

# 有用な応用地質学へのアプローチ

尾原 信彦

## 1. 変ぼうをせまられる応用地質

俗に応用地質というと 地質学の応用部門という常識的な解釈になろう。この限りでは別に何の抵抗もない。

しかし 応用地質を毎日の業務として 日夜これにたづさわっている当事者にとっては 研究が進むにつれて いろいろ深刻な矛盾にぶつかってくる。なぜそうなるのであろうか？ 筆者らはこれまでに幾たびか この何ともいいようもないほどに矛盾の壁にぶつかって 煩悶をした。これではならじと勇気を出しては 新しい取り組み方を試みたり 先輩の意見をきいたり 物の本を読みあさったり さらに別の学界の情報をとり入れたりして 何とかこの壁を破ろうと試みもした。おそらくある割り切り方をしなければ どうしてもこの矛盾は克服されないでないのかとさえ思う。

まず 古くから一般的に理解されている応用地質という概念のなかで 鉱床学の応用部門である資源地質とかそれに準じた取り扱いから出発可能な温泉地質などを一応除くこととして 近ごろ盛んに持てはやされている土木地質ならびに水理地質などに限定してみることになると それらの取り扱い対象が 従来の一元的な地質学の応用として 解決のつくものであるとは とても考えられない場面に直面することが多くなった。

それは少なくとも地質学とは系列の大分異なった土木工学ないし土質工学 あるいは水理学・水文学などという別種の学問の応用でもあり その上本来の地質学では考慮を必要としない方面であった物理化学などが より多く加わってきた。また対象の取り扱い方に際しても 計測方法とか あるいは函数などの概念を使わなければならないことが多く かりに定性的な事実と逢着してもそれをなるべく定量的な表現ないし力学的なパラメータで代表させなければ 十分な成果として世に問うことがむずかしいという状況にある。その上成果を受取る側すなわち初め仕事を投げかけてきた側の人たちは 実際に当って上述のような条件・様式を具えた成果でない限り 最終的にはそれを容認してくれないし またそうでない限り 価値評価に際しても その報告書は先方の要望と期待に対し十分に答えているとはいいい切れないのが実情である。

このようなきびしい現実に当面して 土木地質・水理地質などの担当者としては 一元的学問的基礎 すなわち地質学のみで立脚した議論だけでは なかなか要望に対処できないことが明白である。真に社会に役立つ応用地質的な調査研究を推進するからには どうしても多元的な学問の基礎に立ち その対象と取り組んで 創意工夫をこらした成果を出さない限り 実用的価値の乏しい業績となってしまふであろう。したがって少なくとも 応用地質を志す者は 地質学のほかにいろいろな基礎科学～物理・化学・数学・力学・水理学・水文学・機械工学・土質工学などを一通り身につけた上で 飛び込み取り組むことが りっぱな業績を期待する上にせびとも必要となってくるというわけである。

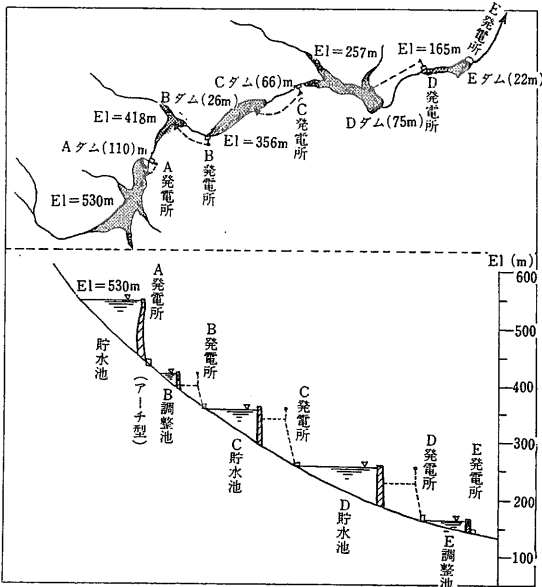
## 2. 土木地質調査の実情にみられる矛盾

(1) 1つのアナロジー(analogy)・植物学と米作農業  
 稲・麦・粟・稗のような作物は 禾本科という分類に属する植物に違いないが これを植物学という筋立てに則して研究すれば 定めしそれ相応な純学術的な成果は得られるであろう。しかしながら植物学の応用分野として 米作農業を植物学者が志したとして りっぱな実績があがることを期待する者は 世間広しとはいえず皆無に近いであろう。米作農業というものは単に植物学だけの上に立つものでないことは だれでも知悉しているはずである。荒野を開き 灌漑施設を整え 気象に心を配り 耕運機で耕し 肥料を与え 苗代・田植・除草・除虫などの諸技術を身につけ 収穫・脱穀・包装といった色々の手間を掛けたうえ ようやく出荷を済ませて はじめて農業経営の実が上げられるのである。したがって米作農業というものには 植物学の関与する分野 (share) ははなはだ小部分に過ぎず 土木とか気象とかのほかに さまざまな農業技術の積み上げと経営上の苦心とが結び付いて はじめて成立するのである。

### (2) 硬質岩盤関係の場合の問題点

上述のようなきわめて明白な事例で説明したが 土木地質の対象となるものに このようなアナロジーが当てはまるのである。たとえば筆者は過去数年間水力発電関係で ダムの土木地質調査を担当したことがある。

一般的にはダムサイトの地質は なるほどダムの死命



第1図 モデル水系の一貫開発計画図および開発縦断面図

を制する個所には相違ないのであるが そうだからといって その地質が少々悪くても 決して建設担当者は驚きもしないし 多くの場合そのきずを技術的に乗り越えても そこにダムをこしらえてしまうものであるということを知られた。 というのは 水力発電事業ではダム建設に際し まず計画側の方で地形図からダムサイト候補地を探し その各地形を精密測量し ダム高を想定して コンクリート量を算定しておき 一方長年にわたる河川の流量調査のデータから 各候補地点ごとに幾通りかの組み合わせを行なうたうえで 1年当りの発生電力総量の比較検討が行なわれ そのうちから1キロワットアワー当りの建設単価の最も安いものが選ばれ その際に浮び上ったダムサイトについて 地質調査の依頼がもたらされる段取りとなるのである。

われわれはそのダムサイトの規模・形状について 一通りの説明を受けたのち 500分の1ないし1,000分の1 梯尺の地形図を渡され 実地踏査を行なって 一般的な地質図を作製し とくに注意を要する岩種なり 断層の有無なり 土冠りの厚さなどを指摘して報告する。 一方計画側は報告を受けてから たとえば 掘さく量が先方で当初予期したものをはるかに超過するほど 莫大な量に達しない限り 大して気につけないし 少々予想を上回ったような時には ダムの型をアーチダムなりホローダムなりにかえてコンクリート量を減らし これを補うなどの対策を考える。 また著しい断層破砕帯があれば一応これを避けるようにダムセンターを振るが ど

うしても経済的に重要なダムサイトであることが明らか場合には 思い切ってロックフィルダムの型に設計を切替えたりしてしまう。 また花崗岩の風化が深層にまで達している時などには グラウト工法で 逆に山体の方をセメントで固結させて 原地形を残し 重力ダムを造ってしまうこともある。

次に計画側はわれわれに対し 岩の硬さを力学的パラメータで表示するように要求してくるから 岩盤の弾性係数を地震探査法などで計測して出したものを報告することになる。 先方は土木的な調査として ダムサイトの両側に無数の横坑を掘り 岩盤をいちいち観察した後 ジャッキによる原位置測定法で直接に弾性係数を測り 物探の方から試算したものと比較する。 それが済んでから 実施設計に移り 大規模な岩盤の掘さくに取り掛り 初めの地質調査のころの原地形は跡形もなくなり 面目を一新させてしまう。 こうした後で 先方は岩盤の検査を行なって コンクリートの打設に至る運びとなる。

ダム建設事業とはこのような事前調査を踏まえた上で の大規模な工事となるのであるから そのうちの一部を占める地質調査は 結局先方の要求する示し方にしたがったものを作成することになる。 それゆえわれわれの方でも ダムに関する土工学および河川水理学などについて 相当な知識・経験なしには引受けられるものではないし 場合によっては物理探査のような技術 あるいはソノタイマー (岩盤をたたいて起こした波を電氣的に捉えて 走時から弾性係数を知る器械) の使用ぐらいを自ら買って出ないことには いざとなって相手を説得させることはすこぶるむずかしいのである。

第1表 岩石の弾性常数例 (1941 飯田)

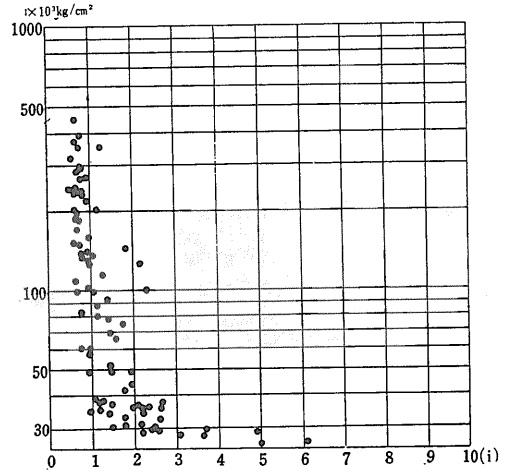
岩種	産地	密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	弾性係数 E $\times 10^8$ kg/cm <sup>2</sup>	ポアソン比 $\sigma$	弾性波速度 (km/s)	
					縦(P)波	横(S)波
花崗岩	愛知県矢作	2.65	683	0.14	5.02	3.33
"	群馬県水上	2.65	432	0.19	4.00	2.67
閃緑岩	長野県松代	2.70	867	0.10	5.62	3.78
斑岩	茨城県筑波	2.90	740	0.15	5.00	3.30
玢岩	岐阜県高山	2.72	878	0.11	5.52	3.77
安山岩	神奈川県根府川	2.61	206	0.19	2.77	1.77
"	栃木県那須	2.20	216	0.22	3.05	1.95
玄武岩	福島県磐梯山	2.19	318	0.13	3.77	2.51
凝灰岩	長野県飯山	2.30	171	0.30	2.70	1.68
砂岩	東京都小河内	2.60	306	0.14	3.40	2.24
"	千葉県清澄山	2.10	86	0.11	2.01	1.35
粘板岩	東京都小河内	2.63	318	0.15	3.45	2.31
頁岩	長野県飯山	2.00	108	0.31	2.30	1.48
石灰岩	岐阜県伊吹山	2.68	242	0.22	2.97	1.90

いま電源開発に關したダム建設を例にとつて その土地地質調査担当者の受持分を明らかにしたが 鉄道・道路建設事業に伴う隧道 もしくは橋梁工事における土地地質調査にしても 山くずれ・地すべり対策事業における地質調査の役割りにしても 大同小異のなり行きとなることは明らかである。してみると何となく物足りない わり切れない気持ちになることを防ぐことができないのはなぜであろうか？ しかも隧道掘さく工事にしても 地すべり対策工事にしても 本質的には岩石なり地層なりと取り組むことは まぎれもなく事実でありながら それらが事業化される段階となると 土木工事を担当する側に引渡たされ 計画・運営・執行の責任はあげて建設担当者の手に移されるのが ほとんど慣行といつてよいものになっている。

それならば地質専門家は予備調査の受持分だけで満足すべきものかどうか？ 先進諸国の例では 土地地質専門家が工事中はもとより 管理機構の内にさえ入つて常に助言・提案を行なう立前となつており 最後の竣工検査に至るまでの責任を負わされていると聞く。ともあれわが国の現状は 上述のとおりであつて その原因には種々の来歴 因習もあることと思うが それはそれとして 地質家の側にも反省してみるべき点が多々あるのではなからうか？ これに關する提言は後ほど詳論したい。

(3) 沖積地盤を対象とする場合の問題点

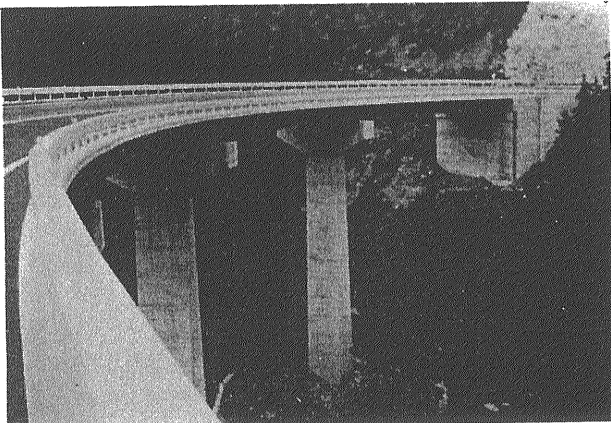
第四紀の未固結層を対象にした場合についてふれてみよう。第四紀層の発達するところは 火山地域を除けば だいたいに於いて 平野・盆地・海岸など人間活動の最も顕著な場所であつて 人口密度は高く 都市の発達は著しく 道路・水路なども密集し ビル・住宅・大小工場・港湾施設などが地表をおおい それ以外の空間地は 湖沼・耕地・平地林の占める所となっている。



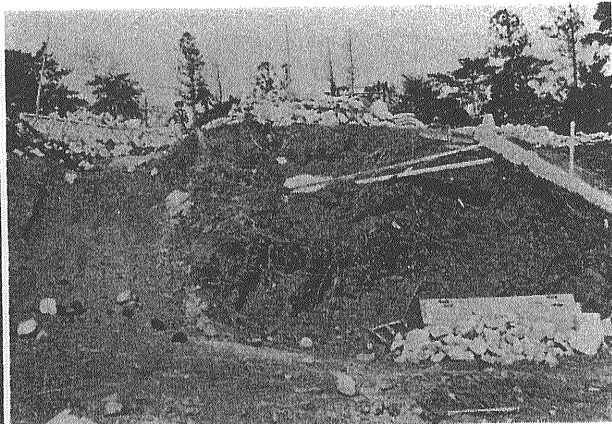
第2図 花崗岩の弾性係数(E)と風化係数(i)との關係 (i)は空隙率を基礎として計算したもの(Serafim博士による)

最近の經濟成長にともない 地域開発という名の下に 都市計画・高速道路・空港・地下鉄などの建設や 上下水道の敷設 干拓・埋立・整地による新規農地・工場用地・住宅団地の造成・港湾の浚渫・掘込など もろもろの土木工事が日夜息つく暇もなく えいえいと行なわれており 地上の景觀は急速な変貌を遂げている。

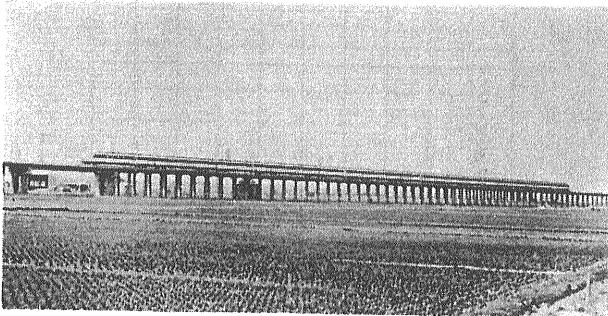
巨額な予算による特定の大工事……<たとえば東海道新幹線・名神高速道路の建設とか 有明海・八郎潟の干拓事業 苫小牧・鹿島港の掘込工事 東京・大阪地下鉄工事など>では 着工に先立ち 精度の高い土地地質調査が実施されるものの その成果はあくまでも現場工使用の資料であつて しかも僅少部数作成され ほんの限られた数の工事関係者の間に配布されるのみで それ以上に公表されることはほとんどない。そして予備調査の段階で 建設担当者からの註文の下に 主として地質家が活動することはあつても 内容はボーリングを伴つた土質力学・水理学などのような精密科学としての色合



第3図 高速道路(東急ターンパイク)に架けられた橋梁〔箱根湯本付近〕(金井撮影)



第4図 宅地造成工事〔世田谷区大蔵町〕(相原撮影)



第5図 浮島原の軟弱地盤地帯を通過する東海道新幹線 築堤では沈下するので杭打基礎の上に高架線を通して(富士市依田橋付近) (安藤撮影)

の濃い実用的な調査である。すなわち硬質岩盤の際よりもなお一層精密測定を基本においた力学的パラメータで判定に資するものあるいは物性に関係した数値を取りそえた調査資料であって 従来のオーソドックスな地質学者にとっては目新しい術語がさかんに使われすべての事象が定量的表現で置き換えられている。それ故その方面の知識なしには何一つ理解することが困難なくらい“変容した地質報告書”であることが多い。

それでいて地質担当者は計画・設計の段階まで残されて意見を徴されることはなくはないが 次いで建設段階に入ると 若干の例外を除き 主体は建設関係者の手に掌握され ほとんどこれに関与することはないと見られるのが実相のようである。

今さら無理もないことであって 従来の地質家はあまり第四紀層に興味・関心を払わず 図幅調査に見られるように沖積平野は プランクエリアとして埋め残されているのを見ても理解できようが なんとなく対象から外すのが慣わしであったからであろう。

そこで今後大規模の開発事業に関連する土木地質家にとっては 土質工学・基礎工学あるいは物理探査法・水理学・水文学・機械工学・流体力学などの知識を一通り

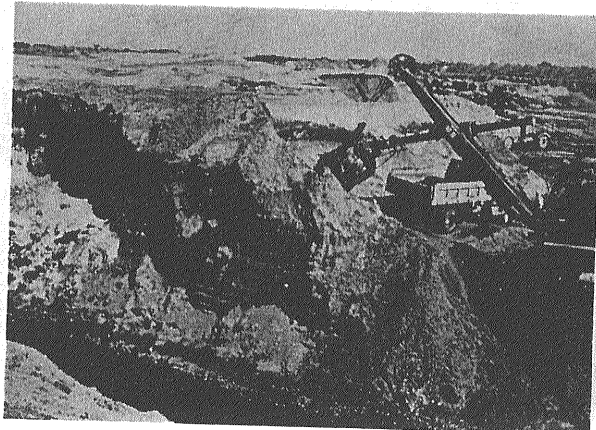
身につけておかないと 沖積平野地下の状態を正しく理解するのが困難となる場合が 絶えず起こるのであろう。沖積地盤の解析に際しては 本来の地質学からかなりかけ離れた異種の学問に通暁し 時にはこれらを武器として自由自在に駆使できるようになっていることが これからの応用面には是非とも必要であろう。

### 3. 第四紀地質の調査研究について

近頃になって“第四紀地質”の研究が盛んになって来たものの 従来のように露頭観察を主とした調査方法では 確実な手掛りがつかめないままに 本質的にはボーリングで地表下の状態を察知するほかはない。しかし何にせよ掘ってみないと分らない故 ボーリングが必要だが そのボーリングの単価はm当りで3,000~10,000円という高額の予算を要するので 一般の研究者には手の出ない相談であり やむなく他の土木工事に付随して行なわれるボーリングか あるいはさく井工事の際のデータなどを収集しては これを対比・検討して取りまとめを行なっているに過ぎない。

未固結層について その硬軟の程度を知る最も手軽な標準貫入試験(N値テスト)は いたるところの土木工事現場で行なわれており また深層地下水を汲み上げるための綱掘式さく井工事も 近頃は電気検層が常識として併用され 粗稿柱状図のかたわらに添付されているので 水の在り方などが見当づけられる。双方の資料は公共団体もしくは大工場もしくはさく井会社などに照会すれば 比較的容易に入手できる。ただし多くの場合地質的記載に不備なことが多いから コンパイレーションに際し 時として不確実な繋ぎ方を犯して 後で取り返しのつかなくなる場合を生ずる憂いもなくはない。

第四紀地質を旗印に掲げて 活躍している新進の各研究者たちは 僅少な研究費を割いて 上述のような各種



第6図 パワーシャベルの活躍する苫小牧港掘さく現場 (金井撮影)



第7図 東名高速道路の工事現場【横浜市港北区荏田付近】 (金井撮影)

データを収集する一方 段丘を踏査し 氷期の海面昇降と結びつけ 他所のボーリング現場からコアを譲り受け中に含まれる珪藻・有孔虫・花粉の同定 さらに  $C_{14}$  による絶対年代測定値などを加えて 沖積層の層序区分を決定し それぞれ正統派的な層位学を確立させ 立派な労作を発表しているのは まことに同慶の至りである。ただ研究の進め方があくまでもアカデミックであるために 依然として実用的な指向性に乏しく たとえば 国策として打出されている地域開発という大前提に対しては 必ずしも直接的な影響ないし便益を与えているとはいいい切れないのはぜひもない。

そのようなわけで 昭和35年以来建設省計画局で開始した「都市地盤調査」および通商産業省企業局の指示に基き 地質調査所で実施に踏み切った「工業地帯地下構造調査」の両者は 厳密な仕様の下にボーリングを主軸とする事業であって ともに実用的な要素を多分に包含する特色を具え しかも本格的な調査予算を以て以後毎年継続され 成果は逐次公刊されている点で 異例の土木地質調査である。前者は行政部費を以て 一定の地域を限り 既存ボーリング資料の収集と 深度45mの地耐力ボーリング調査を実施し 将来の都市計画のための基本資料として 「都市地盤図」に仕上げるものである。

はじめからコンサルタントに委託するので 都市地盤協議会という権威ある委員会で決定した標準仕様書に基づいて ボーリングは標準貫入試験(N値)と不攪乱試料採取と電気検層を伴い コアの土質試験には剪断・圧密の力学試験を含み その他建築物の耐震構造のための常時微動測定 地表電探 微地形分類調査を加え 国費の外に地方庁の負担金が割当てられる大規模な調査事業である。委託先のコンサルタントには民間の地質家が最後まで主役を演ずるように仕組まれ 成果公表に先立ち 協議会で検討・審議が行なわれるたてまえとなっ

ている。

工業地帯地下構造調査は 工業技術院の特別研究費により 臨海平野において工業の立地条件究明の一環として 深層までの地盤支持力と深部地下水の存否とを探索の目的で行なわれている。通例150m~200mまでのさく井ボーリングを主軸として 地耐力試験・間隙水圧測定・間隙水質化学分析・土質物理試験・電気検層などを伴い 軟弱層と支持層の深度確認と 最深部帯水層の揚水試験を行ない なおこれを水位観測井に仕上げてのち2カ年間の水位記録をとり これらの諸元の解析により将来の地盤災害に備えるものである。

これらは鉱工業技術協議会でオーソライズされた準則にもとづいて 調査が遂行せられ しかも地質調査所の地下構造グループが現場管理を行ない 調査員の現地滞在中には 周辺の広い区域にわたるサウンディング調査(浅層地耐力測定で 1点/1km<sup>2</sup>の網目で行なう)と一部 水の調査とが加えられて 報告書の執筆まで責任をもつ一環した仕事である。科学的な工業立地のための基本資料として 中央・地方・業界などからそれ相応に有効利用されるに値するものである。なお両調査とも 当初予算では 別々の調査地区を決めているが 経済企画庁の調査調整費が支出されると 結局双方で対象地区の時期をずらせて調査し合うこととなり 同一地区の浅層は建設省 深層は通産省で分担して 両々相まって調査資料がそろるように仕組まれており 地域開発のための権威ある基礎資料として取り扱われる価値をもっている。

#### 4. 真の Civil Engineering Geology への道

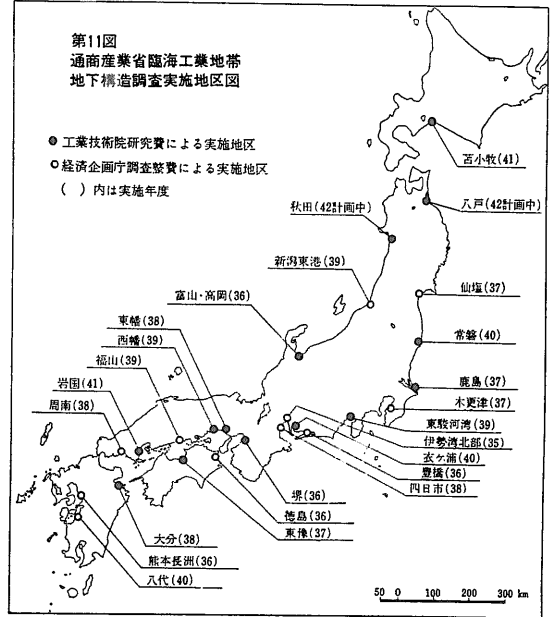
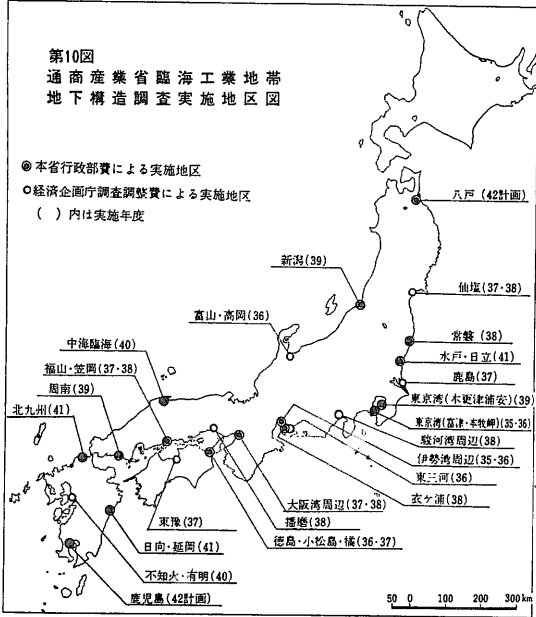
いままで詳細に述べて来たことの帰結として 土木地質を如何のように指向させるべきかという命題に対しては 次に記すように 2つの立場しかありえない。



第8図 干拓地〔八代市郡築区〕(相原撮影)



第9図 掘込港湾の開さく工事〔茨城県鹿島郡神栖村〕(相原撮影)



1つは 土质地質の存在理由は実用性にあるのであるから 物理・化学・工学のエッセンスを採り入れ 思い切って実用価値への到達を最終の道標として あらゆる苦心・工夫を凝らして 歩一歩その標的に向かって近接する立場を堅持し その途中では一たん地質学の立場から逸脱しようが 脇からやじられようが あえて意に介せず 場合によってはかりの土木技術者や 水理技術者になり済まし ただまっしぐらに堂々と駒を進め 独自の境地の創造を目指す行き方である。

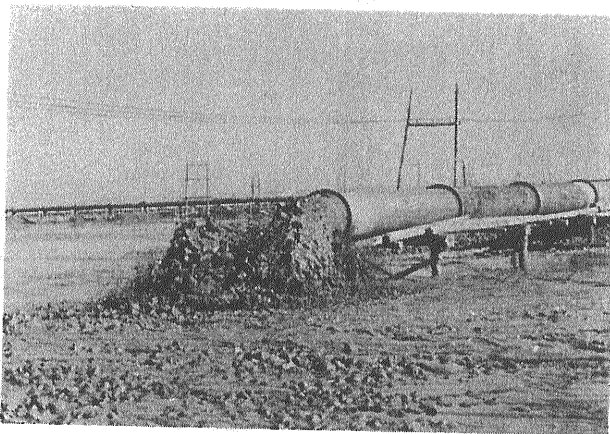
他の1つは あくまでも手堅く純粋な学究を目指すもので 野外調査は本来の地質学を基礎として進められる場合が多く たとえば 第四紀地質の標準層序の決定とか 岩盤風化における粘土鉱物生成の果たす役割りの究

明などといった種類の研究のように 地質学的要因の理論的解明に重点をおくため とすれば 実用価値という点では 基礎的ではあるが間接的になり勝ちな研究の進め方である。

前者を実用派と呼び 後者を理念派と呼ぶことにしておけば どちらを採択するかは 各人の自由であるけれども ただ応用地質の現在の情勢を分析すれば 思い悩み 去就に迷う人もあるであろう。 ともあれ身をどのような職域に置かかによって おのずから各人各様の在り方が採られるのは当然であろう。

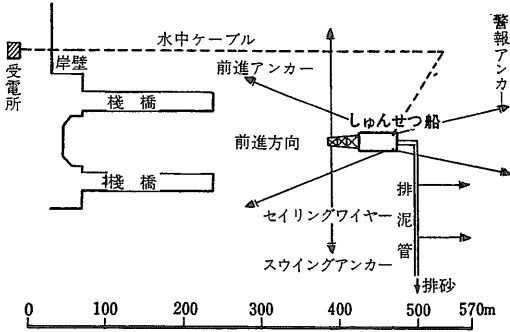
業界人…… たとえばボーリング会社・さく井会社・開発会社・建設会社 あるいはそれらの調査コンサルタント会社のように 利潤の追求を業務とするところに身がら置いている地質出身者たちは 実用派になり切らない限り 職域をまもることができなくなるから 本来の意志如何にかかわらず 知らず知らずのうちに 実用派にならざるを得ないであろう。 しかもその職務を通じて 社運がかかっている以上 激務にもまれながら その人たちは立派に成長を遂げている。 学術雑誌には論文を発表するようなことも少ないから 必ずしも知名の士となることは少ないけれども このような人たちはその関連する職域では エキスパートとして高い評価と尊敬を集めていることは疑い余地がない。

学界人…… すなわち大学に在籍の地質学専攻の士またはそれに近い職域にいる人々は 当然理念派の立場



第12図 波浜土砂による工場用地の造成〔半田市衣ヶ浦地区〕  
(安藤撮影)





第14図 浚渫船の配置平面図

をより多く堅持することが想像される。これらの人々にあえて実用主義を押しつける愚はしたいとは思わないが、すでに前段で様々な説明して来たように、研究テーマの展開に当たって、色々の制約が抬頭し、それが絶えずつきまとい、いつしか大きな壁にぶつかって、当初の予定通りに事が運ばず、本意ながら変更の止むなきに至る公算が多い。

業界・学界の中間に位置する官庁もしくは国公立試験研究機関の人たちは、立前としては公益性が優先するから応用地質を担当する限りは、前段で説明したような色々な場面を体験しているはずであり、筆者の意のある所は十分に理解されたことと思う。しかしながら実用派に徹することが理想的であるとはいえ、人にとっては本来の地質学的研究への郷愁に引かれる度合に濃淡がありうるから、各自がそれぞれ直面する場において、異なった態度がとられることになる。

### 5. 結びに 当って

さて実用派の一つの進め方として、地質工学という筆者の考えをひれきしておきたい。というのは、すでに述べたように、土木地質という概念では、国策的大事業に対処して、担当する分野の発言権が余りに小さく、したがって事業への貢献度が予想外に少ないからである。

もっとだいたんに事業そのものに没入するためには、これまで全然無縁なものと考えられていた土木技術の中に飛込んで、それを消化し、さらに理解するように自分自身をより広いものに拡大させる場を持ちたいと願ったからにはほかならない。すなわち土木地質学から地質工学へと新分野の開拓を試みてはどうか？ いわば土木技術的なものを駆使して、従来未知とされていた地質的事象を究明するようになれるならば、それはたいへん結構なことではないかという意味である。

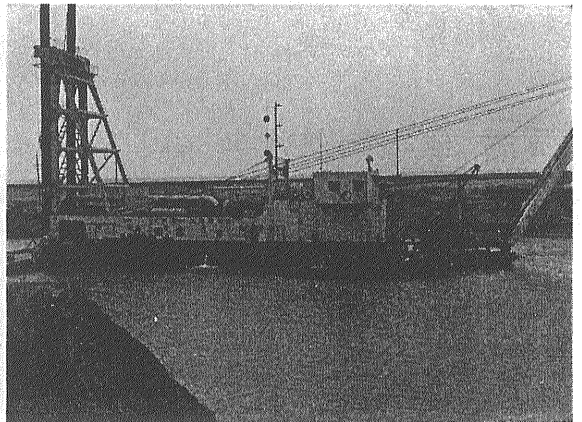
経済的要請から知らず知らずのうちに、土木技術的な

ものを身に付けているのが、第三者の目にもありありとわかる実用派の地質専門家が業界におおぜいいることをさきに述べたが、それと同じ位に、しかも意識してわが身をみずからへんげさせることを試みようというのである。したがって、この地質工学への道を踏み出そうとすれば、いろいろの障害にぶつかるであろうことは想像にかたくない。

この提言に対してメリットとしては、どんなものがあるだろうか？ 第1に、少なくとも他流試合を仕掛けるのであるから、それだけ眼界が開けてくることは確かである。土木学会などにおける最近の研究テーマを拾うと、軟弱地盤の本質・土中水分（とくに透水性・間隙水圧）・山地降雨の河川流出 discharge・洪積粘土の力学性・関東ロームの特異性・振動に対する土砂の挙動などが当面の問題であり、さらに公害用振動計の特性・土の超短波乾燥・電気衝撃またはケミカルグラウトによる地盤改良・海底軟泥の置換などの新技術に関する研究が盛んに発表されている。このようなテーマは同時に全く土木地質～産業地質分野における重要な研究対象に合致するので、当然それらの成果発表から、私たちが啓発される点は非常に大きいのである。

第2に、土木技術者との意志疎通は今よりはるかに良好かつ円滑となる。さらに両者相互の心理的交流を経て、synthesis としての総合結実が期待されるであろうし、長期的には——将来のことであるが——地質家グループの社会的進出の礎石が少しづつ固められて行き、窮極においてあるいは先進諸国のように、事業における予備調査の段階から竣工段階までの全工程を通じて、責任的地位と実質的発言力を保持するに至るまでの発展を期待することもできるようになるのではなかろうか。

（筆者は 応用地質部 産業地質課長）



第13図 浚渫船（鹿島港湾工事現場）（相原撮影）