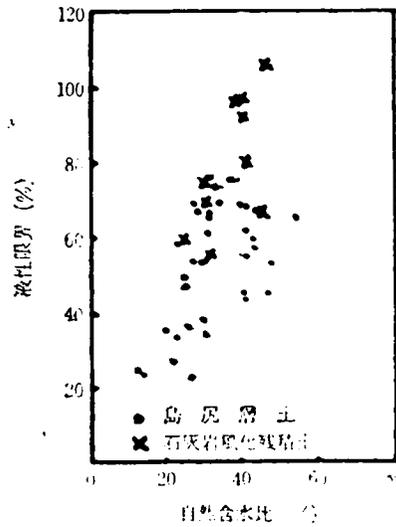
図II-4-13 三角座標



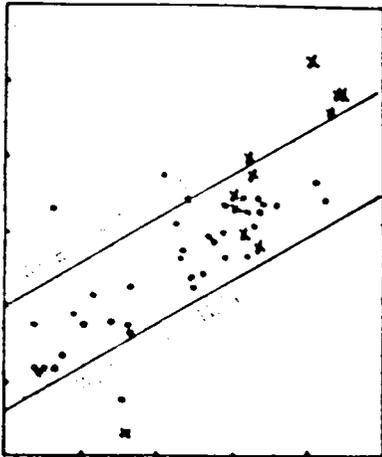
図II-4-14 塑性図



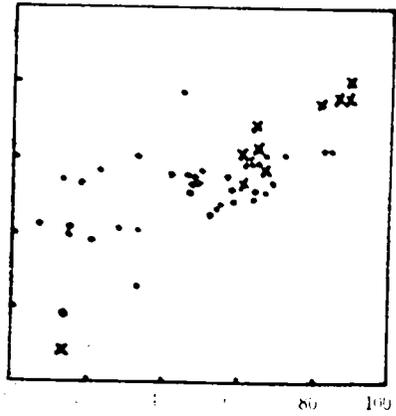
図II-4-15 粘土分と自然含水比との関係



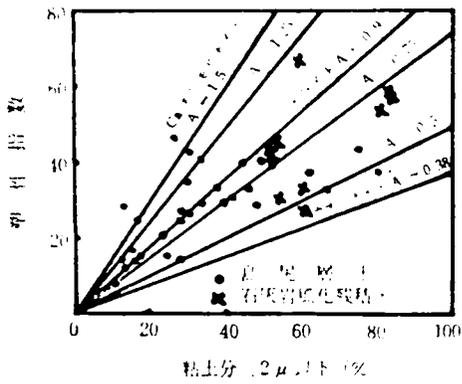
図II-4-16 液性限界と自然含水比との関係



図Ⅱ-4-17 液性限界と粘土含有量との関係



図Ⅱ-4-18 塑性限界と粘土含有量との関係



図Ⅱ-4-19 塑性指数と粘土含有量との関係

が、粗粒分が50%以下で液性限界が20%以下となり、液性限界及び塑性限界が測定不可能となる。従って分類できない結果となる。このような結果は、砂分(74 $\mu$ 以上)が50%に近く、シルト分(5~74 $\mu$ )が粘土分(5 $\mu$ 以下)に比較して特に多い土に生ずる。前述の\*印の試料土(試料番号10,12,27)がこのような状態の土である。このような土、すなわち砂分が50%以下にもかかわらず液性限界が20%あるいはそれ以下で測定不可能な土(他の報文によれば砂分が50%以上であっても測定されたケースもあり、実際に可能かどうか、あるいは含有細粒分の性質の如何によるのか、いずれにしても今後の問題としたい)はMLに分類することが妥当ではないかと考える。

自然含水比に対する粘土分(5 $\mu$ 以下)の関係を示したものが図-II-4-15である。島尻層土の場合同一自然含水比に対する粘土分のバラツキが著しい。また、石灰岩風化残積土についても一様な相関々係はみられず、両者の試料土について実験式を導くことは無理のようである。ここで言えることは同一含水比に対する粘土分の量は石灰岩風化残積土が島尻層土より多いということである。

図-II-4-16は自然含水比に対する液性限界の関係を示している。いずれの試料土においても自然含水比の増加につれて液性限界が増加していることは明らかであるが、その増加の割合は一樣でなくバラツキが大きい。また、同一自然含水比に対する液性限界は、石灰岩風化残積土が島尻層土より大きいことが顕著に現われている。粘土分(5 $\mu$ 以下)に対する液性限界の関係を示したものが図-II-4-17であるが、粘土分に対する液性限界の増加の割合は、石灰岩風化残積土が島尻層土に比較して大きくなっている。島尻層土について一つの実験式でなく、ある範囲を与えれば例外を除いて、だいたい図に示した2式の範囲におさまるようである石灰岩風化残積土については、島尻層と異なった傾向を示しているが、島尻層土よりもっと勾配の急な式となるのであろう。

図-II-4-18の粘土分(5 $\mu$ 以下)に対する塑性限界の関係において島尻層土の場合一様な相関々係を見出すことは無理のようである。石灰岩風化残積土は割合一様な相関々係を示しているようであるが、今回は結論を得られない。

Skempton<sup>31)</sup>によると、粘土の活性度(A)=塑性指数(I<sub>p</sub>)/粘土分含有量(2 $\mu$ 以下の重量%)であり、この関係を図示したものが図-II-4-19である。また、比較検討のため、Caモンモリナイト、イライト、カオリナイトについても図示してある。Skemptonは活性度により、活性度0.75以下は不活性粘土、0.75~1.25は通常粘土、1.25以上は活性粘土と分類している。この分類法から検討した場合、島尻層土の活性度はだいたい0.5~1.5の範囲にあり、不活性粘土から活性粘土までの広い範囲にわたっている、これは試料土の採取場所が広範囲にわたっていることによるものようである。一般にはイライトに近いと言えるようである。石灰岩風化残

積土の活性度の範囲は島尻層土ほど大きくないが、だいたいイライトとカオリナイトの中間的性質を示している。

#### ロ) 沖縄島北部の土について

沖縄島北部は中南部とちがって各種の基盤地層があり、これらの風化・残積土といったかたちで分布も入り組んで混在している。しかしながら、これら地層の年代および構成岩相をまとめて大別するとおよそ次のように区別される。

① 古生代・中生代層で、主として粘板岩、頁岩、千枚岩、片岩、千枚岩、石灰岩および砂岩、レキ岩等の風化・残積した土層。

この種の土は本部半島の土(本部層、与那覇層由来)と他の嘉手納村・石川市以北の土(名護層、嘉陽層由来)とに分けている。後者は最も広く分布している。

② 新生代第三紀層で、主として那覇累層(旧那覇石灰岩で、石灰岩質のもの)と砂レキ質のもの(と大別)の風化残積した土層。

この種の土は本部半島に多いが他の北部海岸地域にも散在する。

③ 新生代第四紀層で、主として国頭レキ層より成る土層。この種の土は残存段丘上に広く分布し、本部半島のネック部分の一部のほかは北部地域の海岸沿い、特に東海岸沿いに多くみられる。

北部の土の自然含水比は、名護層由来のもので一般に15%~40の範囲、嘉陽層土は、それよりやや低い傾向を示している。一方、国頭レキ層土や本部半島の古生代由来の土および那覇累層由来の土も一般に中南部の土に比較して低い傾向にあって、上記とほぼ同様な範囲を示している。これにはサンプリングから含水比測定までに時間の経過(翌日実験室へ搬入されることもある)もあって低い値を示すものと思われるが、それでも、中南部の土以下の自然含水比を有することは疑いをもたない。

比重については名護層由来の土で2.70~2.87、嘉陽層土で2.70~2.80、国頭レキ層土で、2.70~2.85、本部半島の土で2.80前後となっている。これから北部の土は全般的にみて2.80前後が多いとみられるが、中には2.70以下の場合(風化貧弱土)もある。

粒度試験結果によると中南部の土と同様均等係数などが得られない場合がしばしばであり、前に述べたと同様なことが北部の土についても言えよう。

コンシステンシー試験結果によると名護層由来の土で、液性限界の上限がほぼ85%、下限がほぼ35%となっており、それ以下の値は測定不可能であり、砂質土の傾向を示している。他の層由来の土については、現在までのところ試料が少ないので明確な範囲を示しえないが、北部の土全般についていえばほぼ30~95%の値

をもつものとみてまちがいはなかろう。塑性限界はほゞ20~30%の範囲にある。流動指数についても、各土ともほゞ10からほゞ30まで広い範囲にあってバラツキが多く、今後のチェックが必要である。

続いて北部の土の土質分類と関連事項について検討を加えると以下のようなになる。図-II-4-20は粒度組成を日本統一土質分類三角座標で示したものである。図中のプロット記号はサンプリング地層別をあらわす。これによると名護層由来の土、嘉陽層由来の土は細粒土{F}と砂質土{SF}に分類され、そのほとんどが細粒土に属する。これは、もちろん2mm以上のレキ分を除去したサンプリング法にもよるが、目的が2mm以下のいわゆる細粒分<sup>29)</sup>についての物理特性を調べることにあったので、今回はそのままにして、今後の再検討を必要としている。また、名護層、嘉陽層由来の土以外の土もすべて細粒土に分類され、かつ三角座標の上部に位置し、粘土分が多いことを示している。さらに、中南部の土と同様砂{S}およびレキ粒度Gに属するものはないということになるが、上掲の表にもあるように細粒分まじりレキ[G・F]、レキ質土{GF}の類に出会すことが多いことを指摘しておきたい。

コンシステンシー試験の結果を日本統一土質分類塑性図上にプロットしたのが図-II-4-21であるが、この場合も砂質土や液性または塑性限界測定不可能な土を除いてある。

図から各由来の土について分類特性を論ずるには、試料数が少ないように思えるが、サンプリングにあたっては分布状況とその構成層の類似性を考慮に入れて取捨選択をしてい

るので、ほゞそれぞれの地層を代表するものとする。この点は今後の課題としたい。分類特性からみれば、名護層土はCH, C'H, CL, ML, SMと多岐にわたって分類されるが、CH, CLが主である。これは名護層が本来粘板岩、千枚岩などの泥質岩を主とし、砂岩などの粗粒質岩も部分的には存在することから当然のこ

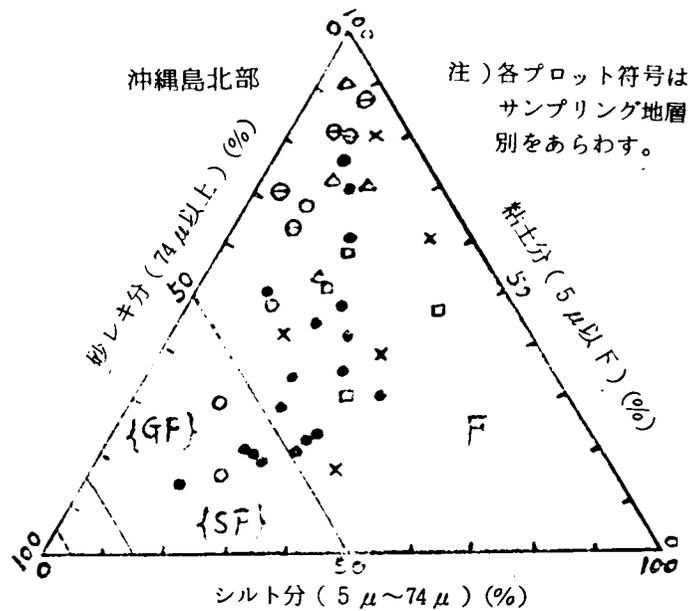


図-II-4-20 三角座標(比重浮秤)

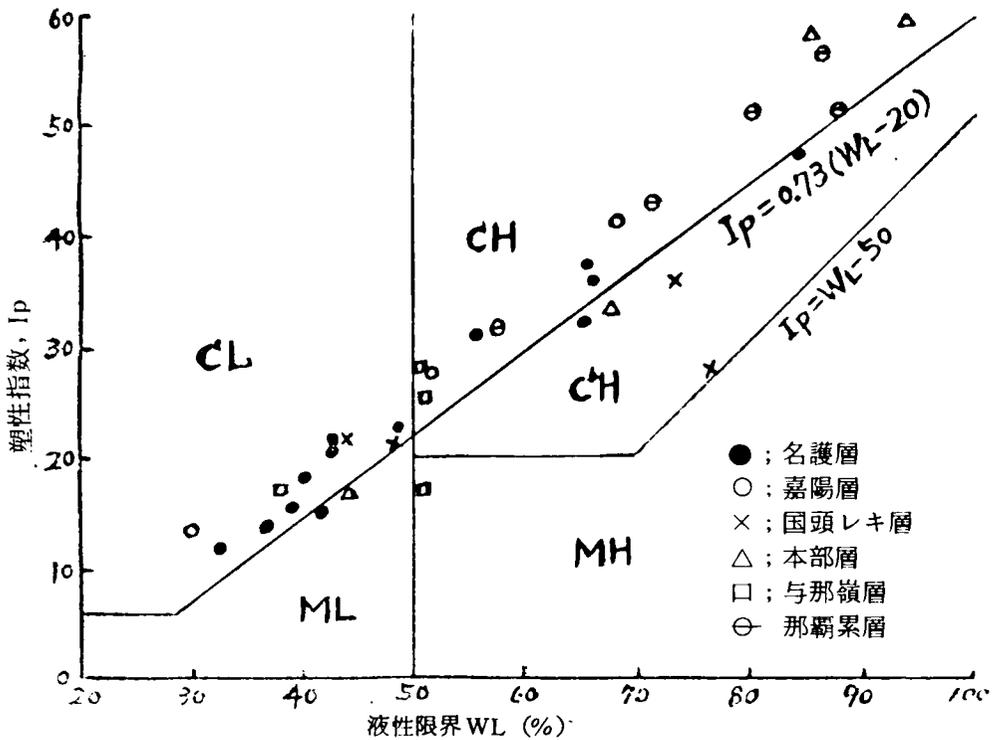


図-Ⅱ-4-21 沖縄本島北部における土の塑性図

と思われる。もちろん2mm以上のレキ分を除去したり、岩石碎片の多い箇所は避けてあることを念頭においてもらわなくてはならない。

C'Hについては、他の中南部、北部その他の土についても同様なことであるが、試料調整過程での粒子破砕や実験誤差などの結果が影響しているケースもあると思われる。なお、筆者らはC'H設定の趣旨を汲んで、先に沖縄中南部の土を用いて、その判定をした際  $I_p = W_L - 40$  を設定したことがあり、ほぼ妥当な線とみたが、日本統一土質分類基準にのっとり限り、C'HかMHかのふるいわけにちがいをもたらすので、今回は  $I_p = W_L - 50$  の線をもとにして論じている。

次に嘉陽層土であるが、本層はアルコース砂岩を主とし、頁岩の互層、時に千枚岩、レキ岩を伴うので、SM、CH、CLなどに分類されるもの、「細粒土」としての取扱いではやはりCH、CLに属するものが多い。本部半島の本部層および与那嶺層由来の土は石灰岩、千枚岩などを母岩として、CH、C'H、CLに属すると考えてよい。一方国頭レキ層土は泥、砂、レキ質の堆積であり、レキ混合物を除去するとC'H、CL、MLに分類される。また、那覇累層由来の土は北部の場合ほとんど石灰質シルト、石灰岩部層であることもあってすべてがCHに属することは明白である。

北部の土についても、中南部の土についてと同様、液性限界等の測定可能の下限が認められ、全体的な砂分の含量（約50%）や粘土分に対するシルト分の含量（シルト分が多い）の程度に左右されている。もっとも、これら不可能な土は、粒度特性、感触その他から判断してMLに分類するのが妥当であろう。

それぞれの土の粘土分（5 $\mu$ 以下）に対する液性および塑性限界の関係を示したのが図-II-4-22であり、ある範囲内で粘土分の量と相関性をもつことがうかがわれ。したがって、粒度分布特性（粘土分の割合）から、およそのコンシステンシー限界が推定できることになる。

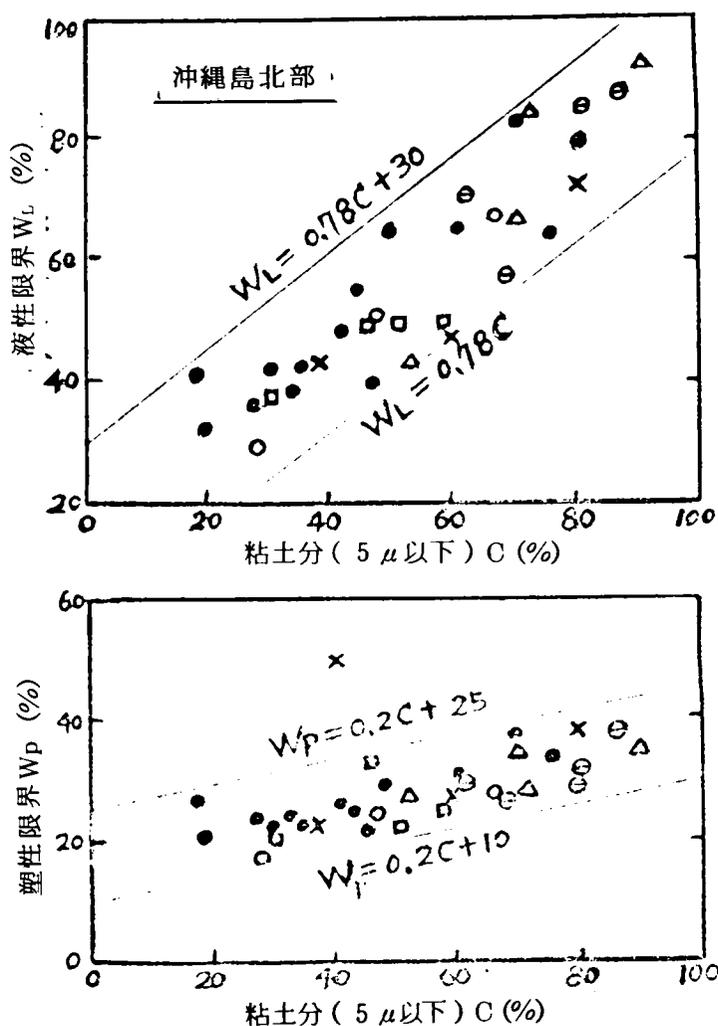


図-II-4-22 土の粘土分とコンシステンシーの関係

ハ) 宮古島の土について

宮古島の地質構成からみて、その土質構成は、沖縄島中南部の場合と同様、石灰岩風化残積土系統（第四紀洪積世琉球層群由来、但し粘土層も含まる）と泥岩および砂岩層土系統（第三紀鮮新世島尻層群由来）とに大別できる。しかもそのうち、石灰岩でおゝわれた島とも言えるところから、石灰岩系統の土が大勢を占めている。以下この二つの系統土を主対象として述べていきたい。

石灰岩風化残積土の自然含水比はほぼ30~47%で、島尻層土はこれより低い傾向を示し、特に砂岩由来の土は17~23%と低くなっている。なお、琉球層群中の粘土層は27~43%と石灰岩残積土に近い値を示している。また、自然含水比がほとんど液性限界と塑性限界の間にあつて、しかもほとんどが塑性限界に近似していることは注目すべきものがある。

比重については琉球層群中石灰岩残積土は2.72~2.85粘土層は2.75~2.80であり島尻層群中泥岩系土は2.73~2.77砂岩系土は2.71~2.78で、両層群を比較すれば前者の方がやゝ大きい比重を有する傾向にある。

宮古島の土についても粒度試験結果において均等係数または曲率係数の問題は沖縄島の土の場合と同様に存在する。

コンシステンシー試験結果によると琉球層群系の土質で液性限界の上限約90%、下限約54%、塑性限界の上限約43%、下限25%となつており各種石灰岩、粘土層という構成から成るわりには、沖縄島中南部の石灰岩残積土の場合よりその範囲はせまいといえる。島尻層群系の土質では、砂岩土が液性限界は一般に低く32~39%、塑性限界は19~25%を示しているのに対し泥岩土はそれより高い値をし、琉球層群の値に近い。

続いて宮古島の土質分類その他の特性について検討を加えると次のようなことが言えよう。

図-II-4-23は比重浮ヒヨウによる粒度試験の結果より求められた粒度組成を日本統一土質分類基準の三角座標で示したものである。

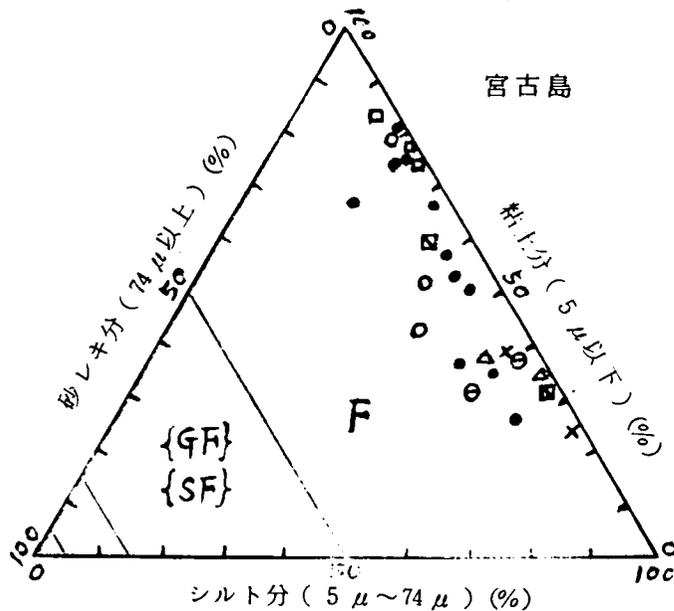
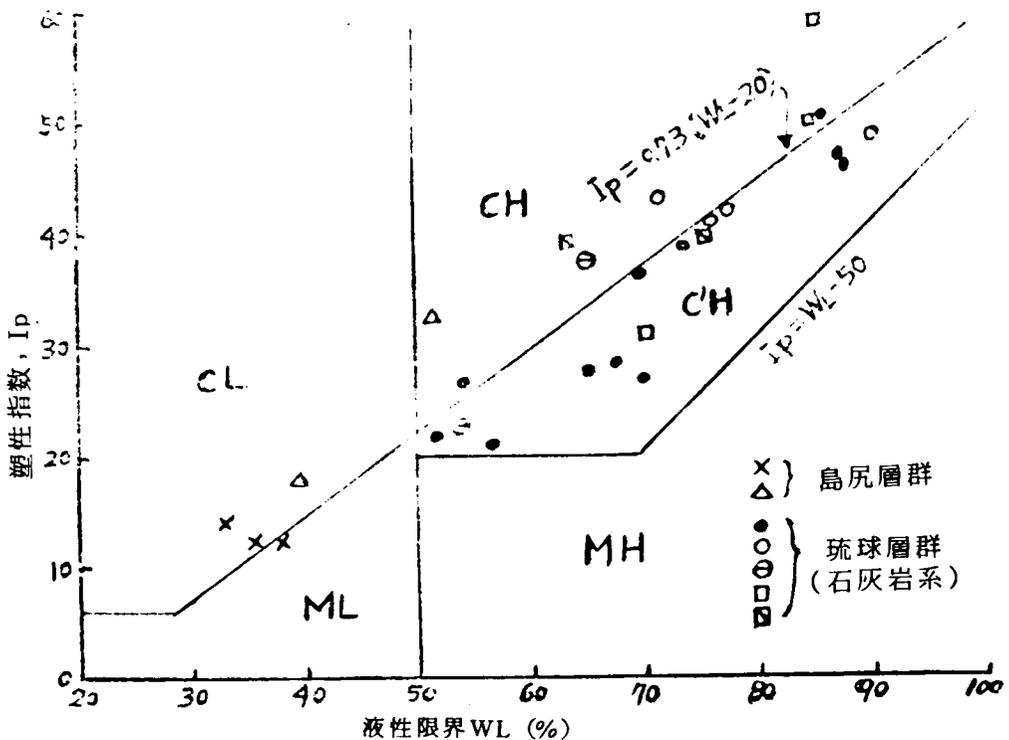


図-II-4-23 三角座標 (比重浮秤)

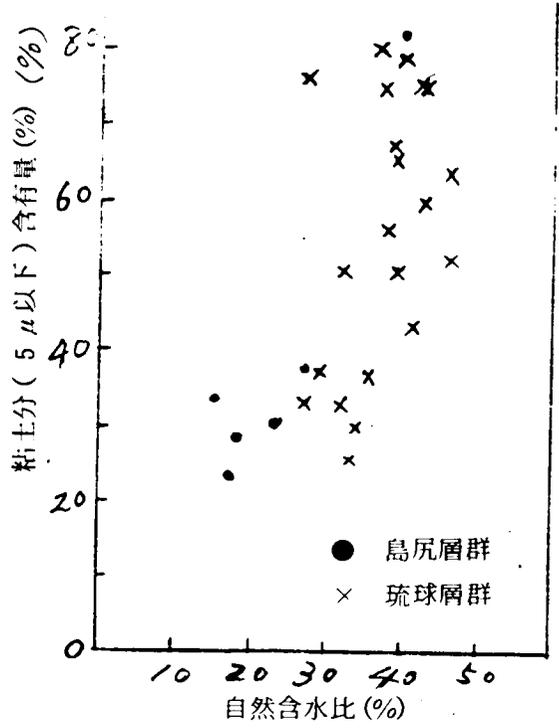
宮古島の土は、ほとんどすべてが細粒度Fに属し、しかも三角座標では右側に細長く分布している。これは宮古の土が、一部レキまたは岩石砕片が混じっているとしても琉球層群由来の土はもちろん、島尻層群中砂岩岩由来の土においても細粒化が進んでおり、したがって砂質土{SF}は存在するにしても、粘土分の多い土で占められ、砂Sに属する土はないといえる。たゞ、そのわりには、次に述べるコンシステンシー試験結果の塑性図上での位置がC'H(従来ならMHに属することになる)に多くプロットされている点、沖縄島中南部の土とちがう。

図-II-4-24にコンシステンシー試験結果がプロットされているが宮古島の土は、ほとんどが粘性土であり、CL, CH, C'Hに分類され、島尻層群由来の土はCLないしCHに属し、琉球層群由来の土はC'H, CHに属するものゝ、C'H分類されたものが多い。これは宮古島の地質・基盤構成がわりあい単純で、風化、土壌化への過程も、沖縄島ほど他の種々の岩層の影響を受けず、単一化の傾向にある結果によるものと思われる。



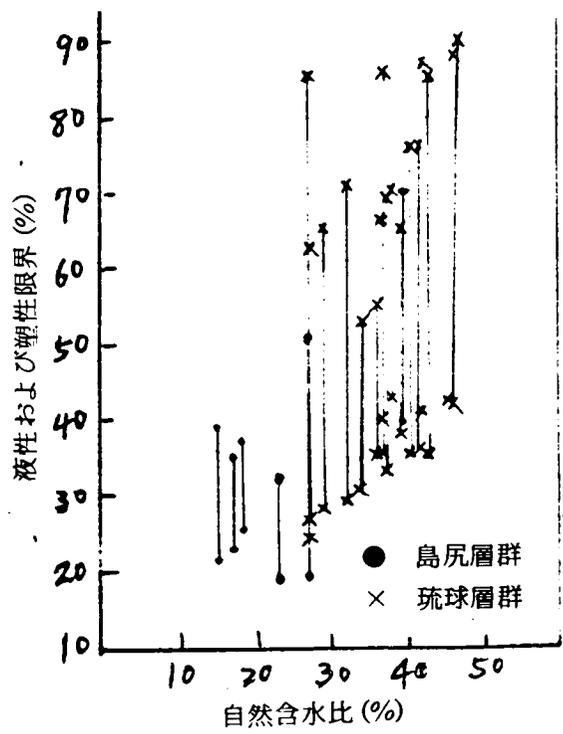
図II-4-24 宮古島における土の塑性図

自然含水比に対する粘土分（5  $\mu$ 以下）の関係を示したのが図Ⅱ-4-25である。宮古島の土の場合、沖縄島中南部の土の場合に比して、琉球層群由来の土が自然含水比が高く粘土分も多いといってもそのバラツキが著しく一様な相関性は認められない。これはサンプリングの条件によるのか、地域性にかゝわるものか明らかでない。



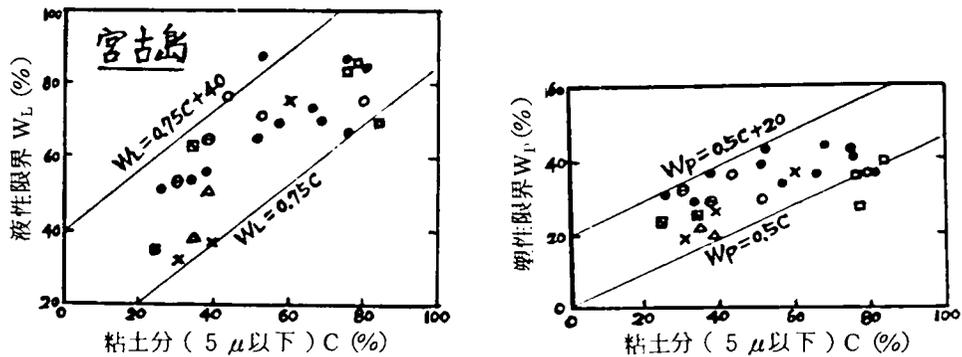
図Ⅱ-4-25 自然含水比と粘土分

図Ⅱ-4-26は自然含水比に対する液性および塑性限界の関係を示したものである。こゝでも言えることは、自然含水比の高い土は高い液性限界を有するということである。ただ琉球層群由来の土と島尻層群由来の土とでは液性限界のちがいが概して大きいわりには塑性限界のちがいは小さく、したがって塑性指数において、著しい相違（塑性度の高低のちがい）を示しているのが特徴的である。



図Ⅱ-4-26 自然含水比とコンシステンシー

次に粘土分に対する液性限界および塑性限界の関係を示したのが図Ⅱ-4-27である。これらの図から、粘土分に対する液性限界および塑性限界の相関性がある範囲をもって認められる。たゞ、琉球層群由来の土に比して島尻層群由来の土は、試料数が少ないことおよび泥岩系と砂岩系の別もあって、今回結論を出すことは差ひかえたい。



図II-4-27 土の粘土分とコンシステンシーの関係

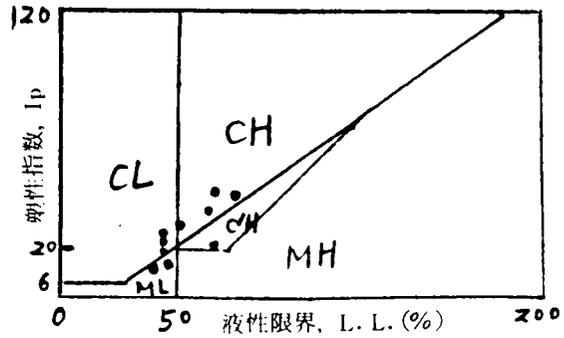
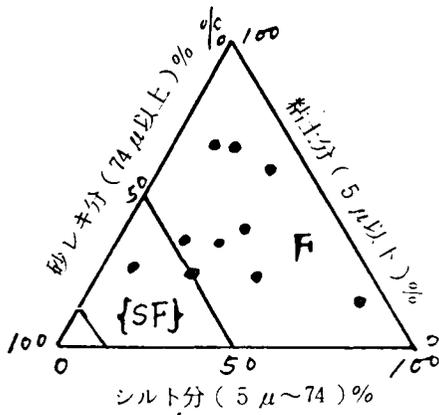
二) 石垣島の土について

石垣島の土については、これまで筆者自身の調査研究が不十分で、踏査的な状況にあり、今回は結論を出しえない。現在多数の試料土を分類試験中であり、後日追加報告したい。しかしながら、石垣島や西表島の地形・地質条件はすでに述べた如くであり、その条件を考慮に入れると石垣島の場合およそ次のような土質の分布を想定できよう。

- |       |  |
|-------|--|
| 古・中生代 | 片岩, 千枚岩, チャート(宮崎トムル層)を母岩とする土質<br>平久保半島         |
| 新生代   | 第三紀 石灰岩, 砂岩, レキ岩(宮良層)を母岩とする土質<br>宮良地域          |
|       | 第四紀 レキ・砂・粘土(先島層群中の名蔵レキ層)混合土<br>石垣島名蔵, 川原, 大里地域 |
|       | 第四紀 琉球石灰岩(先島層群)を母岩とする土質<br>石垣島南部および海岸沿い        |

これらのうち、沖積層土質を除けば、琉球石灰岩風化残積土、名蔵レキ層土と丘陵地帯の砂岩・レキ岩・千枚岩・片岩等の風化残積土がかゝわりのある土質としてあげられよう。

試料不十分ではあるが、図-II-4-28に示したように石垣島の土には細粒土Fがやはり多く、レキ混り砂質土{SF}に属する土もみられる。細粒分の統一分類結果では、CH, CLが多くMLも存在する。



図Ⅱ-4-28 石垣島の土の分類例

### iii) むすび

以上、沖縄諸島の、主として2mm以下の細粒土について、物理試験結果から分類その他の特性を論じてきたが、これらについては今後なお調査研究を行なって充実させていくべき課題を負っている。また、種々の相関性なども提示しているが、必ずしもclearなものではない。これは試料の採取、現地観察の段階で、また土質試験の際に、不確定ないし誤差の要素が入っていることからくる困難さにも依ることである。たとえば、“地質学的”に同一地層といっても、種々の岩類が、様々な様相で存在し、かつ、風化、破碎の条件が一様でないことでバリエーションに富むことも現地踏査でしばしば判断を迷わせるものがあった。しかしながら、これまでの資料の蓄積を一応総括することの緊要性から、おおよそ以下のようなことがまとめられよう。

- ① 沖縄島の土質は、中南部と北部地区に大別する。前者は島尻層由来の土と石灰岩風化残積土とに、後者は古・中生代層（粘板岩、千枚岩、砂岩等）由来の土と鮮新世石灰岩系の風化残積土と洪積世の国頭レキ層土とに区別することができる。沖縄島の細粒土は図Ⅱ-4-29に示す如く、地質的起因は異なるものゝ塑性図上ではCL、CH(C'H)にほとんどが属するものとみてよい。
- ② 宮古島の土質は大部分が琉球層群（主として石灰岩）の風化残積土であり細粒土は塑性図上CH、C'Hに属する。一部に島尻層群由来の土があるが、これらは、CL、CHに分類される。
- ③ 石垣島の土質は名蔵レキ層土、琉球石灰岩風化残積土を主とし、他に、それより古い時代の片岩・千枚岩・チャートまたは、石灰岩・砂岩・レキ岩等由来の土が分布する。

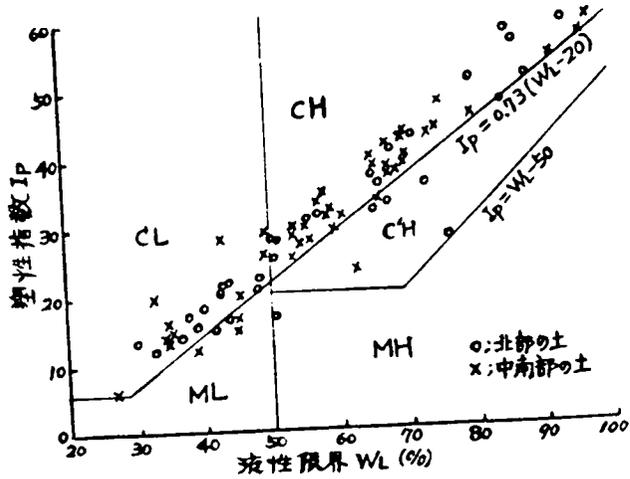
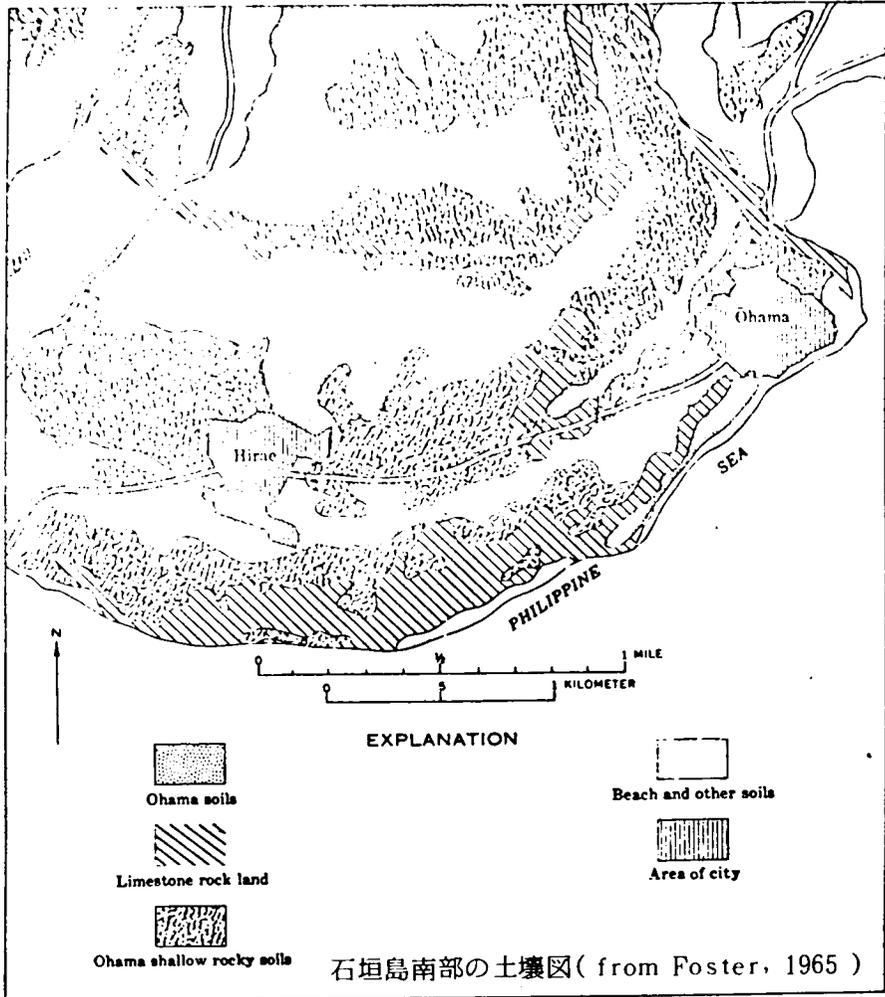


図 II - 4 - 29 沖縄本島における土の塑性図

これらの土の細粒分も大部分がCL・CH(C'H)に分類される。

- ④ 沖縄諸島の2mm以下の細粒土は、日本統一土質分類上の細粒土Fが圧倒的に多く、かつ、粘性土がCが圧倒的に多い。また、粘土分(5 $\mu$ 以下)含有量とコンシステンシーとがおおよそその相関性をもっている。
- ⑤ 沖縄諸島の細粒土の物理試験結果のとりあつかいについては、先ず日本統一土質分類塑性図上のC'Hの領域をほぼ妥当とみなすこと、次に統一分類による判定不可能な土、たとえば島尻層砂岩土、の位置づけをMLとすることなど提案できる。
- ⑥ 土質サンプリングおよび試験上の問題については、本研究の主対象たる“2mm以下の細粒土”のみならず現地に応じた全試料の条件を十分に配慮すること、および、粒度試験におけるトリポリリン酸ナトリウム1%添加をすゝめることなど提案できる。
- ⑦ 以上の細粒土のほかに土質分類上の特殊土として泥炭、沖積軟弱土、サンゴ砂利(フィンガーコーラル)およびコーラルリークロックなどがある(これらについては別に述べている)。

#### 4) 基礎地盤に関して

沖縄地方では、最近まで、基礎地盤の支持力、沈下のことについてはさほど問題にされなかった。ということは、これまで軟弱地盤、危険な地盤というものが、根切り掘削などの基礎土工以外ではトラブルを生じなかったからである。もちろんこのことは、沖縄地方で建設工事が小規模で(たとえば都市地区での高層ビルの建設、橋その他の大規模工事がほとんどなかった)、かつ土地利用の厳しさが少なかったことによるものであるが、また基盤をなす地層がわりあい浅い所に(たとえば、沖縄島中南部の島尻層や北部の中生代未風化層など)にあり、たいいていの工事が通常のクイで十分にことたりた諸事情によるものでもある。そしてこれまでの“経験”で沖縄の地盤は大抵“良好”であるということを通じていた。

しかし、近年高層ビルが建設され、種々の大型土木構造物工事がすゝめられるにつれ基礎工法のことと関連してあらためて、これまでの“良好”な地盤が再検討されるようになった。そして、これらに関して、土質調査および基礎工法の諸計画の十分な検討ならびに実施が要求され、沖縄地方での“基礎工学”の一足が踏み出された。このようなことから、早急に「沖縄地方の地盤」に関するこれまでの資料の蒐集、検討および調査研究の必要性が通感される。そこで、筆者のこれまでの知見をまとめて、こゝに若干の報告を行なうこととする。

## (1) 那覇市の地盤について<sup>32)</sup>

那覇市内では、昨今高層ビルや道路関係の大規模工事が施工ないし計画されている。これらの構造物の設計計画および施工計画を行なうにあたって、どうしても先に地盤条件の把握が必要である。それ故に、沖縄でも近年は土質調査の果す役割を認めて、これら土質調査の例が増え、関係資料が徐々に蓄積されつゝある。しかし、これが工事一件だけの利用にとどまり、そのまゝもれてしまうケースが多い。また、土質調査の内容も調査技術および調査費用、工期の問題がからんで、決して十分なものとは言えない場合が多い。

これら調査の内容充実をはかることも急務であるが、このような個々の調査を、one spot 的なものに終わらせてはならないということから、那覇市地域におけるボーリングテスト結果の資料まとめを行なった。これは、これら土質調査が、広域的視野に立って各地点地盤の性状や地層の相互関係などをあらかじめ理解しながら行なえば、合理的かつ経済的に行なえるという考えに基づくもので、今後の資料充実にもつとところも大きいと、とりあえず那覇市の地盤状況を全体的に把握できるよう試みた。筆者らの「那覇市の地盤について」<sup>32)</sup>の内容は地質の構成、地下水の状況、および土質柱状図一覧から成っている（軍用地を除く）がこゝではその概要について述べることにする。

### i) 地質構成

概略的地質構造は図-II-4-30によって把握することができる。<sup>33)</sup>

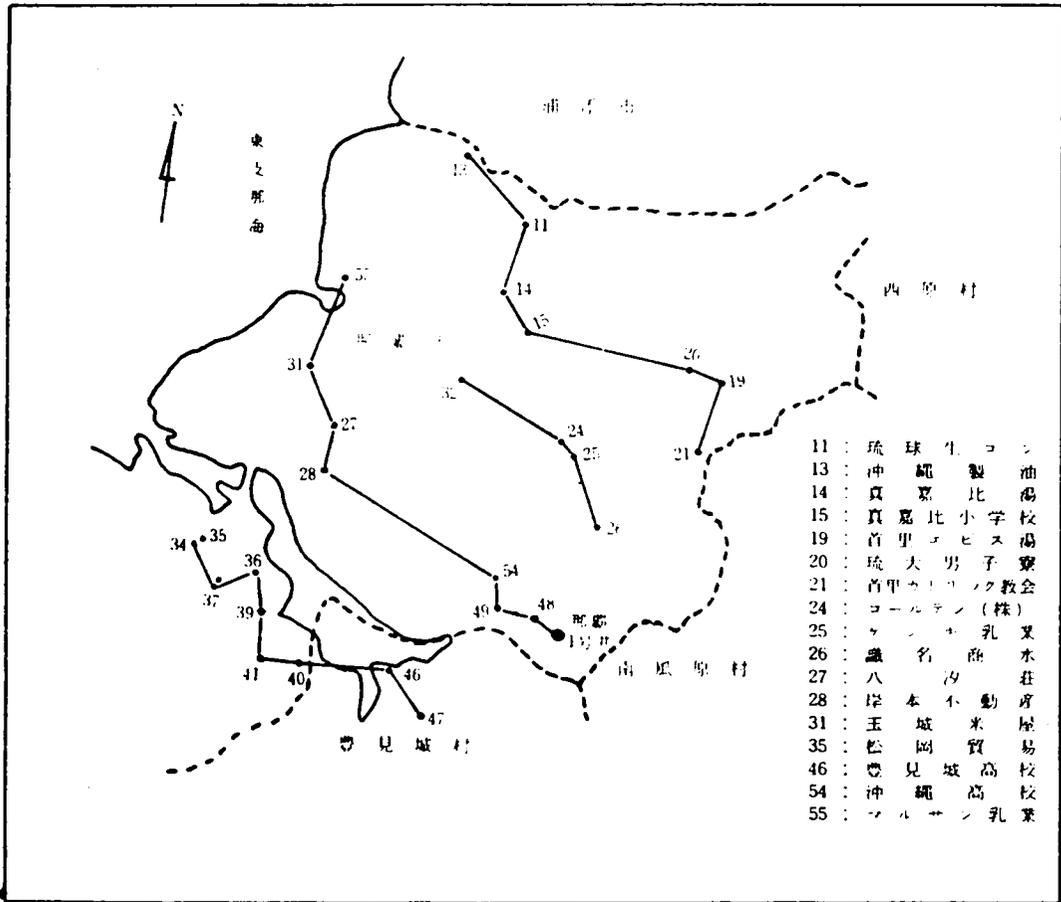
同図 b. においてはNo.39奥武山給油所の北西側が単斜構造をなし、南東側には階段断層が推定される。同図 c. においては全体として単斜構造をなし、同図 d. では貧状構造の断面に似た地質構造が認められる。また、同図 e. では首里地域にドーム型の地質構造が認められる。

那覇市内の主な断層としては首里断層をあげることができる。この断層は泊一大道—首里の南川—南風原村新川—与那原町を結び、さらに、これから別れた大道—首里—西原村を結ぶ断層も存在する。

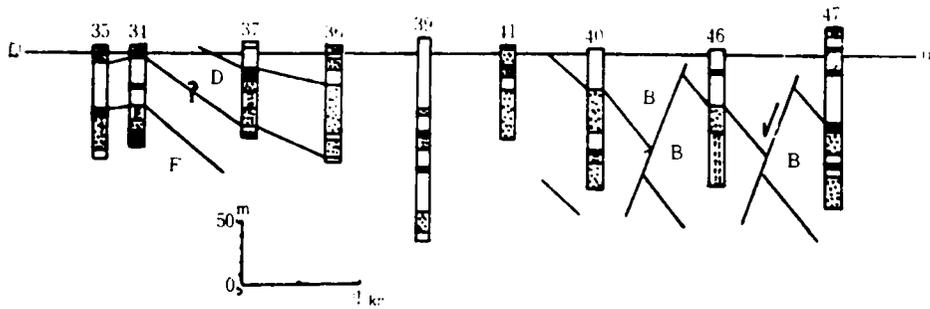
那覇市の地質は大別して古い順に新世代第三紀中新世の島尻層、第三紀鮮新世から第四紀洪積世にかけての琉球石灰岩、さらに沖積世の隆起珊瑚礁及び海浜堆積物に分けることができる。

#### ① 島尻層

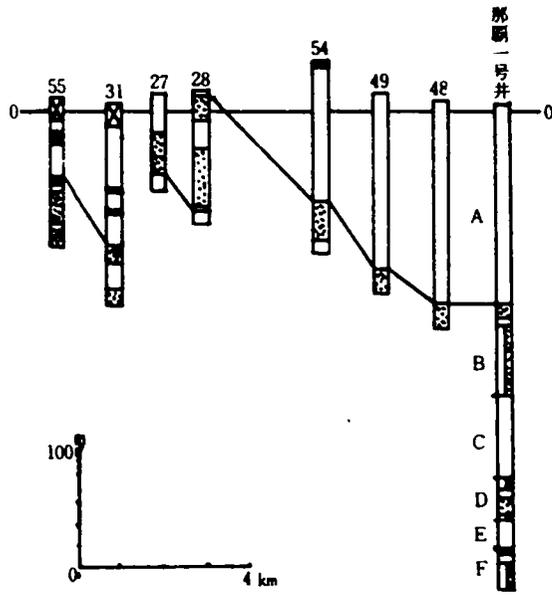
島尻層は沖縄本島南部地区では一般に南々東に向って緩傾斜する単斜構造を呈するが那覇市においては一部西ないし南西に傾斜しているところもあり、局部的にはいろいろな方向に傾斜しており、複雑な地殻変動を経てきたようである。



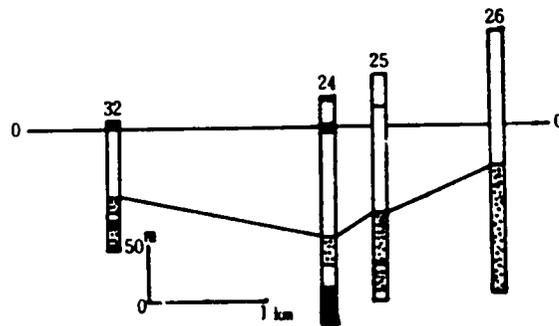
図Ⅱ-4-30, a) 那覇市内の調査井地点 ;



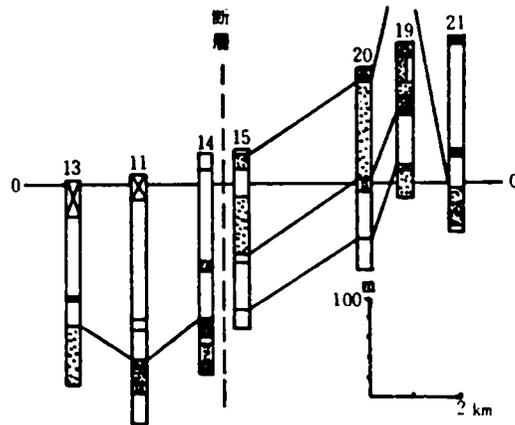
図Ⅱ-4-30, b) Geological correlation of well logs (Tomigusuku-Yamashitacho line)



☒ II - 4 - 30, c) Geological correlation of well logs (Nakaima-Tomariko line)



☒ II - 4 - 30, d) Geological correlation of well logs (Shikina-Asato line)



☒ II - 4 - 30, e) Geological correlation of well logs (Sakiyama-Aja line)

本層は旧那覇市地域を除くほとんどの地域で露出しているが、露出していない地域ではだいたひ琉球石灰岩の下にあり、地表面から本層までの深度は場所によって変化している。泊高橋では川床からおよそ20メートル、西新町のハシフィックホテルや沖縄ガス株式会社さらに安謝のアサヒ商会ではおよそ50メートルで島尻層が確認されている。那覇新港においては場所により異なるが20～30メートルで島尻層に達する。(以上の深度はボーリングによって確認されたものであるが、柱状図を参照すれば近接地点でも一定の深度でなく、起伏のはげしいことがわかる)。島尻層は地山のままでは支持力大で那覇市内のほとんどの土木、建築構造物の支持地盤となっているが風化してしまうと強度が激減し、盛土材料として使用することもできず、埋立用材料としてのみ使用されている現状である。

島尻層の層別分類には半沢(1935年)、MacNeil(1960年)、牧野・樋口(1967年)、福田・影山(1967年)らによる方法があるが、一般に新里層、与那原層、那覇層(福田らの沖縄天然ガス研究グループ地質・物探班は「琉球列島における新第三系」で豊見城層と呼びかえている)に分けることができる。これらの層は一般に上部から新里層、与那原層、那那層の順に堆積している。これらの中で那覇で見られるのは与那原層と那覇層である。那覇市における島尻層の層厚は奥武山の那覇二号井(天然ガス試掘井)により約900メートルと確認されており、<sup>34)</sup> その下は古生代の硬質砂岩と黒色粘板岩の互層からなっている。又、首里での層厚は3000～4000フィートと推定されている。<sup>35)</sup>

与那原層は主として青灰色～暗灰色のシルト質粘土及び泥岩からなっており砂岩の薄層を挟むことが多い。泥岩地帯でも地下水が得られるのは砂岩層によるものである。この砂岩の薄層が傾斜地においては地下水の通路となり、地すべりを誘発する原因になることが多い。写真-1の帯状になったところは泥岩中の砂岩薄層である。

那覇層は与那原層の下にあって地表面に露出しているのはごくまれであるが那覇市地域では小禄具志、宇栄原地区一帯首里北部(汀良、久場川、石嶺)一帯でやゝ広範囲に見ることができる。地表面に露出している小禄砂岩は那覇層の上部層であり、灰色～黄灰色の半固結細粒砂岩であるが泥岩の薄層を挟むことがある。この砂岩層は与那原層下においては普遍的に認められ、被圧帯水層となっている。写真-2は小禄砂岩層であり、写真でもわかるように小禄一帯ではほぼ水平に堆積し、鉛直に切り取っても切り取り高さ7～8メートルまで可能などころもある。他に砂岩層は楚辺一帯、那覇高校付近、真壁小学校付近で部分的に地表面に露出している。



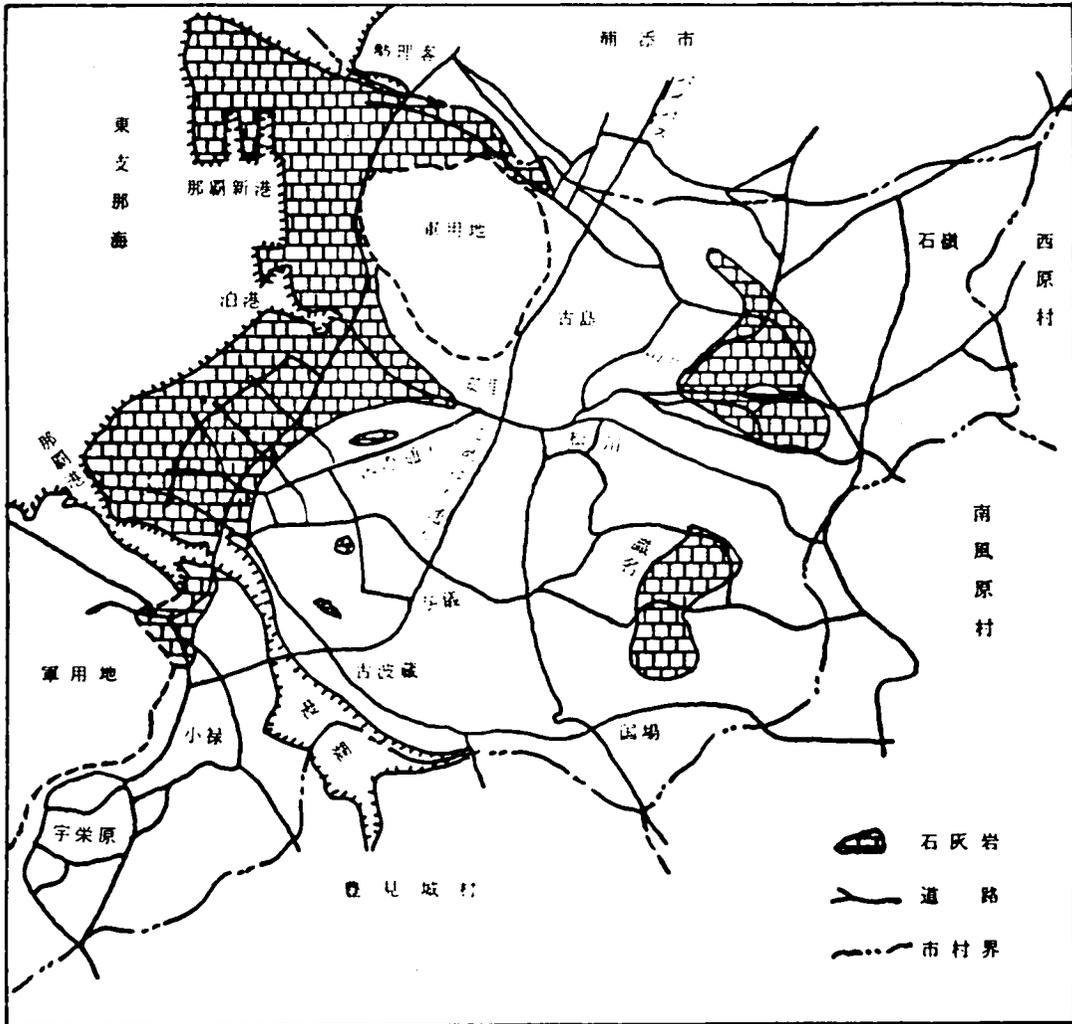
写真1 泥岩(土)層

② 琉球石灰岩

琉球石灰岩は島尻層の上に不整合に堆積しており、那覇石灰岩、読谷石灰岩、牧港石灰岩に分けることができる。那覇に分布するのが那覇石灰岩で三者の中で一番古いといわれている。これらは珊瑚礁など石灰質生物遺骸堆積物が隆起し、溶結したもので那覇石灰岩(第三紀鮮新世)は硬質～軟質、白色・なしている。なお読谷石灰岩(第四紀氷河期)は更新世質粗く、硬固ならず多孔質のものが多く、牧港石灰岩(第四紀氷河期後期)は粒状珊瑚が粗に固結堆積したもので俗称栗石といわれている。那覇における分布はだいたい那覇石灰岩が主で、図-II-4-31に示すようになっている。地表面に大きく露出している地域は首里、識名、安謝から天久にかけた一帯、那覇港南岸付近等である。



写真2 砂岩(土)層



図II-4-31 那覇市内の琉球石灰岩分布概図 in Naha-city

さらに旭ヶ丘公園，緑ヶ丘公園，希望ヶ丘公園，城岳公園，楚辺等でも少々見ることができ。首里における石灰岩の切り取り面を示したのが写真-3である。石灰岩層の厚いところは首里の儀保，天久，安謝，旭ヶ丘公園からパシフィックホテルにかけた一帯，那覇港南岸等であり，これらの中には厚さ50メートルを越えるところもある。（既述石灰岩地形の項参照）。

### ③ 隆起珊瑚礁及び海浜堆積物

隆起珊瑚礁は那覇市のほとんどの沿岸に分布している。特に那覇新港沖では珊瑚礁の発達が著しく，浅瀬となっているところもある。

安里川，久茂地川及び国場川はドブ川と化し，川床ではヘドロが堆積し，町の美観をそこねている。安里川，久茂地川のヘドロの層厚はだいたい10メートル以下であるが国場川の川口に当る漫湖では深いところでN値0～3のヘドロが約20

メートルも堆積している。  
このようなヘドロの層の厚いところ  
では構造物の基礎はほとんど下の島  
尻層に達するパイル基礎となってい  
る。

## ii) 地下水

住民は上水道が普及する以前から掘  
技き井戸や湧水などにたよって飲料水  
を得てきた。これらの掘技き井戸や湧  
水ヶ所の取水施設は今でも一部使用さ  
れており、旧那覇を除くほとんど全域  
にわたって残っている。図-II-4-32はそ  
れらの概要を地表面からの水位深度別  
に図示したものである。

那覇市における地下水は大きくわけ  
て島尻層中の地下水と琉球石灰岩中の  
地下水に分けることができる。これら  
の地下水の水質については他の文献<sup>4)</sup>  
に詳しく述べられている。

### ① 島尻層中の地下水

島尻層中の帯水層は砂岩層であるが泥岩層地帯でも砂岩の薄層がサンドイッチ  
状に挟まれているので地下水を得ることができる、人力による掘技き井戸ではこ  
の砂岩層からほとんど浅いところで地下水を得ているが表面流水による汚染が著  
しく見られる。

この層中では多量の地下水を期待することはできないようである。エアーリフ  
トを用いた井戸での揚水実験によれば口径 100 ミリメートル位の井戸で 1 日 1 本当  
り 50 ~ 100 立方メートル程度である。<sup>36)</sup>

砂岩層中の地下水はもともと海水を含有していたが年月がたつ間に雨水がしみ  
こみ、淡水化している。しかし、深い所ではまだ海水が残っており、砂岩層中の  
地下水が使える限度は地下約 150 メートルと推定されている。<sup>36)</sup>

### ② 琉球石灰岩の地下水

琉球石灰岩中の地下水は石灰岩とその下の地層（島尻層）との境界面に沿って  
流れ地下川の様相を呈している。地下水は石灰岩下の層に凹形になったところが  
あればそこに溜り、凹部が地表面に露出しているところでは湧水となって見られ

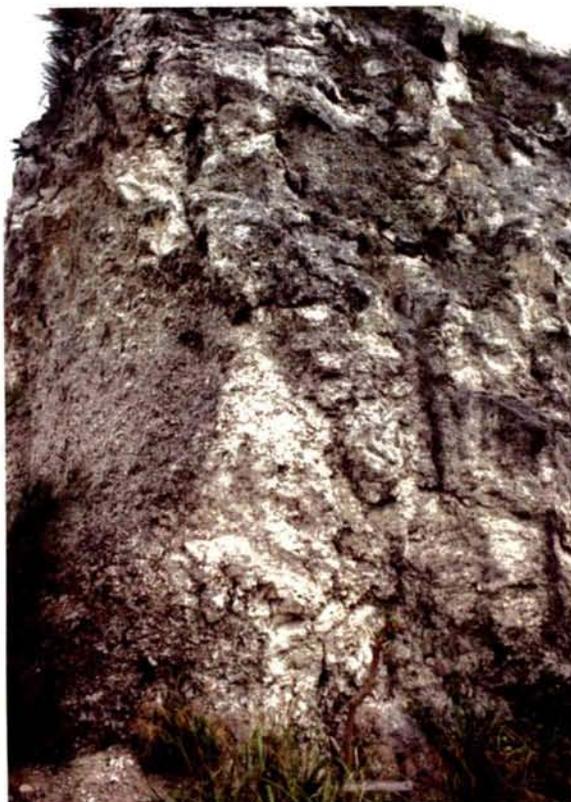
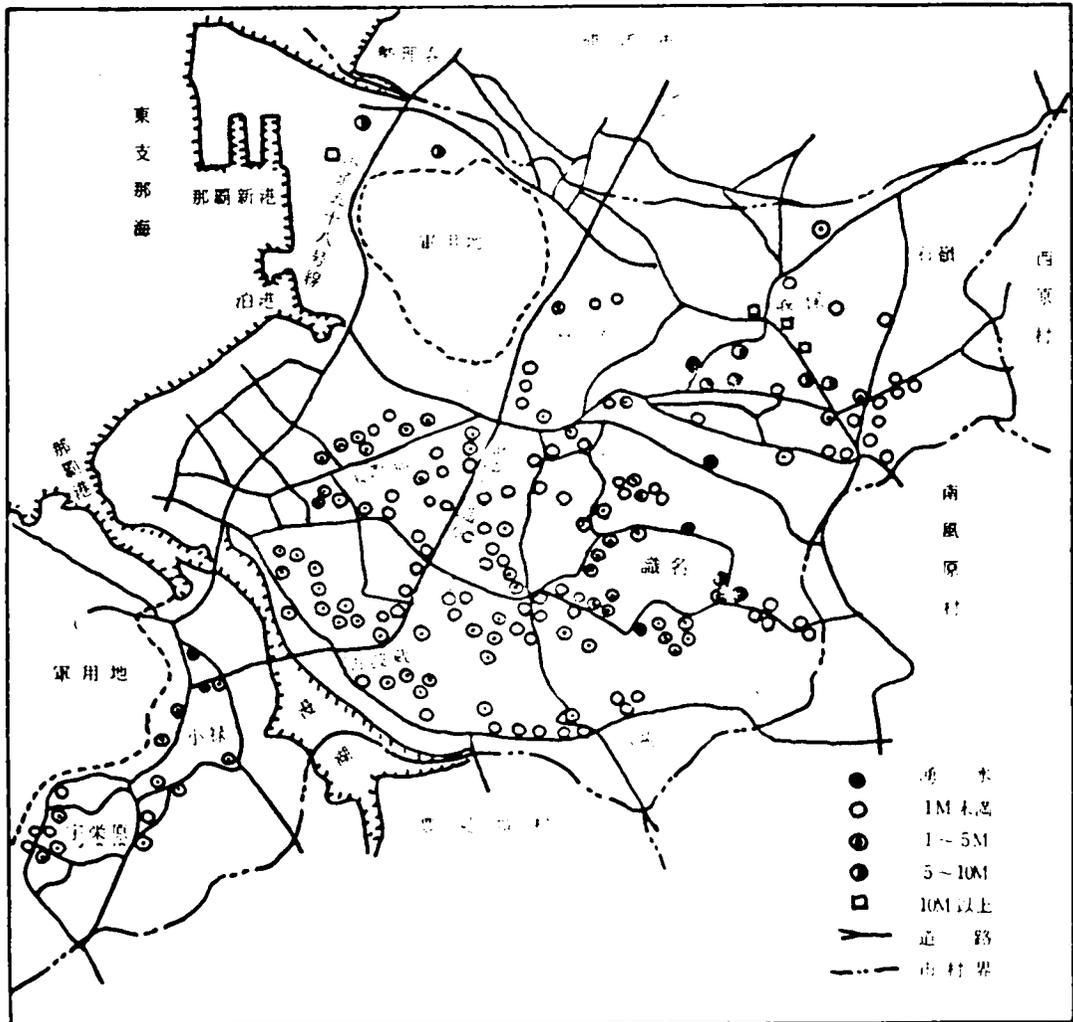


写真 3 琉球石灰岩



図Ⅱ-4-32 那覇市内の井戸の分布

る。その例を図示したものが図-Ⅱ-4-33であり、写真-4は首里山川の湧水である。これは戦前飲料水として利用されていたが現在では主に洗たく用水として利用されているようである。このような湧水の例は他に首里の金城、識名、上間及び山下町等で見ることができる。これらの湧水の中には簡易水道に利用されているところも2.3ヶ所見られる。旧那覇でもこのような湧水現象が生じ湧水は海中へ流出していると考えられる。

石灰岩中の掘抜き井戸の地表面からの水位はだいたい10メートル以下であるが首里の儀保や天久では10メートルを越えるところもあり、井戸の底となると地表面から30~40メートルにも達しているところがある。

石灰岩中の地下水の特徴として、雨が降らなければ水位の減少が著しく、従って降雨量がそのまま地下水に大きく影響してくる。さらに汚染されやすいという

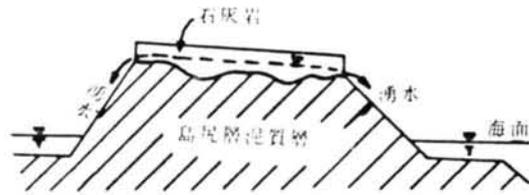


図-Ⅱ-4-33 島尻層と琉球石灰岩との間の地下水賦存例

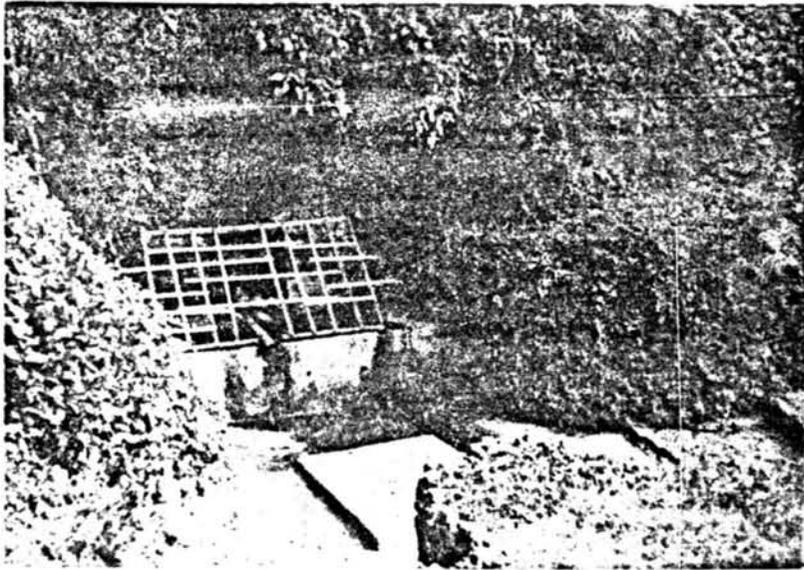


写真4 首里山川の湧水泉

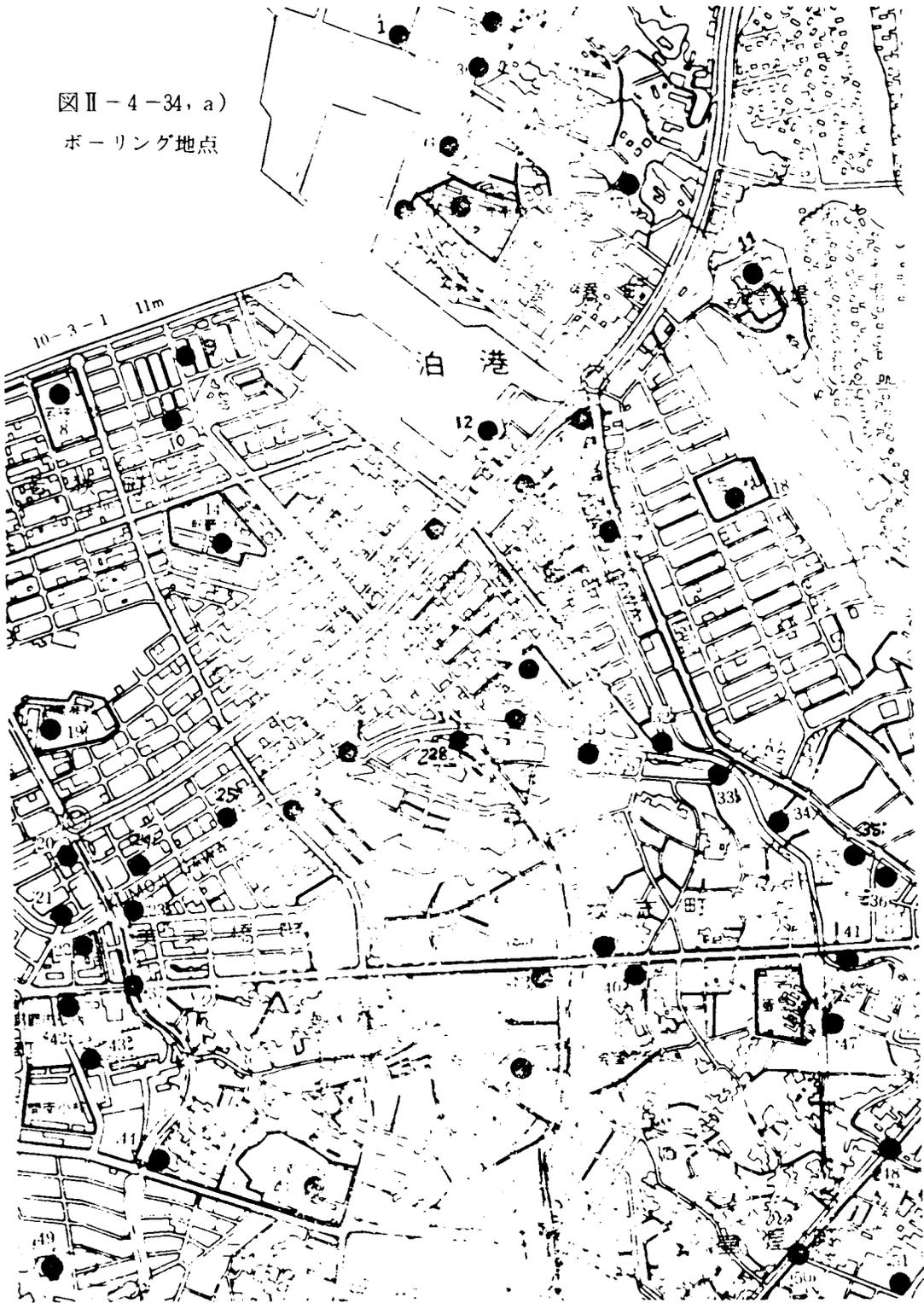
欠点がある。

### iii) 土質柱状図

柱状図は関係各方面の協力により、那覇市内各所のボーリング資料を基にして作成した。収集したボーリング資料からできるだけボーリング深さ10メートル以上のものを取り出し、那覇市の地図上にプロットしたが資料不足の地域は10メートル以下でも採用し、合せて約250本記載した。詳しくは筆者らの文献<sup>32)</sup>を参照されたい。こゝでは1例を図-Ⅱ-4-34に示す。

土質の分類は原則としてASTM土の統一分類法(盛土および基礎用)に従うことにした。柱状図に示してあるのはあくまで現場における判別分類であり、実験室へもちかえっての実験結果による分類ではない。島尻層の分類に関しては原則としてN値30以下を統一分類し、それ以上は岩として、泥岩、砂岩のいずれかに分類してある。琉球石灰岩の場合はN値の信頼性が薄く、従って風化の度合により、風化し

図Ⅱ-4-34, a)  
ボーリング地点



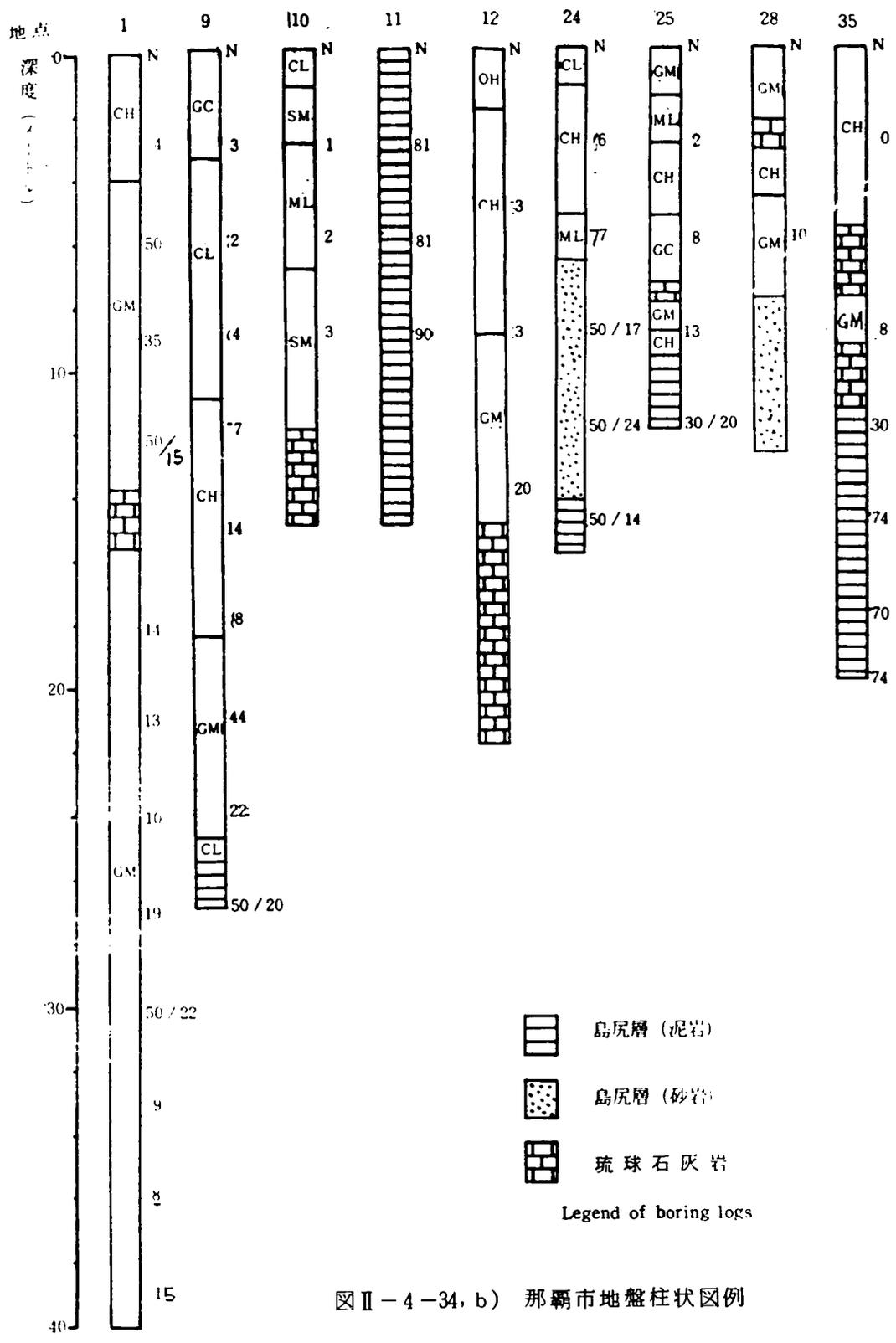
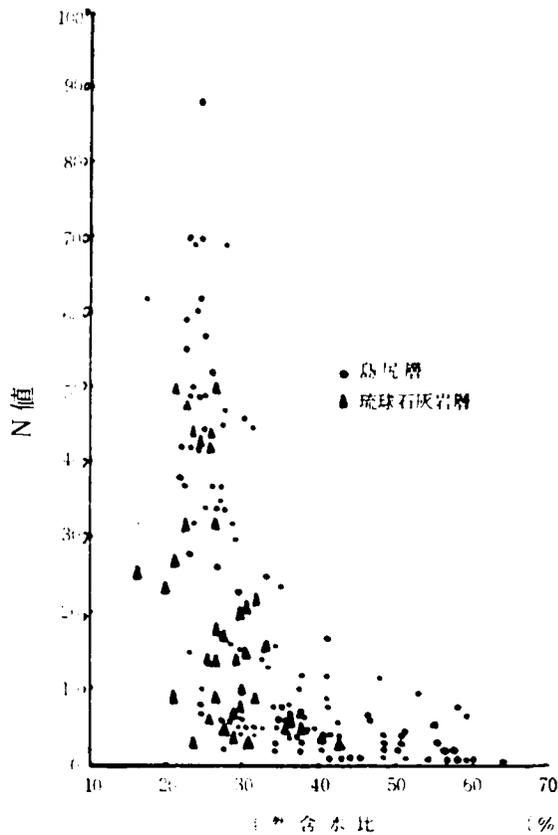


图 II - 4 - 34, b) 那霸市地盤柱状图例

ておればいくつかのレキ、砂に分類されている，土質記号は統一分類法の記号を用い，岩類のみ図一Ⅱ-4-34のような表示をした。土質柱状図ではできるだけN値を並記した。N値と自然含水比の相関関係を示したのが図一Ⅱ-4-35である。

また，これらボーリング資料から，地盤深さとN値の関係を調べてみた結果，図Ⅱ-4-36に示すように，泥岩，砂岩ともに深度増に伴うN値の様な増加はみられず，（このことは一ボーリングヶ所においても同様であることがわかっている）基盤，島尻層の全盤的な性格をみてよい。ただ，砂岩の場合は深度と若干の関連性がうかがわれるのに比し，泥岩の場合は全く無関係である。これは，砂岩の堆積状況によっては，土かぶり圧の影響（圧密圧縮の程度）があるが，泥岩の場合は，本データでは，完全風化土層は除かれ，準風化層<sup>37)</sup>以下の部分（前述N値30以上を泥岩と明示）についてのみ検討していることに多少関係があるかもしれない。



図Ⅱ-4-35 N値と自然含水比との関係

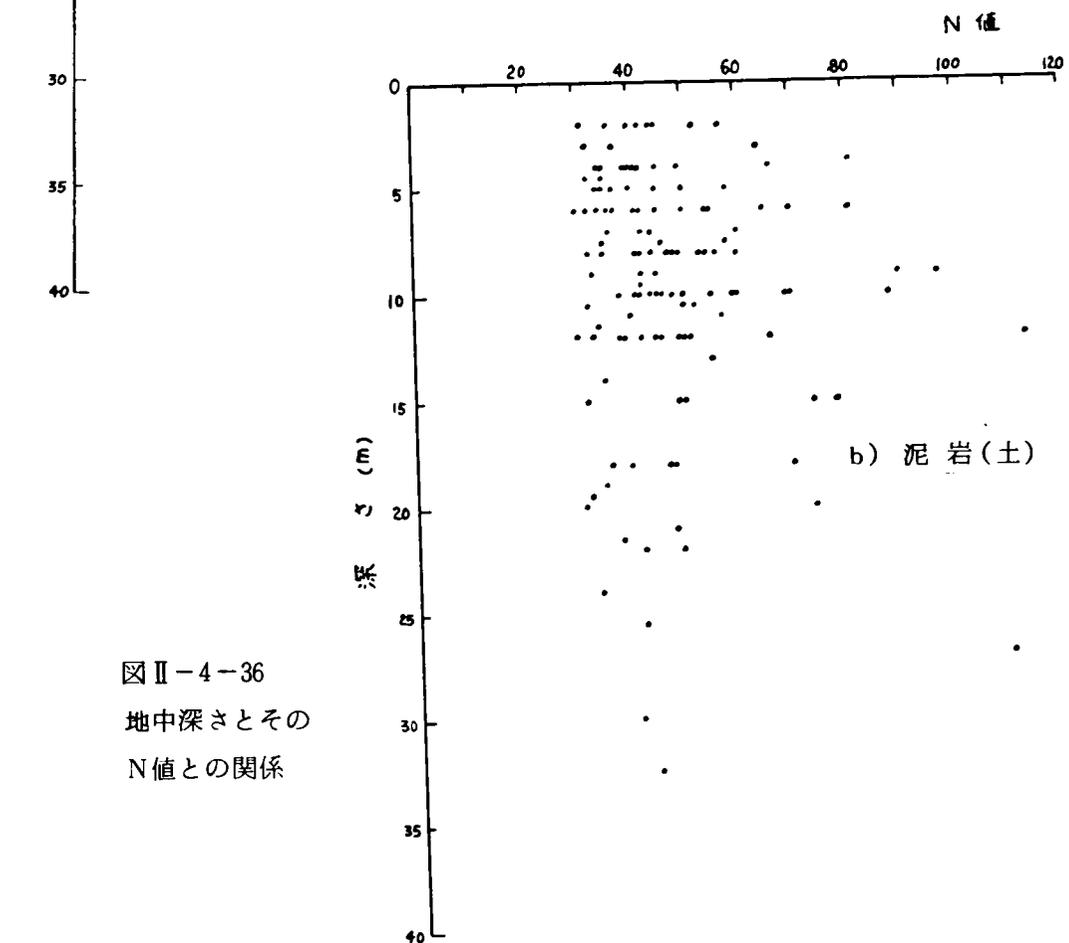
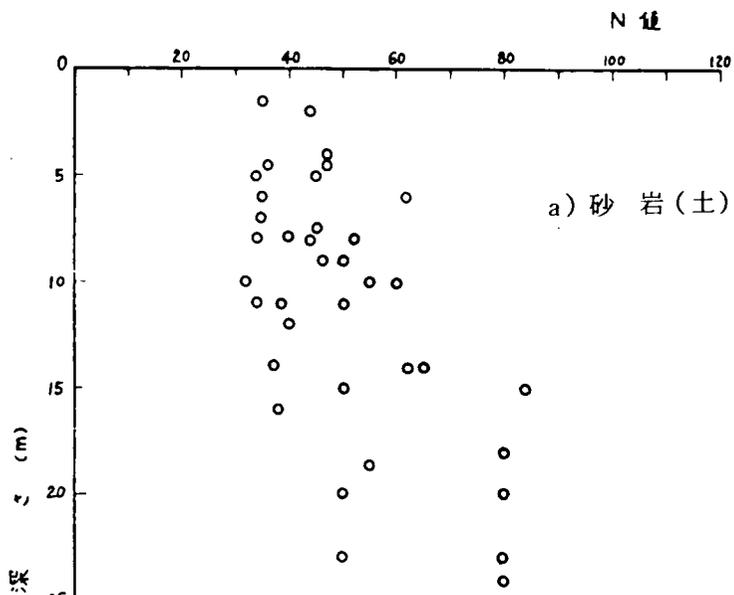


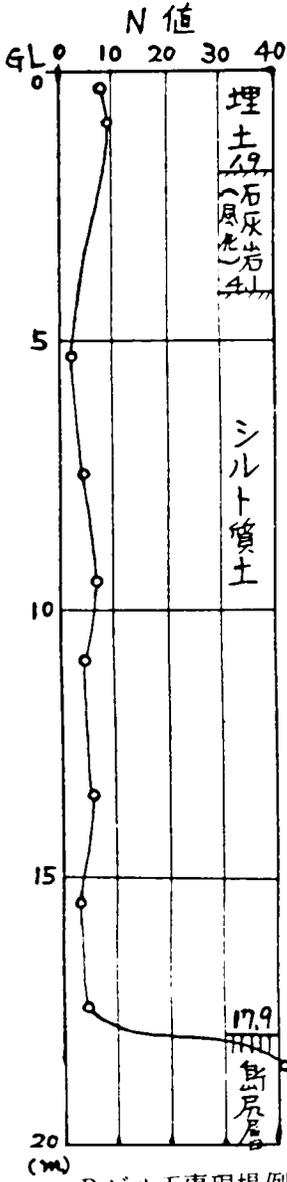
図 II-4-36  
 地中深さとその  
 N値との関係

次に工事現場（琉海ビル）および将来工事計画（那覇港臨港道路）<sup>38)</sup>におけるボーリング等土質調査結果に基づいて地盤支持力について検討を加えてみる。もっとも、那覇市（および中南部地域一帯）では島尻層が基盤として認められ、小規模構造物を除いては、島尻層に基礎を定着させることが常識であり、かつまた本層の沈下はほとんど生じないこともあって、ここではこの島尻層（未風化泥岩層）の支持力についてのみ論じる。

中南部地域では、地質条件の所でも述べたように、島尻層が広く分布し、地表に直接露出しているヶ所、“石灰岩”下に不整合に存在しているヶ所、または河川、臨海、地域で数メートルないし10数メートルの沖積層の下位に存在しているヶ所などがある。また、島尻層の上位から、その完全に風化、土壌化した表層、やゝ風化のすゝんだ“準風化層”、および未風化層とに大別でき、表層土を除いて、一応基礎地盤として対象となっている。こゝでは、準風化層以下のいわゆる“地山として良好な地盤”をとりあつかうものである。

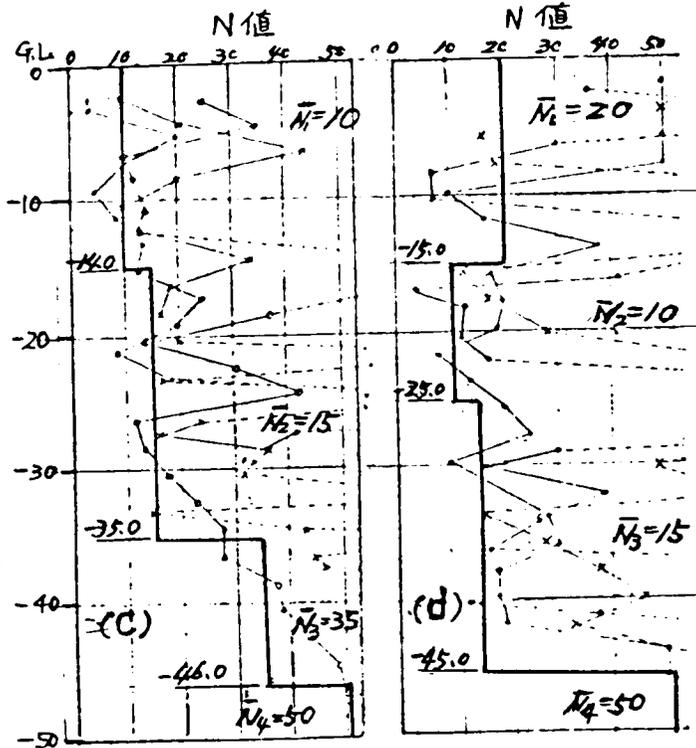
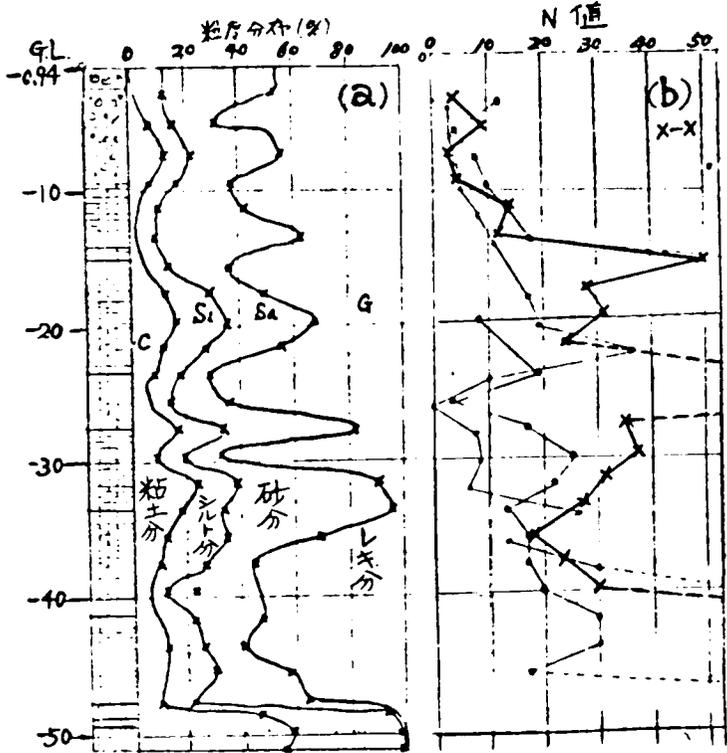
こゝでこれら工事のためのボーリング柱状図の若干例を示す(図-II-4-37)が、これら土層を標準貫入試験結果からみた場合、上位の沖積層や琉球石灰岩は変化にとんでおり、信頼できる支持層とはなりえない。したがってこれら工事計画においては、いずれも支持層としては島尻層をあてることになる。図およびすでに述べたことからわかるように島尻層の深度増に伴うN値の一樣な増加は認められず、ほゞ一定値( $N \geq 40$ )を保つ地表からの深さは地域によっても変る。そこで、島尻層の設計採用N値をいくらにとるかということが問題となるが、これまでの経験からN値を40~50にとるのがよいようであり、もちろん、正常にはN値の測定ができない即ち30cm貫入が困難ないし不可能なケースによく出会すことから、十分に支持力の確保は考えられている。

なお、土質状況は接近した地点にあってもかなりの変化が認められる場合が多い。従って本資料を利用する場合はあくまで予備調査の資料であって、実際の工事の場合は工事規模にみあった調査計画資料として利用することが望ましい。



Rビル工事現場例  
(陸地)

那覇臨港道路例  
(海中)  
(a), (b)  
粒度組成とそ  
の地盤N値  
(c), (d)  
代表的地盤例



図Ⅱ-4-37 地盤図 (那覇市内)

今こゝで、これらデータをもとに支持力を推定すると次のようになる。たゞ、非常に数少ない現位置載荷試験（那覇病院敷地、浦添市内税務関係者研修所敷地 etc.）の結果、島尻層未風化層の降状支持力は大体  $300 \sim 400 \text{ t/m}^2$  とされており、この値と推定値とを比較してみた。

建築基礎（直接基礎）としての 1 例

- 計算条件
- N 値 = 40
  - 正方形基礎，根入深さ  $18.0 \text{ m}$
  - 単位体積重量 =  $1.7 \text{ t/m}^3$ ， $\phi = 0$ ，全セン断破壊

演 算

Terzaghi & Peck らの粘土に関する次式については、村山、赤井、森田らの報告で非常に硬い粘土では修正の必要があると言われているが、<sup>39)</sup> とりあえずこゝではこの式を使ってみる

$$\text{一軸圧縮強度} \quad q_u = 2C \approx \frac{N}{8} \text{ t/ft}^2 = \frac{N}{8.2} \text{ t/m}^2$$

$$\therefore \text{粘着力 } C = \frac{q_u}{2} = 25 \text{ t/m}^2$$

なお、島尻泥岩の未攪乱成形供試体からは一軸圧縮強度は  $25 \sim 40 \text{ Kg/cm}^2$  が得られている。

$$\begin{aligned} \text{支持力} \quad Q_u &= 1.3C(N_c) + 0.8 \gamma t \cdot B \cdot \left(\frac{1}{2} N_r\right) + \gamma t \cdot D_f (N_q) \\ &= 216 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

なお、杭打試験の例から、<sup>38)</sup> Hiley の動的支持力公式 ( $R_a = \frac{1}{3} \cdot \frac{ef \cdot F}{S + \frac{k}{2}}$ ) により、許容支持力を算定すると、N 値 40 で約  $200 \text{ t/m}^2$  の値を得ている。

以上の結果から島尻層泥岩の地盤支持力は通常の構造物で十分な支持力を有するものと考えられ、良好な地盤と言えよう。

## (2) 中北部海浜の砂レキ層地盤について

この項は、国道58号線改良工事に伴う海岸沿い地域の地質状況の把握と道路設計・施工に必要な資料を得る目的でなされた報告<sup>40)</sup>からの引用による、中北部地域海岸沿いに多い砂レキ層（サンゴ砂利、貝殻片、シルト、粘土を含む）の地盤についての検討から成っている。

調査内容はボーリング、（標準貫入試験）スウェーデン式サウンディングとなっており、あわせて53回実施している。調査地附近の地表面には粘板岩を主とする岩塊（名護層中の）が覆っているが、沖積層の砂レキ層がよく発達している。本沖積層を簡単に説明すると、上位より次のような層構成をなしている。

- ① 砂レキ層； 淡灰褐色～灰褐色を呈する。レキ分は finger coralレキが主で貝殻片，シルト，粘土を混入する。層厚は10～14 m もあり，地点によって変化する。本層はほとんど飽和状態にあり，N値は2～10の範囲にある。
- ② 砂層； 細砂～粗砂から成るが，中～粗ないし中～細あるいは粗砂と層別があり，一般に青灰色を呈しているものゝ褐色を呈する層もある。粒子の形状は丸味を帯びており，やゝ均質性があり，即ち粒度のほゞ均一な砂の互層を成している。粗砂には若干のレキ分を混入することもある。各層厚は小さいので1.0 m余から大きいので6.0余もあり，N値は大体10～20を示す。
- ③ 砂レキ層； 石灰岩風化層が主体をなすが，粘板岩レキや砂分を若干混入する。明褐色～褐色を呈し，レキ，砂，粘土分をもって構成されるが，深度20ない20数メートル以下にあって，N値も50以上の硬質層となっている。層厚は1.0 m～3.0 mを成している。
- ④ 粘土質砂； 褐色～青褐色を呈し，粘土とシルトの層が来在し層厚は1 m前層後でN値は30～50を示す。

この地盤構成は，北部地域の海浜における代表的な例とみなされ，中部海浜の沖積砂レキ層と対比されよう。

中南部地区では，北部地区海浜が，その内陸部の主体的地層をなす中・生代粘板岩，千枚岩，砂岩，片岩，レキ岩等由来の碎片で構成されがちなのに対し，現世サンゴ礁もしくはいわゆる琉球石灰岩を起源とするレキ，砂およびシルト，粘土から構成されている。これら砂レキ層は，琉球石灰岩ないし，鳥尻層の上に堆積している。中南部のこれら沖積層の層厚は，最大30mを超すこともあり，N値は10～20を普通とし，レキ混り層においては40～50を示すこともある。<sup>38,41)</sup>

支持力等について概略検討してみると，Terzaghiの限界支持力公式を適用すれば，次のようである。但し，この場合 $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$ とし，N値を7として $\phi = 29^\circ (\sqrt{12N + 20})$ としている。

基ソ幅	2 m	4 m	}	全セン断破壊
$q_a \text{ (t/m}^2\text{)}$	15.5	31.0		
基ソ巾	2 m	4 m	}	局部セン断破壊
$q_a \text{ (t/m}^2\text{)}$	4.5	9.0		

両者の平均をとって，許容支持力（安全率=2）は次のようになる。

基礎幅 (m)	2	3	4	5
$(\text{t/m}^2)$	5.0	7.5	10.0	12.5

沈下量については砂地盤より小さくなる（砂レキ質）であろうし，粘土地盤に比して，即時的沈下を示すはずであるから，地盤としては安定であると考えられる。但し，振動時の液化現象については今後の問題として残されよう。

## 5) 結 語

以上、沖縄諸島における地質および土質条件について論じてきたが、これらを踏まえて総括を行なうと、次のようにむすばれる。

沖縄における土木工学的および土木技術的諸問題、とりわけ土質や地盤の事故・災害やその防災または改良の問題を、論ずるにあたっては、先ず、その自然環境的諸条件、すなわち気象現象、地形条件、地質条件および土質・地盤条件を把握認識しておかなければ、個々のケースとして、個々独立無関連的に、または、一時的、不可抗力的な問題として取扱われる危険性が生じる。このことは、これら環境条件が、厳しい条件として、かつ、拘束条件として直接間接に、沖縄の土質工学的諸問題の取扱い方に影響を、実際の場合で、与えていることから明らかである。

その観点から、沖縄諸島の地形、特に、地形区分の細分化、具体化が必要であるとしてとり上げ、次いで、これまで地質専門家等によって成果をあげてきた沖縄の島々の地質状況を個々の調査研究成果としてではなく、土木工学および土木技術の場にある者からの利用対象とし review または Summing up している。たゞ、この作業は、これからも追加、補充、修正等もなされる筈のものであり、また、現場に立つ者として、より detail 的なものが要求されるものであろうが、地質学分野の者のみならず土木の分野の者も、ローカルな場所での地質・土質調査の資料を蒐集整理しておかなければならない問題がある。

次に、もう一つの条件としての土質・地盤状況について、こゝでは、先ず、表層土壌・土質の態様、特性を調べ、Soil map または Soil engineering map の作成を急ぐ必要性について述べた。そのために、旧来の農業土壌的な立場からの、主要島々の土壌分類・分析を review し、日本統一土質分類法の適用に関連させて、土木工学の場からの分類・分布を試みている。そのなかで、土のコンシステンシーによる分類法に関して、液性限界測定装置のちがいによる結果のちがい、フォールコーン法との関係および一点法適用式の提案などを行ないつゝ、主要島々の主として細粒土を対象に、三角座標や塑性図上での位置づけと分類特性を明らかにしている。このことは、各島々の基礎地盤資料の整備作業ともつながるものであり、“地盤図”作成への要望が高まりつゝあることも指摘したい。この意味から、こゝで、主要土木・建築構造物がつくられ、その needs の高い那覇市内、近郊や海浜沿いの基礎地盤について検討を加えている。これまで、建設行為のためのボーリングその他の土質調査が、部分的に、または、局地的になされてはきたものゝ、その内容および数量的に十分なものではなく、かつまた、そのデータが広く公表利用されずじまいになる傾向にある。これを一括して掘り出し、官民協力のもとに“地盤図”作成に向けて一歩すすめることを願って、那覇市の地盤について論じている。一方、湾岸道路、海岸構造物構築に出会すサンゴ砂利含有砂レキ層の性格についても検討を試み、若干の知見を得て、今後の指針を示している。基礎地盤の特性や土質分類・分布特性については、これからも地道に調査研究を行ない、地

形・地質の現条件ももちろんのこと、風化、侵蝕、土壌化のプロセスをもあわせ考えてゆかなければならない広範な問題があることを痛感する。

## 参 考 文 献

- 1) 上原方成 沖縄の地質および土質事情 第68回建設技術講習会テキスト  
(全日本建設技術協会) 97~128, 1971
- 2) 鴨下, 横井, 兼松  
沖縄県土性調査報告 農業改良局 1932
- 3) 鎮西, 大屋, 古謝  
琉球の土壌と土地利用 琉球大学農学部農芸化学科  
1~186, 1967  
松坂, 出井, 音羽, 浜崎  
沖縄本島土壌調査報告書 琉球政府経済局 1~60, 1963  
山本, 山田, 本村, 市来  
石垣島, 宮古島土壌調査報告書, 琉球政府経済局  
1~110, 1964
- 4) 小林嵩, 品川昭夫  
南西諸島の土壌に関する研究 1. 鹿児島大学農学部学術報告  
No. 16. 11~55, 1966
- 5) 福田理他 第5次沖縄天然ガス資源調査・研究概報  
地質調査所月報 vol. 21-11 637~638, 1970
- 6) 大城喜信 X-線回折分析による沖縄本島主要土壌統の一次鉱物と粘土鉱物  
物の同定 沖縄農業 7巻第2号 37~41, 1968
- 7) 三木五三郎 特殊土判別分類の問題点 第17回土質工学シンポジウム  
39~44, 昭47.
- 8) たとえば土質工学会第10回シンポジウム(昭40), 同第11回シンポジウム  
(昭41)  
内田・松本ら(土木学会誌 vol. 38-1, 1953, 土と基礎 vol. 3-12,  
1955),  
神山(土と基礎 vol. 7-1, 1959)など
- 9) 上原方成 器具の相違による液性限界値のちがいと一点法の適用について  
琉球大学理工学部紀要工学篇第2号 111~126, 1969
- 10) 上原・砂川 液性限界測定装置に関する比較実験  
土木学会第27回年次学術講演会 第 部 479~480, 昭47
- 11) 土質工学会 土質試験法(昭39年版)
- 12) ASTM Procedures for Testing Soils p.p. 95~96 (1958)

- 13) L. E. J. Norman : A Comparison of Values Liquid Limit Determined with Apparatus Having Bases of Different Hardness, Geotechnique vol. 8 p.p. 78~91 (1958)
- 14) J. E. Mitchell ; Liquid Limit Results from Various Types of Grooving Tools. ASTM STP No 254 p. p. 197~202 (1959)
- 15) M. D. Morris, R. B. Ulp, R. J. Spinna ; Recommendations for Changes in the Liquid Limit Test, ASTM STP No 254 p. p. 203~211 (1959)
- 16) A. Casagrande ; Notes on the Design of the Liquid Liquid Limit Device, Geotechnique vol. 8 p. p. 84~91 (1958)
- 17) J. Feda, J. Skopek ; Correspondence ; Geotechnique vol. 9 p. p. 30~31 (1959)
- 18) たとえば,  
松本鎌三 ; 土の物理的試験値の個人差について, 土と基礎 vol. 4-6, vol. 10-3  
T. K. Liu, T. H. Thornburn ; Study of the Reproducibility of Atterberg Limits, H. R. B. Record No 63 p. p. 22~30 (1964)
- 19) 三木五三郎 土の“液性限界”試験法の変遷と問題点  
東大生産研「生産研究」11月号, 1963
- 20) たとえば,  
土質工学会 第10回土質工学シンポジウム 昭40
- 21) 北郷, 益田 液性限界測定法に関する実験的研究(第4報)  
土と基礎 vol. 17 No 9 5~14 昭44.
- 22) 藤本広 ; 液性限界一点決定法のための実験式, 土と基礎 vol. 12-9 p. p. 33~36 (1964)
- 23) 横瀬広司 ; 液性限界の一点式決定法について, 土と基礎 vol. 14-6 p. p. 15~19 (1966)
- 24) 柳瀬, 松本, 石塚 ; 本邦沖積粘土の液性限界一点法における  $\tan \beta$  について,  
港湾技研資料 No 22 p. p. 1-25 (昭41)
- 25) 土質工学会 ; 土質試験法, p. p. 91~92 (昭39)
- 26) W. J. Eden ; Use of a One-Point Liquid Limit Procedure, ASTM STP No 254 p. 168 (1959)
- 27) 植下協 土質工学会 土と基礎 講座 土質分類  
1. 講座を始めるにあたって 土と基礎 20-11, 1972
- 28) 宮城調勝 土の粒度試験におけるトリポリリン酸ナトリウムの分教効果  
沖繩農業 vol. 6-No. 2 p. p. 32~35, 1967

- 29) 上原・砂川 沖縄地方の細粒土の物理的性質について<sup>1)</sup>  
 琉大理工学部紀要工学篇 第7号 119~125, 1974  
 または昭和47年度土木学会全国大会および西部支部研究発表  
 会, 概要集
- 上原・大成 沖縄地方の細粒土の物理的性質について<sup>2)</sup>  
 第30回土木学会年次講演会 III-202 昭50
- 浅井・知念 沖縄諸島の細粒土の物理的性質について  
 琉球大学 土木工学科 卒業論文 昭50
- 30) 沖縄県建設材料試験所 昭和49年度 試験年報 1~131
- 31) Skempton A. W. ; The Colloidal Activity of Clays, Proc. 3rd Inter-  
 Conf. Soil Mech. Found. Eng. vol. 1 1953
- 32) 上原・砂川 那覇市の地盤について 琉球大学理工学部紀要工学篇  
 No. 6, 101~162, (1973)
- 上原 方成 那覇市の地盤 月刊基礎工, vol. 4, No.12, (1976)
- 33) 福田理ほか 第四次沖縄天然ガス資源調査・研究概報  
 地質調査所月報 第20巻第2号 19~42 昭44
- 34) 福田理ほか 第5次沖縄天然ガス資源調査・研究概報  
 地質調査所月報 第21巻第11号 1~46, 昭45
- 35) Military Geology of Okinawa Jima, Ryukyu Retto  
 vol. IV. (1957)
- 36) 沖縄水資源開発調査報告 通産省工業技術院地質調査所, 1972
- 37) 上原・大成 沖縄開発に伴う土地環境の変化と防災に関する研究(文部省  
 科学研究費 自然災害特別研究成果報告, 代表者 藤川武信)  
 昭50.3
- 38) 那覇港臨港道路維持管理調査, 研究会資料(下部I編)  
 昭50年2月10日(日本港湾コンサルタント)
- 39) 村山, 森田, 赤井, 能城  
 標準貫入試験と地盤の支持力について 土と基礎  
 vol. 28-No. 12 p. 12, 昭29
- 40) 沖縄総合事務局北部国道事務所  
 比屋根原地区道路設計土質調査工事報告書  
 昭49年8月 国建設計工務株式会社
- 41) 総合土木コンサルタント  
 安謝港地質調査報告, 1968, 株式会社応用地質調査事務所

## 第Ⅲ章 地盤災害とその対策

### 1. まえがき

前章で、沖縄諸島の地形・地質及び土質条件について論じたが、それらと大きなかわりをもって、土木工学的諸問題が生じるなかで、特に、地盤の事故・災害が考えられよう。そのことは、沖縄の社会経済基盤の整備および充実のための諸開発事業（建設関連工事）と無関係ではなく、資源の開発利用とその対策、種々の地盤事故・災害とその対策といった面で重要な事項であることは、再々述べてきたことである。

したがって、われわれは、土木工学または土木技術の立場から、このことを十分検討し、もって自然環境の保全とその積極的利用、すなわち自然との調和ある土木工学の発展をはからなければならない。

広い意味での地盤災害として、沖縄では、地下資源の開発利用に伴う諸事故・災害、すなわち鉱山保安、地下水取水の障害などの問題や、直接的土木関連工事における事故・災害および自然災害としての地盤災害、すなわち山崩れ、地すべり、崩壊、沈下・陥没などの問題があげられる。

本章では、上述のような見地から、建設材料としての骨材、石材の採取または採掘について、その地質工学的立場からの検討を加えて、事故・災害の予防または自然環境保全における対応のたぐいを論じる。というのは、砕石骨材や石材は、主として、“琉球石灰岩”より採掘されるため、落石、陥没事故や雨水受皿および地下水賦存体としての機能損壊という問題を生じ、情勢は一段と厳しくなっているからである。次に、地下水開発利用における対応として、水資源確保の切実な沖縄にあって、その実態を、水理地質の面からとらえ、取水対策やそれに付随する問題について検討を加える。この問題は、地下水取水による周辺井戸の掲水、田畑の干害、および地盤沈下または陥没の例が発生して問題となったことから、こゝで検討の必要があろう。さらに、日頃、自然災害または人為災害として取扱われる山崩れ、地すべり、のり面崩壊などの地盤災害の問題や軟弱地盤その他の事故または災害をとりあげて、その防災および修復工法について地質工学的および土質工学的な面から検討する。

### 2. 地下資源開発利用とその問題点

#### 1) 鉱山資源の開発利用

沖縄諸島において建設材料として考えられるのは、主として石灰岩の利用である。それらはコンクリート用粗骨材、路盤材としてであり、一種の壁材としてのトラバーチン、アワイシがある。また、特にとり上げられるものとしては、海浜に自然産

出するサンゴ片を主とするビーチコーラル (beach Coral, 海砂利) やビーチサンド (beach Sand) などのコンクリート用骨材および北部山岳地帯に産する岩石碎片より成る山砂利など路盤または埋立て (fill) 材料などがある。これらは何れも自然環境の破壊や事故・災害と対立されている点で問題となる。

### (1) 骨材について

骨材には細骨材としての海浜砂 (beach sand), 粗骨材としての砕石 (石灰岩, 時には砂岩, その他も利用される) と海砂利 (beach coral) をこゝではとり上げる。

#### ① 粗骨材 (砕石) について

沖縄諸島には, 河川として, 規模の上では本土の大河川に比してみるべきものはなく, かつ, 天然の骨材である川砂利はほとんど得られない実状である。したがって骨材としては人工的な骨材としての砕石を利用せざるをえないが, 川砂利に比してその粒形など弱点をもっている。

本砕石の原料母岩としては大部分が, いわゆる琉球石灰岩および古生層石灰岩 (本部層) が利用されており, 諸島各地でクラッシャー破碎のあと, スクリーン粒度調整を行なっている現状であるが品質管理の面で不十分な場合が多い。これら生産骨材の物理的性質は上原<sup>1)</sup>が1964年に県内骨材調査結果を報告したが, 最近沖縄県建設材料試験所の報告<sup>2)</sup>, 沖縄総合事務局開発建設部港湾計画課の調査報告<sup>3)</sup>が出されているので, これらをもとに土木学会示方書<sup>4)</sup>に準じてまとめると次のようになる。

(表-Ⅲ-2-1 参照)

比 重 琉球石灰岩砕石は2.40~2.56の範囲で, 本部層古生紀石灰岩では2.68~2.76の範囲にあり, 前者は日本本土のそれに比して小さい値を示している。(JIS A1110)

吸水量 古生層石灰岩砕石はかなり小さく, 1%以下, ほとんどが0.5%以下を示し, 琉球石灰岩砕石では2%~5%の間にある。後者の値が高いのは琉球石灰岩の石質 (多孔質) によるものである。(JIS A1110)

単位容積重量; 琉球石灰岩砕石で1325~1497 Kg/m<sup>3</sup>, 東部層石灰岩砕石で1532~1722 Kg/m<sup>3</sup>の範囲であり, 空げき率は36~45%の範囲である。空げき率は骨材の良否のめやすとなり, 比重, 粒度などによっても変わるが, JISA 5005「コンクリート用砕石」では, 実績率55%以上 (最大粒径25 mm) を判定規準としておりこの点で合格している問題はない。(JISA 1104)

スリヘリ減量; ロサンゼルス試験機によってスリヘリ減量を調べたが, 21~40%の範囲にあり, 中でも本部層石灰岩砕石は, ほとんどが30%以下に

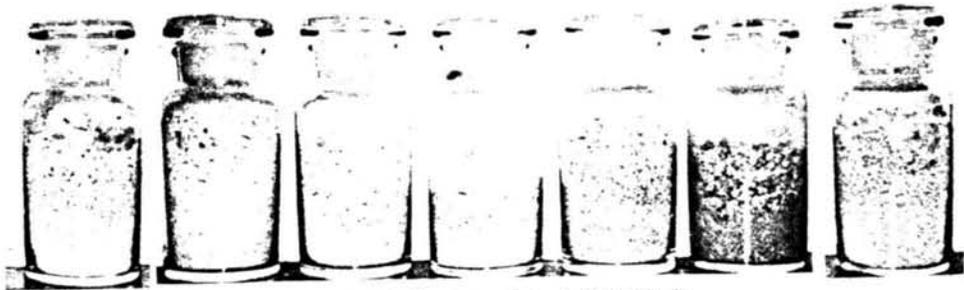
あり，舗装コンクリート（35%）またはダムコンクリートの粗骨材（40%）としての限度以下にある。（JISA 1124）

軟石量<sup>2,3)</sup>； ひっかき硬さを基準にして調べたが，結果は0.00～7.72%の範囲にある。（JISA 1126）

耐久性<sup>2,3)</sup>； 古生層石灰岩碎石はすべて損出量限度12%以下にあり，琉球石灰岩碎石は大部分が限度以下となっている。（JISA 1122, 84条）  
なお，比重，吸水量もあわせ考えると琉球石灰岩碎石はC群，古生層石灰岩碎石はA群にランクされよう（岡田他<sup>土木材料学</sup>）

有害物含有量； 骨材洗い試験（JISA 1103）によれば，0.16～3.70%の範囲にあり，一部に限度（1.5%）を越すものがあり，十分な水洗いが必要であろう。（JISA 1103, 83条）

粒度分布； フルイ分け試験の結果は，土木学会（5～25mm）および建築学会（5～20mm）の標準粒度に照らして，その代表例を図-III-2-1に示すが，前者には，ほとんどが適合しているが，後者からははずれているケースが多い。（JISA 1102, 82条）



細骨材サンプル（海浜砂）

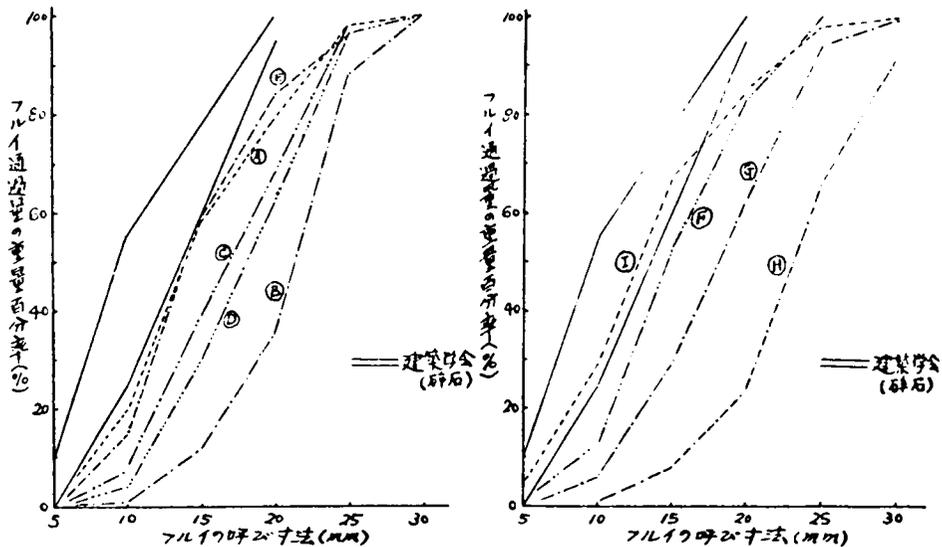


粗骨材サンプル（碎石）

表-Ⅲ-2-1 粗骨材試験結果

記号	岩石質	比重	吸水率 (%)	単位容積重量 (Kg/m <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	フルイ分け試験 (%)				粗粒率 (%)	すりへり減量 (%)	備考		
						PAN	952	15.9	19.1				25.4	31.7
A	琉球石灰岩	2.42	5.09	1330	45.0	100	80	42	21	2	0	*7.01	34.60	1. 記号下、I及びOはアスファルト舗装用骨材(古生層石灰岩) 2. 粗粒率は残信留算値より算出したものである。
B	"	2.42	5.03	1329	45.0	100	99	88	64	12	0	7.63	37.10	
C	"	2.43	4.62	1392	42.6	100	92	61	32	2	0	7.24	32.45	
D	"	2.41	5.06	1346	44.2	100	96	70	38	3	0	7.34	33.38	
E	"	2.56	2.90	1416	43.8	100	86	41	16	3	0	*7.02	24.71	
F	"	2.76	0.26	1532	44.5	100	87	47	17	0	0	*7.04	30.33	
G	"	2.45	2.66	1350	44.8	100	94	71	38	6	1	7.32	32.54	
H	"	2.42	3.81	1344	44.4	100	99	92	76	34	8	7.75	37.80	
I	"	2.69	0.41	1571	41.5	100	71	34	15	2	0	*6.86	28.77	
J	"	2.44	3.71	1344	45.0	100	94	70	36	7	1	7.30	36.28	
K	"	2.45	3.81	1330	45.7	100	98	86	62	15	0	7.60	32.19	
L	"	2.50	2.83	1433	42.6	100	97	88	72	18	1	7.69	31.12	
M	"	2.53	2.56	1386	45.3	100	89	60	29	0	0	*7.18	36.12	
N	"	2.58	1.85	1447	43.9	100	86	58	25	0	0	*7.11	33.02	
O	"	2.71	0.49	1556	42.6	100	67	36	15	0	0	*6.82	30.16	
P	"	2.47	4.03	1408	43.1	100	94	74	46	1	0	7.40	39.73	
Q	"	2.50	3.26	1363	45.4	100	79	44	15	1	0	*6.94	37.40	
R	"	2.45	3.44	1348	44.8	100	94	70	40	6	0	7.34	32.24	
S	"	2.41	3.87	1306	45.9	100	95	59	21	1	0	7.16	40.46	
A	古生層石灰岩	2.70	0.52	1603	40.5	100	55.4	9.9	2.7	0	0	6.52	22.04	文献より
B	"	2.71	0.32	1653	39.1	100	79.5	34.7	10.5	0	0	6.86	23.50	
C	"	2.73	0.43	1590	41.5	100	58.5	10.9	0	0	0	6.55	21.00	
D	"	2.68	0.88	1637	38.8	100	55.9	20.0	9.2	0	0	6.53	22.52	
A	琉球石灰岩	2.42	4.73	1396	42.1	100	75.8	46.2	30.6	6.9	0	6.92	32.88	
B	"	2.55	3.07	1497	41.2	100	48.0	29.9	2.2	0	0	6.91	24.64	
C	"	2.55	2.96	1470	42.4	100	75.6	49.0	35.6	8.8	0	7.02	25.04	
A	古生層石灰岩	2.69	0.48	1722	36.1	100	61.1	46.5	37.3	17.1	0	6.72	31.74	
B	"	2.69	1.04	1590	40.2	100	81.4	67.1	47.7	9.2	0	7.26	29.08	

a) 沖縄島中南部



b) 沖縄島北部

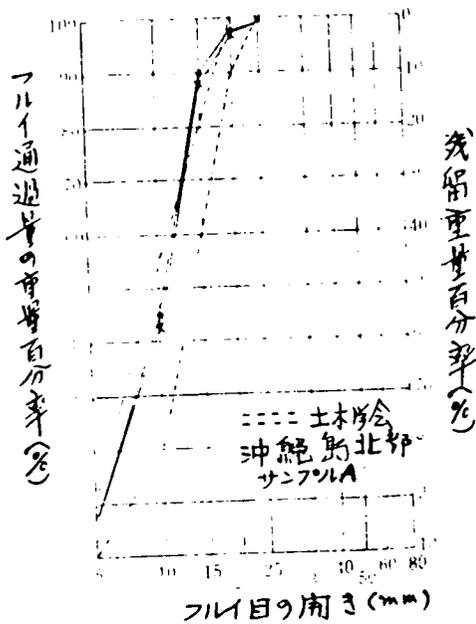


図-III-2-1 粗骨材の粒度曲線 (沖縄島)

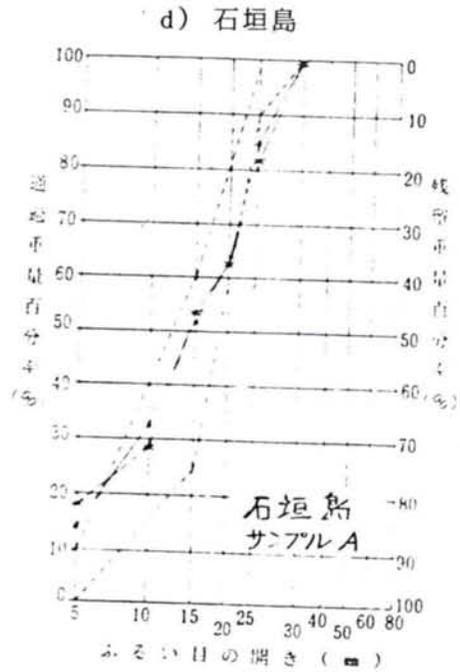
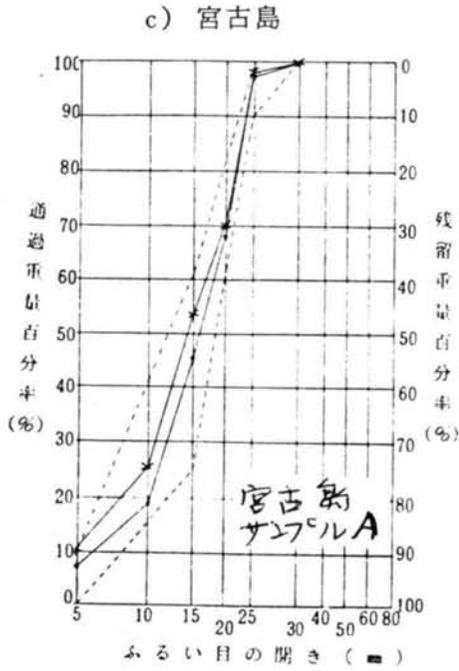
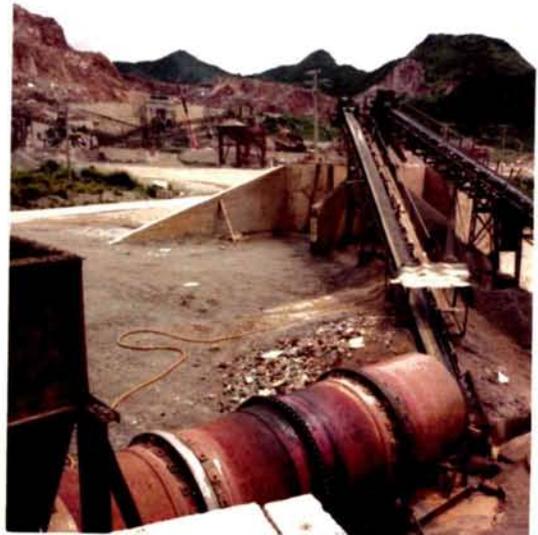


図-III-2-1 粗骨材の粒度曲線 (宮古, 八重山)



a) 中南部 (琉球石灰岩)



b) 北部 (本部石灰岩)

写真1. 石灰岩採掘所

## ② 海砂利について

海砂利は海浜に分布し海岸に近い砂利道の表層材または路盤、基層材として、また護岸稟込材として、時にコンクリート用骨材として利用されることがあるが、上間<sup>5)</sup>によればその骨材としての物理的性質は表Ⅲ-2-2のように示される。これらの結果からコンクリート用骨材として不適であるが、道路建設材料としては、経済的利用という点で可能と考えられる。なお、道路材料としての問題は土質工学的な立場から後に述べる。粒度分布の例を図Ⅲ-2-2に示してある。

表Ⅲ-2-2 海砂利の物理試験結果(上間1965)

(1) 試料 番号	(2) 採取地名	(3) 試料中サンゴ 部分の占める 重量割合(%)	(4) 外 観	(5) 比 重	(6) 吸 水 率	(7) ロス・ア・ペ ルス・スリ ヘリ量(%)	(8) フルイ分析通過百分率						(9) 単位容 積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	(10) 空隙率 (%)
							30	25	20	15	10	5		
1	名城	100*	白色、清浄、細長い粒子	2.67	8.2	35.1	100	94	80	65	34	8	1154	56.8
2	崎原崎	100*	灰白色、かなり破碎され、細かい、ポーラス	2.69	16.4	35.5	100	100	98	95	83	36	1067	60.3
3	久場崎	100*	灰白色、小粒子多く、細長い、ポーラス	2.48	9.8	38.8	92	87	81	72	41	2	1002	59.6
4	伊 芸	78	土色帯びた白色、石灰岩の異粒子、かなりの磨り	2.67	7.8	36.6	100	99	98	95	77	22	1315	50.7
5	洲 嶺	95*	白色、細長い粒子、石灰岩、質岩の異粒子	2.64	6.1	36.4	100	98	93	87	51	5	1220	53.8
6	謝 敷	57	粒形多様、質岩、石灰岩の異粒子、かなり磨り	2.54	3.1	26.0	100	100	99	97	89	23	1534	59.6
7	津 波	96*	灰白色、粒形多様	2.50	8.4	41.0	95	93	85	79	53	25	1200	52.0
8	諸 志	99*	白色、清浄、あらめの細長い粒子	2.64	4.6	28.5	100	96	93	89	54	13	1365	48.9
9	北 里	88	土色帯びた白色、質岩、石灰岩、目がらの異粒子	2.63	7.7	45.2	98	89	78	63	27	2	1257	52.2
10	崎本部	16	粒形多様、石灰岩からなる異粒子多量、かなり磨り	2.70	2.9	21.7	93	90	83	74	51	10	1659	38.6
11	堀 川	44	青みのある石灰岩の異粒子多量、清浄	2.61	2.5	29.2	100	96	94	83	46	13	1454	44.3
12	名 護	95*	白色、細長い粒子、清浄	2.68	8.7	36.9	100	99	95	88	61	8	1175	56.2
13	伊武部	53	白色、細長い粒子	2.53	3.5	38.2	100	96	88	87	34	10	1212	52.1
14	安富組	100*	暗白色、細長い粒子	2.65	9.7	50.3	100	99	98	97	84	33	1147	56.7
15	富 著	100*	灰白色、清浄、細長い粒子	2.55	4.8	40.2	100	97	91	51	10	0	1219	52.2
試料全体の平均値				2.61	6.9	36.0							1265	52.9
サンゴ含有 95% 以上の試料9個の平均値				2.61	8.5	38.1							1172	55.2

\* サンゴ粒子の部分が 95% 以上の試料



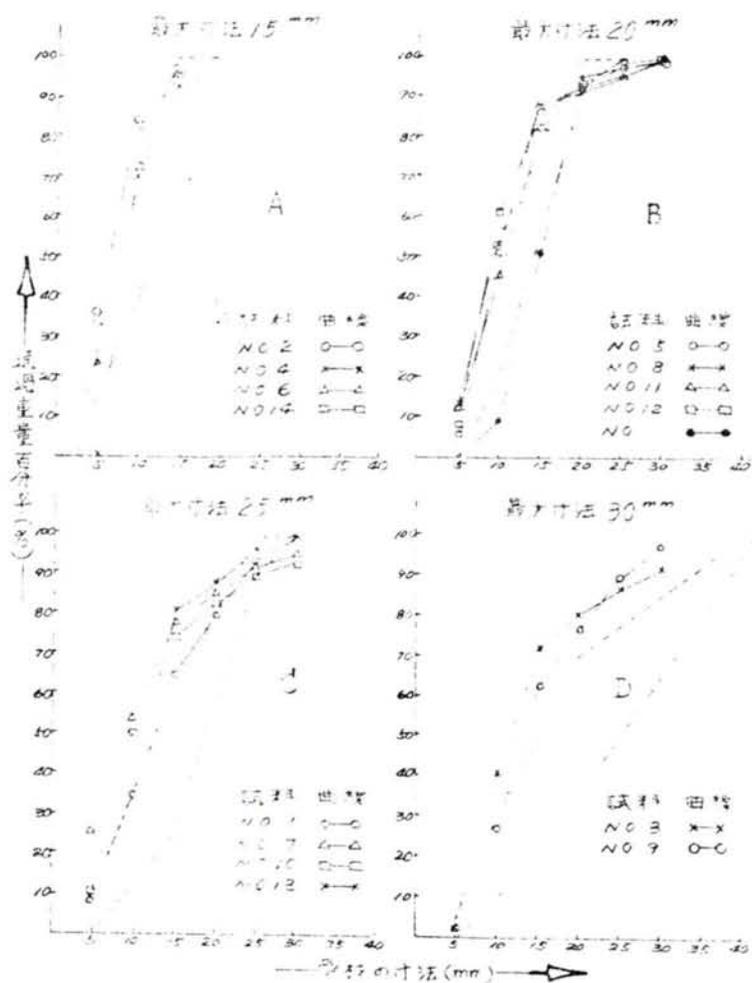


図-III-2-2 海砂利の粒度曲線 (from 上間, 1965)

写真-2  
海砂利  
または  
ビーチコーラル



### ③ 細骨材（海砂）について

沖繩諸島におけるコンクリート用納骨材としては、ほとんど海浜砂が利用されている。たゞ久米島、伊是名島など砂丘（産砂）を利用する所も一部にはある。これら海浜砂は、粒子、形状も細め、あらめと種々あり、また質も琉球石灰岩由来、砂岩、千枚岩由来とさまざまである。一方、海砂の利用にあたっては、塩分含有量、貝殻破片等死石の含有量が非常に問題となってくる。試験結果は表Ⅲ-2-3に示してあり、これからおよそ次のようにまとめられる。

比 重； 比重は2.44～2.60の範囲にあり、平均して2.51であるがレキ粒大の貝殻片など死石の含有量が多いことに注目すべきであろう。

吸 水 量； 吸水量は2.11～6.00%の範囲にあるが、時に6%を超えるのみられ、平均値は日本本土の場合より大きい値を示している。これは砂の質によるものと考える。

単位容積含量； 海砂では $1,300\text{Kg}/\text{m}^3$ ～ $1,600\text{Kg}/\text{m}^3$ が普通で、中には1,208とかなり低いものや逆に1,680と高いものもある。空げき率は40%前後のものが33.1%～51.2%の範囲にある。

有機不純物； すべて合格

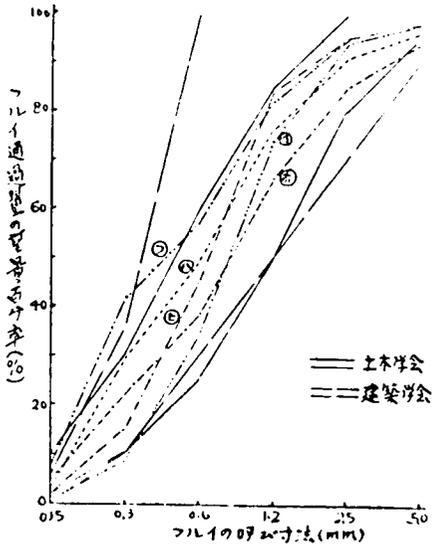
海砂の塩分含有量； JASS A5にしたがって行なった結果、すべて0.001%以上で、0.428%とかなり大きい値のものもある。土木学会の場合海砂に含まれる塩化物の許容限度は、責任技術者が種々考慮して定めるとしているが、一般には、砂の気乾重量に対してNaClに換算して0.10%としている。建築学会の場合はなお厳しい。  
たゞ、本県の海砂の場合その採取場所・採取方法そして貯蔵方法及び期間によってかなりの変動がこれまで知られており、要は十分な水洗いその他による処置をして使用するよう努力することになる。

貝殻等含有量； 貝殻破片等の死石の含有量は、本県の砂が海浜砂であることからその量の多少は砂の質に影響を及ぼすものである。一般には、日本本土川砂等に比して多量に含まれていることは想像に難くない。  
たゞこの含有量の決定はその方法が確立されていないため、ある種の粗粒フルイ（10mm, 5mm, 2.5mm）に残留するもののみを対象としたり、肉眼による相対的比較（感触）を行なう方法をとっている。前者の方法で、いわば粗い片々を対象として残留する貝殻片を求めると0.00～1.52%の範囲にあるが、これもサンプリングの要領などによりかなり左右されるものである。

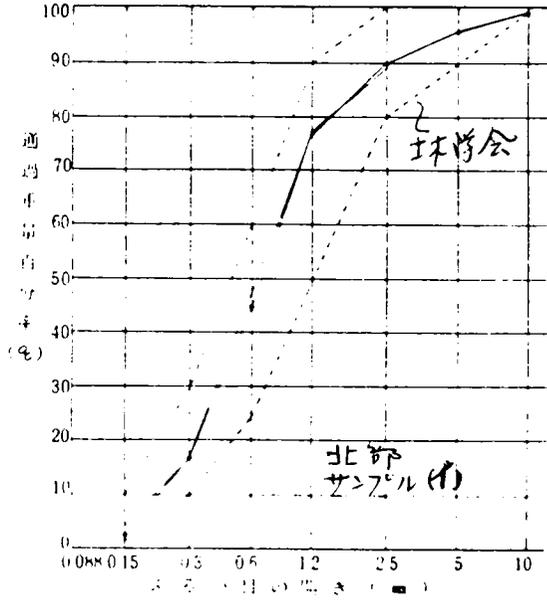
表-III-2-3 細骨材試験結果

記号	比重	吸水量 (%)	単容重 (Kg/m <sup>3</sup> )	位置積量 (%)	空隙率 (%)	フルイ分ケ試験 (残留百分率)(%)						粗粒率 (%)	有機不 純物試 験	備 考
						PAN	0.149	0.297	0.59	1.19	2.38			
イ	2.53	5.91	1550	38.7	100	96	57	29	14	8	5	2.09	合	レキ粒多し
ウ	2.51	4.88	1356	46.0	100	99	96	79	31	6	2	3.13	合	レキ粒多し
エ	2.52	3.57	1425	43.5	100	97	47	12	1	0	0	1.57	合	
オ	2.60	2.11	1469	43.5	100	94	27	6	1	0	0	1.28	合	
カ	2.45	2.20	1507	38.5	100	100	87	43	15	7	4	2.56	合	レキ大死石多し
キ	2.52	2.82	1506	40.3	100	99	90	60	15	2	0	2.66	合	
ク	2.53	2.62	1503	40.6	100	100	97	63	15	4	2	2.81	合	死石, レキ混り
沖ケ	2.51	3.31	1416	43.6	100	99	94	34	8	1	0	2.36	合	
コ	2.53	2.62	1514	40.2	100	95	59	40	23	12	7	2.36	合	レキ粒多し
繩サ	2.58	3.30	1520	41.1	100	98	90	52	7	2	0	2.49	合	
ス	2.55	3.00	1534	39.8	100	98	68	34	13	4	1	2.18	合	レキ粒混り
島ソ	2.57	2.59	1617	37.1	100	98	74	39	11	3	1	2.26	合	レキ粒混り
タ	2.48	4.26	1413	43.0	100	98	89	59	10	2	0	2.58	合	レキ大死石多し
中チ	2.46	5.49	1378	44.0	100	100	94	60	11	0	0	2.65	合	死石混り
ツ	2.53	3.28	1523	42.3	100	99	57	53	22	6	1	2.38	合	レキ粒混り
南テ	2.46	3.93	1428	42.0	100	100	90	65	17	7	4	2.83	合	死石, レキ粒多し
ト	2.51	4.05	1469	41.5	100	99	91	67	22	6	3	2.88	合	死石, レキ粒多し
部ナ	2.54	3.74	1365	46.2	100	99	92	64	16	3	1	2.75	合	レキ粒混り
ニ	2.51	3.52	1575	37.2	100	99	98	89	41	11	4	3.42	合	レキ粒多し
地ヌ	2.44	4.87	1371	43.8	100	97	75	44	17	10	5	2.48	合	レキ大死石多し
ネ	2.64	4.32	1419	46.2	100	99	74	34	6	1	0	2.14	合	
区ノ	2.50	4.67	1377	44.9	100	97	77	45	5	1	0	2.25	合	
ハ	2.47	5.43	1398	43.4	100	97	71	51	24	9	4	2.56	合	レキ大, 死石多し
ヒ	2.36	5.39	1228	48.0	100	98	85	55	16	5	2	2.61	合	死石過多
フ	2.54	2.44	1571	38.2	100	92	59	43	18	5	2	2.19	合	レキ粒多し
ヘ	2.48	4.45	1447	41.7	100	100	91	66	26	6	2	2.91	合	レキ大死石多し
ホ	2.44	4.74	1455	40.4	100	95	78	62	34	15	6	2.90	合	死石, レキ粒多し
マ	2.51	4.33	1540	38.6	100	99	91	75	51	37	29	3.82	合	レキ粒過多
ム	2.57	4.07	1559	39.3	100	99	93	76	29	5	2	3.04	合	レキ粒多し
北部地区イ	2.51	5.24	1431	43.0	100	99.2	90.7	58.1	19.3	3.2	1.4	2.72	合	陸砂, 文献3より
地区ロ	2.55	4.85	1385	45.5	100	96.3	72.4	34.5	13.2	4.3	1.2	2.22	合	〃 〃
宮イ	2.45	5.97	1371	43.9	100	99.7	90.8	79.5	42.8	15.8	5.4	3.25	合	海砂 〃
占ロ	2.53	5.25	1458	42.3	100	99.9	98.8	64.0	15.8	3.3	1.2	2.84	合	陸砂 〃
石垣島イ	2.44	6.53	1264	48.4	100	91.4	91.8	71.6	33.9	7.4	1.7	3.07	合	陸砂 〃

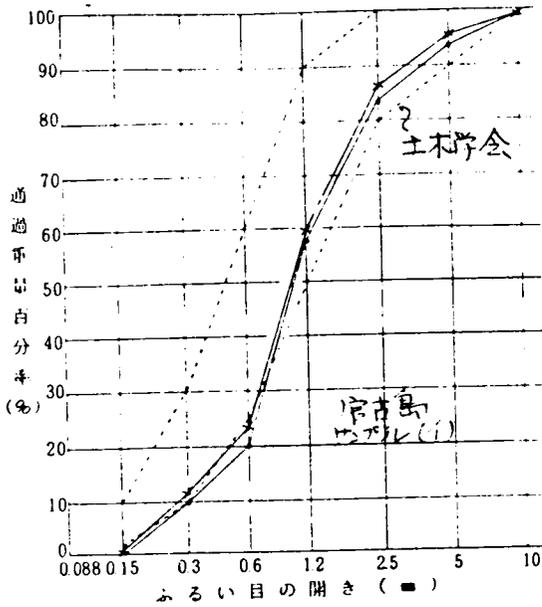
a) 沖縄島中南部



b) 沖縄島北部



c) 宮古島



d) 石垣島

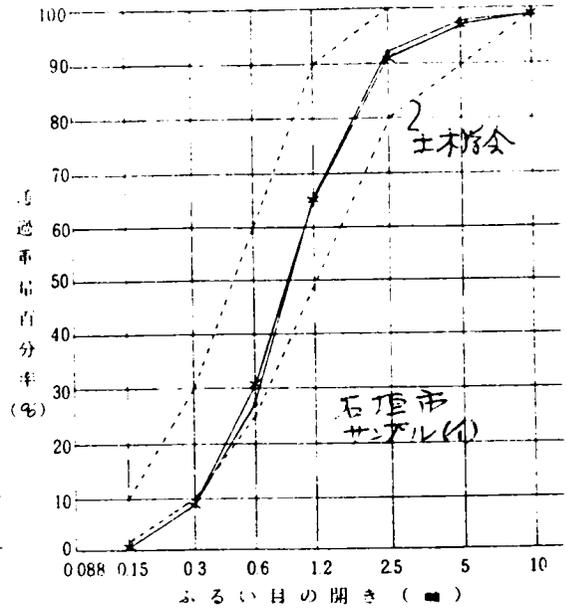


図-III-2-3 細骨材の粒度曲線

耐久性 ; 細骨材損失量の限度は、土木学会の場合、一般に10%としているが試験結果は、すべて5%以下となっている。なお、比重、吸水量も考慮に入れるとB～C群に沖縄の海砂はランクされよう。

粒度分布 ; 土木学会や建築学会の鉄筋コンクリート工事についての標準粒度と比較して、そんなに悪くない分布をしており、その代表例を図-III-2-3に示す。

## む す び

以上骨材の一般的性質について述べてきたが、これら物理的性質相互の関連性に対して図-III-2-4のような結果を得たが、相関性が一応認められる。粗骨材としてはほとんど石灰岩系が用いられるが、沖縄島中南部、宮古島および石垣島の主要島で琉球石灰岩、沖縄島北部、石垣島で古生層石灰岩の砕石として利用されている。その他所によって護岸工事などで海砂利が用いられることがたまにある（戦前はより多かっように見受けられる）。また、石灰岩のほかに古生代～中生代の砂岩や片岩などが利用されることもある。

古生層石灰岩砕石は堅硬で比重も2.7前後あり、吸水量、単位容積玄量、スリヘリ量など良好であるが、20mm以下では、その粒経が扁平なものが多い。表面は滑らかであるが、生産の過程で原岩と共に赤土などが混入しているため、使用にあたっては注意を必要とする。

琉球石灰岩砕石は、多孔質で比重はやゝおち（2.5前後）、吸水量、単位容積玄量、スリヘリ量など不都合なことはないが、古生層砕石に比して低い。粒形は概して良好であり、表面は粗である。本砕石も赤土が混入したり、また、微石粉が附着しているなど注意を払う必要がある。

これら石灰岩砕石のコンクリート配合、強度その他性質に及ぼす事項については、具志、和仁屋ら<sup>6)</sup>によって研究されワーカビリチーなどに若干の難点があっても、混和剤等の使用で改善され、強度の上でも一応の値（300～500 Kg/cm<sup>2</sup>）が得られている。両砕石ともコンクリートの強度差はあまりない。

さんご砂利については、先ずは自然の産物であり、確かな採取量（分布）は得がたい。また場所により時期により形状、密実の程度、粒度などにかかなりの変動があり、骨材としての性質も現行の標準示方書に対して適合しがたいケースが多い。強度の面では250 Kg/cm<sup>2</sup>程度（ $c/w = 50\%$ ）は得られるがブリージングも多く骨材分離の傾向が強いので施工上の問題点が残る。

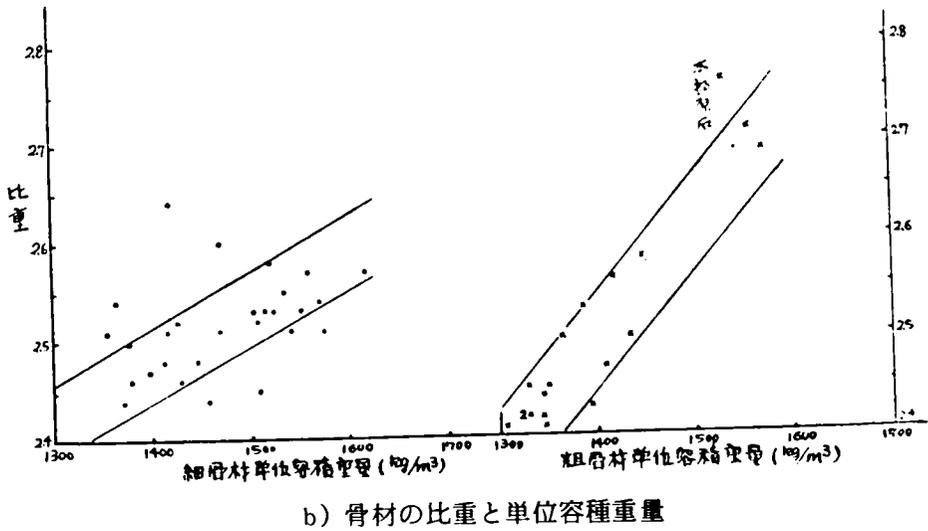
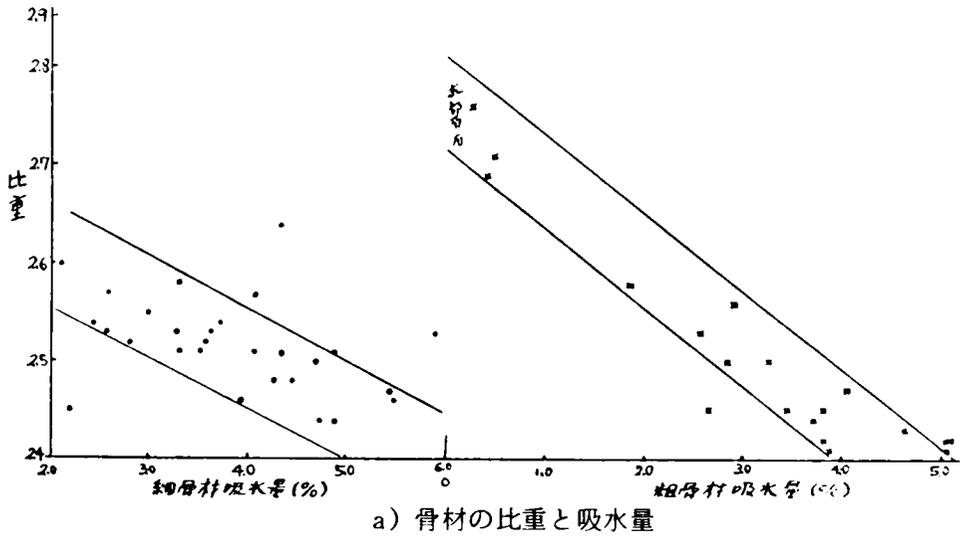
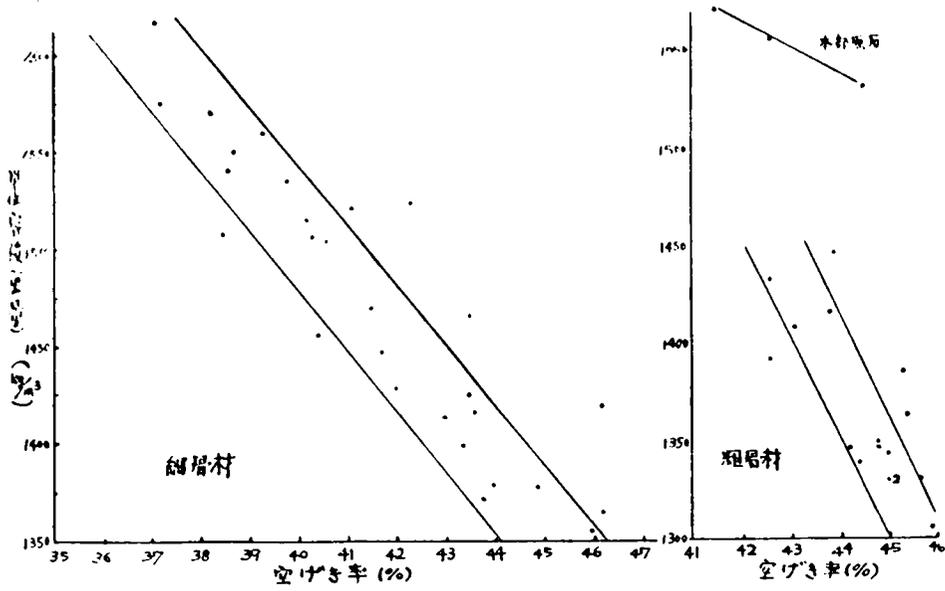
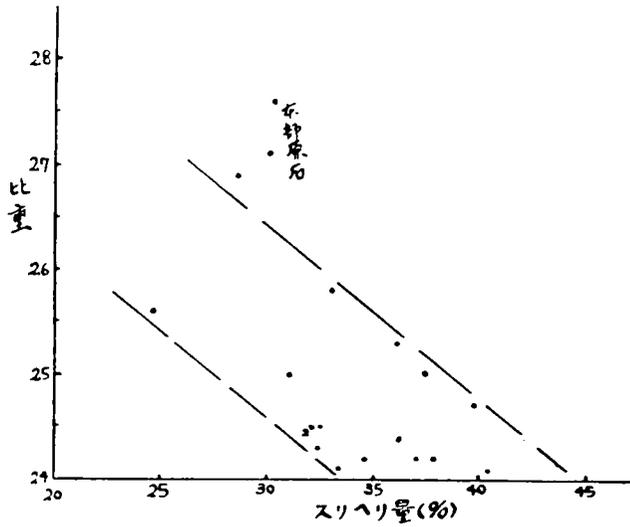


図-III-2-4 物理的性質の相関性



c) 骨材の単位容積重量と空ゲキ率



d) 粗骨材の比重とすりへり量

図-III-2-4 物理的性質の相関性

海砂については、沖縄諸島の周辺海浜にある砂は細骨材としての性質を一般的に満たしているが、場所により性質や分布などにちがいはある。問題は、塩分含有量と貝殻破片の死石含有量であろう。具志<sup>6)</sup>によれば、海砂による鉄筋コンクリートの耐久性低減は、沖縄の島嶼性と海水の影響があって明確には指摘できないとしている。

しかし、現実に海浜より搬入の砂には多量の塩分が含有され、土木学会や建築学会の許容限度をはるかにオーバーするケースもでてくる。したがって使用にあたっては十分な水洗いか貯蔵方法に配慮する必要があるだろう。貝殻等の大きめの破片が含まれがちな海浜砂は、10mm、5mmのフルイを通すような処置が望まれるが、現状は、ほとんどこれはなされていない。なお、海砂の化分析結果によるとSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgOなどが検出され、なかでもCaO、SiO<sub>2</sub>が圧倒的に多い。

以上沖縄諸島の骨材について概説したが、日本本土の骨材に比較して、あまりよくはないが、劣悪であるとはいえない。要はこれら骨材を如何によく利用して経済的で良質なコンクリートをつくりだすかにあり、骨材の生産、品質管理、配合、施工の面で十分な配慮がなされてしかるべきである。

## (2) 石 材

沖縄諸島で、石灰岩系の建設材料として利用されるものには、骨材、路盤材としての碎石、コーラルリーフロックのほかに、沖縄名産であるトラバーチンとアワ石がある。これらは、玉石積み、切石積みとしても使われるが壁体材として、装飾材として重宝がられている。なお、石灰岩以外にも、花崗岩、片岩、頁岩、砂岩などが時に利用されることもある。<sup>7,8)</sup>

### ① トラバーチンについて

沖縄産壁材として最も著名で、勝連村平敷屋、今帰仁村仲宗根、瀬底島、糸満市大里、宮古城辺町、伊良部村、来間島などに分布している。この中で装飾用として生産を続けているのは勝連村平敷屋の小規模な採石所のみといってよく、他所では骨材、切石積み用として利用されることがある。

石質はサンゴや石灰藻が目立ち、また再結晶が進んで他の琉球石灰岩より硬い。切り出したまゝのものは、粗面を示し、これをみがくことによって石灰藻の縞や含有生物殻の断面などが表面にきれいな模様をつくる。成因について明確でないが、およそ次のように考えられている。隆起サンゴ礁の主成分である石灰岩質が、雨水にCO<sub>2</sub>がとけてできた炭酸水に溶けて、その炭酸石灰の溶液が礁中の間ゲキを通して降下し、下部で結晶してできた石灰岩である。埋蔵量は県下含体で数千万トンに及ぶであろう。Travertin は、もともとイタリア産の大理石様の装飾石の名(ラテン語)から由来したもので、琉球トラバーチンとして国会議事常の正面玄関の柱に使

われているのは名高い。トラバーチンの岩石力学的な性質<sup>2,3)</sup>としては、比重が2.25～2.47、吸水量が2.22～4.80%、単位体積重量は強制湿潤状態で2.23～2.46  $g/m^3$ 、圧縮強度が鉛直載荷で2052～3322  $Kg/cm^2$ 、平行載荷で224.2～228.00  $Kg/cm^2$ との値が一応得られている。



写真3. トラバーチン。

## ② アワ石について

沖縄島南部具志頭村港川、玉城村堀川、浦添市牧港などに分布し、古くから港川石あるいは栗石として親しまれ、部落の石垣や家の壁として利用されてきた。琉球石灰岩の区分では牧港石灰岩であるが、栗状の粒—大阪名物「あわおこし」のような感じである—が集まってできたものである。外観上はもろくて、こわれそうな感じを受けるが、切り出したばかりのものはやはりもろいが、時間の経過と共に大気にさらされるとむしろ固くなる。成因は明確でないが、栗粒の一つ一つは亜球形の粒がよりあつまったもので、大部分は生物遺骸とその破片でできている。有孔虫と石灰藻片を主とする粒と粒との間ゲキには、巻貝、二枚貝、カニなど海の生物の破片がいくつも埋まっているところは、現在の海浜砂の集合体といった具合である。本石は加工性に富むので切石（間知、柱状石 etc.）としても、最近では装飾観賞用の石燈籠としても高価に売出されている。



写真4. アワ石

③ 石材（石灰岩）の岩石力学的性質

石材としては、ほとんどが琉球石灰岩を対象としており、砂岩その他若干の岩石が目的に応じて適宜利用されている。こゝでは、壁、擁壁および粗骨材として利用される琉球石灰岩の一般的岩石特性について論述する。<sup>2,3,8,9)</sup>

石材の試験結果は表-Ⅲ-2-4に示す。<sup>3)</sup>

表から、琉球石灰岩の諸性質にはバラツキのあることがわかるが、これは、地質条件の所で述べたように琉球石灰岩の生成状況、種類の多様なことから当然のことと言えよう。

表-Ⅲ-2-4 石材の試験結果

採取地	岩石事項	比重	吸水量 %	単位体積重量		圧縮強度 Kg/cm <sup>2</sup>	
				湿	乾 g/m <sup>3</sup>	V	H
南部	琉球石灰岩	2.20~2.29	2.09~2.79	2.17~	2.12~	292.4~	200.4~
	(トラバーチン)			2.28	2.23	400.9	262.7
中部	琉球石灰岩	2.38~	1.19~	2.38~	2.29~	192.0~	196.4~
	(砂状)	2.54	3.70	2.50	2.40	259.9	296.8
	琉球石灰岩	2.13~	3.38~	2.21~	2.08~	179.8~	195.3~
	(トラバーチン)	2.37	6.21	2.34	2.26	297.5	271.9
	琉球石灰岩	2.38~	2.11~	2.44~	2.34~	194.9~	369.3~
	(砂レキ状)	2.44	4.14	2.48	2.43	261.5	378.6
北部	古生層	2.67~	0.06~	2.68~	2.66~	621.4~	740.1~
	(本部層)	2.71	1.57	2.70	2.70	801.8	860.2
	古生層	2.65~	0.06~	2.68~	2.63~	677.4~	464.7~
	(本部層)	2.71	1.90	2.69	2.69	1012.8	696.3
	古生層	2.62~	0.78~	2.66~	2.60~	478.3~	384.8~
	(本部層)	2.76	2.57	2.67	2.66	639.1	641.7
宮古島	琉球石灰岩	2.47~	1.60~	2.52~	2.42~	538.0~	641.2~
	(岩塊砂レキ化)	2.57	4.21	2.58	2.53	774.6	683.8
	琉球石灰岩	2.45~	1.04~	2.44~	2.39~	200.0~	205.2
	(トラバーチン)	2.48	3.40	2.47	2.42	210.3	
	琉球石灰岩	2.48~	1.15~	2.45~	2.41~	380.1~	360.5~
	(塊状)	2.54	1.94	2.53	2.50	524.3	550.0
石垣島	琉球石灰岩	2.29~	1.69~	2.18~	2.14~	154.4~	190.4~
	(砂レキ状)	2.38	3.70	2.38	2.31	293.5	242.3
	琉球石灰岩	2.35~	0.95~	2.29~	2.22~	412.4~	205.6~
	(岩塊砂レキ状)	2.50	3.11	2.49	2.42	431.8	334.0
	古生層石灰岩	2.66~	0.02~	2.67~	2.64~	406.7~	285.2~
		2.70	1.66	2.69	2.68	500.3	550.8
	片岩(炭酸質)	2.67~	0.25~	2.67~	2.64~	538.9~	492.3~
		2.73	1.80	2.69	2.68	705.3	610.2

乾；強制乾燥（110℃24時間）  
 湿；〃 湿潤（48時間以上水浸）  
 V；石理に垂直  
 H；〃 平行

透水性などについても検討の必要があり、特に岩盤として、地下水浸透の問題にからんでくるが、今回は石材としての基礎的資料の意義をもっている。しかし、現位置の岩盤試験については、今後、載荷試験の実施など必要である。というのは、掘削、カットなどの現場に於て、落石、陥没、破裂などの事故災害が発生しているからである。つぎに、新城ら<sup>9)</sup>筆者<sup>8)</sup>の石灰岩や砂岩についての一軸圧縮強度に関する実験結果をつけ加えらるとおおよそ次のようである。

		比重	間ゲキ率又は間ゲキ比	乾燥密度 $g/m^3$	一軸強度 $g_u Kg/cm^2$
石灰岩 <風乾>	琉球石灰岩	2.67~2.78	25 ~30.4%	1.89~2.56	40 ~600
	古生層 "	2.71	0.33~4.97%	2.36~2.70	200~1.000
砂岩 <自然含水比>	(島尻層中)	2.70~2.76	34.6~48.4%	1.41~1.77	1.60~3.51

注) 島尻層中の砂岩には硬質砂岩と軟質があり、本試料は後者の値で、前者は琉球石灰岩と同様あるいはそれ以上の強度をもっていることが推察される。

琉球石灰岩の破壊形式は主としてせん断破壊で、分離破壊を伴う。弾性係数 E (強度の各点における接線勾配) と強度の関係は、 $E = 2000 \sigma_c$  の関係が示されている。また間げき率の増加に伴ない強度は低下し、乾燥密度についても同様な傾向があるようである。さらに、水浸による強度低下については、風乾に比して明らかな差を見出だせないようである。

硬質砂岩の強度・特性については、今後の調査研究がなされる必要がある。

以上、石材としての石灰岩等について、これまで調査報告をもとに論じたが、その他の岩石の諸特性も、今後、石材としての利用のためのほか、土木工事の面で、掘削、トンネル、ダム等開発行為が安全かつ合理的にすゝめられるために、花崗岩系、頁岩、片岩、千枚岩、砂岩などについて岩盤力学の立場から調査研究がなされなければならない。なお、沖縄諸島に産する石灰岩を地球化学的の面から研究し、その主成分や微量成分を分析して比較した兼島の報告(1965)にも注目しておきたい。

## 2) 地下水の開発利用

### (1) 沖縄の水資源問題について<sup>12)</sup>

沖縄の年平均降雨量は2,300ミリメートルであり、本土の1,600ミリメートルとくらべるとかなり多く、その総量は、沖縄本島だけで総降水量約30億トンにも及び豊富な量であるといえる。たゞこの降水量が、梅雨と台風の時期に集中しており、河川小規模で、勾配が急でかつ流路も極端に短かく、また流域の地形・地質構成からも、保水能力に乏しく、降った雨は鉄砲水の如く海へ流失してしまう。

このような地形地質及び気象条件のもつ不利な状況に加わって、沖縄諸島の島嶼性から広域的な利水計画も不可能に近い点などしばしば指摘されるところである。

一方、たとえば沖縄本島では表Ⅲ-2-5のように、生活用水、農業用水、工業用水等をあわせて年間約1億トンの需用があるとされているが、もしこれと年間総降水量を比較するとその利用率はわずかに3.0%にすぎないわけで、この点からも水資源開発の十分な検討がなされてしかるべきである。

現存する沖縄本島の水資源は、湧水（南部石灰岩地帯や北部本部半島石灰岩地帯）地下水（中南部島尻層帯水層地帯）および河川水の3つがあり、それぞれ簡易水道または古来の共同井戸や家庭等井戸群やダム収水の形で利用されている。

しかし、大幅に変動する降雨特性に伴う深刻な干ばつの災害や年々増加の傾向にある生活用水を主とする水需要による節水断水等の水不足は沖縄の克服すべき問題であり、かつまた、沖縄開発のネックともなっていると言えよう。

以上のようなことから、沖縄では早くから水資源開発の重要性が認識され、「長期経済開発計画、1970」（琉球政府）、「沖縄振興開発計画、1972」（沖縄県、日本政府）の中でも、そのことが検討され、計画の方向が盛られている。

表Ⅱ-2-5 用水別沖縄本島水利用状況

年 度	昭 和 4 5 年 度		昭 和 4 6 年 度		
	日平均給水量	年間総給水量	日平均給水量	年間総給水量	
生 活 水	民間	138,300 m <sup>3</sup> /日	50,500 × 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	144,200 m <sup>3</sup> /日	52,600 × 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	軍需	55,000 "	20,100 "	58,800	21,500 "
	計	193,300 "	70,600 "	203,000	74,100 "
工業用水	65,000 "	22,800 "	70,000	24,500 "	
農業用水	70,000 "	8,330 "	78,000	9,360 "	
合 計	328,300 "	101,730 "	363,000	107,960 "	

水資源開発の具体化のため、旧琉球政府は、沖縄本島北部や先島（八重山、宮古諸島）の主要河川の再点検を行ない水需給調査をして長期的総合的計画を樹立し、多目的ダム・河口ダムの建設を企画する一方、沖縄本島中南部地域や宮古島などの地下水の積極的な開発利用やさらに下水処理還元水の活用、また海水の淡水化などについて検討をすすめてきた。沖縄県は、日本政府に「沖縄の水資源開発調査技術指導」を依頼して、その報告を受けて現在にいたっている。一方沖縄総合事務局でも「水資源総合開発調査報告書、1973」に基づいて水資源の拡充整備に着手している。これらを要約すると次のようである。

#### 沖縄本島の場合

- ① 北部に建設された福地ダムから中南部に給水
- ② 北部東海岸にある、福地ダムよりさらに北方の、普久川、安波川、新川等を中心とする多目的ダムの集約的開発
- ③ 北部西部海岸の水資源開発について、長期的立場に立って、早急に調査、検討を行なう
- ④ 本島中南部地下水は、これまでも開発利用されているが、再開発、再利用を考慮する

なお、宮古、八重山群島でも、昭和56年度水需要量は1日当り生活用水38,000トン、工業用水36,000トン、農業用水347,000トン、農業用水347,000トン計421,000トンとみて、この水資源開発は、それぞれの島でそれぞれの自然的、地理的条件を生かした地下水の開発、ダムの建設、溜池などの建設を実行しなければならない。

本節では地下水の問題に限って論じることにする。地下水の調査、研究については、1960年前後の米軍によるMilitary Geologyの中のWater Resourcesなどや、1970年前後の沖縄の水資源調査団の調査報告<sup>10,11)</sup>などが公的で総合的なものであり、個々の調査、研究報告が若干公表<sup>12)</sup>されているので、これらをもとにして以下述べていく。昭和45年頃の資料によれば、沖縄本島の給水量（上水道、簡易水道）の38%程度は地下水に依存していたようであるが、この地下水は、本島中部の具志川市天願一嘉手納村一帯の深井戸群と本島南部の湧水群より取水している。たゞその後、地下水取水による地盤災害の問題が表面化して（後に地盤災害の項で述べる）具対的な進展がないまゝ今日に至っている。

これら地下水に関与する層は琉球石灰岩中に賦存されるものと、島尻層群の砂岩中に賦存されるものが主であり、沖縄本島における水理地質の概要は図-III-2-4のようである。したがって、水質的には重炭酸カルシウム型の溶存分に富み硬度も中等度以上<sup>13)</sup>に高い。水質については河川水、湧水、井戸水、空洞水などについて調査報告<sup>13)</sup>が

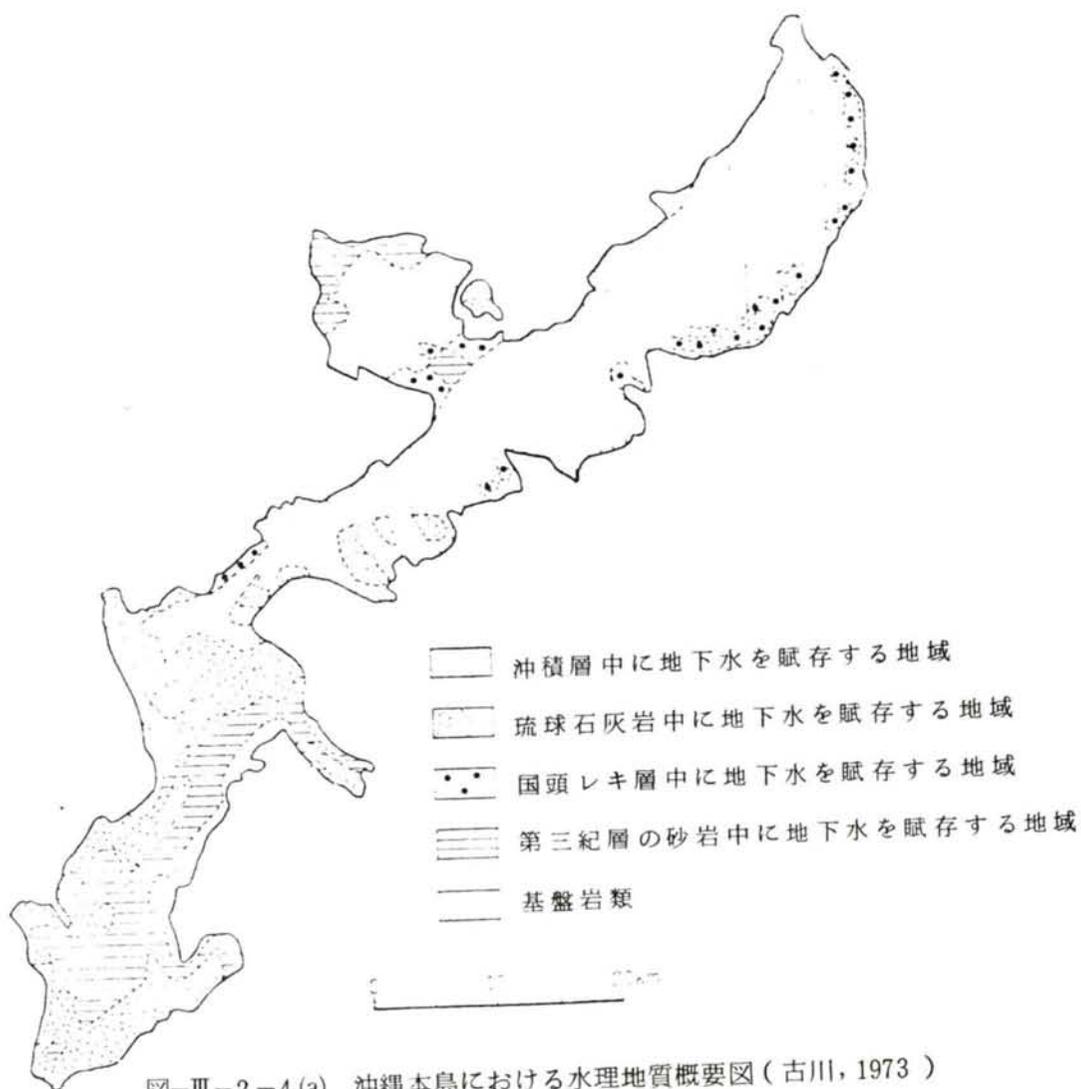
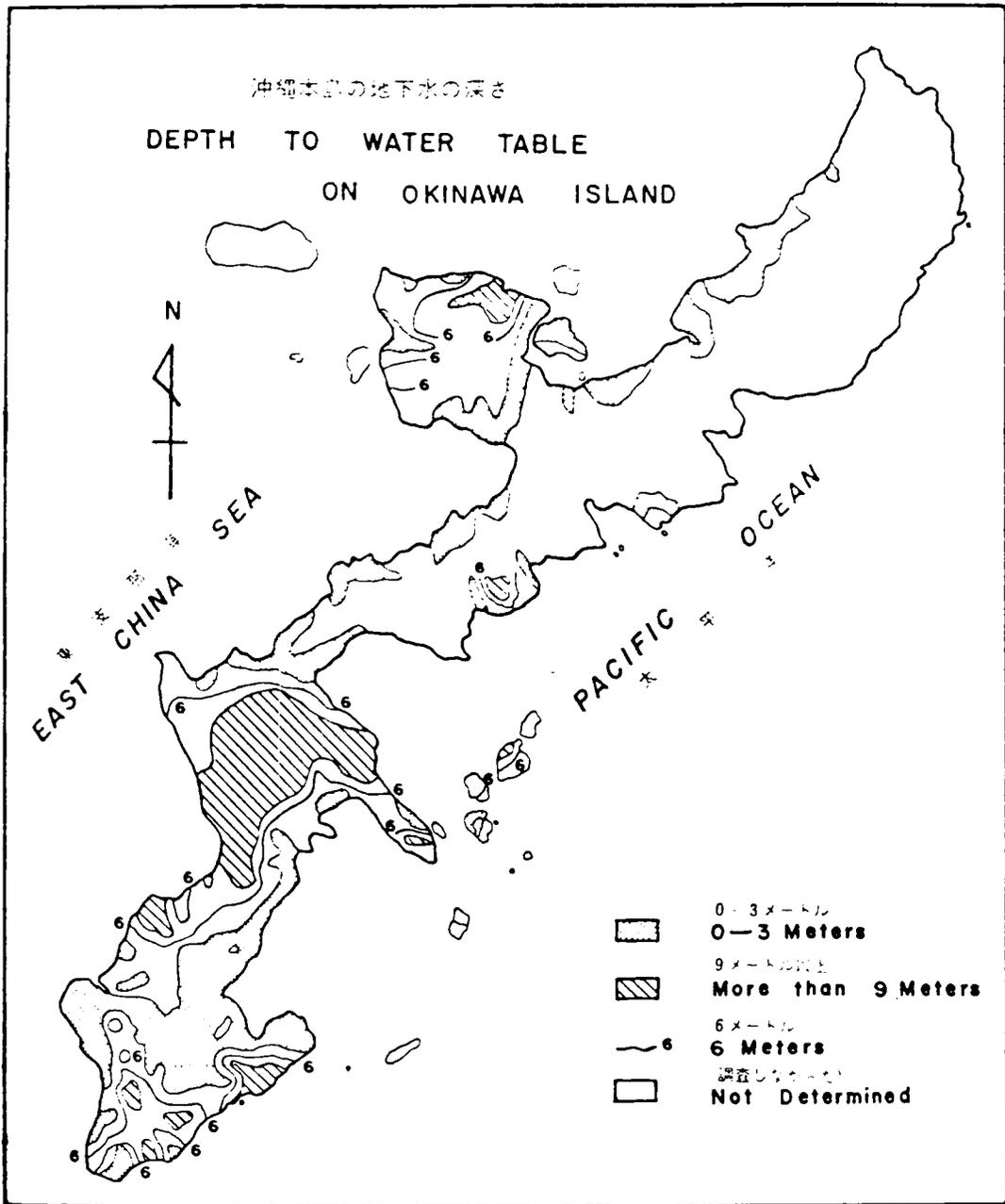


図-III-2-4(a) 沖縄本島における水理地質概要図(古川, 1973)



写真5 湧水(玉城村)

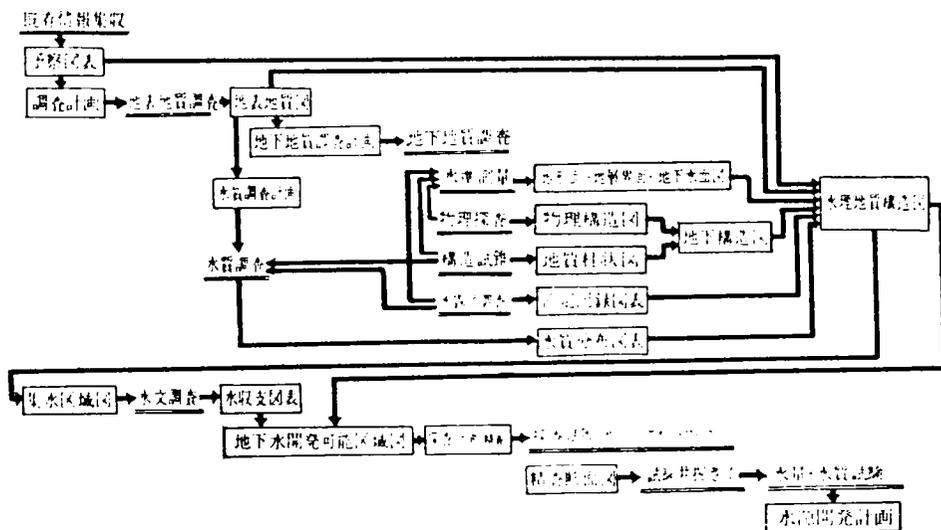
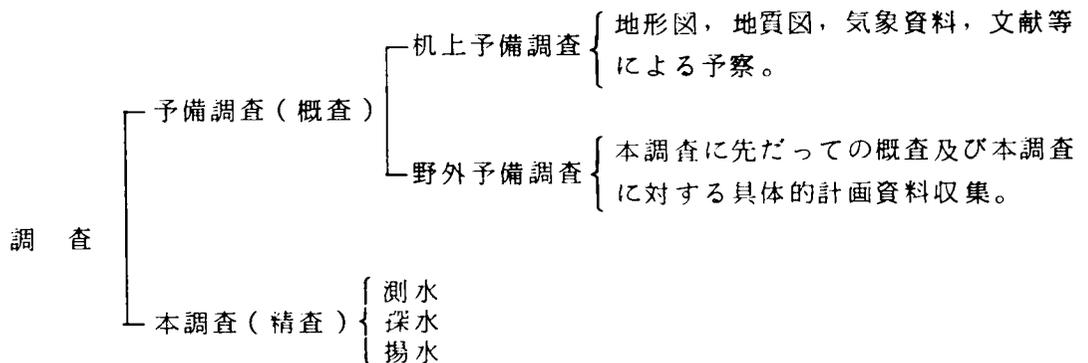


図Ⅲ-2-4 (b) 沖縄島の地下水分布概要 ( 鎮西ら, 1967 )

なされており、石灰岩系地下水の水質は一般にPH 7.5 程度，アルカリ度 100 前後 ppm，総硬度 100 以上，400 ppm に達するものもあって高いが，非石灰岩系（島尻層群中など）の地下水の水質は総硬度 100 PPm 以下のものが一般に多いかわりに塩素イオンがかなり高く 1,000 PPm をこすものもある。水温は 20 度前後で，深井戸の深度 100m 前後では，一般に良質の地下水が得られる。（限度 200 m）

## (2) 地下水賦存状況とその利用

地下水調査は予備調査（概査）と本調査（精査）とに分たれ，およそ次のように与えられる。<sup>14)</sup>



石灰岩地域における地下水調査計画例

## ① 地形による研究

調査地域の地形の種類（台地、低地、丘陵、火山斜面、山地）や河川、湖沼、湧泉、湿地の有無とその状態、集落分布および土地利用の状態等を見るが、沖縄諸島の場合、その島嶼性や前編に述べた地形的特質から、数少なく、かつ規模の小さい海岸平野、三角洲の分布地と島の大勢をしめている台地・段丘地帯に地下水の存在が予想され、またそのとおりである。特に本土の場合と異なる点は砂やレキや粘土層から成る厚い堆積盆地はなく石灰岩台地、段丘を形成している地帯が沖縄での最大の帯水層であることである。この場合、地下水は自由水として存在している。

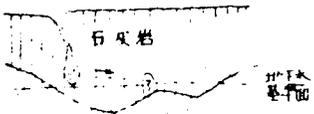
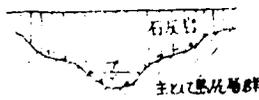
琉球石灰岩地形は、平坦な台地を形成しているが、堆積時の環境や時代の差により分布、構造が異なっている。琉球石灰岩はほとんど例外なくその基底部すなわち島尻層群との不整合面に沿って自由地下水を、またレッコ水、空洞水を保有している(図-Ⅲ-2-5(a))。一方この石灰岩は上下方向、横方向に砂層、レキ層に移化する場合があります、一般に厚さは20～50 m程度のもので今日多い。これら石灰岩の分布、構造と海水準との関係は、その中の地下水の賦存形式に影響している(図-Ⅲ-2-5(b))。1つの型は石灰岩と下位の基盤岩の境界が、海水準より上位にある場合である。この場合は地下水は石灰岩の基底部付近を流動していき、基盤岩上面構造に規制されて賦存している。この場合、降雨量とく相関し、豊水期と渇水期の水位差が大きく、賦存量はあまり大きいものはない。このタイプは沖縄島南部の知念や玉城(図Ⅲ-2-5(c))、宮古島平良市城辺町の一部、与那国島などに多い。

他の1つは石灰岩と下位の基盤岩の境界が海水準より下位にある場合である。この場合、サンゴ石灰岩のみの島では淡水レンズ状の賦存形態をとり、自然水位との関係により賦存量の大小が決ってくる。後背地をもつ大きな島では、海岸近くの地下水賦存の関係で分布しており、自然水位、補給量により賦存量が決ってくる。このタイプは沖縄島南部糸満一帯、中部天願一嘉手納一帯、宮古島の主要部、石垣島、伊江島などに多く、賦存量、利用可能量も多い。

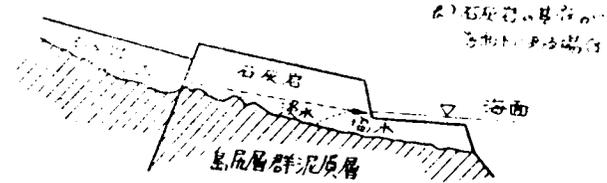
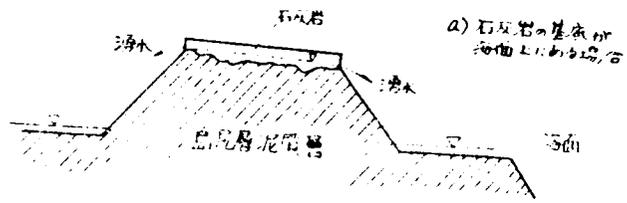
この石灰岩地帯の地下水賦存量は $1 \text{ km}^2$ あたり $1,800 \text{ m}^3/\text{日}$ と推定され、沖縄島中部一帯で $130,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 、南部一帯で $60,000 \text{ m}^3/\text{日}$ の賦存量をもつとみられる。

## ② 地質による研究

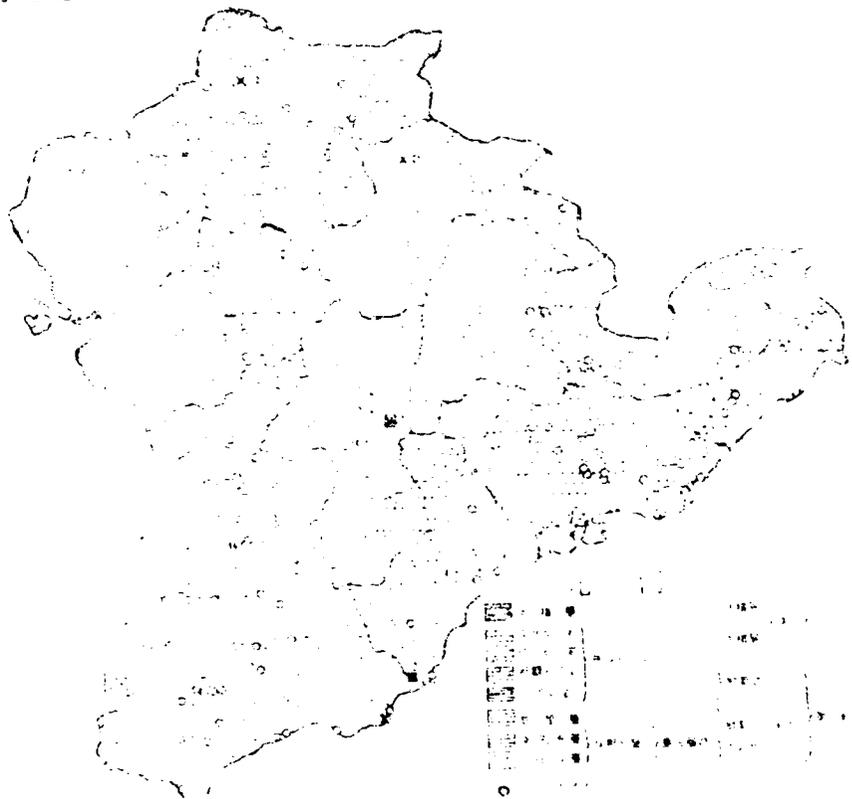
すでに地質のところでも述べたように、沖縄諸島の基盤岩類として、中古生層が分布しているが、多くの島々や沖縄島中南部の如く、琉球石灰岩、レキ層、島尻層などの第四、第三紀層が実質上の基盤と考えられるケースが多い。沖積層洪積層は上述のように自由地下水の帯水層として認められるが、第三紀島尻層中の砂岩層(軟



a) レッコ水など



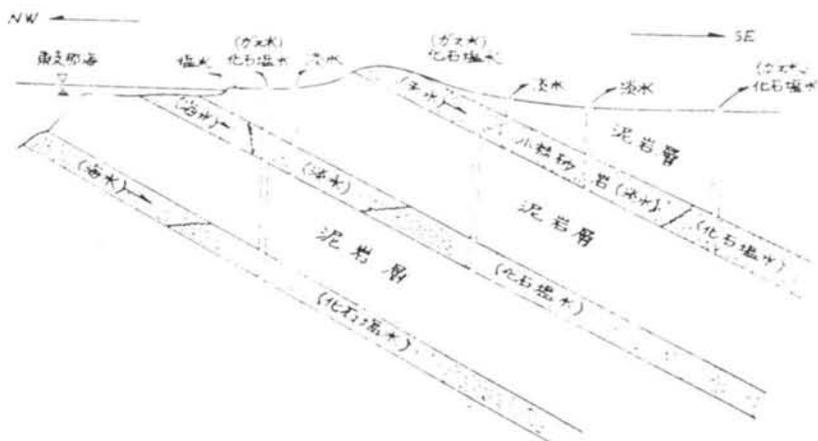
b) 琉球石灰岩地帯の水理地質構造概念図 (地質ニュース No. 184, 1969)



c) 沖縄本島南部地区地質湧水個所等分布図 (地質ニュース No. 182)

図Ⅲ-2-5

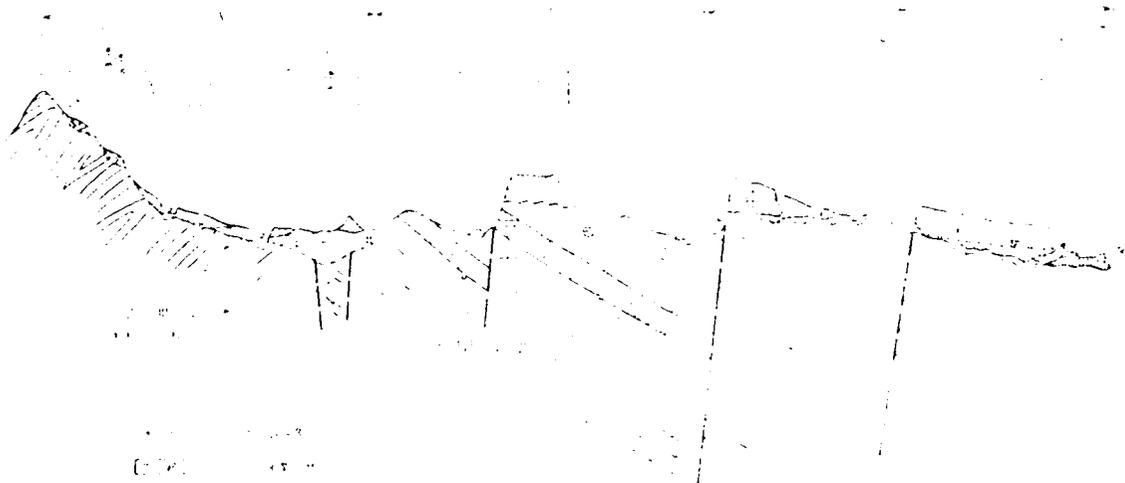
質砂岩)も帯水層として考えられる。この砂岩層は通常40m程度の厚さであるが、厚い所では100mもあり、この場合地下水は被圧状態として存在する(図-Ⅲ-2-6)。砂岩層について筆者の調査<sup>12)</sup>によれば、透水係数(室内,不攪乱)は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ の程度( $3.5 \times 10^{-3} \sim 6.5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ )であり、堆積の状況(薄層が平行に重なっている)などを判断して、1日100~200m<sup>3</sup>程度の水量が期待できる。この砂岩を流動する地下水は、後に述べる地すべり、崩壊とにかゝわりをもつことが確認されており、地山などのカット面で水滲出のあとが歴然と残っていることも散見される。



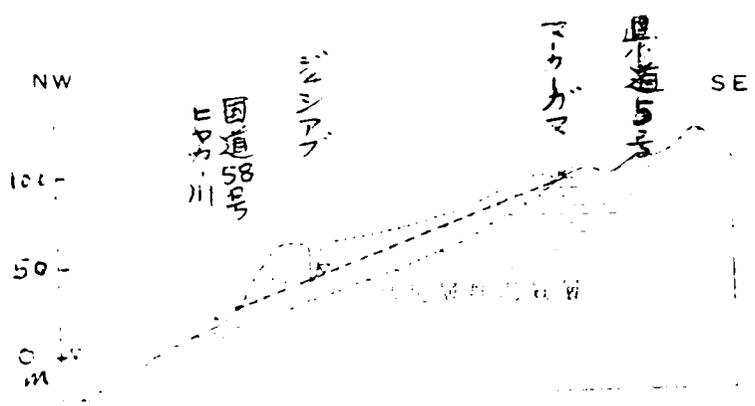
図Ⅲ-2-6. (2) 那覇市付近における島尻層群の水理地質構造概念図  
(地質ニュース No. 184, 1969)



写真 6. 砂岩層中の貯溜水



a) (地質ニュースNo.217, 1972)



b) (地質ニュースNo.195, 1970)

図Ⅲ-2-6 (b) 沖縄島中南部地方における水理地質条件概念図

主要島々の地質と帯水層の関係を示すと表-Ⅲ-2-6のようになる。

表-III-2-6 各島々の地質層序と帯水層

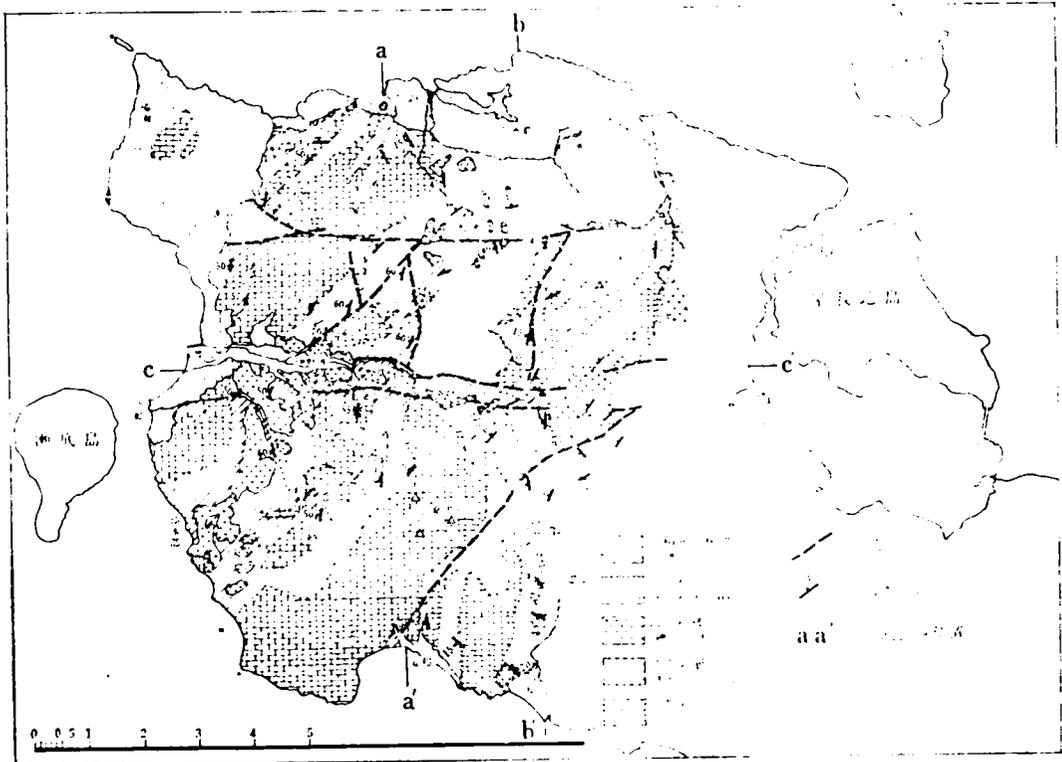
沖繩世	沖繩本島北部		沖繩本島中南部		久米島		宮古島		石垣島		西表島	
	層序	地下水	層序	地下水	層序	地下水	層序	地下水	層序	地下水	層序	地下水
沖積世	砂丘砂層 沖積層	●	砂丘砂層 沖積層	●	砂丘砂層 沖積層	●	砂丘砂層 沖積層	●	砂丘砂層 沖積層	●	砂丘砂層 沖積層	●
後期	低位段丘砂礫層	●	低位段丘砂礫層	●	低位段丘砂礫層	●	10m面形成	10m面形成	10m面形成	●	古砂丘砂層 10m面形成	●
中期	中段段丘砂礫層	●	中段段丘砂礫層	●	20m面形成	●	20~30m面形成 大野越	20m面形成	20m面形成	●	琉球石灰岩層	●
前期	高位段丘砂礫層 (国頭礫層)	●	高位段丘砂礫層	●	40~60m面形成	●	粘土層 40~60m面形成	中位段丘堆積層 40~60m面形成	中位段丘堆積層 40~60m面形成	○	琉球石灰岩層	●
第三紀				○	70~80m面形成		島尻層群	島尻層群	島尻層群		八重山層群	
中・古生代	中・古生層		中・古生層		久米島火山岩類・島尻層群 相当層 (安山岩熔岩角礫凝灰岩)		島尻層群	八重山層群 花崗岩類 宮良層	八重山層群 花崗岩類 宮良層		古生層	古生層

● : 不圧地下水      ○ : 被圧地下水

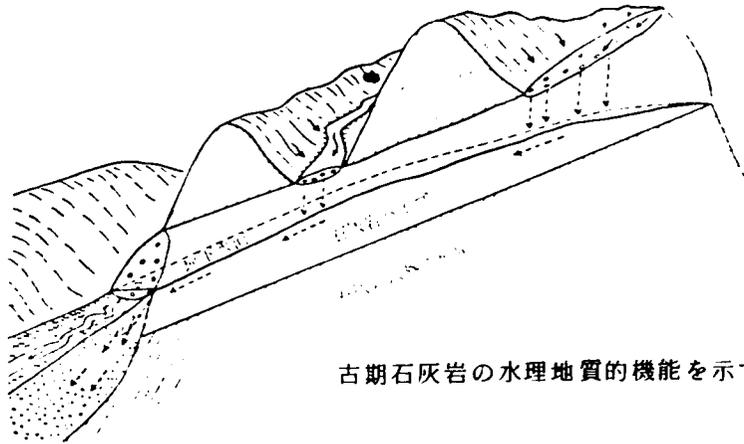
沖縄島北部においても，量的に大きな産水層は，主として石灰岩分布地に求めざるを得ず，国頭レキ層の分布している国頭地方海岸沿い以外には，本部半島が地下水資源にとって重要な場所となる。

本部半島西部における岩層分布は図-Ⅲ-2-7(a)に水理地質図として示すとおりである。これらのうち地下水の産出層，受水層および透過層となっているものは石灰岩（古生代後期，一部中生代，三疊紀のもの）であり，層厚数 100m~1.0 Km 以上もあり，地下水包蔵の可能性は十分に大きく，これは湧水となって端的に現われている。この湧出量は約50ヶ所もあるとされ，これらはすべて古期石灰岩の先端部にあたる所から流出しており，たとえば泉口湧水（本部町並里水源）は湧出量 100ℓ/sec に達するようである。受水層としての役割は，石灰岩が露出する谷底においてみられるが，本古期石灰岩の水理地質的機能をモデル化したものを図-Ⅲ-2-7(b)に示す。この図から本石灰岩はその無数の割目から水を吸いこみ，あるいは吐き出す機能を持ちこの吸入口群と吐出口群とを結ぶパイプの役目も果していることになる。

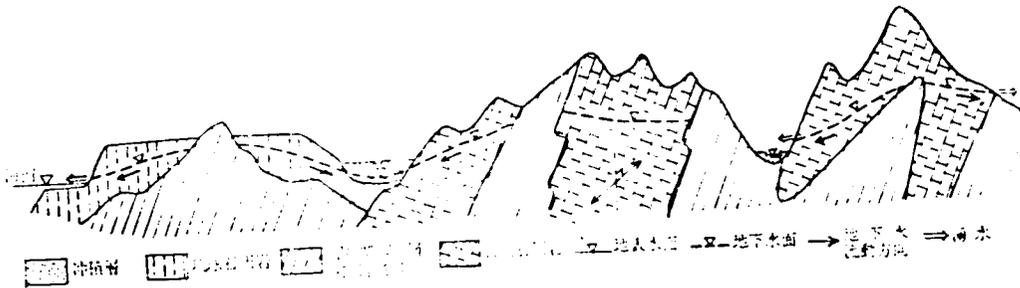
また，海岸線に沿って発達する台地は琉球石灰岩から成っているが，これらも重要な産水層であり，本部半島のように古期石灰岩と琉球石灰岩とが複合する地域の水理地質状況は図-Ⅲ-2-7のように示される。



図Ⅲ-2-7(a) 本部半島水理地質概略図



古期石灰岩の水利地質的機能を示す模式図



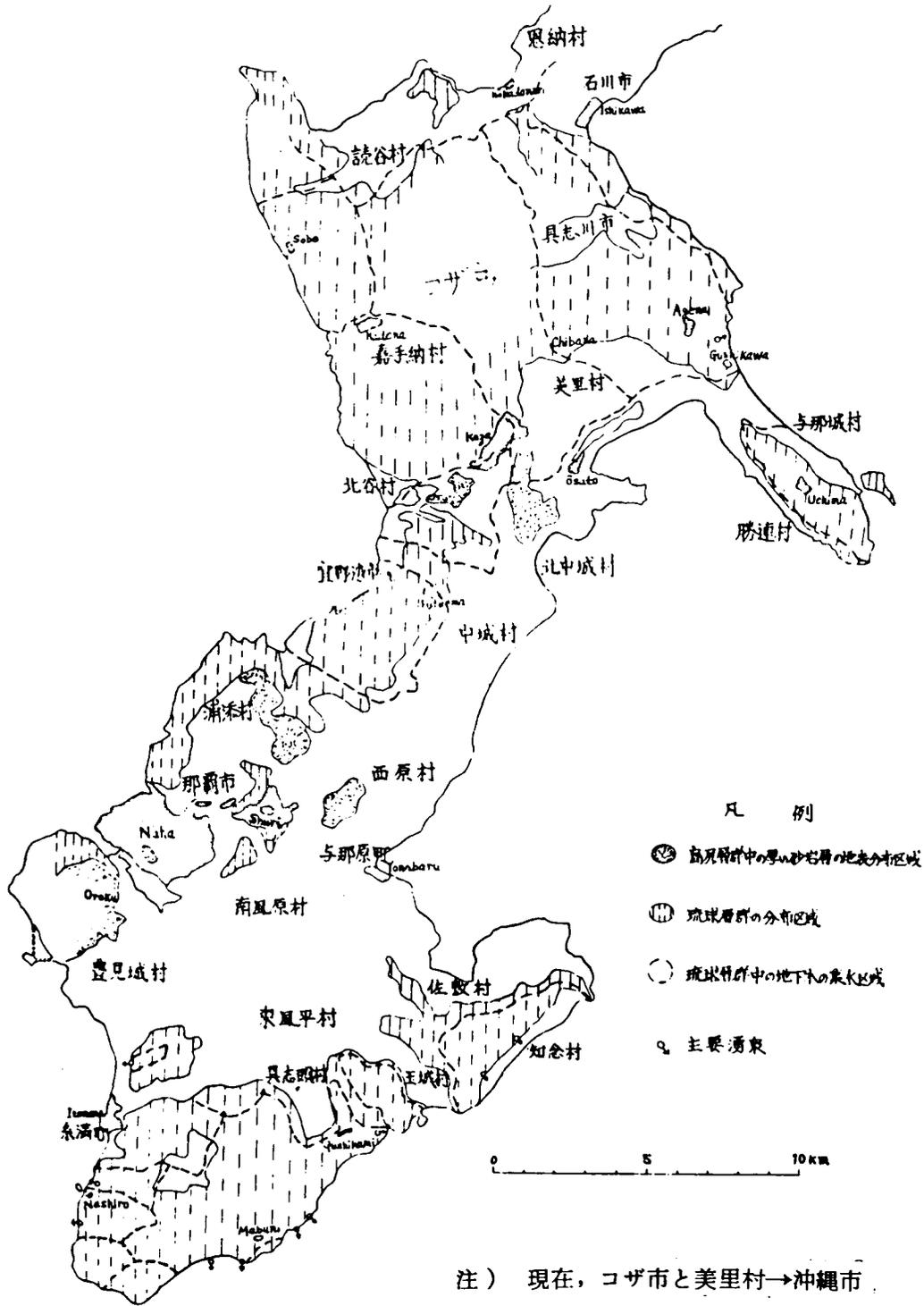
図Ⅲ-2-7(b) 本部半島水利地質模式断面図  
(地質ニュースNo.206, 1971)

## むすび

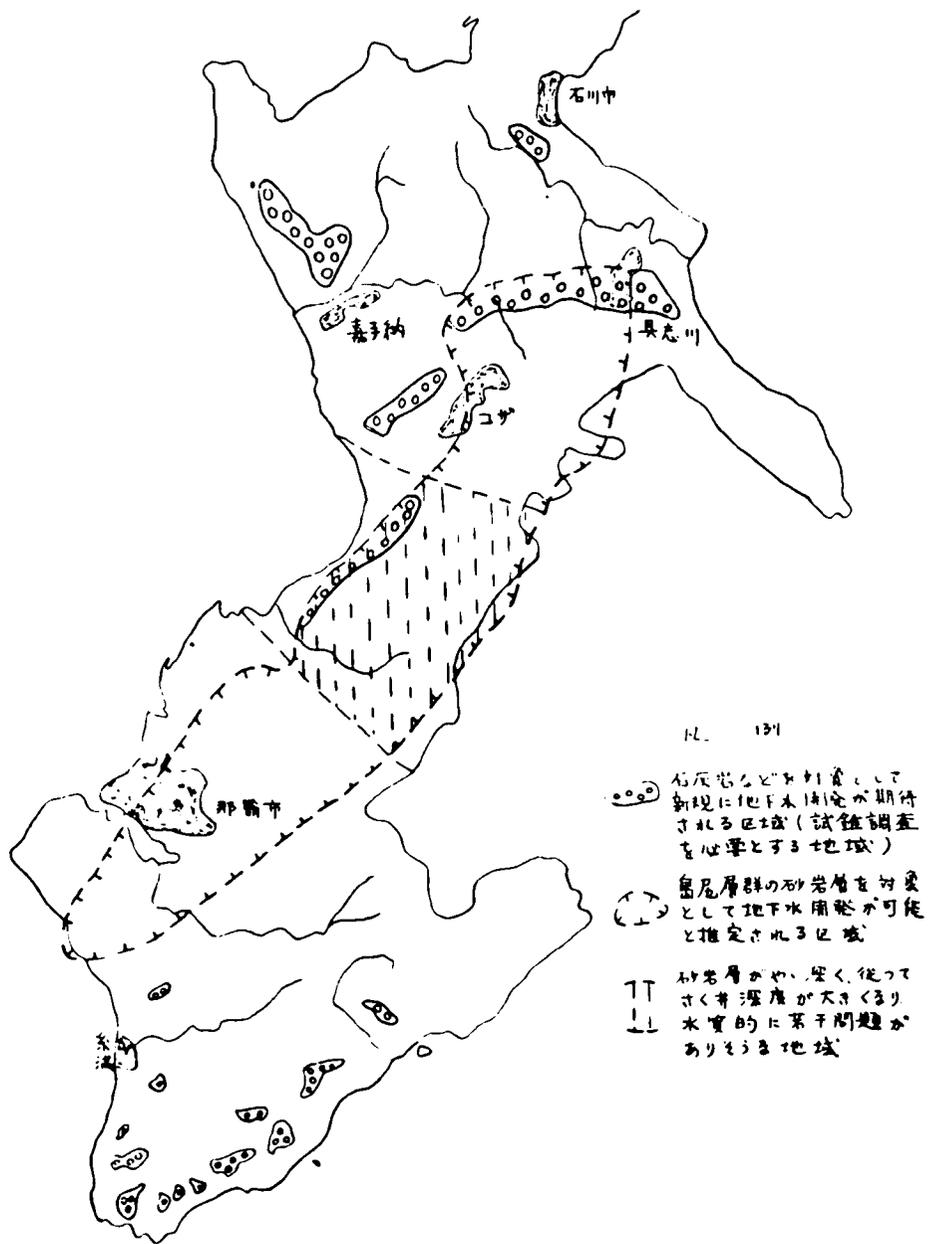
沖縄県における地下水開発は、その緒についたばかりであり、これから本格的な探査が各地で行なわれ、地下水開発とその利用への検討がすすめられようとしている(図Ⅲ-2-8 参照)。

沖縄諸島の自然状況、生活環境を十分に考慮に入れ、新しい探査技術の開発、地表水も含めた地下水の水収支解析等を十分検討してかゝらなければならない。沖縄島中部の具志川市でおこった地下水取水による公害(地盤沈下)の他に塩水侵入、相互干渉や本部半島の古生期石灰岩骨材採掘による山林地の破壊としての受水層の役割低下などがおこらないよう対処策を考えた開発・利用の道を開かねばならない。





図Ⅲ-2-8 (b) 沖縄本島中・南部地区における地下水採取の対象となる地層分布図



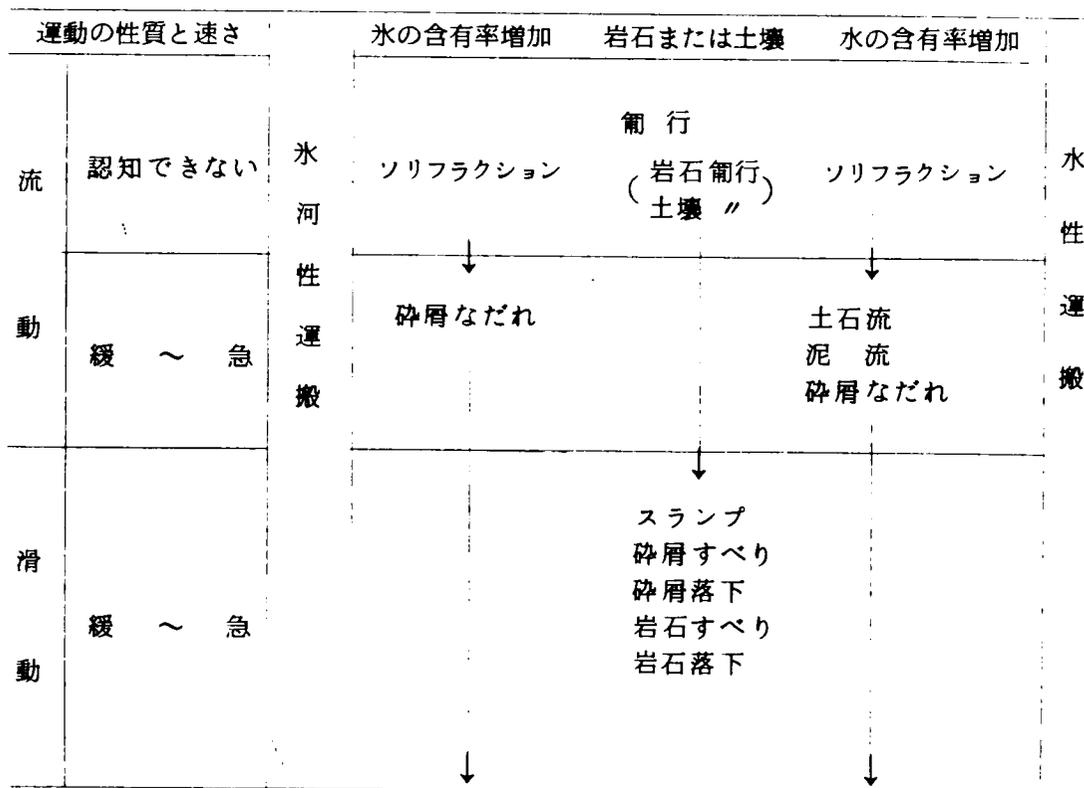
図Ⅲ-2-8(c) 地下水開発が可能と推定される区域

### 3. 山崩れ・地すべり等災害

#### 1) 山崩れ，地すべり等の定義

山崩れ，地すべり等は，地表面が種々の営力によって，多様に変化しその形態が変ってゆく一連の地形過程である。もちろんこの営力には自然的なもののほか，近年は人為的なものも加わり，さらに，地形変化も緩急さまざまなものになっている。山崩れ，地すべり等は，これを現象的に区別できない場合が多いが，地質（崩壊物質），運動の形態や様式などによって区別しており，その若干例（古くはHowe 1909, Heim 1932, Sharp 1938 から最近の定義・分類までである）を以下に示す。

マスウエスティングの分類（山口他，昭49. from C.F.S.Sharp 1938）



地すべりの分類 ( 同上, from D. J. Varnes. 1958 )

運動 の型	構成物質の型			
	基盤岩		土	
落下	岩石の落下 ( 落石 )		土の落下	
少 ↑ す べ り ↓ 多 単 位	( 回転的 )	( 平面的 )	( 平面的 )	( 回転的 )
	スランプ	岩塊のすべり	土塊のすべり	土塊のスランプ
		岩石のすべり	碎屑すべり	側方伸長による沈下
少 ↑ 流 れ ↓ 多 含 水 量	未 凝 固			
	岩屑	淘汰良好な砂・シルト	混合物	塑性物質
	岩屑流	砂走り レス流		
		急速土流	碎屑なだれ	緩速土流
	砂流, シルト流	碎屑流	泥 流	
複合型	上述の2つ以上の組み合わせ			

Heim(1932)	山崩れ ( 広義の地すべり )	<ul style="list-style-type: none"> <li>土塊の運動 { <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 土砂のすべり</li> <li>○ 土砂の崩壊</li> </ul> </li> <li>岩石の運動 { <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 岩石のすべり</li> <li>○ 岩石の崩壊</li> </ul> </li> <li>○ 混合 or 合成されたくずれ</li> <li>○ 特殊なもの</li> </ul>
Sharp(1938)	山崩れ ( 構 造 )	陥没, 岩層すべり, 岩くずれ, 岩層すべり 岩層くずれ
Terzaghi and Peck	山崩れ ( 材 料 )	岩屑, 砂, 黄土, 一様な粘土 硬い粘土, 帯水層を含む粘土 粘土の上に砂またはシルトの帯水層 or 薄層のあるもの

さらに本邦では次のような分類がなされている。

1) 高野の分類(地すべりの形態からの分類)

地塊型地すべり, 崩壊型地すべり, 粘稠型地すべり, 流動型地すべり

2) 渡の分類(形態すべり) 幼年期, 青年期, 壮年期, 老年期

3) 小出の分類(移動の状態からの分類)

地すべり性崩壊, 1次的地すべり(間ケツ型, 継続型), 2次的地すべり

4) 小出の分類(地域地質による分類)

第三紀層地すべり, 破碎帯地すべり, 温泉地すべり

5) 中村の地すべり(地質による分類)

第三紀層地すべり, 中生層地すべり, 古生層地すべり, 変成岩地域地すべり, 火山岩地域地すべり

6) 谷口の地すべり(運動の様式による分類)

円弧型すべり, 平面型すべり, 匍行型すべり

さて, 上記のように種々の定義・分類があるが, “すべり” は迂りであり, “くずれ” は崩れとしてちがいががあるので, およその対比をしてみると次の如くである。地すべりは1)土塊の移動に緩慢性, 継続性, 周期性があり(くり返し)2)特定の地形・地質やその構造のヶ所に集中する傾向があり(分布), 3)土塊の移動による乱れの程度に相違があっても, ほゞ原形を保っていることが多い(スライド)と言え, 一方山崩れは, 1)崩壊物質の移動速度が早く, 2)急傾斜面に発生することが多く, かつ3)移動物質が原形を全くとどめないと言えよう。

沖縄諸島におけるこれらの定義分類の適用についても, 当地の地形地質(素因として)および気象条件(誘因として)を反映して多様な崩壊の形態をとり, 単純に表現しがたいものがある。しかし, これらを事例的に述べて区別してみると次のようにまとめられる。このことについては, 先に報告<sup>8)</sup>した「沖縄の自然災害—地盤災害における問題点(第1報, 第2報)や「第三紀島尻層における地すべり・崩壊について」にも論じてある。

沖縄諸島の地質の面から, それぞれの地域・岩相によって, そのくずれの形態が異なり, 地域性が一応認められる。

1) 中古生層より成る地域; 破碎帯の地すべり, 山崩れ, 崩落, 沖縄島北部山岳地帯, 石垣・西表島山岳部など

2) 第三紀中新世層より成る地域; 島尻層中の地すべり, 斜面崩壊および土石流(泥流)

沖繩島中南部地帯，宮古島，島尻層地域

3) 第三紀鮮新世～四紀洪積世層より成る地域；

イ) 琉球石灰岩分布地帯－落石，陥没

沖繩島中南部，宮古島等石灰岩分布地

ロ) 国頭レキ層分布地帯－土石流（土砂流），斜面崩壊

沖繩島北部海岸沿い

したがって，これらの現象として，基本的に山崩れ，地すべり，斜面崩壊，土石流または泥流と大ざっぱに区別できよう。たゞ，これら現象が複合しておこるケースも多く，厳密に区別しがたいこともあって筆者はケースバイケースで判断を下している。たとえば，島尻層地帯では“崩壊性地すべり”か，“地すべり性崩壊”か，さらに一次的すべり，二次的すべりなどからまって表現のむつかしさに出会すことがよくある。

2) 中・古生層地帯におけるすべり・崩壊

中村の分類方式からみれば，中生層または古生層地すべりの範ちゆうに入り，小出の破砕帯すべりに相当するが，くずれ性格が顕著である。

沖繩島北部には，地質の項でも述べたように，中古生層が広く分布する中で，粘板岩，千枚岩，頁岩，砂岩およびこれらの互層よりなる部分においては顕在あるいは潜在のはく離面を有し，かつ表層部は風化して崩壊しやすい。ことに海岸部においては，多様な断層形成があり，西海岸などでは30～70°傾斜をもつ，いわゆる“なぐれ盤”を形成し，自然状態下でも容易に剝離性の崩壊あるいは層すべりの滑落を生ずる。特に人工的な切取り部においては降雨に際し大小の崩壊が多数みられる（なお木村らの報告<sup>18)</sup>も参照されたい）。

本地域では断層に伴う破砕帯の崩壊・滑落現象が多発するが，風化の著しいこと，また風化の速度がはやいことなど亜熱帯的特徴でさらに盤膨れなどを促進させ引張性われ目の発達を容易にしていると考えられる。これは開発行為の実践に際して十分に考慮されなければならない。

崩壊，すべりの最近の例としては，北部東海岸につくられた福地ダム（Rockfill dam）建設工事中，昭和45年にダム右岸上流側で掘削が急勾配でなされたことによる地すべりが発生し，また昭和49年雨期に西海岸国頭58号線名護市入口世富慶地区での山崩れの斜面崩壊および国道58号線山田改良区での地すべりが発生した。



a) 恩納村，国道58号山田改良区



b) 名護市世富慶

写真7 - 国道58号沿い地すべり例  
(北部地域)

福地ダムの場合は、その基礎岩盤が名護層、嘉陽層の分布する地域で、千枚岩、粘板岩、頁岩、砂岩で形成され、上述したように素因的に弱点をもっているところで急勾配で掘削がなされたことによる災害である。そのため、ダム軸を左岩で固定し、右岸で下流へ120'移動させている。そこでは、新しいグラウトカーテンに切換えられたようであるが、もちろん岩盤のゆるみが大きくセメント注入量がかなり多く使われたことは予想できる。(図-III-3-1 および写真8参照)

一方、世富慶近郊のくずれは、前々から発生し国道沿いで崩壊による交通しや断がなされた所で、背後には大きな断層破碎帯を伴ない完全な防止対策の困難な地である。この地帯は典型的な名護層分布地域であり、未風化ヶ所は暗灰～緑黒色をなしているが、風化して赤褐色の山肌をあらわしている所が多く、今後も十分な注意を要するいわゆる危険地域である。(写真7, b)

山田地区地すべり地点は、国道58号の付け替えのため新道路を山側に建設する工事であったが、施工中、計画道路の片側を確保した程度の山陵末端部の掘削によって地すべり徴候があらわれ、掘削に伴ってこの徴候は顕著なものとなった。この現象は雨季に入ってますます顕著なものとなり地すべりをおこしてしまった。同地区は名護累層分布地域で、崩壊土類の堆積あるいは過去の地すべりにもとづく攪乱の層があるものと思われる。(写真7, a)

その他、石垣島のオモト岳を中心とする火山岩地帯、たとえば西北部の川平湾を見下す地域の村道開設に伴ない、花崗斑岩、流紋岩風化ヶ所における崩壊が発生し、川平湾への汚染が問題となった。この地帯は古生代のチャート、千枚岩、片岩や上記の火山岩などが分布する所で、今後開発事業の進行とともに検討を要する。

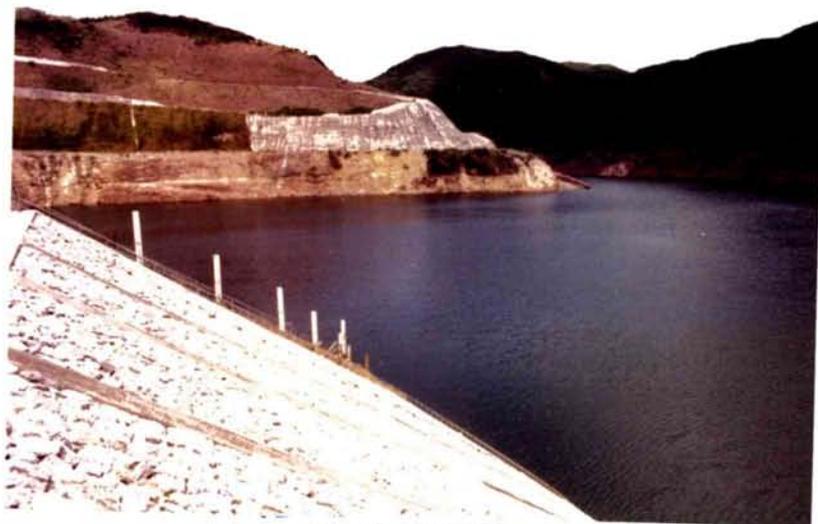
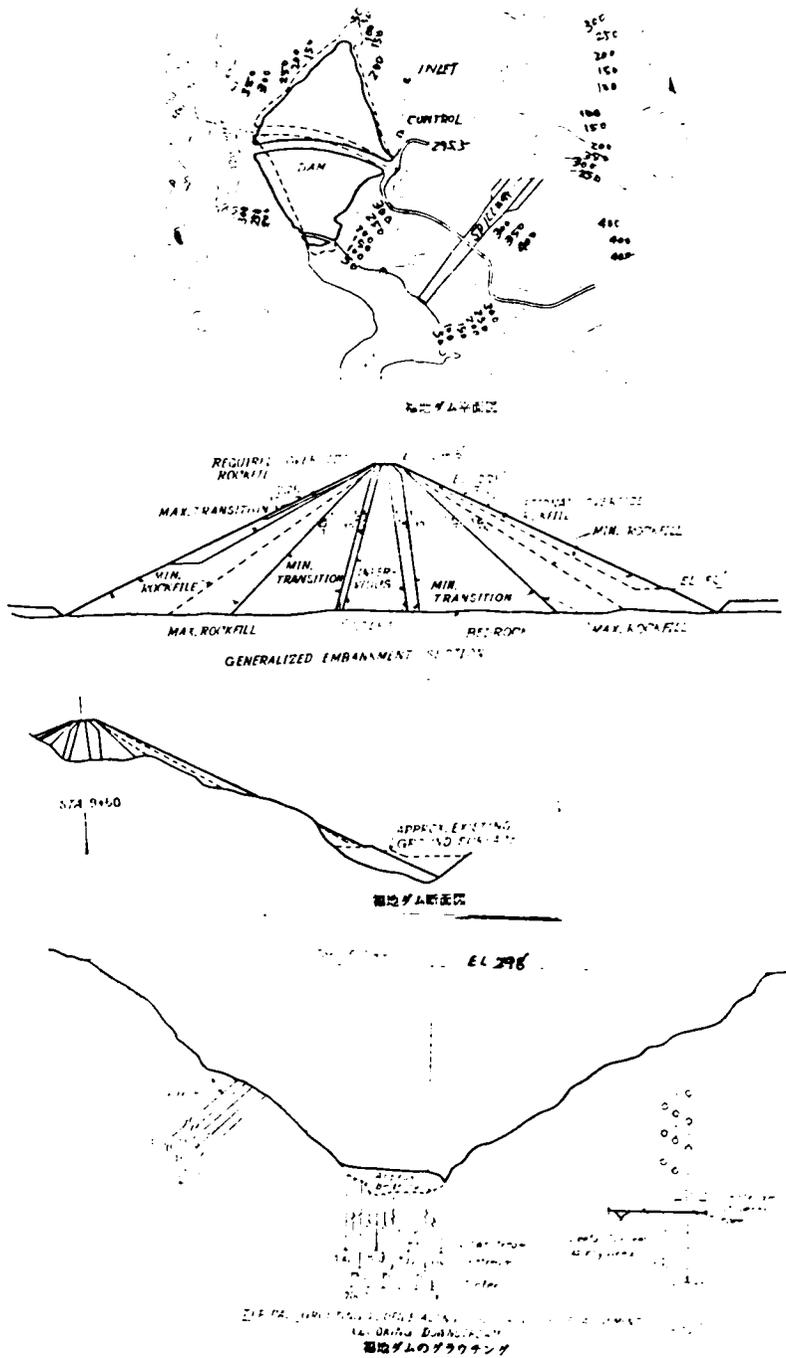


写真8 福地ダム(完成)

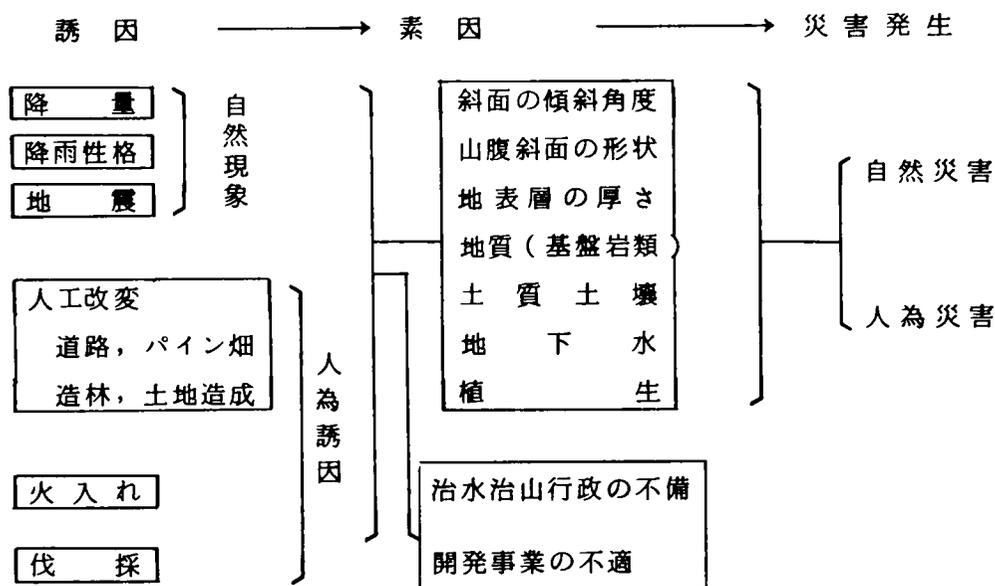


図Ⅲ-3-1 福地ダム計画(土木技術資料14-5)

また西表島横断道路の建設に伴っても同様な崩壊事例が発生しつつあることは注目されねばならない。

これら中生代地帯の崩壊の発生・メカニズムについて検討してみると次のようである。

地すべり・崩壊の発生する地域の認識がわりあいわかりやすく、そこでは、傾斜のあるところどこでも発生する可能性があり、特にカット面が地山を露出し、強雨を受けた場合には崩壊をもたらしている。しかしながら、その崩壊のメカニズムを明確にすることは困難な場合が多く、対策をたてるのに苦労している実状である。ただ、これまでの調査研究から、岩石の性質、斜面形態等地形・地質の諸条件からある程度崩壊の難易があることが認められており、このことから、崩壊発生の危険度を相対的に明らかにすることはできる。この状況をフローチャートに表示すると次の如くである。但し、この表は沖縄島北部地域全体（中・古生層分布地域のみでなく）を念頭において考えているものである。



上のフローチャートを実際に対比させて検討を行なったような例としてかなり前だが木村他(1960)の報告<sup>18)</sup>を要約して紹介する。

1959年夏の台風シャーロットおよびエマによる崩壊発生の解析

誘因： 異常降雨量 日雨量 470 mm 1時間雨量77mm

注) その頃までは山地開発の傾向は少なく、人為的誘因としては、今日ほど考えられないが、戦中戦後山地荒廃の影響が十分に考えられる。

素因；地形，地質，森林，地下水

地質は崩壊の素因として大きな役割を果たし、中・古生層地帯の地質は花崗岩に比べ崩壊しがたいという通念に反して豪雨に際し北部地域に崩壊が多発したことは注目される。北部の中・古生層でも、表層の深い部分で崩壊が発生しやすいことや、同じ地質でも荒廃（侵食風化）しやすいしにくいかは地形的性格もあづかっていることがわかる。この地形の素因としては斜面勾配と山腹斜面の形状とがあげられ、本事例では傾斜角度は $35^\circ$ 前後に集中的に多くなっており、斜面形状については、ほとんどの場合、下降斜面が崩れている。

地形・地質のほかに素因として、森林の有無、林相の良否が問題となるが、本豪雨時には林地の状態如何による崩壊への影響や地下水の吹き出しの痕跡が各所にみられていることによって考えられる崩壊への影響については深く追求されていない。それよりも自然環境的な素因に対してもっと問題になるのは、治山治水行政、山林、林相の不良性、さらに山林開発、道路工事等の工法の不適切性について人為的素因ともいうべきものの影響が台風豪雨による災害をさらに大きくしていると結論づけていることは注目すべきものであろう。

さらにつけ加えると、崩壊災害危険地域を知るためには、地形・地質と崩壊発生との関係から、自律的な地形変化としての崩壊発生のポテンシャル予測とさらに道路建設、土地造成、森林伐採など人間活動の展開による人為的災害誘因が加わった場合の同ポテンシャルの増加とが予測されなければならない。このことから、土地利用の如何によってきわめて崩壊が発生しやすくなる可能性をこの地域は十分に含んでいる。

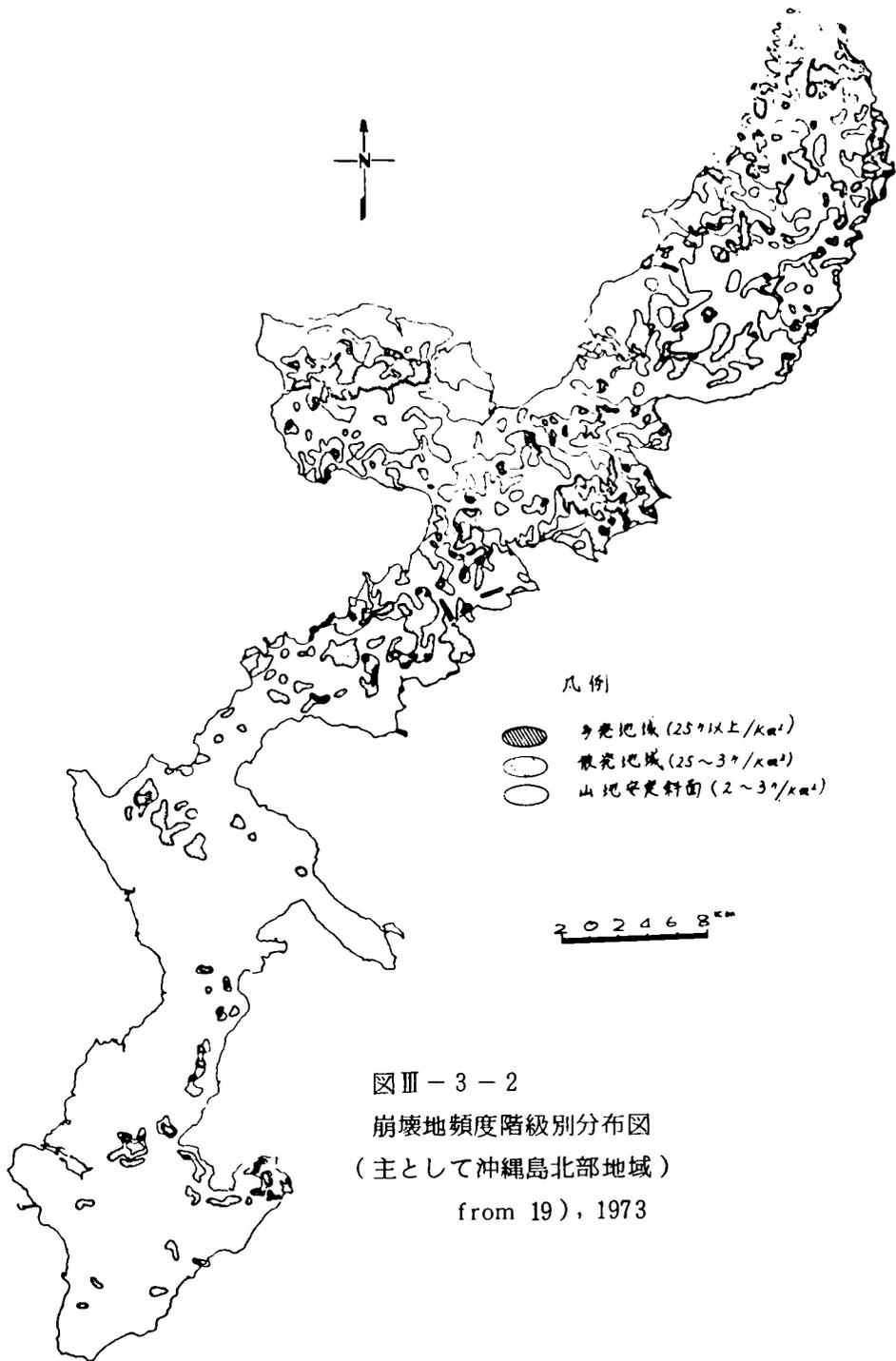
なお、沖縄島における崩壊地の分布を示したのが図-III-3-2で、崩壊発生頻度(単位面積あたりの崩壊地密度による)を次のように一階級に区分して表現してある。<sup>19)</sup>

崩壊発生	大；崩壊個数	25ケ以上/ $\text{Km}^2$
	中； "	25～3ケ/ $\text{Km}^2$
	小； "	2～0ケ/ $\text{Km}^2$

### 3) 第三紀中新世層地帯におけるすべり・崩壊

沖縄諸島における第三紀中新世(上部)から鮮新世の地質としては、地質条件のところで述べたように島尻層群があげられ、この層は沖縄島中南部(天願断層、北谷村～具志川市以南)と宮古島の一部に分布している。本層群におけるすべり・崩壊は、分類上、第三紀層地すべりに属し、タイプとしては多くの場合崩壊型地すべりとして考えられるが地塊型地すべり、粘稠型ないし流動型地すべりとして考えられるケースもある。

沖縄島中南部において基盤または表層をなすものは本層およびその風化層が大部分であり、この地域において、近年、住宅用地、農業用地、工業用地、レジャー施設



図Ⅲ-3-2  
崩壊地頻度階級別分布図  
(主として沖縄島北部地域)  
from 19), 1973

(ゴルフ場など)用地などの土地造成や道路の改良・新設が盛んに行なわれている。本層においては、以前から、ずい所に地すべり、崩壊および土石流(泥流)が発生しているが、最近多発の傾向にあり、特に雨期や台風シーズンにおける災害現象として年々問題となっている。

筆者はこの地域のすべり・崩壊について数年来調査をすゝめ、実態把握と資料等の蒐集につとめてきたので、こゝに知見を述べる。

㉑ 先ず島尻層(琉球石灰岩が所によっては不整合に覆う)地帯における近年の事例を若干あげると次のようである(図-Ⅲ-3-3参照)。

① 1959 佐敷村新里部落裏山

国道331号線内陸側で、シャーロット・エマ台風時に発生し、約3haの地すべり性崩壊によって、下方3haに土砂が流出した。人身事故もあり、この時は中城湾に面した各地でもすべり・崩壊が発生した。

② 1963 沖縄市(旧美里村)大里、コザ高等学校裏道路

現国道329号線が地すべりによって崩壊、路線変更によって修復

③ 1969 豊見城村豊見城中学校近郊の道路

雨季に県道 号沿いに大小の崩壊性地すべり発生

④ 1971 南風原村大名部落付近

県道5号(首里～与那原線)沿いに大崩壊および地すべり発生。大規模な改修工事実施完了。

⑤ 1971 浦添市沢岨地内バイパス工事現場

現国道330号バイパス安里インターチェンジから内間へ向けての東側高台(急崖～緩傾斜地まで)において、バイパス工事の進行中に地すべり発表

⑥ 1971 中城村奥間～新垣部落近郊

豪雨時に県道35号線の改良工事中に切盛土の崩壊と共に傾斜地すべりが発生した、この地は以前から、その後も再々すべり・崩壊が発生している。現在も修復工事を継続的に行う。

⑦ 1971 北中城村喜舎場部落裏手 県道30号線北方丘陵地

ヒルトンホテル敷地造成ヶ所でやゝ大きな地すべりが発生し、喜舎場部落への恐れとなった。現在落ち着いているようである。

⑧ 1972 北中城村喜舎場地内

パラダイスガーデン前方村道の盛土崩壊および二次的すべり発生。

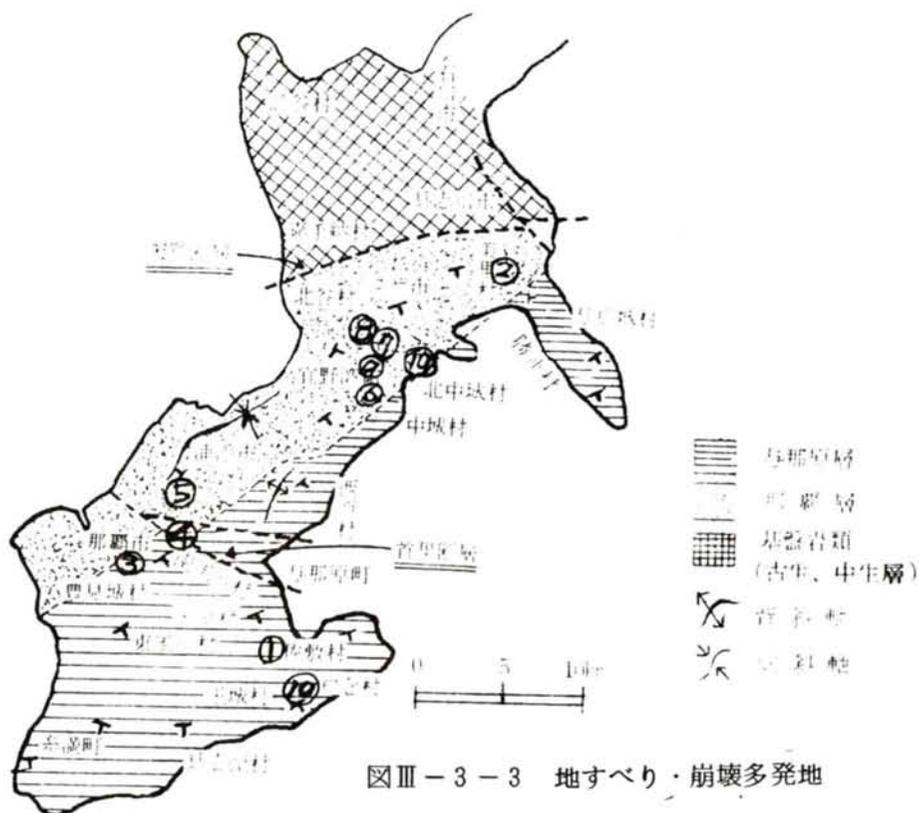


写真-9. a) 新里地すべり地区(佐敷村)



b)  
喜舎場地内  
(北中城村)



c)  
安谷屋地内  
(北中城村)



d)  
奥間地内  
(中城村)

写真 9. 地すべり，崩壊地域例

対策工事実施，一時安定。

⑨ 1972年 北中城安谷屋部落地内

安谷屋部落および丘陵地外人住宅エリアにおいて，7月の豪雨時に造成の後産物として，村道を含み下方の民家にまで及ぶ崩壊・すべり発生。

新築工事を実施の結果現在休止（または一時安定）状態である。

⑩ 1972～75年 中頭郡東海岸沿線

知念村から具志頭村（南部東海岸沿い）にかけての国道331号沿いおよび中城村～北中城村（中城湾に面する）にかけての国道329号沿いにおいて崩壊性地すべり，土石流（泥流）が雨季の度に多発して，道路規制または交通止めがなされ，その度に災害復旧の処置をとっている。

この地域は慢性的なすべり危険地で根本的な対策が望まれる。

① 島尻層（中南部）に対する地質学的及び土質工学的考察

島尻層は各方向にわりあい緩い傾斜（ほとんどが $10^\circ$ 前後で一般には南東へ）をなして分布するが，堆積後の変動により多くの大小の断層がみられ，褶曲構造や層内褶曲なども認められる。本来比較的軟質な泥岩を主とする崩壊・すべりで，本土における第三紀層地回り地帯にみられるような形態の崩壊がみられる。本泥岩は乾湿のくり返しによる土壌化がはげしく，地表露出部分の，1) 剝落・崩壊および泥流が発生しやすい。また，比較的急な斜面でたとえば $30m$ をこす谷部において，2) 崩壊性または円弧型の地すべりがみられる（上例8.10など），さらに，これの再活動あるいはゆるい斜面にみられる，3) 層すべり型の地すべりの発生もみられる（上例9など）。

一方，与那原町より，沖縄市東部に至る（国道329号）中城湾を望む直線状の海岸線はこの方向の断層によって形成されたものと考えられ，これがすべり・崩壊と関連している。また新里地域における地すべり性崩壊も佐敷村南部をほぼ東西に走る構造線に沿っておこったものと推定される。さらに，知念村から具志頭村に至る（国道331号）海岸線も同様なことが考えられ，その上，島尻層に不整合にのる“琉球石灰岩”がこれらのすべり活動に大きな影響（地下水浸透，集中）などをもっていることは明白である。

島尻層群は泥岩（シルト質軟岩），砂岩，凝灰岩から成り，上位から新里層，与那原層，那覇層の三つに区分されているが，すべり・崩壊の多発は泥岩の風化土壌化部分に多く発生しているのが実情である。なお，これら岩（土）層の土質工学的問題については後にも検討する。

泥岩、砂岩ともにかなりの過圧密（圧密降状荷重は $30\text{Kg/cm}$ 以上）を受けた軟質（中には固結度が高いノジュール状の大小の塊が散在しているが）の岩（硬土）である。（写真10参照）

泥岩層<sup>21)</sup>は一般的には良好な地山となるが決して均質なものではなく、閉そくしたクラックを内包し（Fissured or jointed structure）かつ層状を形成（かなりの厚さから互層的な薄い層または夾在する薄層まで存在）し、新鮮な（あるいは未風化）泥岩の特性は分布地域によっても変動があるが、次のようにまとめられる。

自然含水比 =  $20 \sim 30\%$        $G_s = 2.75$  前後

L. L. =  $60 \sim 70\%$       P. L. =  $18 \sim 28\%$       飽和度 =  $90 \sim 100\%$

粒経分布では粘土分またはシルト分がかなりの割合をしめ分布地によって粘土質シルト～粘土（CL～CH）に属する。

載荷試験で $300 \sim 400\text{ ton}$ の降状荷重を示し、一軸圧縮強度は $20 \sim 40\text{Kg/cm}$ を示し、セン断強度は異方性を示す。乾湿くり返しによる膨脹収縮の結果細粒化し、水浸崩壊も非自然含水比（未攪乱）状態では顕著である。

砂岩層<sup>22)</sup>はかなり硬い固結岩と軟質のものがあり、これも厚い層から薄い層まで変化している複雑な層状を形成している。

分布地によって変動があるが、砂岩の特性は次のようにまとめられる。

自然含水比 =  $15 \sim 26\%$        $G_s = 2.64 \sim 2.78$

乾燥密度 =  $1.42 \sim 1.76$       飽和度 =  $60 \sim 83\%$

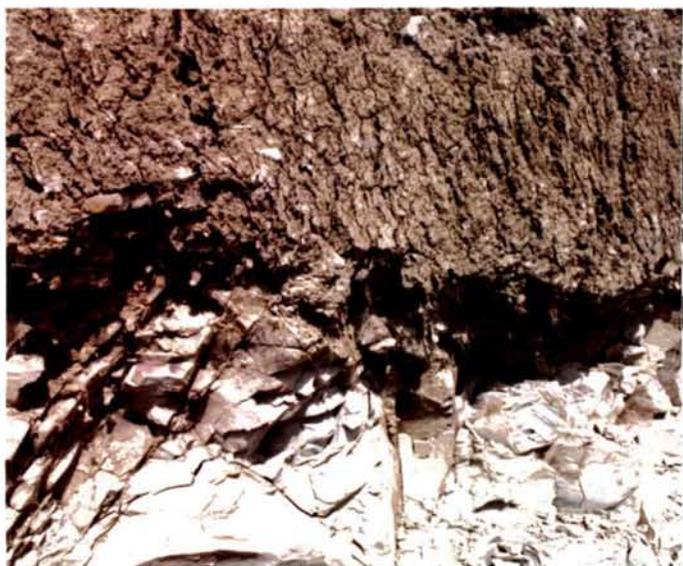
L. L. , P. L. = 測定不能

粒経分布は、砂、シルト分が圧倒的に多く、（最大粒経 $0.5\text{ mm}$ 以下）粘土分が $5 \sim 15\%$ 存在していて、ローム系（シルト質、砂質）あるいは砂質土（SM）に相当する。

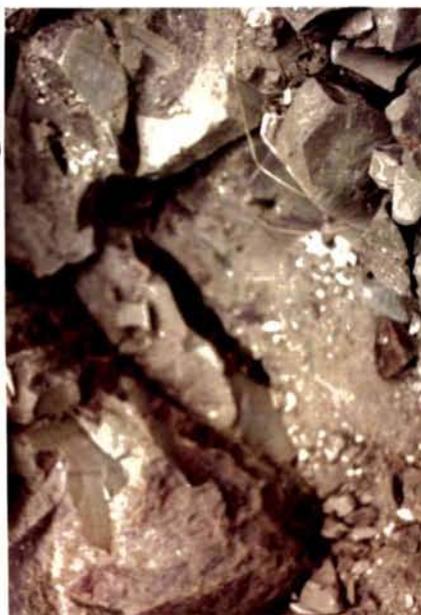
強度については、硬質の砂岩として固結度の極端に大なるもののほか、堆積環境および風化の準行状況によって2つの型に大別できる。I型は直接セン断（非排水）試験結果応力－水平変位量曲線でピークが急激かつ大きくあらわれて急激に減ずるタイプとゆるやかにかつ小さくあらわれて徐々に減少するタイプがある。いずれも多位量 $1 \sim 2\text{ mm}$ であらわれ残留強度特性が問題となる。一軸圧縮強度は軟質の砂岩土（I, IIタイプ） $2.0 \sim 6.0\text{ Kg/cm}$ であり異方性をもっているのはもちろんのことである。これは未風化の泥岩に比してかなり弱いが浸水崩壊によるスレーギング特性は泥岩ほどではない。

以上の工学的特性のほか、島尻層群が海中、堆積岩であることなどから、その粘土鉱物その他の鉱物特性や物理化学的な特性が自然斜面のすべり・崩壊などを考える上で問題となろう。

島尻層中の泥岩砂岩ともに粘土鉱物としてイライト、膨潤性緑泥石、モンモリロ



a) 泥岩(土)層



b) 砂岩(土)層

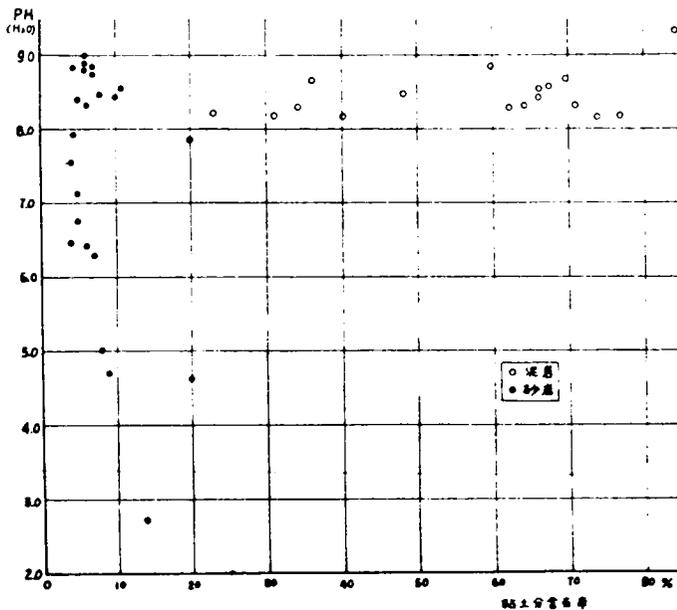


写真10. 島尻層の推積構造

ナイト様鉱物、ハロイサイトなどが検出され非粘土鉱物として石英、長石および方解石などを含んでいる。化学組成は両者ともにSiO<sub>2</sub>が最も多く、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO等が主にみとめられる。

pH.や塩分含有量特性については、およそ次のようにまとめられる。<sup>23)</sup>懸濁液のpHについては、土質工学会規定の通りに行なった結果泥岩土はPH(H<sub>2</sub>O)=7.69~9.40、砂岩土はpH(H<sub>2</sub>O)=4.60~9.10が得られ、泥岩土がすべてアルカリ性を示しているのに対し、砂岩土は酸性、アルカリ性両方にまたがっている。また、比重の大小には関係がないことがわかったが、粘土分含有率の幅広い分布をもつ泥岩土についてpHとの関係をあらわしたのが図-III-3-4であり、粘土含有率にかかわらずほぼ一定の値を示し、泥岩層の分布地域(あるいは堆積環境)にかかわらず層全体を代表する値とみてよい。

一方、海成層である島尻層の塩分リーチングの問題も、たとえばNorwegian Marine Clay、Canada Marine Clay、London Clayなどの場合のように、<sup>24)</sup>考えられることであり、塩化物含有量試験の結果0.00014~0.0093%範囲にあり、大部分は0.0007%以下という低い値を示した。



図III-3-4 島尻層土の粘土含有率とPH値の関係

砂岩の塩分含有量は島内分布地（小禄；南部地区，首里，浦添，泡瀬；中部地区）による量的特性はなく， $10^{-4}$  %が圧倒的に多く砂岩層の透水性もあってほゞ落着いた値になったとみてよい。泥岩の方も分布地による特性はなく，粘土分が少ないことによる塩分含有量の増（ $10^{-4} \rightarrow 10^{-3}$  %）の傾向がみられ今後，自然斜面としてのLeachingに関する取扱いについて検討を要するものである。またPHとCl含有量との関係を示したのが図-III-3-5であるが明確な相関性は得られていない。島尻層におけるすべり・崩壊は，これまでの事例から10年前後の間隔をもって発生するようであり，このすべり・崩壊の発生時期は雨季に集中的におこっているものゝ，層土の物理化学的な特性（風化との関連において）と因果関係があるように思われるのでこの点は今後の課題である。

島尻層における災害として，もう一つmud flowがある。これは表層の風化残積土（土壌化）が比較的急な斜面で強雨によって含水量が急増して流れ出すことによって生ずる。豪雨は，植生特に沖縄諸島に多いすゞきやかやの類が繁茂した地点で，根毛による土壌のLoosening現象に加えて，吸水によって重くなる一方の泥土を，下層土とのマサツを小さくして移動させ，速度も大きくなってflow stateをもたらす。さらに移動して斜面先に堆積した土は，また，豪雨時に下方へ移動することが再々あるので斜面先の泥質材料はできるだけ除去するか安定化をはかる必要がある。

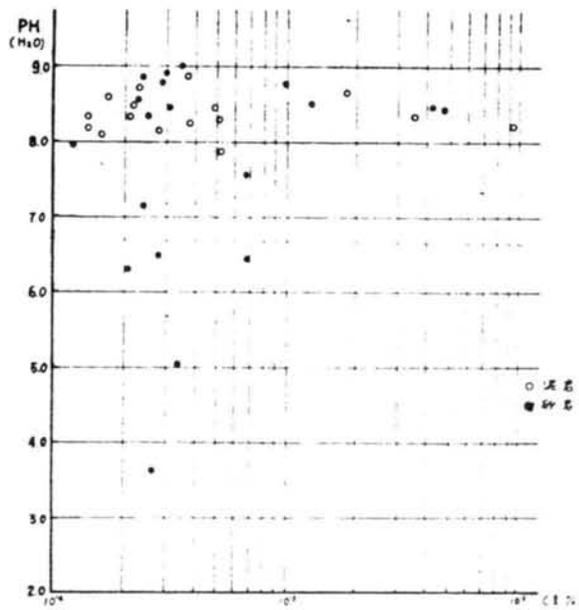
なお，宮古島においても南静園近郊やダム付近<sup>20)</sup>においていわゆる島尻層がみられるので，今後造成その他の開発行為によるすべり・崩壊がおこる危険性は十分に考えられる。

#### 4) 第三紀鮮新世～四紀洪積層地帯におけるすべり・崩壊

a) いわゆる琉球石灰岩分布地帯においては，先ずその下位の島尻層との不整合面で，浸透水による風化侵食，土砂流失に伴う崩壊があり，これは，地表において陥没現象をもたらしたり，浮石の転動的崩壊をもたらすものがある。

この現象はたとえば沖縄中南部の国道58号沿い，湧水ヶ所などにおいてしばしば見受けられるものである。また，石灰岩中の洞究や水みちの破碎によっても，時に地表面のかん没があることも考えられ，これは琉球石灰岩地形の項でも若干述べたとうりである。

もう一つの琉球石灰岩地域では，琉球石灰岩自体の多孔質もろさなどからシーティングその他の風化侵食が常に進行しており，その為に落石のひん発する所があり，南部国道331号沿い（玉城村内）や国道58号改良工事の際（昭49年）の落石事故がそれである。



図Ⅲ-3-5 島尻層土の塩化物含有量とPH値の関係



写真-11  
落石, 転動  
石事故

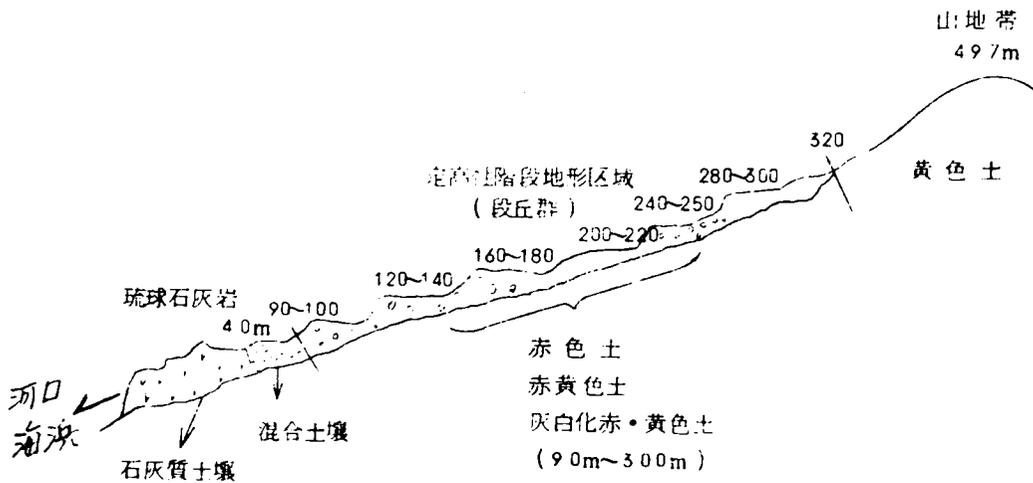


b) 国頭レキ層分布地域においては、土壤侵蝕の問題<sup>20)</sup>があり、傾斜地における地形変形と土壤構造の破壊は沖縄の降雨特性と相まって土壤侵蝕を誘発し、雨季になると沖縄島北部地域で土砂流出があり、河口一帯さらには海浜、浅海（サンゴ礁域）を汚染している（図-Ⅲ-3-6）。

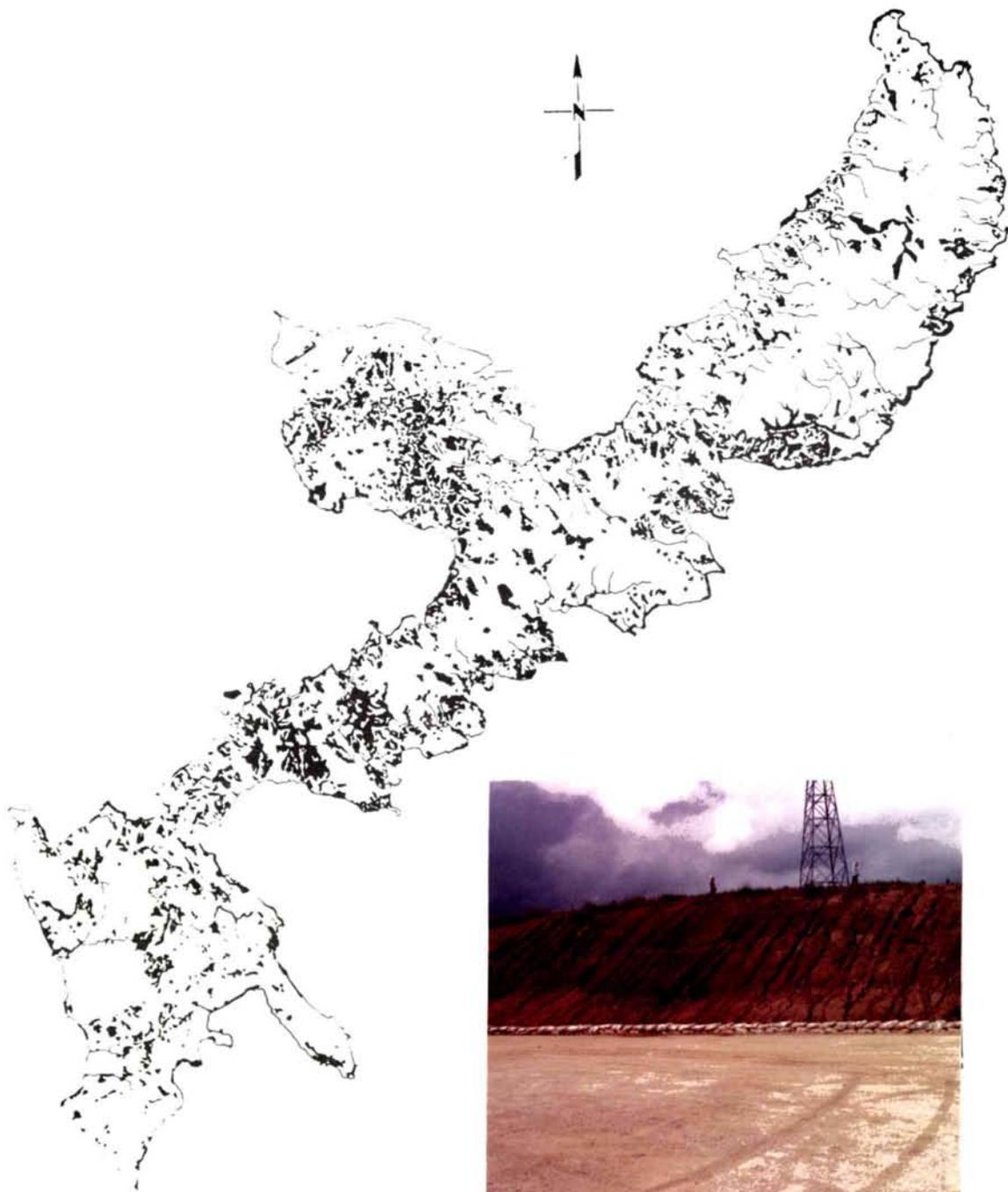
これらは、パインアップル畑などで象徴的にあらわれるシート、リル、ガリ各型の侵蝕や、北部地区の道路のり面の無管理による無惨な侵蝕と崩落となってみられる。

土地生産性のみ追求から、降雨の少ないことを期待するような山地開発や傾斜農地の造成に問題があり、元来、土壤侵蝕にSusceptibleな国頭レキ層について傾斜面の築造、斜面保護の対策を十分に考慮に入れなければドシャブリ、鉄砲水的降雨特性のこの島々では、水質汚濁等の公害問題を斥け得ないであろう。

土壤侵食流出等のメカニズムおよび防災については藤川・翁長らの調査・研究があり<sup>20)</sup>、農学的立場からの検討がすゝめられている。



図Ⅲ-3-6. a) 地形と土壤分布関係模式図（沖縄本島北部）



図Ⅲ-3-6

b) 表面侵食発生可能  
地域分布図  
〈沖縄島中北部〉



写真12, ガリ発生状況

## 5) 地すべり地形の区分と分布(沖縄島中南部)

島尻層の丘陵斜面の多くは地すべり地形の特徴を示し、過去の遺跡も含む地すべり斜面を抽出しようとする、島尻層丘陵斜面の殆んどが該当することになる。したがって島尻層の急傾斜面は地すべり・崩壊発生のポテンシャルが大きいと言え、ちなみに過去にすべり・崩壊のあった地域およびその危険性のある地域の傾斜程度を調べてみると、<sup>20)</sup>傾斜角度は広範囲にわたっている。もっとも、その多くは15°~25°に集中していて、本土の場合と同傾向を示していることから、地すべり・崩壊の発生斜面の一般的性向とみてよいだろう(図Ⅲ-3-7)

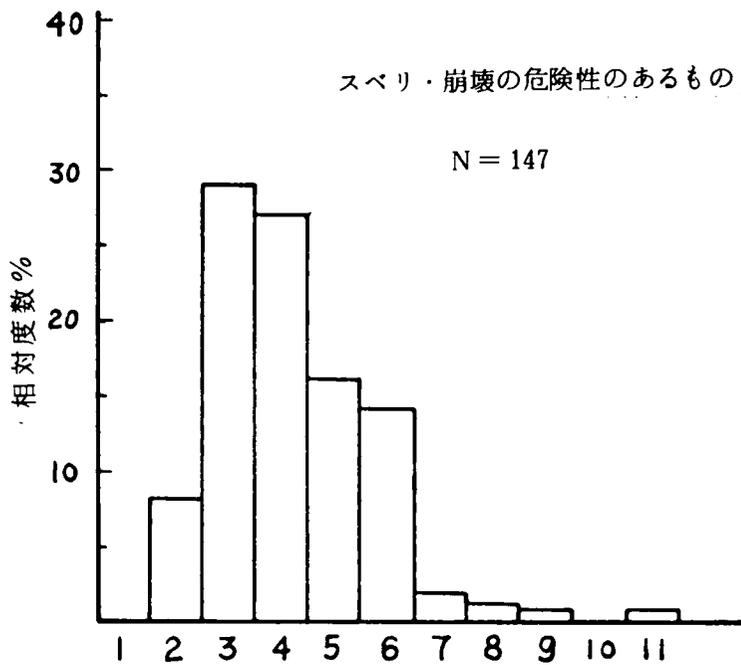
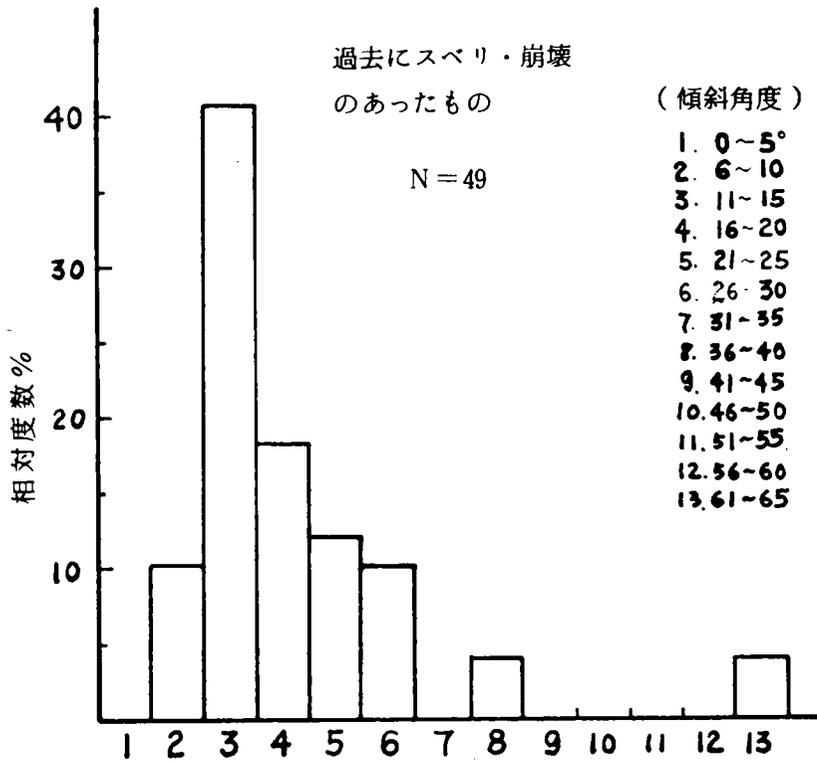
地すべり地形については、これまでも多くの報文があるが本県においては少ないので、筆者の先の報告<sup>20)</sup>や沖縄県の報告等<sup>25,19)</sup>をもとにしてまとめるとおよそ次のように示される。

まず、中南部地域の丘陵地帯のつながりなどから大ざっぱに区分してみると次の5つに分けられる。

- 1) 具志頭村北部-玉城村-知念村-佐敷村-与那原町南部
  - 2) 糸満市北部-玉城村西部-東風平村-大里村
  - 3) └豊見城村-那覇市南部
  - 4) 南風原村および那覇市北東部(首里地区)-西原村-中城村および宜野湾市東部-北中城村
  - 5) 浦添市-宜野湾市西部-北谷村-沖縄市西部
- 但し5)は4)以上に比して頻度はこれまでに少ないが急傾斜地など危険ヶ所を有している。

さらに地形区分をこれまでの発生ヶ所とそのすべり面または崩壊面であるスカープ(崖 or 極急斜面)とその下方前面に階段状に続く急~緩斜面と、さらにその前面のより緩い舌状または扇状の斜面の3要素をもとにして細区分してみると次のようになる。これらはまた地すべり・崩壊危険地ということにもなる。

- 1) 玉城村志堅原~中山付近
- 2) 知念村山里~久手堅~安座真~久原付近
- 3) 佐敷村伊原~佐敷~新里~小谷付近
- 4) 与那原町当添~与那原テック付近
- 5) 大里村大里城跡~嶺井付近
- 6) 東風平村志多伯~当銘付近
- 7) 豊見城村平良~上田~宜保付近
- 8) 那覇市小禄~具志付近
- 9) 南風原村高安~長堂~嘉数付近
- 10) 那覇市小波蔵~仲井間~上間~識名~繁多川付近



図Ⅲ-3-7 地すべり・斜面崩壊発生地傾斜程度

- 11) 那覇市首里地区
- 12) 与那原町与那原～西原村桃原，我謝付近
- 13) 南風原村大名～新川付近
- 14) 西原村小波津～翁長～棚原～上原付近
- 15) 浦添市沢岬～経塚～安波茶～前田付近
- 16) 浦添市嘉数～大謝名
- 17) 中城村東海岸一体（伊集～津覇～奥間～当間～添 ～伊舎堂～泊～久場
- 18) 北中城村熱田～和仁屋付近
- 19) 宜野湾市赤道～愛知～長田（中城村との境界）付近
- 20) 北中城村安谷屋～萩堂付近
- 21) 北中城喜舎場～屋宜原～ゴルフ場及外人住宅エリア
- 22) 北谷村謝苺～桃原付近
- 23) 沖縄市高原～大里（旧美里村）付近
- 24) 沖縄市桃原～古謝～泡瀬（旧美里村）付近
- 25) 沖縄市室川～嘉真良付近
- 26) 具志川市高江洲～豊原付近

これら地すべり・崩壊地区の多くは、海岸に面した比高の大きな丘陵斜面に位置しており、特に中城湾に面した広域や南部東海岸沿いにあり、海岸平野上に舌状、扇状、又は馬てい状の微起伏堆積物が分布している。また、これらの地域では平滑または円弧状すべりと共に陥没・隆起およびクラックがしばしばみられる。

## 6) 地すべり・崩壊対策

こゝでは、沖縄島中南部における対策、したがって第三紀島尻層における地すべり・崩壊の安定解析と抑止工法について述べる。

これまで述べたように島尻層の地質学的特性は、琉球石灰岩またはその風化残積土で不整合におゝわれ、その境界は一種の水みち（自由地下水）をつくりがちである。一方、層中の泥岩はその深度によって、その上部は風化侵蝕を受け土壌化や砕屑、レキ化して軟弱質であることが多く、その下位に Fissured or jointed structure を有してやゝ風化の進行した層（筆者は準風化層と呼んでいる）があり、さらにその下位に堅硬の新鮮な泥岩が基盤として（筆者は未風化層と呼んでいる）存在している。層中の砂岩も堆積時の条件で水平方向に異なった構成をもたらしている。また、島尻層は泥岩と砂岩および凝灰岩から形成され、その一つが層厚く存在するか、互層を形成するか、あるいは一方が他をうすい夾在層として有するか多様な構成をなしておるため、泥岩が難透水層、砂岩が透水層としての作用をもっていることによる浸透水の影響（被圧水）を考慮に入れる必要がある。

したがって、すべり・崩壊の発生機構は多様で、曲面すべり的なものや、平滑すべり（層間すべり）的なもの、その複合的なもの、さらにはパイピング現象による崩壊などがある。

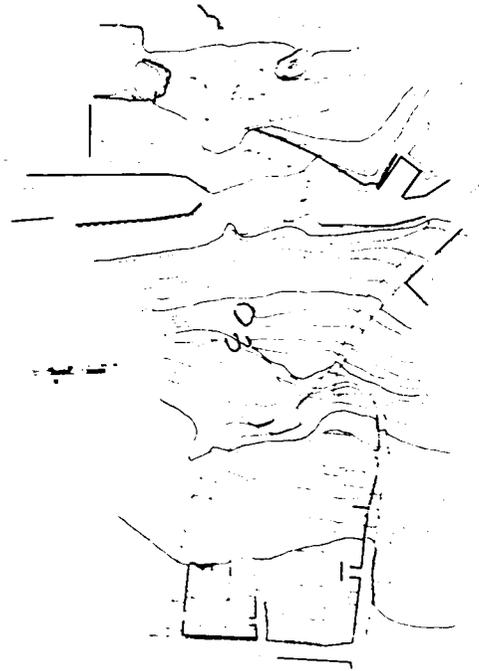
これら多様なすべり・崩壊に対して安定解析を行なう困難は実際に復旧工事や抑止工事をする際に出会すことがしばしばである。以下に代表的事例として北中城村安谷屋での対策工事をあげることにする。

なお、一般には、地質・地下水調査、ボーリング、地盤変動調査に基づいて、すべり面を定め、鉄筋コンクリート擁壁や鋼矢板（単独ないしアンカー掛け）または鋼（管）杭によってすべり・崩壊の防止または抑止を行なっているのが実情であり、すべり・崩壊の規模があまり大きくない（本土の大型の例に比して）こともあって、大規模な対策工事は行なわれたことがなく、その中で安谷屋地内のものが規模としては大きい工事となっている。上記の土留めの役割をもつ矢板や杭の設置については、島尻層泥岩が基盤であり、その未風化層が硬固なために、根入れ作業に非常に困難を伴ない、アースドリル等の工法を用いていることが多い。

○ 安谷屋地内地すべり対策工事について（写真13，図Ⅲ-3-8参照）



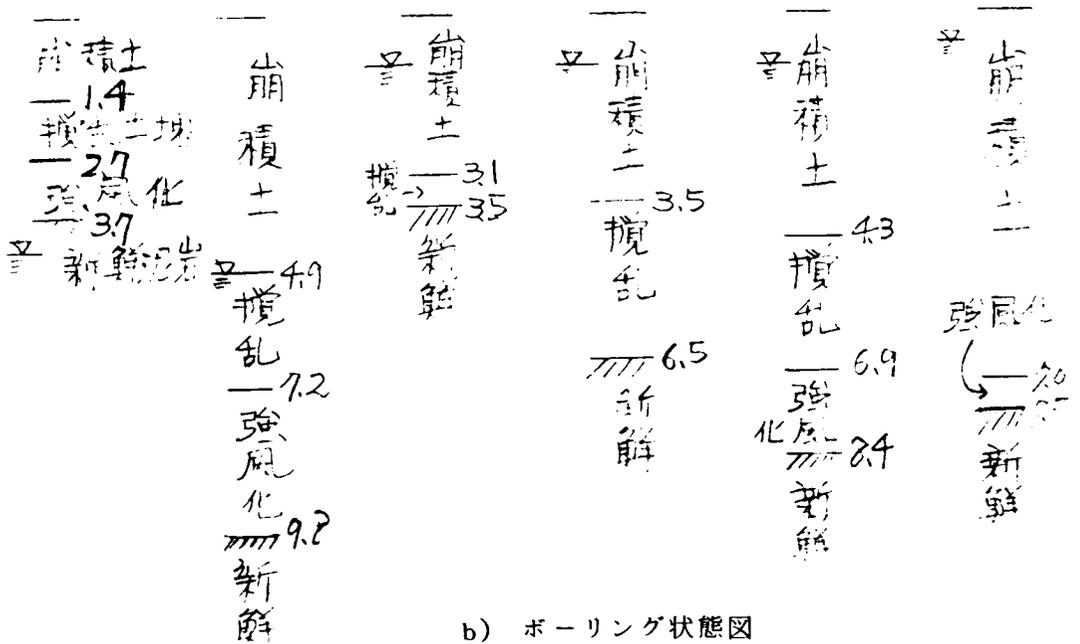
写真-13，安谷屋地内地すべり防止杭工事



図Ⅲ-3-8  
平面および  
断面図

a) 安谷屋地区地スベリ平面図

B-6	B-5	B-4	B-3	B-2	B-1
EL. 63.63 <sup>M</sup>	59.64	45.93	36.93	31.30	38.30



b) ボーリング状態図

この工事例は、沖縄県の依頼を受けて、日本工営株式会社が第一期対策工事として、昭和48年6月に報告したものをもとにしている。

まず、当地区の地質状況把握のためのボーリング調査、すべり面調査のためのストレーンゲージ（ボーリング孔利用）測定、地盤の傾斜変動量把握のための傾斜計（液管式）測定、および地下水の流動状況把握のための地下水垂直検層を実施した。なおボーリング孔6本（9 m～13 m）、歪計45本、傾斜計4基、地下水検層6孔となっている。

当地区の地質条件は島尻層群によって構成されていることは勿論であるが、そのうちのシルト質粘土を主体とする泥岩層から構成されている。（もともと、地表には砂岩層の露頭がみられる）

地形は琉球石灰岩および島尻層（泥岩及び砂岩）より成る隆起台地が浸食を受けて、複雑な窪地地形を成している。

ボーリングの結果（No.1は下方、すべり先端、No.6は上方冠頭部、Nos.2～5は斜面を上に向けて附された番号である。）

崩積土類は琉球石灰岩、泥岩起源のレキ及び粘土質ロームで、含水量多く軟質で  
すべり面形成の可能性大である……………移動土塊

攪乱土塊；過去の地すべり変動等により攪乱された泥岩層で異物（石灰岩碎片 etc.）  
混入し、含水量多く軟質である……………移動土塊

強風化層；原位置で強風化を蒙った泥岩、岩組織残存するが硬質粘土化して、すべり面形成の可能性わずかにあり……………準移動土塊

新鮮岩層；基準として、新鮮な泥岩……………不動岩盤

歪計解析の結果B-1位置にては深度7.0 m（強風化泥岩）付近で潜在すべり面が判定されB-2位置では不動、B-3位置では深度5.0及び6.0 m（攪乱土塊）付近で、B-4位置では深度4 m（攪乱土塊）付近で、それぞれ潜在すべり面が判定され、B-5位置では深度4 m（崩積土類）付近で準確定すべり面が判定され、B-6位置では不動とされた。

傾斜計解析の結果、調査時点で4地点中3地点が潜在変動を生じているものと判定された。

一方、地下水調査（検層）の解析結果からB-1孔で深度1 m付近で表層流が、B-2孔で、0.75～5.0 mの間で軽微な地下水流動帯がB-3孔では不在、B-4孔で不在、B-5孔で6.25～7.0 m付近に軽微な表層流が、B-6孔で不在ということが判定された。

#### (a) 地すべり機構解析

以上の調査結果に基づいて、地すべり機構を解析すると次のようである。

### ① すべり面の決定

地すべり斜面の1断面におけるボーリング孔(3ヶ所以上)の歪計による変動ヶ所の把握と地表面の変状, 傾斜計の解析をあわせて, さらに当地の地質条件を十分に考慮して, 下記のような方法を行なった。

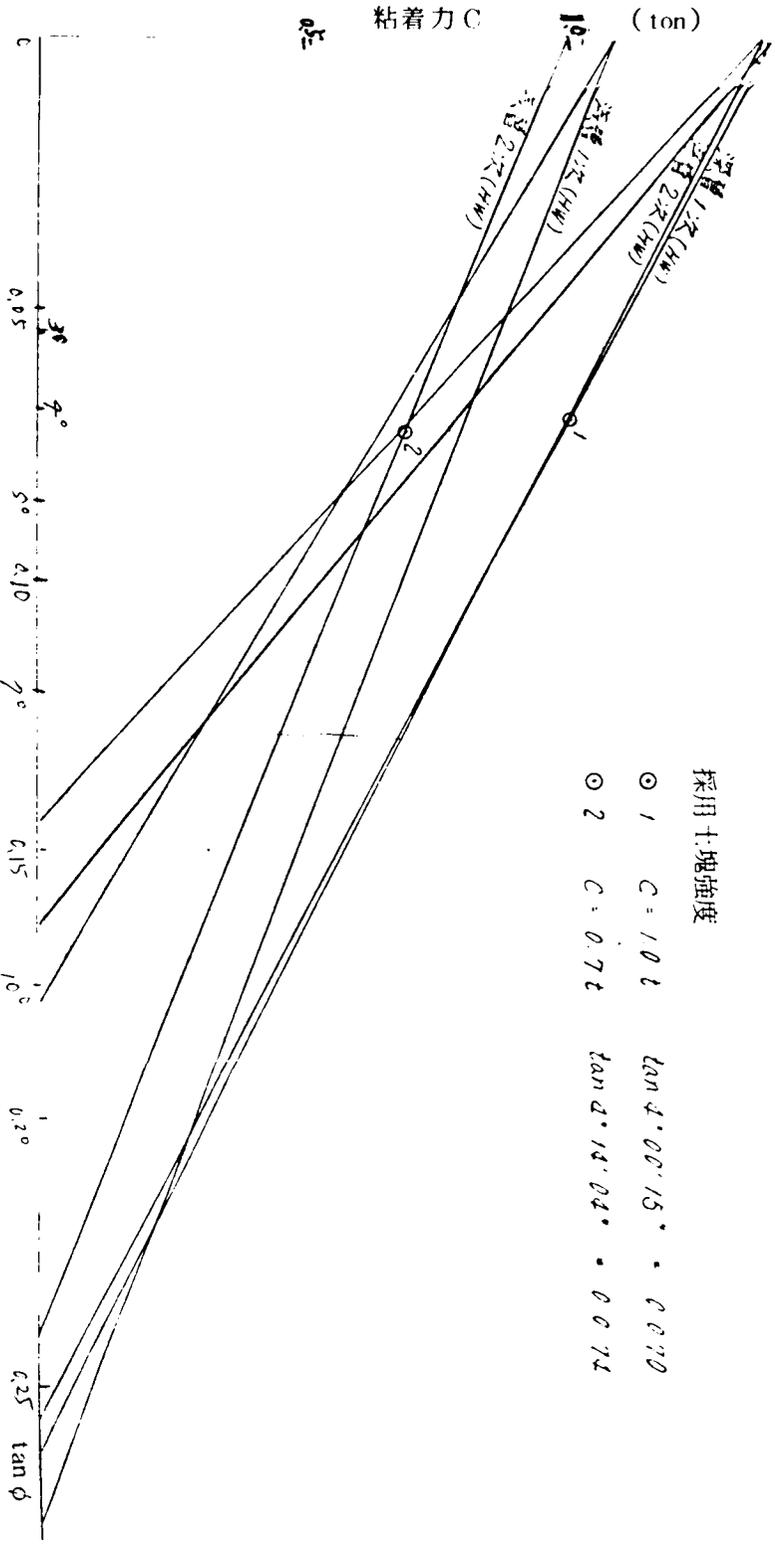
すべり面形成は④軟弱粘土中であること。⑤崩積土下面であること。⑥風化岩あるいは岩盤(泥岩)上面であること。⑦風化岩と岩盤の境界が流れ盤であること, および, ⑧岩盤中の軟弱狭み層(薄層)あるいは破砕岩が存在することが予想され, 8~9割が④~⑦の条件に該当する。したがってすべり面は地表面の性状(地形的変動点すなわち頭部;キレット, 陥没ヶ所, 末端部;キレット, 隆起ヶ所等)と一点(単純円弧)または二点(複合すべり面)と変動ヶ所2~3点を把握して, これらを結ぶ円弧と直線部分を確定することによって得られる。

### ② 土塊強度( $C, \phi$ )の決定

土塊強度の決定は, 理想的にはすべり面付近の試料(地すべりの頭部, 中間, 末端部の各地点の不攪乱試料)を数多く採取してなされるのがよいが, 今回は, 実際問題として困難を伴ったので次のようにして決定した。

この場合, 安全率 F.S. = 1.0として,  $C=0$ の場合の $\phi$ ,  $\phi=0$ の場合の $C$ を求め, これによって $C-\phi$ 図を描く。次に強さ試験の結果から得られた $C, \phi$ の値を上記 $C-\phi$ 図上にプロットし, それに地すべり土塊の一般的強度( $C=0.5\sim 4.0\text{ t/m}^2$ ,  $\phi=5^\circ\sim 25^\circ$ )を考慮して, 当地における採用可能な $C, \phi$ の範囲を限定する。これと地質条件, たとえば崩積土, 砕砕帯, 風化岩および軟弱薄層土の状態に応じて $C$ または $\phi$ の増減を考えて,  $C=0.5\sim 2.0\text{ t/m}^2$ , or  $C=1.0\sim 4.0\text{ t/m}^2$ ,  $\phi=15^\circ\sim 25^\circ$ , or  $\phi=0^\circ\sim 10^\circ$ の範囲とする。さらに第1次, 第2次複合など, 各種のすべり面が存在し, それぞれの変動状況, 経過などが解明されれば, それらの条件を $C-\phi$ 関係図中に表示し, これに基づく $C, \phi$ の範囲を明示しこの範囲内から経験的に $C, \phi$ の値を決定する。

当地区では, 図Ⅲ-3-9に示すように浅層第一次, 浅層第二次, 深層第一次, 深層第二次の4すべり面の存在が推定されるので, それぞれの安全率をチェックするが, すべりの現状からかろうじてバランスを保っているかあるいはやゝ下回っているものと判断される。  $C-\phi$  関係図に示すように, 浅層すべり(第一次, 第二次)では  $C=0.7\text{ t/m}^2$ ,  $\tan\phi=\tan 4^\circ 00' = 0.074$ , であり, 深層すべり(第一次, 第二次)では,  $C=1.0\text{ t/m}^2$ ,  $\tan\phi=\tan 4^\circ 14' = 0.070$  の値が得られ, これらの土塊強度を用いて安全率計算をした結果次表のようになった。



15-

採用土塊強度

- 1 C = 1.0 t     $\tan \phi = 0.15$     .    0.070
- 2 C = 0.7 t     $\tan \phi = 0.14$     .    0.074

粘着力 C

ton

図 III-3-9. C~φ 関係図

	現 状	杭 施 工 時
	平常水位時≡異常高水位時※	平常水位時≡異常高水位時
浅層第1次すべり	0. 9 0 9	1. 2 0 0
“ 2 ”	1. 0 0 0	1. 2 9 1
深層第1次すべり	0. 9 9 3	1. 2 0 5
“ 2 ”	0. 9 9 5	1. 1 7 7

※ 平常水位は常時高く、想定最高水位と変わらない。

以上の検討結果に基づいて、当地区の地すべり機構ならびに発生原因（素因，誘因）を考察すると次のようにまとめられる。

イ. 当地区の地すべりは地質条件および地形と密接な関係を有する。

地質；不動岩盤である泥岩は一般に比較的深所に存在し、その上部には「準移動土塊」である強風化泥岩が分布する。

さらに、その上部には「移動土塊」である攪乱土塊及び崩積土類が比較的厚く分布する。

地形；頂部に明瞭な旧滑落崖及び新滑落崖が存在し、下方には攪乱された痕跡（土塊の押出し、地割れ etc.）が認められ、全体的にはいわゆる馬蹄形の地すべり範囲としてとらえられる。

ロ. 当地区の地すべりは、主として崩積土類および攪乱土塊中に発生するものと推定される。

崩積土類及び攪乱土塊の土質状況が不良であり、地形の状況からも、また、計器類の変動状況からも明瞭なすべり面が存在し、“移動土塊”として取扱われる。“準移動土塊”である強風化泥岩は現状では良質とは言えないがまだ変動の歴史は認められず、変動の可能性は十分に胚胎しているので抑止工検討の際は考慮に入れた。

ハ. 当地区の地すべり変動を誘発あるいは促進せしめるのは地下水（滲透水）である。

今回の地すべりは（旧来にも大小規模のものがあったが）昭和47年7月の台風7号（連続雨量394mm）によって直接的にひきおこされ、地下水位は異常に上昇したと思われる。もっとも、当地区の地下水位は相変わらず高くして地質的にも地下水を胚胎しやすい崩積土及び攪乱土が分布している。たゞ、この地下水は容易に流動層はわずかに地下水水面付近に表層流として極めて軽微なものが認められたのみである。

(b) 抑止工法の検討

一般に地すべりに対する抑止工法として、排土工（段切工）排水工（地下水、浸透水処理工）、抑止工（杭、枠工 etc.）、地盤改良工（グラウチング etc.）、表面処理工（植生、吹付 etc.）および侵食防止工（砂防ダム、護岸 etc.）などがあるが、すべり状況に応じて（精密な調査資料に基づく諸解析結果によって）最も効果的な抑制工事が計画され、施工されるわけである。

当地区での抑止工は、上部の村道を含む第1次すべり（浅層、深層）により下部に第2次すべりを発生せしめ、その結果、下部家屋の傾倒や地割えなどが派生しているので、第1次すべりをまず抑止し、次いで第2次すべりを抑止する。さらに、地下水位を下げ、降雨時にも排水条件を良好にし、より一層地すべり土塊の安定化をはかることが必要であろう。

上述のようなことから、抑止工として第1次すべり（浅層、深層）の安定をはかるものとして、バットレスや枠工や押え盛土工は当地区では末端部ないし頭部にそれぞれ荷重減または荷重増をもたらすので、種々検討の結果杭工法が適当と判断された。第2次すべり（浅層、深層）についても同様、杭工法が適当との判断を得た。

こゝで、杭工法は、杭が地すべり移動土塊と一体（土塊の移動に対して対応してせん断応力を発揮しうるように）となるように配慮し、下端を下方に存在する不動岩壁に十分な根入れをして固定するようにしなければならない。実際的には地すべり土塊の適当な位置にボーリングにより不動岩盤にまで十分に届くボーリング孔をあけ、そこへ設計された強度の杭を立てこむことになり、当地区では、杭に期待する必要せん断応力を算出し、必要抑止力を求め、杭の径、間隔などを算入して、第1次（浅層、深層）及び第2次（浅層、深層）すべりの安全率を求めた。さらに、杭を施工した場合、杭の頭部を末端とする表層すべり発生の可能性に対してチェックを行なった。その結果をまとめると次のとおりである。

1) 安全率  $\geq 1.10$  としての必要抑止力

$$F. S. (1.1 \text{ or } 1.2) = \frac{\tan \phi \Sigma (N - \mu) + C \Sigma L + P}{\Sigma T}$$

なる式から、 $R(t) = \Sigma T \times F. S. - C \Sigma L - \tan \phi \Sigma (N - \mu)$

浅層 1次すべり  $P = 30.57 \text{ ton ( F. S. } \geq 1.20 \text{ )}$

深層     "      $P = 15.48 \text{ ton ( F. S. } \geq 1.10 \text{ )}$

浅層 2次すべり  $P = 16.75 \text{ ton ( F. S. } \geq 1.20 \text{ )}$

深層     "      $P = 14.08 \text{ ton ( F. S. } \geq 1.10 \text{ )}$

max. 30.57 ton (第1次すべり)

2) max. 16.75 ton (第2次すべり) 必要抑止力に対する鋼管杭  
長期安定を考慮 (60.80 t/本)

鋼管杭 STK-41, 径 318.5 mm, 肉厚 6.9 mm

$$\begin{aligned} \text{間 隔 } D &= \frac{S}{T} = \frac{60.80}{30.57} \doteq 2.00 \text{ m (第1次すべり)} \\ &= \frac{60.80}{16.75} \doteq 3.63 \text{ m (第2次すべり)} \end{aligned}$$

3) 杭施工に伴う安全率

浅層第1次すべり	F. S. = 1,200
深層        "	F. S. = 1,205
浅層第2次すべり	F. S. = 1,291
深層        "	F. S. = 1,177

排水工については、当地区の常時地下水位が高く、(したがって間ゲキ水圧が高く、土塊の安定度を低下せしめていることと、風化の促進をもたらしている) 土塊の安定と風化抑制とのために、地表水排除の二方式を考えた。地表水排除は地表面排水溝の完備によるが、地すべり上部に第1横排水路を設けて地すべり地内への地表水の侵入を防ぎ、地すべり地内に入った地表水(降雨などによる)は第2横排水路によって受止め、さらに地すべり地内の湿潤ヶ所(小池)は第3横排水路によって排水する。これら三排水路は縦方向に連結され一括して地すべり地外へ排水される。

地下水を排除する方法としては集水井及び集水井内より行う集水ボーリング及び排水ボーリングを採用する。

(c) むすび

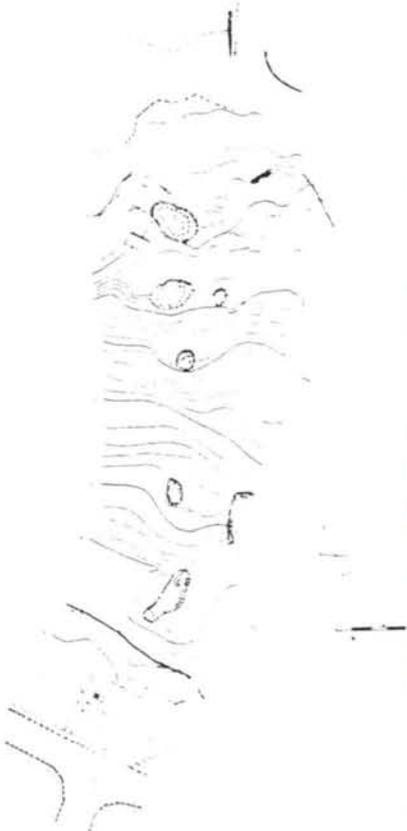
当地すべりは村道を頭部とし、120 m 下方の民家密集地帯に至る、幅約80 m、面積約96 a の範囲であるが、頭部では村道が半壊し、下方では民家傾倒などの被害が発生した。

調査の結果、地形・地質的に地すべり発生の素因を有し、急激な豪雨が直接の誘因として、地すべり発生となったと考えられた。

したがって、このまゝの状態では再度の集中豪雨あるいは累積降雨等を直接の誘因として、現在の範囲にとどまらず、さらに上方及び下方の民家密集地帯へと地のべ変動が波及するものと考えられた。この地すべりの最も効果的な

防止工は鋼管杭（上段 2 m 間隔39本，下段 2.5 m 間隔34本，ともに杭頭部を 梁で連結し，ラーメン型にして効力をあげる）で，ほぼ十分（F. S. 浅層の場合 $\geq 1.20$ ，深層の場合 $\geq 1.10$ ）と考えられるが，地下水が常時高く（崩壊土類，攪乱土類の透水性が低い），雨などでさらに水位が上昇しやすいために土塊風化抑制の面からも十分な排水を実施しなければならないものと考えられる。

注）なお，北中城村喜舎場地区内図Ⅲ-3-10でも対策工事がすゝめられているが，基本的な考え方は安谷屋の場合と似ているので省略する。



図Ⅲ-3-10 喜舎場地区地すべり平面図



写真-14 集水井

7) 総 括

以上，沖縄県における山崩れ，地すべり・崩壊等について述べてきたが，災害事象としてはおおよそ次のようなパターンに分けられよう。

1. 中生層すべり及び崩れ……………沖縄島北部，石垣島及び西表島山岳地帯
2. 第三紀層すべり及び崩れ……………沖縄島中南部および宮古島の島尻層分布地帯
3. 第四紀洪積層崩減 ………………琉球石灰岩”分布地帯および国頭レキ層分布地帯

このうち、1 および 3 は山崩れないし急斜面崩壊の形式をとるケースが多く、2 が地すべり崩壊をもたらすケースとなることが多い。したがって、前者は砂防および治山工事（農村分野）の対象として、後者は地すべりおよび急傾斜地災害対策工事の対象として取扱われがちで、関係部局によって別に取り扱われているのが実情である。

こゝでも、主として地すべり・崩壊の面について述べたので、沖縄本島中南部の島尻層分布地帯を念頭において総括を試みることにする。

沖縄県の「地すべり地および急傾斜地調査報告書」<sup>25)</sup>に示された地すべり・崩壊危険地域や木村らが示した<sup>18)</sup>地すべり危険地域に加え、筆者の実態調査報告<sup>20)</sup>を地すべり地形判読（5千分の一及び245百分の一地形図）を考慮して「地すべり・崩壊危険地域分布図」を示すと図-III-3-11にみられるとおりである。また、図-III-3-1-12には「土地利用計画」参考資料<sup>19)</sup>として提示されたものをかゝりてある。

こゝで、地図上に示した地すべり危険地域は、現状において地すべり地形の全てではなく、かつて（最近15年単位）活動した災害顕在化地域あるいは比較的活動の危険性があると思われる、地すべり発生のポテンシャルがより大きい地域のみを表現したものである。

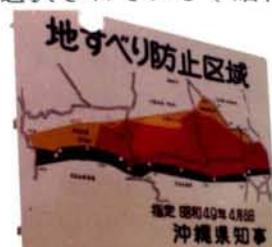
行政的には地すべり防止法や急傾斜地崩壊防止法などに基づく県の指定済みまたは申請中のものが下記のように若干あり、これはあくまでも当面の人間活動にとっての「災害」という観点に立つての防災対策対象地域として選択されている（昭和51年5月現在）。

#### 地すべり危険地域（指定済み）

沖縄島北中城喜舎場地内	- 22.30 ha
〃 安谷屋地内	- 24.17 ha
〃 那覇市首里崎山地内	- 17.37 ha
〃 佐敷村新里地内	- 49.25 ha

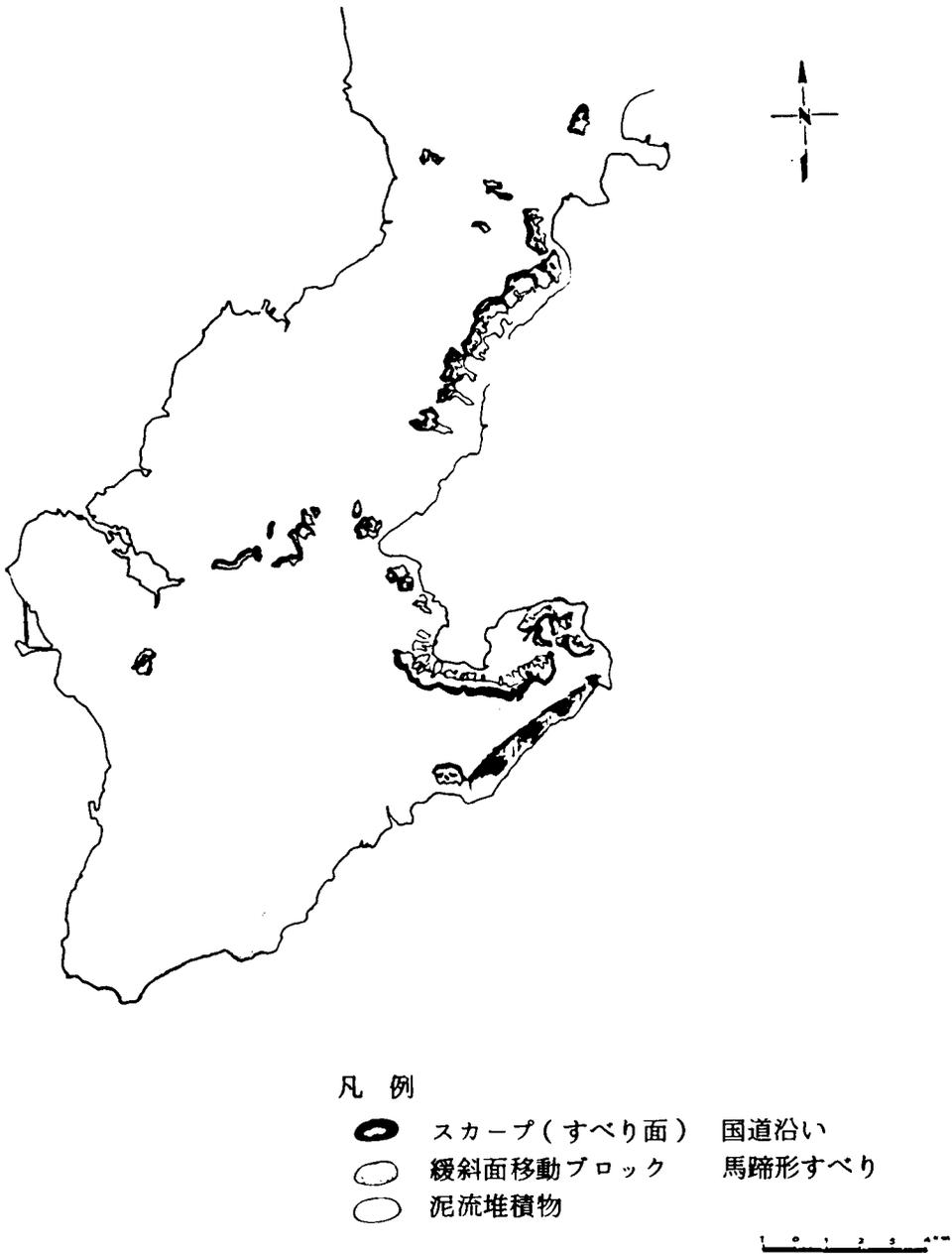
#### 急傾斜危険地域

沖縄島那覇市識名急傾斜地（指定済み）	
〃 〃 垣花 〃	（ 〃 ）
〃 〃 古波蔵 〃	（ 〃 ）
〃 〃 石嶺 〃	（ 〃 ）
〃 西原村幸地 〃	（ 〃 ）



これらの地域以外にも現実に人間活動（土地利用）の新たな展開によって地すべり・崩壊の災害が顕在化するヶ所や道路構築ヶ所や河川沿いにおける再々の災害発生地があり、行政的に早急な指定行動をはやめる必要を痛感する。

地すべりの発生のポテンシャルの正確な把握は、地すべり・崩壊を構成す

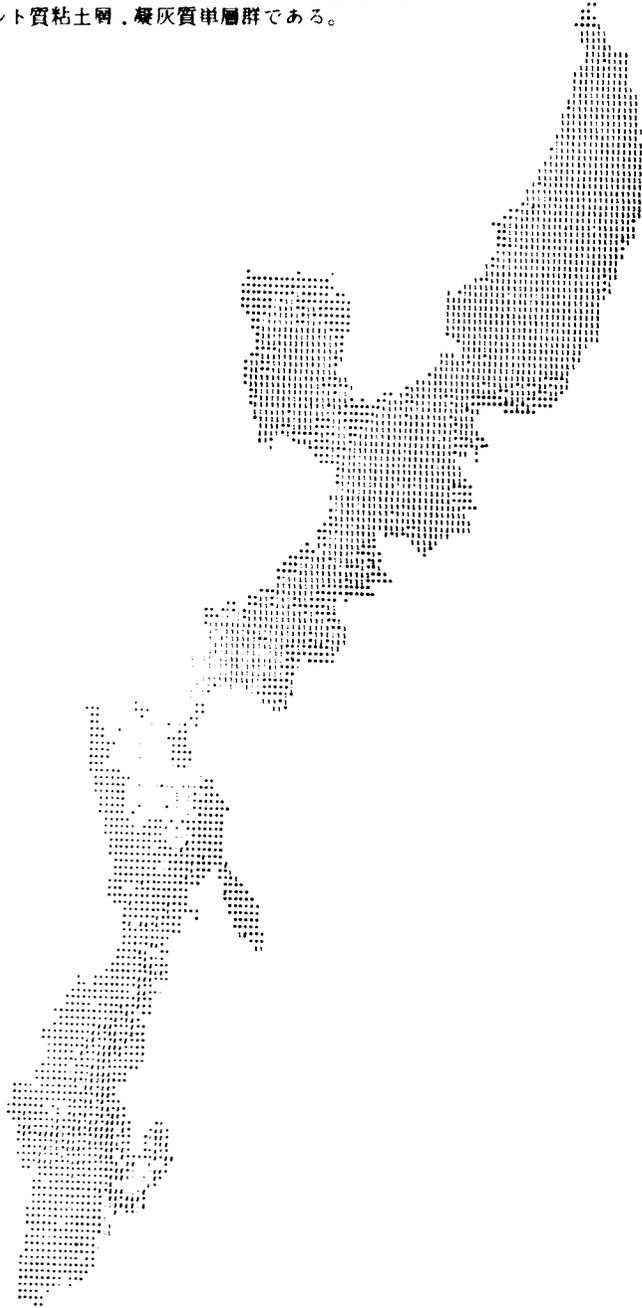


図Ⅲ-3-11 沖縄島中南部地域における  
地すべり危険地域分布概図



地すべり危険地域予測図

地すべり可能性が大きく規模的には面積は大である。  
地形は急斜面及び緩斜面でスラッシュ(1)は地質がシルト質粘土層、凝灰質単層群である。



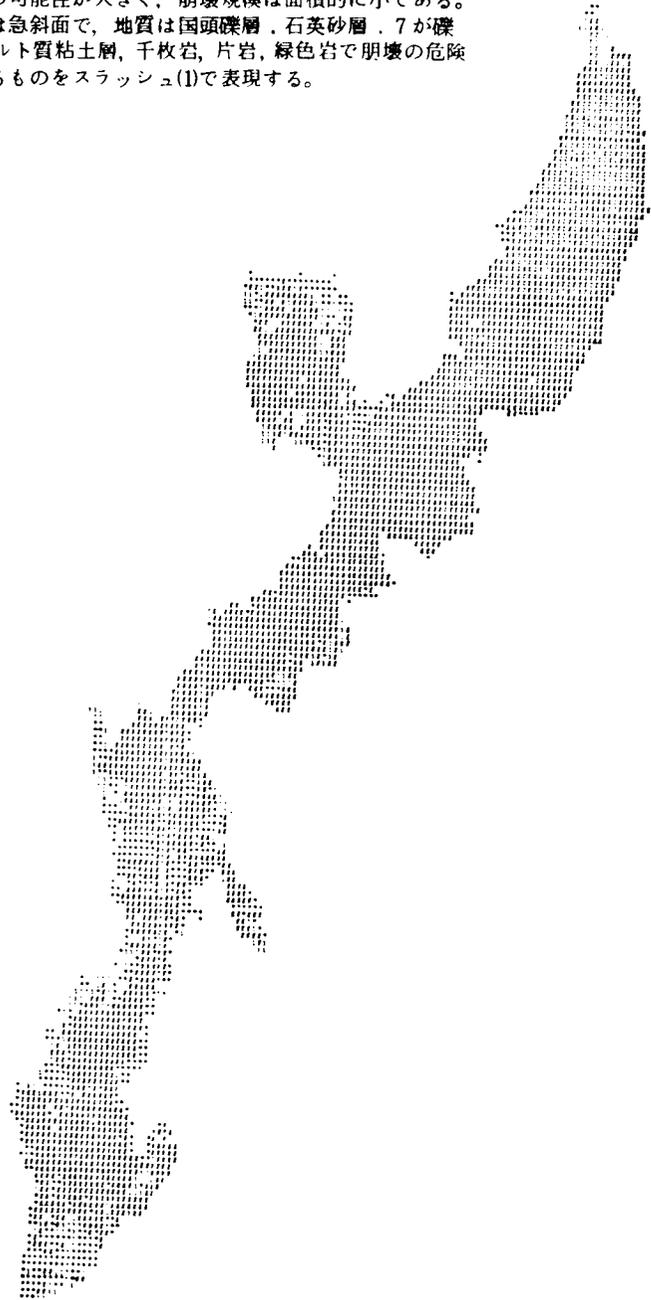
図Ⅲ-3-12 b) 災害発生危険地域図

from Ref. 19)

※ 筆者註-拡大鏡を利用されたい。

崩壊危険地域予測図

崩壊の可能性が大きく、崩壊規模は面積的に小である。地形は急斜面で、地質は国頭礫層、石英砂層、7が礫層、シルト質粘土層、千枚岩、片岩、緑色岩で崩壊の危険があるものをスラッシュ(1)で表現する。



図Ⅲ-3-12 c) 災害発生危険地域図

from Ref. 19)

る地形、地質、水文条件すなわち岩質・風化特性、浸透特性、地表傾斜、斜面形水系規模、水系次数、地下水状況などの諸因子と地すべり・崩壊発生との因果関係をとらえた上で初めて可能であり、かつ人間活動の展開の関係においてその災害ポテンシャルが評価されるはずである。

したがって、特に、中南部地域島尻層分布地帯でのすべり・崩壊の原因を一応次のようにまとめてみた。<sup>20)</sup>

原因	素因；地質 地形	①島尻層の堆積状態（岩質及び層理構成）
		②構造地形（変動地形及び組織地形－貝塚 1963）
	誘因；異常気象 環境	③風化の程度及び深度
		④降雨量（降雨強度）
		⑤浸透水及び地下水
		⑥地表排水不良
		⑦切取り及び盛土
		⑧法面保護の不備

これら原因をもとにして対策を考えねばならないが、土石流を除いた島尻層の地すべり・崩壊の4つの形態について論じてみる。<sup>20)</sup>

ここで、これまでの踏査観察や室内作業から、泥石流は別として、島尻層地帯における地すべり、崩壊について、解析および対策の手法を考えるにあたって、次のように分けて考えているので、少しく説明してみる。

(1) 島尻層群中の、特に与那原層（地表分布の大方を占めている）において、表層が土壌化し、その下部も風化が進行している場合、浸透降水水によって強度の低下をきたし、未風化層上面附近ですべり破壊をおこすもの。このケースでは、斜面長が短いと、単一または二個の円弧をもつすべり面が考えられ、長い斜面では、頭部および脚部で円弧をつくり、その間は平面型をなすものと考えられる。これは、層状すべりに属するものであるが、風化泥岩層は、収縮亀裂や吸水膨脹などによって団塊化（その周面または各団塊境界面は赤褐色を呈して肉眼によって歴然である）して、跡は“崩壊”の印象が強い。

(2) 島尻層中の準風化層または砂岩質の薄層の中を、浸透水が地下水として流動することにより、未風化硬質泥岩の層面を基盤として、堆積条件によりできた層面に沿って、すべり崩壊をおこすもの。このような状況は、地山カット面でもよく観察されるが（写真-15, a）浸透水の流出が大きな原因ですべるわけであるから、田中の指摘しているように、常に流動している地下水として取扱う場合と雨水が浸透して、いわゆる Wetting Front の形成によって流動してくる場合とに分けて考えなければならない。砂岩質の層を通して地下水が流出する場合は、一種のパイピング現象も生ずるわけで、冠頭部でかん没を、舌端部カット面で崩壊

をもたらして、すべりをひきおこしている。また、泥岩層の中で、かなり薄い、泥灰質の単層がはさまれ、地中では黒灰色を呈しているが、地表に露出すると短時日に赤褐色を呈し（PH 2~3）で、軟弱化するケースも見受けられる（写真-15, b）ので、切土やトンネル掘削などは注意を要する。

(3) 切土や盛土に伴う島尻層斜面崩壊で、道路や造成地においてよく発生するもの。（写真-15, c）この場合も(1), (2)の条件をもとにして考慮すべきものであるが、降雨など表面水の処理のしかた、すなわち、排水施設や表流水のジャンピング、地中浸透の防止などに、先ず検討すべき問題があろう。

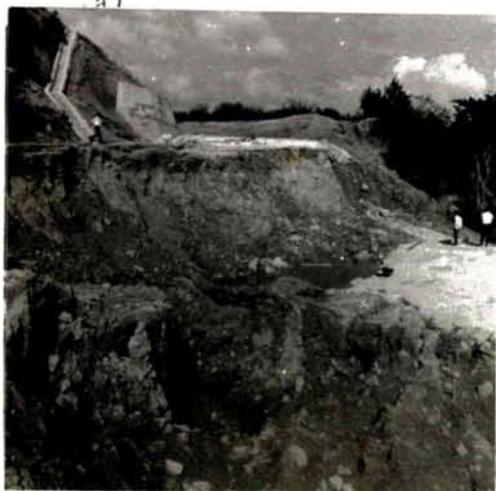
(4) 泥岩層や砂岩層が、永く地表に露出された地点でおこる崩壊のたぐい。これは、風化侵食によるものとみられるが、ガリの発生、法面のはくり離、滑落などにより、徐々に進行していくもので、法面保護等が必要である。（写真-15, d）



a)



b)



c)



d)

写真15 島尻層中地すべり・崩壊

最後に沖縄における道路，造成地における法面保護工の実態をあげて沖縄における今後の法面保護の問題点を指摘したい。

のり面保護工の選択に関して；のり面保護工はのり面の浸食や風化を防止するため，植生または構造物でのり面を被覆したり，排水工や土留め構造物でのり面の安定をはかるために行なうもので，日本道路協会では標準的な工種を次の表のように示している。<sup>26)</sup>

のり面保護工の工種とその目的

分類	工 種	目 的		
植 生 工	種子吹付工	雨水浸食防止，凍上崩落抑制，緑化， 全面植生		
	植生マット工			
	張芝工			
	筋	生筋工	同上	
		芝工		盛土用，筋状植生
		植	生盤工	同上
	生袋工		硬質不良土のり面の部分客土植生	
	生穴工			
	構 造 物 に よ る の り 面 保 護 工	モルタル吹付工	風化，浸食の防止	
コンクリート吹付工				
石張工				
ブロック張工				
コンクリートブロックわく工		のり表層部の崩落防止，多少の土圧をうけるおそれのある個所の土留，岩盤はく落防止		
コンクリート張工				
現場所コンクリートわく工				
のり面アンカー工		のり表層部の崩落抑制		
編柵工				
のり面じゃかご工		落石防止		
落石防止網工				
落石防止柵工				
落石覆工				

沖縄においては，岩質土質およびのり面の急緩などによって，各工種が適宜用いられているが，大ざっぱに分けると次のように言える。（写真16参照）

イ. 沖縄島北部山岳地帯など中古生層分布地では，

モルタル吹付け

コンクリート張工

落石防止柵工

中生層（名護，嘉陽層）では  
植生工も用いられる。

ロ. 沖縄島中南部第三紀層分布地では，植生と石張工またはコンクリートブロックわく工やコンクリート張工などが併用されている。島尻層群のり面には植生の根付きが悪く大部分が浸食を受けている。

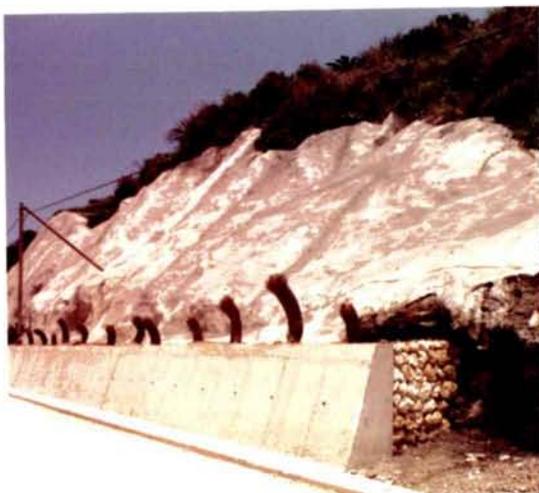
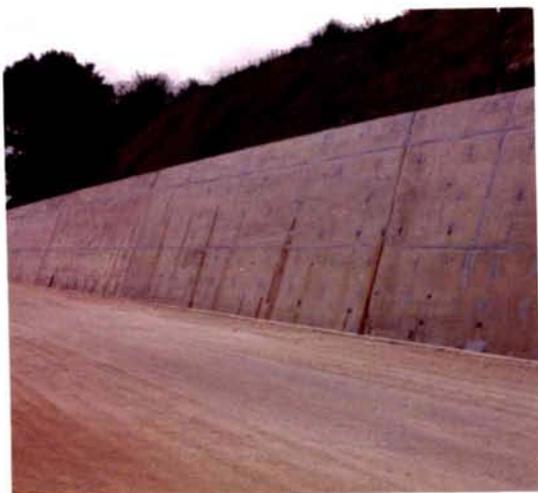


写真-16 法面保護工の実施例

ハ. 琉球石灰岩分布地では落石防止網工などが利用されているが、そのヶ所は少ない。

ニ. 国頭レキ層分布地では植生工（ウィーピングラブグラスが主である）や石張工、コンクリートわく工などが利用されている。

以上のようなのり面保護工が実施されているが、問題点として次の点があげられ、今後のり面の浸食・風化の面と気象条件および植生の生態的な面から地道な努力が必要であろう。

① 植生工 ウィーピングラブグラスなどが主に用いられているが、土質条件とのり面仕上げ程度との関連で必ずしも成功していない。また沖縄の気象風土への適性もまだ実績が浅く、さらに地場植生との競合（カヤその他の雑草との）や支配雑種の生成、および保護安定の持続性など解決されていない。

② 構造物によるのり面保護工

一部保護工はその役目を果しているが、たとえば島尻層分布地でのわく工などは降雨特性（雨量の集中、雨滴の大きさ、強度など）や地質土質の風化侵食（膨潤収縮のくり返しによる劣悪化）の影響をかなり受けており、不成功に終わっているヶ所が多い。石張工、コンクリート張工の方が安定しているといえる。

#### 4. 軟弱地盤その他災害

##### 1) 軟弱地盤における事故・災害

沖縄諸島では一般に海岸平野や谷底平野が未発達であるから軟弱地盤は少ない。しかし、全体的に隆起列島であるから、内湾部の隆起した部分には軟弱地盤が存在し、現在の内湾にも粘土質物質が堆積しつつある。これらの地域をあげれば次のようである。

沖縄島那覇市臨港部；漫湖，那覇港，泊港地域，国場川，久茂地川，安謝川…  
……河口流域

沖縄島北部名護市羽地内海沿い；国道58号名護市伊差川地域，羽地大川，源河川

沖縄島北部大宜味村塩屋湾岸；塩屋湾湾口部，大保川

石垣島石垣市宮良川下流部

西表島仲間川下流部及び浦内川下流部

那覇市臨港部のいわゆる軟弱地盤といわれる地帯は各河口，下流部における上流から泥土有機物の堆積物であり，筆者らの先の報告「那覇市の地盤について」<sup>27)</sup>

においてボーリング柱状図で示してあるがその代表例を表示すると次のようである。もっとも、軟弱地盤の判断の基準は構造物の種類によって変わるので、ここでは「道路土工指針」中の区分A.B(2以下, 2~4)N値に相当するものとして考えた。

地 域	深度及びN値		備 考	
安謝新港近郊	0~3 m	1~3	CH	安謝川下流
那覇港 "	0~11 m	~1~	CL	西新町
"	0~8 m	~1~	CH~OH	明治橋付近
泊港近郊	0~11 m	2~4	CL	若狭海岸北部
"	0~10 m	1~3	CH~OH	安里川河口
久茂地川沿い	0~5 m	~2~	CL~OL	久茂地川下流
"	0~10 m	0~2	CH~MH	" 中流
安里川沿い	0~6 m	0~2	CH~MH	安里川上流
慢湖近郊	0~22 m	0~2	CH~OL	奥武山球場東方
"	0~20 m	0~3	CH~OH	小禄高校
"	0~16(20) m	0~3	CH	慢湖南岸沿い
"	0~17 m	0~2	CL~OH	小蔵中学校
"	0~14 m	0~2	CH~OH	豊見城高校
与儀公園近郊	0~10 m	~3~	CL~CH	与儀~寄宮

図Ⅲ-4-1に那覇市内の軟弱層土の物理的性質の一例を示してある。

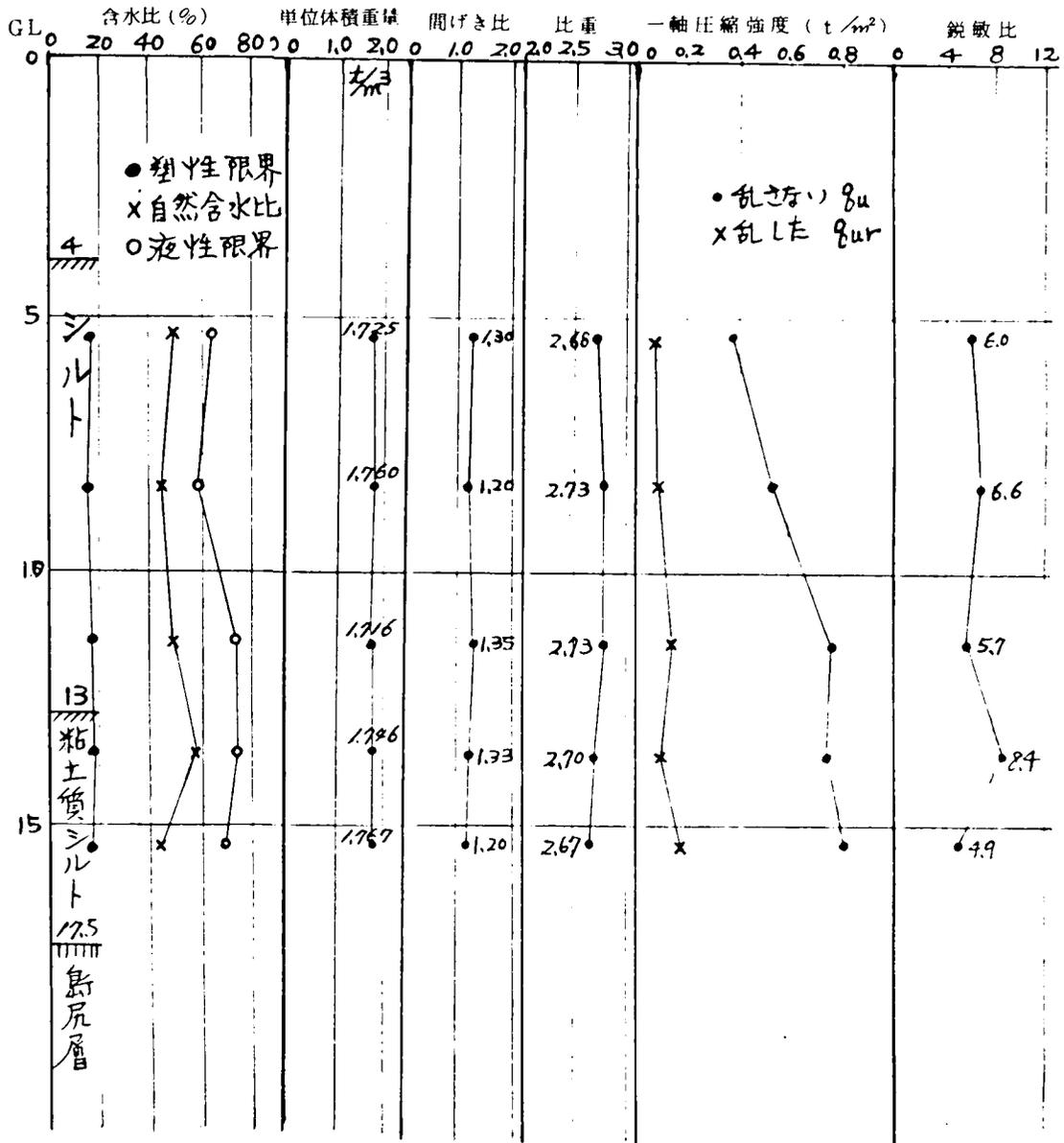
また、名護市北部58号線沿いには、当該地は沖縄島における旧田園(稲作)地帯であり、地下にピートが存在することが58号線改良工事やその他地盤調査の結果知られている。このピート地帯は高含水比で圧縮性の高い腐植物であり、悪臭も高く暗黒色を呈している。その深度および層厚は2.7 m~7.5 m(層厚4.8 m)、2.5 m~6.50(層厚4 m) 4.6 m~8.50 m(層厚3.90 m)などでありN値は0~1となっている。

塩屋湾湾口部においては、海底下20 m付近から下位へ10数 mにわたってN値1~3の泥質が存在することがボーリングなどによって確認されている。

これら軟弱地盤地帯は那覇市街地を除けば、開発の進められていないヶ所にありわずかに道路、橋梁等の構築に際して問題となっているのみである。したがってこれらの地点では地盤災害の問題としてはこれまでとり上げられていない。

しかし、那覇市街地では近年高層ビルの建造や臨海埋立て地(造成)における学校その他のビルが建てられるようになって、地盤沈下の問題、構造物の不等沈下による亀裂等の発生、ひいては施工中における事故(崩壊、陥没)などがおきるように

なっており、とりわけ昭和48年11月26日における“琉海ビル”陥没（山留め崩壊）事故は周辺建物、国道まで巻きこんで大きな話題となった。この事故について、軟弱地盤における問題として筆者の原因調査報告<sup>28)</sup>に基づいて論じてみる。



図Ⅲ-4-1 那覇市内軟弱層土の諸性質1例

琉海ビルは鉄骨鉄筋コンクリート造地下4階，地上20階，塔屋2階の建物（建築面積2,012㎡）で，那覇市泊港に近いいわゆる軟弱層の厚い敷地に建設された。高層建物であるため建物をこの地域の基盤層である島尻層に定着させるよう設計された。

山留め工事は鋼芯モルタル柱列の山留壁に5段の鋼製支保工を施し，6段の掘削で根切を行なう計画がたてられ，これにより工事が進められた。

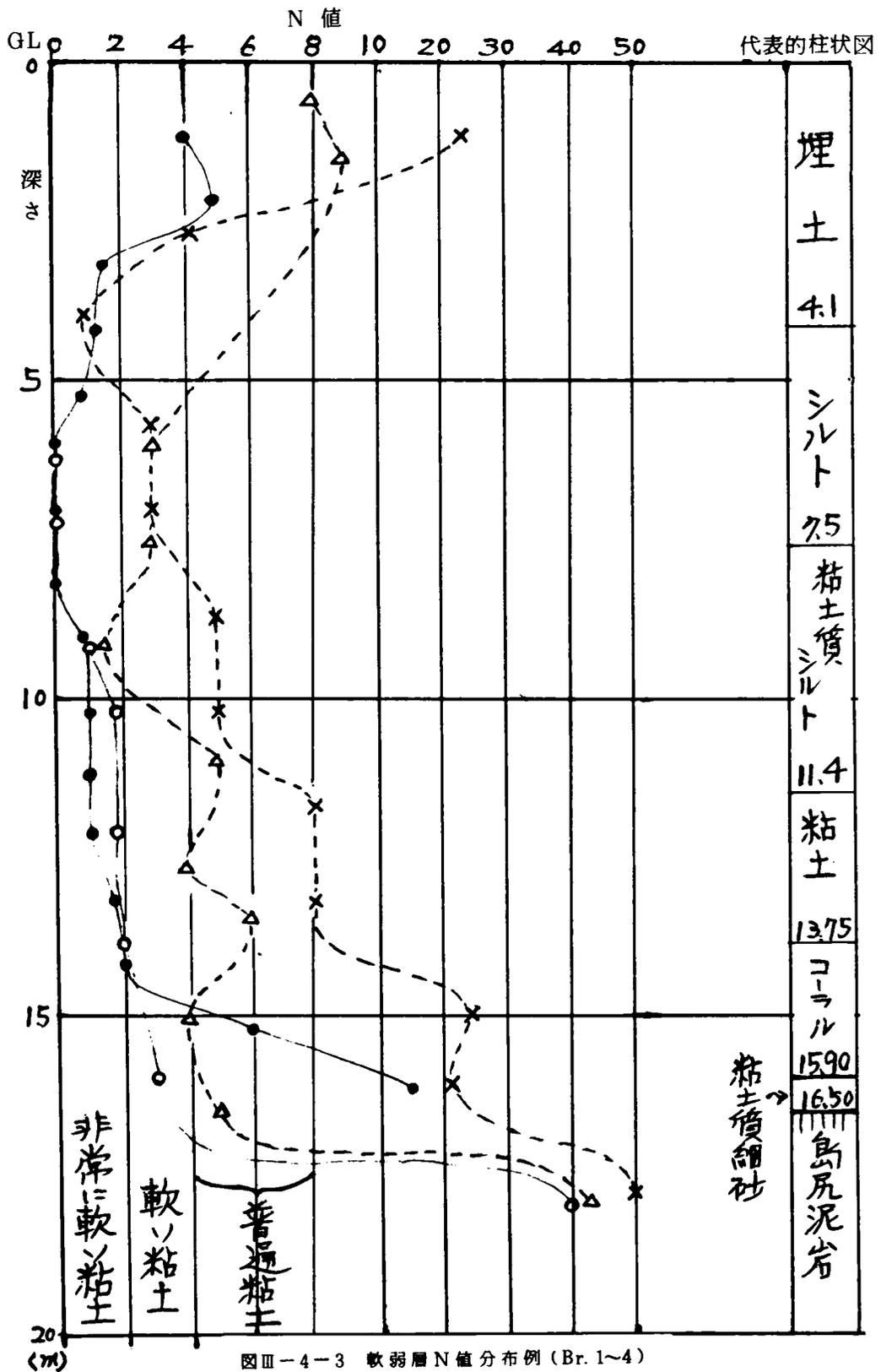
事故当日の11月26日の状況は図Ⅲ-4-2に示すが，沖縄銀行側の約3分の1の部分の捨てコンクリート打ちが終了して，ひきつづき残りの床付けまでの根切と捨てコンクリート打ちを続行する予定であったところ午前10時に沖縄銀行側より3番目の5段切の国道58号側スパン中央部が下側に座屈する現象が発生し，一方この間に山留め壁の鋼芯柱間の土が落ちる現象が発生した。土圧の減少をはかる目的でポンプ揚水を中止し水張りを行なった。その後，山留め結合部分のボルト破断が散発的に始まり，午後2時頃頭つなぎのコンクリートに亀裂が入り，国道にも崩壊の危険が認められた。午後4時40分頃急激にボルト，溶接部が飛び始め大音響と共に崩壊が始まった。一回目の崩壊は急激に発生し，全崩落が約4分程で終了し，ついでその外側の部分が2次崩壊を発生して現場内に崩れ込んだ。この間約10分を要した。

地盤条件については，設計々面前に当該敷地内で長辺方向へ2列（各3本づつ）計6本のボーリングが実施され，崩壊後の検討のための調査で敷地東側で5本，国道側で1本，計6本のボーリングが実施された。その結果は図-Ⅱ-4-3に示す通りである。



写真-17 Rビル事故現場





こゝでは、旧ボーリング結果をもとにした施工者側の地下工事計画検討書について、筆者の検討の概要と考察を述べて、沖縄における軟弱地盤工事に関する参考例としたい。

一口に軟弱地盤といっても建築の分野や道路の分野、港湾の分野では、その程度は必ずしも同じではない。要する軟弱地盤であるか否かの問題はその地盤の地質的成因とかその支持力の絶対値だけでなく、重量・規模などの構造物の特性との相対関係によってきまり、強度に不足があるかあるいは沈下によって上部構造物に支障をきたす恐れのある地盤はすべて軟弱な地盤であると称さなければならない。<sup>29)</sup>

普通、軟弱地盤で問題となるのは、その支持力、圧密沈下および斜面安定などであるが、本件に関しては当初土質調査結果より $-17m$ 以下に基盤層である硬い島尻粘土層があって、基礎はその中に定着させることにしていたので当該構造物との関連に於ては十分な支持力が得られることがわかっており問題はなかった。

しかし、中間の粘土層（軟弱層と考えられる）が $12m$ にわたって存在するので、根切その他基礎工事（特に山留め工）における安全性（側圧および周辺地盤・建物の沈下等）が問題となる。さて、本件の工事計画検討について土質調査およびその結果の評価・山留め壁設計計算への適用のしかた、さらに現場での対処のしかたなど順を追って論じてみるとおよそ次のようになる。

先ず、当初の土質調査であるが、沖縄における従来のやり方としては普通程度の内容であり、同敷地内6本のボーリング、標準貫入試験および室内試験（比重、圧密、三軸）の実施がなされている。問題は軟弱な中間層土の評価であり、室内試験の量は十分ではなく、これがために設計計算における土質當者、常数のとらえ方に不確定な要素をもたらした。また、土質調査におけるその他の事項、たとえば、同敷地がもと塩田地帯であることや旧河川に沿っていることの考慮、湾岸に近いための潮汐の干満による地下水変動状況の有無および周辺地盤のボーリング等資料の蒐集などが実施されていないことであり、設計施工の参考資料の不十分さである。

このことは、設計施工者が述べているように、中間層粘土のN値を平均的に4とみなし、これは東京・大阪・名古屋などにある沖積粘土層（ $N=0\sim 1$ ）より良質な粘土と判断し建築学会規準中の中位の粘土地盤に対する土圧分布を設計用土圧分布として採用したことにつながる。しかし、後にも述べるように“内地の土と比較して（経験上）あまり心配のない粘土”と速断したことはあまい考え方といえよう。このような、土質の状況把握をおこなったために当該粘土の粘着力、内部マサツ角単位体積重量の設定に狂いが生じ、同時に土圧分布仮定（建築学会基礎構造設計基準の山留めの項）において底部のカットの無い三角形分布を想定していないことにつながった。またそれがために周辺地盤の沈下等に対する配慮がやゝ欠けることにもなったと言えよう。もっとも工事開始とともに沈下量測定は実施されている。

その結果から周辺地盤または建物の沈下程度について敷地の東側，南側が他より大きく，同じ国道側でも南寄りが大きするなど沈下挙動にちがいが出ていることがわかるが，これは掘削によって発生したことは確実としても周辺地盤の土質調査資料や周辺建物の構造，基礎形式等の資料がないために変動の様相を解明しえない。

山留め部材の検討については従来の方式でなされており，若干の計算上の問題点はあるにしても側圧分布を上記のように仮定し設計土圧を採用した限り，崩壊につながる大きなミスはなかった。但し，側圧の算定時に於て，周辺地盤，建物の沈下に伴う軟弱層部分の側方流動的な圧力については検討されていない。このことは上述のように“良質の粘土”と判断したことによるものであろう。

結局，沖縄における軟弱地盤を構成する粘土層の特性が十分に把握されないままに検討され，これにしたがって工事がすすめられ（施工に関連しては現場の言い分以外に判断のしようがない実情であり，設計計算等における設定条件と実際にズレがなかったかどうかは確認しようがない）たことに問題があり，検討書の上からは大きな原因はみつけられず，種々の要因がかさなりあって，あるいはその一つがひきがねとなって事故につながったといえよう。しかし一大原因の指摘はなくとも現実に崩壊の事実がある以上，これを単に不可抗力による，あるいは不測の事態発生による事故と片付けるわけにはいかない。

軟弱地盤における工事計画において，掘削に伴う安全対策は十分に考えられねばならず，特に土質事情の判定および土留め工法（たとえば剛性の高い土留め壁の採用や排水による水圧の除去およびそれに伴う周辺地盤，建物の沈下など）について万全を期しDesign as goingの精神を忘れてはならないだろう。

## 2) その他陥没，泥流等事故災害

### 1) 沖縄島具志川市天願及び近郊の地盤陥没の例

具志川市天願地域においては，沖縄の水事情から県企業局（旧琉球水道公社）の地下水の汲み上げを昭和44年から7年間行なってきた。当地域は，天願断層を境にして南側に島尻層群を琉球石灰岩が不整合に覆っている地質条件をもつ農業地帯である。

この地において数年来 没事故が頻発し，畑地のみならず宅地においても異変が生じている。現在確認されている 没ヶ所は26ヶ所（49年1月現在）に及んでいることがわかった。大きいものは径5 m長さ14 m 深さ3 mにも達し，周辺地盤に地割れができています。また宅地内の井戸が井戸枠ごと約5 mも陥没しているケースもある。

この地帯は県企業局の取水ボーリング19本中3本が集中的にあり，危険な状態にあった。

この陥没の原因については、当事者は原因不明としているが、明らかに地下水取水後の事実であり、古くから豊富だった天願川やその他小川の水流も減少していることなどから地下水汲み上げと何らかの関連をもっているものと考えられる。

県企業局では、住民の要請を受けて、ようやく49年6月に特にひどい天願区の3本の取水を停止し、他のボーリングも今年夏季中には停止するといわれているので今後の状況観察が必要である。そのほか福地ダムからの導水路トンネル工事による水源池、小河川の枯渇も問題となっている。さらに、沖縄島北部では福地ダム（完成）の他に新川、安波、普久川ダムが計画されているが、これらの建設計画に伴う地盤災害を恐れる住民の反対運動が活発化しつつあり、十分な対処（技術的問題）が必要となろう

#### ロ) 土石流または泥流

この件については地すべり・崩壊の節でも若干述べたが、近年の土地造成（宅地、農地、レジャー用地など）や道路等の新設、改良に伴って、中南部の島尻層泥岩土風化土壌分布地帯や石灰岩風化残積土層（後に土質工学の章で説明する）；赤土の分布地帯や、中北部の国頭レキ層分布地帯において特に雨季（梅雨、台風シーズン）に多発して、地盤災害または建設公害とさえもいわれる事態をもたらしている。これらの事例では、たとえば島尻層表土または風化土塊が降雨によって泥化して、吸水によって重くなる一方、下層土とのマサツを小さくして移動速度が大きくなって、傾斜面に沿って流動するMud flowや、土地造成の排土が斜面に放置され、これが降雨によって上記のように流れ出すmud flowなど田畑のみならず農村部落や宅地などに災害をもたらしていることはよく聞くところである。一方、道路改良や新設に伴う土砂流出が雨季には必ずといってよいほど発生し、田畑、水源地、海浜に被害を与えており、たとえば沖縄自動車道（北部縦貫道路）工事において国頭レキ層土の流出事故は不農地続出という深刻な事態までひきおこした。

これら土石流、泥流等は降雨によって移動するのであるが移動して斜面先に新しくできた堆積物は、また移動をひきおこすことも再々であるので、これら泥質材料はできるだけ除去した方がよい。さもなければこれら土石流、泥流をおこしがちな土（壤）は島尻層土や国頭レキ層土の類であるので、これら土の吸水膨潤細粒化、流動の特性をよくつかみ対処する一方、法面保護や表流水の排水処理を十分にしよう心がけるべきである。一方、砂防ダムの設置も北部河川などのみならず場所により配慮されてしかるべきであろう。

## 5 結 語

以上、沖縄諸島における地盤災害の実態とその対策方について地質工学的諸問題

としての面からあらましを述べてきたがこれまでもなされた報告<sup>30)</sup>をふまえて、で若干の問題点を指摘して私見をまとめたい。先ず、沖縄諸島は数多くの小さな島々から成り、地形的、地質的にも種々の様相をなし、気象条件もすでに述べた如く厳しい側面をもっている一方、資源の問題も決して安心できないものがある。これらのことは建設工事に直接間接にかゝわりをもっていることを見逃してはならない。

#### 1) 地盤(地質・土質)の災害の問題

○古生層・中生層にかなりの変成作用が認められ、片理の方向も主地質構造と一致していて、マクロにみて異方性が強く個々の岸片においてもその傾向が強い。さらに褶曲断層、破碎帯の発達が著しく岩盤の劣化がすすんでいることに注意する必要がある。

○レキ層の発達(国頭レキ層など)が沖縄島中北部および石垣島などにみられ、未固結の砂レキ層が段丘状に広く分布し、泥分の含有の多い場所や風化の著しい場所は土工および法面安定上問題が多く取扱いに注意を要する。

○土地造成や道路その他土木構造物の工事においては地すべり・斜面崩壊の問題が常に付随していることを十分に配慮し、特に雨季における第三紀島尻層分布地帯における地すべり対策、急傾斜地崩壊対策など、風化・侵食の問題も考慮に入れて設計施工にかゝる必要がある。

○軟弱地盤は多くはないが、その支持力・沈下の問題について考慮すべきは当然であるが、土工、地下工事における、山留め工、周辺地盤建物の沈下などに十分な安全対策をはかるようにつとめ、今後の問題として、これら軟弱層土の地盤としての特性を把握する必要がある。

#### 2) 土木構造物計画上の問題

○道路計画上の問題点としては沖縄における鉄道のない現状から道路のもつ重要性が高いことに留意し、しかも沖縄本島ですら十分に機能を果す一周道路が未だ完成せず、かつ既存の道路でも年々災害に伴う交通機能障害が多発していることから重要な課題の一つである。

：現道路の改良においては、狭い幅員の上にすでに切土法面や盛土法面の不安定なヶ所が多く、沖縄島北部の片理の発達した粘板岩や片岩などからなる中生層地帯の取扱いや中南部島尻層における地すべり・崩壊危険地域の取扱いやさらに劣化のすすんだ石灰岩分布地の落石、崖くずれの取扱いおよび国頭レキ層地帯の土砂流出の問題など十分な調査と対策工法の確立が望まれる。それらについては道路新設の場合も勿論のことで、地すべり・山崩れ防止工、落石防止工、法面防護工が必要であることはいうまでもない。

トンネルのことについては言えば、現道の改修であれば、あえて長大トンネルを必

要とする路線はないが、線形を改良する場合および文化財等遺跡や自然植物生態の保護問題等とからんで要求される場合には、小さなトンネルもあり得よう。現在沖縄島北部海岸沿いの中・古生層地帯にたとえば国頭村座津武トンネルが、また目的はちがうが、福地ダムと石川浄水場を結ぶための導水トンネルが同東海岸沿いに完成をみた程度である。なお、わが国でも特異なものと思われる、国道330号線（バイパス）伊祖トンネルがめがね型双設トンネルとして最近誕生したのでこれが諸元とその地質条件のあらましをこゝでつけ加えたい。（図Ⅲ-5-1参照）

#### トンネルの諸元

総延長 100 m（当初90 m）

型 武 2車線と3車線の双設トンネル

1 線 形 縦断勾配約1%，平面線形R = 1,200 m

インバート 全線無筋コンクリート

覆 工 1次覆工 - 2車線25cm 3車線25cm

2次覆工 - " 45cm " 55cm

工 期 昭和49年6月～昭和50年6月

#### 地質条件

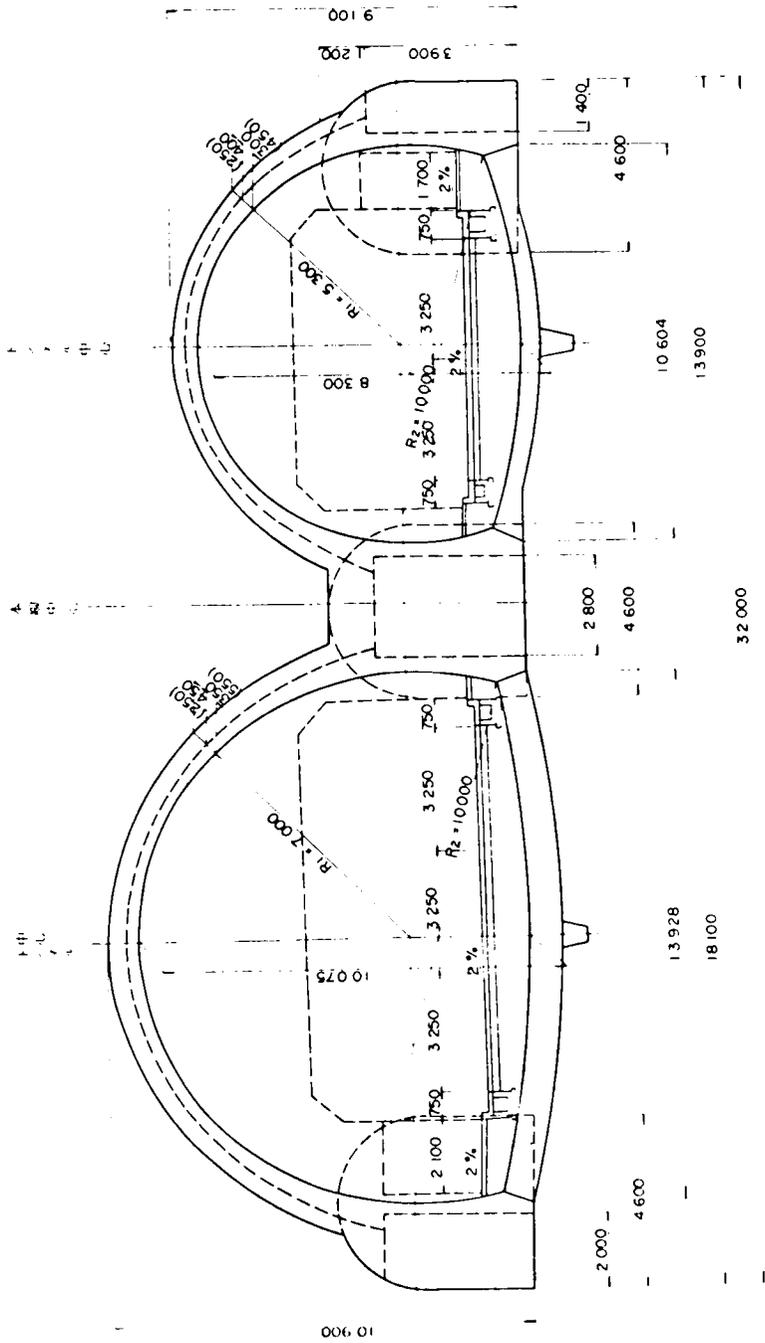
図Ⅲ-5-2にA車線の縦断図を示すが、2車線についても地層の傾斜のため若干島尻層泥岩の高さが異なるほかほとんど同様である。

問題はトンネル北部坑口に坑口部分を斜に横断する傾斜角約45°、落差約20mにも達する断層があって、表土、風化石灰岩、固結シルト（島尻層砂岩またはシルト岩と称している）および泥岩が混然とした複雑な地盤状況にあることである。かつ、この主断層に附随する小断層が坑口部分に数多存在し、表土、粘土、石灰岩の大塊が入り組んだ構造をなしている。派生断層の内数本はトンネルの方向とほぼ走向を同じくして南口にも落差0.2～0.3mの小断層が数本見られる。

水については、石灰岩が多孔質で、処々空洞もあり、また固結シルト（砂岩層）も透水性がよいので、その下部の島尻泥岩層（不透水性）を境にして上位が帯水層となり、いくらかの流水もある。したがって地山としては強い島尻層泥岩もその亀裂の中への水の侵入によって土壌化したり掘削面での風化の進行も予想され、一方亀裂面での滑動も生じやすいことになるので注意が必要である。沖縄におけるトンネル工は、一般に地層を走向方向に残り被りのトンネルの型になったり、断層・褶曲の多い中生層・島尻層においてなされたり、風化・侵食の進行が十分に考えられるので偏圧その他の問題を十分配慮する必要がある。

トンネル標準横断面図

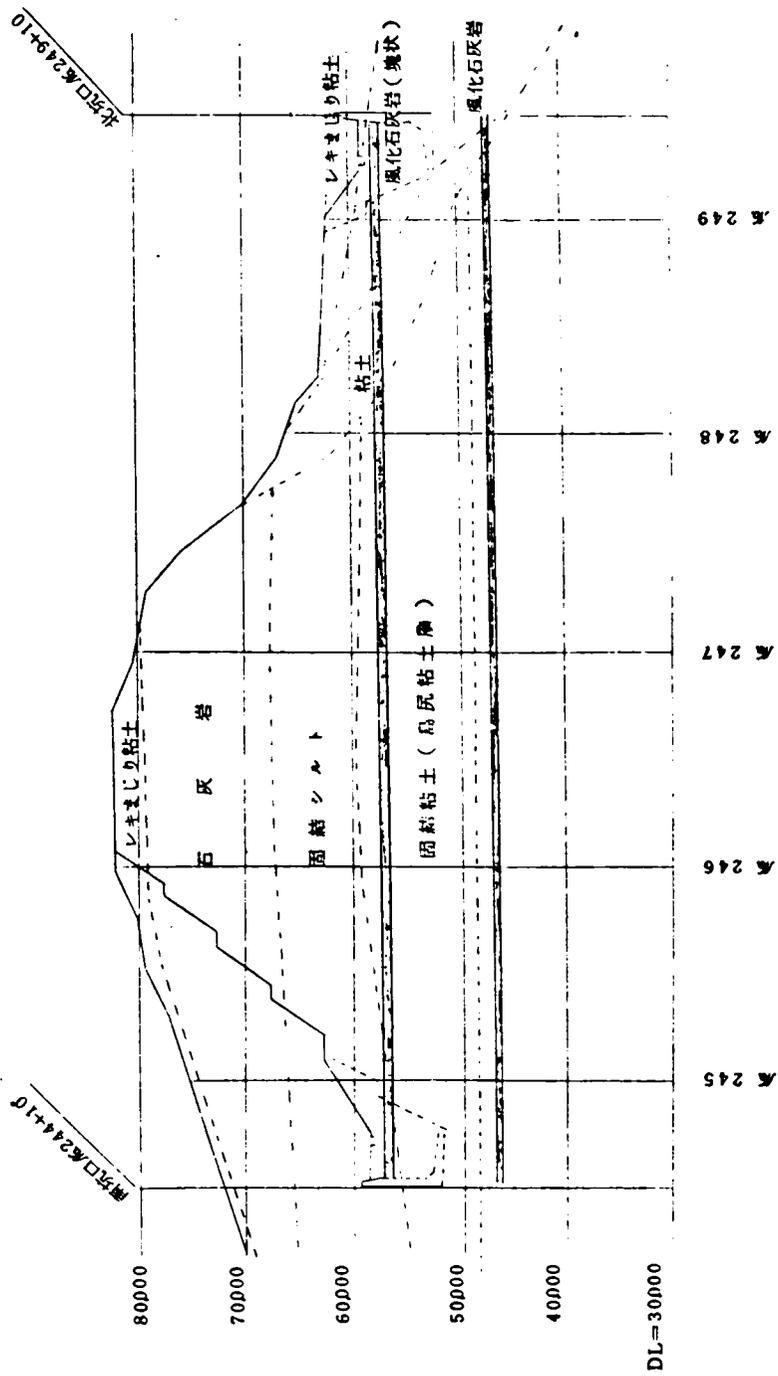
縮尺：約 1 : 200



図Ⅲ-5-1 伊祖トンネル横断面図（写真-3参照）

伊祖トンネルA線地質縦断面図

縮尺, 約 1 : 700



図Ⅲ-5-2 A線地質断面図

### ○ダム計画上の問題

治水利水上の必要性和河川・地形・地質上の条件からは、これまで、ダムの問題がとり上げられているのは沖縄本島および石垣島ぐらいであるが、将来は西表島久米島のほか、特異な宮古島の地下ダム（水資源開発の一環として）の問題が浮かび上がってくるものと思われる。これらダム計画に付する問題点としては、河川の特質、基盤、岩盤の破碎と異方性、風化侵食および透水性の問題が先ずあげられよう。

すでに述べたように沖縄の河川は一般に流域が小さくかつ急勾配の河床であることから貯水容量が小さく、流域の風化山地からの土石流、堆砂による不利な事情もある。一方、異常降雨（集中豪雨）による洪水調節に非常な困難性が伴う（その為に地域住民の不安と反対運動がある）。また、ダム設置ヶ所の基盤岩盤と考えられる中生層、古生層は新鮮な岩体ならば堅硬であるが、いずれも多くのか所で破碎されて小断層や割れ目の発達がいちぢるしい。しかも強い片状構造をもつ片岩、千枚岩などが多いことによる異方性などの問題もある。さらに古生層、中生層の風化は意外にいちぢるしく、地表上層部の露頭では新鮮な岩体を見出すことがむづかしいほどであり、ダムの規模など当然に規制を受ける。なお、古生層の石灰岩や琉球石灰岩には多くの地下空洞があり、また、国頭レキ層などの未固結砂レキ層も透水性が高く、漏水の状況推定や止水の対策にも多くの困難が伴う。もちろんダムの基盤岩盤となる中生層および古生層についても、割れ目が非常に多く、かつ延長性がよいことから止水のためのグラウト工などを施すにしても困難な問題が付ずいする。

○その他、砂防上の問題として各河川の流域や流路延長に比して降雨時の流量が多く、急峻な河床勾配など特性のほか、パイン畑などにおける土壌侵蝕による土砂流出が多いことから砂防ダムの必要性があり、また、臨海埋立て（石油コンビナートなどの工業用地）に伴う海洋汚染およびサンゴ礁の破壊ないし死滅に対する方策の開発など種々の問題がある。

### 3) 資源開発利用の問題

天然資源の少ない(?)と言われる沖縄であるが、別の報告<sup>15)</sup>によると資源開発利用の可能性は十分にある。たゞ、これを無計画に乱開発を許すといわゆる“自然環境の破壊”と“事故・災害”ということに結びつくので十分に注意されなければならない。

先ず、建設材料としての骨材・石材は目下の所需要に応じているが、乱採取をおこなうと地域住民の攻撃的になり、現にこれ以上の海浜砂の採取や石灰岩乱掘を許すなどという事態に至っている所もあるし、文化財、遺跡の保存問題とのからみもあちこちでおきている。

骨材、石材の諸性質についてはすでに述べた如く砕石、海浜砂など生来の不利な問題点もあるが、これらを使わざるを得ない立場に立った骨材の品質管理・施工管理も含めて合理的な、経済的な利用の方法をすゝめていくしかないし、それについては努力もされている。<sup>2,3,6)</sup> 水資源については、河川利用によるダム構築と地下水開発利用の問題があり、いずれも先に述べたように、ダムはダム計画上の問題点、地下水利用については地下ダム構想の検討やボーリング等取水による地盤災害の問題など検討が十分行なわれる必要がある。その他地下鉱物資源の採掘や天然ガス等の開発利用<sup>16)</sup>についてはこれまであまり配慮されていない災害の問題、自然環境および生物、文化財等環境との調和の問題などを念頭におかなければ成功しないであろう。

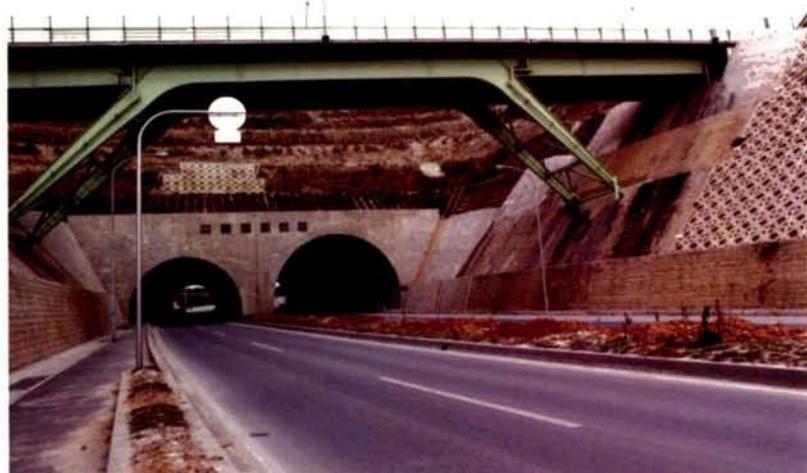
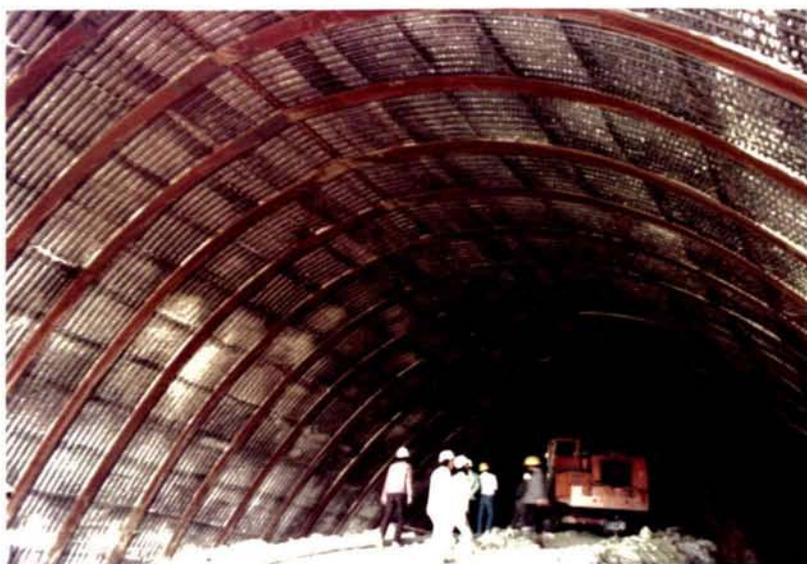


写真-18  
伊祖  
トンネル

## 参 考 文 献

1. 上原方成 沖縄諸島における骨材調査第1報  
琉球大学豊家政工学部学術報告第11号 P.P. 205～222. 1964
2. 沖縄県建設材料試験所 試験年報(昭和49年度) P.P. 4～19. 1974
3. 沖縄総合事務開発建設部港湾計画課 沖縄の石材およびコンクリート用  
骨材調査 昭和49年、
4. 土木学会 コンクリート標準示方書(昭和33及び49年版)
5. 上間 清 沖縄本島に産する海砂利の分布および物理的性質  
琉球大学豊家政工学部学術報告第11号 P.P. 223～233. 1964
6. 具志, 和仁屋, 沖縄本島におけるコンクリートの強度および2.3の性質  
琉大理工学部紀要工学篇1号 1968  
具志, 和仁屋, 沖縄のコンクリートの基本的性状に関する研究  
その1 同上 2号 1969  
“ さんご砂利コンクリートに関する研究I 同上2号, 1969  
“ “ “ II 同上3号, 1970  
具志幸昌 沖縄の鉄筋コンクリート構造物の耐久性—現状調査と考察その1.  
同上7号1974
7. 上間 清 沖縄の土木材料 1972
8. 上原方成 島尻層砂岩土(沖縄)の二、三の工学的性質  
第9回 土質工学研究発表会, 1974  
“ 地盤災害 本部半島総合学術調査報告書  
(第一次分), 1974  
島尻層砂岩土について及び島尻層における地すべり・崩壊について  
沖縄開発に伴う土地環境の変化と防災に関する研究(文部省  
科学研究費自然災害特別研究成果・藤川武信代表)  
昭和50年3月 8～12, 13～24.
9. 新城・中村 琉球石灰岩の一軸圧縮強度について, 1974.  
第44回農業土木学会九州支部大会 167～170
10. 地質調査所 沖縄水資源開発調査報告第1節～6節, 1971～73
11. 沖縄総合事務局 水資源開発調査報告, 1973
12. たとえば, 清水(1965)沖縄の地下水, 応用地質  
小西他(1969～72)沖縄の水資源(1～5)地質ニュース  
182, 184, 195, 206, 213

- 上原・大成(1976) 沖縄の水資源とその利用に関する考察的研究 琉大紀要(投稿中)
- 上原・伊良部(1970) 宜野湾市東部地域の農業用水(地下水)調査(unpublished)
- 古川(1973) 沖縄における地下水調査 農業土井の機械化
- 上原・砂川(1973) 那覇市の地盤 琉大紀要
13. たとえば, 脇坂・森江ら(1963, 1967) 琉球の地下水と地表水の水質 1, 2 (石垣, 宮古, 沖縄島) 宇部短大 琉球学術調査報告
- 兼島 清(1965) 沖縄の河川および地下水の水質, 工業用水(81) 琉球政府, 工業研究指導所報告No. 2, 3, 4 (1968, 70, 71)
14. 山本荘毅 地下水調査法 古今書院
15. 琉球政府経済局 琉球群島の地形地質及鉱床 P. P. 127~170 1954
16. 沖縄天然ガス研究グループ 沖縄における天然ガス資源調査の経緯と成果 石油技術協会誌 P. P. 153~169, 1971
17. 地すべり関係 Refs. (たとえば, 山口ら「地すべり・山崩れ」大明堂)
18. 木村・諸橋・田中「沖縄における治山治水対策調査報告書」建設省, 1960
19. 政策科学研究所「沖縄県土地利用計画-附属資料」P. 101, 1973.
20. 藤川・上原他, 沖縄の自然災害-地盤災害における問題点(第一報)第9回 災害科学総合シンポジウム 昭47
- 上原方成 沖縄島島尻層における地すべり・崩壊の問題点 地すべり学会第12回研究発表会 昭48
- 上原方成 第三紀島尻層における地すべり・崩壊について 琉球大学理工学部紀要工学篇 7号 昭49.
21. 藤川・上原・新城・高山 沖縄島尻層における地すべりと斜面崩壊の-特性. 第11回災害科学総合シンポジウム 昭49.
22. 上原 島尻層砂岩土(沖縄)の二, 三の工学的性質 第9回 土質工学研究発表会 昭49.
23. 上原・大成 沖縄島尻層構成土の化学的特性とすべり・崩壊について 土木学会第30回年次学術講演会 昭50. 10
24. L. Bjerrum Stability of Natural Slopes in Quick Clay, Geot. vol. 5. 101~119, 1955
- L. Bjerrum  
I. TH. Rosenquist Some Experiments with Artificially Sedimented Clays, Geot. vol. 6. 124~136, 1956

- P. La Rochelle et. Regional Geology and Landslides in the Marine Clay Deposits of Eastern Canada, *Canad. Geot. Jour.* vol. 7-2, 145~156, 1970
- J. S. Scott. Discussions on the above Topics, *Canad. Geot. Jour.* vol. 8-1, 139~142, 1971
25. 沖縄県本島中南部地区地すべり地及び急傾斜地調査報告書.  
沖縄県土木部河川課 昭47.
26. 日本道路協会 のり面工と斜面安定工指針 昭47
27. 上原・砂川 那覇市の地盤について, 琉球大学理工学部紀要工学篇6号  
101~162, 1973
28. 上原方成 琉海ビル新築工事地下工事計画検討書に関する鑑定報告書  
unpublished 昭48.12.17及49.7.27
29. 土質工学会編 軟弱地盤の調査・設計・施工法 昭41
30. たとえば, 沖縄の地形・地質および土木地質上の問題点  
岡本隆一 土木技術資料 vol.14-5, p.p. 16~22, 1972  
大革重康 沖縄雑感 土と基礎 vol. 21-1, p.p. 53~58, 1978  
および前記18), 19)など

## 第IV章 土質および地盤の改良

### 1. まえがき

沖縄諸島における道路等の改良・新設がすゝめられるなかで、切盛土の崩壊事故または災害や路床路盤の不安定および路盤、盛土材料の再検討の問題がクローズアップされている。筆者は、このことに関して、特に沖縄本島中南部に広く分布し、基盤・路床として利用されている島尻層構成土（泥岩土および砂岩土）の物理的、化学的および力学的諸性質について関心を払い、調査研究をすゝめてきた。一方、盛土材料として、また路盤等材料としての代表的な土（量的にも広く分布する）の積極的な利用をはかる目的で、その improvement に関する基礎的研究のシリーズも実施してきた。

本章では、先ず、土質改良の最も基本的手段である“土の締固め”において、沖縄本島の代表的な4種の土を締固め手段を変えて（動的、半動的、および静的載荷方式で）行った場合の締固まり特性や締固められた土の力学特性に関して、実験的研究を行い、路床・路盤等への適用性を検討する。次いで、自然状態または未処理状態の土を対象として、島尻層泥岩（土）および砂岩（土）の工学的特性を概括し、特に、風化の進行しつゝある泥岩（土）の路床土としての特性について考察を加える。続いて、これまで、“慣習的”に、または“経験的”に使用されてきたコーラルリーフロック（琉球石灰岩系路盤材）や海浜砂レキ屑のビーチコーラルなどについて、土質工学的見地からの検討を行うとともに、量的に豊富な中南部の島尻層構成土の積極的な利用を考慮に入れつゝ、諸土質のセメント、その他による安定処理工法に関する基礎的研究成果の検討を行う。

### 2. 土の締固めについて

#### 1) 土の締固まり特性<sup>1)</sup>

土の締固めについては、従来、いろいろな問題提起がなされており、特にその「材料」としての利用ということから、土質工学の分野でも、経験的な立場に立ったものとして、理論的な検討は、なかなか困難なものがあつた。1933年にR. R. Proctorが論文を発表してから、工学的な研究対象として取扱われるようになったものゝ、締固め手法、方法、締固まり機構や現場締固め工法との関連など、締固めがより必須的な土木工事であるだけに、数多くの研究報告がなされて今日に至っている。室内試験の締固め手法についてみても、いわゆる、突き固め試験が標準となって採用されているが、突き固めによる土の締固まり機構およびその特性や現場におけるローラー締固め等とのむすびつきについては、まだまだ未解決の問題が多い。これは、締固め試験結果に影響を及ぼす因子として、土の種類・性状はもちろんのこと

試料の準備のしかた，モールドの形状寸法，締固め方法，体積および含水比計測のしかたなど種々あげられ，一方，締固まりメカニズムを知るための，締固められた土の構造判定に関する諸研究が，なお今日の問題点であることから，当然のことであろう。本研究では，締固め方法の中で，締固め手段（装置）による土の締固め特性を調べ，それぞれの土の種類による影響と締固まりメカニズムの検討を目的として，沖縄の代表的な4種の“土”について，動的（JIS突き固め方式），半動的（Harvard kneading type）および静的（圧縮方式）締固め試験を実施した。

a) 試料土および試験方法

① 試料土

沖縄本島の地質事情から，土の種類は，河川・海岸における沖積性堆積物もふくめて，多くあるが，分布および量，これまでの建設工事対象頻度からみて，中南部地域の，新第三紀中新世，第四紀洪積世の島尻層群（泥岩，砂岩）や那覇累層，読谷石灰岩を母岩（コーラル）とする土と，中北部地域の古生代，中世代の与那嶺，本部，名護および嘉陽の各層や洪積世国頭レキ層を母岩とする土が主としてあげられる。今回，試料として採用したものは，路盤材として広く使用されているコーラル，俗称クチャと呼ばれている島尻層混岩土（堅硬な土塊を人為的に粉碎したもの），俗称ニービと呼ばれる島尻層砂岩土（弱固結軟岩質で気乾による粉砂）および俗称国頭マーチと広く呼ばれている石川市以北の国頭レキ層土の4種であり，実験室に大量搬入して気乾状態になるまで放置したものを使用した。試料土の生成，物理的性質，粒度組成については，表IV-2-1および図IV-2-1に示すとおりである。

表-IV-2-1, a) 試料土の生成

土の呼称	地質（母岩）	分布（採取地）
島尻層泥岩土	新第三紀中新世～鮮新世 （島尻層群泥岩：帯緑～帯青色・過圧密硬質粘土）	沖縄市，具志川市東部以南 （浦添市バイパス工事現場）
島尻層砂岩土	同上 （島尻層群砂岩：帯緑灰～茶褐色・細粒砂岩）	同上
コーラル	第四紀洪積世（読谷石灰岩：多孔質，透水性，白色・サンゴ片多）	本部町浜元～浦崎，読谷村，糸満市～東風平村～具志頭村 その他（読谷村楚辺）
国頭レキ層土	同上 （国頭レキ層：残存段丘上の泥質，砂，レキ堆積物）	石川市以北東西海岸段丘 （石川市北郊外）

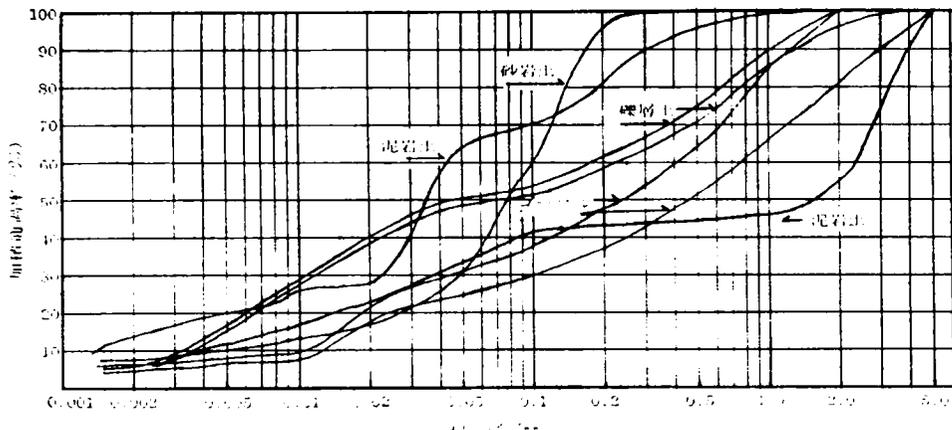
表IV-2-1, b) 試料土の物理諸量及粒度組成

試料土	比 重		液性限界	塑性限界	収縮限界
	2 mm以下	5 mm以下	(%)	(%)	(%)
島尻層泥岩土	2.722	2.767	59.60	29.63	22.51
島尻層砂岩土	2.740	2.743	(23.18)	N. P.	22.81
コーラル	2.698	2.726	(21.76)	N. P.	20.29
国頭レキ層土	2.676	2.704	36.39	30.99	30.43

試料土	泥 岩 土		砂 岩 土		コ ー ラ ル		レ キ 層 土	
	2 mm	5 mm	2 mm	2 mm	5 mm	2 mm	5 mm	
砂・レキ分 5.0~0.074	32.0	62.0	51.0	65.0	72.0	17.0	16.0	
シルト分 0.074~0.005	48.0	30.0	39.0	27.0	21.5	35.0	35.0	
粘土分 <0.005mm	20.0	8.0	10.0	8.0	6.5	48.0	49.0	
有効径	0.0015	0.002	0.005	0.011	0.013	0.0031	0.0035	
均等係数	34.0	80.0	20.0	40.0	59.2	58.0	65.7	
分 類	旧三角座標		粘土質ローム	砂質ローム	砂質ローム	ローム		
	日本統一	三角	細粒土 F	砂質土 SM	砂質土 SM	細粒土 F		
		ソ性図	(CH)	(ML)	(ML)	(ML)		

注：液性限界； ( )内の値は試験困難によっておよその値。  
 粒度組成； コーラル搬入（実用）試料の最大粒径は約50mm，レキ以上63%，砂分20%，  
 細粒分17%……分類レキ質土 {GF}  
 ; 泥岩土は土塊を木づち等で人為粉砕



図IV-2-1 試料土の粒度分布曲線

## ② 締固め試験方法

試料土は、5 mmフルイを通過したもので、気乾状態（初期含水比最低、乾燥法）から締固め、くり返し法および非くり返し法ともに実施した。締固め方式は、写真

および表-IV-2-2のとおりである。試験方法は、動的方式がJISA 1210-1969（土質工学会）の第1方法（1.1法）<sup>2)</sup>に準拠し、半動的方式が、S.D. Wilson<sup>3)</sup>によって提案された方法に準拠した。静的締固め試験は、室内CBR 載荷装置を利用し、内径5 cm、高さ17.8 cmのBS細粒土用二つ割れモールドに、所定の重量の試料をモールド上端まで適当に充填して、上端からのみプランジャーをおしこみ、手動ジャッキによって、最高2.0 tonに達せしめ、そのまま1分間保持する要領で締固めた。そのあとモールド内での供試体の高さを計測して、湿潤密度の算定に用いた。



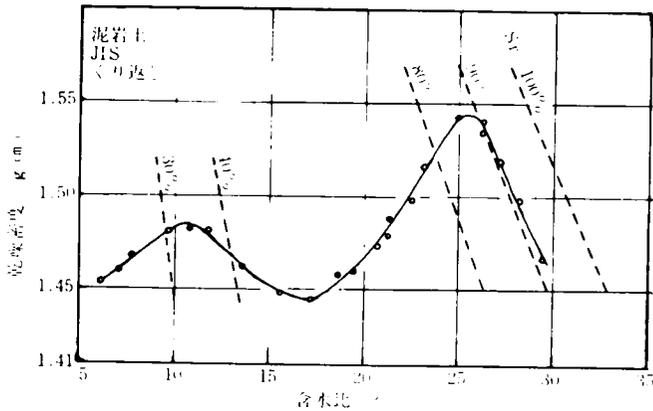
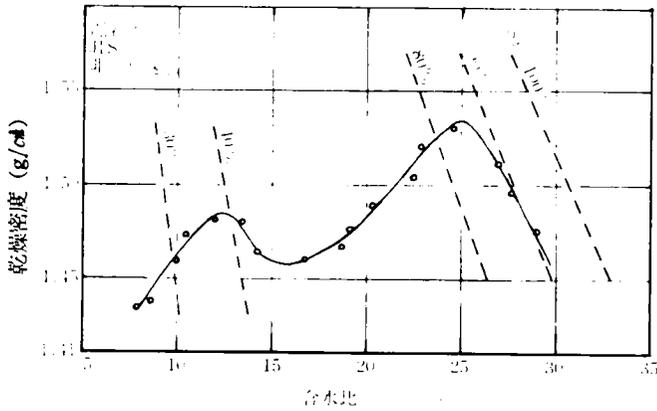
図IV-2-2 締固め方式

	モールド		仕事量	装置
動的荷重（衝撃力）	内径	10 cm	2.5 Kg 3層 25回	JIS方式
静的荷重（圧密圧縮力）	内径	5 cm	2 ton 1層 1分間	手動ジャッキ
半動的荷重（スプリング圧）	内径	3.36 cm	20 lbs 3層 25回	Harvard min. type

b) 試験の結果および検討

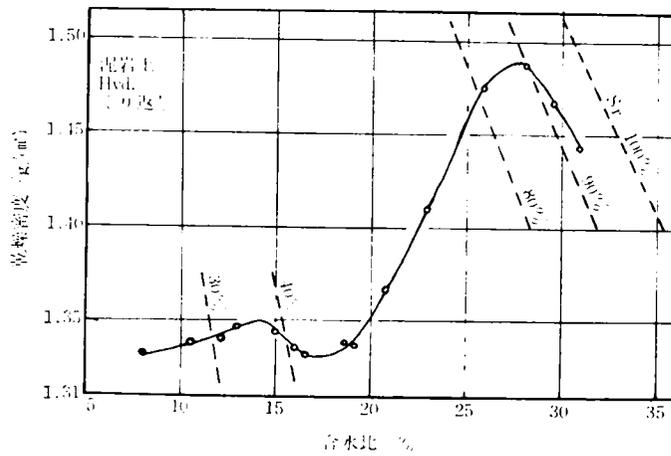
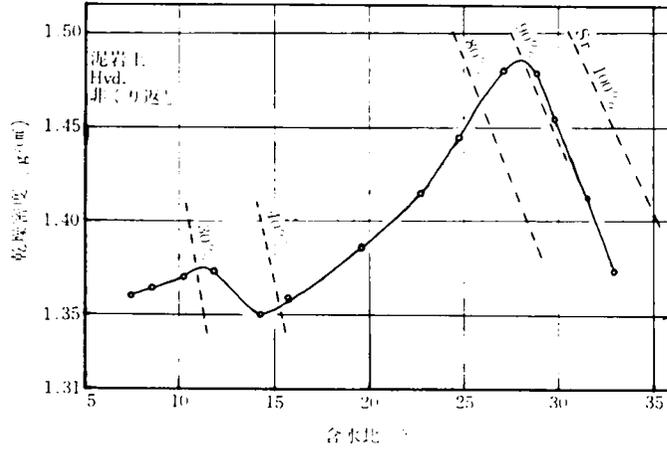
① 締固め試験について

1) 動的 (JIS), 半動的 (Harvard), および静的 (Static) 締固め方式による, 4 試料土についての, くり返し, 非くり返し試験の結果は, 図IV-2-2, 3, 4, 5および表-IV-2-3に示してある。

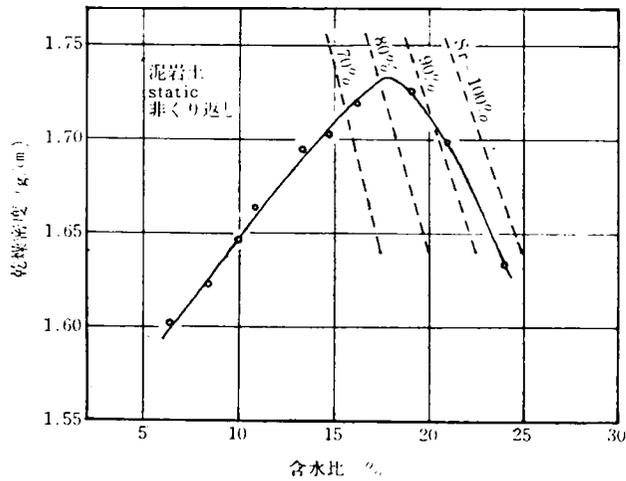


Compaction Curve, Shimajiri Clay, (JIS)

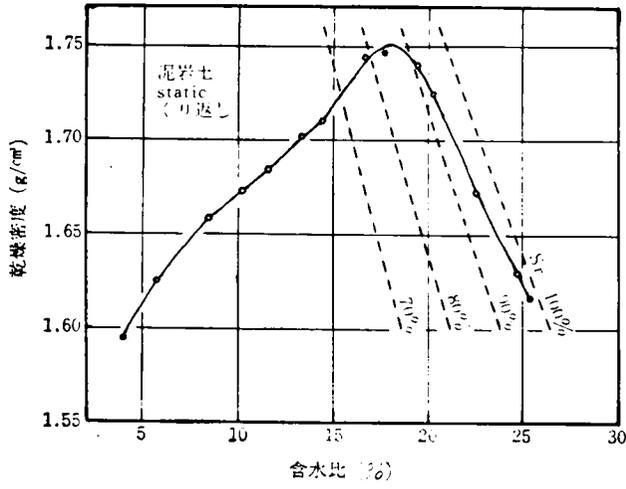
図IV-2-2. a) 泥岩土 (動的締固め)



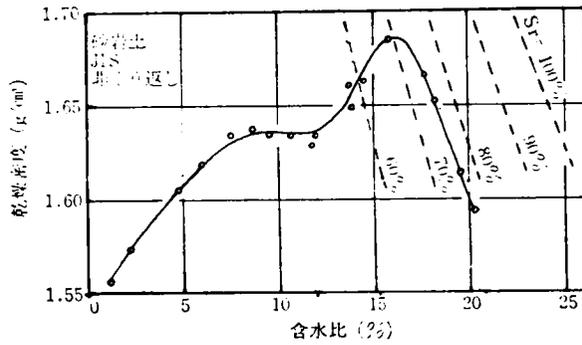
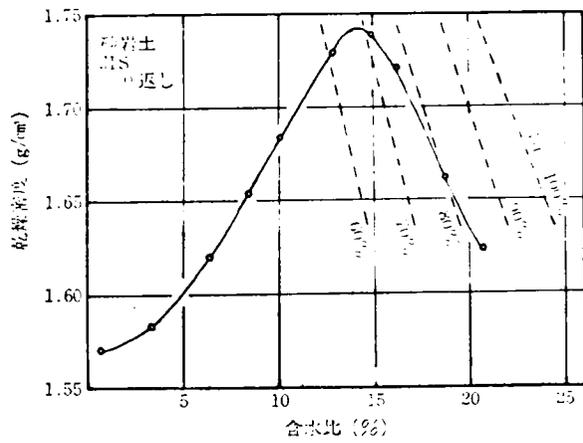
図IV-2-2, b) 泥岩土(半動的締固め)



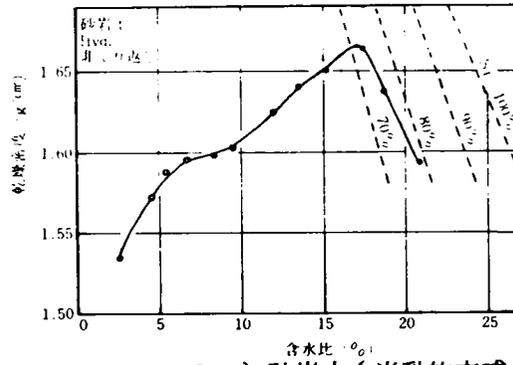
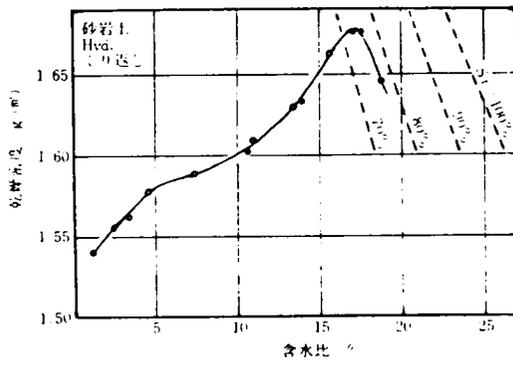
図IV-2-2, c) 泥岩土(静的締固め)



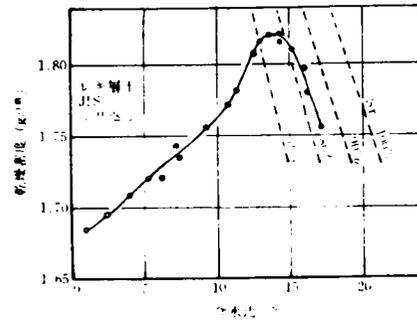
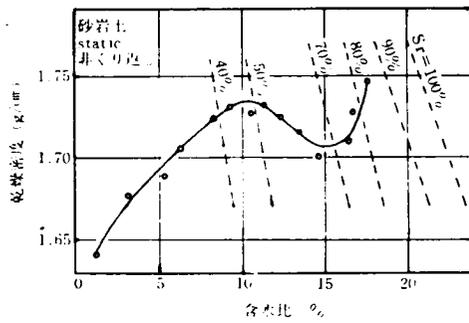
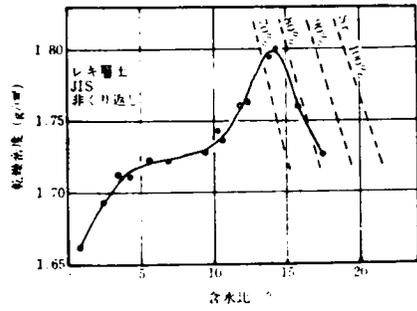
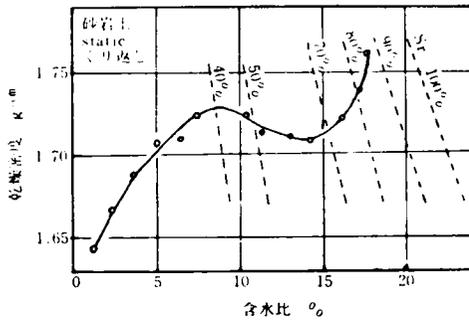
図IV-2-2. c) 泥岩土 (静的締固め)



図IV-2-3. a) 砂岩土 (動的方式)

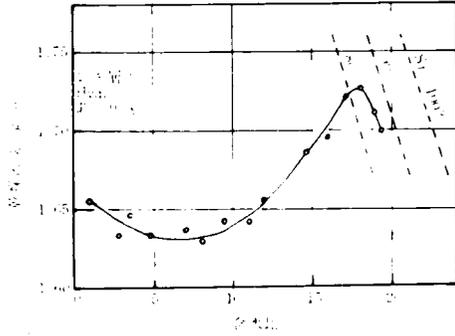
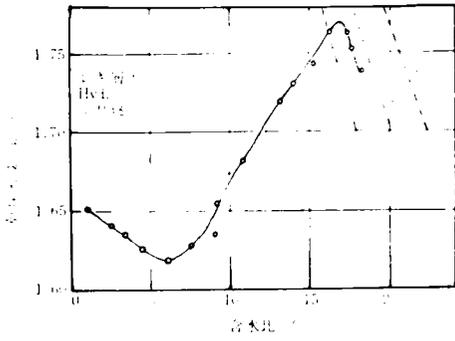


図IV-2-3, b) 砂岩土 (半動的方式)

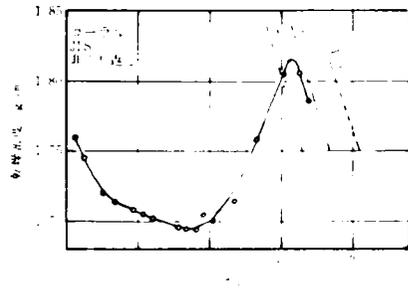
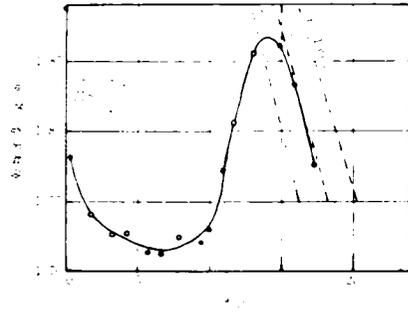


図IV-2-3, c) 砂岩土 (静的方式)

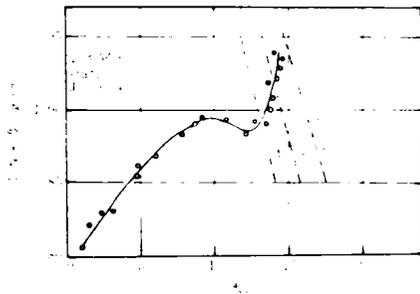
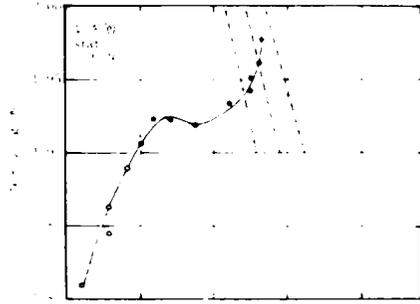
図IV-2-4, a) 国頭レキ層土 (動的方式)



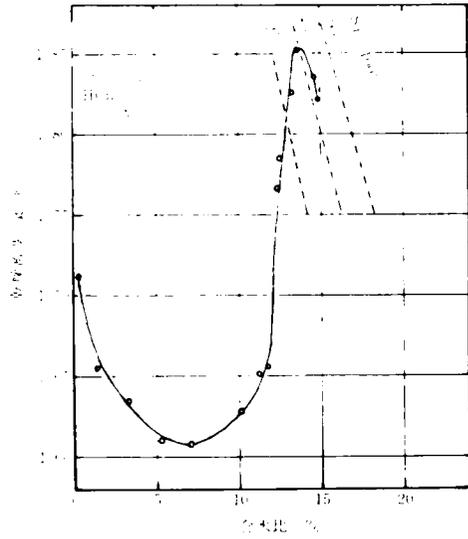
図IV-2-4 b) 国頭レキ層土 (半動的方式)



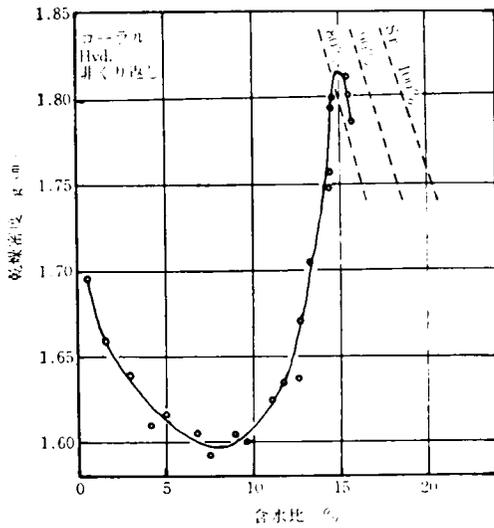
図IV-2-5 a) コーラル (動的方式)



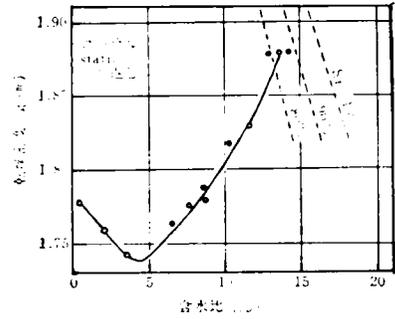
図IV-2-4 c) 国頭レキ層土 (静的方式)



図IV-2-5 b) コーラル (半動的方式)



図IV-2-5. b) コーラル(半動的方式)



図IV-2-5. c) コーラル(静的方式)

表IV-2-3 締固め手段による各試料土の締固め効果

締固め手段	試料	くり返し		非くり返し	
		最大乾燥密度 (g/cm³)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm³)	最適含水比 (%)
動的 JIS (3層25回)	泥岩土	1,544	23.4	1,533	25.0
	砂岩土	1,740	14.5	1,686	16.4
	国頭レキ層土	1,820	14.1	1,798	14.5
	コーラル	1,868	14.2	1,813	15.8
半動的 Harvard (20 lb 3層25回)	泥岩土	1,489	27.4	1,486	28.0
	砂岩土	1,675	17.2	1,662	17.1
	国頭レキ層土	1,768	17.0	1,726	17.7
	コーラル	1,851	13.7	1,810	15.1
静的 Static (2 ton 1分)	泥岩土	1,751	17.7	1,732	18.1
	砂岩土	1,759	17.8	1,752	18.0
	国頭レキ層土	1,977	13.2	1,938	14.0
	コーラル	1,879	13.7	1,876	14.4

2) これらの図から、同一締固め方式による同一試料土についての、くり返し、非くり返し試験の締固め曲線は、ほぼ類似していることがわかり、一般にいわれているように、くり返しテストの結果が非くり返しテストに比して、最大乾燥密度や $\gamma$ 減という傾向を示している。

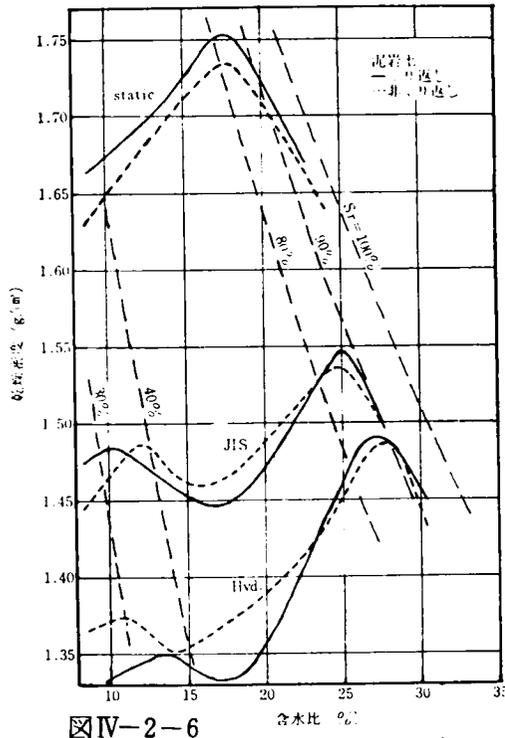
3) 各締固め方式による同一試料土の締固め曲線を対比してみたのが、図IV-2-6~9および表IV-2-4である。これらの図から、動的と半動的の両締固め方式による締固め曲線は、国頭レキ層土に関する問題を除いて、類似しており、静的方式による場合と大きなちがいがあることがわかる。また、締固め方式が、土の締固まりかたに、<sup>4)</sup>かなりの影響をもつことが、土の種類によっては明瞭であるが、最大乾燥密度は、何れも、飽和度80~90%で得られていることがわかる。さらに、図IV-2-10から三方式における最大乾燥密度に、大きなちがいのである土(細粒度Fである泥岩土および国頭レキ層土)と、大きなちがいのでない土(コーラルおよび砂岩土)とがあることがわかり、土の種類と性状に関係があるといえる。全般的に、今回採用した方式の締固めエネルギーまたは圧力に関しては、Static方式、JIS方式、Harvard方式の順に、大きい最大乾燥密度を与えている。ここで、各試料土について、検討をつけ加えると、およそ次のようなことがいえる。これに関連して、Peter Y. Lee<sup>5)</sup>らが、動的方式による多くの土の締固め曲線については、多様な形があるとして、大きく4つに類型化を試みているので、それらの呼称(" "で表示)を使って以下述べることにする。

泥岩土；動的と半動的の両方式による締固め曲線は類似していて、二つの極大値 "2-peak type" を有し、低含水比の飽和度30~40%で第1のピークがあらわれている。この形状は、板状コロイド粒子を多く含む土に多いとされている。<sup>6)</sup> 一方、静的方式による場合は、典型的な "1-peak type" となっており、かつ、最大乾燥密度は、前二者によるよりはずっと大きい。"2-peak type" については、R.E. Olson<sup>6)</sup> が、細粒分の多い粘土質土の場合適用される有効応力理論でもって説明しているが、臨床的例示がなく不完全である。

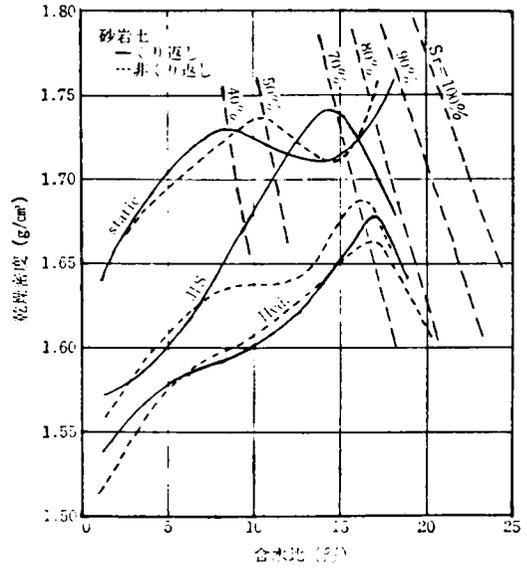
砂岩土；動的、半動的の方式による締固め曲線は、典型的な "1-peak type" であるが、最適含水比より乾燥側では、ややゆるいカーブをえがいている。静的方式によれば、飽和度40~50%で第1の低いピークが現われ、続いて、乾燥密度の増大がみられるが、それは、ある含水比以上に増えても増減がないケースであり、その時点を最適含水比-最大乾密度として考える。この形状は "1- $\frac{1}{2}$  peak type" といえよう。

国頭レキ層土；動的の方式では、砂岩土と類似した典型的な締固め曲線が得られるが、半動的の方式によると、" $\frac{1}{2}$ -1 peak type" <sup>注)</sup> が得られ、特異なカーブである。

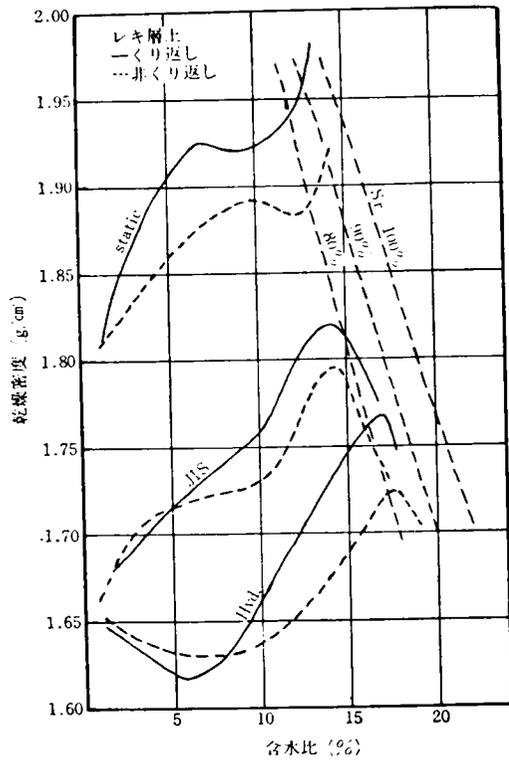
注) 1- $\frac{1}{2}$  peak type と  $\frac{1}{2}$ -1 peak type とは筆者が、図形から意識的に区別した。



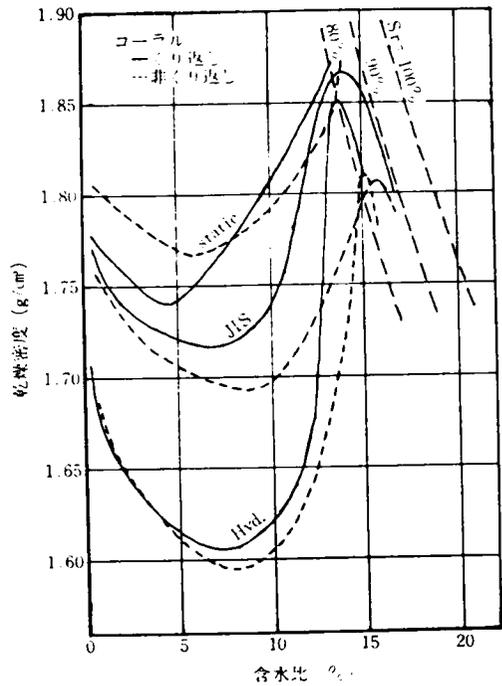
図IV-2-6 締固め方式によるちがい(泥岩土)



図IV-2-7 締固め方式によるちがい(砂岩土)



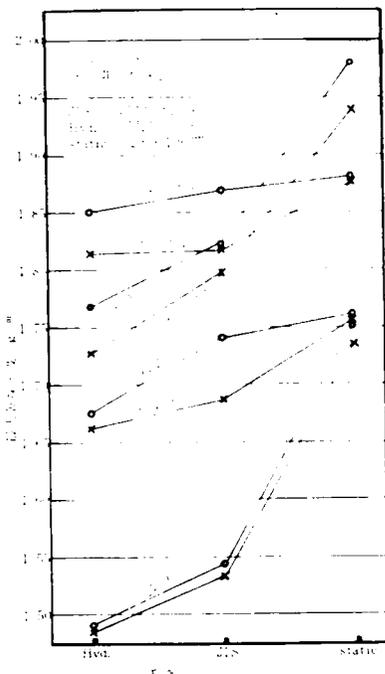
図IV-2-8 締固め方式によるちがい(国頭レキ層土)



図IV-2-9 締固め方式によるちがい(コーラルリーフロック)

表IV-2-4 土の種類による各締固め方式の比較

試料	締固め手段	くり返し		非くり返し	
		最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)
泥岩土	JIS	1.544	23.4	1.533	25.0
	Hvd.	1.489	27.4	1.486	28.0
	Static	1.751	17.7	1.732	18.0
砂岩土	JIS	1.740	14.5	1.686	16.4
	Hvd.	1.675	17.2	1.662	17.1
	Static	1.759	17.8	1.752	18.1
国頭レキ屑土	JIS	1.820	14.1	1.798	14.5
	Hvd.	1.768	17.0	1.726	17.7
	Static	1.977	13.2	1.938	14.0
コーラル	JIS	1.868	14.2	1.813	15.8
	Hvd.	1.851	13.7	1.810	15.1
	Static	1.879	13.7	1.876	14.4



図IV-2-10 締固め方式と最大乾燥密度との関係

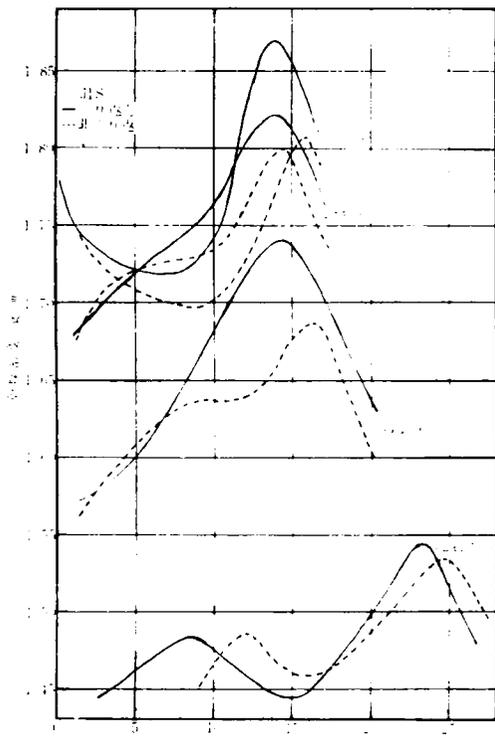
これについて Lambe<sup>7)</sup> は Bulking 説をとっている。静的方式によれば、砂岩土におけるそれと似たカーブ “1- $\frac{1}{2}$  peak type” を示すが、勾配はこちらが急である。

コーラル；動的，半動的方式によれば，国頭レキ層土の半動的によるそれと類似していて，大きく上に凹形の締固め曲線を示す。これは，大平ら<sup>8)</sup>の提示した危険含水比 (W<sub>cr</sub>) 最小乾燥密度 ( $\gamma_{min}$ ) が出現していて，かつ steep steep であることに注目すべきものがある。静的方式によると，その形状特性はますます明確になっており，レキ質土の特性と考えられる。また，コーラルの鉱物組成は，約99%が CaCO<sub>3</sub> である点，他の粘土鉱物等を含む三試料土とは別に考える必要がある。

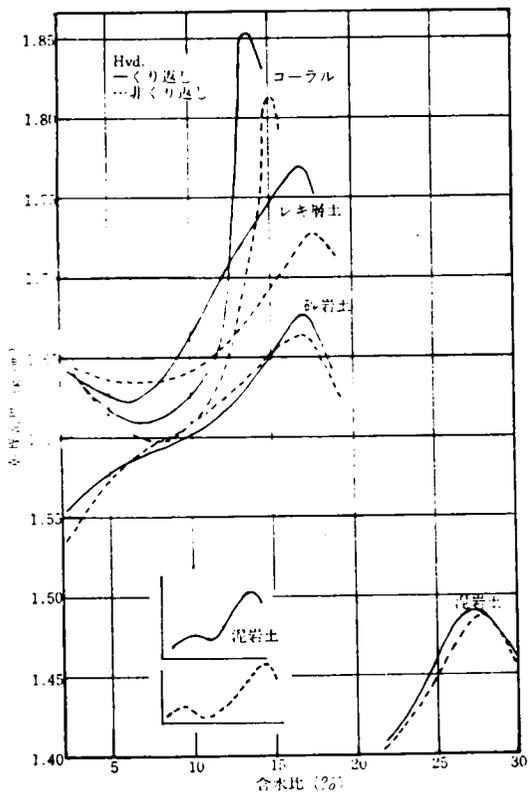
4) 同一締固め方式における土の種類による締固め曲線のちがいを比較したのが，図IV-2-11~13である。これらの図から，動的，半動的の両方式による場合，コーラル，国頭レキ層土，砂岩土の順に，最大乾燥密度は大きく，泥岩土のそれとはかけはなれている。しかし，静的方式による場合，粘土質土の泥岩土の最大乾燥密度は，砂岩土のそれと近接していることが注目され，コーラルと国頭レキ層土の立場が入れかわっている点，irregularityがみられる。動的または静的締固め方式において，砂岩土とレキ層土がそれぞれ近似の曲線を与え，半動的方式の場合，コーラルと国頭レキ層土が類似の曲線 (1- $\frac{1}{2}$  peak type) を示していることなど，締固まり機構を考えるのに困難な問題をもっている。

5) 動的締固め方式 (JIS・1・1法) に対する今回採用した静的および半動的方式の締固めエネルギーまたは圧力を変えて比較してみると，JIS  $\gamma_d$  max に相当する  $\gamma_d$  を得るために，Staticの載荷圧は泥岩で 0.4 ton，砂岩土で 1.0 ton，コーラル 0.83 ton，国頭レキ層土で 0.7 ton という値を得たが，粘土分の多い国頭レキ層土，泥岩土では，低圧力で JIS 相当値が得られる。一方，JIS 方式と Harvard 方式との比較試験については，コーラルにおいては，両者とも 3層25回でほぼ同値を得られたが，他においては，Harvard方式の突き回め回数の増による乾燥密度の増は，さほど期待できず，層数の増や突き固め回数の増は，その作業上に問題があるように思われる。

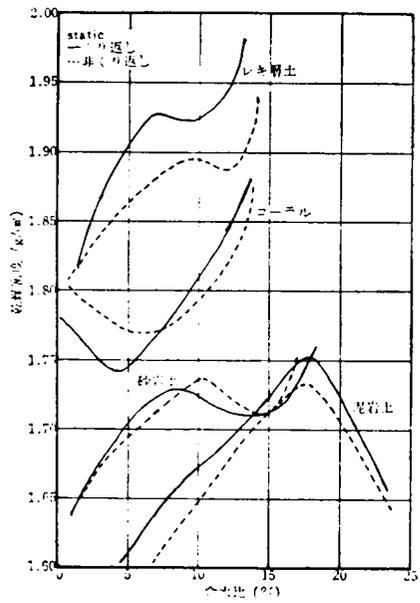
6) なお，これらの締固め方式および各試料土について，締固め特性と粒度組成とを関連づけて，赤井<sup>9)</sup>の報告にならってプロットしてみると，図IV-2-14のようになり，均等係数が小さくとも，また，大きすぎても，最大乾燥密度は低くなる傾向にあることがわかる。ただ，本実験では，4試料土とも最大粒径 5 mm としていること，泥岩土については，土塊の粉碎のしかたによって粒度分布が変動しうること，および，砂岩土の自然状態最大粒径は 2 mm 以下であることなど，考慮に入れる必要がある。また，最大乾燥密度と最適含水比との関係を，酒井・佐藤<sup>10)</sup>



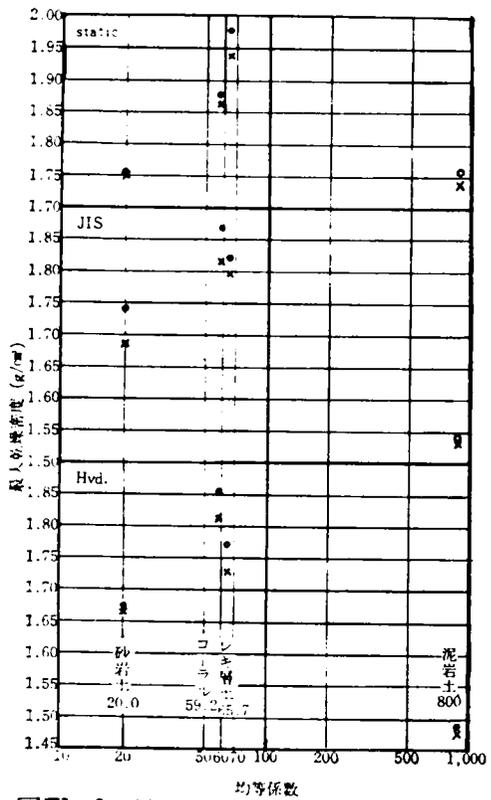
図IV-2-11 土の種類によるちがい(動的)



図IV-2-12 土の種類によるちがい(半動的)



図IV-2-13 土の種類によるちがい(静的)



図IV-2-14 均等係数と最大乾燥密度との関係

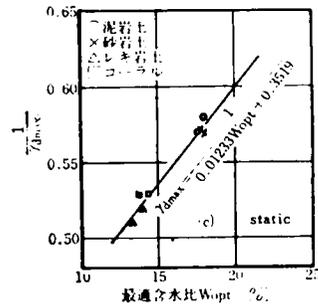
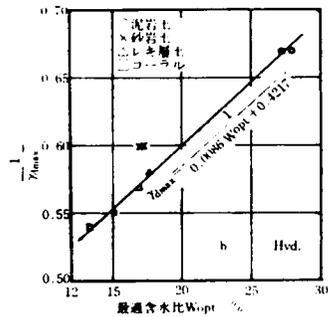
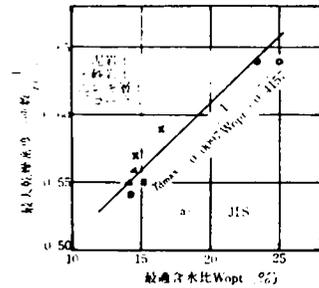
10) または赤井<sup>9)</sup> や箭内・風間<sup>11)</sup> の報告と比較してみると、図IV-2-15 のようになり、各締固め方式によって多少のちがいはあっても、了承しうる関係にあることがわかった。

c) むすび

土の締固め試験結果に影響を及ぼす諸々の因子についての総括的な報告が10余年も前に出され、<sup>13)</sup> その後も、米国の Highway Research Boardの特集をはじめとして、これらについての研究報告は多い。また、上記引用文献などでは、Proctor 以後の締固め理論、たとえば、Hogentogler, Lambe, Olson や松尾ら<sup>14)</sup> の締固めメカニズム考察など、についての提案や試みもなされているが、未だ種々の問題点が残されている。

一方、締固められた土の構造と工学的性質とを関連させた研究が Lambe, Mitchell, Seed らや松尾新一郎教授らによって取組まれ、成果をあげてきた。これらのことが Soil compaction and improvement の実現に果たした役割は大きいものがある。

以上、沖縄の土を用いての締固まり特性について若干の事象をとらえたが、土の締固まり機構を追求するためには、今後、数多くの臨床的な実験研究が必要であることは言うまでもない。また、沖縄の土(特に泥岩土、コーラルなどの粉砕土)に関して言えば、今回の締固め曲線の irregularity やその compaction mechanism を compacted soil structure などや土の締固めによる粒度組成の変動、初期含水比および締固め procedures などとの関連において究明していく必要がある。



最大乾燥密度と最適含水比との関係 (くり返し, 非くり返し)

図IV-2-15 最適含水比と最大乾燥密度と相関性

## 2) 締固められた土の特性

土の締固まり方(メカニズム)についての関心は、すでに述べたように、締固めの理論を確立することに向けられていて、その実際への適用において強固な立場を与えることへの努力としてあらわれている。また締固め理論とは別に、土工としての締固めの現場からは、締固めの効果すなわち工学的性質の改良ということが必然的に要求され、それに対応するかたちで種々の努力が一方ではなされることもやむにやまれぬ現実である。もちろんこの両方の努力が相互に関連づけられて、積み重ね的に、「締固め」の発展が考えられよう。そこで、締固まりメカニズムを説明する1手段として、締固められた土の工学的特性を若干報告し、その助としたい。

### a) 締固められた土の室内コーン貫入抵抗について<sup>1)</sup>

#### i) 試料および試験方法

試料は前節で用いた、泥岩土、砂岩土、コーラル・国頭レキ層土の4種でJIS A 1210(1.1法)によって締固められた供試体(気乾状態から含水比1~2%間隔でふやした)を即座に、先端角30°、円錐底面積6.45 cm<sup>2</sup>のコーンを、1 cm/sec.の速さで貫入し、5 cm貫入深さ(モールドの約 $\frac{1}{2}$ 位置)までに最大貫入抵抗値を求めた。同時に含水比および乾燥密度を求めて、締固まり状態を得た。

#### ii) 試験結果および検討

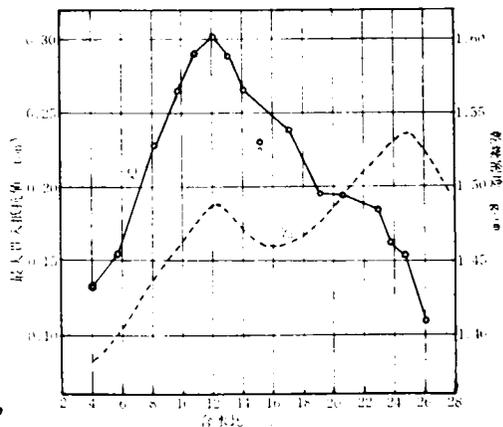
1) JIS締固め土についての室内電動式コーン貫入試験の結果は、表IV-2-5に示すとうりであり、それぞれの土について、含水比-最大貫入抵抗値とその時の締固め曲線とを対比させたのが、図-IV-2-16である。

これらから、砂岩土および国頭レキ層土は、ほぼ類似の曲線をえがき、乾燥密度-せん断強さの原則的なことがらが成立している。しかし、泥岩土では、締固め曲線の第一のピークの位ちにおいて、最大貫入抵抗値が得られ、いわゆる最大乾燥密度に対する最適含水比よりかなり低い含水比で与えられる。これは、筆者の別の研究<sup>12)</sup>による一軸圧縮強度判定結果とdry sideであるという点で同様であるが、今回は、より低含水比側に寄っていることで、泥岩土の締固め特性としてとらえている。さらに、コーラルについては、締固め曲線における、いわゆる危険含水比または最小乾燥密度において、最大の貫入抵抗値が現われている点注目しなければならない。これについては、筆者の他の研究<sup>12)</sup>で、一軸圧縮強度との対比で得た予想とは異なった反応を示していることがわかった。このことは、一軸圧縮試験とコーン貫入試験における破壊のメカニズムの相違、また、締固められた土の構造の判定のしかたとの関連などで、今後の課題である。なお、松尾・宋ら<sup>14)</sup>は、砂質土について、乾燥密度-含水比曲線とコーン貫入量-含水比曲線とを対比させて論じているが、本件とは異なった結果となっているので、今後

の問題としたい。

表IV-2-5 JIS 締固め土コーン貫入試験結果

土の種類	最大コーン貫入抵抗 (tw)	同時含水比 (%)	締固め時最適含水比 (%)	コーン支持力 (kg/cm <sup>2</sup> )
泥岩土	0.298	12.0	25.0	46.20
砂岩土	0.139	15.4	16.4	21.55
国頭レキ層土	0.261	13.2	14.5	40.47
コーラル	0.550	10.0	15.8	85.27

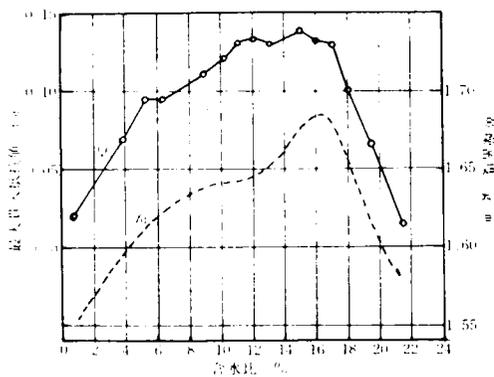


2) コーン貫入抵抗値と乾燥密度との関係で総括してみると、図IV-2-17のようになり、砂岩土が原則からはずれて異なっている点を検討する必要がある。

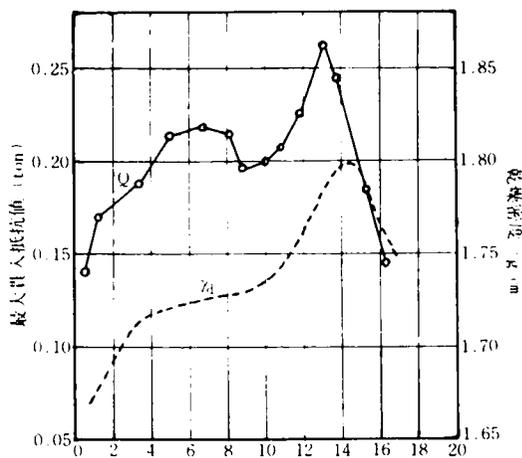
また、E. A. Nowatzkilら<sup>15)</sup>の報告によれば、コーン先端角による  $q_c - \gamma_d$  曲線について、図IV-2-18の実線のような関係があるとされているが、人為粉碎のコーラルや泥岩土の締固め状態では、そのような関係は認めがた

a) 泥岩土：

コーン貫入抵抗—含水比—乾燥密度—乾燥密度 (JIS 非くり返し)

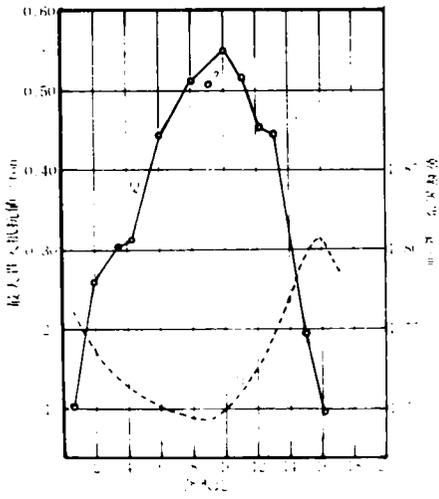


b) 砂岩土：コーン抵抗—含水比—乾燥 (JIS 非くり返し)

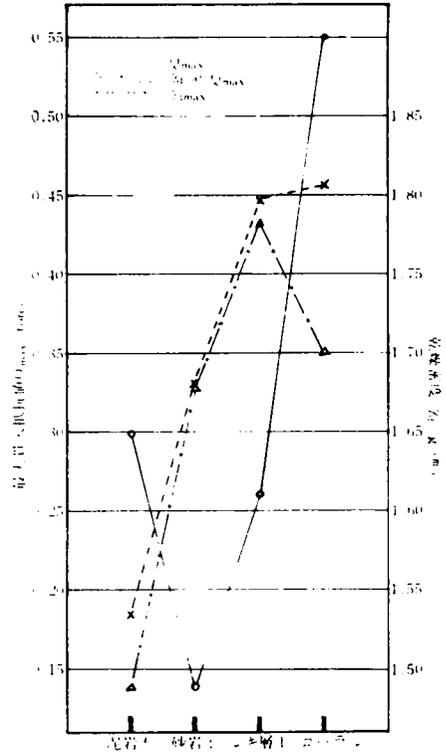


レキ層土：コーン貫入抵抗—含水比—乾燥密度 (JIS 非くり返し)

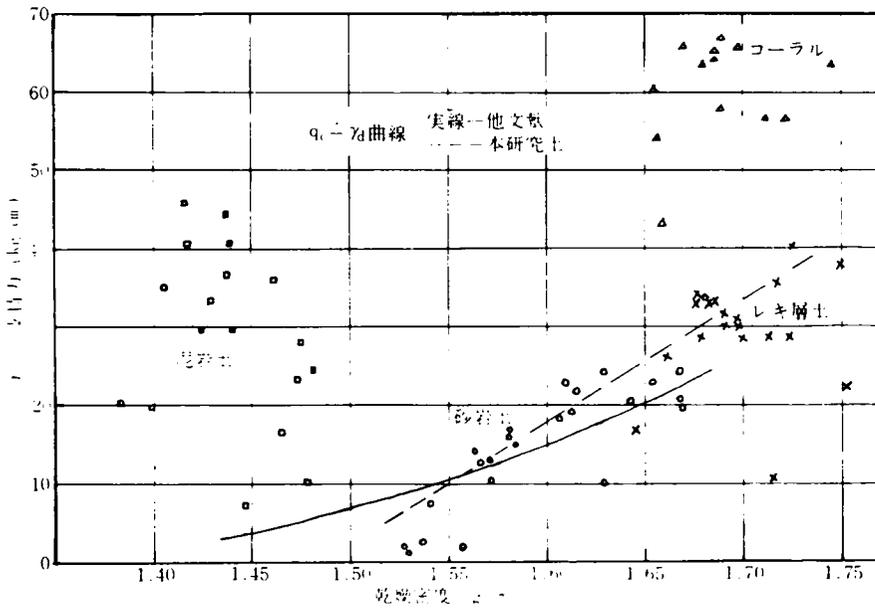
図IV-2-16 コーン貫入試験結果



d) 図IV-2-16 d) コーラル：コーン貫入抵抗  
—含水比—乾燥密度 (JIS 非くり返し)



図IV-2-17 乾燥密度と最大貫入抵抗との関係



図IV-2-18 コーン指数と乾燥密度との相関性

く、砂岩土と国頭レキ層土については、破線で示すような関係が考えられる。これらのことも、締固められた土の性質を考えるうえで、今後とも研究しなければならないものであろう。

b) 締固められた土の一軸圧縮強度について、<sup>12,16,17)</sup>

i) 試料および試験方法

試料としては、島尻層泥岩土（浦添市内間）、コーラルリーフロック（読谷村楚辺）および国頭レキ層土（石川市北郊外）の三種を用いた。すでに述べた締固め試験における JIS A 1210（101法）方式によって供試体を作製し、供試体は直ちに重量を測定して良質の半紙で包んでパラフィンで被覆し、7日間湿気箱で養生して、一軸圧縮強さ試験（歪制御 1mm/sec）に供した。ただし、コーラルリーフロックについては、締固め方式を動的（JIS方式）、半動的（Harvard方式）および動的（圧縮方式）の三方式で行なっており、それぞれの強度の比較をも試みた。<sup>17)</sup>

ii) 試験結果および検討

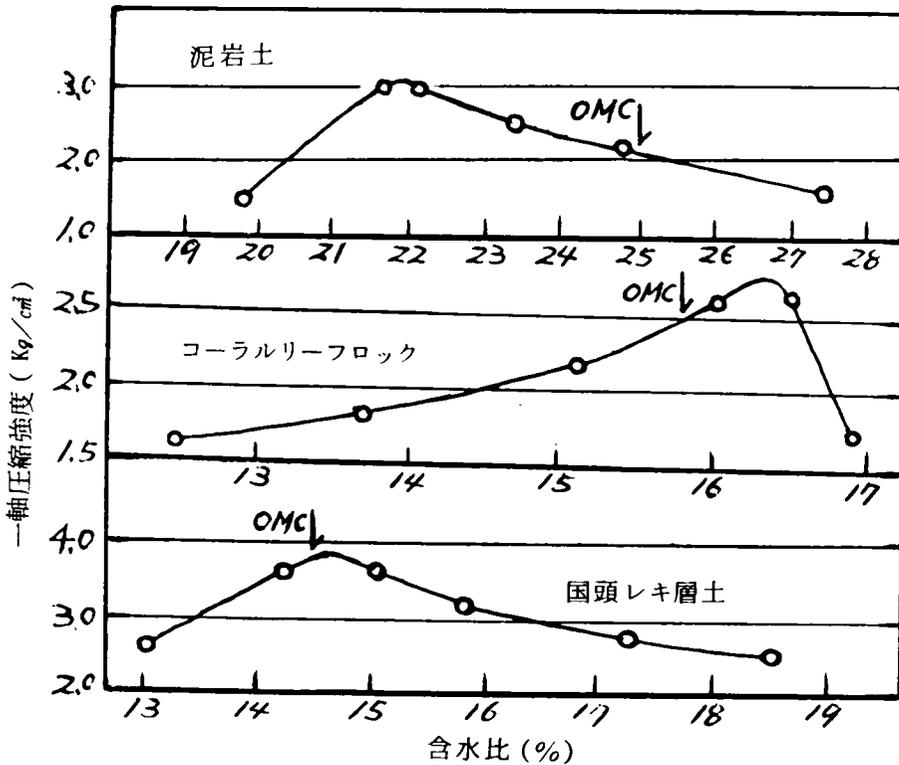
それぞれの土の物理諸量および粒度組成は 1) - (1) の表IV-2-1に示されたとおりである。

締固め試験結果および供試体作製条件は表IV-2-6に示すとおりである。それぞれの7日強度は図IV-2-19に示すとおりで、泥岩土の場合は最適含水比(OMC)より dry side で、コーラルリーフロックの場合は Wet side で、そして国頭レキ層土は OMC とほぼ同一点でピーク強度が得られることがわかる。また、粘性土である泥岩土の特性として、Lambe (May, 1958, ASCE proc paper 1655)<sup>18)</sup> の指摘する Dry-of-Optimum が明らかにあらわれている。これらのことより、前述のコーン貫入試験結果とをあわせ考えてみると、泥岩土の場合 (clayey soil)、国頭レキ層土の場合、

表IV-2-6 締固め試験結果および供試体作製条件

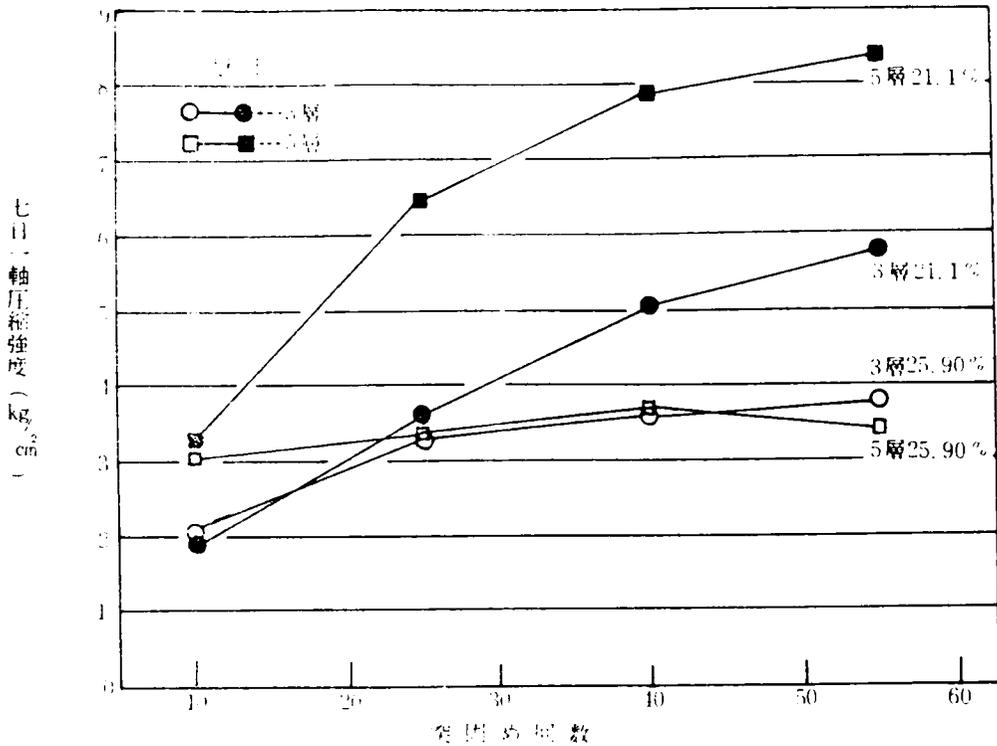
	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 ( $g/cm^3$ )	供試体作製状況 (含水比及び乾燥密度)						
			w	19.72	21.50	22.03	23.24	24.75	27.40
泥 岩 土 (島尻層)	25.0	1.533	rd	1.421	1.502	1.520	1.530	1.533	1.515
			w	12.47	15.05	16.03	16.53	16.80	
コーラルリー フ ロック	15.8	1.813	rd	1.67	1.79	1.72	1.71	1.69	
			w	13.0	14.2	15.0	15.8	18.5	
国頭レキ層 土	14.5	1.798	rd	1.720	1.790	1.788	1.753	1.720	
			w	13.0	14.2	15.0	15.8	18.5	

(loamy soil) とコーラルリーフロックの場合 (loose rock fragments) とでは締固まり方および破壊のメカニズムにちがいがあることがうかがわれ、compacted soil structure の微視的な研究、たとえば Seed and Chan(1959) や松尾、宋、嘉門らの一連の研究のような、が必要であろう。また、泥岩土の場合と国頭レキ層土の場合をくらべると、後者の方が粘土分含有量が多いのに対して、コンシステンシー諸量（液性限界および塑性指数）は前者が大きいなど、コンシステンシーや、あるいは粘土鉱物組成などのファクターが締固め効果に複雑な影響を与えていることについての検討も今後の課題となる。



図IV-2-19 締固め土の一軸圧縮強度 (7日qu)

次に泥岩土について、突き固め仕事量が一軸圧縮強度におよぼす影響を調べた結果、図IV-2-20を得た。図から、突き固め回数が増えると一般に強度が増加することは明らかだが、含水比や層数によって、増加のしかたにちがいが認められる。すなわち含水比が最適含水比より dry side では3層に詰めるより5層に詰める方が常に強度も大きく出るが、wet side では、3層も5層も差がなくなるかあるいは突き固め回数の高い所で過転圧現象をもたらしている。このような例は Hampton and Yoder らの報文<sup>19)</sup>にもあり、島尻層泥岩土の締固めにおける仕事量の影響については、Wet-of-optimumに注意せねばならないだろう。



図IV-2-20 締め回数と一軸圧縮強度との関係

さらにコーラルリーフロックについて締め手段のちがいによる強度のちがいについて調べた結果は次のとおりである。このテストでは、先ずはじめに、同一乾燥密度という条件で動的（JIS A 1210 1・1 モールド供試体寸法）、半動的（Harvard Min. 径 3.33 cm, 高さ 7.19 cm 供試体寸法）および静的（BS 細粒土用モールド, 径 5 cm 高さ 7 cm 供試体寸法）の各締め方式によって供試体を作製して、湿気箱の中で 7 日間養生し、重量に変化のないこと（1% 以内の変化は可とした）を確認して圧縮試験を実施した。ただし、半動的および静的締めの場合は、JIS 方式によるピーク強度をもたらす含水比（16.30%）およびその時の乾燥密度をめやすとしたので、あらかじめ計算して得た所定の土量を所定の供試体寸法になるよう詰める必要があり、それぞれ一層とし、Kneading 回数や載荷重の大きさは問題としなかった。一方、最適含水比で、上記締め三方式の仕事量を変えた場合の一軸圧縮強度を比較してみたのが表-IV-2-7 に示してある。

これらの結果から、締め方式による強度のちがいについては一概には言えないが供試体寸法（径と高さの比）や破壊状況を考慮に入れて、次のように考えられる。すなわち、同一含水比・同一乾燥密度の場合も、またそれぞれの方式における最適

表IV-2-7 コーラルリーフロックの一軸圧縮強度

作製時 含水比	動的 (Kg/cm <sup>2</sup> )	半動的 (Kg/cm <sup>2</sup> )	静的 (Kg/cm <sup>2</sup> )	静的1層 1ton(Kg/cm <sup>2</sup> )	静的1層 1ton(Kg/cm <sup>2</sup> )	半動的3層 25回(Kg/cm <sup>2</sup> )	半動的5層 25回(Kg/cm <sup>2</sup> )
16.30%	3.22	0.86	3.95	-	-	-	-
OMC	-	-	-	2.34	3.27	1.42	2.09

含水比で締固めた場合も、静的-半動的-動的の順に強度が低くあらわれる。

c) 締固められた土のCBRについて<sup>12, 20)</sup>

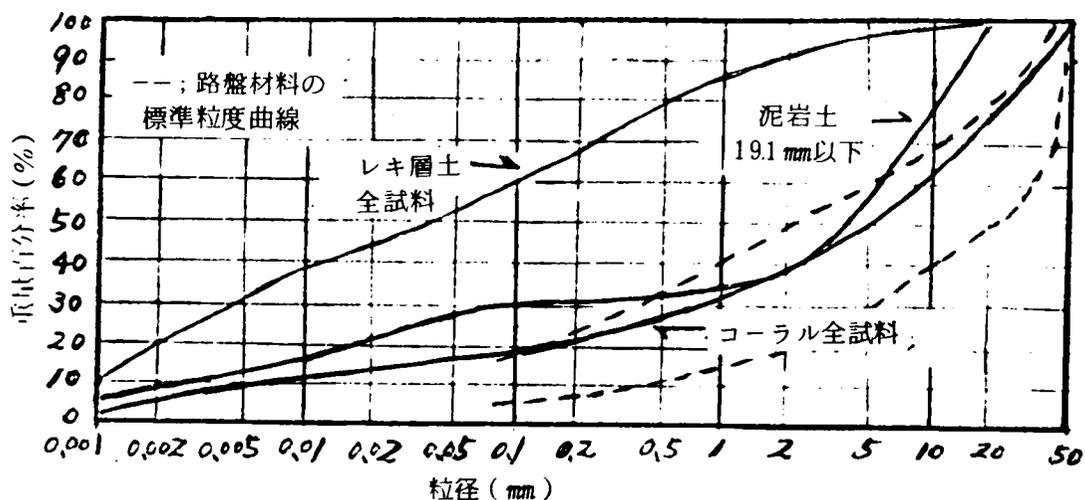
締固められた土の締固め効果を調べるために室内CBR試験を行なった。

i) 試料および試験方法

試料土は島尻層泥岩土、コーラルリーフロックおよび国頭レキ層土を搬入し、泥岩土は人為粉砕し、気乾状態にして試験に供した。試験方法はJISA 1211（土質工学会土質試験法 昭39）に準じている。なお、締固め（試験）は米国製のMechanical Compactor（ランマー重量10 lds. 落下高18吋）を用いて行なった。

ii) 試験結果および検討

試料土の物理的性質は、すでに示したとおりであるが、粒度組成は下図に示してある。CBR試験結果は表IV-2-8に示すとおりである。



表IV-2-8 室内 CBR 試験結果

材料	突き固め試験		C B R 試験			
	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (Kg/cm <sup>3</sup> )	突き固め回数	膨脹比 (%)	C B R (%)	修正 CBR (%)
島尻層泥岩土	18.25	1.706	55	2.20	7.85	7.42
			25	2.38	7.25	
			10	2.85	3.90	
コーラルリーフロック	13.30	1.905	55	0.0 ~	57.3 ~ 186.3	30.0 ~ 71.2
			25	//	13.1 ~ 30.8	
			10	//	1.6 ~ 8.6	
国頭レキ層土	14.00	1.842	55	0.51	-	6.60
			25	0.66	-	
			10	0.71	-	

これら試験結果から次のようなことがわかる。

① JIS A 1210(1・1) による突き固め試験結果に対して、何れの土も締固めエネルギーの増に伴う締固め効果の増が認められる。たゞ土によってその程度にちがいがみられ、これら土の有効な利用方に配慮せねばならない点がある。

② 泥岩土、国頭レキ層土の締固め効果としての CBR 特性は、その低い値とともに、供試体作製による、すなわち締固められた土の性状(たとえ人為粉砕の泥岩土にしても)については、バラツキが認められないが、コーラルリーフロックの場合は岩石碎片の大小が如実に影響し、貫入抵抗の強弱(供試体上部の碎片の配置によって)が大きく変動する。これは、レキ状土の Compactive effort とその結果の判定に細心の注意を払う必要があることを示している。

③ 吸水膨脹の特性が、土によって変化のあること、したがって盛土、路盤材への適用については、別に検討の必要がある。このことがらはまた、これら土の締固め効果の一標尺とみなすことができる。

d) 締固められた土の対水特性について

路盤材料や盛土材料として土が利用される場合、その浸水に伴う安定性(スレーキング現象や吸水膨脹など)が重要な性質として問題となる。こゝでは、筆者の一連の路盤安定処理工法の基礎的研究<sup>12, 16)</sup>におけるスレーキングまたは CBR 吸水膨脹試験や新城の吸水変形に関する報告<sup>21)</sup>をもとに、沖縄の土の締固め特性について論ずる。

1) Slaking 現象について

土の締固め効果を判定するために、先に述べたように一軸圧縮試験を実施したがその際、浸気箱養生後供試体を24時間浸水を行なったところ、島尻層泥岩土、コー

ラルリーフロック，および国頭レキ層土いずれも締固め方式のちがい如何にかゝわらず浸水後数分から1時間もたゝないうちに崩壊してしまった。それ故に一軸圧縮強度は非水浸強度を測定せざるをえなかった。

このことは，たとえばコーラルリーフロックの静的に締固めた供試体を作製直後または24時間湿気箱内養生後浸水して，全部崩壊しつくすまでの時間を測定した結果作製直後で6～7分，24時間養生後で15分という1例<sup>17)</sup>を示すことと，泥岩土の不攪乱供試体について気乾後直ちに浸水崩壊をおこす事例をあげることで，不飽和締固め土の耐水性の弱さを推察できよう。

## ii) 吸水膨脹について

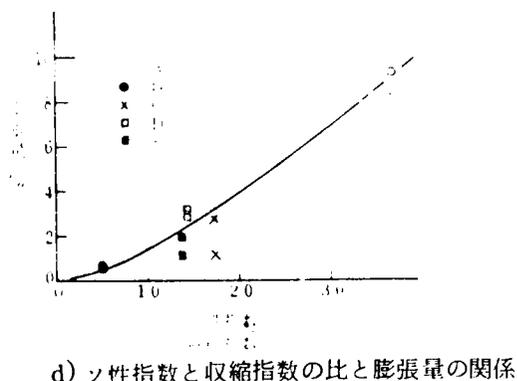
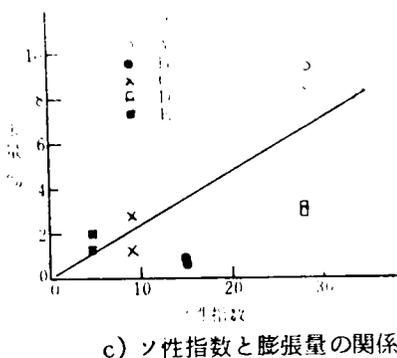
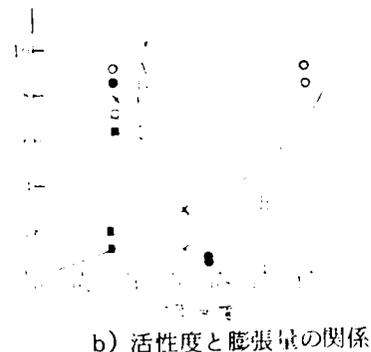
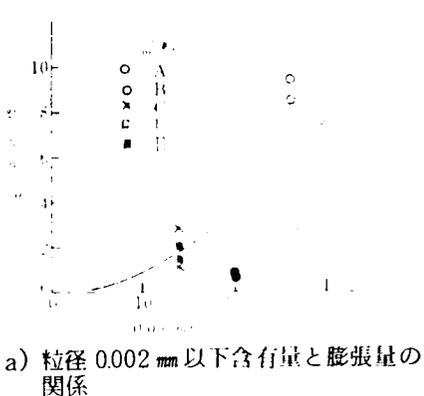
不飽和土のスレーキング現象は明白であるが，側方拘束を施して，浸水すればその吸水膨脹について検討しうるものがある。

(イ) CBR 試験結果からみると，コーラルリーフロックの膨脹比はほとんど0%に等しく，次いで国頭レキ層土で0.5～0.7%さらに，島尻層泥岩土の2.20～2.85%という順になっている。

このことは，これら三種の土の締固め効果のあらわれとして考えられ，現実に路盤材として使用されているコーラルリーフロックと盛土などに利用されている国頭レキ層土の利点を示すものである。

(ロ) 新城の実施した5種類の土(泥岩土などすべて粘性土)の吸水膨脹試験結果<sup>21)</sup>をまとめるとおよそ次のようになる。試料土を室内乾燥させ，非くり返し法によりJIS A 1210に基づいて締固めてつくった供試体を一次元圧密リング(直径6 cm，厚さ2 cm)に詰め，24時間水浸後，側方拘束，鋭直方向，無載荷状態のままで膨脹量を測定した。

供試体は，それぞれの土の最大乾燥密度，最適含水比の dry side で最大乾燥密度の95%，Wet side で最大乾燥密度の95%および90%の乾燥密度になるよう締固めて4個つくり，その比較を行なった。その結果，土の種類によって，また同じ土でも締固め状態によって膨脹量が異なっている。一般に最適含水比より dry sideで膨脹量は著しく，Wet side で含水比の増加に伴なって膨脹量が直線的に減少している。締固め時の飽和度と吸水膨脹後の飽和度の変化は初期含水比には関係なくほぼ一定であるが，100%飽和には達していない。また，膨脹性粘土については，土の物理的性質との関連で研究されていることから，沖縄の土に関してその相関性を求めたら粘土分含量，塑性指数，活性土などと膨脹量との間に図IV-2-21に示すような関係が得られている。



図IV-2-21 膨張量と物理定数との相関性 (from 新城, 1969)

一方、側方拘束のほか、一定の大きさの荷重を24時間かけて後に吸水（24時間浸水）させると荷重の大きさによっては膨脹するものもあり、逆に圧縮を生じるものもある。これは膨脹圧よりも大きい載荷重によっては、不飽和締固め土の structure に崩壊をもたらすことによるものと考えられる。同様なことはCBR 吸水膨脹試験においても時に見受けられ、有孔板および分銅の数（通常4枚）の和が大きいことにより膨脹比はゼロということにもなる。もちろんこのような現象は締固め時の over compaction によっても生ずる。

これらの研究から、締固められた土の水に対する安定性は、dry-of-optimum より Wet-of-optimum の方が有利である。たゞスレーキング現象については添加剤による安定処理の試験結果があり、これについては後に述べる。<sup>17)</sup>

### む す び

以上、沖縄の代表的な土を用いて、土の締固めおよびその効果について述べてきた。その結果、土の締固めに関する問題点がいくつか明らかになり、また今後の課題としてこれらの問題点の究明がますます必要であることがわかった。土を路盤材料としてまた盛土材料として対象とする時の困難さは、もっともだが、締固め方式や土の種類を考慮に入れた基本的な土工のあり方について考え直す必要があるだろう。そのためにも

土の締固まり方(メカニズム)の解明にあたって、細粒土と粗粒土および特殊土とに分けて考え、締固められた土の構造的研究を行ない、締固め理論の構築を行っておく必要がある。一方締固め効果の検討という面からも、その力学的特性および排水安定性等の研究をさらにすすめてこの問題の究明にあたる必要がある。そのことに関連しては、締固めの不飽和土の圧縮特性についての力学的な挙動(dry-of-optimumおよびWef-of-Optimumの考え方)および安定と、水に対する安定(透水性および吸水膨張の問題に伴う浸蝕崩壊など)とのそこについてもっと検討しておかなくてはならない。

### 3. 路床・路盤等の安定処理

沖縄においては、これまで路盤材は主としてコーラルリーフロックを、盛土材としては北部地域に多い名護・嘉陽層と国頭レキ層土を、路床土としては中南部地域で島尻層を、北部地域では上記各層を、それぞれ層土のままあるいは締固めて用いてきた。そしてこのことは local material の利用ないし活用ということにつながり経済的な面からもこれを肯定してきた。しかし、今後、道路、ダム、堤防などの土木構造物が大型化していくにつれ、土質材料の量的、質的問題がみなおされ、また一方自然環境の破壊につながる安易な採掘、土取りなどは困難になりつつある。沖縄の開発行為は規模、量ともに増加の途にあることから、この問題の早期解決へ向けて努力が要求されていると言ってよい。その意味において、これまで使われていた土質材料の再点検および改良の方法の研究とこれまであまり用いられなかった土質材料の開発利用に関する研究がすすめられなければならない、これまでの成果をふまえて以下に論じていく。

#### 1) 路床・基盤としての島尻層構成土

前章でも、地すべり・崩壊に関連して、島尻層について論じ、かつ、沖縄開発に伴う土地環境の変化と防災という立場から若干の報告<sup>22,23)</sup>をも行っている。こゝでは、中南部地域において土地造成や道路の改良・新設によって当然問題となる島尻層構成土の基盤としての、または、路床としての特性を、土質工学的にとらえ、それぞれの力学的性状を概括し、その問題点をあげて、土質ないし地盤改良のための指針を求めたい。

## (1) 島尻層泥岩(土)工学的特性

泥岩層は地山としては、固結した Hardpan 的粘土で岩状を呈している、未風化基盤として良好な支持層を形成している。しかし、地表露出部は、はげしい風化を受けて土壌化し、その下位のやゝ風化の進んだ層でも、均質ではなく、大なり小なり、鉛直、水平方向に閉そくしたクラックを有し (Fissured or Jointed Structure) 大気や降水の浸透によってクラック面の酸化がすすんで赤褐色を呈し、風化が促進されている。これら地山が掘削またはカットされ、応力が解放される (土質工学的にも上位の琉球石灰岩の侵蝕除荷によってかなりの過圧密を受けている) と風化侵蝕が急激に進むことになる。なお、さらに下位の泥岩層は新鮮な未風化状態を保っていて、上記の風化ないし準風化層とは区別して考えている。したがって、泥岩層の特性を調べるにあたっては、風化の程度及び地表からの深度によって、および Fracture 体としての異方性との関連において、取扱わねばならないものがある。また風化層、準風化層および未風化層はほぼ一線を画すものとして、鉱物学的な、物理化学的な面からの追求も必要である。

こゝでは、島尻層泥岩について取組んできた新城の一連の報文<sup>24)</sup>と筆者らのまとめた物理諸量および力学特性との相関性に関する資料(未公表)とをもとにして以下論じる。

### 1) 乾湿くり返しに伴う特性変化<sup>24)</sup>

泥岩の風化の主要因として考えられる乾燥および乾湿のくり返しと吸水膨脹に関連して、一軸圧縮強度の変化を調べる。これは、実際には環境条件の変化による泥岩の強度特性としてみることができよう。

こゝで、実験に用いられた供試体は、掘削直後の土塊を自然含水比(採取時含水比)状態のまま成型しており、その物理諸量は表IV-3-1に示してある。

表IV-3-1 試料の物理的性質 (from 新城, 1971)

試料	採取地	比重	粒度組成 (%)			液性限界 (%)	塑性限界 (%)	自然含水比 (%)
			粘土分	シルト分	砂分			
A	豊見城村翁長	2.78	52	43	5	62	26	20~24
B	沖縄市 泡瀬	2.77	75	25	-	69	19	19~23
C	南風原村	2.78	72	28	-	60	19	23~26

(注) 飽和度は 90~100%

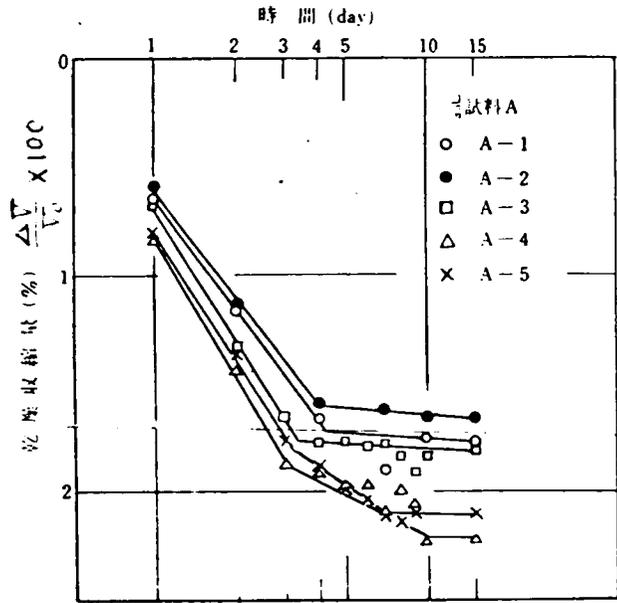
イ) 乾燥収縮について

供試体 (4 cm 立方体) を自然含水比状態から、室内気乾させた結果、含水比が減少し、それにつれて収縮をおこした。

その一例を図IV-3-1に示してあるが、はじめ3~4日で急激な体積変化をおこし、あとはゆるやかにになり、2週間ほどで一定の体積におちつくことがわかる。最終的に収縮量は2%前後で、その時の含水比は各試料とも5%前後となっている。

この収縮のメカニズムは土の表面から水分が蒸発し、メニスカ

スが発達することによって張力が増加し、その結果圧縮が生じる<sup>25)</sup>と説明できるが本泥岩(土)のコンシステンシー限界上の収縮限界がほゞ20%前後であることを、この場合、考慮に入れる必要がある。

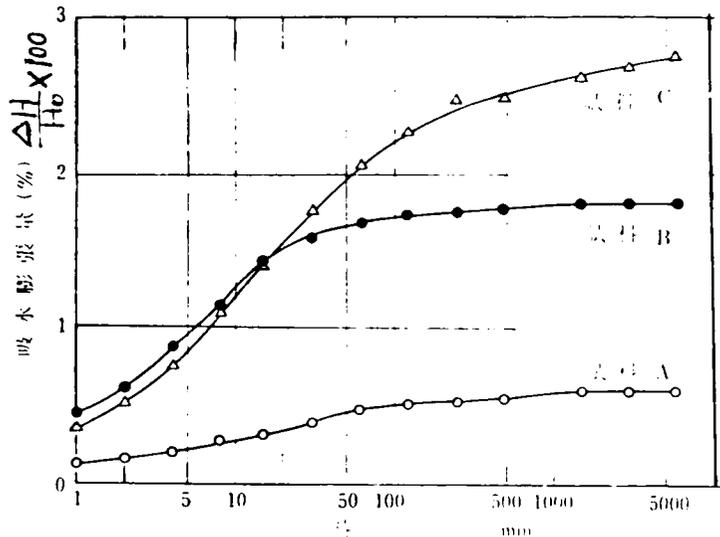


図IV-3-1 収縮量～時間曲線 (新城 1971)

ロ) 膨潤について

先ず、供試体 (4 cm 立方体) を自然含水比状態で急速に水浸させた場合はスレーキングを生じなかったが、供試体を空気乾燥させて水浸させたら激しくスレーキングをおこしてただちに崩壊した。さらに同一供試体について空気乾燥と水浸 (各々

72時間) のくり返しを行なうとサイクルを増すことによって細粒分の量が増加し、細片化がすすむことがわかった。したがって、自然地山の泥岩層が、大気にさらされ、乾湿の影響を受けると、塊は細片化し、粘土化し、強度が激減 (風化) することが考えられる。



図IV-3-2 膨張量～時間曲線 (新城 1971)

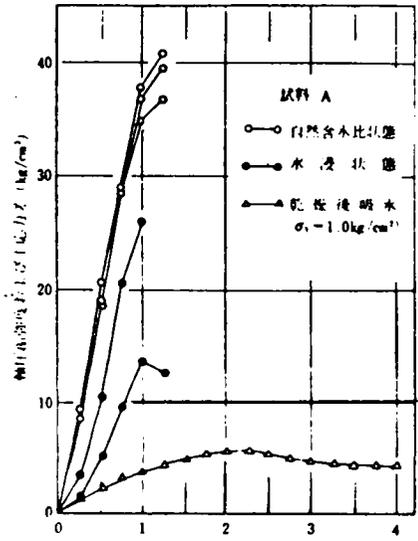
一方、自然含水比状態の泥岩がスレーキングをおこさなくとも吸水膨張をおこすことは当然考えられる。こゝでは供試体（直径 6 cm，厚さ 2 cm）を圧密リングを利用して側方拘束，鉛直方向への膨張量を測定した結果を図-IV-3-2 に示してある。この図から，泥岩の分布地によって膨張量にちがいはあるが，何れも 1～3%の膨潤をおこし，かつ，圧密一時間曲線と類似の形をなしている。以上のことから，自然含水比状態でも，本泥岩は水浸によって膨潤をおこし，したがって密度の減少がもたらされ，力学的特性に何らかの悪影響を与えるものと考えなければならない。

#### ハ) 一軸圧縮強度について

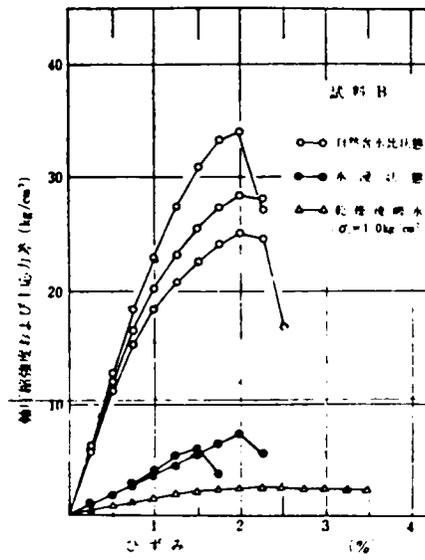
泥岩の環境条件の変化の力学的特性への影響を調べるため，一軸圧縮試験を行っている。供試体は自然含水比状態で，直径 3.5 cm，高さ 8 cm の円柱状に成形し ①自然含水比状態， ②成形後 7 日間水浸し，膨潤させた状態および， ③成形後空気乾燥させそれをメンブランで包み，三軸セル内で 24 時間吸水させた状態（そのまゝではスレーキングをおこし強度を期待できないので，測圧 1 Kg/cm<sup>2</sup> の下で圧密非排水試験を行い，主応力差をもって前二者と比較する方法を講じている<sup>26)</sup>）で比較検討した。これらの結果を図-IV-3-3 に示す。図から各試料とも自然含水比および水浸状態の強度（1%歪制御）にバラツキはあるが，同一試料については，最大強度はほぼ同ひずみのところで生じている。また，試料が異なるとその応力-ひずみ曲線も異なり，同じ島尻層泥岩と言っても分布地（または採取環境）によって強さ特性にちがいのあることがわかる。

さらに，自然含水比状態にくらべて水浸状態の一軸圧縮強度はかなり低下（約 50%以下）し，そのピーク強度の生ずるひずみも小さい。水浸供試体の膨張量に対して，強度の低下の程度を示したのが図-IV-3-4 で，これから，水浸強度の減少は，主として吸水膨張によるもので，0.5%というわずかな膨張量で強度は 50%に，以下膨張量の増ととも強度低下の傾向がみられる。水浸強度の減少が吸水膨張によるものとしても，その破壊時のひずみが小さいことから，泥岩の膨張は単に粒子間ゲキの広がりが生ずるとだけ言えず，泥岩の透水係数が  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  cm/sec. であることとあわせ考えると，ヘアークラックへの浸透水影響についても考えなければならない。

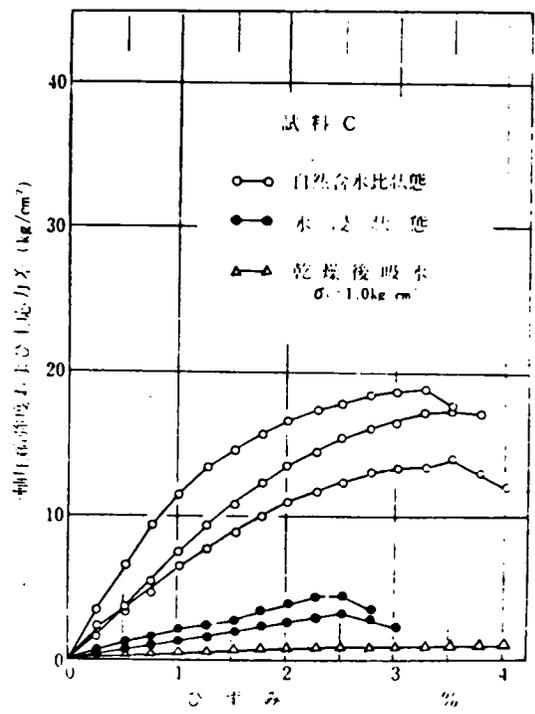
同一試料について含水比と圧縮強度の関係を調べたのが図-IV-3-5 であり，わずかな含水比の増によっても，泥岩の強度の低下は大きいことがわかる。



応力～ひずみ曲線 (試料 A)



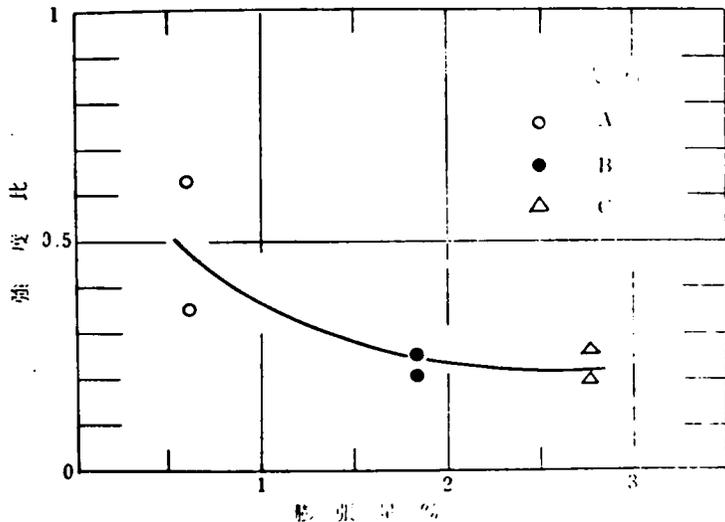
応力～ひずみ曲線 (試料 B)



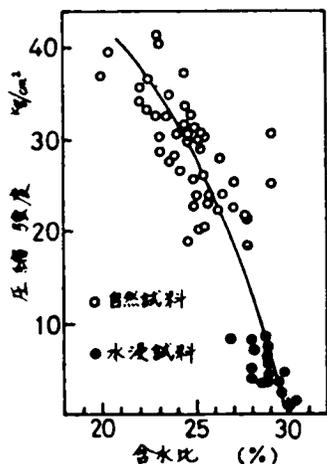
応力～ひずみ曲線 (試料 C)

図 IV-3-3 泥岩(土)の一軸圧縮試験結果の例 (from 新城, 1971)

このことは、中南部各地の泥岩について自然含水比と一軸圧縮強度の関係をとらえた筆者らの資料（後掲）でも含水比の影響は明らかである。また、吸水膨張の項でも述べたが、同様に、水浸（含水比増）による強度の低下は初期含水比（自然含水比）の低いものほど顕著であることも考えておかなければならない。



図IV-3-4 吸水膨張による強度の低下(新城, 1971)



図IV-3-5 泥岩の含水比と強度 (新城, 1971)

一方、前掲図-IV-3-3から、気乾水浸した供試体の応力-歪曲線は、自然含水比状態や水浸状態の場合にくらべて、明確なピークはみられず、鋭敏性の高い本泥岩土の攪乱によるのと同じような効果をもたらしている。（もっとも、スレーキングを生じたまゝでは強度はほとんど失われている）。

ii) 自然（未風化）泥岩の強度特性<sup>23,24)</sup>

イ) 一軸圧縮強度特性について

地山から採取した自然泥岩土塊についての一軸圧縮強度特性については、次のようにまとめられよう。

- ① 一軸圧縮強度は、およそ17～42 Kg/cm<sup>2</sup>（円柱供試体）の範囲にある。但し自然含水比によって変化し、その低いものほど強度は大きくなる。
- ② 円柱型供試体の破壊形式は、ぜい性破壊に属するものと考えられ、くさび型（Cone形）の破断面から破壊を生ずる。たゞ供試体中に含まれる構造的性質によって、上下のConeの干渉があったり、なかったりして（写真2参照）破壊面は外観上種々のタイプがみられる。



写真2. 一軸圧縮試験供試体

なお、供試体寸法は、細長比 ( $H/D$ ) が2前後になるようにした方が望ましい (stable) であるということ)。

③ 一軸圧縮強度と変形係数との間には、高塑性粘土の場合  $E_{50} = 210C_u = 210qu/2$  なる関係がみられる<sup>26)</sup>が自然泥岩の場合には明らかな一次関係は認めがたいことが図IV-3-6からわかる。たゞ水浸泥岩も含めて考えると一軸圧縮強度の増加に伴ない変形係数は大きくなる傾向にある。このことは、本泥岩のキレツ性構造も関係して一軸圧縮強度の特質と言えるかもしれない。

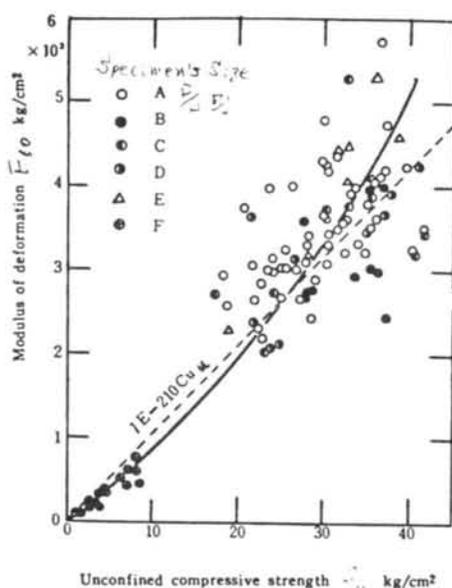
なお、本泥岩の場合静的弾性係数は変形係数の1~1.25倍になるようである。

ロ) 三軸圧縮強度特性について  
未風化泥岩ブロックサンプル(西原村)を直径5cm、高さ10cmの円柱に成形し供試体とした。供試体の物理諸量は表IV-3-2に示すとおりである。

表IV-3-2 物理諸量(新城)

比重 $G_s$	2.78~2.79
自然含水比 $w$	22 ~ 24 %
湿潤密度 $\gamma_t$	2.00~2.10 $t/m^3$
間ゲキ比 $e$	0.60~0.70
飽和度 $S_r$	95 ~ 100

実験は、非圧密非排水セン断、圧密非排水および排水セン断試験を行ない、後二者については back pressure

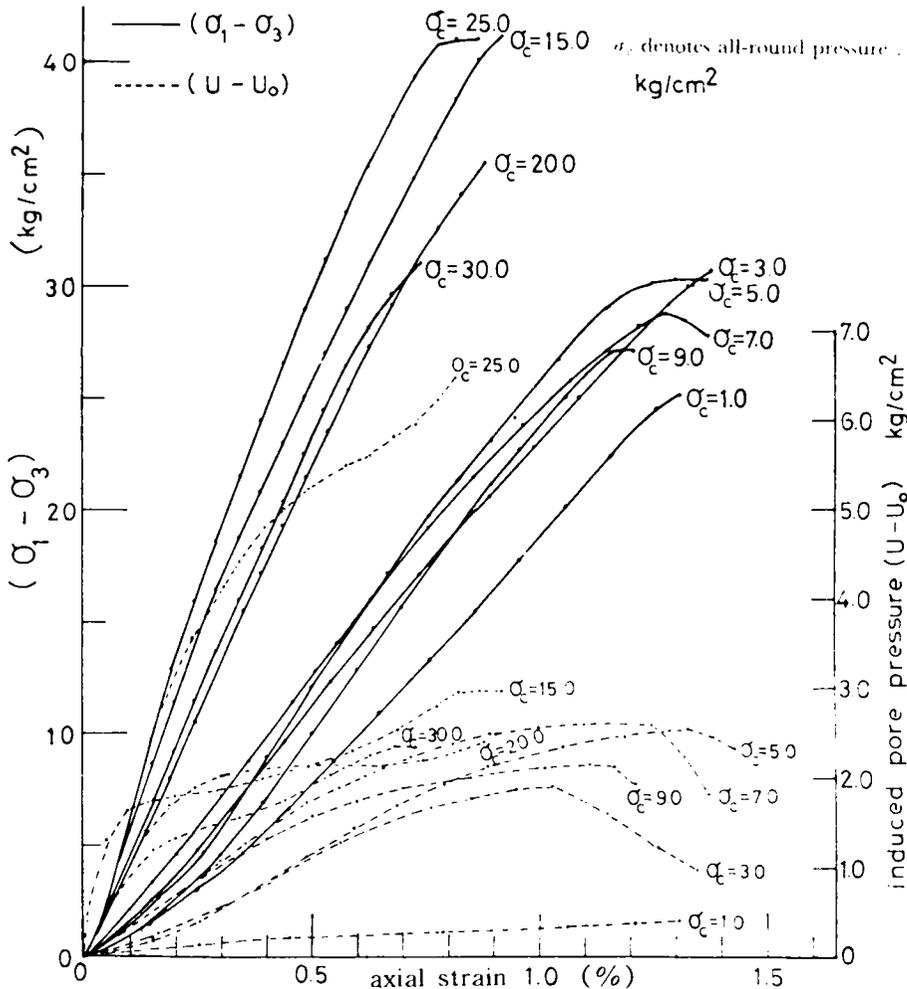


図IV-3-6 一軸圧縮強度と変形係数との関係(新城, 1972)

として  $3.0 \text{ Kg/cm}^2$  を作用させている。24)

○非圧密非排水せん断試験について

側圧を  $1.0 \sim 30.0 \text{ Kg/cm}^2$  まで数段階について作用させ、主応力差と軸ひずみおよびせん断による発生間ゲキ水圧と軸ひずみの関係を調べている。その結果応力-ひずみ関係はほぼ直線的に変化し、その後塑性的な変化を示しながら最大応力に達している。その際、最大応力に達した直後瞬時的に破壊するか、急速に応力減をもたらす場合とがある。この代表例を図IV-3-7に示す。せん断による発生間ゲキ水圧は、最大主応力差と同時かまたはわずかに先行して最大に達する傾向にあり、その後は急速に減少する。さらに側圧の増加による強度増加は見られず、このことは、試料が飽和しており側圧の作用による有効応力の増加が期待できないことを示している。しかし、この試料は、飽和状態で平均  $3.0 \text{ Kg/cm}^2$  のサクシオンを有し、それと主応力差 (max) の関係からサクシオンの増加に伴い有効応力も増加し、強度が増加することがわかる。

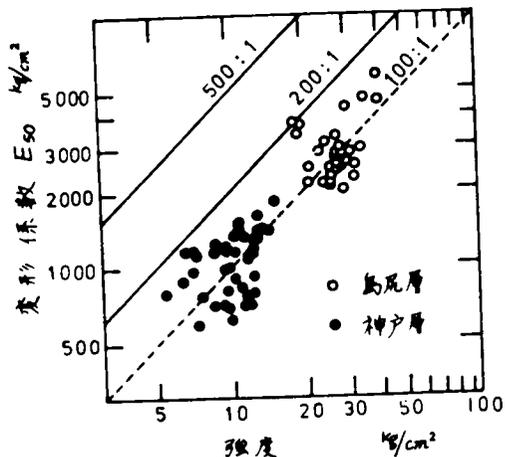


図IV-3-7 非排水試験結果 (赤井, 足立, 新城 昭48)

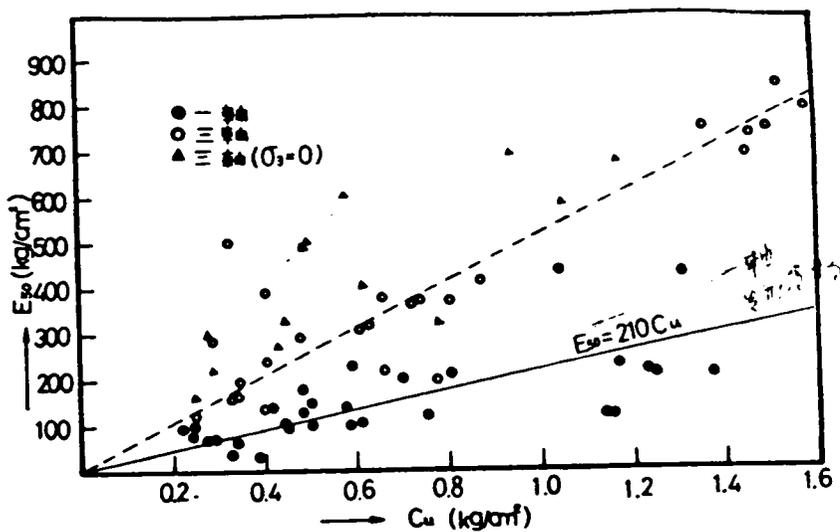
島尻層泥岩土について、変形係数  $E_{50}$ （定義によれば1軸圧縮強度の応力-ひずみ曲線から得られるが、こゝで側圧による強度の増がないので主応力差  $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$  -ひずみ曲線を利用している）と強度の関係を調べると、強度は平均値  $30 \text{ Kg/cm}^2$ 、 $E_{50} = 3 \times 10 \text{ Kg/cm}^2$  で、その比は  $100 : 1$  であり、竹中による  $E = 210 C_u$  に近い値を示している（図IV-3-8参照）。

たゞ山田ら<sup>26)</sup>によれば、供試体に何れも先に圧密をかけているが、一軸圧縮試験では  $E_{50} = 210 C_u$  となり、三軸圧縮試験では、 $E_{50}$  と  $C_u$  との関係は大きく異なり、一軸圧縮試験の  $E_{50}$  は三軸のを以下になるようで、試験の条件や試験の種類を考慮に入れておく必要がある。

（図IV-3-9参照）



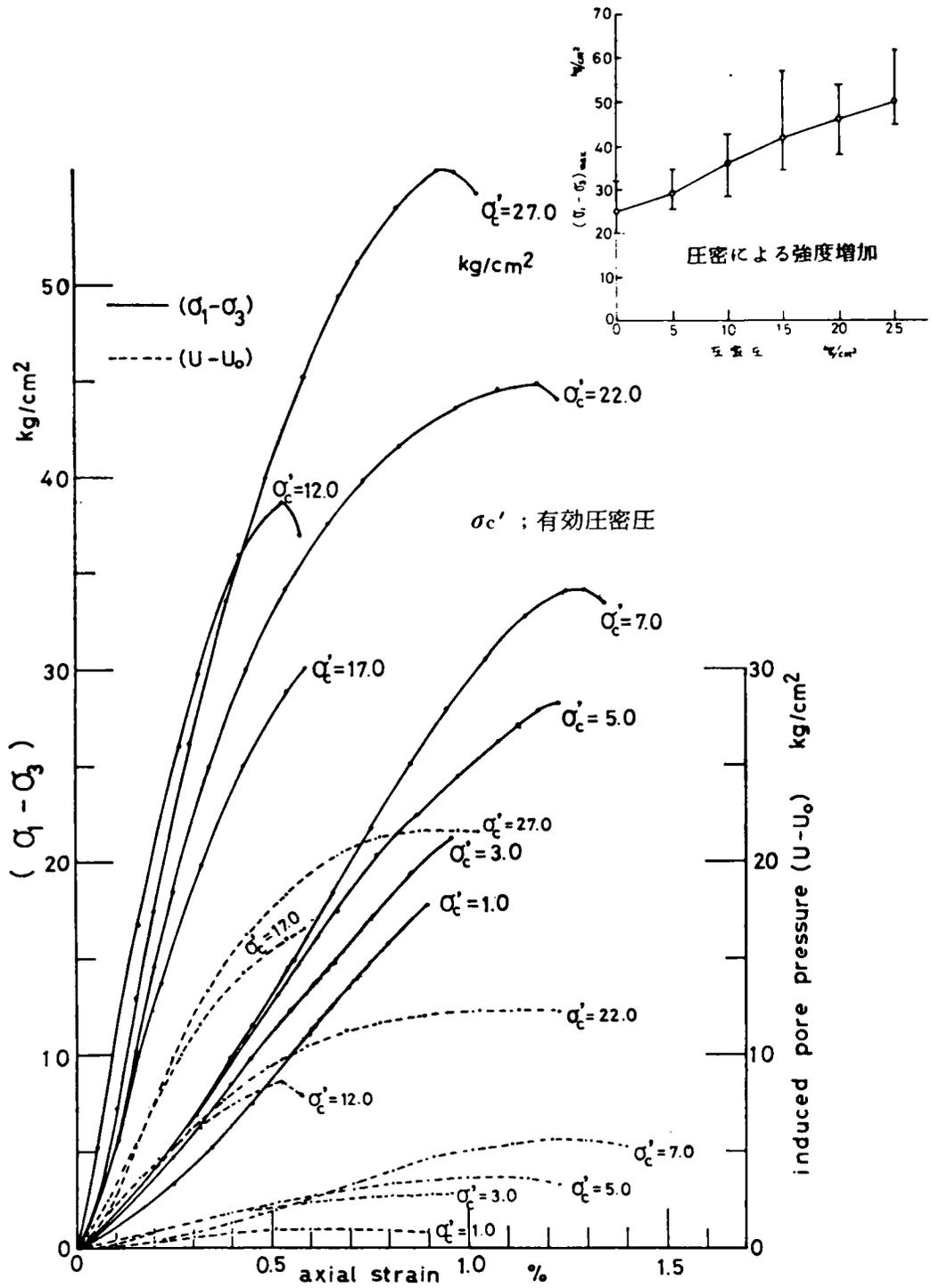
図IV-3-8 岩石の分類（赤井ら，昭48）



図IV-3-9  $E_{50}$  と  $C_u$  の関係（山田，鈴木，昭49）

#### ○圧密非排水セン断試験について

圧密は24時間行なっている（再圧密）が、開始後2～4時間で圧密は終了し、その後、低圧密圧では吸水現象を示している。なお、排水量は  $27.0 \text{ Kg/cm}^2$  で  $4 \text{ cc}$  程度である。



図IV-3-10 圧密-非排水三軸圧縮試験結果の例 (初期バックプレッシャー  $U_b = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ )

(from 赤井ら, 昭48)

試験の結果、応力、間ゲキ水圧～ひずみ関係の代表例が図IV-3-10に示してある。図から、応力-ひずみ関係は非圧密非排水セン断試験の場合と同じ傾向を示しているが圧密圧  $\sigma'_c$  の増加に伴い強度の増加が認められる

セン断による発生間ゲキ水圧は、常に正を示し、そのピークは最大主応力差と同時に起こっている。しかし同一圧密圧において最大主応力差および間ゲキ水圧の値にかなりの差のある場合があって、この状況を有効応力径路で描いてみると(図IV-3-11参照)同一圧密圧において全く異なった応力径路をたどって破壊に至っていることがわかった。このことは、間ゲキ水圧の発生状況が、供試体の方向性によって異なることを意味している。

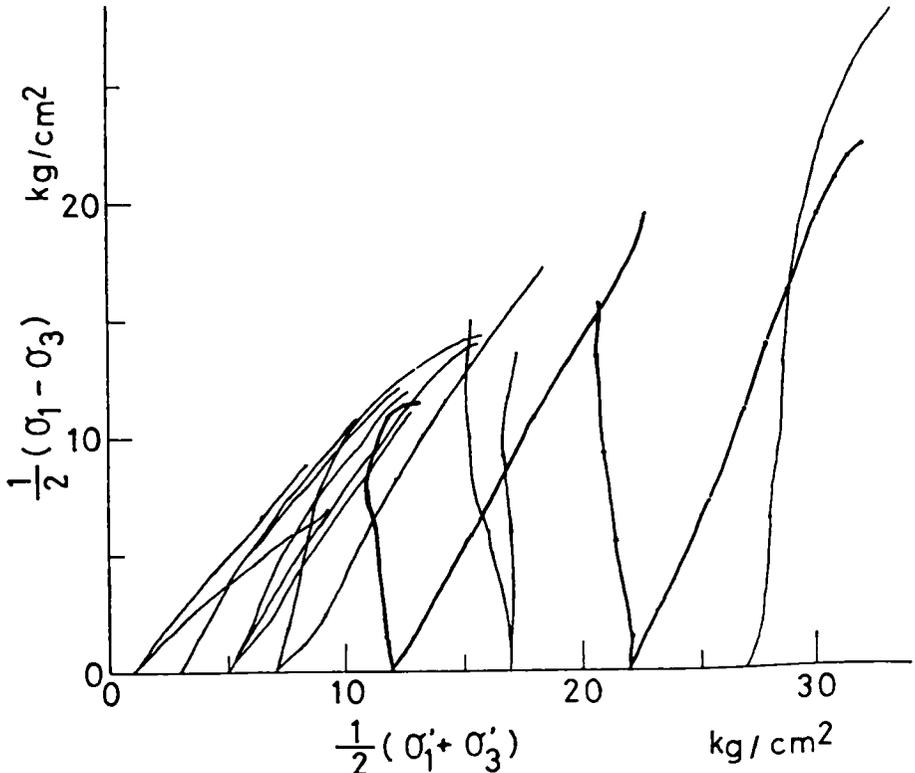
非圧密非排水セン断試験において、泥岩供試体はサクシオンを有し、その大きさが強度に影響を及ぼすことがわかったが、ここで、initial back pressureの大きさが主応力差に及ぼす影響を調べている(図IV-3-12参照)。この図からback pressureが低い間(0~2.0 Kg/cm<sup>2</sup>)は、それが増加するに従って最大主応力差は減少するが、3.0 Kg/cm<sup>2</sup> 以上になるとほぼ一定値を示し、影響を与えないことがわかる。

これらのことから試料のサクシオンを解消し、正確な有効応力を求めるにはinitial back pressureを3.0 Kg/cm<sup>2</sup> 以上、24時間少なくとも作用させる必要がある。

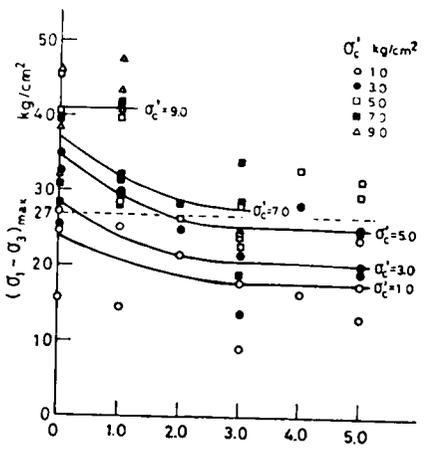
また圧密圧( $\sigma'_c$ )が5.0 Kg/cm<sup>2</sup> 以下では、吸水により膨潤し、非圧密非排水強度より小さくなっており、圧密圧が小さいほどその強度は低下している。この強度低下は、吸水により有効拘束圧としてのサクシオンが消滅し、含水比の増加に伴い膨潤が生じたことによるものと考えられている。このことは、自然地山において切取りまたは掘削によって地山の応力が解放されると、それに伴いサクシオンが増加し、水により膨潤が促進され、地山の強度低下をもたらすことを意味している。

さらに赤井らは、応力径路の傾向から、島尻層泥岩は実験を行なった圧密圧27.0 Kg/cm<sup>2</sup> 以下では過圧密領域にあり、先行圧密圧は30Kg/cm<sup>2</sup> 以上の値であると推定している。また、London Clayと対比させて、過圧密領域における間ゲキ水圧は方向性の影響を受けること、静止土圧係数  $k_0$  を推定し1以上とみて、原地盤内で鉛直方向より水平方向に圧密を受けていること、など報じている。このことから、方向性が強度に影響を及ぼすものと考えている。

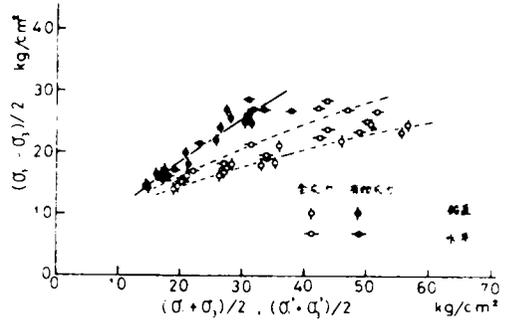
また、最大セン断応力と平均主応力との関係を全応力および有効応力で表示したのが図IV-3-13であるが、これにより全応力による強度定数  $C/\phi$  は方向性の影響を受けるが、有効応力による強度定数  $C'/\phi'$  は方向性の影響を受けないことがわかる。このことから、図IV-3-14のような関係を示し、Mohrの破壊基準が適用されることを明らかにしている。



図IV-3-11 圧密非排水試験の応力径路 ( $U_b = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$ )

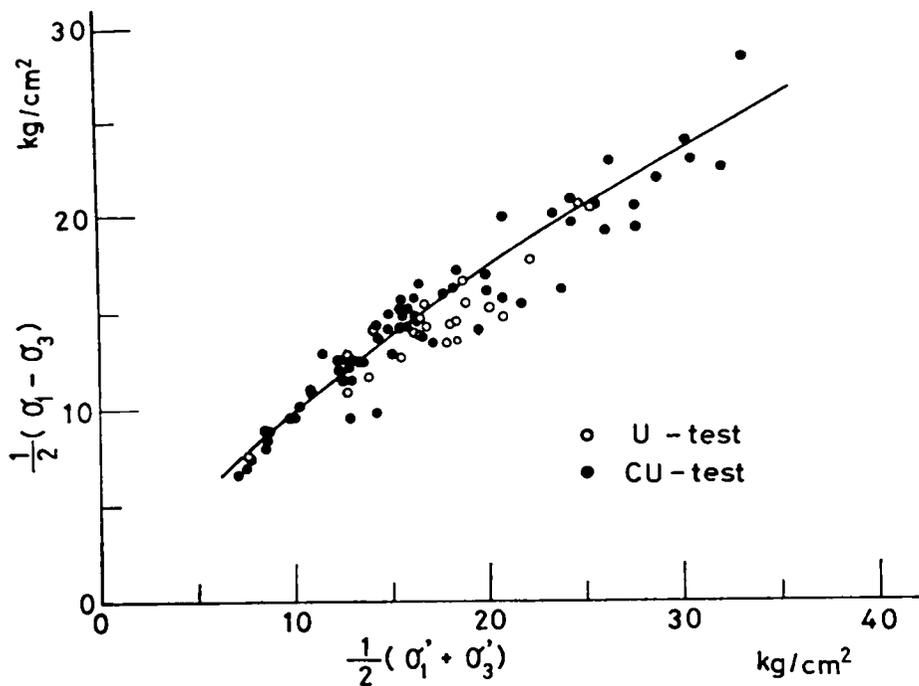


図IV-3-12 CU 試験における最大主応力差に与える初期バックプレッシャーの影響 (非排水テストの強さ平均値は  $27.0 \text{ Kg/cm}^2$ )

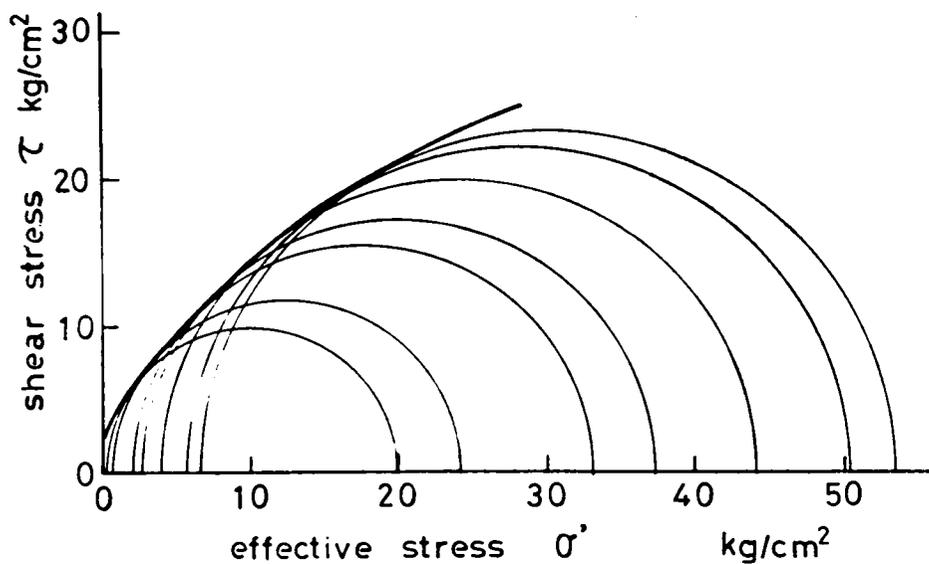


図IV 図IV-3-13 破壊時の応力状態

注) 上図はいずれも赤井, 足立, 新城, 昭48より引用している。



a) Relationship between  $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$  and  $(\sigma_1' + \sigma_3')/2$  for both undrained tests and consolidated-undrained tests.



b) Mohr's failure envelope.

図IV-3-14 破壊基準についての検討結果(赤井ら, 昭48)

○排水セン断試験について

試料は前二者と同一のものであるが、本試験では、方向を確認し、鉛直方向の供試体(5cm×10cm)を作製している。試験は圧密圧1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25 Kg/cm<sup>2</sup>で再圧密した後、排水セン断を行なっている。なお、圧密はback pressure 3 Kg/cm<sup>2</sup>を24時間かけ、セン断中も作用させている。

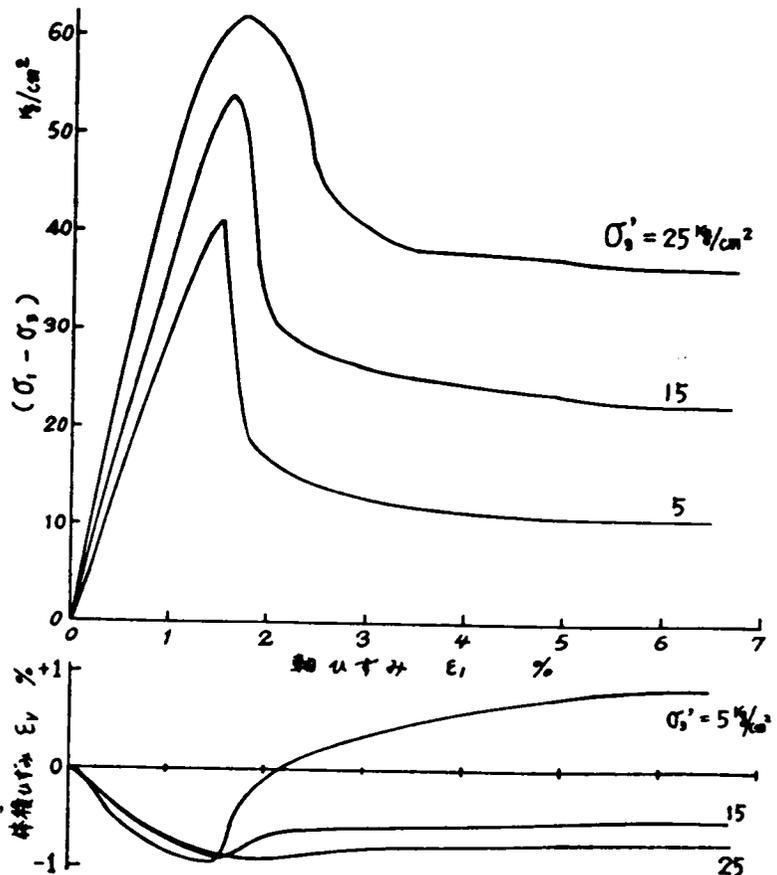
試験の結果、応力、体積ひずみ～軸ひずみ関係を図IV-3-15に例示してある。図からピーク強度は側圧の増加に伴い増大することがわかり、これは有効応力の増大によるものである。また、側圧の増加につれて破壊時ひずみはわずかながら大きくなり、側圧の小さい時の破壊の様相はピークから急激な強度減をもたらしいわゆるfracture的性状を示している。そのあと終局強度は、ほぼ一定値に近づき、残留強度と目されるものになっている。また、体積ひずみは軸ひずみの増加とともに減少(排水)し、破壊時において最小値を示し、このことは、圧密非排水試験における正の間ゲキ水圧発生と一致している。

ピーク強度時の体積ひずみは側圧にかかわらず、ほぼ一致しているが、残留強度時はかなり変化をみせている。

ただし、側圧が25Kg/cm<sup>2</sup>以上になるとピーク強度時の体積ひずみに近づいていくようである。

図IV-3-16には、破壊面におけるセン断応力と有効鉛直応力との関係をピーク強度と残留強度とを対比して示してある。図から、ピーク強度の破壊包絡線は曲線を示し、強度定数は低圧における $\phi_D = 55^\circ$

から高圧における $\phi_D = 18^\circ$ に変化している。一方、残留強度の包絡線は直線で示され、得られた強度定数は $C_r = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $\phi_r = 23^\circ$ である。

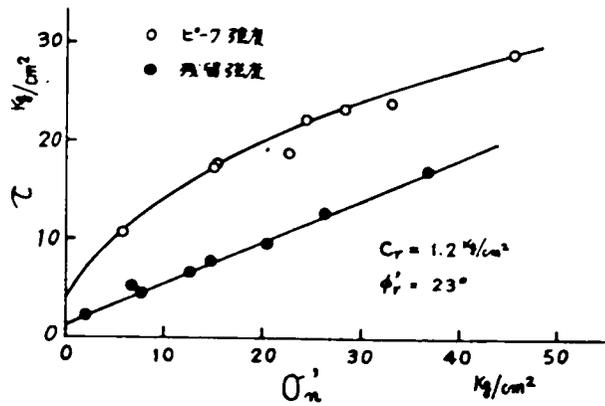


図IV-3-15 応力・体積歪と軸歪との関係(新城, 昭50)

一般に過圧密粘土の残留強度は、ねり返した粘土の正規圧密状態に関する強度にほぼ等しいと言われ、より高い応力レベルではピーク強度の包絡線と残留強度のそれとは近接することが予想され、島尻層泥岩の力学特性を明らかにするために、今後より高い有効側圧での試験を行なう必要がある<sup>24)</sup>。

このことは、泥岩の堆積過程にも

とづく続成、過圧密および風化などの問題ともかゝり、破壊のメカニズムや強度特性を調べる上で重要な課題である。

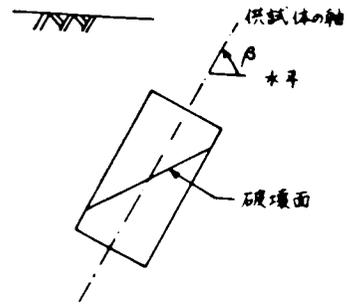


図IV-3-16 破壊包絡線(新城, 昭50)

### ○泥岩の強度異方性について

一般に堆積岩は異方性を示すもので、本泥岩もその堆積構造の複雑なことは、前にも述べたことで、当然のことながら、強度特性を考える場合にその異方性が問題となる。

図IV-3-17に示すように、供試体軸方向が水平に対し、 $\beta$ なる角度となるよう成形し、 $\beta$ を変化させて圧縮試験を行なっている。試験は圧密非排水セン断を行ない、方法は前述の場合と同様である。また、軸方向に対する一軸圧縮試験も行なって比較検討している。



図IV-3-17

供試体の向き(新城, 昭49)

図IV-3-18に応力および発生間ゲキ水圧～軸ひずみの関係を例示してあるが、供試体方向によって強度、破壊時のひずみは異なっている。

また、間ゲキ水圧のピークは破壊ひずみより小さいひずみで生じ、供試体方向によって発生量も異なる傾向を示している。なお、破壊面は、供試体方向にかゝらず最大主応力作用面に対して60°～70°であったといわれる。

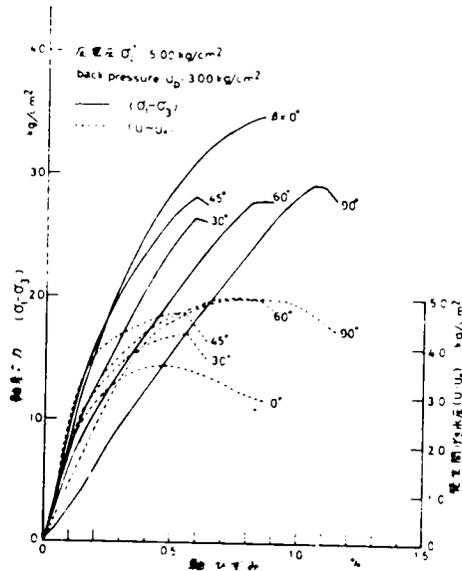
図IV-3-19は、鉛直方向供試体の強度を基準にした場合の強度比(平均値の)を各 $\beta$ に対して示したものである。一軸圧縮強度は鉛直供試体において最大で、 $\beta$ の減少に伴い低下し、30°, 0°(水平供試体)において80%程度に減少している。圧密非排水試験の場合、鉛直供試体にくらべ $\beta=30^\circ\sim 45^\circ$ で10%減少し、逆に水平供試体において10%程増加している。また、破壊時のひずみは $\beta=30^\circ$ において最小を、変形係数は逆に $\beta=30^\circ$ において最大を示し、本泥岩は強度、変形とも異方性を示すことが明らか

かなようである。

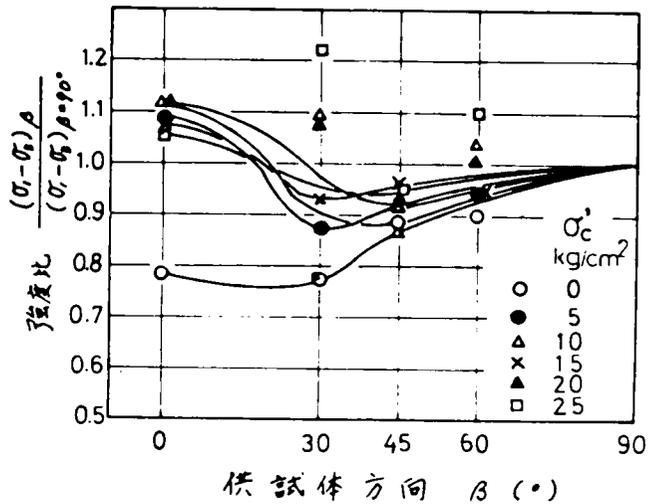
図IV-3-20は再圧密圧 $10 \text{ Kg/cm}^2$ と $20 \text{ Kg/cm}^2$ のときの有効応力経路を示したものであり、異なった径路をたどって破壊に至ることがわかる。これは間ゲキ水圧の発生状況が供試体方向によって異なることを示しており、方向性の影響を受けることがわかる。なお、London clayを用いてのSkemptonらの間ゲキ圧係数 $A_f$ と再圧密圧との関係を適用して、鉛直および水平方向の供試体の場合を検討した結果からも方向性によって $A_f$ も異なった値を示すようである。他方、先にも述べたことだが、有効応力による強度定数 $C'$ 、 $\phi'$ 方向性にあまり影響されないことがわかっている。

### むすび

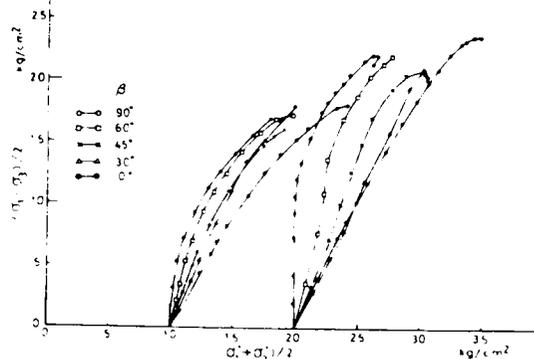
島尻層泥岩は高度の過圧密粘土でありその堆積構造が複雑であるために、その異方性によって強度特性があり左右されることと、対水挙動（吸水膨張、乾燥収縮、スレーキング現象）が特異であり、したがって乾湿くり返しに伴う風化の進行と強度特性との関連においても検討されなければならないことなど、地すべり・崩壊の解析およびその対策を考える上で、さらに調査研究をすすめる必要がある。一方、実際のすべり・破壊などの検討の場合、前章



図IV-3-18 応力、発生間げき水圧～ひずみ関係



図IV-3-19 供試体の方向による強度変化



図IV-3-20 有効応力経路（新城，昭49）

でも用いているが、安全率を1として、逆算して強度定数 $C'$ 、 $\phi'$ を決めてかゝるやり方も採用されている実情ともあわせ考え、さらに非排水せん断破壊とするか、排水せん断破壊とするか、およびピーク時の強度定数を用いるか、残留強度による強度定数を用いるかなど島尻層泥岩におけるこれら問題の位置づけを行なう必要がある。

### iii) 補遺

以上、主として新城の研究成果に基づいて論じたが、こゝに、筆者らのまとめた関係資料を提示して島尻層泥岩の工学的特性の検討の一助としたい。

本資料は学内外の諸調査資料に基づいてまとめたもので、各試験方法は、通常においてなされる方法に準じているものとして採用している。なお、本データは、島尻層中の与那原層泥岩土に属するもので、準風化層から未風化層に至る深度を対象としている。

#### イ) 自然含水比と現位置物理量との関係について

図IV-3-21に自然含水比と湿潤単位体積重量、間ゲキ比との関係を示す。未風化層の自然含水比は、一般に25%前後とみるのが妥当であるが、浸透水によって風化が進行している場合は含水比が相当程度に増加し、したがって地表面下には様々な状態で存在することに注意する必要がある。自然密度はその含水比によって変化し

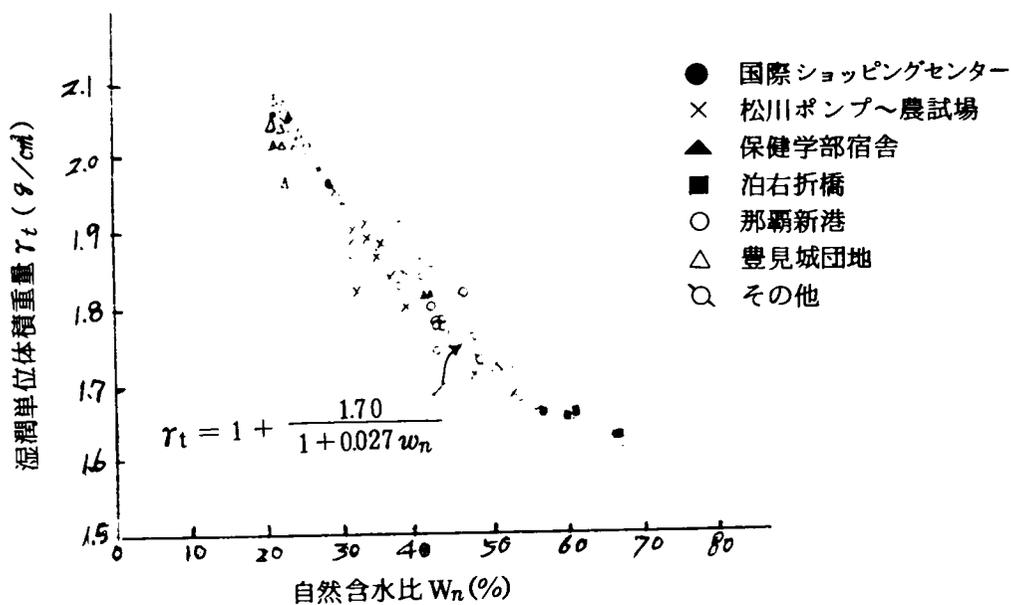
$$\gamma_t = 1 + \frac{1.70}{1 + 0.027 w_n} \text{ の関係が与えられ、例えば、未風化泥岩の } w_n = 22 \sim$$

24%に対する  $\gamma_t = 2.00 \sim 2.10 \text{ t/m}^3$  (先にあげた新城の試料の例)も確認できる。また、自然間ゲキ比との関係は  $e_n = 0.027 w_n$  で与えられ、未風化泥岩の間ゲキ比が0.6~0.7であることが確認できよう。

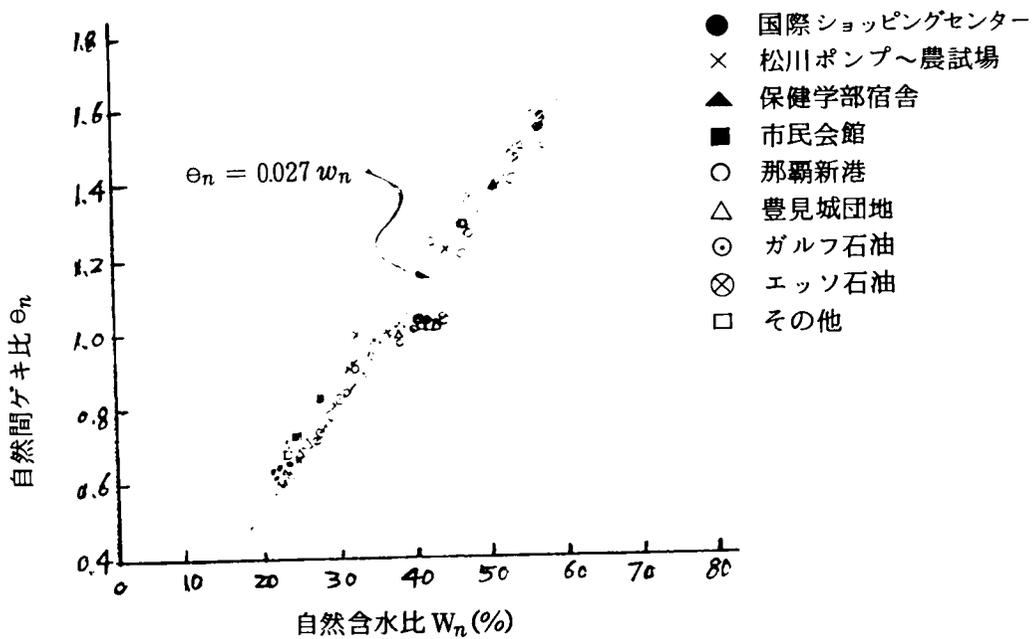
#### ロ) 力学特性について

○自然含水比と一軸圧縮強度との関係は、図IV-3-22に示されるように、含水比の増加に伴って減少する傾向にあることが、自然地盤状態でも確認され、風化がかなり進行している泥岩層は自然含水比が40~60%にも増加していて、強度も激減していることは注意しておかなければならない。

○N値と湿潤密度、粘着力との関係を図IV-3-23に示してあるが、湿潤密度が大きい(1.9~2.1 g/cm<sup>3</sup>)場合、バラツキはあるが、密度のわずかなちがいはよってもN値がかなりの変化(増)を示す傾向がうかがわれ、これを未風化層とみても、N値は20~80の範囲にあってCase by case 的取扱いをせねばならないことになる。なお、図からN値がほゞ15以下の場合、自然含水比~湿潤密度の関係を考慮に入れて、 $w_n > 30\%$ 、 $\gamma_t < 1.9 \text{ t/m}^3$  とみて、準風化泥岩として取扱うべ

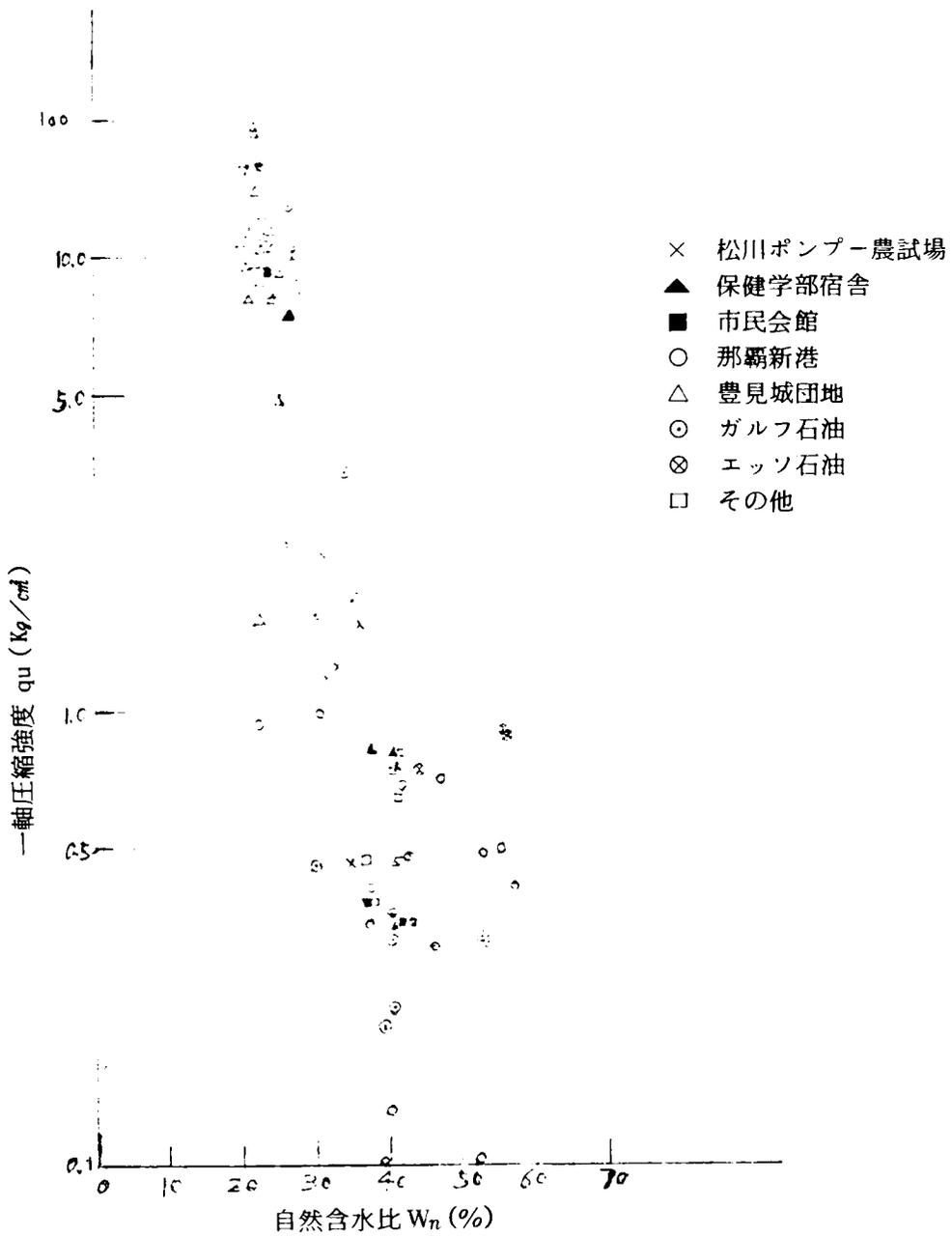


a) 自然含水比—湿潤単位体積重量の関係

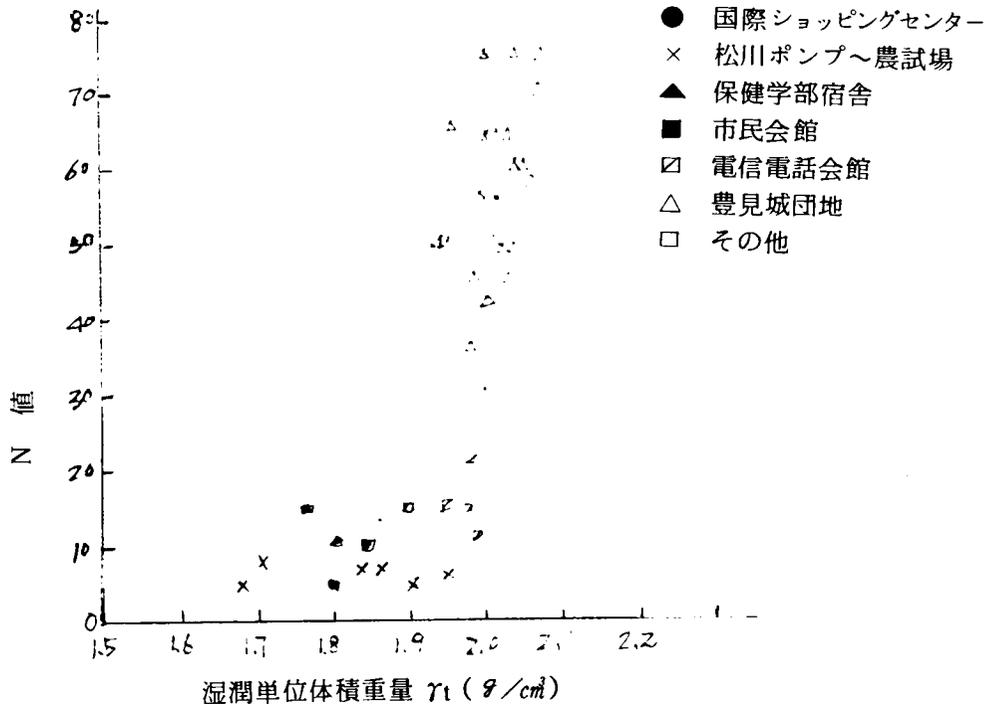


b) 自然含水比—自然間ゲキ比の関係

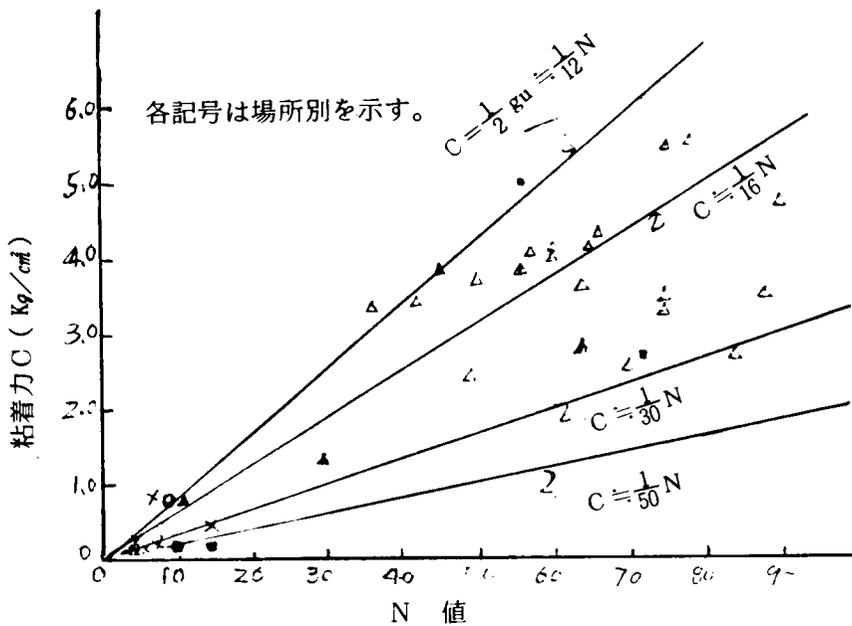
図IV-3-21 自然含水比と密度，間げき比との関係



図IV-3-22 自然含水比と一軸圧縮強度との関係

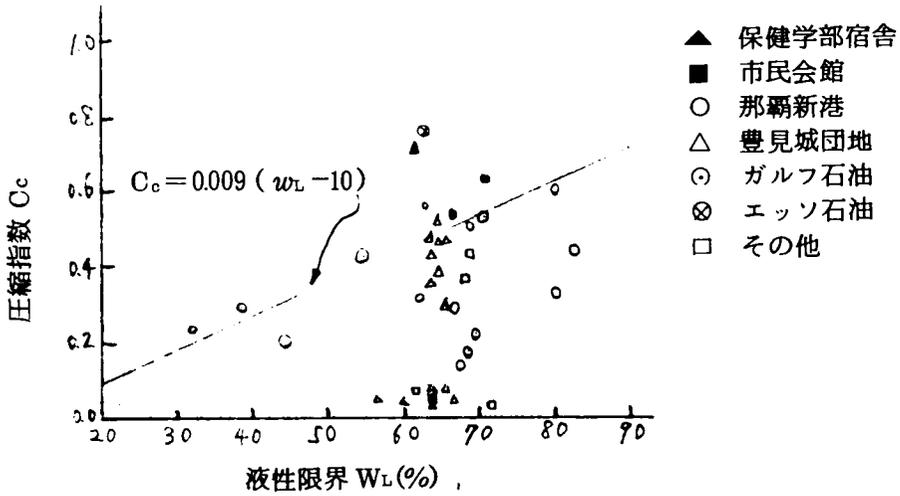


a) 標準貫入試験N値と湿潤密度との関係

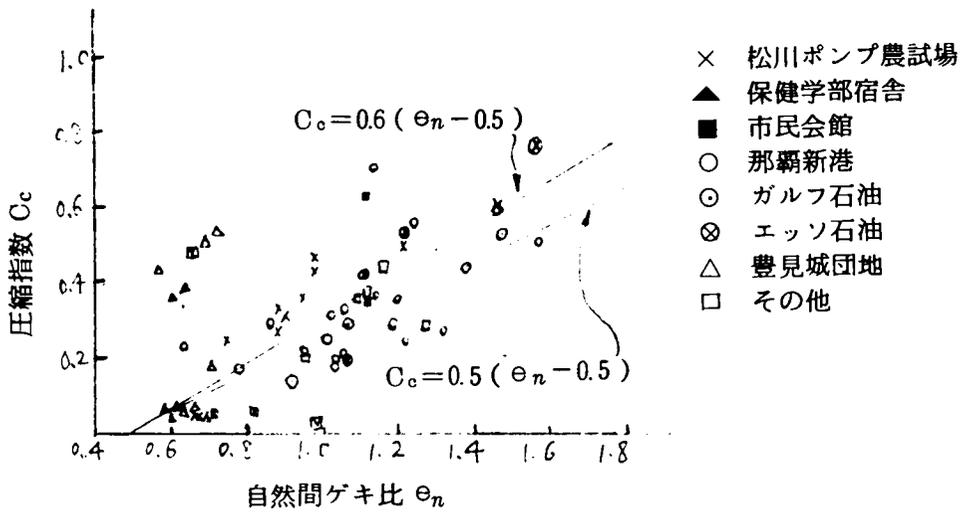


b) 標準貫入試験N値と粘着力との関係

図IV-3-23 標準貫入試験結果と他諸量との相関性



a) 液性限界—圧縮指数の関係



b) 自然間ゲキ比—圧縮指数の関係

図IV-3-24 圧縮指数と他諸量との相関性

きであると考え。一方、N値とC(≒ $\frac{1}{2}$ qu)との関係は、

$$C = \frac{1}{30} N \sim \frac{1}{12} N \quad q_u = \frac{1}{15} N \sim \frac{1}{6} N$$

で推定され、新城の新鮮な泥岩の一軸圧縮強度  $17 \sim 42 \text{ Kg/cm}^2$  に対するN値は極端に大きいものとなり、サンプリングおよび試験法(室内試験)と現位置強度(間接的に測定するセン断強度ではあるが)との関係から、安定解析等を考えるうえで検討の必要があると考える。ただし、標準貫入試験の現場では30cm貫入に対するN値は到底困難なケースも多く実際5cm~15cmのN値をとって、判断を下しているの、未風化で新鮮な地中の泥岩のN値については推定以上のものがあることも考慮に入れなければならない。

○圧縮指数について、液性限界および間ゲキ比との関係をプロットしたのが図IV-3-24である。新鮮な泥岩は、先に先行圧密圧が $30 \text{ Kg/cm}^2$ 以上であろうと推定した経緯からもわかるように、圧密があまり進行しないものとする。しかし、やゝ風化のすゝんだ泥岩については膨張による間ゲキ比の増加および含水比の増大に伴って圧密はかなり進行するものと考えなければならない。図の間ゲキ比は $\geq 1.0$ 以上、自然含水比30%以上のプロットがそれに相当するものと考えられるが、過圧密、風化といった過程の故か、明確な相関性はみられない。

#### ハ) 化学的特性について

化学的特性については、地すべり・崩壊のところでも若干述べたが、化学組成、PH、塩分含有量などに関して調べてみた。しかし、このことについては、まだ十分な検討資料を得ていないのであとの島尻層砂岩土のところにつけ加えて述べることにする。

#### (2) 島尻層砂岩(土)の工学的特性

砂岩(土)は島尻層中において、泥岩(土)に比べて、地表露出(分布)は少ないと言える。しかし、那覇市小祿地区、首里地区、南風原村、北部地区、浦添市経塚、伊祖地区、沖縄市比屋根、泡瀬地区などではかなりの範囲の地山が見受けられ、また、泥岩(土)との互層または薄層としても存在し、地すべり・崩壊との関連において問題とされることがある。こゝでは、本砂岩(土)の力学特性として、直接セン断試験一軸圧縮試験、透水試験を未攪乱土塊からとったサンプルについて実施した結果と、風化との関連における化学特性試験の結果とについて述べ、地すべり・崩壊に関する諸検討を試みる。

i) 力学的特性について<sup>27)</sup>

○直接セン断試験

砂岩(土)は固結度が高く硬質のもの(砂岩)から、もろくて軟質のもの(写真3参照)までであるが、成形および試験機の都合で今回は中～低程度のもを対象とした。もっとも、すべり・崩壊に関連のあるものは中～低程度の砂岩(土)である。

土塊を採取して、室内で、できるだけ堆積方向に平行になるよう直径6.0cm,厚さ2.0cmに成形し、在来型(下部可動)小型一面セン断試験装置を使って試験を行なった。試験方法はひずみ制御(1分間1mm)方式によって、自然含水比状態と飽和状態、(セン断箱中に供試体をセットして給水し、十分な時間浸水後余分の水を除去した状態)とにおいて試験を行なった。また、鉛直載荷重0.3, 0.5, 0.8, 1.0Kg/cm<sup>2</sup>をかけて非排水条件でセン断(Uテスト)を行なった。

試料土の物理的諸性質は表IV-3-3のとおりで、旧三角座標によればローム、シルト質ローム、砂質ロームと種々の状態にあるが砂質ロームが大勢を占め、かつ最大粒径は何れも0.5mm以下にある。日本統一分類法によれば砂質土(SM)に相当する。直接セン断試験については、その装置および試験方法、操作技術などの影響が問題となるが、本研究に用いた砂岩土が、たとえ同一土塊からとった供試体でも、均質に欠けること、方向性が必ずしも明確でないこともあって、セン断曲線、したがって結果のバラツキは否めないもので、強さ定数は、最小二乗法によって求めた。各供試体についての応力-ひずみ曲線は、その採取地によって、また、垂直荷重の

表IV-3-3 物理的諸数値

比重	自然含水比	乾燥密度	間ゲキ比	飽和度	粒度組成%		
					砂	シルト	粘土
2.64	15 %	1.42 g/cm <sup>3</sup>	0.56	60 %	32	25	5
∫	∫	∫	∫	∫	∫	∫	∫
2.78	26 %	1.76 "	0.86	83 %	70	58	15

大きさによって、その形状はやゝ異なるが、何れも、明確なピークを示しており、かつ、それはセン断変位2mm以内で現われている。図IV-3-25,26に、その代表的例を示してあるが、今回の砂岩土について、大きく二つの型に区分けできる。一つは、セン断をかけると、急速な応力増があり(直線的なものもある)、微小変位でピークに達し、その際小音をたてゝ試験機に衝撃を与えている。その後、セン断応力は、急激に低下して変位の増に伴って横ばい状態を示している。他の一つは、セン断をかけると急速な応力増がみられるが、ピークに近づくにつれてゆるいカーブを描き、

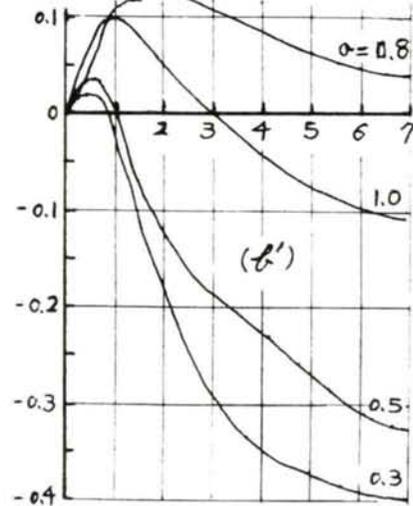
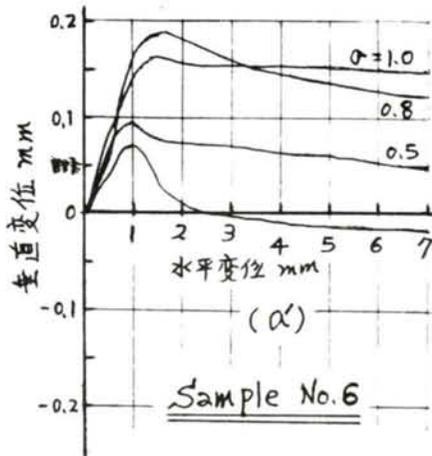
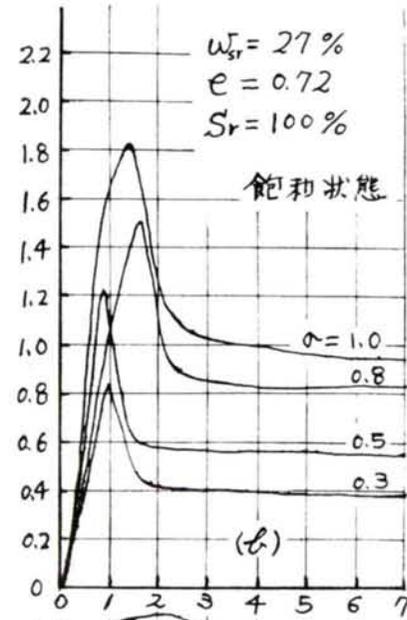
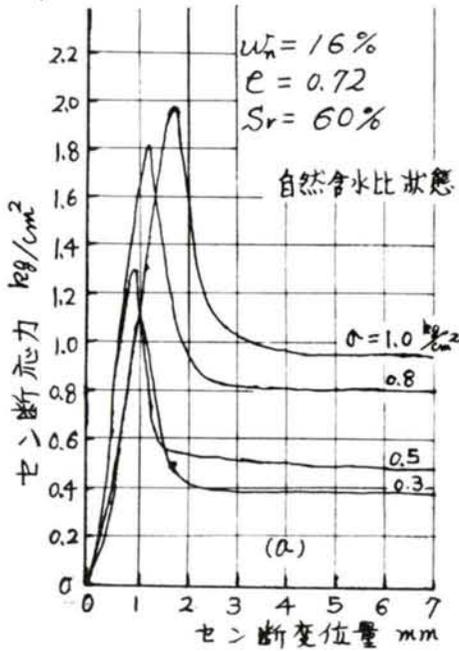


<硬質>

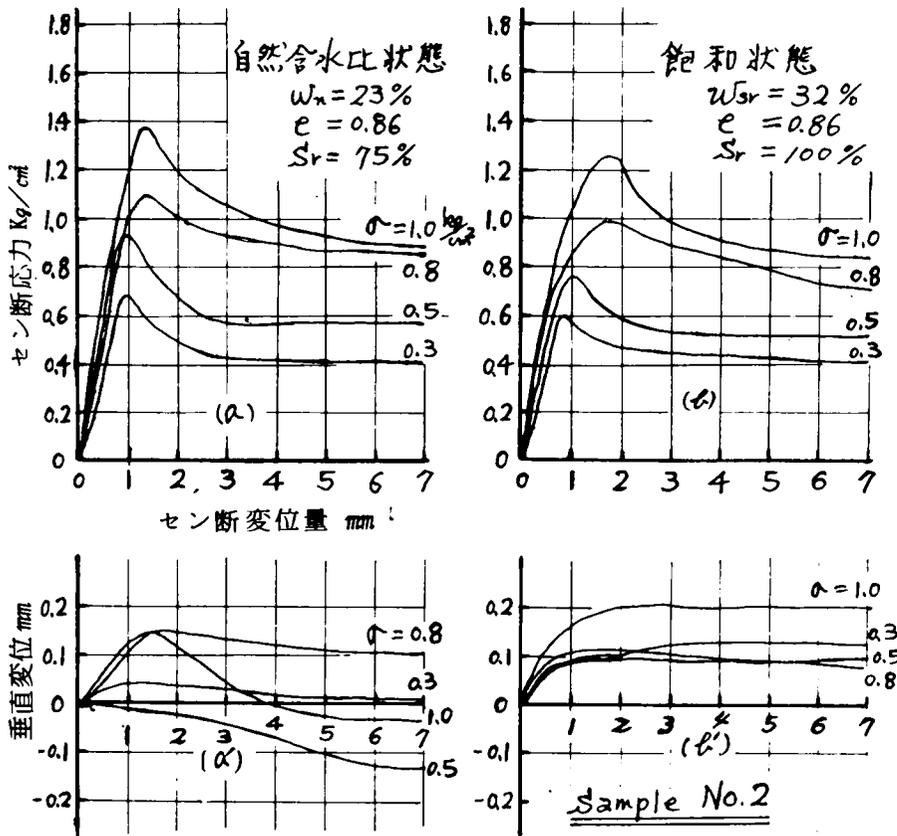


<軟質>

写真3 砂岩(土)



図IV-3-25 セン断応力，垂直変位—水平変位曲線（I型）



図IV-3-26 セン断応力，垂直変位—水平変位曲線（Ⅱ型）

ピーク以後の応力低下もゆるやかなものになっている。前者をⅠ型，後者をⅡ型とよび，9件のうち，Sample No. 1, 4, 6, 7, 8, 9はⅠ型，2, 3, 5がⅡ型を示した。これらのちがいについては，粒度組成，間ゲキ比，構造，自然含水比および風化の程度（固結度）などの諸要素が関係するものと思われるが，これらをまとめて，およそその比較を示したのが，表IV-3-4である。また，含水比の増加によって，図IV-3-27のように，せん断曲線がゆるやかになるので，浸水，風化の問題とあわせて考える必要がある。試験結果から，せん断抵抗角は，今回の砂岩土の場合，自然含水比で $36^\circ \sim 61^\circ$ 飽和状態で $33^\circ \sim 56^\circ$ と概して大きくでている（図IV-3-28）。これは，装置，方法などのほかに，粒子間のセメンテーションが作用して，<sup>28)</sup>一般の砂の内部マサツ角とは別に考えるべきで，そのせん断破壊面の観察からも，破壊機構の複雑さがうかがわれる（写真-4）

表IV-3-4 比較表

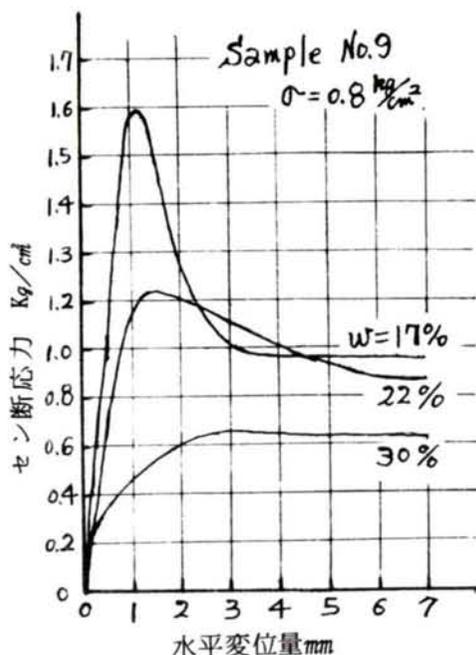
	I 型	II 型
粒度組成	II型より砂分多い	I型よりシルト粘土分多い
間ゲキ比	小 (0.5~0.6)	大 (0.7~0.9)
比重	大 (2.7~2.8)	小 (2.6~2.7)
乾燥密度	大 (1.7~1.8)	小 (1.4~1.6)
自然含水比	低 (15~20)	高 (20~25)
みかけのC	大 (0.5~1.5)	小 (0.0~0.5)
色・風化	青み, 風化弱	赤茶, 風化やゝ大

写真-4

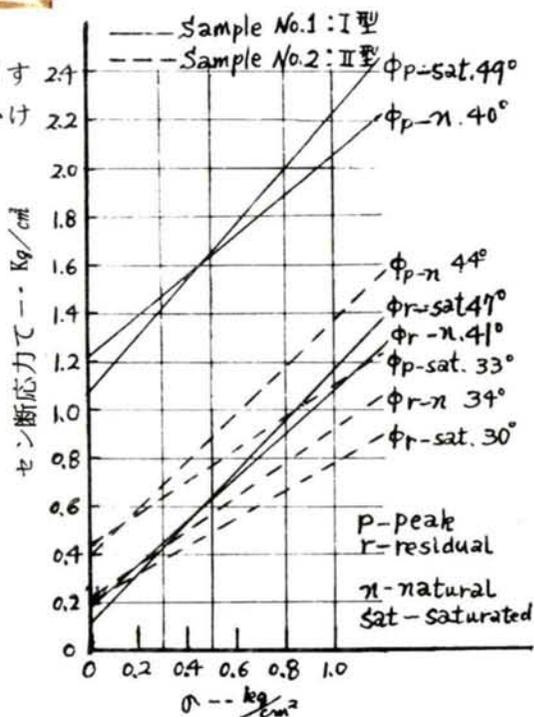


また、みかけの粘着力様のものも得られているが、飽和によって減少している。一方、ピーク値と最終強さ（残留強度相当値）との関係は、

I型ほどその差は大きく減少している。最終強さについてもクーロンの法則を適用すれば、 $\phi_r$ は平均して $15^\circ$ 位低下し、みかけの粘着力は激減している。このことは、すべり・崩壊の問題を扱う時、浸透水のことゝあわせて考える必要がある。全体的にみて、含水量の増による $\phi$ の変化は不規則であるが、みかけの粘着力（膠着力）の低下は明白である。また、 $\gamma_d$ が大きいほど $\phi_p$ 、 $\phi_r$ は大きくでる傾向にあるが、間ゲキ比との関係は明確ではない。さらに、体積変化挙動については、一般の砂のダイレイタンス効果のような原則的なものは得られず、不規則な性状を示しており、これは、側面マサツカと複雑な堆積構造を垂直応力不均等分布のもとに強制的にセン断破壊させたこと等に関連があるものと思われる。今後、軟岩的取扱いも含めて研究したい。



図IV-3-27 含水比-応力・歪曲線例



図IV-3-28 砂岩土セン断抵抗角

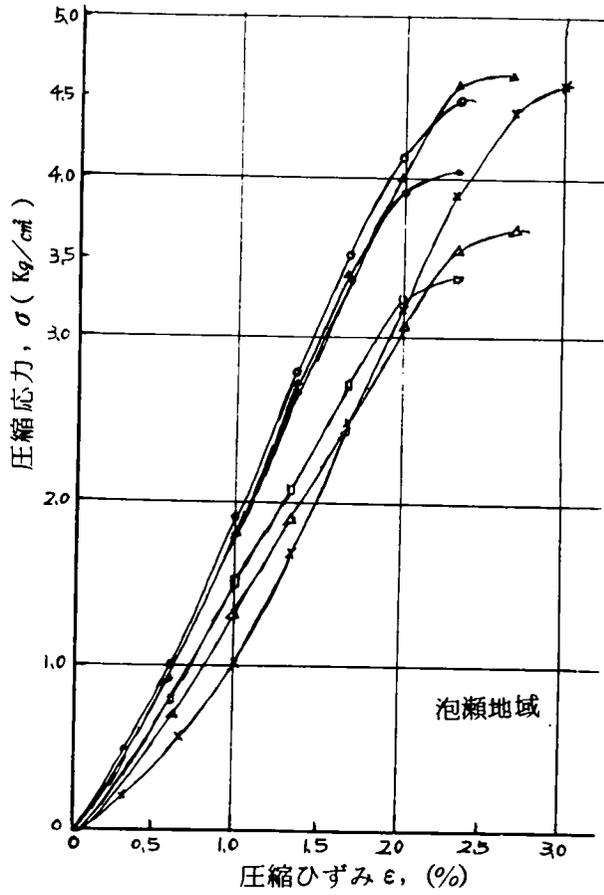
○ 一軸圧縮強度試験

一軸圧縮試験についても、中～低程度の砂岩（土）を対象としている。砂岩（土）塊から、自然状態の乱されない供試体を、径長比1：2（5cm×10cm供試体をもって標準とした）で3～5個作製し、ひずみ制御方式（1分1mm）で試験を行なった。試験結果を表IV-3-5に示し、応力-ひずみ曲線の例を図IV-3-29に示してある。

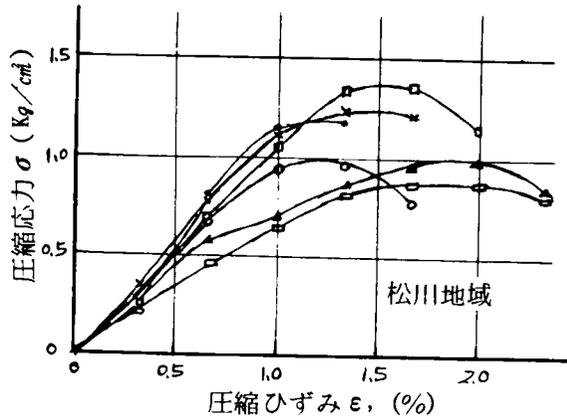
表IV-3-5 地域別の一軸圧縮試験結果

地域	試料 No.	含水比 $w$ (%)	単位体積重量 $\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比 $e$	一軸強度 $q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	変形係数 $E_{50}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	堆積面 載荷方向
A (那覇南部)	1 (具志)	19.50	1.86	0.74	1.9	105.7	直交
		21.53	1.89	0.75	2.2	129.6	
	2 (具志)	16.98	1.72		2.1	128.1	直交
		18.54	2.00		2.7	152.6	
	3 (具志)	21.37	1.80	0.77	1.5	102.1	平行
		23.72	1.83	0.81	2.2	119.1	
B (那覇)	4 (松川)	6.38	1.64	0.76	0.86	68.1	直交
		8.47	1.67	0.78	1.81	116.1	
C (西原)	5 (小波津)	10.84	1.79	0.90	2.7	196.8	直交
		12.66	2.01	0.98	6.2	244.2	
D (浦添)	6 (前田)	21.22	1.71	0.92	1.6	121.2	平行
		21.60	1.73	0.94	2.0	136.1	
	7 (前田)	18.20	1.71	0.85	2.0	149.7	直交
		20.10	1.76	0.90	3.3	198.8	
E (北中城)	8 (与儀)	11.47	1.84	0.55	1.1	94.0	直交
		15.19	1.94	0.67	1.9	126.8	
F (沖繩市東部)	9 (古謝)	7.47	1.88	0.53	3.1	150.4	平行
		7.74	1.91	0.55	3.6	151.3	
	10 (古謝)	13.2	2.01	0.50	3.5	172.2	直交
		15.3	2.05	0.53	4.6	198.5	

砂岩（土）の露頭がやゝ広くみられるのは、表IV-3-5あげてあるように、那覇市南部（小禄，具志・宇栄原），那覇市北部（松川～首里），西原村南部（小波津）浦添市東部（前田，伊祖），北中城村北部（熱田，与儀，島袋沖繩市境界）および沖繩市東部（古謝，泡瀬）などであり、堆積層も厚いものが多い。層構造は堆積岩としての特徴を備え、地殻変動の影響も受けて第二次構造がいたるところでみられる。したがって、サンプリングを行なうにあたって、困難な問題があり、今回は一



a) 応力-ひずみ曲線 (I型)



b) 応力-ひずみ曲線 (II型)

図IV-3-29. 一軸圧縮試験結果の例 松川地域

応、土塊から、堆積面に平行および直交の供試体をとるようにつとめた。また、同一地域でも地点を変えて採取したケースもあるが、同一地点では、できるだけ接近したヶ所で代表する土塊を採取した。

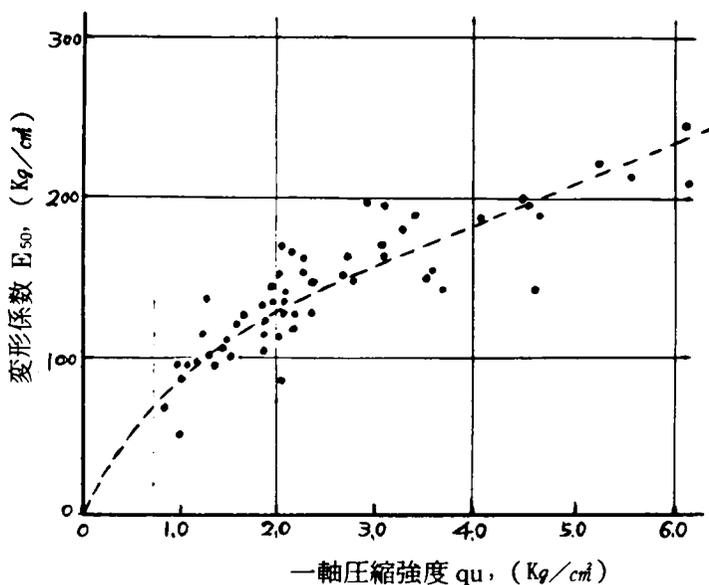
試験結果から地域によって強度特性に若干の差異がみられる。島尻層砂岩(土)の北限に近い地域の沖縄市泡瀬地区や中部地域の浦添市伊祖・前田から西原村にかけての本砂岩(土)は、概して大きい一軸圧縮強度を示し、南部の那覇市地域や、中部地域の砂岩(土)は小さい強度を示している。これは、特に那覇市松川の例にみられるように、風化の程度が進行し、有機質など異物の混在が認められることなどから、堆積環境から、かなりの影響を受けていることを示している。このことは、pH 試験等の結果からも、酸性化した土層に強度低下が多くみられることで判断できることでもある。

また、応力-ひずみ曲線から、ピーク強度はひずみが1.5~2.5%のところ得られることがわかり、大きい一軸圧縮強度を示すものほど、破壊時ひずみが小さい傾向にあり、かつピーク強度は破壊をもって出現している。このことから、砂岩土のぜい性破壊様式が明白であり、写真5の例からも確認されるものである。さらに、載荷方向によって強度および破壊形式に若干の相違がみられ、やはり鉛直方向に圧縮載荷(直交)した方が強度は大きくでている。

さらに、一軸圧縮強度と変形係数の関係を示したのが図IV-3-30であり、一般に言われる  $E_{50} \approx 210 C_u$  よりややゆるいけれども、相関性が認められる。一軸圧縮強度や変形係数の変動については、サンプル中の1~2mmの泥岩質薄層がはさかれている場合に顕著であり、不等質、異方性の問題が指摘される。しかしながら、現実の問題として、サンプリング、供試体作製および試験条件の確立が困難であり、実際問題としても地すべり・崩壊の解析にとり入れる条件が複雑さがあることから、今後より一層の調査研究が必要とされる。



写真5 一軸圧縮試験供試体



図IV-3-30 一軸圧縮強度と変形係数の関係

#### ○ 透水試験

島尻層砂岩(土)の透水性を判定するため、実内透水試験を実施した。試験は、現地で、堆積面に直交方向に、JIS A 1218(1961)に準ずる円筒を土中に押しこむ要領で供試体採取を行ない、3連式定水位試験装置によって、完全飽和後に透水係数測定を行なう方法をとった。したがって、サンプルは同一地点で、接近して3個以上とっているが、堆積土層の複雑な構造のため、サンプリングの際の技術的なむづかしさもくわわって、結果に若干の変動がでるのは、やむをえないこととした。

試験結果を地域別に示すと、表IV-3-6のようになる。

本試験も、一軸圧縮試験の場合と同様に6地域を選んで実施しているが、全体を通じて、透水係数は $10^{-5}$ ～ $10^{-4}$ のオーダーにある。したがって、本砂岩土はTerzaghi & Peck<sup>29)</sup>によればLow permeabilityの土とされ、一方、土の型や排水性の面からみれば、細かい砂、シルト、粘土より成る土に属し、良好～わずかな範囲の排水特性有していることになる(Casagrande & Fadum, 1940)。ただし、本試験結果は、

表IV-3-6 砂岩土不攪乱供試体の透水係数一覧

地域別	初期 含水比	初期 飽和度	乾 密 度	燥 度	間 ゲ キ 比	透 水 係 数 $k_{15}$ cm/sec	備 考
A. 那覇南部 (具志)	13.70	45.10	1.40		0.76	2.6~5.7	砂質ローム Uc = 5.6~7.5
	∫	∫	∫		∫		
B. 那覇市 (松川)	16.00	53.11	1.41		0.90	$\times 10^{-4}$	砂質ローム Uc = 3.7~5.4
	8.60	32.33	1.59		0.66	1.20~2.0	
C. 西原村 (古波津)	9.70	38.73	1.63		0.70	$\times 10^{-5}$	シルト質ローム Uc = 2.3~2.8
	2.40	70.35	1.33		0.90	6.5~9.1	
D. 浦添市 (前田)	27.2	72.44	1.39		1.00	$\times 10^{-4}$	砂質ローム Uc = 1.83~2.25
	16.50	48.31	1.41		0.77	$3.3 \times 10^{-4}$	
E. 北中城村 (与儀)	16.70	52.23	1.53		1.12	$6.9 \times 10^{-5}$	砂質ローム Uc = 5.0~6.7
	11.50	49.68	1.55		0.67	6.7~7.4	
F. 沖縄市東部 (古謝)	14.50	53.83	1.56		0.73	$\times 10^{-4}$	砂質ローム Uc = 6.3~7.8
	12.60	49.36	1.55		0.73	7.4~8.4	
	15.00	54.86	1.56		0.76	$\times 10^{-4}$	

土層の地表露出面より深くない地点の鉛直方向のサンプルの値であることを注意を促し、水平方向透水係数（地下水流動方向）はかなり大きいものと考えてよい。このことは、地層（土層）堆積の状況について、これまで再々述べているように、検討することによって明白であり、さらに不均等質な層構成（時には粘土薄層がはさまれていることなど）を有していることも実際にあたっては考慮に入れなければならない。

透水試験の結果については、オーダーしか信用できない（森の報告<sup>30</sup>）によれば1桁のみは信頼しうる）とか、砂の定水位透水試験による結果は、ほとんど実用的ではないとの評もあり、現場でテストピットまた揚水試験などを行なってその結果から、土層全体の透水性を解析する方がもちろん望ましいことである。たゞ、現実に本砂岩土層は島尻層中の帯水層として、また切土面から滲透水が流出し、一方の泥岩層と比較して、その功罪を検討する意味で、とりあえず Permeable Layer のおよその特性を把握している。

土の透水係数に影響を及ぼす要素としては、土の粒度、間ゲキ比、構造、飽和度および浸透水の性質など種々あげられるが、特に粒度と間ゲキ比については、これまで Hazen その他によって種々の相関々係が提示されている。たとえば、Hazen は土の透水係数は、土粒子の径（この場合有効径を採用）の約2乗に比例するとして、次のような式を提示した。

$$k \text{ (cm/sec)} = C (0.7 + 0.03 t) D_{10}^2 \approx 100 D_{10}^2$$

ここで  $t$  ; 水温 (°C)

$D_{10}$  ; 有効径 (cm)

$C$  ; 46~116, 一般には 116 とする

たゞ, この式は大体 Uniform graded sands in a loose state に適用され,  $D_{10}$  も 2~0.06 mm のみに有効とされている。

これに対して, Terzaghi は粘土の場合  $1.9 D_{10}^2$  (cm/sec), 砂の場合 (174~100)  $D_{10}^2$  (cm/sec) の関係を示し, さらに松尾・木暮によって, 比較的均一な粗粒土と粘土の中間にある粒度分布をもつ土について報告<sup>31)</sup> がなされている。松尾らによれば, 土粒子径と透水係数との関係は次の 2 式で示されている。

$$k \text{ (cm/sec)} = 0.5 d_{50}^{3.5} \quad (0.01 < d_{50} < 3.0 \text{ mm})$$

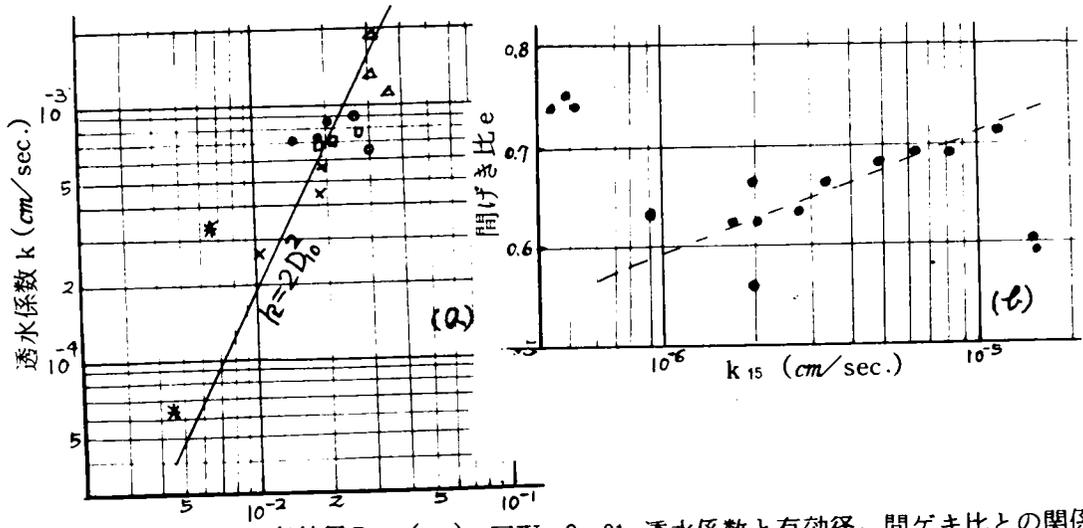
$$k \text{ (cm/sec)} = 6 d_{10}^2 \quad (0.004 < d_{10} < 1.0 \text{ mm})$$

島尻層砂岩土についても, このような関係を見出すべく検討した結果, 本砂岩土の地域別をこえての関係式が次のように得られ, 表IV-3-7 に示す如く良好な関係を有している。

$$k \text{ (cm/sec)} = 2 d_{10}^2 \quad (0.003 < d_{10} < 0.034 \text{ mm})$$

表IV-3-7  $k = 2 d_{10}^2$  を適用した場合の検討結果 果

地域別試料	$D_{10}$ (mm)	算定値 $k$ (cm/sec)	実験値 $k_{15}$ (cm/sec)
那覇南部 (具志)	0.010	$2.01 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$
	0.018	$6.67 \times "$	$4.4 \times "$
	0.018	$6.67 \times "$	$5.7 \times "$
那覇北部 (松川)	0.028	$1.57 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-5}$
	0.031	$1.80 \times "$	$1.9 \times "$
	0.034	$2.30 \times "$	$1.2 \times "$
西原村 (古波津)	0.025	$1.25 \times 10^{-5}$	$9.1 \times 10^{-4}$
	0.028	$1.57 \times "$	$6.5 \times "$
浦添市 (前田)	0.006	$7.60 \times 10^{-5}$	$3.3 \times 10^{-4}$
	0.004	$3.21 \times "$	$6.8 \times 10^{-5}$
	0.003	$1.82 \times "$	$3.6 \times 10^{-4}$
北中城村 (与儀)	0.020	$8.0 \times 10^{-4}$	$7.4 \times 10^{-4}$
	0.026	$1.32 \times 10^{-5}$	$6.7 \times "$
	0.018	$6.67 \times 10^{-4}$	$7.4 \times "$
沖縄市東部 (古謝)	0.014	$4.0 \times 10^{-4}$	$7.4 \times 10^{-4}$
	0.018	$6.67 \times "$	$7.5 \times "$
	0.020	$8.0 \times "$	$8.4 \times "$



有効径  $D_{10}$ , (mm) 図IV-3-31 透水係数と有効径、間ゲキ比との関係

透水係数測定結果のバラツキ（信頼性）について問題はあるとしても、本砂岩土の粒度組成が、最大粒径  $2\text{mm}$ 以下で砂、シルトの順に多く含まれ、粘土分が約10%以下という特質（砂質ローム）からみて、中南部地域に散在する砂岩土の透水性がほぼ確認できるといえよう。（図IV-3-31参照）

#### むすび

島尻層砂岩（土）は、泥岩の場合と同様過去に“琉球石灰岩”によって覆われ、その堆積構造も複雑に変動している。そのために、その強度特性も異方性を示すなどのほか、泥岩の場合に比して、その固結度にかんがりの変動がみられる。今回の対象は主として軟質のいわゆる土質工学的問題処理が可能なものにとらめているが、硬質砂岩的なものも含まれていることを忘れてはならない。たゞ地盤災害の面から検討する場合、この軟質砂岩（土）層にすべり、崩壊等が生じている点を考えると、今回の調査研究はその目的に叶っているといえよう。

本砂岩（土）は、強度特性からみると、分布地域によって若干の変動がみとめられ、これは、その物理的性質および化学的性質のちがいに関連があるように見受けられる。したがって、地すべり、崩壊の安定解析の研究には、本砂岩土のこれらの性質の検討すなわち風化程度の把握と力学的性質との関連を考慮に入れる必要がある。筆者は、そのために、地域別にそれぞれの資料をまとめている。対水挙動の面では、泥岩より有利であるが、透水性については今後現位置テストによる確認を行ない、一方、透水性コントロールの方法についても配慮する必要がある。たとえば、界面活性剤利用による土の透水性減少または増大が可能であり、これまでにマサ土を用いて、界面活性剤の種類、濃度、土粒子径と効果の関係ならびにその持続性についての報告が、なされており、<sup>32)</sup> 島尻層砂岩（土）への適用性について検討してゆきたい。

## ii) 化学的特性について

本件については、地盤災害としての地すべり・崩壊との関連において調査研究をすすめてきた<sup>33)</sup>し、すでに第Ⅲ章でも若干述べておいた。こゝでは、島尻層構成岩(土)の工学的特性の一として、特に風化特性解明の手がかりを得る目的をもって、論じることとする。もちろん、土の物理的、力学的諸性質が、土粒子群と間ゲキ水(蒸気的水分、結合水または吸着水、および自由水)との界面の理化学的諸現象に密接に関連している<sup>34)</sup>ことから、島尻層構成土の理化学的特性を明らかにしていく必要があるが、地すべり・崩壊と風化現象との関連を追求する方向<sup>35)</sup>で述べる。

### (i) 化学組成試験

泥岩および砂岩由来の土(風乾土)の化学的分析の結果は、表Ⅳ-3-8に例示してある。

表Ⅳ-3-8 化学分析試験結果例(熱塩酸分析)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	その他
泥岩土	11.27%	5.92	5.65	1.42	0.74	0.37	0.32	TiO <sub>2</sub> MnO
砂岩土	6.06%	3.12	4.32	1.19	1.47	0.28	0.10	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> SO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub>

注) CaOについては泥岩土; 3.27, 3.75, 砂岩土; 4.20の例もある。不溶解残分 65.55 %  
SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 泥岩土 1.15~4.48, 砂岩土 1.75~3.40

### (ii) pHおよび塩化物含有量試験

本試験は土質工学会土質試験法第3編第2章及び第7章に準じて行なった。試験結果は次のとおりである。

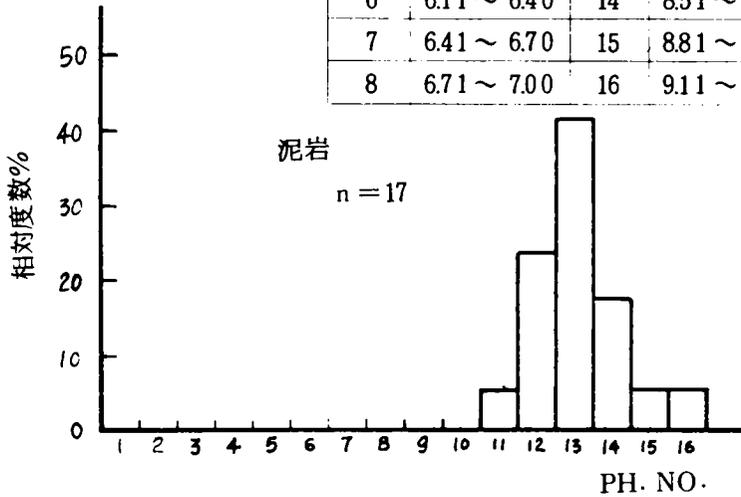
pH試験結果をヒストグラムに示したのが図Ⅳ-3-32であり、これから、泥岩はすべてアルカリ性を示し、砂岩は酸性、アルカリ性両方にまたがっていることがわかる。なお、今回の試験結果でもPH(H<sub>2</sub>O) > PH(KCl)となっており、また砂岩は泥岩に比してその差が大きく出ている。

塩分量は、0.00014 ~ 0.0093%で大部分は0.0007%以下という低い値を示した。

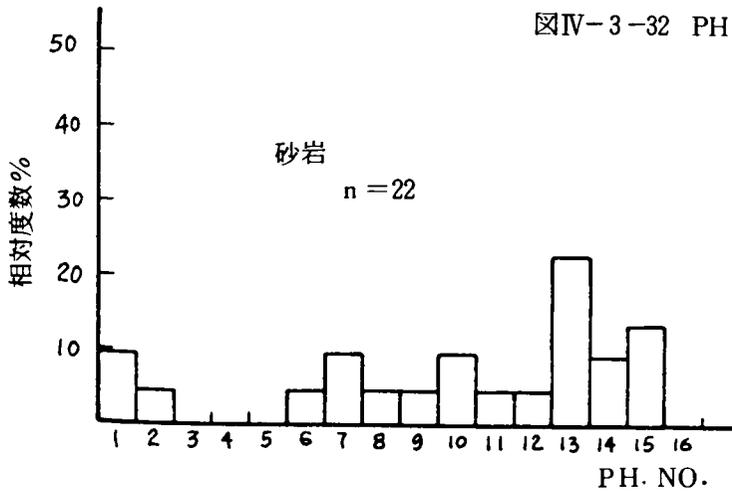
### (iii) 結果の検討

岩石等の風化作用は、主に風化をこうむる岩石の種類、風化の時間、気温、湿気、水理などに伴う機械的破壊に影響されるが、成因的な見地から物理的、化学的および生物的風化に区別して考えられる。このなかで岩石風化の発端をつくり出すものは化学的風化であり、これは最も重要であるが、これら三者の相互作用としての

No.	PH(H <sub>2</sub> O)	No.	PH(H <sub>2</sub> O)
1	4.61 ~ 4.90	9	7.01 ~ 7.30
2	4.91 ~ 5.20	10	7.31 ~ 7.60
3	5.21 ~ 5.50	11	7.61 ~ 7.90
4	5.51 ~ 5.80	12	7.91 ~ 8.20
5	5.81 ~ 6.10	13	8.21 ~ 8.50
6	6.11 ~ 6.40	14	8.51 ~ 8.80
7	6.41 ~ 6.70	15	8.81 ~ 9.10
8	6.71 ~ 7.00	16	9.11 ~ 9.40

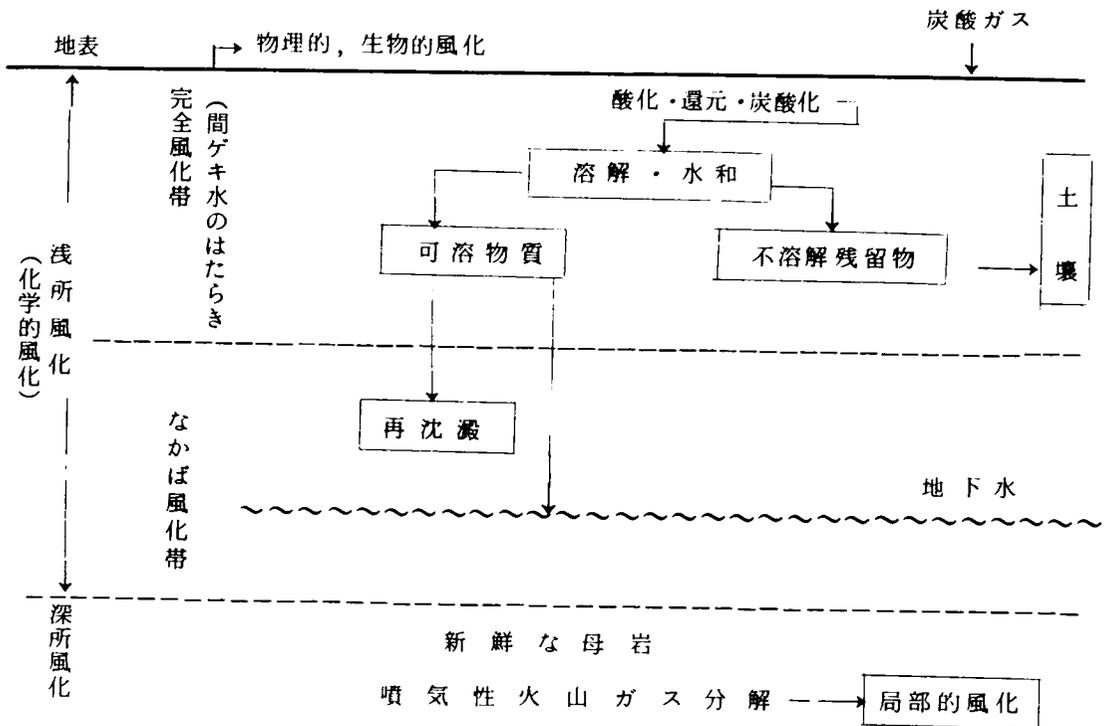


図IV-3-32 PH試験結果の分布



風化現象が最も一般的であることはいうまでもない。<sup>36)</sup> 大きくみて、物理的、生物的風化は活発な化学的風化をもたらす素因を備えている。

化学的風化とは、表面水および間ゲキ水と岩石と岩石との間におこる相互化学反応により水和作用を生じ、その作用を通じて溶解、酸化、還元および炭酸化などの化学変化が発生する。その結果、溶解物質は下方へ浸出して再沈澱し、一部は間ゲキ水および地下水へ溶解する。この風化作用の機構について、庄司は<sup>28)</sup> 下記のように表現している。

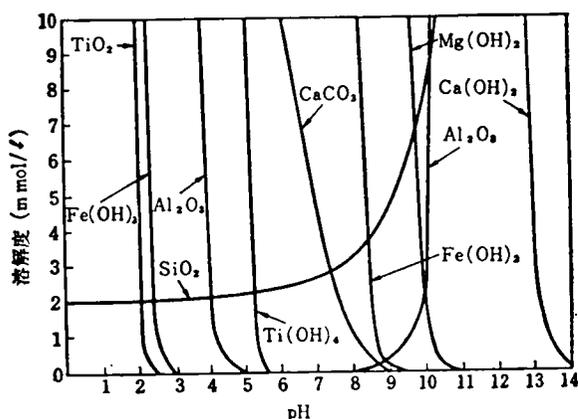


注) この機構について、筆者は、島尻層の場合、表層から風化層(土壌化)、準風化層(Fissured, 土塊層)および未風化層(新鮮な岩層)と区別している。

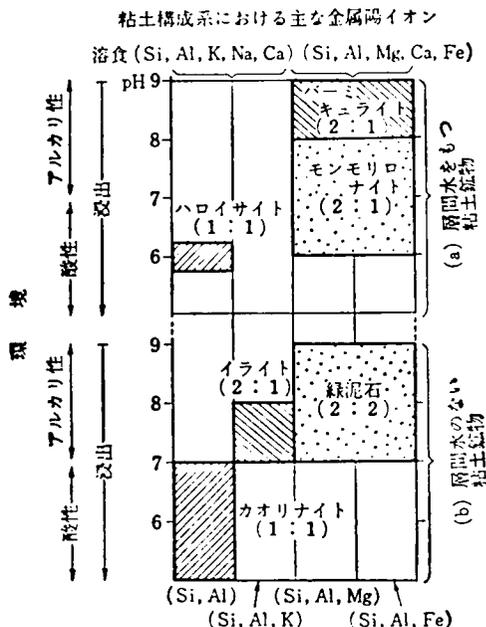
上記のことがらから、土質工学(および地質工学)の立場からみれば、浅層風化が対象であり、したがって、風化作用の大部分は化学的風化とみなして処することができる。化学的風化において、水和作用はイオンポテンシャル、pH(酸性-アルカリ性)およびEh(酸化ポテンシャル)の影響(制約)を受けて可溶、不溶解物質を生成するので、化学的要素として、イオンポテンシャル、酸化-還元ポテンシャル(Eh)、酸性-アルカリ性(PH)、コロイドプロセス、塩度、温度などが重要なものとしてあげられる。したがって、島尻層泥岩(土)および砂岩(土)についてもこれら化学的要素の検討を試みる必要があり、その意味において、今回得られた若干の化学的特性について論じてみたい。

化学分析試験結果例から、島尻層表層風化土において、高イオンポテンシャルの  $Al^{+4}$ ,  $Al^{+3}$  や  $Fe^{+3}$  は加水分解により沈澱残留し、低いイオンポテンシャルの  $Na$ ,  $Ca$ ,  $Mg$  などは、風化運搬において溶液中にあり溶出したものとみなすことができよう(化学的な淘汰)。たゞ、この例からは泥岩(土)と砂岩(土)とに組成上若干のちがいがあること、粘土鉱物、非粘土鉱物の生成がイオンポテンシャルによって支配されること(このことについてはすでに述べており、泥岩土、砂岩土とも鉱物組成に大差はないが若干のちがいがみられる)、および後述の酸性-アルカリ性(PH)において

両者の性状にちがいがあることなど、今後地球化学的および土壌化学的な面からの解明が必要である。また、準風化層と未風化層の化学組成との対比が必要であるが、今後の課題としたい。一方、Masonによれば、多くの鉱物の生成とpHとの密接な関係を示すことを図IV-3-33で指摘している、pHによってSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの溶解度の増または減がおり、これに関連して、Degensは酸化-還元環境と粘土鉱物の生成について、図IV-3-34に示す関係を提起している。<sup>28)</sup> なお、島尻層の粘土鉱物については第II章でその総括図を示したが、こゝに、上記のことと関連するので粘土鉱物組成を要約しておき、今後検討をすゝめたい。



図IV-3-33 化学的風化によるある成分のpHに対する溶解度の変化(Loughnan, 1969)  
注) 両図 from 庄司<sup>28)</sup>



図IV-3-34 粘土鉱物の生成に対する主要要求と条件(Degens, 1965)

島尻層構成土の泥岩土、砂岩土の粘土鉱物組成には大きな変化はみられず、いずれも雲母粘土鉱物(イライト系)、膨潤性緑泥石(クロライト系)、モンモリロナイト様鉱物を含み、一部にハロイサイトを含んでいる。モンモリロナイト様鉱物と膨潤性緑泥石、さらに緑泥石との間には漸移関係が認められ、これらの存在状態は島尻層群の粘土鉱物組成を特徴づける基準ともいふべきものとして、風化過程およびその程度との関連で注目されよう。以下、総括をすると、次のようになる。<sup>37)</sup>

- ・砂岩中には、例外なくモンモリロナイト様鉱物が含まれている。なかには、少量の膨潤性緑泥石を含むものもある。
- ・泥岩(シルト質粘土)のなかで著しくモンモリロナイト様鉱物に富むのは、与那原層中部層の全体および同層上部層の下部約100mを除く大部分であり、緑泥石-膨潤性緑泥石だけが認められるのは、与那原層下部層、同層上部層の下部約100mの部分および新里層である。

。周辺海底堆積物には、イライトが優勢で、ついでクロライト、モンモリロナイトの順であり、カオリナイトは量的に少ないが広範囲に分布している。

pH試験結果については、泥岩土が、海成環境下の土の一般的性質といわれる弱アルカリ性を示し、層を通じて粘土含有率の幅広い分布にもかかわらず、ほぼ一定（8前後）である。これに対し、砂岩土は、酸性～アルカリ性にまたがり、地域によってpH値に高低がみられ、砂岩土の他の化学的要素とかわりがあるようで、したがって化学的風化のめやすとして考慮されよう。たとえば、Masonによれば、酸化ポテンシャルはpHの増加とともに多くの反応が急速に減じ、アルカリ溶液では酸化が容易であると述べており、pH（本実験では土の懸濁液のpH試験結果ではあるが）の変化と重要な関係があると考えられる。このことは、先の直接セン断試験結果でⅡ型に属し、風化が進行している砂岩土や、また一軸圧縮試験結果でやゝ低い強度を示している砂岩土が、大部分低いpH値（弱酸～酸性）を示していることから推定されることがらである。

一方、泥岩層中にはさまれる薄層貧質粘土は、大気にさらされると急速に赤褐色化してpHは3前後を示す（写真6参照）ことや、植生の根などによる土壌化学的風化の結果、クラックに沿って赤褐色化して酸化される（写真7参照）ことによつてpHが低値を示すこともあわせて考慮されなければならないだろう。

塩加物含有量試験については、島尻層が海成であり、土質工学的な影響があるものとみていたが、土の含水比にもよるが一般の土の通常の値（0.002%前後）より低いを示している。これは、透水性の大きい砂岩土（ $10^{-4}$  cm/sec）の場合は、かなり溶脱（leaching）があったであろうことを示している。一方、泥岩土の場合、難透水性を有しているけれども、層構造（準風化層のFissured or Jointed structure）や土壌化の進行（乾湿くり返しによる）によつて部分的に溶解浸出作用があったものと考えられるが、今後の課題である。

また、塩加物含有量とpHとの関係はⅢ章図Ⅲ-3-5に示してあるが、特に、砂岩土について、塩化物含有量が低い場合には、酸性、アルカリ性の両方にまたがるのに対し、塩加物含有量が増加するとアルカリ性のみを示す傾向がみられる。このことは、砂岩土における風化現象と何らかの結びつきを示すものとして今後追求していきたい。

## むすび

湿潤気候における風化は、主として水及び酸化により生ずるとされ、化学的風化はたいいて酸性ないし中性の条件のもとで発生するといわれる。したがって、化学的風化の大きさを算定しうる多くの方法は、これら化学作用の尺度であり、化学的風化の大きさを算定方法として、Barthの方法、化学分析による方法、鉱物分析による方法、および生成された粘土量による方法などがあげられている（D. Carroll, 松尾<sup>36</sup>）。

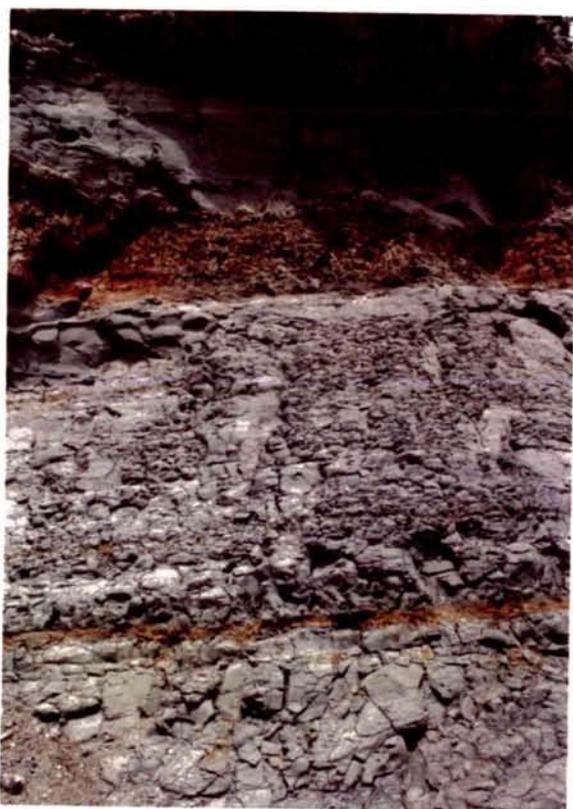


写真6 強酸性薄層土



写真7 植物根による酸化

また具体的には、岩石の風化度を示すものとして、風化ポテンシャル指数 (WPI) と風化進行指数 (PI) との座標で風化進行過程を表現したり (Reiche, 1943), 斎藤(1969) による岩石の色とハンマーによる割れやすさにもとづく風化帯の区分け方法や松尾・西田らによるマサ土母岩の風化度に関する研究などがある。

島尻層の化学的特性と風化環境についても、上記のことを考慮に入れ、特に、風化の場における基本的な作用は、主として、降雨により供給された水による溶脱 (Leaching)<sup>38)</sup> であり、大気と接触して生じる酸化であることを念頭において、研究をすすめてゆかなければならない。一方、島尻層の堆積相 (層構造の特徴としての互層、薄層および第二次構造など) のたとえば、薄層の急速な酸化 (風化としての) や、生物風化、たとえば、土壌化学的風化 (植物根などによる) についても、先に述べたように、かなりの影響を与えることが考えられるので、この点も検討を要するものである。さらに、陶野の指摘にもあるように<sup>39)</sup>、地層の応力状態に適合した試験方法の開発と、堆積岩の生成機構とについても研究されねばならないだろう。

### (3) 路床土としての島尻層風化泥岩土<sup>20)</sup>

沖縄本島中南部に分布する島尻層は新生代第三紀中新世の地層で主として泥岩及び砂岩層からなり、一般に上部層は風化し、粘質土あるいは砂質土となって土壌化しており、下部層は硬質な地層となっている。この地層は地山の状態では支持力が大きく、構造物の支持地盤として可能であるが、風化したり、地山を切り崩してしまふと強度が激減し、建設材料として使用可否が問題となる場合が多い。

道路建設にあたっては、島尻層の上部風化層 (ここで、風化層とは、完全な風化残積土層の意ではない) を路床土として扱う場合や、島尻層土による盛土層を路床土として扱う場合があり、したがって、路床土としての適否が問題となってくる。本項ではこのような問題の実状を把握するとともに路床土として取り扱う場合どのような評価をすべきか、2~3の現場から得られた島尻層風化土 (N値は $\leq 10$ 以下) の California Bearing Ratio (CBR) 特性によって試みた。なお、今回は泥岩層の風化土を対象としており、砂岩層については行っていない。

なお本文のデータは那覇市内及びその近郊における道路設計に伴って行った試験結果であり、試験用試料土の採取場所は道路の線形に沿っている。従って、島尻層は必ずしも露出しておらず、畑地、植生地、現道の路肩等となっている。

#### (a) 試料及び試験方法

##### 1. 試料

現場 CBR 試験はすべて地山の状態になっているところで風化土を対象とし、地

表面の砂レキや腐植物等の不純物を除去するため地表面から約50cmの深さまで土砂を取り除き整地して行った。

室内CBR試験用試料土の採取も現場CBR試験と同様地表面から約50cmの表層土を除去して採取した。乱さない試料土の採取に関してはJIS A 1211に従うことを原則とし、カッターを付けたモールドを地中に注意深く押し込み、自然状態の供試体を同一場所から2個（非水浸及び水浸両者の試験を行う場合は4個）採取した。採取した試料土は含水比に変化がないようパラフィンで保護するか、ビニール袋に入れて試験室へ持ち帰り、非水浸あるいは水浸によるCBR試験に供した。水浸試験を行う試料土の場合は別に水浸前の含水比を測定するための試料土も採取した。乱した試料土については同一場所から約15Kgを採取し、含水比が変化しないようビニール袋につめて試験室へ持ち帰り、非乾燥法による締固め（2個）を行ない、水浸によるCBR試験に供した。含水比は残りの試料から測定した。

## 2. 試験方法

試験の種類は含水比試験、現場CBR試験、締固め試験及び室内CBR試験でそれぞれJIS A 1203 JIS A 1211 JIS A 1210及びJIS A 1211にしたがうことを原則とした。それぞれの試験方法に関して説明をつけ加えると次のとおりである。

1) 含水比試験：現場CBR試験用試料土に関しては、試験終了後試料土をビニール袋に入れて試験室へ持ち帰り、含水比を測定した。乱さない土の室内CBR試験用試料土に関しては、非水浸の場合は試験終了後モールド内の試料土の含水比を測定し、水浸の場合は、現場から採取して試験室へ持ち帰った含水比測定用試料土と水浸CBR試験後のモールド内の試料土について含水比を測定した。さらに、乱した土の室内CBR試験用試料土に関しては、試験室へ持ち帰った試料土をモールドに締固め、残った試料土と水浸CBR試験後のモールド内の試料土について含水比を測定した。

2) 現場CBR試験：粗粒分が混入しているところはできるだけ避けるものとし、荷重としてはトラック、バックホー等を利用した。

3) 締固め試験：土の自動突固め装置により締固めを行った。ランマーは4.5Kg、モールドは内径15cmのものを使用した。乱した試料土は径40mm以上の粗粒分を除き、自然含水比の状態でもールドに3層にわけて入れ、各層67回ずつ突固めた。

4) 室内CBR試験：乱さない土の室内CBR試験は、非水浸の場合試験室へ搬入後たぐちに行い、水浸の場合は96時間水浸後に行った。荷重板は125Kgの鉛製のもの4個を使用した。乱した土の室内CBR試験はすべての試料に関し、吸水膨張試験を行っている。又、試験結果はいずれの試料土に対しても貫入量2.5mm、標準荷重1370Kgとなっている。

(b) 試験結果及び考察

① 試験結果

現場 CBR 試験結果を示したものが表 IV-3-9 である。CBR はだいたい 1~5% の範囲にある。自然含水比は 30~50% の範囲となっている。

表 IV-3-10 は乱さない試料土の非水浸による室内 CBR 試験結果であるが、CBR に関しては現場 CBR 試験結果と同様な結果を示しており、CBR 1~5% の範囲にある。含水比に関しては、50% 以上のデータもあり、CBR が 1~5% の範囲にありながら含水比はさらに広範囲に及ぶことを示している。乾燥密度はだいたい 1.15~1.55 g/cm<sup>3</sup> に範囲とある。

表 IV-3-9 Test Results (Field Test)

試料番号	CBR %	含水比 %
1	5.0	33.0
2	1.1	30.1
3	3.4	30.3
4	4.0	30.1
5	2.3	34.5
6	5.2	31.8
7	4.5	31.0
8	4.5	34.4
9	1.8	34.1
10	1.7	36.2
11	2.3	50.2
12	1.4	40.4
13	2.0	35.1
14	2.8	33.9
15	2.4	40.4

表 IV-3-10 Test Results (Laboratory-undisturbed-non soaking)

試料番号	CBR %	含水比 %	乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>
1	4.8	33.1	1.444
2	1.7	30.3	1.399
3	3.5	30.0	1.416
4	3.9	29.5	1.430
5	2.4	34.7	1.361
6	4.9	31.3	1.423
7	4.3	30.8	1.418
8	5.1	32.8	1.531
9	2.0	33.4	1.498
10	2.0	35.5	1.440
11	2.3	49.7	1.200
12	1.4	39.5	1.225
13	2.3	30.7	1.451
14	4.5	32.4	1.415
15	2.6	39.6	1.305
16	1.4	57.6	1.143
17	1.9	55.3	1.204
18	1.1	40.3	1.357
19	1.2	45.9	1.243
20	1.8	38.5	1.405
21	2.3	49.4	1.204
22	2.2	36.4	1.407
23	2.4	34.7	1.394
24	2.6	34.7	1.451
25	3.1	45.6	1.275

表 IV-3-11 Test Results (Laboratory-undisturbed-soaking)

試料番号	CBR %	水浸後含水比 %	水浸後乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	水浸前含水比 %	水浸前乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	膨張比 %
1	4.1	35.1	1.427	32.3	1.435	0.57
2	3.0	30.3	1.361	29.4	1.367	0.43
3	4.3	33.3	1.413	31.1	1.425	0.86
4	2.4	32.7	1.384	30.8	1.401	1.18
5	2.5	38.5	1.319	37.8	1.324	0.43
6	1.7	36.4	1.354	35.3	1.363	0.62
7	3.2	33.1	1.432	31.9	1.433	0.14
8	3.0	33.4	1.407	32.1	1.415	0.53
9	2.0	34.7	1.409	33.9	1.413	0.27
10	1.3	34.4	1.477	33.4	1.482	0.30
11	1.4	35.8	1.441	35.4	1.445	0.31
12	1.8	50.6	1.194	49.8	1.198	0.32
13	1.3	39.7	1.201	39.2	1.205	0.27
14	1.8	31.8	1.444	31.2	1.448	0.32
15	4.1	34.0	1.430	33.5	1.434	0.30
16	2.0	39.5	1.304	39.0	1.306	0.30
17	1.3	59.0	1.119	58.3	1.121	0.19
18	2.1	46.8	1.201	46.0	1.206	0.46
19	1.8	55.9	1.200	54.7	1.203	0.34
20	1.3	46.9	1.304	45.3	1.312	0.60
21	1.0	46.1	1.321	44.7	1.326	0.38
22	1.0	39.6	1.388	38.5	1.391	0.22
23	2.6	50.3	1.202	50.0	1.204	0.07
24	2.5	36.4	1.423	35.2	1.428	0.39
25	2.3	36.6	1.392	35.7	1.395	0.18
26	2.3	39.5	1.448	37.2	1.454	0.46
27	3.2	48.9	1.264	47.0	1.268	0.33

乱さない試料土を96時間水浸させて吸水膨張試験後に行った室内CBR試験結果が表IV-3-11である。CBRは非水浸の場合と比較して小さくなる傾向があり、1.0~4.5%の範囲である。含水比は水浸前は表IV-3-12の結果と同様な結果を示しているが、水浸後はだいたい0.5~3.0%増加量を示している。乾燥密度に関しても水浸前は表-の結果と同様であるが、含水比の増加によりだいたい0.001~0.017g/cm<sup>3</sup>の減少を示している。吸水膨張試験による膨張比は0.1~1.2%の範囲にある。

表IV-3-12 Test Results (Laboratory-disturbed-soaking)

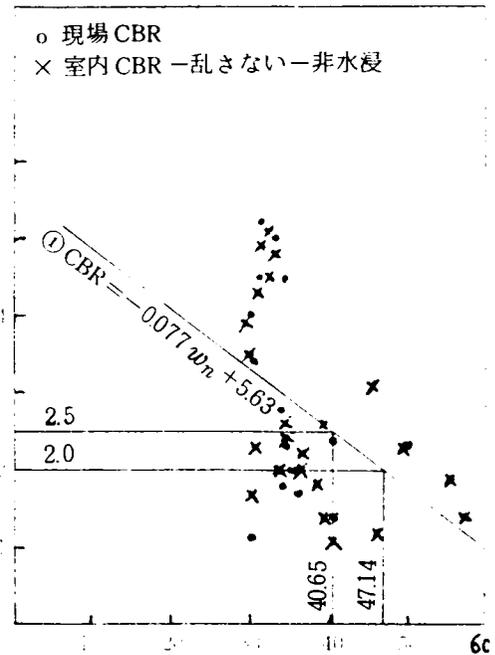
試料番号	CBR %	水浸後含水比 %	水浸後乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	水浸前含水比 %	水浸前乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	膨張比 %
1	2.5	36.3	1.371	35.7	1.375	0.28
2	3.5	38.9	1.317	38.3	1.325	0.54
3	5.3	31.1	1.477	30.4	1.494	0.26
4	1.8	44.0	1.209	43.6	1.213	0.30
5	4.9	28.1	1.543	27.5	1.553	0.56
6	3.7	29.9	1.531	28.1	1.540	0.60
7	3.3	26.8	1.542	26.4	1.552	0.63
8	3.6	30.1	1.454	29.7	1.470	0.96
9	2.4	37.7	1.346	34.8	1.357	0.80

乱した試料土の室内CBR試験結果は表-のとおりである。データ数は少ないが、CBRはだいたい2~5%の範囲にあり、乱さない土の水浸による室内CBR試験結果より大きくでる傾向にある。含水比の増加量は0.4~2.9%の範囲にあり、乱さない試料土の増加量と同様な傾向を示している。乾燥密度に関しては表IV-3-11の結果より大きくでる傾向にあり、これがCBRに影響しているようである。吸水膨張による乾燥密度の減少量は0.004~0.017g/cm<sup>3</sup>となっており、膨張比は0.26~0.96%の範囲となっている。

② 考察

CBR試験結果を「アスファルト舗装要綱」に対応させながら路床土としての島尻層風化土のCBR特性を考察することにする。

現場CBR試験結果及び乱ない試料土の非水浸による室内CBR試験結果から自然含水比に対するCBRをプロットしたものが図IV-3-35である。両者はいずれもバラツキは大きいと同様な相関関係を示しているようである。図中の式は乱さない試料土の非水浸による室内CBR試験結果から最小自乗法により求めた実験式である。この式の適用範囲は自然含水比が約30%以上とすべきであり、そ



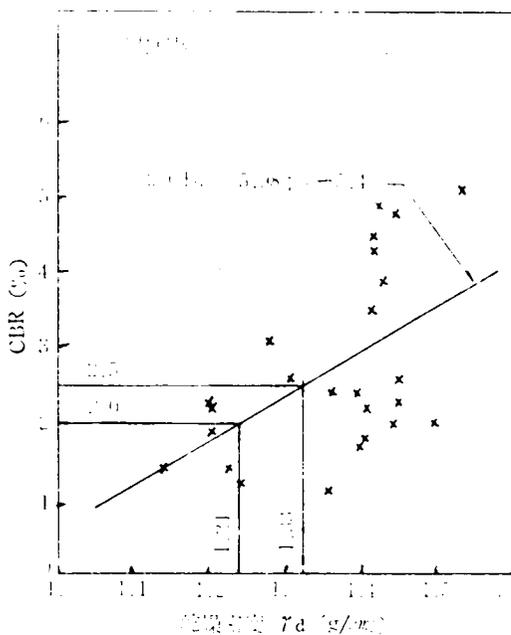
図IV-3-35 自然含水比とCBRとの関係

れ以下においては異なったCBR特性を示すものと考えられる。現場CBRに関してはデータが少ないので明示しなかった。「アスファルト舗装要綱」にしたがうものとするれば、実験式より、含水比40~47%の範囲においては厚さ15~30cmの浸透水のしゃ断層を設ける必要があり、47%以上になると安定処理あるいはその他の対策を要することになる。

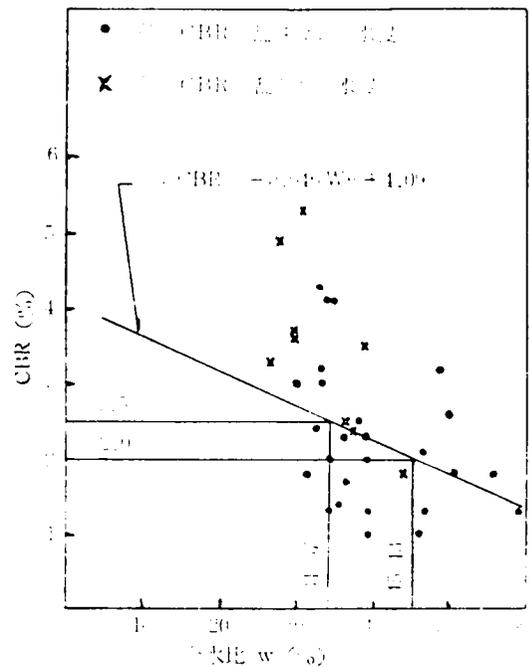
図IV-3-36は非水浸の乱さない試料土についての室内試験を行った結果から得られるCBRと乾燥密度の相関々係を示してある。②式も①式と同様最小自乗法による実験式である。CBR 2.0%及び2.5%に対応する乾燥密度はそれぞれ1.24 g/cm<sup>3</sup>及び1.33 g/cm<sup>3</sup>となる。

乱さない試料土及び乱した試料土を水浸させ、吸水膨張試験を行った後の室内CBR試験結果から試験後の含水比とCBRの相関々係を示したものが図IV-3-37である。いずれもバラツキは大きいようであるが、③式は乱さない試料土に関する実験式である。CBR 2.0%及び2.5%に対応する含水比35%以上はしゃ断層を必要とする。

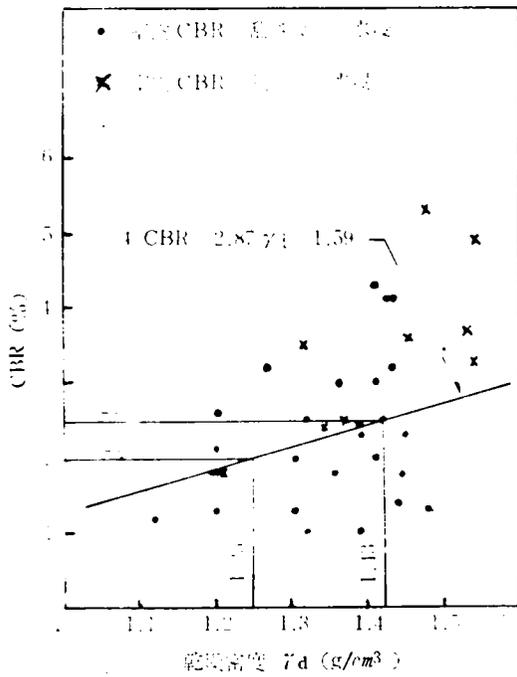
図IV-3-38は図IV-3-37と同様乱さない試料土と乱した試料土の室内CBR試験結果から得られた相関々係であるがいずれもバラツキが大きい。④式は実験式であり、CBR 2.0%及び2.5%に対応する乾燥密度はそれぞれ1.25 g/cm<sup>3</sup>及び1.43 g/cm<sup>3</sup>となる。



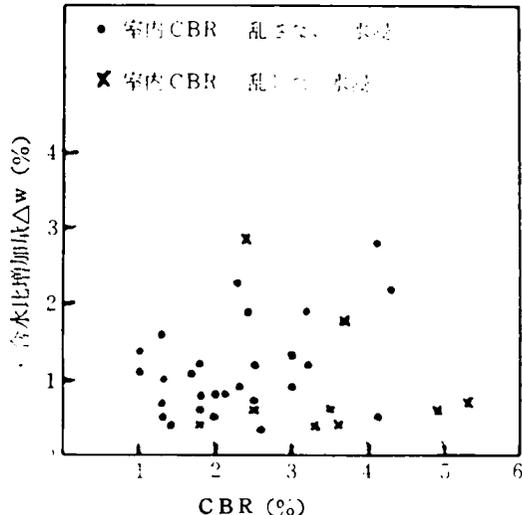
図IV-3-36 乾燥密度とCBRとの関係（非水浸）



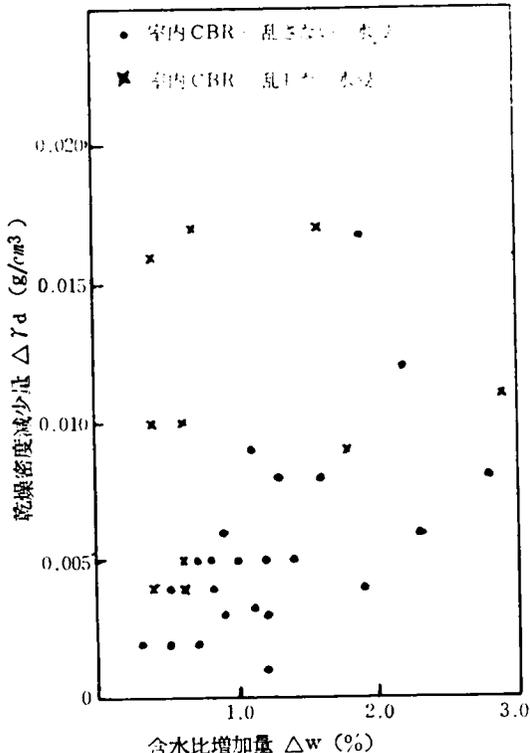
図IV-3-37 含水比とCBRとの関係（水浸）



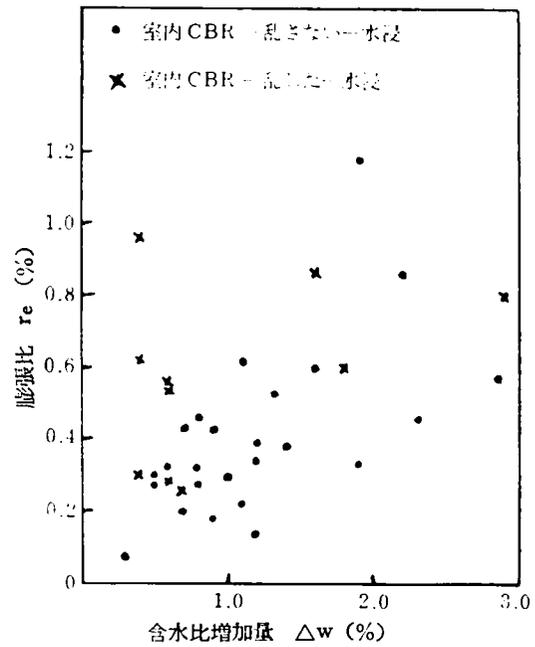
図IV-3-38 乾燥密度と CBR との関係 (水浸)



図IV-3-39 CBR と含水比増加量との関係 (水浸)



図IV-3-40 含水比の増加と乾燥密度減少との関係 (水浸)



図IV-3-41 含水比増加量と膨張比との関係 (水浸)

CBRに対する吸水膨張試験による含水比増加量を示したものが図IV-3-39である。両者の間で相関々係をみいだすことはできず、CBRが1～5.5%の範囲に対し、含水比の増加量は平均的に0.3～3.0%の範囲にある。乱した試料土のデータが少ないので乱さない試料土との相違をみいだすことは困難なようである。

吸水膨張試験による含水比増加量に対する乾燥密度の減少量及び膨張比をそれぞれ図IV-3-40及び図IV-3-41に示してある。含水比の増加量は乱さない試料土及び乱した試料土いずれにおいても約3%以下となっている。含水比の増加量に対する乾燥密度の減少量の相関々係は、乱さない試料土の場合、ある程度みられるが、乱した試料土の場合はバラツキが大きすぎて相関々係をみいだすことは困難である。しかし、同一含水比増加量に対する乾燥密度の減少量は乱さない試料土より乱した試料土が大きく出る傾向にある。同様なことが含水比増加量と膨張比の関係においても言える。このようなことは、試料土を乱すことにより、粘土粒子の構造が攪乱され、締固め後一時的に安定を保っても、吸水により非常に不安定な状態となりバラツキが大きくなるものと考えられる。

以上のことから島尻層風化土を路床土として用いる場合次のようなことがいえる。

- 1) 島尻層土を地山のまゝ路床土として用いる場合は、現場CBR試験又は乱さない土の非水浸による室内CBR試験いずれに従ってもよいが、水による影響が考えられる場合は乱さない土の水浸による室内CBR試験を適用する。
- 2) 島尻層土による盛土を路床土に使用する場合は乱した土の水浸による室内CBR試験を、その強度、沈下の問題は別として、一応適用する。
- 3) 自然含水比45%以上の土は路床土として使用不可能である。
- 4) 自然含水比30～45%の土に関してはCBR試験結果により適否を判定する。
- 5) 地山のまゝで自然含水比30%未満の土は路床土として使用可能である。
- 6) 地山のまゝで乾燥密度  $1.25 \text{ g/cm}^3$  以下の土は路床土として使用不可能である。
- 7) 乾燥密度  $1.25 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$  の土に関してはCBR試験結果により適否を判定する。
- 8) 乾燥密度は  $1.40 \text{ g/cm}^3$  以上の土は路床土として使用可能である。
- 9) 吸水膨張によるCBRの低下が大きいので現場における浸透水の十分なる管理を必要とする。

## むすび

島尻層風化土についてCBR特性を把握するとともに、自然含水比及び乾燥密度との関係をみいだそうと試みた。自然含水比から路床土としての適否を判定することは可能であるが、乾燥密度に関しては一部可能としても、転圧する場合まだ問題をもつものである。すなわち、島尻層泥岩土は粘性土であり、「仕事量が大きすぎた場合乾燥密度が減少するのではないか」ということである。従って、室内試験の場合は突固め

回数，施行現場においては転圧回数が多すぎてスポンジ状になることが考えられる。このようなこともあって盛土への適用については今後の課題としたい。

## 2) 路盤材料としてのコーラルリーフロック<sup>12,17)</sup>

沖縄諸島の賦存鉱物としては，地質工学の諸問題の章で述べたように金属および非金属鉱物など種々あるが，現在鉱物資源として開発利用されているのは，石灰石，トラバーチン，アワ石，コーラルリーフロックなどの非金属鉱物である。なかでも，戦後の沖縄における鉱物資源として注目され，かつ広く利用されてきたのは，セメント工業につながる，沖縄島北部本部半島在の古生代石灰石と沖縄島はもちろん宮古島，石垣島その他の島々で新骨材ないし路盤，基盤材として生産（採掘）され，一時期には本土へも輸出されていたコーラルリーフロックとである。

コーラルリーフロック（Coral Reef Rock，以後C.R.R.と称す）の定義および分類に関しては，後に述べるが，沖縄では「イシグウ（石粉）」と呼ばれて，古くから簡易舗装の表層材または砂利道材として，また舗装道路の基層材料として広く利用されてきたものである。たゞ，その利用法は，およそ経験的かつ簡便的なものであった。戦後，米軍の管理する道路などで，その工学的根拠に基づく利用がすすめられ，沖縄の道路技術の向上とともに，沖縄における路盤材料の主役を果すようになった。このことは，本土でも注目され，一部地域（大阪府，市，岐阜市，神戸市，高知県，広島県，福岡県などの道路や港湾・埠頭など）で時に使用されるようなこともあった。C.R.R. はこのように道路等のほかにも，滑走路舗装基盤材料として，また港湾，エプロン，倉庫などの舗装基盤材料としてもその用途は広い。

沖縄における自動車交通の増加ないし大型化に伴って今後ますますその利用価値は高まるものと思われるが，C.R.R. の工学的特性を検討し，合理的な設計施工方法を確立しておくことは，もちろん重要であり，生産（採掘）面での改善などもあわせて考えてゆかねばならないと思う。

こゝでは，CBRの生成・賦存および採掘現況を先ず述べて，C.R.R. の土質工学的特性について室内試験などによって検討し，さらによりよき利用のため，改良工法の基礎的研究の結果を論ずる。また舗装設計法についても言及する。

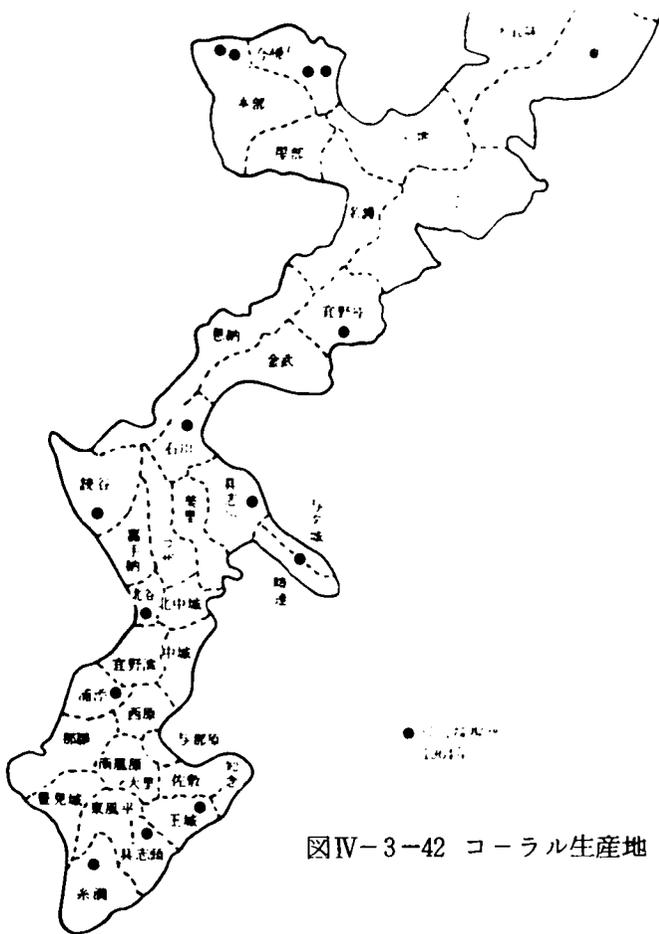
### a) コーラルリーフロック概説

#### i) 生成，産地および埋蔵量<sup>12)</sup>

C.R.R. とは，簡単に言えば半沢博士命名のいわゆる琉球石灰岩のうち，白色かまたは淡黄色を呈していて固結力が弱く，サンゴ礁の有機物質を多く含んでいる（後に述べるサンゴ砂利またはビーチコーラルと共に動物質有機物が多い）石灰岩である。たゞ，今日では，琉球石灰岩というのは，3種に区分され，その中の読谷石

灰岩と称されるものが、C.R.R.の主材料と目され、さらに、この読谷石灰岩という呼称、ひいては「琉球石灰岩」という名称にさえ問題提起されていることは、前にも述べた通りである。

しかし、こゝでは、これまでの呼称によってC.R.R.のことを論じていく。琉球石灰岩が隆起サンゴ礁(Raised Coral Reef Rock)と考えられた時期があったことから本材料もコーラルリーフロックと呼ばれるようになったが、もちろん含有する化石に造礁サンゴもあるけれど一般には有孔虫の含有量も多いとされている。したがって、C.R.R.とは、沖縄近海に多いサンゴの遺骸、貝殻、中間の深さにある熱帯、亜熱帯地域特有の有孔虫、腕足類などの動物質有機物と石灰質海藻類の植物質有機物などが、地質変動期に高熱など受けて溶解し大部分が炭酸カルシウム化( $\text{CaCO}_3$ )し、堆積硬化してできたものと一応定義しておく。このような堆積石灰岩は、地質条件の所で述べたように沖縄島をはじめとして、宮古島、石垣島、久米島など、その性状の現密な相異は別にすれば、広くかつ厚く分布している。それ故に、沖縄の各島々で道路材料として広く使われるようになったのである。



図IV-3-42 コーラル生産地

沖縄本島におけるC.R.R.生産地は、図IV-3-42(1964年現在)のようである。たゞ、後にC.R.R.採掘業のところで述べるように、その生産量の変動が著しく、この中で現在相当大企模に生産している所は読谷地区である。

現在、沖縄諸島におけるC.R.R.の埋蔵量はほとんど無尽蔵とも言われているが沖縄本島の埋蔵量は、その地質図をもとに沖縄県(1964年時 琉球政府経済局)によって推定されたものによれば、約8億屯、となっている。その内訳は、南部地区に約2億屯、読谷を中心とする中部地区に約5.6億屯、本部半島を中心とする北部地区に約0.5億屯となっている。これを地区別に示したものが、表IV-3-13である(沖縄コーラルリーフロック調査報告書、1964)。

表IV-3-13 C.R.R.の地区別推定埋蔵量

地位：万屯

地名	分布面積 (Km <sup>2</sup> )	厚さ (m)	理論推定 埋蔵量	地名	分布面積 (Km <sup>2</sup> )	厚さ (m)	理論推定 埋増量
南部				与久田	0.20	20	500
与座岳	4.64	30	18,100	字嘉地	0.04	"	100
新里	0.42	"	1,700	長浜	0.12	"	300
小計			19,800	読谷	11.78	30	46,000
				嘉手納	0.20	20	500
中部				"	0.12	"	300
瀬良垣	0.08	20	200	北谷	0.24	"	600
大田	0.20	"	500	小計			56,000
恩納	1.06	"	2,700				
金武	0.16	"	400	北部			
"	0.98	"	2,500	浦崎	1.82	20	4,700
月の浜	0.16	"	400	小計			4,700
山田	0.24	"	600				
"	0.10	"	250	合計			80,400
"	0.06	"	150				

## ii) C.R.R. 採掘事業

C.R.R.の上には通常2~3米厚の表土が覆っているので、採掘に先だってこの表土を除去する必要がある。C.R.R.層厚は普通20~30米であり、ブルドーザーやショベルなどの重機を使用して、すべて露天堀形式で行なわれている。一度採掘されたC.R.R.はこれを簡易なふるいによって粉末と大塊に大別され、塊はこれをクラッシャーにかけて所要の粒度に粉砕し野積み貯蔵されている。読谷村座喜味地区での採掘状況を写真8-a), b)に示してある。

C.R.R.は、琉球列島のみならず賦存する資源として、島内需要にこたえることは勿論であるが、なお輸出の振興を図るべく、1962年に南西諸島物資に指定され、以来少量ながら本土輸出の実績を積んできている。更に、企業としての健全化を期すべ



写真 8. a)  
コーラル採掘



写真 8. b)  
コーラル採掘



写真 8. c)  
コーラル原試料

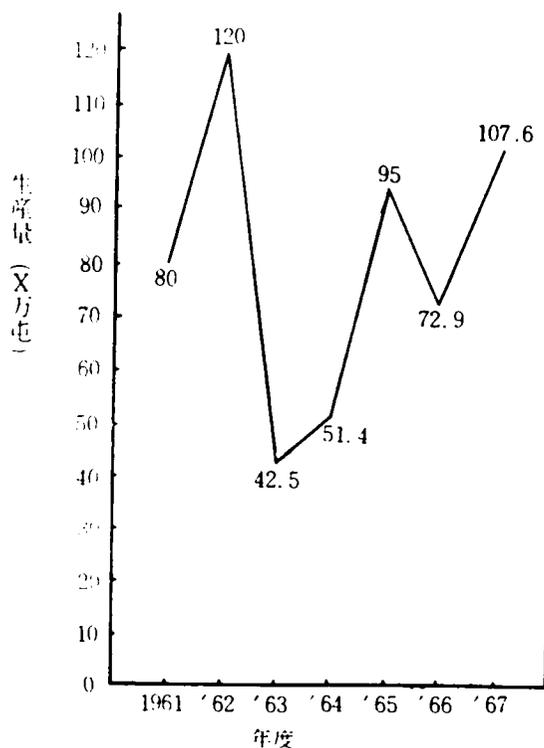
く、1965年に社団法人—琉球コ—ラルリーフロック生産輸出業協会が設立された。C.R.R. 企業の特徴は、採掘が容易で、かつ大量採掘が可能であり、重機械類の投入で需要に即応できることにある。

C.R.R. 採掘事業所は、C.R.R. の産地にしたがって各地に散在してはいるが、沖縄本島の読谷村座喜味原一帯と具志頭村新城一帯に集中的に所在しており、その状況は表IV-3-14に示すとおりである。この表から事業所24のうち本島中南部地域でその87%、生産量において実に95%の高率を占めていることがわかる。

表IV-3-14 C.R.R. 採掘業の地区別事業所数、生産量、従業員数  
(琉球工業連合会工業概観1969より)

地区別	事業所数 (比率)	生産量 (比率)	従業員数	従業員数 事業所数
北部	0	0	0	0
中部	13 (54%)	919,200 吨 (86%)	164 人	12.6 人
南部	8 (33)	96,200 (9)	42	5.3
宮古	2 (9)	25,800 (2)	4	2.0
石垣	1 (4)	34,000 (3)	6	6.0
計	24 (100%)	1,075,200 吨 (100%)	216 人	平均 6.5 人

注) この表は1968年3月までに行なった67年次実態調査の結果である。



図IV-3-43  
C.R.R. 生産量推移

C.R.R. 生産量は図IV-3-43に示すようにその変動はいちじるしい。これは、建設工  
 事の量に大きく左右されるためと考えられるが、現にC.R.R. 採掘業者の67%は土  
 木業を兼業しているのである。このことは、表IV-3-15に示されているが、むしろ土木  
 業者がC.R.R. を自家採掘の形式をとっていると言ってよからう。

表IV-3-15 C.R.R. 採掘業者の土木兼業状況（工業概観1969）

地区別	兼業率	CRR 専業	30~50	50~70	70~85	計
			%	%	%	
北 部		—	—	—	—	—
中 部		7ヶ所	3	2	1	13
南 部		1	2	1	4	8
宮 古		0	1	0	1	2
石 垣		0	1	0	0	1
計		8	7	3	6	24

C.R.R. の輸出実績は、表IV-3-16に示してあるが、自然環境との調和も十分考慮に入れた上  
 で、今後その面で対策を講じる必要があり、たとえば、積込荷役作業の施設の充実、専用船  
 の配慮さらには輸出用港湾の設置などを図り、それとあわせて、採掘事業所での材料の規格  
 管理、輸出検査の実施を強力に推進すべきであろう。

表IV-3-16 C.R.R. 輸出実績（工業概観1969）

年	1963年	1964年	1965年	1966年	1967年	計
数量(吨)	4,510	13,799	4,577	6,761	27,000	56,647
金額(弗)	8,589	28,643	8,154	11,872	49,950	107,208

b) C.R.R. の基本的性質

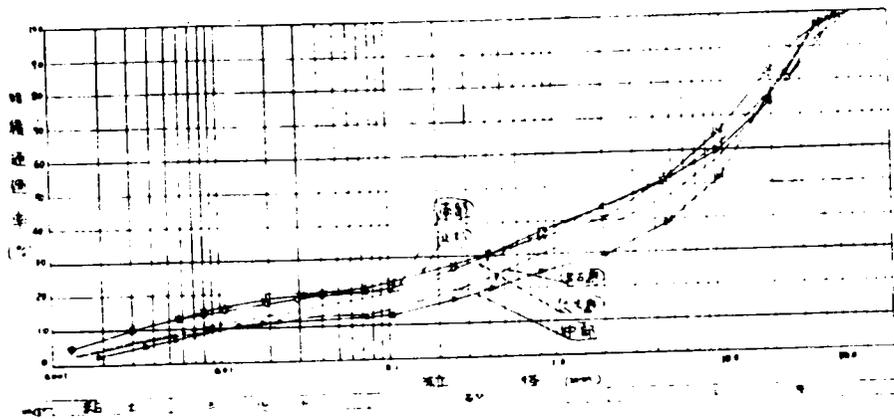
i) 物理的性質

沖縄各地に産するC.R.R. の一般的な例として表IV-3-17および図IV-3-44に示してある。  
 また、コーラルの外観は写真8.c)に示してある。

物理的性質については、一般に次のようなことが言える。

表IV-3-17 各地のC.R.R. の物理試験結果<sup>40)</sup>

	比重	L.L. (%)	P.L. (%)	ロサンゼ ルス(%)	強熱減量 (%)	CaO/MgO	地 山 状 態		
							$\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	w(%)	$\gamma_a$ (g/cm <sup>3</sup> )
久米島	2.761	19.70	N.P.	51	—	—	1.686	14.26	1.476
宮古島	2.719	20.10	"	48	—	—	1.716	11.25	1.542
南 部 (糸満)	2.775	21.00	"	48	40.94	56.96/2.70 56.85/1.39	1.682	13.80	1.478
中 部 (読谷)	2.742	18.50	"	40	41.22	59.51/0.87 57.19/2.76	1.883	7.85	1.743
北 部 (本部)	2.752	18.50	"	45	—	—	1.677	13.94	1.472



図IV-3-44 各地産コーラル粒径加積曲線

C.R.R. の比重は 2.65 ~ 2.75 の範囲である。使用材料はほとんどが 60mm スクリーンを通じたものであり、4.76mm フルイ残留率が 50% 前後で、粘土分 ( $< 5\mu$ ) も全試料の 10% 以下である。コンシステンシーについてはその測定はなかなか困難で、無理して実施すれば、液性限界は 16 ~ 20% 程度 (ASTM 型ミゾ切りの方が便利である) 得られるが、塑性限界は測定不可能である。したがって、日本土質統一分類法による分類は不都合であるが、一応旧三角座標で砂質ローム (2mm 以下の試料について)、塑性図上で ML に相当する土として取扱っている。全試料としては、レキ質土としてさらに、その他の条件を考慮して日本の "特殊土" の一つとしてあげられよう。<sup>41)</sup>

### ii) 骨材としての性質

コンクリート骨材として、JISA 1104, JISA 1109, JISA 1110 に準じて試験を行なった結果の一例を表 IV-3-18 に示してある。

表 IV-3-18 C.R.R. の骨材としての性質

	範囲	比重	吸水量 %	単位容積重量 $t/m^3$
細骨材	5mm 以下	2.27	12.24	1.447
粗骨材	10 ~ 50mm	2.32	9.45	1.376

### iii) 化学組成

参考のために、読谷地区から採った C.R.R. についての試験結果 (建設省土木研究所) を引用しておく。化学分析は、内部 (試料 A) と表面 (試料 B) について行なわれており、表 IV-3-19 のとおりである。表から明らかなように、炭酸カルシウム ( $CaCO_3$ ) 含有率は試料のどの部分にしても、約 99% であり、C.R.R. は純度

の高い炭酸カルシウムであることがわかる。なお、この炭酸カルシウムの大部分は方解石として存在し、ごく一部が霰石として存在するようである。

表IV-3-19 C.R.R.の化学組成

項目 試料	強減 %	熱量 %	不 解 %	溶 分 %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	計
A	43.71		0.20		-	0.30	0.03	55.39	0.43	100.06
B	43.43		0.81		0.03	0.10	0.10	54.88	0.43	99.76

表IV-3-19 C.R.R.の炭酸カルシウム含有率

試料	CaO含有率より算出 %	強熱減量より算出 %
A	98.85	99.34
B	97.94	98.70

c) C.R.R.の力学的性質

C.R.R.について締固め特性に関する事項はすでに述べてあるので、こゝでは路盤等材料としての各地の試料の性状および一般的な性質に関して述べる。

i) 締固め試験に関して

試料は、沖縄島、宮古島、石垣島および久米島の代表的なサンプルについて、JIS A 1210 1.1 および 2.4 方法によって突き固め試験を実施した。その結果を表IV-3-20にまとめてある。

表IV-3-20 C.R.R.の締固め試験結果一覧（沖縄県建設材料試験所資料も含む）

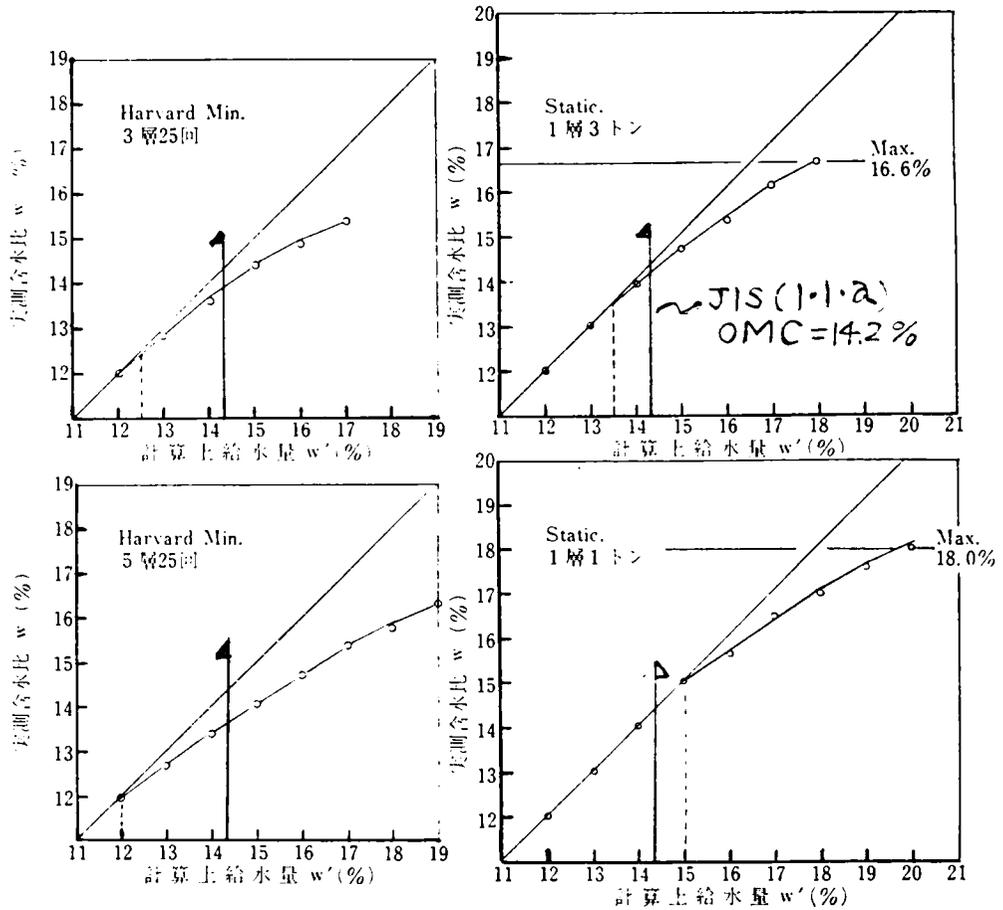
採取地	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	間ゲキ比	飽和度 (%)	備考
北部(本部町)	15.4	1.741	0.58	82	上段3層25回 下段5層55回
	13.5	1.895	0.45	73	
中部(読谷村)	13.6	1.901	0.44	85	
	12.0	1.965	0.40	82	
南部(糸満市)	15.8	1.800	0.54	81	
	13.2	1.895	0.46	80	
宮古島(平良市)	16.9	1.795	0.51	90	
	13.2	1.904	0.43	83	
石垣島(石垣市)	-	-	-	-	3層92回 15cmモールド 非くり返し
	10.8	1.965	0.37	78	
久米島(仲里村)	16.5	1.776	0.55	83	上段3層25回 下段5層55回
	12.6	1.865	0.48	72	

C.R.R. の採掘生産地は、上記島々においても複数ヶ所あり、それらの詳しいデータは、沖縄県建設材料試験所の年報などを参照されたい。C.R.R. は、その比重（石質）や粒度組成等によっても締固め効果が変わること、試料の攪乱（くり返し）に伴う粒度組成の変動がみられることおよび締固めエネルギーの増によって変動があることなどで一概には言えないが、最適含水比は8～16%の範囲にあって、最大乾燥密度は1,700～2,100  $g/cm^3$ の範囲にあるので良好な路盤材料といえる。たゞ、突き固め試験において、含水の増に伴って、現行モールドからの水分滲出があったり、レキ質土であるために含水比測定上バラツキが生じやすいことなど諸注意が必要である。

また、締固め特性として、動的、半動的および静的締固め方式によるちがいについては、C.R.R. についても、すでに述べてあるがこゝで若干の事実をつけ加えておきたい。<sup>27)</sup>

イ) C.R.R.の動的締固めにおいて、4670 $\mu$ 通過試料を用いた場合、くり返し法によって2mm前後の粒子の占める割合は2回目で増えて、2mm以下の細粒分はさほど増えないが、それ以後の回数では、その粒度分布にあまり変化はみられない。また、半動的締固めの場合、層数や押しつけ回数を増やすことによって締固め効果はある程度あげられるが、給水量（したがって含水比）を増やすと、小型装置のために、ブリージング的な現象を生じて妥当な判定基準をきめるのは困難である。さらに、静的締固めの場合その載荷重の大きさにもよるが、給水量をある程度増やしても、圧密的圧縮による排水が余儀なくされ実測含水比に変動がなく、いわゆるOMCの判定に苦慮する。

ロ) 締固め試験における三つの締固め方式による優劣については、操作上、粒径の大きい場合（19.1mm通過試料）は別として、半動的締固めによって、3層55回ないし5層25回を目途とすれば、現行JISA 1210 1:1法にとってかわることができる。たゞ、この方式によると静的方式による場合も同様、計算上の含水比（給水量として）と実測含水比との間に水量が増えるにつれて著しく相違がみられるので実験操作上注意しなければならない。このことは現場で転圧の際にも十分考えなければならないことであり、示方上の含水比（たとえばOMC）との対比において、図IV-3-45のような関係が得られるので、施工上一考を要する。



図IV-3-45 含水比における計算値と実測値のちがい

ii) C.B.R. 試験に関して

C.B.R. 試験に関しては、これまで旧試験法によってなされた資料の検討の結果から<sup>42)</sup>修正C.B.R.もかなりの値(60%以上)が期待でき、間ゲキ比が0.3~0.5,飽和度70~85%,吸水量はやゝ大きいが膨張比はほとんどゼロであることから、最良の路盤材料と言えよう。

こゝでは、改訂試験法(JISA 1210 2.5法) b)に基づく試験結果の一覧をかゝげて(表IV-3-21)今後の参考としたい。

表IV-3-21 C.R.R. のC.B.R. 試験結果(沖縄県建設材料試験所資料より)

採取地	締固め試験				C. B. R. 試験						修正 CBR
	最大乾燥 密度( $g/cm^3$ )	最適含 水比(%)	間ゲキ 比	飽和度 (%)	92回		42回		17回		
					2.5mm	5.0mm	2.5mm	5.0mm	2.5mm	5.0mm	
石垣市 川原	1.776	15.2	0.51	80	136	138	69	67	19	21	75
石垣市 白保	1.745	16.0	0.56	78	138	141	70	79	26	25	100
平良市 大浦山	1.935	11.9	0.40	80	187	234	100	118	58	65	134
平良市 添道	1.840	13.4	0.47	77	120	138	83	85	31	34	78
久米島 具志川	1.907	11.6	0.42	75	143	176	79	82	20	20	82
具志頭村 安里	2.014	9.7	0.34	77	192	202	84	91	19	21	110
玉城村 前川	2.077	8.8	0.31	77	171	205	128	138	39	46	120
読谷村 楚辺	1.945	12.1	0.39	84	179	229	159	171	38	42	92
同上	2.104	8.4	0.31	74	331	411	178	218	87	87	181
具志川市 具志川	1.965	12.2	0.39	86	133	174	109	125	34	31	119
石川市 東恩納	2.038	10.4	0.33	85	180	229	120	127	40	39	140
今帰仁村 仲宗根	1.985	11.5	0.38	83	296	-	100	125	48	47	155
" 平敷	1.830	14.1	0.48	80	204	229	80	95	15	13	83
" 与那嶺	1.868	14.2	0.45	85	160	177	92	94	24	24	110
本部町 浦崎	1.968	10.8	0.38	77	274	257	125	112	57	54	144
" 桃園	1.876	13.5	0.44	82	146	166	89	97	42	46	127
" 豊原	1.733	17.3	0.55	84	138	136	82	76	49	43	102

上の表から、わかるようにC.R.R. の修正CBRは大きい値を示しているが、採取地によって大小のバラツキがうかがわれる。これは、いわゆる琉球石灰岩をブルドーザーなどで破砕しながら掘り出し、スクリーンにかけて搬出するので品質管理の面や、本来的な岩石質の性状などによることも大きいと考えられるが、供試体作製時における締固め結果(粗粒分のかみあわせ等)によるバラツキも当然に考えられる要素である。現場施工においては、19.1mm以上の砕レキが含まれることから、この点の配慮が必要である。

### iii) 締固めたCRRの透水性、圧縮強度に関して、

C.R.R. をJISA 1210の(1.1)および(2.4)で突き固めた供試体を用いて透水試験を行なってみると、沖縄島読谷村の試料ほか、南部北部および各離島の試料についても、前者で $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 、後者で $10^{-6} \sim 10^{-7}$  cm/secの透水係数を示した。このことから、CRRはかなり低い透水性をもつことになり、路盤材としてCRR自身の吸水性は大きくとも、突き固められると浸透性は非常に低くなって良好な結果を生ずることがわかる。

また、圧縮強度については、すでに述べたように材令(被覆養生)によってあまり大きい値は期待できないが締固めエネルギーを増加させると2~6 Kg/cm<sup>2</sup>(1~2週養生)の一軸圧縮強度が得られることがわかっており、<sup>40)</sup> 一方、室内放置ないし強制乾燥養生を行

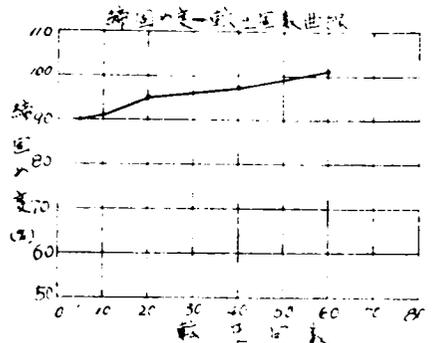
なうと固結度が増し（硬化），かなりの強度が得られて，<sup>12)</sup> 良好な結果をもたらす。また，変形係数 E50 も一軸圧縮強度の増加と共に急激に増加することがわかっている。

d) C.R.R. の舗装設計と施工上の問題

こゝでは，C.R.R. の実用に関連して，現場転圧試験の結果や実際に使用されている道路舗装の若干例について述べる。嘉数らの転圧回数決定試験の例によれば，<sup>40)</sup> 表 IV-3-22 のようである。試験方法は含水比と撤出厚さを一定にして，転圧回数を変えて行なうこととし，C.R.R. 最大粒径 70mm 程度，含水比 OMC = 1.1.9% ( $\gamma_{dmax} = 1.978 \text{ g/cm}^3$ )，撤出し厚さ 20cm，幅 4.0m，長さ 30m，マカダム 10 ton ローラ使用（1 サイクル 2 回）という条件をとっている。

表IV-3-22 CRR 転圧試験結果

転圧回数	サンプル	乾燥密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	含水比 (%)	締固め度 (%)	平均 (%)
5	No. 1	1.452	12.8	73	90
	" 2	1.705	14.2	86	
	" 3	1.893	12.1	96	
10	" 1	1.824	12.0	92	91
	" 2	1.808	13.5	91	
	" 3	1.912	10.0	97	
20	" 1	1.935	11.9	98	95
	" 2	1.794	13.3	91	
	" 3	1.904	11.6	96	
40	" 1	1.938	12.3	98	97
	" 2	1.949	11.8	99	
	" 3	1.982	10.8	100	
60	" 1	1.987	10.9	100	100
	" 2	1.940	12.2	98	
	" 3	2.001	11.2	101	



注). 転圧試験終了後 5cm 沈下

(from 嘉数ら, 昭45)

この試験結果から，ローラ転圧の回数が少ないと C.R.R. 材料の性状から転圧効果にバラツキがみられ，均質な施工密度は得られないことがわかる。しかし締固め度は転圧の回数を増やすことによって，ほぼ均等に締固められ，かつ良好な結果をもたらす。さらに交通開放（直ちに可能である）によって転圧度はますますよくなる実情にあり，路盤材として期待できる。

また，2.3 の平板載荷試験の例をあげると次のようであり，<sup>42)</sup> この点からも CRR の路盤材としての良好さを知ることができる。

## 熊本県庁土木部道路課の例

CRR ベース 7 cm, 表層 A.C. 3 cm K<sub>30</sub> ; 27.11~38.37 Kg/cm<sup>2</sup>

## 岐阜市役所道路課

CRR ベース 2.5~7.0 cm, 表層 タールマカダム 2.5~3.0 cm K<sub>30</sub> ; 31 Kg/cm<sup>2</sup>

以上のように, CRR の舗装施工結果は好評を博しており, これまで経験的な利用方ですゝめられた沖縄における道路技術は工学的な裏付けをもって発展することになった。こゝに実際使用例を引用して参考としたい(図IV-3-46参照)。

なお, 空港舗装用路盤材としての利用についても最近, 森口らに<sup>43)</sup> よって検討されていて, 大きな問題はないようである。

## むすび

以上述べたことから路盤材料として, CRR の特性について次のようにまとめられる。

- ① CRR の粒度は, 搬出時にほゞ標準粒度の範囲内におさめられ, 一般の土のような粒度調整を行わずにすみ, 比較的簡単に取扱える。
- ② CRR はわりあい低含水比で最大乾燥密度が得られ(10~15%), 一般に締固めエネルギーの増によって効果の増が期待でき, 修正CBRは, 現場でローラー転圧によって締固め度を 100%に近似できることによりかなり高値(>70%)を採用できる。
- ③ CRR の吸水量はやゝ大きい(6~8%)締固めると透水性は非常に低く(10<sup>-6</sup> cm/sec)なり, 膨張比はほとんどゼロであるから安定した材料である。
- ④ C.R.R. の路盤厚はその路盤効果が大きいことにより, ベース厚 10~15 cm もあれば大抵の場合十分である。
- ⑤ C.R.R. の使用ヶ所は部分的に補修が簡易(古い路盤との結合は極め容易)であり, また, ヒビワレも水分の介在により再び固結する自硬性を有し, さらに施工が容易で直ちに交通開放が可能である。
- ⑥ CRR は水に対する安定性が弱く, 水浸による軟化現象に注意せねばならないが, 含水量が小さくなると固結し(締固め後気乾放置するとカチカチになる), 支持力の回復が得られる。
- ⑦ 耐水性その他については安定処理工法が考えられる(後述)
- ⑧ 生産合理化, 品質管理等によってより効果的な利用が期待できる。

沖縄における米軍標準 CRR Base (コーラル基層厚)

Type A: Military Road, C.R.R: 6" Thick when compacted 95% & up.

Asphalt: 21/2" Thick when compacted 95%

Type B: Military Road, C.R.R: 5" Thick when compacted 90~95%

Asphalt: 11/2"~2" Thick when compacted 90~95%

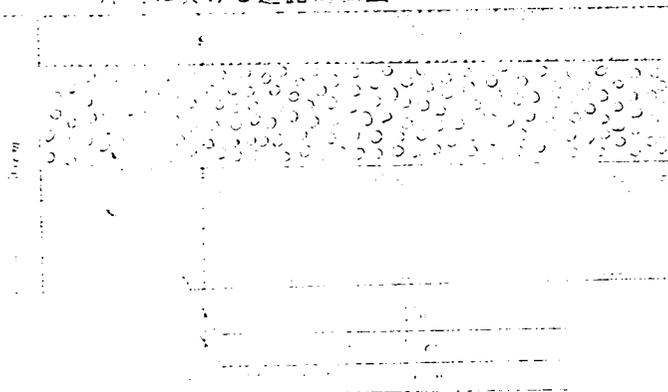
Type C: Gravel Road with Prime coat:

C.R.R: 3"~25" Thick when compacted not less than 65%

Asphalt: 1"~11/2" Thick when compacted not less than 85% or just road oil.

コーラル

沖縄における道路構築図



米軍道路 (ハイウェイ 1級)

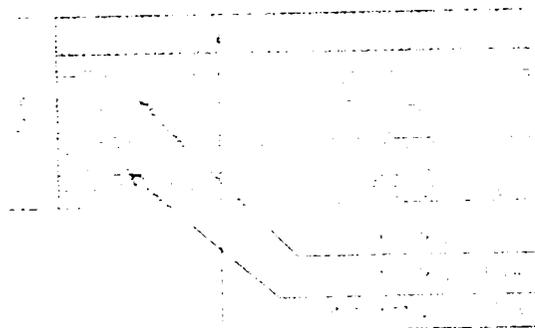
注) 現国道58号

琉球政府交通運輸局

(セコンダロード)

注) 現沖縄県

土木部



図IV-3-46, a) 県内主要道路の例

(from 文献No. 24)

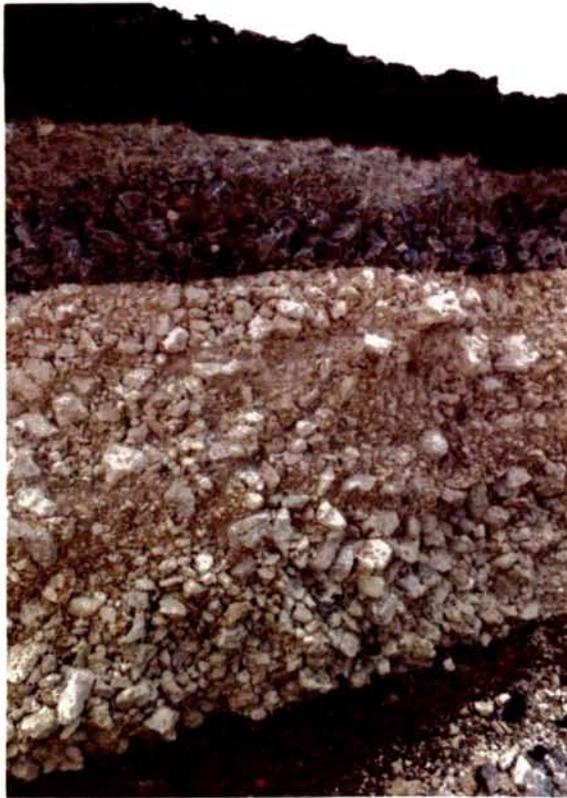
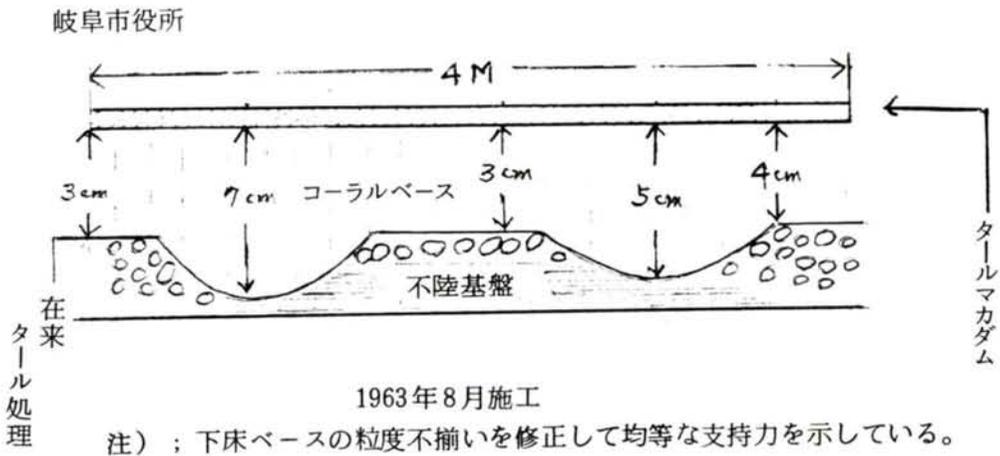


写真9 路盤(旧バイパス盛土部)



図IV-3-46.b) 県内, 県外のCRR使用道路例

### 3) 路床・路盤材としてのビーチコーラル

ビーチコーラル(海砂利, フィンガーコーラル)の骨材としての物理的性質については、前に述べたが、こゝでは路床路盤材として、締固め, CBR などの土質工学的特性について述べる。本項は、主として砂川の報文<sup>44)</sup>をもとにして述べるが、安謝港地質調査データ<sup>45)</sup>、那覇港臨港道路土質調査データ(1975)その他のいわゆる「海浜レキ層」に関する情報を考慮に入れて論ずる。

ビーチコーラルはサンゴの遺骸である Finger Coral が主体をなすが堆積環境からして砂やそれ以下の細粒分も含まれているのは勿論である。(骨材としての海砂利については 5 mmフルイ通過分を無視して述べてある)。ビーチコーラルの分布は沖縄の各島々の海浜にはたいてい堆積しており、沖縄島中南部、とりわけ西海岸の那覇新港(安謝港)から豊見城村と根を経て糸満市名城に至る海浜では広く堆積している。これらの地域は、干潮時に干上がり、大型車輛の往来も可能であり、陸揚げもさかんである。陸揚げされたビーチコーラルは、道路や空港の路床あるいは下層路盤の材料、さらに埋戻し材料等として利用されている。

このような用途をもつビーチコーラルについて、現位置での支持力の問題や材料土としての適性について未だ十分に検討されていず、こゝに報告する事項のもつ意義は大きいと言えよう。このうち地盤としてのビーチコーラル堆積層(砂レキ層)については、すでに述べているので、こゝでは若干の試料の粒度、締固め、CBR 特性を例示し、続いて那覇市沿岸(ビーチコーラルによる埋立地盤)における現場密度試験と平板載荷試験結果に基づいて述べる。

#### a) 試料および試験結果

##### 1) 物理的性質

比重および粒度組成について表IV-3-23に示してあるが、この結果からは、ビーチコーラルは必ずしも「レキ粒度」というわけにはゆかない。しかし、こゝで問題なのは、フィンガーコーラルは細長い円柱形をなしているため、フルイ分析の際、通常円柱直径を以って粒径とするので、2 mm径以下のコーラルはたとえ長くても砂とみられることになり、砂分の占める割合が多くなり、外見に反して「砂粒土」という結果になることである。

表IV-3-23 ビーチコーラルの粒度試験結果

採取地	比重	粒 度 組 成				統 一 分 類
		レキ分 22mm	砂 分 74μ~2mm	シルト分 5μ~74μ	粘土分 <5μ	
豊見城村与根	2.848	43.5%	49.6%		6.9%	最大粒径 25.4mm 〔S・F〕
那覇港近郊	—	32.0	65.0		3.0	最大粒径 50.8mm (SPu)
安謝港近郊	2.790	45.0	48.4		6.6	最大粒径 25.4mm 〔S・F〕
安謝海浜	2.770	44.0	16.0	(28.0)	(12.0)	30mm以上除去 {S・F}
具志川市	2.733	71.9	33.2		4.9	最大粒径 38.1mm (GP)
恩納村	2.696	61.8	32.4		5.8	最大粒径 25.4mm 〔G・F〕

ii) CBR 試験結果

JIS A 1210 2.5・b方法によって得られた突き固め試験結果とCBR試験結果を表IV-3-24に示す。

表IV-3-24 ビーチコーラルの締固め及びCBR試験結果

採取地	締 固 め 試 験				C B R 試 験						
	最大乾燥 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含 水比 (%)	間 ゲキ比	飽和度 (%)	92 回		42 回		17 回		修 止
					2.5mm	5.0mm	2.5mm	5.0mm	2.5mm	5.0mm	CBR
豊見城村与根	1.870	14.0	0.52	77	109	130	69	89	26	37	84
那覇港近郊	1.758	16.2	—	—	—	52	—	32	—	19	42
安謝港近郊	1.775	13.0	0.57	64	174	180	81	101	34	44	98
具志川市	1.878	11.5	0.46	68	211	208	140	153	72	94	107
恩納村	1.885	12.6	0.43	78	127	158	87	103	47	56	110

ビーチコーラルの吸水量は、サンゴ片自身7~8%と大きいですが、締固めた供試体は、吸水試験前後とも密度の変化はほとんどなく、また、膨張比もほとんどゼロである。したがって路盤材料などとして、修正CBRの大きい面からみても良好な材料に属するといえよう。この力学特性は、ビーチコーラルのサンゴ片が締固めによって、粉碎され、詰まり方がより密になることによるものと思われるが締固まり機構については、なお検討の余地がある。

iii) 現場密度試験および平板載荷試験結果

試験を行なった地点は、那覇港近郊にあって、ビーチコーラル(浚渫土砂)による埋立地盤で、埋立て後約6年間自然放置し、今回15tonタイヤローラーおよび10tonマカダムローラーで各々12回転圧した地盤である。ビーチコーラルの埋立て厚は2~3

mである。

現場密度試験はローラ転圧後地表面から深さ約 20cm の点において行ない、約 800m<sup>2</sup> に 1 個の割合で実施した。平板載荷試験は載荷板 30cm のものを用い、現場密度試験ヶ所と同一地点で実施した。

現場密度試験及び平板載荷試験結果は表IV-3-25に示すとおりである。現場乾燥密度はいずれも締固め規定値90% ( $\gamma_d = 1.582 \text{ g/cm}^3$ ) 以上を示しており、この規定値内では現場におけるローラ転圧による締固めは問題ないようである。含水比はだいたい 5 ~ 10% で最適含水比 OMC = 16.2% と比較すると大きなひらきがある。地盤係数は直径30cmの板により載荷試験を行ない、沈下量 0.125cm に対応する地盤係数 (K) を次式により求めたものである。

$$K (\text{Kg/cm}^2) = \frac{\text{荷重強さ} (\text{Kg/cm}^2)}{\text{沈下量} (\text{cm})} \quad (\text{土質工学会 ; 土質調査法})$$

この結果から、地盤係数はすべて 13 Kg/cm<sup>2</sup> 以上を示していることがわかる。

表IV-3-25 試験結果

測点No.	現場乾燥 密度(g/cm <sup>3</sup> )	締固め度 (%)	現場含水 比(%)	地盤係数 (Kg/cm <sup>2</sup> )	測点No.	現場乾燥 密度(g/cm <sup>3</sup> )	締固め度 (%)	現場含水 比(%)	地盤係数 (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.755	99.8	7.9	16.2	14	1.741	99.0	5.6	23.2
2	1.712	97.4	6.7	17.8	15	1.734	98.6	5.8	17.8
3	1.750	99.5	6.7	31.1	16	1.611	91.6	5.6	25.2
4	1.683	95.7	7.3	13.5	17	1.674	95.2	5.4	24.2
5	1.728	98.3	6.1	15.4	18	1.766	100.5	8.1	27.0
6	1.705	97.0	7.2	21.6	19	1.609	91.5	8.2	21.2
7	1.709	97.2	6.1	18.4	20	1.648	93.7	8.1	24.4
8	1.667	94.8	5.6	22.6	21	1.712	97.4	10.0	20.6
9	1.619	92.1	4.6	31.1	22	1.769	100.6	8.7	20.8
10	1.713	97.4	6.1	34.4	23	1.601	91.1	7.9	36.8
11	1.661	94.5	5.1	23.3	24	1.614	91.8	7.2	26.9
12	1.678	95.4	5.8	20.8	25	1.657	94.3	8.6	22.9
13	1.755	99.8	5.3	28.4	26	1.614	91.8	11.1	13.8

#### b) 検 討

タイヤローラ (15 ton) 及びマカダムローラ (10 ton) で各々12回転圧した場合の現場密度は最大乾燥密度の 90 ~ 100% を得ることができるので問題ないようであるが、現場における含水比が最適含水比と 6 ~ 11% のひらきを持っているのでその原因を透水係数から検討してみることにする。透水係数の実測値がないので粒度組成から概略的に考察を行なう。粒度試験結果の D<sub>12</sub> (0.16mm) による透水係数の概略値は 1.5 ×



量  $0.07\text{ cm}$ 、 $0.10\text{ cm}$ 、 $0.125\text{ cm}$  のときの地盤係数を示したものが図IV-3-48である。2～3の例外を除けば沈下量の増加に伴い地盤係数が増加している。すなわち、 $K_{30}$  は  $S_{0.07}$  のときより  $S_{0.10}$  のときが大きく、 $S_{0.125}$  のときはさらに大きくなっている。

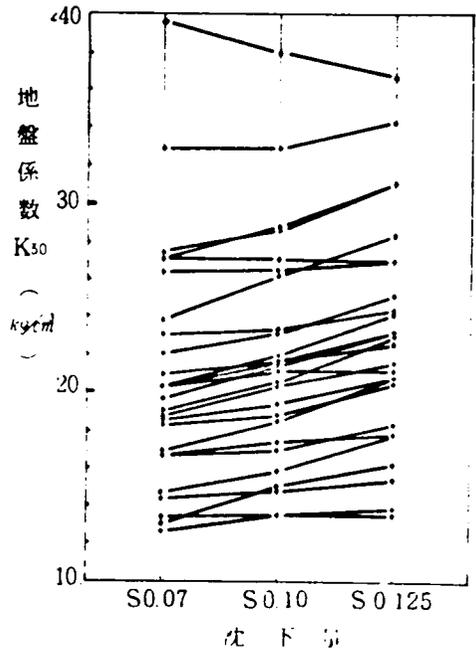
これは地盤の締固めが可能なことを示し、締固めによりさらに大きな地盤係数を期待することができる。従って、地盤の支持力も増大することになる。沈下量の増加に伴ない地盤係数が減少する2～3の例外を除けば、沈下量  $0.07\text{ cm}$  と  $0.10\text{ cm}$  における  $K_{30}$  の差は  $0\sim 2.4\text{ Kg/cm}^2$  であり、平均値は約  $1.4\text{ Kg/cm}^2$  である。また、沈下量  $0.10\text{ cm}$  と  $0.125\text{ cm}$  における  $K_{30}$  の差は  $0\sim 2\text{ Kg/cm}^2$  であり、平均値は約  $1.0\text{ Kg/cm}^2$  である。

#### むすび

実際の工事現場で行なった試験結果の状況を示したのであるが、 $15\text{ Kg/cm}^2$  以上の地盤係数（載荷板の直径  $30\text{ cm}$ 、沈下量  $0.125\text{ cm}$  の場合）を得ることは、さほど困難なことではないようである。 $20\text{ Kg/cm}^2$  以上を得るためには材料の粒度調整や十分なる施工管理が必要となるであろう。

同時に締固め方法の問題が生じてくる。すなわち、

沈下量の増加に伴い地盤係数が増加しているということは、もっと締固めることが可能であるということであり、締固め方法の問題が解決できればさらに大きな地盤係数を得ることが可能である。



図IV-3-48 沈下量と地盤係数の関係（砂川, 1975）

#### 4) 国頭レキ層土の安定処理<sup>16)</sup>

これまで述べたように沖縄では路盤材は、主としてコーラルリーフロックが使用されているが、コーラルリーフロックの採掘、搬出などで自然環境、生活環境の問題として地域住民の間に反対運動をもたらしつゝある昨今であることゝ、供給源（採掘権もからんで）について必ずしも“無限の資源”とは言い難い点があることなどで、利用できる路盤材の開発が考えられなければならない。

このことに関連して、沖縄島の各地の土（図IV-3-49参照）の物理諸量を試験しソイルセメント工法の適用性を、Highway Research Board 提案の表Rによって検討し結局、量および運搬の面も考慮に入れて、中部石川市郊外にある国頭レキ層土をえらんで、そのCement-Treated Soils (Compacted Soil Cement) についての基礎実

験を行なった。

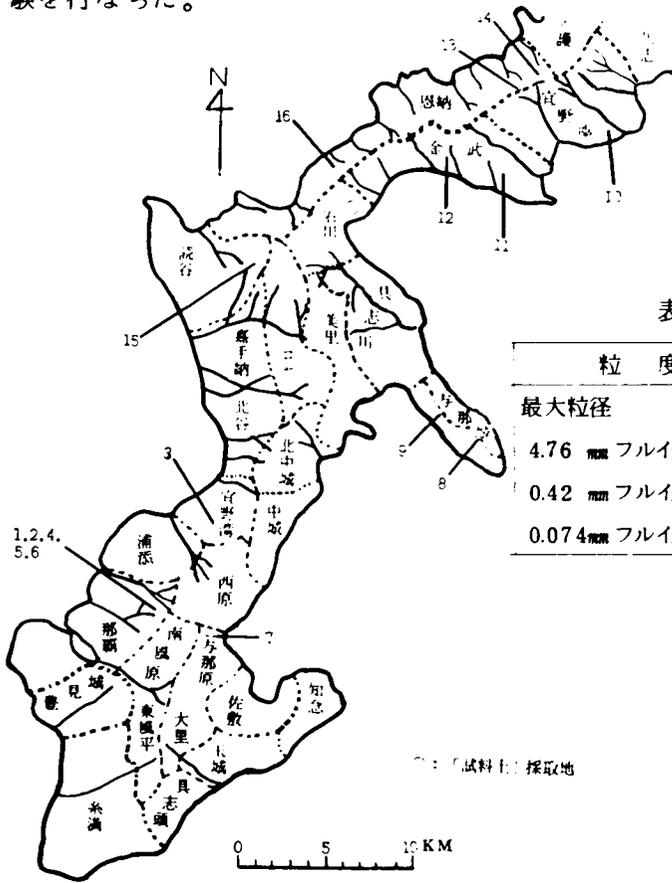


表 R-H.R.B. 提案表

粒 度 分 布		コンシステンシー	
最大粒径	75%	Liquid Limit	
4.76 mm フルイ通過量	> 50%	< 40%	
0.42 mm フルイ通過量	> 15%	Plasticity Index	
0.074mm フルイ通過量	< 50%	< 18%	

Soil Sampling Locations on Okinawa Island

図IV-3-49 適用土選択のためのサンプリング地点

a) 試料および試験方法

試料土の基本的性質は表IV-3-26に示すとおりで、一時期に大量に実験室へ搬入し、気乾状態にして使用した。

表IV-3-26 セメント安定処理用試料土の性質

試 料	比 重		液 性 限 界					塑 性 指 数			収 縮 限 界		
	レキ分	砂 分	シルト分	粘土分	60%経	10%経	均等	2000μフルイ通過率	420μフルイ通過率	74μフルイ通過率	分	類	
	%	%	%	%	mm	mm	係数	%	%	%			
全試料	4.0	38.0	26.0	32.0	0.14	0.001	140	96.0	78.0	58.0	旧三角座標	改訂PR法	統一法
2mm以下	—	41.0	26.0	33.0	0.084	—	—	100	81.0	59.0	ローム	A-6	(ML)

ソイルセメントの試験については、アメリカ（ASTM, AASHTO, PCA等）、イギリス（BS）およびドイツ（DIN）などでは試験方法が規格化されているが、わが国では、試験方法が確立されていない。こゝで土質工学会「土質試験法」（昭39）の第12章「締固めて作る安定処理土の一軸圧縮試験方法」に準じて試験を行ない、あわせてCBR試験による検討も行なった。

今回の試験では、セメント添加量を原則的に、試料土の乾燥重量に対して、重量百分率で2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16%とし、また、碎石と試料土の混合割合は、共に乾燥重量で40%：60%とした（このことについては後に述べる）。

## 1) 突固め試験

### イ) 試料土およびソイルセメント

試料土は含水比が1～2%になるまで気乾したものを使用し、セメントを混入する場合は、これに所定の割合で添加し、よく混合して、規定にしたがって突固め試験を行なった。同一試料のくり返し使用はさけた。突固めには、Mechanical Compactorを使用した。なお、本機の規格は、標準突固め試験ではランマー重量2.5 lbs. 落下高12吋、CBR試験にてランマー重量10 lds. 落下高18吋となっており、写真10に示してある。



写真10 機械的締固め機

### ロ) 碎石混入ソイルセメント

碎石混合割合は「アスファルト舗装要綱」のソイルセメントにおける標準粒度<sup>46)</sup>に近づけるため、Rothfuchsの方法およびDriscollの方法で<sup>47)</sup>粒度調整した結果とH. R. B. 提案の経済的に安定処理できる土の粒度範囲をかん案して決定したもので表IV-3-27にこれを示してある。

この碎石混入ソイルセメントの突固め試験については、その均等な含水比および乾燥密度の測定は非常に困難であり、現にバラツキが多かった。したがって、ここでは、値宜的に、Walker-Holtzの理論<sup>48)</sup>を適用し、セメント+試料土の突固め試験の結果から算定した最大乾燥密度および最適含水比を採用することにした。粗骨材混入率を40%とすれば、この方法を適用してもよいと言われており<sup>48)</sup>、念のために碎石混入ソイルセメントの突固め試験を試み、土+セメント部分のみの含水比をチェックし、また、測定された湿潤密度と、注水量（含水比）から逆算した湿潤密度を比較した結果などからも、適用してよいと判断された。

表IV-3-27 骨材および骨材混合土の性質

性質	骨材	砕石 A	砕石 B	砕石混合土粒度 (%)				
				アスファルト舗装要綱標準粒度 (mm)	アスファルト舗装要綱標準粒度		砕石 A	砕石 B
比重	2.71	2.57			範	囲	平均	40%混入土
吸水量 (%)		0.26	約 3.0	25	100	100	100	100
最大粒径 (mm)		20	25	20	60~100	80	99.2	94.8
粒度 (フルイ通過量 %)	25mm	100	100	10	40~88	64	79.4	66.2
	20	98	86	5	30~76	53	63.2	59.6
	15	86	57	2	20~60	40	58.0	58.0
	10	50	18	0.4	10~36	23	45.0	45.0
	5	11	3	0.074	3~15	9	34.8	34.8
	2.5	1	2					
Pan	0	0						
F.M.	6.54							

注) 砕石 A : 沖縄本島北部本部半島産古生代結晶質石灰岩  
砕石 B : 沖縄本島南部玉城村産第四紀サンゴ石灰岩

ii) 一軸圧縮試

供試体作製は前記「土質試験法」第12章作製方法1に準拠した。その際の注水量は試料土+セメントについては、i)-i)によって得た最適含水比になるよう、蒸発量などを考慮して決めた。砂石混入の場合はi)-i)の最適含水比から砕石混合物全体の最適含水比を算定し、これに砕石の吸水量(骨材試験の吸水量の約1/2を採用)と蒸発量を考慮して、注水量を決定した。なお、蒸発量はその日の温度、湿度をみて判定した。注水量は、実際には、わずかのちがいは無視して、たとえば、表一のようにセメント量2~6%までと8~10%までの2段階にわけて計量し、注水した。こゝに、含水比および乾燥密度の算定式をあげておく。<sup>48)</sup>

$$w = w_1(1 - p) + w_2 p$$

$$\gamma_d = \frac{1}{\frac{(1 - p)}{\gamma_{d1}} + \frac{(1 + w_2 G_{s2}) p}{G_{s2} \gamma_w}}$$

$w_1$  = 試料土+セメントのO.M.C.

$w_2$  = 砕石の含水量

$G_{s2}$  = 砕石の比重

$\gamma_{d1}$  = 試料土+セメントの $\gamma_{dmax}$

$p$  = 砕石混合割合

$\gamma_w$  = 水の単体重量

表IV-3-28

CBR試験のための最適含水比  
および最大乾燥密度(計算値)

混合土	セト メン 量	供試体作製 のための注 水量(%)	算定された最 大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )
砕石A 混入 ノ	2	8.44	2.134
	4		2.138
	6		2.139
	8	7.84	2.140
	10		2.143
砕石B 混入 ノ	2	8.52	2.099
	4		2.102
	6		2.103
	8	7.92	2.105
	10		2.107

Walker-Holtzの理論適用によって算定した。

圧縮試験は、供試体作製直後にパラフィンで  
包み、6日湿気箱で養生した後、パラフィン  
をはがして(前後の重量測定結定はほとんど  
変化がなかった)、24時間水浸して行なった。  
ただし、セメント量2%のものについては、  
供試体の状態によって非水浸7日養生したも  
のもある。圧縮試験は電動式一軸圧縮試験機  
(Cap. 10,000 lbs.) によって、歪制御方式  
(1mm/min) を採用した。

iii) C.B.R 試験

供試体作製は、JISA 1211 にしたがって、一  
軸圧縮試験の場合と同様にして注水量(表IV  
-3-28参照)を決め、Mechanical Compactorで  
突き固めてつくった。各々について吸水膨張  
試験と貫入試験を実施した。吸水膨張が止ま

りしだい貫入試験を行なったが、その時の押え荷重は5Kgとした。貫入試験では、  
Versa-Tester に貫入ピストンを取りつけて使用した。

b) 試験結果および検討

i) 一軸圧縮試験およびCBR 試験供試体作製のための突き固め試験結果を表IV  
-3-29に示す。

表IV-3-29 締固め試験結果

セメント 量 (%)	一軸圧縮試験用 (JISA 1210, 1-1)		CBR 試験用 (JISA 1210, 2-4)	
	最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)
0	1.720	18.5	1.842	14.6
2	1.725	18.3	1.870	14.2
4	1.730	18.0	1.874	13.9
6	1.740	17.7	1.876	13.8
8	1.747	17.5	1.878	13.6
10	1.760	17.2	1.881	13.5
12	—	—	1.892	13.3
14	—	—	1.895	13.1
16	—	—	1.896	13.1

ii) 試料土+セメント，試料土+セメント+砕石AまたはBについて，供試体3～5個の一軸圧縮強度の平均値を表IV-3-30に示す。

表IV-3-30 Unconfined Compression Test Results.

セメント量 (%)		2	4	6	8	10
試料土	$\gamma_{t1}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.00	2.02	2.03	2.04	2.04
+	吸水量 (%)	2.18	2.06	1.61	1.10	0.92
セメント	$q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.10	11.70	13.90	14.50	16.40
試料土	$\gamma_{t1}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.14	2.15	2.17	2.19	2.20
+ 砕石 A	吸水量 (%)	非水浸	1.84	1.46	1.27	0.97
+ セメント	$q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	(5.50)	12.44	16.55	20.03	22.22
試料土	$\gamma_{t1}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.12	2.14	2.15	2.17	2.18
+ 砕石 B	吸水量 (%)	非水浸	1.59	1.44	0.94	0.89
+ セメント	$q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.50	13.38	16.66	18.80	21.74

$\gamma_{t1}$  = 供試体成型時湿潤密度  
 吸水量 =  $\frac{\text{水浸前重量} - \text{水浸後重量}}{\text{水浸前重量}} \times 100$   
 注 ( ) 内は水浸一軸圧縮強度 (7日)

iii) CBR 試験の平均値を表IV-3-31に示すが，修正 CBR は突き固め試験による  $\gamma_{d \max}$  または算定された  $\gamma_{d \max}$  の 95% に対応する値を採用した。



写真11 試料土採取地

表IV-3-31 CBR 試験結果

セメント量 (%)		0	2	4	6	8	10	14
試料土+セメント	$\gamma_{t1}$	55	2.078	2.124	2.016			2.158
	( $g/cm^3$ )	25	2.078	2.054	—	2.036	—	—
		10	1.978	1.883	—	1.890	—	1.874
	$\gamma_d$	55	1.814	1.863	—	1.847	—	1.910
	( $g/cm^3$ )	25	1.814	1.801	—	1.829	—	1.827
		10	1.727	1.651	—	1.658	—	1.659
	膨張比	55	0.51	0.06	—	0.02	—	0.00
	(%)	25	0.66	0.06	—	0.02	—	0.01
		10	0.71	0.13	—	0.03	—	0.02
	修正 CBR (%)		6.6	85	—	145	—	200
試料土+セメント+碎石A	$\gamma_{t1}$	55	—	2.254	2.271	2.236	2.213	2.219
	( $g/cm^3$ )	25	—	2.203	2.195	2.136	2.119	2.115
		10	—	2.041	2.051	2.025	1.939	1.905
	$\gamma_d$	55	—	2.078	2.094	2.063	2.052	2.051
	( $g/cm^3$ )	25	—	2.025	2.024	1.969	1.964	1.960
		10	—	1.892	1.891	1.866	1.864	1.766
	膨張比	55	—	0.01	0.00~	0.00~	0.00~	0.00~
	(%)	25	—	0.02	0.02~	0.01	0.01	0.01
		10	—	0.03	0.06~	0.02	0.02	0.02
	修正 CBR (%)		—	115	227	270	395	427
試料土+セメント+碎石B	$\gamma_{t1}$	55	—	2.203	2.203	2.239	2.225	2.222
	( $g/cm^3$ )	25	—	2.169	2.190	2.147	2.083	2.132
		10	—	2.011	2.031	2.013	1.936	1.987
	$\gamma_d$	55	—	2.033	2.029	2.063	2.063	2.060
	( $g/cm^3$ )	25	—	1.998	2.017	1.978	1.931	1.977
		10	—	1.853	1.870	1.854	1.795	1.842
	膨張比	55	—	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00~
	(%)	25	—	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00~
		10	—	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
	修正 CBR (%)		—	130	213	255	290	362

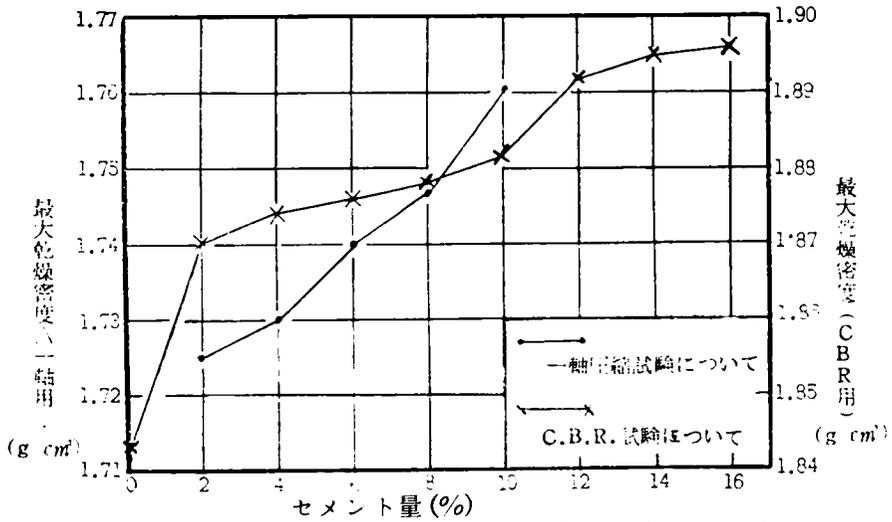
水浸日数 2~3日

- 注)  $\gamma_t$  供試体作製時湿潤密度  
 $\gamma_d$  供試体作製時乾燥密度  
 $\gamma_d'$  Walker-Holtz の理論適用によつて最定された乾燥密度

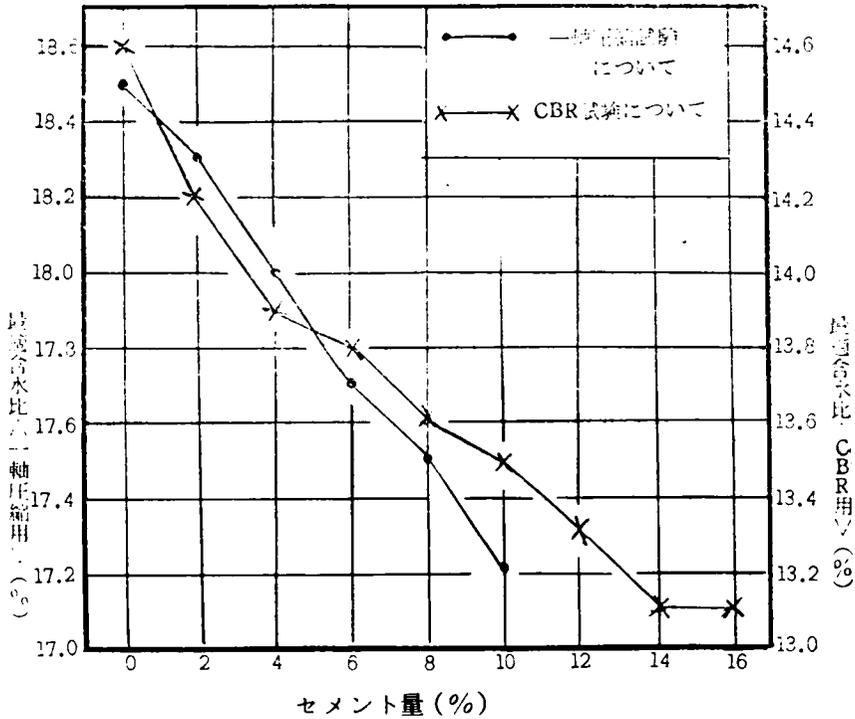
#### IV 検 討

##### イ) セメント量と最大乾燥密度、最適含水比の関係

図IV-3-50および51は、セメント量と最大乾燥密度、最適含水比の関係を示したものである。締固め効果は、従来知られているように、セメント量が増加すれば、最大乾燥密度は増加し、最適含水比は減少する傾向にある。ただし、セメントの同量増加に対する最大乾燥密度の増加の割合と最適含水比の減少の割合をくらべると、後者が大きい。たとえば、セメント量 2%から10%と 5 倍増に対して、標準突き固め試験では最大乾燥密度の増が 2%、最適含水比の減が約 6%であり、CBR 試験では



図IV-3-50 セメント混合比と最大乾燥密度との関係

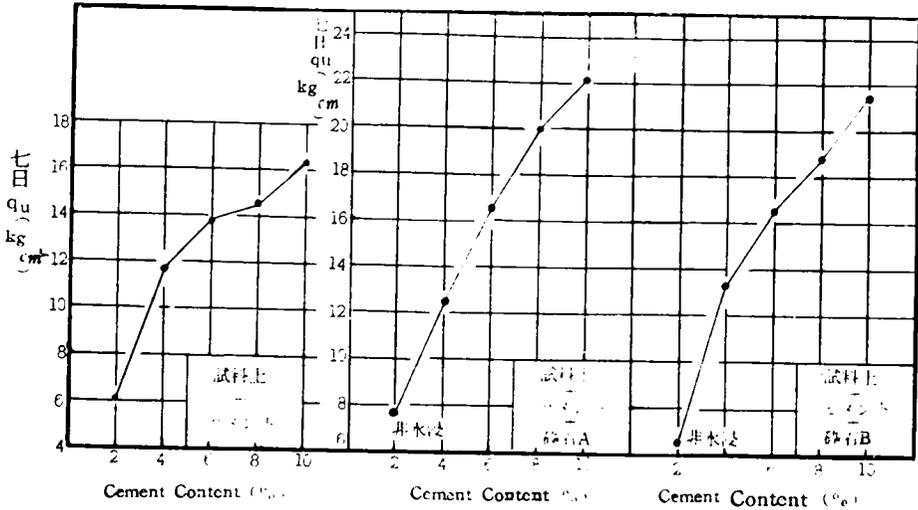


図IV-3-51 セメント混合比と最適含水比との関係

最大乾燥密度の増が約 0.6%, 最適含水比の減は約 5%となっている。また、標準突固め試験の場合は、最大乾燥密度、最適含水比ともに、ほぼ直線的に増加または減少しているが、CBR 試験では、明確な直線関係はみられない。

ロ) セメント量と一軸圧縮強度の関係

セメント量と一軸圧縮強度の関係を図IV-3-52に示してある。セメント量が増加すればソイルセメントおよび碎石混入ソイルセメントの強度が増加しており、これもすでに知られているとおりである。ソイルセメントとこれに碎石を混入した場合の強さ増の



図IV-3-52 セメント混合比と一軸圧縮強度との関係

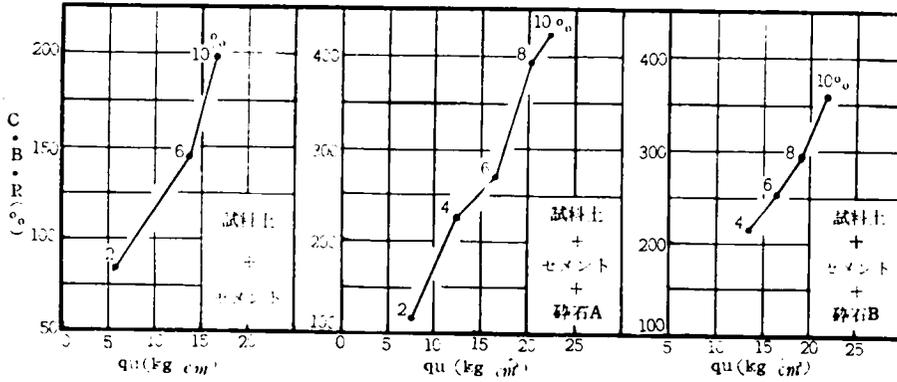
度合は、セメント量が少ないうちはあまりちがいが無いが、セメント量が増えるにつれてそのひらきは大きくなっている。セメント量が2%の碎石混入ソイルセメントの強さが低いのは、碎石と土の密着がセメント量がわずかな場合は強くないため、むしろ接触面から破壊をひきおこすのではないかとと思われる。セメント量が4%以上では碎石混入ソイルセメントの方がより直線的な関係を示している。

ハ) セメント量とCBRの関係

セメント量が増えればCBRも増加することはすでにわかっているが、図IV-3-52と同様な傾向を示している。一軸圧縮試験の結果では、碎石混入ソイルセメントの方がより直線的な関係を示しているけれども、CBR試験では、ソイルセメントにおけるセメント量とCBRの関係の方がより直線的である。試料土+セメントに碎石が混入されると突固め作業中いかに注意しても、その詰まり具合が一定とはならず、貫入抵抗もおのずと変動がある。たまたま貫入表面に碎石がかなり詰まっていると、初期の荷重値は大きくでてくる。これに対し、一軸圧縮供試体では、セメント量が増えるにつれて、碎石混入によりコンクリート的な性質を示し、コンスタントな関係がセメント量と強さの間に生ずるものと思われる。

ニ) 一軸圧縮強度とCBRの関係

一軸圧縮強度とCBRの関係を図IV-3-53に示す。この図からも、これまで明らかにな

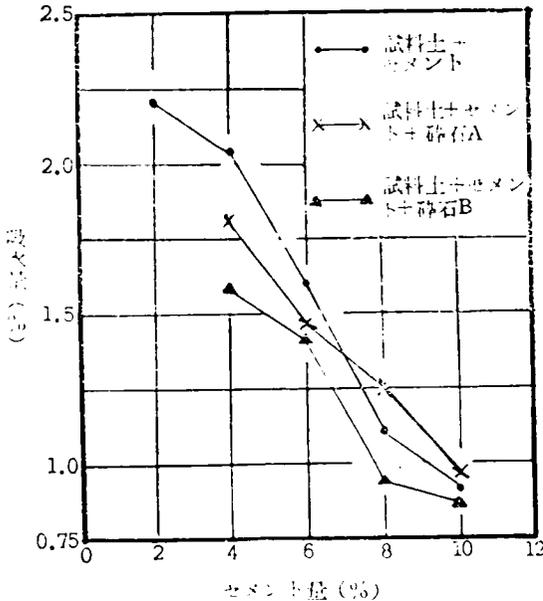


図IV-3-53 一軸圧縮強度とCBRとの相関性

っているように、両者の関係がほぼ直線的なものであることがうかがわれる。一軸圧縮強度が、 $10 \text{ kg/cm}^2$ のときはCBRは50～170%、 $20 \text{ kg/cm}^2$ のときには120～250% くらいのソイルセメントが多いと言われ、<sup>49,50)</sup> 本ソイルセメント試験結果も、それにあてはまるようである。ただ、砕石混入ソイルセメントについては、一軸圧縮強度に対して、かなり大きなCBR値を発揮している。

ホ) 一軸圧縮試験供試体の吸水量とセメント量の関係

この関係は図IV-3-54に示してある。セメント量が増加すると、吸水量(24時間水浸)は



図IV-3-54 セメント混合比と水浸含水比との関係(一軸供試体)

比較的急激に減少している。また、セメント量がある程度増加すると、ソイルセメントも砕石混入ソイルセメントも同程度の吸水量を示すようである。ただ、セメント量が8%と10%において、砕石A混入ソイルセメントの吸水量が他に比して大きいのは、平均値をもって示したためであろう。実際、その二つの%においては、吸水量のバラツキが大きく、その中で最小の吸水量は他の場合のそれより小さい値を示している。

## むすび

以上は石川市郊外の試料土を用いて、セメント安定処理の効果を検討したものであるが、試験量が充分とは言えないかもしれない。しかし、沖縄において未だそのような試みがないので、今後の研究指針を示すものと思われ、ここに、結論的な事項をあげておく。

- 1 本試料土はソイルセメント工法に適用して有効である。
- 2 必要とされるセメント量は、一般に設計圧縮強度に相当するものであるが、「アスファルト舗装要綱」や建設省土木研究所案に準じれば（表-R'参照）12～15%は必要のようである。米国のPCA, Corps of Engineer, California 州の設計圧縮強度や、<sup>50)</sup> 沖縄の気象条件などを考慮すれば、セメント量は10%以下でもよいかと思われる。

Table R'-Design Criteria

計画交通量	ソイルセメントの設計圧縮強度 (Kg/m <sup>2</sup> )		修正 CBR (%)
	アスファルト舗装	コンクリート舗装	アスファルト舗装
2,000台 / 日未満	20	10	45 以上
2,000～7,500台 / 日	25	10	60 以上
7,500台 / 日以上	30	10	70 以上

アスファルト舗装要綱および建設省土木研究所案、

- 3 修正 CBR（表-R'参照）の規準からみれば、セメント量はかなり少なくしてもよいようである。
- 4 吸水量および膨張比は、かなり小さいので有効である。
- 5 砕石量が増加すると、一軸圧縮強度や CBR が増大するので、本件においても、砕石量を50～60%にすれば、比較的少量のセメントで処理が可能かと思う。しかしながら、締固めの問題、特に砕石を混入する場合の最適含水比、最大乾燥密度の判定、ソイルセメントのコンシステンシー、乾燥収縮、強度および変形特性、セメント処理に対する他の添加材の効果等、今後更に検討されなければならない。

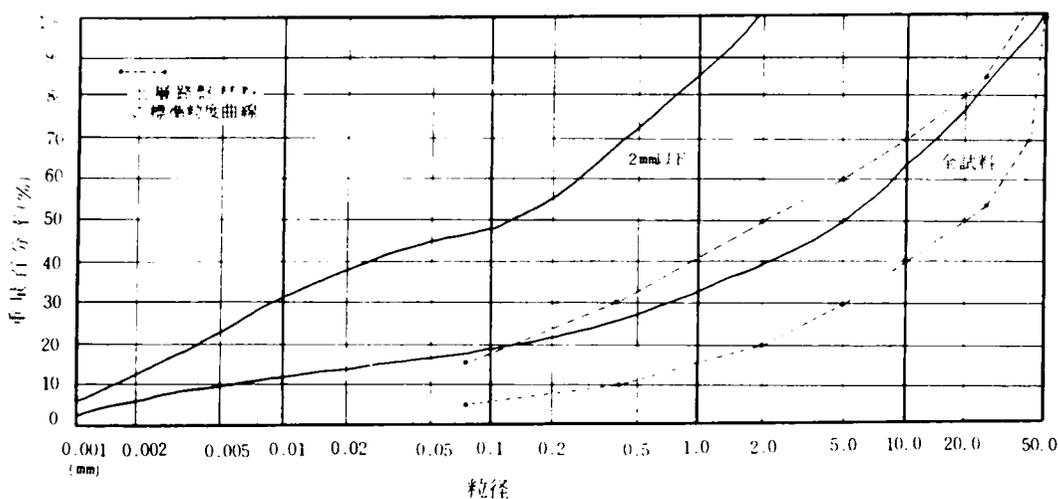
### 5) コーラルリーフロックの安定処理<sup>12,17)</sup>

コーラルリーフロックの締固め特性とその路盤材として適性については、先に論じているが、C.R.R. の効果的利用およびその耐水性の改良をはかる目的をもって、こゝにセメント添加による安定処理と薬液による安定処理に関する基礎的研究を行なった。

試料としては先に用いた沖縄島中部の読谷村楚辺のものと同じものを使用した。その基本的性質は表IV-3-32、図IV-3-55に示すとおりである。

表IV-3-32 C.R.R. の物理的性質

比	重 液 性 限 界					塑 性 限 界			収 縮 限 界		試 料	分 類
	21.76 %					測 定 不 能			19.46 %			
レキ分	砂 分	シルト分	粘土分	60 % 径	10 % 径	均 等 係 数	2000 $\mu$ フルイ 通過率 %	420 $\mu$ フルイ 通過率 %	74 $\mu$ フルイ 通過率 %	旧 座 三 角 標 法		ML
%	%	%	%	mm	mm					砂 質		
全試料	63.0	20.7	7.1	8.0	9.3	0.0065	1430	36.8	25.73	16.33	ローム	
2 mm	0	5.43	22.2	17.5	0.25	0.0016	156	100	69.92	44.37		



図IV-3-55 粒度分布曲線

a) セメントによる安定処理試験

こゝに使用したセメントは普通ポルトランドセメント市販品で、添加セメント量はC.R.R. の乾燥重量に対するセメントの重量比で表示してある。また、その量は0, 2, 4, 6, 8, %を原則としたが、C.B.R. 試験の場合は0~2%とした。

i) 試験方法および試験結果

① 突固め試験

突固め試験は、JIS A 1210 14の規定(土質工学会-土質試験法-昭39)に準じて行なったが、突固め試料は各供試体ごとに新しい試料を用い、くり返して使用することをさけた。なお、試験用モールドの内径は9.98 $\phi$ 、高さは12.74 $\phi$ であった。突固め試験結果は表IV-3-33のとおりである。

表IV-3-33 最適含水比と最大乾燥密度

セメント量 (%)	0	2	4	6	8
最適含水比 (%)	16.3	16.1	16.0	15.8	15.6
最大乾燥密度 (Kg/cm <sup>3</sup> )	1.764	1.766	1.768	1.770	1.772

② C.B.R. 試験

C.B.R. 試験は、JIS 1210 2.4の規定および1211の規定に準じて行なったが、突固めには、Mechanical Compactorを使用した。本機の規格は、ランマー重量10 lbs、落下高18吋となっている。吸水膨張試験の際の押え荷重は5Kgとし、膨張の止み次第(1~2昼夜)水槽からとり出した。貫入試験は、米国製Versa-Testerに貫入ピストンを取りつけて行なった。突固め試験結果およびC.B.R. 試験結果は、それぞれ表IV-3-34, 35に示すとうりである。

表IV-3-34 C.B.R. 突固め試験結果

セメント量 (%)	0	0.5	1.0	1.5	2.0
最適含水比 (%)	13.3	13.2	13.0	12.8	12.5
最大乾燥密度 (Kg/cm <sup>3</sup> )	1.905	1.907	1.910	1.912	1.915

表IV-3-35 C.B.R. 試験結果

セメント量 (%)	突固め回数	締固め時含水比 (%)	締固め時 $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	膨張比 (%)	C.B.R. (%)	修正 CBR	吸水量 (%)
0 (%)	55	14.11	1.88	0.0~	186.3		0.8
	25	13.55	1.81	"	30.8	71.2	1.70
	10	13.52	1.66	"	7.6		2.17
	55	14.40	1.91 (?)	"	57.3		0.6
	25	13.48	1.79	"	28.8	34.2	1.42
	10	13.17	1.64	"	8.6		2.79
	55	12.79	1.83	"	99.3		1.53
	25	13.54	1.75	"	13.1	65.0	3.57
	10	13.76	1.65	"	1.6		4.59
	55	12.53	1.89	"	57.3		1.15
	25	12.78	1.77	"	13.1	30.0	2.79
	10	12.84	1.66	"	4.9		4.56
1 (%)	55	12.48	1.90	0.0~	197.1		0.64
	25	12.36	1.82	"	92.4	82.5	1.75
	10	12.30	1.68	"	23.2		4.24
	55	12.38	1.89	"	225.0		0.99
	25	12.79	1.77	"	64.5	105.0	2.52
	10	12.95	1.67	"	9.9		4.78
	55	12.33	1.84	"	229.0		1.23
	25	12.79	1.73	"	72.8	115.0	3.06
	10	13.29	1.66	"	23.1		4.36
	55	12.82	1.90	"	145.0		0.51
	25	13.12	1.78	"	89.8	89.5	2.19
	10	13.79	1.63	"	14.8		4.27

	55	12.99	1.87	0.0~	411.4		0.94
	25	12.46	1.75	"	104.0	322.5	2.72
	10	12.30	1.66	"	65.8		4.11
	55	12.53	1.91	"	321.7		0.89
	25	12.78	1.76	"	104.0	218.0	2.88
2	10	13.19	1.63	"	62.8		4.18
(%)	55	12.32	1.84	"	377.0		0.72
	25	12.66	1.78	"	150.0	315.0	2.36
	10	12.87	1.64	"	36.0		4.62
	55	12.37	1.86	"	284.0		0.93
	25	12.77	1.76	"	79.3	211.5	2.88
	10	13.02	1.63	"	13.1		5.07

### ③ 一軸圧縮試験

供試体作製は、「土質試験法」(昭39)第12章作製方法1に準拠した。養生方法はモールドからとりだした供試体を直ちに良質の半紙で包み、パラフィンワックスで完全に被覆して重量を測定し、養生室に所定の期間安置する方法をとった。その間に供試体重量の変化のないことを確認し、非水浸条件で圧縮試験を行なった。圧縮試験は歪制禦形式(1 mm/min)を採用し、電動式一軸圧縮試験機(Cap. Roving Ring 10,000, 6,000, 2,000 lbs.)を用いた。

#### (イ) 含水比を変えた場合の強度試験

C.R.R.とセメントを0, 2, 4, 6および8%の割合で混合し、含水比を13, 14, 15, 16, 17および18%になるよう給水して、各セメント量ごとに5本の供試体を作製した。各供試体ごとに、作製時の含水比と乾燥密度を測定した。パラフィンワックスで被覆養生した供試体を、6日後に重量チェックを行ない、パラフィン除去後直ちに重量を測定して、湿気箱(28±1°, 97±2%)24時間養生して7日強度を求めた。なお、圧縮試験直前に供試体の重量を測定したがほとんど変化がなかった。パラフィン除去後、24時間非水浸湿気箱内養生を施したのは、気乾(室温28±1°)した場合にはその強度がかなりである(セメント0%の場合は約3倍)ので、条件を悪くとしたのである。また、C.R.R.の場合供試体作製直後の強度は、さほど期待できず、一般的な7日強度基準にしたがった。圧縮試験の結果を、それぞれ平均値で示したのが、表IV-3-36である。

表IV-3-36 セメント量，含水比を変えた場合の強度試験結果

セメント 量 (%)	作製時 含水比 (%)	作製時 乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	7日 圧縮強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	セメント 量 (%)	作製時 含水比 (%)	作製時 乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	7日 圧縮強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	12.47	1.67	2.22	6	16.60	1.73	16.23
	15.05	1.69	2.66		17.80	1.74	9.82
	16.03	1.72	3.02		12.55	1.67	20.05
	16.53	1.74	3.12		13.60	1.69	24.48
	16.80	1.74	2.23		15.00	1.72	26.62
	12.50	1.65	7.66		15.45	1.75	32.09
2	14.00	1.69	8.03	8	16.48	1.77	27.84
	15.10	1.70	9.08		17.00	1.75	21.29
	15.50	1.71	10.12		17.70	1.74	17.02
	15.90	1.72	10.44		12.55	1.68	29.90
	16.70	1.75	6.51		14.23	1.70	38.20
	18.20	1.74	4.89		15.00	1.73	42.63
4	12.70	1.65	13.36	8	15.90	1.75	37.61
	14.30	1.69	14.96		16.70	1.74	32.91
	15.00	1.71	20.19		17.90	1.73	28.74
	15.80	1.72	22.98				

(ロ) 養生期間を変えた場合の強度試験

突固め試験の結果を利用して，最適含水比におけるセメント量と強度の関係および養生期間の強度に及ぼす影響を調べた。その結果を表IV-3-37にまとめて示した。C.R.R.の場合，作製時の含水比管理がむずかしく，各供試体毎にO.M.C.と一致させることはできなかったが，それに近い値を得ることができたので，平均的な値を表に記してある。各セメント量ごとに9個の供試体を作製し，各々3コずつを養生日数にしたがってふりあてた。養生方法については，7日強度は6日パラフィン被覆養生+1日湿気箱内養生，14日強度は13日パラフィン被覆養生+1日湿気箱内養生，28日強度は27日パラフィン被覆養生+1日湿気箱内養生という条件で求めた。湿気箱はその間前記温度および湿度を保つようにした。

表IV-3-37 養成日数による強度変化

セト メント量 (%)	養生 日数	作製時 含水比 (%)	作製時 乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	一軸圧縮 強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	セト メント量 (%)	養生 日数	作製時 含水比 (%)	作製時 乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	一軸圧縮 強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	16.43	1.74	3.22	6	7	15.70	1.73	31.96
	14	(16.30)	(1.764)	3.53		14	(15.30)	(1.770)	36.81
	28			3.90		28			39.55
2	7	15.90	1.72	10.64	8	7	15.50	1.75	43.31
	14	(16.1)	(1.766)	11.63		14	(15.60)	(1.772)	46.54
	28			13.83		28			57.00
4	7	15.80	1.73	23.73	注) ( )内はO.M.C. および 7d max. を示す。				
	14	(16.0)	(1.768)	24.42					
	28			27.45					

(ハ) 強度回復能試験

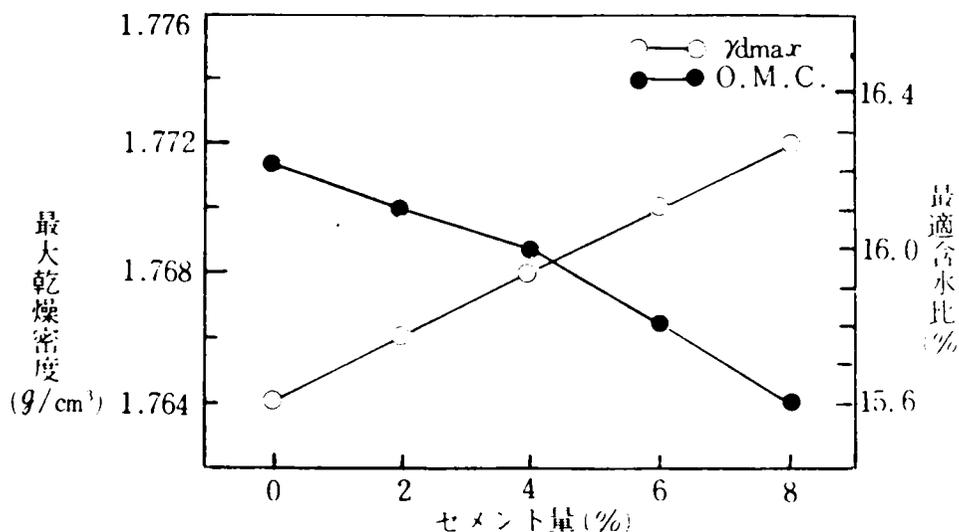
C.R.R. 路盤はヒビワレが生じてても、交通転圧により再び接着する性質を有すると思われるので、その強度復元能力を、一軸圧縮試験によって調べてみた。供試体作製および養生方法は②の場合と同じである。試験方法は、先ず7日強度（初回強度）を求め、試験の際、供試体表面におけるクラックの発生と進行状況に注意しつつ、最高強度を確認したら直ちに除荷し、静かに湿気箱内に戻し、一週間後にそのまま試験機にかけて再圧縮試験を行なうという方法をとった。強度回復は供試体の破壊面のゆ着によるものと思われるが、それには適度の湿気が必要かと考えられ、養生箱中の湿度を99±1%を保持することができた。試験結果は表IV-3-38に示してある。

表IV-3-38 強度回復能試験結果

セ メント 量 (%)	作製時 含水比 (%)	初回強度 (7日目) (Kg/cm <sup>2</sup> )	再圧縮強度 (14日目) (Kg/cm <sup>2</sup> )	増加率 (%)	セ メント 量 (%)	作製時 含水比 (%)	初回強度 (7日目) (Kg/cm <sup>2</sup> )	再圧縮強度 (14日目) (Kg/cm <sup>2</sup> )	増加率 (%)
0	16.84	1.94	3.17	63.4	4	16.11	20.69	18.46	-
	16.78	1.97	3.17	60.9		16.00	11.79	17.83	51.2
	16.76	1.14	2.77	143.0		15.96	12.19	17.56	44.1
	16.69	1.68	3.39	101.8		16.63	15.19	16.76	10.3
	16.77	1.30	3.19	145.4		15.80	19.13	20.34	6.3
2	16.70	7.62	10.03	31.6	6	15.86	28.10	26.81	-
	16.55	7.59	10.42	37.3		15.97	29.26	30.93	8.5
	16.72	7.41	12.43	67.7		15.79	33.68	25.13	-
	15.70	8.73	10.56	20.0		16.06	29.18	26.38	-
	15.50	7.95	12.06	51.7		15.70	34.96	32.16	-



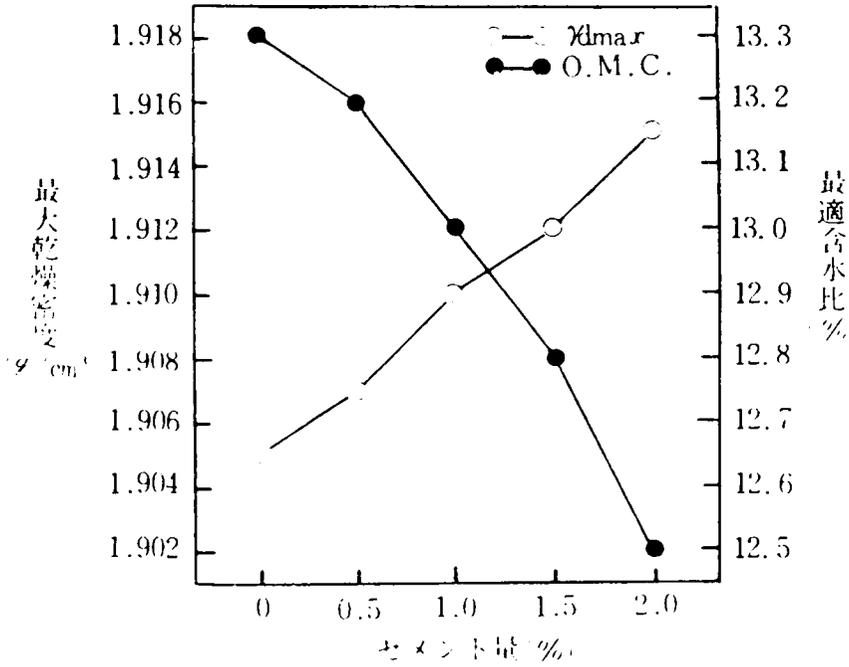
の管理などに意を払う必要がある。さらに、C.R.R. の場合、含水量が増加すると、突固め時にダイレイタンスー（水の滲出）が大きく、また突固め面のむくりがいちじるしくキャッピング作業に不都合をきたすこともあって、注意を要することである。



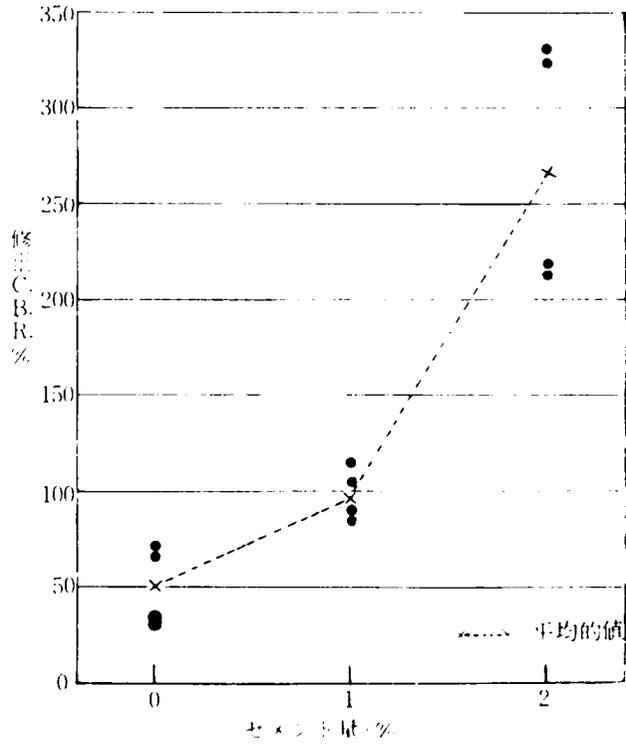
図IV-3-56 セメント混合比と  $\gamma_{dmax}$ , O.M.C. との関係 (1.1 法)

## ② C.B.R. 試験について

セメント量と最適含水比、最大乾燥密度との関係を示すと、図IV-3-57のようになり、締固め効果については1と同様なことが言える。更に、セメント量とC.B.R.の関係は図IV-3-58に示すとおりで、セメント量が増加するとC.B.R.も増大するが、その増加のしかたはいちじるしいものがある。C.R.R.の場合、供試体作製の際、大きな粒石がまじっていてその詰まり方に変動があり、特に貫入面下にそれがあると、初期荷重値は大きくでてくることもある。その結果C.B.R.値にもバラツキがみられるのは止むを得ないと思われるが、一方、含水比の調整もなかなかむづかしく、O.M.C.および最大乾燥密度を得ていないため、締固め時の乾燥密度とC.B.R.の関係が定かではない。結局C.R.R.の締固め方法については、今後研究を重ねて検討を加えてゆきたい。なお、「アスファルト舗装要綱」や「土木研究所案」(表-R')と本試験結果を比較してみるとC.R.R.にセメントを僅少量添加することによって、よい結果が得られるようである。



図IV-3-57 セメント混合比と  $\gamma_{dmax}$ , O.M.C.との関係 (2.4法)



図IV-3-58 セメント混合比と CBRとの関係

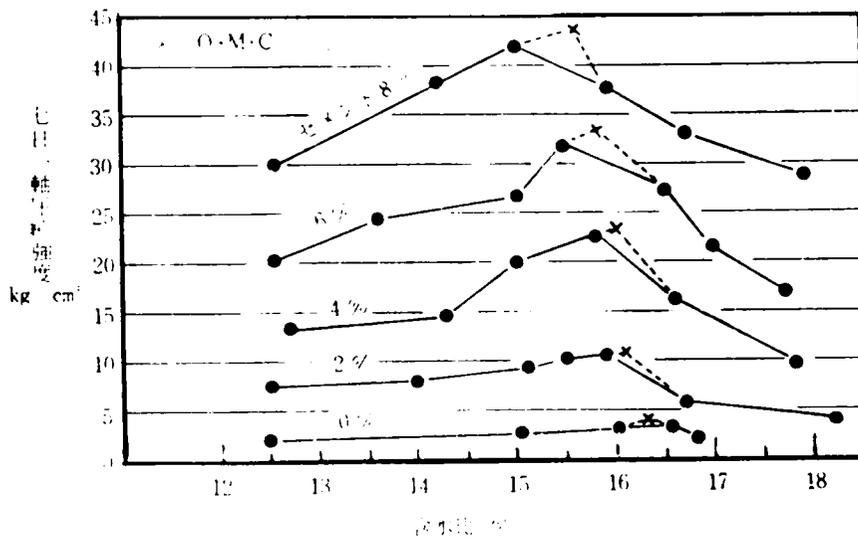
表 - R'' Pavement Design Criteria

計画交通容量	ノールセメントの設計圧縮強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )		修正 C.B.R. (%)
	アスファルト舗装	コンクリート舗装	アスファルト舗装
2000台/日 未満	20	10	45 以上
2000~7500台/日	25	10	65 以上
7500台/日 以上	30	10	70 以上

③ 一軸圧縮強度について

(イ) 含水比が強度におよぼす影響

含水比が低い時のC.R.R. はザラザラしていてもよく、含水費が高くなるとクシヨグシヨして変形しやすく、いずれも強度は期待できない。図IV-3-59は含水比を変えた場合の各セメント量に対する強度の変化を示したものである。C.R.R. およびそのセメント処理土は、O.M.C. で最大強度が得られ、それより dry 側でも、wet 側でも、強度は減少しているのので、突固め試験の結果を利用してよい。ただ、乾燥密度と強度の間に明確な関係が見出されないけれども、含水比の方が強度を大きく左右することは確かである。図から、C.R.R. のみではその強度が低くて含水比による強度の差異が顕著にあらわれていないが、セメント量が増えるにつれて、含水比の影響はいちじるしくなり、O.M.C. に近づく（または遠ざかる）と急激な強度の増（または減）が認められる。なお、佐藤らは、OMCをセメント量によらず9.8%として（筆者らのよりかなり低いのはエネルギーがCBR試験と等しいためである）、低含水比を採用して行なった水浸試験の例から強度は十分に保たれたと報じている。<sup>43)</sup>

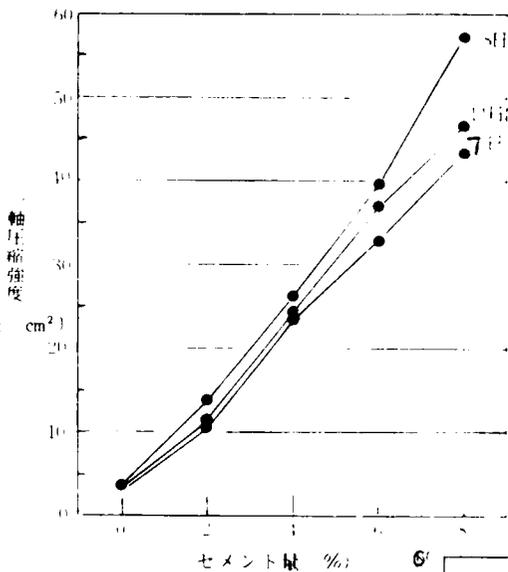


図IV-3-59 各セメント混合比における含水比と一軸強度との関係

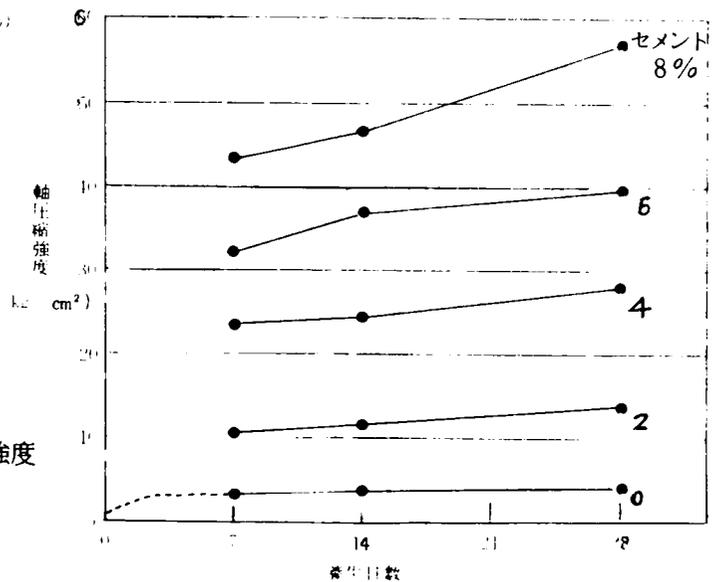
(ロ) セメント量および養生日数が強度におよぼす影響

C.R.R. においても、セメント量の増加は強度の増加をもたらしており、図IV-3-60にその関係を示す。一方、養生日数による強度の増は、図IV-3-61に示すように、あまり期待はできないが、セメント量が増えるほどその増加割合は大きくなる傾向がある。

C.R.R. は、供試体作製後2日程で、28日強度の75%位、7日強度の90%位の強度を発揮しているので、養生日数の短縮が考えられる。このようなことから、C.R.R. は短期間で水分による固結硬化作用が終了し、その後は水分が強度に及ぼす影響は僅少となりむしろCaCO<sub>3</sub>の硬化度が問題となるように思われる。その点、セメントを加えると、セメントの働きの影響が長びくようである。設計圧縮強度について、表-R''を参照すると、C.R.R.の場合はセメント量を4%添加すればよいと思う。



図IV-3-60  
セメント混合比と一軸圧縮強度との関係



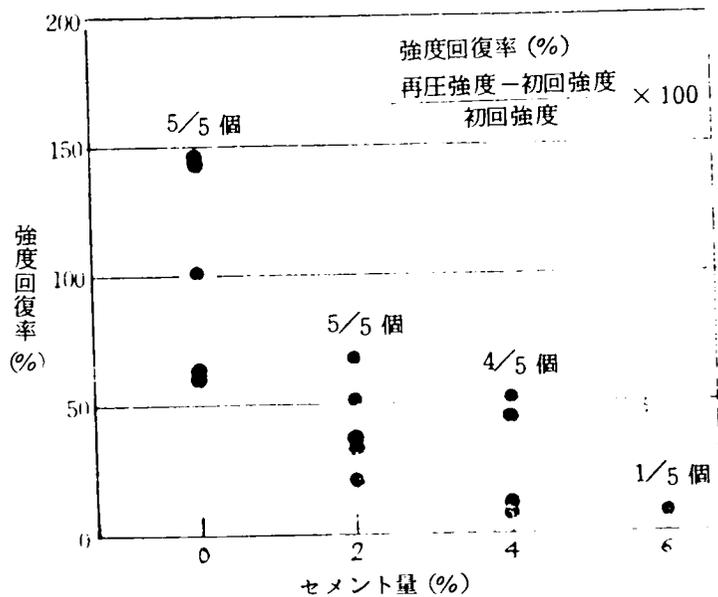
図IV-3-61  
養生日数と一軸圧縮強度との関係

(ハ) 強度回復能について

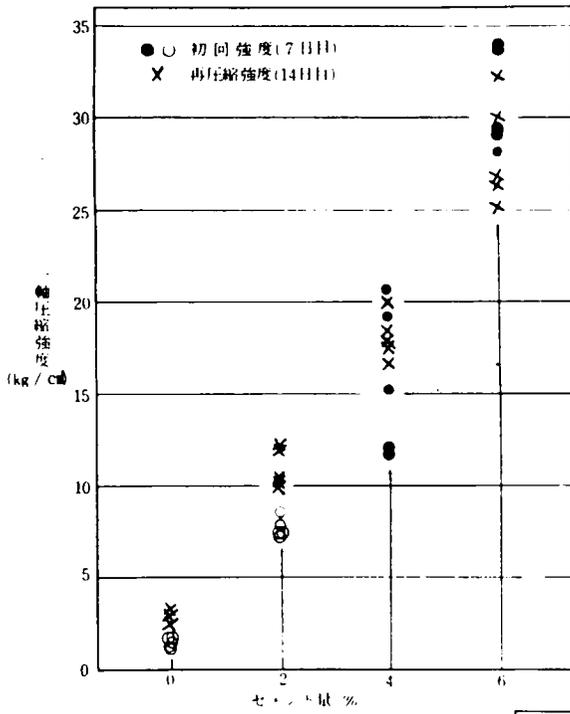
路盤などの場合、C.R.R. のヒビワレは、交通荷重によって再接着がおこるものと考えられるが、本実験ではヒビワレがかなり進行しているにもかかわらず、除荷後 all around pressure はかけずにそのまま湿気箱中に安置して、再圧縮試験を行なった。その結果はかなり良好な強度回復作用が認められ、図IV-3-62にこれを示す。C.R.R. は、ヒビワレが発生し、表面でこれがかかり進行していても、強度を保っているため、再圧縮の際これらが密接してしまうようなことはない。図から、C.R.R. のみまたはセメント量が少ない場合は、初回強度よりも再圧縮強度の方が大きくでているのは注目に値する。強度回復の程度を示すと、図IV-3-63のようになり、セメント量 0、2% では各供試体とも強度増がみられるが、4% では 5 個中 4 個、6% で 5 個中 1 個という割合で、強度回復作用がなくなっている。このことから、強度回復能力は、C.R.R. の本質的なものに関係していると思われる。たゞ、ヒビワレ発生後そのまま乾燥してゆくと、このような現象は期待できず、水分の助けが必要かと思われるので、水浸崩壊の欠点を考慮に入れつつそれをいかに処理するか（今回は単に湿度を高くしたのみ）が問題であろう。もっとも、気乾によってキレツ部分が進行せず、かつもろくならなければ、強度回復能というより湿気養生に対する乾燥養生強度として大きくあらわれることは考えられることである。

(ニ) 高温養生の効果について

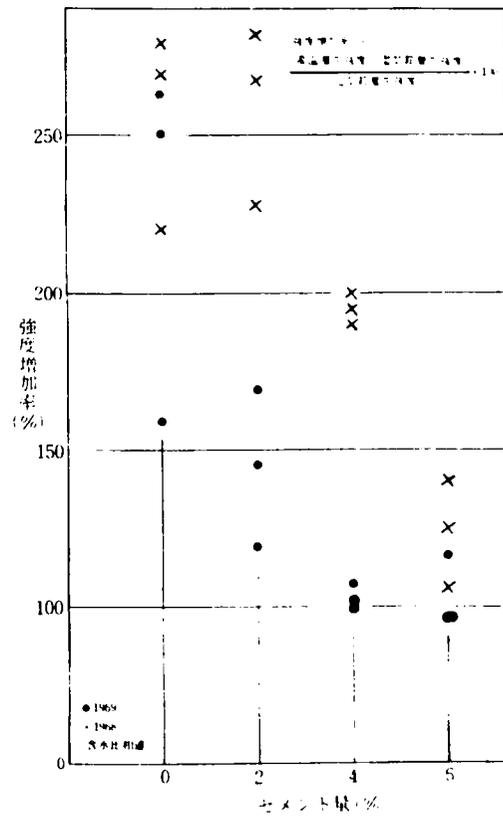
C.R.R. の通常強度を高めることと、水浸による強度の激減を防止することのために加熱したのであるが、強度試験の結果良好な成績をあげ得たので、これを図IV-3-64に示す。図から、C.R.R. のみまたはセメント量が少ない場合は、高温処理によって強度のいちじるしい増が認められ、これも、C.R.R. の本質的なもの（CaCO<sub>3</sub>の加熱による化学変化特性）に原因すると考えられる。コンクリートの焼熱による強度減を思うと、セメント量が増えると上記の効果は当然減少する。今回は、温度 110℃、加熱時間を 1 日としたが、温度および加熱時間の短縮と、熱処理後の耐水性（崩壊）が問題となり、耐水性については、かなり期待がもてる。



図IV-3-63  
各セメント混合比に  
おける強度回復率



図IV-3-62  
各セメント混合比に  
おける回復強度



図IV-3-64  
熱養生による強度増加率

④ その他の強度特性について

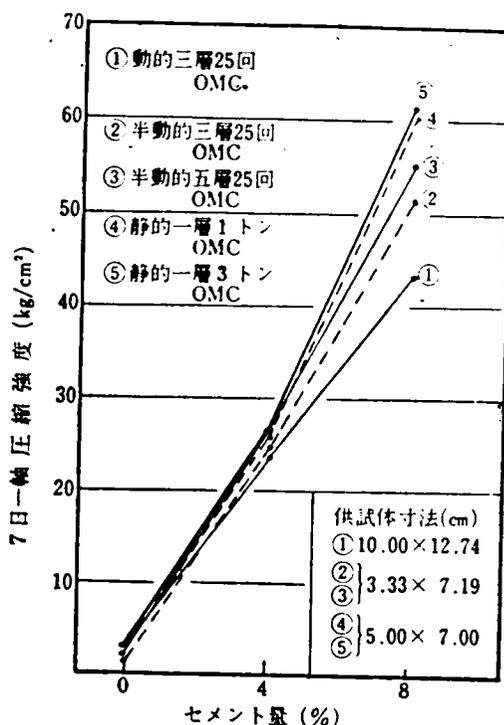
一軸圧縮強度について、供試体作製方法（締固め方式）を変えて調べた結果を、図IV-3-65に示してある。図から締固め方式による強度効果について、（一概には断定できないとしても）供試体形状寸法や実際の破壊状況などから判断してセメント量の少ない場合には差異はないが、セメント量が増えると静的、半動的締固め方式がすぐれているようである。したがってその意味からは、現場での転圧方式は実験室におけるJIS標準突固めテストによる判定より安全側にあるとみてよいだろう。

次に、セメント安全処理土では引張強度、曲げ強度と圧縮強度の比は、一般に前者で $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 、後者で $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ <sup>50)</sup>と報告されており、CRRセメント安定処理土の場合もほぼこれに近い値が期待され、路盤効果としてすぐれているといえよう。佐藤らによれば、セメント量および養生日数とこれら強度との間にも圧縮強度と同様にセメント量の増加と共に強度が増加（量が増えると、6%以上、強度の増加率はにぶる）し、養生初期に強度増が完了することがわかっている。<sup>43)</sup>

また、舗装構造として、繰返し荷重の影響や、構造設計に必要な弾性係数（または変形係数 $E_{50}$ ）についても、検討されなければならないが、変形係数については前述のデータからセメント量4~8%で $E_{50} = 5000 \text{ Kg/cm}^2$ 前後の値が得られ、未処理の場合はほとんど期待できないことがわかっている。くり返し荷重の影響については、佐藤らによれば、一軸圧縮強度および変形係数は、くり返し载荷を行なわないものにくらべて大きいですが、その増加割合は、一軸圧縮強度の場合セメント量に影響されず、変形係数ではセメント量が少ないほど大きいようである。

むすび

今後C.R.R.の特性を考慮しつつ、その耐水性および耐久性について、さらには、路盤効果の解析について、セメント処理効果の解明をすすめてゆく必要があるが、C.R.R.の路盤材としての優秀なことについては、上記のことがらでも明らかになった。



図IV-3-65 OMCにおける締固め一軸圧縮強度のちがひ

なお、コーラルに関しては鹿児島県徳之島、喜界島産のCRRについては九大山内教授らの報文があり、前にも述べたが、空港舗装路盤材としての沖縄産CRR について、港湾技研の森口ら、佐藤らの報文があることを記し参考に供したい。

#### b) 薬液による安定処理試験<sup>17)</sup>

このテストは、CRRが水に弱く、締固めを行なっても、浸水させると数分で全崩壊 (slaking)をおこしてしまうので、疎水性を高め、したがって耐水性をもたらす適当な薬剤を選定することを目的とした。これまで薬剤による処理は、一般にセメントまたは石灰等に対するものとして、利用されており、その種類も大体わかっている。こゝでは、これらの判断をもとに、予備テストで10余種の薬剤を試し、そのうち効果があると思われるものについて本格テストを実施した。

##### i) 試験方法および試験結果

###### ① スレーキング試験

薬剤試料は、塩化ナトリウム、水酸化ナトリウム、硫酸ナトリウム、塩化カルシウム、アクリル酸、リン酸、リン酸水素二アンモニウム、アクリル酸、リジニン等を使用した。予備テストでは、各種薬液は15%濃度とし、動的締固め試験におけるCRRのみのOMC付近を採用し、かつ、すべて含水(液)比15%で締固めて供試体を各3本ずつ作製した。締固めは静的ないしは半動的締固め方式により行ない、供試体作製直後および24時間湿気箱内養生をへて、写真一に示すように水中に吊して(供試体上面までの水深は約2cm)全部が崩壊しつくすまでの時間を測定する方法をとった。なお、水溶液は水1cc=1grとして薬剤の重量比で濃度(%)を表示し本試験では静的に圧縮締固めてつくった供試体(5cmφ×7cmH)によってテストを行なった。予備試験の結果、リン酸、リン酸水素二アンモニウム、水酸化ナトリウム、リジニンおよびアクリル酸が、作製直後はいずれも30分以内(CRRのみならば数分以内)、24時間養生後は数時間ないし崩壊しないということがわかり、これらについて濃度や養生時間などの影響について調べた。試験結果の一例を示すと表IV-3-40のとおりである。



写真12 スレーキングテスト

表IV-3-40, a) 浸水崩壊試験結果の例

濃度	養生	薬剤	リン酸水素二 アンモニウム	水酸化 ナトリウム	リグニン (脱アルカリ)	重クロム酸カリ 2%+リグニン	重クロム酸カリ 4%+リグニン
2	直後 (分)		5, 6, 6 (分)	7, 8, 8 (分)	6, 7, 7 (分)	6, 7, 7 (分)	7, 8, 9 (分)
%	24時間後		上面一部崩壊 するのみ	12, 13, 14	20, 20, 22	20, 20, 22	20, 20, 33
4	直後		6, 7, 8	8, 9, 9	7, 10, 10	7, 10, 10	7, 9, 9
%	24時間後		キレツ発生す るが崩壊せず	12, 12, 15	33, 35, 40	33, 35, 40	22, 22, 25
8	直後		6, 6, 9	9, 10, 10	10, 11, 11	10, 11, 11	10, 10, 11
%	24時間後		崩壊せず	19, 24, 27	60, 85, 95	60, 85, 95	23, 24, 24

注) 重クロム酸カリ ( $K_2Cr_2O_7$  294.19一級)の添加割合はリグニン量に対するものである。  
締固めは静的方式による。

表IV-3-40, b)  $(NH_4)_2 HPO_4$  についての試験結果

養生時間 (時間)	濃度 (%)	崩壊時間 (分)	養生時間 (時間)	濃度 (%)	崩壊時間 (分)	備考
2	10	12	9	8	30	○CRRは 4760 $\mu$ フルイ 通過分  ○半動的締固め 方式3層25回 20lbs.
	15	15		12	クラックのみ 崩壊せず	
	20	13		15	〃	
4	10	9	12	8	〃	
	15	11		12	〃	
	20	17		15	〃	
6	10	18	18	6	〃	
	15	15		8	クラックなし 崩壊せず	
	20	18		10	〃	

② 一軸圧縮強度試験

CRRは気乾試料を4760 $\mu$ フルイ通過分を使用し、所定濃度の(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>水溶液をOMC相当供給して乳鉢の中で十分に混合し、半動的締固め方式(3層25回20lb<sub>s</sub>)で締固めて供試体をつくる。養生は供試体作製後直ちに湿気箱内で非被覆のまま、静置し、圧縮試験前日にとり出し、水浸24時間後重量チェックの上、圧縮試験を実施した。但し一部は24時間湿気箱養生後何日か水浸後にテストを実施した。これら試験の結果は表IV-3-41に例示してある。

表IV-3-41, a) リン酸水素二アンモニウム溶液安定処理試験結果

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 濃度(%)	養生日数(日)	圧縮強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	変形係数(Kg/cm <sup>2</sup> )
6	2	3.12	1.59 × 10 <sup>2</sup>
8	"	3.89	1.72 × 10 <sup>2</sup>
10	"	3.76	1.91 × 10 <sup>2</sup>
8	5	3.22	1.70 × 10 <sup>2</sup>
10	"	3.82	1.79 × 10 <sup>2</sup>
4	7	2.24	1.20 × 10 <sup>2</sup>
6	"	2.70	1.44 × 10 <sup>2</sup>
8	"	2.98	1.72 × 10 <sup>2</sup>
10	"	4.27	2.18 × 10 <sup>2</sup>
12	"	3.42	1.59 × 10 <sup>2</sup>
15	"	3.80	1.70 × 10 <sup>2</sup>
20	"	4.82	2.32 × 10 <sup>2</sup>
6	14	4.13	1.98 × 10 <sup>2</sup>
10	"	5.16	2.10 × 10 <sup>2</sup>
15	"	6.56	2.19 × 10 <sup>2</sup>
20	"	7.11	2.78 × 10 <sup>2</sup>
6	28	4.44	2.20 × 10 <sup>2</sup>
10	"	5.50	2.50 × 10 <sup>2</sup>
15	"	6.68	3.01 × 10 <sup>2</sup>
20	"	7.37	2.68 × 10 <sup>2</sup>
0	7(非水浸)	1.38	0.39 × 10 <sup>2</sup>

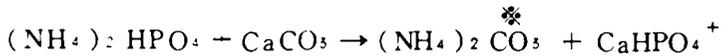
表IV-3-41, b) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>安定処理試験結果

H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 濃度(%)	養生方法	圧縮強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	変形係数(Kg/cm <sup>2</sup> )
5	1日湿気箱養生24日浸水	2.306	1.430 × 10 <sup>2</sup>
10	" 17日浸水	3.047	1.662 × 10 <sup>2</sup>
5	" 24 "	2.103	1.229 × 10 <sup>2</sup>
6	" 3 "	2.006	1.080 × 10 <sup>2</sup>
8	" 3 "	2.267	1.067 × 10 <sup>2</sup>
10	" 17 "	4.316	1.640 × 10 <sup>2</sup>
15	" 9 "	4.132	2.110 × 10 <sup>2</sup>

## ii) 結果の検討

今回の実験から、リン酸水素二アンモニウムやクロムリグニンなどが耐水性増にかなりの効果をもたらすことがわかった。特に、リン酸水素二アンモニウムにおいては、それが著しく、その理由は一応以下に述べるように推察される。

リン酸水素二アンモニウム<sup>51)</sup>は、無色単斜晶系の結晶で、溶解度は水15℃で131gr/100gr、加熱すれば155℃でアンモニアを放ってリン酸二水素アンモニウムとなり、また湿った空気中では除々にアンモニアを放って分解する。一般にリン安と呼ばれ、肥料、布、紙等の防炎剤などに利用されている。これをC.R.R.と混合するとC.R.R.の主成分である炭酸カルシウム(約98%)と反応して、リン酸水素カルシウム(第二リン酸カルシウム)を生成するものと推定し、その反応式は次のように考えられる。



\* 炭酸アンモニウム；水溶性、常温で $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3$ としてアンモニア揮散、60°加温して $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ となる。

+  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ の生成も考えられる。

この $\text{CaHPO}_4$ がリン酸水素カルシウム<sup>51)</sup>で、白色結晶性粉末でほとんど水に溶けない(酸には易溶)性質をもっており、現に浸漬テストを行なった場合、他の薬液でつくった供試体はポロポロと粒子の分離をきたして崩壊してしまうが、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 水溶液でつくったものは、硬化して、たとえスレーキングによる亀裂の発生(ヘークラックから拡大発展)があっても、瓦解して個々の粒子に分離崩壊する様子は見受けられないのである。ただリン酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )そのものでは効果がみられないので、明確なメカニズムはわかっていない。もっともリン酸には水素が多くて、かえって、 $\text{CaHPO}_4$ の生成には条件が悪いのか、または $\text{CaCO}_3$ が破壊されるのではないかと考えられる。一方、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 中の $\text{NH}_4$ 系と $\text{PO}_4$ 系のいずれが主因となっているかを確かめる意味で、塩化アンモニウム( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )、硝酸アンモニウム( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )リン酸水素二ナトリウム( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )の薬液を使って同様な試みをやったが、前二者によるものは24時間養生後も10数分でポロポロと崩壊しつくした。 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 水溶液によったものは、供試体作製時の乾燥化がやゝ早い感じを受け、供試体ももろさを呈し、24時間養生後もスレーキング時間は長びくが結局崩壊してしまった。これらの点については、今後実験による検討を加えてはっきりさせたい。なお、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ の水溶液濃度を数パーセント以上にすれば、数時間の養生(反応時間のゆとりを与えること)でも崩壊しないようであるが、締固め含水(液)比のこと(今回はすべて $W=15\%$ )もあわせて、今後確認していかなければならない。また、リン酸水素二アンモニウムによって一軸圧縮強度の増は、セメント安定処理による場合ほどに期待

できないことがわかったが、未処理の場合に比してはるかに効果があり、濃度や養生日数によって今後改良の余地がある。

### むすび

薬液安定処理工法の基礎的研究によって、C.R.R. の本来的性質から、普通一般の土とは異なっていることがわかり、薬液とCaCO<sub>3</sub>との反応機構によって支配されるようである。一方、安定処理工法の開発利用において、薬液処理による工法とセメント安定処理工法とを比較して、力学的特性、耐水性、および経費、施工法など総合的な面からの検討が必要であり、今後の課題としたい。

### 6) 島尻層泥岩土の安定処理<sup>12)</sup>

沖縄では従来路盤材および盛土として、先に述べたCRR や国頭レキ層土が利用され、沖縄島中南部に広く分布する島尻層泥岩土の利用はかえりみられていない。しかし、今後の問題として、CRR および国頭レキ層土の採掘、運搬などのことを考える時何らかの改良利用方を見出さなければならぬ。こゝでは、路床・路盤または盛土材として利用すべく、セメントや生石灰による安定処理に関する基礎実験の結果を述べる。

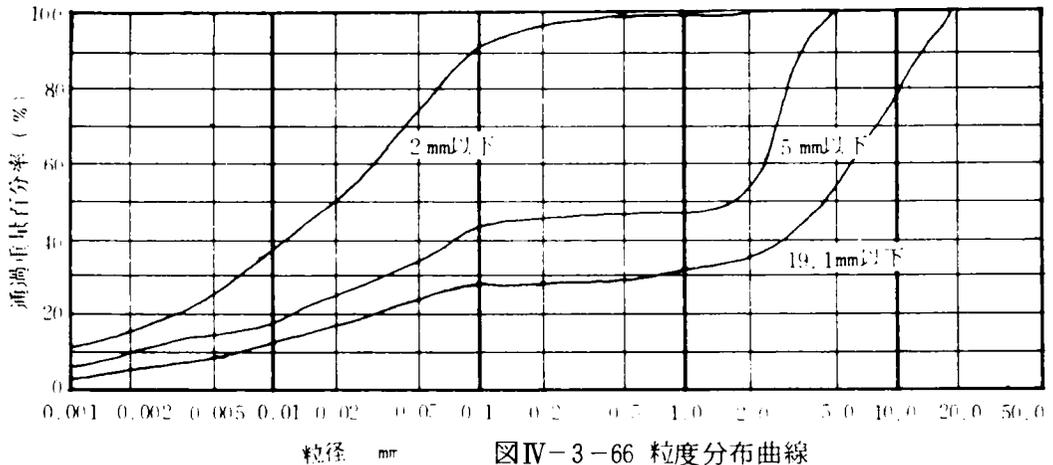
#### a) 試験方法および試験結果

##### i) 試料土の基本的性質

試料土は、ブルドーザーで掘りおこした泥岩を実験室で気乾状態にして、人為的に木づちなどで粉砕したものであり19.1mmフルイ通過分、5mmフルイ通過分および2mmフルイ通過分とに分けて、それぞれ物理的性質および粒度分布を調べた結果が表IV-3-42、図IV-3-66に示してある。

表IV-3-42 試料土の物理的性質

比重 2.764		液性限界 59.60%			塑性限界 22.57%			収縮限界 20.37%	
粉砕土	粒径 レキ分 %	砂分 %	シルト分 %	粘土分 %	2000	420	74	分類	
					μフルイ 通過率 %	μフルイ 通過率 %	μフルイ 通過率 %	三角座標	統一法
2mm以下	0	27.23	47.67	25.00	100	99.72	90.15	粘土質 ローム	CH



図IV-3-66 粒度分布曲線

ii) 安定処理土の物理的および力学的性質

① コンシステンシー試験

本試験は、JIS A 1205 - 1969, JIS A 1206 - 1969, および JIS A 1207 - 1969に準じて行なった。試料土は、あらかじめ粉碎し調整を行ったものを用いたが、普通ポルトランドセメントおよび生石灰 (CaO ; Calcitic Lime) については、特別に試験を行わず市販品をそのまま使用した (以下の諸実験についても同様)。テストは、セメントまたは生石灰添加混合後たゞちに行ない、その混合比は土乾燥重量に対する割合で表示した。試験結果は、表IV-3-43に示す通りである。

表IV-3-43 セメントまたは石灰添加土のコンシステンシー

セメント又は石灰 %	セメント添加土				石灰添加土			
	0	2	4	6	0	3	6	9
L. L.	59.60	58.30	57.50	55.23	59.60	57.20	55.80	53.15
P. L.	22.57	30.18	34.68	37.52	22.57	28.70	31.71	33.73
S. L.	20.37	28.40	31.51	33.95	20.37	25.85	28.30	30.35

② 締固め試験およびC.B.R. 試験

イ) 突固め試験

本試験は、JIS A 1210の規定に準じて行なったが、モールドは内径 9.98 cm, 高さ 12.74 cm, ランマーは 2.5 Kg のものを使用した。あらかじめ粉碎しておいた試料の 4.760 μ フルイ通過分 (その粒度分布はほぼ図IV-3-66のとおり) を用い、非繰返し法によってテストを行なった。なお、試験初期の含水比は平均 5.5% であった。セメントお

よび生石灰の品質は、上記①の場合と同じものであり、試験結果は表-IV-3-44のとおりである。

表IV-3-44, a) 最適含水比と最大乾燥密度 (セメント混合土)

セメント量 (%)	0	2	4	6	8
最適含水比 (%)	23.40	22.52	22.10	21.50	21.30
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.532	1.533	1.536	1.539	1.540

表IV-3-44, b) 最適含水比と最大乾燥密度 (生石灰混合土)

生石灰量 (%)	0	3	6	12
最適含水比 (%)	23.40	24.45	25.09	25.13
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.532	1.473	1.433	1.416

#### ロ) C.B.R. 試験

本試験は、JIS A 1210 および 1211 の規定に準じて行なったが、突固めには、Mechanical Compactorを使用した。突固め機のランマーは 10 lbsの重さで、落下高は18吋となっている。あらかじめ粉碎された試料の19.1mmフルイ通過分を用い、非繰返し法によったので、各試料の粒度組成が同等になるよう心がけた。吸水膨脹試験の際の押え荷重は 5Kgとし、4日水浸を実施した。今回はセメント添加土についてのみ試験を行なったが、その結果を表IV-3-45および46に一部示してある。

表IV-3-45 最適含水比と最大乾燥密度 (C.B.R.)

セメント量 (%)	0	0.5	1.0	1.5	2.0
最適含水比 (%)	18.25	18.03	17.20	16.85	16.60
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.706	1.707	1.709	1.710	1.721

表IV-3-46 C.B.R. 試験結果

セメント量 (%)	突固め回数	吸水膨脹比 (%)	吸水後含水比 (%)	吸水後乾燥密度 (Kg/cm <sup>3</sup> )	C B R (%)	修正 CBR (%)
0	55	2.20	24.25	1.656	7.85	7.42
	25	2.38	29.29	1.545	7.25	
	10	2.85	30.32	1.480	3.90	
2.0	55	0.93	23.24	1.716	52.91	32.15
	25	1.14	25.27	1.641	33.65	
	10	1.32	29.35	1.584	18.05	

#### ③ 一軸圧縮試験

供試体作製は、「土質試験法」第7編第2章作製法-1(昭44)に準拠した。養生方法は、モールドからとり出した供試体を直ちに良質の半紙で包み、パラフィンワッ

クスで完全に被覆して重量を測定し、養生室に所定の期間静置する方法をとった。この場合、所定養生強度の1日前に、重量の変化がないことを確認し、被覆をとり除き湿気箱（湿度は $\geq 100\%$ ）の中で24時間養生し、更に重量確認ののち強度試験に供した。圧縮試験は、非水浸、歪制禦形式（ $1\text{ mm}/\text{min.}$ ）を採用した。

イ) 含水比を変えた場合

セメント量を0, 2, 4, 6, 8%：生石灰量を0, 3, 6, 12%の割合で混合し、供試体作製時含水比を変えて、3～5本の供試体をつくり、6日パラフィンワックス被覆養生、1日湿気箱内養生ののち圧縮試験を行なった。試験結果をそれぞれ平均値で示したのが表IV-3-47である。

表IV-3-47 含水比を変えた場合の強度変化

セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	作製時乾燥密度 ( $\rho/\text{cm}^3$ )	7日一軸圧縮強度 ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	セメント量 (%)	作製時含水比 (%)	作製時乾燥密度 ( $\rho/\text{cm}^3$ )	7日一軸圧縮強度 ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
0	19.72	1,421	2,440	4	24.45	1,487	12,501
	21.50	1,502	3,826		25.20	1,485	12,485
	22.03	1,537	3,827		26.88	1,462	11,466
	23.24	1,520	3,557		20.59	1,480	9,490
	24.75	1,518	3,173		23.62	1,498	12,800
	27.40	1,515	2,525		24.72	1,489	14,130
2	20.42	1,403	3,700	6	25.70	1,482	13,373
	21.37	1,417	4,540		26.82	1,476	13,305
	21.83	1,464	6,877		27.41	1,470	13,106
	22.65	1,492	8,207	8	20.14	1,489	10,960
	24.57	1,488	7,369		22.01	1,499	14,215
	25.82	1,480	7,356		23.00	1,480	14,437
	26.59	1,478	6,951		23.77	1,471	14,797
27.91	1,470	5,937	4	25.65	1,469	15,700	
20.89	1,485	8,290		26.37	1,460	15,609	
21.78	1,489	10,891		27.22	1,457	15,524	
22.53	1,498	11,520		27.46	1,447	14,607	
23.93	1,494	12,733					
石灰量	$\omega$	$\gamma_d$	$q_u$	石灰量	$\omega$	$\gamma_d$	$q_u$
3	18.50	1,451	4.91	12	25.09	1,440	5.97
	20.64	1,462	4.96		27.03	1,442	5.95
	22.49	1,474	6.50		20.28	1,407	4.37
	24.45	1,476	6.87		22.22	1,411	4.44
	26.69	1,468	6.71		22.90	1,415	5.31
6	19.06	1,437	4.93	25.13	1,417	5.62	
	20.49	1,439	5.34	26.62	1,415	5.25	
	22.76	1,438	5.37				

ロ) 養生期間を変えた場合

セメントによる処理土について、上記イ) で得られた最高強度を示す含水比で供試体をつくり、養生期間を7日、14日、21日および28日とした場合の強度増を調べた。同一条件で、それぞれの期間用として3～5本の供試体をつくり、すでに述べた養生方法によって養生したあと圧縮試験を行なった。セメント8%添加土について、その平均値をとって示したのが、表IV-3-48である。

表IV-3-48 養生日数の変化による強度変化(セメント量8%)

養生日数	7	14	21	28
一軸圧縮強度(Kg/cm <sup>2</sup> )	16.06	18.40	19.50	20.25

b) 試験結果の検討

① セメントまたは生石灰の添加によるコンシステンシーの変化について

粘性土に対するセメント添加の効果のうち、コンシステンシーについては、a)液性限界を減少し、塑性限界を増大して塑性指数を小さくする、b)収縮限界を増大し、含水量の変化に対する容積変化を小さくする、と言われている。<sup>50)</sup>また、生石灰添加によっても同様の効果をもたらされている。(たとえばA.M. Johnson; H.R.B. proc. vol 28(1948) pp. 496~507やM. Herrin, H. Mitchell; H.R.B. Bull. 304(1961) pp. 99~138)。本実験においても、従来の報告と同じような結果が得られ、したがって泥岩土の物理的性質の改良がなされることになる。セメントまたは生石灰の添加後試験実施までの時間(または日数)の経過によっても、その物理的性質の変化が影響されるとの報告もあるが今回は先にも述べたように、混合後たゞちに実施しているのでその点については今後検討を要する。コンシステンシーの変化の度合を、原試料土を基にして増減の変化率で示せば、表IV-3-49のようになった。

表IV-3-49 セメントまた石灰の添加によるコンシステンシーの変化

セメント量	コンシステンシー - 変化率 (%)							
	セメント添加土				生石灰添加土			
石灰量 (%)	0	2	4	6	0	3	6	12
L. L. (%)	59.60	- 2.2	- 3.5	- 7.3	59.60	- 4.0	- 6.4	-10.8
P. L. (%)	22.57	+33.7	+53.6	+66.3	22.57	+27.2	+40.5	+49.3
S. L. (%)	20.37	+39.2	+56.5	+66.8	20.37	+26.8	+39.2	+49.0

注) 0%の欄はL.L. P.L. S.L.の値そのものである。

## ② 突固め効果について

セメント添加土についての締固め効果については、従来の報告にもあるように、セメント量が増加すればその最大乾燥密度は増加し、最適含水比は減少する傾向にあるしかし、その変量はさほど顕著なものではなく、また、最適含水比の変化割合に比して、最大乾燥密度の変化の割合は不活発である。これから、本粘土の場合、密度の増はあまり期待できないと言えようが、後述するように、一軸圧縮強度の増はやゝ大きく得られ、セメントと本粘土の反応機構がそれにあづかっていると見えよう。本粘土の鉱物組成や含有有機物などの影響について検討されなければならないと思う。一方生石灰添加土については、その量が増すにつれて、最適含水比は増加し、逆に最大乾燥密度は減少がみられる。これも、これまでの報告例のなかでみられるほとんどの結果（前掲H.R.B. Proc. vol 28 およびH.R.B. Bull. 304）と同様である。セメントまたは石灰の添加量の増による最適含水比や最大乾燥密度の増減を変化率で表わすと、表IV-3-50のようになり、両者の効果の間には差異がうかがわれる。なお、突固め試験時

表IV-3-50 セメントまたは石灰の添加量による最適含水比および最大乾燥密度の変化率(%)

セメント添加土			生石灰添加土		
添加量	O. M. C.	$\gamma_{dmax}$	添加量	O. M. C.	$\gamma_{dmax}$
2%	- 3.76	+ 0.07	0%	23.40 %	1.532 g/cm <sup>3</sup>
4%	- 5.55	+ 0.26	3%	+ 4.50	- 3.84
6%	- 8.13	+ 0.46	6%	+ 7.32	- 6.97
8%	- 8.98	+ 0.52	12%	+ 7.42	- 7.58

の単位体積重量 ( $\gamma_t$ ) について、セメントの量の増によつては  $\gamma_t$  の増がみられ、含水比の増加によつてピークが明確に認められたが、生石灰の場合は、その量の増による  $\gamma_t$  の増はみられずまたピークも明確に認められなかった。

## ③ C.B.R. 試験結果について

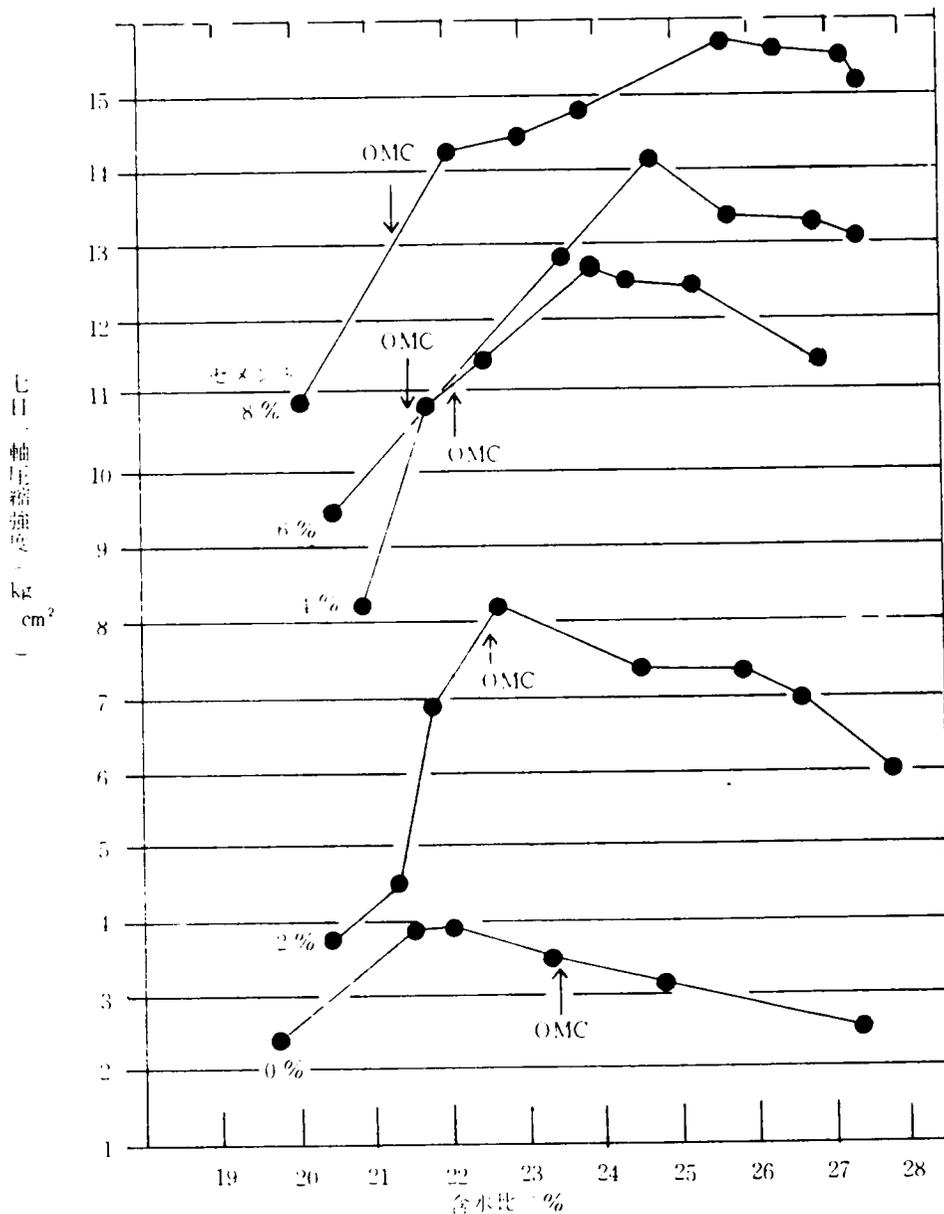
セメント添加土について、供試体作製のための突固め試験結果から、セメント量が増すとその最大乾燥密度は増大し、最適含水比は減少すると言ふ一般的な傾向がみられる。こゝでも、最大乾燥密度の増加割合に比して、最適含水比の減少割合（セメント量2%で約9%の変化率である）はかなり大きく、変化率でみると前者の約10倍となる。貫入抵抗でもって供試体の強度の判定と考えれば、本試料土もセメントの添加によつて強度が増加していることは明確である。膨脹比についても、わずかなセメント量で、未処理土の約 $\frac{1}{2}$ （平均）という結果をもたらしている。たゞ、セメント量2%では、修正C.B.R.は、「アスファルト舗装要綱」の提案値を満足し得ないので、その量の増について検討せねばならない。実験からは、C.B.R. と作製時の乾燥密度との関係については明確な判定が得られなかったが、吸水膨脹の時間経過については、セ

メント量を添加することによって膨脹終了が短縮されている。未処理土は、96時間経過後もなお膨脹はとまらなかった。

④ 一軸圧縮強度について

1) 含水比が強度におよぼす影響

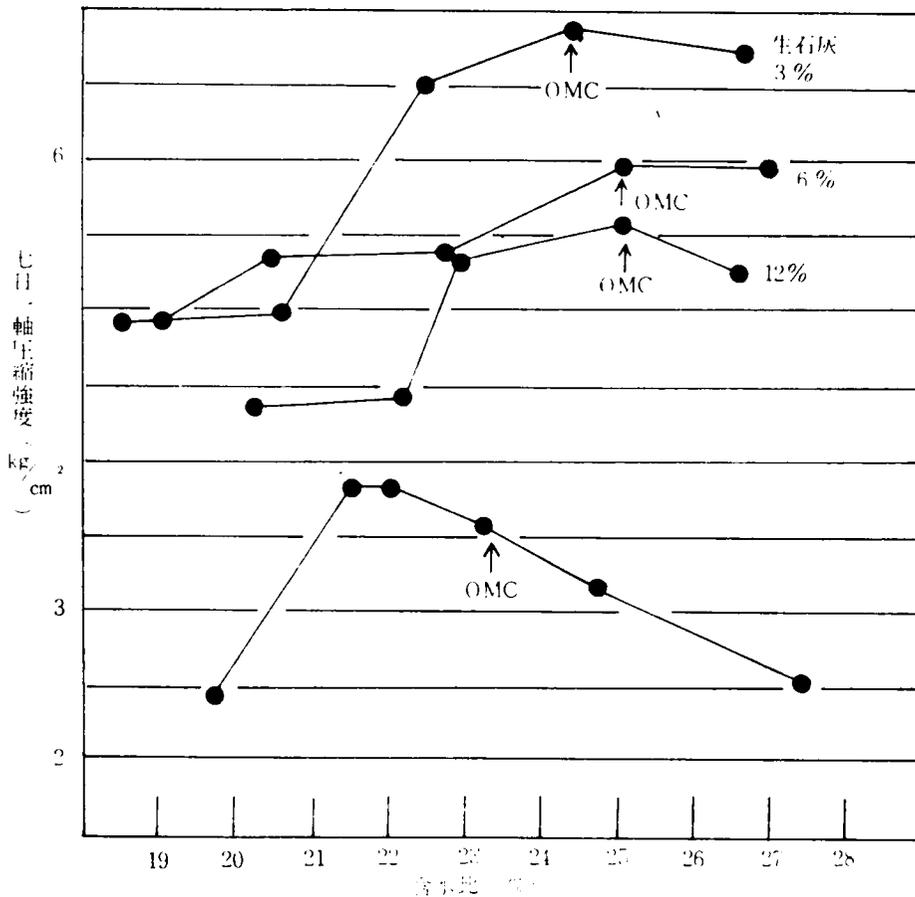
7日一軸圧縮強度について、含水比を変えた場合の各セメント量に対する強度の変化を図IV-3-67に示してある。図から、セメント量に関係なく含水比の変化によって、



図IV-3-67 含水比と一軸圧縮強度との関係(セメント処理土)

強度に変化をもたらし、ある含水比でピークを示している。このピークを示す含水比は、セメント量の増とともに高くなり、突固め試験で求めた最適含水比より wet 側 (D. T. Davidson らの報文—H. R. B. Bull. 267. 1960に同様な例がみられる) でその差はより大きくなっている。しかも、その時の乾燥密度は小さくなっているにもかかわらず、強度の方は増幅 (強度と乾燥密度の間に明確な関係はみられない。) されている。これは、土塊を木づち等で粉碎して、各含水比についての供試体作製試料をつくったために、それぞれの粒度組成を完全に統一しえなかったことも一因と思うが、このセメント添加土の特性として考えられる。

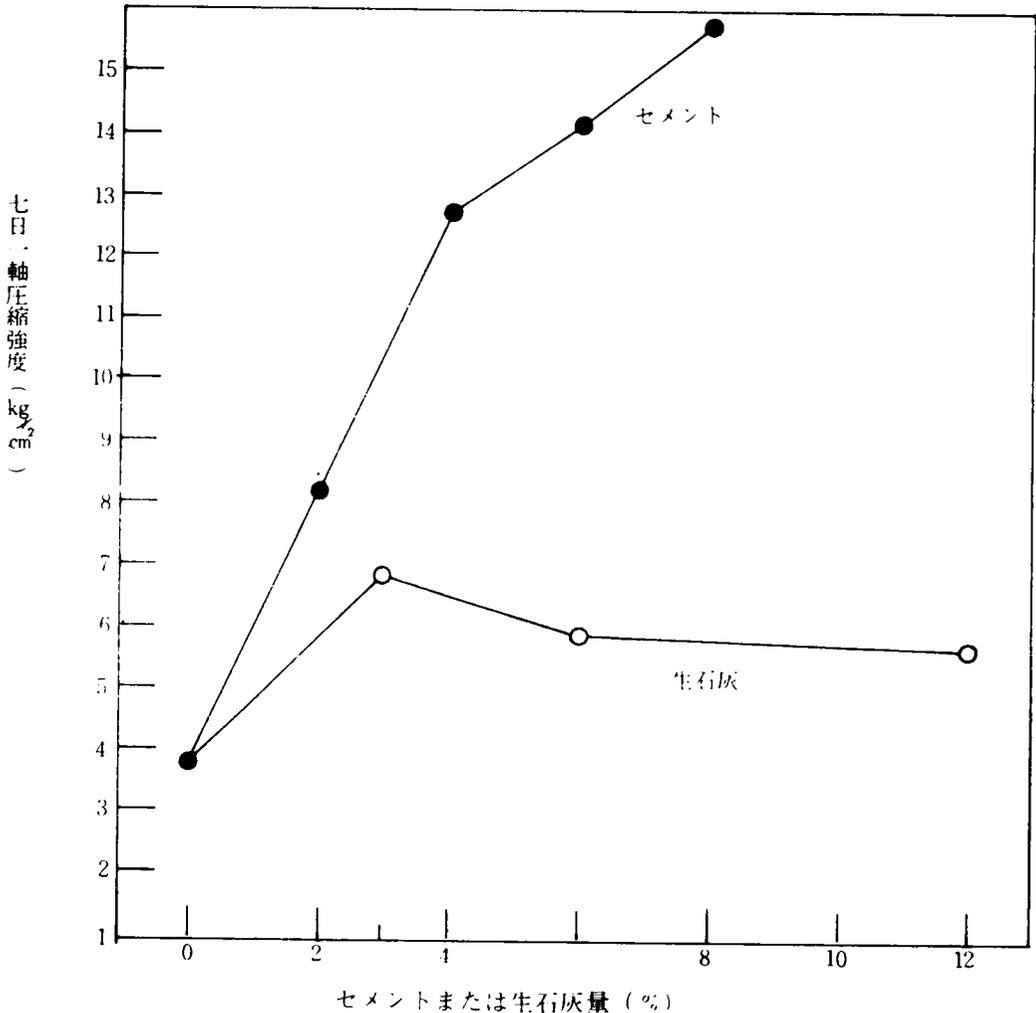
生石灰の場合については、図IV-3-68に示す。含水比の変化によって、強度のピークが現われることは同様であるが、突固め試験から得られた最適含水比附近で、各生石灰量とも最高の強度を示している点が異なる。また、生石灰量によって、最適含水比にあまり差異はないが、強度の方は、添加量の増加に反して低くなっている。



図IV-3-68 含水比と一軸圧縮強度との関係 (生石灰処理土)

ロ) セメント量または生石灰量が強度におよぼす影響

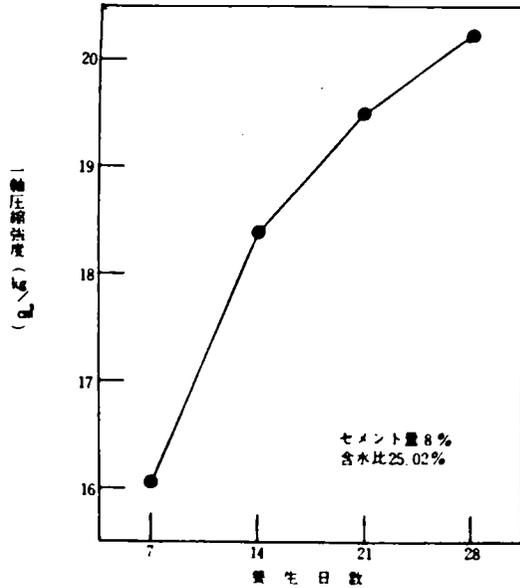
表一 から、各セメントまたは生石灰の量について得られた最高の一軸圧縮強度をプロットしてみると図IV-3-69のようになり、セメント添加の場合はその量の増に応じて強度も増加し、生石灰の場合は、その添加量が3%の時ピークを示して、更に量を



図IV-3-69 セメントまたは生石灰混合比と一軸圧縮強度との関係

増やすと強度はむしろ減少する。本粘土の場合生石灰の添加量には適量 (Optimum lime content ; すべての土にではないがこういう事例がしばしばあると言われている。) というものがあると言えよう。

表一 から、セメント添加量 8% の処理土の養生日数と強度の関係を、図IV-3-70に示してあるが、養生日数が増えれば、その強度も増加している。たゞ、4週強度で  $20 \text{ kg/cm}^2$  にみえないので、一層の検討が必要である。生石灰の場合は、長期養生が注目されていて、たとえば、S. Diamond, E. B. Kinter ; Mechanisms of Soil-Lime Stabilization H. R. B. Record 92, pp 83~95 (1965) でこれについての報告があり、泥岩土につい



図IV-3-70 養生日数と一軸圧縮強度との関係の例

て同様に推察されるが、セメントの場合ほどの期待はできない。

#### ハ) 変形係数について

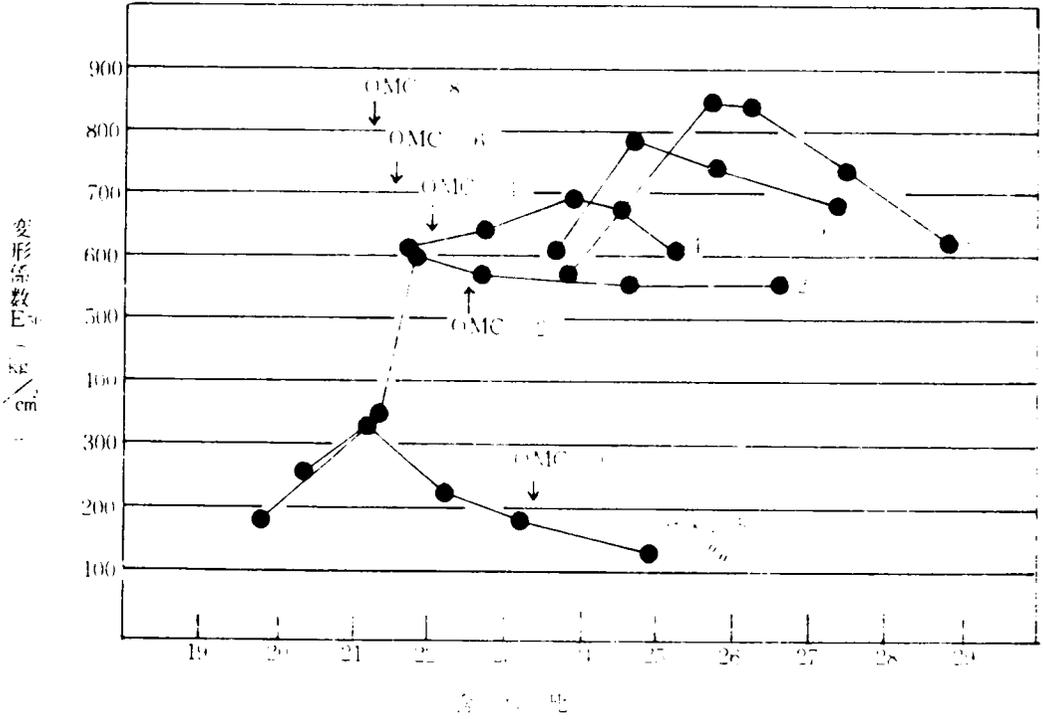
変形係数は、土の含水量、試料の乱れなどによって著しく異なり、未だ多くの問題をもっているが、一軸圧縮試験の応力-ひずみ曲線を利用して、次式によって計算した。

$$E_{50} = \frac{qu \times \frac{1}{2}}{qu \text{ の } \frac{1}{2} \text{ に相当する歪 (\%) / 100} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

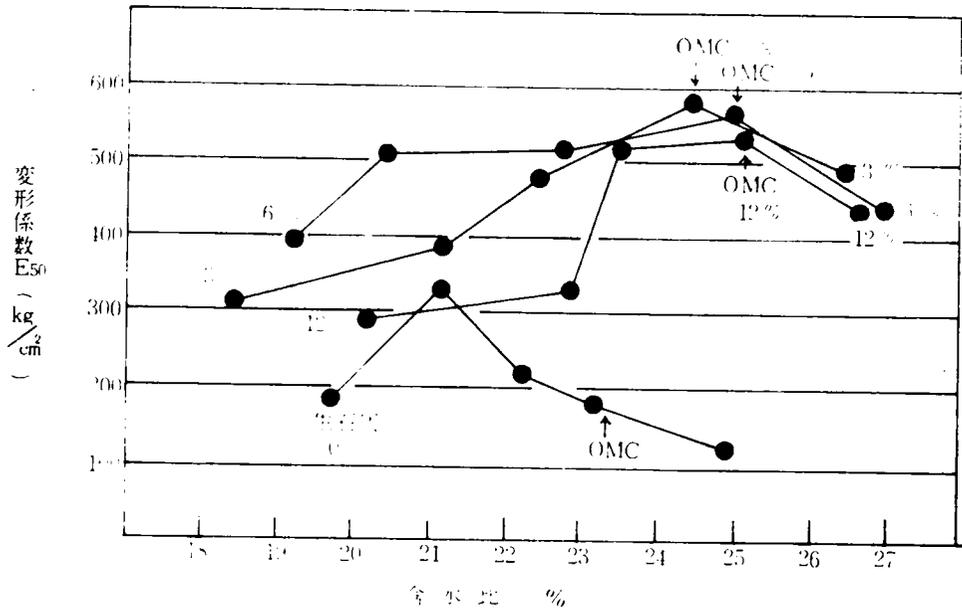
表IV-3-51および図IV-3-71~72に、セメントまたは生石灰の添加土について、含水比を変えた場合や養生日数を変えた場合の変形係数の変化を示した。これらの図から変形係数は、含水比によってピークを示し、養生日数の増によって増加し、また、セメント添加量の増によって増大するが、生石灰の場合はピークを示すなど、一軸圧縮強度の示す傾向と同様である。変形係数と7日一軸圧縮強度との関係を図IV-3-73に示した。生石灰添加の場合は、最高強度を示す時の変形係数が最大値を示しており、含水比(強度)に関係ありと考えられるが、添加量が増えると強度、変形係数ともに減少している。しかしながら、セメント添加の場合は、セメント量が少ないうち(0.2%)は、最高強度を示す時の変形係数が最大値ではないこと、セメント量が6%以上になると強度と変形係数の関係が明確になることなど特異である。これも、島尻粘土とセメントまたは生石灰の作用機構に原因があると思われる。

表IV-3-51 セメント量および生石灰量の変化による最大変形係数の変化

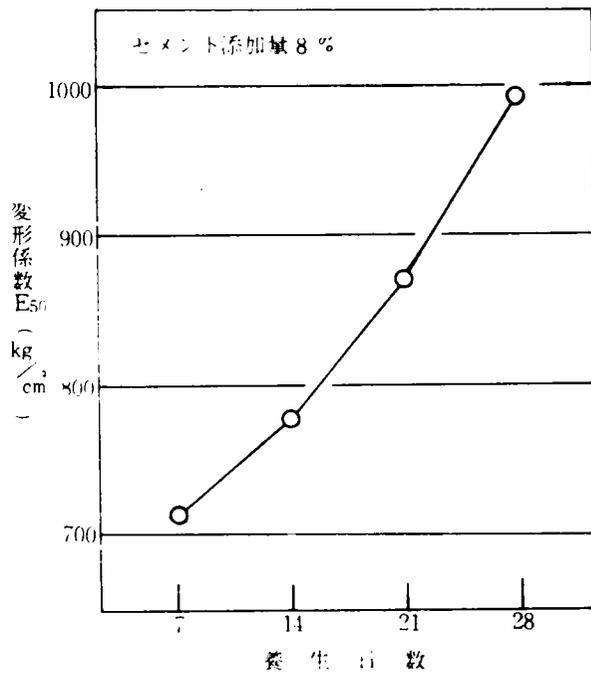
セメント量 (%)	0	2	4	6	8
変形係数 (Kg/cm <sup>2</sup> )	333.33	607.14	695.56	790.00	852.60
生石灰量 (%)	3	6	12	変形係数最大値は図一 及のピーク値をとった	
変形係数 (Kg/cm <sup>2</sup> )	575.00	552.00	533.77		



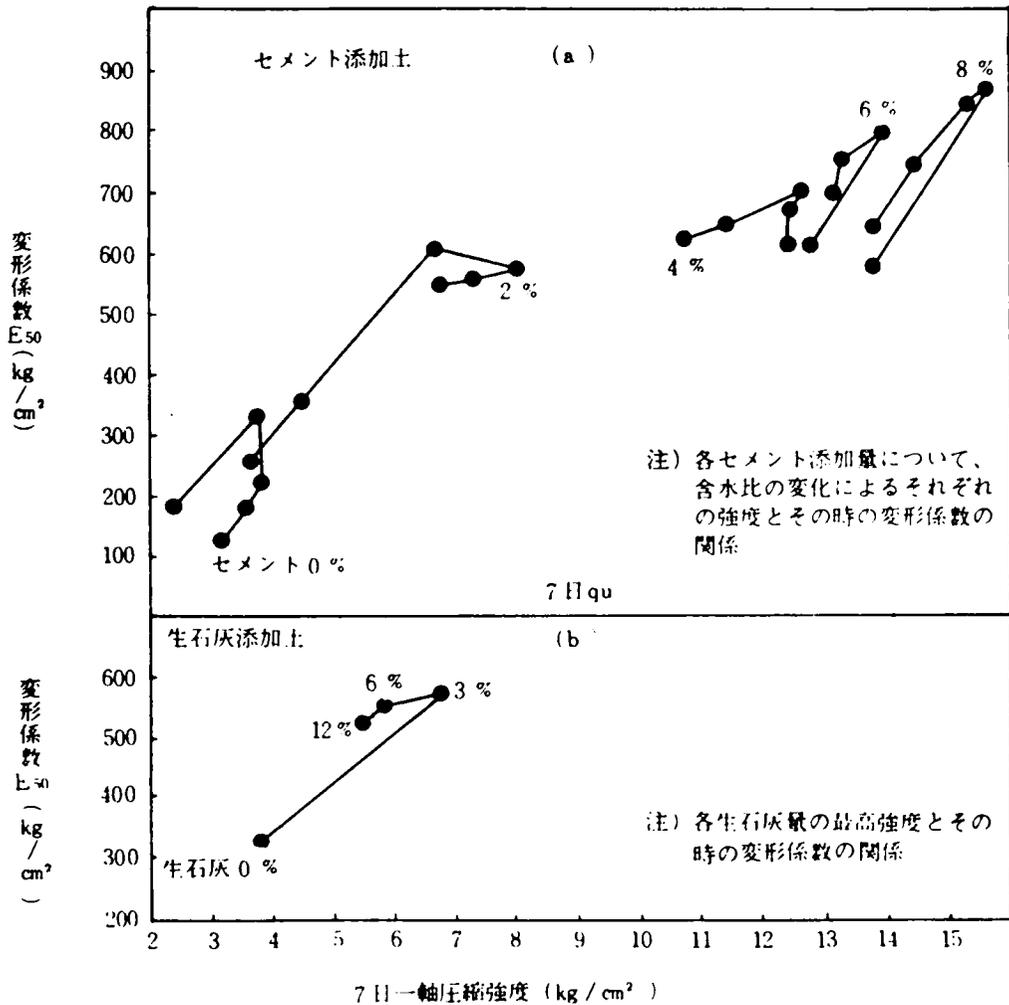
図IV-3-71・a) 含水比と変形係数との関係 (セメント処理土)



図IV-3-71, b) 含水比と変形係数との関係 (生石灰処理土)



図IV-3-72 養生日数と変形係数との関係の例



図IV-3-73 一軸圧縮強度と変形係数との関係

むすび

以上、島尻層泥岩土の安定処理に関する基礎的研究の結果を報告したが、資料が充分とは言えず、今後とも継続して検討すべき事項が多々ある。今回の実験的研究からは、ほゞ次のようなことが言えよう。

- (1) セメントや生石灰の添加によって、プラスチックな島尻粘土の物理的性質を改良することができる。
- (2) 締固め特性は、他の一般的な粘土とほゞ同様であるが、最適含水比、乾燥密度およびそれに対する強度の関係に特異な点がある。
- (3) 強度特性については、含水比、養生期間や締固め仕事量などによって強度の増がもたらされるが、十分ではない。また、セメント添加の場合と生石灰の場合とは著しい差異がある。
- (4) C.B.R. 特性については、セメント量をわずかに添加することによってかなり改良され、下層路盤としては、2%程度のセメント量でも充分である。

次に今後の問題としては、土塊の粉碎、混合、締固め仕事量および方法や養生

条件，強度をもっと高めるための地の添加剤の一次的または二次的使用やそれらの反応機構，更には，浸水崩壊に対する抵抗性増強の検討などがあげられよう。なお，島尻層中のもう一つの土，砂岩土との混合による改良も考えられ現在試験中であり，近くその成果についても述べたい。一方未処理土<sup>20)</sup>の場合も含めて盛土への適用についても今後の課題としている。

#### 4. 結 語

以上，沖縄本島の各種土（または地盤）の improvement 方法に関して論じてきたが，これらをふまえて総括を行うと，次のようにまとめられる。

##### 1) 土の締固めによる改良について

沖縄の代表的ともいえ，一方では“特殊な土”ともいえる島尻層泥岩土，同砂岩土，国頭レキ層土およびコーラルリーフロックの締固まり特性と締固め効果を検討したが，締固め結果に影響を及ぼす種々の因子のなかで，室内締固め試験と現場締固めの手段のちがいはまたは関連性を調べる意味で3つの手段すなわち，動的（JIS型），半動的（Harvard mini. 型）および静的（圧密圧縮型）締固め手段をとった。その結果，やはり締固め手段によって，同一土の締固まり方（締固め曲線で見ると）がちがうことは，明白であり，島尻層系の土とコーラルにおいては動的手段と半動的手段が，やゝ近似した効果を与え，レキ層土では，3手段によって，3様の効果をもたらすことがわかった。一方，土の種類によって，締固まり方に多様な型，すなわち，締固めメカニズム（締固め理論の構築のあり方）に種々変化があることが歴然とし，締固め曲線の形で，regularな1 peak typeのほか，irregularな2 peak type・ $1-\frac{1}{2}$  peak type・ $\frac{1}{2}-1$  peak type および完全な上に凹型があることが判明した。さらに，締固められた土の強度特性と締固め効果（締固め密度との関連において）との関係や，対水安定性（dry or wet-of-optimumとの関連において）なども調べて，これらの土の改良の手段としての締固めを評価した。

以上のことから，沖縄の土のみではないが，土の種類によって，締固め効果を判断するためには，締固め手段を如何にすべきかを問題とする必要があり，一方では締固め理論の構築またはメカニズムの考察や締固め諸条件（procedures）および締固められた土の構造などの検討があわせてなされなければならない。したがって室内試験基準と現場施工のあり方との相関性（たとえば締固め手段，最適含水比の適用性，過転圧現象や吸水膨張とスレーキング現象なども含めて）を今後も追求していく必要がある。

## 2) 基盤・路床の改良について

島尻層構成土については、その堆積構造の複雑さ（相、異方性、過圧密など）と風化・侵食の程度が先ず問題となろう。このことは、すべり・崩壊など基盤としての機能損壊や支持力低下など路床としての機能減退をもたらすことにつながるので、先ず、これらの泥岩土、砂岩土の物理的、化学的および力学的な特性を把握することにつとめた。その結果、前章でも述べたが島尻層の構成を泥岩、砂岩ともに、その異方性と風化層－準風化層－未風化層の区分とについて、その指標を定めることが目下の急務であり、島尻層の堆積環境についての考察から始めて、風化のなかでも、特に化学的風化（主として水と酸化による）の問題の解明をすゝめていく必要があることがわかった。したがって、基盤（土）としての島尻層泥岩土および砂岩土の力学的特性に関する研究は、これから、深さや堆積相とのかゝわりをもちつゝ、対水挙動の面を究明していくことになる。また、路床上としては、その風化の程度および深度が問題となり、盛土として使用された場合は、その締固め効果の判定基準が定められなければならないだろう。

以上のことから、現在においては、積極的な島尻層構成土そのものの改良は、検討し得ないが、浅層ないし深層安定処理工法（たとえば、人工締固め、グラウティングや松尾らによるイオン交換工法など）の検討が考えられる。

## 3) 路盤等材料土の改良

これまで、沖縄諸島では、道路等の路盤材としては、主としてコーラルリーフロックが用いられており、今後もその傾向は変わらないものと思う。たゞ、再々述べたように、“琉球石灰岩”を母材とするコーラルリーフロックの採掘については問題が生じている昨今の状態から、コーラルの他に量的にも、時には、地域的にも有利な島尻層土や国頭レキ層土の利用を考慮しておかなければならない。こゝでは、このような観点からコーラルリーフロックそのものの路盤材としての特性を明らかにしておいた。締固め試験、CBR試験、透水性および強度試験によって、コーラルの路盤材として優位性が認められ舗装設計と施工上の指針が提供されている。しかし、水に対する安定性などには問題があるので、その改良についてはそのあと安定処理工法において基礎的研究成果を示している。次に、最近、海浜または海岸における道路構築がなされるため、ビーチコーラル砂レ層の路床・路盤材としての特性を把握しておく必要があり、CBR、平載荷試験によって調べた成果から、人為的な締固め方法や材料の粒度調整などに注意すれば、かなりの期待がもてることが判明した。

続いて、国頭レキ層土、コーラルリーフロック、および島尻層泥岩土の添加剤による安定処理工法の基礎的研究成果を示した。国頭レキ層土については、ソイ

ルセメント工法の適用が有効であることがわかり、これに碎石を混合するとさらに効果的であり、路盤材としてだけでなく、盛土への適用性も十分期待できることがわかった。コーラルリーフロックについては、セメント処理効果は顕著なものがあり、コーラルの優秀性については言をまたないが、耐水性、耐久性について、若干の問題があるため、これを薬液によって処理を試みた。たゞコーラルの化学組成から他の土とは異なった反応が考えられ、スレーキングテストや一軸圧縮テストなどからリン酸水素ニアンモニウムやクロームリグニンが効果のあることがわかり、特に前者の効果が大きいことについて、そのメカニズムの考察を行い、その展望は開けた。たゞ、その経済性および施工法において検討の余地が残されており、今後の課題となるであろう。島尻層泥岩土の安定処理については、セメントや生石灰による処理について検討し、プラスチックな島尻層泥岩土の物理的性質の改良（コンシステンシーの変化）が認められることが判明した。締固め特性や強度特性については、生石灰よりセメントの方がより効果的であることがわかったが、その添加量や他の添加剤との併用や施工上の問題（たとえば土塊の粉碎や養生条件など）が十分に研究されていない点、今後の課題である。なお、島尻層構成土には、砂岩土もあり、この砂岩土との混合による締固め効果（一種の粒度調整工法）も期待できるものがあり<sup>52)</sup>、路盤材としてだけでなく、盛土への適用についても、目下検討をすすめている。

## 参 考 文 献

- 1) 上原 方成 締固め方法のちがいによる土の締固め特性 土木学会  
第27回年次学術講演会講演概要集Ⅲ, 昭47  
土の締固まり特性に関する研究 土木学会第29回年次  
学術講演会講演会概要集Ⅲ 昭49  
土の締固めに関する研究(第1報)琉球大学理工学部  
紀要工学篇第8号47~64, 昭50
- 2) 土質工学会 土質試験法(第1回改訂版)
- 3) S.D. Wilson Suggested Method of Test for Moisture- Density Relations on Soil using  
Harvard Compaction Apparatus. Procedures for Testing Soils, A. S. T. M.  
1964
- 4) R.N. Yong. B.P. Warkentin  
Introduction to Soil Behavior, P.P. 115~117, 1966, Macmillan co.
- 5) P.Y. Lee. R.J. Suedkamp  
Characteristics of Irregularly Shaped Compaction Curves of Soils, Highway  
Research Record No 381. p.p. 1~9, 1972
- 6) R.E. Olson Effective Stress Theory of Soil Compaction, Jour. SMFE, Proc. ASCE 89  
(SM2), p.p. 27~45, 1963
- 7) T. W. Lambe. R.V. Whitman  
Soil mechanics, p.p. 514~520, 1969. John Wiley & Sons, Inc
- 8) 大平, 小山 宝永火山礫の突き固め特性について, p.p. 8-1~8-2 第20回土木  
学会年次学術講演会, 昭40
- 9) 赤井 浩一 土の粒度配合による締固め特性の変化, 土と基礎 vol. 5-5  
p.p. 19~22, 1957.
- 10) 酒井, 佐藤 土の最大乾燥密度および最適含水比の簡略決定法に関する一試み,  
土と基礎 vol 5-2 p.p. 30~33, 1957  
森 満雄 土の最大乾燥密度と最適含水比について, 土と基礎 vol. 10-9  
p.p. 12~16, 1962
- 11) 筋内, 風間 土の締固めにおける水分の働きについて, 土と基礎 vol. 18-3  
p.p. 21~28, 1970
- 12) 上原 方成 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究(Ⅱ) -沖繩産コーラルリー  
フロックその1 -琉球大学理工学部紀要工学篇第3号 p.p. 61~90.  
1970. 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究(Ⅲ)-島尻層泥岩土

その1 - 同上工学篇第4号 p.p. 63~88. 1971

13) Highway Research Board

Factors Influencing Compaction Test Results Bull. 319. 1962

14) たとえば

松尾, 宋, 中村 締固め試験値とコーン貫入試験値の相関性に関する構造的研  
究 第26回土木学会年次学術講演会概要集Ⅲ 405~406 昭46 など一  
連の研究

15) E. A. Novatzki, L. L. Krafaiath

Effect of Cone Angle on Penetration Resistance H. R. R. No 405 p. p. 50  
~ 51. 1972

16) 上原 方成 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (I) - ソイルセメント工法  
- 琉球大学理工学部紀要工学篇第1号 p.p. 25~39. 1968

17) 上原 方成 路盤の安定処理工法に関する基礎的研究 (II) - 沖縄産コーラルリー  
フロック その2 - 琉球大学理工学部 紀要工学篇第5号  
p.p. 213~223. 1972

18) T. W. Lambe Compacted Clay ; Engineering Behavior, Transaction ASCE vol. 125 p. p. 718  
~ 741. 1960 または, 7) p. 520

19) D. Hampton, E. J. Yoder

Effect of Rate of Strain on the Strength of Compacted Soil  
H. R. B. Bull. 245. p. p. 27~48. 1960

20) 上原, 砂川 路床土としての島尻層土について 琉球大学理工学部  
紀要工学篇第9号 p.p. 151~156. 1975

21) 新城 俊也 締固め不飽和粘性土の圧縮および吸水変形について, 締固め粘性土  
の吸水膨脹について (資料) 琉球大学農学部学術報告第16号, 1969

22) 藤川, 上原, 新城, 高山

沖縄島尻層における地すべりと斜面崩壊の一特性 第11回災害科学  
総合シンポジウム講演論文集 32~33, 昭49

23) 沖縄開発に伴う土地環境の変化と防災に関する研究

文部省科学研究費自然災害特別研究成果 (藤川武信代表) p.p. 1~  
108. 昭 50.3

24) 新城 俊也 沖縄における泥灰岩の工学的特性 (I)

琉球大学農学部学術報告 18 : 127~136. 1971

沖縄における泥灰岩の工学的特性 (III)

同上 19 : 331~342. 1972

赤井, 足立, 新城 沖縄・島尻層泥岩の力学特性 京都大学防災研究所年報

- 第16号B, 753~764, 1973
- 新城 俊也 沖繩・島尻層泥岩の強度異方性 第29回 土木学会年次学術講演会  
講演概要集Ⅲ 406~407, 1974
- “ 沖繩・島尻層泥岩の排水せん断について, 第10回 土質工学研究発  
表会論文集 799~802, 1975
- “ 乾湿による泥岩(島尻層)の強度低下 第31回土木学会年次講演会  
Ⅲ 5~6, 1976.
- 25) 山内 豊聡 土質力学 理工図書 p.p. 34~35, 昭35  
Yong, Warkentin Introduction to Soil Behavior, Macmillan Company, p.p. 151~171  
1966
- 26) 山田, 鈴木 粘性土における三軸圧縮強度と一軸圧縮強度の比較について  
第28回 土木学会年次学術講演会概要集Ⅲ, 103~104, 昭48  
“ 同上(第2報), 同上第29回.Ⅲ, 208~209, 昭49
- 27) 上原 方成 島尻層砂岩土(沖繩)の二, 三の工学的性質  
第9回 土質工学研究発表会論文集, 753~756 昭49  
上原, 大成 島尻層砂岩(土)について 自然災害特別研究  
沖繩開発に伴う土地環境の変化と防災に関する研究 8~12, 昭50
- 28) 庄司 力偉 堆積学, 堆積岩石学 湖倉書店 昭46
- 29) K. Terzaghi & R.B. Peck Soil Mechanics in Engineering Practice John Wiley &  
Sons, Inc, N.Y. 1948
- 30) 森 博 変水位透水試験機の試作について, 土と基礎 vol. 7-6, 108~  
111, 1959
- 31) 松尾, 木暮 土の透水性に関する一考察, 土と基礎 vol. 17-5 23~29, 1969
- 32) 松尾, 上原, 大井 土の透水性規制に関する研究  
第1回土質工学研究発表会 昭41
- 33) 上原, 大成 沖繩島尻層構成土の化学特性とすべり・崩壊について 土木学会  
第30回年次学術講演概要集Ⅲ, 398~399, 昭50  
上原, 大成 島尻層砂岩(土)について, 前掲39)
- 34) A.A. ロージェ 土壌と水 東京大学出版会, 1963  
山崎 他 訳
- 35) 松尾らの一連の研究, たとえば 地すべり斜面構成土の化学組成について  
第10回土質工学研究発表会 昭50
- 36) C.D. Ollier 風化—その理論と実態 ラティス 昭46  
松尾新一郎監訳  
D. Carroll 岩石の風化 ラティス 昭49  
松尾新一郎監訳  
庄司 力偉 堆積学 前掲28)

- 37) 福田 理他 第5次沖縄天然ガス資源調査・研究，概報 地質調査所月報  
vol. 21, No 11, 1970  
青木，生沼 南西諸島周辺現世海底堆積物中の粘土鉱物組成（英文）地質学雑誌 8(2), 57~63, 1974
- 38) L. Bjerrum Stability of Natural Slopes in Quick Clay Geot. vol. V, 101~119, 1955.
- 39) 陶野 郁雄 堆積物の続成作用と力学性状，地質学雑誌81(9), 547~558, 1975
- 40) 嘉数，上里 沖縄における路盤材料（CRR）について，  
第36回 農業土木学会九州支部沖縄学会講演等 p.p. 103~106  
昭45
- 41) 土質工学会 日本の特殊土 p. 7, 昭49. または，第17回土質工学シンポジウム  
論文集 p.p. 40~41. (三木五三郎) 昭47
- 42) たとえば  
沖縄コーラル資源開発株式会社（福岡）路盤・基盤用新骨材コーラルリーフロック，1965  
沖縄県建設材料試験所 試験年報 昭49.
- 43) 森口，浅島 路盤材としてのコーラルリーフロック 第9回土質工学研究発表会  
講演論文集，825~828, 昭49.  
佐藤・副手・浅島・渋谷  
空港舗装路盤としてのコーラルリーフロックの評価第1報，港湾技  
研報告 vol. 14, No 2, 1975
- 44) 砂川 徹男 ビーチコーラルの地盤係数について 琉大土木工学科  
同窓会誌「建設」 p.p. 14~21, 1975
- 45) 琉球政府建設局土木課  
安謝港の地質調査報告 株式会社総合土木コンサルタンツ，株式会  
社応用地質調査事務所，1968
- 46) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱（改訂版），日本道路協会 p. 24, 昭36.
- 47) 高橋国一郎：安定処理工法，理工図書，p.p. 21~27 昭36
- 48) 土質工学会：土質試験法，土質工学会，p.p. 140~144 昭39
- 49) 竹下 春見：ソイルセメント（コンクリートパンフレット第171号），日本セメン  
ト技術協会，p. 21 昭38
- 50) 高橋国一郎：安定処理工法，理工図書，p.p. 41~44 昭36  
三木・山内：土質安定の理論と実際，オーム社，1959
- 51) 化学大辞典第九巻 共立出版 昭37，及び最新無機化学 改稿版 広川書店 昭44.
- 52) 上原 方成 島尻層混合土の2, 3の工学的特性（第1報）  
第311回土木学会年次講演会 III部 1976.

## V 章 結 論

第Ⅱ章で、沖縄諸島の地形、地質条件と土質条件の総括を行い、第Ⅲ章で、沖縄における地盤災害の問題として、地下鉱物資源や地下水の利用に伴う事例と山崩れ地すべり等災害および軟弱地盤その他の事故災害事例とについて、その対策を求めて論じてきた。さらに、第Ⅳ章で、土質または地盤の改良の手だてを、主として路床・路盤等の安定処理工法についてであるが、“沖縄地方の土”を対象に論じてきた。本章では、これらを結論的にまとめるにあたって、以下のように、沖縄諸島における、地形地質の、地質工学的、および土質工学的諸問題の三つにわけて総括したい。

### 1. 沖縄諸島の地形・地質の諸問題

「土質力学のすべての重要な研究は、地質学的研究から手をつけなければならない」（カコー、ケリゼル、1966）といわれるように、沖縄諸島における土質・地質工学の実際を考えるには、先ず、その地形・地質条件の解明を前提としなければならない。しかし、奄美群島も含めて、その延長1,200 Km 余の島孤である琉球列島は、そのことだけでも地形・地質の特質がみられ、それ故に解決困難な問題が多いといわれる。そのうえ、これらの問題は、戦後沖縄のおかれた行政条件および地理的条件のために、学術研究体制のおくれ（または不備）から、未だに解決されていないことが多く、徐々に光をあてられつゝある現状であるが、今後なお一層の、調査研究成果にまつところが大きいといわなければならぬ。

沖縄諸島（あるいは琉球列島）の地質条件の解明については、1940年代中頃（第二次大戦）以前とその後とに分けて、論ずることができよう。前者は、1900年前後（明治30年代）から1940年代頃（昭和初期）までの間であり、その間に沖縄諸島の地形・地質のあらましが一応確認されている。特に、1930年前後の半沢博士を主とする先達によってもたらされた調査研究の成果は、今日もなお、沖縄諸島の地質を論ずる時の骨子となっている。この前半の業績に対して、1945年以降は、米軍関係者による軍事地質（Military Geology）報告の時期とその後の沖縄復帰前後における地質調査関係者（天然ガスや水資源等調査団）、小西博士ら日本人学者や、MacNeil, Foster ら米国地質学者らの調査研究報告の時期および最近の東北大、京大、九大グループやこれらを含めた沖縄第四紀調査団、沖縄地学会らのより詳細な調査研究成果（今後も続けられる）の時期とが考えられ特に、最近の数々の新事実解明にはめざましいものがある。

これらの問題を以下に概括してむすぶことにする。

そのなかで、先ず、琉球列島の成立に関して、琉球弧はどうしてできたのか、琉球列島の成因とその構造地質的条件はどうなっているかなどが問題点としてあげられよう。琉球列島は、北部、中部、および南部に分けて論じられることが多いが、中北部琉球（沖縄本島以北）と南部琉球（特に八重山群島を指して）とは著しく異なった構造地質（たとえば、広範および局所的な断層、褶曲、変成岩相）をもっているようで、少なくとも二つの異なった地質学的単位からできているともいわれている。このようなことなど、今後の Local なあるいは General な調査研究の成果にかゝるところが大きい。

地質時代の面からみた場合、沖縄本島の例では、最近は大別して、

中・古生代	{	本部層群；二塁系粘板岩，チャート，石灰岩 今帰仁累層；二塁系石灰岩
	{	名護累層；“四万十累層群”に含まれる 嘉陽累層 地層
新 生 代	{	島尻層群；“島尻海時代”堆積 琉球層群；“琉球サンゴ海時代”堆積 国頭レキ層；段丘の時代堆積

のようにも唱えられ、第三紀中新世後期の島弧形成時代（島尻層；豊見城（旧那覇）、与那原、新里の3累層）と第四紀更新世中期の“うるま変動”時代（那覇累層、琉球石灰岩）が、沖縄諸島の地形・地質を左右する時代とみる考え方もある。こゝで、那覇累層というのは、Mac Neil の琉球層群（Ryukyu Group）中の古い石灰岩すなわち那覇石灰岩、知念砂岩など（大部分が砕屑性、砂質石灰岩）を指し、琉球石灰岩とは、それより新しい読谷石灰岩、牧港石灰岩など（サンゴ礁性、有孔虫石灰岩）を指している。なお、国頭レキ層については、その定義や認識のしかたに、あいまいなものがあり、琉球層群とのかゝわりからも、専門家の間でも、未だ、問題が残されている現状である。

続いて、近年、地質調査所の天然ガス研究グループによって、島尻層群がかなり詳しく調べられ、たとえば、その堆積環境（島尻海および堆積物の起源）や、当時の気候（現在より寒い温帯性気候と推定されている）などが明らかにされつゝあることと、最近、沖縄第四紀調査団・沖縄地学会によって、琉球層群や国頭レキ層について、地形的特徴とも関連させつゝ調査検討されていることなどつけ加えておきたい。たゞ“琉球石灰岩”については、海水準変動の反映として、段丘形状と関連づけて取扱われるのはよいとしても、地形学的な対比が先行して

きたきらいがあるという議論もあり、層序学的には、同一石灰岩層が、異なる高度の段丘を構成したり、石灰岩の侵食面上る砂レキ層が覆うていたりするなどの事実が発見されるなど、従来の“琉球石灰岩”の再検討がせまられている。

さらに、宮古島の石灰岩層序と堆積機構や石垣島、西表島の構造地質 (by Konishi 1964 構造線) と琉球層群 (by MacNeil, 1960)、八重山層群 (by Foster, 1965) などの問題について最近調査研究がすすめられているようである (中川 1967, 高安 1976, 矢崎 1976, 沖縄第四紀調査団 1976, etc.)。

以上、最近の地質学的諸問について触れたが、このような地質条件の解明がすすめられるならば、近い将来、「沖縄県の地質図」はかなりの修正・充実がなされるものと思う。

## 2. 沖縄諸島の地質工学的諸問題

a) こゝでは、沖縄における地質工学的諸問題として種々考えられるなかで、コンクリート用骨材として、石灰岩を主とする砕石粗骨材 (“琉球石灰岩”系と中生代石灰岩系に大別される)、海砂利 (Finger coral サンゴ砂利) および海浜砂細骨材について先ずとり上げた。結論として、粗骨材としては自然産の棒状海砂利と石灰岩砕石であるということが、石質、粒度組成及び形状などに関して品質管理の面で問題があるがコンクリート配合および施工の場で混和剤その他の利用によって改良され、かつ、強度も所定の値が得られることは確実であり、一応使用に差支えないと言ってよい。一方、細骨材としての海浜砂は、分布地によって死石含量や粒度の均一性などがみられるが、主要産地の砂は、一応使用に何ら差支えない。たゞ、含有塩分量が少なくないことが、鉄筋コンクリート構造物のサビ発生について問題とされるが、必ずしもそれのみが原因とは思われず、設計のあり方、施工の不確かさなどがむしろ問題とされよう。

建設材としての石材は、石灰岩、砂岩、その他中生代岩石が玉石、切石、間知石、割石など石積用材として、また、装飾用あるいは外壁用材 (板石) として広く利用されているがその物理的、力学的性質はこれまで検討されていなかった。近年、岩石力学的な面から若干の性状が明らかにされつつあることは先に述べたとおりである。なお、沖縄特産石材としてトラバーチンやアワ石はその岩石力学的な問題は別として、人工石材の生産化に対して、その自然的素材が愛でられている。たゞ、石材であれ、骨材であれ、自然環境保全との対応に問題がある。

b) 次に、水資源の一端を担うものとして、地下水の開発利用が問題とされる。沖縄本島中南部の地下水は、これまでも簡易な方法、利用されているが、これでは不十分である。

地下水の調査は、戦後米軍によって手掛けられ、日本政府地質調査所の水資源

調査団によって、より総合的に実施されたほか、個々の、若干の調査研究によって部分的に、または、包括的に水理地質的区分による地下水採取対象地域が設定されている。水理地質的にみた場合、沖縄諸島を広く覆っている“琉球石灰岩”や、砂レキ層、島尻層群中砂岩層および含石灰岩古期岩層が地下水の賦存にかゝわる。“琉球石灰岩”は、ほとんどその基底部分において自由水として賦存されるが、その下位の基盤岩（たとえば、島尻層群）の境界と海水準との関係で賦存形式がらがっている。一方、島尻層群中砂岩層の地下水は被圧水として存在している。さらに、本部半島など沖縄島北部においては水理地質的に特異で、古期岩類が降水の吸いこみをなして地下水の産出、透過、賦存の役目を果している。

地下水位は降雨条件などによって左右される自由水を主としてみると非常に浅い（0～3 m程度）場合と深い（6～9 mまたはそれ以上）場合とがあって地域的特性をもっている。また、水質の面では石灰岩系のものが総硬度100～400 ppmに達して高く、非石灰岩系のもは100 ppm以下が多いわりに塩素イオンがかなり高いといわれるが、深井戸の場合100～200 m（限度）では良質の地下水が得られている。

本格的な地下水開発計画は、その緒についたばかりであるといえ、これからより詳細な探査を実施し、綿密な計画のもとに、自然環境の保全に対して地下水の開発と規制とを考慮に入れてすゝめられなければならない。

c) 鉱物その他の地下資源については、従来、金鉱、石炭、その他種々の鉱物があることは知られているが、その採掘、利用の価値または産業ベースにのるかどうかで現在は疑問のものが多く、一時的に石炭が採掘され（戦前～戦時中）たほかは、現在では、石材としてのトラバーチン、アワ石および本部層石灰岩や琉球石灰岩（セメント原料及び骨材として）の採掘のみが鉱山事業として成り立っている。なお石灰石鉱山（採石所）としては、通産省那覇鉱山保安監督事務所の監督対象として、大小あわせて122ヶ所（産出量600～760万トン）がある（昭51）。

また、天然ガス（水溶性）については、その埋蔵が確認され、量質ともに良好であるとされている。そのため、現在、試開発計画の作成が着取されており、可採鉱量は沖縄本島150億トン、宮古島28億トンとみられ、家庭燃料として供給されよう。以上、資源の開発利用について若干の目処づけがなされるが、そのあり方については今後十分な検討がなされなければ、自然環境－生活環境保全の問題とのからみで実現に障害が生じよう。

d) 地盤災害として、地形・地質条件の不利性に、異常気象的な諸条件が加わって生ずる山崩れ、地すべり、斜面崩壊および土石流、土砂流出などの災害と軟弱地盤における事故災害とが特筆される。これらは、近年の開発行為とのからみで人為的、自然的事故または災害として多発化の傾向にあるもので、その防止、

対策にあたっては、設計・施工計画の段階で慎重に検討しておかなければならない問題である。

沖縄諸島における山崩れ、地すべり、崩壊等はその地形・地質の面からみても地域性が一応認められ、山岳地帯の中・古生層より成る地域での「破碎」、低丘陵、段丘地帯の第三紀中新世層より成る地域での「すべり・崩壊」および、段丘地帯の第三紀鮮新世～四紀洪積世層より成る地域での「落石、陥没、土石流、斜面侵食」があげられる。前者は、たとえば、沖縄島北部の名護層・嘉陽層の千枚岩、粘板岩、片岩、頁岩等分布地域において、中者は、たとえば、沖縄島中南部の島尻層分布地域において、後者は、たとえば、沖縄島中南部の“琉球石灰岩”分布地域や沖縄島北部海岸沿いや段丘斜面の国頭レキ層、残積土層分布地域において発生している。

中・古生層地域では、断層に伴う破碎帯の崩壊・滑落現象と風化の顕著なことなどに注目し、事故災害発生の危険性を、たとえば、誘因、素因、発生のフローチャートにのせて合理的に検討する必要がある。

第三紀島尻層地域では、島尻層の地質学および土質工学的考察を行うことも、もちろん、重要な課題であるが、先ず、島尻層分布地帯の地形的変貌と生活環境となる土地造成の影響を考慮に入れた実態調査とその特性把握が必要である。その意味で、本研究では、地すべり・崩壊の発生状況（年次の継続的）と地形区分（危険地域の設定）とに関連して一応の提示をしている。そして、その上に立って、地質学的、土質工学的資料をもとに解析及び対策の手法について考察し対策工法を事例でもって示している。

“琉球石灰岩”地帯では、落石、転動石および陥没事故が再々であり、岩質のゼイ弱さと風化侵食の進行を考慮しつゝ今後岩盤（岩石）力学的な面からの検討が急務である。

国頭レキ層等分布地帯では、農地造成、土地改良事業の進行とパイン畑や農村道のあり方に問題が多く、ガリ、土砂流失（赤土汚染）など表面侵食防止対策がすゝめられなければならない。これらのことに関連して、法面保護工の再検討を（植生および構造物による方法について沖縄の気候風土に合うように）行わねばならない。

一方、沖積層地帯における軟弱地盤（川口、湾沿岸）の問題は、近年の高層ビル、大規模土木構造物（橋梁 etc.）建設に伴って、徐々にその危険性が考えられつつある。沖縄ではこれまで、地盤の、たとえば、島尻層が、良好なものとして受けとられているため、支持力の点では問題がないとされてきたが、施工に際して掘削等仮設事業における事故が決して少なくない。このことは、地盤に達するまでの不良な泥質土層について関心が払われず、およそ経験的な、現場的な感覚に基づいて施工されており、なんら土質工学的な問題として取扱われていなかったことに起因するものである。この点、今後反省の上、慎重な土質調査、土質試験のもとに土留め工法のあり方など究明していくべき多くの課題がある。

e) 最後に道路計画上の問題としてトンネルの問題があり、水資源計画では、ダムの問題がある。前者は、中古生層岩類、島尻層岩類および琉球石灰岩類におけるトンネル工法のあり方が、後者では、北部山岳地帯の名護層、嘉陽層におけるダム工のあり方が検討されねばならないが、風化、破碎帯の問題がネックであり、岩盤力学上の調査研究が課題となる。この点、2・3の小トンネル構築や福地ダム（ロックフィル式）、新川ダム（重力式）などの構築は、沖縄の土木技術に多くの資料を提供したことになり、今後の指針となろう。

### 3. 沖縄諸島の土質工学的諸問題

a) 沖縄においても、建設工事がすゝめられるなかで、沖縄の土の性状とその分布状態が、先ず問題とされる。日本統一土質分類法が確立された今日、これにのっとって沖縄の土を分類するのが当然のことであり、こゝでは、そのことについて調査研究をすゝめた。沖縄では、従来、農業土壌的な観点から土の区分けがなされ、一方、経験的な俗称（方言名）で、どこそこの土は何であるというような取扱いを受けていた。もちろん、この取扱い方も、地質的、母岩的な系統をぬきにしては、なされない問題であるが工学的適用においては不都合な面があり、一般的ではない。

土の分類において、土のコンシステンシーが（細粒土においては特に）問題とされるのは常識であるが、その試験のあり方は、これまでも、いろいろと指摘されており、その意味で、特に、液性限界測定についての問題を取り上げた。その結果、ASTM型とJIS型（またはBS型、カサグランデ型）とのちがいが明白であり、その値の差異を示す式を得ている。また、フォールコーン法の適用についても調べ、同法では、フォールコーン90°、100 gr. の場合が推せんされることがわかった。さらに、一点法に関する試みから、実験式を提示することができた。

次に、沖縄の土に関する情報として、沖縄本島の中南部、北部地域および宮古島、石垣島の主要島々の日本統一分類法に基づく再検討を行なっている。今回は、主として細粒度を対象としているが、別に述べているように、レキ質土、砂質土、沖積土などの分布や、特殊土としてのコーラルリーフロックやサンゴ砂利を含む砂レキ土および泥炭質土についても若干の検討を試みている。こゝでは、粒度特性を三角座標で位置づけし、コンシステンシー特性について、ソ性図上での位置づけと各値の相関性を提示している。その結果として、沖縄島の土質、宮古島の土質、石垣島の土質の分類特性と粒度分析用分教剤など、若干の問題点について総括を行っている。

b) 基礎地盤に関しては、これまで、沖縄の地盤は“問題がない”と言われてきたが、これは、支持力および沈下に関してであり、かつ、小規模で、土地利用の厳しさが少なかった建設工事の事情によるものである。しかし、近年、都市地区における高層ビル工事や海浜沿いの大型土木構造物構築工事がすゝめられるにつれ、土工および基礎工の問題が提起されるようになり、沖縄における“基礎工学”の歩みが踏み出されたと言える。このようなことから、こゝでは都市としての那覇市の地盤について、地質構成、地下水の状態および土質柱状図について総括し、特に基盤をなす島尻層の標準貫入試験や載荷試験、杭打試験等の調査結果から、支持力の推定を行ない、新鮮な泥岩層でN値40前後、約  $200 \text{ t/m}^2$  の値を得た。

一方、中北部海浜の砂レキ層地盤については、サンゴ砂利、貝殻片、砂、シルト、粘土を含む層構成となっており、N値は10~20（時に40~50）を示している。支持力検討の結果は、その振動に対する挙動を別にして、通常建築基礎については問題が少ないことがわかり、大型規模の場合は、それが覆っている琉球石灰岩または島尻層などの基盤に基礎を設定することが望ましい。

c) 土質改良の手段の一つとして土の締固めをとり上げ、沖縄の代表的土の締固まり特性について、締固め手段を変えて検討した。手段としては動的（JIS方式）、半動的（Harvard Min.方式）および静的（圧密圧縮方式）の3方法をとりくり返し法、非くり返し法の両条件で締固め試験を行った結果、通常の regular compaction curve（1. peak type）に対して土の種類によって、締固め手段によって、irregular curve（2. perk type,  $1 - \frac{1}{2}$  peak type,  $\frac{1}{2} - 1$  peak type）が得られ締固まりメカニズムについて、従来の説の適用が困難であることがわかり、初期含水比、粒度組成特性、エネルギーの様式などの問題が複雑に作用していると考えられる。さらに、締固められた土の構造および力学的特性に関連して、コーン貫入試験、一軸圧縮試験およびCBR試験による検討を行ったが、沖縄における路床路盤材、盛土材料としての適用を考える時、今後、圧縮圧密特性などの力学的挙動および対水安定性などの検討と共に締固め指針の確立がなされなければならない。

d) 路床・路盤材としての島尻層泥岩風化土、コーラルリーフロック、および海砂利（サンゴ砂利）層については、CBR試験や平板載荷試験などを実施している。島尻層泥岩（土）を路床として用いる場合、その自然含水比や自然乾燥密度の程度によって、その可否が、また、地山のまゝ用いるか盛土として用いるかによって現場CBR試験、室内水浸または非水浸CBR試験、何れが適否かということなど目処づけがなされた。コーラルリーフロックを路盤材として用いる場合、現実にそれが主役を占めている実情を把握し、路盤としての特性をより詳しく検討し、

良好な材料であることを証明する一方、舗装設計と施工上の問題点をも指摘した。海砂利層については、現位置での締固め効果や支持力の問題が、未だ十分な検討を得ていない今日、現場密度と地盤係数、沈下量と地盤係数の関係が見出だされ施工管理の方向づけがなされたことは意義深い。

e) 路床・路盤材の安定処理に関しては、一連の基礎実験的研究結果を検討した。国頭レキ層土のセメント安定処理の場合は、碎石の混合が望ましいし、その方法でゆけば盛土への適用は十分期待できるものとなろう。コーラルリーフロックのセメント処理効果は顕著なものがあるものゝ、耐水性、耐久性に関して、もっと追求すべきものがあると思われ、葉液処理を行って、スレーキングテストなどからコーラルとの反応機構を推察した。コーラルの場合はリン酸水素ニアンモニウム処理が期待できることがわかり、路盤施工または簡易舗装施工への適用のあり方について検討していく必要がある。島尻層風化泥岩土については、これまで盛土への適用を検討されてきたが、その締固め効果等から否定的であった。しかし路盤・路床としての活用は沖縄島中南部地帯で実に必要なことであり、セメントその他の安定処理効果の検討が先ずなされた。島尻泥岩土のもつプラスチックの改良、したがってコンシステンシー変化によるワーカビリティの向上が期待できるし、締固め効果、強度増の効果も十分とはいえないが期待できるものとなる。たゞ、その添加量の問題、他の添加剤の利用または併用の問題と泥岩土の粉碎、混合、養生条件に、今後の検討が必要である。また、同じ島尻層構成土である砂岩土との混合土（一種の粒度調整工法）にも期待がもて、盛土への積極的利用をはかるべく研究をすすめている。

#### 4. 結 語

以上、本研究の成果を結論的に述べてきたが、種々の問題で今後の検討を必要とされることも多い。

- 骨材・石材等の利用にあつては、“琉球石灰岩”保護運動がおきつゝあることを十分配慮して、その利用のあり方の合理化、品質の管理などでレベルアップするなど考えられなければならない。また、トンネル、ダム、採削等の現場における“琉球石灰岩”およびその他の岩石、特に北部地区の変成岩類について岩盤力学的な検討をすすめることが必要であり、沖縄島北部のダム増設計画に対してより多くの調査研究が望まれる。また、水資源としての地下水開発利用についても、自然環境保全と地盤沈下などの「公害」について、地下水賦存の状態把握とその土質工学的な立場からの検討が先ず必要である。その他地下鉱物資源についても同様なことがいえる。

- 地盤災害に関しては、沖縄の開発事業がすすめられるとともに、たとえば、各種土地造成、山林開発および大規模構造物の建造などによって、山崩れ、地すべり、斜面崩壊、土砂流出、軟弱地盤事故などの問題が、多発化の傾向にあることを注目しなければならない。それ故に、これら事故・災害の実態把握と、その地質工学および土質工学的検討を行うことが、先ずなされなければならない。このことは、単に、行政上の防災事業としてでなく、沖縄における土木工学の諸計画およびその実践の問題としてとらえて、調査研究をすすめることの必要性を指しているのである。
- 土質改良、地盤改良の問題も、建設事故・災害の防止のために、沖縄における土質工学の発展とその活用という点で、十分に検討されなければならない。このことに関連して、沖縄の諸土質の情報確立（ソイルエンジニアリングマップ）と地盤条件の解明（地盤図の作成等）が、先ず必要である。また、具体的には沖縄の各土の締固めメカニズムの究明と締固め土工の指針の確立、各土の添加剤による処理効果のより厳密な比較検討とその設計施工上の問題（舗装様式、維持管理なども含めて）検討、さらには、島尻層構成岩（土）その他の岩石の沖縄の気候風土下における風化・侵食の問題とその力学的な挙動との相関性検討がすすめられなければならない。このような土壌・土質条件に関する基礎研究の成果によって、沖縄諸島の土質・地盤条件の改良にかゝわる問題が解決されていくのであり、本研究は、この目的に向けて今後とも続けられる。

## あとがき

沖縄諸島における地盤災害とその防災・改良についての調査研究をとりまとめた。たゞ、沖縄の自然環境条件、および生活環境条件は“厳しさ”とまた“おくれ”を伴っていることから、これら条件を十分に考慮しないでは、この研究成果はその意義を半減することになる。このような考えのもとに、前半に気候風土・地質・土質条件の総括を行って、本研究の趣旨をまとめた。しかし、問題は広範にわたり、十分な解明と指針を得ていず、残された問題は決して少なくない。今回は、これまでの調査研究のまとめとして一段落をつけているが、今後、さらにより多くの調査研究を行い、問題解決に努めていきたいと考えている。

本研究を行い、かつ、まとめるにあたり、終始御指導御鞭撻くださった京都大学教授 松尾新一郎博士に対して、謹しんで厚く御礼申し上げます。また、沖縄の自然災害関連研究において御助力いただいた九州大学教授 藤川武信博士や研究協力者の方々、特に泥岩土に関して貴重な研究成果を引用させていただいた新城俊也琉大助教授に対して深く御礼申し上げます。さらに日頃、御激励賜わった名古屋大学教授 成岡昌夫博士、植下協博士に対しても深甚の謝意を表します。