



土木研究所資料

第720号

第5回

地質担当者会議資料

昭和47年2月

建設省土木研究所
地質研究室

ま え が き

地質調査技術の向上，平準化，統一化，情報交換などを目的として始められた地質担当者会議も今回で才5回となつた。昭和42年度に才1回会議が開かれてから，会を追つて参加者も多くなり才5回会議には43名の多きに達した。その間，ダムや道路，トンネルなどの地質上あるいは地質調査上の問題点などについて研究発表や意見の交換があり，またボーリングの共通仕様書(案)の討議を行つた。

今回はダム関係では火山岩地帯のダム基礎の問題と，ダムを計画設計する側から要望される地質調査のあり方について意見が出され，熱心な討議がおこなわれた。

前者の問題としては地質構造が複雑で，極端に軟いもの(軟弱層といわれるもの)や透水性の高いものが不規則に存在する地質条件で(これらのものが深部にも存在する)これらをいかに確実に見出し評価するかが論及された。後者はダムの計画や設計にとつて地質条件がいかに重要かを指摘され，地質条件を確実に把握し，解釈しその根拠を明確にするよう要望された。

道路関係では，全国的な道路法面崩壊の実態調査結果が紹介され，また，調査結果にもとづいて，法面工の効果ならびに選定基準に関する研究が発表された。これらは，昭和44年度から3ヶ年計画で行われている建設技術研究会(指定課題)の成果の一部である。現況では無処理の法面が多く，そのための崩壊も多い。モルタル吹付も多く施工されているが，永久保護工とはなり得ない，などと報告された。

最後にサンフェルナンド地震について，地震と災害との関係，地震の発生機構など，またアメリカにおける岩盤分類と斜面の安定解析について，アメリカの現況報告がなされた。

今回の会議で特筆されるべきことは，前回にひきつづき地建の地質専門官によつて，地建としてかかえている土木地質上の問題に関する報告がなされたことと同時に，土木技術者の側から地質調査あるいは地質技術者に対する意見や要望が得られたことである。

ここに会議の議事録と提出された資料をまとめておき今後の参考に供しようとするものである。

昭和47年2月

建設省土木研究所

地質研究室長

岡 本 隆 一

目 次

まえがき

才 5 回地質担当者会議議事録	1
日時	1
場所	1
出席者	1
議 事	3
1) 土木研究所長あいさつ	3
2) 河川局開発課長あいさつ	3
3) 火山岩地帯のダム基礎の問題について	3
4) 設計、計画の側から要求されるダムの地質調査のあり方について	3
5) 技術参事官あいさつ	4
6) 道路法面崩壊の実態について	6
7) サンフェルナンド地震による災害と地質の関連および米国における 最近の岩盤力学の動向	6
8) 土木研究所企画部長あいさつ	6

資料

1. 火山岩地帯のダム基礎の問題について	7
2. ダム基礎の設計における問題点	23
3. コンクリートダムの設計の手順	28
4. 道路法面崩壊の実態について	36
5. のり面工の効果ならびに選定基準に関する研究	50
6. サンフェルナンド地震について	65
7. アメリカにおける岩盤分類と斜面の安定解析について	77

才 5 回地質担当会会議事録

日時 昭和 46 年 12 月 9 日 9 時～17 時

場所 建設省青山共済会館

出席者

才 5 回地質担当者会議出席者

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
本 省	大臣官房	技術参事官	増 岡 康 治
	河川局開発課	開発課長	官 内 章
東北地建	河川部河川計画課	建設専門官	大 木 達 夫
関東 "	河川部河川計画才一課	才一係長	紀 陸 富 信
	道路部道路計画才一課	調査係長	官 地 昭 夫
	滝沢ダム調査事務所	調査設計課長	中 野 嘉 道
	相武国道工事々務所	調査課長	矢 部 正 宏
	東京湾岸道路調査事ム所	"	市 川 慧
北陸 "	道路部道路計画課	計画係長	竹 本 雅 俊
	企画部企画課	企画係長	武 田 宏
中部 "	阿木川ダム調査事務所	建設専門官	畑 中 博 文
近畿 "	企画部	"	鈴 木 達 彦
中国 "	河川部河川計画課	計画才二係長	円 井 健 史
	企画部技術管理課	技 官	有 田 明 雄
四国 "	道路部道路工事課	課長補佐	渡 辺 輝 彦
九州 "	河川部河川計画課	専門官	三 浦 三 郎
	道路部道路工事課	改良係長	森 久
	企画部企画課	企画係長	横 田 茂 行
国土地理院	地図部	研究員	木 谷 幸 雄
	企画室	"	加 藤 高 義
建設大学校	建設部建設科	教 官	辻 川 正 昭
土木研究所		所 長	伊吹山 四 郎
	ダム部	部 長	野 島 虎 治
	ダム構造研究室	室 長	飯 田 隆 一
		主任研究員	柴 田 功

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
土木研究所	ダム構造研究室	研究員	小 林 茂 敏
"	"	"	北 条 紘 次
"	"	"	原 田 讓 二
"	地すべり研究室	室 長	吉 岡 良 朗
"	"	主任研究員	藤 田 寿 雄
"	急傾斜地崩壊研究室	"	安 江 朝 光
"	"	研究員	大久保 駿
"	トンネル研究室	"	石 橋 正 穂
"	土質研究室	主任研究員	稲 葉 誠 一
"	地質化学部	部 長	今 西 誠 也
"	地質研究室	室 長	岡 本 隆 一
"	"	主任研究員	菅 原 捷
"	"	研究員	小 島 圭 二
"	"	"	桑 原 啓 三
"	企画部	部 長	川 越 達 雄
"	企画課	課 長	松 野 三 朗
"	"	課長補佐	酒 井 淳 行
"	"	調査係長	鈴 木 隆
"	"	調査係係員	田 中 勇 一

議 事

1) 土木研究所長あいさつ(概要)

9:40~9:50

我国は資源が少ない。そこで我国の持っている資源を最大限に活用する必要があり、特に建設省においては防災、水資源の確保など、種々の問題があり、地質担当者の責任がますます重くなつてきている。したがつて、今後なお一層技術をみがいて頂きたい。

これは地質担当者へのお願ひであるが、地質調査する時に規格化、数量化できないだろうか。規格化、数量化によつて計画、設計、施工により密接に結びつくと思われる。例えば舗装でいえばC B Rがあり、まだ異論があるけれども、数量化されたことに意義がある。地質の分野についても数量化をお願いしたい。数量化によつてデータがより一層生かされる。

最後に、次回より本会議は本省が主体となつて開催して頂きたいと本省をお願いしている。

2) 開発課長あいさつ(河川局長代理)(概要)

9:50~10:00

開発課は主としてダムを担当している。ダムの目的、必要性は①治水と、②水資源の確保すなわち利水である。現在、治水利水の面から昭和60年までに1,000以上のダムを工築する必要があり、来年より始まる新5カ年計画において、前5カ年計画に比べて3倍以上、数にして400あまりに着手し、そのうち100あまりを完成させる計画である。

しかし、ダムの工築に当つては種々の問題があり、例えば補償の問題、地質の問題がある。特に最近のダムは地形、地質の良くない所が多い。したがつて、地質の悪い所は積極的に地質を改良するなど、地質上の問題点を解決してダムが工築できるようにして頂きたい。

3) 火山岩地帯のダム基礎の問題について

九州地建、三浦三郎 10:00~11:00

4) 設計、計画の側から要求されるダムの地質調査のあり方について

土研 飯田隆一 11:05~11:35

土研 柴田 功 11:35~12:15

<3)、4)に対する質疑応答>

川越(土研):建設省にいる地質職は何人か。またダムの仕事に従事した者は?

岡本(土研):地質職の人は現在12名で、ダムに従事した人は市川を除く全員である。

今西（土研）：予算の関係かどうかは知らないけれども、横坑又はボーリングなどが地質の悪い所で止つている事も見うけられる。地質調査は良い所ばかりでなく、悪い所をさがすことが目的なので、そのようなことが解れば手を打ってもらいたい。

岡本：飯田室長の基本的設計の中でコンクリートダムの場合、コンソリデーショングラウトが止水に役立つという話があつたが、フィルダムの場合にはコンソリデーショングラウトはやらないが、止水も含めて検討すべきではないか。

飯田：ロックフィルの場合、ギャラリーを残してそれからグラウトしている、コンソリデーショングラウトの果す役割は地盤改良と止水である。したがつて、透水長の短い所は長い距離で止水する一すなわちコンソリデーショングラウトで、透水長の長い所はカーテングラウトで止水することを考えるべきであろう。

岡本：熔岩地帯、花崗岩地帯では一列のカーテングラウトでは止水が不可能であるので、地質の面からコンソリデーショングラウトを検討すべきである。

<昼食（12：30～13：00）>

5) 技術参事官あいさつ（概要）

13：00～13：10

今まで事務所長会議に出席していたのだが、事務所長会議の中で専門官の話が出ていた。特に技術関係においてはスタッフの制度をもつと考えるべきだと思う。

今後の問題として、技術事務所をどう発展させるかということと人の処遇の問題がある。土木職の人は建設省の主体であるので問題は少ない。また電気関係者は電気通信課で、機械関係者は機械課を中心にしているが、地質と化学関係は土研にお願いしているのが現状である。今後とも本省で考えるべき問題だと思う。

地質担当者会議も才5回ということであるが、今後地質担当者会議をどう発展させ、また会議で決めたことをどうオーソライズするかが課題であろう。

<3)、4)に対する質疑応答の続き>

大木（東北）：透水試験について、グラウト指針ができた段階で業者が機械を準備できるだろうか。

三浦：大型グラウトポンプは山地では持ち上げなどが困難なので、久保田F-12（農業用、200ℓ/min）でがまんしようかと考えている。

今西：ポンプは順次良くなつていくだろうから、グラウトの問題とは別に考えるべきだと思う。

岡本：調査能力のないコンサントをどの程度選択できるのか。機械も能力もないコンサル

タントを指名するのか。

大木：小さい間はできるけれども、もつと大きい圧力をかけたい時に問題になる。

岡本：業者を選定する時に地質担当者がしつかりした業者を選ぶようにして欲しい。

稲葉（土研）：ボーリング共通仕様書はどうなつたか。共通仕様書、歩掛りをまとめようという意見があつたが、その後どうなつたか。また共通仕様書と歩掛りについて各地建の使用状況はどうなっているか。

岡本：（案）までまとめてあり、各地建より意見まで聞いたが、（案）すらまとまりそうもないということで今年はとりやめた。今後、本省が本会議のイニシアティブを取るようになると、もつとやり易くなるだろう。

各地建の共通仕様書の現状はどうなっていますか。

関東：赤本は土だけあつて、岩はない。

中部：赤本でいつている。但し、硬岩は実績で積算している。

聞くことにしている。

特記仕様書は地建共通のものを事務所で作成している。透水試験は地建で統一しており、横坑はその場その場でやつている。

北陸：赤本はない。現在2事務所調査中。

東北：赤本では統一。

近畿：赤本がある。ボーリングが少し高いようだ。土質試験の室内試験は統一しているが、現位置試験は定めていない。現場にあわせてやつている。横坑は土木工事積算基準の範囲で選択している。

中国：赤本、共通仕様書ともにある。43、44年に諸経費の調査を行なつたが、諸経費のとり方がバラバラであり、今年中に歩掛り補正ということで意見を聞くことにしている。

四国：共通仕様書はない。47年度より決めようと現在作業中である。赤本は土についてはあるが、岩についてはその場その場できめている。諸経費の積算ははつきり決めていない。

九州：歩掛りはあるが、事務所で独自に使っている。共通仕様書はない。しかし、ボーリングについては、土研の（案）を流し、透水試験は地建独自で決めており、横坑は単価を大体きめている。

岡本：業者の話では土に関しては良いが、岩は今の状態ではやつていけなく、赤字になるといつている。また、東北と中部の歩掛りが基準になつているようだ。

野島（土研）：金の多い少ないは調査成果にひびいてくるので、業者をあまりしぼらないようにして欲しい。

6) 道路法面崩壊の実態について

岡本隆一(土研) 13:20~13:40

桑原啓三(土研) 13:40~14:05

<質疑応答>

今西: 技術研究会の時に問題になつたのは, ①無処理ののり面, ②モルタル吹付, ③大きい切土, ④交通規制の問題であつた。

無処理ののり面は非常に多いが, 崩壊の発生率から見ると極めて高く, 社会情勢に応じて何らかの保護をすべきであろう。

モルタル吹付は数年経過すると何らかの変状をきたすので, 永久的な構造物ではなく, 一時的なものと考えた方が良さだろう。

大きい切土は小さい切土に比べ, 用地の問題からかどうか判らないが, 非常に急であることが多く, もつと安定を考えて施工すべきと思われる。

交通規制は上手に実施されているところもあるが, 基準雨量の決め方にも問題があり, また何時解除するか, A・Bの指定は良いか等の問題がある。

矢部(関東): 交通規制をやるのは良いが, 何時解除して良いのか判らなく, その点の基準のようなものはないのか。

今西: それが最も難かしいところで, こちらからお聞きしたい。今後研究すべき問題だと思う。

<休憩> 14:40~15:00

7) サンフェルナンド地震による災害と地質の関連および米国における最近の岩盤力学の動向

菅原 捷(土研) 15:00~17:00

8) 企画部長あいさつ(概要)

17:00~17:05

長時間にわたる発表と討論どうもありがとうございました。今後本会議がもつともつと発展していくことを願つて本会議を終了いたします。

1. 火山岩地帯のダム基礎の問題について

九州地建河川部 三 浦 三 郎

1. はじめに

近年治水・利水の両面からの強い要望により数多くのダム計画が立案されているが、ダムの数が多くなるにつれて、ダムサイト選定の自由度は小さくなり、従来不適とされていた場所に対しても建設が要求されるようになってきている。九州地建管内でも現在多くのダム計画が立案され調査が進められているが、これらのうち大部分が火山岩地帯に位置している。従つて火山岩類を対象としたダム基礎の問題を明らかにすることが、ダム建設の可否及び規模の決定に欠くことの出来ないものとしてその調査が急がれており、今年度は特別な予算の配布を受け、土木研究所の指導のもとに各種の調査が実施されている。

ここでは過去の調査結果をもとに火山岩地帯のダム基礎の問題点を整理し九州の火山岩類を基礎として築造されたダムの問題点と対策について述べるとともに現在調査中の諸ダムの問題点の検討を試みた。

2. 九州の火山活動の概要

九州地方における火山活動の歴史の概要は次のようなものとされている。

新オ三紀に入つて火山活動が活発となり、この初期に生成されたものとして古期安山岩と呼ばれる変朽安山岩を主とし、しばしば金属鉱床を伴う安山岩類が中北部九州に分布する。続いて新オ三紀の中頃、瀬戸内系火山活動に伴う火山岩類が豊前、豊後、肥前地区に噴出した。

オ四紀の初期には筑紫火山活動が活発となり中・北部九州一帯に広く安山岩類の噴出を見た（筑紫溶岩）、その後筑後川水系にしばしば見られる万年山溶岩、及び耶馬溪溶岩等の活動があり、続いて更新世に入り、山陰系火山活動により雲仙、由布、鶴見と云つた火山より主として角閃石安山岩が噴出された。

更新世末期には阿蘇火山活動による溶結凝灰岩（いわゆる蘇溶岩）の大規模な噴出が中部九州に起り、ほぼ時を同じくして南九州では、霧島系の火山活動により、溶結凝灰岩～降下軽石（いわゆるシラス）の大規模な噴出が生じた。

更に現世に入り、阿蘇中央火口丘、霧島、桜島などの活動が起り、これらに起因するローム層が各地の地表を覆っている。

以上のように九州に分布する火山岩類の大部分はオ四紀以降の極めて新しい時代のものであり、これに伴う堆積物の固結度が低いこと、各岩層の境界に未固結層を伴うと云つたダム基礎としての多くの問題点を包含している。

3. 火山岩類とダム築造上の問題

a) ダム基礎としての問題点

火山岩地帯にダムを築造した場合の問題点を要約して次に示す。

① 支持力

火山活動に伴う湖盆堆積物とか溶岩相互の境界層等は殆んどの場合未固結～半固結状でハンマーやピッグで容易にくずせる程度であり、せん断強度は極めて低く（供試体による一軸圧縮強度 $1 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ ）グラウトによる改良効果も期待出来ない。したがって分布位置、ダムタイプによつては置換工法を対象として、分布状況の正確な把握が必要となる。

② 透水性

溶岩類は一般に柱状節理とか板状節理と云つたCooling jointの発達が著しくこれを通しての漏水が大きい。特に阿蘇溶岩や耶馬溪溶岩と云つた溶結凝灰岩は柱状節理の発達が著しく、生成時期の新しいことにもよると思われるが節理の開口間隔が大きい。またこれらの溶結凝灰岩の下にはしばしば未固結な旧河床砂礫層を伴いこれを通しての漏水も懸念される。

③ バイピング

①・②にも述べた溶岩の境界層や旧河床砂礫は未固結で細粒な物質を多く含むため、湛水による動水勾配の増大によつてバイピングの発生が考えられる。この現象は阿蘇溶岩相互の境界層などでは小規模なバイピングが露頭でしばしば見受けられる。

④ 貯水池の地すべり

火山岩地帯においては当然のことながら温泉変質を受けた地域が各所で見られこの変質により安山岩などの原岩が粘土化した部分があり、これに起因した地すべりが発生している。このような地域では現在地すべりが生じていなくても湛水に伴い、あるいは付替道路等の切取りによつて誘発されるので十分な注意が必要である。

実例としては下釜ダム貯水池内に2ヶ所発生。

⑤ その他

その他の問題としては、コンクリート骨材としてあまり良好な岩石の得られないこと、フィルタイプダムの場合はコア材としてローム層等が使用可能かどうかと云つたことがある。

また、活火山の近傍に建設する場合もあり、温泉や局地地震とダムの安全性などに対する考慮が必要なことも火山岩地帯の特色である。

b) 九州における主要火山岩類の特色

① 阿蘇溶岩（阿蘇溶結凝灰岩）

今から3～8万年以前に阿蘇山より噴出された溶結凝灰岩（wtf）で阿蘇山を中心に中北部九州一帯を広く覆っている。

このwtfは現在の地形の概略の形が出来上つた後に噴出したものであり地形的な低地部を選んで流動し、堆積している。

岩質は堆積時の温度に起因する溶結度の差により、硬岩状を呈するもの（黒珉石のレンズを多量に含む）から未固結な火山灰状を呈するものまであり、これを便宜上高溶結wtf、中溶結wtf・低（未）溶結wtfと区分している。これらの岩相の変化は漸移的であり明確な境界は無い。

- 高溶結wtf……硬岩状を呈しハンマーの打撃で金属音を発する一般に3～6角の柱状節理（一辺0.5 m～1.5 m）を有し、地表部（断崖）では数cmの開口節理となつてることが多い。透水性は30～50ルジオン程度を示し、一軸強度200～300 kg/cm²……透水性が問題、セメントグラウト可。
- 中溶結wtf……軟岩状を呈しハンマーの打撃で鈍い音をたてて容易にこわれる。節理の発達はいずれも顕著でなく、軽石の礫を含んだTuffbreccia状を呈する場合が多い。透水性は高溶結なものに比して小さい（10ルジオン程度）がグラウトによる透水性の改善効果の低いことと支持力に問題あり。
- 低溶結wtf……中溶結wtfよりもさらに溶結度が低くハンマーやピックで容易にくずせるもので軽石粒が火山灰をマトリックスとして弱く膠着されているもので透水性、支持力の他、パイピングも問題とされる。
- wtfの境界層……阿蘇wtfの噴出は大規模なものが3～4回あつたと云われ、ダムサイドでも2～3枚の存在が認められる場合が多い。これらの各噴出期のwtfの間には主として軽石流堆積物と砂質ローム等よりなる未固結層が存在し透水性、支持力、パイピングが問題とされる。
- 旧河床砂礫層……阿蘇wtfの流動及び堆積は低地部（河や谷）を選んで行われたため現在阿蘇wtfによつて覆われている河床及びその周辺ではwtf堆積前の旧河床砂礫層が存在している。この旧河床砂礫層は一般的に現河床よりも広い範囲に分布しているのが特徴である。この砂礫層は場所によつて層厚は異なるが5～15 mの厚さで分布することが多く、殆んど未固結は状態で透水性が大きくパイピングも問題とされる。

以上は阿蘇wtfの問題について述べたが、筑後川上流域にはこれに類似したもので、やや生成時期の古い耶馬溪溶岩（wtf）が分布しており、ほぼ同様の問題点を有する。

② その他の火山岩類

中北部九州一帯には新第三紀から第四紀にかけての活発な火山活動に伴つた各種の火山岩類が分布しており、成因・組成・生成時期によつてそれぞれ異つた特質を有しているのである。

うが大まかに云つてダム基礎の問題点として次のような区分が考えられる。

- 安山岩溶岩……岩質（岩片）そのものはち密堅硬であるが cooling joint 特に板状節理の発達が著し 2～5 cm pitch で節理の入っている場合も多くこの節理を通じての漏水が大、……セメントグラウトの効果大
- 凝灰角礫岩類……溶岩以外のもので凝灰角礫岩、集塊岩、自破碎溶岩等を含むもので岩質は溶岩に比べてあまり堅硬ではないが亀裂（節理）は少い。透水性は部分的に大きな箇所があり、グラウトによる改良効果が小さいため問題視される。
- 溶岩の境界層……各種の溶岩の積み重なつたダムサイドでは各溶岩の境界面にシルト質な未固結堆積物をはさみ、この透水・パイピング・支持力が問題とされるが比較的層厚のうすい場合が多い……（置換可？）
- その他………上記各岩種が狭少な地域内で入り乱れ（岩相変化がはげしく）地質構造の解明が極めて困難な場合がある。

③ 火山活動に伴う湖盆堆積物

中北部九州ではおそらく筑紫火山活動に伴つて生成されたと思われる火山性の湖盆堆積層が各所に見られる。これらの層の一般的特性はローム・シルト・砂・軽石・火山角礫等が成層して堆積しており、層厚が大で固結度が低く極めて軟質な層を含むことであり、支持力、透水性、パイピング等が問題となる。

4. 既設ダムにおける問題点と対策

a) 緑川ダム

緑川中流部に洪水調節・かんがい発電を目的として建設され S 46 年 3 月に完成したダムで本川を締切る主ダムと右岸鞍部を締切る補助ダムとよりなる。

諸 元	主 ダ ム	補助ダム
型 式	重力式コンクリート	ロックフィル
堤 高	7 7.0 m	3 4.0 m
堤 頂 長	2 9 5.3 m	2 4 4.0 m
集水面積	3 5 9 km ²	—
総貯水量	4 6.0 0 0 千 km ³	—

○ 地質上の問題点

主ダムと補助ダムは図-1 に示すような配置となつており、図-2 に示すような地質状況で主ダムの大部分は花崗岩に乘座させてあるため大きな問題は無かつたが右岸 1～3 ブロックと

補助ダムの全体が阿蘇wtfの上に乗座することとなつた。これに対しては当初より図-1に示す“補助ダムカーテングラウト施工区域”までのカーテングラウトが事前のグラウトテストに基いた綿密な計画によつて施工され所期のグラウト効果が得られたのであるが、本体工事と平行して実施していたカーテングラウト施工範囲外の地質調査の結果、上部の高溶結凝灰岩が30ルジョン以上の透水性を示し、このまま放置すると漏水量が相当大きなものとなり、またwtf I・IIの境界にロームや軽石流を主とした未固結層が存在し、これらのパイピングに対する安全性が問題となつた。

○ 対 策

この対策として右岸一帯の地質構造を解明するため、踏査・ボーリング・電気探査及び地下水調査（水位観測、及び色素による追跡）を実施した。こうして得られた地質情報をもとに、追加カーテングラウトの必要性が確認され図-1に示す“補助ダム周辺カーテングラウト区間”に対してグラウトを実施した。なお方向及び範囲の決定にあつては次のことを考慮した。

1) 浸透長を長く取ること、2) 深度を短くするため不透水層の高い位置を選ぶこと、3) 地形的に施工が容易で無駄堀（HWLより上のボーリング）が出来るだけ少ないこと、など。

以上の対策工事の結果、このグラウト効果は湛水開始と併行して施工したため必ずしも判然としないが現在の漏水量は所期の許容範囲に納つた。

なお逆算による試算では追加グラウトを施工しなければ $30 \sim 50 \frac{m^3}{min}$ になつたものと思われる。

b) 松原ダム（図-3・4参照）

筑後川上流大山川に建設されたダムで、上流約4kmの地点に同時に建設された下笠ダムとコンビで筑後川の洪水調節を主目的とし、発電、かんがいにも供されるものである。

諸 元	松 原 ダ ム	下笠ダム
型 式	重力式コンクリート	アーチ
堤 高	83.0 m	98.0 m
堤 頂 長	185.0 m	248.2 m
集水面積	491 km ²	185 km ²
総貯水量	54,600千km ³	59,300千km ³

○ 問題点

松原ダムはS45年3月に竣工し、同年12月に才一次湛水を開始したが、本体右岸側180mの距離に本川とはほぼ平行して走る大山水路（旧九州電力大山発電所取水遂道（径3.9m））に水位の上昇に伴い $6.8 \frac{m^3}{min}$ （貯水位230.5m）の浸透水を記録したため貯水水位をEL

224.0 mに降して、原因究明のための諸調査を実施した。

○ 調査と対策

浸透流の経路としてはプラグ箇所施工してあるファン（放射状）カーテンを回つて来るものと貯水池全体よりの浸透が考えられ、また本体への影響をチェックする必要も生じたので左右岸にボーリングを実施すると共に本体からのグラウトトンネルを左右岸に各190 m延長してトンネル内より20 m間隔で深度約100 mのボーリングを実施し地質構造を明らかにすると共に地下水観測、透水試験・グラウトテストを実施して浸透水に対する特性を求めた。

これらの調査の結果現在までのところでは浸透機構の明確な把握はなされていないが、地質構造はかなり明らかとなり、右岸の地山全体が透水性の大きい地質より成っているので、このまま放置しては大山水路は勿論のことダム本体にも何らかの悪影響を及ぼすものと判断されるので、1) 大山水路の漏水防止に最も関連性の大きいヶ所、2) 本体への影響が大きいヶ所、3) 地山全体の透水性に影響しているヶ所、などについて暫定的にグラウトを実施し、貯水位を上昇させつつ（観測結果を検討しつつ）その状況に対応した施工を行う方針を取っている。

なお、大山水路についてはライニングを延長し、コンタクトグラウトを実施中である。

5. 調査中のダムの問題点と調査

前述のごとく現在九州地建管内では火山岩類を基礎とした多数のダムについて調査中であるが、ここでは代表的なものとして矢田ダムと杖立ダムについて問題点とそれに対する調査について述べる。

a) 矢田ダム（図-5・6参照）

大野川左支川平井川に洪水調節と新規利水の開発を目的として計画され、高さ56 mのコンクリート重力式で総貯水量57,000千 m^3 の規模である。

○ 地質と問題点

ダム周辺の地質は大野川層群と称する中生代白亜紀の砂岩・頁岩互層を基盤としこの上を8枚の阿蘇溶岩（ wf_1 , wf_2 , wf_3 ）が覆っており各溶岩層の間にはパーミス層と略称している軽石流やローム質シルト等の未固結堆積物が存在する（ Pu_1 ・ Pu_2 ・ Pu_3 ）

ダムサイトでは溶結度の高い wf_3 が平均30 mの厚さで河床から右岸にかけて基盤の上を直接覆っている。

○ 問題点

阿蘇溶岩の高溶結なものについての問題は緑川ダムの施工で改良効果の実証されているがパーミス層等の未固結層については不明な点が多く、本サイドでの最大の問題点となつている。右岸には地形的なやせ尾根が約3 kmにわたって続き各所でパーミス層の露頭が見られる。

○ 調査

調査の重点をパーミス層に置き、これのヤセ尾根部での分布状況を正確に把握するため1/1000の地質精査(地質図作成)によつて露頭の正確な調査を行ない、特に浸透長の短いヶ所についてはボーリングと尾根の横断測量を伴つた踏査によつて精度の向上を計つた。……これをもとに透水量及びグラウト計画を立案する予定…

またグラウトによる改良の可能性及び効果の判定を行うためダムサイト右岸においてパーミス層を中心としたグラウトテストを実施した。この成果については現在解析中であるが、施工の可能性についての見透しはついたと云えよう。

b) 杖立ダム

筑後川上流杖立川に計画中のダムでサイトは杖立温泉の下流1kmの地点にあり、洪水調節と新規利水の開発を目的とし、ダム高130m総貯水量126,000千 m^3 の規模を有する。ダムタイプはコンクリート重力式又はアーチを計画している。

○ 地 質

地質は図-8に示すような状況であり、各岩層の特性を以下に示す。

i) 杖立層

本地域の基盤をなすもので凝灰質砂岩、凝灰質泥岩、火山角礫岩、軽石質凝灰角礫岩等の互層よりなる火山性の湖成堆積物で凝灰質砂岩、泥岩等は固結度が低いが、軽石質凝灰角礫岩は比較的良好で一軸強度50 kg/cm^2 程度は期待出来る。

ii) 権現山溶岩

iii) 万年山溶岩

杖立層を覆つて河床から左右兩岸にかけて50m程度の層厚で分布する複輝石安山岩で岩質は堅硬であるが柱状・板状節理の発達が著しい(特に板状節理は3~5cm間隔)杖立層との境界面は上流から下流に向つて10~15°の傾斜で下つている。

流理構造をもつた紫褐色を呈するやや酸性の安山岩で岩質は一般に堅硬であるが、節理の発達が著しく生成時の気泡によるポーラス部分が多い。周辺の状況より均質性に疑問がもたれる。

iv) 万年山溶岩と権現山溶岩との接触部

万年山溶岩と権現山溶岩はその噴出に時間的なギャップがあつたものと思われ、その境界には固結度の低いローム質な堆積層が存在する。また権現山溶岩の上部は凝灰角礫岩状となつてゐること、万年山溶岩の下部は急冷のためガラス質で強度が低下しているなど境界部分の数mの厚さで弱層が形成されている。

○ 問題点と調査

本地点の洪水量を考えるとコンクリートダムの築造が望ましく、河床及び兩岸にはこれに耐

える岩盤が要求される。当初図-7に示す上流案で調査を開始したが権現山溶岩が河床部で極めて薄くなっているため、河床ボーリングを縦断方向に配置してこの溶岩の最も厚くなるヶ所を選んだ。これに伴って境界層の分布位置も下がり好ましくない状態となつたが、これについては比較的層厚が小さいので置換工法等が採用可能であろうと思われる。現在ではこの境界層の調査と万年山・権現山両溶岩の調査のため横坑を掘削中である。

また図-7に見られるように河川に直交する方向の地形の切れ込みが激しく地質的な弱線の存在が推定されるので、このような沢の成因の調査も実施中である。

その他の問題として松原ダムの湛水により水深約20mのoverlapのあることなどがある。

5. おわりに

以上、九州における火山岩地帯のダム基礎の問題点について実例を混えて述べたが、以下に火山岩を対象とした地質調査で気付いた注意事項を列記する。

- 地山は深度に比例して必ずしも良くならない。したがって普通のサイトよりも深い探索深度を必要とする。
- ボーリングの施工……岩質が脆いため、コア採取率が低下し勝ちであるがダイヤモンドの使用、コアチューブの引上げ回数を多くする等、入念な施工により採取率の向上が期待出来る。
- ルジオンテスト……ルジオンテストを行う場合、孔壁の崩壊・漏水量大などのため測定結果に信頼性を欠く場合が多いが、パッカーの効果を高めるためセメンテーションによる孔壁の整形、パッカーの種類の選択により対処し、漏水量が大なるために生ずる障害には大容量ポンプの持込を義務づけるなどで対処する。
- 地下水の測定……火山岩地帯に限られた問題ではないが地表水の流入を防止して地山の地下水位を測定することに注意する。……例、上部をセメンテーションする。
- 地形的な要素を事前に良く調べる。ヤセ尾根の存在する場合が多い。
- ダム周辺に存在するトンネル等については広範囲にわたって調査しておく。

附 図

図-1	緑川ダム平面図	図-2	緑川ダム地質断面図
図-3	松原ダム平面図	図-4	松原ダム地質断面図
図-5	矢田ダム平面図	図-6	矢田ダム地質断面図
図-7	杖立ダム平面図	図-8	杖立ダム地質断面図

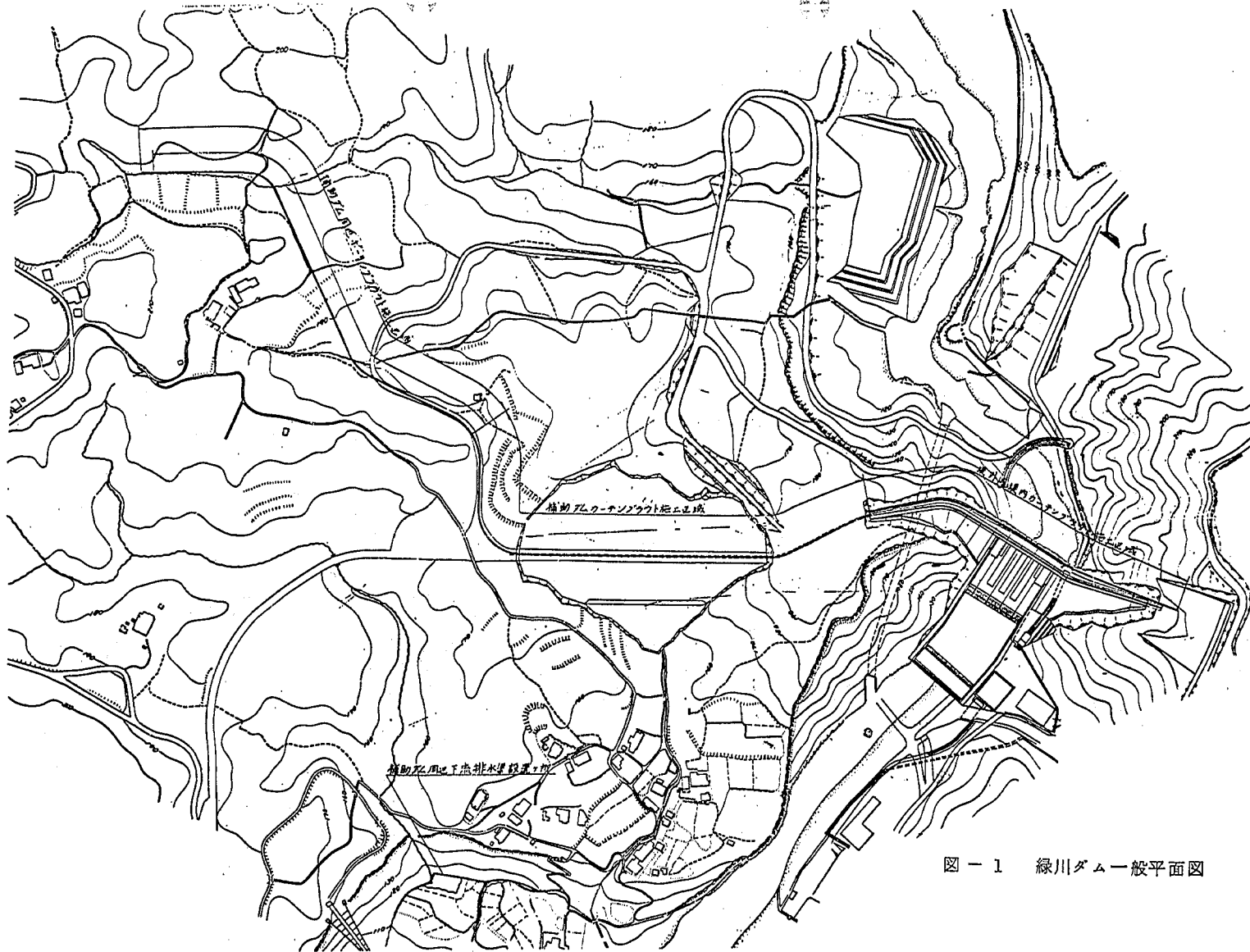


図 - 1 緑川ダム一般平面図

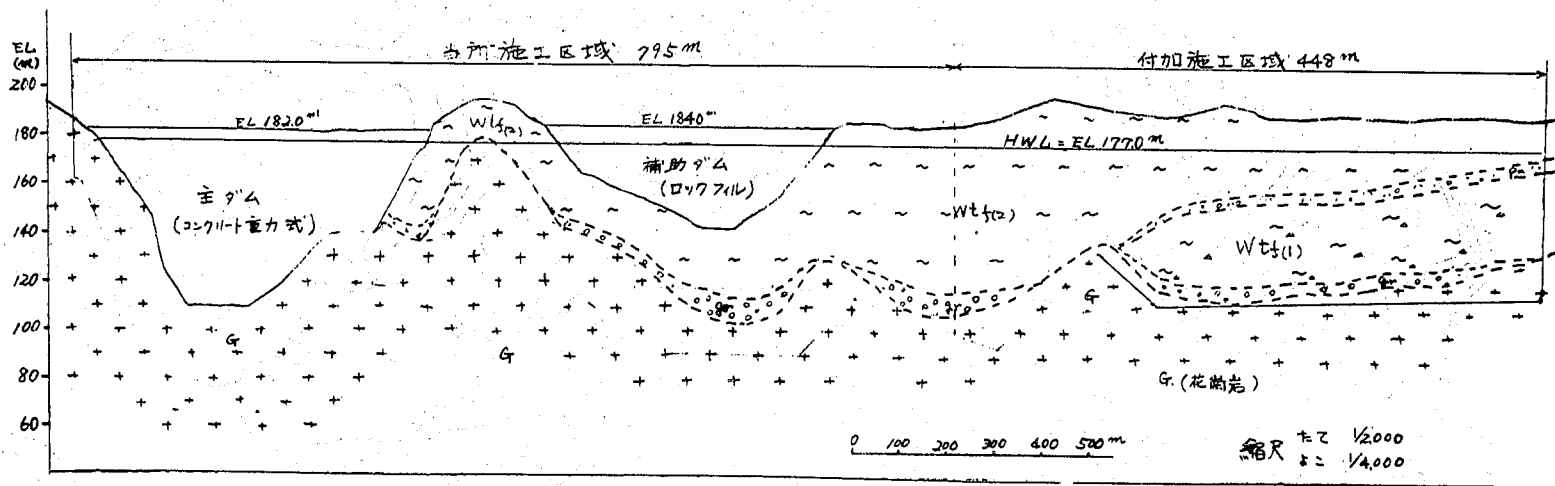


図-2 緑川ダム地質断面図及グラウト施工図

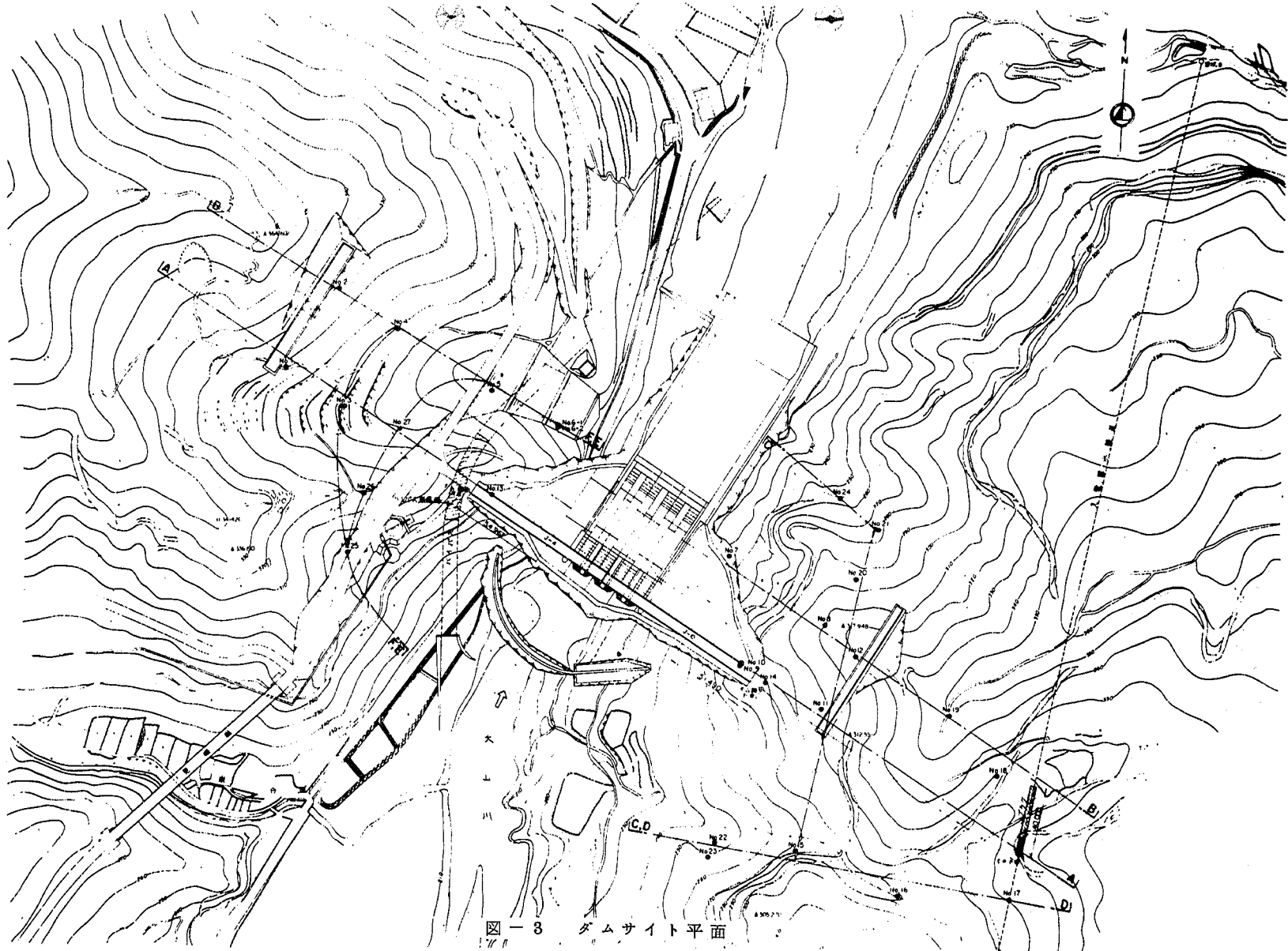
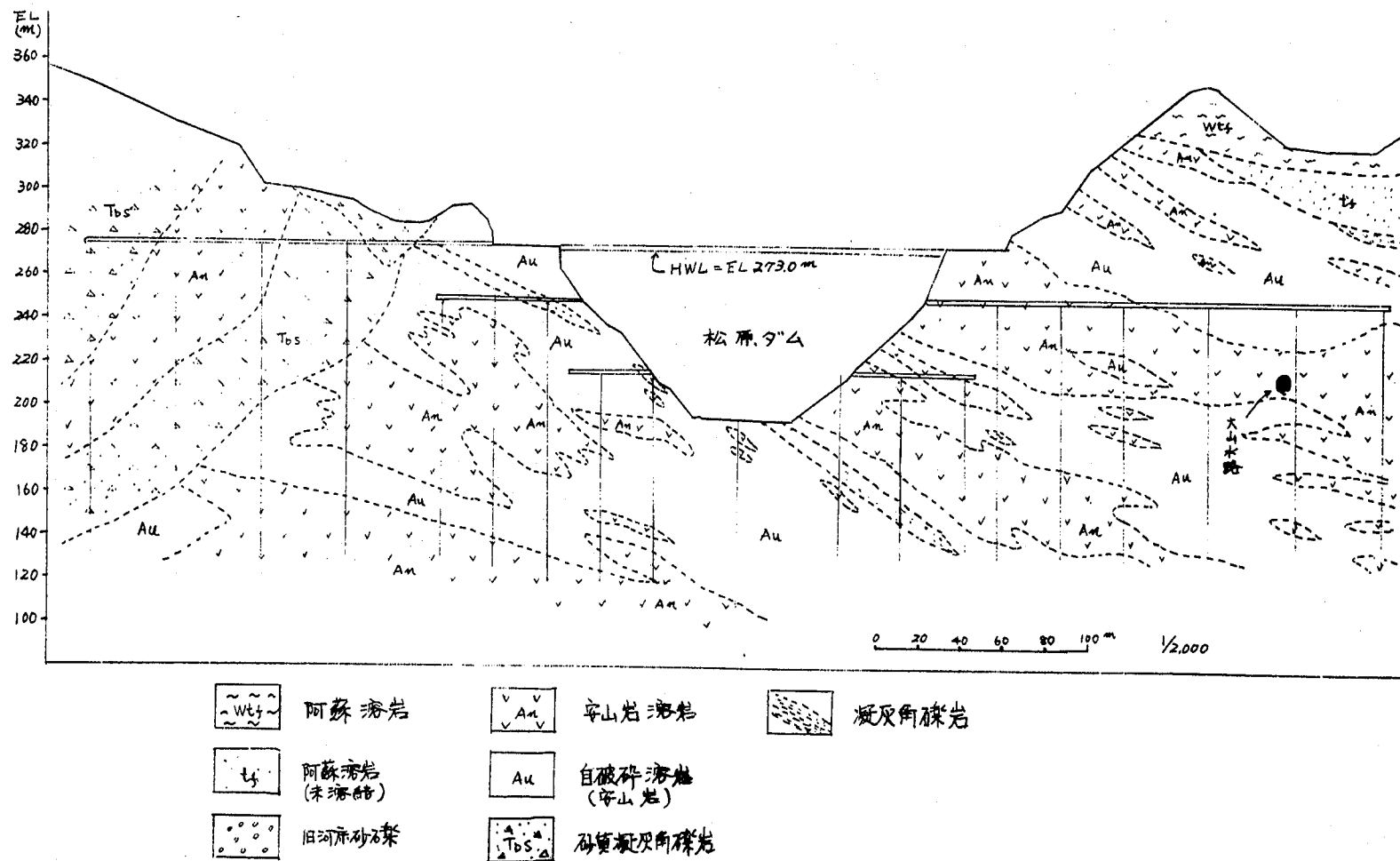


図-3 ダムサイト平面



图一4 松原ダム地質断面图

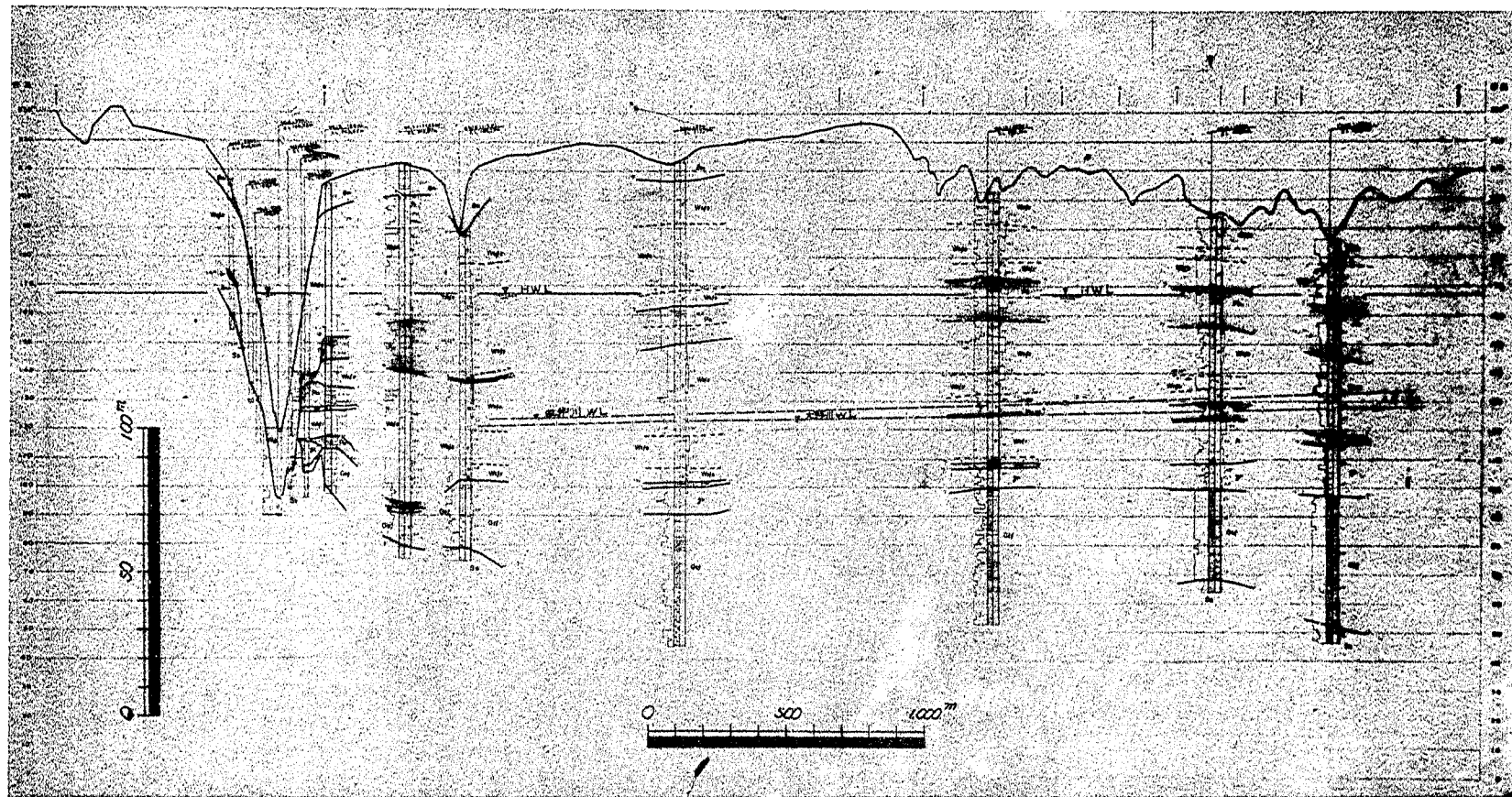


図 - 5 ダムサイト予定地および右岸台地部一尾根部沿いの地質断面図

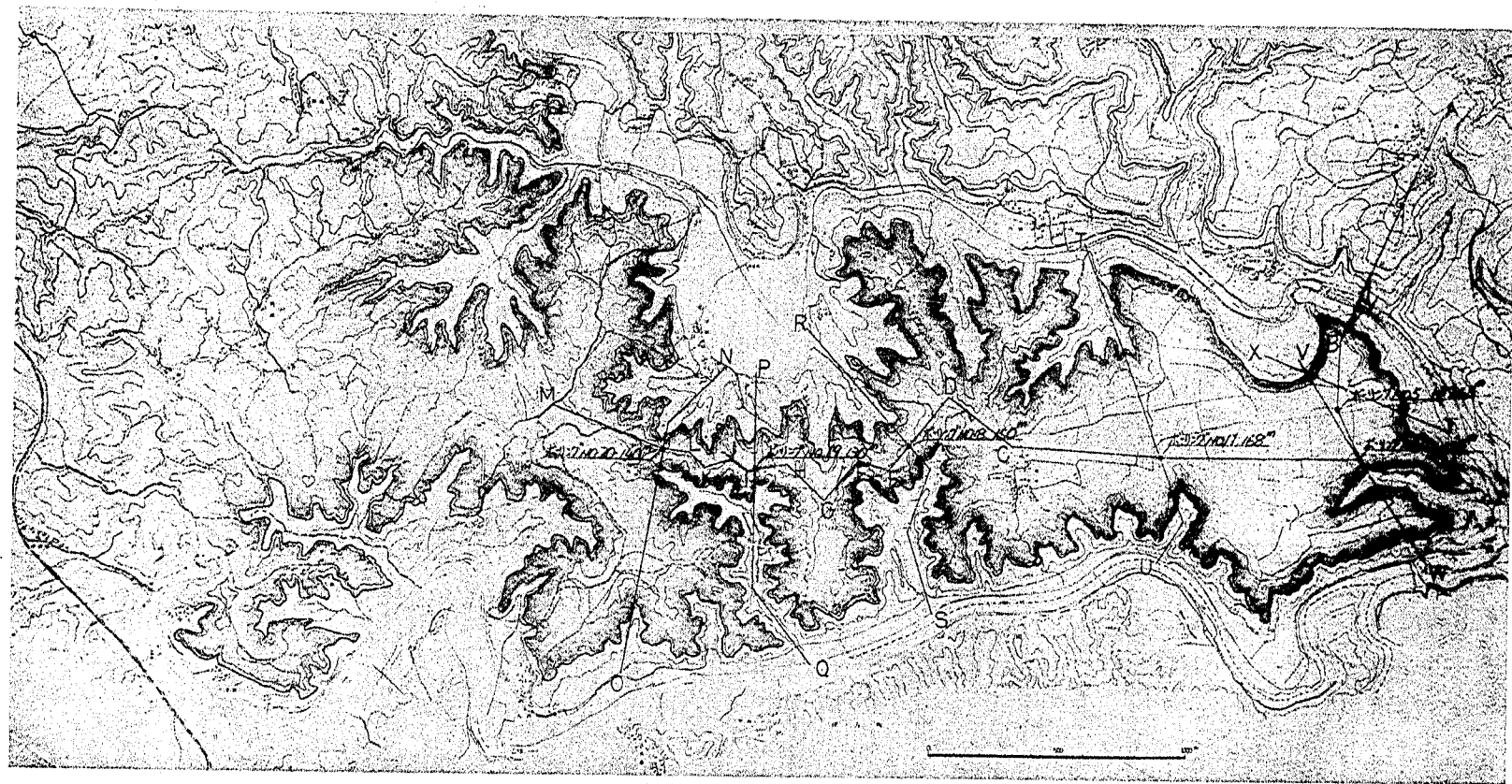


图-6 右岸台地部平面图

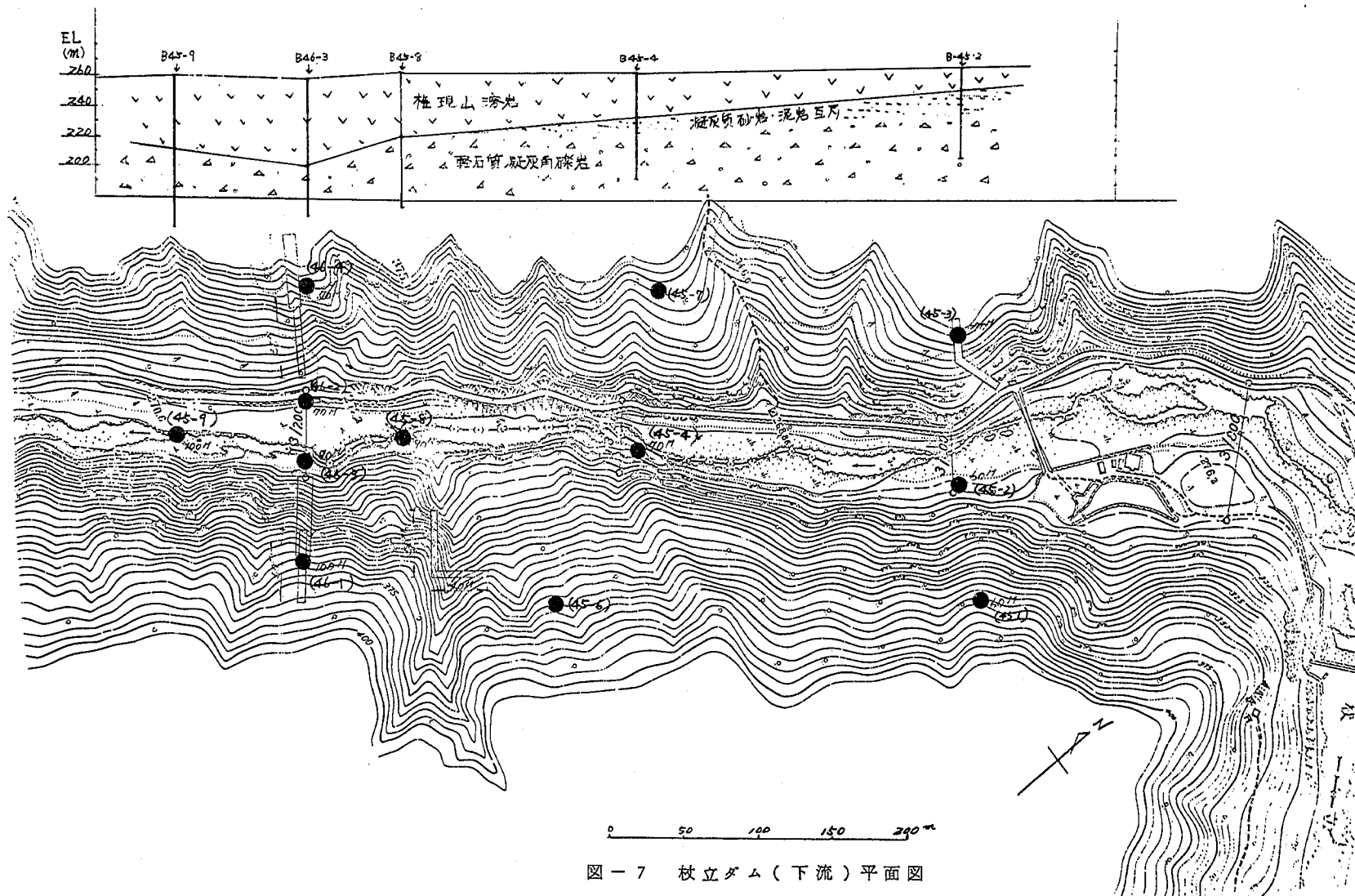


図-7 杖立ダム(下流)平面図

図一 8 筑後川 杖立（最下流）地質断面図

2. ダム基礎の設計における問題点

土木研究所ダム構造研究室 飯田 隆一

1. ダムの設計

1.1 重力ダム

a) 転倒の条件 (Middle third の理論)

高さに無関係

b) せん断摩擦抵抗

$$n = \frac{\tau_0 \ell + fv}{H} > 4$$

τ_0 は大体高さの 2.2 ~ 2.3 倍必要

c) 最大応力

1.2 アーチダム

a) せん断摩擦抵抗

b) 最大応力

1.3 フィルダム

すべり安全率

$$n > 1.2$$

その他透水性に対する条件

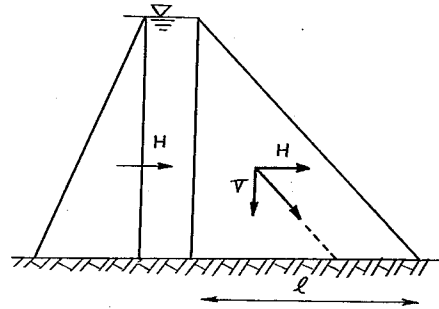


図 - 1

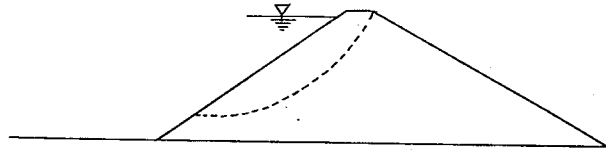


図 - 2

2. ダムの基礎処理設計

2.1 重力ダムの基礎のせん断強度が不足した場合

上流側にフィレット

大渡ダム

2.2 断層がある場合

2.2.1 河に直交した断層がある場合

下流端に上流落断層がある場合が最も危険

下流落断層は比較的影響は少ない

2.2.2 河に平行な断層がある場合

せん断摩擦抵抗の検討

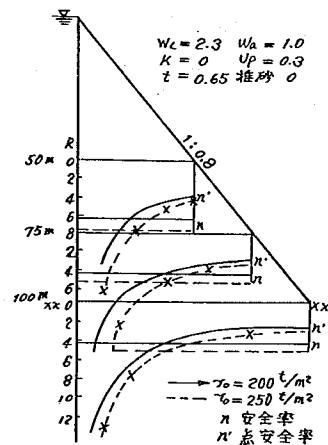


図 - 3

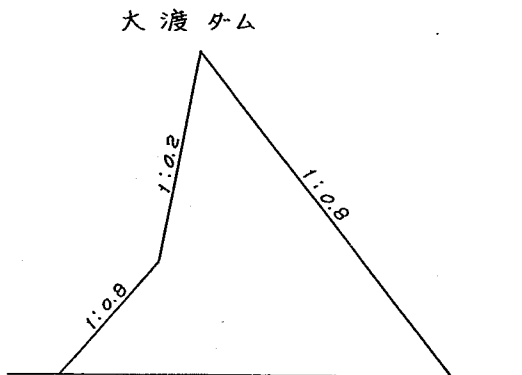


図 - 5

3. 岩盤試験

3.1 ジャツキ試験

3.2 せん断試験

地質区分との対応による基礎全般の
評価が重要

4. 透水性および止水工

図 - 7, 8, 9 参照

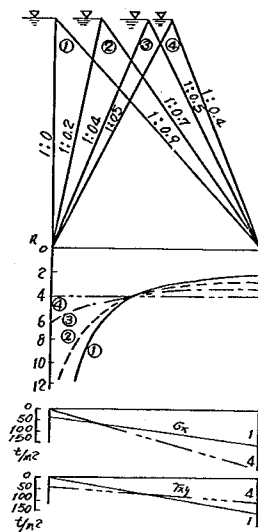


図 - 4

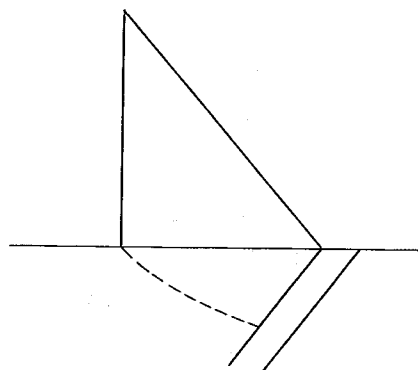


図 - 6

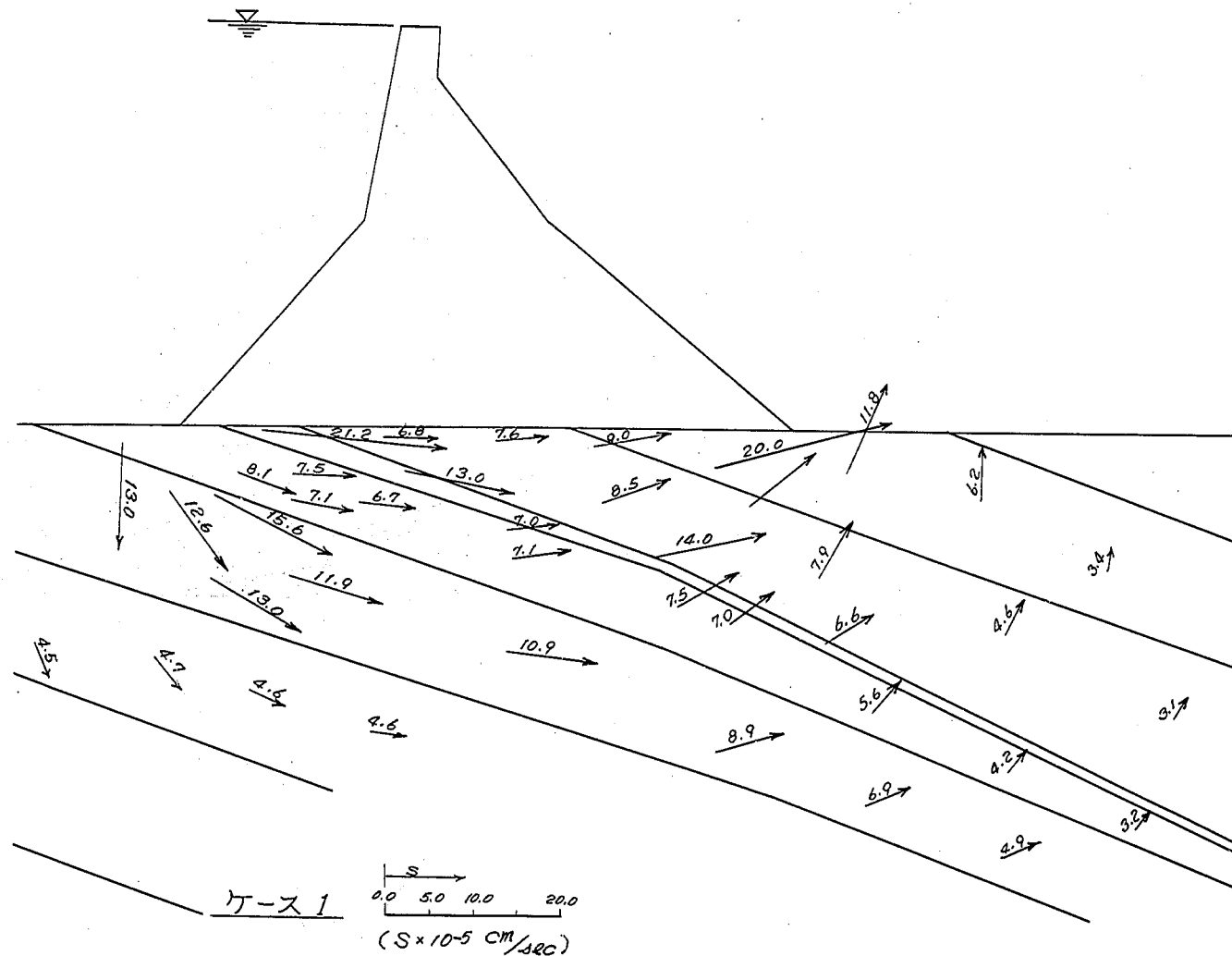


図-7 成層地盤中の透水性 (1)

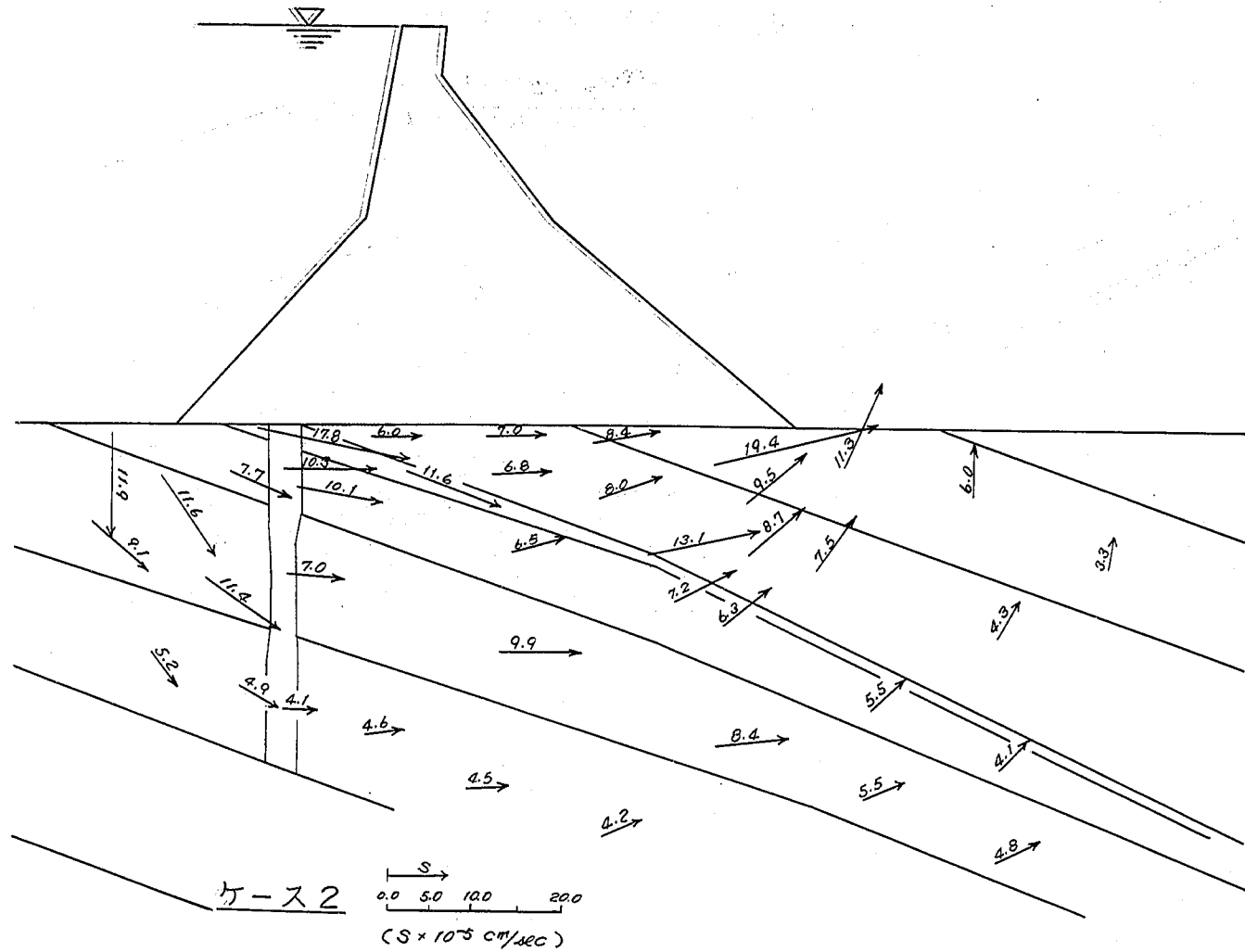


図-8 成層地盤中の透水性(2)

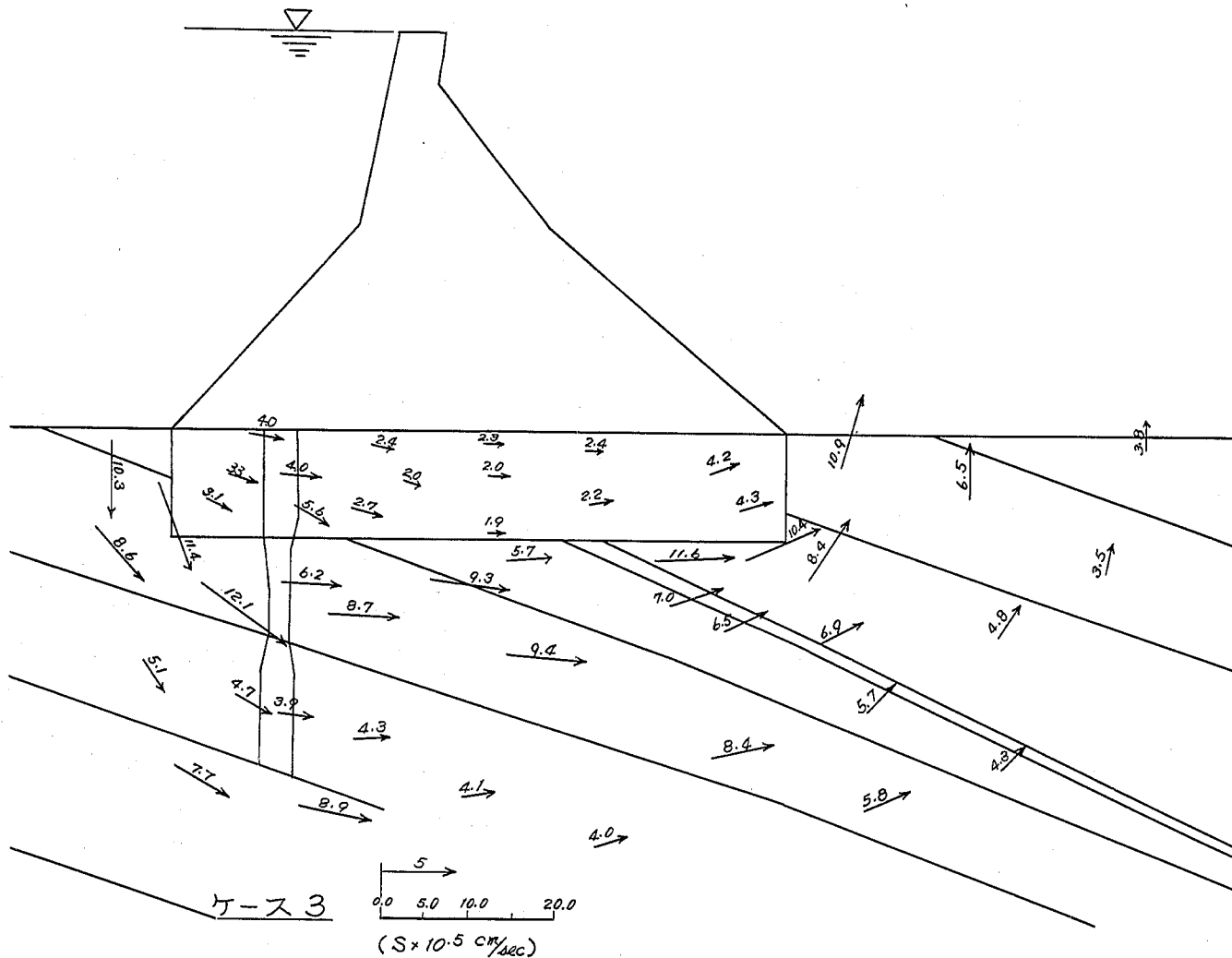


図-9 成層地盤中の透水性(3)

3. コンクリートダム設計の手順

土木研究所ダム構造研究室 柴田 功

1. 支持力とダムの応力

1) 基礎岩盤の構成や割れ目が支持力を期待するのに問題のあるものとなっていないかの見当をつける。(図3.2～図3.6)

2) 堅岩線の決定, すなわち, ダムからの荷重を, せん断によつて支持するのに耐えられる岩盤の等高線図を決める。(アーチダムのアバットメントのように高い応力分布を示す場合の支圧応力は別の問題であつて, 構造設計でカバーする。)

担当地質技術者の判断に基づく岩級区分とその分布を基本として, 設計担当者が等高線を書き, 地質担当者と協議の上決定する。岩級区分は土研岡本式が使いやすい。

3) 岩盤のブロックシャ・テストを行なつて, せん断強さ, 摩擦係数を決定する。

4) 基礎岩盤が必要な強さをもち, かつコンクリート量が最少となるよう, ダム軸を選定する。

岩盤の強さは, 重力ダムの場合は上流側フィレットの必要の有無, アーチダムの場合は所要堅岩線でチェックされる。

○ 所要堅岩等高線の計算(例)

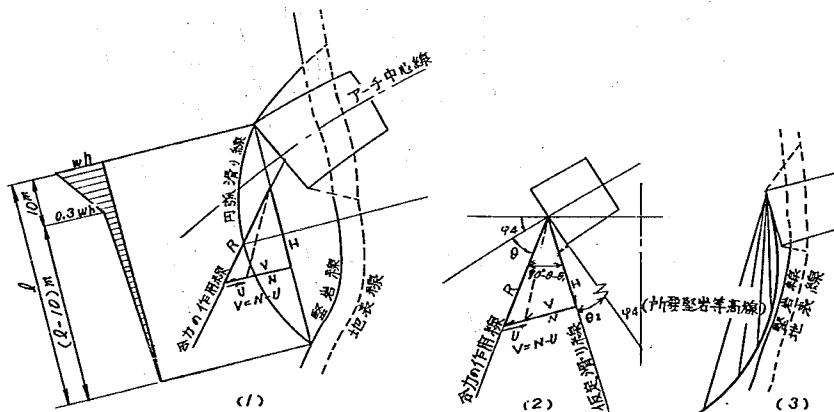
i) 滑り面の仮定は直線とし2次元で考え安全率は4とする。

ii) 山のせん断強さは両岸共 $EL\ 530$ 以上 $150\ t/m^2$, $EL\ 530$ 以下, $180\ t/m^2$ とする。

iii) 間隙水圧

アーチアバットの上流端で100%, 10m下流で30%, 下流端で0と仮定する。

図-3.1 基礎の根入れの検討



iv) 仮定滑り面で安全率4の場合の滑り線の長さ

Henny の式から

$$\ell = \frac{n \cdot H - f \cdot V}{\tau} \quad (m)$$

$H = R \cdot \cos(90^\circ - \theta - \theta_1)$: 滑り面に対するせん断力(t)

$N = R \cdot \sin(90^\circ - \theta - \theta_1)$: ダムの合力による滑り面に対する垂直力(t)

$V = N - U$: 滑り面に対する間隙水圧を考えた垂直力(t)

$U = (5 - 0.15 \cdot \ell) \cdot w \cdot h$: 上記条件の間隙水圧(t)

h : 静水深(m)

w : 水の単位重量

したがって間隙水圧を考慮した場合は

$$\ell = \frac{n \cdot H - f \cdot N + 5.0 \cdot h \cdot f}{\tau - 0.15 \cdot h \cdot f} \quad (m)$$

となる。

図-3.1(2)のようにダムアバット面の半径方向と仮定滑り面との角(θ_1)を5~10度間隔にしてそれぞれ必要な滑り線の距離を求め、それらを包絡する曲線を描きこの曲線が各標高において堅岩等高線の内部に入る様に設計した。この曲線が所要堅岩等高線(Required shoulder)である。

ダムの各部の所要等高線が堅岩等高線(地表面)と接するようときそのダムの基礎の安全性にバラツキはなかつ最も経済的な根入れ深さを示している。

5) ダム形状を応力上の検討を加えて修正し、実施形状とする。一般には最大引張応力が決め手となる。

6) 岩盤の弱部の補強(地質処理)法の設計を行なう。ダム構造設計の方針と表裏をなすもので、一般には、設計を始める前から補強の方針が決められ、その詳細を決める。

2. 止水

1) 一般にはカーテングラウチングによるので、その範囲を決める。

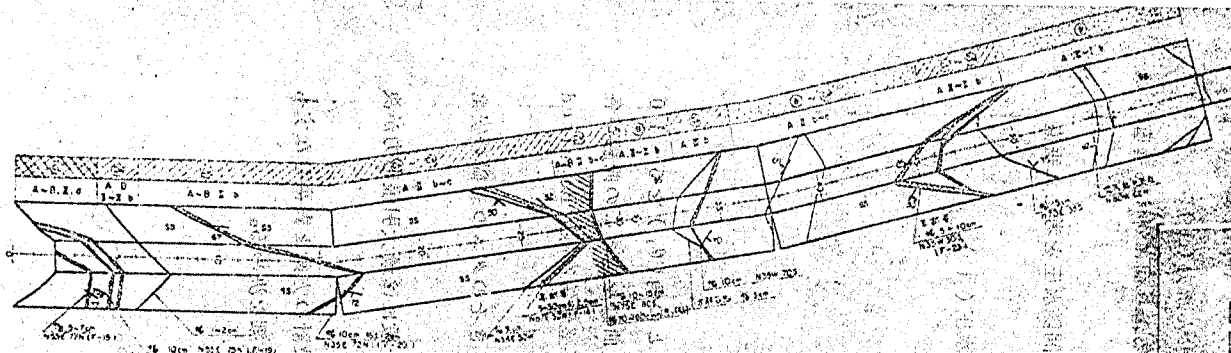
2) 特殊な地質の部分に対する止水工法を検討する。

3. 設計者が地質技術者に要望すること。

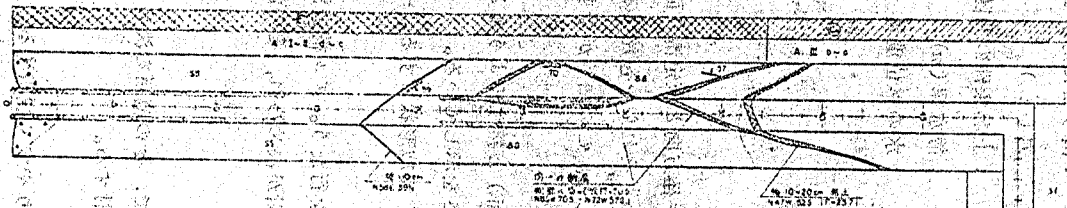
1) ダム周辺の地質構成のできた過程をわかりやすく説明する。

2) 判定の根拠を明確にする。

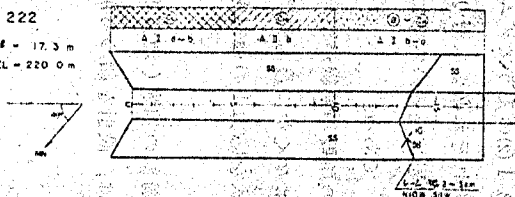
R 223
L = 59.5 m
EL = 220.0 m



R 224
L = 60.0 m
EL = 223.0 m



R 222
L = 17.3 m
EL = 220.0 m



10m 厚土
N200 225
10m 厚土
N200 225
10m 厚土
N200 225

10m 厚土
N200 225

- 凡例
- ① 土
 - ② 砂
 - ③ 砂利
 - ④ 砕石
 - ⑤ コンクリート
 - ⑥ 鉄筋コンクリート
 - ⑦ 鋼筋
 - ⑧ 鋼板
 - ⑨ 鉛板
 - ⑩ 鉛線
 - ⑪ 鉛管
 - ⑫ 鉛線
 - ⑬ 鉛管
 - ⑭ 鉛線
 - ⑮ 鉛管
 - ⑯ 鉛線
 - ⑰ 鉛管
 - ⑱ 鉛線
 - ⑲ 鉛管
 - ⑳ 鉛線
 - ㉑ 鉛管
 - ㉒ 鉛線
 - ㉓ 鉛管
 - ㉔ 鉛線
 - ㉕ 鉛管
 - ㉖ 鉛線
 - ㉗ 鉛管
 - ㉘ 鉛線
 - ㉙ 鉛管
 - ㉚ 鉛線
 - ㉛ 鉛管
 - ㉜ 鉛線
 - ㉝ 鉛管
 - ㉞ 鉛線
 - ㉟ 鉛管
 - ㊱ 鉛線
 - ㊲ 鉛管
 - ㊳ 鉛線
 - ㊴ 鉛管
 - ㊵ 鉛線
 - ㊶ 鉛管
 - ㊷ 鉛線
 - ㊸ 鉛管
 - ㊹ 鉛線
 - ㊺ 鉛管
 - ㊻ 鉛線
 - ㊼ 鉛管
 - ㊽ 鉛線
 - ㊾ 鉛管
 - ㊿ 鉛線

図-31 川辺川ダム横坑展開

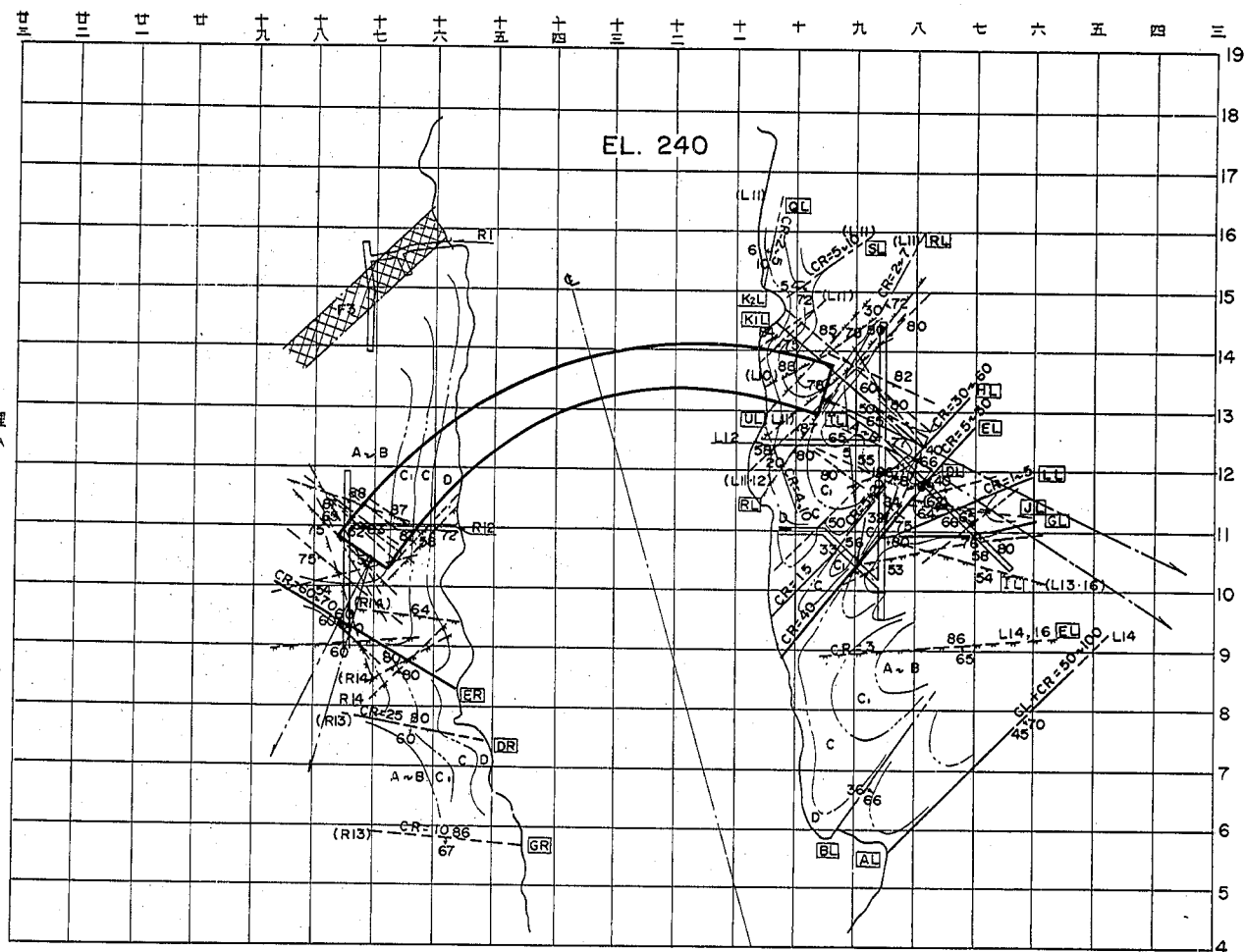
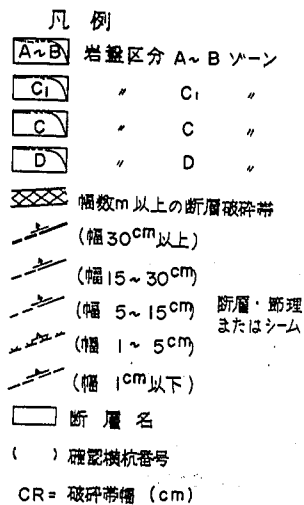
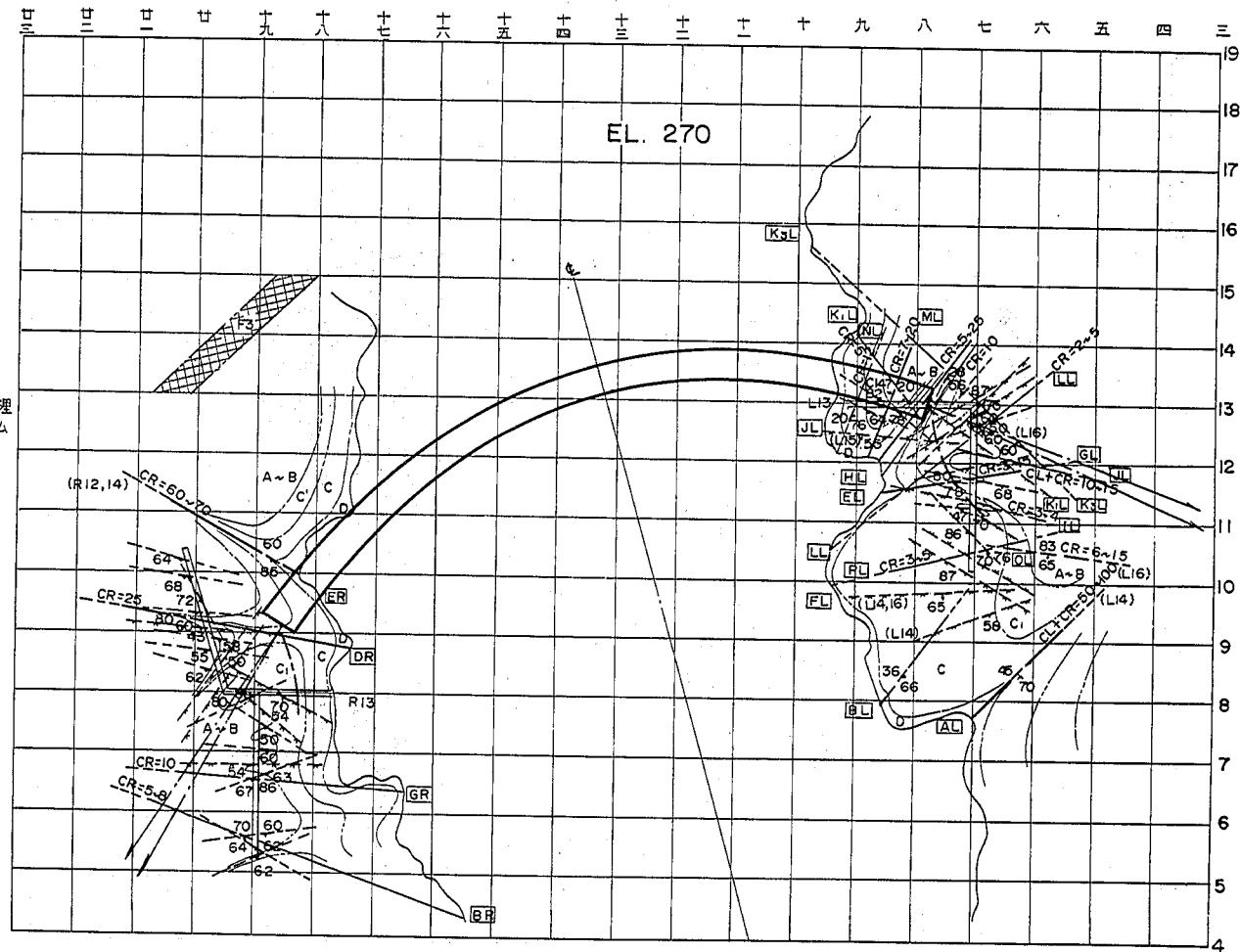
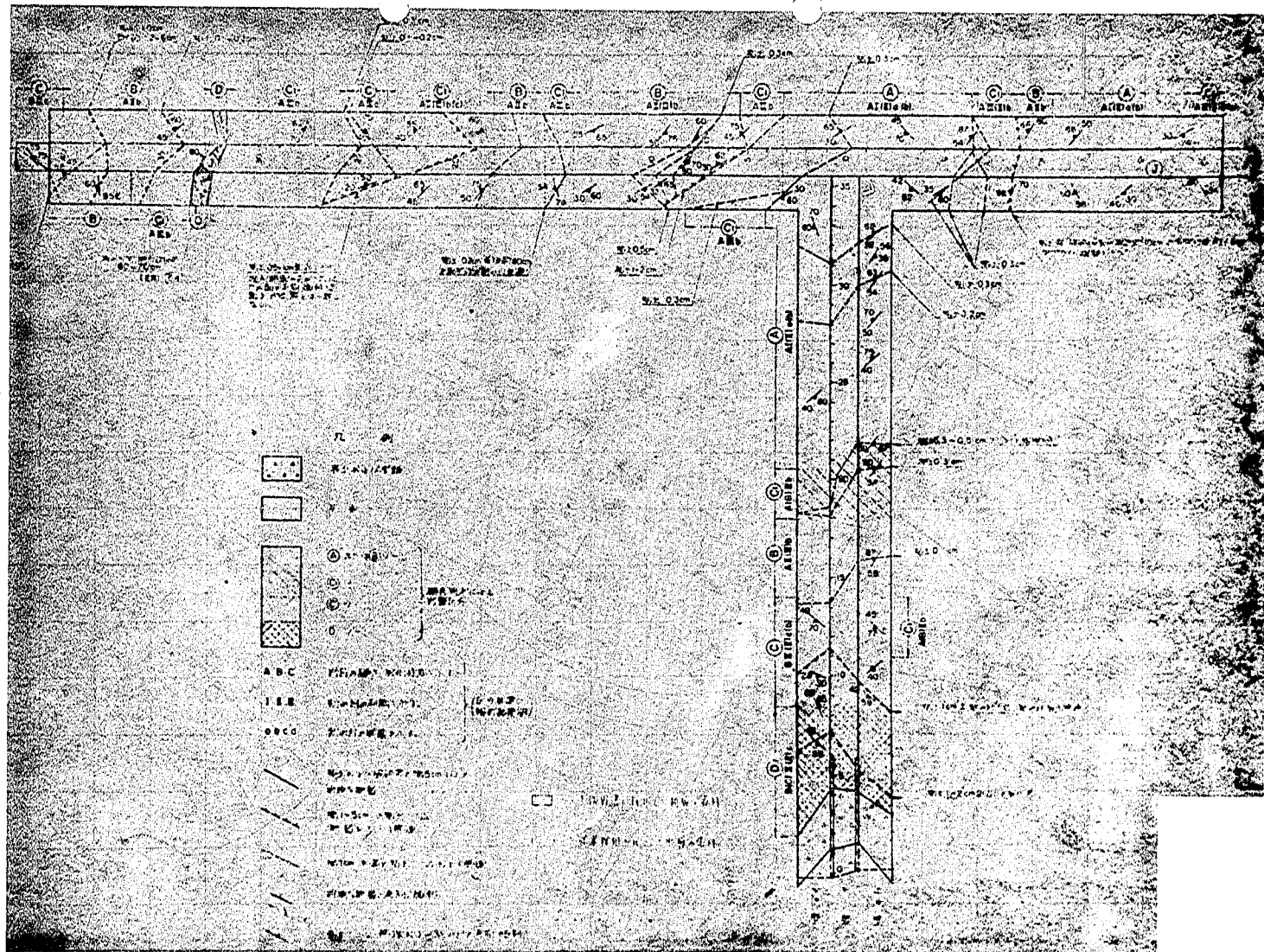


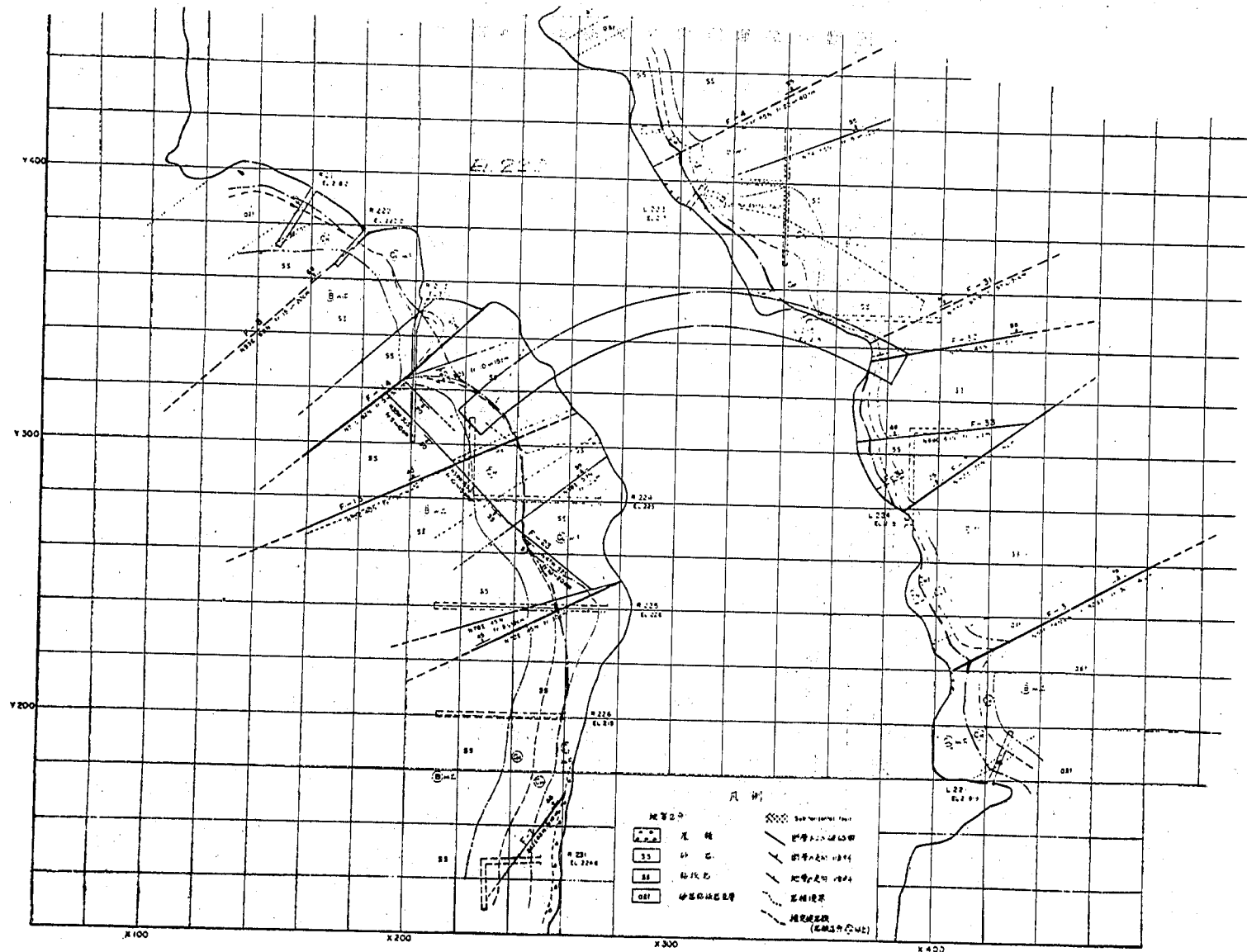
図-3.2 矢作ダム水平断面図

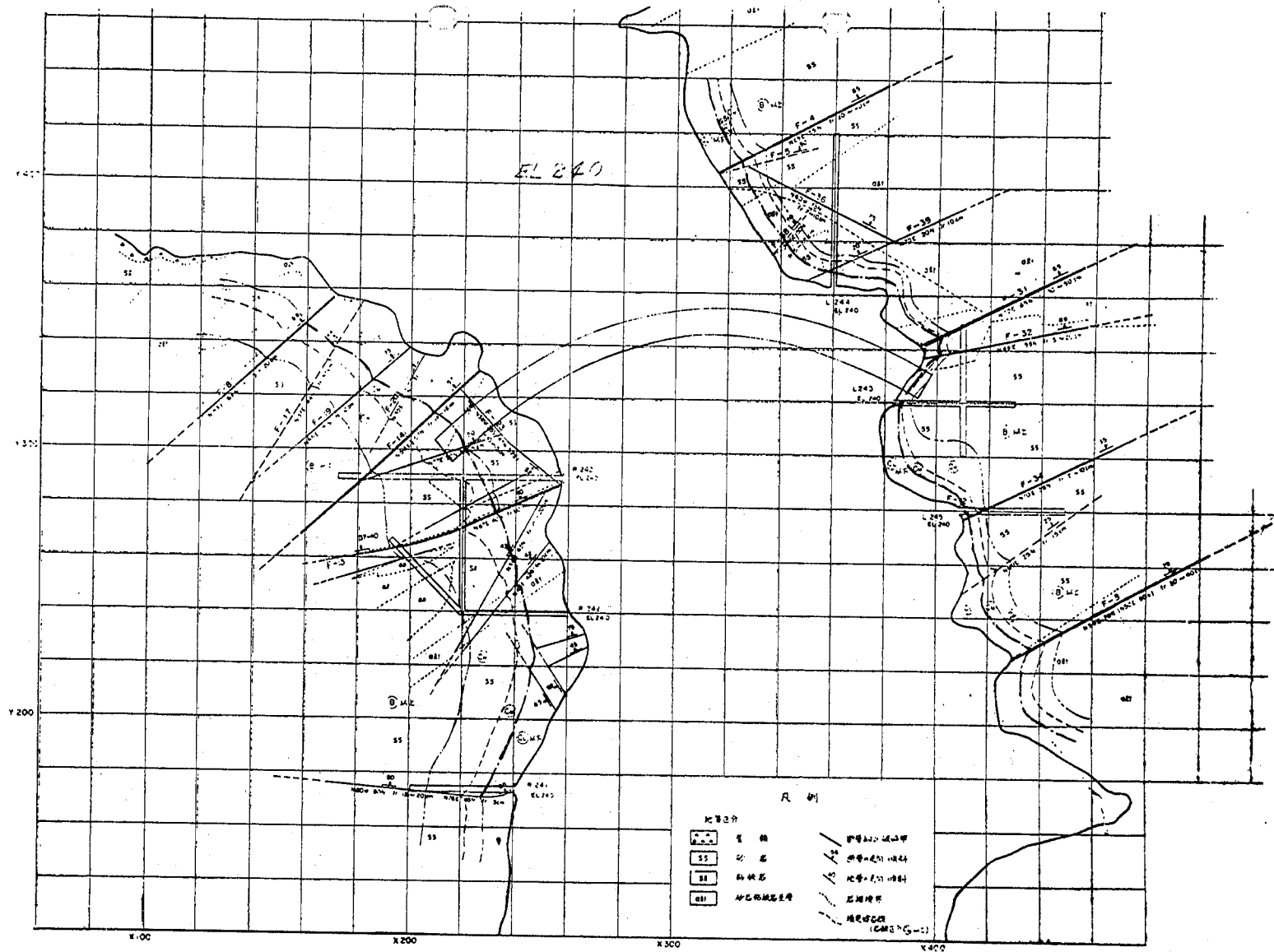
- 凡 例
- | | |
|----------------|--------------------|
| A~B | 岩盤区分 A~B ゾーン |
| C ₁ | " C ₁ " |
| C | " C " |
| D | " D " |
-  幅数m以上の断層破碎帯
 (幅 30cm以上)
 (幅 15~30cm)
 (幅 5~15cm) 断層・節理 またはシーム
 (幅 1~5cm)
 (幅 1cm以下)
 断層名
() 確認機杭番号
CR= 破碎帯幅 (cm)





圖一 3.4 矢作ダム横坑地質展開図





4. 道路法面崩壊の実態について

土木研究所地質研究室 岡 本 隆 一

道路ののり面、特に切土のり面の災害防止、保護対策は近年非常に重要な問題となり、道路事業のなかに占める重要度も高まってきた。建設省技術研究会においても、44～46年にわたって指定課題としてとりあげられ、「のり面工の効果ならびに選定基準に関する研究」として本省、北海道開発局および各地方建設局、国土地理院および土木研究所により調査研究とそのとりまとめがなされた。

日本道路協会においても2ケ年にわたって、のり面および斜面の調査、設計、施工に関する指針を作成する作業が進められている。

これらの調査、研究に際して、地質研究室は、主として岩の切土のり面の安定に関する分野の作業を実施して来たので、簡単にそのまとめの結果を御紹介しようとするものである。

先ず最初に、地質的素因にもとづく岩ののり面の崩壊、あるいは不安定化の分類、地表踏査段階における地形、地質上の着眼点、岩の切土のり面の実態調査の結果（各地方建設局の指定区間および一定区間全数調査）、岩質、保護工種、のり面の規模と安定との関連、およびのり面工選定基準の試案について述べる。

地表踏査

地表踏査は主として切土を対象に行なわれ、盛土については殆んど実施されていない。しかし、切土を対象とした地表踏査といつても、他の目的のための地表踏査と調査の手段・内容ともに本質的な差はないが、切土の安定に最も関係の深い地質条件にはとくに重点をおいて調査し、実態を正確に把握しておかねばならない。

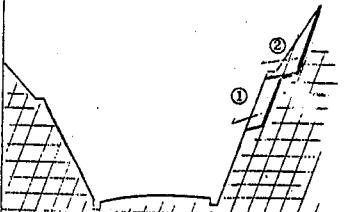
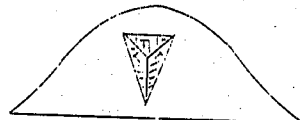
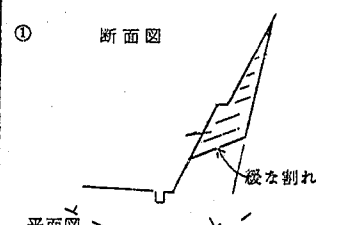
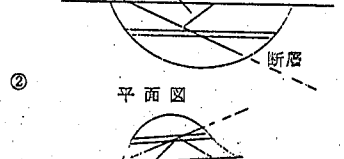
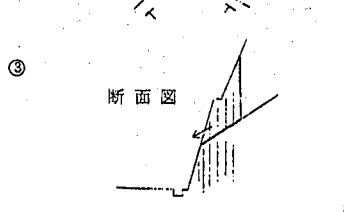
地表踏査は要求される精度（成果品である地質図の縮尺で代表される）によつて調査に要する人員日数などが異なり、他の調査方法を併用せず地表踏査のみを実施する場合、容易に実施しうるのは1/2500程度の縮尺までであつて1/1000～1/500程度の大縮尺を要求される場合はボーリング、物理探査などの併用が望ましい。地質上特別に問題があることがそれまでの調査や資料で予測されれば地表踏査だけでは厳格な信頼性に乏しいのでボーリングなど他の方法を援用して1/500程度の縮尺で調査を行なう必要がある。

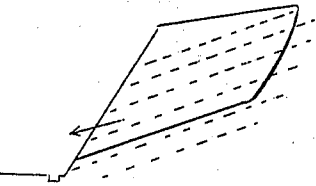
地表踏査にあつては、あらかじめ空中写真の判読を行ない、地形地質上の特徴・問題点を調べておくとな非常に有効である。

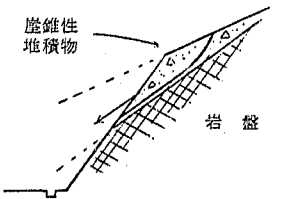
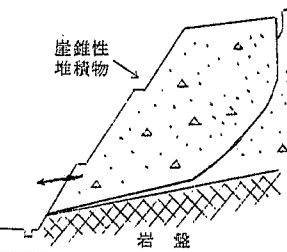
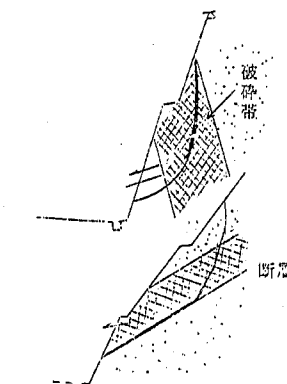
地表踏査の際に調べるべき地質的項目には下記のようなものがある。

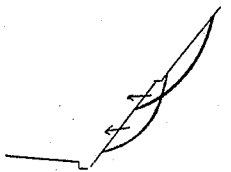
- ① 岩石の種類および岩質
- ② 地層の走向・傾斜
- ③ 岩脈の性質、走向、傾斜および厚さ
- ④ 火成岩と堆積岩（または変成岩）との接触の状態

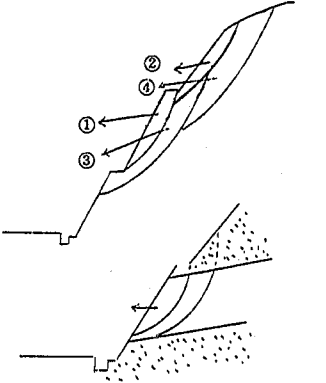
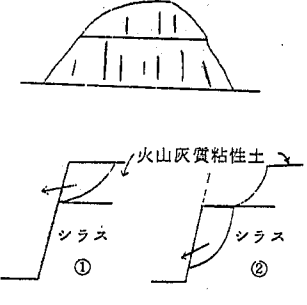
参考表-1 切土のり面の崩壊の分類

崩壊の種類	解 説	模 式 図	代表地質	備 考
岩に割れ目が多い場合又は割れ目の向きがのり面に対して「流れ盤」となる場合 表層だけの崩壊 浅い位置での崩壊	1-a 割れ目群の一部に沿った剝離又はブロック状の落石 層理面、片理面など、岩盤全体に割れ目が多い場合、この場合キャレットの面の平滑度、延長性、面の間が開口しているか、粘土が狭まっているか、崩壊に大きく関係する。		片岩類 石英斑岩類 砂岩・粘板 岩互層 チャート 安山岩類 玄武岩	一般に流れ盤が危険で、受盤が安全とされているが、主面に直交する割れ目にも注意すべきである。 崩壊事例9参照
	1-b 特定の発達した割れ目の面（小断層、シーム、鏡肌）に沿う崩壊 ① のり面の傾斜と同方向の、急な割れ目と、緩な割れ目の組合せ（滑面×滑面） ② のり面の傾斜と同方向の急な割れ目3面の組合せ（滑面×滑面×滑面） ③ のり面の傾斜と同方向の緩な滑面と、急な割れ目群の組合せ（滑面×割れ目） などがあり、のり面側に急な面と緩な面の組合せ、あるいは、3面の組合せで、くさび状に崩壊する場合が多い。崩壊面となる面は、うすく粘土を挟むだけで一見めだたないものである事も多い。特色として、面の平滑度が高く、面の延長性が著しい場合が多い。 正面図 	① 断面図  ② 平面図  ③ 断面図 	断層地帯など鏡肌の多い岩 片岩類 粘板岩類 じゃ紋岩類 一部の花こう岩	面の傾斜がのり面と斜交する場合でも起る。 割れ目の向き 傾斜 走向 方向 方向 崩壊の方向 鏡肌とは、ある面に沿って地塊移動をし、つるつるの非常に平滑になった面を云う。

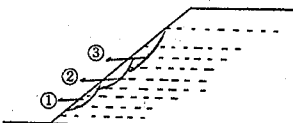
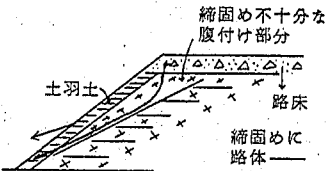
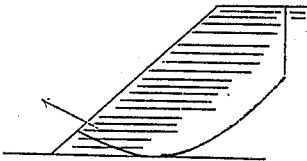
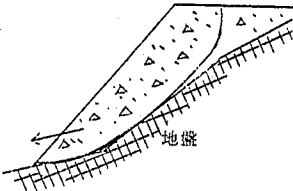
崩壊の種類	解 説	模 式 図	代表地質	備 考
1-c 深い位置の割れ目に沿ってすべる岩盤すべり 深部にわたる崩壊	「流れ盤」に沿って、岩盤自体が移動する。		層理、節理が規則正しくのり面方向に流れている岩 結晶片岩 砂 岩 粘 板 岩	崩壊事例-10 参照
強度や透水性において極端に異なる不連続面がある場合 表層だけの崩壊	2-a 硬質な玉石と軟質な基質からできている地質で起こる崩落	① 火山砕屑岩の場合 いわゆる玉石の落石に類するもので、崩壊量は少ないが、崩壊の個所、時期などの予測が困難である。 ② 砂礫層の場合 砂礫互層あるいは、シルト・礫互層の場合下位の砂（シルト）が侵蝕されると、上位の礫がつぎつぎに落石する。 ③ 花こう岩マサ（玉石のこり）の場合 ④ 硬軟互層の場合 相互に1m未満、数10cm間隔の砂岩（比較的硬、垂直な割れ目）とシルト岩あるいは粘板岩（比較的軟、細片化、泥化）との互層で起こり易い。 とくに、新第三紀層では多い。	① ② ③ ④ 玉石 マサ 硬い岩 砂礫層 砂礫互層 シルト・礫互層 砂 シルト岩 砂 岩 粘板岩 互層 互層	のり面を整形しながら切土をしても、掘削中落石が発生する。

崩壊の種類	解 説	模 式 図	代表地質	備 考
浅い位置での崩壊	2-b 極端な不連続面に沿う山崩れの崩壊、一般にのり肩付近で起る 固結度、透水性等の極度に違うものが、のり面の一部に少し残った場合に起る。この境界に透過水が集中しやすく、この透過水が、間隙水圧の増加やパイピングの原因となり、崩壊を助長する働きをする。		岩盤上に崖錐層（レキまじり粘性土）、砂レキ層、火山灰、軽石層などが道路側に急角度で傾斜して堆積している場合	地下水が多い場合、特にこのタイプの崩壊が起りやすい。
深部にわたる崩壊	2-c 軟らかい土砂と硬い岩との境界面を不連続面とした大規模な山崩れ又は地すべり的な崩壊 強雨中、あるいは降雨後に、不連続面より上位の表層堆積物が地下水によって飽和状態に近くなり、間隙水圧の上昇と、せん断強度の低下によって、不連続面を境にして崩壊するものである。溪流の胸を切る場合、峠（嶺）部を切る場合にこのタイプの崩壊が起ることが多い。崩壊の際に、表層堆積物だけでなく、下位の地塊も含めて崩壊することもある。		上部の軟い物質が比較的厚く、しかも下の岩盤との境界線が道路側に傾斜している場合。	この場合、境界面は強さの不連続、透水性の不連続面となる。崩壊事例-7参照
断層・破砕帯・変質部	3-a 一般に深部にわたって起る 破砕帯をともなり断層が、のり面を構成する地塊の中にあり、その破砕帯で切れてのり面が崩壊する場合。 破砕帯は、普通、角礫と粘土からなる場合が多く、周囲の岩石より軟弱なことが一般である。この破砕帯に雨水が浸透し、さらに軟化して崩壊を生じるものである。崩壊は、断層の傾斜がのり面と一致しなくても起り得るが（上の図）一般に、断層がのり面側に傾斜し、断層の上縁が風化しているような場合（下の図）がもっとも危険である。		地質は、どのような場合にも起り得るが、断層の傾度が高い中・古生層に、このタイプが一番多い。	なお、この他に火成岩の生成時に変質して局部的に軟弱化した部分、又は岩の構成鉱物が化学変化して、風化しやすいものになっている（例えば蛇紋岩）場合にもこの種の崩壊が起る。

崩壊の種類		解 説	模 式 図	代表地質	備 考
地山の強度が低い場合	比較的浅い位置で起る	4-a 山くずれの崩壊 地山がかろうじて安定こう配を保っているときにのり面を切った場合に起り易い。地域全体が同一地質であれば、のり面の大小にあまり関係なく多発する傾向がある。 一般に円弧、あるいは、それに近い、すべり面形状を呈することが多い。4-bの小規模のものと考えてよい。 ① 未固結層 もともと軟質の岩（例えば第三紀泥岩、洪積世堆積物） ② 風化層 もともと細粒物質（例えば粘板岩）よりなる岩の風化帯などにおいて起りやすい。		① 未固結層 第三紀 泥岩 凝灰岩 洪積成 砂層 粘土層 関東ローム ② 風化層 堆積岩 粘板岩 シルト岩 頁岩 変成岩 片岩 千板岩	崩壊は表面の肌落ち程度が多いが、上部に波及して、山崩れのな崩壊になることがある。
	深く、広範囲にわたって崩壊する	4-b 地すべりの崩壊 軟弱な地層が、地下水位の高いところで、クリープ的に移動して崩壊するものである。 すべり面の傾斜はゆるくても、崩壊土量は大きく、移動も継続して進行することが多い。 旧地すべり地の脚を切った場合や、地すべり地の頭に盛土をした場合のような人工的な原因によって、この種の崩壊（地すべり）が発生することもある。 （自然地山の地すべりについては5章・参照）		活動的あるいは休止した地すべり地が多いが大規模な隆起堆積物、断層破砕帯、変質の著しい凝灰岩の一部でもこのような崩壊が起ることがある。	崩壊事例-6参照

崩壊の種類	解 説	模 式 図	代表地質	備 考
風化・浸蝕等外的作用に弱い場合	5-a 上位の風化の進んだものから、順次、下位あるいは、奥へ向って崩壊が進行していく場合。 カット直後は新鮮で堅硬に近いものであっても、地表面に出て大気にさらされて、急速に風化が進行し、表層崩壊が続発する場合がある。 下位に極端に風化の進行の早い層があり、そこから先に崩壊し、上位の表層をひきずって崩壊が進行していく場合。		凝灰岩 凝灰質シルト岩 一部の粘板岩 " 片岩 新第3紀～洪積世の、細砂層泥質砂岩 火山性第3紀層風化途中の粘板岩 新第3紀の砂岩 } 互層 泥岩 } 未固結層	崩壊事例-8参照
	5-b 表面の肌落ち程度のものが多い。 乾裂、凍結害により細片化し、表面から剥離あるいは小崩落をしていく場合。 この典型的なものは、関東ロームの、のり面にみられる。		火山灰 凝灰岩(新第3紀) 風化した粘板岩 { 斑岩 チャート	のり面保護はモルタル吹付け程度では、失敗することがある。
	5-c 未固結、軟弱な地山が、雨水の流路となった所から、いわゆる、雨蝕により縦浸蝕が進行し、のり面の表面に多数のみぞが出来る。 5-d シラスの崩壊のタイプとして、この種のものが最も多い。 豪雨がつづくと、まず上部の火山灰質粘性土が崩壊し、比較的軟らかなシラスが露出され、順次シラスが削りとられて行く。		火山灰 マサ土 細 砂 シラス	シラス地域は一般に急傾斜ののり面が多い。この場合、シラスよりも火山灰の方が先に崩壊する。

参考表-2 盛土のり面の崩壊の分類

崩壊の種類		解 説	模 式 図	代表地質	備 考
盛土材料・盛土構造に問題がある場合	表層又は浅い位置で起るもの	6-a 表面浸蝕による崩壊 のり面が、浸蝕を受けやすい土によって構成されており、排水設備が不十分な場合。 崩壊は小さな肌落ち的な浸蝕に始まり、急速に進行して行く。 6-b 腹付け部分に沿ったすべり 機械転圧の行きとどきにくいり面付近に悪い材料の土砂を図のように腹付け盛土を行なった場合。	 	細砂, シルト, (マサ土, シ ラス等)	崩壊事例-2 参照
	深い位置で起るもの	6-c 高含水比粘性土による盛土の円弧すべり(又はそれに近い)的な崩壊 高含水比粘性土によって急速施工を行なった盛土では、盛土体内に過剰間隙水圧が発生し、大規模な崩壊を起すことがある。なお、この場合のすべり面は底部に達することが多い。 6-d 傾斜地盛上の盛土の上部崩壊 横断方向に急こう配で傾斜した地盛上に盛土した場合、地盤と盛土との境界面に沿って崩壊することがある。	 	関東ローム等	

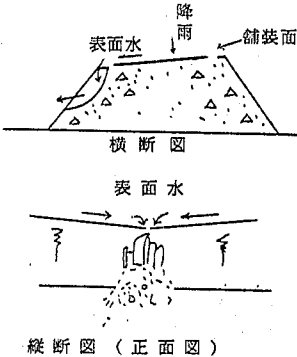
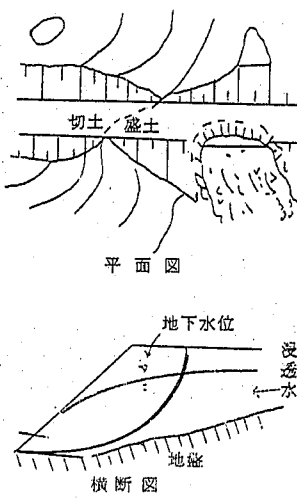
崩壊の種類	解	説	模 式 図	盛土材料	備 考
表面水・地下水が原因となる場合	表面又は浅い位置で起るもの	7-a 表面浸蝕による崩壊ガリ一（掘れ溝）浸蝕 表面水が一箇所に集中しやすい盛土形状となった場合 ○ 例えば急カーブ地点など、路面が片こう配となる箇所、又は縦断方向に下りこう配から上りこう配に変わった地点特に前者、後者の条件が重なった場合	 横断面図 縦断面図（正面図）	盛土材料にはあまり関係がないが、浸蝕しやすい土ほど崩れやすいことは当然である。	崩壊事例-1 参照
	深い位置で起るもの	7-b 円弧、又はそれに近いすべり、又は底部崩壊 周辺からの地下水の補給が豊富な地形条件における盛土 ○ 縦断、横断、方向における切盛り境付近の盛土 ○ 池の中の盛土、又はその周辺の盛土	 平面図 横断面図		崩壊事例-3 参照 崩壊は6-4と同じ種類

表-2・1 調査の内容と種類の適用基準

調査の種類	調 査 内 容						
	地 質 構 造	岩 質 土 質	風化の 程 度	地下水湧 水の状況	崩壊の 形 態	すべり面 の 位 置	地山の 強 度
地 表 踏 査	○	○	△	△	○	△	
ボーリング調査	○	○	○	△	○	○	△
サウンディング		△			△	○	○
弾性波探査	○	△	○				△
電気探査		△		○			
土質・岩石試験		○	○				○

○印はよく用いられる手段

△印は補助的に用いられる手段

- ⑤ 岩石の変質，風化の程度および状態
- ⑥ 断層，破碎帯の規模，状態および走向，傾斜
- ⑦ 層理，片理，節理および割れ目の性質
- ⑧ 地すべりおよび自然斜面の崩壊（既設の切土のり面の崩壊を含む）
- ⑨ 湧水および地下水の状態

次に地表踏査に際して，切土のり面の安定に特に重要な影響を与えと考えられる地質上の条件について2～3注意すべき事項を述べる。

(1) 地 形

自然斜面は浸蝕をうけ漸次平坦化していくものである。斜面浸蝕の最も普通な形として，落石・崩壊があり，その発生には地表水とともに浸透流の影響が強く，また表土を含めた地山の硬軟にも支配される。これらの要素は多かれ少なかれ地質的な内容を含めて微地形に明瞭に表現されている。従つて逆に，斜面の微地形から崩壊の発生の難易を推定することもできる。

切土に際し，斜面の安定を考慮するためには，切土前の自然斜面の微地形を観察し，不安定な箇所を予測しておく必要があるが，特に次の諸点に注意すべきである。

- i) 原斜面の微地形が複雑であればあるほど，その上に発生する崩壊の様相は複雑になる。地形の複雑さは斜面の形成後の微地形の発達とも関連するので注意を要する。
- ii) ④ 20～50m間隔に存在する程度の微かな沢状の凹み，⑤上部に平坦面がある場合の斜面・肩部などは表土・風化土が厚く水が集まり易く表土の崩壊の可能性が多い。

iii) 支川と本川との合流点に発達する土石流堆や崖錐堆積物、扇状地堆積物、或いは地すべり土塊など微地形観察から比較的容易に読みとれる新しい不安定堆積地形を切取る場合は崩壊の危険性が高い。

iv) 層理面、片理面あるいは顕著な節理面にそう単一斜面（傾斜の方向角度が一定した斜面）は層すべりによつて生成され、大きく切取れば再び層すべりを起す可能性が大きい。また、尾根の末端面が三角形の単一斜面になつている場合があるが、この斜面も安定角ぎりぎりのことが多い。

(2) 岩石の種類と岩質の特徴

切土の対象となる地山は未固結の土から堅硬緻密な岩石まで種々の材質の材料から構成されているので、土および岩石の材料としての性質と地山という材料の集合体としての工学的な性質との相違を考慮して調査を行ないのり面こう配や保護工種を決定する必要がある。

岩石はその生成条件や構成粒子の粒度、化学成分などによつて命名される。従つてそれぞれの岩石群は見かけはかなり違つていても、特徴的な物理的・化学的性質をもつので、それぞれ特有な風化・変質のモードや節理・破碎の様相を示す。そのため、岩石の種類がのり面の安定、ひいては起り得る崩壊の形態と発生頻度にも特徴を与えている。ここではのり面の安定上から注目すべきいくつかの岩石について取り扱い上の注意を述べておこう。

i) 花こう岩

花こう岩類は風化が深部までおよび場合によつては砂状にまでなつていることがある。

風化の段階によつては砂状のマサ土の下位に硬岩の残留岩塊があり、その周囲が軟質なマサ土によつて構成される場合があるが、このような所を切土すると同一のり面上に極端に硬さの異なる岩が現われることになり、施工上あるいはのり面安定上非常に取扱いが難しくなる。このような場合玉石を無理に割つてのり面の形を揃えるより、玉石の周囲をコンクリートで根固めした方が得な場合がある。（オ 3 章参照）

ii) じや紋岩—黒緑色岩石

じや紋岩は吸水膨張する性質があり、全般的なおし出し、擁壁の破壊、常襲的落石及び地すべり性崩壊の原因となる場合が多い。じや紋岩化作用は地山全体に及ぶ場合に限らず、ある岩質に選択的に進行する場合（特に輝緑凝灰岩において）や破碎された部分に局部的に著しくなる場合もあるので、調査の際はその分布に十分な注意が必要である。

じや紋岩類は秩父古生層や片岩類のような比較的古期の地層に附随して分布することが多く、地質図の検討や地表踏査で存在の有無、分布、性状などを知っておく必要がある。

iii) 片岩類

片岩は異方性が強く偏平な割れ方をする上、風化が進めば薄く剥げる様に細片化する。な

かでも絹雲母片岩、石墨片岩、滑石片岩などでは風化生成物が摩擦抵抗をへらして滑材の役割りをするので崩壊や岩盤すべりをおこす傾向が大きい。また風化生成物が集積するとクリープ性の地すべりを起すことがある。のり面の勾配と岩石の片理面との関係、節理の分布・方向、岩質（珪岩か否か）などに注目して綿密に調査する必要がある。関東山地、紀伊半島、四国中央部などには広い片岩分布地域があるので注意を要する。

iv) 破碎された粘板岩

粘板岩は片岩に似て割れ易いために断層の周辺では鱗片状や細片状に破碎され、風化が進めば粉状あるいは粘土にまでなる場合が多い。このような所では切土面に現われた小さな断層面や割れ目によつて崩壊が発生することがあるので、粘板岩特に破碎された粉板岩には注意が必要である。

v) 硬軟互層

砂岩と泥岩または粘板岩が互層をなしている場合に、泥岩又は粘板岩の風化が進み、泥岩または粘板岩から発生した崩壊が砂岩も伴つて大きな崩壊に発展する例も少なくない。全体が破碎されると粘板岩に破碎が集中して細片状になり、すべり易くなる。これらのことから泥岩・粘板岩の性状、互層の方向と斜面の方向及び傾斜との関係には特に注意を要する。

vi) 凝灰岩質岩石

凝灰岩、凝灰角凝岩、凝灰質シルト岩などは固結が不十分で表層剝離が起り易い。また時には多量に含まれた膨潤性の粘土鉱物によつて、地山の中にある時は堅硬であるが、切取られて地表に露出すると含水量や封圧の変化により短期間に粘土化するものがある。その程度が著しい場合には地すべりや大きい崩壊を生ずる。したがつて凝灰岩質岩石の分布が予測される場合は自然斜面の風化状況、崩壊履歴などと共に、地すべり地形の存否にも留意すべきである。

vii) ローム層

関東ロームなどのローム層は未固結で含水比が高く、乾裂による柱状の割れ目が出来易くて浸蝕に対する抵抗も弱い。含水比によつてせん断強度が急変する。

ローム層は自然斜面では高さ10 m前後の垂直な斜面でも安定であることがあり、また切土のり面でも植生工などによつて安定化していることが多いが、ローム基盤面のこまかい谷型の凹凸がロームの安定を支配する傾向がある。

viii) シラス

シラスには火口から噴出し、たい積したままの一次シラス（さらに陸上たい積と水中たい積に分れる）と、一次シラスが流水によつて移動してたい積した二次シラスとがある。それぞれその性質や、崩壊のタイプも違っているが、中でも二次シラスは特に安定性が悪い。またシラス層の上にローム層がある場合、ローム層とシラス層とのせん断強度、透水性、風化程度の違いなどによつて、両層の境界附近が弱点となり、この境界附近より崩壊することが多い。ま

たシラス層は雨水や湧水の流路になつた所から激しい縦浸蝕（ガリー浸蝕）が進行し、のり表面に多数の溝ができる。

ix) 強い変質をうけた岩

火山岩や凝灰岩の中にはかなりの範囲にわたつて極度に変質してベントナイトや粘土になっている部分が存在することがある。

また、温泉変質作用によつて岩石が劣化したり粘土化したりしている部分がある。これも切土に際して崩壊や地すべりの原因となることが多い。

x) 崖錐堆積物

崖錐堆積物に限らず未固結のレキ質土では固結していないために地表水や湧水によつて崩壊することが多い。また流水によつて表土が流失しやすく、種子吹付などののり面保護工が困難になる場合がある。

xi) 砂質土・粘質土

固結していない砂質土や粘質土はそれ自体の強度も低いために豪雨や湧水によつて崩壊し易く、また切土によつて表層剝離を起し易い。また地表水や湧水によつて表層の流失を生じ易く、のり面保護工が問題になることが多い。

(3) 地質構造

ここでいう地質構造とは断層や不整合などの狭い意味のものだけではなく、切土のり面の安定に関連ある地下物質の分布状態全般を指すことにする。すなわち、表土と基盤の関係、地山を構成する岩石のかたさの分布、透水度の分布、割れ目の分布及び状態、風化の状態とその分布などすべてを含めることにする。

地質構造が切土のり面の安定に及ぼす影響は大きく、また崩壊の形態・規模との関連が強い。調査上の観点から注目すべき主な点には次のようなものがある。

i) 地層面など不連続面の方向性（特に切土面との関係）

ここで考えている不連続面とは層理面、片理面、節理面、断層面、シームなどすべりを起し易い力学的な弱面であり、また滲透水の通路ともなる面である。これらの弱面が極く緩傾斜かあるいは山側落であればあまり問題ないが、のり面の傾斜方向と一致するいわゆる流れ盤が数セット組み合わされると滑動しやすいブロックが形成されるようになる。とくに滲透水による軟弱化（時に揚圧力も）が起るような場合は、とりわけ危険になる。このような場合は各々の弱面の強度（せん断と引張に対する抵抗度）の判断が重要となる。

ii) 割れ目破砕

岩石の規則的な割れ目を節理と呼び、火成岩の冷却によつてできるものと地質的な構造運動に起因するものとがある。岩石によつては割れ目の様相、頻度に明瞭な特色がある。例えば

花こう岩の方状節理，玄武岩・安山岩の柱状・板状節理など優勢な割れ目群についてはその走向，傾斜，頻度（又は平均割れ目間隔），延長性（長く連続するか短く切れるか），平滑性と夾在物の有無とその性質などに注意する必要がある。これらによつて割れ目からの滑落・分離の難易が推定できる。古生層などの古い地層では繰返えされた各方向の構造運動の影響をうけて遂に破碎にまで達したものがある。大きい構造破碎帯沿いにも同様のことがある。破碎された岩はそれ自体滑材となる細粒物質を含むばかりでなく，石墨を含んだり，じや紋岩化したり，また風化し易い粘土鉱物を含んだりする上，滲透水の影響で滑動しやすくなっていることが多い。

iii) 透水層の位置・性状

硬岩のなかでも断層破碎帯では粘土化した滑り易い層の周囲に破碎し割れ目の多くなつた透水帯があつて滲透水や地下水を供給して滑落を助長することが多いが，表土を含めた未固結層の中にある透水層は滲透水を供給して周囲の粘土化を促進し，時には揚圧力を与え，パイピングを起して滑動を容易にすることがある。それ故特に透水層の位置，性状および透水状態を知る必要がある。

iv) 表土，強風化帯，転石の分布

切土のり面の崩落の中で最も頻度の高いのが表土・転石の小崩落であらう。地形の項で述べたように沢状の微かな凹みにやや厚くたまつた表土や平坦面にある表土・風化層の末端などは滲透水とも関連して最も不安定であるが，反面崩壊防止は比較的容易である。強風化帯はしばしば表土に似た性質を示す。転石殊に軟質マトリックス中に含まれた転石は不安定である。これらは地表近くに存在しているのでその推定は比較的容易であるが，特に表土についてはその基盤の形が崩壊を生じ易くしているか否か，また切土がその崩壊を促進するのか安定化するのかを推定することが重要である。

5. のり面工の効果ならびに選定基準に関する研究

1. はじめに

土木研究所地質研究室 桑 原 啓 三

この調査・研究は昭和44年より3ケ年間にわたって建設省技術研究会の指定課題として行なつたものである。のり面・斜面の崩壊は、例えば最近でも静岡県大崩れ海岸、兵庫県須磨海岸、飛弾川の例などのように多大の被害をもたらしている。特にのり面は人工的であるので十分な保護工を施工して安定を保たなければならないが、現実には従来の経験によつて得られている一応の基準によつて施工されている。

ここでは、直轄国道区間内の数多くののり面調査によつてより妥当なおり面工選定基準を作成するために、この調査を行なつた。なおここで述べるものは3年間の概要であるので、詳細については建設省技術研究会の報告を参照されることを願ひする。また、ここでは土に関するのり面については述べない。

2. 調査方法

調査は各年度毎に次のように行なつた。

(1) 昭和44年度

のり面工実態調査 直轄国道の代表的切土のり面について、各工事々務所約10箇所ののり面について、のり面の持つ各要因について調査した。

交通規制とのり面崩壊調査 直轄国道区間内において交通規制を行なつた場合について、崩壊の状態、のり面の持つ要因について調査した。

(2) 昭和45年度

全数調査 全国の直轄国道12路線を選定し、1路線約50kmの区間内に含まれる全ての切土のり面について、のり面工実態調査を同要領で調査した。

盛土のり面実態調査 切土のり面実態調査と同要領で調査した。

その他、交通規制調査、切土のり面実態調査箇所の追跡調査、のり面の観測測定調査および空中写真によるのり面工の判読を行なつた。

(3) 昭和46年度調査

昭和46年度には交通規制調査、切土のり面実態調査箇所の追跡調査および空中写真によるのり面の判読調査を実施した。

3. 調査結果

切土のり面実態調査箇所数は650箇所、そのうち岩に関係するのり面は約400箇所、全

数調査箇所数は約1,300箇所、そのうち岩に関係するのり面は約900箇所であつた。切土のり面実態調査および全数調査結果を図示したものを図-1~11に示す。また本文中で使用する岩石名および岩の割目の分類は表-1, 2のように分類している。

表-1 岩石名分類表

岩石グループ名	グループに含まれる岩石名
1 花 崗 岩	花崗岩, 花崗閃緑岩, 石英閃緑岩, 閃緑岩, モンゾーニ岩, ペグマタイト, 片麻岩
2 石 英 斑 岩	石英斑岩, 花崗斑岩, 珪岩, アブライト
3 蛇 紋 岩	蛇紋岩, 斑岩, 輝緑岩, 輝緑珪岩, 角閃岩, かんらん岩, 輝緑凝灰岩 (シャルステイン)
4 流 紋 岩	流紋岩 (石英粗面岩), 石英安山岩
5 安 山 岩	安山岩, 玄武岩, 粗粒玄武岩, 粗面岩, 熔結凝灰岩, 変質安山岩 (スピライト)
6 凝 灰 岩	凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩, 火山角礫岩, 集塊岩
7 片 岩	片岩 (結晶片岩), 黒色片岩, 緑色片岩, ホルンフェルス
8 砂 岩	砂岩, 礫岩, 角礫岩, 石灰岩
9 頁 岩	頁岩, 粘板岩, 泥岩, シルト岩
10 チ ャ ー ト	チャート, 珪岩
11 シ ラ ス	シラス
12 不 明	記載のないもの

表-2 岩石の割れ目の分類

割れ目程度

I	ほとんど密着している。
II	開口が埋められるが密着に近い。 切取のり面で流れ盤でも滑落は生じない。
III	割れ目にそって風化し、あるいは約5 cmの開口があり、割れ目から崩落しやすい。流れ盤の場合滑落しやすい。
IV	約10 cm以上の開口がある。あるいは、そのような開口に風化土がつまっている。

割れ目間隔

a	20 cm 以上	c	5~10 cm
b	10~20 cm	d	5 cm 以下

図-1, 2はそれぞれ実態調査と全数調査の岩石名とのり面保護工の安定性を示している。この2つの図は全数調査の方が安定性が良い事を除いて、岩種、保護工にあまり安定性との関連はないことを示している。

図-3, 4は岩石名および岩分類とのり面の安定性を示している。2つの図を比べてみると、のり面の安定性は全線調査が良く、約70%程度安定している。これに対し実態調査の結果は約50%程度しか安定していない。また、実態調査では各岩石種ごとの安定性の違い、崩壊の形態などの特徴は出ていないが、全線調査の結果では各岩石種ごとの特徴が出ているようである。すなわち、花崗岩は全体的に安定性が良いけれども、芝工、無処理工法で崩落が多い。石英斑石はモルタル吹付工の安定性は良いが、芝工、無処理で落石が多い。安山岩はモルタル吹付工、コンクリート砕工、ブロック張工の安定性が良く、無処理部での小崩落、落石が多い。凝灰岩はモルタル吹付工での小崩落が多い。片岩は比較的安定しているが、無処理に小崩落、崩壊が多い。堆積岩類は安定性は良くないが、頁岩部でのモルタル吹付植生工が若干良いようである。

次に、図-5, 6は岩石の割目程度および間隔とのり面の安定性について図示したものである。この2つ図より、割目程度Ⅰ, Ⅳ, 割目間隔a, bの安定性が良く、Ⅱ, Ⅲおよびb, cの岩石では崩落が多い。この理由として、割目程度の良いものは一般に間隔も広く、崩壊のタイプとしては落石が多く、保護工としてモルタル吹付工などによつて岩石の風化の進行を防ぐことができ、安定性は比較的保てるものと思われる。また、Ⅳ, dに属する岩は比較的切土勾配もゆるく、保護工も構造物によるものが多いためだと思われる。これに反して、Ⅱ, Ⅲおよびb, cに属する岩は風化が進んでいないために堅硬であり、そのため切土勾配も急で保護工種も比較的簡単なモルタル吹付工などが施工されるために、崩落が多くなると考えられる。したがって、今後Ⅱ, Ⅲおよびb, cに属する岩の保護工を十分検討する必要がある。

図-7, 8は岩石のり面保護工とのり面の安定性を図示している。この図では各保護工種はそののり面を代表するものをそののり面の保護工種として分類している。したがって、擁壁工などのように実情に反して幾分悪くなつて出てきている保護工種がある。

各保護工種ごとの安定性は次のとおりである。擁壁工の安定性はそれ自体は極めて良く、倒壊したものは少ないが、擁壁工上部ののり面が小崩落、落石している例が多く、全体としてみれば不安定になつている。張石工はのり勾配も1:0.8~1:1とゆるく、全般に安定している。張コンクリート工は地質条件の悪い所に施工されているためか安定性は悪いが、工法自体には問題は少ない。

モルタル吹付工はのり勾配が急な箇所、吹付厚の薄い箇所、風化岩に適用している箇所など

で剝離崩壊しており、割目の状態の良い硬岩においては安定している例が多い。コンクリート枠工は安定に問題のあるのり面に施工されているためか崩壊している例が多いが、切土勾配、枠内の処理を適当にすれば有効な工法と思われる。ブロック張工は張コンクリート工、張土工同様に安定である。

岩石に対する植生工は一般に安定性悪く、岩ののり面に対する適用を十分検討すべきである。無処理はのり面処理として最も多いが、安定性も悪い。特に擁壁工、張コンクリート工などで不安定な面としてあげられているものはその工法の上部の無処理部分であり、それらを入れると崩落の相当数は無処理に起因している。網工、落石防止柵工は崩壊が生じて直接道路へ被害を与えている例は少なく、その点では有効な工法といえる。

図-9、10は岩石種ごとの崩壊原因を示している。のり面の崩壊は単一の原因ではなく、各種の原因が有機的に結びついて発生すると考えられる。図-9は調査表に記してある原因および調査表よりその他考えられる崩壊の原因全てを分類して図示したものである。図-10は調査表に記してある原因のみを分類したものである。これらの図より、岩に関係するのり面では、1、無処理である。3、節理面より風化、4、表面流水の各原因が最も多い。このことは岩に関係するのり面は無処理であると岩石の風化が進み、岩の結合が弱くなつて降雨などの表面流水、浸透水などによつて崩壊するという一連の典型的崩壊への過程に示していると思われる。また崩壊原因にはこの他、のり勾配が急である、モルタル吹付厚が薄いなどが多い。

各岩石種毎に崩落している物の状態をみると、花崗岩は軟岩Ⅰに属するものは無処理又は植生工部分での小崩落が多く、軟岩Ⅱ以上の堅岩になると落石が多くなる。石英斑岩は軟岩Ⅱより堅硬な岩で、割目程度Ⅱ～Ⅲ、間隔b～cに属する岩の落石が多い。また節理面の粘土化の著しい岩で小崩落を生じている。流紋岩は軟岩Ⅰ、Ⅱに分類されているもので落石、小崩落を生じ、その原因は岩の風化および雨水の浸透によるものである。安山岩は柱状・板状の節理が発達しているため小崩落、落石が多い。凝灰岩は軟岩Ⅰ、Ⅱに属するもので、無処理、モルタル吹付部の小崩落が多い。片岩は割目間隔c～dの無処理箇所の小崩落が極めて多い。堆積岩類は軟岩Ⅰに分類されるもので小崩落が多い。

以上のことより、小崩落の多い岩種は落石が少なく、小崩落の次の段階の破壊は崩壊へと移行し、遂に落石の多い岩種は小崩落、崩壊ともに少ない。岩種的に後者に属するのは石英斑岩、流紋岩、安山岩などの比較的硬く、節理間隔の広いものであり、前者に属するものは凝灰岩、片岩、砂岩、レキ岩、シラスなどの比較的軟かい岩種に多い。

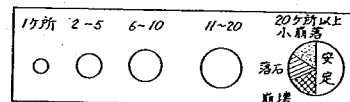
図-11は昭和44年度に調査したのり面で、モルタル吹付工についてその経年変化を図示したものである。調査の対象となつたモルタル吹付は初期の段階の施工が多く、吹付厚も薄いということもあるが、施工後約3年経過すると70%以上のものに異常が生じ、4年経過する

保護工種 岩石名	1 擁壁工	2 張石工	3 張コンクリート工	4 モルタル吹付工	5 コンクリート砕	6 ブロック工	7 筋芝工	8 張芝工	9 種吹付工	10 植生盤工	11 植生穴工	12 無処理	13 網工	14 落石防止工	15 その他
1 花崗岩	3 			21 		1 			3 		1 	20 	5 	5 	1
2 石英斑岩	3 			15 		1 			7 			4 	1 	4 	2
3 蛇紋岩			1 	3 		1 			1 		1 	1 	1 		
4 流紋岩												1 	1 		
5 安山岩	9 			5 	1 	1 				1 		10 	7 	15 	1
6 凝灰岩	5 		1 	26 	1 	1 		4 			8 	10 	4 	5 	
7 片岩			1 			1 							5 	1 	
8 礫岩・砂岩	9 	1 	2 	24 	2 	1 			9 			10 	6 	2 	
9 頁岩	1 	3 	10 	27 	5 	1 		1 	4 	1 	2 	18 	6 	13 	
10 チャート												2 			

図-1 岩石名とのり面保護工 安定性

岩石名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
のり面の保護工	擁壁工	張石工	張コンクリート工	モルタル吹付工	コンクリート打込工	ブロック張工	筋交工	張芝工	畳子吹付工	植草工	植生工	無処理	網工	落石防止工	その他	
花崗岩	1 ○	0	0	14 ○	3 ○	8 ○	0	0	3 ○	0	0	4 ○	7 ○	0	0	
石英斑岩	1 ○	1 ○	0	76 ○	0	0	0	0	10 ○	0	0	24 ○	1 ○	0	0	
蛇紋岩	0	0	0	0	0	2 ●	0	0	0	0	0	1 ○	2 ○	0	0	
流紋岩	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 ●	0	1 ●	0	0	0	
安山岩	1 ○	0	0	7 ○	1 ○	2 ○	0	0	1 ○	1 ○	3 ○	13 ○	0	2 ○	0	
凝灰岩	0	1 ○	0	12 ○	0	4 ○	0	0	0	0	0	4 ○	1 ○	2 ○	0	
片岩	31 ○	0	3 ○	21 ○	2 ○	0	0	0	0	3 ○	0	18 ○	18 ○	12 ○	0	
礫岩・砂岩	29 ○	1 ○	0	29 ○	0	0	1 ○	0	7 ○	2 ○	0	25 ○	1 ○	1 ○	1 ○	

頁岩	10 ○	1 ○	1 ○	59 ○	1 ○	0	0	0	10 ○	0	1 ○	89 ○	4 ○	0	1 ○	
チャート	0	0	0	0	0	1 ○	0	0	0	0	0	12 ○	0	0	0	
シラス	0	0	0	9 ○	0	10 ○	0	38 ○	1 ○	0	9 ○	11 ○	0	2 ○	0	
不明	0	0	0	33 ○	1 ○	0	0	0	0	0	0	2 ○	0	0	0	



図一 2 岩石名と法面保護工 安定性

岩 石		合 計				安 定				小 崩 壊				落 石				崩 壊				
		個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	
岩	花 崗 岩	60				27				11				18				4				
	石 英 斑 岩	37				18				10				6				3				
	蛇 紋 岩	9				7				1				1				0				
	流 紋 岩	2				0				1				1				0				
	安 山 岩	50				24				7				16				3				
石	凝 灰 岩	65				37				13				12				3				
	片 岩	8				4				4				0				0				
	礫 岩 , 砂 岩	66				27				24				4				11				
	頁 岩	102				57				28				11				6				
	チ ャ ー ト	2				0				1				1				0				
岩 石 分 類	合 計	401																				
	軟 岩 (Ⅰ)	122				45				48				18				11				
	軟 岩 (Ⅱ)	135				75				33				17				10				
	中 硬 岩	63				31				12				15				5				
	硬 岩 (Ⅰ)	61				38				3				17				3				
	硬 岩 (Ⅱ)	11				1				4				6				0				
	合 計	392																				

図-3 岩石名および岩分類とのり面の安定性

岩 石	合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊				
	個数	20	40	60 80 %	個数	20	40	60 80 %	個数	20	40	60 80 %	個数	20	40	60 80 %	個数	20	40	60 80 %	
岩 石 名	1) 花 崗 岩	43				37				3								3			
	2) 石 英 斑 岩	132				27				1				34				1			
	3) 蛇 紋 岩	5				3				0				0				2			
	4) 流 紋 岩	6				0				0				2							
	5) 安 山 岩	31				22				6				3				0			
	6) 凝 灰 岩	27				19				5				3				0			
	7) 片 岩	274				262				6				0				6			
	8) 礫 岩	97				72				16				2				7			
	9) 頁 岩	176				113				17				42				7			
	10) チ ャ ー ト	5				5				0				0				0			
岩 石 分 類	11) シ ラ ス	82				65				16				0				1			
	12) 千 岩	22				22				0				0				0			
	合 計	702				717				71				86				27			
	a) 軟 岩 I	87				63				11				10				3			
	b) 軟 岩 II	222				207				38				27				13			
	c) 中 硬 岩	196				163				2				31				0			
	d) 硬 岩 I	187				187				7				11				2			
	e) 硬 岩 II	19				12				0				4				1			
	合 計	771				662				55				83				31			

図-4 岩石名および岩分類とのり面の安定性

岩 石		合 計				・ 安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊			
		個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80	個数	百 分 率	20	40 60 80
割 れ 目 程 度	(I) ほとんど密着	85				59				10				7				9			
	(II) 開口が認められる が概ね密着に近い	119				55				35				25				4			
	(III) 約5cmの開口がある	145				55				43				34				13			
	(IV) 約10cmの開口が ある	38				26				9				1				2			
	合 計	387																			
割 れ 目 間 隔	a) 20 cm 以上	97				55				16				24				2			
	b) 10～20cm	63				24				15				13				11			
	c) 5～10cm	64				21				18				20				5			
	d) 5 cm 以下	135				66				49				10				10			
	合 計	359																			

図－5 岩石の割れ目程度および間隔とのり面の安定性

岩 石		合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊								
		個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%	
割れ目程度	(I) ほとんど密着	276						247						22						1						
	(II) 開口が認められるが鉄板密着に近しい	256						184						9						53						
	(III) 約5cmの開口がある	98						54						19						19						
	(IV) 約10cmの開口がある	24						16						0						7						
	合 計	654						501						50						82						
割れ目間隔	a) 20 cm 以上	184						141						25						9						
	b) 10 ~ 20 cm	59						33						9						14						
	c) 5 ~ 10 cm	94						38						4						17						
	d) 5 cm 以下	327						268						11						42						
	合 計	664						500						49						82						

図－6 岩石の割れ目程度および間隔とのり面の安定性

岩	石	合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊							
		個数	百 分 率 20 40 60 80			個数	百 分 率 20 40 60 80			個数	百 分 率 20 40 60 80			個数	百 分 率 20 40 60 80			個数	百 分 率 20 40 60 80						
の り 面 保 護 工	擁 壁 工	30					15					8					5					2			
	張 石 工	4					4					0					0					0			
	張コンクリート工	15					8					4					0					3			
	モルタル吹付工	131					89					27					8					7			
	コンクリート枠工	9					5					2					0					2			
	ブロック張工	8					8					0					0					0			
	筋 芝 工	0					0					0					0					0			
	張 芝 工	5					3					0					0					2			
	種 子 吹 付 工	24					9					11					1					3			
	植 生 盤 工	2					0					1					1					0			
	植 生 穴 工	12					9					2					1					0			
	無 処 理	76					15					23					29					8			
網	36					16					10					10					0				
落石防止柵工	45					16					12					14					3				
そ の 他	4					3					0					1					0				
合 計		401																							

図-7 岩石のり面の保護工とのり面の安定性

岩	石	合 計				安 定				小 崩 落				落 石				崩 壊													
		個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%	個数	20	40	60	80	%
の リ 面 保 護 工	擁 壁 工	73						58						7						5						3					
	張 石 工	4						3						1						0						0					
	張コンクリート工	4						3						1						0						0					
	モルタル吹付工	251						233						11						6						1					
	コンクリート枠工	8						4						3						0						1					
	ブロック張工	16						15						0						0						1					
	筋 芝 工	1						1						0						0						1					
	張 芝 工	0						0						0						0						0					
	種子吹付工	31						25						2						4						0					
	植 生 盤 工	7						3						2						1						1					
	植 生 穴 工	5						4						0						0						1					
	無 処 理	380						279						24						64						13					
	網 工	34						30						3						1						0					
	落石防止柵工	17						14						1						1						1					
そ の 他	2						1						0						1						0						
合 計		833						673						55						83						22					

図-8 岩石のり面の保護工とのり面の安定性

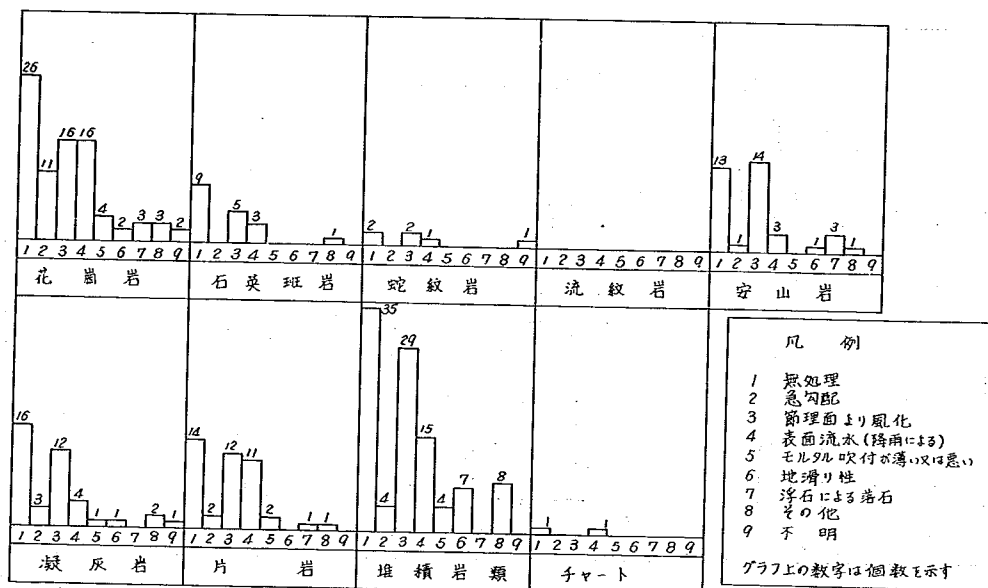


図-9 岩石類ごとの崩壊原因(44年度分)

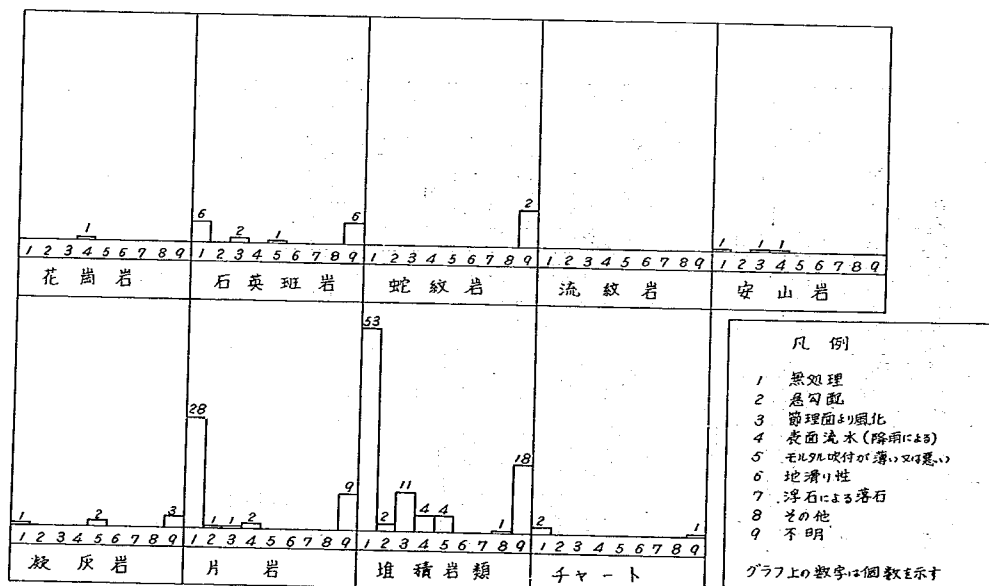


図-10 岩石種ごとの崩壊原因(45年度分)

図-2-30 モルタルの安定性と経年変化の関係

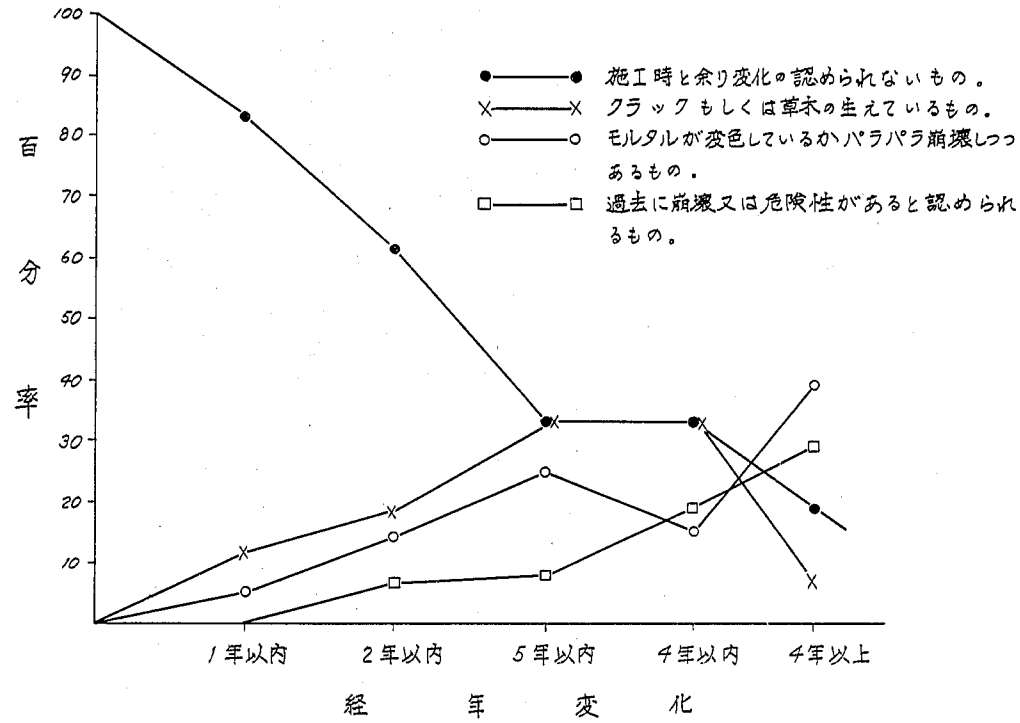


図-11 モルタルの安定性と経年変化の関係

と約20%のものが危険であると認められる。これはモルタル吹付が永久的な保護工ではなく、一時的なものであることを示しており、今後モルタル吹付の施工に際しては十分認識しておくことが必要であろう。

4. 岩ののり面工選定基準(案)

以上の調査結果をもとにのり面工選定基準(案)を作成した。以下に岩ののり面工選定基準(案)の要約を掲げるが、この(案)は不完全なものであり、不十分なものである。したがって、今後とものり面の設計、保護工種の選定にあたっては十分調査、検討したうえで行なうことが望まれる。

岩ののり面工選定基準(案)

1. 花崗岩

保護工種	のり勾配のり長(m)					備 考
	軟 岩 I	軟 岩 II	中 硬 岩	硬 岩 I	硬 岩 II	
モルタル吹付		1:0.8~1:1 15(20)	1:0.5~1:1 20~30(35)	1:0.5~1:1 20~30(35)	1:0.5~1:1 20~30(35)	軟岩IIは10cm 中軟岩以上は8cm
植 生 工	1:0.8~1:1.5 15~20(25)	1:0.8~1:1.5 15~20				全面被覆工
無 処 理	1:0.8~1:1.5 5	1:0.8~1:1.2 10(15)	1:0.5~1:1 15	1:0.5~1:1 15	1:0.5~1:1 15	落石防止柵又 は網工を併用

風化著しくマサ化している場合で切土勾配を急にしたい場合には擁壁工、ブロック張工などを選定すること。割れ目が発達する場合、湧水のある場合などには擁壁工、張コンクリート工、張石工、ブロック張工、コンクリート枠工などを選定すること。

2. 石英斑岩, 流紋岩, 安山岩

保護工種	のり勾配・のり長(m)					備 考
	軟 岩 I	軟 岩 II	中 硬 岩	硬 岩 I	硬 岩 II	
モルタル吹付	1:0.5~1:1.5 15~25	1:0.5~1:1.5 20~30(40)	1:0.5~1:1 30~35(45)	1:0.5~1:1 30~35		吹付厚8cm以上 "
植 生 工						客土による全面 被覆工
無 処 理						落石防止柵又は 網工を併用

割目にそつて著しく風化, 土壌化している場合, 割れ目が発達する場合, 湧水のある場合などには擁壁工, 張コンクリート工, 張石工, ブロック張工, コンクリート枠工などを選定すること。

3. 凝灰岩

保護工種	のり勾配・のり長(m)					備 考
	軟 岩 I	軟 岩 II	中 硬 岩	硬 岩 I	硬 岩 II	
モルタル吹付	1:0.3~1:1.5 10~15(20)	1:0.3~1:1.5 10~15(20)	1:0.3~1:1.5 10~25	1:0.3~1:1.5 10~25	1:0.3~1:1.5 10~25	吹付厚8cm以上
植 生 工	1:1.2~ 30					全面被覆工
無 処 理						落石防止柵又は 網工を併用

堅岩と土としての性質の強い岩とが混在している場合, 湧水のある場合には擁壁工, 張コンクリート工, のり枠工などを選定すること。

膨潤性の粘土鉱物が多量に含まれていると短期間で粘土化し, 崩落することがある。

4. 片岩, チャート

保護工種	のり勾配・のり長 (m)					備 考
	軟 岩 I	軟 岩 II	中 硬 岩	硬 岩 I	硬 岩 II	
張コンクリート						1:0.3~1:1.5 15
モルタル吹付		1:0.3~1:1.5 15~20(25)	1:0.3~1:1.5 15~20(30)	1:0.3~1:1.5 20(30)		吹付厚は 8 cm 以上
無 処 理		1:0.5~1:1.5 5~10	1:0.5~1:1.5 5~10			落石防止柵又 は網工を併用

割目の発達する岩, 破碎の著しい岩, 剝離性に富む岩, 風化の著しい岩, 湧水のある場合などには擁壁工, コンクリート砕工, 張石工, ブロック張工などを選定する。

5. 堆積岩

保護工種	のり勾配・のり長 (m)					備 考
	軟 岩 I	軟 岩 II	中 硬 岩	硬 岩 I	硬 岩 II	
張コンクリート						1:0.3~1:1.5 15(20)
モルタル吹付		1:0.3~1:1.5 10~20(25)	1:0.3~1:1.5 10~20(25)	1:0.3~1:1.5 10~25		吹付厚は8 cm 以上
植 生 工	1:0.8~1:1.5 5(10)	1:0.8~1:1.5 5(10)	1:0.5~1:1.5 5~10(15)			全面被覆工
無 処 理						1:0.8~1:1.5 5(20)

風化の著しい岩, 軟岩, 湿潤又は湧水のある場合, 流れ盤の場合, レキ岩などのように著しく硬さの違う岩などの場合には擁壁工, 石張工, ブロック張工, コンクリート砕工などを選定すること。

6. シラス

擁 壁	1:0.3~1:0.5
モルタル吹付	1:0.3~1:0.5
植生工	1:0.7~1:1.0

7. 凍害対策

項目	土質	植生可能な土質	植生やゝ困難な土質	植生困難な土質	のり抑え工法
勾配		1 : 1 ~ 種子吹付工	1 : 1.2 ~	1 : 0.3 ~ 1 : 0.8 ~ 1 : 1 ~ 穴工 張芝工	1 : 1 ~ ドレーンネット
工法		マツト工 張芝工	植生盤	網工 (凍上の被種子吹付+害多) 土止+客土 棒工	布団籠 蛇籠

5. まとめ

岩ののり面に関して、安定性、保護工種などの面より述べてきたが、これをまとめると次のようになる。

(1) 工法的にみて

- a, モルタル吹付工は永久的な構造物ではなく、経年変化が大きい。
- b, 無処理の安定性は極めて悪い。
- c, 岩ののり面への植生工の適用は問題が多い。

(2) 岩種的にみて

- a, 岩種ごとに、のり面に生ずる崩壊のタイプはほぼ同じである。
- b, 割目程度が密着に近い約 5 cm の開口があり、割目間隔が 20 ~ 5 cm の岩は安定性悪く、保護工種の選定にあたっては十分検討すべきである。

6. サン・フェルナンド地震について

土木研究所地質研究室 菅 原 捷

1. まえがき

1971年2月9日現地時間で午前6時0分42秒(日の出の約1時間前)ロスアンゼルス地方はマグニチュード6.6の地震に見舞われた。地震そのものは中程度の地震であつたが震源が浅く、居住地域が近かつたので、カリフォルニアにおける最も破壊的な地震の1つとなつた。即ち、死者65名、被害総額5.3億ドル(2,000億円)以上となつた(建物の被害4.6億ドル、道路2,500万ドル、ダム5,200万ドル)。死者数ではサンフランシスコ地震(1906年)、ロングビーチ地震(1933年)に次ぎ、被害額ではサンフランシスコ地震に次ぐものである。しかし、地震の発生時間が早朝で交通量が少かつたこと、学校や工場は始業時間前だつたこと、ダムが決潰をまぬがれたことなどにより、前述程度の被害ですんだのは幸運であつた。

震源は San Gabriel 山中で、地下12 km、ロスアンゼルス市の中核部から約40 km(震度V)、サンフェルナンド地区から約10 km(震度IV)、Pacoima Damから約8 km(震度VII)あつた。

2. 構造物の被害状況

この地震で死傷者を出したものは構造物の破壊によるものが殆んどである。また被害は特定

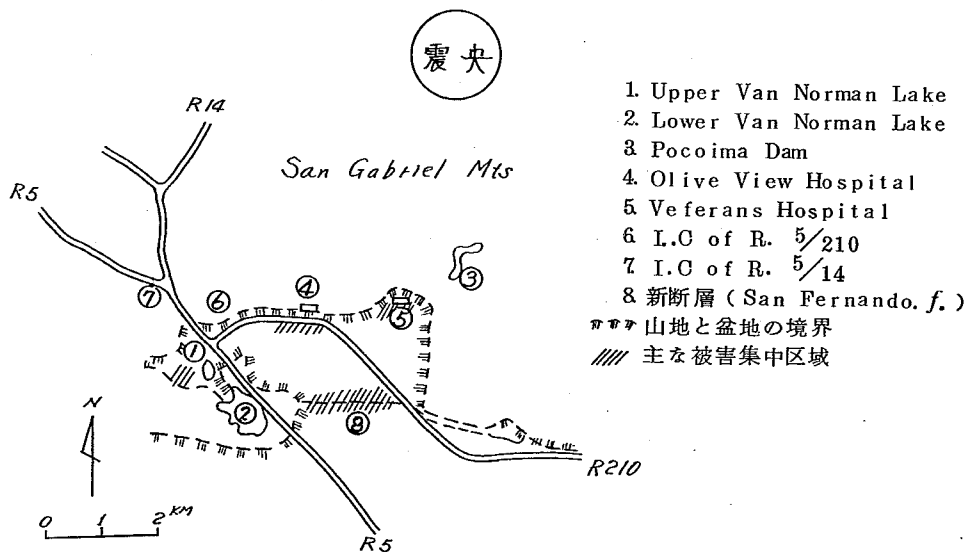


図-1 San Fernando Valleyと主な被害集中区域

の地域に集中しており、今回の地震によつてできた地割れ（地震断層）の発生地域と San Gabriel 山地の前縁の沖洪積層に限られる。

主な被害の状況は次の通りである。

1) 建築物関係

イ) Sylmar Veterans Hospital (Sanatrium) 45名死亡。

40年以上も前に建てられたコンクリートとレンガ造りの二階建ての病院で耐震設計はなされていなかった。1.2階共、完全に崩壊し、死者は大部分その下になつたものである。崩壊した建物の周囲には耐震設計が、施された数階建ての建物が何棟かあつたが、たいした被害は蒙らなかつた。

地盤は山麓前縁の扇状地状堆積物で、玉石大の砂礫層が数mあり、その下は砂質の洪積層が厚く発達しているようである。今回は地震断層が発生しなかつたが、過去のスラスト断層帯に近く、また震源に近かつたので（8～9km）大きな地震動が働いたものと考えられる。

ロ) Olive View Hospital 3名死亡

本館は昨年竣工したばかりで、耐震設計の施された最新式の地下1階、地上5階の鉄筋コンクリートの建物である。建物の被害は1階と、本館の外側に取り付けられた4つの階段塔の倒壊である。

2階以上の柱や壁はせん断キレツが入つた程度でたいした被害はなかつたが、1階は柱が折れたり、鉄筋が丸出しになつた。これは設計強度が足りなかつたためだという。1階は美観と使用目的から柱や壁を少なくする“soft story”構造にしていたため強度不足となり、階段塔は、階段をささえる地階の壁と、本館の継目の強度不足のようである。しかし、1階の柱にスパイラルフープを使つていたので完全な崩壊がまぬかれたのかもしれない。中側の鉄筋が丸出しになつてもなお破壊しないものが多く見受けられたのは驚異に値する。死者は本館では酸素吸入が切れたための2名と、付属棟（2階建）の崩壊によるもの1名だけである。

地盤の地質条件はSylmar Veterans Hospital と全く同じである。

ハ) 学校その他の建物

1933年以前に建てられた学校は耐震設計が施されていないが、それ以後のものは耐震設計で非常に大きな安全率を取つており、木造平屋の学校が大部分だつたので大きな被害はなかつた。また1,300の一般建物と1700のモービルハウスが被害を受けたが一部の倒壊家屋をのぞけばレンガ、コンクリートブロック、無筋コンクリートなどの壁やかきね、煙突などの被害が目立つた程度である。地震の発生時間がもう少し遅かつたら、これらの倒壊による人身被害が大きくなつたものと思われる。

Sylmar 地区は地表面まで礫質の沖洪積層で、San Fernando Valley は地表面から3m

前後は軟い砂礫層で多くの建物は4~5 mの杭を打っている。地耐力は $10 \sim 40 \text{ t/m}^2$ である。被害の大きかった地域は山麓部と地割れ(地震断層)の発生した地域である。

2) ダム関係

1) Lower San Fernandoダム (Lower Van Norman 湖)

高さ41.2 m, 堤長約670 m, 堤体積250万 m^3 , 貯水容量2,400万 m^3 の水道用アースダムである。このダムは嵩上げや腹付けをして, 現在のようなかたちになっている。即ち初め1912-15年谷底からのsluicingと丘の表土を盛土材料とした水締め工法(Hydraulic Fill工法)で高さ27.5 mまで盛り上げ, 1920-24年に転圧工法で現在の高さまで嵩上げたものである(13.7 m)。その後安定性が問題となり, 1940年転圧工法で高さ26 mの腹付けを行っている。上流面は波浪による侵食防止のため厚さ15 cmのコンクリートを張っている。また数年前から堤体から(?)の漏水があり, 前年秋まで止水グラウトを行っていた。直下流から市街が発達しているので安全管理には注意しており, 常時堤体の変位観測, 浸潤線観測, 漏水量測定などが行なわれていた。

Lower San Fernandoダムの基盤は新才3紀鮮新世のシルト岩泥岩, 細粒砂岩の互層で粗粒砂岩層を夾む, この基盤の強度についてのデータはないが, 周辺の露頭から q_u は $100 \sim 200 \text{ kg/cm}^2$ 位と見受けられた。さらに10 m余(35フィート)の冲積層があり, ダムはこの上にのっている。

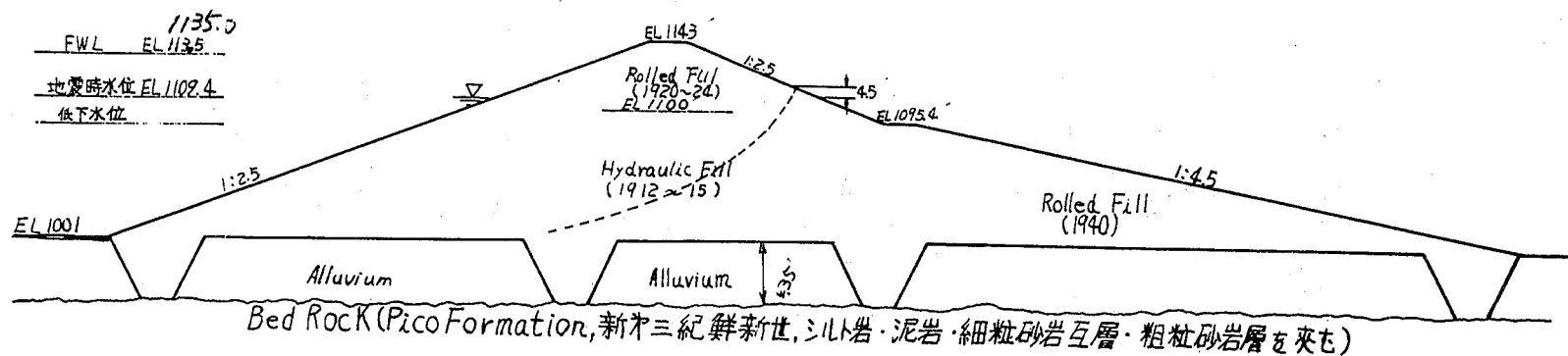
地震によつてダムはほぼ全長にわたつて上流側へ円弧沁りをおこしている。地震時に水位は堤頂から11 m下にあつたが, 沁りの後残つた堤体は水位上僅か1.5 mにすぎなかつた。このダムの下流には市街地が発達しているが, 3日間かけて水位を5 m以上低下させる必要があると判断され, ロサンゼルス市では下流の住民約80,000人を4日間待避させた。現在(8月28日)は完全に空にし, 使用されていない。

2) Upper San Fernandoダム (Upper Van Norman 湖)

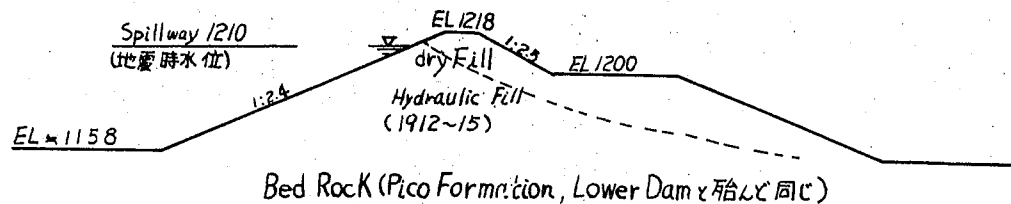
高さ20.7 m, 堤長400 mの水道用アースダムである。時期ははつきりしないがLower ダムと同時に行なわれたようである。築堤方法は前者同様水締め工法が取られているが, 嵩上げや腹付けなどはおこなわれていない。

ダムの基礎はLower ダムと同じだが, 冲積層があつたかどうかははつきりしない。

地震時の水位はspillway (EL1210フィート)までで略々満水の状態にあつた。地震によつて堤体は下流側へ沁り, 残つた上流側の堤体の一部も堤軸方向のクラックが生じた。これによつて堤頂は3フィート沈下し, 5フィート下流側へ移動した。現在水位を下げ, 応急手当をして使っている。



Lower San Fernando ダム断面図



Upper San Fernando ダム断面図

ハ) Pacoima ダム

1938年に竣工した高さ107mのコンクリートアーチダムである。このダムは洪水調節用のダムで地震時の水位は低かった。基盤は良好な花崗岩であつたようである。Pacoima ダムは震央から至近距離にあり、左岸アバット上にあつた強震計では極めて大きな加速度を記録した(水平、鉛直とも1,000ガル以上)。ダム本体には被害はなかつたようだが、左岸アバット部の岩盤には無数のクラックが生じている。一部のクラックは2~3cmの段違いを生じている(強震計の土台にも入っている)。現在ボーリングにより調査中で、注入試験と速度検層を行つていた。その結果によつてグラウトしたり、再貯水の可否を判断する予定である。

3) 道路関係

Sylmar 地区の最新の道路や橋梁に大きな被害がでた。地震断層が生じた付近では厚さ20cmのコンクリート舗装が破損し、例えば地盤の南北方向の圧縮で路面に小丘ができたところもある。落差150cm、水平方向のズレ130cmに達した。一部の盛土では路盤の膨れ出し現象がみられ、橋梁のアバットの水抜き孔から裏込めの砂礫が噴出した。

道路としては、インターチェンジを含めた橋梁の被害が大きい。被害を受けた高架橋の数は50以上にのぼるが、そのうち架け換えを要するものは7橋(鋼橋1、鉄筋コンクリート橋3、PSコンクリート橋3)といわれている。大被害となつたところはSylmar 西方のルート5と210(IC 5/210)、ルート5と14(IC 5/14)の両インターチェンジとその付近である(両者はルート5沿いに約1マイルしか離れていない)。被害のパターンとしては、① 橋脚の圧潰——橋桁の折損、② 斜橋のねじれ——ねじれせん断による破壊、③ ケタガカリの脱落(ケタガカリは20~35cm程度しかない)などがある(大久保)。

2つのインターチェンジ付近はSanta Susana スラスト断層に近く、才3紀のシルト岩・砂岩互層と、沖洪積の砂礫層の接しているところに近い、州道路局の資料によればIC 5/210は粗粒な沖洪積層中に40フィートの杭基礎、IC 5/14は直接才3紀層へdrilled Caisson だが被害の状況では基礎の構造に疑問な点がある。

4) トンネル関係

道路トンネルがないので特に大きな被害とはならなかつた。建設中の水道用のSan Fernando トンネル(径18フィート、長さ2,900フィート)は約2/3 掘削したところで地震に合い、数ヶ所鉛直方向のズレがあり、支保が破損した。その後ガスが噴出し、そのため6月にガス爆発があつて工事は中止されている。また、水道用のBalba Inlet トンネル(径14フィート)は坑口から15,000フィートのところで断層をまたいでいたが、この部分100フィートにわたつて覆工に著じるしい被害を蒙っている。

3. San Fernando およびその周辺の地形・地質

1) 地 形

カリフォルニア州は幾重にもかさなる北北西—南南東に走る大小の山地、丘陵、盆地、谷などからできている。この地形的特徴は、主に断層運動によるものであり、地形のみならず、地層の分布もこれによつて規制されている。しかし San Fernando 地域は前述の大きな傾向が乱れているところで地質学上1つの興味のある地域となつている。

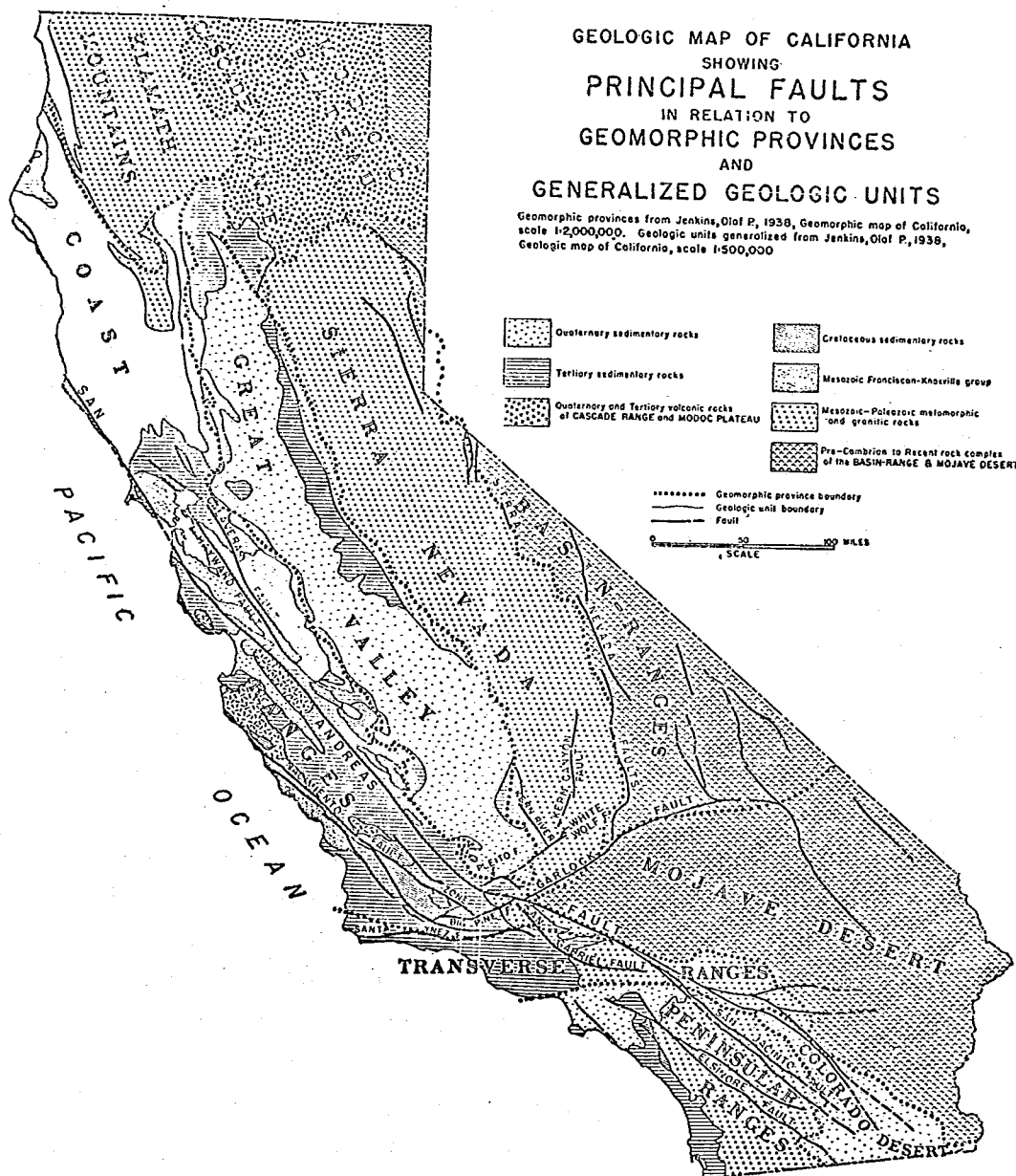
San Fernando Valley は北東に、San Gabriel 山地、東西および南にも山地や丘陵が発達している一大盆地である。盆地の大きさは東西約 25 km、南北約 20 km、総面積約 400 km² である。盆地北縁の Sylmar の標高は 450 m で南にゆるく傾斜し、盆地の南端の Sherman Oaks では標高 210 m ありその間の平均勾配は 100 分の 1 強となる。San Gabriel 山地は巾約 30 km で、北西—南東にのびており、各々の峰は標高 1,000 ~ 1,300 m ある。盆地の標高は約 450 m であるから比高は 550 ~ 850 m、その間の水平距離は 3,000 m で平均勾配は 100 分の 20 ~ 30 となる。

2) 岩 質

この地域には先古生層 (Pre-cambrian) の火成岩や変成岩からオ 4 紀の沖積層まで発達している。しかし、この地域を構成する主要な岩相は San Gabriel の片麻岩、花崗岩、周辺丘陵地の中生代白亜紀—古オ 3 紀の砂岩、頁岩、新オ 3 紀のシルト岩、砂岩互層、盆地内の沖・洪積世の砂・礫等である。

San Gabriel 山地を構成する岩石をもう少し詳しくみると、先古生代の火成岩や変成岩から沖・洪積層までである。そのうち主要部は片麻岩、結晶片岩、花崗岩などで、その生成時期は 12 ~ 14 億年前 (花崗岩の一部には 7,000 万年前のものもある) といわれている。山地の周辺部には新オ 3 紀の海成堆積層 (シルト岩、泥岩、細粒砂岩) が、また山地中央部には新オ 3 紀の陸成堆積層 (低固結度の砂岩、礫岩、泥岩) が発達している。これらの地層の厚さは場所によつて著しく変化する。総厚は山地部で 300 ~ 1,500 m (大部分侵食されてなくなつている)、西隣の盆地で 1,200 ~ 1,800 m ある。San Fernando Valley はオ 3 紀の褶曲運動や断層運動によつて沈下した一種の向斜ゾーン (深く細長い大きな溝状のもの) で、沖洪積層の下に発達する後期白亜紀からオ 3 紀末までの堆積物の厚さは 4,500 m に達することが石油井戸で確認されている。

San Fernando Valley は厚い沖洪積層に覆われている。新オ 3 紀に引き続いて沈降地帯であつたこの地帯は初期には泥質なものを、末期には粗粒なものを堆積している。これらの未固結の堆積物は盆地の中央部で 200 m を越す厚さがあるが、だんだん薄くなつて山麓部では消滅している。Sylmar 地区では現河床部をのぞくと平均 6 m 程度の厚さがある。但し、San



Gabriel 山地の南縁を画する Santa Susana や Sierra Madre 断層帯の南側は構造運動のため極端に深くなっており、場所によつては沖洪積層の厚さが $4,000\text{ m}$ に達している。

Van Norman Lake を含む広い谷底平野には比較的泥質なものが 10 m 余りの厚さで発達している以外はだいたい砂や礫など粗粒な堆積物からなる。主要な被害を出した Sylmar 地区などは礫質で特に Veterans Hospital や Olive View Hospital などは、扇状地堆積物の上に建っている。新潟地震や十勝沖地震でみられた流砂や噴砂現象は僅かに Lower Van Norman 湖湖底にみられただけで他は生じなかつたようである。

3) 地質構造

この地域の大構造は2つの断層系によつて規制されている。即ちNW-SE方向のものとE-W方向のものである。前者には San Andreas 断層や San Gabriel 断層などがあり、水平ずれの right-lateral strike-slip 断層を特徴とするのに対して、後者は Santa Susana 断層や Sierra Madre 断層などがあり、北落ちの逆断層やスラスト断層であり、San Gabriel 山地など主要な山地はこの運動によつて出来たものと考えられている。今回の地震によつてできた新しい断層帯も後者の系列に属する。

イ) San Andreas 断層……………カリフォルニア州を北北西-南南東に縦断する大断層で陸上部だけで $1,000\text{ km}$ 以上もある。1906年のサンフランシスコ地震などこの断層またはそれに付随した断層上の地震が非常に多い。この断層は右走向断層で中新世以後(2500万年前から)今日まで水平移動が $250\sim 280\text{ km}$ 、傾斜方向のズレは $25,000\text{ m}$ に達する。測地網が完備した1959年から1968年までの水平移動記録によるとサンフランシスコ南方で実に年 3.5 cm に達する。

ロ) San Gabriel 断層……………多くの点で San Andreas 断層に似ている。鮮新世(700万年前)以後の水平移動は 30 km の右走向断層で、傾斜方向のズレは最大 $4,300\text{ m}$ に達する。この断層が極く最近活動したという確たる証拠はないが、San Andreas 断層との類似性から最も注目されているものの1つである。

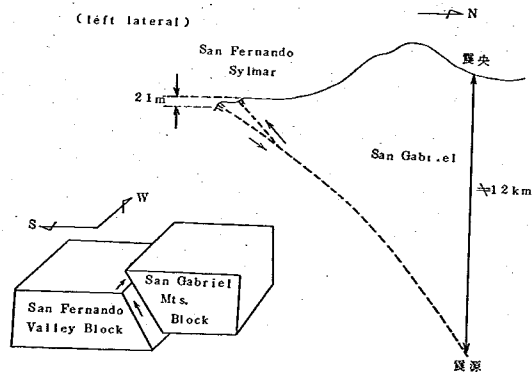
ハ) Santa Susana, Sierra Madre 断層……………これは前二者と異なり、東-西方向の長い断層帯を形成している。この数本の断層群はゆるく北に傾斜し、くねくね曲つた低角スラスト断層で水平方向の短縮および上昇量はどちらも最大 $1,200\text{ m}$ 以上に達している。この断層群の北側には先古生代の火成岩や変成岩、および才3紀中新世以前の地層が分布し、南側には才4紀層が分布している。San Fernando Valley の西部では明らかに段丘を切つているので極く最近まで活動していたことを示しているが、北部では詳かではない。

4. 地震と断層運動

1) カリフォルニアにおける断層運動

カリフォルニアは地質学的にみれば、1つの造山帯の上にのつており、構造性地震の巣である。これまでも大被害をもたらした大地震がたくさんあり、例えば1906年のSan Francisco 地震(M-8.8), 1933年のLong Beach 地震(M-6.8), 1940年のEl Centro 地震(M-7.1)などがある。しかし今回のSan Fernando 地震(M-6.6)はいろいろな点でこれまでの地震とは異つた特徴をもっている。即ち前者の場合は断層を境にして両ブロックが水平に違い違ふstrike-slip による地震に対して、後者は1つのブロックが他のブロックの上にのしあがるような動きをする,thrust によるものである。

マントル対流説(海洋底拡大説)によるとカリフォルニア沿岸部は大陸に対して北北西方向に年平均数インチの割り合いで動いている。San Andreas 断層やこれに平行した断層の水平変位はこのためにおこる。しかしSan Fernando 地区の北では何かの原因で、このSan Andreas 断層が東西方向に曲つており、そのためこの部分に複雑な歪が生じており、断層の性質も他の地区と異っている。即ちSan Fernando 地域ではだいたい南北方向の応力が働いており、北側のSan Gabriel山塊が南側のSan Fernando Valley の上に押しあげるような動きとなる。今回の地震は前述のような動きによる南北方向の応力の開放を意味している。これによつてできた断層面は水平面と約45度の角度をしており、より面で上下方向へ最大約2m、水平方向へも同程度移動している。



2) 断層の活動性

カリフォルニア州に限らず現在起っている地震の大部分は断層運動に伴うものである。しかもこの断層運動は才3紀に続く造山運動の延長上にあるもので、そのまま将来も起こる可能性をはらんでいる。現在動いているもの、或いは近い将来に再び動く可能性のある断層を活断層といつているが、これを確認する方法として、過去の地震とそれに伴う断層、沖・洪積層を切つている断層、地殻の異状なひずみ、即知の活断層に伴う断層などを調査することである。しかし前述のような方法での信頼性はそれ程高くないかもしれない。また活断層としてどれくらいの古さまでのものを考えるかというのも意見の分れるところである。沖積時代以後(1万年前から)を取るには短かすぎるようで例えば、カリフォルニア州white wolf 地震では、沖積世以前の断層の再活動といわれている。従つてある程度高い安全度を要求される構造物では洪積世を含めた才4紀全体(100万年前から現在まで)を含めた方がよいだろう。

カリフォルニア州は以前から地震に対する感心が高く、地質調査所、カリフォルニア州、ロサンゼルス市、カリフォルニア工科大学、その他の機関で活断層の調査(未完)、三角点測量、水準測量、レーザーによる測距などが行われており、また無数の強震計が設置されて常時観測体勢がとられている。今回の San Fernando 地震に対してはその評価が定まつていないが San Gabriel 山地の異状が検出されている。San Fernando 地震断層については露頭による確認はされていないが、沖積層中の地下水位のギャップ、いわゆる地下瀑布の存在が指摘されていたので、やはり沖積世以後の断層活動が存在していたことになる。

5. 地震予知の地質学的アプローチ

地震予知とは、ある地点で、何時、どの程度の規模の地震が発生するかを予知することである。現在の段階では近い将来どの辺で地震が発生するかを予想することさえできない。それは、地震の突発性や同じようなものが2度と起らず、観測する機会が少ないなどによるものと思われる。しかし地震の発生機構などが解明されてくるにつれて、除々にではあるが、地震の発生する場の予知が期待されるようになってきた。それはちょうど天気予報や2~3の火山の噴火予報のようなものであろう。

多くの場合、震源が断層上にあること、構造物の被害が地震断層によることが多いことなどから、地震予知と防災の見地から地震予知の1つのアプローチのしかたとして活断層を検出する方法が有効になってくると思われる。以下その方法を個条書きにすれば次のようになる。

A) 広域調査

イ) 主要な地質構造帯をぬきだし、才3紀以後の活動を追跡する。

ロ) 重力異状を検出する。

へ) 地質精査を行い、活断層を決める。

沖積層中では地下水滲布も1つの手がかりになる。

B) 局地調査

イ) 地盤変動の調査

三角測量

水準測量

レーザーによる測距など

7. アメリカにおける岩盤分類と斜面の安定解析

土木研究所地質研究室 菅 原 捷

1. はじめに

岩盤力学 (Rock Mechanics) は岩石およびその集合体としての岩盤全体の力学である。岩盤には他の材料に比べて著しい不均一性、不連続性、断続性等の特徴がある。そのためこれまでその力学的な取扱いが困難で、土木工学の中でも遅れている分野の1つとされていた。しかしここ10年足らずで計測技術や電子計算機を使用した解析技術が長足の進歩を遂げ岩盤力学の体系化を促した。筆者はイリノイ大学の大学院に籍を置き、体系化されつつある岩盤力学を習得しつつ、資料の収集とアメリカにおける岩盤力学の応用現況を調査した。

岩盤力学の当面の問題は岩盤分類と斜面の安定性の問題である。岩盤分類は対象工事、例えばダムとかトンネルとかによつて分類の考え方や基準に多少の差異があるが、現在その差が解消されつつある。分類方法は、① 無キズな岩片 (供試体) の強度を一軸圧縮強度と弾性係数の大小で分類し、② 供試体と地山の弾性波伝播速度の比 (キレツ係数) や RQD を尺度にした分類法がとられている。

自然斜面や法面の安定解析は1960年代初頭ダムのアバットの安定解析をおこなうために開発された技術で、その後斜面や法面の安定解析に導入され、応用範囲が拡大されつつある。

これらの最近の岩盤力学の進歩は地質調査法にも取り入れられ、その発達を促している。即ち、① 従来定性的な評価しかできなかった岩盤分類が定量化され、② 高価な現位置試験が軽減され、かつ精度も向上しつつある。③ また経験と勘にたよっていた岩石切取斜面保護工の設計も、斜面の安定解析から合理的な設計が可能となりつつある。その結果、工事の安全と調査費や工事費の軽減に益するところが非常に大きい。

2. 岩盤分類

これまでの岩盤分類はいろいろな観点からなされているが、多分に記載的な分類法によつていた。基本となるものは岩石の硬軟と節理などの割れ目の間隔によるものであつた。近年、さらに弾性波伝播速度による分類、地山の弾性波伝播速度と試料の速度の比による分類などが提案され、広く使われだしている。

1966年、D.U. Deere, R.P. Millerは、岩石の2つの重要な力学量である一軸圧縮強度 (5段階) と弾性係数 (3段階) をもとにした分類をおこなっている。これは無キズな岩片 (供試体として採取したもの) を対象にした分類法で岩盤分類そのものではないが、岩石のもつ強度だけではなく変形性をも表わすことができる利点がある。

表-1 岩石の工学的性質にもとづく分類基準 (I)

記 号	分 類	一軸圧縮強度 (lb/in ²)
A	硬岩 (I)	32,000以上
B	硬岩 (II)	16,000~32,000
C	中硬岩	8,000~16,000
D	軟岩 (I)	4,000~8,000
E	軟岩 (II)	4,000以下

表-2 岩石の工学的性質にもとづく分類基準 (II)

記 号	分 類	弾性比 *
H	高弾性	500以上
M	中弾性	200~500
L	低弾性	200以下

* 弾性比 = E_t / σ_{ult}

E_t : 50% σ_{ult} における正接弾性係数

σ_{ult} : 一軸圧縮強度

無キズな岩片の力学定数を岩盤のそれに置き換える方法は未だ確立したとはいえないが、RQD法とキレツ係数法とが提案されている。RQDはDeere が提案したもので(1963) NXサイズ(内径2.25インチ)で回収されるコアのうち長さ4インチ以上の棒状のコアの比率で表わす。キレツ係数は小野寺(元建設省土木研究所地質化学部長)によつて提案されたもので(1963)、地山の弾性波伝播速度と岩石試料の速度の比で表わす(力学定数的な意味を持たせるためには速度比を2乗した方がよい)。

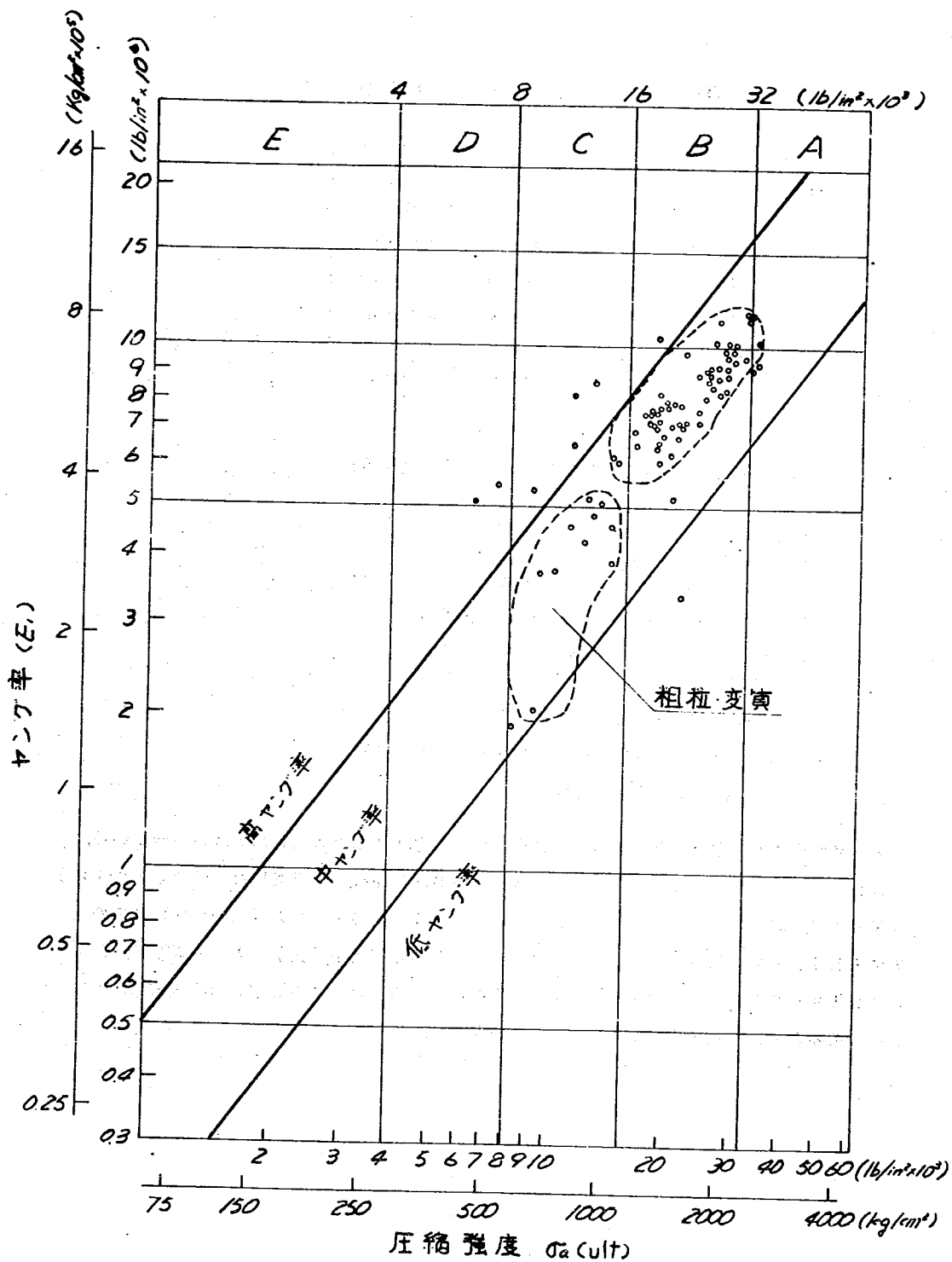


図-1 岩石の強度分類の例(花崗岩類16地点, 80試料)
表示はBM, CH, CM等とする。

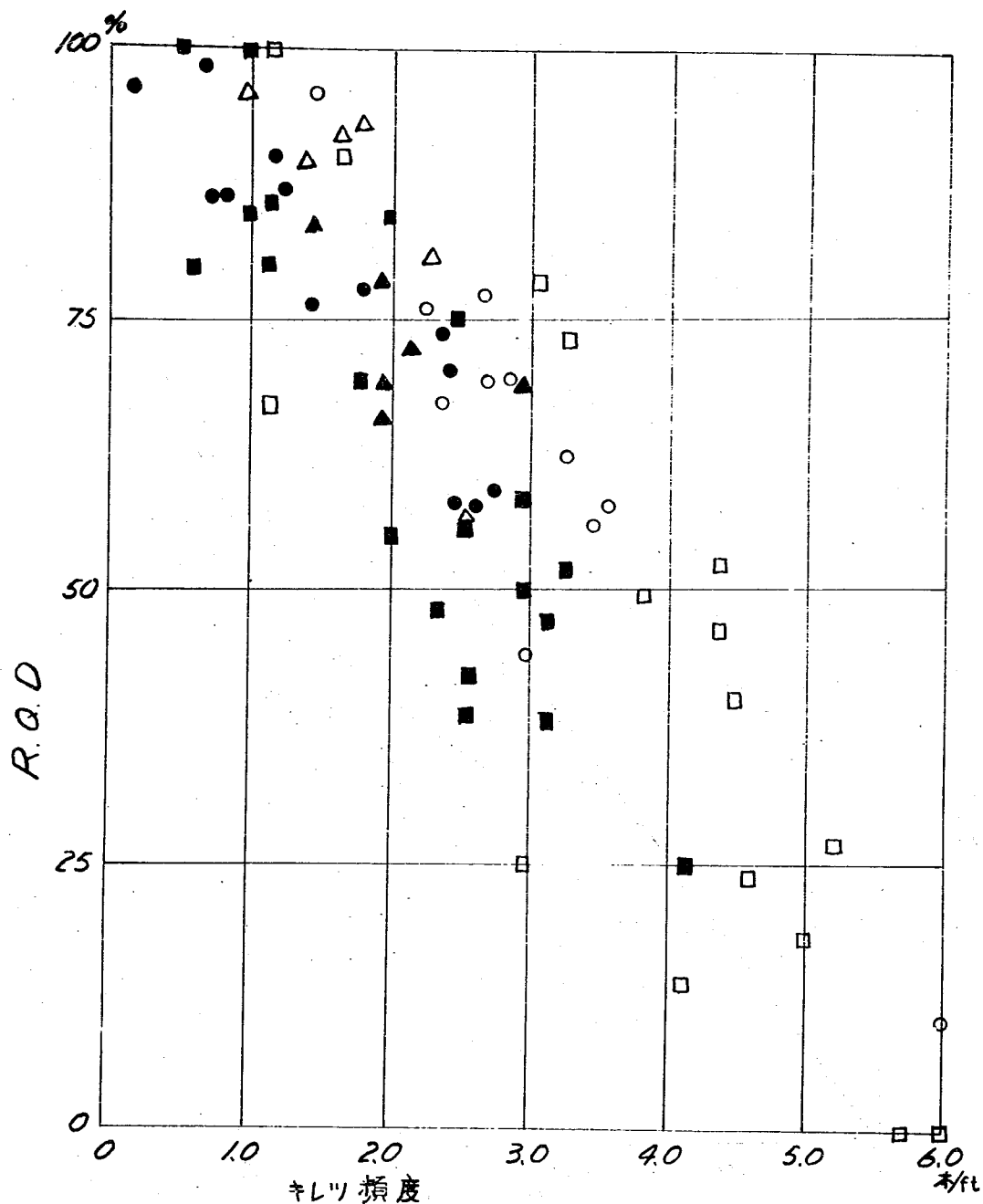
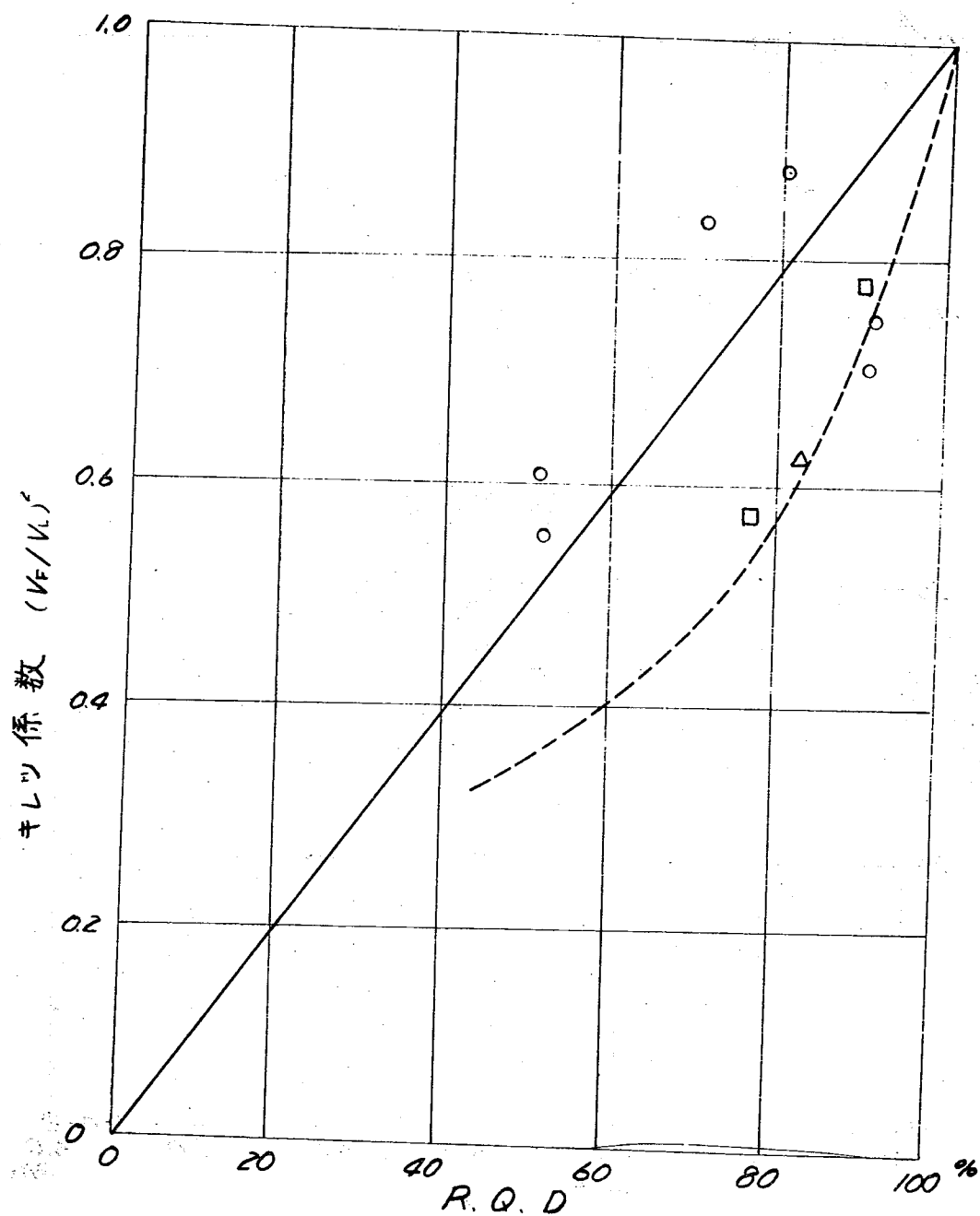
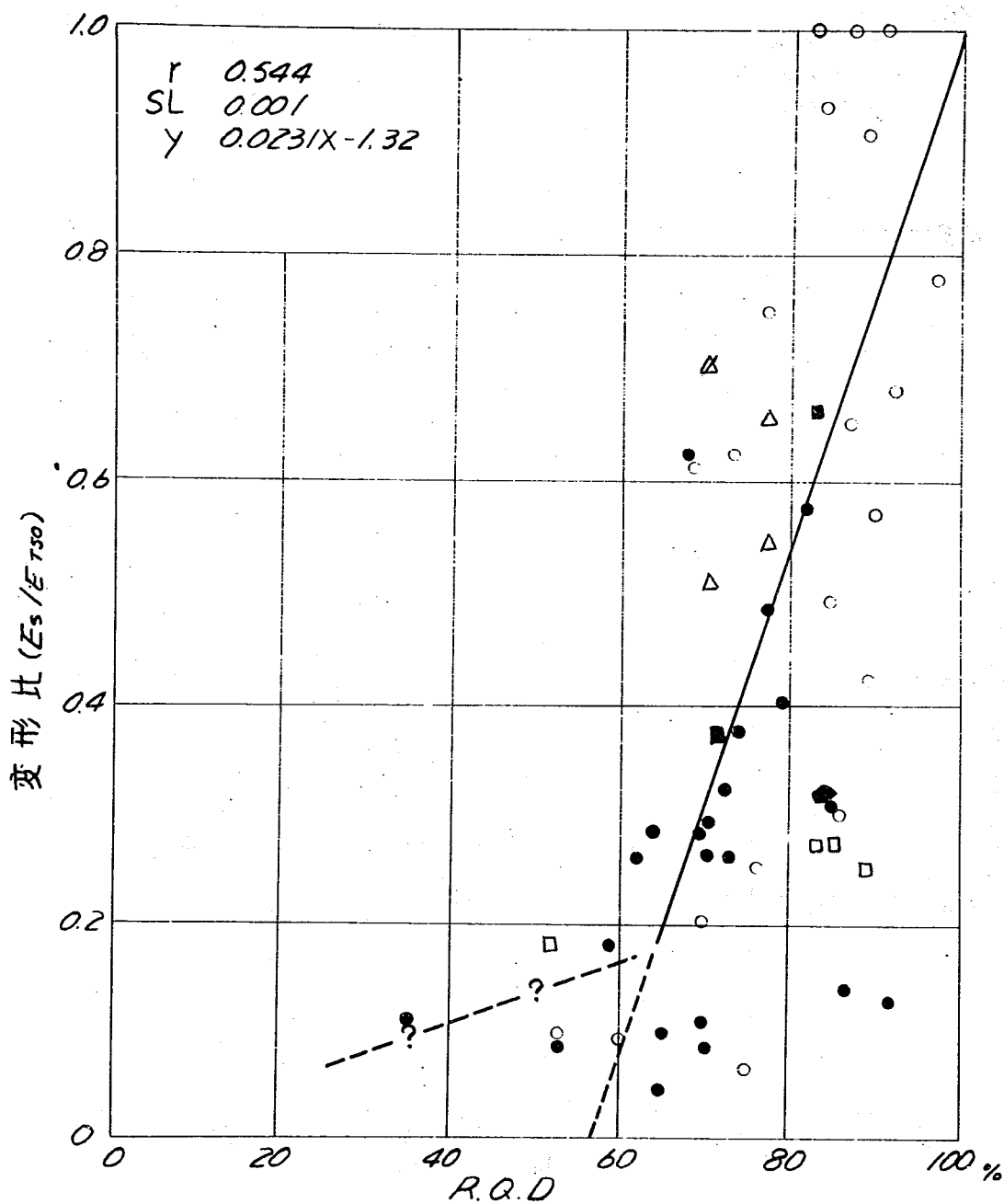


図-2 R.O.Dと切れツ頻度



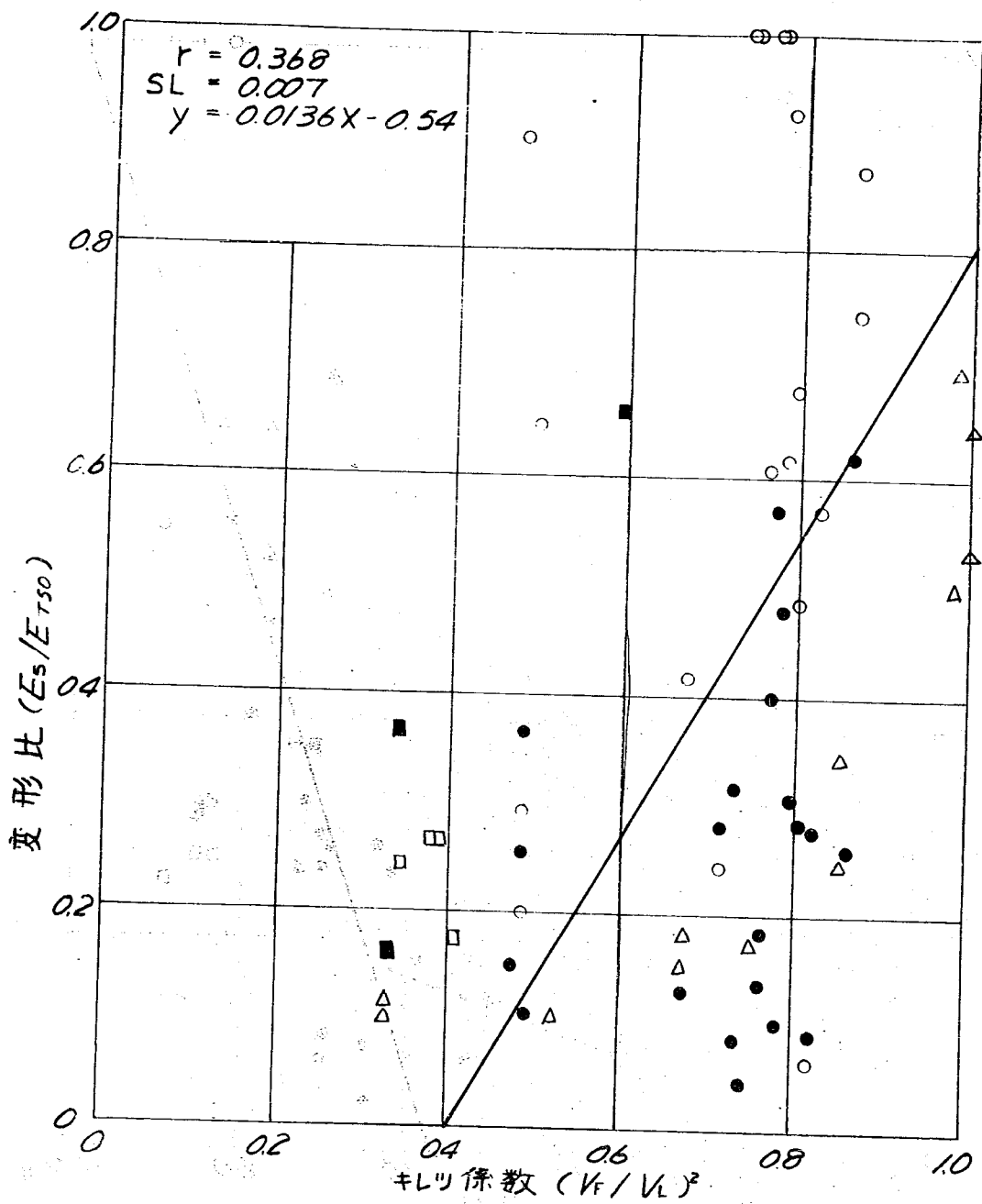
- Manhattan Schist — 6 borings
- Rainier Mesa Tuff — averages from two location
- △ Hackensack Siltstone

図-3 キレツ係数と R.Q.D



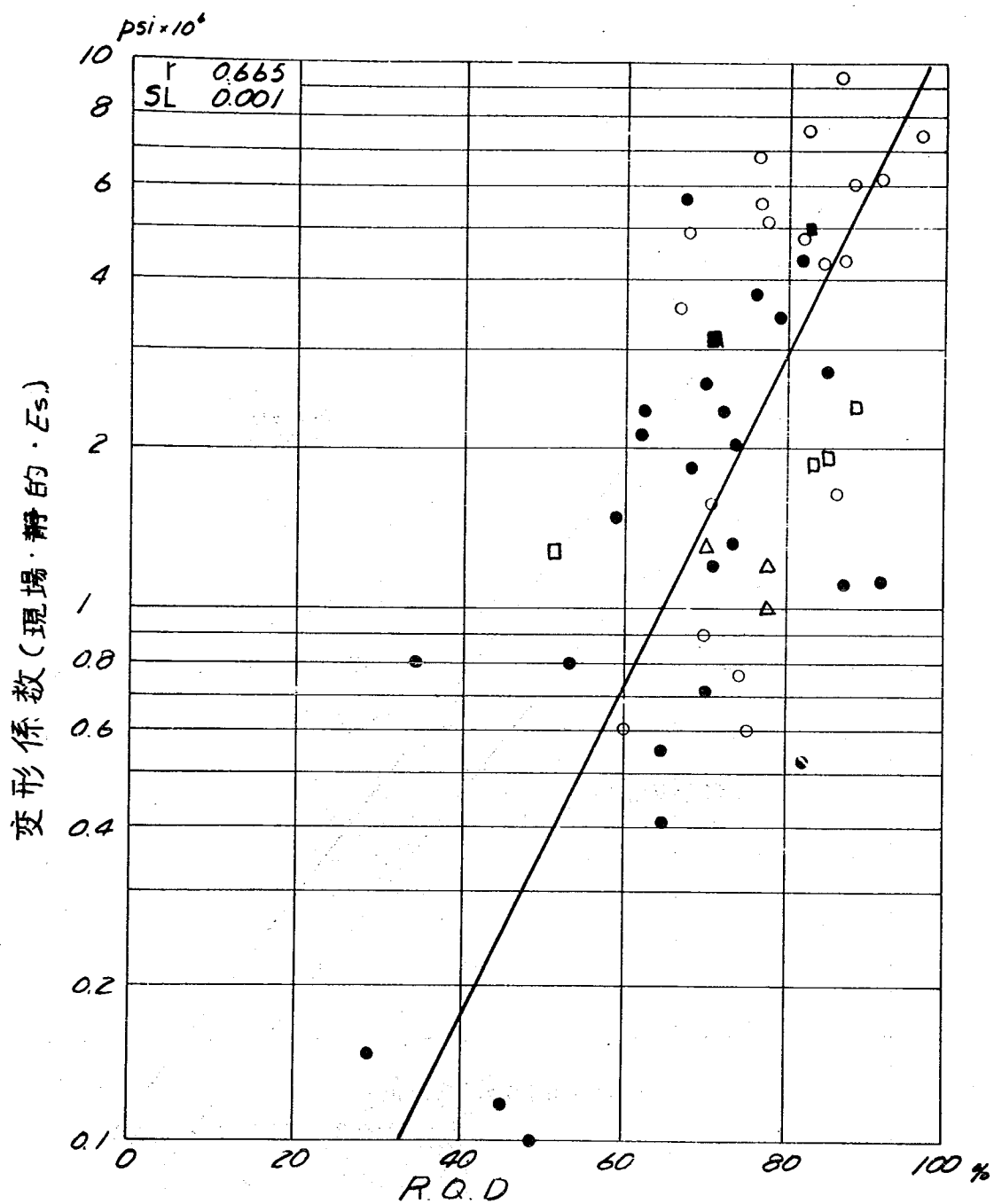
- Dworshak Dam, Granite Gneiss. Surface Sage
- " " " " " Buried "
- Two Forks Damsite, Gneiss
- Yellowtail Dam, Limestone.
- △ Glen Canyon Dam. Sandstone.

図-4 R.Q.D と変形比 (試料数 52)



- Dworshak Dam, Granite Gneiss, Surface Gages
- " " " " Buried "
- Two Forks Dam site, Gneiss
- Yellowtail Project, Limestone
- △ Other Sites

図-5 ポアソン係数と変形比 (試料数61)



- Dworshak Dam. Granite Gneiss, Surface Gages.
- " " " " Buried "
- Two Forks Damsite, Gneiss.
- Yellowtail Dam, Limestone
- △ Glen Canyon Dam, Sandstone.

図-6 R.Q.D と変形係数 (試料数 58)

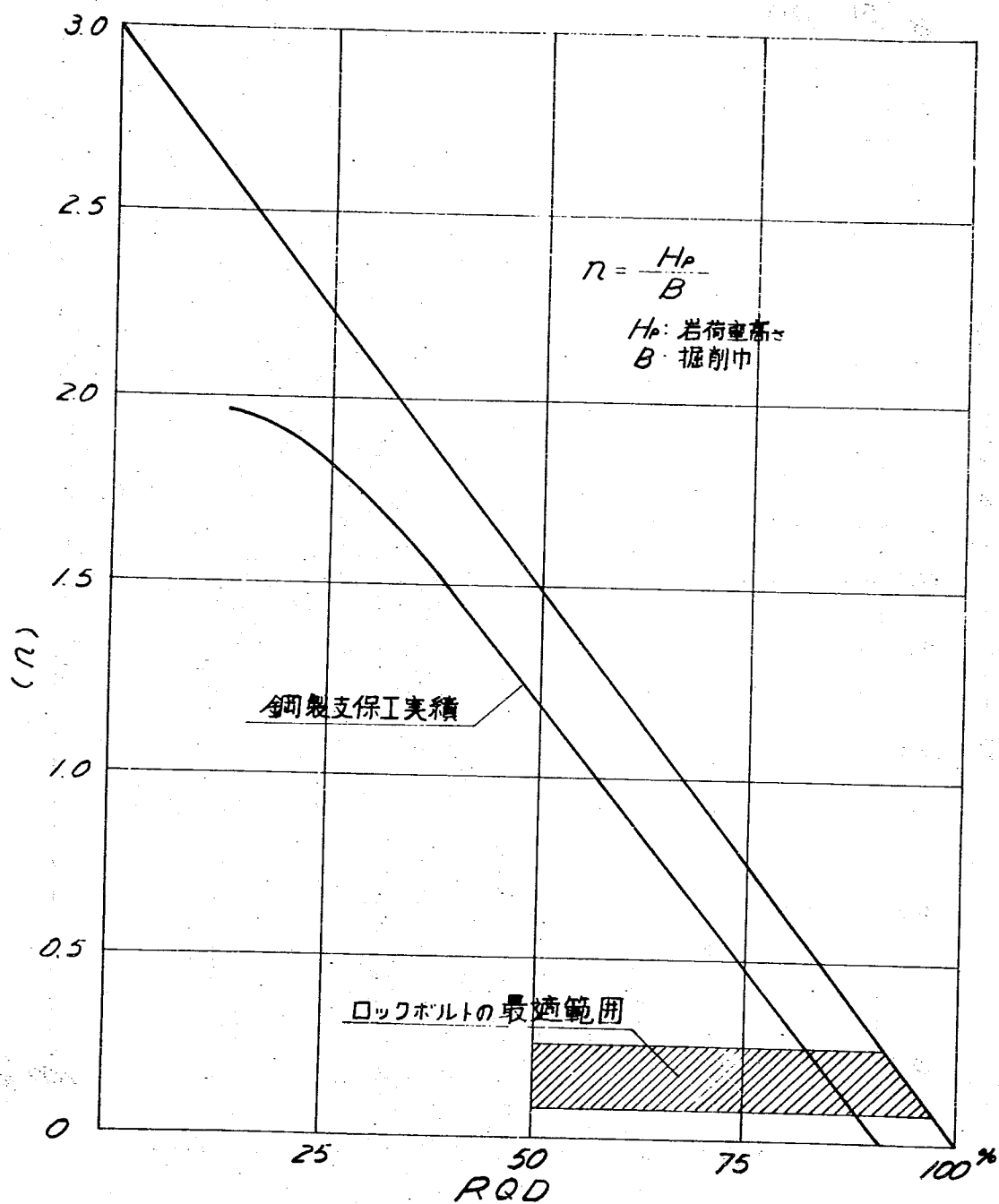


図-7 R.Q.Dと岩荷重高さの関係 (E.J.Cording)

a) Reduction Factor

RQDやキレツ係数をつかつて、供試体の弾性係数から地山の変形係数（弾性係数）を類推する方法が提案されている。これは理論的根拠はなく、統計的な値であるのであくまで概数として扱わなければならないし、低固結度岩や膨張性岩石などの特殊な岩石の場合は使用をさけた方がよい。

図-4, 5はReduction Factorの例である。E_t 50は供試体の静的変形係数で、この場合50% σ_{ult} の正接変形係数を探っている。

図-4においてRQD 60%以上の E_s/E_{t50} とRQDの相関は非常によいが、60%以下は相関性はよくない。他の調査例ではRQD 60%以下は E_s/E_{t50} が0.2ではほぼ一定値になる（Hendron, Cording）。

図-5はR・Q・Dの代りにキレツ係数をとつたものである。相関性はあまりよくない。理由は現場の含水状態とV_pの測定方法に問題がありそうである。即ち、弾性波や超音波の伝播速度は岩石の空隙によつて変化し、さらにその空隙をうめる水の量（含水量）によつて変わってくる。また岩石の拘束状態、荷重状態によつても大きく変化する。したがつて現場と試験室での測定条件を合せることがむずかしく、データはバラツクようだが、測定条件さえよければ十分実用に供せる方法である。

b) テルツアギーのゆるみ高さとRQD

図-7はテルツアギーの岩盤分類による岩荷重高さとRQDの対応関係図である。これは多くの実績調査資料にもとずいて作られたもので、R・Q・Dから直接岩荷重高さを求めようとするものである。図中鋼製支保工の実績曲線は施工技術の向上によつて左下の方に移動する性格のものである。またロックボルト技術の長足の進歩により、適用範囲は急速に広がっており、ブロック化されている岩盤でも、いわゆる締めつけ効果により大きな岩盤改良が可能となりつつある（Snowy Mountain Project）。

3. 自然斜面および法面の安定解析

自然斜面および法面の崩壊には円弧切り型、層状切り型およびそれらの中間型とがある。円弧切り型や中間型は長い間土質力学の中心テーマの1つであつたので研究もかなり進んでいるが、層状切りは未発達のまま残り残されていた。ベクトル解析法は1964年、Wittkeによつて発表されたもので、層状切り型崩壊の安定性の解析法である。ベクトル解析をおこなうには、ある面の走向、傾斜のベクトル成分からその面に垂直なベクトル成分Nを求め、さらにその面上での外力を考えた接線力Tを求める。安全率F・Sは次式で与えられる。

$$FS = \frac{N \tan \phi}{T}$$

ϕ : 摩擦角

ステレオネットによる解析法は僅かのベクトル解析によつて求められる力の方向や大きさをステレオネットに投影することによつて複雑なベクトル計算を省くことができ、解析途中を視覚的に検討できる。しかしステレオネットによる解析法は電子計算機にのらないので、データの大量処理とか境界条件の多い場合にはベクトル解析の方がやり易い。