

3
I S S N 0386-5878
土木研究所資料第3170号

土 木 研 究 所 資 料

第26回地質担当者會議資料

平成5年3月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

「Copyright © (1993) 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26回地質担当者会議資料

地質官	市川	慧
主任研究員	稲崎	富士
研究員	佐々木	靖人
地質研究室長	中村	康夫
土質研究室長	三木	博史
国土地理院測地第二課長補佐	中沢	律夫
国土地理院地理調査技術開発室長	津沢	正晴
基礎研究室研究員	木村	嘉富
振動研究室長	常田	賢一
地すべり研究室主任研究員	西	真佐人
動土質研究室長	古賀	泰之

要 旨

平成4年12月11日に開催された第26回地質担当者会議で行われた次の講演、議題が収録されている。

1. 貯水池周辺地山安定対策指針
2. 浅層反射法マニュアル
3. 耐久性地盤注入材料利用技術マニュアル (案)
4. 地下水調査観測指針
5. 防災点検の解析結果
6. GPSの土木分野への利用と問題点
7. 地中地図作成技術
8. 地建提案議題 (討議)

キーワード：地質調査・のり面・斜面・ダム地質・浅層反射法・地下水・GPS・地質図

目 次

まえがき	1
議事次第	2
出席者名簿	3
開会挨拶	5
積算技術管理官挨拶	6
土木研究所長挨拶	8
閉会挨拶	9
 I. 議 事	 11
1. 土地地質関係の指針等の検討	13
1) 貯水池周辺地山安定対策指針	13
2) 浅層反射法マニュアル	21
3) 耐久性地盤注入材料利用技術マニュアル(案)	67
4) 地下水調査観測指針	73
2. 土木技術に関するトピックス	93
1) 防災点検の解析結果	(資料省略)
2) GPSの土木分野への利用と問題点	93
3) 地中地図作成技術	99
3. 地建提案議題の討議	109
 II. 質 疑	 143

ま え が き

地質担当者会議は、昭和42年度より地質調査上の問題点の解明、技術情報の交換および地質調査方法の統一等を課題として開催されており、今回で第26回を迎えるに至った。この間、河川砂防基準(案)・道路土工土質調査指針・ルジオンテスト技術指針(案)・グラウチング技術指針・ボーリング柱状図作成要領(案)・地質調査共通仕様書等、地質調査に関連する基準や指針類の作成に貢献し、また、ダム・トンネル・のり面・軟弱地盤の地質工学的問題点の検討、海外の事例紹介等を行ってきている。

今回も、本省岡田積算技術管理官、土研河野次長をはじめ、本省、各地方建設局、国土地理院、建設大学校、土木研究所、沖縄開発庁、阪神高速道路公団、日本道路公団、水資源開発公団、本・四連絡橋公団より約50名の参加を得て盛会となった。

今回の会議では、「土地地質関係の指針等の検討」として4件、「土木技術に関するトピックス」として3件の報告が行われた。また、今年度は新たな試みとして地方建設局等からの提案議題も設定され、土地地質にかかわる9件の議題が討議された。これらの概要は次のとおりである。

1. 土地地質関係の指針等の検討

『貯水池周辺地山安定対策指針』では、最近取りまとめられた「貯水池周辺の地すべり等に関する技術資料」をもとに、その要点について紹介がなされた。

『浅層反射法マニュアル』では、都市域における地盤探査手法として有効な浅層反射法について、探査・解析・とりまとめ方法等に関する概要の説明があった。

『耐久性地盤注入材料利用技術マニュアル(案)』では、近年開発が進む耐久性地盤注入材料の性能試験法および実地盤への利用上の留意点等に関する説明があった。

『地下水調査観測指針』では、改定中の「地下水調査および観測指針(案)」について、主な改良点についての説明があった。

2. 土木技術に関するトピックス

『防災点検の解析結果』では、新たに点数制を採用した道路防災点検の結果について、主に「落石・崩壊」の点検項目の集計結果をもとに報告があった。

『GPSの土木分野への利用と問題点』では、GPS測定の測定方法とその精度についての解説があった。

『地中地図作成技術』では、総合技術開発プロジェクト「地下空間の利用技術の開発」で試作された地中地図作成システムについての紹介があった。

3. 地建提案議題

地建からの提案議題の内容は多岐に渡るが、主に計画に関するもの1件、土質の試験法に関するものの2件、設計に関するもの4件、その他2件であった。

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

平成5年3月

地質研究室長 中 村 康 夫

第26回 地質担当者会議 議事次第

1. 日 時：平成4年12月11日(金) 13:00～17:00

2. 場 所：虎ノ門パストラル(港区虎ノ門4-1-1 TEL 03-3432-7261)

3. 会議次第

- | | | |
|---------------------------|------------------|---------------|
| 1) 開会挨拶 | 土木研究所 地質化学部長 | 池 村 雅 司 |
| 2) 挨拶 | 本 省 積算技術管理官 | 岡 田 博 夫 |
| | 土木研究所 次 長 | 河 野 宏 |
| 3) 議 事 | | |
| ① 土木地質関係の指針等の検討 | | 13:20 - 14:20 |
| (1) 貯水池周辺地山安定対策指針 | 土木研究所 地 質 官 | 市 川 慧 |
| (2) 浅層反射法マニュアル | 土木研究所 地質研究室主任研究員 | 稲 崎 富 士 |
| (3) 耐久性地盤注入材料利用技術マニュアル(案) | 土木研究所 地質研究室研究員 | 佐々木 靖 人 |
| (4) 地下水調査観測指針 | 土木研究所 地質研究室長 | 中 村 康 夫 |
| ② 土木技術に関するトピックス | | 14:20 - 15:20 |
| (1) 防災点検の解析結果 | 土木研究所 土質研究室長 | 三 木 博 史 |
| (2) GPSの土木分野への利用と問題点 | 国土地理院 測地第二課長補佐 | 中 沢 律 夫 |
| (3) 地中地図作成技術 | 国土地理院 地理調査技術開発室長 | 津 沢 正 晴 |
| ③ 地建提案議題の討議 | | 15:30 - 16:55 |
| | 本 省 技術調査官 | 村 上 真 幸 |
| 4) 閉会挨拶 | 土木研究所 地 質 官 | 市 川 慧 |

第26回 地質担当者会議 出席者名簿

開催日 平成4年12月11日

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
本 省 (3名)	大臣官房 技術調査室 " " " "	積算技術管理官 技 術 調 査 官 技術管理第一係長	岡 田 博 夫 村 上 真 幸 丹 羽 克 彦
土 木 研 究 所 (19名)	企 画 部 地 質 化 学 部 地 質 研 究 室 " " " " " " ダム構造研究室 " フィルダム研究室 砂 防 研 究 室 地 す べ り 研 究 室 土 質 研 究 室 動 土 質 研 究 室 基 礎 研 究 室 振 動 研 究 室	次 長 地 質 官 トンネル計画官 部 長 室 長 主 任 研 究 員 研 究 員 " 技 官 部 外 研 究 員 主 任 研 究 員 研 究 員 研 究 員 主 任 研 究 員 室 長 室 長 研 究 員 室 長	河 野 宏 市 川 慧 堀 内 浩三郎 池 村 雅 司 中 村 康 夫 稲 崎 富 士 佐々木 靖 人 阿 南 修 司 藤 井 厚 企 千 田 敬 二 渡 部 和 夫 片 平 博 山 口 嘉 一 矢 島 重 美 西 真 佐 人 三 木 博 史 古 賀 泰 之 高 木 繁 常 田 賢 一
建 設 大 学 校	建 設 部 建 設 企 画 課	主 任 教 官	向 嶋 光 男
国 土 地 理 院 (3名)	地理調査部地理第一課 " 技術開発室 測 地 部 測 地 第 二 課	地 理 第 一 係 長 室 長 課 長 補 佐	中 島 秀 敏 津 沢 正 晴 中 沢 律 夫
東 北 地 方 建 設 局 (2名)	河 川 部 河 川 計 画 課 " 河 川 工 事 課	技 官 河 川 海 岸 係 長	八 木 恵 里 布 施 泰 治
関 東 地 方 建 設 局 (5名)	企 画 部 技 術 管 理 課 " " 河 川 部 河 川 計 画 課 " 河 川 工 事 課 道 路 部 道 路 工 事 課	課 長 補 佐 基 準 第 二 係 長 調 査 第 一 係 長 課 長 補 佐 課 長 補 佐	河 田 寛 行 木 村 國 男 川 村 俊 一 掛 足 俊 一 堀 内 喜 久 雄

機 関 名	所 属	職 名	氏 名
北陸地方建設局	企 画 部 技 術 管 理 課	課 長 補 佐	伊 東 栄 松
中部地方建設局 (3名)	企 画 部 技 術 管 理 課 道 路 部 道 路 計 画 第 一 課 河 川 部 河 川 計 画 課	施 工 調 査 係 長 技 官 計 画 第 二 係 長	金 森 貞 次 今 井 清 隆 水 野 益 宏
近畿地方建設局	企 画 部 技 術 管 理 課	施 工 調 査 係 長	野 中 砂 男
中国地方建設局 (3名)	企 画 部 技 術 管 理 課 中 国 技 術 事 務 所 斐 伊 川 ・ 神 戸 川 総 合 開 発 工 事 事 務 所	施 工 調 査 係 長 機 械 試 験 課 長 所 長	江 角 忠 也 天 野 弘 也 平 野 勇
九州地方建設局 (2名)	河 川 部 企 画 部 技 術 管 理 課	建 設 専 門 官 技 官	脇 坂 安 彦 阿 部 成 二
沖 縄 開 発 庁	開 発 建 設 部 工 事 検 査 官 室	総 理 府 技 官	伊 佐 真 秋
阪神高速道路公団	工 務 部 設 計 課	課 長 補 佐	中 村 一 平
日本道路公団 (3名)	技 術 部 技 術 部 道 路 技 術 課 試 験 研 究 所 防 災 雪 氷 研 究 室	調 査 役	金 子 芳 春 毛 利 俊 二 田 山 聡
水資源開発公団 (2名)	試 験 所 第 三 試 験 課 平 川 ダ ム 調 査 所 調 査 設 計 課	技 師 技 師	双 木 英 人 佐 藤 英 一
本四連絡橋公団	設 計 部 設 計 第 三 課	課 長	野 村 直 茂

計51名

開 会 挨 拶

地質化学部長

池 村 雅 司

ただいま御紹介いただきました土木研究所の地質化学部長の池村でございます。

本日は年末のところをお忙しい中お集まりいただきましてありがとうございました。本省の方、それから各地建、北海道、沖縄、全国の方にお集まりいただきました。御案内のように当会議は地質調査の技術の指針・マニュアルの討議とか、あるいは最近の地質調査法、あるいは地盤評価法についての意見交換とか、地質に関する技術的な課題につきまして、一堂に会して皆さん御議論いただく非常に限られた、重要な会議であります。半日ではありますが、これから実のある会議としていただくようお願いいたします。簡単ではありますが、あいさつとさせていただきます。よろしくお願いします。

ご 挨 拶

大臣官房積算技術管理官

岡 田 博 夫

ただいま御紹介いただきました大臣官房技術調査室積算技術管理官の岡田でございます。

本来ならば、小野技術審議官が参りまして、皆さんに親しくごあいさつを申し上げるはずでしたが、所用がございまして失礼をいたします。よろしくお伝えくださいということでございます。

第26回を重ねます地質担当者会議ということでございます。本日は年末の大変お忙しい中、地建あるいは公団で、この分野で御活躍をいただいている皆様方にお集まりいただきまして、まことにありがとうございます。当然のことながらこの会議は地質を中心といたしまして、技術的課題にいろいろ取り組んでいただいている方、また地建、公団でその技術の開発でございますとか、そういう分野に携わっていただいている方の主に情報交換、あるいは技術的課題を検討していただくという会でございます。

きょうお集まりの皆様は、もちろん地質にかかわりの御専門の方、それから日常業務としていろいろ関与していただいている方でございます。せっかくの機会でございますので、地質の分野を少し離れた幅広い意味での技術開発ということで、現在の建設省としての取り組みを少しお話しさせていただきたいと思います。

いわゆる環境問題等が最近またいろいろと言われておりますが、その中でやや行政的な観点から建設副産物に関します課題でございますとか、あるいは省資源、省エネルギーに関します技術の開発、活用ということが、大変重要な課題として行政面での大きな課題になっております。問題はその辺のところの技術を現場にどういう形で導入していくかが、非常に重要なところということが言えようかと思えます。

それで、現在技術開発に関しましては、いろんなお立場での取り組みがございしますが、御承知のとおり、いわゆる総プロと言われております総合技術開発プロジェクトというのがございます。あるいは、官と民とが連帯いたしまして共同開発する官民連帯共同研究という分野もございます。

最近はもう一つ、民間主導型といいますか、民の方でいろいろ開発された技術の活用ということも大きな課題として我々も取り組んでおります。特にそれにつきましては、導入に当たっての仕組みといいますか、制度的なものが要るだろうということから、建設技術の評価制度というのがございます。

それから、民間で開発されました技術の審査証明制度もございまして、民間の技術をどんどん評価し、なおかつ我々の現場で導入を図っていくという取り組みをしているところでございます。それに当たりましては、平成2年度から御案内のとおり、特定技術活用パイロット事業が全国的に動き始めてございますが、速やかに普及が期待され、また完成度の高い新技術について統一的、あるいは重点的に取り組んでいこうというようなものであります。それには技術提案型という言葉が皆様方の現場でいろいろお耳になじむ言葉として定着してきたかと思うわけでございますが、そういうものを特に平成5年度の一

つの大きな重点といたしております。民提案型の技術提案を評価いたしまして、それを実際に現場に具体化しやすいような形には結局積算の問題に絡んでくるわけでございますが、暫定歩掛なり、暫定基準というようなものを設けまして、実際の現場でやってみるというような取り組みが、来年度の大きな重点ということになるかと思っております。

そういう意味で皆様方にも日常の業務の中で情報として把握していただいております。そういう技術をできるだけ御提案といいますか、抽出していただきまして、それをどんどん提示いただいて実施に向けての軌道に乗せていただくというようなところが、大事なところかと思っております。

もう一つ、それを行おうと思いますと、積算に関しての問題点が幾つかございます。地質の分野に絞ってお話しさせていただきますと、いわゆる測量、設計、地質、こういう業務としてやっております分野についての検討課題というのが幾つかございます。それにつきましては、現在、学、官、それから民間にはオブザーバーという格好で御参加いただきました業務の検討委員会というのを中央で作りまして、その中で業務環境の問題でございますとか、歩掛、基準の問題、それから体制の方法とか、評価の仕方とか、そういうものを引くるめました積算上の体系の見直しというのを現在取り組み始めたところでございます。

積算基準なり歩掛なりというのは、この分野に関しましてはまだ一般に公表されていないわけですが、今年度末までの成果に基づきまして、新年度からはいわゆる積算基準の公表、公開というふうに持っていきたいというふうに思っています。民間からは、「もうからん」という声が聞こえてくるわけですが、それに対してある程度こたえるということ、それと民間の方でいろいろ知恵を出していただくというようなところのインセンティブを掘り起こすといいますか、そういうような意味もあるわけでございます。

地質の分野に関しましては、先ほどの総プロの中で昨年は地下空間の利用技術の開発ということを大きなテーマとして取り組んでいただいたわけですが、今後ともその地下の利用でございますとか、開発ということは大きな課題としてますます多様性を持ってくるというふうに思っているところでございます。

ことしの会議は昨年と少し中身を変えていただいたというふうに聞いてございます。皆さん方からの御提案もあるというふうにお聞きしております。限られた時間でございますけれども、十分に御討議をいただきまして、有意義な会議であってほしいというように願っているところでございます。どうかよろしくお願い申し上げます。

ご 挨拶

土木研究所次長

河 野 宏

今紹介いただきました土木研究所の河野でございます。

きょうの会議は皆様御承知のように第26回ということになっておりまして、第26回というと、少なくとも25年間はやってきたという会議でございます。その間4分の1世紀、本当にその成果は大きいと思いますし、またそれを続けられた皆様の御努力も並み大抵のものではなかったらと思っております。ぜひ、今回の会議も、その延長上で実り多い会議になっていただきたいと思います。

せっかくの機会ですので、私の私観というか、地質の方々について思っていることを一、二言わせていただきたいと思います。一つは皆さんの地質グループというのは、二つの特徴があるんじゃないかと思っております。一つは建設省の中で非常に専門に特化したグループだと思っております。私は土木技術の方なのですが、土木技術者といっても世の中では非常にマイノリティです。世の中全体から見れば、一つの専門に特化したということになるんでしょうけれども、建設省では割合たくさんの土木屋さんがおりますし、そういう意味で建設省の中で地質の方というのは、専門家として非常に特化したグループじゃないかと考えております。

それから、もう一つの特徴は、そういう特化した人たちのグループではございますけれども、非常に土木の、あるいは建設省の仕事に広範囲にかかわられているということでございまして、建設省のつくる施設、どの施設でも基礎というのが要るわけでございますし、その基礎は必ず地質、岩盤というものに支えられるわけでございます。それ以外にもトンネルとか法面とか、河川にしろ道路にしろ必要な施設ですけれども、その場合も地質の話は避けて通れません。また材料として岩石というのは非常に大切なものでございます。盛土とかコンクリートとか、そういうことについても地質の皆さんはかかわりを持っているというふうに考えております。

そういう少数の方でかつ広範囲にやられているためだろうと思うんですが、皆さん少数の方がそれぞれの方々に散っていて、日ごろ地質のグループの皆さんの間のコミュニケーションというのが薄くなっているというようなこともありまして、こういう地質担当者会議というのが開かれているんだと思いますし、26回という長い間にわたって続けられてきたんだろうと思っております。

だから、ぜひ、きょうこの会議で皆様方のグループの中で非常に密接な情報交換をやっていただけたらと思います。中央と地方、あるいは行政と研究、あるいは地方同士というようにプログラムの方もそういうふうに組まれておりますけれども、ぜひそういう密接なコミュニケーションをやっていただけたらと思います。

きょう一日、本当によい会議になることを期待しておりますので、どうかよろしく願いいたします。

閉 会 挨拶

土木研究所地質官

市 川 慧

本日議題となった地質や土質の話は、極めて重要度の高い基礎的な話ではあるけれども、基礎的であるということと、いわゆる土木の分野の中でも、先ほど次長のあいさつにもあったようにやや別になっているということで、そういう分野に通じている人は、正直な話、建設省の中でもそんなにはいないであろう。私の個人的な感じでは、土木研究所に少しいるけれども、地建とかそういうところは、昔学生のころ土質をやったことがあるというようなオーダーの話だろうと思います。実際に土やその試験の値を見て、設計に反映するところまでチェックできるというようなシステムは、今建設の現場にはないと思います。

そこで、コンサルタントを使うことになると思いますけれども、コンサルタント自身が、特に計測とか、データの扱いとかという話になりますと、そういう計測法、あるいはデータを求めるときの基本式、解析の式のよって来るところを知ってその式に当てはめているという人は、やはり非常に少ないと思います。

例えば、私どもは昔テルツァーギやマイヤーホックの支持力公式を習いましたけれども、あの支持力公式というのはせいぜい太さなら600ミリかそのくらいの杭で、対象土質はN値で30～40の比較的粒度のそろった砂での実験なんです。それをテルツァーギの式というものは1800ミリの杭でN値が50を超える砂礫のところに設計するときには使えないんじゃないかというようなことまでわかっている人は非常に少なく、ハンドブックに出ていましたということで対応しているようなコンサルタントも実は非常に多いわけで、そういうもののチェックができるかどうかは大変疑問なわけです。

それから、出てきた答えではなくて、どうやって出したかという一番肝心なところはわかる能力を磨いてほしいと思うんです。別に詳しい式の導き方、誘導の仕方とかを覚えている必要はありませんけれども、こういう機会を利用して、公式というものにはいいところ、悪いところ、適応範囲があるはずで

す。

先ほどもデータベース、資料の保存という話が出ました。確かにデータベースは非常に大事で、ボーリングのコアの保存の話ですが、私はきょうの議論とはちょっと違ひまして、もう一度掘る時間と掘る金が許されるんなら、捨ててしまったって構わないという非常に乱暴なことを考えていますけど、一度やったところを再度掘るということは、実際には不可能に近いから、やっぱり保管しておくしかないという気がします。

それに関連して問題になりますのは、JACICから出ている柱状図で、土質の場合は非常に機械的データ化しています。というのは、以前は土をよく見て、色はチャートを見て、一々手でさわって柱状図を書いていたんですが、様式を定めてこういうことを書けといいますと、現場へ行ってみるとわかると

と思いますが、フォアマンはノートの項目に丸をつけるだけなんです。成果は電算で打ち出してくるから、立派な柱状図ができるんですが、例えば砂まじり粘土というのがあります。その砂まじり粘土というものの砂が粘土の中に均一にまざった砂まじり粘土なのか、砂を薄く層状に挟むのか、団子のようにパッチで入ってくるのか、あるいは昔の貝が掘った縦長の穴の中に砂が入っているのかというのがわからないと、圧密挙動などは全然違ってくるのですが、そういう判別は全くされていません。とにかく非常に簡単にやっています。

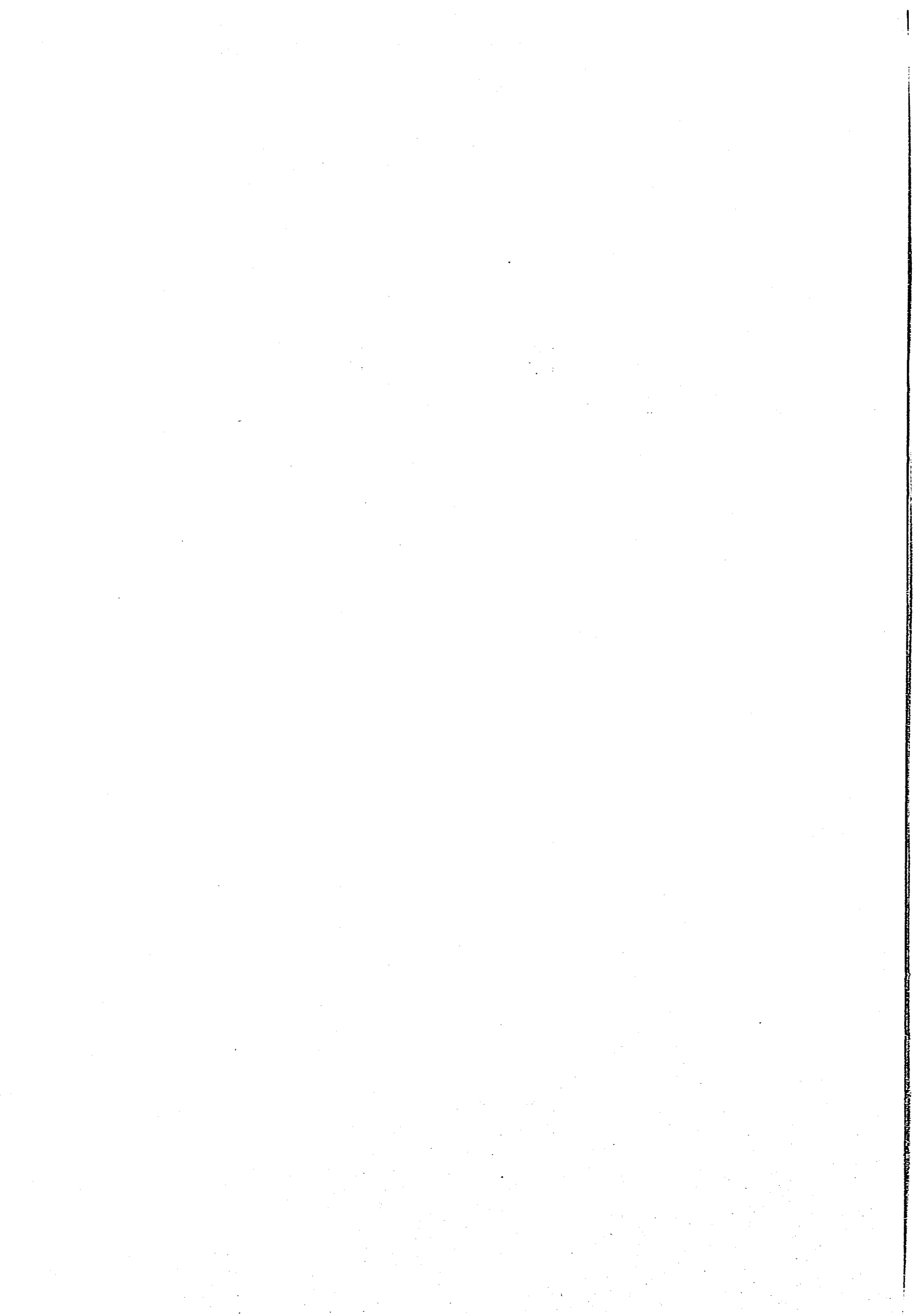
それから、N値のサンプルなんかは別にしまして、シングルコアチューブでコアを取ってきて、コアを傷めてはいけないということで、マッドケーキがついたまま柱状図を書くこともざらにあるんです。笑いますけど、本当に非常に恐ろしい話なんです。だから、その辺のところはやっぱりちゃんとチェックできることをお願いしたいと思います。

もう一つ、法面の話が出ましたが、特にダムの掘削面なんかもそうなんですけど、大きな法面をつくったときには後に写真が残っているんですが、しっかりした地質情報の記録が残っていないんです。岩がじかに見えるような法面保護工というのは少なく、モルタルを吹付けたり、擁壁で押さえたりしてあります。法面というのはつくってすぐは壊れませんが、つくってから10年ぐらいたってからおかしくなってくるんですが、そうなったときに情報が何もありません。そうしますと、それこそ法面の高いところまでボーリングマシンをかつぎ上げて、金と手間をかけて、それでも点の情報しか得られないというようなことがありますので、これからは、特に道路の関係だろうと思いますが、管理が非常に大事なときに、管理のデータベースとしてその法面の地質学的な資料を、構造物の基礎も同じことですが、管理のためにデータを残しておくということを、やっていかなきゃいけないだろうと思います。

そういうこともあり、現場でじかに自分でやるという話にはならないだろうし、当然コンサルタントを使ってやっていくことになろうと思いますが、そういうやり方で仕事を進めていく上でのお手伝いというのは、土木研究所は割と得意でございます。どういうふうにやればいいか、どういう特徴、どういうパラメーターをとればいいかというようなことには非常によく通じているはずでございますので、ぜひ土研を利用していただきたいと思います。

きょうは本当に遅くまで大変ありがとうございました。これで第26回の地質担当者会議を終わります。大変長い間ありがとうございました。

議 事



貯水池周辺地山安定対策指針

土木研究所

地質官 市川 慧

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

100 N. 4TH ST. NEW YORK, N.Y.

貯水池周辺の地すべり等に関する技術資料

1. 概 説	1
1.1 本技術資料の内容	1
1.2 用語の説明	5
2. 地すべりの特性	8
2.1 マスムーブメントの分類と地すべり等	8
2.2 地すべりの進化と型分類	9
2.3 地すべり地形の特徴	15
2.4 地すべりと地質・地質構造との関連	29
2.5 岩盤地すべり、風化岩地すべりの事例	37
2.6 湛水に伴う地すべりの原因と特性	66
3. 調査一般	70
3.1 調査の目的	70
3.2 調査の流れ	70
4. 概 査	73
4.1 概査の目的と手法	73
4.2 資料収集	75
4.3 空中写真・地形図の判読（地すべり地形予察図の作成）	77
4.4 現地踏査	89
4.5 地すべり地分布図の作成	95
5. 概査による重要度の評価	96
5.1 概 要	96
5.2 湛水に伴う地すべりの安定度の検討	96
5.3 地すべりの規模の検討	103
5.4 保全対象への影響の検討	105
5.5 重要度評価とその基準	107
6. 精 度	110
6.1 目的と手法	110
6.2 精度の計画	113
6.3 地質調査	116

6.4	すべり面調査	121
6.5	地下水調査	123
6.6	移動量調査	123
6.7	土質試験	128
7.	解 析	132
7.1	地すべり運動機構（機構解析）	132
7.2	図面作成	135
7.3	安定解析	136
7.4	今後の検討課題	158
8.	対策工の計画・設計・施工	162
8.1	地すべり対策の計画	162
8.2	対策工の流れ	163
8.3	計画安全率	165
8.4	対策工の選定	176
8.5	工法の概要と留意点	179
9.	湛水時の斜面管理	192
9.1	初期の湛水（試験湛水）時の調査	192
9.2	試験湛水時の地すべり発生への対応	201
9.3	ダム管理段階の調査	208

1. 概 説

1.1 本技術資料の内容

本技術資料はダム貯水池周辺での湛水に伴う地すべりに対して的確な対応を図ることを目的として作成したものである。

ダムの湛水に伴う地すべり発生の可能性の有無，効果的な対策を検討するため事前に調査を実施する。この調査は広域的に地すべりの分布を把握し，また地すべりの滑動しやすさを評価するために行われる概査と，概査で抽出された個々の地すべりの対策の検討のために行われる精査とに大別される。

次いで精査の終了後にはその結果に基づいて対策の計画，対策工，設計・施工が行われる。さらにダム本体工事，地すべり対策の終了後試験湛水（初期湛水）が実施され，その後管理段階へと移行する。この管理段階では地すべり斜面の挙動の観測，監視等の調査が行われる。

これら概査から斜面管理に至る湛水に伴う地すべりへの対応の流れと各々の段階における主な技術的検討事項は図－1.1に示すとおりであり，本技術資料はこの流れに沿って示される，技術的検討事項に関して実施される標準的な調査方法と考え方，留意点を述べるとともに技術的検討事項に対する今後の対応等について示したものである。

また，本技術資料が対象とする地すべりの範囲，型分類，地形的特徴，地質・地質構造等に関する解説を示した。

なお，本技術資料の適用にあたっては，「建設省河川砂防技術基準（案）」に定められた内容も参考にするものとする。

【内容の要約】

本技術資料中に示された内容は次のとおりである。

(1) 地すべりの特性

地すべりの特性では、ここで取り扱う地すべりを定義し、以後の調査・対策等の手法の違いを考慮して地すべりのうち、地すべりの型分類を示した。また、地すべり型分類のうち、貯水池斜面で最も予測し難い岩盤地すべりについて主としてその地形的特徴について示した。

(2) 概査

概査では目的に応じた調査・作業として地すべり地形予察図、地すべり地分布図の作成を挙げ、地すべりの分布・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地すべりの評価等の標準的な方法について示した。

(3) 精査

精査では目的に応じて調査項目を地質調査、すべり面分布調査、地下水調査、移動量調査、土質試験に区分し、それぞれの技術的検討事項に関する標準的な手法およびその適用についての留意点を示した。

(4) 解析

解析では機構解析、安定解析に区分し、各々の手法およびその適用についての留意点を示した。また現段階での解析上の問題点を挙げ、現状での取扱い、今後の対応についても示した。

主たる解析上の留意点については次のとおりである。

◎湛水の場合の安定計算式は残留間隙水圧を考慮した“基準水面法”を用いる。

◎現状の安定度は最低水位時で $R/D = 1.00$ とする。ただし、計測観測等によって現在または近い過去に活動的であることが明らかであれば $0.95 \leq R/D < 1.00$ とする。

◎土質強度定数は原則として逆算法によって求める。ただし、 C' （粘着力）は 2.5 t/m^2 程度を上限とする。

◎残留間隙水圧は貯水位の降下速度や地盤の透水性によって異なるが原則として50％程度とする。

◎浸水によるすべり面の強度低下は考慮しない。

(5) 湛水に伴う地すべり対策工の計画・設計・施工

湛水に伴う地すべり対策工の計画・設計・施工では、対策工必要ブロックの抽出から施工に至る流れについて概述し、その流れに沿って、計画安定率設定の考え方、対策工選定・計画・設計・施工上の留意点について示した。

この中で対策上の計画と計画安全率については次のように示している。

◎対策工施工の目安を、湛水の影響を考慮した場合の安定度において $R/D = 0.95$ （現状の安定度 $R/D = 1.00$ に対する低下割合5％）とし、これ以下の場合に対策工を計画する。

◎計画安全率は $1.00 < R/D \leq 1.20$ の範囲とする。

◎斜面の滑動性は地すべりの型分類、断面形状、現状の活動性によって判別する。

(6) 湛水時の斜面管理

湛水時の斜面管理では、管理段階を試験湛水段階と実際の運転段階に分け、それぞれの段階での管理対象斜面の設定、管理の方法、観測方法、管理基準値および挙動判別の着目点、監視体制のあり方について示した。

また、実例を検討し、地すべり変動の発生時の対応についても示した。

浅層反射法マニュアル

土木研究所 地質研究室

主任研究員 稲崎 富士

天 文 學 之 發 展 與 現 狀

天 文 學 之 發 展 與 現 狀
天 文 學 之 發 展 與 現 狀

浅層反射法探査 解析マニュアル目次

第1章 総 論	
1節 総 論	
1.1 本マニュアルの目的	
1.2 浅層反射法の定義	
第2章 測 定	
2節 測定計画	
2.1 波動の種類	
2.2 測線	
2.3 測線の方向	
2.4 測線の屈曲および起伏	
2.5 展開長と探査深度	
2.6 チャンネル数	
2.7 受振点間隔	
2.8 発振点間隔	
2.9 展開方法と最大オフセット距離	
2.10 補助的な測定	
3節 起振装置	
3.1 起振装置	
3.2 P波起振装置	
3.3 SH波起振装置	
3.4 トリガー	
4節 受振器	
4.1 受振器	
4.2 受振成分	
4.3 固有周波数	
4.4 1受振点当りの受振器数	
4.5 受振器の固定	
4.6 舗装路等における受振器の固定	
5節 記録器系	
5.1 探査装置	
5.2 探査ケーブル	

5.3	ロールアロングスイッチ	.....
5.4	記録媒体	.....
5.5	記録様式	.....
6節	測定パラメータのテスト	.....
6.1	測定計画の決定・変更	.....
6.2	最小オフセット	.....
6.3	スタッキング回数	.....
6.4	フィルタ等の設定	.....
7節	測定準備	.....
7.1	測線設定	.....
7.2	下草の伐開および整地	.....
7.3	測量	.....
8節	測定	.....
8.1	測定器材のセット	.....
8.2	測定	.....
8.3	モニタリング	.....
8.4	測定野帳	.....
第3章	データ処理	.....
9節	データ処理装置	.....
9.1	ハードウェア	.....
9.2	出力装置	.....
9.3	ソフトウェア	.....
10節	データ処理の進め方	.....
10.1	基本的なデータ処理	.....
10.2	資料の整理	.....
10.3	反射波の走時・振幅のシミュレーション(モデリング)	.....
10.4	データの評価と処理計画	.....
10.5	パラメータテスト	.....
10.6	処理計画の変更と途中データの管理	.....
10.7	データ処理の出力表示	.....
11節	データ処理の内容	.....
11.1	データ入力	.....
11.2	編集作業	.....

11.3	ゲイン回復・振幅調整	.....
11.4	周波数フィルタ	.....
11.5	2次元フィルタ	.....
11.6	デコンボリューション	.....
11.7	CDPソート	.....
11.8	静補正	.....
11.9	速度解析	.....
11.10	動補正 (NMO 補正)	.....
11.11	ディップ・ムーブアウト補正	.....
11.12	ミュート	.....
11.13	CDP 重合	.....
11.14	マイグレーション	.....
11.15	時間－深度変換	.....
第4章	解 釈	.....
12節	解 釈	.....
12.1	イベントの評価	.....
12.2	構造解釈	.....
12.3	物性解釈	.....
第5章	成果およびとりまとめ	.....
13節	成 果	.....
13.1	成果物の種類	.....
13.2	反射時間断面図	.....
13.3	反射深度断面図	.....
13.4	解釈断面図	.....
13.5	その他の断面図等	.....
14節	とりまとめ	.....
14.1	とりまとめの項目	.....
14.2	処理データの保存	.....
第6章	参考資料	.....

第1章 総 論

1節 総 論

1.1 本マニュアルの目的

本マニュアルは、浅層反射法弾性波探査（以後、浅層反射法と略称する。）の実施に関する標準的な手法を定めることを目的とするものである。

【解説】

浅層反射法探査・解析の結果は、最終的に反射断面図（第12節参照）として提出されるが、その品質は測定方法やデータ処理の方法によって大きく異なってくる。そこで成果物としての反射断面図の質をある程度以上確保し、設計・施工に有用な資料とするために、その計画・測定・データ処理の方法について標準化する必要がある、本マニュアルを定める。

1.2 浅層反射法の定義

浅層反射法は、地表付近で人工的に弾性波を発生させ、その結果得られる地層境界からの反射信号をCDP重合法（第11節参照）で画像化する反射法地震（弾性波）探査の一手法で、主として建設工事で必要となる地下浅部を対象とし、その構造および物性を調べる方法である。

【解説】

反射法地震探査は元来、石油・天然ガス探鉱などの分野で深度数千m程度の深部を対象に行われてきた方法である。この技術を地下浅部を対象とする土木関連の調査に適用できるように工夫、改良した手法が浅層反射法である。

地盤に伝播する弾性波は地層境界面に対応する音響インピーダンスの不連続面に到達すると、屈折、透過あるいは反射してその一部は再び地面に戻ってくる。反射法地震探査はこのうちの反射波に注目する。

音響インピーダンスとは（弾性波伝播速度×地盤密度）で表わされる物理量であり、この変化が大きい境界面ほど明瞭な反射信号が帰ってくる。地盤密度の変化は弾性波速度のそれと比べるとかなり小さいので、音響インピーダンスの変化はほとんど弾性波速度の変化を反映していると見なし、てさしつかえない。

多くの場合、反射信号は非常に微弱である上に、種々のノイズにマスクされていることが多い。したがって、浅層反射法の成果はこれらのノイズをいかに除去し、効率的に反射信号を抽出するかにかかっている。

第2章 測 定

2 節 測定計画

2.1 波動の種類

使用する波動はS波（SH波）あるいはP波を標準とし、探査深度や現場の状況によって適宜使い分ける。

【解説】

S波（SH波）の速度は岩盤部では概ねP波速度の1/2、未固結層では1/10近くになることもあり、P波速度に比べてかなり小さい。周波数が同じ程度ならば波長はS波の方が短くなるので空間的な分解能はP波よりも優れていると言える。また地下水面下の軟弱層にあっては、S波はP波ほど含水の影響は受けず層相の変化に対応した速度を示し、N値との相関もよい。さらにS波速度は地質工学的にも重要な物性値であり、結果の工学的解釈の点でも有利である。しかし、探査の簡便性の点ではP波を利用するほうが優れている。

したがってこれらのことから、浅部を細かく調査したい場合にはS波を、深部までの大きな構造を調査したい場合にはP波を選ぶ。

浅部と深部の境界は50mを目安とする。

2.2 測 線

測定は、地下構造を知るに十分な長さの測線上で行う。また地層の傾斜や測線の端部における重合数変化も考慮する。

【解説】

発振点／受振点を配列する線を測線という。反射断面図の投影位置と測線は、通常の展開方法（2.9参照）を採用した場合一致するが、測線端部では水平重合数（2.8参照）が計画重合数よりも少なくなり、反射断面の質が低下する。したがって測線の長さは、探査対象範囲よりも長くとりとが必要である。

沖積平野部では、地表は平坦でも覆在する埋没段丘や埋没谷の近傍で地下構造が大きく変化することがあるが、測線が短すぎるとそのような地下構造を正しく把握できなくなる。そのため特殊な事例を除き、沖積平野部では測線長を最低200m以上とすることが望ましい。

2.3 測線の方向

測線は、なるべく地層の走向方向に直角に設定する。

【解説】

反射断面の地質的解釈を容易にするために、地表地質踏査や既往の地質資料などから地層の走向や構造（断層、埋没地形など）の方向が判っている場合には、測線をそれらと直角に設定する。

地層の走向や構造の方向が未知の場合には、主測線に対して補助測線を十字、三角、井桁状などに配置することが望ましい。

2.4 測線の屈曲及び起伏

測線は直線を標準とするが、緩やかな屈曲はあってもよい。またできるだけ起伏の少ない設定をするのがよい。

【解説】

測線が緩やかに屈曲する場合、共通反射点（CDP）が直線上ではなく面的に分散する。分散の度合いが大きい場合は反射点の分布を考慮した測線（重合測線という）に投影して解析を行う（10.2 参照）。

測線の起伏が大きくなると発振点、受振点の標高の違いや風化層の厚さ・速度の変化に影響を受けて反射波の走時がばらつき解析精度が低下するので、測線をできるだけ起伏が小さくなるように設定する。

2.5 展開長と探査深度

展開長は探査対象深度と最大オフセット（発振点－受振点距離のうち最大のもの）が同程度となるよう設定する。

【解説】

1回の測定における発振点と受振点の配列を展開、1展開が覆う長さを展開長という。

展開長を探査対象深度よりかなり長くとると、データ処理の段階でオフセットの大きな領域のデータは原則として除去されるので重合数が少なくなり、S/N比が低下する。また軟弱層では層相の変化が激しく、特に横方向のS波の速度変化が大きいこともあるので、一様な解析精度を保持するためには展開長を長くすべきではない。

一方展開長を探査対象深度よりも短くした場合は、深度方向の解析精度が低下する。したがって展開長は探査対象深度を目安とする。

2.6 チャンネル数

チャンネル数は24を標準とする。

【解説】

チャンネル数とは1展開当たりの受振点数のことで、24未満では探査効率が低下し、また速度解析およびCDP重合が精度よく適用できなくなるため、24を標準とする。高分解能探査を行う場合は48チャンネルを補用する。

2.7 受振点間隔

受振点間隔は展開長とチャンネル数から決定する。

【解説】

2.5で述べたように展開長は探査対象深度を目安とするので、チャンネル数が決まれば、受振点間隔は〔(展開長－最小オフセット距離)/チャンネル数〕で決まり、探査対象深度が深くなるほど受振点間隔は大きくなる。ただし、中途半端な間隔は測定作業が煩雑になるので避ける。

一般には作業効率も考慮して、浅部を対象とする場合の受振点間隔は0.5～2m、比較的深部を対象にする場合は2～5mを選定することが多い。

2.8 発振点間隔

発振点間隔は受振点間隔と同じ長さを標準とする。

【解説】

CDP最大重合数を12あるいはそれ以上とするため、発振点間隔は受振点間隔と同じ長さを標準とする。

発振点間隔、受振点間隔およびチャンネル数とCDP最大重合数との関係は以下のとおりである。

$$\text{CDP最大重合数 } N = \frac{\text{チャンネル数} \times \text{受振点間隔}}{2 \times \text{発振点間隔}}$$

CDP最大重合数		
発振点間隔	1展開当たりのチャンネル数	
受振点間隔	24	48
1	12	24
2	6	12

チャンネル数を48とした場合、発振点間隔は受振点間隔の2倍としてよい。

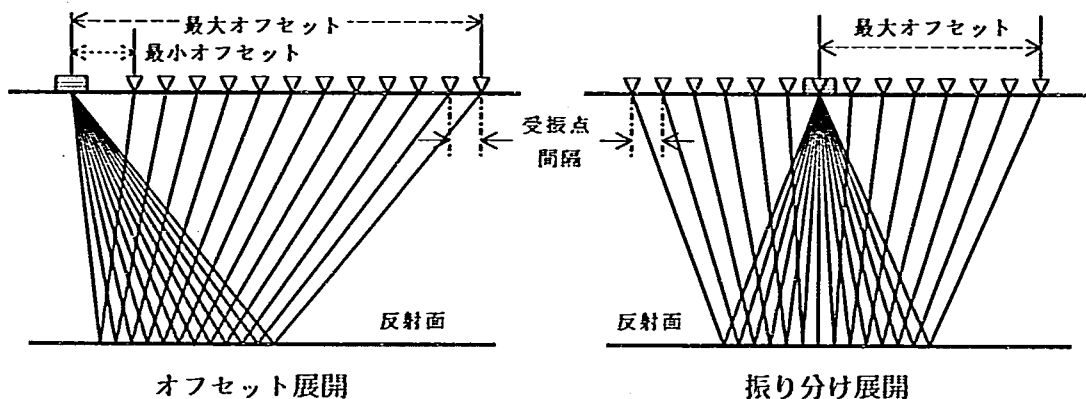
2.9 展開方法と最小オフセット距離

展開方法と最小オフセット距離は、探査対象深度、受振点間隔および起振装置の規模を考慮して設定する。

【解説】

展開方法は大きく分けてオフセット展開と振り分け展開とがある（下図参照）。オフセット展開は展開の端の受振点からある距離の地点で発振する。この距離を最小オフセットという。最小オフセットは受振点間隔と同じか2倍を標準とする。表面波の発生が顕著な場合はこの影響を避けるためにもっと大きくすることもあるが、横方向の速度変化等を考えると受振点間隔の5～6倍を限度とする。

振り分け展開は最大オフセットを小さくすることができるため、起振装置の出力が小さい場合や極浅部を対象とした探査に有効である。



2.10 補助的な測定

地質構造や地形によっては、状況に応じてVSPやPS検層、および屈折法の測定も併せて行う。

【解説】

反射法探査の測線内あるいは近傍にボーリング孔がある場合は、VSPあるいはPS検層を実施することが望ましい。

VSPとは Vertical Seismic Profiling の略称で、ボーリング孔を利用して反射断面を取得する探査方法である。PS検層と同じような測定方法で得られた各深度毎の波形記録にはP波あるいはS波の初動の他に1次反射波や多重反射波までが含まれている。これらのデータから反射波だけを抽出する処理を行い、次に地表から反射面までの往復時間分だけ記録をシフトさせ、その波形を重合することによって地表の反射データに相当する反射波形記録が得られる。

VSPではボーリング地点における反射断面が得られるので、地質柱状図と反射断面の対応関係からその地質的解釈が可能となり、さらに反射面の深度変換が容易になる。

またPS検層からも、P波またはS波の走時曲線から地表と各地層境界面までの往復時間が判るので、これも有効なデータとなる。

屈折法探査から得られる表層付近の速度構造は静補正（11.8項参照）のデータとして利用できる。既往のデータがあればそれを利用するが、高分解能探査、あるいはSH波探査を実施する場合には、反射法の測定中にある間隔で往復走時を観測する等の屈折法の解析を行い、その結果を用いる。

3 節 起振装置

3.1 起振装置

起振装置は、現場の状況や探査目的・深度を考慮して適切なものを選択する。

【解説】

起振装置は、高分解能探査という浅層反射法の目的から高周波成分が卓越することが必要とされる。加えて、操作上の安全性に優れていること、短時間での反復起振が可能であること、搬入および現場での移動が容易であることが求められる。また、浅部探査にはS波起振装置が、深部までの探査にはP波起振装置が適しており、それらの中から現場の状況（雑音レベル、機械式装置の使用の可否等）を考慮して選択する。

3.2 P波起振装置

P波起振装置は、現場の状況や探査深度に応じて、ハンマリング、各種重錘落下型振源などの中から選択する。

【解説】

ハンマリングは人がハンマーやカケヤで地表を鉛直に打撃し、P波を発生させるもので、打撃点に鉄板を敷くことで高周波成分が強調される場合もある。人力なので発生するP波のエネルギーは後述の重錘落下型より小さいものの、作業能率に優れ、浅部探査に向いている。また、機械式装置の搬入が困難な現場でも起振が可能である。

重錘落下型振源は数10kg以上の鉄製のおもりを1m程度の高さから落下させる装置であり、自由落下式とバネ、ゴム、真空などを利用した加速落下式がある。出力が大きいので雑音レベルの高い市街地での探査に適している。

3.3 SH波起振装置

SH波の起振は、板たたき式振源によって行い、現場の状況や探査深度に応じて人力式や各種機械式装置の中から選択する。

【解説】

SH波の起振装置には現在のところ人力による板たたき法が広く利用されている。

この方法は細長い板材をその長手方向が測線に直交するように地面に敷き、板と地面との密着をよくするために上から荷重をかける。板の底面にスパイクや突起を付けることもある。板材の木口を人力でハンマーやカケヤで打撃し、板底面と地面の間に急激なせん断力を与える。その際、打撃方向が測線に対して直交方向に、かつ地表面に水平になるよう注意しなければならない。板材の大きさは、反復打撃の安定性、可搬移動性の点から、小口の断面が 15×30 cm程度、長さは1 m～2 m程度であることが望ましい。

測定開始時に一方からだけではなく反対側からの打撃も行って、両者のモニター記録を比較し、位相の反転からSH波を確認する。これを右たたき、左たたきと称し区別する。振源が測線上にない場合や地表条件によっては両者の位相がずれる場合があるので、測定の始めに位相の反転が確認できれば、以後の測定では一方からの打撃だけでもよい。

板たたき法は労力がかき、起振エネルギーもあまり大きくはないが、最も簡便であり、発生する波形も比較的シャープで単純な形をしているのでよく利用される。

測線が路上に設定されている場合や現場の雑音レベルが大きい場合には打撃をバネ・油圧装置・電磁ハンマーなどを利用して機械的に行う車載型起振装置を使用することが望ましい。

3.4 トリガー

起振装置には精度の良いトリガーセンサーをつけておき、振動発生時刻に生ずるトリガー信号によって記録器を正確に作動させるようにする。

【解説】

トリガーセンサーとしては高い時間精度が要求されるので、圧電センサーのように高周波成分が卓越して出力するタイプが望ましい。測定前にトリガーテストを行い、トリガーに時間的なずれがないこと、正常に作動することを確認する。トリガーセンサーは打撃する側に付ける場合と打撃される側につける場合がある。いずれの場合も繰返し打撃によってセンサーの取り付けが緩まないようにしっかりと固定する。

4 節 受 振 器

4.1 受振器

受振器は速度型のものを標準として用いる。

【解説】

速度型受振器は動コイルタイプであり、地盤の振動速度に比例した電圧が出力される。加速度型の受振器は高周波成分に富む波動の測定に適しているが、出力電圧が小さいので前置増幅器（プリアンプ）が必要となる。

4.2 受振成分

P波においては鉛直成分を、SH波においてはせん断力を与えた方向に平行な水平成分を受振する。

【解説】

地下から反射してくるP波は上下成分が卓越しているので、用いる受振器の振動方向は上下方向である。また、SH波はその発振方法から測線と直角方向に振動するので、用いる受振器の振動方向は測線に直角で水平方向である。いずれの場合にも、受振器に対して押しの方向の振動が記録上では引きの位相として収録されるよう結線する。

4.3 固有周波数

速度型受振器の固有周波数は、信号波および妨害波の種類および周波数帯域に応じて適当に選択する。

【解説】

振源からかなり高周波成分に富む波動が発生しても、地盤がハイカットフィルターとしての性格を有するので、観測波形では数10Hz～100Hz程度の波動が卓越することが多い。したがって受振器は動コイル・速度型で、固有振動数が28Hz～100Hz程度のものを用いる。固有振動数が高くなると、表面波のような低周波の妨害波を入力の前段階で除去できる。

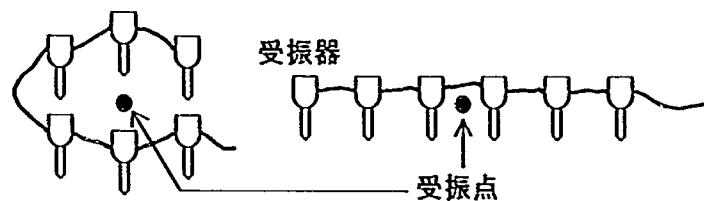
4.4 1受振点あたりの受振器数

1受振点あたりの受振器数は2個以上を標準とし、複数個の受振器を1個所にまとめて配置するバンチングアレーを採用する。

【解説】

深部を対象にする反射法探査ではグルーピングと称して1受振点当たり複数個の受振器を等間隔に設置し、それぞれの出力を結合してひとつのチャンネルへの入力とする方法を基本的に採用している。受振器群の覆う長さ（アレイ長）を妨害波の波長に対して適切に選べば、妨害波を除去するフィルターとなるが、アレイ長を受振点間隔以上に大きくするとかえって反射波を歪ませてS/N比が低下することにもなる。また、設置に時間がかかり探査効率の低下につながる。

したがって、受振器のカップリングの影響を抑え、振幅を増幅させるために複数個の受振器を用いる場合も、受振器を受振点近傍の狭い範囲にまとめるバンチングアレー（下図参照）を採用し、妨害波の除去はデータ処理の段階で行うことが望ましい。



4.5 受振器の固定

受振器はスパイク状のカップラーを土中に埋め込んで固定する。

【解説】

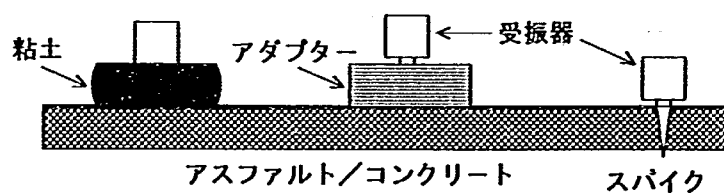
受振器は土が地表に現われているところではスパイク状のカップラーを土中に埋め込んで固定するが、落葉が堆積していたり草が繁茂している所では、そのまま設置すると低周波が卓越したり、正常な受振ができない恐れがあるのでできるだけそれらを排除してから設置する。

4.6 舗装路等における受振器の固定

舗装路等においては、地盤～カップラー系の固有周波数を考慮した何らかのカップラーを介して、受振器を固定する。

【解説】

舗装道路や地表がかなり堅い場合、受振器付属のスパイク状のカップラーを差し込むことはできない。そこで粘土



・鉄製アダプターのようなカップラーを介して受振器を設置する。ただし、それを介することによって信号波の周波数帯域を損わないようなものでなければならない。

5 節 記録器系

5.1 探査装置

データは、24チャンネル以上の同時測定機能を有し、かつ増幅機能、ディジタル化機能、フィルター機能、スタッキング機能、ディジタル収録機能およびモニター機能を有する、ディジタル探査装置に収録する。

【解説】

探査装置のチャンネル数は1展開当りのチャンネル数と同じ、すなわち24チャンネルを標準とし、探査効率の向上が必要であれば48チャンネルとする。

浅層反射法探査では振源近傍での大振幅の直達波から微弱な反射波までを正確に記録するために、ダイナミックレンジの広く、かつ振幅の急激な変化にスムーズに対応できるBGC（Binary Gain Control）やIFP（Instantaneous Floating Point）方式の増幅器を装備したディジタル探査装置を使用することが望ましい。ただし、測定条件を適当に設定することによって従来のアナログ方式の増幅器を用いることも可能である。その場合においても電子計算機によるデータ処理を完ぺきに行うためにはディジタル記録が必要である。

探査装置のダイナミックレンジに直接関係するディジタル化機能は、ディジタル探査装置の場合12ビット以上、アナログ増幅器を使用する場合には15ビット以上の分解能を有することが必要である。

フィルター機能としては、ローカットおよびハイカットフィルター、ノッチフィルターを有していることが望ましい。

ローカットフィルターは低周波の妨害波、ハイカットフィルターは高周波を除去するために用い、いずれも5種類程度の設定が可能であることとするが、カットオフ周波数を反射波の卓越周波数に近いところに設定すると、反射信号自体もカットされるので、その適用には注意を要する。

ノッチフィルターは特定の単一周波数を除去し、他の周波数を減衰させることなく通過させるフィルターである。通常、50 Hzあるいは60 Hzなどの電源に起因する誘導雑音を除去するために用いる。

エイリアスフィルターは正式にはアンチェリアスフィルターと言う。測定データにナイキスト周波数よりも高い周波数を持つ成分が含まれていると、A/D変換によってこの高い周波数はナイキスト周波数以下の成分として誤って変換され、ノイズとなる。したがってこのナイキスト周波数以上の周波数成分を読み取りの前にカットするためのフィルターがエイリアスフィルターである。ディジタル探査装置に含まれているハイカットフィルターはエイリアスフィルターである。

スタッキングとは垂直重合とも呼ばれ、振源と受振器群を固定して繰返し受振、受振を行い、その都度A/D変換後のディジタル値を全ての観測データが均等に加算・平均化されるよう重合する

処理である。そうするとS/N比は繰返しの回数の平方根に比例して改善される。浅層反射法探査の起振装置は、一般にエネルギーが小さいので、探査装置にはスタッキング機能をもつものが必要である。ただし、現場でスタッキングに必要なデータを記録媒体上に収録しておき、データ処理の段階でスタッキングを行うこともある。

観測データの品質を管理し、記録媒体への収録の可否を迅速に決定できるよう、記録紙上あるいはディスプレイ上で波形のモニターが可能な機能を備える。

ナイキスト周波数：サンプリング間隔を Δt とするとき、

$$f_N = 1/(2\Delta t) \text{ をいう。}$$

5.2 探査ケーブル

受振器で観測した波形データを探査装置に搬送するために、弾性波探査専用の多芯被覆ケーブルを使用する。

【解説】

探査ケーブルは1本당りに少なくとも24以上の入力端子を有し、耐水性、耐張力性に優れ、チャンネル間クロストークの小さいことが要求される。屈折法探査に使用されている探査ケーブルを流用してもよいが、同探査に比べ、浅層反射法探査は受振点間隔が短いので専用の探査ケーブルを用意することが望ましい。また、接続することで48チャンネル以上の信号を1本で搬送できるケーブルもあり、探査効率の向上の観点から使用が勧められる。

5.3 ロールアロングスイッチ

ロールアロングスイッチなど、事前に準備した充分多い数の受振点からその都度必要な展開分を能率的に選択する機能を備えることが望ましい。

【解説】

反射法探査では、1発振点での発振および測定作業が終了すると、振源と1展開分の受振点全体を、発振点間隔分だけ測線上で移動させる。通常、1展開分よりも多い発振器を前もって設置しておくので、受振点の移動は探査装置側に用意しておいた専用のチャンネル送り装置で行うのが能率的である。この装置をロールアロングスイッチという。チャンネル送りには、自動と手動とがある。自動の場合は進ませるチャンネル数をいくつか選択できるようになっている。

5.4 記録媒体

データは、磁気テープ、フロッピーディスク、光磁気ディスクなどコンピュータへの入力しやすい媒体に記録する。

【解説】

探査装置でA/D変換された波動データは、データ処理システムに整合する磁気テープなどの記録媒体に記録する。媒体の保管、運搬には万全の注意を払う。

5.5 記録様式

データは、SEG-YあるいはSEG-2フォーマットに編集できるようSEGフォーマットに準拠した様式で記録することが望ましい。

【解説】

SEGフォーマットは、国際組織の物理探査学会であるSEG (Society of Exploration Geophysicists) によって提案された反射法探査デジタルデータの標準的な記録様式である。データの記録様式は、SEGフォーマットに準拠しているものの探査装置毎に異なっているので、データ処理の標準化をはかるために、標準的な様式であるSEG-YあるいはSEG-2フォーマットでの記録あるいは変換が可能であることが望ましい。

6 節 測定パラメータのテスト

6.1 測定計画の決定・変更

本観測に先立ちテスト観測を実施し、最小オフセット距離、スタッキング回数およびフィルターパラメータ等を決定するとともに、必要があれば測線位置、発／受振点間隔、展開方法および起振方法を変更する。

【解説】

測定計画は、事前に探査目的、探査対象構造およびその想定深度に応じて設定されるが、その詳細については現地でのテスト観測によって雑音レベル、妨害波の強度および速度、反射信号の走時を検討し、測定パラメータについての最適な値を決定する。

6.2 最小オフセット

最小オフセットは、所定の展開長の範囲内で最大限妨害波である表面波を避けることができるよう設定する。

【解説】

テスト測定で表面波が現われた場合、できる限り表面波を避けるように最小オフセットを大きくする。また受振点間隔や展開方法の変更を行う場合もある。

6.3 スタッキング回数

S/N比を調べ、経済性を考慮してスタッキング回数を決定する。

【解説】

S/N比はスタッキング回数の平方根に比例して改善されるが、回数が多くなると作業能率が低下する。そこでスタッキング後のモニター記録のS/N比と作業能率の両方を考慮して、スタッキング回数を決める。スタッキングの際、トリガー信号が少しでも不安定だとかえってS/N比を低下させるので注意を要する。

6.4 フィルター等の設定

信号波、妨害波の周波数帯域を調べて、各種フィルターの周波数やサンプリング間隔、記録長を設定する。

【解説】

信号波、妨害波の卓越周波数は、現場の地盤状況によって大きく変化する。そこで、テスト観測で得られるモニター記録の目視解析、あるいは周波数分析によって各々の周波数帯域を調べ、適切なフィルター条件を設定する。

サンプリング間隔は、S波探査で0.5～1 msec、P波探査では0.25～0.5 msecを標準とし、高周波信号が卓越する場合は小さい値とする。

記録長は1 kwordsを標準とし、探査深度範囲内の反射信号が余裕をもって記録されるよう0.5～2 kwordsの範囲で設定する。

7 節 測定準備

7.1 測線設定

現場の状況を考慮し、測定計画及びパラメータのテストに基づいて測線を設定する。

【解説】

計画測線上に測量テープ等を張り、発／受振点位置がわかるようにビニールテープなどでマークを付ける。測線が屈曲する場合は、屈曲点に木杭を打設し、その位置を記録する。

7.2 下草の伐開および整地

必要に応じて下草の伐開及び整地を行う。

【解説】

下草が繁茂していると受振器の設置や振源の移動の支障になるので、伐開、整地を行う。また地表が腐葉土、枯れ草などで被われかなり軟弱な場合はこれをはぎ取ることもある。

7.3 測 量

測線に沿ってハンドレベル程度の水準測量及び平面測量を行う。

【解説】

平地ではハンドレベル程度の水準測量でもよいが、起伏の大きな所では水準器による測量が必要である。また屈曲測線の場合は受振点の平面測量も行う。測量の精度は比高で10cmオーダー、角度で5度程度あれば良い。

8 節 測 定

8.1 測定器材のセット

受振点に受振器を設置し、記録器系と結線する。

【解説】

展開方法にしたがって測定機器を設置する。受振器の数が十分にあるならば、作業能率向上のため測定に先だって数展開長分の受振器を設置しておく。測線が道路を横切る箇所では、ケーブルガードで探查ケーブル類を保護する。すべての結線が終了したらテスト測定を行い、トリガー、受振器、探查装置など全システムが正常に作動するかをチェックする。

8.2 測 定

振源の発振、移動を繰り返すことによって、展開を進めていく。

【解説】

発振点で振源を稼働させて、所定のスタッキング回数分発振し、測定を行う。測定データのS/N比をチェックし、収録する。次に発振点間隔にしたがって振源及び1展開分の受振器を移動させる。受振器はまえもって多数設置しておけば、探查装置側のロールアロングスイッチで切り替えるだ

けですむ。測定作業が進むにつれて不用になった後方の受振器及びケーブル類を回収し前方に再設置していく。

8.3 モニタリング

測定データは、常にモニターし、不良データが得られた場合は再測定する。

【解説】

自動車などの通行による突発的ノイズが重なった場合や、トリガー信号がずれている場合などはS/N比が低下するので、モニター記録をチェックし、必要ならば再測定を行う。

8.4 測定野帳

作業状況や測定位置などを正確に記載した測定野帳を作成する。

【解説】

測定野帳には以下のような項目について記載する。

・測定作業関連一般記載項目

測定日、天候、測線名、地表条件

1 展開当たりのチャンネル数

受振点間隔、受振器固有周波数、受振器振動方向

受振器グルーピング個数、グルーピングアレーの形状、グルーピング間隔

最小オフセット、振源種類、探査装置名

・探査装置関連記載項目

記録媒体

記録媒体No

記録様式

記録長、サンプリング間隔

フィルター（ノッチフィルター、ハイカット、ローカットフィルター）

・個々の記録関連記載項目

ファイルNo

発振点No、発振点位置

受振器展開範囲

振源記事（スタック数など）

ゲイン（IFPゲイン、固定ゲイン）

採用、不採用区分

第3章 データ処理

9 節 データ処理装置

9.1 ハードウェア

十分な能力を有する、コンピュータ、記録装置、入出力装置を使用する。

【解説】

データ処理を行うためには、測定データを入力する装置、データに演算を施すコンピュータ、データを記憶する装置および処理結果を図化する装置が必要である。各装置とも、その性能において満たすべき基準というものは特にないが、処理速度が遅いために適当な時間内では処理が終わらないとか、記憶容量が充分でないために探査規模が制限されてしまうというようなことがあってはならない。

9.2 出力装置

成果物を作成するために、十分な大きさの、十分にきれいな図面の描ける出力装置を使用する。

【解説】

データ処理の成果物は、紙やフィルムに出力された処理断面図である。テスト結果等については、作業能率を上げるために例えばグラフィック端末上に出力することもできるが、これらのうちの主なものは、調査報告書に添付する都合上、図面としても出力しなければならない。

反射法における処理断面図の表示方法としては、近年振幅の大小を色の違いで表現する方式も多く採用されるようになってきたが、主流は伝統的な波形表示（10.7 項参照）である。従って浅層反射法においてもこの方式に準拠するのが良いであろう。このための出力装置としては、ラスター・プロッターが適している。ラスター・プロッターは、物理的にペンが動くベクトル・プロッターとは異なり、テレビ画面の場合と同じように点の集合によって作図する装置である。プロット点（ドット）はラスターと呼ばれる等間隔の走査線上に等間隔に配され、発色を指示するデジタル信号が与えられたドットのみが発色するしくみになっている。発色方式には静電式や感熱式などがある。図の解像度はドットの密度に依存するが、（浅層）反射法を目的とする場合は、1 インチあたり 200 ドット程度が標準である。ラスター・プロッターの用紙はロール状、ファン・フォールド状のものが多く、紙送り方向には十分な長さがあるが、これに直角な方向の長さは紙幅に限定されてしまうので、30 cm 程度以上の紙幅は必要である。

9.3 ソフトウェア

データを処理するために、十分な機能を有するソフトウェアを使用する。

【解説】

ソフトウェアには、石油探査で用いられているものと同程度の機能が望まれるが、特殊なものではなくても良い。最低必要な機能としては次のようなものがある。

データ入出力／測定配置の定義／編集／スケーリング／周波数フィルター

速度フィルター／デコンボリューション／ソーティング／静補正／速度解析

動補正／ミュート／重合／マイグレーション／時間－深度変換／プロット

各々のアルゴリズムについては、データ処理の教科書＊に詳しく記述されているので、開発する場合にはこれらを参考にすると良い。

また市販のソフトウェアを導入することもできる。ただしどのソフトウェア・パッケージも使用するハードウェアを限定して開発されているということに注意する必要がある。つまり導入ソフトウェアの選定は、使用するハードウェアの選定と不可分なのである。幸いに、近年市販のソフトウェアが動作するコンピュータの種類は、スーパー・コンピュータからパーソナル・コンピュータまで多種多様となり、EWSに顕著な高速化、廉価化によって、ソフトウェアに付随するハードウェアの価格の問題は解消されつつある。

* 代表的な教科書

- ・ Claerbout, J. F., 1976, Fundamentals of Geophysical Data Processing, McGraw Hill, New York.
- ・ Claerbout, J. F., 1985, Imaging the Earth's Interior, Blackwell, Oxford.
- ・ Yilmaz, O., 1987, Seismic Data Processing, SEG, Tulsa.

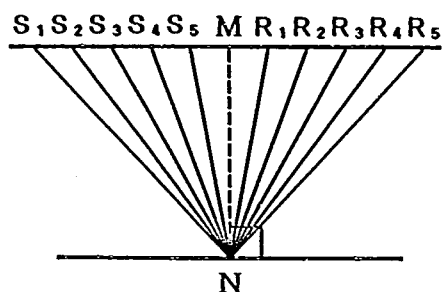
10 節 データ処理の進め方

10.1 基本的なデータ処理

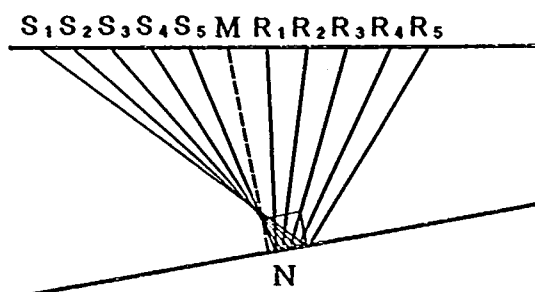
データ処理はCDP重合法を基本とする方法で行う。

【解説】

CDP重合法とは、起振点と受振点の midpoint を同じくするトレース群—CDP アンサンブル—(下図(a), (b)を重合することによって、S/N比を高め、かつ起振点と受振点をそれらの midpoint に重ねて置いた場合の仮想的な測定データ(ゼロ・オフセット記録)を合成する方法である。



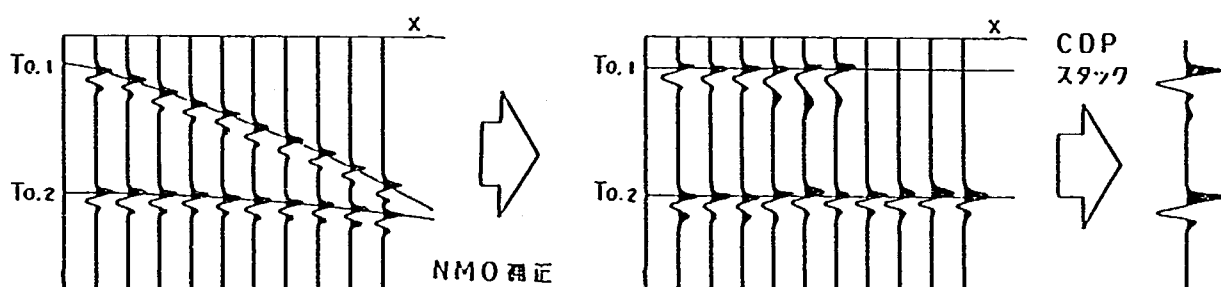
(a) 水平な反射面の場合の
CDPアンサンブル



(b) 傾斜した反射面の場合の
CDPアンサンブル

重合後のゼロ・オフセット・トレースは適当な間隔で表示するだけで、地下断面図となるので、CDP重合法はまた、画像化（イメージング）の手法であるとも言える。

反射面が水平でかつ横方向への速度変化がない簡単な場合（上図-(a)）、CDPアンサンブル内の各反射点は、共通中点（CMP = Common Mid Point）M直下の共通反射点（CDP = Common Depth Point）Nに集まる。一方反射面が傾斜している場合でも、反射点は集中しないが、各々の中点でのゼロ・オフセット記録は共通である。したがっていずれの場合でも、各反射パルスは中点でのゼロ・オフセット記録に変換することによって同位相となる（下図）。



動補正（NMO補正）の概念

オフセットの距離がXで、中点でのゼロ・オフセット走時が t_0 の反射パルスに施すべき走時補正量は、

$$\Delta t = \sqrt{t_0^2 + (x/v)^2} - t_0$$

である。ここにVは、水平反射面の場合は弾性波速度であり、 θ だけ傾斜した反射面の場合は弾性波速度を $\cos \theta$ で除した量である。この走時補正を動補正（NMO）補正という。

適当なVを用いて動補正するとCDPアンサンブル内の反射波は同位相となるが直接波、屈折波、多重反射波、表面波などの妨害波は位相がそろわない。従ってこれらを重合（CDP重合）にすることによって、信号反射波のS/N比が高められるのである。また同時にランダム雑音をも軽減することができる。

CDP重合法も含めて、データ処理の手法は大きく次のように分類される。

- ① データ入出力：データ入力、プロット など

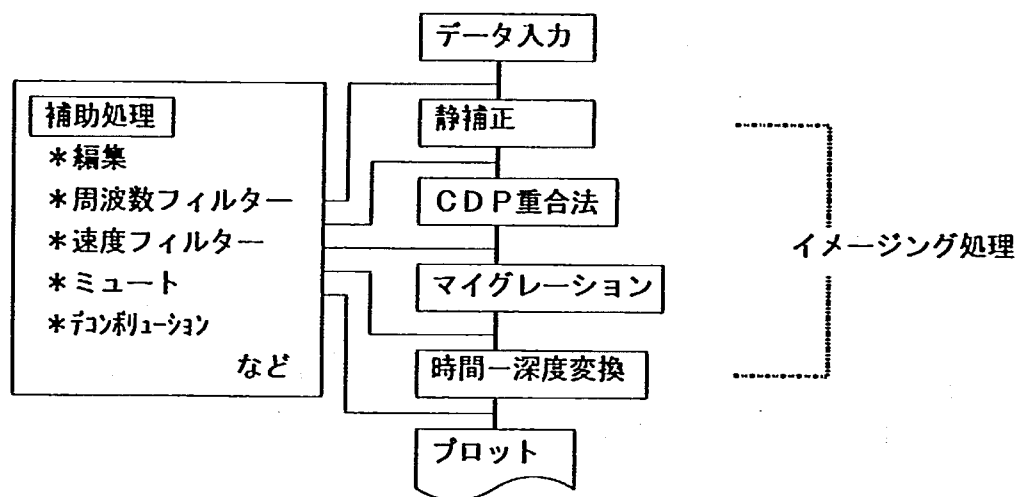
② イメージング：静補正，CDP重合（CDPソート+動補正+CDP重合），マイグレーション，時間-深度変換 など

③ 補助処理

a. 雑音除去：編集，周波数フィルター，2時元フィルター，ミュート，CDP重合法 など

b. 分解能の向上：デコンリューション，マイグレーション など

浅層反射法は，反射パルスを画像化する技術であるから，基本はイメージング処理である。従ってデータ処理は，大局的には各イメージング処理の連続によって構成されるわけである。そしてこれらのイメージング処理には，静補正と動補正の場合のような例外を除いて，各々が行われる順序についての原理的な決まりがある。一方補助処理は，基本的にはどの段階で行われても良く，各々のアルゴリズムが假定している数学的モデルによって通常的位置というものが存在する場合もあるが，それもデータの性質によっては変わり得るものである。これらのことから，一般的なデータ処理の手順は下図のようにまとめることができる。



一般的なデータ処理の手順

イメージング処理においては，弾性波速度が重要な意味を持つ一方，パラメータによる選択の余地はあまりないのが普通である。ところが補助処理においては，各々の処理を行うかどうかも含めて，各種類のパラメータを決定しなければならない。従って補助処理の使い方はデータに大きく依存することになる。

10.2 資料の整理

データ，測定野帳，測量結果，既存の資料，補助的な測定データなどを整理し，必要なものについては解析作業を行う。

【解説】

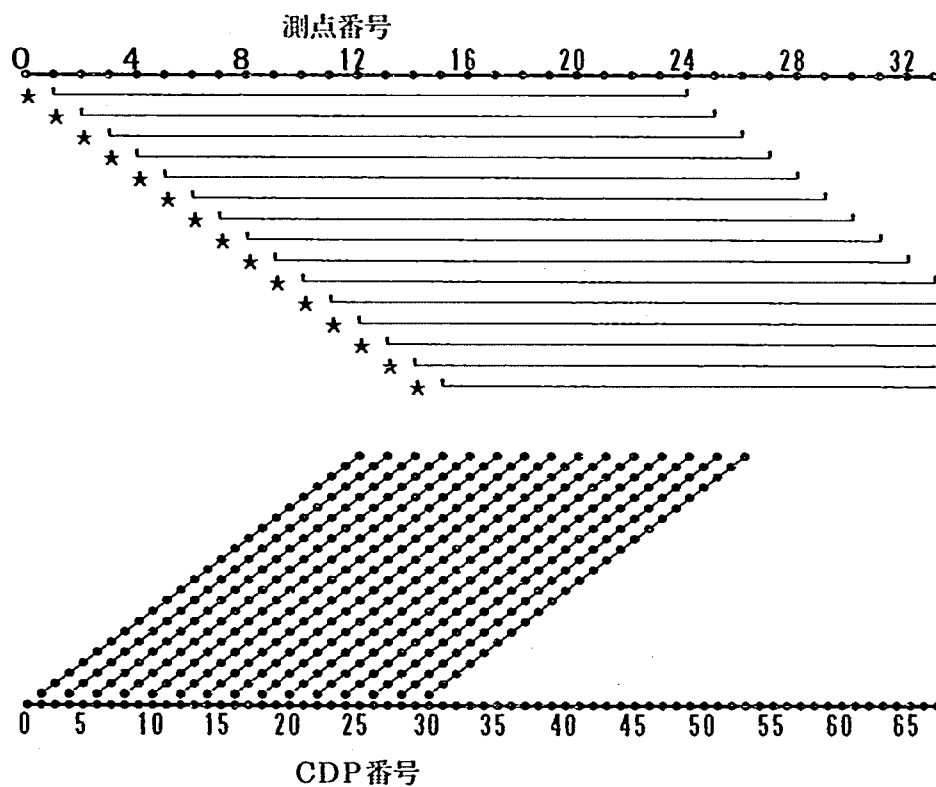
データ処理を開始する前に整理しておくべき資料には、

① 測定位置に関するもの、と、

② 地下構造に関するもの

がある。

測定位置に関する資料としては、測定野帳と測定データが主なものである。特に測定野帳の内容は重要なので、記載に誤りがないかどうか、早めに（現場作業の記憶が薄れないうちに）チェックしておかなければならない。チェックが完了したら、全測定位置を例えば下図のような形式のカバレッジ・プロットとして図示しておくると便利である。



カバレッジ・プロットの例

測量データの重要性は、測線の起伏や屈曲の程度によって異なる。起伏や屈曲がほとんどない場合には、測量データがなくてもデータ処理は行える。従ってこのような場合には、成果物として求められる精度で測線位置や測線の標高が整理されていれば良い。起伏が無視できない場合は、測定点毎の標高をきちんと整理しなければならない。測線がゆるやかに屈曲している場合には、測定点毎の座標を整理するとともに、反射点（発・発振点の midpoint）の座標をも算出しておく必要がある。

地下構造に関する資料としては、ボーリング柱状図などの既存の調査資料やVSP（PS検層）や屈折法などの補助的な測定データが挙げられる。これらのうち、ボーリング柱状図やVSP（PS検層）データは、弾性波速度の一次元的な分布や反射波の発生深度などを予想するのに有効である。

一方屈折法の測定データは、比較的浅部の二次元的な速度分布を知るのに有効であり、データレベルの決定や静補正量の算出においては、最も重要な資料となる。

VSP (PS検層) や屈折法の処理・解析は、反射法のデータ処理とは独立に行えるので、これに先だって行われるべきである。

10.3 反射波の走時、振幅のシミュレーション (モデリング)

既存の資料や補正的な測定の結果を利用して、1ないし数ケースの地下構造モデルを作成し、定量的あるいは定性的に反射波の走時、振幅をシミュレーション (モデリング) する。

【解説】

データ処理の第一ステップは、抽出すべき信号反射波を固定する作業である。そこでその判断のよりどころとするために、反射波の走時と振幅について、概略の予想を行う。もちろん通常は、精度の高いシミュレーションを行うに足る資料は得られていない場合が多いから、地下構造については少し幅を持たせた想定をしなければならない。例えば探査測線の近くで、ボーリングが行われており、N値が測定されているとする。このような時には、まず文献をたよって弾性波速度として予想される高めの値及び低めの値を決める。そしてそれぞれの弾性波速度を用いて、N値が大きく変化する深度に、水平な反射面が存在する場合の反射波走時を次式によって計算する。

$$t(x) = \sqrt{4Z^2 + X^2} / v$$

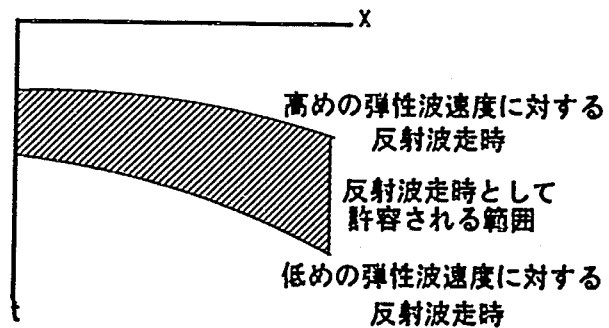
ここに、Z：反射面の深度

X：オフセットの距離

v：弾性波速度

その結果をオフセット距離対走時のグラフとして図化すると下図のようになる。この例では図に斜線で示した範囲が、反射波の予想走時である。VSP (PS検層) が行われている時は、この範囲をもっとせばめることができる。ただしいずれにしても、反射面の傾斜は考慮されていないことに注意する必要がある。

より複雑な地下構造を想定する場合には、例えばレイ・トレーシング法*などが有効である。しかしあまり複雑なモデルを考えてしまうと、その複雑さ自体に幅をもたせることが難しいため、許容範囲がせまくなり、結果として既存の資料等を過大に評価することになりがちであるので、注意する必要がある。



簡単な反射波走時のシミュレーション

反射波の振幅に関しては、例えば複数予想される反射波のうち、どれが強そうであるかとかいう

程度の定性的なシミュレーションで十分な場合が多い。

* レイ・トレーシング法

Cerveny, V., Klimes, L. and Psencik, I., 1977, Ray Method in Seismology, Univerzita Karlova, Praha.

10.4 データの評価と処理計画

原データあるいは、初歩的な処理を施したデータを、反射波のシミュレーション結果と比較することによって評価し、データ処理の手順について概略の計画をたてる。

【解説】

原データあるいは、初歩的な段階のデータには、信号反射波のほかにランダムな雑音やコヒーレントな妨害波（表面波、音波、P(S)波探索におけるS(P)波、屈折波、多重反射波など）が混在している。10.1項で述べたデータ処理の手法のうちの補助処理は、このようなさまざまな雑音を除去して、信号反射波を強調することを主目的とする。そしてその使い方は、信号と雑音の性質が評価されて始めて決定されるものである。

ランダム雑音は、位相がランダムであることから、その評価されるべき性質としては、振幅の大きさと振幅のスペクトルがある。そしてその評価手段としては、スペクトル分析などが一般的であるが、実はあまり効果的な方法ではない。ランダム雑音はむしろ直視によって、次の4通りに分類するのが現実的である。

- ① 非常に振幅が小さく、特別な配慮を必要としない雑音
- ② 振幅はある程度大きい、信号とは周波数帯域が異なり、周波数フィルターによる除去が可能な雑音
- ③ 信号と周波数帯域はあまり違わないが、振幅はあまり大きくなく、CDP重合による抑制が期待できる雑音
- ④ 振幅が非常に大きく、周波数帯域も信号とあまり違わない雑音

データに混入しているランダム雑音が、①、③に属すると考えられる場合は、特にこれに注意した処理計画を立てる必要はない。これが②に属すると考えられる場合は、周波数フィルターを適用することを計画する。また④に属すると考えられる場合は、トレース内の雑音のある部分あるいは全部を削除することを考える。

コヒーレントな妨害波については、まずそれが信号反射波ではないことを同定する必要がある。妨害波のうち、表面波や音波（以下妨害波Iと呼ぶ）は、その速度、周波数、分散性などから直視的に同定できる場合が多い。これらの混入が確認された場合には、先ず周波数フィルターの適用を計画すべきである。通常の場合、音波はこれだけで除去できる。ところが、表面波は信号反射波と周波数帯域が一部重なっている場合が多く、無視できない程度に残留することが少なくない。そこ

で通常はさらに2次元フィルターを使用する。ただしP波を対象とする場合のように、信号反射波との速度差が大きく、表面波の現われている部分を削除してしまっても、十分な重合数が確保できる場合には、むしろそのようにする方がずっと早いかもしれない。この辺の判断は、データ処理が少し進んだ段階で行うわけであるが、この様な判断がやがて必要になるということ自体は、最初に見当をつけておくべきである。

P(S)波探査におけるS(P)波、屈折波、多重反射波など(以下妨害波Ⅱと呼ぶ)は、信号反射波と周波数帯域や速度が類似しており、直視による同定は困難な場合が多い。また都市部における探査のように、表面が舗装されていたりすると、さらに複雑に波列が交錯することになる。妨害波Ⅱが現われる走時の早い部分は、資源探査においては対象外であるため、反射法の立場でのこれらに関する研究はほとんどなされていない。ところが浅層反射法においては、この部分こそが対象であり、ここに浅層反射法固有の難しさがある。別の言い方をすれば、妨害波Ⅱを固定し、除去することこそが浅層反射法を成功させる鍵であるということになる。

同定作業は例えば次のように行う。

- ① シミュレーション結果を参考にして、信号反射波の概略の走時を判断する。
- ② 対象走時付近の様子を、なるべく多くの、できれば全ショット・ギャザーについてながめてみる。
- ③ ある孤立したショット・ギャザーにのみ現われているイベントは、その振源位置に特異な雑音とみなす。比較的狭い範囲のショット・ギャザーにのみ現われているイベントがあり、測定野帳の記述や現場写真等から、それが地表付近の何らかの障害物によるものと判断できる場合は、それを雑音とみなす。
- ④ 比較的広い範囲のショット・ギャザーに現われているイベント全部について、シミュレーション結果を参考にして同定作業を行う。

妨害波Ⅱと判断されたイベントについても、既存の資料や補助的な測定の結果を利用して、それがシミュレーションできるかどうかをチェックしてみるとさらに良い。

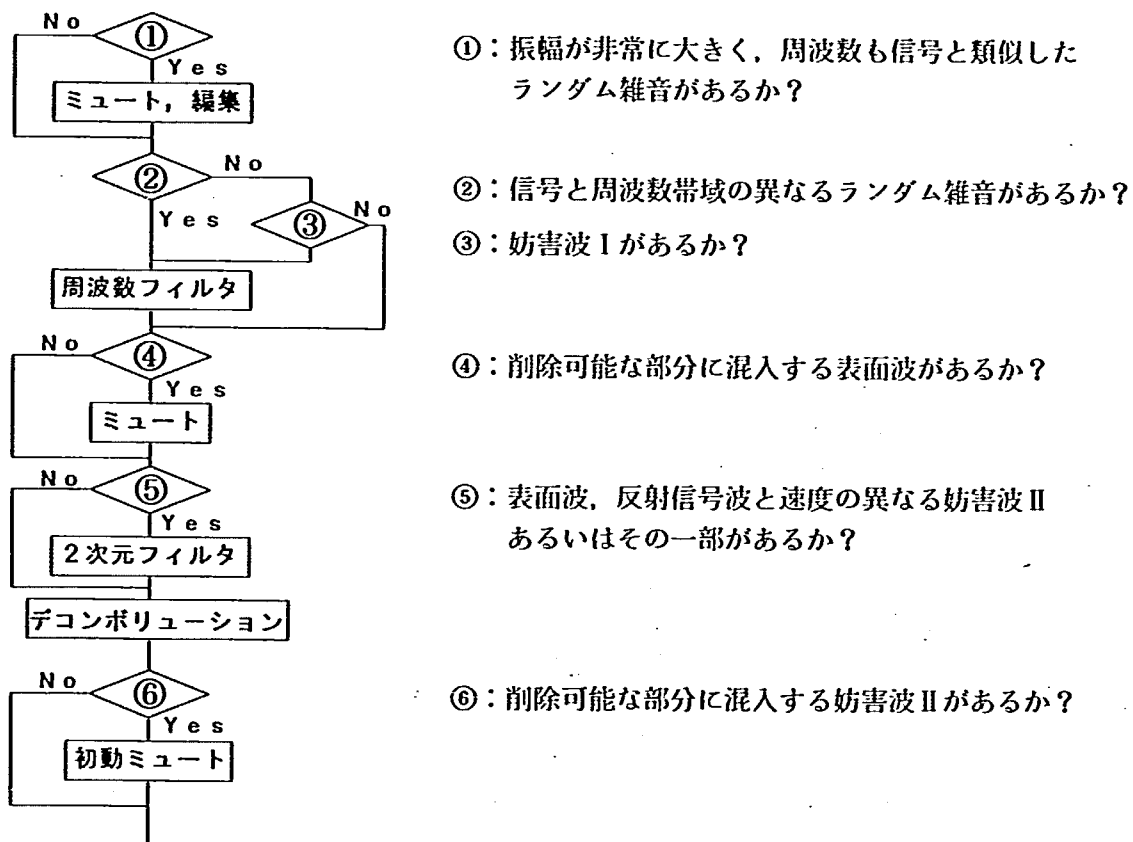
同定作業が終了したら、妨害波Ⅱの性質を評価する。評価手段としては、直視のほか自己相関関数、 $f-k$ スペクトル、 $\tau-p$ サイズモグラムなどが有効である。妨害波Ⅱは次の6通りに分類される。

- ① 非常に振幅が小さく、特別な配慮を必要としない妨害波
- ② 信号反射波と見かけ速度が異なり、 $f-k$ フィルターや $\tau-x$ フィルターによる除去が可能な妨害波
- ③ 走時を異にする信号反射波とは見かけの速度があまり違わないが、直接交錯する信号反射波とは見かけ速度が異なり、 $\tau-p$ フィルターによる除去が可能な妨害波
- ④ 周期性を有しており、デコンボリューションによる除去が可能な妨害波
- ⑤ 直接波や初動屈折波のように、削除が可能な妨害波

⑥ 上記以外の妨害波

データに混入している妨害波Ⅱが①に属すると考えられる場合は、特にこれに注意した処理計画を立てる必要はない。これが②、③及び⑤に属すると考えられる場合は、それぞれ、 $f-k(t-x)$ フィルター、 $t-p$ フィルター及び初動ミュートを計画する。デコンボリューションのテストは無条件で行うべきであるので、妨害波Ⅱが④に属する場合は、この効果に期待する。これが⑥に属する場合は2次元フィルターやデコンボリューションを駆使して、部分的でも良いからこれを除去することを考えなければならない。

ランダム雑音とコヒーレントな妨害波は、複数のものが同時に混入しているのが普通である。そのような場合には、次のようにして補助処理の計画を立てる。



図に示した手順は絶対的なものではない。例えば初動ミュートの後の方が、デコンボリューションの効果が上がるなどのケースは十分に考えられる。しかしこのような事柄に対する配慮を処理計画の段階で行うのは、煩雑すぎる。従って処理計画は取りあえずこのように立てておいて、各処理の効果が上がらないような場合に、テスト（10.5 項参照）にもとづく、処理計画の変更（10.6 項参照）を行うというのが現実的であろう。

10.1 項の図に示したように、補助処理は静補正の後で行うこともできる。特に周波数フィルターやデコンボリューションは、静補正の前後でその効果は同じであり、そもそもその順序は意味をも

たない。ところが2次元フィルターにおいては事情が異なるので注意を要する。静補正を行うかどうかの判断については、11.8項にゆずり、ここでは静補正を行う場合についてのみ考える。一般に表面波、音波、直接波などは表層付近の異常に鈍感であり、信号反射波に凹凸があっても直線状の波列を呈することが多い。従ってこのような妨害波に2次元フィルターを適用するのは、静補正前の方が一般に容易である。ただし地形の急激な変化などによって、信号反射波の見かけ速度が異常値を示すような場合には、静補正あるいはNMO補正までをも行った後に、信号反射波のみを通過させるという観点での2次元フィルターの利用を考えるほうが良いかも知れない。また妨害波Ⅱの属する波列においても、信号反射波とは表層付近の異常に対する感度が異なる場合が多く、2次元フィルターと静補正の順序がトータルとしての効果に影響を与える。そこで両者の順序についても判断が必要である。判断は直視によって行える場合も多いが、これが難しければ、両者の順序を交換するテスト（10.5項参照）を行う必要がある。

補助処理は、CDP重合法の後にも適用すべきであるが、初期の段階でここまでの計画を立てるのは現実的でない。そこでこれらについては、各イメージング処理後に順次判断してゆく。ただし既存の資料や補助的な測定の結果及び同定された反射波のゼロオフセット走時などを、大いに利用すべきであることは言うまでもない。

10.5 パラメータテスト

各データ処理法に付随するパラメータや、場合によっては部分的な処理順序について、それぞれの効果を理論的には予測しきれない場合には、テストを行ってこれらを決定する。

【解説】

10.1項で述べたように、主として補助処理には、決定すべきパラメータが多数ある。また前項で述べたように、補助処理を行う順序やイメージング処理のどの段階で補助処理を適用するかについて絶対的な決まりはない。これらはみなデータの性質に応じて決定されるべきものである。そしてその判断を行うためには、実際にいくつかのケースを試してみて、その結果を比較する形式のテストが、有効である。

しかしながら、全データに対してテストを行うのは現実的でない。いくつかの代表的なデータをテスト・ピースとして選んで行うべきである。この時、各々のテスト・ピースがどの範囲のデータを代表しているかを見極めることは重要である。

またあらゆるパラメータをテストするのも合理的でない。例えばデコンボリューション・テストにおいて卓越している多重反射の周期よりはるかに長い予測距離を、何ケースもテストしたりするのは無意味である。テストは、データを十分に観察して、その上で処理の効果が予測しきれない内容についてのみ行うべきである。テストにおいては、テスト結果を判定することよりも、テスト内容を決定することのほうが、一般に難しい。そしてそのためには、データ処理の理論に関する知識

を涵養することが不可欠である。

10.6 処理計画の変更と途中データの管理

データ処理の進捗に伴って、初期の処理計画に変更の必要性が生じた時は、これを変更する。そのために主だった途中データは処理終了時まで保管しておく。

【解説】

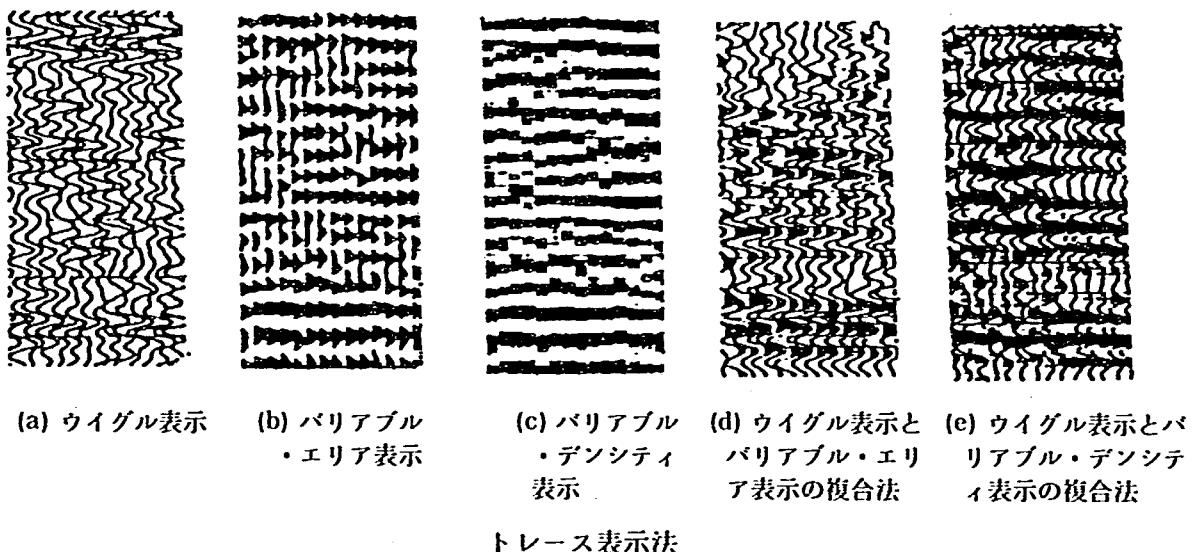
10.4 項で述べたように、データ処理を進めるためには、比較的早い段階でその概略計画を立てなければならない。従ってデータ処理が進むにつれて、計画時には見えなかったデータの性質が浮き彫りになり、初期の計画の不具合が明らかになることがある。このような場合には、初期の計画に固執せず、新たにわかったデータの性質をも考慮した処理手順に変更すべきである。そして必要があれば、前にもどって処理をし直すことも必要である。この時、主だった途中データが保管されていれば、二度手間を最小限にとどめることができる。従って時間のかかる処理をした直後のデータなどは、処理終了時まで保管しておくのが良いであろう。

10.7 データ処理の出力表示

CDP重合法を含む処理を施したトレース群を、ウイグル表示とバリエブルエリア表示の複合法、あるいはその変形法によって、適当な間隔およびスケールで表示する。

【解説】

反射法においては、伝統的に下図に示す5種類のトレース表示法が使われてきた。中でも下図(d)のウイグル表示とバリエブルエリア表示の複合法が最も一般的である。そこで浅層反射法においてもこの表示法を標準とする。



なお、図(c)に示したバリアブル・デンスティ表示は、正の値をもつ振幅のみを、その大きさに応じて灰色の濃淡で表わす方法であるが、カラー表示においては、通常この方法を発展させて、負の振幅をも含めその大きさを色調の違いで表わす形式が多い。

11節 データ処理の内容

11.1 データ入力

入力装置を介して、データをコンピュータに入力する。

【解説】

測定データをコンピュータに入力し、処理システムに固有のフォーマットに変換する。測定データが、SEG-A、B、C及びマルチブレックスド・SEG-Dのようなマルチブレックス型のフォーマットで記録されている時には、同時にデマルチブレックスの操作も行う。また使用するシステムに固有の方法で、測定配置（測定ジオメトリ）の定義を行い、各トレースにCDP番号、発・受振点座標、オフセット距離等を割り当てておく。入力されたデータはハード・ディスクや磁気テープに書き込み、次の処理に備える。

11.2 編集作業

測定器材の不調や雑音などによる不良トレースが混入している場合は、これをとり除き、作業ミスによる極性反転がある場合は、これを修正する。

【解説】

雑音による不良トレースには、測定中に、ある受振器の近くで人が歩いてしまったというような場合の、いわゆる不良トレースのほか、表面波が卓越しており、そのトレース全体を削除してしまった方がCDP重合の効果が上がるというような場合（10.4項参照）における雑音トレースなどがある。これらのうちの前者は、なるべく早い時期にこれを発見して、無条件でとり除くべきである。一方後者については、10.4項に述べた手続きを経たのちにやや控え目にとり除き、最終的にはCDP重合の直前（11.12項参照）にとり除くという手順が良い。

なお、2次元フィルターにおいては、受振器が等間隔に置かれていることが前提となっている場合が多いので、2次元フィルターの前の編集作業では、不良トレースの振幅をゼロにするにとどめ、2次元フィルター適用後に改めてこれを削除するという手順を取るべきである。

また2次元フィルターを適用すると、前後のトレースのしみ出しによって、振幅をゼロにしていたトレースも意味のない振幅をもってしまう。従って2次元フィルターを複数回使用する場合には、その都度不良トレースの振幅をゼロにリセットする操作も必要である。

11.3 ゲイン回復, 振幅調整

球面発散, 吸収などによる振幅減衰を補正する。

【解説】

ゲイン回復の目的は, 理想的には, 各地層境界からの反射波の振幅を, 反射係数に比例させることである。しかし振幅減衰のメカニズムはきわめて複雑であり, これを実行するのはほとんど不可能に近い。一方構造解釈を主目的とする通常の浅層反射法においては, 反射波の振幅が必ずしも反射係数に正確に比例している必要はない。そこで次のような目的で, その都度振幅調整を行い, 真のゲイン回復を近似する。

① デコンボリューション等のフィルタリングの効果を高める。

フィルタリング, 特にデコンボリューションにおいては, 時系列としてのトレース振幅が, 定常性を有していることを仮定している。言いかえるとトレースの各部分でデータの性質が変化しないという事である。従ってデコンボリューションへの入力トレースは, その振幅が時間方向にだいたいそろっている必要がある。一方1個のプライマリー反射波とそれに続く多重反射波群だけを考えた時系列については, それが最小位相性を有している必要がある。簡単にいうと高次の多重反射波ほど振幅が小さく成ってゆくということである。従ってデコンボリューションへの入力トレースは, その振幅が極端にそろい過ぎてはいけないということになる。これらのことからデコンボリューションを含む一連のフィルタリング処理の前には, 程良い振幅調整を行う必要がある。

② CDP重合の効果を高める

CDP重合においては, 反射波の振幅がオフセット距離によらず一定であることを仮定している。従ってCDP重合への入力トレースは, その振幅がオフセット方向にだいたいそろっている必要がある。そこでCDP重合の前には, この要求を満足させる振幅調整を行う。

③ マイグレーション・ノイズの発生を防ぐ

マイグレーションは, 各点から各点の振幅に応じた大きさで円弧状のオペレータを突出させ, それらの干渉によってイメージする処理である。従ってCDP重合後のトレースに振幅のむらがあると, うまく干渉し合わず, 振幅の大きなオペレータが雑音として残留してしまう。そこでマイグレーションの前には, 振幅のむらをなくす調整が必要である。

振幅調整の手法としては, AGCあるいはその変形法が一般的であるが, ①に関しては,

$$f_t = t \alpha v \beta \quad f_t: \text{走時} t \text{の振幅に乗ずるファクター}$$

t : 走時

v : RMS速度

の形式のファクターに乗ずる方法も用いられる。

11.4 周波数フィルター

信号波と雑音がそれぞれの周波数帯域を異にしている場合は、周波数フィルターによって雑音を除去する。

【解説】

周波数フィルターにおいては、等価な操作を周波数領域あるいは時間領域で行うことができるが、一般には計算速度の早い時間領域でのコンボリューション型が使われる。フィルター・オペレータの設計方法にもさまざまなものがあり、処理者が決定すべきパラメータの種類は、アルゴリズムに依存する。しかしアルゴリズムにかかわらず、周波数フィルターのパラメータは、一般に次のような互いに矛盾する性質の中庸をとって決定しなければならないものである。

- ① 雑音を十分に除去するためには、通過帯域をせばめる必要があるが、分解能を向上させるためにはなるべく通過帯域を広くとった方が良い。
- ② 雑音を十分に除去するためには、急峻な周波数遮断が有効であるが、リンキングによる波形ゆがみを防ぐためには、なだらかに遮断する方が良い。
- ③ 希望どおりの特性をもつフィルターを設計するためには、オペレータの長さはなるべく長くする必要はあるが、計算時間を短縮させるためには、オペレータは短い方が良い。

それぞれの妥協点は、理論的には見い出せないものであるから、パラメータを決定するためにはテストが必要である。しかしこれらを、その都度テストして決定するという流儀は現実的でない。これらのうち②、③については経験を過して適当な値を覚え、それ以降はその値を固定的に使うというふうにしてさしつかえない。従って通常は、通過帯域に関するテストのみを行えば良い。

11.5 2次元フィルター

信号波と妨害波がそれぞれの見かけ速度を異にしている場合は、2次元フィルターによって妨害波を除去する。

【解説】

2次元フィルターとして最も一般的なのは、時間-長さ領域あるいは周波数-波数領域で実行される速度フィルターであり、それぞれをT-XフィルターあるいはF-Kフィルターと呼ぶ。速度フィルターのパラメータに関しては、前項で述べた周波数フィルターのパラメータの決定にあたって考慮すべき事柄がそのままあてはまる。

比較的新しい方法である、 τ - p フィルターも有力である。 τ - p フィルターでは、原点走時（時

間)ースローネス領域が使われるため、時間軸が保存され、時間変化型の操作が容易である τ - p フィルターにおいては、通過帯域の他に順変換においてとり込むスローネスの範囲、個数なども決定すべきパラメータであるが、これらはその都度テストする必要のあるものではない。また雑音の発生を妨ぐために、データが切断される端部（例えばオフセット距離の最も大あるいは小なるトレース付近等）にテーパをかけるというようなテクニックも重要であるが、このようなテーパの長さも固定的に（例えばオフセット方向のテーパであれば、トレース数本分程度に固定して）使用してさしつかえない。

11.6 デコンボリューション

ウェーブレットが起振装置、受振器、測定器系および地層のフィルター作用によって歪んでいる場合には、デコンボリューションによってこれを補正する。

【解説】

デコンボリューションの手法にはさまざまなものがあるが、浅層反射法においては、最も一般的なウィナー・レビンソン型に限定して考えて良い。ウィナー・レビンソン型のデコンボリューションの理論は、トレースの時系列としての性質に、いろいろな仮定をして組み立てられている。資源探査の分野では、これらの仮定のうち、ウェーブレットの最小位相性に最も注意が払われてきた。しかし浅層反射法においては、対象となる走時付近の振幅変化が大きいことや、得られる反射波の数が少ないことなどの特殊性から、時系列の定常性や最小位相性及び無相関性といった仮定がより重要な意味をもっている。従って11.3項で述べた、振幅調整は非常に重要である。またデコンボリューション・オペレータをトレースのどの部分を用いて設計するかが、結果を大きく左右するということもめずらしくない。従ってオペレータ長や予測長のほか、振幅調整のしかたや設計ゲートなどについても入念なテストが必要である。

11.7 CDPソート

ショットギャザーでの処理が終了したら、CDPソートする。

【解説】

CDP番号は、メモリーの効率を考えて小さい順あるいは大きい順に並ぶようにし、各CDP内では例えばオフセット距離の小さい順に並ぶようにするとよい。

CDPソート後のデータの組を、CDPギャザーと呼ぶ。

11.8 静補正

表層部の速度変化や地形・表層厚の変化などによって、各トレース間にCDP重合法やその補助的なイメージング法では取り扱えない走時ずれが生じている場合には静補正する。

【解説】

表層とは、地表から対象反射面までの平均的な弾性波速度に較べて、著しく小さい弾性波速度を有する地表付近の地層のことであり、同じ場所でも深部探査を実施する場合とは、その意味する深度範囲が異なることもありうる。

10.1項で述べたように、静補正はCDP重合法を基本とするイメージング処理の一部である。CDP重合法は、個々のCDPのスパン内では、反射波が双曲線に沿って並んでいることを仮定している。ところが表層部の速度変化や地形・表層厚の変化が激しいと、反射波列はゆがんだ双曲線となる。これを補正するのが静補正である。従って地形はゆるやかに（個々のCDPのスパン内では単傾斜とみなせる程度に）変化しているが、表層はなく、対象反射面までの平均的な弾性波速度に変化がないというような場合には、少なくとも重合前に行う普通の意味での静補正は必要なく、波動論的にはむしろしない方がよい。ただし注意すべきことは、多層構造においては、層厚変化がなくても、反射波列は厳密には双曲線にならないということである。そして表層があると、その誤差はさらに大きくなる。従って地形がゆるやかで、層厚変化がなくても表層があり、かつある程度厚い場合には注意が必要である。

一方測線全体にわたって、ゆるやかではあるが大きく変化する、長周期の変化に対しても静補正は重要な意味をもっている。例えば地形は平坦であるかあるいはゆるやかに変化しており、表層厚がゆるやかではあるが、大きく変化しているというような場合である。この時前に述べた厳密な議論を無視すれば、個々のCDP内の反射波はほぼ双曲線状を呈する。ところが静補正を行わないとこの波列を同位相にするための速度（重合速度）が、CDP方向に表層厚の変化に伴って変動してしまう。一方重合速度は速度解析（11.9項参照）をとびとびのCDPで行って、それを内挿する形で求めるのが普通であるから、真の重合速度の変動に応じた速度を各CDPに与えるのが難しくなってしまう。同様のことはマイグレーション速度についても言える。特にマイグレーションにおいては、通常の時間マイグレーションにつきまとう、その操作の意味のあいまいさ（等走時面に接続するということの物理的なあいまいさ）が増大されてしまう。

以上に比べたように静補正は、表層や地形の短周期的および長周期的変動の両方に対して、それを補正する有効な手段である。

データム・レベルは、表層下面より少し深いあたりに水平にとるのが普通である。一方、地形の変化が激しい時には、測線に沿ってデータム・レベルの標高を変化させる方法も有効である。ただしこの時にも極力激しい変化を与えないように注意して設定すべきである。

静補正量を算出するためには、地表付近の速度構造を知る必要があるが、屈折法を同時に行っている場合はその結果を使うと良い。また地形の変化が激しくなく、屈折による初動走時の折れ曲がりが見えな時には、反射法のデータから初動走時を読みとって、タイム・ターム法などによって解析することもできる。

一般に、入念な静補正を施してもなおごく短周期の走時変動までは補正しきれないのが普通である。そこでさらに残留静補正を行う必要がある。残留静補正は普通トレース同士の相互相関関数を基本にして行われるが、細かいテクニックについては多種多様である。しかしいずれにしてもその使い方によっては、処理者の主観に著しく影響された、疑似的な結果を産んでしまう可能性もある。強力な手法であるので、客観性を失なわないための十分な注意が必要である。

11.9 速度解析

測線全体にわたる速度構造を把握するのに十分な数の箇所では速度解析を行う。

【解説】

(浅層) 反射法における速度解析の第一目的は、動補正において使用する速度(重合速度)を求めることである。従って直接的には区間速度が得られるというような方法より、直接重合速度が求まる方法を用いた方がよい。重合速度解析にも多くの方法があるが、浅層反射法においては、真の反射波列と、例えば10.4項で妨害波Ⅱと呼んだ波列の残留振幅などとを区別するのが難しいため、例えば速度スペクトル法だけを使用して解析するなどというやり方は望ましくない。少なくともCVG法^{*1}とCVSK法^{*2}は判用させ、CDP内での波列の形状や測線方向への連続性をチェックしながら解析を進めるべきである。また概略の速度で重合した断面とも比較しながら解析すれば、イベントのとり違えがおこらず、測線全体にわたって一貫した見方での解析ができる。これは、各解析点で得られた速度が、スムーズに内挿されるためにも重要なことである。

* 1 CVG (低速度ギャザー) 法

解析するCDPギャザーに、いろいろな(定)速度を与えて動補正し、反射イベントが水平になる速度を捜す方法。

* 2 CVSK (低速度重合) 法

解析点を中心に連続する10～30個程度のCDPに、いろいろな(定)速度を与えて動補正及びCDP重合を行い、反射イベントの振幅を最大にする速度を捜す方法。

11.10 動補正 (NMO補正)

速度解析によって得た速度を用いて動補正する。

【解説】

動補正は、反射波列が双曲線状を呈するという仮定に基づいて行う。

動補正を行うためには、各CDPの各ゼロオフセット走時に、それぞれに適当な重合速度を割り当てる必要があるが、これらは速度解析点において反射波の到着した走時についてのみ得られている解析速度を、時間方向及び測線方向に内挿することによって求める。

11.11 ディップ・ムーブアウト補正

急傾斜の地層境界からの反射イベントに対しては、有効と認められる場合にディップ・ムーブアウト補正（DMO補正）を行うのが望ましい。

【解説】

浅層反射法におけるDMO補正は、その適用によって処理結果が著しく改善されると予想され、かつ経済的な裏づけもなされた時にのみ行う、特殊（オプション）処理と位置づけるべきである。

DMO補正の効果として期待されることがらは、深部探査における場合と同様であり、

- ① 急傾斜の地層境界からの反射イベントに対する、CDP重合の効果を上げる。
- ② 断層等で発生する解析波をより明瞭にイメージングし、解釈を容易にする。
- ③ 傾斜の影響を受けない重合速度を求め、マイグレーションや深度変換における誤差をなくす。また物性解釈を容易にする。

などが挙げられる。

また浅層反射法に独特の使い方としては、

- ④ 極浅部のわずかに傾斜した反射面よりの多重反射波が、その下部の1次反射波と同程度のみかけ重合速度を持つ時、1次反射波のみを選択的に強調する。

などが考えられる。

DMO補正のアルゴリズムは、共通オフセット・ギャザー上でのキルヒホフ積分法あるいはログ・ストレッチF/K法などを標準とする。

11.12 ミュート

直接波部分など雑音のみが存在している箇所や動補正による波形間延びが起きている箇所はミュートする。

【解説】

雑音部分のミュートについては、10.4項で述べた手順に従って行う。ただしとり残しがある場合は、波形間延び部分と合せて、動補正後に再ミュートする。波形間延びについてのミュート・スキームは、オフセット距離の大きいほうから順に例えば1重合分ずつミュートしてゆくテストを行っ

て決定する。このようにして外側のミュート・スキームが決定したら、それを固定し、さらにオフセット距離の小さいほうを順に例えば1チャンネル分ずつミュートしてゆくテストを行う。その結果もし内側を何チャンネル分かミュートする方が良いと判断されたら、それは前処理における雑音のとり残しと考えられるので、テスト結果に基づくミュートを実行する。

11.13 CDP重合

CDPギャザー上での処理が終了したら、CDP重合を行う。

【解説】

CDP重合は、振幅を加算したのち加算に用いたトレース数で割り算する方式、つまり平均をとる方式で行う。ただしこの時ミュートされている部分は、トレース数としてカウントされないようにする。

11.14 マイグレーション

CDP重合断面に、傾斜したイベントや解析波の存在が認められる場合には、マイグレーションを行うのが望ましい。

【解説】

浅層反射法においても、マイグレーションはCDP重合法を基本とするイメージング技術の一部として、普通に位置づけるべきである。しかし傾斜したイベントや解析波の存在が認められず、その効果が期待できないときにはこれを省くことができるように、経済的には補助処理の扱いをしておくのが良いであろう。

マイグレーションに用いる速度は、推定される区間速度を、アルゴリズムの制約に基づいて修正、単純化して決定するのが理想的である。区間速度を推定する資料としては、速度解析の結果、既存の資料および補助的な測定の結果が参考になる。またレイ・トレーシング法によるトライ・アンド・エラーが実行できればなお良い。マイグレーションを行う段階においては、10.3項で述べたシミュレーションの場合のような原始的な段階に較べると、地下構造の限定がはるかに容易なので、複雑なモデルをもシミュレーションできるレイ・トレーシング法の威力は大いに発揮できる。RMS速度型の、いわゆるマイグレーション速度を求める場合は、トライ・アンド・エラー式にマイグレーションを行って、フォーカシングの状況（解析波の集り具合）によって速度を判断する方法が有効である。

マイグレーションの種類としては、時間マイグレーション法を基本とするが、弾性波速度の横方向への変化が大きく、かつレイ・トレーシング等によって信頼性の高い区間速度が推定されている場合は、深度マイグレーションを行う方が良い。

この時、時間－深度変換は不要である。

時間マイグレーションのアルゴリズムは、地下構造によって差分法、Stolt法、位相シフト法、キルヒホフ積分法等の中から選択し、深度マイグレーションについては差分法あるいはPSPI法を標準とする。

11.15 時間－深度変換

一連の処理が終了したら、速度解析の結果、既存の資料及び補助的な測定の結果を総合的に検討して、測線下の速度構造を推定し、それを利用して時間－深度変換を行う。

【解説】

前項で述べた方法で、時間・マイグレーションのための区間速度の推定が行われている時は、マイグレーション・トレースとの整合性をチェックしたのち、その結果をそのまま使用して良い。これが行われていない時は、速度解析の結果、既存の資料及び補助的な測定の結果を総合的に検討して、区間速度を推定し使用する。VSP（PS検層）が行われている時は、それとの整合性にも注意する。

区間速度が大きく変化すると、それに比例した波形間延びがおこり、断面が見づらくなることが多い。そこで例えば、基盤の速度が大きいことはわかっているが、基盤内に有意な反射イベントが見られないというような時には、敢えて正確な基盤の速度を用いず、その上部の速度を基盤部分にも用いるようにした方が良い。このような工夫によって無意味な波形間延びを防ぐことができる。

時間－深度変化の結果は、データム・レベルの標高を補正したのち、海拔標高で表示するのが望ましい。

第4章 解 釈

12節 解 釈

12.1 イベントの評価

データ処理の成果物が完成したら、各イベントについて極性、連続性、周期性などの性質やショットギャザー、CDPギャザー上での対応する重合軌跡に沿ってのコヒーレンス及び既存の資料、補助的な測定の結果との整合性などを調べて反射波であるかどうかの評価を行う。

【解説】

データ処理が理想的に行われれば、最終処理断面上に、ある程度連続して現れるイベントはみな反射イベントである。しかし実際には、除去しきれなかった残留雑音が、疑似的なイベントとなって混入しているのが普通である。そこで解釈を行うためには、まず各イベントが反射波であるかどうかを判定しなければならない。

イベントを評価するためには、処理断面上でのイベント自体の形状、重合前トレース上での対応する重合軌跡に沿ってのコヒーレンス（位相のそろい具合）、既存の資料や補助的な測定の結果との整合性などがその手がかりとなる。

イベント自体の形状である程度判定できる例としては、多重反射波がある。例えば比較的明瞭なイベントに続いて、その走時の周期でくり返し現れているイベントが見られるような場合は、後続のイベントが多重反射波である可能性を考えてみるべきである。ただし偶然に複数の一次反射波が周期的に現れる場合もあり得るので、最終的な判定は速度解析パネル等によるチェックを経て行う必要がある。多重反射波は、その一次反射波と同じ重合速度をもつので、真の速度より一般に遅い速度を示す。従って重合速度は、多重反射波を同定する手がかりとなる場合が多いのである。しかし運悪く、探査地に速度コントラストがあまりない場合は、速度は判断材料とはなり得ず、最も強力な手がかりであるVSPとの比較が必要となる。

10.4項で述べた妨害波が残留している場合も、処理断面上に疑似的なイベントを作り出すことがある。これらはショット・ギャザーやCDPギャザーの上での対応する重合軌跡、つまりどのような双曲線に沿って重合されたかを調べれば同定することができる。もし処理断面上のあるイベントが、対応する重合軌跡とは明らかに異なる波列上の一部にのみ寄与されて現れているとしたら、それは反射イベントではない。

多重反射波や妨害波による疑似的なイベントとは考えられないイベントがあり、それが明瞭に連続していれば反射イベントと判定すべきである。しかしその連続性が悪く、目を凝らして見てようやく識別できるというような場合は、既存の資料やVSP（PS検層）の結果と比較して判断することが必要となる。このようなイベントの中には、無視し得る反射面であるからこそ連続性が悪いと

というようなものも当然あり得るが、無視し得るかどうかの判断自体がこれらとの比較によって初めて可能になるのである。

12.2 構造解釈

反射波であると判断されたイベントの中から、その連続性や振幅の強さによって主要なものを選び出し、地下構造を解釈する。また連続性の乏しいイベントについてもできるだけ解釈を行う。

【解説】

構造解釈の第一段階は、反射波であると判断されたイベントのうち、主要なものを選び出す作業である。このためには、やや古典的ではあるが、処理断面上の主要イベントに沿って、色鉛筆で着色する方法が便利である。断層面をはさんでの着色などは、それ自体が解釈作業であるから注意深く行う必要がある。この時、反射イベント群のパターンの類似性は、非常に有力な手がかりとなる。

このようにして、主要な反射イベントが呈する形が浮かびあがったら、既存の資料を参考にして、各イベントがどのような地層境界に対応するかを推定する。また同時に、そのような構造をもたらした成因について、地質学的な考察を行う。

12.3 物性解釈

既存の資料及び補助的な測定によって、測線上の1箇所以上で、弾性波速度、土質定数及び地質区分などが知られており、必要がある場合には、地下構造の解釈やデータ処理の過程で得られた弾性波速度の推定値に基づいて、これを外挿、補間することによって地盤物性を解釈する。

【解説】

物性解釈は、測線上でのボーリング調査の結果を基本として、それによって得られた、弾性波速度、土質定数、地質区分などを、解釈された構造に沿って外挿、補間することによって行う。

速度解析によって得られた区間速度から、同一地層内での弾性波速度の水平変化が推定できる場合には、これをも考慮した解釈をすると良い。しかし（浅層）反射法による速度解析の精度が必ずしも良くないことには注意しなければならない。

第5章 成果およびとりまとめ

13節 成 果

13.1 成果物の種類

データ処理および解釈の成果を、反射時間断面図、反射深度断面図、解釈断面図等の形式で表示し、成果物とする。

【解説】

データ処理の成果物は、10.7項で述べた方法によるトレース出力に装飾を加えた反射時間断面図及び反射深度断面図とする。装飾の種類としては、図面の縮尺に応じて適当な間隔で入れる時間（深度）刻み線とその目盛、トレースのCDP番号および距離解析点の上部に表示する速度解析の結果表を含むものとし、他に必要に応じて地形断面図、静補正量のグラフ、重号数のグラフ等も表示する。また断面図の横には調査名称、測線名、断面図の種類、方角、測定仕様、データ処理内容、極性、縮尺、調査日、調査実施機関の名称等を梓書きで表示する。

解釈の成果物は、解釈の結果および既存の資料を適当な縮尺で図化した解釈断面図とする。

その他、データ処理および解釈の過程で得られた各種断面図を、必要に応じて添付する。

13.2 反射時間断面図

反射時間断面図は、CDP重合後の断面図と、時間マイグレーション後の断面図の2種類とし、いずれもデータムレベルからの往復走時を縦軸にとって表示する。

【解説】

CDP重合断面図およびマイグレーション断面図は、それぞれ周波数フィルターや見やすい振幅に調節するスケーリング等の適当な補助処理を施したトレースによって表示する。

トレース間隔は、1mm間隔ないし2mm間隔程度とする。

時間スケールは、P波探査においては20～40cm/秒、SH波探査においては20cm/秒程度を標準とするが、極浅部を対象とする場合は100cm/秒程度とする。

13.3 反射深度断面図

反射深度断面図は、時間－深度変換後のトレースを、地表からの深度あるいは海拔標高を縦軸にとって表示する。

【解説】

反射深度断面図は、データムレベルの標高を補正した後、用途に応じて地表からの深度あるいは海拔標高で表示する。絶対標高を必要とせず、対象とする構造の地表からの深度が問題となる場合は地表深度で、対象構造の起伏や傾斜が問題となる場合は地表面の影響を受けないよう海拔標高で表示するのが望ましい。後者の場合、トレースの開始を地表より上部の区切りの良い標高値からとし、地表面を疑似的なパルス等で表現するとわかりやすい。

トレース間隔は反射時間断面図と同様とする。

深度軸の縮尺は、水平方向との縮尺との比が整数となるようにいくつか設定し、構造の変化が見やすい値を選択する。

13.4 解釈断面図

解釈の結果を適当な大きさに図化し、解釈断面図とする。

【解説】

解釈の結果は、地盤構造や物性の分布が理解しやすい形で図化する。また既存の資料や種々の地質工学的所見をも盛り込み、基本的には第三者がその図だけで探査結果の要点を把握できるように仕上げる。

解釈断面図の縮尺は、比較を容易にするために、反射深度断面図と同じとする。

13.5 その他の断面図等

データ処理および解釈の過程で得られた各種断面図は、必要に応じて整理し成果物に加える。

【解説】

屈折法探査を補助的に実施した場合、その解析断面図を、データムレベルの位置や静補正量が把握できるように表示して成果物とする。

速度解析によって得られた速度分布は、その縮尺を反射時間断面図に合わせて、速度構造図として表示する。

VSPを行った場合は、その重合トレースを反射時間断面図中の対応する位置に挿入した比較断面図を作成する。

測線近傍に利用可能なボーリングデータあるいは検層データがある場合は、反射深度断面図にそれらを重ねあわせて対比断面図を作成する。

14節 とりまとめ

14.1 とりまとめの項目

探査の結果は以下の項目について整理し、とりまとめるものとする。

- 1) 探査位置、測定方法、処理方法、解釈方法
- 2) データ処理の成果物
- 3) 解釈の成果物
- 4) 既存の資料
- 5) 補助的な測定の結果

【解説】

浅層反射法による探査結果は、例えばFEM解析のようなシミュレーション手法とは異なり、データ処理過程におけるパラメータの選択や解釈における判断などに担当技術者の経験と主観が反映されやすい。そこで探査目的の重要度によっては第3者が最終成果にいたる過程に不具合がなかったかどうかをチェックすることも必要となる。したがって探査結果のとりまとめにあたっては、結論を明確にするとともに最終成果に至る経過が客観的に納得できるように整理しておくことが重要である。そのために、特に上記の2)の項目についてはデータ処理の各段階におけるテスト処理結果、シミュレーション結果等を抜粋してとりまとめ、処理の経緯およびデータ処理時の原データの変化がわかるようにしなければならない。

また、解釈の根拠についてもそれを明示すること。

14.2 処理データの保存

主だった処理結果は、5.4項に規定した記録媒体に5.5項の記録様式で保存するものとする。

【解説】

浅層反射法の処理データは、前項で述べた理由により第三者が再処理することも有り得る。そこで主だった処理結果については共通フォーマットであるSEG-YあるいはSEG-2様式に準拠して磁気テープあるいはフロッピーディスク等に保存し、実施機関の求めに応じて提出・保管するものとする。

第6章 参考資料

<省略>

耐久性地盤注入材料利用技術 マニュアル（案）

土木研究所 地質研究室
研究員 佐々木 靖人

南 洋 通 商 船 隻 入 出 港 事 務 本 局

(第 一 次 公 開)

南 洋 通 商 船 隻 入 出 港 事 務 本 局

(第 一 次 公 開)

ま え が き

地盤注入工法は、時間の経過とともに固結する材料を地盤に注入して地盤の固化や不透水化を計る工法である。本工法で用いる注入材料は、大きく溶液型と懸濁型の２種類に分けられ、地盤への浸透性が要求される場合には一般に溶液型の注入材料が用いられる。

溶液型の注入材料においては現在、緊急止水等の場合を除いて原則的に水ガラスを主体とした材料のみ使用が認められている。水ガラスは溶脱などによって注入効果が低下するため、溶液型の材料を用いた地盤注入工法は一般に仮設的な工事に用いられる。しかし近年、管路や水ぎわ構造物周辺の維持管理、地下構造物の輻輳する中での再掘削や長期間にわたる工事、液状化防止など耐震性に関する工事、あるいは地下空間の利用など、溶液型の注入材料に対しても耐久性が望まれる事例が見られるようになった。一方、耐久性を期待する材料（耐久性地盤注入材料）が最近幾つか開発され、注入材料のカatalog等においても耐久性は性能の一項目として取り上げられている。ところが注入材料の耐久性については現在のところ確立された定義がないだけでなく、注入された地盤の耐久性についての調査例自体も非常に少ないのが現状である。

地盤注入工法における注入固化体の耐久性は、注入材料のみではなく、地盤・材料・工法等の複合的要因によって決定されるものである。したがって耐久性が必要とされる地盤注入工事においては、施工者が各現場に応じて劣化条件を勘案して耐久性を判定する必要がある。また、経時的な監視を行い、予測のずれに対処出来る体制も必要である。すなわち、地盤注入工法に耐久性を求める場合、従来考慮の必要のなかった多くの項目について調査検討が要求されることになる。

本マニュアル(案)は、上記の点を踏まえ、耐久性を必要とする地盤注入工法を施工する際に考慮すべき項目、すなわち、注入材料や注入固化体の耐久性についての考え方・注入材料の耐久性試験法・地盤の調査法・劣化の予測法・維持管理方法等の基本的な項目や留意点について整理したものである。ただし注入固化体の耐久性に関する施工例や現地実験例はきわめて乏しく、耐久性の調査・試験方法も今後の研究に待たれる部分が多い。その意味で本マニュアル(案)は、マニュアルというよりもむしろ注入材料の耐久性に関する一つの考え方を提示した技術資料と捉える必要がある。しかし従来この種のマニュアルが全くないこと、また、新しい材料も積極的に活用していくことが重要であるとの観点から、あえてマニュアル形式とし、ここに示すものである。今後、注入材料の耐久性試験例や施工例の増加によって技術や経験が蓄積され、本マニュアル(案)がより洗練、充実されていくことを期待している。

なお本資料は、建設省の総合技術開発プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」の中の小テーマ「新地盤材料の地中構造物への利用技術の開発」（地質研究室担当）の成果をとりまとめたものである。本資料中の試験の一部は（社）日本薬液注入協会で実施された。また、本資料作成にあたっては本プロジェクトの各委員、ならびに小林茂敏地質化学部長をはじめ関係者の方々に有益な御助言をいただいた。以上の方々に深く感謝の意を表する。

平成4年3月

目 次

まえがき

1. 総 則	1
1.1 目 的	1
1.2 適用範囲	2
1.3 用語の定義	4
2. 耐久性判定の調査計画	5
2.1 計画一般	5
3. 注入材料の性能試験	7
3.1 注入材料の耐久性を左右する要因	7
a. 地盤との化学反応	8
b. 地下水との化学反応	8
c. ゲル自体の長期的化学構造変化	8
d. 力学的作用	11
e. 乾湿変化	12
f. 温度変化	13
g. 微生物による分解	13
3.2 基本性能試験	14
a. 粘性試験およびゲルタイム試験	14
b. 比重試験	21
c. pH 試験	21
d. 強度試験用供試体および透水試験用供試体の作製法	24
e. 一軸圧縮試験	31
f. その他の強度試験	31
g. 室内透水試験	31
h. 安全性試験	31
3.3 耐久性試験	37
a. 密封養生試験	37
b. 水中養生試験	40
c. 透水養生試験	43
d. 水交換養生試験	47

e. 飽和土養生試験	50
f. 温度促進試験	53
g. 乾燥湿潤試験	55
h. 凍結融解試験	58
i. クリープ試験	61
j. 繰返し圧縮試験	64
3.4 材料性能試験結果の整理	67
4. 地盤の調査	73
4.1 注入材料の劣化要因に関する地盤調査	73
a. 土質および地下水サンプリング	74
b. 土質および地下水試料の化学分析	74
c. 流向流速測定	74
d. 現場透水試験	76
e. 地盤の変形や振動の測定	77
f. 直接観察	77
5. 現地注入試験	78
5.1 現地注入試験の目的	78
a. 注入形態の把握	78
b. 地下水条件の変化の把握	79
c. 地盤の強度や変形性の変化の把握	79
5.2 現地注入試験の方法	80
5.3 現地注入試験における調査項目	81
a. 注入前の調査	81
b. 注入中および注入後の調査	81
6. 耐久性の推定	84
6.1 劣化形態の推定	84
a. 注入固化体表面からの劣化	85
b. 注入固化体内部の劣化	89
6.2 劣化速度の推定	90
a. 劣化速度の測定例	91
b. 温度効果の測定例	93
c. 水質効果の測定例	95

d. 流速効果の測定例	97
e. 注入形態効果の測定例	98
f. 寸法効果の測定例	99
7. 設計、施工および施工管理	101
8. 維持管理	102
8.1 注入後の調査	102
8.2 追加工事	102
引用文献	103
参考資料1 注入材料	105
参考資料2 注入工法	121
巻末資料1 注入材料リスト	161
巻末資料2 注入工法リスト	193

地下水調査観測指針

土木研究所 地質研究室

室長 中村 康夫

投 州 斷 疑 論 本 論 題

投 州 斷 疑 論 本 論 題
大 學 中 心 研 究 所

改訂版 地下水調査および観測指針（案）

主な改良点

A. 新項目

2. 調査・観測の進め方 …………… 調査目的別に一般的な調査の進め方を示した（第2.2節）。
14. 調査成果のとりまとめ …………… 調査結果のとりまとめ方について、基本的考え方と留意点を示した（第14章）。

B. 新技術

以下の調査技術について、目次の項目の新設、あるいは現行版項目の中で記述の充実を図った。

- ・地下水涵養に関わる土壌水分調査（第6.5節，第11章）
- ・地下水流動調査手法としての環境トレーサーの利用（第10.4章，第10.5章，第11.6節）
- ・リモートセンシング（第8.3節）
- ・ジオトモグラフィー（第8.4.3項）
- ・地下水の数値モデル解析（第13章）

C. 使いやすくした点

- ・調査項目とそれに対して適用可能な調査手法をマトリックスで示した（第2.2節）
- ・混乱しやすい用語等を解説した。
- ・巻末に索引をつけた。
- ・参考図書を紹介した。

<u>凡 例</u>	
	新項目
	新技術
	使いやすくした点

【目次の設定】

改訂目次

まえがき

用 語

1 総 則

1-1 指針の目的

1-2 指針の内容

1-3 調査対象

1-4 運用

2 調査・観測の進め方

2-1 基本的事項

2-2 調査目的と調査の進め方

3 予備調査

3-1 目的と定義

3-2 地形地質

3-3 土地利用

3-4 気象・水文

3-5 地下水とその利用状況

3-6 地下水障害

3-7 資料分布

4 地形・土地利用調査

4-1 目的

4-2 調査手法

4-3 結果のとりまとめ

5 地下水利用実態調査

5-1 目的

5-2 調査方法

5-3 まとめと解析

現行目次

まえがき

1 総 則

1-1 目的

1-2 適用

1-3 調査対象

1-4 運用

1-5 調査・観測の進め方

1-6 調査項目と目的

2 既存資料調査

2-1 目的

2-2 地形・地質

2-3 ボーリング資料

2-4 地下水位・水質・水温

2-5 水理・水文

2-6 地下水の利用状況

2-7 地下水障害

4 土地利用調査

4-1 目的

4-2 調査手法

4-3 土地利用図の作成

3 地下水利用実態調査

3-1 目的

3-2 調査方法

3-3 解析

改訂目次

6 水文調査

6-1 目的

6-2 水文気象調査

6-2-1 一般

6-2-2 調査項目および調査方法

6-2-3 データの整理

6-3 表流水流量調査

6-3-1 一般

6-3-2 観測所の配置と設置

6-3-3 観測方法

6-3-4 データの整理

6-4 蒸発散量調査

6-4-1 一般

6-4-2 蒸発測定器による推定方法

6-4-3 気象学的な推定方法

6-5 土壌水分調査

6-5-1 一般

6-5-2 土壌水分量の測定法

6-5-3 浸透量調査

7 地下水位調査

7-1 目的

7-2 観測所と観測井

7-2-1 観測所の配置と設置

7-2-2 観測井

7-3 観測方法と観測機器

7-3-1 一斉観測

7-3-2 長期観測

7-4 データの整理

現行目次

10 表流水流量調査

10-1 目的

10-2 表流水と地下水の関係

10-3 観測所の配置と設置

10-4 設備

10-5 観測

9 蒸発散量・浸透量調査

9-1 蒸発散量調査

9-2 浸透量調査

6 地下水位調査

6-1 観測所の設置

6-2 観測

6-3 データ整理及び報告

6-4 指導及び監査

6-5 観測所の維持及び管理

改訂目次

8 地質調査

8-1 目的

8-2 現地踏査

8-3 リモートセンシング

8-4 物理探査

8-4-1 物理探査

8-4-2 物理検層

8-4-3 ジオトモグラフィ

8-5 ボーリング

8-5-1 ボーリング計画

8-5-2 掘削方法

8-5-3 ボーリング結果の整理

8-6 サンプリング

8-7 単孔式現場透水試験

8-8 揚水試験

8-9 土質試験

8-10 とりまとめ

9 水質調査

9-1 目的

9-2 水質試験項目と水質試験方法

9-3 試料採取法

9-4 まとめと解析

10 地下水流動調査

10-1 目的

10-2 地下水流動の調査方法

10-3 地下水ポテンシャルの測定による地下水 流動調査

現行目次

5 水理地質調査

5-1 地質調査

5-2 物理探査

5-3 ボーリング

5-4 物理検層

5-5 土質試験

5-6 揚水試験

5-7 整理

7 地下水水質調査

7-1 観測所の配置

7-2 深さ方向の調査位置

7-3 採水の方法及び試料採取量

7-4 調査頻度

7-5 調査項目

7-6 試料ビン、試料の前処理、 及び試料の運搬

7-7 現場測定項目及び方法

7-8 データ整理及び報告

7-9 委託分析

改訂目次

現行目次

- 10-4 環境同位体による地下水流動調査
- 10-5 地下水温を用いた地下水流動調査
- 10-6 水質をトレーサーとした地下水流動調査

- 10-7 人工トレーサーによる地下水流動調査
- 10-8 単孔を利用した地下水流動調査

11 地下水涵養量調査

- 11-1 目的
- 11-2 地下水涵養量の調査法
- 11-3 水収支による地下水涵養量調査
- 11-4 土壌水分フラックスの測定による
地下水涵養量調査
- 11-5 ライシメータによる地下水涵養量調査
- 11-6 環境同位体トレーサーによる
地下水涵養量調査

12 地盤沈下量調査

- 12-1 目的
- 12-2 沈下観測井による観測
 - 12-2-1 観測井の設置
 - 12-2-2 地盤沈下計
 - 12-2-3 観測および整理
- 12-3 水準測量による観測
 - 12-3-1 水準点・基準点の配置
 - 12-3-2 観測計画および観測
 - 12-3-3 計算および整理
- 12-4 成果のとりまとめ

8 地盤沈下調査及び地盤高調査

- 8-1 目的
- 8-2 地盤沈下観測井による観測
- 8-3 水準点の配置及びその構造
- 8-4 測定計画及び観測
- 8-5 計算及び整理

改訂目次

13 数値解析

13-1 目的

13-2 水収支解析

13-3 地下水流動解析

13-4 地下水汚染解析

13-5 地盤沈下解析

14 調査成果のとりまとめ

索引

現行目次

11 地下水の水収支計算

11-1 地下水の水収支

11-2 地下水の収支対象時間

11-3 地下水の収支対象領域

11-4 地下水収支計算の基礎資料

11-5 地下水収支の計算法

11-6 解析及び予測

様式

参考文献

付表

地下水観測井及び観測方法（案）

1. 観測井

1-1 観測井の構造

1-2 掘削

1-3 帯水層の判定

1-4 ケーシングの設置

1-5 揚水試験

1-6 保守

2. 観測

2-1 観測計器

2-2 観測小屋

2-3 観測作業

2-4 保守点検

地下水調査及び観測指針（本文案）

第1章 総 則

1.1 指針の目的

この指針は、地下水に係わる国土の保全、地下水の適正な利用に関する調査を実施するために必要な技術的事項を定めるもので、これによって地下水等に関する技術の体系化を図り、もってその水準の維持と向上に資することを目的とする。

1.2 指針の内容

この指針は、本編14章及び用語からなるが、本編は第2章に調査計画の立案に必要な調査目的・対象に応じた調査システムを示し、第3章以降に個別の調査技術を示した。

1.3 調査対象

この指針は、主としてほぼ均一な空隙を有し、ダルシーの法則が成立する地層の空隙中に存在する不圧地下水・被圧地下水の調査を対象とする。固結した地層や、岩盤内に存在する地下水の調査方法については別に取り扱うものとする。

1.4 運用

本指針は、条件の異なる地域において、過不足のない合理的な調査と、統一性のあるデータを得るための観測を実施する上での基準をしめしたものである。したがって、この指針によることが適当でない場合においては、この指針に示される技術水準を損なわない範囲において、この指針によらないことができる。

第2章 調査・観測の進め方

2.1 基本的事項

調査は、対象地域の特性を充分把握した上で、所期の目的が達成できるよう、系統的かつ効率的に実施しなければならない。

2.2 調査・観測の進め方

(a) 地下水資源調査

地下水資源は、地下水の資源としての量と質を評価し、開発可能量を把握することを目的として実施する。

(b) 地下ダムに係る地下水調査

地下ダムに係る地下水調査は、候補地の選定、地下ダム機能の評価、工法の検討、および地下ダム建設に伴う周辺環境への影響評価を主たる目的として実施する。

(c) 地下掘削に係る地下水調査

地下掘削に係る地下水調査は、掘削工事の安全かつ経済的な施工および工事に伴う地下水障害の防止を目的として実施する。調査は、地域の特性および工事の種類や規模を考慮して適切な

方法で実施しなければならない。

(d) 堤防基盤に係る地下水調査

堤防基盤に係る地下水調査は、堤防基礎地盤の地下水流動形態を把握し、堤防の安全性評価とその対策工法の検討を目的として実施する。調査は、地域の特性に応じて適切な方法で実施しなければならない。

(e) 地盤沈下調査

地盤沈下調査は、地盤沈下の実態の把握、原因・機構の解明、沈下量の予測およびこれに起因する障害の防止対策を検討することを目的として実施する。調査は、目的と地域の特性に応じた適切な方法で実施しなければならない。

(f) 地下水汚染調査

地下水汚染調査は、汚染実態の把握、汚染機構の解明、汚染防止策の検討、汚染地下水の浄化方法の検討等を目的として実施する。調査は、地盤・地下水条件及び汚染物質特性を考慮し、適切な方法で行わなければならない。

(g) 斜面災害に係る地下水調査

斜面災害に係る地下水調査は、地すべりあるいは斜面崩壊の機構を解明し、対策工法ならびに予知方法を検討することを目的として実施する。調査は、地域の特性に応じた適切な方法で、かつ地下水以外の関連調査と緊密な連絡・調整をはかりながら進めなければならない。

(h) 人工涵養に係る地下水調査

人工涵養に係る地下水調査は、涵養適地・涵養工法の選定、涵養施設の設計、人工涵養による周辺への影響評価等を目的として実施する。調査は、目的と地域の特性に応じた適切な方法で実施しなければならない。

第3章 予備調査

3.1 目的と定義

地下水に関する調査・観測は、予備調査と本調査に分けられる。

予備調査は、地下水に関する本格的調査・観測の効率的展開に資することを目的とする。調査計画を立案するにあたって、調査・観測対象域およびその周辺の地形、地質、土地利用と植生の現況、気象・水文、地下水とその利用、過剰揚水にともなう障害などの情報を収集・整理して、地下水の存在の概要を把握し、調査目的をより明確にし、問題解決に必要な項目、手法を選定する。数日の現地予察調査を行って机上予備調査成果の確認・吟味・補完を行い、本調査を効率的に展開させる。

3.2 地形地質

地下水の賦存状態は、地形や地質と密接に関係しているので、既存の地形図、地質図、空中写真、衛星映像等を収集し、本調査に先立ってあらかじめ読図し、水文地質構造を予察しておく。

とくに、不圧地下水の賦存状態は若い地質や微地形、土壌条件と密接に関連しているのでこの点にも留意する。

3.3 土地利用

土地利用や植生は、地下水の賦存状況の指標となる場合もあり、また地下水の涵養源としても、地下水の消費者としても重要な役割を示すので、予備調査の段階で既存資料等を収集し、本調査の能率的展開に資する。

3.4 気象・水文

調査対象区域の地下水と地表水のやりとりや隣接地域の地下水との収支関係の見通しをつけ、循環資源としての位置付けを評価する基礎資料として、降水量、蒸発散量、河川流量、灌漑用水量などの気象・水文資料を収集する。

3.5 地下水とその利用状況

地下水の水位、水質、帯水層などの地下水そのものの情報は一般に少ないが、地下水利用実態の聞きとりなどを通じてその発掘につとめ、本調査の能率的展開に寄与すべきである。

3.6 地下水障害

地下水障害の実態を把握するために、地下水位の低下、地下水の塩水化・水質汚濁などの状況を調査し、地下水対策の検討のための資料とする。

3.7 資料分布

前項までに述べた調査基図、地形・地質・土壌・空中写真、衛星映像、地質ボーリング、地下水とその利用、地下水障害、気象・水文等の情報は数多くある。しかし、公開されていて入手可能なものは限定される。このような場合広域情報（例えば1/100万日本列島第四紀地図¹⁾、1/100万日本列島地質アトラス²⁾、1/50万土壌図³⁾）から調査対象域が国土のなかのどのような位置にあるかを理解したうえで、調査目的や規模の合った未公開資料の収集に努力する必要がある。

第4章 地形・土地利用調査

4.1 目的

地形・土地利用調査は、以下の目的で実施する。

- ① 収集した地形図などの計測・解析を通して地形面を分類し、地下水流動系を推定できる情報を整理・抽出する。
- ② 土地利用の実態を明らかにし、このことを通して水の利用、表流水の浸透・涵養あるいは地下水の湧出の状況を把握し、土地利用の変遷が地下水と地表水の収支にどのように影響するかを検討する。
- ③ 調査対象域を水文学的に類型化し、広域の効率的検討に資する。

これらの検討に必要な資料収集は、原則として予備段階で済ませ、本調査段階では必要に応じて補完・吟味・検討するものとする。

4.2 調査手法

調査方法は、既存資料の利用、空中写真判読、現地踏査により実施するが、要求される内容や精度が高度な場合は、十分に現地踏査を行わなければならない。

4.3 結果のとりまとめ

調査結果は、調査対象域の地下水流動系のポテンシャル分布を推定するために必要な地形標高区分図、傾斜分級図、地形分類図、土地利用現況図などの図表を作成するとともに、調査目的に応じた必要な解析を行い要領よくまとめなければならない。

第5章 地下水利用実態調査

5.1 目的

地下水利用実態調査は、地下水利用施設の分布、構造、地下水利用量を把握し、地下水賦存・流動状況の把握、水収支解析、地下水の開発・保全策の検討を行うことを目的として実施する。

5.2 調査方法

地下水利用実態調査は、所期の目的が達成できるよう、資料調査、アンケート調査、訪問調査等によって行うものとする。

5.3 まとめと解析

調査結果は、地下水利用施設の分布、利用量とその位置・深度を明らかにできる図表に表現するほか、調査目的に応じて必要な処理・解析を施し、要領よくとりまとめるものとする。

第6章 水文調査

6.1 目的

水文調査は、水循環の量的把握に必要な資料を得ることを目的とし、必要に応じて、水文気象、表流水流量、蒸発散量、土壌水分等の項目について実施する。

6.2 水文気象調査

6.2.1 一般

水文気象調査は、地下水涵養量の把握に必要な資料を得ることを主たる目的とし、資料調査、観測等によって行うものとする。

6.2.2 調査項目および調査方法

調査項目および調査方法は、調査地域の特性、利用可能な資料の有無等を勘案し、所期の目的が達成できるよう適切に選定しなければならない。観測方法は、水文観測業務規程および気象業務法に準拠することを原則とする。

6.2.3 データの整理

観測記録は、原則として水文観測業務規程の様式に従って整理するものとする。観測記録及び整理資料は予め定めた保管区分に従って保管しなければならない。

6.3 表流水流量調査

6.3.1 一般

表流水流量調査は、一地下水域における表流水と地下水との交流関係を把握し、地下水の水収支を検討することを主たる目的として実施する。

6.3.2 観測所の配置と設置

流量観測所は、調査対象地下水域に係わる水系の分・合流、地下水との交流等を考慮して、所期の目的が達成できるよう、適切に配置しなければならない。流量観測所の設置は、水文観測業務規程及び河川砂防技術基準（案）に準拠して行うものとする。

6.3.3 観測方法

地下水調査で用いられる表流水の観測の方式として、流速計方式、堰方式、塩分希釈法等がある。観測方法は、それぞれの方式の特質・適用条件と対象河川の流量、観測場所の条件等を充分考慮して選定しなければならない。

6.3.4 データの整理

算出された流量データは、水系、河川名、観測所等の別に整理し、観測流量表としてまとめるとともに、必要に応じて水位流量曲線、ハイドログラフ、河道の流量分布図等を作成する。

6.4 蒸発散量調査

6.4.1 一般

蒸発散量調査は、地下水涵養量推定のための基礎資料を得ることを目的として実施する。

6.4.2 蒸発測定器による推定方法

蒸発測定器による推定は、蒸発計またはライシメータによる測定に基づいて行うものとする。

6.4.3 気象学的な推定方法

気象学的に可能蒸発散量を推定する方法として、ソーンスウェイト法、ペンマン法等がある。推定は、それぞれの手法の適用条件、必要なデータの入手可否等を勘案して適切な手法で行わなければならない。

6.5 土壌水分調査

6.5.1 一般

土壌水分調査は、地下水涵養及び雨水浸透に係わる基礎資料を得ることを目的として実施する。

6.5.2 土壌水分量の測定法

土壌水分量の測定法として、炉乾燥法、テンシオメーター法、中性子法、電気抵抗法等がある。測定は、各手法の適用条件、現地の測定環境、土壌の状態等を考慮して、所期の目的が達成できる方法で行わなければならない。

6.5.3 浸透量調査

浸透量の調査には各種の浸透計、減水深測定器等が用いられる。調査は、各手法の特質、現地の条件等を考慮して、所期の目的が達成できる方法で行わなければならない。

第7章 地下水位調査

7.1 目的

地下水位調査は、地下水調査の基礎として地下水位の空間的分布及び経時変化を把握し、地下水の賦存・流動機構を明らかにするために実施する。

7.2 観測所と観測井

7.2.1 観測所の配置と設置

地下水位観測所は、観測対象地下水域の特性を考慮し、所期の目的が達成できるよう適切に配置しなければならない。

7.2.2 観測井

観測井は地下水の状況を正確に反映させるため、適切な構造と性能を有するものでなければならない。

7.3 観測方法と観測機器

7.3.1 一斉観測

一斉観測は、無降雨が数日間以上続き帯水層全体にわたって比較的水位が安定している時期に、できるかぎり短時間に行う。観測は、季節変動等を考慮して適切な頻度で実施するものとする。

7.3.2 長期観測

長期観測は、調査目的及び観測対象地下水位の変動特性に応じて、適切な観測期間、観測時間間隔で実施するものとする。観測には原則として自記水位計を用いるものとし、その精度は原則として1cmとする。

7.4 データの整理

1. 観測データは、必要な補正や計算を行った上で、所定の様式に従って整理するものとする。データの整理に当たっては各段階ごとに十分な照査を行い、データの信頼性確保に万全を期さなければならない。
2. 地下水位の空間的分布及び経時変化の特性を把握するため、地下水位等高線図、地下水位変動曲線等を作成するものとする。また必要に応じて地下水位と他の水文量との対応関係を検討するものとする。

第8章 地質調査

8.1 目的

地質調査は、地層の空間的分布とその水理特性を把握し、地下水の賦存状況、流動状況を明らかにすることを目的として、必要に応じて現地踏査、リモートセンシング、物理探査、ボーリング、サンプリング、透水試験、揚水試験および土質試験等を実施する。

8.2 現地踏査

現地踏査は、地形・地質・地下水状況の大略を把握し、地下水調査計画策定の基礎資料を得る

ことを目的として実施する。調査は、予備調査に基づいて予め踏査のポイントを定め、重要事項の見落としがないよう効率的に行わなければならない。

8.3 リモートセンシング

リモートセンシングは、広域の水理地質構造調査や水資源調査および土地利用状況等の変化の把握を目的として実施する。実施に当たっては、各手法の特性を十分理解し、調査の目的に適した手法を選ばなければならない。

8.4 物理探査

物理探査は、地盤の物理的性質を利用して地質状況を把握するために行う。実施に当たっては、目的、地盤条件、各探査手法の特質等を考慮して、最も効果的な手法を選定しなければならない。

8.5 ボーリング調査

ボーリングは、調査目的、調査地域の予想地質状況、予定される孔内試験等を勘案し、所期の目的が達成されるように適切な配置、掘削方法、深度、孔径で実施しなければならない。

8.6 サンプリング

室内土質試験のためのサンプリング（試料採取）は、対象地盤を代表する位置において、試験目的と対象地盤の土質・地質に即した適切な方法で行いその性質を変えないように運搬・保管しなければならない。

8.7 単孔式現場透水試験

単孔式現場透水試験は、地層の透水係数を原位置で把握する必要がある場合に実施する。実施に当たっては、試験の目的、地層条件、地下水位などから適用性と結果の妥当性を充分検討しなければならない。

8.8 揚水試験

揚水試験は地下水調査において帯水層の水理定数（透水量係数、貯留係数）あるいは生産井の性能（適正揚水量）を求めるために実施する。試験および解析は目的、地層条件、地下水条件等を考慮して、適切な方法で行わなければならない。

8.9 土質試験

土質試験は、目的、対象地盤の性質等に応じて適切な項目を選択し、適切な方法で実施しなければならない。

8.10 とりまとめ

調査の結果は、調査対象地域の水理特性を明らかにした水文地質平面図および水文地質断面図を作成すると共に、調査目的に応じて必要な解析を行い、要領よくとりまとめなければならない。

第9章 水質調査

9.1 目的

水質調査は、地下水・表流水の水質の把握、及び地下水の涵養・流動機構の解明を目的として

実施する。

9.2 水質試験項目と水質試験方法

水質試験は、水質型の分類、基準との照合、その他調査目的の達成に必要な項目を選び、試験目的に応じてそれぞれ定められた公定法等に準拠して実施するものとする。

9.3 試料採取法

水質試料は、試験の目的・項目に応じて、適切な場所と頻度・方法で現場の水の性質を代表するように採取し、その性質を変えないように運搬・保管しなければならない。

9.4 まとめと解析

水質調査結果は、水質特性、基準値との比較等を明らかにできる図表に表現するほか、調査目的に応じて必要な処理・解析を行い、要領よくとりまとめるものとする。

第10章 地下水流動調査

10.1 目的

地下水の流動調査は、地下水の流れを水循環の一環として捉え、涵養域－流動域－流出域という空間的な拡がりを持つ連続した系として認識し、その一連の循環場が地下水域(ground water basin)と呼ばれる地域単位における三次元的な観点から地下水流動の実態を解明することにある。

10.2 地下水流動の調査方法

地下水流動調査は、調査対象とする地下水流動系の規模、現地の条件等を勘案して、所期の目的が達成できる適切な方法で実施しなければならない。

10.3 地下水ポテンシャルの測定による地下水流動調査

地下水ポテンシャルの測定による地下水流動調査は、等ポテンシャル面及びこれに直交する流線を求めることによって、地下水流動特性を明らかにするために実施する。

10.4 環境同位体による地下水流動調査

環境同位体をトレーサーとする地下水流動調査は、主として広域の地下水流動系を巨視的に把握することを目的に実施する。利用する同位体・解析方法等は、所期の目的が達成できるよう適切に選定しなければならない。

10.5 地下水温による地下水流動調査

地下水温をトレーサーとする地下水流動調査は、地下水温の空間的・時間的变化を利用して、地下水流動の実態を明らかにするために実施する。

10.6 水質をトレーサーとした地下水流動調査

地下水に溶存する水質をトレーサーとする方法は、広域的な地下水流動調査の実態を明らかにするために有効である。

10.7 人工トレーサーによる地下水流動調査

人工トレーサーによる地下水の流動調査は、比較的小規模の地下水流動系の実態把握を目的として実施する。トレーサーは、対象地域の地盤特性、環境に対する安全性等を考慮して選定しなければならない。

10.8 単孔を利用した地下水流動調査

単孔を利用した地下水流動調査は、局所的な地下水流動状況を深度別に把握する必要がある場合に、現場条件に応じて適切な方法で実施するものとする。

第11章 地下水涵養量調査

11.1 目的

地下水涵養量調査は、水循環機構調査の一環として実施し、地下水涵養量とその機構を、これに係わる気象条件、地盤条件等との関係において把握するために実施する。

11.2 地下水涵養量の調査法

地下水涵養量調査は、目的、調査対象地域の規模、現場条件等を勘案して適切な方法で実施するものとする。

11.3 水収支による地下水涵養量調査

水収支による地下水涵養量は、設定水収支期間に各項目の値を測定し、水収支式の計算から求める。結果は表にまとめて示す。

得られた値に対しては、他の方法などでの値と検討吟味することが必要である。

11.4 土壌水分フラックスの測定による地下水涵養量調査

土壌水分フラックスによる地下水涵養量は、テンシオメータでの測定値を表にまとめ、室内実験で求めた不飽和透水係数の値から $K-\phi$ の関係図を作成し、降下浸透量を計算して求める。

11.5 ライシメータによる地下水涵養量調査

ライシメータによる地下水涵養量は、水収支での場合と同じように一定期間毎に秤量した値を表にまとめ、変動図や積算図などを作成し、求める。

11.6 環境同位体トレーサーによる地下水涵養量調査

環境同位体トレーサーによる地下水涵養量は、土壌水分のトレーサー濃度測定値の鉛直分布図（プロファイル）を作成し、数値計算によって求める。

第12章 地盤沈下量調査

12.1 目的

地盤沈下量調査は、地盤沈下地域及び地盤沈下が予想される地域における沈下動向把握のために、地盤沈下計あるいは一級水準測量により実施し、地盤沈下対策、防災対策の基礎資料とする。

12.2 沈下観測井による観測

(観測井および観測装置)

- ・地盤沈下観測井は、原則として一等水準路線の近くに配置する。設置に当たっては、あらかじめ地質条件を解明しておき、観測対象層の深度の確認、不動点の選定を行うものとする。
- ・地盤沈下観測井および観測装置は、所期の目的が達成できる構造と性能を有するものでなければならない。

(観測および整理)

- ・観測は原則として自記記録計により連続的に行い、観測値は必要な補正を施して累計沈下量として整理するものとする。

12.3 一級水準測量による観測

(水準点・基準点の配置)

- ・水準点は、沈下区域または沈下が予想される区域の周辺を含む調査地域に、原則として1kmメッシュの密度で設けるものとする。
- ・基準点は、調査地域内外において不動と考えられる地点に設けなければならない。

(観測計画及び観測)

- ・観測は、効果的かつ経済的な観測計画のもとで、所定の精度の期待できる機器と方法で、行わなければならない。

(計算及び整理)

- ・測量結果は、必要な補正・計算を施し水準点標高として整理するものとする。

12.4 成果のとりまとめ

観測成果は地盤沈下動向の把握、関連要素との対比検討ができるように要領よくとりまとめるものとする。

第13章 数値解析

13.1 目的

数値解析は、対象地域における地下水状況を調査・観測データに基づいてモデル化し、地下水の利用・保全・管理等に関する検討を行うために実施する。

13.2 巨視的な水収支解析

水収支解析は、水循環の主として地下水に係わる量的問題を検討することを目的として実施する。

水収支解析の手法、対象領域、対象期間、時間間隔は、対象地域の特性、利用可能なデータ等を考慮して、所期の目的が達成できるようにそれぞれ適切に選定しなければならない。

13.3 地下水流動解析

地下水流動解析は、広域的または局所的な地下水流動状況の把握あるいは予測を目的として実

施する。

地下水流動解析の手法は、目的、対象地域の特性、利用可能なデータ等を考慮して適切に選定しなければならない。

13.4 地下水汚染解析

- ・地下水汚染の解析は汚染の実態把握、水質保全・管理方策などを目的として実施する。
- ・地下水汚染解析の手法は、目的、対象地域の特性などを考慮して適切に選定しなければならない。

13.5 地盤沈下解析

地盤沈下解析は、地盤沈下地域及び地盤沈下が予想される地域において、地盤沈下量の予測および沈下量と揚水量との関係の把握のために実施する。

第14章 調査成果のとりまとめ

1. 試験・観測・解析の結果は、その精度・信頼性を多面的・総合的に吟味しなければならない。
2. 試験・観測・解析の結果は、これに工学的評価を加えるとともに、これを総合して目的に沿った結論を導かなければならない。
3. 調査成果は、正確かつ分かり易く整理・表現するものとする。

GPSの土木分野への利用と問題点

国土地理院 測地第二課

課長補佐 中 沢 律 夫

1950H (MURCO) TRACK 02 10

1950H (MURCO) TRACK 02 10

1950H (MURCO) TRACK 02 10

GPSの土木分野への応用と問題点

国土地理院測地部

測地第二課長補佐 中 沢 律 夫

1. はじめに

現在、工事用の測量は、主にトランシット、レベルと測距儀、あるいはトータルステーション等の光波を利用した機器によって行われているが、天候による障害や、測量成果を得るのに要する時間等を考えると、必ずしも効率的に測量が行われているとは言い難く、相当な日数と人員を要している。

最近、人工衛星の電波を受信することによって、世界中のどこにいても自分自身の位置を知ることができるGPS（Global Positioning System：汎地球測位システム）を利用する全天候型高精度測量手法が開発され、高い精度を有する位置決定が可能となった。しかし、この手法を建設工事に利用した場合、観測時間の長さ、器械の重量、計算処理ソフトウェア等の点でまだ問題があった。

2. 開発概要

(1) 受信機について

1) 受信機の仕様

・大きさ、重量、アンテナ

アタッシュケース程度の大きさで、重量は電池を含めずに15kg以下であること。受信アンテナは人が一人で容易に運べる大きさ、重量で、測量用の三脚に容易に脱着可能であること。

・受信方式

GPSのL₁信号の搬送波の位相を測定するものとする。受信機の移動中も引き続き受信を続け、キネマティックモードで使用可能であること。

・サンプリング時間間隔

1秒単位として可変であること。

2) 開発結果

精度

スタティック測位 $1\text{ cm} + 2\text{ ppm} \times \text{ベースライン長}$

キネマティック測位 $2\text{ cm} + 2\text{ ppm} \times \text{ベースライン長}$

受信周波数 L₁

データ記録間隔

スタティック測位 15秒ごと

キネマティック測位 1秒以上

重量 7.2kg

形状、寸法

30 × 35 × 13 cm

(2) 計算処理について

1) 計算処理の仕様

- ・使用する計算機

パソコンとする。

- ・計算時間

観測値を入力してから15分程度で終了することを目安とする。

- ・計算モード

キネマティック測位とスタティック測位の両方が可能であること。

- ・サイクルスリップ

自動機能を有するものとし、必要に応じて対話型で手動も実行できること。

2) 開発結果

サイクルスリップについては、自動機能、対話型とも可能となった。

計算モードについては、キネマティック測位、疑似キネマティック測位、スタティック測位が可能となった。

計算時間については、観測値を入力してから5分程度で終了することが可能となった。

3. 工事現場における実験観測

改良された小型軽量GPS受信機を用いて、千葉県検見川の土地区画整理工事現場で総合観測を実施し、工事現場において測量をする場合の機能点検等を行った。観測は約60m間隔の工事用基準点11点で実施した。

(1) キネマティック測位

観測時間間隔を5～15秒、1測点での観測時間は2～10分で実施した。観測結果はX、Y成分で0～4cm、H成分で3cm以内の結果が得られた。

(2) スタティック測位

測定距離約300mの2測点間を観測時間30～90分で実施した。観測時間の長短により差が出ているが、X、Y、H成分ともに2～4cmの結果が得られた。

(3) 疑似キネマティック測位

X、Y成分で0～3cm、H成分で1～6cmの結果が得られた。

(4) 実験観測結果

各測位方式は、要求精度、受信機性能、現場の状況等によって使われ方が違ってくる。キネマティック測位は、多量の基準点を短時間にあまり精度を要求しない観測に有効であるが、移動中にサイクルスリップが頻繁に発生する現場では測定値に誤差が生じる。スタティック測位は、観測時間は長いが高精度の結果が得られる。また、広範囲な測量が実施できるため、工事基準点測量に有効

である。疑似キネマティック測位は、今回の実験観測ではデータ数が少なく他の測位方式と比較することはできなかったが、キネマティック測位の観測時間とほとんど変わらずに、スタティック測位の精度に近い結果が得られる。

測位方式の比較

	キネマティック測位	スタティック測位	疑似スタティック測位
観測時間	1測点 2～10分	1時間以上	1測点 5～10分 1時間後に再測定
測定精度	水平 1～2cm 高低 2～3cm	$\pm 5\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$ $\pm 10\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$	
受信周波数	1波 (L ₁ 帯)	1波又は2波 (L ₁ , L ₂ 帯)	1波又は2波 (L ₁ , L ₂ 帯)
受信機数	2台	2台以上	2台以上
衛星数	4衛星以上	4衛星以上	4衛星以上 移動前後同一衛星
観測方法	受信機を移動させながら観測	2点以上で同時観測	受信機を移動させながら往復観測

4. 工事測量におけるGPS測量の可能性

工事測量においては、全ての工事に先行して、工事用の高次基準点測量が行われるが、従来は国家三角点より、三角測量あるいは多角測量によって位置を決定している。GPS測量は視通線の確保なしに、天空のみ確保できればよく、従来の測量方式と同じ精度あるいはそれ以上の精度で位置決定ができる。

中心杭測量、トンネル坑口基準点測量、用地杭測量等では、高次の基準点から級を下げて最終的に役杭に座標を取り付けているが、GPS測量ではダイレクトに座標を取り付けることができる。

土木工事では、出来形測量において、既存の土木工事管理システムにGPS測量を取り込むことにより、従来の測量では多大な日数と人員を要していたが、数日程度で実施することができるようになると思われる。

キネマティック測位は、各点の位置が数cmの精度で決定できるため、オンラインキネマティック処理により、ブルドーザやトラクター等の大型工事機械の運行管理、三次元的な地形情報をリアルタイムに近い早さで把握するなどにも利用できると考えられる。

5. まとめ

小型軽量GPS受信システムは、工事測量における効率化を狙いとしており、開発された手法によりキネマティック測位が建設工事等に使える可能性は十分にある。

しかしながら、GPS測量は天空の視界が開けていること、電波を反射する建築物等がないこと、電波塔が近くにないことなど、それぞれの現場の状況により使用条件が制限されるため、従来の手法とGPSによる手法を併用することにより、工事測量の一層の効率化が図れる。

参 考

GPS測量の可能性（細部測量において）

工事の種類	検 討 事 項
土 工	切土、盛土の位置を決定するための野描、丁張などは従来法が効率がよいと思われる。ただし、切土量、盛土量の把握、管理にキネマティック方式は有効と思われる。
ト ン ネ ル	本体の工事は、地中となるのでGPSの使用は不可能である。しかし、両坑口の基準点はスタティック方式などで効率よくかつ高精度に求めることができ有効である。また、逆打ちの機能があれば、開削トンネルの中心線などを地上に再現することにも可能性がある。
ダ ム	フィルダムの場合、盛り立ての丁張など、あるいは土量管理は“土工”と同じである。また、堤体斜面の管理において、滑動や圧密沈下の管理は精度的な面が解決できればGPSによる施工管理が期待できる。 コンクリートダムの場合、型枠や形状の決定は従来方式のほうが効率がよい。また、コンクリートダムにしなければならない地形的制約は、GPSの受信状態に必ずしもよい条件ではない。
道 路	切土、盛土は、前項の“土工”のとおり。また、逆打ちの機能を具備すれば、高次の基準点から次級を下げることにしに最終的な役杭を設置することができ、その効果が期待できる。
鉄 道	道路と同じ。
パイプライン	地上、海上の中心線の測量に用いることができ、“道路”と同じである。国内の場合、現在都市ガスなどは、ほとんど地中のため効果が期待できない。
河 川	堤などの盛り土の丁張りも、従来方式のほうが効果的と思われる。ただし、切土量、盛土量の把握、管理にキネマティック方式は有効と思われる（“土工”と同じ）。
空 港	その目的から、施工面積が広範囲であり、天空も開けているのでGPSによる測量は有効である。しかし、平地で視通もよいことから従来方式の使用も可能であり、両者の併用も考えられる。
港 湾	空港と同じ。
海 洋 工 事	ケーソンの位置決めなどにディファレンシャルGPSあるいはキネマティック方式を用いるなど、干渉方式のGPSとともにGPSの独壇場になると思われる。
発 電 土 木	水力については、“ダム”による。火力、原子力については高い煙突、高層の建屋あるいは送電鉄塔などでGPS測量により観測環境とは考えられず、従来方式のほうが効果的であろう。しかし、大規模で広範囲にわたる場合、GPS測量は効果的である。
衛 生 工 学	上下水道の計画は都市部が主流であり、家屋が密集していることが予想され、天空の確保が難しい場合が考えられる。また、都市部ならば基準点の配点密度も高く従来方式が主流と思われる。
砂 防	急峻な斜面、狭隘な谷間に砂防ダムや対策工事をする場合が多く、地形的な制約を受ける。広範な地すべり地帯などは、GPS レシーバーを据え付けて干渉方式で常時モニタリングする場合が考えられる。ただし、使い捨て覚悟まで低廉化が必要であろう。また、多数のアンテナを2～3台のレシーバーで観測できるようなタイムシェアリングで測定する機能も欲しい。
農 業 土 木	圃場整理などは天空が開けているので、畛の位置をダイレクトに決定でき効果的と考えられる。
造 園	地形の起伏や樹木の景観をいかすことが多く、観測場所に制約を受ける。しかも、比較的小地域であることが多く、GPSの効果はそれほど期待できない。
宅 地 造 成	比較的小地域であるが、天空が開けている場合が多いため、GPSの使用が可能である。しかし、造成地の特性上確定測量ができるまで再現性がよくなければその効果は期待できる。

地 中 地 図 作 成 技 術

国土地理院 地理調査技術開発室
室 長 津 沢 正 晴

中國圖書集成

卷一百一十五

目錄

地中地図作成技術

国土地理院

地理調査技術開発室 津 沢 正 晴

1. 地中空間の利用と地図

地下空間は、高層空間、水際空間の利用が具体化しつつある現在において、都市域に残された最後の大規模利用の可能な空間である。

地下空間の利用にあたっては、しかし、利用空間としての特徴が従来の地表空間と本質的に異なっていることは留意しなければならない。すなわち、これまでの利用対象空間の主体を成していた地表空間は、基本的には一様均質であり、また可視（visible）空間として特徴づけられるのに対し、地下空間は本質的に不均質であり、不可視（invisible）領域でもある。地下空間の利用に際しては、対象とする領域の不均質性に関わる情報を3次元空間の中で正しく評価するとともに、その結果を客観的に表示・図化することが必要とされる。そのような事項を表示した図面を“地中地図”という。

従来の地図は、地表面という曲面とその上に在る事象を平面に投影し、独特の記号を用いて図化したものと定義することができよう。それに対し、地下空間の情報を図化する地中地図では、平面のみならず立面および複合面への投影を前提とし、空間内の情報をこれまでとは異なった記号で図化することが必要となる。

近年、計算機の処理能力の向上に伴い、複雑な空間情報を準3次元的に表示することが可能となってきた。本講演では、建設省総合技術開発プロジェクト「地下空間利用技術の開発」の一課題として行われた計算機の支援によって地下空間の情報を3次元的地図として表示する手法の研究開発結果を報告する。

2. 地中地図プロトタイプシステム

都市の地中空間には、建物、地下街などの「建築物・都市施設」、高速道路、地下鉄道などの「交通施設」、上・下水道ガス管などの「都市供給処理施設」等がそれぞれの深さに輻輳した状態で建設・埋設されている（表－1）。これらの地中情報は一元的に管理されていないため、開発計画策定の際には、その都度各々の管理主体から資料から調査しなければならない。

そこで、各種地下施設（埋設物を含む）の立体的な位置情報とその属性情報（種別、名称等）及び関連する地上情報を体系的に整備・蓄積し、データベース技術、コンピュータグラフィックス技術等を応用して、それを分かりやすく地図表現するための技術開発を行い、プロトタイプとしての地中地図システムを構築した。

システムの構築に際しては、表現内容や利用目的等を考慮し、地表下3m以浅の地下埋設物を対象とした浅層用と地表下3m以深の地下構造物を対象として深層用とに分けて、それぞれに適合した地

図表現技術の検討・開発を行った。

表－１ 地中情報の対象と属性

区分	対象物	属 性 情 報
都市施設・建築物	建 物	建物外形、壁面、通路、柱、階段、出入口、エレベータ、エスカレータ
	基礎杭	基礎杭外形
交通施設	高速道路	道路縁、分離帯、支柱、消火栓、名称
	駐車場	道路縁、車線方向、車室、支柱、名称
	地下鉄（駅）	壁面、支柱、階段、エスカレータ、エレベータ、改札口、通路、出入口、換気塔、ホーム、名称
	地下鉄	線路、分岐器、架線柱、信号機、名称
都市供給処理施設	上水道	バルブ、配管、管径、管種、索引番号
	下水道	マンホール、管渠、管径、流水方向、番号
	ガス	バルブ、整圧器、導管、管径、管種
	電 話	マンホール、洞道、キャブ、管路、検索番号
	電 力	洞道、共同溝、管路、マンホール、検索番号
ベースマップ	建 物	建物外形、建物名称
	道 路	道路縁、歩道、分離帯、歩道橋、橋、道路名称
	階 段 等	階段、出入口、エレベータ、エスカレータ
	水 涯 線	河川、湖沼、名称
	境 界	区界、町丁目界、名称
	基 準 点	三角点、水準点

1) 浅層用地中地図システム — 地下埋設物用 —

浅層用地中地図システムは、比較的浅い所（地表下3m以浅）に埋設されている都市供給処理施設を対象とした。

都市供給処理施設は、そのほとんどが道路地下に設置されており、限られた狭い空間に各施設が非常に接近した位置に錯綜した状態で埋設されている。したがって、本システムでは平面位置の精度が高く座標系が明確な縮尺1/500の地下埋設物台帳を基図として、各種施設のデータベース化手法及び2次元的な地中地図表現手法を検討した。

(1) データ作成

- ① 入力基図の作成；収集資料の整合をとるため、地形・地物データ及び各地中施設データを集約した入力基図を作成する。
- ② 図形データ入力；各施設の図形データは、入力基図からディジタイザまたはスキャナで入力

表-2 浅層用システム構成

ハードウェア	C P U	NEC PC-98 RL
	記憶装置	本体内蔵ハードディスク (40MB)、RAMディスク (2 MB)
	表示装置	ハイレゾリューションモード・カラーディスプレイ
	入力装置	キーボード、マウス
	出力装置	カラーハードコピー (SHINKO CHC-645)
	補助演算装置	数値演算プロセッサ (80387)
ソフトウェア	O S	MS-DOS
	マッピングソフトウェア	CITYIS

する。

- ③ 属性データ入力；属性データの inputs は、入力基図中の旗揚げ注記から拾いだし、パンチ入力によるテキスト形式のデータとした。浅層用システムでは、平面座標のみを位置情報とし、地表からの深さおよび標高値は属性情報の一種として扱った。

(2) 地図表現

地上部の地形・地物と地中施設を線種、線号、色調で区別した線分及びシンボル・注記を用い、平面図、断面図を作成した。その他に属性検索、横断表示、距離計算・表示等の機能を持たせた。

2) 深層用地中地図システム — 地下構造物用 —

深層用地中地図システムは、比較的深い所 (数m~10m) に建設・配置されている建築物・都市施設、交通施設等の地下構造物を対象とし、それらの配置状況あるいは未利用地下空間を容易に把握するための様々な3次元立体表現手法を開発・検討した。

表-3 深層用地中地図システム構成

ハードウェア	型 式	InterAct 3260
	C P U	Intergraph CLIPPER C300
	グラフィックプロセッサ	Intergraph GZ + ASAP
	記憶装置	本体内蔵ディスク (48MB)、磁気ディスク (1.2 GB)
	表示装置	19インチカラーモニタ 2台
	出力装置	カラーハードコピー (CANON PIXEL-Dio)
	ビデオ関連機器	Intergraph Frame Grabber video interface Lyon Lamb Mini-Vas VTR controler SONY VO-9850 video tape recoder
ソフトウェア	データ作成ソフトウェア	MicroStasion 32 (ペントリー・システムズ社製)
	データ検討・評価ソフトウェア	DesignReview (インターグラフ社製)
	図形表現ソフトウェア	ModelView (インターグラフ社製)

(1) モデルデータの作成

地下の3次元立体表現を行うには、各種地下構造物の形状を数値列（モデル）で表すことが必要である。モデルの種類にはワイヤフレーム（線）、サーフェイス（面）、ソリッド（固体）の3種類があるが、データ量及び表現手法等を考慮して今回はサーフェイスモデルとした。モデルデータの作成は、各施設管理者等から収集した図面を基に、以下に示す工程で行った。なお、不足するデータについては仮想値を使用した。

- ① 基準点の設定；入手した各種平面図に位置決定のための基準点を設定する。
- ② 平面図のディジタイズ；平面図内の基準点を基に入力基図（1/2500）を作成し、対象物の平面形状（床面または天井面）をディジタイザで入力する。
- ③ 立体形状への立ち上げ；平面形状に合わせて壁面を作成する。これは、平面形を垂直方向にある高さだけ引き伸ばすような操作になる。階段や傾斜面、地下駐車場出入口等の勾配のある形状の入力は、3次元CAD機能により作成する。
- ④ 入力データの確認；面データが正しく設定されているかどうかを、シェイディング機能を使って面に色を付けて評価する。

(2) 地中地図表現

入力した3次元モデルデータを表現用ソフトウェアにより視覚的に表現した。3次元モデルの視覚化の手法は数多くあるが、この研究ではシェイディング手法を多用し、任意の視点から見渡した表現を標準とした。地下部の3次元表現では各構造物等の相対的な位置関係—立体感の把握が、地上部の表現に比べ困難である。このため、視認性、判別性を高めるため一部の地下表現に以下の操作を取り入れた。

- ① 座標軸の設定・表現。
- ② 深さを示すスケールの表現。
- ③ 方角を示す指標の表現。
- ④ 地下部の深さを2倍から3倍に強調した表現。
- ⑤ 深さ（階層）の色区分。
- ⑥ 視点の位置、視線方向を示す補助画面の挿入。

これらの操作はオプションであり、対象物の弁別に支障をきたす場合は、画面から外すこともできる。

深層用地中地図における代表的な表現方法は、地下深いところから各種構造物を見上げた表現である。これは、地上部を対象とした“鳥瞰図”に対して、「地中に棲む虫の視点から見渡した画像」という考え方から“虫瞰図”と呼んでいる。このシステムでは、この他に透視図や断面図などの様々な表現が可能である。

立体感の把握に有効な方法として動画表現がある。これは、虫瞰図等において視点の位置、視線方向を連続的に変化させていくに従って現れてくる画像を、有限の時間内に連続的に映し出す

ものである。深層用システムにおいては動画表現の検討のため、ビデオ画像作成装置も併用している。動画作成にあたっては、予め視点・視線方向の変化のシナリオを決めたうえで、当システムのデモンストレーション用に製作したVHSに組み込んだ。

3. 3次元地図への期待

技術開発という観点から、特に深層用システムについて先端的な要素技術を積極的に用いた。また、プロジェクトが始まった昭和63年度当時は利用可能なソフトウェアも限られていたことなどから、システム全体として高価なものとなった。最近では、比較的簡便なシステムで3次元的な表現が可能になり、過大な機能を要求しない範囲で、価格面での実用化はでき得るものと考えられる。

一方、3次元的な地図表現は、地中だけでなく地上の立体表現、あるいは環境関連情報等の階層的表現などにも応用範囲が考えられる。そこでは、各種地理情報と位置情報とを有機的に結合させ、空間的な加工・分析をなす“地理情報システム”が有効である。現用のソフトウェアでは、3次元GISは実用化に至っていないが、今後の技術開発と需要の動向次第では、今世紀中にも実用化が図られるかも知れない。さらに、時間軸座標を導入した4次元地図の作成も実験的に行われようとしており、シミュレーションの適応対象が広がる可能性がある。

文 献

赤桐毅一（1991）：地中地図について．測量，vol.41，No.12，67－73．

村岡清隆（1991）：地中地図システムの開発．国土地理院時報，No.74，45－51．

Muraoka, K. et al. (1993) : The Development of Underground Maps. Bulletin of the GSI, vol.XXXVII. in press.

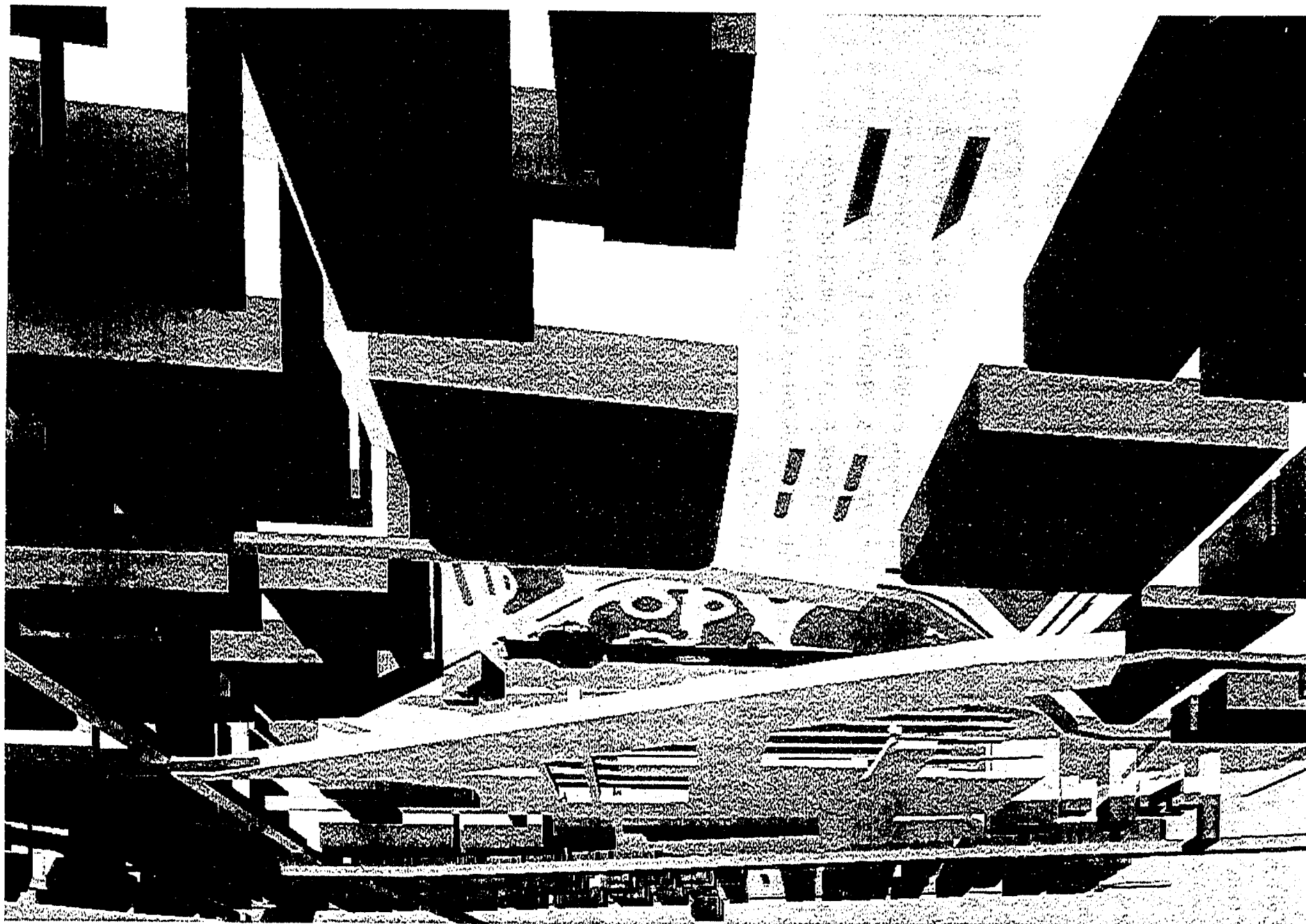


図-1 地中地図表示例（浅層用）

東京駅丸の内口（西口）付近の地上及び地下構造物を地中から見上げた図。
上空から見おろした「鳥瞰図」に対して、地上に棲む虫からの視点という想定で「虫瞰図」と呼んでいる。

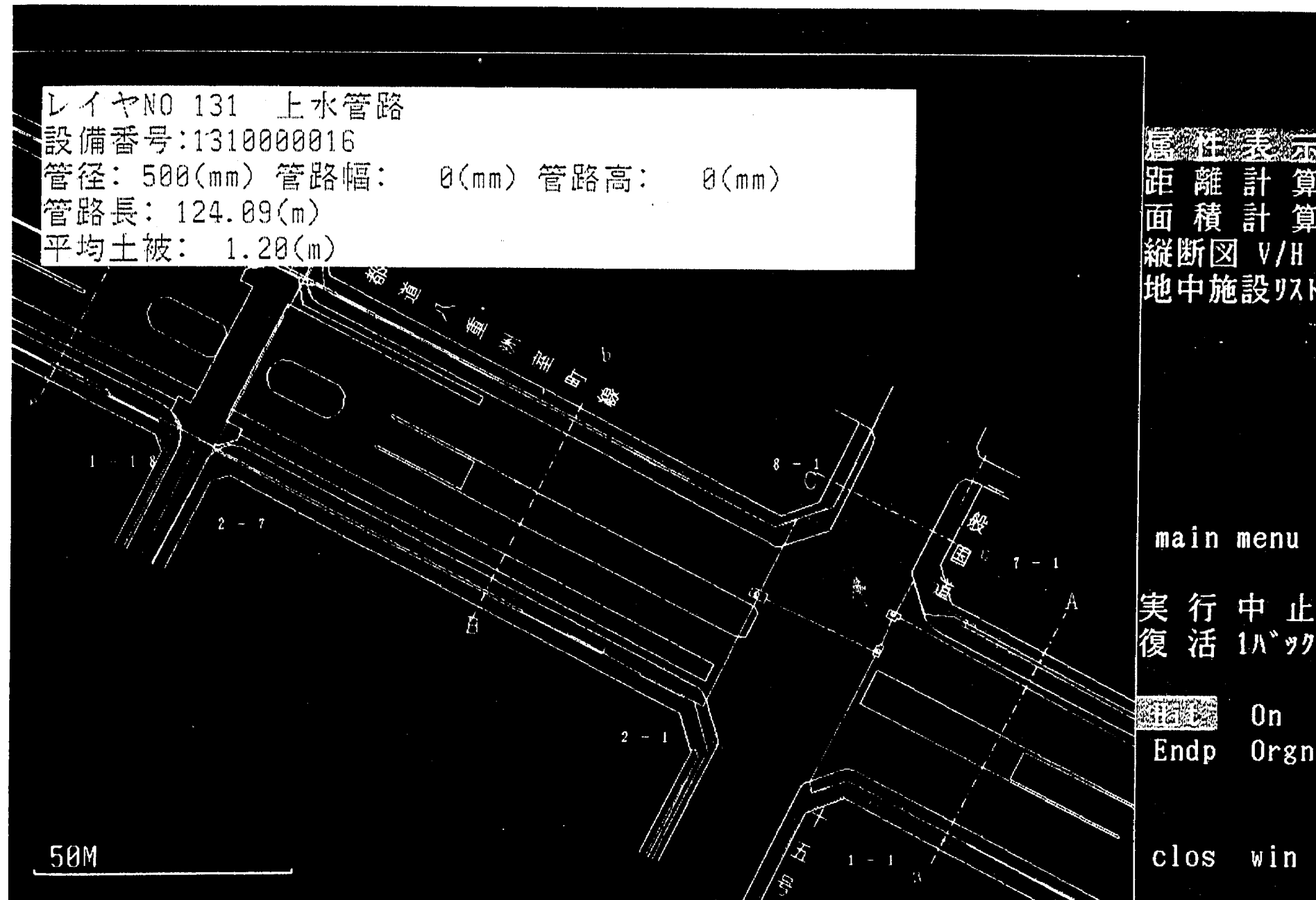


図-2 地中地図表示例（深層用）

地 建 提 案 議 題 の 討 議

司 会

本省 技術調査室

技術調査官 村 上 真 幸

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

500 FIFTH AVENUE, NEW YORK, N. Y.

第26回地質担当者会議 地建等提案議題一覧表

提 案 議 題	担当研究室	提案地建
沖積層における支持層の選定	基 礎	東北地建
築堤土における建設発生土の客観的な土質判定基準	土 質	関東地建
大深度掘削による盤ぶくれの検討法	基 礎	関東地建
ボーリングコアの記録保存手法	地 質	関東地建
長大な地下構造物における局所的な液状化地盤の設計対応法	振 動	中国地建
土の圧縮強度と土壌硬度計の関係の推定式	土 質	九州地建
柱状節理が発達した岩の掘削勾配の設定法	地 質	九州地建
地すべり地帯における道路計画方法	地すべり	九州地建
三成分コーン試験による常数の設計への利用方法	動 土 質	九州地建

提案議題：沖積層における支持層の選定

概 要：構造物の基礎における良質な支持層の目安として、砂層、砂れき層ではN値が大略30以上あればよいとされている。しかしながら、沖積層においては洪積層と異なりN値が高く層厚が厚くても支持層とは考えないという意見もある。このため、沖積の砂れき層でN値が30以上、層厚が5 m以上ある場合では、その層を支持層として設計してよいか御教示願いたい。

回 答：

上部工からの荷重は下部工躯体および基礎を介して、最終的に地盤により支持される。このため、支持層としては、作用する荷重に対してせん断などの地盤の破壊を生じないことや、上部構造の使用に支障を与える沈下などを生じず長期的に安定していることが要求される。したがって、基礎を支える良質な支持層の条件は構造物の機能や重要度および基礎に作用する荷重規模などにより異なり、一律には定められない。

道路橋の基礎においては、このような事項を踏まえ、一般的な目安として粘性土層では大略N値が20以上（一軸圧縮強度 q_u が4 kgf/cm²程度以上）、砂層、砂れき層では大略N値が30以上あれば良質な支持層と考えてよいとしている¹⁾。また、N値から良質な支持層と判断される場合でも、その層厚が薄い場合やその下に弱い層がある場合には、支持力と沈下についてその影響を検討する必要がある。良質な支持層とみなすのに必要な層厚は荷重規模により異なるものの、基礎幅に比例して大きくなる。ここで、道路橋示方書Ⅳ下部構造編¹⁾では基礎最小幅の3倍の深さの間に圧密を生じる粘性土層がある場合には圧密沈下量を算出することとしており、また、阪神高速道路公団²⁾や日本国有鉄道³⁾においても支持層厚が基礎幅の3倍以下であれば支持力の低減を行うこととしているので参考とされたい。

設計においては、ボーリングなどの地質調査結果に基づき上記事項を考慮して支持層を選定することとなる。ここで、洪積地盤においては一般に支持層となるような地盤の下に圧密沈下が問題となるような地盤が存在することは少ない。しかしながら、沖積層においては、N値が50以上の層においてもその下に軟らかい層が分布している可能性があるため、支持層下の土質特性も十分把握したうえで支持層の選定を行う必要がある。その一例を図-1に示す⁴⁾。図において、 P_1 は洪積層、 P_2 は沖積層のいずれもN値が50以上の密なれき層に杭を支持させている。ここで、 P_2 においては杭を支持させている砂れき層 A_g の下に A_p 層が存在しているため、 A_p 層についても十分調査を行う必要がある。そのうえで A_g 層を支持層とするか、 D_{s2} 層を支持層とするか検討すべきである。

したがって、質問で紹介されている地盤条件の場合、良質な支持層として必要となる層厚は構造物や基礎形式により異なるのでただちに判断することはできないが、その下層の状態についても調査し、支持層を選定することが望まれる。

なお、支持層の選定にあたっては標準貫入試験により測定したN値が重要な指標となっているが、土質条件や試験の良否により誤差が含まれる場合があるので、結果の判定においては注意が必要である⁵⁾。

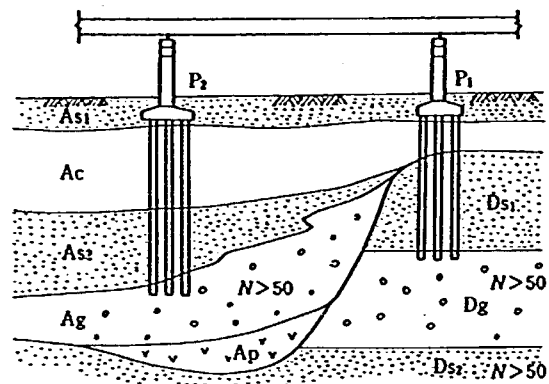


図-1 注意を要する支持層の選び方⁴⁾

参考文献：

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書IV下部構造編，1990.
- 2) 阪神高速道路公団：場所打ち杭の支持力設計要領，1990.
- 3) 日本国有鉄道：構造物設計標準解説，1986.
- 4) (社)日本道路協会：杭基礎設計便覧，1992.
- 5) 岩津潤，三木幸蔵：地盤の調査・判定と活用，鹿島出版会，1977.

(基礎研究室)

提案議題：築堤土における建設発生土の客観的な土質判定基準

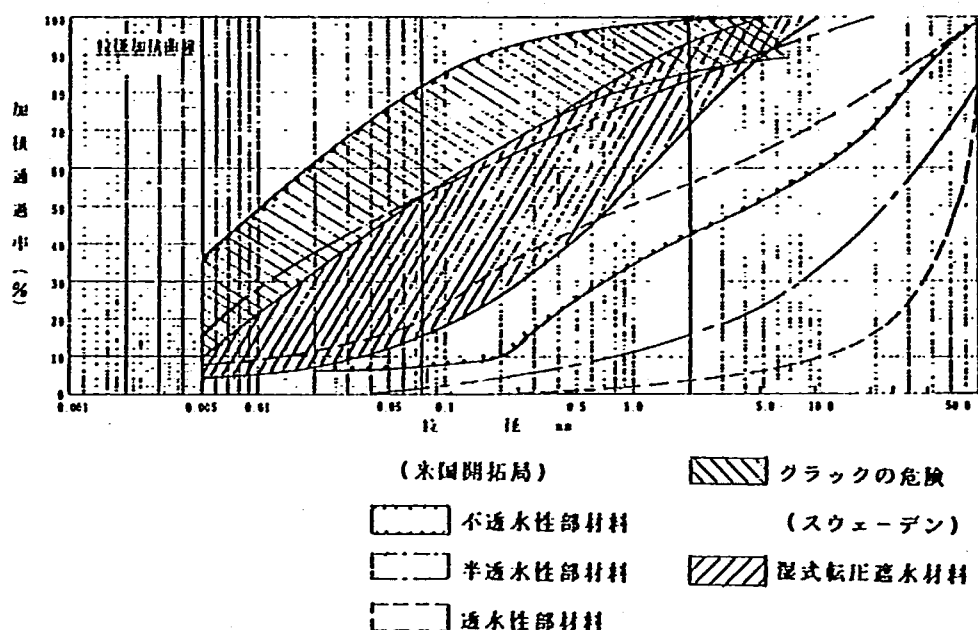
概 要：リサイクル法の制定に伴ない、今後、ますます建設発生土の流用が盛んになると思われるが、築堤土としてみた場合、明確な土質基準がなく現場での適用は経験的なものに頼っている現状にある。土の性質（土質試験結果）から見た判断基準の確立は出来ないものか。

回 答：

堤体材料の選定に当たっては、堤体材料の優劣が完成後の堤体の安定性や施工の難易などに大きな影響を持つので、安定性の高い河川堤防を築造する意味からも、建設省河川砂防技術基準(案)設計編 2.3 に示された堤体材料の選定の目安に準拠し、次に示すような条件を満たしているものが望ましい。

- (1) 浸潤、乾燥等の環境変化に対して安定していること
- (2) 腐食土等の高有機質分を含まないこと
- (3) 施工時に締固めが容易であること

また、図－1 に築堤土としての粒度分布の適用範囲をフィルダムにおける参考例として示す。



図－1 堤体材料の適性範囲参考例

以上のような基本的観点から堤防への材料として留意点と併せて土の評価を示すと表－1 のようになる。

表-1 堤体材料としての土の評価

土の区分		堤体材料としての評価		対 策	
名 称	記 号 (日本統一分類)	評 価	留 意 事 項		
粗粒土	礫	(GW),(GP)	○	透水性が非常に大きい。	透水及び植生対策が必要になる。
	礫質土	(G-M),(G-C),(G-O), (G-V),(GM),(GC), (GO),(GV)	○		
	砂	(SW),(SP)	○	透水性が大きく、法くずれが生じやすい。	漏水対策が必要である。
	砂質土	(S-M),(S-C),(S-O), (S-V),(SM),(SC), (SO),(SV)	○		
細粒土	シルト	(ML),(MH)	○	(場合により対策を必要とする) 水を含んだ場合、機械施工が困難となり、締固めが十分できないことがある。	乾燥による含水比の低下もしくは、土質改良用添加材による土質改良。
	粘性土	(CL),(CH)			
	火山灰質粘性土	(OV),(VH ₁),(VH ₂)			
	有機質土	(OL),(OH)	△	高含水比のものが多く、そのままでは機械施工によって締固めたり、整形することが困難である。	乾燥による含水比の低下もしくは、土質改良用添加材による土質改良。または、良質土と粒度調整を行う。
高有機質土		(Pt),(Mn)	×	含水比が高く、締固めが困難である。圧縮変形が大きく、また浸水、乾燥などの環境変化に対しても安定性が悪い。	

○ 使用可能なもの
△ 必要に応じて対策を施せば、堤体材料として使用できるもの
× 堤体材料として不適当なもの

ここで一般的な築堤土として望ましい土に対する具体的条件を列挙すると以下のとおりであり、これらの条件は、上述した堤体材料の選定の目安を満足する土である。

- ① 粗粒分布のよい土：締固めが十分行われるためにいろいろな粒径が含まれているのが望ましく、粗流分は粒子のかみ合わせにより強度を発揮させるのに効果があり、細粒分は透水係数を小さくするのに必要であるから、これらが適当に配合されていることが築堤土としては好都合である。
- ② 最大寸法は10～15cm以下：施工時のまき出し厚の制限から決まるものであるが、礫径の最大寸法があまりにも大きくなると、締固めの効果が十分に発揮されないことも生ずるので注意が必要である。
- ③ 細粒分(0.075mm以下の粒子)が土質材料(75mm以下)の15%以上：不透水性を確保するための条件で、堤体漏水の多くはこの条件をはずれた材料の堤防にみられることが多い。しかし、細粒分が50%以上のものには乾燥時にクラックの入る危険性があるので細粒分があまり多くなく50%以下のものが望ましい。

④ シルト分のあまり多くない土：降雨による浸食，浸透水による法面崩壊は水をおる程度通しやすく，含水比の増加によりせん断抵抗の低下する土に起こった例が多いが，そのような状態になるのはシルト分の影響が大きいと考えられる。

築堤土としては，次のような土が望ましいと考えられるが，建設省が総合的な残土対策を策定することを目的に，昭和63年9月から平成2年6月まで設置した「総合的建設残土対策研究会」の報告によると，土質選定基準及び各土質材料の適用性の目安は，表-2，表-3のとおりである。これによると，河川堤防の材料としては，コーン指数が4以上の第2種及び第3種土質材料が適しているといえる。なお，コーン指数は，表-4に示すとおりモールドに試料を詰めて突き固め，コーンペネトロメータを押し込むときの貫入抵抗値を断面積で除した値である。また，施工上の

表-2 各土質材料の適用性の目安
(建設副産物対策ハンドブック
・建設副産物対策研究会)

用 途 区 分	埋戻し材料	路床	裏込め材料	路体	河川堤防 ¹⁾	宅地造成	埋立て等
第1種土質材料	○	○	○	○	△	○	○
第2種土質材料	△	○	○	○	○	○	○
第3種土質材料	×	△	○	○	○	○	○
第4種土質材料	×	×	△	△	△	△	○
汚 泥	×	×	×	×	×	×	×

○：適する △：注意 ×：不適
1) スーパー堤防については別途検討中

表-3 土質選定基準

(建設副産物対策ハンドブック・建設副産物対策研究会)

指標 区分	最大粒径 (mm)	細粒分 含有率 ¹⁾ (%)	強 度				備 考
			修正 CBR ²⁾ (%)	塑性指数 PI (%)	一軸圧縮 強度 ¹²⁾ (kgf/cm ²)	コーン 指数 (kgf/cm ²)	
第1種土質材料	100以下	15以下	10以上	10以下	5.0以上	—	砂相当
第2種土質材料	150以下	50以下	5以上	—	2.0以上	8以上	砂質土，礫質土相当
第3種土質材料	300以下	—	2以上	—	1.0以上	4以上	ローム，粘性土相当
第4種土質材料	—	—	—	—	—	2以上	高含水比の粘性土相当
汚 泥	—	—	—	—	—	2未満	

11. 改良土の場合，細粒分含有率，塑性指数は対象外とする。
12. 一軸圧縮強度は改良土を対象とする。

トラフィカビリティーの確保に関して，日本道路協会では，建設機械の走行に必要なコーン指数の目安を表-5のようにまとめている。堤防の造成には，湿地ブルドーザ，普通ブルドーザ等の走行が可能であれば施工上の問題ないものと考えられ，この表よりコーン指数は4程度が必要であると考えられる。

さらに，高規格堤防の堤体材料として建設発生土を用いる場合には，通常堤防にはない高規格堤防固有の性質より通常堤防の材料と同等またはそれ以上に良質なものが求められる。一般的に，高規格堤防の堤体材料としては，堤防の圧縮沈下を極力おさえることや，地盤の地耐力，施工上の

表-4 コーン指数測定方法

測定場所		室内	現場
供試体の作成	試料	4,760 μ ふるいを通したものを	測定箇所の地表面を平坦に整える。
	モールド	内径 150mm 高さ 175mm	
	ランマー	重さ 2.5kg	
	つき固め	3層に分けてつき固める。各層ごとに30cmの高さから55回つき固める。	
測定	コーンペネトrometer	底面の断面積3.24 cm^2 先端角度30度のもの	"
	貫入速度	10mm/sec	"
	方法	モールドをつけたまま、鉛直に50mm, 75mm, 100mmの各位置まで貫入	鉛直に200mm, 300mm, 400mmの各位置まで貫入
計算	貫入抵抗値	ブルーピングリングのたわみの3回の平均値	"
	コーン指数 (q_c)	貫入抵抗値をコーン底面積3.24 cm^2 で除す。	"

のトラフィカビリティーの確保を考慮し、コーン指数がある程度以上の材料を選定することが望ましい。また、将来の土地利用形態に配慮し、盛土材の最大寸法は、110mm程度とし、粒径が大きい礫等の混入率は40%程度以下を目安とする。ただし、仕上がり面より1m未満の範囲には粒径が大きい転石等を含んではならない。さらに、圧縮性の大きい土や凍土、氷雪、草木、切り株、その他の各種廃棄物を含む土を使用することは避けなければならない。

表-5 建設機械の走行に必要なコーン指数
(道路土工施工指針：日本道路協会)

建設機械の種類	コーン指数 q_c (kg/cm ^{2})
超湿地ブルドーザ	2 以上
湿地ブルドーザ	3 以上
中型普通ブルドーザ	5 以上
大型普通ブルドーザ	7 以上
スクレーパー	6 以上
けん引式スクレーパー	7 以上 (湿地型は4以上)
モータースクレーパー	10 以上
ダンプトラック	12 以上

(土質研究室)

提案議題：大深度掘削における盤ぶくれの検討法

概 要：近年、構造物が大型化、大深度化しているが、その施工時において被圧水による盤ぶくれ現象が重要な検討課題となってきた。盤ぶくれに対する事前の検討方法について御教示願いたい。

回 答：

構造物の建設にあたって開削工事を行う場合、掘削底面地盤の安定に対する検討を行う必要がある。掘削底面の安定が損なわれる現象は便宜的に表-1に示すように分類される¹⁾。軟らかい

表-1 掘削底面の破壊現象¹⁾

分類	地盤の状態	現象
ヒービング	掘削底面付近に軟らかい粘性土がある場合、主として沖積粘性土地盤で、塑性・含水比の高い粘性土が厚く堆積する場合。	土留め背面の土の重量や土留めに近接した地表面荷重などにより、すべり面が生じ、掘削底面の隆起、土留め壁のはらみ周辺地盤の沈下が生じ、最終的には土留めの崩壊に至る。
ボーリング	地下水位の高い砂質土の場合、土留め付近に河川、海など地下水の供給源がある場合。	透水性の土留め壁を用いた場合、水位差により上向きの浸透流が生じる。この浸透圧が土の有効重量を超えると湧出したように湧き上がり、掘削底面の土がせん断抵抗を失い、土留めの安定性が損なわれる。
盤ぶくれ	掘削底面付近が不透水層、水頭の高い透水層の順で構成されている場合、不透水層には粘性土だけでなく、細粒分の多い砂質土も含まれる。	不透水層のため上向きの浸透流は生じないが、不透水層下面に上向きの水圧が作用し、これが上方の土の重さ以上となる場合は掘削底面が浮き上がり、最終的には不透水層が突き破られ、ボーリング状の破壊に至る。
パイピング	ボーリング、盤ぶくれと同じ地盤で、水みちがしやすい状態がある場合、人工的な水みちとしては上図に示すものがある。	地盤の弱い箇所の細かい土粒子が浸透流によって洗い流され、土中に水みちが形成され、それが順次上流側に及び、粗い粒子をも洗い出し、水みちが拡大する。最終的にはボーリング状の破壊に至る。

粘性土地盤での掘削では掘削底面の地盤強度が不足することによるヒービングが問題となり、砂質土層においてはボーリングやパイピングに対して検討する必要がある。一方、近年の構造物の大深度化により開削工事の深度も増加している。ここで、掘削底面に不透水層が存在する場合、作用する揚圧力も大きくなるため、盤ぶくれに対する検討が重要となってくる。

盤ぶくれに対する検討は、図-1に示すように不透水層下面に作用する揚圧力と、下面における抵抗力との釣合により行うことができる。検討式の一例を次式に示す²⁾。

$$r \cdot d_0 \geq F_s \cdot p$$

ここに、

r : 掘削底面地盤の単位体積重量 (tf/m³)

d_0 : 掘削面側の被圧地下水層上部地盤の厚さ (m)

p : 地下水の圧力 (tf/m²)

F_s : 安全率で 1.2 とする。(1.1 としている基準もある)

ここで、盤ぶくれに対する抵抗力としては上記の地盤の自重のほか土留め壁と地盤との摩擦抵抗が考えられるが、通常の掘削においては自重の効果に比して後者は微小と考えられ、無視されている。しかしながら、掘削面積が小さい立坑などではこの側面の摩擦抵抗の割合も大きくなるため³⁾、盤ぶくれの検討においてこの効果を取り入れている基準もある⁴⁾。

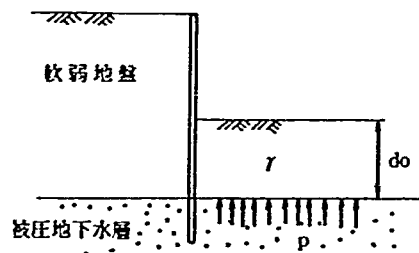


図-1 被圧地下水による盤ぶくれ²⁾

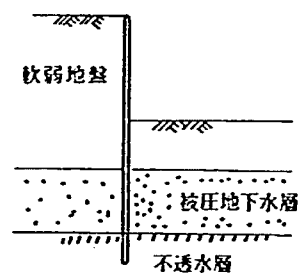


図-2 対策工法例²⁾

盤ぶくれの防止対策としては、土留め壁により被圧地下水層を遮断する方法(図-2参照)やディープウェルによる被圧水頭の低下工法、薬液注入工法などが用いられている。

また、大深度掘削となった場合、従来はあまり重要視されなかった応力解放による弾性変形(リバウンド)も問題となる場合がある。リバウンドそのものが土留めの崩壊につながることは少ないと考えられるが、中間杭の上方への変位が問題となる場合があるので、施工法によってはこの影響についても検討しておく必要がある。リバウンド量の計算方法については文献5)に紹介されているので参考とされたい。

参考文献：

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書（開削編）・同解説，1986.
- 2) (社) 日本道路協会：共同溝設計指針，1986.
- 3) 吉田，松本，伊藤，喜多：掘削にともなう地盤挙動の応力-浸透連成解析，山留めとシールド工事における土圧・水圧と地盤の挙動に関するシンポジウム，土質工学会，1992.
- 4) 東京電力株式会社：地中送電用深部立坑，洞道の調査・設計・施工・計測指針，1982.
- 5) 日本建築学会：山留め設計施工指針，1988.

(基礎研究室)

提案議題：ボーリングコアの記録保存手法

概 要：土工の安定計算や構造物の基礎工選定のためのボーリングコアを数多く実施しているが、コア標本の数が多く又、保存期間が長いと保存に苦慮している。現在の実物標本に代わる、記録保存の手法についてうかがいたい。

回 答：

事業の性格によっては、地質調査は長期にわたり、また施工、管理段階においても再検討の必要が出て来る場合もある。この場合、ボーリングコアのカラー写真や観察記録のみでは微妙な色調の相異や硬軟の差等が分らず、正確な判断ができない。したがって、発注者は各々の事業の性格を考慮したうえで、コアの保管を行う必要がある。例えば、ダム事業の場合には事業の段階および調査箇所に対応したボーリングコアの標準的な保管期間が示されている*。なお、コア箱は湿気等で老朽化しないよう。また必要に応じて容易に取り出し、観察できるよう、棚などを使って倉庫等に保管しておくのが望ましい。

* ダム技術 No.65, pp.67 - 70

(地質研究室)

提案議題：長大な地下構造物における局所的な液状化地盤の設計対応法

概 要：地下函渠構造物など延長の長い構造物の場合に、局所的に存在する軟弱層などにおいて部分的に起こると考えられる液状化現象等の部分的外力の対応のあり方について御教示願いたい。

回 答：

1. 地下構造物の液状化に対する耐震設計法及び対策工法の現況

現在、地下構造物の耐震設計法の関係では、共同溝設計指針（昭和61年3月）があり同指針では地盤の不整形性に基づく地震動の変化を考慮した断面力の割り増しを行うようになっている。しかし、液状化については浮き上がりに対して単一の断面に対する安定性の照査について検討するようになっているものの、縦断方向の液状化の発生の不均一性に対しては特に明記していない。従って、現時点では必要に応じて対象地点毎に設計方法を定めて対処することとしている。

また、液状化対策工には、1) 液状化の発生自身を軽減・防止する方法と2) 液状化の発生を容認して構造的に強化する方法に大別され、前者には地盤改良工法が、後者では浮き上がり防止矢板／杭・ストッパー等があるが、縦断方向の液状化の発生の不均一性に対してはある施工区間毎に地盤改良の規模や矢板／杭等の規格・数量を算定することが行われている。なお、地中構造物の液状化対策工法では種々の工法が提案されているものの、現在の所では適用事例は少ない。しかし、直轄事業においても既設及び新設の共同溝の液状化対策が具体化し始めている。

なお、液状化地盤の耐震性の評価及びその対策技術に関しては、平成4年度から総プロ「大都市地域における地震防災技術の開発」として、既設構造物及び新設構造物に対する構造補強対策及び地盤改良対策について研究・開発が実施される。

2. 部分的な液状化に対する設計法／対策工法

部分的な液状化に対する地中構造物の設計法／対策工法については、前記の総プロで研究・開発を実施する予定であるが、現時点では以下のような考え方ができる。

まず、液状化に対する設計の基本理念を明確にする必要がある。つまり、液状化に対する地中構造物の耐震性の評価方法は以下のように分類できる。

1) 浮き上がり等の残留変位を許容しないで、外力荷重と抵抗力のバランスをとる方法

これは現行の共同溝設計指針の考え方であり、浮き上がり安全性を評価して、安全率の不足分は抵抗力の増加により補うことになる。

【対策例】 断面補強、支持杭、矢板・ストッパー 他

2) 浮き上がり等の残留変位を許容して、外力荷重と抵抗力のバランスをとる方法

これは浮き上がり等による残留変位を考慮して、変形により荷重の低減を図るものであるが液状化による変位量の推定法が確立されていない現在では合理的な設計が困難である。

Ⅱ) 地震動による地盤変位は推定ができ対応が可能（現行共同溝指針）

【対策例】 ジョイント／断面補強 他

3) 液状化の発生そのものを軽減・防止する方法

これは地盤改良等によるものであり、構造物自身の耐震設計は不必要あるいは軽減される。

【対策例】 固結、グラベルドレーン、サンドコンパクション 他

ここで、構造物の機能上から浮き上がりによる変形が許容されない場合が一般的であることや浮き上がり変位量の推定が困難であることから、現時点では液状化の発生の不均一性に対する構造物本体での対応方法は1)の方法が考えられる。この場合、液状化発生の不均一性の影響は、縦断方向に発生する「浮き上がり（静水圧、過剰間隙水圧）から抵抗力（自重、上載土等）を差し引いた外力差」であり、これに対して設計を行うことになる。

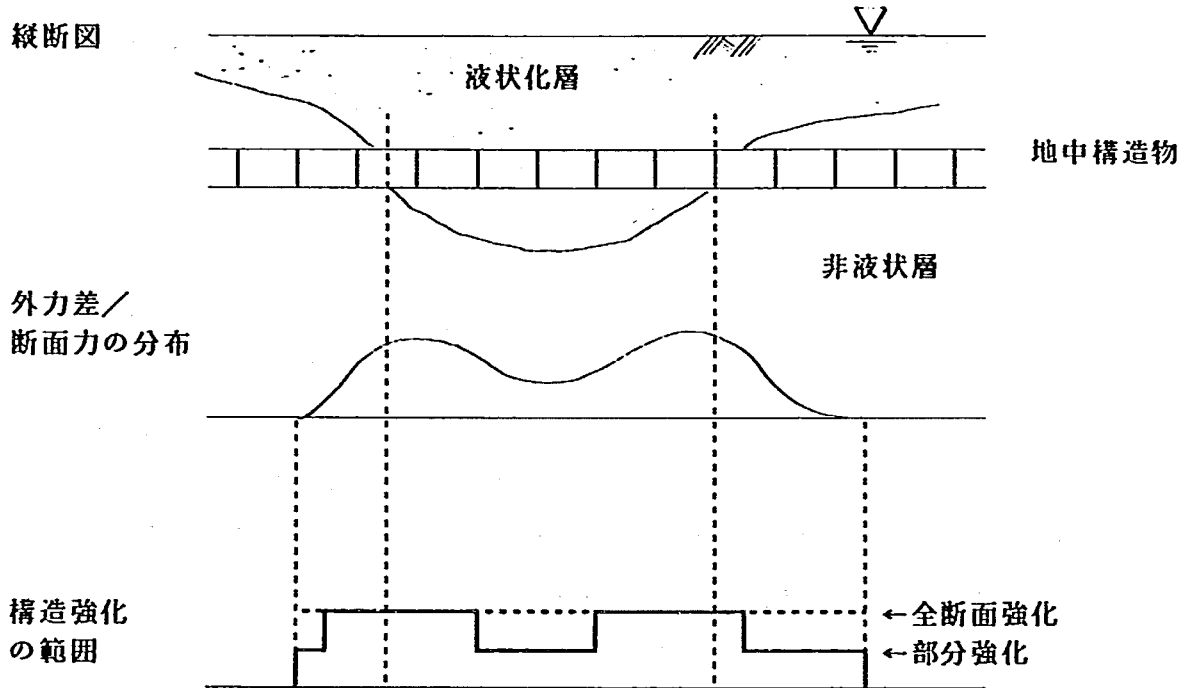
なお、通常、共同溝等は或る延長（例えば20m）を単位として継ぎ手により連結されるが、継ぎ手は浮き上がりに対する構造的な強化とはなり得ないと考えられる。つまり、仮に継ぎ手により外力差に抵抗させようとする、継ぎ手以外の部分に外力差が作用することになり、結果的に全長を補強しなければならなくなる。

しかし、不均一な地盤においては外力差が縦断方向に変化するので、きめ細かい設計をするのであれば、補強範囲は液状化範囲（＝外力差の分布）に応じて設定できるので、必ずしも一様に補強する必要はなくなる（図－1参照）。ここで、外力差の分布は数値解析モデルにより算定することができる。ただし、不均一性の範囲、函体製作の容易性や施工性を考慮して、断面形状や寸法を縦断方向で必要以上に変化させないような配慮が必要である。

ここで、構造物の断面強化が困難あるいは不適当な場合は、支持杭、矢板・ストッパーあるいは地盤改良等の他の方法を兼用あるいは代替するのがよい。

なお、このような不均一性を考慮した設計を行うためには、縦断方向の地盤条件の詳細な把握が前提であり、そのための調査が必要である。

【概念図】



参考文献：

- 1) 道路協会：共同溝設計指針，昭和61年3月

(振動研究室)

提案議題：土の圧縮強度と土壤硬度計の関係の推定式

概要：土の圧縮強度を推定するために、現場で簡単に計測できる硬度計を使用して判断したい。そのための関係推定式がないものか伺いたい。

回答：

各種の貫入試験で求められる貫入抵抗値から一軸圧縮強さ、CBR 値を推定する方法をいくつか紹介する。

(1) コーン指数から推定する方法

コーン指数 (q_c) は、現場で支持力やトラフィカビリティーの簡便な把握のためにコーンペネトロメーターによる貫入試験によって求められる数値である。

なお、図-1 にコーン指数と一軸圧縮強さの関係の例を示す。

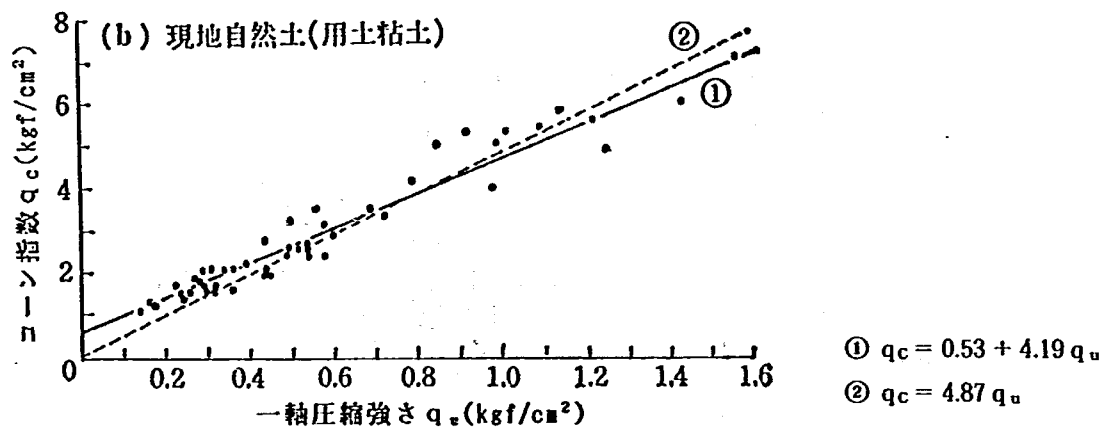
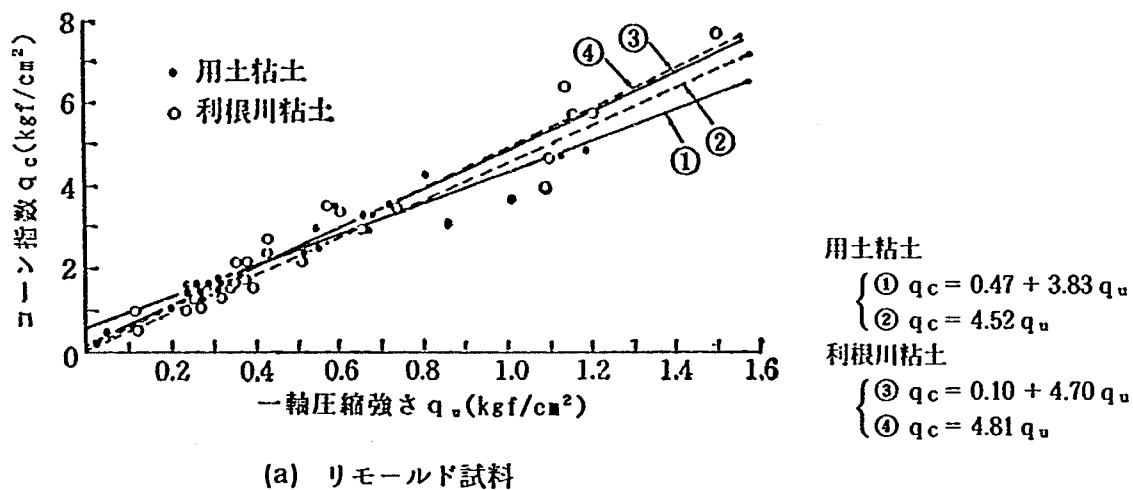


図-1 コーン指数と一軸圧縮強さの関係

(資料：土質工学会、土質調査法)

(2) 貫入式土壌硬度計より推定する方法

貫入式土壌硬度計は、主に農林関係で農業機械の走行性や農作物の根の伸長の程度を簡易的に判断する貫入試験機で、図-2に示すように貫入抵抗が自動記録できるようになっている。貫入コーンは、頂角 30° 、 1 cm^2 で貫入抵抗は $1.5 \sim 25\text{ kgf/cm}^2$ の範囲で計測が可能である。

なお、図-3に貫入式土壌硬度計による貫入抵抗と山中式硬度計の関係の例を示す。

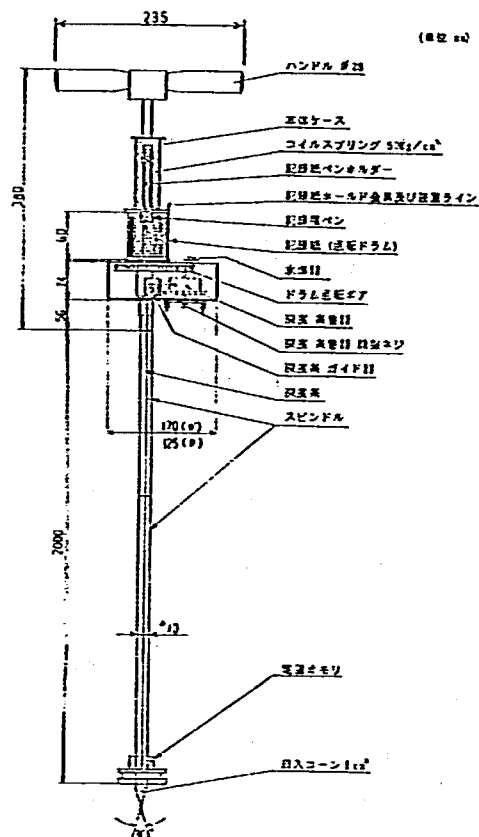


図-2 貫入式土壌硬度計（自動記録型）
（資料：土質工学会，土と基礎 Vol.34-5）

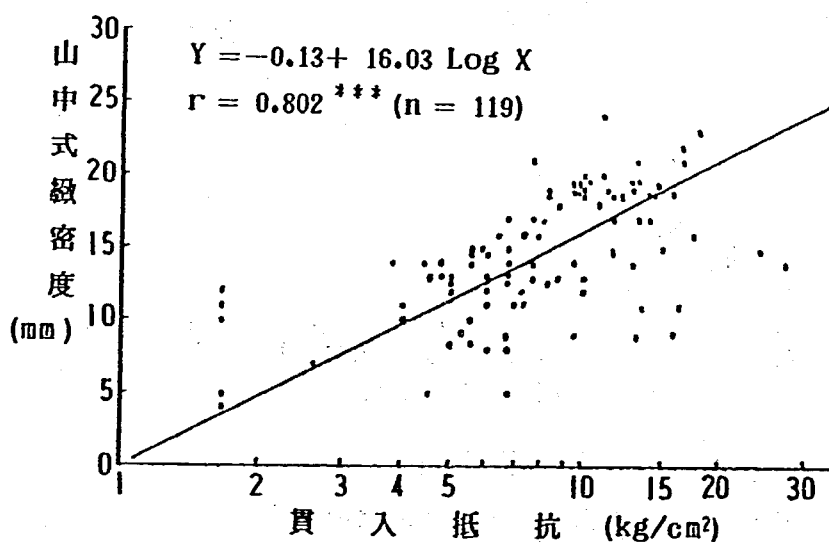


図-3 貫入式土壌硬度計による貫入抵抗と山中式硬度計の関係
(資料：大起理化工業㈱，貫入式土壌硬度計 DIK-5520 技術レポート)

(3) フォール・コーン試験より推定する方法

フォール・コーン試験は室内において土の強度を簡便に推定するもので、図-4に示すように、フォール・コーン試験装置と改良型フォール・コーン試験がある。フォール・コーン試験は、頂角60°、60gの貫入コーンを自由落下させ、貫入量を計測するものである。また改良型

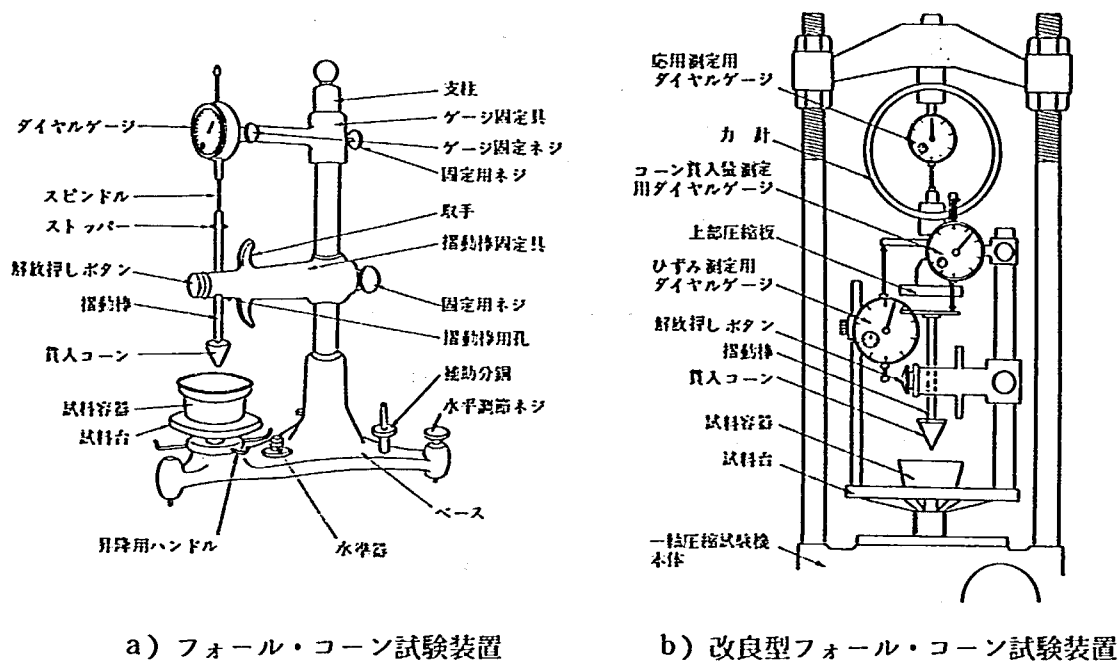


図-4 フォール・コーン試験装置

(資料：土木技術資料 Vol.27-10)

フォール・コーン試験は、改良土のように強度のある場合（一軸圧縮強さ 2 kgf/cm² 以上）に用いる試験方法で、フォール・コーン試験と同様な貫入コーンを自重によって貫入させたのち、1 mm/min の貫入速度で押し込み荷重を加え 5 mm 貫入時の荷重を計測するものである。

なお、図-5 にフォール・コーン試験の貫入量と一軸圧縮強さの関係の例、図-6 に改良型フォール・コーン試験の 5 mm 貫入時の荷重と一軸圧縮強さと CBR 値との関係の例を示す。

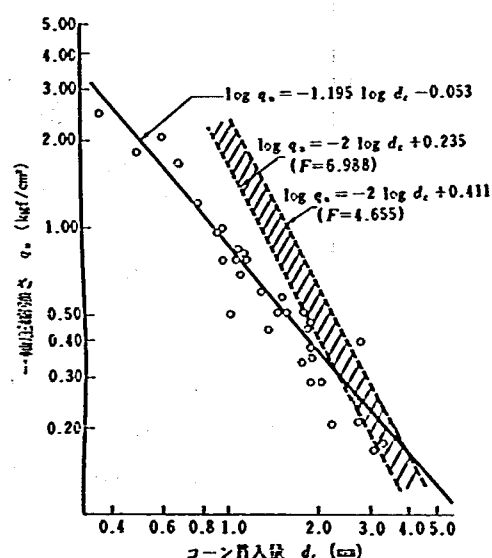
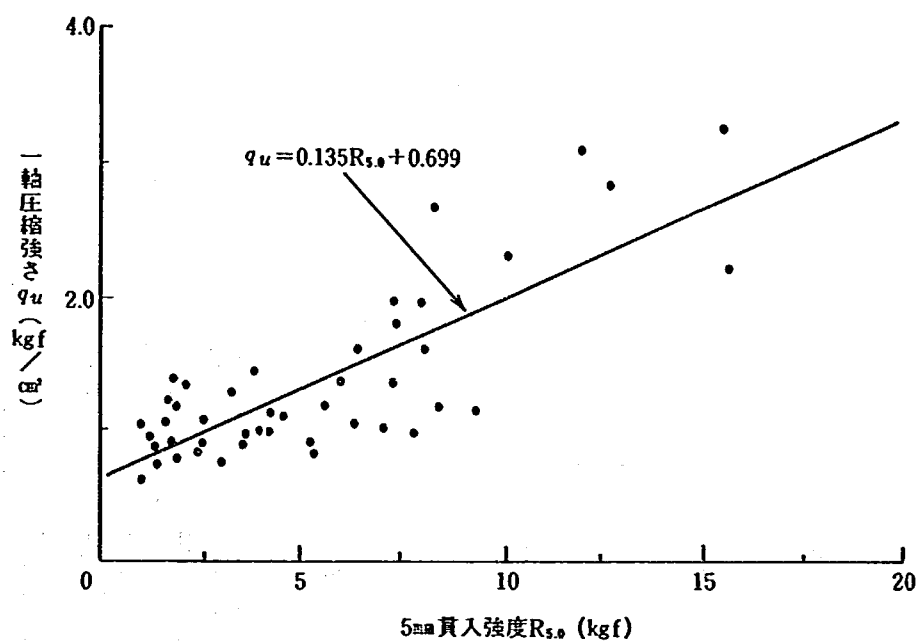
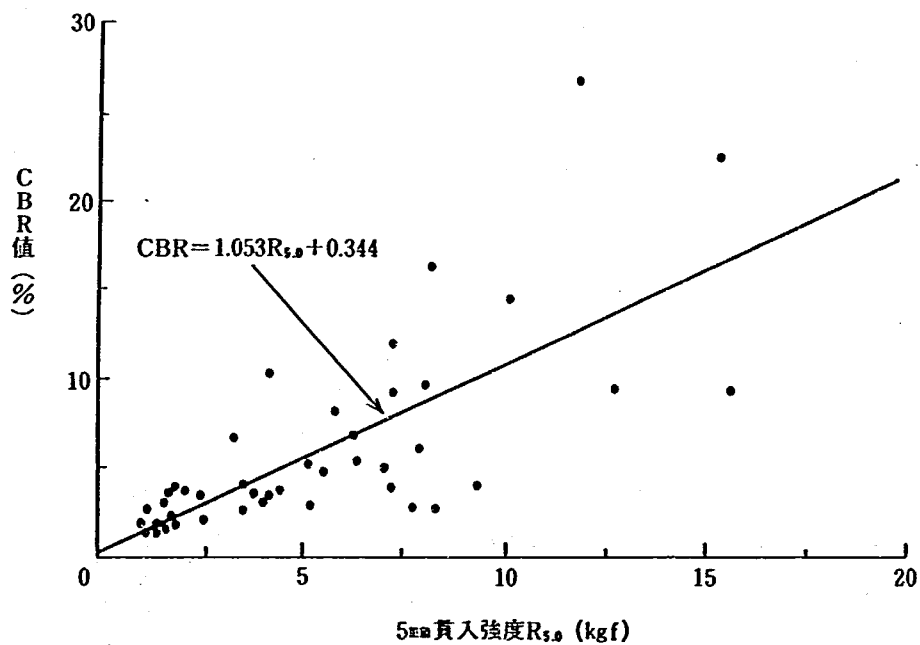


図-5 フォール・コーン試験による
コーン貫入量と一軸圧縮強さの関係
(資料：土木技術資料 Vol.27-10)



(a) 改良型フォール・コーンの貫入抵抗と一軸圧縮強さの関係



(b) 改良型フォール・コーンの貫入抵抗とCBR値の関係

図-6 下水汚泥焼却灰を用いた改良土の改良型フォール・コーンの貫入抵抗と一軸圧縮強さ、CBR値の関係

(資料：土木研究所資料第2908号)

(土質研究室)

提案議題：柱状節理が発達した岩の掘削勾配の設定法

概 要：立野ダム右岸に分布するガラス質輝石安山岩（CH～CM級）は、急傾斜する柱状節理が等間隔に発達する、多角柱を束ねた構造を示している。このように柱状節理の発達した岩の掘削では応力解放によるトップリングの可能性等が考えられると思うが、掘削勾配の設定方法、掘削方法等について助言をお願いしたい。

回 答：

ダム掘削面の勾配に関する一般的な指針類はないので、各ダム毎にボーリングや横坑等の調査によって明らかになった地質状況に基づいて掘削線を決定する。一般に、重力式コンクリートダムの基礎形状を決定する際には、その岩盤がグラウチングにより所要の遮水性が得られるならば、岩盤のせん断強度が一つの目安となる。すなわち、ダム高毎に要求される岩盤せん断強度が求まり、それに対する岩級が明らかになる。各断面毎にこのような作業を行い、施工性や構造安定性を考慮し、ダム軸方向、上下流方向に掘削線の連続性が保たれるように修正を加え最終的な掘削線を決定する。本ダムのように柱状節理の発達した岩盤における基礎掘削線の求め方もこの原則に従い、柱状節理が岩盤せん断強度に与える影響を考慮した岩級区分を作成し、それに対応した掘削線を決定すれば良い。

また、ダム基礎掘削線に続くのり面は大規模斜面になることが多いので、他ダムや道路のり面等の例¹⁾²⁾を参考にして切土されている。一般にのり面高7～10m毎に幅2～3mの小段を、3～5段おきに幅5m程度の広い小段を設置している例が多い。

トップリングの可能性のある斜面の安定性は、極限平衡解析法³⁾⁴⁾や連続体～不連続体の数値解析法⁵⁾である程度解析可能であるが、これらは確立された方法ではない。最も安全側の方法は、岩片の強度と節理の分布を調査した後、節理が完全に分離していると仮定して、柱状部の座屈や撓み破壊、節理岩盤の底部からのトップリング等の可能性を、上記のいずれかの手法で解析するものである。妥当な解析結果を導くためには、柱状節理面やこれに交差する割れ目の分布・方向性・間隔・密着度・摩擦係数、緩みの影響、岩柱の強度や変形性を把握する必要がある。しかし、これらを現地調査により正確に求めるのは難しい。しかも、密着した節理面でも掘削時の振動や応力解放で多少の緩みが発生することは避けられない。

以上の解析結果から安定工の仕様、掘削方法等を検討することとなるが、連続性の高い柱状節理性岩盤の場合、のり面表面の節理の開口を防ぐことで緩みの進展を大幅に抑えることが可能と考えられるので、振動の少ない掘削方法⁶⁾を採用するとともに、掘削しながらモルタル吹き付けを直ちに実施し、必要に応じてロックボルト、ロックアンカー等を順次施工することが有効であ

る。

参考文献：

- 1) (社)日本道路協会：道路土工，のり面工・斜面安定工指針，434 p.
- 2) 土質工学会：切土のり面，土質基礎工学ライブラリー12，p.120.
- 3) フック & ブレイ：岩盤斜面工学，朝倉書店，pp.190－197.
- 4) 清水 他：不連続岩盤の安定性評価に関する統一的手法について，土木学会論文集，No.415，pp.109－118.
- 5) 桜井，清水：不連続性岩盤の解析手法の現状，土と基礎，Vol.40，No.11，pp.39－44.
- 6) 土木学会：ダムの岩盤掘削，213 p.

(地質研究室)

提案議題：地すべり地帯における道路計画方法

概 要：長崎工事事務所では、現在、高規格幹線道路である西九州自動車道の調査計画を行っているが、本計画地周辺は第三紀層を玄武岩類が覆い「松浦型地すべり」とも呼ばれる全国でも有数の地すべり地帯であるため、道路計画において非常に苦慮している。

このような地域での道路計画をどのように行ったらよいか伺いたい。

回 答：

道路建設で生じる地すべりでは、通常は安定しているような潜在地すべり地で切土・盛土・トンネル掘削等を行って斜面バランスを崩すことが原因となることが多い。

したがって、道路計画時点で地すべり危険斜面の分布を調べ、それらを避けるのが望ましいが避けられない場合は、問題となる地すべり斜面の斜面安定度（現状のみでなく道路建設中や完成後の斜面形状での安定度把握が必要）を把握することが必要となる。後者の場合、道路土工開始前に地すべり防止工を施工することとなるが、地すべり発生危険性が少ないと判断される場合には、危険斜面の挙動観測のみを実施しながら道路建設を進める場合もある。

地すべり危険斜面の分布把握には 1/5000 から 1/20,000 程度の空中写真判読が有効で、それにもとづき現地踏査を行う。

地すべり斜面の安定度把握には、地すべり地形の新しさの把握、ボーリングによる地質・すべり面や地下水賦存状況の把握、物理探査等が必要となる。さらに、斜面安定解析を行い、計画安全率に対する不足分に対し地すべり対策工を行う。

地すべり対策工計画で重要なことは、3次元的な地すべりの形態、地すべり地を不安定化させる要因を把握することである。そして、地すべりの特性に応じて最も有効な対策工やその施工位置を選定することが重要である。

参考文献：

日本道路協会：道路土工、のり面工・斜面安定工指針。

(地すべり研究室)

提案議題：三成分コーン試験による常数の設計への利用方法

概 要：三成分コーン試験は、従来のロータリー式地質調査に比べて現場作業が簡単であり早い。しかし三成分コーンによる常数がどのように設計に応用できるかを伺いたい。

回 答：

近年、地盤調査の高精度化・迅速化等を目指した多くの開発が行われている。今までの所、あらゆる地盤に適用できる万能の地盤調査法はなく、多くの場合、地盤の種類（砂質土・粘性土）地盤の硬軟等によって様々な手法が使い分けられている。

三成分コーン（又は、電気式コーン、ピエゾコーン）は、従来、主として軟弱地盤に適用されてきた静的コーン貫入試験機（ダッチ・コーン）の改良型と見ることができる。従来のダッチコーンが個別に貫入可能な2重管コーンとなっていて、内管コーンを貫入することにより周面摩擦の影響を除去した先端貫入抵抗をプルドンゲージ等により測定するものとなっているのに対し、電気式コーンでは、コーン先端にロードセルを封入し、周面摩擦の影響を除いた先端貫入抵抗を電氣的に測定するものである。さらに、このコーンに周面摩擦（フリクション）や、貫入時の間隙水圧を測定するゲージをも封入したものが開発されており、これらの情報を組合わせて、地盤の特性を調査することが可能になりつつある。

具体的には、土質判別、N値、砂の内部摩擦角 ϕ' 、粘土の非排水せん断強度 C_u 、砂地盤の液化強度 R_1 等の推定に用いられる。

ただし、従来、我国の多くの基礎構造物の設計体系あるいはそのための地盤調査法は、標準貫入試験とサンプリング試料の室内試験とによっており、コーン貫入試験は、これらの調査を補間するものとして用いられているのが実体である。

（動土質研究室）

三成分コーンによる地盤調査結果の設計への利用について

土木研究所

動土質研究室長 古賀 泰之

1. 概 要

近年、地盤調査の高精度化・迅速化等を目指した多くの開発が行われている。今までの所、あらゆる地盤に適用できる万能の地盤調査法はなく、多くの場合、地盤の種類（砂質土・粘性土）、地盤の硬軟等によって様々な手法が使い分けられている（例えば、表-1¹⁾ 参照）。

三成分コーン（又は、電気式コーン、ピエゾコーン）は、従来、主として軟弱地盤に適用されてきた静的コーン貫入試験機（ダッチ・コーン）の改良型と見ることができる。従来のダッチコーンが個別に貫入可能な2重管コーンとなっていて、内管コーンを貫入することにより周面摩擦の影響を除去した先端貫入抵抗をブルドンゲージ等により測定するものとなっているのに対し、電気式コーンでは、コーン先端にロードセルを封入し、周面摩擦の影響を除いた先端貫入抵抗を電氣的に測定するものである。さらに、このコーンに周面摩擦（フリクション）や、貫入時の間隙水圧を測定するゲージをも封入したものが開発されており、これらの情報を組合わせて、地盤の特性を調査することが可能になりつつある。

具体的には、土質判別、N値、砂の内部摩擦角 ϕ' 、粘土の非盤水せん断強度 s_u 、砂地盤の液状化強度 R_L 等の推定に用いられる。

ただし、従来、我国の多くの基礎構造物の設計体系あるいはそのための地盤調査法は、標準貫入試験とサンプリング試料の室内試験とによっており、コーン貫入試験は、これらの調査を補間するものとして用いられているのが実態である。

2. 三成分コーンにおける計測項目

- ・先端貫入抵抗 q_c
- ・周面摩擦抵抗 f_s
- ・間隙水圧
- ・通常のロードセルの許容荷重 $3 \sim 5 \text{ tf 程度} / 10 \text{ cm}^2 (= 300 \sim 500 \text{ kg/cm}^2)$
→地盤の硬さに応じたロードセルを用いることが必要

表-1 既往の地盤調査法の種類と特徴(力学特性試験を中心として)

分類		調査法	測定する物理現象	得られる測定値	得られる地盤情報	適応土質				大深度に適用するときの問題点
						粘土	砂	砂礫	軟岩	
物理探査法	物理探査(地表)	地震探査、等	弾性波動、等	弾性波速度、等						かなりマクロな情報しか得られない
	孔内探査(物理検層)	速度検層、等	弾性波動、等	弾性波速度、等	V_p 、等					他の調査法と併用となる
サウンデイング	チューブ形動貫入	標準貫入試験	打撃貫入	N	($D_r, \phi \dots$)	○	○	△	×	深さ30~40m以上は信頼性が十分でない
		大型貫入試験	"	N_d	($D_r, \phi \dots$)	○	○	△	×	
	コーン形動貫入	動的コーン貫入試験(鉄研式)	打撃貫入	N_d	($N_d = 1 \sim 2N$)	○	○	△	×	<15m
		オートマチック・ラムサウンディング	打撃貫入	N_d	($N_d \approx N$)	○	○	△	×	周面摩擦の影響が大きくなる
	静貫入	ポータブルコーン貫入試験	静的貫入	q_o	q_u	○	△	×	×	貫入能力が低い
		ダッチコーン貫入試験	静的貫入	q_o, f_s	$q_u, (N)$	○	○	×	×	貫入能力が低い
		スウェーデン式サウンディング	静的回転貫入	N_{sw}	(N)	○	○	×	×	貫入能力が低い
		三成分コーン貫入試験	静的貫入	q_o, f_s, u	$q_u, (\text{土質}, RI \dots)$	○	○	×	×	貫入能力が低い
	ベーン	簡易ベーン試験	回転せん断	M	τ	○	×	×	×	不適
		ベーン試験	回転せん断	M	τ	○	×	×	×	
引抜き	イスキメーター試験	引抜きせん断	q_i	q_u	○	×	×	×	不適	
グ	(孔内試験)	孔内載荷試験	内圧膨張	$P \sim \Delta v/v$	E, τ, f	○	○	△	○	削孔法、データの解釈
		孔壁せん断試験	孔壁せん断	T	τ, f	○	△	×	○	同上
		フラットダイラトメータ	膨張変形	圧力~変形	($K_o, E \dots$)	○	○	×	×	データの解釈、貫入能力
		ラテラルコーン	静的貫入	q_p	q_u	○	△	×	△	データの解釈、貫入能力
		K _o ステップブレード	静的貫入・内圧膨張	圧力~変形	($K_o, E, \phi \dots$)	○	△	×	×	同上
サンプリング		ツイストサンプラー				N<15~20				注) 左欄のN値は砂質土を想定した場合の値
		固定ピストン式三重管サンプラー				N<5~10				
		固定ピストン式シンウオールサンプラー				砂質土(N<15) 粘性土(N<3~4) 硬質粘土(N<20~30) N<50以上				
		デニソン型サンプラー				N<15				
		トリプルチューブサンプラー				N<20				
		ロータリータイプサンドサンプラー				N<10				
		改良ピシヨップ式サンプラー				F, C<10%				
		大口径サンドサンプラー				N<50以上 (砂・砂礫可)				
		凍結法によるサンドサンプリング								
		ロータリーフォイルサンプラー								

※ () : 経験的な値

3. 既往指針等における三成分コーンの取扱い

・日本道路協会：道路土工 ― 土質調査指針，昭和61年11月

6-8 三成分コーン貫入試験

(1) 試験器具と試験方法

図6-16に三成分コーン貫入試験機の構造図を示す。試験方法は6-5オランダ式二重管コーン貫入試験と同様に、コーンを地盤へ一定速度（1～2cm/sec）で連続貫入させる。

貫入結果はコーンの先端抵抗（ q_c ）、周面摩擦（ f_s ）、押込み時間げき水圧（ U_d ）と貫入深度に分離され計測器の記録紙に自記される。

(2) 特徴と留意点

この試験は沖積層の砂質土・粘性土地盤や複雑な互層地盤に有効で、 q_c 、 f_s 、 U_d が同時に測定出来る。

ただ、 q_c と f_s の値はセンサー位置部に若干のズレがあるためその補正が必要である。また、試験装置の機構上、反力をとるためにスクリーアンカーを用いる。

(3) 結果の利用

図6-17に試験結果の一例を示す。この図から、 q_c が高く U_d が少ない箇所は砂質土であり、逆に q_c が低く U_d が高い箇所は粘性土・シルトを示している。したがって軟弱地盤中のサンドシーム（砂の薄層）、互層地盤などの土質判別に利用でき、かつ q_c 値も同時に得られる。

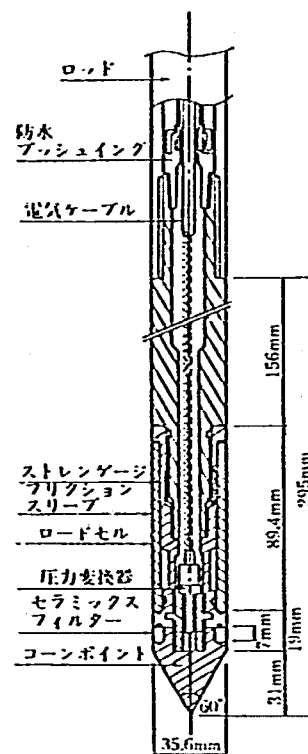


図-1 三成分コーン

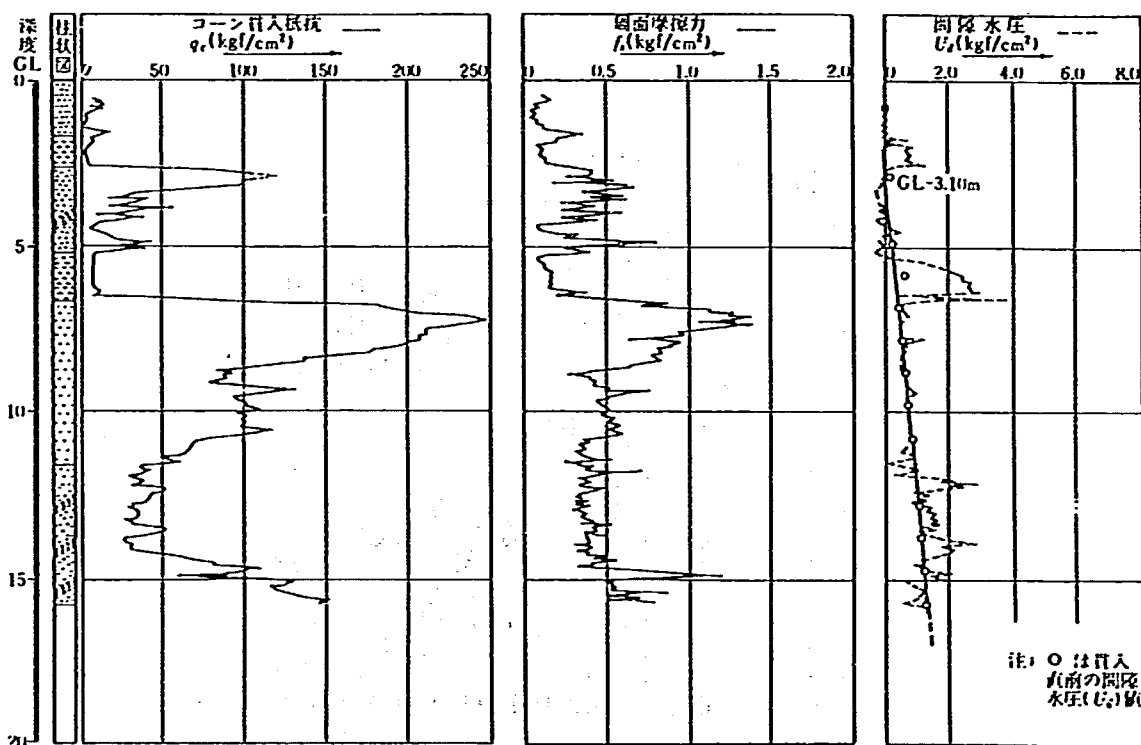


図 6-17 三成分コーン貫入試験結果図

図-2 三成分コーン貫入試験結果図

4. 三成分コーンの応用

(1) 土質判別

従来より摩擦比 $R_f (= f_s / q_c)$ が土質によって異なることが知られている²⁾。

R_f と q_c による判別図には様々なものがあるが、その1例³⁾を図-3に示す。

間隙水圧の情報を用いた場合、粘性土では、正の過剰間隙水圧、砂では、負の過剰間隙水圧が生じ、これにより、概略の土質判別ができる(図-2参照)。

さらに q_c と間隙水圧 u_d を用いた図-4のような判別図がある⁴⁾。

(2) q_c と N 値の関係

従来、砂について $q_c = 4N$ の関係が成立するものとされてきたが、その後この関係は、砂質土の粒径によって異なることが見出され q_c / N と粒径を関係づけるいくつ

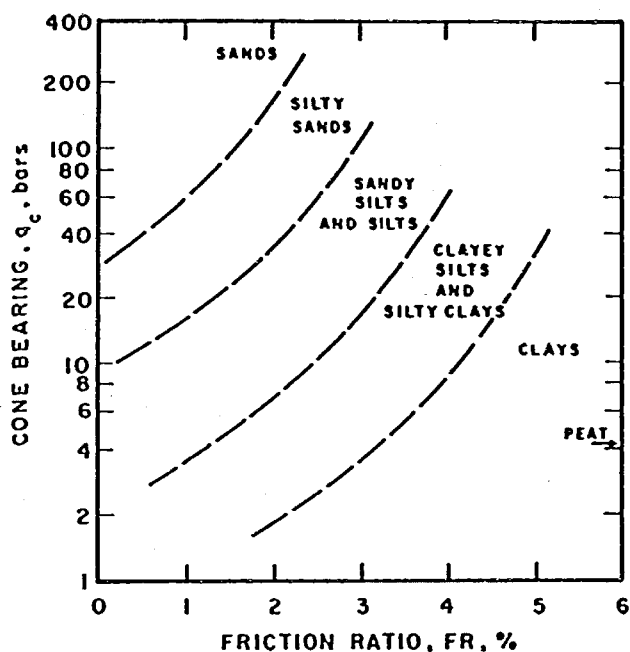


FIG. 2. Simplified soil classification chart for standard electric friction cone.

図-3 標準的電気式コーンに対する簡易土質判別チャート

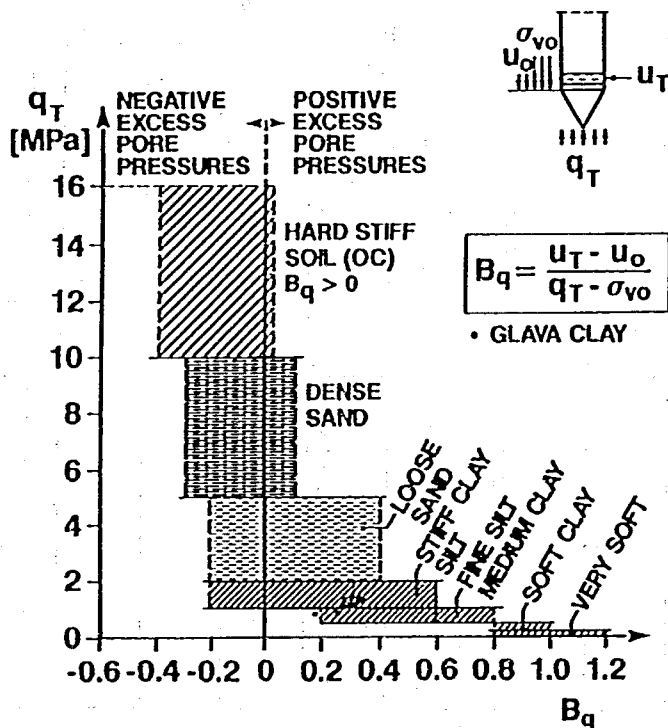


FIGURE 8 Chart for classification of soil type on the basis of CPTU recordings.

図-4 CPTUによる土質分類チャート

かの研究がある⁵⁾。図-5はそのような1例である⁶⁾。

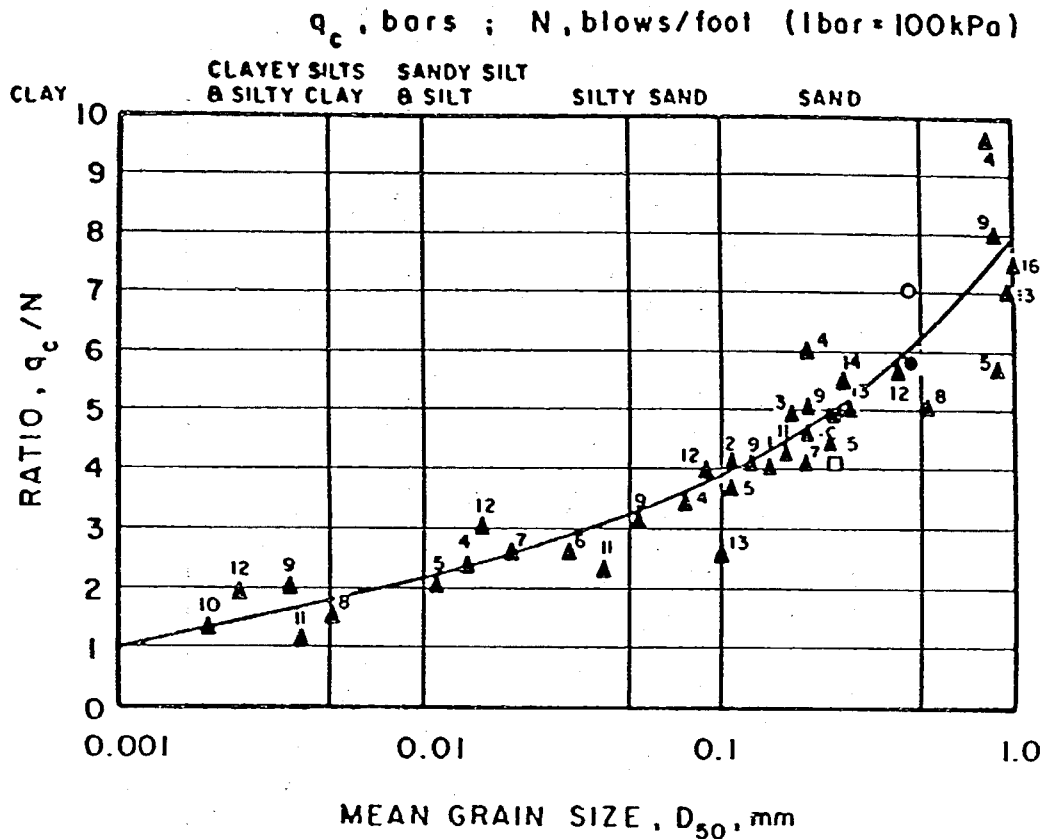


FIG. 3. Variation of q_c/N ratio with mean gain size (after Robertson *et al.* 1983).

図-5 q_c/N と平均粒径の関係

(3) q_c と砂の内部摩擦角 ϕ' の関係

これも、多くの研究により関係が示されている。1例を図-6に示す⁷⁾。

これは、未固結石英砂に対するものである。

(4) q_c と粘土の非排水せん断強度 s_u の関係

従来、ポータブルコーンについては、

$$q_c = 5 q_u = 10 c$$

の関係が成り立つことが認められている⁸⁾。この換算係数については、いくつかの理論的研究や、地盤改良現場での観測からの推定式等があり、

$$q_c = (5 \sim 10) q_u$$

の関係が示されている⁹⁾。

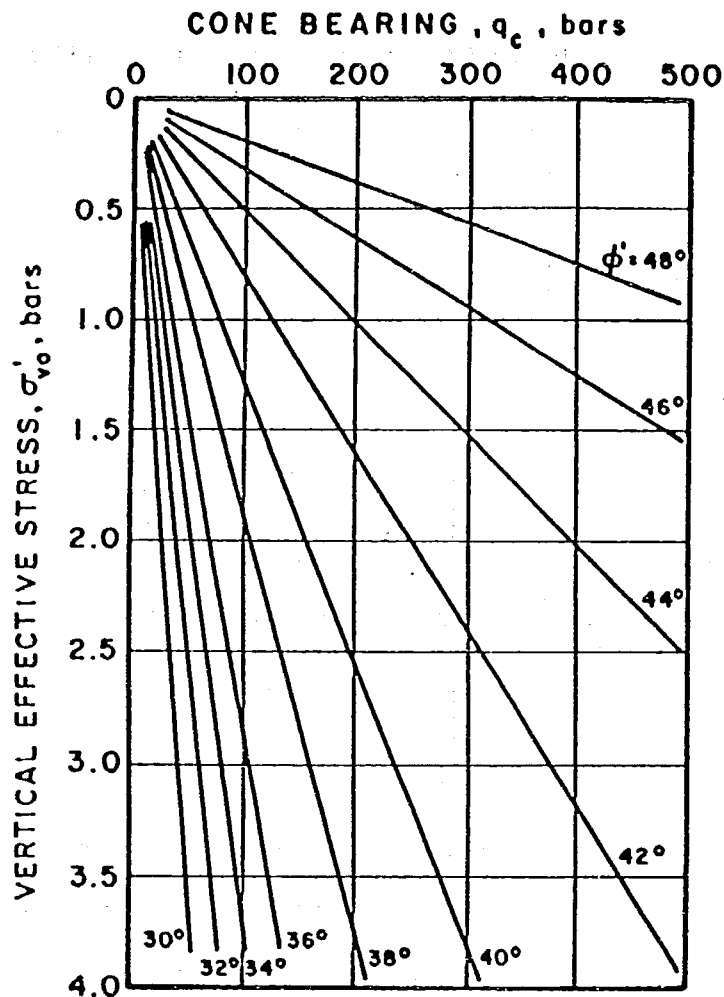


FIG. 7. Proposed correlations between cone bearing and peak friction angle for uncemented, quartz sands.

図-6 q_c と ϕ' の関係の1提案

(5) 圧縮係数, 変形係数

1) 砂¹⁰⁾

De Beer は締まった砂層 ($q_c = 60 \sim 300 \text{ kgf/cm}^2$) について次式を提案している。

$$C = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_c}{p_0}$$

ここに, C : 圧縮定数, p_0 : 有効上載圧。したがって, 荷重増分 Δp を受ける層の圧縮ひずみ ϵ は,

$$\epsilon = \frac{1}{C} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

によって求まる。

2) 粘土¹¹⁾

粘土については, いくつかの推定式が提案されている。

Skempton によると,

$$\frac{1}{m_v} = (75 - 100) c_u$$

Mitchell らによると,

$$\frac{1}{m_v} = (1.5 \sim 3.5) q_c$$

(6) 粘土の圧密係数 c_v

コーンの貫入停止後の間隙水圧の消散過程より c_v を推定する手法が提案されているが、推定精度は高くないようである。

(7) 液状化強度

従来、砂地盤の液状化強度は、道路橋示方書の方法のように標準貫入試験によって推定することが多かったが、より簡易に、あるいはより細かく液状化強度を調べる手法として、コーン貫入試験法の研究が多く行われている¹²⁾⁻¹⁵⁾。土木研究所においても、振動式貫入試験機による液状化判定手法に関する研究が行われた¹⁶⁾。ここでは、(静的)コーン貫入試験による液状化強度の推定法として、Robertson ら¹²⁾ の図(図-7)を示す。ここに上載圧効果を補正された貫入抵抗 Q_c は次式

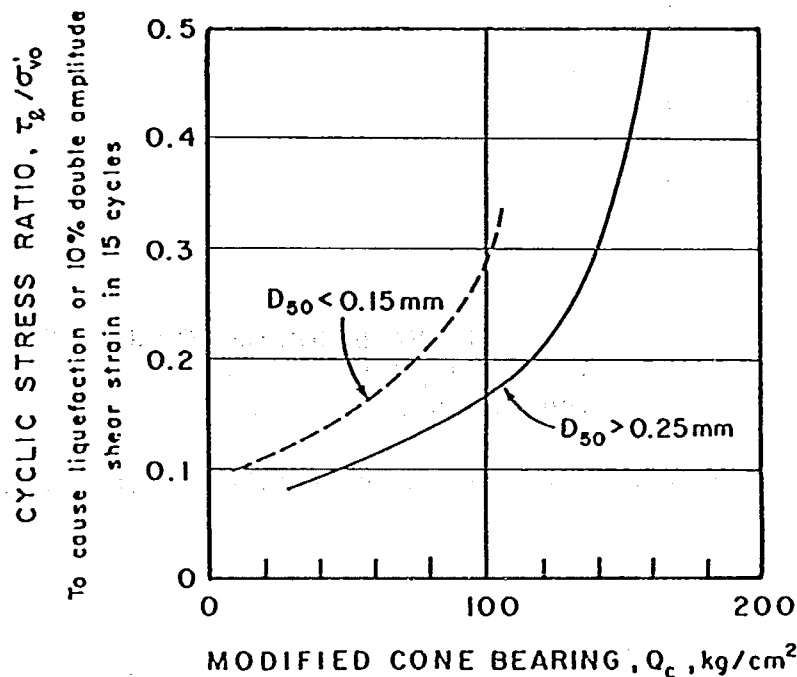


FIG.9. PROPOSED CORRELATIONS BETWEEN LIQUEFACTION RESISTANCE UNDER LEVEL GROUND CONDITIONS AND CONE PENETRATION RESISTANCE FOR SANDS AND SILTY SANDS.

図-7 補正先端貫入抵抗と液状化強度の提案

により与えられる。

$$Q_c = C_Q \cdot q_c$$

補正係数 C_Q は、図-8に示すとおりである。

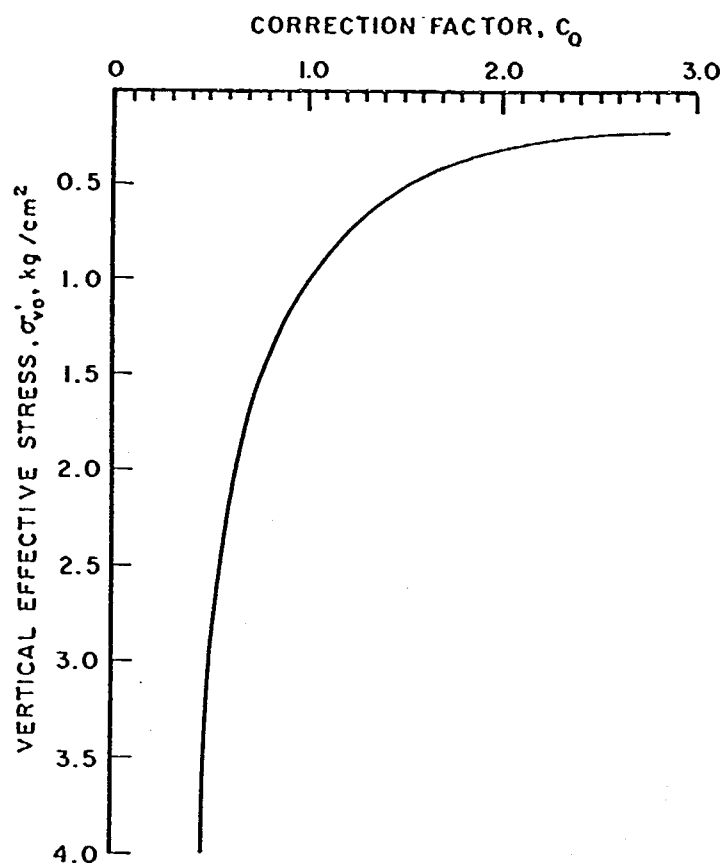


FIG.2. PROPOSED VARIATION OF CORRECTION FACTOR, C_Q , WITH EFFECTIVE OVERBURDEN PRESSURE.

図-8 補正貫入抵抗を求めるための補正係数 C_Q と有効上載圧

5. まとめ

- (1) 三成分コーンは、その簡易さ・迅速さから、極めて有用な原位置試験である。
- (2) しかし、計測、特に間隙水圧は間隙水圧計の設置位置や貫入速度の影響を受けるものであり、その定量的な評価は今後の課題として残される。
- (3) 現在までの所、ある程度の精度でその利用が期待できるものは、 $q_c \sim N$ 関係、砂の $q_c \sim \phi'$ 関係、粘土の $q_c \sim s_u$ 関係、 $q_c \sim$ 液状化強度関係であろうが、今後、多くの土の種類についてさらにデータの集積が望まれる。

参考文献

- 1) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト地下空間の利用技術の開発報告書，Vol.3，第4編 地下土木構造物の建設技術の開発，2.3 地盤の力学定数の原位置評価技術，平成4年8月。
- 2) 土質工学会：土質調査法，p.240，1982。
- 3) Robertson, P. K. and Campanella, R. G. : Interpretation of cone penetration tests. Part I : Sand, Canadian Geotechnical Journal 20, 1983.
- 4) Senneset, K., Sandven, R. and Janbu, N. : Evaluation of Soil Parameters from Piezocone Tests, Transportation Research Record 1235, 1989.
- 5) 土質工学会：杭基礎の設計法とその解説，pp.137－140，1985。
- 6) Robertson, P. K., Campanella, R. G. and Wightman, A. : SPT－CPT Correlations, Journal of Geotechnical Division, ASCE, Vol.109, No.11, 1983.
- 7) 2) と同じ
- 8) 1) と同じ，pp.240－242。
- 9) 土質工学会：土質調査試験結果の解釈と適用例－第1回改訂版－，pp.116－128，1979。
- 10) 8) と同じ，p.129。
- 11) 8) と同じ，p.131。
- 12) Robertson, P. K. and Campanella, R. G. : Liquefaction Potential of Sands Using the CPT, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No.3, 1985.
- 13) Zhou, S. G. : Evaluation of the Liquefaction of Sand by Static Cone Penetration Test, Proc. of the 7th WCEE, Vol.3, 1980.
- 14) 柴田徹, Wanchai Teeparaska : Evaluation of Liquefaction Potentials of Soils Using Cone Penetration Tests, 土質工学論文報告集, 28－2, 1988.
- 15) 菅原紀明, 堀越信雄：ピエゾコンによる細粒分の多い砂地盤の液状化強度評価法，土と基礎，37－7，1989。
- 16) 古賀泰之，島津多賀夫，伊藤良弘：地盤液状化の判定法に関する調査報告書－振動式貫入試験法－，土木研究所資料2856号，平成2年2月。

質 疑

質 疑

山口（フィルダム） 地質官にちょっと教えていただきたいんですが、安定解析のところなんですけれども、土質強度定数の算定ということで逆算法をとられるということで、粘着力に上限を置いておられるということで、これは御説明がありまして、余り大きくとりますと安全率が上がってしまうというようなことで。しかしながら、 2.5 t/m^2 以下でもCというのはもともと拘束力とか応力にきかないパラメーターで、 ϕ の方はどちらかというと拘束力に効いてくるというようなパラメーターですので、 2.5 t/m^2 以下のところでも動かすことによってその条件がかなり変わって、貯水池での水位が上がるとか、そういうような条件が変わったときの計算の中でCをどのあたりに入れるかによって、 2.5 t/m^2 以下と規定していてもかなり差が出てくるのではないかというようにも思うんです。そのあたりは実際には何か試算のようなことがされていて、 2.5 t/m^2 以下を入れておけばそのあとの例えば R/D が0.95になるとか0.95から1になるというような対策工をやるときの判断基準の中では大した誤差として効いてこないということなんですか。ちょっとそのあたり教えていただければありがたいんですけども。

市川 地すべり計算のときに粘着力というのは、大体は地層の厚さというので代替させておるわけですが、確かに今の逆算法の計算のシステムというのはどちらかというと、斜面の安定は ϕ で決まっているという方が、恐らく計算すればそうなってしまいます。結局 ϕ で決まるという話で ϕ を動かす、地震とか湛水によってどうなるかということをやるときに、普通は粘着力というのを地すべり計算の実際でプラクティカルに大体 2.5 t/m^2 以上はとらないようにしようというような話になっているだけで、特に2.5という数字について厳密な検証をしたわけじゃありません。現行法で大体そのぐらいとっているからそれにそろえようといっただけで、特に意味はありませんし、むしろ ϕ を変えたり、残留下限水圧を動かしたりという検証の計算をたくさんやりましたが、Cの方は余り効いてこないというか、特に地震時のことを考えると、地震時のCというのは一体何なのかよくわかりませんし、滑り面のCを求めるとというのがどだい非常に難しい話なものですから、地すべりの学問の世界でも大体こんなような形でやっているというのをやっただけで、これについてはあんまり詳しく考えておりません。

司会 よろしいでしょうか。

山口（フィルダム） ありがとうございます。

司会 ほかに何かございますか。どうぞ。

脇坂（九州地建） 九州地建の脇坂でございますが、稲崎さんにお伺いしたいんですけども、この浅層反射法というのは構成地質によって適応できる場合と適応できない場合があるんじゃないかと思うんですが、いかがでしょうか。もし、そのように適応の可否があるということであれば、このマニュアルの中に適応範囲か、あるいは参考資料としてそういうようなことを書いておいていただければありがたいと思います。

稲崎 御指摘のとおり、土地質の方で浅層反射法というのをやられてきている豊富な実績というのはいないんですけども、その中でどういうわけか余り出てこないところは確かにございます。それについては一言つけ加えておきたいんですけども、従来屈折法の弾性波探査というのが行われてきました。屈折法の弾性波探査というのは、速度層構造というのは出すわけですけども、その過程というのはかなりブラックボックスのところがありまして、どうやってそういう速度層構造が出てきたのかというのは非常にノウハウ化しています。で、ある意味ではつくろうと思えば幾らでもつくれるという、そういうたぐいのものなんですね。技術的には余り客観的なものではない。そこに解析者の主観とか経験、そういったものが入ってくる余地が残っているのが屈折法の弾性波探査だろうと思います。

ですから、屈折法弾性波探査では、発注してお金も払って何も出てこないなんていうと文句言われるからというのでつくることがあるらしいです。これははっきりは言えませんが。それに対して浅層反射法というのは、客観的に全部計算機で処理しますので、出てこないときにはどうしても出てこないということがあります。それは正直に出てこないというので、つくらないというだけで、屈折法と大して違いはありませんが、どういう場合にでてこないかということになると、今のところ余りはっきりと解明できていないというのが実態です。どうも地下水位等に関係してまして、特に九州なんかには多い火砕流の堆積物の中で地下水位が非常に低いところなんかは、やっぱり波が伝わっていかないというか、減衰が激しくてとれないのではないかと。そういう場合は浅層反射法でなくてまた別の方法を適用されるのがいいんじゃないかと思います。

そういう点で確かに御指摘のとおり、どういう場合に使えるのかというようなことは、どこかに書いておくべきだと思いますが、今のところまだこういうところは余り出そうもないよとかというぐらゐのことしか書けないんですけども、それぐらゐでしたら何とか盛り込みたいと思っております。

司会 よろしいでしょうか。

ほかにどなたか。はい、どうぞ。

山口（フィルダム） 土研のフィルダムの山口ですけれども、佐々木さんに教えていただきたいんです。我々ダムをやっております、佐々木さんが適用の目的の一つに挙げておられましたダムへの適用というのを非常に興味深く聞かせていただいたんですけども、その中で軟岩というのを一つの例に挙げておられました。ここで耐久性地盤注入剤として考えていらっしゃるものの中には、比較的亀裂とか、注入剤が入ってくる空隙というものが非常に細かいようなもの、いわゆる耐久性があって懸濁性のものでは入りにくいようなものを主に対象とされているのでしょうか。

それとも、例えば高透水性の岩盤で亀裂はどんどん広がっている、そのような中で急効性を持たせてストップさせなきゃいけないと。しかしながら、その時点では空隙とか亀裂の幅とか空洞が非常に大きいために、そういったものが地盤の中にかなりの面積を占めてとまると、非常に耐久性も問題になってくるというようなことで、対象の地盤としては亀裂とか空隙というのは、非常に細か

いものだけを考えて溶液型というものを考えていらっしゃるのでしょうか。それとも、もっと高透水性の岩盤で量的にも空隙も大きいところにとって、そので上がった地盤の中で地盤注入剤の占める割合が高いために耐久性も十分考えていかなきゃいかんというようなことがあるのでしょうか。ダムからだけの質問になってしまうんですけども、どのあたりに焦点を当てられているかということを少し教えていただきたいんですけども。

佐々木 御存じのとおり、例えば、砂礫の 10^{-3} くらいのところだと、普通の懸濁型でも入っていますが、それ以下は入っていかないということでした、砂礫質の地盤でも多少細かいのが多く、懸濁型では入っていかないんですけども、溶液型で耐久性があれば非常にいいんだけどなというような感じのところを基本的には対象としております。

今、溶液型、水ガラスなどは通常のグラウト材料としては使われておりませんが、もし、非常に地下水に対して耐久性があるといったものがありましたら、これからふえてくるであろう軟岩のダムサイトなど、間隙自体は比較的小さいとはいっても、 10^{-3} よりもちょっと低い程度であろうとか、そういうようなところで使えるようになればいいというイメージで文書としては書いております。

山口（フィルダム） ありがとうございます。もう一点だけちょっと教えていただきたいんですけども、そうなりますと、今だとセメントと同等程度の強度耐久性というものを基本的に考えているというのがダムの場合ですけども、実際、ここで耐久性剤というようにいろいろ試験をされて比較されていた例があったと思うんですけども、その場合は基本的にはセメント、あるいはそれ以上の強度なり耐久性を持っているものが基本となっているというように考えていいのでしょうか、御研究の過程では。

佐々木 溶液型の材料はやっぱりセメントの材料に比べますと、かなり強度が低いんですね。水ガラスでも有機系で少し高いものがございしますが、基本的には強度的に余り高くない。耐久性材料としてどのくらいあるのかわからないんですけども売り出しているもの、これを実際にホモゲルといって、それだけを固めたものをつくって強度試験を行いましても、やはり余り高くないわけです。ということで、強度という意味合いでは、改良が現状の材料ではなかなか難しいであろう。透水性という意味では、もし非常に耐久性がある材料が出てくればいいであろうという話です。

山口（フィルダム） ありがとうございます。

司会 ほかにどなたかございますか。

中島（国土地理院） 国土地理院地理第1課の中島と申します。三木室長に御質問したいんですが、10ページの方に登録機関別箇所数内訳がございしますね。これをちょっと見せていただきますと、管理者ごとに調査箇所のばらつきがかなり出ているようですが、これについて何か理由等をお考えでしょうか。

三木 これにつきましては、各県の予算とか、そういう要因が一つあります。それから、地域的に詳しく見ていただけると、例えば地すべりですと、北陸とか四国とか新潟県とか静岡県とか、そういう

ところが箇所として多くなっていますし、土石流で見ると、中部とか中国、四国、九州というところ、あるいは静岡とか愛媛とか、ある程度地域特性も反映されている。それから、全数調査でないで、道路管理者の方がここは危なそうだとこのところ調査をかけていますので、危険箇所をどれだけ道路管理者の方が把握しているかどうか、その程度もあらわれていると思います。

中島（国土地理院） もう一つお尋ねしたいんですが、12ページ以降出てきております評価点と利益からの対応関係ですね。これで、対応がつくことは確かにこれで読めるんですが、これは質問というよりも要望かもしれませんが、どの程度対応がついているのか、言ってみれば相関係数とでもいいですか、そういうのがこれではちょっと読み取りにくいので、そういうのも挙げていただけるとありがたいんですが。

三木 はい、承知しました。

中島（国土地理院） ありがとうございます。

司会 ほかにございますでしょうか。どうぞ。

山口（フィルダム） 土研のフィルダムの山口といいますけれども、中沢補佐にちょっとお聞きしたいんですけども、このGPSというのは非常に興味深く聞かせていただいたんですが、私所属しておりますのはフィルダム研究室でございまして、このようなやつを聞かせていただいたときに、実際に湛水時の挙動観測に使えないかというのを一つ、ぱっと考えるわけなんです。その場合に現在ですと、上流側下流側の斜面のところにランドマークをつけておきまして、その沈下とか水平移動みたいなものをトランジット等で観測しておりますけれども、測定の間隔が非常に長いので、こういうものを応用すると、かなり密にデータを取れるんじゃないかということで、興味深いんです。その場合はどうしても一挙に点を取りたいとするレーザースキャナを全部ランドマークのところに置いておかなきゃいけないというような形になりまして。そうすると、かなり費用的にかかって、たとえば人が行ってはかるにしても、実際の測量との兼ね合いでいきますと、確かに天候に左右されないというメリットはあるとは思いますが、費用的な面ではどのような、現状で結構なんですけど、ちょっと教えていただけるとありがたいんですが。

中沢 今、受信機が1台500万ほどですね。そして、あと解析するのがやはり1台要りますので、何点するかわかりませんが、大体1カ所で500万というのをみておいていただいて、あとはやはりそこに固定するものですから、受信機が動いてしまいますと困りますので、固定する機台というんですか、台がきちっとしたもので、それがどのくらいするか、ちょっとよくわからないんですけども、それを含めると、やはり1台平均しますと、700万ぐらいかかるんじゃないでしょうか。

受信機自体はだんだんだんだん値段が下がってきていますので、私どもは固定観測網という全国で大体予定しているのが200キロぐらいのところに1点ぐらいずつつくりたいというような計画があるんですけども、それで予定していますのが大体1,500万ぐらいの予算を組もうかなというような感じにしております。

山口（フィルダム） ありがとうございます。

司会 ほかにございますでしょうか。どうぞ。

平野（中国地建） 中国地建の平野と申しますけれど、国土地理院の津沢さんにお伺いしたいんですが。

資料の4ページでございますけれど、ここにハードとソフトがあるんですが、大体のコスト、オーダーで結構ですが、ちょっと教えていただけないでしょうか。

津沢 浅層用のシステムですと、ごく普通のパーソナルコンピューターですので……。

平野（中国地建） 深層用で結構ですから。

津沢 深層用の方は、インターグラフのワークステーションで、実は高くて、普通よく出ているワークステーションに周辺装置一式をつけると、少なくとも2～300万はかかるんですが、これはもう少ししかかったと思います。数百万ぐらいにはなるんじゃないかと思います。

ただ、この当時としては、やや過大な性能を要求した仕様を追いましたので、現在はもう少し安い装置でかなりできるんじゃないかと思います。ただし、ワークステーションレベルの機械の方が多分いいと思いますので、ざっと見ると、大体2～300万ぐらいで何とかできるんじゃないかと思っております。

平野（中国地建） ソフトの方はどのくらいですか。

津沢 ソフトは実は非常に高くて、もう1けた大きい……。

平野（中国地建） 1けたも。どのくらいですか。数千万ですか。

津沢 数千万まではいかないですけど1,000万の単位になるわけでした。

平野（中国地建） 大体その辺ですか。わかりました。

津沢 ただし、ソフトもちょっと高性能をねらい過ぎたソフトなので、もう少し性能を落とせば、その分安くなると思います。これでよろしいでしょうか。

平野（中国地建） あと、入力のコストなんて結構かかるんでしょうけど、それもまああのオーダーで結構なんですけど。

津沢 ほとんど人件費だと思いますが。

平野（中国地建） 人件費だけですか。そりゃそうですね。

津沢 はい。

平野（中国地建） わかりました。

津沢 力仕事ですので、それなりにかかると思います。

平野（中国地建） それなりですね。わかりました。

第26回地質担当者会議資料

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3170号

平成5年3月(1993)

市川 慧, 稲崎富士, 佐々木靖人, 中村康夫,
三木博史, 中沢律夫, 津沢正晴, 木村嘉富,
常田賢一, 西 真佐人, 古賀泰之

要 旨

平成4年12月11日に開催された第26回地質担当者会議で行われた次の講演, 議題が収録されている。

1. 貯水池周辺地山安定対策指針
2. 浅層反射法マニュアル
3. 耐久性地盤注入材料利用技術マニュアル(案)
4. 地下水調査観測指針
5. 防災点検の解析結果
6. GPSの土木分野への利用と問題点
7. 地中地図作成技術
8. 地建提案議題(討議)

キーワード: 地質調査・のり面・斜面・ダム地質・浅層反射法・地下水・GPS・地質図

郵便はがき

四十一円切
下手をはって
下さい。

305-□□

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. 3

No. 3

配布先氏名

○

配布先住所

土木研究所資料第 3170 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印