

# タイ国における地下水開発の構想と それに伴う土質改良について

松 尾 新 一 郎

## Preservation of Groundwater in Thailand

by Shinichiro Matsuo

In Thailand, especially in the Central Plain area, there is a great lack of water in the dry season, despite the large amounts of rain which fall during the rainy season. This is due to the fact that there is virtually no subsurface storage of water because of the inherent soil conditions which encourage rapid run-off. This paper deals only with the mechanical problem of water storage.

In order to store water underground, the subsurface soil must be treated physically (mechanically) and chemically. The construction of underground dams and connecting systems of underground channels is proposed as a mechanical solution to the problem, to preserve ground water and to block run-off. The chemical problems which necessitate treating the subsoil to ensure the eventual utilizability of the stored water are indicated, but not here otherwise explored.

### 1. ま え が き

本文は昭和39年12月から翌年1月にかけて、タイ国において行なった土質改良と地下水開発についての予備調査の報告である。

### 2. 土質と地下水の地域特性

たとえば、A・Aグループという一つの言葉で、発展途上の二つの大陸の諸国を一括して表現しているが、土質や地下水その他の自然基盤から観ると、全く対称的である。

ある地域の土質や地下水のような自然物について研究する場合、絶えず他の地域のそれらとの異同を念頭におくことが必要であり、その地域のみに没頭することは避けなければならない。

学生時代、北支、台湾に遊び、従軍でスマトラ、マレー、タイを巡り、戦後、欧米大陸やエジプト、イスラエルで砂漠、半砂漠を見る機会を得て、東南アジアの最も大きい特色の一つは地下水位の高い（地下水面が地表に接近している）ことであることを知った。

このことは、図-1に示すような道路、鉄道、河川といった土木構造物の在り方に非常な影響

を与えているのみならず、人文、社会の面でも根強い影響力をもっていると考えざるを得なくなった。

文化が北緯30~50度地帯に発生した気温上の説はそれなりに大きい理由があるけれども、ほとんど同じ緯度のイギリス(人)とオランダ(人)との対比や、仏教、回教、キリスト教の始祖達の誕生地、日本初期の遷都の立地条件や仁徳天皇の堀江開掘、茨田堤築造(ともに排水工事?), 山嶽仏教の発生、近江商人と大阪商人、あるいは伊賀流、甲賀流忍法発生の環境、佐倉宗五郎の百姓一揆、鍋島猫騒動、葉隠武士の根性、さては支那の南船北馬と風土文化など、聞きかじりの事象のいずれもが、その土地の土質や特に地下水位と密接な関係があるように思われてならない。この機関誌が人文、社会、自然の各部門にわたるので、これらについて何

分の御教示など頂ければ有難いと考え、あえて記した次第である。さらにこのような自然的要素は将来にわたってその地域に大きい影響を与えつづけるのであって、これらの要素を中心とした地域改造の方策如何が非常な意義をもつであろう。たとえば、アジアとアフリカとのその端的な姿としての低湿地と砂漠、ないしはそれらに近い風土が将来いかように開発されるかという点に、これらの地域の明日の発展がかかっているように考える。

砂漠にいかにかたく、より多くの淡水を供給するかという課題については、世界的にその研究が端緒についたばかりのところであるが、この課題がある程度解決されれば、アフリカは東南アジアを急速に引き離して発展を遂げることには疑いのないところであろう。

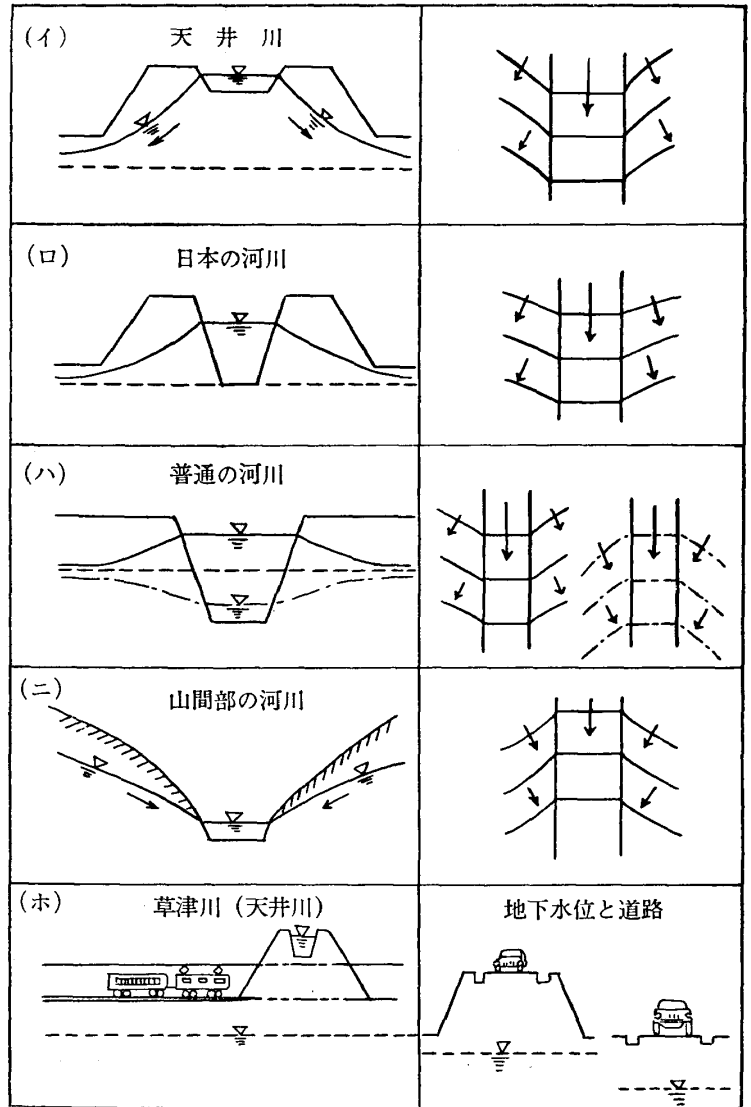


図-1 地下水位と河川水位の関係

莫大な量の地下水は河川においてそのごく一部の姿を現わす。河川と地下水は密接な関係があり、特に欧・米・東南アジア等の大陸ではさらに顕著である。

次にこういった意味での地域改造の規模について述べてみたい。過去および現在、国を挙げて地域（国土）改造を行ないつつあるのは、オランダと日本である。地盤と地下水位との関係を概括的に示せば、図-2 のようである。

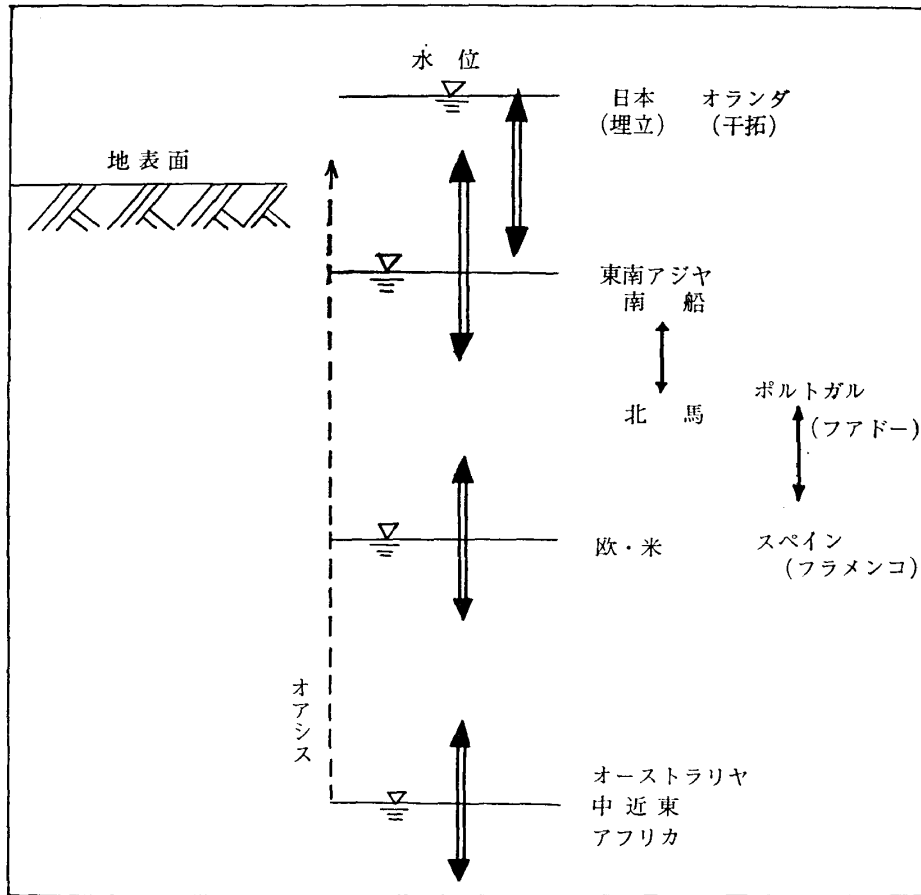
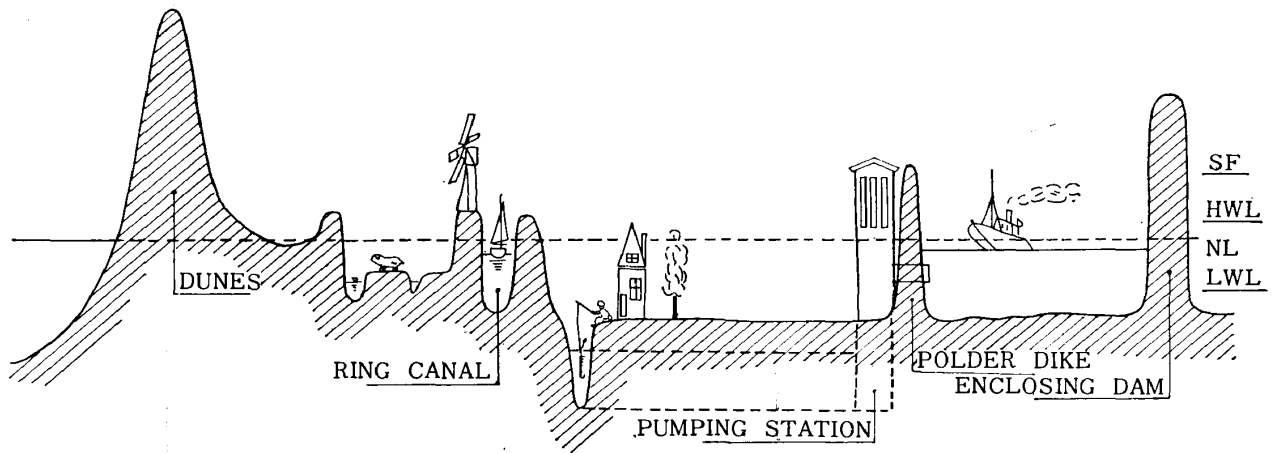


図-2 A・Aグループの2分  
アジア・グループとアメリカ・グループ  
とは異質のものである。

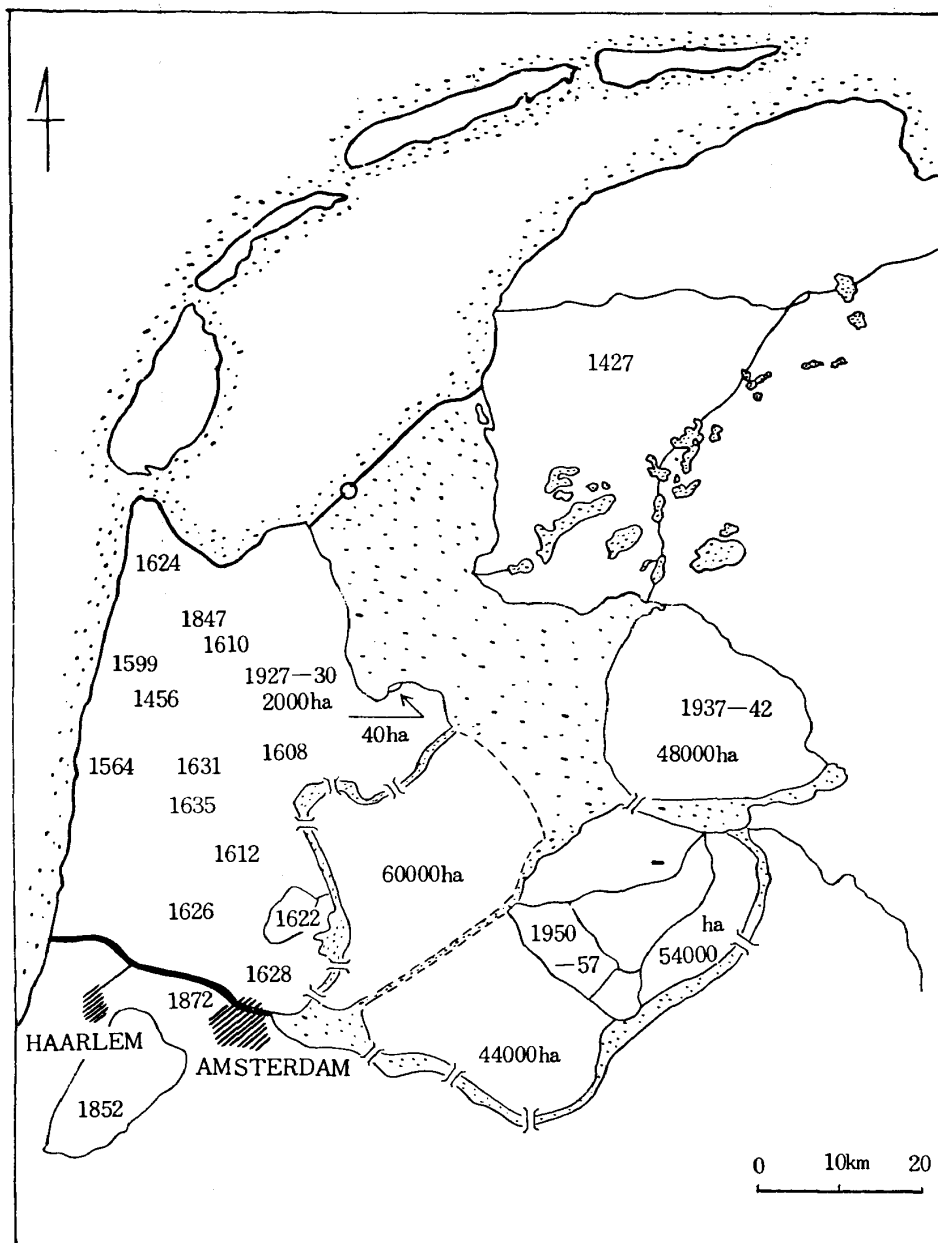
水位が地盤面より高いオランダでは、延々 30km に及ぶ締切堤をはじめとして、長短無数の干拓堤防によって、内陸の水を外海へと揚排水して、（地下）水位を下げています。

北海に面する最長の 30km の堤防は 1932 年 5 月 28 日に完成し、その最終締切箇所記念碑が立っている。その碑文に「われわれの払った努力によって、この国の子孫が繁栄するのだ」という意味の言葉が刻まれている。多くの植民地を失った現在、デルタ・プランによって Europort（ヨーロッパ全体の港という意味）などを建設中で、国土の改善にお一層の努力を続けている。

図-3 はオランダの国土開発の模式図である。19 世紀になってスチーム・エンジンの実用化によりポンプ排水が自由自在となったが、それ以前においては風まかせの風車ポンプに頼るほ



↑  
 図-3 オランダの成立  
 水位を下げて国  
 土を造っている。  
 名物の風車  
 はいまや観光的  
 価値しかなく、  
 電力ポンプに置  
 き換えられている。



←  
 図-4 オランダの国土  
 開発  
 オランダ本国は  
 世界中での特異  
 な国であって、  
 数百年にわたり  
 水と斗いつづけ  
 てきた。

かななかったので、その排水能力は小さく、かつ不安定であったから、その干拓面積も小さいものであったが(図-4参照)、最近では1937~1940年間に48,000ha、1950~1957年間に54,000haの干拓を完成し、将来続々と開発して行く予定になっている<sup>1)</sup>。このようにオランダは実に600年以上のながきにわたり水位と闘い、国土を維持してきたのである。

他方、わが国においては、その地勢上から海底を海面上に押し上げることで、すなわち埋立てによって、国土を開発しようとしつつある。2億坪に及ぼんとする臨海工業地帯の造成がその例である。

このように、オランダは水位を下げるため水を排除し、わが国では地盤を高めることによって水位を超越しようとする努力をしているわけである。

なお、近代文明のさきがけとして発達した欧・米の諸国では、地下水位が中位に低く、たとえば個々の家庭用水を個々の井戸に頼ることが非能力、不経済のため、いわゆる上水道の発達が促がされ、それに伴って下水道の発達をもみたと考えることができる。地下水位の高い日本でも上水道の発達はみたけれども、自然流下に頼る下水道の発達には、地下水位が高いだけに多くの困難を伴うことになる。(オランダはさきに述べたことから国全体に広い意味の下水道が完備しているとみることができる。) 先進国の方式をそのまま後進国に適用することの危険な例ともいえよう。

以上述べたところは、広い範囲の地域(国土)改造がその地域(国土)の消長に関する意義を示そうとしたことにほかならない。

### 3. タイ国における地下水開発の構想

タイ国中央平原において、その農業、工業その他の用水を確保して、産業の飛躍的發展を促すため、地下水を積極的に利用すべく開発しようとするものである。

タイ国の気温は図-5<sup>2)</sup>に示すように、年中、稲作に適するものでありながら、図-6<sup>2)</sup>のようにその降雨状況が6ヶ月周期で、乾期、雨期に分かれるため、一毛作である。

また、雨期における降雨は排水上の種々の困難をもっており、タイ国政府の灌漑局(Royal Irrigation Department)の大きい任務の一つとなっている。この局の名称は灌漑ではあるが、実質上は排水局(Royal Drainage Department)とさえ考えてよからう。

ここに記述する地下水開発の構想は、このあり余る雨期の降雨を地下に貯溜して(Bank of Water)、乾期にポンプ揚水し、灌漑、工業その他に有効に利用しようとするものである。

一般に土の空隙は全体積の約2分の1と考えてよく、1,500mmの降雨を全部貯溜するにはわずか3,000mm=3mの厚さの土を利用すればよい。幸いにタイ国中央平原の土層の厚さは極めて大であって、数100mに及ぶと考えると差支えない。バンコック周辺地区のように比較的文化的に進んだところでも、いまだボーリングが基底岩盤に達した記録がないほどである。

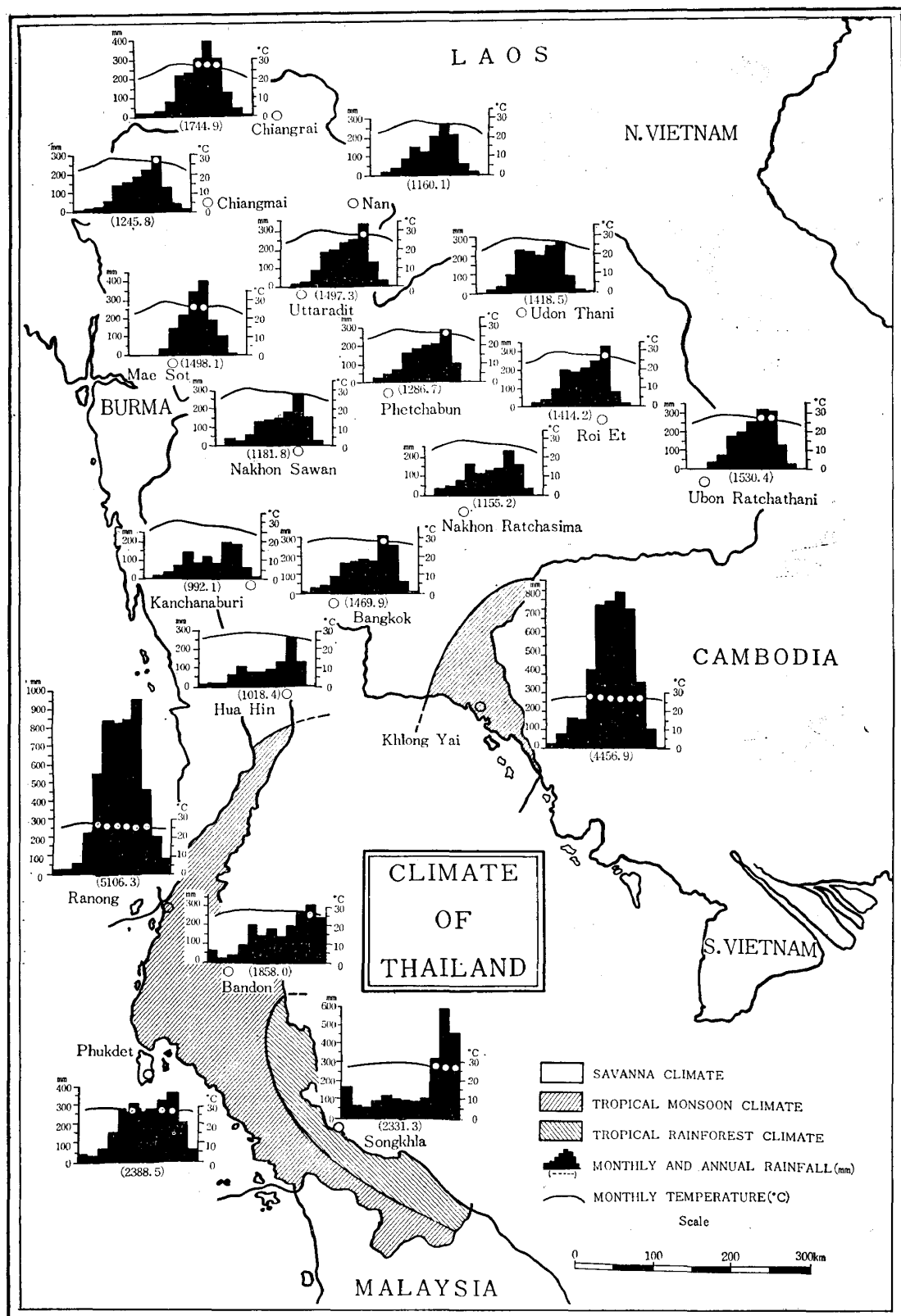


図-5 Climate of Thailand  
 気温は一年を通じてほとんど変わらないといえる。  
 雨期と乾期が明瞭である。

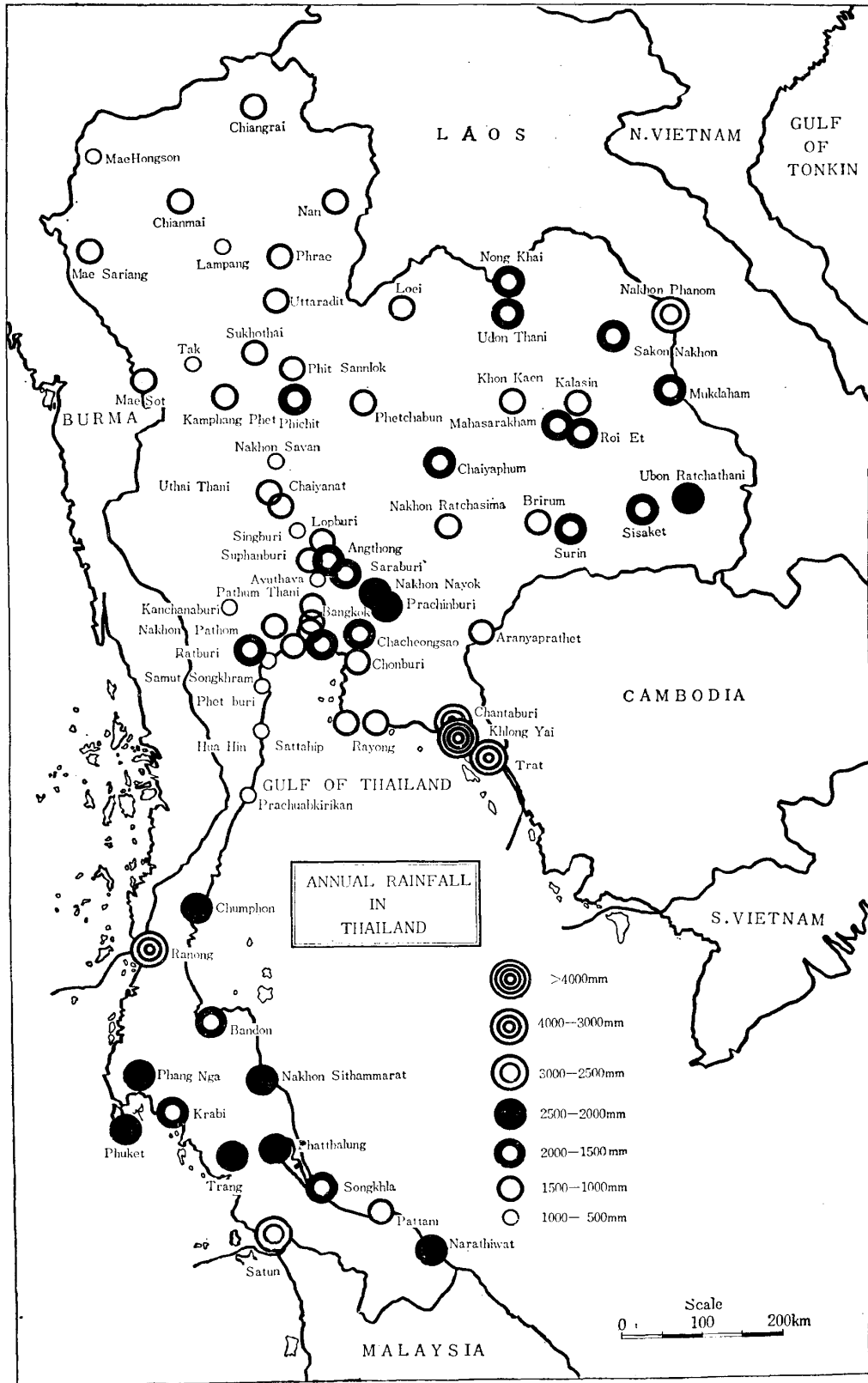
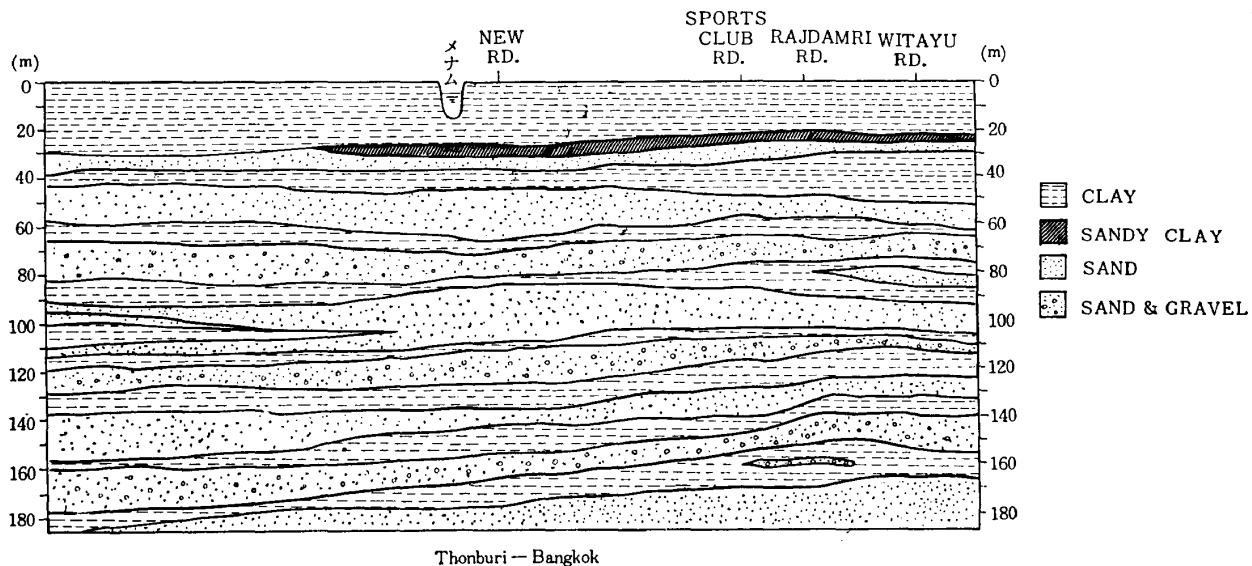


図-6 Annual Rainfall in Thailand

土質構成については、いくつかのボーリング・データを集計して判断すると、粘土層あり、砂層ありで、それらの堆積も地下水位が高いために緩く、自重圧密度も少ないものと考えられる。図-7は Thonburi - Bangkok 間の土質断面図、図-8はその若干の粒度加積曲線で0.1~2.0mmの粒径のものが多くを占め、比較的微細粒子で構成されている。このことが、後述す



Thonburi - Bangkok  
 図-7 中央平原の堆積  
 都合のよいことに砂層をもっている。

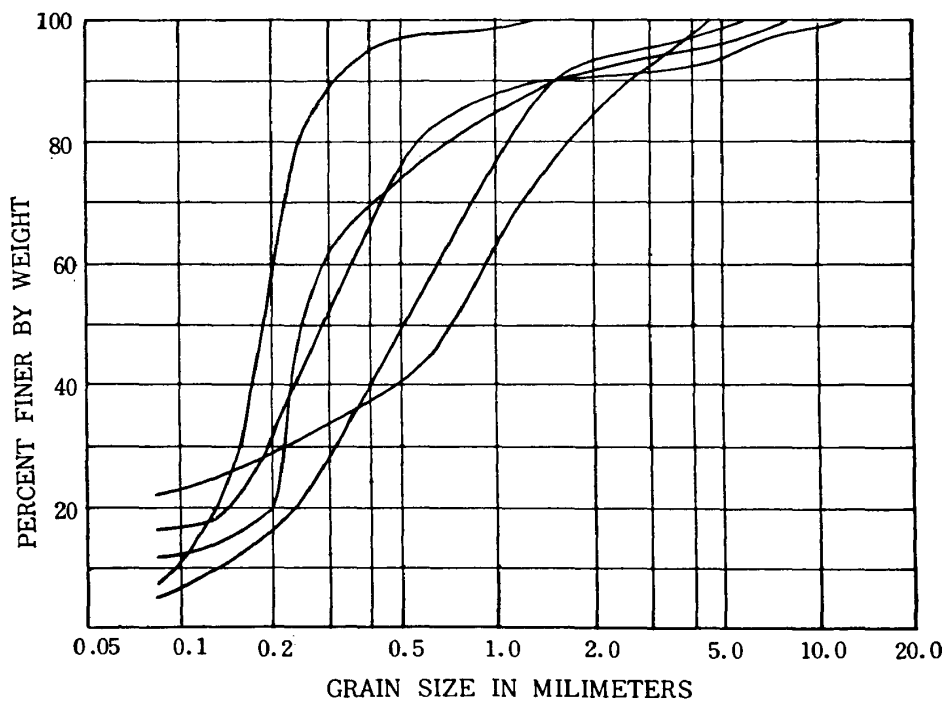


図-8 粒度分布  
 細粒土の改良が大切な技術的要素である。



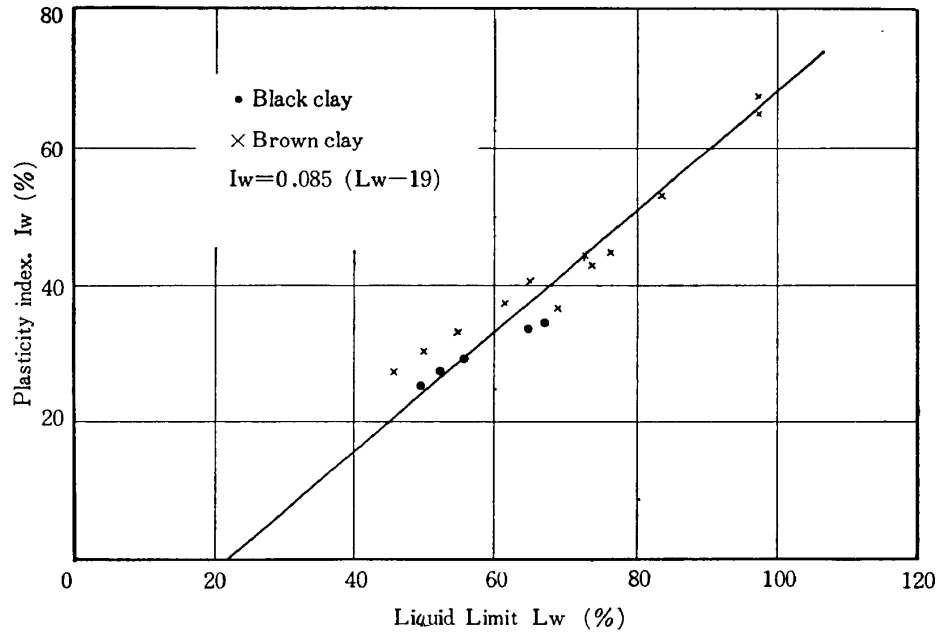


図-9 土のコンシステシー 土質改良のための身長測定

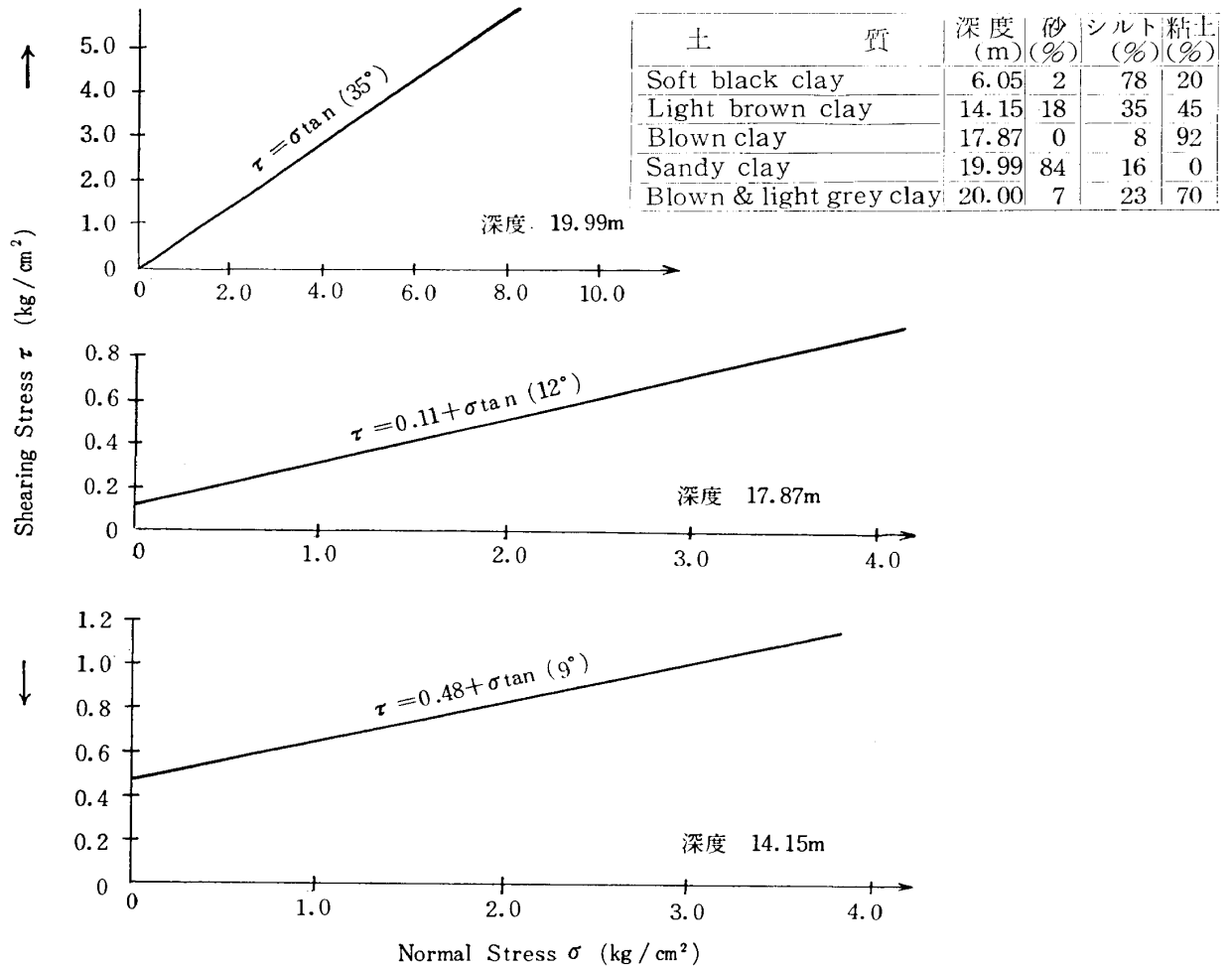


図-10 土のせん断抵抗特性 土質改良のための体重測定

るように現在地下水の積極利用の障害となっている。図-9はそれらを塑性図で示したものの。図-10は代表的な土試料のせん断抵抗特性を示すものである。

これらの図は後述するように土質改良を行なう際の主要な対象土と考えられる。

いままでのタイ国中央平原における稲作の実態は雨期における氾濫農業であり、剝奪農業であって化学肥料を使わない原始農業である。せっきく使った肥料が下流に流失して当人の増収にはならないからである。

また氾濫に耐えるため、稲(藁)の背丈は3~4mにも及ぶ。1日5cm位の割で成長しないと洪水に水没して正常の収穫が期待できなくなる。洪水上昇を1日5cm以下に抑えることが、灌漑局の大切な仕事となっている。このように土地のもつ天然の養分はワラの生育に奪われて、農民の期待する米の収穫は乏しいものとなる。稲をその部位によって分けると、米とワラとなり、タイ国中央平原の農業は米作ではなく、まさにワラ作といえよう。また良い気温に恵まれながら稲作は6ヶ月で、あとの半年は遊ばなければならないので、デカンショ農業と呼んだことがある。

図-11の模式図のように降雨を地下水として貯溜し、地下水の流通機構を整備することは、タイ国の産業にとってまことに好ましいことである。

地下水をポンプ揚水するに必要な動力について言えば、55万kwの能力をもつヤンビー・ダ

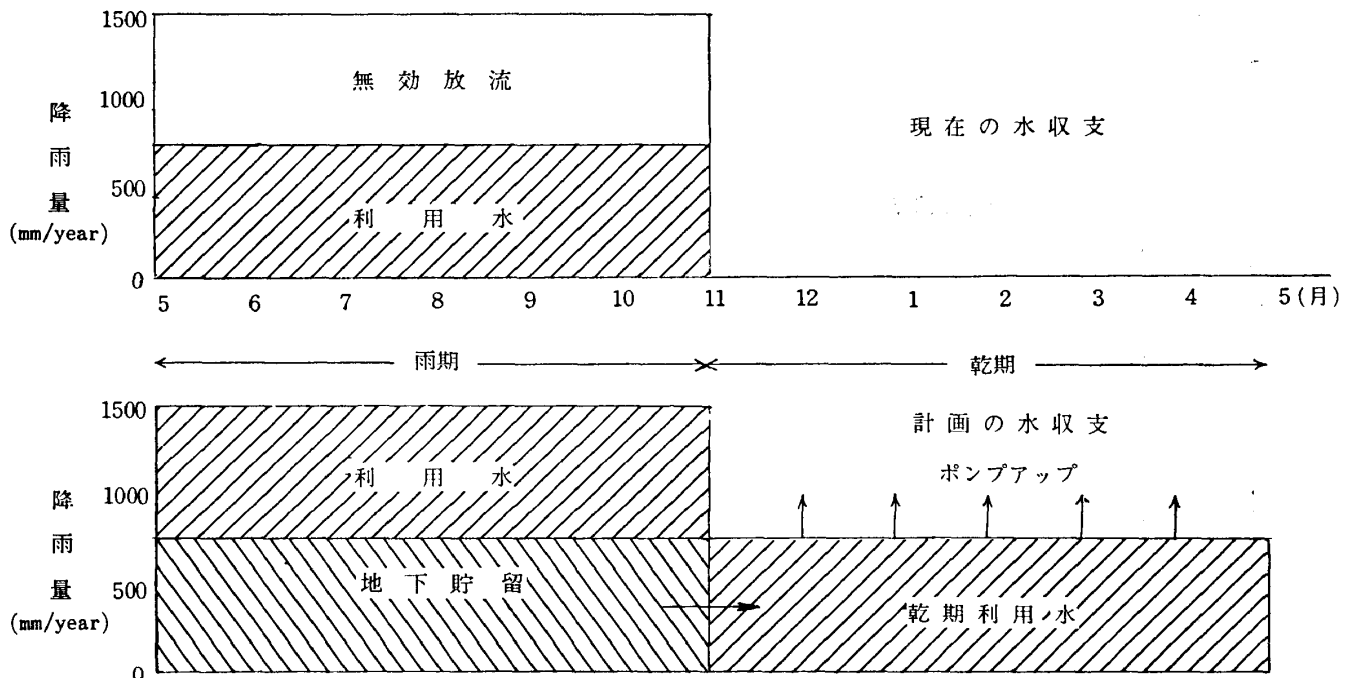


図-11 水の銀行

6ヶ月毎の定期預金である。ただし、水そのものには利息はつかない。収穫は4倍以上となる。

ムが今日ではその約4分の1（15万kw 内外）しか消費していない現状であるから、この余剰電力を積極的に使えばよい。

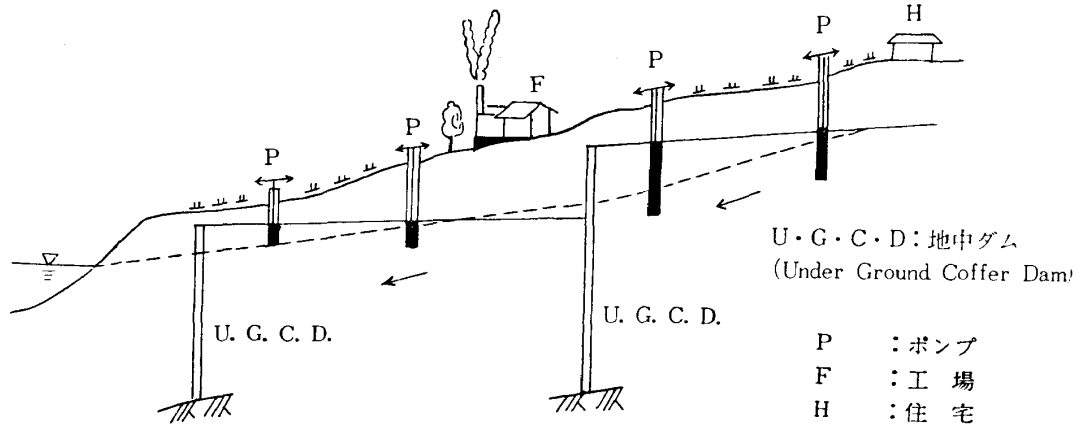


図-12 繁栄をつづける明口のタイ国。  
洪水はなくなり、乾期の水不足は解消。

このような地下水開発の構想はいままでに類例の無いものであるから、奇想と思われるかもしれないが、十分の実用価値があると考えている。タイ国中央平原のような広大な地域の二毛作化その他のための用水確保は、少数の河川の少数のダムによって達成せられるものではない。

さきに、地下水の流通機構について触れたが、地下水を適時適切に揚水して利用するためには、貯溜、集水および揚水の機能が円滑に行なわれなければならない。

このうち地下水としての貯溜（水の銀行）については、先に少し触れたが、これは地下水を無効に下流に流下せしめることのないよう、河川におけるダムのように、適宜地中において閉塞する（地中ダム化の考え<sup>3)</sup>）のである。その手段としては、土の間隙を塞ぐことで足りるから、大規模なコンクリート製の必要もなく、薬液などの注入工法や矢板打工法で簡単に実施することができるわけである。

次に集水、揚水を円滑に行なうためには、適当な揚水設備と共に、その周囲の地盤の透水性の大きいことが好ましい。

都合の悪いことには、中央平原の土質はその緩やかな堆積に起因していると思われるが、しばしば透水性のよくない細粒土よりなっており、これに砂層が介在しているのである。砂層は問題ないとして、この細粒土層が集水を妨害することが予期される。

実は、この問題が無ければ、すでに揚水による灌漑その他が部分的に普及し、二毛作化したところもあったと考えられる。ここで土木技術者としては、透水性の悪い地盤の必要な部位を改良して透水性の良いものとするという課題に遭遇する。このような課題を得たことは、筆者の研究の拡張に大変幸いなことであって、単にこのタイ国の地下水開発の研究のみならず、土

質安定工法一般のある程度の発展の契機ともなったのである。

ここで、数年前に筆者が研究、開発した臨海工業地帯の土地造成上の手法とその拡張に関連が生じてくる<sup>4)</sup>。

図-13は埋立工事の模式図である。サンド・ポンプによって土砂を水とともに目的の場所に吐出する。その際、粗粒子がまず沈殿し、吐出口よりの距離と共に漸次微細粒子が堆積する。

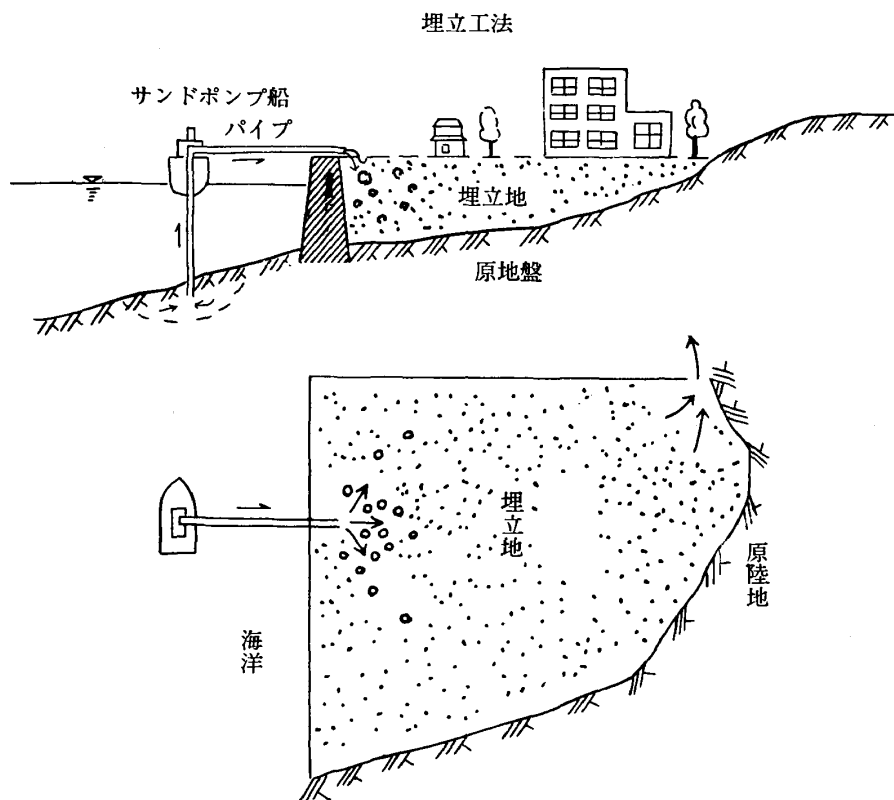


図-13 日本の臨海工業地帯  
約2億坪の土地造成を行ないつつある。

さらに濁水が溢流口より再び海中へ放出される。このような通常の埋立工事ではでき上った埋立地が不均一となり、土質工学上好ましくない種々の欠陥を有する。筆者は凝集性界面活性剤を微量混入することによって、でき上りの埋立地の均一化を図り、土の単粒堆積を団粒堆積とし、透水性よく圧密性のよい埋立地造成工法を見出し、諸所で実施されている。

また別の観点から土粒子界面に撥水性を与えることにより土全体の透水性を良好にする研究を続け、ある程度の成果を得ている<sup>5)</sup>。

このような土質改良工法は、いま問題とするタイ国中央平原の土にも、もちろん、適用することができるのであるが、さらに経済性を増すために、介在砂層の利用をも考え集水組織の地中構成につき鋭意研究中である。現在までに土の透水性を100倍程度増進せしめる可能性を確

め、さらに能力向上のため土質に応じた細部条件について検討している。

この地下水開発の構想は中央平原全体に実施しなければ効果が挙がらないというものではないから、漸次地区別に開発可能であり、経済的効果の測定を行ないながら、施工法の部分的改良も行なうことができる。

この地下水開発構想が実現すれば、二毛作が可能となり、化学肥料も使用することができる。肥料を使えば収穫が2倍以上になることは別に実証されている。また藁の背の短い、つまり米収のよい品種の植付けができ、これまたかなりの増収が期待できそうである。従って  $2 \times 2 \times (1 + x) = 4$  倍以上の増産が可能となり、タイ国の民生安定に大きく寄与することになる。

このような新規の開発構想は、土や水の問題に限らず、われわれ自然科学専門のものの常として、現実の工事その他としてその効果を現実に示しうるものでなければならない。筆者としてはこの構想を小規模といえども世界中の何処かで実現してもらいたいと考えている。細部の技術的要素の研究に鋭意取り組んでいるので、御批判、御討議頂けると大変有難いと思う。

なお、この地下水開発の構想については、タイ国政府灌漑局副長官、その他の技師と帰国直前に会見し、この構想を説明し、短期間の現地調査者がおうおうにして落ち入りやすい偏見や誤解の有無を質したところ、この構想の根拠や条件などについて誤った判断はないとの意見であった。

#### 4. あとがき

この調査に協力や便宜を頂いたタイ国政府灌漑局長官 M. L. Xujati Kambhu, 同局副長官 M. L. Jeongjan Kambhu, 同局課長 Boonthai Otaganonta, その他出先機関の各位、本岡武教授ほか当時在バンコック教官各位、大林組 茂野所長、植田次長ほか職員各位にたいして、ここに厚く御礼申上げる次第である。

なお、東北タイにおける漏水の問題についても調査したが、これについては具体的に救済できる工法をすでにもっているのです、その報告は別の機会に譲ることにするが、その概略とともに、入国当初の会見の際に要望されたタイ国灌漑局長官宛の予備調査結果報告を添付することにする。

January 14, 1965

Mr. M. L. X. Kambhu  
Director General  
Royal Irrigation Department.

Dear Sir,

I have the honour of presenting you the tentative views on my preliminary survey of ground-water in this country, which has cordinally been cooperated by your Excellency

and the staffs of the department.

The three trips and a brief inspection, covering the northeast plateau, the central plain, the northern region and the coastal zone of southern Bangkok, have been completed. The inspection tours let me have the tentative views as follow:

1. At the Khorat Plateau, I could see big dam constructions, but still it must rely upon the water tanks to supply water for irrigation. At present, there are 135 tanks on use, and five tanks there are troubled by seepage, and I could see two of them at the site. I have been told that about 1,000 tanks will be installed in near future, and the problem of seepage will be important. To solve this problem of seepage, there are a few methods of using Bentonite (a kind of clay mineral), Polyvinyl chloride, Polyethylen membrane, and surface active agent. To select the best method to solve those problem, we must consider the two points relatively as of the economical effect of seepage protection and the expenses of the usage. I hope I could have an opportunity to try an experimental execution in near future, after I establish an application method based on the present situation in Thailand which will be restudied after I come back to Japan. In the event that the topsoil layer is very thin as of 25 feet average, as it is proposed at the Central Plain, I could not expect much groundwater on my preliminary survey due to the evaporation phenomenon and involving salinity.

2. Central Plain. The drainage system against over-rainfall in rainy season is installed almost completely, but the shortage of the water in dry season is rejecting double crop. Now, there is a way of storing the rain water in rainy season and utilizing in dry season. Even if many dams, like Yan Hee dam, are installed, they can keep only the part of rain fall in rainy season. So the following method looks more convenient, that the rain water will be kept at void in the ground, e. g. keep the water as from of underground water and pump up the water at dry season, then we can use much water for the sake of irrigation or other objects. The most important point on my inspection is that the central plain contains much clayey or silty soil and also sandy soil existing among the soil. Not only we utilize the stratum of sandy soil but we should take some method to increase the permeability making porous the clayey or silty soil positively. That is to say, at the Central Plain, it is important to take a method to increase the permeability instead of making efforts to reduce the permeability in the Khorat Plateau. This method will be realized physically, mechanically and chemically. I presume this method might be the best. Yet still I have something to study more, then I will make an experiment for the period of a few months or one year after I come back to Japan. The most necessary supplementary survey will be executed on my visits to Thailand hereafter. It would be much appreciated if you could show me the boring or drilling records which have been collected.

3. On the other hand, it will be effective to make coffer-dams in the ground, so-called underground dams, and make underground channel to connect the underground dams relatively. This construction does not injure the surface of ground, and restrain underground water only or remove speedily for the sake of utilizing the underground water. That is to establish "the Bank of Water" in the underground. On this view,

I would like to discuss with your staffs and to eliminate prejudice or misunderstanding which might occur on the short time preliminary study.

4. Problem of reclamation in the Southern Coast: According to my past experiences, it is very effective to make reclamation of land of some width at the Southern beaches of Bangkok which prevent an intrusion of crook, that is, salt-water invasion into "Bank of Water". At the same time the reclamation of land from sea will stimulate the industrial development in this country, I believe.

Yours sincerely,

*Shin Matsuo*

Dr. Shin-ichiro Matsuo  
Professor of Kyoto University

#### 参 考 文 献

- 1) Graafdijs, K.: Holland rides the sea, World's Window Ltd., Baarn, Holland, 1960.
- 2) 住友金属工業KKの曰野 清博士の整理した資料による。
- 3) 松尾新一郎, 河野伊一郎: 地中ダム化による地下水の規制, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, 1964, 11, pp. 105~107.
- 4) Matsuo, S.: The Panfloc Method—Soil Stabilizing Method of Reclaimed Ground with Coagulative Surface Agents, Rroc. Intern. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Budapest, 1963, pp. 411~419.
- 5) 松尾新一郎, 塚原悌二: 土の透水性規制に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要, 1965, 5, pp. 91-1~91-2.
- 6) 松尾新一郎: 高分子材料の建設工事への応用, 土木学会誌, vol. 50, No. 3, 1965, 3, pp. 63~67.