

土 木 研 究 所 資 料

第18回地質担当者會議資料

昭和60年 3 月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright© 1985 by P.W.R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translate into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

第18回地質担当者会議資料

地質研究室室長	桑原啓三
地すべり研究室主任研究員	吉松弘行
トンネル研究室室長	水谷敏則
コンクリート研究室室長	小林茂敏
地質官	大木達夫
九州地建河川部建設専門官	中村康夫
地質研究室研究員	稲崎富士
東北地建浅瀬石川ダム工事事務所所長	市川 慧
近畿地建近畿技術事務所副所長	石橋良哉

要旨 昭和59年12月14日に開催された第18回地質担当者会議で以下の講演が行われた。

1. トピックス——地質に関わる技術的諸問題
 - 1-1 長野県西部地震について
 - 1-2 NATMの現況
 - 1-3 最近のコンクリートの劣化の問題
2. ボーリング調査の現状と問題
 - 2-1 掘削技術の最近の動向
 - 2-2 ボーリングに伴う情報——水の情報
 - 2-3 ボーリングに伴う情報——物性値
 - 2-4 コアの記載・評価法
 - 2-5 調査成果のまとめ方とその基準
 - 2-6 ボーリング調査の活用化に関する調査の概要

キーワード：長野県西部地震・NATM(ナトム)・コンクリート・ボーリング・掘削技術・評価法

目 次

まえがき

議 事 次 第	1
出 席 者 名 簿	3
開 会 の 挨 拶	7
技術審議官挨拶	8
土木研究所所長挨拶	13
閉 会 の 挨 拶	15

議 事

1. トピックス — 地質に関わる技術的諸問題	17
1-1 長野県西部地震について	19
1-2 NATM (ナトム) の現況	45
1-3 最近のコンクリートの劣化の問題	61
2. ボーリング調査の現状と問題	81
2-1 掘削技術の最近の動向	83
2-2 ボーリングに伴う情報 — 水の情報 —	99
2-3 ボーリングに伴う情報 — 物性値 —	113
2-4 コアの記載・評価法	133
2-5 調査成果のまとめ方とその基準	173
2-6 ボーリング資料の活用化に関する調査の概要	197
2-7 総合討論	213

ま え が き

地質担当者会議は、昭和42年度より地質調査上の問題点の解明、技術情報の交換および地質調査方法の統一等を課題として、今回で第18回を迎えるに至った。この間、河川砂防技術基準(案)、道路土工土質調査指針、トンネル技術指針、ルジオンテスト施工指針(案)、リップラップ材の耐久性判定基準(案)、グラウチング指針等、地質調査に関連する基準や指針類の作成に貢献し、また、ダム、トンネル、のり面、軟弱地盤の地質工学的問題点の検討、海外の事例紹介を行ってきた。

今回も、本省杉山技術審議官、土研飯田所長をはじめ、本省、各地方建設局、国土地理院、土木研究所、北海道開発局から100名近くの参加を得て盛会となった。

会議では「トピックス — 地質に関わる技術的諸問題」のテーマで3件、「ボーリング調査の現状と問題」のテーマで6件の報告がなされた。また、本省より昭和59年3月に出された「ダム建設における第四紀断層の調査と対応に関する指針(案)」についての説明があった。

「長野県西部地震について」では、昭和59年9月14日に長野県西部の王滝村を震央とし発生したM6.9の地震により誘発された4カ所の大規模斜面崩壊を中心に、地震による土砂災害について報告があった。

「NATM(ナトム)の現況」では、建設省で今後適用が拡大されると思われるトンネル支保工の1つであるNATM工法の概要が、他工法との比較も交えて紹介された。

「最近のコンクリートの劣化の問題」では、天然産骨材の需給、品質の現状、骨材の品質がコンクリートの品質に及ぼす影響についての調査結果と骨材の低品質化に対する各種の対応策について述べられた。

「ボーリング調査の現状と問題」のテーマでは、まず最近のボーリング技術全般について紹介があり、次にボーリングに関する個々の問題(ボーリング時に得られる水・物性値の情報、コアの記載・評価を柱状図にいかに関表現するか、ボーリング資料の電算化)について提案、紹介等がなされた。

ここに当日提出された資料と討議内容をまとめて、今後の参考に供しようとするものである。

昭和60年3月

建設省土木研究所地質研究室長

桑 原 啓 三

第18回 地質担当者会議議事次第

1. 日 時 昭和59年12月14日 (金) 10:00 ~ 17:00
2. 場 所 東京都千代田区神田1-1-12 コープビル
3. 議 事 次 第
 - 1) 開会の挨拶 10:00 ~ 10:05
土木研究所 地質化学部長 蒔 田 実
 - 2) 挨拶 10:05 ~ 10:15
大臣官房 技術審議官 杉 山 好 信
 - 3) 挨拶 10:15 ~ 10:30
土木研究所 所長 飯 田 隆 一
 - 4) 発表および質疑討論
 - 4-1) 指針類の改定の現況 10:30 ~ 10:40
土研 地質研究室長 桑 原 啓 三
 - 4-2) トピックス … 地質に関わる技術的諸問題
 - i) 長野県西部地震について 10:40 ~ 11:00
土研 地すべり研究室主任研究員 吉 松 弘 行
 - ii) NATMの現況 11:00 ~ 11:30
土研 トンネル研究室長 水 谷 敏 則
 - iii) 最近のコンクリートの劣化の問題 11:30 ~ 12:00
土研 コンクリート研究室長 小 林 茂 敏
 - 4-3) ボーリング調査の現状と問題
 - i) 掘削技術の最近の動向 13:00 ~ 13:45
土研 地質官 大 木 達 夫
 - ii) ボーリングに伴う情報 — 水の情報 13:45 ~ 14:15
九州地建 河川部専門官 中 村 康 夫
 - ボーリングに伴う情報 — 物性値 14:15 ~ 14:45
土研 地質研究室研究員 稲 崎 富 士
 - iii) コアの記載・評価法 15:00 ~ 15:30
東北地建 浅瀬石川ダム所長 市 川 慧
 - iv) 調査成果のまとめ方とその基準 15:30 ~ 16:00
土研 地質研究室長 桑 原 啓 三
 - v) ボーリング資料の活用化に関する調査 16:00 ~ 16:30

- vi) 総合討論
5) 閉会の挨拶

近畿地建 近畿技術事務所副所長 石 橋 良 哉

16:30 ~ 16:50

16:50 ~ 17:00

土木研究所 地質官

大 木 達 夫

第18回 地質担当者会議出席者名簿

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
本 省	杉 山 好 信	大臣官房技術審議官
	太 島 和 雄	〃 技術調査官
	矢 崎 侑 利	〃 技術管理第一係長
	上 阪 恒 雄	河川局開発課長補佐
国 土 地 理 院	星 埜 由 尚	測図部写真測量技術開発室長
	羽田野 誠 一	地理調査部研究員
	赤 桐 毅 一	〃
	長 岡 正 利	〃 地理調査技術開発室長
	津 沢 正 晴	〃 地理第一課地誌係長
	宇 根 寛	〃 地理第一課
	須 長 博 明	〃 地理第二課長補佐
	江 川 良 武	中部地方測量部長
東 北 地 建	丹 羽 俊 二	河川部河川計画課建設専門官
	市 川 慧	浅瀬石川ダム工事事務所長
関 東 地 建	長谷川 勉	企画部技術管理課安全施工係長
	前 田 隆 徳	〃 技術管理課
	牧 角 修	道路部道路計画第二課
	関 根 秀 夫	利根川上流工事事務所調査課
	加治屋 義 信	霞ヶ浦導水工事事務所調査設計課長
	持 田 均	〃 設計係長
	江 口 公 道	下館工事事務所調査課
	谷 口 英 博	荒川下流工事事務所調査課
	町 田 勝	利根川水系砂防工事事務所計画係長
	土 井 功	日光砂防工事事務所長
	下 田 孝 徳	富士川砂防工事事務所調査課
	真 下 祐 八	利根川ダム統合管理事務所調査課長

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
関 東 地 建	黒 岩 洪	鬼怒川ダム統合管理事務所管理第二係長
	高 橋 徹	八ッ場ダム工事事務所設計係長
	内 田 勝	二瀬ダム管理所管理係
	清 水 力	湯西川ダム調査事務所調査係長
	仲 村 哲 男	東京国道工事事務所共同溝課
	俣 島 信 一	首都国道工事事務所調査設計第一課
	飯 田 久 典	長野国道工事事務所調査課
	石 井 康 雄	東京湾岸道路工事事務所調査第一係
	小井土 秀 雄	高崎工事事務所設計第一係長
	望 月 正	関東技術事務所建設専門官
北 陸 地 建	丸 山 幹 雄	道路部道路工事課長
	榎 本 真	湯沢砂防工事事務所副所長
	佐 藤 武	三国川ダム工事事務所副所長
中 部 地 建	樋 口 千 秋	企画部技術管理課
	赤 羽 英 俊	河川部河川計画課調査第二係長
	中 根 長 蔵	〃 河川工事課長補佐
	下井田 実	天竜川上流工事事務所開発設計係長
	吉 村 民 雄	飯田国道工事事務所工務第二係長
	中 島 悦 三	高山国道工事事務所計画係長
	内 藤 幸 美	静岡国道工事事務所工務課
	森 山 幸 司	沼津工事事務所工務第三課
	中 川 正	中部技術事務所副所長
近 畿 地 建	西 川 秀 雄	河川部河川計画課計画第二係長
	山 川 孝 一	道路部道路工事課長補佐
	石 橋 良 哉	近畿技術事務所副所長
中 国 地 建	岩 本 広 之	出雲工事事務所開発調査課長

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
四 国 地 建	黒 河 強	企画部技術管理課長補佐
九 州 地 建	江 頭 正 幸	企画部技術管理課
	中 村 康 夫	河川部建設専門官
	荒 川 詔	// 河川計画課計画第二係長
	竹 中 幸 生	道路部道路工事課長補佐
北 海 道 開 発 局	根 岸 正 充	土木試験所地質研究室副室長
土 木 研 究 所	飯 田 隆 一	所長
	富 永 正 照	次長
	村 上 順 雄	研究調整官
	大 木 達 夫	地質官
	蒔 田 実	地質化学部長
	城 島 誠 之	ダム部長
	新井田 有 二	企画部ダム計画官
	嶋 村 春 生	// 企画課長
	武 部 勝 行	// 調査係長
	小 林 茂 敏	地質化学部コンクリート研究室長
	藤 沢 侃 彦	ダム部ダム構造研究室長
	斉 藤 孝 三	// // 主任研究員
	鈴 木 浩 之	砂防部砂防研究室
	大 場 章	// //
	吉 松 弘 行	// 地すべり研究室主任研究員
	浅 井 涌 太 郎	// 急傾斜地崩壊研究室長
	本 田 孝 夫	// // 主任研究員
	水 谷 敏 則	道路部トンネル研究室長
	堀 内 浩 三 郎	// // 研究員
	護 摩 堂 満	機械施工部土質研究室研究員
	松 尾 修	// 動土質研究室研究員
	大 志 万 和 也	構造橋梁部基礎研究室長

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
土 木 研 究 所	越 川 裕	構造橋梁部基礎研究室
	白 石 一 夫	新潟試験所研究員
	桑 原 啓 三	地質化学部地質研究室長
	平 野 勇	" " 主任研究員
	稲 崎 富 士	" " 研究員
	脇 坂 安 彦	" " "
	石 塚 克 巳	" "
	神 保 悟	" "
	長 沢 政 和	" "

開 会 の 挨 拶

土木研究所 地質化学部長 蒔 田 実

皆さん、おはようございます。

今年もあと半月ばかりという、たいへんあわただしい時期、お忙しい中、当地質担当者会議のためにお集りいただきまして、誠にありがとうございます。

皆様のご協力のもとに、当地質担当者会議も、今年で、第18回をむかえるに至りました。建設事業における、地質にかかわる、技術的な諸問題の討議の場として、当担当者会議が設けられているわけですが、近年、技術的にますます難かしい問題の解決を迫られているという背景もあり、当担当者会議は年々盛んになり、今年は100名以上の方のご参加をいただくことになっております。本日で討議いただく話題は、たいへん多岐にわたっており、一日と時間的には大変限られていますが、現場あるいは研究所で地質に係る技術的な諸問題に、どう対処し、また、どう解決しようとしているかということに関して、皆様方の忌憚のない、意見並びに情報交換をお願い申し上げます。

それでは、只今より、第18回地質担当者会議を開催いたします。

挨拶

大臣官房技術審議官 杉 山 好 信

おはようございます。官房の技術審議官の杉山でございます。

今年の六月からこのポストにいるわけでございますが、今日はこの18回目の伝統ある地質関係の方々の会議で、若干最近の情勢と直接地質には関係ないかもしれませんが、広い意味での情勢をお話したいと思います。

地質関係と言いますと私は25年前に北上水系の湯田ダムにありまして、断層破砕帯の処理にいろいろと苦勞した記憶がありまして、後ほどお話いただきます土研の飯田所長さんにいろいろとご指導いただいた記憶がよみがえってまいります。

地質に関係あるテーマとしまして、これからの問題も含めて若干頭に入れておいていただきたいことに、昨年の春の建設大臣の私的諮問機関でございます建設技術開発会議におきまして、建設技術研究開発の長期的方向について当面の5ケ年、それ以降の5ケ年の計10ケ年程度を目指した課題をまとめたものがございます。これは一冊の本になっておりますが、ご覧になっておられない方は、ご覧になっていただきたいと思います。その中で地質に関係するテーマについて、主要な部分だけかいつまんで申し上げますと、土石流の危険溪流判定、危険区域推定方法、地すべり地形判読危険度判定技術、土石流発生粒度予測技術、斜面の崩壊予測技術、災害と地形・地盤との関係に関する評価手法と地すべり危険地帯図の作成手法、土石流発生予測手法、斜面崩壊予測手法、さらには地盤と構造物の練成作用を考慮した耐震設計法、トンネル関係では坑口付近の不良地盤における施工技術の合理化等、軟岩破砕岩劣化特性の推定法、軟岩岩盤の力学特性の推定法、岩石の劣化特性の推定法、岩盤の透水性判定法、軟岩破砕岩の評価手法など、このような技術開発の方向のテーマが提案されております。こういった面に今後充分御配慮願いたいと思います。

それから今日の議題にもでてまいります。最近のコンクリートの劣化問題、特にアルカリ骨材反応の問題に関する研究がございまして。後ほど詳しくご説明があると思いますが、アメリカで50年程前に前に問題になり、最近ではヨーロッパ諸国、特に日本と同じようにイギリスあたりでも問題がでております。国際的な学会も何回か開かれておりますが、聞くところによりますと世界共通の試験方法、岩石判定試験方法はないということで、各国それぞれの地質に対応した試験方法の研究開発が必要であると言われております。従来、ダムなどでは原石山に関する調査は、非常に綿密に行われ原石がセレクトされてきているわけでございますが、それ以外の一般の現場におきまして、これから充分皆様方にこの問題を認識していただきまして、取り組んでいただきたいと思います。良質な社会資本が整備されそのストックがますます増大し、維持管理経費が公共投資の中に占める割合が増大しております。このような中で公共投資の重要な役割を担っている我々としましては、これ

からの社会に良質なものを残すということが社会問題にもなっており、以上の問題に対する充分な対応が必要であると思っております。

それから断片的になって恐縮でございますが、環境アセスメントに関する問題がございます。過去、環境アセスメント法案について、いろいろな経緯があったわけでございますけれども、今年の8月の末に閣議決定がなされまして、環境影響評価について法律ではなく閣議決定という形での実施が決まったわけでございます。この中の細かいことは申し上げませんが、主務大臣が主として環境影響評価をそれぞれの事業について責任をもって行うということが基本でございまして、環境庁長官が意見を述べるのは、非常に限られたものになっております。その環境影響評価の実施の閣議決定を受けまして、この調査・予測・評価のための基本的事項が3ヶ月を経ました11月の末に決められました。今後、その基本的事項をもとにしまして、主務大臣、建設省でいえば建設大臣が関係する対象事業の種類ごとに指針を定めることになっております。従来、環境アセスメント自体は数年前の事務次官通達だったと思いますが、当面の措置方針によりまして実施していただいております。来年なるべく早い時期に、技術的指針を当面の措置方針をもとに環境庁と協議しながらまとめることになっております。大筋では今までやってきた方針がそれほど変わらないとご理解をしていただきたいと思います。

それからまったく別の話でございますが、これからの経済社会の変化について建設省の対応に若干ふれてみたいと思います。これからの社会を表現する言葉のひとつに「ソフト化の時代」というものがあります。前世紀から産業革命あるいは近代化されてまいりまして、非常に大きな構造的、変換期に入ってきているといわれております。たとえば言いますと、資源の面などでも有限であるという認識が非常に強まってまいりましたし、環境面への配慮ということも含めまして、従来の量的拡大の方向から質的向上を目指す方向へとあらゆる面で転換がおきているわけでございます。

これから4つに分けて申し上げますけれども、世の中全般についても、あるいは我々を取りまく環境についてもそうであるということでございます。4つを私なりにまとめてみますと、1つは情報化・知識集約化ということが特徴としてあげられると思います。2つめにシステムの変化、3つめに人々の意識の変化、それから4つめに経済のソフト化という特徴があり、それぞれの変化に対応した建設行政というものが、求められているように思うわけでございます。

まず最初の情報化と知識集約化という面についてでございますが、いろいろな面でお開きのとおり技術革新ということで、ファイン化あるいはメカトロ化というものが、どんどん進んでいるわけでございます。そういう面では先端技術産業というものが急速に進展してきておりますけれども、今年の春からスタートしました、建設大臣の先端技術活用に関する懇談会から、11月の上旬にまとまりました提言をいただいております。懇談会ではニューメディア関係、メカトロニクス関係、バイオテクノロジー関係、レーザー関係、新素材関係、それから施工関係という6つのテーマでご検討いただきました。こういった先端技術を活用した建設技術の開発というのは、今後の大きな課題であり、この中で60年度から本格的に取り組もうとしているものに、たとえば建設ロボットなどのメカトロニクス関係がございます。それからバイオテクノロジー関係では、主に下水処理など河川水の河川内での浄化な

ども含めましてでございますが、生命工学関連の水処理問題、さらにはコンクリートの耐久性にからむいろいろな新素材を使う問題などがございます。それからレーザー関係についてですが、現在の測地・測量の測距精度は 10^{-8} のオーダーで 50 km の距離に対して 5 cm という精度でございます。この程度の精度では、地震予知を実施しましても、マグニチュード 8 程度の東海地震のような海溝型巨大地震の予知まででございます。内陸直下型のマグニチュード 7 程度の地震予知になりますと、もう 1 桁精度を上げた 10^{-7} 程度、つまり、50 km の距離に対して 5 mm の精度の測量が出来るような短波長レーザーを利用した測距儀の開発が必要となってまいります。

さらに今後の問題としては、このような点につきまして研究機関と現場の結びつき、あるいは技術事務所との結びつきなどの連携強化というものが、ますます必要になると思いますので、地建と土研のような研究機関との関係の強化につきまして、それぞれ皆様方に留意していただきたいと思います。また、現場におきましても、先端技術を活用した建設技術開発ばかりではございませんが、いろいろな意味でのアイディアを出していただきまして、こういったものを取り上げていくことも必要であろうと考えております。特に今後こういう面では先程もちょっと触れましたが、社会資本のストックがどんどん増えていくわけで、これらのメンテナンスをする技術がますます重要になってまいります。メンテナンスに投資する経費が増えてくるということは、必然的にこういう面での技術開発が、どんどん必要になってくるということでございます。皆様方は現場に直結した仕事をされているわけですから、メンテナンス技術の開発というものにも大きく目を向けるということ、いろいろ工夫なりアイディアを出してメンテナンスを取り上げていくという姿勢が是非必要であるということ、さらには、物事の計画・調査設計段階からメンテナンスを考慮していくことも大事なことでございます。

それから 2 つめのシステムの変化についてでございますが、従来どちらかというと科学技術面では巨大化、集中化の傾向、都市化の面では都市集中の傾向、また、生産面ではマスプロというような巨大化、集中化の傾向がございました。しかし、最近たとえばマスプロが多品種・少量生産という方向、人口につきましても地方定住の傾向、また、生産面・人々の生活面でも、分散型というような傾向にどんどん進んでおります。さらには我々に関係するシステム、国家あるいは自治体のシステムにしましても、最近よく言われておりますように、厳しい行財政改革の環境というものがあるわけでございます。予算とか組織・定員の面でも削減という変化が、世界各国においてもこれからの傾向、また既に表われている傾向でございます。そういった中から民間活力の活用、あるいは各種の規制緩和ということが、盛んに言われているわけでございます。たとえば、民間活力の活用という面では、都市の再開発の推進であるとか、大きなプロジェクト、目玉プロジェクトによる活用も言われております。

それから、3 番目と 4 番目を一緒にしてご説明いたしますと、意識の変化、経済のソフト化という面で、人々の意識が非常に多様化・高度化してきていると言われているわけでございます。物が豊かになってまいりますと、真の豊かさとは何かということが問い直されてまいります。たとえて申しま

すとこれも11月の始めでしたか、総理の私的懇談会の経済政策研究会、これは三菱証券の牧野会長が座長しておられる研究会でまとまったレポートの中に、新しい言葉としてNNS (Net National Satisfaction) 指標というのが提案されております。これは、GNPに対抗するといいますか、対応した別の言葉で豊かさの質というものは何かといういわゆる満足度を表わすものです。このような指標によって世の中が数値化されてくると、我々の関係している工業都市部門はどういう形になってまいりますか。このような指標がどういう形で取り上げられるかわかりませんが、そういう面でこれからの対応が出てくるのではないかと感じております。

それから経済のソフト化という面で先程ちょっと触れましたけれど、たとえば生産面では重厚長大形のマスプロ形から軽薄短小形の多品種少量生産という変化があります。工業施設等につきましても、たとえば文化のための1%システムというように機能オンリーではなく、これにプラスαをした質の向上ということが盛んに言われるようになってきております。たとえば、あのアルピントフラがプロシューマーという言葉を使っております。これは生産面におきまして生産者側のプロデュースと、それからそれを利用する側の消費者という立場でコンシューマー、これらを合わせた合成語として、プロシューマーという立場で、物の生産にあたっていく必要があるということです。これをたとえば我々の行政という立場に置きかえますと、行政をアドミニストレーションという言葉で考え、それに対応する広い意味での国民の方々をユーザーという言葉で考えますと、プロシューマーに対応してアドミューザーというような言葉ができます。このアドミューザーという立場で、我々の行政面などでも考えていく必要があるのではないかと感じております。そのような人々の意識の変化、経済のソフト化というものに対して、我々もいろいろと変わった対応、新しい対応を工夫していかななくてはならないと感じているわけでございます。

それから来年度の予算が年末に編成されるわけでございますが、これがどういうふうになりますか。5年間連続して抑制が続いているわけでございますけれど、たとえば言いますと国の全体の一般歳出に占める公共投資の割合というのは、ちょうどゼロシーリングが始まりました55年度は21.7%でございましたが、これが少しずつ減ってまいりまして59年度には20%に低下しております。わずか1.7%と思われるかもしれませんが、他の経費、社会保障あるいは文教、防衛等に比べますと、この低下を皆様方は実感として感じておられると思います。建設省関係の予算につきましては新聞等でご覧のように、自動車重量税問題、オーバーフロー問題、住宅金融公庫の利子補給問題、さらにはダム建設が非常に非公立的な施工実態になり、建設が遅々として進まないといった様な問題等々、大きな問題がございまして、近代にないような状況の中での予算編成に向けてどういうふうになってまいりますか。党主動形の予算編成というようなことが言われておりますが、これからの数日間がどうなってまいりますか。建設省としても全力をあげてこの公共投資関係に力を入れている現状でございます。

非常に長くなって申しわけございませんが、最後に一言お願いとして申し上げておきたいのは、皆様方はそれぞれの分野で専門的な仕事を担当されていると思います。先程申しましたような世の中の変化にも目を向けながら広く知識を得て、そしてその専門分野の仕事に充分繁榮させていくという

ことが必要だと思います。他の分野・周囲のことには、まったく無関心では進歩がないように思いますので、自分を取りまく周囲の変化動向等にも配慮して広い視野で仕事をしていていただきたいと思います。技術の進歩は永遠ということが言われておりまして、古くて新しい問題ということもよく言われますように、古い問題でも世の中の進歩、技術の進歩によって新しい問題として浮かび上がってくることも多々あるわけでございます。そういう面で広く目を向けて頂きまして、ひいてはそれが自分の見識の幅が広がることにつながるわけですから、これからの問題にも取り組んでいて頂きたいと思います。今日は一年に一回でございますが、当面の地質関係の重要テーマの会議でございます。有意義な会にして頂くよう希望致しまして、ご挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございます。

挨拶

土木研究所所長 飯田 隆一

土木研究所の飯田でございます。皆様おはようございます。

第18回の地質担当者会議の開催にあたりまして一言ご挨拶申し上げます。

私事で恐縮でございますが、私は皆様ご承知の通りずっとダム関係に従事しておりまして、地質との関係は非常に深いものでございますので、第一回の担当者会議から、確か去年はちょうど台風委員会の国際会議とぶっかりまして出られませんでしたでしたが、それ以外はずっと出てたと思います。今回が18回目ということをお聞きしまして、地質担当者会議が発足してから、もうすでに20年近い月日が流れたのかと思いますと、非常に感慨無量であったわけです。その間、地質の人達と土木の人達との協力によりまして、私共が関係しておりましたダムあるいはトンネル、あるいは本四連絡橋のような大型構造、あるいは地すべり関係というおのおのの分野におきまして、非常に大きな進歩があったと思います。その進歩に比例致しますようにこの会議の参加者も増えておりますし、また、この会議を通しておのおの技術的問題というものが、いろいろ討議されながら基準化され、あるいは技術交流されることによって発展してきたというふうに考えております。これらの交流を通して地質の方々には、土木のいろいろな問題点を理解頂けましたし、また、土木の方々にとりましては地質を理解し、あるいは理解する人達に広まっていくというような形で進んできたと思います。今回の課題を拝見いたしますと、最近のトピックスと各現場との問題点を持ち寄りまして、また討議するという形になっておりまして、いずれも今日では重要な問題になっていると思いますので、この場をかりまして充分ご検討頂くことによりまして更に一段と進歩することをお願いするわけでございます。

特にコンクリートの反応性骨材についても一部検討されるようでございますが、先程技術審議官からも指摘がございましたように、一部の地区でアルカリ骨材反応が問題になっております。先日建築研究所でR I L M国際会議が開かれまして、その出席者の話を聞いておりますと、やはり外国でもコンクリートの耐久性の問題が、非常に問題になっているということを聞いておりました。今日も最初の挨拶で蒔田部長から一言あるかと思っておりましたんですが、最近、蒔田部長がイギリスへ行かれたの話でも、むこうでもだいぶ関心を高めているという話でして、この種の問題は非常に社会的にも世界的にも関心が高まっております。しかし、よく振り返ってみますと皆様ご承知の通り日本というのは、東北地方から関東にかけては北上川、あるいは丹沢山塊から西側、中央構造線までというのは、ほとんど第三紀の海底火山活動の盛んな地域でありましたし、それから中央構造線から西側では日本海沿線から西側では日本海沿いに、ずっとそういうゾーンが続きまして九州の西半分を覆っております。この部分は海底火山として非常に不安定な材料を含んでおります。また、その部分では第四紀の最近におきまして、火山活動等があってその後の変質作用等もかなり受けております。従い

まして水成岩を中心にしました諸外国に比べますと、非常に不安定な岩石というものを大量に内蔵している地域であります。そういうことを考えますと、このコンクリートの耐久性の問題は外国に比べまして、日本の場合非常にきびしくなる可能性もありますし、また、これはコンクリートの問題、あるいは化学の問題という形ではなく、当然地質的にも充分解明しておくべき問題になってくるだろうというふうに考えられます。

社会の生活水準が上がりいろいろ社会の需要が多様化するにいたしまして、この会議で取り上げられる問題も、いろいろ複雑な変化をしていくことと思いますし、また、問題が多岐にわたってくると思われまゝ。現在、先程以来お話に出ておりますこのコンクリートの耐久性の問題についても、今後地質的にも非常に問題になり、おそらく皆様方にもいろんな形で、ご協力をお願いしていくことになるかと思ひます。この会議を通じまして、また、この種の問題が積極的に取り上げられまして、建設省の技術あるいは日本の建設技術全般がさらに進んでいき、1つの原動力になりますようにお願い致しまして、私のご挨拶に代えさせていただきます。

閉 会 の 挨拶

土木研究所地質官 大 木 達 夫

本日は一日御熱心に御討議を頂き、ご苦勞様でございました。

本日の議題につきまして前半はトビックスということで、最近問題になっている大事な問題について、ご紹介がありました。時間が短かいのであまり詳しくというわけにはいきませんでした。が、興味、関心をお持ちの方は、いろいろ今後とも資料等を取り寄せて勉強して頂ければ幸いかと思います。特に長野県西部地震につきましては、地質構造の面から、地震動の面から、地すべりの面からといろいろな方面から総合的に研究をしてみる必要があるように思われます。また、NATMにつきましては、お話がありましたように、建設省ではまだ実績が少ないという点もあり、一日も早く最先端のレベルに追いつきまして、そのメリット、デメリットをよく考えて進めていきたいものと考えます。それからコンクリートの問題につきましても、骨材資源という面から地質的に、岩石学的に全国的な情報をできるだけ早く集めていく必要があると思います。また、本省の方からいわゆるダムにおける第四紀断層の話がございました。これにつきましては今後いろいろ進めていく上では、手法的にもいろいろ難かしい点もあるかと思うので、本省、土研等と相談しながら進めて頂きたいというふうに考えます。

それから、ボーリングの話でございますが、当面現場なりに担当されている方々で、いろいろ工夫してやって頂きたいということで、できるだけ今日のお話のような事を踏まえて、土研においてもいろいろ考えてみたいというふうに考えております。それから、ボーリングデータの方の管理ですが、データバンク的な話につきまして、本省においてもいろいろ話が進んでいることがございまして、連絡を取りあって進めて行かれたらよろしいかと思ひます。

それから最後に、この二枚ばかりの資料が配られております（注、NHK「山が崩れる」テレビ放送に関する新聞記事）。よく読んで頂きたいと思ひます。昨日と今朝の地方新聞でございますけど、既にど存じの問題かと思ひますが、よく中身を読んで頂ければ幸いというふうに考えます。

では、これで終わりに致します。どうも一日大変ご苦勞様でした。ありがとうございました。

1. トピックス——地質に関わる 技術的諸問題

1—1 長野県西部地震による土砂災害について

土 木 研 究 所

地すべり研究室 主任研究員 吉 松 弘 行

まえがき

昭和 59 年 9 月 14 日、長野県西部の御岳山南麓に位置する王滝村を震央とする M 6.9 の地震が発生し、29 名もの死者、行方不明者ならびに約 246 億円に達する資産被害が生じた。これら被害の大半は地震を起因とする土砂害によるものであったことが特徴づけられる。そこでこれら土砂害に焦点をあて、その実態について報告する。

1. 地震の概要

昭和 59 年 9 月 14 日 (金) 午前 8 時 48 分頃、長野県西部の御岳山南麓付近に震央を持つマグニチュード 6.9 の地震が発生した。この地震は「昭和 59 年 (1984 年) 長野県西部地震」と命名され、気象庁によれば、震源位置は北緯 $35^{\circ} 49'$ 、東経 $137^{\circ} 31'$ 、深さ 0 Km と発表されている。各地の震度分布は図-1-1 のとおりである¹⁾。

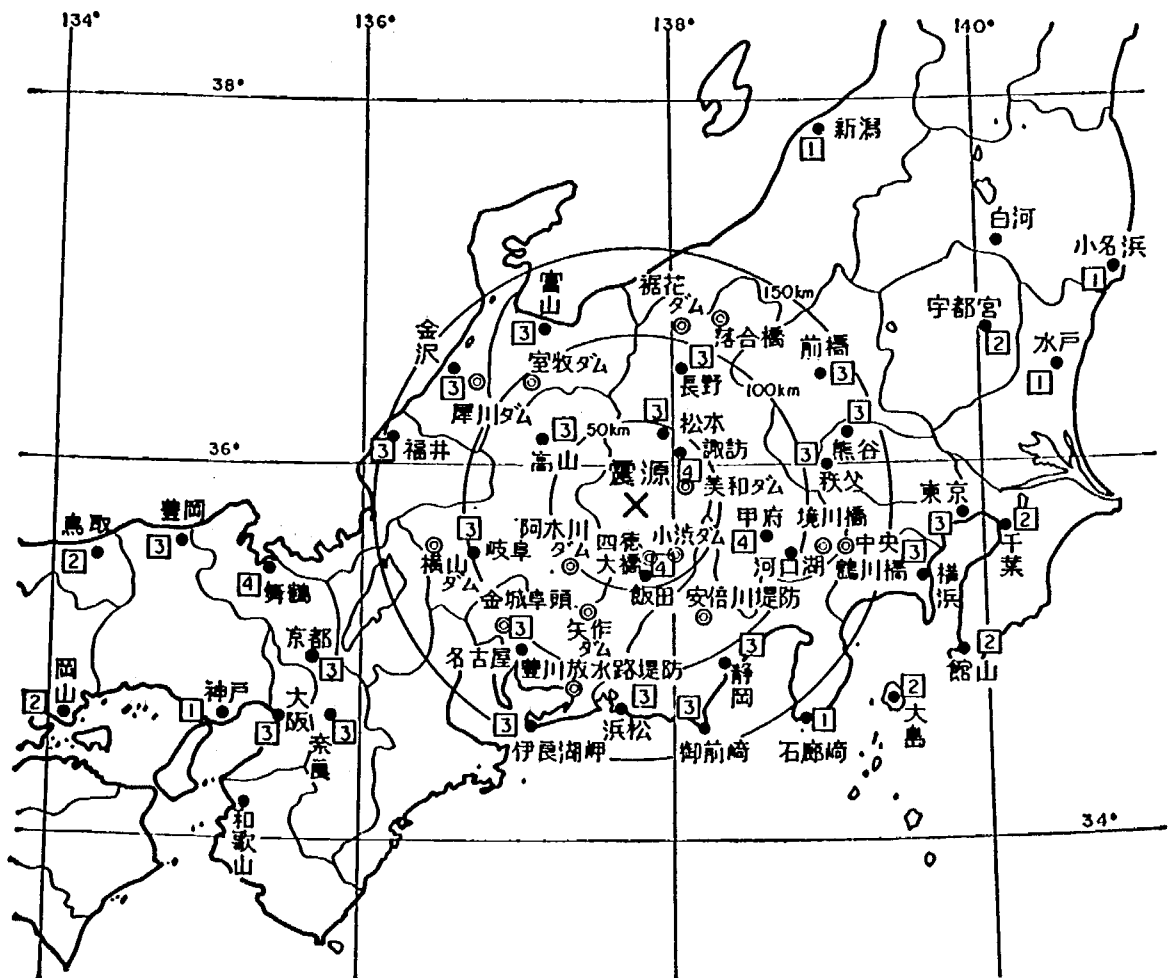


図-1-1 各地の震度分布

これら地震に伴う 10 月 3 日までの余震の日別発生回数を図-1-2 に示す。これらの余震の中でもっとも大きかったものは 9 月 15 日午前 7 時 14 分頃に発生したものでマグニチュード 6.4 と発表されている。

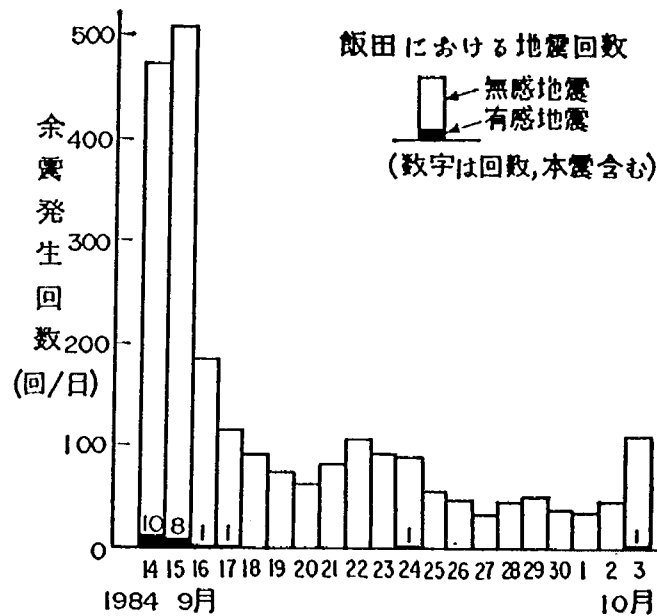


図-1-2 余震の日別発生回数 (気象庁資料による)

地震の発生機構については今後詳細に調査研究され、明らかになると思われるが、現地点においては次のように考えられている。

発震機構の解析から、この地震は東北東～西南西方向に伸びる右横ずれ変位により、最大余震 (15 日午前 7 時 45 分, M6.4) はこれに直交する方向の左横ずれ変位によるものであったとされている^{2),3)} (図-1-3)。松田は⁴⁾震源域の活断層の状況について、活断層は震源域には顕著なものは存在しな

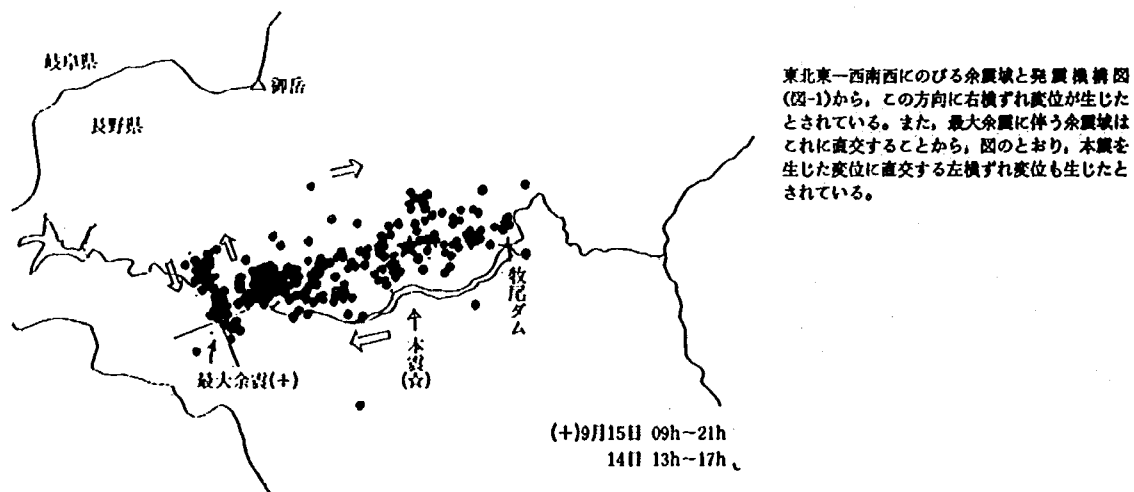
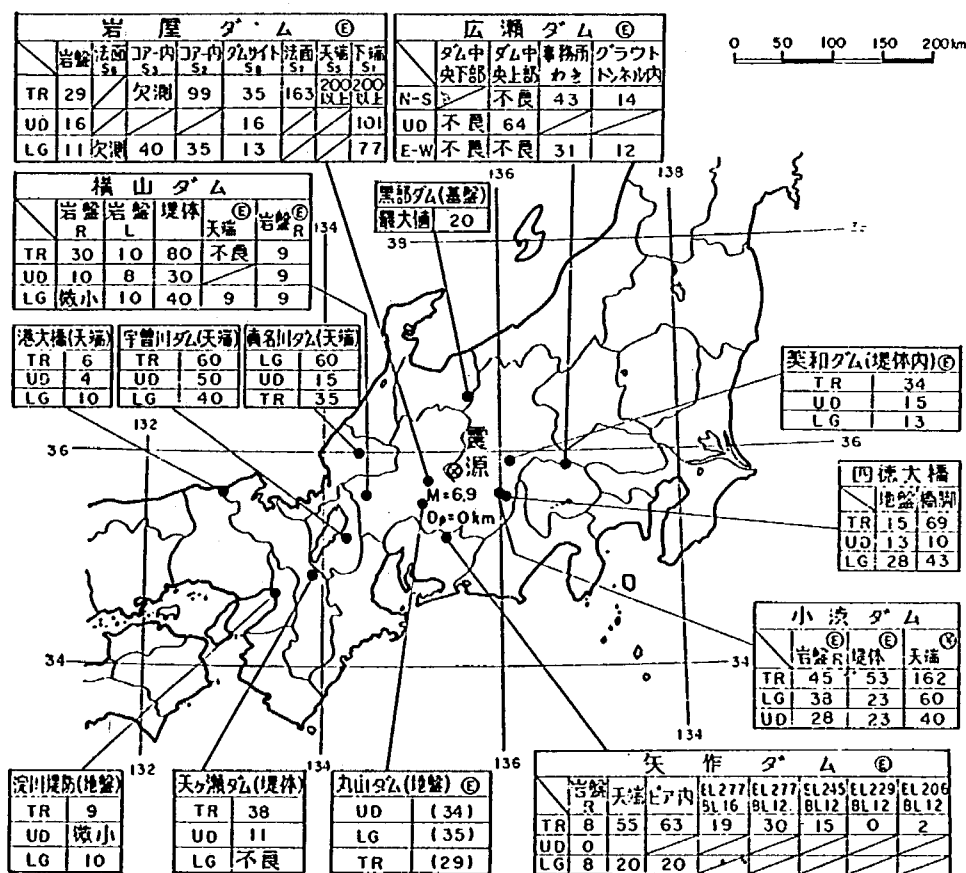


図-1-3 余震分布 (名大理学部, 1984)

い。その疑いのあるENE-WSW走行のリニアメントが、牧尾ダム - 王滝村中心部間にあるが、たしかな活断層ではない。しかし、本地域の南西約20Kmには、A級の顕著な活断層があり、その副断層の北東端は滝越付近に達していて本震の翌日その付近で最大の余震が生じた。しかしこの活断層は走向がNE-SWで右ずれであり、最大余震の推定震源断層(NNW-SSE, 左ずれ)とは一致しない。概して、今回の震源域に露出する基盤岩中に断層や破碎構造がとくに多いということはない。

震源域を横断する多くのルートで、道路の側溝・路面よう壁などの異常(地割れ・ずれなど)の有無を観察した結果、土地の被害のほとんどすべては地震動によって生じた表層の現象とみなし得るものであり、今回の地震の震源断層に対応するような地震断層は今回出現しなかった。今回の本震および最大余震に対応する地表地震断層は出現しなかった。これまでの内陸被害地震のうち、マグニチュード7未満の地震で地震断層が出現した例は9例中3例しかなく、したがって今回、地震断層が出現しなかったことは必ずしも奇異なことではないと報告している。

9月14日の本震に伴って得られた強震計による加速度記録の最大値(暫定値)を図-1-4に示す。



- 注1) 表中の⑥は電磁式強震計による。
 " ⑦は普及型強震計による。
 注2) ()の記録は他の成分と記録が交叉し最大値の読み取りの信頼性が低いことを示す。
 注3) 黒部ダムの値は、関西電力への電話問合せによる値。
 注4) 岩屋ダムの値は、岩屋ダム管理所担当者による読み取り値。
 注5) /は、観測されていない成分を、また~以上とは、オーバースケールして読みとれないことを示す。

図-1-4 強震記録に基づく各地の最大加速度

震央付近に位置する牧尾ダムには電磁式強震計が設置されていたが、地盤、堤体とも200galを最大記録振幅とするよう増幅器が調節されていたためスケールオーバーして記録は得られていない。

地震動については、川島によれば⁵⁾ 実測の強震記録が得られていないため、はっきりした地震動強度を求めることができないが、墓石の転倒率および既往の地震動の路離減衰特性を総合すると、震源域では瞬間的に0.4～0.5G程度の最大加速度が生じたのではないかと推定される。ただし、地震の規模がM 6.8と比較的小さかったために、このような強い振動が継続した時間は比較的短かく、たとえば200gal以上の地震動の継続時間は3～5秒程度と推定されると報告している。

いずれにしても、多くの家屋は損壊は免れたものの、一部の家屋では屋根瓦が落ちたり、窓ガラスが破壊するなどの被害を被ったほか、屋内の家具が倒れたり散乱するなど地震動の大きさがかなりの程度のものであった。

2. 被害の概要

今回の地震による災害状況を10月31日できりとまとめたものが表－1である。そのうち公共土木施設被害の内訳は表－2の通りとなっている。

表－1に示した人的被害の大部分は、大規模な斜面崩壊のために被ったもので、御岳山南麓の王滝村松越地区並びに濁沢温泉等で発生した。住家被害のうち全壊、流出したもの、地震動による直接的な倒壊はなく、いずれも斜面崩壊により基礎地盤ごと崩壊したり、流出した土砂によって倒壊したものである。

表－2にまとめられた被害額では、公共土木施設関係が120億円と最も多く、次いで林業関係となっている。これらの被害の発生した箇所を図－2－1に示す。

被害の発生した範囲は概ね震央から10～15Km以内である。この範囲内で、自然斜面の崩壊、落石、道路

表－1 被害集計

(昭和59年10月31日現在、
木曾地震県災害対策本部資料による)

被害の種別		被害額等
人的被害	死者	14人
	行方不明	15人
	負傷者	10人
住家被害	全壊	14戸
	半壊	73戸
	一部破損	517戸
農業関係被害		482,600千円
林業関係被害		10,857,900千円
公共土木施設関係被害		12,071,200千円
水道施設被害		84,390千円
商工業関係被害		825,362千円
教育関係被害		146,863千円
その他の被害		133,722千円
(被害総額)		(24,602,037千円)

(文献5より引用)

表－2 公共土木施設被害状況

単位：千円(59.10.31現在)

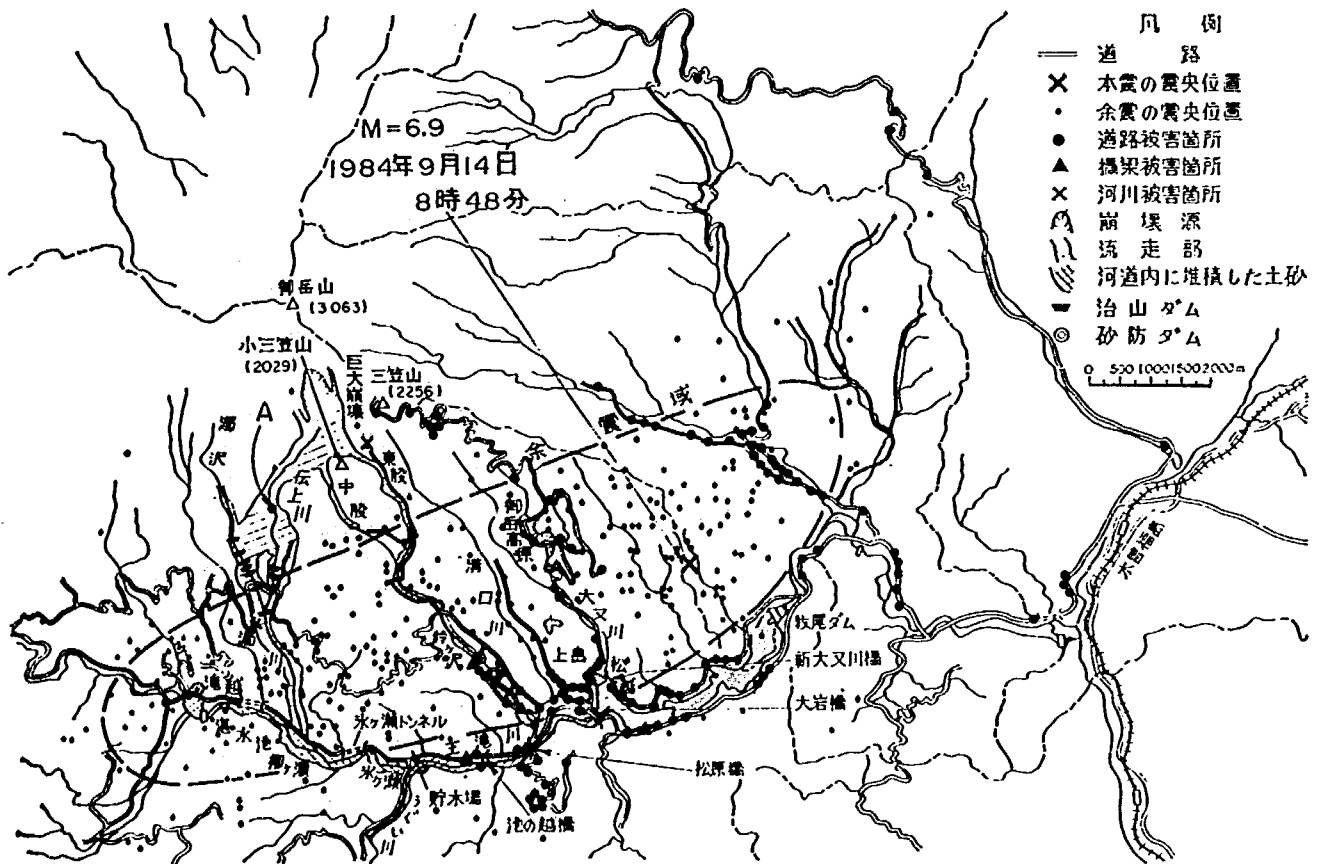
種別	県工事		町村工事		計	
	か所	金額	か所	金額	か所	金額
河川	9	4,880,800	3	41,100	12	4,921,900
砂防設備	1	40,000			1	40,000
道路	6	4,342,000	154	2,324,000	240	6,666,300
橋梁	4	228,000	10	215,000	14	443,000
計	100	9,491,100	167	2,580,100	267	12,071,200

単位：千円（59.10.31現在）

町村	県 工 事										町 村 工 事										合 計	
	道 路		橋 梁		砂 防		河 川		計		道 路		橋 梁		河 川		計				か所	金 額
	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額	か所	金 額		
王 滝 村	30	3,973,200		218,000	1	40,000	9	4,880,800	43	9,112,000	90	1,978,700	8	206,000	1	40,000	99	2,224,700	142	11,336,700		
三 岳 村	42	296,800		10,000					43	306,800	39	264,000	1	5,000			40	269,000	83	575,800		
木曾福島町	8	39,100							8	39,100	12	45,600	1	4,000	2	1,100	15	50,700	23	89,800		
上 松 町	2	19,000							2	19,000	7	19,400					7	19,400	9	38,400		
開 田 村	4	14,200							4	14,200	5	14,800					5	14,800	9	29,000		
日 義 村											1	1,500					1	1,500	1	1,500		
計	86	4,342,300		228,000	9	40,000	9	4,880,800	100	9,491,100	154	2,324,000	10	215,000	3	41,100	167	2,580,100	267	12,071,200		

（文献6より引用）

表－2 公共土木施設被害状況



図－2－1 被害箇所位置図

（注） 本震の震央位置及び余震の震央位置は気象庁地震予知情報課資料による

（文献1より引用）

盛土の崩壊擁壁の倒壊などの被害が随所で生じているが、今回の地震を特徴づける大規模な斜面崩壊が伝上川源頭部、滝越地区、松越地区、御岳高原付近の4ヶ所で生じている。伝上川から流出した土砂は短時間に王滝川まで到達した。王滝川に到達した多量の土砂は王滝川をせき止め天然の湛水池を現出した。

3. 地形・地質

今回の地震の震央に近い王滝村付近の基盤岩地図は図-3-1に示すように、主に白亜紀後期の角閃石黒雲母流紋岩溶結凝灰岩であり、その上位に御岳火山の火山噴出物である安山岩、玄武岩の溶岩や火山碎屑物が破覆している。

御岳火山の発達史は、大きくは古期および新期の2時期に分類され、更に古期は第1期、新期は第2期、第3期、第4期に分けられる。今回の御岳崩壊源頭部は、上記のうち第3期に分類される熔岩が分布している。

この時期の御岳火山活動は第2期山体頂部に火口を開き、安山岩を噴出し、成層火山を作った時期である。¹⁾この期の活動は熔岩の流出とともに降下スコリアや火砕流がくり返し噴出しており、分布地域は御岳山全域に及び、第2期山体をほとんど覆って成層火山をつくりあげた。

御岳火山が美濃古生層と白亜紀に噴出した濃飛流紋岩類の境界の破碎帯上に、数十万年前に噴出した成層火山であるため、御岳山頂から王滝村に至る山体面は成層火山に見られる緩傾斜の斜面が続くが、この山林を侵食する溪流が南北方向に、また王滝川本川がその火山体末端を切るように北西から南東方向に流下している。これら溪流、本川沿いの溪岸斜面は比較的急斜面をなしている。

4. 御岳くずれ

4-1 規 模

この崩壊は今回発生した崩壊のうち最大のもので標高 3,063m の御岳山の南側斜面で濁沢川の支川伝上川右岸の御岳山八合目付近（約 2,500m）を崩壊頭部として、尾根部に発生した。（写真-1）



写真-1 御岳山体の巨大崩壊

この崩壊は標高 2,520m を頂部とした水平長さ 1,380m，最大幅 700m，最大深さ約 150m，比高 715m，崩壊面積 0.754km²，崩壊土量 3,600 万 m³（国土地理院計測）の巨大崩壊である⁸⁾（図-4-1～2 参照）。崩壊前平均斜面勾配は 26 度である（図-4-3 参照）。

崩壊は、かつての旧崩壊地の東側に位置する尾根そのものが崩壊している。崩壊前の尾根は、熔岩を主とする物質で構成されており、この一部は旧崩壊地の東側壁に急崖となって露出している。この大崩壊の位置はかつて構成された谷部にあたると推定され、すべり面下部域全面にわたり薄い黄褐色を呈する軽石層が見られている。

その崩壊土砂の大半は伝上川を下り濁沢との合流点にある尾根（河床からの北高約 80m）を越え（写真-2），さらに立木及び谷壁を削ちながら本川王滝川に到達し，王滝川合流点直前で比高約 80m の小尾根を乗り越えて本流の柳ヶ瀬を埋積し（写真-3），その末端は氷ヶ瀬に達した。岩屑流の全長は 12km に達し，その上流部では削剝により谷壁の熔岩層が完全に露出しているが，下流では谷壁にも堆積物を残している。

王滝川本川合流点付近においては，崩土の堆積前の地形から判断して約 40m 程堆積している。これ

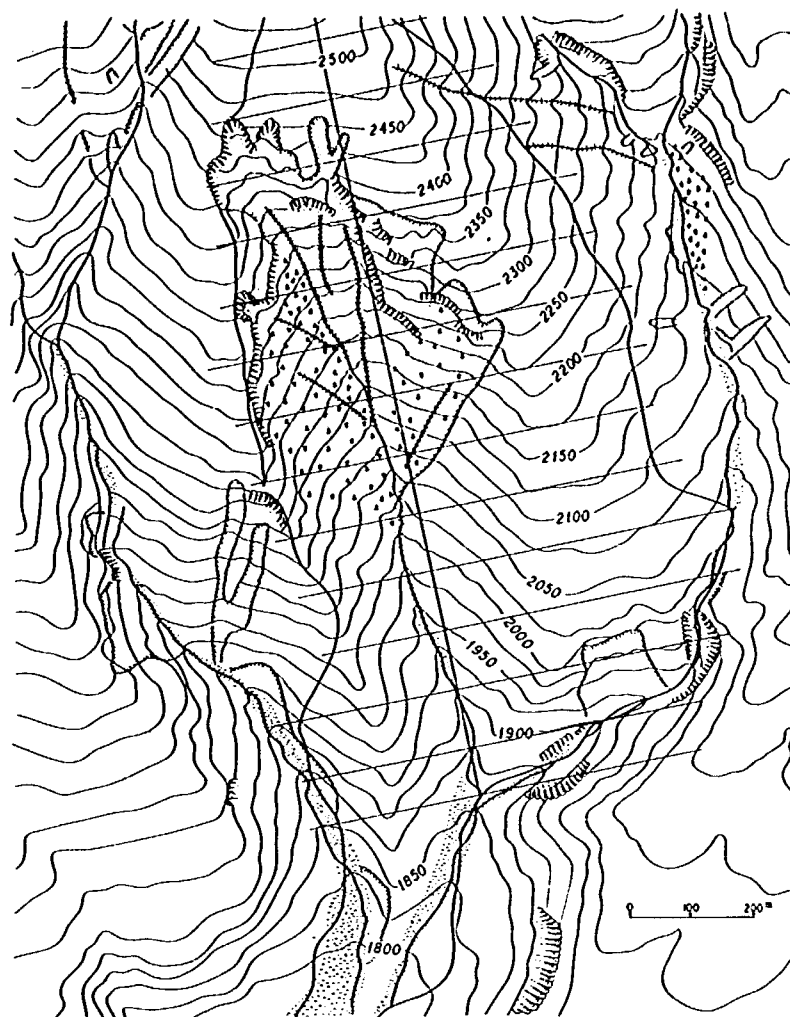


図-4-1 御岳くずれ平面図(国土地理院)

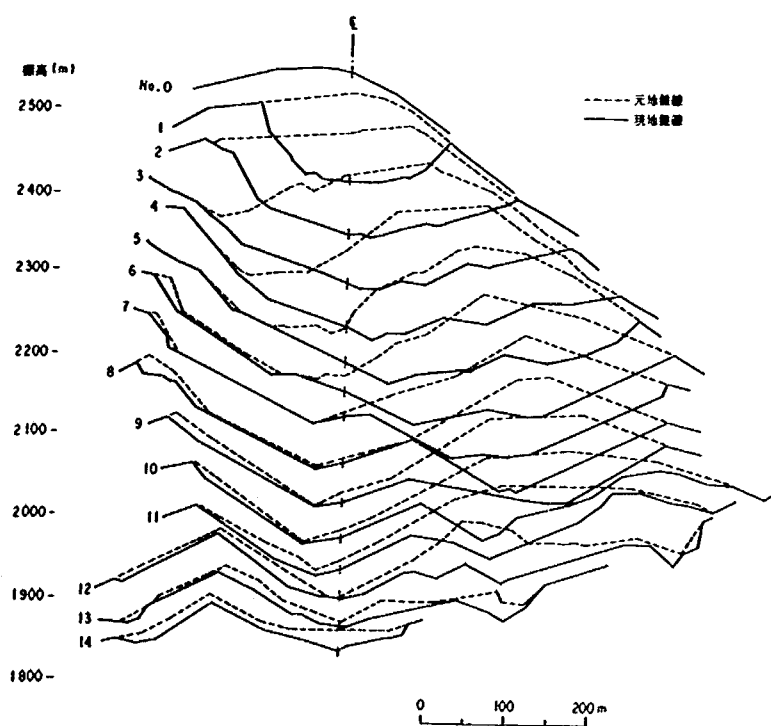


図-4-2 御岳くずれの崩壊前後の横断図

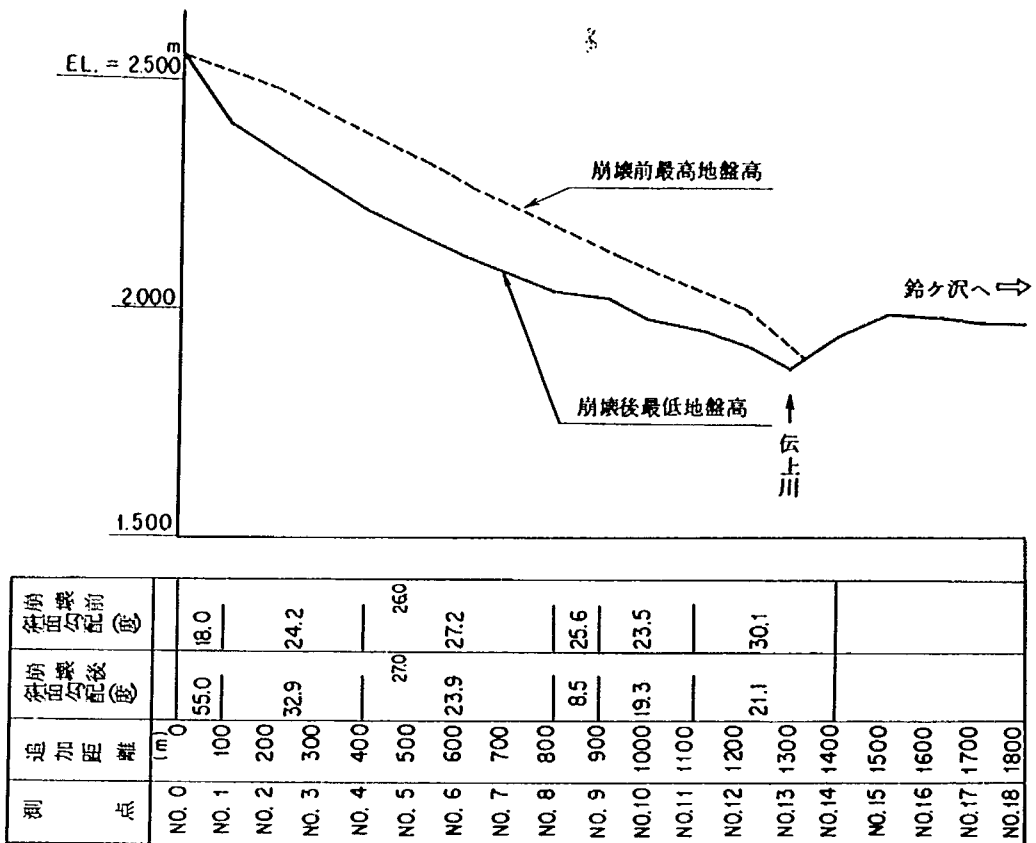


図-4-3 御岳くずれの縦断面

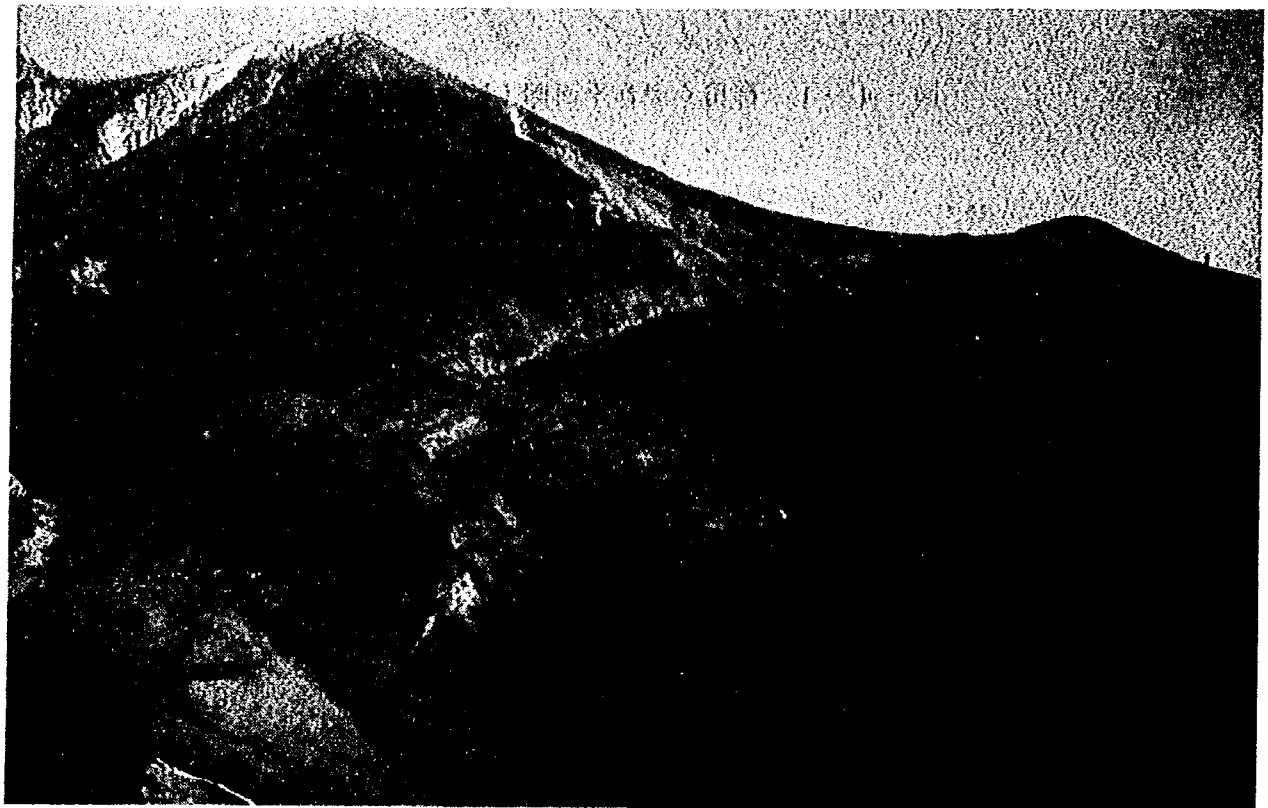


写真-2 伝上川の岩屑流の流下後の状況

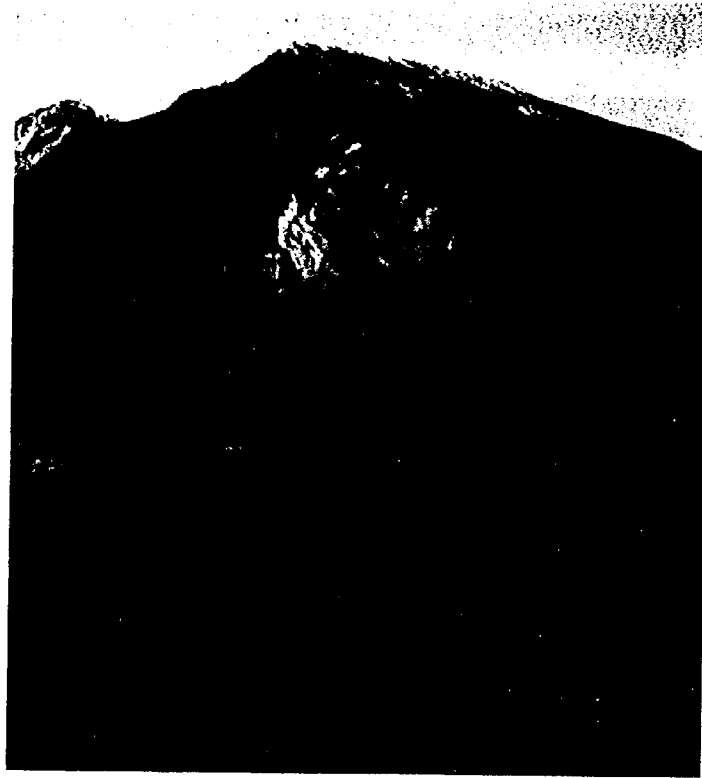


写真－3 濁沢川と王滝川本川合流点

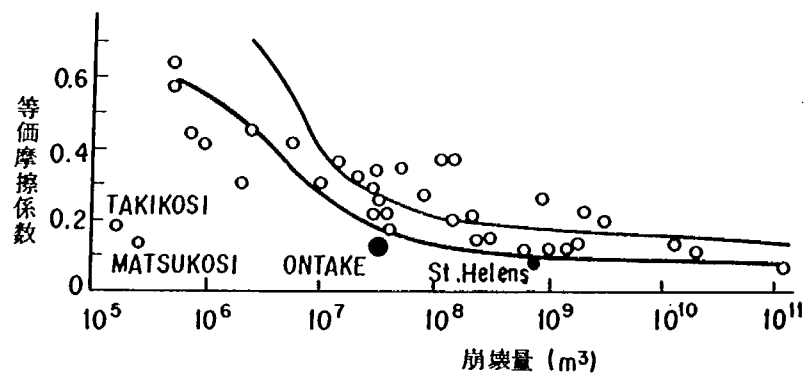
らの堆積地は王滝川沿いに柳ヶ瀬から氷ヶ瀬まで約2 Kmにも及び、その堆積土量は約1,100万 m^3 と推定されている。また濁沢には砂防ダムが数多く設置されていたが、その地点でも10～20 m程度の崩土の堆積が見られており、濁川および濁沢にはまだ相当量の堆積土量が残されている。

さらに崩土の一部は対岸三笠山鞍部を乗り越え、さまざまな色調の帯状模様の堆積物を尾根部に残し(写真－4)東股、中股に流入し、そのうち東股を流下したものは土石流となって王滝川本川に達している。この状況は報道機関のビデオにも立木をなぎたおして流下する様子が良く撮影されている。この流速は中流部で6～10 m/S で平均8 m/Sであることがこのビデオから計測されている。¹⁾

また、Hsii・K. J. が過去の巨大崩壊についてその崩壊土量と等価摩擦係数(堆積の前縁と崩壊の頂点とを結ぶ線の正接をいう)の関係を図－4－4に示している。これによると崩壊土量の大きいもののほど等価摩擦係数が小さくなる傾向がある。御岳くずれの値を入れると等価摩擦係数(μ)が0.148 ($\frac{1570\text{m}}{10600\text{m}}$)となり同規模の崩壊に比べて流動性のよいものであったことがわかる。



写真－４ 大崩壊対岸の崩さの乗り越え状況



図－４－４ 等価摩擦係数と崩壊量の関係 Hsii, K. J.)

(文献 8 より)

5. 松越地区の大崩壊

5－１ 崩壊の規模，形態

松越地区の崩壊は，松草川が大又川に合流する直下の大又川右岸斜面部に，最大崩壊深 30 m，崩壊幅 170 m，崩壊長 225 m，崩壊土量 29 万 m^3 の規模で発生した。崩壊地は安山岩の溶岩層が狹在する倉越山（標高 1,100 m）の山麓部に位置し（図－５－１，写真－５），一部凹地斜面形態をなし，水の集まりやすい地形となっている。崩壊は段丘面を深くえぐるように発生し，その平面形態は図－５－２

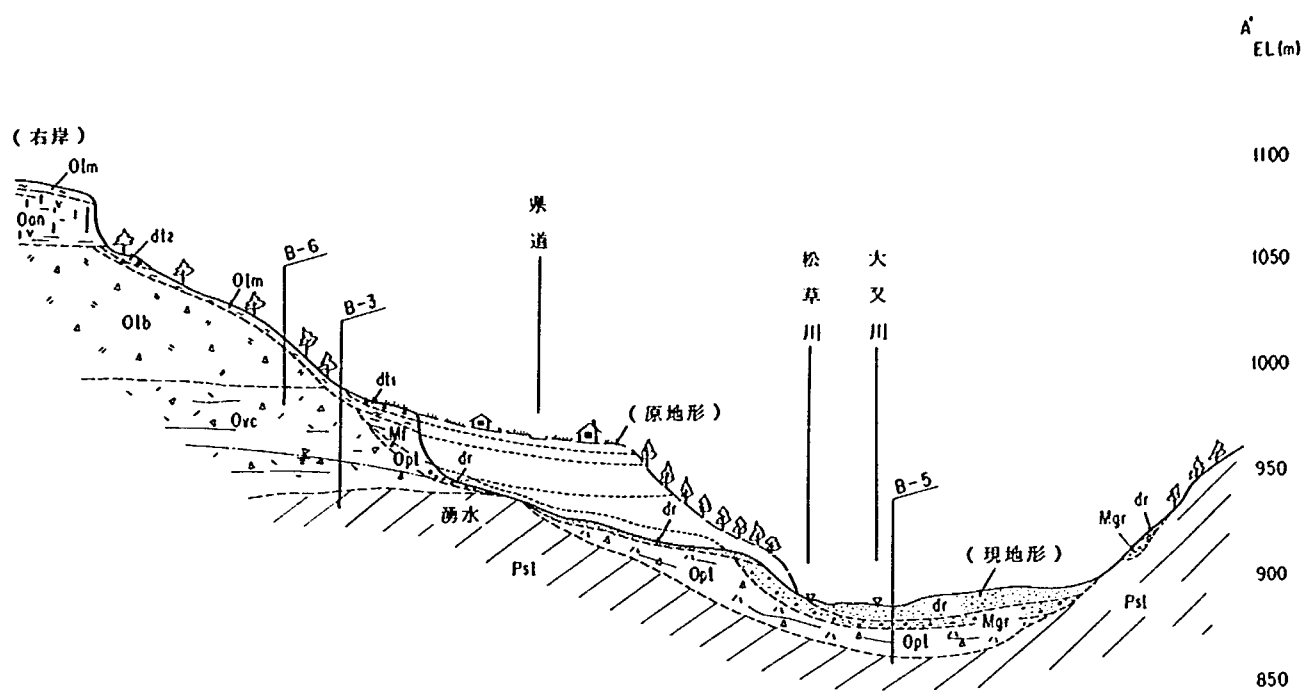


図-5-1 松越地区の地質断面

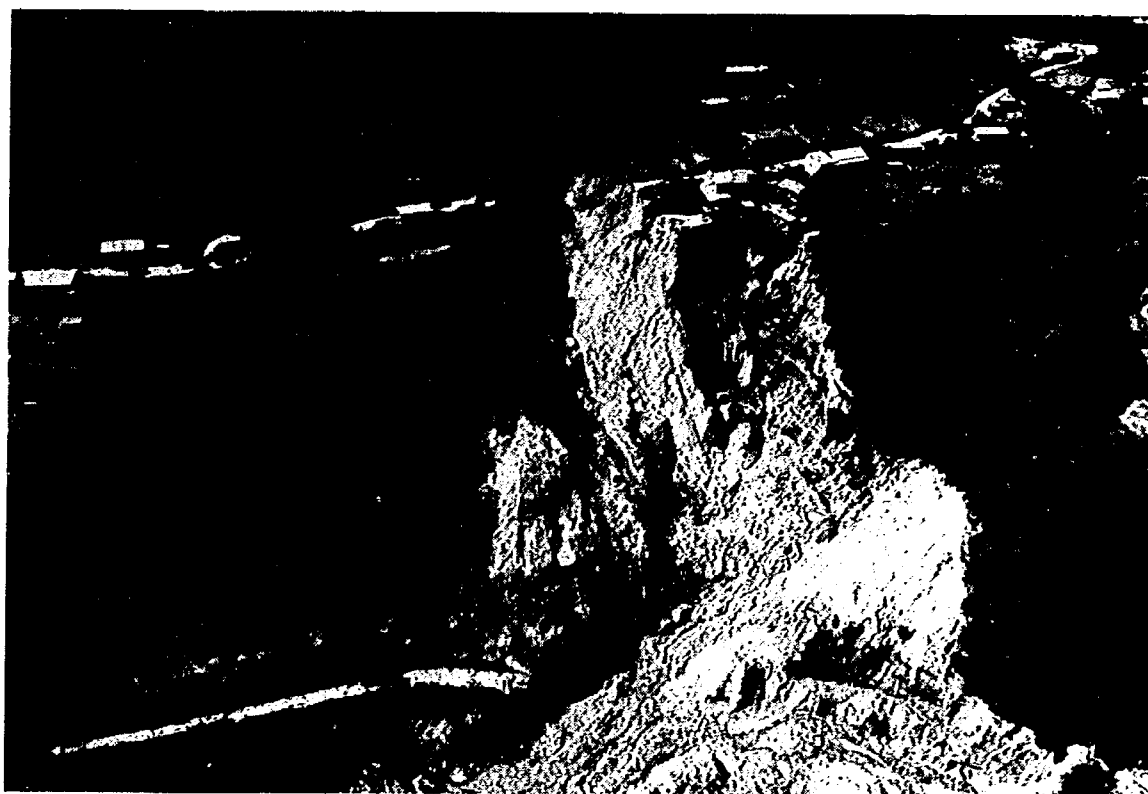


写真-5 松越地区の大崩壊

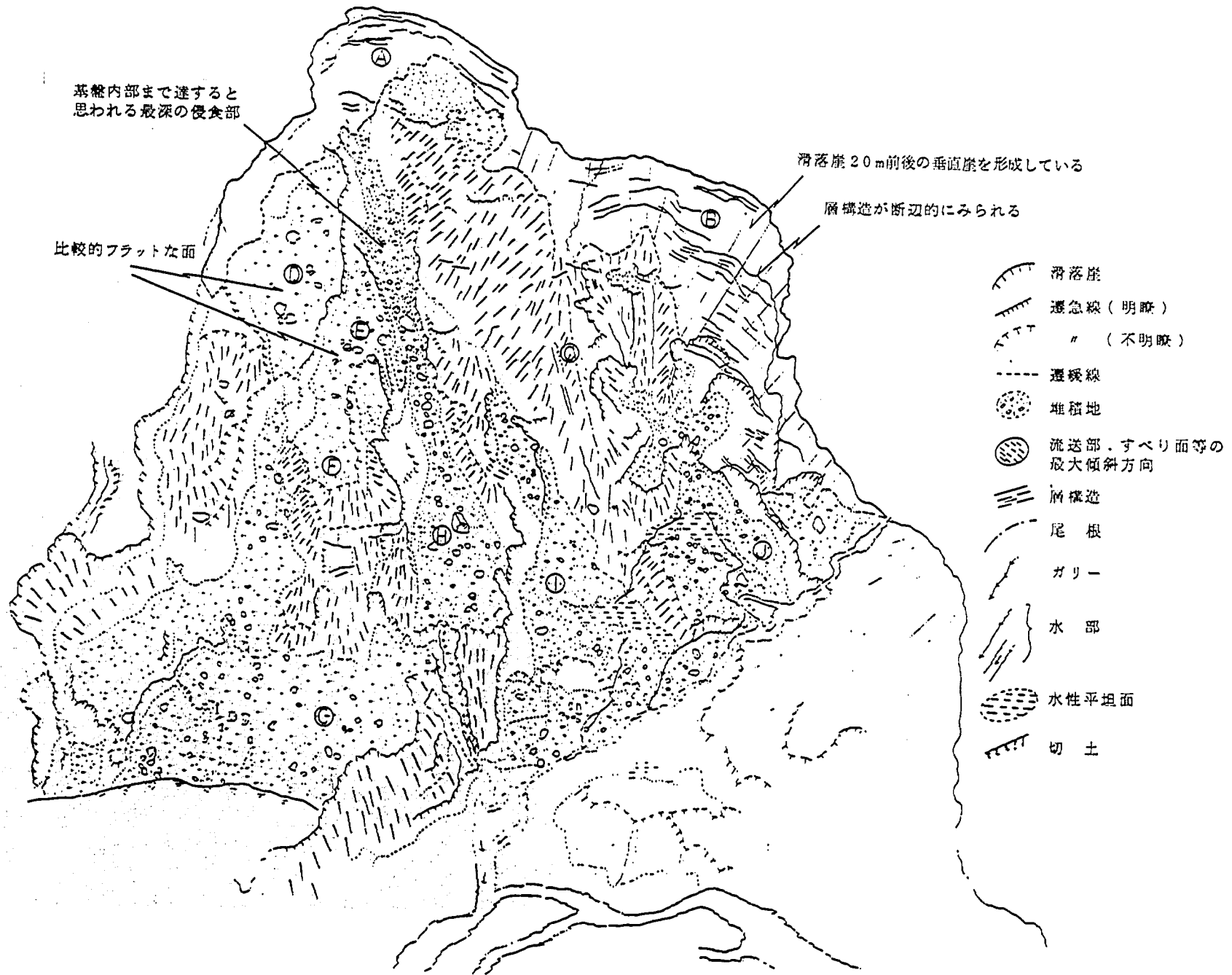


図-5-2

に見られるように、2箇所の明瞭な馬蹄形の滑落崖が連続して観察される(図-5-2, ①, ②)。崩壊地内には、これら崩壊ブロック①, ②を分割する小尾根③が存在し①ブロックの崩壊深より浅いすべりをなすブロック④が観察される。このすべり域には滑落崖部に位置していた人家の残骸が残存している。崩壊頭部域には電柱が立てられていたが、崩壊後電柱は電線が切れずに宙づり状態で残っており、①, ②ブロックのスプーンで深くけずり取った滑落面形態等から考えて、崩壊頭部の土塊は沈下の挙動を示したものと推察される。

崩土は、大又川を越え、河床に近い箇所に設置されていた生コンブランクを対岸斜面に約35mも押し上げた後、再び大又川に沿って流下している。しかし崩壊地の対岸部斜面には崩土の大規模な堆積現象は見られない。大又川を流下した崩土は、貯水位が低下し、湖底の現れた御岳湖上流端域(崩壊当時、御岳湖は湛水量が満水時のその23.5%であった)に崩壊域から約890mも離れた位置まで拡散堆積している。この末端堆積域の崩土には、一部1~2m直径の流れ山や流木が含まれているがほとんど火山灰土で構成され、末端域ではシルト土の薄層波状の堆積形態が明瞭に観察される。これら堆積土の性状および波状堆積の痕跡、崩土の対岸斜面にのり上げる挙動はあたかもセメントシルクのそれに似ていたという目撃者の談からして、崩土の流下挙動は泥流のそれと同じ挙動をなしていたと推察される。

5-2 地質概性

滑落崖は馬蹄形状のほぼ垂直に近い形態であり、その滑落面には図-5-2に見られるように層序構造が観察される(表-3)。これら地質の特性について述べると、古生層は粘板岩、砂岩、チャ-

表-3 松越地区地質層序表

地質時代	土 層 名				地質記号	地 質 構 成	層 厚(m)	固結の程度	N 値
新 生 代	第 四 紀	完 新 世	今回発生した 土石流堆積物		dr	礫まじり粘性土	10以下	未固結	1~5
			崖錐堆積物		dt ₂	礫	1~5		—
			崖錐堆積物		dt ₁	礫および 礫まじり粘性土	1~10		9~50
			現河床堆積物		rd	砂礫	1~5		—
	新 世	御 岳 火 山 噴 出 物	新 期	火山碎屑物	O _{lm}	火山灰(ローム)	2~10	未固結 ~半固結	2~10
				泥流堆積物	M _f	礫まじり火山灰	20~30		5~20
				湖成堆積物	M _{gr}	砂 礫 (軽石層を挟む)	20~50		10~50
			古 期	火山碎屑物	O _{pt}	軽 石 (軽石質砂を挟む)	10~20	固 結	2~50
				溶 岩	O _{an}	輝石安山岩	60		50以上
				火山碎屑物	O _{tb}	凝灰角礫岩	30~60		50以上
古 生 代	二 疊 紀		古 生 層 (美 濃 帯)		O _{vc}	火山円礫層 (粘土層を挟む)	50	半固結	10~50 以上
					P _{ss}	砂 岩	—	固 結	50以上
					P _{sl}	粘板岩	—		50以上
					P _{ch}	チャート	—		50以上

ト等で構成され、地層の走向はN 70°Eで60～85°の南東傾斜を有しており、①ブロックの滑落底面に粘板岩層が一部観察される。露頭観察を通しての古生層上面の推定等高線から推察して、当地区の古生層は沢状地形の凹となっている。この上位には御岳火山の噴出物が堆積している。この噴出物は古期噴出物と新規噴出物に分類され、古期噴出物は火山円礫層(Ovc)、凝灰角礫層(Otb)、安山岩溶岩層(Oan)からなり火山円礫層には3～30cm径の安山岩、古生層等の亜円礫が含まれている。基質は軽石を含む砂質の火山灰からなり半固結状である。凝灰角礫岩層は3～10cm径の安山岩の角礫と砂質凝灰岩の基質からなり固結している。

崩壊地近傍のボーリング調査⁷⁾によるこの古期噴出物は、崩壊域内まで連続して見られず、この新規火山噴出物の堆積が開始されるまでに当地区において著しい侵食作用があり、その後新規火山噴出物が谷埋め状に堆積したものと推察される。新規火山噴出物は、軽石層(Opt)、砂礫層(Mgr)、泥流堆積物(Mf)、火山灰(Oem)に分類される。軽石層は1～5cmの灰白色の軽石を含む軽石流堆積物で特に厚さ1m程度の軽石が極度に風化した黄白色の軟弱な地層が挟在している。すべり面の地質は、①ブロックではこの風化軽石層で構成されており、この上位層の新規火山噴出物が滑落し、火山円礫層(Ovc)、凝灰礫岩層(Otb)等の古期噴出物は滑落していない。この風化軽石層について斜面調査用簡易貫入試験を実施した結果Nc = 5以下で非常に軟弱な地層である。

5-3 崩壊の素因

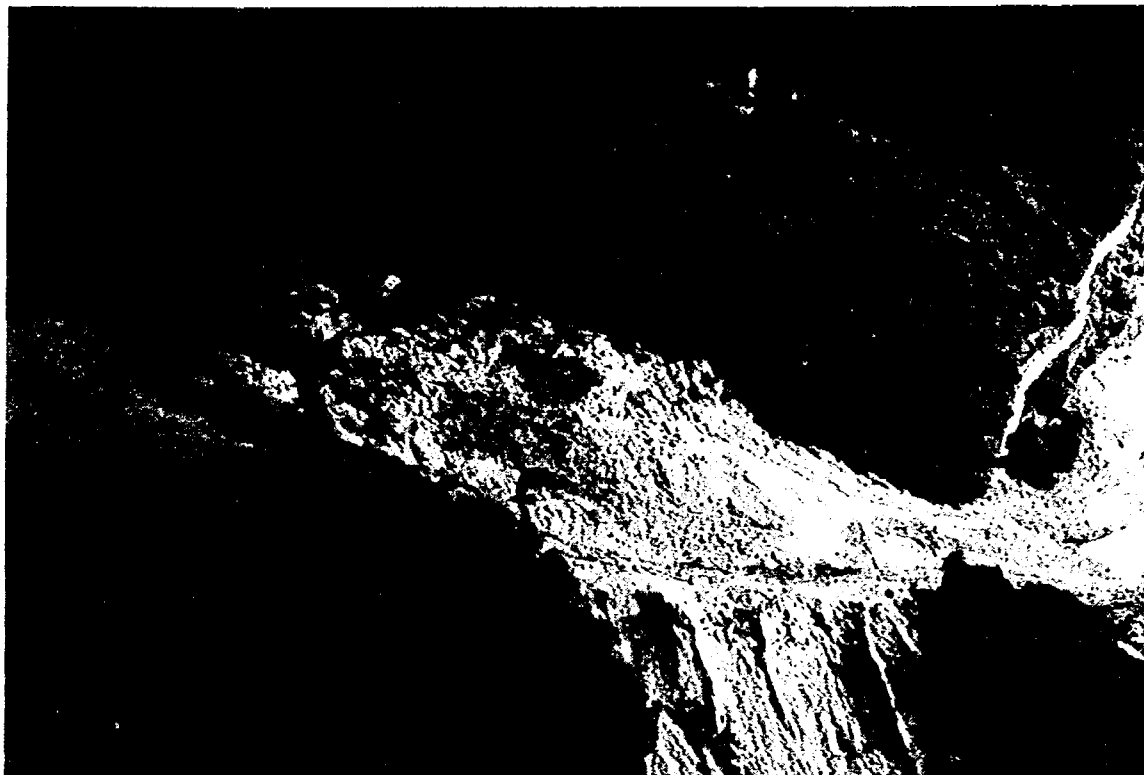
崩壊の素因、特性については今後詳細に研究され、明らかにされると思うが、現地点でその崩壊の素因特性をあげるとすれば、①古生層上面が沢状地形をなしており古生層と古期火山噴出物の火山円礫層(Ovc)の境界付近に地下水の流出が見られるように地下水の集中しやすい特性を有していたこと。②風化軟石層が古生層上面に厚く堆積しこの地層が不透水層となっていること。③風化軽石層の強度が著しく弱く容易にすべり層になりやすかったこと等が考えられる。

6. 滝越地区の大規模崩壊

6-1 崩壊の規模・状況

この崩壊は、王滝川本川左岸沿いの滝越部落の背後西向き斜面(崩壊発生前の斜面勾配約50°)で標高1,200mの台地状尾根部を滑落崖域としている。崩壊高さは60m、幅150m(平均)、厚さ50m(平均)、土量約15万m³の規模で王滝川本川に直角方向に走向する沢状地形の左岸部に発生している。平面的な滑落崖形状は、松越地区のそれと相違して直線上であり、また滑落崖はほぼ鉛直に切り立っている。崩土の何割かは、滑落崖直下部および沢部に残積しているが大部分の崩土は流出している(写真-6)。流下崩土の一部は比高約30mの対岸尾根を乗り越えて隣接している沢を流下したが、大部分は崩壊が発生した沢沿いに王滝川本川まで約850m程流下し、王滝川ダム貯水池内に流入し、幅約300mにわたり拡散堆積している。この堆積地には、直径約10m程度の流れ山(主に径30cm程の岩塊で構成されている)が数多く見られ、特に堆積地先端部で密に存在している。

滑落崖および残積した崩土の状況を斜め写真から判読した結果を図-6-1に示す。滑落崖の上位

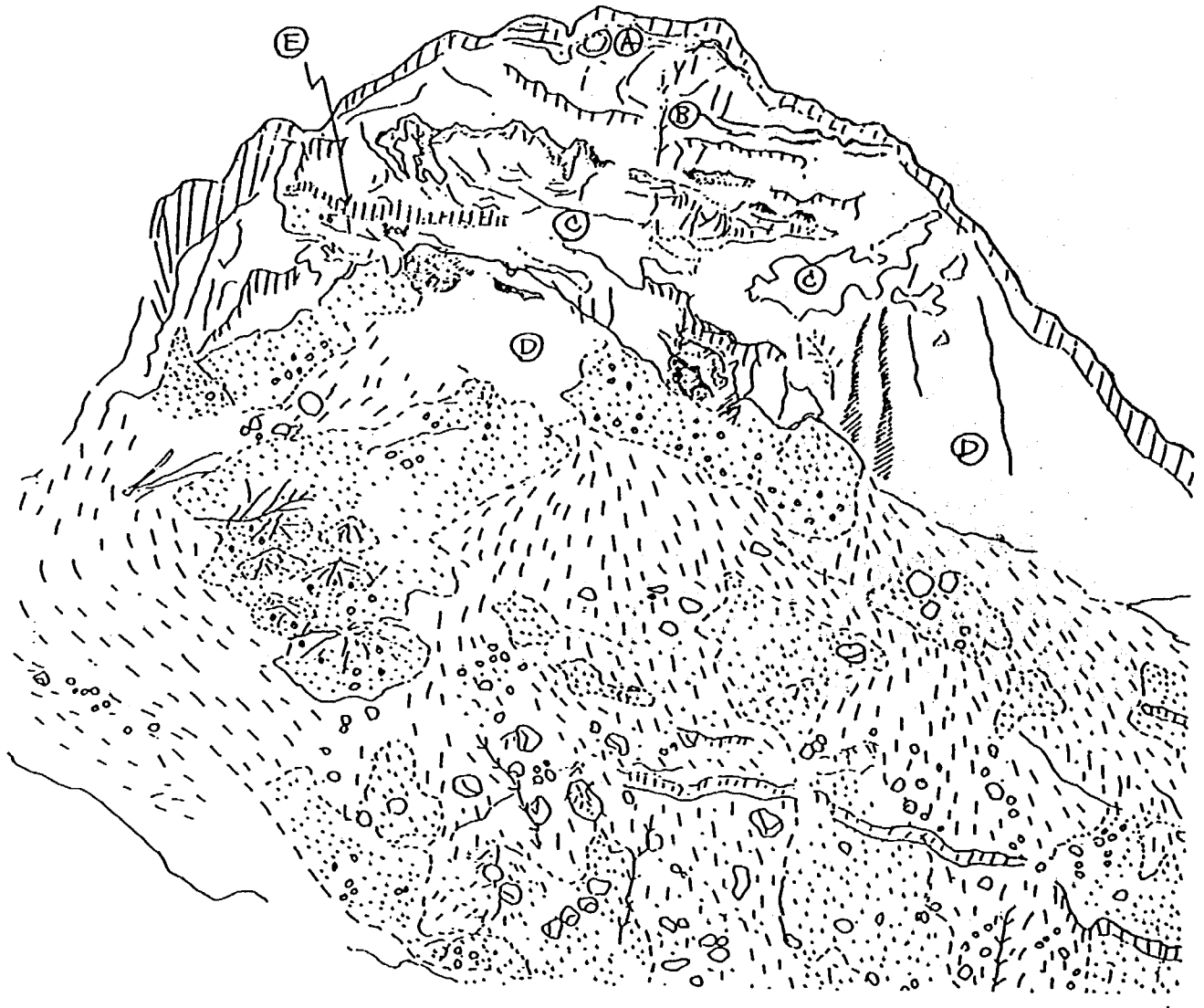


写真－ 6 滝越地区の大崩壊

には褐色～暗褐色を呈する火山灰質土が堆積（図－ 6－ 1 で①の部分）し，地表に近い部分では火山灰質土中に灰白色を呈する粘度層が薄くほぼ水平層～受け盤状に分布している。この下位には褐色を呈する砂層（②の部分）が堆積し，その層厚は火山灰質土より厚い。また，この下位には灰白色～青灰色を呈する安山岩質凝灰岩（③および④の部分）が分布しているが，その中央部は柱状節理が明確に認められ，岩質は堅硬であると判断される。しかしながら，柱状筋理部の上・下位では岩石生成時の条件（急冷など）および風化により劣化した状況であることが分かる（⑤の部分）。滑落崖の最下部は上部からの崩壊土砂で明確に判読することが難しいが，安山岩質凝灰岩および火山噴出岩のようである。また，その下位には崩壊地对岸の露頭から判断すると湖成の砂層，粘土層が存在することも推定される。崩壊土砂流送部の上流部は崩壊した火山灰質土，安山岩質凝灰岩および砂が堆積し，源頭に近い部分では所々で小山状の堆積形態をしている。

6－ 2 崩壊地周辺の地質

滝越付近の地質は，下位から中生代の濃飛流紋岩，第三紀～現世にかけての御岳火山溶岩，滝越湖成層，火山灰質土，段丘堆積物および崖錐堆積物から成っている。このうち，滝越の大規模な崩壊には，先にも触れたように，御岳火山灰質土，御岳火山灰熔岩（安山岩質凝灰岩，火山噴出岩）および滝越湖成層（砂，シルト，粘土）が関連している。



凡 例



滑 落 崖



微小キレツ



柱状節理の
発達した部
分



暗褐～黒褐
の土壌部分



ガリー地形

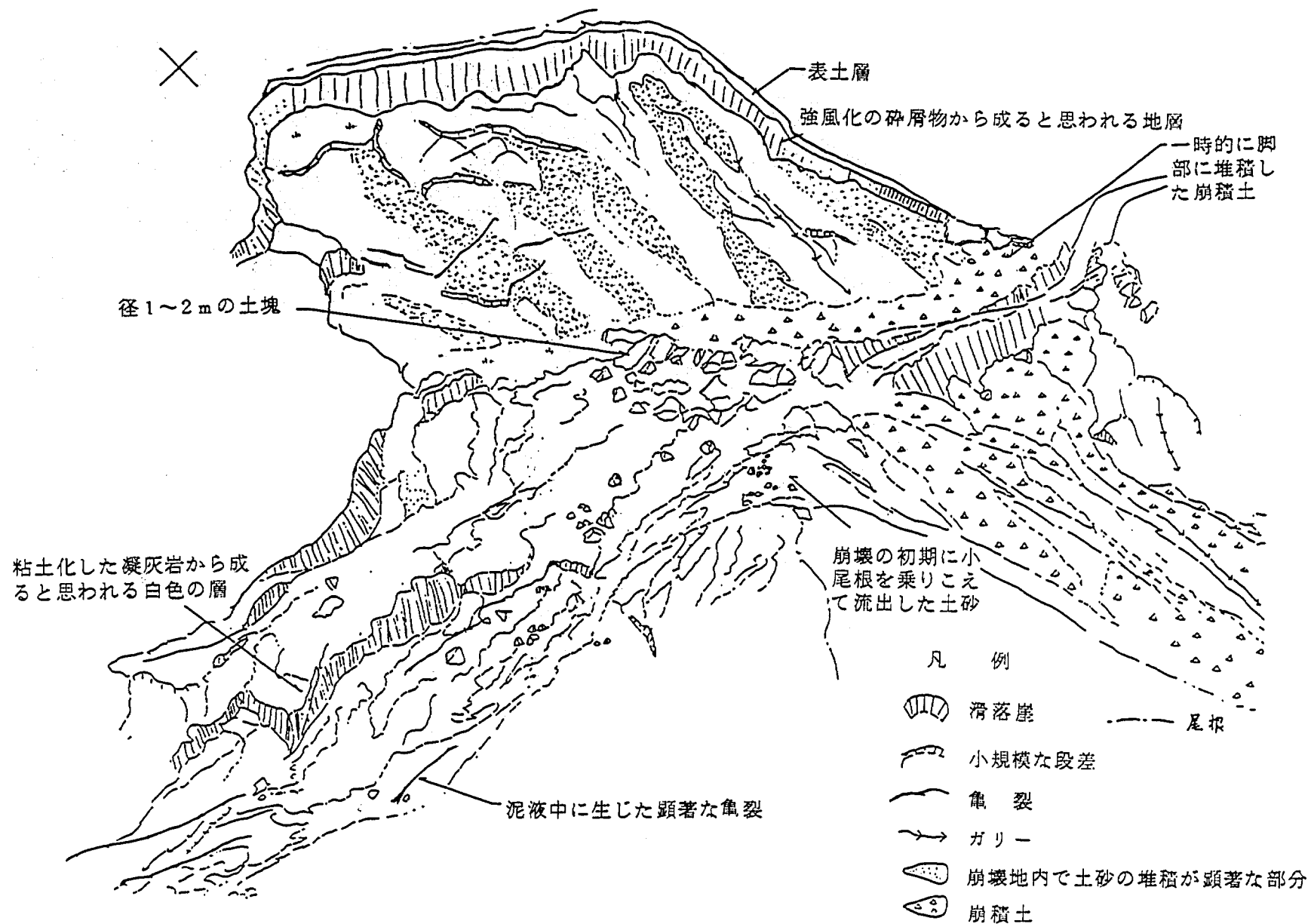


礫及び砂が
主体の部分



土壌が主体
の部分

図 - 6 - 1 滝越地区崩壊源頭部斜め写真判読図



7. 御岳高原地区の大規模崩壊

7-1 崩壊の規模・形態

崩壊地点は、御岳山東南部の御岳高原付近の標高付近の標高 1,300 m 付近のスキー場に至る林道黒石隼谷の斜面に位置しており、この付近には至るところに御岳火山の溶岩流により形成されたとと思われる緩斜面が広がっている。この溶岩台地は、大又川・溝口川等の溪流によって下刻されており、溪流沿いに急崖にはこの溶岩層が造崖層として観察される。崩壊は大小あわせて3箇所発生しており、そのうち最下流域に発生した崩壊は最も大規模なもので、長さ 97 m、幅 133 m、平均崩壊深 5.6 m、崩壊土量約 10 万 m³ の規模である。この崩壊は、道路に面した比高約 30 m の傾斜約 15° の斜面に発生しており、比高 8～9 m の直線状の滑落崖が形成されている（図-7-1、写真-7）。崩土は一気に道路までスライドして、道路沿いの低い尾根状の箇所を乗り越えて溪流まで流出している一方で、一部は崩壊、



写真-7 御岳高原地区のすべり

端部から南へ泥流状の形態で流出し、約 50 m の幅で緩傾斜の谷型斜面に沿って大又川に押し出している。崩土の流下堆積土中には白色の軽石が占在し、周囲の褐色の火山灰土と対象的な色調をなしている。

この最大規模の崩壊域においては、崩壊発生後にかりが形成された右端域（図－7－1）で、5 mm 径の白色軽石を含む褐色の火山噴出物の火山灰土が約 30 m の範囲にわたって観察され、その直上位層として 1 ～ 10 cm 厚さの灰色粘土層が存在する。灰色粘度層がこれら褐色火山灰土上面全域にわたって観察されるわけではないが、不動層としてこの褐色火山灰土層が崩壊地全域に見られ、崩土の残積している箇所では斜面調査用簡易貫入試験を実施したところ、この火山灰土以深になると N_c の値（10 以上）が急激に高くなること等から判断して、崩壊はこの地層以上の土塊が滑落したものと推察される。この褐色火山灰土の傾斜は斜面勾配と同じ 15° の傾斜をなしている。したがってすべり面は比較的平面的で、松越地区のスプーンではぎ取ったようなすべり面形態と異なる。

7－2 地 質

崩壊地周辺の地質は、古期御岳火山噴出物である安山岩溶岩やその他の火山碎屑物からなり、噴出時期は第四紀更新世多摩湖～下末吉期（約 40 ～ 12 万年）にかかる時期と言われている⁸⁾。滑落崖面には、表層土の下部に軽石や凝灰岩等の碎屑物からなる数層の地形がみられ、一部をその地層は風化のため粘土化している。この地層の滑落崖方向に沿う傾斜は約 3° でほぼ水平に近い。また崩壊域頭部の残積土中には、未風化の白色軽石礫が一塊となって存在している。

7－3 すべりの形態

斜面調査用簡易貫入試験の結果や崩壊域の褐色火山灰土の位置形態等から判断して、すべり面形態は平面的で崩壊深の比較的浅いスライド型の崩壊であったと考えられる。崩土は、崩壊域、端に 1 ～ 2 m 径の土塊として一部残存するのみでほとんど下流の沢状地形部に流出している。この崩土の流下が相当下流域（約 1,600 m）まで及んでいることおよびこの崩土が礫塊を含んでいないことから非常に流動性に富んだものであったことが推察される。

8. 山腹崩壊の分布

今回の地震で発生した小規模崩壊の発生位置を図－8－1 に示す。

（小規模崩壊については $1/10,000$ の地形図上にプロットした崩壊分布図からは次の特徴が読みとれる）。

- 1) 余震区域内を中心として無数の小崩壊が発生している。
- 2) 大又川にみられるように浸食に対する抵抗性の大きい熔岩層の露出する層準に沿って連なって帯状に崩壊が発生している（写真－8）。

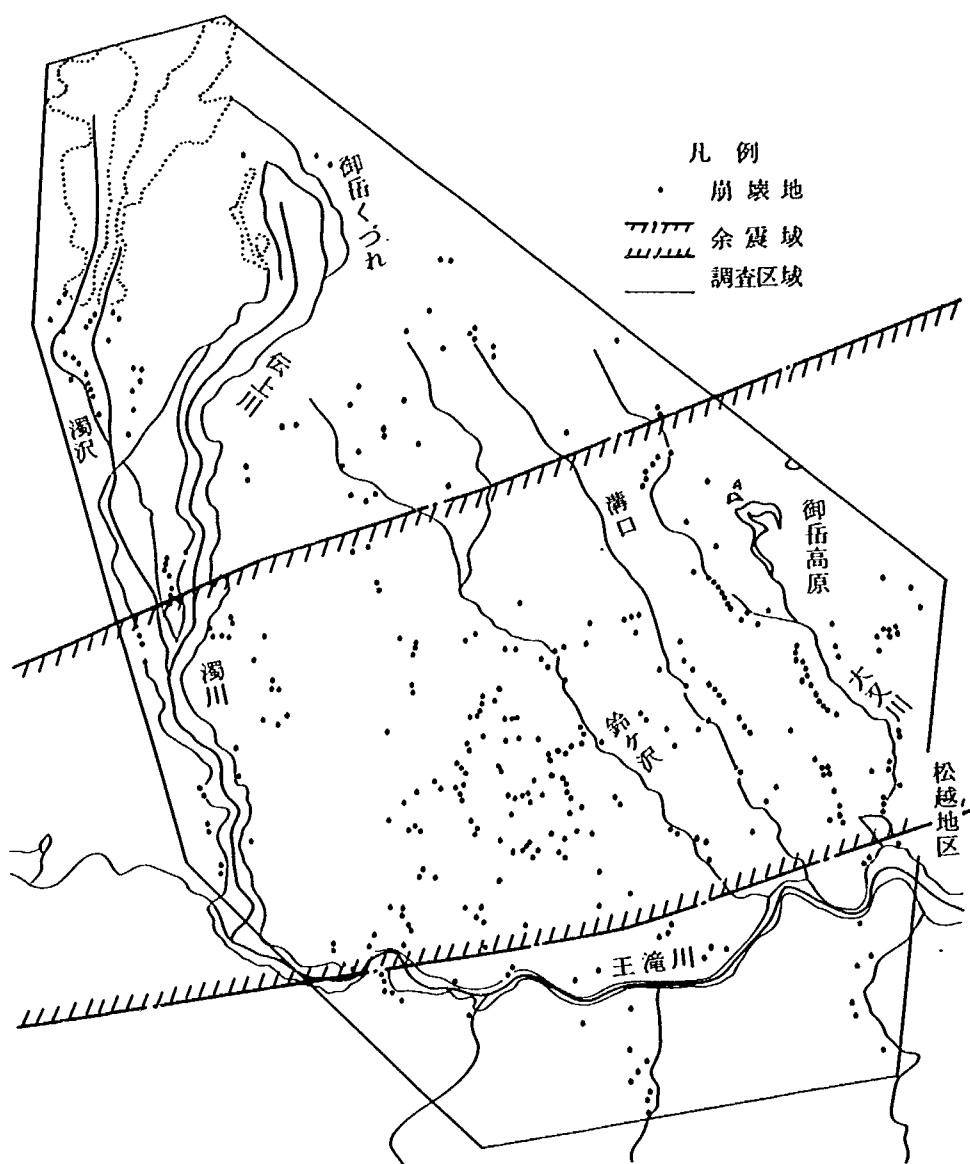


図-8-1 崩壊分布図



写真-8 大又川沿いの小規模崩壊

引用文献

- 1) 佐々木康 外 「昭和 59 年長野県西部地震被害調査速報」土木技術資料 26 - 11 1984.
- 2) 1984 年長野県西部地震による災害(速報) 国土地理院時報 46 60 1984.
- 3) 長岡正利 「長野県西部地震による災害状況」 測量 12 号 1984.
- 4) 松田時彦 「長野県西部地震と地質」 長野県西部地震 — メカニズムと災害報告会資料 土木学会 1984.
- 5) 川島一彦 「長野県西部地震による構造物の被害」 長野県西部地震 — メカニズムと災害報告会資料 土木学会 1984.
- 6) 長野県西部地震災害報告書 長野県木曾建設事務所 1984.
- 7) 小林武彦 外 「御岳火山噴出物の化学的性質」 地質調査所月報 第 26 巻 第 10 号 1975.
- 8) 瀬尾克美 外 「長野県西部地震における大規模斜面崩壊について」 長野県西部地震 — メカニズムと災害報告会資料 土木学会 1984.

1—2 NATM(ナトム)の現況

土 木 研 究 所

トンネル研究室 室長 水 谷 敏 則

1. NATMの概要

1.1 概 説

NATM(ナトム)とは、New Austrian Tunnelling Method(新オーストリア式トンネル工法)の略で、オーストリアの Rabcewicz 教授によって提案され名付けられたものであり、オーストリアを中心にヨーロッパ各地において理論と経験の積み重ねにより発展してきた工法である。

我が国においても、昭和51年(1976年)に上越新幹線・中山トンネルの施工にNATMが導入されて膨張性地山に対して有効な工法であることが認められて以来、種々の地山条件のトンネルにおいて実績と研究が重ねられ、最近では、NATMは安全性が高く、経済的なトンネル建設工法であるとして定着しつつある。

NATMの基本的考え方は、吹付けコンクリートやロックボルトを主体とする支保工を施工することにより、「もともと地山自身を持っている強度を十分に発揮させることによって支持力を得ようとする」ものである。すなわち、図-1に示すように、従来の工法(鋼アーチ支保工と矢板により支保する工法)では、トンネルの掘削によって生じる地山のゆるみによる荷重を支保構造物によって支え

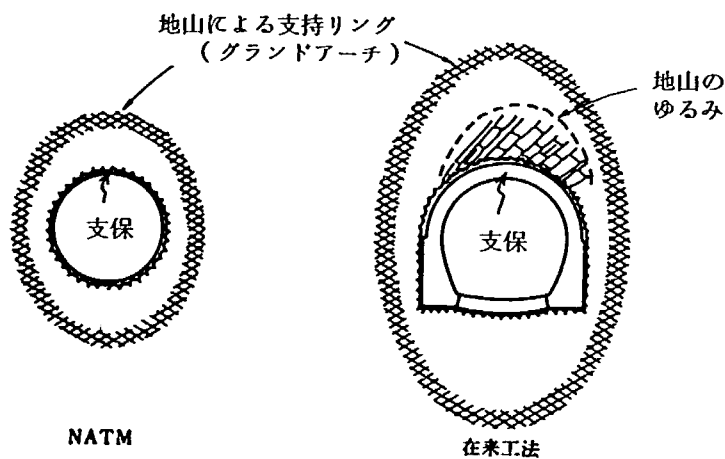
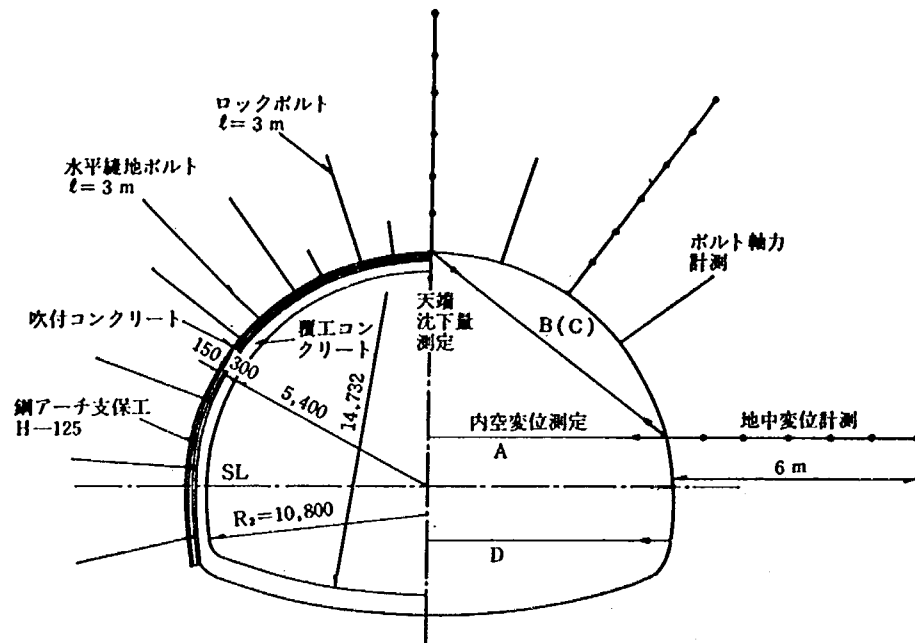


図-1 工法の比較

るという考え方であったのに対して、NATMでは、トンネル周辺地山のゆるみを極力抑え、また、補強することによって地山自身の強度による支持リング(グラウンドアーチ)を形式させて地山の安定を図るという考え方である。いうならば、地山を敵(荷重)ではなく味方(支保構造)にしようとするところが大きい特徴である。

また、NATMでは、吹付けコンクリート等の支保部材を地山に密着して施工可能であるため、従来の工法に比べて、地山と支保構造との境界条件が明確であり、一方、最近のコンピュータによる数値解析技術の向上と相俟って、岩盤力学の理論と実際の設計、施工をより接近させることが可能となった。その結果、NATMでは、現場における変位や応力の計測に基づく施工管理が重視され、計測の結果を解析し設計、施工へフィードバックすることにより、地山特性の把握とそれに対する支保の

経済化と施工の安全確保がより合理的に行えるようになってきている。図－２はNATMにおける現場計測の例である。



図－２ NATMの現場計測例

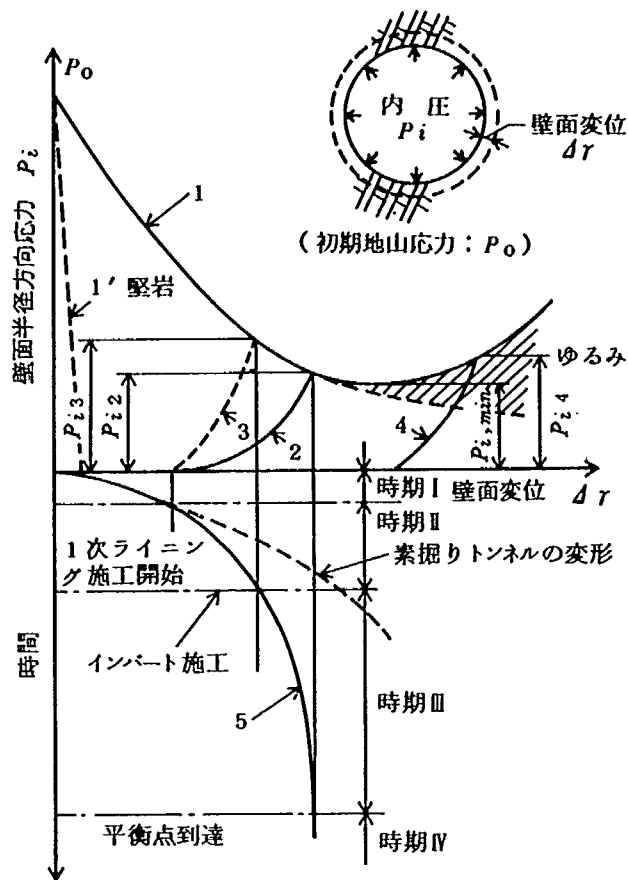
1.2 NATMの考え方

どのような工法を用いるにしても、安全性の高いトンネルを経済的に建設するためには、地山のゆるみを適正な範囲にとどめ、トンネルに作用する荷重が過大とならないよう構造的に安定した状態で完成させることが基本である。

NATMでは、地山が本来持っている能力（抵抗力、支持力）を積極的に利用し、支保部材と地山とが一体のシェルとなって構造物としてのトンネルを安定化するようにしなければならない。したがって、支保の設計、施工においては、地山の損傷をできるだけ小さく抑え、地山自身の強度を最大限に引き出すことを考える必要があり、このためには、トンネルの掘削に伴う地山と支保の挙動について十分理解しておくことが肝要である。

図－３は、支保構造がトンネル壁面の变形に対して内圧を生じることによって対抗するものとして、壁面変位 Δr と壁面半径方向応力（内圧： P_i ）との関係を表したものである。応力 P_i は、地山にとっては拘束応力であり、支保構造にとっては外荷重（外圧）である。図中の曲線１および１'は、地山の变形特性を示す曲線の例である。堅硬な地山では曲線１'に示すようにほとんど変形を伴うことなく地山は安定し、問題は生じない。しかし、曲線１に示す地山は、トンネル掘削による影響の初期の段階では弾性的挙動を示すが、時間の経過とともに塑性的な変形が生じ、変形が大きくなるとゆるみによって荷重がさらに増大すること（図中陰線部分）を示している。

一方、曲線２，３，４は、支保構造の变形特性である。曲線２，３の支保は同じ時期に施工されているが、支保構造の剛性をいたずらに高くすること（曲線３）は支保に作用する荷重 P_{i_3} も大きくなる



図－3 地山と支保工の応力再配置の関係

ので得策ではなく、トンネル構造の経済性の観点からは、地山と支保の平衡点が最小応力 $P_{i, \min}$ 付近にくるようにすることが望ましい。このためには、できるだけ早い時期に柔構造の支保を施工する必要がある。しかし、トンネル掘削に伴う地山の变形（地表沈下など）を抑制しなければならない場合のように、逆に、剛性の高い支保を施工するのが良いこともある。

なお、支保工の施工時期が遅過ぎる場合（曲線4）や、支保工の剛性が小さ過ぎる場合には、地山特性曲線の $P_{i, \min}$ より右側で平衡点をもつことになり再び荷重 $P_{i,4}$ が大きくなって経済性が損われたり、場合によっては平衡点が現れずトンネルの安定が得られないなど、安全かつ経済的なトンネル工事ができなくなる。

NATMの場合には、上述した地山と支保の挙動を理解することが特に重要であり、その結果として支保工の設計・施工の合理化が図られる。

1.3 NATMの特徴

NATMの利点の主なものをあげると、次のとおりである。

- (1) 地山自身を持つ支持力を有効に利用するので、支保材料の節減が可能であり、その結果、省資源・経済的である（表－1参照）。
- (2) 覆工を含めて支保構造の厚さが薄いので、掘削断面を小さくでき、経済的である。

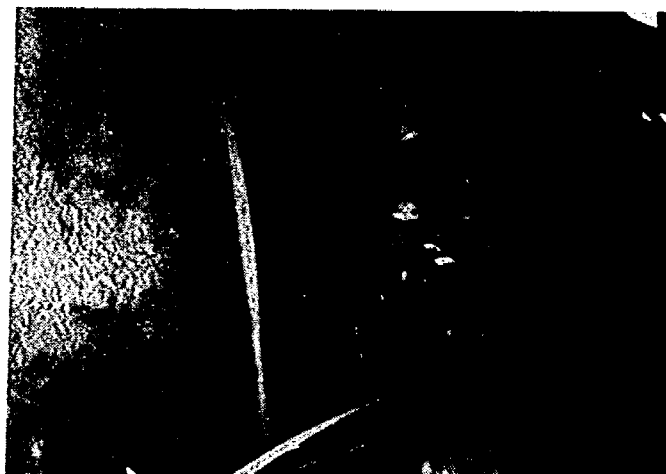
表－1 主な使用材料の比較

(道路公団：藤白トンネル)

		(延長1m当り)		
材	料	在来工法(A)	N A T M(B)	率 (B/A)
コンクリート (m³)	覆 工	2 5.7	1 0.5	5 8%
	吹 付	—	4.4	
	計	2 5.7	1 4.9	
鋼 材 (ton)	鋼アーチ支保工	1.9	0.9	6 3%
	ロックボルト	—	0.3	
	計	1.9	1.2	

ただし、N A T Mの実施工では鋼アーチ支保工を使用していない。また在来工法では、補強のためのロックボルトやキーストンプレートを使用しているため、鋼材使用量の差は大きくなっている。

- (3) 支保工と地山との密着性が良いので、地山の強度劣化を防止でき、トンネル構造としての耐久性にすぐれている。
- (4) 現場計測により支保工の必要量を定量的に評価することができ、支保工の合理的な設計が可能である。
- (5) 定期的な計測は、落盤などの施工中の不測の事故の予知と未然防止にも有効である。
- (6) 支保部材が断面形状に応じて柔軟に適用できるので、施工法の変更、断面の変化などに対処しやすい。
- (7) 掘削は一般に全断面工法またはベンチカット(上半)工法で行われるので、大型施工機械を導入しやすく、経済化が図れる。
- (8) 地山のゆるみが少ない工法であること、また、吹付けコンクリートのロボット化により、一発破進行長の増大が可能であり、施工速度の向上が図れる(図－4 参照)。
- (9) 吹付けコンクリートの滑らかな面にシート防水工を容易に施工できるので、漏水やそれによるつららの問題をなくすることができる(写真－1)。また、覆工コンクリートも全断面を同時に打設する(本巻き)ので打設継目が少なく仕上がりも美しい。



写真－1 防水工の施工

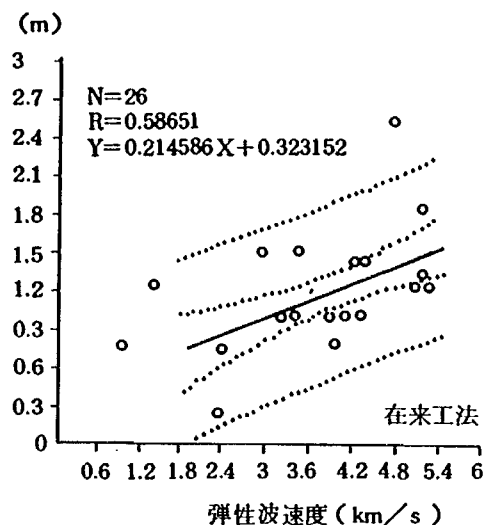
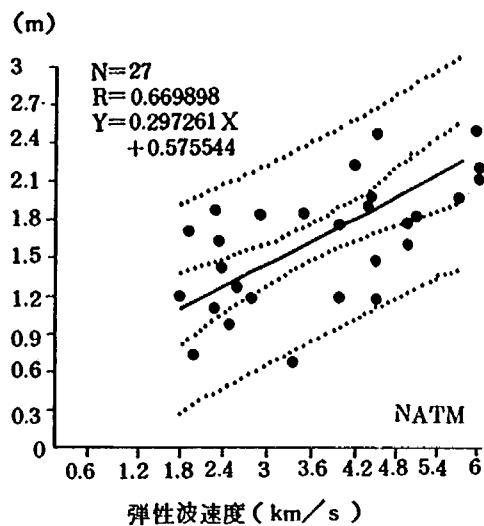


図-4 弾性波速度と1発破進行長
 (道路公団資料より)

岩区分は各岩質別掘削数量を加重平均して算出

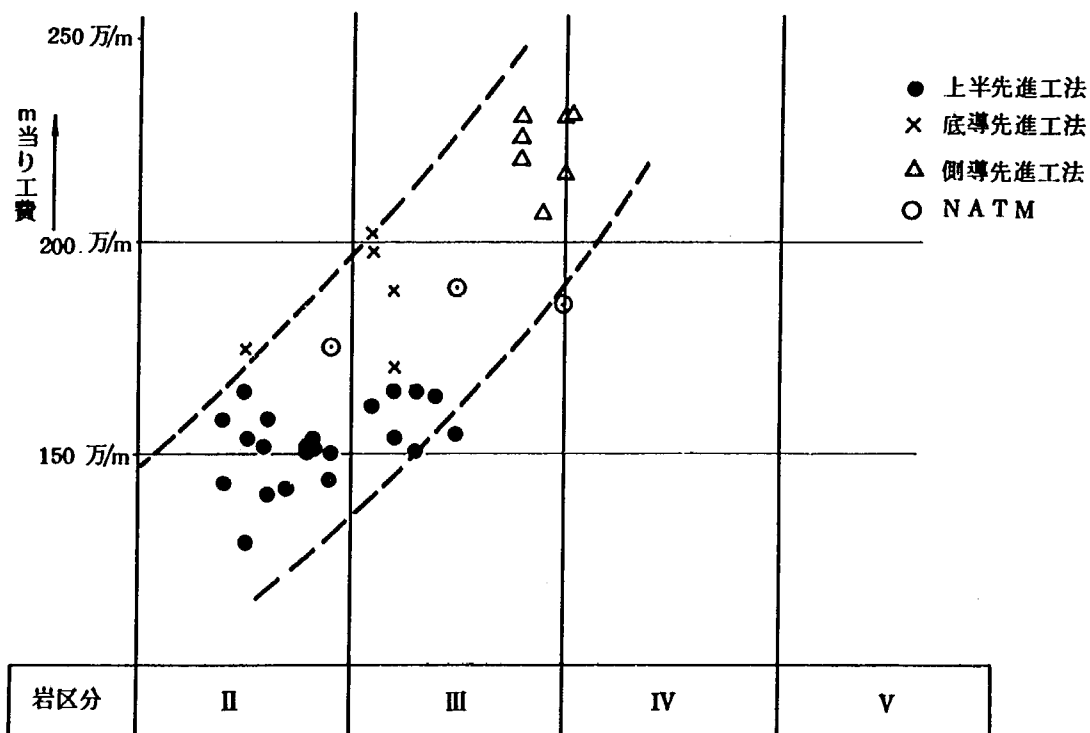


図-5 岩区分とm当り工費の相関図 (日本道路公団55,56年度発注工事)
 (岩区分は各岩質別掘削数量を加重平均して算出)

- (10) 経済性については、図－5の資料では在来工法の上半先進工法に比べるとやや高目であるが、今後は上記(7)、(8)の推進により十分な経済化が図れる見込みであるとされている。

2. NATMの現況

我が国でロックボルトや吹付けコンクリートがトンネル支保工として初めて導入された昭和45年後の頃は、主として良質な地山条件における省資源を目的として、それぞれが単独に利用されていたに過ぎなかった。

昭和52年以降になって、塑性あるいは膨張性地山の対策としてNATMの考え方が採用され成功したことを契機に、軟弱地山はもちろん、硬岩に対しても吹付けコンクリートとロックボルトを主たる支保とする工法の適用性が検討された。その結果、NATMは、安全性、経済性等の面からも有効であることが確認され、一躍脚光を浴びることになり、特にこの数年間の普及の速さには目を見張るものがある。

図－6は、昭和57年におけるトンネルの用途種別毎のNATMの施工実績を示したものである。なお、この表には、昭和56年以前に在来工法で発注され、引続き在来工法で工事中のものも多く含まれている。

トンネル種別	工事中のトンネル延長又は工事件数の比率 (上段) (下段)		総計
道 路	80 %	20 %	197 km
	85 %	15 %	252 件
道路(道路公団 施 工 分)	79 %	21 %	79 km
	74 %	26 %	53 件
鉄 道	40 %	60 %	74 km
	49 %	51 %	113 件
鉄道(青函を除く)	23 %	77 %	56 km
	48 %	52 %	100 件
発電水力(掘削 断面20㎡以上)	31 %	69 % (NATM)	44 km
	40 %	60 %	55 件

日本トンネル技術協会「トンネル年報'83」の資料をもとに作成

図－6 掘削工法別の施工実績(昭和57年)

各機関におけるNATMの利用状況は以下のとおりである。

(1) 国鉄、鉄道公団

早くからNATMに取り組んでおり、昭和55年度からNATMを標準工法として発注している。

なお、昭和58年3月にはNATM設計・施工指針(案)を制定した。

(2) 日本道路公団

昭和56年度にNATM暫定指針(案)を作成して試験施工を実施した結果、昭和58年度からN

A T Mを標準工法として発注している。なお、現在、設計要領の改訂作業を行っており、近くまとめられる予定である。

表－2に道路公団がN A T Mで施工した（又は工事中の）トンネルのうち主なものを示した。

(3) 建設省、地方自治体等

建設省では、昭和55年度から一部のトンネルで試験施工が行われたことがあるが、本格的なN A T Mの試行は昭和59年度に入ってからである。表－3の建設省欄中※印が昭和59年度着工のものである。

地方自治体においては、機関によって取組みが異なるが、昭和53年度の駒止トンネルの例を初めとして、福島県、新潟県ではN A T Mの例が増えている。

3. N A T Mにおける今後の課題

3.1 技術基準等の整備

N A T Mの普及のためには、設計、施工のよりどころとなる技術基準および関連の基準類の整備が不可欠である。

鉄道関係および日本道路公団については前述したようにすでに指針(案)等の制定がなされており、N A T Mを標準工法として進められている。

建設省等については、現在、都市局長、道路局長通達「道路トンネル技術基準」（昭和49年11月）があるが、これの改訂作業の一環として、日本道路協会において道路トンネル便覧（上記基準の解説書）の改訂作業を進めているところである。なお、建設省の共通仕様書、積算基準、施工管理基準に関するN A T M関連箇所の修正およびN A T Mの計測要領については、昭和59年夏に中部、近畿、中国の3地建の道路工事課担当者の打合せにおいて暫定案が提案されており、今年度からの施工実績をふまえて案の修正等が行われる予定である。

なお、土木学会制定のトンネル標準示方書・山岳編についても、N A T Mを標準工法とした内容に改訂すべく作業中である。

3.2 設計手法の合理化

(1) 支保部材の支持機構の解明

N A T Mで用いる吹付けコンクリート、ロックボルト等の各支保部材が、対象とする地山に対してそれぞれどのような支保能力を発揮しうるのかについて明らかにする必要がある。

また、覆工コンクリート（2次覆工）の役割についても検討の余地が残る。

なお、数値解析を行う場合の各支保部材の入力方法等についても検討が必要である。

(2) 設計標準パターンの合理化

現在、各支保部材の組合せとして、地山区分毎に図－7に例示するような設計標準パターンが提案されているが、上記の検討結果をふまえたより合理的な基準の作成が必要である。

表-2 NATMによる道路トンネル(日本道路公団施工のうち主なもの)

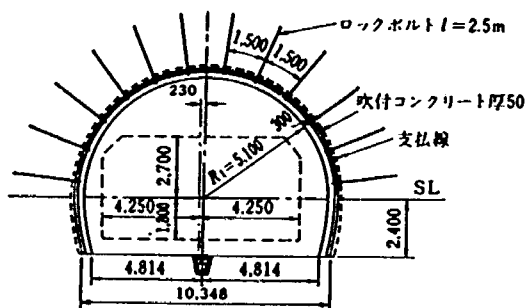
路線名	トンネル名	トンネル 延長 (m)	NATM 施工延長 (m)	地 質	備 考
東 北 道	坂梨第一(上)	3577	1377	凝灰岩, 泥岩 (硬岩)	
"	" (下)	3589	1390	" (")	
"	折 爪 (上)	2273	950	火山レキ凝灰岩, 泥岩, 砂岩 (膨張性)	
"	" (下)	2323	1033	" (")	
常 盤 道	小木津 (上)	195	195	花こう閃緑岩 (軟岩)	極近接 トンネル
"	" (下)	195	195	" (")	
中 央 道	恵那山(補助坑)	(8625)	273	断層(花こう岩) (膨張性)	
"	" (上)	8625	350	" (")	Ⅱ期線
北 陸 道	栗 師	1528			
"	春日山 (上)	1077	982	泥岩, 砂岩の互層 (軟岩)	I期線
東海北陸道	各務原 (上)	3050	820	チャート (硬岩)	
"	" (下)	3015	815	" (")	
中 国 道	加 計 (下)	2672	2652	花こう岩 (")	I期線
四国横断道	絵 生 (下)	2536	1597	輝緑岩質緑色岩 (軟岩)	I期線
"	明 神 (下)	3727	3727	輝緑凝灰岩, 粘板岩(中硬~ 軟岩)	I期線
九州縦貫道	金剛山 (上)	2200	2200	砂岩, 頁岩, ホルンフェルス (硬岩)	
"	" (下)	2177	2177	" (")	
京滋バイパス	宇 治 (上)	4300	4300	粘板岩, チャート	
"	" (下)	4313	4313	"	
老ノ坂・亀岡	新老の坂(上)	1010	1010	粘 板 岩 (中硬岩)	
バイパス	" (下)	1010	1010	" (")	
海南湯浅道路	長 峰	3831	865	黒色片岩, 蛇紋岩 (")	
"	藤 白	1820	1420	" (")	

表-3 NATMによる道路トンネル (建設省, 地方自治体等)

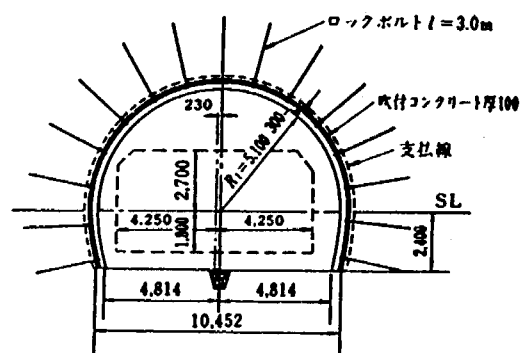
企業体	路線名	トンネル名	トンネル延長 (m)	NATM 施工延長 (m)	地 質	備 考
建設省	45号	赤 岩	142	142	砂岩, 粘板岩 (硬岩)	東 北
	"	田 中*	702	702	礫 岩	"
	112号	大綱第二 (下)*	706	706	安山岩, 凝灰岩	"
	158号	安房 (調査坑)	(4300)	1020	チャート, 粘板岩 (中硬岩)	中 部
	1号	丸 子 (上)*	2027	2027	安山岩, ソーグ粗面岩	"
	(蓮ダム)	原石搬出横坑	570	486	黒色片岩, 砂質片岩	"
	28号	城 山	126	111	風化花こう岩 (軟岩~土砂)	近 畿
	158号	油坂第一*	1076	1076	砂岩, 頁岩	"
	163号	清 滝 (上)*	1116	1116	花こう閃緑岩	"
	178号	江 野*	955	955	安 山 岩	"
	山陽道	黒河内 (上)*	2700	2700	凝灰角礫岩	中 国
北開 海発 通局	274号	稲 里	1441	(67~)	黒色片岩, 緑色片岩, 蛇岩	
地 方 自 治 体	洞爺湖・ 登別線	オロフレ	909			北海道
	天間館・ 馬屋尻線	みちのく	3178	55	流紋岩 (軟質化) (膨張性~軟岩)	青 森
	西蔵王有料	西蔵王	102			山 形
	351号	新 榎	2390	1896	泥岩, 凝灰質砂岩	新 潟
	253号	名ヶ山	1160	1140		"
	148号	平岩第一	458			"
		後 山	1199			"
	289号	駒 止	2000	1953	緑色凝灰岩 (膨張性~軟岩)	福 島
	252号	白 沢	375	375	流 紋 岩	"
	小名浜線	みなと	147	147	シルト岩, 泥岩 (軟岩)	眼鏡 トンネル
	"	"	147	147	" (")	
	千葉 外房有料	板 倉	280	252	砂 層	千 葉
	町田市道・ 堺701号	真 米	100	100	砂 層	東 京
	226号	成 川	670	(642)	変質安山岩, シラス (軟岩~土砂)	鹿児島
本 四 公 団	手打蘭・ 牟田港線	芦 浜	383	383	砂 岩	"
		鷺羽山 (運搬坑道)	480	407	花こう岩	
		" (上)	205	145		眼鏡 トンネル
		" (下)	205	145		

地山区分	施工法	(掘進長さ) m	ロックボルト			鋼製支保工		吹付けコンクリートの厚さ cm	二次掘進厚 cm
			長さ m	間 隔 m		上半部	下半部		
				周方向	延長方向				
A	岩の程度により支保量の幅が大きいので、標準を定めない。								
B	ベンチカット	1.5	2.5	1.5 (上半部のみ)	1.5	なし	なし	5	30
CⅠ	ベンチカット	1.2	3.0	1.5	1.2	なし	なし	10	30
CⅡ	ベンチカット					H-125	なし		
DⅠ	ベンチカット核残し	1.0	4.0	1.2	1.0	H-150	H-150	15	30
DⅡ	ベンチカット核残し					MU-29	MU-29		
E	地山の性質の範囲が広いので、個々のトンネル毎に施工実績、数値解析結果等を参考として決めるものとし、標準を定めない。								

(地山区分B) 吹付けコンクリート 5cm
ロックボルト 12本 (l=2.5m)



(地山区分C) 吹付けコンクリート 10cm
ロックボルト 15本 (l=3.0m)



(地山区分D) 吹付けコンクリート 15cm
ロックボルト 19本 (l=4.0m)

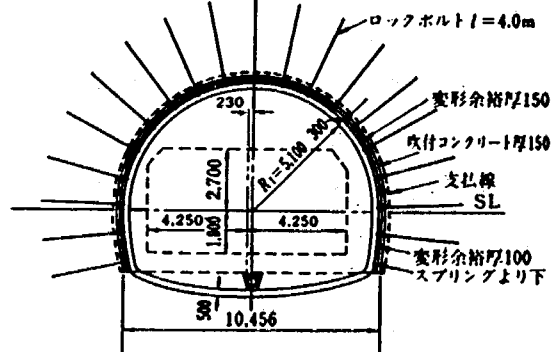


図-7 2車線道路トンネルにおける設計標準パターンの例

(3) 地山分類の検討

現在のトンネルの地山分類は、在来工法を前提としたものであり、これをNATM用に修正する必要がある。NATMの設計の考え方が異なる以上、地山の分類についてもそれを反映したものとしなければならない。表-4, 5は鉄道および道路公団におけるNATM用の地山分類であり、従来の岩種、弾性波速度に加えて、地山強度比を判定指標として考慮するようにしている。

表-4 計画段階における地山分類基準 (国鉄・指針(案))

地山の種類 *地山等級	硬 岩		中硬岩	軟岩**	土 砂	
	A・B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F・G岩種	
					粘性土	砂質土
VN	$V_p \geq 5.2$	$V_p \geq 5.0$	$V_p \geq 4.2$			
IVN	$5.2 > V_p \geq 4.6$	$5.0 > V_p \geq 4.4$	$4.2 > V_p \geq 3.4$			
IIIN	$4.6 > V_p \geq 3.8$	$4.4 > V_p \geq 3.6$	$3.4 > V_p \geq 2.6$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 6$		
IIIN	$3.8 > V_p \geq 3.2$	$3.6 > V_p \geq 3.0$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 4$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $6 > \frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 4$		
IN	$3.2 > V_p \geq 2.5$	$3.0 > V_p \geq 2.5$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $4 > \frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$ あるいは $2.0 > V_p \geq 1.5$ かつ $\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $4 > \frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$	$\frac{\sigma_c}{\gamma H} \geq 2$	
Is, IL 特S 特L	$2.5 > V_p$	$2.6 > V_p$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > \frac{\sigma_c}{\gamma H}$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > \frac{\sigma_c}{\gamma H}$	*** $2 > \frac{\sigma_c}{\gamma H}$	***

また、NATMでは施工中の観察、計測が重要であるが、掘削面の自立性、割れ目の間隔や性状、湧水などの切羽の状況に基づく地山の分類、地山や支保の状況(変位、応力等)に基づく地山の分類等、施工管理のための指標についても今後検討を加える必要がある。

3.3 施工技術の合理化

NATMに関する施工技術について、今後の検討事項を列挙すると次のようである。

(1) NATMの弱点である湧水の対策

- NATMに適合する排水工法
- 湧水に強い吹付けコンクリート、ロックボルト

表-5 岩 質 分 類 表 (日本道路公団・暫定指針)

分類		区分		岩石		判定基準		岩 質 判 定 基 準										
								① 弾性波速度 (km/sec) による判定基準						② 地質状態による判定基準 (1) (地質調査の成果又は掘削面における状態)	③ ボーリングコアによる判定基準 (コアの状態)	④ 観察による判定基準		⑤ 地質状態による判定基準 (2) (掘削後の状態)
								1	2	3	4	5	6			ハンマーの打撃による岩の割れ方	亀裂の間隔	
A	I	a						岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し、割れ目がほとんどなく連続して安定しているもの 岩質は堅硬かつ新鮮でマツツブであり亀裂はほとんどない	コア採取率は概ね90%以上で完全な柱状を呈し、ほぼ20cm以上の長さを有し、細片はほとんど含まない状態のもの	ハンマーがはねかえる。強く叩いてからうじて割れ新鮮な面で割れる	50cm以上	塑性地圧は作用しない。 ゆるみ高さ<1.6m						
		b																
		c																
		d																
		e																
B	II	a						(1)岩質は新鮮で、堅硬であり、割れ目は比較的少ない。 (2)岩質は可成り堅硬であっても風化作用のため多少変質した傾向がみられるもの。 (3)岩質は堅硬であるが、層状をなす岩で、層理あるいは片理が認められ、その面に沿って割れ易いもの。	コア採取率は概ね70%以上で完全な柱状を示さないものも有し、多少の細片を含む。コアの大半がほぼ5cm以上のものが取れる状態のもの	ハンマーで強くたたけば、割れるが、ほとんどが、亀裂あるいは節理などに沿って比較的大きく割れる。	10~50cm	塑性地圧は一般には作用しないが、破砕質や湧水などによっては地圧が作用する ゆるみ高さ1.5~3.0m						
		b																
		c																
		d																
		e																
C	III	a						(1)風化作用を受けて岩石に度々をおこしているもの。 (2)岩質は比較的堅硬であっても、亀裂が細く入っていてこのため小塊状を呈しており、またその間隙には高い粘性土を挟在するもの。 (3)層理、片理の顯著な岩で、非常に薄く割れ易い性質のもの (4)巾の狭い小断層などををさむもの。	コアの採取率は概ね40~70%で、亀裂が多く、またくだけ易いために小さくなり、50cm以下の細片が多数に取れる状態のもの。	ハンマーで容易に割れる。比較的亀裂面などに沿って小片に割れ、むしろ亀裂以外の面では割ることが困難である。	2~10cm	塑性地圧が作用する場合が多い。 塑性範囲又はゆるみ高さ2.0~4.0m						
		b																
		c																
		d																
		e																
D	IV	a						(1)著しい風化作用を受け、一部はすでに土壌化した部分が見られ、中に多少硬い部分が残っている程度の軟質で、もちろん、割れ目が極めて多いもので、亀裂以外いかなる部分からでも容易に割ることができる程度のもの。 (2)粘土化のあまり進んでいない破砕帯で、粘性土と細片状の岩片の混合した状態になっている時には、いく分硬いところも含まれているもの。 (3)土砂、崩壊地帯など。	コア採取率は低下し概ね40%以下となることが多くコアは細片となるが、時には、角礫混り砂状あるいは粒土状となるもの。	ハンマーで容易に割れる。岩はもろく、指先で容易に割れる。		塑性地圧が作用する。大きな側圧が作用することがある。 塑性範囲又はゆるみ高さ3.0~6.0m						
		b																
		c																
		d																
		e																
E	V	a						(1)著しい側圧を受けるような可成り巾を有する断層破砕帯や大きい崩壊地帯など				塑性地圧が作用する。著しい側圧が作用することが多い。 塑性範囲>7.0m						
		b																
		c																
		d																
		e																

(注) 岩石区分 a: 頁岩(千枚岩、石墨片岩、珪質石墨片岩、石英片岩、緑色片岩、片麻岩、蛇紋岩、ホルンフェルス等)
b: 頁岩(凝灰岩、燧石等)
c: 火山岩(石英斑岩、安山岩、玄武岩等)
d: 頁岩(石英斑岩、花崗岩、砂岩、輝岩等)
e: 頁岩(花崗岩、閃輝岩等)

d: 第三紀層(粘土質頁岩、珪質頁岩、砂岩及び礫岩、石灰岩、凝灰岩、角礫岩、凝灰岩等)
e: 洪積層(礫層及び粘土、火山灰層等)
沖積層(礫層、粘土等)

CⅡ: 吹付けコンクリートが強度を発揮するまでに天端から崩壊するもの

DⅠ: 地山強度比2.1以上
DⅡ: " 2.0以下

地山強度比 = $\frac{q_u}{r \times H}$

(注) 岩石区分 a: 頁岩(千枚岩、石墨片岩、透輝石墨片岩、石英片岩、緑色片岩、片麻岩、蛇紋岩、ホルンフェルス等)
 頁岩(泥れい岩、燧石等)
 b: 古生層及び中生層(粘板岩、砂岩及び礫岩、硬砂岩、石灰岩、珪岩、輝緑岩等)
 c: 火山岩(石英斑岩、安山岩、玄武岩等)
 凝灰岩(石英凝灰岩、花崗凝灰岩、珪岩、輝緑岩等)
 凝灰岩(花崗岩、閃緑岩等)

C II: 吹付けコンクリートが強度を発揮するまでに天端から崩壊するもの

D I: 地山強度比2.1以上
 D II: " 2.0以下

地山強度比 = $\frac{q_u}{\gamma \times H}$

(2) 余掘の低減対策

- スムーズプラスティングの改善
- 自由断面掘削機の余掘対策

(3) 吹付けコンクリート工法の改善

- はね返り率の低減
- 発生粉じんの抑制
- 吹付け作業のロボット化

(4) 施工機械の改善

- 削岩機，掘削機械の高能率化（油圧化等）および作業の自動化，省力化

(5) 計測管理の合理化

- 計測方法およびデータ処理方法の改善

1—3 最近のコンクリートの劣化の問題

土 木 研 究 所

コンクリート研究室 室長 小 林 茂 敏

1. まえがき

コンクリートは、その体積の65～75％が骨材で占められているので、その性質は使用骨材の品質によって大きく支配される。したがってコンクリート用骨材の品質については学会規準等を見ても非常に多くの規定が設けられている。また、大量の骨材をいかに安価に入手するかということがコンクリートを経済的に作る鍵ともなるので、消費地に近くて、かつあまり手を加えずに所要の品質を満足する河川砂利や砂がコンクリート用骨材として古くから利用されてきた。

しかるに近年は都市近郊の河川砂利が次第に枯渇すると共に砂利の取り過ぎによる河川災害の発生等により採取量や方法等も厳しく規制されたこともあって、陸、山、海産の砂利や砂、および砕石、砕砂の使用に移行せざるを得なくなってきた。

このような良質骨材資源の不足および供給源の変化は骨材価格の上昇と骨材の品質の低下という事態を生じ、コンクリート技術者を悩ませるようになってきている。

以上のような昨今の状況に鑑み、本講では主として天然産骨材（砕石・砕砂も含めて）について我が国の骨材の需給、品質の現状および骨材の品質がコンクリートの品質に及ぼす影響についての最近の調査結果の例を紹介する。そして最後に骨材の低品質化に対する各種の対応策を私見を交えて述べさせていただく。

2. 我が国の骨材事情

表－1 骨材需給の推移¹⁾

(単位: 100万t, %)

需給	種別	年度	42	44	46	48	49	50	51	52	53	54	55
需 要	コンクリート用		297 (110)	349 (108)	417 (108.6)	539 (111.4)	475 (88.1)	446 (93.9)	454 (101.8)	504 (111.0)	563 (111.7)	581 (103.2)	562 (96.7)
	道路・道床・その他用		126 (112)	167 (114)	216 (109.2)	260 (107.9)	250 (96.2)	223 (89.2)	208 (93.3)	231 (111.1)	254 (110.0)	267 (105.1)	272 (101.9)
	合 計		423 (111)	516 (110)	633 (109.1)	799 (110.2)	725 (90.7)	669 (92.3)	662 (99.0)	735 (111.0)	817 (111.2)	848 (103.8)	834 (98.3)
供 給	砂 利												
	河川砂利		187 (94)	159 (90)	133 (88.7)	110 (89.4)	107 (97.3)	107 (100.0)	105 (98.1)	115 (109.5)	115 (100.0)	103 (89.6)	89 (86.4)
	山砂利		28 (255)	56 (133)	84 (110.5)	140 (132.1)	118 (84.3)	106 (89.8)	96 (90.6)	94 (97.9)	102 (108.5)	114 (111.8)	100 (87.7)
	陸砂利		43 (130)	54 (108)	86 (134.4)	113 (103.4)	84 (74.3)	80 (95.2)	83 (103.8)	94 (113.3)	113 (120.2)	123 (108.8)	127 (103.3)
	海砂利		29 (112)	62 (168)	71 (110.9)	70 (112.9)	57 (81.4)	60 (105.2)	60 (100.0)	82 (136.7)	90 (109.8)	90 (100.0)	87 (96.7)
	小 計		287 (107)	331 (109)	374 (105.9)	433 (107.3)	366 (84.5)	353 (96.4)	344 (97.5)	385 (111.9)	420 (109.1)	430 (102.4)	405 (94.2)
	砕 石		125 (118)	168 (112)	237 (113.8)	341 (111.4)	336 (98.5)	297 (88.4)	298 (100.3)	328 (110.1)	374 (114.0)	395 (105.6)	404 (102.3)
	人工軽量骨材		0	2 (200)	2 (100.0)	3 (150.0)	2 (66.7)	2 (100.0)	2 (100.0)	2 (100.0)	2 (100.0)	2 (100.0)	2 (100.0)
	天然軽量骨材		3 (113)	4 (100)	5 (100.0)	7 (140.0)	6 (85.7)	5 (83.3)	5 (100.0)	5 (100.0)	5 (100.0)	5 (100.0)	5 (100.0)
	鉱さい・その他		9	11 (122)	15 (134.4)	15 (88.2)	15 (100.0)	12 (80.0)	13 (108.3)	15 (115.4)	16 (106.7)	16 (100.0)	18 (112.5)
	輸 入		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	合 計		423 (111)	516 (110)	633 (109.1)	799 (110.2)	725 (90.7)	669 (92.3)	662 (99.0)	735 (111.0)	817 (111.2)	848 (103.8)	834 (98.3)

(注) 1. 通商産業省 生活産業局 建築建材課推計。 2. 砂利には砂利、砂、玉石、玉砕を含む。 3. 下段の()は対前年度比。

我が国の骨材の需給の推移は表1に示す通産省資料¹⁾によってよくわかる。すなわち、骨材の需給量は昭和48年頃まで順調な伸びを示したが、昭和49～51年頃には第1次オイルショックによる落ち込みが生じた。しかしながらその後の政府の景気浮上策の効果等もあって昭和54年度以後にはピーク時の昭和48年頃を上廻る程度に回復してきている。

量的に見れば昭和54年度の使用は約85,000万tで昭和42年頃の約2倍となっている。そのうちコンクリート用としての使用量は約70%の5.8億tで、国民一人当たり5t(約3m³)程度使用した勘定になる。

供給源を見ると、昭和40年代初期には河川砂利と砕石が主で、そのうち河川砂利は70%を占め骨材の代表となっている。しかしながら河川砂利の供給量はその後急激に下降し、昭和48年頃からは横ばいとなっている。昭和54年度の川砂利の供給量は1億tであり、骨材の総供給量のわずか10%強を占めているにすぎない。一方、砕石・山砂の生産量は増加し続け、昭和54年度には昭和42年度の約3倍、総需要量の約半分の4億tが生産されている。また、山砂利・陸砂利・海砂利などの使用量も

増え骨材の種類が多様化してきている。ただしセメント協会が全国約200の生コン・製品工場を対象にして調査した結果^{2),3)}によれば使用骨材の種類は地方によってかなり異なった傾向を示している(図1,2)。

粗骨材に関しては川砂利が50%以上を占めているのは北海道・東北・中部等の各地方で、近畿・中国・四国・九州等では砕石を使用する割合が高くなっている。特に中国・九州等では粗骨材の80%以上が砕石となっている。

なお関東地方では陸砂利を用いる工場が最も多いという点で他の地域と異なった特徴を示している。

細骨材に関しては、東北・中部だけが川砂を主にしており、北海道・中国・四国・九州・沖縄等では海砂、浜砂の使用が大半を占めている。また、関東では陸砂・山砂の使用量が多い。砕砂は全国で使用されているが、量的には少ない。

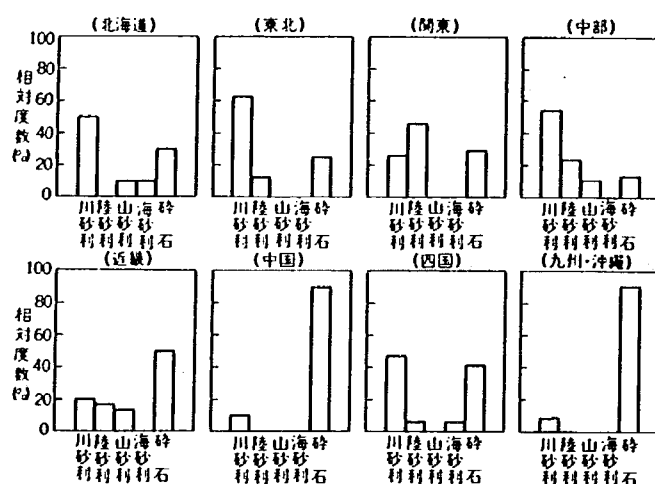


図-1 各種粗骨材の使用割合(地方別)²⁾

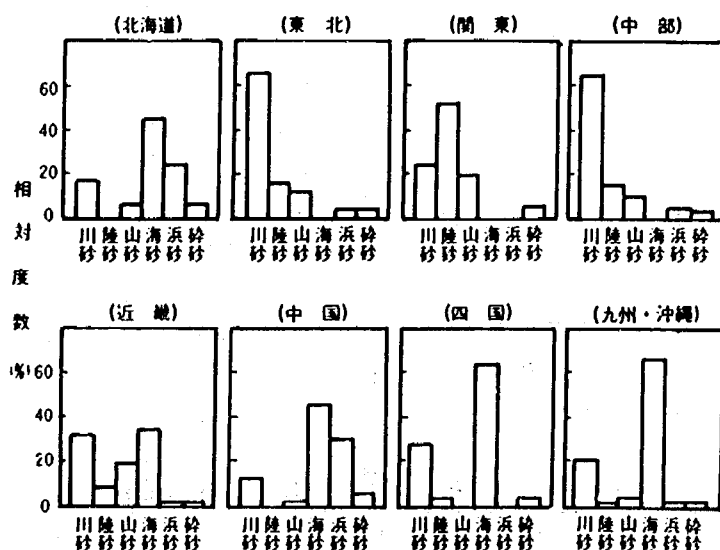


図-2 各種細骨材の使用割合(地方別)³⁾

このような供給の現状に対して将来の見通しはどうかということであるが、建設省では河川砂利の年間目標供給量を1億1程度とし、対策工事を行うことを前程に採取を許可する特定採取や、ダム貯水池の堆砂の採取の比率を出来るだけ伸ばしていくことを考えている。⁴⁾

通産省では骨材対策委員会を組織し、碎石、海底砂の資源調査を行っているが、碎石については安定供給を図るためには採取・運搬に伴う環境問題、地域開発との調和も考えた詳細な調査が必要であるとしており、また、海砂については水深2～3mの浅海から採取するものは海岸への影響、漁業権との問題で採取出来ないことを見込んで、海底砂利の調査を行っている。¹⁾

いずれの場合も骨材資源を量的には確保し得たとしても輸送費等の問題も含めて解決されないかぎり、将来の安定供給については楽観できない状態であるといえよう。

3. 骨材の品質の現状と課題

コンクリート用骨材には次のような性質が要求される。

- (a) 清浄でシルト・粘度・有機物、塩類等の有害量を含まない。
- (b) 気象に対する耐久性を確保するため、物理的に安定であること。
- (c) 骨材・セメント等との反応、風化による酸化などを生ぜず、化学的に安定であること。
- (d) セメント強度以上の強度を有すること。
- (e) セメントペーストとよく付着すること。
- (f) 単位水量を減らすため、粒形・粒度分布が良いこと。

これらの条件を満足させるために骨材には非常に多くの種類の品質に対する制約が課せられている。

現在使用されているコンクリート用骨材が、それらの規格を実際に満足しているのかということについて考えてみる。

全国水準で多数の骨材の品質を調べた資料で最近のものとしては前述のセメント協会や日本建築学会⁵⁾の調査報告がある。それらのうち、セメント協会の調査結果を以下に紹介する。

3.1 粗骨材の品質

表3は調査された204種の粗骨材が、表2に示すような品質判定の規準値を仮定した場合の不適合となった件数およびその比率を示している。

品質判定の規準値を1項目でもはずれると不合格とした場合には実に半数以上が不合格となってしまうのである。そして調査試料が日常使用している骨材から採取されたことを考えると、骨材事情の厳しさがうかがえる。²⁾

不合格となった項目は骨材の種類によって異なるが、天然産の砂利では軟石量が不合格となる例が最も多く、陸砂利では不合格となった骨材の8割が軟石量の規準値(5%)を越えている。軟石とは俗に死石とか赤石と称される軟かい石のことであるが、含有量を5%以下と規定しているのは、土木用コンクリートでコンクリート舗装や表面の硬さを特に要求するものに用いる場合である。軟石量の試験はJIS A 1126 ひっかき硬さによる粗骨材中の軟石量試験方法によっているが、同規格では、こ

の方法で求めた軟石がすべて有害であるとは限らないことや、この方法より実情にあったものがあるという考え方もあることが解説されている。⁶⁾実際に試験を行ってみて、1Kgの力で骨材をひっかく事などで試験誤差がかなりあると感じている。

河川砂利では吸水率による不合格率も大きい、JASS 5のⅡ級骨材やJISのコンクリート用砕石で規定して

表-2 粗骨材の品質判定に用いた規準値²⁾

特 性 値	規 準 値
比 重(絶乾)	2.50 以上
吸 水 率(%)	2.00 以下
洗 い 試 験(%)	川砂利, 陸砂利, 山砂利: 1.0 以下 砕 石 : 1.5 以下
粘 土 塊(5~25mm)(%)	0.5 以下
安 定 性(%)	12.0 以下
比重1.95の液体に浮くもの(%)	0.5 以下
軟 石 量(%)	5.0 以下
粒形判定実積率(%)	(砕石のみ) 57.0 以上

表-3 項目別不適合件数(粗骨材)²⁾(1項目以上不適合のある試料件数に対する比率%)

特性値 \ 粗骨材の種類	川砂利 n = 69	陸砂利 n = 34	山砂利 n = 9	砕 石 n = 92	計 n = 204
1項目以上不適合の件数	37	22	5	44	108
比 重	8 (21.6)	2 (9.1)	2 (40.0)	1 (2.3)	13 (12.0)
吸 水 率	16 (43.2)	6 (27.3)	2 (40.0)	8 (18.2)	32 (29.6)
洗 い 試 験	6 (16.2)	6 (27.3)	3 (60.0)	1 (2.3)	16 (14.8)
粘 土 塊	11 (29.7)	4 (18.2)	2 (40.0)	19 (43.2)	36 (33.3)
安 定 性	20 (54.1)	5 (22.7)	1 (20.0)	7 (15.9)	33 (30.6)
比重1.95の液体に浮くもの	11 (29.7)	1 (4.5)	1 (20.0)	4 (9.1)	17 (15.7)
軟 石 量	20 (54.1)	18 (81.8)	3 (60.0)	17 (38.6)	58 (53.7)
粒形判定実積率	-	-	-	16 (36.4)	16 (14.8)
計	92 (248.6)	42 (190.9)	14 (280.0)	73 (165.9)	221 (204.6)

いる吸水率3%以下の規格には全骨材の96%が合格しているということである。

陸砂利、山砂利では洗い試験も軟石量に次いで不合格となる率が高い。

砕石は粘土塊、次いで軟石量、実積率等に不合格となるものが多い。

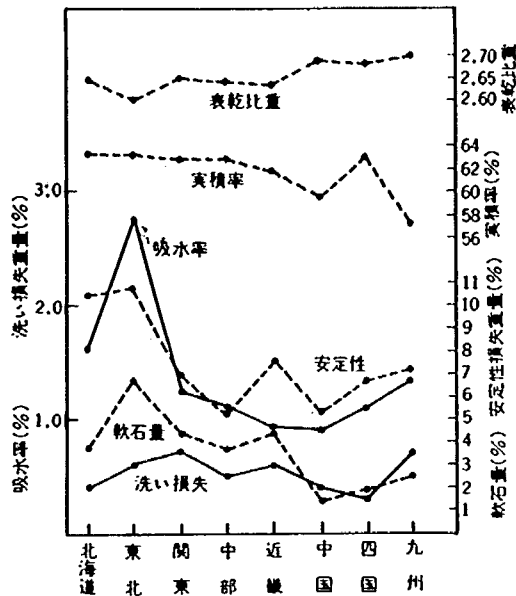
次に地域別にその特徴を調べたのが図3で、北海道、東北地方では比重・吸水率、安定性、軟石量等の石の緻密さに関する品質が低い一方、川砂利が多いので実積率は大きい。

中国・九州地方では石の緻密さに関する品質は高いが実積率は小さく、砕石を主体とする骨材の特徴が現われている。

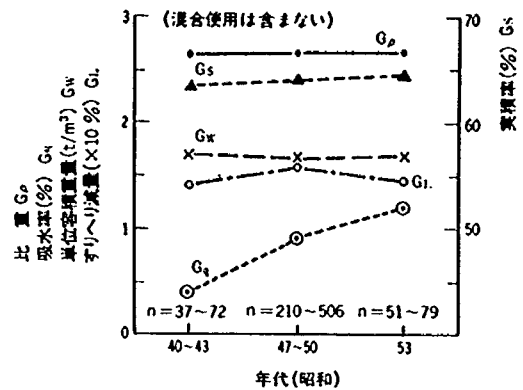
最後に粗骨材の品質が年々変化しているかどうかということであるが、図4に示す道路公団の調査結果⁷⁾から明確にわかる。すなわち、川砂利については昭和40年代に比べて吸水率が3倍程度に大きくなってきている。ただし吸水率以外の品質は横ばい状態である。

3.2 細骨材の品質

再びセメント協会の調査結果をみてみる。表5は206の工場から採取された312種類の細骨材を表



図－3 地方別にみた粗骨材の品質（セメント協会F-29より作製）



図－4 川砂利の平均的品質の推移⁷⁾
（道路公団実績）

4の規準を仮定した場合の不合格数を示したものである。

仮定した規準Ⅱという品質規準は土木学会コンクリート標準示方書で規定されている程度の水準のものである。

まず1項以上の不合格のものがある率は全体では53%であるが、種類別にみると山砂、海砂が実に70%も不合格になってしまうのである。

川砂、山砂の場合、比重で不合格となるものが最も多くて不合格件数の67%である。なお、砂の比重に関しては土木学会コンクリート標準示方書では規定がない。

表－4 細骨材の品質判定に用いた規準値³⁾

特 性 値	規 準 Ⅱ
(粗 粒 率)	—
絶 乾 比 重	2.50 以上
吸 水 率 (%)	3.50 以下
洗 い 試 験 (%)	3.0 以下
粘 土 塊 (%)	1.0 以下
安 定 性 (%)	10.0 以下
塩 分 含 有 量 (%)	0.100 以下
比重1.95の液体に浮くもの (%)	1.0 以下
有 機 不 純 物	合 格

表－5 規準Ⅱに対する項目別不適合件数³⁾

（1項目以上不適合のある試料件数に対する比率%）

砂の種類 特性値	川砂 n=110	陸砂 n=47	山砂 n=33	海砂 n=90	浜砂 n=20	砕砂 n=12	計 n=312
1項目以上不適合の件数	54	22	24	63	5	7	175
比 重	36 (66.7)	11 (50.0)	16 (66.7)	42 (66.7)	2 (40.0)	2 (28.6)	109 (62.3)
吸 水 率	11 (20.4)	6 (27.3)	4 (16.7)	7 (11.1)	0	1 (14.3)	29 (16.6)
洗 い 試 験	17 (31.5)	13 (59.1)	5 (20.8)	7 (11.1)	0	6 (85.7)	48 (27.4)
粘 土 塊	12 (22.2)	6 (27.3)	9 (37.5)	22 (34.9)	0	0	49 (28.0)
安 定 性	5 (9.3)	1 (4.5)	2 (8.3)	3 (4.8)	0	0	11 (6.3)
塩 分 含 有 量	2 (3.7)	0	0	33 (52.4)	0	0	35 (20.0)
比重1.95の液体に浮くもの	15 (27.8)	5 (22.7)	3 (12.5)	8 (12.7)	2 (40.0)	0	33 (18.9)
有 機 不 純 物	2 (3.7)	0	0	0	1 (20.0)	0	3 (1.7)
計	100 (185.2)	42 (190.9)	39 (162.5)	122 (193.7)	5 (100.0)	9 (128.6)	317 (181.1)

陸砂は他に洗い試験に不合格のものが約59%と最大となっている。

海砂の場合には比重の他に、塩分量が規準の0.1%を越えるものが、不合格数のうちの約半数、全海砂数のうちの約 $\frac{1}{3}$ ある。

砕砂の場合には洗い試験に不合格となるものが最も多く、不合格数のうちの86%、全砕砂の半分が不合格となっている。なお、砕砂の場合の洗い試験の損失量はJIS A 5004 砕砂、および土木学会コンクリート標準示方書では一般の場合は7%まで許されている。

次に地域別の品質の特長を図5でみると、東北地方の砂が比重、吸水率、安定性損失重量等の物理

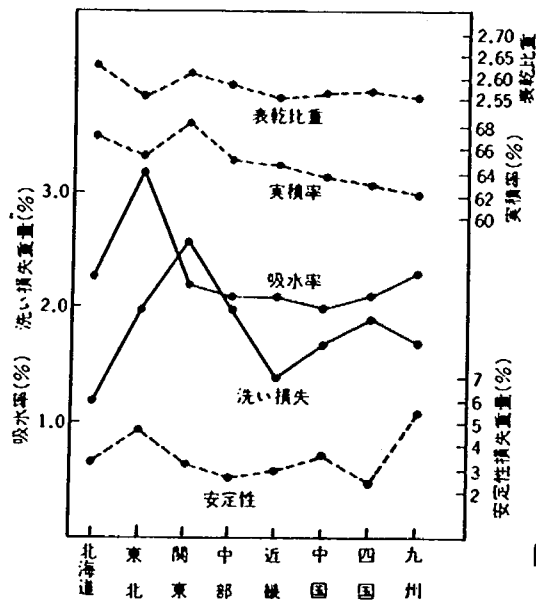


図-5 地方別にみた細骨材の品質
(セメント協会 F-28 より作製)

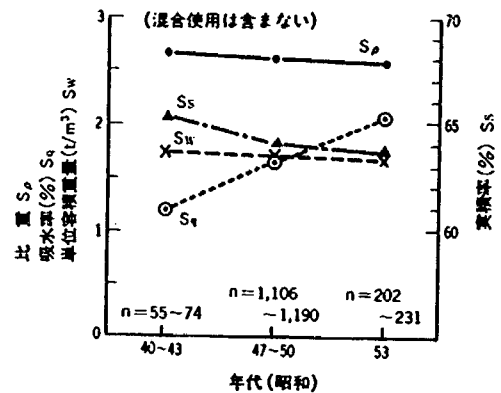


図-6 川砂の平均的品質の推移⁷⁾
(道路公団実績)

的品質が他の地域に比べて劣っている。

関東地方では陸砂の使用が多いので洗い損失重量が大きい。

近畿・中国・四国・九州等の海砂を主として使用する地方では、塩分の含有量が大きくなると共に、実積率等も低下している。

最後に川砂の年代別の品質の推移を図6に示す。昭和40年代の初期に比べて吸水率だけが約2倍になっているが、他の品質項目の品位は粗骨材と同じようにこの10年間でほとんど変化していない。

3.3 骨材の品質に関する生産者の要望

骨材の品質の現状がここに述べたような状態であることに際して、コンクリートの生産者はどのような意見や希望を持っているのであろうかということが知りたいところであるが、日本建築学会が調査したアンケートでは、次のような意見がよせられている。⁵⁾

- 骨材の品質基準値を緩和してほしい(塩分・比重・洗い試験損失重量)。
- 骨材の比重を表乾表示にしてほしい。
- 粘土塊の試験方法に問題がある。
- 土木と建築の規定の統一。
- 骨材の品質級別は不要。

(f) 混合骨材の品質評価基準を明確化する。

以上の中で品質の規準を緩和することが最大の要望のようでもあるので、まず、骨材の品質がコンクリートの品質に及ぼす影響について次章で考えてみることにする。

4. 骨材の品質がコンクリートの品質に及ぼす影響

骨材の品質規準が緩和出来るかどうかは、骨材の品質がコンクリートに及ぼす影響について十分な検討を行っておかなければならない。しかしながら、骨材の品質といっても非常に多くの要因から成っているものであり、また、コンクリートの品質についても強度・耐久性等の多くの項目があり、それらが配合や使用条件等とも複雑に関連している。したがって両者の関係を正確に結びつけるような単純明快な理論式は見いだされていない。

両者の関係を求める研究の方法のひとつに、非常に多くの種類・品質の骨材を用いて各種の配合のコンクリートを作り、実験によって得られた骨材品質とコンクリートの品質との関係を電子計算機等を用いて統計学的処理を行って算出するという手法がある。

このような手法による研究例で最近行われた大規模なものにはセメント協会（粗骨材 30 種類・細骨材 40 種類）⁸⁾ および建設省土木研究所（粗骨材 81 種類）⁹⁾ のものがあるので、その結果をみながら論を進めることにする。

4.1 粗骨材の品質が及ぼす影響

セメント協会の調査は全国から集めた 30 種類の粗骨材（砂利 17，碎石 13）について骨材の品質とそれを用いて作ったコンクリートの圧縮強度（W/C を A = 50%，B = 60%，C = 40% とした）、曲げ強度，引張り強度，弾性係数，乾燥収縮，耐久性指数等との関係を出している。用いた骨材は生コン工場およびコンクリート製品工場から選定しているので骨材の品質規格は概ね満足しているものであるという点にその特長がある。

土木研究所の調査は骨材の品質規準を 1 項目以上不合格であるものを目標に不良骨材を探し集めて試料としているので結果的には JIS A 5005 の規格に対して比重で 28%，吸水率で 44%，安定性損失重量で 46%，すりへり減量で 19% の骨材が不合格となっており，規格の全条件を満足する骨材はわずかに 28% という低品質骨材である点および骨材の岩種を火成岩および堆積岩に分けてその特性の違いを調べている点等の特徴がある。コンクリートの品質は圧縮強度，曲げ強度，凍結融解に対する耐久性を対象として検討を行っている。

表 6 はセメント協会で得られた粗骨材の特性値とコンクリートの特性値間の単相関係数および有意差の検定を整理したものであり，表 7 は土木研究所のまとめた同様な調査の単相関係数を整理したものである。表中の数値は絶対値が 1 に近いほど両特性値間の相関が強いことを示し，スター印は 1% 又は 5% の危険率で両者間に相関があるといえるものである。数値が負であるものは負の相関（一方の数値が大きくなると他の数値が小さくなるような関係）をしていることを示すものである。これらの表から次のようなことがわかる。

表-6 粗骨材特性値とコンクリート特性値間の単相関係数と有意差検定
(セメント協会 F-31より抽出)

コンクリートの特性値	配合の種類	骨 材 特 性 値									
		絶 対 比 重	粒 形 実 積 率	吸 水 率	洗 滌 失 失	粘 土 塊	安 定 性	す り へ り 減 量	砕 石 混 入 率	軟 石 量	破 砕 値
単 位 水 量	B	** 0.542	** -0.767	** -0.634	-0.125	-0.230	** -0.582	-0.018	** 0.660	-0.314	-0.172
	A	** 0.631	** -0.705	** -0.624	-0.178	-0.101	* -0.397	0.097	** 0.587	-0.287	-0.073
	C	** 0.651	** -0.624	** -0.599	-0.134	-0.158	* -0.447	0.080	** 0.619	-0.361	-0.078
28日 圧 縮 強 度	B	0.246	** -0.390	-0.335	0.017	-0.331	* -0.481	* -0.398	** 0.629	0.045	-0.056
	A	0.284	* -0.429	* -0.413	-0.006	-0.246	** -0.620	* -0.430	** 0.736	-0.046	-0.303
	C	0.175	-0.340	-0.294	-0.153	-0.266	* -0.404	** -0.530	** 0.579	-0.034	-0.381
28日 動 弾 性 係 数	B	** 0.628	** -0.619	** -0.760	-0.202	-0.320	** -0.533	-0.357	** 0.678	-0.212	-0.279
	A	** 0.580	* -0.384	** -0.750	-0.058	-0.183	-0.188	-0.350	0.350	-0.336	* -0.408
	C	** 0.531	* -0.394	** -0.618	-0.151	-0.216	** -0.592	-0.116	** 0.575	-0.121	-0.194
28日 曲 げ 強 度	A	** 0.581	** -0.628	** -0.553	-0.248	-0.430	* -0.484	** -0.490	** 0.684	-0.285	-0.310
28日 引 張 強 度	A	** 0.615	* -0.457	* -0.483	0.011	-0.535	** -0.315	** -0.645	* 0.483	-0.376	-0.335
26週 乾 燥 収 縮	B	* -0.388	* 0.476	* 0.450	0.120	0.390	** 0.557	0.035	-0.350	** 0.521	0.130
耐久性指数	C	0.362	-0.312	** -0.563	-0.289	-0.293	-0.080	** -0.561	0.268	-0.221	** -0.574

* 水準5%で有意

** 水準1%で有意

表-7 粗骨材の特性値とコンクリートの強度特性値との単相関分析表⁹⁾

岩 種	強 度	c/w	比 重	吸 水 率	安 定 性 損失重量	す り へ り 減 量	単位容積 混 入 量	実 積 率
全 岩 種	σ_{c1}	1.5	0.488 *	-0.578 *	-0.526 *	-0.156	0.394 **	0.047
		2.0	0.484 *	-0.575 *	-0.566 *	-0.244	0.347	-0.087
		2.5	0.490 *	-0.601 *	-0.690 *	-0.231	0.370 **	-0.067
	σ_{c28}	1.5	-0.023	-0.147	-0.447 *	-0.184	0.000	-0.018
		2.0	0.020	-0.206	-0.528 *	-0.221	-0.064	-0.245 **
		2.5	0.063	-0.198	-0.625 *	-0.196	0.014	-0.141
	σ_{b1}	1.5	0.588 *	-0.660 *	-0.640 *	-0.100	0.510 *	0.042
		2.0	0.509 *	-0.592 *	-0.645 *	-0.251	0.352	-0.138
		2.5	0.492 *	-0.581 *	-0.698 *	-0.327	0.347	-0.155
特 種	σ_{b28}	1.5	0.315 *	-0.335 *	-0.428 *	-0.282 **	0.281 **	0.060
		2.0	0.229	-0.287 **	-0.518 *	-0.398 *	0.157	-0.095
		2.5	0.288 **	-0.308 **	-0.551 *	-0.449 *	0.209	-0.077

注) * 危険率1%で有意

** 5 %

(1) 単位水量に及ぼす影響

表6から単位水量には実積率が最も強い相関を示しており、負の相関であるから、実積率が増すと単位水量が小さくなることを示している。なお、単位水量が減るといことは同一強度のコンクリートを得るのにセメント量が少なくなるということをも意味するもので、土木研究所で別に行った試験でも図7のような実積率と単位セメント当りの強度の関係を得ている。なお実積率が大きいと単位水量の減る理由は、モルタルで充填される骨材間の隙間が小さくなるからである。

同表はまた骨材の比重が大きくなったり、吸水率や安定損失重量が小さくなったりすると単位水量が増すことをかなり強い相関をもって示している。骨材の品質が良くなることが、単位水量を増すことになるということは常識的にはおかしいように感じるが、碎石の混入率と単位水量とも強い相関を示していることから、砂利は石質は良くないが実積率が大きく単位水量が少ないのに対して碎石は石質が良いが実積率が小さくて単位水量が大きいことを示しているものと考えられる。

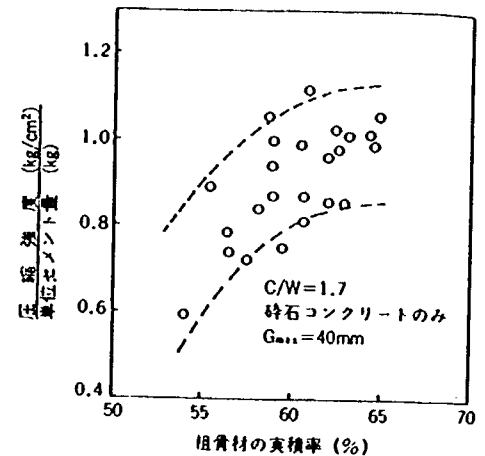


図-7 粗骨材の実積率と単位セメント量当りのコンクリート強度との関係¹⁰⁾

(2) コンクリートの強度に及ぼす影響

表6では、圧縮強度は碎石混入率、次いで安定性やすりへり減量と相関の強いことを示している。

土木研究所作成の表7では安定性損失重量のみがやや強い相関を示すが、他はほとんど関係がないことを示している(ただしこの調査で用いられた粗骨材は碎石が主であり、川砂利との混合使用はしていない)。このことは吸水率、比重、安定損失重量と強度の試験値の関係をプロットした図8～図10をみると一層明確にわかる。

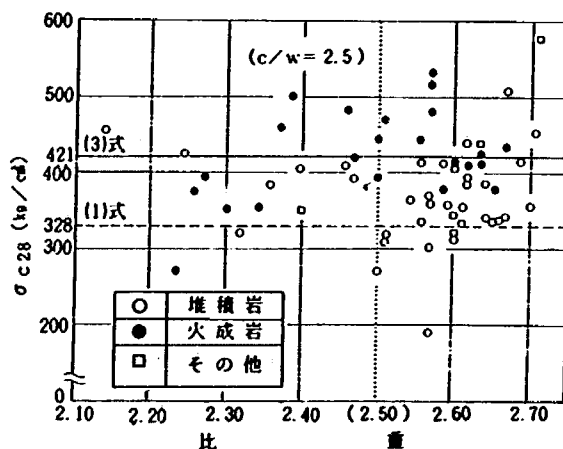


図-8 粗骨材の比重と σ_{c28} との関係⁹⁾

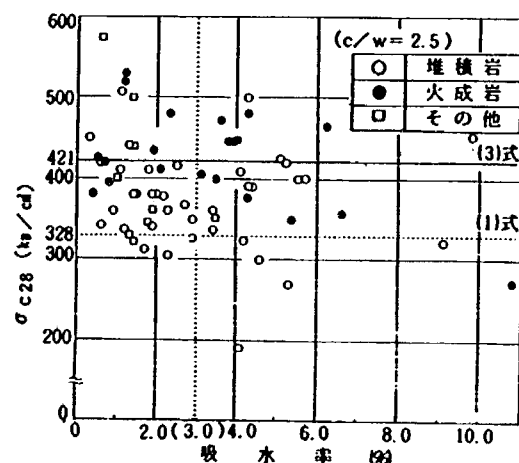


図-9 粗骨材の吸水率と σ_{c28} との関係⁹⁾

図中の(1)式、(3)式とは土木学会¹¹⁾、セメント協会¹²⁾で示されているコンクリート強度と水セメント比の関係を示す次式である。

$$(1) \text{式} \quad \sigma_{c28} = -210 + 215 \cdot C/W$$

(土木学会)

$$(3) \text{式} \quad \sigma_{c28} = -24 + 178 \cdot C/W$$

(セメント協会)

コンクリートの強度には骨材の品質よりも岩種の影響の方が大きく、火成岩系の岩石からなる砕石を用いるのが強度的に有利であることが各図からわかる。

曲げ強度は安定性以外にすりへり減量、吸水率、比重などについても相関が強くなり、骨材の品質が良くなると曲げ強度も大きくなる。曲げ強度はモルタルの強度以外に骨材の品質そのものの影響を受ける程度が大きい為であろうが、舗装用コンクリート等を造る際にはこのような特性を知っておくと良いと思われる。

(3) 乾燥収縮に及ぼす影響

表 6 によれば乾燥収縮は安定性損失重量、軟石量等と最も強い相関を示し、次いで吸水率や実積率とも相関を示す。なお、軟石量は乾燥収縮量にのみその影響をあたえていることがわかる。

(4) 耐久性に及ぼす影響

表 6 では吸水率、すりへり減量等が強い相関を示すが土木研究所が作成した表 8 では比重・吸水率・安定性損失重量などが強い相関を示している。その相関の度合を視覚でわかるよう凍結融解試験による耐久性指数と吸水率の関係を図 1 1 に、安定性損失重量との関係を図 1 2 に示す。吸水率が 3 % 以下または安定性損失重量が 12 以下であれば、概ね耐久性指数が 60 以上となる。吸水率および安定性損失重量がこれらの値を超えると耐久性が心ならず低下する訳ではなく、低下するものとあまり低下しないものが生じる。

図 1 3 は縦軸に安定性損失重量、横軸に吸水率をとって、耐久性指数を 60 以下となる骨材は、両者がどの程度の値となっているかを調べたものである。図中の斜線の区域（吸水率 $\leq 3\%$ 、安定性 $\leq 40\%$ 又は吸水率 $\leq 5\%$ 、安定性 $\leq 12\%$ ）内であれば、概ね耐久性指数が 60 以下であることがわかる。なお、耐久性指数とは凍結融解試験による供試体の劣化の程度を表わす数値で、試験前と 300 回凍結融解繰返し後の供試体の動弾性係数の比 $\times 100$ で表わしたものである。

4.2 細骨材の品質の及ぼす影響

セメント協会の調査では 40 種類の細骨材と 図-11 粗骨材の吸水率とコンクリートの耐久性指数との関係⁹⁾

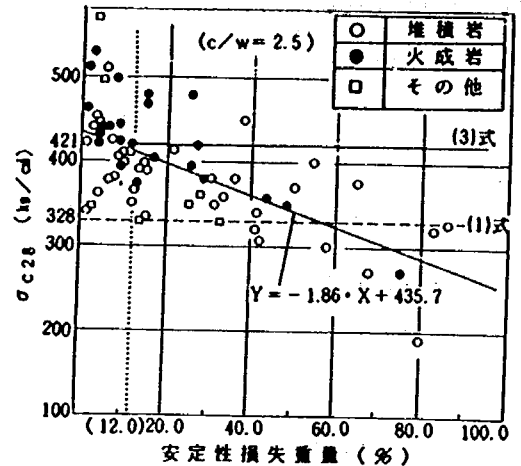
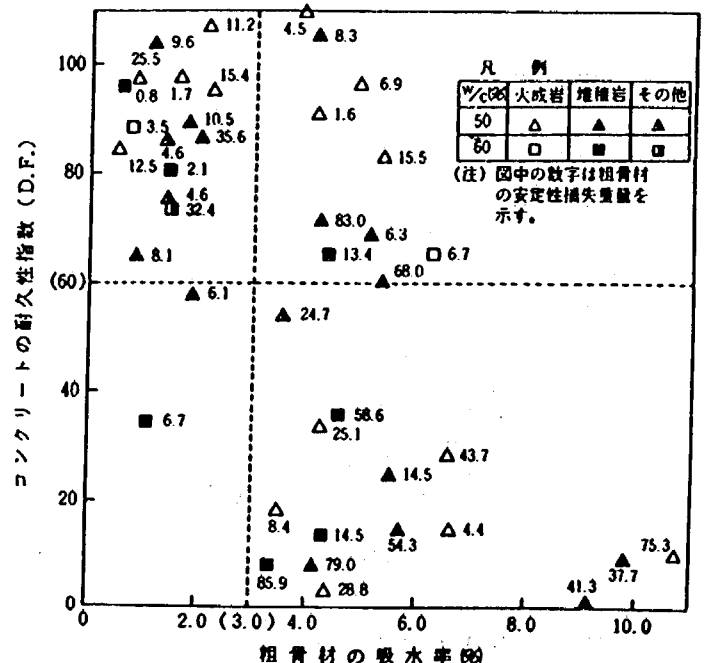


図-10 粗骨材の安定性損失量と σ_{c28} との関係⁹⁾



同一の粗骨材(砕石)を用いて、W/Cを50%(A), 60%(B), 40%(C)のコンクリートを作り、粗骨材の場合と同じく、単位水量、強度、動弾形係数、乾燥収縮、耐久性を求め、表9(次頁)に示す骨材品質特性値との単相関分析結果を得ており、以下のことがわかる。

(1) 単位水量に及ぼす影響

単位水量は洗い損失、粘土塊に弱い相関がある。また、実積率とも相関があり、実積率が増せば単位水量が低下するが、セメント量が増せば相関はなくなる。

(2) 強度に及ぼす影響

圧縮強度・曲げ強度とも、洗い損失重量のみに弱い正の相関があり、微粒分が増せば強度が大きくなることを示している。原因は微粒分そのものが強度増加に寄与しているのではないかと考えられている。¹³⁾

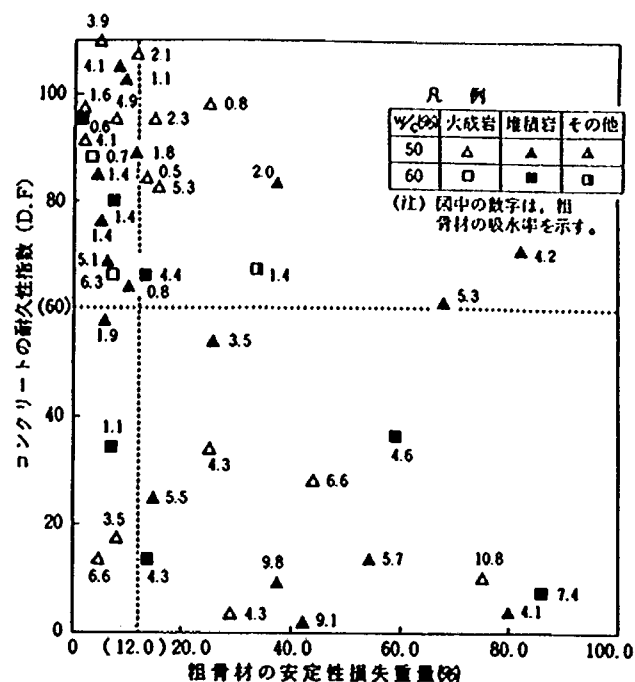


図-12 粗骨材の安定性損失重量とコンクリートの耐久指数との関係⁹⁾

表-8 粗骨材の特性値とコンクリートの耐久指数との単相関分析表⁹⁾

(W/C = 50, 60%)

	ケース数	平均値	標準偏差	比重	吸水率	安定性損失重量	すりへり減量	単位容積重量	実積率
耐久性指数	42	59.4	35.4	0.482*	-0.604*	-0.525*	-0.193	0.485*	0.010

注) * 危険率1%で有意

(3) 乾燥収縮に及ぼす影響

粗粒率、吸水率、洗い損失重量などがやや強い相関を示している。乾燥収縮を小さくするにはFMを小さくすることや、吸水率、洗い損失重量等を少なくすることなどが役に立つようである。

(4) 耐久性に及ぼす影響

砂の実積率、塩酸溶解物(貝がら等)が相関を有し、粗粒率も弱い相関がある。耐久性を向上させるには、FMを大きくし、実積率を上げ、貝がら等の塩酸溶解物を少なくすることが効果がある。粒子の細かい海砂などは耐久性の面からは不利な材料となることがわかる。また、粗骨材等と異なって比重、吸水率、安定性損失重量等は耐久性にまったく相関のないことは他でもそのようなことが報告されている例もあるが、非常に興味深いことである。¹⁴⁾

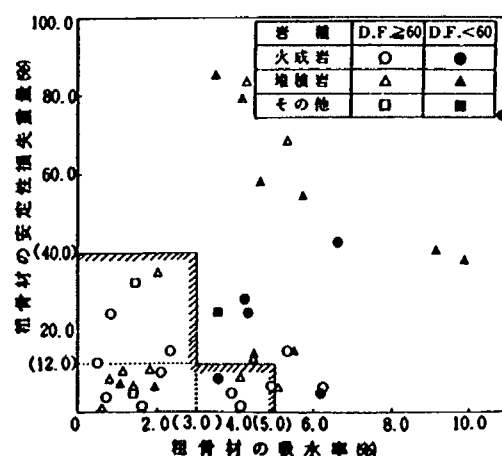


図-13 粗骨材の品質とコンクリートの耐久指数(D.F.)との関係⁹⁾

表-9 細骨材特性値とコンクリート特性値間の単相関係数と有意差検定 (セメント協会 F-32 より抽出)

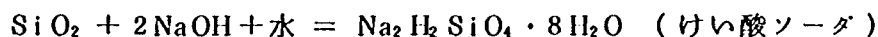
コンクリートの 特性	配合の 種類	細骨材の特性値									
		粗粒率	絶対比重	単位容積 重量	突積率	吸水率	洗い損失	粘土塊	安定性	比重1.95 の液体に 浮くもの	塩酸 溶解物
単位水量	B	-0.0206	-0.3660	-0.5074	-0.4557	0.3357	0.3256	0.3447	0.1583	0.0385	0.2073
	A	-0.0514	-0.2446	-0.3678	-0.3489	0.2871	0.3335	0.3198	0.2863	-0.0157	0.0094
	C	-0.0138	-0.2214	-0.2044	-0.1430	0.3496	0.4100	0.4479	0.3286	-0.0311	-0.0798
28日圧縮強度	B	0.1317	0.2805	0.2500	0.1368	-0.0423	0.2628	-0.0362	-0.1607	0.1797	-0.4474
	A	0.2365	0.0688	0.1052	0.0841	0.1986	0.5365	-0.0530	0.2055	-0.1816	-0.3515
	C	0.3701	0.0301	0.1891	0.2325	0.2412	0.4669	0.1326	0.2191	-0.1430	-0.1352
28日曲げ強度	A	0.2604	0.2101	0.1205	-0.0081	-0.1589	0.3748	-0.2170	-0.0829	-0.1110	-0.2159
28日引張強度	A	0.2743	0.2041	0.1413	0.0417	-0.2115	0.1418	-0.4225	0.0062	-0.0408	-0.2094
28日動弾性係数	B	-0.2951	0.6540	0.5906	0.3826	-0.5924	-0.3546	-0.3462	0.0250	-0.1170	-0.0991
	A	-0.0984	0.6735	0.6667	0.4646	-0.6226	-0.3999	-0.4455	-0.0482	-0.2034	-0.3421
	C	-0.2250	0.7424	0.5000	0.1831	-0.7730	-0.4240	-0.4089	-0.1300	-0.2331	-0.1117
26週乾燥収縮	-	0.4360	-0.2852	0.1021	0.3285	0.5501	0.4862	0.3028	-0.0418	-0.0914	-0.2263
耐久性指数	A	0.3455	0.2460	0.4222	0.4107	-0.0302	0.2085	-0.0999	0.0485	-0.3381	-0.5923

*水準5%で有意 **水準1%で有意

反応性珪物によるコンクリートの損傷事例は我が国ではあまり報告されていない。しかしながら皆無でもないし、今後問題となってくるかもしれないので文献¹⁵⁾を参考に概述する。

(1) シリカ珪物

オパール、玉髄、クリストパライト、トリジマイトなどのシリカ珪物は、セメント中のアルカリと反応することがある。たとえば、セメントペースト中のナトリウムと反応してけい酸ソーダを生成する。



この反応によってシリカ鉱物粒子は膨張するので、コンクリートが膨張し、網目状のひびわれが発生する。これがいわゆるアルカリ骨材反応と称されているもので、米国では多くの事例があるが我が国での事故例についてはあまり知られていない。

(2) モンモリロナイト

モンモリロナイトは粘土鉱物の一種で乾湿の変化にしたがって多量の水を吸・脱水し、同時に著しい体積変化をする。コンクリート骨材中にモンモリロナイトが多量に存在すると、乾湿の変化による膨張・収縮のくり返しから骨材の崩壊・コンクリートの崩壊を生ずることがある。

(3) ローモンタイト

ローモンタイト（濁沸石）は沸石類の一種で白色板状あるいは柱状結晶である。温泉熱水作用等によって生成し、岩石の割れ目に脈状で存在したり、岩石中の構成鉱物を交代したりして存在する。

ローモンタイトは乾燥すると結晶水の一部を失ってレオンハルダイトとなり、この時体積が 1.5% 収縮する。逆にレオンハルダイトが吸湿するとローモンタイトに変わり、体積が 1.5% 増加する。また、レオンハルダイトとなって脱水した時には容易に粉化する。したがって骨材中にローモンタイトが存在すると乾湿の繰返しによって骨材が崩れ、コンクリートが表面から剝落してゆく。筆者の知る例では 5% のローモンタイトを含む砂岩を骨材としたコンクリート構造物で風雨に当る表面の部分が打込み後数年目で風化してきた例がある（写真 1）。

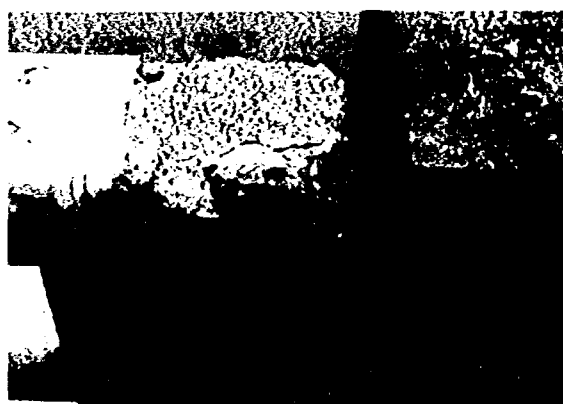
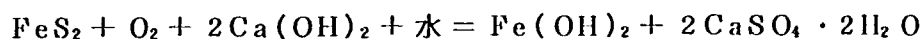


写真 1 ローモンタイト含有骨材が原因と思われる風化例

(4) 硫化鉱

骨材に伴う硫化鉱で最も一般的なものは黄鉄鉱である。硫化鉱（例えば黄鉄鉱）は、コンクリート中で酸素と水酸化カルシウムならびに水の存在により、次のような反応を起こす。



この反応は膨張を伴い、生成した硫酸カルシウムはさらにセメント中のアルミン酸石灰と反応して膨張し、コンクリートに膨張現象を起こさせる。また、水酸化鉄の生成により、コンクリートが褐色に汚れることもある。

5. 骨材の低品質化への対応策

骨材の品質の現状と、骨材の品質がコンクリートに及ぼす影響を述べたので、いよいよ本論に入る訳であるが、前述のように生産者側の最大の希望が品質規準の緩和ということがわかっているだけに筆者にとって荷が重い話である。コンクリート用骨材の品質規準は土木学会・建築学会で慎重な審議

のうて定められたものであり、その良否を論ずるためには学問的裏付けも必要であろうし、長い議論も必要であると考られる。ここではそれらの規準以外に提案されている方法で低品質化への対応策となりそうなものを筆者の私見を交えて紹介をさせていただくことにする。

5.1 粗骨材の低品質化に対する対応策

骨材の低品質化への対応策としての筆者の基本的な考えは次のようなものである。

- (1) 粒度・微粒分等の人工的に調整、高品位化出来るものの規準緩和は慎重に考える必要がある。
- (2) 比重・吸水量等の物理的品質は人工的に変えることも困難であるので品質規準の緩和を考える。

ただし、コンクリートに要求される品質の条件に応じて建築学会規準のように骨材の使用級別を設ける。

骨材の使用級別を設けることは生産者にとってはストックヤードの問題もあって好ましい方法ではないかもしれないが、資源の有効利用という点を考えれば避けては通れない問題であろう。

粗骨材の級別を定める方法としてセメント協会では次のような品質総合評価係数(A)を設定することを提案している。⁸⁾

$$A = -1.47(\text{粗粒率}) + 4.42(\text{絶乾比重}) - 0.10(\text{粒形判定実積率}) \\ - 0.54(\text{吸水率}) - 0.23(\text{洗い損失}) - 0.53(\text{粘土塊}) - 0.06(\text{安定性}) \\ - 0.06(\text{すりへり減量}) - 0.07(\text{軟石量}) + 0.02(\text{破碎値}) + 12.22$$

この式は前述した $\mu = 206$ の粗骨材データをもとに作成したかなり普遍性の高いものといえる。この評価によってAが5以上であれば、いずれのコンクリート特性に対しても大体平均以上の値が期待出来るという。また、骨材の品質の1項目だけが不足であるために不合格となるようなこともない点が良い。問題点は、コンクリートの品質と品質総合評価係数(A)の値との関係を具体的にどう決めるかということであろう。

日本コンクリート会議¹⁶⁾(現、日本コンクリート工学協会)では各地の碎石について各種の品質試験を実施し、表10のような吸水率による区分、安定性試験による損失量とすりへり減量による区分に基づくコンクリート用碎石の品質規準を提案している。

種別Aはすりへり減量が25%未満と厳しくはなっているが、現在のJIS A 5005 コンクリート用碎石の規格に近いものである。種別Bのコンクリートは温暖な地域のRC構造物の大部分に適用出来るであろう。

筆者らが提案している方法⁹⁾は表11に示すようなものである。

この案は前述の81種類の粗骨材の試験データに基づいて作成したもので、耐久性を特に要求されていないコンクリートに対しては吸水率、安定性損失重量等を緩和しているほか、耐久性を要求するコンクリートでも強度をあまり必要としないコンクリート(無筋コンクリート)に対しては吸水率、又は安定性損失重量のどちらか一方は現行の規準値よりも大巾に緩和している。その根拠はコンクリ

注1) 本式は、粗骨材の最大寸法25mm(または20mm)の骨材に適用される。

2) 各特性値の単位は、それぞれの試験方法に定められたものを用いる。

表-10 コンクリート用砕石の品質規準案¹⁶⁾

種別	吸水量(%) JISA 1110 による	適用範囲
A	3未満	安定性が12%以上の場合には凍結融解がしばしば繰り返される地域ならびに設計基準強度が300%以上のコンクリート構造物にそれを使用するときは、耐久性の実例か凍結融解試験かにより判断する。
B	3以上5未満	凍結融解がしばしば繰り返される地域ならびに設計基準強度が300%以上のコンクリート構造物には原則として用いない。止むを得ず用いるときは、コンクリートの強度試験、および凍結融解試験などを行なった上で判断する。
C	5以上	強度をあまり必要としないコンクリートたとえば裏込めコンクリートなどに用いるのを原則とする。

種別	安定性試験による損失量(%)	すりへり減量(%) (ロサンゼルス試験機による)
A	12 未 満	25 未 満
B	12 未 満	25以上40 未 満
C	12 以 上	40 以 上

ートの耐久性指数、吸水率、安定性損失重量の関係を調べた結果(図13)から、耐久性指数60以上を確保するためには、骨材の品質が図中の斜線の範囲にあれば良いという考えに基づくものである。

また、吸水率と表乾比重とは相関が強いことから吸水率の規定のみで比重の規定はなくした。すりへり減量の規定は現行規定を容易に守れるので同じとした。

有害物の含有量(特に微粒分)は人工的に除去出来るので変更をしなかった。

この規定によって骨材の品質が現行の規準よりも緩和される構造物は無筋コンクリート、内部コンクリートや地中コンクリート等である。

5.2 細骨材の低品質化に対する対応

細骨材の低品質化に対する対応も基本的には粗骨材と同じであり、塩分や微粒分のように人工的に除けるものの規準の緩和よりは物理的特性の緩和を優先すべきと考える。

セメント協会では細骨材についても粗骨材と同様に評価係数を定めることとし、コンクリートの特性ごとに5種類の評価係数を誘導している(紙面の都合で式は省略するが詳しくは参考文献を参照されたい)。

これらの式の適合性を照査した結果では単位水量や強度等については相関が良くない。恐らく細骨材の品質が単位水量や強度にはもともと関係ないことを意味しているものと思われる。この方法も個

表-11 コンクリート用粗骨材の品質規準案⁹⁾

コンクリートの 設計基準 強度 σ_{ck} (kg/cm^2)	粗 骨 材 の 品 質	
	耐久性を要求されるコンクリート	耐久性を特に要求されないコンクリート(内部コンクリート、中詰コンクリートなど)
180 未満	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 40\% \text{以下} \end{array} \right.$ または $\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 5\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 5\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 40\% \text{以下} \end{array} \right.$
180 以上 300 未満	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 40\% \text{以下} \end{array} \right.$ または $\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 5\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$
300 以上	$\left\{ \begin{array}{l} \text{吸水率} : 3\% \text{以下} \\ \text{安定性損失重量} : 12\% \text{以下} \end{array} \right.$	—

- 注) 1) この規定を外れる骨材でも、使用実績のあるものや凍結融解試験等によって総合的に使用が可能と認められるものは、使用してよい。
 2) すりへり減量は40%以下とする。ただし、舗装用コンクリートに用いる場合は35%以下とする。
 3) 有害物含有量の限度は、土木学会コンクリート標準示方書83条による。

個の評価係数の値を具体的にいくにするかという問題はあるが、ある品質の項目が低くても、他の品質の項目で補なえる可能性があるという点で品質規準などに取り入れるには好ましい方法と思われる。

砂の品質項目では洗い損失重量がコンクリートの品質に与える影響の大きい項目であるが、現行規準では天然砂中のものは粘土、シルトであるとして厳しく規制する一方、砕砂中のものは石粉であるとして緩和をしている。混合砂のような場合には現行規準に従うかぎり石粉的に有益な微粒分と粘土的に有害な微粒分の区別が必要となる。JISでは微粒分の試験方法には洗い分析しかないが、ASTMには土および細骨材の砂当量に関する標準試験方法 (ASTM D 2419-74) という方法がある。試験の概略は、試料の砂を綿毛化させる能力を有する洗滌液 (塩化カルシウム+グリセリン+フォルムアルデヒド溶液+水) を入れたメスシリンダー中で激しく振る。次いで20分間静置して沈殿させた後、砂の沈殿深さと綿毛状沈殿物を含めた沈殿深さの比をとって100倍し、これを砂当量としてあらわすのである。

砂当量は砂中の微粒分が多くなると小さくなるので、この数値で微粒分を規制している例が外国にはあるが、沼田氏¹⁷⁾によれば粘土の場合と石粉の場合とでは同じ洗い試験損失重量の含有量でも粘土の方が砂当量の値が小さく出ることである(図14)。この方法によれば有害な粘土と無害な石粉を自動的に区分して評価出来る可能性があり、今後の研究の発展が待たれる。なお類似の方法で微粒分の量を簡易的に測定することは既に生コン会社では実施されているようである。¹⁸⁾

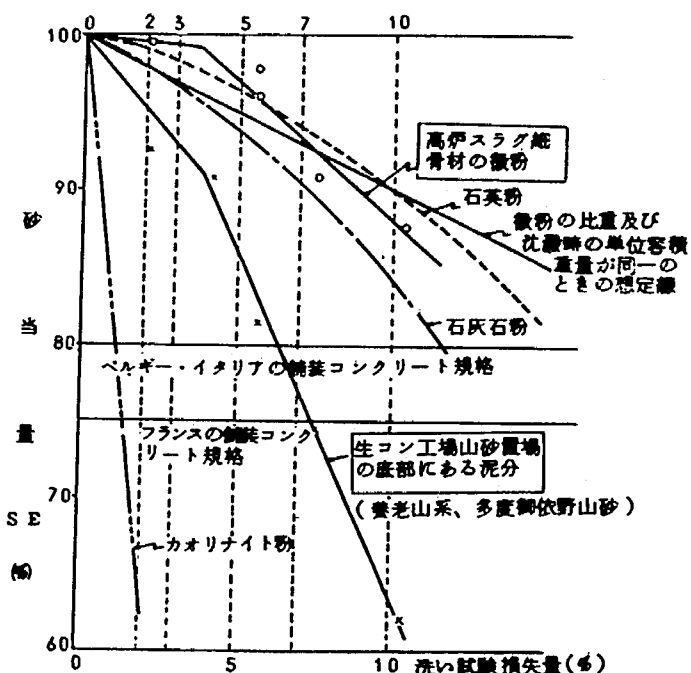


図-14 各種の微粉の洗い試験損失量と砂当量の関係¹⁷⁾

5.3 有害鉱物を含む骨材に対する対応

種々の有害鉱物名が知られているが、それらの鉱物が骨材中に含有されているかどうかは、鉱物顕微鏡観察、X線回折分析等によって知ることが出来る。しかしながら微量であれば、それらの有害鉱物は大部分の岩石に含まれているような例もあるので、大切なことは、その鉱物が、コンクリートに有害となるほどの量と反応性を有しているかどうか知ることになる。残念ながらアルカリ骨材反応試験以外には規準化されたものがないので筆者の考えを述べるものとする。

(1) シリカ鉱物

シリカ鉱物とセメントとの反応はASTM C 289 骨材の潜在反応試験方法 (化学法) およびASTM C 227 セメント - 骨材の潜在性アルカリ反応試験方法 (モルタルバー法) によって試験出来る。前者は骨材中に石灰等が含まれると無害であっても有害と出ることもあるが、試験が一週間程度で終る

ことと、無害となった場合には必ず無害であるので、まず、この方法によって試験を行うとよい。後者は使用セメントと骨材でモルタルバーを作り、半年間長さ変化を実測するもので、期間はかかるが確実な方法であるので、化学法で反応性有りとなった場合の確認試験とするのがよい。

(2) モンモリロナイト

吸湿性の鉱物であるから、通常の吸水率試験、安定性損失試験等を行って規準値を満足しているもののみを用いるならば有害なものは自動的に除外されるものと思われる。安定性損失重量が規準値を越えるような場合にはコンクリート供試体を作り、1サイクル2日程度の乾湿繰返し試験を行って膨張性を確かめるとよい。

(3) ローモンタイト

砂岩等の堆積岩中の構成鉱物や膠結物をローモンタイトが交代している岩石は骨材としない方がよい。ローモンタイトを脈状に含む岩石で平均的含有量が数パーセントを越えるようなものは乾湿繰返し試験又はコンクリートを作って一年以上、野外曝露を行って結果を見て判断するとよい。

(4) 硫化鉄

黄鉄鉱の分解は石灰を含んだ水の中のみで起こるので、問題の骨材を石灰の飽和溶液に入れてその活性を調べることができる。骨材が活性の場合には青色のゼラチン質の硫化第1鉄が数分以内に現われ、これを空気にさらすと茶色の酸化第2鉄に変化する。このような反応がない場合には¹⁹⁾しみができる心配はない。

6. あとがき

骨材の低品質化への対応策としては骨材の品質規準を必要で最小限度の値に緩和するのがよいとは考えてはいるものの品質の規準を下げて良いとの積極的な提案は出来なかった。その理由は浅学なこともあるが、コンクリートの耐久性等については室内実験しか行っていない点にもある。凍結融解試験の耐久性指数とはどういう意味を有するのか、実構造物のデーターを対比しながら今後解明してゆくべき問題であろう。

有害物質については、最近の分析技術の進歩から微量に含まれる鉱物も簡単に発見出来るようになってきたものの、それが有害量であるかどうかという判断の目安や、方法が無いためにかえって苦慮することも多くなっている。この方面の研究についても今後の発展を期待したいものである。

最後に引用させていただいた文献類の著者の皆様に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) 岩田誠二：わが国における骨材事情の推移と資源調査の現状，セメントコンクリート 16415，1981
- 2) セメント協会：粗骨材の品質調査報告，コンクリート専門委員会報告 F-29，昭52.10
- 3) セメント協会：細骨材の品質調査報告，コンクリート専門委員会報告 F-28，昭51.12

- 4) 貞久秀治：河川砂利の現状と問題点，セメントコンクリート Ⅻ415, 1981
- 5) 日本建築学会，骨材品質に関するWG：全国のコンクリート用骨材に関する調査結果，セメントコンクリート Ⅻ425, 1982
- 6) JIS A 1126 ひっかき硬さによる粗骨材中の軟石量試験方法（解説）
- 7) 遠藤武平：全国の骨材品質概況，セメントコンクリート Ⅻ415, 1981
- 8) セメント協会：粗骨材の品質がコンクリートの諸性質におよぼす影響，コンクリート専門委員会報告F-31, 昭54.6
- 9) 建設省土木研究所：コンクリート用骨材に関する調査報告書(1)，土木研究資料 第1838号，昭57.6
- 10) 小林茂敏，河田博之：形状不良の骨材を用いたコンクリートの特性に関する調査，第35回 建設省技術研究会講演概要 昭56.11
- 11) 土木学会：コンクリート標準示方書 55年版
- 12) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-16.1966
- 13) セメント協会：細骨材の品質がコンクリートの諸性質に及ぼす影響，コンクリート専門委員会報告 F-32, 昭56.3
- 14) 和泉意登志ほか：東北地方の低品質骨材を用いたコンクリートの諸性質について，（1～3）日本建築学会大会梗概集 1980.9～1981.9
- 15) 丸 章夫：鉱物学的立場からみた骨材の品質，セメントコンクリート，Ⅻ415, 1981
- 16) 日本コンクリート会議：コンクリート碎石の品質基準作成に関する調査報告書，昭44.3
- 17) 日本鉄鋼連盟スラグ資源化委員会：砂当量試験に関する各国の規格試験方法及び砂当量がコンクリートの品質に及ぼす影響に関する文献，昭57.11
- 18) 全国生コンクリート工業組合連合会：生コン工場品質管理ガイドブック，P289
- 19) 後藤幸正，尾坂芳夫訳：ネビルのコンクリートの特性，P125, 技報堂出版

2. ボーリング調査の現状と問題

2—1 掘削技術の最近の動向

土 木 研 究 所

地質官 大 木 達 夫

1. ボーリングの目的と分野

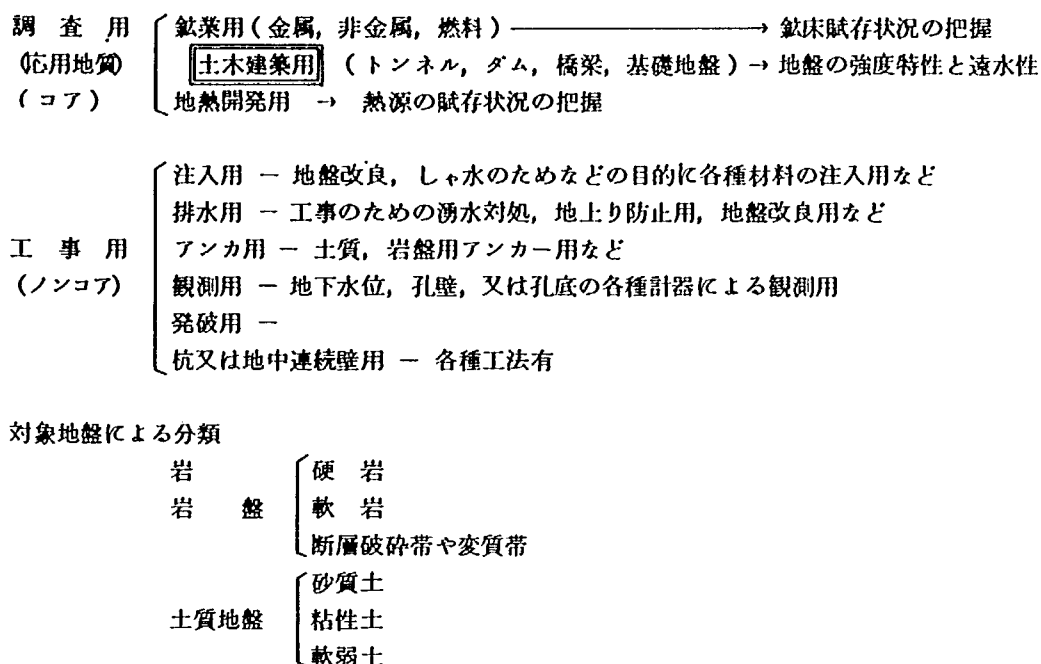


図-1 ボーリングの目的と分野

私達の関係するボーリングには、調査用や工事用の目的のものがある。ボーリングを歴史的にみれば鉱山関係で発展してきたと云える。鉱山でのボーリングの目的は鉱床の賦存の発見であり、品質確認のためのサンプリングである。土木の現場で実施されるものは、トンネルやダム等多くの現場で地盤の強度やその他の地質情報を正確に得ることを目的として用いられている。最近では地熱の開発のため又は地下での各種物質の貯蔵のための地下深所の調査のためのボーリングも盛んになっており、工法的にも発展してきている。土木の現場での工事用の目的は、材料注入用の場合、地下水排除の目的、アンカー工事用の目的、それにこれらの孔を利用した各種の測定、観測用の目的、発破装薬用の目的等がある。工事用で特殊なのが、地下に各種構造物を築造する目的で大口径のボーリングが実施される場合も多い。

対象となる地盤としても岩盤の場合もあり、土質地盤の場合もある。実施する場所としては陸上の場合、水底、海底を掘る場合もあり、その分野は広い。又それぞれに応じた技術といったものも独自に存在し、開発されてきている。

私達の関係するボーリングは、これらの中である分野を限定されたものではあるが岩盤や土質地盤に対して実施される。今回は特に岩盤用のものに話が限定されている。

2. ボーリングに必要な要素と最近の工法の概要

次にボーリングに必要な要素を考えると、まず第一にはコアを速く、正確に、確実に採取することである。ノンコアの場合は速く穿孔することのみが要素となる。その他の要素としては孔壁をスムーズに掘ること、正確な位置に掘ること、地質情報を正確に的確に採ることなどである。今回紹介する内容について若干触れておくと次のとおりである。

	ノ コ ア	コ ア	
速く	◎	○	ワイヤライン→リトラクタブルビット(ノンコア)
深く	○	○	
確実に	○	○	各種泥水の開発と水を使わない方法
孔壁をスムーズに	○	○	
正確な位置に	◎	◎	コントロールドリリング
情報を正確に		◎	コア採取→ エラスティックチューブの使用 スライムの評価 コアの評価と保管 } → 別途 孔壁の調査→ 不連続面の調査



総合的な調査手法の向上

図－2 ボーリングに必要な要素と最近の工法

まず速く掘る工法として大分前から実施されてはいるが、ワイヤライン工法があり、最近では更に現地の孔底でビットを交換する技術も開発されてきている。又水平ボーリング技術について、青函トンネルの施工の進展と時を同じくして様々な工法、技術が開発されてきている。次に水を使わない穿孔技術の開発があり、掘る位置をコントロール可能なコントロールドリリングの技術がある。情報を正確にということではコアを最大限にそのままの状態では採取できるような工夫、技術が進んできている。ボーリングにて得た孔を利用して地下の地質特性を情報として得られるような技術、例えば直接的にはボアホールテレビの利用、間接的に孔壁の状態を調査して不連続面の状態を推定する手法等がある。

3. ワイヤライン工法とその応用技術

ワイヤライン Qシリーズ

ダブルコアチューブ用(二重管式) Q-U型共通

寸 法	ピ ッ ト		リーミングシェル
	外径(mm)	内径(mm)	外径(mm)
E O	37.3	20.0	37.7
A O	47.6	27.0	48.0
B O	59.5	36.4	59.9
N O	75.3	47.6	75.7
H O	97.5	63.5	98.4
P O	122.0	85.0	123.0

Q-U型 緩傾斜～水平掘用 国内記録 2,700m(140日)

最近ではQ-3型(三重管式) 19.3m/日

図 - 3 ワイヤライン工法

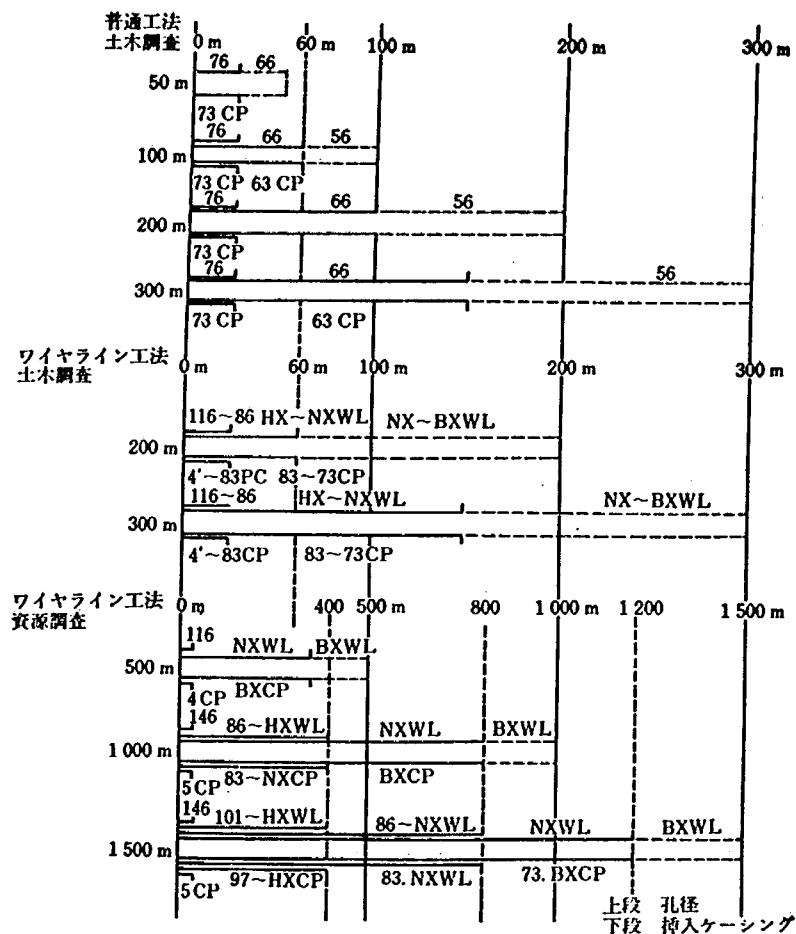
(アメリカ, ロングイヤー社)

ワイヤライン工法はアメリカで開発されて、現在では日本でも長尺物のボーリングはほとんどがワイヤライン工法で実施されている。その特長は外側の孔壁保護の役目の管や回転して掘進する目的の管はそのままにしておいてコアチューブのみをワイヤにて上下させる工法であり、全体的に掘進の時間が効率的になる

ワイヤラインシリーズの中でQ-Uシリーズがあり、これはそれまでのものに比べて径が大きくなったことと水平掘りが可能というものである。水平の場合のワイヤの押し込みは水圧にて押すもので垂直の場合と同様の操作が可能なるものである。

水平掘りについては青函トンネルで考えられてきた形が、そのまま最近の水平掘りの発展と云っても過言ではない。初期の段階では通常工法としてロッドの中を泥水が通りロッドと孔壁との間を排水し、コアチューブはロッドと一緒に上下する普通工法である。水抜き用の目的の場合はノンコア工法でワイヤライン工法が効率的に用いられていた。次の段階としては軟弱な地盤とか、断層破碎帯に出合った場合、セメンテーションに相当の時間をとられてしまう欠点があり、これらの改良のためリバー工法と呼ばれるもので泥水の流れが、外壁沿いに入り、ロッドの中を通して排水されていく工法である。孔壁の保護のためには外壁沿いの水圧が有利に働くことが考えられ、コアも連続的に採取することが可能である。しかし、コアがやせたり割れたりする欠点がある。又地下水が孔壁から流出するような場合、この工法は適合しなくなる。水圧のかかるような所があって逆にその水圧で孔壁が崩れてゆくということがある。圧力水で満たして掘るということも開発されている。ただし、圧力を一定に保つのが非常に難かしくかなり変動があり、開発が完全に成功したという訳ではない。リバー

ス工法で水を送らないで空気だけでスライムや切り粉を送り出してくるという工法が最も能率がよかったとされている。



図－４ 標準孔型 挿入ケーシング図⁽¹⁾

図－４は浅い所から深い所への径の切り替えの基準である。図－５，６はリトラクタブルと言ってこの回転体と切り離してビットだけを交替する。そのためには、いろいろ工夫がある。最近、開発されているのにトリコン型のビットが開いたり閉じたりするもので、ヘッドをたたいたり引っぱりして開いたり閉じたりする。閉じた状態で上げたビットを修理、交替してまた落して、回転体の回転力をビットに伝えて掘る。ワイヤラインとリトラクタブルビット方式で効率的な掘り方ができる。

コアはまだこのやり方では取れていない。これは本四架橋の海中の基礎発破用の孔に使われていた。日本ではこのやり方の大きなコアリングの例はない。

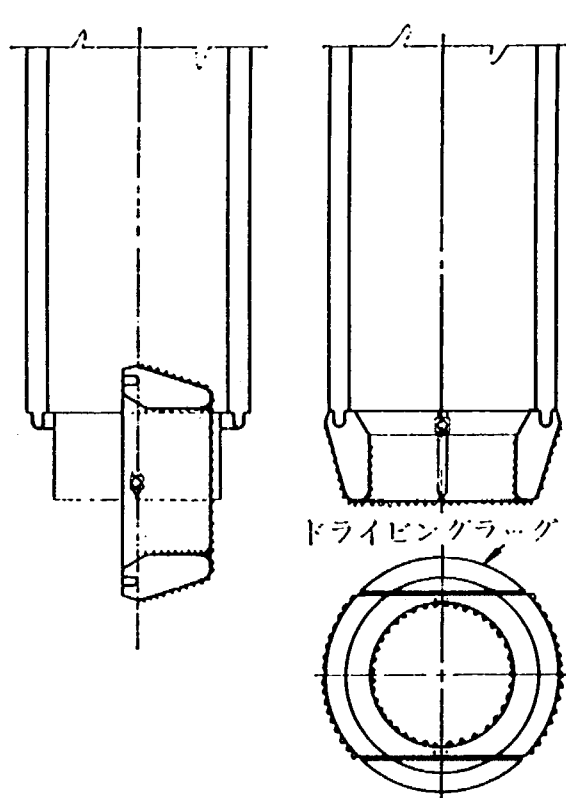


図-5 リトラクタブルビットシステムの基本的概念図⁽³⁾⁽⁷⁾

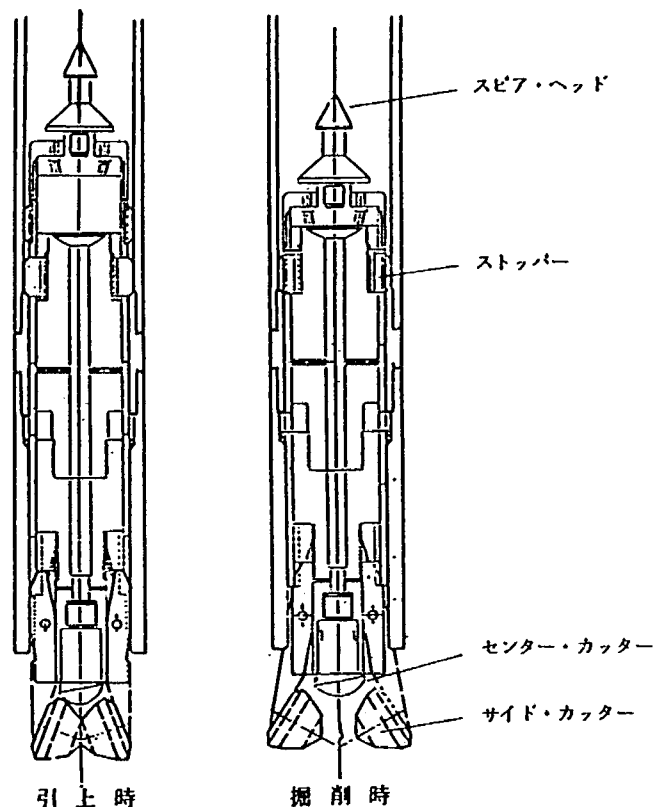


図-6 X社：SMMドリルシステム⁽³⁾

4. エアドリリング工法

1. ストレートニアドリリング工法

(ダストドリリング, ドライドリリング)

圧縮空気のみを送る方法, 孔内で滲水のあるものは不可, コア採取率は悪い。

2. ミストドリリング工法⁽⁹⁾

圧縮空気流と界面活性剤を使用

例 ビリカダムの未固結砂, 名立地区地すべり調査。秋庭ダム

3. フォームドリリング工法

ポリマー, ゲル, 発泡剤を使用し, 丈夫な泡を作る。

ミスト工法で不可のところ等, 水分に敏感な岩質などに適

4. エアレーテッドドリリング工法

循環泥水にエアを混入し静水圧を下げて逸泥を防ぐ

各種泥水

1. 普通泥水 (ベントナイト泥水) から
2. リグネート泥水へ
3. リボナイト泥水へ

図-7 エアドリリング工法⁽⁸⁾

今までは掘り方などメカニカルな話であるが、これは、先程の水を使わない工法ということで、逆に水がどうしても手に入らない所で掘る時と合せて、水を使わないことによって有利になるということもある。水の無い所で掘れる、大規模な用水の設備が不要になる、冬季に凍結のトラブルがない、孔壁の保持が泥水の場合よりも良い場合がある。何種類かあるが、ここでは4種類をあげる。

ストレートエアードリングは空気を送るだけで、いわゆる削屑をふき上げる方式である。この場合は中に若干水があると、水と削粉が団子状になってトラブルを生じるので、水が出る場所ではダメである。

最近多く使われているのがミストドリリングで、これは圧縮空気に界面活性剤を吹きつけ、泡で削粉を吹き出させてくる。例として北海道のピリカダムの未固結の砂をこれでサンプリングして掘って良い成果を上げている。新潟の北陸道の地すべりの調査に使っているが、地すべり粘土を水で流さないで取れるのがメリットである。

3番目はホームドリリング工法で若干ミストよりも丈夫な泡である。

4番目は完全にエアレーテッドで普通のやり方の中に空気を入れてやる。水が孔内で多いような場合、孔壁保護の泥の効果あまりでない場合、こういうエアを混入してやることによって泥の部分が下で働いてくれるという作用がある。泥水そのものの中でも種類化学的な薬のいろいろな物を使って、深い所からスライムを上げる。または、地熱のように何百度という所を、効果が変わらないような作用の薬を開発するという事で研究が進められている。

5. コントロールドリリング

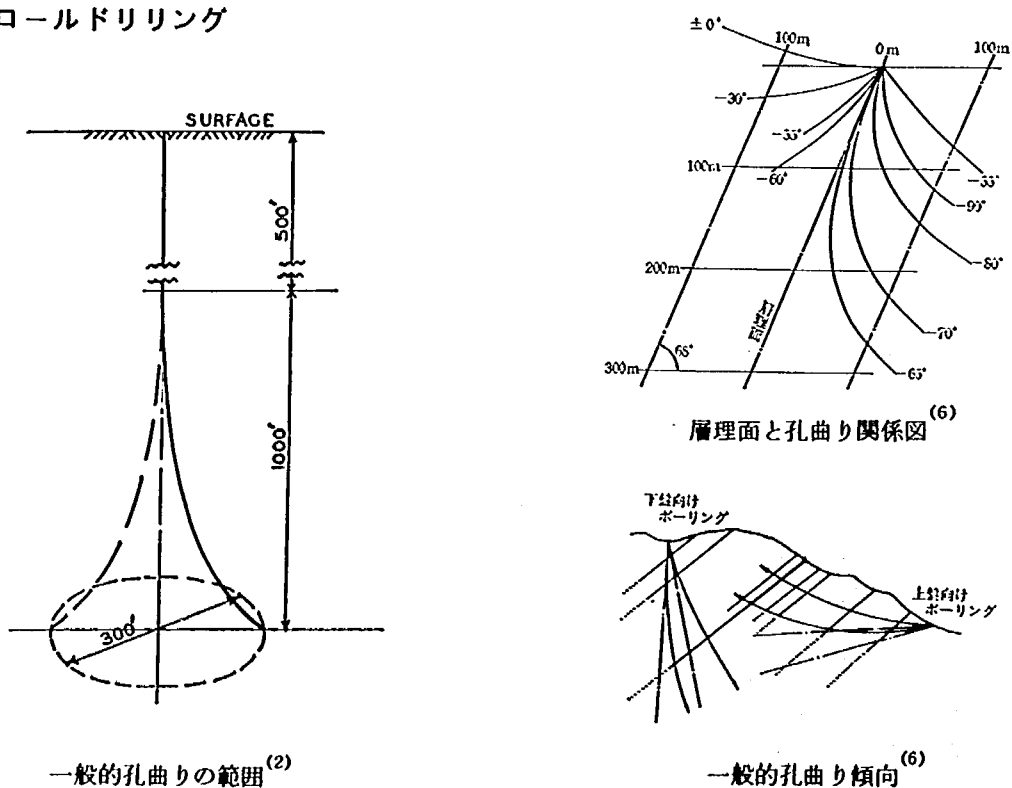


図-8 孔曲りの傾向

孔を掘る方向をコントロールすること。一般的に孔曲りは鉛直に掘ると 1,000 に対して 300 があるから、これ位の範囲で移動しているという資料がある。孔曲りの特性として層理などの地質構造に対して、これに直角になる方向に孔が曲っていくという傾向がある。このため層理面に直角に掘る孔は孔曲りはほとんどしない。鉱山では曲っていく方向を予想して、そこから目的の所へ掘っていく方法があり、これを沿層ボーリングという。

図-9 はあるダムでグラウトの孔の曲りをいろいろ測定した例である。深さ約 100m で半径 2 m 位の範囲内にある。これは花崗岩で地質的構造の異方性があまりないのでこの位におさまったのであろう。

ボーリングの孔の孔曲り測定機は村田式等がある。最近ではボアホールサーベイスシステム といって全部組み込んで連続的に測れる方法、またはロッド内からも方向が測れるという方法が開発されている。

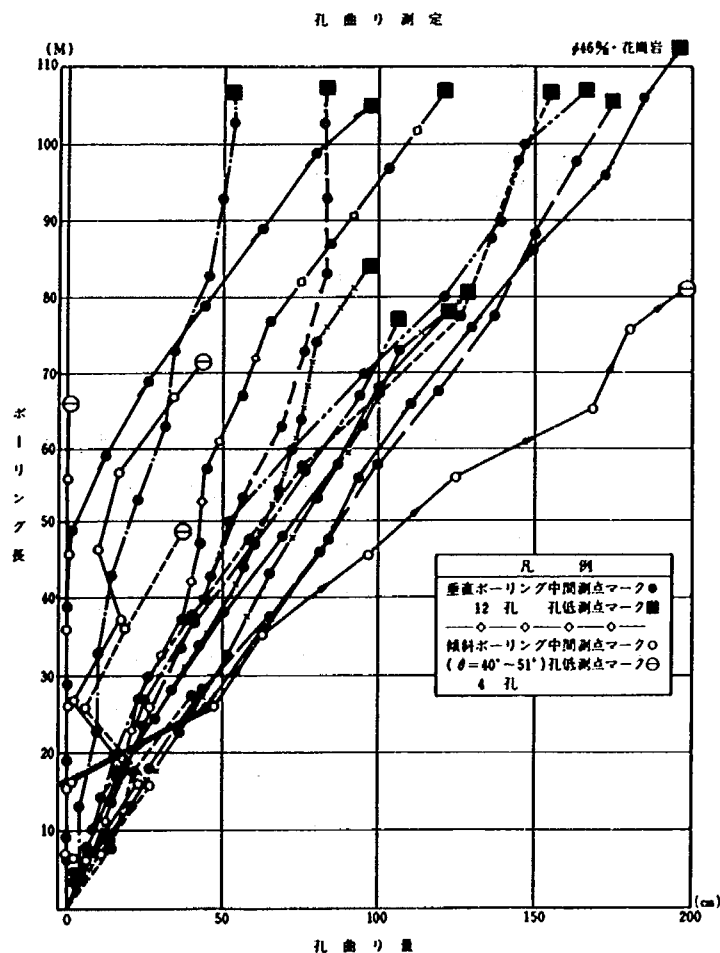


図-9 Oダム ボーリング深さと孔曲り量の測定例⁽¹¹⁾

1. 村田式坑井記録傾斜儀
(孔の位置を目盛板に写す)
2. トロバリ型孔曲り測定器
(孔内でコンパスと振子を固定する)
3. フッカ水素水 - ガラス管式
(ガラス管についたブカ水素水面を測る)
4. ボアホールサーベイスシステム (鉱研式)
(連続測定, ジャイロコンパス式)
5. 明豊型ジャイロコンパス測定器

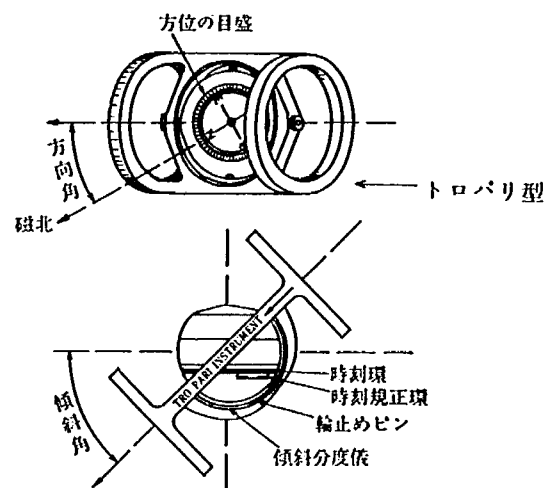


図-10 孔曲り測定器

コントロールドリリングというのは、曲がらないで掘る技術即ち曲った所にわざわざ曲げて掘るといふ事でもある。どんなものがあるかという、先程の地層の特性を利用したもの、孔曲りの原理を利用したもの、ウェッジ工法、孔底で駆動するモーターを使うというものがある。孔底駆動モーターは孔の先端に電動モーターもあるが流体で動くモーターがついていて、これを方向を曲げて付けるこ

とができる。これで任意の方向に孔を曲げて掘ることができる。これは地熱調査の方面で相当に使われている（図-11）。

コントロールドリリング

1. 地層の特性を利用したもの
2. 孔曲りの原因を利用したもの
3. ウェッジ工法
4. 孔底駆動モータによるもの
5. ミニディープの使用

孔底駆動モータによるもの

キックオフポイント以外、日本ではあまり実績がない。（ノンコア）

- ◎ ターボドリル
- ◎ ダイナドリル（米国ダイナドリル社製）
φ50～450mm, 500m可
- ◎ ナビドリル（米国クリステンマイカイ製）
- ◎ 地熱（濁川、葛根田、八丁原）で実績

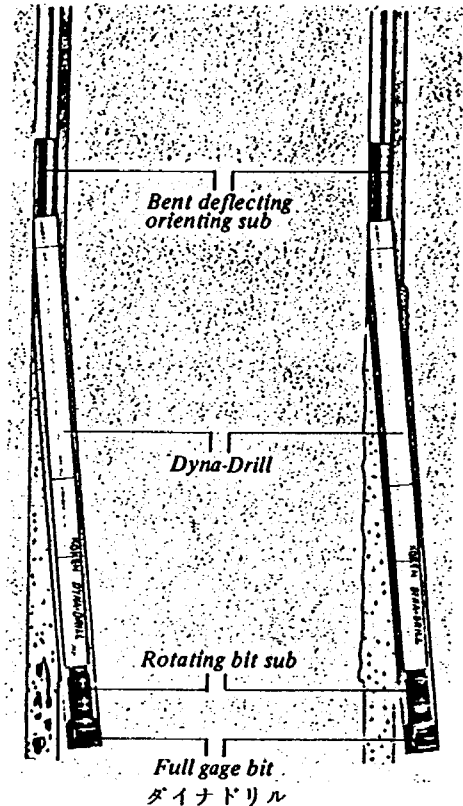


図-11 孔底駆動モータによるもの

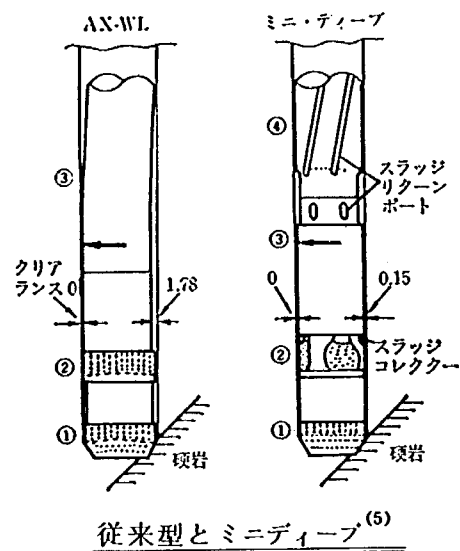
キックオフポイント以外、日本ではあまり実績がない。（ノンコア）

孔が曲がる原理を逆に利用して掘った例が青函トンネルである。推力（押す力）で、これを過大にすると上向きに曲がるという傾向を利用している。押す力を弱くしてやると自重で下向きに曲がる。例えば、青函トンネルの場合で880 mの水平ボーリングで目的の位置から横方向で30 m位ずれて、高さ方向で約4 mであったと言われている。ミニディープといって孔曲りの原理にもあったように堅い岩の境があると、このすき間を少なくしたものを開発する。少なくするとスライムのはけが悪くなるので、コアビットのすき間をいろいろ工夫したもので真直ぐに掘れるようになる（図-12）。

くさび型は簡単な構造である。最初に若干の傾斜をつけたウェッジを先端につけ、ウェッジの方向としんの向きとの関連を調整して想定している方向にウェッジをつけて、最初にパイロットホールを掘っていく。パイロットホールが出来た後、本孔を掘っていくということで修正していくやり方である（図-13）。

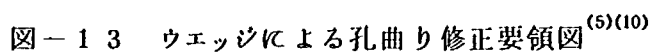
図-14はあるトンネルの先進ボーリングの例では、ウェッジ等を使って掘っている。350 位掘って数m以内である。いろいろな箇所では修正しているが11回修正している。

図-15は北海道のあるダムでおこなったもので、ここの地形地質は川巾が広くて砂礫の相当厚いがある。変質体も脈状なものでこの把握は非常に難しい。垂直のボーリングでは相当の数をやらないとわからないので、なるべく経済的にと言うことで、コントロールしながら水平に近く掘ったものである。



口径 6 ~ 7 $\frac{7}{8}$ インチのものが多くが
4 $\frac{3}{4}$ インチも実用化されてきた。

従来型とミニディープ⁽⁵⁾



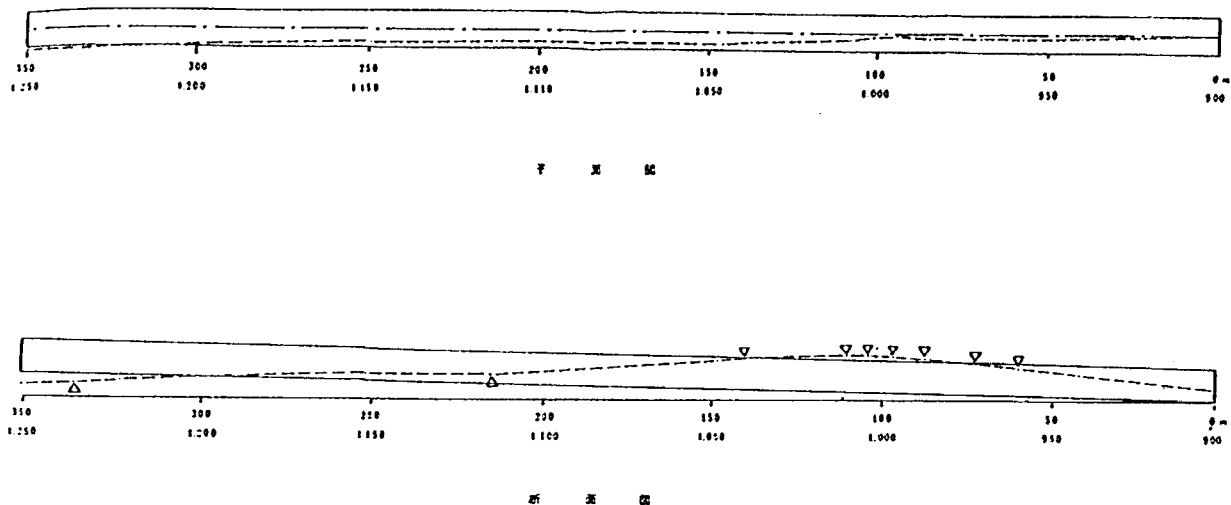


図-14 Aトンネル先進ボーリング，地質は古生層の砂岩，粘板岩
11回修正したが2ヶ所は掘り直した部分にあたった。⁽¹⁰⁾

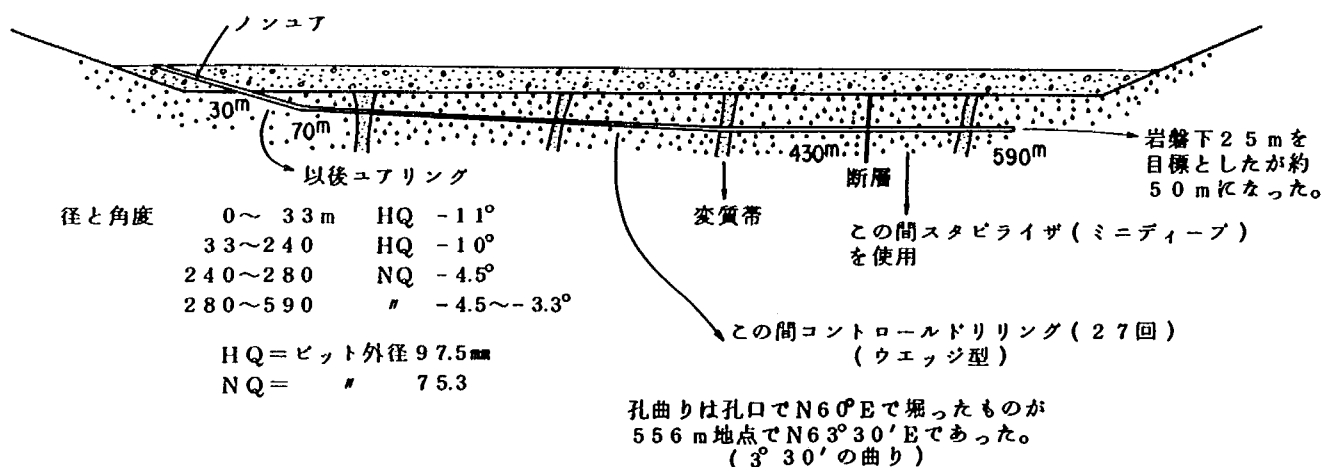


図-15 Cダムにおける調査用コントロールドリリングの例(模式的)

これは全部で長さが600m以上あり，ウェッジで修正をして，岩盤線から20～30mの深い所をねらって掘った計画であるが，結果としては50m近くになった。曲げる点(修正点)の位置の選定がなかなか難しいようである。このような地形，地質の場合，このようなボーリングの使い方をするのも有意義なことと考えられる。

6. コア採取率の向上

採取の場合で、いい所から悪い所に入る場合、コアを流失してしまうことが多い。最近の技術としてコアチューブの中にビニール製の袋を折りたたんでおき、ここにコアが入ってくると同時に、これがどんどん伸びてコアをバックした状態で包んでしまう。この場合使ったのと使わないのでは差が明瞭に表われてきている。最近では、これが多く用いられている。又これに付随してビットの先端が先に地山を押えつけるような形で押えながら掘ると言ったようなものとなっている。硬岩用になると、今までのビットでは水が吹き出る時にまっすぐに出るのが多かったので地盤をいためたことが考えられその向きを若干かえて地山に直接水流が当たらないようにしてあるのが、最近、使われてきている。このような工夫でコアの採取率は最近はとても良くなっていると云える。

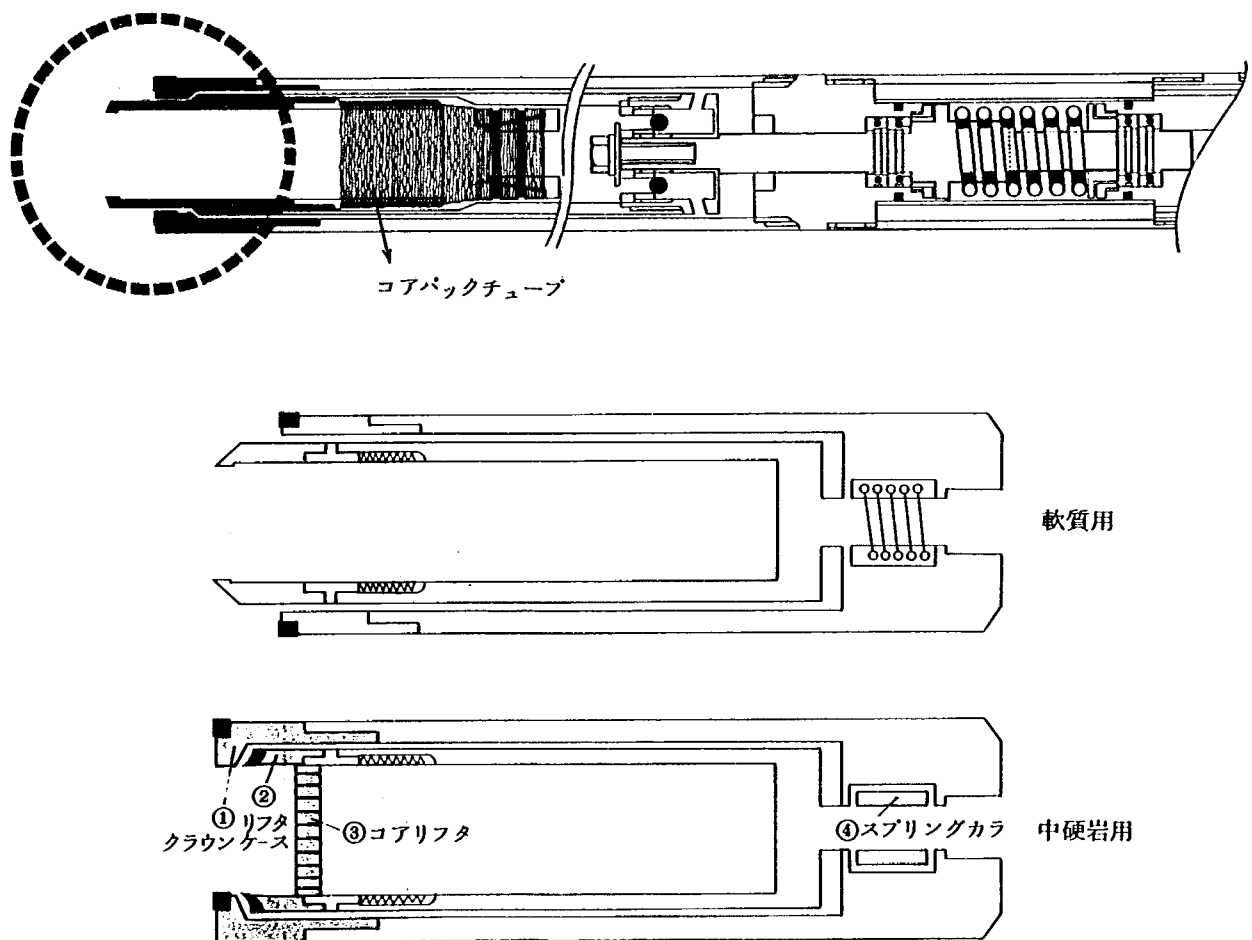


図-16 コアバックチューブ

7. 孔壁の調査

ボーリングコアでは地質的な不連続面、断層やクラックなどの不連続面の傾斜方向はわからないのでこれの計測手法の2,3を紹介する。まずは、コア定方位マーカであらかじめ、ボーリングの孔底に方向がわかっているマークを中においてかためておきそのまま掘ると、ここから下の向きと言うの

が、マークされているから上がってきたコアの向きというのが、コアの状態でわかるようになっている。次はいわゆる孔内検層法の中の比抵抗値を利用して、これは3点であるが、今は4点にしているのが多いようであるが、4点を縦方向にして方向を計るとグラフとして、ある境界面が3点なり、4点としてのずれが現われてくる。あらかじめそれを調べる計機の方向としては、孔曲り測定計などで計っているが、そういうものと相関して傾斜している向きがわかるものがある。又、孔底で直接地質面が出てきている場合、自由に針が動くものをセットして、この面を再現して、例えばボールをおいてその位置をマークさせれば、傾いている位置がわかるわけで、その場を固定して上に上げてくることになる。一般的にボアホールテレビがあるが、これは、水が滑っている場合には難かしい点があるが、こういうもので、コアと一体となって調べていくことが、大切ではないかと思われる。又、最近透明なサンプラーが使われそのままだしてきて、その状態を見られること、縦割になっているのできれいにそこから縦に割って、ていねいに観察することが可能である。以上非常に、断片的であるが、他の分野も見て、こんなことになっているのではないかと言うことであるが、我々の現場等で使えるもの、使えないものいろいろあると思われるが、よく考えていくことが必要と思われる。

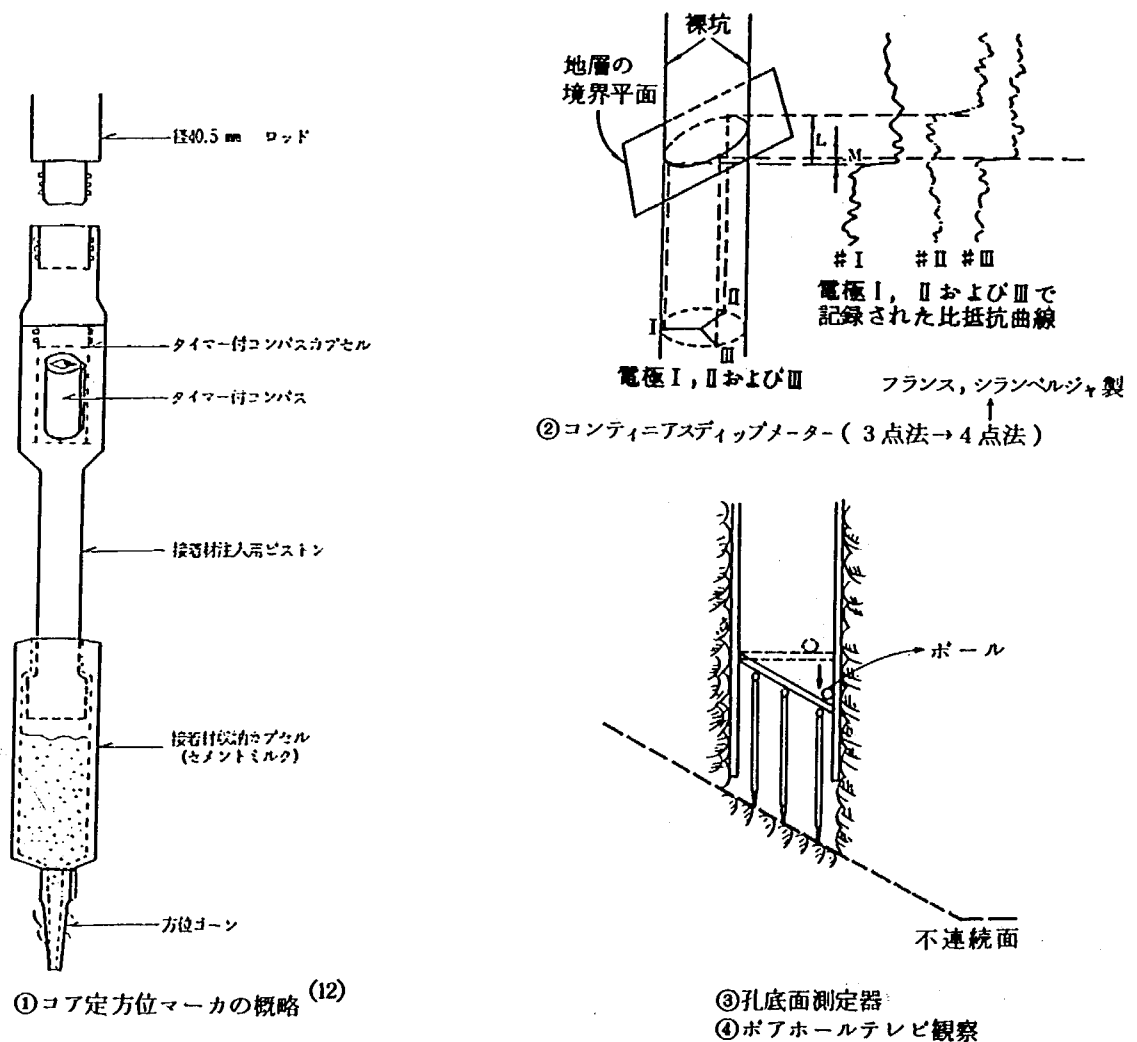


図-17 孔内地層傾斜測定手法

参 考 資 料

1. 「ボーリングポケットブック」 全地連編 1983
2. 「岩盤ボーリングの知識」 深掘委員会 地質と調査 1980.4～1982.4
3. 「ボーリング技術の現状」 東 庄 典 全国建設研修センター59年度
4. 「青函トンネル本州方における先進ボーリング技術の変遷(1)～(2)」前田憲一ほか 地質と調査
1980.2～1980.3
5. 「孔曲りとコントロールドリリング」 深掘委員会 地質と調査 1983.2
6. 「掘削」 木村彰宏, 河内英幸 地質と調査 1983.2
7. 「ビット交換システムおよび新型ダウンホールドリル(1)」 深掘委員会 地質と調査 1984.2
8. 「エアードリリング工法の概要」 深掘委員会 地質と調査 1983.4
9. 「ミスト工法による地盤のサンプリング及びボーリングについて」 西山博之, 馬場徹也
技術ニュース
10. 「安房トンネルボーリング資料(抄)」 高山工事事務所
11. 「ダム施工の実際」 全建
12. 「ボーリングコア定方位マーカについて」 中山芳樹 59年8月
13. 各種カタログ

2—2 ボーリングに伴う情報 — 水の情報 —

九州地方建設局

河川部 建設専門官 中村 康夫

1. はじめに

基礎地盤の浸透水は揚圧力やパイピングの発生および酸化・水酸化作用による劣化等の現象と密接な関連を有しているため、構造物の安定性に重大な影響を与える。このため、各種構造物の設計にあたっては、基礎地盤の力学特性のみならず、透水性に関する情報を的確に把握することが必要である。特に、多目的ダム等多量の水を貯留し、基礎地盤に大きな水圧が作用する場合には、地盤の透水性に関して慎重に検討しなければならない。

基礎地盤の透水性は、その土木地質的性状によって異なるので、透水性を把握するための試験はそれぞれの地盤の性状に適した方法を採用すべきである。表-1¹⁾は、各種地盤とそれに適合する透水試験法の関係について示したものである。同表の a, b, c のように透水性が主として基質の間隙に支配

表-1 各種地盤と透水試験法の関係¹⁾

透水性を生じる原因	例	透 水 試 験 法
a. 未 固 結 地 盤	河床砂礫、崖錐堆積物、火山灰	ダルシーの法則にもとづく試験法
b. 風 化 岩 盤	マサ化した花崗岩	同上およびルジオンテスト
c. 多 孔 質 岩 盤	多孔質な凝灰岩類、第四紀の砂岩・泥岩	同上
d. 断 層 破 砕 帯	各種の岩盤内	同上、ただし場合により選択
e. 節 理・き れ つ	各種の岩盤内	ルジオンテスト
f. 空 洞	石灰岩、新期の火山岩	一定の試験法はない

され、巨視的に地盤が均質等方な多孔質媒体とみなせる場合には、地盤内各所で圧力差に比例した透水量を示すものと考えて、ダルシーの法則を適用した各種透水試験によって透水係数を求めることができる。これに対し、e のように岩盤中の割れ目が透水の主因になる場合には、ボーリング孔内に圧力水を注入して透水量を測定するルジオンテストが多用されている。d. の破碎帯の透水性に関しては、その規模・性状・方向等を考慮して適切な試験法を選定して試験方法等に細心の注意を払って実施する必要がある。f. の空洞に関しては、透水試験というよりも、空洞自体の発見およびその量・期模、連続性、方向等の調査が主となるが、非常に困難である場合が多い。

以上、地盤の透水性を生じる要因に対応して試験方法を選択しなければならないことを示したが、いずれの地盤に関しても、ダルシーの法則を適用して浅い地盤内の透水性を求める場合の他は、ボーリング孔を利用した透水試験が一般に実施されている。

2. ボーリング孔を利用した透水試験

ボーリング孔を利用した透水試験は種々な種類があり、さまざまな観点から分類されているが、ここでは便宜上表-2に示すように、単一孔を用いる場合と、複数孔を用いる場合の2つに大別した。

2.1 単孔法

単一孔を用いる場合において最も一般的に実施されるのはルジオンテストである。ルジオンテストは、ボーリング孔内の一定長部分（5 m の場合が一般的である）から岩盤中に水を圧入して、10Kgf/

表-2 ポーリング孔を利用した透水性調査法

分 類	試 験 名	求 ま る 値
単孔法	ルジオンテスト	ルジオン値, 限界圧
	パ ッ カ ー 法	透水係数, 貯留係数
	オープンエンド法	透水係数, 貯留係数
	揚水試験(単孔法)	透水係数, 貯留係数
	微 流 速 測 定	流速, 流向, 透水係数, 漏水箇所
多孔法	トレーサーテスト	実流速, 透水係数, 漏水経路
	揚水試験(多孔法)	透水係数, 貯留係数
	地 下 水 位 測 定	地下水面分布, 動水勾配, 流向

cm²相当の圧力下における注入量をもって岩盤の透水性を評価する方法であり、孔長1 m当りの1分間の透水量をルジオン値と称している。各ポーリング孔で測定されたルジオン値からルジオンマップが作成される。ルジオンマップは、基礎処理計画策定にあたっての重要な資料として用いられる。このように、ルジオンテストはダム基礎岩盤の透水性評価にあたって最も重要な試験であるため、試験法や解析法等について「ルジオンテスト技術指針(案)」としてまとめられている。²⁾

パッカー法の試験方法はルジオンテストと全く同一である。地盤が均質等方体であると仮定し、ダルシーの法則を適用して透水係数を求める点が異なっている。透水層の厚さが試験区間長の5倍以上のときは精度が高いといわれている。

オープンエンド法は、ケーシングなしには孔壁が自立し得ないような火山灰層や砂礫層等の未固結地盤において実施される透水試験方法である。ケーシングパイプを孔底に降ろしてケーシング内に一定水位を保ちながら清水を加え、パイプ末端から地盤への浸透量が定常流になった時の流量を測定し、ダルシーの法則に基づいて透水係数を算出するものである。

揚水試験(単孔法)は、ポーリング孔内の地下水を揚水し、その後の水位回復を測定する方法である。地盤の性状やケーシングの有無によって種々の方法があるが、いずれも地盤を均質等方体と仮定しダルシーの法則を適用しているため、ダム基礎岩盤の透水性調査で用いられることはほとんどない。

孔内微流速測定は、ポーリング孔内に計器を挿入することによって直接孔内の地下水流速を測定するものである。計器には、プロペラの回転数を利用するもの(測定限界1 cm/sec)、サーミスクの温度差を利用するもの(測定限界0.1 cm/sec)、比抵抗の変化を利用するもの(測定限界 1×10^{-3} cm/sec)等の種類がある。ダム基礎岩盤の調査においては、地下水流の状態によって高透水性部分の連続性を推定したり、割れ目の多少や逸水・湧水による水の賦存状態を推定するために用いられる。単一孔において流速および流向がわかる利点があるが、他方ポーリング孔周辺の局所的な地質状況に著しく左右されるので結果の解釈にあたっては慎重な検討が必要である。

2.2 多孔法

複数のポーリング孔を利用した揚水試験は、未固結地盤における帯水層の水の伝達能力(透水係数、

透水量係数)および水を貯留する能力(貯留係数)を求める手法として広く用いられている。しかしながら、ダム基礎岩盤の調査では、水を貯留する能力が問題とされることはほとんどないので、本試験が実施されることは稀である。

トレーサーテストは、蛍光染料、導伝性の薬品、ラジオアイソトープ等を1つのボーリング孔に投入し、他のボーリング孔でそれらを検出して地下水の実流速や漏水経路を調査する方法であり、ダム基礎岩盤の調査でもよく用いられている。実流速は、未固結地盤や風化岩盤におけるパイピング発生の有無を検討する際に必要な量である。なお、実流速に地盤の有効間隙率を乗じると透水係数を求めることができる。

多数のボーリング孔で同時に地下水位を測定すると地下水位面の分布がわかり、これによって地下水の流動方向や動水勾配が推定される。また、地下水位はルジオン値と並んで、ダム基礎岩盤の止水処理計画にあたって重要な資料となるため、慎重に継続して測定する必要がある。すなわち、降雨や季節変動の影響をみるため個々のサイトで2～3年間程度測定を継続することが望ましい。

3. 地下水位測定

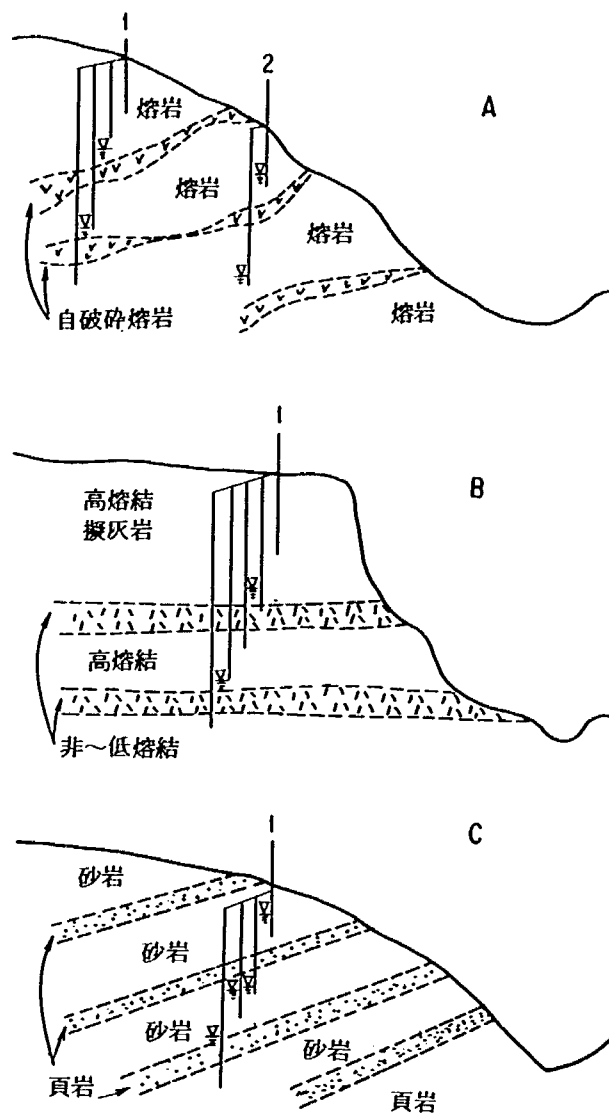
3.1 地下水位測定における留意点

ダム基礎岩盤の地下水位は、透水性の把握、グラウチングの範囲の決定、斜面の安定性の検討、貯水後の漏水量のチェック等のために、事前に必ず把握しておく必要がある。また、試験湛水に伴う地山の地下水状況の変化の把握や湛水後における漏水量や漏水経路の検討等のために、工事完成後も必要に応じて測定できる態勢を整えておく必要がある。さらに、既に述べたように、地下水位は降雨や季節によって著しく変動する例が多いので、特に火山岩等から構成され、止水対策がダム建設上の大きな問題となるようなサイトでは、降雨の影響を考慮に入れて測定を行ったり、2～3年程度の経時観測が必要となる場合が多い。

地下水位は、そのサイト特有の水理地質学的な要素や降雨等の自然的な要素の他、トンネルや横坑等の掘削による地下水の排水、および貯水による水の供給等の人為的影響によっても変化する。したがって、地下水位調査にあたっては、これらの諸因子を考慮して調査計画を立てることが必要である。例えば、横坑掘削に先立って透水試験を実施したり、止むを得ず横坑掘削後に透水試験を実施する場合には十分な距離(最低20m程度といわれている)離れた地点を選定したりする等の考慮が必要であろう。

3.2 ボーリング深度と地下水位(宙水)

現状では、ボーリング孔内の最終安定水位をもって地山の地下水位としている。しかしながら、透水層と不透水層が互層状に分布する地域においては、宙水が観測される例が多く、ボーリング深度の相異によって、把握される地下水位情報が著しく異なる。この状況を模式的に示したのが図-1である。同図(A)は熔岩と自破碎熔岩の互層地域における宙水の例である。熔岩は、一般に開口性の冷却節理が発達しているために透水性が高いのに対して、自破碎熔岩は節理が少なく細粒物質を多量に含む



図－1 宙水の例

ので透水性は低い。このため、自破碎熔岩に近づくと地下水位が観測されるが、自破碎熔岩を掘削し終って熔岩部に入ると急に地下水位は観測されなくなる。さらに下位の自破碎熔岩近くまで掘削されると地下水位が観測されるようになる。すなわち、このような地質構造においては数枚の宙水が存在する。同図(B)は、高熔結凝灰岩と低～非熔結凝灰岩の互層地域における宙水の例である。高熔結凝灰岩は開口性の冷却節理が発達しているため透水性が高いが、低～非熔結凝灰岩は難透水層を形成している。したがって、同図(A)と同様な地下水位の状況が観測される(すなわち、非～低熔結凝灰岩付近まで掘削すると地下水位が観測されはじめ、それを掘削し終って高熔結凝灰岩部に入ると地下水位は急に観測されなくなる)。同図(C)は、砂岩・頁岩互層地域における宙水の例である。砂岩・頁岩互層地域が大規模な構造運動を受けると、砂岩には開口性の割れ目が選択的に発達するので高透水性を示すのに対して、頁岩は泥状化して難透水性を示すようになる。このため、同図(A)、(B)と同様な地下水

位状況が観測される（すなわち、頁岩部付近まで掘削すると地下水位が観測されはじめるが、頁岩部を掘削終了して砂岩部に入ると地下水位は急に観測されなくなる）。

以上のように、ボーリング孔内水位として把握される地下水位は、サイト周辺の地形や地質構造に支配されている。したがって、ボーリング孔の配置と深度は、地山の地下水位の把握という点に十分考慮すると共に、ダムサイトの地質情報を事前に把握したうえで決定しなければならない。特に、地下水位の低い火山岩類から成る山地に計画されているダムサイトにおけるボーリング深度は、ダムの規模にも関係するが、少なくとも河床レベル程度まで実施する必要があるといえよう。

3.3 宙水の実例

図-2 はボーリング掘削時の孔内水位の経時変化について示したものである。図-1 (A)に模式的に

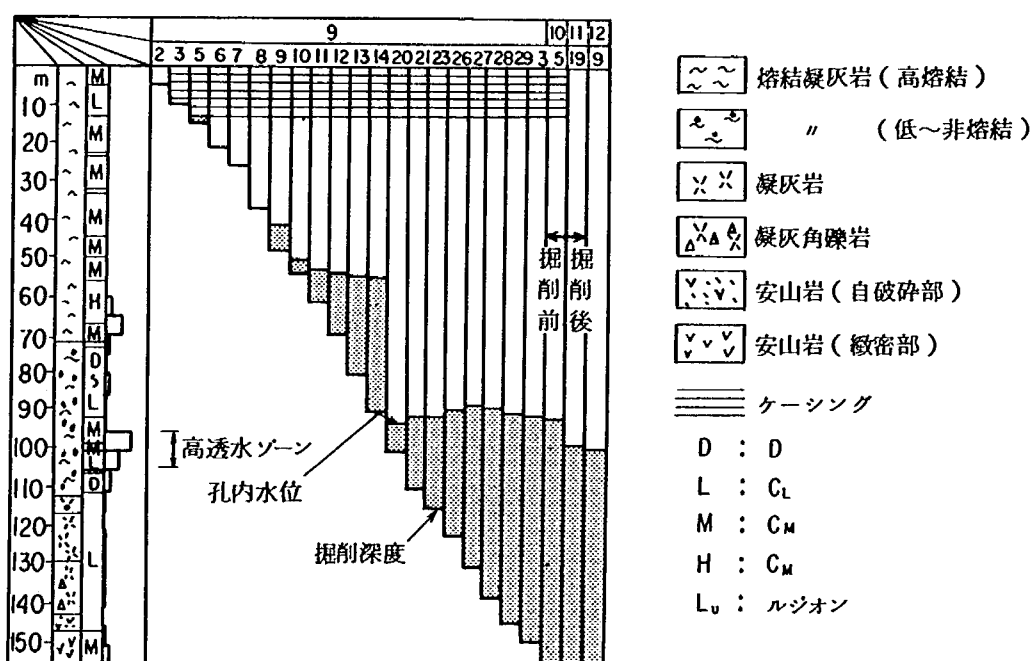


図-2 ボーリング掘削時の孔内水位の変化

示したように、掘削はじめの高熔結凝灰岩部は開口性の冷却節理が発達し、高透水性を示すため水位は観測されない（9月8日まで）。深度72m以深から分布する低~非熔結凝灰岩に近づくと不安定な水位が観測され始め（9月9日~9月10日、ほぼ一定値を保つようになる（9月11日~9月14日）。さらに、深度100m付近に分布する高透水層（30 Lu程度）に達すると、孔内水位は一挙に40m程度下降し、以後ほぼ一定水位を保つ（9月20日~10月5日）が、掘削終了後約1.5カ月経過した時点（11月19日）で6m程度下降している。この時点よりさらに20日経過した時点（12月9日）では地下水位の変動はほとんど観測されない。

以上のように、ボーリング孔内水位の最終水位は、そのサイト特有の地質構造を忠実に反映する他、降雨やボーリング掘削時の送水、ルジオンテスト時の送水等の影響が考えられる。このため、最終水位の測定にあたっては、掘削終了後少なくとも1~2週間毎に1回、1~2カ月間水位を測定し、ボ

ーリング掘削終了時点での孔内水位と比較したうえで最終水位（地山の地下水）を決定すべきである。

4. 透水性の異方性

4.1 透水性の異方性を生じる要因

表－1に示した、未固結地盤、多孔質地盤、風化岩盤等の透水性は基質の間隙に支配されている。したがって、設計上問題となる程顕著な異方性を示すことは稀であり、均質等方な媒体と仮定し、ダルシーの法則を適用して透水係数が求められている。これに対し、硬岩から成る割れ目性岩盤の透水性は、試験区間内に含まれる割れ目の数および開口幅に支配されるので、割れ目が一定方向に卓越する場合には、岩盤の透水性は著しい異方性を示す。このような割れ目には、構造運動によって生じる方向性をもった節理や、片理面、流理面、層理面等本来の弱面が構造運動によって開口したもの、および火山岩岩盤に発達する冷却節理等がある。特に、柱状節理の場合には開口幅・節理間隔ともほぼ一定であるので、試験区間内に含まれる節理の数のみによって岩盤の透水性が決定されるが、著しい方向性をもっているため、試験方向によって透水性は大きく異なる。

4.2 透水性の異方性の例

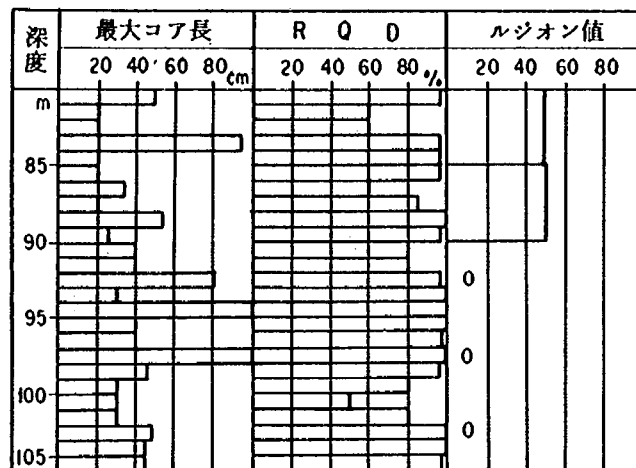
図－3は、規則正しい柱状節理がほぼ垂直に発達した安山岩岩盤に実施されたルジオンテスト結果を示したものである。同図(a)はコア採取用の垂直ボーリング孔を利用して実施されているため、試験方向は柱状節理と平行である。試験区間内に開口節理を含む場合（深度80～90 m）は50 Lu程度で透水性が高いが、それ以外の場合のルジオン値はほとんど0である。また、節理によってコアは分割するので最大コア長も著しいばらつきを示している。同図(b)は水平ボーリング孔（柱状節理にほぼ垂直）を利用して実施されたルジオンテスト結果である。最大コア長のばらつきが少ないことから判断されるように、試験区間内に含まれる開口節理の数が多く、かつほぼ等しいため、全ての試験区間で大きな透水性を示している。

以上のように、岩盤の透水性を支配する割れ目が一定方向に卓越する場合は、その岩盤の透水性は著しい異方性を示す。すなわち、割れ目と直交する方向に試験すると全体として高い透水性を示すが、平行方向に試験すると割れ目が含まれるか否かによって結果が著しくばらつく。岩盤の透水性が著しい異方性を示す場合には、止水対策に関しても十分な考慮が必要である。例えば、グラウト孔の方向は、できる限り多くの節理と交わるような方向に設定した方が、より効果的なグラウチングが期待できよう。

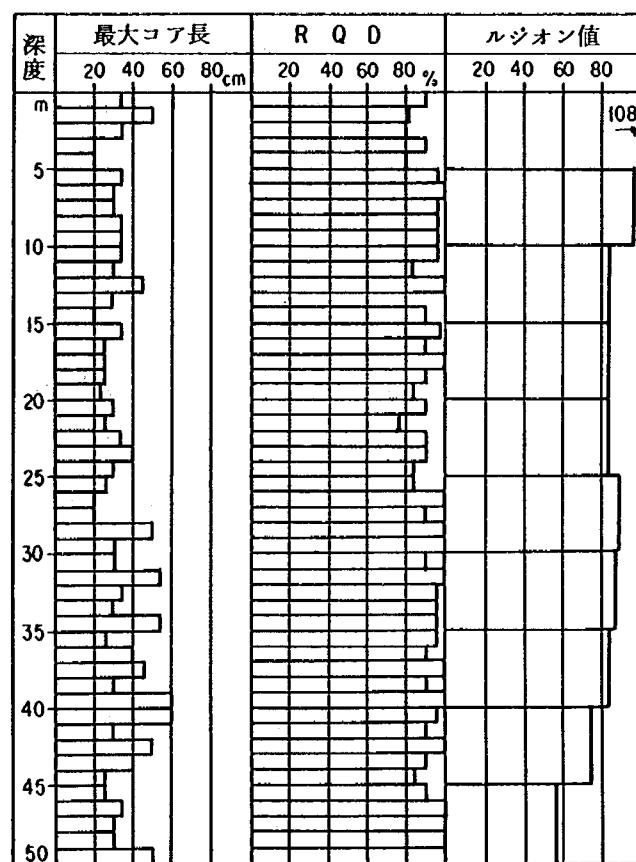
5. 軟岩岩盤におけるルジオンテスト

5.1 軟岩岩盤におけるルジオンテスト

軟岩から構成される岩盤の中には、無水掘や泥水掘でなければ、コア採取ができない場合がある。このため、通常はコア採取を目的として、無水掘や泥水掘が実施される例が多い。しかしながら、これらの方法では、孔壁周辺にペントナイトが付着したり、マッドケーキが形成されたりするので、こ



(a) 柱状節理に平行



(b) 柱状節理に垂角

図-3 試験方向によるルジオン値の相異

これらのボーリング孔で実施された透水試験では岩盤の真の透水性は把握できない。このため、このような岩盤の場合には、コア採取用のボーリングとは別に近接してルジオンテスト専用のボーリング孔を設けるか、コア採取後掘削してルジオンテストを実施する必要がある。前者の場合には漏水を避けるため、ルジオンテスト用のボーリング孔を先行し、ルジオンテスト終了後コア採取用のボーリング孔を掘削する。

また、軟岩岩盤では限界圧が著しく低く、注入用ポンプの脈動によって岩盤が破壊される例もある。このような岩盤に対しては、エアチャンバーを設けたり、静水圧を利用したりして、注入圧力の小さい領域での圧力制御を厳密に行う必要がある。割れ目のない軟岩岩盤で限界圧以下で求められたルジオン値は、ピット法等によるボーリング孔以外の方法で求めた透水係数とほぼ一致する場合が多いので、ルジオンテスト以外の方法によって透水性をチェックすることが望ましい。

5.2 軟岩岩盤におけるルジオンテストの例

図-4は、第四紀の泥質岩から構成される軟岩岩盤で実施されたルジオンテスト結果の例を示したものである。同図(a)は無水掘孔(コア採取用ボーリング孔)を利用して実施された結果であるが、全体的にルジオン値は極めて低い。同図(b)は、(a)のコア採取用ボーリング孔から10m離れた地点にルジオンテスト専用の孔を清水掘で掘削して試験した結果である。本地域は、第四紀の火山活動の影響を受けて相層変化が著しいため、わずか10m離れた地点でも同図(a)、(b)に示すように地質状況もやや異なっているが、全体としてルジオン値は清水掘孔の方が無水掘孔に比較して大きいといえる。両者とも泥岩から構成される深度35~40mのルジオン値を比較すると、無水掘で0.4 Luであるものが、清水掘では10.3 Luとなっていることから、泥水掘ではマッドケーキの形成によって透水性が低く測定されたものと考えられる。事実、コア観察では、コア表面より5mm程度内部まで構造が乱され、マッドケーキ状になっているのが認められた。また、同図(c)は両者のPQ曲線を示したものである。無水掘の場合には、7 Kgf/cm²程度に明瞭な限界圧が認められるが、清水掘の場合には注入圧力と注入量はほぼ比例関係にあり、12 Kgf/cm²においても明瞭な限界圧は認められない。

6. 長時間透水試験

6.1 ルジオンテストと注水時間

ルジオンテスト等ボーリング孔を利用する加圧注入型の透水試験は、注水時間が十分でないと不定流状態の流量を捉えるので、岩盤の透水性を過大評価する可能性がある。実用上、定常流と見なし得る状態まで到達するのに必要な時間は、巨視的な透水性は同じであっても、試験される岩盤の水みちの状態によって異なると考えられる。例えば、開口割れ目が少なく、密着した割れ目はかなりあってもその広がりおよび連続性は大きくなくて、岩自体がかなりの透水性を有するような岩盤では、連続した開口割れ目が多数発達した岩盤に比較して、注水によって定常流に達するまでの時間はより多くかかると考えられる。このため、「ルジオンテスト技術指針(案)」においても具体的な注入時間は規定しておらず、「注入量が一定になるまで十分注入した後」という表現になっている。

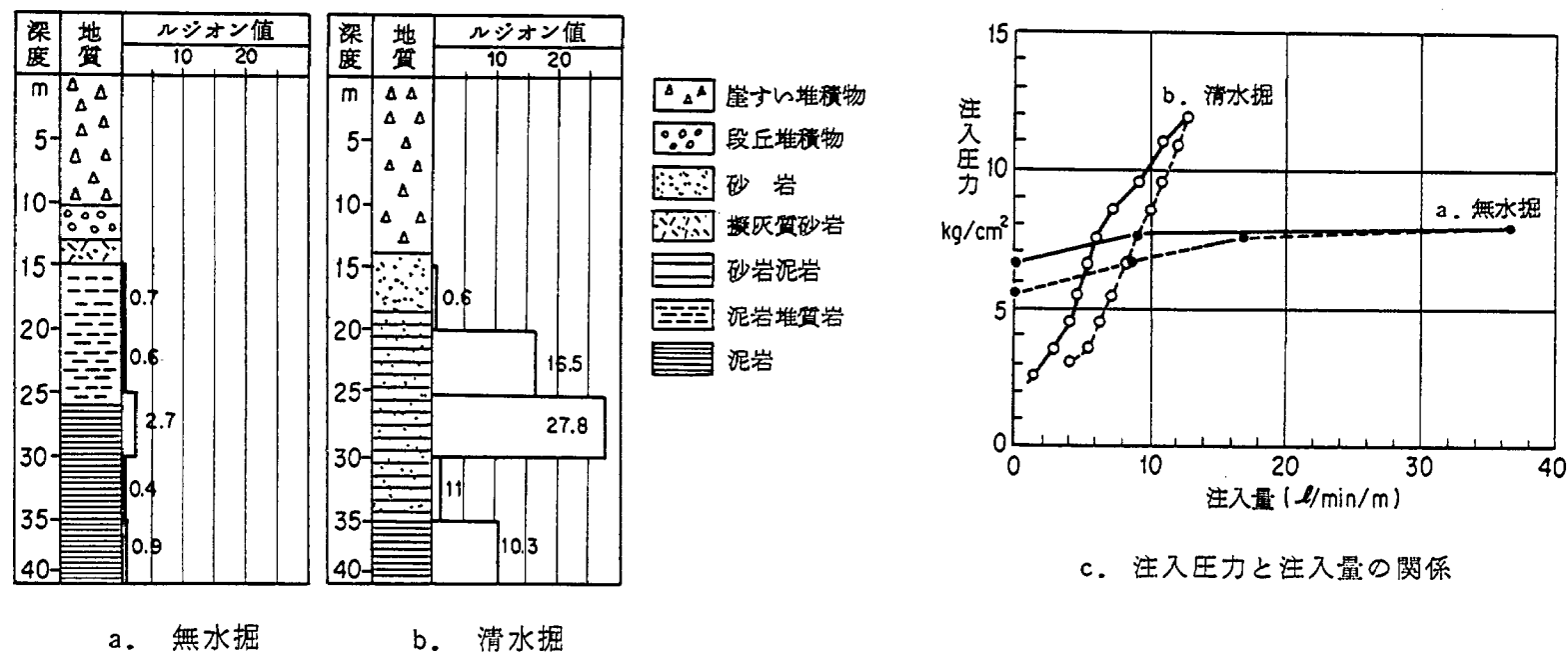


図-4 掘削方法によるルジオン値の相異

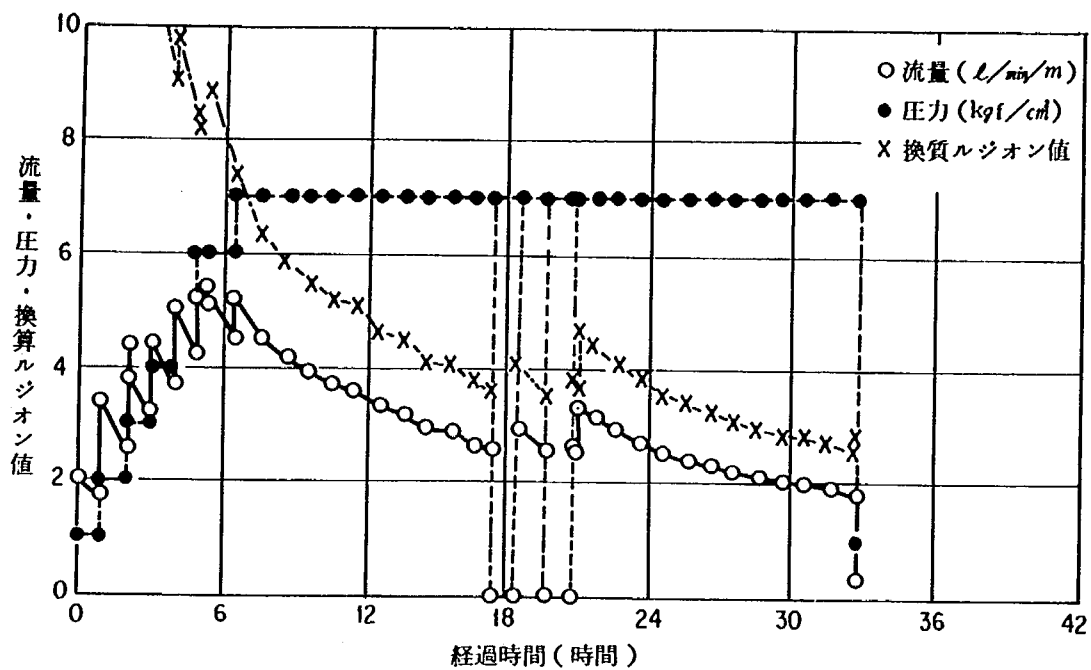
6.2 長時間透水試験の例

図－5 は安山岩の自破砕熔岩から構成される岩盤を対象として実施された長時間透水試験結果である。自破砕熔岩に含まれる安山岩礫は直径 50 ～ 100cm であり、礫間を埋めるマトリックスは同質の砂質凝灰岩状を呈し、粗鬆質でやや脆弱である。通常のコアリングでは、送水圧力や回転による衝撃でマトリックスが容易に洗い流されるので、コア採取率も低下する。試験は、深度 13 ～ 18 m に分布する自破砕熔岩を対象として、最大圧力 8 Kg f/cm^2 、持続圧力 7 Kg f/cm^2 、持続時間 24 時間とし、昇圧は 1 時間経過毎に 1 Kg f/cm^2 ずつ、降圧は送水停止による自然降圧とした。

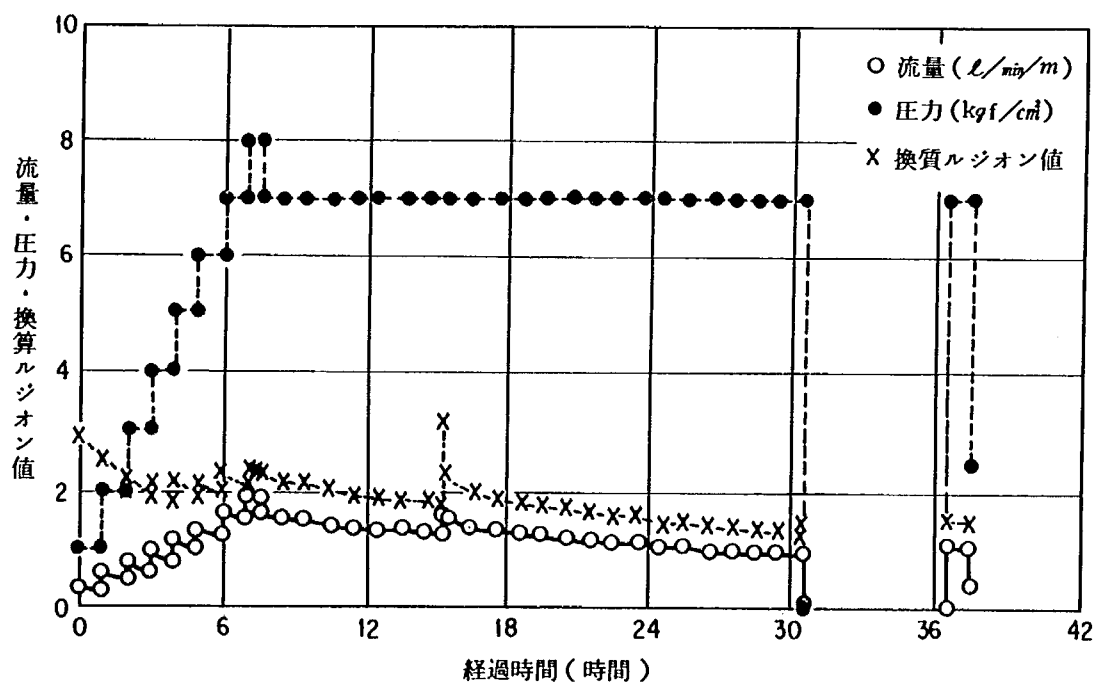
同図(a)は、第 1 回試験結果を示したものである。同図に示されるように、流量は圧力が 1 Kg f/cm^2 増加する毎に急増し、以後漸減する傾向を各圧力段階毎に繰返して 7 Kg f/cm^2 の一定持続圧力に達した後は、時間とともに減少している。各圧力段階毎にみられる流量の漸減傾向は、 7 Kg f/cm^2 の一定圧力下における減少傾向と同一であるため、流量漸減の要因も同一であると考えられる。換算ルジオン値でみれば、当初 20 Lu 以上であったものが 30 時間後には 3 Lu 以下にまで低下している。また、本試験の途中で 2 回の停電による試験中断（18，20 時間）があったが、注入再開時には同一注入圧力で流量が増加している。これは、長時間透水試験における注入量の減少が、水中のゴミ等による岩盤の割れ目の目づまりのみでは説明できないことを示している。

図－5 (b)は、同図(a)に示した第 1 回透水試験後 48 時間放置して、再度長時間透水試験を実施した結果を示したものである。同図に示されるように、48 時間放置したにもかかわらず、試験再開直後の流量は第 1 回試験における最終値とほぼ等しく、48 時間放置による回復は認められない。また、各圧力段階における流量の増加および減減の量は、第 1 回目と比較して少なくなっており、当初 3 Lu 程度の値を示しているが、30 時間後には 1.3 Lu 程度に減少している。さらに、試験開始 15 時間後にバイピングが発生し流量が急増しているが、その後漸減している。長時間透水試験における流量の減少を、地盤中の土粒子の移動による割れ目の目づまりに求める説があるが、もしそうであれば、バイピングはひんばんに発生し、また試験中断後再開した時点でも流量は増加しないはずである。しかし、同図(a)に示すように、停電による試験中断後流量は増加しているし、同図(b)に示すようにバイピングは 1 回しか発生していない。このように、長時間透水試験における流量の減少の原因は明らかでない。

以上みてきたように、本岩盤における長時間透水試験では、注入量は一定持続圧力下で漸減しているが、どの時点で一定量になったとみなすか困難である。すなわち、本岩盤のように注入時間を長くとっても注入量が一定にならない場合には、一般的なルジオンテストでは透水性を過大評価していることになる。しかしながら、本岩盤の場合、注入当初 20 Lu 以上あったものが時間の経過とともに、 3 Lu 程度まで低下しており、また、長時間透水後にバイピングに起因するとみられる一時的な流量の増加はみられるもののその後流量は顕著に減少している。したがって、貯水に伴って地下水位が上昇して十分時間が経過した時点においては、岩盤の透水性は低く、バイピング等の発生もないと考えられる。



(a) 第1回試験結果



(b) 第2回試験結果 (第1回試験終了後48時間後実施)

図-5 長時間透水試験結果

7. おわりに

ボーリング孔を利用して得られる各種の地下水情報に関してトピックス的に述べてきたが、最も基本的な事項として実施されている地下水位測定でさえも、種々の要因が作用して、正確な地山の地下水位を求めることが困難な場合が多い。特に火山岩分布地域の地下水情報の把握にあたっては、慎重な配慮が必要であり、地質構造をよく理解したうえで透水試験を実施する必要がある。また、異方性岩盤では、試験方向を十分検討したり、注入量が一定になりにくい岩盤では長時間透水試験等を実施する必要を生じる場合もある。さらに、軟岩から構成される岩盤においては、限界圧が極めて低い場合があるので、岩盤を破壊させないように静水圧を利用して低圧で試験を実施したり、コア採取用のボーリング孔とは別にルジオンテスト専用のボーリング孔を清水掘で掘削することが必要になる場合もある。このように、地下水情報を正確に把握するためには、各種岩盤の性状に対応して試験方法を工夫したうえで、最適の解析法を適用しなければならない。

参考文献

- 1) 土木学会編 (1977) : ダムの地質調査, 土木学会, pp. 19 - 56
- 2) 建設省河川局開発課監修 (1984) : ルジオンテスト技術指針・同解説, (財) 国土開発技術研究センター, 56 pp.

2—3 ボーリングに伴う情報 — 物性値 —

土 木 研 究 所

地質研究室 研究員 稲 崎 富 士

はじめに

ボーリングにおける調査の主眼は何と言っても採取試料、すなわちコアの観察・記載にあるだろう。地山内部の地質条件を判定する方法としては、地表踏査等に基づく地質学的な解釈、地表からの遠隔探査、テストピット、横坑等の掘削による直接的確認、そしてボーリング調査がある。これらのうち、情報の質と経済性の点で優れているのはボーリング調査である。しかしそのボーリングにおいても、 m あたりの単価は数万円に達し（ $10\text{円}/g$ 程度）、また得られる情報もどちらかというとな定性的で、工学的指標と対応づけるには岩盤分類などのステップを踏む必要がある。

掘削されたボーリング孔において、コア以外にも各種の情報を取得することは、特に石油資源探査のような深いボーリングや十分なコア採取が期待できない孔井では切実である。孔井内に直接計器を挿入して、原位置で物性を求めるいわゆる物理検層は、このような背景から石油資源探査の分野で発展させられ、土木分野へもその適用がはかられてきた。

物理検層によって求められる定量的物性値は、弾性波速度、密度、力学的諸性質、電磁氣的諸性質など多種多様である。これらの値は、「総合柱状図」としてまとめられ、直接・間接的に設計・施工に反映される。この過程に關与する「人種」も、ボーリング掘削技術者、地質屋、物探屋、土木屋と多種にわたっている（因に、いわゆる検層も含めて地質屋が担っていると思われる方もいるだろうが、物探屋と地質屋とは厳然と住みわけしており、検層は主として物探屋の仕事で、彼らは地質に関してはほとんどタッチしない）。彼らの間で情報のやりとりがおこなわれるとき、情報の変質が起こり得る。たとえば、さまざまな解釈が成り立つのに、その一つしか提示されなく、それが唯一の解釈として独り歩きしたり、一定の誤差を含む値が、絶対的なものとして使用されたりすることである。

従って、使用者はボーリングに伴う物性値について、それがどのような方法で得られるのか、またその精度、測定限界、地質情報との関係等について予め把握しておくことが大切である。以下、ボーリングに伴う物性値とその測定法、精度について概述する。

1. ボーリングに伴う物性値

ボーリングに伴う物性値を、その掘削時および掘削後の測定とに分けて示すと次のようになる。

(A) ボーリング掘削時

- (1) 掘進率
- (2) 貫入試験値（ N 値等）

(B) 孔井内

- (1) 弾性波速度
- (2) 地山内部応力
- (3) 変形係数、弾性係数、横方向 K 値等
- (4) 密度、水分、孔隙率
- (5) 比抵抗、自然電位等

(6) その他の情報（地層傾斜、孔壁の状態等）

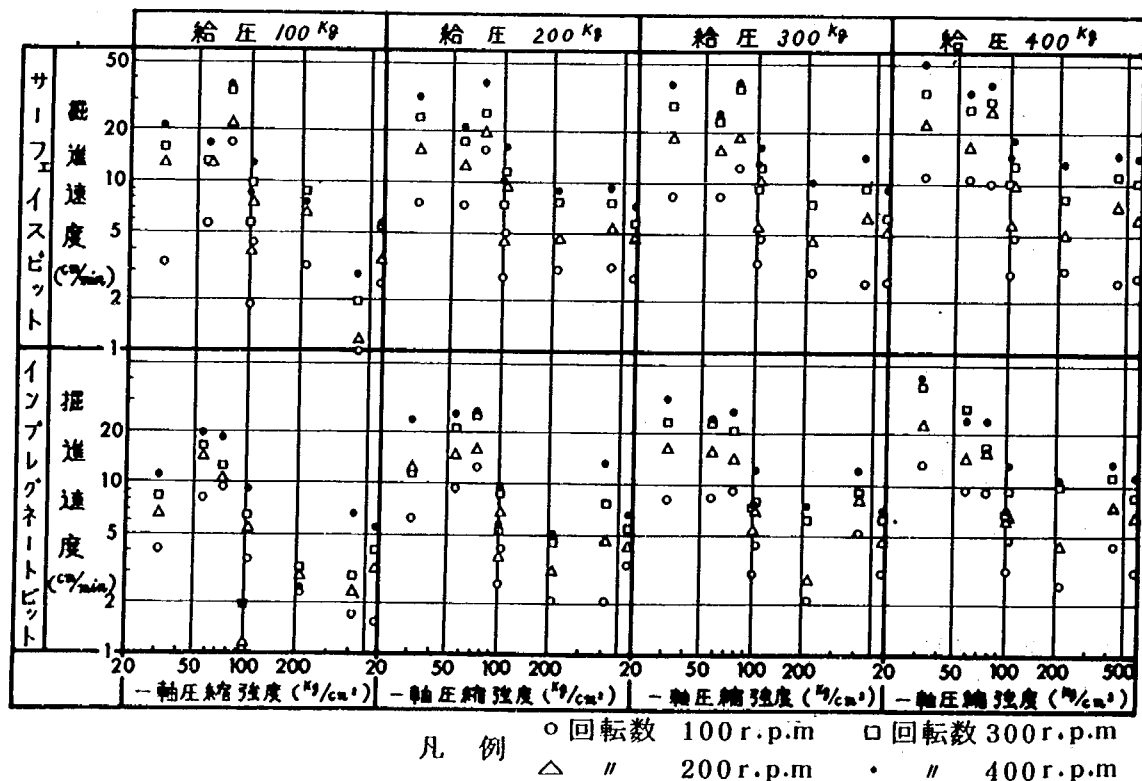
2. 測定方法

以下、各物性値ごとに測定方法の概要を記す。

(A) 掘進率

ボーリング掘削時の諸パラメータには、現位置の地質工学的性質が何らかのかたちで反映されているはずである。パラメータとして、掘進速度（掘進率）、トルク、給圧（ビット荷重）、回転数、送水圧、送水量などが挙げられるが、これらから地質情報、例えば一軸圧縮強度を推定するのである。通常、他のパラメータを固定して掘進率と一軸圧縮強度との関係を求めることが多い。

図－1は、新第三系～白亜系の砂岩試料についてビット種別に、給圧と回転数をパラメータにして、掘進速度と一軸圧縮強度との関係を示したものである。図からは、右下がりの傾向、すなわち掘進速度が小さくなると一軸圧縮強度が大きくなるという関係が示されている。



図－1 掘進速度と一軸圧縮強度の関係（砂岩）

（石塚，1981）

図－2は、第四系～新第三系の砂岩および泥岩、いわゆる軟岩についてビット圧と一軸圧縮強度の関係を求めたものである。ここで、 W_c/S は掘進率－ビット曲線から外挿して算出した掘進率ゼロの時のビット圧を意味する。両者には良好な相関が認められる。

しかし、この方法は、掘削条件が複雑でそれを一定に保つことが困難であること、一般に物性値（一軸圧縮強度）との相関が良好でないこと、また得られる情報に対して失う情報が多すぎること等の問題点を有することから現状では実用化に至っていない。ただし、軟岩、未固結地盤等で、広範な

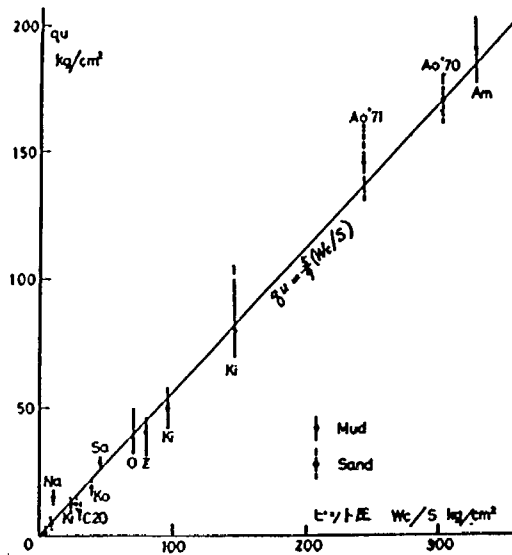


図-2 同一軸圧縮強度 と W_c/S の関係
(新第三系～第四系砂岩・泥岩)(小島, 1975)

領域の力学特性の分布を概略的に求める場合等への適用を期待することができる。

(B) 弾性波速度

物理検層のなかで最も一般的な方法の一つが弾性波を求める速度検層である。測定する値は、 V_p 、 V_s 、 Q などである。近年の計測技術の進歩によって測定精度が向上し、また測定技術も洗練されてきている。

(1) 測定方法の種類

速度検層には、測定機器、対象地質の違いに対応して通常、図-3に示される4つの方法のうちのいずれかが採用される。

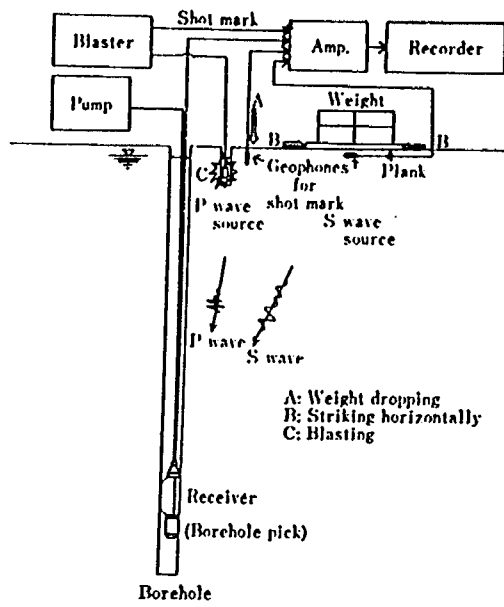
(a)は、ダウンホール法と称される最も一般的な方法で、主として未固結層地盤を対象とし、地表にS波、P波発生用震源を設置して孔内に挿入したセンサーで初動を観測し、この間の伝播時間から速度を求めるものである。

(b)は、(a)と全く逆のセンサーで、孔内に震源をおろし地表で観測するアップホール法と呼ばれる方法である。同法ではP波、S波を同時に観測できるが、孔中起震のため孔井を損傷し、漏水したり近接の構造物へ影響する場合もあり、ほとんど採用されない。

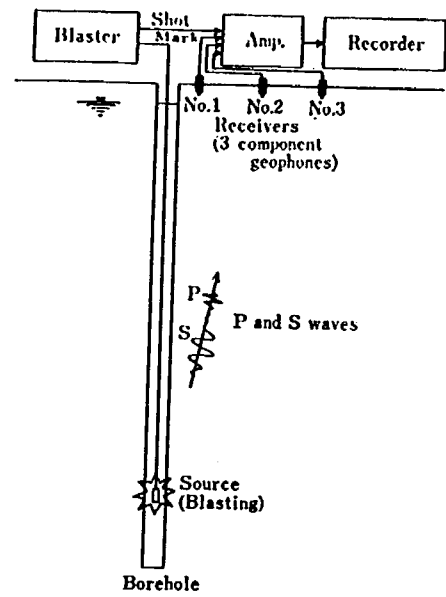
(c)の方法は、震源-受震器を一連のゾンデとして孔内へ挿入し観測するもので、通常資源探査など深い孔井で主としてP波速度の測定に用いられている。しかし、トンネル地山、ダム基礎岩盤等の中硬岩を対象にする場合は(a)の方法より測定精度の細かい(c)の方法が適することがある。

(d)も(c)の方法と同様に、震源と受震器を孔内におろして測定する方法であるが、狐崎(1975, 1979)によって開発された新しい手法として注目されている。

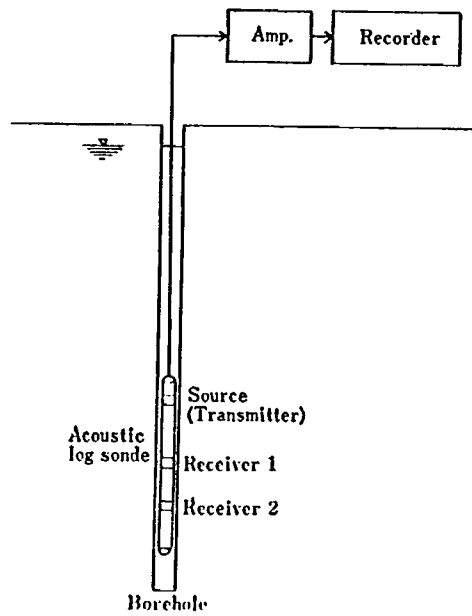
ダウンホール法によるS波検層記録と解析結果を図-4に示す。また図-5, 6に(d)法、いわゆる



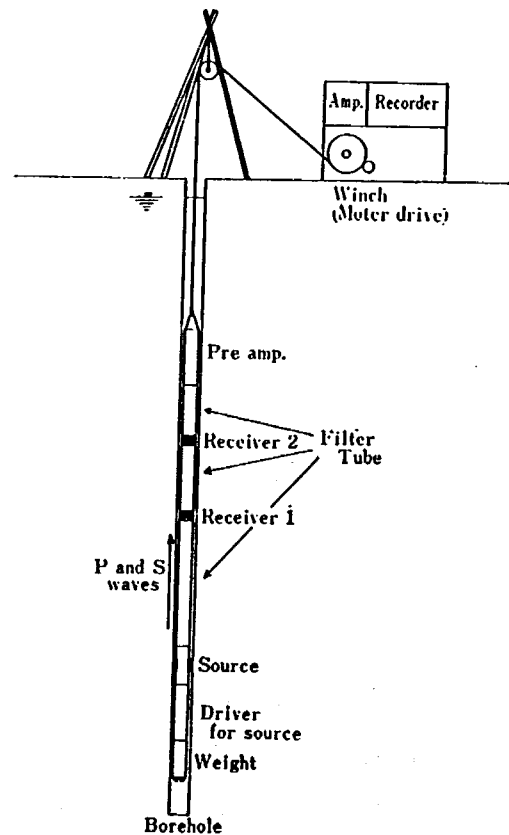
(a) PS 検層：ダウンホール法



(b) PS 検層：アップホール法



(c) 音波検層



(d) サスペンションPS 検層

図－3 速度検層方法の種類 (内山, 1983)

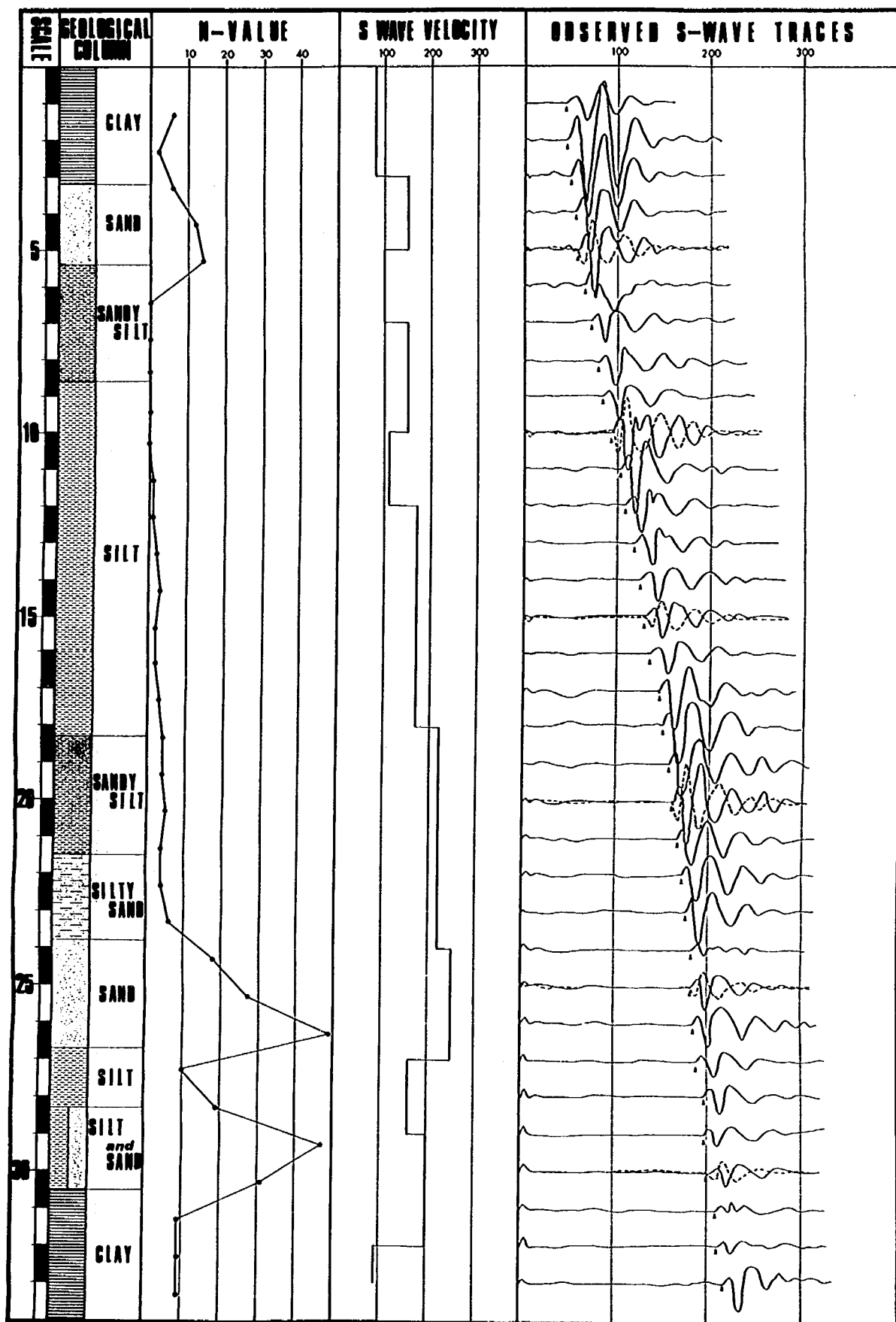
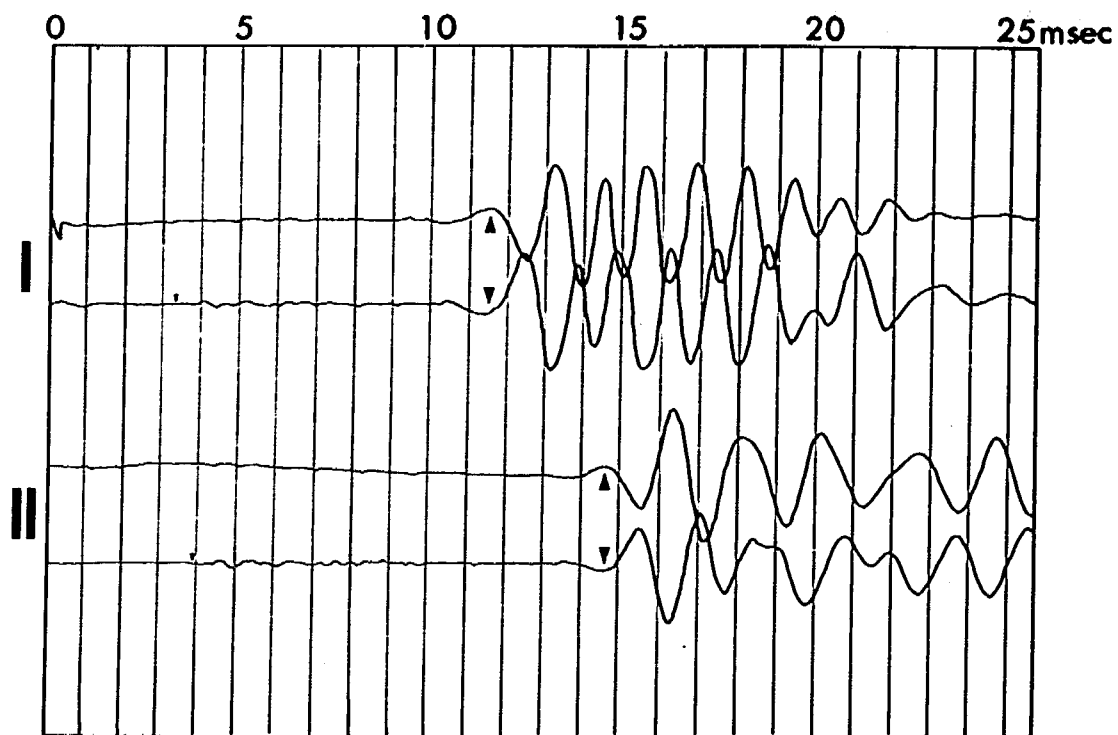


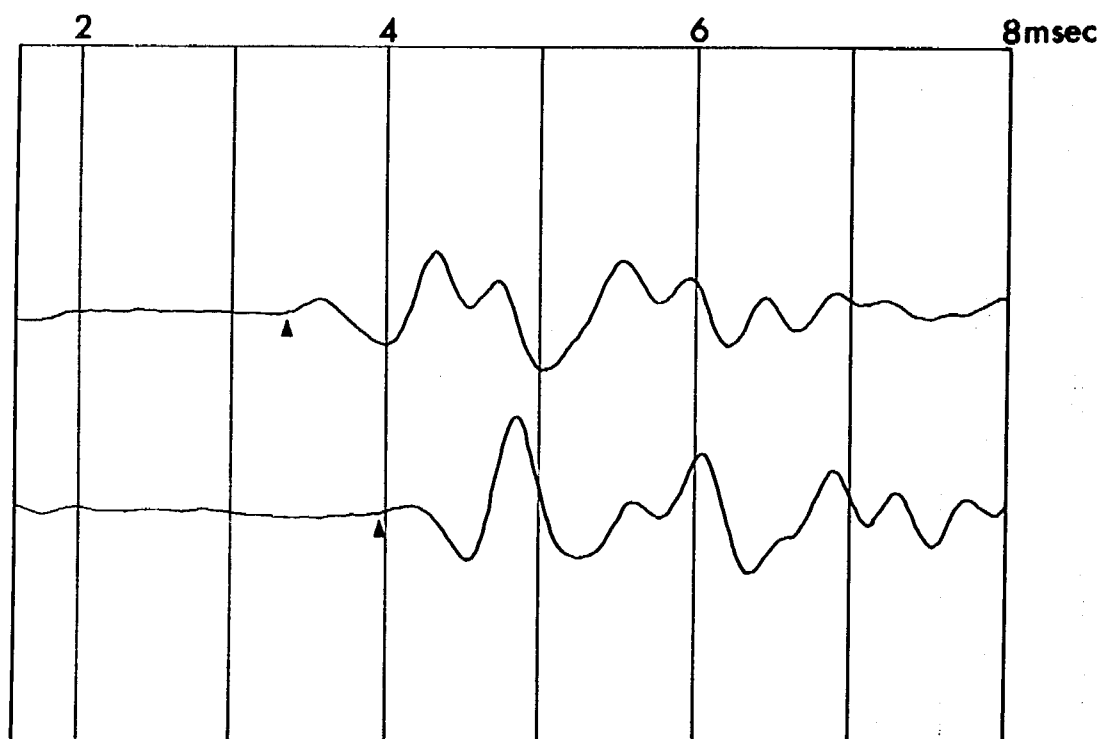
図-4 S波検層記録(ダウンホール法)と解析図

(阿部原図)



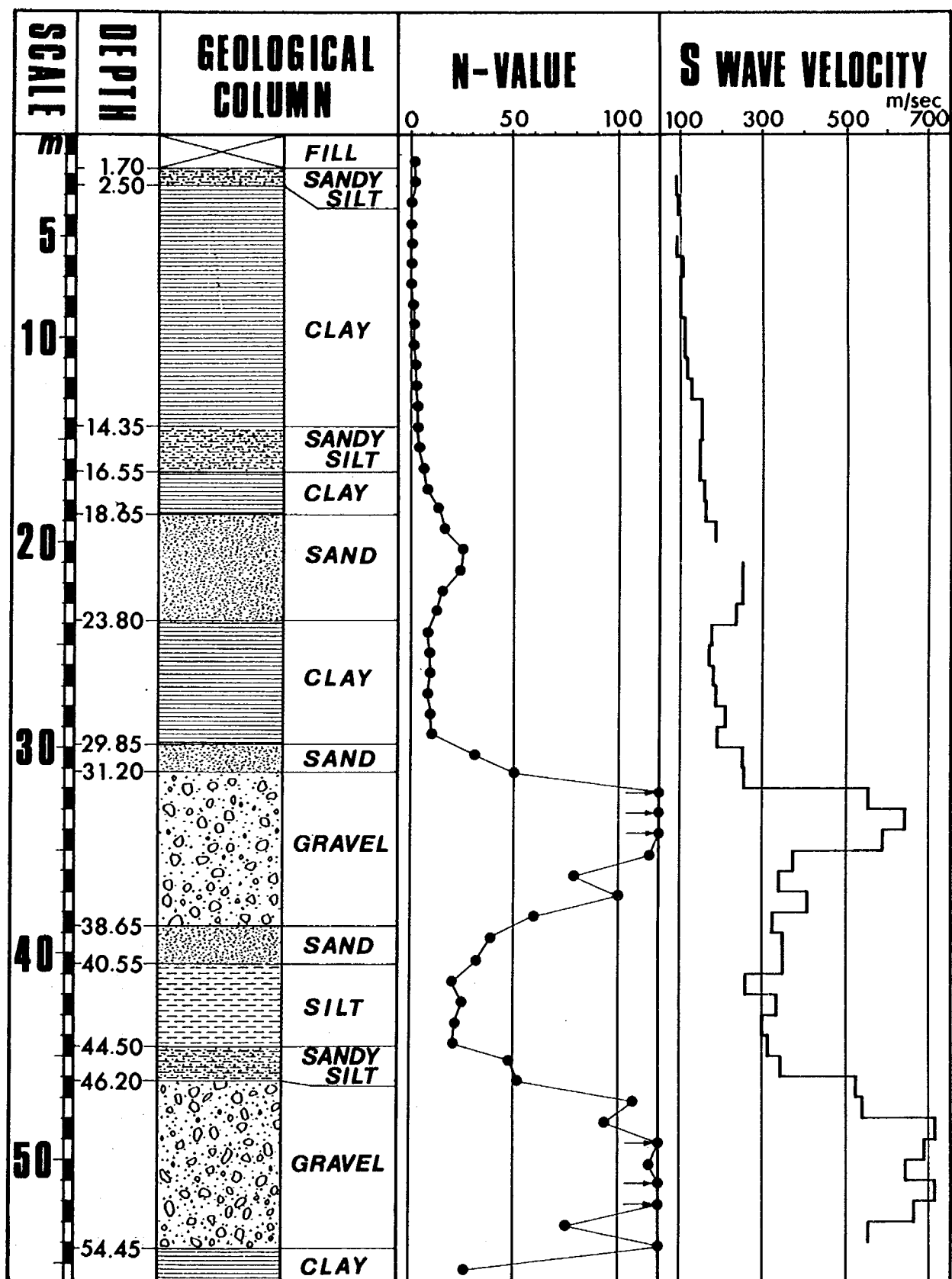
(稲崎原図)

図 - 5 (a) サスペンションPS検層測定記録



(稲崎原図)

図 - 5 (b) 上の記録のP波部分 (反転)



(稲崎原図)

図 - 6 総合柱状図 (サスペンション S 波速度検層)

サスペンション P S 検層記録とその解析図を示す。

(2) 解析精度，データの質

(a)の方法では，図-4 右に示されるトレースアップに対して，傾きが一定と見做せる区間を分け，その傾きから速度を算出している。これに加え測定誤差が $\pm 0.5 \text{ m/sec}$ 程度見込まれることから，同法による速度値の誤差は1割以上と考えられる。また層厚が薄いものほど誤差が大きく測定間隔の4倍以下の地層は通常は検出されない。藤井ら(1984)は，モンテカルロ法による数値実験で，測定間隔が1 m，測定誤差が $\pm 0.5 \text{ m/sec}$ の場合，S波で真の速度として 500 m/sec を仮定すると，層厚2 mだと40%，5 mで10%の誤差が，P波速度 2000 m/sec では層厚5 mの場合50%，10 mでも20%近い解析誤差が生じることを指摘している。

(d)の方法では測定間隔が普通1 mで，測定誤差も 50 m/sec 程度であるので，S波で5%程度，P波でも10%以内の誤差で速度値を求めることができる。図-4では，S波速度分布がN値，柱状図ともあまり良い対応を示さないのに対して，図-6では，S波速度分布がN値，柱状図と極めて良く対応している。但し，この方法では挿入するゾンデが約6 mと長く，また孔内水が存在しないと測定できないという重大な欠点を有している。したがって地表付近の2～4 mの区間は(a)法を併用することが求められる。計測が半自動化されているので，条件がよいと50 m程度のボーリング孔を約1時間で測定することができる。

(3) 他の物性値との対応

速度検層によって求められた V_s, V_p 値から直接的にポアソン比，せん断定数，弾性係数等を以下の式を用いて計算することができる。

$$\text{ポアソン比} ; \sigma = ((V_p/V_s)^2 - 2) / 2((V_p/V_s)^2 - 1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{せん断定数} ; G = \rho \cdot V_s^2 / g \quad \dots\dots\dots (2)$$

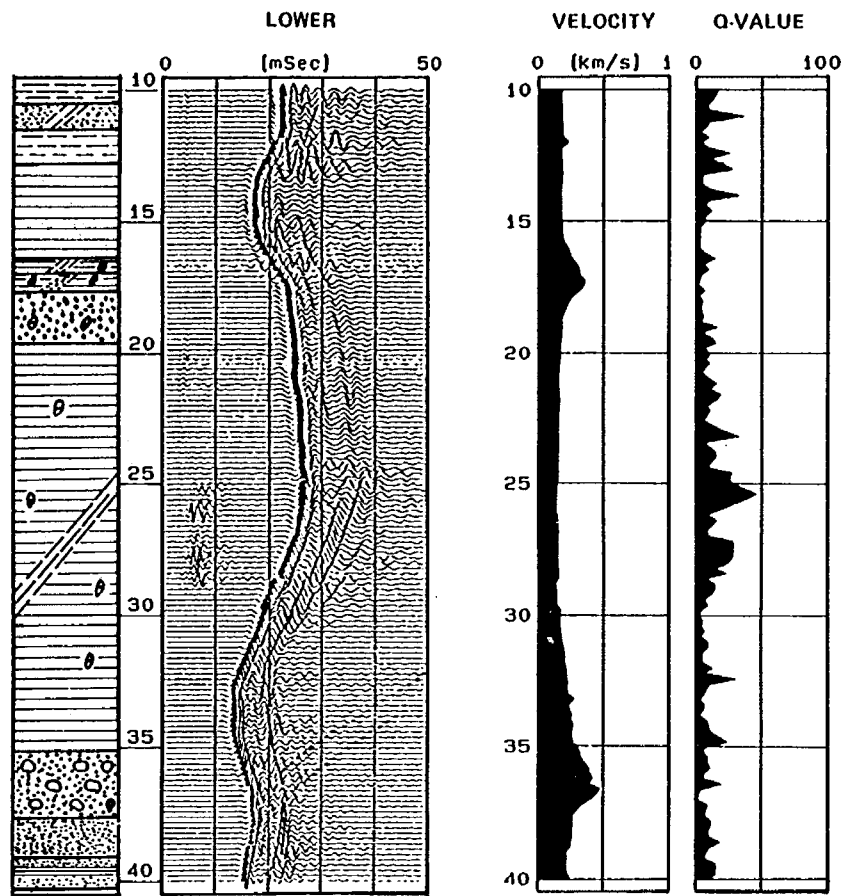
$$\text{縦弾性係数} ; E = 2(1 + \sigma) \cdot G \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{体積弾性定数} ; K = (V_p^2 - 4/3 \cdot V_s^2) \cdot \rho \quad \dots\dots\dots (4)$$

また同一震源からの波形を孔内の複数の点で観測することにより，地盤の減衰に係わる量であるQ値を求めることができる。ひずみレベルが 10^{-6} のオーダーでの観測値ではあるが，図-7に示されるようにQ値は地層変化に応じて細かく変化しており，地震応答計算への観測データの利用が期待される。

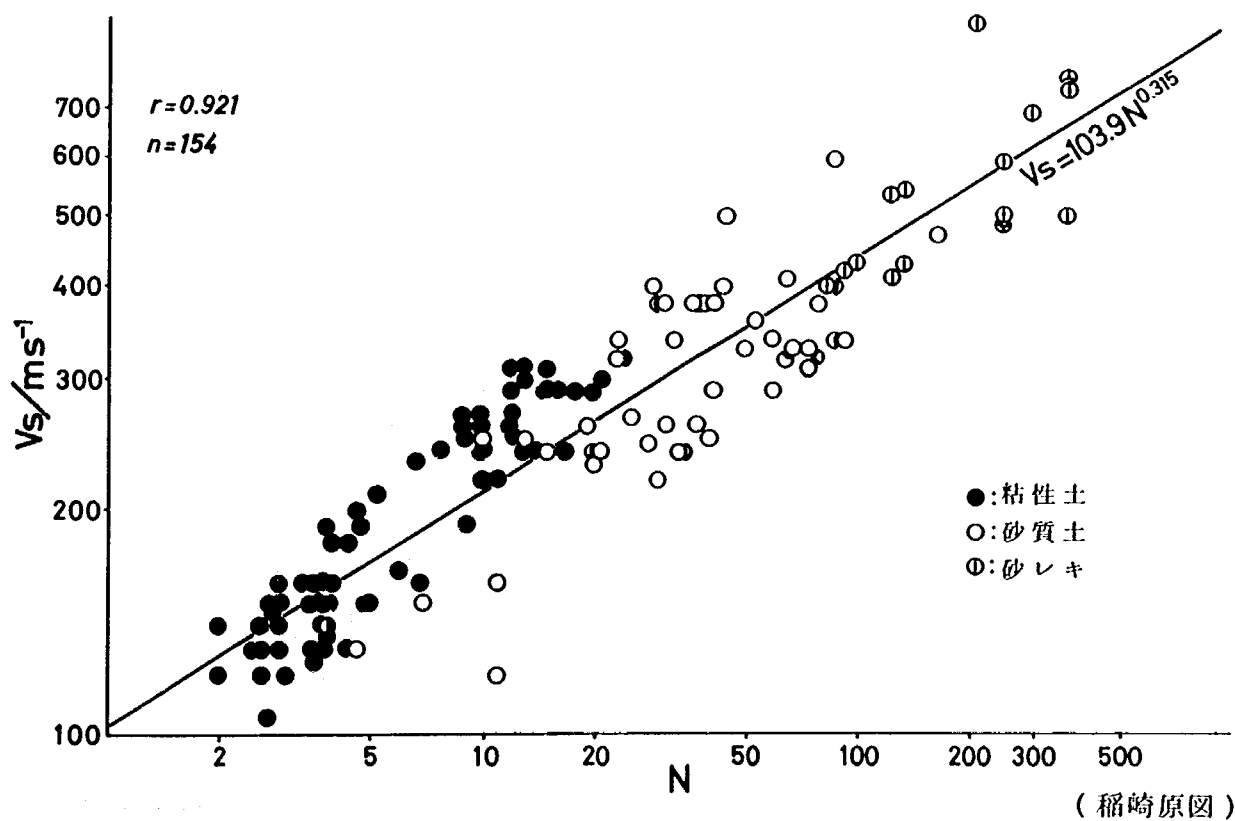
以上のような観測データから直接求まる物性値を利用して，他の物性値を間接的に推定することができる。例えば V_s と各種力学試験値との間にはかなり明瞭な相関関係のあることが知られている。図-8は濃尾平野における3本のボーリング孔での V_s とN値の相関を示したものである。両対数上でのプロットではあるが両者の間には良好な相関関係が認められる。 V_s とN値との関係式には地域性があり，地層によっても異なるようである。

図-9は V_s とK値他の物性値との関係を示したものである(今井・吉村，1972)。 V_s と各物性値との相関はかなり良く，S波速度からK値等を推定できることを示唆している。



(田中, 1984)

図-7 サスペンション検層からのQ値の算出



(稲崎原図)

図-8 濃尾平野における第四系の V_s - N 値相関

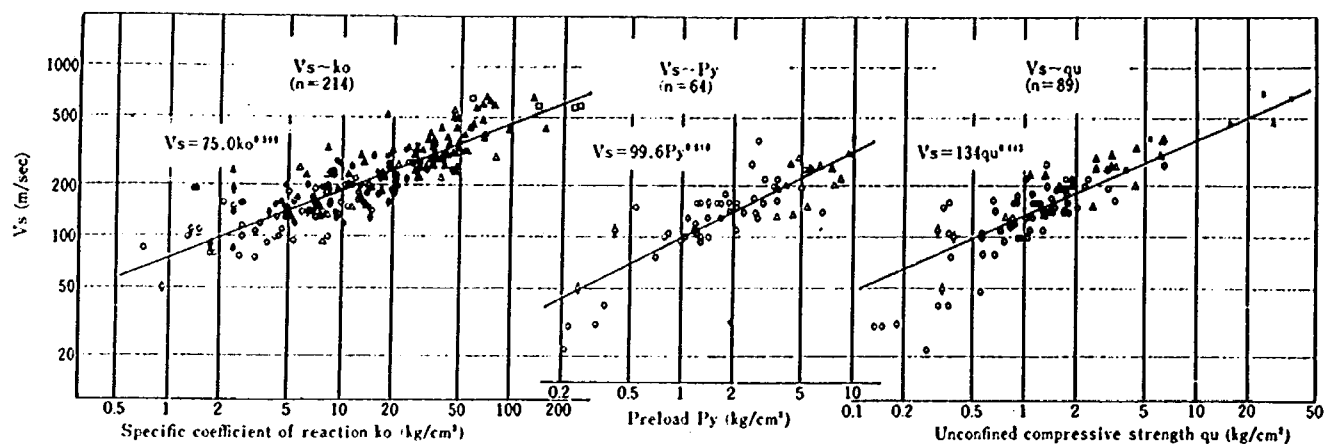
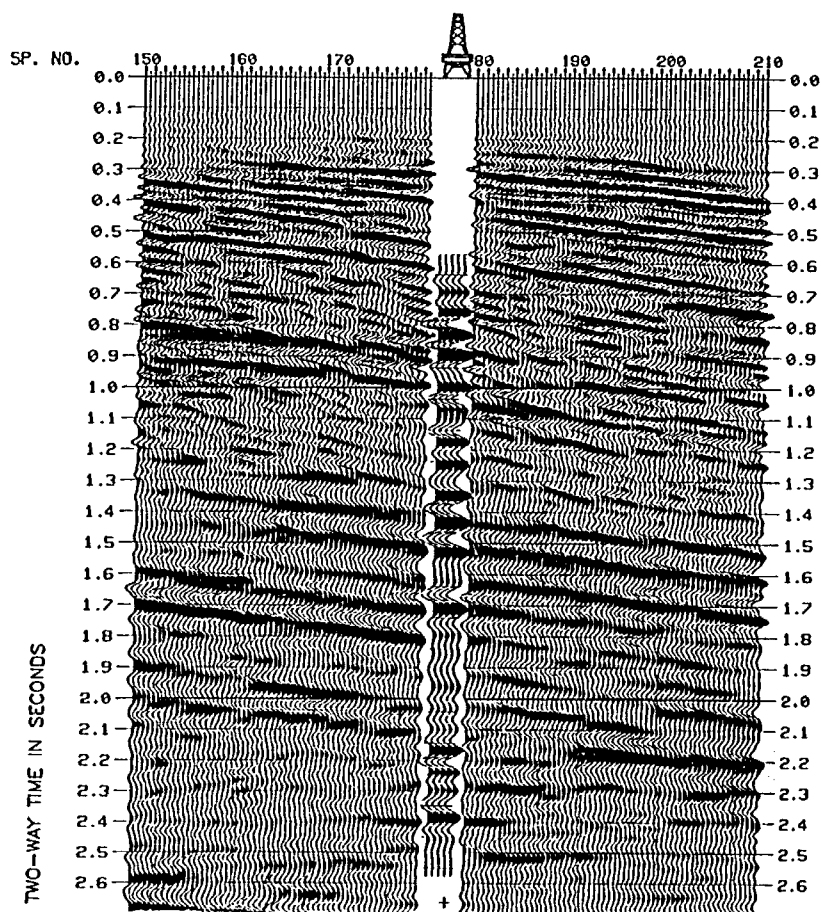


図-9 S波速度とK値地との関係 (今井・吉村, 1972)

(4) 地質構造解析への利用 — V S P —

速度検層記録には、震源から直接入射する直接波だけでなく地層境界で反射して来る波も含まれている。そこでこの波に着目して適当な処理をおこなうことによって地層境界面の位置とその性質を把握することができる。図-10は、中央部に位置する孔井でのVSP (Vertical Seismic Profiling)



(Seismograph Service Ltd.)

図-10 VSP合成記録と反射断面の対比

解析結果を反射探査記録と比較したものである。両者はよく対応している。本法によって、地層のフィルター効果、言い換えれば地震波の伝達特性を評価することが可能である。

(C) 地山内部応力

日本列島周辺は地殻変動の活発な地域であり、その大部分は水平方向の圧縮力をうけている。したがって地山内部は一般に静水圧的に一様でなく、地下構造物を建設する場合、その状態を予め測定し、山はね、偏圧等の発生を事前に予測し対策を講ずることが重要である。本法で測定する対象は、現位置での地山内部応力、 $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ とその方向である。

地山内部応力の測定方法については、土木学会編「トンネルの地質調査と岩盤計測」に詳しく紹介されているので、ここではそのうち主な2つを、以下に概説する。

(a) 応力開放法

図-11は孔底ひずみ計を使ったオーバーコアリング法の模式図である。図-11Aに示されるように、 120° の方向で3コのスレインゲージを装備した孔底ひずみ計を底面に密着させ、その後オーバーコアリングをおこなう。この際開放される応力をひずみとして観測することで、ボーリング底面を含む二次元での地山内部応力とその方向を求めることができる。

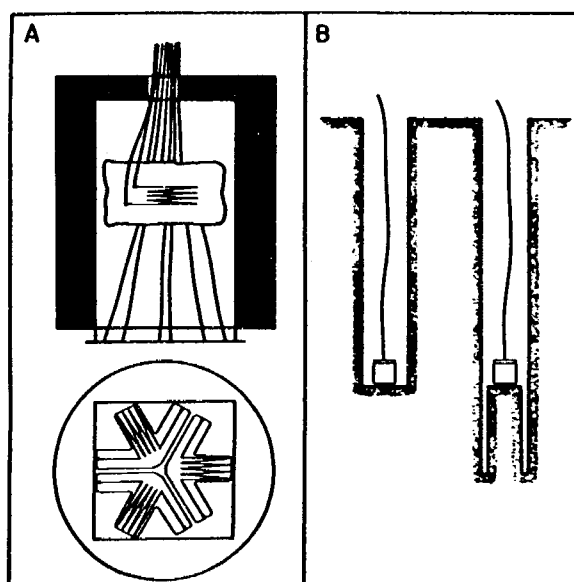


図-11 応力解放測定模式図 (Sbar, et al, 1979)

(b) 水圧破壊法

ボーリング孔内に水を圧入していくと、ある水圧で孔壁が破壊される。図-12に示される圧力曲線から以下の式を用いて $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ を求めることができる。

$$P_s = \sigma_{\min} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$P_b' = 3 \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad \dots\dots\dots (6)$$

また、水圧破砕が最大主応力の方向に生じることから図-13のようなBHTV(ボアホールテレビューアー)か型とりバッカーによってその方位を知ることができる。

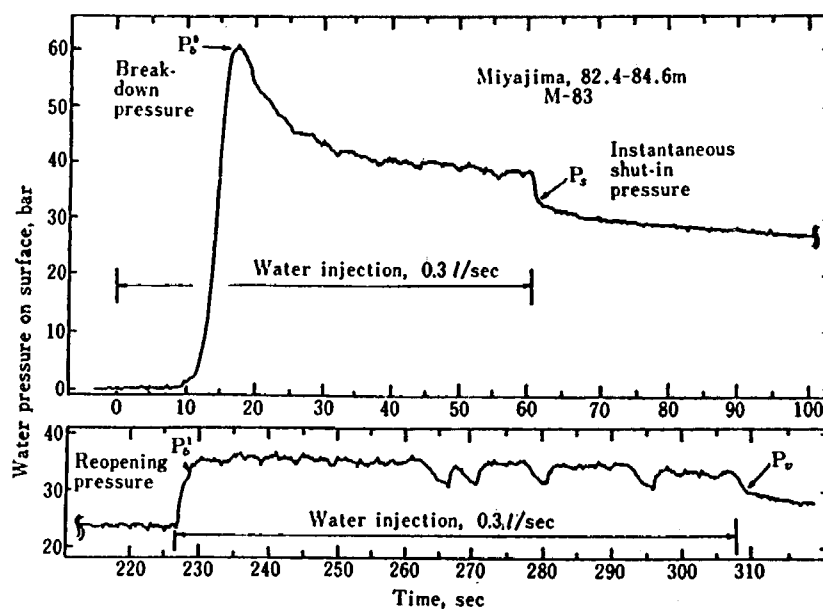
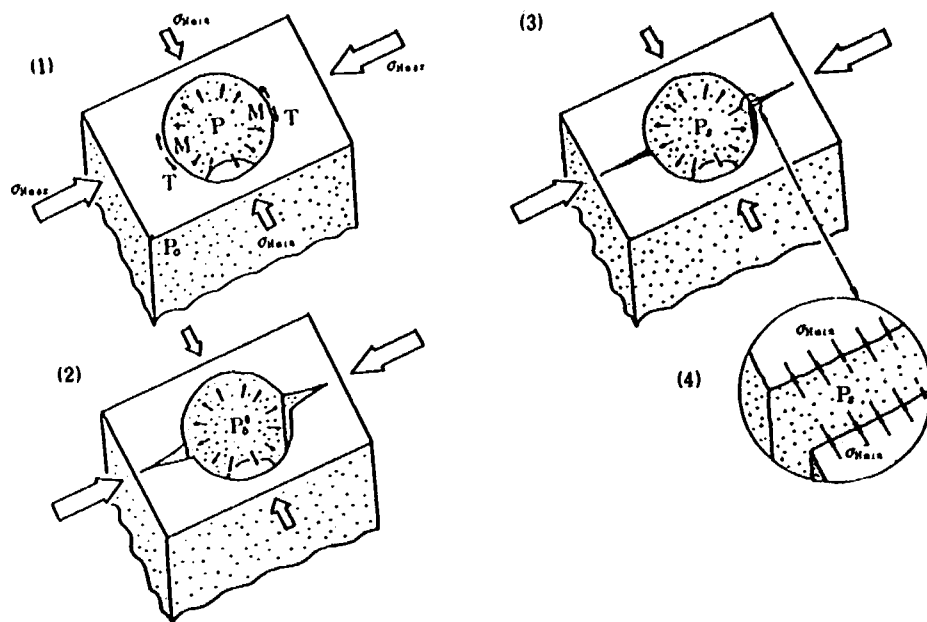


図-12 水圧破壊法による地殻応力測定の実験原理(上)と測定記録例(下) (高橋, 1983)

防災センターで開発された方法で、地震予知の一環として測定データが集まりつつあるが、初期に破断面のない新鮮な部分が必要とされ測定深度が比較的深くなってしまいう点が問題である。

BHTVは孔内水が必ずしも清水でなくともよい。これは、光ではなく超音波をもちいているため透過性に優れているからである。

(c) その他の方法

他の方法として、X線による方法、AE法、スリットジャッキをもちいる方法等があるが、その内容については略す。

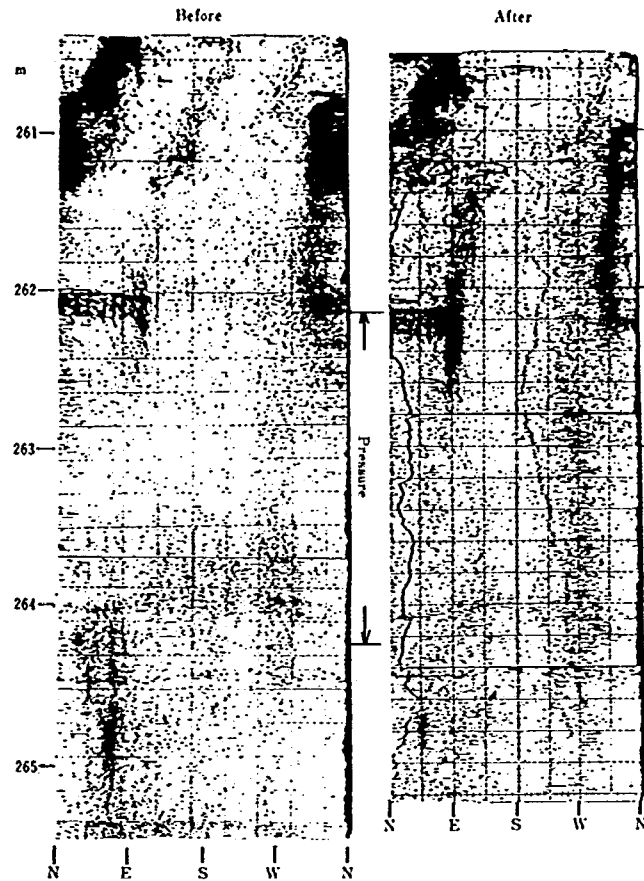


図-13 テレビュアーによる水圧破壊前後の記録（高橋，1983）
（破断面：右図の縦線）

(D) 変形係数，弾性係数，横方向K値

孔内にゾンデを挿入し，孔壁に水平方向の载荷を行なうもので，等荷重分布型のLLT（図-14）

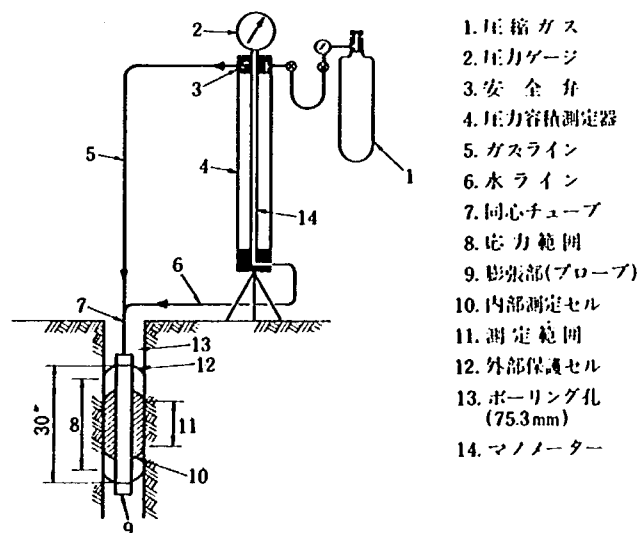
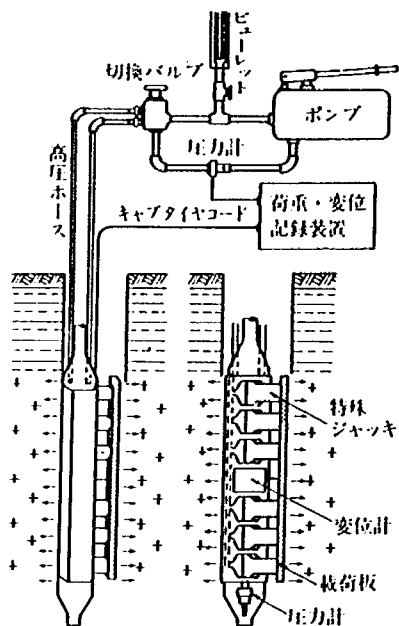


図-14 LLT概念図

等変位型の K K T (図 - 1 5) が一般に使用されている。加圧限界は L L T で 100 Kgf/cm^2 , K K T では 330 Kgf/cm^2 程度であり, K K T では中硬岩の試験が可能である。図 - 1 6 において,



图—15 KKT概念图 (川崎地質KK)

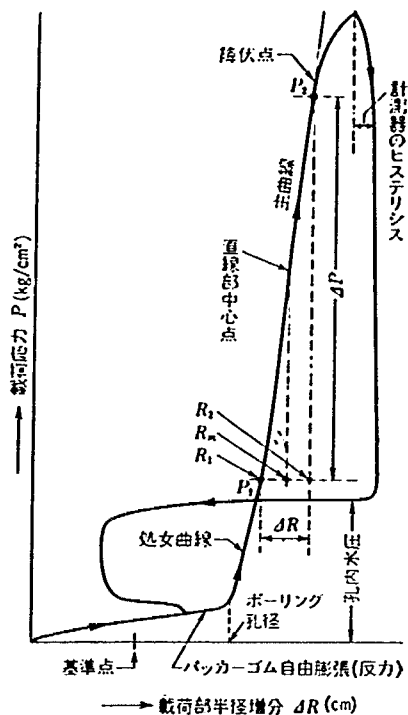


図-16 L L T記録モデル (鈴木, 1982)

降 伏 压 $P_y = P_2 - P_1 \dots\dots\dots (7)$

測定 K 値 $K_m = \Delta P / \Delta R \dots\dots\dots (8)$

弹性系数 $E = (1 + \nu) \cdot R_m \cdot K_m \dots\dots\dots (9)$

という式で各物性値を求めることができる。

(E) 密度, 水分, 孔隙率測定

これらの値は、通常放射能検層で測定される。

密度検層は γ 線のコンプトン散乱現象を利用するもので、図-17に示されるようなゾンデにおいて、観測される散乱 γ 線の強度 I は

$$I = f(\rho, R, Z, E) \dots\dots\dots (10)$$

ρ : 地層の密度

R : 線源一検出部距離

 Z : 地層の平均原子番号

E: 散乱 γ 線エネルギー

で示されるが、孔壁の状態、孔径等によっても測定値が変化する。(10)式において R 、 E は既知であり、

Zも推定できるので観測値 I から密度 p を求めることができる。

石油資源探査の分野では、油層の検出、反射記録の解析等に使われている。

中性子検層は中性子が主として水素原子核によって減衰されることから、地層内の含水量を求めるものである。また地層の孔隙率を計算で求めることができる。

図-18は地盤改良効果の判定を密度検層によって行なったもので、改良前後における密度変化が捉えられている。同様にグラウト効果の判定等も可能である。図-19は中性子検層によって岩盤の孔隙率の変化を求めたものである。

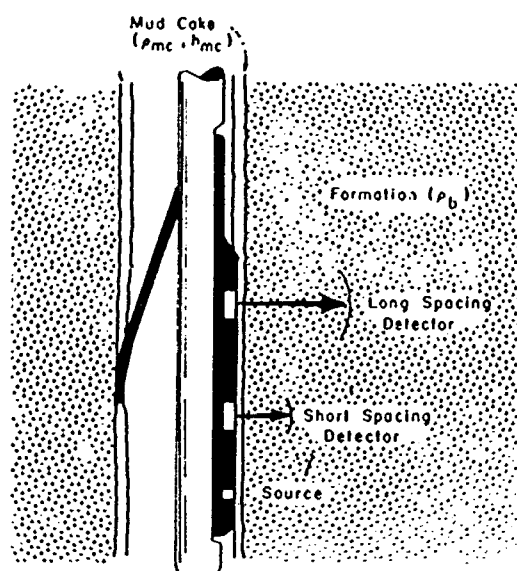


図-17 密度検層坑内センサー部の原理 (伊藤, 1983)

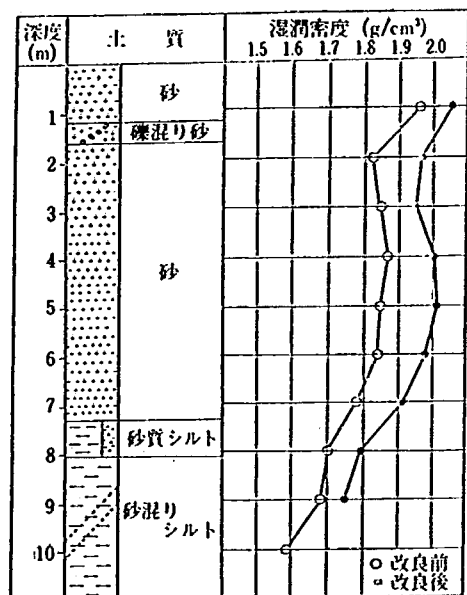


図-18 地盤改良前後の関係 (藤原他, 1983)

(F) 比抵抗, 自然電位, 等

岩盤, 地層の電気的性質を示す比抵抗, 自然電位等の値は, 岩盤(地層)-水系の相互関係に強く支配されているので, 物性値の領域で扱うより, 水の情報として扱ったほうがよいと思われる。ただ, 岩盤中の亀裂の存在が介在して他の物性値と対応づけられることがある(図-20)。

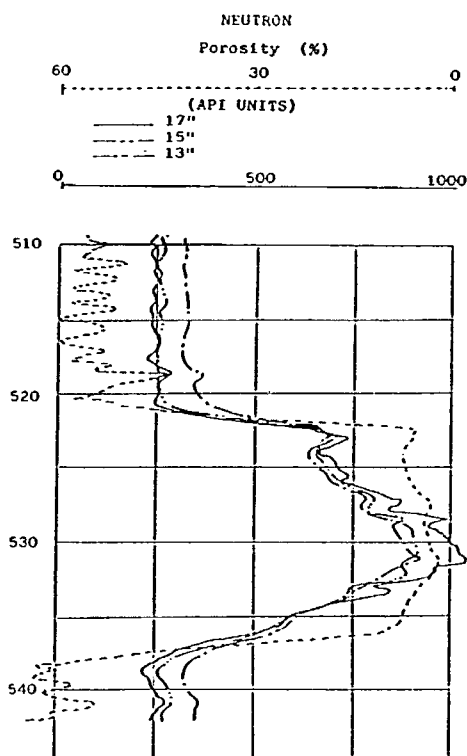


図-19 岩盤調査における中性子検層の例 (藤原他, 1983)

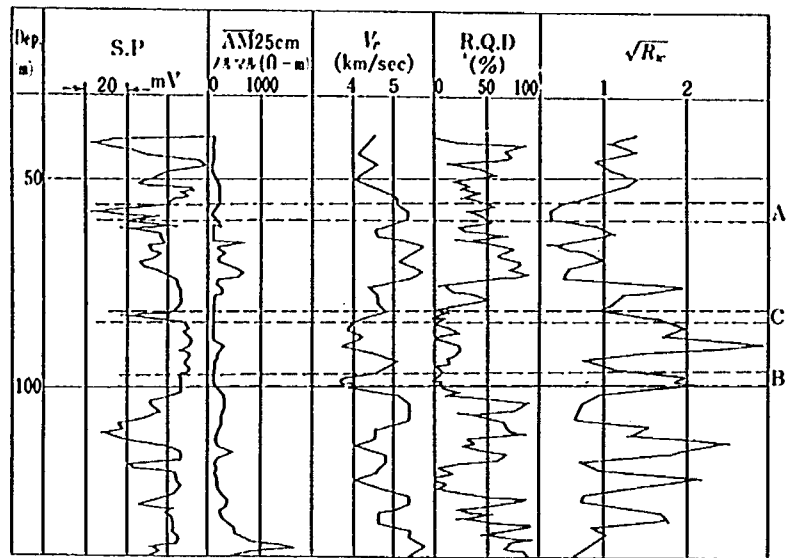


図-20 物理検層柱状図 (藤原他, 1983)

(C) その他の方法

(1) ディップメーター

孔内に現われる地層の境界面で比抵抗が急激に変化することが多いので、 120° 間隔の3方向の電極で比抵抗あるいは自然電位を測定し、電極の方位を較正することによって地山内部での地層、割れの走行傾斜を求めることができる。図-21はその原理を、図-22は解釈結果を示したものである。

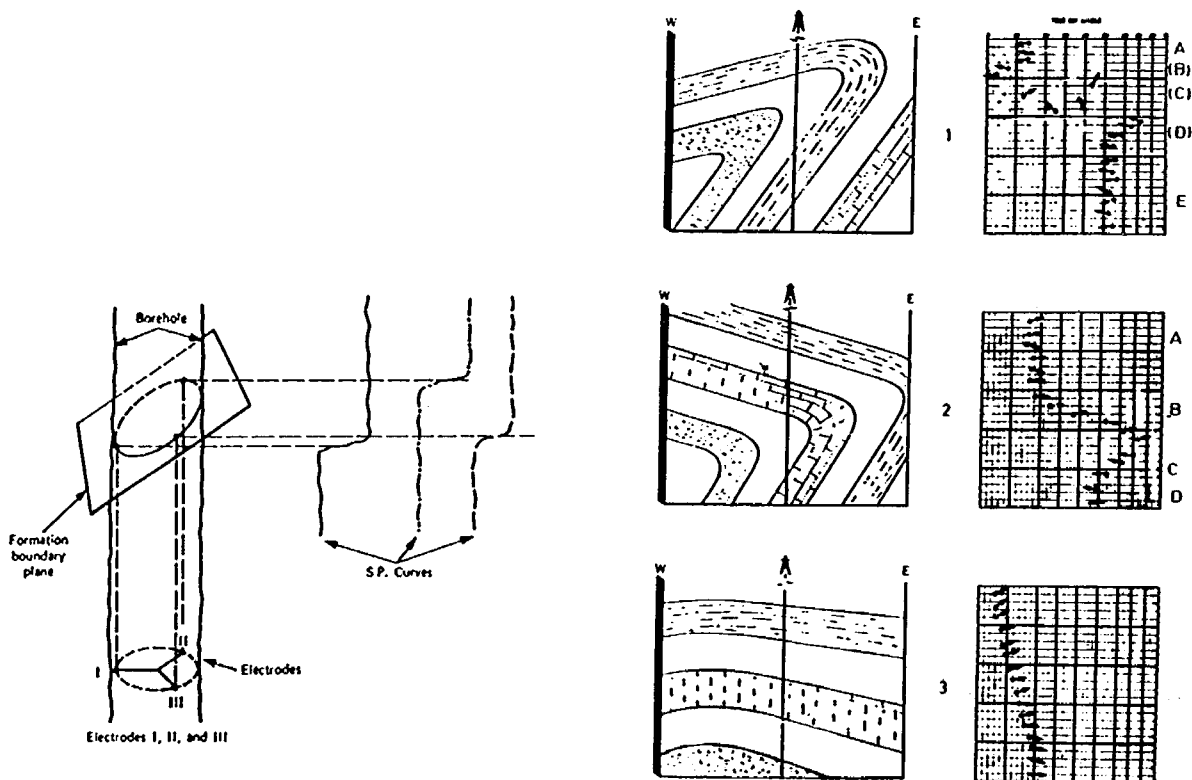


図-21 ディップメータによる地層ディップ測定の原理

(伊藤, 1982) 図-22 ディップメータ解析結果と想定地下構造図の比較

(伊藤, 1982)

(2) ボアホールテレビューアー

地山内部応力測定の部分ですでに記したが、上記ディップメーター同様地山内部での割れ目の状態を把握するために用いられる。従来のボアホールテレビと異なり、超音波を使用しているので濁水中でも測定することができる。

おわりに

以上に紹介して来たように、較内で物性値を測定する方法には多種多様なものがあるが、その殆んどは他の分野からの導入であり、土木地質調査において独自に開発されたものはわずかである。ただ、速度検層、孔内変形試験程度が方法としてもまた得られるデータの質の点からも洗練されているに過ぎない。このように現位置測定がおくれているのは、コアを用いた試験によって大部分の設計に必要な物性値を求めることができるからであろう。

しかし筆者は「現位置」という観点がもっと強調されても良いのではないかと考えている。極端なことを言えば、ボーリングコアですらすでに現位置の地質情報を正確には反映していないのである。このことは亀裂において最も明白である。

現位置で測定するという事は測定方法の基本であり、今後各種の測定法をより使いやすくまた精度を向上させていくことが望まれる。

参考文献

- 土木学会(1983) : トンネルの地質調査と岩盤計測, 土木学会, 281p,
- 藤井幸一・相澤隆生(1984) : 検層によって得られる弾性波伝播速度値の確からしさについて, 物理探査学会昭和59年秋季講演予稿集, pp62 - 63.
- 藤原忠一・橋本憲和・横山仁志(1983) : 地質調査における物理検層の応用, 物理探査, vol. 36, pp294-307.
- 今井常雄・吉村正義(1972) : 地盤の弾性波速度と力学的性質, 物理探査, vol. 25, pp215-225.
- 石塚克巳(1981) : ボーリング掘進条件と岩石強度, 第20回土木研究発表会資料, pp69-72.
- 伊藤寿恒(1982) : 石油井における物理検層の現状(その2), 物理探査, vol. 35, pp161-170.
- 伊藤寿恒(1982) : 石油井における物理検層の現状(その3), 物理探査, vol. 35, pp206-215.
- 狐崎長琅(1975) : 漂遊型受震方式によるS波の検層, 物理探査, vol. 28, pp13-21.
- 狐崎長琅(1979) : 振源部と受振部を一連のゾンデとするS波検層方式, 物理探査, vol. 32, pp1-13.
- 小島圭二(1975) : ボーリング掘進記録と軟質岩盤の性質, 第9回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要集, pp11-15.
- Sbar, M. L et al (1979) : Stress Pattern near the San Andreas Fault, Palmdale, California, from near-surface in situ Measurements, *J. Geophys. Res.*, vol. 84B, pp156 - 164.

鈴木 光 (1982) : 岩盤の計測と解析, 土木工学社, 244p

高橋 博 (1983) : 孔井における地震学的諸観測, 物理探鉱, vol. 36, pp323-339.

田中賢治 (1984) : サスペンション P S 検層による Q 値の算出 (その 2), 物理探査学会昭和 59 年
春季講演会講演予稿集, pp113-114.

内山成和 (1983) : 孔井内弾性波速度測定, 物理探鉱, vol. 36, pp276-293.

2—4 コアの記載・評価法

東 北 地 方 建 設 局

浅瀬石川ダム工事事務所 所長 市 川 慧

目 次

1. テーマへの視点	135
2. コアの観察	136
2.1 記載の中味と検討 — 地質情報 —	136
2.2 記載の中味と検討 — 岩盤の構成因子としての判断 —	139
3. コアの見方と評価についての問題と展望	164
3.1 対象による見方の差	164
3.2 コアの観察・判定の問題と今後の問題	164
4. まとめて換えて	168
参考文献	

1. テーマへの視点

岩盤の調査方法としては、視角的には踏査（マッピング）とボーリングコアの観察、物理的には各種の検層や探査、さらに各種の室内試験等がある。踏査と並行して顕微鏡観察が用いられることも少なくない。

昔からある、こうした定型化した調査が依然として問題にされるのは、主として次のような理由によるのであろう。

- a. 地質学の調査のあり方と土木地質学の調査のあり方が異なっており、地質調査に従事する技術者が合目的な調査を行うべく十分に訓練されていないこと、
- b. 土木地質学上の区分が必ずしも岩石学上の区分と一致しないこと、
- c. 構造物（堤体など）を支持する岩盤として、応力や水頭などの場の変化に対する挙動の予測に当たって、岩盤の状況を示すさまざまな指標をどのように見出し、記載するかがハードウェアとして明確になっていないこと、
- d. さまざまな情報を総合的に判断するに足るだけの詳細な記載を行うだけの余裕が無く（スペースの点からもマンパワーの点からも）、調査のかなり早い時点から情報の簡略化（取捨選択）が必ずしも意図的でなく行われていること、
- e. その結果として、皮肉にも、最終的な判断の材料の一部が欠落しているデータから調査の結論が生まれるという事態が生じかねないこと。

現行行われている岩盤の調査では、ボーリングを中心として観察的な手法が構成されており、この成果に基づいて各種の実験や試験が行われることが多いので、小論ではボーリングコアの観察のあり方を再度見直すとともに、望ましい方向について触れてみたい。もとより、多くの方面で筆者よりも経験、知識ともに豊富な優れた技術者が取り組みながらも、現状に不備な点があるのが正直なところ

であり、かつ自らコア（採取直後のものをフォアマンの報告と共に）を見る機会の至って少ないことから、ややもすれば抽象的に流れることもあろうかと自戒しつつ、考えをまとめてみた。

2. コアの観察

構造物は地盤条件の良好なところに作られなければならないが、現今そのようなサイトは見付けることができず（東北地方のダムサイトで地盤条件が良好なのは、田瀬、目屋、大倉、三春ぐらいのものである）、ボーリングの重要度は今度とも更に増大するものと思われる。

ボーリングの結果は、まずフォアマンの記録（岩質、コアの状況、掘進速度、逸水、湧水、トラブル等）に基づいて、コアの観察を通じて取りまとめられる。また、技術者それぞれの見方、各種の指標の取り上げ方によって結果が異なり、同一社内であっても他人の柱状図が使えない（あるいは少なくともコアの見直しをしなければならない）というのが実情である。

柱状図はこの結果の総括であり、得られた情報のすべてを網羅して記載することは事実上困難であるから、この間に行われる取捨選択の適否が本質的かつ直接的に地質図の良否を左右することになる。現在では、地質条件の最終的な（あるいはこれに近い状況の）判断を下す指導・監督の立場にある者（主任技術者あるいは発注者側の責任者、場合によっては研究所の顧問技術者）が一々コアを見て記載項目を確認するような余裕はなく、柱状図はおろか、断面図上での解釈ぐらいにまで立ち入って詳細な検討をするのがせいぜいである。従って、柱状図に誤った情報や見落とし・書き落としがあるということは致命的な欠陥となって最後までデバックされずに残るという危険を内包している。

2.1 記載の中味と検討 —地質情報—

サイトの地表踏査によって、ボーリング中に遭遇すると考えられる岩石の種類や層序上の位置は、概略として把握されており、それを基本にしてコアの観察を行うことになる。

記載事項の内容は、各種の文献に見られるように、ほぼ同じ内容であって、項目自体についての議論はない。ただ、ボーリングによって得られた材料そのものの記載（生データ）と、これを判定、区分した記載（加工データ、あるいは観察者の意志というバイアスの加わったデータ）との区別が明確でないことが多く、これに区分、判定の根拠の明確でない記載が混入しており、このことが前に述べたような他人の柱状図が使えないということの原因となっているのだろう。

これは地表踏査でも同じことであり、現地で露頭で確認した岩相や破碎帯等と、図学あるいは一定の思想のもとに存在を決定したものとを区別しなければならないのと同様である。岩盤としての判定に必要な区分や、評価する際の基準については次項で述べる。

A. 掘削条件に関する記載

- ① 孔径
- ② ビットの種類
- ③ 送水圧および送水量
- ④ 漏水量および湧水量

⑤ スラスト圧

⑥ 掘進速度

⑦ トラブルの有無および処置

これらは主としてフォアマンの野帳から転記するものであって、直接的に地質を表示するものではなく、どちらかといえば後出の岩盤情報に関連するところが多いと思われるが、生データの最も基本となるものであって、コアの状況の好ましくない箇所に関して岩盤を推定する上で重要な意味をもつほか、工事に当たっての施工法の基本方針を立てる上にも有用である。

B. 岩石に関する記載

① 岩石名、地層名

岩石名は、採取した試料を、主として肉眼鑑定によって決定して付けているが、地層名としての岩石名は、地質学的に包括的に付されていることが多く、局地的な岩相の変化までは考えていることはないので、サイトに合った名称を選ばなければならない。特に破碎や変質が選別的に行われている場合や、特定の層準に弱所が偏在する場合などは、それらが明瞭に分かるように名称を付すことが必要である。また、火砕岩のように、斑晶と石基とから成る火山岩の特徴を示すものと、粒状凝灰岩が混在し、これに脈岩状の貫入を伴ったりする場合は、地質学では火砕質（あるいは火山岩）コンプレックスとして処理してよいが、土木地質学ではこれらの差が工学的性質や透水性に影響していることが多く、詳細な岩石の区分や、そのための顕微鏡観察が不可欠なサイドが増えてきている。反面、徒らに地質図を飾ったとしか思えない岩石区分も散見されるので、必要かつ落ちのないように鉱物学的特徴と岩石学的特徴を把握し、区別することが必要である。例えば、有色鉱物の変質に対する鋭敏性、岩石の硬さと鉱物粒子との関係といった項目が、そのサイトで関係づけられるとすれば、いわゆる岩石学的な記載などよりずっと有効な指標となる。

表層堆積物についてもこれに準じて記載することになるが、目的によっては、ほとんど触れられないものから、かなり詳しく記載するものまで差があるが、地亡りや崩壊を対象とする調査を除けば、一般にはボーリングコアの記載よりはむしろ現地の踏査によってその性状を知ることが多く、ボーリングでは深さのみが重視されることが多い。

② 色調

③ 岩相変化とその記載

サイトに分布する（複数の）岩石にそれぞれ前述のように命名して、その標準的なものを定義付けと共に記載し、典型的な（岩石として典型的ではなく、このサイトの岩石の典型という意味で）ものから外れるものがあればその程度と内容を記載する。これは統計という偏差の記載であり、統計の基本はこの偏差の記載と分析にあることから分かるように、岩石の記載の真髄である。記載が漫然としている印象を受ける柱状図は、実はこの点に関して腰が据わっていないためにそのような結果を生んだものと考えて差し支えない。例えば、あるサイトで自分が「凝灰角礫岩」とよんだものは、実体としてどのような岩石であり、そのサイトで見られるさまざまな岩相の違いが、鉱物学的・岩石学的

にそれからどの位外れているかを認識して整理すべきであって、岩石名、すなわちそれが意味する岩相には幅があるという本質的な性格の蔭に隠れて、実は岩石をよく見ていなかったなどということのないようにすることが肝要である。それには付加的な性質をどのように要領よく記載するかという一語に尽きる。

④ 簡単な物理的性質

密度の大小、硬さ、韌性、といった岩片についての性質、すなわち後述する劣化作用を受けない堅硬な部分の岩石そのもの（前項の典型的な岩石）の性質と、サイトで見られる劣化の程度と分布とを明らかにすることであって、これを基準に後述の岩盤としての性質を解析してゆくことになる。

⑤ 岩石の劣化因子

ア. 割れ目

岩石と岩盤の違いのうちで最大のものはこの割れ目であるが、この負の性質をもつ因子の記載を、岩盤としての強度がわかるように行うことは実は非常に難しい。一般には、岩石としての記載のときにコアの大きさなどの形状として表現していることが多いが、後述の岩盤区分等に関して用いる必要があるときには、別途分かりやすく割れ目の分布を表記するのが望ましい。節理は方向性をもつものであるが、コアで三次元的な方位を知ることは不可能であるにしても、節理の組合せ（1組しかないのか、2～3組が網状に交叉しているのか）ぐらいは分かるので、そのような状況にあれば表現しておかなければならない。割れ目の壁面の状況、割れ目の充填物についても、できるだけ節理の組合せと関連づけて記載しておくことが必要である。

イ. 変質および風化

変質および風化の程度、変質および風化作用の性格、変質・風化鉱物および（あるいは）初生鉱物との関連、特に粘土鉱物学上の記載。

ウ. 風化

風化の程度、風化生成鉱物等の記載。

エ. コアの形状および採取不能箇所への明記

一般にはコア採取率と最大コア長、コアの形状を明示する方法がとられており、コアの形状については、棒状、岩片状、礫状、砂状、粘土状、コア採取不能、というように区別する。これらはコアバレルを回収するたびに記載することを原則とし、RQDやルジオン値を一定の長さ毎に規則的に記載するのとは別の整理をする必要がある。また、コアにならない箇所を柱状図およびコア箱の中ではっきりさせていない事例が非常に多い、コア採取率はその付近の平均的な値としてしか得られず、割れ目や破碎の著しい箇所については、特にフォアマンによる記載が大まかで役に立たないことが多い。コア採取率が低いあるいはコアが採取できないということも情報の1つであるから、その原因が何であるかをフォアマンとの意志の疎通を充分にして確認し、柱状図あるいは注釈として残しておかなければならない。

特に岩盤の透水性が問題となるところでは、ルジオン試験はもちろん必要であるが、空洞、開口ク

ラックなどの情報は欠かすことのできない要因である。コア箱にスライムを入れて柱状図には何の注記もない（コア採取率やRQDなどを見ればわからないこともないが）のは良くない。また、コアの採取率が例えば70%であったとしても、1mの掘進長の間に70cmのコアが連続して採取できた（特定のところに空洞があった）のか、粉碎して上がってきたものが70cm分しかなかった（このような例のときは横坑などで観察しないと実情を正しく把握するのは難しい）のかでは、その後の調査の方向が違うこともあるので、今後はフォアマンのメモも何らかの形で資料として準備できるような体制をとることが望ましい。

⑥ 柱状図にまとめる際の見落とし

柱状図にはコアを見たときに書き留めたメモのすべてが書き込めるわけではないから、略記号化、簡略化、省略が必要となる。このとき、不注意にあるいは判断の誤りから外してしまった事項は、見直して拾い上げられることはあるにしても、かなり後の段階での手数のかかる作業となるし、大抵は柱状図と代表的なコアの議論や、地質事象の解釈の議論の中には入ってこないことが多い。特に掘進中のデータは全くといっていいほど見直しされることはないので、手戻りの生じないように、必要最小限の簡略化に止める努力が必要で、1本の柱状図に収まらなければ欄を広げたり、縮尺の異なる別図を作ったりする努力を惜しんではならない。

2.2 記載の中味と検討 —岩盤の構成因子としての判断—

前項の地質情報は、柱状図として表現し、断面図を作成し、踏査のときに作成した平面図や断面図と合わせて地質学的解釈を行って、サイトの全体像を明らかにするためのものである。地質学上の図面を作成する際には、岩相、構造などの情報を用いて、作業仮説をたてて進めてゆくわけであるが、細かい内容を記入した柱状図があっても、その内の勘どころとなる情報が頭に入らないまま、破碎帯を単純につないだり、岩石名のみを見て対比したりしている例は意外に多い。

ここで述べる中味は、地質学的な意味よりは工学的性質の表示に力点を置いた、岩石と岩盤の見方に関するものであり、ボーリングコアの記載に使用できる項目を挙げたものである。岩盤を評価するという目的でコアを観察し記載するものであるから、コア観察も岩盤区分の1つの手法を構成するものということになり、既に岩盤区分の手法として発表されたものと重複することは避けられないが、パラメータを得る上での代表的な手法という意味での紹介も兼ねている。従って、コアの記載という領域をはみ出しているものもあるが、敢えて引用することにした。

岩石や岩盤の持つ性質を定量化しようという試みはすでに以前から行われてきているが、それには地質学的な区分を確立することが第一であり、これを抜きにして岩級区分を行っている例が多い。地質の区分と工学的性質の区分とは、もともと立場が違う以上、一致するということはなく、補間的な性格付けを持たせることが必要となる。例えば、地質条件が単純で一種類の岩石から構成されているサイトでは、地質の差は表には出ず、もっぱら物性の差が岩級を分ける上での指標となる（断層や変質帯の分布は地質に左右されるけれども、それは明らかにされているとして）のに対し、生成年代を異にする多くの種類の岩石から構成されているときには、まず地質学的な解釈をはっきりさせた図面

が必要で、それぞれの岩石について区分を行った後に改めて総合的な判断による区分を行うという段階をふまなければならない。ここに示すパラメータやカテゴリーの区分は、どうしても数値で表わされるものや、第一次のデータとして目に見えるものを頼りにすることになるので、いま述べたところの地質の解釈をはっきりさせなくとも区分ができないということにはならないので、安易な区分が行なわれる原因にもなっている。言い換えれば、区分の境界に当たる数値や用語は、後にも述べるとおり、対象となる構造物の種類や目的によって変わり得るものであることを充分に理解しておくことが必要であって、既存の「……による区分法」を無定見にあてただけでは区分にならないことは言うまでもない。

A. 岩石の硬さ、割れ目の頻度等の単一的パラメータ

これには、Coates (1964), Deere et Miller (1966) 等が行った岩石の硬さによる区分, Franklin et al. (1972) が判断要素の1つとしている点載荷強度があり、表-1はその例である。これを直接岩盤区分や岩盤強度の指標としたものは、岡本・安江(1966), Franklin et al. (1972) などと意外に少ない。

表-1 一軸圧縮強度による岩質区分の例

(a) Coats (1964) による区分

特に弱い (very weak)	350 Kgf/cm ² 以下
弱い (weak)	350 ~ 700
強い (strong)	700 ~ 1,750
非常に強い (very strong)	1,750 Kgf/cm ² 以上

(b) Deere et Miller (1966) による区分

表 現	一軸圧縮強度		記 号
	Kgf/cm ²	PSI	
非常に強い (very high)	> 2,240	> 32,000	A
強い (high)	1,120 ~ 2,240	16,000 ~ 32,000	B
普通 (medium)	560 ~ 1,120	8,000 ~ 16,000	C
弱い (low)	280 ~ 560	4,000 ~ 8,000	D
非常に弱い (very low)	280 >	4,000 >	E

(c) Bieniawski (1974) による区分

表 現	一軸圧縮強度(MPa)	点載荷強度 (MPa)
非常に強い (very high)	> 200	> 8
強い (high)	100 ~ 200	4 ~ 8
普通 (medium)	50 ~ 100	2 ~ 4
弱い (low)	25 ~ 50	1 ~ 2
非常に弱い (very low)	1 ~ 25	< 1

国際応用地質学会 (1981) は次のような記載法を提唱している。

① 基本的な岩石学上の記載

ア. 岩石名

② 岩石としての記載

ア. 色調

明 暗 (lightness)	色 合 (chroma)	色 調 (hue)
淡 (light)	紅 (pinkish)	紅 (pink)
暗 (dark)	赤 (reddish)	赤 (red)
	黄 (yellowish)	黄 (yellow)
	褐 (brownish)	褐 (brown)
	緑 (greenish)	緑 (green)
	青 (bluish)	青 (blue)
		白 (white)
	灰 (greyish)	灰 (grey)
		黒 (black)

イ. 組織

a. 主要な粒子の大きさ

極めて粗粒	- 60 mm 2 0.06 0.002
粗粒	
中粒	
細粒	
微粒	
ガラス質	
非晶質	

b. 相対的な粒度組成

等粒状，不等粒状，斑状等

c. 粒子の形状

形 状	等方体状 (equidimensional) 扁 平 (flat) 引伸ばされた (elongated) 扁平で引伸ばされた (flat and elongated) 不 規 則 (irregular)
円形度	角 (angular) 亜 角 (subangular) 亜 円 (subrounded) 円 (rounded)
表 面	粗 (rough) 滑 (smooth)

d. 石理

e. 空隙

ウ. 劣化状況

分解した，変色した，カオリン化した，鉍化した等

	変化の程度 (%)
新 鮮	0
わずかに	0 ~ 10
中程度に	10 ~ 35
非常に	35 ~ 75
著 し く	75 以上

エ. 強さ

弱い (weak)	1.5 ~ 15 MP _a	NB 1
中程度 (moderately strong)	15 ~ 50	NB 2
強い (strong)	50 ~ 120	
非常に強い (very strong)	120 ~ 230	
特に強い (extremely strong)	230 以上	

NB 1 : 1.5 MP_a 以下のものは硬質土として扱う。

NB 2 : 50 MP_a 以下を軟岩, 以上を硬岩とする。

③ 岩盤としての記載

ア. 不連続面

a. 方位 — 走向, 傾斜, あるいはシュミットネットを用いた記載

b. 間隔

非常に疎な	2 m 以上
疎な	600 mm ~ 2 m
中程度	200 mm ~ 600 mm
密な	60 mm ~ 200 mm
非常に密な	60 mm 以下

c. 粗さ

	カテゴリー
粗い (又は不規則), 階段状	I
平滑, "	II
鏡肌, "	III
粗い (又は不規則), 波状	IV
平滑, "	V
鏡肌, "	VI
粗い (又は不規則), 板状	VII
平滑, "	VIII
鏡肌, "	IX

(ISRM, 1977 による)

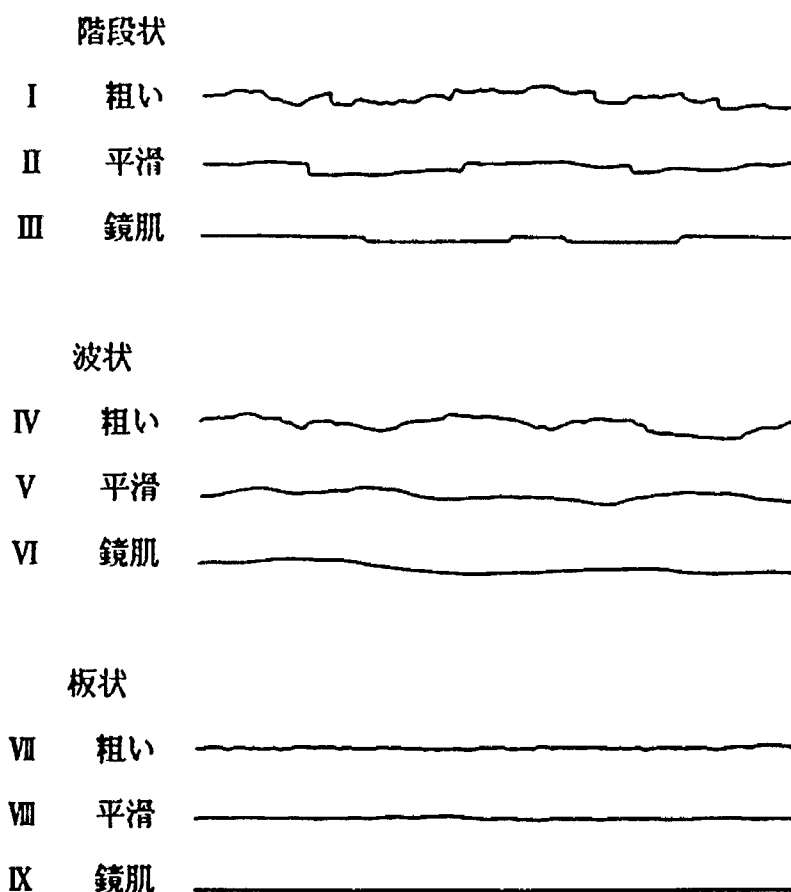


図-1 不連続面の粗さのカテゴリーの代表的断面

(ISRM, 1977 による)

e. 開口

非常に広い	200 mm以上
広い	60 ~ 200 mm
やや広い	20 ~ 60 mm
やや狭い	6 ~ 20 mm
狭い	2 ~ 6 mm
非常に狭い	0 ~ 2 mm
密着	隙間なし

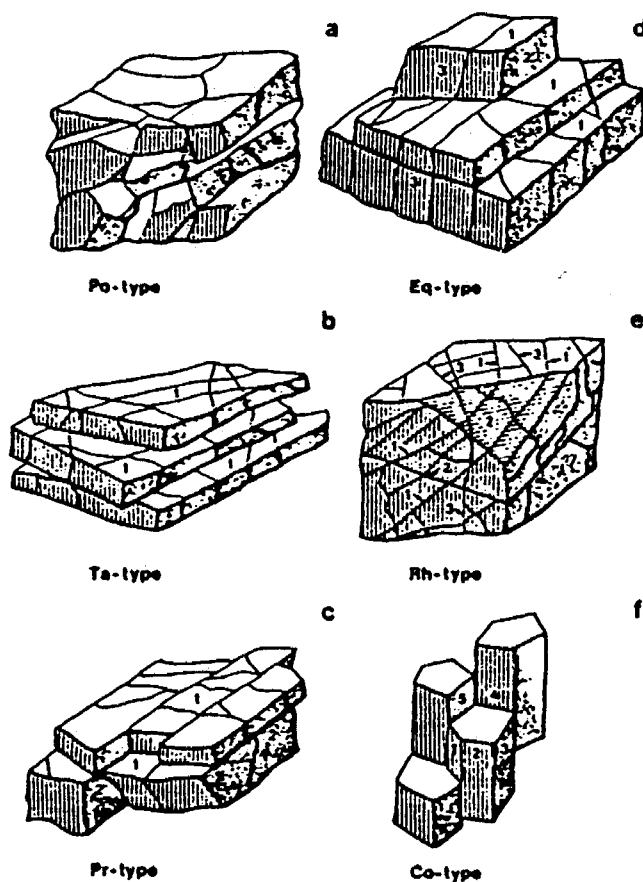
f. 充填物の性質

g. 浸透水の有無

h. 不連続面の組の数

不規則不連続, 平行, ほぼ平行など: 組数を表現

i. ブロックの形と大きさ



a. 多面体状 (polyhedral)

はっきりした分離面をもたず, 連続性もない不規則な不連続面。

b. 板状 (tabular)

1組の平行な不連続面(1), 例えば層理面と不連続な節理, ブロックの厚さは長さあるいは幅よりもずっと小さい。

c. プリズム状 (prismatic)

ほぼ直交する平行な2組の不連続面(1, 2)と不規則な3組目の割れ目。ブロックの厚さは幅や長さよりもずっと小さい。

d. 等方体状 (equidimensional)

ほぼ直交する3組の優勢な不連続面(1, 2, 3)で, 不規則な節理を伴う。ほぼ同じ寸法のブロックに分かれる。

e. 菱形 (rhomboidal)

斜交する3組の優勢な不連続面(1, 2, 3)。斜めの形をした同じ寸法のブロックに分かれる。

f. 柱状 (columnar)

数組(一般に3つ以上)の平行な節理(1, 2, 3, 4, 5)で, 一般に節理が不規則に交叉する。一方向の長さがずっと長い。

図-2 岩盤ブロックの形, 連続する不連続面の組数とその方位に基づく分類

	平均寸法
非常に大きい	2 m 以上
大 き い	600 mm ~ 2 m
中 程 度	200 mm ~ 600 mm
小 さ い	60 mm ~ 200 mm
非常に小さい	60 mm 以下

j. 風化の程度

	内 容	程 度
新 鮮 な	岩石の風化は見られない。主な不連続面が僅かに変色していることがある。	I
やや風化した	岩石と不連続面に風化を示す変色がある。	II
中程度に風化した	岩石の35%以下が分解し、及び(あるいは)土になっている。新鮮あるいは変色した岩石は連続した骨格あるいは芯として存在する。	III
非常に風化した	岩石の35%以上が分解し、及び(あるいは)土になっている。新鮮あるいは変色した岩石は連続した骨格あるいは芯として存在する。	IV
極めて風化した	すべての岩石が分解し、及び(あるいは)土になっている。もともとの岩盤の構造はほとんど損なわれている。	V
残 留 土	すべての岩石は土に変化している。岩盤の構造と岩石の組織は破壊されている。大きな体積変化が起きているが、土ははっきりと移動しているわけではない。	VI

Franklin et al. (1972) の点載荷強度は、任意の試料を円錐形の 2 枚の載荷板の間で破壊させて強度を求めるもので、次式によって表わされる。

$$I_s = P/D^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 I_s = 点載荷強度

P = 試料の破壊強度

D = 接点間隔

Bieniawski (1973) によれば、一軸圧縮強度 σ_c との間には次のような関係が知られている。

$$\sigma_c = 24 I_s \quad \dots(2)$$

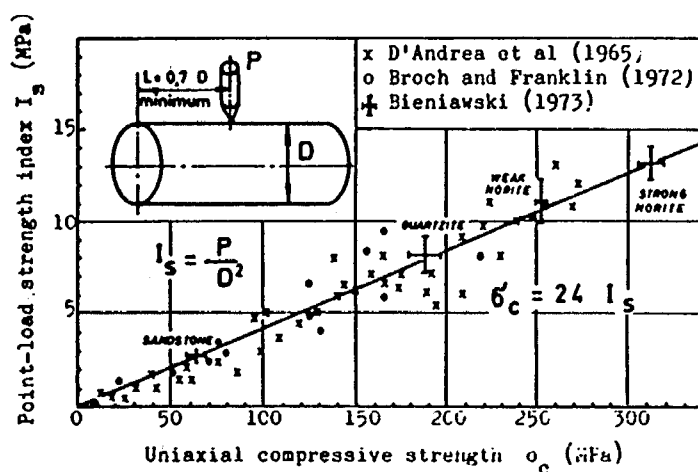
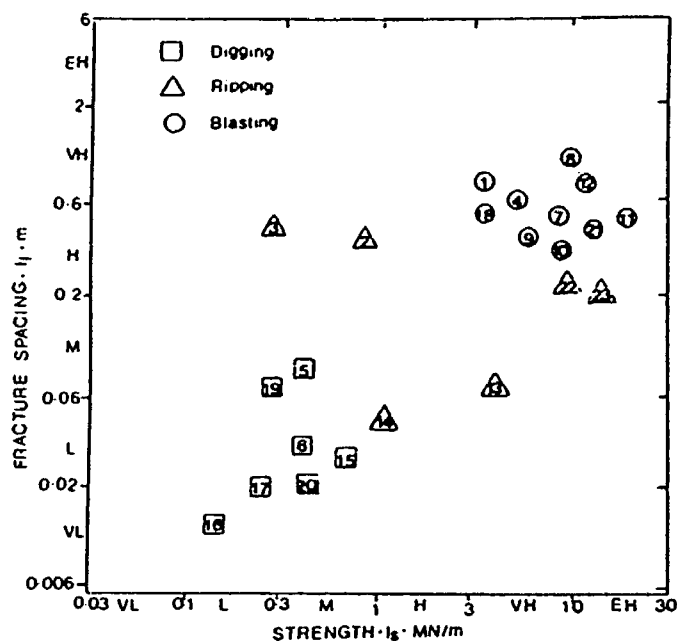


図-3 一軸圧縮強度と点載荷強度との関係 (NXコア, $\phi = 54$ mm)

(Bieniawski, 1973)

前出の Deere et Miller (1966) の区分を SI に合わせて修正し、点載荷強度とともに区分を行ったものが表-1(c)である。

また、 I_s と節理の間隔 I_f と、掘削方法とをプロットしたものが図-4 である (Abdullatif et al., 1983)。なお、この実験に用いた岩盤の種類と RQD^{*} は次の通りである。



No	岩石名	λ	RQD*
1	石灰岩	1.5	99.2
2	砂岩	2.2	98.2
3	'	1.9	98.6
4	石灰岩	1.7	98.9
5	'	11.1	72.2
6	'	33.3	29.9
7	'	2.1	98.3
8	'	1.4	99.3
9	'	2.7	97.8
10	'	2.7	97.8
11	粗粒玄武岩	2.1	98.3
12	花崗岩	1.4	99.3
13	頁岩	14.3	62.5
14	'	20.0	46.6
15	'	33.3	29.7
16	'	100	4.5
17	陶土	50	9.0
18	花崗岩	1.8	98.7
19	礫	16.7	56.6
20	球状粘土	50	9.0
21	粗粒玄武岩	2.2	98.1
22	花崗岩	3.3	96.1
23	石英脈	5.0	91.7

図－4 点載荷強度と割れ目間隔および掘削方法との関係
(Abdullatif et al., 1983 による)

割れ目の頻度は柱状図の上で図－5 のように表示されることが多い。また、Deere et al. (1970) は表－2 のように割れ目の間隔から区分を行っている。古くは Deere (1964) が割れ目の頻度の逆数であるコア長を採用した R Q D を考えて以来、後に述べる Barton et al. (1977), Bieniawski (1976) Frankiln et al. (1972), Deere et al. (1966), さらには Preist et Iludson (1976) による考察もある。これらの研究は、トンネルの支保工の選択に際して数量的な根拠を得るために考え出されたものであって、理論的というよりは経験的な岩盤の見方を支える補足的な指標という面から出発しているようにも見ることができ、判断すべき因子として与える数値をとっていても必ずしも物理学的根拠があるわけではない。

名 称	記 号	分 類 基 準
棒状コア		1 片の長さが 10cm 以上の円筒コア
片状コア (菱形状コア)		1 片の長さが 3～5cm 以上で、かつコアの外周の一部が認められるもの
角礫状コア		コアの外周の一部も認められない礫状のもの
砂礫状コア (スライム)		主として砂からなるもの、角礫状コアの混入もある
粘土状コア		主として粘土状のもの (岩質、断層、風化変質、他)
無 採 取		コアの採取ができないもの (記事欄に理由を書く)

図－5 コアの形状の表示例 (全地連, 1983 による)

表-2 間隔による割れ目の区分

(Deere et al., 1970 による)

表 現	割れ目の間隔	岩 盤 の 表 現
非常に広い (very wide)	> 3 m	一体の (solid)
広 い (wide)	1 ~ 3 m	塊状の (massive)
やや狭い (moderately close)	0.3 ~ 1 m	ブロック状 (blocky) ／層状 (seamy)
狭 い (close)	50 ~ 300 mm	割れた (fractured)
非常に狭い (very close)	< 50 mm	砕けた (crushed)

B. 岩盤としての指標

割れ目の頻度、状況、変質の程度などを数量化して岩盤としての評価を行う試みは、

- ・対象となる岩盤全体のうちの力学性（あるいは施工性）の分布を定性的に知ろうという目的、
- ・対象となる岩盤の各々の区分の力学性を定量的に知ろうという目的、

の2つを意図して進められてきている。

岩盤が本質的に岩石と不連続面とから成っており、岩盤の力学的性質は一義的にはこの2つから定義されるほか、劣化状況や不連続面の性質がこれに加味されるものと考え、各々の因子をカテゴリーに分類して総合的に評価する方法が開発されている。

① R Q D

岩盤の状況をボーリングコアから定量的に判断する試みはすでに行われてきており、最初のもは割れ目の頻度あるいは割れ目の間隔をパラメータとするものであり、例えば1 ft 当たり1以下のものは岩盤として良好、4～6のものはやや劣劣としている (Deere et al., 1966)。

これを進めて、R Q D (Rock Quality Designation) というパラメータが提唱されている。Deere の定義に従えば、4 in (10 cm) 以上の長さのコアの和と掘進長との割合を%で表したものであり、図-6のように示されている。

R Q Dも割れ目の頻度も、コアの中にある割れ目に支配されるものであり、すでに岩盤の中にあった割れ目と一緒に掘進中にできた割れ目をも数えることになり、フォアマンの技量によっては低い値がでるおそれがあるが、掘進時にできた割れ目を区別して除くことは困難であると述べている。また、R Q Dを正確に求めるには、コアは少なくとも直径50 mm以上で、内管の共回りのないスイベルタイプのダブルコアチューブを使うべきであるという意見もある (Bieniawski, 1974)。さらに、割れ目の頻度と個々の割れ目の密着度との間には関係はないが、一方、岩盤の評価には節理の開口の度合いと節理面の状況が強く影響するので、この点については評価できないことになる。

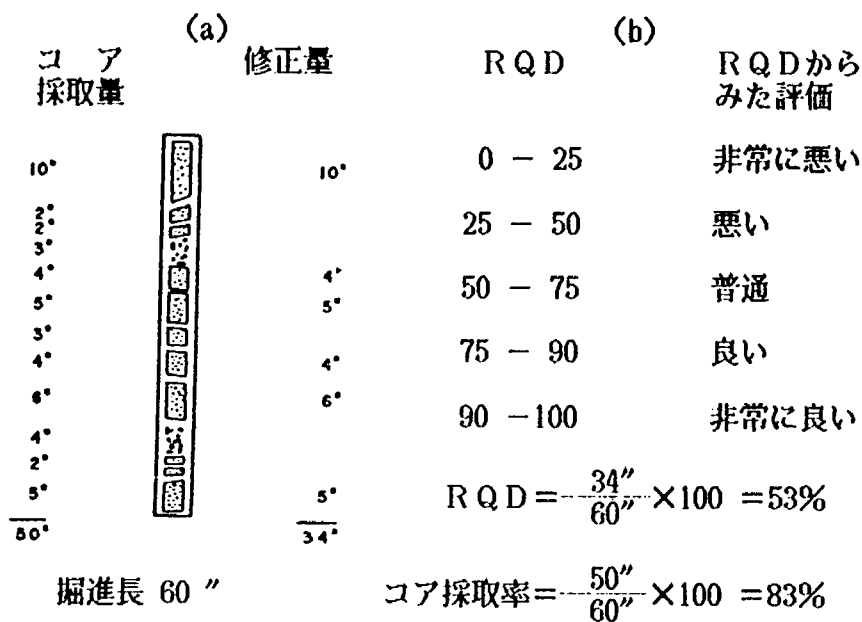
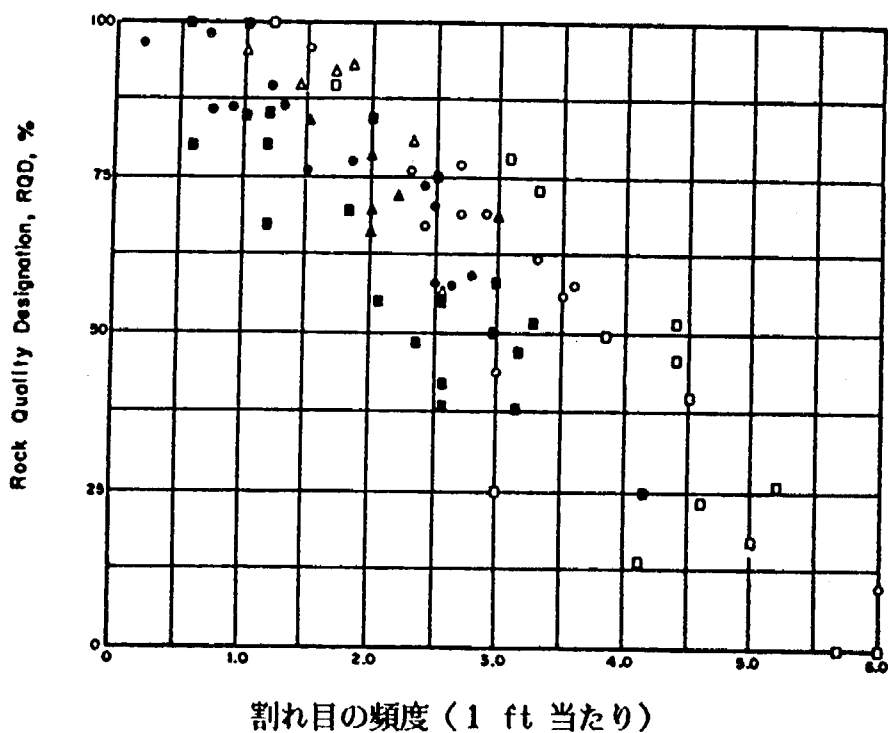


図-6 コア採取の状況と R Q D 表示との関係

(Deere et al., 1966 による)



Climax Stock

NXコア

- トンネル側壁, II 節理
- △ トンネル側壁, I 節理
- NXコア

- Dworshakダム, 花崗片麻岩
- ▲ John Day玄武岩
- Hackensackシルト岩

図-7 R Q D と割れ目の頻度との関係

(Deere et al., 1976 による)

R Q Dと割れ目の間隔との関係は図-7に示してあるが、もともとR Q Dは塊状岩盤には適用しやすいが、層状岩盤には適用し難く、また、割れ目が著しい方向性をもつ場合はボーリングの方向によって極端に異なった値を与えることにもなるので、一律にR Q Dだけで岩盤を評価するわけにはゆかない。

② 土研方式

岩石の硬さ、割れ目の間隔、割れ目の状態などをパラメータにしてカテゴリー区分を行い、これらを組み合わせることによって岩盤として評価しようとするものである（岡本・安江，1966）。この方法によれば、割れ目に関する情報がボーリングコアと実際の岩盤（例えば横坑や堅坑での観察結果）とでは異なる可能性があるため、ボーリングコアにいきなりこれをあてはめるのは問題があり、横坑などでの判断をも採り入れてカテゴリーを定め、ボーリングコアに引き直して用いるのが望ましい。

この区分の利点は、対象とするサイトの地質条件の特徴を示す項目を指標に選べること、地点毎、対象（基礎地盤、透水性など）ごとに、特性に応じた分類が出来ることにあるが、その裏返しとして、あるサイトの区分が必ずしも他のサイトに適用できるわけではないこと、指標の選び方を誤ると正しい評価ができないこと、という問題もある。

この方式による区分の例を表-3に示す。

表-3 土研方式の岩盤分類
（岡本・安江，1966による）

(a) 下笠ダム（花崗岩・安山岩の例）			(b) 樺花ダム（凝灰角礫岩の例）		
区分要素	細区分	内 容	区分要素	細区分	内 容
岩塊の硬さ	A	堅 硬 ¹⁾	硬 さ	A	堅 硬
	B	一部堅硬、一部軟質、全体にやや軟質 ²⁾		B	中程度あるいは硬軟が入り混じる
	C	軟 質 ³⁾		C	軟 質
割れ目の間隔	I	50 cm 以上	割れ目の間隔 ⁴⁾	I	50 cm 以上
	II	50 cm～15 cm		II	50 cm～15 cm
	III	15 cm 以下		III	15 cm 以下
割れ目の状態	a	密 着	角礫の量比 ⁵⁾	a	50%以上
	b	開 口 状		b	50～20%
	c	粘土をはさむ		c	20%以下

- （注） 1) ハンマーで火花が出る程度
 2) ハンマーで強打して1回で割れる程度
 3) ハンマーでくずせる程度
 4) ここでの数値は一例であり、現場条件で異なる。
 5) 概算1 m²中の面積比

(b) 岩盤の評価（下笠ダム）

評価区分	評 価	細 区 分 の 組 合 せ
(A)	良 好	A I a, A I b, B I a, B I b
(B)	やや良好	A I c, A II a, A II b, B I c, B II a, B II b, C I a
(C)	やや不良	A II c, C I b, C I c, C II a, C II b
(D)	不 良	残りの組合せ

③ R Q D^{*}

R Q D (Deere et al., 1966)は、1 mという長さのボーリングコアの中に含まれる10 cmを超えるコアの長さの部分というパラメータで岩盤の性質を表しているのに対して、Priest et Hudson (1976)は割れ目の分布そのものから岩盤の質を表現しようと理論を展開した。彼らは、統計的に見れば割れ目は不規則でポアソン分布をしているものと見なし、次式によってR Q D^{*}を定義した。

$$R Q D_t^* = 100 e^{-\lambda t} (\lambda t + 1) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 λ : 1 m当たりの平均不連続面数

t : 岩盤を評価する際の閾値

もし、 t にDeere et al.と同じ0.1 mをとれば、式(3)は次のようになる。

$$R Q D^* = 100 e^{-0.1 \lambda} (0.1 \lambda + 1) \quad \dots\dots\dots (4)$$

DeereのR Q Dでは良好な岩盤のほとんどが100 %近くなるので、閾値を任意にとれる(例えば30 cm)ことにより、大規模な掘削面を作る場合などの評価には有用であろう。

ただし、この方法は統計理論が基礎となったに過ぎないだけに、対象区間の長さは λ の少なくとも50倍をとらなければ、式そのものが成立せず、例えば平均割れ目間隔が10 cmなら5 m以上の区間の岩盤に対して成立する値となり、全体的に岩盤を評価する目的以外の、例えば柱状図上での微視的な表現にはあまり適切ではない。また、ボーリングコアに適用するには、礫状のコアの部分の割れ目が正確に数えられるか、また数えるとしてどのように数えるかは言及がなく、未解決と言わざるを得ない。ただ、R Q D^{*}を区間的なある種のパラメータとして使うことは不可能ではなく、割れ目が全区間にわたってポアソン分布をしていると割り切れればR Q Dと同様な取扱いをしてもよいということになる。このときは割れ目の数を数えるだけでよいから、手順としては楽であるが、破碎された部分のコアの数え方については定式がない(わが国とは岩盤の条件が違うのかもしれない。因みに、図-4でAbdullatif et al. が実証に用いた岩石は、イギリス南部オックスフォードシャーのチョークと石炭系頁岩である)。

④ 菊地・斎藤による分類

いわゆる電研方式(田中治雄が提唱したもの)を定量化して補強したものであり、岩石を3つに区分し、それぞれについて鉱物粒子と節理の状態についてカテゴリーに分け(数値で表わせるものはその値に基づく)、更に物性値(弾性係数やシュミットハンマーの反発度など)との対比を行って統一的な基準とし、ダムの基礎としての評価を行うものである(菊地・斎藤, 1974)。これは包括的な岩盤の評価には向いているが、統一基準を志向したものであるだけに、個々のサイト毎の特殊性を強調することはできず、性格的には土研方式とは逆のものとなっている。コアの観察に当たってそれぞれのカテゴリーの定義をあてはめてみることは、コア観察を行ったときの落ちをなくすることができるので、岩盤区分をひとまず置いて、「コアをよく見る」という観点から推奨できる方法である。

この分類方法を表-4に示す。

表-4 菊地・斎藤による分類 (1974)

岩盤等級	硬質岩					
	一応の目安としては、新鮮な岩石のテストピースの一軸圧縮強度が800kg/cm ² ~1000 kg/cm ² 以上のものである。岩石ハンマーによる打撃では一般に金属音を発する。	分級要素				
		造岩鉱物 (あるいは構成粒子) の状態		節理の状態		
		風化状態	固結状態	節理密度	節理の開口性	節理面の状態
A	岩質はきわめて新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は全く風化変質しておらず、また節理はほとんど分布していない。岩盤としてはきわめて堅牢、固密である。	○	○	○	○	○
B	岩質は新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子はほとんど風化変質していない。また節理の分布はまばらであり、密着している。岩盤としては堅牢、固密である。	○	○	△	○	○ または △
C ^H	岩質はおおむね新鮮、堅硬であるが、火成岩では造岩鉱物中、長石類および雲母、角閃石などの有色鉱物がわずかに風化変質している場合もあり、また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物がわずかに風化変質している場合もある。節理はかなり分布しており、また節理面は風化変質をうけて変色汚染されている場合が多く、ときには風化物質がうすく付着していることもあるが、一般にはおおむね密着している。岩盤としては堅固である。	○ または △	○ または △	▲	△	△ または ▲
C ^{CM}	岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を除き、長石類および有色鉱物は風化を受け、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。節理は開口し、しばしば粘土あるいは風化物質を挟在している。このクラスの岩石中には細かな毛髪状割れ目が多量に胚胎していることが多いので岩石ハンマーで強打すれば、この毛髪状割れ目を分離面として崩壊することかしばしばある。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が著しく、クラッキーな状態を示すものもこのクラスに含まれている。	△ または ▲	△ または ▲	▲ または ●	▲ または ●	▲ または ●
C ^L	火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けているために、岩石全体としても一般に褐色あるいは赤褐色を呈する。節理は開口し、粘土および風化物質の挟在が著しい。このクラスの岩石では細かな毛髪状割れ目の分布が著しく、さらにこの割れ目に沿って風化も進んでいるので、岩石ハンマーによる軽打によって容易に崩壊あるいは陥没する。 [*] その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が著しく、石積状の産状を示すものもこのクラスに含まれる。	▲ または ●	▲ または ●	●	●	●
D	火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けしばしば砂状および粘土状を呈する部分が見られる。このクラスの岩盤では節理の分布はむしろ不明瞭である。	●	● (きわめて軟質)	—	—	—
該当岩石	(1) 深成岩、半深成岩および火山岩等の火成岩類がこれに該当する。 (2) 中生代以前の砂岩、礫岩、チャート、石灰岩および輝緑凝灰岩等の堆積岩および火山砕屑岩がこれに該当する。ただし粘板岩、頁岩は原則的には除外する。 (3) 変成岩のうち、比較的塊状の片麻岩はこれに該当する。ただし、結晶片岩類は除外する。 その他、新第三紀の堆積岩および火山砕屑岩にもこれに該当するものもある。					
摘要						

表-4 (続き)

中 硬 質 岩	分 級 要 素				
	造岩鉱物(あるいは構成粒子)の状態		節 理 の 状 態		
	風 化 状 態	固 結 状 態	節 理 密 度	節理の開口性	節理面の状態
一応の目安としては新鮮な岩石のテストピースの乾燥一軸圧縮強度が $200 \text{ kg/cm}^2 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ ないし $800 \text{ kg/cm}^2 \sim 1000 \text{ kg/cm}^2$ の範囲にあるものである。岩石ハンマーによる打撃ではかなりしまった音が発生するが一般には金属音を発しない。この範囲にあるもののうち、軟質側のものは岩石ハンマーの尖頭部による打撃で岩石の表面にわずかにくぼみを生ずる場合もある。					
岩質は新鮮であり構成粒子は二次的な風化変質をまったくうけていない。また節理等の割れ目はほとんど分布していない。 岩盤としては堅固である。この場合、軟質岩に近いものについては、上記のような性状であっても、すでにこのクラスに属さず、C ^H 級に属するものがある。	○	△	○	○	○
岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質をうけていない。また節理の分布はまばらで密着している。 岩盤としてはおおむね堅固である。ただしこの場合、硬質岩に近いものについては、このような性状でB級に属するものがある。	○ または △	△ または ▲	△	○ または △	○ または △
構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物がやや風化変質しているものが多い。風化程度としてはあまり進んでいないが、原岩が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしてはやや軟質を感じをうける。 節理はかなり分布しており、やや開口していることが多く、節理面は風化変質をうけて変色汚染されており、しばしば粘土の薄層、風化物質を挟在している。 このクラスの岩盤は毛髪状割れ目がある程度存在するので、岩石ハンマーによる打撃ではこの毛髪状割れ目を分離面として、しばしば崩壊する。	△ または ▲	▲	▲	▲	▲
構成粒子は風化変質し、固結程度はかなり低くなっている。原岩が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしてはかなり軟質を感じをうける。 節理はかなり分布している。節理は開口し、また風化物質、粘土層を著しく挟在している。 このクラスの岩盤では毛髪状割れ目に沿って、かなり風化がすすんでいるので、岩石ハンマーによる軽打撃によっても容易に崩壊する。	▲ または ●	▲ または ●	▲ または ●	●	●
構成粒子は風化変質が著しくすすみ、固結程度は著しく低下し、しばしば砂状および粘土状を呈している。 このクラスのものは、割れ目の分布はむしろ不明瞭である。	●	● (きわめて軟質)	—	—	—
新第三紀中新世以前の第三紀の堆積岩(泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩)および火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩および溶結凝灰岩)の大部分がこれに該当する。 ただし、第四紀の溶結凝灰岩にはこれに該当するものもある。					

表-4 (続き)

岩 盤 等 級	軟 質 岩						岩盤の弾性 係数(kg/cm ²)	岩 盤 の 変 形 係数(kg/cm ²)	岩盤の弾性波 速 度 (km/s)
	一応の目安としては新鮮な岩石の乾燥一軸圧縮強度が200 kg/cm ² ~300 kg/cm ² 以下のものである。岩石ハンマーによる打撃ではにぶい鈍感した音を発し、時には破壊する場合もある。岩石ハンマーの先端部による打撃では岩石の表面に容易にくぼみが生ずる。	分 級 要 素							
		造岩鉱物(あるいは構成粒子)の状態		節 理 の 状 態					
		風 化 状 態	固 結 状 態	節 理 密 度	節理の 開口性	節理面 の状況			
A							80 000以上	50 000以上	4 以上
B									
C ⁺	このクラスの対象となる岩石は、中硬質岩に近いもの(新鮮な岩石の乾燥一軸圧縮強度が150 kg/cm ² 程度以上)である。 岩質は新鮮で、構成粒子は風化変質をまったく受けておらず、また、節理はほとんど分布していない。	○	▲ または ●	○	○	○	80 000 ↓ 40 000	50 000 ↓ 20 000	4 ↓ 3
C	岩質は新鮮であり、構成粒子も二次的な風化変質を受けていない。また、節理はほとんど分布していないか、あるいは分布していてもまばらであり、しかも密着している。岩盤としては風化をほとんど受けていないが、厚岩が軟質な岩石であるので、絶対的な硬さとしては、軟質を感じをうける。岩石ハンマーの先端部による打撃で岩盤の表面は容易に陥没する。この場合、乾燥一軸圧縮強度が60 kg/cm ² ~70 kg/cm ² 程度以下のものではすでにこのクラスに属さずC ⁺ 級に属する。	○	● (▲の場合 合もあり る)	○ または △	○ または △	○ または △	40 000 ↓ 15 000	20 000 ↓ 5 000	3 ↓ 1.5
C ⁻	構成粒子はやや風化変質を受け、固結程度は著しく低下している。 岩盤としての絶対的な硬さとしては、きわめて軟質を感じをうける。 岩石ハンマーの先端部で打撃すると、しばしば先端部は岩盤に突きささる。	△	●	△ または ▲	△ または ▲	△ または ▲	15 000以下	5 000以下	1.5以下
D	構成粒子の固結程度はきわめて低くなり、大部分は砂状あるいは泥土状を呈している。	●	● (きわめて軟質)	—	—	—			
該当岩石	新第三紀鮮新世以降の堆積岩(泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩)および火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角礫岩および火山角礫岩)の大部分がこれに該当する。ただし、第四紀の火山砕屑岩には、これに該当するものもある。								
摘 要									(増田秀夫氏による)

表-4 (続き)

シュミットロ ックハンマー 反発度	コンクリートハイダム基礎 としての適性(堤高60m以 上のものを対象とする)	ロックフィルダム基礎とし ての適性(堤高60m以上の ものを対象とする)	分 級 要 素 の 説 明		
			標 準 区 分	目 安	
38以上	きわめて良好である。	きわめて良好である。	● 風 化 状 態 (この場合の風化は化学的なものを指す)	○ 新鮮である △ おおむね新鮮である ▲ 風化している ● きわめて風化している	
	きわめて良好である。	きわめて良好である。			
38 1 27	おおむね良好である。	耐荷力に関しては良好であ る。	● 固 結 状 態 ○ 堅固である 岩石の乾燥一軸圧縮強度 $800 \text{ kg/cm}^2 - 1000 \text{ kg/cm}^2$ 以上 △ 概ね堅固である " $800 \text{ kg/cm}^2 - 1000 \text{ kg/cm}^2 - 400 \text{ kg/cm}^2$ ▲ やや軟質である " $400 \text{ kg/cm}^2 - 200 \text{ kg/cm}^2$ ● 軟質である " 200 kg/cm^2 以下		
27 1 15	不良ではあるが、硬質岩お よび中硬質岩については改 良の余地がある。ただし、 この場合、軟質岩(中硬質 のうち軟質岩に近いものも 含む)についてはコンクリ ートハイダムの基礎として あまり適当ではない。	耐荷力に関してはおおむね 良好である。			
15以下	不良である。	このクラス全体としてはダ ム基礎として適していると は言いにくい。しかし岩盤 改良の可能なものC ^Ⅲ 級に 近く水密性のものについて は築造不可能ではない。	● 節 理 密 度 ○ ほとんど分布していない 3m 以上 比較的連続性のある(2 m 以上の連続性を有す る)節理の分布間隔 △ まばらである 0.5m ~ 3m ▲ 分布している 0.1m ~ 0.5m ● 著しく分布している 0.1m 以下 1.0m 以下		
	きわめて不良である。	不良である。	● 節理の開口性 ○ 密着している △ おおむね密着している ▲ 開口している ● 著しく開口している		
			● 節理面の状態 ○ 全く風化していない △ やや風化、汚染されてい る場合もある ▲ 風化汚染され、風化物質 が薄く付着している ● きわめて風化汚染され、 粘土あるいは風化物質が 著しく挟在している		
粘性土物質か らなる、新第 三紀の堆積岩 (例えば泥岩) については通 用してはなら ない。					

⑤ Q指数

岩盤を定性的に表現する目的で Barton et al. (1974) が提唱したもので、Q指数 (Quality index) あるいは著者の所属するノルウェー地盤工学研究所の頭文字を取って NGI-Q指数と呼ばれる。これは次式のように表現される。

$$Q = \frac{R Q D}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{S R F} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、R Q D = Deere の定義による R Q D

J_n = 節理の配置によって決まる係数

J_r = 節理面の粗さによって決まる係数

J_a = 節理面の変質の程度によって決まる係数

J_w = 節理面に関与する水の状況によって決まる係数

S R F = 掘削時に岩盤を緩める荷重によって決まる係数

これはトンネルなどの地下空洞の掘削に当たって、必要となる支保工を選定することを目的として考案された手法であり、式(5)の第1項は岩盤を構成するブロックの大きさを、第2項はブロックの噛み合わせの剪断に対する強度を、第3項は掘削した空洞に働く応力の状況を表すものである。これらの係数は、いずれも岩盤の状態を観察してパラメータをあてるものであり、著者はこれを用いて荷重の大きさを計算して、支保工の種類の設定が可能であるとしている。岩盤の状況だけの判断に用いるには、第3項を除いて定義してみるのも一つの方法かもしれない。評価の因子と判定の例を表-5、6および図-8に示す。

表-5 Q指数を求めるためのパラメータの記載

1. R Q D		
A. 非常に悪い		0 ~ 25
B. 悪い		25 ~ 50
C. 普通		50 ~ 75
D. 良い		75 ~ 90
E. 非常に良い		90 ~ 100
(注) Ⅰ. R Q D ≤ 10 のときには R Q D = 10 とする。		
Ⅱ. R Q D は 5 刻みで十分に正確である。		
2. J_n (節理配置係数)		
A. 塊状、節理なしあるいは少数		0.5 ~ 1.0
B. 1組の節理		2
C. 1組の節理 + 不規則な節理		3

表-5 (続き)

D. 2組の節理	4
E. 2組の節理+不規則な節理	6
F. 3組の節理	9
G. 3組の節理+不規則な節理	12
H. 4組以上の節理, 不規則で著しく発達, 「角砂糖」状等...	15
J. 破碎岩, 土状	20

(注) i. 交差点では×3.0

ii. 抗口では×2.0

3. J_r (節理粗度係数)

(a) 密着した壁面, あるいは(b) 10 cmに達しない破碎を伴う

密着した壁面の場合

A. 不連続節理	4
B. 粗いか不規則で凹凸あり	3
C. 滑らかで凹凸あり	2
D. 鏡肌をもち凹凸あり	1.5
E. 粗いか不規則で平面状	1.5
F. 滑らかで平面状	1.0
G. 鏡肌をもち平面状	0.5

(b) 破碎され, 密着した壁面をもたない場合

H. 粘土鉱物を含む帯が厚く, 岩と岩の壁面が接しない...1.0

J. 砂状, 礫状あるいは破碎された帯が厚く, 岩と岩の
壁面が接しない 1.0

(注) i. 節理の間隔が3 m以上のときは1.0を加える。

ii. Gは線構造の方向が不適当なときに用いる。

4. J_a (節理変質係数)

(a) 密着した壁面

A. 全く癒着して, 硬く, 軟化せず, 透水性のない充填 物, 石英あるいは緑簾石	0.75
B. 変質しない節理面, 表面の汚染のみ	1.0
C. 僅かに変質した節理面。軟化しない鉱物による被覆, 砂粒, 粘土を含まない岩片等	2.0
D. シルト質あるいは砂質粘土の被覆, 粘土分は少ない (軟化しない)	3.0

表-5 (続き)

E.	軟化する,あるいは摩擦の少ない粘土鉱物即ちカオリナイト,雲母の被覆,また緑泥石,滑石,石膏,黒鉛等,および少量の膨潤性粘土(不連続面の被覆は厚さ1~2mm以下)	4.0
(b) 10cmに達しない破砕を伴う密着した壁面		
F.	砂粒,粘土を含まない岩片	4.0
G.	著しく密で,軟化しない粘土鉱物の充填物(連続して厚さ5mm以下)	6.0
H.	中~低度に密で,軟化した粘土鉱物の充填物(連続して厚さ5mm以下)	8.0
J.	膨潤性粘土,即ちモンモリロナイトの充填物(連続して厚さ5mm以下)。Jaの値は膨潤する粘土分の%や水との接触によって異なる。	8.0~12.0
(c) 破砕されて密着した壁面を持たない		
K.	破砕岩,岩片,粘土の帯(粘土についてはG, H, Jの条件に同じ)	6.0
L.		8.0
M.		8.0~12.0
N.	シルト質あるいは砂質粘土の帯(軟化していない)	5.0
O.	厚い粘土の帯(粘土についてはG, H, Jの条件に同じ)	10.0
P.		13.0
R.		13.0~20.0

5. J_w (節理の水に関する係数)

A. 乾燥状態での掘削あるいは5 l/min以下の少ない流入量		1.0
B. 時に節理の充填物の洗い出しのある程度の流入あるいは圧力		0.66
C. 節理の充填物のないコンピーテントな岩盤における大量の流入あるいは高圧		0.5
D. 大量の流入あるいは高圧で,節理の充填物がかなり洗い出されている。		0.33
E. 発破のときの,特に大量の流入あるいは高い水圧,時間がたてば崩壊する。		0.2~0.1

表-5 (続き)

D. 目立って減少しない, 特に大量の流入あるいは高い水圧 … 0.1 ~ 0.05

(注) i. CからFの因子は概略の目安であり, 排水工法をとるときは
J_wを増す。

ii. 氷結するような特殊な場合は考えていない。

6. SRF (応力低下係数)

(a) 掘削と交叉する劣化帯で, トンネルを掘削したときに岩盤の緩みを生ずる場合

A. 粘土あるいは化学的に分解した岩石を含む多数の劣化帯 (深さにかかわらず) … 1 0.0

B. 粘土を含む1つの劣化帯, あるいは化学的に分解した岩石 (掘削深さ50m以下) … 5.0

C. 粘土を含む1つの劣化帯, あるいは化学的に分解した岩石 (掘削深さ50m以上) … 2.5

D. コンビテントな岩盤中の多数の劣化帯 (粘土を含まない), 周囲の岩盤は緩んでいる (深さにかかわらず) … 7.5

E. コンビテントな岩盤中の1つの破碎帯 (粘土を含まない, 掘削深さ50m以下) … 5.0

F. コンビテントな岩盤中の1つの破碎帯 (粘土を含まない, 掘削深さ50m以上) … 2.5

G. 緩い開口節理, 「角砂糖」状の密な節理 (深さにかかわらず) … 5.0

(注) i. 破碎帯が影響するだけで, 掘削と交叉しないときはSRFの値を25~50%減ら

(b) コンビテントな岩盤で, 岩盤の応力が問題となる場合

	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	
H. 低い応力, 地表近く	>200	>13	…2.5
J. 中程度の応力	200~10	13~0.66	…1.0
K. 高い応力で, 非常に密な構造 (一般に安定または好ましい状態で, 壁面の安定にはむかない)	10~5	0.66~0.33	…0.5~2.0
L. 中程度の岩はね (塊状岩)	5~2.5	0.33~0.16	…5~10
M. 顕著な岩はね (塊状岩)	<2.5	<0.16	…10~20

(注) ii. 著しく異方性の強い応力場 (測定の結果) のときで,

表-5 (続き)

$5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ のときは σ_t と σ_c をそれぞれ $0.8\sigma_t$ と $0.8\sigma_c$ とし, $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ のときは σ_t と σ_c をそれぞれ $0.6\sigma_t$ と $0.6\sigma_c$ とする。
ここに, σ_c は一軸圧縮強度, σ_t は引張強度 (点載荷), σ_1, σ_3 は最大と最小の主応力。

iii. クラウンの深さが掘削幅より小さい時の少数の事例しか得られていない。このようなときは SRF を 2.5 から 5 にするのがよい (H を参照)。

(c) 押し出しのある岩盤; 高い岩盤圧力の影響下にあるインコンピテントな岩盤の塑性流動の場合

N. 中程度の押し出し岩盤圧力 5~10

O. 大規模な押し出し岩盤圧力 10~20

(d) 膨潤性岩盤; 水の存在によって化学的に膨潤を生ずる場合

P. 低い膨潤圧 5~10

R. 高い膨潤圧 10~15

表-6 Q値と岩盤強度との関係

(Barton et al., 1974 による)

表 現	Q 値
例外的に弱い	0.01
極端に弱い	
非常に弱い	0.1
弱	1
普通	4
強	10
非常に強い	40
極端に強い	100
例外的に強い	400

⑥ Bieniawski の方法

この方法もトンネルの施工に当たっての岩盤区分を行うことを目的として開発されたもので, Bieniawski の RMR (Rock Mass Rating) と呼ばれ, 次の 6 つのパラメータをカテゴリーに分けて総合評価を行うものである。

- 岩石の一軸圧縮強度
- RQD



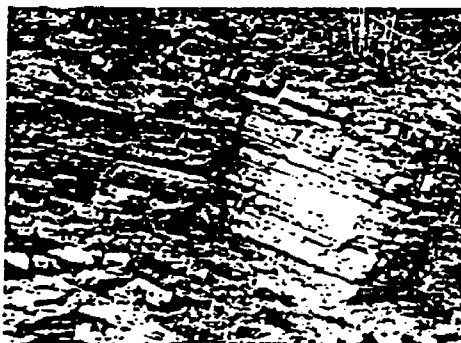
1. GRANITE

$Q = 90/9 \times 1.5/1.0 \times 0.66/1.0$
 $\bullet 10$ (fair/good)
 (1E/2F, 3E/4B, 5B/6J)



2. GRANITE

$Q = 70/15 \times 3.0/1.0 \times 0.66/1.0$
 $\bullet 9.2$ (fair)
 (1C/2H, 3B/4B, 5B/6J)



3. SANDSTONE-CLAYSTONE

$Q = 40/9 \times 1.0/2.0 \times 0.66/1.0$
 $\bullet 1.5$ (poor)
 (1B/2F, 3F/4C, 5B/6J)



4. NODULAR-LIMESTONE

$Q = 80/9 \times 1.0/5 \times 0.66/5$
 $\bullet 0.24$ (very poor)
 (1D/2F, 3J/4N, 5B/6G)



5. MUDSTONE (overall RQD=30)

$Q = 30/9 \times 1.0/5 \times 0.66/5$
 $\bullet 0.09$ (extremely poor)
 (1B/2F, 3J/4N, 5B/6B)



6. GRANITE (decomposed) RQD=0

$Q = 10/20 \times 1.0/6 \times 0.66/6$
 $\bullet 0.009$ (exceptionally poor)
 (1A/2J, 3J/4K, 5B/6N)

図-8 Q値の例 (Barton et al., 1974 による)

- ・ 節理の間隔
- ・ 節理の方位
- ・ 節理の条件
- ・ 地下水の流入

これを表-7に示すカテゴリー毎の得点を加えて岩盤の評価としている。このうちで、節理の方位は掘削方向との関係において必要なパラメータであるから、これを除いた5つから評価することも可能であろう。

表-7 RMRによる評価因子と評価

1	岩石の一軸圧縮強度(MPa)	>200	100-200	50-100	25-50	25>
	評 点	10	5	2	1	0
2	RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	25> または著しく 風化
	評 点	20	17	14	8	3
3	節理の間隔 (cm)	>300	100-300	30-100	5-30	5>
	評 点	30	25	20	10	5
4	節理の走向, 傾斜, 方位 ※	最適	適	可	不適	不可
	評 点	15	13	10	6	3
5	節理の条件	完全に密着:<0.1mm		密着:<1mm 連続, 充填物 なし	開口:1-5mm 連続, 充填物<5mm	開口:>5mm 連続, 充填物>5mm
	評 点	15		10	5	0
6	地下水の流入(1/m) (トンネル10m当り)	なし		<25	25-125	>125
	評 点	10		8	5	2

※ 節理の走向, 傾斜, 方位の評価

走向はトンネル軸に直交				走向はトンネル軸に平行	
差 し 目		流 れ 目			
傾斜(°) 45-90	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45
最 適	適	可	不 適	不 可	可

0-20: 走向にかかわらず不適

級 別	I	II	III	IV	V
評 価	極めて良い	良 い	普 通	悪 い	極めて悪い
合 計 点	90~100	70~90	50~70	25~50	<25
支保工間隔	5m	4m	3m	1.5m	0.5m
平均自立時間	10年	6月	1 週	5時間	10分

これらの表示方法のほかにも、いくつかの方法が報告されているが（例えば Einstein et al., 1983 ; Abdillatif et al., 1983 などによる比較検討），多くはトンネルの支保工の諸元を地質情報から直接に求めることに主眼が置かれており，岩盤の状況，特にボーリングコアの記載と判定の方法そのものに触れているわけではないので，ここでは更に立ち入ることをしなかった。

3. コアの見方と評価についての問題と展望

これまで，主として岩石と岩盤の見方について，最近提唱された手法を取り上げながら述べたが，残されている問題に触れながら，あるべき方向について考えてみたい。

3.1 対象による見方の差

岩石と岩盤の区分と判定は，究極的にはサイトの決定から工事の施工法の選択に資するためのものであるから，常にこれらの目的とするところがどこにあるかを意識したものでなければならない。また，トンネルの場合のように，岩盤区分がそのまま施工法から積算にはねかえるものや，ダムの場合のように，サイトの決定のための岩盤の総合評価から，そのサイトの問題点の指摘にとどまり，積算までには間や差があるものまでを，一律に扱うことは必ずしも適切とは言えない。言い換えれば，対象によって評価基準を変えなければならない。ボーリングコアや岩盤の調査で，これらのすべてを意図した記載を行うことは，初めに述べたように事実上不可能に近いから，比較的早い段階から対象を絞り込んでおくことが必要となろう。例えば，ダムではサイトの選定，不良岩盤対策，透水性の改良，設計のための基礎の評価，原石山の評価という多くの局面があり，集めるべき生データは同じものであっても，問題となる点と問題の重さとが異なっているから，観察と判定の結果の表現は，当然のことながら変えなければならない。すなわち，最もクリティカルな検討項目から順次クリティカルでないものへ向けて，重み付けが必要となってくる。原石山の岩石区分もダムサイトの岩盤区分もすべて電研方式（田中の方法）で片付けている事例が非常に多いのは遺憾ながら事実である。また，対象となる評価項目によっては意図的に判定基準を変更して評価を行う事をも採り入れてゆくことが必要である。特に原石山の区分は，発破，リッピング，破砕という，地質技術者にとって経験の浅い分野であり，早急にこうした技術とのリンクを作ることが望まれる。実際面から見ても，材料プラントのメーカー（機械業者）は，横坑などから採取した僅か1～2 m³ の試料から破砕プラントの設計を行うので，本格的に掘削が始まったときに条件が違っていて手戻りを生じた例も少なくないので，地質の方から一歩進んで積極的な情報を提供するように努めなければならない。

ただし，判定や区分の基準を，対象を変えて何通りも作っておくことは，いたずらに煩雑になるばかりで得策とは思えないから，担当技術者がそれぞれの場で役に立つ判定ができるようにするためには，どのような項目をどういうところで区分すればよいかという問題を常に意識しており，それに対する解答を出せるように訓練されていなければならないであろう。

3.2 コアの観察・判定の問題と今後の問題

これまで述べたとおり，現在一般に（最も普通に，あるいは特定の項目に目的を絞り込んだ調査

の場合を別にして)行われているコアの観察は、必ずしも満足のゆくものではない。ここでは、今後解決してゆく必要のある問題とその方向について、思いつくまま述べてみることにする。

A. 地層名(地質学的区分による名称)を付けることの是非

地層名はその地方に分布する地層(層序あるいは地史学的に扱う場合の火成岩を含む)の年代学的な位置を示すものでもあるから、年代の異なる、あるいは層序単元の異なる岩石が同時に分布するときには、岩石名だけで表示することより有効であるが、あるサイトで得られた物性値が同じ地層名のつく他のサイトの岩石と同じにとられる危険もある。本来、地層名は、広域的調査の成果(資料として入手することが多い)を、狭いサイトにおける岩石の分布上の特性を知る上で利用するものであるから、地質単位が明らかになった時点ではその使用を再考しなければならない性質のものである。よくサイトで「〇〇層は固いが××層は軟らかい」という言い方をするが、これはどちらも岩石名からは同じものしか分布しないときには許されようが、岩石として異なったものが存在するときにはサイトで決めた岩石名を使うほうが正しい表現ができる。蓋し、地層名はそのサイトを含むもっと広い範囲での地質単元の時間的前後関係や相互作用の有無を予め明らかにするために使う語であり、物性の違いを表わすための用語ではない。また、地層名で物を言うとき、ただでさえ観念的な地質表現が一層観念的になる傾向があるので、地質学的区分と工学的区分を混同するような表現は避けるべきであろう。

B. 複雑な地質条件のサイトが増えてきたこと

地質条件の良好なサイトは比較的単純な地質構成であって、せいぜい2~3種の岩石(地質単位)が単純な相互関係をもって分布しており、破砕帯等の構造線も数少なく、かつ明瞭に追跡ができるものであった。地質単位が多く複雑なサイトは、それだけ地質環境の混み入ったところで形成されたもので、その分だけ条件も良くないことが多い。このようなサイトでは詳細な岩相や構造の対比が必要で、岩相や小規模な断層を詳しく記載して細区分を行う。これを改めて大きくまとめて構造を明らかにし、明快に地質単位を表示することが最も重要である。それは大構造を明らかにしなければならないこともあり、断層の条線の解析によって明らかになることもある。しかし、こうした小構造の持つ意味を十分に検討し理解しないで地質のストーリーを作って、漫然とそれに合わせた解釈も多く、例えば小断層の方位を見て断裂の方向を求め、それを使って岩盤の中の割れ目の方向性を想定して、構造物から地盤にかかる剪断応力について検討をするなど、Aを使ってBを証明し、そのBを用いてAを解釈しているといった矛盾のあるレポートは少なくない。

C. 数量あるいは物性値にこだわりすぎること

物理検層、孔内原位置試験など、ボーリング孔を利用して物理量を求める技術は、最近になって著しく進歩し、これらの値を解釈・加工して直接に岩盤の工学的性質に言及する例が増えている。また、コアの採取が困難あるいは破片状のコアしか得られないときにはボアホールテレビを利用するなど、近代機器を使った調査成果が多い。また、コアを採取しても、RQDで記載を済ませ、割れ目の分布、方向性、切り合いの新旧、割れ目の中の物質などを詳しく観察していない柱状図が増えてきている。岩盤区分法はRQDを重視しているものが多いが、マスとして岩盤を見るときに割れ目は重要な意味

をもっているものの、R Q Dほど直截的に解釈も表現もできないうえ、多少の見落としがあってもそれが設計・施工にそのままクリティカルに反映するものでもないのが岩盤の特徴でもあるので、これを等閑視してしまうことにもなるのだが、今後は割れ目を定量的な岩盤表示に生かせるように研究を進めることも重要である。

D. ボーリングの技術が向上していること

ボーリングの技術は最近目立って向上している。もちろん、フォアマン1人1人のことであるから、上手下手のばらつきは大きいが、不良岩盤であっても、すでに数本のボーリングでそのサイトの岩盤の癖を会得したフォアマンが注意深く掘削すれば、初めはスライムしか上がらなかったものが、ほとんど100%近いコア採取率をあげることは普通のことであり、コアの採取を良くすることがまず第一に必要である。また、ダブルコアチューブの内側に薄いビニール製の筒を装着することによってコア詰まりをなくして、割れ目の非常に多いコアを原形に近い形で採取する技術も開発されている。あるいは、76mmではコアが碎片状でしか得られなかったときに、同じフォアマンに116mmで掘らせたところ、ほとんど乱れていないコアを100%近く上げたこともあり、こうした新しい試みや大口径ボーリングの利用などによって、コア観察の実を挙げることが大切である。このようにすれば、岩相変化の境界がわからないなどという柱状図は出てこなくなり、断面図や解釈がはるかに精度の高い、信頼性の置けるものとなる。要は、コア採取率が高められたときに、地質技術者がそこからどれだけのものを読み取れるかという問題に帰着することになり、再三述べているように、詳細な記載と特徴の摘出という能力をいかに涵養するかという点に立ち帰ることに他ならない。

E. 変質の状況が重要な因子となってきたこと

特にグリーンタフ地域のように、サイトで遭遇する岩盤が変質作用を受けているときは、岩盤の不規則な劣化が生じており、変質の程度、分布、岩盤に与える悪影響を評価しておく必要がある。変質作用は主として鉱業や窯業に関連する分野で研究されているが、われわれが現場で遭遇するものは変質の程度が低く、その方面の関心をひくようなものではない。このため、鉱業や窯業の関係者の知識を直接援用することは困難であるが、変質鉱物や変質の程度の組み合わせを詳細に記載しておくことによって、ボーリングが数多くなってきたから慌てて見直すことのないように予め備えることができる。変質鉱物はさほど数多いわけでもなく、変質の仕方も類型化が可能であるが、鉱物学の知識は一段と重要になる。少なくとも変質がみとめられるサイトでは顕微鏡観察によって鉱物種とその賦存の状況を把握し、必要に応じてX線回折のデータ等を使って初生鉱物と変質鉱物との関係を明らかにしておく努力が必要である。

F. コア観察図の作成

コア箱に収納されたコアを、野帳を手にとり観察し、それ柱状図にまとめるのがこれまでの一般的なやり方であった。これは全体として良好な岩盤(Bクラス程度以上)の中の不良箇所を記録し、その方向性や力学的な挙動の予測に用いることを目的としたものであって、あたかも電研方式の岩盤区分が実はCⅡクラス以上の岩盤の記載に向いていることと同様な性質をもっている。従って、最近のように、

表-8 コア観察シートの例 (復建技術コンサルタントによる)

ダムボーリングコア鑑定表

BNO 深度 m ~ m 層厚 m コア採取率

①	岩石名			岩盤分類			
②	色 調	褐色系 () 青色系 ()	灰色系 () 緑色系 ()	亀裂面 ()			
③	硬 さ	極硬, 硬, 中硬, 軟, 極軟 ハンマー音: キーン, カチン, コン, ボツ					
④	形 状	長棒・棒・短棒・半棒・片・角礫・砂・粘土					
⑤	亀 裂	間隔	0cm 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 最大コア長 () 平均コア長 () 細片率 (%)				
		角度	0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 100° 形状頻度→シャープ (%), わん曲 (%)				
	充 填 物	閉, 開→巾	max	mm	粘土, 方解石, 緑泥石, 沸石		
		Ave	mm	石英, 酸化鉄, 金属鉱物 白・緑・黄褐・黒褐・赤褐			
⑥	風 化	無・有→表土, 風化土, 上部風化, 下部風化, 断層沿い					
⑦	変 質	無・有→粘土 {モンモリ・緑泥石 カオリン} 沸石・炭酸塩・鉍化・珪化					
⑧	破 砕	無・有→断層粘土, 断層粘土角礫, 断層角礫, ミロナイト化 最大コア角度 色調及び特徴					
⑨	その他	礫→最大 cm, 主 cm, 量 %, 基質 種類 > > > 円摩度 (円, 垂円, 垂角, 角) 地層のコア角度					
⑩	R Q D						
⑪	記 事						

ボーリングコアによる岩盤区分

岩石の硬さ $\left[\begin{array}{l} A \cdots \text{極硬} \sim \text{硬} (500\text{kg}/\text{cm}^2) \\ B \cdots \text{やや堅硬} (500 \sim 200\text{kg}/\text{cm}^2) \\ C \cdots \text{軟 質} (200\text{kg}/\text{cm}^2 \text{以下}) \end{array} \right.$ 平均コア長 $\left[\begin{array}{l} I \cdots 10\text{cm} \text{以上} \\ II \cdots 10 \sim 5\text{cm} \\ III \cdots 5\text{cm} \text{以上} \end{array} \right.$

亀裂面 $\left[\begin{array}{l} a \cdots \text{新鮮} \\ b \cdots \text{やや風化} \\ c \cdots \text{粘土} \end{array} \right.$ $RQD = \frac{10\text{cm} \text{以上のコア総和}}{1\text{m} \text{当たりのコア総和}} \times 100\%$
 コア角度 ☒

Cクラス以下の岩盤が主体となるサイトでは、従来のような欠点の拾い出しという形のコアの記載では不足であり、落ちのないコア観察をするために必要なある種のメモ（野帳と柱状図の中間のもの）を作成することが、解釈に必要な重要なポイントの見落としや、それに起因する手戻りをなくすために要求されることになろう。そのためには、既に行われているようなコア写真の添付だけではなく、柱状図の中にコアの割れ目の状況のみを拾ってスケッチしたり、粘土化した部分や風化部分の状況を図式化して表示を行ったりする、といった方法も使われている。表-8はそのようなコア観察のシートの一例であり、最低限度必要とされる項目を落ちなく見ることと、観察者によって結果が違ってくるのをなくすことを目的としている。

これを更に進めて、統一的なコア観察の基準の必要性を主張する人もあるが、もともと属地性と個性の強い局地的な地質調査には統一基準は馴染まないとする考えもあり、現在はあまりつかわれていない。

しかし、柱状図にまとめるに当たって必要な項目をリストアップし、それを観察者がどのように判定して記録し、あるいは記録しなかったかを明らかにしておかなければ、冒頭に述べたように、コア箱をすべて掘って最初から見直すところまで戻らなければならず（ある箇所の記載のあいまいなところを確かめようとすれば、結局全部のコアを見直すことになってしまうことが往々にして起きている）、記載にあたって、事実の記述と解釈というバイアスとをできるだけ分けておけば、後になって別に新しい指標を利用して見直そうとするときにも、以前の記載と交錯するようなことは防げるだろう。現在見られる柱状図には、実はコアを見ながらでないと使えないといったものが非常に多い。

4. まとめに換えて

ボーリングコアの記載も、地質調査のマッピングも、本質的には同じ行為であるが、対象の大きさ、三次元的な位置などに差異がある。特に岩相の横への変化をボーリングコアから読みとることは難しい。また、地質の考え方が原則として下位→上位と物を見る（層序としても、1つの岩体としても）のに対し、ボーリングでそのような調査を行うのは一般に得策ではないし、経費の面からも行われないうことの方が多い。従って、ボーリングコアを見る以前に必須のこととして、周辺の地表踏査を行って、岩相変化、中構造等を把握しておくことが挙げられる。地表踏査では、地質図を作るというより露頭の状況の詳細な記載を行い、それをボーリング柱状図に結びつけて、断面図を作るための資料を得ることを目的として行うべきであり、別途業務として作成された既存の地質図や断面図に安易にあてはめてはならない。

小論ではボーリングコアを観察する上で必要と考えられる事項を、最近の話題などをも混じえて述べてみた。岩盤を表示するさまざまなパラメータは、ダムの基礎岩盤をとってみれば、工事のときの諸数値との関連がつかめないものが未だに多く（例えばRQDとルジオン値とセメント注入量）、トンネルの場合のように設計数値と直接に結びつかないので、岩盤としての区分やコアの記載もそこまで詳しくは行われていない。今後の方向として、工事に直結する表現を要求されることになるのか、

正確な地質状況を把握するための表現を目的とするのか、といった2通りの方向が考えられるが、少なくともコアの記載に当たっては後者を志向すべきであろう。前者はさらに地質の解析を経て作成されるべきものであって、解釈の要素がさらに重みを増すものと思われる。いずれにしても、最近見られるような事実と解釈の混在した記載や、自分だけにしかわからない注釈的な記載をなくすることが第1である。

往時、地質調査に手を掛けたところ、調査地域にある岩石をすべて集めて比較しろと教えられたことがある。岩相を、単に地質学上の判断をするために見るのではなく、でき得る限り明確に基準をはっきりさせて区別してゆくということが、その主たる目的であったように感じられる。

このレポートをまとめるに当たり、東京大学小島教授からは文献の紹介と提供を、復健技術コンサルタント太田課長からは観察例やコアの記載に関するご意見をいただいた。ここに記してお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 菅原 捷 (1980) : 柱状図は訴える, 4. 硬い地盤における柱状図, 土と基礎, vol. 28, no. 6, pp. 87-94, 土質工学会
- 全国地質調査業協会連合会 (編) (1983) : ボーリングポケットブック, オーム社。
- Abdullatif, O. M., Cruden, D. M. (1983) : The relationship between rock mass quality and ease of excavation. *Bull. I. A. E. G.*, no. 28, pp. 183-187.
- Barton, N., Lien, R. et Lunde, J. (1974) : Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, vol. 6, pp. 189-236
- Barton, N., Lien, R. et Lunde, J. (1977) : Estimation of support requirements for underground excavations. *Proc. of 16th Symp. on Rock Mechanics. A. S. C. E.*, pp. 163-177.
- Bieniawski, Z. T. (1974) : Geomechanical classification of rock masses and its application in tunnelling. *Proc. of 3rd Intr. Congr. of Rock Mechanics.* vol. 2, part A, pp. 27-32.
- Coates, D. F. (1964) : Classification of rocks for rock mechanics. *Rock Mech. and Min. Sci.*, vol. 1, pp. 421-429.
- Deere, D. U. et Miller, R. P. (1966) : Engineering classification and index properties for intact rock. *Rep. A. W. F. L. TR-65-116*. A. F. Weap. Libr.
- Deere, D. U., Hendron, Jr., A. J., Patton, F. D. et Cording, E. J. (1967) : Design of surface and near-surface construction in rock. In *Failure and Breakage of rock* (Fairhurst, C. ed.), pp. 237-302, A. I. M. E.

- Einstein, H.H., Thompson, D.E., Azzouz, A. S., O'Reilly, K.P., Schultz, M.S. et Ordun, S. (1983) : Comparison of five empirical tunnel classifications, methods, accuracy, effect of subjectivity and available information. *Proc. 5th Congr. I. S. R. M.*, vol. 1, pp. 303-313.
- I.A.E.G. Comm. on Engineering Geological Mapping (1981) : Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. *Bull. I. A. E. G.*, no. 28, pp. 183-187.
- Priest, S.D. et Hudson, J.A. (1976) : Discontinuity spacing in rock. *Int. Jour. Rock Mech., Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol. 13, pp. 135-148.

質 疑 応 答

質問(平野) 岩盤の工学的な性質、たとえば、透水性とか、強度、あるいは変形性などは、岡本・安江の岩盤分類の方法にもございますように、石そのものの堅さあるいは岩質それと割れ目が絡んでくると思います。ところが、その割れ目というのは、単なる割れ目の数や面の粗さだけの問題ではないということで、岡本・安江にもありますように、割れ目の開きが問題になってくるということでございます。ところが、そのボーリングコアというのは、割れ目が開いていたか開いてないかというのを知るのが非常に難しい、あるいはよく見ればわかるような気がしますけど、そこで何をみればわかるのかというノウハウ、あるいは全々もう駄目なのか、そこら辺について何かあればお話を聞かせて頂けたらと思います。それとも、ルジオン値のように、間接的に知る方法とか、あるいは検層みたいなもので知ってあきらめてしまうということでしょうか。何かお話を聞かせて頂きたいと思いますが。

市川 確かに割れ目が開いてるか閉まっているかは、やはりボーリングコアでは、わからないだろうと思います。ただ、掘っていく時に、地下水の変化とか、そこから、泥水が逃げたとか、あるいは湧水があるとか、そのような形の、やはり間接的な証拠でしか、物が見れないんだろうと思うんです。

これは脱線しますが、地質調査で一番いやらしいのは、実は堅い岩石が、ちゃんと出てくるようなら、別に必死になって調べなくてもいいんで、割れ目とか、とにかくコアにならない所を、どう判断するかという、いわゆる負の情報をどう取るかという話になるんだろうと思います。それについてはやはり、ボーリングコアの他に、遠まわりなようですけれども、綿密な地表踏査とダムでは場合によっては、横坑なり、表土剥ぎになるということではないかと思います。私は割れ目というのは、ルジオンテストをやれば、ある程度わかるんだろうと思うんですが、割れ目の開き方の状況というのは、わからないだろうと思います。それからちょっと、ついでですけれども、岡本・安江の方法のポイントは、非常に熟練した人が目のつける所を選んで、カテゴリー分けすればいいんですけれども、この着目する指標を間違えると、何をやっているか、わからないということになります。ですからこれは、ある意味では、非常に難しい方法なんだろうと思います。

2—5 調査成果のまとめ方とその基準

土 木 研 究 所

地質研究室 室長 桑 原 啓 三

1. はじめに

地盤、岩盤の調査として、最も多用されているボーリングの直接的な調査結果は、日報、柱状図、コアという形で表現される。この他にもボーリングから得られる情報には、ボーリング作業中の掘進速度、掘削水の変化、スライムの観察などによるものと、さらにボーリング孔を用いての検層、力学試験、さらにはボーリングコアによる土質・岩質試験がある。これらの問題については別章で述べられているので、ここでは柱状図、コアについて述べる。

2. ボーリング柱状図

ボーリング柱状図は、直接的にコアの観察のできない人にコアの状況を正確に伝えるための唯一の手段であり、また掘進時の状況を伝える唯一の手段である。したがって、ボーリング柱状図には、掘進時の記録、すなわちフォアマンの記録とコア観察の記録が記載されていなければならない。

ボーリング柱状図には、1本のボーリング全般にわたる技術情報以外の情報を示す頭記事項と深度毎に記載される技術記録とに分けられ、さらに、深度毎の技術記録には掘進条件の記録とコア観察記録とがある。

頭記事項には、調査名、ボーリング番号、調査地点、調査期間、ボーリング孔の位置および方向、深度、地下水位、使用機械およびボーリング実施者に関するものが記載される。

ボーリングの掘進速度やコア採取率はフォアマンの技術に負う所が大きく、したがって掘削条件の記録なしでは正しい地質の判定は不可能である。掘進条件の記録には、孔径、孔壁保護の状況、ビットコアチューブの種類、給圧、回転数、掘削水の性質、送水圧、送水量、逸水・送水量、掘進時間、孔壁状況などがある。

コアの観察記録は直接地質断面等に反映されることから精確に行うのが望ましい。コアの記載は岩石名、コアの色調、コアの形状、コアの硬軟、風化・変質、コアの採取率、最大コア長、RQD、孔内水位、その他の特記事項およびコアとしての総合判断などについて行われる。

現在、建設省で実施されているボーリングの実態を調べ、まとめたものが図-1である。図-1の基礎データは、東北地建から九州地建までの河川工事、ダム工事、道路工事、橋梁工事、トンネル工事に伴って実施されたボーリングデータ約137本である。なお図-1には深度、柱状等のほとんどすべてのボーリング柱状図に記載されているものは示していない。図-1から判るように、岩盤ボーリングでは記載事項が極めて多いことが特徴で、ビットの種類、コア採取率、掘進時間、送水量、ビット給圧の記載例が多く、次いで、コアチューブ、RQD、漏水量、コアの硬軟、コア形状などが記載されている。土質用ボーリングでは相対調度が記載されているだけで、その他の項目は記載例が少ない。平均的な柱状図の例を図-2(1)、(2)に示す。

建設省各地建の共通仕様書では、

a, 岩の場合

業務の名称、発注者、受注者、履行期間

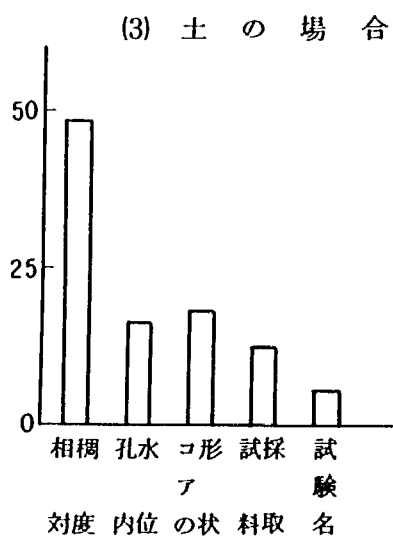
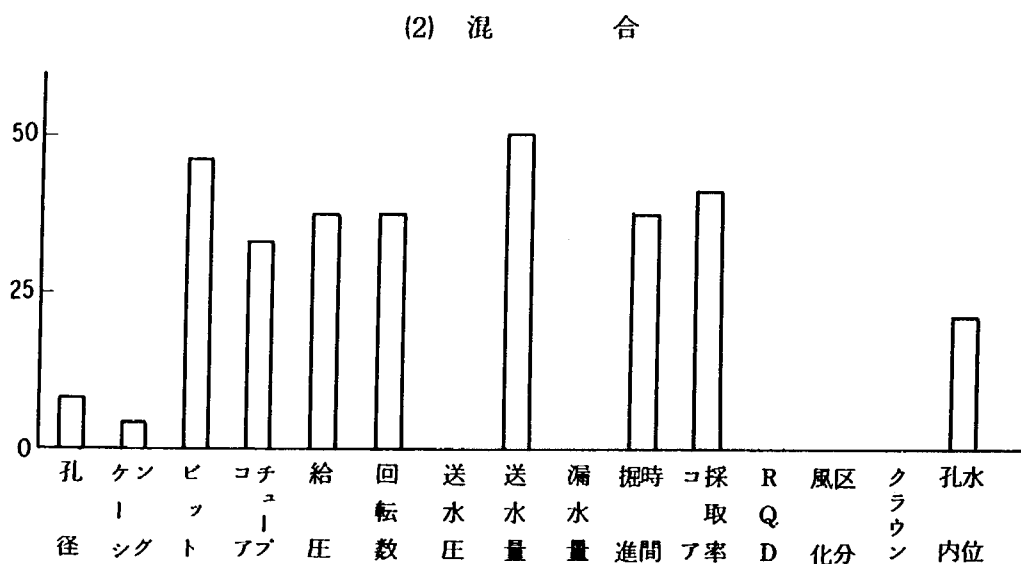
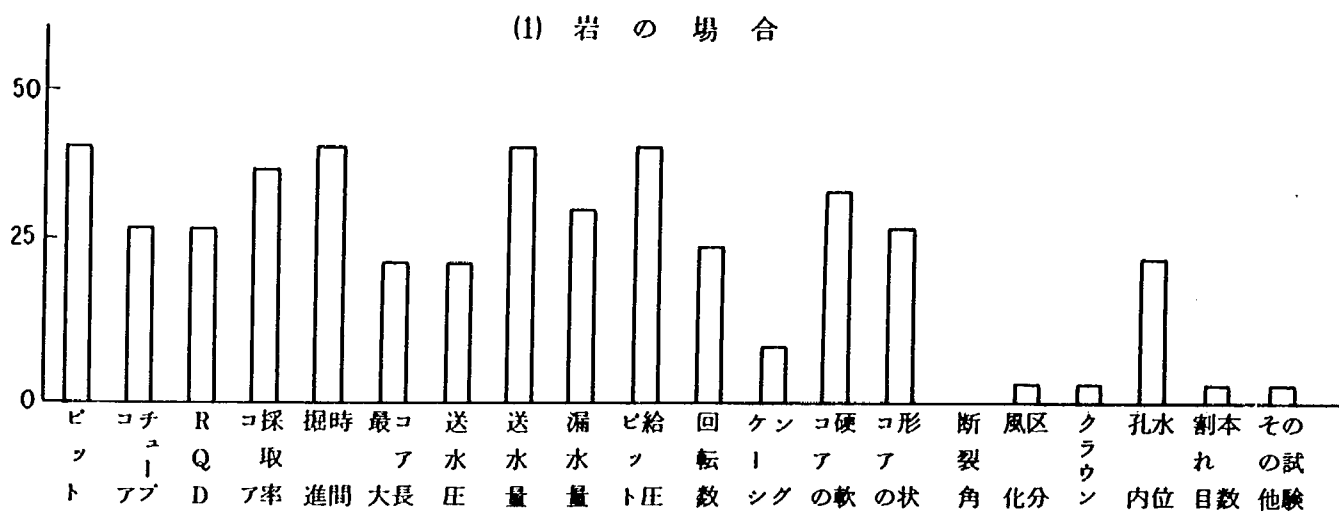
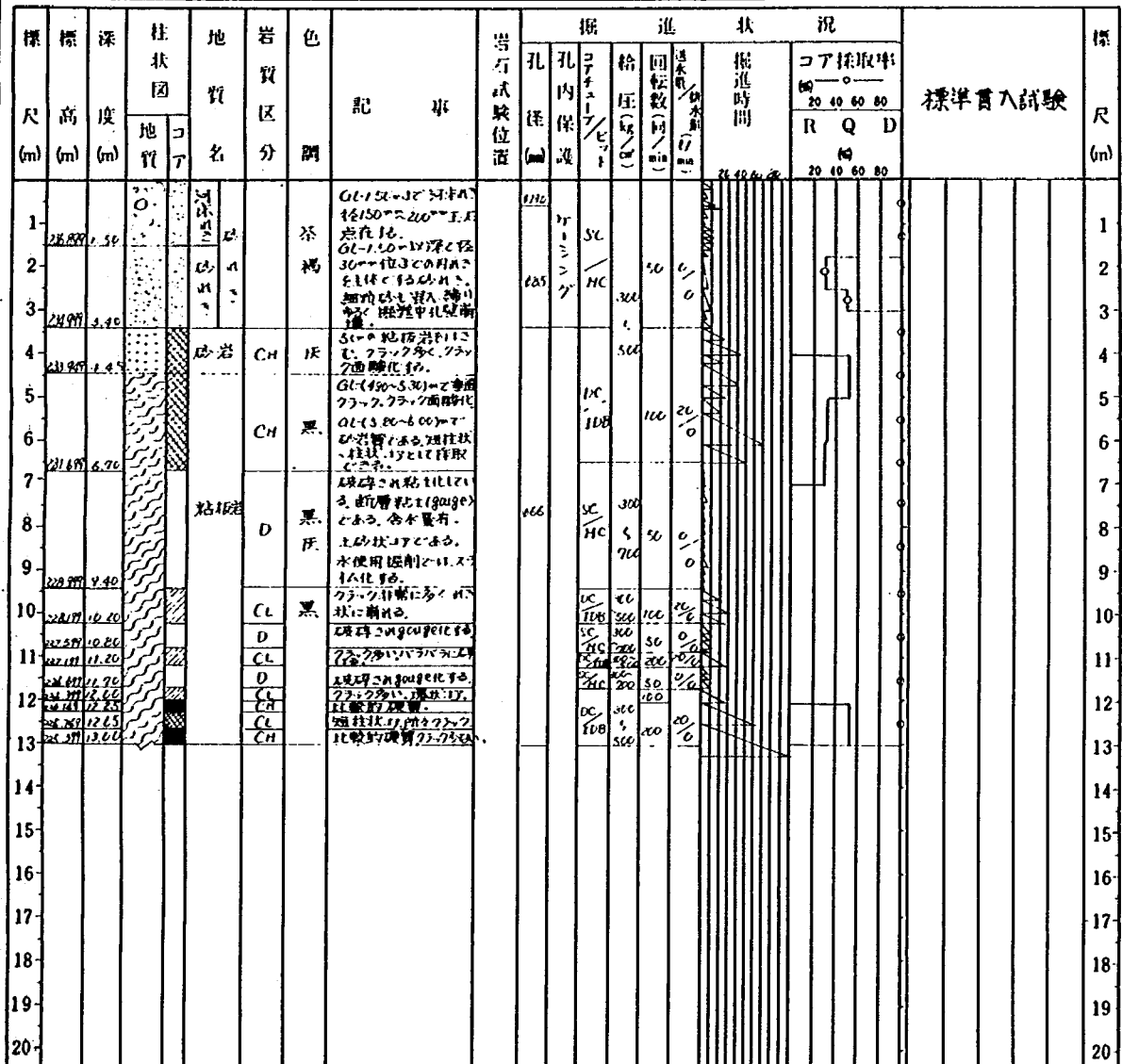


図-1 柱状図記載頻度グラフ

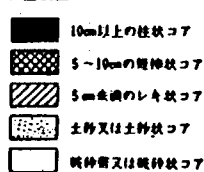
岩盤ボーリング柱状図 (No.)

調査名 _____ 調査期間昭和 年 月 日～昭和 年 月 日
 調査地 _____

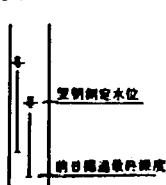
標高	M	最終水位	GL + 1.20 M	使用試機	OE-2L	発注者	
方位	全直	掘削水の種類	泥・漆・塩	ポンプ	ヤマ・ニュー・リ	主任技師	
総掘進長	13.0 M	掘削水	循環 (不循環)	エンジン	NS-50	現場代理人	
						コア鑑定者	
						ボーリング責任者	



コア柱状図



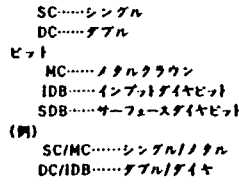
孔内水位



孔内保護



コアチューブ



RQD.....1mあたりの10cm以上のコアの累積長

図-2(1) 岩盤ボーリング柱状図例

地質柱状図 (NO.)

調査地

調査年月日 昭和 年 月 日 - 年 月 日

標 高

M

孔内水位

GL-6.64

M

技 術 者

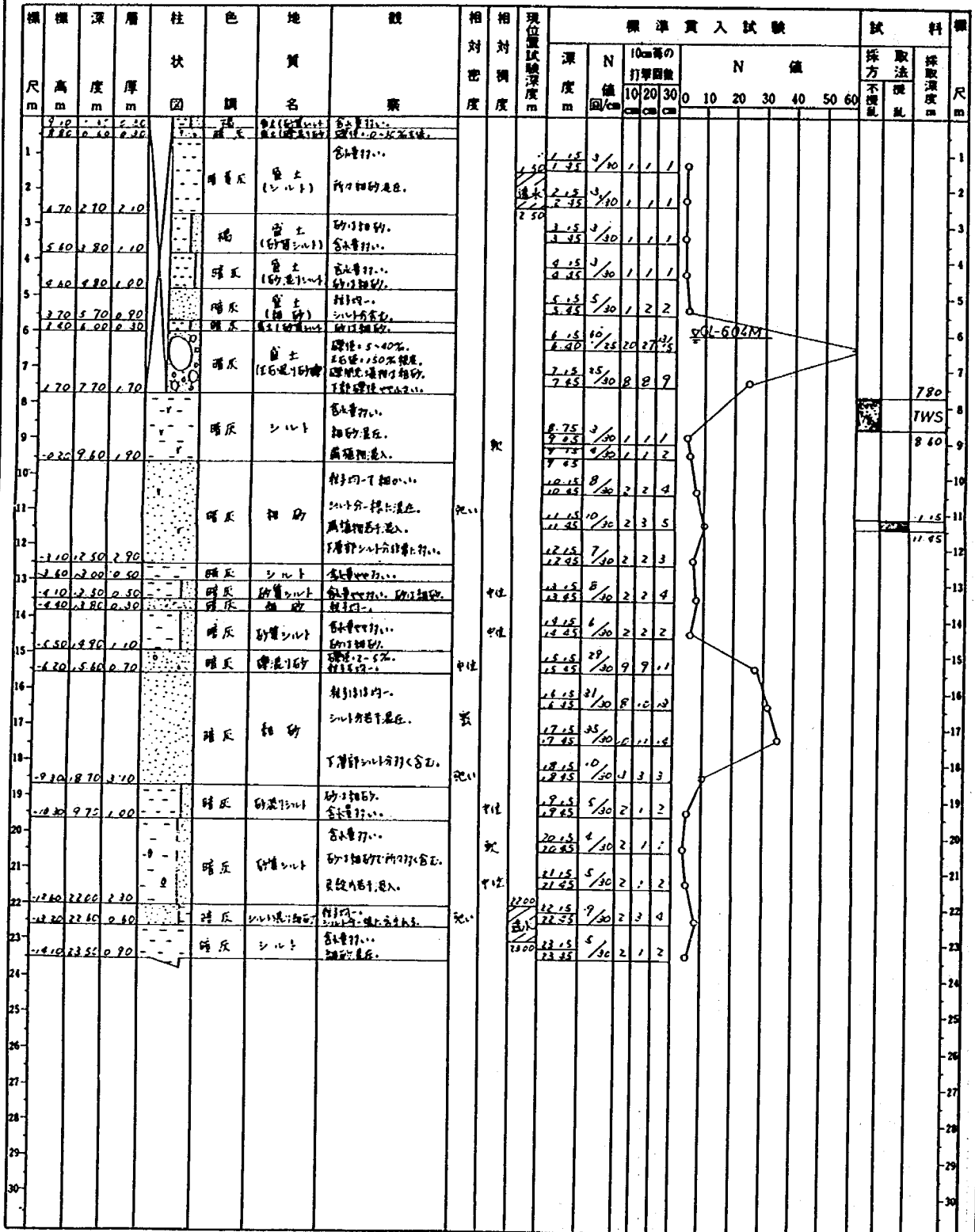


図 - 2 (2) 土質柱状図例

調査地点，標高，採取深度および方向，地下水位

使用機械名

深度

地質（岩石名）

色調

記事

コア採取率

掘進速度

送水量，排水量または逸水量，排水色

室内試験，現位置試験，検層等の結果

その他特記すべき事項（崩壊その他の事故の位置と程度）

柱状図と作業日報の例（東北地建）を図－３に示す。

b. 土の場合

業務の名称，発注者，受注者，履行期間

調査地点，標高，調査深度および方向，地下水位

使用機械名

深度

土質名

色調

記事

排水色

室内試験，現位置試験，検層等の結果

その他の特記すべき事項

柱状図例（関東地建）を図－４に示す。

他機関でも同様に柱状図を共通仕様書で決めており，例えば水公団ではルジオンテストを多く行うため，図－５のような様式を定め，一方国鉄ではトンネルや法面のためのボーリングが多く実施されているために，図－６のような柱状図を定めている。

また，土質用のボーリング柱状図では，土質工学会が図－７のようにN値を中心とした柱状図を定めている。

以上のようなボーリング柱状図の実態および仕様書上の柱状図を踏まえて，図－８，９のような標準柱状図を提案する。

図－８において，

標尺は，１ｍ毎に区切りを入れる。

標高は，地層が変わる毎に標高を記入する。

機械ボーリング柱状図

現場代理人氏名

④

調査地名

調査時間

調査地点	調査深度	調査時間	調査場所
調査地点	調査深度	調査時間	調査場所
調査地点	調査深度	調査時間	調査場所

調査月日	調査地点	調査深度	調査時間	調査場所	調査深度	調査時間	調査場所	調査深度	調査時間	調査場所	調査深度	調査時間	調査場所	調査深度	調査時間	調査場所	調査深度	調査時間	調査場所
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			

機械ボーリング作業日報

現場代理人氏名

④

調査名	調査場所名
調査地点番号	調査月日
調査地点標高	予定深度
機械名	能力
作業内容	使用材料

日	深度	地下水	岩	相	コア	試料	回転数	掘進速度	備考
	計	湧水	記号	分類	色調	長さ	採取中	番号	ニ寸名
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
摘要	地下水については、湧水、漏水などが起った場合、その深度水量について記載する。 掘進の難易について記載する。 その他、気づいた点を詳細に記載する。								

(注) 本表は1週間をまとめて提出することができる。

図-3 柱状図，作業日報の例

柱 状 一 覧 図

業 務 名		調 査 地 区	
発 注 者		調 査 地 点	
請 負 者		地 盤 高	調 査 深 度
調 査 期 間		地 下 水 位	

縮尺 縦1:100又は、200

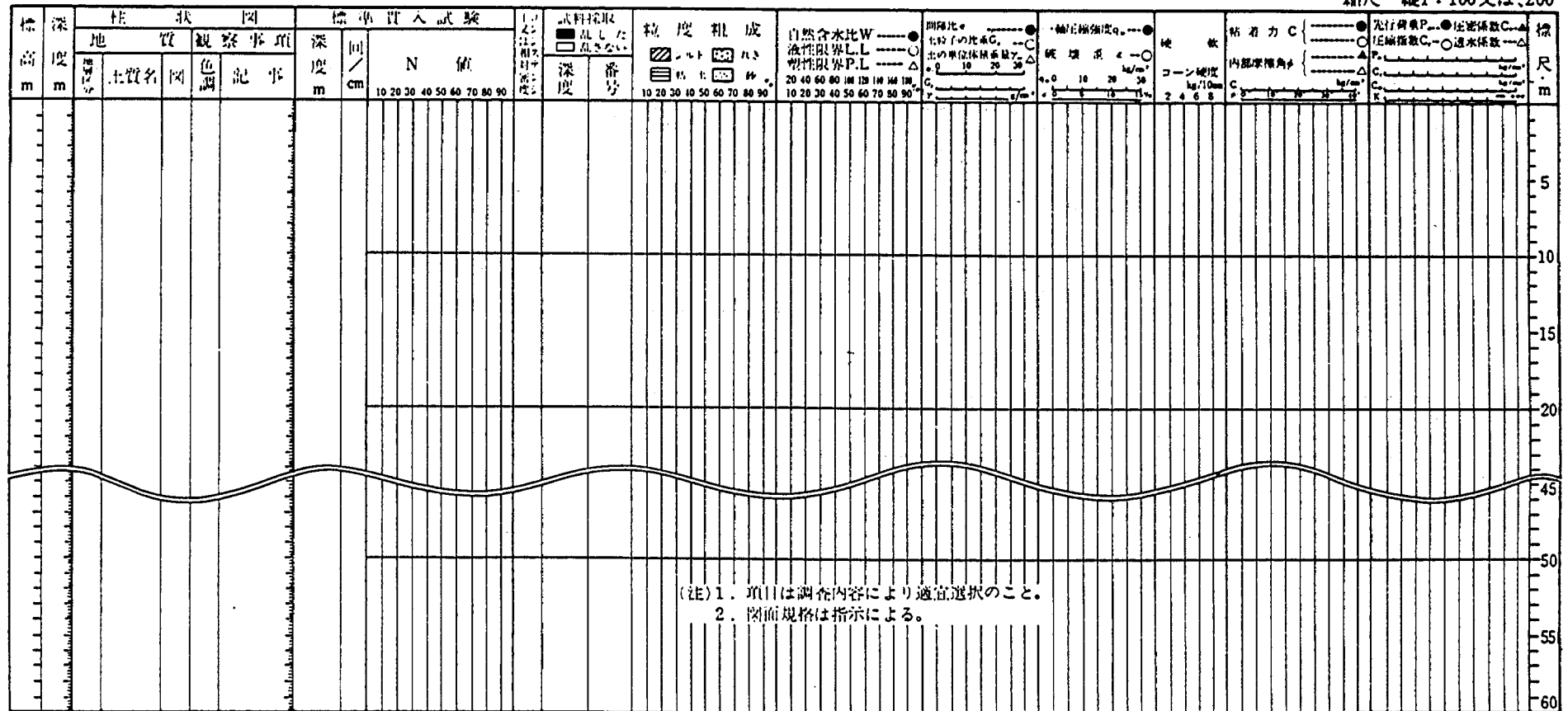
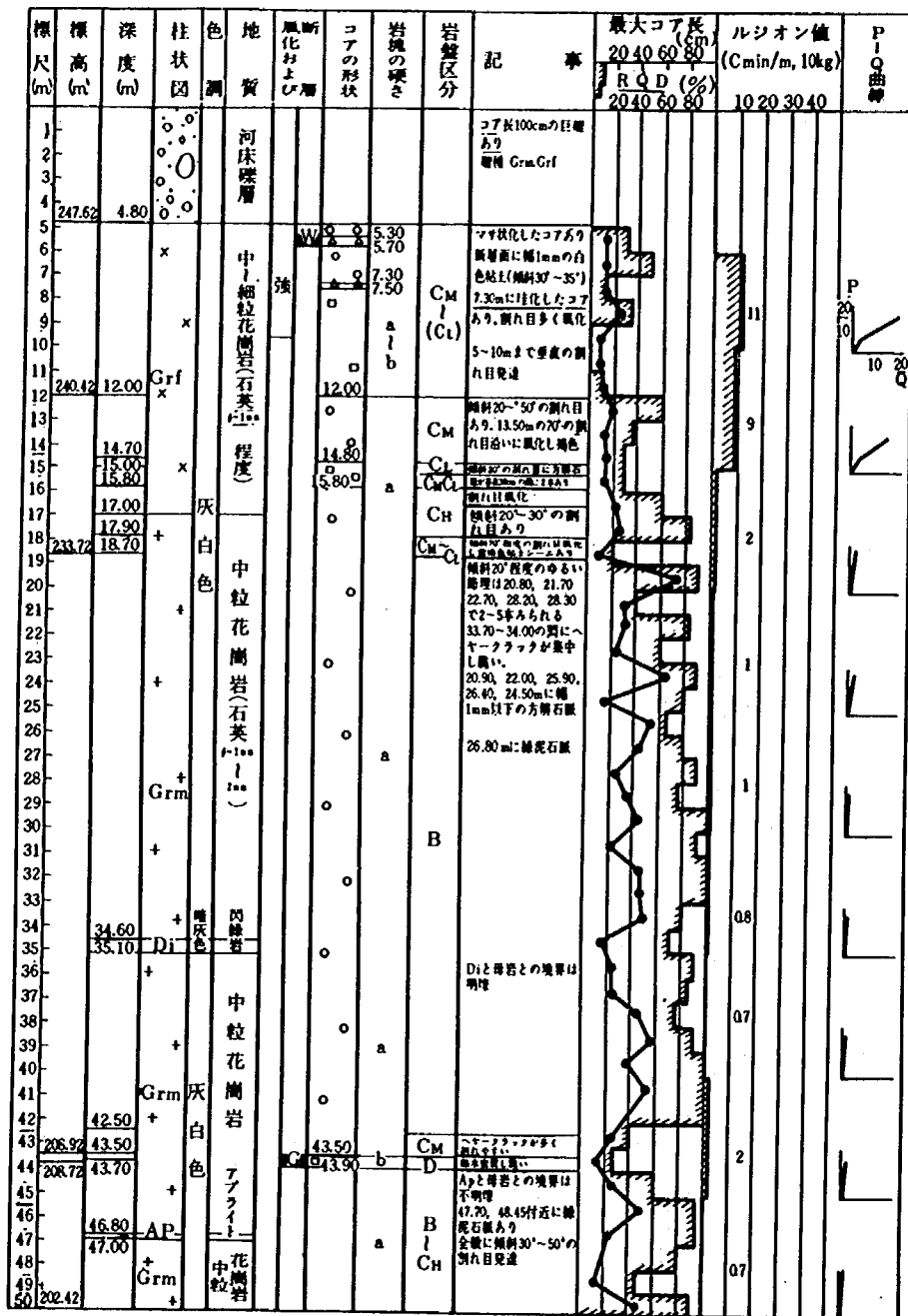


図-4 柱 状 図 例



コアの形状
 棒状 変形状 角礫状 砂礫状 粘土状

コアの硬軟
 a: 堅硬 b: 一部堅硬、全般にやや脆弱 c: 軟質

断層破砕帯位置および断層粘土の色調
 粘土化帯 細角礫化帯 W: 白色粘土 G: 緑色粘土

風化程度
 強: 岩芯まで風化し褐色 中: 大半の割れ目褐色 弱: 割れ目一部風化

最大コア長

1m区間における最大コア長

RQD(Rock Quality Designation)

$RQD = \frac{10\text{cm以上のコアの累計長}}{1\text{m区間における棒状コアの総長}} \times 100(\%)$

図-5 ボーリング柱状図の例

工 事 件 名				施 工 場 所		地 質 状 況	
ボーリング番号 No.				K M 付添 ボーリング柱状図			
着手年月	年	月	使用	コア採取	調査者	特	
孔口直径				コア採取	主任技師	記	
方 向	N	°		全掘進	専門技師	事	
掘進速度				平均掘	コア鑑定	項	
				進長	m/時		

深 度	地下水位	柱 状 地 質 名	記 号	コア採取率 (%)	掘進時間 (分)	最大コア長 (m)	換 層	換 層 厚 (m)	換 層 色	換 層 質 地	換 層 状 況
尺	深	尺	深	尺	深	尺	深	尺	深	尺	深
0					0						
10					10						
20					20						
30					30						
40					40						
50					50						
60					60						
70					70						
80					80						
90					90						
100					100						

(2) 記載方

- ア 標尺は、1目盛1mを原則とする。
- イ 地下水位が大きく変動する場合は次図の例により記入する。
- ウ 湧水、遡水が著しい場合、変質、風化等については、記事欄に特記する。
- エ コア採取率は次の区分によつて次図の例により配列さす。
- ① 棒状コア ② 切片状コア ③ 粘土 ④ スライム ⑤ 無採取
- オ 掘進時間は、折れ線グラフで表現する。
- カ 最大コア長は、ロット中の最大長を示す。
- キ 換層欄には実施した換層により適宜記入する。

(3) 様式の大きさ

様式の大きさは、A3の縦型とする。

図-6 岩盤ボーリング柱状図

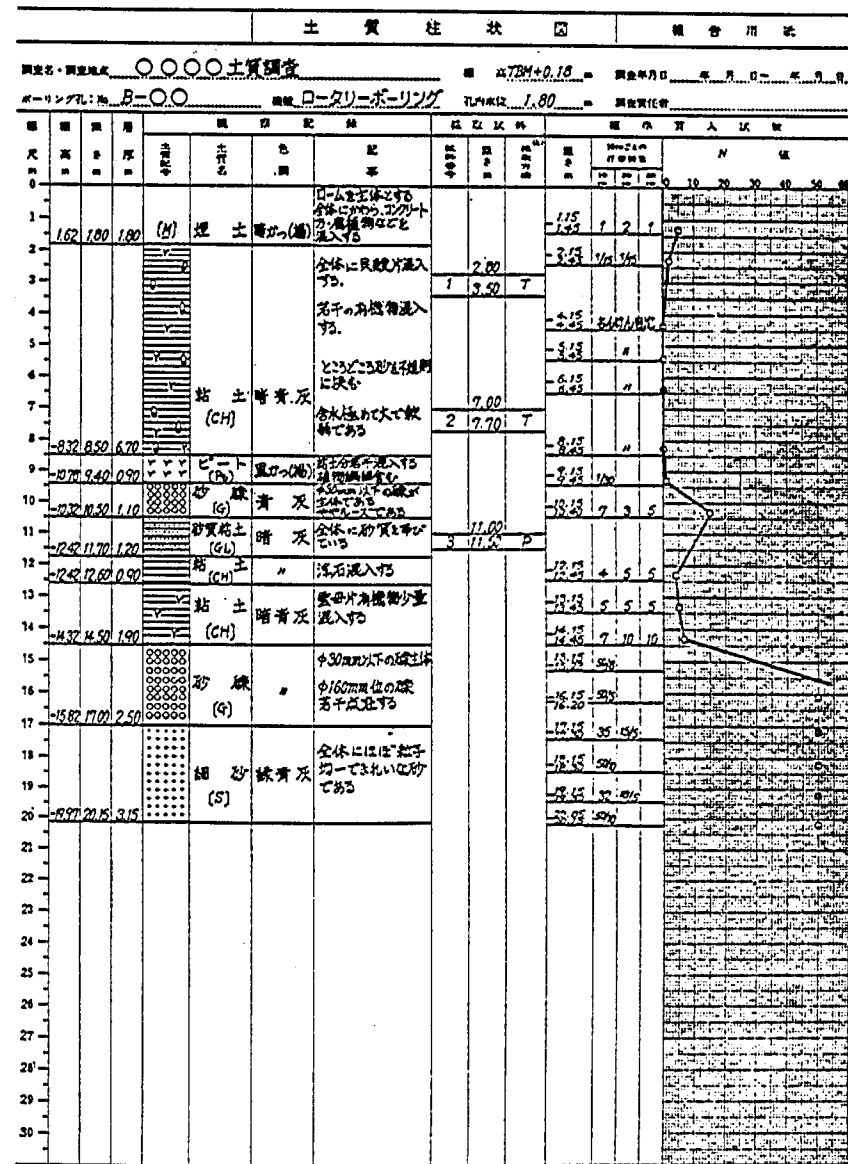


図-7 土質柱状図整理例 (土質工学会制定)

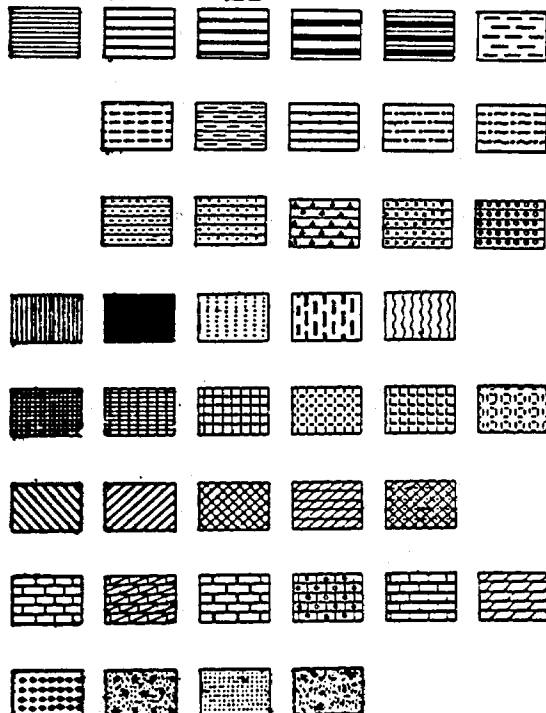
[illegible]

圖一 8 標準柱狀圖案 (岩盤用)

[illegible]

圖-9 標準柱狀圖案 (土質用)

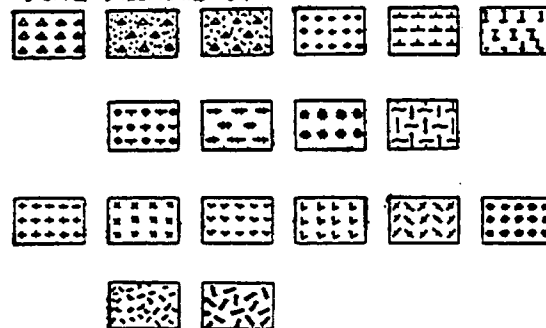
堆積岩に使用するのに適当なもの



一番左の列が基本模様であり、二番目から右は、それからの変種である。模様の種類に困ったときは、これにならって変種をつくることができる。

なお、第1行は頁岩、第3行は互層、第5行はシルト岩、第7行は石灰岩に使用するに適している。

火成岩や火山砕屑岩に使用するのに適当なもの



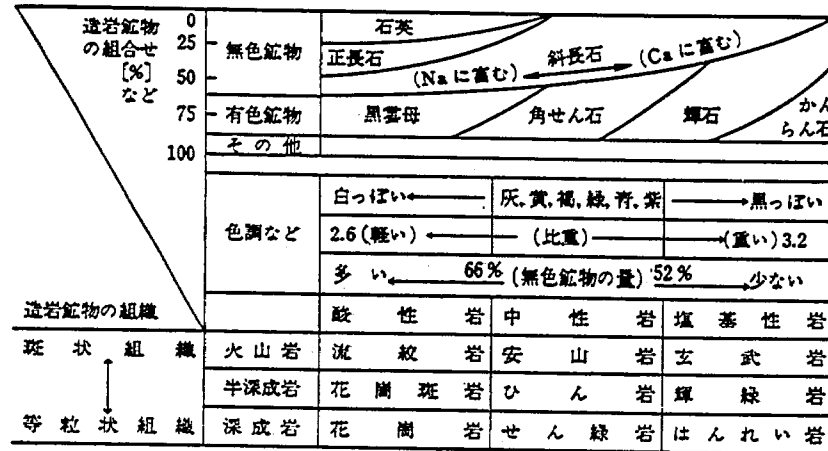
変成岩に使用するのに適当なもの



堆積岩		表 土		砂岩、硬砂岩
		崖 錐		泥岩、シルト岩
		火山砕屑物 (火山灰、火山岩屑)		頁岩、粘板岩
		凝 灰 岩		チャート
		凝灰角礫岩 (集塊岩)		礫 岩
		輝緑凝灰岩		石 灰 岩
火成岩				深成岩
				半深成岩、脈岩
				火山岩
変成岩		片 麻 岩		片 岩 類
		ホルンフェルス		千 板 岩
		珪 岩		蛇 紋 岩

図-10 柱状図に用いる岩種記号の例

表-1 各種岩石の分類



(注)

- 1) 火山岩: マグマが急に冷却してできた岩石で、大きさの極端に異なる鉱物が混じっていて、それが斑点状(斑状組織)に見える。
- 2) 深成岩: マグマが地下深部の高温・高圧のもとでゆっくりと冷却してできた岩石で、鉱物は結晶体となり、その粒は大きく(1~8mm)、しかも等粒(等粒組織)である。
- 3) 半深成岩: 火山岩と深成岩の中間的なもの。
- 4) 上表の岩石のほか、次の火成岩が一般に知られている。

蛇紋岩	過塩基性深成岩で塩基性深成岩に随伴していることが多い。緑~暗緑色を呈し、ち密で脂肪光沢がある。緑色部と白色部(方解石)とが網状に交さくしていることがある。
かんらん岩	過塩基性深成岩で暗緑~黒緑色を呈し、顕晶質である。通常変質して、黒白の斑点を生じている。
黒曜石	流紋岩の一種で、全体が無結晶質(ガラス質)である。灰黒~暗黒色を呈し、貝殻状の断面面を有する。
変朽安山岩(プロビライト)	安山岩が熱水作用を受けて変質した岩石で、通常緑色を呈し、黄鉄鉱の結晶が散在することが多い。
ペグマタイト	花崗岩類中に岩脈をなして産する。白~淡色を呈し、完晶質で、巨大な結晶の集合からなることが多い。

	選別方法および構成物質など	固結程度 物質の大きさ	固結されているもの	固結されていないもの	固結度の高いもの
機械的堆積岩	水によって運搬堆積された岩石で、構成材料の粒子の大きさと固結程度によって分類される。	細粒	粘土、シルト	泥岩、シルト岩、頁岩	粘板岩
		中粒	砂	砂岩、アルコース砂岩	硬砂岩
		粗粒	礫	礫岩、角礫岩	
風成	風によって運搬堆積された岩石で、ローム質のものと砂質のものがある。	細粒	ローム質風成岩		
		中粒	砂質風成岩		
火山砕屑岩	火山爆発に際して噴出した大小種々の岩片が火口付近に堆積してできた岩石で、堆積岩と火成岩の中間的なものである。凝灰岩はその代表的岩石である。	固結程度		凝結していないもの	凝結しているもの
		組織		火山灰	凝灰岩、凝灰質凝灰岩
		粒子小さく一様で均質(径4mm以下) 細粒泥じり斑点状 大礫、岩塊を含む(径32mm以上)		火山灰、火山礫、凝灰岩、火山岩塊	火山礫凝灰岩、軽石凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩
化学的・有機的堆積岩	物質が溶解状態ないしコロイド状態で、水によって運ばれ堆積した岩石。	主成分		炭酸塩	石灰岩、ドロマイト
		珪質(SiO ₂)		チャート	
		塩類		石こう、岩塩	
有機堆積岩	生物の遺骸が堆積してできた岩石。	石灰質		石灰岩	
		珪質		珪藻土	
		炭質		泥炭、石炭	

岩 石 名	岩石の組織・構造	原 岩	主 な 変 成 鉱 物	
熱 変 成 岩	ホルンフェルス	ち密で硬く、斑点状に変成鉱物を含むものがある	泥 岩 黒雲母 白雲母 紅柱石 きん青石 長 石	
	大 理 石	方解石がモザイク状に組み合わさっている	石 灰 岩 方解石 けい灰石	
	珪 岩	石英がモザイク状に組み合わさっている	砂 岩 チャート 石 英 雲 母	
広 域 変 成 岩	粘 板 岩 千 板 岩	一方向にはげやすい	泥 岩 石 墨 絹雲母	
	結 晶 片 岩	帯状で、造岩鉱物の配列に方向性がある	火 成 岩 堆 積 岩	緑泥石 らん晶石 緑れん石 らんせん石 絹雲母 十 字 石 ざくろ石 ひ す い
	片 麻 岩	しま状で、白黒の部分に並ぶ にはげにくい 長石が眼状をなすことがある		黒雲母 白雲母 けい緑石 ざくろ石 斜長石 正 長 石
その他	圧 砕 岩 (クノイト)	破砕されている	火 成 岩 堆 積 岩	

深度は、地層が変わる毎に孔口からの深さを記入する。

柱状図は、図－１０に示すような記号を用いて記入する。

地質は、地層が変わる毎に、岩石名、地層名を記入する。用いる岩石名は、表－１に示すものを用いる。

色調は、明るい自然光の下で、湿潤状態で観察する。用いる基本色はＩＳＯ規格（黒、茶、赤、橙、黄、緑、青、紫、灰、白）を基本色とし、基本色外は基本色の組合せ（原則として２色）とする。基本色を組合せる時は主色の前に従色を冠する（例：青緑色…青－従色、緑－主色）。「濃」および「淡」の形容詞をつけるとともに、黒味を帯びる時は「暗」の形容詞をつける。従色が特に微弱な時は「帯」の形容詞をつける。礫岩など雑多な色を呈する時は、何色と何色の「雑色」、色が入り混じっている時は何色と何色の「斑色」とする。

硬軟は、ハンマの打撃音、割れ方、指でつぶせるなど何段階かに分けて記述する。記述の例を表－２に示す。

表－２ コア風化、硬軟判定基準

区 分	硬 軟	風 化 変 質 の 程 度	コ ア の 状 態
A	極硬、ハンマで容易に割れない	非常に新鮮、造岩鉱物の変質まったくなし	色調原色、コア肌非常に滑らか
B	中硬、ハンマで金属音	新鮮、黒雲母の周辺赤褐色化、長石類の変質なし	全体に赤味を帯びる、コア肌滑らか
C	硬、ハンマで容易に割れる	弱風化、黒雲母酸化汚染、斜長石の一部変質（白色化）	色調褐色を帯びる、コア肌やや粗い
D	軟、ハンマでボロボロに砕ける	風化、黒雲母黄金色、周辺褐色粘土化、斜長石大部分が変質	コア形容易に保つ、コア肌非常に粗い
E	極軟、まさ化	強風化、カリ長石の一部を除きほとんど変質岩組織は失われる	コア形なし、砂状

岩級は、ボーリングコアの硬軟、割れ目の頻度、割れ目の状態、風化および変質の状態等を勘察し、総合的に判断して記入する。したがって岩級は場所毎にその基準は異なり、表－３にその１例を示す。

採取されたコアの形状は地質状況を知るための手がかりとして重要なもので、図－１１に示すような基準で記録する。但し、塊状岩では良く適合できるが、異方性の著しい岩盤では適用し難い場合がある。

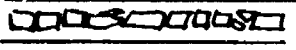
記事は、柱状、地質、色調、硬軟、岩級などの欄以外の観察事項およびボーリング中のフォアマンの記録などを記入する。記入事項は、岩相、構成鉱物、粒度等の簡単な物理的性質、風化や変質の状況や割れ目の頻度や粗さなどの岩石の劣化因子、コア中の細脈の巾、種類および方向、孔隙の存在の仕方、岩石の成因、コア採取不能箇所等のコアリング時の原因等について詳細に記録する。

孔径および孔壁保護は、孔径およびケーシング、セメンテーション等の孔壁保護を行った場合はそれを記入する。

コアチューブ、ビットは、コアチューブの種類、ビットの種類を記入する。

給圧は、ボーリング時の給圧について記入する。

表-3 ボーリングコア区分表

コア状況	性 状	区 分
	土砂状	D
	細片・割れ目茶褐色	OL
	細片・割れ目比較的新鮮	OL・OM
	短棒状・1=10cm程度	OM
	棒状・1=10cm以上	OH
	破砕部・黒色・白色粘土	断層 { GL・D E
	白色粘土	

回転数は、ボーリング時の回転数について記入する。

送水圧は、 " 送水圧に "

送水量は、 " 送水量に "

排水量は、 " 排水量、逸水量および湧水量について記入する。

掘進時間は、折れ線グラフで、深度に合わせて掘進時間を記入する。また、ロッド昇降毎に横線で区切りを入れる。

コア採取率は、ロッド昇降毎のコア採取率を棒グラフで記入する。

最大コア長は、ロッド昇降毎の最大コア長を折れ線グラフで記入する。

RQDは、1m毎の10cm以上コア長の合計を棒グラフで記入する。

名 称	記 号	分 類 基 準
棒状コア		1片の長さが10cm以上の円筒コア
片状コア (変形コア)		1片の長さが3~5cm以上で、かつコアの外周の一部が認められるもの
角礫状コア		コアの外周の一部も認められない礫状のもの
砂状コア (スライム)		主として砂からなるもの、角礫状コアの混入もある
粘土状コア		主として粘土状のもの(岩質、断層、風化変質、他)
無採取		コアの採取ができないもの(記事欄に理由を書く)

図-11 コア形状を表す名称および記号の例

孔内水位は、毎朝作業前に測定した孔内水位を記入するが、合わせてその時の孔底深度を記入する。

透水試験を行った場合は、 $-Q$ 曲線とルジオン値を深度毎に示す。

その他の試験は、各種の原位置試験を行った場合に深度と試験種名を示す。

図-9における土質調査用ボーリング柱状図では、次のように記入する。なお、掘進月日、標尺、標高、深度、色調、原位置試験、孔内水位、コア形状および掘進状況は岩に準じて記入する。

層厚は、土質区分毎の層厚を記入する。

柱状図、土質名は、図-12に示す日本統一分類で表示する。

相対稠度は、コアの締め具合や硬軟を相対的なことばで示すもので、表-4に示すような基準で行うが、現場的には表-5のような区分例がある。

区分	簡易分類		ややくわしい分類例 (簡易分類、中分類、詳細分類の組合せ)		区分	分類名	手描き 図式記号
	土質分類名	手描き 図式記号	土質分類名	手描き 図式記号	岩石 質 材 料	硬 岩	
土 質 材 料	礫 {G}		きれいな礫 (G)			中硬岩	
			細粒分混り礫 (G-F)			軟岩または風化岩	
	礫質土 {GF}		礫質土 {GF}			ボ ル グ	
	砂 {S}		きれいな砂 (S)			コ ブ ル	
			細粒分混り砂 (S-F)		特 殊 記 号	貝 殻	
	砂質土 {SF}		砂質土 {SF}			浮 石	
	シルト {M}		シルト {M}			表土、埋土	
	粘性土 {C}		粘 質 土 (CL)		副 記 号	砂利、礫混り	
			粘 (CH) 土			砂 混 り	
	有機質土 {O}		有機質粘質土 (OL)			シルト混り	
			有機質粘土 (OH)			粘土混り	
			有機質火山灰土 (OV)				
	火山灰質粘性土 {V}		火山灰質粘土 I型(VH ₁) II型(VH ₂)		[注] 副記号は日本統一土質分類には制定されていないものである。		
	高有機質土 {Pt}		ピート (Pt) 黒泥 (Mk)				
	廃棄物 {W}		廃棄物 {W}				

図-12 土質柱状図用図式記号の例 (日本統一土質分類)

表－４ 砂地盤の相対密度の表現法

N 値	相 対 密 度
0～4	非 常 に 緩 い
4～10	緩 い
10～30	中 ぐ ら い
30～50	密 な
50以上	非 常 に 密 な

粘土地盤のコンシステンシーの表現法

N 値	コンシステンシー (相対稠度)
0～2	非常に軟らかい
2～4	軟 ら か い
4～8	中 ぐ ら い
8～15	硬 い
15～30	非 常 に 硬 い
30以上	特 別 に 硬 い

表－５ 細粒土のコンシステンシー区分と状態表現
(ASTM D 2488)

状 態 表 現	せん断強さ (kgf/cm ²)	現場における判別方法 (原位置土に対する親指試験)
軟らかい (soft)	0.25 より小さい	親指をたやすく押し込める
中 位 (firm or medium)	0.25～0.50	かなり力を入れないと親指は押し込めない
硬 い (stiff)	0.50～1.00	親指でへこませることはできるが、親指を貫入させるには非常に大きな力を要する
非常に硬い (very stiff)	1.00～2.00	親指の爪がたやすく入る
固結した (hard)	2.00 より大きい	親指の爪も入らない

標準貫入試験は、深度と10 m毎の打撃回数、N値を折れ線グラフで表示する。

試料採取を行った場合、その深度、試料番号、採取方法について記入する。

3. コア箱

ボーリングによって得られたコアは、コア箱に整理し、写真撮影を行う。土質コアの場合には、ピン詰めにしてコアを保管するため全量コアを保管することではなく、また写真を撮影することも少ないので、ここでは岩のボーリングについて主として述べる。

岩盤ボーリングは、オールコアリングを原則とし、採取されたコアはコア箱に保管し、写真撮影に供する。コア箱は一般に長さ1 mのコアを5 m、1箱にする。この時3 mのコアチューブからコア箱に収納する際に、コアを割って入れるため若干のコアがコア箱に入らないことが多い。コア箱に入らないコアの量は、かなりの量になり、そのため検層結果やボアホールテレビ結果と一致しない場合があった。

図－13は、従来行われている方法（以下従来型という）とカッターによって切断（以下切断型と

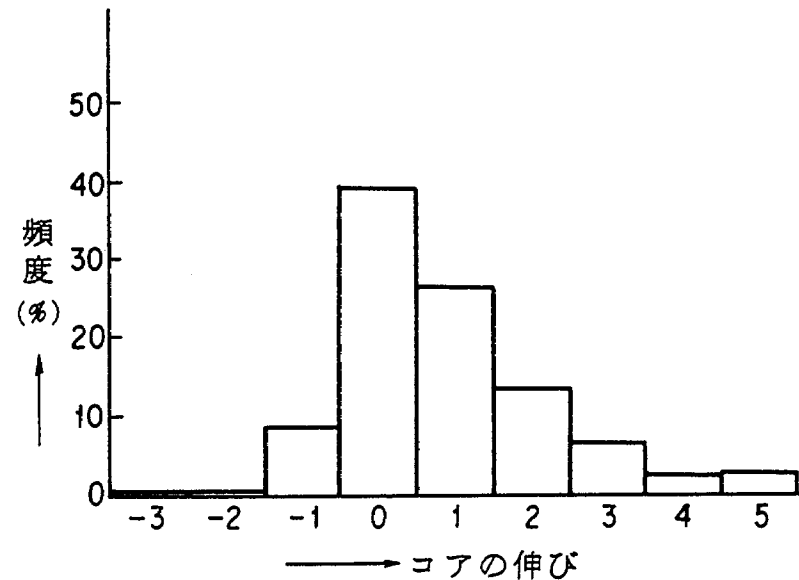
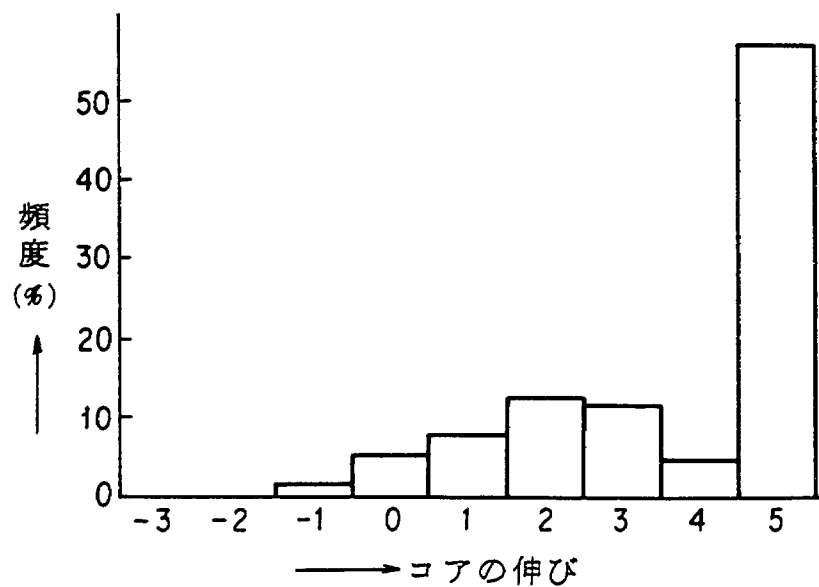
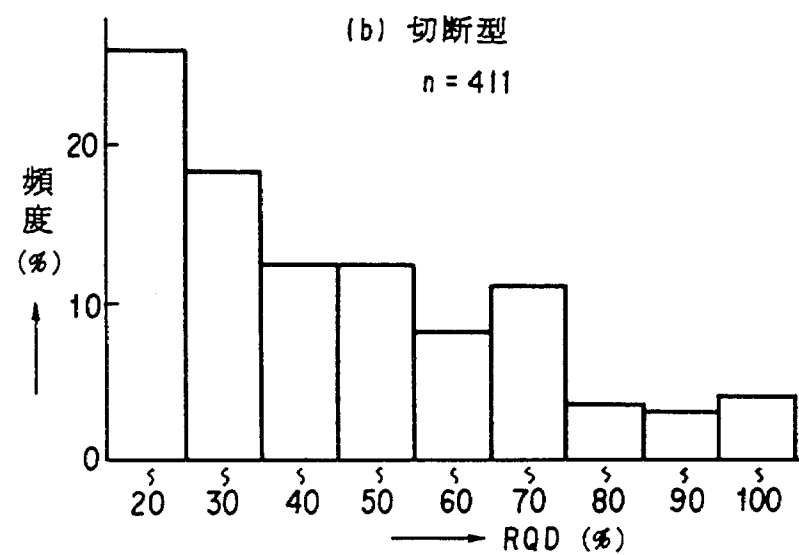
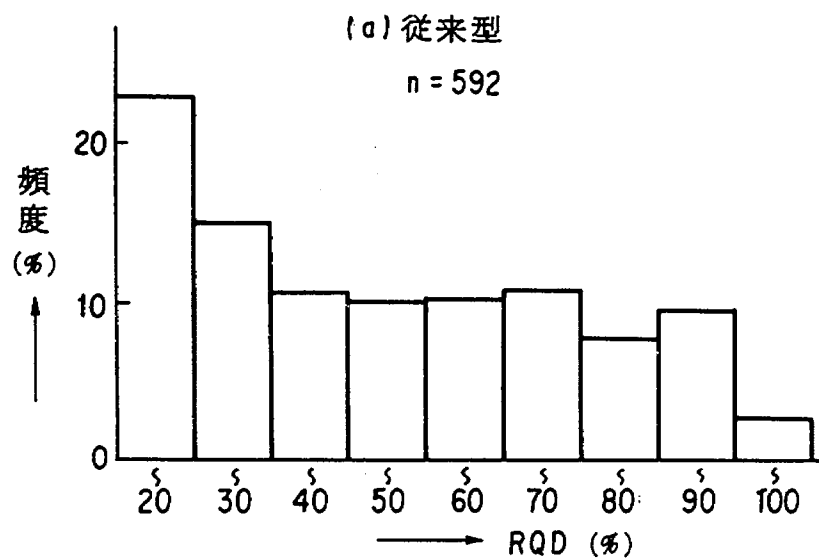


図-13 RQDとコアの伸びの比較

いう)してコア箱(長さ105cm)に収納した例を示している。RQDではほぼ同じ分布を示すのに対し、コアの伸びでは、切断型がほぼ1mを中央値として正規分布に近い分布を示すのに対し、従来型では5cmに集中した分布を示している。すなわち従来型では5cm以上のコア(図では、105cmのコア箱のため収納できないコアは捨てられたと思われる)が半数以上あり、1mのコア箱ではかなりの量が捨てられていることになる。

それでは一体コア箱の長さはどれ位が適切であろうか。図-13を見る限り、従来型では105cm以上必要である。しかしコア箱が極端に長くなると人力による運搬が難かしくなり、したがってコア箱の長さとしては105cm程度が良いと考えられる。一方、切断型では102cmあれば90%以上のコアが廃棄されることなく収納できる。これらのことから、102~105cmがコア箱として適当であると思われる(表-6参照)。

表-6 長いコア箱のメリット、デメリット

メ リ ッ ト	コアの切断を少なくできる。 廃棄するコアが少なくなる。 割れ目の形状、状態を正確に観察できる。 仕切板への対応が楽である。
デ メ リ ッ ト	深度標示が困難(スケッチの整理が繁雑)。 区切り線が問題 1人で持ち運びが困難 単価が高くなる。

次に、従来型と切断型とではコアの収納方法としてどちらが適切であろうか。図-14は、収納時の影響があると思われる両端のコアを除いて、中央の10cm以上のコア長の合計と基準長1mのRQD(通常のRQD)との関係を求めたものである。すなわち、収納時の影響のないものほど中央コア長が短かくてもRQDは高くなる。図-14では切断型の方が中央コア長が短かくてもRQDが高い傾向が見られ、コア収納方法としてより適切であることが判る。

尚コア箱には、ボーリング番号、孔口標高、当該ボーリングの深度等を明示する。また、コア箱両端には深度、および標高を記入する。

またコア箱の保管には十分留意し、特に野ざらししないよう、また水が溜ったままにならないようにし、長期間保管の場合にはコア箱の材質の検討も必要であろう。

ボーリングコアはコア箱に収納整理した後、写真撮影を行う。写真撮影は、コアは湿潤状態でいい、同時にカラーチャートを写し込む。写真の整理は、一般に報告書の場合には一枚一枚が多いが、コア写真集の場合には、図-15に示すように、柱状図を縮少し、写真と合わせるようにすると判り

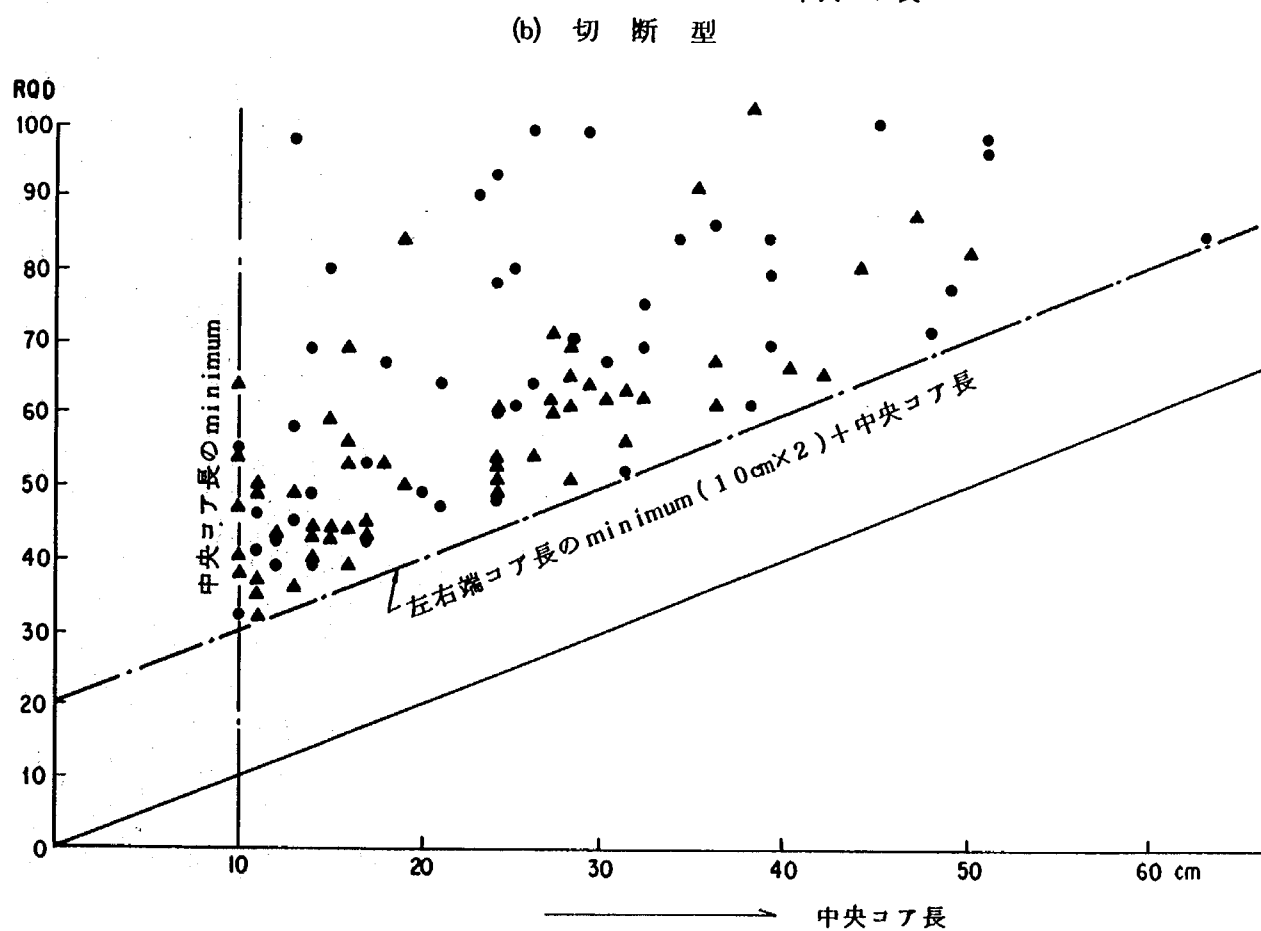
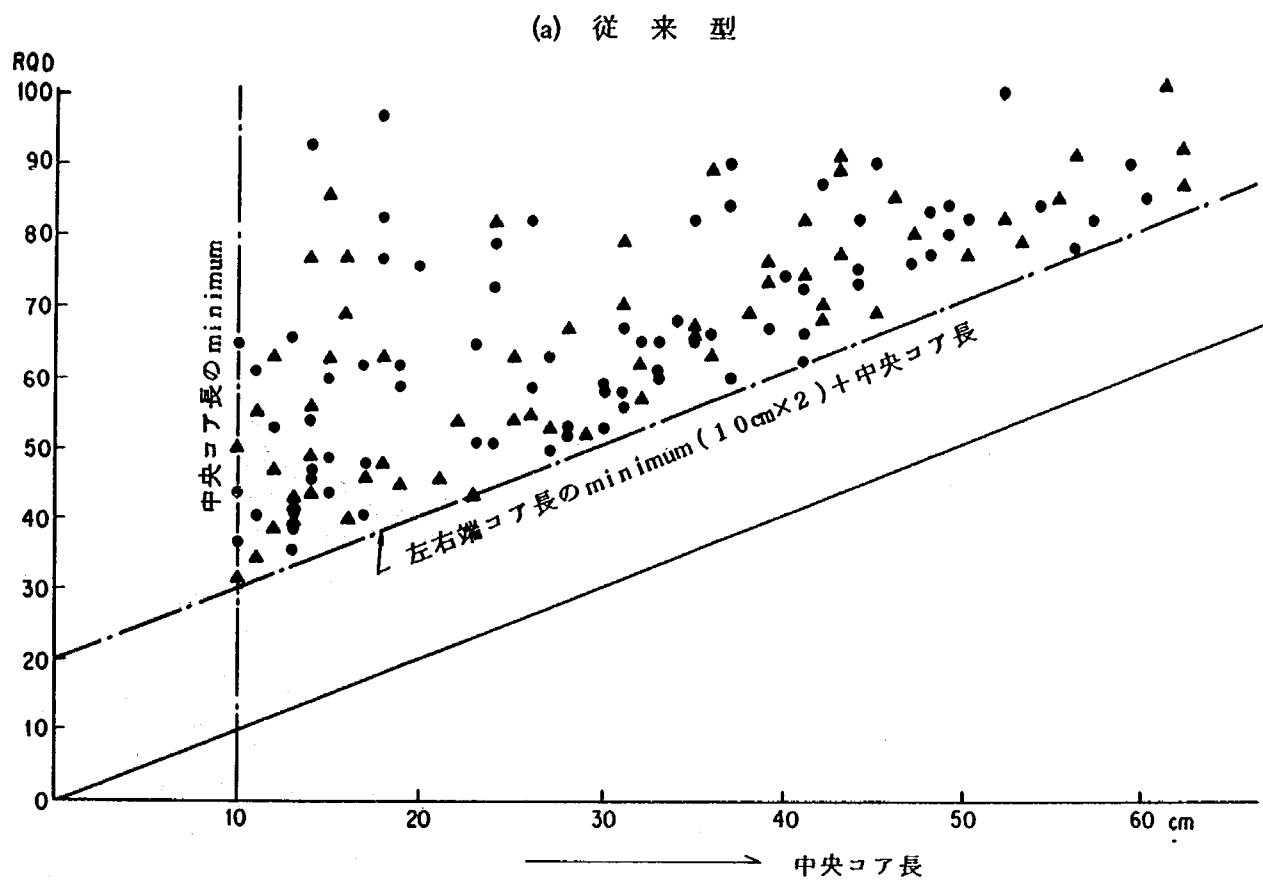


図-14 中央コア長と RQD

式样番号 NO.

[illegible]

— 194 —

易い。

4. おわりに

毎年ボーリングは数多く実施されている。その結果としてのボーリング柱状図、コアの整理は、調査目的に合致したものでなければならないが、第三者が誤りなく判断できるようにまとめておくことも必要である。このような意味から、ある程度の標準化が必要と思い、柱状図、コア箱について提案した。諸兄の御批判を頂き、より良いものを作成し、統一できるよう努力していきたい。

2—6 ボーリング資料の活用化に関する調査の概要

近 畿 地 方 建 設 局

近畿技術事務所 副所長 石 橋 良 哉

はじめに

近畿地方建設局管内のボーリングデータは、毎年の調査・工事に伴って蓄積され、近畿技術事務所に集積しているもので約1万本ある。それ以外に、各工事事務所分があり、今後も年間千本程度ずつ増加することが予想される。これらのデータの利用は、報告書・原図のままでは、

- ① 原データの保管に大きなスペースを必要とする。
- ② 検索に非常に多くの手間・時間がかかる。
- ③ 再利用のためには製図が必要である。
- ④ 断面図作成やデータの対比・検討が困難である。

など多くの不便な点があり、かつ、ときにどのようなデータがあるかを含めて、既存データが有効に利用され得ない状況にある。

マイクロフィルム化により①の保管面の改善はなされたが、他は依然として問題点として残されている。

既存データの有効利用を図っていくためには、このような障害を解消し得る方法の導入が必要と考えられたため、近畿技術事務所では、マイクロコンピュータを用いて、手軽に地盤情報の検索・利用が計れるよう、調査位置図の作成やボーリングデータのファイル化等のためのシステム化を進めるとしている。



報告書・原図からのデータ利用は非常に多くの
手間および時間が必要である。

1. マイクロコンピュータによる地盤情報の管理・利用の利点

図-1は報告書・マイクロフィルムからのデータ検索・利用とマイクロコンピュータによるそれとを対比したものである。

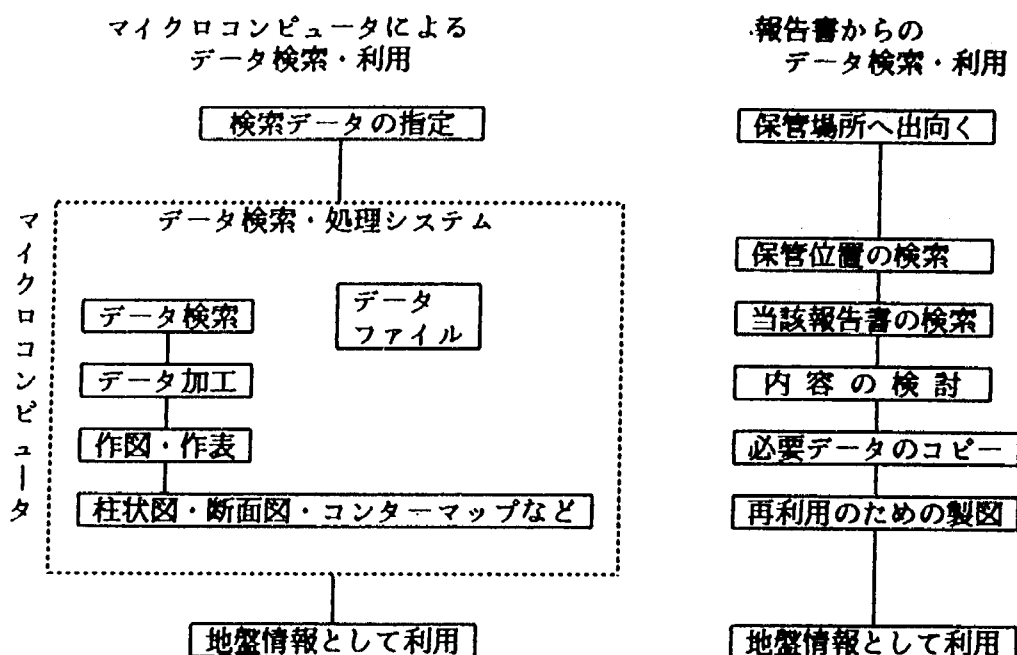


図-1 データの検索・利用の流れの比較

マイクロコンピュータの利用により下記のような利点が生まれる。

- ① データの保管にはわずかのスペースしか要しないため、多くのデータを事務所内に保管することができる。例えば、5000本の柱状図データは、25枚のフロッピーディスク（厚さ5cm）に収録・保管できる。
- ② ファイル検索機能により短時間に目的のデータを検索することができる。
（検索項目を、調査位置、掘進長、統一コード、調査内容等から指定し、特定の項目から検索することができる。）
- ③ データ一覧表や柱状図などを任意の形式で自動的に図表化できる。
（プリンタ、プロッタによる自動図表化が可能 …… 次項参照）
- ④ 任意の複数データから、断面図や柱状図等を自動図化できる。（縮尺は自由）

上記のような利点によって、迅速な既存データの利用が可能となり、今まで使用されなかったデータの活性化を図ることができる。

2. コンピュータによる処理方法の概要

(1) 資料の選択とコード化

個々のデータの位置は、基図（2.5万分の1地形図）上に示し、各データには、（国勢調査や国土数値情報に使われているのと同じ）標準メッシュコード（20万分の1地図コード4桁、2.5万分の1地図コード2桁、基準メッシュコード2桁から構成される…図-3参照）を付け、緯度、経度の数値データとして示される。

原資料の情報をコンピュータに入力し利用するためには、まず蓄積すべき情報を選択し、一定の形式に統一して数値コード化する必要がある。

地層名については地盤の状況を把握する上で必要な観察記事の内容を盛り込み、かつ現在柱状図記号として一般的に使用されている模様とほとんど同一のパターンを再現できるように工夫した下記のような土質コードを用いている。

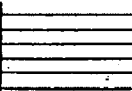
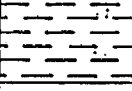
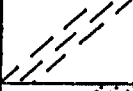
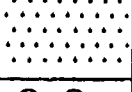
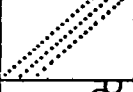
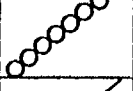
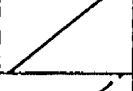
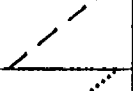
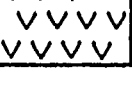
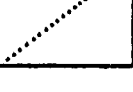
主 記 号			副 記 号			補 助 記 号		
土質名	コード	模様	土質名	コード	模様	土質名	コード	模様
表土 埋土	1 0 0							
粘土	2 0 0		粘土質	2 0				
シルト	3 0 0		シルト質	3 0				
砂	4 0 0		砂質	4 0				
砂礫	5 0 0		礫混り	5 0		礫混り	5	○ ○
腐植土	6 0 0		粘土混り	6 0		貝混り	6	⊙ ⊙
風化土	7 0 0		シルト混り	7 0		腐植物混り	7	Υ Υ
火山灰	8 0 0		砂混り	8 0		貝・腐植物混り	8	⊙ Υ Υ ⊙

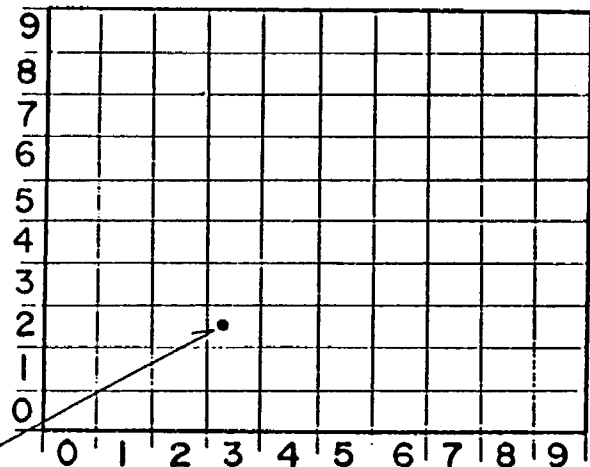
図-2 土質コード（土砂地盤）

5334	5335	5336
5234	5235	5236
5134	5135	5136
5034	5035	5036

(a) 20万分の1 コード

7	6	5	4	3	2	1	0
0	1	2	3	4	5	6	7

(b) 2.5万分の1 コード



(c) 標準メッシュコード

ボーリング番号 5135-55-23-01

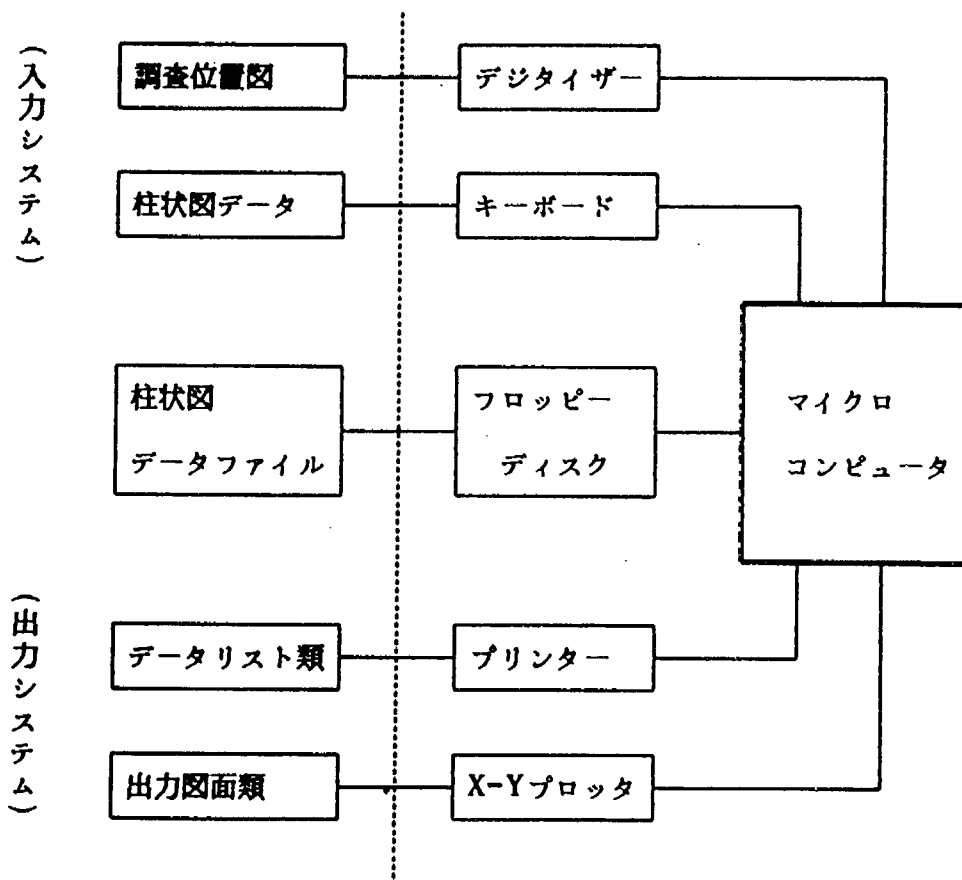
20万分の1 コード 標準メッシュコード 通し番号

2.5 万分の1 コード

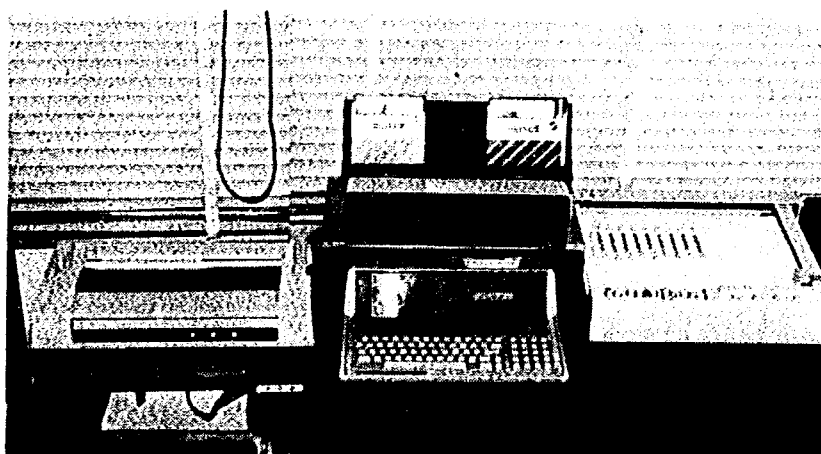
図-3 基本図とメッシュコード

(2) データの蓄積と保管

数値コード化されたデータは、下図に示すコンピュータシステムで処理し、すべてフロッピーディスク（磁気記憶装置）に保存する。



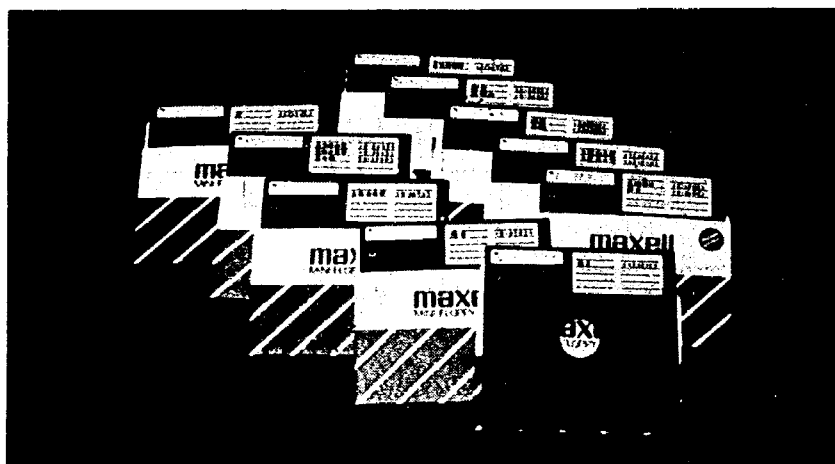
図－4 データ入出力のためのマイクロコンピュータシステム図



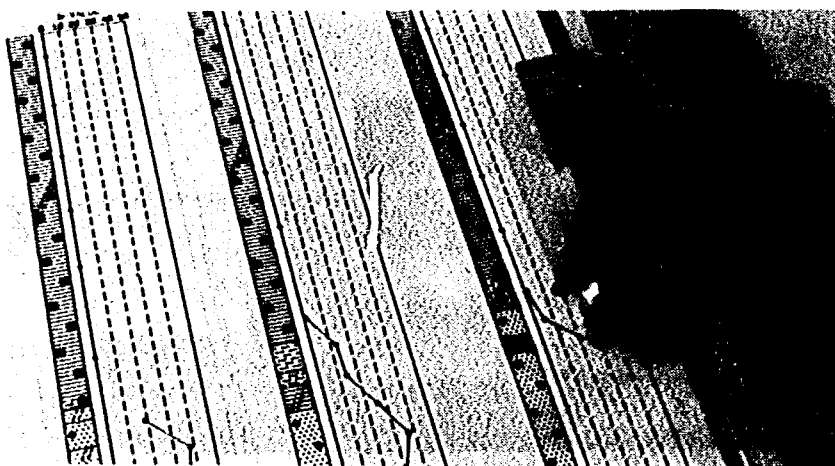
処理システム全景 左から、プリンタ、
キーボード、フロッピーディスク、プロッタ



数値コード化されたデータはキーボードより入力され、フロッピーディスク内に蓄えられる。



作成されたデータファイル：この1枚のフロッピーディスクで約200本分の柱状図データを保存することができる。



XYプロッタにより任意の縮尺、形式で柱状図・断面図を出力することができる。

(3) データの検索

検索方法には次の2つがある。

① ボーリング位置図から目的とする資料番号を見つけ、その番号で直接データを捜し出す方法で、目的地に近接した資料が必要な場合などに利用される。そのため、2.5万分の1の地形図を基図とした地点図を用意する。

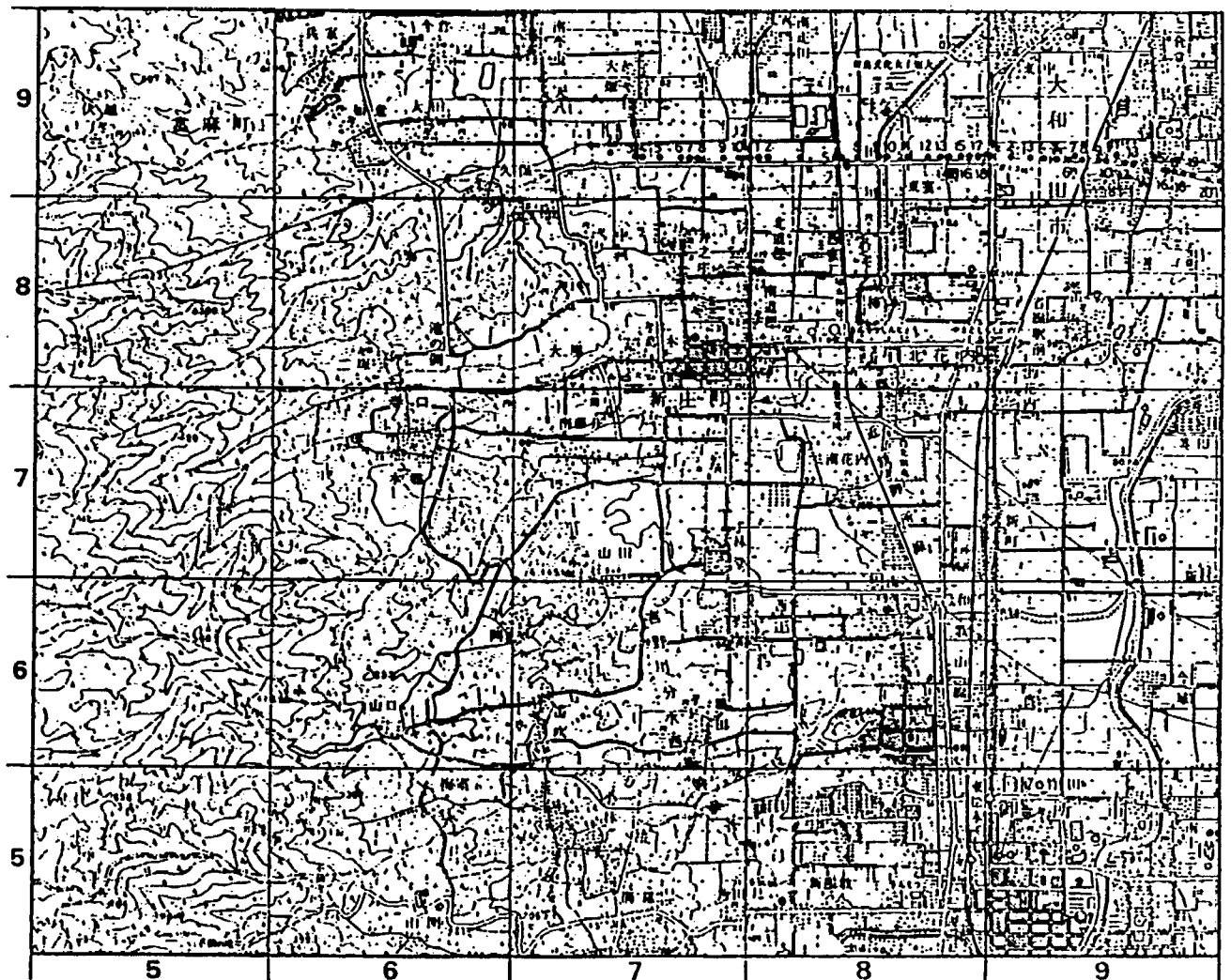


図-5 地点図（地図上から目的とするボーリングデータを探し出す。）

② 必要なデータを項目をもとに順次調べていくもので、概略の地域（メッシュコード）、調査年月、掘進長、道路や河川の統一コード、調査内容等を検索項目として利用することができる。

1/25000 MAP CODE [5135-55]

No.	NAME	DATE	LENGTH	CODE1	CODE2
1	98-01	1973.02	35.3	R-24	0
2	98-02	1972.03	25.5	R-24	100
3	98-03	1972.03	30.5	R-24	0
4	98-04	1975.05	29.9	R-24	0
5	98-05	1971.02	30.6	R-24	100
6	98-06	1971.02	30.6	R-24	100
7	98-07	1975.05	30.0	R-24	0
8	98-08	1972.03	40.5	R-24	002
9	98-09	1971.02	35.5	R-24	100
10	98-10	1971.02	33.4	R-24	100
11	98-11	1972.03	45.5	R-24	100
12	98-12	1972.03	30.5	R-24	0
13	98-13	1973.02	45.6	R-24	0
14	98-14	1972.03	32.5	R-24	100
15	98-15	1972.03	39.5	R-24	0
16	98-16	1972.03	35.2	R-24	0
17	98-17	1973.02	37.1	R-24	0
18	98-18	1973.02	40.2	R-24	100

図-6 2.5万分の1地形図（地図コード5135-55）のメッシュコード「98」に含まれる資料を検索した例

1/25000 MAP CODE [5135-55]

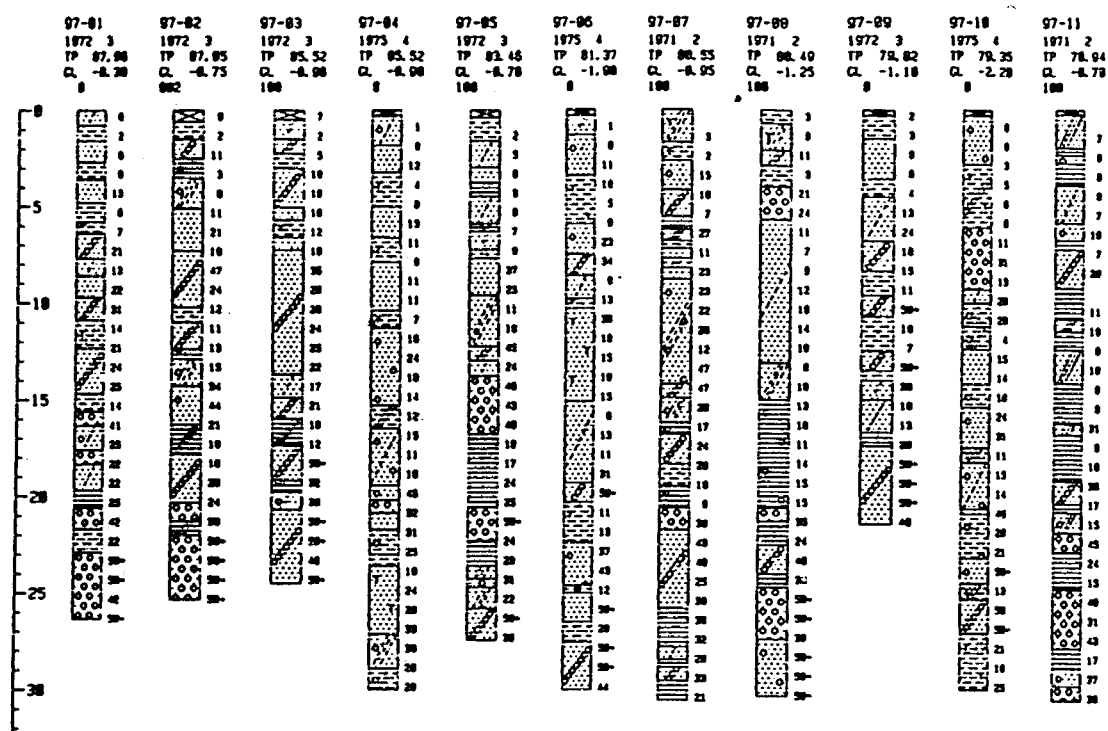
No.	NAME	DATE	LENGTH	CODE1	CODE2
1	97-12	1973.02	35.6	R-24	0
2	98-01	1973.02	35.3	R-24	0
3	98-08	1972.03	40.5	R-24	002
4	98-09	1971.02	35.5	R-24	100
5	98-11	1972.03	45.5	R-24	100
6	98-13	1973.02	45.6	R-24	0
7	98-15	1972.03	39.5	R-24	0
8	98-16	1972.03	35.2	R-24	0
9	98-17	1973.02	37.1	R-24	0
10	98-18	1973.02	40.2	R-24	100

図-7 2.5万分の1地形図（地図コード5135-55）の全データから掘進長35m以上の資料を検索した例

(4) 出力例

フロッピーディスクに蓄積したデータは任意の形式で出力することができる。

- (a) 柱状図を連続して出力した資料集の作成
- (b) 鉛直・水平の縮尺を任意に設定した断面図の作成
- (c) 詳細な深度が必要な場合、一覧表の形で出力



図－8 柱状図を連続して出力した資料集の作成

Bor. NAME	5135569110	Doro Kasen CODE	24
GROUND HEIGHT	TP 64.3	Gyubetsu CODE	100
WATER LEVEL	GL -1.2	Gyosei Kukaku	
DATE (Year Month)	1971 9	JIMUSYO CODE	15
LENGTH	18.45	MICRO FILM No.	15 -4
100 KEIDO			

No	HEIGHT	THICKNESS	DEPTH(U)	DEPTH(L)	GEOLOGY
1	63.200	1.100	0.000	1.100	100
2	61.500	1.700	1.100	2.800	327
3	60.100	1.400	2.800	4.200	405
4	59.200	.900	4.200	5.100	347
5	55.300	3.900	5.100	9.000	450
6	53.550	1.750	9.000	10.750	400
7	52.450	1.100	10.750	11.850	500
8	51.450	1.000	11.850	12.850	200
9	50.500	.950	12.850	13.800	405
10	45.850	4.650	13.800	18.450	500

図－9 詳細な深度が必要な場合、一覧表の形で出力

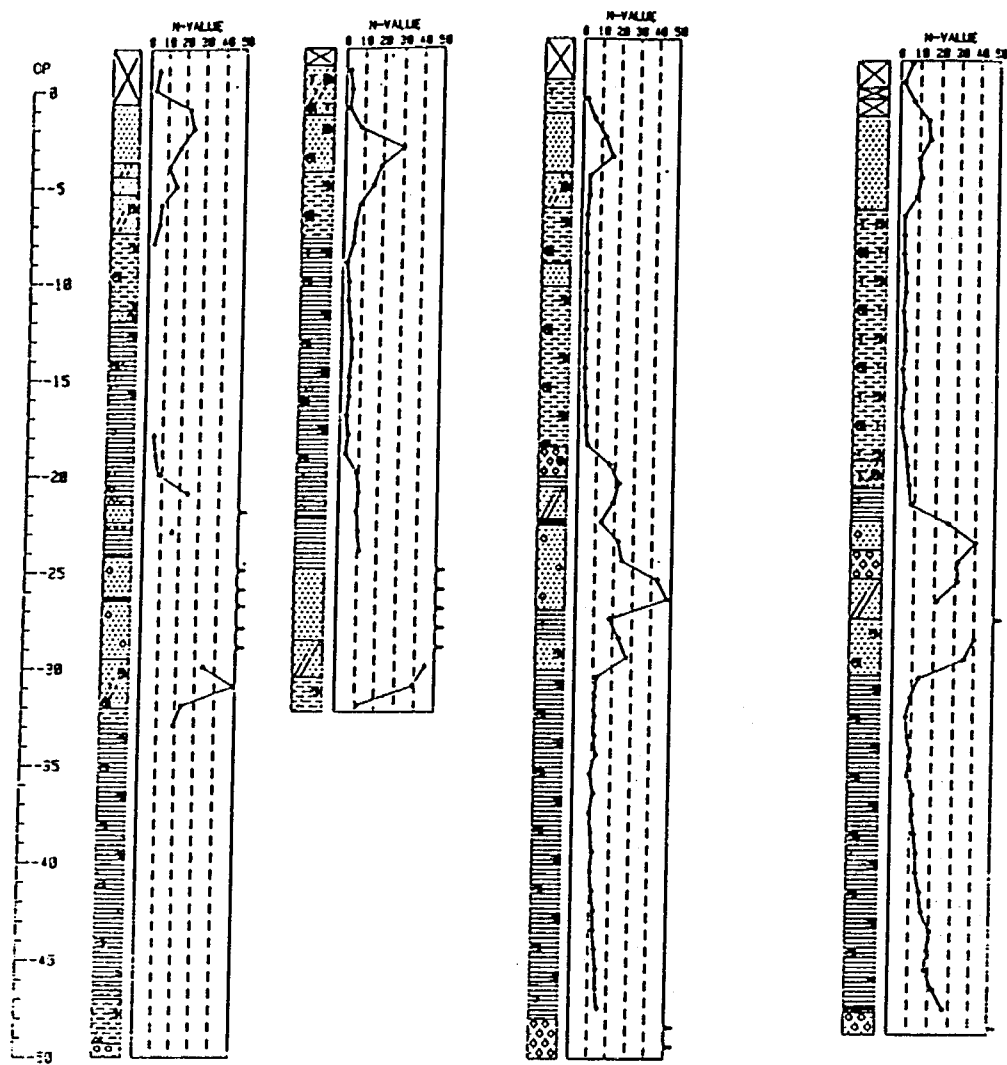


図-10 鉛直・水平の縮尺を任意に設定した断面図の作成

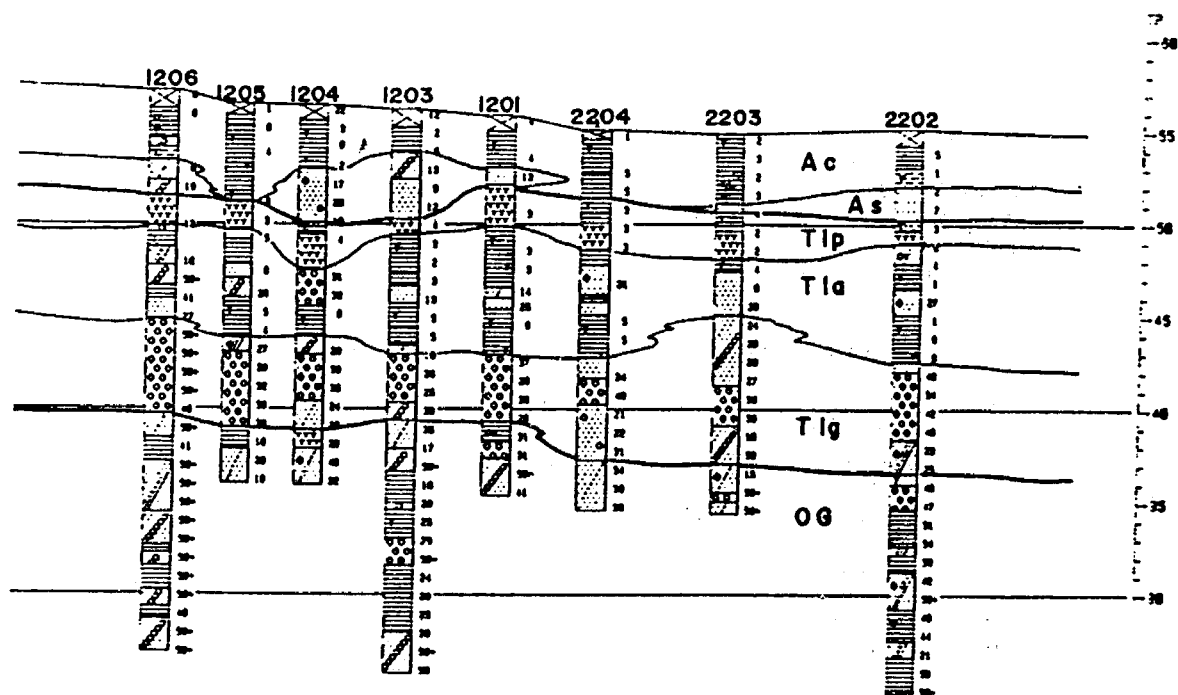


図-11 断面図作成例 (奈良盆地)

3. 将来の展望と課題

(1) 蓄積データの利用

すでに処理を終えている柱状図データをはじめ、土質試験や原位置試験等の情報を含めたデータが蓄積されれば、さまざまな目的に応じた利用が可能となる。

目的別に分類すると、

- ① 構造物の維持管理（付帯施設、増改築計画を含む）
- ② 新規開発計画の事前調査
- ③ 既存資料の集成・検討
- ④ 地盤評価区分の確立
- ⑤ 工学的・地質的研究・検討

に分けることができる。これらについて、具体的な利用目的と、処理可能な内容をまとめると下表のようになる。

表－1 地盤情報データファイルの利用

	①	②	③	④	⑤
	構造物の維持管理 付帯施設計画 増設・改築計画	新規開発計画の事前調査	既存資料の集成・検討	地盤評価区分、類型区分の確立	地質学的、工学的 研究・検討
目的	○検討地点の地盤状況を把握する ○構造物設計・施工に対する基礎資料 河川……漏水対策 護岸工事 道路……安全施設計画 補修・付替え	○検討地域・区間の地盤状況の把握 ○調査計画立案の検討資料 ・調査地点 ・調査内容 等の検討 ・数量 ↓ 調査費の概算 ○概略設計の基礎資料	○地盤評価区分設定の基礎資料 ○資料内容の吟味 ・新たに調査された結果の評価・検討	○建設省評価基準の設定・確立 ・防災（地震）対策への利用 ・概略設計に利用 ・未知地点の地盤状況の把握	○土質工学的検討 ・地層別の土質特性 ・地域的な土質特性の変化 ・地層の年代と土質特性の関係 ○地形・地質学的検討 ・地形との対応関係
処理内容	○データの検索・抽出（柱状図一覧表） ○原データの検索 ○柱状図・断面図の図化	○ある範囲内（地域or区間）の既存資料の検索・抽出 ○評価区分・類型区分による予備判定	○評価図の作成 ○評価区分と試験データとの関係図	○評価図の作成 平面分布図 断面図	○各種相関図作成 ○統計・解析

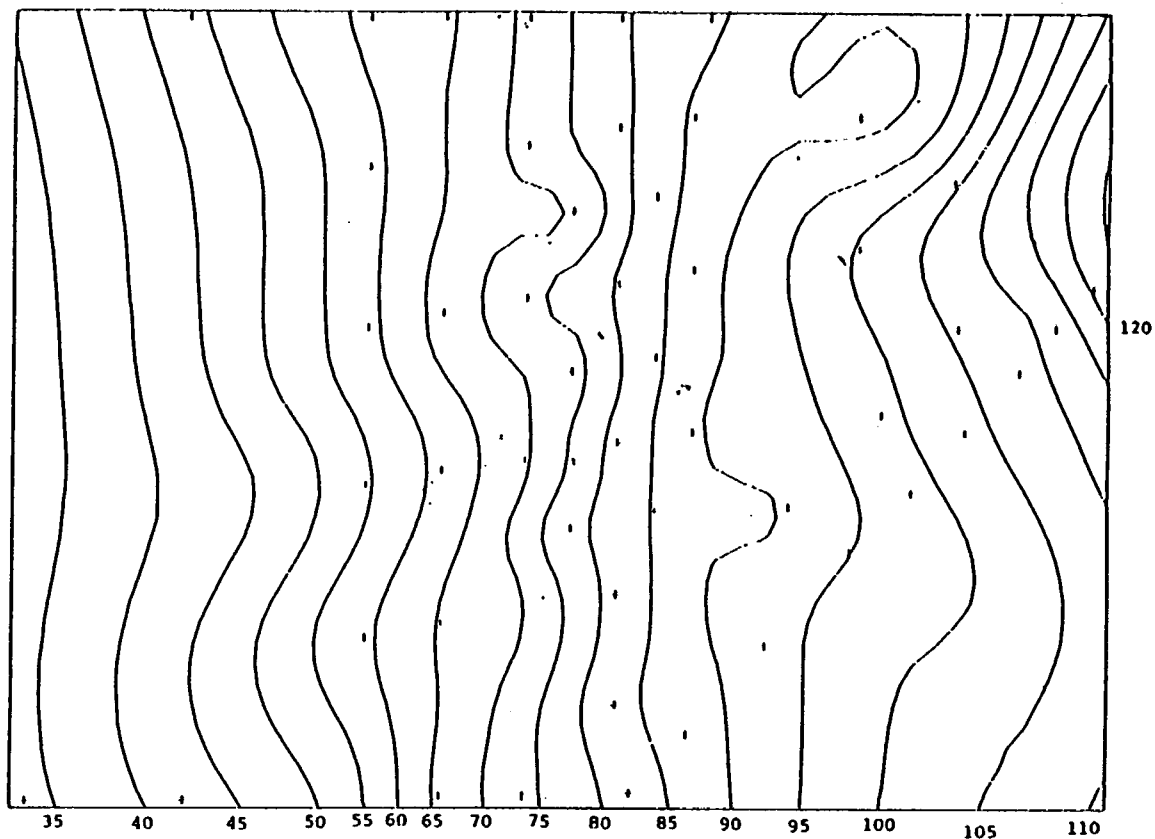


図-12 コンターマップ例（関西国際空港地盤地質調査より）
上部洪積層M1層下限の深度をコンピュータで図化

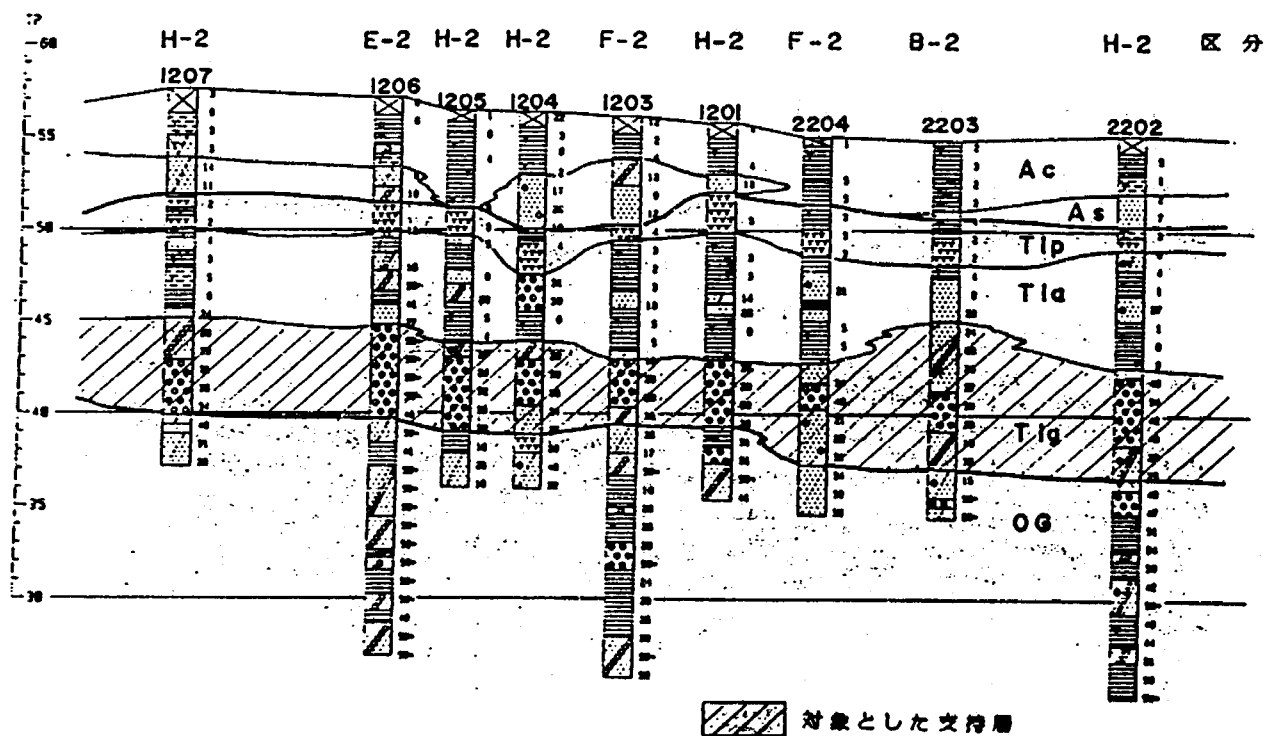


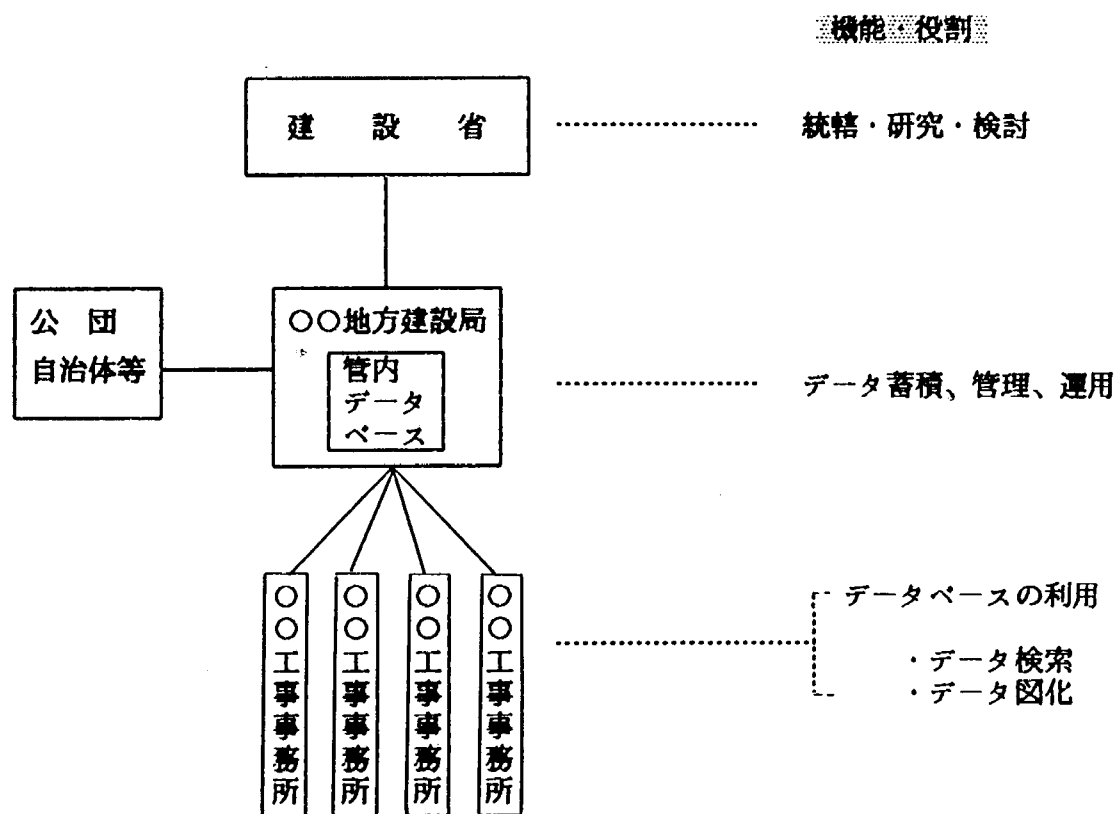
図-13 支持層に基づく地盤の類型区分例

(2) 今後の課題

ソフト・ハード両面から今後検討を加えていく必要のある事項についてみると、

- ① 各地建内でのシステムの構築
- ② ソフトウェアの整備
- ③ 土質試験および原位置試験結果のファイル化
- ④ 岩盤データの整理・ファイル化
- ⑤ その他（コア情報の記録）

等が考えられる。



質 疑 応 答

桑原 これは、もう建設省内部の方は、自由に使えるようになっているんですか。

石橋 現在、まだ1万本のうち、2千本ぐらいしか整理されてませんので、あと5カ年ぐらいしないと、使いものにならないと思います。それで、これは将来、建設技術情報会の方へ移っていくのではと思われますので、その点の作業は今後やっていかないといけないと思います。

2—7 総合討論

総 合 討 論

司会（桑原） それでは総合討論のほうへ移らせて頂きます。ボーリングのことにつきまして、何でも結構です。今日の発表に関連したこと関連しないこと、いろいろ大きな問題があろうかと思います。その辺につきましていろいろ活発な議論をお願いしたいと思います。どなたでも結構ですので、よろしくお願い致します。

榎本 北陸地建の湯沢砂防工事事務所の榎本でございます。ちょっとちがった見方をしております。ボーリングをやるということは、地盤の実際の露頭と言いますか、見える所を増やしたんだと思います。ボーリングというのは、むしろその為にするということでありまして、コアはその副産物ではなからうかと考えられるわけでございます。従いまして副産物の話をいろいろおやりになって整理するということも、大変必要なことかと思いますが、一方で、その増えた露頭をよく観察するということが非常に大切なことで、地質はそれが基本だというふうに思っております。

過日、胃カメラじゃないんですが、ボアホールカメラというようなものも開発されたというふうにも聞きますし、孔内探査も開発されていると聞きますが、とりあえずお聞きしたいのはボアホールカメラの汎用性、あるいは今後の開発状況等についてお聞かせ願えればと思っております。

司会（桑原） ボーリングのボアホールテレビの現状についてお話致しますと、ボアホールテレビあるいはカメラに類するものが約3つございます。一つはボアホールテレビと言われているもので、これは川崎地質(株)が作っております。それからボアホールスコープというのがありまして、これは胃カメラとまったく同じ原理です。これは古河電工から一つ出ております。それからボアホールカメラというのがあります。これは写真を撮るもので主として管路、たとえばガス管の検査によく使っているようでございます。このだいたい3つの種類がでございます。

それでボアホールテレビ及びボアホールスコープといわれるものは、だいたい孔径65ないし75mmのものに入ります。ただ、可視光線を使っております為に、清水を使わないと駄目だという非常に大きな欠点があります。色そのものは最近カラーテレビ、ICが発達しまして、清水であれば非常にいい色のものがでてくるというようになっております。ボアホールテレビにつきましては、3年か4年くらい前に建設省の技術評価制度で、一応合格点を頂いております。

ボアホールスコープにつきましては、それはやっていないんですけども、胃カメラと同じ原理で光ファイバーを使っておりますので、色等につきましては充分なものではないかというように思っております。あとカメラの方も可視光線を使いますので、どうしても泥水を使うと駄目だという欠点があります。

それを解決するのは、今日、稲崎さんの方から話されましたボアテレビビューア、あるいは超音波を使っているもの、これは色は見えないわけですけど、亀裂等はよくわかるというようなことになっております。それから反射波テレビビューアに類するレフロガというのがありまして、反射検層をやり亀裂を出します。これは水さえあれば良いということで、特に泥水であってもかまわないということで

す。だいたい以上が現状だと思いますけれども、よろしいでしょうか。

榎本　そういうものを私共の現場で使いたいとすると、レンタルだとか、特殊会社に委託するとかいうようなことになるのか、たとえば写真機のようなものでですね、そういう場合には現場の係員が行って見れるというような状況なんでしょうか。たとえば専門会社じゃなくても、そういうものを使えるというような状況になっているんですか。

司会（桑原）　今、そういう機械、特にテレビになりますと非常に高価なものですから、特に問題があるような所によんで来て見て頂いているというのが現状のようです。もう少しカメラの価格が安くなりますと、ジャーミングとかの問題がおこっても、大丈夫じゃないかと思っております。ただ、これの利用の仕方に非常に問題がありまして、テレビの画面で色とか割れ目の方向だけが見えるので、それをどういうふうに工学的な評価に結びつけていくかということが、1つの技術課題になっております。この辺ももう1つ工夫があるのではないかとということで、異なった2種類の波長を同時に出して、その反射でわかるのではないかとというようなこともメーカーの方では多少、検討されているようです。

榎本　どうもありがとうございました。

司会（桑原）　その他何かございませんでしょうか。

丹波　東北地建の丹波でございます。柱状図等の資料のまとめ方について思いついたことを2つばかり、ご質問したいと思います。1つは最後のご発表で石橋さんがされましたように、最近ではボーリング資料を電算にデーターをインプットするということが行われるようになってきましたが、それに関連して柱状図を、まとめる時に電算に入れやすいような形にまとめるということが必要だと思えます。定量化ということについては安易にすべきでないという意見もありますが、たとえば東北でも花崗岩帯とか、厚い火砕岩の堆積物などのサイトですと柱状図では、ほとんど岩の岩質としては分類できません。そこで柱状図の中の記事の部分に、比較的こまかく書いてあるわけですが、それを電算情報としてインプットすることは、今のような書き方ではむずかしいのではないかと思います。そういうものをある程度定量化しておけば、後で整理する時にもしやすいのではないかと思います。

それからもう1つ、柱状図に記録するものは、その岩質等の基本的な性格を伝えるわけですが、それと同時にコアが出た状態、オリジナルな状態でのコアの情報というものを記録しておく必要があると思えます。それで中村さんのご発表の写真の中にもありましたが、最近、コアの採取技術もかなり進んでまいりまして、段丘の堆積物でも非常に生々しくコア写真の形で撮られており、それで代用することもできますが、割れ目の方向性とか、先程、平野さんの質問で言われたような割れ目の状態などを記録しておくということが必要なのではないかと思います。

司会（桑原）　2つ程ご指摘がありました。1つは電算に入れやすい形ということで、たぶん花崗岩とか破碎帯の所で記事をこまかく書き、それをうまく電算化できないかというようなお話だと思います。この辺は市川さんの方にもお尋ねしたいと思いますが、市川さんのお話の最後の方に、書き方をいろいろなフォーマットでやられているということですが、そのようなやり方も今の1つの方法だ

と思います。亀裂の方向性とかあるいは形、あるいは粘土を挟んでいるとか挟んでいないとか、そのようなものを1つ1つ記号化して、表示するというやり方があるかと思います。ただ、初めから記号化してありますと、どうも読む時に読みづらいというようなことがありまして、私のところではとりあえず文書にしておこうかといった訳です。その辺はどうしたら良いかということ、市川さんの方から補足して頂きたいと思います。

それから柱状図に記録するもの、先程、オリジナルな状態での情報ということがあったのですが、これにつきまして地質官の方からお話がありましたように、最近、出す時にビニールチューブに入ったものがあり、そこから引き出したままで保管するとか、あるいはそのまま写真を撮るとかという方法があるかと思います。それから割れ目の方向性につきましては、最近マーカーでやっている所もありまして、あげてきたコアがどちらの方向を向いているかを知るために、最初からコアに印や傷をつけておくという方法もあります。そうしますとそのコアが、どちらを向いていたかというようなことは現在の技術でわかるようになっております。

割れ目の状態についてですが、コアを出す時の伸びとかいろいろな問題があり非常にむずかしいと思います。その辺は先程話に出ました、テレビで見る、あるいは写真で見る、あるいは検層をやって確かめるというようなことも、きちんとやる為には並行していかなければならないというように思っております。市川さんの方から何か補足をお願いします。

市川 ちょっと補足させていただきます。柱状図に書くのと、検索がしやすいように高度化して電算に入れるのとは、また別の話だろうと思います。私の話した中で後で見て頂ければよいのですけれども、8ページ位から15、16ページ迄ごちゃごちゃといろいろカテゴリー分けしてあるのですが、むしろこういう形のものであれば電算に入れるには、ある程度、加工してやらないと逆に入ってこないだろうと思うのです。それから柱状図というのがよくわからないのですが、だいたい柱状図1枚で片付けるのですが、ことによったらやっぱり柱状図は2枚位いるのではないのでしょうか。たとえば桑原さんの資料の13ページを見ますと、掘削状況というのがあるのですが、掘削状況というのとそれから実際に試験した岩盤をどう解釈して、どう読めばよいのかという話の時に、この掘削状況がそれほど影響するだろうかという気がします。場合によったらこれは、別のレポートで済ましておいて、もう少し試験の結果とか、コアに関する記事を入れるとかいう話になるのではないかという気もしております。1枚の柱状図で何でもわかるようにしようというのは非常にむずかしいのですけど、いわゆるボーリングをやったことの記録なのか、それとも、やった結果を見直して総合的に判断した結論を出したのが、柱状図なのかという根本的な問題があるような気がするのです。私はどちらかというやった結果の記録ではなくて、その結果やコアを全部見た結果の判断の答の図だろうと思います。あまりそれを強調しますと、非常に個性的な柱状図が出てくることになって困るだろうと思うのですが、どちらかというそういうようなものじゃないかという気がしております。

司会(桑原) 今のお話につきましてまだ、どなたかご意見のある方いらっしゃいませんか。たくさんボーリングコアを見てらっしゃいますダムの方とかいかがでしょうか。今の市川さんのお話ですけ

れども、私はどちらかという見た結果の判断も非常に大事ですが、正確にどういうもので取ってきてどういうふうになっているかというのを残しておく、後でそれを見た結果を判断する人がいると思いますので、できるだけ判断を入れない情報をキチンと整理しておく必要があるのではないかと思います。それをできるだけ復元できるという形にしておくことが大切だと思います。

平野 土木研究所地質研究室の平野です。同じような議論になると思うのですが、柱状図に必要な情報を書く場合は、いったいどこまで書けば良いかという話になるかと思います。たとえばダムの場合には調査に数年かかるわけですけど、自ずとボーリング業者とダムの地質解析を行うコンサルタントというのは違う場合が多いわけです。その地質解析をやる地質屋が、柱状図を見てそれだけで地質解析あるいは地質断面図を書けるようなところまで柱状図を書く必要があるかどうかという問題があると思います。あるいは逆に何のために柱状図を作るかというのが非常に大事なような気もしますが、その辺のことを市川所長なり桑原室長なりに、何かコメントありましたらお願いしたいと思いますが。

市川 地質の解析の話になりますと、やはり私は残念ながら柱状図だけでなくコア箱も見ないとわからないだろうと思います。先程、中村専門官の写真を見せて頂いたように、とにかく一冬置いたら駄目になるようなコアもたくさんありますし、コアにして取っておきますとどうしても情報とか取った時の生々しさがわかりません。先程、中村専門官に見せて頂いた花崗岩片の壊れたようなものは、かなり妙な偏圧を受けて一種の軽い剪断でも受けたと解釈せざるを得ないので、やはり、コアだけを見たのではわからないだろうと思います。そこで柱状図をどうやって書くかということになると思います。その時に記事の中に桑原さんは、いろいろなたとえばコアが棒状であるかということをカテゴリー分けすればよいというお話をされたと思います。このようにたとえば何かの形で、岩としての堅さ、亀裂の間隔、割れ目の中が、どうなっているのかというようなことを、柱状図にしておけばかなりよいと思います。

それから先程、桑原さんのお話にありましたように、柱状図の脇にコア写真が添付されているものをいろいろなダムで見せてもらいましたが、柱状図を見る時に非常に役に立ちます。このような形の柱状図も非常によいと思います。個々のダムサイトで何が一番決め手なのか、割れ目が多いことなのか、変質がひどいことなのか、未固結物が入ってくることなのか、というようなことが、わかるような記事の書き方を柱状図のどこかに書いておけば、見る時非常に役に立つと思います。あと桑原さんお願いします。

平野 どうもありがとうございました。質問者の真意はいくら良い柱状図であっても、地質解析を行って断面図などを作るためには、それ以上の情報が必要だということです。たとえば地質図を書くために必要な情報を1 mのコア分を書くとすると、1 ページなり2 ページなりになるという可能性もあるわけです。ですからどうしても地質屋、地質コンサルタントなど解析をやるものは、もう一度コアを見直さなければならぬのではないかと強調したかった訳でございます。

司会(桑原) 私もまったく同感で、地質図あるいは断面図を書く時にはもう一度コアを見なければならぬと思います。それは市川さんも言われた通りです。ただコアが変わる時に、掘削直後の情報

をどのように表現しておくかということと、どのような掘削方法であるかということ、正確に残しておくことが、必要であると思っております。他に何かございませんでしょうか。

松尾 土木研究所の動土質研究室の松尾と言います。ボーリングから得るデータの客観性に関して、今、お話がありまして気付いたんですが、客観的なデータというのは有り得ないんじゃないかと思うのです。というのはたとえば何でもいいですが、誰かに灰皿とは何か教えなさいという問題を出したら、形、材質、あるいは寸法などいろいろ書く人の主観によって違うと思うのです。ですから客観的な情報伝達というのはあくまでも不可能だと思います。それでこういう調査の場合には、調査する所からそれを見て判断するまで、相当の分業がありその間にいろいろな誤差が含まれてくると思います。どのように書いて伝達するかということを見ると、最終的に何をどのように判断するのかということが、まず前提としてなければならないと思うのです。たとえばダムサイトの適否と言うのは、最終的に日本で数人しかいない専門家の判断に依っていると聞いております。と言いますのは、これも個人的な考えですが、他の人に伝達できるようなものでないと思われているからです。そこで個人に所属するようなものというのは技能というか、人間国宝のうるし塗りの技術などのような気がするのです。ですからそういう判断というのはもっと客観的な立場ででき得ないものかということ、よく疑問に思うのです。その限界が何処にあるのかということ、もしお考えがあれば教えて頂きたいのですが。

大木 非常に難かしいと言いますか、一律的に言うことがなかなかできないと思うのです。客観的に使えるというのは、非常に大きな要素だとももちろん思います。それが柱状図に書けるものだろうと思うわけです。ですから今、その人その人によって違うものでないようにしようということで、いろいろ議論しているのだと思っています。ただし地質解釈は非常に千差万別でありまして、それをある程度統一的にしたら、それで済むのかというと絶対そういうことはないと思うわけです。それ以上のことがどうしても残っておりますが、その辺はやはり若干技術的な判断ですから、人によって違って来る要素があるわけです。例えばボーリングのコアを解釈する、そこで地質的な解釈をする訳ですね。ですからそれはある程度避けられないことだと思います。ただし、最低限どこまでかというのは、今、議論している項目の整理になってくるのだと思います。では具体的にどの項目かということは、時間をかけて議論すべきで今日結論を出して統一しようなどということを考えている訳ではございません。今日はいろいろ意見を出しておけばよいと思います。いずれにしても客観的に通用することがベースにあるということは、間違いのないと思います。具体的な項目は今日は言うことができません、申し訳れませんが、よろしいですか。

藤田 一言、感想めいたことを申し上げます。私は地質化学部という地質研究室等がある部におりながら実はこういうことに関してはずぶの素人でございます。私がいろいろ材料試験をやる立場から少し感じる点を言いますと、まず議論で整理して頂きたいことは、市川さんがおっしゃったように、電算処理はどちらかというと、私共が文献検索をやる時にキーワードを与えてアブストラクトを見るような種類の整理であると思います。そしてアブストラクトの興味によってオリジナルを見たいときに

まずオリジナルが何処にあるのかを探せるようにしておくことが、むしろ重要ではないかと思います。

もう一つはオリジナルの作り方です。今、柱状図について議論されておりますが、たとえばアルカリ骨材反応の岩石の有害性を測るASTM法というのがありまして、これは非常にスリムな供試体を使いますが、イギリスでは2インチの5 cm角のもので行っています。そこで、どの石を測ったら膨張量がどのくらいだったという時に必要なことは、まず供試体の寸法がどうであったという事実を書しておくことです。それから環境温度、実はアメリカでは38度で行うことになっていますが、イギリスのある所では38度では反応しない石まで反応するので20度で行うべきだとしています。それで20度を推奨している人もいます。現在とられているデータは、そういういろいろな角度からよかれと思うことで蓄積がはかられている訳です。それで今日これが絶対的なものだという基準が決まらないのであれば、どういう条件でそのデータが出されたかが正確に記載され記録がしっかりしていることが、後にそのデータを活用するものになるのではないかと思います。その辺の概念をどこまでに定義づけるかということを整理して、柱状図のあるべき姿を求めたいかがかと思います。又、柱状図も岩盤と普通の土を対象にしたものとではかなり違ってくるのではないかとということで、この辺も議論を分けるべきではないかという感じが致しました。

司会(桑原) 他に何かご意見、ご質問ございませんでしょうか。時間もまいりましたので、まだご議論あろうかと思いますが、この辺で打ち切らせて頂きます。これにつきましてはもう少し議論を重ねてまいりまして、又、土研内でも検討してまいりまして、できれば少しでも地建の方に先々共通仕様書などで取り上げて頂ければと思っております。ひとつよろしくお願い致します。それでは、閉会の挨拶の前に、土木研究所の研究調整官に今日の最後のまとめをよろしくお願い致します。

村上 只今ご紹介頂きました土木研究所の研究調整官の村上でございます。私は道路屋でございますが、地質のことはあまり知らないのですが、今日は一日勉強させて頂きました。年に一回ではございますが、建設省の地質の仕事をされておられる方々がお集まりになって、地質担当者会議が行われるのは、非常によいことだと思っております。今日は一日熱心に意見の発表、交換が行われた訳でございまして、今後の仕事にそれが跳ね返ってくることを期待しておるものでございます。

今、コアの採り方だとか整理の仕方だとか非常に難しい問題をご議論になった訳ですが、蒔田地質化学部長が申しておりましたように、方法がはっきり決まらないときは、きちんと記録をしておくとか、あるいは情報化するための目的が何かということをしちんとつかんでこの問題を整理していくことが大切なのではないかと思います。地質の仕事は悪く言うと、先程こういう質問も出ておりましたが、万人に共通でない分野でございまして、今後、難かしさはあるにしてもこういうことをなるべく減らしていくことが大事なことだと思います。

私は道路屋なので道路のことをいろいろ考えてみますと、たとえば人によって非常に違うのが交差点の設計です。これをどうするかという時に設計にはルールがございませんので、どのようにしたら一番よいかということが問題になります。まず取りかかりは交通事故の数を調べることで、どこかの交差点が悪いとするとそれを改良するにはどうするかということから始める訳です。結局ルールがあ

まりははっきりしておりませんので、こうするのがよいと思ってる人もいれば、あいつが言ってるのは違ってるという人もいる訳です。地質の場合にもたとえば同じボーリングを見ても、人によっておそらく判定が違って来るようなことがあると思うのです。山自身が土の中の話で非常に不確定要素が多いということもあり、統一することは難かしいと思いますが、徐々に解釈することがルール化されていくのが理想であろうと思います。交差点の話も最近はかなり整理されてきておりまして、このボーリング地質の分野でも、整理の方向に是非進めて頂きたいと思います。素人ですのでビントはずれなことを言っているかもしれませんが、このような気が致します。

それから今日の会議を途中少し抜けましたが、一日聞かせて頂いて感じましたことは、発表者に対する質問がほとんどなかったということです。最後のフリーディスカッションの段階でかなり活発な意見交換が行われまして、この点は非常に良かったと思います。欲を言わせて頂きますと、来年からは1つの研究発表に対して何人かの方からいろいろ質問があるというのが望ましいのではないかと思います。どうして質問がないのかと思っていろいろ考えますと、机の配置が悪いのではないかと思います。背中同志向きあって質問しようとしても、発表者の声だけは聞こえるけれど、なかなか顔が見られない配置になっております。会議は私共、土木研究所が主催しておりますので、そういう意味から言うと、どうも私共の方の配慮が足らなかったのではないかと考えております。来年からは少しその辺も考慮したいと考えております。

もう一つは資料がこの場で配られますので、質問しにくいということがあるのかもしれない。この辺も私共の方で来年は出来るだけ意見が活発に出るような工夫を、考えなければならぬと思っております。今日是一日、本当に難かしい大切な問題についてご議論頂き、私共この会議をお世話しております土木研究所と致しまして、非常に感謝申し上げている次第でございます。今後、今日得られました成果が、実際の土木工事に有効に使われ利用されることをお祈り致しまして、私の感想とさせていただきます。

司会（桑原） 大変貴重なお話ありがとうございました。

第18回地質担当者会議資料

ISSN 0386-5878
土研資料 第2221号
昭和60年3月(1985)
地質研究室

キーワード:長野県西部地震・NATM(ナトム)・コンクリート・ボーリング・掘削技術・評価法

要旨 第18回地質担当者会議において発表された研究, 報告, 講演内容とその討論内容をまとめたものである。

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| 1. トピックスー地質に関わる技術的諸問題 | 2-3. 一水の情報ー
ボーリングに伴う情報ー物性値ー |
| 1-1. 長野県西部地震について | 2-4. コアの記載・評価法 |
| 1-2. NATMの現況 | 2-5. 調査成果のまとめ方とその基準 |
| 1-3. 最近のコンクリートの劣化の問題 | 2-6. ボーリング資料の活用化に関する調査の概要 |
| 2. ボーリング調査の現状と問題 | 2-7. 総合討論 |
| 2-1. 掘削技術の最近の動向 | |
| 2-2. ボーリングに伴う情報 | |

郵便はがき

305-□□

40円切手
を
は
い
て
下
さ
い

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

地質研究室 行

No. 65

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2221号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

