

土 木 研 究 所 資 料

第 9 回地質担当者會議資料

昭和 5 1 年 2 月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

ま え が き

地質調査上の問題点の解明あるいは技術的な情報交換および、地質調査方法の統一化、基準化などを目的として、昭和42年から開始された地質担当者会議は今回で第9回になった。第1回会議より会を追って参加者も増加し、北海道開発局、沖縄開発庁からの参加をみて、今回は60名の多きに達した。

これまでの会議では主として、ダム、法面、トンネルなどを中心に検討し、また河川砂防技術基準等地質関連の基準関係についても討議してきた。今回の会議では地盤注入用薬液の問題点、関東地域の地下水に関する問題点、東北地方のダムに関する問題点、ボーリング孔を使用して実施される調査試験について発表があり、道路土工指針（土質調査試験）の改訂案の原案について活発な討議が行なわれた。

地盤注入用薬液については、現在環境問題と関連して注目をあつめているが、今回は主として化学的立場から、薬液の種類と特徴、地盤の硬化機構、環境汚染等について報告された。また「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」について概略の説明がなされた。

地下水問題については、関東地域における地下水利用の実態、地下水位低下、地下水の賦存量、地盤沈下等について一般報告がなされた。さらに地下水の適正利用および管理を目的として、既存の深井戸資料を統計的に検討し、地下水域区分を行なった結果について報告された。

地質調査手法に関するものとしては、ボーリング孔を利用した各種物理検層、特に最近急速に発展してきたS波検層を主体としてその原理、結果の利用法、問題点等について報告された。

ダム関係については、東北地建におけるダムの地質上の問題点、主としてグリーンタフに関連する事項、例えば浮石質凝灰岩、凝灰角礫岩、低破碎帯、埋積地形等について発表され、それに対する処置法についても紹介された。

さらに道路土工指針については土質調査・試験編の原案について説明があり、活発な討議がなされた。特に、項目のあげ方の問題、現在の土工指針とこれから分冊として作成される土工指針における地質調査の対応関係の問題等が議論された。

ここに提出された資料と討議内容等を中心とした議事録をまとめて、今後の参考に供しようとするものである。

昭和51年2月

建設省土木研究所
地質研究室長
岡 本 隆 一

目 次

まえがき

第9回地質担当者会議議事録	1
日 時	1
場 所	1
出席者	1
開会のあいさつ	3
土木研究所長あいさつ	5
技術参事官あいさつ	6
地質官あいさつ	8
閉会のあいさつ	9
議事および資料	
1. 地盤注入用薬液について	11
2. 関東地域の地下水調査について	25
3. 東北地方のダムに関する2, 3の問題点	45
4. ボーリング孔内調査試験法（物理検層）	53
5. 道路土工指針（土質調査試験）について	67
質疑応答	69
資料：道路土工指針抜粋	73

第9回地質担当者会議議事録

日 時 昭和50年12月9日

場 所 虎ノ門共済会館

出 席 者

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
本 省	宮 内 章	大臣官房技術参事官
	広 瀬 利 雄	河川局開発課建設専門官
	尾 作 悦 男	河川局開発課
	榎 本 真	河川局河川計画課長補佐
	白 旗 稔	道路局国道第一課技術第二係長
国 土 地 理 院	土 肥 規 男	地殻調査部企画室長補佐
	江 川 良 武	地理調査部地理第一課地理第一係長
東 北 地 建	市 川 慧	河川部建設専門官
	藤 原 正	道路部道路工事課舗装係長
	大 木 達 夫	七ヶ宿ダム調査事務所長
関 東 地 建	片 桐 真 次	東北技術事務所材料試験課材料試験第一係長
	原 田 譲 二	企画部建設専門官
	加 治 屋 義 信	企画部企画課
	木 村 清 勝	道路部道路計画第一課
	清 水 昭 明	川治ダム工事事務所調査設計課長
北 陸 地 建	早 川 盛	宮ヶ瀬ダム工事事務所工務課工務係長
	竹 田 正 敏	企画部企画課
	小 林 英 昭	河川部河川計画課計画第二係長
	滝 沢 俊 次	道路部道路工事課改良係長
	水 島 秀 国	北陸技術事務所副所長
中 部 地 建	畑 中 博 文	河川部建設専門官
	吉 川 良 行	高山国道工事事務所調査課
近 畿 地 建	福 田 収	企画部技術管理課長補佐
	白 井 顕 一	河川部河川計画課調査第一係長
	巽 義 則	道路部道路工事課長補佐
	多 田 敏 一	大滝ダム工事事務所調査設計課長
中 国 地 建	神 尾 重 雄	河川部建設専門官
	大 塚 実	中国技術事務所材料試験課長

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
四 国 地 建	光 武 富 雄	企画部企画課企画係長
九 州 地 建	碓 公 男	企画部技術管理課検査係長
	三 浦 三 郎	松原下釜ダム管理所長
北海道開発局	根 岸 正 充	土木試験所地質研究室主任研究員
沖縄開発庁	岩 切 清 樹	開発建設部道路建設課
	長谷場 光 実	工事検査官室
	椎 葉 元 則	北部ダム事務所調査係長
土 木 研 究 所	市 原 薫	土木研究所長
	今 西 誠 也	" 地質官
	大久保 忠 良	" 企画部長
	柳 田 力	" 地質化学部長
	飯 田 隆 一	" ダム部長
	渡 正 亮	" 砂防部長
	岡 本 隆 一	" 地質研究室長
	菅 原 捷	" " 主任研究員
	桑 原 啓 三	" " "
	中 村 康 夫	" " 研究員
	佐 藤 暁	" "
	蒔 田 実	" 化学研究室長
	紫 田 功	" ダム構造研究室長
	斎 藤 孝 三	" " 研究員
	城 島 誠 之	" フィルダム研究室長
	藤 田 寿 雄	" 地すべり研究室長
	中 村 浩 之	" " 主任研究員
	安 江 朝 光	" 急傾斜地崩壊研究室長
	金 刺 敏 朗	" 施工研究室研究員
	久 楽 勝 行	" 土質研究室主任研究員
	元 田 良 孝	" " 研究員
	大 志 万 和 也	" 基礎研究室研究員
	佐 伯 四 郎	" 企画課調査係長
	神 村 隆 也	" " 主任
	千 野 啓 次	" 企画課

開会のあいさつ

土木研究所地質化学部長

柳 田 力

本日は大変遠いところを早朝からお集まりいただきまして大変ありがとうございます。また技術参事官には予算内示を控えましてお忙しい中を地質担当者会議に御出席いただきありがとうございます。

はじめに土木研究所長，続いて参事官，地質官のごあいさつをいただきたいと思います。

あ い さ つ

土木研究所長

市 原 薫

本日は多数の方々がお集り下さいまして皆さんご苦労さまです。

地質担当者会議が、だいたい軌道にのり、まあ順当になって来たという状態だと思います。非常に結構なことでございます。今日は地質だけではなくて土質の方もおられるようだけれども地質関係は建設省の公共事業、土木建設事業にとりまして、非常に大事なでございます。

しかしどうしてもニーズが時間的に、あるいは場所的に偏在するものですから、担当者も少なく、各方面に飛び歩いて要請に応えていただかなければならぬ大変だと思います。そのためには連絡を密にすることが必要であり、単に技術的な連絡だけではなくて、お互に意志の疎通をはかりながら進めて行かなくてはいけないと思います。そういう意味でこの地質担当者会議の意義というのは大きいのではないかと思います。

土木研究所におきましても、地質官、地質化学部長、地質研究室長その他大勢の関係者がおりますので、できるだけそういう面の連絡役をやりたいと思っております。そういう意味で土木研究所を大いに利用していただき、それは単に技術的な相談とか連絡というだけではなくて、やはり人事的にも一回は土木研究所に席をおき、また現場に出て、やっていた研究成果を発揮していただくというようなことも大いに歓迎したいし、そうやっていただく方がよいと思っております。それ故に土木研究所を大いに利用していただきたいと思うわけであります。

聞くところによりますと、これからの事業、ダムにしましても地質の悪い所のダムがほとんどだとか、トンネルなども非常に数が増えてきまして、地質を選んでる前に線形で決まってしまうとか、いろいろの問題がございまして、地質の問題はさらにこれから難しいというか、重要な時期になると思いますので、そういう意味で皆さん一致協力してさらにがんばっていただきたいと思ひます。

あ い さ つ

技 術 参 事 官

宮 内 章

お早うございます。技術参事官の宮内でございます。私は現場、本省を通じましてダム関係の仕事を非常に長く担当していたものでございますので、ダムについてみますと今も土木研究所長からお話があったように、最近のダムは非常に地質的な条件が昔に比べますと劣化といえますか、難しい所が多いこと、それからダムサイトの地質だけの問題でなく、ロックフィルダム等の場合は材料の問題もございますし、その他貯水池周辺の地這り、崩壊等地質を基本とした問題が多方面に山積みしてしまっていて、私もダム関係を担当しておりましたときはいろいろなことでずい分頭を悩ましたものであります。それから今も所長からもお話しがあったように最近の道路トンネル、長大橋等の基礎にしましても、いろいろ従来よりも難しい点が増えてきているわけでございます。

とかく事業の計画というのはそういう基礎的、技術的なことより別の社会経済面が優先して決ってくるという要素がややもすれば強いわけでございますが、実際にはやはり技術的なベースというのが非常に重要でございまして、そういう意味におきましても皆さま方の日頃からの調査研究と具体的な意見の吸収が重要だと思います。また計画を決める立場の人もそういうことを十分配慮しなければいけないのではないかとことを日頃から考えているわけでございます。これから地質というものは、私どもしろうとにとってなかなか定量的にはわかりにくいものであり、調査方法にしてもその強さ等の工学的なものにしましても試験法等が必ずしも公式化されていないということもありまして、他の部門に比べますと難かしく思えるのでございますが、非常に事業量が増えてまいりますとこれを何とか基準化し統一化し誰にでも分かりやすくしていただきたいというのが1つの希望でございます。

それにつきましては土研を中心にいろいろ研究もしていただいているわけでありまして。土質部門につきましてはそのあたりはかなり研究も進んでいるわけでございますが、地質部門は難しくてこれから研究していただくことが山ほどあるのではないかと思いますので皆様方の御努力に期待するわけでございます。その意味におきましても、年一回行なわれておりますこの会議の意義というものが非常に重要ではないかと思っているわけでございます。それからもう1つ、さっきも申しましたように地質の専門の方のいろいろな判断、御意見というものが事業計画等に強く反映されていくということが私共非常に大事だと思っているのですが、そういうムードを形成していくためには私達自身もいろいろな面でまた考えなければならないのではないかとこのうに日頃から考えているわけでございます。

その1つとしまして地質専門の方のポストといえますか、これはやはりそういう方々の将来の処遇とも関連するわけでございましてこれらにつきましても従来とも研究所あたりとも御相談して土

研、地建を含めて年々少しずつ増やしていくことに努力をいたしているわけですが、同じ地質を専攻された方でも地質のスペシャリストとして深く進んでいくのが適当な方と、地質のみでなく広く工学的なことを勉強していただいてさらに行政面の経験もつんでいただきまして、いわゆる一般の技術行政官として進み得る方もあるわけでございます。そういう方はいま申しました市広い御勉強もしていただいたうえ別の行政官の立場で活躍していただくという道もまた開いていかなくはないのではないかというふうに考えているわけでございます。

そういうことで私どもは私どもなりにこれから皆様の御要望を受けて、努力もしてゆくつもりでございますが、最初申し上げましたように地質は何と申しまして我々公共土木のいちばん基礎となる問題でございます。これから皆様方が一層研究努力されるよう希望しまして私のあいさついたします。

あ い さ つ

土木研究所地質官

今 西 誠 也

地質官の今西でございます。今日お集まりいただきましたのは、本省、国土地理院、建設省の各地建、北海道開発局、沖縄開発庁の方がお見えになっています。それと土木研究所の地質化学部の担当者と企画部、砂防部、ダム部、機械施工部、道路部、構造橋梁部の関係の方々がお見えになっております。特に皆様に強調したいと思いますのは、今日土木研究所の所長、技術参事官、開発課の広瀬専門官もわざわざおいでいただいております。これは地質の調査の仕事というものがいかに大事であるかということをお話していると思います。それと同時に、地質調査の技術がいかに遅れているか、もっと何とかならないのかという御希望が強くはおいでいただいたのではないかと思います。その点を深く反省したいと思います。非常に期待していただいて、まだお答えする分野が足りない、そのために激励するためにおいでいただいたと私は感じております。

今日の会議はすでに御案内いたしましたような日程で薬液注入、地下水、東北地建で今問題としておりますダムの地質上の問題点、地質調査でひんばんに行なわれているボーリング孔内試験法といったようなことについていろいろと御説明をしたいと思っておりますし、また道路関係で土工指針というものが改訂になりますがこれの原案をいくたびかつくり直し、皆様の御意見を聞いているわけでございますが、直接地質の担当の方々の御意見を伺いたいということで選んだわけでございます。本日お集まりの方は決して地質の専門技術者だけではございません。地質担当者ということで地質、土質関係の仕事を担当されている土木技術者も含まれております。御自分でいろいろ考えていただきたいということ、各地建で何かいいことをやっていたらそれを即座にとりあげていただきたい。各地建の方々同志が知り合いになれば分らないことも問合せもしやすいと思いますので、こういう機会をつくったわけでございます。もちろん土木研究所はその窓口としてどんなことでも働きたいと思っておりますが、これを機会に皆様と話し、またディスカッションをし、それとともに今日だけでなく今後ますます連携プレーで仕事を行っていくようなことにしたいと思えます。今日はお忙しいところ北海道から沖縄まで各地の方々にお集まり戴きましてありがとうございます。

閉会のあいさつ

土木研究所企画部長

大久保 忠 良

土木研究所の企画部長でございます。この会議も9回を数えましたが、今までと同様皆様には今日も一日熱心に御討議していただき、まことにありがとうございました。私、実はこの会議に出させていただいたのは今日が初めてなのでございますが、最後のごあいさつということで最近感じておりますようなことを若干述べて、あいさつにかえさせていただきたいと思います。

皆様既に御存じのように、建設省のやってまいります仕事は最近ますます範囲が増えてきております。特に最近では環境問題、あるいは公害問題というようなものもかなり突っこんだ調査研究を行わなければならないというようなことになってきております。このように範囲が広がるということについて、私考えますのに2つの問題点が出てくるのではないかと思います。1つは、そういうふうに範囲が広がれば広がるほど、専門の知識を有した人間を建設省の中でしっかりとつかえ、そういった専門の知識を有している人々の力を十分に発揮してもらうようにして行かなければならないのではないかとというのが第1点でございます。第2点は、残念ながらそういうふうに問題の範囲が広がって行きますと、こういうことを申しあげては甚だ失礼にあたるかも知れませんが、実際の現場に携わっておられる人々の技術力というものが拡散していくと言いましょか、だんだん希薄になって行くというような点も見えてきております。

従って専門の方々の力を発揮していただくにも、その力を十分に出してもらうようなバックアップの技術力というようなものもだんだんに希薄になってきつつあるのではないかと思います。実はこういうことを感じておりまして、この夏本省の技監、あるいは技術参事官の方にもいろいろと意見を具申したわけでございますが、そういった中でやはり技術の中核的な存在というようなものを建設省は、組織的に考えて行かなければならないのではないかと、そういう中核的なものをつくることによって、現場で希薄化してゆく技術を集中的にレヴェルを保っていくと同時に、専門の知識を有している人々、こういった人々の活躍の場をそこに打ちたててゆくというようなことが必要ではないかと思つて、建設省の首脳部の方にも申しあげておるのでございます。その時いろいろ話題が出ましたが、そういう技術の中核になるようなもの、例えてみるなら技術本部というようなものは、土木研究所というような研究機関には組織原則からはそぐわないのですけど、建設省の現状から言うと、そういうものはやはり土木研究所の中におかなければならないのではないかということがその時の話の中から出てきたわけですから。

地質に関しましても、これは若干我田引水のきらいがあるかも知れませんが、やはり土木研究所に地質関係の最高の人として地質官もおります。地質研究室というのもございます。これをやはり地質関係の中核といたしまして、各地建相互の、あるいは地建と土研との間の相互の交流、あるい

は情報の交換、こういったものを増々円滑化してゆく、それによってやはり地質分野における建設省の技術レベルというものをあくまで保持して行かなければならないのではないかと思います。

今日最後の方わずかでございますが皆様の御討議を聞かせていただきました。実は朝からここへ出ましているいろいろ皆様の御討議をお伺いしたかったわけでございますが、よんどころない用事が他に二つ、三つございまして、そちらに出ておりまして残念ながら最後の方しか拝聴することができなかったわけでございますが、お聞きしておりまして、そういうふうな地質関係の交流あるいは、その技術レベルの保持というようなものが、こういうディスカッションを通じてやはり十分に保っていけるのではないかというような感じを深くしました。今後もこういう会議を通じて、あるいは会議以外にも十分な連絡をとって増々地質関係の研究調査といったものを発展させていただくよう希望いたしまして閉会のごあいさつに代えさせていただきます。

1. 地盤注入用薬液について

土木研究所	化学研究室
室 長	蒔 田 実

1. は じ め に

薬液注入工法は、きわめて直接的で、有効な地盤改良工法であり、比較的簡便に、小規模にも実施できるなどの利点のため、近年、市街地における土木工事を中心に、さかんに利用されてきている。

水ガラス系薬液は、大変古くから用いられていたが、我が国で一般的に用いられはじめたのは昭和30年頃からで、今日のように本格的に使用されるようになったのは昭和43年頃からである。高分子系薬液は、我が国では昭和36年頃から使用されはじめたが、一般的になったのは昭和45年頃からで、昭和47年以降使用量が急増している。

薬液注入工法による地下水等の環境汚染は、それ以前においては全く知られていなかったが、昭和48年に2件の事故が発生したことにより、にわかに社会的問題として注目をあつめるようになった。昭和48年6～8月、広島県三次市で、電話線増設のためのマンホール及びヒューム管の推進工事がおこなわれ、尿素系薬液の注入がおこなわれた。この際、周辺の住民から井戸水が濁ったり、臭いがしたり、鯉が死んだなどの苦情が出され、薬液による地下水汚染が問題とされた。昭和48年12月～昭和49年3月、福岡県粕屋郡新宮町における下水管の推進工事がおこなわれ、アクリルアミド系薬液の注入がおこなわれた。この工事において、一民家の井戸が薬液によって汚染され、一家5人の健康障害が発生（うち3人は歩行および平衡障害の疾患により入院）するにいった。

このような人体に対する健康障害の発生するにいたり、建設省では、昭和49年5月2日付の事務次官通達により、薬液注入工法を一時的に中止することとした。その後、薬液注入工法の施工法と安全性などについて検討し、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」を定め、昭和49年7月10日付の事務次官通達により、以後の薬液注入工事はこの暫定指針にもとづいて実施することになり、今日にいたっている。

2. 薬液の種類と特徴

2.1 薬液の種類

従来使用されていた薬液には、およそ次の種類のものがある。

(1) 水ガラス（ケイ酸ソーダ）系

- A. 懸濁液型
- | | |
|---|----------------------------------|
| { | ポルトランドセメント（LW-1） |
| | ポルトランドセメント＋ペントナイト（LW-2，YG-II，IV） |
| | 炭酸カルシウム（AC-1，2，KK-2） |
| | 石こう（MT-Soil，YG-V） |
| | スラグ（MS） |

B. 溶液型

i) 炭酸塩を含むもの

$\left\{ \begin{array}{l} \text{炭酸水素ナトリウム (コンソリダー 2, YGII, フライデフチW)} \\ \text{炭酸エチレン} \\ \text{+} \\ \text{炭酸水素カリウム} \end{array} \right. \quad (\text{ケミー 3 号, NCW, KW-3, アロンSR})$

ii) リン酸を含むもの

$\left\{ \begin{array}{l} \text{リン酸} \quad (\text{エリートソーデルタ, ML-3}) \\ \text{リン酸ナトリウム (フライデフチV)} \end{array} \right.$

iii) 硫酸塩を含むもの

亜硫酸水素ナトリウム (ママキン1, YG-1, SW, KW-S-II)

iv) グリオキザール並びに

多価アルコールエステル (CW2A, CW-3, RSG-II α, β , RSGV, RSGV, コンソリダー 3A, 3B)

v) その他無機塩類を含むもの

アルミン酸ナトリウム (MI-1, 2, 3)

vi) その他有機物を含むもの

$\left\{ \begin{array}{l} \gamma\text{-ブチラクトン} \\ \text{+} \\ \text{サ ク 酸} \end{array} \right. \quad (\text{ケミソイル-1, サンソルト})$

 $\left\{ \begin{array}{l} \text{ポリエチレングリコール} \\ \text{脂肪酸エステル} \end{array} \right. \quad (\text{MGグラウト})$

(2) アクリルアミド ($\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$) 系

$\left(\begin{array}{l} 1,3\text{ジ (アクリルアミドメチル) 2イミダゾリドン} \\ \text{ジメチルアミノプロピオニトリル} \\ \text{硫酸第一鉄} \end{array} \right. \quad (\text{日東SS30R, 三井アマイド, セキスイAM, スミソイルL})$

(3) 尿素 (尿素ホルマリン初期縮合物) 系

$\left(\begin{array}{l} \text{酸性硫酸 ソーダ} \\ \text{尿 素} \end{array} \right. \quad (\text{エスロック, ユリロック, スミロック, ダイヤロック})$

(4) ウレタン (ポリイソシアネート) 系

i) 水溶性型

$\left(\begin{array}{l} \text{トルエンジイソシアネート} \\ \text{ジフェニルメタンジイソシアネート} \\ \text{メチルエチルケトン など} \end{array} \right. \quad (\text{OH-1, -1A-7B-12})$

ii) 非水溶性

$\left(\begin{array}{l} \text{ジブチルフタレート} \\ \text{ジブチルマレエート} \\ \text{アルキルナフタリン など} \end{array} \right. \quad (\text{TACSS})$

2.2 薬液の硬化機構

(1) 水ガラス系

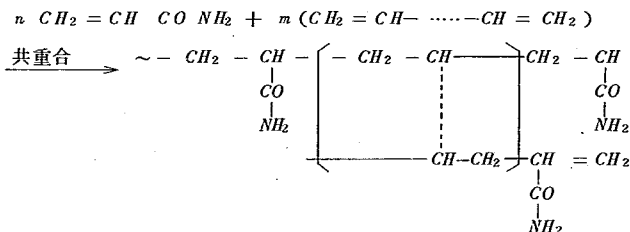
水ガラスの硬化機構は、大変複雑で厳密には良く判っていないが、一般的には次のような硬化機構があると考えられている。

i) けい酸ソーダ溶液中では、コロイド状けい酸が負に帯電している。これにセメントなど正に帯電した粒子を加えると、電氣的に中和されて、けい酸の不溶性ゲルを生ずる。

ii) けい酸ソーダ溶液はアルカリ性であるため、これを酸または酸性塩で中和すると、けい酸の不溶性ゲルを生ずる。

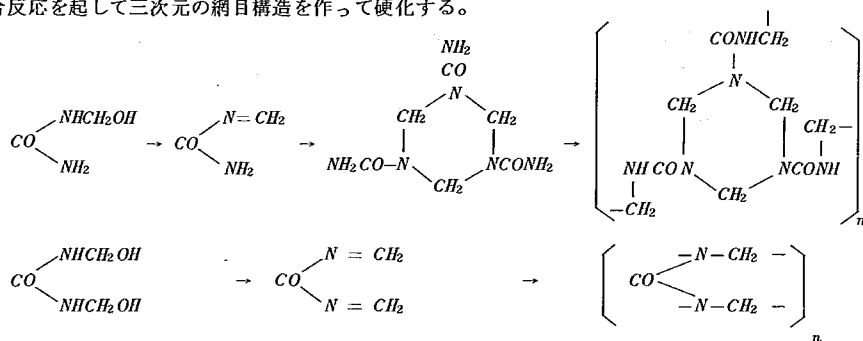
(2) アクリルアミド

アクリルアミドと 1,3 ジ (アクリルアミドメチル) 2 イミダゾリドンその他を含んだ主剤に、開始剤、促進剤を加えると、フリーラジカルを生成する (第一段階)。フリーラジカルが主剤と連鎖反応を起して、粘着性、弾力性のあるゲルを生成する (第二段階)。



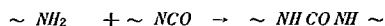
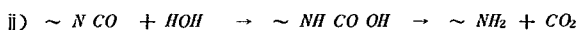
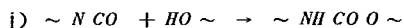
(3) 尿素系

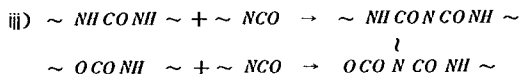
尿素・ホルムアルデヒド初期縮合物 (メチロール尿素, メチレン尿素) に硬化剤を加えると、縮合反応を起して三次元の網目構造を作って硬化する。



(4) ウレタン系

水溶性、非水溶性ともグラウト末端のイソシアネート基が水と反応して立体的な網目構造を作って、水に不溶なゲルを生じて硬化する。





2.3 各種薬液の特徴

(1) 浸透性

薬液は、地盤中を浸透していき、目的の場所に達し、そこで硬化してはじめてその目的を達することになる。したがって、薬液の地盤中での浸透性は最も重要な特性の1つである。

薬液が地盤中を浸透し易いか否かは薬液の粘度に依存する。硬化時間は通常数十秒～数十分になるよう調整しながら用いられるが、硬化するまでの間、時々刻々粘度は変化する。すなわち、硬化過程における薬液の粘度変化は地盤への浸透性に影響を及ぼす。薬液の初期粘度及び硬化過程における粘度変化は薬液の種類によって異なるが、その代表的な例を図-1に示す。浸透性からみれば、初期粘度が低く、硬化過程の粘度変化が小さいものが望ましく、このような点からはアクリルアミド系が最も優れていることがわかる。

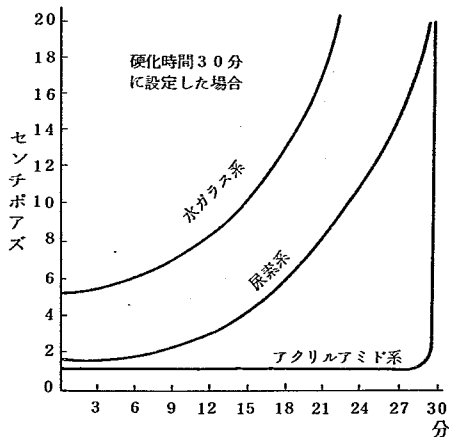


図-1 各種薬液の粘度変化

各種薬液が、その浸透性からみて、どの地盤に対してまで注入し得るかについては、一般に図-2の関係が知られている。これは室内試験から求めた注入可能範囲で、斜線部分は現場試験から求めた注入最適範囲を示したものである。この図からは、アクリルアミド系はシルト及び粘度の範囲まで注入し得ることになっている。

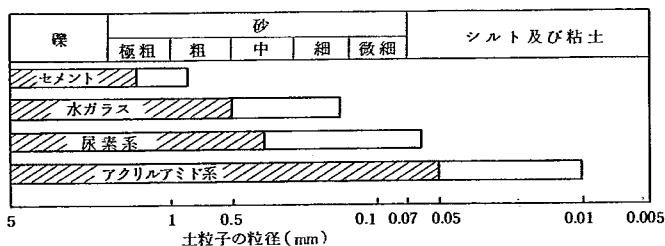


図-2 各種薬液の注入可能範囲

しかしながら、実用的にはアクリルアミド系と云えどもシルト及び粘土には必ずしも十分な浸透性があるとは云えない。そこで、このような地盤に対しては、実際には強制的な圧力注入を行い、地盤に対して均一に注入するのではなく、地盤の弱点部分に脈状に圧入し、同時に圧入による圧密効果を期待するような方法が取られている。このような注入方法では、薬液の粘度はほとんど関係なくなり、水ガラス系などの薬液がむしろ多く用いられている。

砂地盤に対しては、その強度改善、透水性の低下などのため、均一注入が必要とされることが多く、水ガラスよりも浸透性の良い尿素系あるいはアクリルアミド系が多く用いられている。

(2) 地盤の強化特性

薬液を地盤に注入して得られる団結物の強度は、薬液の最も重要な特性の1つである。各種薬液による団結物の強度の試験結果の1例を図-3に示す。水ガラス系薬液は、一般に強さも変形係数も小さいが、アクリルアミド系は、変形係数は同様に小さいが、大きな弾性を示し、強さが若干大きい。尿素系は、強さも変形係数もともに大きく、地盤の強化を目的とする注入に適していること

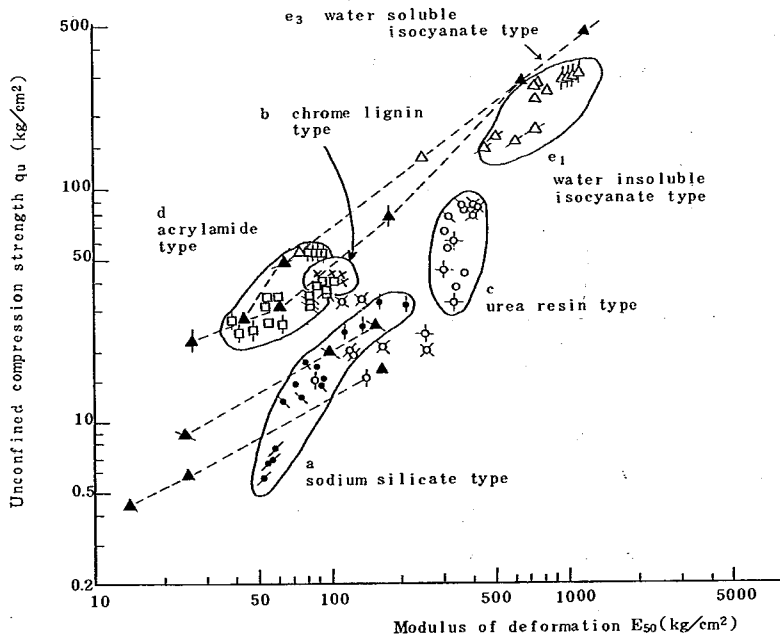


図-3 Strength of solidified sand

がわかる。ウレタン系は、濃度 100 % の原液注入によるときわめて強度の大きな団結物が得られるが、水溶性のもので水と配合すると濃度の低下とともに強度と変形係数が小さくなる。

(3) 地盤の透水性の低下

薬液の重要な使用目的の1つに透水性の地盤を不透水性に改良することがある。各種薬液を注入

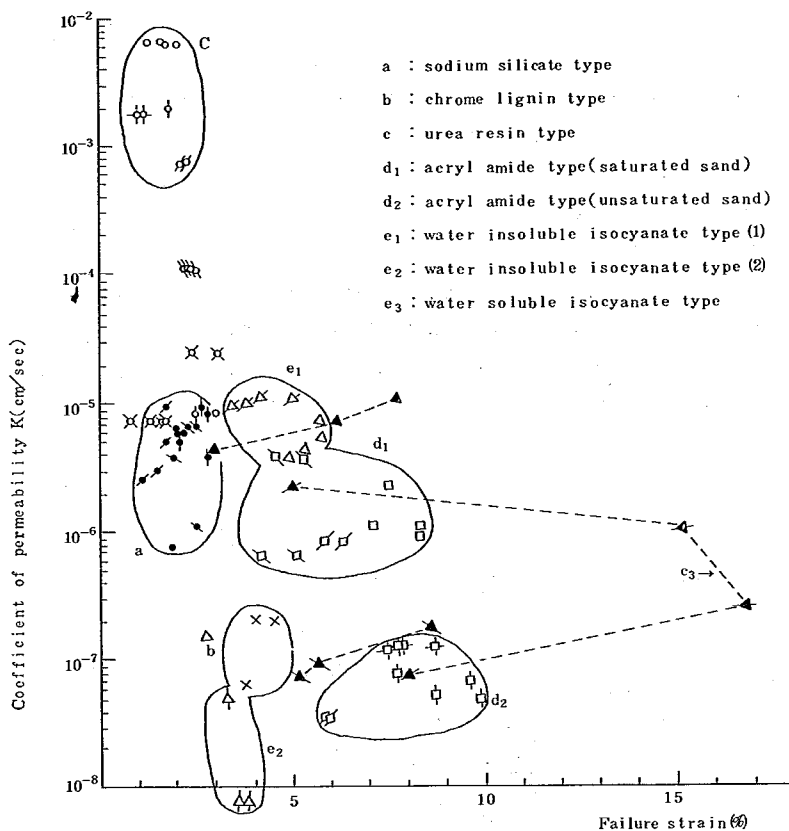


図-4 Permeability of solidified sand

したときの固結物の透水性を試験した結果の1例を図-4に示す。この結果からも明らかな通り、 10^{-7} cm/sec 程度以下の小さな値を与えるのはアクリルアミド系とウレタン系で、水ガラス系の場合は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec となっている。尿素系は 10^{-2} cm/sec 程度で透水性の改善は期待できない。

(4) 動水に対する止水性

地下水の流動を止めることは、薬液の重要な使用目的の1つである。動水の大きな地盤に注入して止水するためには、このような条件でも十分に固結できる固結性の優れたものでなければなら

1) 三木五三郎 "Chemical Soil Stabilization Recently Developed in Japan"
生産研究 Vol. 25, No. 8. (1973)

い。このような目的には一般にアクリルアミド系が優れたものとして使用され、特に地下水の流動のはげしい箇所では、水と直接反応するウレタン系が最適なものとして使用されてきた。

また、2種類以上の薬液を組み合わせて注入することもある。例えば水の流動の大きな最初の段階では水ガラス系（懸濁液型）を注入し、目づまり効果によって水の流動を減少させ、その次の段階としてアクリルアミド系などの薬液を使用して完全な止水をする方法もある。

3. 薬液と環境汚染

薬液による地下水等の環境汚染について、次の2つの原因が考えられる。

- (1) 注入時の未反応薬液の流出
- (2) 注入後の固結物の再溶出

注入された薬液が完全に反応し、その組成物がすべて不溶性のゲルに変化すれば、地下水等環境を汚染することはない。しかし、注入薬液の配合が不適當であったり、注入操作を誤ったり、あるいは注入地盤の化学的性質および地下水の流動状況によっては、注入薬液は完全には反応せず、未反応のまま流出することがある。福岡県粕屋郡新宮町の事故はこのような原因によるものであり、井戸に極めて近い位置に注入したため、注入したものの一部が未反応のまま井戸に流出した典型的な例である。

注入後、固結物が地下水等水と接したとき、固結物が完全に不溶性であれば、地下水等環境を汚染することはない。しかし、固結物が完全に不溶性ではない場合には、固結物の固結状態あるいは地下水の流動条件によっては、固結物からの再溶出による地下水等の汚染の可能性がある。実際の地盤中で、どのような固結物からどの程度の再溶出が生ずるかは、従来明らかでなく、現在、調査研究が進められている。

上記(1)あるいは(2)の原因で流出した薬液の組成物が、そのままの状態で流動していくことはなく、次のような地下水あるいは土壌との相互作用が考えられる。

- a) 地下水中での希釈、拡散
- b) 土壌とのイオン交換、吸着
- c) 土壌中の微生物による分解

したがって、流出あるいは溶出した地点で、問題となる程の量の組成物があっても、流動に伴って除染されることが期待される。しかし、このような土壌中での薬液の挙動は明らかでなく、現在、調査研究が進められている段階にある。

4. 薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針

(昭和49年7月10日 建設省)

第1章 総 則

1-1 目 的

この指針は、薬液注入工法による人の健康被害の発生と地下水等の汚染を防止するために必要な工法の選定、設計、施工及び水質の監視についての暫定的な指針を定めることを目的とする。

1-2 適用範囲

この指針は、薬液注入工法による建設工事に適用する。ただし、工事施工中緊急事態が発生し、応急措置として行うものについては適用しない。

1-3 用語の定義

この指針において、次に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

(1) 薬液注入工法

薬液を地盤に注入し、地盤の透水性を減少させ、又は地盤の強度を増加させる工法をいう。

(2) 薬 液

次に掲げる物質の一以上をその成分の一部に含有する液体をいう。

イ. けい酸ナトリウム

ロ. リグニン又はその誘導体

ハ. ポリイソシアネート

ニ. 尿素・ホルムアルデヒド初期縮合物

ホ. アクリルアミド

第2章 薬液注入工法の選定

2-1 薬液注入工法の採用

薬液注入工法の採用は、あらかじめ2-2に掲げる調査を行い、地盤の改良を行う必要がある箇所について他の工法の採用の適否を検討した結果、薬液注入工法によらなければ、工事現場の保安、地下埋設物の保護、周辺の家屋その他の工作物の保全及び周辺の地下水位の低下の防止が著しく困難であると認められる場合に限るものとする。

2-2 調 査

薬液注入工法の採用の決定にあたって行う調査は、次のとおりとする。

(1) 土質調査

土質調査は、次に定めるところに従って行うものとする。

イ) 原則として、施工面積1000平方メートルにつき1箇所、各箇所間の距離100メートルを超

えない範囲でボーリングを行い、各層の試料を採取して土の透水性、強さ等に関する物理的試験及び力学的試験による調査を行わなければならない。

(イ) 河川の付近、旧河床等局部的に土質の変化が予測される箇所については、(イ)に定める基準よりも密にボーリングを行わなければならない。

(ロ) (イ)、又は(イ)によりボーリングを行った各地点の間は、必要に応じサウンディング等によって補足調査を行い、その間の変化をは握するように努めなければならない。

(ハ) (イ)から(ロ)までにかかわらず、岩盤については、別途必要な調査を行うものとする。

(2) 地下埋設物調査

地下埋設物調査は、工事現場及びその周辺の地下埋設物の位置、規格、構造及び老朽度について、関係諸機関から資料を収集し、必要に応じつば堀により確認して行うものとする。

(3) 地下水位調査

地下水位調査は、工事現場及びその周辺の井戸等について、次の調査を行うものとする。

(イ) 井戸の位置、深さ、構造、使用目的及び使用状況

(ロ) 河川、湖沼、海域等の公共用水域及び飲用のための貯水池並びに養魚施設（以下「公共用水域等」という。）の位置、深さ、形状、構造、利用目的及び利用状況

2-3 使用できる薬液

薬液注入工法に使用する薬液は、当分の間水ガラス系の薬液（主剤がけい酸ナトリウムである薬液をいう。以下同じ。）で劇物又は弗素化合物を含まないものに限るものとする。

第3章 設計及び施工

3-1 設計及び施工に関する基本的事項

薬液注入工法による工事の設計及び施工については、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等において、別表-1の水質基準が維持されるよう、当該地域地の地盤の性質、地下水の状況及び公共用水等の状況に応じ適切なものとしなければならない。

3-2 現場注入試験

薬液注入工事の施工にあたっては、あらかじめ、注入計画地盤又はこれと同等の地盤において設計どおりの薬液の注入が行われるか否かについて、調査を行うものとする。

3-3 注入にあたっての措置

- (1) 薬液の注入にあたっては、薬液が十分混合するように必要な措置を講じなければならない。
- (2) 薬液の注入作業中は注入圧力と注入量を常時監視し、異常な変化を生じた場合は、直ちに注入を中止し、その原因を調査して、適切な措置を講じなければならない。
- (3) 地下埋設物に近接して薬液の注入を行う場合においては、当該地下埋設物に沿って薬液が流出する事態を防止するよう必要な措置を講じなければならない。

3-4 労働災害の発生の防止

薬液注入工事及び薬液注入箇所の掘削工事の施工にあたっては、労働安全衛生法その他の法令の

定めるところに従い、安全教育の徹底、保護具の着用の励行、換気の徹底等労働災害の発生の防止に努めなければならない。

3-5 薬液の保管

薬液の保管は、薬液の流出、盗難等の事態が生じないよう厳正に行わなければならない。

3-6 排水等の処理

- (1) 注入機器の洗浄水、薬液注入箇所からの湧水等の排水を公共用水域へ排出する場合においては、その水質は、別表-2の基準に適合するものでなければならない。
- (2) (1)の排水の排出に伴い排水施設に発生した泥土は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律その他の法令」の定めるところに従い適切に処分しなければならない。

3-7 残土及び残材の処分方法

- (1) 薬液を注入した地盤から発生する掘削残土の処分にあたっては、地下水及び公共用水域等を汚染することのないよう必要な措置を講じなければならない。
- (2) 残材の処理にあたっては、人の健康被害が発生することのないよう措置しなければならない。

第4章 地下水等の水質の監視

4-1 地下水等の水質の監視

- (1) 事業主体は、薬液の注入による地下水及び公共用水域等の水質の汚濁を防止するため、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等の水質の汚濁の状況を監視しなければならない。
- (2) 水質の監視は、4-2に掲げる地点で採水し、別表-1に掲げる検査項目について同表に掲げる検査方法により検査を行い、その測定値が同表に掲げる水質基準に適合しているか否かを判定することにより行うものとする。
- (3) (2)の検査は、公的機関又はこれと同等の能力及び信用を有する機関において行うものとする。

4-2 採水地点

採水地点は、次の各号に掲げるところにより選定するものとする。

- (1) 地下水については、薬液注入箇所及びその周辺の地域の地形及び地盤の状況、地下水の流向等に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。この場合において、注入箇所からおおむね10メートル以内に少なくとも数箇所の採水地点を設けなければならない。

なお、採水は、観測井を設けて行うものとし、状況に応じ既存の井戸を利用しても差し支えない。

- (2) 公共用水域等については、当該水域の状況に応じ、監視の目的を達成するために必要な箇所について選定するものとする。

4-3 採水回数

採水回数は、次の各号に定めるところによるものとする。

- (1) 工事着手前 1回

(2) 工事中 毎日1回以上

- (3) 工事終了後 (イ) 2週間を経過するまで毎日1回以上（当該地域における地下水の状況に著しい変化がないと認められる場合で、調査回数を減じても監視の目的が十分に達成されると判断されるときは、週1回以上）
 (ロ) 2週間経過後半年を経過するまでの間にあっては、月2回以上。

4-4 監視の結果講ずべき措置

監視の結果、水質の測定値が別表-1に掲げる水質基準に適合していない場合又は、そのおそれのある場合には、直ちに工事を中止し、必要な措置をとらなければならない。

別表-1 水 質 基 準

薬 液 の 種 類		検 査 項 目	検 ・ 査 ・ 方 法	水 質 基 準
水 ガ ラ ス 系	有機物を含まないもの	水素イオン濃度	水質基準に関する省令（昭和41年厚生省令第11号、以下「厚生省令」という。）又は日本工業規格 K0102 の8に定める方法。	PH値8.6以下（工事直前の測定値が8.6を超えるときは、当該測定値以下）であること。
	有機物を含むもの	水素イオン濃度	同 上	同 上
		過マンガン酸カリウム消費量	厚生省令に定める方法。	10 ppm 以下（工事直前の測定値が10 ppmを超えるときは、当該測定値以下）であること。

別表-2 排 水 基 準

薬 液 の 種 類		検 査 項 目	検 査 方 法	排 水 基 準
水 ガ ラ ス 系	有機物を含まないもの	水系イオン濃度	日本工業規格 K0102 の 8 に定める方法。	排水基準を定める総理府令（昭和46年総理府令第35号）に定める一般基準に適合すること。
	有機物を含むもの	水素イオン濃度	同 上	同 上
		生物学的化学的酸素要求量 又は化学的酸素要求量	日本工業規格 K0102 の 16 又は 13 に定める方法。	排水基準を定める総理府令に定める一般基準に適合すること。

2. 関東地域の地下水調査について

関東地方建設局 企 画 課

ま え が き

地下水は、重要な水資源として水質の良さ、安定性、分布地域の広範さ等多くの有利性をもっているため、古くから各地域で多くの用途に利用されてきており、昭和以前までは量的に利用が少なく、自然の涵養機構とバランスをとりながら利用されてきた。

ところが昭和初期ごろから東京、大阪等場所によっては水位低下、自噴の停止、地盤沈下等の問題が生じはじめ、特に大戦後からは急速に問題が大きくなり現在では、各地で水位低下、地盤沈下、塩水混入、水質汚染等地下水の過剰揚水による弊害が発生しており地域によっては全面禁止の措置をとらざるを得ない状況になっている。

建設省において公表した広域利水調査第二次報告では、南関東地域において昭和60年では、約20億 m^3 /年の供給不足を生じ、このうち地下水規制に伴う河川水への転換量は約13億 m^3 /年に及び河川水源を大きく圧迫する見込みである。

しかしながら地下水は水温、水質、安定性等河川水にはない利点があり、又地下水貯留池である帯水層は無限に近い大きさがあり、他の地下資源と異なり人工的な補給が可能であるという特性をもっている。したがって現在行なわれているように単に規制の方向に進むだけでなく、地下水の特性を生かした、広域的、長期的な利用計画に基づいた地下水利用をすることが水資源の有効利用の面からも、国土保全の面からも重要であろう。

これらのことをふまえ建設省としては、以下の立場から地下水の問題に取り組むものである。

- ① 地下水は、物理的にも経済的にも河川水と相補う関係にあるので、河川水の管理を担当している建設省が一元的に管理することが適当である。
- ② 地下水の採取を規制する場合、最終的には代替水としての河川水の確保が必要となり、また、地盤沈下の重要な部分は、建設省所管の事業であるので、いずれにしても建設省が大部分の役割を果たさなければならない。

I 関東地域地下水の現状

1) 地下水利用量の実態

建設省がとりまとめた「広域利水調査第2次報告書」によると、関東地域における昭和45年の水の総使用量は128.44億 m^3 で、そのうち地下水の使用量は39.33億 m^3 を占めている。用途別には、農業用水が最も多く17.40億 m^3 である。

又、工業用水、生活用水だけを見ても、東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県の南関東の地下水使用量が多く、これに農水を加えても、南関東の地下水使用量は北関東に比べて多い。(表-1)

揚水量の分布状況を把握するためには、相対的傾向だけでなく単位面積当りの揚水量や単位人口当りの揚水量という密度で把握する必要がある。

そこで総揚水量を面積で除して揚水高を求めたのが図-1である。

これらの分布状況をみると、総揚水高1mm/dayを越す市町村は東京、埼玉が中心であり、工業用水、生活用水の個別にみても同様の傾向があり、特に埼玉各市での生活用水量が多い点に特色がある。埼玉県八潮市の5.6mm/dayが最大である。

一説によると関東平野部における不圧地下水の涵養量は年間平均で、湧水流量の流出高にほぼ等しい値の1mm/day程度と言われており、深層の被圧地下水の涵養源も結局は不圧地下水であることを考えると、1mm/day以上の揚水をしている地域は地下に貯留されている地下水を食いつぶしていることになると思われる。

表-1 地下水使用量(昭和45年)

単位: 億 m^3 /年

地 域		使 用 量 (上・工・農)
南 関 東	東 京	5.43
	神 奈 川	4.42
	埼 玉	7.78
	千 葉	6.79
小 計		24.42
北 関 東	茨 城	5.24
	栃 木	4.96
	群 馬	3.32
	山 梨	1.39
小 計		14.91
合 計		39.33

資料: 広域利水調査第2次報告書より

2) 地下水位低下

地下水揚水に伴う水位低下の状況を概略とらえるため、ボーリング資料(首都圏地下水資料台帳、全国地下水台帳、都県井戸資料等)からさく井時年月日と、さく井時の自然水位を抽出し、これを市町村別に収録し、単純に平均値を出し、昭和25年と45年時点の差を図-2に示した。

この図から水頭低下の著しい地域が読みとれ、図-1と比較対照することによって水頭低下の著しい地域と揚水高の密度分布の大なる地域とほぼ一致していることがわかる。

3) 地下水の賦存量

関東地方の地下水賦存量について山本荘毅教授は試算を行ない、5,000億~6,000億 m^3 の地下水

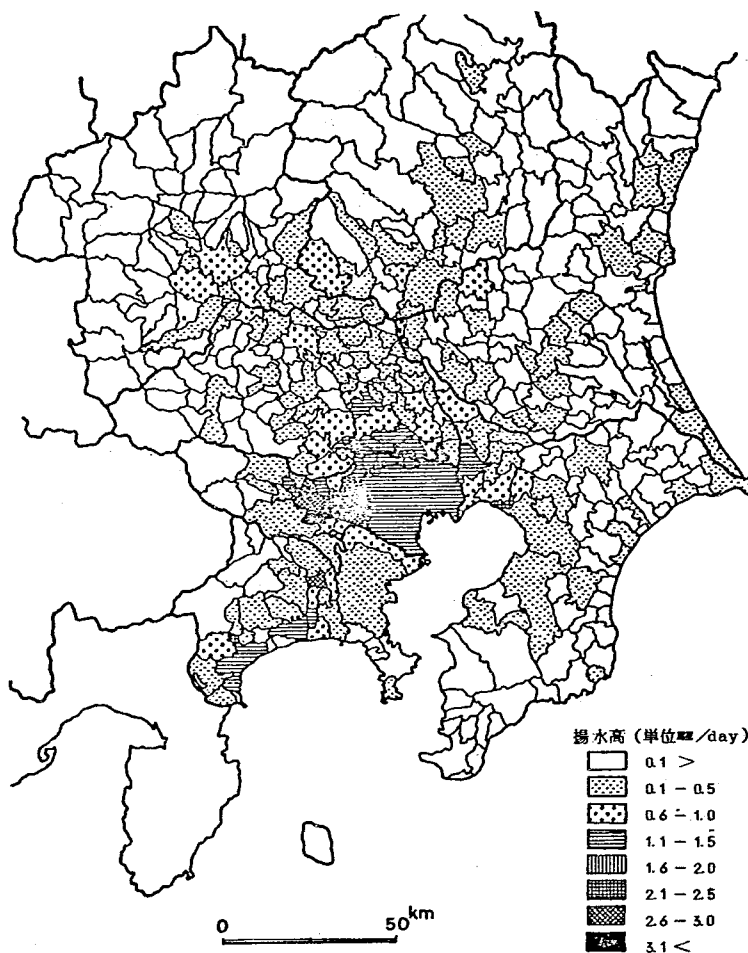


図-1 関東地方における地下水揚水高の分布 S45年¹⁾

が存在するとの結果を与えている。

方法としては、関東全域に10 km 間隔の方眼をかけ、各方眼内の井戸の最大深度を地図にプロットして、50 m 間隔の等深線を結んで、井戸の最大深度分布図を作成した。この図の等深線によって関東地方の使用帯水層の底が示されていると仮定し、その体積を計算し、地層の間隙率30%を体積に割って算定したものである。

前述の年間利用量約39億 m^3 に対して賦存量は140倍もあることになるが、地盤沈下、塩水混入等の被害が進行しつつあることを考えると、揚水して使用できる地下水には量的に限度があるこ

1) 「関東地域地下水調査報告書」S493 関東地建企画部企画課

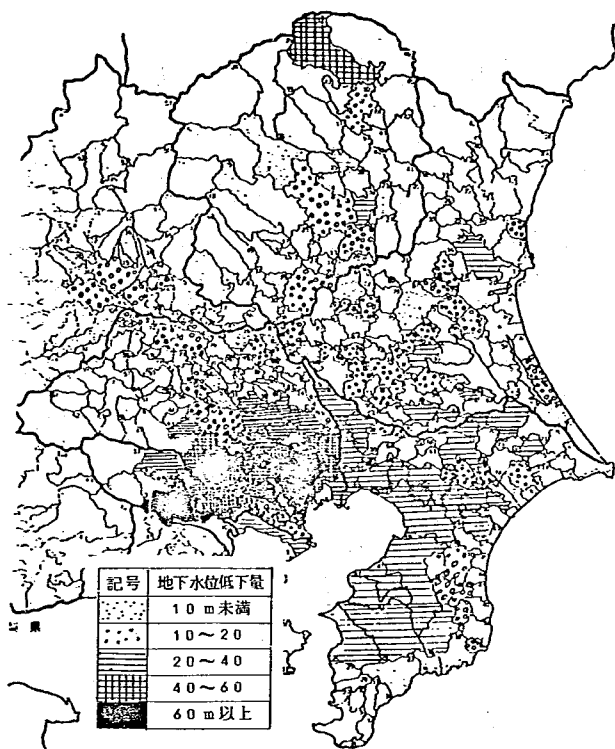


図-2 地下水位低下の状況¹⁾

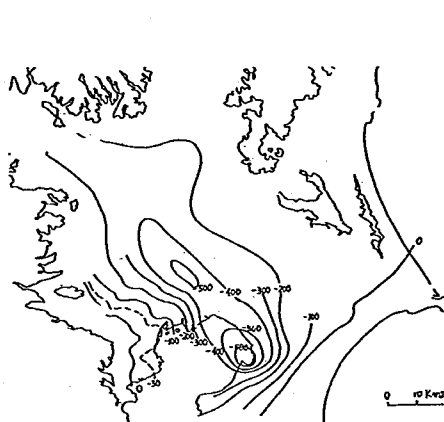
とは言うまでもない。

図-3は関東地方の主要帯水層となっている成田層群の基底の等深線図であり、図-4は、関東地方における井戸の最大深度分布図である。この2つの図と比べてみると図-3の舟底盆状地域と図-4の基底最深部がかなりよく一致していることがわかる。このことは、何らの規制も行わずに地下水利用を放置しておく、利用者は地下水採取可能な限界まで井戸を深めていくであろうことを暗示している。

4) 地盤沈下について

昭和49年9月現在での地盤沈下地域は全国で19地域、21都道府県に達し、さらに地盤沈下の兆候のある地域も含めると39地域、32都道府県に及んでいる。

34年の伊勢湾台風後も激しい地盤沈下の続いている濃尾平野では、47年以降年間最大20.6cm沈下しており、また首都圏においては、これまでの慢性沈下地帯だった京浜、京葉、江東など臨海部から沈下がしだいに内陸部に進んでおり、東京都の多摩地区から埼玉南部では年間(S.48.1~S



資料：関東地域地下水調査報告書1(S41.5)
関東地奥 全図計



図-3 成田層群基底の構造等高線図¹⁾ 図-4 関東地方における井戸の最大深度分布図¹⁾

資料：建設省調査(49.9 現在)

凡例 ○ 地盤沈下の恐れのある地域
● 地盤沈下地域(太子)

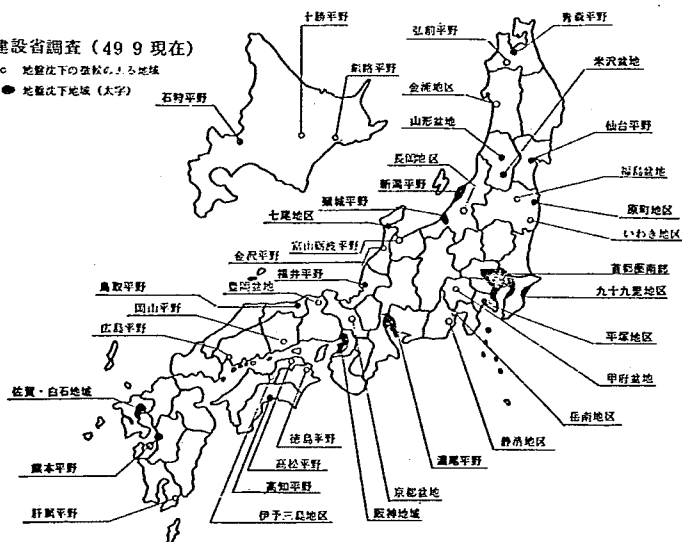


図-5 地盤沈下の概況²⁾

49.1) に 25.2 cm の沈下を起している地域がある。

表-3 は全国の地盤沈下地域の状況を示したものである。

2) 「地下水問題の実態と課題」(S50.3) 建設省河川局

表-2 全国における地盤沈下地域及沈下量一覧表

沈下地域	関係都道府県名	測定期間	年平均の最大沈下量 cm
○ 地盤沈下地域			
19 地域	21 都道府県		
石狩平野	北海道	S 29 ~ S 43	0.7
青森平野	青森	48.5 ~ 49.5	3.7
山形盆地	山形	46 ~ 48	9.5
米沢盆地	山形	42 ~ 49	約4
仙台平地	宮城	42.11 ~ 48.5	1.7
原町地区	福島	測量中	
首都圏南部	東京, 埼玉, 千葉, 神奈川	48.1 ~ 49.1	25.2
十九里地区	千葉	48.1 ~ 49.1	10.9
平塚地区	神奈川	48.1 ~ 49.1	7.2
新潟平野	新潟	48.9 ~ 49.9	1.8
頸城平野	新潟	47.9 ~ 48.9	2.9
七尾地区	石川	47.10 ~ 49.9	2.9
福井平野	福井	41 ~ 46	3.6
濃尾平野	岐阜, 愛知, 三重	47.11 ~ 48.11	20.6
阪神地域	大阪, 兵庫	48.10 ~ 49.10	7.9
鳥取平野	鳥取	40.12 ~ 45.10	3.0
高知平野	高知	39 ~ 45	1.0
佐賀白石地域	佐賀	48.2 ~ 49.2	10.0
熊本平野	熊本	37 ~ 44	0.6
○ 地盤沈下徴候地域			
20 地域	17 都道府県		
釧路平野	北海道	28.7 ~ 44.8	0.8
十勝平野	北海道	28 ~ 44	0.7
弘前平野	青森	13 ~ 43	0.3
※金浦地区	秋田	41 ~ 49	5.3
※いわき地区	福島	42.10 ~ 48.10	1.3
福島盆地	福島	29 ~ 42	0.8
長岡地区	新潟	48.9 ~ 49.9	2.4
富山砺波平野	富山	48.9 ~ 49.9	1.4
金沢平野	石川	24 ~ 41	0.3
※甲府盆地	山梨	40.11 ~ 47.7	1.4
静岡南地区	静岡	25 ~ 42	0.4
静岡清地区	静岡	25 ~ 42	0.4
京都盆地	京都	40.12 ~ 46.12	1.0
豊岡地区	兵庫	40 ~ 46	0.9
岡山平野	岡山	39.12 ~ 46.3	1.9
広島平野	広島	46 ~ 48	4.1
徳島平野	徳島	39 ~ 45	0.6
高松平野	香川	39 ~ 45	0.6
伊予三島	愛媛	39 ~ 45	0.9
肝属平野	鹿児島	49.1	

※の地域は、過去の測量成果から地盤沈下地域とした方が望ましいかも知れない。

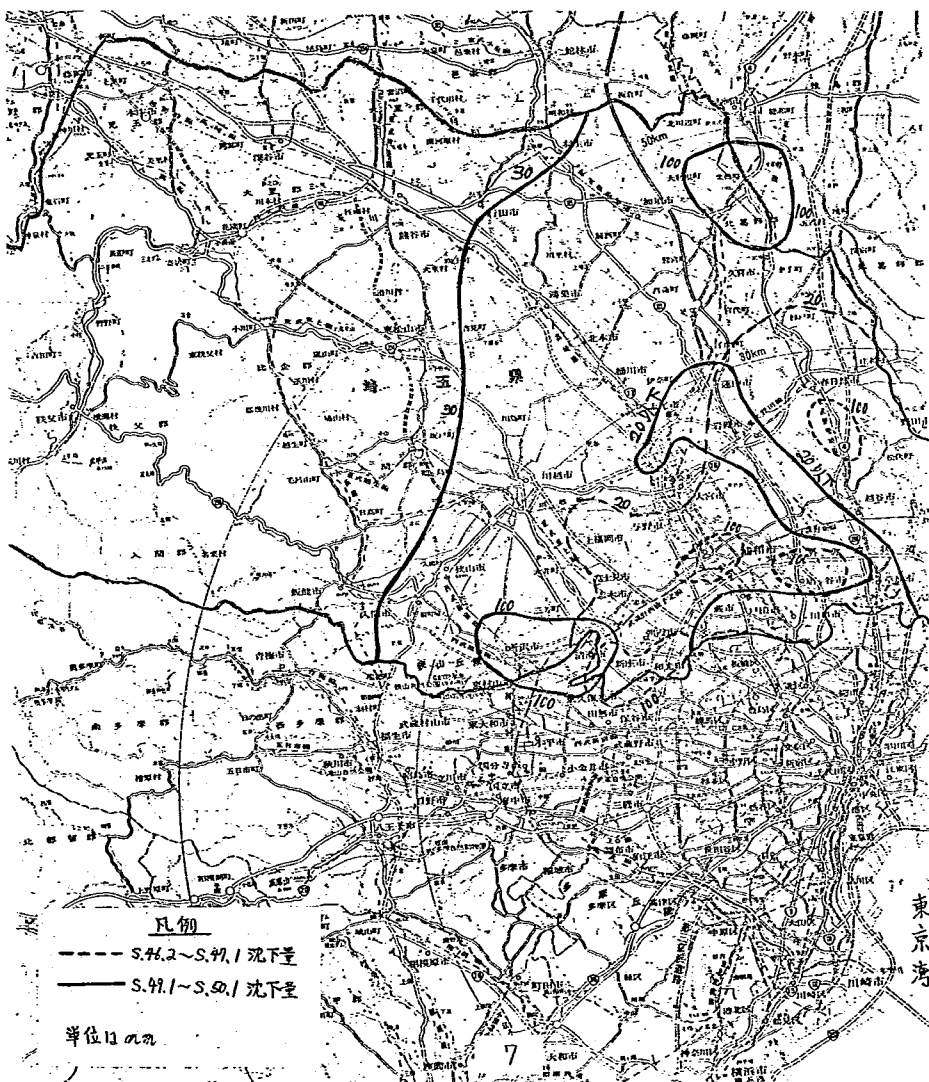
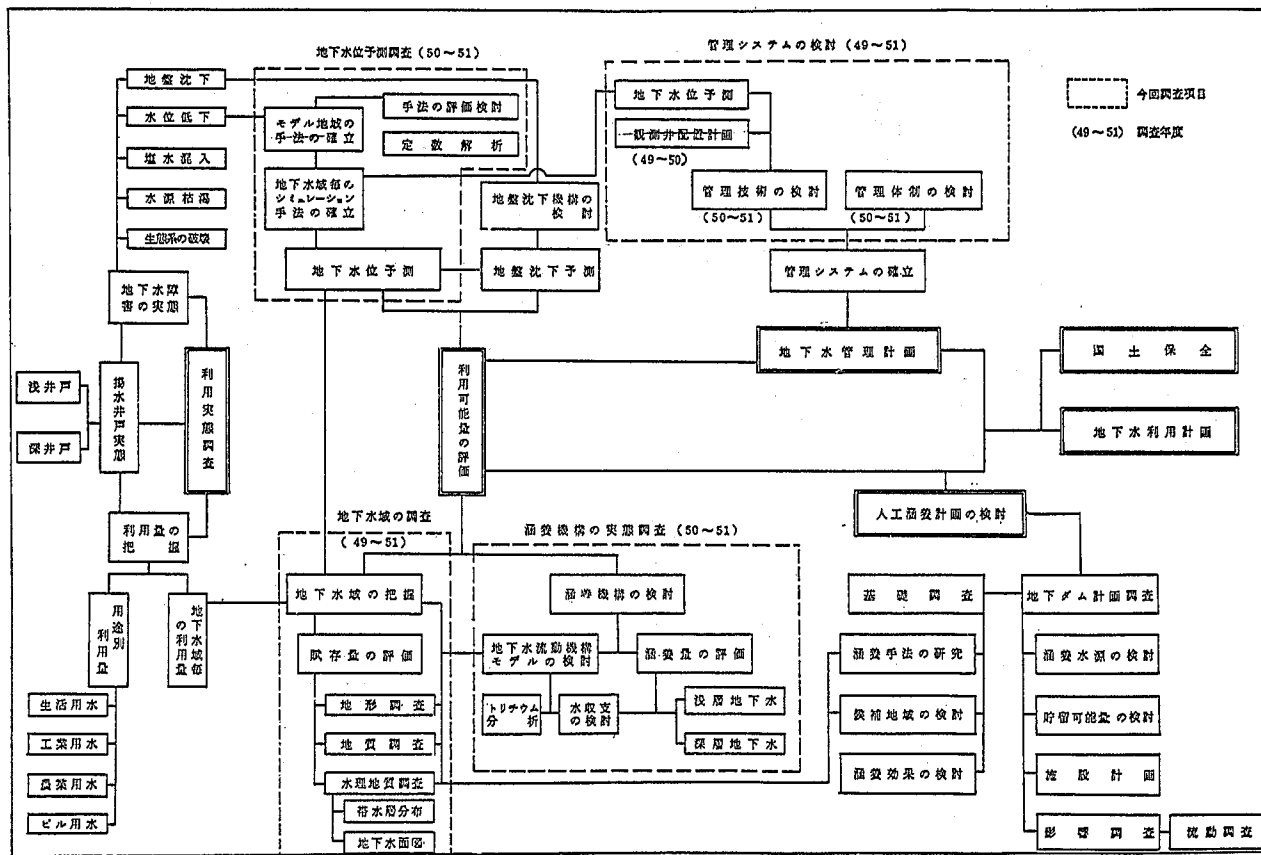


図-6 埼玉県における地盤沈下地域の移動

II 関東地域地下水調査



1) 目 的

本調査は、関東地域を対象として地下水の水理機構を明らかにし、地域特性を考慮した地下水の適正利用計画及び管理計画等を検討するための資料とするものである。

2) 調査内容

関東平野地域には通産省、農林省、各地方自治体が各々作成した水理地質図、あるいは個人の研究成果として発表されているものなどがあるが、我々が目的としている「地下水の適正利用計画と管理計画」に資するものとしては、かならずしも充分とはいえない現状である。しかしこれらを補足したさらに新たな知見を加えるためには従来に倍加する調査・研究を行なう必要があり、時間的にも経費上からも、かなりの量をこれらに要しなければならず、また、水資源の逼迫、地盤沈下対策等、施策は急務を要している。

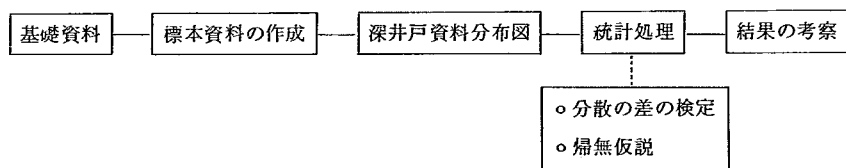
これらにかんがみ、ここでは当面既存資料を中心に検討をこころみた。また、関東平野中央部とその周辺では資料の多寡、河川水と地下水との関連、涵養域としての差等、著しく異なるので調査にあたっては関東平野中央部、関東平野周辺部（49年度は多摩地区を対象）に分けて検討した。

(1) 関東平野中央部における地下水域等について

1) 調査内容

関東平野のうち中央部を対象とし地下水域を把握することに重点をおいた。なお、ここでは「地下水域」の定義として“同種の帯水層から取水していると思われる一連の集合”という程度に解し、地下水の管理計画上、一つの管理区域とするに適当な地域をいうものとした。

2) 調査フロー



基礎資料

関東地域深・浅井戸資料（建設省関東地方建設局企画部、1974）の深井戸資料その1を基礎とした。この資料は市区町村別にストレーナーの位置を標高に換算してあることで、ただちに水理地質学的な意味での採水層の対比が可能のように配慮されている。また、関東地域深・浅井戸資料のうち、3.深井戸分布図を基礎としてさく井年代別井戸分布図を作成した。

標本資料の作成

基礎資料による各市区町村別の資料集団から母集団を導いた。

市区町村別に整理された深井戸資料について、ストレーナーの位置の明らかにされているものに

ついて、標高差2mごとに仮想平面を作成しこの平面と交わるストレーナーの点の個数をその標高における資料の個数とし、一つの市区町村の全ストレーナーの分布範囲について同様な操作も行い市区町村の全資料個数を個々の母集団として扱ったものである。

さらに、井戸の掘削年代についての配慮も行ない、市区町村ごとに昭和20年代以前に掘削されたもの、昭和30年代に掘削されたもの、昭和40年以後に掘削されたもの、ならびにすべての井戸について処理を行った。(ただし、地下水域の区分については、資料の関係から年代毎に行なわず total についてのみ区分した。)

深井戸資料分布図

採用した深井戸資料の地理的分布図を、市区町村境界の記入された20万分の1白図にプロットした。この図は、昭和20年代以前さく井されたもの、昭和30年代にさく井されたもの、昭和40年以降さく井されたもの、掘削年代を区分しない井戸分布図、の4種類から成っており、さく井年代を区分しない井戸分布図を地下水域区分の際利用した。

統計処理

演算は、市区町村(母集団)ごとに、電算を用いて下記の計算を行なった。

試料の標高を示す値 x_{ij} について

$$\left(\begin{array}{ll} i = 1, 2, \dots, n & n : \text{変数ごとの標高を示す値の数} \\ j = 1, 2, \dots, m & m : \text{変数の数} \end{array} \right)$$

合計 (SUM)

$$SUM_j = \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

平均 (MEAN VALUE)

$$AV_j = \bar{x}_j = \frac{SUM_j}{n}$$

変動 (SUM OF SQUARES)

$$S_j = \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

不偏分散 (MEAN SQUARE)

$$V_j = \frac{S_j}{n-1}$$

標準偏差 (STANDARD DEVIATION)

$$SD_j = \sqrt{V_j}$$

最大値 (MAXIMUM VALUE)

$$MAX_j = \max (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})$$

最小値 (MINIMUM VALUE)

$$MIN_j = \min (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})$$

範囲 (RANGE)

$$R_j = MAX_j - MIN_j$$

中央値 (MEDIAN)

分散の差の検定

各市区町村ごとの資料分布状態を注意し、その重心的な部分を各市区町村（母集団）を代表する位置と定め、丸印を付し、隣接する母集団との間に三角形によるネットを作成し、各辺の中点を結んで得られる多角形領域を導いた。各母集団における試料の分散状況は、換言すれば、ストレーナーの切られている（設けられている、採水の行なわれている）位置の分布状況を示すことになるから、多角形領域間における分散の差の検定を行えば、その状況の相異を知ることができる。

帰無仮説

隣り合う母集団間に、分散については“差は無い”との仮説を樹てることとする。換言すれば、隣り合う市区町村との間に、ストレーナーの切られている位置のバラツキ状況については、違いが無い（同一視できる）とみる仮説を考えることである。なお、ここではバラツキ状況について考えるのであって、平均値（ストレーナーの平均深度………標高）、最大値（最高値）、最小値（最低値）等の数値（位置）そのものの検定ではない。

仮説の検定にあたっては、あらかじめ、0.5%、1%、5%の危険率を定め、5%をこえるものは、“有意でない”とした。0.5%、1%、5%の有意水準に該当するものは、それぞれ、0.5%、1%、5%の危険率で有意とし、仮説は棄却されるものとした。

3) 調査結果及び今後の利用法

仮説の検定結果を多角形領域を示す図中の多角形の辺に相当する部分に所定の方法で示したものが図-7である。有意でないとしたものは辺を図示せず、0.5%、1%、5%の順で線の太さ等で強調した。この図から、地下水の管理計画に、一つの管理区域とするに適当な地域が浮きぼりにされてくるものと思われる。ただし、この地下水域区分は、統計上の分散のみをもとにして定めたものであって、実施にあたっては、地質的な面からと、位置を示す数値的な面についても検討する必要があるだろう。

なお、観測井の配置としては、地下水域に1ヶ所以上必要である。数量に制約がある場合は、①他機関との調整を行なったうえ、②試料数の多い地下水域から順に観測井を配置することが、管理上からみた場合、効果的であろう。

表-3 計算の一例

市区町村 コード	市区町村名	さく井年代	標本 試料数	平均値(標高)	不偏分散 $V_j = S_j^2 / n_j - 1$	標準偏差 $\sigma_2 = \sqrt{V_j}$	最高値 Max_j	最低値 Min_j	範囲 $Range = Max_j - Min_j$	中央値 $Median$
		昭 和		m			m	m	m	m
12201	千葉市	20年代以前	94	-14338	20460.2	45.233	-12	-196	184	-157.0
		30年代	893	-12321	40255.8	63.447	0	-264	264	-128.0
		40年代	631	-1287.3	4515.76	67.199	24	-284	308	-120.0
		合 計	1618	-1265.4	4122.19	64.204	24	-284	308	-126.0
12202	銚子市	20年代以前	86	-515.8	388.99	19.723	-16	-92	76	-50.0
		30年代	45	-56.18	257.60	16.050	-20	-84	64	-56.0
		40年代	21	-460.0	154.00	12.409	-26	-66	40	-46.0
		合 計	152	-521.7	324.71	18.019	-16	-92	76	-52.0
12203	市川市	20年代以前	24	-630.8	495.99	22.271	-14	-100	86	-60.0
		30年代	190	-720.8	580.86	24.101	-14	-148	134	-68.0
		40年代	55	-88.11	378.43	19.453	-58	-128	70	-90.0
		合 計	269	-745.6	582.27	24.130	-14	-148	134	-70.0
12204	船橋市	20年代以前	82	-301.7	419.18	20.474	8	-70	78	-30.0
		30年代	527	-720.2	1124.13	33.528	2	-180	182	-68.0
		40年代	234	-1228.0	1779.57	42.185	-48	-196	148	-124.0
		合 計	843	-820.4	2021.63	44.963	8	-196	204	-80.0
12205	館山市	30年代	51	-367.5	1043.67	32.306	6	-104	110	-32.0
		40年代	86	-475.6	975.47	31.233	-4	-118	114	-36.0
		合 計	137	-435.3	1020.90	31.952	6	-118	124	-34.0
12206	木更津市	30年代	63	-720.6	1035.09	32.173	-8	-128	120	-82.0
		40年代	478	-563.7	969.86	31.143	10	-132	142	-50.0
		合 計	541	-582.0	1000.95	31.638	10	-132	142	-54.0
12207	松戸市	20年代以前	6	-230.0	158.00	12.570	-12	-46	34	-20.0
		30年代	405	-691.5	1265.81	35.578	22	-148	170	-70.0
		40年代	268	-849.0	1427.24	37.779	-20	-186	166	-76.0
		合 計	679	-749.6	1400.55	37.424	22	-186	208	-72.0

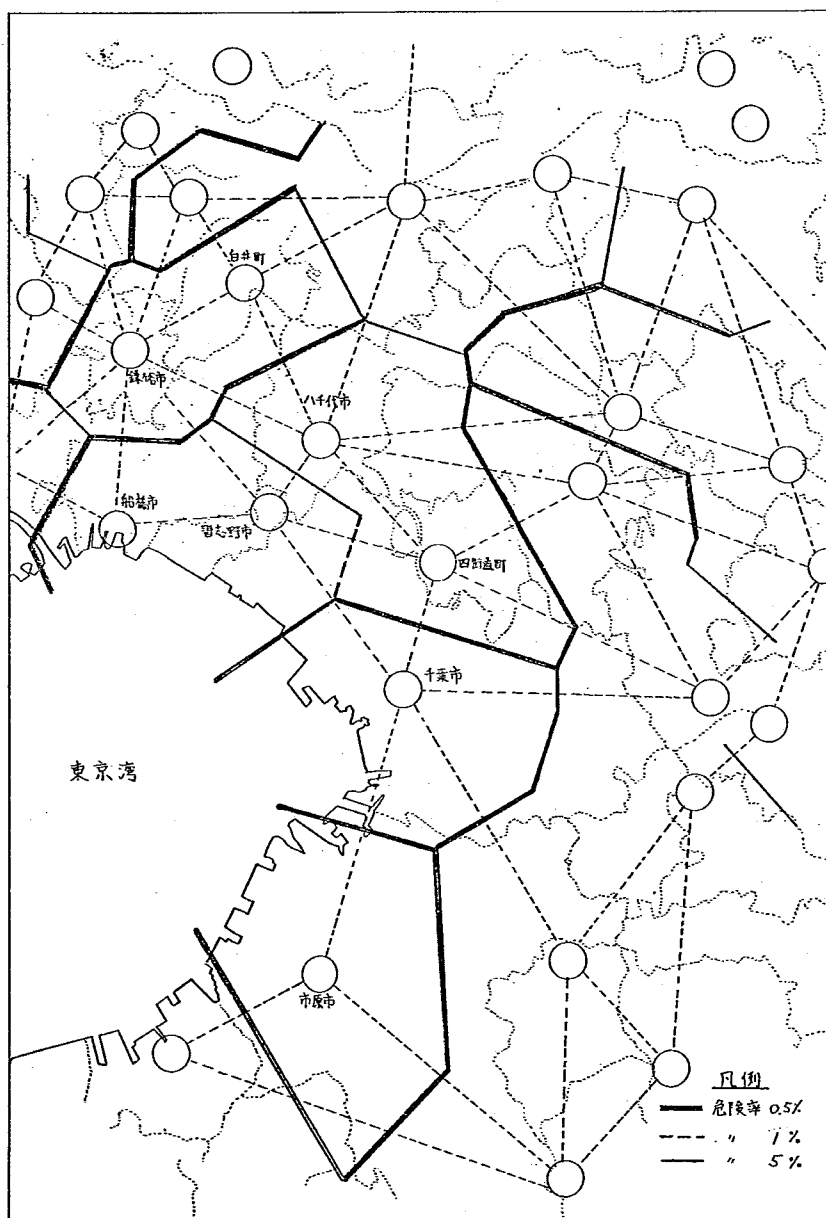


図-7 分散の検定による地下水区分

(2) 関東地域周辺部における地下水域等について

1) 調査内容

従来あまり調査されていなかった関東平野周辺地域の水理地質構造を把握し、地下水の自然涵養機構、とりわけ河川との関係を明らかにし、地下水を含めた河川管理の問題、地下水の汚染経路、人工涵養地点の選定などの問題を検討しようとするものである。

49年度は、これらの目的を達成するために必要な調査項目と、その調査方法ならびに整理方法の検討を多摩地区、武蔵野台地（図-8）をモデルとして行なった。

2) 調査フロー

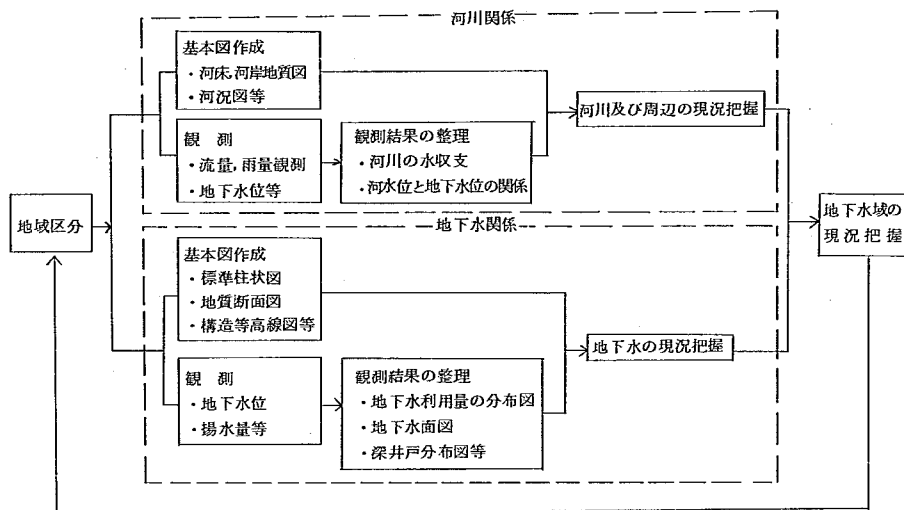


図-8 に示した地域区分は資料整理、野外調査の遂行上、主に地形地質から判断して作成したもので最終的には、フローにも示したようにフィードバック修正すべきものである。

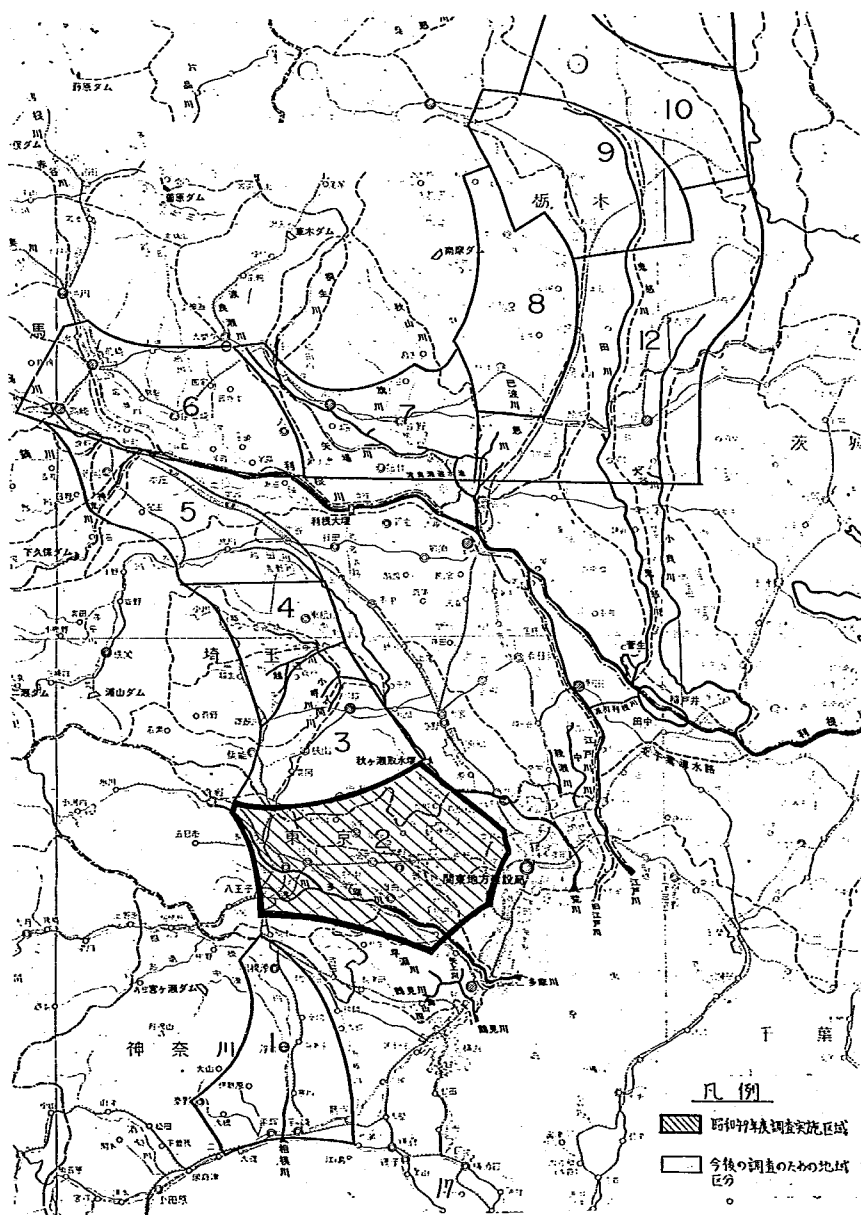


図-8 関東地域周辺部地域区分図

3) 調査結果

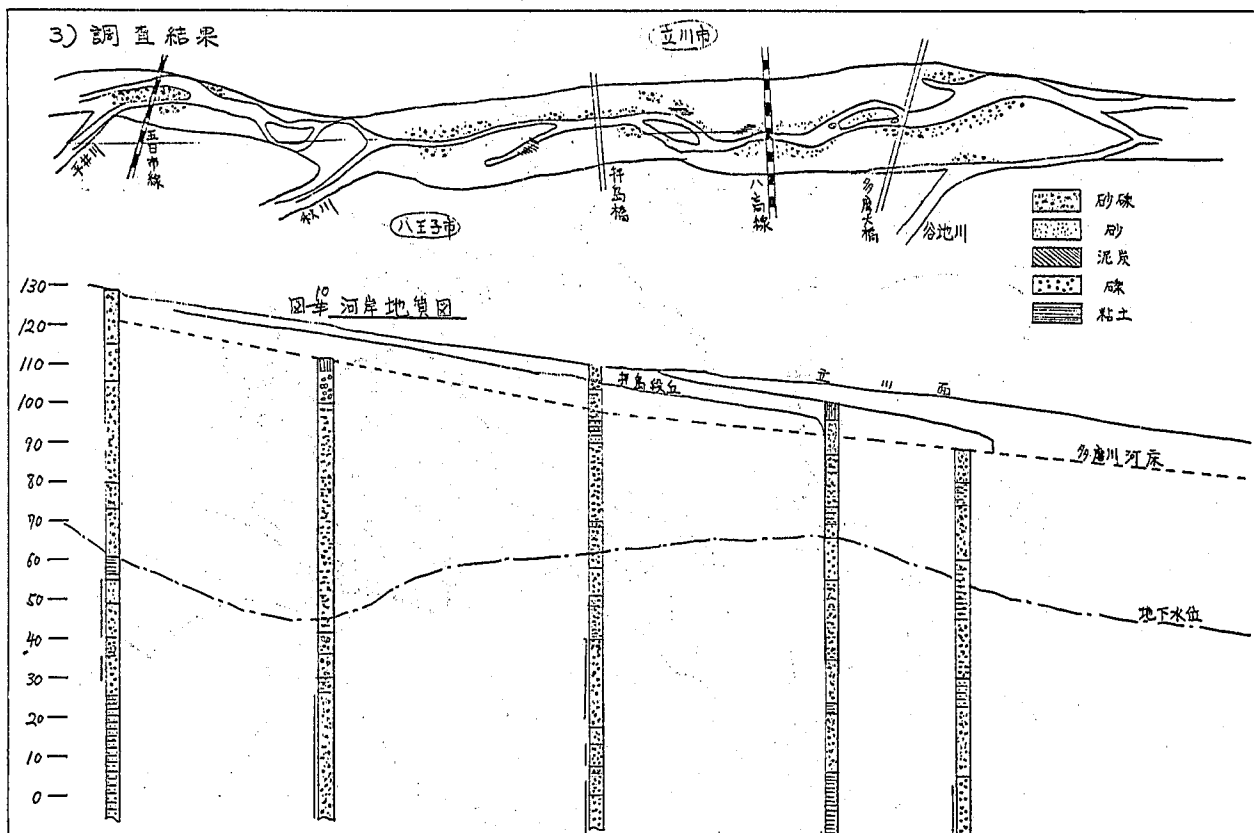


図-9 河床地質図

III 地下水の管理

1) 地下水管理の必要性

地下水は、河川水、湖沼水などに比べて需要地点において比較的容易に取水できること、安価であること、水質がよく季節的に水量、水温が安定していること等の理由により各種の用途のために広汎な利用がなされてきた。

この安易に利用できる地下水の採取が急激かつ無秩序に増加し、自然の水収支バランスを失なわせた結果として、全国各地で地盤沈下、地下水位の低下、地下水の塩水混入等の障害をもたらしている。このような問題に対し、現に多額の社会的負担により、あるいは当事者間の損害賠償等の形で処理がなされているが、問題発生未然防止ないし抜本的な解決のためにはなお程遠いものがある。

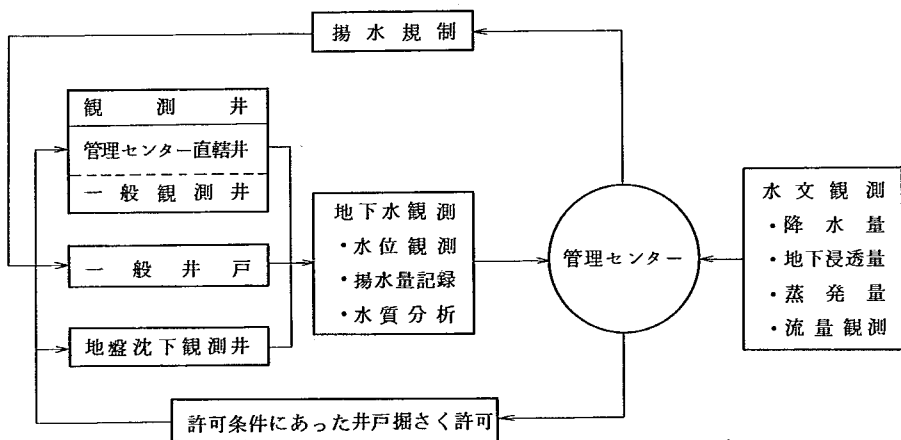
以上のことから地下水が水の循環の上からも、また、社会経済的な意味でも河川と相補う貴重な水資源であること、かつ国土の重要な構成要素であることを十分認識した上で、国土保全の趣旨を含めての地下水の保全と、その適正利用を図るための地下水管理が必要となる。

2) モニタリングシステムの整備

地下水の適正な利用をはかるためには、適正場所に観測井を設置し、地下水位の変動、水質を常時把握すると同時に、水文観測などにより水循環に関する情報を収集し、これらを地下水の揚水規制など地下水の管理行政に反映できるモニタリングシステムを整備することが必要である。

モニタリングシステムの一案としては、次のフローチャートのようなものが考えられる。

地下水管理モニタリングシステム（案）



3. 東北地方のダムに関する2,3の問題点

東北地方建設局 河 川 部
建設専門官 市 川 慧

1. 問題点の所在

東北地方では全国に比較してダム建設が盛んに行われている。東北地建直轄では建設中のもの6ダム、実調中のもの2ダムの合計8ダム、補助ダムでは建設中のもの17ダム、実調中のもの8ダムの合計25ダムの多きにのぼっており、そのうちのほとんどにダム基礎あるいは貯水池内に地質に由来する問題点を有している。東北地方の地質は大きくみれば、白河-盛岡線以東に分布する中〜古生層および古期深成岩類を除けば新第三紀層が発達しており、特に脊梁山脈において著しく、この地域においては岩盤を取扱う上での問題点が特に多くなっている。

この報告では東北地方にあるダムのうちのいくつかを抽出してその問題点について述べることにしている。現場における問題を単に羅列しただけに留まっており、解釈や対策については不明確な点が少なからずあるが、1つの事例として検討したいと考える。

各々のダムの位置とその地盤としての問題点を図3、表1に示す。これらのうちで特に眼につくものに浮石質凝灰岩をはじめとする凝灰岩類があり、さらにこの他にも何箇所かで問題を生じてい

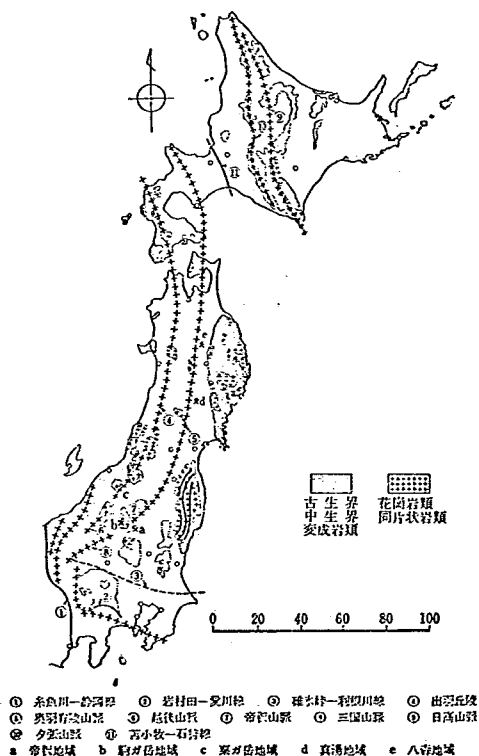


図-1 東北日本地質構造略図

表-1 ダムサイトにおける地質上の問題点

№	ダム名	型式	高さ	地質(問題となる)	問題点	摘要
①	下湯	R	62.0	浮石質凝灰岩	S・P・	岩木川・建
②	浪岡	R	50.9	" 泥岩	S・P・W	" "
③	浅瀬石川	G	96.5	浮石質砂岩～泥岩	S・P・	" "
④	惣辺	G°	62.0	浮石質凝灰岩	S・P・	相坂川・実
⑤	遠部	G	43.0	凝灰角礫岩	W・	岩木川・建
⑥	阿仁川	G	83.0	凝灰岩	S・L・	米代川・実
⑦	玉川	G	93.5	"	S・D・	雄物川・建
⑧	御所	R・G	50.0	火山泥流	S・P・	北上川・"
⑨	大松川	R	63.0	頁岩	P・	雄物川・実
⑩	石瀬	R	84.0	石英安山岩・同質火砕岩	P・L・	北上川・予
⑪	赤川	G	94.5	凝灰角礫岩	S・P・	赤川・"
⑫	寒河江	R	115.0	花崗閃緑岩	P・L・	最上川・建
⑬	南川	G°	43.0	浮石質凝灰岩	S・	鳴瀬川・"
⑭	七北田	R	72.0	"	P・W・	七北田川・"
⑮	七ヶ宿	R	84.0	凝灰岩・安山岩・流紋岩	D・	阿武隈川・実
⑯	摺上	R	107.0	凝灰岩	P・	" 予
⑰	白川	R	69.0	"	W・L・	最上川・建
⑱	三春	G	71.0	花崗岩(風化)	P・	阿武隈川・"

S:強度, P:透水性, W:風化抵抗, D:分布, L:地すべり
 型式に°を付したものはRあるいはR-Gの可能性ある。

用と相俟って造岩鉱物が不安定であることが重要な性質としてあげられよう。

2. 浮石質凝灰岩

ここにいる浮石質凝灰岩とは、岩石学から見れば酸性の火山砕屑岩に属するものであり、浮石流がそのまま固結した浮石粒のみから成る凝灰岩(凝灰角礫岩に近いものもある)から、細粒化して水中堆積したことを示す層理面を有する凝灰質砂岩～泥岩までを含むものである。東北地方に分布するものは中新世中期から洪積世にかけて形成されたもので、密度と固結度が極度に低い粗鬆な淡黄灰～淡青灰色の岩石である。このうち、軽石流や凝灰角礫岩に近い一次堆積状のもの例としては下湯・惣辺・南川ダムに分布するものがあり、層理を有する二次堆積状のもの例として浅瀬石川・浪岡・七北田ダムに分布するものがある。

過去においてはダムサイトにこのような岩石が分布するような個所には、ごく小規模な溜池程度のダムを除いては考えられないものであったが、ダム技術(特にフィルダム)の進歩と治水・利水上の要請から次第にこのようなサイトにもダムの建設が行われるようになったものである。

この種の岩石の掘削ズリや風化部分をフィルダム堤体に利用する動きがあるが、極めて危険なことを考えられる。

この種の岩盤の特徴として、次のようなことが指摘できる。

1. 強度が低いこと。浅瀬石川ダムでは $qu=6\sim 20\text{kg/cm}^2$, $c=2\sim 5\text{kg/cm}^2$, $\phi=35^\circ$ (三軸圧縮試験による), 南川ダムでは $\tau_0=7.0\text{kg/cm}^2$, $\phi=45^\circ$ (ブロック剪断試験による) が得られている。
 2. 透水性はこの岩石自体としては低いが、透水試験(ルジオンテスト)時のいわゆるパンク圧が非常に低く、クラックを作ってしまう傾向が大きいこと。クラックが入っていないと認められる岩盤での透水試験の結果では、1-5Lu(浅瀬石川ダム), 2-6Lu(七北田ダム), 2Lu以下(七北田ダム), $3\sim 8\times 10^{-4}\text{cm/sec}$ (下湯ダム) という値が得られている。ルジオンテスト時のいわゆるパンク圧は地山の土被り圧よりわずかに高い程度(ゲージ圧は非常に小さい)から 10kg/cm^2 までと変化が多いが、傾向としては、岩相では粗粒のものほど低く細粒のものほど高いほか、固結度の高いものの方が高くなっている。
 3. 風化・侵蝕に対する抵抗が極めて弱いこと。
 4. 開口クラック以外の場合にはグラウトによる注入効果が期待できないこと。
 5. 角礫凝灰岩の角礫に相当する部分が浮石あるいは泥岩片から成っている場合には、角礫とマトリックスとの強度の組合せ次第によっては全体の強度が低いことにも関連して垂直応力あるいは側圧によって弾性係数が異なってくる可能性のあること。
 6. 変形性試験などで求めた変形係数が載荷速度によって大きく変化する可能性のあること。
- このような岩盤に対する処置としては次のようなことを考えている。

1. グラウトを行う場合には原則として低圧かつ単位時間当たり注入量を少くして行い、地山にクラックを生じないようにする(入らないときには無理をして入れない)。
2. 垂直応力によって変形係数が変化する場合(特に垂直応力の増加によって変形係数が低下する場合)には荷重を軽減する構造に改める。
3. 地山の透水性が全体として低いとみられる場合には、透水性の高いクラックが少なければ地山をいじらないで地山をコアとして扱うことも考慮する。
4. 水位の変動する区間では侵蝕対策を特に考慮する。
5. 堤体材料には原則として使用しない。

3. 凝灰角礫岩

凝灰角礫岩は"グリーン・タフ堆積物"の半分近くを占めている。これは主として中新世の海底火山活動による堆積物であって層相変化が著しく、玄武岩～安山岩質岩脈ないし熔岩流から乱堆積を伴う凝灰岩まで種々の岩相が見られる。また、凝灰角礫岩をはじめとしてグリーン・タフ地域内の岩石は程度の差こそあれ熱水変質を蒙っており、プロビライト化、緑泥石化などを受け、種々の

粘土鉱物（サポナイト・モンモリロナイト・イライト・ハロイサイトなど）が含まれている。特に凝灰岩や凝灰角礫岩のマトリックスなどの細粒の部分に著しい変質が生じていることが多く、強度の低下、風化・侵蝕に対する抵抗が失われることなどの障害を生じている。

このような変質の著しい例として玉川ダムの凝灰岩があげられるほか、凝灰岩自体は変質していないが強度が低い例として白川ダムの軟質凝灰岩、さらに破砕や深層風化を伴う例として摺上ダムや阿仁川ダムの凝灰岩を挙げることができる。

これらの岩盤の工学的特徴は次のようなものである。

1. 乾湿繰返しや凍結融解による強度低下が著しいこと。
2. 変質した個所は顕著な弱層となっていること。
3. 透水性はさほど大きくない場合が多いが、グラウトによる改良効果はまちまちであり、効果が期待できない場合やマイナスになる場合もある。
4. 岩相変化が著しいために分布が複雑になり、通常の地質調査の精度では良い成果が挙げられないことが多い。

このような岩盤に対する処置として考えられているのは、主として、

1. 掘削後の放置期間を短かくする。
2. 異種の岩石の境界での透水・変質に特に注意する。

程度であり、特にこれといった効果の大きい方法がない状態で、設計上の問題が非常に大きい岩盤である。

4. 構造線に関係する低破砕帯

東北地方では北上川沿いの低地から西の地質が新しいものであることはすでに述べた。これらを構成するグリーン・タフと基盤岩とは、奥羽山脈と出羽丘陵という2つの地背斜性の山地に分布しているが、これらの山地の形成はフォッサ・マグナより後のアルプス造山運動後期のものであり、構造の方向は脊梁山脈方向（ほぼNNE～SSW）のものと、これに斜交する方向（ほぼNW～SE）のものが卓越している。これらを形成した地殻変動に起因する構造運動は地溝状の陥凹と地壘状の凸出部が交互するものであって、その境界や交叉部分には破砕帯が存在する。この顕著な破砕帯の他にも軽度の破砕が広く存在する個所がある。これは岩石自体が堅硬な場合に多いようで、その例として寒河江ダムの閃緑岩（石英閃緑岩）と赤川ダムの凝灰角礫岩をあげることができる。これらのダムにおける岩盤の破砕の程度は断層粘土が顕著に見られるほどのものではなく、岩盤のクラックが多くなっている程度であるが、岩盤全体としては緩んでいるという印象が深い。

これらの岩盤の問題点は次の通りである。

1. 透水性が非常に大きく、20Luを超えることが多い。特に地表近くで透水性の低い岩盤が存在しても、その下には透水性の大きい岩盤があったり、互層状をなしていたりすることが多い。
2. 岩石は堅硬であっても強度が期待できないこと。

3. 緩んでいると見られる部分が深いこと。一般の岩盤では河床より下は締っているが、この種の岩盤では河床よりはるか下の深部まで緩んでいることが多い。

4. 地下水位が低いこと。

このような岩盤では遮水カーテンの施工が非常に困難であるが、グラウトに多くの経費を掛けることにより処理は可能と思われる。

5. 新期堆積物の下位の埋積地形

第四紀の堆積物がある程度以上の厚さをもって分布する個所では、その基底面の原地形が全く隠されてしまってわからないことが多く、特に火山拋出物の下位に著しい。火山噴出物や堆積岩自体に問題が少なくても、その下位に旧河床堆積物・段丘堆積物・基盤の風化部分などが存在するために支障を生じている例があり、火山泥流中のスコリア流とその下位の旧河床堆積物および基盤の風化帯（御所ダム）、浮石質凝灰岩の下位の基盤の地形と風化帯（浅瀬石川ダム）、浮石質凝灰岩の下位の旧河床堆積物（下湯ダム）があげられる。個々の対策を行う上で分布を正確に把握しておくことが必要であるが、有効な調査方法がなかなか得られていないのが最大の問題であろう。

4. ボーリング孔内調査試験法（物理検層）

土木研究所 地 質 研 究 室
主任研究員 桑 原 啓 三

は じ め に

土木構造物を築造する場合は事前に地質調査を十分に行ない、地盤条件に適合した設計施工をし

第1表 ボーリング孔を用いて行なう各種試験

対象とする位置	試験の種類	利用度	調査で判明するもの	問 題 点
A ボーリング孔壁 地盤を対象とするもの	1 速度試験 P 波 検 層 P、S 波 検 層	○	地盤の風化状況や硬軟、割れ目の状態の判定、地上弾性波探査との対比	火薬類取扱責任者、発破士等の資格（発破を用いるとき） S波感度が大きく測定が困難 (StackingによりS/N比の向上が可能とされている)
	2 反射検層	△	岩盤の割れ目の程度や風化の判定 構造物のきれつ判定	ケーシングがあつてはだめ、未固結地盤には不適
	3 放射能検層 (密度検層)	△	含水比、密度測定 地層の対比、区分	放射線物質の取扱いがめんどろ 砂礫地盤はやや不適
	4 電気検層	◎	地層の境界（地質的分層面） 地層の性質（固結性、粘度の有無） 水の存在	ケーシングがあつてはだめ
	5 ボーホルカメラ	△	割れ目の観察	機械が真価、孔内が濁っていると使えない
	6 孔壁載荷 (K値)	○	水平抵抗力（横方向荷重に対する） 地盤の変形特性	ボーリング後ただちに実施しないと孔壁が乱される 孔壁は平滑でなければならぬ
B ボーリング孔壁 周辺の地盤・水の挙動を対象とするもの	1 温度検層	◎	湧水地点、温泉湧出地点 地熱分布の測定	地下水流があると地温の推定はできない
	2 孔壁ひずみ測定	○	すべり面の確認	
	3 沈下測定	○	地盤の沈下	
	4 地下水位	◎	地下水位の変動	観測孔の作り方次第では真の水位を示さないことがある 水位変動が著しい場合の計測の追従範囲の拡大
	5 間隙水圧	○	間隙水圧、地下水位の変動	
C ボーリング孔 端の端点との間の地質を対象とするもの	1 速度検層 (孔間測定法)	△	ボーリング孔間の平均速度による岩盤の状況の判定 地下弾性波との対比	A-1に同じ
	2 地下水追跡	○	地下水流向と流速	長距離の追跡が困難 採水が手間とる……測定の自動化
	3 電気探査	×	断層帯の位置、幅、岩相の境界 変質帯の推定 帯水層の推定	切羽の先に実施したボーリング孔と地表あるいは他のボーリング孔との間で測定を実施することによる 切羽前方地質の予測技術を開発する必要あり
D ボーリング孔の 前方あるいは孔壁の広範囲を対象とするもの	1 標準貫入試験 (N値)	◎	地耐力 (N値)	
	2 現場γ線試験	◎	放射能土のせん断強度	
	3 孔底水圧	◎	孔底の透水性と水位	ボーリングと並行して実施しないと1ヶ所ごとの透水層の性質が求められない、割れ目湧水の場合実用に供しがたい
	4 揚水試験	◎	帯水層定数	ボーリング孔と並行して透水層ごとにとやるのがよい 孔底水圧試験・電気検層を実施後にやるとよい
	5 反射検層	×	(断層、割れ目の位置と規模の判定)	ボーリング孔を中心としたトンネル断面以上の範囲の切羽前方の地質予測技術を開発する必要あり キャン・ヒロソニック社の技術があるらしい

なければならない。地質調査のうちボーリング孔を利用する各種の試験が孔壁付近の地盤の工学的・物理的・化学的性質を直接的・間接的に知るために実施されている。(表-1)

例えば、標準貫入試験、現場透水試験、孔内载荷試験、P・S検層、放射能検層などが多く実施されている。各種の孔内物理試験法の中で、近年孔壁付近の地盤の物理的、化学的性状を測定できる物理検層が急速に利用されるようになり、地盤の工学的判断の資料として利用されるようになった。

本文では、最近急速に発展して来たS波検層を主体に、各種物理検層について述べる。

1. 物理検層 (Geophysical logging)

物理検層は、ボーリング孔内に測定機を挿入し、孔壁周辺の地層の物理的性質を求めるもので、目的によって種々の方法があり、電気検層、キャリパー検層、放射能検層、温度検層などがある。物理検層の種類と適用範囲、問題点等を表-2に、また各種物理検層と他の調査結果との関連を図-1に示す。

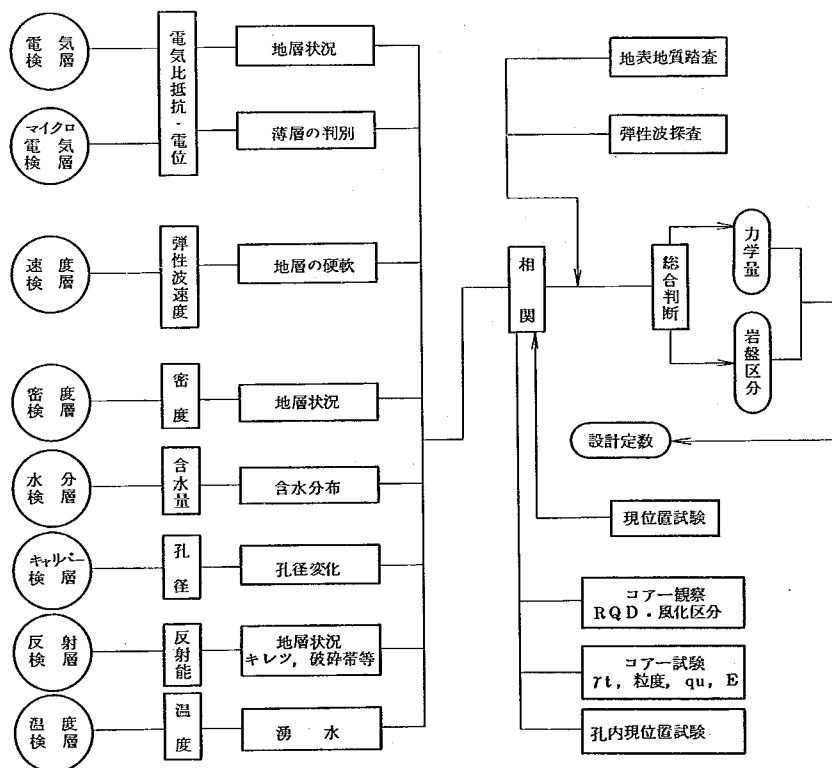


図-1 物理検層と他の調査結果との関連

第2表 土木における物理検層と得られる情報の適用

検層法		物理量	検出項目																適用範囲		その他																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			電化率 % △	含水率 % △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △		比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △	比抵抗 Ω・cm △

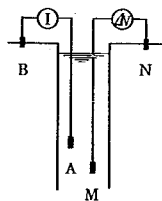


図-2 2極法

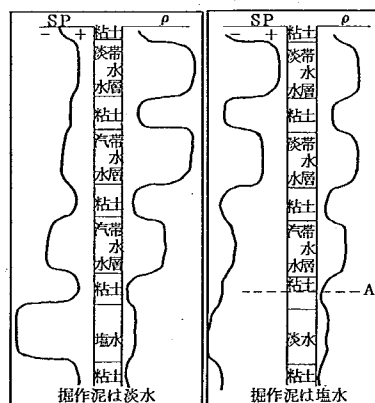


図-3 模式的な検層曲線
(山本莊毅著 地下水探査法より)

2. 電気検層

地層の電気的性質、すなわち地層の比抵抗や自然電位等を深度に対して連続的に測定することによって土質岩質を判定するものである。

電気検層は図-2のように一定間隔に配置した電極をボーリング孔内に降し、地層の比抵抗と自

然電位を測定する検層である。従って、その原理は電流電極 A B 間に電流を流して電位電極 M N 間に生ずる電位差を測定し、比抵抗とするのである。電極配置は 2 極法、3 極法、不等間隔法などがあるが、2 極法は 3 極法等に比べて、孔壁の異常を受けにくく、孔壁の深い部分の地層比抵抗をよく反映する。

2 極法によって地層の比抵抗を測定する原理は次の様である。すなわち、地層が電氣的に均質的な媒体と考えられる場合、地層の比抵抗 ρ は次式で示される。

$$\rho = 4\pi \frac{1}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}} \times \frac{V}{I}$$

B 電極は N 電極より相当離して接地するため、 $\overline{AM}$ に比し、 $\overline{BM}$, $\overline{AN}$, $\overline{BN}$ は無限大と考えられ、従って、

$$\rho = 4\pi \overline{AM} \times \frac{V}{I}$$

となる。

電気検層装置は一般に四素子型が用いられる。四素子型電気検層装置は 3 種の電極間隔の各比抵抗曲線と SP 曲線を短時間でかつ同一条件で測定できる。四素子型のほか二素子簡易型があるが、二素子型は電極間隔毎に電極の間隔をとりかえる必要があり、仕事は繁雑になる。

比抵抗値、自然電位は孔径・層厚・電極間隔および泥水濃度によって変化するが、これらの条件が同じならば一般に図-3 に示すような傾向を示し、砂質層では粒度組成と比抵抗値がほぼ比例し、泥分が増加するに従って比抵抗値が減少する。また同じ粒度組成のものでは固結度が高くなるほど比抵抗値が大きくなる。しかし、固結度の低い地層では粒度組成が比抵抗値にはより大きく影響する。同じ岩層が続く変化に乏しい地層は、比抵抗はほぼ同じ程度のなだらかな曲線となり、互層状の地層では、逆に凹凸のはげしい曲線となる。

また、地層の層厚と電極間隔が近づくにつれ、比抵抗が見かけ上減少し、電極間隔が大きいつきは曲線の逆転現象が現われる。

3. 放射能検層

放射能検層はガンマー線検層、 $\gamma-\gamma$ 検層および水分検層とがある。ガンマー線検層は自然のガンマー線の測定に、 $\gamma-\gamma$ 検層は密度測定に、水分検層は中性子による含水量の測定に用いられる。

ガンマー線検層は地層から放射される自然のガンマー線を連続的に測定するものである。地層から放射されるガンマー線は主として地層中に含まれる放射性物質によるもので、一般に放射線強度は低い。泥岩は若干放射性物質が含まれるので比較的高いガンマー線強度を示し、玄武岩や花こう岩等の岩石にはウラン元素鉱物が含まれているので、ガンマー線強度は比較的高い。また断層破砕帯はガンマー線強度が高い。従って、ガンマー線検層によって岩相の推定や断層破砕帯の推定がで

きる。

γ - γ 検層は物質の γ 線のコンプトン散乱率が地層の密度に比例することを利用したものである。測定は図-4のようなプローブに ^{137}Cs や ^{60}Co などの γ 線源を GM 計数管に組み込んで、ボーリング孔内に挿入し、連続的に地層内より反射された γ 線を測定し、その強度から地層の密度を測定する。

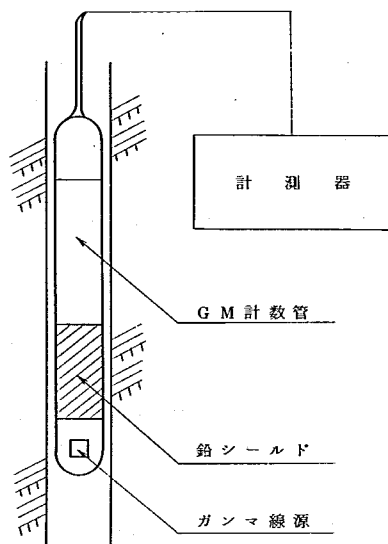
プローブの周囲の物質の密度が 0 であれば γ 線は散乱しないので計数値は 0 となり、密度が大きくなるに従って散乱の確率は増加し、計数値は増加する。しかし、ある程度以上密度が大きくなると、逆に吸収される方が大きくなり、計数値は減少する。土や岩石のような密度の場合は密度の増加に従って計数値は減少する。

γ - γ 検層（密度検層）によって計測された計数値は密度の相対値を示す。相対値より地層の絶対密度を求めるには、いくつかの種類の水について予じめキャリブレーションを行なっている。

測定は一般に 1 点 30 秒ないし 1 分程度の計測を行っている。測定時間は長いほど測定値のバラツキは少なくなるが、1 分計測程度であれば線源に内する誤差の程度より、孔径や泥水濃度などの孔内の条件に関する誤差ははるかに大きいと考えられる。また最近では点計測でなく、連続的に計測できる測定機もあり、測定の時間的な制約はかなりなくなってきた。

水分検層は高速中性子が物質を構成する原子核、特に水素原子との衝突によって、その運動エネルギーを失ない。熱中性子になることを利用したもので、含水量の多い地層では高速中性子はほとんど線源近くで熱中性子まで減速され、周囲の原子核に捕獲されて消滅し、中性子検出器に入る熱中性子量は少なくなる。一方、含水量の少ない地層では、水素原子核が少ないために、地層内を相当距離まで飛び、熱中性子となる。従って検出される熱中性子量は多くなる。線源としては一般に Am-Be が用いられている。

水分検層においては地層中の空隙に含まれる水と結晶水を同時に測定し、これを区別できない。また、熱中性子吸収断面積の大きい Cl などがある一定量以上含まれる場合はこの影響を受ける。特に海岸近くの埋立地では一般に塩分が含まれており、その影響を受けた形で計測される。



4. 速度検層

速度検層はいわゆるP S検層と音波検層と呼ばれる2種のものがある。P S検層はボーリング孔内に1個ないし複数の受振器を挿入し、振源はボーリング孔外すなわち地表におき、エアガンまたは板叩きによるもので、一般には「ツルシ柿法」「Well Shooting法」と呼ばれている。一方音波検層はボーリング孔内に1個又は複数の受振器と発振器を組み込んだゾンデを挿入し、測定するものである。

土木関係ではP S検層が多く行なわれており、音波検層はあまり用いられない。その理由は土木調査用のボーリング孔は一般に孔径65 mmであるため、孔内に挿入するゾンデの外径は50 mm前後であることが必要である。このため発振子の外径も小さなものとなり、大きな発振エネルギーは望めない。特に土木の分野でのS波速度の測定は未固結層ないしは軟岩層で実施されることが多いため、このような地層ではS波の減衰が著しく、十分な分解能をもたせることが困難になる。しかし石油地質調査のように調査深度が大きくなると、地表からの振源では大きな起振源が必要になること、石油の場合孔径が大きいため、孔内でも大きな振源が得られるため、音波検層が行なわれている。

ここでは地質研究室所有の音波検層装置について述べる。

1) 音波検層装置概要

音波検層装置はボーリング孔内に測定ボーンを挿入して、孔壁周辺の音波伝播速度と波形特性を測定する物理検層装置である。測定は送波ボーンより発射されたP波（縦波）およびS波（横波）の孔壁伝播波を一定距離おかれて設置された2個の受波ボーンで受振し、この受振時間差および減衰度、周波数などに関して行なうものである。

本装置は表-3に示す機器より構成され、その接続図を図-5に示す。

2) 測定原理

発振器および受振器2個が一体となった測定ボーンを降し、調査深度においてバッカーをふくらませて孔壁に密着させ、単一パルス波を発生させ2個の受振器への到達時間差によってS波速度を求めるものである。

単一パルス波は受信機内に蓄圧された高圧電気を3点ギャップによって放電させ、放電電流によってソレノイドハンマーを動かすことによって、単一振動波を得る。

3) 測定結果の利用

岩石中を伝播する弾性波は鉱物組成、粒度及び粒子の配列と結合状態、

第3表 音波検層装置

送信機
受信機
送波ボーン
受波ボーン
ケーブル&ウインチ
測長機（口元案内輪）
深度指示機
N ₂ ガス供給装置
発電機
外部コンデンサ
波形記憶装置
シンクロスコープ
ペン書オシログラフ
その他付属品一式

間隙等の岩石特有の組織構造に関係する。一般に岩石の弾性波速度として縦波の速度 V_p は多く求められているが、横波の速度 V_s は余り測定されていない。これは先にも述べたように、S波の測定には受振器を固定する必要があること、S波の減衰が著しいこと、岩盤においては V_p/V_s は 1.8 ~ 2.0 程度であることなどにより、 V_s を測定することが困難であり、 V_p を測定することによって V_s を推定できるからと思われる。

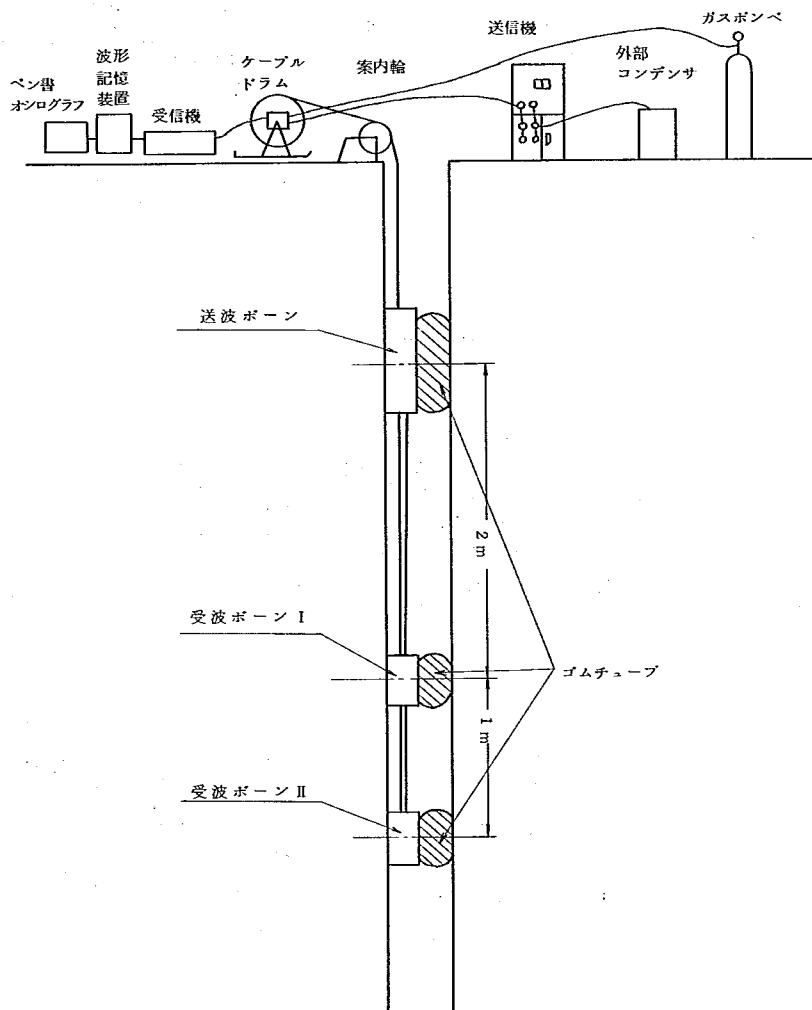


図-5 音波検層模式図

しかし、未固結層、特に $V_p < 1.500 \text{ m/sec}$ 以下においては V_p は水のP波速度の 1.500 m/sec に影響されて、地層の正しい組織構造を示さない。一方 V_s は含水状態によって増減しないとされ、地盤の特性を密接に表わすとされている。含水比を変数にして V_p/V_s の関係を見て見ると図-6のように、 V_s と N 値の関係は、図-7のように V_s と剪断応力との関係は図-8のようになる。これより見ても S 波速度は地盤の特性をかなり表わしていると思われる。

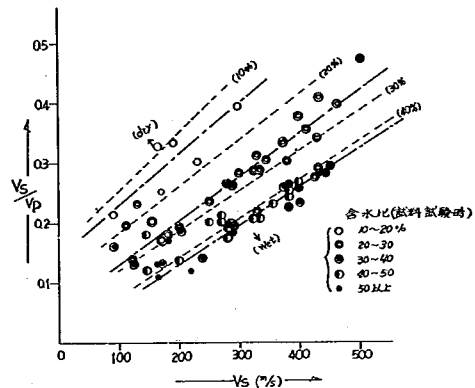


図-6 含水比の変化による V_s/V_p と V_s の関係

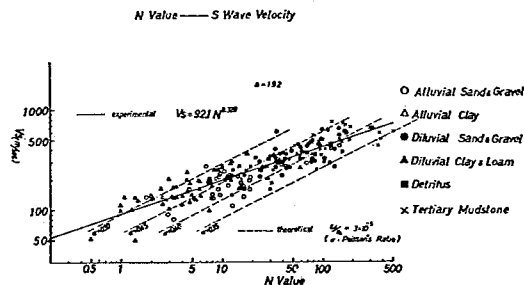


図-7 S 波速度と N 値の関係

4) 問題点

地質研究室現有の音波検層装置は現在までに7ヶ所ほど実施している。これらの結果の一部を図-9～図-11に示すが、固結度の高い地層（第三紀層など）は観測されやすく、軟弱層になるほど計測しにくい。これは音波検層の持つ一つの大きな欠点であり、このためにスタッピング等の新しい解析技術が確立されつつある。

以下に音波検層装置の持つ問題点をかかげる。

- ① 送波ボーン、受波ボーンのゴムパッカーの大きさおよびゴムの硬さ（使用している間に

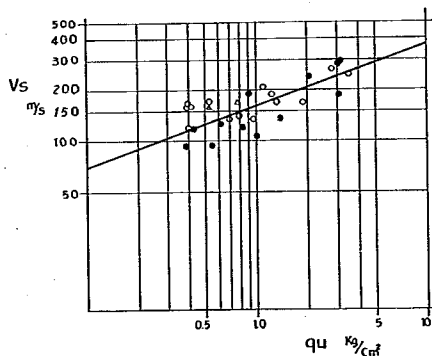


図-8 一軸圧縮強度 (q_u) と V_s の関係

軟くなる)が違っているために、受波ボーンの固定が十分でない場合がある。

② ボーリング孔壁のマッドケーキ(ベントナイトの泥壁)が厚い場合には十分な圧力をかけても圧着度が悪い。特に本機の場合、起振された波の振幅が小さく、また振動周波数が高いためにマッドケーキが厚いと減衰し、観測が困難になる場合がある。

③ 電氣的ノイズのノイズレベルが高いために波形とノイズが重なると解析困難になる。

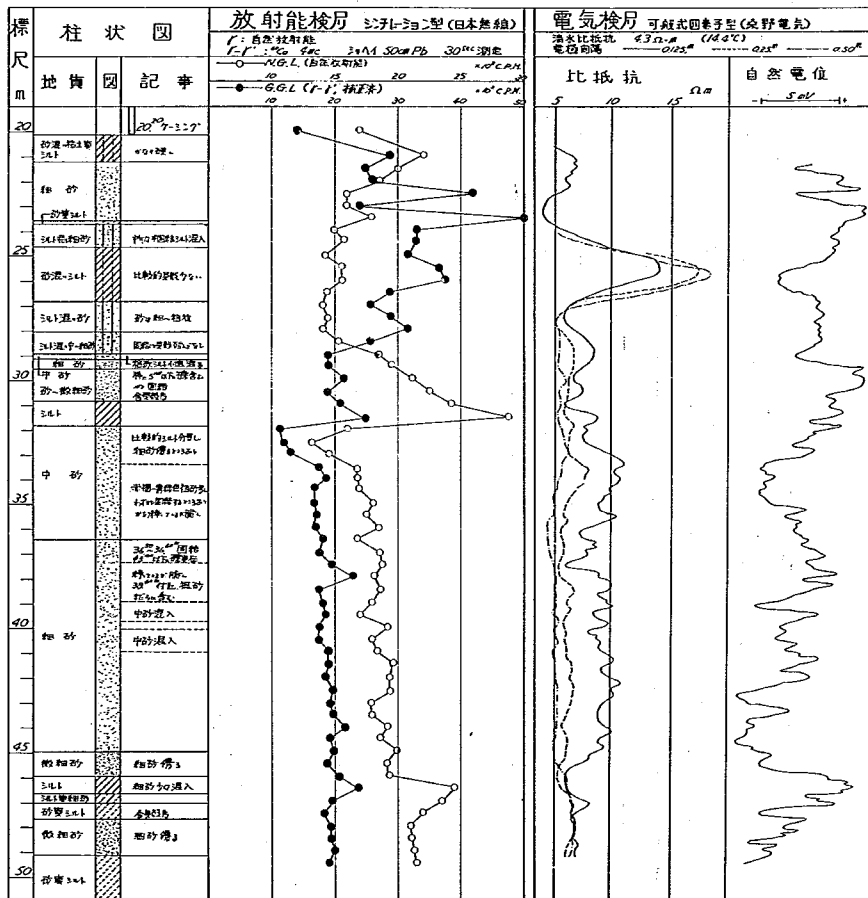


図-9 ボーリング柱状図および物理検層図(船橋)

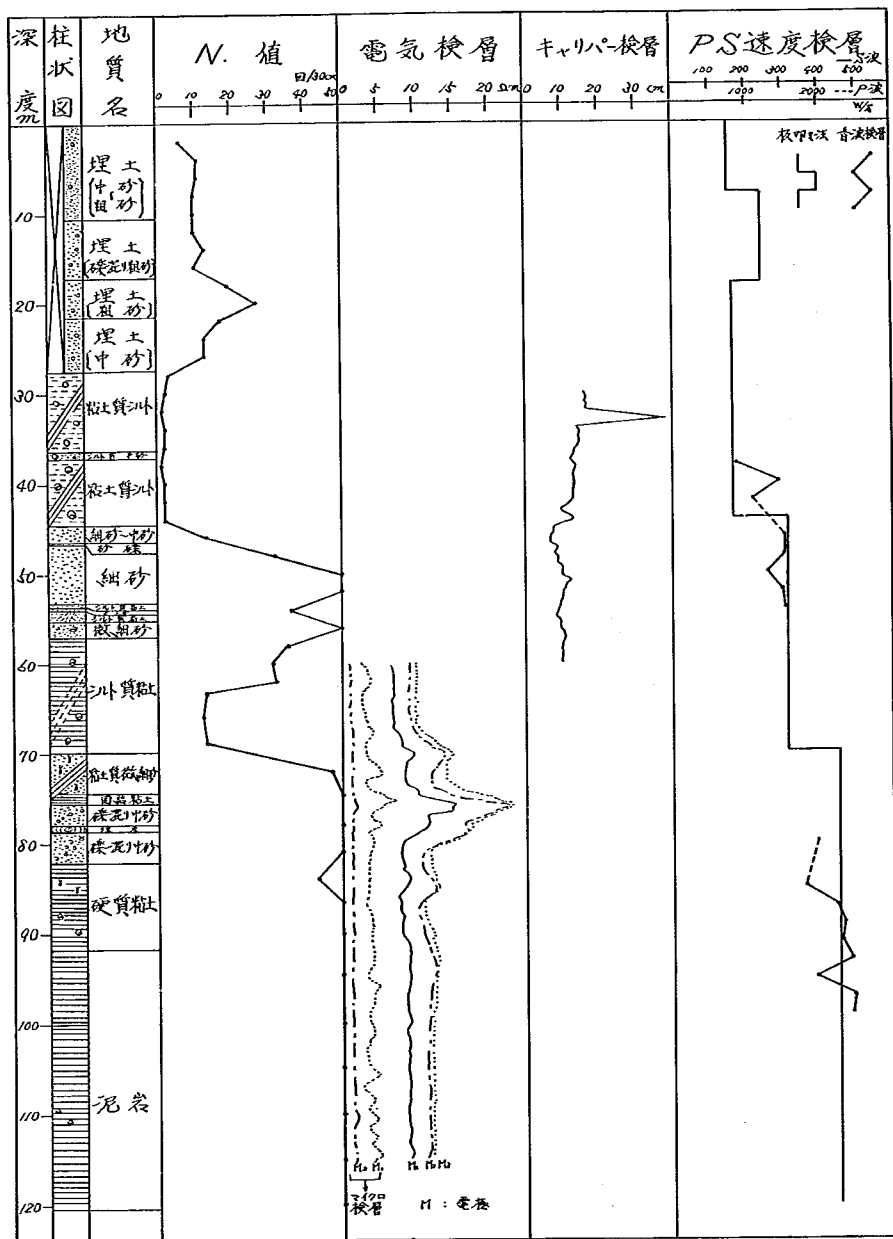


図- 1 1 総合柱状図(扇島)

5. 道路土工指針(土質調査試験)について

土木研究所 地質研究室

道路土工指針質疑応答

大木（東北）：既存資料による調査と現地踏査というものは、いわゆる予備調査のもっとも基本的なものであるから、第3章および第4章で文章中に書くより、項目としてはっきり2-2-1の欄にあげた方が良いのではないかと？

桑原（土研）：2-2-1に項目としてあげるには、内容が非常に多岐にわたり困難だと思われるので独立させて第3章、4章とした。

大木（東北）：第2章では項目をあげて、その項目についての説明を簡単にし、第3章で詳しく説明するという形をとった方がすっきりするのではないかと？

久楽（土研）：第2章については、どういう試験をやれば良いか大づかみなところを述べており、その具体的な内容については第3章以下に書いてあるはずである。予備調査の段階で具体的にどういう項目が入るのか？

大木（東北）：例えば沖積平野においていきなり現地踏査をやっても何もわからず、逆に近くのリビングデーク等の既存資料の収集を行ない、軟弱地盤の有無を推定するとか、山岳道路では露頭から崖錐の状況等を判断するとかというようなことである。

久楽（土研）：そういったことは例えば土質試験でいえば"やり方"であり、"やり方"については第3章以下に述べてある。だから予備調査の段階での現地踏査および資料収集の必要性については第2章の文章中に表現してある。

大木（東北）：文章で書いてあるから項目としては必要ないということか？

岡本（土研）：予備調査において既存資料をどの程度収集せよとか、現地踏査を何時間せよというようなことは明確に規定できず、せめてその内容だけでも説明しようということで、予備調査に当然含まれるべき、資料集収と現地踏査があとにまわったわけである。大木所長の今の意見を指針中に入れるとなれば、2-2 予備調査のところにもう少し詳しく指示として入れることになると思うが、それではどうだろうか。

大木（東北）：項目的に困難だとしたら全体の文章表現でその点を少し強調すれば良いと思う。

久楽（土研）：これはまだ原案であるので委員会なり幹事会にはかって皆様の意見を反映できるようにしたいと思う。ただし、書き方としてはかなり抽象的にならざるを得ないと思う。

今西（土研）：私も大木さんの意見に全く賛成である。委員会で検討していただきたい。

市川（東北）：これは道路計画論の方からむ問題かも知れないけど、路線選定をする際に、現地踏査を詳しくせず線形だけでルートを決め、実際工事を始めてから地質的に問題がある、例えば軟弱地盤があることに気がつき苦労している例が多い。だからそういった注意事項を強い表現で書いておいた方が良いのではないかと？

久楽（土研）：確かにそういう例も多いので検討する。

岡本（土研）：市川専門官の話は地盤の技術者としては全くその通りだと思う。しかし土工指針に

は、地形図まで入ってそういう注意がしてあるので、技術者の方々がまず良く読むことが大切だ。

今西（土研）：今までの土工指針がどういう分解のされ方をしていくか、それに対して土質調査は
どう対応になっていくのかを伺いたい。

久楽（土研）：現在できているものとしては排水工指針、のり面安定工指針の2つである。今後土
質調査、機械施工、軟弱地盤、擁壁カルバートの4つの分冊として整備され、合わせて6分冊
となり、この他に6冊をまとめたものとして要綱が出版されることになっている。

今西（土研）：それでは、例えば軟弱地盤には土質調査という項目は入ってこないのか？

久楽（土研）：一応土質調査の方で全部まとめて解説してあるけど、特に詳しいことについては軟
弱地盤の方の分冊の方にも解説する。

今西（土研）：そうするとどちらの調査法をとるべきか、またどこからはどちらの基準に従うかと
いうことが非常に問題となると思うから、その点について明示しておくことが必要だと思う。

久楽（土研）：今の段階では大ざっぱに調査全体は土質調査法でやり、個々の問題については分冊
の方でできるだけ書いてもらうようにしており、重複の心配はない。

今西（土研）：重複はあってもかまわないが、第2次本調査の軟弱地盤という項目はむしろ軟弱地
盤分冊で触れた方が良いのではないかと、というのは非常に複雑な内容のものをこんなところで
簡単に触れるのは、技術者に誤解を招くもとであるし、簡単にすむものなら複雑な方はいらな
いということになると思うからである。同じ基準として使うなら内容の詳しい方が良く、そう
した場合に、どこからはどちらの基準に準拠するということを明示しておくのが非常に重要な
問題だと思う。根本問題であるから委員会で審議していただきたい。

岡本（土研）：現在の土工指針では予備調査、第1次本調査で軟弱地盤が存在しそうだということ
になり、それに見合った設計・施工をしなければならない場合には第2次本調査をやり、その
結果と次の軟弱地盤分冊との間につながが出て来ると思う。

今西（土研）：軟弱地盤分冊の方には土質調査分冊の第2次本調査の内容がとりあげられているの
ではないか？

岡本（土研）：そういう点では非常に歯切れが悪いが、委員会での精神、発案者の国道一課の説明
も、前の私の説明と同じようなものであると思う。

今西（土研）：要するに軟弱地盤について第2次本調査で5ページにわたって書いてあるわけだが、
これはすでに軟弱地盤としての調査であると思う。そうするとそれを簡略化するというのはマ
イナスの方が大きく、むしろどの程度になったらどちらを見よというようにした方がより精度
の高い調査ができるのではないと思う。

久楽（土研）：そうすると各分冊に全て土質調査を入れるということか？

今西（土研）：のり面工指針にも入って入るし、入れられるのではないと思う。

久楽（土研）：のり面工指針は最初に出来たものだから検討不足である。

今西（土研）：この指針は道路としての金科玉条的なものになると思うので、土質調査と各分冊の

つながり方ということに関しても充分全体委員会で検討していただきたい。

桑原(土研)：調査としてはこちらの方が主体でそちらの方を参照せよというような形で整合性はとれていると思う。

久楽(土研)：各々の分冊に出てくるであろう全体的な調査はできるだけ調査編で網羅して、特殊なものは各分冊にまわらと思う。それで精度がおちるとか重複はないようにしている。

今西(土研)：重複はあってもかまわないが、調査編に書いてあるもので脱落があったら困る。

岡本(土研)：調査に関しては書けるものは全て調査編に書き込んで行くという方針である。

今西(土研)：それなら、軟弱地盤の土質調査編は不要だと思う。これは他の分冊全てについて言えることであろう。

岡本(土研)：この件についてはまだいろいろ問題があると思うが、今回はこれで打ち切りとする。

大木(東北)：第1次本調査の段階から弾性波探査をやった方が良いのではないかと岩分類だけではなく地質構造の推定にも役立つと思う。従来からも大げさなものでもなくリッパメータ等かなりやられてきており、これを第2次本調査に入ると特殊なものという印象をうける。

桑原(土研)：のり面等ではやっている事例も多いが、全ての場合に実施できるわけではないのでここでは一応特に問題のある場合に使用するものとした。

岡本(土研)：予備調査のところの物理探査の中に簡単ではあるが触れているが、その利用法というのは書いていない、というのは岩分類が出来るような弾性波探査が予備調査、第1次本調査の段階からできるかどうか自信がないからである。

大木(東北)：第1次本調査と第2次本調査の区別がはっきりしない。

岡本(土研)：第1次本調査は路線選定のな面もあって機械的にやるものであり第2次本調査というものは土工の内容が明らかになってから行なうものである。

大木(東北)：そうすると第1次本調査とは詳細設計のことか？

桑原(土研)：詳細設計の1段階前というのが妥当であろう。たとえば軟弱地盤上に道路をつくる場合、低盛土でやるか高盛土でやるかを定めるために第1次本調査をやって、その結果どうしても高盛土でなければならないというときに第2次本調査をやるという形になるだろう。

今西(土研)：岩の分類というのはやったのか、それとも例示のみか？

桑原(土研)：例示だけである。というのは積算関係がからんでくるからである。

今西(土研)：各分冊が出来上がった時には現在の土工指針は廃棄されるのか？

岡本(土研)：廃棄されるという話は聞いていない。もし廃棄されないとすると旧道路土工指針と新しくできる要綱との関係が問題になるだろう。

今西(土研)：その点について全体委員会で検討してほしい。

畑中(中部)：次の3点についてお願いしたい。

- ① 図表をもっと多くしてほしい。
- ② 最近問題になっている地下水理調査の項目を入れてほしい。
- ③ 具体的な注意事項をどこかに明示してほしい。たとえば軟岩のスレーキングについて。

岡本（土研）：①については第2章についてはJISや教科書等に出ているからあがっておらないが、第3、4章にはあがっていると思う。②については現地踏査中の観察注意事項およびその着眼点というところに盛り込んである。③の注意事項というものは指針の中には非常に書きにくいものだと思う。

久菜（土研）：個々の試験についての注意事項はそれぞれの個所に入っている。

岡本（土研）：軟岩の問題は第4章に入っていたと思うが入ってなければどこかに入れるよう考える。

資料 道路土工指針抜粋

1. 土質調査・試験 目 次

第1章 総 説

1-1 指針の目的および概要

1-2 指針の適用

第2章 土質調査計画

2-1 概 説

2-2 予備調査

2-2-1 物理探査

2-2-2 ボーリング

2-2-3 標準貫入試験

2-2-4 土質試験

2-3 第一次本調査

2-3-1 ボーリング

2-3-2 標準貫入試験

2-3-3 サウンディング

2-3-4 サンプリング

2-3-5 乱した試料についての土質試験

2-3-6 乱さない試料についての土質試験

2-3-7 盛土材料の調査

2-4 第二次本調査

2-4-1 切土および盛土材料

2-4-2 盛土基礎

2-4-3 土取り場

2-4-4 軟弱地盤

2-4-5 擁壁・カルバート・仮設物

2-5 施工管理または検査のための調査

2-6 維持管理のための調査

第3章 既存資料の収集と利用

3-1 概説

3-2 資料の収集

3-2-1 地形図

- 3-2-2 地質図
- 3-2-3 地盤図
- 3-2-4 空中写真
- 3-2-5 既往土質調査資料
- 3-2-6 その他の資料

3-3 資料の利用

- 3-3-1 盛土の基礎地盤
- 3-3-2 普通地盤
- 3-3-3 軟弱地盤
- 3-3-4 切土
- 3-3-5 盛土材料

第4章 現地踏査

- 4-1 概 説
- 4-2 準 備
- 4-3 観察, 調査事項およびその着眼点
 - 4-3-1 露 頭
 - 4-3-2 地形の調査事項
 - 4-3-3 既存の道路などの現況調査
- 4-4 まとめ

第5章 物理探査

- 5-1 概 説
- 5-2 適 用
 - 5-2-1 弾性波探査
 - 5-2-2 電気探査
 - 5-2-3 物理検層
- 5-3 弾性波探査
 - 5-3-1 P波屈折法
 - 5-3-2 S波屈折法
- 5-4 電気探査
 - 5-4-1 水平探査
 - 5-4-2 垂直探査
- 5-5 物理検層

第6章 サウンディング

- 6-1 概 説
- 6-2 適 用

- 6-2-1 各種サウンディングの特徴と選択
- 6-2-2 土質調査におけるサウンディングの活用
- 6-3 標準貫入試験
 - 6-3-1 試験器具と試験方法
 - 6-3-2 特徴と留意点
 - 6-3-3 結果の利用
- 6-4 スウェーデン式サウンディング
 - 6-4-1 試験器具と試験方法
 - 6-4-2 特徴と留意点
 - 6-4-3 結果の利用
- 6-5 オランダ式二重管コーン貫入試験
 - 6-5-1 試験器具と試験方法
 - 6-5-2 特徴と留意点
 - 6-5-3 結果の利用
- 6-6 ポータブルコーン貫入試験
 - 6-6-1 試験器具と試験方法
 - 6-6-2 特徴と留意点
 - 6-6-3 結果の利用
- 第7章 ボーリングおよび試掘
 - 7-1 概 説
 - 7-2 適 用
 - 7-2-1 ボーリング機械とその特徴
 - 7-2-2 ボーリングの目的・対象土質とボーリング機械・方法の選択
 - 7-2-3 試掘坑を必要とする場合
 - 7-2-4 現場作業着手の際の留意事項
 - 7-3 岩のボーリング
 - 7-4 土のボーリング
 - 7-5 試 掘
- 第8章 試料採取
 - 8-1 概 説
 - 8-2 適 用
 - 8-2-1 試料採取方法の概要
 - 8-2-2 試料採取方法の選択
 - 8-3 試料の採取方法
 - 8-3-1 乱さない試料の採取方法

8-3-2 乱した試料の採取方法

8-4 採取した試料の利用

8-4-1 採取した試料の取扱い

8-4-2 採取した試料に関する観察と記録

8-4-3 土質試験と必要な試料の量

第9章 原位置試験

9-1 概説

9-2 現場密度の測定

1. 目的とその適用

2. 試験方法

3. 試験上の注意点

9-3 ベーン試験

1. 目的とその適用

2. 試験方法

3. 試験上の注意点

9-4 ポータブルコーン貫入試験

1. 目的とその適用

2. 試験方法

9-5 現場透水試験

1. 目的とその適用

2. 試験方法

3. 試験上の注意点

第10章 現場測定および試験施工

10-1 概説

10-2 沈下

10-3 水平変位

10-4 地下水

10-4-1 概説

10-4-2 測定に関する留意点

10-4-3 地下水調査が重要な場合

10-5 試験施工

10-5-1 試験施工

10-5-2 試験盛土

第11章 土質試験

11-1 概説

- 1 1-2 土の判別分類のための試験
 - 1 1-2-1 土粒子の比重試験
 - 1 1-2-2 土の含水量試験
 - 1 1-2-3 粒度試験
 - 1 1-2-4 コンシステンシー試験
 - 1 1-3 締固め試験
 - 1 1-3-1 突固めによる土の締固め試験
 - 1 1-3-2 相対密度の測定
 - 1 1-4 強度特性を求める試験
 - 1 1-4-1 盛土材料のセン断特性を求める試験
 - 1 1-4-2 切土のり面のセン断特性を求める試験
 - 1 1-4-3 基礎地盤のセン断特性を求める試験
 - 1 1-4-4 CBR試験
 - 1 1-5 変形特性を求める試験
 - 1 1-5-1 圧密試験
 - 1 1-6 透水試験
- 第 1 2 章 岩および土の分類
- 1 2-1 概 説
 - 1 2-2 岩の分類
 - 1 2-2-1 岩の分類基準
 - 1 2-2-2 岩の分類結果と利用
 - 1 2-3 土の分類
 - 1 2-3-1 土の分類基準

2. 第2章 土質調査計画

2-1 概説

道路の計画から維持管理までの間で、段階に応じて土質調査の内容は異なるので、一度だけの土質調査に必要な土質情報を得ようとするのは必ずしも適切でなくまた不可能なことが多く、計画から施工にいたるまで数次にわたる土質調査を行なうのがむしろ普通である。

ここでは新設のバイパス等に関して、

1. 予備調査 道路予備設計（路線選定あるいは比較設計）のための調査
2. 第一次本調査 道路詳細設計のための通常の調査
3. 第二次本調査 道路詳細設計のための追加調査で主に構造物別の調査

の3段階の調査を実施するのを原則とし、それぞれの調査計画の標準的な考えを述べる。ただし第二次本調査は場合によっては省略してもよい。

土質調査内容は次の要素により異なるものと考えられる。

A 調査の目的（道路事業の段階）

- a 路線選定の場合（比較設計または予備設計を含む）
- b 詳細設計の場合
- c 施工管理または検査の場合
- d 維持管理の場合

B 調査の対象（対象構造物）

- a 切土および盛土材料
- b 盛土の基礎地盤
- c 土取り場
- d 軟弱地盤
- e 擁壁・カルバート・仮設工

1.の目的別の調査は道路事業の流れに沿った各時点での調査で、それぞれの段階で2.に示す構造物別の調査が含まれることになるが、路線選定や道路詳細設計の時点では必ずしも構造物の種類や位置あるいは規模が確定していないこともあるので特定の構造物のための調査を行なえないこともある。しかし、Aa,Abの調査は路線全体としての総括的な調査ではあるが、構造物の規模や土質条件によってはこれで十分構造物の設計が可能な場合もある。したがって、土質調査計画の流れとしては、1.予備調査でA.aの調査目的を達成し、2.第一次本調査でA.bの調査を実施すれば一応の調査を終了したものとする。その後B.a～eに示す構造物の設計について土質資料が不十分であると考えたときに、それぞれ個々の構造物別に3.第二次本調査を追加して実施するものとする。以下の各節の構成はこのような考えにもとづいたものである。

3. 2-2 予備調査（比較設計または予備設計のための調査）

この段階では原則としてボーリング、サウンディングなどの現位置での調査は実施できないこと

が多いので、既存資料および現地踏査によって土質についての情報のとりまとめを行なうのを原則とする。

ただし比較設計または予備設計において、道路の構造、工費等に著しい影響を与える可能性のある地域すなわち地すべりのおそれのある地域、軟弱地盤、大規模な切土の予想される地域、架橋想定地点などについては物理探査またはボーリング等を実施するのが望ましい。

4. 2-3 第一次本調査（詳細設計のための通常の調査）

路線全線にわたって適切な間隔で機械ボーリング、標準貫入試験およびサンプラーを用いた乱さない試料の採取、さらに必要に応じて各種の原位置試験を実施する。

この調査は詳細設計に先立って必ず行なう通常の調査と路線全体の土質状況を総括的に調査することを目的とするが、具体的な調査地点の選定にあたっては、構造物想定箇所、地すべり地や軟弱地盤の個所の確認を意識した計画とするのがよい。調査時点において道路構造がはっきり定まっていない場合などでは、この調査後さらに特定の箇所に対して追加調査（第二次本調査）を実施しなければならないこともあり得るが、そのような特定の対象（構造物）ごとの調査については別の規定（2-4以下）による。したがって一般にはここで述べるとおり道路構造に変更があっても対処できるような調査を行なうが、詳細設計の方針が確定して道路構造が明らかとなっていてかつここで規定されている調査内容のみでは設計資料として十分でないと考えられるときには、それら構造物のための調査をも含めて当初より調査計画をたてる。

5. 2-4 第二次本調査（道路構造物別の調査）

第一次本調査（2-3）では路線全体を通じての土質の状況が明らかにされ、切土、盛土、小構造物などの通常規模の道路構造の詳細設計に必要な土質常数は求められている。

しかし土質条件、地形が複雑な箇所、大規模な構造物が予想される箇所、特殊な構造となる可能性のある箇所などについてはさらに調査を追加する必要がある。その際の道路構造物別の調査について以下に述べるが、この調査は、詳細設計のための調査のみでは設計のための資料が不足すると考えられる場合に実施するもので、あらかじめそのような事態の予想されるときには詳細設計の調査と同時に実施してもよい。