

土木研究所資料

第16回地質担当者會議資料

昭和58年 3 月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright ©1983 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

地質担当者会議は、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目的として昭和42年度より開催され今回で第16回を迎えるに至った。その間、河川砂防技術基準(案)、道路土工土質調査指針、トンネル技術基準、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)等、地質調査に関連する基準や指針の討議をおこない、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、海外の技術紹介をおこなってきた。

今回も、本省から萩原技術参事官、土研飯田所長をはじめ、本省、各地方建設局、国土地理院、建設大学校、北海道開発局、沖縄総合事務局から多数の参加を得て盛会となった。

会議では「ルジオンテスト施工指針(案)の検討」と「岩盤分類とその現場への適用」の2テーマについて6件の報告があり、活発な討議がなされた。

「ルジオンテスト施工指針(案)の検討」では、ダム基礎岩盤の透水試験として広く用いられているルジオンテストの試験時の留意点および試験結果の評価上の諸問題について概括的な報告がなされた。

「岩盤分類とその現場への適用」では対象別に以下の5つの報告があった。

「岩盤分類の方法と区分」では、岩盤分類法とその分類基準について包括的なレビューがなされた。

「トンネルにおける岩盤分類とその現場への適用」では、トンネルにおける岩盤分類(地山分類)の歴史的経緯とその特徴が指摘され、また現状をふまえた今後の岩盤分類法の方角についての紹介がなされた。

「斜面における岩盤分類とその現場への適用」では、斜面・のり面における岩盤分類の特徴とその適用の現状について報告がなされた。

「ダムにおける岩盤分類とその現場への適用」においては、ダム基礎岩盤の岩盤分類法の適用の経緯と現状についての紹介があり、また、原位置試験との対比において岩盤分類法の問題点が指摘された。

「ダム基礎岩盤の岩盤分類と原位置試験値との相関性に関する一考察」は、原位置試験値の検討から、岩盤分類において考慮すべき分類要素・基準を考察したものである。

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

昭和58年3月

建設省土木研究所地質研究室長 桑 原 啓 三

目 次

まえがき

議事次第	1
出席者	2
開会の挨拶	5
技術参事官挨拶	6
土木研究所長挨拶	9
閉会の挨拶	10

議 事

1. ルジオンテスト施工指針(案)の検討	11
2. 岩盤分類とその現場への適用	21
2-1 岩盤分類の方法と区分	23
2-2 トンネルにおける岩盤分類とその現場への適用	39
2-3 斜面における岩盤分類とその現場への適用	57
2-4 ダムにおける岩盤分類とその現場への適用	77
2-5 ダム基礎岩盤の岩盤分類と原位置試験値との相関性に関する一考察	113
2-6 総合討論	133

第16回 地質担当者会議議事次第

1. 日 時 昭和57年12月3日(金) 10:00~17:00

2. 場 所 東京都千代田区大手町1-4-1 竹橋会館

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 技術参事官 萩 原 浩

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) ルジオンテスト施工指針(案)の検討

10:30~11:20

土研 地質研究室長 桑 原 啓 三

4-2) 岩盤分類とその現場への適用

i) 岩盤分類の方法と区分

11:20~12:00

土研 地質研究室長 桑 原 啓 三

ii) トンネルにおける岩盤分類とその現場への適用

13:00~13:50

土研 トンネル研究室長 水 谷 敏 則

iii) 斜面における岩盤分類とその現場への適用

13:50~14:40

土研 砂防部長 安 江 朝 光

iv) ダムにおける岩盤分類とその現場への適用

15:00~15:50

土研 地質研究室研究員 稲 崎 富 士

v) ダム基礎岩盤の岩盤分類と原位置試験値との

15:50~16:30

相関性に関する一考察

ダム構造研究室主任研究員 斉 藤 孝 三

vi) 総合討論

16:30~16:50

5) 閉会の挨拶

16:50~17:00

土木研究所 地質化学部長 蒔 田 実

第16回 地質担当者会議出席者名簿

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
本 省	萩 原 浩	大臣官房技術参事官
	太 島 和 雄	〃 技術調査室研究員
	広 瀬 利 雄	河川局開発課長
	脇 雅 史	〃 課長補佐
国 土 地 理 院	金 子 純 一	企画部企画調整課企画係長
	市 川 清 次	地理調査部企画課研究係
	須 長 博 明	〃 地理第一課地理第三係長
	宇 根 寛	〃 〃 地理第一係
建 設 大 学 校	井 組 孝	教務部研修調査官
	永 田 睦 夫	建設部長
	石 川 光 男	建設部建設科主任教官
	加 藤 高 義	測量部長
	門 間 敬 一	計画管理部管理科教官
東 北 地 建	丹 羽 俊 二	河川部河川計画課建設専門官
	高 野 正 治	〃 調査第二係長
	市 川 慧	北上川ダム統合管理事務所長
関 東 地 建	川 口 信 幸	河川部河川計画課計画第二係長
	田 中 良 彰	道路部道路計画第二課
	吉 永 格 文	川治ダム工事事務所調査設計課長
	高 野 昭 雄	高崎工事事務所調査課調査係長
	板 垣 進 栄	利根川水系砂防工事事務所調査課調査係長
	佐 藤 元 三	八ッ場ダム工事事務所専門職
	山 口 克 己	〃 調査設計課
	大 日 方 勲	相武国道工事事務所調査課調査第二係長
	福 止 勉	京浜工事事務所調査課開発調査係長
	山 上 和 彦	〃 調査課
	園 村 孝	宮ヶ瀬ダム工事事務所調査設計課調査係長

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
関 東 地 建	須 田 健 一	宮ヶ瀬ダム工事事務所調査設計課調査係
	萩野谷 義 行	横浜国道工事事務所建設監督官
	町 田 勝	富士川砂防工事事務所調査課調査係長
	武 井 修	利根川ダム統合管理事務所調査課調査係長
	入 澤 実	湯西川ダム調査事務所調査設計課長
	清 水 力	〃 調査係長
北 陸 地 建	末 田 一 好	道路部道路工事課長
	延 命 研 樹	〃 道路工事課
	関 博	長岡国道工事事務所工務課工務第一係長
	榎 本 真	三国川ダム工事事務所副所長
	大 木 達 夫	大町ダム工事事務所長
中 部 地 建	中 根 長 蔵	河川部河川工事課長補佐
	中 西 要 人	木曽川上流工事事務所開発調査課長
	今 井 博	高山国道工事事務所平湯出張所長
	筒 井 康 二	小里川ダム工事事務所調査課調査係長
	佐 口 光 明	蓮ダム工事事務所工務課長
	耳 塚 正 衛	飯田国道工事事務所工務課長
	畑 中 博 文	天竜川ダム統合管理事務所長
近 畿 地 建	山 田 曙	大滝ダム工事事務所調査設計第一課長
	上 原 厳	近畿技術事務所副所長
中 国 地 建	松 隅 宜 明	温井ダム工事事務所調査設計課長
四 国 地 建	辻 美喜雄	河川部河川工事課ダム係長
	湯 浅 勝 則	中筋川ダム調査事務所調査設計課調査係長
九 州 地 建	水 田 俊 二	企画部企画課基準係長
	中 村 忠 敏	河川部河川計画課長補佐
	荒 川 詔	〃 計画第二係長

機 関 名	氏 名	所 属 職 名
北 海 道 開 発 局	野 地 正 保	土木試験所地質研究室長
	根 岸 正 充	“ “ 副室長
沖 縄 総 合 事 務 局	恩 河 稔	開発建設部工事検査官
土 木 研 究 所	飯 田 隆 一	所長
	蒔 田 実	地質化学部長
	城 島 誠 之	ダム部長
	安 江 朝 光	砂防部長
	新井田 有 二	企画部ダム計画官
	時 枝 繁	“ トンネル計画官
	大 内 忠	“ 企画課調査係長
	斉 藤 孝 三	ダム部ダム構造研究室主任研究員
	松 本 徳 久	“ フィルダム研究室長
	網 木 亮 介	砂防部地すべり研究室研究員
	土 井 功	“ 急傾斜地崩壊研究室長
	服 部 泰 英	“ “ 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
	猪 熊 明	“ “ “
	護 摩 堂 満	機械施工部土質研究室研究員
	杉 崎 光 義	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
	中 村 康 夫	“ “ 主任研究員
	平 野 勇	“ “ 研究員
	稲 崎 富 士	“ “ “
	神 保 悟	“ “ “
	阿 部 昌 彦	“ “ “
	長 沢 政 和	“ “ “

開 会 の 挨拶

地質化学部長 蒔 田 実

みなさんおはようございます。

地質担当者会議は例年この時期に開催させていただいてますが、おかげさまでもちまして、今年で第16回目を迎えるまでになりました。年の瀬も迫るたいへんあわただしい時期で、お忙しい中を本日は本省からは技術参事官を始め、開発課、道路防災対策室、それから技術調査室から御出席していただいております。また北は北海道から南は沖縄に至るまでの現場の方々ならびに国土地理院、建設大学校からも御参加していただいております。また土木研究所からも所長以下、多数の参加を得、総計86名が当会議に参加しております。

実は、昨年が確か70名ぐらいで、今年もその程度の数を予想して会場を設定させていただきましたところ、86名という多数の方に御参加いただくということになりまして、御覧いただけますように若干手せまな会場になってしまったことを深くおわび申し上げます。しかしながらこの様にみなさんの多数の御参加がいただけるということは考えてみますと、現在の建設事業に於ける土木地質の重要性というものがますます増大しているということの反映ではないだろうかと思われます。

本日も多岐にわたる分野の話題を用意していただいておりますので、時間的には限られておりますが、御熱心な御意見の交換をしていただけたらと思いますのでよろしくお願い致します。

それではただいまから第16回地質担当者会議を開催致します。

挨拶

大臣官房技術参事官 萩原 浩

おはようございます。大臣官房技術参事官の萩原でございます。

今日は年に1回地質関係者の御集まりということで、拝見いたしますとたいへん盛りたくさんの議題があるようでございます。この議題とは別にちょっと御時間を拝借しまして、この機会に現在公共事業というものがどんな問題に当面しているかということについて御紹介していきたいと思っております。

現在、御承知のようにやっと中曽根内閣ができて、今日施政方針、それから国鉄法案とか人事院勧告の問題、あるいは仲裁裁定、このような問題を20日までに片をつけて、それから来年度の政府原案の決定という予定でございますが、年内に予算編成ができるかどうかというところが現在剣ヶ峰でございます。うまく予算編成ができればよいのですが、できない場合には来年の1月4日に予算の内示、それから大蔵との折衝というせわしない年の瀬であるとか、年の初めを迎えることになります。こういうせわしなさと同じように現在の我国の経済社会は非常に大きな問題に直面していることはみなさん御存知だと思います。専門のいろいろな仕事に携わっているみなさんでも、是非そういう社会経済が直面している問題については片方の耳ぐらいは開けておくというような姿勢を持っていただきたいのです。それによってみなさんの御専門の仕事の処理にいくらかでも見識の幅といいますか、ものの見方の幅が加わるということになりまして、自分の専門には関係ないからそういうことについては一切ノーコメント、全然知らないというような考え方を取らないようにお願い致したいのです。今年の政府予算原案の決定と時を同じく致しまして、今後5ヶ年間の社会経済計画を決めようと言うことで現在経済企画庁も努力しております。現在オーソライズされておりますのは昭和60年までに、当初240兆の社会経済公共投資をしようという計画があったわけですが、これが不景気の為に1年半延びて昭和60年までには結果として190兆の投資を昭和53年から7年間に実施するという計画が現在オーソライズされたものでございます。しかし、それも現在の事情に合わないということで、この改定が年末、あるいは予算が越年すればそのときに決まるということでございますので、この改定によって今後5ヶ年の公共投資がどうなるかが決まってくるわけでございます。御承知のように、新5ヶ年は昨年度、初年度と致しまして出発いたしました。その5ヶ年計画と今年決める新5ヶ年計画、いわゆる投資計画がはたして整合するかという問題もございます。このようなことを鑑みますと、今非常に重要な時でございますが、遺憾ながら世の中非常に景気が悪い、財政状況が悪いということで公共投資も押え込まれるだろうということが言われております。建設省では公共投資、この5ヶ年に今後180兆ぐらいたってほしいということを主張致しておりますけれども、経済企画庁の事務局原案では現在140兆ぐらいがせいぜいであるというふうに言われております。その差というものは当然今後の投資の差となって出てくると思いますので、どこら辺で妥結するかということは非常に大きな問題でございます。しかしいずれにしまし

でも、我々が主張しております180兆はどうもなかなか実現しそうもないというのが現在の状況でございまして、それを考えますとやはり公共投資がどうしても減速傾向である、従来のような非常に大きな公共投資を期待できる状況ではないという現実でございます。

そうなるとまいりますとどういうことに今後なるかということですが、やはりゆっくりと仕事をするということにならざるを得ません。従来のようにハイスピードで仕事をしていく訳にはいきませんので、どうしてもゆっくりになる。また勢い反面的に公共事業というものが非常に貴重なものになるわけでございます。金が少ないものですからそれで効率的に仕事をしていかななくてはならない問題が一方で出てまいります。また公共事業自身は非常に大規模になっておりますので、それに伴ういろいろな技術的な問題というものも、当然派生してまいります。また、その他に環境問題を含めたいろいろな社会的問題も、一緒に取り込んだ技術的解決を必要とする問題が出てまいります。そのような問題をいずれも技術で解決をしなければならない時代、社会の姿勢になってまいりますので、この技術の開発、研究がますます重要になって来るであろうと思われるわけでございます。

我が省におきます土木地質の分野は、大きく分けるとダム、トンネル、それからいわゆる斜面関係の3つに分類できると思いますが、これに派生致します地質の問題は純粋な地質学とか学者的なアプローチで解決できる問題ではありません。やっぱり技術者の考えで、これを解決していかなくてはならないわけです。たんに学説的な主張だけをお互いに繰り返しては、物事の解決にはならないのです。その際にどうしても専門の分野以外から物を見る、一つの技術的分野から物を見い出していく、そういうアプローチがないと決して解決ができませんし、また解決するのに難しい問題が今後とも出てくるわけでございます。ぜひみなさま方に目を開いていただいて単純に理論だけでなく、現実の形として物事をどうまとめていくかということについて、日常の御研鑽をお願いしたいわけでございます。

よく言われますが、安全という問題がございますが、安全というものは安全率を上げれば上げる程、当然のことながらお金がかかります。安全というものは金で買うものでございますが、どれだけ高価な物がよいのか、安全率をどの程度に抑えるかということは非常に大きな問題でございます。これは例えば堤防を計画するに際しましても、何年確率の洪水を対象にするか、これは当然出てまいります。道路を計画するに致しましても、だいたいどのくらいの交通量をさばけるような道路を築造するか、1年間に何時間は渋滞を起こしてもやむを得ないというように考える、そして計画をするわけでございまして、絶対にいつも自由に走れるというような道路を作ろうとするには非常に大きなキャパシティの道路が必要なわけでありまして、また絶対に堤防があふれないというような川を作るには非常に大きな河積を必要とするわけです。それに対して現在の国民経済を考えて、その中でどこに安全率を定めるかというのが非常に大きな問題になってまいりました。今後構造物が大きくなってまいりますと、「地質的」な安全率という点も非常に大きな問題となってまいります。例えば、現在よく言われておりますことに地震に対する安全率がございます。いわゆる活断層論議でございまして、活断層の上には絶対大きな構造物は載せないという論理が一方でなされております。

す。これは一種の学説でありますが、そんなことを言いましたら我国で全然構造物が作れなくなってしまう。この現実と学説の間をうまくとりもって1つのプロジェクトとしてまとめるのが技術者の役目であろうと思います。そういう物の見方を養うような見識といいますか、ものの考え方というものをぜひつちかうようにしていただきたいと思います。

本日は、最初に申し上げましたけれども、盛りだくさんの議題ですが、中には自分の専門でないような議題があるかもしれません。しかしそういう問題につきましても今申し上げましたような態度で十分研鑽いただきまして、また明日の日からの仕事に役立てていただきたいと思うわけでございます。たいへん教訓めいたお話で恐縮でございますが、何かの御参考にいただければと思います。どうもありがとうございました。

挨拶

土木研究所長 飯 田 隆 一

みなさんおはようございます。

地質担当者会議も今回で16回目ということでございまして、私も確か最初からほぼ毎回顔を出させていただいたと思いますが、こんなに回数を重ねているとは気が付きませんでした。本日はみなさま遠い所から御集まりいただきまして、地質関係の討議ということで今日一日過ごされるわけですが、議題を見せていただきますと先程技術参事官のお話にもありましたようにいろいろ盛りだくさんで、主に要約しますと、ルジオンテストならびに岩盤分類の問題の討議となっております。この地質担当者会議は、最初は建設省の色々な土木工事に関わる地質の問題についての技術交流の場として設けられまして、ある段階では現場の諸問題を持ち寄って討議する、ある段階では経験を披露しながら基準化を目ざして行くというようなことで進んできたと思います。本日の議題はどちらかと言えば基準化を目ざしての作業がここで求められていると思われれます。

この問題につきましては、実は私もダムをやっておりました関係上タッチしていた問題がでてきておりますが、実は最近の岩盤関係の海外の学会の動きを見ますと、学会の場を使いまして学会としての基準案を作ろうという動きが国際的にも出ております。その基準作りというのは、私共の目から見ますと海外に技術進出する際の御墨付きをその学会で取っておこうという形で出ておるようでございまして、非常に各国の色彩を強く出しながら国際学会で討議されておるというような感じがしないわけではないわけです。最近の動きを見ますと、特に岩盤分類の問題につきましては、非常に関心をよんでいて各国ともこの基準化を目ざした動きが顕著になっております。しかし私が見ますのに岩盤分類というのは、おのおのトンネル、ダム、あるいは橋梁につきましてその使用目的が違うので、使われている分類法も違っております。これを統一化したもくろみも今までなされておりますが、どちらかというとなら統一化してしまうと「角をためて牛を殺す」ような使いにくくなってしまう傾向があります。ところが先程お話ししましたように、海外の方ではそういう低開発国への進出を目ざしまして、先進国が基準化という御墨付きを持ち込もうとしているそういう情勢にありまして、やはり日本の土木地質というのは建設省が一番大きな仕事をしておりますし、建設省がこれをイニシアチブを取って進めていかななくてはならないという段階にございますので、みなさんこういう場を使いましておおいに検討していただきまして、国際的にも日本の言うべき事を十分主張しうる様な体制へと当然つながっていくと思いますので、本日の議題は私の目から見ましても非常に重要な問題だと思われれます。ぜひとも今日一日十分な御討議をしていただきまして、またそれを受けて土木研究所が今後またみなさまの御意見を十分反映するように努力しながら取りまとめていくことが重要じゃないかと考えております。

簡単ですが、本日の私の挨拶にかえさせていただきます。

閉 会 の 挨拶

地質化学部長 蒔 田 実

本日はたいへん長い時間御熱心な御意見の交換をしていただきまして本当に有難うございました。特に発表者の方にはたいへん忙しい中を貴重な資料をおまとめいただき、またたいへんわかりやすいお話で話題を提供していただきまして、心から御礼申し上げます。今朝程技術参事官の御挨拶では、私どもを取り巻く環境は社会的経済的に厳しくなっており、このような中での建設事業には一層の合理性が望まれているというお話がありました。より合理的な建設事業の実施という点からも、私ども技術屋には、さらに一層技術を進めていくという要請がなされていると思いますので、今後共みなさまのお一層の御研鑽を期待したいと思います。それからまた研究実施に関しましても、より一層効率的な調査研究の実施が望まれている訳でして、そのためには広く意見あるいは情報の交換をすることが益々重要になることと思います。

その意味でも、本日の地質担当者会議が大変意義あるものになったのではないかと思います。しかしながら、限られた時間のせいで、まだまだ御意見がありながら発言を御遠慮なされた方が多数あったのではないかと思います。

今回ここで顔を会わせたのを機会に、本日限りではなく、それぞれまた機会あるごとに御意見の交換をしていただきながら、私どもに求められているこういった課題を一つ一つより効率的に確実に解決していただけたらと期待しております。それにしましても本日は長時間本当に有難うございました。これを持ちまして第16回地質担当者会議を終了させていただきます。どうも有難うございました。

1. ルジオンテスト施工指針 (案) の検討

土木研究所地質研究室
室長 桑 原 啓 三

1. ルジオンテスト施工指針（案）の検討

1. はじめに

岩盤の透水試験，特にダム基礎岩盤の透水試験としてルジオンテストが広く用いられている。ルジオンテストは，フランスの地質学者Maurice Lugeonがダム基礎岩盤の透水性を調べるために考案したものであり，その後，日本に導入され，ダム基礎岩盤の透水性を求める試験法として広く用いられていることは衆知のとおりである。ルジオンテストは，その方法および原理が非常に簡単である反面，その解析および解釈は一義的に定まらない。そのため，試験方法の統一，解析方法の統一を図るべく，建設省河川局監修「ルジオンテスト施工指針」（案）が昭和52年に出された。

ルジオンテスト施工指針は昭和52年に制定以来約5年が経過し，試験方法，解析方法とも大筋では統一されてきたが，細部については制定当初あまり重要視されていなかったことで，試験を考える上で問題になることが出てきた。これらのことから，このような新たに判明した問題点をクリアした試験法にすべく現在準備中であるが，ここに問題点の主なものを紹介する。

2. 現行ルジオンテスト施工指針について

1) 使用機器

ルジオンテストに使用する機器，すなわちポンプ，パッカー，圧力計，流量計については現行指針では次のように規定している。すなわち，ポンプは横型複動ポンプが望ましいとし，パッカーは硬岩ではメカニカルパッカー，試験地点の深い所でレザーパッカー，軟岩や孔壁の乱れている所ではエアパッカーとし，圧力計は自記記録のできるもので最小目盛 0.5 kg/m^2 のもの，流量計は最小目盛 1 l の積算流量計としている。

硬岩のように，岩石強度が高く，割目からだけの透水だけを考慮すれば良い場合は，細かい割目を含めての岩盤全体の透水性が判れば良く，そのため高圧で行い，多少の脈動は無害なものとされてきた。しかし，強度の低い軟岩岩盤では岩盤中の割目も少なく，むしろ岩石粒子の粒子間を流れ，ダルシーの法則で解析できる土質材料に近い挙動を示すものと思われる。例えば割目の少ない凝灰岩層での井戸を用いて測定した透水係数が， $2.3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ であるのに対し，ルジオンテストでは 25 Lu ，マサでは $5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ が $10 \sim 20 \text{ Lu}$ という例がある。このような土質材料に近い岩盤でのルジオンテストではポンプの脈動による影響が考えられる。ポンプの脈動は，またポンプの大きさにも影響し，適正なポンプ容量のものを使うとする場合は，適当なアキュムレーターを用いるか，脈動の少ない渦巻ポンプを用いる必要があろう。

パッカーはメカニカルパッカー，レザーパッカー，エアパッカーの3種類としているが，透水試験ではむしろ押込のパッカーが多く使われている。また，軟岩のルジオンテストでは，パッカー部付近で動水勾配が最大となるのに対して，岩盤の強度が低いために，パッカー部付近

の岩盤を破壊し、正しいルジオン値が求められない時がある。このような場合、ルジオンテスト施工指針（案）では、図-1に示すようなパッカー部の特殊処理を勧めているが、工程が複雑なためあまり使われてないのが実情

である。

圧力計は自記記録のできるものとしているが、流量計については特に規定していない。最近、流量計についても電磁流量計など自記記録のできる機械が出てきている。

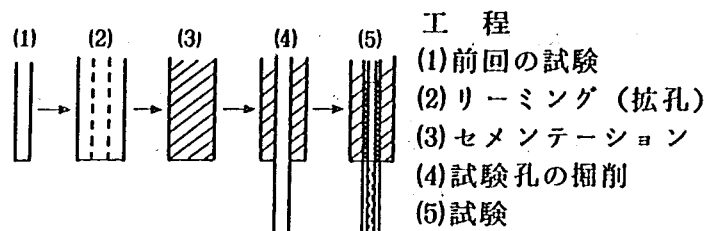


図-1 パッカー部の特殊処理

2) 注入圧力

ルジオン値の定義は、注入圧力 10 kg/cm^2 下で試験孔長 1 m 当りの毎分の注入量 (ℓ) すなわち、 $1 \text{ Lu} = 1 \ell / \text{min} / \text{m} / 10 \text{ kg/cm}^2$ である。堅硬な岩盤では、注入圧力は 10 kg/cm^2 とれるが、硬岩でも割目の多い岩、風化岩、軟岩、被りの薄い岩では、注入圧力-注入量曲線において注入量が急増する点の圧力である限界圧力が 10 kg/cm^2 に達しない。このような場合は、限界圧力以下の圧力と透水量が比例しているときの関係、すなわち、 $P-Q$ 曲線の初期の勾配から、注入圧力が 10 kg/cm^2 の時の値に外挿して求める（図-2参照）としている。

キレツ性岩盤あるいは風化岩や軟岩でも被りが厚い場合は、限界圧力 10 kg/cm^2 以下でも比較的高い限界圧力が出るため換算ルジオン値は簡単に求まる。しかし、被りが薄い場合や岩石の強度が低い場合は、限界圧力が $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 以下と極めて判定が困難になる。図-3は第三紀細粒砂岩の地質で、深度 $30 \sim 35 \text{ m}$ の $P-Q$ 曲線である。地下水位は、地表より 22 m と極めて深いために口元圧 0 kg/cm^2 としても水頭分だけ圧力が作用し、高い

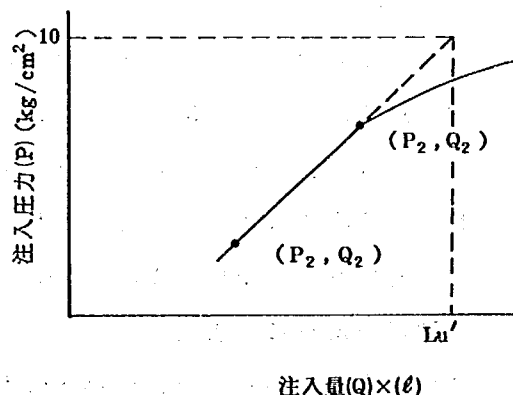


図-2 換算ルジオン値の求め方

注入圧となっている。図-3(a)では、原点と第1測定点とを結んだ延長線上の $\text{Lu}(1)$ と初期の直線部分の延長線上の $\text{Lu}(2)$ とが考えられ、極めて高いルジオン値を示している。しかし、図-3(b)に示す同じサイトの同一地質での測定結果（深度 $20 \sim 25 \text{ m}$ ，地下水位 G.L. -6 m ）によると、限界圧が明瞭に現われ、換算ルジオン値も 1.6 Lu と難透水な地盤となっている。(a)図も(b)図と同様の見方をすれば、測定初期の段階から、限界圧をこえて注入されていると考えることができる。

図-4は、グラウト注入効果を判定するために注入前後で測定した例である。対象地盤は風化花崗岩、すなわちマサであり、1次注入は 2 m の正三角形配列で、2次注入は中間 1 m 間隔で実施された。(a)は注入前、(b)は1次孔注入後、(c)は2次孔注入後の結果である。ルジオン値で見ると、注入による改良はほとんど判らないが、限界圧で見ると注入前 3.7 kg/cm^2 が、1

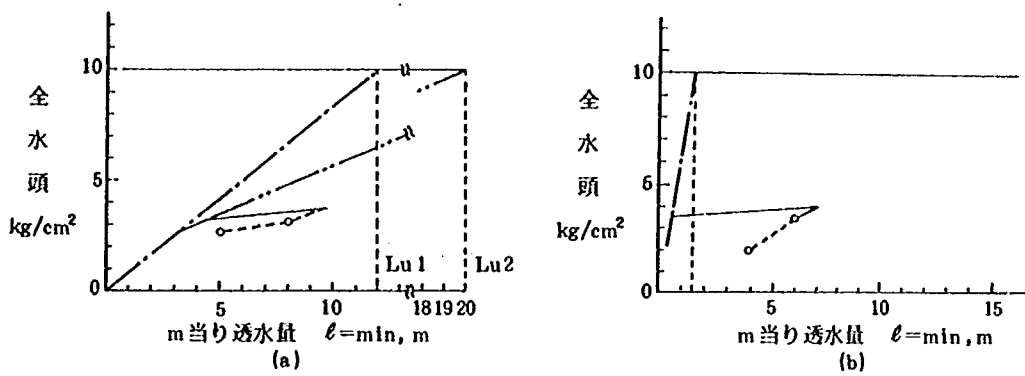


図 - 3 新第三紀細粒砂岩の測定例

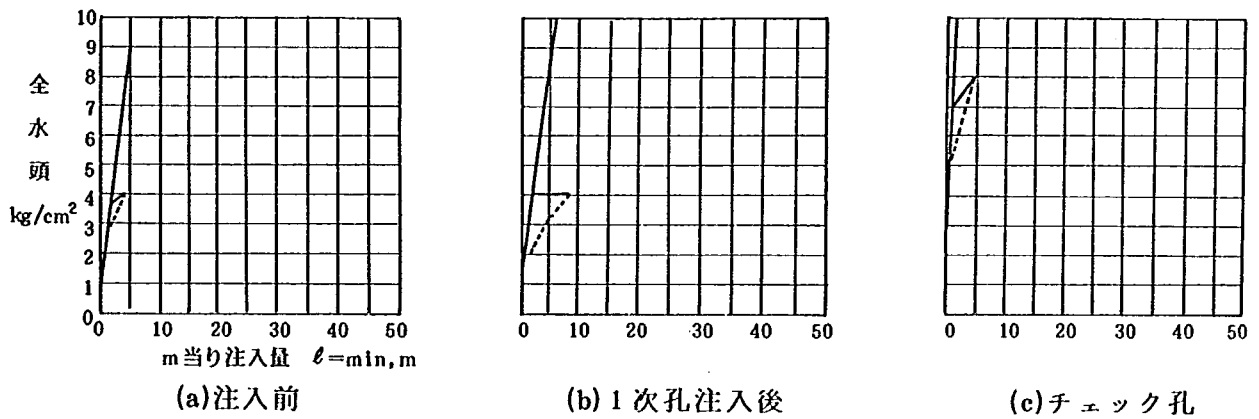


図 - 4 グラウト注入前後のルジオンテスト

次孔注入後 4.1 kg/cm^2 に、2次孔注入後ではさらに 7 kg/cm^2 に上昇している。さらに、図 - 5 は $P-Q$ 曲線において、原点と「限界圧力 + 1 kg/cm^2 」の値を結び、外挿して 10 kg/cm^2 の時の値を Lu として表現して、 Lu と Lu' の推移の変化を見たものである。明らかに注入による改良が見られる。

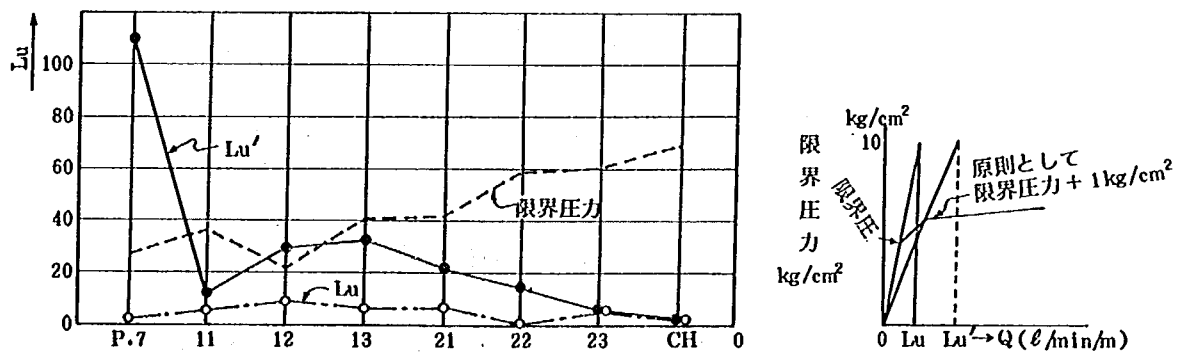


図 - 5 グラウト進行に伴う $P-Q$ 曲線の推移

注入圧力を求める時に最も重要になるのが地下水位である。角礫凝灰岩のように、割目以外の所では透水性の岩盤ではボーリングの掘進が進む毎に地下水位が低下する。また、地下深部

で急に地下水位が下がる宙水をどのように取り扱うかの問題がある。地下水位の補正は、試験時に開りの地山からかかってくる水圧をどのように測定するかであろう。

3) 管内抵抗の補正

管内を水が流れる時、管内が滑らかでないと、また管内に空気が混入すると、特に流速が早い場合は乱流を生じ、管内抵抗が増大することは良く知られている。管内抵抗の主要原因は、管壁の滑らかさ、管の凹凸、空気の混入などが考えられ、特に空気の混入は満管流となつて流れないため、大きな管内抵抗となる。

このようなことから、現行ルジオンテスト施工指針（案）では、図-6に示すような実験結果から、管内抵抗による損失水頭 h_3 として、

$$h_3 = \alpha Q^2 L$$

ただし、 α : 10^{-4} 程度 (min^2/ℓ^2)

Q : 注入量 (ℓ/min)

L : 注入管長 (m)

としている。

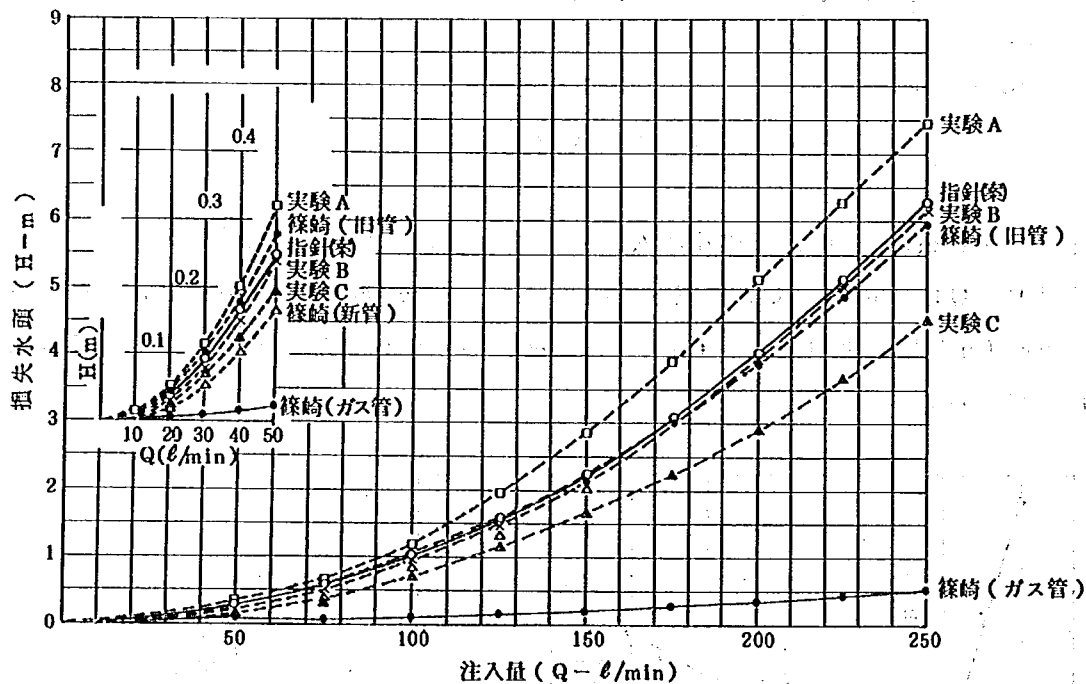


図-6 注水量と1 m当りの損失水頭

図-6で水頭損失を計算すると、注入量 $100 \ell/\text{min}$ (注入区間長 5 m として $20 \ell/\text{min}/\text{m}$ となる) で、管長 1 m 当り 1 m の損失となり、管長 50 m とすると水頭差 50 m 、すなわち、 $5 \text{ kg}/\text{m}^2$ の損失となる。このように損失水頭長が大きくなると、口元で圧力を高くしても注入量が増加し、計算注入圧は、逆に図-7に示すように減少することになる。さらに注入量や管長によっては負圧になることもある。

3. ま と め

ルジオンテストは、当初よりダム基礎岩盤の透水性の把握を目的として始められたものであり、ダム基礎岩盤の堅硬さを反映して主として硬岩を主体に発展したものである。しかし近年のダム基礎岩盤は、キレツの多い岩盤や軟岩に求められることが多くなっており、このような岩盤では透水量の大きさ、限界圧の低さなどから透水性の判断、特にルジオンテストの方法、解析について再検討すべきと考えられる。

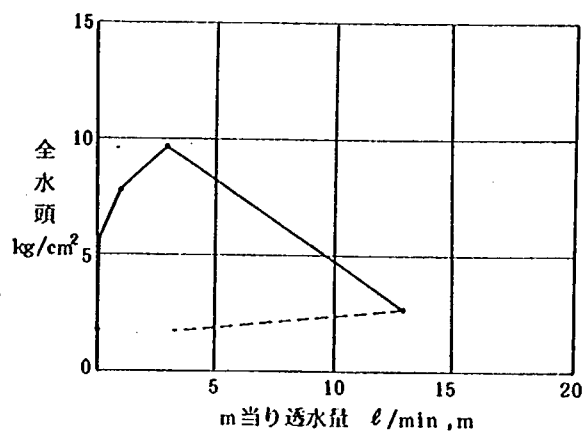


図 - 7 測定注入圧減少の例

参 考 文 献

- 柴田 功；軟岩の透水性と止水設計法に関する研究，土木研究所報告 153号 1980. 3
 ルジオンテスト施工指針（案）（財）国土開発技術研究センター 1977

質 疑 応 答

司会（中村）： 只今の発表につきまして、御質問あるいは提案がございましたらお願い致します。

根岸（北海道）： 最初にも指摘されましたが、透水試験区間が 5 m という問題で、普通、10 m、15 m と長くしていきますと、私達の経験ではだいたい単位メートル当りの透水量が減っていくわけなのです。具体的に言うと 10 m 1 回分と 5 m 2 回分が同じ所でやって同じ量になるかと言うと必ずしもならず、一般的にはかなり減っていくわけですが、そういう問題が前提にあると考えて、先程 5 m の透水試験区間に問題があると言われたのですが、その辺を短くしていいのかというのが 1 つです。それから具体的に 5 m でどういう問題が生じたかについて、2、3 具体例があれば聞きたいと思います。透水試験区間をいじるということは、ある意味ではそれでルジオン値を少しいじるような形になるのではないかと感じるのですが。それからもう 1 つは損失水頭の問題なのですが、前回の指針案に比べて何か新しい考えが出てきたのか、それについてもう少し伺いたいわけです。と言いますのは我々も北海道でルジオンテスト問題を仲間を作って検討しているわけです。だいたい北海道の考え方では、ガスを使えば水頭損失を考えなくてもいいのではないかと、それ以上水頭損失を論じてもしようがないのではないかとこの考えで話を進めているわけです。以上、2 点について御質問したいのですが。

桑原： 最初の御質問、回答になるかどうか分かりませんが、ステージ長を変えた時にどうなるかということで岩盤の中の水の流れ方が問題になってくるかと思っています。実は埼玉大学の渡辺先生がその様な岩盤のモデルを作りまして、その中で水がどのように流れるかということを目で見ながら測定をするという実験をやられているのですが、詳しいことは論文にゆずりますが、割れ目、亀裂の大きさによって水の流れ方が変わってきます。大きい割れ目と小さい割れ目があるとき、まず水の流れは大きい割れ目から入っていくような気がするのですが、実験では小さい方の割れ目から入っていき浸透していくという結果になっています。したがって試験区間が長くなりますといくつもの大きい割れ目、小さい割れ目があって、その全部に圧力がかかりますのでたぶん全部流れるだろうと思われるのですが、実験の結果からいきますと、どうもそうではなく選択的に水が流れるらしい。ですからあまり長くするとその辺の問題が生じてくるのではないかと思います。長くなるとルジオン値が若干下がってくるというのは、実験結果から見ますとどうもそんなことが影響しているようです。そういうことを考えますと短い方がいいとも思われるのですが、短くしますと別の問題が出てきますので、今どういった時に短くしようか、1 つはバラつきが大きいような時、特にボーリングコアを見てほしいこの程度だなという感じと、実際の試験値が大幅に違うというような時にこういった短区間のものを推奨すればよろしいのではないかと考えています。それから 2 番目に損失水頭の話ですが、確かにガスを使えばほとんど補正しなくてもいいので非常によろしいかと思いますが、ただこれは我々発注者側はこれでいいと進めても、2 種のロッドを用意するのは非常に面倒で、山の中へ 2 種類のロッドをかつぎ上げない

といけない。それからつなぐ時にも大きさとかいろいろな問題があって、その辺が積算とも非常に絡んでくるかと思います。それから今までの実験結果を見ますと注入区間そのものの圧力ではなくて、注入管のすぐ上のロッドの流速が早い所の圧力を計っている例がほとんどです。現場のボーリングでは技術的に注入管の所にセンサーをおろせないということがありまして、注入区間の上の所の流速が早い所で計っているのが実態ですが、ベルヌーイの法則から言いますと流速が速くなると圧力が下がります。ですから実際の圧力値を示していないのではないかと思います。感じだけで言ってますが、 α がもっと小さくなるのではないかという気はしていますが、もう少しその辺を詰めてみないとわかりません。

根岸： 先程のガス管の問題ですが、いろいろ業者と話し合ったのですが、確かに積算上の問題はありますが、ガス管でやるということになればだいたい克服できるのではないかとということで、ガス管でいこうということに北海道ではなっています。

司会： どうもありがとうございました。他にどなたか御質問があればどうぞ。

松本（土研）： 今日の話は、いわゆるルジオンテストの精度を上げて精密にするということで、大変勉強になったわけですが、もともと岩盤の透水性の評価の目的は1つは調査の時点で、ダムで言えばどの位水が漏れるかという漏水量が最終的にはわかりたいという意味での透水試験と、それからグラウトをやった後の改良度、グラウト工事がうまくいっているかというチェックと大きく分けて2つあると思います。後者の方の工事がうまくいっているという評価については、グラウトが本質的にボーリング孔を使ってやる以上、ボーリングを利用した透水試験に帰着するかと思います。前者の透水性の評価という点については透水性の評価イコールボーリングを利用した透水性試験というふうになりますと、今日御説明がありましたように、非常に限界圧の小さい軟岩と、もう1つは亀裂性の岩盤でも地下水が河床近くしかないような非常に割れ目が発達しているものについては別の見方、例えば地下水の動きとか非常に限界圧の小さいものについては当然のことですが、ピット法とか別の試験方法を併用し、合せてボーリング孔を利用した透水試験等をうまく使い分けして岩盤の透水性評価をするというような見方が今までうまくされなかったのではないかと思います。このルジオン試験自体を精密化していく方法と、それから、この試験方法が得意とするものについては、これだけでもいいと思うのですが、不得意とする方法についてはうまくコンビネーションを考えるというようなことが大事かと思います。

桑原： 確かに我々がどちらかというと試験法そのものだけでやってまして、今松本室長が言われましたように、本当は最初の段階は全体の評価というのが1番大切なわけですし、その全体の評価というのは、やはりキチンと何らかの、これも1つの方法なのですが、その辺を考えておく必要があるのではないかと思います。どうもありがとうございました。

2. 岩盤分類とその現場への適用

2-1 岩盤分類の方法と区分

土木研究所地質研究室
室長 桑 原 啓 三

2-1 岩盤分類の方法と区分

1. 目的と必要性

岩盤分類は、土木工事の対象となる岩盤を、分類要素の組合せによりいくつかの等級に区分して岩盤の良否を判定し、土木工事の設計、施工に役立てることを目的としている。

構造物の設計、施工のためには強度、変形性等を知る必要がある。そのため、原位置における岩盤試験が実施されるが、試験装置や経費等の面から、総ての地点で実施するわけにはいかず、試験地点が限定されること、また経費制約の点から必ずしも岩盤試験ができないこと等がある。従って、点の調査を面の調査に広げる、あるいは岩盤試験のできない地点の値を推定するために、共通の尺度で岩盤分類をしておけば、岩盤のおよその力学的性質を推定できる。

岩盤分類を行うときに要求される考慮事項としては、対象となる土木工事の種類によって若干異なると思われるが、岩盤の強度特性、変形特性、透水性、掘削の難易度、掘削後の安定性等であろう。

2. 分類の要素

岩盤分類を行うに当っては、前述のように、岩盤の強度、変形性、透水性、掘削の難易、掘削後の安定性等を考慮しなければならないが、岩盤分類の1方法として、地質学的な手法、すなわち表-1に示すような岩石の成因に基づく分類法がある。この分類法は、岩石の成因と鉱物種、粒度、組織等により分類するもので、すなわち岩石種によるものである。

表-1. 普通に出てくる岩石名

火 成 岩	深 成 岩	花 崗 岩 閃 緑 岩 斑 析 岩 超塩基性岩
	火 山 岩	石英粗面岩 安 山 岩 玄 武 岩
堆 積 岩	碎屑堆積岩	礫 岩 砂 岩 泥岩（シルト岩、頁岩）
	火山碎屑岩	凝灰角礫岩（火山角礫岩） 凝 灰 岩
	そ の 他	チャート 石 灰 岩 泥 岩
変 成 岩	広域変成岩	結 晶 片 岩 片 麻 岩
	熱 変 成 岩 (接触変成岩)	ホルンフェルス 大 理 石

この分類法と地質年代(表-2)を組合せることによって、ある程度の情報は得られる。しかし、同じ岩でも生成後に受けた履歴によりその性質は異なる。例えば、図-1は花崗岩の風化による物性の変化を示したものである。図から判るように、理学的に同一の岩であっても、土木的には全く異なる取扱いが必要である。すなわち、理学的分類だけでは、前述のような岩盤の工学的取扱いは困難で、工学的な立場に立った分類が必要である。

表-2. 地球史年表

地 質 時 代			絶対年代(百万年)	地 殻 変 動						
新 生 代	第 四 紀	沖積世	0.01	ネオ テクトニクス時代	魚弧変動	六甲変動				
		鮮新世	1.7							
	新 第 三 紀	中新世	5							
		漸新世	24							
中 生 代	白 亜 紀	始新世	37	メソ テクトニクス時代	アルプス造山	広島変動 四万十造山				
		白垩世	54							
		古新世	64							
		始新世	140							
		中新世	203							
		漸新世	242							
	ジュラ紀	白垩世	284							
		侏羅世	360							
	古 生 代	二 疊 紀 (ペルム紀)	石炭世				409	パレオ テクトニクス時代	パリスカン造山	本州造山(狭義) 本州造山(広義) 安倍族造山
			石炭世				436			
石炭世			500							
石炭世			564							
石 炭 紀		石炭世								
		石炭世								
		石炭世								
		石炭世								
		石炭世								
		石炭世								
		石炭世								
		石炭世								
デボン紀		石炭世								
		石炭世								
シルル紀	石炭世									
	石炭世									
オルドビス紀	石炭世									
	石炭世									
カンブリア紀	石炭世									
	石炭世									
先カンブリア紀				アーケ テクトニクス時代	カレドニアン造山					

1) 岩石の種類

岩石の種類が判れば、ある程度の岩盤の工学的性質を推定することができる。例えば、道路協会では掘削法面の安定に注意する岩石を、河川砂防技術基準ではロック材に用いる時に注意すべき岩石を上げている(表-3)。

[illegible]

注1. この結果は下津井での一連の現位置試験および備讃瀬戸での地質調査より推定したものである。

注2. この結果は地耐力判定の参考資料とするもので、今後の調査により変わりうるものである。

図-1. 岩盤分類と各調査結果の対比

表-3. ロック材料として適合する岩石

適当と考えられている岩石	注意して使用されるべき岩石
花崗岩類 玄武岩, 安山岩, 流紋岩 中生代以前の砂岩 石灰岩 珪岩	頁岩, 粘板岩 凝灰岩 新生代の砂岩 片麻岩, 片岩 (節理が著しいもの)

ii) 生成年代

また, 堆積岩のような岩石は, 同じ岩石でもその生成年代によってかなり物性値は異なる。
図-2 は, 小島による泥と砂の地質年代による密度の変化を示したものであり, 古い地質時代のものほど密度が高い。

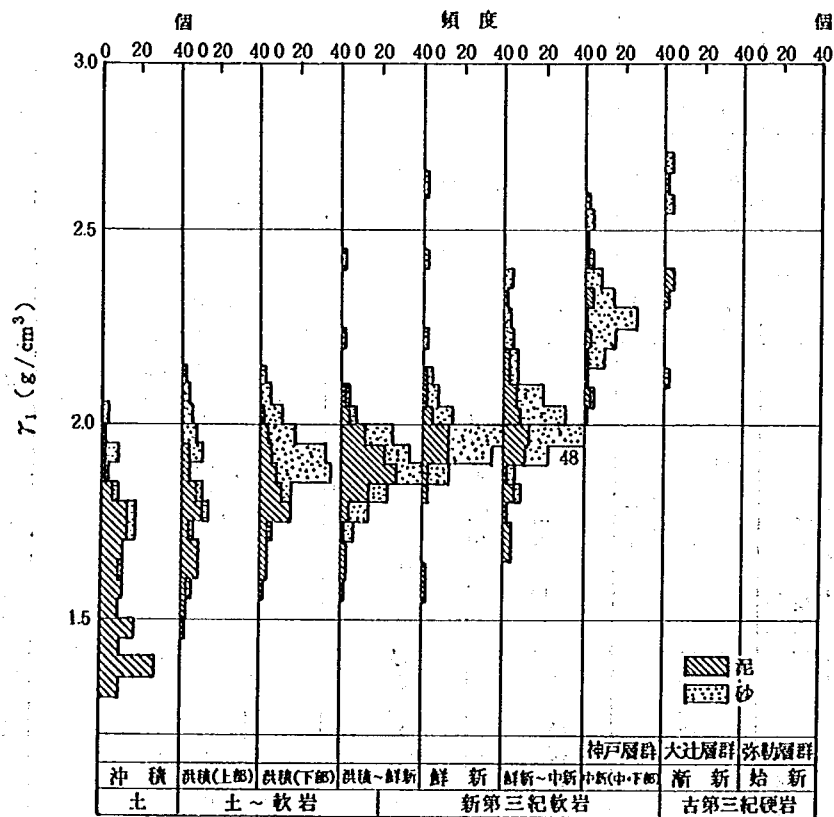


図-2. 堆積物の地質時代と物性値(密度)との関係(小島 1972)

iii) 岩石の強度

岩石の強度を表わす方法として, 一軸圧縮強度, 三軸圧縮強度, 引張り強度, 点裁荷強度, 一面剪断強度, シュミットハンマー反発度等がある。

一軸圧縮強度は, 試験方法が容易であるため, 比較的良く試験が行われているが, 図-3 は同一岩であっても含水比によって物性が変化することを示している。プロトジャコノフは, 辺長 30 mm の立方体の一軸圧縮強度からプロトジャコノフ係数という抵抗係数(表-4)の概念を用い, この値をもって地山を分類している。

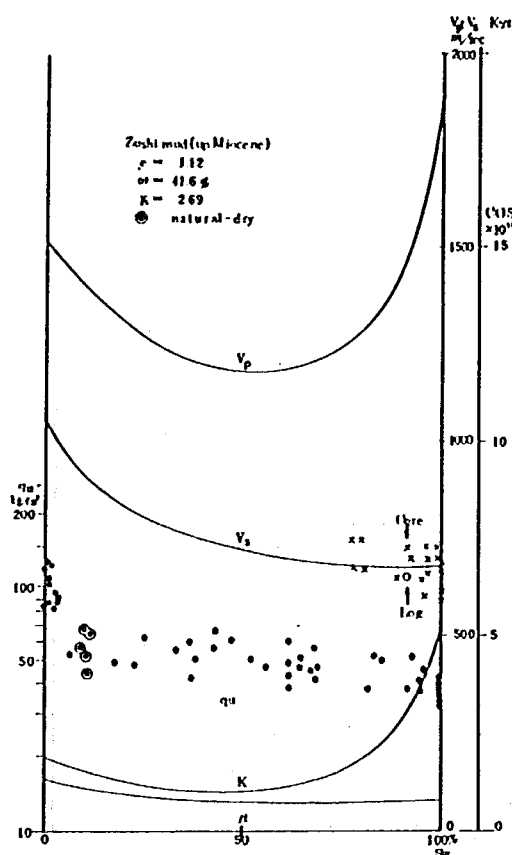


図-3. 含水比による物性値の変化

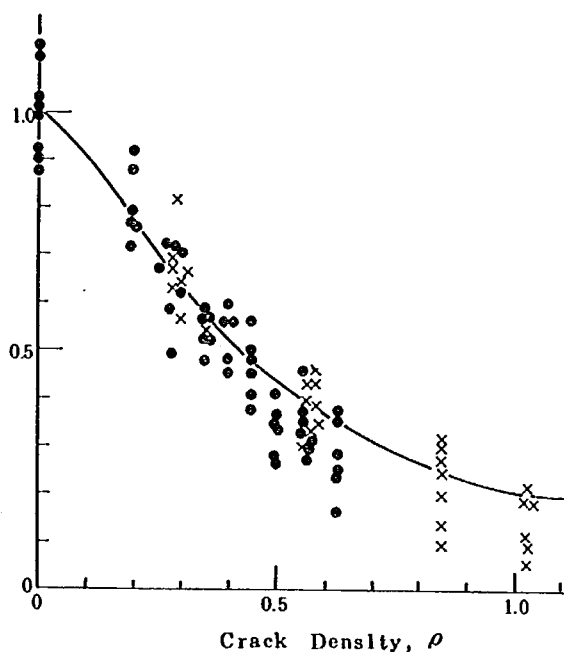


図-4. 三軸圧縮強度に対するキレツの影響

三軸圧縮強度は、軟岩の場合は比較的求めやすいが、潜在キレツ等を含む岩ではバラツキが大きく、数多くの試験が必要である(図-4 参照)。引張り強度、点載荷強度は、試験が簡単であり、特に点載荷試験は現場でもできるため、良く使われるようになってきた。点載荷強度と一軸圧縮強度との間の関係は図-5 のようなものがある。

シュミットハンマー反発度は、キレツのない均一な岩では数多くの点数を測定し、平均化で

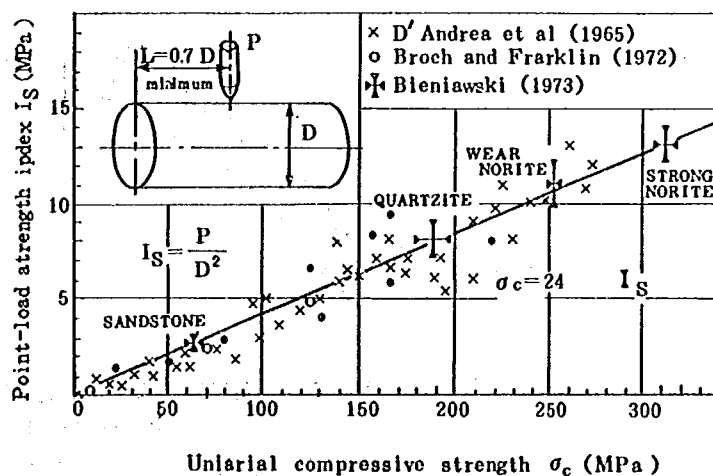


図-5. 点載荷強度と一軸圧縮強度の関係

きるが、キレツ性岩盤ではバラツキが大きい。本四公団では数多くの測定結果を一軸圧縮強度や弾性波速度と関連づけている（図－6）。

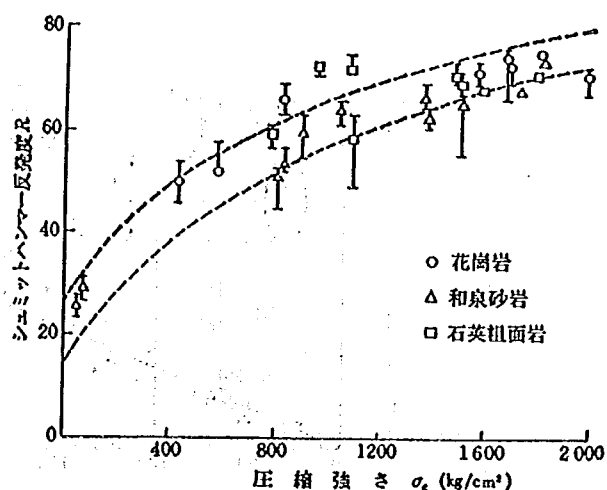
表－4. プロトジャコノフの抵抗係数

区分	限 定	例	f
I	強度の優れた岩石	強度が高い珪岩および玄武岩	20
II	非常に強度のある岩石	非常に強度のある花崗岩，斑岩，砂岩および強度が非常に高い石灰岩	13～19
III	耐久性の充分な岩石	非常に耐久性に優れたまたは僅かに白雲化された花崗岩，砂岩および石灰石，大理石，白雲岩，緻密なれき岩	7～13
IV	かなり強度のある岩石	普通の砂岩，珪質の片岩または片岩質砂岩	5～7
V	平均的強度の岩石	平均的強度の粘土質，砂岩および石灰岩，緻密泥岩，堅さの低いれき岩	3～5
VI	強度の低い岩石	堅さの低いまたは非常にひび割れた片岩または石灰岩，普通の泥灰岩，石こう，非常にひび割れた砂岩，れき岩および圧縮された砂利質土，ハードバン	1.3～3
VII	破碎岩石，高圧密土	粘土，粘性沖積土，圧密粘土質砂，緻密な砂と砂利	0.9～1.3
VIII	中圧密土	泥炭，粘土質砂，中圧密湿砂	0.7～0.9
IX	低圧密土	低圧密塑性盛土，水を飽和された砂または砂利	0.5～0.7
X	流動地盤	沈泥，その他の水で飽和された塑性土	0.5

IV) 弾性係数

岩石の弾性波速度（超音波速度）を測定することにより，動弾性係数を求めることができる。図－7には弾性波速度と一軸圧縮強度との関連を示す。

また，岩石の一軸圧縮試験を行うとき，軸ひずみ量を測定し，岩石の弾性係数を求める。この弾性係数と一軸圧縮強度を利用する方法を図－8に示す。



図－6. シュミットハンマーの反発度と一軸圧縮強さとの関係
(本四公団資料)

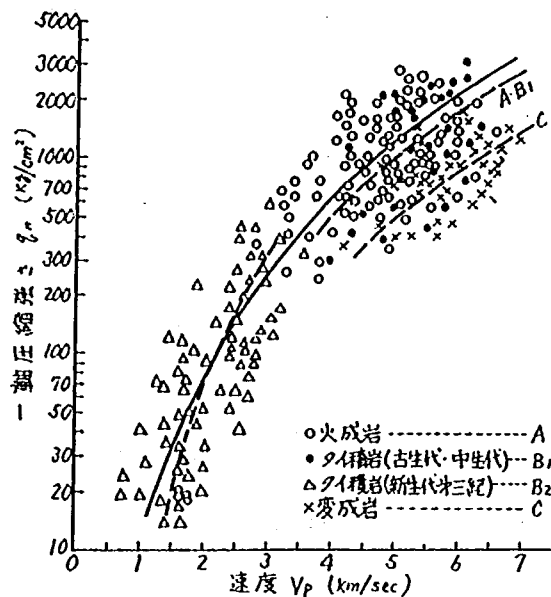


図-7. 速度 V_p と一軸圧縮強さ q_u との関係

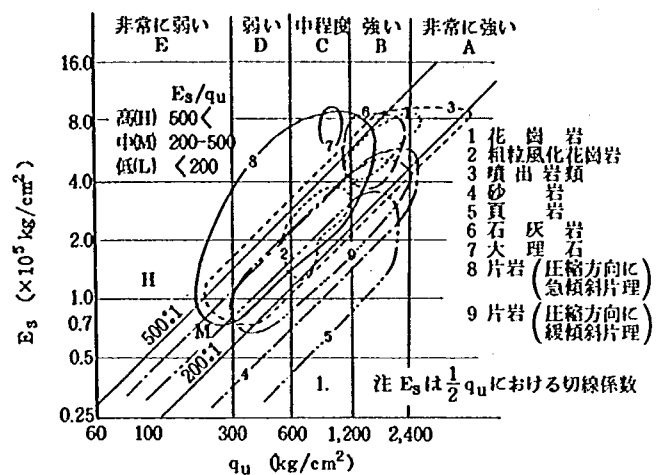


図-8. ヤング係数(静的, 圧縮) E_s と一軸圧縮強さ q_u による岩石分類 (Deere¹³⁾ によるものの部分修正)

V) 風化・変質

前述のように、同じ岩であっても風化によって岩盤の工学的性質は著しく変化する。一般には風化度を直接指標として表わすことは難しく、表-5に示すような風化度の区分がとられている。

表-5. 岩盤の風化度の区分 (ISRM)

区分	状 態	説 明
I	新 鮮 な	岩質に風化の徴候なし、おもなわれ目面がわずかに変色する場合がある。
II	やや風化した	岩質とわれ目面に風化を示す変色あり、また、すべての岩質が変色している場合もある。表層部は新鮮な状態に比べると、やや劣化することがある。
III	な か ば 風 化 し た	岩質の半分以下が化学的あるいは物理的風化によって土となっている。新鮮なあるいは変色した岩が連続して骨格あるいは岩芯を作る。
IV	ほ と ん ど 風 化 し た	岩質の半分以上が化学的あるいは物理的風化によって土となっている。新鮮なあるいは変色した岩が不連続な骨格あるいは岩芯を作る。
V	完 全 に 風 化 し た	すべての岩質が化学的あるいは物理的風化によって土となっている。もとの岩盤構造は、大部分がなお存在する。
VI	残 留 土	すべての岩質が土に変わっている。岩盤構造は破壊され、体積変化が大であるが、土はまだ著しく移動はしていない。

VI) 岩石の異方性

頁岩や粘板岩あるいは結晶片岩等のように、岩石種によっては層理や片理があり、異方性を

示す。また、花崗岩のように均一な岩であっても、割れ目が入り、岩盤としての性質は大きく変わってくる。

岩盤中の割れ目の場合は、図-9に示すように、ある間隔で区分することもできるが、層理や片理は表現しがたい。

割れ目や潜在割れ目、層理や片理の状況を間接的に表わす方法として、ボーリングコアによるR.Q.D.があり、R.Q.D.によって表-6のように岩盤の良否が判定されることがある。

vii) 弾性波速度

岩盤中の弾性波速度は、岩盤を形成する岩石の強度や岩盤中の割れ目によって左右される。従って弾性波速度を測定することにより、岩石の強度、風化・変質、層理・片理、割れ目等の諸性質を反映した総合的な値を出せるため、岩盤分類に利用されることが多い。表-7は、弾性波速度による評価を示す。

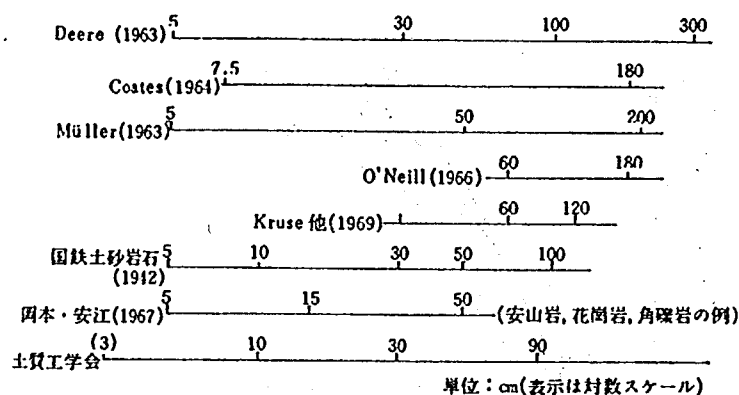


図-9. 岩盤割れ目間隔の表示

表-6. RQD と岩盤良好度
(Deere ほか, 1967)

RQD (%)	岩盤良好度の表示
0~25	非常に悪い (very poor)
25~50	悪い (poor)
50~75	普通 (fair)
75~90	良い (good)
90~100	非常に良い (excellent)

表-7. 縦波速度によるダム岩盤分類 (増田, 1963)

岩盤の地質名	評価	横坑内速度 (km/sec)	横坑間速度 (km/sec)
輝緑凝灰岩	A B C D	>4.5 3.0~4.5 2.0~3.0 <2.0	>4.5 3.5~4.5 2.4~3.5 <2.4
粘板岩, チャート 安山岩, 流紋岩	A B C D	>4.0 3.0~4.0 2.0~3.0 <2.0	>4.0 3.3~4.0 2.3~3.3 <2.3
花崗岩 花崗片麻岩	A B C D	>4.0 2.5~4.0 1.5~2.5 <1.5	>4.0 2.8~4.0 1.8~2.8 <1.8
砂岩	A B C D	>3.5 2.5~3.5 1.5~2.5 <1.5	>3.8 2.8~3.8 1.8~2.8 <1.8

A: 良質健岩, B: 健岩, C: 普通岩, D: 不良岩

また、コアの超音波伝播速度と地山の弾性波速度との比により、キレツ係数を求め、キレツ係数によって岩盤の良否を表わすことがある（表－8）。

表－8. 岩盤の良好度分類（Onodera, 1963 による）

記 号	等 級	良 好 度 ^{※1}	キレツ係数 ^{※2} (工藤による)	備 考
A	きわめて良い	>0.75	<0.25	※1 $\frac{v_d}{v_c} = \frac{\text{岩盤の動弾性係数}}{\text{コアの動弾性係数}}$
B	良 い	0.50~0.75	0.25~0.50	
C	中 程 度	0.35~0.50	0.50~0.65	※2 $1 - \frac{v_d}{v_c}$
D	や や 悪 い	0.20~0.35	0.65~0.80	
E	悪 い	<0.20	>0.80	

各級の地質的性状

A: 新鮮, 割れ目はほとんどなし。

B: 多少割れ目がある。割れ目の面に沿う多少の風化があるが内部は新鮮である。

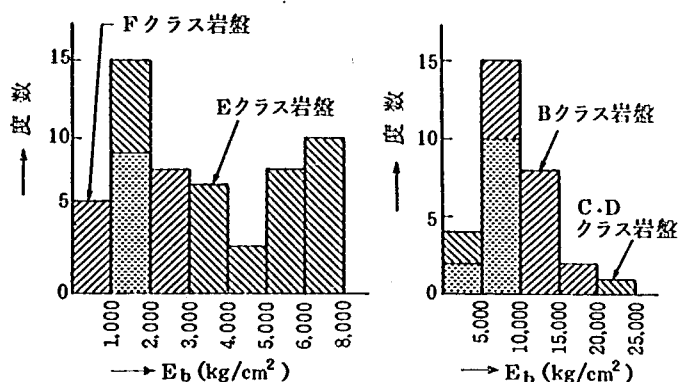
C: 割れ目の間にごくわずかの粘土をはさむこともあるが、岩石自体は新鮮。ただし割れ目の表面は風化している。

D: 割れ目は開き、傾が大きい。その間に水を伴った粘土物質を持つことが多い。岩石自体には硬い部分もあるが、風化や変質を、また割れ目を多く伴う。

E: 風化が進み、岩石が全体的に風化変質している。ジョイントなどの割れ目も多く、破砕されていることもある。

viii) 変形係数

ボーリング孔内における変形試験も、小範囲ながら異方性を考慮した試験法であり、例えば、関門吊橋で行われたような変形係数による岩盤分類（図－10）もある。



図－10. 各岩級区分ごとの変形係数 E_p 値ヒストグラム（関門吊橋）

3. 分類の要素と分類法

前述のように、岩盤分類は、岩石の強度、変形性、透水性、掘削の難易、掘削後の斜面の安定性等を考慮して実施される。ダム、トンネル、斜面等のどの工種においても、それらの事項が等しく考慮されることはなく、その工事に最も関係の深い事項が重点的に用いられる。表－9は、岩盤の要素と各分類における関係の深さを示したものである。

ダム、掘削における分類の多くは割れ目の間隔と岩石の堅さに着目しているのに対し、トンネルにおいては弾性波速度に最も着目している。すなわち、ダム、掘削においては岩盤の力学性を、トンネルにおいては掘削性に重点をおいているものと思われる。

次に、各岩盤分類を見てみると、第1に特定の地質パターンを設定し、それに対して各要素の状態を付記する形式と、第2に分類要素の組合せで表現する方法とがある。最初の分類に属するものは、Terzaghi, 小野寺・工藤, 田中（表－10, 7, 11）等の分類がある。これらの分類の特徴は、岩盤の風化の進行が割れ目の発達、割れ目の開口性、粘土の充填および岩質の軟化が同時に進むというパターンを設定している。したがって、割れ目が多くても風化の進んでいない岩や割れ目が少なくても風化の進んだ岩には適用し難い。

表 - 9. 分類要素の総括

提 案 者 (順不同)	国 鉄 田中治雄 小野寺・工藤 (1962) (1963) Coates (1964)	岡本・安江 (1960)	神田 (1960)	渡辺・高橋 (1968)	池田 (和) (1969)	池田 (和) (1969)	G. Kruse (1969)	Duncan, Goodman (1968)	土質工学会(案) (1969)	土質工学会(案) (1969)	岩盤力学委員会 (1968)	岩盤力学委員会 (1968)	O'Neill (1966)	Müller (1963)	Obert (1967)
分 類 目 的	トンネル街照	土砂・岩石の切取り	ダム基礎	トンネル	トンネル	トンネル	トンネル	圧力トンネル掘工	斜 面	一般	トンネル	地下空洞	コンクリート・支持工	ダム・斜面	地下空洞
(分類要素)	① 定性的表現による区分 ② 定量的(数値)による区分														
1. 岩石の硬さ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2. 風化の程度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3. 割れ目間隔	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4. 割れ目の状態 (開口, 充てん物, かみ合い)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5. 岩石の変形性	○			○											○
6. 岩石のぜい性				○											
7. コアの弾性波速度			○								○				
8. 地山の弾性波速度			○		○	○	○				○				
9. 岩石・地層の種類		○		○		○	○	○	○						○
10. 成層性(具方性)	○		○	○	○	○	○						○		○
11. コアの採取率				○											

後者の分類に属するものは、岡本・安江、土質工学会等の分類(表 - 12 ~ 13)がある。この分類の特徴は、分類の要素を独立に選定できるため、種々の状態にある岩盤を表現できるが、分類要素を多く取り入れすぎると分類結果が繁雑になる。例えば、土質工学会の分類では、岩の硬さと割れ目間隔を分類要素にとっているが、主分類で 48、弾性波速度とキレツ係数の副分類で 19 分類と

表 - 10. 地下掘削のための岩盤分類〔Terzaghi (1946) に基づく Goodman と Duncan (1970) の表〕

- (a) 完全無欠な岩盤 (intact rock)
節理、ひびわれのいずれも含まない岩盤。したがって破壊するときは岩体そのものが壊れ、節理・割れ目のパターンに関係なく破壊が生ずる。
- (b) 層状あるいは片状構造を持つ岩盤
この種の岩盤は各層の境界にほとんど結合力を持たない独立した層の集積体である。各層は、これを横切る節理系で弱められていることがある。ただし、この節理間隔が細くなり層のブリッジ作用が働かない状態になると分類は(c)とする。一般的には成層間は 1.5 m 以下である。これより大きいときは、節理とひびわれの発達程度によって(d)または(e)分類とする。
- (c) 塊状で、やや節理の多い岩盤
この種類の岩盤には節理、ひびわれがあるが、個々の岩塊は互いにインターロック (かみ合い) しているので側圧は作用しない。
- (d) 中程度に塊状化したシーム質の岩盤
化学的風化を受けていないか、受けていてもごくわずかの岩石からなり、個々の岩塊は互いに完全に分離し、かみ合いは不完全である。割れ目の間隔は非常に広いので個々の岩塊は直径 60 cm 以上である。この分類は堆積岩と結晶質の岩石にも適用できる。
- (e) 非常に塊状化が進んだシーム質岩盤
性状は(d)に等しいが岩塊の直径が 60 cm 以下になったもの。
- (f) 完全に破碎された岩盤
砂から礫の大きさまで破碎されたもの。ただし、化学的には変質していない。断層粘土を伴うことがある。
- (g) 徐々に押し出してくる (squeezing) 岩盤
体積の増大をほとんど伴わないで押し出すもので、変成岩の風化した岩石などに多い蟹母状の細かい鉱物を多量に含む場合に生ずる。
- (h) 膨潤性岩盤
モンモリロナイトのような膨潤性鉱物を含む岩盤。

表 - 11. ダム基礎岩盤分類基準 (田中)

名称	特 徴
A	きわめて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。キレツ、節理はよく密着し、それらの面に沿って風化の跡は見られないもの。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で閉口した (たとえ 1 mm でも) キレツあるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質が見られる。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。一般に錳鉄鉱などに汚染せられ、節理あるいはキレツの間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。
C _M	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。 節理あるいはキレツの間の粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目に沿って岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質の層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。 節理あるいはキレツの間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目に沿って岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	岩石鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。 節理あるいはキレツの間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剝脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

極めて多くなっている。

また、分類に用いない要素は入らず、分類する時にどの要素が重要であるかを判断する必要がある。例えば、岡本 - 安江の分類 (表 - 13) では、安山岩と凝灰角礫岩の分類とでは分類の要素が異なっている。すなわち、安山岩の分類では岩石の硬さと割れ目の間隔・状態を分類の要素として選んでいるのに対し、凝灰角礫岩では、硬さ、割れ目の間隔および角礫量比によっている。

第 2 の分類法で最も複雑なものの一つが Bieniwauski の分類法であろう。この分類法は、

表 - 12(a) 岩の分類表

(1) 分類表							
第1分類記号	第2分類記号	A	B	C	D	E	F
H ₁		H ₁ A	H ₁ B	H ₁ C	H ₁ D	H ₁ E	H ₁ F
H ₂		H ₂ A	H ₂ B	H ₂ C	H ₂ D	H ₂ E	H ₂ F
H ₃		H ₃ A	H ₃ B	H ₃ C	H ₃ D	H ₃ E	H ₃ F
H ₄		H ₄ A	H ₄ B	H ₄ C	H ₄ D	H ₄ E	H ₄ F
H ₅		H ₅ A	H ₅ B	H ₅ C	H ₅ D	H ₅ E	H ₅ F
S ₁		S ₁ A	S ₁ B	S ₁ C	S ₁ D	S ₁ E	S ₁ F
S ₂		S ₂ A	S ₂ B	S ₂ C	S ₂ D	S ₂ E	S ₂ F
S ₃		S ₃ A	S ₃ B	S ₃ C	S ₃ D	S ₃ E	S ₃ F

(2) 副分類表						
第1分類記号	第2分類記号	a	b	c	d	e
V ₁		V _{1a}	V _{1b}	V _{1c}	V _{1d}	V _{1e}
V ₂		V _{2a}	V _{2b}	V _{2c}	V _{2d}	V _{2e}
V ₃		V _{3a}	V _{3b}	V _{3c}	V _{3d}	—
V ₄		V _{4a}	V _{4b}	V _{4c}	—	—
V ₅		V _{5a}	V _{5b}	—	—	—

表 - 12.(b) 岩の分類表の記号説明

(1) 分類表の記号説明			
記 号	記 述	一般的名称	
第1 記号 （圧縮強さ特性など）	H ₁	平均一軸圧縮強さが 1000 kg/cm ² 以上である。	硬 岩
	H ₂	平均一軸圧縮強さが 500~1000 kg/cm ² である。	"
	H ₃	" 100~500 "	準 硬 岩
	H ₄	平均一軸圧縮強さが 100~500 kg/cm ² の膨潤性岩である。	膨潤性準硬岩
	H ₅	異方性岩（片岩など）で、平均一軸圧縮強さが 100~500 kg/cm ² である。	異方性準硬岩
	S ₁	最大一軸圧縮強さが 10~100 kg/cm ² の砂質岩である（風化花崗岩を含む）	砂 質 軟 岩
	S ₂	" " の粘土質岩である。	粘土質軟岩
	S ₃	" " の膨潤性岩である。	膨潤性軟岩
第2 記号 （平均キレツ）	A	平均キレツ間隔が 90 cm 以上である。	
	B	平均キレツ間隔が 30~90 cm である。	
	C	平均キレツ間隔が 10~30 cm でキレツ間充てん物がない。	
	D	平均キレツ間隔が 10~30 cm でキレツ間充てん物がある。	
	E	平均キレツ間隔が 10 cm 以下でありキレツ間充てん物がない。	
	F	平均キレツ間隔が 10 cm 以下でありキレツ間充てん物がある。	
(2) 副分類表の記号説明			
記 号	記 述		
第1 記号	V ₁	供試体弾性波速度が 5 km/sec 以上である。	
	V ₂	" 4~5 km/sec である。	
	V ₃	" 3~4 km/sec である。	
	V ₄	" 2~3 km/sec である。	
	V ₅	" 2 km/sec 以下である。	
第2 記号	a	地山弾性波速度が供試体速度の 80% 以上である。	
	b	" 70~80% である。	
	c	" 60~70% である。	
	d	" 50~60% である。	
	e	" 50% 以下である。	

表 - 13. 岡本・安江による組合せ形式の岩盤分類 (1966)

(a) 岩盤の区分基準

(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	A1a, A1b, B1a, B1b
(B)	やや良好	A1c, A2a, A2b, B1c, B2a, B2b, C1a
(C)	やや不良	A2c, C1b, C1c, C2a, C2b
(D)	不 良	残りの組合せ

表 - 14 に示すように，岩石の強度，割れ目の間隔，状態，弾性波速度の分類要素を取り出し，目的に応じて，各分類要素の重みをかえるようにしている。

表 - 14. GEOMECHANICS CLASSIFICATION OF ROCK MASSES

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

1	Uniaxial compressive strength of intact rock	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	< 25 MPa
	Rating	10	5	2	1	0
2	Drill core quality RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25% or highly weathered
	Rating	20	17	14	8	3
3	Spacing of joints	> 3m	1 - 3m	0.3 - 1m	50 - 300mm	< 50mm
	Rating	30	25	20	10	5
4	Strike and dip orientations of joints	Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
	Rating	15	13	10	6	3
5	Condition of joints	Very tight: separation < 0.1mm Not continuous		Tight: < 1mm and continuous No gouge	Open: 1-5mm Continuous Gouge < 5mm	Open > 5mm Continuous Gouge > 5mm
	Rating	15		10	5	0
6	Ground water inflow (per 10m of tunnel length)	None		< 25 litres/min	25 - 125 litres/min	> 125 litres/min
	Rating	10		8	5	2

B. ROCK MASS CLASSES AND THEIR RATINGS

Class No.	I	II	III	IV	V
Description of class	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock
Total rating	100 ← 90	90 ← 70	70 ← 50	50 ← 25	< 25

C. MEANING OF ROCK MASS CLASSES IN RATINGS

Class No.	I	II	III	IV	V
Unsupported span	5 m	4 m	3 m	1.5 m	0.5 m
Average stand-up time	10 years	6 months	1 week	5 hours	10 minutes

4. ま と め

現在まで，岩盤の工学的性質を適確に表わすために多くの岩盤分類がなされている。それらは 1 つの要素で分類されることもあるし，多くの要素で分類されることもある。また，パターン認識で分類されることもある。しかし，目的に合致した分類法は，ダム，トンネル等のどの工種分野でも確立されてなく，種々の分類法が試みられている。

岩盤分類は，分類数が少ないほど簡潔で便利である。しかし，分類が簡単なほど，岩盤の性状を

適確に表わせず、使用する分野は狭まる。分類要素が少ない場合も同様である。岩盤の性状を適確に表わそうとすれば、分類は極めて複雑になる。

今後は、現状の分類法を踏まえて、分類のやりやすさと性状を反映するという相反することを調和するような分類法を確立する必要があるだろう。

2-2 トンネルにおける岩盤分類とその現場への適用

土木研究所トンネル研究室
室長 水谷敏則

2-2 トンネルにおける岩盤分類とその現場への適用

I はじめに

トンネルにおける岩盤分類を考えるときに、前提条件としてトンネルではどのようなものを対象としているかということを念頭においておかなければならない。

まず第一に、トンネルで対象として考えるべき岩盤の大きさがある。すなわち、岩盤分類では岩石と岩盤の違いを考えなければならない。設計すべき構造物（この場合トンネル）の規模に応じた岩盤、あるいは mass として取り扱わなければならないことである。表-1の右欄は岩盤の構成要素としての非常に小さい試験室的なコアあるいはテストピースの類であるが、我々が考えなければならないのは、もう少し大きい規模のもの、すなわち表-1の左欄に示すように岩盤を全体的な mass として取り扱わなければならないということである。考慮すべきトンネルの規模であるが、地下発電所等の地下空洞はかなり寸法が大きい、我々が建設省で主として関連するトンネルは道路や水路のトンネルであり、寸法の規模としては10m前後のものを考えればよい。

表-1. 地山の位置づけ

全 体 (Mass) ……寸法10m 前後		構成要素 (Element) ……寸法10 cm前後
地 山 (地盤)	岩 盤 (不連続面を含む) ……	岩石 硬岩, 中硬岩, 軟岩
	土質地盤 {	砂 質 地 盤 …… 砂, 風化岩
		粘 性 地 盤 …… 粘土, 軟岩

第二に、トンネルの場合には対象とする地盤が、岩盤だけというわけにはいかず土砂に相当するものまで考えなければならない。いわゆる岩盤力学の領域だけでなく土質力学的な領域についてもカバーしなければいけないということである。このためトンネルにおいては岩盤分類というよりも、むしろ地山分類というような名称を用いる方が適切であると考え。タイトルでは他の講演に合わせて岩盤分類と称したが、以下ではすべて地山分類という呼び方で述べる。このようにトンネルでは他と若干ニュアンスの違った言葉を使っているということを念頭に置いていただく必要がある。

地山分類をする場合に考慮しなければならない要素を以下に示す。

a. 掘削対象としての掘削の難易さ

トンネルでは地山を掘削される材料として、評価しなければならない。これは岩石が堅い柔らかいという意味での分類である。

b. トンネル構造物に対する荷重、作用土圧

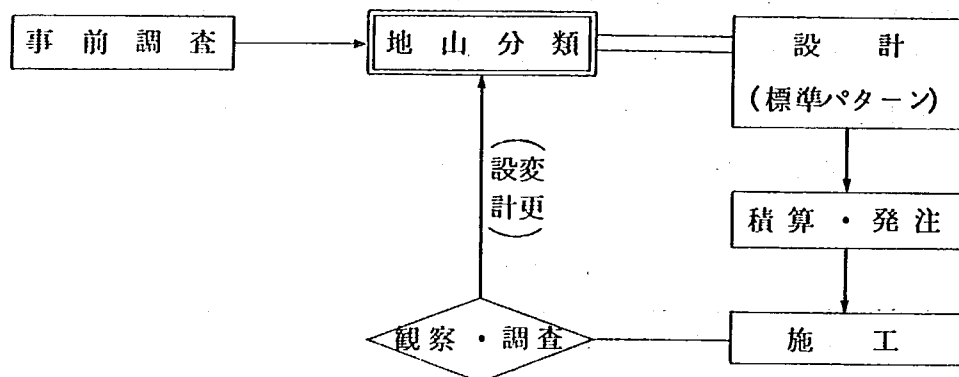
地山がトンネルの構造物に対して荷重，土圧として作用するが，荷重の大きさについての評価からの分類が必要である。

c. 地山の安定性

切端面や切端後方などトンネル周辺の地山の安定性についての観点から，地山を分類しておく必要がある。

これらの点について総合的な配慮をしながら地山を分類しなければならない。

図－１は，現在トンネル工事で使われている地山分類が一連の工事の中でどの様に位置づけされているかを示したものである。事前調査の結果をもとに地山分類をして設計を行う。また，施工中の観察調査により地山分類を見直し，必要により設計変更を行う。



図－１ トンネル工事における地山分類の位置づけ

この流れの中でトンネルにおける地山分類の特徴は２つあると思われる。事前設計すなわち計画，設計をするための地山分類と，それから施工段階における調査結果をもとに行う実施設計のための地山分類というような大きな２つの要素がある。トンネルでは当初設計したものが最後まで全くそのまま実行されるのはそれ程多くなく，むしろ設計変更を前提とした，いいかえれば設計変更を覚悟のうえで施工の面でいろいろやっていかなければならない点が多いというのが特徴である。逆にいえばそういう柔軟な対応をしていくことこそ，トンネルでの設計の基本であるといえよう。

もう一つの特徴は，地山分類と設計とが全く同時に行われるということである。トンネル設計として我々は標準パターンというものを持っているが，これは地山分類と直接的にリンクしており，両者の間で設計計算等の手続きを基本的には何もやっていないというのが大きな特徴である。

これには地山分類にも問題点があると思われる。トンネルの地山分類では弾性波速度を使っているが，それを除く評価基準には定性的な表現ばかりである。弾性波速度についても，その値から地盤の強度特性や変形特性を直ちに求めるというようなことができないため設計計算というのが，ついなおざりにされがちであるというのが現在の地山分類の位置づけかと思われる。

以上のことを念頭においたうえで以下の章を読んでいただきたい。

Ⅱ 岩盤分類の歴史的経緯⁵⁾

トンネルに関連する地山分類について歴史的経緯の主なものを表－２に示す。

表-2. 岩盤分類の歴史的経緯

- 国鉄，土構造物設計標準，切取土砂岩石分類⁶⁾(1942)
岩種，劣化状態…………… 岩石 6 等級，土砂 3 等級
 - 国鉄，伊崎(1960)，切取岩石分類⁷⁾
上記分類に弾性波速度値を対応づけ…………… 岩石 6 等級
 - 建設省，工藤(1960)，ダム基礎岩盤の分類⁸⁾
亀裂係数による劣化程度の評価…………… 5 等級
 - 国鉄，池田(1969)，岩盤強度分類表¹⁰⁾
岩種，弾性波速度…………… 7 等級
 - 電研・田中(1964)，ダム基礎岩盤の分類⁹⁾
割れ目状況，風化程度，ハンマー打診…………… 4 段階 6 等級
- (道路トンネル)
- 日本道路公団・岩質分類表¹²⁾(1970)
岩種，弾性波速度，劣化状態，ボーリングコアの状態等…………… 5 段階
 - 建設省，掘削分類表¹¹⁾(1971)
同 上…………… 5 段階

当初は岩盤の掘削のやりやすさ、やりにくさという観点からの地山分類として切り取り土砂の岩石分類が国鉄により提案された。トンネル工事においてもこの一般的な土構造物に対する岩盤分類を使ってきたが、トンネルでは前述したように岩石の硬軟だけでなく地山の安定とか荷重としての考え方も取り入れなければならないので問題も多かった。'60年代に入って弾性波探査技術が発達するにしたがって、弾性波速度を使った分類というものがいろいろ提案されてきた。現在は、この弾性波探査に基づく速度を用いた分類を中心とした地山分類がなされている。

道路トンネル関係でいうと日本道路公団では古く'60年頃、名神高速道路のトンネル建設の時代から弾性波速度を使った分類が使われていたが、最初に基準としてでてきたのは、設計要領のトンネル編の中の岩質分類表としてである。これと前後して建設省の掘削分類表も積算基準として出された。これらはいずれも各機関における工事発注のための積算基準として使われてきたということであり、若干使い方が限られていたという面もあった。

Ⅲ 道路トンネルの岩盤分類の現状

地山分類をするうえで評価しなければならない地山の条件は以下の通りである。

- a. 岩石そのものの硬軟および固結度
- b. 断層，破砕帯，節理，層理片理，その他の亀裂の多少
- c. 風化，変質の程度
- d. 膨張性

e. 含水および湧水の程度

これらにある物理的な尺度で判定しなければならない。道路トンネルにおける地山分類では、その判定要素として表-3に示すものを用いている。例えば、表-4は道路トンネル便覧に載っている地山分類であり、地山の判定基準として表-3に示した要素について述べられている。この表は過去の施工事例を集大成して作成されたものである。弾性波速度については各工事現場における弾性波速度の調査結果、ならびにその施工状況から各岩種ごとの速度範囲を求めて表示されている。表-4の判定基準は、表-3の右欄に示したようにいろんな作業の段階毎に選択して使われることになる。はじめにも述べたように地山分類は計画・設計の段階における調査結果、それから施工の段階における調査結果をもとに行うが、事前の予備設計計画の段階では弾性波速度を中心とした分類というものが使われている。それが施工段階になると坑内の観察あるいは地山の安定状況というようなものを主たる評価基準として当初に推定した地山の判定を見直しているという手続きをふんでいる。

表-3. 地山分類の判定要素

判 定 要 素	(計 画・設 計 段 階)	(施 工 段 階)
①. 岩種	○	○
②. 弾性波速度	◎	○
③. 地質状態	○	○
④. ボーリングコア状態	○	○
⑤. ⑥坑内の地山の状態		◎
○ 掘削後の状態		○
○ 湧水状況	○	○
○ 掘削の難易		○

表-4. 地山分類 (道路トンネル便覧¹³⁾, 1975)

岩 質 判 定 基 準						
地山区分	岩種(注)	弾性波速度 (km/sec)	地 質 状 態	ボーリングコアの状態	ハンマーの打撃による岩の割れ方	キレツの間隔および状態
		1 2 3 4 5 6				
A	a		(1) 岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し、層相変化が少く、割れ目がほとんどないもの。	コア採取率は概ね90%以上で完全な性状を呈し、細片は殆んど含まない状態のもの。	ハンマーで強くたたき、強くたたかろうとすると粉砕する面が割れる。	50cm以上、少ない、あっても著希。
	b					
	c					
	d					
B	a		(1) 岩質はかなり堅硬であっても風化作用のため、変質した傾向がみられるもの。キレツには粘土土を含まない。 (2) 岩質は堅硬であるが厚い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%以上で完全な性状を示さないものを有し、多少の細片を含む。コアの大半が10cm以上のものが取れる状態のもの。	ハンマーで強くたたき割れるが、ほとんどがキレツあるいは層理などに沿って比較的大きく割れる。	10~50cm 間口のこともみられるがキレツ面に粘土を含まない。
	b					
	c					
	d					
C	a		(1) 風化作用を受けて岩石に変質をおこしているもの。 (2) 岩質は比較的堅硬であってもキレツが多く小塊状を呈しているもの。キレツは薄い粘土土を含まない。 (3) 層理や片理の顕著な岩で、非常に割れ易い性質のもの。	コア採取率は概ね40~70%で、キレツが多く、またくたけ易いために小さくなり5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。岩石区分c,dのものではコア採取率100%の性状コアがとれる。	ハンマーで容易に割れる。比較的キレツ面などに沿って小片に割れ、むしろキレツ以外の面で割れることが有用である。	2~10cm キレツ面に粘土を含まないことが多い。
	b					
	c					
	d					
D	a		(1) 著しい風化変質作用を受け、中には多少硬い部分が残っているが、一部はすでに土質化した部分からなるもの。割れ目が極めて多いものでキレツ以外の部分からでも容易に割ることができ、層理の顕著なもの。 (2) 粘土化のあまり進んでいない硬質で、粘土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ぶん硬いところも含まれているもの。 (3) 土砂、浮遊地層など。	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、時には角礫状砂状あるいは粘土土となるもの。	ハンマーで容易に割れる。岩はもろく、節理で容易に割れる。キレツ面以外でも容易に割れることができる。	キレツの存在がはっきりしなくなる。
	b					
	c					
	d					
E	a		(1) 著しい偏圧を受けるようなかなり幅を有する断層破砕帯や大きな層理地層など。	粘土土でなければコアの採取は困難である。		

(注) a: 変成岩 (千枚岩、片岩、片麻岩、ホルンフェルス等)

深成岩 (はんれい岩、かんらん岩等)

中生岩 (粘板岩、砂岩、砂岩、硬砂岩、石灰岩、珪岩、輝緑岩等)

c: 第三紀岩 (頁岩、砂岩、硬岩、石灰岩、凝灰岩、角礫岩等、黒曜岩等)

b: 火山岩 (流紋岩、石英斑岩、安山岩、玄武岩等)

凝 岩 (凝岩、ひん岩、輝緑岩等)

深成岩 (花崗岩、閃緑岩等)

d: 第四紀岩 (粘土、シルト、砂、砂、火山灰、浮遊地層等)

また、トンネルの場合には地山分類、すなわち A, B, C, D, E という区分が決まると、あとは表-5 および表-6 に示すように自動的に鋼アーチ支保工の使用量とか、コンクリート覆工の巻厚が決まる。これがすなわち設計であるということになっている。このことは地山分類についても支保工使用量、コンクリート覆工の巻厚についてもこれまでの施工事例の集大成として同時にとりまとめられたということにすぎないことを物語っている。

表-5. 鋼アーチ支保工の使用量の目安¹³⁾

地 山 分 類	内空幅 8.5 m 程度		内空幅 10 m 程度	
	種 類	建込み間隔	種 類	建込み間隔
A	H-150	1.50 m	H-175	1.50 m
B	H-175	1.30	H-175	1.10
C	H-200	1.20	H-200	1.00
D	H-200	0.90	H-200	0.75
E	—	—	—	—

表-6. 設計巻厚の目安¹³⁾

地山分類	設計巻厚	備 考
A	40 cm	施工上可能であれば 45 cm 以下でも良い。
B	"	"
C	60	裏込め注入を行う。支持力の不足する場合および側圧のある場合はインバートを設ける。
D	"	"
E	—	地山の挙動に合わせて設計する。2重巻き、鉄筋コンクリート覆工等、必要により形状を変更する。

注) この表は、鋼アーチ支保工等を用いて掘削し、場所打ちコンクリートにより覆工を行う場合についてのものである。

現在使われている地山分類の問題点としては表-4 に示したように地山区分の境界があまり明確でなく、客観性に乏しいという点がある。このことは要するに経験を積んだ専門家の判断が必要であるということである。しかし、専門家の間にあってもある人がこれだと分類しても、ある人はあれだと分類するなどその判断に主観の入る点が多く、見る人毎に違ってくることにもなりかねない。このように地山分類の評価基準の具体性が欠けているため、客観性が失われがちであるという問題はどうしても残ると思われる。それから弾性波速度という尺度はかなり定量的な値として使われ、分類に利用されているがそれ以外の評価要素については、定性的な表現の域を出ていない。したがって、このようにして得られた地山分類の結果からは設計計算に用いられる諸数値を直接的に得ることができず、詳細な設計検討を行うには限界がある。

また、地山の挙動に関する因子が少ないという問題があげられる。これは施工に伴う地山の判定を見直すときに非常に重要なポイントになるが、そのような評価因子が少ないということが大きな問題であると思われる。

現在使われている地山分類ならびに支保工だとか覆工巻厚の基準というものは、アーチ支保工による掘削工法を前提としたものであり、施工方法が少し変わってくるとまた違った考え方、基準を導入しないと具合が悪いということになる。地山分類を我々が取り扱う場合には岩盤の性状、すなわち現場にあるがままの自然の物理量というものを考慮するとともに掘削するときの岩盤の取り扱い方、すなわち施工法についても評価したうえで、地山分類をしていかないといけない。こういった意味で現在使われている地山分類というのはアーチ支保工を前提としているという点で、それ以外への適用には限度があるといえよう。

道路トンネル便覧を例として説明したが建設省の積算基準、道路公団の設計要領もこれと類似したものである。一方、水路トンネル関係では断面規模がいろいろであるためダムの関係の岩盤分類を使ったり、水公団等各機関独自の基準を使ったりいろいろなものがあるが、基本的には物探による弾性波速度を主とした判定をしていることには変わりがない。

IV 今後の展望

最近のトンネルの掘削方法の変化として、NATM (New Austrian Tunnelling Method の略) すなわち吹付けコンクリートとロックボルトを主たる支保部材としてトンネルを掘削する施工方法が普及している。この工法の原理は吹付けコンクリートとロックボルトを使って地山を補強することにより、地山の緩みとか風化による地山自身の強度劣化を抑え、トンネル周囲の地山が本来有する耐荷能力を積極的に利用することにより地山の安定をはかることにある。従来のアーチ支保工では、重力により落下するあるいは緩んでくる地山の荷重に対して、支保工が下から一所懸命頑張って支えているという概念で設計していた。それがNATMでは地山自身に支えてもらうということで考え方が相当変わってきている。

さらにNATMでは施工中の現場における計測の結果を重視し、これを施工管理に使用している。計測により得られた値が当初予想していたものと合うか否かにより、当初設計の妥当性を確認し、あるいは必要な修正をしていくことが可能である。また施工方法そのものも設計の修正がしやすい支保工法になっている。例えば、ロックボルトの増し打ちとか吹付けコンクリートの増し吹きとかにより柔軟に対応できる。

NATM は、最近非常に普及してきており道路公団では57年度からNATMを標準工法として設計積算して発注するという態勢になっている。そして現在、関連の地山分類とか設計積算の整備を行うべく作業中である。また、国鉄、鉄道公団等の鉄道関係におけるNATMの経験は、道路関係よりさらに古く、NATMで施工している現場もかなりの数になっている。このようにこれからは、NATMを考慮した地山の分類というものを検討していかなければならないと考えている。

表-7は、道路公団がNATMのために作成した地山分類(案)である。この表の中に太線でかこっているところがNATMを考慮して変更した点である。Cランク、Dランクについてさらに細分をしているが、特にDランクのところでは地山強度比という概念を採り入れ、これによって塑性変形をして押し出してくる可能性に対する評価をしている。地山強度比は、そのトンネルを掘削する地点の地山の軸圧縮強度を土被りの高さで単位体積重量の積、いわゆる土荷重、潜在地山応力で割り算したものである。表-8は、この分類に対応した支保構造の標準設計パターンを示したもので、これも経験をもとに暫定案として決めている段階であり、この是非については、データを蓄積しながら修正していくとのことである。国鉄の地山分類でも同様に地山強度比を用いた評価基準を採用している。

各機関においてトンネルの地山分類をNATM用に見えるように見直しを行っているが、これの要点は次のとおりである。一般にトンネルの地圧としては、ゆるみ荷重と押し出し性の地圧とにな

表-7 岩 質 分 類 表 (日本道路公団暫定指針)

岩石区分 (注)	弾性波速度(km/sec) による判定基準	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シ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。 強く叩いてかろうじて割れ 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、破砕質や清水など 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 _I C _{II}	III	a						(1)風化作用を受けて岩石に変質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、またその間隙には薄い粘性土を 挟するもの。 (3)層理、片理の顕著な岩で、非常に薄く割れ易い性質のもの (4)巾の狭い小断面などををさむもの。	コア採取率は概ね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 _I D _{II}	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、もう く、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、いく分硬いとい ころも含まれているもの。 (3)土砂、虚地帯など。	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。	ハンマーで容易に崩れる。 岩はもうく、指先で容易に 割れる。	-	塑性地圧が作用する。 大きな偏圧が作用すること 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)著しい偏圧を受けるような可成り巾を有する断層破砕帯や 大きな虚地帯など。			-	塑性地圧が作用する。 著しい偏圧が作用すること が多い。 塑性範囲>7.0m	
		b											
		c											
		d											
		e											

(注) 岩石区分 a: 玄成岩 (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)
深成岩 (斑れい岩、花崗岩等)
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、輝綠岩等)
c: 火山岩 (石英粗面岩、安山岩、玄武岩等)
脈岩 (石英斑岩、花崗斑岩、玢岩、輝綠岩等)
深成岩 (花崗岩、閃輝綠岩等)

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、角礫凝灰岩、凝灰岩等)
e: 洪積層 (ローム及び粘土、火山砕屑層等)、沖積層 (堆積、表土等)

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 = $\frac{q_u}{\gamma \times H}$

(注) 岩石区分 a: 雲母岩、千枚岩、石英片岩、地質石英片岩、石英片岩、緑色片岩、
片麻岩、蛇紋岩、ホルンフェルス等)
深成岩 (斑れい岩、橄欖岩等)
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、
凝結凝灰岩等)
c: 火山岩 (石英粗面岩、安山岩、玄武岩等)
脈 岩 (石英斑岩、花崗斑岩、玢岩、輝綠岩等)
深成岩 (花崗岩、閃綠岩等)

d: 第三紀層 (粘土質頁岩、地質頁岩、砂岩及び礫岩、石灰岩、凝灰岩、
角礫凝灰岩、集塊岩等)
e: 洪 積 層 (ローム及び粘土、火山砕屑層等)、
沖 積 層 (虚地、淤土等)

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 = $\frac{q_u}{\gamma \times H}$

表-8 NATM用の標準設計パターン（日本道路公団暫定指針）

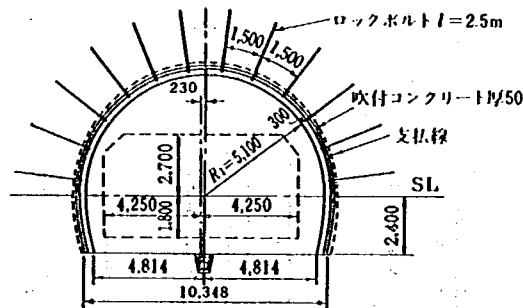
パ タ ー ン	施 工 法	掘 進 長 (上 半) m	ロ ッ ク ボ ル ト		鋼 製 支 保 工		吹 付 け コン クリ ー ト の 厚 さ cm	二 次 覆 工 厚 cm	
			長 さ m	間 隔 m		上 半 部			下 半 部
				周 方 向	延 長 方 向				
B	ベンチカット	1.5	2.5	1.5 (上半部のみ)	1.5	な し	な し	5	30
CⅠ	ベンチカット	1.2	3.0	1.5	1.2	な し	な し	10	30
CⅡ	ベンチカット					H-125	な し		
DⅠ	ベンチカット 核 残 し	1.0	4.0	1.2	1.0	H-150	H-150	15	30
DⅡ	ベンチカット 核 残 し					MU-29	MU-29		

岩質Aについてはその延長比率や岩の程度によって、経済的な施工法の幅が大きいため、標準を定めなかったこととした。

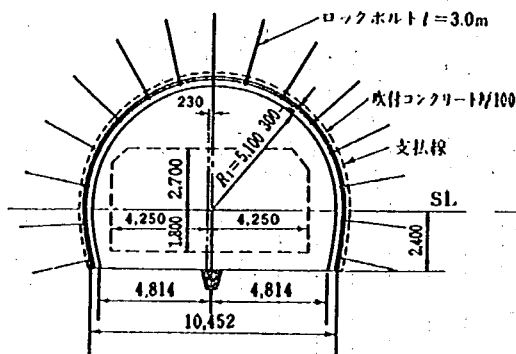
岩質Bについても、その範囲が広いので、個々のトンネルにおいて数値解析結果や類似の地質の施工状況から判断して、個別に検討するものとする。

(参考)

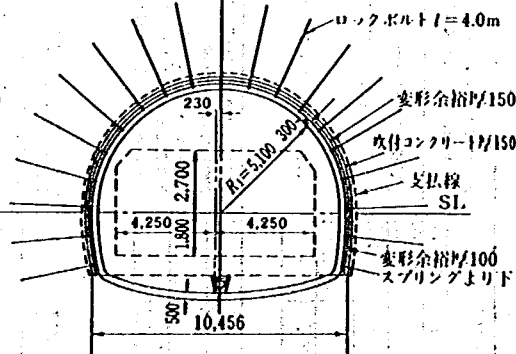
(地山区分B) 吹付けコンクリート 5cm
ロックボルト 12本($l=2.5m$)



(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($l=4.0m$)



るが、NATMは導入の当初に押し出し性、あるいは膨張性を有する地山で非常に効果的に使われてきたというようなこともあって、地山の塑性的な挙動の評価判定に重点がおかれている。このため、初期地圧と地山自身の張度との関連で地山を分類していくというのが現状である。

現在は、まだ地山の一軸圧縮強度と初期地圧との関係である地山強度比のみをパラメーターとしているが、砂質地盤になると内部摩擦角が地山の安定に重要な効果を与えるとして期待される。同

じ地山強度比でも内部摩擦角がある場合とない場合では地山の挙動が非常に違っている。¹⁸⁾これについては、トンネル研究室でも実験等を通じて検討している段階である。

NATMにおいて、施工中の計測が非常に重要な位置を占めていることを述べたが、それを作業のフローで書いたものが図-2である。図の右下の方に「観察・計測」と書いてあるが、これを実行することにより当初設計したものが妥当であったかどうかを検証しながら、それが具合悪ければ修正していくという形で作業を進めていくことになる。これは従来のトンネルの設計、施工法における基本的な考え方とまったく同じであるが、設計のやり方がかなり具体的に示されているところが違う。表-9に施工中の計測内容を目的別に示している。計測は大別して日常の施工管理のために必要な計測と、将来の設計の合理化のためのデータを蓄積する計測とがある。日常の施工管理の計測の中で坑内観察というのは従来のどんな工法でもやっているもので、特に変わったことではない。次の内空変位計測は、一連の計測の中でも特に重要である。これはトンネルの中で、例えば対向した側壁に2つの標点をおいて側壁同志の縮み、すなわち、トンネル内空側へ押し出してくる変位量を測ることである。あるいは、アーチクラウンにも標点をおいて三角形のトラバースを組んで、それぞれの相対変位を調べるというようなことを行うことである。この計測により当初設計で考えていた変位量と比べて、どうかというようなことでフィードバックをかける、そして必要ならば支保工の増強をするということが行える。その他にロックボルトの引抜試験とか、軸力測定とかを行うが、これは施工した支保工材が当初考えていた機能を有しているかのチェックであるので、若干目的を異にする。

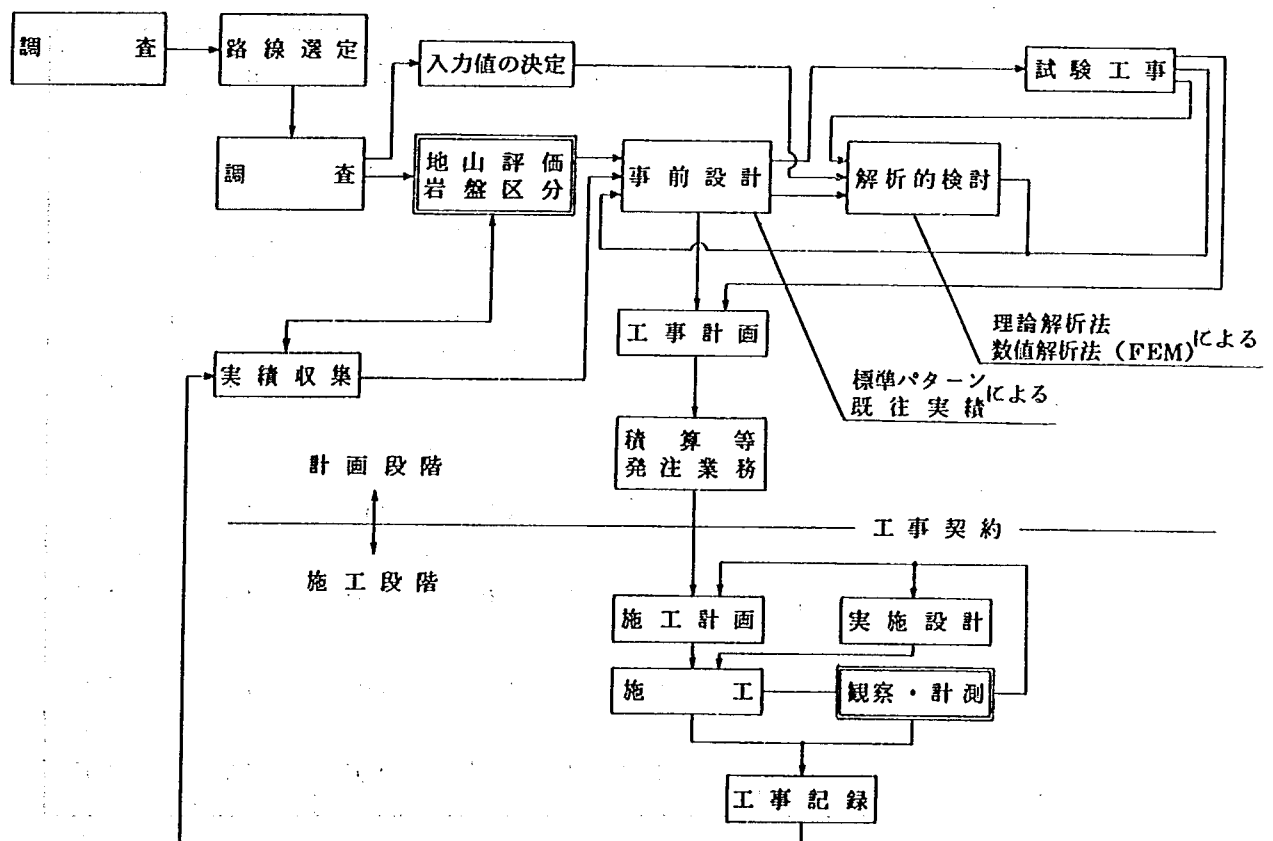


図-2. トンネル工事の作業の流れ²⁰⁾と NATM の計測

表-9. NATMにおける計測項目

a. 日常の施工管理の指標を得るための計測
・坑内観察
・内空変位計測
・天端沈下測定(土被りが薄い場合)
・ロックボルトの引抜試験
・ " 軸力測定
b. 設計資料の蓄積のための計測(設計へのフィードバック, 標準パターンの検証)
・地山試験試料
・地中変位測定
・覆工応力測定
・地表・地中沈下測定, その他

V 岩盤分類と力学的物性値

表-10は地山分類と地山物性値の目安として非常におおざっぱに示したものである。この表は、我々が使っている地山分類と力学的物性が、どんな関係にあるかというのを極めてマクロに見て表わしたものであり、これ自身をそのまま設計とか計算に使うわけにはいかないが、大体こんなオーダかという程度に把握するためには、参考になると思われる。

表-10. 地山物性値の目安^{16), 17)}

道路トンネルの 地 山 分 類			E	D	C	B	A
弾 性 波 速 度 km/s			2	3	4	5	
強 度 特 性	岩 石	一 軸 圧 縮 強 度 km/cm ²	<100	100	500	1000	1000<
		内 部 摩 擦 角 °	—	20 30 (粘性地山)	40	50	
				30~40 (砂質地山)			
変 形 特 性 kg/cm ²	岩石	弾 性 係 数 (コ ア 試 験)	<10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵
	岩 盤 守 法 30 ~ 80 cm	弾 性 係 数 (平板載荷試験)	<10 ³	10 ³ ~10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵
		変 形 係 数 (平板載荷試験)	<10 ³	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
		弾 性 係 数 (孔内載荷試験)	<10 ³	10 ³ ~10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵

次に、解析検討のための地山の物性値の決定方法についてふれる。これは理論解析、あるいは数値解析を通じて設計検討を行うために、地山物性をどのように決めていくかということであり、以下に3つの方法について述べる。

a. 地山分類から推定する方法

地山分類から推定する方法としては、地山分類の評価項目として弾性波速度以外に定量的なパラメーターはないので、弾性波速度を基礎とするしかすべはない。しかし弾性波速度にしても強度特性、あるいは変形特性等と相関はあるものの必ずしも十分な精度で得られるものではない。例えば、図-3のように（これは花崗岩の例）横軸の弾性波速度が仮に分ったとしても、力学的物性値がいくらになるかを導きだそうとするには、あまり幅がありすぎて実際には使いものにならないというのが現状である。手法としては、残されるかもしれない現状では実際的ではない。

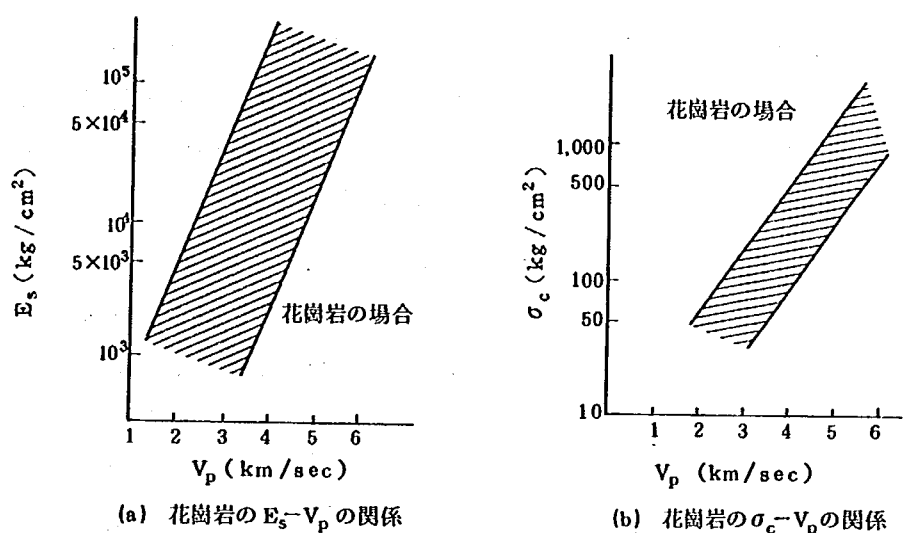


図-3. 弾性波速度と弾性係数、一軸圧縮強度の関係¹⁵⁾

b. 地山分類のための調査成果の他、各種力学試験の結果を用いて推定する方法

これは、弾性波速度以外にボーリングコアから得られるデータや室内試験結果を積極的に集めて、その物性値を使って計算の入力を決める方法である。これは、現在とられている実地的な方法の一つである。特殊な地山、例えば土被りが非常に深いとか、偏圧が作用する地形であるとか、あるいは地表沈下を与える影響を考慮しなければならない場合、隣接してトンネルが存在する、あるいは他の構造物が存在するような場合等、これらの場合には設計計算等により、合理的な設計・施工を決定しなければならない。現在、我々が設計計算に使っている道具としては、FEMによる数値解析が主流である。その他にも理論解析とかラベセビッツが提案した方法等があるが、これらは非常に単純なモデル化をしなければならないので、設計・施工上の複雑な要素を十分表現しえない。このためFEMが使われるのが一般的である。この際、計算のための入力データは、たとえば地山の資料による単位体積重量、一軸圧縮試

験，三軸圧縮試験，弾性波速度測定等から得られた値を参考として決めている。なお，現場でのボーリング孔内載荷試験が行われることもある。いずれにしても，これらの試験をやることは非常に費用のかかることであり，一般にはトンネルの中でも特に問題があるときに限ってやっているというのが現状である。

c. 地山挙動の実測定値を用いて推定する方法

前述の地山資料試験の結果からのデータはサンプルした場合，あるいは試験の方法等でのバラツキがあるため，入力データの仮定が現実とかなりずれる場合が多いようである。これを補正するため，この方法では図-4で示すような手続きがとられる。まず，前述のbの手法により事前の調査等をもとに地山物性値を仮に定めて設計・施工を行う。そして，施工中に得られた計測値が真の値であるとの前提のもとに，当初の設計値との食い違いは，仮定した地山の物性値が適当ではなかったとして，逆に地山物性値をどのように修正すれば合うのかという具合に，逆算により推定するやり方である。この方法は，例えば導坑を施工したのち上半等の切り広げにより，本坑の建設をやるような場合に導坑断面の施工の際に，物性値の修正を施したのちに本坑の設計を行うとか，あるいは類似地山条件で試験施工区間を設けて，そこで計測した結果をもとに修正した地山物性値等を用いて本坑の設計・施工の検討の際に適用して，解析精度を向上させるといった使い方がされている。実際の岩石，あるいは岩盤の力学試験から直接的に地山物性値を類推するということには限界があり，これについてはこれからも詰めていかなければならないと考えるが，当面トンネルではこのような逆解析という手法により合理性を向上させる工夫もされていることを紹介した。

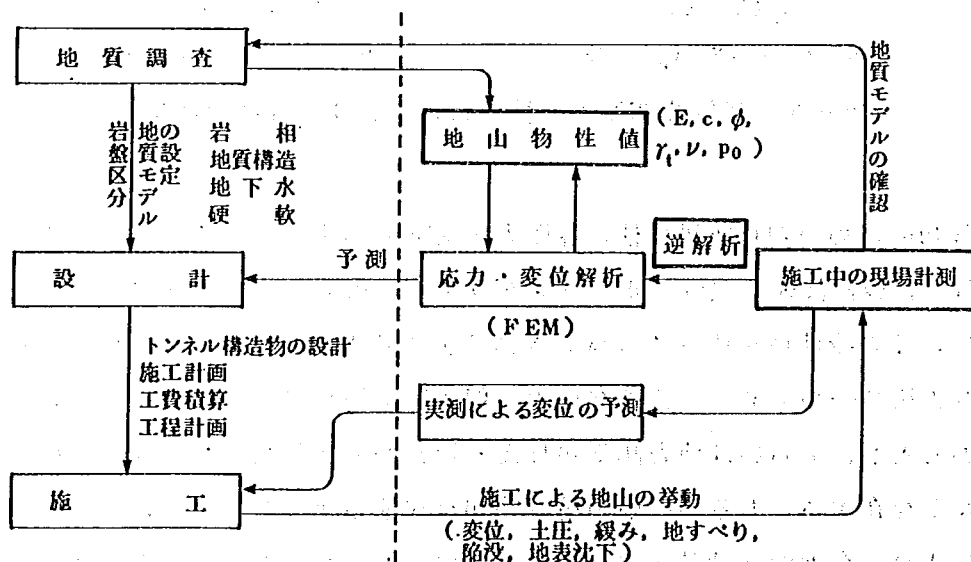


図-4. トンネルにおける調査・計測・解析の流れ⁴⁾

トンネルでは、膨張性地山の判定が大きい問題である。これについては問題が大きいだけに、これまでにもかなりの調査がなされており、どういうパラメーターを使えば膨張性の判断ができるだろうかという試行がいろいろされている。その結果は、多くの文献に書かれているので細かい説明は省略するが、その中で採られているパラメーターとしては、単位体積重量、自然含水比等の岩の状態を示すパラメーター、一軸圧縮強度、変形係数等の地山の強度を表わすパラメーター、それから液性限界、塑性指数等の構成粒子を示すパラメーター、その他に粘土鉱物等の化学的性質を表わすパラメーターがある。

VI おわりに

トンネルにおける地山の分類は、かなり定性的なものが多くそれを補うために専門家を必要としており、その結果、判断という主観が入りこむ余地がかなり大きくなっている。今後は、できるだけ客観的な地山分類ができるような地山の評価項目を作り上げていくこと、それも計画あるいは設計の段階から施工まで一括して使えるような地山分類を作り上げていかなければならない。

現在、いろいろな調査が行われているが、実際にトンネルを掘削した際、事前調査の結果が合っていたとか間違っていたとか、あるいはもう少しこういう観点から整理した方が良いのではないかということが、当然でてくるはずである。そういった意味での現場での調査と実績とのデータの関連付けというものを積み重ねていく必要があり、それを通じて地山評価項目が適当であるか否かを、その中から取捨選択していくことが重要な課題になっていくと思われる。

参 考 文 献

- 1) I TA 契約部会契約対策小委員会幹事会, トンネルの岩盤分類, トンネルと地下, Vol. 11. No. 5 (1980)
- 2) I TA 契約部会契約対策小委員会幹事会, トンネル地山評価の現状と問題点(1), トンネルと地下, Vol. 13. No. 2 (1982)
- 3) I TA 契約部会契約対策小委員会幹事会, トンネル地山評価の現状と問題点(2), トンネルと地下, Vol. 13. No. 3 (1982)
- 4) I TA 契約部会契約対策小委員会幹事会, トンネル地山評価の現状と問題点(3), トンネルと地下, Vol. 13. No. 4 (1982)
- 5) 岩盤力学委員会第二分科会, トンネル岩盤分類の考え方, 土木学会誌, Vol. 64. No. 12 (1979)
- 6) 広田秀一, 鉄道地質学 (1942)
- 7) 伊崎 晃, 地震探査によるトンネルの地質調査, 物理探鉱, Vol. 13. No. 1 (1960)
- 8) 工藤慎一, ダム基礎岩盤の調査, 土木技術資料, Vol. 2. No. 3 (1960)
- 9) 田中治雄, 土木技術者のための地質学入門, 山海堂 (1964)
- 10) 池田和彦, トンネルの岩盤強度分類, 鉄道技術研究報告, No. 695 (1969)

- 11) 建設省, 官技発 第 31 号 (1971)
- 12) 日本道路公団, トンネル設計要領 (1970)
- 13) 日本道路協会, 道路トンネル便覧 (1975)
- 14) 土木学会, NATM の手引書, (作成中)
- 15) 鈴木 光, 岩盤の計量と解析
- 16) 日本道路公団, 岩盤に関する調査試験法と力学的定数,
試験所技術資料, No. 606 (1981)
- 17) 今田, 他, 孔内載荷試験の室内試験と現場計測, 土研資料, No. 1563 (1980)
- 18) T. Konda, et al, Three-dimensional Model Tests on Soft Ground Tunnels,
TSRM Symp. (1981)
- 19) L. Muller, トンネル工事における土质地質学および岩盤力学, トンネルと地下,
Vol. 13, No. 11 (1982)
- 20) 日本トンネル技術協会, トンネル掘削によるゆるみ領域の調査報告書, (1982)

質 疑 応 答

根岸（北海道）： NATM では現場計測が非常に重要視されるとのことですが、一般に施工後どれくらいの期間観測すればよいと考えられるのですか。

水谷（土研）： 地質によって異なるので一概にはいえませんが、一般には計測結果が収斂するまで計測を継続するのが基本的な考え方です。掘削直後は、例えば、1日に1回という頻度で計りますが、その後はその動きを見ながらその計測頻度をとばしていくことになります。

根岸： 変位が出てくる場合、収斂までという考え方で良いと思うのですが、すぐ変位が出てこない場合にどのくらい観測して次に移ったら良いのでしょうか。

水谷： 実験等の結果によれば、地質にもよりますが、切端から掘削断面幅（又は直径）の1～2倍から5倍以上離れると切端での応力再配分の影響がなくなりますので一応安定した考えでよいのではないのでしょうか。なお、計測して動きがないというのは、むしろ設計が過大ではないかという疑いをもって再検討してみるということの方が重要だと思います。

中根（中部）： 地山分類から自動的にロックボルトの長さとか間隔などのパターンが決められています。これには地震の影響が加味されているのでしょうか。

水谷： トンネルの設計においては、坑口部の特殊なところを除いて耐震設計をやっていません。一般的にいわれていますが、地中に入るに従って地震動の影響が少なくなります。過去の地震災害をみましてもトンネルの被害は一般的に少なく、さらにトンネルの奥の方で被害を受けているのは非常に稀であります。トンネルで地震の被害を受けているのは主として坑口部であります。坑口部がその周辺の斜面の崩壊とともに持ちさられるという事例が大部分です。これは斜面の安定としてとらえるか、トンネルの設計として対策を検討するかという問題かと思います。現時点におきましては、トンネルサイドでは地震の影響というのは考慮しておりません。したがって、NATM におきましても地震に対する配慮は必要ないと思います。

1. 1940年10月1日，日本帝国主义侵略军占领了南京，这是中国历史上最黑暗的一天。在南京，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。在南京，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。在南京，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。

2. 1941年12月7日，日本帝国主义侵略军偷袭了珍珠港，这是美国历史上最黑暗的一天。在珍珠港，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。在珍珠港，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。在珍珠港，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。

3. 1945年8月15日，日本帝国主义侵略军无条件投降，这是中国历史上最光明的一天。在日本，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。在日本，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。在日本，日本帝国主义侵略军犯下了滔天罪行，无数无辜平民被杀害，无数财产被掠夺。

4. 1949年10月1日，中华人民共和国成立，这是中国历史上最辉煌的一天。在中国，中华人民共和国成立，这是中国历史上最辉煌的一天。在中国，中华人民共和国成立，这是中国历史上最辉煌的一天。在中国，中华人民共和国成立，这是中国历史上最辉煌的一天。

5. 1979年1月1日，中美两国正式建立外交关系，这是中美关系史上最重要的事件。在中美关系史上，中美两国正式建立外交关系，这是中美关系史上最重要的事件。在中美关系史上，中美两国正式建立外交关系，这是中美关系史上最重要的事件。在中美关系史上，中美两国正式建立外交关系，这是中美关系史上最重要的事件。

6. 1989年6月4日，北京发生了六四事件，这是中国历史上最血腥的一天。在北京，发生了六四事件，这是中国历史上最血腥的一天。在北京，发生了六四事件，这是中国历史上最血腥的一天。在北京，发生了六四事件，这是中国历史上最血腥的一天。

7. 1997年7月1日，香港回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。在香港，香港回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。在香港，香港回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。在香港，香港回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。

8. 1999年12月20日，澳门回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。在澳门，澳门回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。在澳门，澳门回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。在澳门，澳门回归祖国，这是中国历史上最激动人心的一天。

9. 2001年11月9日，美国发生了9·11恐怖袭击事件，这是美国历史上最黑暗的一天。在美国，发生了9·11恐怖袭击事件，这是美国历史上最黑暗的一天。在美国，发生了9·11恐怖袭击事件，这是美国历史上最黑暗的一天。在美国，发生了9·11恐怖袭击事件，这是美国历史上最黑暗的一天。

10. 2008年5月12日，中国发生了汶川大地震，这是中国历史上最惨痛的一天。在中国，发生了汶川大地震，这是中国历史上最惨痛的一天。在中国，发生了汶川大地震，这是中国历史上最惨痛的一天。在中国，发生了汶川大地震，这是中国历史上最惨痛的一天。

11. 2011年3月11日，日本发生了东日本大地震，这是日本历史上最惨痛的一天。在日本，发生了东日本大地震，这是日本历史上最惨痛的一天。在日本，发生了东日本大地震，这是日本历史上最惨痛的一天。在日本，发生了东日本大地震，这是日本历史上最惨痛的一天。

12. 2015年7月31日，中国发生了马航MH370失联事件，这是中国历史上最神秘的一天。在中国，发生了马航MH370失联事件，这是中国历史上最神秘的一天。在中国，发生了马航MH370失联事件，这是中国历史上最神秘的一天。在中国，发生了马航MH370失联事件，这是中国历史上最神秘的一天。

13. 2019年12月31日，中国发生了新冠疫情，这是中国历史上最严峻的一天。在中国，发生了新冠疫情，这是中国历史上最严峻的一天。在中国，发生了新冠疫情，这是中国历史上最严峻的一天。在中国，发生了新冠疫情，这是中国历史上最严峻的一天。

2-3 斜面における岩盤分類とその現場への適用

土木研究所砂防部
部長 安江朝光

斜面における岩盤分類とその現場への適用

まえがき

斜面や切土のり面についても岩盤分類が種々提案されている。実際の適用に当っては、斜面安定に関する基本的な考え方や対策工の設計、施工の現況を十分理解することが大切である。ここでは、これらをふまえて、斜面における岩盤分類について述べてみたい。

1. ダムと斜面での岩盤分類の位置づけの違い

ダムでは、ダムサイト全域の調査より岩盤分類による表示を行ない、一方岩盤分類と原位置岩盤試験結果とを対応づけることによって、最終的には岩盤の工学的性質をダムサイト全域にわたって示す工学的地質図を作成し、これによりダムの安定等設計に必要な検討を行なっている。

これに対して、斜面では、切土により表面に表われた地山の観察より、例えば標準のり面勾配の表に示されるようなある種の岩盤分類を当てはめることにより、のり面の勾配や形状を決める際の目安を得ているのが現状である。ダムと斜面で、なぜこのような差ができるかについて若干考えてみたい。

まず、ダムの岩盤は岩盤の載荷段階 (loading stage) の問題であり、これに対して斜面の岩盤は除荷段階 (unloading stage) の問題である。ダムでの原位置強度試験は、垂直荷重をかけたブロックを側方より水平荷重 (せん断荷重) をかけることにより、せん断する載荷段階での岩盤試験である。数多くの試験結果から岩盤分類と対応させて整理した報告がなされている。図-1は、その代表的な一例である。この表によると、例えば、 $C=50 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ という設計値を有する岩盤は $C_m \sim \ell$ クラスに相当し、ダムの基礎岩盤としては必ずしも良くない。一方、図-2は、ひとりの高さ 7 m、勾配 5 分、が 5 段で全体で高さ 35 m、各小段幅 1.5 m の切土のり面に対して、有限要素法による計算を行ない、最小の点安全率を 1.0 にしたケースで、これに対応する岩盤の強度は $C \approx 1.5 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ である。以上のことより、単純に考えると、 $C_m \sim \ell$ クラスの岩盤に対して、 $C=50 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ とかなり強度を低目に見積っても、この岩盤より成るのり面は、相当安全なはずである。しかし、この様な岩盤であっても、斜面では実際に崩壊が発生することがある。ここに岩盤斜面の難かしさがあるが、その 1 つは、先に述べた載荷段階 (loading stage) の差であろうと考えられる。すなわち、除荷 (応力解放) によるゆるみ、風化、これにより生ずる強度低下の問題であろう。また、斜面崩壊は、崩壊して初めて分かる様なその斜面だけに特異な要素 (critical factor) に支配される傾向があるが、一見一様に見える岩盤中のわずかな力学的不連続面があり、これが崩壊発生に関与するケースもあろう。

斜面では、単位面積当りの調査費が一般にダムに比べて少なく、また反力がとりにくいことからダムで通常実施されている原位置岩盤強度試験が行なわれることはまれである。また、例え同様な試験が実施されたとしても、実際の斜面での現象が除荷段階のものであるので、試験結果をダムで行なわれているような形で関連づけることが困難である。

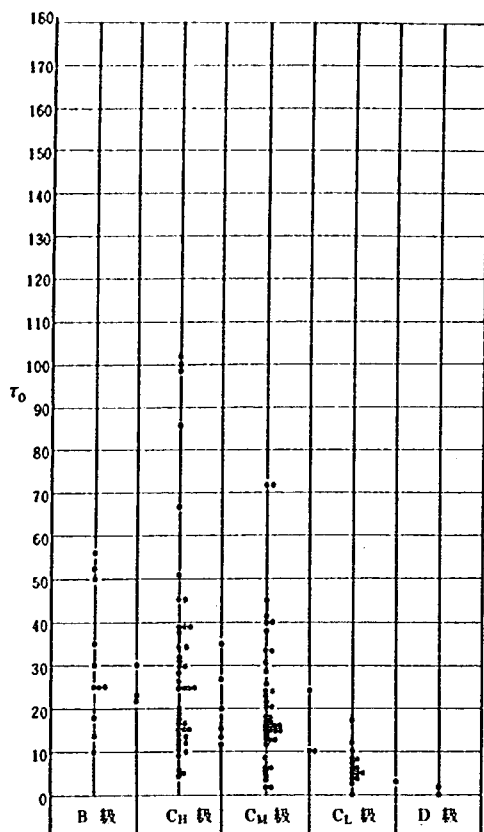


図-1(a) 岩級別の c の分布
(槽谷による)

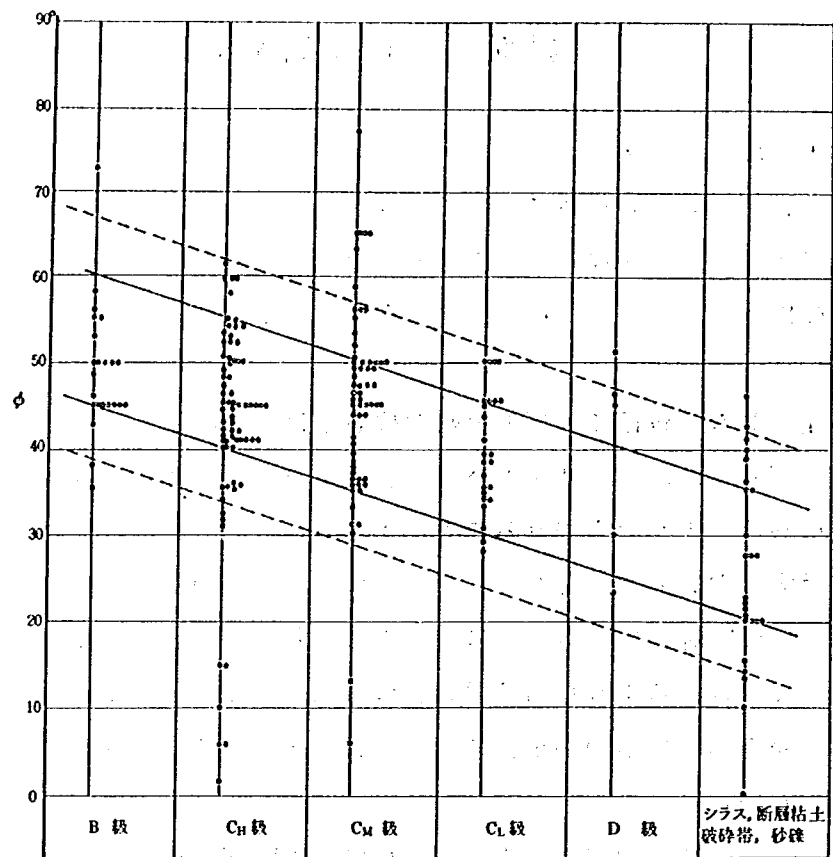


図-1(b) 岩級別の ϕ の分布 (槽谷による)

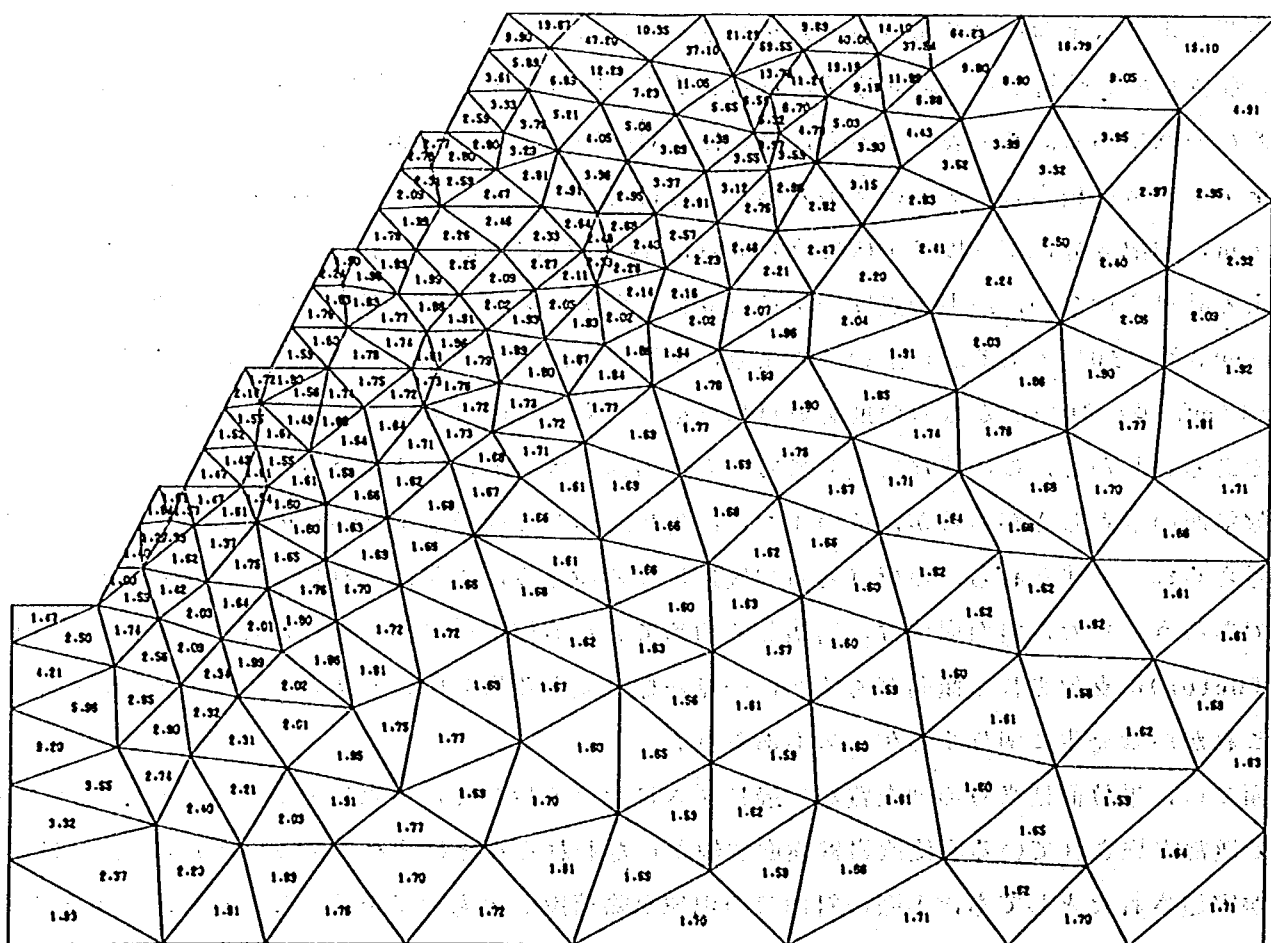


図-2. 岩盤のり面の点安全率分布

以上述べた理由でダムと斜面での岩盤の取扱いや、岩盤分類の位置づけが変ってくると考えられる。

2. 斜面、のり面での岩盤調査の流れ

調査の流れを図-3に示す。基本的には資料調査、現地踏査、地盤調査などの結果を経験、既往資料あるいは標準のり面勾配に照らして、技術的判断(Engineering Judgement)を行なうというのがその主流であり、計算はこの際の補助手段として使われるのが一般的である。

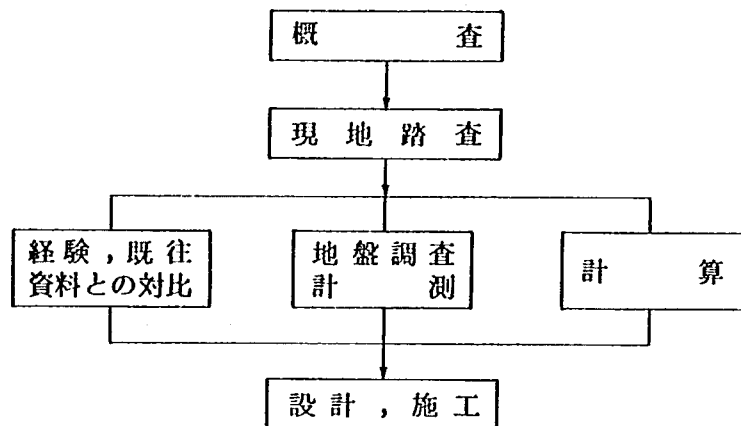


図-3. 斜面、のり面での岩盤調査の流れ

斜面切取り工事に際して事前にどのような点に着目して調査をすればよいのかについて整理する。

(1) 工事を行なう箇所はもともとどんな所かを把握する。

素因； 地形、地質について、次の手順で調査する。

(i) 斜面の地質調査と履歴解析；どのようにして現在の斜面ができたかについて地質的、地形的解釈をたてる。斜面の地質によって、どんな崩壊が起こるかは経験的に分かることが多い。たとえば、風化花崗岩からなる斜面では、表面流水や浸透水によってマサ土が滑落するものがほとんどである。近傍の斜面で過去に崩壊したものがあればそれと比較対照する。また、近くの斜面の災害記録についても調べ対象斜面と比較対照する。

(調査の着眼点)

- | | | |
|--|---|---|
| (ii) 現地踏査 (踏査時の観察)
(iii) 地盤調査 (ボーリング, サウンディング, 弾性波探査) | } | ☆ 1. 地質構造 (当該斜面を含む周辺の地質構造)
☆ 2. 土質, 岩質の評価 (土の種類, 岩の種類, 風化の程度, 破碎の程度, 土の締め具合, 岩の固結度)
☆ 3. 不連続面 (強度および透水, 浸透に関する不連続面) |
|--|---|---|

誘因； 自然力による斜面崩壊の誘因について次の手順で調査する。

(調査の着眼点)

- | | | |
|--|---|--|
| (i) 現地調査 (調査時の湧水箇所, 状況などの観察)
(ii) ボーリング (水位観測, 地下水検層も含む)
(iii) 電気探査 (透水層の位置, 分布など)
(iv) 地下水調査 (地下水追跡調査, 水質調査など) | } | ☆ 4. 地表水の流入の状況
☆ 5. 地下水の状況
☆ 6. 地震力の状況 |
|--|---|--|

(2) それにどんな人手 (切土) を加えるか

☆ 7. 切土, トンネル掘削, 盛土により斜面のどの部分が不安定になるか。(切土量, 切土位置,

岩種、地質状況、水道の変化に関連して、どこがどの程度安定度が減少するか)

☆8. 切土により流れ盤になっている層理面などの不連続面が斜面の表面に出てこないか。

(3) もし崩壊するとすればどんな要因でどんな崩壊形態になるか。— 素因 (☆1, ☆2, ☆3), 誘因 (☆4, ☆5, ☆6), 切土 (☆7, ☆8) により崩壊形態と安定度を想定する。

このような斜面、のり面の調査の流れにおいて、岩盤分類は、経験や既往資料の一般化、客観化するものとして位置づけられる。したがって、現地調査に際して岩盤分類を用いることにより、調査結果を客観的なものにすることができる。

3. 斜面、のり面での岩盤分類の例

まず指針的なものの代表として、のり面工・斜面安定工指針 (日本道路協会) にある地山の土質に対する標準のり面勾配 (表-1) があげられる。各種の指針や基準にある標準のり面勾配を比較したものを表-2 に示す。

表-1. 地山の土質に対する標準のり面勾配

地 山 の 土 質		切 土 高	勾 配
硬 岩			1:0.3 ~ 1:0.8
軟 岩			1:0.5 ~ 1:1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1:1.5 ~
砂 質 土	密実なもの	5 m 以下	1:0.8 ~ 1:1.0
		5 ~ 10 m	1:1.0 ~ 1:1.2
	密実でないもの	5 m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10 m	1:1.2 ~ 1:1.5
砂利または岩塊まじり砂質土	密実なもの、または粒度分布のよいもの	10 m 以下	1:0.8 ~ 1:1.0
		10 ~ 15 m	1:1.0 ~ 1:1.2
	密実でないもの、または粒度分布の悪いもの	10 m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		10 ~ 15 m	1:1.2 ~ 1:1.5
粘 性 土		0 ~ 10 m	1:0.8 ~ 1:1.2
岩塊または玉石まじりの粘性土		5 m 以下	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10 m	1:1.2 ~ 1:1.5

注: シルトは粘性土に入れる。

上表以外の土質は別途考慮のこと。

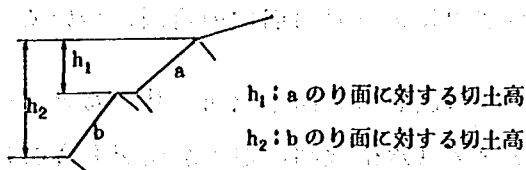


表-2. 各種指針等での標準のり勾配

岩質・土質		切土高	急傾斜地崩壊防止工 事技術指針, ①, ②	国鉄土構造物 設計施工指針	道路技術基準	改正労働安全 衛生規則解説	横浜市宅地造成工 事設計施工基準
岩盤	硬岩		1:0.3~0.8 (0.5)	1:0.3~0.8 (0.5)	1:0.1~0.3 (0.2)	0 垂直 5 m 75° ↓ (約 0.3)	
	中硬岩		1:0.5~1.2 (0.8)	1:0.8~1.0 (0.9)	硬 1:0.3~0.6 ↓ 1:0.5~1.0 軟 (0.6)		0 80° 5 m 60°
	軟岩			1:0.8~1.2 (1.0)	硬 1:0.3~0.6 ↓ 1:0.8~1.2 軟 (0.7)		0 50° 5 m 40°
堅く締まった土砂・普通土	礫土 混じり	0	1:0.8~1.0 1.0~1.2 (1.0)	1:1.0 } 1:1.5 (1:1.3)	1:1.0	0 垂直 2 m 75° 5 m 60° ↓	0 45° 5 m 30°
		5					
		10 m					
	砂・質土	0	1:0.8~1.0 1.0~1.2 (1.0)		1:0.8~1.0 ↓ 1.0~1.5 (1.1)		
		5					
		10 m					
	粘質土・粘	0	1:0.8~1.0 1.0~1.2 (1.0)				
		5					
		10 m					
締まっていない土砂・くずれやすい土砂	礫土 混じり	0	1:1.0~1.2 1.2~1.5 (1.2)	1:1.5~1.8 (1.6)	1:1.2 (1.2)		0 45° 5 m 30°
		5					
		10 m					
	砂・質土	0	1:1.0~1.2 1.2~1.5 (1.2)	1:1.5~1.0 (1.6)	1:1.5 (1.5)		
		5					
		10 m					
	粘質土・粘	0	1:1.0~1.2 1.2~1.5 (1.2)	1:1.5~1.0 (1.6)	1:1.0~1.5 ↓ 1.5~2.0 (1.5)		
		5					
		10 m					
	岩塊混じり 粘質土	0	1:1.0~1.2 1.2~1.5 (1.2)				
		5					
		10 m					

注 1) () 内数字は平均的勾配

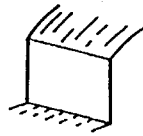
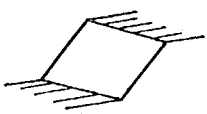
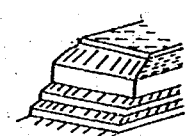
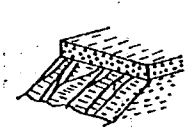
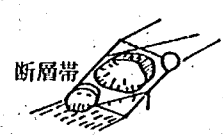
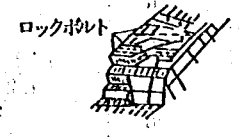
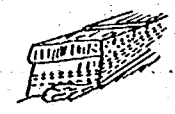
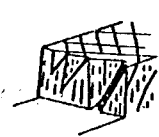
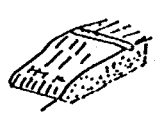
2) ①「のり面工, 斜面安定工指針」 ②「河川砂防技術基準(案)(急傾斜)」

次に, これまでいろいろな角度から種々の岩盤分類が提案されているので, これを整理する。

(1) Duncan, Goodmanによる斜面掘削のための岩盤分類¹⁾

表-3にDuncan Goodmanの提案した斜面掘削のための岩盤分類を示す。これは, 斜面を構成する岩盤の分類というよりも, 岩盤斜面の形態分類に近いものである。

表-3. 斜面掘削のための岩盤分類 (Duncan, Goodman, 1968)

分類形式		特性	対策等
連 続 性 岩 盤	(1) 均質硬岩盤	コンクリート程度の強度を持ち、不連続面、化学的弱点もない	かなりの高さの鉛直切取りにも安定 
	(2) 均質軟岩	コンクリートよりはるかに弱い岩盤、不連続面、化学的弱点はない	切取り安定角は高さに依存する。土質力学の手法を用いる。 
	(3) 段丘状岩盤	硬い岩盤から軟らかい岩石の水平互層。化学的に安定	安定角は各層で異なる。地下水の分布に特徴がある。軟らかい層が全体の安定を決める。 
	(4) 崩壊性岩盤	弱線はないが風化で破壊する。柱状節理のある岩盤、砕けやすい砂岩、礫岩、細かく割れた頁岩	斜面尻は崩落物で覆われる。ベンチ、擁壁が必要 
	(5) スランピング岩盤	変質した、あるいは軟らかい粘土質岩、大きな断層帯、モンモリロナイトを含む頁岩、熱水変質を受けた所	擁壁、あるいは石積および水平排水溝を必要とする。維持補修をひんばんにする必要がある。 
	(6) 層状岩盤	斜面にほぼ平行な平面状の弱面群を持つ硬質岩、花崗岩の一部	自然斜面が 30°より急であれば層状節理系よりの排水が必要。ロックボルト層の間を結ぶことができる。 
非 連 続 性 岩 盤	(7) スラブ状岩盤	岩盤の強度が左右されるような不連続面を有する硬岩シルト質頁岩	スラブが流れ目で、かつ摩擦角 ϕ より急な場合、支えが必要。 ϕ は直接セソ断と野外観察で決める。 
	(8) バットレス状岩盤	岩盤強度を左右する2系列の不連続面を持つ硬岩、弱面の交角がバットレスの形状を決める	左記交線の方向が 30°より急でかつ斜面を切り取ったときは岩塊安定のためにベンチまたは擁壁が必要 
	(9) 塊状化岩盤	3系列以上の弱面群を持つ硬岩	落石をためるためのベンチが必要。節理が特に弱い場合は金網、モルタル吹付けが必要 
	(10) 片岩状岩盤	片理面、一般に強く傾くときは岩盤の動きはこれに支配される。雲母片岩千枚岩および粘板岩	スランプ状のスベリを生ずるクリープが、岩体の変形に従って生ずる。特に岩石が強い風化を受けたとき、または片理が雲母状であるときは著しい。 

(III) 村上・宮内の岩盤分類²⁾

村上・宮内は花崗岩類の自然斜面について、岩盤の状態と勾配の実態を調査し、表-4に示す岩盤分類（花崗岩類）を提案した（図-4参照）。

表-4. 花崗岩類の風化区分基準

風化区分	細分	風化の状況	弾性波速度* (km/sec)	備考
D 岩盤	D ₂	完全に変質したマサ状の軟弱な岩盤、砂質なものから粘土質なものまでであるが、ショベルで容易に掘削しうる。	1) 0.75 ~ 1.3	土砂として扱うべきか？
	D ₁	岩形を残すが、岩塊中心部まで一様に変質、割れ目はほとんど消滅、所々に未風化な岩石を残すことがある。	2) 0.8 ~ 1.8	
O 岩盤		淡黄褐色を呈し、割れ目沿いの相当範囲が風化。全般に割れ目は開口し、ゆるんでいる。	1) 1.5 2) 1.8 ~ 2.0	
A ~ B 岩盤		割れ目沿いの風化は認められるが、岩石そのものは新鮮、硬質、割れ目沿いのゆるみは少ない。	1) 3.7 ~ 3.8 2) 4.0 ~ 4.2	ほとんど崩壊箇所はない。

* 1) 愛媛県石手川ダム

2) 香川県府中ダム

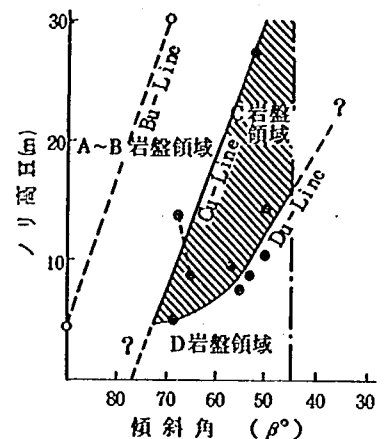


図-4. 風化区分別の限界勾配線

(III) 宮島の岩盤分類³⁾

宮島は四国地方の岩盤を対象に、踏査時の観察による岩盤分類を行ない、切取時の土工及びのり面の設計勾配に結びつけてこれを整理した（表-5）。

表-5. (a) 岩盤分類

岩盤区分	岩質	切取り作業難易の程度	代表岩石	左と同程度のもの
岩Ⅰ	第三紀の岩石で固結度の低いもの、風化のはなはだしいぜい弱なもの、風化岩の場合は一般に割れ目間隔5cm以下で割れ目は開いている。	つるはしで掘り起こする程度、一部はショベルでも可能、機械施工可能。	頁岩 (第三紀新期)	蛇紋岩、凝灰岩、砂岩(第三紀新期)、その他風化の著しいもの。
岩Ⅱ	第三紀の岩石で固結度のかかなり高いもの、指先では壊せない。風化岩の場合は割れ目は開口気味で緩んでいる。割れ目間隔は一般に5~10cm程度。	発破とつるはしあるいはリッパーとの併用を必要とするもの。薬量(ダイナマイト)0.08kg/m ³ 程度。	凝灰岩	蛇紋岩、凝灰角礫岩、砂岩、頁岩、その他の風化したもの。
岩Ⅲ	第三紀の堆積岩で最も固結度の高いもの、ハンマーの打撃で容易に壊しうる。	すべて発破による。薬量0.12kg/m ³ 程度。	集塊岩	蛇紋岩、砂岩、頁岩(第三紀以前のものを含む)結晶片岩の一部。
岩Ⅳ	第三紀~第四紀の多孔質安山岩のように、特に堅硬とはいえないが、相当の硬さをもつもの、花崗岩の風化部では割れ目はほぼ密着し、間隔20~50cm程度。	同上 薬量0.16kg/m ³ 程度。	石灰岩	粘板岩、安山岩、玄武岩、結晶片岩、その他軽度の風化岩。
岩Ⅴ	花崗岩の未風化部のように堅硬で良好な石材として利用しうる。割れ目は一般によく密着し、割れ目間隔は50cm前後。	同上 薬量0.20kg/m ³ 程度。	花崗岩	閃緑岩、流紋岩、安山岩、玄武岩、砂岩(古生層など)。
岩Ⅵ	ち密な珪質岩で、岩片としての硬さは最も硬い、割れ目はよく密着している。	同上 薬量0.24kg/m ³ 程度。	珪岩	チャート、ホルンフェルス類、流紋岩、砂岩、深成岩の一部。

(b) 地質別の推定限界勾配（流れ盤を除く）

地 質	岩盤区分	切取り高 10 m 未満	10 ~ 20 m	20 ~ 30 m
輝 緑 凝 灰 岩	岩 Ⅰ	1:0.7 ~ 0.9	1:0.9 ~ 1.5	1:0.7 ~ 1.1
	岩 Ⅱ		1:0.5 ~ 0.7	
和 泉 層 群	岩 Ⅱ		1:0.6 ~ 1.3	1:0.5 ~ 0.8
	岩 Ⅲ		1:0.3 ~ 0.5	
秩 父 古 生 層 (輝緑凝灰 岩を除く)	岩 Ⅰ	1:0.5 ~ 0.8	1:0.8 ~ 1.4	1:0.8 ~ 1.3
	岩 Ⅱ		1:0.5 ~ 0.8	
	岩 Ⅲ		1:0.3 ~ 0.4	1:0.4 ~ 0.5
結 晶 片 岩 類	岩 Ⅰ		1:0.8 ~ 1.1	1:1.1 ~ 1.5
	岩 Ⅱ		1:0.4 ~ 0.6	1:0.6 ~ 0.7

(注) 推定限界勾配線に上限と下限の幅のあるものは平均的な数値を示す。

(iv) 奥園の岩盤分類⁴⁾

奥園は日本道路公団で施工したのり面の追跡調査より、地山の弾性波速度（P波）を指標にした切取のり面勾配を求めた（図-5）。

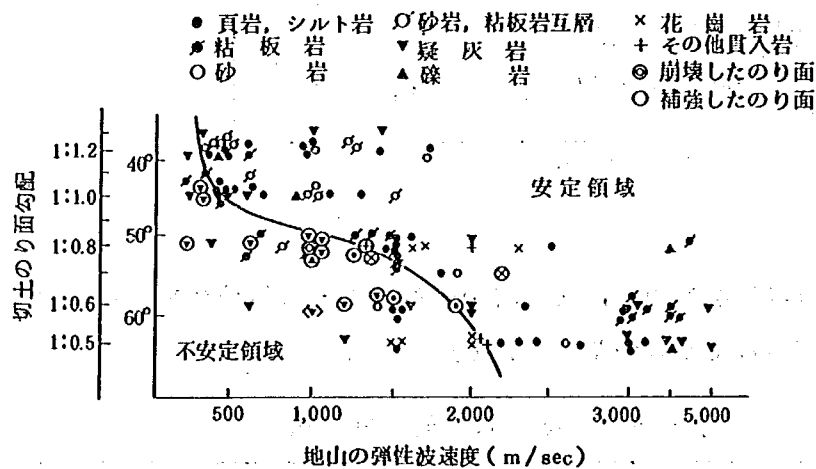


図-5. 弾性波速度とのり面勾配との関係
(日本道路公団の資料による)

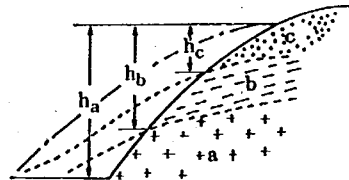
(iv) 本四連絡道路土工指針(案)で示された岩盤分類⁵⁾

本四連絡道路土工指針(案)では、花崗岩と和泉層群に対して表-6、表-7に示す標準のり面勾配を示した。岩盤は、踏査時の観察、弾性波速度（P波）、及びボーリングコアの状態により分類されており、斜面の岩盤分類について現時点では最もまとまったものとなっている。

表-6. 花崗岩に対する標準のり面こう配

岩盤区分	岩 盤 の 状 況					のり高(m)とこう配				
	従来の 岩区分	風 化 状 況	ボーリング コア状況	地山での弾性 速度(P波)		0	10	20	30	50
マサ状風化岩	D	D ₁ D ₂ 土砂状岩	マ サ	砂 状	0.4~1.1 km/s	1.0 1.2	1.2 1.5	1.5 1.8		
風化花崗岩	O	O ₁ 極軟岩	マサに近くなった 岩で、割目の少な いもの及び割れ目 が密集した岩	砂 状 細片状	1.1~1.5	0.6 0.8	0.8 1.0	1.0 1.2	1.2 1.5	
弱風化花崗岩		C ₂ 軟 岩	岩芯まで黄褐色に 変質した岩。節理 が発達する。	角レキ状 短棒状	1.5~2.3	0.4 0.6	0.6 0.8	0.8 1.0	1.0 1.2	1.2 1.5
束風化花崗岩		O ₂	大部分が新鮮な岩 塊から成り、塊状 に節理が発達する	棒 状	2.3 以上	0.3 0.4	0.4 0.6		0.6 0.8	

のり高と岩区分



岩区分 a に対するのり高 : h_a
 岩区分 b に対するのり高 : h_b
 岩区分 c に対するのり高 : h_c

表-7. 和泉層群受け盤に対する標準のり面こう配

岩区分		岩 盤 の 状 況				のり高 (m) と ough 配 (割)						
		風 化 状 況		ボーリング グ コア	地山の弾性波 速度 (P波)	岩 質	→ のり高 (m) 5 10 15 20 30 50 70					
D	D ₂	土砂状岩		土砂状		泥質互層 砂質互層	1.0~1.2	1.2~1.5				
	D ₁	極軟岩	著るしく風化した岩盤。 節理が目だたくなった 泥質岩。割れ目の非常 に多い細互層。層理面 は明瞭	角レキ状	1.5 以上	泥質互層 砂質互層	0.8~1.0	1.0 1.2	1.2 1.5			
O	O ₂	軟 岩	大半が風化した岩盤で 砂岩は岩芯まで褐色に 変色している	角レキ状	1.0 ~ 2.0	泥質互層	0.6~0.8	0.8 1.0	1.0 1.2	1.2 1.5		
				短棒状		砂質互層	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8 1.0	1.0 1.2		
	O ₁	中硬岩	割れ目沿いに風化変質 した岩盤	短棒状 棒 状	1.5 ~ 2.5	泥質互層	O ₁ 区分に準ずる					
						砂質互層	0.3~0.5	0.5~0.6	0.6 0.8	0.8 1.0	1.0~1.2	
A・B	硬 岩	部分的に風化した岩盤。 あるいは新鮮な岩盤		棒 状	2.3 以上	泥質互層	O ₁ 区分に準ずる					
						砂質互層	O ₁ 区分に準ずる					

ダムサイトにおける岩盤分類で述べたように、岩盤の工学的性質は、おもに不連続面の性質、不連続面の間隔、および岩質により左右される。斜面では、このほか、不連続面の通り方（連続性）が重要である。このような考え方から、建設省中部地建飯田国道工事々務所管内の国道153号の改良工事（長野県下伊那郡阿知村奥根木地区）ののり面調査において、表-8に示す岩盤区分を用いた。

表-8. 地表踏査による岩盤区分

区分	岩種	野外観察による特徴			割れ目（亀裂・節理）			シュミット 反 弾 度 (R)	分 布
		色 調	岩 の 硬 軟 (ハンマー打撃による)	風化変質の程度 (組織・鉱物粒子)	状 態	間 隔	連 続 性		
I	建質ホルンfels	灰 白 暗 灰 淡緑灰	極 硬 ハンマーで金属音 容易に割れない。	長石ほとんど風化せず 新鮮である。	密 着	20 ~50cm	良く連続 する ~中程度	30~60	・ 測点No. 42+7~No. 45 +12付近 ・ 奥根木沢川橋A ₁ ・ 橋台付近 ・ うるし沢ボックスカルバート右岸
II	細 粗	乳 灰 褐 灰	中 硬~硬 ハンマーで軽い金属音、先端で傷つき、比較的容易に割れる。	長石若干風化し、割れ目に沿い茶褐色を生ずる。 有色鉱物変質していない。	割れ目は一部開口するがほとんど密着。開口部に充てん物なし。	10 ~20cm	中 程 度	10~50 (15~25)	・ 調査地全域 ・ 奥根木沢川橋A ₁ ・ 橋台付近 ・ うるし沢ボックスカルバート右岸
III	粒 花 崗 岩	褐 灰 灰黄褐	硬~一部軟 ハンマーで濁音 容易に割れる。	割れ目に沿い風化進行し、長石一部変質している。有色鉱物一部変質する。石英粒子が浮いたように見える。	割れ目発達開口(1~2%)部に一部粘土挟在する。	5 ~10cm	中 程 度 連 続 し ない	10~20	・ 調査地全域
IV	岩	淡黄褐 黄 褐	軟 極く脆弱で、ハンマー柄で細片状になる。	岩内部まで風化進行する。直状組織残し石英粒子未風化である。有色鉱物変質している。	割れ目無数に発達し、開口(2%±)し、粘土挟在する。	5cm 未満	連 続 し ない	10 以下	・ 調査地全域
V		黄乳灰 赤黄褐	極 軟 手で容易に崩せる。粉末状になりやすい。	全体に風化顕著に進行し、粘土化している。有色鉱物分解進んでいる。	全体に土砂化進行しており割れ目なし。			測定不能	・ 断層破砕帯及び断層運動の影響を受けている部分。

・ よく連続する 10m 以上、中程度 1~10m、連続しない 1m 以下 ・ N型シュミットハンマー

また建設省中国地建福山工事々務所管内の国道184号の改良工事（広島県尾道市木ノ庄町畑地区）ののり面調査においては、表-9に示す岩盤区分（総合判定区分）を用いた。この岩盤区分によるのり面の岩盤のスケッチの一例を図-6に、のり面の断面の一例を図-7に示す。この総合判定区分では、道路土工指針の標準のり面勾配（硬岩：1：0.3~1：0.8，軟岩：1：0.5~1：1.2）への対応を考慮して、切取の高さと安定勾配から、総合判定区分として①、②、Cu、Cm、C₂、③の6つに分けた。

表-9. 岩 盤 区 分 (福山工事, のり面)

区 分		判 定 基 準	岩 盤 状 況	推定弾性波速度 (km/sec)
㊸		3分より急で7 m以上可(15 mまで)。	岩質は非常に堅硬で全く風化しない。	5.0 km/sec 以上
㊹		3～5分で7 mまで可。 侵食防止のためのり面処理の要あり。	岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので、一部に割目が発達する部分もあるが、割目は大部分が新鮮である。	3.0～5.0
㊺	Cu	5～8分で7 mまで可。 侵食防止のためのり面処理の要あり。	岩質はかなり新鮮堅硬であるが、割目沿いに風化変質が認められる。一般に割目が発達し、その面で割れやすい。	2.0～4.0
	Cm	8分～1割で7 mまで可。 侵食防止のためのり面処理の要あり。	岩質はわずかに風化変質している。 割れ目が発達し、粘土を挟在する。	1.0～3.0
	Cl	8分～1割2分で5 mまで可。 侵食防止のためのり面処理の要あり。	風化作用を受け、一部は粘度化している。岩片は全般に軟質で、一部には硬い岩片を残す。	0.5～2.5
㊻		1割2分以上で5 mまで可。 侵食防止のためのり面処理の要あり。	完全に風化し、土壌化している。 硬い岩片をほとんど残さない。	0.3～1.0

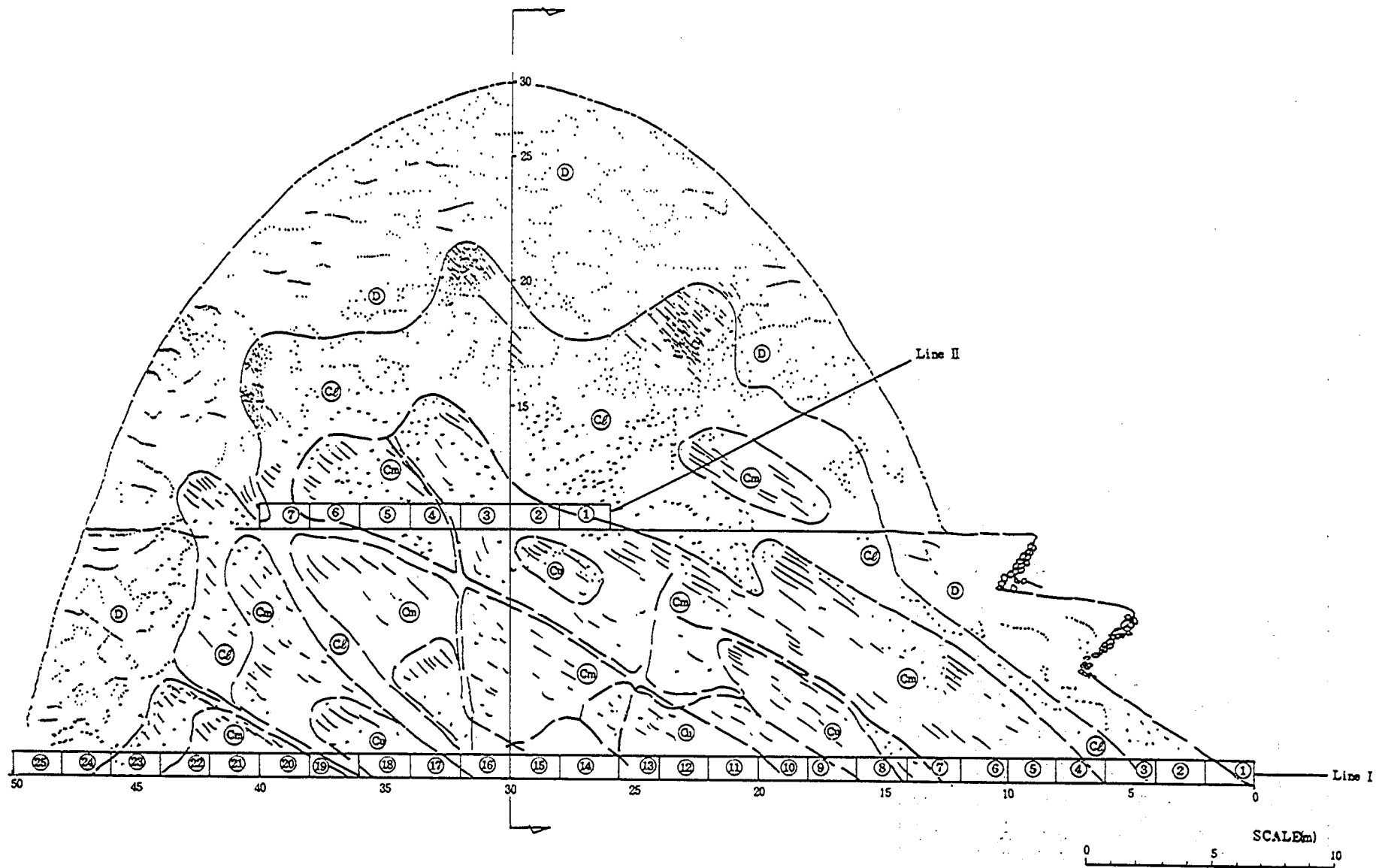


図-6. のり面の岩盤のスケッチ図の一例（のり面掘削後）

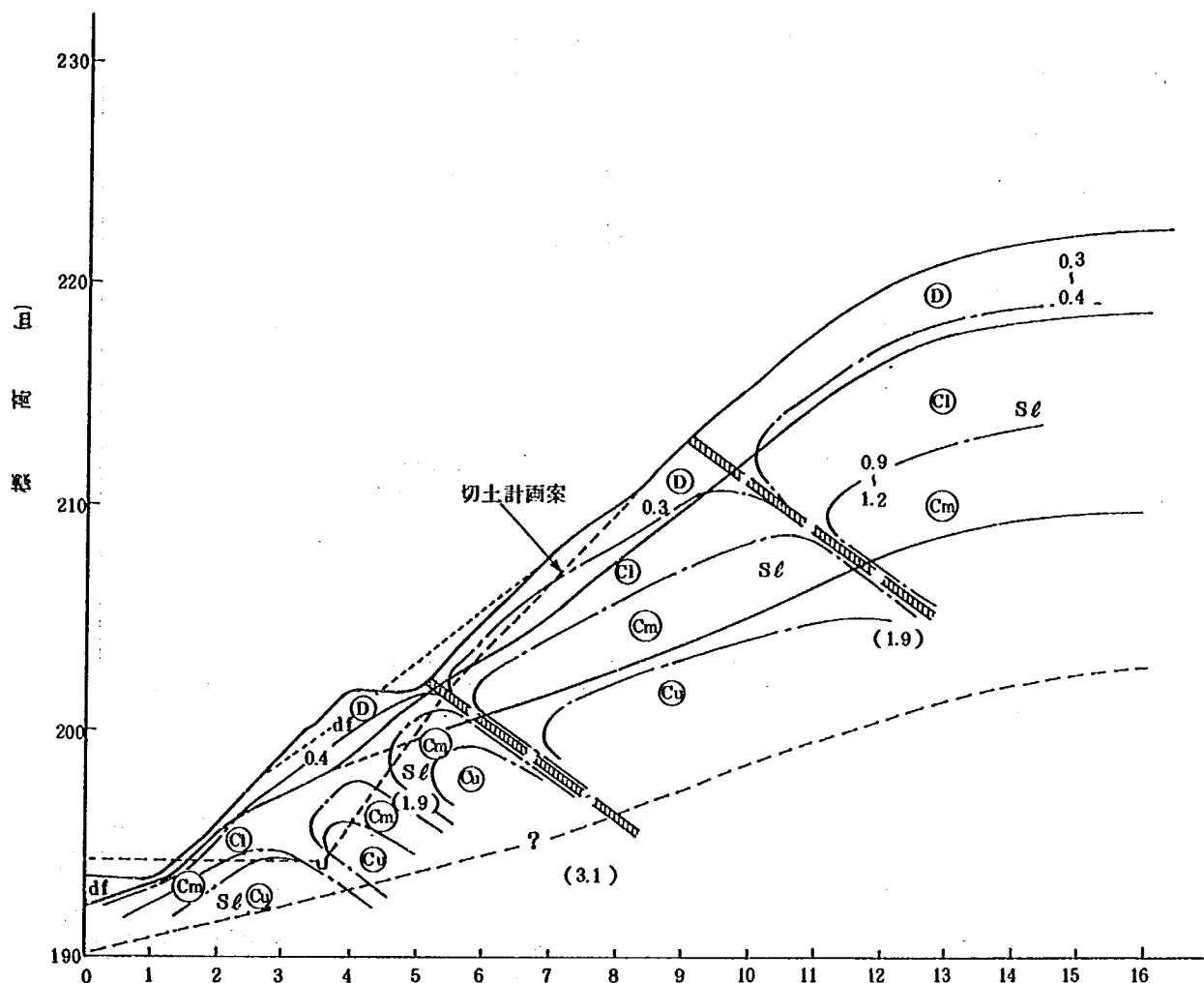


図-7. のり面の断面の一例

矢作ダムで行なったものと同様⁶⁾に、岩盤区分の要素として、岩質、割れ目の間隔、割れ目の状態および割れ目の通り方（連続性）を選んで、これらの細区分を表-10のように定め、岩盤区分を試みた。これにより、総合判定区分の各グループはどのような性質の岩盤であるかを細区分の組合せにより調べた結果を表-11に示す。この図から矢作ダムでの調査結果と同様に、総合判定区分には重複する細区分の組合せを有することがわかったが、これは細区分の要素に幅があるのと、これに採用した区分要素が判定の主要素であっても全要素ではないためである。したがって、細区分の組合せから機械的に総合判定区分にあてはめるより、現時点では、これに観察判定を加味した方がより実状に近い区分ができるといえる。

表- 10. 岩盤の区分基準 (福山工事, のり面)

区分要素	細区分	
岩 (硬さ・風化 質)	A	硬い。ハンマーでないと割れない (反発力あり)。
	B	軟らかい。ハンマーでないと割れない (反発なし, 音なし)。
	O	軟らかい。木片でくずせる。
	D	軟らかい。土状となり組織は残っている。
間 割 れ 目 の 隔	I	50 cm 以上
	II	50 cm ~ 10 cm
	III	10 cm ~ 3 cm
	IV	3 cm 以下
状 割 れ 目 態 の	a	密 着
	b	1 ~ 3 mm 開口している。割れ目には粘土物質が介在しない。
	c	1 ~ 3 mm 開口している。割れ目には粘土物質が介在する。
	d	3 mm 以上開口している。割れ目には粘土物質が介在する。
通 割 れ 目 方 の	(I)	良く通っている。10 m 以上
	(II)	中 程 度 1 m ~ 10 m
	(III)	通っていない。1 m 以下

(注) 現地踏査では, この他割れ目の方向性 (受け盤, 流れ盤), 割れ目の方向の卓越性の頻度を調べた。

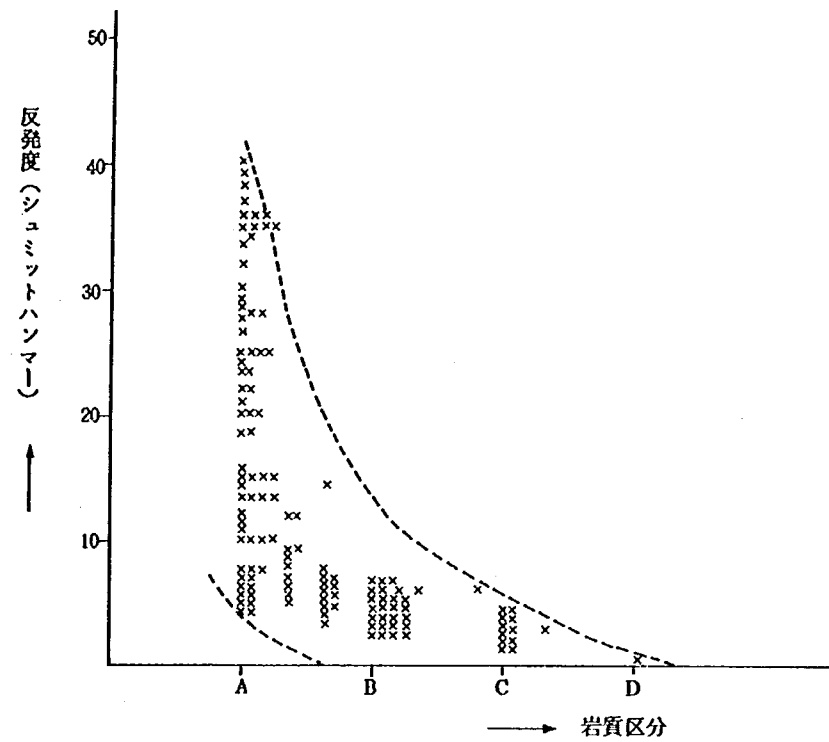
表- 11 (a) 細区分組合せ別頻度
(花崗はん岩)

総合判定 細区分 の組合せ	Cu		Cm		Cl	
	構成 (%)	個 数	構成 (%)	個 数	構成 (%)	個 数
A II a	7.1	1				
A III a	14.3	2				
A II b	21.5	3	3.7	1		
A III b	14.3	2	18.5	5		
A IV b	7.1	1				
A II c	35.7	5				
A III c			3.7	1		
A III d			3.7	1		
B II b			11.1	3		
B III b			37.1	10	6.7	1
B IV b			11.1	3	13.3	2
B III c			7.4	2	13.3	2
B IV d			3.7	1		
C IV b					20.0	3
C IV c					40.0	6
C IV d					6.7	1
計	100.0	14	100.0	27	100.0	15

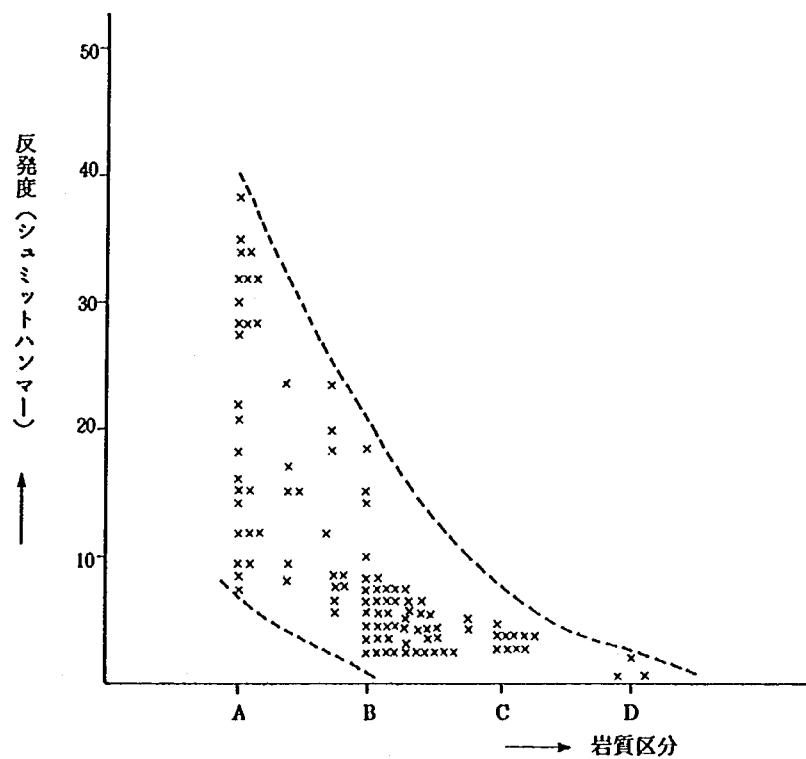
表- 11 (b) 細区分組合せ別頻度
(粘板岩)

総合判定 細区分 の組合せ	Cu		Cm		Cl	
	構成 (%)	個 数	構成 (%)	個 数	構成 (%)	個 数
A I a	2.4	1				
A II a	4.8	2				
A III a	9.6	4				
A IV a	16.6	7	2.0	1		
A II b	4.8	2	4.0	2		
A III b	38.0	16	22.0	11		
A IV b	16.6	7	4.0	2		
A II c	2.4	1				
A III c	4.8	2	8.0	4		
A II d			2.0	1		
B III a			2.0	1		
B II b			4.0	2		
B III b			24.0	12		
B IV b			4.0	2	8.3	1
B II c			2.0	1		
B III c			16.0	8	8.3	1
B IV c			4.0	2		
B III d			2.0	1		
O III b					33.4	4
O IV b					16.7	2
O IV c					25.0	3
O IV d					8.3	1
計	100.0	42	100.0	50	100.0	12

細区分の要素のうち、岩質については、現地観察によるとともにシュミットハンマーによっても調べた。図-8は、シュミットハンマーの反発度と岩質の関係を調べた結果を示す。



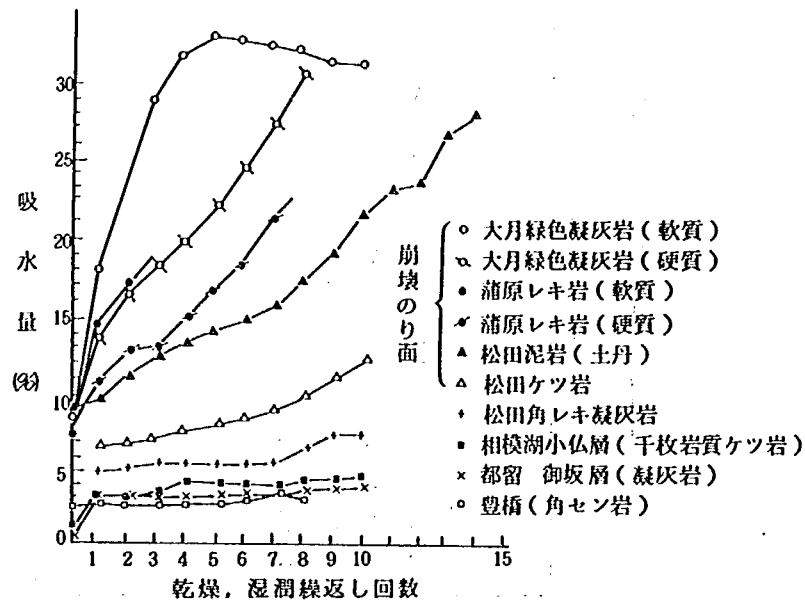
(a) のり面No 2 (粘板岩)



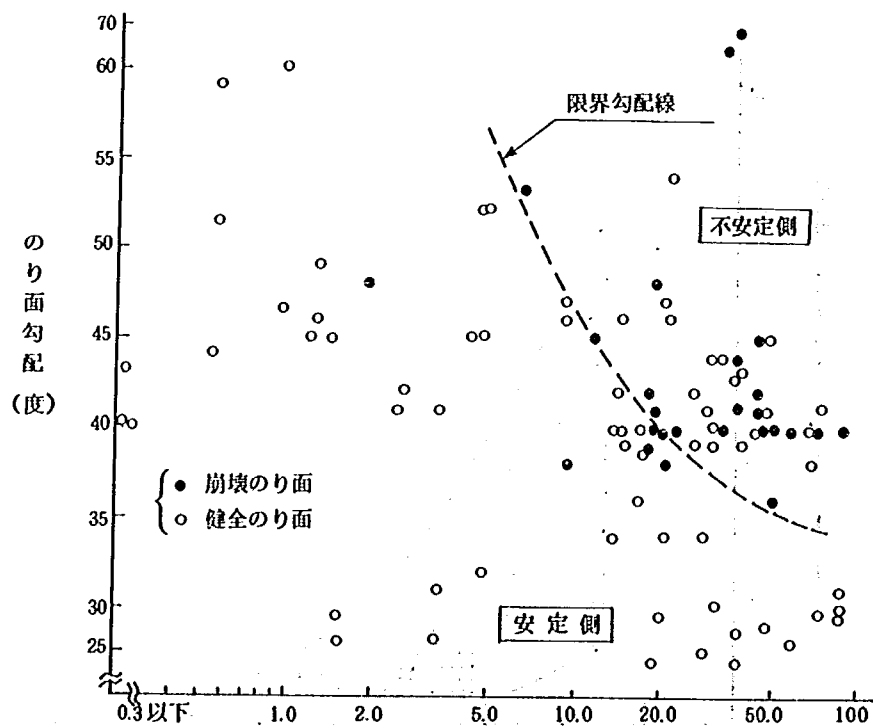
(b) のり面No 5 (花崗斑岩)

図-8. 岩質区分と反発度 (シュミットハンマー)

風化に関する岩の分類については、観察によるものもあるが、採取した試料による吸水試験結果が実態と割合良く合うという結果が報告されている（図－9，図－10参照）。



図－9. 風化試験結果（吸水比増加線）



図－10. 乾湿繰返し試験による吸水量増加率 M (%/回) (奥園による)

あ と が き

斜面、のり面の岩盤分類について残された課題は多い。まず、原位置岩盤試験の実施が制約されがちであるから、これに代るものを考える必要がある。これについては、物理探査をもう一度見直すのも一つの方向である。また、斜面の履歴を活用して、有限要素法による数値解析により、切土前後あるいは計画変更前、後の点安全率の分布の変化といったもので、絶対値でなく、両者の相対値を比較することにより判断する方法⁷⁾なども一考の余地がある。

前に述べたように岩盤分類については、種々提案されそれなりの評価を受けているが、今後は、岩目の通り方の調査法と表示法、風化等の経年変化の調査法と表示法について一層の進展が望まれる。

参 考 文 献

- 1) J. M. Duncan, R. E. Goodman : Structure and Solid Mechanics in the Design of Excavation in Rock, in Structure, Solid Mechanics and Eng. Design, M. Teeni, Wiley, 1970.
- 2) 村山良丸, 宮内東洋 : 花崗岩分布地域ののり面処理の実態, 道路 41-7, 1966.
- 3) 宮島圭司 : 四国における国道の切取りこう配について, 第21回建設省技術研究会報告, 1967.
- 4) 奥園誠之 : 切土のり面の崩壊とのりこう配, 土と基礎, 20-22, 1972.
- 5) 土質工学会 : 本州四国連絡道路に係る道路土工指針作成のための調査報告書, 1971.
- 6) 岡本隆一, 安江朝光 : ダムサイトにおける岩盤区分の試み, 土木技術資料 8-9, 1966.
- 7) 安江朝光 : 斜面崩壊対策の現状, 昭和51年度土木研究所講演会講演集, 土木研究所資料第1206号, 1976.

1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

2-4 ダムにおける岩盤分類とその現場への適用

土木研究所地質研究室
研究員 稲 崎 富 士

ダムにおける岩盤分類とその現場への適用

I はじめに

近年におけるダム需要の増加および大規模化は、ダム地点の条件、なかでも基礎岩盤として地質条件をよりきびしいものになっている。即ち、戦後より昭和54年度までに建設されたダム数は堤高15m以上のもので1,029ヶ所、堤高50m以上だけでも250ヶ所に達しており（弓削田, 1981）、地質条件の良好な地点は次第に得がたくなってきている。

一方水需給の緊迫化・大規模化や総合的治水対策に対する社会的要請の増大化は、貯水容量・洪水調節の優れた大型のダム建設を要求しており、そのために基礎岩盤の良好な地点が求められている。

このような背景から、現在、個々のダム候補地点の基礎岩盤を、地質工学的見地から合理的に評価することが一層重要になっている。

ダムサイトの地質調査、岩盤の評価・解析は概ね図-1の手順に沿って行なわれているが、岩盤の評価を定量的・客観的なものにするためには、その前提として岩盤の物性値を正確に反映する現位置試験法を実施するとともに、得られた物性値をどの範囲の岩盤に適用しうるかを明らかにする客観的で合理的な岩盤分類を行なう必要がある。

現在、我国においてダムサイトの岩盤分類法として一般に採用されているものに、田中（1959^{*}）の方法（以下、田中式分類法と称する）と、岡本・安江（1966）の方法（以下、土研式分類法と称する）がある。

田中式分類法は、対象岩盤を総体として判断するもので、したがって分類基準は相対的・経験的なものとなっている。このことは、各サイトへの容易な適用を可能にするものであるが、反面、分類法自体が相対的・分散的になってしまうという問題となって表われる。例えば、あるダムサイトでC_Hクラスに分類された岩盤の純せん断強度が $\tau_0 = 300 \text{ t/m}^2$ 程度の値を示すのに対し、別のダムではC_Hクラスでも 30 t/m^2 程度の強度でしかない。またあるダムサイトの同一の岩盤に対しても、調査業者、調査年度が異なると適用されるクラスが違うという極端なケースもしばしば耳にする。

土研式分類法は、対象岩盤をまず数種の分類要素に基づいて分析し、その結果を総合して評価するもので、田中式に比べて、より客観的で、半定量的な分類法であると言えるが、総合評価過程に未だ相対性が残り、細分類（分析段階）に留ってしまっていることがしばしばみられる。

このように現在採用されている岩盤分類法は、ダム基礎岩盤の合理的評価の要請に対して充分に応えることのできる水準にあるとは言い難い。特に田中式分類法の分類基準の曖昧性・相対性は、その適用と結果としての岩盤区分を著しく不統一なものにしている。このことを概念的に示したも

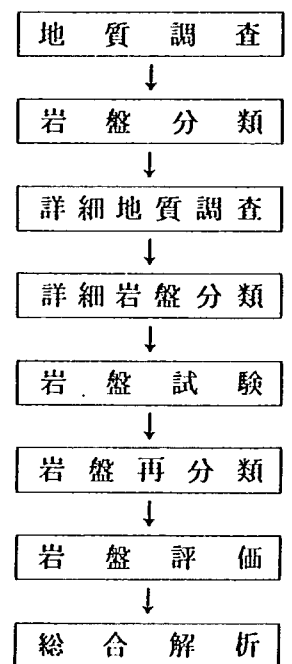


図-1 ダムにおける地質調査・解析の手順

* 田中の方法は、従来、初出が「土木技術者のための地質学入門」、山海堂、1964とされていたが、文献調査の結果、1959に最初の提案があったことが判明したので、本報告では1959を初出とした。

のが図-2である。即ち図-2(a)は、区分された岩級とせん断強度などの外的基準とが一義的に対応せず、各ダムサイト、調査地点、調査年度、調査業者によって非統一に対応づけられていることを模式的に表わしたものであり、また図-2(b)は岩片強度および割れ目、風化度の各示標に対する重みづけが同様に統一されていないことを示している。

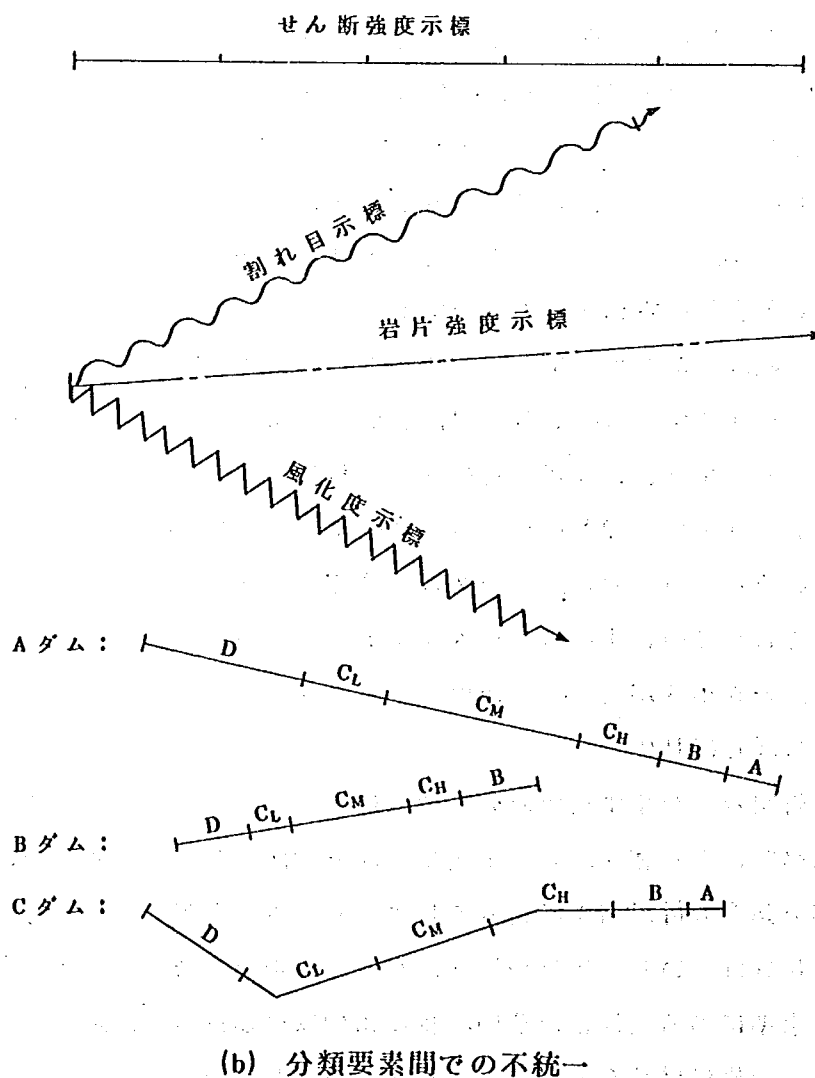
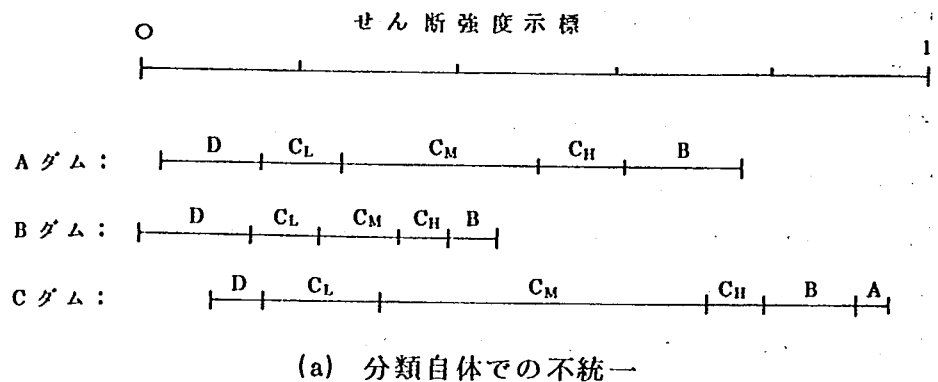


図-2 岩盤分類の相対拙の概念的表現

ダム基礎岩盤を合理的・客観的に評価するためには、したがって、現行の岩盤分類における、図-2に示されるような非統一性の有無を洗い出し、個々の分類要素・分類基準について検討を加えることによって岩盤分類をより合理的なものにしていくことが求められている。

本報告は、その第一歩として、ダムにおける岩盤分類の適用の経緯とその現状、とくに田中式分類法に見い出される非統一性について2、3の検討を加えたものである。

II 岩盤分類の経緯

ダムにおける岩盤分類の適用の経緯を、いささか恣意的ではあるが、四つの時期に分けて以下に記す。

1. 第0期 —— ダム本体の時期 —— ~ Ca. 1957

戦災復興の時期で、戦争によって疲弊した国土に自然災害が多発したことや、51年の電力再配置にともなう資源開発を目的として発電主体のダムを主に多数の多目的ダムが建設された。

この時代の主たる関心は、設計面では戦前の重力ダム一辺倒から、中空重力、アーチ、フィルタタイプの採用などに示されるようなダム本体についての技術的諸問題、また施工面では大型機械化施工や、それに伴うコンクリートの品質・温度管理などダムそのものに関わる点に向けられていた。そして、ダム地点が地質条件に比較的恵まれていたことから、ダム基礎岩盤に対する関心は低いものであった。

2. 第I期 —— ダム本体からダム基礎へ —— ~ Ca. 1966

高度成長期を迎え、「旧全総」が制定され拠点開発がすすめられた時期で、水資源の開発、想定氾濫区域への社会資本の集中による災害対策の要請からダム需要が増加し、地質条件の悪い地点がダムサイトとしてとりあげられるようになった。

一方、ダム本体については、その安全率の高いことが確認されて来、マルパッセダムの破壊(1959)によって主眼がダム本体から基礎岩盤へと移行していった。それに伴って岩盤の評価も岩石試験から原位置試験に大きく依存するようになった。そして、いくつかのダムサイトにおいて独自の岩盤分類法の適用が試みられた。

〔事例1〕 黒部川第四ダム

黒四ダムは、衆知の如く高さ186mの我国最高のアーチダムであり、また、本体着工時にマルパッセダムの崩壊があったこともあり、国内のみならず、諸外国からも技術的協力を受けた。田中(1959)は、Müller(1958)の岩質と割れ目間隔に着目した分類法を適用し、岩質を表-1の如く記載し、基礎岩盤の分類を試みた(図-3)。田中の分類は、日本におけるダム基礎岩盤の分類の嚆矢となり、その後のダムサイトの地質調査に大きな影響を与えた。

〔事例2〕 川俣ダム

川俣ダムは、高さ117mのアーチダムであるが、ダムサイトは石英粗面岩質熔結凝灰岩よりなり、垂直に近い断層・割れ目が発達していた。そこで精査段階(1959~1961ごろ)において、このような節理や断層の性状を設計条件の目安となるように分類することが試みられた(岡本, 1963)。

•

名称	特 徴
A	きわめて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化変質を蒙っていない。亀裂、節理はよく密着し、それらの面にそって風化の跡の見られないもの。
B	岩質堅硬で開口した（たとえ 1mm でも）亀裂、あるいは節理はなく、亀裂、節理はよく密着しているもの、ただし、造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質が見られる。
C	(1) 岩質は可成り堅硬であっても風化作用のため造岩鉱物および粒子は石英を除けば多少軟化した傾向が見られる。一般に褐鉄鉱等に汚染せられ、軽打すれば節理あるいは亀裂にそって剝脱し、その剝脱面には褐色粘土質物質の薄層が残存するもの。 (2) 岩質はきわめて堅硬であるが、1~2mm の空隙を有する可成り大目の節理あるいは亀裂が発達し、その空隙は時には赤褐色粘土質泥状物質が挟在し、水滴落下するもの。
D	(1) いわゆる風化作用を受けて造岩鉱物および粒子は変質を蒙り、黄褐色ないし褐色を呈し、岩質はいちぢるしく軟質のもの。（誰が見ても風化岩と見えるもの） (2) 岩盤には大なる開口亀裂あるいは節理が発達する。そのため岩盤は各個の岩塊に分離している。各個の岩塊は堅硬であっても、開口亀裂または節理が煙草の煙あるいはカンテラの焰を吸込むこともあるもの。 (3) なお、その他、樹木の毛根が岩盤の節理あるいは亀裂面に侵入しているのが見られるようなもの。

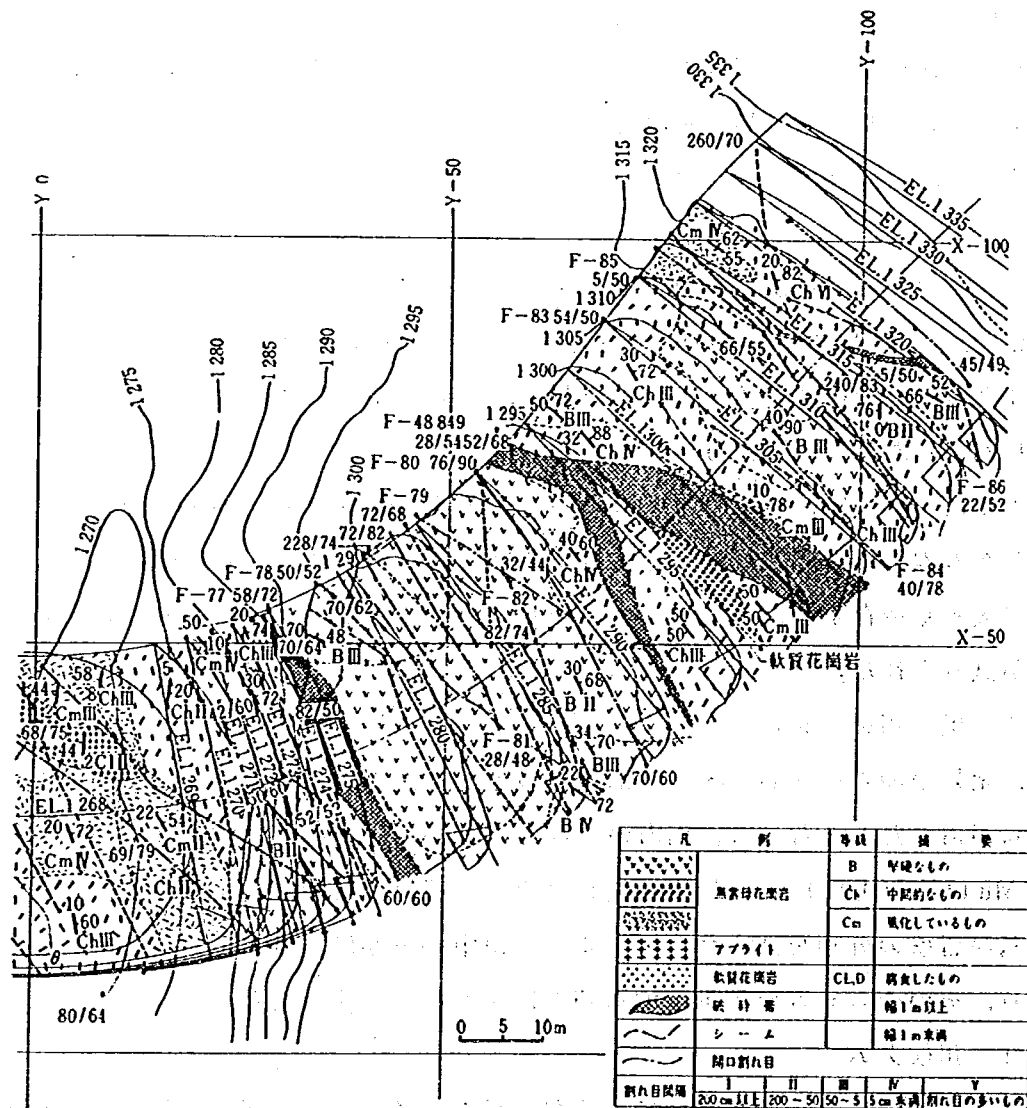


図-3 黒部川第四ダム基礎掘削面の地質図(右岸河床EL.1320m)
(土木学会, 工事報告黒部川第四発電所, 1966)

表-2 川俣ダムにおける不連続面の分類(岡本, 1963)

幅についての区分		変質度についての区分	
A	幅 3 m 以上	I	温泉変質状
B	" 1 ~ 3 m	II	風化
C	" 0.2 ~ 1 m	III	角れき
D	" 0.2 m 以下		
複合したものは, そのおのこの幅を下に表わす。			
表現例			
B II 弱 III 強		{ 強い角れき化したもの (150cm)	
(10cm)(150cm)		{ 弱い風化 (10cm) 全体で約 160cm	

この分類法は, 節理・断層を対象としたもので岩盤全体に適用するものではなかったが, 後の区分の組合せによって評価する分類法の先駆となった。

〔事例3〕 横山ダム

同ダムは堤高 80m の中空重力式ダムであり, ダムサイトの地質調査が 1958 ~ 1960 にかけて実施された。岩盤分類にあたって横坑・試錐資料の肉眼観察とともに, 弾性波速度・キレツ係数(工藤, 1960)も参考にされた。このように分類基準に岩盤の物性的示標を導入しようとする試みがなされはじめた。

〔事例4〕 四十四田ダム

同ダムは堤高 56m, 堤頂長 470 m の重力・フィル複合ダムであり, 1960 ~ 1965 にかけてダム地点の地質状況が詳しく調査された。岩盤区分は風化変質の状態, およびクラックの形状によって表-3 のようになされたが, 各々の岩級について岩盤試験・岩石試験を行ない物性値と対応づけて岩盤を評価するという手順がとられるようになった。

表-3 四十四田ダムにおける岩盤分類(四十四田ダム工事誌, 1968)

項 目	岩盤区分		C 岩 盤		D 岩 盤	
	A 岩 盤	B 岩 盤	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂
色	淡 緑 色	淡 青 緑 色	淡 緑 色 良	黄 褐 緑 色	淡 黄 褐 色	淡 黄 褐 色
風 化 変 質 の 状 態	極めて新鮮 風化変質なし	割目に沿ってやや風化 しておるが岩内部新鮮	割目に沿って 風化幾分脆弱	岩内部の一部 を除き風化脆弱	岩内部まで風 化しておるが 岩構造は認め られる	完全に粘土化 岩構造をとど めない
ク ラ ッ ク	間隔30cm位 で密着して いる	間隔5 ~ 15 cmでかなり 発達し開口 している	開口したもの は粘土を挟み へやクラック 多く細片化 しやすい	開口し粘土物 質を挟む細片 化しやすい	クラックは多 いが開口した ものは少ない	クラック少し
弾性波速度 (m/sec)	3,800 ~ 5,200	3,200 ~ 3,500		1,800 ~ 2,500		700 ~ 1,300
動弾性係数 (×10 ⁴ kg/cm ²)	35 ~ 53		25 ~ 30		7 ~ 14	1.1 ~ 3.8
静弾性係数 (×10 ³ kg/cm ²)		30 ~ 37	16 ~ 18		14 ~ 17	
一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	1,200 以上	250 ~ 1,200 多くは 1,000	185		78	

〔事例5〕 下笠ダム

岡本(1965), 岡本・安江(1966)は岩盤の強度特性・変形特性に影響する要因のうち支配的なものとして「強度」, 「不均一性」, 「異方性」をあげ, それらの組合せによる岩盤分類を試みた。即ち, 「強度」の示標として“岩片の強さ”, 「異方性」・「不均一性」の示標として“割れ目の間隔”, また「不均一性」示標としてさらに“割れ目の状態”をえらび, その3つの区分要素の組合せによって下笠ダムの岩盤を区分した(表-4)。区分細目は岩盤を構成する岩種によって適宜選択され, 地質条件の異なるダムサイトにも適用された(表-5)。

表-4 下笠ダムにおける岩盤区分(岡本, 1965)

良	好	$\left\{ \begin{array}{l} A I c \\ A I a \\ B I c \\ B I a \end{array} \right.$	やゝ不良	$\left\{ \begin{array}{l} A I b \\ A II c \\ A II a \\ B I b \\ B II c \\ B II a \\ C I c \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} A \left\{ \begin{array}{l} \text{堅硬} \\ \text{一部堅硬, 一部軟質,} \\ \text{全体にやや軟質} \end{array} \right. \\ B \\ C \left\{ \begin{array}{l} \text{軟質} \end{array} \right. \end{array} \right.$	岩質区分
やゝ不良	不良	$\left\{ \begin{array}{l} A II b \\ C I a \\ C I b \\ C II c \\ C II a \end{array} \right.$	不良	$\left\{ \begin{array}{l} A III a b c \\ B II b \\ B III a b c \\ C II b \\ C III a b c \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} I \left\{ \begin{array}{l} \text{割れ目間隔50cm以上} \\ II \left\{ \begin{array}{l} \text{50~15cm} \\ III \left\{ \begin{array}{l} \text{15cm以下} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \\ a \left\{ \begin{array}{l} \text{開口状割れ目} \\ b \left\{ \begin{array}{l} \text{粘土を挟む} \\ c \left\{ \begin{array}{l} \text{密着した} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$	割れ目間隔区分 割れ目の状態区分

表-5 岩種に対応した岩級区分の区分要素(岡本, 多目的ダムの建設, 1977)

区 分 要 素	区 分 細 目					
	記号	下笠ダム(安山岩)		青蓮寺ダム(花崗岩質片麻岩)		裾花ダム(凝灰角礫石)
強 度 的 性 質	A	堅硬 ⁽¹⁾		新鮮で十分堅硬なもの		堅硬
	B	一部堅硬一部軟質全体にやや軟質 ⁽²⁾		若干風化しいくぶん強度低下したもの, 部分的に軟質, 全体的には堅硬		中程度あるいは硬軟入りまじる
	C	軟質 ⁽³⁾		全面的に風化し, 強度著しく低下したもの		軟質
割れ目の間隔 (異方性, 不均一性を含む要素)	I	50cm以上		大部分が30cm以上		50cm以上 ⁽⁴⁾
	II	15~50cm		10~30cm		15~50cm ⁽⁴⁾
	III	15cm以下		10cm以下		15cm以下 ⁽⁴⁾
不 均 一 性	a	割れ目の状態	密着	割れ目の状態	おおむね密着	角礫の含有割合 ⁽⁵⁾
	b		開口状		開口	
	c		粘土をはさむ		粘土を介在する	
注	(1)	ハンマーで火花が出る程度				(4) この数値は一例, 現地条件で異なる
	(2)	ハンマーで強打し, 一回で割れる程度				(5) 概算1㎡中の面積比
	(3)	ハンマーでくずせる程度				

この時期は、以上のようにいくつかの岩盤分類法が提案され、それに基づいてダム基礎岩盤の評価が試みられた。また、図-1に示される地質調査の流れが確立化していった。

3. 第Ⅱ期 ——適用と淘汰の時期—— ~ 1975

1960年代に提案された多くの岩盤分類法が、その後各地のダム地点に試行・適用されていったが、それらのうち、簡便性・客観性などの点で優れていた田中式、土研式の分類法が広く採用されるに至った。

また、岩盤試験の局部的条件の反映の傾向が認識されてきて、試験後の岩盤の再分類の必要性が強調された。

4. 第Ⅲ期 ——修正と統一の時期—— 1975 ~

岩盤試験のデータが蓄積されるに従って、岩級と物性値の対比がなされるようになって来、定性的・経験的分類基準を数値的に判断する試みが提案された。特に、総体的・定性的であると指摘されていた田中式分類法に対して、菊池・斉藤(1975)は区分基準に静弾性係数や、せん断強度などの力学的数値をあてはめ、同法の拡張を試みた(表-6)。

今後、これらの分類法にさらに修正・改良を加え、ダムタイプや岩種に規制されない、また透水性等をも考慮した分類法についての検討を続けていくことが求められている。

Ⅲ 2・3の岩盤分類法について(再掲)

1. 田中式分類法

田中式分類法は表-1に示すように岩級を6段階に区分している。岩種はそもそもカコウ岩(深成岩)などの硬岩を対象としたものであり、区分要素としては、①造岩鉱物の風化・変質度、②きれつ、節理の開口性と充てん物の有無、さらに③ハンマー打診による岩片強度が採用されているが、それらの記載は定性的表現にとどまっており、また区分要素の組合せも固定されている。同法は、分類が直観的で簡潔であることから、本来の対象岩種をはなれ、軟岩・中硬岩にも適用されているが、その際定義が都合よく解釈されることがしばしばある。

2. 土研式分類法

土研式分類法は、表-4、5および前述のように、岩盤をその強度的性質(A~C)、割れ目間隔(I~Ⅲ)、不均一性(a~c)の区分要素で分類し、その組合せによって〔A〕、〔B〕、〔C〕、〔D〕の四段階に区分する方法である。区分の基準は客観的・定量的で、田中式分類法に比べると個人差の入る余地は少なくなっている。しかしこの分類法も、火山岩・深成岩などの硬岩の強度特性に関わる示標を基本として出発したものであり、軟岩への適用、またボーリングコアについては割れ目の状態を判定することが困難なことから、それを含めた基礎岩盤の評価ができないという限界がある。

3. 菊池・斉藤・井上式分類法

菊池・斉藤・井上の方法は、田中の前述のような問題点を改良したもので、対象岩盤をまず主として一軸圧縮強度の違いによって硬岩・中硬岩・軟岩に分け、さらに①造岩鉱物の風化状態、②固結状態、

表-6 耐荷力と対応した岩盤分級基準(菊地・斉藤・井上, 1975)

岩盤分級	硬質岩					中硬質岩				
	分級要素					分級要素				
	造岩鉱物(あるいは構成粒子)の状態	風化状態	固結状態	節理の開口性	節理面の状態	造岩鉱物(あるいは構成粒子)の状態	風化状態	固結状態	節理の開口性	節理面の状態
特記事項	この目安としては、新鮮な岩石のテストピースの軸圧縮強度が800 kg/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全金属を発生する。					この目安としては新鮮な岩石のテストピースの軸圧縮強度が200 kg/cm ² ~300 kg/cm ² ないし800 kg/cm ² ~1000 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なった音を発生するか一般には全金属を発生しない。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。				
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 △	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す。C ⁺ 級に属するものがある。	○	△	○	○
C ⁺	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 △	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 △
C ⁺	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んでいる。このクラスの岩石中には細かな毛髪状割れ目が多数に延在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がしばしばある。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 ●	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な感じをうける。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、風化物質を挟んでいる。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 △	△ または ●	△ または ●	△ または ●
C ⁻	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 ●	●	●	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な感じをうける。節理はかなり分布している。節理は開口し、また風化物質、粘土層を著しく挟んでいる。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 ●	●	●
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)	—	—	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)	—	—
該当岩石	(1) 閃長岩、半閃長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、石灰岩および硬質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、結晶片麻岩は除外する。 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。					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。				
摘要										

表-6 (続)

岩 質 考 察 項 目	分 級 要 素						岩質の弾性係数(kg/cm ²)	岩質の質形係数(kg/cm ²)	岩質の弾性速度(km/s)	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(現高60m以 上のものを対象とする)	ロックフィールド基礎とし ての適性(現高60m以上の ものを対象とする)	分 級 要 素 の 説 明	
	一応の目安としては新築な岩石の破壊一軸圧縮強度 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よい強度を示し、時 には破壊する場合もある。岩石ハンマーの突頭部 による打撃では岩石の表面に容易にくぼみが生ずる。	断 理 の 状 態											標 準 区 分	目 安
		風 化 状 態	固 結 状 態	断 理 密 度	断理の 開口性	断理面 の状態								
A							80 000以上	50 000以上	4 以上	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) ○ 新築である △ おおむね新築である ▲ 風化している ● きわめて風化している	
B											きわめて良好である。	きわめて良好である。		
C	このクラスの対象となる岩石は、中硬質岩に近いもの(新築な岩石の破壊一軸圧縮強度が150 kg/cm ² 程度以上)である。 岩質は新築で、構成粒子は風化物質をまったく受けておらず、また、断理はほとんど分布していない。	○	▲ または ●	○	○	○	80 000 1 40 000	50 000 1 20 000	4 1 3	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。	● 断 理 状 態 ○ 堅固である 岩石の破壊一軸圧縮強度800 kg/cm ² ~1000 kg/cm ² 以上 △ 既知堅固である 800 kg/cm ² ~1000 kg/cm ² ~400 kg/cm ² ▲ やや軟質である 400 kg/cm ² ~200 kg/cm ² ● 軟質である 200 kg/cm ² 以下	
	岩質は新築であり、構成粒子も二次的な風化物質を上げていない。また、断理はほとんど分布していないが、あるいは分布していてもまばらであり、しかし岩質としては風化をほとんど受けていないが、風質が軟質な岩石であるので、絶対的な硬さとしては、軟質な感じをうける。岩石ハンマーの突頭部による打撃で岩石の表面は容易に陥没する。この場合、破壊一軸圧縮強度が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 ₂ 級に属する。	○	● (▲の場合 含みあ る)	○ または △	○ または △	○ または △	40 000 1 15 000	20 000 1 5 000	3 1 1.5	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。		
C ₂	構成粒子はやや風化物質をうけ、断理程度は著しく低下している。 岩質としての絶対的な硬さとしては、きわめて軟質な感じをうける。 岩石ハンマーの突頭部で打撃すると、しばしば突頭部は岩石に突きささる。	△	●	△ または ▲	△ または ▲	△ または ▲					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がたい。しかし岩質改良の可能なものC ₂ 級に近く水密性のものについては築造不可能ではない。	● 断 理 密 度 ○ ほとんど分布していない 3m 以上 10m 以上 △ まばらである 0.5m~3m 2m~10m ▲ 分布している 0.1m~0.5m 1.0m~2m ● 著しく分布している 0.1m 以下 1.0m 以下	比較的通水性のあるは m 以上の通水性を有する) 断理の分布間隔
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)	-	-	-	15 000以下	5 000以下	1.5以下	15以下	きわめて不良である。	不良である。	● 断理の開口性 ○ 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	
該当岩石	新第三紀新世以降の堆積岩(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。													
備 考									(増田秀夫氏による)	粘性土物質からなる、新第三紀の堆積岩(例えば泥岩)については適用してはならない。			● 断理面の状態 ○ 全く風化していない △ やや風化、汚染されている場合がある ▲ 風化汚染され、風化物質が強く付着している ● きわめて風化汚染され、粘土あるいは風化物質が著しく存在している	

③節理の密度および④開口性、⑤節理面の状態の5種類の分級要素に基づいて分類した。また各々の岩級を岩盤の物性値と結びつけ、このことによってフィルタイプダムの基礎岩盤にも同法が適用できるとした。

菊池・斉藤・井上の方法は、田中の体験的な記述を、定量的な、より厳密な記載へとすすめたところに意義があり、またそれは岩盤試験値との対比によって、岩盤の再分類を容易にするものであるが、各々の岩級を代表する物性値については更に検討を加えていく必要がある。

IV ダムにおける岩盤分類の現状

全国57ヶ所のダムについて、その基礎岩盤の地質状況および岩盤分類法の適用状況について調査した。その結果を表-7および図-4以下に示す。

表-7 ダムの岩盤分類調査一覧

No	事業主体	型式規模	地質年代		地 質 区	主 要 構 成 岩 種					岩 盤 分 類 法				分類範囲	主要岩級
			Post-P	Pre-N		S	VS	V	P	M	田中式	土研式	その他	なし		
1	開発局	R 86.5		○	日 高 帯	○						○			(A) ~ (D)	(B)
2	"	R 94.0	○		北見-知床区			○			○		○		(B) ~ (D)	④
3	北海道	G 68.5	○		中央北海道区			○			○	○			④ ~ ⑤	④
4	開発局	R 42.0	○		奥羽-信越区		○				○				(B) ~ (D)	④ ~ ⑤
5	"	R, G 34.0	○		"	○					○				④ ~ ⑤	④ ~ ⑤
6	青森県	R 65	○		奥羽-信越区		○						○		 ~ <E>	<C> ~ <C-B>
7	東北地建	G 96.5	○		"		○	○			○	○			(B) ~ (D)	④
8	青森県	G 57.5	○		"		○	○			○				④ ~ ⑤	④
9	"	G 43	○		"		○	○			○	○			④ ~ ⑤	④
10	東北地建	R, G 52.5	○		奥羽-信越区	○	○				○	○			④ ~ ⑤	④ ~ ⑤
11	東北地建	G 100.0	○		奥羽-信越区		○	○			○	○			④ ~ ⑤	④ ~ ⑤
12	秋田県	G 28.7	○		"	○	○				○				④ ~ ⑤	④
13	宮城県	R 80	○		奥羽-信越区		○				○				④ ~ ⑤	④ ~ ⑤
14	"	G 44	○		"		○						○		?	C ₁ <C ₂ >
15	"	R 73	○		"	○							○		 ~ <E>	<D>
16	"	R 43	○		"	○	○				○				(B) ~ (D)	④
17	東北地建	R 93.0	○		"		○	○			○	○	○		④ ~ ⑤	④
18	山形県	G, R 48.0	○		奥羽-信越区		○					○			(A) ~ (D)	(C ₁)
19	東北地建	G 125.0	○		"		○	○			○	○			(B) ~ (D)	④
20	"	R 115.0		○	阿武隈帯				○		○	○			④ ~ ⑤	④
21	"	R 66.0	○		奥羽-信越区	○							○		 ~ <D>	<C ₁ >
22	北陸地建	G 78.0		○	足尾帯	○		○	○	○	○				④ ~ ⑤	④ ~ ⑤
23	関東地建	A 140.0	○		奥羽-信越区		○		○		○				?	④ ~ ⑤
24	新潟県	G 93.5	○		奥羽-信越区			○			○	○			(B) ~ (D)	④
25	"	G 95.0		○	上越帯				○				○		<A> ~ <E>	<B ~ C>
26	北陸地建	R 115.5		○	"				○		○	○			(B) ~ (D)	④ ~ ⑤
27	新潟県	G 56.0	○		奥羽-信越区		○	○			○	○			④ ~ ⑤	④ ~ ⑤
28	"	G 39.0	○		"	○							○		① ~ ④	②
29	"	G 47.0	○		"	○						○			(A) ~ (D)	(C)
30	群馬県	G 83.5	○		奥羽-信越区			○	○		○	○			④ ~ ⑤	④

表-7 ダムの岩盤分類調査一覧(続)

No	事業主体	型式規模	地質年代		地 質 区	主 要 構 成 岩 種					岩 盤 分 類 法				分 類 範 囲	主 要 岩 級
			Post-P	Pre-N		S	VS	V	P	M	田中式	土研式	その他	不明		
31	群馬県	G 70	○		"		○		○		○	○			③ ~ ④	③
32	水公団	R 165		○	秩父帯	○					○				③ ~ ④	③ ~ ④
33	関東地建	G 155	○		南部マサマダ区		○				○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
34	長野県	G 50.0	○		南部マサマダ区		○							○		
35	"	G 48.5		○	秩父帯	○							○		<A> ~ <E>	 ~ <C>
36	北陸地建	G 107.0		○	美濃帯				○		○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
37	富山県	G 82.0		○	飛騨帯			○			○				③ ~ ④	③
38	北陸地建	G 97.0		○	"				○		○				③ ~ ④	③ ~ ④
39	石川県	G 56.5	○		北陸-山陰区	○	○						○			<C ₁ > ~ <C ₂ >
40	"	G 56.5	○		"	○					○				③ ~ ④	③
41	中部地建	A 100.0		○	領家帯				○			○			(A) ~ (D)	(B)
42	岐阜県	G 70		○	美濃帯			○			○				③ ~ ④	③ ~ ④
43	水公団	R 161		○	"	○					○	○			(③) ~ (D)	③ ~ ④
44	近畿地建	A 127.5		○	飛騨帯				○	○	○				③ ~ ④	③
45	中国地建	G 65		○	三郎帯			○	○		○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
46	"	G 120		○	丹波帯	○		○			○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
47	中国地建	G 88		○	三郎帯					○	○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
48	山口県	G 44		○	"	○					○				③ ~ ④	③ ~ ④
49	四国地建	G 23		○	三波川帯					○	○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
50	四国地建	G 111.0		○	三波川帯				○	○	○	○			③ ~ ④	③
51	九州地建	R 120.0	○		豊肥火山区	○	○	○	○		○				③ ~ ④	③
52	九州地建	G 92.0	○		豊肥火山区			○			○	○			③ ~ ④	③ ~ ④
53	熊本県	G 37		○	(三郎帯)	○					○	○			?	?
54	長崎県	G 72	○		(北西九州区)		○	○			○	○			③ ~ ④	③
55	"	G 37		○	西彼杵帯					○	○	○			③ ~ ④	③
56	沖縄総合	G 84.0		○	四万十帯	○							○		<C ₁ > ~ <D>	<C ₁ >
57	"	G 39.0		○	"	○							○		<C ₁ > ~ <D>	<C ₂ >
		コンクリート タイプダム	22			5	15	11	3	0	16	14	3	1		
			19			7	0	5	8	6	14	9	4	0		
		ファイブダム	11			6	7	3	1	0	8	2	5	0		
			5			3	0	0	2	0	4	4	0	0		
			33	24	57	21	22	19	14	6	42	29	12	1		

表-7において、先ずダム基礎岩盤の生成年代を日本列島が大きな地質変動（グリーンタフ変動）を蒙った時期（新第三紀）を境にして、先新第三紀〔Pre Neogene（Pre-Nと略す）〕と、新第三紀以降〔Post Paleogene（Post-Pと略す）〕に分類した。p 22の図-2に端的に示されるように、岩石の生成年代はその強度を推定する示標となりうるものである。次にダムサイトを構成する主要な岩種で、岩盤試験がおこなわれているものを5種類に分けて記載した。その略号は以下に示す岩種に対応するものである。

S：堆積岩類 …………… 砂岩，泥岩，粘板岩，チャートなど

VS：火山性堆積岩類 …………… 凝灰岩，凝灰角礫岩，火山礫凝灰岩など

V：火山岩類 …………… 安山岩，流紋岩，石英安山岩，脈岩など

P：深成岩類 …………… 花コウ岩，閃緑岩，カンラン岩など

M：変成岩類 …………… 片岩，片麻岩，ホルンフェルスなど

また岩盤分類法については、採用された方式、用いられている分類範囲、および基礎掘削面もしくはダム軸断面に分布する主要な岩級について調査し記載した。

図-4は、対象としたダムの位置をプロットしたものであり、○は新第三紀以降、●は先新第三紀の基盤岩より構成されていることを示している。図-5(a)，(b)は、各々の時代の地質区分布を示した図にダム地点をプロットしたものである。各々の地質区は、共通する特徴的な地質的環境下におかれているので、同一地質区内に、地質構造的類似性、類似した岩石の出現を見い出すことができる。例えば三波川帯は、西南日本外帯に位置し、延長約700 km，最大巾約30 kmの帯状構造帯であるが、低温高圧の変成作用を蒙った結晶片岩類が広く分布している。また奥羽-信越区は、いわゆるグリーンタフ地域の模式地であり、海底火山活動に伴う火山性堆積岩類や堆積岩で主として構成されている。図-5(b)より、東北日本のダムは、大部分がいわゆるグリーンタフをその基礎岩盤としている傾向を知ることができる。

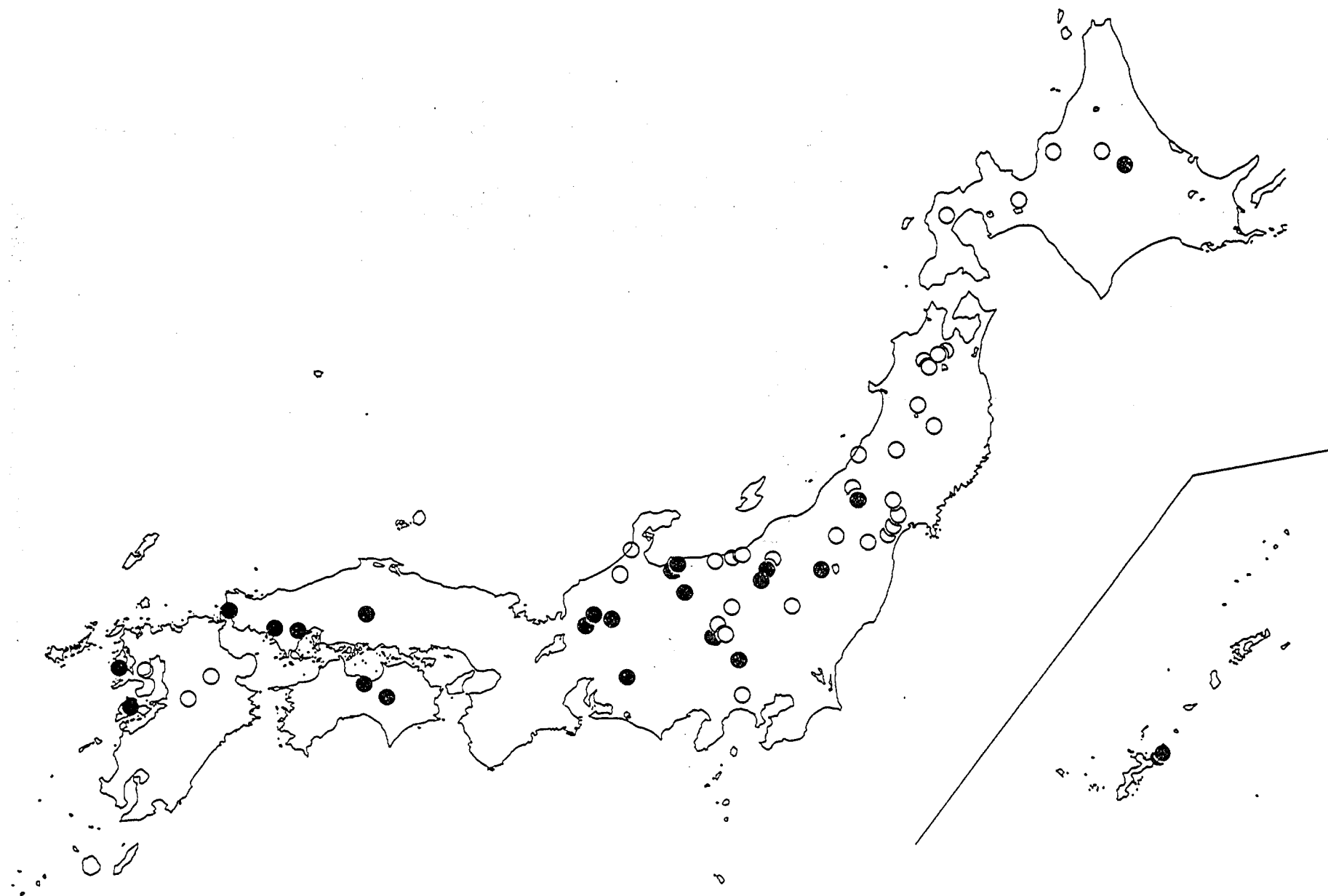
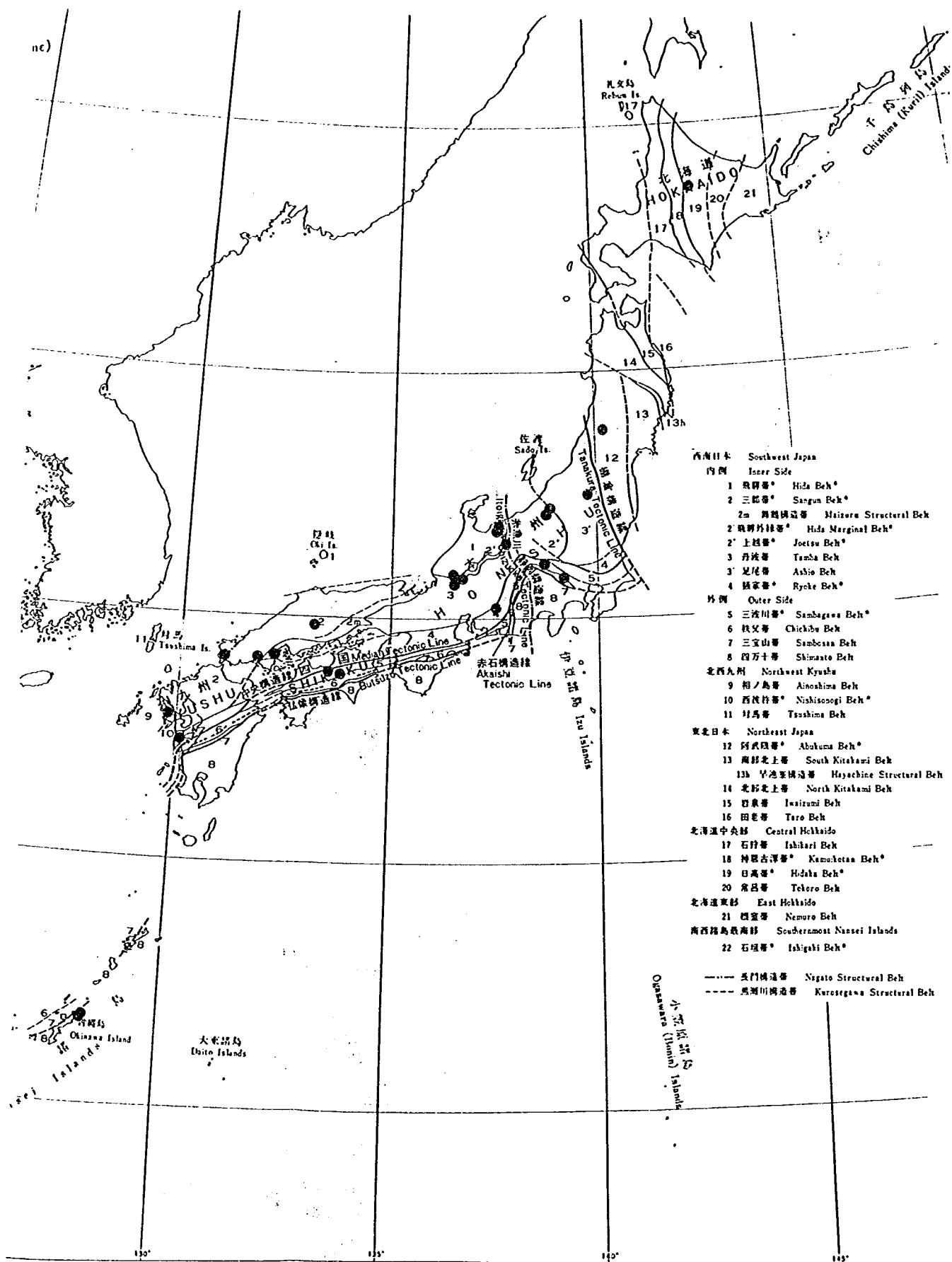


図-4 調査ダム位置図



(a) 先新第三紀ダム位置図（構造区分は地質調査所，
日本地質図 100 万分の 1，1978 による）

図-5 地質年代別ダム位置図

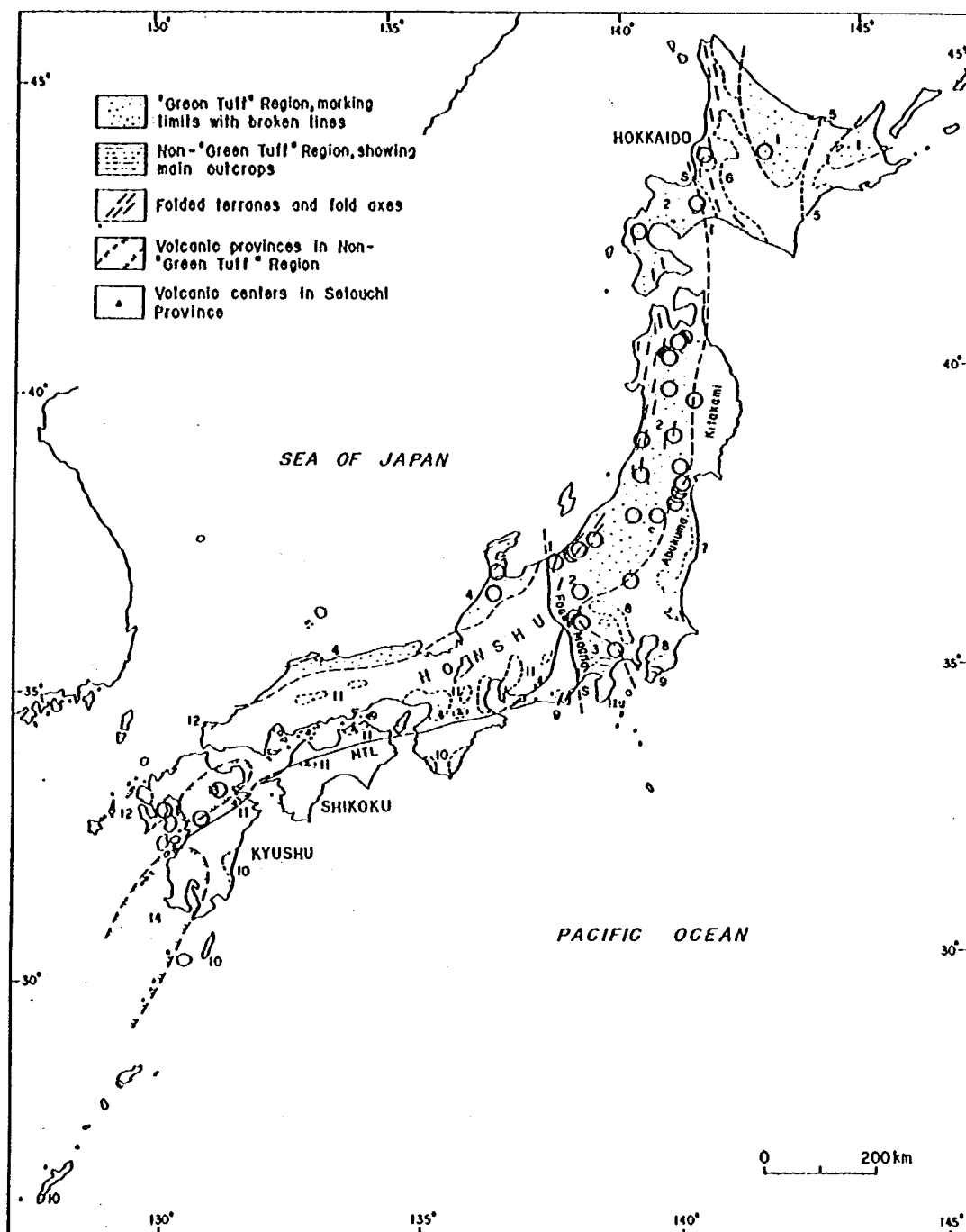


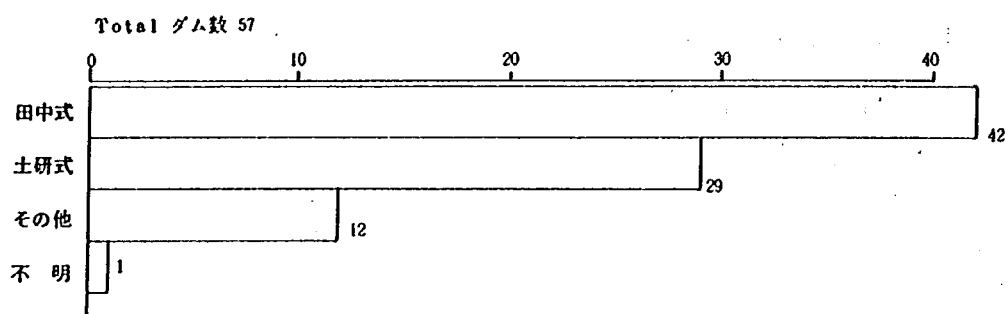
Fig. 5-1. Neogene geologic provinces of Japan.

- | | |
|-------------------------------|---|
| "Green Tuff" Region | 9. Oigawa-Boso Province |
| 1. Kitami Shiretoko Province | 10. Nankai-Outer Ryukyu Province |
| 2. Ou-Shin-etsu Province | 11. Setouchi Province |
| 3. South Fossa Magna Province | 12. Northwest Kyushu Province |
| 4. Hokuiku-San-in Province | 13. Hohl Volcanic Province |
| Non-"Green Tuff" Region | 14. South Kyushu-Inner Ryukyu Volcanic Province |
| 5. Kushiro-Abashiri Province | Line I-S. Itoigawa Shizuoka Tectonic Line |
| 6. Central Hokkaido Province | Line S-T. Sapporo Tomakomai Line |
| 7. Joban Province | Line MTL. Median Tectonic Line |
| 8. Kanto Province | |

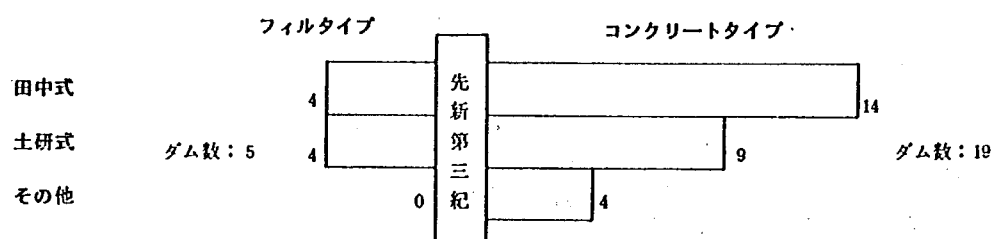
図-5(b) 新第三紀以降ダム位置図

(地質区はTANAKA, K. & NOZAWA T., Geology and Mineral Resources of Japan, 3rd. ed (1977) Geological Survey of Japan による)

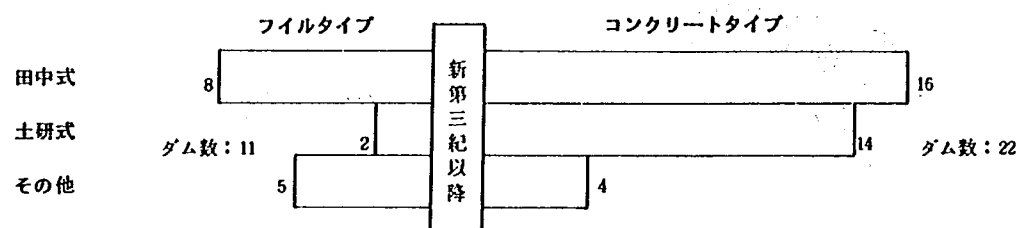
図-6は、57ヶ所のダムで採用されている岩盤分類法の頻度を示したものであるが、同図(a)より、田中式、土研式の二方法が多く採用されていることがわかる。田中式の採用度は75%におよぶ。またこの傾向はダムタイプ、地質年代の違いにあまり依存していない。すなわち、同図(b)、(c)より、



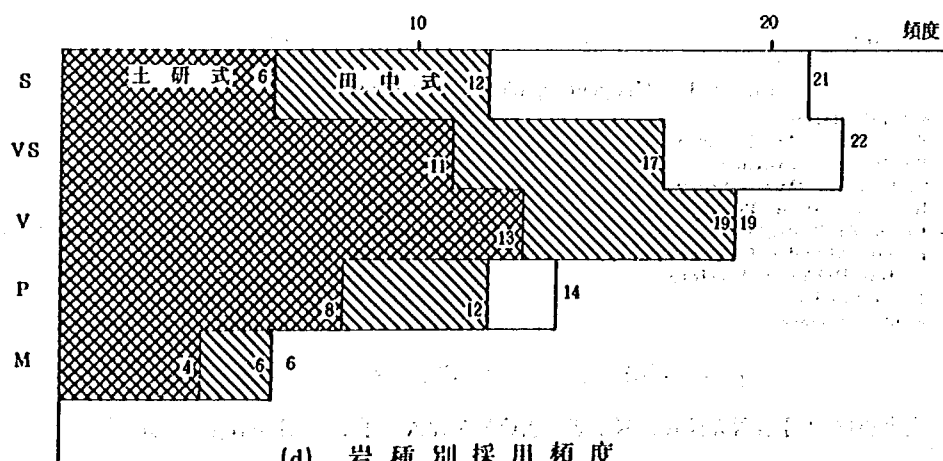
(a) 分類法別採用頻度



(b) ダムタイプ別採用頻度 (先新第三紀)



(c) ダムタイプ別採用頻度 (新第三紀以降)



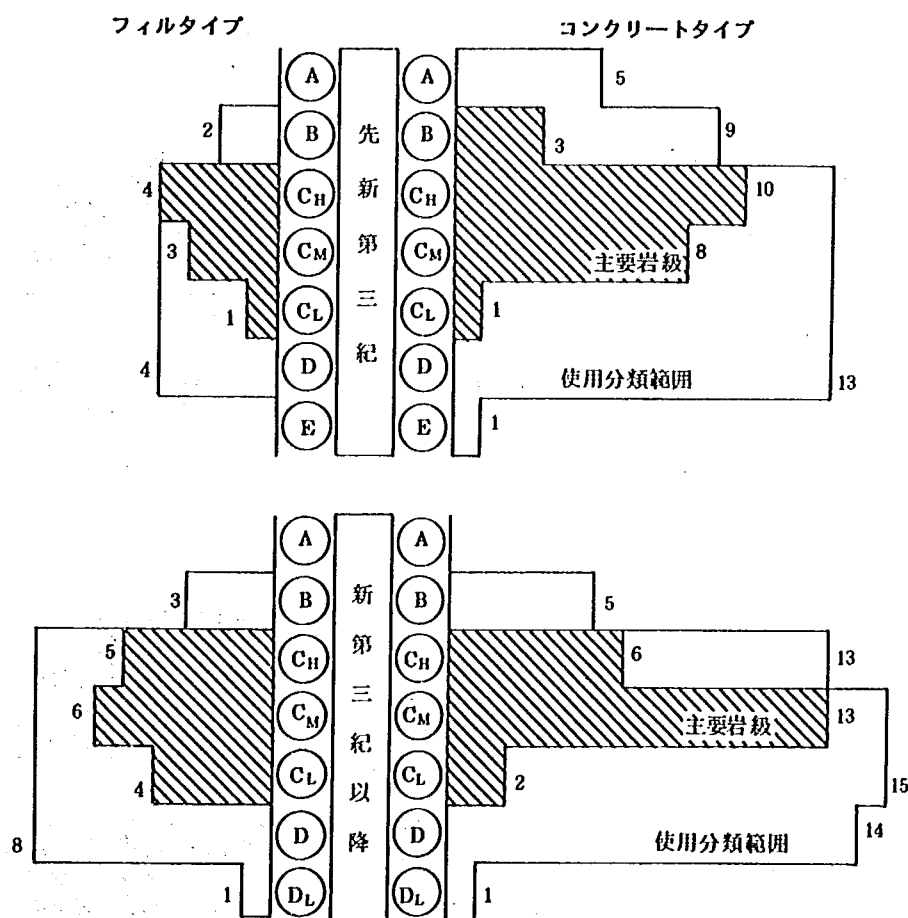
(d) 岩種別採用頻度

図-6 岩盤分類法の使われ方

新第三紀以降のコンクリートダムにおいていく分低下するものの、フィルタイプにおいても田中式の岩盤分類がしばしば使用されていることが明瞭にうかがえる。また図-6(d)は、岩種別の採用度を表わしたものであるが、特に火山岩類および火山性堆積岩類で多用されていることがわかる。

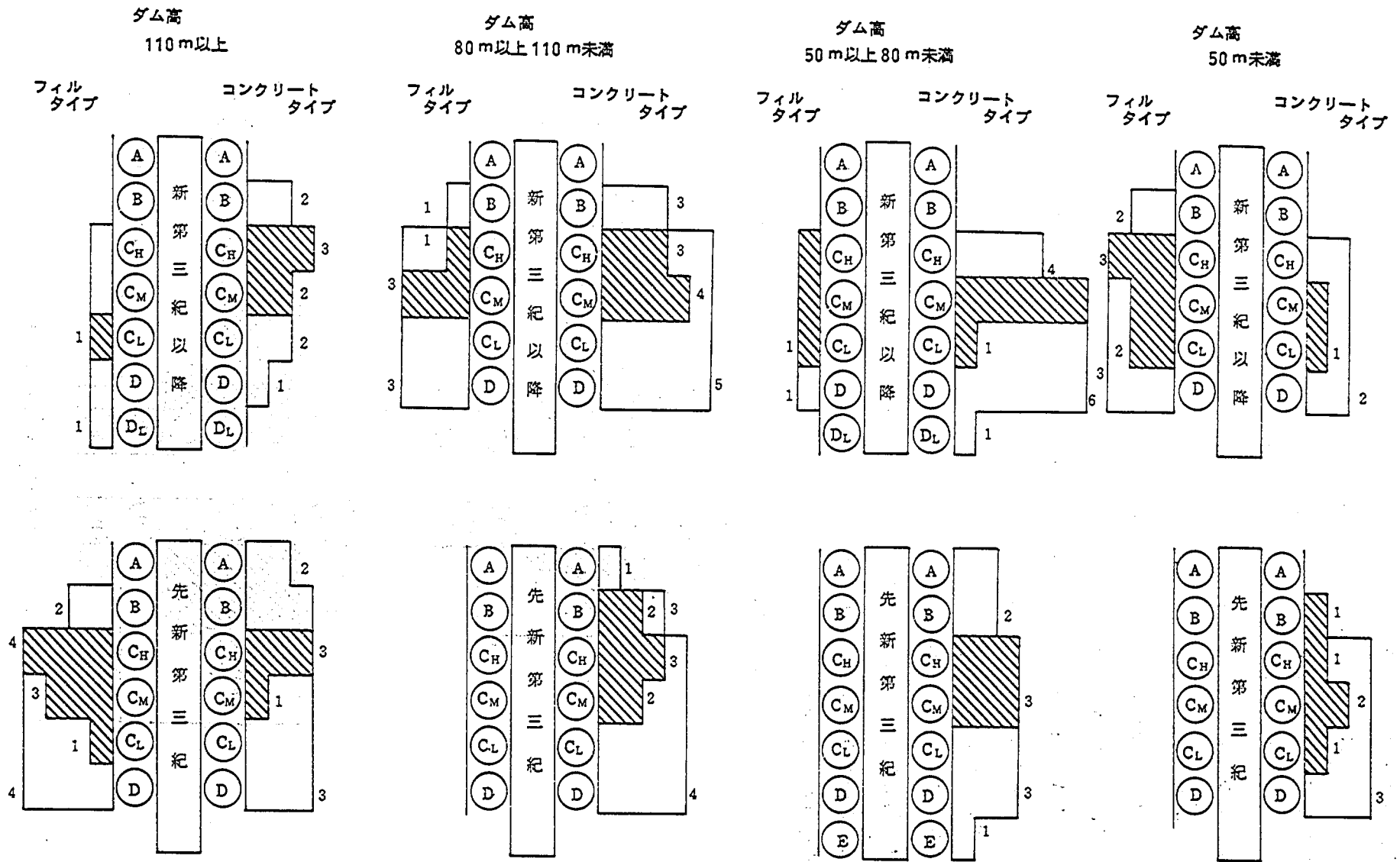
土研式分類法は、火山岩類・深成岩類を対象として出発したものであるが、本来、カコウ岩などの硬岩の風化・変質の度合を示すものである田中式分類法は、他の岩種ではどのような使われ方をしているのだろうか。

図-7は、田中式分類法について、年代別・ダムタイプ別にその分類範囲と主要岩級について累計したものである。先新第三紀のコンクリートタイプでいく分良好な岩級が使用されている他には、ダムタイプ、年代で明瞭な差違を見い出すことができない。すなわち分類範囲はほとんどが⑧ないし④_Hから④クラスであり、主要岩級は④_H、④_Mに集中している。また同図(b)は、ダム高で分けた田中式分類法の分類範囲と主要岩級の累計であるが、同図からは新第三紀以降のコンクリートタイプにおいてダム高と主要岩級とが一定の関係を示す他は有意な関係は見い出されない。ダム高が、基礎岩盤の岩級だけに規定される訳ではないが、ダムタイプ、年代、ダム高に関わらず主要岩級が④_H～④_Mに集中する傾向があるのは、基礎岩盤の状況を正しく反映した結果とは認め難く、逆に田中式分類法の主観的な適用のされ方を裏付けるものであると考えることができる。



(a) 地質年代, ダムタイプ別

図-7 田中式分類法の使用分類範囲と主要岩級



(b) 地質年代, ダムタイプ, ダム高別

図-7 田中式分類法の分類範囲と主要岩級

V 岩盤試験結果からみた田中式岩盤分類法の諸問題

次にダム基礎岩盤への田中式分類法の適用上の諸問題を岩盤試験結果から検討する。

1. 岩盤せん断試験

図-8は、集約された全岩盤せん断試験値をプロットしたものである。良好な岩級のもののほど大

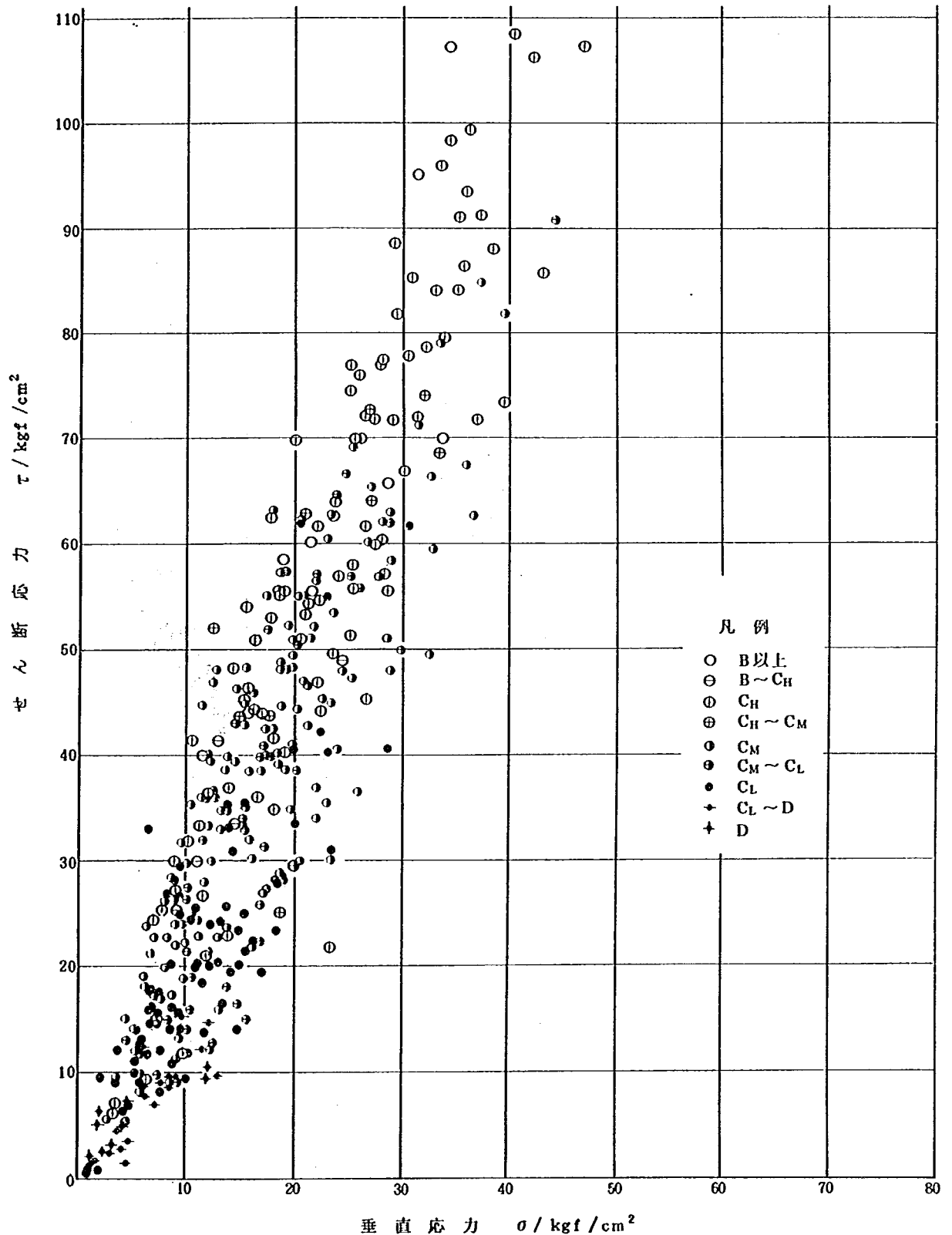


図-8 岩盤せん断試験結果(全試験値)

きな値を示すが、全域的にかなりばらついており、代表値を見出すことは困難である。このばらつきがどのような要因に起因するものであるかを明らかにするため、まず (C_H) , (C_M) , (C_L) の各岩級について、せん断試験値をダムタイプ、地質年代で分けて表示した(図-9)。図-9はしかし、この分類による明瞭な差違を示していない。フィルタイプにおいて古い時代のものがやや大きな値を示す程度である。

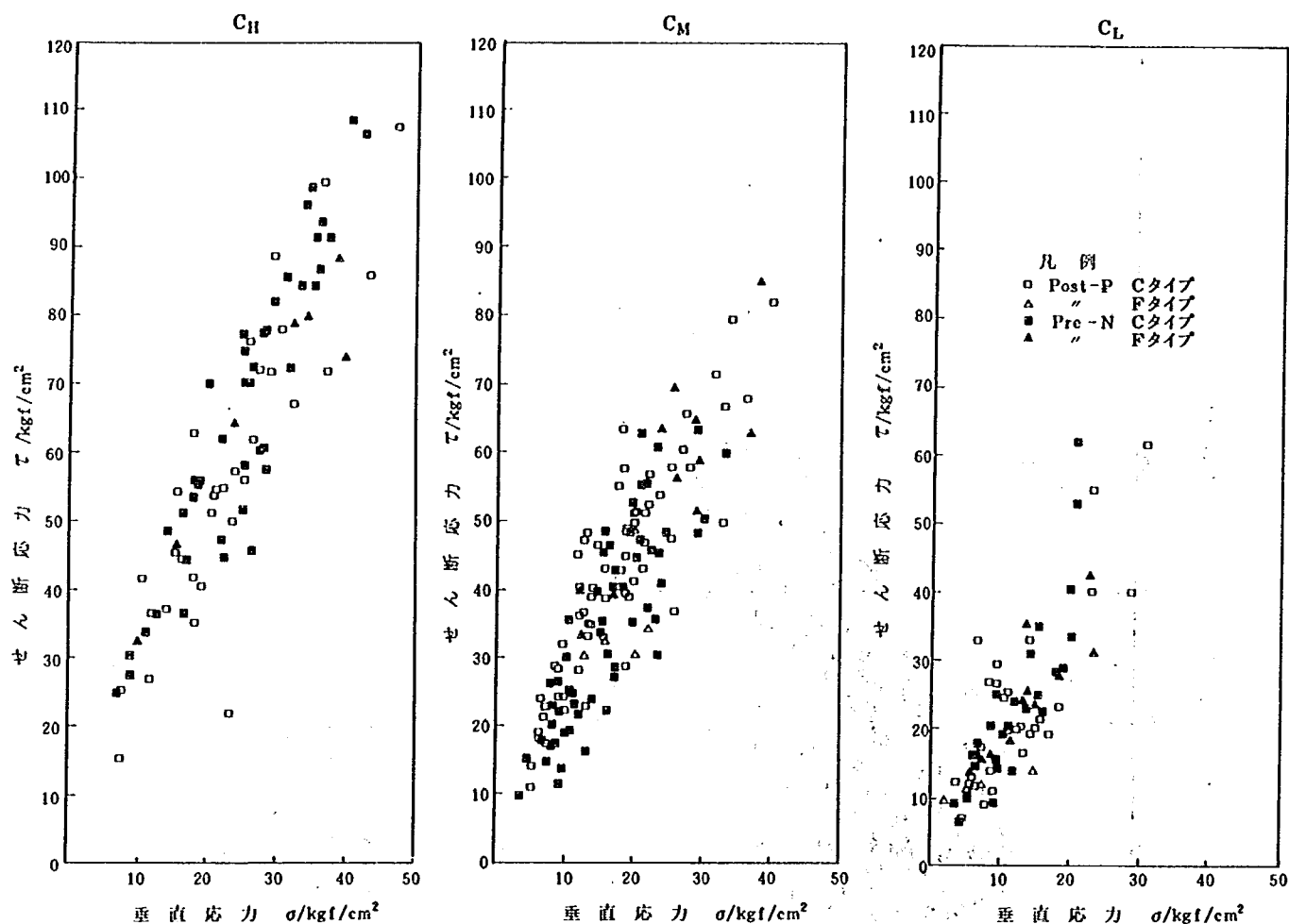


図-9 岩級別せん断試験値

図-10は岩種で区分したせん断試験値である。深成石類・変成岩類などの硬岩では岩級区分が比較的うまく行なわれていると言えるが、火山岩類・堆積岩類では区分が良好であるとは言難い。特に新第三紀以降の堆積岩類（NSと略）では、せん断強度の小さい領域に(C_H)～(D) クラスがひしめいている。

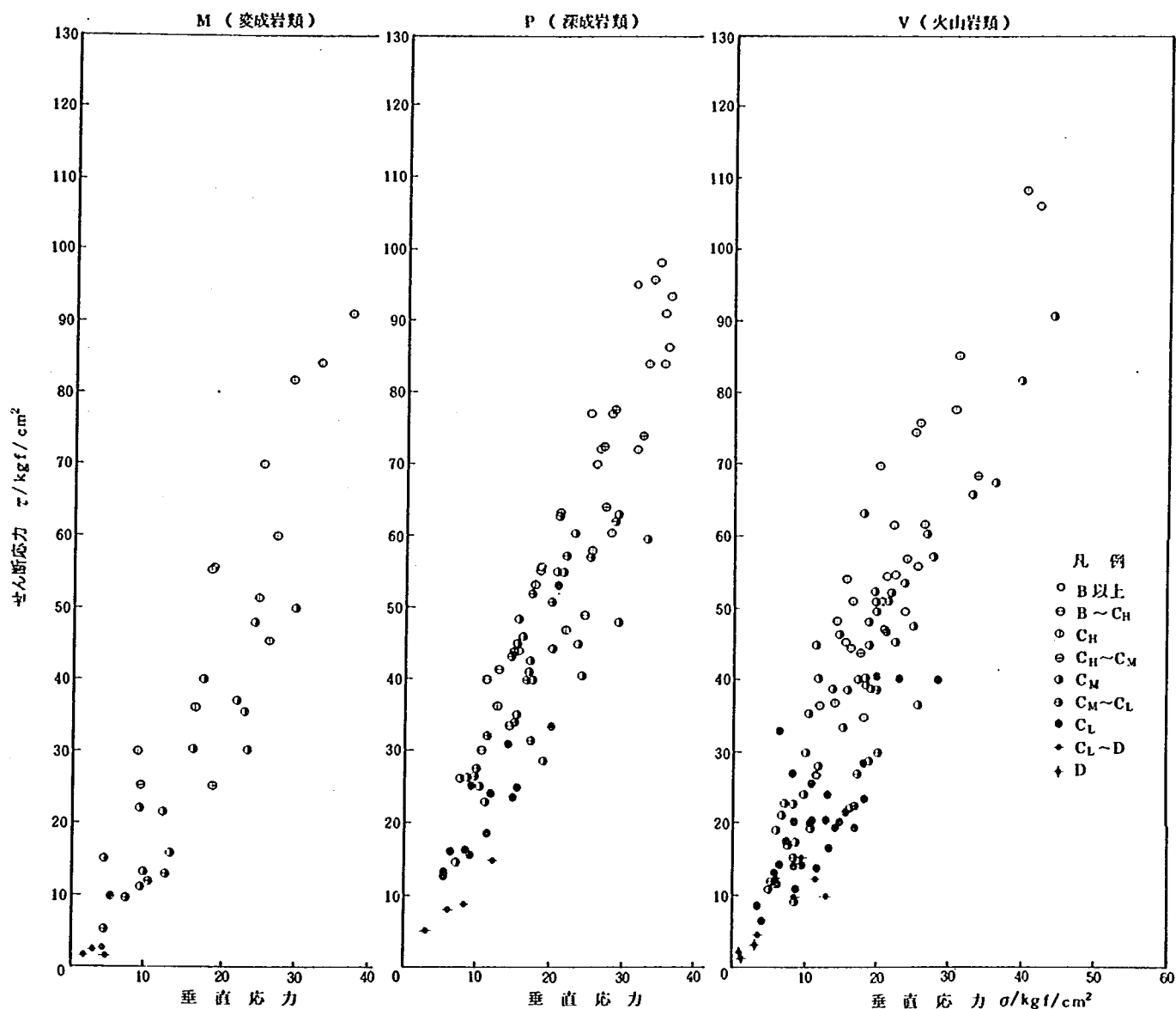
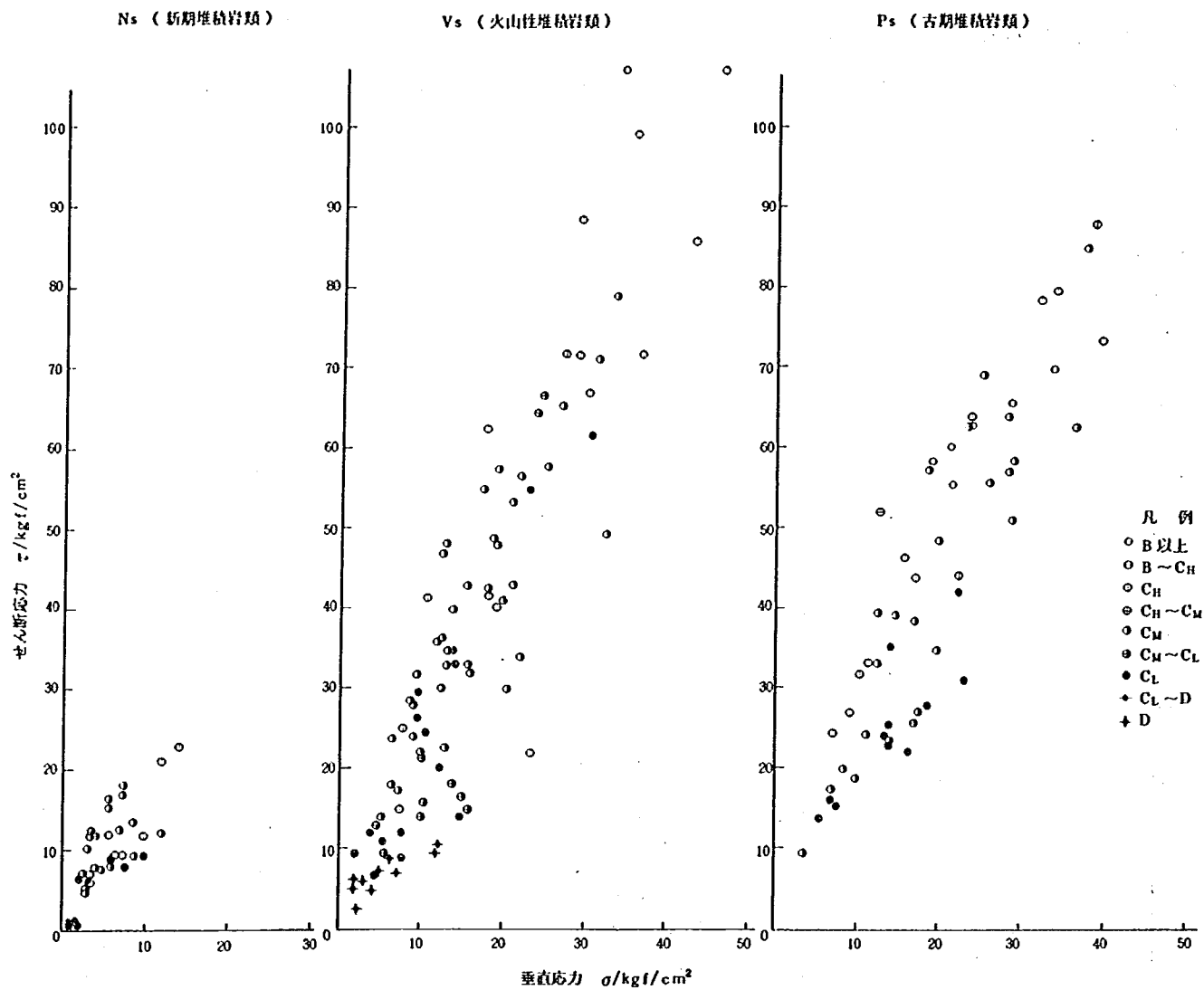


図-10 岩種別せん断試験値



図一10(続) 岩種別せん断試験値(堆積岩類)

図-11, 12はせん断試験における完全破壊点のせん断応力-水平変位の関係を示したものである。図-11より、全般的な傾向としてせん断応力と水平変位とは負の関係にあることが認められるが、ばらつきが著しい。一方(C_H)クラスの試験値についてみると破壊点のせん断応力はばらついているが、水平変位量の小さい領域で切れている。また(C_L)クラスでは破壊点の水平変位量はばらつくが、大体において低いせん断応力レベルで切れている(図-12(a), (c))。この傾向は(B)クラスや(D)クラスの試験値にも見い出すことができる。それに対して(C_M)クラスの試験値は、(C_H)と(C_L)の中間的傾向を呈しながら広く分散的な分布をしている(図-12(b))。このことは視認等による(C_M)クラスの分級基準そのものを、試験結果によって修正することを要求するものであるが、裏返せば、(C_M)「中間的性格」が拡大解釈されやすいことを示唆するものである。極論すれば、田中式の定性的記載によって、(C_M)が「はきだめ」的あつかいを受けていることを示している。

水野(1982)はせん断試験値のこのようなばらつきの原因として、

- ① 岩級区分自体のばらつき
- ② 岩級の誤認
- ③ せん断試験の良否
- ④ 岩盤せん断試験特有の誤差

を指摘しているが、一般に、同一のダムサイトにおいては、良好な岩級になるほどせん断試験値が

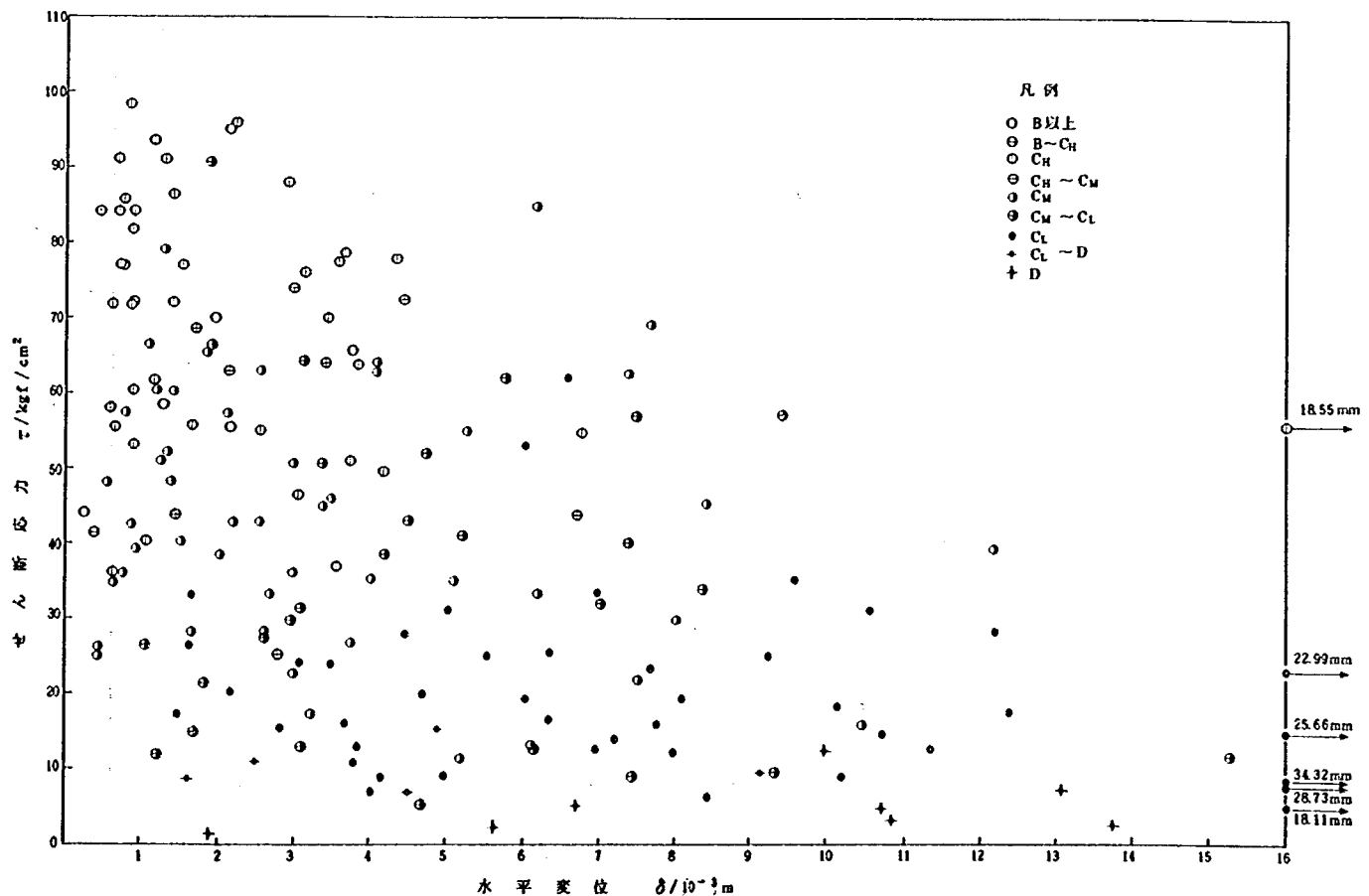
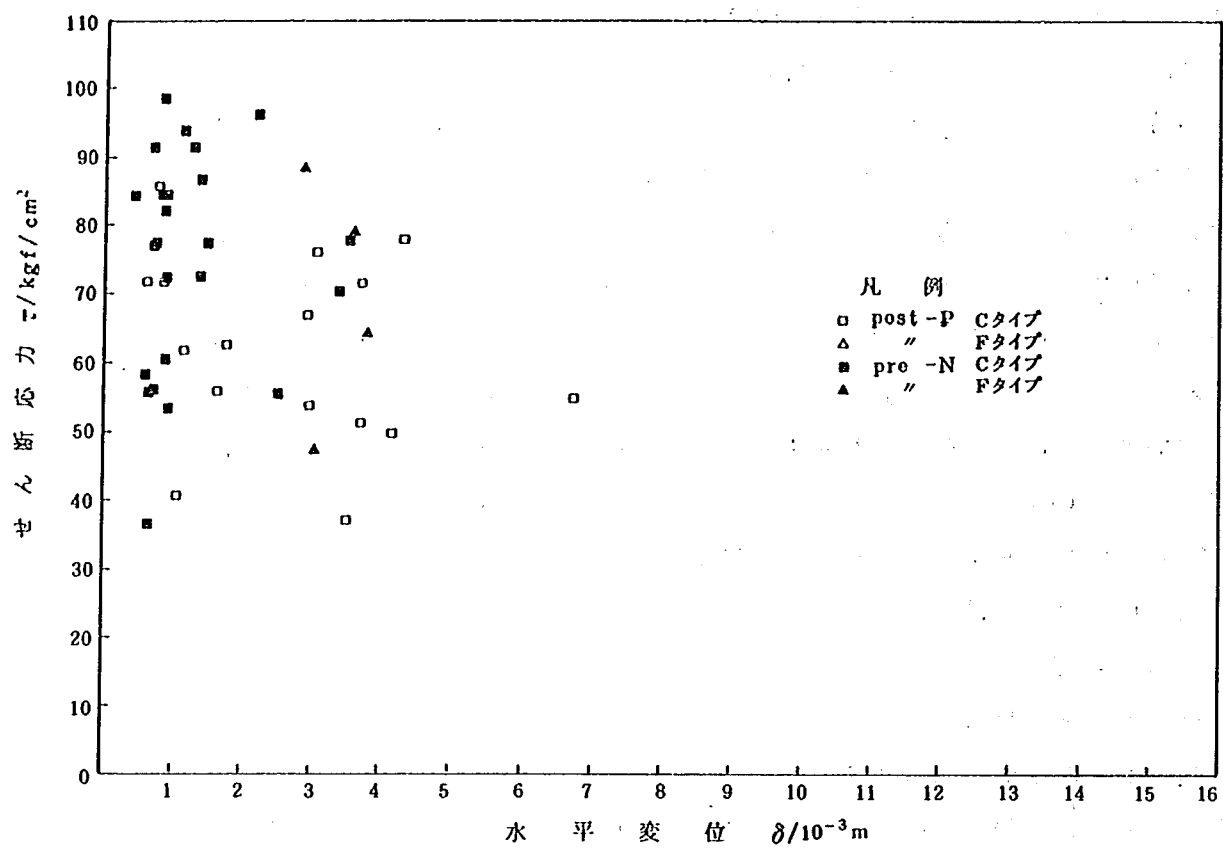
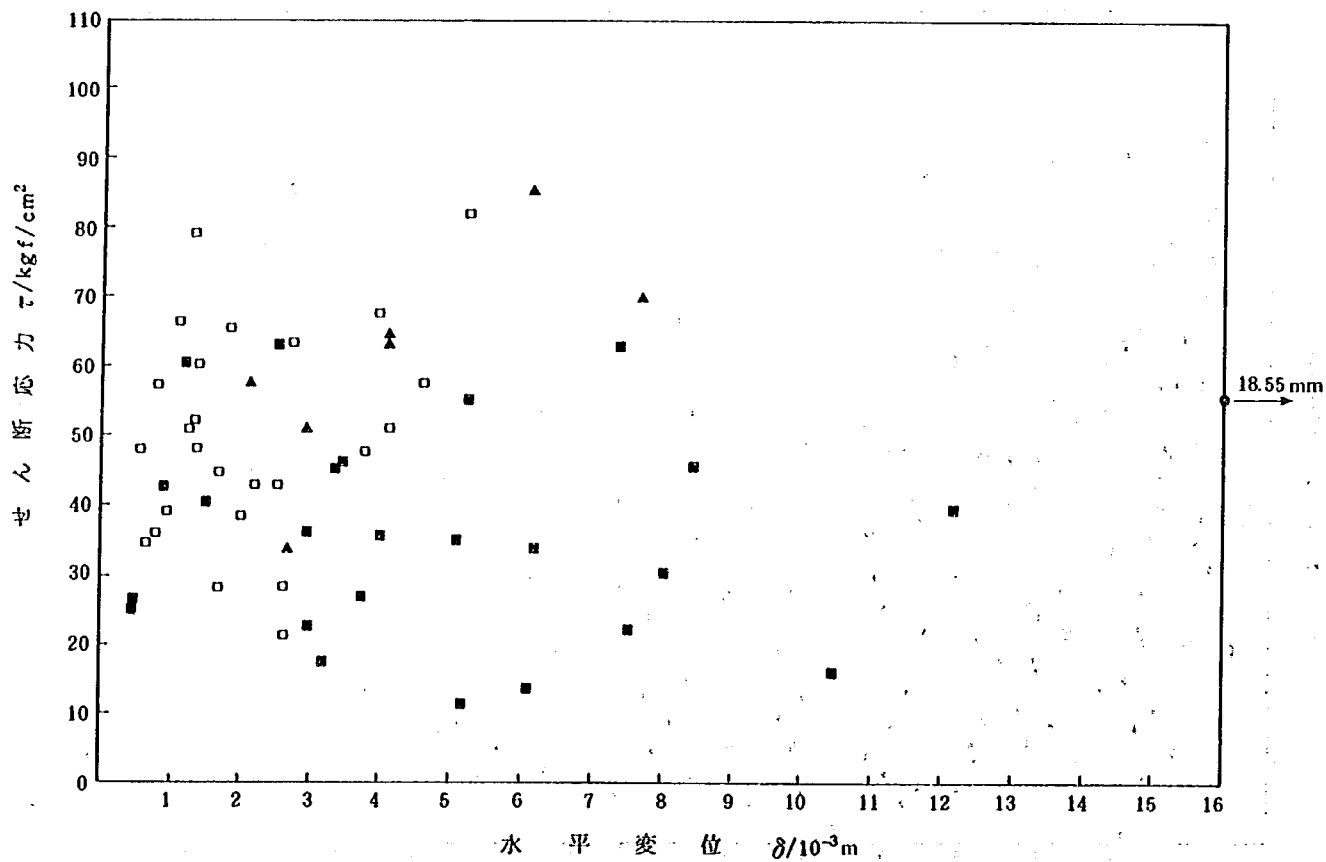


図-11 完全破壊点のせん断応力-水平変位(全試験値)



(a) C_H 級



(b) C_M 級

図-12 岩級別せん断応力—水平変位

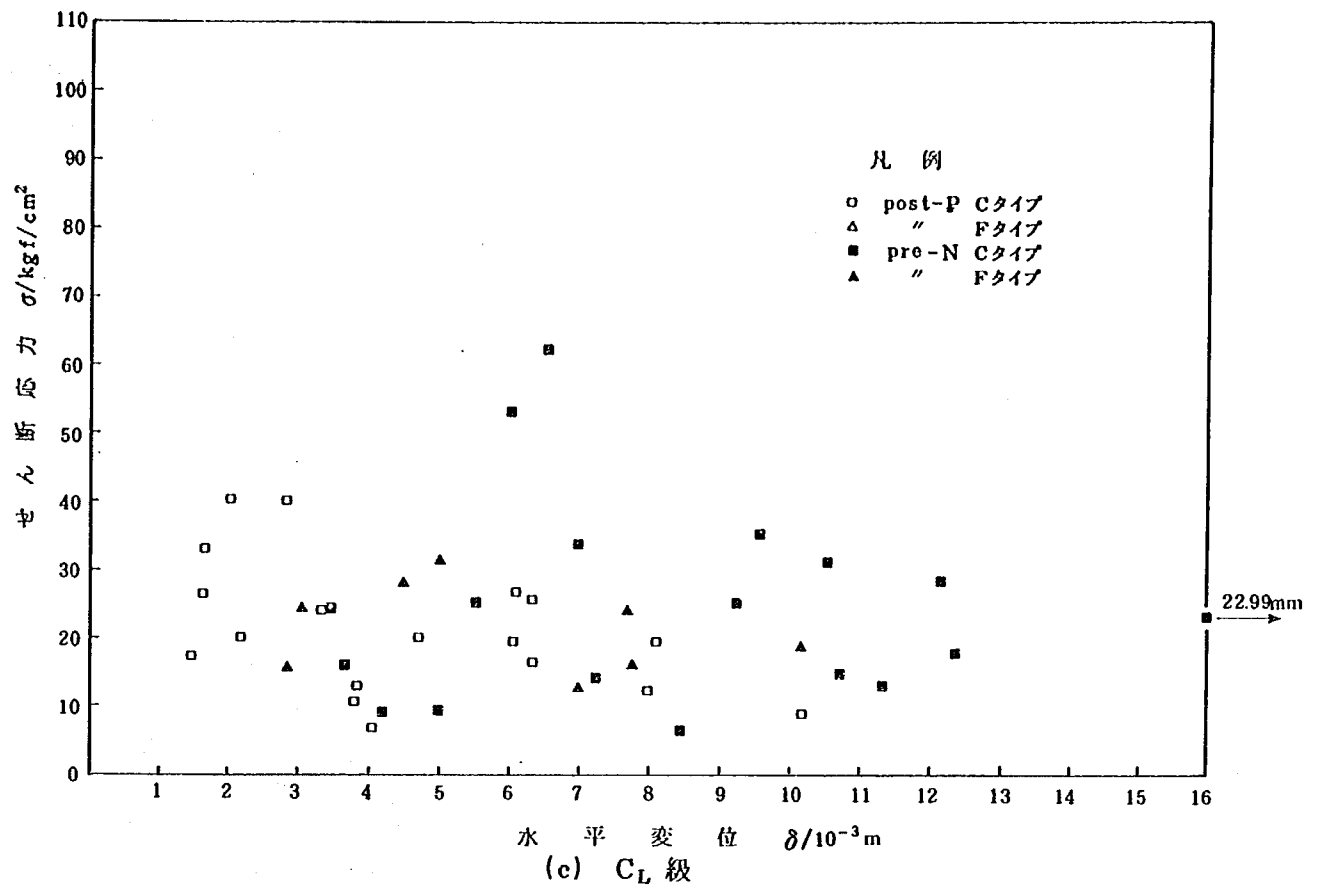


図-12 岩級別せん断応力 - 水平変位

大きくなるのが通常であるので、図-8～12に認められるばらつきは、上記原因の③、④より①、②の、すなわちせん断試験よりむしろ岩盤分類の影響を強く受けたものであるということが出来る。そしてこのばらつきは、図-2の作業仮説を強く指示するものである。

2. 平板載荷試験

図-13は、平板載荷試験およびせん断試験の先行載荷によって求められた変形係数($D/\text{kgf}/\text{cm}^2$)と接線弾性係数($Et/\text{kgf}/\text{cm}^2$)の全データを両対数目盛でプロットしたものである。平板載荷試験より求めた値とせん断試験時の先行載荷より求めた値の間には有意な差違は認められなかった。同図から、ほぼ $Et \approx 5000 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ を境にして試験値が $D/Et = 1$ の直線に漸近していくことが認められる。一般に D/Et の値は、岩盤のゆるみ、非弾性的性質を反映していると解釈されているが、地山の初期応力状態や、試験面の盤下げ状況に大きく影響されるため断定的な議論は危険だが、概ね、良好な岩級のものほど $D/Et \approx 1$ の線に近くなっている。

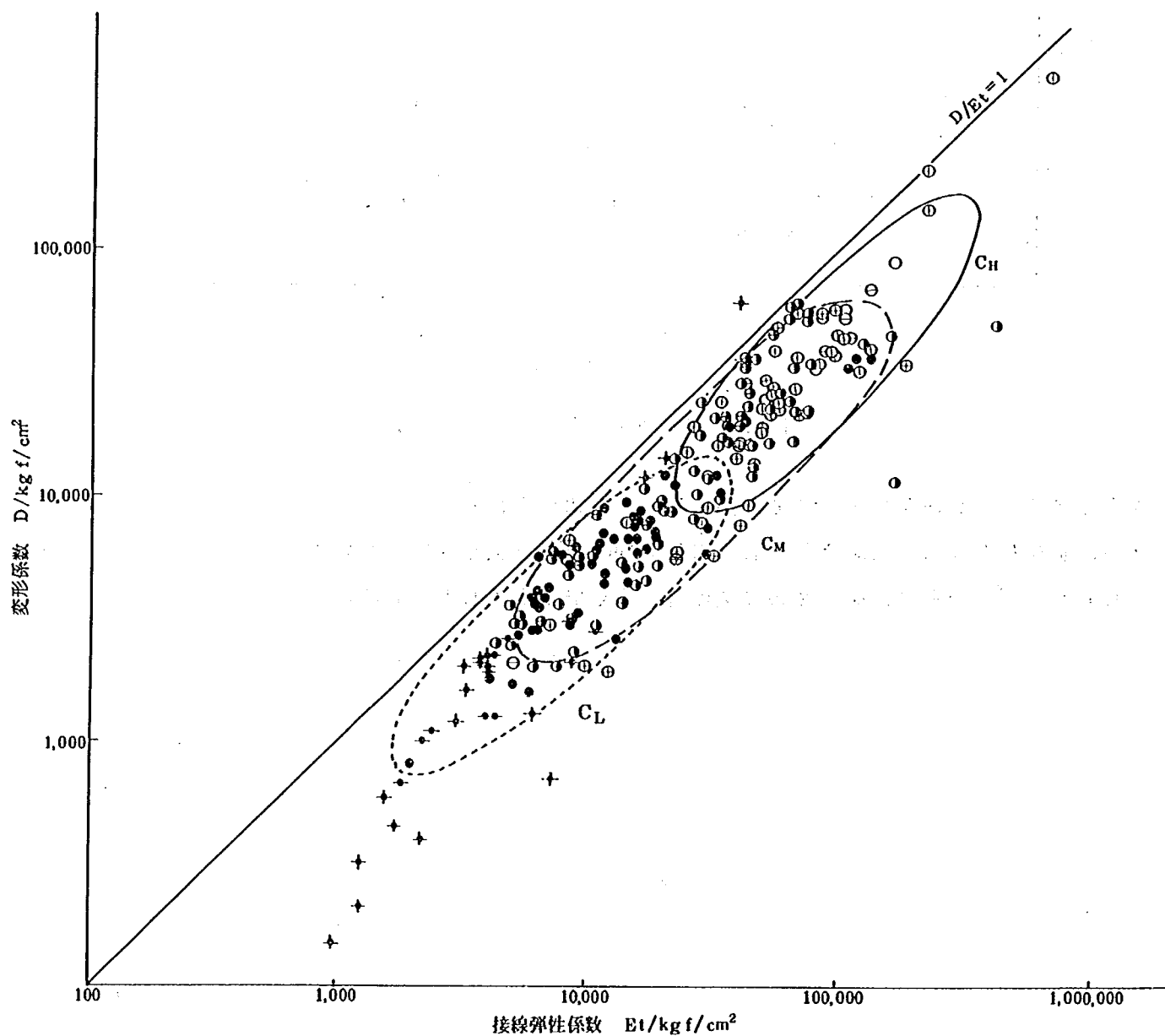
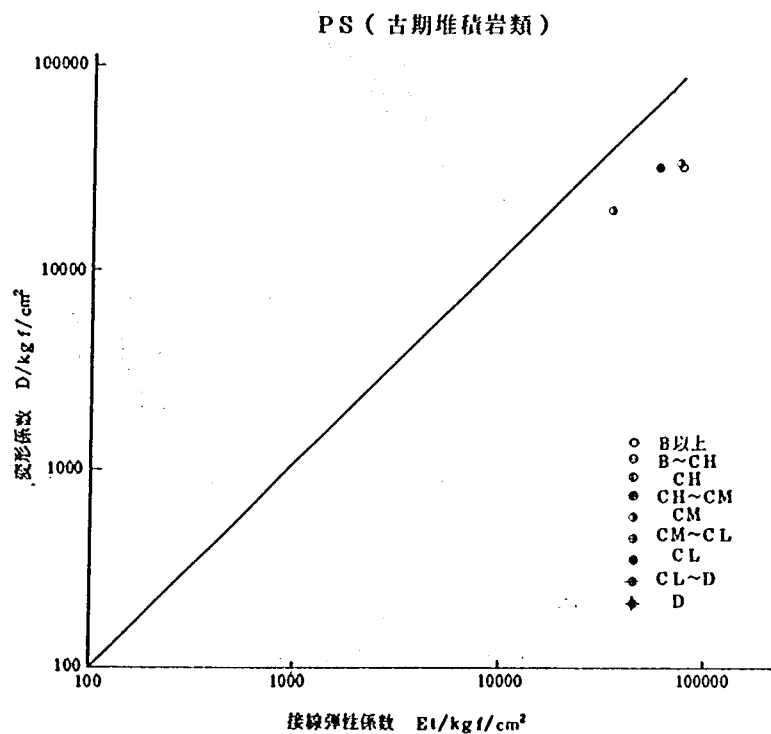
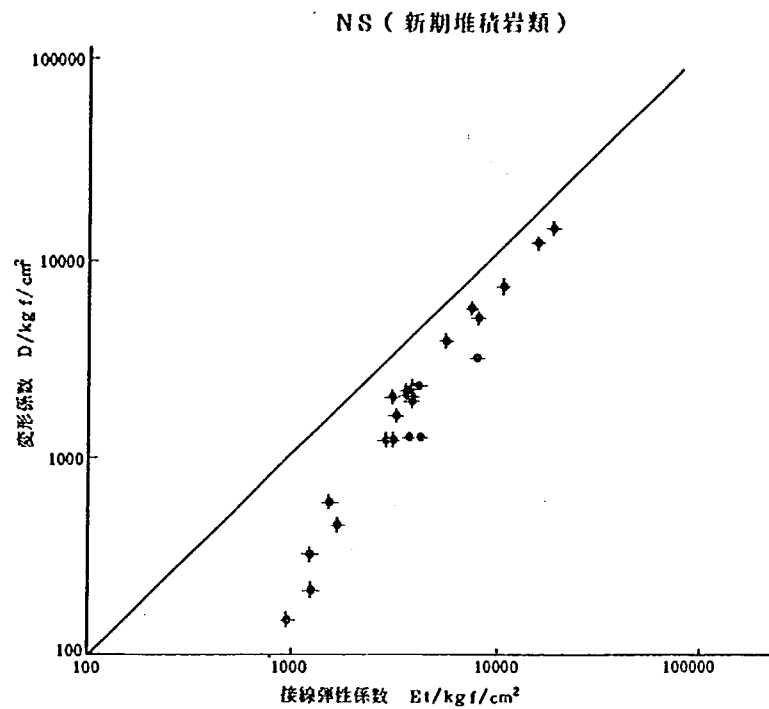


図-13 平板載荷試験結果

図-14は岩種別に試験値を分けたものであるが、深成岩類では分級がうまくいっているのに対し、新第三紀以降の堆積岩、および火山性堆積岩類では各岩級の拡がり方が大きい。 (C_M) クラスの Et

は $4,000 \text{ kgf/cm}^2$ から $80,000 \text{ kgf/cm}^2$ にもおよぶ。そのほか、変成岩類は試験値が少ないが分級は良好であり、火山岩類ではかなりばらついたものになっている。これらのことは、田中式分類法の適用が、堆積岩類、火山性堆積岩類および火山岩類では適正化されていないことを示唆している。



(a) 堆 積 岩 類

図-14 岩種別平板载荷試験値

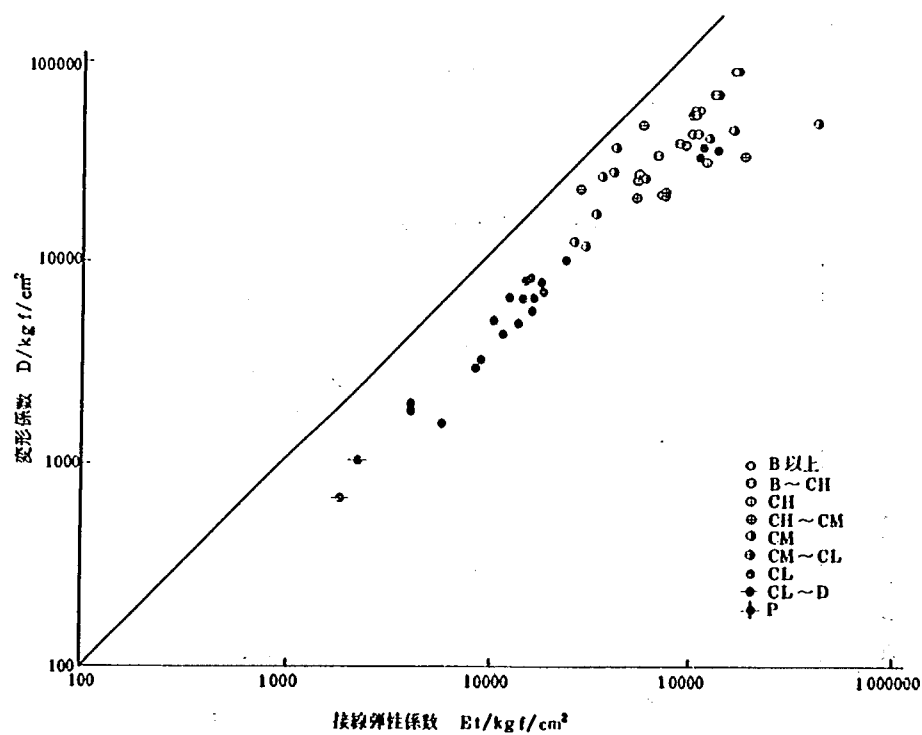
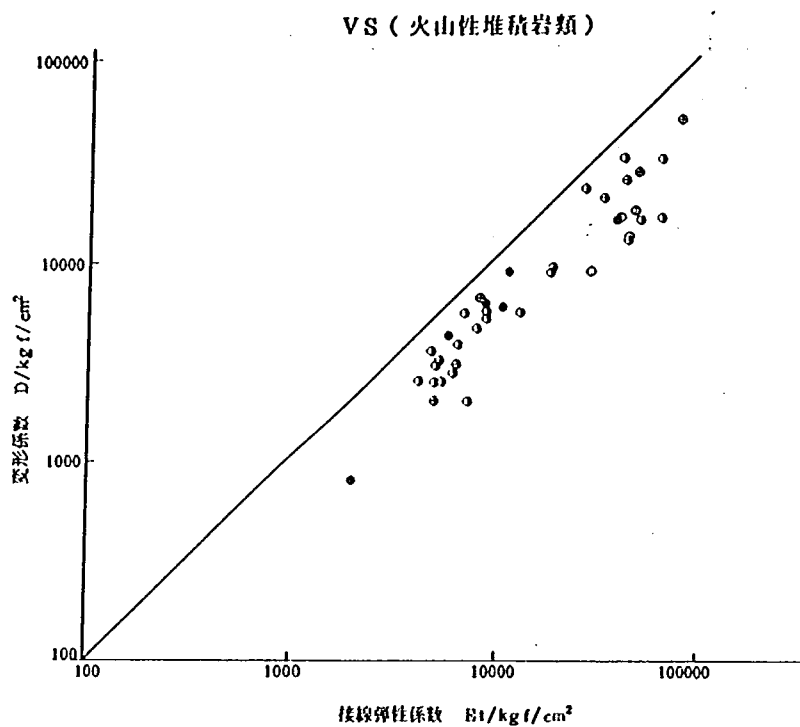


図-14 岩種別平板载荷試験値

図-15, 16は, D/Et が割れ目の密度・状態もしくは岩盤のゆるみの状況をよく反映する, また最大荷重 (σ_{max}) 载荷後の残留変位量 (δ_r) を normalize した値 (δ_r/σ_{max}) が岩盤の弾性的性質をよく反映するとして両者の関係を示したものである。図-15は, 明らかに右下りの関係を示している。すなわち, D/Et の値が小さくなる程標準化した残留変位量が大きくなっている。これは荷重-変位曲線を想起すれば当然予想される関係であるといえる。図-16は岩種で分けたものであるが, データ数は少ないものの火山性堆積岩類を除いて両者に極めて明瞭な直線近似が成立することを示している。直線の傾きは岩種によって明らかに異なっているが, この違いが岩種による弾性的・非弾性的性質の相異をどのように反映したものであるかは, 今後の検討課題である。変成岩類・深成岩類では岩級区分との相関性も見い出すことができる。これに対し, 火山性堆積岩類では明瞭な相関を見い出すことができない。これは岩種としての火山性堆積岩類の範囲の広さを示すものかもしれない。また試験寸法オーダーでの不均質性を反映したものかもしれない。さらにデータを集め検討していることが求められている。

平板载荷試験値に認められる以上のようなばらつきは, せん断試験の場合と同様に岩級区分の不適切性を強く表現したものであるといえる。また同試験値の整理の一手法として図-14, 15に示した方法が有効であることを示している。

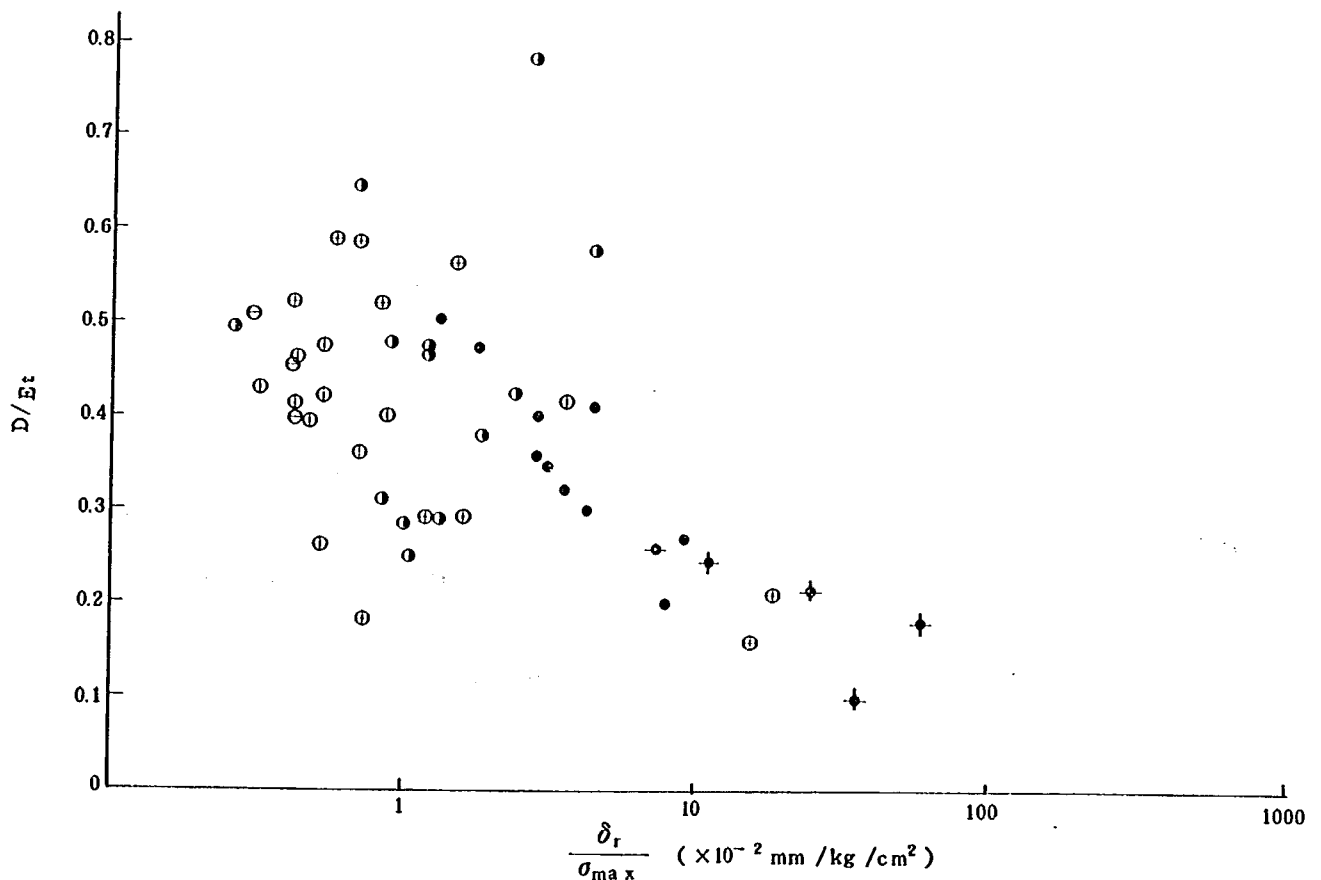
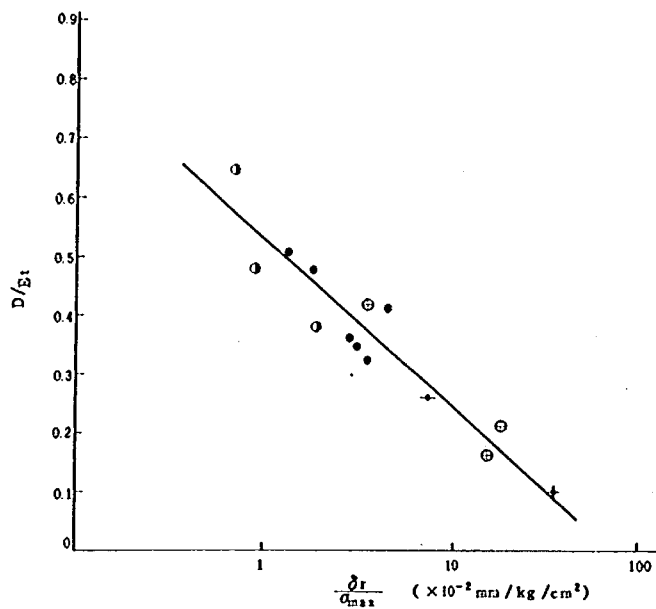
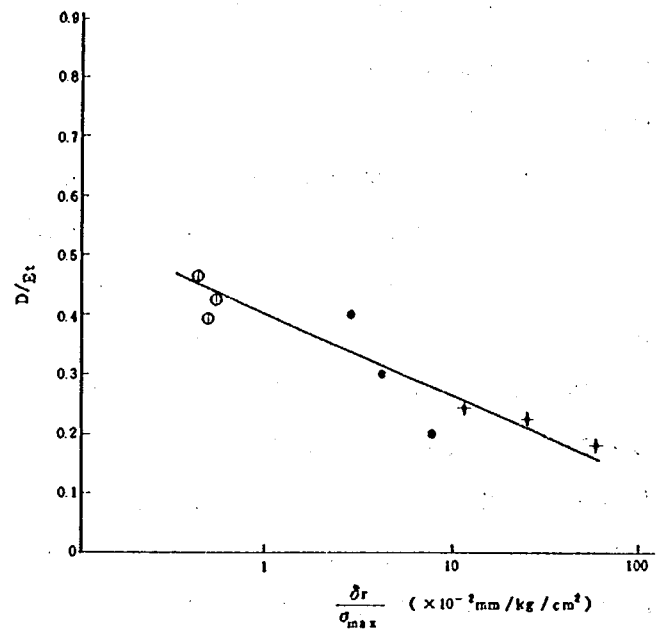


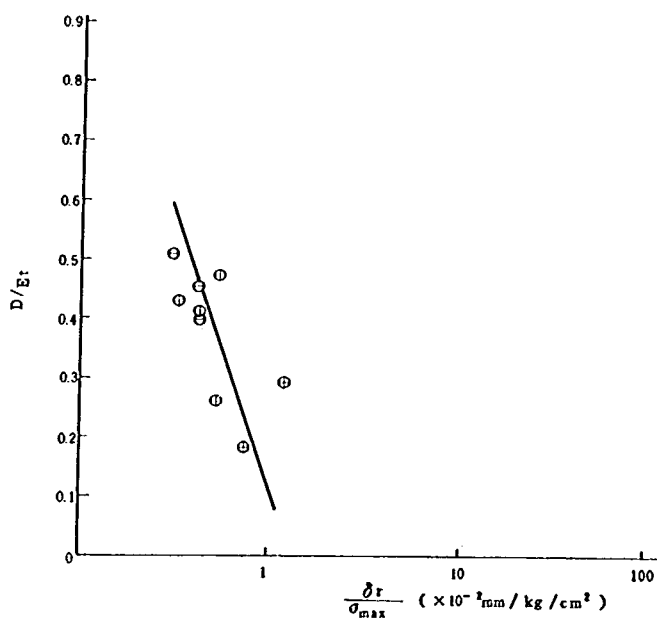
図-15 D/Et と δ_r/σ_{max} の関係



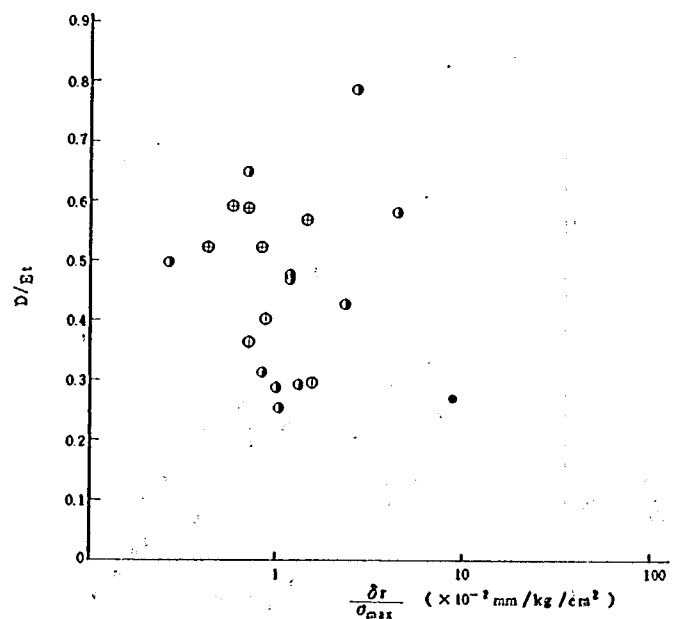
(a) 火山岩類



(b) 変成岩類



(c) 深成岩類



(d) 火山性堆積岩類

図-16 岩種別にみた D/Et と $\delta r/\sigma_{max}$ の関係

V ま と め

以上のように現在採用されている岩盤分類法は、ダム基礎岩盤の合理的評価の要請に充分に応えきれていない。特に田中式分類法の分類基準の曖昧性・相対性は、その適用と帰結としての岩級区分を著しく不統一なものにしている。すなわち区分された岩級とせん断強度、弾性係数、変形係数などの外的基準とが一義的に対応せず、各ダムサイトでダムタイプやその規模および対象岩種を念頭に非統一に対応づけられている。したがって合理的な岩盤評価を実行していくためには、分類基準そのものから曖昧性・相対性を駆逐することが求められている。岩盤の強度を決定する主要な要因として、岩片強度および不連続面の状態（例えばその巾、角度、面積、まさつ係数など）が考えられるが、このうち後者の影響を定量的に解析することは困難な課題である。今後、より厳密な記載をおこなうとともに、不連続面の状態を定量的に判断することの可能な（例えば 斉藤・菊地（1975）によるシュミットハンマー反発度）方法について検討していくことが求められる。

参 考 文 献

- 菊地宏吉, 斉藤和夫, 井上大栄 (1975), 耐荷力を対象とした岩盤分級基準の提案, 第 9 回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要, 66-70
- 工藤慎一 (1960), ダム基礎岩盤の調査, 土木技術資料, 2-3, 96-101
- 水野光章 (1982), 岩盤の原位置せん断試験にかかわる諸問題, 土木研究所資料, 第 1769 号, 12-49
- 岡本隆一 (1963), 川俣ダムサイトの地質(1), 土木研究所報告, 第 120 号, pp 34
- 岡本隆一 (1965), 下釜ダムサイト左岸地質調査報告, 土木研究所資料, 第 68 号, pp 38
- 岡本隆一, 安江朝光 (1966), ダムサイトにおける岩盤区分の試み, 土木技術資料, 8-9, 423-432
- 斉藤和夫, 菊地宏吉 (1975), 岩盤計測におけるコンクリートシュミットハンマーの適用, 第 9 回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要, 61-65
- 田中治雄 (1959), ダムの地質と基礎処理, 発電水力講習会テキスト, 発電水力協会, 135-154
- 弓削田英男 (1981), ダムと地質, 応用地質学, 国際科学振興財団, 84-146

質 疑 応 答

市川（東北）： 岩盤分類の話なのですが、岩盤分類と言うのが何を意識してなされているのかと
考えなおさないといけないのが第一点、それと、もともとトンネルとダムではやはりかなり違い
まして、トンネルの場合は岩盤区分がすぐ支保の間隔ですとか、巻厚とかに跳ね返る。岩盤区分
そのものを使って設計にいくのですが、ダムの場合は残念ながら岩盤区分が設計にそのまま跳
ね返るという話ではないこと。それからダムというのは持場が広いものですから、ダムサイドで
施工上あるいは設計上非常に問題になる所を、即ち悪い部分を拾い出すと言うところから岩盤区
分が始まるのではないかという気がします。田中式の岩盤分類と言うのは、あるダムサイトごと
に定性的に良い部分、悪い部分を拾ったというだけの話で、私見ですが例の菊地－斉藤方式に数
値の裏付けをするというのはあまり賛成できないのです。岩盤区分の話を聞いていますと、どう
も相対評価ではなく絶対評価による岩盤区分をなされたいように聞きとれるのですが、それがは
たして個々のダムにもってきた場合、どの位のメリットがあるのだろうか、全国を横に並べても
のが言える絶対的な岩盤区分というのが、どのくらい必要なのかという点についてどうお考えな
のか教えていただきたいと思います。それから田中法に限定されますけど、田中法はむしろ私が
言った様な理由で数値と並べてプロットしても、もやもやとなるのは当然なんだろうと思うので
す。そこで、土研式や菊地－斉藤法がこういう数値のプロットした場合、どの位合うかどうかと
いうのを聞きたいのですが。

稲崎： まず相対性評価でいいのではないかという話ですが、はじめのうちは私も各ダムサイトで
その様な使われ方をしていれば良いと思っていたのです。しかし、例えば土研では各所を見ている
ので、 C_H クラスとか C_L クラスの岩盤とかがある程度統一的に理解されているわけです。し
かるに、まだ未固結の岩盤を「 C_H 」として見せられてもはたしてどうかという気がするのです。
各ダムでそういう相対評価がやられているとすると、逆に分類法というものにどれだけの意味が
あるのか、その点に疑問を抱くわけです。絶対的な評価として何か統一的な考え方ですべてを分
類していこうとするやり方がある程度頭においているわけですが、もちろん強度だとか変形性に
効いてくる様なパラメータというのはたくさんあると思います。そこで、何が一番きくかという
様な所を判断するような、そういう評価の仕方、分類の仕方というのを考えていかななくてはなら
ないのですが、例えば田中式について見れば、それは硬岩の風化過程を対象とした分類の仕方であ
りまして、定性的ではありますがその過程を表わすような記載がなされています。それをその
まま軟岩の岩盤に適用していくと、どうしても無理が生じるわけです。そのあたりをもう少し考
えてみる、さまざまなパラメータを検討してみるという努力をまず先にすべきではないかという
考えでいるということです。

土研式についてはまだ検討の段階で、一応データを集めてみたのですが、57ヶ所のうち29ヶ所
で使われていますが、例えば A－I－b という様な岩盤はどうかと言うと、まだ議論できるくら
いの数量になってないので、もう少し集めてやっていきたい。分類の要素としては9通りあるわ

けで、田中式よりデータ数を多くしないとなかなか物がはっきりしないのではないかということ
で、これからやっていくつもりです。

桑原： 相対評価と絶対評価の話は、この後斉藤さんがまたもう1つ、いろんな剪断試験とかまと
めておられまして、その後で議論したいと思います。

加藤（建大）： 今、市川さんが総合的な質問をされましたので、具体的に2,3報告された中で御
伺いします。この分類法の話はだいぶ前から出まして、やっとまとめていただけてわかりやすくな
ったと思います。まず3つ程御伺いしたいのですが、1つは2ページの図-2(a)の分類要素自
体での不統一ということで提示されているものですが、これについてAダム、Bダム、Cダムと
ございますが、これの岩の種類がわかりましたら教えていただきたいというのが1つと、それか
らこういう分類をしたことによっていろんなダムの計画上、実施上、支障になった事例があるのか
ないのかということ、これは市川さんが総合的に質問されたことに関連されることですが御伺
いしたい。第2の質問として76ページの表-7ですが、ダムの岩盤分類調査一覧ということで3
ページほどございますが、これの機関を見ますと県と地建が主で、水資源が一部入っているもの
でございますが、これの機関とあと電力とか水資源が残っているかと思いますが、こういうデー
タは入り得なかったか、またもしある程度お持ちでしたらそういうものを入れて、なおかつ田中
式はどんな比率になるのかそれを御伺いしたいのですが。それから、第3点としまして必要剪断
強度について、これはダムによって違うと思いますが、例えばアーチダムでも大きさによって違う
でしょうから、アーチダムの標準的なもの、例えば100m位なもの、グラビティの標準的なもの、
例えば80m位なもの、ロックフィルで80m位なものと言った場合に、それぞれについて必要な剪
断強度というのはいったいどのくらいなものかということを示していただきたいのですが。

稲崎： まず第1点の図-2(a)のAとかBとか言うのは、全くの作業仮説でありまして、予断と言
いますか、こうであるのではないかという、作業を始めるにあたって姿勢とか考え方を示す為に
書いたものでありまして、この図-2(a)のAダム、Bダム、Cダムというのは特定のダムに対応
するものではありません。頭の中で考えたものであります。それから表-7に示されます様に、
57ヶ所集めたわけですが、集めるのにだいぶ苦労がありまして報告書や工事誌を全部で150点く
らい集めまして、その中から岩種だとか岩盤分類とか取り出してみたものです。見る資料として
は、したがいまして集まりやすい資料ということで、直轄、補助などの土研の中に資料があるか
借りやすい様なものがメインでして電力のダムだとか農林のダムだとかは、ほとんど入っており
ません。それからあとダム高との関係ですが、どの程度のダムができるかというのは、岩盤・弱
層などがどの様な分布を示しているとか、いろいろな要素が効いてくるのではっきり言えない
のですが、大体重力、アーチでは150 t/m² ~ 200 t/m² 程度ではないかと思います。フィルでは
透水性変形性が大きく効いてきて、剪断強度はあまり問題にならないと思います。

加藤： 最近のダムの、例えば堤敷に対しての剪断強度というものを御伺いしたかったんです。市
川さんの質問とも関連するのですが、岩盤分類の上のほうの岩盤は構造物に対しては、耐えられ
る剪断強度を有している、そういう状況の中に岩盤分類をいたずらに細かくやっても意味がない

のではないでしようかということを知りたかったのです。

稲崎： 付け加えるのを忘れたのですが、図-8,9にしても下限がどこにきているかが問題になるのではないかと思います。上の方はいくら行っても安全側なわけで、例えば C_H クラスでコンクリートで切れている様なものは当然それ以上の強度はありまして、大して問題はないのですが、 C_H クラスと判断した様なものでも30t程度の強度しかないものは、そういう試験値や分類は採用されるべきでないという様な試験値のチェックとともに、その様な評価をした分類法についても厳密性を要求していくような議論はどうしても必要になってくると思います。

猪熊(土研)： コメントなのですが、例えば図-11で剪断応力と変位とをプロットされてますが、この剪断応力と言うのは当然垂直応力によって変わってくると思うのです。それが C_H と C_L ですと垂直応力の値が前のグラフなどを見ましても大部異なっているだろうと、もし比較するのでしたらこのあたり同じ垂直応力同士の点をプロットして比較しないと、このままですと間違った結論を招く様なグラフになるのではないかと思います。どうでしょうか。

稲崎： この図は、完全破壊点、ブロックの破壊した点での剪断応力と水平変位を取ったものでありまして、そういう一つの“点”の値であるわけです。破壊点を応力と変位で分けることに意味があるのではないかということで作ったものであります。ですから剪断応力が C_L クラスとかD岩盤になってくると低い所で切れるというのは当然なのですけれども、その時の水平変位というのは C_L では大きい所で切れるし、 C_H では1mm~2mmだとか小さい所で切れる、それに対して C_M の方は両方にまたがっているということを言いたい為に3枚並べたわけでありまして、

2-5 ダム基礎岩盤の岩盤分類と

原位置試験値との相関性に関する一考察

土木研究所ダム構造研究室

主任研究員 斉 藤 孝 三

ダム基礎岩盤の岩盤分類と原位置試験値 との相関性に関する一考察

はじめに、主としてダムの岩盤分類と工学的な関係について、現場的な見地からいろいろ検討したもののについて報告するものである。

ダム設計に用いる岩盤の力学的定数を基礎全体について面的あるいは深さ方向について検討するために岩盤分類が行われる。しかし、岩盤分類を行うことは、非常にダム基礎の範囲が広いため、いわゆるマクロ的なものであることに對し原位置岩盤試験はダム基礎全体から見れば極めて小さいと言うことで、非常にミクロ的であると言うことが出来る。したがって、岩盤分類といわゆる物性値の相関関係の良いことが、我々がダムの設計あるいは施工上の為には非常に大切なことである。実際に岩盤分類や試験値の見直しと言うのは、個々のダムについては、その都度修正がなされているために、非常に精度が良いのが普通である。しかしながら、地質が異なった場合の相関性と言うのは、かなりの問題があると考えられます。

1. 地質別岩盤分類と強度特性

図-1はダム構造研究室が所有している岩盤せん断強度試験値について岩盤分類別にプロットしたものである。上限下限について ϕ を45度とした場合の試験値の範囲を仮に作成したものである。これからも明らかな様に、 C_H 級では大きく、 C_M 、 C_L になると、しだいに小さくなり、全体的には各岩級区分に相應した強度関係にあると言うことが解る。ただし非常にバラツキが大きいのが特徴である。

次に表-1は今回の資料整理に用いた直轄コンクリート35ダムの試験地点の地質についてまとめたものである。この分類方法は、造岩鉱物の物理的性質あるいは、割れ目の発達状態、性状等が共通した特徴を有するだろうとする考え方によるものである。図-1の C_M について再度 τ の関係図を作成したものが図-2である。

図-2には、中生代堆積岩からグリーンタフ堆積岩まで、一様に表示してある。これについても同じ様に ϕ を45度とし、上限下限および各平均について線を引いてみると、分類した岩種別に明らかに差異があることがわかる。しかしながら全体のバラツキをみると、図-2-1の中生代堆積岩、あるいは図-2-2の変成岩及び図-2-3の深成岩については非常に大きいことが解る。図-2-4については火成岩のうちの火山岩であるが、ダムのデーターが2ダムの資料しかなかったために非常にバラツキが少ないものと考えられる。図-2-5のグリーンタフ堆積岩は主として凝灰角礫岩であるが、非常にバラツキは少ない。これはキレツが少なく、岩盤分級の基準がマトリックスの固結度が主となっていて、いわゆる分級がしやすい岩盤であろうと推定される。以上岩種別にみると、中生代の堆積岩と変成岩及び深成岩のバラツキが非常に大きいことである。

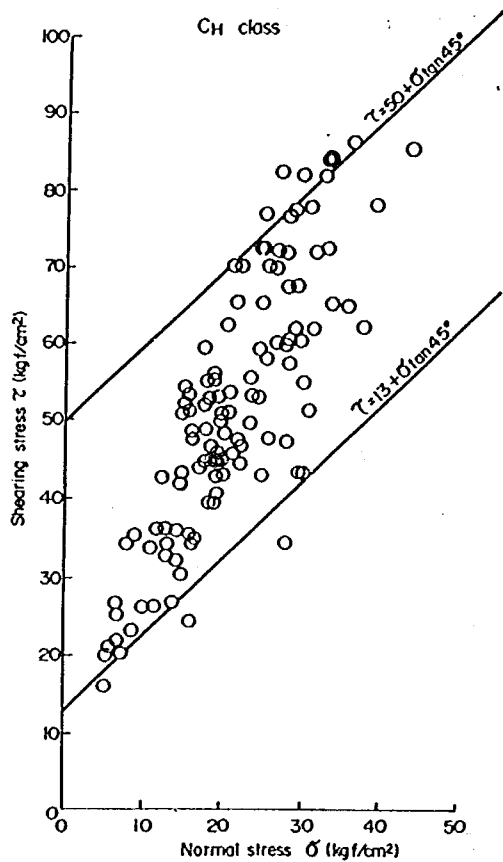


図-1-1 C_H 級の全試験値

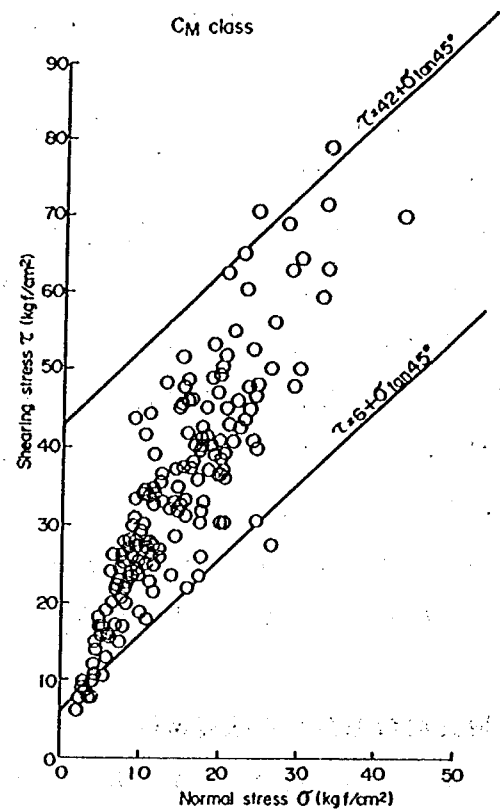


図-1-2 C_M 級の全試験値

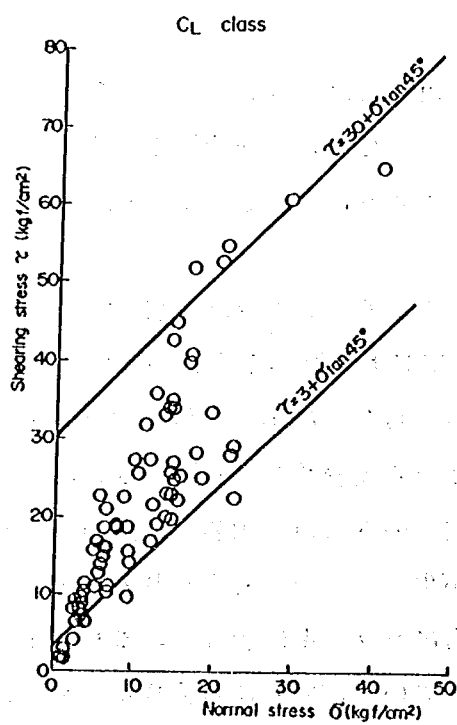


図-1-3 C_L 級の全試験値

図-1 岩級別全試験値のせん断強度と垂直応力の関係

表 - 1 ダム名と成因別岩種区分表

ダムNo	タイプ	高さ (m)	岩 種 名	ダム名	タイプ	高さ (m)	岩 種 名
(1) 中生代堆積岩				(3) 火成岩深成岩			
3	G	100	砂岩, 粘板岩, チャート	1	G	35	片麻岩質石英閃緑岩
5	G	140	砂岩, 粘板岩	2	A	100	両雲母花崗岩
6	G	96	輝緑凝灰岩	4	A	127	ひん岩, 花崗岩, 輝緑岩
8	G	140	輝緑凝灰岩, 砂岩, 粘板岩	10	G	87	角閃石黒雲母花崗岩
9	A	107.5	砂岩, 粘板岩, 砂岩と粘板岩互層	12	G	120	玢岩
12	G	120	粘板岩, チャート	14	G	107	黒雲母花崗岩
13	G	60	砂岩, 粘板岩	21	G	97	石英閃緑岩
22	G	112	粘板岩, 砂岩, 互層帯	23	G	84.9	黒雲母花崗岩
27	G	75	粘板岩, 砂岩, 粘板岩と砂岩の互層	24	A	155	黒雲母花崗岩
30	G	55.5	砂岩	28	G	72	花崗岩
(2) 広域変成岩				29	AG	111	かんらん岩
11	G	78	砂質片岩, 黒色片岩	(4) 火成岩火山岩			
16	G	117	結晶片岩類	15	G	78	流紋岩
25	G	86	千枚岩 (粘板岩質)	17	G	100	玄武岩
26	G	41.5	千枚岩 (輝緑凝灰岩質)	18	G	112.5	石英安山岩, 石英斑岩
31	G	106	黒色片岩	19	G	96.5	玄武岩
29	AG	111	変成岩類	35	G	55.5	輝石安山岩
32	G	88	結晶片岩	20	G	125	安山岩
4	A	127	片麻岩	(5) 火山性堆積岩 (新第3紀以降)			
A : アーチ式, G : 重力式				7	A	140	凝灰角礫岩
				17	G	100	凝灰角礫岩
				19	G	96.5	凝灰角礫岩
				20	G	125	凝灰角礫岩
				33	G	65	凝灰角礫岩
				34	G	155	火山礫凝灰岩

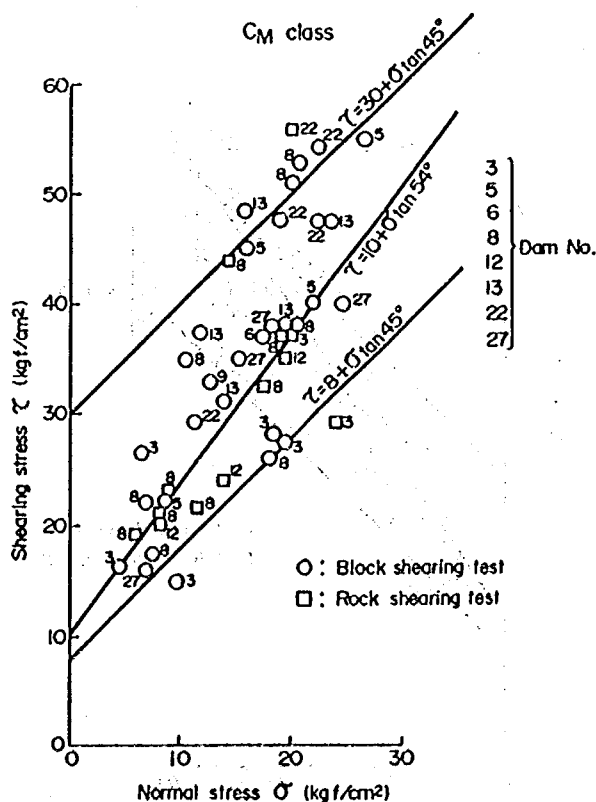


図 - 2 - 1 中生代堆積岩 C_M級

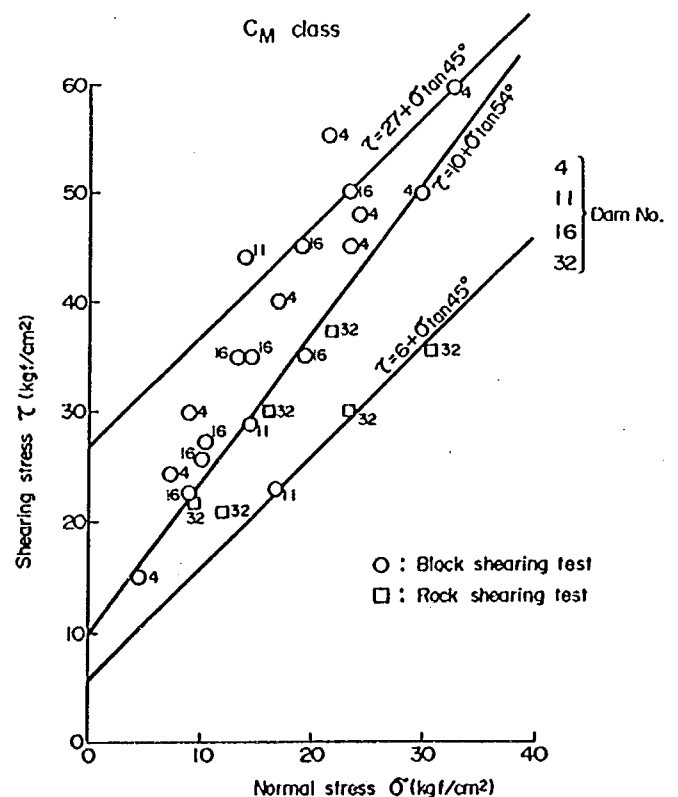


図 - 2 - 2 変成岩 C_M級

図 - 2 岩種区分別せん断強度と垂直応力の関係 (C_M級の例)

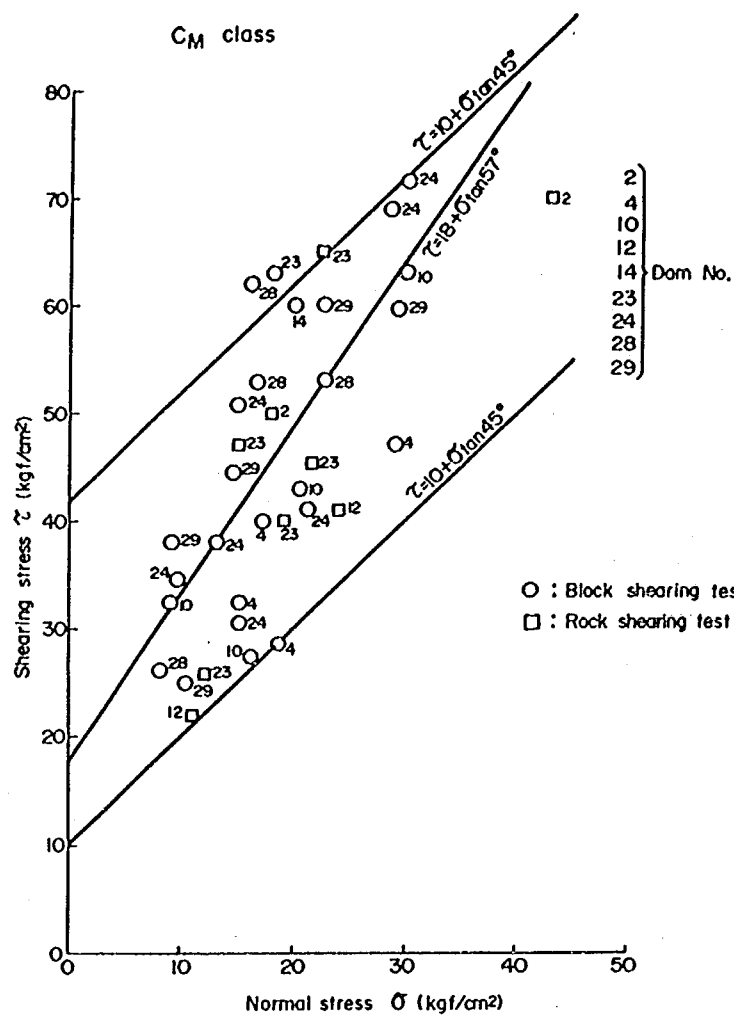


図-2-3 火成岩 深成岩 C_M級

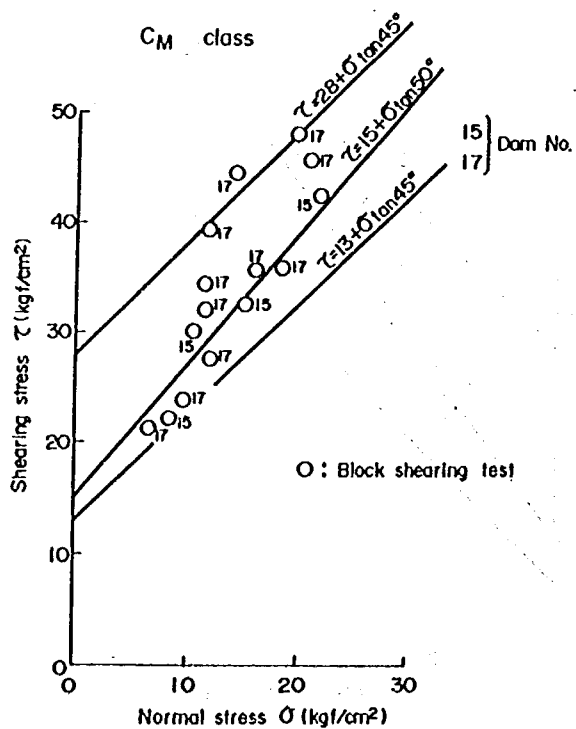


図-2-4 火成岩 火山岩 C_M級

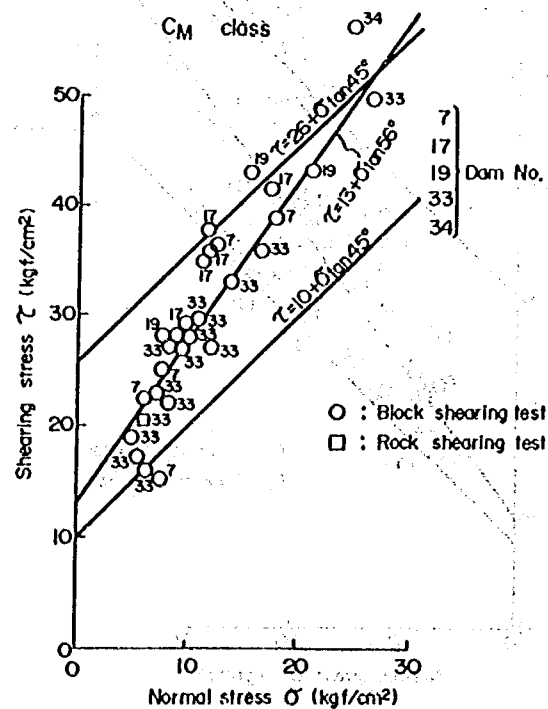


図-2-5 グリーンタフ堆積岩 C_M級

図-2 岩種区分別 せん断強度と垂直応力の関係 (C_M級の例)

2. 岩盤分類と試験値の関連に関する考察

先のバラツキを生ずる要因にはいくつかのことがらが考えられるがそのうちの代表的な事項について推定してみると

- ① 試験法による差がないかどうか、せん断試験法には、ブロックせん断とロックせん断があるが、この試験方法によって試験値に差がないかどうかと云うことである。
- ② 岩盤分類は絶対区分を目指しているにも拘らず、やはりダム高によって岩盤分類の基準に差を有するのではないと言うことである。例えば 100m のダムとあるいは 30m のダムでも同じ基準で分級が行われているのかあるいは各々ダム固有の考え方で、行われているのかと言う問題である。
- ③ 岩盤分類の際に地質の種類によっては、明確な差が無いため分級が困難な場合があるのではないか、あるいは一般に行われている堅さとか割れ目とか、それ以外の別の要因があり、分級の判断を難しくしているのではないかと云うことである。例えば変質とかあるいは風化度合が複雑に絡み合い分類を難しくしている岩盤があるのではないかと云うことである。
- ④ 岩盤の割れ目と言うのは、岩盤の工学的特性を大きく支配するが、割れ目の状態とか割れ目の頻度については岩盤分類の分類要素として一般に考慮されているわけであるが、今一つ考えられることは割れ目や層理の走向傾斜が強度的なものに影響していないかどうかと云うことである。

以上の 4 つについて、バラツキの多かった中古生代堆積岩、変成岩及び深成岩の資料を通して考察を進めてみた。

3. 試験値バラツキの要因に関する検討結果と考察

まず試験法によって試験値に差がないかどうかと云うことであるが、図-2 にはブロックせん断及びロックせん断の手法別に記号表示をしている。これから判断されることは、全般的には整理表示した C_M 級では、両者の差は明確でないといえよう。ただし我々は B から C_L 級まで整理しており C_H 級以上については、深成岩、それから C_L 級については変成岩がそれぞれロックせん断の方が大きい傾向を示したことを付加しておく。

次にダム高によって岩盤分類の基準に差があるのではないかと云うことについて検討してみた。図-3 はダム高別せん断強度と垂直応力の関係を示したものである。これを見ると、直轄のダムでは 60 m 以下のダムが少ないので 30 m あるいは 40 m 程度のダムの資料は全くないので、その点は比較検討上問題があろうと考えられる。この図によると、広域変成岩及び火山成堆積岩については、ダムの高さが高くなるにつれて多少値が高い値を示していると見られるが、全般的な傾向としては、はっきりしたことは見られない。ただし我々のせん断試験上の経験的なことから言えば高いダム程せん断試験時の先行鉛直応力は大きくかけているわけで垂直応力が高くなると一般的には τ_0 の見掛の値が大きく生ずるのが特徴である。以上ダム高別にしても、あるいはブロックせん断、あるいはロックせん断試験法別でもここに取り上げた C_M 級については、明確な差がないといえよう。

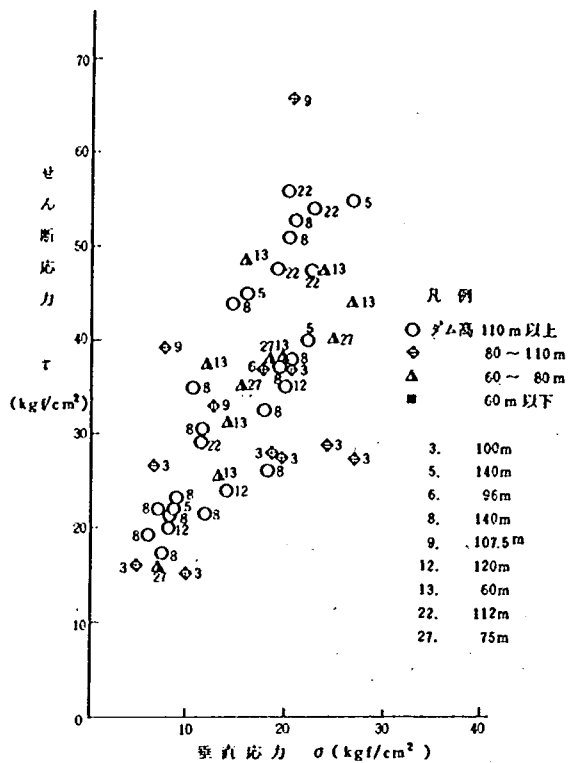


図-3-1 古・中生代堆積岩 C_M 級

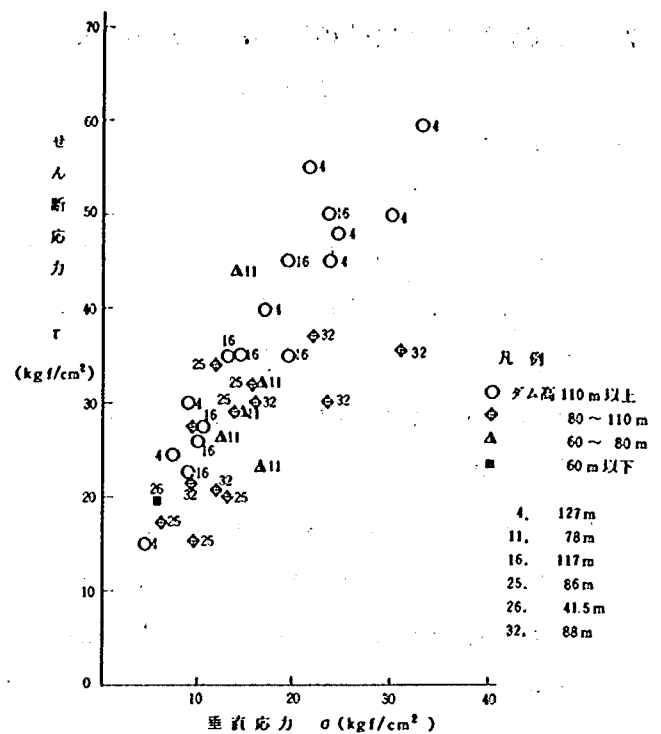


図-3-2 広域変成岩 C_M 級

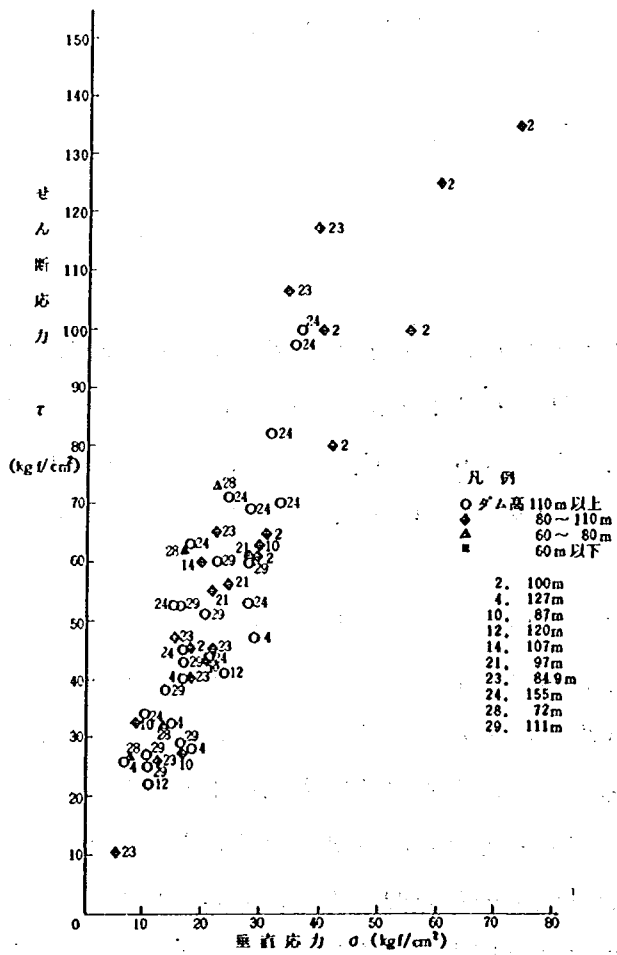


図-3-3 火成岩 深成岩 C_M 級

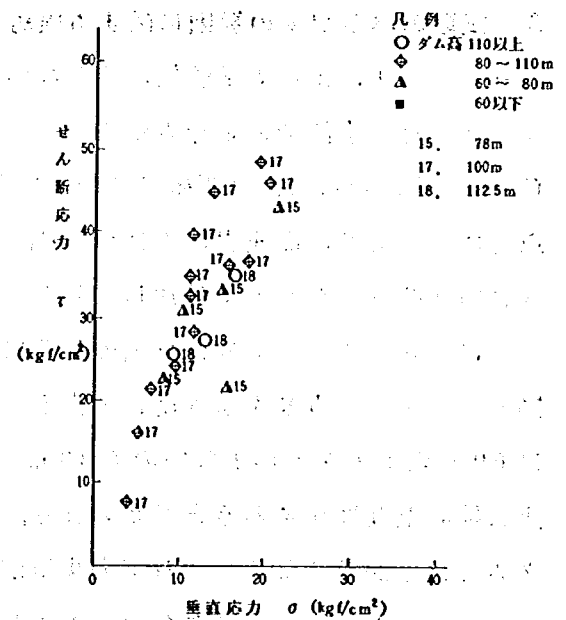


図-3-4 火成岩 火山岩 C_M 級

図-3 岩種別 ダム高別せん断強度と垂直応力の関係

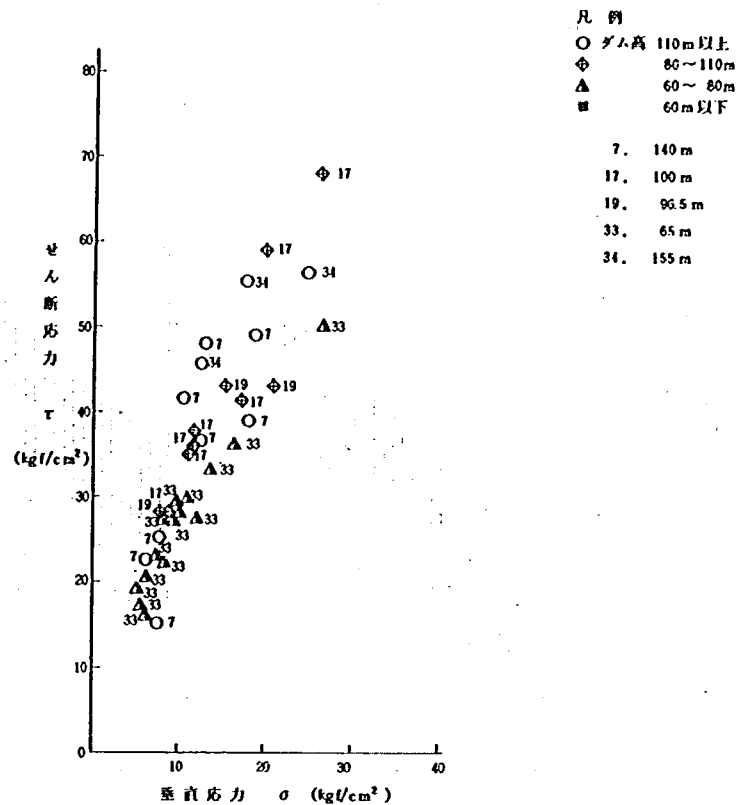


図-3-5 火山性堆積岩（第三期以降） C_M 級

図-3 岩種別 ダム高別せん断強度と垂直応力の関係

次に地質の種類によっては岩盤分類の分類要素基準に明確な差がなかったのではないかとこの事について考察を行ってみた。図-4は岩種別、岩級重複部を示したものである。これには先程の図-2、関係より $\phi 45$ 度とした場合の上限と下限の線を岩盤等級のそれぞれ岩種別に整理し、各々の等級が重複する部分をハッチで示してある。ハッチの幅の広いもの程岩盤分類が難しいものと考えてみたものである。これを見ると、そのハッチの部分の広いものが、火成岩 深成岩である。したがって、これから推定すると火成岩 深成岩は、先程の表-1の様に花崗岩類が多いわけで変質度合とが風化度合が、分級を難しくしているのではないかという風に考えられる。その事例として大渡ダムの岩盤分類法と試験値の例について後に説明する。

次に岩盤の強度特性を支配する割れ目の頻度と性状の他に割れ目及び層理面の傾斜がどのように影響しているかについて検討してみた。図-5は層状岩盤と室内せん断強度試験の関係を示したものである。二つの資料はダム構造研究室が層状性岩盤の強度特性を調査するために行った室内実験の結果を示したもので、これによると τ_0 が最も小さいのが水平層状のCタイプであり、次に流れ目状のD₁タイプが小さく出ている様である。比較的、等方性タイプに近い値を示しているのが差し目状のD₂タイプ、直角のBタイプである。この資料を参考として堆積岩及び変成岩について傾斜面

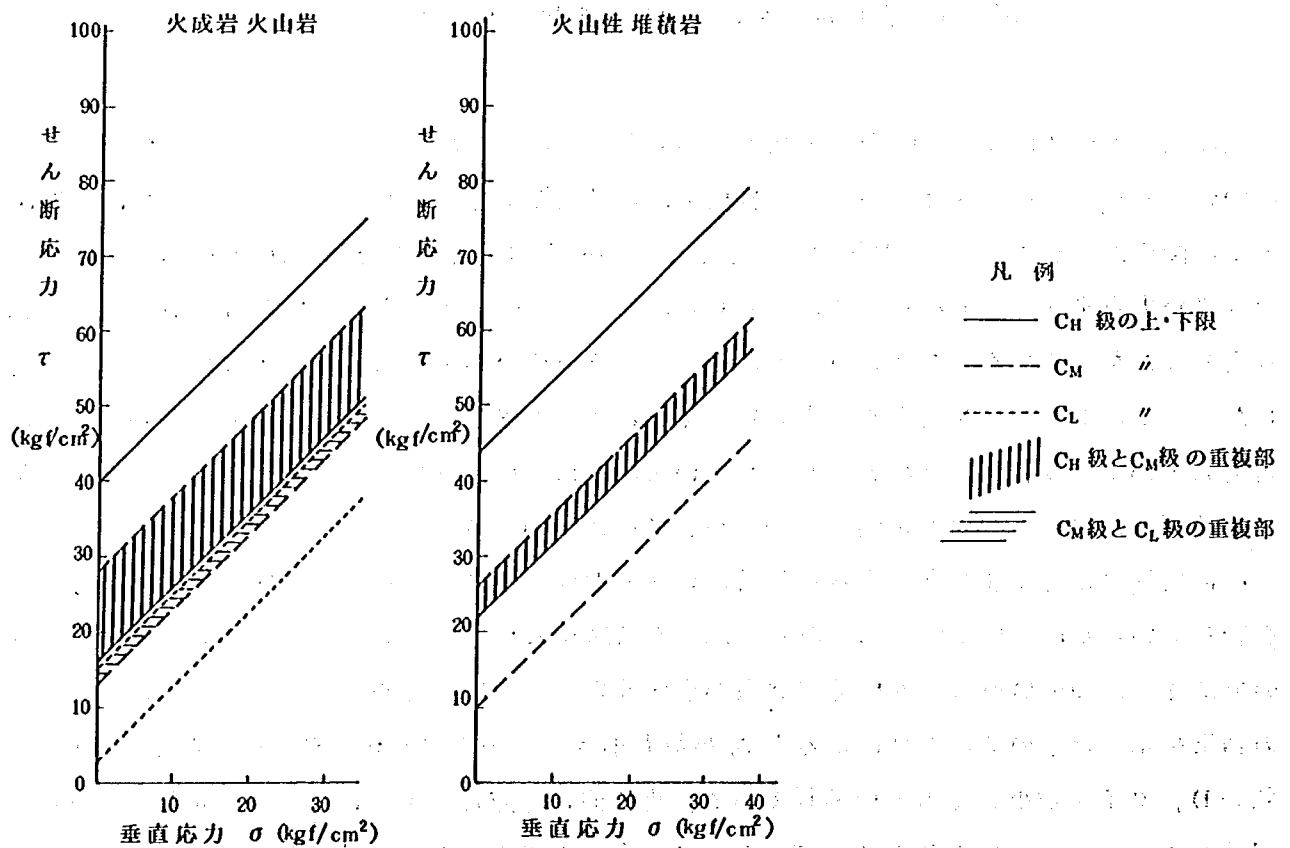
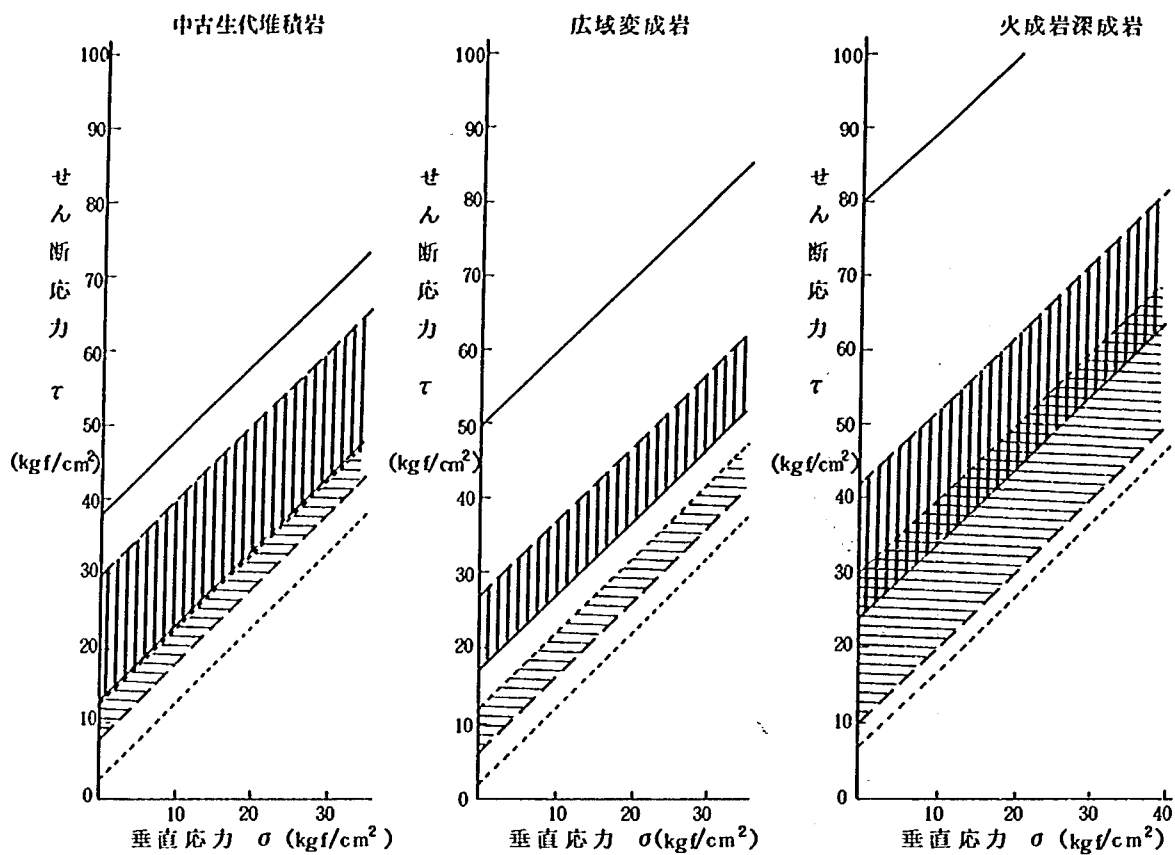
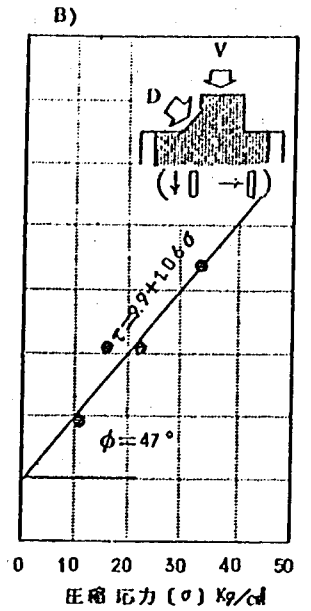
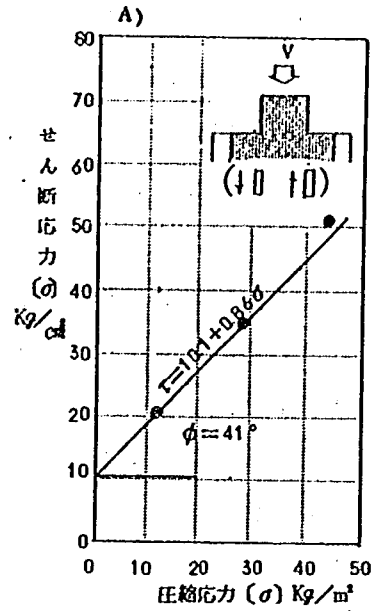
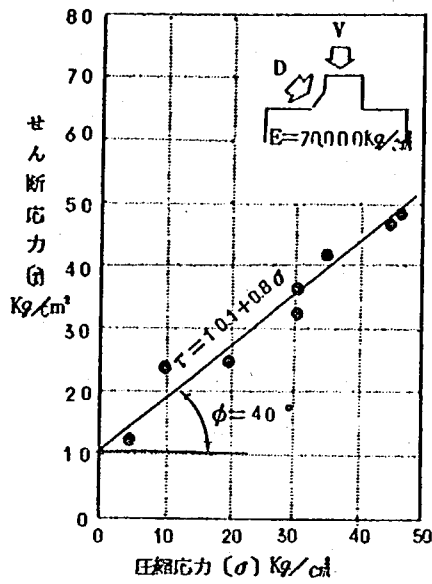
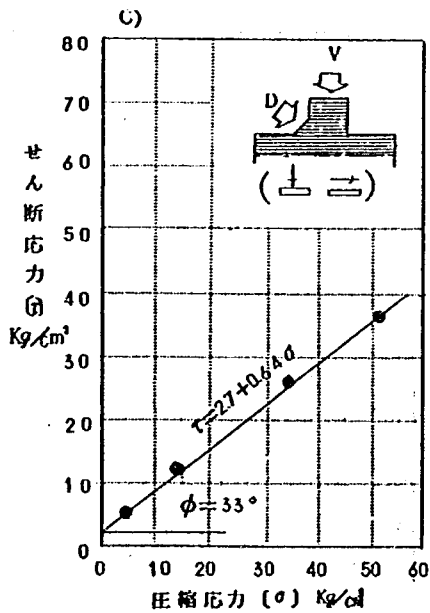


図-4 岩種別岩級重複部

等方性に於ける C, ϕ



層状岩の室内試験における τ, σ



傾斜角をもつ層理面に於ける τ, σ

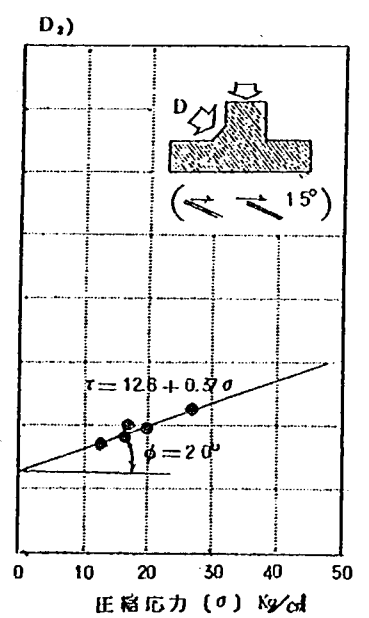
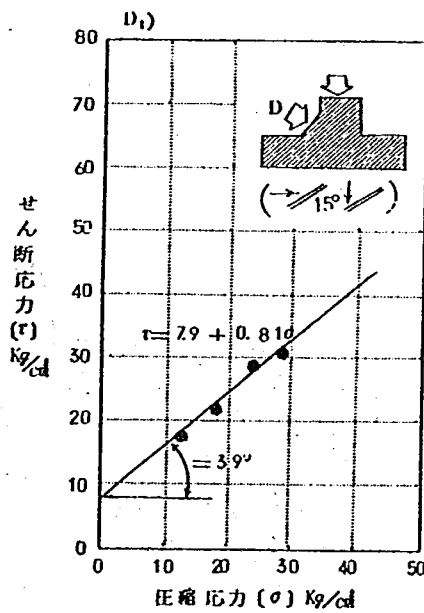


図-5 層状岩盤と室内せん断強度試験 (石膏モデル)

(土木研究所資料第165の4
— 層状岩盤の強度特性について —
による)

及び層理面の傾斜に着目した場合にどうなるだろうかということについて検討した整理法を図-6及び図-7に示す。図-6のように層理面の観察は非常に難しく、これは各々のダムのせん断試験報告書の試験前スケッチから拾ったものであるが、当初のスケッチの描いてある精度も同一ではないので概ねその数値と考える。堆積岩の中でも資料の中には粘板岩が多いこと、変成岩の中でも片岩類や千枚類が圧倒的に多いと言うことで、この2つについて観察したものが図-8である。図-8-1 中古生代堆積岩の場合についてみると割れ目が水平上のもののCタイプ及び流れ目状のもののDタイプが、差し目状のAタイプ、鉛直状のBタイプに比して小さくなっていることが明確である。変成岩についてはあまりはっきりした傾向ではないがCタイプが小さい傾向にあると言うことが出来る。しかし、Cタイプ及びDタイプは数が少ないので明確でない。ただし、Aタイプについても数値が小さいものがあり、頁岩類は着し目状でも、場合によっては片理面上に、剝離が生じやすいか、あるいは風化しやすいことが影響していることと推定される。以上から割れ目あるいは層理面の傾斜角と言うのが強度的には、かなり左右していることがわかったと云えよう。

上記のことをまとめてみると、ブロックせん断とロックせん断による差は、あまり明確ではなかったこと、ダム高別による分類基準にも、明確な差がC_M級のこの資料の中では、あまり認められなかったことが言えようかと思う。しかし、変質度合あるいはマサ化の度合と言ったものは、岩盤分類分級上の困難さがあるのではないかと云える。さらに岩盤の主として強度特性については、割れ目や層理面の卓越した傾斜が、かなりの影響を与えると考えられる。すなわち層理面の傾斜とか、あるいは、角度とかと言ったものは分類要素には、標示出来ないが強度的には、それがかなり影響していて分類との相関性が良くない場合があるといえる。

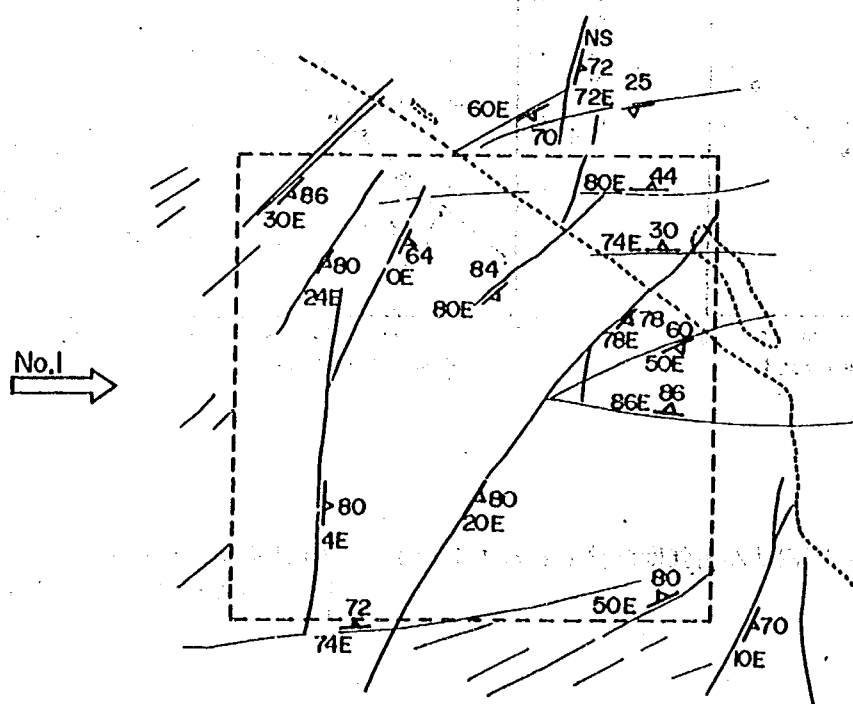


図-6 試験面の観察図例

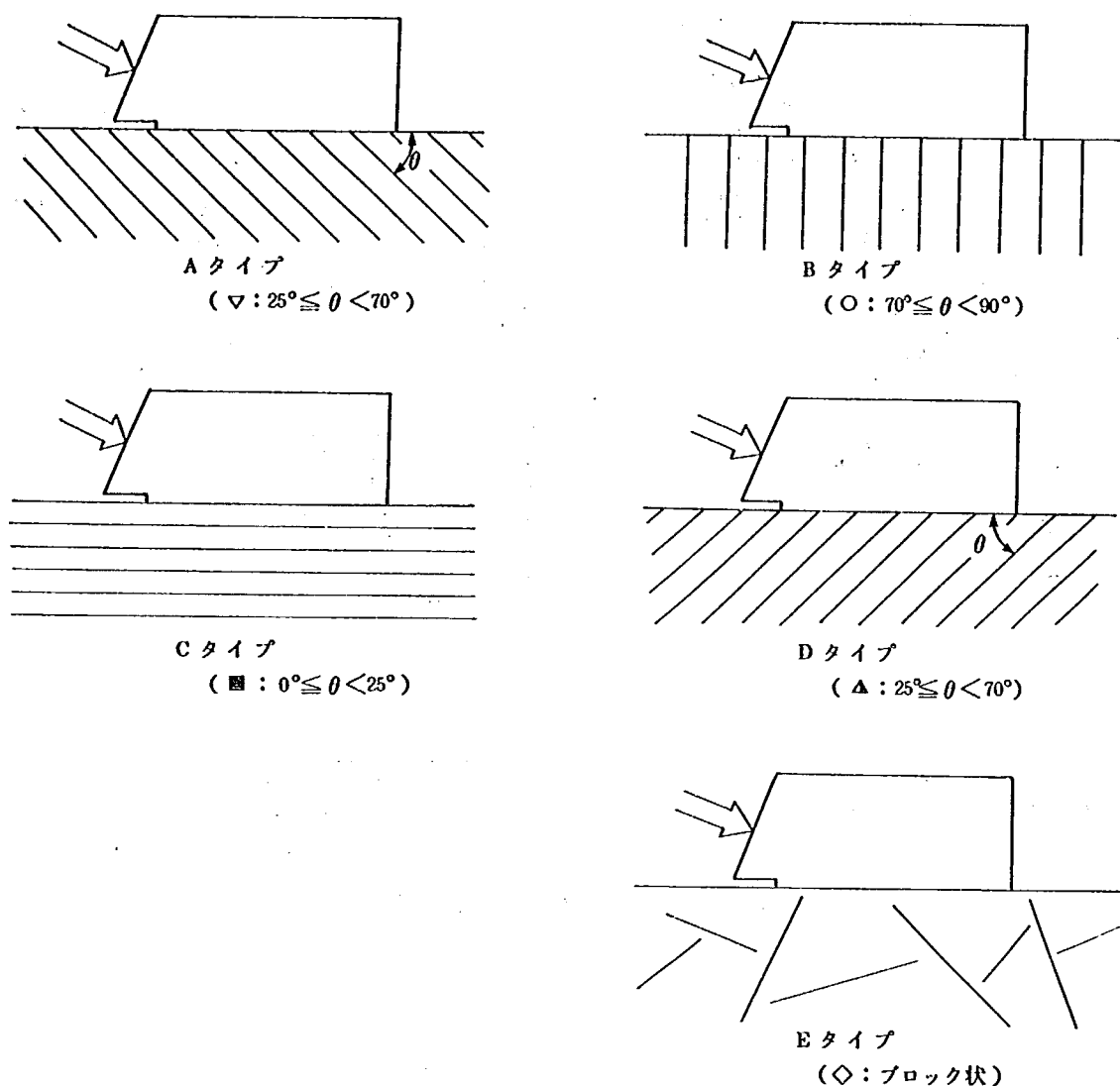


図-7 割れ目傾斜角のモデル図

4. 岩盤分類と岩盤のゆるみ係数の関係について

弾性係数に対する変形係数の割合 (D/Et) については一般に岩盤の緩み度合を表すものとして解されている。すなわち、この数値が高い程岩盤の緩みは、少ないとして、上級岩盤ほどこれが大きく、小さいほど下級岩盤だろうと一般的に推定されている。図-9 は 5 種類の岩盤についてまとめたものであるが、非常にバラツキの範囲が大きい。

中生堆積岩については、上級岩盤が高めで、 C_L , D 級になると、多少右下りになっていると言えるが、他の種類については傾向が判別出来ない。緩み度合と言うのは、いわゆる岩盤の工学的な数値には非常に大きく影響しているわけであり、この緩みの度合と言うのは何らかの岩盤分類上のいわゆる指標として、考えることも必要ではないかと考えられる。

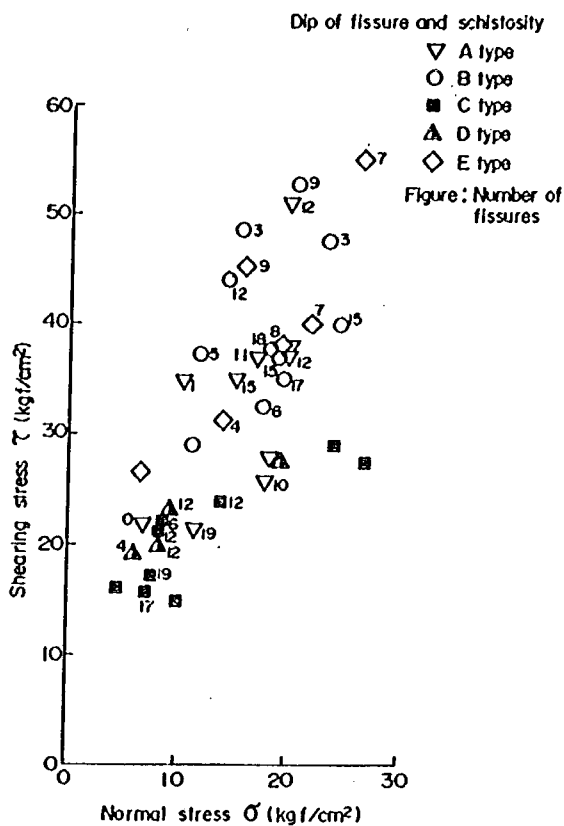


図-8-1 中生代堆積岩 C_M級

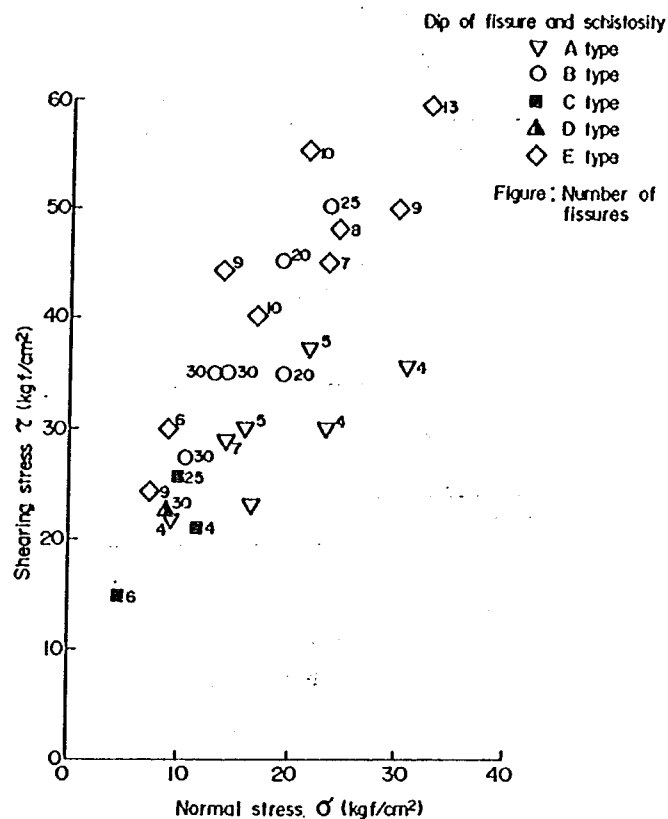


図-8-2 変成岩 C_M級

図-8 キレツ，片理面と岩盤強度

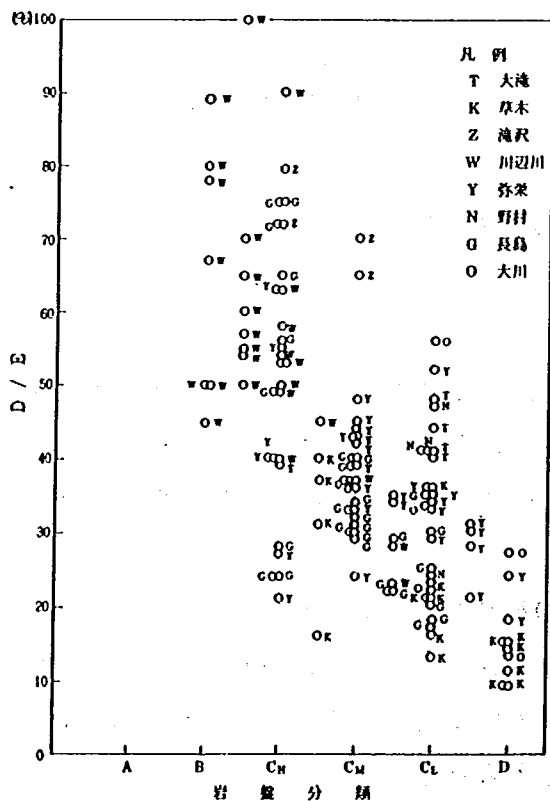


図-9-1 中生代堆積岩

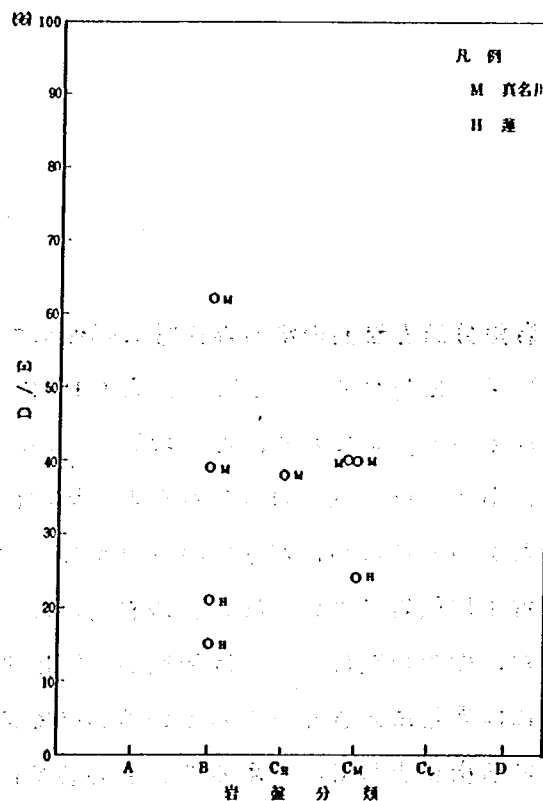


図-9-2 広域変成岩

図-9 岩種区分別，変形係数，弾性係数 (E_t) 分布図

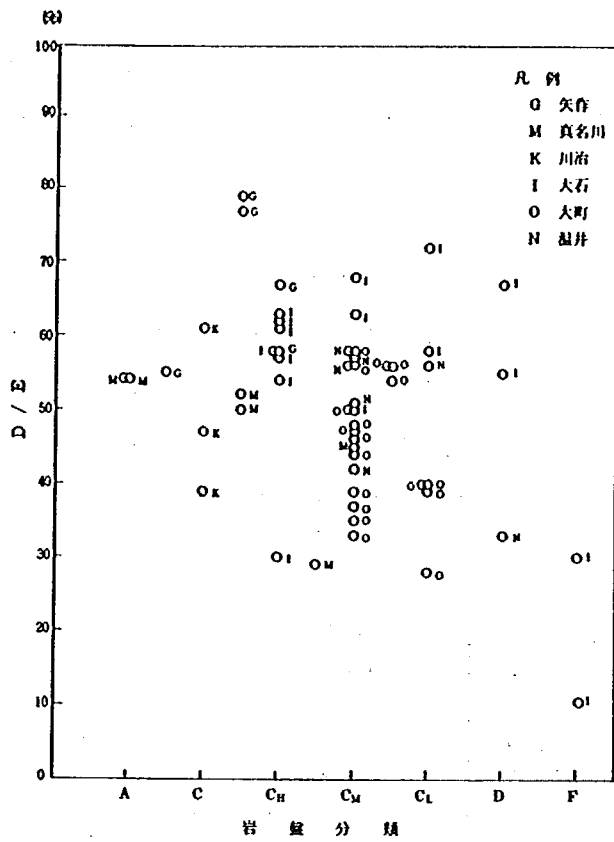


图-9-3 火成岩 深成岩

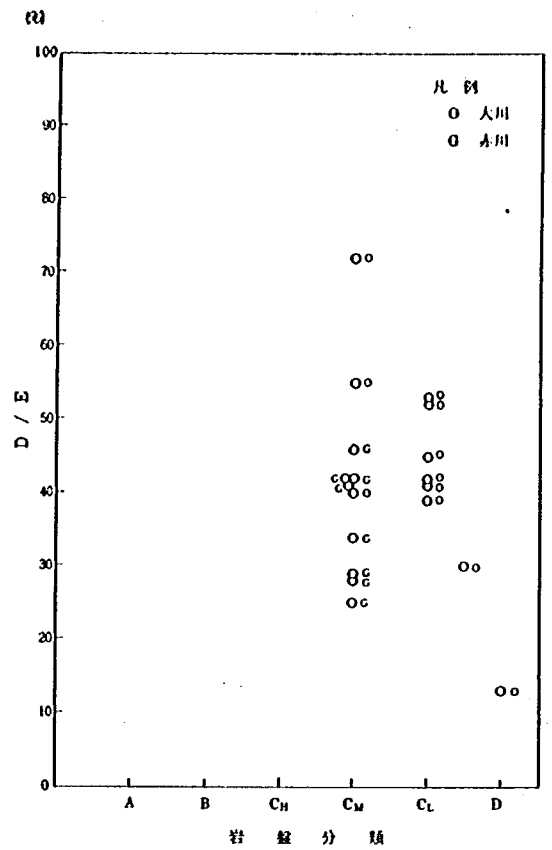


图-9-4 火成岩 火山岩

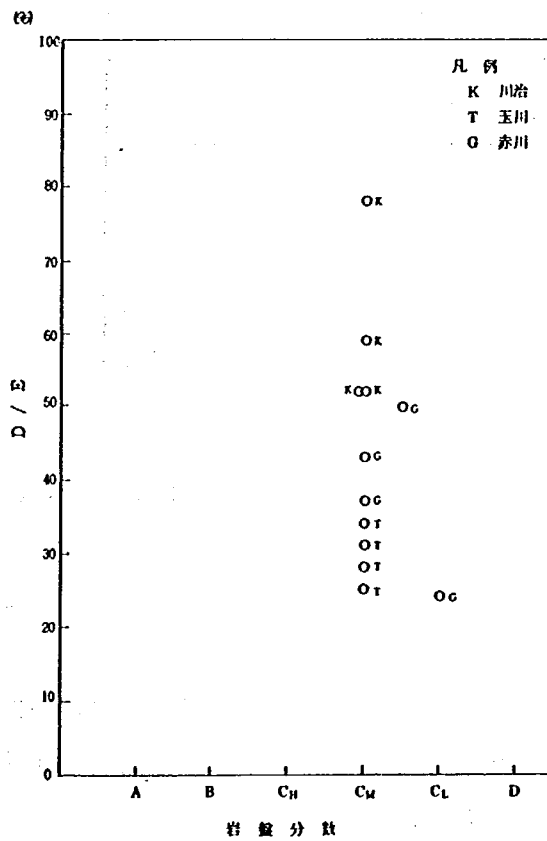


图-9-5 火山性堆積岩 (第三期以降)

图-9 岩種区分別, 変形係数, 弾性係数 (Et) 分布図

5. 変質岩盤の岩盤分類基準の事例（大渡ダム）

ダム基礎として重要な下流側半分は輝緑凝灰岩が主体で、蛇紋岩化の度合は場所によって異なり、①蛇紋岩化していない部分、②蛇紋岩化を少し受けている部分、③蛇紋岩化の著しい部分、④葉片状に破碎されている部分と4つの部分が不規則に分布し、かなり把握し難い状況であった。

第1回目の岩盤試験は、従来一般的に用いられていた岩級区分法に基づき、岩石の硬さ、キレツ間隔、キレツ面の状態に着目した区分を適用して各区分に適当に配分して13ヶ所で原位置せん断試験が行われたのであるが（表-2及び図-10）、この岩盤区分とせん断強度との対応は、必ずしも良いものではなかった。このことは、後のダム安定計算時に岩盤の力学的取扱いに大きな問題となり、当初適用された一般的な岩級区分法はこのダムサイト地点での岩盤を評価する上では、必ずしも適切ではなく、このダムサイトに適する区分法が別に検討される必要が生じた。

表-2 第1回岩盤試験結果と分類

試験地点名	最初の岩盤分類	弾性係数 (Kg/cm ²)	破壊荷重 (Kg/cm ²)		再 分 類			
			σ	τ	SP化	色	キレツ間隔	分類
№1	CH~CM	23,600	15.2	24	(SP)	赤50% 緑50%	Ⅱ	CH~CM
№2	"	55,000	12.8	36	ナシ	赤	"	CH
№3	"	45,000	28.1	47	ナシ	"	"	"
№4	"	18,300	17.9	33	(SP)	緑	Ⅲ	CM
№5	"	12,700	5.9	13	[SP]	"	"	CL
№6	CM	13,000	14.3	21	"	"	"	"
№7	"	12,400	5.3	11	"	"	"	"
№8	"	17,100	22.7	29	"	"	"	"
№9	"	12,100	14.9	23	"	"	"	"
№10	"	12,400	5.9	13	"	"	"	"
№11	"	12,700	22.4	28	"	"	"	"
№12	CH~CM	18,800	6.8	16	(SP)	赤50% 緑50%	"	CH~CM
№13	CM	7,300	20.0	20	[SP]	緑	"	CL

キレツ間隔：Ⅱ 30~10 cm, Ⅲ 10 cm以下

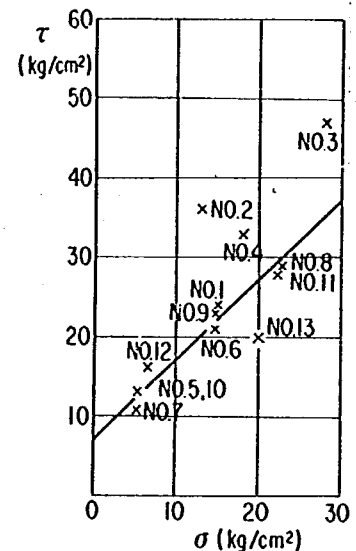


図-10 第1回試験結果

したがって、地質性状について詳細に知るべくそこで特に蛇紋岩化に注意して、横坑面、せん断試験の破壊面を再度入念に観察を行った結果、次のようなことが解ってきた。

- ① 輝緑凝灰岩でも蛇紋岩化していない所は、かなりの硬さをもっている。しかし、蛇紋岩化の程度により、岩の硬さは異なる。
- ② 蛇紋岩化の程度を表わす方法として、ハンマーで叩いて岩盤の凹凸面を出したときに、その一面が光沢を示し蛇紋岩化した場合を（SP）とし、二面とも蛇紋岩化しているものを [SP] とすると、その分布もかなり捉え易い。
- ③ 蛇紋岩化したものは、概ね緑色をしており、その他の色の岩は蛇紋化していないので、岩の色も観察すれば蛇紋岩化している部分のせん断破壊面に対する割合が解る。

④ キレッツ間隔も、蛇紋岩化した部分は 10 cm 以下で、多くは 5 cm 以下である。

これらのことに充分、注意して輝緑凝灰岩の岩級区分法を再度検討してみると、

○ 蛇紋岩化していないで、キレッツ間隔が 30 cm 以上のもの B

○ 蛇紋岩化していないで、キレッツ間隔が 30 ~ 10 cm のもの C_H

○ 蛇紋岩化の (S P) の部分が、面積の約半分を占め、他の部分は蛇紋岩化していないもの
..... C_H ~ C_M

○ 全般的に蛇紋岩化が (S P) のもの C_M

○ 全般的に蛇紋岩化が [S P] のもの C_L

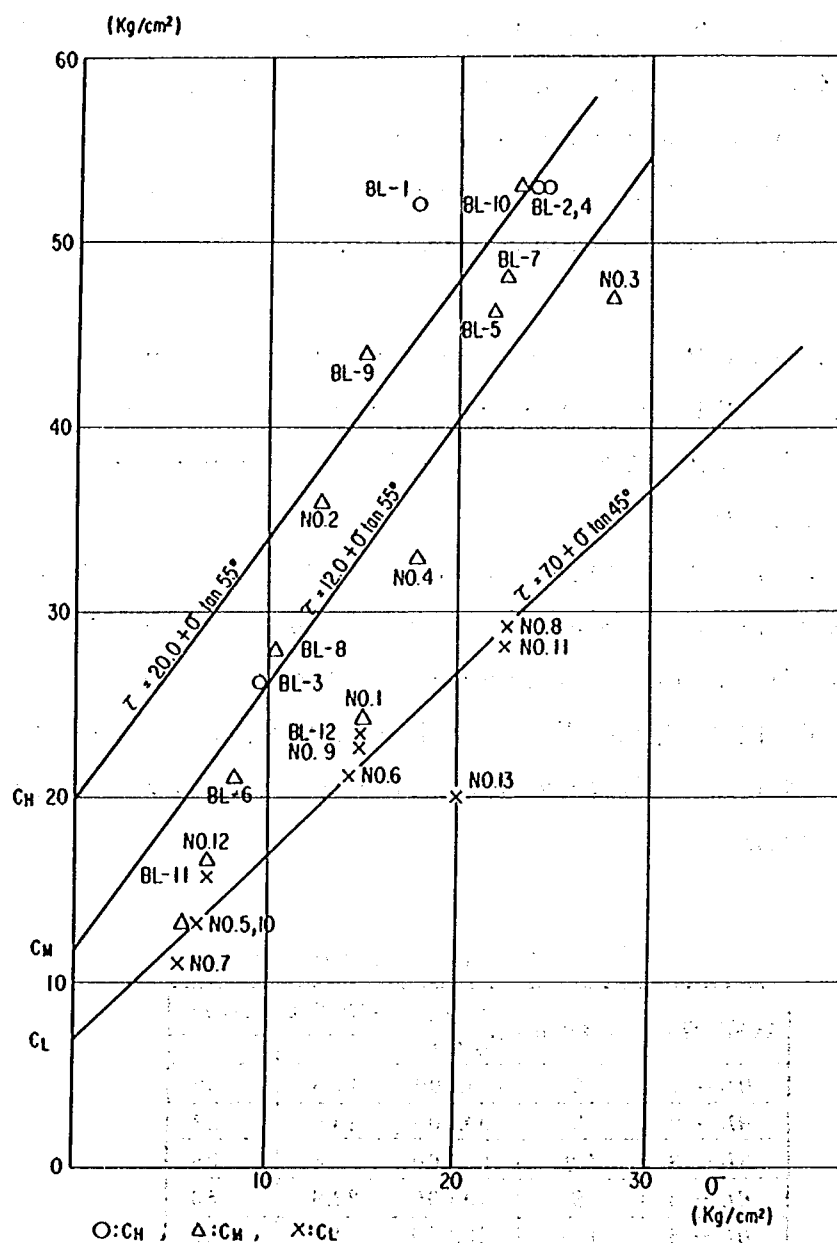
○ 全般的に蛇紋岩化が [S P] で葉片化しているもの D

このような基準が考えられた。

前記の区分法に基づき、第 1 回目の岩盤試験結果についても、再度分類を行ってみた。岩級区分とせん断強度及び弾性係数とせん断強度との対応性の良いことが解ったので、この区分法にしたがって第 2 回目 (昭和 46 年度として 12 ケ所の追加試験を行っている。その試験結果を表 - 3 に示す。さらに、第 1 回目の分類を再整理したものと、第 2 回目の結果を総てプロットしたものを図 - 11 に示す。これによって最終的に岩級区分に対応した表 - 4 のような設計値を使って安定解析を行うことが出来た。

表 - 3 第 2 回岩盤試験結果と分類

試験地点名	岩盤分類	弾性係数 (Kg/cm ²)	破壊荷重 (Kg/cm ²)	
			σ	τ
BL - 1	B	124,000	17.6	52
BL - 2	B	99,000	23.6	53
BL - 3	C _H	62,000	9.8	26
BL - 4	B	99,000	23.9	53
BL - 5	C _H	28,000	21.8	46
BL - 6	C _H ~ C _M	22,000	8.3	21
BL - 7	C _H	28,000	22.4	48
BL - 8	"	50,000	10.4	28
BL - 9	"	35,000	15.2	44
BL - 10	"	62,000	23.9	53
BL - 11	C _L	8,800	6.8	16
BL - 12	C _L	8,600	14.9	23



ブロック名称のうち、NO 称は 昭和42年度実施 (分類の見直したもの)
 BL 称は 昭和46年度実施

図-11 全試験結果

表-4 岩盤の設計値

岩 級	せん断強度		静弾性係数 $E \text{ Kg/cm}^2$
	純せん断強度 $\tau_0 \text{ Kg/cm}^2$	摩擦係数 f	
CH	20	$\tan 55^\circ$	90,000
CM	12	$\tan 55^\circ$	30,000
CL	7	$\tan 45^\circ$	10,000

参 考 文 献

天道久男：層状岩盤の強度特性について

土研資料第 165 の 4 昭和 41 年 4 月

飯田，西岡，斉藤，依光：大渡ダム堤体と基礎の安定解析報告書（第 2 集）

土研資料第 1331 号 昭和 53 年 3 月

斉藤，片平：ダム基礎岩盤原位置試験 資料編

土研資料第 1891 号 昭和 58 年 1 月

2 — 6 總 合 討 論

総 合 討 論

桑原（司会）： それでは、岩盤分類について午後になされましたお話全部をまとめまして議論していただければと思っております。特に先程東北地建の市川さんから今の田中式のような相対評価と、それから絶対評価というものがあるんですけど、相対評価でいいんじゃないかという様な御意見もあったわけですが、これに対していかがかという、その辺の御意見をいただきたいと思えます。

松本（土研）： 市川さんの御意見と重なる部分が6割方あるのですが現実の話としては、ダムサイトで掘削して除去する部分をまずDとしておきまして、そのダムサイトでおそらく1番良さそうな岩盤をBないしC_Hとして、残りをバラバラと分けるやり方が現実に行われている方法じゃないかと思えます。そうしますと、必然的にダムタイプとダム高によって非常に相対的に動くという話なのですが、ある程度仕様がなっていないかと思っています。それで若干違った角度から意見があるのですが、その岩盤分類した結果から何がそろろうかという話になりますと、今日の話は主として岩盤の剪断強度がそろえばいいという関連でまとめると、それはそれなりに絶対的なものさしがあり得るわけですが、その時にはまず相手の岩種を分けておいて、例えば花崗岩とか新第三紀のどこそこの盆地のグリーンタフとかに岩盤を分けて、この岩種についてはこういう風にすれば剪断強度はみんなそろいますよという形になって、まず岩盤分類の前に岩種の分類をやっておかないとできなくなって、結局岩盤分類が非常に難しくなるのではないかと考えるわけです。それでダムの設計の為に限定しますと、工学的特性としては強度と変形性と透水性と3つあると思うのですが、これがダムのタイプによって微妙に違ってまして、フィルの場合には透水性の方を注意してもらいたいと思えます。そういうことになりますと、同じ岩盤分類で例えばC_Hという風に定義すると、剪断強度になにに、透水性も何ルジオン以下ときちんとした、一つのまとめにするのが難しいので、結局ある程度応用操作のきくような分類にしておかないと実用性は少なくなる様な気がします。岩盤分類の目的という所をまず議論しておかないと、ちょっとイメージが違いすぎるんじゃないかと思うのですが。

土井（中部）： 今の工学的なことと岩盤を分類することを努力しておりますけれども、私はあまりダムをやったことがないのでその点のことは良くわかりませんが、岩と言うものの自体がこういう風に剪断応力で、例えば分類すると言うのは難しいのではないかという感じがします。例えば今いろいろお話を聞いてますと、非常にバラツキが大きいとそれはどうも試験機が悪いとか、いろんなことを言われますが、そもそも岩というものは何億年だとか、何千年何万年の時代をかいぐってできたものですから、全く同一なものということとはあり得ないわけで、当然ある程度のバラツキは矢無を得ない。ですから、あるデータの中には本来的なものも入っているのではないかという感じがしますが、それを無理に、あれがおかしいとか、これがおかしいと言うだけで判断できない部分がどうもある様な感じがします。例えば人間100人いれば100人十色と言うことでして、それを同じ日本人だからみんな一緒なんだという様な所までいかない様な感じがします。そうい

う所でいろんな岩種の分類と言うのがバラエティに富んでいるのはある程度矢無を得ないことではないかと言う感じが致します。

脇（本省）： 今の御二人の意見に全面的に賛意を表したいんですが、要はダムを作る時に設計上先程松本さんが言われました様な仕方で、それぞれの岩盤の特性を評価していかなくちゃいけない。ですからかなり大きな変動幅があるにしても、工学的に許せる範囲というものでもってグループ分けしていくこと、ですから岩盤強度、剪断強度で言うとすれば、そのグループの最小値に近いものを設計強度として決められれば、そのダムの安全上は問題ないのではないかという気がしています。絶対評価と相対評価の問題は笑い話もあるんですが、あるダムサイトでは我々は C_H と言うと相当いい岩のイメージがあるわけですが、地元の人には A, B からあって C なんて悪い所でダムを作るんでしょうかと言う様な単純な素朴な疑問がありまして、そういう意味では松本さんが言われる様に我々は C_M を標準的にしていますが、本質的にダムを作る為のこの岩級区分と言うのは、ダムサイトごとにあるのではないかという気が私はいたしております。ただ土研の様に、全部頻繁に見ることのできる部門で見ておれば、あっちの C_M が 150 t で、こちらは 50 t というのは、やはり何かおかしいのではないかという問題意識もあって、こういう検討をなされたんだと思うんですが、なかなかいろんな角度から検討がなされておりまして、聞いておりまして非常に勉強になりました。以上感想でございます。

第16回地質担当者会議資料

土研資料第1907号

昭和58年3月(1983)

地質研究室

要旨 第16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取りまとめたものである。

1. ルジオンテスト施工指針(案)の検討
2. 岩盤分類とその現場への適用
 - 2-1 岩盤分類の方法と区分
 - 2-2 トンネルにおける岩盤分類とその現場への適用
 - 2-3 斜面における岩盤分類とその現場への適用
 - 2-4 ダムにおける岩盤分類とその現場への適用
 - 2-5 ダム基礎岩盤の岩盤分類と原位置試験値との相関性に関する一考察

郵便はがき

四十円切手
をはって下
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
御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1907号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印

