

ISSN 0386-5878

020

土木研究所資料第2706号

土木研究所資料

第21回地質担当者會議資料

昭和63年3月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright ©(1989)by P.W.R.I.

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

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

第21回地質担当者会議資料

地質研究室室長 市 川 慧

主任研究員 平 野 勇

研究員 脇 坂 安彦

主任研究員 稲 崎 富士

水資源開発公団試験所 第三試験課長 神 尾 重雄

要 旨

昭和62年12月11日に開催された第21回地質担当者会議で行われた講演のうち以下のものが収録されている。

I. 指針・全国調査等の動き

1. 道路のり面台帳作成様式について
2. 第四紀断層の調査法
3. アルカリ反応性骨材及び粘土鉱物含有骨材の取り扱い
4. ダム湛水に伴う地すべりの既査調査検討資料

II. 新しい地質調査法の現状と問題点

1. 物理探査法の現状と問題点
2. 土木地質分野における新しい調査法等についての検討

キーワード：道路のり面台帳，第四紀断層，アルカリ反応性骨材，粘土鉱物含有骨材，地すべり，物理探査法，地質調査法

ま え が き

地質担当者会議は、昭和42年度より地質調査上の問題点の解明、技術情報の交換および地質調査方法の統一等を課題として、今回で第21回を迎えるに至った。この間、河川砂防基準(案)・道路土工土質調査指針・トンネル技術指針・ルジオンテスト施工指針(案)・リップラップ材の耐久性判定基準(案)・グラウチング指針・ボーリング柱状図作成要領等、地質調査に関連する基準や指針類の作成に貢献し、また、ダム・トンネル・のり面・軟弱地盤の地質工学的問題点の検討、海外の事例紹介を行ってきた。

会議では「指針・全国調査等の動き」に関して4件、「新しい地質調査法の現状と問題点」について2件の報告が行われた。

「道路のり面台帳作成様式」では、作成中ののり面台帳の概要紹介が昨年度に引き続き行われた。

「第四紀断層の調査法」では、土木技術資料、第29巻、第6号に掲載された同名の報文(桑原啓三著)が資料として配布され、第四紀断層調査法の要点が説明された。なお本議事録には当日行われた質疑応答のみが収録されている。

「アルカリ反応性骨材及び粘土鉱物含有骨材の取扱い」は、アルカリシリカ反応を生じる骨材の概要と暫定対策及びモンモリロナイト含有骨材がコンクリートに及ぼす影響を説明したものである。

「貯水池周辺の地すべりの調査法」では調査法の指針原案の内容が紹介された。

「物理探査法の現状と問題点」では新技術を導入した物理探査法の概要と現地における調査例が報告された。

「ダムにおける新しい調査法の適用例」では地質調査手法及び地質調査機器に関する情報、それらの手法や機器のダムの地質調査への適用性が紹介された。

ここに当日提出された資料と討議内容をまとめて、今後の参考に供しようとするものである。なお、当日の議事のタイトルと本議事録のタイトルは異なっているものがあるので御了承いただきたい。

昭和63年3月

地質研究室長 市 川 慧

目 次

まえがき	i
議 事 次 第	v
出席者名簿	vi
開会の挨拶	viii
技術審議官挨拶	ix
土木研究所長挨拶	xii
閉会の挨拶	xiv

議 事

I. 指針・全国調査等の動き

1. 道路のり面台帳作成様式について	1
2. 第四紀断層の調査法	7
3. アルカリ反応性骨材及び粘土鉱物含有骨材の取り扱い	11
4. ダム湛水に伴う地すべりの概査調査検討資料	47

II. 新しい地質調査法の現状と問題点

1. 物理探査法の現状と問題点	81
2. 土质地質分野における新しい調査法等についての検討	109

III. 総合討論

総合討論	165
------------	-----

第 21 回地質担当者会議次第

1. 日 時：昭和 62 年 12 月 11 日(金) 10 時～16 時 30 分

2. 会 場：麴町会館（東京都千代田区平河町 2-4-3 TEL (03)265-5361）

3. 会議次第：

(1) 開会挨拶 10:00～10:05

土木研究所 地質化学部長 桑 原 啓 三

(2) 挨 拶 10:05～10:20

大 臣 官 房 技術審議官 布 施 洋 一

(3) 挨 拶 10:20～10:30

土木研究所 所 長 上 條 俊一郎

(4) 議 事

① 指針・全国調査等の動きについて

・道路のり面台帳作成様式 10:30～10:45

土木研究所 地質研究室主任研究員 平 野 勇

・第四紀断層の調査法 10:45～11:10

土木研究所 地質研究室長 市 川 慧

・アルカリ反応性骨材及び粘土鉱物含有骨材の取扱い 11:10～12:00

土木研究所 地質研究室研究員 脇 坂 安 彦

・貯水池周辺の地すべりの調査法 13:00～14:00

土木研究所 地質研究室長 市 川 慧

② 新しい地質調査法の現状と問題点について

・物理探査法の現状と問題点 14:00～15:00

土木研究所 地質研究室主任研究員 稲 崎 富 士

・ダムにおける新しい調査法の適用例 15:00～16:00

水資源開発公団 試験所第三試験課長 神 尾 重 雄

③ 総合討論 16:00～16:25

(5) 閉会挨拶 16:25～16:30

土木研究所 地 質 官 大 木 達 夫

第 21 回 地 質 担 当 者 会 議 出 席 者 名 簿

[illegible]

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
関 東 地 方 建 設 局	宮ヶ瀬ダム工事事務所 利根川ダム統合管理事務所 〃 鬼怒川ダム統合管理事務所	調 査 設 計 課 調 査 課 〃 管 理 第 一 係 長	堀ノ内 義博 堀内 哲夫 桜田 満弘 小澤 秀弘
北 陸 地 方 建 設 局 [3名]	新潟国道工事事務所 飯豊山系砂防工事事務所 北陸技術事務所	調 査 課 長 副 所 長 〃	岩立 忠夫 佐藤 忠久 庄司 正憲
中 部 地 方 建 設 局 [3名]	企画部技術管理課 河川部河川計画課 道路部道路計画第一課	施 工 調 査 係 長 調 査 係 長	渥美 満康 川瀬 宏文 田島 功
中 国 地 方 建 設 局	企画部技術管理課	課 長 補 佐	沖本 晃次
四 国 地 方 建 設 局	企画部技術管理課	検 査 係 長	亀山 忠
九 州 地 方 建 設 局 [4名]	河川部 〃 河川計画課 〃 〃 企画部技術管理課	建 設 専 門 官 課 長 補 佐 調 査 第 二 係 長	津沢 正晴 眞崎 宗也 井原 邦明 榎田 男
北 海 道 開 発 局 [2名]	土木試験所地質研究室 〃	副 室 長 主 任 研 究 員	鈴木 哲也 西川 純一
沖 縄 開 発 庁 沖 縄 総 合 事 務 局	北部ダム事務所 開発調査二課	開 発 調 査 係 長	奥 秋 芳 一
日 本 道 路 公 団	技術部道路技術課		相 草 忠 一
首 都 高 速 道 路 公 団	計画部調査課		滝 沢 義 郎
阪 神 高 速 道 路	工務部設計課		松 本 雅 治
水 資 源 開 発 公 団	試験所第三試験課 第二工務部技術管理室	課 長	神 尾 重 雄 小笠原 漢
本 ・ 四 連 絡 橋 公 団	設計部第三課	課 長	高 田 志 郎

合計70名

開 会 の 挨拶

土木研究所地質化学部長 桑 原 啓 三

おはようございます。本日は年末のお忙しいところ、またお寒い中を御参集いただきまして大変ありがとうございます。

本日は指針、全国調査等の動き及び新しい地質調査法の現状と問題点について、16時30分まで用意してございます。活発な御議論をいただきまして盛会にしていきたいと思っておりますので、よろしくお願いいたします。

それではただいまから第21回地質担当者会議を開催いたします。

挨拶

大臣官房技術審議官 布施 洋一

おはようございます。ただいま御紹介いただきました大臣官房の布施でございます。本日、地質担当者会議が開催されまして、皆様お忙しいところお集まりいただきましてありがとうございます。また日ごろ私も担当いたしております建設行政あるいは建設事業につきましては、平素から御尽力賜っていることをまずお礼を申し上げたいと思います。

ただいまもお話ございましたように、この地質担当者会議は21回目を迎えられるということで、この間、時宜に応じた話題について御議論を重ねてこられたと思います。本日の議事につきましても、議案書を拝見いたしますと、いろいろな指針、全国調査、あるいは新しいものへの取り組みということが織り込まれておられるようでございます。こういう会議を通じた今までの成果もいろんな面で利用させてきていただいているわけですが、今後とも、また、得られました成果を着実に活用しながら事業に反映させていきたいと思うわけであります。

ただいまもお話ございましたように、せっかくの機会ですので、ぜひ皆様方活発な御議論をいただいて、有益な会議にしていきたいと思いますと思うわけでございます。

せっかくお時間をいただきましたので、最近の話題と申しますか、考えていること等を若干述べさせていただきますと思います。

御存知のように、私ども官房の技術調査室はもろもろの仕事をやらせていただいておりますが、中でも大きな一つの柱となっておりますのがいわゆる技術開発、あるいは研究開発といったような仕事でございます。技術開発の中ではこれはもう既に御存知と思いますが、いわゆる総プロといわれております総合技術開発プロジェクトが技術開発の中心であるわけでございます。

昭和47年から始めてまいりまして現在までに18課題を完了したという状況でございます。現在8課題進行中でありまして、1課題5年ぐらいの目標で、その時期において最も期待されている共通的な、規模の大きい課題を取り上げて皆様方にも御協力いただきながら進めてきているわけでございます。

現在、62年度から新しい課題に入っております、地下空間の問題、災害情報システムの問題、長寿社会を迎えるに当たっての居住環境の問題、この3つを新たに始めているという状況下にあるわけであります。

また来年度からは時宜に応じました、例えば新素材、新材料も現在財政当局に要求中でございまして、暮れには方針が得られると思っている次第でございます。

いずれにいたしましても、そういう新しい問題に取り組んでまいりたいと思っております、きょう御出席の皆様方には、今申し上げました中での特に地下空間の問題についてはいろいろと御協力いただくことにいたしておりますし、また今後も御尽力賜りたいと思うわけでございます。

この問題は、実は建設省のニューフロンティア懇談会というものを設けまして、三菱総研の牧野会長に座長をお願いして、約1年間議論をしていただきました。いわゆるニューフロンティアと称するものを、宇宙、海洋、地中の3つの分野ととらえまして、それぞれについての建設省としての、あるいは建設事業としての

取り組みの方針についての御答申をいただいたわけですが、この中で地中につきまして、一番力を入れていくべきところかなという感じがいたしているわけであります。総プロとしては、62年度から取り上げているわけですが、地中の利用技術ということで、来年度からは地中のもろもろの情報に関しても取り組んでいきたいと思っております。

実は、別建てで予算要求したいと思ったんですが、なかなか予算要求上のテクニックもございまして、従来の地中総プロの中でいわゆる地下情報、地中情報についても来年度から取り組んでいくようにいたしたいと思っております。御出席の皆様方にもかかわりが深い面もあろうかと思しますので、よろしくお願いしたいと思えます。

技術開発の面で今総プロのお話を若干申し上げましたが、そのほかでも技術開発を進めるに当たっていろんな制度を考えております。新しい制度として今年度から2つほど発足せしめました。1つは技術活用パイロット事業というものでありまして、各地方建設局において今年から始めていただくことにいたしております。これは新しい技術、特に民間で開発されました新しい技術を直轄事業の現場で積極的に使ってみるということでございます。とかくこのような方針がはっきりいたしませんと、新しいものに取り組むに当たってちゅうちょする雰囲気もあるため、むしろ新しいものに取り組む前向きな姿勢を示したいという意味合いも含めたものでございます。

第2点といたしましては、従来から建設技術の評価といったものにつきましては評価制度がございまして、かねてから評価を行ってきているわけであります。恐らく三十数課題終わってきており、年間4課題ぐらいずついわゆる技術評価を行ってまいりました。

ただ、これはテーマとか、開発目標といったようなものは官側がセットいたしまして、官側の要請に基づいてそれに対し民間側から技術開発をしていただく方策のものであったわけですが、年間4課題であります。と最近の技術の進歩に追い付けないということもあります。また官主導といったような面が強く出ておりますので、こういう点の反省をふまえた取り組み姿勢のもとで今年度から民間開発建設技術審査証明事業というものを始めました。

これは、民間で開発されましたもろもろの技術につきまして建設大臣が指定する機関が審査証明をするもので、工法、材料、あるいは機器、いろんなものの分野にわたっており行うことといたしているわけでございます。こういうことが、建設技術の進歩につながれば大変ありがたいと思っておりますので、この制度に関しましてはやはり御出席の皆様方におかれましてもいろいろと関連する分野、あるいは御参画いただく分野もあろうかと思しますので、こういう制度を始めていることを御記憶賜りたいと思えます。

次に、最近の諸情勢につきまして若干の希望を述べさせていただきたいと思えます。皆様方には、今年度も内需拡大ということがございまして、前倒し補正予算等でいろいろと関連あるいは直接・間接に御苦労いただいているわけでございます。こういう世の中でございますので、来年度以降もまたこういった姿勢は続いていき、内需を重視した経済社会に移っていくに当たり、やはり建設事業の占める役割というものはますます大きくなっていくんだらうと思うわけであります。

一方、建設事業につきましても、やはり内容は刻々変化をしているという感じがいたします。特に従来からありますような、いわゆる際といいますか、間といいますか、現在は際の時代というか、際のない時代と

いうのでしょうか、間の問題が重要視されてきているのではないのでしょうか。

例えば建設省でいいにしても、道路、河川、土地といったような従来からの分け方があるわけですが、そういう分け方ではカバーできない分野、あるいはその間の分野が重要になってきていると思うわけであります。

そういう意味合いから皆様方も、今日は地質担当者ということではありますが、もちろん地質だけをおやりになっているとは思いますが、こういう観点から広く御認識をいただきたい。あるいは周りのことについて広く御関心を寄せていただきたいと思うわけであります。

例えば、きょうの地質の問題にいたしましても、当然私どものつくります構造物とは密接不可分のものがございます。その辺は当然御関心いただくといいたしましても、そのほかの問題点についてもやはり世の中の動き、建設業をめぐる動きといったものについても御関心を寄せていただきたいと思うわけであります。特に、これも直接は関係ございませんけれども、今建設業をめぐる非常に大きな話としては、いわゆる外国企業への開放の問題といえますか、参入問題がございます。いわゆる国際化の問題であります。建設業あるいは私どもも含めまして、国内で平和に過ごしてきたというのが実態だと思いますが、これから外国からの参入希望も多々ございます。単に業としての参入もありますが、一方技術としての問題というものも当然出てくるだろうと思います。いつまでも閉鎖的な付き合いということで終始できるとは思いませんが、そうなった場合は、技術力で勝負をすることが極めて重要になると思うわけであります。

こういうような国際的な問題もございますので、そういったことも踏まえながら日ごろのそれぞれの場所におきまして御精進賜ればありがたいと思うわけであります。

とりとめもないことを申し上げましたが、最初にもちょっと触れましたように年に1回だそうでございますが、皆様方おそろいでございますので、ぜひ活動な御議論を重ねていただくようお願いいたしまして、簡単でございますがごあいさつにいたします。

挨拶

土木研究所所長 上 條 俊一郎

御紹介いただきました上條でございます。名簿を拝見いたしますと、この会議には全国各地からお集まりのようでございます。私たち建設省の現場の地建はもとより北海道開発庁、沖縄開発庁、それから関係公団の地質担当者の方々、それから土研、本省というコースでありまして、朝早くから御苦労さまでございます。

この地質担当者会議の目的は、このように全国から地質を担当されております研究者の方々が一堂に会し、技術情報の交換とか、それを通じて行政執行上の指針、また基準というものを御検討いただく会議でございますが、この数年のここにおきます取り上げた課題を拝見いたしますと、ダムとか、トンネルとか、法面災害等々の問題が多いようでございます。

例えばダム建設に関係します問題、第四紀層断層問題、ダムの貯水地におきます地すべりの問題、トンネルにおきます NATM 工法の問題、さらにはコンクリート骨材の性質に関する問題等ございまして、昨年におきましてはここでボーリングコアの全国的な統一データ収集をしようという話があったと記憶しておりますが、そういうことで、この会議を通じまして過去いろいろな基準等ができて、業務の執行を順調にできたのでございます。

この会議は年に1回ございますが、回を重ねまして今回21回でございますけれども、非常に経験的要素の多い地質につきまして全国各地から現場の情報を集めまして、ここで御討議をいただき、いろいろの報告をし、基準がしっかりとなされることは非常に事業にとって関心のあることでございます。

そこで、先ほど審議官から今の情勢等につきましての御開陳等がございましたけれども、地質に関する議論と申しますのは私、昨年実は技術審議官の立場でお話し申し上げたのでございますが、非常に多くの業務に関係しているものでございます。例えば、ダムにおきましてはダムサイトの決定、工法の決定、それから工期、工費等につきましても使命を決めますのは地質でございますし、皆様方地質屋さんの判断が最優先するものでございます。

また、トンネル等におきましても、先行しますのは地質調査でございまして、その判断によりましてルート工法の変更等々がございます。私の経験では、近いところで静岡にあるトンネルで、当初決めたルートがボーリングによりましてシフトするというようなこともやはり地質に左右されるものでございまして、非常に大きな問題を抱えている分野でございます。

橋梁の基礎等におきましても、地質ボーリングの状況によりまして基礎経費が変わってくる。それによって橋のタイプが変わるということで、非常に多くの事業をやっております我が建設省の建設業務につきまして、その工費、工法、さらには工期まで左右するのが地質、またその御判断でございます。

そういうことで、非常に重要な分野に関係します皆様方の会議でございますが、それだけに十分御審議いただきたいというふうに考えております。

土研におきましては、先ほど技術審議官から御紹介がございました総プロ等につきましては地中空間開発利用の問題とか、コンクリートの構造の耐久性の問題等々に取り組んでおりますし、ほかに研究部、研究室

におきまして一般的な課題といたしましてはダム基礎の評価の問題、斜面災害に関する問題、地震防災問題等々の研究を進めてございます。

私、土研にひょんなことで1年前に赴任したのでございますが、なかなか優秀な研究員が適切なテーマで取り組んでおりますことを拝見いたしまして、感心もし、安心もした次第でございます。きょう、この席には大勢の土研の私たちの仲間が来ておりまして、それぞれ立派な研究を通じまして、この会議におきまして御意見等を申し上げると思いますが、これからも土研に御協力いただきたいと思いますと思っております。

ただ、地質といいますものは、やはり現場の情報が重要でございます。地建とか関係する機関の方々が現場で経験されましたいろんな情報、これを御検討、御審議いただきたい、研究されたい。それが土研と協力して過去も現在も行われているのでございますが、こういう協調態勢はこれからも十分御協力いただきたいと考えております。

先ほど審議官からグローバルなお話ございましたけれども、我が国におきましてこの6月に四全総が策定されまして、この中におきましては、安全で潤いのある国土を形成する。そのために交通ネットワークの整備によって活発な交流を通じて多極分散型の国土を形成するというのが目標でございます。2000年、今から15年後の昭和75年を目標にいたしまして、スタートするための閣議決定がされたのでございます。

その15年間に基盤整備、これは私たちが主に関係する分野でございますが、国土基盤整備に1,000兆円という金が官民合わせて投入されるというふうに想定してございます。官民合わせてでございますけれども、今、我が国の建設業の事業費は五十数兆でございます。そのうちの二十数兆が土木関係でございますが、これからの事業量等の増加によりましては実行可能であろうという額でございます。

この1,000兆円の額と申しますのは、今、外国企業参入問題がございます東京横断道路が1兆円のプロジェクでございます。明石も1兆円でございますので、これが約1,000個という非常に膨大な額でございます。これがこれから事業化、つまり現場で仕事になるわけでございます。道路であり、ダムであり、都市におきましては地中問題にまで発展すると思いますが、このような大きな、経験しない事業がこれから繰り広げられる日本でございますので、ますます皆さん方のお力が発揮される場がふえるということでございますので、このような将来にわたる御認識も踏まえながら、この会議で前向きなお話をいただき、適切な指針を出していただきたいというふうに考えるわけでございます。

本日は、議題を拝見いたしますと、道路法面台帳の様式の決定とか、アルカリ骨材反応問題とか、貯水地周辺の地すべり調査、また新しい地質調査法の現状の問題点等々ございまして、時宜に即したお話でございますが、十分御審議されまして、有意義な会議になりますことをお祈りいたしましてごあいさついたします。どうもありがとうございました。

閉会の挨拶

土木研究所地質官 大木 達夫

土木研究所地質官の大木でございます。

きょうは、朝早いうちから一日大変御苦勞さまでございました。最後に当たりましてごあいさつということですが、きょう一日の話を振り返り、若干コメントさせていただきましてあいさつにかえさせていただきますと思います。

この会議は、最初にもいろいろ話が出ましたように、全国ベースで進んでおります調査とか、いろんな基準、要領的なものの情報交換が大きな一つのテーマになっており、また最近の新しい技術関係の情報という二本建てみたいな内容になっておりまして、きょうは最初の方に関係します問題が4つありました。

今も調査官から御意見がありました道路法面台帳に関係いたしましては、非常に行政上といえますか、道路管理上の意味が非常に大きいわけでございまして、それにあわせて調査データの集積といった両方の大きな意味を持っておるわけでございます。我々の方としましては、土木研究所でございますのできめ細かいデータが欲しいわけでございますが、その辺の調整が図られまして現在電算への試行がなされているという段階だということです。ただいま調査官からもありましたように、これの本当の実施に当たっては相当の作業量が予想されます。その作業態勢とか予算措置等につきましては早急に本省等とも協議をして、実施に当たって問題が起こらないように考えていきたいと思っております。

2番目ですが、第四紀断層調査法、これはご存じのように59年に一応ガイドラインが出ております。説明にもありましたように、実施に当たりましてはいろいろ難しい点があるかと思っております。個々の事例でいろいろ相談させてもらいたいと思っておりますので、よろしくお願いします。

3番目ですが、骨材の耐久性、これは一般論でいろいろありましたけれども、アル骨に関係しましてはここで説明がありましたように、既にいろいろ指針が出ております。ここでは後半といえますか、第2部でありました粘土鉱物、この辺につきましてはまだ情報が非常に少ないわけでございますので、我々の方も鋭意調査、研究をしたいと思っておりますので、現場等でちょっと気になるということがありましたらぜひ情報の交換をお願いしたいと考えております。

4番目の貯水地周辺の地すべりでございますが、これも説明にありましたように、間もなく、再来年ぐらいになりますか、マニュアルとして、指針という形になりますが、皆さんの方にお手渡しできることになると思っておりますので、当面の間は一つのガイドラインということで見ていただきたいと思います。評価の点につきましては非常に難しいこともありますので、これもまた個々のダムの例でいろいろ相談をさせていただきたいと考えています。

それから、新しい調査法ということでございますが、非常に難しいといえますか、それなりの成果は得ておるわけでございますが、まだこれからいろいろ研究を継続いたしますので、ひとつ現場でいろいろな目的を考えていただきまして、どの方法がいいか。もし、これはということがありましたらぜひ試行といった形でやっていただければと思います。

十分な時間がないので最後の総合討論ができませんで申しわけないんですが、これを機会にきょうお集まりの方、また現場のいろんな情報をいただきまして、先ほど調査官からありましたような来年度に向けてのテーマを前もって御連絡したいと思いますので、また御協力の方お願いしたいと考えます。

本日は本当に一日御苦勞さまでございました。以上で終わります。

I. 指針・全国調査等の動き

1. 道路のり面台帳作成様式について

土木研究所地質研究室

平野 勇

I. はじめに

地震や豪雨などの異常気象によって道路のり面・斜面が崩壊し、その対策に予期せぬ多額の費用を要したり、交通に支障を生じ社会経済活動に大きな影響を及ぼす事例は少なくない。道路、のり面・斜面を健全に維持し、交通に対する道路の安全な供用を行うには、のり面・斜面の安定にかかわる諸状況を日頃より把握しておく必要がある。そして、変状が認められる場合は、その進行度と予想される災害発生形態の見極めを行い、それに応じた対策を行う必要がある。それには、個々ののり面・斜面についての情報を、日常的に台帳として整備しておくことは極めて有意義であると考ええる。

道路のり面台帳整備については、まず、台帳様式の作成ならびに整備計画の策定を行うことになるが、台帳様式作成については、昭和61年度において土木研究所地質官、ならびに地質、土質、動土質、地すべり、急傾斜地崩壊、施工の、道路のり面関係の研究室からなる「のり面研究会」において原案を作成し、道路局道路防災対策室ならびに国道第一課、アンケート調査によって各地方建設局道路管理課ならびに工事事務所において検討された。さらに、修正案について第20回地質担当者会議にて諮った。

昭和62年度は、国道第一課において再度修正案についての各地方建設局道路管理課の意見調査がなされ、また、道路管理データベース整備（道路管理データベース整備に関する調査：国道第一課所轄、国土開発技術研究センター受託）との調整を行い、これらをもとに、最終案を作成し本会議に報告することになったものである。

なお、現在、道路管理データベース整備において本道路のり面台帳様式による電算入出フォーマットが作成中であるが、これにかかる技術的な微調整を行っているところである。これらの、作業の完了後印刷物として取りまとめるので、台帳作成にあたってはこれを利用されるとよい。

II. 台帳の概要

1. のり面台帳の構成

- (1) 基本台帳（区間総括表、路線図、調査表、図面類、写真）：平常時調査
- (2) 被災台帳（区間総括表、路線図、調査表、図面類、写真、気象データ）：被災時調査

2. 作成対象

(1) 基本台帳

- ① 防災点検箇所となつたのり面、斜面
- ② 切土、盛土のり面とも直高5m以上、5m以下は変状等有るとき
- ③ 斜面は過去の被災箇所、変状箇所、危険箇所

(2) 被災台帳

永久構造物等（モルタル吹付工、のり枠工、落石防止柵工等を含む）による復旧を必要とするような規模の被災箇所

3. 作成方法

(1) 基本台帳

- ① 既設道路：既存資料，空中写真判読，現地踏査
- ② 新設道路：既存資料，空中写真判読，現地踏査，施工時地山観察

(2) 被災台帳

既存資料，基本台帳，現地踏査，気象観測資料，空中写真判読

4. 記入範囲の区分

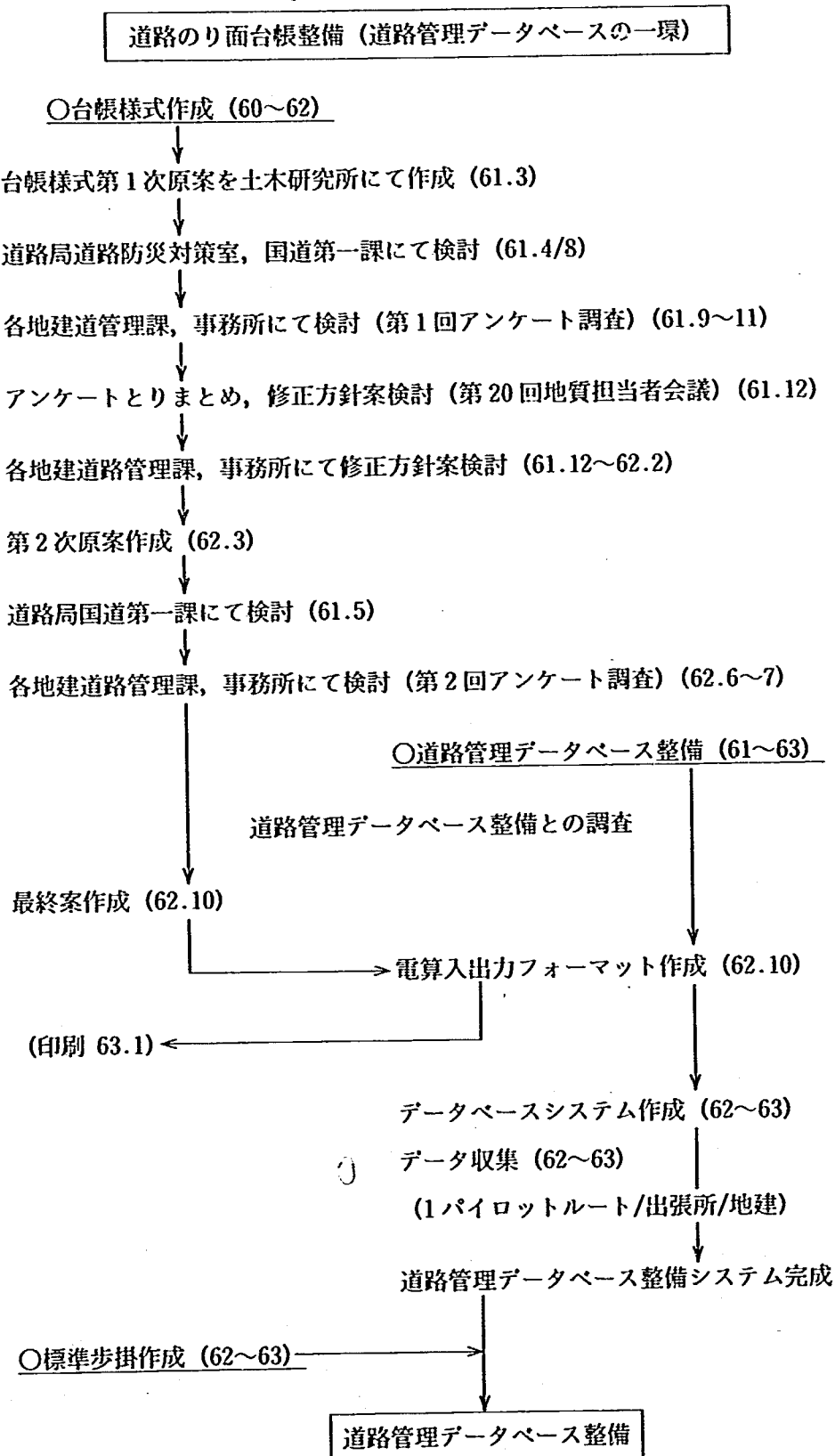
(1) 基本台帳

- ① 基本調査1：該当すれば必ず調査するもの
- ② 基本調査2：新設で該当すれば必ず調査するもの
- ③ 詳細調査：本台帳による調査方法では記入できないときもあるもの

(2) 被災台帳

- ① 基本調査：該当すれば必ず調査するもの
- ② 詳細調査：本台帳による調査方法では記入できないときもあるもの

III. 検討の経過および計画



2. 第四紀断層の調査法

土木研究所地質研究室

室長 市川 慧

質 疑 応 答

司会 ただいまの第四紀断層の調査法の議題につきまして質問・討議等ございましたらお願いいたします。

熊木(国土地理院) 質問ではなくてお願いですが、コンサルタントの方でこういった調査をされた報告を2, 3見たことがあるんですが、中にまるで定規で引いたようなリニアメントが、いろんな方向にめったやたらに引いてあるのがときたまございます。これは断層に限らないと思うんですが、線状の地質構造が地表の平面図でどうトレースされるかという地質学のごく初歩の問題が必ずしもわかってないんじゃないかと思うようなものがありますので、そういったものをもとにして一つ一つ吟味するとか、議論するのはかなり問題があるんじゃないかと思うんです。地質研究室はコンサルタントを御指導される機会が多いと思うんですが、そういうときに、今言ったような問題がないように御指導していただければ効率的な調査なんかもできるんじゃないかと思いますので、お願いいたしたいと思います。

市川 わかりました。ありがとうございます。実際に調査はコンサルタントが発注を受けてやることになると思います。落ちがないようになるべく細かいものも拾えという話をするんですが、最初拾って、その次にそれをどう考えるかという話のときに、それなりに地質としての正式の判断というものがあろうと思いますので、余り機械的に何でも拾えという話を強調しますとそういうことになってきたりすると思います。なかなか、こういう拾い方をしなさいという調査の規範がづくりにくいのがつらいんですけども、今おっしゃられたことを十分伝わるようにしたいと思います。ありがとうございました。

3. アルカリ反応性骨材及び 粘土鉱物含有骨材の取り扱い

土木研究所地質研究室

脇坂 安彦

第1部 アルカリ反応性岩石の取扱い

1. はじめに

1982年頃の阪神地区でのアルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の劣化の発見以来、アルカリシリカ反応はコンクリートを劣化させる要因の一つとして注目されてきている。このアルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化は従来、我が国ではないものとされていたが、その後の建設省などの調査では、アルカリシリカ反応によって劣化した構造物は各地で見出された (Wakizaka *et al.*, 1986; 桑原ほか, 1986)。このため、反応に関する対応が必要となり、建設省大臣官房技術審議官より「アルカリ骨材反応暫定対策について」という通達が出され、1987年4月1日より実施されている。

ここでは、アルカリシリカ反応の概要と通達の内容について述べる。

2. アルカリ骨材反応とは

アルカリ骨材反応とは文字通りセメント中のアルカリ分と骨材との間の化学反応である。反応は次に示すようにアルカリシリカ反応、アルカリ炭酸塩岩反応、アルカリシリケート反応に区分される。

1) アルカリシリカ反応

現在、我が国で被害を起こしている反応はアルカリシリカ反応である。アルカリシリカ反応は3つの反応のうち最初に見出されたものである。最初に発見したのは Stanton で、被害を受けていたのは米国カリフォルニア州 Salinas Valley の道路のコンクリートであった (Stanton, 1940a)。このコンクリートには骨材として頁岩とチャート (川砂利) が含まれていたようである。

この反応はコンクリートの細孔溶液中の水酸化アルカリ (NaOH や KOH など) と、骨材中のシリカ成分 (SiO_2) との間に生じる。一般に石灰岩などの一部を除いた岩石は、 SiO_4 四面体を骨格としたケイ酸塩鉱物の集合体である。ケイ酸塩鉱物の中には SiO_2 のみから構成されているシリカ鉱物と呼ばれるものがある。図-1 はシリカ鉱物を模式化して示したものである。シリカ鉱物の表面は水分があると水和をして図-2 に示すような状態になっている。この表面部分に水酸化アルカリとして NaOH が加わると次式のような反応が起こる。

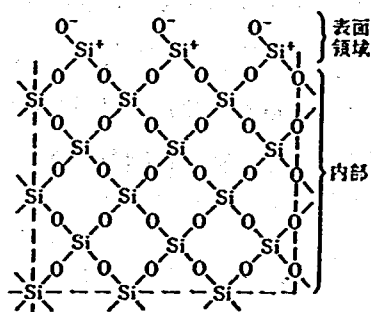


図-1 結晶シリカの構造
(川村・中野, 1986)

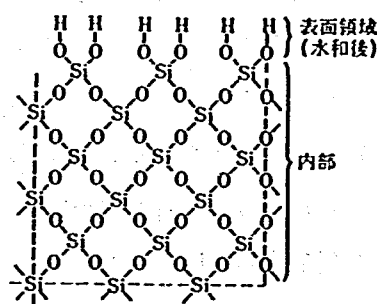


図-2 表面が水和した結晶シリカの構造
(川村・中野, 1986)

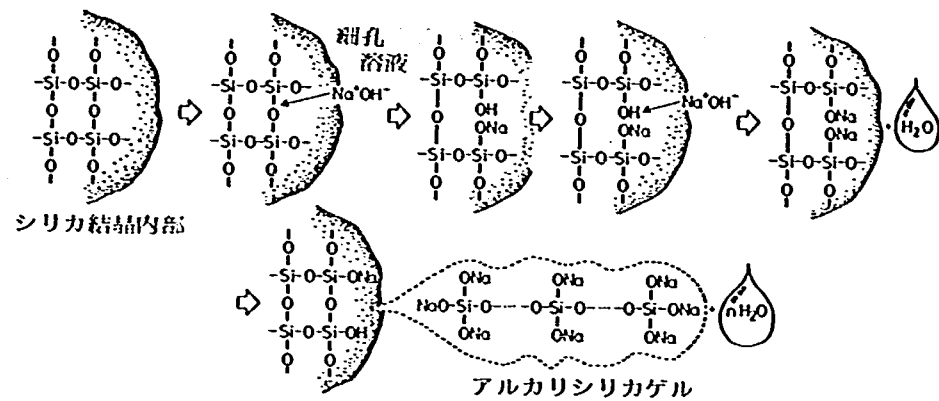
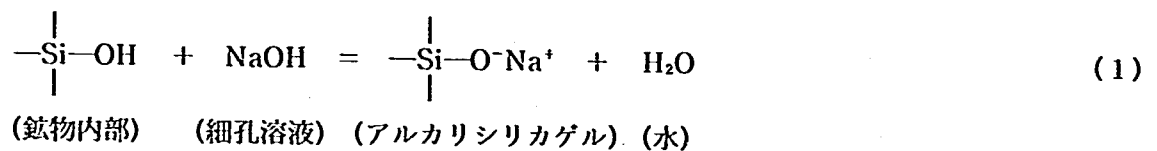
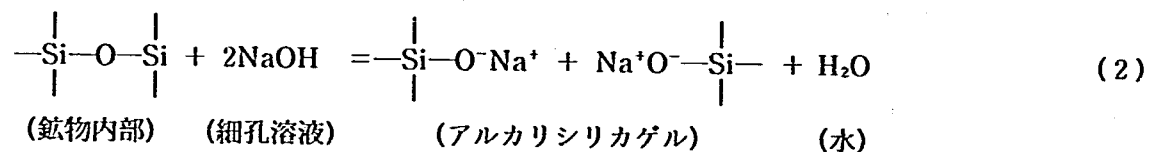


図-3 結晶シリカ内部でのアルカリシリカ反応の進行



NaOH の濃度が高いときには、反応は鉱物の内部まで進行し Si—O—Si の結合を切断して(図-3)、次々にアルカリシリカゲルが生成されていく。この反応は次のように表わせる。



このようにして生成されたアルカリシリカゲルが吸水をして膨張する。このゲルの膨張によってコンクリートにひびわれが入るのである。すなわち、アルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化過程は、

- (1) 上式のような化学反応によるゲルの生成過程
- (2) ゲルの細孔溶液吸収による膨張過程

の2過程に区分できる(川村・中野, 1986)。これらの過程は同時に進行するのではなく、(1)が十分進んだ後に、(2)の過程が始まるといわれている(川村・中野, 1986)。以上に示したように反応には骨材中のシリカ成分、細孔溶液中の水酸化アルカリ、水が必要で、3者のうちいずれかが欠けても反応は生じない。

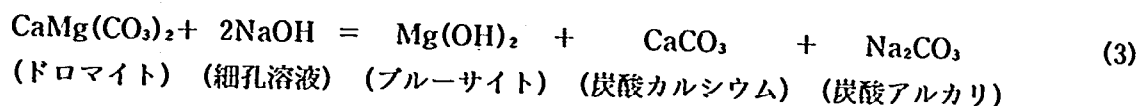
アルカリシリカ反応を生じた構造物には、亀甲状のひびわれ(鉄筋のあるものでは、ひびわれは主鉄筋方向に卓越する)が入る、アルカリシリカゲルの浸出(白色または透明の反応成物、透明な場合はコンクリートが湿って見える)がみられるなどの特徴がある。

2) アルカリ炭酸塩岩反応

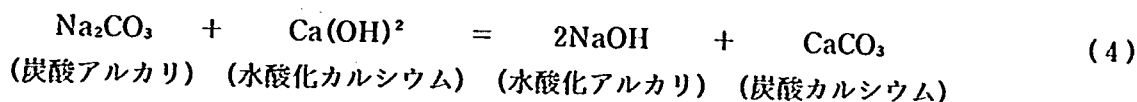
この反応は、Swenson (1957) によって初めて報告されたものである。日本国内では今のところ反応による構造物の劣化の例は報告されていない。

反応は石灰岩などに含まれているドロマイト(苦灰岩, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)とコンクリート細孔溶液中の水酸化アルカリとの間に生じる。メカニズムには不明な点も多いが、(3)式のように表わせると考えられている(水

酸化アルカリを NaOH にした場合)。



反応によってブルーサイトが生成されるが、これが膨張するのである。また、反応で炭酸ナトリウムなどの炭酸アルカリも生成されているが、これが(4)式のような反応によって再び水酸化アルカリとなり、さらに反応に消費されるのである。



また、アルカリ炭酸塩岩反応の膨張には(3)式のような化学反応のほかに、ドロマイト質石灰岩に含まれている粘土鉱物とアルカリとの反応による膨張もあるといわれている(中野, 1986)。

この反応によって劣化した構造物には、ひびわれが入る。場合によってコンクリートの空隙にて2次的析出物として、炭酸カルシウム・水酸化カルシウム・エトリンガイトなどがみられるが、アルカリシリカ反応と異なってアルカリシリカゲルの浸出は認められない。前述のように我が国における被害例の報告はないが、アメリカやカナダなどではアルカリシリカ反応より構造物に致命的な被害を及ぼす反応として問題視されている。

3) アルカリ・シリケート反応

この反応はカナダのノバスコチア地方で発見された(Gillott *et al.*, 1973)。劣化原因の岩石は、グレイワッケ(砂岩の一種)・粘土質岩・千枚岩であった。これらの岩石による膨張はパーミキュライトという膨潤性粘土鉱物の一種によるものといわれている。しかし、この反応は本質的にはアルカリシリカ反応と同じであるという説(Mather, 1976)や、パーミキュライトを含まないグレイワッケによる膨張の発見(Dolar-Mantuani, 1975)などもあって、アルカリシリケート反応の存在は不確定なものとなりつつある。日本国内ではこの反応による被害例の報告はない。

3. 骨材のアルカリシリカ反応性

アルカリシリカ反応では前節のように骨材中のシリカ成分が反応物質の1つになっている。このため、反応性を有している骨材はシリカ成分を含んでいる鉱物や岩石ということになる。

鉱物的にみるとアルカリシリカ反応性が高いのは、100%シリカで構成されているシリカ鉱物である。シリカ鉱物には石英・クリストバル石・トリディマイト・玉ズイ・オパールなどがある。これらの中でも石英を除いたものの反応性は非常に高い。また、火山ガラスの反応性も高い。シリカ鉱物や火山ガラスの反応性が高いのは、それらの高シリカ含有量や結晶構造に起因していると考えられる(脇坂ほか, 1987)。また、シリカ鉱物や火山ガラス以外の鉱物でも、それぞれのシリカ含有量や結晶構造に応じて図-4のように多少の反応性は有している。しかし、これらの鉱物が反応してもコンクリートに膨張を来すだけの生成物が生じないため、普通は反応性がないとして扱われている。

以上のようなシリカ鉱物を含む岩石には次のようなものがある。クリストバル石・トリディマイト・火山ガラスは、主として安山岩類・流紋岩類などの火山岩類に、玉ズイ・オパールは火山岩類の孔隙中や堆積岩

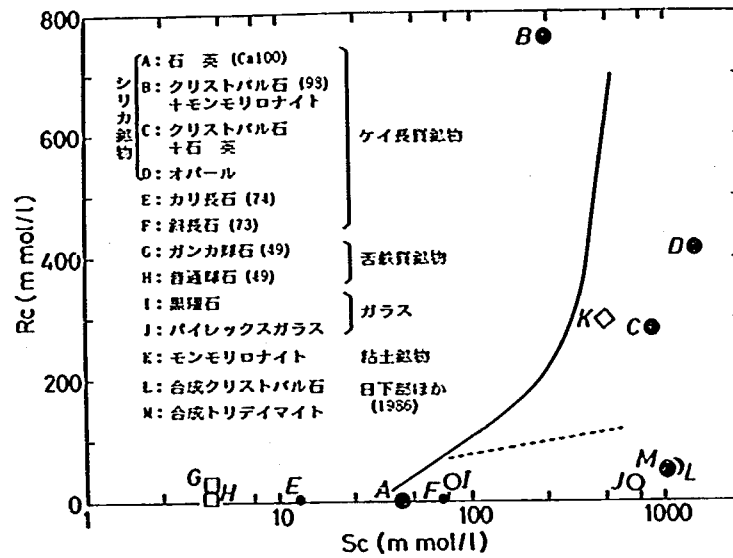


図-4 鉱物のアルカリシリカ反応性 (勝坂ほか, 1987)

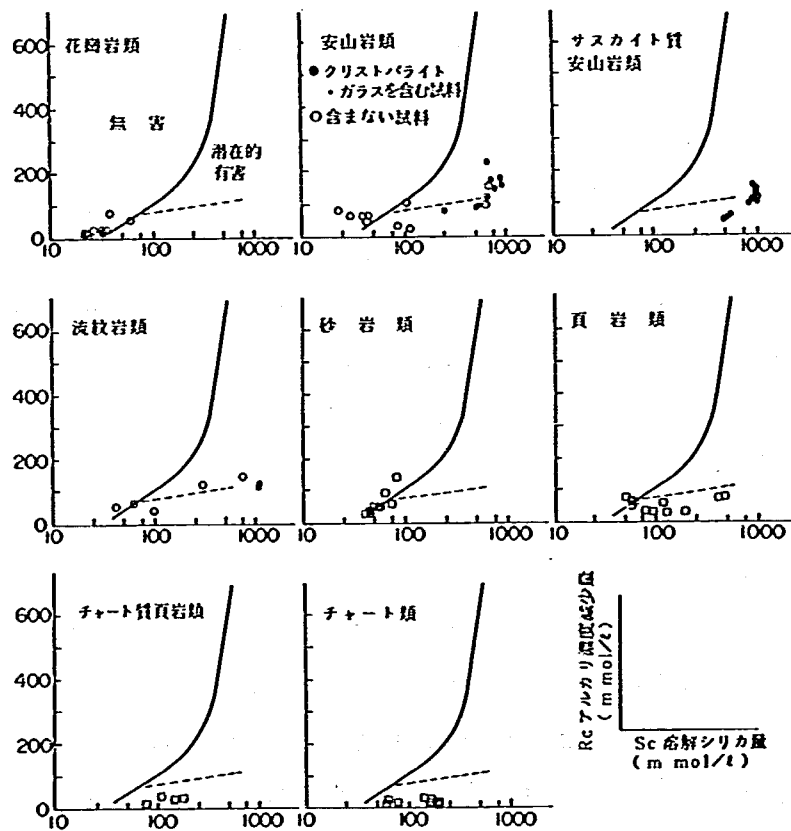


図-5 岩石のアルカリシリカ反応性 (桑原ほか, 1986)

類に、石英は一部の岩石を除いたあらゆる岩石に含まれている。ここで、石英を含んでいる岩石のすべてが高い反応性を示しているのではなく、反応性を有しているのは微細な石英結晶から構成されているチャート類・頁岩類・ケイ質頁岩類などに限られていることに注意しなければならない。チャート類などに反応性があるのは、結晶粒子が微細なためである(日下部ほか, 1986)、石英結晶がひずんでいるためであるなどといわれている。他方、クリスタバル石・火山ガラスを含んでいる岩石の反応性は図-5 のように高い。トリディ

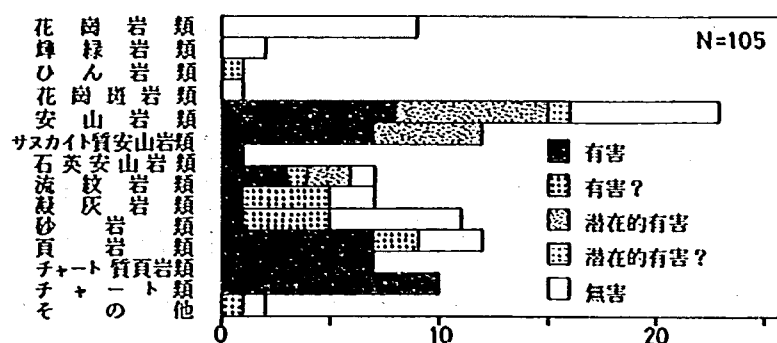


図-6 岩石のアルカリシリカ反応性 (桑原ほか, 1986)

表-1 アルカリシリカ反応性が認められている岩石 (中野, 1986)

No.	岩 石 名	No.	岩 石 名
1	Andesites (安山岩類)	20	Opal (オパール)
2	Arenite (アレナイト)	21	Opal Silicious Limestone (含オパールけい質石灰岩)
3	Argilite (アーザライト)	22	Opaline Chert (オパール質チャート)
4	Arkose (花崗砂岩)	23	Opaline Sandstone (オパール質砂岩)
5	Basalt (玄武岩)	24	Opaline Shale (オパール質頁岩)
6	Beekite (ビーカイト)	25	Phyllite (千枚岩)
7	Chalcedony (玉髓)	26	Quartzite (けい石)
8	Chalcedonic Chert (玉髓質チャート)	27	Quartz sandstone (石英砂岩)
9	Charnockite (茶麻痺石花崗岩)	28	Quartzarenite (石英質アレナイト)
10	Chert (チャート)	29	Quartzwacke (石英質ワケ)
11	Chlorite Sandstone (緑泥石砂岩)	30	Rhyolites (流紋岩類)
12	Dacite (石英安山岩)	31	Rhyolite-Obsidian (流紋岩-黒曜岩)
13	Flint (ひうち石)	32	Schist (片岩)
14	Granite (花崗岩)	33	Siltstone (シルト岩)
15	Granite gneiss (花崗片麻岩)	34	Slate (粘板岩)
16	Granodiorite gneiss (花崗内緑片麻岩)	35	Subarenite (サブアレナイト)
17	Greywacke (グレイワケ)	36	Subgreywacke (サブグレイワケ)
18	Hornfels (ホルンフェルス)	37	Vein quartz (脈状石英)
19	Novaculite (隠微晶質石英)	38	Volcanic Glass Sand (火山ガラス)

マイトを含んでいる岩石についても同様なことがいえる。

いずれの鉱物にも多少の反応性があることを簡単に述べたが、これは換言すると反応性の高低は鉱物の種類によって異なっているということである。このため鉱物の集合体である岩石の反応性にもそれぞれ図-5に示すように鉱物組み合わせによって特徴がある。図-6は日本国内でアルカリシリカ反応による被害を起こしていると考えられる、コンクリート構造物から取り出した骨材の反応性を示したものである。図のように反応性は岩石によってかなり異なっている。チャート質(ケイ質)頁岩・チャート類はすべて有害であり、頁岩類・安山岩類・サヌカイト質安山岩類は有害・潜在的有害なもの率が高い。そのほかに反応性があるといわれている岩石には表-1のようなものがある。以上のように反応性がある鉱物・岩石は多岐にわたっているが、これらのすべてに反応性があるのか、どの位の量が含まれていれば反応性があるのかなどの詳細については不明であるのが現状である。

・後述の ASTM C 289 では骨材の反応性を無害・有害・潜在的有害に区分している。これらのうち無害以外のものに反応性があるといえる。また、構造物コンクリートからの骨材の分離には塩酸を使用しているため、やや溶解シリカ量・アルカリ濃度減少量が大きく出ている(本来、無害なものが有害の領域に入っている)可能性がある(守屋ほか, 1987)。

4. 日本における被害の実態

1) 従来の調査例

日本国内で初めてアルカリシリカ反応による被害が報告されたのは1951年のことである(近藤・北川, 1951)。被害が生じていたのは山形県内最上川に架かる村山橋、長崎橋である。両橋に使用されていた粗骨材は最上川産の頁岩・砂岩・ひん岩・浮岩・凝灰岩等でこれらのうち頁岩・浮岩の反応性が高いことが報告されている。近藤・北川(1951)はこの被害報告と同時に全国各地の骨材の反応性試験結果を報告している。この試験結果から日本ではアルカリシリカ反応を起こす骨材はアメリカ程多くはないと結論されているため、以後、日本ではアルカリシリカ反応はないものとされたようである(しかし、著者らは結語で「最上川砂・砂利の如く反応質骨材があつて村山橋・長崎橋の被害を起こすから、さらに全国的なアルカリ骨材反応試験を行わなければならない。」と述べているのである)。

次に被害が報告されたのは1965年で、鳥取県内の鉄筋コンクリート建物パラペットコンクリートの一部が、アルカリシリカ反応と凍結融解作用の共同作用によりはく離脱落している(村田ほか, 1965)。使用されていた粗骨材は皆生浜産の安山岩の砂利であった。

我が国でアルカリシリカ反応が問題視されるようになったのは、1982年の阪神高速道路の橋脚に被害が発見(阪神高速道路公団・財阪神高速道路管理技術センター, 1986)されてからである。この発見を契機に建設省ではコンクリート構造物の劣化状況の実態調査を行った。

2) 建設省の実態調査の結果

建設省では1984年に全国約2,250件のコンクリート構造物の劣化状況についてアンケート調査を行った。このアンケート調査を分析した結果、92構造物に原因不明のひびわれが生じていることがわかり、これらの構造物について目視実態調査を行った。以下、桑原ほか(1986)に基づいて概要を述べる。

(i) 目視実態調査の結果

調査の結果、亀甲状のひびわれがあるもの、ひびわれから白色の浸出物がみられるものを「アルカリシリカ反応の疑いがある」と判定したところ、その数は79構造物に及んだ。構造物のほとんどは図-7に示すように橋梁である。

構造物の環境条件をみる降雨時に湿潤しているものが圧倒的に多い(図-8)。これらは既述のように膨張には水が必要であるため当然であろう。ひびわれ幅は1.0mm以下のものがほとんどで(図-9)、ひびわれ

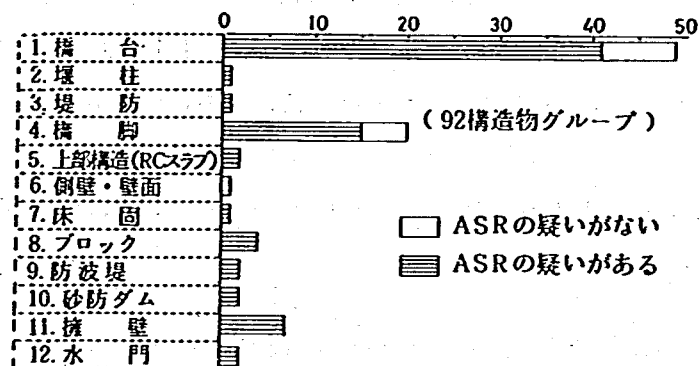


図-7 構造物の被害部位 (桑原ほか, 1986)

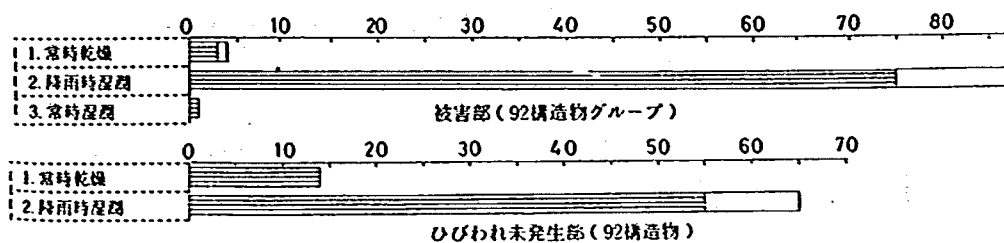


図-8 構造物の水の条件 (桑原ほか, 1986)

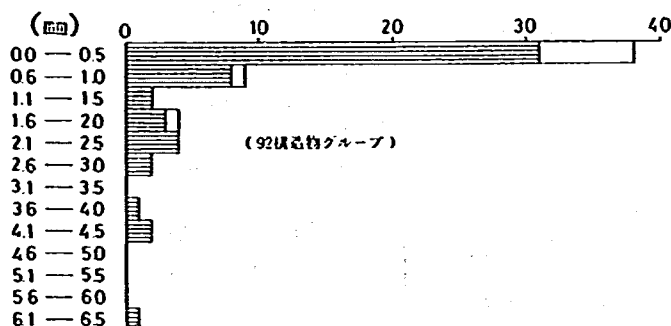


図-9 平均ひびわれ幅 (桑原ほか, 1986)

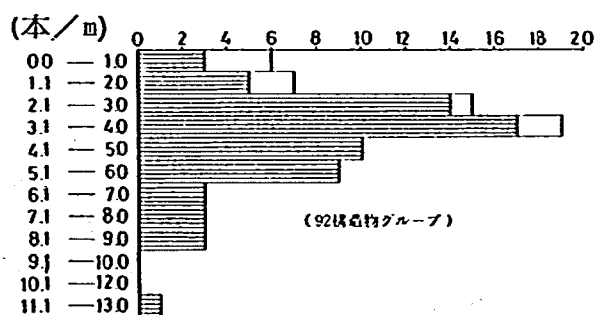


図-10 ひびわれ密度 (桑原ほか, 1986)

密度は2~6本/mに集注している (図-10)。中性化深度は0~5.0 mmのものがほとんどであった。

(ii) コア抜き取り調査の結果

92 構造物の中から 21 構造物を選んでコアの抜き取りを行い、抜き取りコアについての各種の試験を行った。試験結果を表-2 に示すような基準で判定した結果、劣化原因が「アルカリシリカ反応である」とされた構造物が 7, 「アルカリシリカ反応の疑いがある」とされたものが 13, 「アルカリシリカ反応ではない」とされたものが 1 構造物であった (図-11)。

被害を生じている構造物はやはり橋脚が多い。コアから分離した粗骨材の反応性試験の結果は図-6 に示したとおりであるが、「アルカリシリカ反応である」と判定された構造物にはサヌカイト質安山岩類とチャート類が使用されていた。抜き取りコアの膨張量は劣化原因がアルカリシリカ反応であるか否かを判定する重要な指標である。この膨張量と構造物の経過年数との間には図-12 のような関係がある。図のように年数が 15 年以上になると膨張がとまる (すなわち、反応がすでに行われてしまった) 可能性があり、抜き取りコアの膨張量から劣化原因を判断する場合は注意が必要である。

表一 2 アルカリシリカ反応の判定基準 (桑原ほか, 1986)

1) 指標と点数

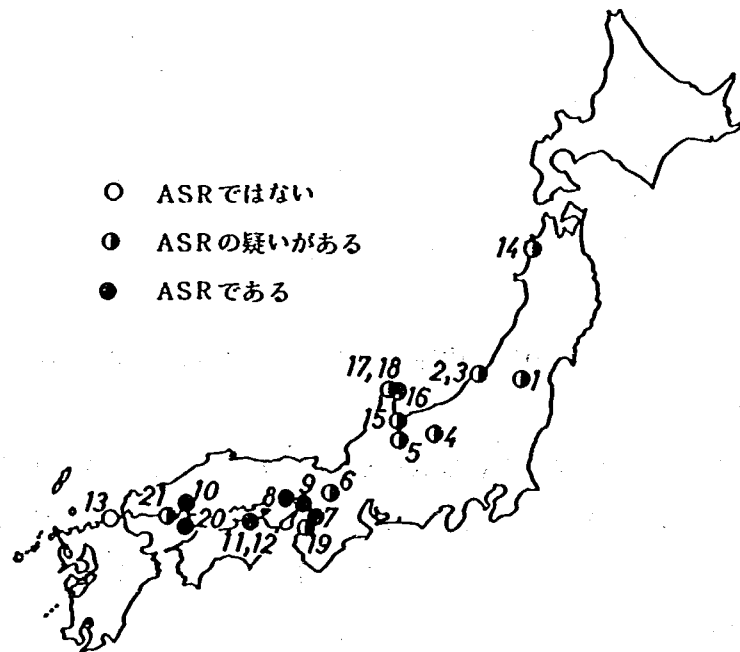
項 目	結 果	点 数
ゾル・ゲル状物質の有無	有	2
	無	0
ゾル・ゲル状物質の化学組成 ^{*1}	シリカ分有	3
	シリカ分無	0
骨材のアルカリ反応性	有害・潜在	2
	無 害	0
コアの膨張量	> 0.05% / 3 カ月	3
	< 0.05% / 3 カ月	0

2) 判 定

合計点数	判 定
6 以上	ASR ^{*2} である
5 ~ 2	ASRの疑いがある
0	ASRではない

*1 ゾル・ゲル状物質の化学組成がわかっている時は、「ゾル・ゲル状物質の有無」の項の点数は加算しない。

*2 Alkali Silica Reaction : アルカリシリカ反応のこと



図一 11 アルカリシリカ反応を起した構造物の分布 (桑原ほか, 1986)

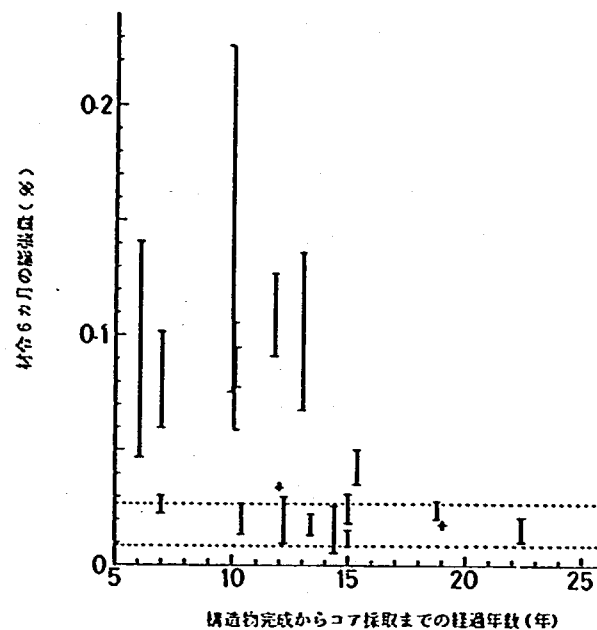


図-12 構造物の経過年数と膨張量との関係 (桑原ほか, 1986)

5. 骨材のアルカリシリカ反応性の確認試験方法

骨材のアルカリシリカ反応性を確認する方法としては、岩石・鉱物的な方法、化学的な方法およびモルタル・コンクリート供試体による方法がある。

1) 岩石・鉱物的方法

岩石・鉱物的方法の基本は、未知の骨材の中にすでに反応性があることがわかっている鉱物や岩石が含まれているか否かを判定することである。しかし、現状では既述のように反応性鉱物・岩石の詳細が不明であるため、本法によってすべての骨材の反応性を的確に判断することはできない。

規格試験としては ASTM C 295, CSA A23.2-15 (両者の内容は同じである) および DIN 4226 がある。ASTM は骨材全般に関する試験方法で、この中にアルカリ骨材反応に関する部分がある。DIN はフリントおよびオパール砂岩について有効な方法である。

ASTM には反応性鉱物・岩石の判定に薄片の観察および X 線回折があげられている。反応性鉱物・岩石は多岐にわたっているために、対象によって方法を選択する必要がある。例えば火山ガラスの検出には岩石薄片の観察、クリストバル石・トリディマイトの検出には X 線回折が有効である。なお、通常の X 線回折ではクリストバル石の検出は困難であるため、NaOH 処理やりん酸処理と X 線回折を組合せた方法が開発されている (中野ほか, 1985; 安・丸嶋, 1985; 名古屋, 1985)。また、反応性のある石英は岩石薄片にて、波動消光角を測定する方法 (Dolar-Mantuani, 1975) が提案されている。さらに反応性のあるシリカ鉱物を判定する方法として赤外線スペクトルを測定する方法 (Hirche, 1975) もある。これらの方法の概要については、脇坂 (1987) を参照されたい。

2) 化学的方法

規格試験としては従来から ASTM C 289 (化学法) が広く用いられてきている。しかし、この方法にはいくらかの難点があったため、これを改良して建設省では暫定試験法を作成している (成田ほか, 1986)。また、

JIS では暫定方法を基に、JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」中に付属書7として試験方法を規格している（1986年10月改正）。

暫定方法のフローを図-13に示す。この方法では粉碎した骨材をNaOHにつけ、反応によって骨材から溶け出てきたシリカ量（アルカリ濃度減少量，Sc）と反応に消費されたアルカリの量（アルカリ濃度減少量，Rc）を測定する。測定結果を図-14に示す図にプロットして反応性を判定する。この判定図はASTM C 289に規定されているもので、化学法と後述のモルタルバー法との結果から作成されたものである*。

判定図の中で無害の領域にあるものは反応性がないもの、有害の領域にあるものは反応性があるものであるが、潜在的有害であるものは場合によっては反応性があるものである。図-15は反応性のあるオパール質シリカと反応性のない骨材とを種々の割合で混合したときの膨張量を示したものである。図のように必ずしも反応性骨材が100%のときに膨張量が最大になるのではなく、ある割合のところで最大となっている。Stanton (1940 b) はこの割合のことをペシマム量と呼んだ。潜在的有害の領域の骨材はこのペシマム量を有しているものである。

ASTM の判定図はアメリカ産の骨材によって作成されたものであり、我が国の骨材にそのまま適用でき

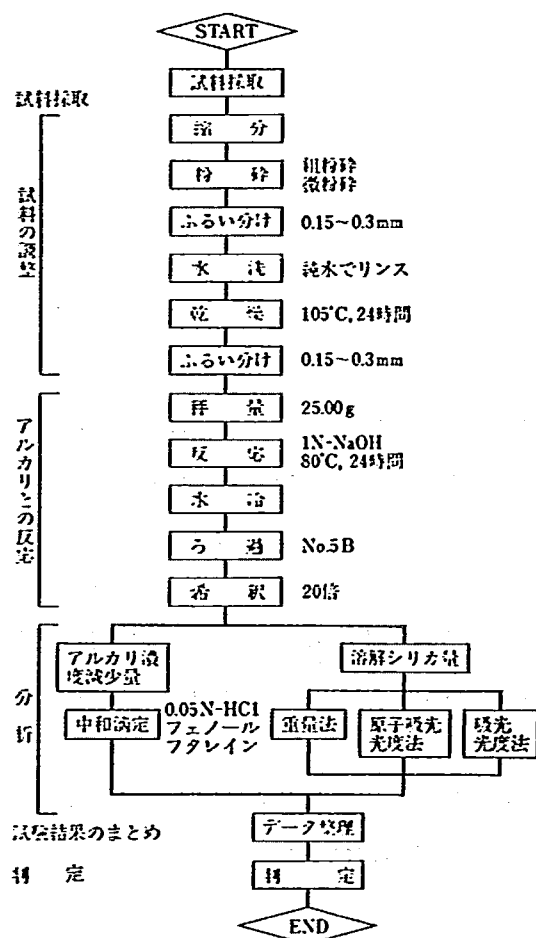


図-13 建設省暫定試験法（化学法）のフロー
（蒔田ほか，1986）

* 判定図の基礎は Mielenz *et al.* (1974) によって作成された。このときのモルタルには 1.3%の Na_2O と 0.12%の K_2O を含んだ高アルカリセメントが使用されている。この Mielenz らの判定図には有害と潜在的有害との境界は示されていない。両者の境界は Chaiken and Halstead (1959) により提案されたものである。

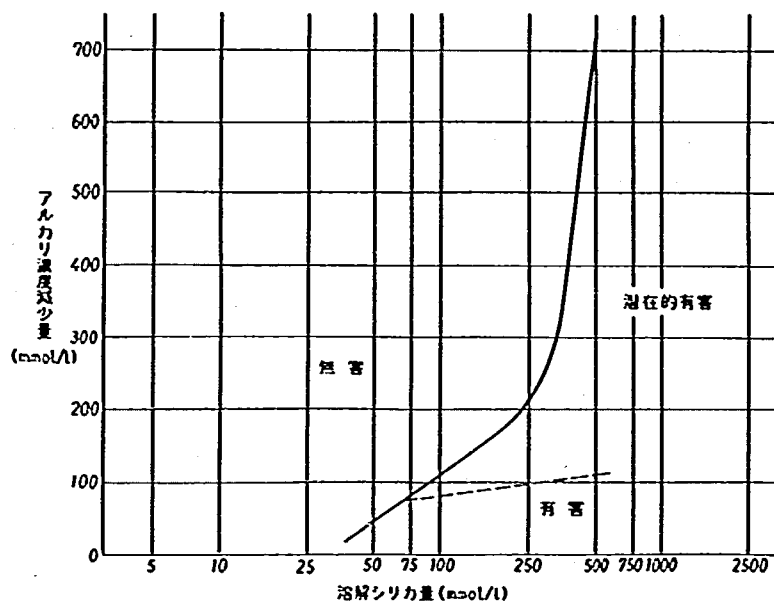


図-14 化学法によるアルカリシリカ反応性の判定

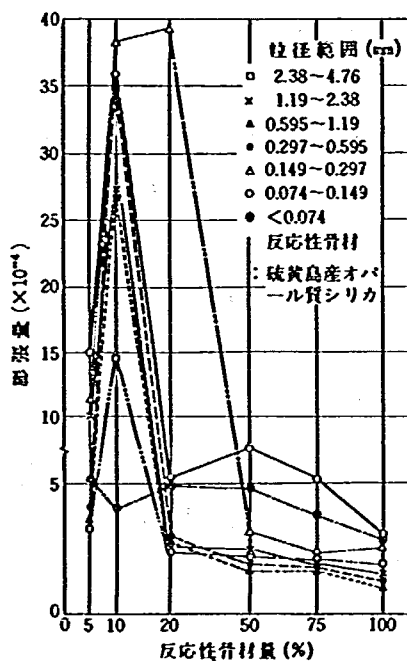


図-15 オパール質骨材のペシマム曲線 (川村, 1986)

るかどうか疑問である。また、判定図の境界は岩種によって異なっている可能性もある。このため、建設省では現在、判定図の見直しの作業を行っている。しかし、今のところは ASTM に準拠して判定が行われている。

その他の方法としては、骨材をセメント中に埋め込みアルカリ溶液中につけるゲルパット法 (Runner, 1944; 当初はパット・テストと呼ばれていた) などがある。

3) モルタル・コンクリート供試体による方法

規格試験としては、化学法と同様に従来から ASTM の方法 (ASTM C 227 モルタルバー法) が広く適用されている。しかし、本法も我が国で実施するには種々難点があったため、建設省暫定試験法が制定された (成田ほか, 1986)。その後 (1986 年 10 月) JIS でも、建設省暫定試験法を基に JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」付属書 8 に試験方法を規格している。

暫定試験法で ASTM 法と比べ改定された主な点は次の通りである (蒔田ほか, 1986)。

- (i) この試験方法は骨材のアルカリシリカ反応を判定する手法であると位置付けを考えている。このため、現場で用いるセメントの組合せは特別考慮していない。
- (ii) これまで、配合はフロー値を一定とするようになっていたが、配合を $W/C=50\%$, $S/C=2.25$ に統一した。この配合では十分容易に供試体が製作できる。なお、供試体は $4\times 4\times 16\text{ cm}$ とする。
- (iii) モルタル中の単位アルカリ量を一定とした。Na と K の影響の差をなくするため、なるべくアルカリ量の少ないセメントを用い、それに NaOH を加え、総アルカリ量がセメントの 1.2% (重量) となるようにした。なお、JIS で、1986 年に新たにアルカリ量が 0.6% 以下の低いアルカリセメントが規格化されているので、低いアルカリ量のセメントは比較的容易に入手できる。
- (iv) 養生を相対湿度 100% 条件下で行うこととした。
- (v) 測定結果のばらつきに対する制限を多少緩めるとともに、明らかに膨張量の大きいモルタルバーについては、ばらつきに関係なく有害と判定することとした。
- (vi) 判定については 3 本の平均値が、6 ヶ月後に 0.1% 以上の膨張を生じた骨材は有害であるとする。なお、3 ヶ月で 0.05% 以上の膨張を生じたものは有害としてもよいが、3 ヶ月で 0.05% 未満のものは、6 ヶ月まで試験を続けたの後に判定しなければならない。

暫定試験法の概要は、規定の粒度・配合で作製されたモルタルバー 3 本を初期養生後、基長を計り、次に $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}\cdot\text{RH}\geq 95\%$ で貯蔵して長さ変化を測定するというものである。そして、3 ヶ月・6 ヶ月後の長さ変化を上記 (vi) に基づいて判定するものである。

その他の規格試験としては、CSA A 23.2-14 A や JISS 5 NT-201 がある。

また、規格試験以外には促進的な方法として Tang (1983) のオートクレーブによる方法、田村ら (1984) の加圧煮沸によるもの、Chatteriji (1978) の 50°C 飽和 NaCl 溶液浸漬による方法などがある。

6. アルカリシリカ反応反応性骨材の取り扱い

1) 通達の内容

建設省ではアルカリシリカ反応に関する暫定対策として次のようなものを通達した。

アルカリ骨材反応暫定対策について

昭和 61 年 6 月 2 日 建設省技調発第 287 号
大臣官房技術審議官から各地方建設局長あて通達

標記について、下記により実施することとしたので通知する。

なお、「土木工事に係わるコンクリート用骨材の取り扱いについて」(昭和59年6月15日付け建設省技術調発第260号)は廃止する。

記

1. アルカリ骨材反応暫定対策(土木構造物) ……別紙1
2. アルカリ骨材反応対策に関する暫定指針(建築物) …別紙2
3. 実施開始時期 昭和62年4月1日

別紙1

アルカリ骨材反応暫定対策(土木構造物)

1. 適用範囲

建設省が建設する土木構造物に使用されるコンクリートおよびコンクリート工場製品に適用する。ただし、仮設構造物のように長期の耐久性を期待しなくともよいものは除く。

2. 抑制対策

土木構造物に使用するコンクリートは、アルカリ骨材反応を抑制するため、次の4つの対策の中の何れか1つをとらなければならない。

2.1 安全と認められる骨材の使用

骨材のアルカリ・シリカ反応性試験(化学法またはモルタルバー法^{注)})の結果で無害と確認された骨材を使用する。

2.2 低アルカリ形セメントの使用

JIS R 5210 ポルトランドセメントに規定された低アルカリ形セメントに適合したセメントを使用する。

2.3 抑制効果のある混合セメント等の使用

JIS R 5211 高炉セメントに適合する高炉セメント(B種(スラグ混合率50%以上のものが望ましい)またはC種)あるいは、混和材を混合したセメントでアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用する。

2.4 コンクリート中のアルカリ総量の抑制

アルカリ量を表示されたポルトランドセメント等を使用し、コンクリート1立方メートルに含まれる総アルカリ量を Na_2O 換算で3.0kg以下にする。

なお、海水または潮風の影響を著しく受ける海岸付近において、2.2、2.3または2.4のいずれかの対策をとる場合で、アルカリ骨材反応による損傷が構造物の安全性に重大な影響を及ぼすと考えられる場合には、塩分の浸透を防止するための塗装等の措置を講ずることが望ましい。

注) 別途定めた建設省暫定案の試験法によるものとする。

ただし、当面の間は上記の試験方法に代えて、ASTM C 289「骨材の潜在反応性試験方法（化学法）」または ASTM C 227「セメント骨材の潜在反応性試験方法（モルタルバー法）」を用いてもよい。

「アルカリ骨材反応暫定対策について」の運用について

昭和 61 年 6 月 2 日 建設省技術調発第 288 号

大臣官房技術調査室長から各地方建設局企画部長あて通達

昭和 61 年 6 月 2 日付建設省技調発第 287 号建設大臣官房技術審議官通達（以下「審議官通達」という）の運用について、下記のとおり定めたので、遺憾のないよう取り扱われたい。

記

1. 土木構造物に係わる「審議官通達」の当面の運用として、昭和 61 年 10 月 1 日以降打設するコンクリートから試行的に実施する。
2. 土木構造物に係わる「審議官通達」は、アルカリ骨材反応暫定対策（土木構造物）実施要領（別紙 5）により運用する。
3. 骨材のアルカリ・シリカ反応性の確認方法は
骨材のアルカリ・シリカ反応性試験（化学法）建設省暫定案……………別紙 3
骨材のアルカリ・シリカ反応性誘験（モルタルバー法）建設省暫定案……………別紙 4
によるものとする。

別紙 5

アルカリ骨材反応暫定対策（土木構造物）実施要領

1. 現場における対処の方法

a. 現場でコンクリートを製造して使用する場合

現地における骨材事情は、セメントの選択の余地、等を考慮し 2.1～2.4 のうちどの対策を用いるかを決めてからコンクリートを製造する。

b. レデーミクストコンクリートを購入して使用する場合

レデーミクストコンクリート生産者と協議して 2.1～2.4 のうちどのどの対策によるものを納入するかを決めそれを指定する。

c. コンクリート工場製品を使用する場合

プレキャスト製品を購入して使用する場合製造業者に 2.1~2.4 のうちのどの対策によっているのかを報告させ適しているものを使用する。

2. 検査・確認の方法

2.1 安全と認められる骨材を使用する場合

信頼できる試験機関^{注)}の行ったアルカリ骨材反応性試験（建設省暫定案の化学法またはモルタルバー法）により無害であることを示す試験成績書により確認するか、あるいはまたフレッシュコンクリートから骨材を取り出して上述の試験を行い無害であることを確認する。

2.2 低アルカリ形セメントを使用する場合

低アルカリ形セメントであることを示すミルシートにより確認するか、あるいはまたセメントのアルカリ量試験を行い確認する。

2.3 抑制効果のある混合セメントを使用する場合

高炉セメント B 種（スラグ混合率 50% 以上のものを用いるのが望ましい）または C 種であることを示すミルシートにより確認する。また、高炉セメント以外の、混和材を混合したセメントを用いる場合には、試験等によって抑制効果を確認する。

2.4 コンクリート中の総アルカリ量を抑制する場合

ミルシートに示されたセメントのアルカリ量 (Na_2O 換算値) $\times$ 単位セメント量 (配合表に示された値) $+ 0.9 \times \text{Cl}^-$ (Cl^- は塩分測定値 kg/m^3) $+ 混和剤中のアルカリ量が 3.0 \text{ kg/m}^3$ 以下であることを計算で確かめるものとする。

防錆剤等使用量の多い混和剤を用いる場合には、上式を用いて計算すればよい。なお、AE 剤、AE 減水剤等のように、使用量の少ない混和剤を用いる場合には、簡易的にセメントのアルカリ量だけを考えて、セメントのアルカリ量 $\times$ 単位セメント量が 2.5 kg/m^3 以下であることを確かめればよいものとする。

注) 公的機関またはこれに準ずる機関（大学、都道府県の試験機関、公益法人である民間試験機関、その他信頼に値するもの）

3. 外部からのアルカリの影響について

2.2、2.3、2.4 の対策を用いる場合には、コンクリートのアルカリ量をそれ以上に増やさないことが重要である。海水および潮風の影響を受ける場合に、防水等の手段を用いることによって、塩分 (NaCl) に含まれるアルカリのコンクリート内部への供給を防止することは出来る。

そこで、当面下記のすべてに該当する構造物に限定して、塗装等の塩分浸透を防ぐための措置を行うことが望ましい。

1) 既に塩害による被害をうけている地域で、アルカリ骨材反応を生じるおそれのある骨材を用いる場合

2) 2.2、2.3、2.4 の対策を用いたとしても、外部からのアルカリの影響を受け、損傷を生じると考えられる場合

3) 橋桁等、被害をうけると重大な影響をうける場合

塩分の浸透を防止する方法として有効なものとしては塗装であるので、現時点ではこれを用いることとした。

2) 通達の解説

(i) 通用範囲

アルカリシリカ反応は一般に打設後年数が経過してから生じるものであるので、短期に限って用いられる仮設構造物には使用しなくてよい。ただし、短期供用でも重要な構造物はこの限りではない。

(ii) 抑制対策

「2.アルカリ骨材反応とは」で述べたように、アルカリシリカ反応が起こるには、骨材中にシリカ成分、細孔溶液中の水酸化アルカリ(ほとんどセメント中から供給される)、水の3成分が必要である。これらのうち1成分でも欠けると反応は生じなくなるため、反応を抑制することはこれらの成分のいずれかを欠除させればよい。

安全と認められる骨材の使用：反応性のない骨材を使えば反応は生じない。しかし、地質構成が複雑な我が国においては、同一の碎石場でも反応性のある骨材とない骨材が混合していることもあり、また、同じ碎石場の骨材でも採取時期により反応性が異なることは十分に考えられる。よって、抑制対策を本法にのみに依存するのは実用上難点がある。

骨材の反応性を確認する方法としては、既述の建設省暫定試験法の化学法とモルタルバー法が設定されている。化学法は早期に判定ができる利点があるが、判定図に問題があるようである。このため、無害とされた骨材には問題はないが、有害・潜在的有害と判定されたものの中には本来無害なものも含まれているようである。この点に留意する必要がある。

モルタルバー法はこれに対してより厳密な結果を示すものであるが、試験期間が長期にわたってしまう。そのため、合理的に試験を行い骨材を使用するには、図-16のようなフローに従って試験をするとよい。

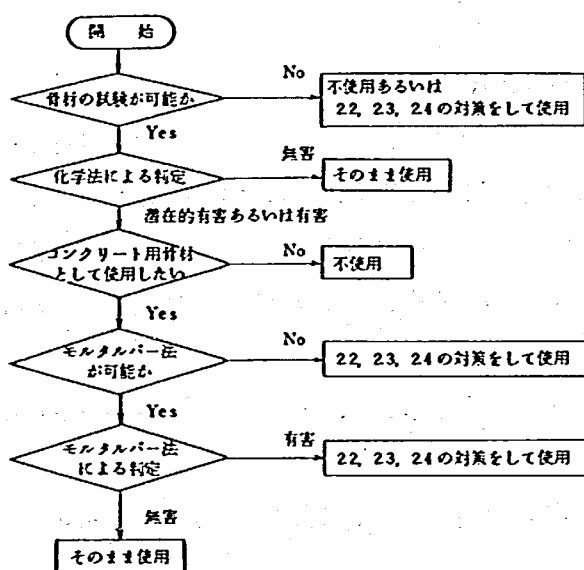


図-16 アルカリシリカ反応の抑制方法の選択フロー (豊田ほか, 1986)

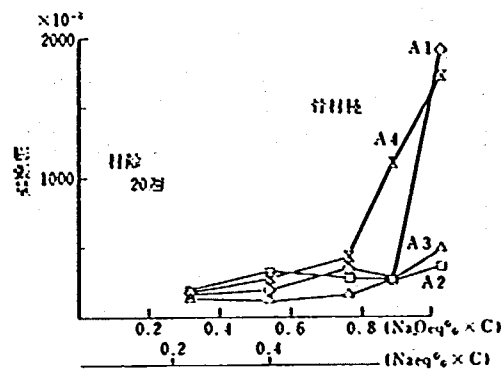


図-17 セメント中のアルカリ量と膨張量 (小林ほか, 1986)

低アルカリ形セメントの使用：これはアルカリ成分を欠除させるという方法の一つである。セメント中のアルカリ成分をゼロにすることは実際上無理であるが、モルタル中の単位アルカリ量*と膨張量との間には図-17のような傾向が認められる。図のようにアルカリ量がある値以下になると膨張が認められなくなる。すなわち、その値以下のアルカリ量にすれば反応の程度からみれば、アルカリ成分をゼロにしたのとはほぼ同じことになるのである。この値としては種々の実験結果から0.6%が得られている。

我が国では1986年2月にはJIS R 5210ポルトランドセメントが改定され、この中で低アルカリ形ポルトランドセメントが規定された。規定では低アルカリ形のNa₂O等価量は0.6%以下とされている。よって、このセメントを用いればアルカリシリカ反応は抑制できる。

〈参考〉

近年、セメント中のアルカリ量は図-18に示すように低下の傾向にある。

抑制効果のある混合セメント等の使用：フライアッシュや高炉スラグ粉末を混合すると図-19のように膨張が抑制される。両者とも置換率を高くする程、膨張量は減少している。

スラグに関しては30%以上の置換率で抑制効果がみられる。このように高炉セメントB種(スラグ混入率30~60%)を用いれば、セメント中のアルカリ量がよほど高くない限り、十分な抑制効果があると考えられる。ここでは高い安全性が得られるように、スラグ混入率50%以上のものが望ましいとして推奨されている。スラグの抑制効果にはアルカリ希釈効果だとする説とそれ以外の効果も複合しているという説とがある(小

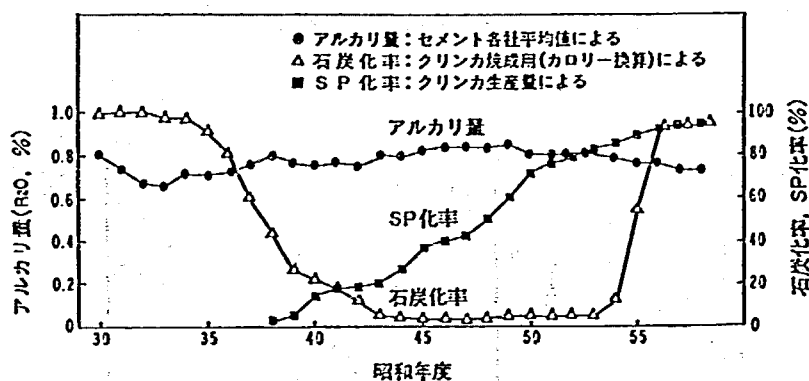
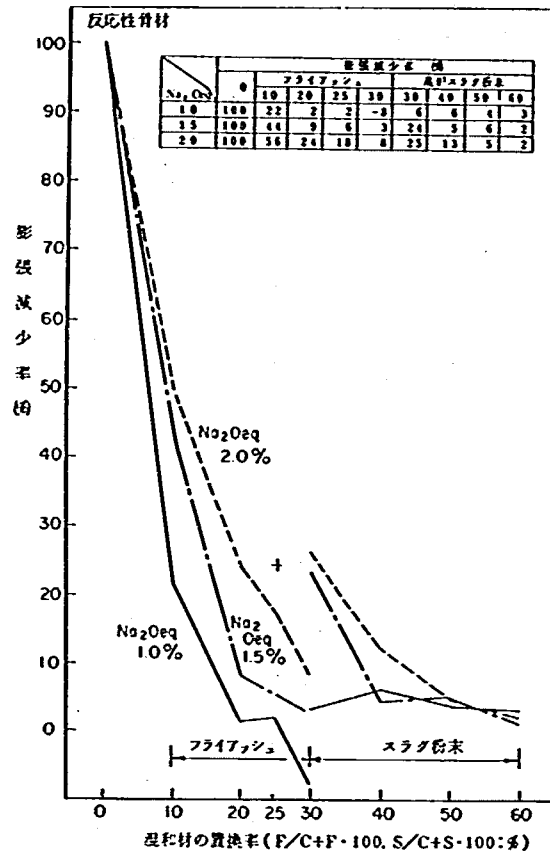


図-18 セメント中のアルカリ量などの推移 (セメント協会, 1985)

* 等価Na₂O%のことでNa₂OとK₂Oの含量である。等価Na₂O% = Na₂O% + 0.658K₂O%で計算する。

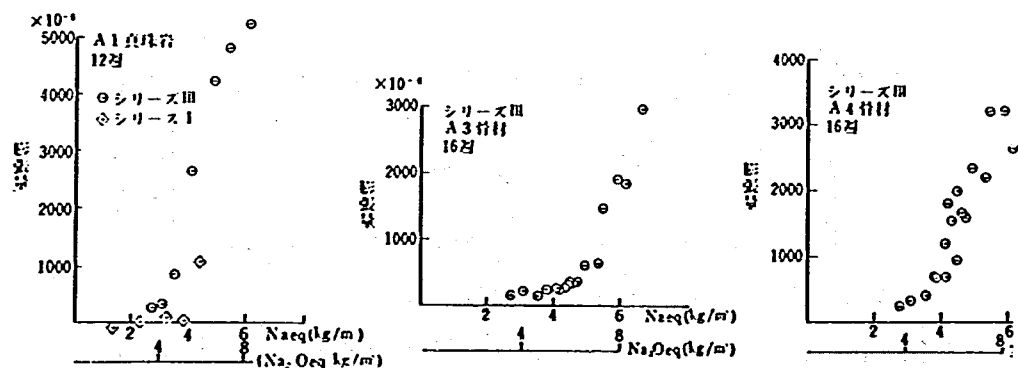


図一19 混和材の置換率と膨張量減少率との関係
(小林・石井, 1985)

林ほか, 1987)。

図一19のようにフライアッシュにも抑制効果が認められ, そのほかシリカフェームなどにも抑制効果が認められている。しかし, これらの品質にはかなりばらつきがあるために, 使用予定の材料について効果を確認してから使用することとなっている (これらは使い方によっては反応を促進する効果がある)。

コンクリート中のアルカリ総量の抑制: この方法も低アルカリ形セメントを使用する方法と同様にアルカリ量を低下させるものである。単位セメント量の多くないコンクリートでは, 低アルカリ形セメントを用いなくてもアルカリシリカ反応を抑制することができる。図一20のようにモルタルバーの膨張量は, ある単位



図一20 モルタル中の単位アルカリ量と膨張量 (小林ほか, 1985)

アルカリ量以下では非常に小さい。すなわち、単位アルカリ量をこの値以下にしておくと、アルカリシリカ反応を抑制することができる。値としては各種実験結果や外国などの例から 3 kg/m^3 が定められた。

また、コンクリートのアルカリ（アルカリ金属イオン）はセメントのみから供給されるのではなく、混和剤からや塩分としても加わる。このため、Cl イオンの測定結果も反映させることになっている。

外部からのアルカリの影響について：上記に述べたようなコンクリート中にもともと存在するアルカリのほかに、海岸付近の構造物では外部からのアルカリの添加がある。海水中の NaCl の Na イオンが加わると反応が促進することが考えられる（この効果については、現在研究中である）。このため外部からのアルカリの影響が大きいと考えられる場合には、侵入を防止するため塗装等の措置の検討が必要である。

(iii) 実施要領

対策の選定：2.1 から 2.4 の対策の選定については、優先順位や重み付けはされていない。それは各種の条件によって、より簡易で経済的な方法が異なるからである。よって、いずれの対策を選定するかは原則として工事の実施者が現場の状況に応じて決めることになる。対策は基本的にはいずれか 1 つを実施すればよいが、重複されてもかまわない。

検査・確認の方法：骨材の試験結果などについては、施工者が確認をする必要がある。試験は施工者が結果について責任がもてると判断すれば、施工者、生コン供給者、骨材供給者のいずれが試験をしてもよい。ただし、試験は当面信頼できる機関で行うこととなっている。

ここで問題となるのは、碎石場で採取される骨材の品質や流通時の品質にばらつきや変化があるため、実施する試験の頻度である。これはばらつきな変化の程度によって異なるため、規定することはできない。当面は骨材の状況に応じて適宜実施されればよいであろう。

セメントのアルカリ量などはミルシート（試験成績表）により判断するのが一般であるが、必要により試験を行う。

以上、通達の概要について述べてきたが、詳細については豊田ほか（1986）を参照されたい。

参考文献

- Chaiken, B. and Halstead W.J. (1959) Correlation between chemical and mortar bar tests for potential alkali reactivity of concrete aggregates. Public Roads, 30, 177-184.
- Chatterji, S. (1978) An accelerated method for the detection on alkali-aggregate reactivity of aggregate. Cement and Concrete Research, 8, 647-650.
- Dolar-Mantuani, L.M.M (1975) Petrographic aspects on siliceous alkali reactive aggregates. Proceedings of Symposium on Alkali-Aggregate Reaction, Preventive Measures, Reykjavik.
- Gillott, J.E., Duncan, M.A.G. and Swenson, E.G. (1973) Alkali-aggregate reaction in Nova Scotia, character of the reaction. Cement and Concrete Research, 3, 521-535.
- Hirche, D (1975) IR-spectroscopy, a modern method to test the alkali reactivity of silica aggregates. Proceedings of Symposium on Alkali-Aggregate Reaction, Reykjavik, 205-211.
- 阪神高速道路公団・財阪神高速道路管理技術センター（1986）アルカリ骨材反応に関する調査研究, p. 339.

- 川村満紀 (1986) アルカリ骨材反応, 岸谷孝一・西沢紀昭編, アルカリ骨材反応, 35-38, 技報堂, 東京.
- 川村満紀・中野錦一 (1986) 反応性骨材によるコンクリートの損傷, 岡田 清編, コンクリートの耐久性, 78-104, 朝倉書店, 東京.
- 小林茂敏・石井良美 (1985) 高炉スラグ粉末, フライアッシュの ASR 抑制効果に関する調査, 土木研究所資料, 2254, p. 74.
- 小林茂敏・小野金造・河野広隆・佐々木一郎 (1985) コンクリートのアルカリ骨材反応試験法 (モルタルバー法) 設定に関する試験調査, 土木技術資料, 27, 422-425.
- 近藤泰夫・北川欣一 (1951) アルカリ・骨材反応に関する研究, セメント技術年報, 5, 379-398
- 日下部吉彦・西山 孝・木村 訓・楠田 啓・福田浩則・後藤理文 (1986) アルカリ骨材反応におけるシリカ鉱物—とくにトリディマイト, クリストバライト, 潜晶質石英—の潜在反応性について, 水曜会誌, 20, 429-434.
- 桑原啓三・平野 勇・脇坂安彦・阿部昌彦・長沢政和・守屋 進・西崎 到・小林茂敏・河野広隆・小野金造・窪田洋司 (1986) コンクリートの劣化実態調査報告(1), 土木研究所資料, 2369, p. 111.
- 蒔田 実・脇坂安彦・守屋 進・河野広隆 (1986) アルカリ骨材反応に関する試験方法の現状と今後の課題, 反応性骨材の試験方法, コンクリート工学, 24, 11, 33-39.
- Mather, B. (1976) A discussion of the paper "A review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms. 2. Reactive aggregates" by Sidney Diamond. Cement and Concrete Research, 6, 813-814.
- Mielenz, R.C., Greene, K.T and Benton, E.J. (1947) Chemical test for reactivity of aggregates with cement - aggregate reaction. Journal of American Concrete Institute, 19, 193-221.
- 守屋 進・脇坂安彦・河野広隆 (1987) 実構造物より採取した骨材のアルカリシリカ反応試験 (化学法) に関する一考察, セメント技術年報, 41, 369-372.
- 村田清逸・関 慎吾・藤木洋一 (1965) アルカリ骨材反応を起こしたコンクリートの一例, セメント・コンクリート, No. 220, 7-13.
- 名古屋俊士 (1985) リン酸処理による骨材中のクリストバライトの X 線回折方法, 骨材資源, 66, 90-96.
- 中野錦一・小林茂広・長岡誠一・新井川繁一 (1985) 粉末 X 線回折法を用いた反応性骨材の一判定方法, セメント技術年報, 39, 312-315
- 中野錦一 (1986) アルカリ骨材反応の種類, メカニズムおよび特徴, コンクリート工学, 24, 11, 17-22.
- 成田信之・蒔田 実・中野正則・桑原啓三・平野 勇・脇坂安彦・片脇 清・守屋 進・小林茂敏・河野広隆・石井良美 (1986) アルカリシリカ反応の調査と対応に関する建設省暫定案, 土木研究所資料, 2375, p. 168.
- Runner, D.G. (1944) A study of the pat test for determining alkali-reactive aggregates. Public Roads, 24, 2, 47-54.
- Stanton, T.E. (1940a) Influence of cement and aggregate on concrete expansion. Engineering News Record, Feb. 1, 59-61.
- Stanton, T.E. (1940b) Expansion of concrete through reaction between cement and aggregates. Proceedings of American Society of Civil Engineers, 66, 1781-1811.
- Swenson, E.G. (1957) A reactive aggregate undetected by ASTM tests. ASTM Bulletin, 226, 48-50.
- Tang Ming-Shu, Han Su -Fen and Zhen Shi-Hua (1983) A rapid method for identification of alkali reactivity of aggregate. Cement and Concrete Research, 13, 417-

- 田村 博・星野義孝・斎藤広志 (1984) アルカリ骨材反応の早期判定に関する一実験. セメント技術年報, 38, 100-113.
- 豊田高司ほか 28 名 (1986) コンクリートの耐久性向上技術 (塩化物総量規制基準とアルカリ骨材反応対策). p. 192, 財国土開発技術研究センター, 東京.
- 安 伸二・丸嶋紀夫 (1985) リン酸法を応用したアルカリ骨材反応に関する 2, 3 の検討. セメント技術年報, 39, 316-319.
- Wakizaka, Y., Hirano, I., Kuwahawa, K. and Makita, M. (1986) Characteristics of aggregates in concretes and alkali-silica reactions in Japan. Abstracts of 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, 163-164.
- 脇坂安彦 (1987) アルカリシリカ反応に関する岩石・鉱物学的試験方法. 土木技術資料, 29, 339-344.
- 脇坂安彦・守屋 進・河野広隆 (1987) 岩石の鉱物組成とアルカリ反応性. セメント技術年報, 41, 333-336.

第2部 粘土鉱物含有骨材の取り扱い

1. はじめに

天然に産する岩石中には、しばしば沸石族や粘土鉱物のような変質（有害）鉱物が含まれている。これらの鉱物がある程度以上含有している岩石は、岩石そのものの劣化が早く、強度も小さい。良質な骨材の枯渇にともない、上記のような岩石をコンクリート用骨材やフィルダム用岩石材料として使用せざるを得ない状況になってきた。近年、粘土鉱物の1種であるモンモリロナイトを含有した骨材をコンクリートに使用した現場で、コンクリートに種々の問題が生じた例がみられた。そこで土木研究所では、関係機関と共同でこれらの骨材をコンクリートに使用した場合の現象の把握、解明と無害化使用法の開発などを目的に研究を進めている。ここでは、これまでに得られてきた結果の概要について市川ほか（1987）に従って報告する。

2. モンモリロナイト鉱物学的性質

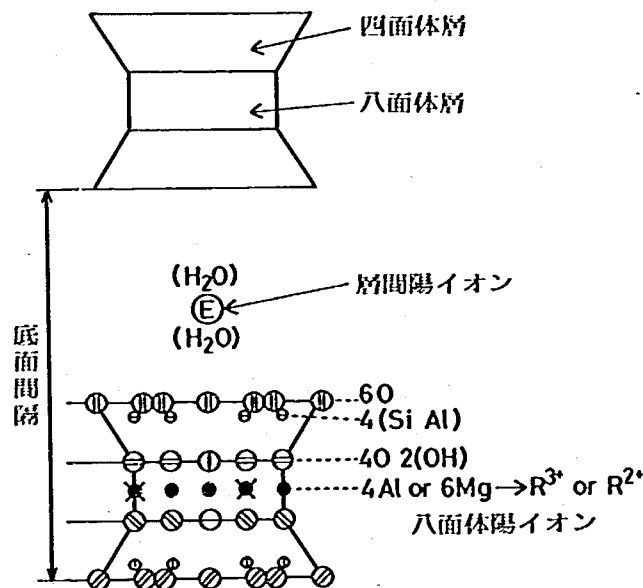
1) 粘土鉱物

天然の岩石は熱水変質による粘土化作用、風化作用、続成作用などによって粘土となることが多い。

粘土は主として水和アルミノ珪酸塩で、Fe・Mg・Ca・Kなどを適量含んでいる。この粘土を構成している主要なものが粘土鉱物である。粘土鉱物の結晶構造の規則—不規則は幅広く、このため粘土鉱物は結晶性粘土鉱物と低結晶質—非結晶質粘土鉱物とに大別される。粘土鉱物は微粒であること、結晶形態・構造・化学的（交換性イオンの保有等）特性により、顕著な物理的・化学的吸着、化学的親和性を示す。中でも著しいのは水和性である。水分子は粘土粒子の表面、または内面に結合している。

2) モンモリロナイト族

モンモリロナイト族はモンモリロナイト鉱物あるいはスメクタイトとも呼ばれる。2つの四面体層と1つの八面体層が結合した2:1層状珪酸塩である（図—1）。この四面体層と八面体層からなる基本層中で Al^{3+} と Mg^{2+} や Si^{4+} と Al^{3+} などの置換が行われているため基本層は負の電荷を帯びている。そのため、基本層間に



図—1 モンモリロナイト族の構造

表-1 モンモリロナイト族の構成鉱物

2 八 面 体 型	モンモリロナイト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Al_{1/3}Mg_{1/3})[Si_4]O_{10}(OH)_2$
	バイデライト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Al_2)[Si_{11/3}Al_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	ノントロナイト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Fe^{3+})[Si_{11/3}Al_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	ボルコンスコアイト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Fe, Cr, Al)_2[Si, Al]_4O_{10}(OH)_2$
3 八 面 体 型	サボナイト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Mg_3)[Si_{11/3}Al_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	鉄サボナイト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})_3[Si_{11/3}Al_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	$[E_{1/3} \cdot nH_2O](Fe^{2+})[Si_{11/3}Al_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	ソーコナイト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Zn)_3[Si_{11/3}Al_{1/3}]O_{10}(OH)_2$
	ヘクトライト, $[E_{1/3} \cdot nH_2O](Mg_{2/3}Li_{1/3})[Si_4]O_{10}(OH)_2$
	ステブンスサイト, $[E_{0.33/2} \cdot nH_2O](Mg_{2/3})[Si_4]O_{10}(OH)_2$

$Na^+ \cdot Ca^{2+} \cdot Mg^{2+} \cdot H^+$ などの層間陽イオンが入り、基本層を結合している。層間陽イオンは交換性であり、層間水を伴っている。このような層間陽イオンに交換性があり、水を伴っていることが、モンモリロナイト族が岩石材料として有害であることの要因であると考えられる。

モンモリロナイト族には八面体層中の六配位の個所すべてに陽イオンが配置した3-八面体型と2/3の個所に配置した2-八面体型とがある。それぞれの理想的な化学式は次のとおりである。



両者は八面体陽イオン (R^{2+} , R^{2+}) の種類により表-1のように細分される。

3) モンモリロナイトの性質

モンモリロナイトの理想式は前述の2-八面体型の式 R^{2+} が Mg^{2+} に、 x が0になったもので、 y は0.2~0.6である。層間陽イオンは通常の天然の試料の場合、 Na , Ca , Mg , H である。これらは通常の湿度の場合は2分子層の水を伴い底面間隔は約 $15 \text{ \AA}$ となっている。 Na の多い試料では非常に湿度が高いとき以外は $13 \text{ \AA}$ 前後である。水の中に浸すと、層間に Ca , Mg の多いものでは3分子層の水が入って底面間隔が約 $19 \text{ \AA}$ となり、 Na の多いものでは底面間隔がはかれないほどに拡大する。このように層間に入る水の量は周囲の湿度や層間陽イオンの種類によって異なる。このような性質を有する粘土鉱物を膨張性粘土鉱物という。膨張性粘土鉱物のモンモリロナイトには、このほかに大きな陽イオン交換容量 ($80 \sim 120 \text{ meq/100 g}$) を有し、層間の水分子を有機物分子におきかえることができるなどの特徴がある。有機分子としてはエチレングリコール (底面間隔約 $17 \text{ \AA}$ に膨張) やグリセロール (約 $18 \text{ \AA}$ に膨張) などがある。上記の2つの性質はモンモリロナイトと他の鉱物を区別するのに用いられている。

モンモリロナイトはペントナイトの主成分でペントナイト鉱床や酸性粘土鉱床中に産出する。ペントナイト鉱床は1)流紋岩質火山灰での変質およびその後の続成変質, 2)流紋岩・流紋岩質凝灰岩の熱水変質, 3)流紋岩質火山灰・軽石の海水中での熱水変質作用などによって生成されたものである。鉱床は日本ではグリーンタフ地域などに多い。共生鉱物としては、クリストパライト・沸石などがあげられる。

3. モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの劣化の事例

1) 事例-1

骨材は熱水変質を受けた安山岩であり、一部がモンモリロナイト化している。骨材中にはモンモリロナイトのほか、石英、斜長石、クリストバライト、方解石が含まれている。骨材の陽イオン交換容量（間接的にモンモリロナイトの存在量を示す）は、8~22.7 meq/100 g である。

ここでは試験段階よりコンクリートの過早凝結現象がみられていた。

2) 事例-2

骨材は玄武岩で石英・斜長石・方解石・シャモナイト（鉄緑泥岩）・モンモリロナイトなどから構成されている。このコンクリートでも過早凝結現象が認められている。

3) 北海道の空港の事例（鈴木・熊谷，1985）

ここでの事例はコンクリートではなく空港用のアスファルト舗装の場合である。骨材は安山岩で斜長石・石英・モンモリロナイト・クリストバライトが含まれている。この空港では冬季に除氷剤としてエチレングリコールを主成分とする不凍液を航空機に散布している。このエチレングリコールが骨材中のモンモリロナイトに吸着され、モンモリロナイトの膨張により骨材が崩壊をした。このため舗装面に摩耗や波打ち現象が発生した。

4. モンモリロナイト含有骨材を使用したモルタルの性質

1) 実験用骨材

各種試験に用いる骨材のうち、モンモリロナイト含有骨材として4種（A・B・C・I）と、モンモリロナイトを含まない骨材として1種（K）を選定した。A・Cは安山岩、B・Iは粗粒玄武岩、Kは砂岩である。

各骨材の鉱物化学的性質を表-2に示す。CEC（陽イオン交換容量、おおまかな粘土鉱物の容量を表す）はA・B・Cで30 meq/100 g 以上あり粘性土なみの大きな値を示している。一方、Kでは約8 meq/100 g と小さい。またAでは、粒径が小さくなるほどCECが減少している。これは粉碎の過程で粘土鉱物の多い微粒分が除去されたためであると考えられる。A・B・C・Iの粘土鉱物の大部分は、定方位X線回折などの結果からモンモリロナイトであることがわかっている。

表-2 実験用骨材の鉱物化学的性質（市川ほか，1987）

	A-1	A-2	A-3	A-4	B	C	I-1	I-2	K-1	K-2
pH	10.0	10.0	10.0	10.0	9.4	9.7	-	-	-	-
C.E.C(meq/100g)	32.7	28.8	27.1	16.6	40.3	33.2	15.9	18.5	8.4	8.7
交換性陽イオン	Ca (%)	20.4	23.1	23.0	25.2	45.9	58.9	15.0	17.3	66.4
	Mg (%)	8.2	11.1	9.9	8.4	13.5	6.4	4.0	5.6	1.5
	K (%)	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.9
	Na (%)	9.2	7.3	7.2	3.5	0.6	1.0	2.7	3.2	0.5
	Total (%)	38.1	41.9	40.5	37.4	60.2	66.5	21.8	26.3	69.4
M.B.(mmol/100g)	15	12	12	7	11	10	6	6	1	1
遊離ケイ酸 (%)	9.2	5.0	5.0	4.5	1.1	1.8	3.1	3.3	0.6	0.7
溶解ケイ酸 (%)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

A-1:原石, A-2:40 μ m, A-3:25 μ m, A-4:砂, I-1, K-1:粗骨材, I-2, K-2:細骨材

次に表-2で注目しておかなければならないのは、交換性陽イオンの種類と量比である。既述のようにモンモリロナイトは、交換性陽イオンの種類によって、層間に入る水の量が異なっているのである。CaはCに最も多く含まれ、以下B・A・Iの順で、NaはCaとやや逆の傾向を示し、Aにもっとも多く以下I・C・Bの順となっている。このように各骨材のモンモリロナイトには、含有量や交換性陽イオンなどに違いがみられる。

2) 配 合

砂の粒度はモルタルバー法に従ったものとモルタルバー法の粒度分布に150 μm 以下の微粒分を外割りで約8%加えたものの2種とした。このうち、モルタルバー法の粒度の実験では、結果にばらつきが大きかったため、以下では微粒分を加えたものの結果について述べる。W/Cは0.5, S/Cは2.0とした。

3) 凝結硬化速度

凝結試験の結果を図-2に示す。Bは標準骨材のKと変わらない傾向を示しているが、A・C・Iでは硬化が早くなっている。特にAでは非常に早い。

4) 強 度

圧縮強度では材令7日ではKに比べA・B・C・Iは低くなっているが、28日ではほとんど変わらない。一方、曲げ強度はA~Kまで同様な値を示している(図-3)。

5) 水和発熱過程

セメントは水和をして硬化するときに発熱をする。それで、発熱の状態を測定することによって、硬化の過程を知ることができる。図-4は各骨材の水和発熱過程を比較したものである。各々の第1ピークと第2ピークでまずわかるのは、モンモリロナイト含有骨材のグループと標準骨材のグループとにわかれていることである。第1ピークでは時間は両者の間では変わらないが、発熱速度はモンモリロナイト含有骨材の方が大きい。第2ピークではモンモリロナイト含有骨材の方が数時間早く、発熱速度は第1ピークとは逆にやや小さい。このようにモンモリロナイト含有骨材の方が初期の段階で水和反応が進んでいる。

6) 細孔溶液の組成

硬化の過程を化学的にみるために細孔溶液組成の経時変化を測定した。図-5に示すように、モンモリロナイト含有骨材と標準骨材の組成には大きな違いがみられる。これはモンモリロナイトと細孔溶液との間でイ

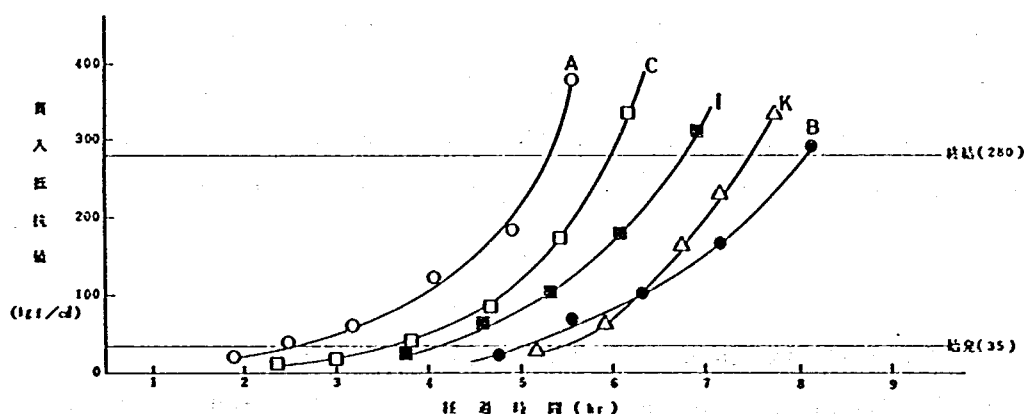
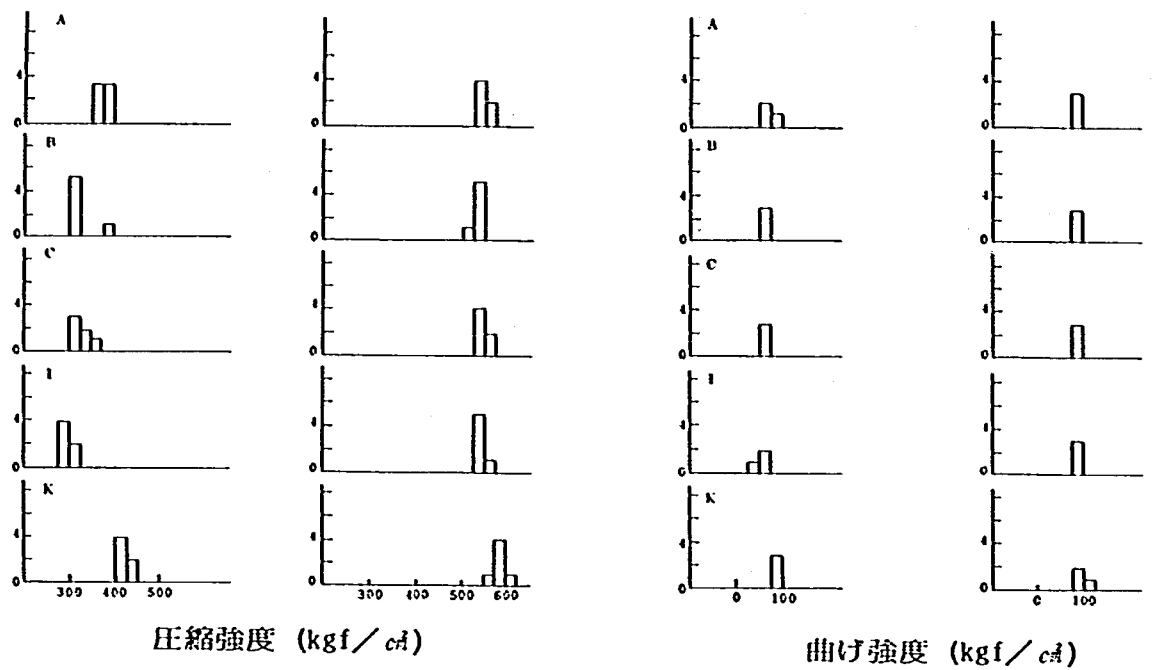
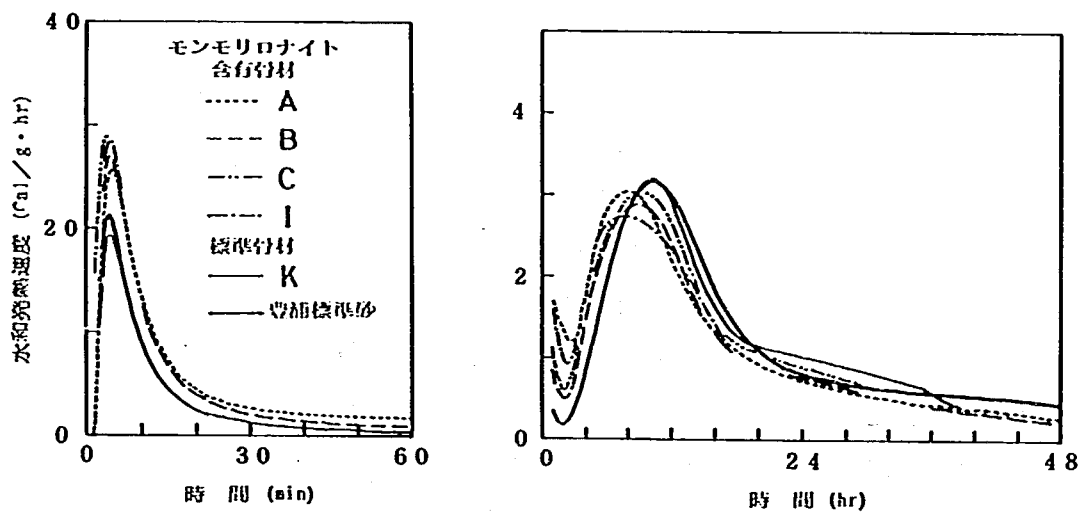


図-2 モルタルの凝結硬化速度 (市川ほか, 1987)



図—3 モルタルの強度 (市川ほか, 1987)



図—4 モルタルの水和発熱過程 (市川ほか, 1987)

オン交換が行われているためであると考えられる。陽イオンだけでみると A ではモンモリロナイト中のカルシウムイオンと細孔溶液中のカリウムイオンが、B・C・I ではモンモリロナイト中のカリウムイオンと溶液中のカリウム・ナトリウムイオンがそれぞれ交換されていると考えられる。すなわちモンモリロナイトの層間イオンとして最も多かったカルシウムイオンが減少する代わりに、カリウムやナトリウムイオンが増加しているようである。

5. モンモリロナイト含有骨材を使用したコンクリートの性質

コンクリートは粗骨材・細骨材ともモンモリロナイト含有骨材を使用したシリーズ (A—A, B—B で示す) と粗骨材にモンモリロナイト含有骨材、細骨材に K を使ったシリーズで実験を行った。その結果、粗骨材・

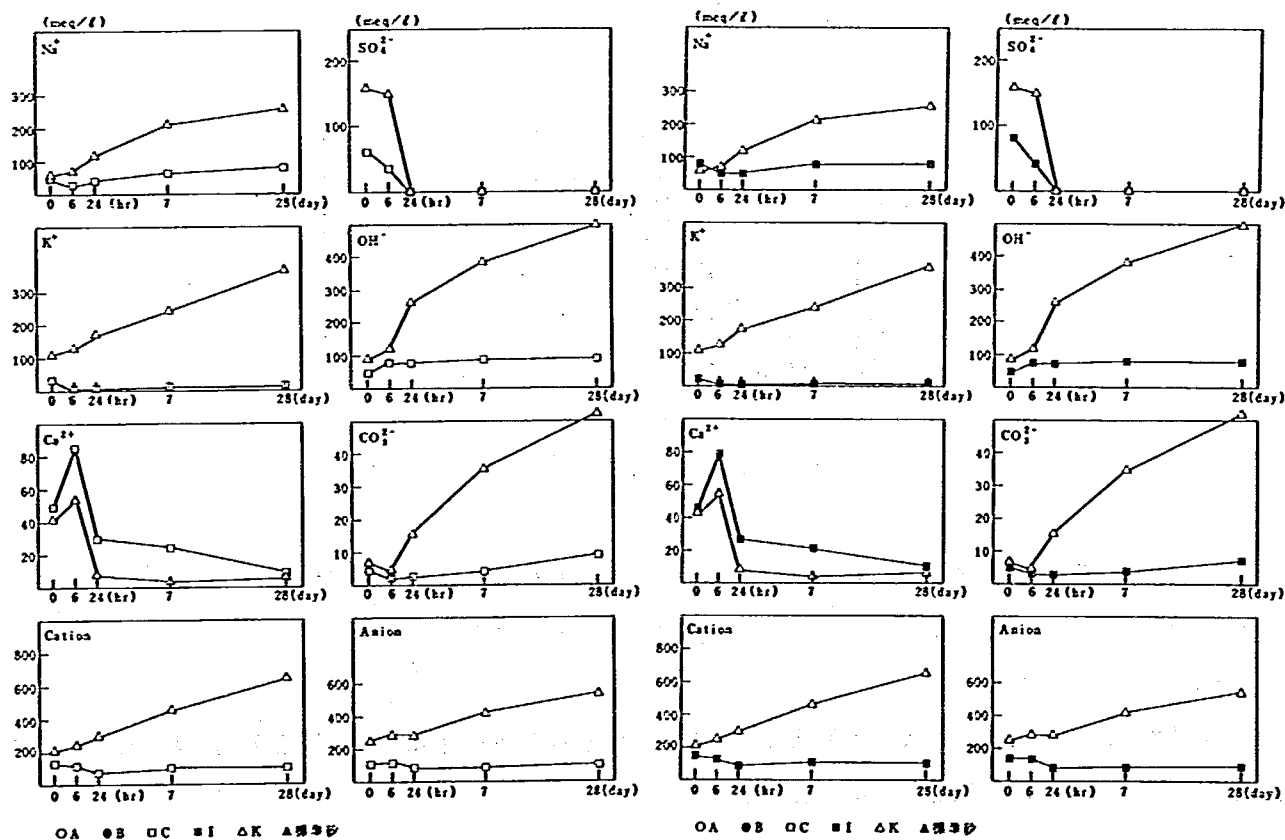
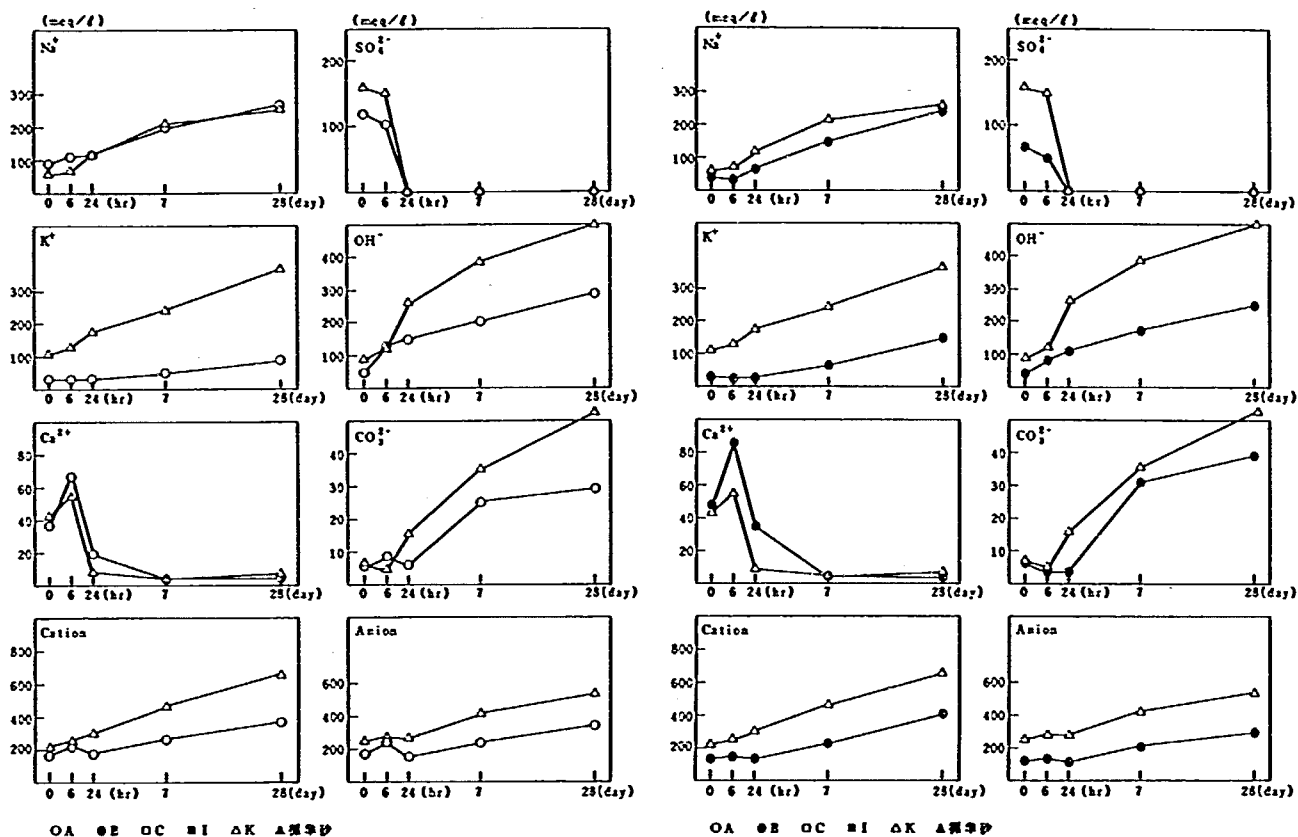


図-5 モルタル細孔溶液の化学組成の経時変化 (市川ほか, 1987)

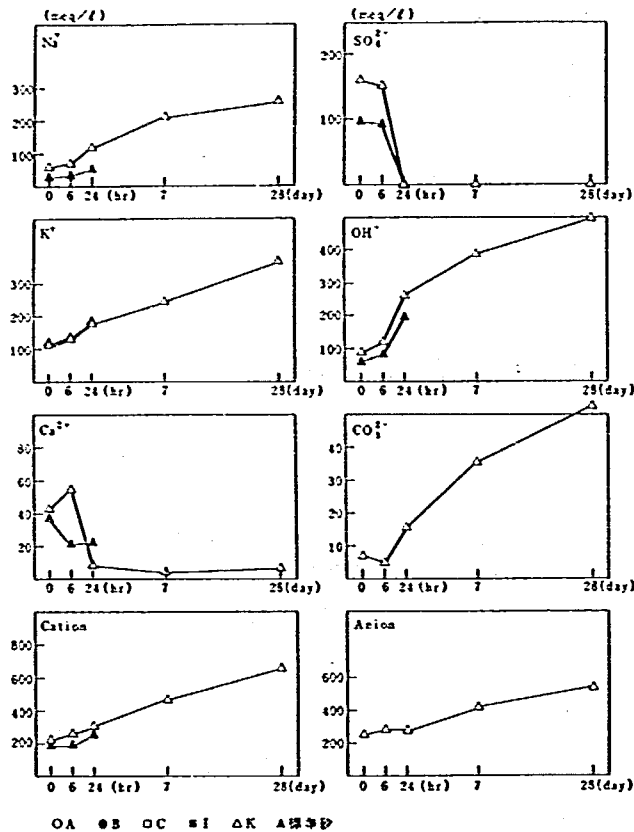


図-5 続き

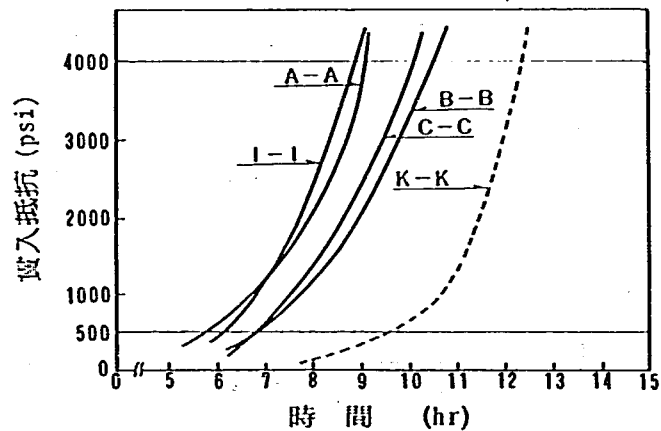


図-6 コンクリートの凝結硬化速度 (市川ほか, 1987)

細骨材ともにモンモリロナイト含有骨材を使ったシリーズの方が、標準骨材のみを使ったコンクリートとの差が顕著であった。よって以降はこのシリーズの結果について述べる。

1) 配 合

粗骨材最大寸法：20 mm, W/C: 0.5, S/a: 0.42, 単位水量：185 kg/m³, AE 減水剤使用量：C×0.25% (粉末) とし、そのほか空気量調整剤を使用した。

2) 凝結硬化速度

図-6 に示すように K-K に比べモンモリロナイト含有骨材を使ったコンクリートの凝結は早い。モルタルの場合には、B は K と同様な傾向であったが、コンクリートの場合には差が生じている。

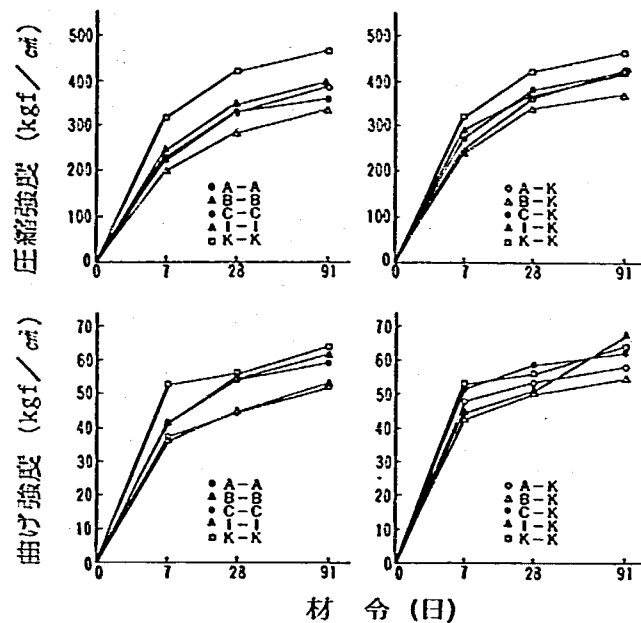


図-7 コンクリートの強度 (市川ほか, 1987)

3) 強 度

強度はモルタルの場合と同様に、圧縮強度においてより顕著に K-K との差がついている (図-7)。

4) そのほかの試験結果

そのほかの試験としては、乾燥収縮・乾燥繰返し・凍結融解・若材令期の長さ・ブリージング水の組成分析試験などを実施した。これらのうち、K-K との差が顕著であったのは、乾燥収縮によるひずみ、若材令期の長さ、ブリージング水の組成である。

乾燥収縮によるひずみは K-K に比べいずれも大きく、特に B-B のひずみは K-K の倍ある。材令 6 日までのひずみは K-K でほぼ 0 であるのに対し、ほかは $100 \sim 200 \times 10^{-6}$ の値を示している。ブリージング水の組成はほぼモルタルの細孔溶液の組成と同様な傾向を示している。

6. モルタル・コンクリートの性質のまとめ

以上に述べてきたモルタル・コンクリートの性質をまとめると表-3 のようになる。表のように各骨材を使用したモルタル・コンクリートの性質は、骨材によって異なっている。A・C 骨材を使用したものは硬いがひずみなどは小さい性質、B 骨材はあまり硬くないがひずみが大きい性質、I は A・C と B との中間の性質を示している。このような骨材による性質の違いは、モンモリロナイトの量比や交換性陽イオンの差異を反映しているものと考えられる。いずれにしてもモンモリロナイトを含有した骨材をモルタルやコンクリートに使用すると早期に硬くなるなどの現象が生じていることは確かである。これらの現象の機構の解明は今後の課題である。

表-3 粘土鉱物含有骨材の性質およびそれらを使用した
モルタル・コンクリートの性質の比較 (市川ほか, 1987)

			A	B	C	I	K	備 考
岩 種			輝石 安山岩	粗粒 玄武岩	含石英輝石 安山岩	粗粒 玄武岩	砂 岩	
C	E	C	32.7 ~16.6	40.3	33.2	15.9 ~18.5	8.4 ~8.7	単位はmeq/100g。~は粗 骨材~細骨材の値
交換性陽イオン Na			9.2 ~3.5	0.6	1.0	2.7 ~3.2	0.5 ~0.6	同 上
" " Ca			20.4 ~25.2	45.9	58.9	15.0 ~17.3	66.4 ~64.0	同上。Kの値は方解石?
原 石 の 膨 潤 度			+++	+++	+	++	0	膨潤度大:+++
モ ル タ ル の 性 質	凝 結 硬 化 速 度		+++	0	++	+	0	速度早:+++
	フ ロ ー 値		++	0	+	0	0	フロー値小:++
	水和 発熱 過程	第1ピーク発熱量	+++	++	++	+++	0	発熱量大:+++
		第2ピーク時間	+++	++	++	+++	0	時間早:+++
	細 孔 溶 液	Na	0	—	---	---	0	濃度低:---
		K	----	----	----	----	0	濃度低:----
		Ca	0	+	++	+	0	濃度高:++
コ ン ク リ ー ト の 性 質	ブ リ ー ジ ン グ 水	Na	+++ +++	— —	— 0	— —	0	濃度高:+++
		K	---- ---	---- ---	---- 0	---- ---	0	濃度低:----
		Ca	0 0	++ +	+++ +	++ +	0	濃度高:+++
	凝 結 硬 化 速 度		+++ 0	++ ++	++ —	+++ ++	0	5mmふるいウェットスク リーニング。速度早:+++
	圧 縮 強 度		---	---	---	---	0	強度低:----
	乾 燥 収 縮 ひ ず み		+ +	+++ ++	+ +	++ +	0	ひずみ大:+++
	若材令期の長さ変化		++	+++	+	++	0	A-A, B-Bシリーズのみ。 ひずみ大:+++

コンクリートの性質の上段はA-Aシリーズ, 下段はA-Kシリーズを表す。

参考文献

市川 慧ほか 15 名 (1987) 粘土鉱物を使用したコンクリートの劣化に関する共同研究報告書 (その 1), 土木研究所
共同研究報告書, 第 4 号, p. 86.

鈴木哲也・熊谷茂樹 (1985) 有機系融雪剤による安山岩骨材の崩壊について, 応用地質, 26, 151-156.

質疑応答

司会 ただいまの発表で御質問、御意見等ございましたらお願いいたします。

小林室長、何かコメントございますでしょうか。

小林 私もきょうは発表する側でございますので、御質問があればいただいて、もし時間があればコメントをしたいと思います。まず御質問を聞いていただきたいと思います。答えの方にまいりたいと思いますので。

司会 何か御質問、御意見ございませんでしょうか。

小林室長、御質問がないようなので何かコメントがございましたらお願いします。

小林 地質担当者会議にコンクリートの話が大部分出てまいりましたので、コンクリートと地質担当者という関係があるかということについて少し補足させていただきたいと思います。

勝坂研究員から詳しく説明がありましたが、それで内容のことはいいと思います。アルカリ骨材反応につきましてはどうして地質の担当者に活躍していただかなければいけないかというと、アルカリ骨材反応は、説明しましたように反応性の骨材とセメントの中のアルカリが反応しましてコンクリートが伸びる現象です。今までコンクリート屋さんがやってきたことは反応性の骨材かどうか、実際にコンクリートなりモルタルをつくって伸びるかをチェックして調べてきたわけです。それが違う分野の人の力を借りますと、例えば、化学の人の力を借りますと、化学の人は、そんな伸びるかどうかを直接はかるなんて気長なことをしないで、反応して化学物質、要するにシリカとかそういうものが出てくるかどうかを調べればいいじゃないか、という御提言があつて化学法というのができたわけでございます。

当然、地質担当者の方からは、反応性骨材なんて、一々伸びるかどうかをチェックするなんていうことを言わないで、中に含まれている鉱物なり岩石の種類を調べて、どれが反応性だということがわかれば石の名前を調べて、すぐにそれでわかるんじゃないか、ということを当然おっしゃって鉱物の試験法ができるものと期待して皆さんの力を借りているわけでございます。これは土木屋さん、コンクリート屋さんが幾ら頑張っても岩石、鉱物の知識が乏しいものですから、そういう方に力が及ばないわけです。

恐らく地質の方であれば、安山岩だとか、砂岩だとか岩石名で言うのが適当なのか、あるいは石英とか、雲母だとか、長石だとか、鉱物名で言うのが適当なのか、あるいは同じシリカというにもクリストバライトとか、トリディマイトとかいう結晶状態で言って判定していくのがいいのか、あるいは生成された年代だとか結晶構造とかを詳しく解明していくと、恐らくこれでこの石が悪いかどうかということが判定できるんですよ、という御専門の方の知識が出てくることを期待しておったわけでございます。

モンモリロナイトにつきましてもそうなんです。モンモリロナイトなんていうのは私たちは名前も知らなかったわけです。ただ、コンクリート屋さんがやっているのは石を持ってきて、その石が吸水性が高いとか比重が大きいとかいうことで物理的に判定して使っておったわけです。ところが、鉱物の人が出てくると、モンモリロナイトというのが入っていると吸水性が高くなって、それが使えない石が出てくるんだという御提言があるから、そういう提言に一生懸命で耳を傾けて、鉱物の名前とか含有量、そういうもので判定ができないかどうかということを期待しているわけでございます。

ぜひ鉱物の方、地質担当者をお願いしたいことは、モンモリロナイトが入ってコンクリートがだめになることがあるのであれば、まずお願いしたいことは、モンモリロナイトの正確な含有量の測定の方法とか、モンモリロナイトがどのくらい入っているかというのは土木の人でははかりようがないんです。スメクタイトの正確な含有量の分析とか、あるいはどういう状態で存在しているのかとか、ぜひ専門的な知識を教えていただきまして、コンクリートの方に役立てたい。そういう力をお借りしたいものですからコンクリートの研究の中に地質の方に非常に広い方面で御活躍願っているというわけでございます。

司会 どうもありがとうございました。あと、御意見、御質問等ございませんでしょうか。それでは、ありがとうございました。

4. ダム湛水に伴う地すべりの概査 調査検討資料

土木研究所地質研究室
室長 市川 慧

目 次

第1章 総 論	49
1.1 目 的	49
1.2 適用の範囲	50
1.3 内容および用語の解説	51
1.4 調査・検討の手順	53
1.5 地すべりの特性	55
1.5.1 地すべり地形の特徴および地すべり地形判読の意義	55
1.5.2 地すべりの一般的な型分類	56
1.5.3 地すべりに関連する地質特性	57
1.6 湛水に伴う地すべりの原因と特性	58
第2章 調 査	60
2.1 調査の目的	60
2.2 資料収集	60
2.3 空中写真判読と地すべり等地形予察図の作成	62
2.3.1 空中写真判読範囲の設定	62
2.3.2 空中写真の判読要素	63
2.3.3 水系、尾根（稜線）の判読	64
2.3.4 遷急線、遷緩線、山腹緩斜面の判読	64
2.3.5 地すべり地または地すべりの可能性の大きい地点の抽出	65
2.3.6 空中写真等へのダムサイト、貯水池、付替道路等の計画の記入	66
2.3.7 補助的な現地調査	66
2.3.8 地すべり等地形予察図の作成	66
2.4 現地調査および地すべり等地形予察図の照合	67
2.5 地すべり等地形分布図の作成	69
第3章 湛水に伴う地すべり等の重要度の評価と調査の優先度	70
3.1 湛水に伴う地すべり等の安定度の検討	70
3.1.1 地すべりブロックと貯水面との関係	70
3.1.2 湛水前の斜面の安定度の推定	71
3.1.3 地すべりの活動時期と型分類に応じた湛水の影響	71
3.1.4 貯水面以下の水没深度（湛水深）の検討	72

3.1.5 地すべり斜面末端部での崩壊可能性の検討	72
3.2 湛水に伴う地すべり等の重要度の評価と精査の優先度	73
3.2.1 評価基準の考え方	73
3.2.2 地すべりの安定度の評価	74
3.2.3 地すべり規模の評価	74
3.2.4 保全対象への影響の評価	75

1.1 目 的

本指針(案)はダムの湛水に伴う地すべり等に対し事前に実施すべき概査の進め方および調査結果のまとめ方について示すもので、これによってダム貯水池周辺での湛水に伴う地すべり等への的確な対応を図ることを目的とする。

(解 説)

ダムの湛水により地すべりや崩壊(以下、地すべり等とする)が発生することのないように効果的な対策を図るため事前に調査が実施されるが、これは広域的に地すべり等の分布状況を把握するために行われる概査と、特定の地域で地すべり等の対策の資料を得るために行われる精査とに大別される。本指針(案)はこのうちの概査に適用する。

本指針(案)は、貯水池周辺の地すべり等地形分布図等を作成し、湛水に伴う地すべり等の変動しやすさを推定することにより、湛水に伴う地すべり等が予測される地区での的確な対応を図ることを目的として、表一1の「概査」に相当する初期の調査段階における貯水池周辺での効果的な地すべり等の予知手法の標準を示したものである。なお、貯水池周辺の地すべり等地形分布図は湛水のみでなく、ダム本体や原石山、付替道路等の土工に関連する地すべり等の予知や対策などダム事業全体にも関連するので重要であり、ダム事業の進捗に応じ作成されなければならない。

表一1の各地すべり調査の段階における具体的な内容は次のとおりである。

(1) 概査(地すべり等の分布把握のための調査)

ダム計画そのものに影響を与えるようなダムサイト付近での大規模な地すべり等や、貯水容量に影響を与えるような貯水池周辺での大規模な地すべり等の分布状況については早期の段階で把握する必要がある。既存の調査資料、文献等の収集検討、地すべり指定地や地すべり危険箇所の確認、ダムサイト予定地付近等での空中写真・地形図判読を行う。

表一1 湛水に伴う地すべりの調査

地すべり調査の段階	地 す べ り 調 査 の 内 容
概 査 (地すべり等の分布把握のための調査)	地すべり等の分布状況を把握し、各地区の湛水に伴う変動しやすさを評価し、このうち精査が必要とされる地区を抽出するための調査。
精 査 (地すべり等の対策のための調査)	地すべり等の機構を解明し、湛水に伴う斜面の安定度を予測する具体的な防止工設計のための調査。
補 足 調 査	設計の細部の詰めおよび建設時に新たに生じた問題点解明のための調査。
試験湛水時の調査	湛水に伴う地すべり等の挙動を把握するための調査。
維持管理時の調査	湛水後、長期的に地すべり等の安定性を確認するための調査。

ダムサイト下流も含めて貯水池周辺での広域的な地すべり等危険箇所の分布を明らかにし、この中から精査（地すべり等の対策のための調査）が必要とされる地区を抽出するもので、空中写真や地形図の判読と現地調査によって地すべり等地形分布図を作成し、湛水に伴う各地すべり等の変動しやすさを評価する。これに基づいて今後の精査が必要となる地区を抽出する。

(2) 精査（地すべり等の対策のための調査）

概査の結果、精査が必要な地区として抽出された各地すべり等を対象に、湛水に伴う影響を定量的に予測し必要に応じて地すべり等防止工法の設計資料を得ることを目的として、ボーリング調査、横坑等の地質精査、斜面変動状況調査、地下水調査等を行う。精査に基づき必要とされる地区については、防止工法の検討を行う。

(3) 補足調査

ダム本体や貯水池周辺道路および代替地等の建設の進捗に伴い切土露頭が増加する。精査が実施されたのち、これらの地質情報の増加も参考として設計の細部の詰め、防止工法の効果判定および建設時に問題となった箇所の対応のため細部の補足調査を行う。

(4) 試験湛水時の調査

試験湛水時には地すべり等の動態観測を行い変動の有無の確認を行う。

(5) 維持管理時の調査

ダムの湛水後、地すべり等の変動の有無について定期的かつ継続的な調査を行う。

1.2 適用の範囲

本指針(案)はダムサイトの選定が概ね終了した段階の概査に適用する。

(解 説)

本指針(案)はダムの実施計画調査等のある程度調査が進捗し、ダムサイト選定が概ね終了した段階での地すべり等の概査に適用される。このうち特に地質的に比較的新しい地層である新第三紀層や、構造運動による破碎帯、あるいは脆弱な片理面が形成されている変成岩等の分布地域のような地すべり等の多発地帯に位置するダムの計画地点や、地質が類似な箇所で地すべり等への対応が図られている既設のダムがある場合などには必要に応じ出来るだけ初期の調査段階で本指針(案)に基づく地すべり等の概査を実施しておくことが望ましい。

本指針(案)の適用に当たっては、「建設省河川砂防技術基準(案)」に定められた内容も参考とする。

適用の対象となるダムは建設省所管の直轄事業、水資源開発公団事業および補助事業に係るものとする。

1.3 内容および用語の解説

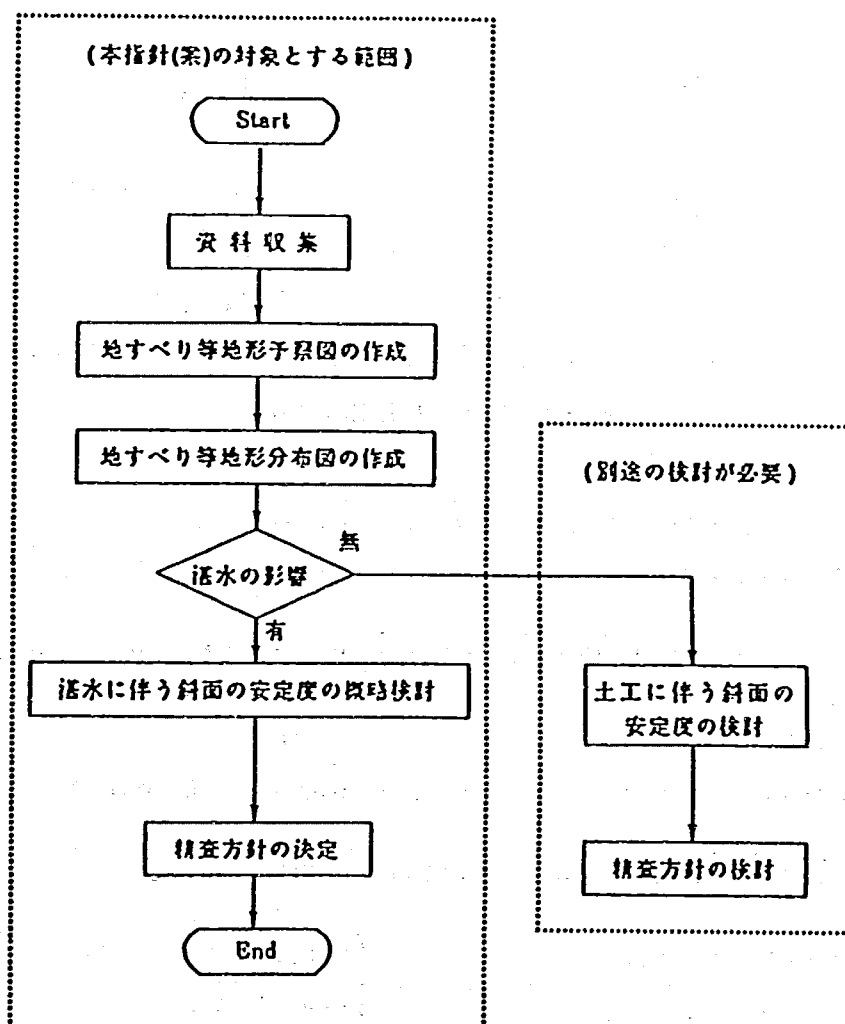
本指針(案)は貯水池周辺において、地すべり等が予測される地形を抽出し、湛水に伴う地すべり等の重要度の評価を行う場合の技術的事業についての標準的な方法を示すものである。

(解 説)

本指針(案)は貯水池周辺における地すべり等の分布・規模・性状等の抽出および推定、湛水に伴う影響や精査優先順位を含めた湛水に伴う地すべり等の重要度の評価等の標準的な方法を示したものである。

本指針(案)に基づく成果品としては以上の調査や検討内容を織り込んだ「地すべり等地形分布図」であり、このほか必要に応じ地すべり等の断面形状等を推定し記載した「地すべり等地形調査表」も作成される。

地すべり等が予測される地形の抽出から湛水に伴う地すべり等の重要度の評価に至る一般的な手順は図一1に示すごとくである。前段では空中写真や地形図の判読と現地調査によって地すべり等地形分布図を作成する。後段では湛水に伴う地すべり等の安定度を検討し、この結果と地すべり等の規模および保全対象へ



図一1 ダム湛水に伴う地すべり概査の大まかな手順

の影響から湛水に伴う地すべり等の重要度を評価し、これに基づいて今後の精査方針を決定する。

湛水以外の土工等を原因とする地すべり等についても、この地すべり等地形分布図を参考として、事前の対応を図ることが必要であるが、本指針(案)では、これらについては検討対象外であるので別途の検討が必要である^り。

本指針(案)では、ダムの湛水や地すべり等の調査に関連する用語については、それぞれ次の内容を示すものとする。

① 貯水池・貯水面・貯水池周辺

ダムによって人工的に形成される湖を貯水池といい、その水面を貯水面という。本指針(案)での貯水面は、一般にはサーチャージ時の水面を示す。貯水池周辺は狭義には貯水池の近傍を指すが、本指針(案)では、概ねダムの下流4 km 程度、貯水池上流端から上流4 km 程度、および貯水池兩岸の尾根までとする(図-12 参照)。

② 湛水・湛水深・初期湛水

ダムの貯水によって斜面等を水に浸す行為を湛水といい、そのときの水深を湛水深という。ダム竣工直後の試験湛水において貯水位上昇に伴い、斜面が初めて湛水することを初期湛水という。

③ 地すべり・崩壊

斜面での土塊(岩塊)の移動は一般に地すべりと崩壊の2つに大別でき、表-2のようにまとめることができる。

しかしながら地すべりと崩壊の境界は必ずしも明確ではなく、両者の中間的な性格のものも多数発生しており、地すべり性崩壊とか崩壊性地すべりのような呼ばれ方をすることも多い。

本指針(案)では対象とする地すべり・崩壊は規模としてほぼ1万 m³ 程度以上のものとし、一括して地すべり等という。なお、単なる肌落ちや落石等の小崩壊は発生の予知が困難であり、また背後斜面の地すべり等

表-2 地すべりと崩壊の特徴

	地 す べ り	崩 壊
地 質	特定の地質または地質構造の所に多く発生する。	地質との関連は少ない。
土 質	主として粘性土をすべり面として活動する。	砂質土(マサ、ヨナ、シラス等)中でも多く起こる。
地 形	5°~20°の緩傾斜面に発生し、特に上部の台地状の地形を持つ場合も多い。	20°以上の急傾斜地に多く発生する。
活動状況	継続性、再発性	突発性
移動速度	0.01~10mm/dのものが多く一般に速度は小さい。	10mm/d以上で速度はきわめて大きい。
土 塊	土塊の乱れは少なく、原形を保ちつつ動く場合が多い。	土塊はかく乱される。
誘 因	地下水による影響が大きい。	降雨時に降雨強度に影響される。
規 模	1~100haで規模が大きい。	規模が小さい。
徴 候	発生前に亀裂の発生、陥没、隆起、地下水の変動等が生じる。	徴候の発生が少なく突発的に滑落してしまう。

の前駆現象でない限り予想される被害も小さいため対象としない。

④ 地すべり地形・地すべりブロック

過去の地すべり等の変動履歴を示す滑落崖や陥没帯等の特徴を備えた地形を地すべり地形といい、地すべり発生時に同一の運動単位として変動する土塊（岩塊）の分布範囲を地すべりブロックという。したがって1つの地すべり地形には1～数個の地すべりブロックが含まれる。

地すべり地形には過去に数次の発生履歴を有する明瞭なもの以外に、初生的な地すべりで過去の運動量が小さいため、明瞭な地形を示さないものもある。

⑤ 残留間隙水圧

貯水位が上昇し、その後急速に貯水位を低下させた場合に、地すべり地内の地下水位はやや遅れて低下する。

貯水位の低下に追従出来ず自然地下水位以上に残留した地下水によってすべり面に作用する間隙水圧を残留間隙水圧という（図-2）。

⑥ 地すべり対策工

地すべり地帯において、地形・地質・地下水等の自然条件を変化させ地すべり等を抑制する抑制工と、構造物によって地すべりの滑動力に対抗する力を与えようとする抑止工とを総称して地すべり対策工という。

⑦ 安定度・重要度

地すべり等の自然状態での活動性あるいは湛水後の変動しやすさの指標を安定度とする。

地すべりの安定度、規模、および保全対象への影響等から総合的に評価された地すべりへの対応の度合いを重要度とする。

1.4 調査・検討の手順

ダムの湛水に伴う地すべりの概査は、まず地すべり等地形分布図を作成するための調査を行い、次いでこれを基にダムの湛水に伴う地すべりの重要度を評価し、今後の地すべり等の精査方針を決定する。

（解 説）

調査・検討では、図-3に示すように、前段の地すべり等地形分布図の作成までと、後段の湛水に伴う地すべり等の重要度の評価とに区分される。

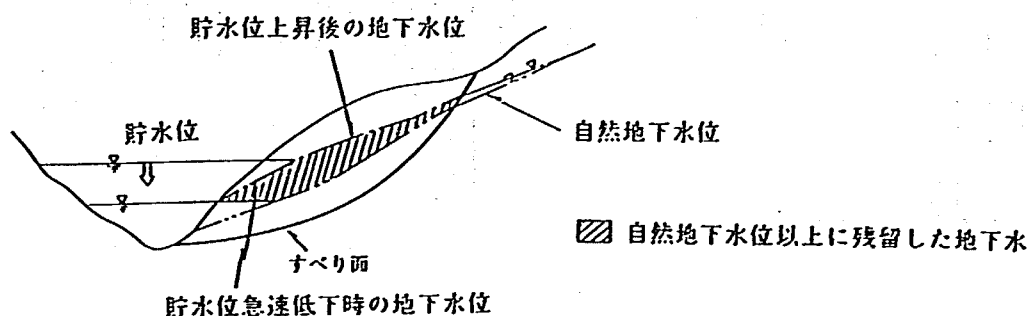


図-2 残留間隙水圧の概念を示す図

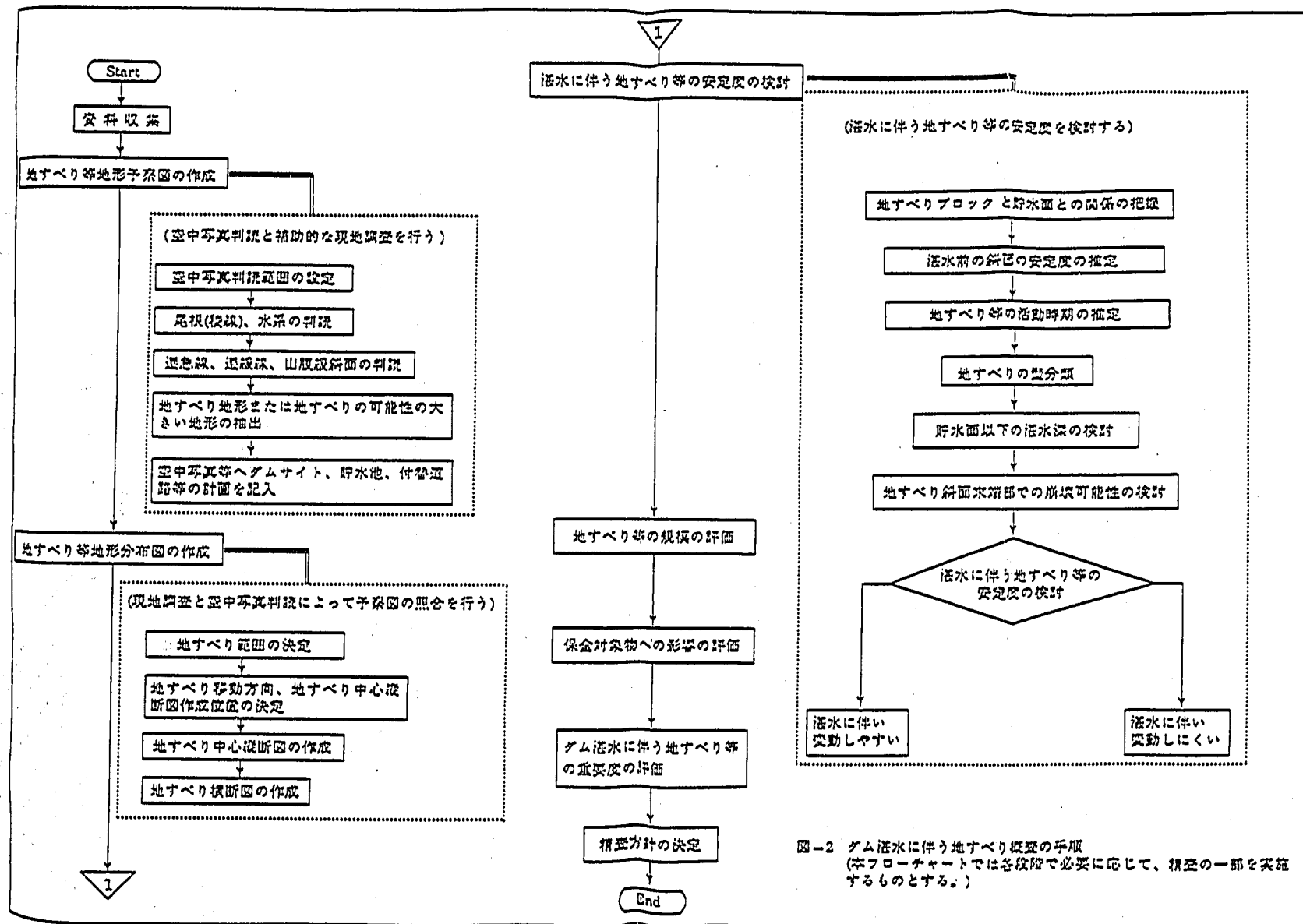


図-3 ダム湛水に伴う地すべり概査の手順 (本フローチャートでは各段階で必要に応じて、精査の一部を実施するものとする。)

前段の調査では、地すべり等の予測される地形を広範囲に抽出し、「地すべり等地形分布図」を作成することが重要な作業となる。すなわち、空中写真の判読と補助的な現地調査により「地すべり等地形予察図」を作成し、それに基づいて現地調査および空中写真の補足判読を行い「地すべり等地形分布図」を作成する。このとき地すべり等地形分布図をもとに、どのような地質の箇所に地すべり等の地形が分布しているかについても検討する。

後段の検討では、前段の調査結果をもとにダムの湛水という環境変化を考慮し「湛水に伴う地すべり等の安定度」と「地すべり等の規模」および「保全対象への影響」から「湛水に伴う地すべり等の重要度」を総合的に評価し、今後の精査対象を限定する。「湛水に伴う地すべり等の安定度」の検討においては、第1に地すべり等地形分布図中の各地すべりブロックと貯水面との関係から、湛水の影響を受ける地すべりブロックとして貯水面にかかるものを抽出する。第2に抽出された地すべりブロックについて湛水前の安定度を推定し、地すべりの活動時期と地すべりの型分類とによって湛水に伴う変動しやすさを検討する。この場合、活動中の地すべりは湛水後も変動しやすい。一方、休止中および初生的な地すべりは湛水後の挙動が不明であるため、地すべりの型分類、貯水面以下の湛水深および地すべり末端部での崩壊の可能性を順次検討し、湛水に伴う安定度を検討する。すなわち、地すべりの型として粘質土・崩積土地すべりは自然状態でかろうじて安定を保っていることが多いので一般には湛水後には変動しやすく、岩盤・風化岩地すべりは自然状態の安全率が比較的高いため、貯水面以下の湛水深が大きい場合や地すべり末端部での崩壊が発生する場合に変動しやすい。岩盤・風化岩地すべりで貯水面以下の湛水深が小さくなおかつ末端崩壊が発生しない場合には湛水後にも変動しにくい。「地すべりの規模」の検討では大規模なものほど危険度が高い。「保全対象への影響」の検討では、地すべり等が発生した場合、ダムの施設に与える影響が最も大きく、次いで貯水池、貯水池周辺の人家や公共施設および付替道路等のダム周辺の施設の順となる。

湛水に伴う地すべり等の発生の重要度が大きい場合には精査が必要とされる。場合によってはダム施設計画や貯水池運用計画の一部見直しや貯水池周辺整備計画の検討を行うことが望ましい。なお、本指針(案)が適用される段階では大規模な地すべりの存在等も考慮して既にダムサイトの選定が概ね終了しているため、本調査結果は主に貯水池周辺整備計画の検討資料となるものである。ダム施設計画や貯水池運用計画については堤高や貯水容量等の基本的事項での変更はなく、ダムサイトの座取りや貯水位低下速度の検討等の資料となる。

1.5 地すべりの特性

1.5.1 地すべり地形の特徴および地すべり地形判読の意義

地すべり等は一般にある共通の地形的特性を有し、これを空中写真と地形図とから判読することによって地すべり等が予測される地形の有無を推定することができる。

(解 説)

一般的な地すべりの地形的な特徴は、地すべりの頭部に急斜面または崖(滑落崖)があつて、その直下に

凹地または平坦地とそれに続く緩斜面があり、さらに緩斜面の下方に再びやや急な斜面が続く形である。すなわち地すべり頭部の引張り地帯では馬蹄形状の滑落崖あるいは急斜面から緩斜面に移行する明らかな地形変換点や陥没帯が認められる。地すべりの中間部では緩斜面あるいは階段状地形の連続、さらに地表面での陥没や隆起などが認められる。地すべり末端部の圧縮地帯では斜面末端部での隆起、あるいは緩斜面から急斜面への移行、崩壊さらに圧縮亀裂などが認められる。地すべり側面部では、側面亀裂や直線状の急斜面から緩斜面への移行あるいは沢状地形などが認められる。

地すべり等の発生する箇所は、かつて崩壊や地すべりによってできた地形の所が再び移動を開始することが大部分であって、特別な誘因のない限り、いわゆる地すべり地形でない所が新たに滑動を生じた例は稀である。

これらの地形的特徴は空中写真や地形図から判読することができ、また、現地調査によって確認することが可能である。特に空中写真を用いると広い範囲にわたって地形の判読が可能であり、地すべり地形の判読についても広範囲を短時間のうちにほぼ同程度の精度で効率的に行うことができる。

1.5.2 地すべりの一般的な型分類

一般に地すべりは、過去の運動を反映した地形により分類することができる。

(解 説)

地すべりの一般的な型分類としては、すべり面形状や過去の地すべり移動量の大小、地すべり地形の分化等を考慮した主として地すべり頭部の移動物質の性状の違いに基づいた分類法が広く用いられている。湛水に伴い発生する地すべりについても、貯水位や貯水位の昇降速度だけでなく、移動物質の違いによって運動の形態等が異なる傾向にある。すなわち、透水性が不良な粘質土地すべりは貯水位低下に伴い残留間隙水圧が発生しやすく、この際変動が活発化する。一方、透水性が良好な風化岩地すべりは、貯水位上昇の際、地山内の空隙に水が浸透することによって浮力が発生しやすく、この際変動が活発化する。一般には粘質土地すべりは、地形的に明瞭なことが多いので事前の対策がたて易く、一方、岩盤地すべりは地形的に不明瞭であることが多く、また、不安定化した場合には運動が急激であるので対応が難しい。

このような地すべり特性を充分考慮した調査を行うことが必要であり、本指針(案)でもこの分類法に基づく(表-3)。なお、地すべり頭部の土塊の性質を重要視するのは、この部分が地すべり変動後においても比較的攪乱されることが少く、地すべり変動前の地山の性質を最も良く残存しているためである。

一般に地すべりはその頭部の移動物質の違いにより表-3のごとく岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべり、粘質土地すべりに分類され、それぞれに応じて地形の特徴が異なる。また、地すべり地形の判読、予知の段階では過去の地すべり変位量が大きくなおかつ地形の分化が進行しているものほど、判読が容易であることが知られている。

粘質土地すべりや崩積土地すべりは過去の地すべり履歴が長く、かつ断続的であることが多いため、地すべり地外との地形的差異が大きく、また地形の分化が進行しているので、いわゆる明瞭な地すべり地形を示す。

表-3 地すべりの型分類²⁾

特 徴 \ 分 類	岩盤地すべり	風化岩地すべり	崩積土地すべり	粘質土地すべり
出現頻度の多い平面形	馬蹄形, 角形	馬蹄形, 角形	馬蹄形, 角形, 沢形, ボトルネック形	沢形, ボトルネック形
出現頻度の多い微地形	凸状尾根地形	凸状台地形, 単丘状凹状台地形	多丘状凹状台地形	凹状緩地形
すべり面形	椅子型, 舟型	椅子型, 舟型	階段状, 層状	階段状, 層状
主な土塊の性質(頭部)	未風化岩, または弱風化岩透水性は良好	風化岩, 亀裂が多く透水性は良好	礫混じり土砂, 透水性はやや不良	礫混じり土砂, 透水性は不良
主な土塊の性質(末端部)	風化岩(移動量が小さい場合)	巨礫混じり土砂	礫混じり土砂, 一部粘土化	粘土または礫混じり粘土
運動速度	2cm/day以上	1.0~2.0cm/day程度	0.5~1.0cm/day	0.5cm/day以下
運動の継続性	短時間突発的	ある程度断続的(数十~数百年に一度)	継続的(5~20年に1回程度)	継続的(1~5年に1回程度)
すべり面の形状	平面すべり	平面すべり(頭部と末端がやや円弧状)	円弧と直線状, 末端が流動化	頭部が円弧状だが大部分は流動状
ブロック化	概ね1ブロック	末端, 側面に2次的な地すべりが発生する。	頭部がいくつかに分割され, 2~3ブロックになる。	全体が多くのブロックに分かれ相互に関連し合って運動する。
一般的な斜面形	一般に台地部があるが不明瞭である。凸型斜面に多く, 鞍部から発生する。	明瞭な段落ち, 帯状の陥没地と台地を有する。大きくみれば凹型だが, 主要部は凸型である。	滑落崖を形成し, その下に池, 湿地等の凹地があり, 頭部には幾つかの残丘がある。凹形斜面に多い。	頭部に不明瞭な台地を残し大部分は一般的な緩斜面で, 沢状を呈することが多い。

過去の移動量が比較的大きな風化岩地すべりや岩盤地すべりにも明瞭な地すべり地形を示すものがある。一方, 過去の地すべり発生時の移動量が極く小さい岩盤地すべりや風化岩地すべり, さらに最近ダム貯水池周辺で問題視されている緩んだ岩盤や, 深部のクリープ変形を受けた初生的な地すべりの発生につながる地形等は, 明瞭な地すべり地形を示さず, 凸状尾根型ないし凸状台地型地形を示す。さらにこれらは直線すべりの形態をとることが多いことから円弧すべりとは異なり滑落崖の発達が不良であるため周囲の不動地との判別が困難となっている。しかしながら, これらのいわゆる不明瞭な地すべり地形についても不動地域と比較したとき, 尾根(稜線)や沢(水系)の連続性や分布状況の違い, あるいは山腹部や山頂部の特異な小起伏面の存在等の形態があらわれることが多い。したがって, 調査結果から得られる地質分布の違いや地質構造, あるいは地山のゆるみやクリープの程度なども勘案して地すべり地形は評価されなければならない。

1.5.3 地すべりに関連する地質特性

地すべりは岩質や地質構造等の地質的な特性に関係が深い。

(解 説)

風化した場合粘土状に変化する傾向が強い新第三紀の堆積岩類や、脆弱な片理面が形成されている泥質～塩基性の変成岩類では、風化等の影響により地すべりが発生する可能性が高い。また、せん断面が形成されたり、ブロック化が進行しやすい地質構造が地すべりの発生や形状を規制する。たとえば、同斜構造（特に流れ盤）、断層、破碎帯、褶曲（特に背斜構造）、岩脈の貫入部、キャップロックなどの存在がある。また砂泥互層や、特定の層準で風化の進行がはやく劣化しやすい地層を挟む場合、崩壊や地すべりが発生しやすいので注意を要する。

地すべり地では、斜面内部の地質構造、特に地層の走向傾斜を推定するとき、クリープ変形による緩みにより、地表部と内部では走向傾斜が全く異なることがあるので注意する必要がある。

1.6 湛水に伴う地すべりの原因と特性

ダムの湛水に伴う地すべりの発生原因としては次のものがある。

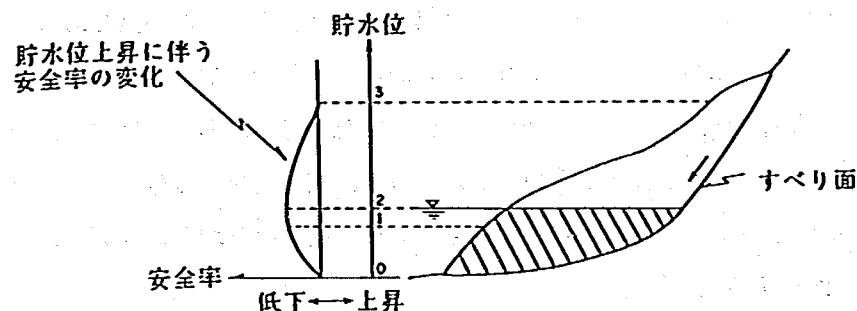
- (1) 地すべり構成土塊のうち斜面下部受働区域の水没に伴う浮力の発生
- (2) 貯水位の急速低下による残留間隙水圧の発生
- (3) 水没による地すべり斜面内の地下水位の上昇
- (4) 水際斜面の侵食、崩壊

(解 説)

湛水に伴う地すべり等の原因には次のようなものがある。

- (1) 地すべり構成土塊のうち斜面下部受働部分の水没に伴う浮力の発生（図－4）

湛水によって地すべり構成土塊のうち、斜面下部の受働部分がまず水没し、ここに浮力が作用する。地すべり土塊全体では押さえ荷重に相当する区域が浮力を受け軽くなるため、全体的には地すべり斜面の安全率が低下し、地すべりが発生する。特に、すべり面の勾配が、末端部で低角度の場合には湛水深が浅くとも影響を受けやすい。



図－4 貯水位の上昇による地すべりの安全率の変化

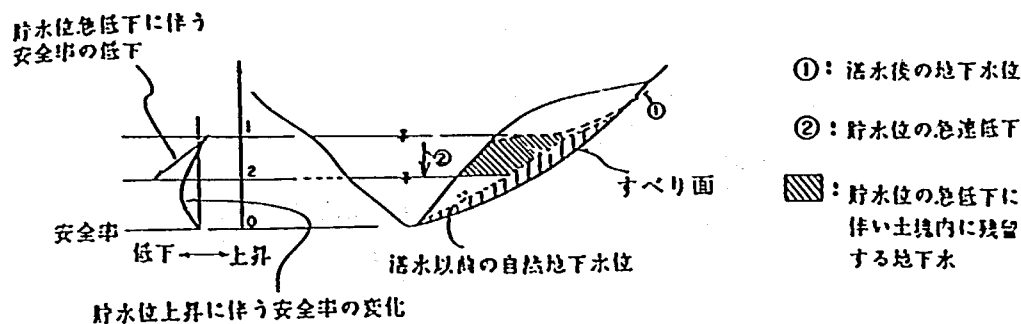


図-5 貯水位の急速低下に伴う安全率の低下

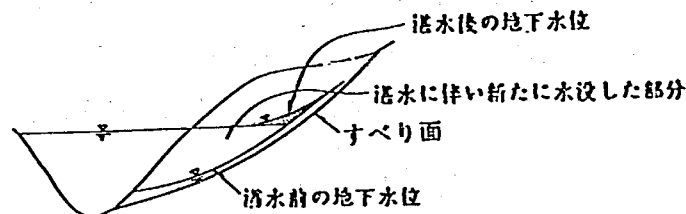


図-6 水没による地すべり斜面内の地下水位の上昇

(2) 貯水位の急速低下による残留間隙水圧の発生 (図-5)

貯水位が長期間一定に保たれた後、急速に低下すると斜面土塊の地下水の排水が追従できず土塊内には一時的に残留間隙水圧が発生する。特に地山の透水性が小さく、貯水位の低下に地下水位が追従できない場合には大きな影響を受ける。図-5に示すように貯水位を急速に低下したときには、地すべりの安全率は最も低下する。

(3) 水没による地すべり斜面内の地下水位の上昇 (図-6)

斜面末端部が水没することにより、それまでの地下水の排水条件が悪化し、斜面上方部の地下水位が著しく上昇する。湛水時に大降雨が重複した場合には、湛水前に比較し極めて地下水位が上昇し、このため斜面内の間隙水圧が増大し斜面の安定度が低下する。

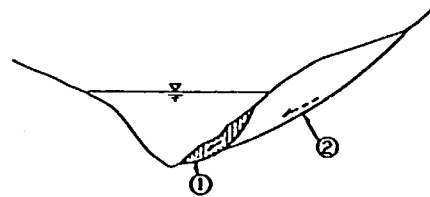
(4) 水際斜面の侵食・崩壊

水没によって斜面表層部の土塊は飽和して著しく強度が低下する。また、風によって貯水池内に波浪等が生ずる。これらと、貯水位上昇時の浮力作用あるいは貯水位急低下時の地下水の浸出(浸透崩壊)等が複合した原因となって、水際斜面で侵食や崩壊が発生する。

単なる肌落ち程度の小崩壊であれば特に問題とはならないが、背後斜面に大規模な地すべりが存在する場合には、斜面末端部水際の侵食や崩壊が背後斜面の地すべりの発生原因となることがある(図-7)。特に地すべり末端部の土塊は、過去の地すべり運動によって破砕されているため崩壊が発生しやすい。

湛水に伴う地すべりは、これらの原因が単独に作用することによって発生するばかりではなく、複合して作用することもある。

湛水に伴う地すべりは主に初期湛水時、貯水位の急速低下時、貯水位の再上昇時および一定貯水位での降雨時等に発生するが、特に初期湛水時や貯水位急低下時に多い。



- ① 斜面末端の小規模崩壊
② 背後斜面の大規模地すべり

図一7 水没斜面下部の小崩壊が誘因となる地すべりモデル

初期湛水時に発生する地すべりは主に(1), (3), (4)の原因と、貯水位の急速低下時に発生する地すべりは主に(2), (4)の原因と、貯水位の再上昇時に発生する地すべりは主に(1), (3)の原因と、貯水位が比較的一定な状況下で降雨等に伴い発生する地すべりは主に(3)の原因とそれぞれ密接な関係を有する。

第2章 調査

2.1 調査の目的

調査の目的は、湛水予定地およびその周辺の地すべり等地形分布図を作成し、地すべりの型分類やすべり面形状の推定を行うことである。

(解 説)

湛水に伴う地すべりの調査は、まず、主に空中写真の判読と現地踏査により地形的に不明瞭なものも含め地すべり・崩壊等を推定し、地すべりの平面形状を正確に記入した地すべり等地形分布図を作成する。このとき特に地すべり末端部には注意する必要がある。ついで、地すべり頭部の移動土塊の質に応じて地すべりの型分類すなわち岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべりおよび粘質土地すべりの区分を行い、さらに、地すべり活動時期に応じて活動中の地すべり、休止中の地すべりおよび初生的な地すべり等の区分を行う。また、地すべり末端部を含めてすべり面の断面形状を推定し、湛水の影響の有無を判定する際の基礎資料とする。なお、このほかに、湛水後の地下水状態の変化を定性的に予測するためには、地山の地下水の状況や透水性等についても推定を行う必要がある。

2.2 資料収集

概査にあたっては、次の資料を収集し、地すべり等地形予察図および地すべり等地形分布図作成の基礎資料とする。

- 1) 地形図 $S=1/25,000$
 $S=1/2,500$
- 2) 地質図 $S=1/50,000 \sim 1/200,000$

$$S=1/2,500$$

3) 空中写真 $S=1/8,000\sim 1/15,000$

4) その他

(解 説)

概査時に収集する資料には次のようなものがある。

以下の各資料については、それらが調査にどの程度利用出来るか、またどのような地域のどのような内容の資料が不足しているかを検討し、資料の抄録を作成する。

(1) 地形図

$S=1/25,000$ ：地すべり等に関連した広域的な地形特性を把握するため貯水池を含む広範囲のものを収集する。流域外の地形図が必要となる場合もある。

$S=1/2,500$ ：原則としてダムの実施計画調査等の段階では、この縮尺程度の地形図を地すべり等地形分布図の基図として使用するのがよい。平面図の範囲は貯水池全域と貯水池兩岸の尾根まで含み、上流は貯水池上流端より 4 km、また下流はダムサイトより 4 km までの区間を含むものとする（図－9）。

(2) 地質図

$S=1/200,000\sim 1/50,000$ ：広域地質図

地すべりに関連した地質特性を広域的に把握するため必要となる。

$S=1/2,500\sim 1/50,000$ ：地表踏査に基づく貯水池周辺地質図

ダムの地質調査で作成したものを含めて資料を収集する（図－9 参照）。

(3) 空中写真（垂直写真）

$S=1/8,000\sim 1/15,000$ ：1974 年以降は全国的に撮影されている。

入手範囲は、地すべり地の全容を把握し、また地すべり等の発生する恐れのある大きな地域まで判断出来るよう貯水池全域と貯水池兩岸の尾根まで含み、 $S=1/2,500$ の地形図よりやや広い範囲のもの（図－9）。また、時系列変化が読み取れるように数次撮影のものを入手すると自然状態での地形変化すなわち地すべりの活動性を推定するために有効である。

(4) その他

・垂直空中写真

$S=1/20,000\sim 1/40,000$ ：1974 年以前に全国的に撮影されている。

微地形の判読には適さないが、広域的な地質構造を推定し、大規模な崩壊や地すべり地を抽出するために、 $S=1/25,000$ の地形図範囲程度のもがあると望ましい。

・斜め空中写真

斜め空中写真は単写真でも地すべり地形等の特徴を把握しやすい。とくに急峻な地形に対しては有効である。

・地形分類図、土地条件図等

広域的地形特性や土地利用特性を把握するために有効である ($S=1/50,000 \sim 1/25,000$)。

- ・周辺部での崩壊・地すべり等の発生事例

砂防事務所、土木事務所等の調査報告書があればこれも活用する。

- ・ダムサイト、原石山等の既往ボーリング調査資料等の文献資料

2.3 空中写真判読と地すべり等地形予察図の作成

空中写真判読を主体とし、地形解析や補助的な現地調査を行って、地すべり等地形予察図を作成する。地すべり等地形予察図には、各地すべりの位置、平面形状（頭部と側方部の境界、可能な限り末端部の境界）および地すべり地形の全体的な分布を記入する。

（解 説）

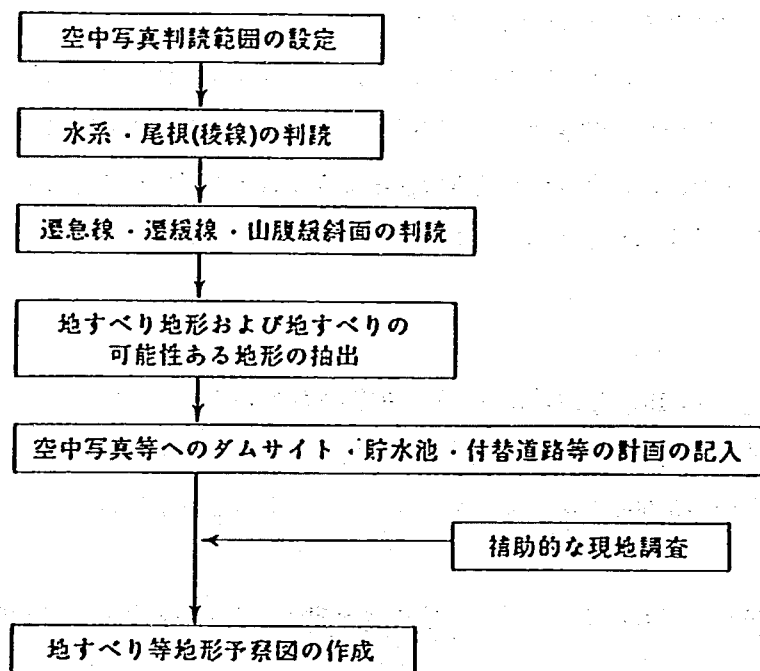
地すべり等地形予察図作成のための具体的手順は図－8に示すとおりである。

空中写真判読は、収集した地質図や地形図等の資料を参考として、調査地域全体の写真を立体視で一通り観察し、写真像の中から調査地域の判読に有効な特徴を見出す。その後細部の判読を行う。

空中写真判読と平行して、特に代表的と思われる地域あるいは重点を置くべき地域の補助的な現地調査を行い、写真判読の鍵となるデータを収集し全域の写真判読の精度の向上を図る。

2.3.1 空中写真判読範囲の設定

判読範囲は原則として貯水池兩岸の尾根まで、また上流方向では貯水池上流端より1 km程度、下流方向では建設段階でのダムサイトへのアプローチ道路計画開始点まで含むよう地形的な拡がりに応じてダムサ



図－8 地すべり等地形予察図作成のための手順

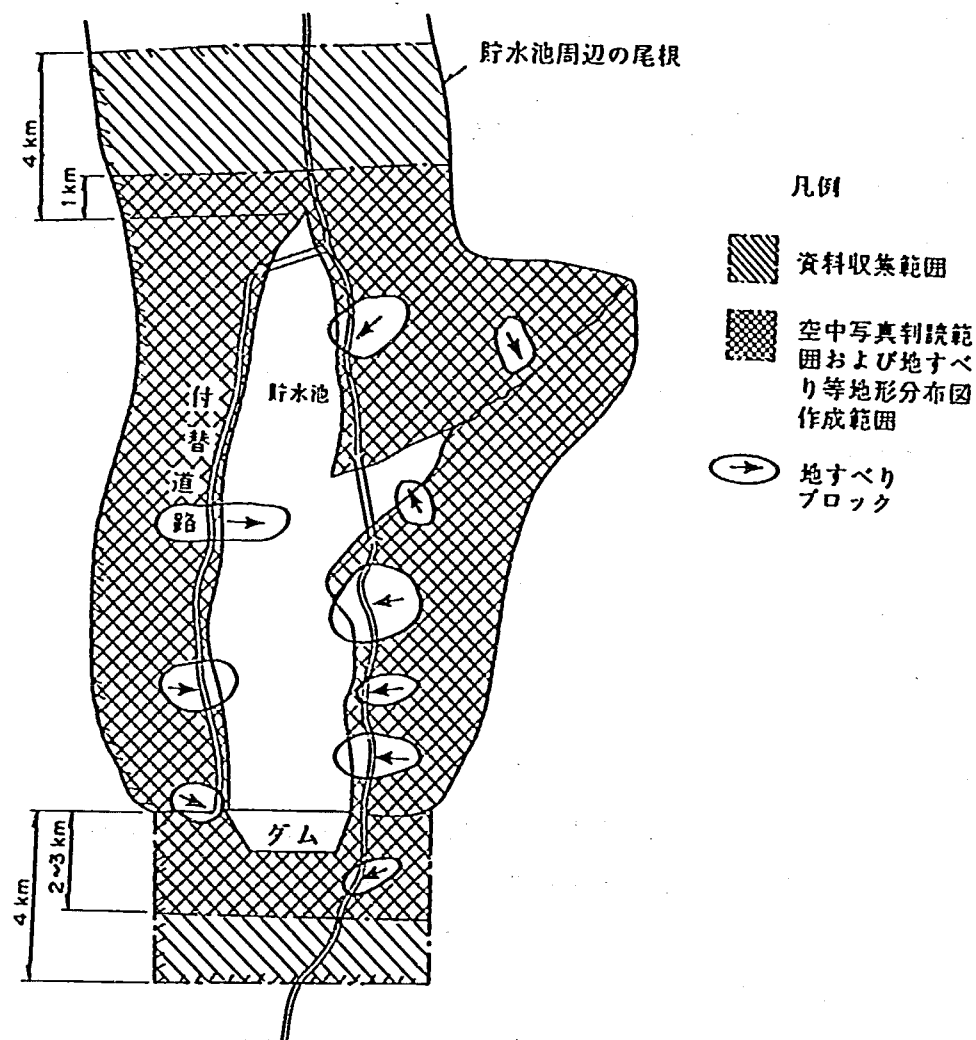


図-9 資料収集範囲および空中写真判読範囲

イト下流の2~3 km 程度は必要である。また、出来る限り周辺部の地形まで判読する(図-9)。すなわち、貯水池周辺での地形解析にあたっては、周辺部での地すべり発生の多寡を認識するとともに、隣接する他流域に大規模な地すべり等が存在した場合には、その形状、位置、規模等を検討することが有効である。

2.3.2 空中写真判読の要素

空中写真判読の要素としては次のような項目がある。

1. 水 系
2. 尾根 (稜線)
3. 遷急線 (点)
4. 遷緩線 (点)
5. 山頂緩斜面 (山頂小起伏面), 侵食小起伏面 (高位平坦面)
6. 山腹緩斜面 (山腹小起伏面), 小平坦面中の谷型凹地
7. 開析斜面, 滑落崖 (新, 旧), 谷の肩線

局所的な傾斜変換点

表層クリープの著しい地域

表層崩壊地

大規模崩壊地形（地すべり性崩壊や基盤の崩壊）

地すべり他

ガリー

8. 山麓地形

山麓緩斜面

崖錐，落石堆積地域，崩積土堆積地域

土石流堆積地域（土石流段丘）

沖積錐

扇状地

9. 谷底平野（低地）（段丘）

10. リニアメント

11. クラック地形

12. 湧水地点

参考資料には地すべり等地形予察図に記入する標準的記号を含めて，空中写真判読の要素を示し，また，空中写真の判読が現地調査に対し，あくまで間接的調査手法であることを考慮して，その限界についても示した。

2.3.3 水系・尾根（稜線）の判読

地すべり活動に伴い地すべり土塊は緩み，その透水性は一般的に増大する。このようなところでは一般に雨水は地下水として伏流しやすく水系の発達が悪くなる。したがって，水系発達が不良な箇所は特殊な地質条件（例えば石灰岩地帯等）の場合を除き，地すべり等の存在を反映している可能性がある。また，地すべり頭部陥没地跡に水無沢が形成されている場合も多く，この判読によって地すべり頭部形状を推定出来ることもある。水系は谷頭斜面のリルやガリーを含めて判読する。さらに，尾根の連続性を確認してゆく段階で鞍部や二重山稜，クラック地形および山頂緩斜面等を確認する。

以上の判読を行うことによって地形の特徴が良く理解されるため，その後の作業で地すべりブロック位置の地形図への移写が容易となり，また地すべりブロックの末端部を含めた広がりや形状も推定しやすくなる。

2.3.4 遷急線・遷緩線・山腹緩斜面の判読

遷急線付近は侵食作用の活発な箇所である。このうち尾根に近い遷急線は古い時期に，また谷底に近い遷急線は最近の河川侵食の速度の違いに伴いそれぞれ形成されたものである。また，遷急線には流水による河川侵食の他に，現在とほぼ同じ気候条件下で崩壊や地すべりが多発することや地質の抗侵食性の違い等により形成されたものもある。すなわち，遷急線の形状として付近一帯にほぼ定高性を有し連続性が良好なものは，主に流水に伴う河川侵食により形成された遷急線であり，連続性が不良で局部的に発達している遷急線は崩壊や地すべりの滑落崖等のあらわれであることが多い。

遷緩線は、これ以下の斜面に崩積土が堆積していることが多く、地すべりや崩壊の移動物質の存在を示している。

山腹緩斜面は、高位段丘や旧河道（山砂利）などを除けば過去の大規模な崩壊や地すべりの移動痕跡であることが多く、ここに崩積土が残存している場合には注意する必要がある。なお高位段丘については、ほぼ定高性を有して分布するので判断ができる。

このように遷急線、遷緩線および山腹緩斜面は、地すべり・崩壊等を含めた広義の侵食作用や堆積作用の結果であるので、これらを判読することによって、その地域の地形発達程度およびその特性を知ることができる。

2.3.5 地すべり地形または地すべりの可能性のある地形の抽出

地すべり、崩壊等の斜面変動地形については地形の発達史すなわち過去の斜面の変動履歴を推定しながら空中写真判読する必要がある。また、過去の変位量が僅かなため、地形的に不明瞭であることの多い岩盤地すべりや風化岩地すべり、さらには地すべりの発生に先立って形成されるクラック地形等から推定される岩盤クリープの地形は地質分布や地質構造に強く規制されていることが多い。したがって、空中写真判読にあたっては単に一般的な地すべり地形のみを抽出するだけではなく、貯水池全域の地形特性を明らかにしたうえで地質分布、構造を反映した周辺の斜面発達とは異なる地形や滑落地形も認識する必要がある、その点をとくに注意深く判読しなければならない。また、地すべりが受ける湛水の影響を評価するために慎重な判読で地すべり末端部を推定する。

なお、地すべり地は、空中写真上では一般に小映像で、たとえば幅 100 m の地すべりでも、縮尺 1/10,000 の空中写真上では 1 cm に過ぎないので、注意深く判読しないと見落とすことがある。

空中写真の判読においては、次の特徴に注意を払うことが必要である。

1) 明瞭な地すべり地をあらわす地形

- (i) 滑落崖、遷緩線および分離小丘。
- (ii) 滑落崖下方における地すべり土塊上の不規則な凹凸地形。
- (iii) 斜面での陥没および池、沼、湿地の規則的な配列。

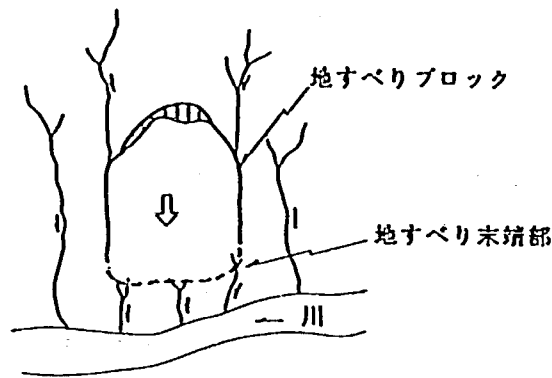
陥没地は尾根に平行な方向での暗斑点で認められることが多い。

湿地や地下水の浸出帯は、写真上での色調の変化、すなわち暗色調は高い含水状態を示すこと等によって、ある程度推定が可能である。たとえば、伏流水や湿性植物の存在の反映であるやや暗い部分の存在によって地下水浸出が推定できる。

- (iv) 道路等の人工線状構造物での不規則なクラックや補修跡。
- (v) 遷急線、遷緩線を伴うなだらかな斜面（台地）および段階状地形、等高線の不規則な配列、千枚田（棚田）。
- (vi) 地すべり発生後植生が未だ回復しない斜面。はげ地。たとえば、写真上で明色調を示す部分や周辺部より谷密度の低い地域。

2) 明瞭な地すべり地末端部をあらわす地形

- (i) 隆起現象、圧縮亀裂さらには押出し、泥流、微小崩壊跡地。



図一10 沢密度の違いによる地すべり末端部の推定

- (ii) 斜面中腹での小崩壊発生位置や湧水点が連続的に存在する箇所。
- (iii) 斜面中腹を境界として上部で沢密度が低く下部ではほぼそろった沢が何本か形成されている箇所（それらの沢の頭部が地すべり末端となる）（図一10）。
- (iv) 植生の安定状況の差のある箇所（斜面末端近くの植生の乏しい部分が末端部となる）。
- (v) 斜面中腹あるいは末端部での露岩の存在。露岩部は一般に不動地である。

3) 不明瞭ではあるが地すべりとして注意を要する地形

- (i) 地すべり地の滑落崖背後の斜面における引張り亀裂や線状凹地（派生すべりの存在範囲を示す）。
- (ii) 斜面上の線状凹地や尾根型斜面での眉状の段差等のクラック地形（岩盤地すべりの頭部を示すことがある）。
- (iii) 遷急線や遷緩線の不調和な分布（過去に地すべり変動を生じた可能性がある）。
- (iv) 水系異常（特定の弱層や透水層が存在する場合がある）。
- (v) 土石で被われた急斜面（湛水後、変形を生じやすい）。
- (vi) 沢や谷中の厚い岩屑堆積物（供給源となる斜面は不安定化していることが多い）。
- (vii) 植生分布の極端な変化（地表近くの地下水分布、たとえば、地山の含水量の相違を示すこともある）。

地すべり地は一般に地下水が豊富なことが多いので、植生分布が変化している箇所は地すべり地であることもある）。

2.3.6 空中写真等へのダムサイト、貯水池、付替道路等の計画の記入

地形図や空中写真で地すべり等の地形判読が終了した後、これらにダムサイト、貯水池、付替道路等の計画を記入し、ダムの建設計画と地すべり等が予測される地区との関わりを検討するための資料とする。

2.3.7 補助的な現地調査

補助的な現地調査は、空中写真判読を効率的に行うために初期の段階で行う。目的は次のとおりである。調査方法は2.4項に準ずる。

- (1) 代表的な空中写真の映像と現地の照合（広域的な空中写真判読の鍵を見出す）。
- (2) 文献資料で抽出された問題箇所の解決
- (3) 空中写真判読で地質構造等に関して生じた疑問点の確認。

(4) 空中写真判読の限界の確認（植生の繁茂している場合や、対象物が小規模である場合等）。

2.3.8 地すべり等地形予察図の作成

空中写真判読結果を地形図に移写して地すべり等地形予察図を作成する。地形図は縮尺 1/2,500 を基本とする。

地すべり地形については明瞭な地すべり地形と不明瞭な地すべり地形とを分類し判別出来るように記入する。

明瞭な地すべり地形については、本文 2.3.5 1) 2) 項および参項資料 1.1~1.3 項（本文には不添付）を参考として抽出したものを記入する。このとき、地すべりの特徴が理解出来るように滑落崖の状況や陥没地等を記載し、末端部を含め地すべりの範囲を記入する。

一方、不明瞭な地すべり地形については本文 2.3.5 3) 項および参考資料 1.4 項を参考として抽出したものを明瞭な地すべり地形の記載方法に準じて記入する。この場合不明瞭な地すべり地形の抽出根拠についても併記する。水系については小さなガリーや間欠河川¹⁾も含めた詳細な水系網図を作成する。不明瞭な地すべり斜面では水系異常が表われる場合があり、また水系網図から地質分布や地質構造および地盤の透水性の違い等も推定出来ることがある。

尾根（稜線）についてはクリープや岩盤地すべりの頭部の指標となることの多い二重山稜、山頂部の凹地、分離峰、鞍部等を記入する。

遷急線、遷緩線については、湛水前の自然状態における地すべりの発生しやすさ、斜面の侵食状況の活発さをおおよそ評価出来るので、全てのものを予察図に記入する。さらに、山腹緩斜面や崩壊地および崩壊跡地の分布も、不明瞭な地すべり地形の抽出指標となるので全てのものを予察図に記入する。

2.4 現地調査および地すべり等地形予察図の照合

空中写真判読等で得られた地すべり等地形予察図をもとにして現地調査を行い、地すべり位置や規模の確認、地すべり平面形状の確認、断面形状の推定、地すべりの型分類、地すべりに伴う変状の確認、地山の透水性、地下水の状況を推定する。調査の範囲は貯水池と湛水の影響圏のうちで判読・抽出された地すべり箇所等とする。

（解 説）

現地調査では地すべり地域について地形地質状況の観察を行い、調査地区の地形や地質の特性および既往の崩壊地や地すべり地の特性を検討し、地形的な異常を観察確認する。地すべり末端部を含めた地すべり範囲を確認するため、岩盤の風化・ゆるみの程度、土被りの厚さ、断層等の地質的不連続面存在の有無・方向および堅岩の分布等の確認調査を行い、地山の透水性についても併せて推定する。

現地調査の目的は主として次の 5 項目である。

(1) 地すべり地形の認定

・ 1：降雨後一時的に流水を生ずる河川。雨期には流水を見るが、乾期にはかれ川となるような流れをいう。

- (2) 岩盤の露頭状況の確認
- (3) 地すべり形状の推定
- (4) 地すべり斜面の定性的な安定度の推定および地すべり現象の確認
- (5) 地下水位の高低、地山の透水性の推定

現地調査の範囲は地すべり地や地すべりの可能性のある地区、判読が困難で不明瞭な場所や貯水池周辺で重要な地区、および調査地域の地形特性を把握するうえで問題となる事柄について解決出来そうな地区などとする。特に貯水面にかかる地すべりについては周辺地域も含めて詳細に調査しなければならない。また、尾根近傍であってもその活動によって貯水池に影響を与える恐れのある大規模な地すべりや地すべりの可能性のある地区については、全て調査しなければならない。

現地調査は次の4項目について行う。

(1) 地形調査

- i) 全体の地形（傾斜の変換点・平均勾配等）
- ii) 地すべり発生位置（山地・丘陵中での位置等）
- iii) 地すべりの方向（山腹傾斜・最急勾配・河川方向等）
- iv) 地形の攪乱度・2次崩壊・侵食状況等

(2) 地質調査

- i) 岩盤の性状（岩種ならびに岩質、走向・傾斜、層理・片理・節理の状態、風化破碎の程度、亀裂の有無・状態、流入粘土の存在、および岩盤のクリープの程度）
- ii) 崩積土の性状（分布および層厚、構成物等の土質状況、粗密状態、礫質および充てん物の状態、透水性、空隙率）
- iii) 地質構造（断層および破碎帯、褶曲、同斜構造、はさみ層や岩脈の方向性）
- iv) 湧水、地下水の状態、降雨後の流出状況（降雨と流出の相関性）

温暖多雨気候のもとにある我国では、風化層の発達のため一般に良好な露頭は少ないが、地質構造とくに地層境界や広がり、割れ目の分布状況、走向・傾斜や岩盤の劣化（ゆるみ、風化）の状況を露頭ごとに詳細に記載することによって、未だ連続したすべり面が形成されていないが初生的な岩盤地すべりの可能性を有する地点についてもある程度明らかにすることができる。

(3) 地すべり変動に伴う現象調査

- i) 地表面の変状（滑落崖・沼・池・湿地帯、頭部陥没・中間帯での変位・末端隆起、亀裂の性状および程度、風穴現象の有無、水田の変位等）
- ii) 構造物の変状（構造物の地すべり被害、用水路の減水および漏水、井戸水位の変動状態等）
- iii) 聞きとり調査^{*1}

(4) 地すべり機構調査^{*2}

- i) 地すべり境界および移動ブロックの区分

・ 1：地すべり発生履歴等について現地で聞きとり調査等を行う。

・ 2：踏査時においてもこの程度を念頭において調査すべきである。

- ii) 地すべり土塊の概略の厚さおよび移動方向
- iii) すべり面の大まかな位置および形状
- iv) 地すべりの運動様式および形態
- v) 地すべりの素因および誘因

現地調査には、空中写真と地すべり等地形予察図を携帯し、現地と空中写真上の映像とを照合する。なお、調査にあたっては、予察図中でダムサイトとの位置関係・地すべり規模・湛水深等を考慮し、重要と考えられる地域から優先的に調査することが望ましい。

2.5 地すべり等地形分布図の作成

現地調査結果をもとに地すべり等地形予察図を修正し地すべり等地形分布図を作成する。

(解 説)

地すべり等地形分布図作成の段階では予察図作成の際に不明瞭だったり、誤って判読した事象について現地調査の結果新たに加えられて豊富になった資料に基づき、予察図を修正する。このとき空中写真も補足判読を行う。

本図は貯水池周辺の道路やアプローチ道路等の計画の参考資料ともなる。このため、分布図作成範囲は予察図作成範囲と同様とする。分布図は縮尺 1/2,500 程度とし、参考資料に準じた凡例に従い作成する。

重要な地すべりブロックについては、地すべり規模、性状、型分類、活動性、平面形状、断面形状、地すべり土塊の透水性、地山の地下水位、および将来予測される湛水深等を記入した調査表を作成する。

本指針(案)以降の段階では、地すべりの型分類すなわち岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべり、および粘質土地すべりの区分、さらに運動様式すなわち崩落や転倒・流動等の違いに応じて対応が異なる。このため分布図作成の段階では出来るだけ地すべりの型分類まで行う必要がある。したがって地すべりが発生した場合に影響が大きいと予想される地すべり地^{*1}でなおかつ地すべり末端部が不明である場合には、概査段階であっても必要に応じて最小限のボーリング調査や弾性波探査等によって地質情報を収集することが望ましい。

地すべり断面形状は、参考資料 2.4 項（本文には不添付）の流れに従って推定し、平面図より作成した断面図中にすべり面を記入する。地すべり土塊の透水性については、地山斜面での湧水点の位置や降雨前後の湧水量の変化等から推定する。

* 1：たとえばダムサイトに近いものや大規模なもの等。

第3章 湛水に伴う地すべり等の重要度の評価と精査の優先度

3.1 湛水に伴う地すべり等の安定度の検討

湛水に伴う地すべり等の安定度を湛水前の安定度や地すべり末端と貯水面との関係から定性的に検討する。

(解 説)

湛水に伴う地すべり等の安定度を検討・評価する場合には地すべりの移動土塊が斜面のどの位置に存在するか明らかにし、さらに地すべり末端部が貯水面にかかるかどうか、またどれだけかかるか推定することが必要である。湛水に伴う地すべり等の安定度は地すべり等地形分布図をもとに、図-11の流れに従って検討する。

安定度の検討においては必要に応じて安定計算を行い、湛水に伴う安定度の変化を把握する。

3.1.1 地すべりブロックと貯水面との関係

地すべり等地形分布図に抽出された地すべりブロックが貯水面にかかるか否かを検討する。

地すべりブロック末端部～中部が貯水面にかかる場合には、湛水の影響を受け地すべりが発生する可能性があるため、次の段階の検討を行う。

一方、地すべり末端部が貯水面以上に存在する場合には、一般的には湛水の影響を受けないと考えて良く、安定度の検討は不必要である。しかしながら湛水によって地下水位が広範囲にわたって影響されることが予想される場合には、地すべり末端部が貯水面以上であっても地すべり発生の可能性があるため、貯水面にか

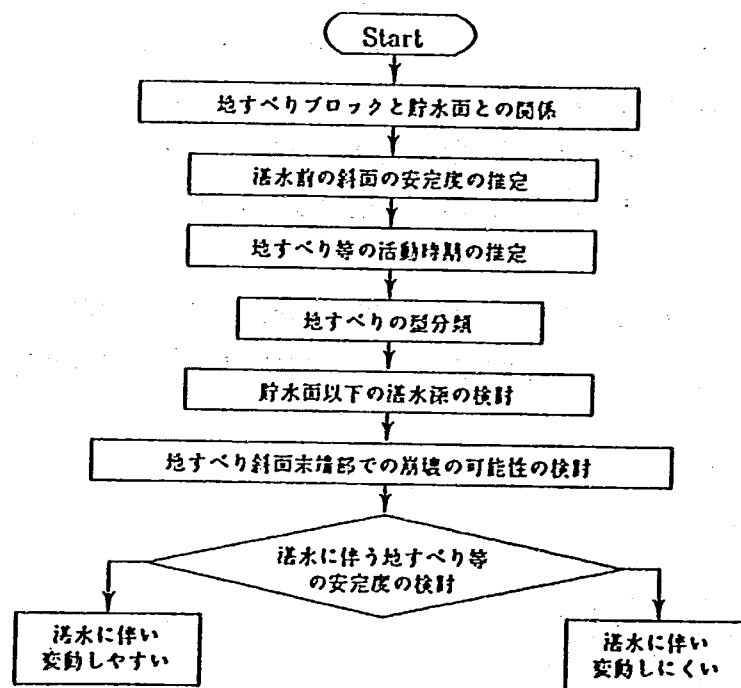


図-11 湛水に伴う地すべり等の安定度の検討

かる地すべりブロックに準じて検討を行う。

地すべり土塊の全てが水没する場合には、湛水後あまり安定度の変化を受けないか、仮に地すべりが発生したとしても背後の斜面に影響を与えない限り、単に貯水池内での土砂移動に過ぎない。しかしこの場合でも、構造物等に影響を与える可能性があるときには、貯水面にかかる地すべりブロックに準じて検討を行う。

3.1.2 湛水前の斜面の安定度の推定

地すべり等地形分布図をもとに、各地すべり地ごとに湛水前の斜面の安定度を推定し地すべり等地形調査表に記載する。

地すべりの自然状態における安定性に関しては、地すべりの活発化の典型的な現象を呈している箇所以外には正確な斜面安定度を決定することは困難であるが、地形的な特徴や地すべり現象を注意深く観察し、地すべりの安定度を定性的に推定する。これには、次の4点に留意する必要がある。

- 1) 地すべりの活動時期
- 2) 地すべりの型分類
- 3) 地すべり不安定土塊の残存状況
- 4) 地すべり地形の発達史

なお、これらの定性的な評価によって斜面の安定度は推定されるが、具体的な安全率については、この段階では明確化することができない。

3.1.3 地すべり等の活動時期と型分類に対応した湛水の影響

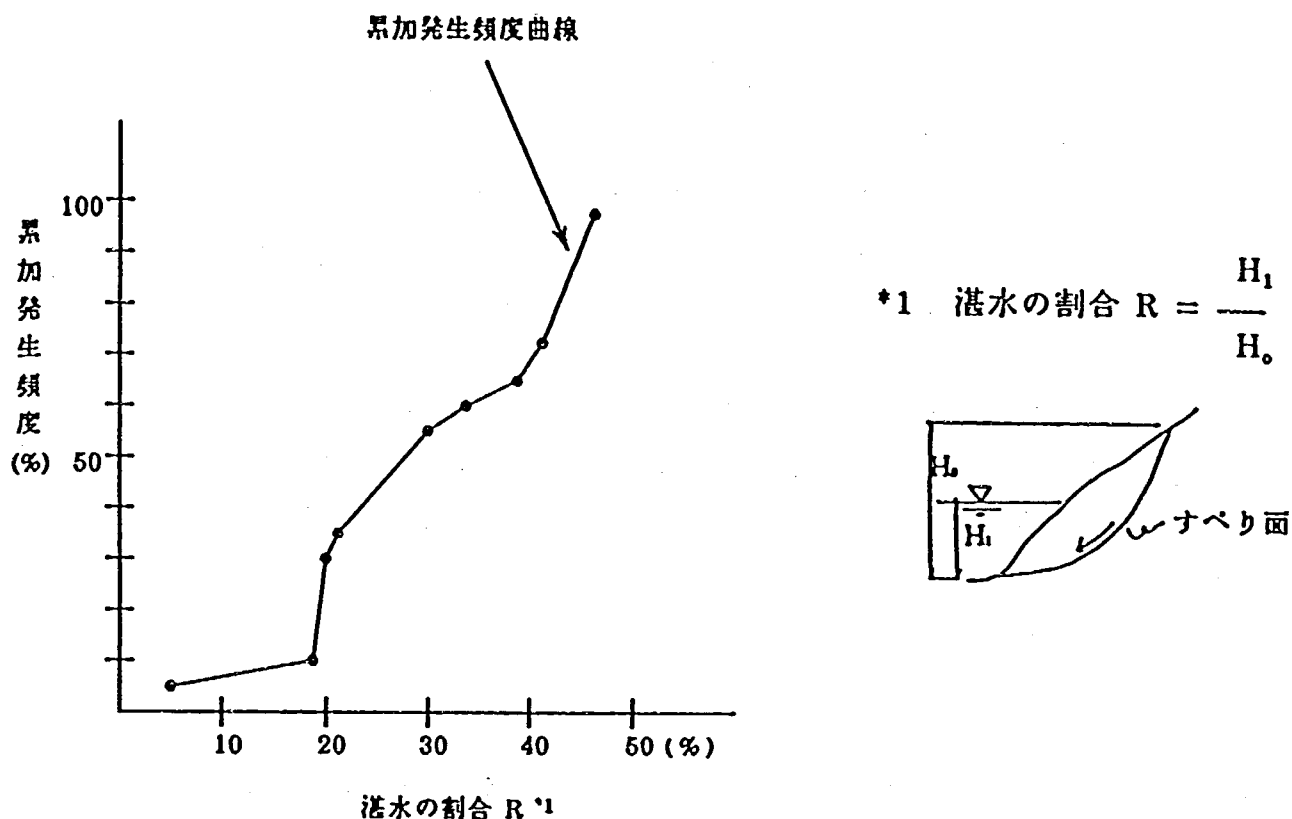
貯水面にかかる地すべりブロックおよびこれに準ずる地すべりブロックについて、活動時期と地すべりの型分類とに応じて、湛水の影響を検討する。

現在活動中の地すべりについては、どのような地すべり型であっても湛水した場合にはその影響が大きく著しく不安定化する。

数万年度以前に活動した地すべりで現在地すべり活動の徴候が見られない休止中の地すべりは、一般には地すべり活動期以降に河川侵食で河床が低下しているため、すべり面末端部が斜面途中に存在することが多い。この場合には地すべり末端部の崩壊や湛水の影響により不安定化することがある。一般には粘質土地すべりで休止中のものは存在しない。辺縁部に新たな地すべりを発生している崩積土地すべりは、休止中の自然状態でかろうじて安定している程度であり、湛水の影響を大きく受ける。岩盤地すべりや風化岩地すべりは、本来ある程度の変形に留まっているが、常時地下水位が低いので湛水の影響を大きく受ける。

初生的な地すべり、すなわちクリープ変形が岩盤地すべりや風化岩地すべりに転化する可能性のある場合は、その発生は極めて稀であるが湛水の影響を大きく受けるので注意を要する¹⁾。粘質土地すべりは、温泉余土や新期の湖沼堆積物等の軟弱層の地すべりを除き、一般に初生的な地すべりは存在しない。崩積土地すべりは、急斜面下部の崖錐堆積物の地すべりを除いて、初生的な地すべりは存在せず、我国では比較的少ない。風化岩地すべりおよび岩盤地すべりは、初生的な地すべりのうちではこれらのタイプが多いものの、発生に至るものは稀である。しかし発生の有無に関しては、湛水深の大小、クリープ岩盤や潜在的な地すべり面の

・1：湛水部分でのすべり面勾配が急な場合には、すべり面の末端部に応力が集中しているため湛水部分の面積が比較的小さい場合でも湛水の影響が大きい。



強度*1, 地山の透水性等に注意する必要がある。

3.1.4 貯水面以下の湛水深の検討

斜面の安定度の変化は湛水深によって異なる。調査事例によれば 20%程度以上の湛水の割合で地すべりの発生頻度が大きくなる(図-12 参照)。なお、同様の湛水深であっても地すべり地の平面形状および断面形状や地質要素に応じて湛水の影響が異なる。

3.1.5 地すべり斜面末端部での崩壊可能性の検討

貯水面以下の水没の割合が小さく主すべりには湛水の影響が小さいと判断される場合でも、地すべり斜面末端部で崩壊が発生し、これが原因でその背後の斜面が不安定になるか否かを検討する。検討手法としては、地すべり末端部斜面での崩壊土や風化岩盤、ゆるみ岩盤等の存否、移動土塊の性質、さらに周辺斜面での崩壊地分布状況等である。地すべり末端部の崩壊形状の推定にあたっては、滑落崖や崩落土砂の状況を参考とする。

*1: その安定性を検討する必要がある場合には、すべり面が完全に形成されておらず、すべり面強度の一般的な推定法を適用することはできない。すべり面強度については、岩盤せん断試験等により別途求められる風化岩盤等の強度や現地状況を検討した適切な値を検討し採用すべきである。

3.2 湛水に伴う地すべり等の重要度の評価と精査の優先度

湛水後の地すべり等の安定度と地すべり等の規模および地すべり等の発生によって被害を受ける可能性のある保全対象への影響を十分考慮して、今後の精査が必要とされる地区を抽出するために地すべり等の重要度を総合的に評価する。

(解 説)

3.2.1 評価基準の考え方

一般にダムの湛水による地すべり等の発生を検討する場合、以下の3方面から、湛水に伴う地すべり等の重要度を評価する。第1は湛水後の地すべりの安定度の評価、第2は地すべり等の規模の評価、第3は地すべり等の発生によって被害を受ける可能性のある保全対象への影響の評価である。

表－4 および表－5 に標準的な湛水に伴う地すべり等の重要度評価と今後の対応方針について示す。なお、

表－4 概査におけるダムの湛水に伴う地すべり等の重要度評価

湛水後の地すべりの変動のしやすさ	保 全 対 象 物	ダ ム 施 設	貯 水 池	その他ダム周辺の重要施設
	地すべりの規模	大↔中↔小	大↔中↔小	大↔中↔小
変動しやすい		A↔A	B↔C	B↔B～C
↑		↑	↑	↑
↓		↓	↓	↓
変動しにくい		B↔B	C↔D	C↔D

表－5 地すべり等の精査の優先度

重要度評価 保全対象	A	B	C	D
ダ ム 施 設	地すべりが発生し、その影響がダム施設に関連する。場合によってはダム計画自体にも影響する。したがって、精査は最優先で実施すべきである。	精査を実施すべきである。	—	—
貯 水 池	—	同 上	必要に応じ精査を実施すべきである。	原則として精査を実施しない。
周 辺 の 重 要 施 設	—	精査を実施すべきである。なお計画を避けることが出来れば最善である。	同 上	同 上

これは概査終了時での評価であり、その後のダム本体や道路建設に伴う切土情報の増加や精査の進捗に伴い、新たに地すべり等が発見されることもあるので、適宜見直す必要がある。

さらに、湛水とは無関係であっても、斜面上方の地すべりについても道路、代替地を含めて保全対象への影響に応じて別途検討を行う。

表－4は、地すべり等地形分布図に記入された各地すべりブロックについて、湛水に伴う重要度の評価法を示すものである。Aが最も重要度が高く、次いでB、C、Dの順となる。湛水に伴う地すべりの安定度として変動しやすいと評価されたものほど重要度が高い。保全対象物への影響としてはダム施設にかかる地すべりが最も影響が大きく次いで貯水池、その他ダム周辺の重要施設の順となる。地すべりの規模としては大規模なものほど重要度が高い。

表－5は概査におけるダムの湛水に伴う地すべりの重要度評価を受けて、その後の地すべり精査の優先度を示すものである。精査の優先度は表－4の重要度評価の順位と同様であるが、同じ重要度の場合には保全対象としてダム施設にかかる地すべり等が貯水池や周辺の重要施設にかかるものより優先度が高い。

3.2.2 地すべりの安定度の評価

地形特性として明瞭な地すべり地形を示す崩積土地すべりや粘質土地すべりは過去に長い活動履歴があるため地下深部のせん断面（すべり面）強度は残留強度まで低下している可能性が高い。一方不明瞭な地すべり地形を示す岩盤地すべりや風化岩地すべりは過去の活動履歴が短いためすべり面強度はピーク強度に近いことが予想され、このうち初生的な地すべりのように山体のクリープのみですべり面の形成までには至っていないものもある。したがって、一般には不明瞭な地すべり地形より明瞭な地すべり地形が全体としては不安定で斜面変動を発生しやすい状況にあるといえる。

湛水に伴う安定度の変化を検討するため地すべりの斜面のうち重要なものおよび規模の大きいものについては安定計算を実施すべきである。このとき、必要に応じてボーリング等の調査を行うことが望ましい。

安定計算は基準水面法により実施する。この際貯水位の変動条件は、サーチャージ水位から制限水位まで急低下するものとし、また末端部で崩壊が発生する可能性のある斜面については、末端崩壊に伴う欠落も考慮して湛水前に対する安定度の変化を検討する。その結果湛水に伴う安定度の変化が大きい場合には、斜面変動が発生しやすい。

このように地形特性と安定度変化の相方を加味して地すべりの変動しやすいさの評価をしなければならない。

3.2.3 地すべり規模の評価

人為的要因によらない自然的要因による地すべりの規模と、湛水により発生した地すべりの規模を比較すると、それらの発生頻度は、地すべりの幅についてはほぼ同様の傾向が認められるが、地すべりの長さについては湛水に伴う地すべりが短く、さらに地すべり層厚については湛水に伴う地すべりがより深い傾向にある。すなわち、湛水に伴う地すべりは比較的幅は広いが長さの短かい平面形状を示し、地すべり面がやや深い断面形状を示す傾向にあると推定される。

地すべりの規模と最も良く対応するといわれる地すべりの幅は中古生層の地すべりの場合、湛水に伴う地すべりでは幅50m～150mのものが69%を占めている。したがって地すべり規模の評価としては、例えば中

古生層の場合幅 50 m 未満の小規模地すべり (幅 50 m×長さ 55 m×厚さ 10 m, 3 万 m³ 未満) と、幅 50 m 以上 150 m 未満 (幅 150 m×長さ 165 m×厚さ 15 m, 40 万 m³ 未満) の中規模地すべり、幅 150 m 以上 (40 万 m³ 以上) の大規模地すべりの 3 ランク程度に区分することができる。

これらの例を参考として、各ダムの規模および地質状況に応じて評価すべきである。

3.2.4 保全対象への影響の評価

地すべりの直接被害だけでなく、地すべりの発生に伴う土石流や段波等のような間接的な被害も含めて、保全対象への影響を評価する。

(1) ダム施設

構造物としてのダム施設は、堤体、取水設備、放流設備、副ダム等から構成されている。

ダムサイトの選定は予備調査の段階から慎重に行われ、その周辺に大規模な地すべりが存在する可能性は少ないが、これらのダム施設が地すべり等の斜面変動の影響を受けた場合ダムの機能が著しく低下するとともに、社会的影響も極めて大きい。したがって、保全対象としてこれらの施設は重要視されなければならない。とくにこれらの施設は地すべり等により直接被害を被らなくても、段波や土石流により堤体等が重大な影響を受けることも考えられ慎重に検討されなければならない。

(2) 貯水池

貯水池周辺における地すべりや崩壊の発生は、有効貯水容量の減少を引き起こす一つの原因となる。地すべり活動等による堆砂量の増大についても場合によっては概査段階で推定しておく必要がある。また、貯水池周辺で発生した地すべり等によって段波が生じ、堤体や貯水池周辺の施設等に影響を与える恐れもあるので注意を要する。

(3) その他のダム周辺の重要施設

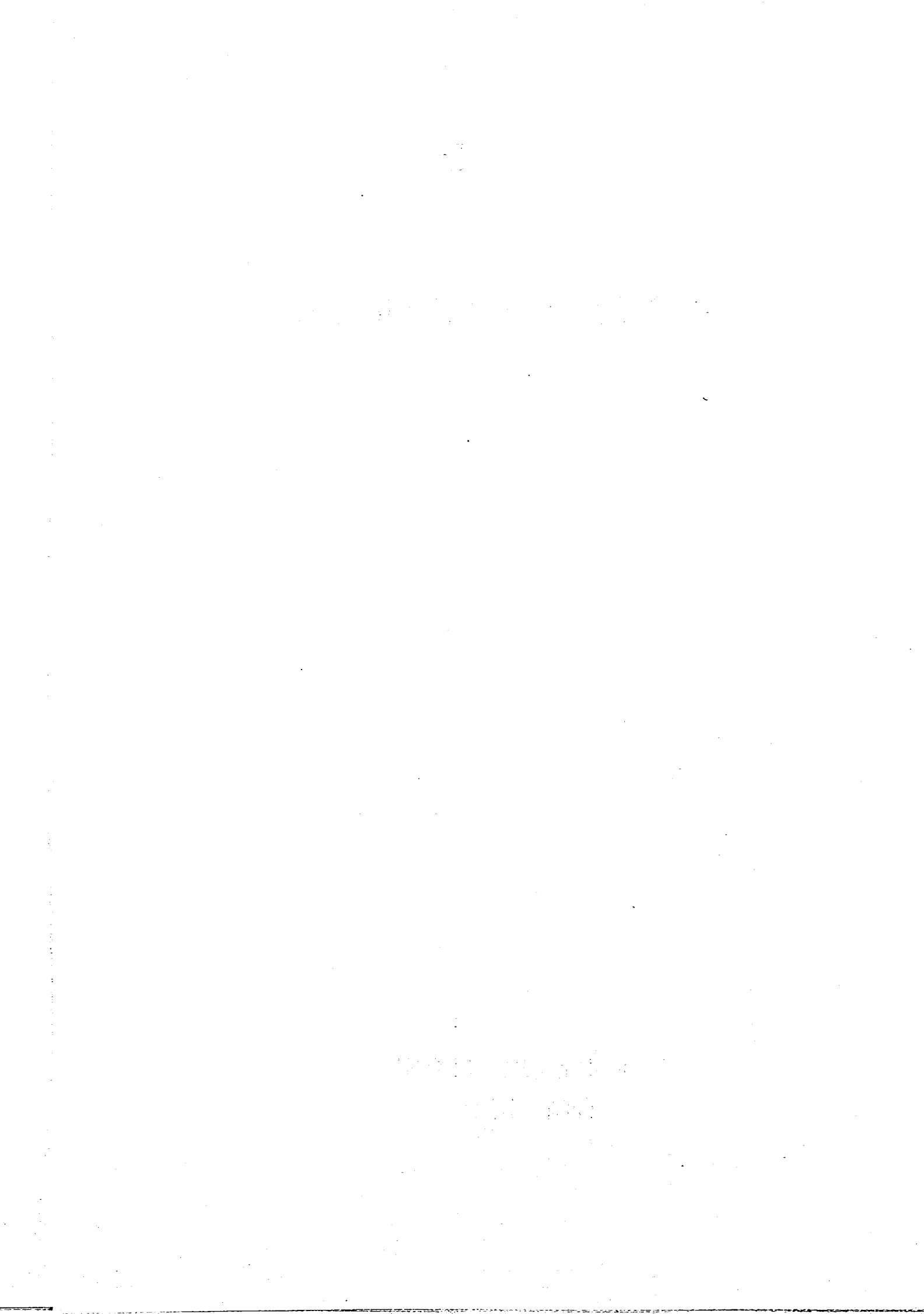
ダム施設や貯水池の他に重要な保全対象としては、ダム周辺の人家や公共施設および付替道路等がある。これらの代替地や付替道路は貯水池湖岸に予定されることも多く、湛水に伴う地すべり等の重要な保全施設となる。なお、地すべり等がダム周辺の道路等の重要施設に関係する場合でも、地すべり末端が湛水面以上にある場合には、その対策は原則として湛水の影響を考慮する必要はない。

このテーマは貯水池の周辺に発生する崩壊の機構と対応に関して、予察的な調査に関して行った検討である (国土開発技術研究センターの委員会として)。ここにまとめた内容は中間の段階のもので、今後は実地における検証と改良が行われた後で、新たな形で成案を得ることになっており、近い将来に現場に適用のできる指針を作成するためのステップであることを記しておく。

Ⅱ. 新しい地質調査法の現状と問題点

1. 物理探査法の現状と問題点

土木研究所地質研究室
稲崎 富士



1. はじめに

最近の計測技術・情報処理技術における著しい進歩と都市域における地下空間の高度利用の要請は、土木物理探査の分野へも大きな影響を及ぼしてきている。すなわち、デジタル観測機器の高性能化によって、今日では物理探査情報の大部分は、デジタルで収録されるようになってきている。また、計算機のデータ処理技術の高機能化によって大容量のデータを短時間で処理し、複雑な解析を施すことが可能になった。一方、都市域における大深度地下利用の機運の高まりは、ボーリング等の直接調査法以外の地表からの迅速かつ広範囲の調査が可能な新しい調査法の適用を必要としている。

地質研究室ではこの間、新技術を導入した新しい物理探査法の開発と適用を目的とした研究をすすめてきたが、それらのうちのいくつかについて調査法の概要と現地における調査例についてここに報告する。

2. 物理探査法の概要

2.1 物理探査法の位置

土木物理探査は、ボーリングとそれに伴う原位置試験、地表地質調査とならび、地質・土質調査のうち重要な位置を占めているが、調査全体の流れ、目的さらに調査法の特徴の点から、上記の三調査法は分けて考えられるべきであろう。表-1はこれらの三調査法を、求められる情報の質や経済性の観点から評価してみたものである。

ボーリング調査は直接的に地質状況を判定でき、また付随する原位置試験や室内試験などによって定量的な情報を得られるため、他に換えられない優れた調査手法であると言える。しかし、ボーリング調査は、平面的には点の調査でしかなく、また経済性の点でも問題がある。

地表地質調査では、地質学的な解析によって三次元空間領域の構造に対して莫大な情報を得ることができ、得られる情報は通常、定性的なものでしかない。上記の2種類の情報、すなわち、一部の詳細かつ高精度の定量的情報と対象領域に対する莫大な量の定性的情報を結合するものとして、物理探査を位置づけることができよう。

すなわち、物理探査は、

- (1) 遠隔からの探査であること
- (2) 空間的な領域を評価できること
- (3) 定量的情報が求められること
- (4) それが地質工学的情報と対応するかあるいは関連づけられること

表-1 地質調査法の特徴

地質調査手法	属 性	次 元	客 観 性	解析精度	相対的情報量	情報属性	経 済 性
ボーリング調査, 原位置試験		線	優	優	少	定量的	可
地 表 地 質 調 査		面~立体	良	良	莫 大	定性的	優
物 理 探 査		面~立体	良	良~可	尠 大	定量的	良

- (5) 対応性が良好であること
- (6) 対費用効果が良好であること

等の要請を充足することが求められる。

また物理探査によって求められるべき情報としては、 V_p , V_s , ρ , Q , ρ_a , E_r 等の特性とそれを示標にして、地質構造とその異常（空洞、埋没谷、断層、破碎帯、風化変質帯、等）あるいは地下水に関する情報などがあげられよう。

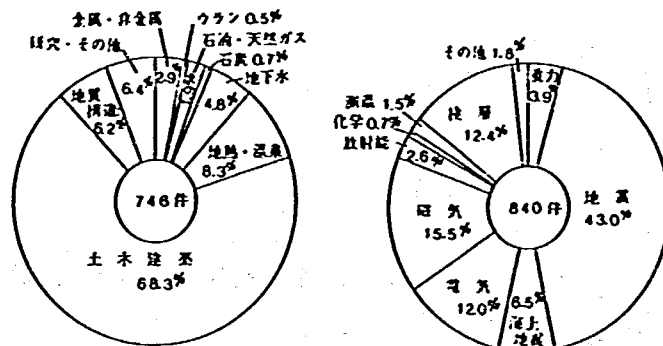
2.2 土木物理探査の動向

我が国における物理探査の動向について、昭和61年における実績（堀川，1988）をみると、物理探査活動の約7割を土木建築関係が占めていること、地震探査（そのほとんどが屈折法）、磁気探査、検層、電気探査が主体であることがわかる（図－1）。また、弾性波探査の件数推移は社会的動向を反映している、弾性波探査の測線規模は1km以下が2/3以上を占めるようになった、検層ではPS、速度が主体、地下水関係も多い、等の特徴が認められ、全体としてローカルな地域に対する高密度・高精度探査の方向へ向かってきていることが推察される。

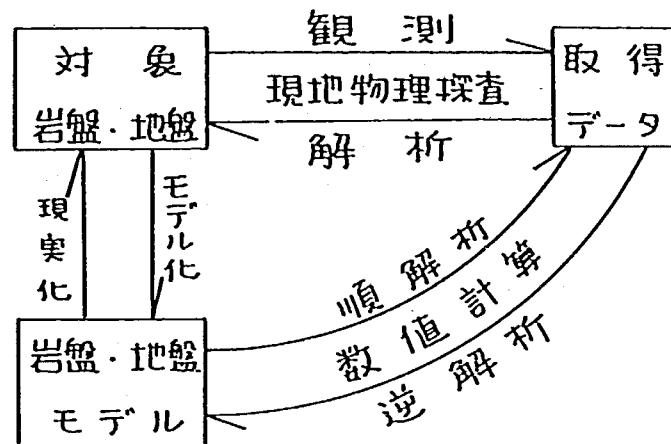
2.3 物理探査の解析過程

物理探査とは言うまでもなく、対象とする領域に対して観測・測定を行い、得られたデータをいくつかの仮定や物理法則に基づいて解析し、評価するものである。対象とする岩盤はしかし、通常、大変複雑なものであるから、実際にはそれをより単純なものにモデル化した仮想的な岩盤・地盤モデルを求める方法がとられる。物理探査の手法によっては、このモデル化の手順が未だ不完全であったり、また、工学的な評価と関係の希薄なモデル化が行われることもある。

通常、取得データから原構造を一意的に求めることは不可能である。物理探査結果を利用する側は、それが、原地盤を単純化し、モデル化したものであること、また、一意的な解ではないことに留意すべきである。一方物理探査を実施する側においては、観測の高精度化、観測量の増加、解析過程の合理化あるいは合理的モデル化をはかることを追求し、より客観的で原構造をより反映した探査法の改良に努めることが重要である（図－2）。



図－1 対象別・方法別物理探査活動実態（堀川，1988）



図一 2 物理探査における解析過程

2.4 物理探査法の種類

表一 2 は、JICST や最近の物理探査学会での発表等から物理探査に関わる Key Words を抽出し、系統的に分類したものである。これらの全てについて今回言及することはできないので、そのうちいくつかについて以下に紹介する。なお、検層法については、第 18 回地質担当者会議で報告（土木研資料 第 2221 号）したので今回は省略する。

屈折法は、前述のように現在最も多用されている探査法である。最近ではデジタル収録された記録を基に、初動走時の自動読み取り、計算機による自動解析、等が可能になってきており、従来、経験を必要としていた解析がより客観的に行われるようになってきている（片山・横矢，1988 など）。

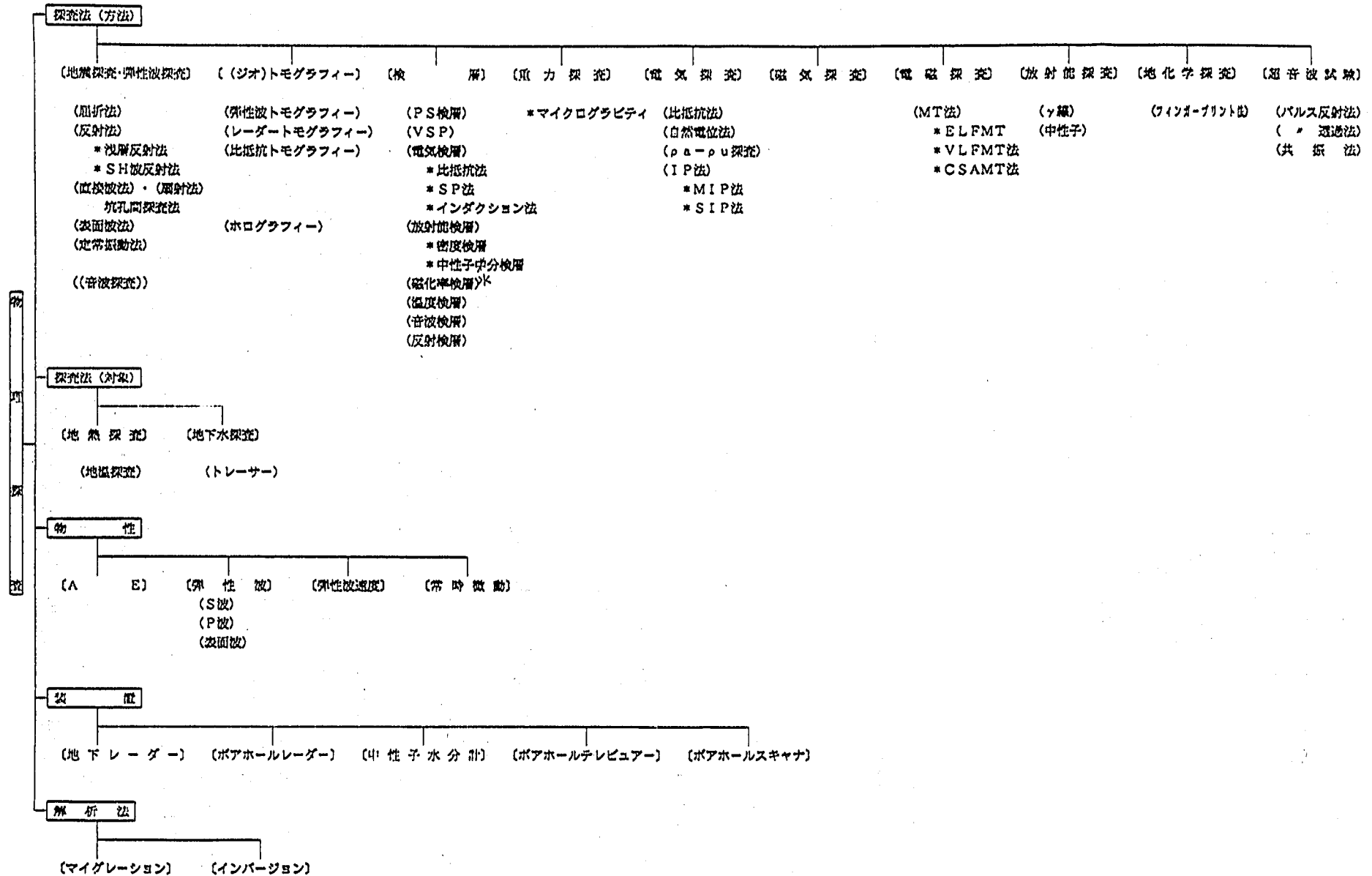
電気探査は、地すべり地の調査や地下水調査においてかなり適用されている。本法においてもデジタル収録化が進み、また、逆解析の過程も計算機による数値計算が行われるようになり、より客観的な結果が得られるようになった（竹内・長江，1987 など）。

磁気探査は、地表部における埋設管探査や不発弾探査などの特殊な目的の探査に威力を発揮している。本法においても現場での PC 入内/処理によって S/N が向上し、より細かな精度での検出が可能になってきている（内藤ほか，1988 など）。都市域における地下空間利用にあたっては、地表部にはりめぐらされたガス管・水道管・残置杭等の位置を前もって調査しておくことが重要であり、今後の適用の拡大が期待される。

電磁探査法のうち最近特に注目されているものに MT 法がある。これは、米軍の通信局から発信されている人工的な電磁波によって地下に励起された電場の強度を測定し、地下の比抵抗分布を求めるものである。割れ目が多く水を含む岩は比抵抗が低くなるので、地下水の状況や、割れ目の評価などに用いることができる（村上，1983）。

音波探査は、水域における弾性波探査法として以前より広く用いられてきた。最近では従来のシングルチャンネルのアナログレコーディングタイプにかわって、マルチチャンネルデジタル記録方式が用いられるようになり、S/N が飛躍的に向上した。以前は“音波散乱層”や海底マルチ反射のために隠されていた活断層やチャンネルなどの構造を明瞭に検出することができるようになった。

表一 2 物理探査法の種類



3. 新しい物理探査法

本説では最近注目され、かつ今後土木物理探査法として実用化が期待されている新しい物理探査法のうち、地質研究室で調査研究を進めてきたいいくつかの方法について紹介する。

3.1 浅層反射法

3.1.1 浅層反射法の概要

反射法とは、地下の速度不連続面で反射してきた波を観測・記録し、地下の構造を推定するものである。解析結果は疑似的な地質構造断面として提供されるが、データ変換によって速度構造あるいは N 値分布等を求めることも可能である。

3.1.2 調査・解析の方法

この反射法は、従来、石油資源探査や海洋地質調査など深部地質調査に欠かすことのできない探査となっているが、土木分野では対象とする深度がたかだか 100 m 程度であるので、特に浅層反射法と呼ばれている。

観測量は、通常、100 m～数 km の測線に対し、観測波形数で $10^3 \sim 10^5$ 、情報量として数 MB～数 100 MB の膨大な量になるので、大型計算機を用いて処理される。因みにこの観測量は、同規模の屈折法探査の 10 倍以上になることがある。

S/N 比を改良し、より詳細な結果を得るために、

- i) スタッキング
- ii) CDP 重合 (図-3)
- iii) 周波数フィルタ
- iv) 速度フィルタ or F-K フィルタ (図-4)
- v) デコンボリューション (図-5)

等の特殊な処理が施される。

3.1.3 現地調査例

(1) 活断層調査例

図-6 は、完新統と新第三系の境界部に認められた活断層の探査例である。図に示される様に、新第三系の地層が断層活動によってスライス状に切られていることが認められる。

(2) 埋没谷調査例

図-7 は、完新統に覆われた埋没谷の存在を示している。図中 a～e はボーリング地点を示したものであるが、A、B の埋没谷を検出していなかった。その後 5 本の追加ボーリングによって、埋没谷の存在が確認されている。このような支持基盤の不連続、あるいは急変は上部の構造物に対して不同沈下等の損傷を与える可能性があるので、事前の確認調査が重要である。

(3) ダムサイトでの調査例

図-8 は火山岩地帯に計画されている、あるダムサイトでの調査例である(三浦, 1988)。ダムサイトの右岸一帯の基盤岩の形状と、火山岩中に挟在する未固結砂礫層の分布状況を把握することを目的として調査が

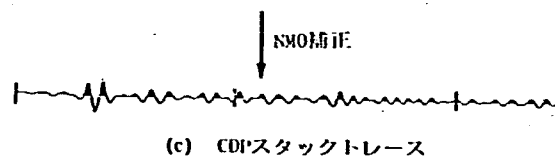
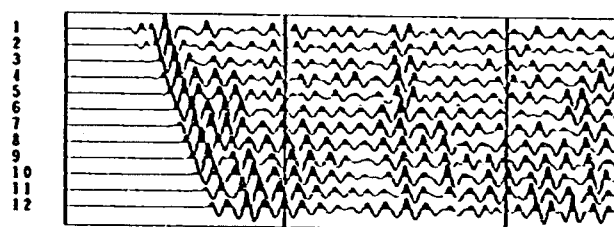
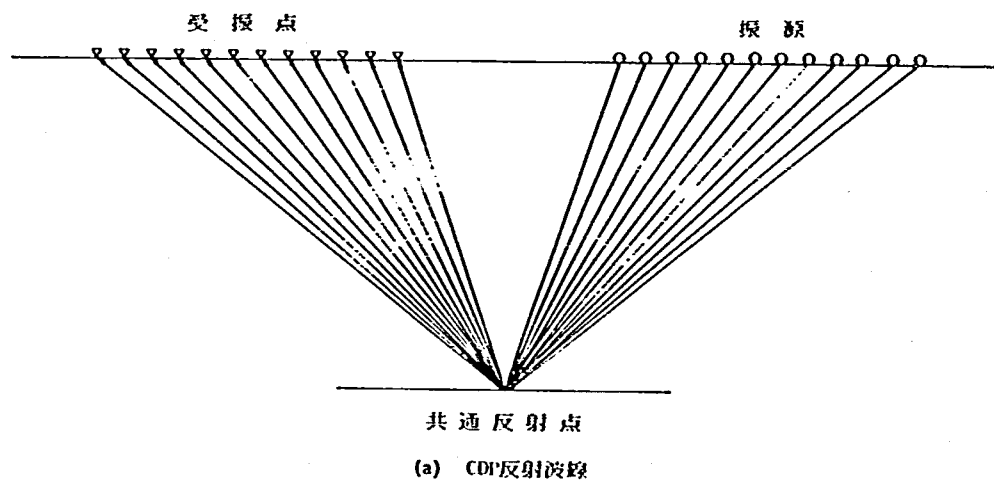


図-3 CDP 重合の原理 (稲崎, 1985)

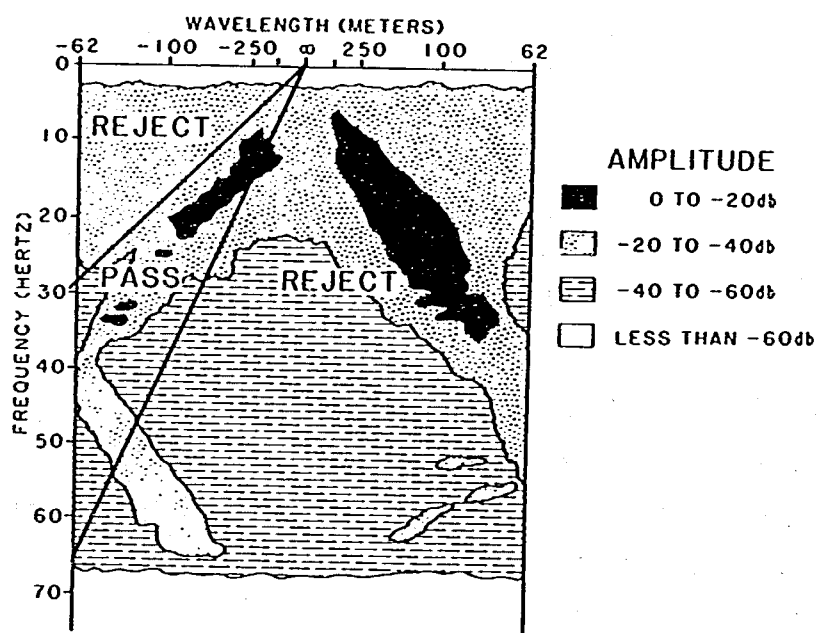


図-4 F-K フィルタの概念 (Hardage, 1983)

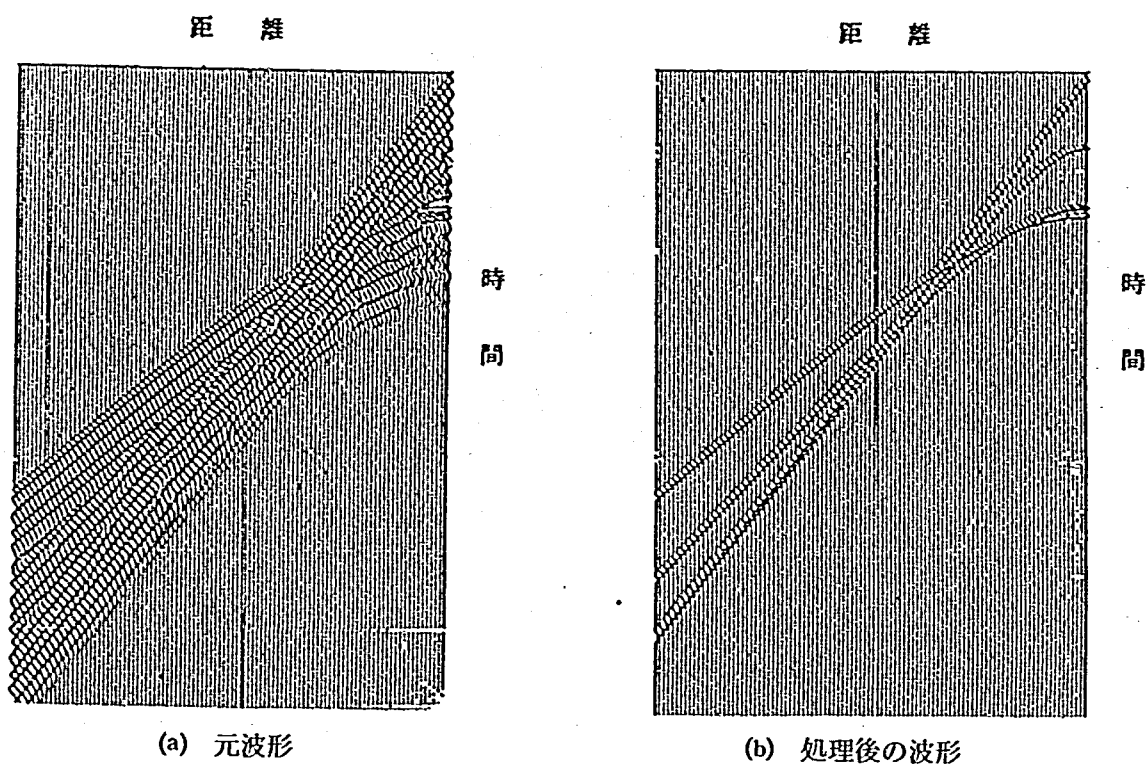


図-5 デコンボリューションの処理モデル

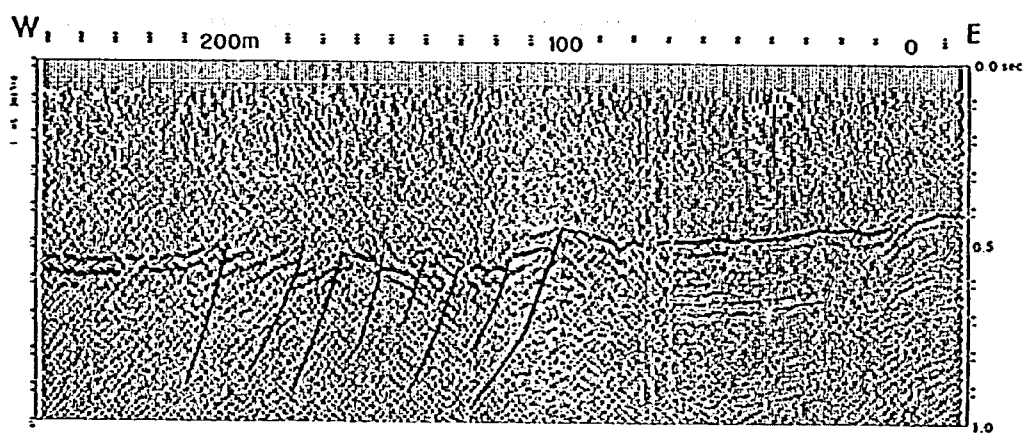


図-6 活断層調査例 (稲崎ほか, 1983)

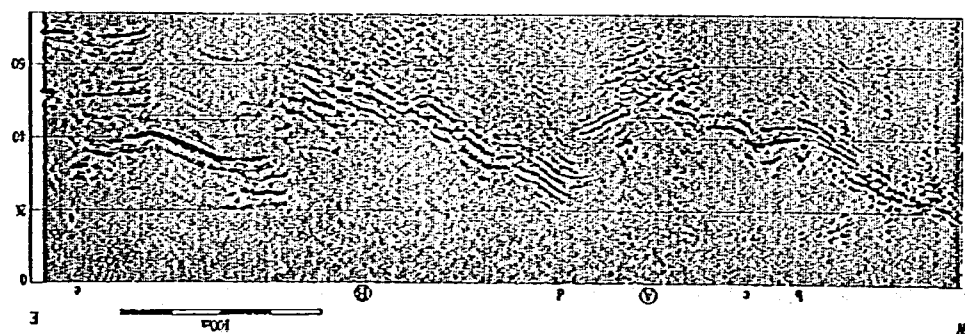


図-7 埋設谷の検出例 (稲崎ほか, 1984)

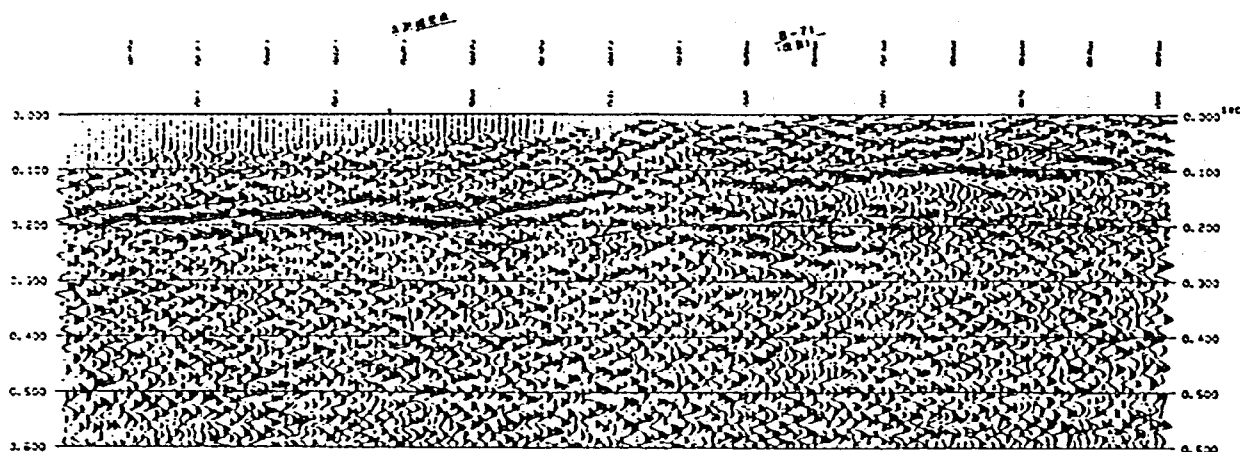


図-8 ダムサイトにおける調査例 (三浦, 1988)

実施された。同図には、この未固結層が明瞭にとらえられている。

3.1.4 適用性と今後の課題

浅層反射法では、速度の違い SH 波を用いれば深度数 m~100 m 程度の領域の地質構造を精度よく求めることができるようになってきた。同法では上に示したように、沖洪積層境界の位置と形状や地表ではわからない覆在断層などの異常構造を検出することが可能である。同法ではしかし、現状では屈折法に比べ経費がかさむことから、現地調査における自動化の推進等をはかる必要があり、特に SH 波を効率的に発振する振源の開発が求められている。

3.2 弾性波トモグラフィー

3.2.1 弾性波トモグラフィーの概要

弾性波トモグラフィーとは、X 線 CT スキャナに用いられている原理を応用したもので、対象領域をとりかこんで弾性波観測を行い、得られたデータを計算機で処理して空間的な弾性波速度分布を再現・評価する方法である。

3.2.2 調査・解析の方法

弾性波トモグラフィーは X 線 CT の原理を応用したものであるが、以下に指摘するような相違点があり、それらを考慮した解析法の開発が必要とされた。

- (1) 弾性波では波が屈折する (図-9)。
- (2) 全方位からの観測が困難である。
- (3) データ量が X 線 CT の場合 $10^5 \sim 10^6$ であるのに対し、弾性波トモグラフィーでは 10^3 のオーダーで分解能が低い。
- (4) 測定誤差の影響が大きい。
- (5) 掘削によるゆるみの影響が大きい。
- (6) 初期モデルを如何に設定するかが再現性に影響する。

このため図-10 に示されるように、誤差パラメータが一定値以下におさまるまで反復計算する方法を採用

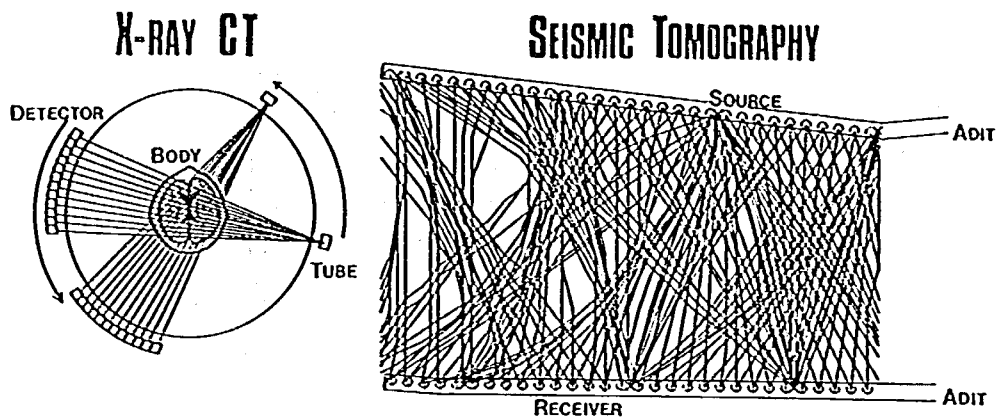


図-9 X線CTと弾性波トモグラフィーの相違

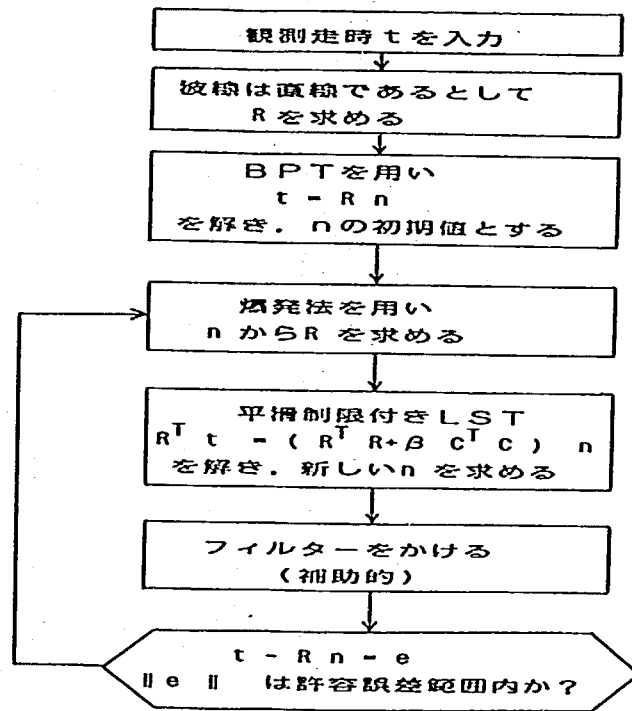


図-10 反復計算の手順

している。

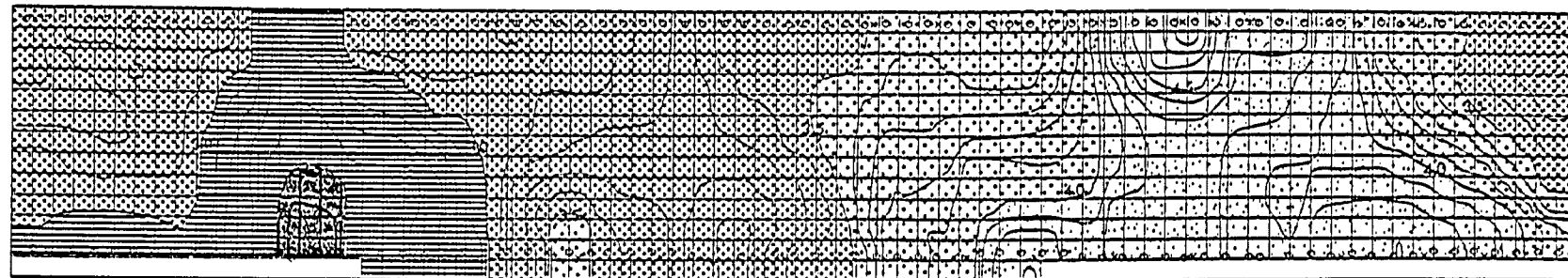
3.2.3 現地での調査例

(1) トンネルでの弱層評価

建設中の自動車専用道の双設トンネルの坑間部の地質構造を評価するために、弾性波トモグラフィーを実施した。トンネル地山の地質は、いわゆる美濃帯のチャートを主体とし、局所的に多量の湧水が認められ、構造的弱層の存在が推定された。

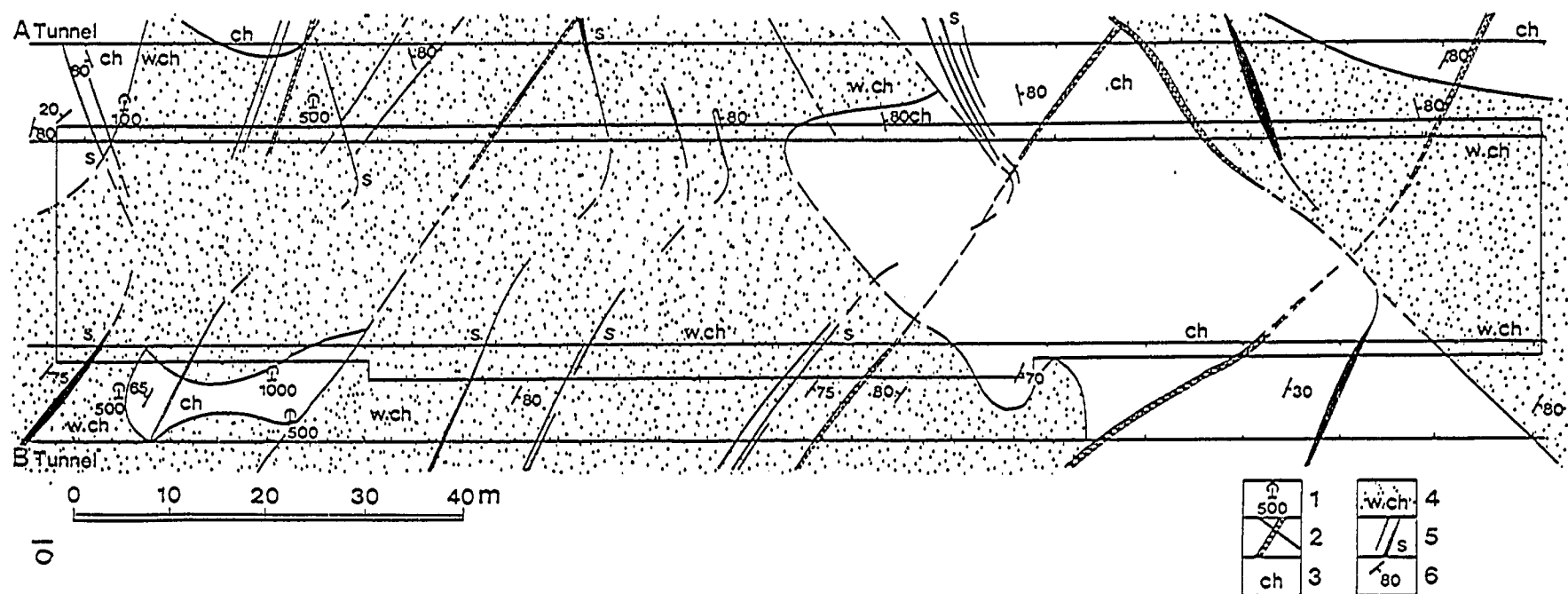
図-11(a)に再生された速度構造を示す。速度は概して左側で低く、右側では相対的に高い。また低速度の部分は、湧水のあった割れ目集中部とよく対応していることがわかる。また、対象領域の左側は風化チャートが出現しているのに対し、右側では新鮮なチャートが出現している。このことは、速度構造のパターンと

CONTOURING INTERVAL (M) = 100



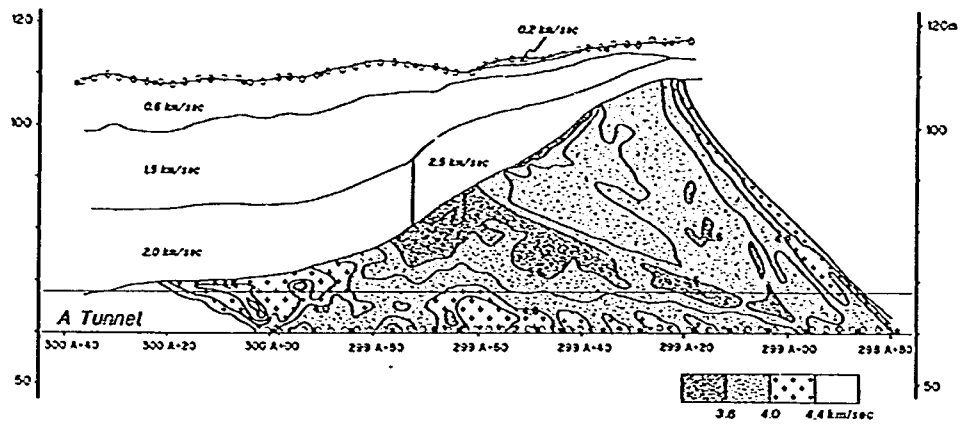
0 10 20 30 40 (M)

(a) 再生速度構造



(b) 推定地質構造

図-11 トンネル坑間での調査例 (稲崎ほか, 1985)



図一12 トンネル地山の調査例

整合的である。

(2) トンネル坑内一地表間探査例

トンネル地山内部の速度構造を評価することを目的として、トンネル坑内と地表に設置された測線間で探査を実施した。地表部の風化層の影響が認められたため、予め屈折法探査を実施し、求められた速度構造を初期モデルとして再生を行った（図一12）。

トンネル部分の弾性波速度は概ね $3.6 \sim 4.4$ km/sec と良好であり、顕著な断層破砕帯等に関連するような低速度層は認められていない。この結果は、適切な測線配置によってトンネル切羽前方部の地山状況を評価しうることを示している。

(3) ダムサイトにおける調査例

あるダムサイトの左岸側下位標高部の横坑間において、本法を適用した。

図一13(a)は再現された速度分布である。同図には、AL-1とAL-2間の地表部に低速度部があるものの、全体として速度値は高く、岩盤内奥部に行くにしたがって大きくなる傾向が認められる。この結果は、(b)に示した岩級区分推定図と大局的には調和的である。

また、(a)では速度分布がブロック状に変化していることが認められる。そこで(a)に対して空間的なフィルタを施し、速度が急激に変化する部分を抽出してみた(図一13(c))。この図に示されるリニアメントは(b)中に書かれてある弱層の分布とよく調和している。

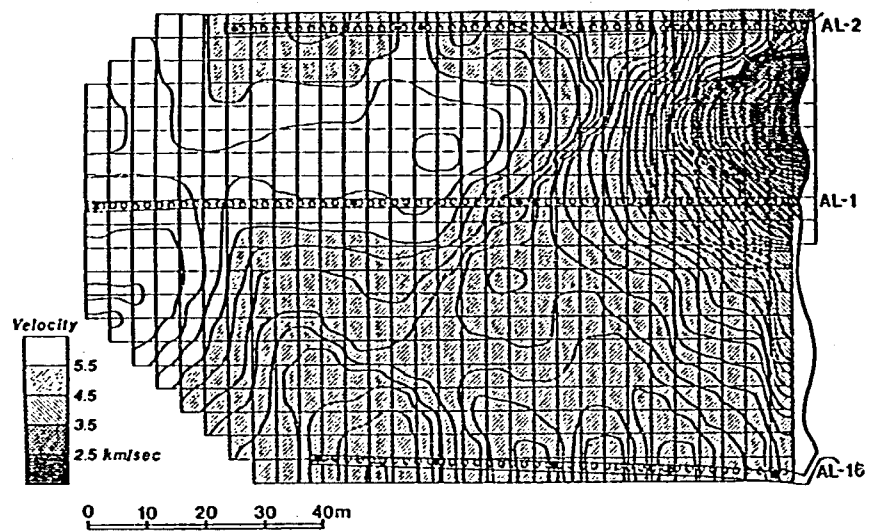
以上のことは、同法によって岩盤の工学的分類や、弱層の評価ができることを示している。

3.2.4 弾性波トモグラフィの適用性と今後の課題

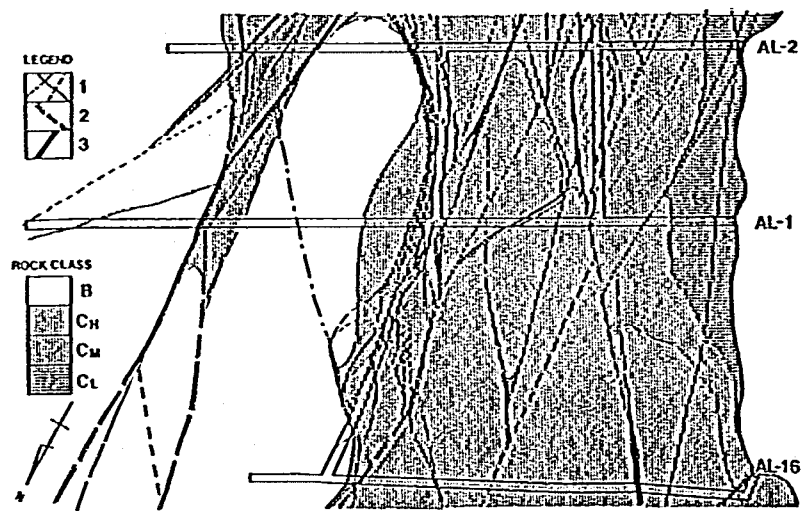
弾性波速度分布をパラメータに、本法によって空間的拡がりを持つ岩盤の工学的評価を行うことができる。

また岩盤内部のキレツ、断層などの弱層を評価することが可能である。火山岩分布地帯など地質学的手法によっては、構造を推定することが困難な地点では特に本法の適用が効果的であると考えられる。

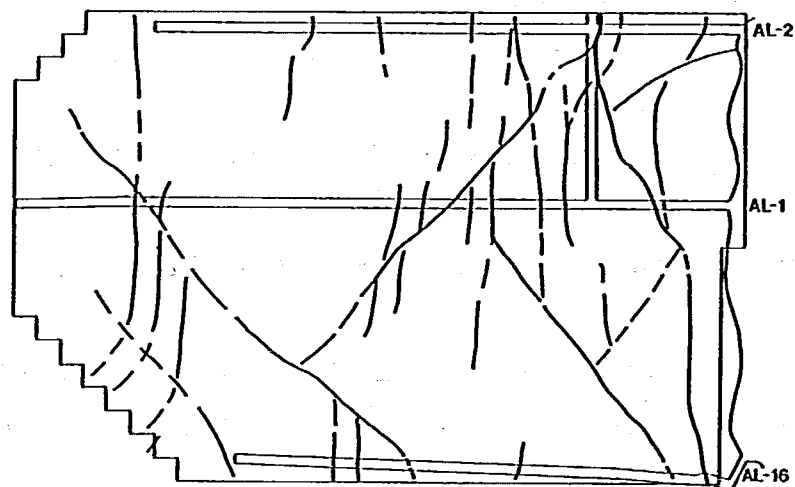
一方、今後の課題としては、再現性をより向上させるために、解析手法の適正化と各種補正の適合化が求められる。



(a) 再生速度構造



(b) 岩級区分推定図



(c) 速度構造リアメント図

図-13 ダムサイトでの調査例 (稲崎ほか, 1986)

3.3 VSP

3.3.1 VSPの概要

VSP (Vertical Seismic Profiling) とは、直訳すると“鉛直地震探査”となるが、発振点を地表に、受振点をボーリング孔内におく反射法探査の一種である。

通常の反射法探査と異なり、鉛直方向に測線をとるため、表面波や屈折波などの影響を受けない、反射面の深度が正確に求まる。多重反射も含めて観測しているので、地盤の減衰特性・増幅特性を評価することができる等の特徴がある。

3.3.2 解析法

ボーリング孔内で観測される波形には、地表振源から進行してきた波（下向波）と下位の反射面から反射してきた波（上向波）が含まれている。この上向波のみを何らかの方法で分離してやれば、反射法探査と同様に、反射波列からなる断面を得ることができる。

図-14 は、以下の一連の処理を施した途中結果を示したものである。

- i) 振幅回復：アフタフェイズの振幅を上げる (a)→(b)
- ii) ミュート：初動以前のノイズカット (b)
- iii) 波動場の分離：上向波のみを抽出 (b)→(c)
- iv) 往復走時移動：受振点を地表にあるように波形をずらす (b)→(c)
- v) 加算：反射波が強調される (c)

3.3.3 VSPの適用性と今後の課題

VSP は資源調査・地質構造調査に利用されているが、土木地質の面でも以下の評価等に適用が可能である。

- i) h の推定：反射面で反射してきた上向波あるいは下向波と入射波の振幅比から各層の減衰定数 h を求めることができる。
- ii) 音響インピーダンスの評価：地層境界の音響インピーダンスを求めることができる。
- iii) 地盤の増幅特性の評価：地表と一定深度で観測された波形を処理し、比較することで地盤の増幅特性を評価することができる。

一方今後の課題として、自然地震波に近い、より低周波領域での観測を行うための機器の開発や、地表近傍での波形の撓乱を除去する手法の開発等が求められている。

3.4 重力探査

3.4.1 重力探査法の概要

重力探査は従来、資源探査や大地質構造調査など広域的な調査に用いられてきた。一般に、重力とは地球の引力と遠心力の合力として定義されるが、その値には、地下構成物質の密度の他に観測点の標高、周辺地形の影響が含まれており、通常、平均値を用いて補正を行うため局所的な調査には適したものとは言えなかった。しかし、重力異常の差分をとれば、それは地下浅所の構造変化の影響を強く受けているはずであり、したがって浅部を対象とした探査法としても有効な手法と考えられる。

3.4.2 重力探査法の調査方法

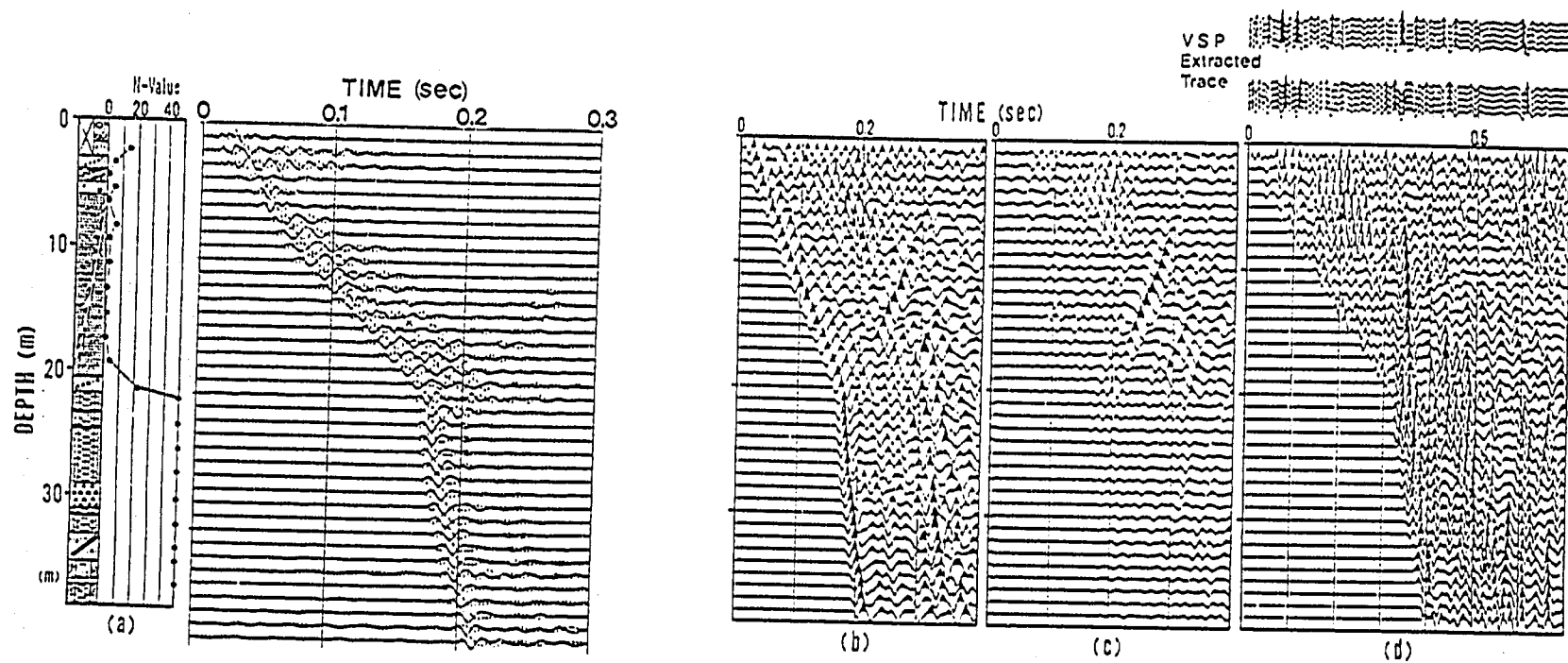
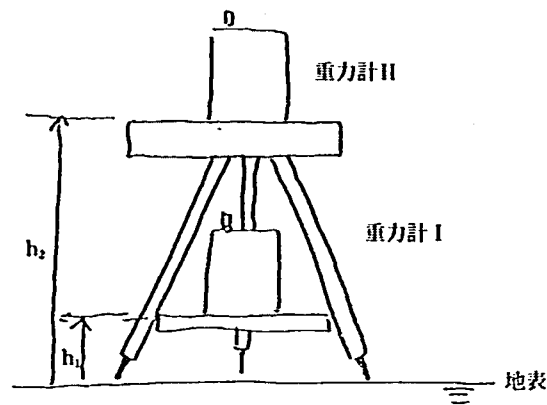


図-14 VSP 処理の概要 (大友ほか, 1985)



図一15 重力鉛直勾配の測定法

重力の鉛直勾配を、現在最も高分解能の重力計とされているラコステ D 型を用いて測る。具体的には、図一15 のように、一地点で測定標高を変えて 2 回測定し、その値より鉛直勾配を計算する。

3.4.3 現地での調査例

(1) 山岳道路における調査例

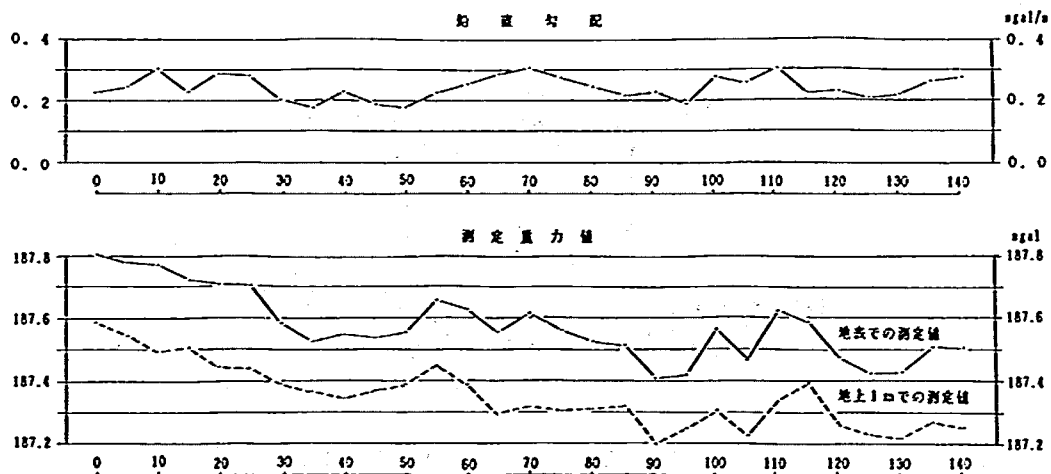
図一16 は、切盛された山岳道路の基礎岩盤の深度を評価するために、調査を行ったものの測定結果である。

測定結果から適当な仮定のもとに、基盤深度を推定してみた。結果を図一17 に示す。同図には、測点 20 付近に、深さ 10 m に達する谷地形が再現されているが、この解析結果は、図一18 に示したボーリング調査等に基づく基盤深度分布とよく対応している。

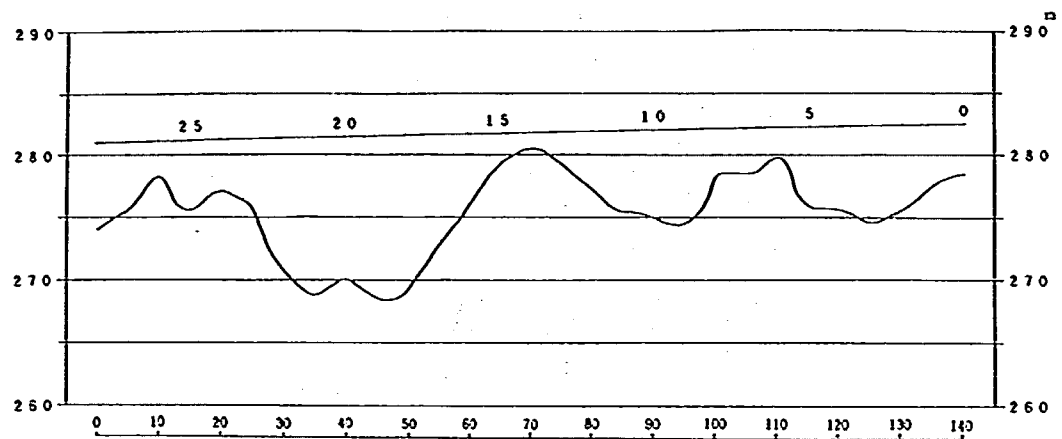
(2) 地下空洞調査例

図一19, 20 は、既知の地下空洞（ボックスカルバート）での探査・解析結果を示したものである（野崎・加藤, 1988）。

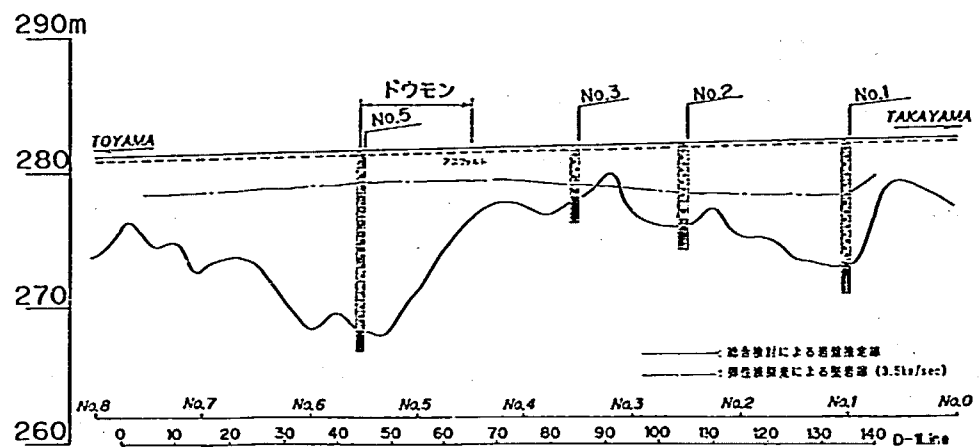
同図では、空洞による重力異常が明瞭にとらえられており、同法によって地下の空洞を検出することが可能であることを示している。



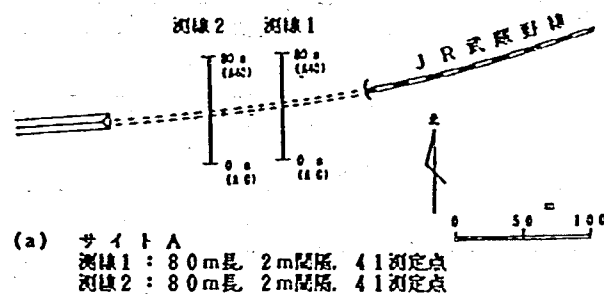
図一16 山岳道路基盤調査例（稲崎・神保, 1988）



図一17 重力探査解析結果（稲崎・神保，1988）



図一18 推定基盤構造（稲崎・神保，1988）



図一19 空洞調査測線（野崎・加藤，1988）

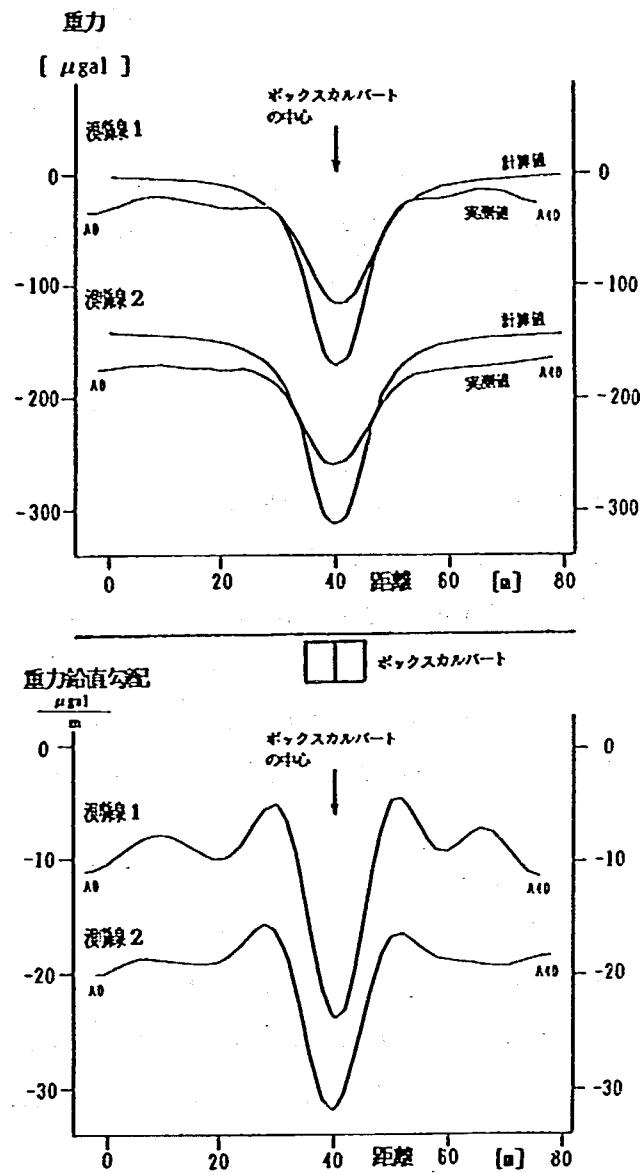


図-20 同解析結果 (野崎・加藤, 1988)

3.4.4 今後の適用性と課題

精密重力探査によって地下空洞 (古洞) の検出が可能である。また、浅部地下構造調査、特に起伏するカコウ岩基盤上に沖積層があり、その境界部付近にライフライン施設がふ設されているような場合には有効と考えられる。

一方、本法では観測精度として μgal のオーダーが求められるため、周辺の地形・気温・気圧変動の影響を無視できない。これらに対する適正な補正方法の開発が求められている。

3.5 地下探査レーダー

3.5.1 地下探査レーダーの概要

地下探査レーダーは、地表においたアンテナから電磁波パルスを地中に放射し、地下の境界面からの反射波を受信アンテナによって観測して地下構造を推定する浅部地下探査法である。探査結果は連続的な時間断面図上に濃淡表示され、その連続性やあるいは埋設管や地下空洞からの特異な波形パターンを分析するものである。

3.5.2 現地調査例

(1) 舗装道路調査例

図一21は、舗装道路における調査例である。地表から20 nsec 付近まで舗装材による水平多層構造が認められ、それより下位にはゆるやかに凹状の形状を描く波面が連なっている。この部分は、盛土部に対応している。また白矢印部には排水管からの特異なパターンが認められる。

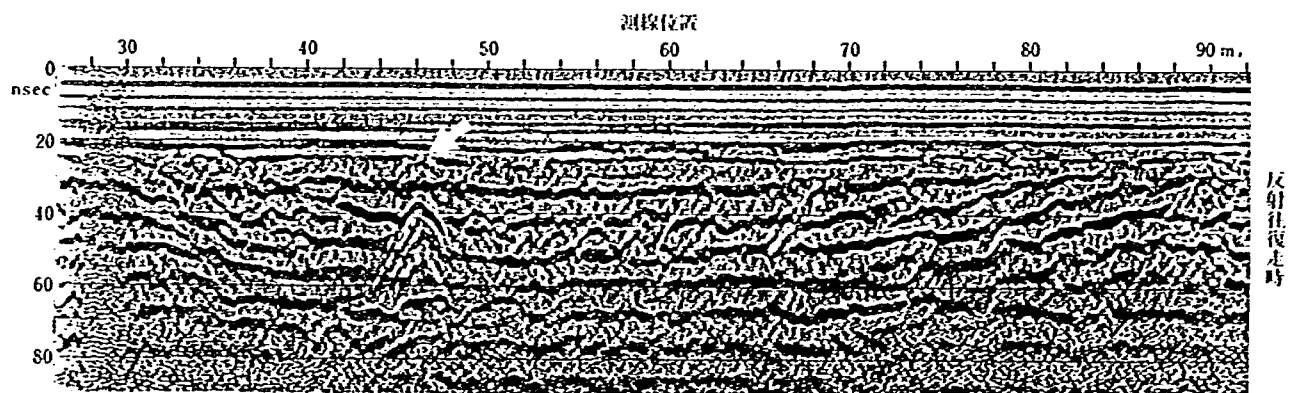
この図は、本法によって道路下の詳細な構造の調査が可能であることを示している。

(2) 礫層の調査例

図一22には、深度2～3 m に分布する礫層上面からの反射波が明瞭にとられている。測線位置 30～40 m 間では、この礫層からの反射が凹状になっているが、これは12世紀後半に造られた堀の遺構であることが明らかにされた。

3.5.3 地下探査レーダーの適用性と今後の課題

上に例示したように、本法で浅部の地盤構造を評価することが可能である。しかし求められた断面は、地盤の比誘電率の変化に対応しており工学的物性と直接的にはリンクしていない、また含有水分によってS/Nが大きく変化する、現状では地下水面上の構造しか検出できないという問題点がある。しかし埋設管や空洞など、施工時に影響が大きく、かつ他に有効的な方法がないような対象の調査には、本法は非常に効果的であると言える。



図一21 舗装道路調査例（稲崎・神保，1988）

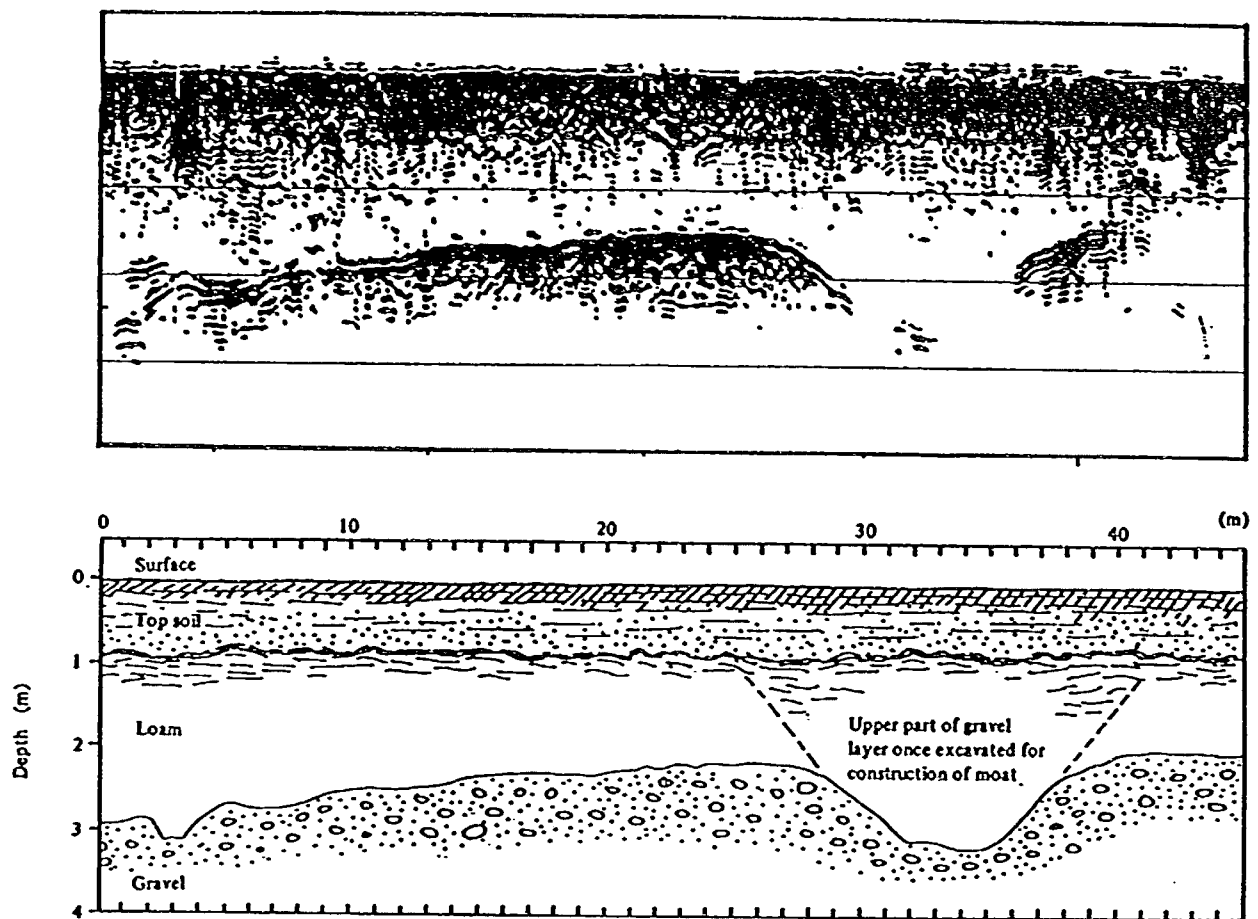


図-22 基底礫層検出例 (Sakayama *et al.*, 1987)

3.6 ポアホールレーダー

3.6.1 ポアホールレーダーの概要

受発振アンテナを内蔵したゾンデをボーリング孔内に挿入し、岩盤中の電磁波物性の異なった境界面、たとえば亀裂面で反射/減衰した電磁波を受信して解析するシステム(図-23)で、単孔で行う反射法(図-24)、複数孔の孔間で測定するトモグラフィ法(図-25)がある。またアンテナには、指向性を持たせたものと無指向性のものが用いられている。孔内では発振出力を上げることができるので、可探深度も大きくなり、数10 m~100 m近くまで探査可能となっている。特に、無指向性アンテナの場合、左図のように反射のパターンが特異となるが、出力が大きく、また、発振波形がきれいなので、良好な記録を得ることができる。

また、トモグラフィの際には無指向性アンテナが有利である。

3.6.2 ボーリング坑間での調査例

図-26は、カコウ岩中に掘削された深度500 mの調査孔での観察結果の一部を示したものである(佐久間ほか, 1988)。同図には、No. 7~No. 16の割れ目が抽出されている。これらのうち割れ目No. 10は孔内での交差幅が23 mに及ぶ大規模なもので、孔軸直交方向にも50 m程度連続していることがわかる。

図-27は、37 m離れた2本の調査孔間でのレーダートモグラフィ解析結果である。同図には、ほぼ同じ傾きをもつ何本かの割れ目が表現されている。なお同図のFは、図-26のNo. 10の割れ目に対応している。

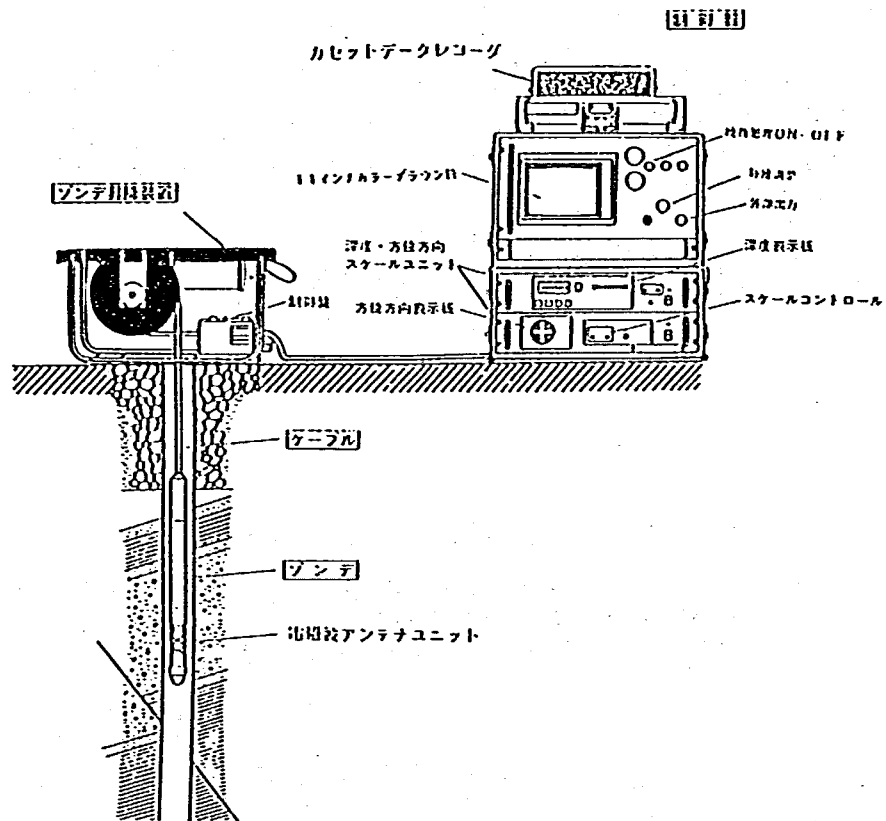


図-23 ボアホールレーダーシステム略図

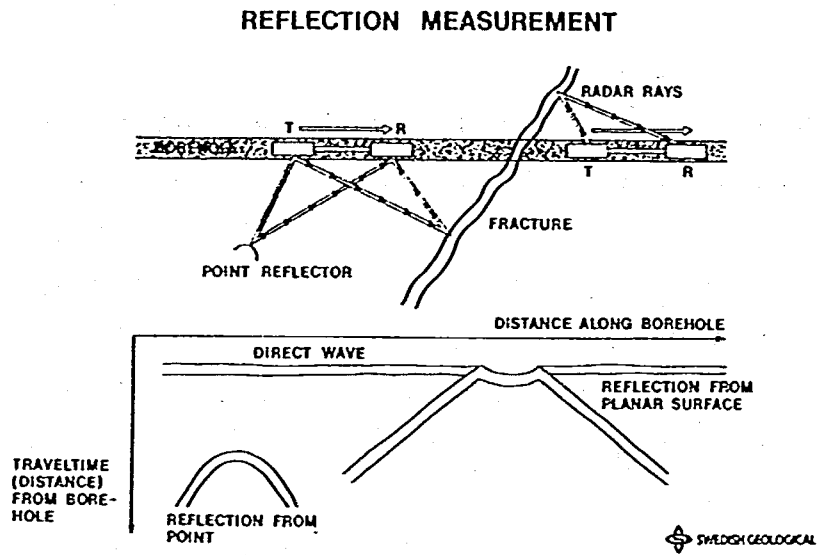


図-24 レーダー反射法概念図 (Olsson *et al.*, 1986)

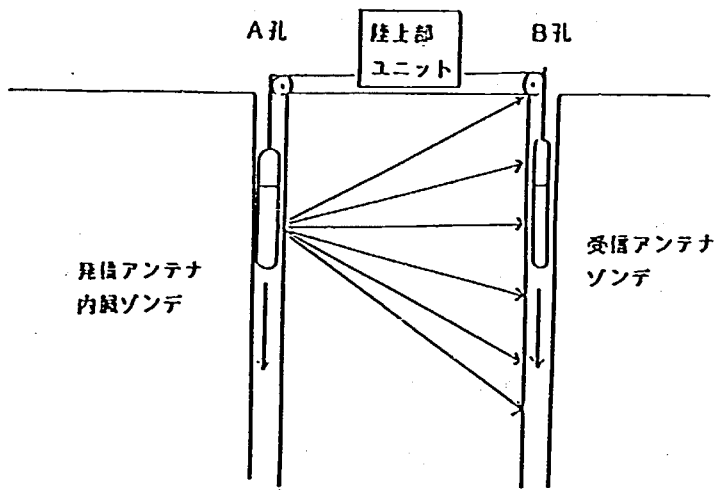


図-25 レーダートモグラフィー法概念図

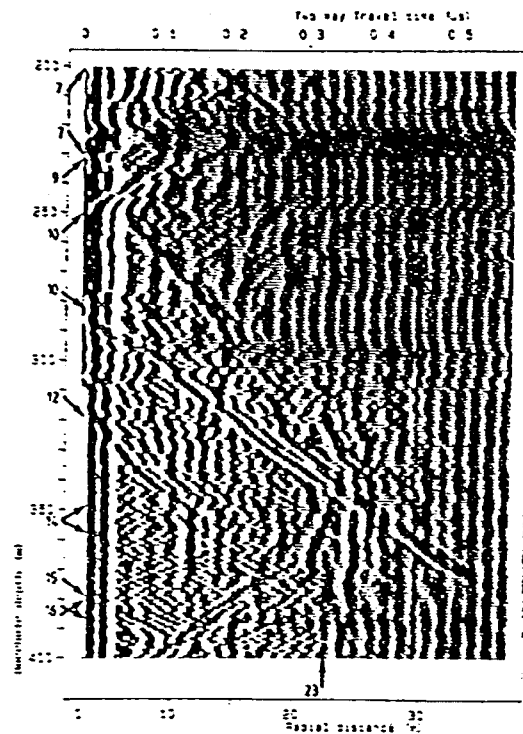


図-26 レーダー反射法調査例
(佐久間ほか, 1988)

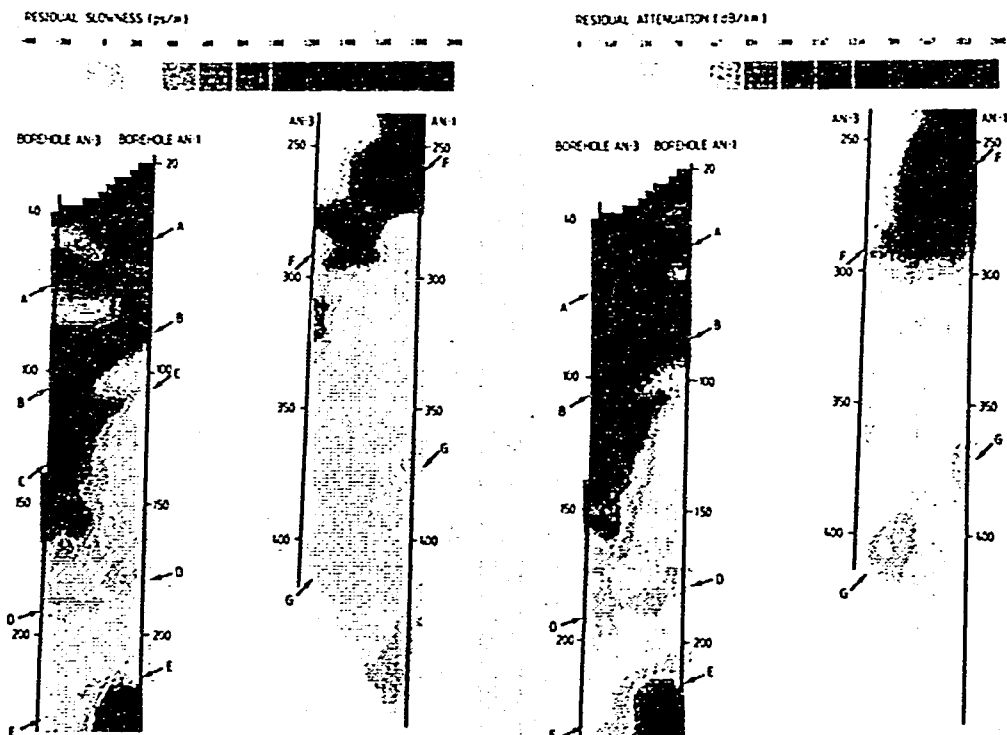


図-27 レーダートモグラフィー法調査例 (佐久間ほか, 1988)

3.6.3 ポアホールレーダーの適用性

上述のように、本システムの適用によって割れ目の位置、傾き、規模、連続性等の工学的に重要なパラメータを評価することができ、キレツ性岩盤の評価、岩盤内の透水性評価、あるいはグラウト前後の測定によって効果判定も可能であり、非常に有望な方法であると言える。ただ現状では、観測・解析に時間がかかりすぎる、システムが国内では開発途上である等の克服しなければならない点もいくつか存在している。

3.7 フルウェーブソニック検層法

3.7.1 フルウェーブソニック検層法の概要

従来の PS 検層は、振源波形や観測計器の特性上、十分な時間精度を有しておらず、せいぜい速度の遅い未固結地盤層での適用に限られていた。それに対し、最近の計測技術の進歩はフルウェーブソニックについての精力的な研究・開発を可能にしている。フルウェーブソニックは微小区間を対象とした検層法で、伝播時間、振幅、周波数、位相等の波形のもつ情報を歪めないように全波形を収録するものである。

ソンドの一例を図-28 に示す。一連のソンドの内に、通常、振源は 2 以上、受振器は 4~12 組み込まれている。

受振器の間隔は 15 cm~25 cm 程度と小さく、微小区間の弾性波速度を精度よく求めることができる。

3.7.2 フルウェーブソニックによる調査例

図-29 はキレツ性岩盤における調査例である(寺田ほか, 1988)。同図は初動部の振幅が RQD とよく対応していることを示しており、これらによって岩盤の割れ目状況を評価できることを示唆している。

一方、詳細な調査・解析によって、岩盤等級が弾性波速度と良い相関のあることも指摘されている。

図-30 は、Bieniawski の方法による岩盤等級が V_p と良く対応していることを示している。

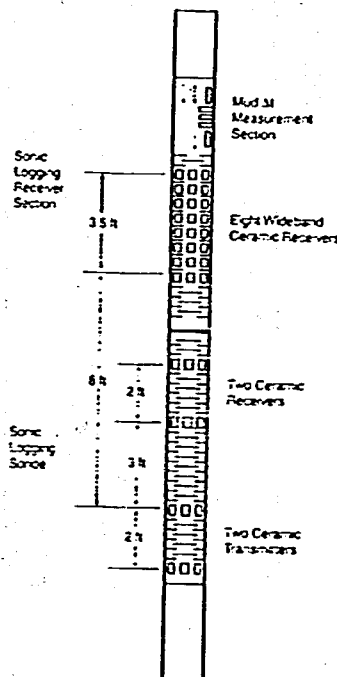


図-28 フルウェーブソニックソンドの例 (Morris, 1984)

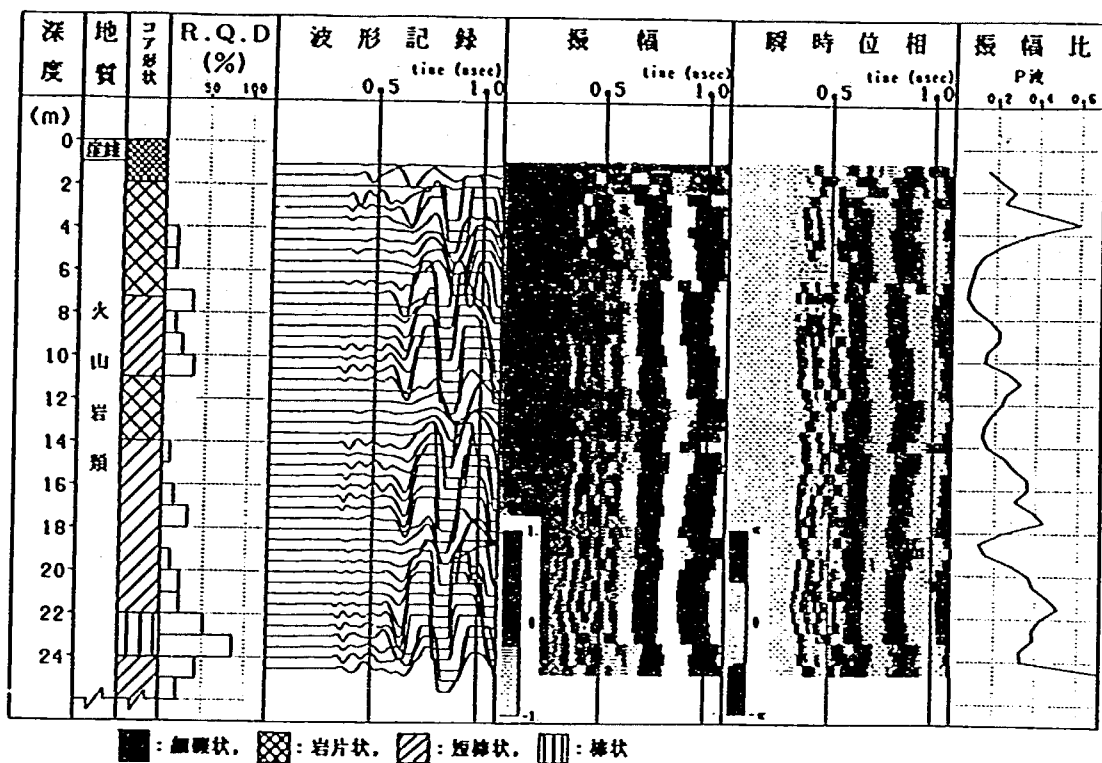


図-29 キレツ性岩盤における調査例 (寺田ほか, 1988)

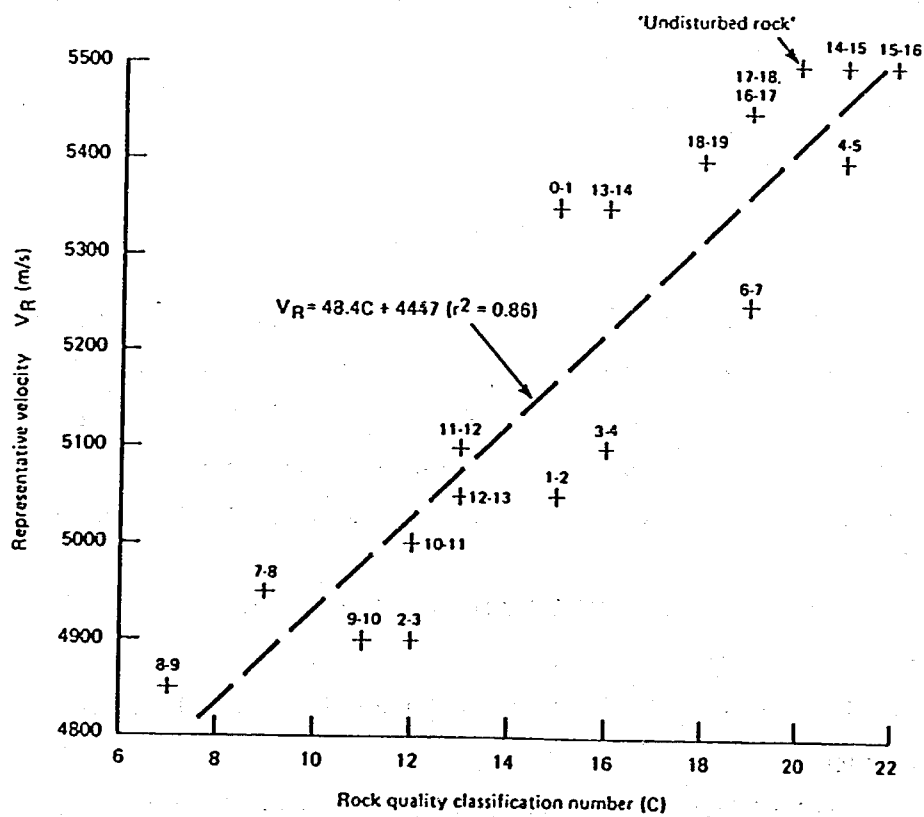


図-30 岩盤と V_p との相関 (New, 1986)

3.3.3 フルウェーブソニックの展望

フルウェーブソニックは、石油資源探査の分野において最近開発・研究されている方法であるが、石油を胚胎する岩盤の割れ目・空隙率等を評価できる方法として将来性が期待されている。地質工学の分野においても割れ目を如何に評価するかは、岩盤強度の評価・透水性の評価と結びつくものとして非常に重要である。従来の RQD 等は、岩盤等級を評価する示標としては不十分であるとの指摘がある。高精度で求められた V_p 、 V_s とその減衰等と割れ目状況、岩盤等級との対応性についての検討を加える必要があろう。

4. ま と め

最近における計測技術・計測装置の急速な進歩に伴って、高精度・高速・大容量でのデータ取得が可能になってきており、データ処理技術の発展と相俟って新しい探査手法も開発されてきた。しかし、そのほとんどは資源関係を背景にしたものであるから、地質工学・土木分野へ適用をはかる際には考慮しなければならない点が多々ある。現場での適用に優るものはないが、無批判・無原則的な適用は避けるべきであり、

- i) 岩盤・地盤の何を評価するのか
- ii) そのためにどのような物理量を用いるか
- iii) どの程度の精度が求められるか
- iv) 適当な探査法は何か
- v) 必要とされる探査計画は

等の項目に十分な検討を加えるべきであり、地質担当者が物理探査法について一定の知識を有していることが必要であろう。本報告がその一助となれば幸いである。

なお、得られた結果を如何に解釈するか、についても大きな問題であるが、経験を要する課題であり、検討すべき点も多いので別の機会にゆずりたい。

参 考 文 献

- Hardage, B.A. (1983): Vertical Seismic Profiling, Pt. A, 450p., Geophysical Press, London.
- 堀川義夫 (1988): 昭和 61 年度における日本の物理探査活動, 物理探査, vol. 41, pp. 382-391.
- 稲崎富士 (1983): S 波反射法による礫層調査, 物理探査学会昭和 58 年秋季講演会予稿集, pp. 43-44.
- 稲崎富士 (1985): 浅層反射法による地盤構造調査, 土と基礎, vol. 33, no. 7, pp. 45-48.
- 稲崎富士, 中山和代, 渡辺文雄, 吉田武志(1984): S 波反射法による埋没谷調査, 物理探査学会昭和 59 年春季講演会予稿集, pp. 58-59.
- 稲崎富士, 神保 悟, 高橋幸夫, 渡辺文雄 (1985): 地質断面法 (その 4) — トンネル坑間調査への適用 —, 物理探査学会昭和 60 年秋季講演会予稿集, pp. 11-12.
- 稲崎富士, 高橋幸夫 (1986): 地質断面法—岩盤内弾性波速度の面的評価法—, 第 18 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 441-445.
- 稲崎富士, 神保 悟(1988): 山岳道路における物理探査, 物理探査学会第 78 回学術講演会講演論文集, pp. 114-119.
- 片山浩二, 横矢直道 (1988): 対話型屈折法地質探査プログラムの開発について, 物理探査学会第 78 回学術講演会講演論文集, pp. 101-106.

- 三浦三郎(1988)：ダム基礎の問題点と今後の調査手法について，日本応用地質学会九州支部 10 周年記念号，pp. 54-58.
- Morris, C.F., Little, T.M. and Letton, W. (1984): A New Sismic Array Tool for Full Waveform Logging, SPE 13285.
- 村上 裕 (1983)：マグネトテルリック法の基礎概念，物理探査，Vol. 36, pp. 382-391.
- 内藤好裕，高久和彦，安久俊雄 (1988)：埋没鉄類の磁気探査の重合測定による S/N 比の向上について，物理探査学会第 78 回学術講演会講演論文集，pp. 340-345.
- New, B.M. (1986): A Seismic Transmission Tomography Technique for Rock Quality Evaluation, in *Borehole Geophysics for Mining and Geotechnical Applications*, pp. 173-180.
- 野崎京三，加藤元彦 (1988)：マイクログラビティ探査 (その 2) —その実例と問題点—，物理探査学会第 79 回学術講演会講演論文集，pp. 282-287.
- 大友秀夫，太田賢治(1985)：SH 波反射法および VSP を用いた土質地盤での地下構造探査について，物理探査，Vol. 41, pp. 12.
- Olsson, O.*et al.* (1986): Borehole Radar —A New Technique for Investigation of Large Rock Volumes.
- Sakayama, T., Kanazaki, Y. and Toshioka, T. (1987): Development of the Georadar System and Basic Experiments.
- 佐久間秀樹，坪岡浩二，Olsson, O. and Lundmark, L. (1988)：土岐花こう岩における RAMAC システムの適用試験，物理探査学会第 78 回学術講演会講演論文集，pp. 305-309.
- 竹内睦雄，長江亮二 (1987)：動的電気探査法の検討，物理探査学会第 76 回学術講演会講演論文集，pp. 235-236.
- 寺田幸次，今村杉夫，東 宏幸(1988)：フルウェーブ音波検層の 2, 3 の事例と有効性，物理探査学会第 79 回学術講演会講演論文集，pp. 154-158.

2. 土木地質分野における新しい 調査法等についての検討

水資源開発公団試験所

第三試験課長

神尾 重雄

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

まえがき

構造物の種類や工事の規模等により詳細は異なるが、土木地質分野では計画段階でのサイトの選定・抽出から構造物についての予備的検討に始まり、更に概略設計調査から詳細設計調査へと段階的に精度を向上させてゆく調査のやり方を取っている。

具体的な調査方法について言えば地表踏査、物理検査、ボーリング調査、横坑調査等を各調査段階毎に要求される精度や調査範囲に応じて行っている。たとえば精度は低いコスト的、工期的に全域をカバーできる手法で全体調査を行い、これを精度の高いコストの高い手法でチェックしてゆくという有効な組合せが実際に採用されており、各種の技術指針や基準等にもとりまとめられている。

近年ダム等の大型構造物の建設がふえているが、一方では建設に適したサイトばかりではなく、基礎岩盤の地質も複雑なものも多い。このような複雑な地質構造をより効率的に調査して行くにはボーリングや横坑により岩盤の一部をサンプリングして、その観察を行い、周辺の岩盤状況を推定してゆく従来の方法と共に各種の計測装置や物理的・化学的原理を用いる分析・解析手法により、より直接的に岩盤状況を推定する新しい調査方法についても研究開発を行ってゆく必要があると考えられる。

これらについては探査対象深度が深く直接的なサンプリング手法を取りにくい地熱や石油開発分野で研究開発されてきた調査法も多い。しかしながらこれらの技術は土木地質分野とは調査の規模・精度、地形上の制約等が異なり、土木地質分野で採用された事例も少なく、また地質調査としての体系的な取扱いもなされていない。

このような状況から、国土開発技術研究センターでは各種の地質調査手法および地質調査機器に関する情報を収集・解析し、更にダム等での地質への適応性についての検討を行う委員会を昭和59年から61年にかけて開催し、新しい地質調査法についての検討を行っている。筆者は当時国土開発技術研究センターにおいてこの業務を直接に担当しており、この中で行った一連の現地実験結果を中心に報告するものである。

1. 新しい調査法の検討

土木地質分野における新しい調査法の検討は次のような方法に基づき実施された。(図-1)

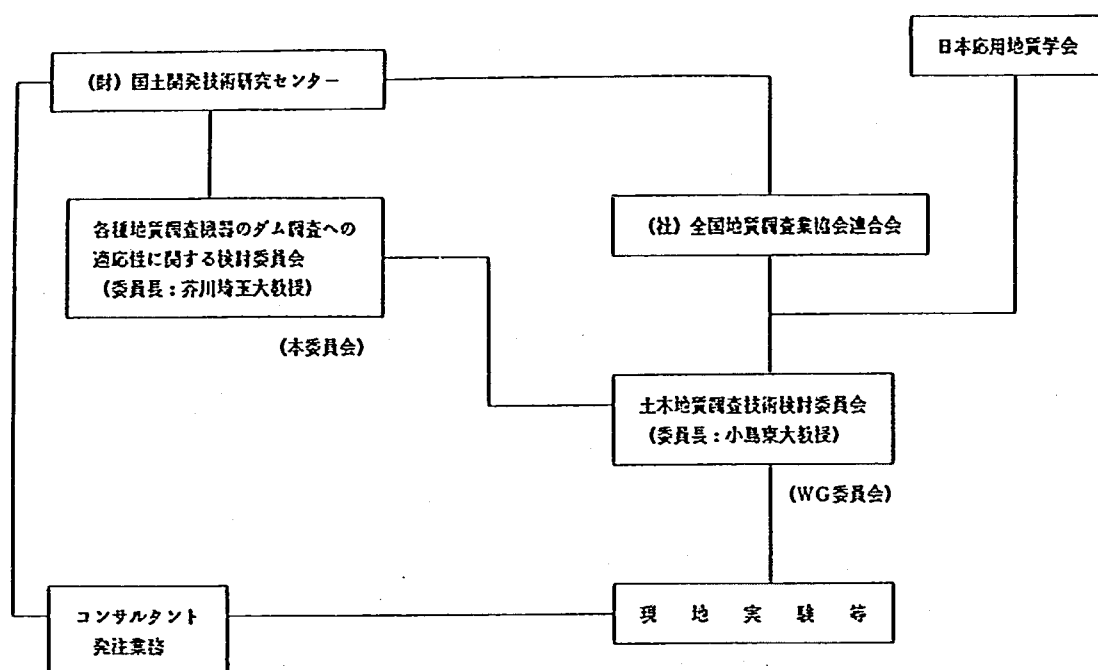
本省開発課・土木研究所・学識経験者等からなる各種地質調査機器のダム調査への適応性検討委員会(委員長芥川埼玉大教授)を設置し、委員会での検討資料を作成するワーキンググループの性格をもつ土木地質調査技術検討委員会を全地連や応用地質学会メンバーを中心に設置した。

また別途必要な業務をコンサルタント等に発注し、同様に検討資料の作成を行った。

新しい調査法の検討に必要な既存文献や調査機器カタログを集めたところおよそ90点程の文献を集収できた。(表-1.1, 表-1.2)

これらに基づいて主に計測の手段や方法から土木地質に関係する項目について分類すれば、次のような項目に整理することができる。

- | | |
|-------------|--------------|
| ① リモートセンシング | 広域地質、線状模様の抽出 |
| ② 物理探査等 | 浅層反射法、空中磁気探査 |



図ー1 新しい地質調査方法に関する検討方式

表ー1.1 手法別収集文献数一覧表

手 法 の 分 類	文 献 数		
	国 内	国 外	合 計
ボーリング	11	2	13
孔内計測	28	32	60
孔・坑間計測	1	18	19
地表探査	30	25	55
地表, 坑内計測	10	10	20
空中探査 (リモートセンシングを含む)	9	5	14
室内試験	5	6	11
その他	19	26	45

表ー1.2 手法別収集カタログ数一覧表

手 法 の 分 類	カ タ ロ グ 数		
	国 内	国 外	合 計
ボーリング	42	0	42
孔内計測	34	7	41
孔・坑間計測	0	0	0
地表探査	9	27	36
地表, 坑内計測	2	0	2
空中探査 (リモートセンシングを含む)	0	1	1
室内試験	4	0	4
その他	30	18	48

- | | |
|-----------|--|
| ③ ボーリング技術 | { 新型パッカー
コア回収率の向上
コントロールボーリング
掘進率測定 |
| ④ 孔内計測 | { 速度検層、電気検層等
孔内水平载荷等
地山初期応力の測定 |
| ⑤ 孔・坑間計測 | { ジオトモグラフィー
パルストレーサー |
| ⑥ コアログ関係 | RQD, 割れ目計測 |
| ⑦ 室内試験 | { 岩石耐久性、断層破碎帯物質の分析
地震、広域地下水挙動 |

これらの中から一連の調査体系としての位置付ができ、将来ダム地質や岩盤の調査法として有望なものについて検討を進め、岩体や岩盤中の割れ目や亀裂の検出に関するものおよび岩盤内部の状況の探査に関するものを抽出した。(表-2)

調査法としてこれらの技術を活用していく場合次のような留意点が指摘された。

i) 割れ目計測や電磁波トモグラフィーにより水みちとなり得る割れ目分布を見出し、パルストレーサー注入と検出結果から水みちの検討を行う外に、注入前後に電磁波トモグラフィーを実施し、電解質あるいは良伝導性のトレーサーを注入すればトレーサーの流動拡散状況を直接モニターできる可能性があること。

ii) 弾性波トモグラフィーについてはより高い周波数帯 (1 kHz~数 kHz) で行うことが精度向上に必要である。また割れ目の密集度を判断するには弾性波の減衰を考慮した Q 値トモグラフィーが効果的である。破碎帯を構成する粘土まじりの礫等では変形性等の物理的・力学的性質にかぶり深さ依存性があるため岩盤

表-2 岩盤中の割れ目や亀裂等の検出に関するもの

項 目	内 容
リモートセンシングを含む割れ目系計測	スケール毎の岩盤中の割れ目の分布特性を測定し、それらの相関性等を検討するもので、測定方法は割れ目の規模によって衛星写真・空中写真からの判読、地質図 (地表踏査結果) からの読み取り、横坑・ボーリングコア観察時の割れ目計測である。 割れ目の規模は連続性や、破碎帯中で、割れ目の密度は割れ目の間隔で表現される。一般に規模の大きい割れ目は断層等として認定され、小さいものは節理 (系) 等である。
ト レ ー サ ー 技 術	岩盤中の割れ目や空隙にパルストレーサーを投入し、あらかじめ予測される湧出点でトレーサーが検出されるまでの経過時間、トレーサー濃度波形の観測をし、割れ目等の中の水みち状況 (割れ目のひらき等) および地下水の流動状況を求める。
フィンガープリント	断層や破碎帯上に測線を設置し、適当な間隔に活性炭を芯に塗付したフィンガープリント用ガス集結管を埋設し、短周期のガス発生変動を除去するため 1~数週間程度放置し、再びこれを回収し質量分析を行う。 地下深部に通じる割れ目からは、多成分の高質量ガスが検出できるが、そうでない割れ目からは検出されないため、断層等の位置確認や割れ目の連続性の確認に適用できる。

表一 2 (続き) 岩盤の内部探査に関するもの

項 目	内 容
コントロールボーリング	各種のトモグラフィ等の孔・間の岩盤状況の計測を行う場合、解析対象断面内にボーリング孔が正確にはいつているかどうか等ボーリング孔の位置を岩盤内部でも正確に知る必要がある。 また、任意の位置へ正確にボーリングを行えるようになればその孔を利用した諸計測が可能になる。
弾性波トモグラフィ	地表やボーリング孔および横坑内に起振点・受振点を多数配置し、弾性波の初動走時を観測することにより、起振点と受振点で囲まれた岩盤内部の詳細な速度分布を求めるもので起振点・受振点に囲まれた領域を適当なブロックに分割し、観測された全ての初動走時を満たすように各ブロックの弾性波速度を算出する解析手法を用いている。
電磁波トモグラフィ	ボーリング孔等から電磁波を岩盤内部に向けて発振し、弾性波トモグラフィと同様な発振・受振配置による計測を行い、岩盤内部の電磁波透過速度分布や電気的性質の異なる割れ目からの反射波を検出するものである。

の深部では表層付近と比べ堅岩部と破碎部とでは速度差は出にくいと思われる。

弾性波トモグラフィは他の調査法との組合せにより堅岩と破碎帯あるいはゆるみゾーンの分布を求めるのに有効と思われる。

割れ目系計測は硬岩からなる岩盤では割れ目の性状が岩盤の強度や透水性の支配的要因となるため、他の探査技術との組合せが必要になる。

表一 2 はさらに検討をすべきとされた調査項目の内容が書かれているが以下に各調査法について概説する。

1.1 割れ目系計測

ある構造物を設計する上で、調査、検討の領域は、広い領域のものからサイト周辺の狭い領域まで様々に行われる。これらの異なったスケール（縮尺）での割れ目要因の各々が、どのような分布特性を示しているかを把握することは重要である。

そこで、岩盤評価の大きな一つの要因である岩盤の割れ目の特性を求めるには割れ目系の分布特性についてサイト調査（near-field）の面と、広域調査（far-field）の面から検討すべきと考えられる。

1.1.1 リモートセンシングおよび地形

リモートセンシングから見た割れ目に関する研究は、その手法の特性上 10 万～50 万分の 1 のマクロな立場からのものが多い。その代表的なものがリニアメント抽出に関するもので、ランドサットの MSS 画像処理からレーダー画像処理まで、そして写真測量的な解析からマイクロ波画像の処理まで、それぞれの分野で研究が進められている。

広域調査に使用できるデータと手法は、衛星写真の MSS 画像とレーダー画像との併用が土木地質に対する今後の新しいアプローチとなるであろう。レーダー画像のハイコントラストな地表の起伏映像は、断層、割れ目の調査にとっては最有力のものである。ところが、マイクロ波の放射角度（方向）を少なくとも 30 度づつとらないと、レーダー画像の解析情報不足となる恨みがある（つまり映像作成までの手数がかかる）。そ

して MSS 画像、レーダー画像にも使用できるスケールは、前記のように 10 万～50 万分の 1 程度のものが多く、土木地質に問題となるようなスケールでの探査に利用できる可能性は十分ではないということになる。しかし、この問題は近い将来、技術的に向上する可能性が十分あると判断できる。

現在の時点では、地質別、風化の状態、割れ目、断層……などの処理についてのリモートセンシングによる調査は、空中写真による MSS データを「斜め写真」による大縮尺の画像が最優先となるのは止むを得ない。

地質判別や風化、断層……等空中写真画像の解析に係る処理については、吉田登「航空写真の水力発電計画への利用」(昭和 38 年)小海堂ライブラリー 18 をもって初めとする。本書は黒四ダム調査を中心にしたもので、今日の土木技術に対応した写真解析の解説(現在の画像解析)がこの本に詳しく紹介されている。本書以後の研究は、すべての延長上にあり、解析法に改良を加えた(解析法が精密になった)ものと考えることができる。

次に現場即応の形式をとるもので、プリント陽画、フィルム陰画のエツジエンハンス(画像強調)の手法がある。1930 年代の写真技術書に解説されているもので印画紙上にフィルムネガを重ねて斜めからの光線を照射してプリントを作成する方法である。ネガの重ね具合の大小(間隔の広狭)によって画像からの線画が強調される。グラデーション(諧調)の豊富なネガからは良い結果を得やすい。レーダー画像に似た映像ができる。最近、エツジエンハンス専用の装置を使用することによって、簡単に線画とすることができるようになった。空中写真のネガ(ポジからコピーしたネガでもよい)から直ちに機械的にリニアメントが抽出されるものである。本方法によって断層や割れ目の抽出が容易となる一つの手法であることを付記する。

1.1.2 広域調査から得られる分布

あるサイトを含み、割れ目形成の地質学的な履歴あるいは地史がほぼ同じ岩体について、地表踏査(これによって得られた地質図でもよい)や、空中写真に見られる割れ目の長さや断層の破碎巾の分布を調べることにより広域での割れ目分布特性を求めることができる。

1.1.3 サイト調査から得られる分布

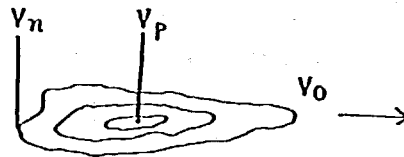
同一の岩体からなるサイトで、割れ目に関する地質要因(断層や節理の密度や長さ、断層の破碎巾やずれ)を調査横坑やボーリング孔で計測することによってサイトでの割れ目分布特性が求められる。割れ目の分布はかならずしも規則的なものではないので、統計的な検討を行うには多数の計測が必要である。

1.2 トレーサー実験

地表水や地下水の流れに食塩水や蛍光染料などを注入すると、注入液は流水に乗って移動する。食塩水を注入した場合これを「塩水クラウド」と呼び、クラウドは流水の規模や Reynold's 数に支配を受けて移流拡散することが知られている。

地表水中の塩水クラウドの移流拡散はクラウドの拡がる速度、即ち「(先端速度)－(後端速度)」あるいは「(先端速度)－(ピーク速度)」が Reynold's 数の $1/2,000$ (cm/sec) に近似する傾向が確認されている。(石橋・堀間, 1973)

クラウドの地下水中の移流拡散形状やクラウド拡散速度は地表水における場合とやや異なることが知られている。(菅原, 1957; 石橋・猪間, 1980; 石橋・高橋・堀内, 1985)



クラウド拡散速度 $U = V_o - V_n$ or $V_o - V_p$

$$U = \frac{1}{2,000} \text{ Reynold's 数 (地表水の場合)}$$

V_o : クラウド先端速さ

V_n : クラウド後端速さ

V_p : クラウド最大濃度の速さ

図-2 クラウド拡散概念図

表-3 トレーサー調査による波形の分類

	形 態	拡 散 波 形	波 形 の 特 徴
Surface Water	(S-1) 表 流 水		正常な表流水は拡散波形の通過後、投入前の基底流量に戻る。波形の通過は短時間である。(数10秒～数分)。左図の $d_1 \sim d_3$ は投入～観測点間の距離。 $d_1 < d_2 < d_3$
	(S-2) 表 流 水 (ダムアップ)		ダム内に停滞した染料のため (S-1) の波形の如く基底濃度に戻るには相当の時間を要する。(ダムの大きさによっては数時間を要す)。 $d_1 \sim d_3$ は (S-1) と同様 $d_1 < d_2 < d_3$
	(S-3) 表 流 水 (分 流)		ピーク濃度が2つ以上に分かれる。(流速の差によって位相差が生じる)。a, bとも波形を分離することにより、流路形態を求めることができる。
	(S-4) 表 流 水 (逸 水)		流水が逸水 (浸透) している場合、投入染料の一部が消失する。逸水の無い場合は、cの波形が観測できるが ($q\lambda > Q'\lambda'$) 図のハッチ部が消失してしまう。
Ground Water	(G-1) 帯 水 層 ($K=10^{-1}\text{cm/S}$)		透水係数 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm/sec}$ の層流型の地下水の波形である。立上りが緩やかなうえ減退しにくく、ピーク濃度が明瞭に現われない。
	(G-2) 伏 流 水 (多孔性)		波形としては、表流水型と似ているが、経過時間が数10時間を要する。多孔性 (数多くの水みち) を示すように濃度変動が著しい。
	(G-3) 割れ目系地下水		流速がおそい (10mm/sec 以下) ため、流下方向の拡散が充分に行われない。高濃度の染料は濃い塊りのまま流下する。ピーク濃度はパルス状に現われる。

C_0 : 濃度 T: 時間

(高橋・石橋, 1982)

クラウド拡散速度は、Reynold's 数の $1/250 \sim 1/10$ 程度に小さくなる傾向にあり、水みちの規模・形状等によっても異なってくることが知られている。

このようなことから、トレーサークラウドの観測により、Reynold's 数を求められれば、水みちの規模を推定することが可能である (石橋・猪間, 1980)。

水みちの形状によるクラウドの特徴は、また亀裂型・均質型・空洞型等に概略分類されているので (表-3)、クラウド濃度の分布から、水みち形状の推定も可能である。岩盤の中の亀裂における圧入水の流れは、亀裂型と考えられるが、風化帯や亀裂の発達するゾーンでは、均質型に近づいてくると推定される。

次にトレーサーの分散クラウドの長さ (X) から実質的な拡散係数 (D) (Virtual diffusion coefficient) は次式により定義される。(Gaspar, 1972)

$$X = 3.06(Dt)^{1/2}$$

あるいは

$$D = \frac{(V_o - V_n)(t_n - t_o)}{3.06^2 t} = \frac{(U \cdot T)^2}{9.36 t}$$

ここで T はクラウドの通過時間

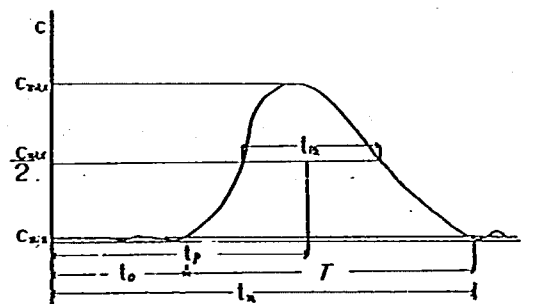
$$T = t_n - t_o$$

あるいは

$$T = 1.85 t_{1/2}$$

ここでも $t_{1/2}$ はクラウド濃度の最大値の $1/2$ のものが通過に要する時間で図-3 に示した如くである。

また t は $t_{1/2}$ の 2 倍の時間である。



C_{max} : トレーサークラウドの最大濃度 (ピーク)

$\frac{C_{max}}{2}$: トレーサークラウドの最大濃度の $1/2$

C_{min} : トレーサークラウドの最低値 (バックグラウンド)

t_o : 投入後最初のトレーサー到着時間

t_p : 投入後クラウド濃度がピークに達した時間

t_n : 投入後トレーサークラウドの通過が終了し
バックグラウンドまでの濃度が下がった時間

T : $t_n - t_o$ トレーサー通過時間

$t'_{1/2}$: クラウド濃度 $C_{max}/2$ のクラウド通過に
要する時間

図-3 地下におけるトレーサー濃度と時間の関係

1.3 フィンガープリント法

フィンガープリント法は、米国コロラド鉱山大学で石油貯留層の直接捕捉を目的に開発された多成分土壌ガス地下探査法である。米国で石油・天然ガス鉱床の探査を中心に 300 件以上の調査実績を有するほか、日本国内においても石油・天然ガス、地熱、断層、環境対策などの分野で調査が実施されている。これら米国および日本における数万点以上の測定結果によれば、断層および割れ目の直上ではガス成分のスペクトルに次のような特徴的なパターンが見られる。

- ① 全ガス発散量が多い。
- ② 高質量ガスが比較的多い。

このような高質量ガス成分は、地表付近で生成される可能性は考えられず、また地層内を通過し難いので、断層および割れ目中を優先的に通過して地表に到達したものと考えられる。

次に調査方法の概要について述べる。

1.3.1 土壌ガスの採取

土壌ガスの採取のため、調査計画に基づき設定した測点で表土を 30 cm から 50 cm 程堀削し、直径約 3 cm 長さ約 20 cm のガスコレクターを埋設する（図-4）。ガスコレクターは、ガラス管に磁性体ワイヤー（キュリー点=358°C）を挿入したもので、ワイヤーの片端には粒径を揃えた活性炭粉末が等量接着されている。輸送中はキャップで密閉し、埋設直前に開封して地下深部から上昇して来たガス成分を含む土壌ガスを活性炭に吸着させる。土壌ガスの採取は 1~2 週間の期間をかけ、土壌ガスの短期変動を除去する。

1.3.2 ガス成分の分析

本手法で解析の対象となるガスの主体は、比較的分子量の大きな炭化水素系ガスである。一般にこの種のガスは低揮発性もしくは低移動性であり、その濃度は極めて希薄である。このため、分析には高精度のキュリー点パイロリシス・質量分析計（図-5）を用いる。また質量分析計を用いることにより分析成分が特定のガス成分に限られることなく、質量数（正確には、イオン化による電荷 Z に対する質量 m の比 m/Z ；通常 $Z=1$ ）29~240 のすべての成分のガスを同時に分析できる。検出したガス成分の質量数 (m/Z) とその強度は磁気テープに記録するほか、ガス成分の質量数 (m/Z) を横軸に、その強度比を縦軸にとった質量スペクトルに図化する。

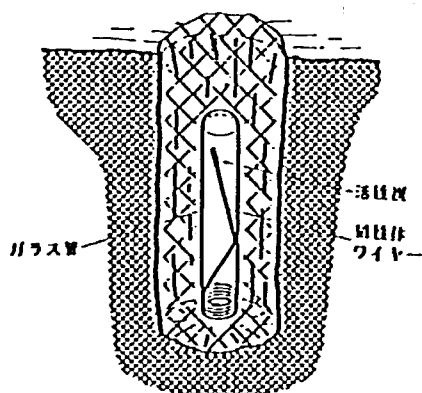


図-4 ガスコレクター

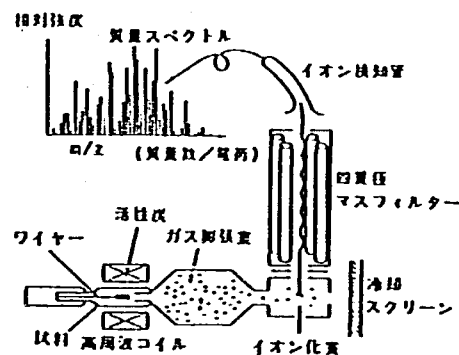


図-5 分析システム

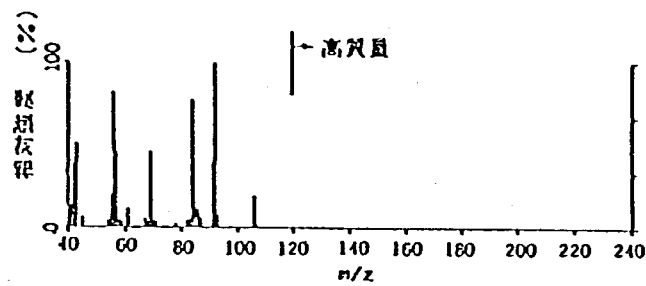


図-6 バックグラウンドの質量スペクトル

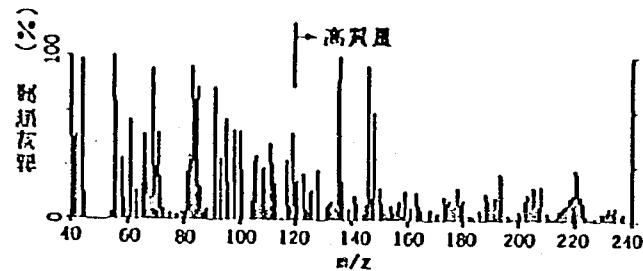


図-7 断裂直上の質量スペクトル

1.3.3 データの解析

解析に供するガスの主体である有機ガスは地下深部の Catagenesis 帯での有機物の熱変質により生じると考えられている。地下深部から破砕帯を通過して地表に到達した断裂直上のガスには破砕の発達しない(ガス道として連結していない)部分のバックグラウンドのガスとは異なる以下のような異常の存在が知られている。

- ① 断裂直上のものは、一般にバックグラウンドのものよりガスの総量が多い。
- ② バックグラウンドのガス成分が低～中質量(通常、質量数 $m/z < 120$)のガスにほぼ限られるのに対し(図-6)、断裂直上の試料には高質量のガスも相当量含まれる(図-7)。
- ③ バックグラウンドはガスの成分数が乏しく組成比が安定しているのに対し、断裂直上の試料は成分類が豊富で組成比の変化が比較的激しい。

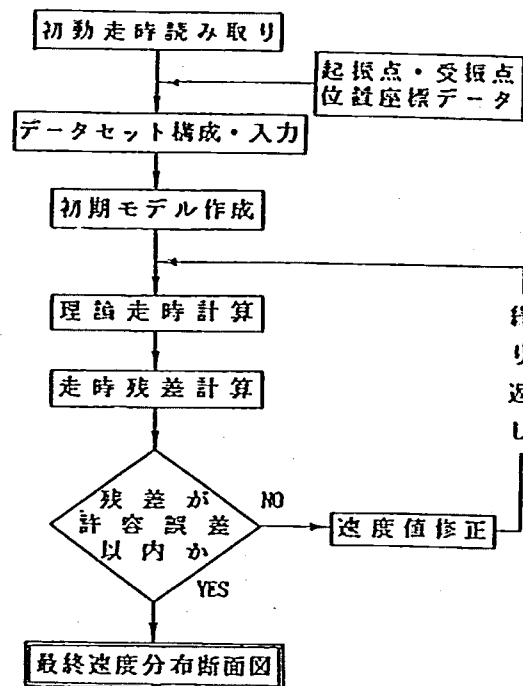
このような違いを参考として指標を作り、それにより断裂に併って生じたガス異常かどうかを判定する。

1.4 弾性波トモグラフィ

弾性波トモグラフィは起振点と受振点に囲まれた領域を適当なブロックに分割し、観測された全ての弾性波の初動走時を満足するように、ブロック内の弾性波速度を決定し、その表示により岩盤内部の速度分布の推定断面を得る手法である。

図-8の解析のフローチャートに示すようにまず観測走時の読み取りを行い、トモグラフィの処理に入力すべき解析ブロックの大きさ等のデータを選定し、測量データと共にコンピュータに入力する。

次にブロックに適当なスローニス(単位長さあたりの伝播時間であり、この値の逆数が速度値となる)を初動走時データ等より求め初期モデルを作成する。次に弾性波の屈折を考慮して起振点受振点間の初動走時



図一8 弾性波トモグラフィーの解析のフローチャート

を計算し、観測走時との差を求め、この残差を最小にするようにモデル内のブロックのスローニスを逐時修正し、最終的なブロックのスローニスを決定するという手順を取る。

初期モデルの作成には通常弾性波の波線を直線と仮定した逆投影法 (Back Projection Technique) によって求められる。また観測時走との残差を最小にするような逐時修正法として SIRT や ILST 等の手法が用いられる。

1.5 電磁波トモグラフィー

電磁波トモグラフィーでは岩盤内部に存在する断層等の岩盤状況を把握するため、透過波や反射波の検出と透過波の減衰や速度または反射面の復元が目的となる。そのため微小な反射信号等を強調する等の計算機による信号処理が必要となる。図一9にはことための一連の処理の流れとその処理例を示す。以下に処理の各段階について説明する。また電磁波発振受振の測定機器の主な仕様については表一4に示す。

① A/D変換

原記録は現在モニターとしてファクスレコーダーに出力されると同時に、データレコーダーにもアナログ形式で収録される。A/D変換は、このような記録をデジタル形式に変換し計算機に利用できるデータとする処理である。

② コモンオフセットギャザー

原記録はモニター記録 (図一9) に示したように、異なるアンテナ間隔の記録が混在する。この処理では、このようなデータセットから等しいアンテナ間隔の記録のみを抽出する。

③ AGC (Auto Gain Control)

単一波形についてその包絡線関数による正規化を行なう処理であり、最大振幅を等しくすることができる

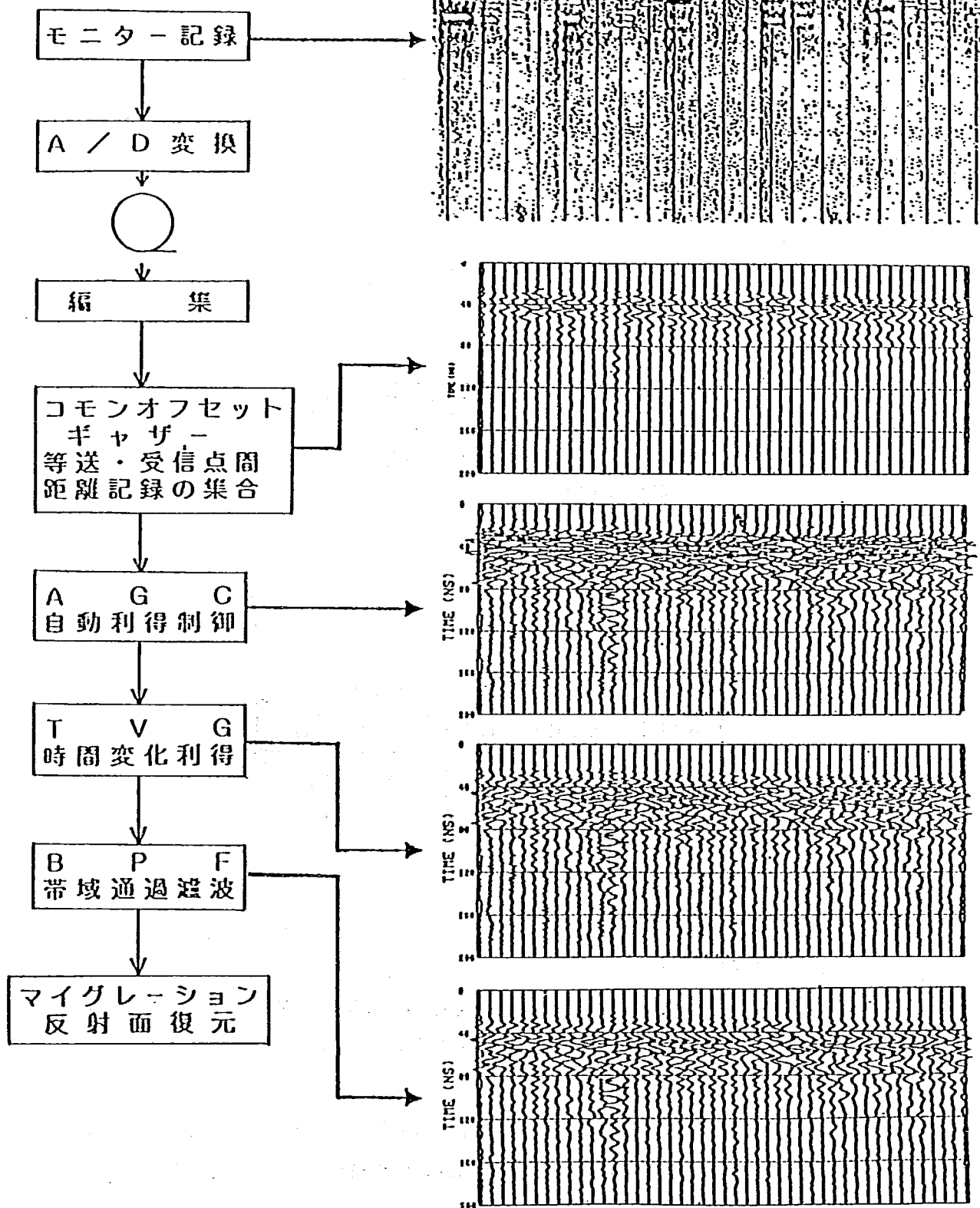
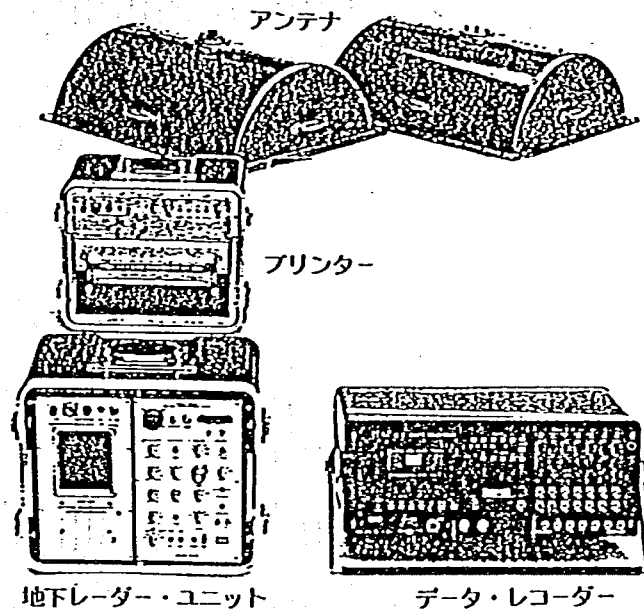


図-9 処理の流れと処理例

表-4 使用機器の主な仕様 (地下レーダーシステムYL-R2)

地下レーダー ユニット MODEL 2419	利得 0, 10, 20, 30, 40dB しきい値 (スレッショールドレベル) 0~30% レンジ 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 ns [*] 遅延 ±1000ns フィルター HPF: 10, 20, 40, 160Hz LPF: 100, 200, 400, 800, 1600Hz AGC, 時間変化利得回路内蔵 スタック回数 1, 4, 16, 128
アンテナ MODEL 2421	利得 0, 12, 24dB 中心周波数 120MHz, 60MHz
プリンター MODEL 2418A	入力信号 1チャンネル 0~±1V 放電記録式 濃淡 8階調

ns^{*}: ナノセカンド (10⁻⁹) という時間の単位である。



と共に、微小な信号を強調することができる。

④ TVG (Time Variable Gain)

時間と共に振巾の増加する重み関数を掛け合せる処理であり、記録尾部付近の微小な信号を増巾する。坑壁およびアンテナ間の強いカップリングによる信号を抑制する効果もある。

⑤ BPF (Band Pass Filter)

目的とする信号の周波数成分のみを残し、ノイズ成分を除去するフィルター処理である。フィルタリングは周波数領域での重み付けによって行うことも多い。その際、位相遅れがないよう配慮が必要である。

⑥ マイグレーション (Migration)

反射信号をその反射面となる空間位置に正しく戻す処理である。この処理によって反射面位置とその傾斜などを追跡することができる。

2. 現地実験

新しい調査手法の適用性について具体的に検討を進めてゆくには、これらの手法がダム等を対象とする地質調査に適用された事例が極めて少ないこと、特に複数の手法を組合せた場合の検討を行う場合、実際の岩盤でのテストでないと問題点がはっきりしない事等が委員会で指摘され、現地実験を行うことが決定された。

また現地実験を行う場合として、これまでにボーリング調査や横坑調査が行われており、地質状況や岩盤性状が詳細に把握されている N ダムサイトを選定した。

N ダムは堤高が約 140 m で、型式は重力コンクリートダムの予定で現在建設が進められている。

N ダム周辺には中生代白亜紀に侵入したと考えられる花崗閃緑岩が分布する。この花崗閃緑岩体は、径が 50 km 程度の大規模な岩体であるが、その中で N ダムは第三紀層に接する南縁に近い場所に位置している。

ダムサイト付近では花崗閃緑岩は細粒の閃緑岩を捕獲岩として含有し、これらをアブライト岩脈が貫いている。

地形が急で露岩の多い上流サイトと中流サイトがダムサイト候補地として選定され、ダムサイトのつめが行われている。両者は約 400 m 程離れているが、共に NE—SW 系で N 傾斜の断層が発達している (表—5)。また上流サイトではアブライト脈が厚く分布し、地山深部でも透水性の高い箇所があるといわれている。表—6 に N ダムサイトで行われている地質調査数量を示す。

2.1 昭和 60 年度現地実験

表—7 に昭和 60 年度現地実験内容および数量を示す。また表—8 には現地実験日程表を示した。

現地実験の主要な内容については表—7 に示すが、各実験の詳細について以下に述べる。

2.1.1 割れ目計測

割れ目そのものの計測は従来から行われている横坑でのスケッチや観察とそれ程大差ないが割れ目の長さ、砕砕帯、狭在物等について計測し定量的な記録を行い、分布としての割れ目の特性に注目するものである。

また割れ目の分布はトレーサーの解析、フィンガープリント、ジオトモクラフィーの結果の解析等に重要な関連がある。

2.1.2 トレーサー実験

トレーサー実験の概要は表—7 に示す通りだが、BL—24 孔からの食塩水の注入は表—9 のように昭和 61 年 11 月 17 日から、11 月 20 日まで計 9.3 m^3 を、7 回にわたってパルス注入を行った。1 回当たりの注入量は $0.5 \text{ m}^3 \sim 2.3 \text{ m}^3$ 、注入圧は $6 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ 、食塩水の濃度は $25,300 \sim 25,600 \mu\text{s/cm}$ と、海水濃度の約 1/2 程度のものである。トレーサークラウドの横坑への検出を早めるため、3 日目 (11 月 19 日) の注入が終了した直後から河川水も注入した。河川水の注入は、11 月 19 日に 5.8 m^3 、20 日に 8.25 m^3 、21 日は 15.57 m^3 をそれぞれ $3.5 \sim 8.5 \text{ kg/cm}^2$ の注入圧で行った。その総量は、 29.62 m^3 となった。また、食塩水を含めた総注入量は 38.9 m^3 である。観測は TL—5、63 m 地点で単一センター (Grant System) による電導度の連続データを取った外、60 m、62 m、65 m および 70 m の各地点で EST—3 型により電導度の計測を行った。図—10 に

表-5 上流サイト、中流サイト各案の地質上の特徴

地 域	記 載	本 文
上流サイト	左岸	地形: 40~50° の急斜面が上方まで連続。沢は、D選段下流、H、T、X選段付近に各々野川にほぼ直交する方向で発達。標高440m、および300m付近に選段が連続。標高440mより下方に堅岩が露出し、標高300mから河床にかけては急崖となっている。 表層層: 標高290 ~ 310m間に崖線堆積物が分布。D~H、L~U、およびZ選段より上流の3地域に発達。標高450 ~ 520m付近にも分布するが稀い。 花崗閃緑岩: 標高440mより高所では、マサ化が進む。下方の斜面や尾根部には堅岩が露出。河床に比較してやや風化が進んでいる。沢部にも堅岩が露出するが、変成、変質を蒙っている露出がある。断層は沢の発源に見られ、NE-SWの走向をもつものが多い。節理はNE-SWの走向で60~70° N傾斜が卓越。 閃緑岩: 中間に数ヶ所分布。岩体の規模は、10~40m。流岩鉱物は細粒。花崗閃緑岩との境界はシャープではない。 アブライト: L選段より下流側の、比較的低位段丘 (450m以下) に分布。細粒緻密なものが多く花崗閃緑岩との境界はシャープ。D、L選段付近でN30~70° E、40~60° Nの走向傾斜をもつ貫入境界が見られる。
		地形: A~X選段間は、ほぼ直線をなし、野川は東方に境下。X選段より上流は右岸に凸部を形成し、A選段より下流は南へ流向を変える。X選段より上流右岸部に比較的高位の低位段丘面を形成。河床幅は15~40m。平均50m程度。 表層層: 上記の低位段丘堆積物の地に、左右岸より連続して分布する崖線堆積物及び現河床堆積物がある。現河床堆積物は、ほぼ河床全域に分布するが、急崖の直下の湖では稀い。 花崗閃緑岩: P~U選段及びZ選段より約50m上流の狭窄部で堅岩が露出。沢等の凹地形をなす所では断層、シームが見られ、これらに沿って変成、変質を蒙っている所があるが、全体に堅岩は堅硬である。節理は、NE-SW走向で50~60° N傾斜、ないしはE-W走向、N傾斜のものが卓越。 閃緑岩: 右岸L選段付近に分布。断層により花崗閃緑岩と接する。細粒。 アブライト: 左岸側でD選段より下流。右岸側でD~L選段間に分布。中~粗粒で山頂に分布するアブライトとはやや岩相を異にする。花崗閃緑岩とはシャープな境界を持たない。
中流サイト	右岸	地形: 35~40° の傾斜が上方まで連続。選段は、左岸ほど連続性が良くないが、標高440 ~ 450m、及び約300mにあり、450mより高所に堅岩は少ない。標高320m付近、及び300m付近にそれぞれ段丘面があり、320mより下方では沢の切れ込みが深い。標高300m付近より河床にかけては急崖がみられる。 表層層: 段丘は、河床付近の低位段丘を含めて3段認められ、P選段より上流側に分布。D~P選段にかけての斜面は崖線堆積物が広く覆う。T~X選段間の沢および野川水系ダムの管理事務所付近にも崖線堆積物が分布。 花崗閃緑岩: 左岸、河床に比べ、マサ化が進んだ露出が多い。特に、山腹斜面に堅岩が少なく。節理は、NE-SW走向、50~60° N傾斜のものが非常に卓越している。断層露頭は少ないが断層帯又は変成、変質を蒙る。 閃緑岩: 県道沿いA選段付近及びL選段付近の切り通しにみられるほか、X選段付近に分布。L選段のものは河床でみられるものと連続する。岩体は、50 ~ 100m。細粒。 アブライト: H~L選段及びX~Z選段の標高360 ~ 450m付近に点在。前者は粗粒で花崗閃緑岩との境界は不可敗。後者は細粒。境界は不明。

表—5 (続き)

地 域	記 記	事 事
中流サイト 岸	地 形: 40~50° の急傾斜が上方まで連続。沢はB~C段線、G段線、及びI段線付近に各々野川にほぼ直交する方向で発達。急急線は標高420~430m及び300m付近にあるが前者はあまり明瞭でない。急急線より下方に堅岩が多く露出。 左 後 段 層: B~C段線の沢、及びI段線の沢に崖堆積物が分布。あまり厚くない。 花崗閃緑岩: 上方の急急線より高所ではマシ化が進む。G及びI段線の沢沿いに断層が見られ、周囲は変成、変質を蒙る。斜面の露岩は比較的堅硬。節理は、E-W系60° N傾斜のものが卓越。その他にNE-SW走向60~70° N傾斜、及びNW-SE走向30° N程度の比較的緩い傾斜のものが卓越。 閃 緑 岩: I段線より上流側の沢沿いに比較的大規模な岩体が分布。50~80m 程度。 アブライト: H~I段線、及びI段線上流の尾根部に分布。標高430~480m。細粒緻密なものが多い。花崗閃緑岩との明瞭な境界はないが、I段線より上流の沢に分布するものでN40° W、90° の走向傾斜をもつ境界がある。	
河 床	地 形: C~H段線にかけて、ほぼ直線的に河床が広がる。野川は南へ流下。C段線より下流では屈曲をくり返す。A~F段線間の左岸河床に比較し、~1.5mの低位段丘面。河床標高20~40m、平均30m。 右 後 段 層: 右岸A段線より下流では広く崖堆積物が分布し、露頭がない。左岸河床の低位段丘は小規模。現河床堆積物はほぼ河床全域に分布するが、左岸G~I段線の急急線下では薄い。 花崗閃緑岩: 左岸側はA~F段線間で風化が進んでいるが、全体に堅岩が露出。C段線及びG段線付近に断層、シームが見られる。右岸側は露出が良好でなく、F段線より上流側の露頭もやや風化が進んでいる。節理はE-W系、NE-SW系のものが卓越し、いずれも50~70° N傾斜。また、NE-SW走向で20~40° SE傾斜の低角度割れ目も見られる。 閃 緑 岩: 地質図に表現できる規模の岩体はない。 アブライト: 左岸A段線付近、及び右岸C段線下流約70mに各々分布。小規模。いずれも細粒緻密。後者は、N 65° E、58° Nの走向傾斜の貫入境界をもつ。割れ目が頻りに発達。	
右 岸	地 形: 30~40° の傾斜が上方まで連続。大きな沢はなく、A及びF段線付近の高所に各々小沢がある。急急線は全体に不明瞭であるが、標高450~460m及び290~300mに見られる。標高290~300mに段丘面がある。 右 後 段 層: 全体に崖堆積物に覆われ、露頭は少ない。崖堆積物はA~H段線に分布するものとA段線より下流に分布するものに大別される。前者は、所定通常の崖堆積物。後者は比較的最近の破砕土砂で粒径が大きく、地山と区別が明瞭な所もある。段丘はF~G段線の標高300m付近にある。 花崗閃緑岩: 全体にマシ化がやや進んでおり、特に高所高部でマシ化が著しい。下流側の崩壊斜面に比較的前部鮮岩が露出。断層露頭は少なく、C段線より下流の沢にわずかに見られる。節理はE-WないしはNE-SW走向の50~70° N傾斜のものが卓越。 閃 緑 岩: I段線付近の泉道の切り通しに見られる。細粒、堅硬。岩体の規模は30m程度。 アブライト: A段線付近の泉道の切り通し及びその直下の露頭に見られる。細粒緻密。規模は小さい。また、C段線より下流の沢でも2~3ヶ所分布しており、そのうち一ヶ所でN29° E、53° N方向の貫入境界が見られる。	

表一 6 昭和59年度及び昭和60年度の既往調査数量表

年度	件名	調 査 項 目 と 調 査 数 量							その他
		地表踏査	ボーリング		弾 性 波 探 査		試 掘 横 坑		
			孔 数	掘進長(m)	測 進 数	延長(m)	坑 数	掘進長(m)	
59	Nダムダムサイト第1次地質調査(上流サイト)		3孔	251m					
	Nダムダムサイト第2次地質調査(中流サイト)		6孔	446m					
	Nダムダムサイト第3次地質調査(中流サイト)		4孔	296m					
	Nダムダムサイト第4次地質調査(中流サイト)				3測線	1,500m			
	Nダム周辺広域地質調査整理業務委託								
	59年度小計		13孔	993m	3測線	1,500m			
60	Nダムダムサイト第5次地質調査(中流サイト河床部)		6孔	494m					
	Nダムダムサイト第6次地質調査(中流サイト右岸部)		6孔	560m					
	Nダムダムサイト第7次地質調査(中流サイト左岸部)		5孔	476m					
	Nダムダムサイト第8次地質調査(中流サイト)				2測線	900m			
	Nダムダムサイト第1次試掘横坑工事(中流サイト)						2坑	150m	
	Nダムダムサイト第2次試掘横坑工事(中流サイト)						2坑	90m	
	Nダム中流サイト地表地質検査及び地質解析業務委託(上・中流サイト)	S=1:1000 0.5km ²							
	60年度小計	S=1:1000 0.5km ²	17孔	1,530m	2測線	900m	4坑	240m	
合 計		0.5km ²	30孔	2,523m	5測線	2,400m	4坑	240m	

表-7 昭和60年度現地実験内容

実 験 内 容	概 要	数 量 等
割れ目計測 (上流および中流サイト)	縮尺の異なる地質図からの断層等の抽出 横坑での割れ目計測	N県地質図 (1:500,000)、Nダム広域地質図 (1:10,000) Nダムサイト地質図 (1:2,000) 測線方式 (10mの測線を横ぎる割れ目の計測) TL1~TL5および TL1~3, 総延長537m 定面積方式 (1㎡または 2㎡のワク内に含まれる割れ目の計測) TL1~TL6および TR1~3, 43面
パルスレーサー (中流サイト)	注 入 孔 観 測 点 注入材料および注入濃度(電気伝導度) 注 入 圧 力 バッカーセットおよびバッカー位置(深度) 注 入 時 間 観 測 時 間 測 定 装 置	G測線 BL-24 (L=70m) G 測線 TL-5 (L=70m) 食塩水約25,000S/cm (海水濃度の約1/2相当) 3.5~10.0kg/cm ² ボーリングマシンによる, l=22.8m 5日間でパルス注入 22日間 Grant-system および system87 (電気伝導度自動計測装置)
フィンガープリント (多成分土壌ガス地化学探査) (上流サイト)	測線 (地表) 測 点 間 隔 測 定 個 数 ガス採取期間 ガス質量測定法	TL-1および TL-2を斜交する NW-S 方向の直線50m 2.5m 20点 17日間 マススペクトロメーター (ガス採取後別途室内(米国)で測定)
弾性波トモグラフィー (上流サイト)	測 定 配 置 起振点・受振点間隔 受 振 点 数 起 振 点 数 起 振 方 法 測 定 装 置 サンプリング間隔 解析対象ブロック 解 析 法 許 容 誤 差	TL-1~TL-3 (187m) および TL-1, TL-2 坑口を結ぶ地表60m 交互に3mの間隔で設置 36点 38点 ダイナマイト (最大200g) による発破 Mc SEIS1500 (12成分デジタル地震探査装置) 3式等 100S 4 m × 4 m BPT SIRT 法と ILST 法を交互に実施 0.1ms
電磁波トモグラフィー (上流サイト)	測 定 地 点 測 定 法 反 射 法 透 過 法 測 定 数 量 測 定 装 置 使用周波数 解析処理方法	TL-1 (上流側側壁) TL-2 (下流側側壁) TL-3 (山側側壁) 187m 反射法および透過法 送・受振アンテナ間隔2, 3, 4, 5m 送・受振移動間隔1m TL-1, TL-2の交差部 792地点 YL-R2 (地下レーダー探査装置一式) 60MHz COG AGC TVG BPF 各処理およびマイグレーション処理

表-8 現地実験日程

	11月				12月
	10	15	20	25	30
割れ目計測					
トレーサー実験 (注入)		トレーサー注入			
(支援ボーリング)	ボーリング マシン搬入		ボーリング マシン搬出		
フィンガープリント	下見およびガラス管配置				ガラス管回収
ジオトモグラフィー	火薬使用 申請	火薬使用 許可	トモグラフィー計測 (電磁波サイスミック同時計測)		

表-9 トレーサー注入量 (BL-24バッカー位置: 22.8m)

日付 (月日)	注入時刻	注入量 m	注入圧 kg/cm	電導度 m S / cm	備 考
11月17日	11:09~11:15	0.50	6.5	25.500	
	11:19~11:40	1.60	10.0	25.300	
18日	10:41~11:06	1.80	6.3	25.600	初期水位 管頭より34.01m
	11:59~12:07	0.54	10.0	25.500	水位 管頭より23.50m(11:14)
	12:15~12:26	0.78	10.0	25.600	水位 管頭より29.58m(11:33)
19日	10:12~10:55	1.80	5.5	25.300	初期水位 管頭より34.25m
	10:56~12:52	5.80	3.5	0.054	河川水注入
20日	9:36~10:17	2.30	6.0	25.500	初期水位 管頭より31.88m
	10:18~11:40	8.25	8.5	0.060	河川水注入
21日	9:42~12:35	15.57	7.0	0.054	河川水注入

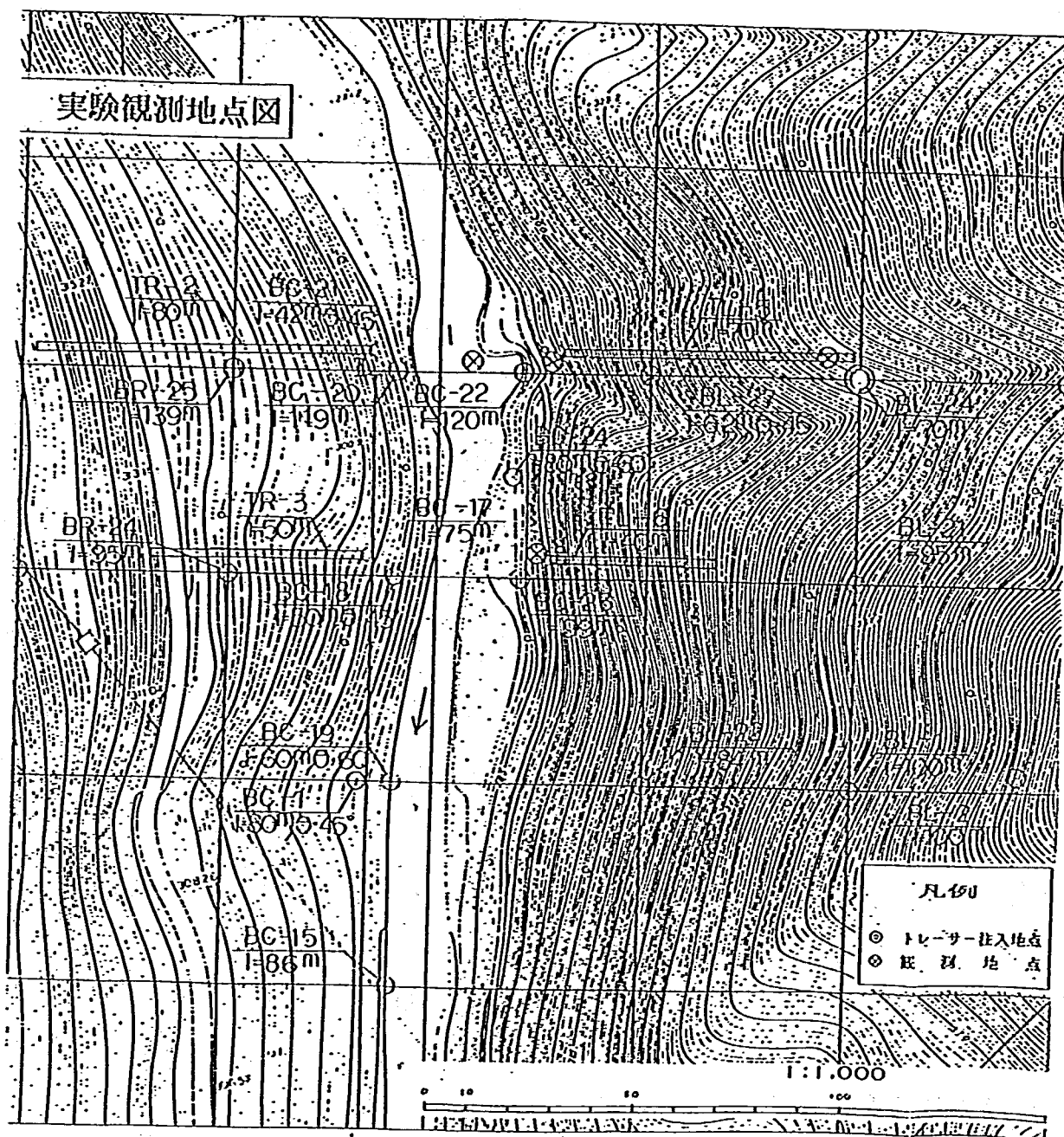


図-10 トレーサー実験位置図

実験を行ったG測線の横坑 (TL-5), ボーリング (BL-24) の位置を示す。

2.1.3 フィンガープリント法

現地実験概要を表-7に示す。また現地での測線配置を図-11に示す。

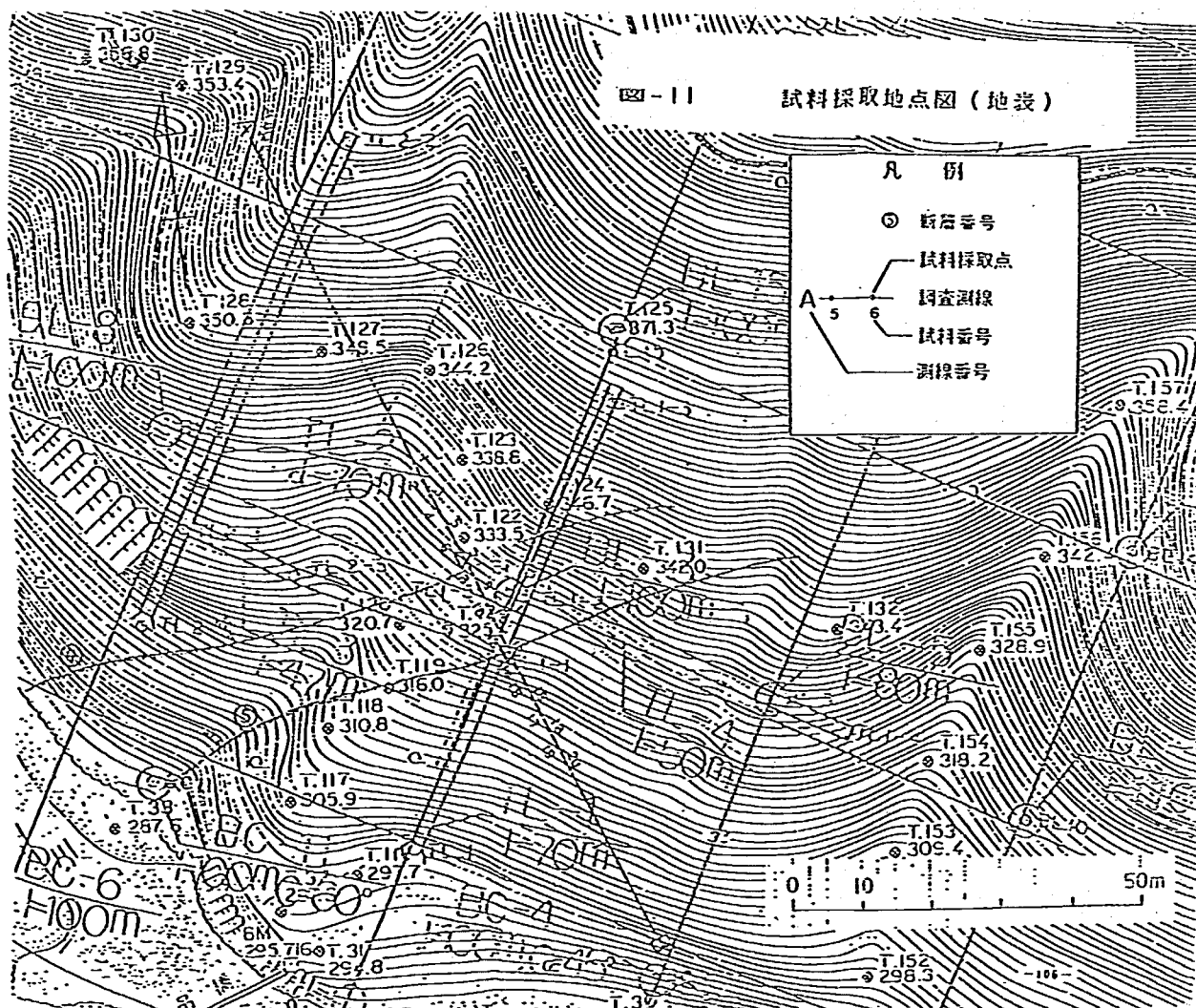


図-11 試料採取地点図 (地表)

2.1.4 弾性波トモグラフィー

図-12に地表および横坑内の起振点と受振点の配置状況を示す。起振点と受振点は、交互に約3mの間隔で地表および横坑内に配置した。受振点の総数は36箇所であり、起振点の総数は38箇所である。

地震計の設置にあたっては、横坑内においては石コウによって岩盤面に直接固定した。また、地表部では充填棒によって表土より深い場所に設置した。

起振にはダイナマイト(最大200g)を用いた。ダイナマイトの起爆には、瞬発電気雷管を用いたが、爆発瞬時(ショットマーク)を正確に計測するために、起爆用とは別の雷管を発火回路に直列に結線し同時に発火させた。この雷管に巻いた線の切断瞬時も記録装置に入力しショットマークとした。

観測にあたってはA/D変換機能を有する12chのデジタル地震探査装置を3式用いた。図-13に測定系統図を示す。この探査装置はチャンネル毎にメモリーとA/D変換器を持つので、マルチプレクサータイプのデジタル探査装置と比べ、チャンネル間の位相ずれを起こさないといった特徴を持つ。波形記録は、最高50 μ sec(20kHz)でサンプリングされ、1024個のデータとして内部メモリーに貯えられる。これらのデータを

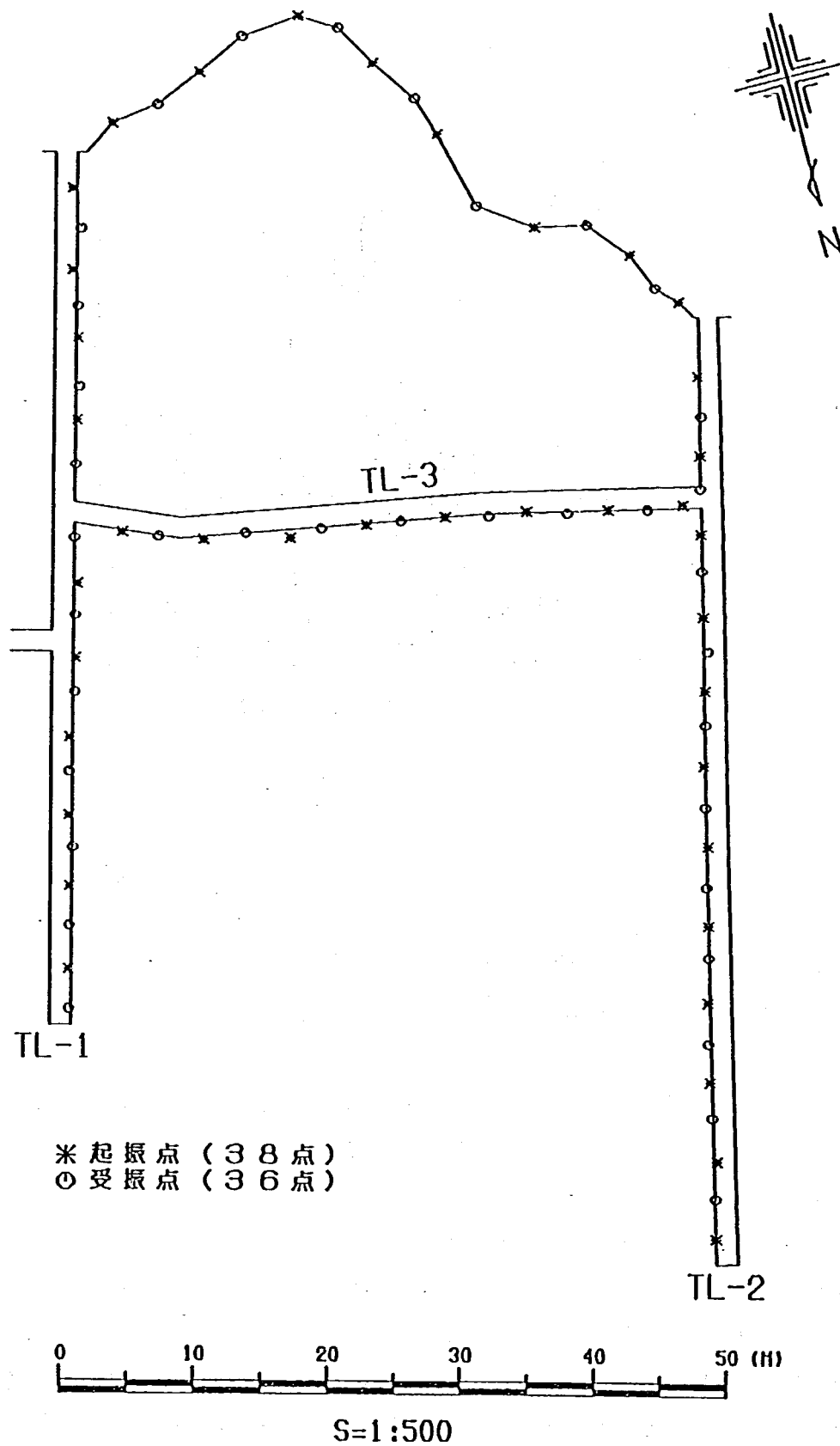


図-12 測量結果による起振点・受振点の配置図

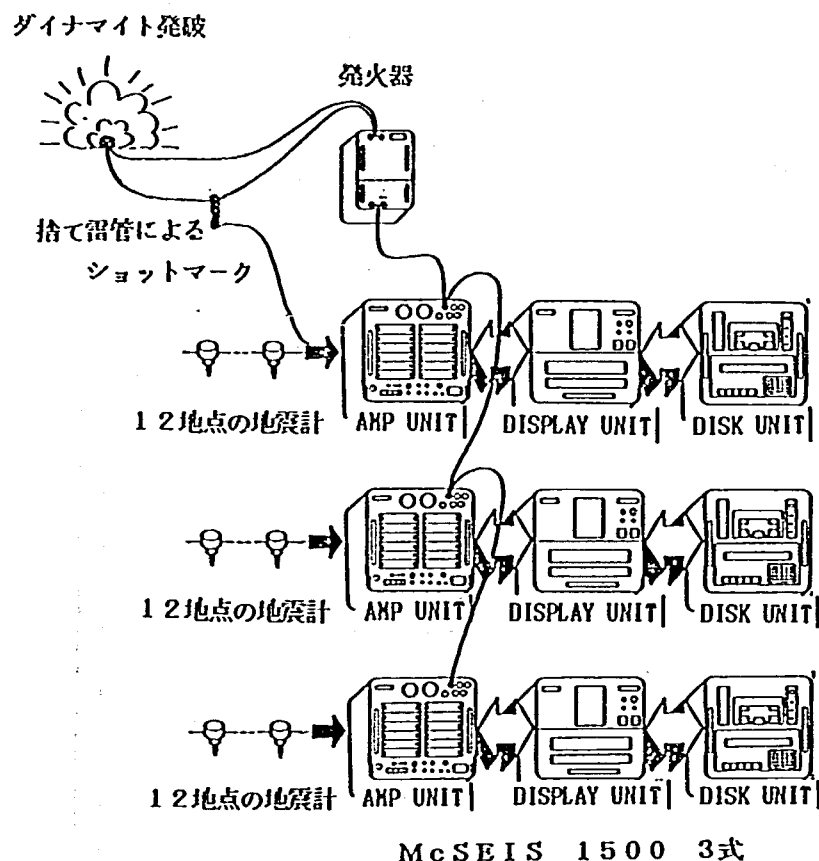


図-13 観測に使用した機器の測定系統図

CRT 上に表示し、データの品質をチェックしたのちミニフロッピーディスクに収録するものである。

実際に現場ではサンプリングタイムを $100\mu\text{s}$ とし約 0.1 秒の記録を収録した。測定後、全ての起振点と受振点について測量を行い、各地点の位置座標を決定した。

図-14 には採用した走時データの起振点と受振点の組合せを示す。

2.1.5 電磁波トモグラフィー

測定は反射法による測定を主体として実施した。反射法は、送信アンテナと受信アンテナを同一横坑内の側壁に配置して、岩盤内部からの反射波を測定する方法である。またこの反射法測定では、送信アンテナに対し受信アンテナを一定間隔で移動させるワイドアングル型の測定方式を採用し、送・受信アンテナ間隔を 2~5 m まで 1 m ずつ広げて測定した。一方、送信アンテナの移動間隔は 1 m である。測定の概念図を図-15 に示す。反射法は TL-1 坑、TL-2 坑、および TL-3 坑の山側・川側の側壁ぞいに行った。(図-17)

また TL-1 と TL-3 坑の角部分を利用して透過法測定を行った。透過法は送信アンテナと受信アンテナをそれぞれ TL-1、TL-3 に設置し、両アンテナを 1 m 毎に移動させて測定した (図-16、図-17)。

測定数量については表-10 に示した。測定には地下レーダー探査装置 YL-R 2 を使用した。またアンテナ部には、透過力の強い電磁波を放射させるために 60 MHz のアンテナを使用した。概略の測定系を図-18 に示す。

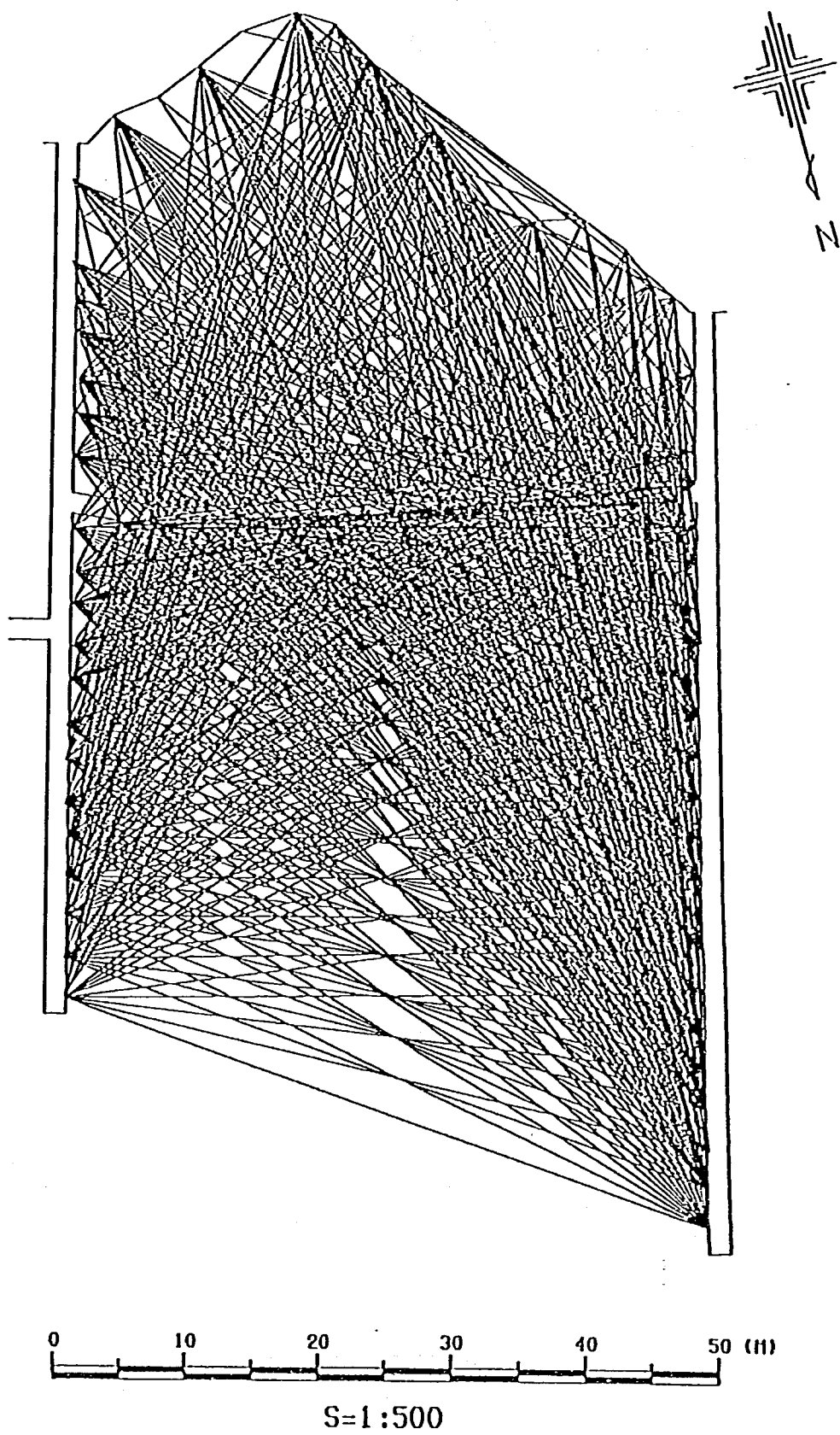


図-14 採用した走時データの起振点と受振点の組み合わせ図

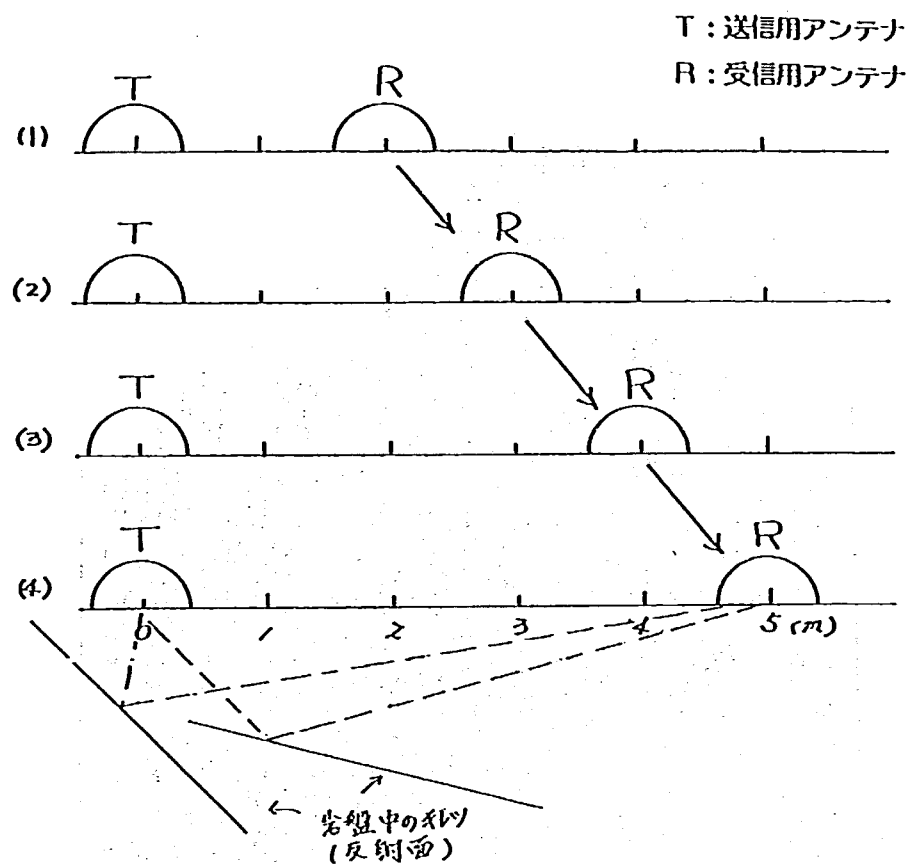


図-15 反射法測定概念図

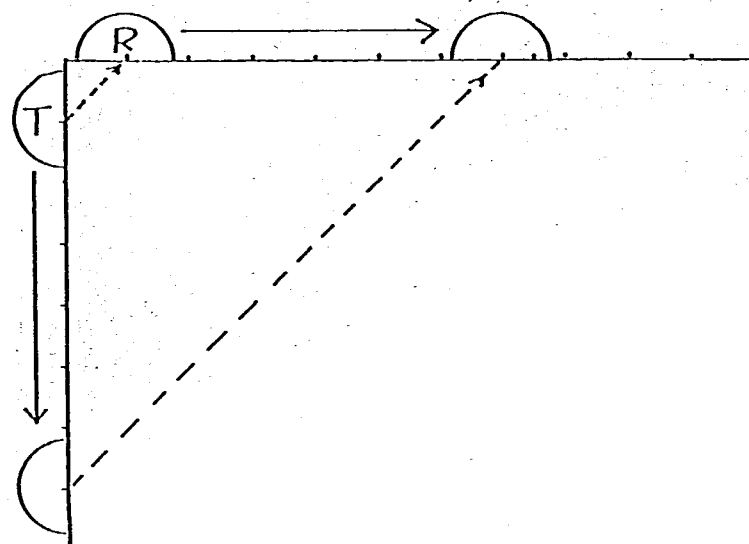


図-16 透過法測定概念図

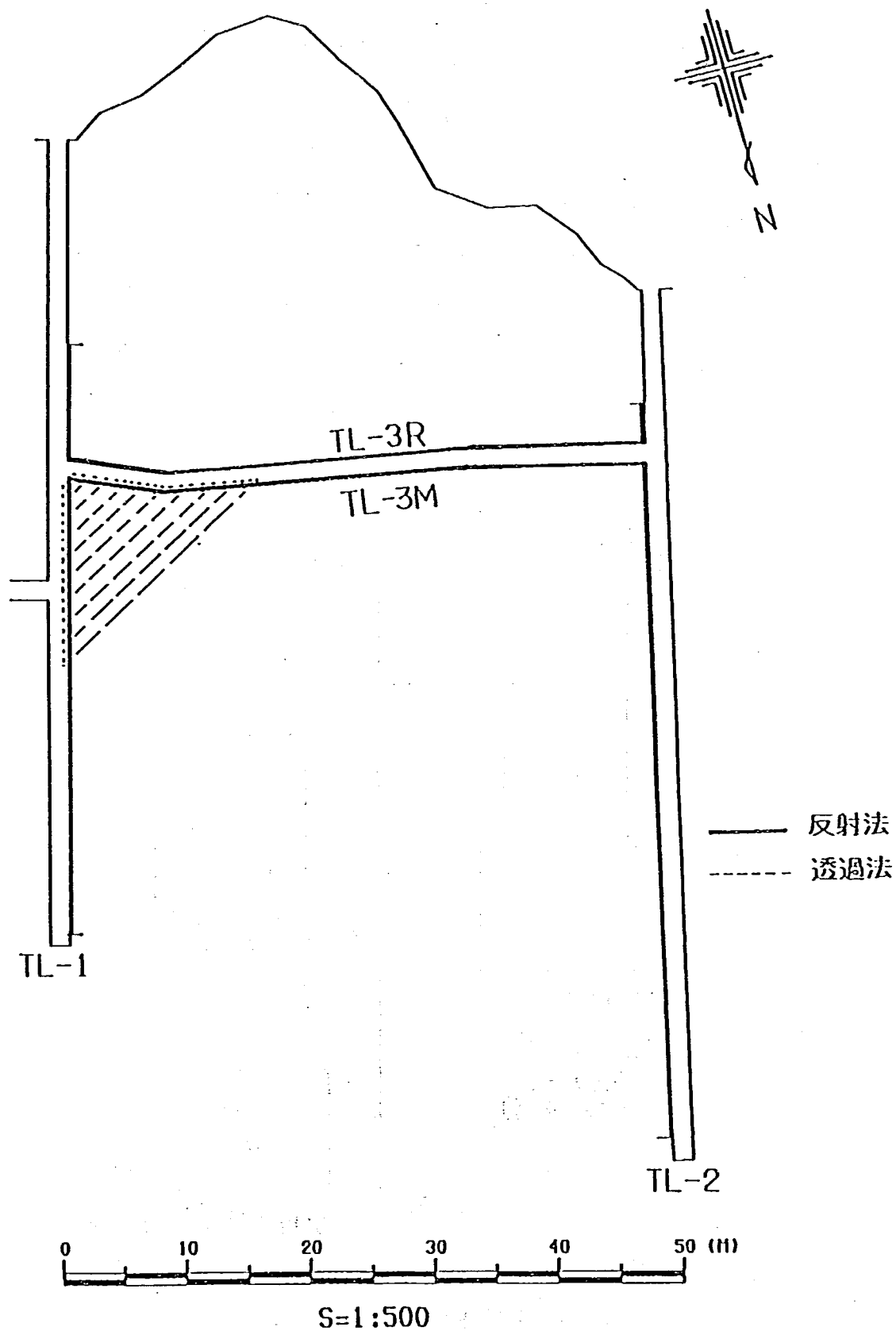


図-17 電磁波トモグラフィ測線配置図

表-10 電磁波トモグラフィー測定数量

測線名	アンテナ間隔(m)				計
	2	3	4	5	
TL-1	50点 (66-17m)	49点 (65.5-16.5m)	48点 (65-16m)	47点 (64.5-15.5m)	194
TL-2	62点 (8-69m)	61点 (8.5-68.5m)	60点 (9-67m)	59点 (9-67.5m)	242
TL-3 M (山側坑壁)	46点 (1-46m)	45点 (1.5-45.5m)	44点 (2-25m)	43点 (2.5-44.5m)	178
TL-3 R (川側坑壁)	46点 (1-46m)	45点 (1.5-45.5m)	44点 (2-45m)	43点 (2.5-44.5m)	178
計	204	200	196	192	792

括弧内は距離程であり、送信・受信アンテナの中心点位置を示す。

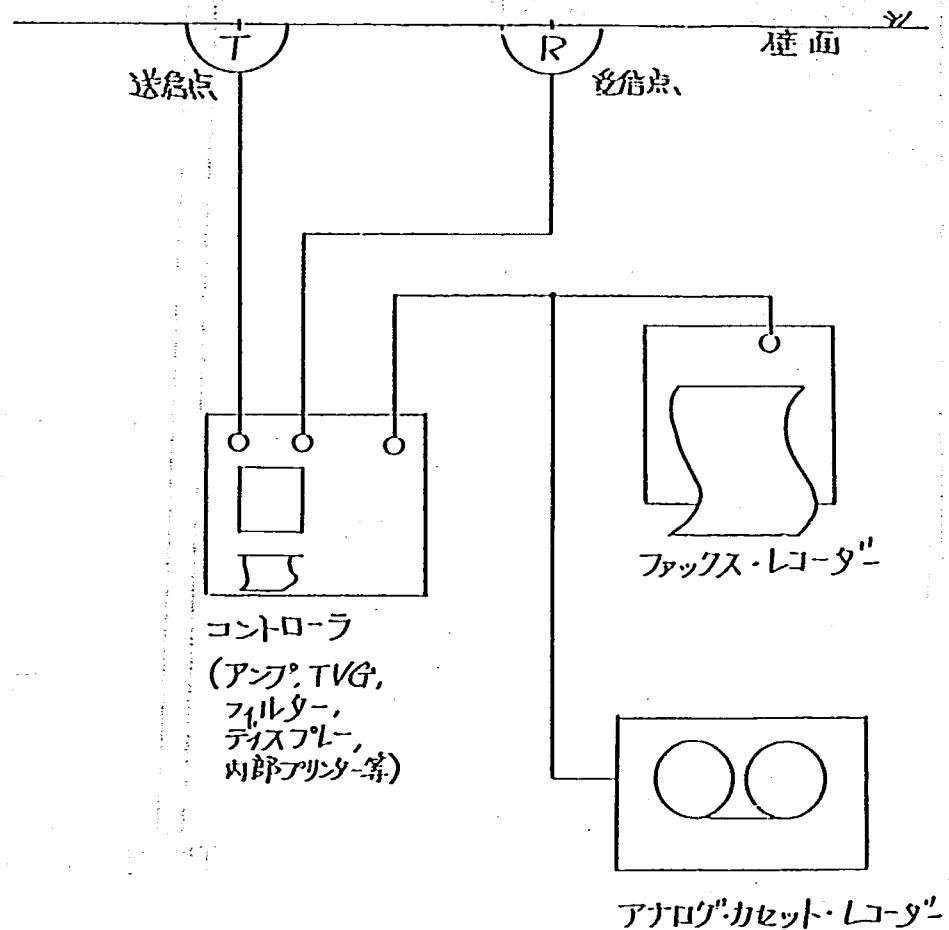


図-18 電磁波トモグラフィー測定系統図

3. 調査結果

3.1 割れ目計測

図一19に単位面積に含まれる割れ目の総延長の密度分布, 図一20には単位面積に含まれる割れ目の総延長(2次元密度)を示す。

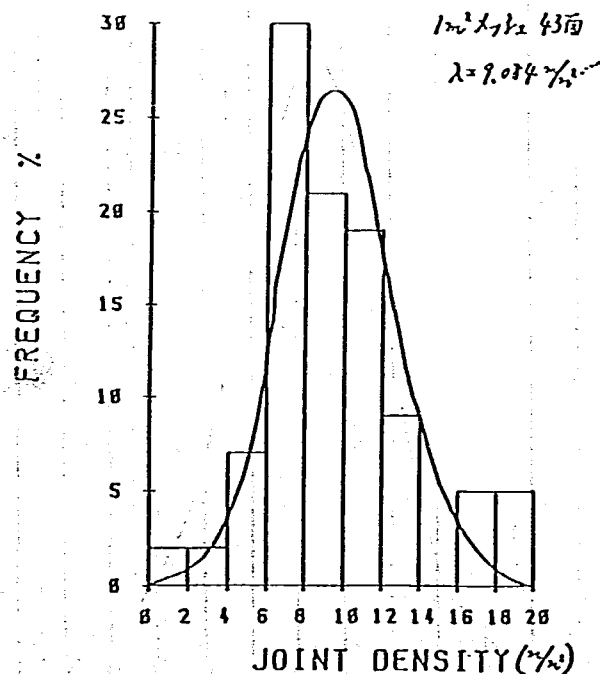
また図一21には2m毎に測定した単位長さ当りに含まれる割れ目の総本数(1次元密度)を示す。

図一22には, スケールの異なる地質図から得られた断層長さとその出現頻度を示す。前者の分布形はスケールが異なるにもかかわらずよく似ている。しかしその平均値はスケールによってかなり異なっている。

同様な傾向を図一23のスケールの異なる地質図での断層の破碎帯中の出現頻度についても見る事ができる。

3.1.1 割れ目の要因間の相関

割れ目を調査するに当たって, 調査坑やボーリング孔等岩盤を小さなスケールで見た場合には割れ目の長さは計測し難いが, 断層の破碎巾(成層岩盤や岩脈を伴う塊状岩盤のずれの長さ O)は比較的計測が容易である。これに対して, 空中写真・衛星写真等, 岩盤を大きなスケールで見た場合には割れ目の長さは計測し易いが断層の破碎巾は計測が困難である。このような問題に対しては割れ目の要因間になんらかの相関があれば, 異なったスケール間の異種データを利用することによって, 他方からもう一方を推測することができる。Nダムサイトを含む花崗岩地帯の断層について割れ目要因間の関係を検討した。図一24は断層の長さと破碎巾の関係を示した図である。両対数グラフ上である巾をもった直線的な関係が示されている。これらのデータがある巾をもったバラツキを示すのは, 計測の誤差や一つの断層でも破碎巾が異なっていることによ



図一19 Nダムサイトの調査横坑 TL-1~6, TR1, 3内の単位面積当りの割れ目長さの密度分布(分割区間長さ2m)

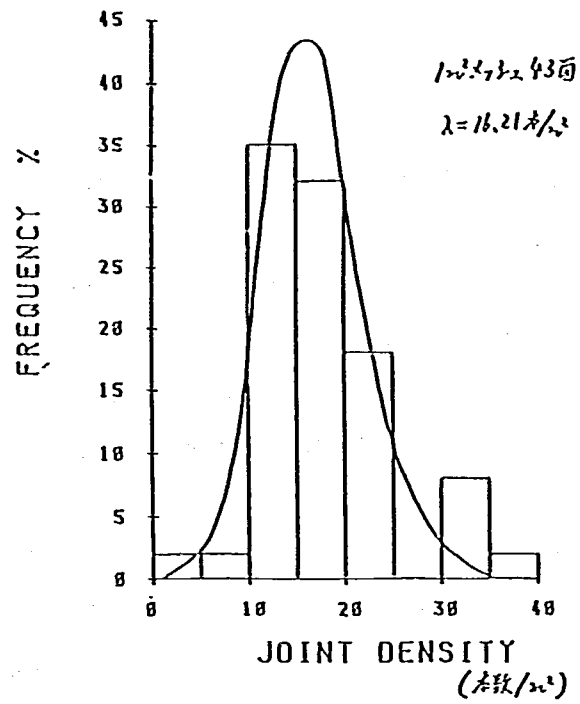


図-20 N ダムサイトの調査横坑 TL-1~6, TR1, 3内の単位面積当りの割れ目本数の密度分布

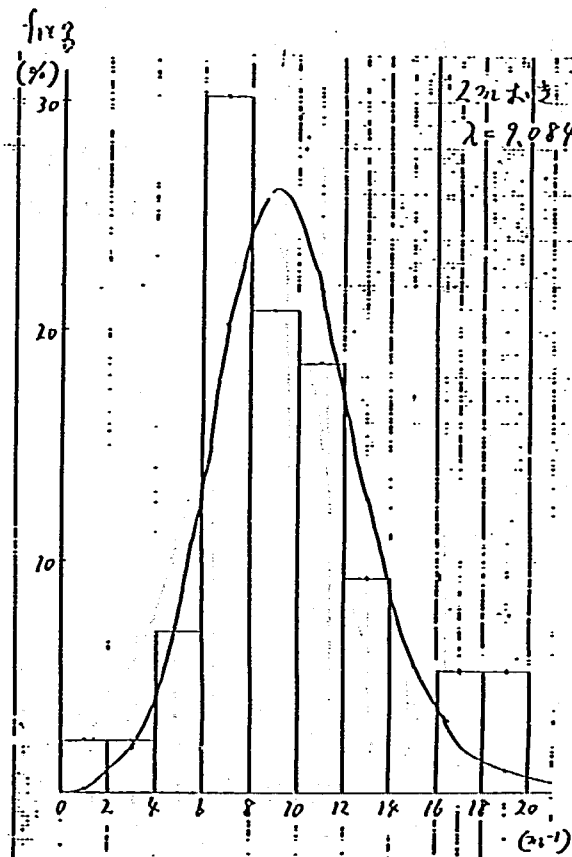


図-21 N ダム横坑の全割れ目から測線法により測定した割れ目密度

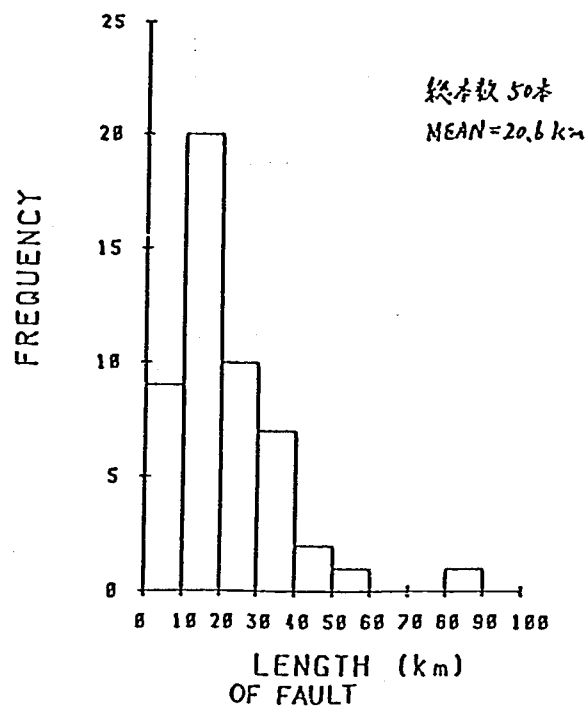
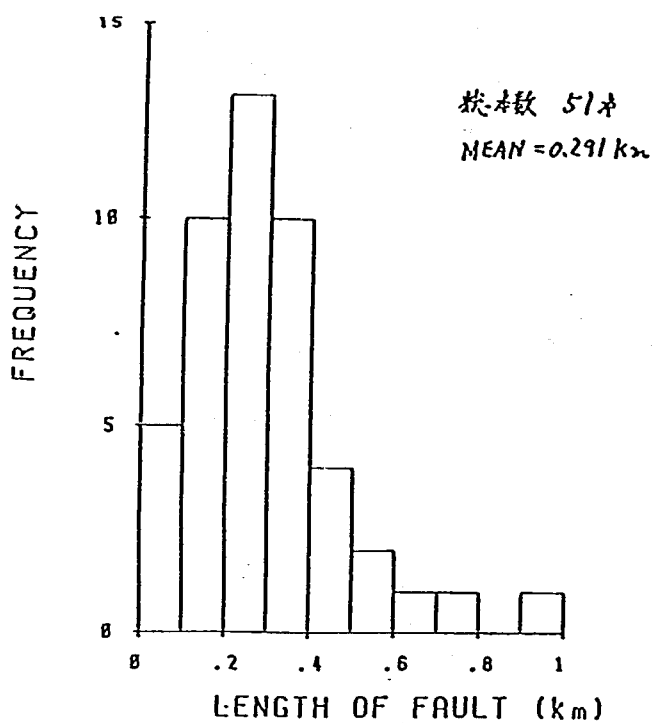


図-22(1) 図-Nダムサイト平面図(縮尺1/2千)の地質図から読み取れる断層長さの頻度分布

図-22(2) 1/50万新潟県地質図上に現れる断層長さの頻度分布

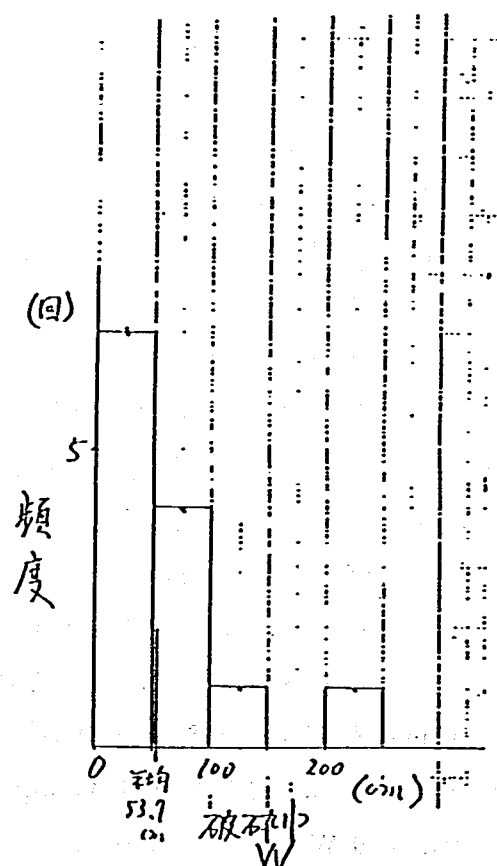
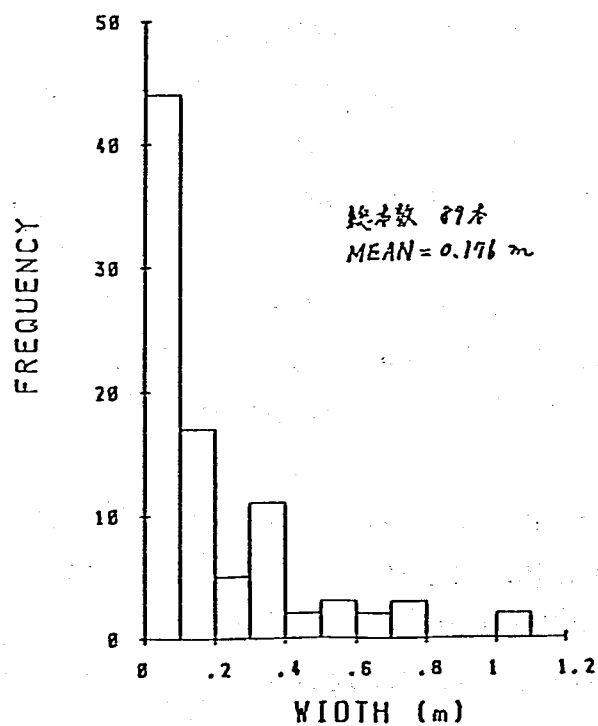


図-23(1) 横坑展開図(縮尺1/100)より読み取れる開口幅と頻度の関係 (TL-1~6, TR1~3)

図-23(2) 1/2,000地質図での断層分布より読み取れる破砕帯と頻度の関係

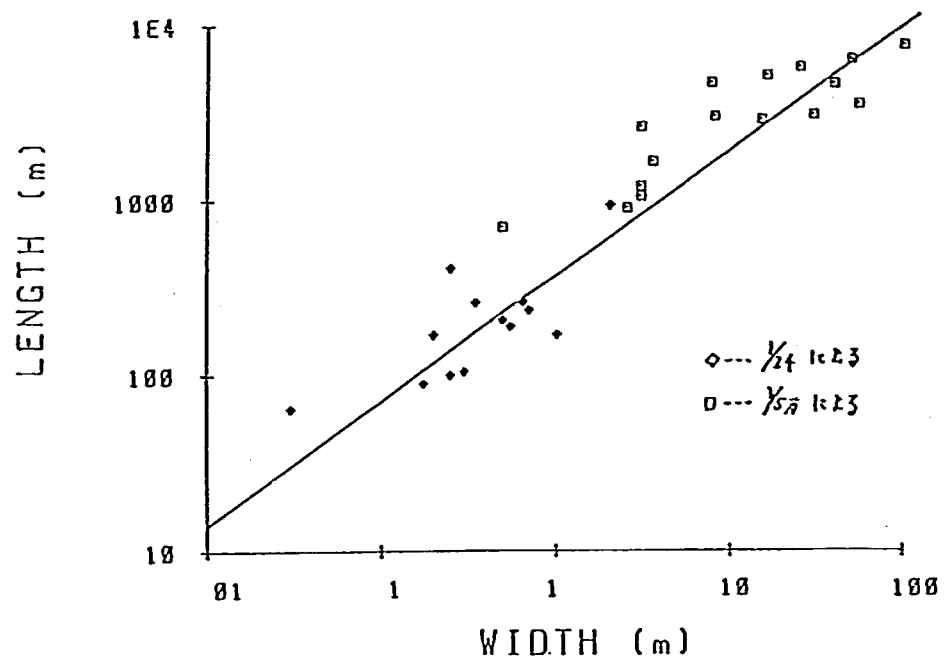


図-24 縮尺1/2千, 1/5万地質図での断層の長さや破砕幅との関係

るものと思われる。いずれにしても、これは断層の長さも大きければ、破砕巾も大きいことをよく現している。

3.1.2 現地実験を行った横坑等での割れ目計測

図-25に上流サイト TL-1, 2の卓越割れ目系の方向についてシュミットネットに示す。横坑の方向は N 20° W であるので TL-1, 2 に対し、上流で川側に出る方向 (N 60° E) の高角度断層や割れ目が最も発達し、次いで TL-1, 2 に直交する N 70° W の高角度割れ目 (節理) が卓越する。また N 44° E 30° S の低角度の断層や割れ目の出現頻度が高いのが注目される。TL-1~4 までの主要な割れ目を図-26 に示す。

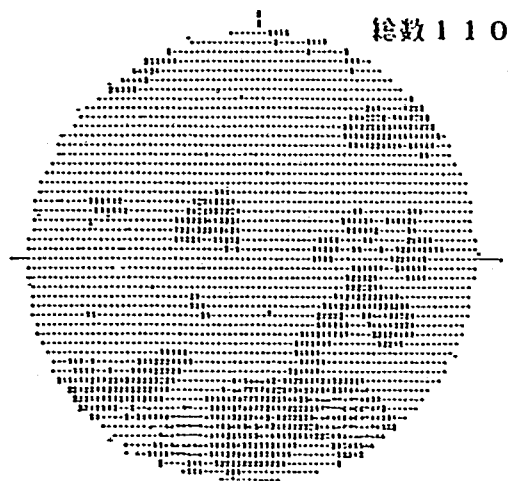
中流サイトの左岸 G 測線 TL-5 および BL-24, 27 の岩盤状況から図-27 に示すような破砕帯の大きい、規模の大きい断層の分布が推定される。

TL-5 の坑口より 20 m 付近より坑口側で、N 60° E 60° N 系の風化帯を伴う、巾 30 cm 程の小さな規模の断層破砕帯が、3~4 m 間隔で発達する。これらの断層は、G 測線断面上で約 50° の見かけの傾斜を示す。

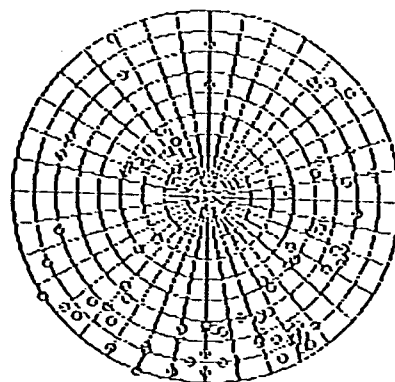
一方、BL-27 には 16 m 付近の風化の進んだ破砕帯が認められる。これらは、G 測線断面上ではほぼ直線上にならんでいる可能性が大きい。

また TL-5 坑口より 47.5 m から 51.0 m にかけて断層が集中し複雑な破砕形状を示すが、この中で最も連続性が高いものは N 66° E 63° N 方向のものである。これは BL-24 の 24~32 m にかけて、また BL-27 の 35~40 m 付近にかけて出現する断層破砕帯に連続する可能性が大きい。

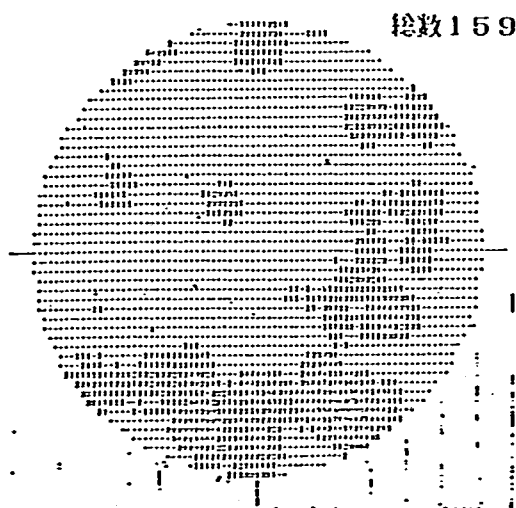
TL-5 の坑奥側には規模はより小さいが滴水を併う断層や粘土シームが認められる。これらには N 60° E 系のものと N 80° W 系のものがある。



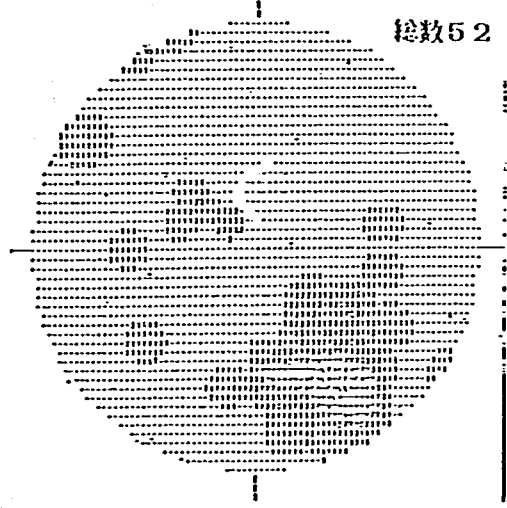
TL 1, 2のウルフネット
南半球投影



TL 1, 2のシュミットネット
南半球投影



西側ブロックのウルフネット
南半球投影



10cm以上の断層のウルフネット
南半球投影

ブロック	F17断層西側ブロック				10cm以上の全断層		
	卓越方向	卓越方向	卓越方向	卓越方向	卓越方向	卓越方向	卓越方向
	N60E 77N	N72V 78N	N26E 67N	N52E 33S	N63E 70N	N41E 46N	N31E 31S
傾度 (%)	43	22	20	15	63	25	12

以坑	TL 1, 2			
	卓越方向	卓越方向	卓越方向	卓越方向
	N59E 80N	N71V 81N	N41E 30S	N25E 66N
傾度 (%)	41	27	16	16

図-25 TL-1, 2における割れ目の卓越方向とその頻度

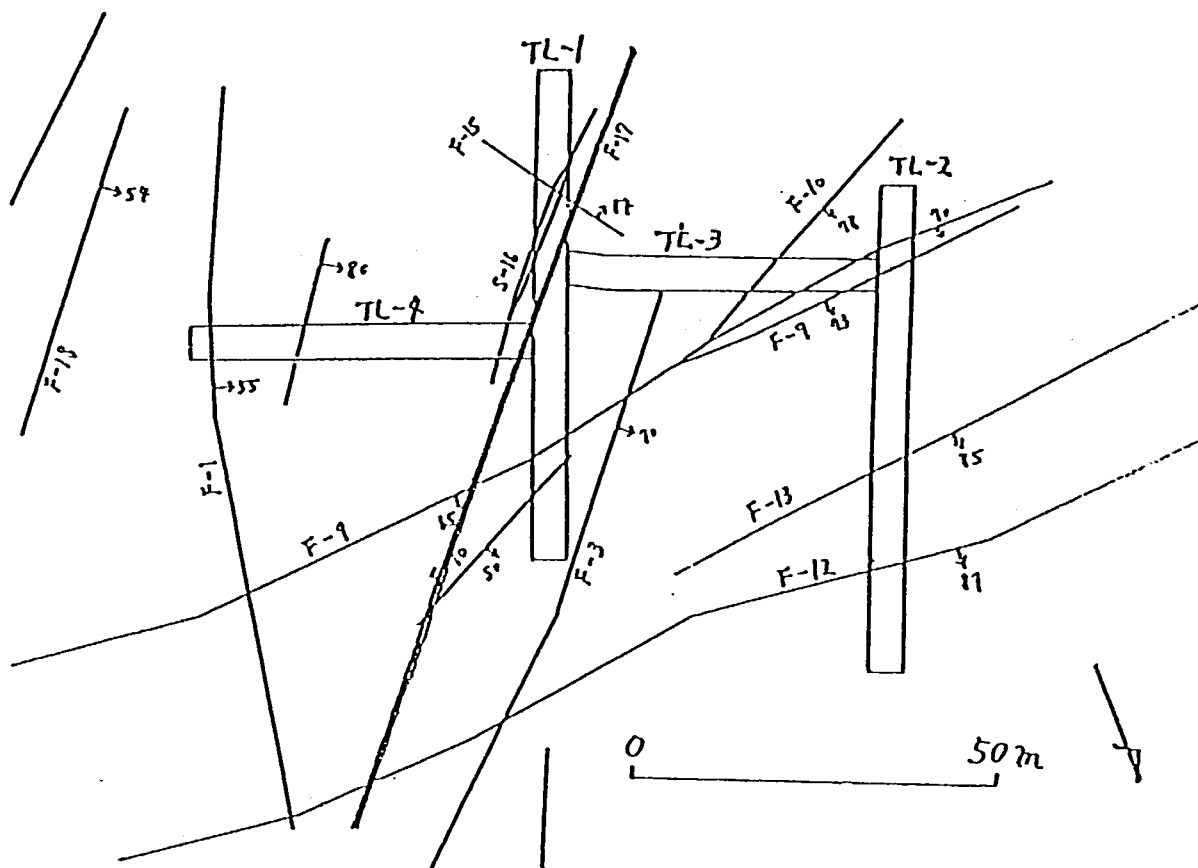


図-26 ダムサイトでの調査横坑 TL-1~4と付近の断層位置図

3.2 トレーサー実験

3.2.1 水みちの推定

トレーサー実験を実施するのに先立って TL-5 付近の地下水位や地下水温分布を調べ、水みちの推定を行った。

まず地下水位は図-27 に示す通り BL-24 では GL-40 m, BL-27 では深度 38 m に認められ、これらを結ぶ範囲内に TL-5 の滴水ゾーンが含まれている。特に 59 m 付近の断層粘土が滴水の境界になっているところから地下水流動はこの粘土で規制されている可能性も考えられる。

ボーリング孔内の水温分布は断層の分布とよく一致する。BL-27 の 38 m から 40 m にかけては G 測線で最も規模の大きい破砕帯が通っているが、この部分で水温の低下が顕著である。BL-27 の 40 m から 45 m 付近は孔内水温も上昇し、岩盤の状況も良くなるが 45 m 以下ではシーム状に風化が進む箇所があり、水温も再び低下する。BL-24 の 40 m ~ 50 m にかけては良好な岩盤であり、ボーリング掘進時に測定された Lu 値も低い。水温データは水循環によると思われる低温ゾーンの存在を示している。特に 47 m, 45 m, 42 m では水温は 9.3°C 以下となっている。水温の上昇は 56 m 以深で認められる。45 m 以深では Lu 値は 1 Lu 以下と小さく、限界圧も大きい。Lu 値の測定は横坑 TL-5 の掘削前に行われている。(図-28)

次に TL-5 の切羽天盤標高スライスにおける BL-24 と TL-5 の位置関係および滴水が生じ、水みちとなる可能性があり、かつ連続性もあると思われる小断層の走向・傾斜から BL-24 にこれが出現すると想定さ

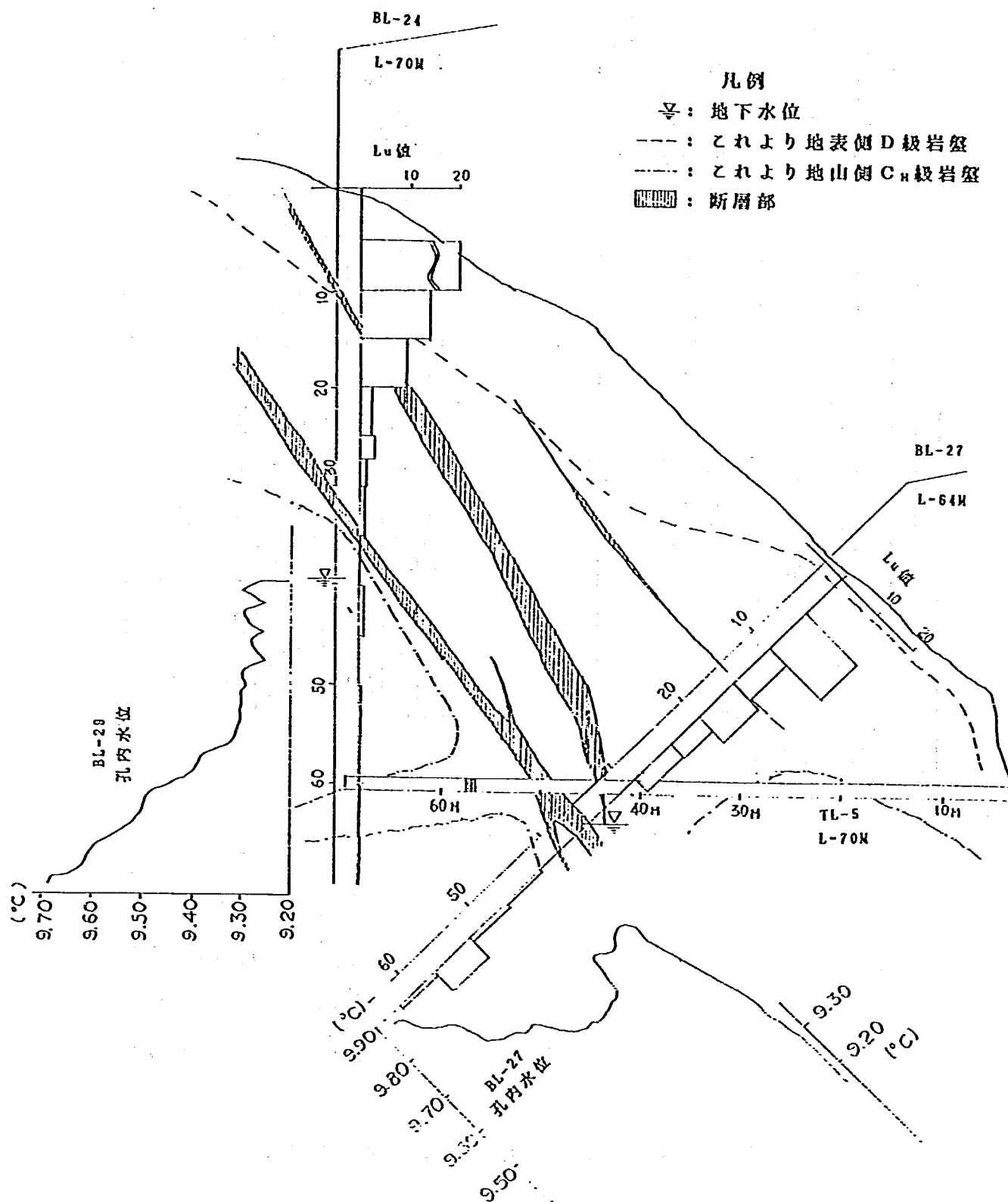
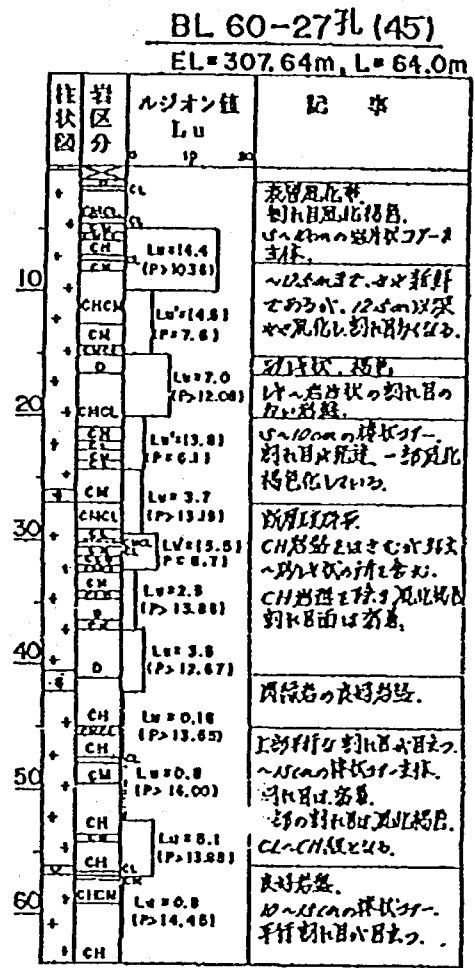
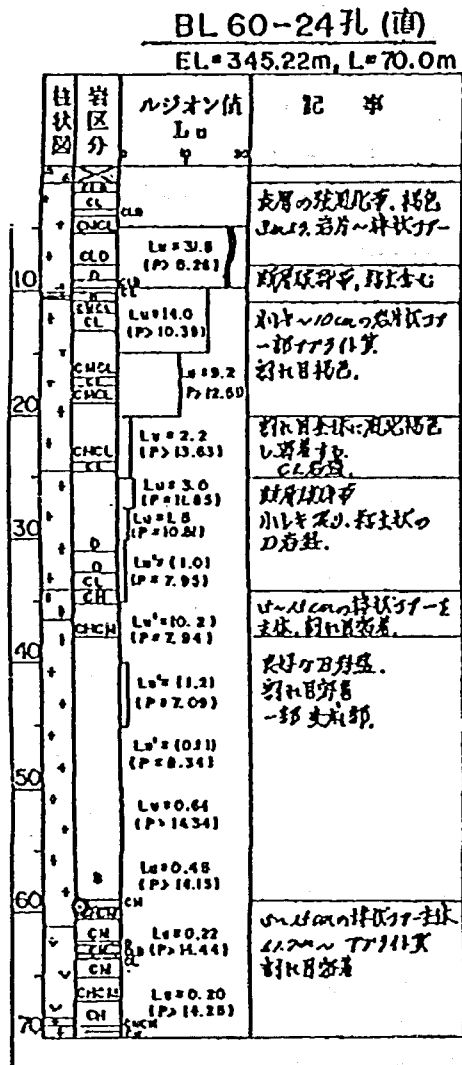


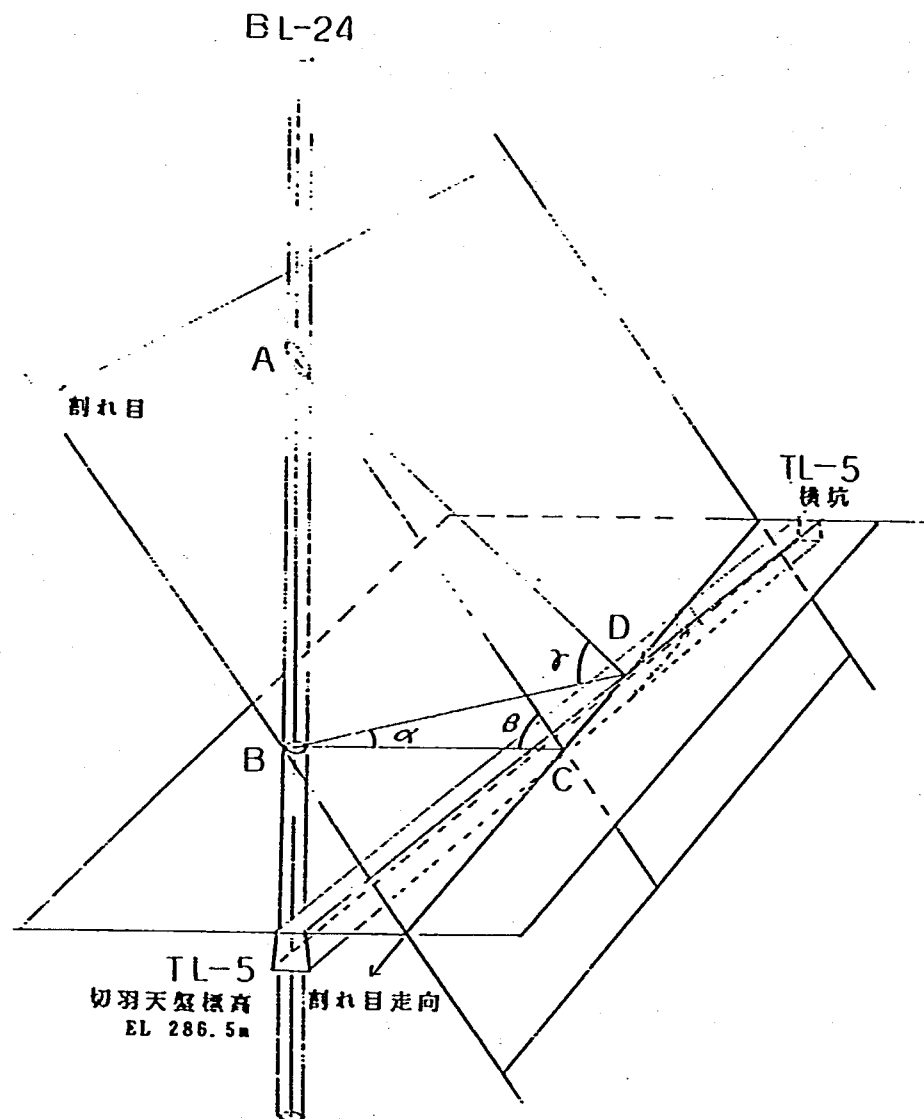
図-27 G 測線地下水位, 孔内水位および透水岩盤状況
(TL-5は5m 程上流へオフセットしている)



凡 例

- △ 炭 維
- + 花コウ岩
- (変 成 部)
- ▽ (ア ブ ラ イ ト 質)

図-28 G 測定線左岸, BL-24, 27ボーリング柱状図



$$\frac{BC}{BD} = \cos \alpha = \frac{\text{cut } \beta}{\text{out } \gamma}$$

$$\therefore \cot \gamma = \frac{\text{cut } \beta}{\cos \alpha}$$

(滲出点Dはボーリングに遠い側(上流側)の側面にある)

図-30 横坑とボーリングの位置関係から割れ目中の横坑と注入孔を結ぶ最短距離を求める

れるボーリング深度を次めた (図-29)。

これによると TL-5 において切羽付近の N 78° W 38° N の割れ目は BL-24 では 55.6 m に、65 m 付近の N 80° E 65° N の割れ目は 46.6 m に、また TL-5 の 63 m 付近の下流側の側壁のみに出現する N 82° E 68° N の割れ目は 42.7 m 付近に、同様に 60 m 付近の上流側の側壁のみに出現する N 62° E 70° N のものは 33.6 m 付近に、最後に 59 m 付近の N 62° E 75° N の粘土帯は 16.2 m に出現すると思われる。

これらの深度は前述の水温分布から求められた深度 56 m, 42 m, 47 m に近いものがある。しかしながら BL-24 ボーリングのコアの状況は横坑の状況とよく対応していない。また 45 m と対応する割れ目は横坑では見つからない。TL-5 の 60 m 付近の割れ目と対応する 33.6 m の実際のコアの状況は C_L 岩盤であり、その直上には TL-5 の割れ目計測の項で述べた G 測線断面で最も規模の大きい断層を貫いている。

BL-24 深度 56 m に出現すると想定される割れ目は粘土を挟在するシームのような規模でしかないが、横坑との距離が短かいので、その範囲での連続性があり水みちになる可能性がある。

47 m に出現すると想定される割れ目は横坑では全周に出現し、連続性が大きいと考えられるが規模の変動やアンデュレーションが認められる。45 m にはこの割れ目の分派したものが出現したかも知れない。

42 m に対応する割れ目は横坑では 63 m 付近の下流側にのみ出現し、連連性はそれ程大きくないと判断され、この意味ではコアの岩盤状況と横坑の岩盤状況の対応が悪くとも水みちを推定する上でそれ程問題にならないかもしれない。

TL-5 の 59 m 付近に出現する粘土帯は規模が大きく連続性もあると考えられるが、BL-24, 24.5 m ~ 32.6 m の最も規模の大きな断層破碎帯に吸収されていると考えられる。

次に水みちについての具体的な推定は以下のように行った。前述のようにパッカー位置を 22.8 m としたため、これらのいずれもが水みちとなる可能性がある。

水みちの位置をほぼ平面と考えられる小断層等の割れ目内部にあり、かつ注入孔と横坑とを結ぶ最短距離と仮定すると (図-30)、これらは表-11 のごとく求められる。しかしながら表-11 のうち最長の水みちについては、それが含まれる割れ目が BL-24 の 24.5 m から 32.6 m にかけての D 級ゾーンで示される規模の大きい断層に吸収されると考えられるので、水みちの長さは 44.04 m ではなくなる。16.22 m に出現する予

表-11

TL-5横坑59m以深の割れ目位置	割れ目 走 向	割れ目 の傾斜 (β')	cotβ	α'	cotγ	γ'	AB (m)	sinγ	AD(m) = $\frac{AB}{\sin\gamma}$	想 定 さ れ る 滲 出 点 位 置
70m(切羽)	N64°W	38	1.2799	21.5	1.3756	29.66	3.1	0.4948	6.25	下 流 側
65m	N80°E	65	0.4663	14.0	0.48057	64.33	12.1	0.9013	13.43	上 流 側
63m	N82°E	68	0.4040	33.5	0.4845	64.15	16.0	0.8999	17.78	割れ目が下流側のみ
60m	N62°E	70	0.3639	24.5	0.3999	68.20	25.1	0.9285	27.03	割れ目が上流側のみ
59m	N60°E	75	0.2679	12.0	0.2739	74.68	42.5	0.964	44.04(27.7)	上 流 側

α: ボーリング孔から見て割れ目の傾斜方向と滲出点位置とのなす角度 (図-30参照)

γ: $\cot\gamma = \frac{\cot\beta}{\cos\alpha}$ (図-30)

AB: TL-5の割れ目の延長がBL-24に出現すると予想される位置とTL-5切羽端標高との区間距離 (図-29, 30参照)

AD: 割れ目 (平面) 中にあり、注入孔と横坑を結ぶ最短距離 (図-30)

定のものが 32.6 m に出現する断層に切されるので、その差分だけ短くなるとすると最長の水みちは 27.7 m ということになる。

3.2.2 トレーサーの検出結果

トレーサーの検出は TL-5, 63 m 地点 (踏前) において行った。トレーサー注入は、11 月 17 日、11 時 9 分に開始している。注入状況および検出状況は図-31 に示す。

表-9 より注入区間長、注入量、注入時間および注入圧の関係から Lu 値あるいは、注入 Lu 値を求め、注入状況と比べてみると、当初の注入は区間平均で 2.7 Lu であるが注入を中断し、再注入を行うと Lu 値は低下する。この状況は注入 2 日目も同様である。しかしながら連続注入時 (5.8 m³ 以上) には Lu 値の低下は見られない。またこれらの Lu 値は BL-24 孔掘削時のデータと比べて大き目になっている。これはその後掘削された横坑 TL-5 の影響かもしれない。

また注入 2 日目および 3 日目の注入前の初期水位が管頭下水位で 34 m 付近にあることが注目される。BL-24 孔の柱状図、図-28 および図-27 によれば深度 32 m 付近が G 測線で最大の断層破碎帯の下盤に相当し、トレーサーを含んだ注入の終了後も“こぼれ続け”、翌日の注入前の初期水位に落ち着いた事も想定される。

しかしながら河川水の大量注入後はこの水位が上昇し、管頭下 32 m 付近になっている。これは大量注入により BL-24 周辺の断層破碎帯内部が注入水により飽和したか飽和状態に近い状態になった事を示す。

トレーサーの検出は注入開始から 27 時間 51 分後の 11 月 18 日 15 時に最初の立あがりをとらえている。その後濃度は増大し、22 日の 16 時 10 分に最初のピーク (濃度 1.216 m 51 cm) を迎えている。さらに 25 日の 19 時に小さなピーク (濃度 1.206 m 51 cm)、また 27 日の午前 4 時 10 分には最大濃度のピーク (濃度 1.240 m 51 cm) を迎えている。そしてその後は漸減傾向を示しているが注入後 20 日過ぎてもピーク値の半分以下になっていない。

以上のデータに基づいて塩水クラウドの水みちでの流動状況の推定を行った。最初のピークは波形から見ても岩盤中の割れ目を水みちと対応するものと考えられる。水みちとしての距離は 3.2.1 で述べたように TL-5 の 59 m 付近の粘土を伴う破碎帯がもっとも連続性がある水みちと考えられるので 28 m とした。次に 1.2 の図-2 で説明した t_0 (トレーサーの最初の到達時間)、 t_p (トレーサークラウドの濃度とピーク到達時間)、 T (クラウド通過時間) を求めた。 T については t_n (クラウドが通過し、濃度がバックグラウンドまでもどった時間) が後に続くピークのため打ち消されているので図-31 より $t_{1/2}$ 値を読みとり

$$T = 1.85 t_{1/2}$$

によって求めた。

これを表-12 に示す。

これらから V_0 , V_p を求めた。(表-13)

また T は

$$T = 1.85 \times 7,320 = 13,542 \text{ (分)}$$

となる。

図-2 に示す式により、トレーサー拡散速度は

凡例

| : トレーサー注入量

|| : 河川水注入量

✕ : 初期地下水位

↓ : 検出されたトレーサー濃度のピーク

バッカー位置 BL-24: 22.8 m

トレーサー検出位置 TL-5: 63 m

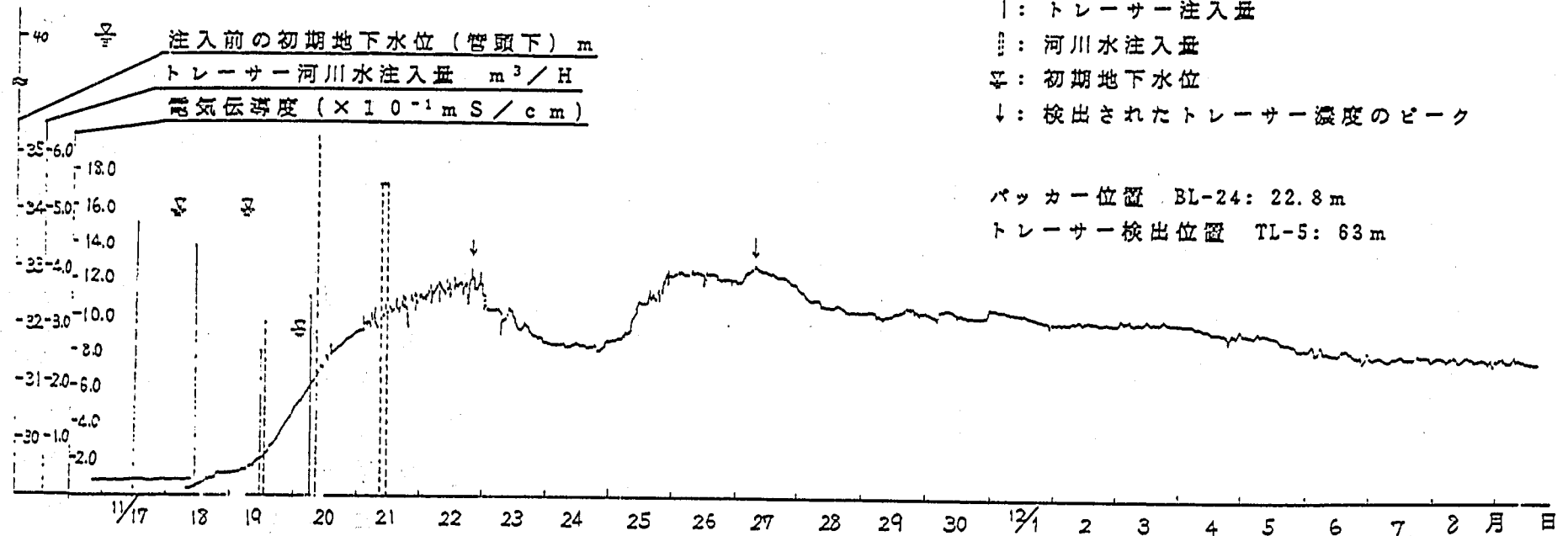


図-31 トレーサーの注入と検出結果

表-12

	時 刻	時間 (分)
注 入	11月17日 11時09分	0
トレーサークラウドの先端 t_0	18日 15時	1,671
トレーサークラウドの最大濃度 t_p	22日 16時10分	7,501
$t_{1/2}$	—	7,320

表-13

	速度 cm/分	水みち距離 (m)	時間 (分)
V_0	1.68	28	1,671
V_p	0.37	28	7,501

$$U = 1.68 - 0.37 = 1.31 \text{ cm/分}$$

さらに117pの第二式からは拡散係数を下のように求められる。

$$D = \frac{(U \cdot T)^2}{7.36 \times 2 \cdot t_{1/2}} = \frac{(1.31 \times 13.54)^2}{9.36 \times 2 \times 7,320} = 2,296 \text{ cm}^2/\text{分} = 0.23 \text{ m}^2/\text{分}$$

トレーサークラウドのピーク濃度速度は水みちを流動する浸透水速度に等しいとする注入圧力等から動水勾配を求めると見かけ上の透水係数を算出できる。

$$V_p = K \cdot I$$

$$V_p = 0.37 \text{ cm/分}$$

I: 塩水の注入はヘッドとして40mの高さで行われたものとする。(注入停止期間も考慮して)

$$I = 40 \text{ m}/28 \text{ m}$$

$$K = \frac{0.37}{60} / 40/28 \div 4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

この値はトレーサー注入区間平均のLu値より1オーダー大きい値である。また水みちが存在すると考えられる区間のLu値よりも1~2オーダー大きい値である(図-28)。

割れ目系地下水の場合クラウド拡散速度とPeynold's数の相関に関するデータが充分にないが、仮に拡散速度(U)がReynold's数の1/10程度の割れ目とすれば次のような試算ができる。

$$U = 1.31 \text{ cm/分} = 2.18 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

$$Re = 10 U = 2.18 \times 10^{-1}$$

$$\text{ここで } Re = \frac{2.18 \times 10^{-1} \times 1.14 \times 10^{-2}}{8.37/60} = 0.4$$

ただし U: 動粘性係数 $1.14 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

この試算によれば第1ピークに対応する水みち(ここでは仮にチャンネルAとする)は径4mm程の空隙を持つことになる。

注入塩分の流出量について TL-5 坑口の観測データから概算すると

注入総塩分量 $9.3 \text{ m}^3 \times 25,500 \mu\text{s/cm}$

塩分流出量 (6 日後) $0.38 \text{ m}^3 \times 25,500 \mu\text{s/cm}$

4%の流出 (11 月 23 日)

(20 日後) $1.06 \text{ m}^3 \times 25,500 \mu\text{s/cm}$

11%の流出 (12 月 8 日)

となりチャンネル A からはわずかな量しか出てきていない。20 日後の 11%の流出は他のチャンネルから行われたのかあるいは注入部付近に一時的に貯留された塩分が流出してきたのかよくわからない。

全体として塩分流出量が出ないのは横坑内だけでなく他への流出あるいは貯留された可能性も考える必要がある。

3.3 フィンガープリントの検出結果

フィンガープリントの検出結果を図-32, 図-33 に示す。これらから顕著な地下ガス異常として No.13 が最も強く, No.7 がこれに次ぐものとして指摘され, それらの周辺にも異常が認められる。これらの異常点は TL-1 坑等で確認されている NE 系断層の北表相当位置にほぼ該当し, フィンガープリント法により断層 (その中でも連続性が特に大きいもの) の位置がかなりよく推定できるものと思われる (図-34, 35 参照)。

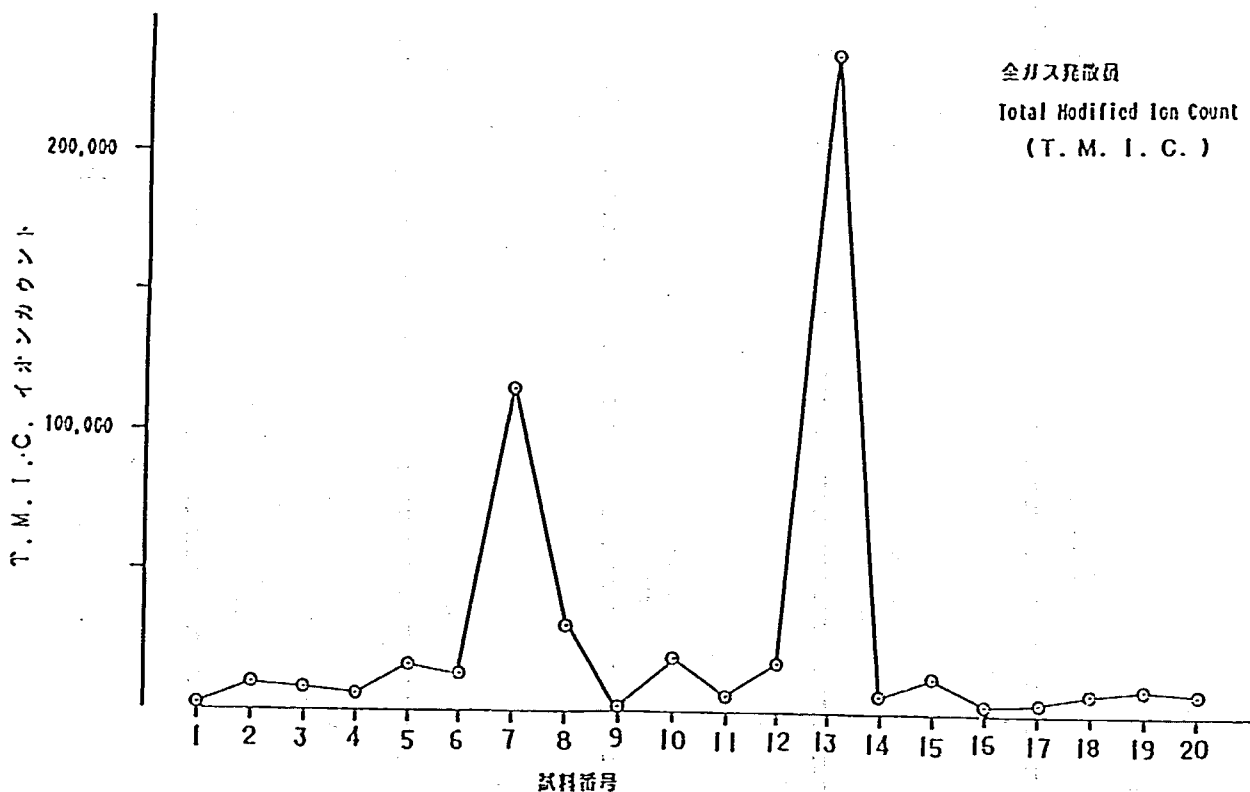
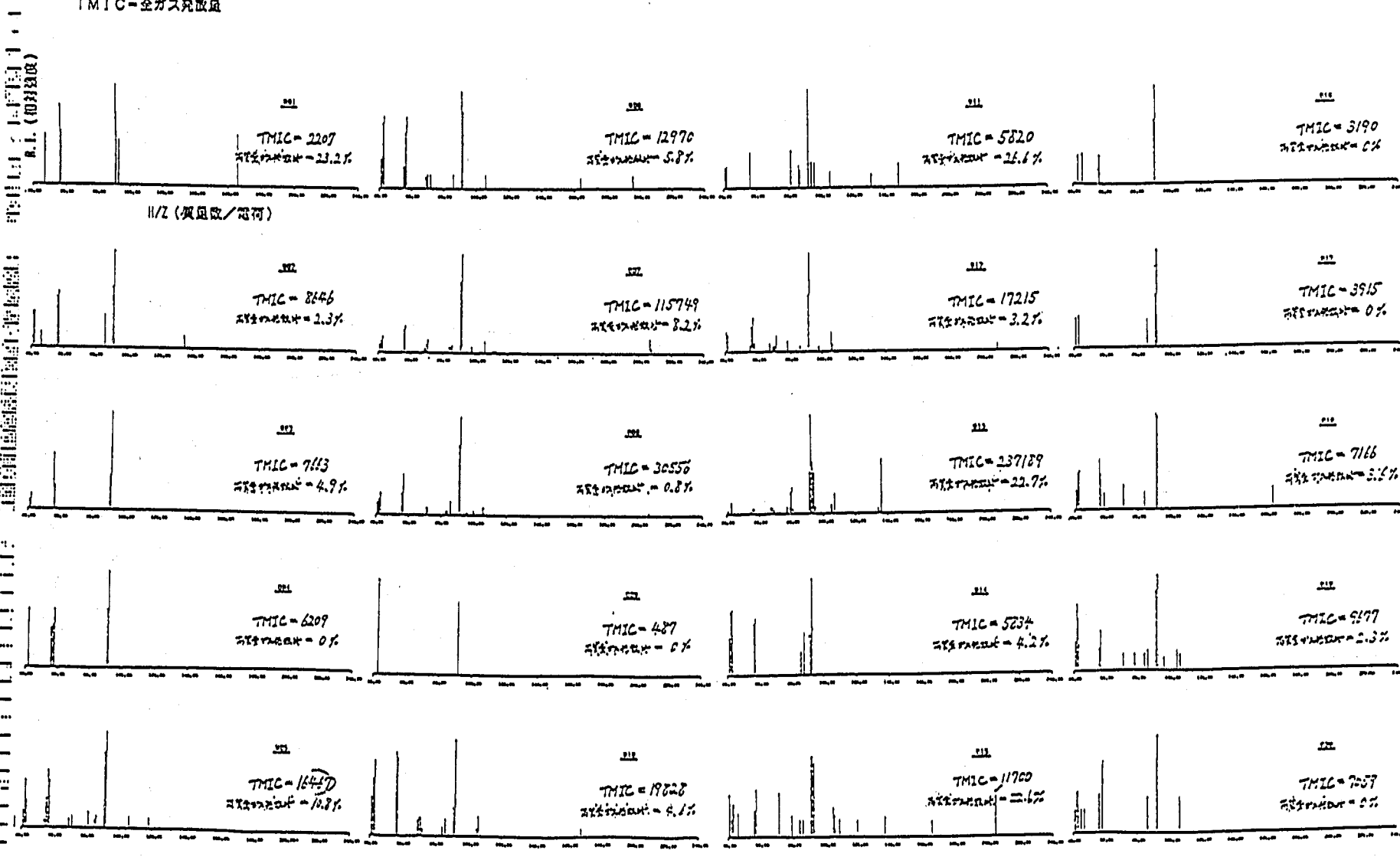


図-32 全ガス発散プロット図

TMIC-全ガス死後品



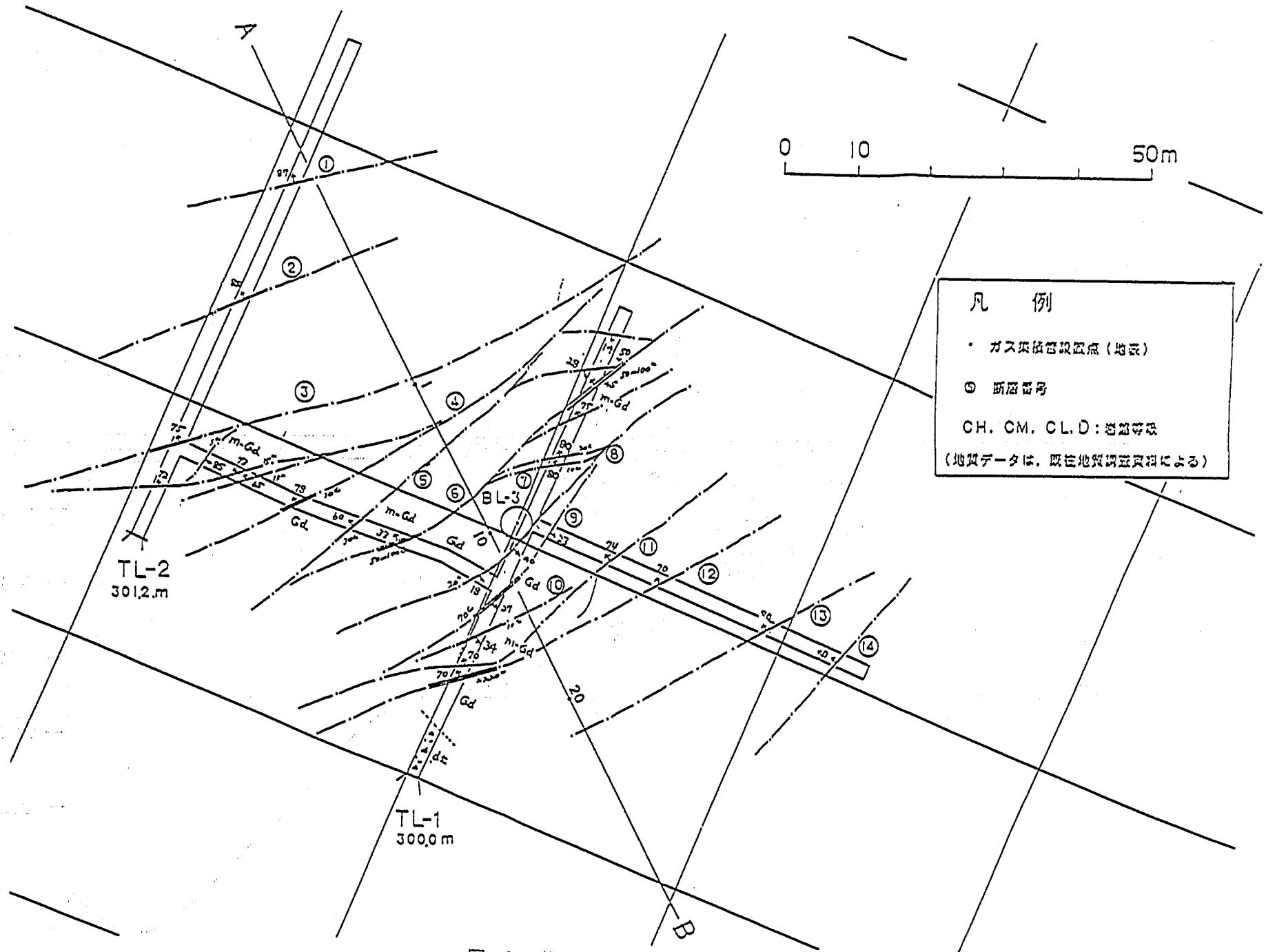


図-34 横坑内断層および割れ目分布図

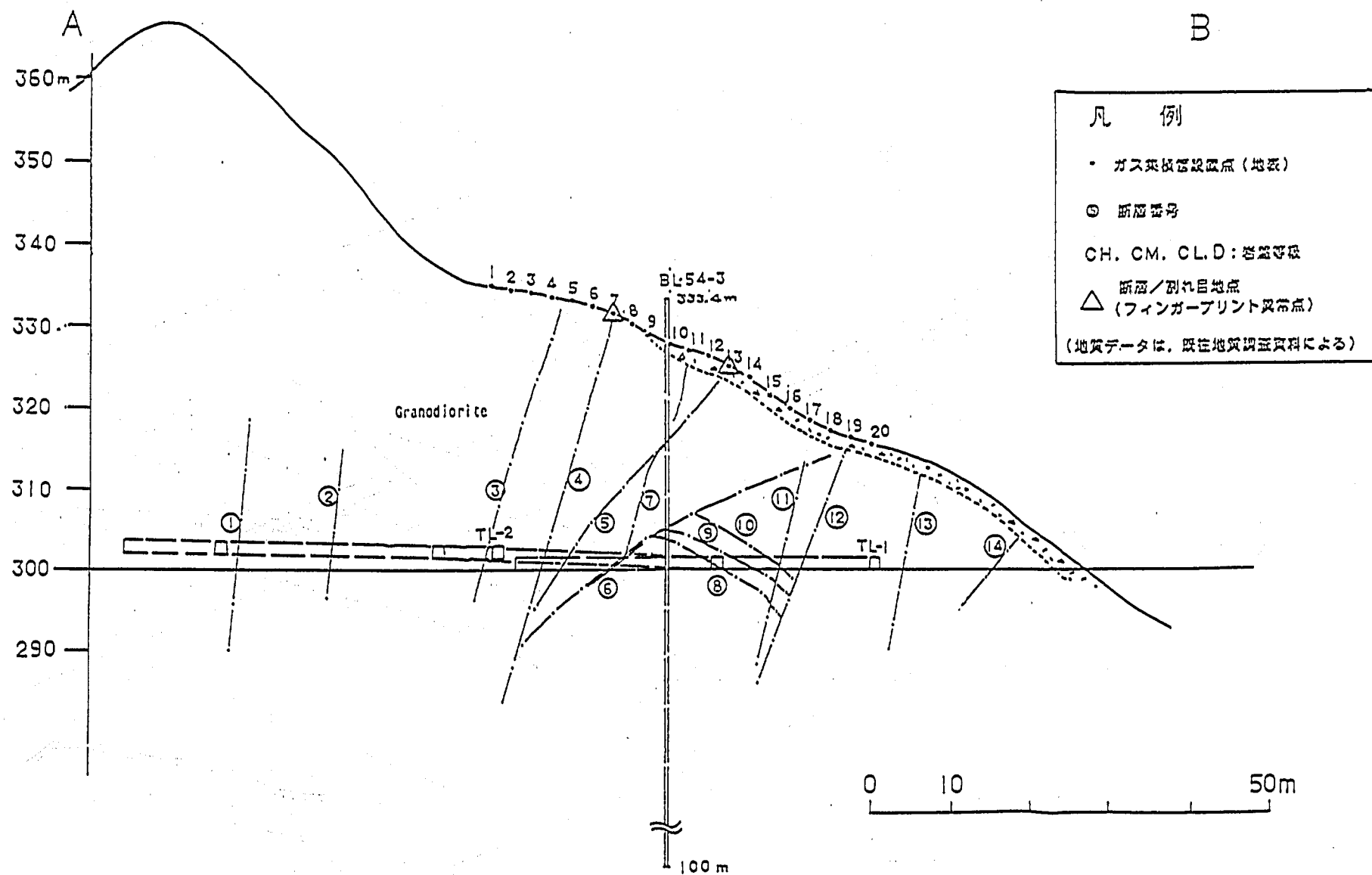


図-35 A-B断面図

3.4 弾性波トモグラフィーの解析結果

解析手法として前述のようにBPTにより初期モデルを求め、SIRT(Simultaneous Iterative Reconstruction Technique)とILST(Iterative Least Squares Technique)を交互に実施した。これを4m毎のブロック分割の基点を半ブロック分だけずらした2通りのケースについて、全波線に対し平均残差が0.1 msec以内(残差の標準偏差0.9 ms以内)で、かつ修正による変動が小さくなるまで計算を繰り返した。結果として繰り返し回数はケース1、ケース2とも15回(SIRT8回、LITS7回)であった。

次に2つのケースの解析結果を重ね合せ、重なった部分の平均スローネスを求め、それを重なった部分のスローネスとし、さらに各ブロックとその上下左右の計5つのブロックによるミキシング処理を行い最終的な2m×2mのブロックのスローネスとした。この結果からスローネスの逆数を求め、速度分布断面図を作成した。これを図-37に示す。また図-36にはケース1の初期モデルについて示す。両者を比較すると図-37では地表から15mから20m付近まで風化の影響が大きく2km/s以下の速度となっているが、図-36ではこのような風化層の存在はわからない。また図-37によるとTL-1、TL-2に囲まれた地山深部ではNE方向に延びに高速度分と低速部の繰り返しが明瞭に見られるが、図-36ではこのような繰り返しは認められずマス全体として平均化したような速度分布を示す。しかしTL-1の坑奥に低速度部があるのとTL-2坑奥からTL-1坑奥に向って延びる高速度帯が注目される。

次に図-38に既存の地質調査データからえがかれたTL-1~TL-3を含む平面スライスを示す。これと図-36に示される解析結果を比べると風化帯や断層の発達する方向が全体としてはよく一致する。

しかしながら詳細に見ると図-37ではF-3と風化ゾーンが交わる場所では、ゾーン(風化ゾーン)が地形とは逆に地山側へ入り込むことになっているが、図-36では風化ゾーンは地形と概ね平行である。また図-37ではTL-2の30m付近の下流側の側壁でC_H岩盤となっているが、図-36では比較的低速度になっている。さらにTL-3の12m付近では5km/secを越える岩盤の存在が解析結果からは推定されているが、実際はその部分は破碎されており、図-38ではF-3断層に伴うものとされている。このような評価のずれの一つの原因として弾性波トモグラフィーは断面内の速度分布が断面に垂直な方向に一様に続くものと仮定しているが、実際の岩盤では3次的に状況変化があるため断面からはずれた波線が存在し、その影響を受けた走時データを2次元断面内のものとして扱った場合、真の断面と異なった速度分布が求められるという可能性がある。

3.5 電磁波トモグラフィー

前述の処理の結果、有意な反射波は高々150 nsec程度の範囲に得られている。当実験地における電磁波伝播速度は透過波測定結果(後述)から10 cm/nsecと見積られるので最大探査距離は約7-8mであると考えられる。したがって横坑全体としてトモグラフィーとしての解析はできなかった。しかしながら反射法としての解析を行った。

図-39はマイグレーション処理の結果である。マイグレーション処理は坑壁面から7mの範囲について実施した。図の縦軸は距離(m)である。これらの結果から反射面の連続性を推定することができる。

反射面の分布をより明瞭にするため、マイグレーション処理結果に対し、当実験地に見られる断層系の走

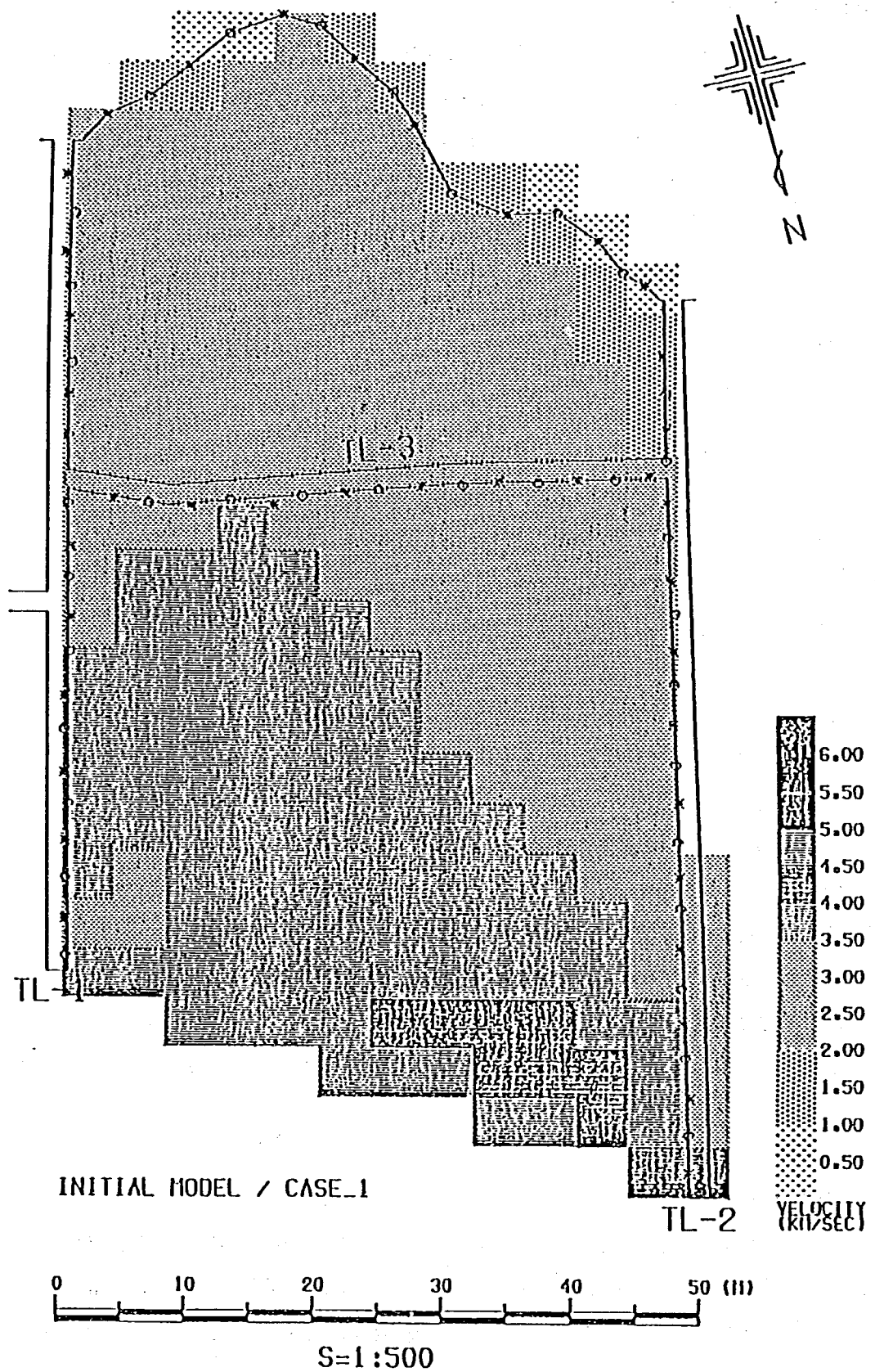
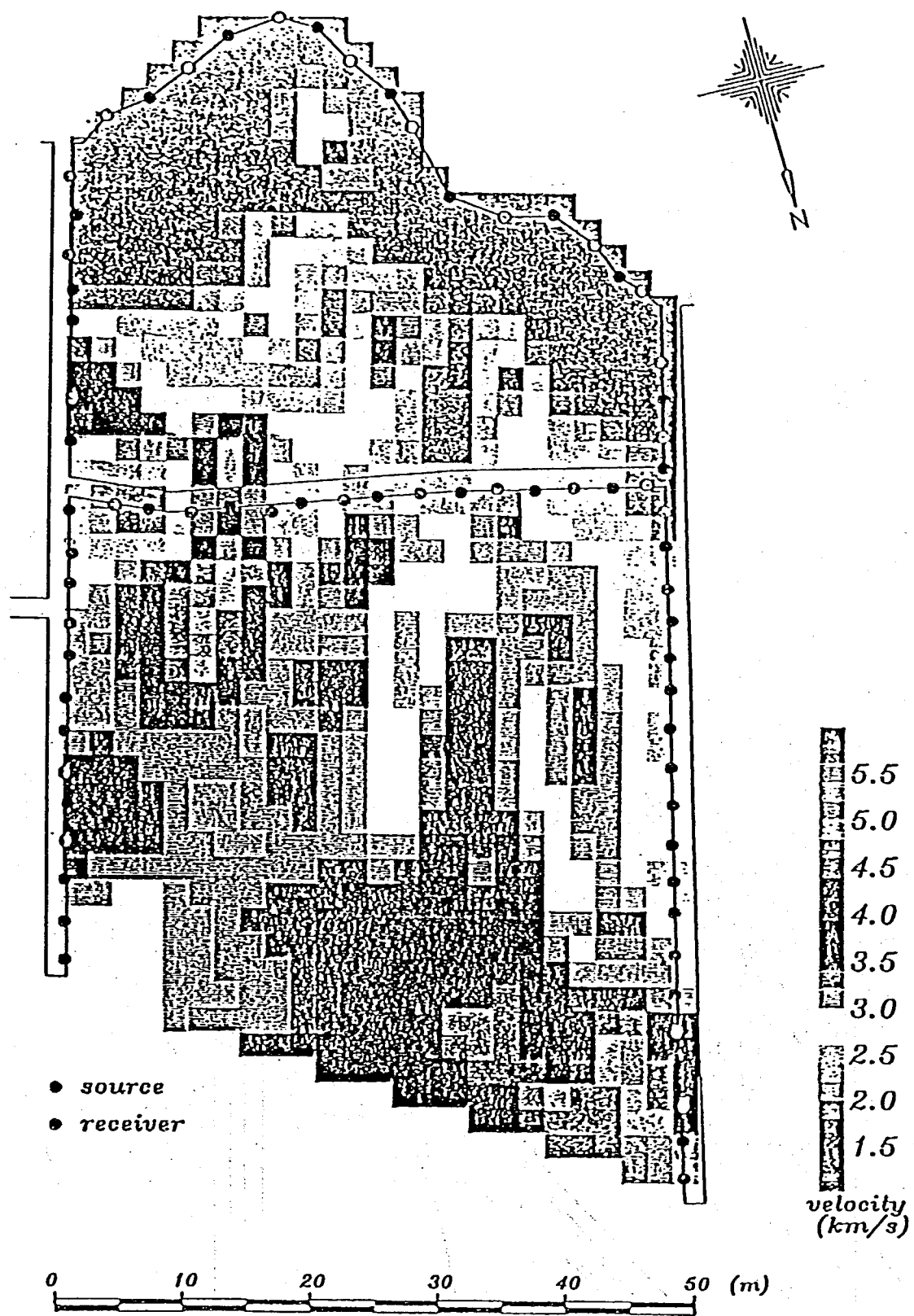


図-36 ケース1の初期モデル



Reconstructed Velocity Distribution Image

図-37 弾性波トモグラフィーによる速度分布断面図

BC 57-11 (L=100m $\theta=60^\circ$)
EL = 288.2 m

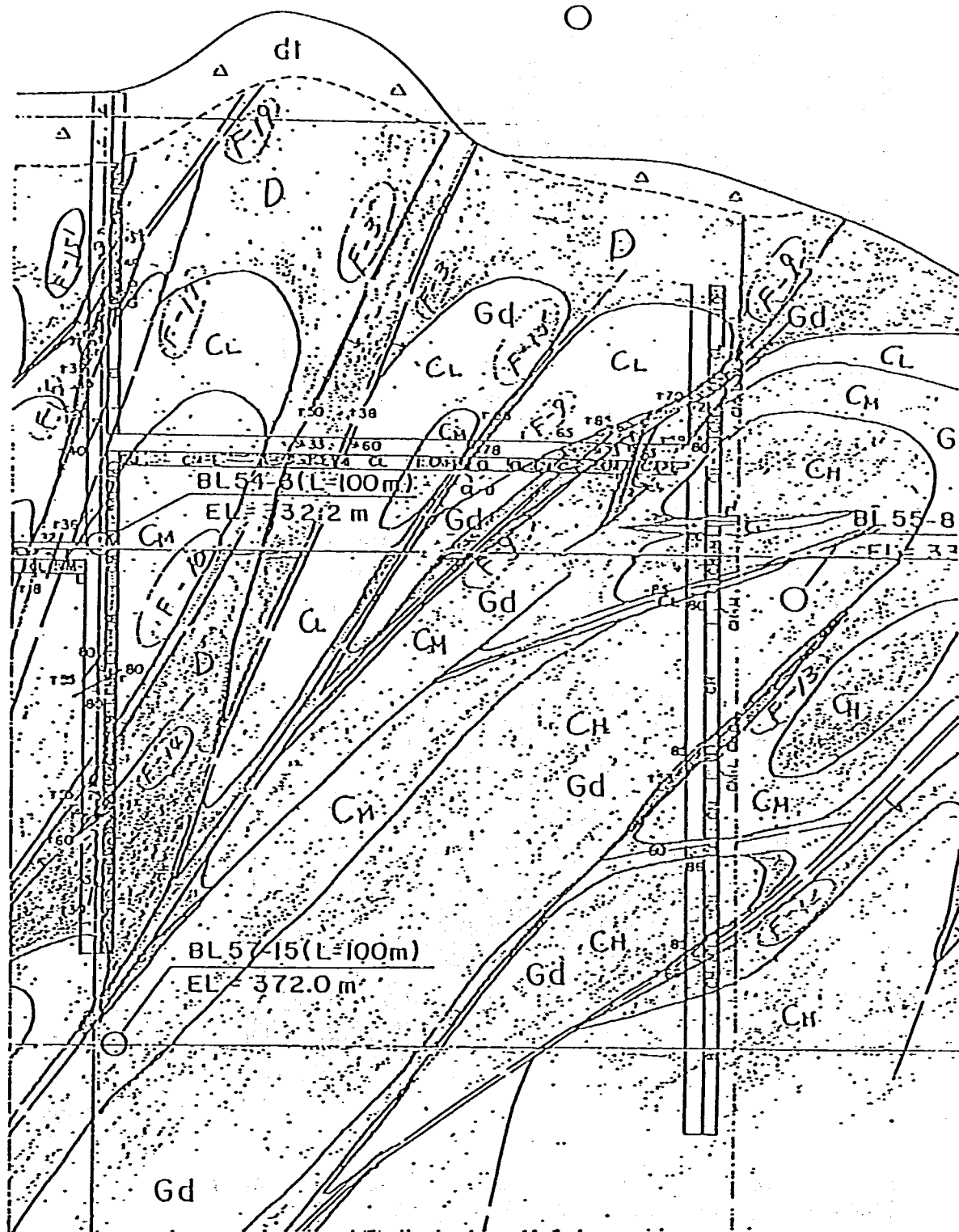


図-38 実験地の岩盤区分図

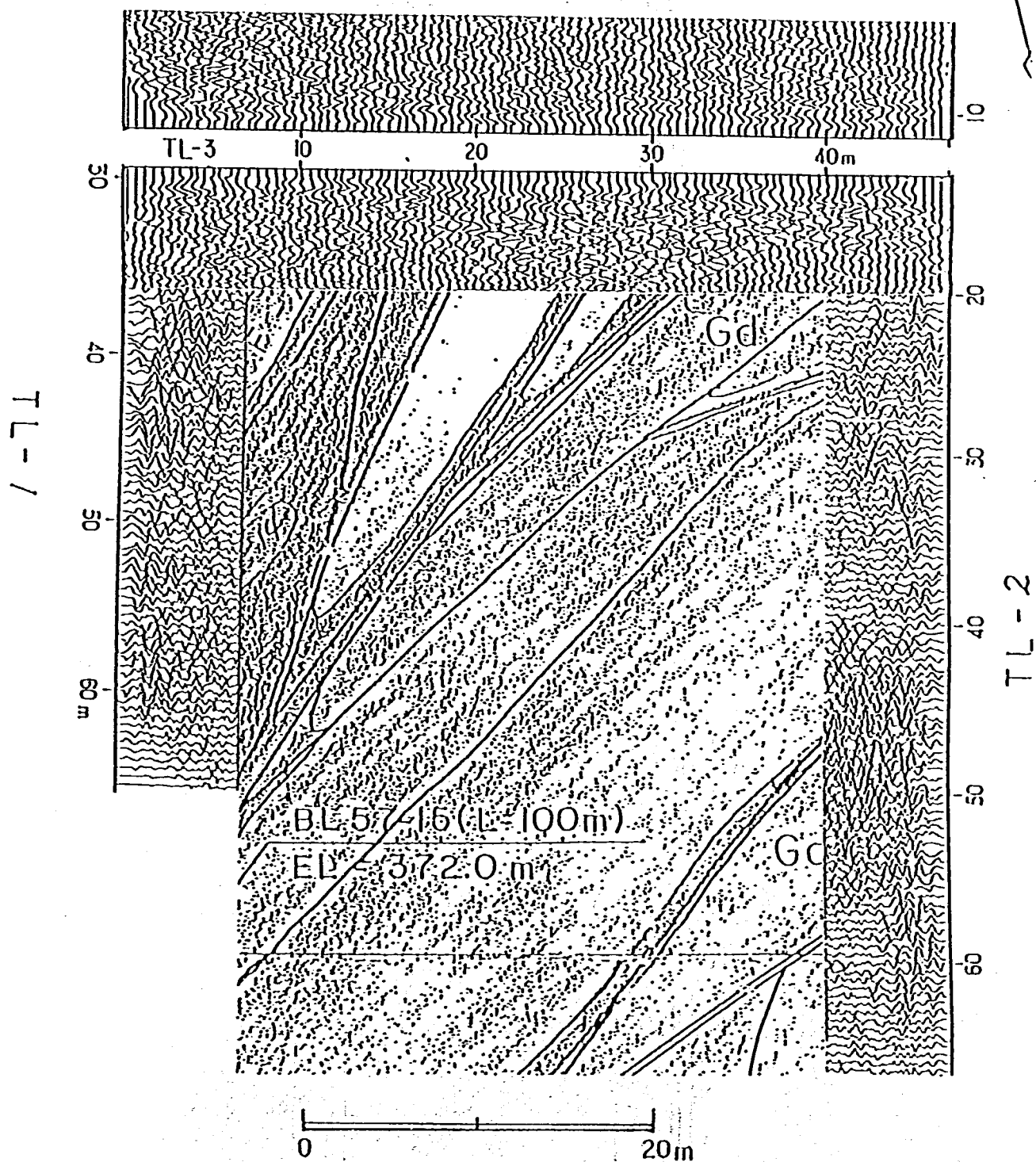
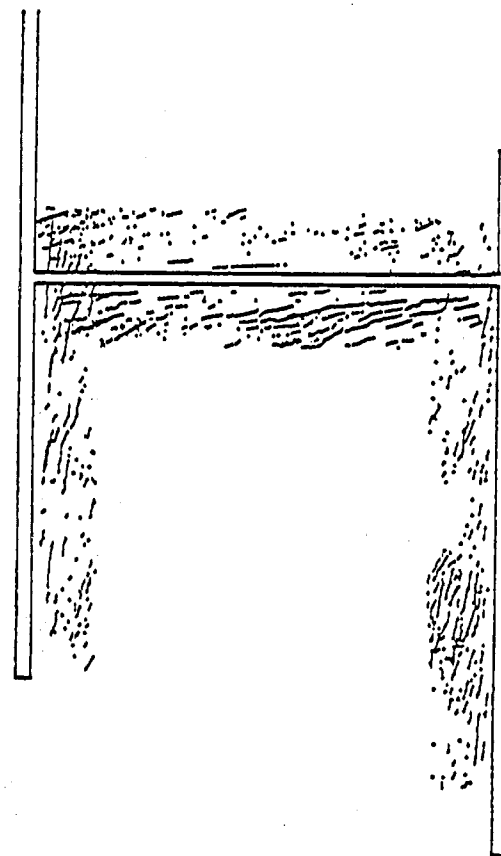
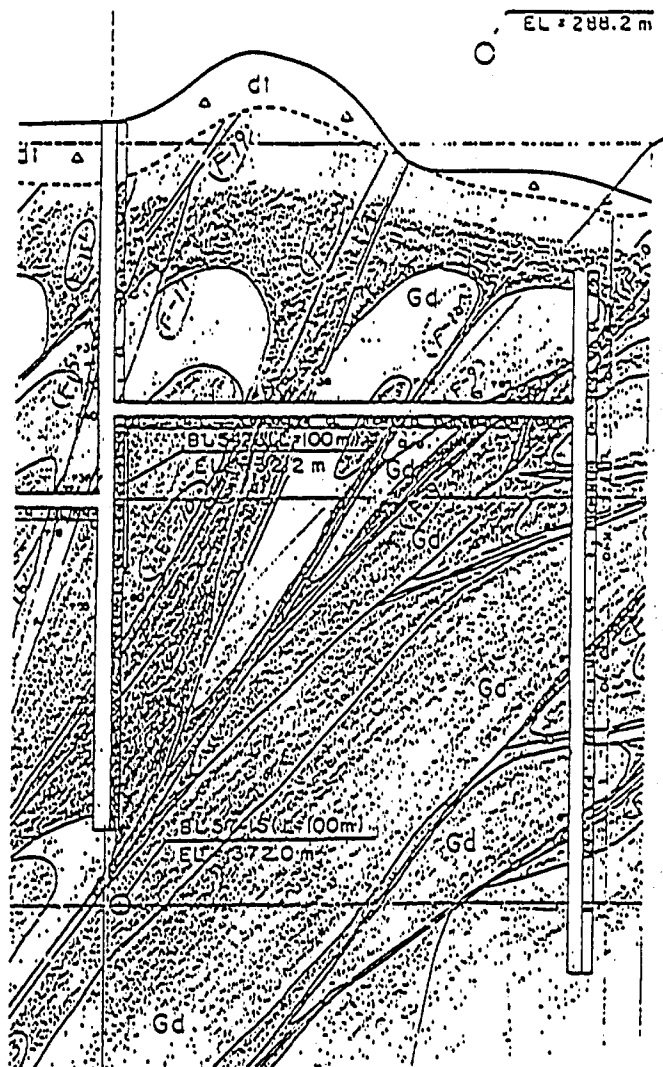
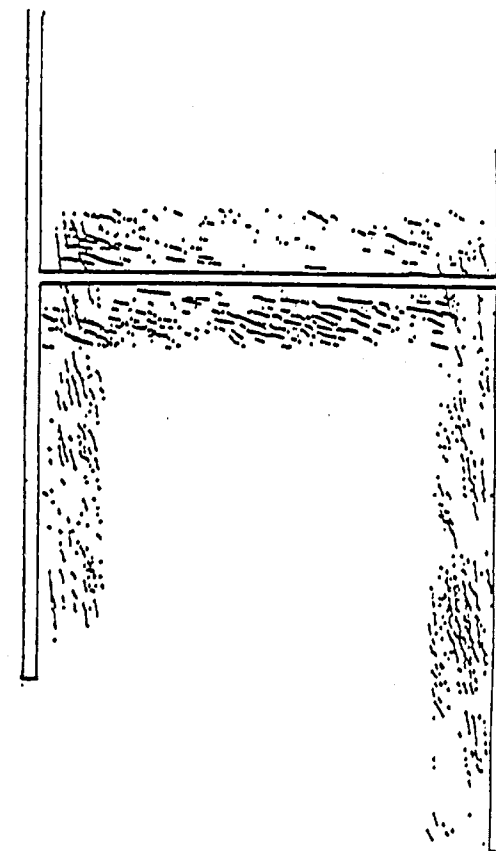


図-39 マイグレーション処理結果



右側の反射構造



左側の反射構造

図一40 顕著な反射面の分布

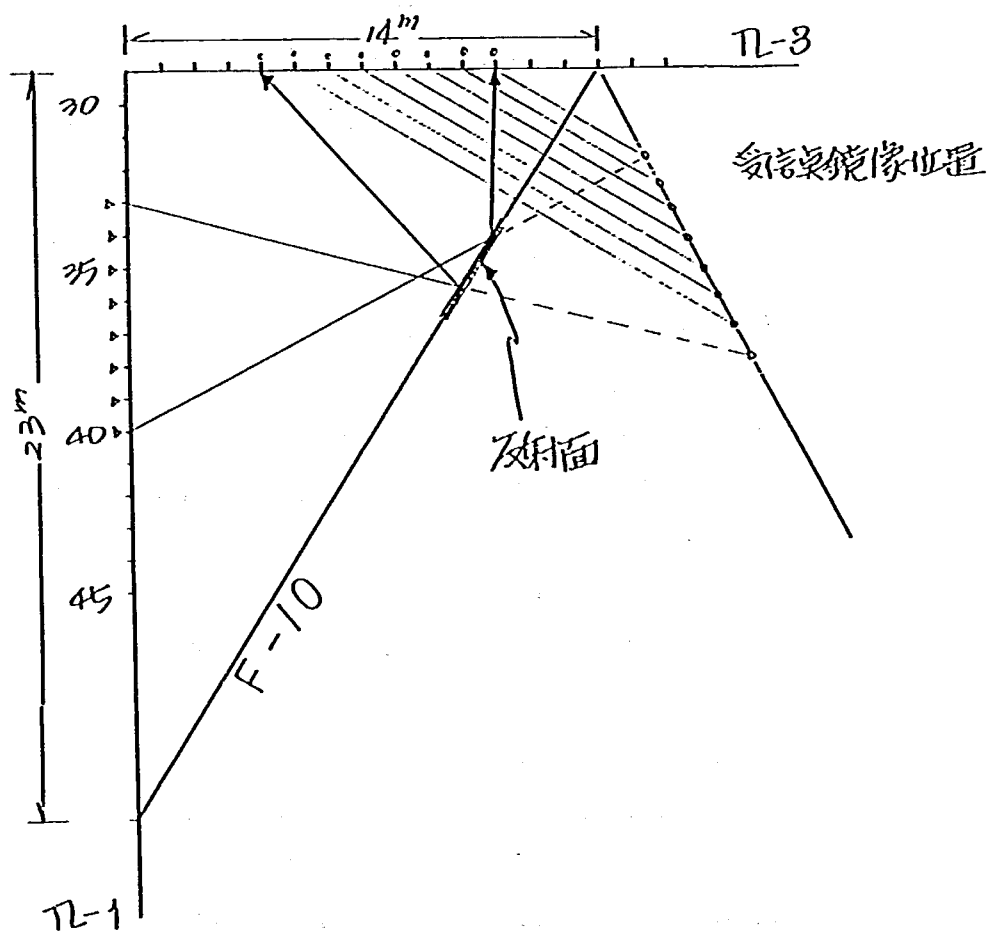
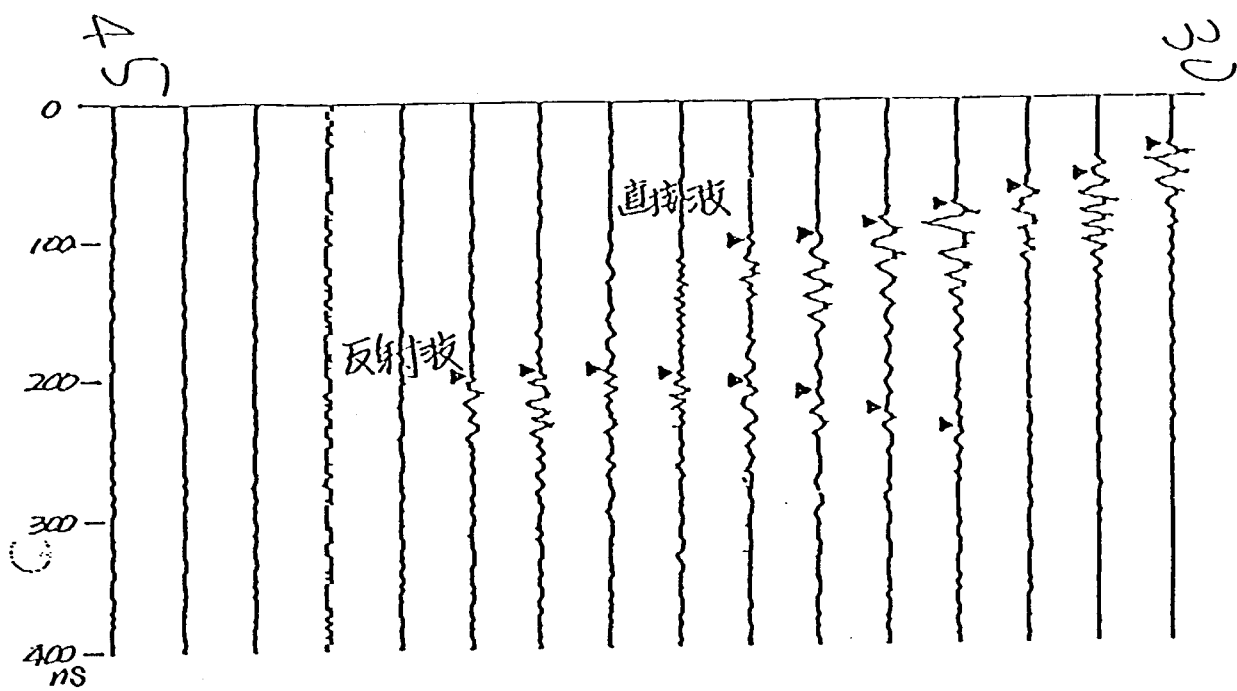


圖-41 透過測定結果解析圖

向方向、およびそれと共役な走向方向の2方向への分離を試みた。その結果を図-40に示す。ここで特徴的なことは横坑の側壁に平行かほぼ平行な反射面の多いこと、またTL-3の谷側の側壁では連続する反射面はTL-1付近にしか見られないことである。数多くこの反射面分布が得られたのは電磁波を利用したことにより解像力が向上したためと考えられる。当実験地での電磁波の波長は2m程度、空間分解能はその1/4とすると50cm程度となる。

地質分布と整合性の良い反射面が数地点で見られる。その1つはF-13付近のもので、F-13断層そのものでは反射面はとぎれるが、その周辺特に山側で右上り、左下り、両方向共反射面が密に分布している。TL-3坑ではF-9断層に関連性の高い反射面も見られる。

電磁波測定に引き続いて実施した坑壁沿いの比坑測定結果は新鮮な岩盤の箇所では平均 $2,000 \Omega \cdot m$ 、風化が進んでいる箇所では $200 \sim 300 \Omega \cdot m$ といった値を示す。比抵抗が大きく変化している箇所では明瞭な反射面が見られるという傾向がある。実験地全体の平均比抵抗を $1,000 \Omega \cdot m$ とすると、理論上の電磁波による最大探査可能距離は約10mと考えられる。これは前述の結果とほぼ一致する。

本実験地ではこの外に本坑と枝坑との隅角部を利用して透過波測定を行った。得られた波形記録を図-41に示した。アンテナ間隔が広がるにつれて、到達時間が一定の割合で増加する直接波が明瞭である。直接波の走時と伝播距離との関係から電磁波の伝播速度は10 cm/nsecの求められる。

また、それとは別に走時パターンが双曲線型に変化する顕著な波群が認められ、この様な波は岩盤内部からの反射波と考えられる。個々の反射波についての反射点を図式的に求めた(図-41 F段)。各反射点は概ね直線上に並び、その走向を延長して横坑との交点を求めるとほぼF-10断層がある地点と一致する。

4. 昭和60年度実験結果のまとめと課題

昭和60年度の実験の結果は以下のようにまとめられた。

割れ目計測では、各スケール毎の割れ目の長さや巾等との相関が得られれば、異なったスケールでのデータを用いて岩盤の問題で重要なファクターとなる割れ目の巾や連続性を推定する手がかりとなりうることを示した。また単位面積当たりの割れ目の長さや本数の計測は岩盤中の割れ目分布特性を求める重要な手がかりとなる。今後さらに手法として検討を行うべきと考えられる。

中流サイトで行ったトレーサー実験ではTL-5等での割れ目分布から推定した水みちによりトレーサーの流下速度や拡散定数を求めた。また流下速度から水みちの見かけの透水係数を求めた。これは最初のピークに対応するものであり、第二のピークについて水みちや流動拡散状況を求めるには、グブルパッカーによりさらに注入位置や水みちを特定する必要があると思われる。

上流サイトではフィンガープリント法、弾性波トモグラフィーおよび電磁波トモグラフィーの3者について実験を行った。

フィンガープリントではNE系の断層群に直交する測線を設置し、特定の2ヶ所で全ガス発散量および高質量ガス発散比の異常を検知した。この位置はTL-1で求められる断層位置の地表への延長部とよく一致している(図-32に示す④、⑤断層)。これはまた弾性波トモグラフィーの低速度ゾーンが地山内部に連続する位置に一致する。断層位置の認定のためにはさらに断層を横切る測線はフィンガープリントを実施する必

要がある。

弾性波トモグラフィーにより TL-1, TL-2 内の岩盤速度分布を $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ のブロックについて求めた。これにより風化帯の分布や巾の広い高角度断層破砕帯の影響ゾーンの分布を他の手法に比べても詳しく求めることができた。しかしながら断層そのものの位置を特定するのは困難であることと, TL-3 坑の 12 m 付近には 5 km/sec を超える高速度部が検出されたことは今後検討すべき課題である。12 m 付近に高速部が出現した原因については割れ目の計測 (図-25) による低角度の割れ目も多く, その付近の地質断面図 (図-35) によると低角度断層が存在しており, 低角度断層の不盤側の下方に C_n 岩盤が潜在し, その影響を受けて高速部が出た可能性が考えられる。これについてはさらにその付近の波線について検討を進める必要がある。

電磁波トモグラフィーについては岩盤巾の電波の透過可能な距離が短く, ジオトモグラフィーとしての解析を行うことやできなかった。しかしながら反射法を用いることによって多数の反射面が得られた。これらの反射面は TL-1, TL-2 の割れ目計測からは TL-3 横坑にほぼ平行するような方向 ($N 7^\circ N 70^\circ W$) の割れ目が第 2 番目の卓越方向として発達し, また TL-1, TL-2 に平行するような割れ目も見られる。このことからこれらの割れ目が反射面となっているものと思われる。これらの割れ目は横坑観察から節理面あるいはそれに近いものである。反射面の長さ (連続性) や頻度 (間隔) もそのことを裏付けていると思われる。興味深いのは反射面では断層面そのものの検出は難しい (この場合, 一番の卓越方向が横坑に高角度で交わるため反射面としては出にくかった) が, 断層部では節理面からの反射像が乱れたり不連続になっていることである。しかしながら電磁波による探査は透過距離が短いため, 波長を変えたりパワーアップして透過距離を長いものにしないと岩盤についての諸計測の補助的な手段としてしか使えないと思われる。

質 疑 応 答

司会 時間が迫っておりますけれども、少し御質問、御意見等がございましたらお受けしたしたいと思います。よろしくお願いします。

白石 素朴な質問で申しわけないんですが、(当日配布資料の)4 ページに表5 というのが載っておりまして、トレーサーを4 回に分けて注入している。21 日に河川水を注入しているわけですが、これも言うならば食塩をトレーサーした後の河川水ということで、トレーサーの一部に組み込むことができるだろうと思うんです。その結果が10 ページの図-5.30 トレーサーの検出図ということで載っておりますが、河川水の影響がこの図に出ているのか、いないのか、あるいは出でいないということでトレーサーに食塩を使われるのをやめてフロレッセンが使われたのか、その辺ちょっとお聞きしたいんです。

神尾 最初にトレーサーとして食塩水を注入いたしまして、その後河川水を入れたわけですが、河川水を注入した目的というのは、トレーサーが一番最初の実験であったわけで、いつ出てくるかわからない。トレーサーの出る時間を早めようということで河川水を圧入しているわけでございます。

これの影響でございますが、河川水を注入することによって例えば不飽和格体そのまま飽和格体になるわけですから、この解析を行う都合上といいますか、地下水位の中といいますか、そういったものとして考えておりますので、河川水の注入は一向問題なかったんじゃないかと思えます。

2 番目でございますが、フロレッセンの使用は60 年度の実験では行いませんでした。61 年度で行いましたので、このページではなくて(当日配布資料の)22 ページ以降に書いてある結果でございます。フロレッセンについての結果は26 ページに御紹介したとおりでございます。

Ⅲ. 總 合 討 論

総合討論

司会 それでは総合討論を行いたいと思います。まず技調の谷岡さん如何でしょうか。

谷岡 問題提起というところとちょっと大げさなんです、ときどき各地方建設局で地質調査業務を発注するんですが、その内容に随分ばらつきがあるという話が私どものところへときどき舞い込んできて、そういった問題もありますので少し地質調査の仕様みたいなものをこういった場を借りて検討していただけたらと思うんですが。聞くとところによると、2、3年前に一度この会議で仕様書の問題を扱ったことがあるそうなんです、そのときの経緯等も含めて土木研究所の方から何かお考えがあれば御紹介願いたいと思います。

市川 今、調査官からおっしゃられましたように、2年か3年前にこの会議で共通仕様書とか歩がかり等の問題があるので、少しずつ検討していこうというお話をさせていただきまして、そのときに共通仕様書というものも非常にたくさん問題があるんだというお話をさせていただきました。その一環としまして、実は昨年度ボーリング柱状図というものを取りまとめさせていただいたわけでございます。したがって、その後の作業がまだ共通仕様書につきましては残っているわけでございますけれども、この辺につきましてはまた地建等の御意見あるいは技調室のお力添えもいただきまして、順次改定の方に向かって作業を進めていきたいと考えております。そんなことでよろしいでしょうか。

大木 今、谷岡調査官からお話がありましたので、改正するとか統一するとかいう話はさておきまして、具体的に仕様書の中で必要な事項、落している事項、あるいは全体を横に並べたものでどういうところをどういうふうにいじったらいいか、ということをし次回までに皆さんにお諮りして、そういう方向でやっていきたいと思っております。

質問 道路法面台帳の件ですが、かなり内容が煮詰まってきたというふうに聞いたんですが、具体的作業量とか作業必要個所が各地建にどのぐらい分布しているか、もし調査されていたらお答え願いたいと思うんですが、いかがでしょうか。

平野 実は調査しておりません。想像ですけれども、恐らく2万とかそういう個所になるんじゃないかと思っています。具体的に何個所というのは調査していないということでございます。

質問 出来上がりの作業量は。

平野 作業量というか、それは歩がかり調査的なことだと思うんですが、半日ぐらいで1法面を済ませるように考えております。まだ具体的には調査はやっておりません。

司会 それでは、時間も超過してしまいましたので、今回の議事をこれで終わりたいと思います。

第21回地質担当者会議資料

I S S N 0386-5878

土研資料 第2706号

昭和63年3月(1988)

市川 慧, 平野 勇, 脇坂 安彦
稲崎 富士, 神尾 重雄

昭和62年12月11日に開催された第21回地質担当者会議で行われた講演のうち以下のものが収録されている。

I. 指針・全国調査等の動き

1. 道路のり面台帳作成様式について
2. 第四紀断層の調査法
3. アルカリ反応性骨材及び粘土鉱物含有骨材の取り扱い
4. ダム洪水に伴う地すべりの概査調査検討資料

II. 新しい地質調査法の現状と問題点

1. 物理探査法の現状と問題点
2. 土地地質分野における新しい調査法等についての検討

キーワード：道路のり面台帳、第四紀断層、アルカリ反応性骨材、粘土鉱物含有骨材、地すべり、物理探査法、地質調査法

郵便はがき

郵便切手
は
っ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
地質研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 020

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2706号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印