008
ISSN 0386—5878
土木研究所資料 第2827号

土木研究所資料

第23回地質担当者会議資料

平成2年3月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © 1990 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated 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。

土木研究所資料
第2827号1990年3月

第23回地質担当者会議資料

地質官　桑原啓三
九州地建建設専門官　熊木洋太
地質研究室主任研究員　稲崎富士
フィルダム研究室長　松本徳久
地質研究室長　中村康夫

要旨

平成元年12月8日に開催された第23回地質担当者会議で行なわれた次の講演が収録されている。

1．一般国道305号線岩石崩落災害調査報告
2．北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理
3．地盤情報処理技術の現況
4．高透水性岩盤における透水試験
5．岩盤斜面の調査点検手法

キーワード：地質調査・のり面・斜面・岩盤崩壊・ダム地質・基礎処理・地盤情報・透水性透水試験

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開催されており，今回で第23回を迎えるに至った。この間，河川砂防基準（案）・道路土工土質調査指針・ルジオンテスト技術指針（案）・リップラップ材の耐久性判断基準（案）・グラウチング技術指針・ボーリング柱状図作成要領（案）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，海外の事例紹介等を行ってきている。

今回も，本省宇井積算技術管理官，土研田口所長をはじめ，本省，各地方建設局，国土地理院，建設大学校，土木研究所，北海道開発局，日本道路公団，阪神高速道路公団，水資源開発公団，本・四連絡橋公団より約60名の参加を得て盛会となった。

今回の会議では，合計５件の報告が行われた。

「一般国道305号線岩石崩落災害調査報告」では，平成元年７月16日に福井県越前海岸で発生した岩石崩落について，災害調査概要の報告が行われた。

「北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理」では，北部九州に特徴的な火山性地質構造を持つ幾つかのダム基礎を例に，特に基礎処理という視点から報告が行われた。

「地盤情報処理技術の現況」では，情報化社会における地盤情報のあり方を考える上で重要となる地盤情報処理技術の現況が内外の情報を交え紹介された。

「高透水性岩盤における透水試験」では，高透水性岩盤におけるより高精度の透水試験法の確立を目的として粘性流体を用いた検討例が紹介された。

「岩盤斜面の調査点検手法」では，大規模な岩盤斜面崩壊を対象とした調査点検手法の現況および調査時の留意点についての報告があった。

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。

平成２年３月

建設省土木研究所地質研究室長　　中　村　康　夫

目　　次

まえがき
議事次第 …… 1
出席者名簿 …… 3
開会挨拶 …… 5
積算技術管理官挨拶 …… 6
土木研究所長挨拶 …… 9
閉会挨拶 …… 11

Ⅰ．議　事 …… 13
1. 一般国道305号線岩石崩落災害調査報告 …… 15
2. 北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理 …… 23
3. 地盤情報処理技術の現況 …… 37
4. 高透水性岩盤における透水試験 …… 55
5. 岩盤斜面の調査点検手法 …… 67
Ⅱ．総合討論 …… 85

第23回　地質担当者会議議事次第

1. 日　　時　　平成元年12月8日（金）　10:00～16:30

2. 場　　所　　東京ガーデンパレス（文京区湯島1－7－5　☎03-813-6211）

3. 会議次第

1）開会挨拶　10:00～10:05　　土木研究所　地質化学部長　市川　慧

2）挨　　拶　10:05～10:20　　大臣官房　積算技術管理官　宇井光司

3）挨　　拶　10:20～10:30　　土木研究所　所長　田口二朗

4）議　　事

① 一般国道305号線岩石崩落災害調査報告 …… 10:30～11:15

土木研究所　地質官　桑原啓三

② 北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理 …… 11:15～12:00

九州地建　建設専門官　熊木洋太

（昼　食）　12:00～13:00

③ 地盤情報処理技術の現況 …… 13:00～14:00

土木研究所　地質研究室主任研究員　稲崎富士

④ 高透水性岩盤における透水試験 …… 14:00～15:00

土木研究所　フィルダム研究室長　松本徳久

⑤ 岩盤斜面の調査点検手法 …… 15:10～16:10

土木研究所　地質研究室長　中村康夫

⑥ 総合討論 …… 16:10～16:25

5）閉会挨拶 …… 16:25～16:30

土木研究所　地質官　桑原啓三

第23回　地質担当者会議出席者名簿

機関名	所属	職名	氏名
本省〔3名〕	大臣官房	積算技術管理官	宇井光司
	大臣官房技術調査室	技術調査官	丸山弘道
	〃	技術管理第一係長	児玉好史
土木研究所〔25名〕		所長	田口二朗
		次長	岩崎敏男
		地質官	桑原啓三
		地下開発研究官	水谷敏則
		ダム計画官	吉田等
	地質化学部	部長	市川慧
	地質研究室	室長	中村康夫
	〃	主任研究員	稲崎富士
	〃	研究員	脇坂安彦
	〃	〃	佐々木靖人
	〃	〃	阿南修司
	〃		長沢政和
	ダム構造研究室	主任研究員	及川拓治
	〃	研究員	大槻英治
	〃	〃	佐々木隆
	フィルダム研究室	室長	松本徳久
	砂防部	部長	渡辺正幸
	地すべり研究室	主任研究員	綱木亮介
	〃		吉田克美
	急傾斜地崩壊研究室	主任研究員	西川純一
	トンネル研究室	研究員	稲野茂
	土質研究室	主任研究員	三木博史
	動土質研究室	室長	古賀泰之
	基礎研究室	研究員	幡本篤
	新潟試験所	主任研究員	白石一夫
建設大学校〔2名〕	建設部建設第二科	教官	鮫島照一
	測量部地図科	〃	菱山綱秀

機関名	所属	職名	氏名
国土地理院	地理調査部地理第一課	地理第一係長	小原　昇
	〃	専門職	鈴木　美和子
東北地方建設局〔2名〕	河川部河川計画課	調査第二係	菊地　裕光
	河川部河川工事課	ダム係	島村　一
関東地方建設局〔7名〕	企画部技術管理課	課長補佐	佐多　直武
	〃	基準第二係長	箕浦　宏和
	河川部河川計画課	計画第二係長	八木澤　和人
	〃	調査第二係長	成田　一郎
	河川部河川工事課	ダム係長	渋谷　文利
	道路部道路計画第一課	調査係長	上杉　範雄
	道路部道路工事課	課長補佐	秋元　治之
北陸地方建設局	企画部技術管理課	基礎第二係長	本郷　国男
中部地方建設局〔3名〕	企画部技術管理課	施工調査係長	渥美　満康
	河川部河川計画課		三日市　吉朗
	道路部道路計画第一課		太田　均
近畿地方建設局〔2名〕	企画部技術管理課	施工調査係長	森　健作
	近畿技術事務所材料試験課	課長	藤原　勇
中国地方建設局	斐伊川・神戸川総合開発工事事務所	開発調査課長	清水　満幸
四国地方建設局	企画部技術管理課	施工調査係長	堀本　達雄
九州地方建設局〔4名〕	企画部技術管理課	検査係長	田中　定光
	〃	検査主任	平松　英樹
	河川部	建設専門官	熊木　洋太
	立野ダム工事事務所	副所長	平野　勇
北海道開発局〔2名〕	開発土木研究所地質研究室	副室長	鈴木　哲也
	〃	主任研究員	本館　静吾
日本道路公団	技術部道路技術課		相葉　忠一
阪神高速道路公団	工務部設計課	調査役	大志万　和也
水資源開発公団〔3名〕	企画部調査課	課長補佐	大藪　勝美
	第一工務部設計課	〃	三島　勇一
	試験所　第三試験課	課長	神尾　重雄
本・四連絡橋公団	設計部設計第三課	課長代理	新田　篤志

合計　60名

開　会　挨　拶

土木研究所地質化学部長　市川　慧

おはようございます。年末のお忙しいところ，第23回の地質担当者会議にお集まりいただきまして大変ありがとうございます。

この地質担当者会議は，今から22年前にいわゆる地盤，岩盤の問題が非常に多くなってまいりまして，この種の問題に対して日ごろ何かとかかわっておられる方々で各種の問題を勉強し合おうということで始まったわけでございます。

地盤に関する話と申しますと，やはりことしも，日本ではございませんでしたけれども，太平洋の向こう側で大きな地震災害がございました。これはいわゆる活断層といわれております有名なサンアンドレアス断層系統の活動によるものでございます。日本ではあの様な断層はございませんけれども，やはり第四紀に入って動いている断層はかなりたくさんあり，そういう意味では一つの警鐘になっただろうと思います。それから，相変わらず道路に関します斜面災害が非常に多発しております。一番目立ちましたのは福井県の越前岬の崩壊で，これは地質官からお話があることになっておりますが，柔らかい岩盤や地すべりに代表されますような塑性破壊を起こす地盤であればある種の予知の手法があるわけですが，非常に硬い岩盤が突如脆性破壊を起こすものにつきましては，予知がきわめて難しいものです。全国で見ますとこの種の崩壊は1年に1つぐらいある様です。3年前にまとまって起きましたのが，北海道の層雲峡，九州の矢部川の上流，奥穂高の前岩などでありますが，いずれも前兆がわからない。雨が降っていましたけれども，原因になるような大雨ではありませんし，地震があったわけでもないし，ある日突然硬岩が崩れるというものでございまして，今後いろいろと問題となるものと思います。

我々が一番よく出会いますダムあるいはトンネルにつきましては，最近，いわゆる社会的な需要が多くなりまして，こういう表現をしていいかどうか解りませんが，20年前なら逃げて通ったようなところでも，今はやらざるを得ない現状でございます。土木工学と申しますのが，我々の地質もそうですけれども，過去の経験の延長でやってきた例が非常に多いわけですけれども，これから遭遇します地盤条件の中には，過去の前例にならない，あるいは過去の延長線上に乗っていない事例が間々出てくることが予想されております。現にそういう事例が私どものところにも幾つもきておりますし，皆さんも遭遇したことがおありだろうと思います。我々地面の下に携わりますものが新しい事態にどう対処するかという話がございますけれども，こういう機会を通じて研さんを積んでいきたいと思っております。

本日出てまいります議事は，各々に割かれる時間は短いのですが，内容的には非常に難しい話が多うございますので，すぐかどうかは解りませんが，必ず皆様のお役に立つ内容が多いと思います。ここで普段考えておられること，あるいは疑問をお持ちのことなど十分討議していただきたいと思います。きょうはひとつよろしくお願いいたします。

挨　　拶

大臣官房積算技術管理官　　宇　井　光　司

御紹介いただきました積算技術管理官の宇井でございます。

日ごろですと，私どもの技術審議官が参りまして御挨拶しているようでございますが，きょうはいろいろと取り込んでおりますので，役不足でございますけれども，この席をおかりいたしまして私が担当いたしておりますような積算技術に関係するお話を二，三させていただいて御挨拶にかえさせていただきたいと思います。

私の本籍は地方厚生課というところでございます。ここは直轄の契約関係を担当しておるところでございますが，そこでは仕事ができないものですから，技術調査室にいるわけでございまして，主に土木の積算を中心に，オーバーにいえば業行政と技術開発関係の積算部門を担当しております。

61年に建設省も初めて建設産業ビジョンをつくったわけでございます。それを受けて，その業法を改正し来年6月から本格的に施行することになっているわけです。ビジョン作成の際に技術畑で一番気にしたのは，技術の保持，活用，その地位の向上といったことでありました。その後，ことしの5月に建設コンサルタントビジョンが出ておりますが，ここでも同じようにその趣旨を通しているつもりでございます。

建設コンサルタントビジョンの方は皆さん方にも間接的には関係あろうかと思います。これは，コンサルタントはどうあるべきかということを外国等の資料も踏まえ中長期的なビジョンとしてまとめたものでございます。従いまして，現実にはまだそこまでいってない部分が当然あるわけでございます。

例えば地質の場合ですと，これもコンサルタントの中に入っておりますけれども，それ以外に業界としてはいわゆる昔からの井戸掘り屋さんといった方々も混在しておりまして，混在しているところでどうあるべきかということを議論しなきゃいけない，非常に難しい部分があるわけでございます。まだこれらが体系的に整理されていないのが日本の現状だろうと思いますけれども，とかく技術を軽く見られるといいますか，そういう部分が日本的風土の中にはあり，余り最先端をいきますと逆にばか者扱いされるような時代が過去にあったわけでございます。

我々技術調査室としては，これとは別にシステム的に技術開発をどんどん進めなければいけないこともございまして，これは40年代から総合的開発プロジェクト等を中心として随分やってきております。その後民間主導型の技術開発を行政側が積極的に支援しようというシステムを今構築中でございます。ただ，これも常に問題になるのは，結果的に積算に関係するわけでございまして，投資したお金がどういう形で戻ってくるかというところをどう決めるのかが非常に難しいわけです。だれでも考えつくのは特許の関係ですけれども，特許申請をしてそれを回収するという考え方ではちょっと時間がかかり過ぎるんじゃないか。もっと簡単に回収ができる方策はないのかということも現在勉強しているところでございます。

ですから，技術力を高める，活用するという方策も一口に言っても非常に多面的でございまして，いろ

んなところで活用しようということを方策的にも位置付けるために現在いろんな面で検討しております。今の技術開発以外では技術者そのもの，個人の資質を高めるための努力目標といいますか，そんなものを設定したいということで挙げておりますのが技術者のエキスパート制度というものでございます。建設技術開発会議の施工合理化部会の中で現在その方向を検討しておりますが，我々のイメージとしては技術士と土木施工管理技士の両方の知識・能力をお持ちになっているような方々を国家資格の様なもので公に認定しながら，それを指名するような形で行政側も使っていくようなことを考えております。

諸外国にもそれと似たような例はございます。特に共産圏に行きますと，皆様方地質の御専門の方々でございますので，もうご存じだと思いますが，地質をやられている方々の地位は社会的にも高いわけでございまして，そのような技術者管理が日本にもいろんな部門にあってもいいのではないかと考えております。

ただ，少数の方をエキスパートとするためには，必ずその下に裾野を広げるようなシステムが必要でございます。そのための体制づくりもあわせてやっていきたい。土木の場合はことしから自主管理施工技士養成を考えようということで，その前段の自主管理施工を実施しております。これは今回の建業法の改正の中にも出ておりましたけれども，管理技術者に当たるような方々を5年ごとに更新するシステムが今回業法の中に入っているわけですが，同様の思想で，国家資格も一回取っただけでは実務的な面での対応はまずいのではないか。そのためには年々歳々動いていく技術に対応できるような資質を持たせるシステムが要るだろうということで，例えば1級の土木施工管理技士を大きなふるい目にいたしまして，そういう方々を対象に特定の研修，講習等をして，その結果として認定する方法もあるのではないか。こういう方々はかなり数が多うございますので，先ほど言いましたエキスパートの下に当たるようなことにしたい。既にダム関係ではエキスパートの資格がございます。そのような方法でどうかなということを現在動かそうとしているわけでございます。

個人の資質としてそのようなこともございますし，体系的にも技術開発をする上での先端建設技術センターとの関係等々いろいろ問題が山積しておりますけれども，積極的にぜひとも解決していきたいと思っておりますので，また機会がございましたら御意見等をお聞かせいただければと思います。

直轄での地質関係の業務では，かねてから地建ばらばらでございました仕様書の全国統一化を現在進めておりますが，現在原案ができあがっておりまして，それを私どもで検討しておりますけれども，多少ほかの仕様書と比べてみますと，教科書的なところがかなり入っているわけでございます。こういう部分はそのままつけておりますと契約上の問題としてはそれを履行しなきゃいけないということもございまして，教科書部分はできるだけ省いて，出来形に対して必要な部分だけを残す。省いた分はマニュアルのような手引みたいなものにまとめて若い方々の勉強の資料にしたらどうかということを考えております。

それに伴いましてお金の方も，当然，設計費の算出についてもそれに見合うような方法でやるべきだということで，これも併せて現在整備をしているところでございます。

いずれにいたしましても，ここ2，3年急激に建設業の方も変わっておりまして，ひとり技術屋だけがこの情勢から孤高を保つことは非常に難しい時代でございます。特に一昨年あたりから諸外国が建設関係にも標的を日本に向けてきておりまして，日米構造協議の中でも建設協議は非常に厳しいものがございま

す。建設省で非常にやりにくいのは，アメリカからいわれていることが業界に対するお話ということで，間接的に我々は行政をやっているわけですから，矢面に立ってやってはおりますけれども，実際おやりになっているのは業界だということもございまして，なかなかその話が行ったり来たりで難しいわけでございます。先回，5月，11月の結果では，次回の2月ごろまでに国内で体制のし直しをするといいますか，若干の手直しが必要な動きになっております。

そんなこともございまして，非常に激変の時期でございます。世界的にもいろいろな体制のところでいろんな大きな波があるようでございますが，国内でもそれに近い動きがございます。我々技術屋もその辺をよく見ながら対応していきたいと思っております。

本日は，地質専門の皆様方にお集まりいただきまして，内容のある議論をされるということでございますが，ひとつその裏にあります業界の姿勢の方も頭に置きながら，また御指導いただければと思います。積算技術の一端を御披露いたしまして御挨拶にかえさせていただきます。ありがとうございました。

挨　　拶

土木研究所所長　田口二朗

おはようございます。土木研究所の田口でございます。

本日は，第23回地質担当者会議に，本省，土研，各地方建設局はもとより，建設大学校，国土地理院，北海道開発局，および関係公団の地質担当の方々が全国各地から多数お集まりになり大変ありがとうございます。このような会議で地質関連技術の情報の交換を行ったり，仕様書や基準等について議論されることは非常に有意義なことであると思います。この会議の開催は年１回ですが，回を重ねて今回23回でございます。この間，ダム，トンネル，斜面災害等広い分野の土木地質的課題について検討してまいりました。例えば最近では，ダム関係では第四紀断層や貯水池周辺地すべり，岩石材料の調査・試験法等に関する問題，道路関係では道路法面台帳やNATM工法の問題，さらにはアルカリシリカ反応対策や地質・土質調査共通仕様書等について討議いたしました。これらの問題は，いずれも地域的要素や経験的要素が強いため，このような会議の場で現場の情報を集め，御討議いただき，基準や指針に反映させることが重要であろうかと思います。

ここに列席されている皆様は，既に充分御承知のことと思いますが，地質に関する議論というのは非常に多くの業務に関係しております。例えば，ダムの分野におきましてはダムサイト，ダム軸，ダムタイプ等の決定や掘削線，基礎処理方法・範囲等工期や工費に直接関係する事項に重大な影響を与えます。さらに，近年はダムサイトの地質のみならず良好な性質を有する岩石・土質材料を所要量確保することが困難となってきております。このため，ダム事業を進めるにあたっては，ダムサイトの地質のみならず貯水池全域にわたるかなり広範囲な地質状況を土木地質的に的確に解釈・判断することが最も重要な課題の１つとなっています。また，トンネル等道路関係におきましても先行するのは地質調査でございまして，その結果によってルートや工法が変わります。特に，最近は第２東名・名神道路計画等におけるように大断面・長大トンネルが多くなっているため，事前により正確な地質情報を把握することが求められております。また，以前この会議でも御報告がありましたが，安房トンネルでは複雑な地質や地下水，地熱等で随分苦労されているようです。地すべりや斜面崩壊も地山の地質状況が重大な素因となって生じるものであり，対策工法の種類や規模，ひいては工期や工費に第一義的な影響を与えます。さらに，本四架橋等大規模な橋梁の基礎におきましても地質状況によって工法，工期，工費等が左右されます。以上のように，非常に多くの種類の事業をやっている建設省の業務について，その工法や工期さらには工費まで左右するのが地質に関する判断といえます。このように，各分野に重要な関係をもつ皆様方の会議でございますので，今日は十分御審議いただきたいと考えております。

土木研究所におきましても，地質の問題に関しては地質研究室を中心にダム，道路，砂防，機械施工，構造橋梁，地震防災部等各部でそれぞれ関連テーマについて研究を行っています。また，総プロ等におき

ましては一昨年までコンクリート構造物の耐久性の問題について取り組んでまいりましたし，現在は地下空間利用技術の開発に取り組んでおります。今日この席にも大勢の土研の仲間が集まっておりまして，それぞれの研究成果をふまえて御意見等を申し上げると思います。ただ，地質というものは，やはり現場の情報が重要でございます。地建や関係機関の方々がそれぞれ現場で経験されました情報を検討し，土研と協力して解明していくことが大切かと思います。このような協調関係は，今後とも不可欠なものでありますので，これからも十分土研に御協力いただきたいと考えております。

本日は課題を拝見しますと，今年7月に発生した越前海岩岩盤斜面崩壊およびそれに関連した岩盤斜面の調査点検手法の検討，北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理，高透水性岩盤における透水試験，地盤情報処理技術の現況等でございます。時宜に即した議題でございますので十分御審議されまして，有意義な会議になるようお願いいたしたいと思います。

閉　会　挨　拶

土木研究所地質官　桑原啓三

きょうは一日朝早くから夕方遅くまで熱心に御討議いただきまして大変ありがとうございました。きょうは岩石斜面のことにつきまして2題ほど，高透水性岩盤，透水性の把握ということで2題ほどお話しいただきまして，それから地盤情報の処理というような新しい話題について1題，お話しがございました。

我々には，きょうのお話みたいにいろいろな情報が入るわけです。また地質調査というのはいろんな情報を集めて処理をして，どの様な設計対応にするかということを考えるものでもあります。ただ，情報というのは集めて，それだけですと情報にしかすぎない。それをどう料理するかというのが非常に大事な話になるんじゃないかと思っております。

もう大分前になりますけれども，たしか建設省の広報のパンフレットに宮大工の西岡さんが座談会のところで書かれたと思うんですけれども，情報というのは砥石にしかすぎないんだということが書いてありまして，砥石ではどんないい散髪屋でも顔は剃ることができない。顔は剃刀で剃るもので，魂という剃刀でもって剃らないといけない。砥石は剃刀を研ぐための道具にしかすぎないということを西岡さんが言われています。非常にいい言葉じゃないかと思うわけでございます。

幾ら情報を集めても，最近は情報過多という時代になっておりますが，それをどうやって自分の身につけて，血として，肉として，自分の知識としてやっていくかというのが非常に大事じゃないかと思っております。

地質調査というのは最初に本省の方からのお話がございましたように非常に基礎的な分野でございまして，いろんな情報を集めて処理をしなければいけないというようなお話があったわけですけれども，基礎的であるから，それをなおかつ設計に生かすためにはいろんな解析をする。解析の方法でもきょうは少し地盤情報のところでありました様な手法を使って解析していって，自分としての知識，インテリジェンスにすることが大事じゃないかと思います。

情報を集めるやり方は，いろんな方法を自分勝手にやってもいいんじゃないかという気もするわけですが，ほかの人に見てもらう，あるいは判断してもらうためには，やはり基準化というものが必要ではないかという気がいたします。実は，本日最後の岩盤斜面の調査点検要領は質問にもございましたように，来年3月には岩盤斜面の点検方法を基準化しようということで，今道路局を中心にして一生懸命作業をやっているわけです。本日はその一端を皆さん方に御紹介して，それを御討議していただこうかと考えていたのですが，なかなか作業量が多くてそこまでいってないということで，大変失礼したわけでございます。

このほかボーリングの情報とかいろんなことを基準化していき，だれが見ても同じような情報を得て，いろんな解釈ができて，知識としていくようなことにできればと考えております。

そういったことで，今から先いろんなことで皆様方にお諮りして，地質担当者会議あるいはほかの場を

通じましていろんなことで御相談申し上げるかと思いますけれども，ひとつよろしくお願いしたいと思います。

話は変わりますけれども，平成2年2月2日に，土研の研究の一端というものを御紹介する講演会がニッショーホールでございますので，ぜひまた機会がありましたらこちらの方へ来ていただければと思います。地建の方にもそういったものがあるということで宣伝していただければ大変ありがたいと思います。最後は宣伝になりましたけれども，そういったことで御紹介しておきます。

きょうは長時間にわたりましてありがとうございました。

Ⅰ. 議　　事

一般国道３０５号線岩石崩落
災害調査報告

土木研究所
地質官　桑原　啓三

1. 経　緯

発生箇所　福井県丹生郡越前町玉川地内
　　一般国道305号

発生時刻　平成元年7月16日，15:20頃（15:24頃119番により覚知）

発生状況　幅40m高さ25mより岩石落下，落石覆工崩壊約30m

被害状況　マイクロバス（乗員15名）が事故に遭う。
　　7月17日4時57分，15名全員の遺体が収容された。
　　その他釣り客のワゴン車等3台（無人）が被害にあっている。

気象状況　7月15日21時15分大雨洪水雷注意報（7月16日11時20分頃解除）
　　最大時間雨量7月16日7時－8時　28mm
　　連続雨量7月15日21時－16日11時　73mm
　　（観測地点　丹生郡越廼村）

道路概況　規格幅員　3種4級　W= 5.5（7.0）m
　　交 通 量　3,590台/12h（大型322台）
　　バス路線　7回/日

通行規制等　事前通行規制の区間である（連続雨量140mmで通行止め，昭和47年より実施）
　　当日までの連続雨量は73mmであった。なお，当該区間は週2回（火，金）パトロールを行っていた。また，当日午前中に特別のパトロールを行っており，特に異常は発見していない。

復　旧　平成元年11月3日より仮道による復旧

そ の 他　福井県に岩石崩落災害調査委員会（委員長　足立紀尚）設置
　　日本道路協会に斜面崩壊に関する特別調査委員会（委員長　久野悟郎）設置

2. 調査の概要

1）地　質

- 調査箇所の岩質は凝灰質の砂岩，礫岩，凝灰岩の互層
- 崩落面の岩盤は概ね新鮮であるが，一部軽度の風化が見受けられる。
- 節理は崩落面に1本，奥行き方向には約5m間隔。
- 湧水は少ない。

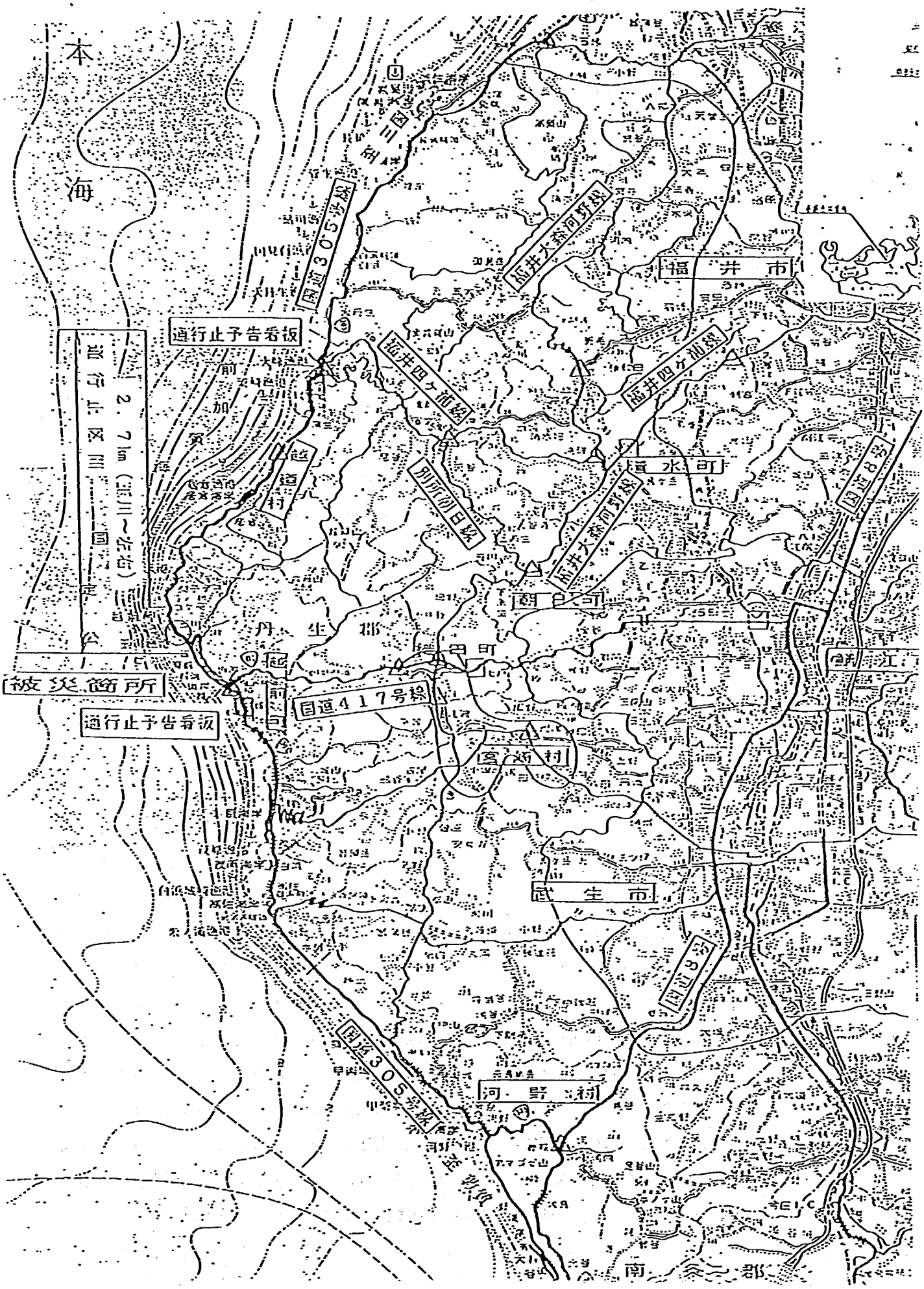
2）崩　落

- 崩落面の状況から判断して，節理に沿ってずり落ち，倒れる崩壊（トップリング）
- 崩壊土量はおよそ1.400㎥で，岩石の大きさは10～30㎥程度のものが多く，最大のものは小さめに見積っても100㎥程度で，落石覆工の設計荷重を大幅に上回っている。

3）落石覆工

- 設計は落石対策便覧に準処している。
- 設計では１辺が60㎝の岩塊が高さ40ｍの地点から落下することを想定している。
- 落石覆工は約15ｍが破壊され，その状況は山側擁壁の天端が海側に50㎝程度変位し，主桁は一部切損し，柱も切損，転倒している。
- 隣接するポケット型落石覆工も約15ｍ破壊している。
- 破壊の状況からは，施工上の欠陥は見受けられなかった。

国道３０５号線 → 国道４１７号線 → 福井大森河野線 → 別所朝日線 → 福井四ケ浦線 → 国道３



質　疑　応　答

司会　御質問あるいは御意見等ございましたらお受けしたいと思います。質問のある方は所属と氏名をおっしゃってからお願いします。

三木（土質研究室）　ちょっと御質問させていただきたいのですけれども，差し障りのない範囲でお答えいただきたいと思うんです。今のお話で，このメモには書いてないんですが，崖の足元付近に緑色凝灰質の頁岩とおっしゃったように思ったんですが，頁岩の正面から見て崖の右下あたりに削痕というか，山が土質でいえば滑落崖的なものがあって，それが3つぐらい右下のところにあって，若干の湧水というんですか，量は少ないけれども一部認められたというお話をお伺いして，私，長崎災害のとき，あれは土砂崩壊，非常に岩の緩んだところの崩壊ですけれども，湧水が多いところを契機に崩れた例が1箇所か2箇所あったと思うんです。

それから木曾の御岳山が地震で壊れた崩壊も，崩壊の中間かちょっと下の方に水が噴いていて，そんなのが崖の足元を緩めて，そこが緩んでそれで足元が崩れて上が倒れてきたようなことも考えられるのかどうか。

それと，最初の方で緑色の凝灰質の頁岩とおっしゃったのが，下のところにあるのは頁岩なのか，凝灰岩なのか，その辺をちょっと。

桑原地質官　地質の方からいきますと下の方にあるのは凝灰岩です。

それから，湧水の影響ということですが，この辺はまだ今から調べなければいけないと思うんですけれども，ただ，湧水の量が非常に少ない。当時私，翌日ですけれども，クラックに沿って1平米ぐらいしか，流れているという状態ではなくて湿っている状態で，非常に少なかったんじゃないかという気がします。ああいうものは直接の引き金になるものがないといけないわけですので，それが何かというと，やはり水みたいなものを考えないといけないんじゃないかとは思いますけれども，それが本当の原因かどうかというのはまた別なことを考えた方がいいんじゃないか。やはり全体の風化というものを考えて，それがたまたま雨が降ったときに多少湧水があって，引き金はほんのちょっとのフェザータッチでもいいわけですから，鳥がおっこちてもいいわけですけれども，そういったことで多少湧水があって，そのために引き金になったんじゃないかというようなことは考えております。

長崎は私，見ておりませんのでよくわからないんですけれども，御岳山も一番下の方に凝灰岩というよりもまだ未固結の火山灰層がありまして，それが30度よりちょっときつい，40度までなかったと思うんですが，そういう流れ盤のものをつくっていたような気がします。その下の火山灰層が谷をつくっているようなところがあって，その谷のところに若干湧水が見られたような気がします。

そこも雨ということも考えられると思いますけれども，全体的に上の固い層の下に柔らかい火山灰層があって，それが流れ盤をつくっていて，それが地震のときに一気にそこをすべり面として壊れたのではないかという気がしまして，壊れそうなぎりぎりで持っているやつが何でもいいからトリガー

になるもの，長野県西部地震のときは地震がたまたまトリガーになっている。たまたま谷地形であったためにそこに湧水があったという感じがしています。これは私の感じですので，またいろんな実験とかモデル計算とかやってみるとその辺はよくわかるんじゃないかという気がします。

三木　どうもありがとうございました。

北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理

九州地方建設局　河川部
建設専門官　熊木　洋太

1. 北部九州の地質特性

九州島では新第三紀以降火山活動が盛んで，福岡県北部や九州山地などを除き，大量の火山岩類が存在している。特に北部九州（ここでは西南日本内帯に属する部分という意味で使う）では，別府一島原地溝とその周辺に第三紀末期から第四紀にかけての新しい火山性の地質が広く分布している。それらは，次のように大別されている(松本，1987)。

①豊肥系火山系列：大分・福岡・熊本・佐賀・長崎の5県にまたがる鮮新世～更新世前期の火山活動によるもの。一般に下部は角閃石安山岩～デイサイト質で，凝灰角礫岩などの火山砕屑岩が主体であり，しばしば火砕流堆積物・溶岩・湖成層を挟在する。上位になるにつれ輝石安山岩質となり，最上部は溶岩で広い溶岩台地を形成している。

②豊後系火山系列：更新世中期の火山活動によるもので，大分県から熊本県東部に認められる。デイサイト～流紋岩質の万年山溶岩，輝石角閃石安山岩質の耶馬渓火砕流堆積物など。

③山陰系火山系列：更新世中期以降の火山活動によるもの。しばしば溶岩円頂丘をつくる角閃石安山岩質の溶岩が中心で，火砕流堆積物も存在する。由布・鶴見火山群，九重火山群，雲仙火山群など。

④琉球系火山系列：山陰系火山系列と同様，更新世中期以降の火山活動によるもの。流紋岩～輝石安山岩質の大規模火砕流で特徴付けられる。北部九州では，4回の大規模火砕流を噴出した阿蘇火山のカルデラ形成期～それ以降が該当する。

北部九州ではこのような火山系列が重なり合っている。花崗岩や結晶片岩などの地域もあるが，そのようなところでも谷ぞいに流下した火砕流堆積物が認められることが多く，ダムサイトの多くが，火山に関連した地質構造を持つ。

2. 火山地帯のダム基礎地質の特性

北部九州のように火山に関連した地質構造を持つところでは，ダムの基礎地質として次のような問題点を挙げることができる（表1も参照)。

(1) 地質構造の複雑さ

溶岩や火砕流堆積物は，噴出源の近くでは広く分布し，水平方向の連続性も良いが，末端では谷の中だけを流下するため，分布が局所的である。また，大規模な溶岩流や火砕流はその当時の地形を覆いつくし，起伏に富んだ不整合面を形成する。貫入岩体が見られることもある。火山活動はしばしばせきとめ湖をつくり，湖成層を堆積させるが湖はそれほど大きなものではなく，永続性もないから1つの湖成層の分布域は狭く，水平方向，上下方向の変化も著しい。何回もの火山活動の影響を受けているところでは，これらの現象が繰り返されていることもある。これらのため地質構造はきわめて複雑となり，地層の対比，層序区分などがなかなか判定できず，地質の成り立ちを合理的に説明するのに苦労することが多い。

また，複雑な地質構造を反映して地下水の分布も複雑で，宙水や被圧水が存在することがある。

(2) 溶　岩

溶岩として流下し固化した火山岩は一般に堅硬であり，ダムの基礎として十分な強度を持っていること

が多い。しかし，溶岩流の表面近くは早く冷却され，固化するのに対し，内部は遅くまで流動するから表面近くで一旦固化した溶岩も破壊され，いわゆる自破砕溶岩となる。自破砕溶岩は，溶岩流内部で比較的ゆっくり固化した塊状の溶岩に比べ強度が劣る。透水性は，高い場合と低い場合とがある。また塊状の溶岩も，冷却時の収縮によって形成された節理が発達していることが多く，透水性が高い。溶岩トンネルのような空洞が存在する可能性もある。もっとも，そのような性質を逆に利用して地下浸透ダムを造ろうという計画もある。

(3) 火砕流堆積物

火砕流とは，火山灰・軽石・ガスなどの混合物が高温・高速で流下する現象である。火砕流物質が厚く堆積すると，その内部は熱と自重のため一旦溶融したのち再び固化して，溶結凝灰岩となることがある。溶結凝灰岩は，溶結度が高いと塊状の溶岩と同じような性質を示し，堅硬ではあるが冷却節理が発達して高透水性である。一方，非溶結～弱溶結の火砕流堆積物は固結度が低く，強度はあまり期待できない。透水性はあまり大きくないが軟質で限界圧力が小さく，シラス状の軽石流堆積物などではパイピングを起こすおそれがある。1枚の火砕流堆積物でも，場所により，また上下により，非溶結から強溶結まで変化することが多い。

(4) 境界堆積物

溶岩・火砕流堆積物は，それ以前の地表面を覆って堆積する。この埋没地表面（不整合面）下には，当然当時の表土があり，さらに谷底に当たっていたところでは河床砂礫層，斜面の下部に当たっていたところでは崖錐層がある。細粒の火山灰層や降下軽石層が見られる場合もある。複数枚の溶岩・火砕流堆積物がほぼ整合的に堆積している場合でも，それらの間には砂礫層・降下火山灰層等が挟まれていることが普通である。これらの堆積物（以下境界堆積物と称す）はさまざまであるが，一般に固結度が低く，強度・透水性・パイピングの可能性の問題を抱えていることが多い。

しかも，これらの境界堆積物の直上・直下の溶岩や火砕流堆積物は，堆積体の周縁部に当たるから，自破砕あるいは非溶結の状態にある。境界堆積物の下位が基盤岩であるときも，埋没される以前の風化作用の影響で劣化が進んでいることがある。これらの部分を合わせると，問題の多い層はかなりの厚さになる。

境界堆積物は地表で十分観察できないことが多く，その性状の正確な把握に多くの調査を費やさねばならないことがある。

(5) 湖 成 層

湖成層の層相はさまざまであるが典型的な軟岩であり，低～難透水性で限界圧力が小さいことが普通である。泥岩・凝灰岩では強度が，固結度の低い砂岩・軽石凝灰岩ではパイピングの可能性が問題となる。

(6) 凝灰角礫岩・火山角礫岩等の火山砕屑岩

北部九州では，凝灰角礫岩・火山角礫岩は相対的に問題の少ない岩石であるが，局部的に透水性が高いことがある（特に二次堆積のもので，マトリックスが砂質の場合）。薄い凝灰岩を挟むこともある。ボーリングコアでは，自破砕溶岩や火山灰質の砂礫層と区別が難しいことがある。

火山活動に伴う熱水変質もところどころに見られ，岩盤が劣化していることがある。

3. 北部九州の火山地帯におけるダムサイトの基礎地質とその問題点

既設のものから構想中のものまでを含めて，北部九州地方の火山地帯にあるダムサイトの地質構造とダム建設上の問題点をまとめると次のようになる（表２も参照）。

①塊状溶岩を主体とするタイプ：自破砕溶岩や境界堆積物がごく限られた部分にしかなければ問題は少なく，ダム高98mのアーチダムが建設された例もある。

②凝灰角礫岩等の火山砕屑岩を主体とするタイプ：一般にはフィルダムとなるが，火山砕屑岩の固結度が高ければ重力式コンクリートダムも可能。溶岩を挟むことが多く，その塊状部の止水などが問題となる。

③湖成層とそれを覆う溶岩からなるタイプ：既設ダムの事例はないが，湖成層のパイピング，溶岩塊状部の漏水などの問題が解決できれば，フィルダムの建設は可能と考えられる。

④溶岩とそれを覆う湖成層からなるタイプ，または湖成層が溶岩に挟まれるタイプ：③と同様であるが地質の状況によっては，溶岩と湖成層の変形性の差による不同沈下も大きな問題となる。

⑤河床部および周辺に火砕流堆積物があるタイプ：火砕流堆積物・境界堆積物が薄ければ，掘削除去してしまうのが経済的である。それらを残す場合，ブランケットや連続地中壁など大掛かりな止水処理が必要となることがあり，状況によってはダム建設はかなり困難になると考えられる。

⑥中～高標高部に火砕流堆積物・境界堆積物があるタイプ：基盤の風化部から境界堆積物を挟み火砕流堆積物下部の非～弱溶結層までの部分が，強度的にも透水性・パイピングの点からも問題となる。火砕流堆積物の大部分が強溶結であり，問題部分の改良が可能であったところでは，火砕流堆積物の部分を低いフィルダムとした複合ダムの事例がある。

⑦主として火砕流堆積物からなるタイプ：強溶結の火砕流堆積物を基礎とした重力式コンクリートダムの事例がある。⑥と同様境界堆積物や非溶結火砕流堆積物の処理が問題となる（止水壁で対応した例がある）ほか，高透水性で地下水位が低い強溶結火砕流堆積物の止水範囲も問題となる。

⑧火砕流堆積物と厚い境界堆積物からなるタイプ：強度的にも止水の面からも問題が多く，ダム建設はかなり難しいと考えられる。

4. 基礎処理について

今まで述べてきたように，北部九州の火山地帯では十分な止水処理ができるかどうかという点が，ダム建設のポイントとなることが多い。

一般に塊状溶岩・溶結度の高い火砕流堆積物は透水性がきわめて高いが，節理が水の通り道になっているため，グラウチングによる止水は比較的容易である。特に柱状節理が発達するので，グラウチング孔は斜めの孔にすべきことが多い。塊状溶岩や溶結凝灰岩がほぼ水平に分布している場合は地下水位が低いことが多く，止水処理の範囲を容易には決め難いことがある。

非溶結の火砕流堆積物・境界堆積物・湖成層などは，ていねいな透水試験を行うと，ルジオン試験よりも透水性が低くなることが多い。しかし，グラウチングでそれ以上改良することは必ずしも容易ではない。現在までの実績によると，高圧注入が有効な場合，超微粒子セメントが有効な場合，2重管ダブルパッカー工法が効果的と考えられる場合などがあるが，コアブランケットや連続地中壁が検討されている例もあり，基礎処理方法の決定は容易ではない。

既設ダムの止水処理については表3～5にもまとめられているが，ダムサイトごとの個性の違いが大きく，試行錯誤を繰り返しているのが実情である。そのため，浸透系からみた地質の評価の確立と，基礎処理方針の基準化が課題と考えられる。

引用文献

建設省九州地方建設局企画部・財団法人国土開発技術研究センター(1980)：九州地方の火山岩地域におけるダムの止水調査法および止水工法．136ページ．

財団法人ダム技術センター(1988)：ダムにおける火砕岩および〝シラス〟の問題と対策（大分・宮崎・鹿児島）．261ページ．

松本徑夫(1987)：北中部九州における後期新生代の火山系列．地団研専報，No.33，235-249．

表1　地質構造タイプ別の問題点

タイプと問題点 / 構成地質と分布状況			地質構造のタイプ ①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	ダムサイト 浸透系 透水性	浸透系 パイピング	浸透系 地下水位	力学系 支持力（強度）	力学系 変形性	貯水池 透水性	貯水池 地すべり
火砕流堆積物	非溶結部	・上部非溶結部が厚い。						○	○	○	・低透水性であるが限界圧力が低い。	・軟質未固結でパイピングの懸念がある。		・軟質で支持力や強度が低い。	・変形性が大きい。	・パイピングによる漏水が懸念される。	・斜面部ではすべりが懸念される。
		・下部非溶結部のみで薄い。					○										
	溶結部	・主なダム基礎として。								○	・柱状節理が発達し高透水性。		・一般に地下水位が低い。	・下位に強度の低い層を挟在する。		・節理や割れ目を介する漏水が懸念される。	
		・両岸の山体を形成する。							○								
		・高位部または貯水池の一部。						○									
		・河床部のみに分布し、薄い。					○										
境界堆積物		・主なダム基礎として。							○	○	・低～中透水性が多いが、砂礫層は高透水性。 ・限界圧力が低い。	・未固結のためパイピングの懸念がある。	・一般に地下水位が低い。	・未固結で支持力・強度が低い	・変形性が大きい。	・分布次第では漏水の経路となる。	
		・火砕流堆積物下に伏在する。					○	○									
湖成堆積物		・主なダム基礎として。			○	○					・低～超透水性で低限界圧力。 ・他地質との接触部で高透水性の場合あり。	・低固結のためパイピングの懸念がある。		・低固結で支持力・強度が低い	・変形性が大きいため、堅硬部との境界付近で不同沈下の懸念がある。		・分布次第では湛水時のすべりが懸念される。
		・溶岩類の下位に伏在する。	○														
火山砕屑岩		・主なダム基礎として。		○							・バラツキが大きい。 ・風化を被り易く高透水性のことあり。	・特に固結度が低い場合パイピングの懸念がある。	・バラツキが大きい。 ・河床より深い場合がある。	・基質部の詰まりが悪いものは支持力・強度が低い。			
		・溶岩と互層状～挟在される。	○		○	○											
溶岩	塊状部	・主なダム基礎として。	○		○	○			○		・節理が著しく発達し高透水性となる。		・一般に地下水位は低い。	・板状節理の方向性によっては低強度となる。		・割れ目を介する漏水が懸念される。	
		・火山砕屑岩類と互層状～挟在		○													
	自破砕部	・塊状部の上下部に付随し、薄い。	○	○	○	○			○		・風化を被り易く高透水性のことあり。	・強風化部分ではパイピングの懸念がある。		・一般に強度は低い。			
先新第三系基盤岩類（風化部）		・火山岩類や火砕流堆積物に被覆される。					○	○	○	○	・風化部は高透水性の場合が多い。			・強度の低い風化部が埋没される。			

表2　地質構造タイプ別の問題点と調査の留意点

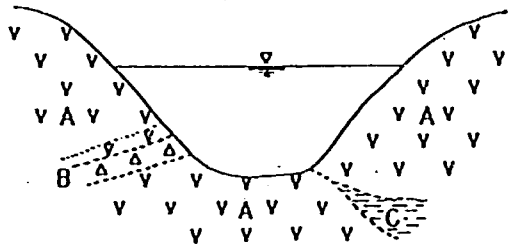
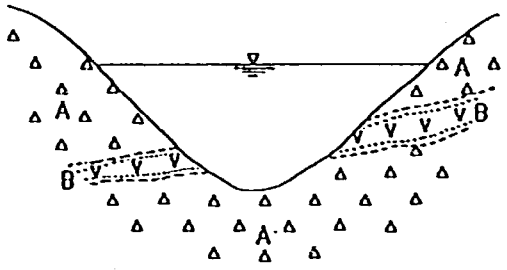
主要地質			火山岩類	
タイプ			①	②
地質構成			溶岩塊状部を主とし、一部に溶岩自破砕部・火山砕屑岩等を挟在する。	火山砕屑岩（凝灰角礫岩等）を主とし、溶岩塊状部（自破砕部を伴うことあり）を挟在する。
模式断面図			 A；溶岩塊状部　B；溶岩自破砕部または火山砕屑岩 C；湖成堆積物または境界堆積物	 A；火山砕屑岩（凝灰角礫岩等）　B；溶岩塊状部
ダム型式			コンクリートダム ※ アーチ式コンクリートダム（下筌ダム）の例もある	フィルダム ※ 重力式コンクリートダム（耶馬渓，菅瀬）の例もある
浸透系	問題点	貯水池	○ 主に溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）からの漏水。	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）を介する漏水。 ○ 火山砕屑岩の風化部、または凝灰岩、火山泥流堆積物等の軟質部のパイピングによる漏水。
		外周部	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）の止水。 ○ 溶岩自破砕部、および挟在される火山砕屑岩、境界堆積物等の止水。	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）の止水。 ○ 火山砕屑岩の止水。 ○ 火山砕屑岩の風化部、または凝灰岩、火山泥流堆積物等の軟質部のパイピング。
	調査方法留意点		広域水理地質調査；　貯水池のみならず、他流域への連続性、ダムサイトか流域への連続性、湧水等に着目した調査が必要。 地下水調査；　地下水位（ボーリングは計画ダム高と同深度程度まで必要）、水温、水質、水量、水圧および流速等。 透水性調査；　ルジオンテスト、トレーサー試験、孔内微流速測定、浸透流解析 止水改良性調査；　グラウチングテスト	広域水理地質調査；　溶岩塊状部に加え、火山砕屑岩の基質の軟質化や間隙率、基質と礫の重比等に着目。 地下水調査；　①に同。地下水位が河床以下の場合があるので注意を要する。 透水性調査；　ルジオンテスト、注入・揚水試験、トレーサー試験、孔内微流速測定、パイピング試験長時間透水試験、浸透流解析 止水改良性調査；　グラウチングテストまたはその他の止水工法を前提とした調査。
力学系	問題点		○ 板状節理の方向によっては剪断強度が異なる。 ○ 溶岩自破砕部、火山砕屑岩、境界堆積物等は、強度的な弱層となる。また、風化を被り易い。	○ 同一地層内であっても強度は均一でない場合がある。
	調査方法留意点		原位置試験；　剪断試験による強度把握	地表踏査；　基質の固結度、基質と礫の重比、かみ合わせの程度、礫の硬さ、連続性等に着目。 原位置試験；　剪断試験、変形試験による強度・変形性の把握（試験方法および規模の検討）。

表2（つづき）

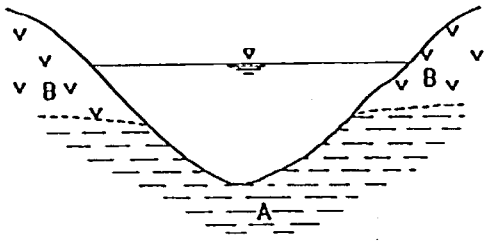
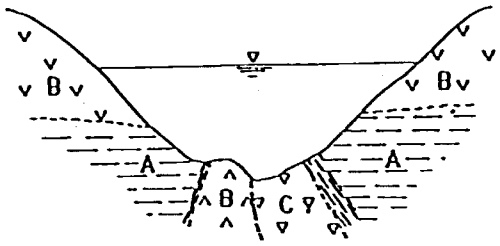
主要地質			沖積堆積物＋火山岩類	
タイプ			③	④
地質構成			ダム基礎は、沖積堆積物とそれを覆う溶岩塊状部（自破砕部を伴うことあり）からなる	ダム基礎は、溶岩塊状部（自破砕部を伴うことあり）とそれを覆って、または挟まれた沖積堆積物からなる
模式断面図			 A；沖積堆積物　B；溶岩塊状部（自破砕部伴うことあり）	 A；沖積堆積物　B；溶岩塊状部（自破砕部伴うことあり） C；火山砕屑岩
ダム型式			フィルダム ※ 河床部深部に沖積堆積物が分布する場合はコンクリートダムも考えられる。	フィルダム
浸透系	問題点	貯水池	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）からの漏水。 ○ 沖積堆積物のパイピングによる漏水。	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）からの漏水。 ○ 沖積堆積物のパイピングによる漏水。
		外周	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）の止水。 ○ 沖積堆積物のパイピング耐性と止水。	○ 溶岩塊状部（割れ目性高透水性岩盤）の止水。 ○ 火山砕屑岩類の止水。 ○ 沖積堆積物のパイピング耐性と止水（貫入岩類との接触部付近の乱れたゾーンは要注意）。
	調査方法留意点		広域水理地質調査；　①に加え、沖積堆積物の固結度、岩質、粒度等および分布上限や連続性に注意。 地下水調査；　地下水位、水温、水質、水圧および流速。 透水性調査；　ルジオンテスト（削孔の方法の検討）、注入・揚水試験、トレーサー試験、孔内微流速測定、パイピング試験、長時間透水試験、浸透流解析 止水改良性調査；　グラウチングテストによる改良性の検討またはその他の止水工法を前提とした調査。	広域水理地質調査；　③とほぼ同。火山砕屑岩が分布する場合は②の項目を付加。 地下水調査；　地下水位、水温、水質、水圧および流速 透水性調査；　ルジオンテスト（削孔の方法の検討）、注入・揚水試験、トレーサー試験、孔内微流速測定、パイピング試験、長時間透水試験、浸透流解析 止水改良性調査；　グラウチングテストによる改良性の検討またはその他の止水工法を前提とした調査。
力学系	問題点		○ 沖積堆積物の支持力およびスレーキング耐性。 ○ 溶岩と沖積堆積物の変形性の差による不同沈下。 ○ 沖積堆積物を介する堤体のすべり。 ○ 河床部深部に沖積堆積物が分布し、コンクリートダムを検討する場合の境界を介するすべり。	○ 沖積堆積物の支持力およびスレーキング耐性。 ○ 火山岩類と沖積堆積物の変形性の差による不同沈下。 ○ 沖積堆積物を介する堤体のすべり。
	調査方法留意点		強度・変形試験；　変形試験（試験方法、規模を検討）。沖積堆積物のスレーキング試験。 不同沈下の検討；　FEM解析 強度変化の把握；　沖積堆積物に対する孔内載荷試験、室内土質試験。	強度・変形試験；　変形試験（試験方法、規模を検討）。沖積堆積物のスレーキング試験。 不同沈下の検討；　FEM解析 強度変化の把握；　沖積堆積物に対する孔内載荷試験、室内土質試験。

表2（つづき）

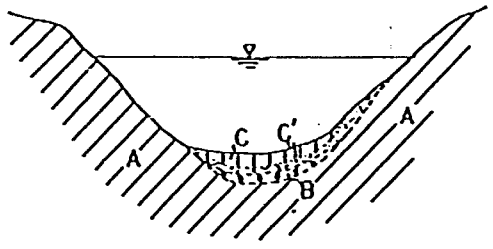
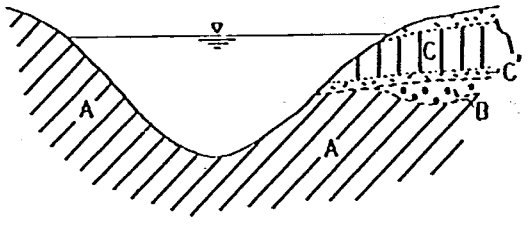
主要地質			先第三系基盤岩または火山岩類 ＋ 境界堆積物 ＋ 火砕流堆積物	
タイプ			⑤	⑥
地質構成			河床部から両岸アバットの一部が火砕流堆積物（下位に境界堆積物を介在する）により覆われる	高位部からリムにかけて火砕流堆積物（下位に境界堆積物を介在する）により覆われる
模式断面図			 A；先新第三系基盤岩　B；境界堆積物 C；火砕流堆積物溶結部　C'；火砕流堆積物非溶結部	 A；先新第三系基盤岩　B；境界堆積物 C；火砕流堆積物溶結部　C'；火砕流堆積物非溶結部
ダム型式			フィルダムまたはコンクリートダム ※ 火砕流堆積物等の掘削除去を前提として、基盤岩の強度に応じコンクリートダムも考慮される。	フィルダムまたは複合ダム ※ 火砕流堆積物の分布域はフィルダムとなるため、基盤岩の強度に応じフィルダムまたは複合ダム。
浸透系	問題点	貯水池	○ 貯水池が⑤～⑧タイプでない限り、基盤岩の工学的特性を反映する。	○ 火砕流堆積物溶結部（割れ目性高透水性岩盤）からの漏水。 ○ 火砕流非溶結部、境界堆積物のパイピングによる漏水。 ○ 基盤岩風化部を介する漏水。
		外周部	○ 火砕流堆積物強溶結部の止水。 ○ 火砕流堆積物非溶結部のパイピング耐性と止水。 ○ 境界堆積物のパイピング耐性と止水。 ○ 基盤岩風化部の止水。 ※ 掘削除去する場合は、基盤岩の工学的特性を反映する。	○ 火砕流堆積物強溶結部の止水。 ○ 火砕流非溶結部、境界堆積物のパイピング耐性と止水。 ○ 基盤岩風化部の止水。
	調査方法留意点		広域水理地質調査；　火砕流堆積物の溶結度と節理の発達程度、上下流方向への分布把握（物理探査等）が必要となる。 境界堆積物は、被圧地下水を胚胎する場合があり、函館湾の調査。 透水性調査；　ルジオンテスト（試験区間長の検討）、トレーサー試験、パイピング試験、長時間透水試験 止水改良性調査；　グラウチングテストによる改良性の検討またはその他止水工法を前提とした調査。	広域水理地質調査；　火砕流堆積物の溶結度と節理の発達程度、他流域への連続性、埋積谷の伏在、境界堆積物の岩質や粒度に注意する。 透水性調査；　ルジオンテスト（試験区間長の検討）、パイピング試験、長時間透水試験 室内透水試験 止水改良性調査；　グラウチングテストによる改良性の検討またはその他止水工法を前提とした調査。
力学系	問題点		○ 火砕流堆積物非溶結部は、軟質で強度・支持力が低い。 ○ 境界堆積物は、未固結で強度・支持力が低い。 ○ 強度・支持力の低い基盤岩風化部が伏在する。	○ 火砕流堆積物非溶結部は、軟質で強度・支持力が低い。 ○ 境界堆積物は、未固結で強度・支持力が低い。 ○ 強度・支持力の低い基盤岩風化部が伏在する。
	調査方法留意点		原位置試験；　火砕流非溶結部、境界堆積物の孔内載荷試験等	原位置試験；　変形試験、火砕流非溶結部、境界堆積物のスレーキング試験。 室内土質試験

表2（つづき）

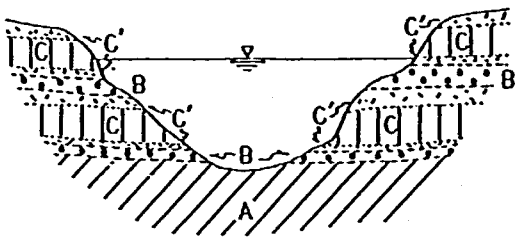
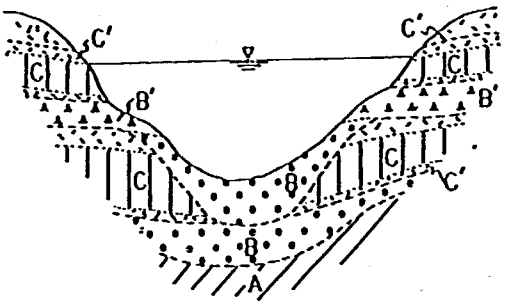
主要地質			先新第三系基盤岩または火山岩頂＋境界堆積物＋火砕流堆積物	火砕流堆積物および境界堆積物
タイプ			⑦	⑧
地質構成			河床部から両岸の山体が火砕流堆積物（下位に境界堆積物を介在する）により構成される	基盤岩の分布が渓部に限られ、ダム基礎は火砕流堆積物または厚い境界堆積物（砂礫層等を主体）となる
模式断面図			 A；先新第三系基盤岩または火山岩頂　B；境界堆積物 C；火砕流堆積物溶結部　C'；火砕流堆積物非溶結部	 A；先新第三系基盤岩 B；境界堆積物（砂礫層等）　B'；境界堆積物（崖錐，0-ム） C；火砕流堆積物溶結部　C'；火砕流堆積物非溶結部
ダム型式			フィルダム ※ 河床渓部まで火砕流堆積物の強溶結部が分布する場合はコンクリートダムも考慮される。	フィルダム（低い）
浸透系	問題点	貯水池	○ 火砕流堆積物溶結部（割れ目性高透水性岩盤）からの漏水。 ○ 火砕流非溶結部、境界堆積物のパイピングによる漏水。 ○ 基盤岩風化部を介する漏水。	○ 境界堆積物からの漏水。 ○ 火砕流非溶結部、境界堆積物のパイピングによる漏水。 ○ 火砕流堆積物溶結部（割れ目性高透水性岩盤）からの漏水。
		外周	○ 火砕流堆積物強溶結部の止水。 ○ 火砕流非溶結部、境界堆積物のパイピング耐性と止水。 ○ 基盤岩風化部の止水。	○ 境界堆積物の止水。 ○ 火砕流非溶結部、境界堆積物のパイピング耐性。 ○ 火砕流堆積物強溶結部の止水。
	調査方法留意点		広域水理地質調査；　火砕流堆積物の溶結度と節理の発達程度、他流域への連続性、埋積谷の伏在、境界堆積物の岩質や粒度に注意する。 透水性調査；　ルジオンテスト（試験区間長の検討）、パイピング試験、長時間透水試験 室内透水試験 止水改良性調査；　グラウチングテストによる改良性の検討またはその他止水工法を前提とした調査。	広域水理地質調査；　火砕流堆積物および境界堆積物の他流域への連続性、埋積谷の伏在等に注意する。 透水性調査；　ルジオンテスト、揚水・注水試験、孔内微流速測定、トレーサー試験、長時間透水試験 パイピング試験 室内透水試験 止水改良性調査；　グラウチングテストによる改良性の検討またはその他止水工法を前提とした調査。
力学系	問題点		○ 火砕流堆積物非溶結部は、軟質で強度・支持力が低い。 ○ 境界堆積物は、未固結で強度・支持力が低い。 ※ 複数が互層状に分布することが多い。 ○ 強度・支持力の低い基盤岩風化部が伏在する。	○ 境界堆積物は、未固結で強度・支持力が低く、厚い。 ※ 複数が互層状に分布することが多い。 ○ 火砕流堆積物非溶結部は、軟質で強度・支持力が低い。 ○ 大規模な洪水吐基礎としての強度を有する岩盤が見当たらない。
	調査方法留意点		原位置試験；　変形試験、火砕流非溶結部、境界堆積物のスレーキング試験。 室内土質試験	強度・変形試験；　変形試験 室内土質試験

表3　既設ダムからみた止水工法の検討

地下水位区分 ＼ 地質構造区分	溶岩、※凝灰角礫岩およびその互層	溶結凝灰岩	旧河床砂礫など	シラス
比較的高い	グラウチング（但し、特殊な透水層には遮水壁設置の検討）	グラウチング（但し、工法検討 低溶結部には遮水壁設置の検討）	グラウチング（但し、工法検討）＋遮水壁設置の検討	基礎岩盤についてはグラウチング（但し、工法検討）シラスについては＋遮水壁または貯水池内の止水処理
低いが河床標高より上	グラウチング（但し、工法検討 特殊な透水層には遮水壁設置の検討）	グラウチング（但し、工法検討 低溶結部には遮水壁設置の検討）＋貯水池内止水処理の検討		
河床以深	グラウチング＋貯水池内止水処理	グラウチング（但し、工法検討）＋貯水池内の止水処理＋遮水壁設置の検討	止水は極めて困難（小規模な貯水池ではブランケット）	

※溶岩、凝灰角礫岩単独の場合の実施例が少ないので一括してある。

建設省九州地方建設局企画部・財団法人国土開発技術研究センター（1980）

表4　既設ダムよりみたカーテングラウチング工法の検討

地下水位区分 ＼ 地質構造区分		溶岩・凝灰角礫岩およびその互層※	溶結凝灰岩	旧河床砂礫など	シラス
A 比較的高い	施工パターン 列間隔 m	2～3 2～3	3 1.5～2	2～5 1.5～2.0	一般的なグラウチングによる改良効果は期待できない
	注入深度／ダム高	0.5～0.8	0.4～1.0	0.4～0.7	
	注入圧力（最高圧力／注入深度） kg/cm²/m	0.3～0.5	——	0.4～1.0	
	注入材料	セメント	セメント	セメント ベントナイト 分散剤	
	濃度切替基準・濃度	600/20→200/20·10/1→1/1	600/20→200/20·10/1→1/1	——·10/1→1/1	
B 低いが河床標高より上	施工パターン 列間隔m	3～5 1～1.5	3～5 1～1.5	3～5 1～2	
	注入深度／ダム高	0.9～1.1	1.0	0.6～1.0	
	注入圧力（最高圧力／注入深度） kg/cm²/m	0.4～1.0	——	——	
	注入材料	セメント	セメント	セメント ベントナイト 分散剤	
	濃度切替基準・濃度	600/20→200/20·10/1～1/1	600/20→200/20·10/1～1/1	——·——	
C 河床以深	施工パターン 列間隔m	各ダムサイトで検討の必要あり			
	注入深度／ダム高				
	注入圧力（最高圧力／注入深度） kg/cm²/m				
	注入材料				
	濃度切替基準				

※溶岩、凝灰角礫岩単独の実施例が少ないので一括してある。

建設省九州地方建設局企画部・財団法人国土開発技術研究センター（1980）

表5　主として火砕流堆積物を基礎とするダムの基礎処理

項目 ＼ 地質（溶結度）		強溶結及び中溶結凝灰岩 (Hwt) & (Mwt)	弱溶結及び非溶結凝灰岩 (Lwt) & (Uwt)	境界堆積物
岩盤特性	強度（一軸圧縮強度）	Hwt；◎ 150～300 kgf/cm²，○ 300～500 kgf/cm² Mwt；◎ 50～100 kgf/cm²，○ 100～250 kgf/cm²	Lwt；◎ 10～60 kgf/cm²，○ 80～100 kgf/cm² Uwt；◎ 10 kgf/cm²>，○ 20～25 kgf/cm²	2>，4.3～9.3kgf/cm²（○ダム，Aso2/1）
岩盤特性	透水性	Hwt；20～50，50～100（100<）ルジオンに比較的集中 1>ルジオンの分布も多々あり。 Mwt；2～5，20～50ルジオンに比較的集中 1>ルジオンの分布も多々あり。	Lwt；2～5ルジオンにやや集中 傾向として10ルジオン以下の範囲に比較的集中 Uwt；2～5ルジオンに概ね集中 各ダムサイトにより分布形態が異なる。	・2～5ルジオンに比較的集中 ・50ルジオン以上は極めて少ない。 ・2ルジオン以下は，全体の2～3割程度
基礎処理（既設・計画）	グラウチングテストの有無	○（大谷，○，松木，Yダム）	○（大谷，○，松木，Yダム）	○（大谷，Yダム）
基礎処理（既設・計画）	カーテングラウチング 孔配置	グラウチング孔は全て2列の千鳥配置であるが，この時の孔間隔は1.50mが多く，2.00m或いは2.50mのダムもある。又，列間隔は0.90～1.30mである。		
基礎処理（既設・計画）	カーテングラウチング 範囲	グラウチング長は30～60mであるが，不透水層が明確な場合はその深さまでとし，そうでない場合は経験的に十分な深さまでとしている。		
基礎処理（既設・計画）	カーテングラウチング 材料	普通ポルトランドセメントやこれにフライアッシュ或いはベントナイトを混入して使用。（はさみ層については，薬液やコロイドセメントなどを使った事例がある。）		
基礎処理（既設・計画）	カーテングラウチング 改良度	50ルジオン以上の透水性を示し不均一な岩盤であるが，おおむね10ルジオン以下から，1～2ルジオンまで改良されている。	――――	注入材料，注入工法等の検討が必要
基礎処理（既設・計画）	リムグラウチング 孔配置	カーテングラウチング孔と同一もしくは多少の間隔を違えている程度であるが，なかに単列もしくは，3列あるいはそれ以上の配置もある。なお，計画中のダムで弱～非溶結層に対する特殊グラウチングが計画されている所がある。		
基礎処理（既設・計画）	リムグラウチング 範囲	両尾根部は範囲を広く延長して施工，また，グラウチング長はカーテングラウチングと同様な考えで施工。		
基礎処理（既設・計画）	リムグラウチング 材料	セメント（ポルトランドや高炉）単独，もしくはこれにフライアッシュ或いはベントナイトを混入して使用。		
基礎処理（既設・計画）	リムグラウチング 改良度	カーテングラウチングに同じ，但し，単列孔の場合は不十分。	本来透水性は低く，1～2ルジオンまで改良された例がある。	5ルジオン程度まで改良されている（Yダムグラウチング試験より）がこれ以上の改良はやや困難。
基礎処理（既設・計画）	その他の基礎処理		松木ダム；止水壁を設ける。	芦川ダム；止水壁。 貯水池内の露出部をモルタルで被覆。
問題点		・グラウチング間隔を広くすると効果が低い。 ・注入量が大量におよぶことがある。	低圧注入では透水性の改良度は低い。特に上部の非溶結相はシラスに類似した岩相を有し，通常のグラウチングによる改良は，困難。	土粒子間の透水性を改良することが必要。
問題点に対する対策工		・グラウチング間隔を縮め，場合によっては斜孔や3列配置を考える。 ・注入材の拡散を防ぐためのグラウチング仕様を今後検討する必要がある。	河床部に分布する場合は，掘削により除去。（○ダム，松木ダム）。	通常のグラウチングでは先ず効果がなく，特殊グラウチング或いは止水壁などで対応する必要がある。
考察		・計画中のダムでは十分な効果を得るに至らないケースもあるが，完成したダムでは再注入を繰り返すなどの努力が払われ改良の後がうかがわれ，本層の止水改良はある程度可能と判断される。	高圧注入により良好な結果を得ている例（芦川ダム・松木ダム）や2重管式による新たな注入方法に成功を収めている例があり，改良に期待は持てる。 中腹～尾根に分布する非溶結相が，ダムを規制する。	場所によって火山灰，軽石或いは砂礫であったり，その透水性や固結状態も異なり，加えてパイピングに対する綿密な対応と対策が望まれる。

財団法人ダム技術センター（1988）

質　疑　応　答

司会　ただいまの御発表につきまして御意見，御質問のある方はどうぞ。

三木　前半の御発表の中で貯水池にゴムを張って貯水した例の写真を御紹介いただいたのですが，基礎岩盤がどんなところで，どういうダムでされたのか，具体的に情報をいただければありがたいんですが。

熊木建設専門官　阿蘇山の西麓にあります阿蘇の側火山の一つから出てきた熔岩からなる熔岩台地でして，熊本空港の近くですが，そこはほとんど基礎岩盤としては安山岩質の熔岩からなっております。地表近くは風成の火山灰層が若干ございますけれども，ほとんど熔岩からなるところでして，自破砕の部分と塊状の部分とがありますが，塊状の部分の方が優勢でして，かなり広範にいろいろな場所で雨が降った後に水が吸い込まれる現象が見られるところでございます。逆にそういった性質を利用して，建設省の方でも高水をむしろ地下に逃がしてしまうようなダムの調査を本年度から始めているようなこともやっております。

三木　そのダムはいつごろゴムシートを張って，貯水の問題とかは生じてないのか。

熊木　正確にはわかりませんが，灌がい用のダムですけれども，およそ10年前かと思います。ゴムシートを張って以降は，特に水漏れということは起こってないと聞いております。

三木　どうもありがとうございました。

地盤情報処理技術の現況

土木研究所 地質研究室
稲崎　富士

I　はじめに

情報は，物事に対する判断とそれに基づく活動を有効かつ的確なものにするために，欠くことのできないものである。情報が多ければ多い程，より的確な行動をすることができるが，情報の量のみならず質的属性としての〝新しさ〟,〝正確さ〟も重要であるのは言うまでもない。さらに情報は，何らかの処理を施すことによって異なった，より高次の情報を生み出し得るが，そのためには収集された情報が処理しやすい形態を有していることが必要である。

近年，企業の東京一極集中の効罪が問題となっているが，これは情報集中都市・東京における情報活動の負のフィードバック効果の表われであろう。つくばにおいても最近，研究開発型企業の立地が盛んに行われているが，これも同様であろう。

1980年代は〝情報化社会〟の幕明けの時代であったと言うことが出来るが，情報化の波が建設産業に波及してくるには多少時間を要した様である。これは，建設関連事業分野の情報が処理しにくい形態を有していたからかも知れない。本論でとりあげる地盤情報はその展型で，３次元で定義されるために情報量は膨大であり，また定性的情報であるため処理しにくいという難点がある。そこで，地盤情報処理技術について論じるのに先立って，まず地盤情報の質・性格について整理してみよう。

地盤情報の特徴として，

(1) 不変性，(2) 地域性，(3) 不正確性，(4) 従目的性をあげることができる。以下概述すると，

(1) 不 変 性

地盤情報は地中の情報であり，一旦生じると人工的改変が原地盤に加えられない限り，数10年単位では基本的に変化しない。すなわち，新しくなくても（情報の発生した時期が古くても）その価値は変わらない。

(2) 地 域 性

地盤情報は，特定の地点ないしは地域の情報であり，空間的な普遍性は有していない。この点においては，極めて限定的な情報であると言うことができる。このことは，位置情報が地盤情報のうちで重要であることを意味している。

(3) 不正確性

地盤情報の精度は，一般に余り高くない。例えばボーリング情報では，N値測定区間以外の部分はスライムやボーリングマシンの状態から間接的に推定しているに過ぎず，また，調査時期・業者によって同一層であっても土質区分が異なっていることがしばしばある。

(4) 従目的性

地質調査は通常，特定の目的をもって実施されるので，得られた地盤情報自体も一般的な形態をとっておらず，大部分はその目的だけに利用される。このことは，地盤情報へのアクセスが一般には限定されていることを意味しており，集約の困難性を示している。

上記の特徴，とりわけ(2)，(3)の点は地盤情報の処理・利用をはかる上で重大な問題となる。これらの点

については地盤情報を可能なかぎり大量に収集し，不正確な情報を統計的処理によって棄却・修正することによってカバーする以外にはないであろう。また，収集された情報から，新しい，より高次の情報を生み出すことも可能になってくる。

地盤情報とは？

これまで，地盤情報という用語を曖昧なまま使用してきたが，ここでその定義をしておこう。地盤情報としては，表―1に掲げた様にいくつかの種類がある。今日，前提として対象地盤を平野部の主として第

表―1　地盤情報の種類と内容

区分				内容	種類
アナログ情報	素情報			柱状図 試験・計測結果	地質調査データ
	図面情報			地盤図，断面図 地質図	地質調査データを二次元化し図面にしたもの
	文献情報			地質調査報告書 雑誌，単行本	地盤に関する文字情報
デジタル情報	一次情報	素情報		地盤情報データベースのレコード情報	コンピューターが可読できるデータ
	二次情報	一般情報	地点情報	ある地点もしくは近傍の地盤情報	• 位置図 • 土質柱状図 • 土質試験結果一覧表 • 土性図 • 深度分布図
			線情報	ある路線沿いの地盤情報	• 土質断面図 • 相関図 • 頻度分布図 • 粒度組成の三角座標分布図 • 塑性図
			面情報	ある区域内の地盤情報	• 等高線図（地下水位等） • 等厚線図（土層等）
			三次元情報	ある地域の立体的な地盤情報	• 各種鳥瞰図 （N値三次元図等）
		特殊情報		ある目的のために分析・加工した地盤情報	• 液状化危険度分布図 • 地震時の震度予測図 • その他

四系からなる未固結地盤に限定している。とすると，それらの地盤における主要な地盤情報は，ボーリング調査結果とそれに附随する土質試験データであるので，これらを狭義の地盤情報として定義する。一方広義には，これらのデータセットを処理して得られる断面図，等高線図等の空間的な拡がりを持った（二次元・三次元）情報を含めたものとする。

地盤情報についてのいま一つの問題は，誰がどの様な目的で利用するか，という点である。表―2は，地盤情報の利用の現況と将来的可能性についてとりまとめたものであるが，これでもわかる様に，地盤情報の利用はその大部分が開発行為者側・行政側であると想定されている。また，原情報の帰属という点から考えても，利用者は行政側が主体であると限定してもよいであろう。

そこで，利用者として我々が，どのような地盤情報処理システムを構築していくかについて，地盤情報処理技術の現況と動向について概観するなかで検討を加えてみよう。

表―2　地盤情報データベースの利用例

作業段階		利用への位置づけ	提供情報
構造物の建設への利用	建設地点の選定の検討	• 発注者側の内部検討資料	• 柱状図 • 支持層等高線図
	予備調査	• 積算のための資料 （土層構成の把握）	• 柱状図 • 土質試験データー
	概略設計	• 予備調査の補足資料	
	調査計画の立案	• 不足資料の把握	
	本調査	• 報告書作成資料	• 柱状図 • 土質試験データー • 原位置試験データー • 各種加工データー
	詳細設計	• 本調査の補足資料	
	施工	• 設計時に使用した以外の資料 • 予測できなかった事態が生じた対応資料	
その他	維持管理	• 保存資料 • 既設構造物付近の地盤情報の把握	• 柱状図 • 土質試験データー • 原位置試験データー • 各種加工データー
	地盤災害の予測と対策	• 地盤沈下，液状化等の解析資料 • 地すべりの機構解析等の資料 • 地震時の震度予測の解析資料	
	学術研究	• 学術研究のための基礎資料	

II　地盤情報処理技術の概要

1.　地盤情報処理とは？

地盤情報処理とは，狭義の地盤情報（土質試験・原位置試験データ：0次元，ボーリングデータ：1次元）を入力し，地盤構造モデル（断面図：2次元，地質構造・分布：3次元，地史・経時変化：4次元）を構築するプロセスのことである。

この処理の意義は，地盤情報の高次元化・質的高度化にある。すなわち，建設技術者が対象とする地盤はオーダーの違いはあっても基本的には3次元的拡がりを有しているのに対し，最も代表的な地質調査法であるボーリング調査とそれに付随する各種試験は，1次元あるいは0次元の情報でしかない。地盤の一様性はほとんどの場合，保障されていないので3次元的な地盤構造の把握，あるいはそれの地震時の挙動，圧密沈下等の経時変化を予測するためには，地盤情報の高次化を行うプロセスが必要不可欠である。

従来これらの処理は，地盤技術者の経験とカンに依って行われていた。勿論，この過程を全て計算機上で実行することは不可能であるが，地盤構造モデルをより客観的により迅速に作成できるエキスパート支援システムとして体系化することが求められている。

2.　地盤情報処理技術開発の必要性

日本における社会的潮流の一つに情報化があり，建設分野においても情報化を目指した基盤の整備が進んでおり，地盤情報にも高度利用のシステム化が求められていることは前述のとおりであるが，このような外的要請のみでなく情報化と処理技術開発に対する内的な契機についても検討してみる必要がある。

建設分野における地盤情報をめぐる特徴的な動向として以下の点を挙げることができる。

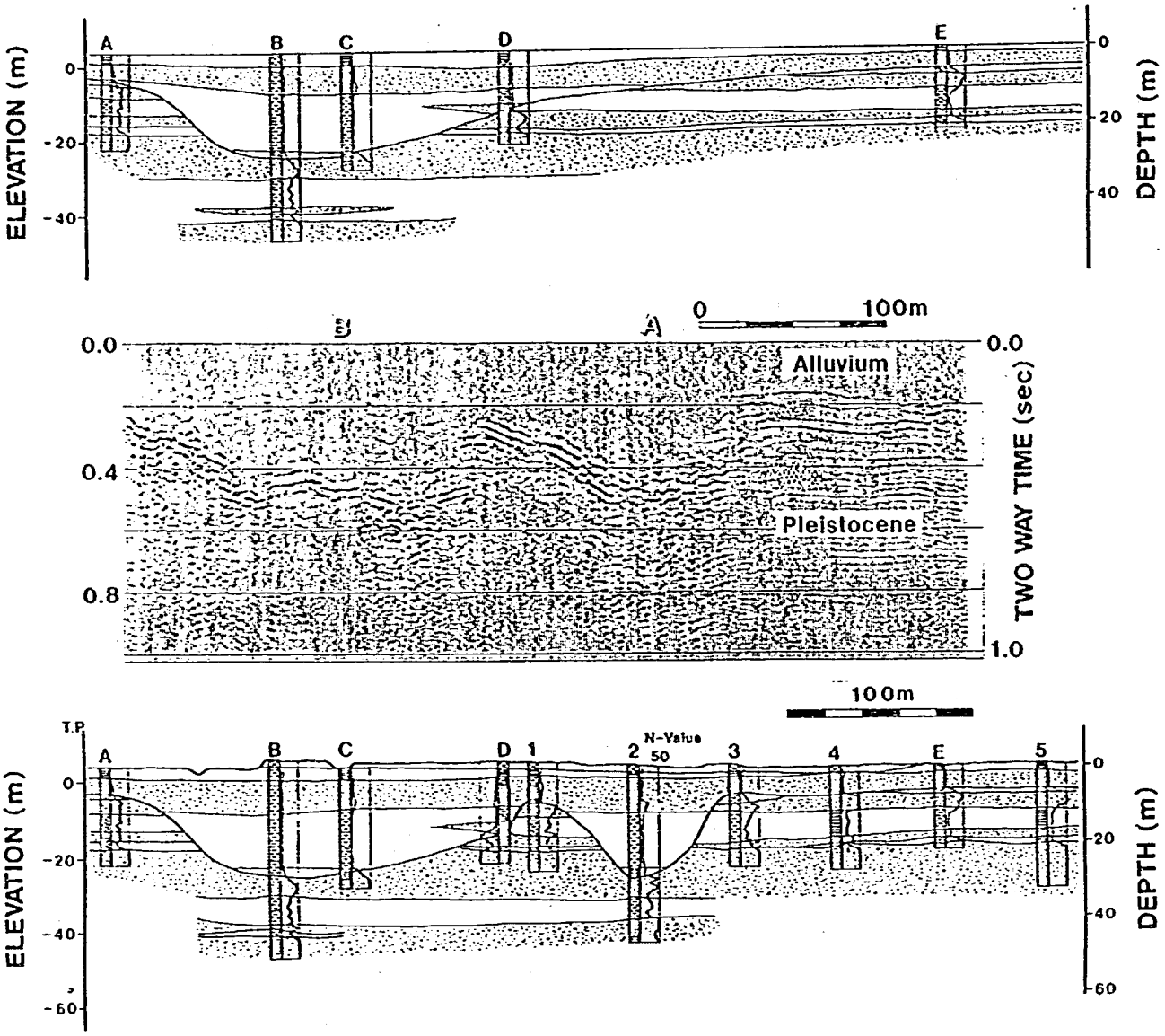
(1)　都市域における大深度地下空間開発

大都市における地下空間の開発にあたっては，既存の構造物に影響を及ぼさないようにするため，支持層以深，東京では−40〜−80m程度と開発空間の大深度化が想定されている。このことは，開発行為の影響領域の大深度化・大規模化を意味するものであり，直接の対象地盤のみならず，広域的な地盤を評価する必要性を示唆している。

一方都市域では，地表条件の制約等から地質調査も充分には行えないであろう。そこで既存資料を有効に利用するとともに，一地点で多種類・高密度のデータを取得し，それらの情報を処理・解析することでそれを補うことが必要となってくるであろう。

(2)　地質構造の複雑化への対応

平野部の地下地質構造は決して一様ではない。従来，水平方向に数百mのオーダーでは地質構造はあまり変化せず，ほぼ一様であると考えられていた。しかし，高密度の地質調査・ボーリング・3次元強震観測等の解析結果から，平野部の地下には図−1に示すように埋没谷・埋没段丘のような旧地形が複雑に分布しており，また地表面では確認できない潜在断層が存在していることがあり，数十mのオーダーでも大きく構造が変化する場合があることが知られてきた。このことは，1次元のボーリングデータから2次元・3次元の地質構造を再構築するにあたっては細心の注意をはらうべきであることを示して



図－1　平野部の地質構造の例
（ボーリングデータと弾性波探査により，
より詳細な地質図が作成されている）

表—3　既存のデータベース一覧

システム	主な利用目的	取扱うデータ項目										システム整備状況		位置指定法	使用するハードウエア		検索項目										出力項目							地盤図での利用
		原資料	地盤構成	標準貫入試験	土質試験 物理	土質試験 力学	原位置試験 載荷	原位置試験 透水	原位置試験 速度	原位置試験 その他	施工情報等	システム	データ		中心となる計算機	出力装置	調査名	登録番号	位置地図	掘進長	孔内水位	室内試験	原位置試験	調査年月	発注者	受託者	柱状図	位置図	相関図	頻度分布	断面図	鳥瞰図	一覧表	
運輸省．港湾技術研究所	土質データの有効かつ高率的な利用 柱状図・各種データの解析		○	○	○	○						運用中	300 (S59.11)	緯経度	大型汎用機 (ACOS1000)	グラフィック・ディスプレイ ライン・プリンタ	○	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○			○	
日本道路公団	軟弱地盤上の盛土施工管理のための土質データファイル	○	○	○	○	○	○			○	○	運用中	1,000 (S56. 7)	路線沿キロ程	大型汎用機 IBMセンターマシン	グラフィック・ディスプレイ											○		○	○				
建設省	省内のニーズに応じた地盤データベース		○	○	○	○	○	○	○			一部運用	30,000	メッシュ 緯経度(0.1")	汎用機 (ACOSシリーズ)	ワークステーション 端末 漢字ラインプリンタ	○	○	○			○	○										○	
国立防災科学技術センター	地盤構造の解明、震害予測など		○	○								運用中	43,140	メッシュ (緯度3.0", 経度4.5")	大型汎用機 (ACOS 650)	パーソナルコンピュータ 端末ディスプレイ(ハードコピー付)プロッター、ラインプリンタ	入力データの全てに対してキーワード検索										○	○						
東京都土木研究所	都内の地盤図作成、液状化検討など		○	○	○	○						運用中	22,000	メッシュ(1Km) 緯経度	汎用機 (ACOS 430)	グラフィック・ディスプレイ 静電プロッタ		○	○								○	○	○	○			○	○
豊田市	豊田市の地盤図を含めた行政的な利用		○	○								開発中		メッシュ 平面直角座標																				
土質工学会関西支部	大阪地区の地盤図作成		○	○	○	○						運用中	7,000	メッシュ 緯経度	パーソナルコンピュータ	ディスプレイ、X-Yプロッタ プリンタ		○	○	○		○		○			○	○	○		○			○
土質工学会中部支部	名古屋地区の地盤図作成、震害予測など		○	○	○	○	○	○				運用中	4,190	メッシュ(250m) (緯度3.7", 経度4.5")	大型汎用機	カラーディスプレイ X-Yプロッタ											○	○	○	○			○	○
大阪市立大学* (GEODAS)	柱状図、地質構造図の作図 地質データベースの作成など		○	○								運用中	(整備中)	メッシュ (平面直角座標)	大型汎用機 (NEAC9000)	パーソナルコンピュータ 端末 プロッタ			○								○	○			○			
佐賀大学	佐賀平野の地盤構造の研究		○	○								運用中	2,500 (S61. 4)	緯経度	パーソナルコンピュータ(PC9801)	ディスプレイ カラープリンタ			○												○	○		
豊橋技術科学大学	地盤特性の検討		○	○	○	○								メッシュ	パーソナルコンピュータ	ディスプレイ,プリンタ X-Yプロッタ											○						○	
熊本大学	熊本地区の地盤、環境、防災の検討		○	○	○	○						運用中	600	メッシュ(50m)	パーソナルコンピュータ(PC9801)	カラーディスプレイ,プリンタ X-Yプロッタ			○								○				○		○	
東和大学	福岡市の地盤図作成 パソコン通信		○	○										メッシュ	パーソナルコンピュータ(PC9801)	カラーディスプレイ,プリンター モデム			○								○	○					○	
八戸工業大学	地盤沈下の監視		○	○						○		運用中	150 (1,495)	メッシュ (平面直角座標)	パーソナルコンピュータ(PC9801)	カラーディスプレイ プリンター			○								○	○						
電力中央研究所	既刊報告書の整理データベース化		○		○	○				○				緯経度	汎用機(HITAC M-6800)													○	○					
全国地質調査業協会連合会	地質調査業向け小規模地盤情報システム 業界保有データ(140万本以上の)標準化		○	○	○	○	○	○	○			プロトタイプ	各社整備 (保有140万)	メッシュ 緯経度(0.1") 地図	パーソナルコンピュータ (FM-R, PC9801)	カラーディスプレイ 漢字プリンタ	○		○	○			○	○	○	○	○	○					○	

いる。とりわけ最近では複雑な地盤上への構造物の建造が余儀なくされる場合があり，ローカルな地盤構造を念頭においた解釈を行うか否かによって結果が著しく異ってしまい，構造物の安全性に重大な影響を与えかねない。

(3) 構造物の合理的設計・施工管理

構造物の合理的設計・安全施工をはかる上で，構造物と地盤の静的・動的相互作用をより正確に評価・予測することが大切であり，そのためには地盤条件をどれだけ合理的に評価できるかがカギとなっている。

3. 地盤情報処理技術開発の現況と動向

地盤情報処理の技術開発にあたっては，まず第一にデータベースの構築，次に処理システムの開発，そして最終的にはシステム運用と段階的な開発課題がある。もちろん，前提としてこれらを置くコンセプトが必要である。そこで，今後の技術開発の課題を明らかにするために，地盤情報処理の現況と動向をレビューし，その特徴を上記の3段階に分けてとりまとめる。

3.1 地盤情報データベースの整備状況

現在運用中，あるいは整備中のデータベースのうち代表的なものを表―3に示す。

これより特徴的な点として以下の点を挙げることができる。

① データベースの大部分が土質地盤を対象としたものである。

② 運用機関は国・地方自治体・大学・研究機関などの公的機関あるいは開発側のみである。(全地連のデータベースについては，各社保有のデータの標準化を行ったもので，全体としてのデータベース化は行ってはいない)

③ 利用形態としても部内利用が原則となっており，公開しているデータベースはない。

④ 入力されている地盤情報に対して高度な処理を施すものはなく，データベースの本来機能である各種検索が可能な段階にとどまっている。

⑤ ハードウエアには，データ数に応じて大型汎用機かＰＣが使用されている。

以上の特徴は,全てデータベースの形態に関するもので，その構造に関する点は文献を基にした調査では残念ながら不明である。(入力データ項目については後に検討する)。建設省においても表―3に示されている様にデータベースが一部運用を開始しているが，今後その体系化・発展をはかる上で検討すべき課題として，

①：データの収集法とその帰属

②：利用形態

③：利用目的

の3点が挙げられる。これらについても後に検討を加える。

3.2 地盤情報処理システムの開発状況

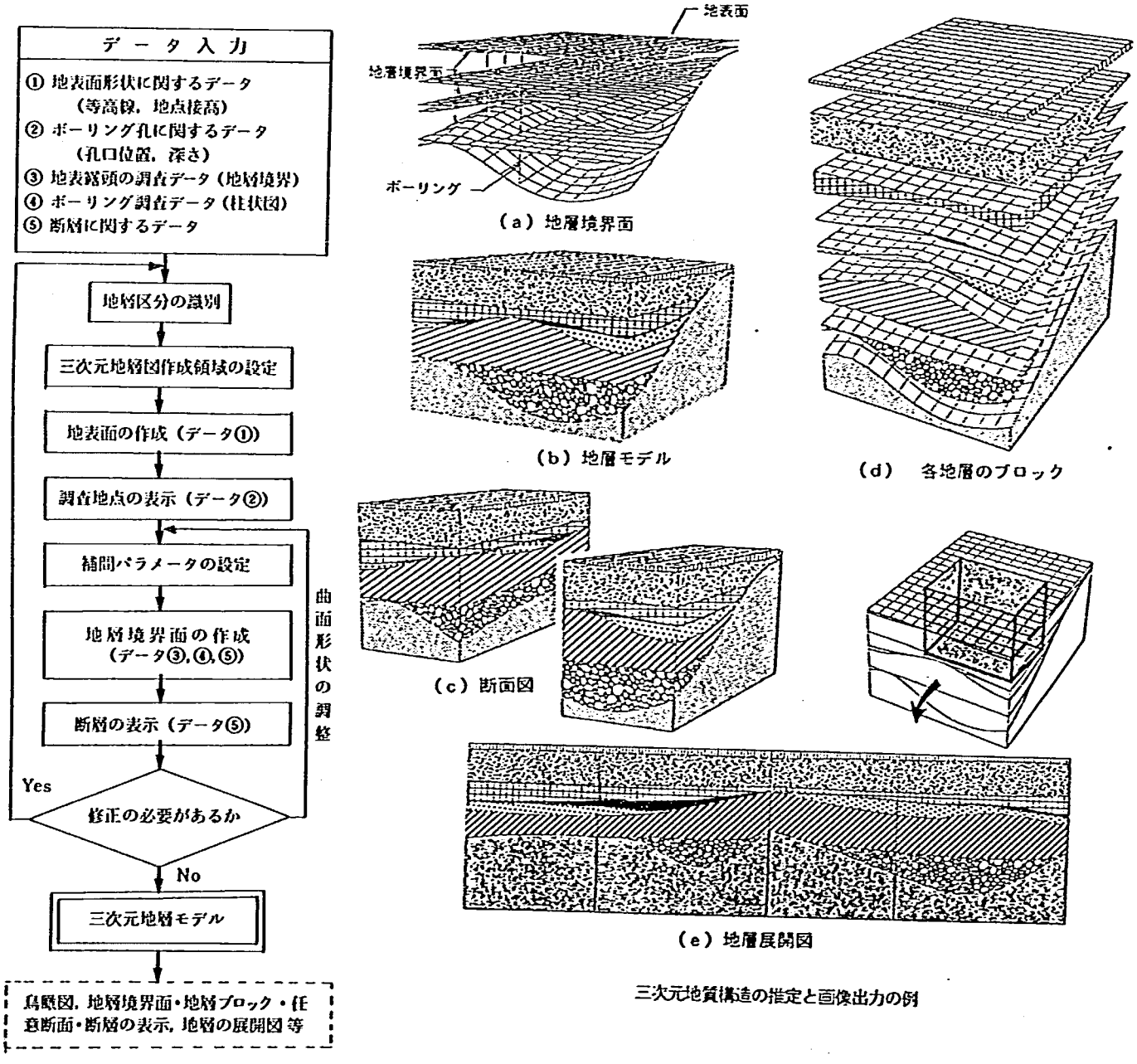
現時点では，地盤情報の利用はデータベース化にとどまっており，処理システムの開発はいわゆるゼネコン・地質コンサルタント会社の一部で手がけられているにすぎず，したがって実用化されたものは未だ無いの

が現状である。それらの開発途上のものを以下にいくつか紹介する。

図－2は，清水建設で開発中のシステムの概要である(黒田ほか，1989)。入力データとして，ボーリング柱状図・地表露頭データ(地層境界)，断層データが扱える様になっており，それらより3次元の地質モデリングを行い，出力として鳥かん図，断面図等が得られるシステムである。

同様のシステムとして，ＣＲＣ社のGEORAMAがある。

＊資源探査・鉱山開発分野では，AIを用いたエキストパートシステムが開発され，
市販されている。　　ex.　PROSPECTOR



三次元地層モデル作成手順

図－2　清水建設の3次元モデリングシステム(黒田ほか，1989)

3.3　地盤情報処理システムの運用状況

現時点では研究用・商用のいずれの用途においても稼動中のものはない。

Ⅲ　地盤情報処理技術開発の課題

1. データベースの構築とその構造

データベース，地盤情報の用途については表－2に分類した様に，①構造物（例えばダム，地下空洞，廃棄物処理施設，原発などの重要施設）の建設にあたっての基礎地質評価，②地下水障害・液状化・震害予測・支持層分布評価など広域的地盤評価とがあり，各々においてデータベースに対し異なった対応が求められている。すなわち，①の評価のためには小さな領域に高密度の地盤情報が必要とされるのに対し，②のためには広域的に適度に分散した大量データが必要とされる。その凡その目安としてボーリングデータ量で，

①：10本/1 ha～100本/1 km²あるいは

500～5,000 m/1 Mm²

②：10^3本/10^2km²～10^2本/10^2km²

の数値を挙げることができよう。①と②の比は大体100：1程度である。これに対し，各機関がこれまでに収集したボーリング本数と密度は下表のとおりである。

表－4　各機関のボーリングデータ収集状況

機関名	概略本数	密度
建設省	50,000本/平野部（除北海道）	0.5本/km²程度
東京都	22,000本/都内	20本/km² 〃
静岡県	15,500本/県内	3本/km² 〃
千葉県	10^5本/県内	数10本/km² 〃
防災センター	43,000本/全国	0.1本/km² 〃
全地連	140万本/全国	5本/km² 〃

建設省が現有しているボーリングデータは，河川・道路沿いに集中しているため，局所的には，①の密度を充足しているものと思われるが，②の評価は平均密度も小さく現状では不可能であろう。

近年，土地高騰の影響等で，都市域ではいわゆる近接施工を余儀なくされるケースが増えてきている。その様な場合，既存資料を参考に出来れば新規ボーリングの位置の選定，その積算，概略設計等を容易にすることができるであろう。建設省におけるボーリングデータの保有現況では，この様な，③：データベース検策・参考としての用途には利用していけるであろうが，広域的な地盤評価のためには自前のデータ収集に留まらず，関連データの収集をもはかるべきである。

ボーリング調査は，前述の様に特定目的のために実施されるため，前記①の用途は別として，②，③では他目的・用途での再利用ということになり，データベースとしては多方面からの収集が再利用を可能にする最善の策であるからである。

2. ボーリングデータの収集方法・経過

(1) 建設省

建設省における地盤情報システムの整備への取り組み状況は次のとおりである。

① 地質調査資料の整理及びデータベースについては，昭和60年度から「技術管理業務連絡会・建設技術情報部会」において取り組んでいる。

② 地質調査資料の整理にあたって，その情報表現を統一化・規格化するため「地質調査資料整理要領(案)」を作成した。

③ 昭和60年度から，建設省の保有する地質調査資料（ボーリングデータ）を「地質調査資料整理要領(案)」に基づき，コーディングを行うとともに，昭和62年度よりデータベースへインストールするためのMT化を行った。

コーディング及びMT化した数量は表－5のとおりである。

なお，昭和62年6月以降，建設省が発注するボーリングを伴う地質調査業務は,「地質調査資料整理要領(案)」による資料整理が義務付けられており，また，その他の機関でもそれに準ずる動きが出てきている。

表－5　地質調査資料のコーディング及びMT化の本数

		60年度	61年度	62年度		63年度予定		計	
				地質資料整理	MT入力	地質資料整理	MT入力	地質資料整理	MT入力
建設省	東北地建	2,197	2,400	491	2,000	662	3,750	5,750	5,750
	関東地建	2,407	3,000	1,802	7,209	677	677	7,886	7,886
	北陸地建	517	484	436	1,437	150	150	1,587	1,587
	中部地建	1,660	910	800	2,570	291	800	3,661	3,370
	近畿地建	4,330	3,214	2,171	9,715	664	664	10,379	10,379
	中国地建	1,680	1,471	2,519	2,268	585	3,987	6,255	6,255
	四国地建	800	1,400	2,294	2,200	452	2,661	4,946	4,861
	九州地建	959	824	2,675	3,640	876	1,694	5,334	5,334
	小計	14,550	13,703	13,188	31,039	4,357	14,383	45,798	45,422
他機関	水公団	—	1,780	—	—	—	—	1,780	0
	首都公団	—	—	980	0	694	0	1,674	0
	大阪府	—	—	—	—	1,573	0	1,573	0
	小計	—	1,780	980	0	2,267	0	5,027	0
合計		14,550	15,483	14,168	31,039	6,624	14,383	50,825	45,422

④ 昭和61年度にその検討が始まった「地質データベースシステム」は，昭和62年度及び昭和63年度に具体的な開発が行われ，昭和63年度末には各地方建設局単位でオンラインによるサービスが開始される予定である。

⑤ 昭和63年度に建設省及び首都高速道路公団の地質調査資料を中心に，「関東主要地域概略地盤図」〔地盤図（1/50,000），地質断面図（5断面）を含む。〕を作成した。

(2) 東京都

東京都部でこれまで実施されてきたボーリング資料は，必要に応じ収集整理され，都市総合地盤図として公刊されてきたが，昭和60年度より東京都土木研においてそれらの地盤資料をデータベース化し，調査・研究用資料だけでなく，都の建設事業計画・工事の設計施工と広域地盤評価を目的とした地盤情報システムの運用が開始されている。

現在では建設局発注の地質調査については，都からＰＣ用の入力ソフト提供し，フロッピーに収めて納入させ都土木研に集中するよう進めている(中山，1989)。

(3) 長野県・静岡県・福井県

長野県では，1986年に県地震対策基礎調査の一環とし，県内で実施されたボーリング資料を収集し，地理情報システムと結合した地震防災アセスメント支援システムを構築している。ボーリング資料の収集にあたっては主に公共機関（国・大学・電力・ＮＴＴ・自治体）に提供依頼し，約8,000本を収集した。

同様に，静岡県・福井県でも地震防災対策の一環として県内のボーリングデータを同様の方法で収集している。

(4) 道路公団

道路公団では，公団で発注した地質調査資料は全て試験所に集中し保管している。しかし，収集資料の電子ファイル化については，一部の現場事務所において施工管理用に行われているに過ぎない。

(5) 外国の例

カナダでは，国内で実施される全ての地質調査データは，発注者・目的を問わず，法律によってカナダ地質調査所に集中・公開が義務づけられている。

3. 処理システム開発の現況

3.1 処理方法（計算法，推論，判断手法）

1次元のデータから2次元・3次元の地盤モデルを得るために用いられている。あるいは用いられるべき処理・計算方法としては次のようなものが挙げられる。

①：補間法 …… クリッギング法，最小2乗法，ボロノイ分割，TIN（Triangulated Irregular Network）法

②：対比・相関 …… 多変量解析，主成分分析，バリオグラム，ファジイ推論，マルコフ解析

③：面の定義 …… ブール代数，非線型最適化原理

3.2 処理結果の表現法

① ボーリング柱状図

基本的には，図―3に示す様な建設省＝ＪACIC様式に準拠した表示／出力がＰＣシステムにおいても可能である。しかし，同様式自体，完璧なものではなく，また検層結果等の給合的解析による連続的

調査名　土木研究所移転敷地内土質調査

事業・工事名

ボーリングNo.

シートNo.

ボーリング名	No.7	調査位置	No.25 + 14.0 m L − 12.4 m	北緯	
発注機関		調査期間	昭和47年 3月 7日〜47年 3月 8日	東経	
調査業者名	株式会社 応用地質調査事務所	主任技師	現場代理人	コア鑑定者	ボーリング責任者
孔口標高	26.484m	角度	180° 上 下 0° 90°	方向	北 0° 270° 西 90° 東 180° 南
総掘進長	12.40m	地盤勾配	水平 0° 90°	使用機種	試錐機 / ハンマー落下用具 / エンジン / ポンプ

標尺(m)	標高(m)	層厚(m)	深度(m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記事		孔内水位(m)/測定月日
	25.76	0.70	0.70		表土	黒色			耕作地である。多量の水分含む。		0.40
1					凝灰質粘土	茶褐色〜浮灰色		極軟	Ac：上部は砂分を少量含む極めて軟らかい粘土であり、含水量が多い。	沖積層	
2	23.68	2.10	2.80					極軟	極少量の腐植物を混入する。二次堆積物である。		
3	23.08	0.60	3.40		砂質シルト	暗灰色		極軟	Ac：腐植物を少量含む。		
4	22.48	0.60	4.00		中砂	暗青灰色			uRs：上部少量の腐植物を混入する。	奄ヶ崎層	
5	20.98	1.50	5.50		細砂	暗青灰色	緩	中	uRs：多量の水分を含む。粒子は均一である。		
6	19.48	1.50	7.00		中砂	暗青灰色	中		mRs：粒度分布の良い中砂である。下部少量の小礫を混入している。		
7	18.78	0.70	7.70		シルト質粘土	暗灰色		軟	mRc：少量の腐植物を混入している。		
8	17.88	0.90	8.60		腐植土	茶褐色		軟	mRp：多量の木片を混入している。又、上部少量の浮石を混入している。		
9					シルト質粘土	暗灰色		軟	lRc：少量の木片を混入している。又、所により5cm位の細砂層を表む。		
10	16.08	1.80	10.40					極軟	10m付近より砂を含むようになる。		
11					中砂	暗青灰色	極密	極密	Kls：上部少量の粘性土分を含む。所々少量の礫を混入している。粒度分布の良い中砂である。	木下層	
12	14.08	2.00	12.40								

標準貫入試験

深度(m)	10cmごとの打撃回数 0〜10	10〜20	20〜30	打撃回数/貫入量(cm)	N値
1.00 1.50	0/24	1/26		1/50	0.6
2.00 2.50	0/50			0/50	0
3.00	0/32			0/32	0
3.32 4.00	2	3/13	2/9	7/32	6.6
4.32 5.00	3	5/11	5/9	13/30	13
5.30 6.00	7	8	10	25/30	25
6.30 7.00	2/14	1/9	1/7	4/30	4
7.30 8.00	1/16	1/6	2/11	4/33	3.6
8.33 9.00	1/12	2/14	1/8	4/34	3.5
9.34 10.00	0/14	1/12	1/6	2/32	1.9
10.32 11.00	13	21	16/6	50/26	57.7
11.26 12.10	15	15	22	52/30	52
12.40					

原位置試験

深度(m)	試験名および結果

試料採取

深度(m)	試料番号	採取方法

空内試験( ) 掘進月日

図−3　土木研究所移転敷地内土質調査

な層相解釈・地盤特性解釈結果が表示できるように対応すべきである。

② 土性図

現状では土性図とは，孔内の数ケ所でサンプリングされた試料の土質試験結果を意味しているに過ぎない。しかし，それらの結果と各種検層データとの結合をはかれれば，連続的な土性評価が可能となる。

③ ボーリング位置図/背景地図情報

ボーリングの位置図には，背景となるべき地理情報・地形情報が必要不可欠である。さらに山岳地など地表の起伏のはげしい地域では，3次元的な表示が望まれる。GIS(地理情報システム)は現在，既にPC，EWS上で稼動するものが市販されており，国土数値情報，あるいは地理院で開発中のディジタル地図との結合をはかれば，より表現力のある位置図が作成可能となるであろう。

④ 地質断面図

1次元のボーリングデータセットから2次元の地盤構造を再構築する処理を施した結果の表示である。現状では，まず近傍のデータを検索・投影し，地層境界面については専門家が対話型式で指示するやり方がとられている。

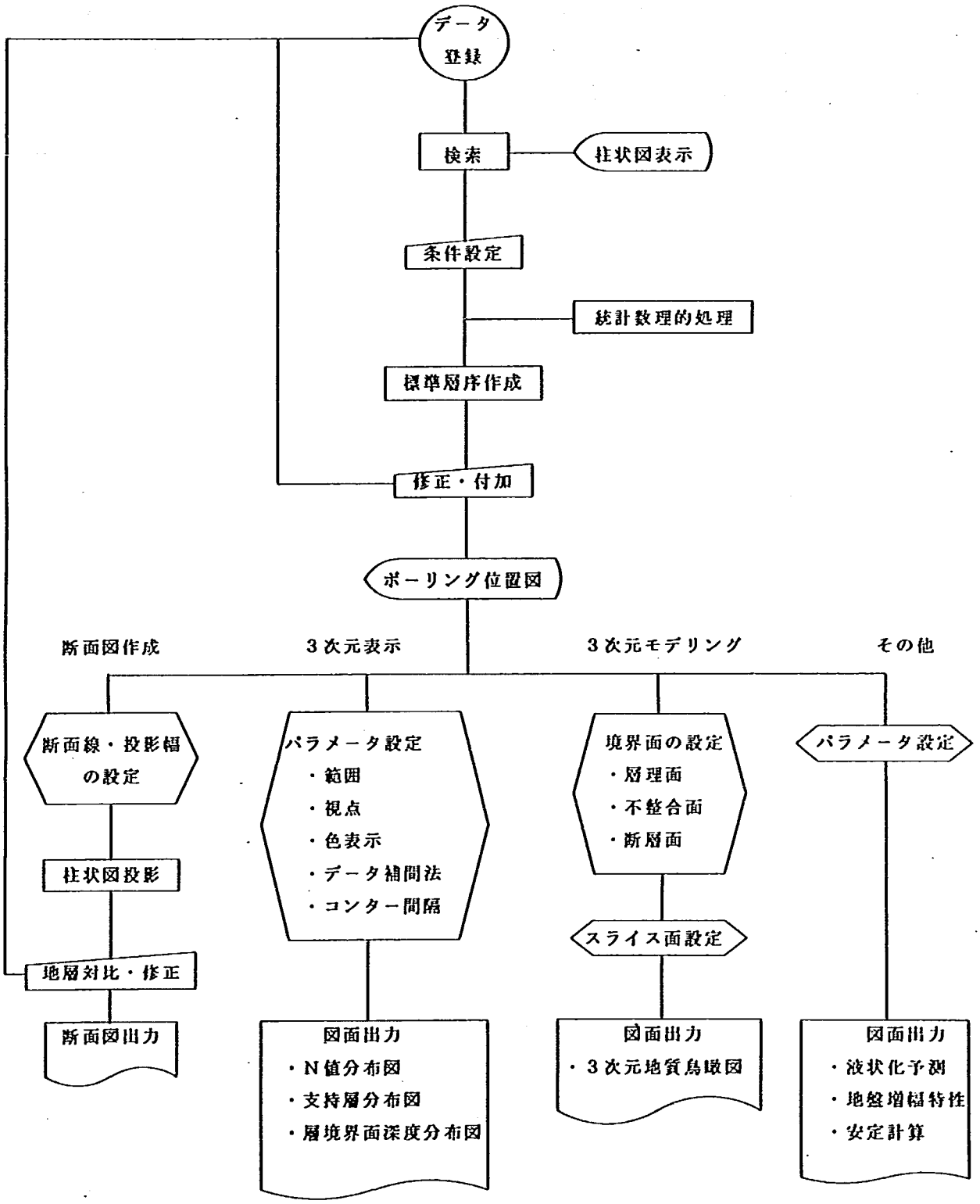
⑤ 液状化判定・地震応答計算など

N値・土質・粒度等必要なデータを入出力管理し，判定・計算を行うサブルーチンをくみ込めば，液状化判定・地震応答計算・工法選定・基礎設計等の部分を計算機上で半自動的に行うことができるようになる。

図―4は，以上の様な高次処理の全体的な関連性についてとりまとめたものである。

3.3 システム構成

以上のような処理・出力を行うシステムとしては，処理速度が速いこと・ベクター計算能力・グラフィックスに優れていること，記憶容量が大きいこと，ウィンドウが使用可能であること，高分解能表示ができること，カラー出力装置を装備していること等の条件を満たしていることが必要であり，RISCチップを登載したマシンかインテルの486系のPCクラス以上であることが求められる。



図—4　データ高次処理の概念的流れ図

Ⅳ　まとめ

地盤情報処理技術の現況・実態すなわち，データベース化の動向とその内容，データの収集方法および処理方法について調査し，我々が進めるべきデータベース化と地盤情報処理上の課題を整理した。本論が今後の検討作業上の一助になれば幸いである。

高透水性岩盤における透水試験

土木研究所　フィルダム研究室
室長　松本　徳久

松本土研フィルダム研究室長　土研のフィルダム研究室の松本です。よろしくお願いいたします。

ただいまから申し上げることは，開口節理の存在する高透水の岩盤の透水試験の実例の紹介と，このような岩ではどういう透水試験をやればいいのかの議論であります。あと，ダム工事に当たってどのような浸透流制御あるいは止水工事をやればいいか，そういうふうにつなげてまいりたいと思います。

九州地建に大変お世話になりましてこれから申し上げることができたわけでありまして，特に平野副所長さんの立野ダムで大変お世話になりました。一番最初に御礼申し上げます。

それから，本日の話の内容は実は現在土木研究所報として印刷中でありまして，共著者である山口研究員，渋市部外研究員の労によるところが大であります。

最初に前置きですが，透水試験にはいろんな目的があってよろしいかと思います。一つは透水係数みたいなものを求める。それによってダムを築造したときにどのくらい漏れるか，そういうことを知る。あとはグラウトのときにやっておりますグラウトの準備的な目的でありまして，例えば水を押し込んだらたくさん入るから，少し濃いセメントミルクを使おうかとか，そういうのもあると思うんです。さらには，特殊な透水試験で水みちを知るとか，いろんなものがあると思うんですが，ここで私が言うのは，一番目のダムをつくったらどのくらい漏れるかを知りたい，透水係数みたいなものを求めたい，こういう試験の話であります。

ちょっと透水試験とは違うんですが，対比で言うとこれがコンクリートダムでもフィルダムでもいいですけれども，地震を受けたときにどのくらい変形するかを求めるときには，例えば応力と歪みの方ですけれども荷重として応力がかかったときに変形がある，その係数を推定しなきゃいけない。もちろん理想的な弾性体ですと簡単な試験をやればすぐ推定できるわけですが，ロックフィルの堤体はそういうものではありませんので試験条件を現場条件にあわせて，例えば周圧とか歪みを現地条件にあわせて試験して，現地の状況に合わせた係数を求めているわけです。それを今の透水係数に当てはめますと，次のようになろうかと思います。

つまり，ダムをつくって湛水すると基礎岩盤の中に水頭差が生じて浸透流が生ずる。そこで基礎岩盤の一部を切りとり，この要素に対してダムをつくったときと全く同じような条件で水を流すというか，圧力差を与えてやって，その時にどのくらいの流量が流れているかをはかるのがいいはずであります。しかし一方現在私どもが一番多用しております透水試験は，ボーリング孔を掘りまして，そこに水を圧入しているという試験です。この方法と現実のダム基礎の浸透状態を比較しますと，ボーリング孔の透水試験では孔壁で大きな動水勾配を与えており，現地条件と大きく異なるわけであります。

ボーリング孔を利用した透水試験において，二つ大事なことがあると思うんです。一つは，岩盤の異方性をどういうふうに考えるか。あと一つは，水の流れの状態でありまして，水の流れが試験と現物で似ていることが必要かと思います。そこで，後者の水の流れですが昔，水理学とかで習ったことをイメージしていただくために式だけ書いてみますが，管路内の層流については圧力の損失と平均流速が比例しており，要するに１次の関係にある。一方，多孔質媒体（砂など）でよく使われるＶ＝ＫＩがダルシーの法則です。両者の式において比例定数についてＫが多孔質媒体でどうかとか，一方，管路の層流で比例定数が割れ目

の間隔とどう関係するかの問題でありますが，そういうことを抜きにすればどっちにしても圧力の損失と平均流速が比例するというのが共通の関係であります。

もう一つは乱流でございますけれども，圧力損失が流量――流量というのは流速と同じことですから，流速のβ乗になる。そしてβが1ではなくて1から2の値をとるわけです。

さて，前の話に戻りまして実際にダムをつくったときに動水勾配は概略1で，多くても2程度ですが，そのときの流速は非常に小さいわけでありまして，概ね圧力の損失が流速に比例すると仮定して，つまりダルシー則を準用して漏水量を計算することができます。あるいはβが1でなくても計算できるのですが，要するに漏水量をたとえ高透水の岩盤であっても浸透水に対する岩盤の抵抗則がわかれば推測できるはずだということです。それではどうしたらボーリング孔内においてダムをつくったときの状態で水が流せるかというと，レイノルズ数を指標として，これを低くしてやれば層流が実現できる。そのためには流速を小さくすることと粘性係数を大きくすることです。

図－1をあけていただきたいと思います。式の説明は省略いたしますが，結論から言うと，この絵は横軸に粘性比と書いてあります。粘性比というのは水の粘性係数を分母にしまして粘性流体の粘性係数を分子にしております。粘性流体というねばねばした水より非常に粘性のあるものを，実際にはメチルセルロースという食品添加物みたいなものですが，それを孔内に流してやる。その粘性をだんだん上げていくのが横軸であります。縦軸は流量比でありまして，ボーリング孔内の圧力を一定にしていて孔内に注入します。分子がその時の水の流量q_W，分母がq_Hでありまして，粘性流体，ある粘度を持ったものを注入したときの流量。もしもだんだん粘度を上げてきますと当然μ_Hが増えていきますので，横軸でいいまして右側の方にシフトしていくわけです。それにつれまして縦軸のq_Hは当然粘性で抵抗が増えますので小さくなります。ということはq_W/q_Hが増える。もしも層流が実現いたしますと両者の関係は45度になります。これは理屈からいってなるということであります。45度の線に至らない，図－1でいいますと対数目盛りで書いてありますから原点が1ですけれども，初期の3点は乱流であると判断できるわけでありまして，1対1の直線が実現した後のデータポイントを延ばして縦軸と交わる点，こっちもログですから0.1とか0.01とかなるわけですが，$q_{L/T}$というのが水を層流で流したときの流量と乱流で流したときの流量の比になるわけです。

こういう試験を実施いたしまして，$q_{L/T}$を求めて水を流したときの流量で割ってやりますと，$q_{L/T}$は0.1とか0.01は非常に小さな値ですから，割りますと非常に大きくなって，要するにある圧力で水を流したときの10倍とか100倍というのがもしもこの水を理想的に層流状態で流したら岩盤にしみ込む量である。そういう形から層流時点での透水係数を求めることができるということであります。

表－1に参りましてどんな粘性流体があるかという一覧表ですが，詳しくは出版されます土研所報を読んでいただくとして，結論としては経済性，安全性，取り扱いやすさからいってメチルセルロースを選んだということであります。

次に図－2です。試験地点は非常にかたい割れ目のある熔岩です。ボーリング孔は斜孔と縦孔とありまして，当然のことながら試験がしやすいのは地下水下でございますので，地下水下に1ステージ，2ステ

ージ，3ステージというふうに通常のルジオン試験と同じようなことを設定したわけであります。

その次が図－3で試験設備の概要が示してあります。注意した点は，なるべく空気が混入しないようにするとか，パッカーをかけた孔内に圧力計を置きまして，圧力を口元ではかったのではなくて，その場所ではかることなどです。

粘性流体を使った試験といいましても当然最初に水を使ったルジオン試験を実施いたしたわけでございまして，表－2に水を使って求めたルジオン値，あるいは粘性流体を使って正確に層流を実現して求めたルジオン値等の比較が示してあります。

表－2の説明をいたしますと，孔番が左側に書いてありまして，31，128，129，130とあります。一つの孔に対して上から順に1ステージ，2ステージ，3ステージと見ていただきたいと思います。水によるルジオンテストは通常のルジオンテストと考えていただいていいのでありまして，圧力は低圧で押した方がいいと思いますので，実用上できる限りの低圧と最高圧力が示してあります。透水性の小さいところにおきましては10㍍ぐらいまでかかっておりますが，うんと漏れるところは1㍍ぐらいしかかかっていない。これは当然ポンプの流量の規制からくるわけであります。

換算ルジオン値というのが書いてありますけれども，高圧部2点ルジオン値と最小圧力1点ルジオン値と換算ルジオン値に二つあります。前者は縦軸にp，圧力をとりまして，横軸にqをとって，何点かあるわけですが，割りと直線ぽくなっている圧力の高めのところの2点をそのまま直線で延長して10㍍と交わる点を下におろして流量を求めた，こういうルジオン値です。高圧2点ルジオン値は，130番では1ステージから順に，37ルジオン，11ルジオン，30ルジオンとなっております。それから最小圧1点ルジオン値とは，精度はさておき，一番小さな圧力で注入したときの流量からそのまま直線で延ばしたわけでありまして，これが孔番130では80ルジオン，43ルジオン，88ルジオンとなっております。

それから乱流ルジオン値というのは，図－4に示すように両対数で書きまして log q と log p にいたしますと大体直線的になるものでございまして，これを延ばして求めたのを乱流ルジオン値として表－2に書いてあります。

次に表－2に多段粘度試験というのがありますが，これが先ほど紹介しました粘性をだんだん上げていって縦軸と交わる点から水の層流時の流入量を逆に推定しまして，それから求めたルジオン値です。一番最初に目標とする正確な漏水量を求めるための正確な透水係数みたいなものが欲しいと言いましたけれども，その値に相当するものであります。これが孔番130では，60，96，210となっているわけでありまして，もしも漏水量を計算するならばこっちの方が恐らく正確だろうということであります。

次の図－5にまいりまして，高粘性流体試験における地下水温の影響の問題です。先ほどのように圧力を一定にしておきまして粘度をだんだん上げ，そして直線が実現しておるわけです。○と◇が書いてありますのは温度の補正をするかどうかということでありまして，温度の補正をすると8％ぐらい違ってくるんですが，そんなに大きくはないと思います。

以上のような試験を何本かの孔で実施した結果が図－6であります。この図はどういう意味かといいますと，乱流換算ルジオン値，つまり普通のルジオン試験から求まるルジオン値が横軸で，縦軸が層流を実

現して求められたときのルジオン値です。原点が，両対数と書いてありますから，1ルジオンであります。これが対数で10ルジオン，ここが100ルジオン，1,000ルジオンぐらいまで書いてあります。

そうしますと，実際にありますベータポイントを見ますと，普通のルジオン試験で10ルジオンは層流を実現した試験では100ルジオンぐらいのところにある。それから，普通のルジオン試験で100ルジオンぐらいだと7,000ルジオンぐらいになっているということが読めるかと思います。両者の対応は岩盤によって違うわけでありまして，今までの経験から見ますと，多分相当ちらばるはずであります。これが，もしいろんな岩盤で試験していけばいろんなデータが出て傾向が整理されると思うんです。

両者の対応は岩盤の割れ目の特性で決まる。同じ毎分10リッター水が注入される岩盤であっても，0.1ミリの割れ目が10本あった場合と1ミリの割れ目が1本あった場合では，片方は層流で水が入りますし，片方は乱流になるから違ってくる。非常に透水性の大きい岩盤では通常のルジオン試験で100ルジオンだと，層流では1,000ルジオンとか更に大きな値になり，要するに透水係数でいうと10^{-3}cm/sになるのではないかと思います。

それでは通常のルジオン試験でどのくらいの低圧で水を注入すれば層流が実現するかというと，極めて低圧でありまして，kgf/cm²単位で0.01，すなわち数センチの水頭よりも多くなると高透水岩盤では乱流の影響を受けてきているということであります。ルジオン試験でlogpとlogqの関係が直線ということは，$p \propto q^{\beta}$ということです。このβが1でないということですが，βは1から2までの間に分布している。もしも水が，ボーリング孔を水平に切る板みたいな割れ目があったとしますと，このときは水理学的に解くと1.75となります。図―7に値を示しますが，β＝1.75程度のものもあります。

次に多孔質媒体（ポーラスコンクリート）による透水試験は，実験室ででてきますので土研の試験室でやってみました。そうしますと，図―8に示しますように多孔質の物体の透水係数を横軸とし，どのくらいの動水勾配をかけると乱流の影響が出てくるかというと，例えばフィルター材は10^{-3}cm/sとか10^{-2}cm/sですが，動水勾配でいって1桁，もうちょっと大きくなりますと動水勾配を1ぐらいかけて乱流が出る。ということは，10^{-3}ぐらいのマサとか，マサはもうちょっと小さいかもしれませんがシラスとか，そういう地盤があったとしますと，この動水勾配から逆算しましてかけられる水頭の最大値は2mぐらいであります。もちろんこれも先ほどのように透水係数と限界動水勾配は一義的な関係にあるわけではないのですが，透水試験をするときにはそういうことを注意した方がいいということであります。

以上まとめまして，このようなことをやってどういうことかというと，一つは透水性の評価の精度向上，もう一つは，一番最初に言いましたようにダムをつくって水が流れるときに，恐らく動水勾配が非常に小さいので圧力の損失は平均流速の一乗に比例すると考えてきましたけれども，場所によっては，例えば熔岩で割れ目が非常に大きくて流速が速くなった場合は乱流があり得る。そのときは乱流と素直に考えて，その抵抗則を求めておく。どちらでも対応できるようにしておけば，極めて高透水の熔岩地帯のダムの漏水量も解析的に評価できるはずであると思われるわけであります。

今までですとみんながみんなそう言っているわけではないと思うんですが，極めて高透水の岩盤では漏水量は計算できないほど漏るんだというようなとらえ方をしてきた点がありますが，一歩進めれば計算で

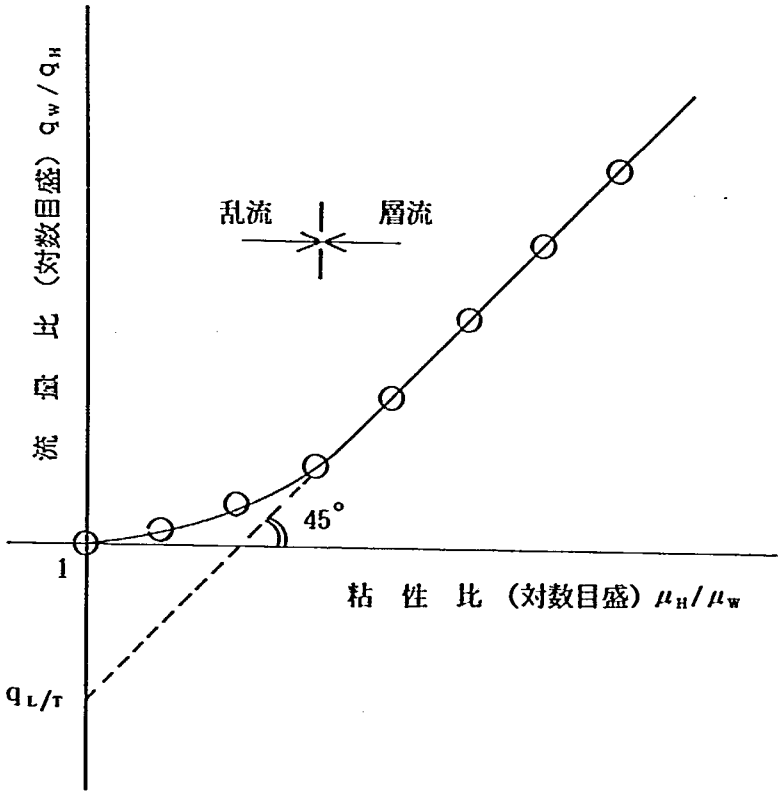
きるのではないか，その可能性を追求したい。つまり高透水岩盤におけるグラウチングの範囲，例えば 100 mだったら漏水量はこのくらいで，150 mだったら漏水量はこれだけ減少するというのが相当の精度でわかるのではないか。ということを期待しています。

以上のようなことの他で，副次的なことですけれども，非常に多孔質の軟岩とかフィルターやロック材に対して試験をするときも，今の試験結果等を参考にして精度を上げた試験ができるのではないかと思う次第です。

どうも御清聴ありがとうございました。

引　用　文　献

山口嘉一，滋市秀雄，松本徳久，「高透水性岩盤に対する透水試験」



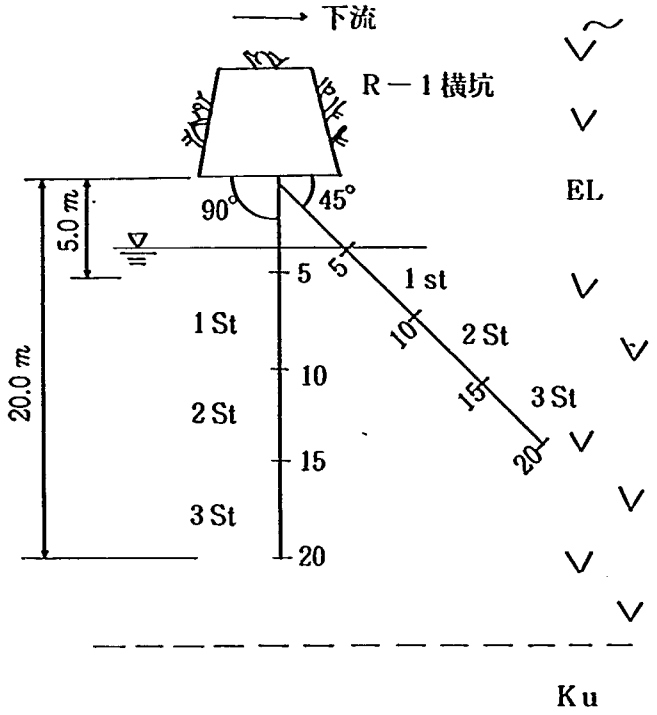
q_w：水の流量　　q_H：高粘性流体の流量
μ_w：水の粘性　　μ_H高粘性流体の粘性
$q^{L/T}$：水の層流時と乱流時の流量比

図－1　多段粘度式試験結果のプロット

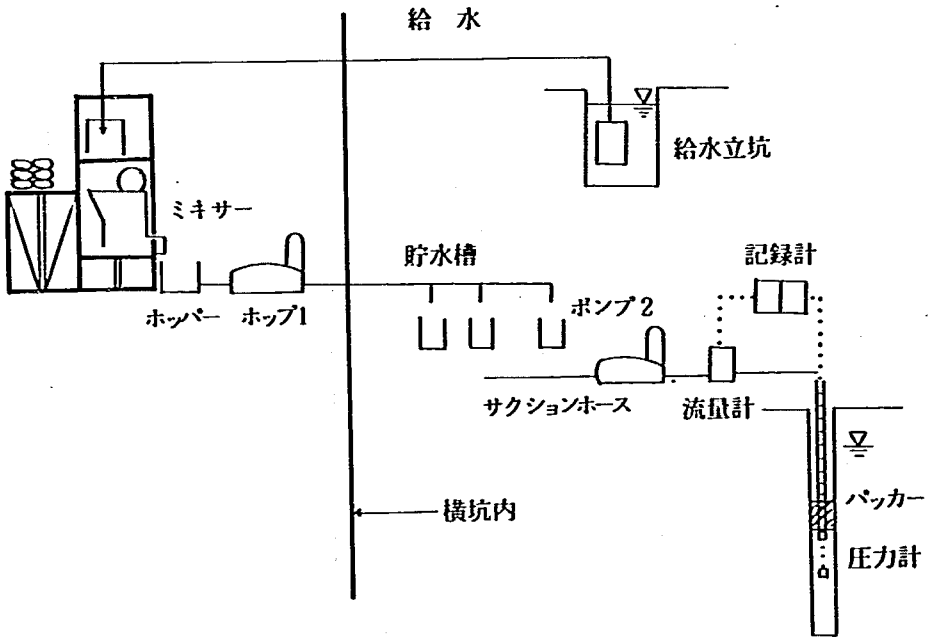
表－1　高粘性流体の比較検討表

項目＼種類	メチルセルロース	炭火水素油	グリセリン	備考
安全上の問題	○	×	○	炭化水素油は水に不溶，危険物
解析上の問題	△	△	△	メチルセルロース水溶液は非ニュートン性
取扱上の問題	○	×	△	炭化水素油は現場で配合できない
経済上の問題	○	○	△	グリセリンは高濃度使用となり高価
総合評価	○	×	△	

○：ほとんど問題なし　　△：やや問題あり　　×：問題あり



図－2　試験孔模式図

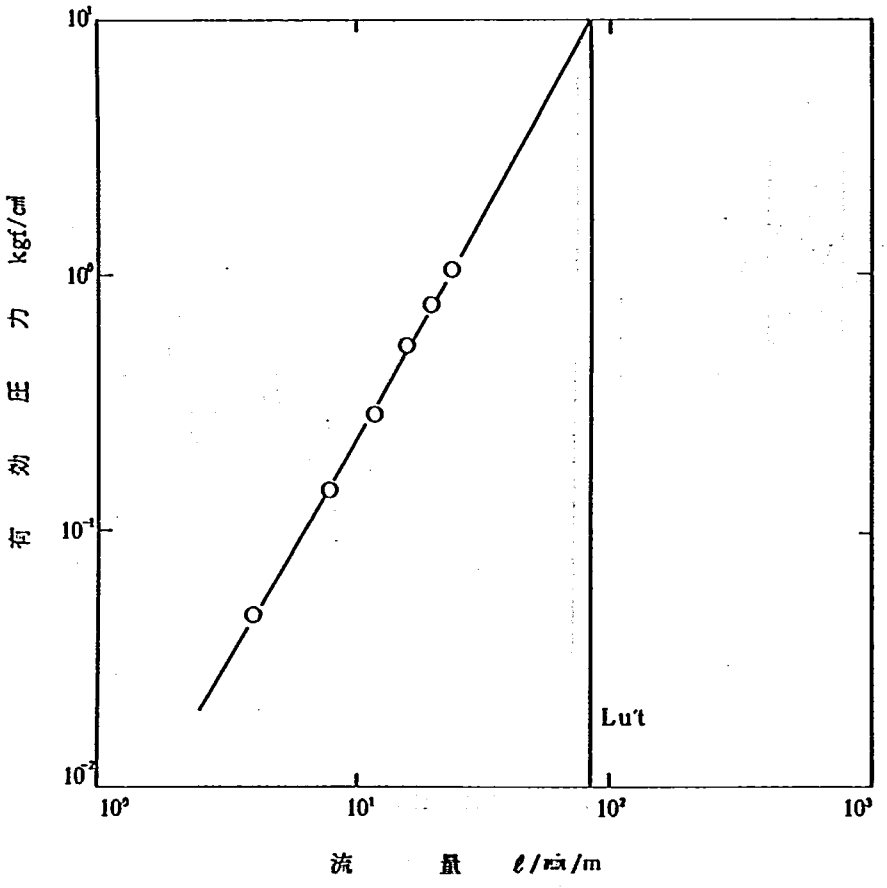


図－3　試験設備の概要

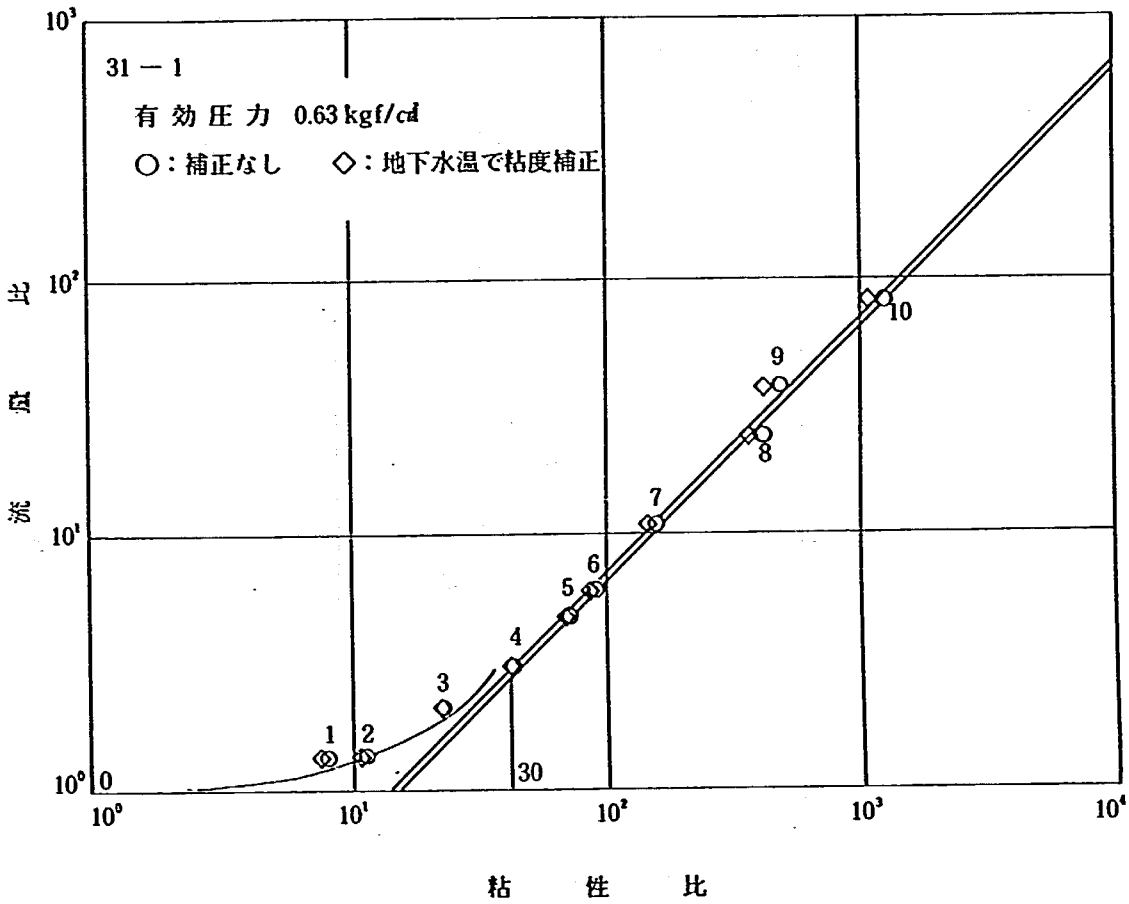
表－2　試験結果一覧

孔番	ステージ	水によるルジオンテスト						多段粘度式試験			多段圧力式試験			
		試験圧力 (kgf/m²) P		換算ルジオン値		乱流換算ルジオン値 昇圧時		試験圧力 kgf/cm² P	粘性換算層流ルジオン値	層流遷移粘度比	試験圧力 kgf/cm² P		粘度比	粘性換算層流ルジオン値
		min	max	高圧部2点 Lu' 1	最小圧力1点 Lu' 2	Lu' t	β		Lu' ℓ		min	max		Lu' ℓ 2
31	1	0.05	1.04	160	870	88	1.76	0.63	3,900	30	—	—	—	—
	2	0.03	0.82	170	1,600	89	1.91	0.57	5,800	46	0.08	0.50	90.7	6,900
	3	0.05	1.13	140	800	84	1.75	0.60	4,600	47	—	—	—	—
128	*1	0.05	0.28	600	820	833	0.99	0.44	4,000	25	—	—	—	—
	*2	0.01	0.11	1,600	2,500	391	1.52	0.43	6,900	11以下	0.27	1.48	73.6	5,200
	3	0.01	0.18	960	4,400	250	1.65	1 亀裂を対象とする試験に変更						
129	1	2.1	10	2.0	3.8	2.0	1.70	9.9	水の段階から非定常					
	2	0.2	3.09	7.6	49	8.6	1.85	3.1	77	22	—	—	—	—
	3	2.0	10	0.33	0.15	0.35	0.61	乱流現象認められず						
130	1	0.08	5.75	37	80	44	1.19	1.59	360	40	—	—	—	—
	2	0.16	8.78	11	43	12	1.47	1.54	96	19	—	—	—	—
	3	0.46	3.45	30	88	29	1.59	1.41	210	不明	0.53	8.50	24	120
											0.50	6.75	45.7	110

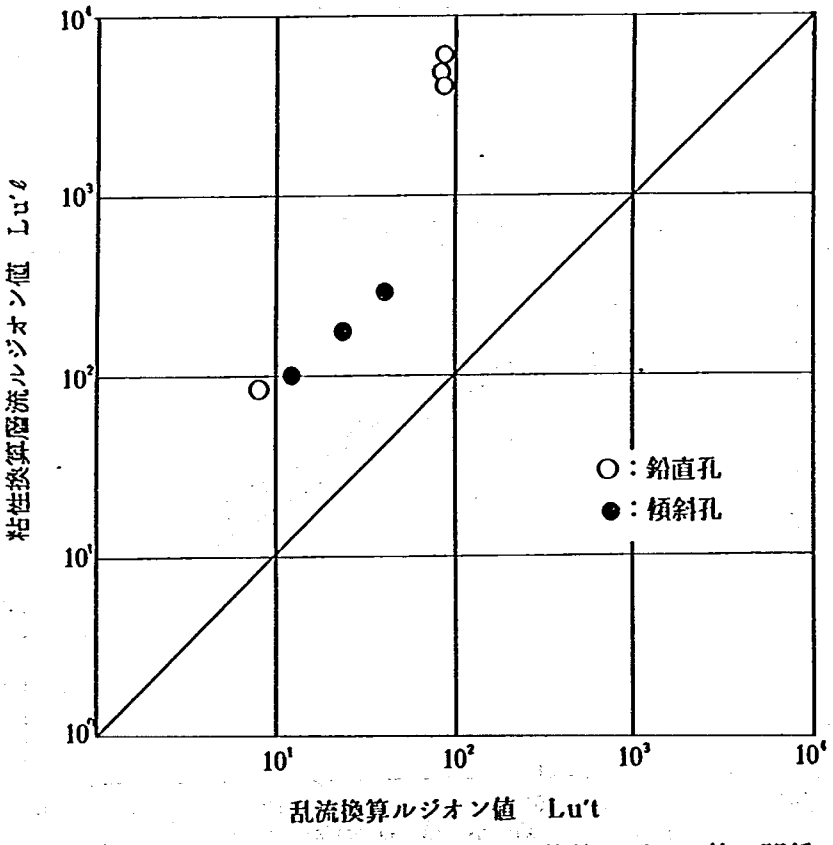
*：多段粘度式試験において水から開始していないステージ



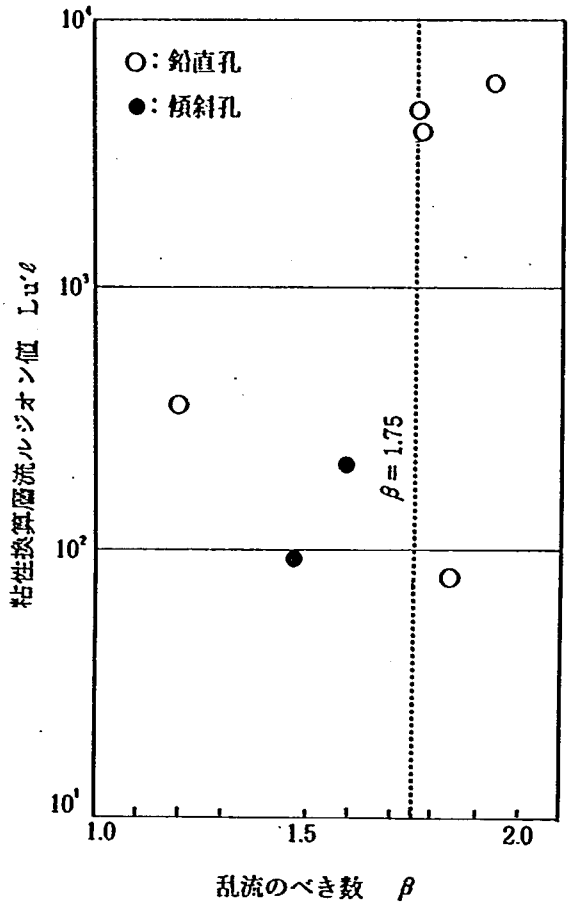
図－4　ルジオンテスト対数p－q曲線図（No.31 孔 1ステージ）



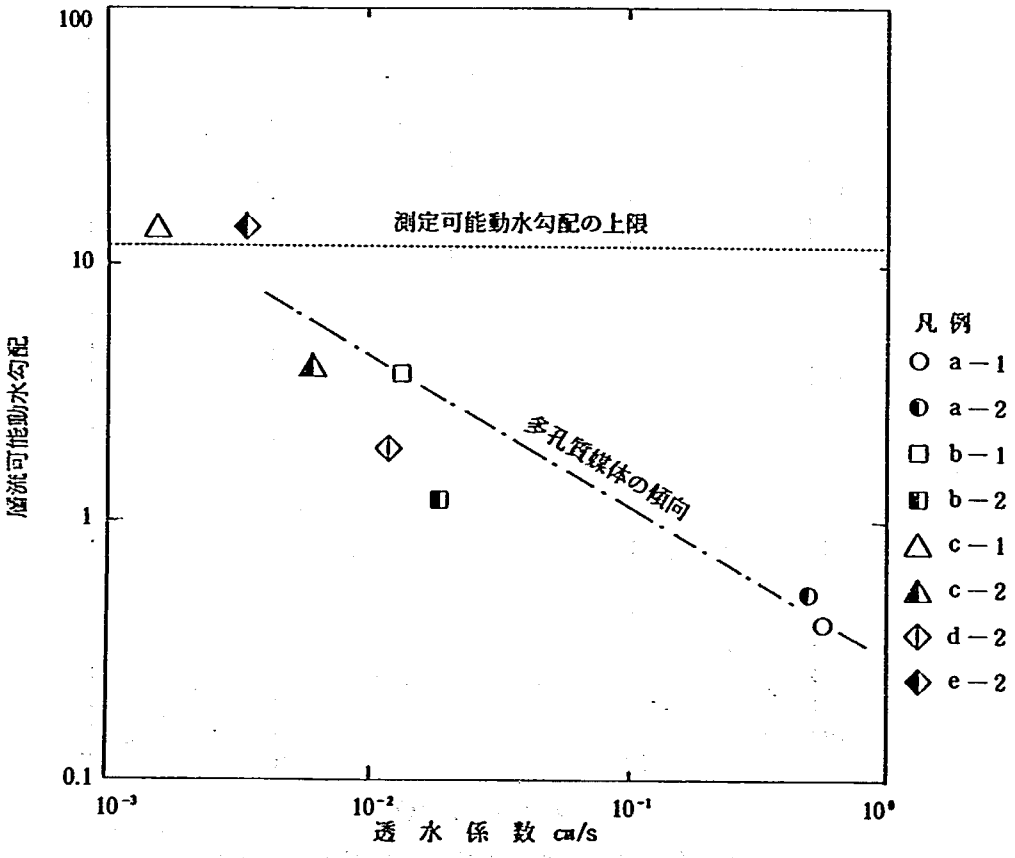
図－5　高粘性流体透水試験への地下水温の影響



図－6　粘性換算層流ルジオン値と乱流換算ルジオン値の関係



図－7　粘性換算層流ルジオン値とβ値



図－8　透水係数と層流の限界動水勾配の関係

岩盤斜面の調査点検手法

土木研究所 地質研究室
室長　中村 康夫

はじめに

わが国は複数のプレートが会合する変動帯に属しているので，地質構造が複雑で，断層や褶曲が発達し地盤状況が劣悪な個所が多い。しかも，梅雨前線や台風による豪雨，地震，積雪等自然条件が極めて厳しい。このため，道路のり面や道路に隣接する自然斜面の崩壊によって交通に障害を与える事故が毎年発生している。このような背景から，斜面崩壊に関する研究は数多く実施され，一般的な斜面崩壊や落石に対しては一応調査・設計・対策工上の指針が示されている。しかし，今年7月に福井県越前海岸で発生したような大規模な岩盤斜面崩壊に対しては，事例が少なく研究も進んでいないため指針等も作成されていない。ここでは，大規模な岩盤斜面崩壊を対象とした調査・点検手法の現況を紹介する。

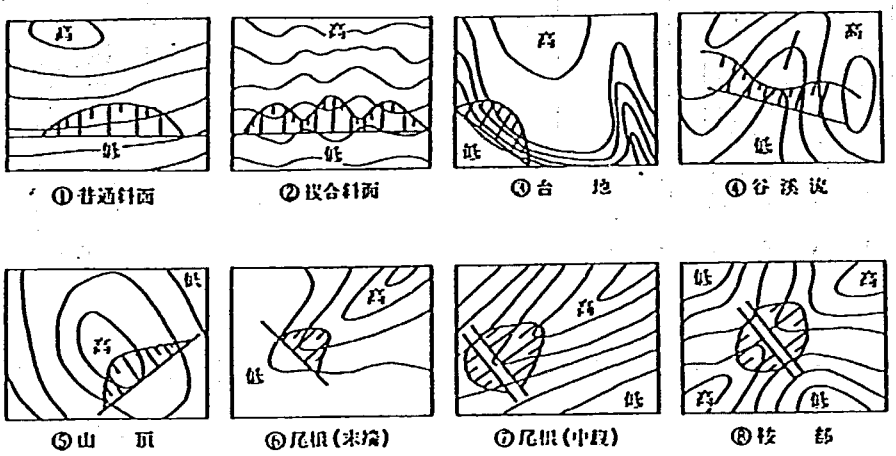
1. 調査点検が必要な斜面の抽出手法

詳細な調査点検が必要な斜面を抽出するための予備的な調査には，対象斜面の概要を把握し，現地踏査の際の基礎資料を得るために行なう机上調査と，机上調査結果の確認および対象斜面を含む広域の現況を把握するために実施する現地踏査がある。

1.1 机上調査

収集・検討を行う既存資料と得られる情報の種類は表－1[1]に示すとおりであるが，収集した各資料については，その資料の内容の特徴について十分に理解したうえで，対象地域の地形・地質情報を把握することが重要である。

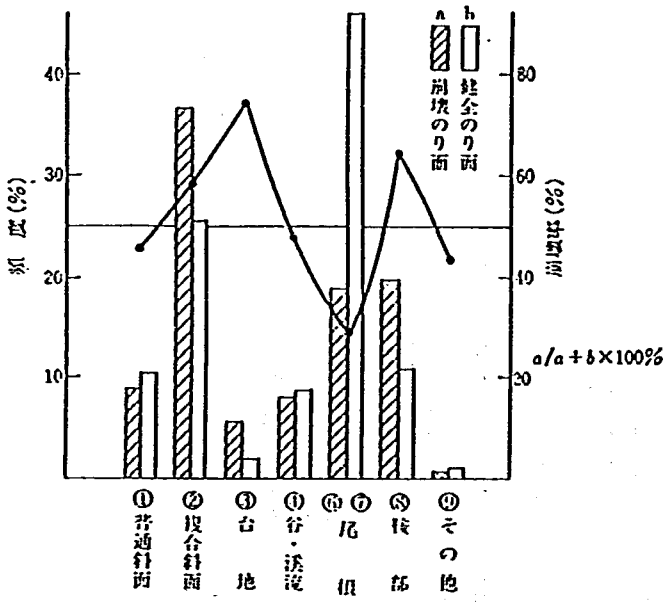
既存資料の判読にあたっては，特に崩壊要因をもつ地形・地質の有無について検討する必要がある。一般に斜面を形成する地形の形態は図－1[2]に示す8種類に分類される。図－2[2]は図－1に示した地形形態



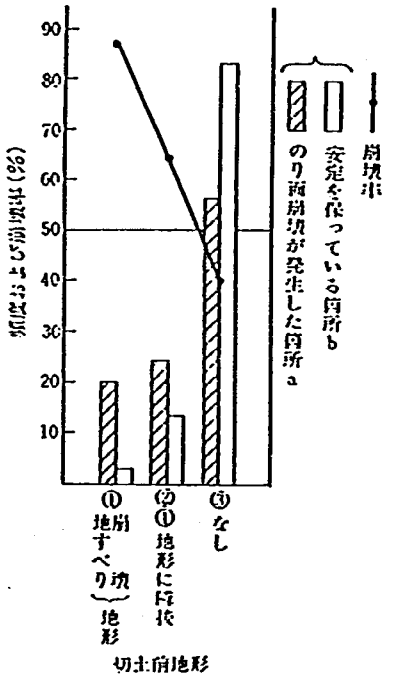
図－1　のり面の位置する場所の地形形態の分類

ごとの崩壊発生率を示したものであるが，複合地形，台地，鞍部等が崩壊を起こしやすく，尾根を切土した場合は健全なのり面が多いことがわかる。また，図－3[31]は，切土のり面において，地すべり崩壊地形の有無と切土のり面崩壊の頻度の関係を示したものである。同図に示すように，崩壊履歴を有する地形の崩壊率は高いが，半分以上は地すべり崩壊地形がない場所に発生しており，崩壊跡地の有無のみが崩壊予知の決め手にはなり得ない点に注意すべきである。また，地質的には，表－2[11]に示すようなところに存在するのり面・斜面は潜在的に崩壊との関連が高い。

既存資料の調査結果は，地形図上に記号でとりまとめて表示し，問題となりそうな斜面の地形・地質断面図を作成しておくことが望ましい。



図－2　地形形態ごとの崩壊発生状況



図－3　地すべり崩壊地形の有無と崩壊発生状況

表－1　既存資料の種類と判読項目

区分	得られる情報 ＼ 資料	地形図	地質図	空中写真	調査報告書 地質土質	工事記録	災害記録	土地条件図	土地利用図	点検報告書	のり面台帳
大地形	崩壊跡地	◎		◎		△	△	◎			○
	地すべり地	◎		◎		△	△	◎			○
	線状構造（リニアメント）	○	○	◎							
	傾斜変換線	◎		◎							○
	崖すい	◎	△	◎		△					○
	小起伏面	◎		◎							○
	河川攻撃斜面	◎		◎							
	非対称山地	◎		◎							
微地形	わずかな沢状の凹み	○		○							○
	斜面途中の平坦面	○		◎							○
	段落ち，亀裂のある斜面	△		○							△
	沼・池・湿地等の有無と配列	◎		◎							○
	斜面上部および斜面内に不安定土塊のある場合	△		○							
土質	概略の土質構成				◎	◎	◎				◎
	問題のある土質・土層構成の記録				○	○	○				○
	概略の土性（含盛土材料）				◎	◎	◎				◎
	問題のある土性の記録（含盛土材料）				○	○	○				○
地質	概略の岩質・地質構成		◎		◎	◎	◎				◎
	問題のある岩質・地質構成の記録		○		○	○	○				○
	概略の地質構造		◎	△	◎	◎	◎				◎
	問題のある地質構造の記録		○	△	○	○	○				○
植生	植生区分	◎		◎			△		◎		
	植生の疎密度			◎			△		◎		
	周囲の植生との相違箇所			◎			△		◎		
	伐採跡地および山火事跡地			◎			△		◎		
水文状況	湧水箇所				△	○	○				○
	透水層の位置				△	○	○				
	地表水の状況	△		◎	△	△	△				
	地下水位の状況				△	△	△				
土地利用の現況		○		◎					◎		○
構造物の損傷状況										◎	○

(注) 概要把握の精度として　◎よく判るもの　○ある程度判るもの　△場合により判るもの

表－2　崩壊しやすい地質状況

崩壊性要因をもつ地質	代　表　地　質　等
浸食に弱い土質	しらす，山砂，まさ土
固結度の低い土砂や強風化岩	崖錐，火山灰土，火山砕屑物（第四紀）崩積土や強風化花崗岩等
風化が速い岩	泥岩，凝灰岩，頁岩，粘板岩，蛇紋岩，片岩類等
割れ目の多い岩	片岩類，頁岩，蛇紋岩，花崗岩，安山岩，チャート等
割れ目が流れ盤となる岩	層理，節理が斜面の傾斜方向と一致している片岩類，粘板岩等
構造的弱線をもつ地質	断層破砕帯，旧地すべり地，崩壊跡地等

1.2　現地踏査

現地踏査は机上調査結果の確認のためのみに実施することなく，机上調査の途中，総合的な判定の段階等，時期をみて頻繁に行った方が良い。現地踏査結果は机上調査結果を表示した図面中に記入したり，重要個所については別に図面を作成しておくことが望ましい。特に，既応の地すべりや崩壊地については住民から聞き取り調査を行い，被災の履歴や地形・地質等について技術的な判断を加えて記録しておくことが重要である。表－3[1]は地形の状況に応じた現地調査の調査項目を，表－4[1]は調査対象ごとの現地踏査項目を示す。

表－3　地形調査項目

地　形	現地調査の調査事項
岩石台地	被覆物質の状況，比高，かたさ，分布
砂礫台地	被覆物質の状況，比高，地下水の状況，崩壊状況
火山灰台地	堆積物質の状況，崩壊状況，地下水の状況
溶岩台地	比高，厚さ，かたさ
谷底平野	堆積物質の状況，河川及び地下水の状況
扇状地	〃　　〃
三角洲	〃　　〃
海岸	砕波の海岸線からの距離，形状状況，沿岸流の方向
河川敷	堆積物の状況及び基盤の露出状況
干潟	干満差，堆積物質の状況
地すべり地	地すべりの位置，亀裂の状態，すべり面の性質，活動状況（方向及び規模），地下水，植生などの被害状況，土地利用状況，塊の分布
崩壊地	崩壊以前の推定地形，原面傾斜，崩壊面の方向及び傾斜
泥流及び土砂流	形状，起伏及び植生の状況
段すい	植生の状況，構成物質の状況，地下水の状況
砂丘	植生の状況，砂丘の形状及び移動の速さ，飛砂の状況
低湿地	湿潤の程度，植生，堆積物質の状況
天井・川	比高，幅，伏流水の状況
傾斜変換線	上下斜面の斜面角，地形の連続性（岩質及び断層などの推定），浮石の程度，勾配斜面の横断方向への連続性

表－4　露頭調査項目

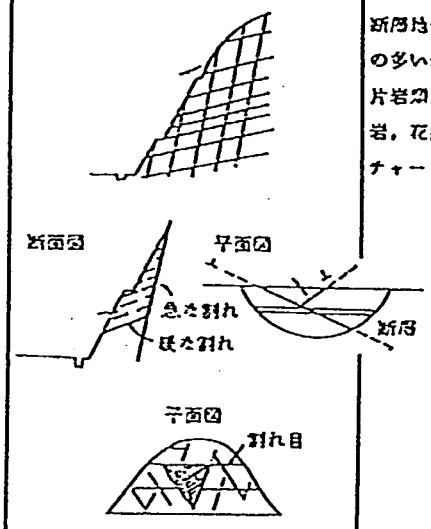
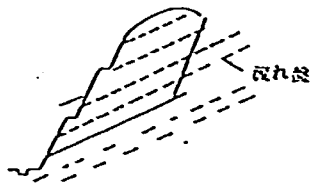
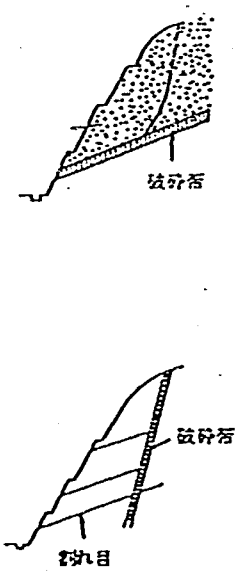
調査項目	露頭の観察・調査事項
盛土のり面	盛土高，のり面勾配，小段の位置・間隔・幅，のり面保護工（土羽土の有無，植生及び構造物による保護）の状況，植物の種類・生育状況，湧水，浸食，崩壊の状況など。
切土のり面	切土高，のり面勾配，小段の数・位置・間隔・幅，地質・土質の状況とのり面保護工法の現況，植物の種類・生育状況，湧水，浸食・崩壊の状況，落石・なだれなどの防護対策の現況など。
自然斜面	自然斜面の形状，平均勾配，地質・土質の状況と斜面上の浮石・転石の有無，斜面下の落石の状態，植生の状況，落石防護柵，なだれ防護構などの位置・延長・間隔・構造・問題点など。
路面	舗装の破損状況，盛土部の沈下状況（特に構造物との接続部），補修状況，被災状況なども調査し，記録しておく必要がある。また，道路周辺の排水の状況，大雨時の冠水の状況。
未固結堆積物	礫・砂・粘土・砕せつ物の堆積状況・厚さ・しまり具合
岩質	岩石の種類及び名称，硬軟の度合（やわらかい，ややわらかい，ややかたい，かたい，非常にかたい）
地層の層理	走向傾斜，堆積の状況（互層）（切取り方向が走向と一致すると崩壊が起こりやすい）
岩の割れ目及び節理	走向，傾斜，間隔など著しいものについてその分布，粘土の存在の有無，水のしみ出し，湧水など。
風化及び変質	著しいものについて，特に第三紀層，マサ，変朽安山岩，じゃ紋岩，温泉変質など。
破砕帯断層	著しいものについてその範囲，破砕の程度，幅，充てん物の状態，走向，傾斜，粘土の挟在の有無，水のしみ出し，湧水など。
地下水	湧水の位置，水量，量，圧力の観測，たい水層，しゃ水層，地下水面の位置及び分布，飲料水，かんがい用水などの現況

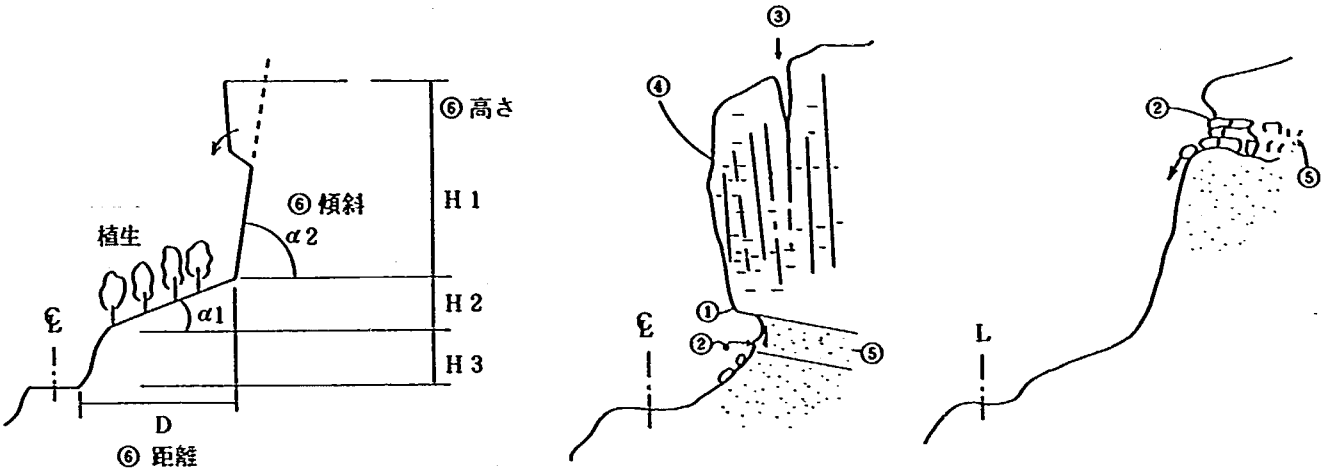
1.3　詳細調査の要否の判断

詳細調査の要否の判断は，現在のところ確立された手法がないため，極めて困難な問題であるが，図－2，3，表－3等に示す地形・地質状況，崩壊履歴等を参考に行う。また，岩盤斜面の切取りのり面の詳細調査の要否を判断する参考資料として，表－5[11]に崩壊の模式図と安定上の特徴を示した。

大規模な落石や岩石崩壊等が予想される個所の抽出にあたっては，過去の岩石崩壊の履歴や，通常の道路パトロールの記録等を参考とする。特に，図－4の①～⑤のいずれかが認められ，なおかつ，道路からの位置等から危険が予想される場合には，詳細調査を実施すべき個所として抽出する。

表－5　崩壊しやすい地質状況とのり面安定上の特色

区分・崩壊タイプ	崩壊様式図	代表地質	のり面安定上の特徴	安定に係る要因と指標となる工学的性質
割れ目の多い岩の切土 Ⅰ－1		断層粘土など粘性土の多い岩石 片岩類，頁岩，粘板岩，花崗岩，安山岩，チャート等	•片岩や粘板岩などで，岩盤中に節理や，小断層の発達した地質では，割れ目に沿って崩壊する。割れ目の組合せにより，崩壊の形態は異なるがくさび状に崩壊することが多い。割れ目の傾斜がのり面と斜交する場合にも崩壊する。 •花崗岩は，風化の影響をほとんど受けない硬質のものから，徐々に風化し，ついにはまさ土と呼ばれる土砂状のものまで変化の度合が激しい。基岩が花崗岩で表層は，風化したまさ土が覆っている場合が多く，降雨などにより表層のまさ土が崩壊する。 •層理面，片理面など，岩盤全体に割れ目が多い場合，この場合亀裂の面の平滑度，延長性，面の間が開口している場合，又は粘土がはさまっている場合に崩壊に大きく関係する。	•節理，層理の発達程度及び風化や凍結融解などによるはく離性が問題となる。 •花崗岩は，風化の程度や固結度及び割れ目の頻度が問題となる。 <工学的性質> 1. 弾性波速度 2. 亀裂係数 3. 亀裂間隔 4. 土塊硬度 5. R.Q.D.
割れ目が流れ盤となる岩の切土 Ⅰ－2		層理，節理が斜面の傾斜方向と一致している片岩類，粘板岩等	•層理や節理などが規則正しく発達した結晶片岩や粘板岩などは，それらの層理や節理が流れ盤になっている場合，雨水などによって傾斜面に沿って大崩壊を起こすことがある。 •割れ目の見掛けの傾斜面が25°～45°の間は最も崩壊しやすい。	•層理，節理の傾斜角とのり面勾配との関係が問題となる。 <工学的性質> 1. 割れ目の見掛けの傾斜角。
地質的弱線（断層破砕帯）をもつ地質の切土 Ⅱ		どのような地質の場合にも起こるが，断層の規模の高い中・古生層に特に多い。なおこの他に火成岩の岩脈等に変質して局部的に軟弱化した部分または岩の造岩鉱物が変質して風化しやすいものに変わっている場合に生ずる。 主としてたい積岩（砂岩・粘板岩・泥岩およびそれらの互層など）花こう岩，はん岩など火成岩でも発生する。 断層破砕帯，旧地すべり地，崩壊跡地等	•断層，風化岩と岩盤の境界面あるいは軟質に富い層などをすべり面として斜面のかなり浅い部分から土塊が一体となって崩壊することがある。 •崩壊はかなり明瞭なすべり面に沿ってゆっくり進むものが多く，斜面上に発生した亀裂などから崩壊の範囲や方向などを早期に予知することができる。 •のり面のうらに断層破砕帯や大きな割れ目があり，地下水の浸透などによって崩壊することがある。 •破砕度の激しい断層破砕帯ではのり面勾配が1：1.2でも安定を確保することが困難であることが多い。	•断層の影響で強度低下の激しいもの程崩壊の危険性が高く，破砕の程度が問題となる。 •明瞭な断層では，断層面の傾斜角とのり面勾配の関係が問題となる。 <工学的性質> 1. 亀裂間隔 2. 弾性波速度 3. 断層面の見掛けの傾斜角



① オーバーハングの存在
オーバーハング部分は不安定な形状であり崩壊の予備物質となる。

② 浮き石状の剥離の進行
層理や節理，亀裂等が発達している岩盤は，それ自体浮き石状の剥離が進行して落石の予備物質となる以外に，本層中で落石等が進行することによって上部斜面の足元を切り込むことになり，斜面全体の崩壊の原因となる。

③ 崖面に平行な縦亀裂の存在
崖面に平行な縦亀裂は，これより道路側の岩塊が傾動したり滑動したことによる引張り亀裂である。このような縦亀裂が存在する場合は，すでに岩塊の変位が始まっており，特に亀裂幅が拡大傾向にある場合には，変位が進行していることを示す。

④ 節理・断層等の分離面の存在と形態（特に流れ盤等低角度の分離面）
岩石崩壊が発生する際の不動岩盤との分離面（すべり面，引張り亀裂等）としては，地質構造としてすでに岩盤内部に存在していた節理や断層等が変化していったものが多い。特に低角度の流れ盤に相当する節理や断層等は岩すべりの素因となりやすい。

⑤ 差別風化や差別侵食を受けやすい脆弱層の存在
岩盤斜面の中部～下部にこれらの脆弱部が分布すると，この部分を下限としてこれより上部の岩盤が岩石崩壊を発生しやすい。

⑥ 道路からの位置等（高さ・距離）
距離に比較して高さがある場合には，道路に対する直接的な被害が及びやすい。

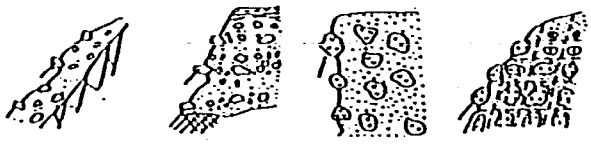
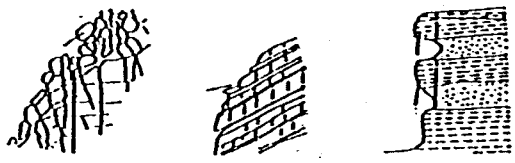
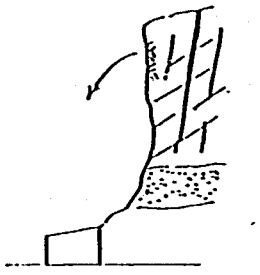
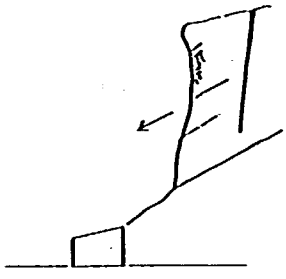
図－4　岩盤斜面崩壊の発生要因の模式図

2. 詳細調査手法

2.1　岩盤斜面崩壊の形態区分

崩壊形態ごとに調査手法そのものや，手法の重要性が異なると考えられるので岩盤斜面の崩壊形態を表－6[1]に示すように区分した。同表に示すように，落石とは岩盤の不連続面が拡大し，岩塊が分離して斜面より落下する現象で，規模は個数で表現できる程度の少量のものをいう。岩石崩壊とは，一時に大量の岩石や岩盤が斜面より崩壊する現象をいい，転倒（トップリング）と岩すべりに分類されるが，規模は体積で表現される程度の大量のものをいう。

表－6　岩盤斜面崩壊の形態区分

斜面破壊形態	特　　徴	模　　式　　図
落　石 （F）	「落石対策便覧」に示されているように，岩盤の割れ目が拡大し，岩塊や礫が剥離したり，表層堆積物・火山噴出物・固結度の悪い砂礫層の中の岩塊・玉石・礫が表面に浮出して斜面より落下する現象。一般に「転石型落石」と「浮石型落石」に分けられる。	①転石型落石  (a)崖錐性堆積物　(b)段丘礫層　(c)火山砕屑物　(d)風化花崗岩類 ②浮石型落石  (a)節理・亀裂の発達している岩　(b)層理・亀裂の発達している岩　(c)硬軟著しい差のある岩の互層
転　倒 （T）	急峻な岩盤斜面などで，その一部が分離して斜面より落下する現象のうち，縦亀裂の発達により分離部分の下端を軸に，転倒する場合。	
岩すべり （S）	急峻な岩盤斜面などで，その一部が分離して斜面より落下する現象のうち，地質の走向が流れ盤になっていたり，脆弱部分が存在して，それらがすべり面となって滑り落ちるように落下する。	

2.2　詳細調査項目

表－7は詳細調査で明らかにすべき事項を崩壊形態区分ごとに示したものである。同表に示すように，いずれの崩壊形態においても崩壊部分，規模，保全対象物との位置関係等を明らかにすることが重要である。表－8は詳細調査の留意点について，崩壊形態区分ごとに示したものである。共通な項目も多いが，地形・地質・植生・ボーリング調査等ではそれぞれの崩壊形態によって重要性が異なるものもある。また，図－5は，表－7に記述されている崩壊区分ごとの調査の留意点について図示したものである。図－6は，調査成果断面図の記載項目について概念的に示したものである。

表－7　斜面調査項目

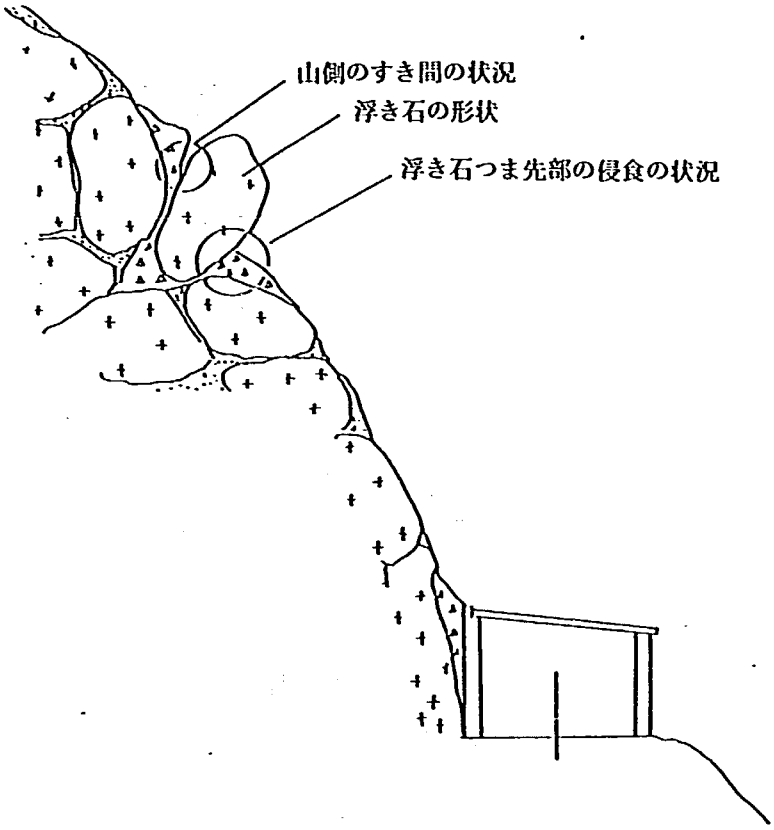
破壊形態	詳細調査に求められる成果
落　石 (F)	• 予想される落石の特定 • 予想される落石の規模（大きさ・形・岩種・硬さ等） • 落下および流下経路 • 停止機能の有無 • 発生地点と落石覆工の位置関係（高さ・水平距離）
転　倒 (T)	• 予想される転倒・岩盤崩落部分の特定 • 予想される転倒・岩盤崩落部分の規模 • 転倒・岩盤崩落後の運動形態 • 落下波及範囲の特定 • 落石覆工背後の緩斜面などの有無 • 発生地点と落石覆工の位置関係（高さ・水平距離）
岩すべり (S)	• 予想される岩すべり部分の特定 • 予想される岩すべり部分の規模 • 岩すべり発生後の運動形態 • すべり波及範囲の特定 • 抑止機能の有無 • 発生地点と落石覆工の位置関係（高さ・水平距離）

表－8　斜面調査の留意点

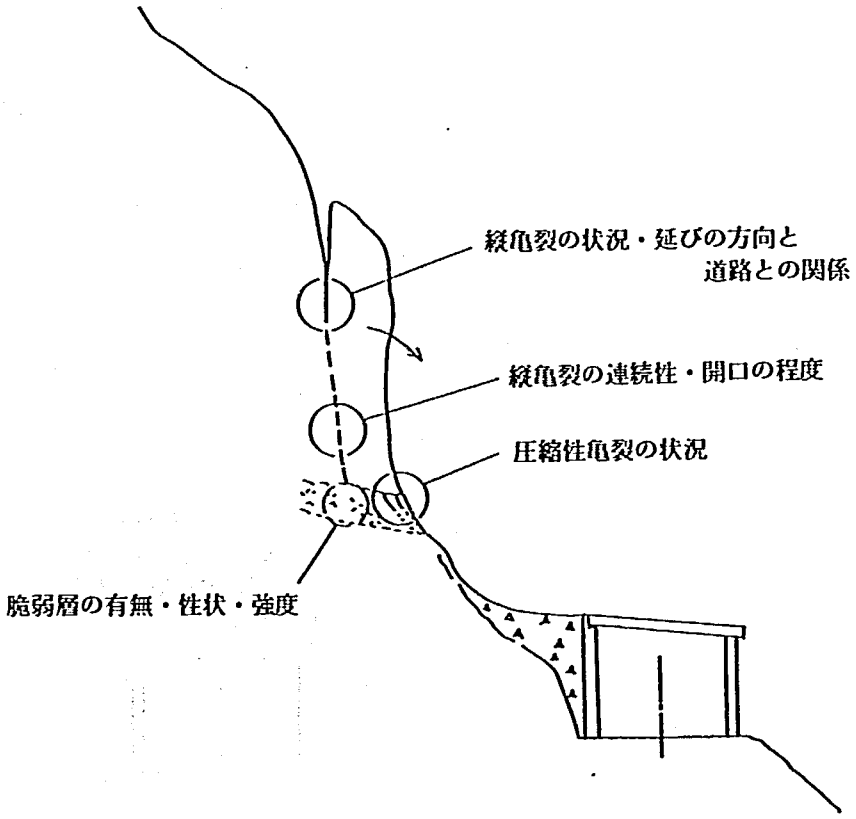
調査種目	調査の注目点	斜面破壊の形態		
		F	T	S
既往調査資料収集解析	斜面破壊状況の把握（規模・大きさ・形・時期・頻度）	○	○	○
	発生源・流下経路・被災範囲と被災状況	○	○	○
	既往落石等の発生時の気象条件	○	○	○
	復旧記録・設計資料・工事記録	○	○	○
空中写真	既存空中写真の収集	○	○	○
	空中写真の撮影（垂直・斜め・地上ステレオ写真を含む）	●	●	●
	空中写真判読（垂直・斜め）	○	○	○
	地形区分図作成（平面・斜め）	○	○	○
地形測量	平面図・正面図の作成（簡易な図は必ず作成、S=1/1000～1/200 ）	●	●	●
	断面図の作成（簡易な図は必ず作成、S=1/100 ～1/200 ）	●	●	●
	渓流の縦横断測量	－	－	－
地形調査	浮石分布状況（分布位置・大きさ・形・個数・岩種・硬さ）	◎	－	－
	浮石の安定性（安定性・噛合わせ等）	◎	－	－
	落石復工周辺の落石状況（位置・大きさ・形・個数・岩種・硬さ・流下経路）	◎	○	○
	微地形（キレツや段差などの分布範囲・形状・開口幅・深さ等）	○	◎	◎
	崩壊地の分布	－	－	－
	不安定な渓床堆積物の分布状況	－	－	－
地質調査	地質平面図作成	○	○	○
	地質断面図作成	○	○	○
	岩種・硬さ（シュミットハンマー・点載荷試験等）	○	○	○
	層理面等の走向・傾斜	－	○	◎
	断層・破砕帯の分布・風化の程度・岩盤の緩み	○	○	○
	斜面下部での脆弱部分の存在	－	◎	◎
	分離面の記載（層理面・節理面・キレツ等の区分・分布・範囲・走向・傾斜・開口幅・充てん物・深さ・粗さ・連続性）	○	◎	◎
	湧水の状況	○	○	○
植生調査	立木の分布範囲・樹種・樹高直径・草地の分布	◎	○	○
	周辺での落石分布・衝突跡	◎	○	○
	根まがりの存在など	◎	－	－
ボーリング調査	地層の確認	－	○	○
	キレツの分布や性状・分離面の分布や性状	－	◎	◎
	緩み岩盤の層厚	－	○	◎
	硬さ・コア形状・割目間隔・風化・変質	－	○	○
	RQD評価	－	○	○
	すべり面の確認	－	●	○
	孔内傾斜計測定管の埋設	－	－	○
	小型ビデオカメラ等による孔内観察	－	○	○
弾性波探査	キレツ係数により地山の緩み程度、緩み範囲を推定	●	－	●
岩石試験	脆弱層対象；一軸圧縮強度・クラック剪断強度・スレーキング・超音波伝播速度	－	●	●

凡例　◎：最も重点的に行う項目　　F：落　石
○：一般的に行う項目　　T：転　倒
○：できれば行う項目　　S：岩すべり
－：特に必要としない

(1) 落　　石(F)

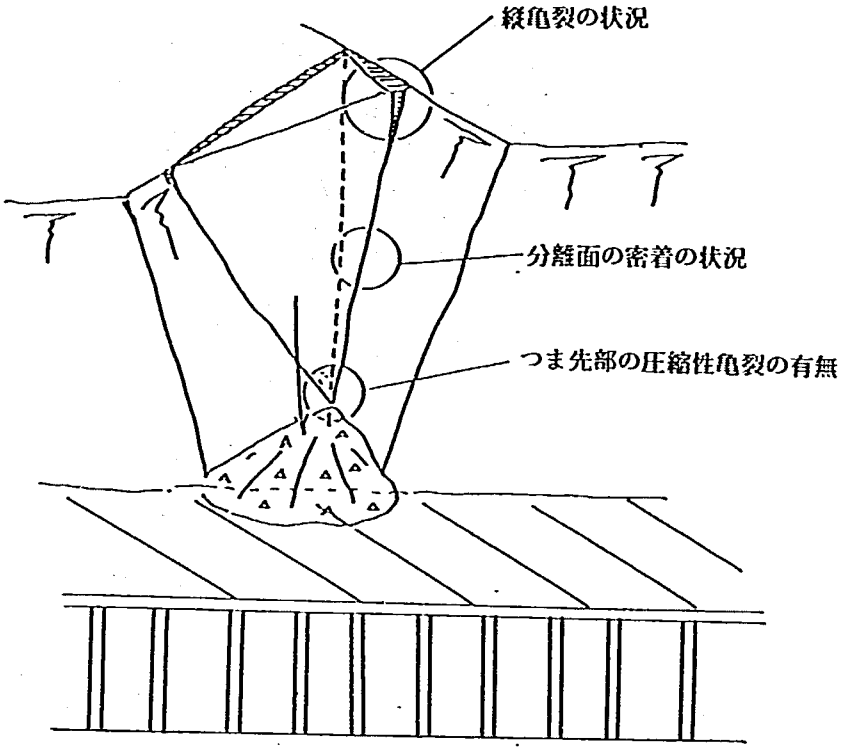


(2) 転　　倒(T)

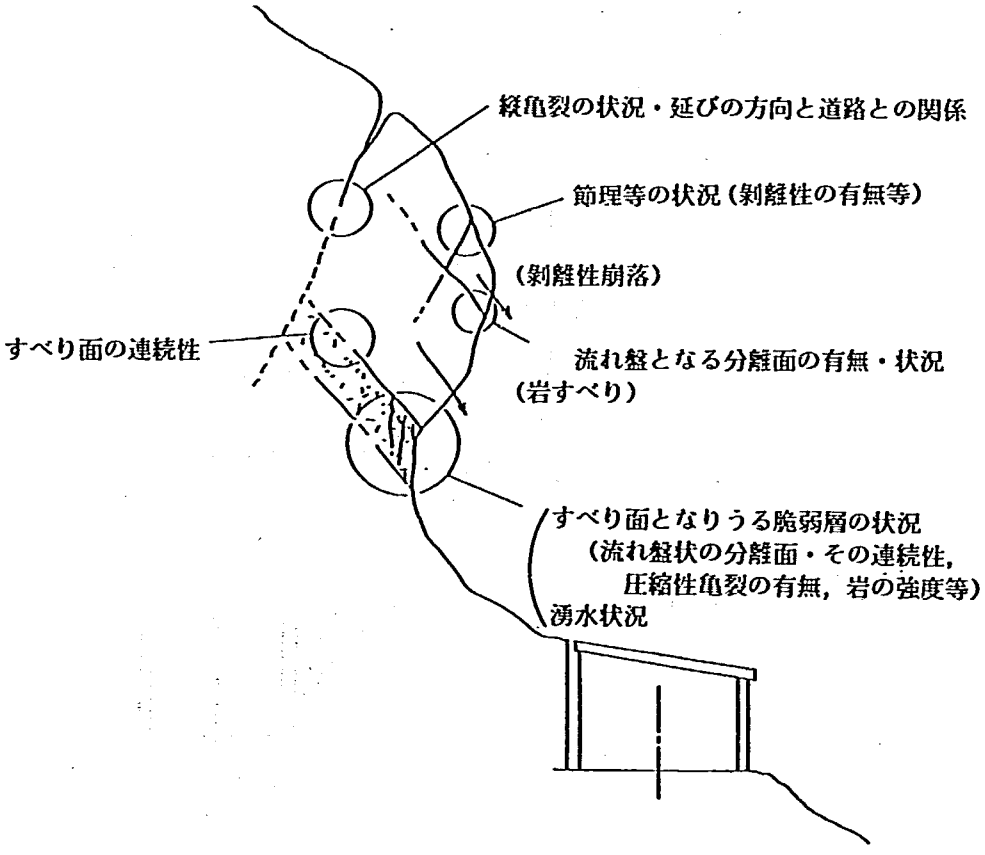


図－5　岩盤斜面崩壊の形態に応じた調査の留意点

(3) 落石もしくは転倒（F or T）

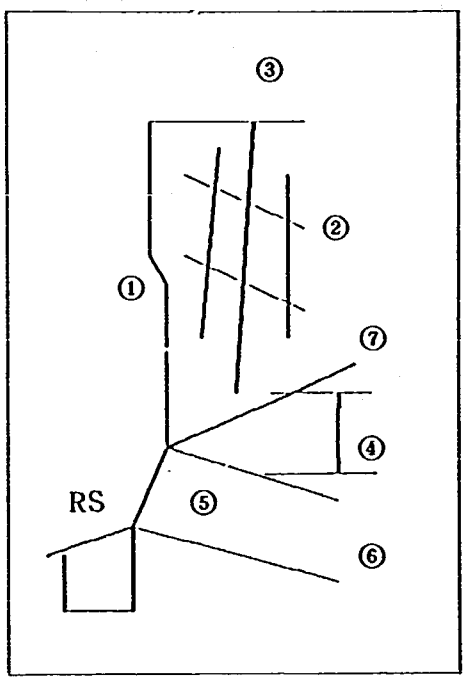


(4) 落石もしくは岩すべり（F or S）



図－5　岩盤斜面崩壊の形態に応じた調査の留意点

(1) 地質に関する記載



①：オーバーハングの存在

②：ジョイントの分布形態

③：たてキレツの存在

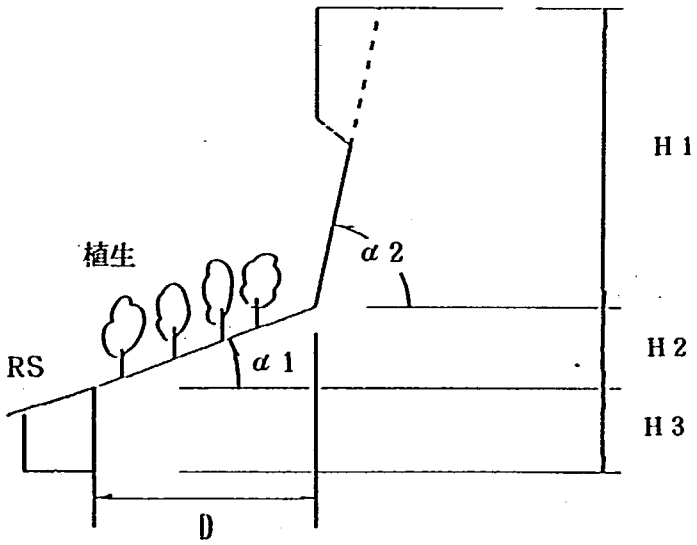
④：たてキレツの深さと下部層までの距離

⑤：斜面下部の脆弱部分の存在

⑥：全体的な地質の特性
（岩石名・走向・傾斜など）

⑦：低角度のキレツの存在

(2) 地形に関する記載



図－6　調査成果断面図の記載例

おわりに

岩盤斜面崩壊に関しては今後に残された問題が多く，道路防災対策上の大きな課題の１つとなっている。特に崩壊に関係する断層・亀裂等の分布状況や工学的性質の把握手法，斜面の安定度の評価手法，崩壊の予知手法の開発が急務である。

文　　献

1）日本道路公団（1987）：維持管理における調査の手引き（案）

2）奥園誠之（1983）：切取斜面の設計から維持管理まで，鹿島出版会

3）三木五三郎編（1977）：設計までの土質調査法と土質試験法，第５章斜面安定，鹿島出版会

4）日本道路協会（1983）：落石対策便覧

質　疑　応　答

司会　岩盤斜面の調査点検手法ということで斜面崩壊に関連する地質現象について全国各地の非常に生々しいスライド等をお見せいただいたわけですけれども，ただいまの発表に対しまして何か御質問とか御意見がありましたら出していただきたいんですが，どなたかおいでになりませんでしょうか。

平野（九州地建）　ダムをやっているわけでございますけれども，切土法面とか横坑で見ますと非常に断層や節理が多いわけでございますが，普通の地山は表土とか植生に覆われているということでございまして，山の裏側に割れ目があるかないか，そこらへんを土木屋でも，私どもでもわかるような簡単な方法がないだろうかという話です。

もう一つは，目の前にある割れ目が安定か，不安定かを簡単に評価できるような手法があるかどうか，あるいは開発されるのかどうか，お聞きしたいと思います。よろしくお願いします。

中村地質研究室長　非常に難しい御質問で，最初の岩盤斜面の裏側に弱層があるかないかという調査法が簡単にあるかということでございますが，試験的にはボアホールレーダーとかいろいろ考えられるんですが，実用化された手法としてはないのが現状です。今回の福井の崩壊にもございましたけれども，地表面から簡単に割れ目の状況がどのようになっているかという手法を開発することが急務だろうという委員会の御指摘もございまして，やりかけてはいるんですが，なかなか難しくて困っているという状況でございます。

もう一つの岩盤の安定性を簡単に判定する手法も御指摘のとおりで，非常に重要な問題ですが，一番目の質問と関連するのですが，解析の手法は何通りかあるようですが，割れ目の性状，分布状況がなかなかわからないために，そういった安定性の判定手法もなかなか難しい状況でございます。お答えにならなくて申しわけないんですが。

平野　どうもありがとうございました。

司会　ほかにどなたかおいでになりませんでしょうか。

もしなければ，この議事については終わらせていただきまして，次の総合討論の場でお願いしたいと思います。どうもありがとうございました。

Ⅱ. 総合討論

総　合　討　論

司会　総合討論ということでどなたか御質問なり御意見がございましたらお願いしたいと思います。

三木　午前中の地質官か中村室長のどちらでも結構ですが，ああいう大きな岩石斜面崩壊の対策ですけれども，中村室長の図で，下に弱層的なものがあって，上がばさっとくるような，特に大きいやつですね。そういうものの対策はどういうことを考えておられるのか，教えていただければありがたいのですが。

桑原地質官　下に弱層があったときの対策はいろんな方法が考えられると思うんですけれども，今幾つか考えられている方法は，一つは下の方を根固めすることが考えられているようです。それから上の方をどうするかというと，何かで引っ張ったらいいではないかということで，アンカーないしはボルトで前からやる。そういうことがなかなかできないところは，後ろの方に立坑を掘って後ろから引っ張る例はあります。前から引っ張るのは華厳の滝がときどき崩壊するものですから，後ろの方へ立坑を掘って後ろから引っ張ったという例がございます。

根固めするのは幾つかのところで事例がありますし，落石なんかでは根固めをやるということでそういった恒久的な対策をとることが根本的にはいいわけですけれども，なかなかそこまで至らない。それまでに何とかしたい。早急にやりたいときは，最近ネットを張るといいのではないか。というのは，壊れてくるのはしょうがないけれども，少しでもエネルギーを吸収させてゆっくり落としてやろう。1秒で落ちるところを2秒にしてやるとエネルギーはかなり減少するわけですから，ネットを張って結果的にはそういったことで対応しようかという方法がとられているようです。

司会　ほかにどなたかございますでしょうか。どうぞ。

平野　地質官にお尋ねしたいのでございますけれども，今までトンネルあるいは海岸に張り出したり，あるいは施工中に若干落ちたりという状況だとお聞きしたのですが，現在というか，今までの工法を選ばれる場合，あるいはルートとか，いろいろ悩んで，恐らく今の被災した形が出来上がったと思うんです。そこらへんのいきさつというか，お聞きしていいかどうかわかりませんが，支障のない範囲でできたらお聞かせ願いたいと思うわけでございます。よろしくお願いします。

桑原地質官　あそこは先ほど言いましたように昭和52年に玉川第2トンネルというのを拡幅しようということでやっておったわけですが，そこが崩落したということでございます。その後，県の方ではいろんなことを考えて，実はあそこは隆起海岸ということで写真でお見せしましたような断崖になっておりますので，長いトンネルで逃げようかということで，地元の方にそういう案もあるということで提示されたそうですけれども，地元では崩落のあった約500 mか600 m北側のところに玉川観音という節理を利用したほこらのある穴がありまして，そこが観光の名所になっているということで地元から反対があった。結局それで現在のところに回したと聞いております。

最初に地元におろしたときは，現道沿いかトンネルか，どちらか。できれば今のところでトンネル

案でいきたいということで地元におろしたみたいですが，地元の意見があって現在のルートに回したというふうに聞いております。こんなところでよろしいでしょうか。

平野　どうもありがとうございました。

司会　時間ですが，ほかにどなたか御質問があればもう一問だけお受けします。

神尾（水資源開発公団）　ちょっと聞き漏らしていての質問かもしれませんが，地質官から大規模な岩石崩落災害に関して，それから中村室長から岩盤斜面の調査点検手法ということできょうの担当者会議で御紹介いただいたわけですが，これらの問題に関して今後調査手法等についてマニュアル化とか，指針化とかいうのは図られていくでしょうか。ちょっとお尋ねしたいと思います。

中村　私の方から御説明させていただきますけれども，岩盤斜面崩壊全体に対しましてではございませんが，法面の点検が平成２年度９月ぐらいに予定されておりまして，それに間に合うように現在の調査手法を本省等と相談しまして，今年度末ぐらいまでには法面の崩壊の点検手法を改正し，現状のものよりいいものをつくろうと考えております。

岩盤斜面の方では，先ほども地質官から御説明がありましたと思いますけれども，今，岩盤斜面に関する委員会というところでたたき台をつくりつつあるということで，これも平成３年度の３月ぐらいまでには結論を出そうということで進んでおります。

神尾　それは具体的な成果として指針みたいなものが出てくると考えてよろしいでしょうか。

中村　具体的にはわかりませんが，恐らくマニュアル化できるところはできるだけするようなことになると思います。

神尾　どうもありがとうございました。

第23回地質担当者会議資料

ISSN 0386－5878
土木研究所資料 第2827号
平成2年3月 (1990年)

桑原啓三・熊木洋太・稲崎富士
松本徳久・中村康夫

要 旨
平成元年12月8日に開催された第23回地質担当者会議で行なわれた次の講演が収録されている
1．講演
1. 一般国道305号線岩石崩落災害調査報告
2. 北部九州ダム基礎岩盤の特色と基礎処理
3. 地盤情報処理技術の現況
4. 高透水性岩盤における透水試験
5. 岩盤斜面の調査点検手法

キーワード：地質調査・のり面・斜面・岩盤崩壊・ダム地質・基礎処理・地盤情報・地盤情報・透水性/透水試験

郵便はがき

41円切手をはって下さい

3 0 5 - □□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地質化学部地質研究室行

No. 008

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2827号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏名　　㊞