

山崩れに就いて，第4報

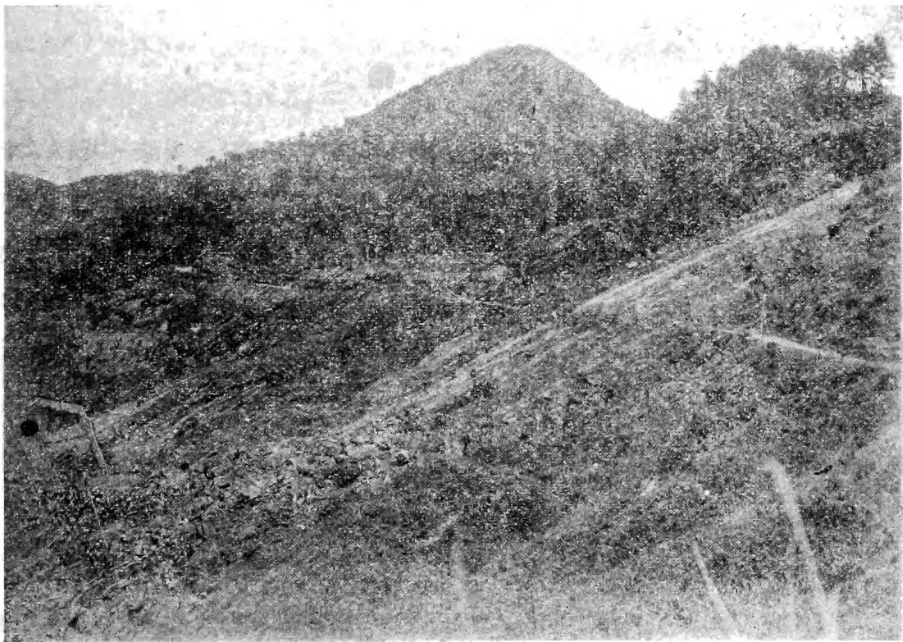
新潟縣鉢崎驛附近の成層岩盤内地⁽¹⁾の研究

理學博士 野 滿 隆 治

理 學 士 小 谷 秋 甫

緒 言

著者の一人は前論文第1報に於て粉體土壤内に於ける地⁽¹⁾の生起條件並びに其の滑面形状に關する理論的研究を行ひ，次で第2報及び第3報に於て其の實例として河内龜ノ瀬⁽²⁾、⁽³⁾



第1圖 鉢崎附近米山峠地⁽¹⁾の實景

- (1) 野滿隆治：山崩れに就いて：地球物理第6卷（昭和17年），135頁。
- (2) 野滿，田坂，齋藤：河内堅上地⁽¹⁾の電氣的探査（山崩れに就て，第2報），本誌本號，1頁。
- (3) 野滿，田坂，山下：別府市乙原の地⁽¹⁾調査報告（山崩れに就て，第3報），本誌本號，19頁。

並びに別府市乙原の地之りを調査して理論に對照すると共に，地之り深度判定の一法として電氣地抵抗測定をも實施し，大體満足なる結果を得た。

然るに昭和19年7月20日の豪雨により北陸線鉢崎驛附近に大きな山崩れを生じて線路を埋没破壊し，汽車不通實に1ヶ月以上に亙り戦時下の輸送に甚大なる障害を與へた。著者は油田研究のため新津へ出張の途次，同所の徒歩連絡によつて偶然にも現場視察の機會を得た。其の之面は殆んど一枚の平板となつて露呈し宛然一大滑走臺の觀を呈し（第1圖），地質は砂岩頁岩の互層である。前記龜ノ瀬や乙原の如き風化土中の夫れとは様相著しく異なる累層岩盤内の地之りで，一見非常な興味を覺えた。依つて油田調査終了の後二回までも此の地に出張して，若干の現地調査を行ふと共に，岩種標本を多量に持返り，其の抗張力や組成物質の粘着力と摩擦係數其他を測定し，此の型の地之り機構を考究することにした。本文は其の結果報告である。

本 論

1. 現場の地勢と土質 崩落箇所は直江津柏崎の中間鉢崎驛のトンネル一つ超えた北隣の米山峠傾斜地であつて，海に向つて急勾配をなした處である。海岸には高さ5m位の小丘があつたさうで，夫れと地之りを起した斜面との間に鐵路の走る平坦地が極く僅かあつて幅數米ほどだつたかといふ。崩落は傾斜地の殆んど頂上近くから始まつて切れ，其の土石が鐵道線路の平坦地は素より，其の前面の丘陵上2mくらゐまで埋め盡して海中まで押出した。

傾斜地の頂上は標高70mほどであるが，其の裏には浅い雨壑が出来て居るから局部的な一山嶺狀をなして居る。而して前面傾斜部は雜草ばかりで餘り樹木はないのに反し，裏面は頂上まで殖林がしてある。

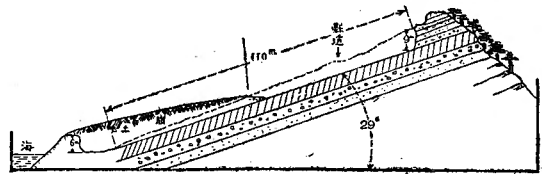
次に地質は鉢崎驛より此の峠に差かゝる縣道阪路の開鑿側壁によく窺はれ，厚さ數寸から數十寸の硬軟種々なる砂岩と頁岩の整然たる互層である。而して其の dip は地之り地の表面と殆んど平行になつて海に向ひ急斜して居る。従つて其の頂上から裏側雨壑は是等累層の頭を截斷して居るわけで，殖林樹根の作用と相俟ち各砂層へは雨水滲入が甚だ容易なるべきことを想像し得る。

崩落した上部地層だけの互層状態だけならば，地之り跡の上端及び兩側切斷面によく見

られ、矢張り砂岩頁岩等の規則正しき累層であつて風化土はほんの表皮僅かにすぎないことが知られる。

但し成層砂岩頁岩といつても、其の凝結は未だ充分ではなくて半凝結 (Semi-consolidated) 状態のものである。特に砂岩は乾燥し切つたときには極めて固く鐵鎚でも割りにくい程であるのに濕つて水分が多くなると甚だ弱いものばかりである。最も甚だしいのは (赤色軟砂岩) 乾燥状態では確かに砂岩に相違ないのに之に充分水を含めると獨りてに崩壊解體するものさへあり、それ程でなくとも多くは指先きで揉み潰せるのである。即ち石灰質や硅酸質などの化學的沈澱によつて膠結されたものではなく、粘土質の器械的混入によつて固結したものに外ならぬ。

2. 崩落の状況 迂り落ちた部分は大體長さが 110 m, 幅 40~50 m ほどあつて、崩落土砂は先にも一寸述べた様に麓の平坦部から海岸小丘の上まで埋め盡し、其の總量は凡そ 14,000 m³ と概算されて居る。従つて厚さは平均 2.8 m になるわけである。即ち其の大體の縦斷形状は第2圖のようになる。



第2圖 鉢崎地之状況

迂つた跡は殆んど只一枚の平面板状をなし、青色頁岩の上面であつて、其の傾角は 29° になつて居る。第一回の視察當時はこれが一面に露呈し

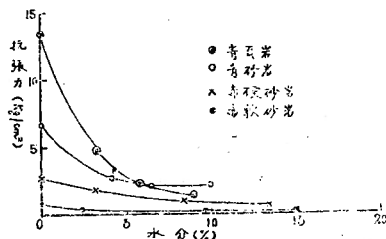
て、宛然青緑色の見事な滑り臺を彷彿せしめて居たから、滑落の原因は之にあることが疑ひ無い様な氣がした。それで油田調査の歸途茲に立よつた第二回目視察の折に土質試験の試料として此のものだけを充分多量に採取し他の岩種は單なる見本程度に少量づゝしか持返らなかつた。然るに歸學後その青色頁岩を調べて見ると、完全な意味に於ける頁岩といふほどまで固結しては居ないが、随分締つて固く而も五六日水に浸しても餘り柔くならず、兩片を磨り合はせても多少の磨り汁が出る程度である。それで滑落が此の岩盤面で起つたのは、其の一部が雨水滲透により柔くなり抗剪力が弱まつて滑つたのか、或は此の岩盤自身は殆んど變らず單なる滑り臺の役をただけで寧ろ其の上にある粘土交り砂岩が雨水の爲めに脆弱になり其の中に剪斷が起つて滑動したものか判斷に迷ふのであつた。どうしても其上の土質も各種多量に採取の上試験をする必要が痛切に感ぜられた。

その爲三度同地に出掛けたのであるが、第3回視察の折は、其の二日前の大雨によつて

斜面頂上部の滑り残りが又々一部崩落して滑り臺全面を赤い土石塊で掩ひ、遠望すれば先の青色臺が一朝にして赤色臺に變貌したかの觀を呈して居た。然し近よつて見ると、矢張り青色頁岩の滑臺は元の儘に存在して、其の上に赤色土石が薄く撒かれて居るだけであつた。のみならず頂上及び裏側の雨壑から滲透した雨水の多量が滑り斜面の方々に盛んに湧出してサラサラと流れ、其の洗ふ所は前回同様に青色滑臺を露呈して居るのであつた。兎も角も今次の觀察によつて、初めから想像して居た様に、此處の砂岩層にはどれにも頂上及び裏側雨壑に降つた雨水が自由豊富に滲入流下し得ることを明瞭に確認する機會を得たのである。此のことは後述の地之り機構に密接なる關係を有するので、特に注意して置く。

3. 岩石土質の諸強度測定 此處の地之りが發現した機構を論ずる上に必要と思はるゝ各岩種の引張強度及びそれをもみ崩して得らるゝ土砂の摩擦係數と粘着力とを種々の水分に於て測定した。本地域崩落部を構成する主要なる岩種は大體四つで、滑り臺となつた青色頁岩と、其上に累層せる青色硬砂岩、赤色硬砂岩及び赤色軟砂岩とである。

(a) 先づ岩石としての引張強度を測るには、採取し來つた岩石標本から断面 2 cm × 2 cm の試験片を何本も作り、本學工學部掘付の Alfred J. Amsler & Co. 式引張試験器によつて測定した。但し含水量による變化をも明かにする爲め、試験片を全部水中に15日間も浸して充分に濕潤ならしめたものを引上げて、各岩種1本づゝは即座に、他は順次適當な日數後種々の乾燥度に於て引張試験を行ふと共に、實驗終了後直ちに破斷試験片の重さを秤量する。尙之を乾燥器に入れ完全に乾燥した後の重量をも秤つて、兩者の差から試験當時の岩片含水量を決した。



第8圖 鉢崎岩層の引張強度と含水量との關係

第1表 鉢崎各種岩層の引張強度 (kg/cm²) と水分 (重量比)

岩種	青頁岩		青硬砂岩		赤硬砂岩		赤軟砂岩	
	水分	引張強度	水分	引張強度	水分	引張強度	水分	引張強度
完乾	0%	13.0	0%	6.75	0%	2.75	0%	0.85
半濕	3.3	4.85	4.1	2.80	3.2	1.88	2.8	0.43
ク	5.8	2.30	6.3	2.20	8.4	1.00	9.7	0.26
飽水	8.9	1.87	10.0	2.25	13.4	0.63	14.9	0.08

實驗の結果は第1表及び第3圖の通りである。水分の増加と共に随分弱くなる。

而して斯の如き岩種による強度の相異を理解する上に必要と思はるゝ諸種の附帶測定をも實施した。其の一は、各種岩片を充分に崩し其組成粒子の眞比重を比重瓶法により測定して第2表上欄の如き數値を得た。

第2表 各岩種の眞比重 ρ と見懸け比重 w
(飽水状態の)

岩種	青頁岩	青硬砂岩	赤硬砂岩	赤軟砂岩	平均
眞比重	2.65	2.70	2.56	2.82	2.68
見懸け比重	2.31	2.31	2.11	2.17	2.23

又各岩種の空隙率をも定めた。第1表最下列の水分は、各岩種とも15日以上も水中に浸して置いた直後であるから飽水状態の水分重量比 s と見てよいであらう。従つてこれと組成粒子の眞

比重 ρ とから各岩片の空隙率が算出し得られる。即ち飽水状態の岩片單位重量を考へると、其の中の水の重さ従つて體積は s (水の比重は1にとる)、又固形物質のみの重量は $1-s$ で従つて其の體積は $(1-s)/\rho$ である。故に

$$\text{空隙率} = \frac{s}{(1-s)/\rho + s} = \frac{\rho s}{(1-s) + \rho s}$$

尙ほ引張強度試験片は其寸法は勿論、飽水状態に於ける全重量及び水分重量比 w_s (第1表最下列) が分つて居るので、夫等によつても空隙率が算定し得られる。此の兩種の計算により得られた空隙率は殆んど相一致したから、其の平均値を第3表に掲げて置く。又飽水時の見懸け比重は其の時の全重量と試験片寸法とからも、或は空隙率と眞比重とからも容易に計算されるので、それを第2表下列に添記した。

第3表 各岩種の空隙率

岩種	青粘板岩	青硬砂岩	赤硬砂岩	赤軟砂岩
空隙率	20.7%	23.1%	27.5%	35.9%

砂岩を硬軟二種に分類したのは、單に現場で標本採取の際鎚で割るときの感じや、水に浸して充分濕潤にしたとき指頭でもみ潰す難易によつたのであるが、殆んど直觀的に其の差は主として含有粘土分の多少に因る様に思はれた。それで第3の附帶測定として、各岩種の組成粒子の器械的分析を行つた。此處の砂岩は前にも言つた通り充分飽水すれば極めて崩れ易いから、丁寧にゴム附硝子棒で潰し、水を加へて粘土分は濁水として洗ひ去りそれを集めて乾燥秤量し、残りの砂質分は別に乾燥の上篩分けした。尙ほ砂岩は殆んど均一に近い細砂より成つて居るが、赤軟砂岩だけは1mmに近い粗粒が相當混ざつて居るので見たいには割合粗く感ぜられる。第4表は器械分析の結果である。豫想の通り硬砂岩は

青赤とも似よつた沈泥粘土を有し, 青の方が幾らか多く, 赤色軟砂岩は其の半分に近い粘土分であつて, 引張強度は大體その順になつて居る。

第4表 各岩種の粒子組成

	岩種				
	粒徑	青頁岩	青硬砂岩	赤硬砂岩	赤軟砂岩
粗砂	1.0 ~ 0.5ミリ	0.88%	0.60%	1.55%	5.68%
中砂	0.5 ~ 0.25	6.56	5.57	12.78	10.98
細砂	0.25 ~ 0.1	9.29	31.58	41.57	31.02
微細砂	0.1 ~ 0.05	7.12	20.29	12.05	28.15
沈泥 粘土	0.05 ~ 0.005	35.82	19.75	18.63	17.15
	< 0.005	40.23	20.11	13.42	7.08

(b) 次に各岩種の崩土としての抗剪強度を知る爲に, 一應粉碎乾燥したものに適宜の水分を加へて剪断試験器につめ, 種々の水分に對する粘着力及び摩擦係数を測定した。岩片を崩すには, 砂岩は水に浸せば指で押し崩せるから充分にもみ崩して乾燥し, 粘板岩は崩れにくいから乾燥岩片を直接乳鉢で摺り潰した。剪断試験方法は前論⁽⁴⁾文別府乙原土壤の場合と同様に, 資料を三段箱引拔式剪断器に詰め, 夫れ夫れ現場に於ける土壓に相當する豫壓を一日ほど加へて固めた上, 其の豫壓を去つて新たに荷重0より始め適當な間隔を置いた種々の壓力下に剪断力を測定するのである。第5表及び第4圖は其の結果であつて,

第5表 鉢崎崩落土質の粘着力 c (kg/cm^2) と摩擦係數 μ

(F は全抗剪力 (kg/cm^2), その上下壓0のときの値が c に當る)

	上下壓 $P(\text{kg}/\text{cm}^2)$	水分 5.0%		水分 11.0%		水分 19.0%		水分 23.0%	
		F	μ	F	μ	F	μ	F	μ
青 頁 岩	0	$c=0.068$		0.082		0.097		0.110	
	0.075	0.082	0.19	0.090	0.11	0.104	0.09	0.115	0.06
	0.114	0.090	0.19	0.095	0.11	0.104	0.06	0.118	0.07
	0.164	0.101	0.20	0.104	0.13	0.110	0.08	0.118	0.05
	0.219	0.110	0.19	0.108	0.12	0.118	0.10	0.123	0.06
	0.277	0.122	0.20	0.118	0.13	0.120	0.08	0.128	0.07
	0.334	0.135	0.20	0.123	0.12	0.123	0.08	0.131	0.06
	0.398	0.147	0.20	0.131	0.12	0.131	0.09	0.138	0.07
	0.447	0.158	0.20	0.138	0.13	0.133	0.08	0.138	0.06
	平均	0.20		0.12		0.08		0.06	

(4) 前出(3).

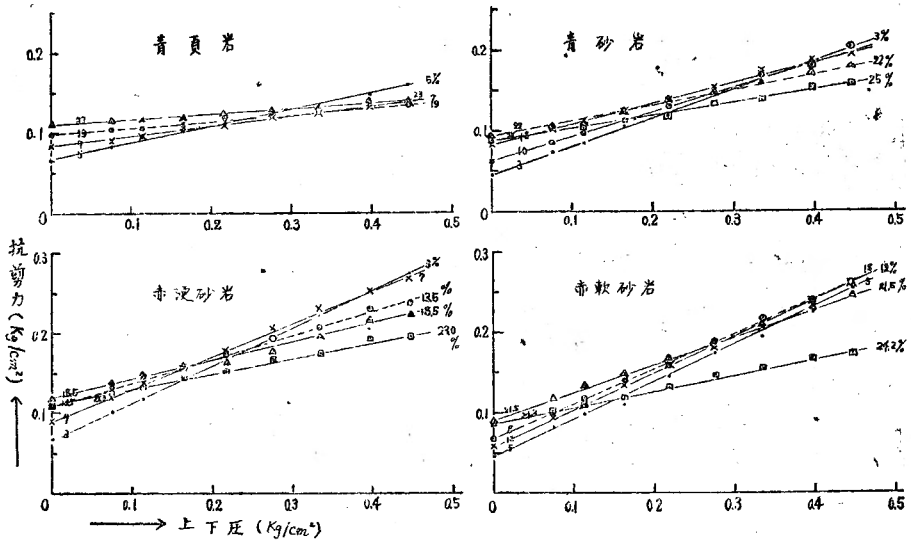
第5表 續 き

	上下壓 P	水分 3.0%		水分 10.0%		水分 18.0%		水分 22.0%		水分 25.0%	
		F	μ	F	μ	F	μ	F	μ	F	μ
(2) 青 硬 砂 岩	0	$c=0.046$		0.062		0.082		0.090		0.091	
	0.075	0.073	0.36	0.084	0.30	0.101	0.25	0.104	0.19	0.104	0.19
	0.114	0.084	0.33	0.097	0.30	0.112	0.26	0.110	0.18	0.110	0.18
	0.164	0.104	0.35	0.110	0.29	0.123	0.25	0.123	0.20	0.118	0.17
	0.219	0.118	0.33	0.128	0.30	0.133	0.26	0.138	0.22	0.131	0.19
	0.277	0.145	0.36	0.145	0.30	0.151	0.25	0.145	0.20	0.138	0.17
	0.334	0.158	0.35	0.166	0.31	0.173	0.27	0.158	0.20	0.151	0.18
	0.368	0.179	0.33	0.179	0.29	0.187	0.26	0.170	0.20	0.158	0.17
	0.447	0.201	0.35	0.201	0.31	0.193	0.25	0.179	0.20	0.173	0.19
平均		0.35		0.30		0.26		0.20		0.18	

	上下壓 $P(\text{kg/cm}^2)$	水分 3.0%		水分 7.0%		水分 13.5%		水分 18.5%		水分 23.0%	
		F	μ	F	μ	F	μ	F	μ	F	μ
(3) 赤 硬 砂 岩	0	$c=0.068$		0.090		0.110		0.118		0.110	
	0.075	0.104	0.48	0.120	0.40	0.131	0.28	0.135	0.23	0.125	0.20
	0.114	0.118	0.44	0.138	0.42	0.145	0.31	0.147	0.25	0.133	0.20
	0.164	0.145	0.47	0.158	0.41	0.153	0.29	0.158	0.24	0.145	0.21
	0.219	0.166	0.45	0.179	0.41	0.173	0.29	0.166	0.22	0.151	0.19
	0.277	0.193	0.45	0.207	0.42	0.193	0.30	0.179	0.22	0.166	0.20
	0.334	0.222	0.46	0.230	0.42	0.207	0.29	0.193	0.23	0.173	0.19
	0.398	0.252	0.46	0.252	0.41	0.230	0.30	0.215	0.24	0.193	0.21
	0.447	0.274	0.46	0.267	0.40	0.237	0.29	0.222	0.23	0.193	0.19
平均		0.46		0.41		0.29		0.23		0.20	

	上下壓 $P(\text{kg/cm}^2)$	水分 5.0%		水分 12.0%		水分 18.0%		水分 21.5%		水分 24.3%	
		F	μ	F	μ	F	μ	F	μ	F	μ
(4) 赤 軟 砂 岩	0	$c=0.046$		0.059		0.068		0.090		0.082	
	0.075	0.082	0.48	0.092	0.44	0.099	0.41	0.118	0.37	0.097	0.20
	0.114	0.097	0.45	0.110	0.45	0.118	0.44	0.131	0.36	0.104	0.19
	0.164	0.118	0.44	0.113	0.45	0.138	0.43	0.148	0.35	0.110	0.17
	0.219	0.145	0.45	0.158	0.45	0.158	0.41	0.166	0.35	0.123	0.19
	0.277	0.173	0.46	0.179	0.43	0.187	0.43	0.187	0.35	0.131	0.18
	0.334	0.193	0.44	0.207	0.44	0.215	0.44	0.207	0.35	0.145	0.19
	0.398	0.230	0.46	0.237	0.45	0.237	0.42	0.230	0.35	0.153	0.18
	0.447	0.252	0.46	0.259	0.45	0.259	0.43	0.244	0.35	0.166	0.19
平均		0.46		0.45		0.43		0.35		0.19	

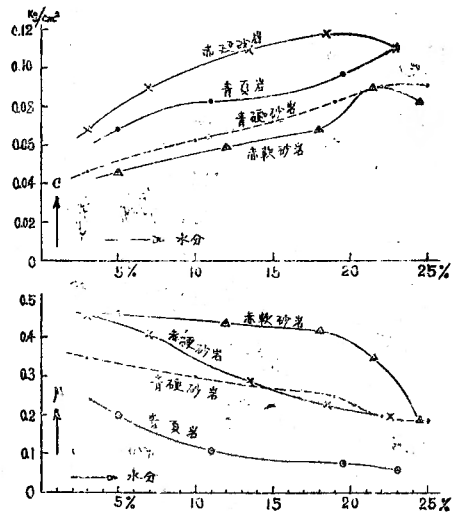
荷重0に對する剪斷力は即ち粘着力を與へ、又其の粘着力を全剪斷力より引去つた残りは摩擦力であるからそれを各荷重で割つて摩擦係數とした。又含水量は、各試験終了直後に剪斷器の中央部から若干の土量を採つて其の重量を秤り更にそれを充分乾燥して秤量し、其の二つの重さから算定した重量比である。而して第5表中の水分最大値は各種土質とも



第4圖 各岩種崩土の抗剪力試験

殆んど其の飽和量と見て差支ないもので、豫壓を加へるときに水分が多少にじみ出たものである。粉碎土のことであるから、岩片としての飽水量よりも遙に多いが、豫壓を加へない崩土の飽水量に較べると遙に少ない。鉢崎崩土の剪斷試験に於ても豫壓を加へなければ種々不具合になることは前々論文⁽⁵⁾に例示した通りである。

第5圖は此の表の c と μ とを水分に對照圖示したものである。岩片其のものの剪斷試験をせずに、態々崩して土とし



第5圖 各岩種の粘着力 c と摩擦係數 μ

(5) 前出(2).

て實驗したわけは，成層岩盤の山崩れは必ず異種岩層の界面で起るからである。界面は所謂層離れをなし易く，岩體としての剪斷抗力よりは界面の處に崩碎沈澱した土の抗剪力が弱く，地這りの成否はそれに左右されることが多いと思はれるのである。

第5圖を見ると粘着力は赤色砂岩では水分20%内外の處に最大を示し，頁岩及び粘土分の多い青砂岩では飽水度まで水分と共に増加一方であり，摩擦係数は各岩種ともに水分の増加につれて減少一方であつて，成績はよく整つて居り充分信頼を置けるものと考へる。然し試験の方法から直ちにわかる通り，是等の値の内，水分が僅少なる範圍のものは單に其の土質如何を示すだけで，現場に於て堅い岩石として存在して居たときのものとは勿論異なる。例へば青頁岩にせよ各種の砂岩にせよ岩石状態にあつた際には乾燥すれば随分堅固なもので錘で叩き割るにも相當困難な程のものであるが，粉狀にして而も殆んど水分を加へない土では粘着力が當然最小値になるのである。斯様なわけで，第5圖の粘着力 c 及び摩擦係数 μ は水分10~15%以下では現場に於けるそれを代表するものではない。然しそれより水分が多くなり岩盤が十分濕潤になつて粘土分が弛んでしまひ指先きでも崩れるほどに結束の解體状態に近まつたものは，此の試験法による粘着力及び摩擦係数を大體に於て現場に於けるその代用としても大過ないと信ずる。

かゝる考へを以て第5圖の水分18%内外以上の部分だけにつき検討を加へて見る。先づ摩擦係数は頁岩だけが他の總ての砂岩に比して飛び離れて小さく，正に當然の事實を示して居る。砂岩は水分の飽和状態に近い場合は三種とも殆んど同一の摩擦係数になる。特に硬質砂岩は赤色青色ともに水分の廣い範圍に互り同一値を示す。只赤色軟質砂岩は飽和状態よりも水分が少いと硬質砂岩よりも摩擦係数が遙かに大きい。之は軟質砂岩が硬質のものよりは粘土分が少く砂質が多い爲であらう。軟質硬質と分けたのは乾燥状態に於て叩き割る困難の程度によつたので，崩し易いのを軟質，崩れにくいのを硬質と命名した。粘土分が不足すると崩れ易く，粘土分に富む砂岩が割れにくいのは言ふまでもないのである。

粘着力 c は粘土分の多いものが大きい傾向を示して居るのも當然である。青頁岩は同質の青粘土を含む青硬砂岩より，又赤色硬砂岩は赤軟砂岩より大きな粘着力をもつて居る。而して赤色のものが一般に青色のものより粘土含量の割合には粘着力が稍々大であるが，之は其の粘土分が赤色のものよりも青色のものに於て粘りの強いものなる爲らしく，指先きで捏ねて見ても充分感知出来るのである。

尚ほ是等の各岩種粉末崩土の飽水状態に於ける水分量, 見懸け比重, 空隙率を前記岩片としての場合同様に算定すると第6表の様になる。飽水量は剪断試験の最大水量(豫壓を懸けるときの水がにじみ出る程度)と見た。

第6表 各岩種の崩土粉末に豫壓をかけた場合の飽水量, 見懸け比重, 空隙率

岩種	青頁岩	青硬砂岩	赤硬砂岩	赤軟砂岩
飽水分(%)	23.0	25.0	23.0	24.3
見懸け比重	1.92	1.89	1.88	1.95
空隙率(%)	44.2	47.5	43.5	47.7

之を岩片としての値に比較すれば, 飽和水分従つて空隙率は随分大きくなり, 延いては見懸け比重が餘程小さくなる。岩體を崩して粉化したのであるから當然のことである。

4. 成層岩盤地の地にり機構 本地域の様な岩盤の累層を成す傾斜地に於ける地にりは, 風化土内の粉體地にりととは多少趣きを異にすべきは言を俟たない。粉狀風化土にあつては其の體內到るところ初めから切れて居るから, 其の或部分が滑動するには單に其の滑動面に於ける粘着力及び摩擦力に打勝つだけでよいが, 岩盤内の滑動では滑面の粘着力摩擦力の外に其の上端の斷絶に對する抗張力にも打勝たなければならない。而して其のにり面は岩層に平行な面をなすべく, 又上端の斷絶は鉛直面に近くなるべきことは常識的に考へても亦實際の事實に徴しても然りであつて, 風化土内に起り得る様な弧面滑落は無いといつてよい。鉢崎のにり面は現に其の好例を示して居る。又下端に支持物がある場合には其の抵抗をも考へに入れねばならない。

そこで, 滑動地塊の全重量を W , にり面の面積を S , 其の勾配を α , 粘着力を單位面積當り c , 摩擦係数を μ , 上端の鉛直斷面に於ける全抗張力を T , 下端の全抗壓力を R とすれば, 地にり發生條件は明かに

$$W \sin \alpha \geq \mu W \cos \alpha + cS + T + R \quad (1)$$

である。

今此の考へを鉢崎の地にりに適用する爲に, にり面を長さ L , 幅 b なる長方形と見做し, 滑落地層の平均の厚さを H , 單位體積當りの平均重量を w , 上端斷絶面に於ける各層の厚さ(層面に直角に)を h_1, h_2, \dots, h_n ; 其の抗張強度を單位面積當り $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ で表はす。下端は鉢崎の場合には鐵道敷設の爲に切り取られて自由になつて居た様であるから, 抗壓抵抗 R は省略する。然るときは, 滑落條件式(1)は書き換へて

$$Lb \cdot Hw \sin \alpha \cong \mu \cdot LbHw \cos \alpha + c \cdot Lb + \sum_1^n b h_n \tau_n \quad (1')$$

となる。こゝに抗張力は各層毎に計算合成しながら重力計算には平均比重 w を使用したのは、一般に同一箇所の水成岩層は其の強度に於ては著しく違つて居ても、比重には餘り差がないからである。現に鉢崎の各岩種は飽水状態に於ける見懸け比重が岩片としても崩土としても平均値との差は2%乃至5%を超ゆることはないのである。

さて、(1') 式の兩邊を $Lb \cos \alpha$ にて割ると

$$Hw(\tan \alpha - \mu) \cong c \sec \alpha + \frac{1}{L} \sum_1^n \tau_n h_n \sec \alpha \quad (2)$$

或は
$$H \cong \frac{c \sec \alpha + \frac{1}{L} \sum_1^n \tau_n h_n}{w(\tan \alpha - \mu)}, \quad \text{但し } \eta_n \equiv h_n \sec \alpha \quad (3)$$

が岩盤地の地之り生起條件に外ならぬ。 $\eta_n = h_n \sec \alpha$ は鉛直断面に於ける各層の厚さに相當する。

即ち、全滑落力 $Hw \sin \alpha$ の $\mu \cot \alpha$ 倍だけは常に摩擦が之を引受け、残りを粘着力と抗張力とで $1 : \frac{1}{cL} \sum \tau_n h_n$ の割合に按分負擔するのである。

以上の式を以て或地の地之り生否如何を判断するには、成層状態を調査し各層の土質試験を行つた上、各層毎に其の μ 及び c と、其の上の地層の厚さ及び抗張強度とを用ひて、(2) 或は (3) 式が満足さるゝや否やを検すればよい。

(2), (3) 式を見るに、抗張力 τ_n を含む項を除けば當然前論文風化土内の平面地之り式と一致する。従つて岩盤地は同じ c, μ の風化土内よりも地之りが困難であつて、一層厚い地塊でなければならぬ。又斜面が長くて L が大なるほど τ_n の項は小さくなりり易いことも窺はれる。

5. 鉢崎地之りへの適用 鉢崎驛附近の昭和19年7月下旬に於ける地之り面は

$$L=110 \text{ m}, \quad b=40 \sim 50 \text{ m} \doteq 45 \text{ m}, \quad \alpha=29^\circ$$

であつて、滑落土砂體積 = 14000 m³, 従つて

$$\text{平均厚 } H=2.83 \text{ m}$$

になることは既述の通りである。而して土質試験の結果

$$\text{平均見懸け比重 } w=2.23 \text{ g/cm}^3 = 2.23 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

なることを知つた。茲に w としては各岩種の岩塊としての値を採用し崩土としての値を

採らないのは, 説明するまでも無く, 地沁り発生時には崩壊層がまだ岩體として存在し崩土は滑面となる附近に僅少だけしか出来て居ないからである。

さて此の地沁りを青頁岩の上面が大雨のため飽水状態になつて弛んで起つたとすると, 第5圖の實驗結果から

$$\mu=0.06, \quad c=0.11 \text{ kg/cm}^2=0.11 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$$

故に此の μ, c だけで引止め得る土塊の厚さは

$$H_1 = \frac{c \sec \alpha}{w(\tan \alpha - \mu)} = \frac{0.11 \times 10^4 \times 1.143}{2.23 \times 10^3 \times (0.554 - 0.06)} \text{ m} = 1.03 \text{ m}$$

次に頂部斷絶面に於ける上部岩層の抗張力にて引止め得る岩塊の厚さを考へねばならない。頂部斷絶面は鉛直に測つて大よそ高さ $\eta=9 \text{ m}$ である。其の内で各種岩層が如何ほどの厚さになつて居るかは, 残念ながら傾角 29° もある急勾配の濡れた青頁岩のツルツルな滑面を登つて斷崖下に行くことがとても危険なので, 直接觀察測定することが出来ない。止むを得ず遠望したり或は崩落塊中の各種岩量を目測して比率を概算する外はない。崩落岩中には赤色軟砂岩が最も少く, 探し廻らねば見當らぬ程度で恐らく全體の5%もあるか無いかと思はれる。最も多いのは青砂岩で, 赤硬砂岩と青頁岩之に亞ぎ兩者は似よつた量である。それで大體の比率は

$$\text{青硬砂岩 } \eta_1 : \text{赤硬砂岩 } \eta_2 : \text{青頁岩 } \eta_3 : \text{赤軟砂岩 } \eta_4 = 35 : 30 : 30 : 5$$

と私は見た。而して各岩層の一枚々々の厚さは僅かに數繩のものから厚くとも二三十繩の薄いものが多數に累積互層したものであるから, 各岩層の深度を別々に考ふる迄のことはなく, 一括して何れも同深度にありと見做す。

従つて各岩種の地沁時に於ける抗張力は夫れ夫れの飽水状態に於ける値

$$\text{青硬砂岩 } \tau_1 = 2.25 \text{ kg/cm}^2, \quad \text{赤硬砂岩 } \tau_2 = 0.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{青頁岩 } \tau_3 = 1.37 \text{ kg/cm}^2, \quad \text{赤軟砂岩 } \tau_4 = 0.08 \text{ kg/cm}^2$$

を採つて, $\sum \eta_n \tau_n$ を計算し, 之によつて支へ得る岩層の平均厚 H_2 を求めると

$$H_2 = \frac{\frac{1}{L} \sum \tau_n \eta_n}{w(\tan \alpha - \mu)} = \frac{9\{2.25 \times 0.35 + (0.63 + 1.37) \times 0.3 + 0.08 \times 0.05\}}{110 \times 2.23 \times 10^3 \times (0.554 - 0.06)} = 0.94 \text{ m}$$

故に實際の崩落層平均厚 $H=2.83 \text{ m}$ に較べ

$$H(=2.83) > H_1 + H_2 (=1.03 + 0.94)$$

であつて, 崩落條件を悠々と満足し地沁りの生起したのは當然なることが了解出来る。而

してかの大雨がなくて各岩層が飽水状態にない時分には各岩種の抗張力も抗剪力も著しく大きかつたから地之りは起らず安定を保ち得たのであつた。

最後にも一つ考へて見たいことがある。それは青頁岩の上面を滑り臺として地之りが發生したことは現場の實情から明かであるが、それが青頁岩の表皮部崩土を滑劑としたものか但しは青頁岩の直上にあつた砂岩の下底崩土を滑劑として起つたものかといふ疑問である。上の計算には青頁岩の崩土によつたものとして置いたが、若しも砂岩底部の崩土によつたとすれば H_1 の計算を其の砂岩の μ, c を用ひて前同様計算して見ればよい。

青砂岩によつたとすると $c=0.091 \text{ kg/cm}^2, \mu=0.18$ によつて, $H_1=1.19 \text{ m}$

赤硬砂岩では $c=0.11, \mu=0.20 \quad \therefore H_1=1.78 \text{ m}$

赤軟砂岩では $c=0.082, \mu=0.19 \quad \therefore H_1=1.00 \text{ m}$

になる。滑臺となつた青頁岩の直上層が赤硬砂岩であつたならば

$$H_1 + H_2 = 1.78 + 0.94 = 2.72 < H = 2.83$$

となつて、赤硬砂岩内にも滑面が出來得る限界附近になる。其の他の場合には明かに $H_1 + H_2 < H$ であつて、頁岩の表皮内にも直上砂岩の底部崩土内にも滑面が跨つて居たであらうことが想定される。

總 括

以上所論の要點を次に摘記する。

- 1) 昭和19年夏の北陸線鉢崎驛附近に起つた成層岩盤中の地之りを調査研究し其の機構を究明した。
- 2) 鉢崎の地之りは砂岩と頁岩の累層斜面に生じたもので、前論文の河内堅上や別府乙原の地之りの如き風化土内の地之りとは多少其の機構に異なる點がある。風化土内では之面の粘着力と摩擦とが地塊の重力による滑落力よりも小さくなれば滑動するが、累層岩盤内では其の外に頂部に於ける岩盤の抗張力及び下麓部に於ける抗壓力が大きな關係を有することを述べ、其の場合の理論式を作つた。
- 3) そして鉢崎岩層の各種につき標本岩片を採取して、岩塊としての抗張力、粉碎崩土としての粘着力及び摩擦係數を種々の水分に於て測定し、其等の水分に對する關係を明かにした。而して飽和水分に應ずる値を理論式に入れて之り深度を算出し實際の之り土塊

平均の厚さと比較すれば充分滑落條件を満足することを示した。

- 4) 斯くて鉢崎岩層は水分少く乾燥して居る間は充分安定であつたが、大雨によつて岩層が飽水状態になり摩擦も抗張力も著しく减小したが爲に此度の滑落を生じたことを明かにした。
- 5) 尙ほ其の研究途上、豫壓を加へた粉碎土壤の粘着力は風乾状態より漸次水分を増加するにつれ増大し、粘土分の非常に多きものは豫壓下の飽水状態に達するまで増大一方であるし、粘土がそれ程まで多くないものでは飽水状態より少し前に極大を示すが飽水状態の粘着力も其の極大値と大差なき大きな値を有することを知つた。此の事は別府乙原土壤の研究中に初めて識つたのであるが、それを茲に再確認した譯である。従來諸家の報告に見る如き大水分に對する極微の粘着力は恐らく豫壓を加へない剪斷試験の結果であらう。鉢崎の崩土でも初めは豫壓を加へずに實驗して、大水分の時には甚小粘着力を得たが、現場深度に相當する豫壓を加へ實驗すれば前記の如く飽水状態に於て最大に近い粘着力を示すのである。無論、豫壓下の飽水量は豫壓をかけない場合の飽水量よりは遙かに少ない。

かくして地辻り問題などに利用せんとする剪斷試験は、試料が現場のまゝに採取したものにあらざる限り、練り直し試料土には豫壓を加ふるの必要を痛感した。

終りに本研究は文部省科學研究費によつて遂行した。又運通省大臣官房研究所よりは崩落土量の概數及び現場寫眞數葉を惠與された。厚く謝意を表する。