

地質調査

'06 第1号

[小特集]
調査技術の最近の動向を探る
(調査のコアとしての要素技術)

編集 / 社団法人全国地質調査業協会連合会



発行 土木春秋社

孔内における地下水の流向流速を簡単に、かつ高い精度で測定!

GFD-4 地下水流向流速計

GFD-4は、これまでのGFD-3型に方位と水深を自動測定する機能を追加するとともに孔内水の上下流を遮断するためのパッカー機構やケーブルヘッドによるプローブの着脱機構を取り入れることで操作性の向上に加え、さらに高精度測定と大深度への適用を実現しました。

適用・用途

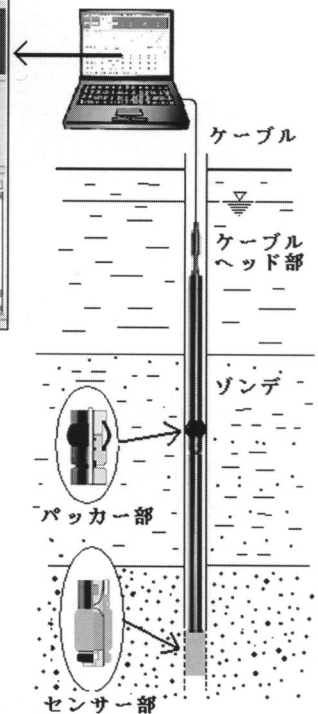
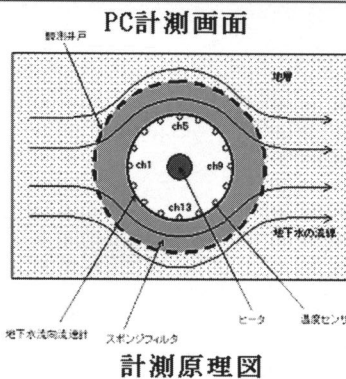
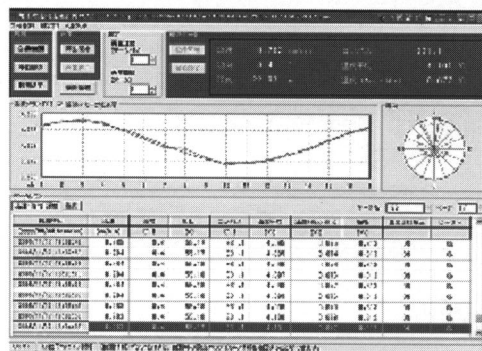
- ◆地下水汚染調査
- ◆地すべり地における測定
- ◆ダムや備蓄基地における調査

特長

- ◆φ50からφ100mm程度まで対応可能
- ◆孔内水の上下流を遮断する新方式のパッカー機構を採用。
- ◆プローブの挿入、引上げ時にフィルターを傷めないシリンダー機構を採用
- ◆方位データと水深データを自動的に測定
- ◆測定は極めて簡単

主な仕様

- ◆流速：0.005~3cm/分
- ◆流向：0~360°
- ◆適用深度：100m以上



GFD-4型地下水流向流速計は、金沢大学木村繁男教授の考案によるもので、アレック電子(株)と弊社の共同開発により製品化したものです。各種地盤調査機器の他、構造物の維持管理、土壌汚染や地下水汚染関係等、多様な製品を取扱っています。詳しくは、弊社ホームページまたは、下記にお問合わせ下さい。

業務内容

計測機器販売	地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
計測機器レンタル	地質調査用機器及びその他計測機器のレンタル
計測業務	現場計測業務・測定機器設置・3D計測業務
計測機器設計製作	各種地盤計測機器の設計・製作

株式会社 ジオファイブ

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山1-12-1
TEL048-871-3511 FAX048-871-3512
E-mail sales@geo5.co.jp
URL http://www.geo5.co.jp

巻頭言	地盤と土構造物の性能設計に向けて	中央大学研究開発機構教授 石原研而	1
小特集	調査技術の最近の動向を探る (調査のコアとしての要素技術)		
	地質調査技術の現状と今後の課題	成田 賢	2
	地表地質踏査の高精度化に向けて	平野吉彦	8
	原位置試験の現状と高精度化, 高能率化に向けて	原田克之	15
	高品質化に向けたサンプリング技術の現状 (礫質土を対象として)	吉田 正 竹原直人	21
教養読本	東海, 東南海, 南海地震	福和伸夫	27
やさしい知識	ハザードマップ	中筋章人	31
各地の博物館巡り	南三陸町水産振興センター「魚竜館」	金井 亮	34
大地の恵み	—「せともの」の代名詞になった焼き物のふるさと— 六古窯の瀬戸・常滑がある中部地方	大鹿明文 大橋 正	36
私の経験した現場	第四紀溶岩流中の風穴分布調査における 物理探査の適用について	秋山道生 大和田敦 木本智久	38
	モルタル吹付のり面の健全度診断事例	武田 研	42
	地質構造要素を重視した急崖岩盤斜面の 安定度検討	大岡和俊 伊藤 孝	45
会 告	受験資格を拡大「物理探査技術者」・「土質試験技術者」の 受験が可能に 平成18年度「地質調査技士資格検定試験」		49
	富士教育訓練センターにおける平成18年度研修計画決まる		50
	平成17年度第1～第3四半期は8.9%減		53
	「地質調査技士」資格取得者13,720名に		54
	平成18年度事業計画(案)を決定		54

小特集 自然由来の重金属問題

自然由来の重金属問題の現状と対策
自然由来の重金属問題
溶出条件の違いによる重金属の溶出特性
緩衝鉱物の酸性水中和現象
岩石風化などの地質条件と砒素濃度
重金属汚染土の対策工法の現状と問題点

教養読本 アスベスト諸問題

やさしい知識 RBCA (レベッカ)

各地の博物館巡り
大地の恵み
車窓から見る地形・地質

地盤と土構造物の性能設計に向けて

中央大学研究開発機構 教授 石原 研而

一般に性能設計と呼ばれているものは各種の物品やサービスの内容を網羅して広い意味で用いられているが、身近なものは社会基盤を対象とした土木構造物であろう。これが脚光を浴びるようになったのには2つの背景がある。一つはWTO (World Trade Organization) で代表される貿易のグローバル化による経済競争のためのルールの整備である。ある国の輸入規制が厳しいと輸出が自由にできなくなるのは困るという先進国の論理がインセンティブなのである。1970年頃からEU地域でこれに向けてEUROCODESの議論が始まり、1995年に貿易の技術的障害に関する協定(WTO/TBT協定)が締結された。もう一つの発端は1995年の阪神淡路地震であろう。これら2つのきっかけが奇しくも同じ年だったのも興味深いことである。神戸の地震は想像しなかった強大な地震動であったため空前の被害が発生したが、その結果、在来のレベル1地震動に加えてより強力なレベル2地震動を考慮すること、そしてそれに対してはある程度の損傷を許容する、といった考えが台頭してきた。これに準拠して各種構造物の耐震設計基準や指針が改定されて現在に至っている。

レベル1地震動を対象とする従前の設計法は仕様設計と呼ばれ、構造物の各部分を別々に取り上げてそこで発生する応力が許容値以下であれば良いとする方式であった。想定する外力レベルが低い間はこれでよかったが、レベル2の強大な外力に対しては、構造物の破壊近傍の大変位を精査吟味して許容変位を定め、それ以下に納まるようにする必要がある。これがいわゆる限界状態設計法と呼ばれるものであるが、大変位を扱うので当然その信憑性が問われ、そのためいわゆる信頼性設計法と結びつくべきだとされている。このように、許容応力指定法から許容変位指定型への設計法の移行は、より精度の高い構造物の変形特性の把握を要求してきたと言える。

性能設計は広く流行語のようにになっているが、その内容の理解は理念とか概念的なものから具体的な方法に到るまで幅広く、色々な解釈がなされている。しかし、要約すれば、使用性、安全性、維持管理性等を考慮した要求性能があり、それを満たすべく設計された構造物に対して、その適否を確認するための照査法を定める、ということになるであろう。この照査に耐えうる設計を行う必要があるという意味で照査法と設計法とは裏腹の関係にあると言える。また一方では、盲目的にマニュアルに従うのではなく、自己の知識や経験を生かした合理的で納得のいく設計ができる自主性と説明責任が設計者に付与されるのも性能設計の特徴である。

つぎに地盤と土構造物に着目してみると、周知のごとく、これらはもともと複雑多岐で大変形を生じ破壊しやすい材料を取り扱うことが常であるため、限界状態設計法や設計者の能力と判断が最も重視されるべき工学分野であることがわかる。よって土質工学や地盤工学は性能設計に最も馴染んで適合した分野であると言える。地盤工学に性能設計が導入された場合、まず必要なのは性能の評価方法であろう。具体的には土構造物や地盤の変形を推定することであるが、そのためには土の非線型特性の把握方法とそれに基づく解析法の開発整備が求められる。中でも重要なのが土の変形特性であり、適切な調査法と試験法の開発およびその普及が必要とされる。現在、標準貫入試験(SPT)が広く用いられているが、多くの設計指針がN-値に準拠して土質定数を定めるように規定している。そのため、全国にわたり膨大な数のN-値データが集積されてきていて、この呪縛から脱却するのが困難な状態になっている。しかし、SPTデータから土の非線型性を把握するのは根本的な無理があるため、他の原位置試験法の開発とその利用の普及が強く望まれる。代替の方法としては、表面載荷試験と孔内載荷試験が挙げられるが、もっと簡単で安価な実施方法と、データの解釈とその設計への適用方法の改善が必要となろう。具体的にはこれら原位置試験から得られる土の非線型挙動に基づき、要素としての土の非線型特性を推定する方法を考案することが求められる。この方法が認知され実施設計に反映されることが、地盤工学において性能設計が定着する前提条件になると思われる。

次に重要なのは性能の目標値を定めることであろう。鉄道や道路の盛土では天端沈下量の許容値を設定することが求められるし、アースダムや河川の堤防では破損や漏水が生じた時の二次災害が重要であるから、不等沈下や接合部との段差等の制限等を定める必要がある。貯蔵タンクや建物では不等沈下による傾斜の許容値を設けることも必要となろう。我が国のような地震多発国では常時の荷重に加えて地震力を考慮する必要がある、これが設計を決定づける支配的要素となることが多い。したがって、上記の土の非線型調査法や設計法も地震時の動的繰返し力のもとでの検討に基づく必要がある。

以上、性能設計一般とそれを地盤や土構造の設計に適用したときの特徴や課題について私見を述べてきたが、他にも考慮すべき事項は多数あると思う。より適切な性能設計のあり方と方向づけについて、本稿が多少ともお役に立てば幸いに思う次第である。

地質調査技術の現状と今後の課題

なり た まさる
成 田 賢*

1. はじめに

地質調査技術は、第二次世界大戦後の復興事業を契機としたその後の日本の社会資本整備事業の隆盛と、関連学問分野と土木との境界領域の開拓の中で著しい発展を遂げてきた。その発展の歴史は、日本経済の発展の中で進められた大規模建設事業とさらに事業数の拡大に後押しされ、不可視である地盤に対する建設事業からの定性的、定量的な評価への要請に応えつつ、地質調査技術を開発し展開してきた流れである。

このような地質調査技術への要請は、日本の地盤が複雑な地質構造により一様性が乏しくしかも脆弱である（全国地質調査業協会連合会編 2001）¹⁾ ことに起因している。

経済の拡大に伴う社会基盤整備への要請は強く、地質調査技術は建設事業や災害復旧事業を推進するため基礎資料として活用され、地質調査業も着実に拡大していた。

この発展の中で、特に1980年代には、関連する学会活動の中で地質調査技術の体系化が進められ、地質調査に関する各発注機関の仕様書整備が進展してきた。

1980年代後半～1990年代初頭にかけて日本で発生したバブル景気崩壊後の平成不況の中、1997年以降建設投資の縮減が継続し、それまで右肩上がりが増えていた地質調査への需要が減少に転じている。受注高の激減環境の中で地質調査業は、業態の維持が優先課題となり、1980年代に概ね確立された地質調査技術を用いた業務遂行が続き、一部情報技術（IT）での開発研究とその適用が行われたが、基本的には1980年代に確立された技術が用いられてきた。

しかし、地球規模での環境問題や地震や台風などの豪雨による自然災害対応には、不可視の地盤をさらに理解しなければならない課題も多く、基礎研究も含む調査技術の開発研究は忘れてはならない状況である。

一方、バブル景気崩壊後、少子高齢化の日本社会での持続的な発展や費用対効果を重視した安全と安心社会の形成に向けた取組みが盛んになり、また、品質に関する企業不祥事も発生したこともあり、コスト削減と品質管理が強く

求められるようになってきた。

我々地盤調査に関する立場として、今後の地質調査技術の展開や取組み姿勢について冷静に考え、地質調査技術の方向性と取り組むべき課題を明確にし、できるところから早急に取り組むべき段階にきたといえるのではないだろうか。

2. 建設投資の推移と地質調査業

図1に総務省統計による1960年以降2003年までの日本の建設投資額の推移を示した。日本の建設投資は、1992年に約84兆円となり、1996年まで増減を繰り返し、1996年以降2003年まで減少している。2003年の建設投資額は、1992年に比べ64%の約54兆円に減少し、バブル景気開始時の1986年頃の水準まで低下している。

戦後の日本における社会資本整備の流れは、人口の増加や工業化の拡大、生活水準の向上により需要が増した水資源に代表される資源開発、交通網の拡大と高速化に伴う鉄道・道路の整備、工業化の進展に伴う大規模造成地の建設、土地利用の効率化に向けた高層ビルの建設、地すべり砂防などの防災事業などが国家戦略的に全国展開された。これらの流れは、1960年代後半から急激に加速し、2度のオイルショック（第一次1973年、第二次1978年）による景気浮揚対策の公共事業投入による財政悪化に伴い1980年代前半にそれまでの建設投資の増加が止まったものの、1980年代後半から1992年までの5年間の著しい建設投資額の

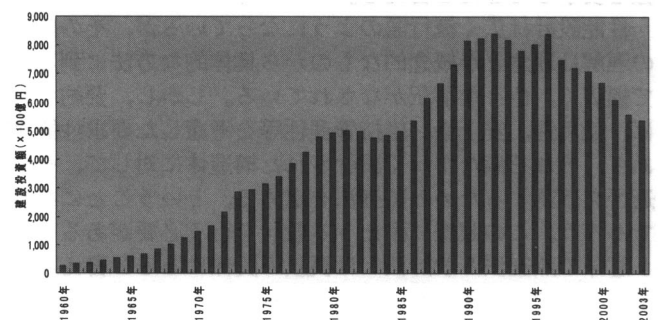


図1 日本の建設投資推移（1960年～2003年）
（総務省統計データ「日本の長期統計系列 第九章建設業 建設統計推計」から作成）

* 全国地質調査業協会連合会 技術委員長
応用地質（株） 取締役

増加があった。逆に1997年から2003年の7年間で1980年代後半の建設投資額に低下している。

地質調査技術は建設事業の大規模化に伴いその基礎地盤に要求される地質構造と地質物性や地盤挙動の把握の中で進展していった。

地質調査技術の発展拡大は、大規模な建設事業計画の中で要請され開発された技術が、全国で展開される同種の事業に順次適用され、さらに同種事業数の増加により、その技術の検証がなされ、経験の蓄積とともに技術として定着していくというものであったといえる。しかし、1980年代の後半からは、体系化した地質調査技術の適用が主流を占め、建設事業の拡大を下支えする状況となっていた。すなわち、増加する建設事業に対応するための地質調査に終始していた状況があった。

図2に全国地質調査業協会連合会（以下 全地連）がとりまとめた1995年以降の国土交通省が実施している建設関連業受注動向調査結果を、1995年の受注動向を100%とし、1995年対比で示した。この受注動向調査は、地質調査業50社の年間受注額を合算したものであり、地質調査市場全体受注額と一致するものではないが、地質調査業の受注動向傾向を示すものとして掲げたものである。図2には、図1から1995年以降の建設投資額前年比推移を抜粋し重ねた。

1995年以降の地質調査業の受注推移をみると、受注額は年々減少し、2003年には1995年比49%と半減している。

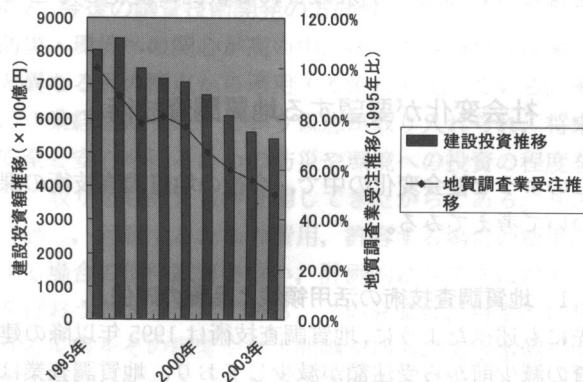


図2 建設投資推移と地質調査業受注推移

(※地質調査業受注推移は、国土交通省による建設関連業受注動向調査(地質調査業)による。)

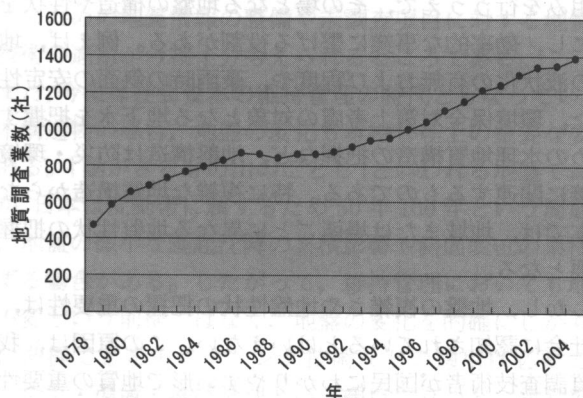


図3 地質調査業 登録業者数の推移

(※国土交通省発表平成14年3月末建設関連業登録状況による)

1995年以降の建設投資額推移と比較すると、建設投資額は、1995年を100%とした場合、2003年には64%となっており、地質調査業の受注額の減少は建設投資額以上の落ち込みを示していることになる。

図3に国土交通省による地質調査登録業者数の推移を示した。

地質調査業登録業者数は、昨年まで微増傾向にあり、受注動向と異なっている。地質調査業の受注額が半減している環境の中で業者数が減少していない状況が、現状の地質調査業の姿と見ることができる。建設投資の減少以上に地質調査業受注動向が減少していることは、建設事業から地質調査に対するニーズが減少していることを示しているといえることができる。

3. 最近の社会情勢

1997年以降の急激な建設投資の減少(図1)は、平成不況による国・自治体の財政環境の逼迫が大きな要因である。建設投資が減少する中、マスコミや一部の政治家がそれまでの大規模公共投資を効果のない無駄なものとする議論を展開した。例えば、平成12年2月の長野県知事が出した脱ダム宣言の議論がある。これらの議論の背景には、地球規模での環境保全に対する議論(京都議定書1997年)や公共事業に絡む談合への批判がある。また、バブル景気崩壊(1990年~1993年)以降の平成不況のなか、1997年まで景気浮揚対策として公共投資が追加実施されたが、バブル崩壊後の景気を浮揚するに至らず、この結果、公共投資への批判が大きくなったことも影響している。これらの議論を通じて、社会世論が開発的拡大思考から徐々に安定思考になり、しかも開発より生活環境を保全するという視点となっていった。また、バブル崩壊は世界の資本が日本に流入する契機ともなり、グローバルスタンダードという言葉に代表されるさまざまな仕組みが日本に流入し、それまで日本経済を躍進させた日本的仕組みがリストラの中で変化し、ISOの規格基準が我々建設関連業も含め経済界に導入されたこと、2001年以降の大手銀行の再編が劇的に行われたこと、国民の健康保護を目的として2002年に土壤汚染対策法が制定されたことなど、バブル景気の崩壊以降社会は変化してきた。

このような流れの中で、今後の地質技術の活用ならびに開発を考えるうえで、社会の変化に注目することが重要と考える。地質調査に関連する社会的変化をいくつか挙げてみた。

(1) 防災・環境への関心の高まり

2004年に発生した中越地震、同年12月のスマトラ地震による大規模な津波災害、2005年に発生したカシミール地震などの大規模地震や2005年アメリカで発生した大型ハリケーン「カトリーナ」がもたらした高潮被害によるニューオーリンズ市の洪水被害などでは、直接的被害のほかに災害がもたらした経済的被害や被災者の心的被害が長期にわたって継続することが大きな社会問題となっている。

2005年内閣府は、各企業が大規模地震災害発生後早期に

事業継続体制を確立するための事業継続計画（Business Continuity Plan…BCP）のガイドラインを発表した。これは、企業の社会的責任（CSR）として、企業における被害の縮小と事業を早期に再開することが災害被害の軽減と復旧に役立つことから行われたもので、すでに大規模地震の発生を想定した事業継続計画を立案し地震災害リスクの軽減に取り組んでいる企業もある。また、2005年7月に首都圏を襲った震度5強の地震では、鉄道が長時間にわたり麻痺状態となり、大震災時の帰宅困難状態を多くの人が経験し、防災グッズや帰宅支援地図の売上が増加した。

経済活動という切り口からも日本社会が抱く防災に対する理解も大きく変化し始め、災害被害を減少させるうえで自治体を中心に自助・共助・公助の連携が考えられている。

また、土壤汚染対策法（2002）や外来魚対策環境省令（2005）、青森岩手県境不法投棄問題（1999）など、環境保全への取組みが急速に進展してきた。環境に関しても、リスクとして金額ベースで算定する取組みも始まっている。災害リスクが地形・地質により異なることや土地の使用履歴や水理地質により環境リスクが異なることが経済界でも認識され始めている。

（2）エネルギー節減社会への取組み

石井他（2004）²⁾によれば、地球の石油埋蔵量はピークを過ぎておりと予測されており、今後、世界的なエネルギー問題に発展する可能性を示唆している。また、1997年の京都議定書の発行以降、地球温暖化防止のためのCO₂削減へのさまざまな取組みも行われ、エネルギー消費を少なくする省資源型生活基盤造りへの取組みは大きな課題となっている。今後、エネルギー節減型の都市計画立案や都市建設へ移行していくことが予想される。自然災害による被災と復旧も多くのエネルギーを消費することとなる。防災・減災という観点からも街づくり計画の見直しなど、エネルギー消費を前提としたバブル景気崩壊以前の開発からエネルギー節減型の国土再開という流れへ変化するものと見られる。しかも、次の住みやすい環境とは、自然環境を理解したなかで自然と共存した環境の創出が重要となると考える。

（3）技術の伝承が問題化

2005年12月に厚生労働省が発表した2005年の人口動態統計（年間推計）によると2005年の日本の人口は、死亡数が出生数を上回り自然減となった。第二次世界大戦後の日本経済の発展を支えた人口増加が遂に止まり、今後徐々に人口が減少するとともに、少子高齢化社会へと進行していくことが現実となった。

日本社会の少子高齢化は、日本の産業力を支えてきた熟練技術者の後継者不足につながり、また、労働力不足となる可能性もある。持続的発展を支えるためには、熟練技術者の後継者対策と省力化と情報化による生産性の向上が大きな課題となっている。

（4）建設市場の変化

バブル崩壊の後、景気対策として社会資本整備のための建設投資が活発に行われたが、地方自治体を中心に財政逼迫の状況となり、建設投資を牽引していた公共事業の縮減

が続き、建設市場が低迷している。

このような中、建設から防災と環境、安全と安心への期待が国民の中に高まり、さらには、事業に対する説明責任、コストの削減、環境負荷の低減などへ、国民の要求が変化してきた。

公共事業では、住民側にたった事業の採択や実施に主眼が置かれ、費用対効果から事業の休止・中止が決定されるなど、公共事業の進め方にも大きな変化が生じている。

また、技術に対する品質の確保という概念が導入され、各企業がISO 9001 認証取得に取り掛かり、さらには、2005年に公共工事の品質確保の促進に関する法律（品確法）が施行されるなど、建設関連業でも品質確保が重要な課題となってきた。しかも、国民の目は、徹底した品質の確保を求めており、2005年に発覚した構造計算偽造事件には厳しい目が注がれている。

一方で国土交通省を中心に発注方式の改革が進められ、品質と技術重視型の建設市場へ変化してきた。このような変化は、受注産業として受身型で建設市場に参画していた企業および技術者に、より広い視野に立った技術力や提案力を身につける取組みへの動機づけとなるものである。

また、これまで建設市場では一般的であった発注者側が構築した仕様に沿って発注された建設事業を性能設計という概念を取り入れた発注への議論がはじまっている。

これらの流れから、建設関連業も受身的発想や保護される発想から脱皮し、自らの技術力を一層磨き、責任ある技術を身につけることが求められる状況に変化してきている。

4. 社会変化が要望する地質調査技術

このような社会変化の中で、今後の地質調査技術の課題について考えてみる。

4.1 地質調査技術の活用領域と品質の確保

先にも述べたように、地質調査技術は1995年以降の建設投資の減少前から受注額が減少しており、地質調査業は建設投資と密接に関連している。一方で社会は、開発型から安全と安心志向へ変化しつつあり、不可視の地盤を対象とする特殊技術である地質調査技術には、防災や環境保全の取組みを行ううえで、その場となる地盤の構造や性状を明確にし、効率的な事業に繋げる役割がある。例えば、地震時の液状化の有無および程度や、豪雨時の斜面の安定性、また、環境保全対策上考慮の対象となる地下水を把握するための水理地質構造の把握など、地盤構造は防災・環境と密接に関連するものである。特に複雑な地質構造からなる日本では、地域または場所ごとに異なる地盤性状の把握は重要となる。

しかし、地盤の複雑さや地盤性状の把握の重要性は、十分社会に認知されているとはいえない。この原因は、我々地質調査技術者が国民にわかりやすい形で地質の重要性を訴える活動に不足があるためではないだろうか。もっと積極的に地質調査の重要性を広く提案していく活動が必要で

あり、そのことが、安全と安心志向の社会の発展に貢献することとなり、安全・安心志向の中での地質調査市場を形成することに繋がると考える。

また、地質調査は一般の人には見えない不可視の地盤中の構造や性状を把握する技術である。その品質は、地質調査技術者自らの責任となり、責任の範囲も明確にする必要がある。社会から地質調査技術に対する認知を得る活動を行うためにも、調査技術の品質への取組みと責任は重要であり、地質技術者は責任と倫理観をもって取り組むべきである。また、これらの取組みが社会に信頼されるよう、品質を担保する仕組みづくりを業界として行うことも重要と考える。例えば、地質調査技術を構成する各要素技術の資格を明確にすることも検討していく必要がある。

地質調査技術の品質に関連して、熟練技術者からの地質調査技術の伝承の問題がある。1997年からの地質調査業全体の受注額の落ち込みは、技術者の高齢化現象につながり、業績悪化に伴う早期退職などにより、地質調査技術で重要な要素となる現場状況にあわせた技術の伝承、すなわち明文化できない（しにくい）暗黙知の伝承が十分できていない状況がある。不可視の地盤を調査する場合には、現場の状況や調査により把握された地盤状況に合わせた試験・計測の方法や段取りがあり、調査技術の品質の源泉でもある。品質を考えた調査技術の伝承や熟練技術者の活用については、業界的観点で取り組む必要がある。

4.2 今後の調査技術開発の方向性

防災・環境への関心が高い中、地質調査技術を従来の市場と異なる別の観点から適用する流れも生じている。それは、企業経営にリスクという概念が取り入れられ、将来的に安全と安心を得るための防災や環境への投資の程度を算定して取り組む考え方が登場してきたからである。リスクを評価し、回避するための費用、許容する場合の費用、保持する場合の損得試算を行い、計画的にリスクに対する対応を行おうとする流れである。この評価は、将来的に起こりうる災害をその程度や発生間隔を過去の災害事例や土地利用の履歴などのデータを下に確率的に行われる。この場合、地盤性状に関する情報も重要で、評価地点の地盤による災害程度や汚染の拡大程度などとの関連も明らかにする必要がある。

そのための地質情報の整備や未調査項目に対する地質調査技術の適用が今後十分考えられるところである。

また、今後は社会資本の維持管理の時代ともなっていく。土木構造物の場合、地盤の変化も維持管理上の重要な要素である。「動かざるもの山のごとし」といわれる地盤ではあるが、日本は変動帯に属するため50年100年という周期では、地盤の微小な隆起沈降の累積影響や斜面変位の累積が生ずる場合がある。したがって、維持管理においても地盤が不変という前提ではなく、地盤の変化を的確にしかも簡便に把握できるモニタリング技術などの適用は必要である。防災・環境・維持管理という観点に立つと、建設事業で適用され体系化された地質調査技術では、調査技術のコストや適用性に問題が生ずる場合がある。すなわち、少な

い費用でより多くの情報を得るための調査方法の再構築や開発が求められている。このような状況から、地質調査技術者は、社会が地質調査技術に求めるニーズを再整理し、現状の地質調査技術の棚卸を行い、これらの組合せや再構築を行い、さらに不足する部分について技術開発する取組みが必要と考える。

このような取組みは、建築関連ならびに土木の一部で検討が進められている性能設計に対する地質調査技術の適用の問題にも関連するものである。性能設計は、構造物に求める性能を満足する構造物を建設する考え方であり、従来の仕様設計とは異なる考え方である。性能については、ある期間の性能保障が取り込まれる流れである。これらの流れについてはまだ議論段階であるが、仕様による地質調査を行う従来の流れから性能を満足するための地質調査に変化することも想定される。そのような場合、現在の技術以外に過去に開発された技術が適用できる場合もありうると考える。

今後潤沢な予算が確保できる情勢ではないだろう。限られた予算の中で効率的な地質調査を行う技術の開発も重要である。このためには、物理学や化学、生物学などの関連する領域での研究成果を地質調査技術に取り入れることも開発の方向である。特に広く地盤状況を把握できる可能性のある物理探査技術の更なる深化は、今後期待されることである。

4.3 地質地盤情報の活用

従来の地質調査結果は、事業実施段階で活用されるものの、事業終了後は、調査実施機関に保管されている。最近の地質調査結果は電子化されているが、関連事業への活用はあるものの広く公開はされていない。また、調査結果のデータベース化が進んでいないため、再度近接地点で地質調査を行う場合もある。

地質地盤情報は、目的により変化するものではなく、用途に合わせて活用されるものである。したがって、従来調査で十分把握されなかった部分にその後の新しい調査技術を適用し、地盤状況の理解を深化させることや、他の用途に活用することも可能であるという情報である。

例えば、地質調査結果を地理情報（GIS技術）として整理することにより、地質調査結果を研究のための基礎資料、地域地質や防災・環境などの教育資料、さらに新たな事業を立案するための基礎資料、広域災害リスク検討上の基礎資料など、多くの用途に活用することも可能となる。

このように地質調査結果は、広く公的に活用できる側面を持っているにもかかわらず、書棚に保管されている状況があり、これら情報開示の枠組み整備が必要と考える。先に述べたように地質調査の重要性を広く国民にアピールする中で、これまでの地質調査で蓄積された地質地盤情報の公的重要性についても訴えることが必要と考える。

また、地質地盤情報を社会に活用するためには、地質調査技術者がわかりやすく説明することが必要であることも重要な側面である。

4.4 地質調査技術の適用域の拡大

地質調査技術は、最近の社会変化の中でその活用領域が拡大する傾向にある。しかもその拡大は、従来の地質調査活用領域で発展してきた地質調査業の範囲を超えるものであり、逆に従来、地質調査を活用していなかった領域からの要望で拡大している。

例えば、住宅の品質確保法が制定されてから、サウンディングや物理探査を用いた宅盤調査が拡大し、宅地保障を行う流れが出てきている。また、不動産関連では、土壤汚染が取引上のリスク項目に上げられ、汚染実態の調査や汚染浄化対策のために地質調査技術が活用されている。最近注目されているアスベスト汚染問題も鉱物公害であるが、環境専門会社はその調査に従事している。ここには、地質調査技術として、岩石の変質鉱物を同定するために用いている X 線回折装置など分析装置が使用されている。さらに省資源住宅として、住宅の暖冷房に地中の定温性を利用する取り組みもある。

前述したように地質調査市場規模は減少しているが、これはあくまで建設関連で見た場合であり、別な市場開拓の可能性が十分あると考えられる。

先にも述べたが、再度地質調査技術を棚卸するとともに各地質調査技術の活用方法、さらに地質調査技術を別な観点で捉えたときの活用領域の検討を進めなければならないと考える。また、地質調査業と関係しない領域で地質調査技術を必要としている場面も十分想定される。広く国民に地質調査の有効性と必要性を発信していくことが重要である。

5. 地質調査技術の方向性

地質調査技術は社会資本整備の流れ特に建設開発事業の中で大きく発展してきた。その結果、建設開発事業が地質調査の目的であるかようになってきたのではないだろう

か？

建設開発事業は、これからも地質調査技術を必要としていることは間違いないが、社会の関心が地球規模の環境問題、防災問題に拡大する中で、建設開発事業以外の分野への地質調査技術の活用にも積極的に取り組む必要があると考える。

地質調査技術の基調をなす地質学は、人類が地球を理解するために発展した学問であるが、かつて、産業革命を支えた鉱物資源を開発するための調査技術として活用された。次に地盤物性という観点から、土質工学、岩盤工学などの発展とあいまって、建設開発事業に活用されてきたという流れがある。現在地質調査技術の基本は、工学との連携により開発され発展した技術であり、地質調査業という業態を形成している。このため、地質調査業は建設投資の減少により特に建設開発事業の縮減の中で、業態を構成する技術者も含め、受注額の減少の中で厳しい状況となっているのである。

では、今後どのような方向に進むのであろうか？

図4に社会の変化と今後意識的に取り組むべき課題と考えると示した。中心に現在の地質調査技術をイメージし、6つの領域を意識した関連分野との連携から地質調査技術はさらに適用領域を拡大するものとの考えを図示したものである。この中には、地質調査を社会的に認知される活動や品質確保と技術者倫理というベースとなる側面を入れている。地質調査技術が、不可視の地盤を対象とした技術領域であるため、信用を確保することは重要であり、常に意識的に取り組まなければならない領域と考える。

また、これら6つの領域への取組方についても、従来の各社が個別に取り組む方策だけではなく、業界として取り組むべきもの、企業間（同業者間、異業者間）の連携で取り組むものなどさまざまな方策を採っていく柔軟性が必要と考える。

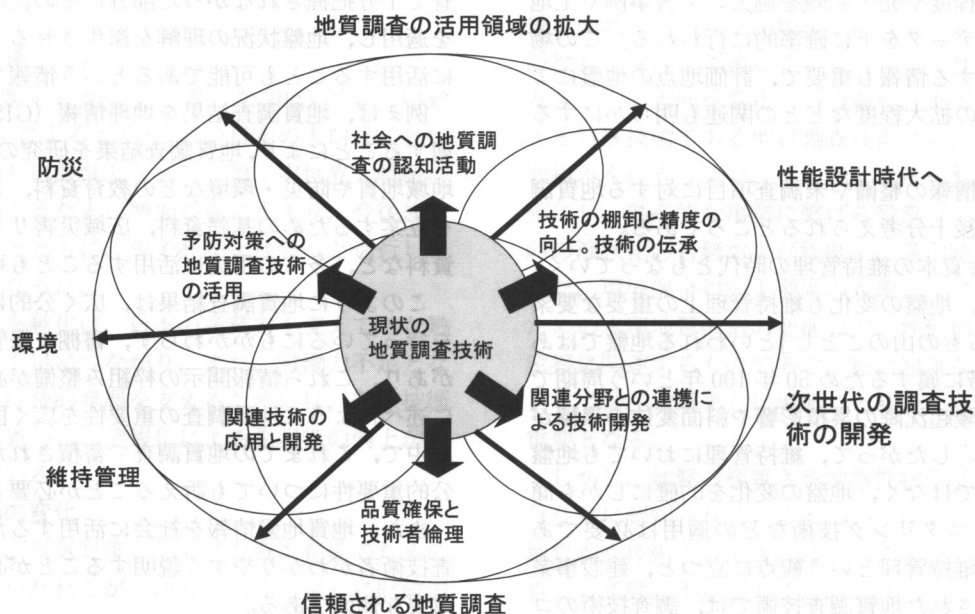


図4 今後の活動と地質調査技術の方向

6. まとめ

近年、国民の防災や環境に対する意識が高揚している。この状況は、かつて快適な生活、省力型社会、裕福な生活を目標とし高度成長時代を下支えした国民意識が、安全と安心を求める方向に変化してきたと捉えることができる。

社会資本整備の隆盛を極めたといえる高度成長時代が地質調査技術を育成発展させたことは否定できないだろう。

高度成長時代では、調査結果を使っていただくという姿勢が強く、この結果、地質調査業そのものが土木の陰に隠れた存在となったというのは過言だろうか。

これからは、国民の防災や環境に関する意識高揚に対して、我々地質調査技術者が何を提案するかが問われる時代でもある。

しかし、いかなる活用方策やそれに伴う市場が形成されたとしても、地質調査は現場で行い、不可視の地盤の性状をその時点の最高の技術で把握することには変わりがないはずである。

スマトラ地震と津波災害、大型ハリケーン「カトリーナ」の高潮被害、中越地震災害など国民を震撼させる災害が発生している。過去に目を向けると富士山や浅間山の噴火など多数の人命と財産を埋没させた火山災害も日本で発生している。しかし、そのことが現実に発生するとは国民の多

くは意識されていない状況ではないだろうか？

将来の災害に備えた場合、現在をどのように考えていくべきかが問われる時代でもある。そのときには、建設とは別の観点での地質調査技術の活用が想定される。そのため最近の技術動向を注視し、さらにニーズを的確に捉えた技術開発が重要と考える。

全地連技術委員会では、環境アトラス、維持管理への物理探査の適用、建設事業における地盤が抱えるリスクに関するワーキンググループを設置し検討を進めている。これらワーキンググループ活動成果は、後日発表する予定である。また、地質情報の活用など関連機関と業界が連携して取り組む課題もある。全地連では、地質調査の普及の一環として、全国地質百選の企画にも取り組んでいる。

大きな変化がまだ続くのかもしれないが、社会に活用される地質調査技術を目指し、今後もさまざまな取組みを行わなければならないと考える。このためには、全地連会員各社様のご協力ならびにご鞭撻がもっとも必要であると考えている。

参考文献

- 1) 社団法人全国地質調査業協会連合会編：日本の地形・地質，鹿島出版会，2001.
- 2) 石井他：豊かな石油時代が終わる，丸善，2004.

地表地質踏査の高精度化に向けて

ひらの よしひこ*
平野 吉彦*

1. はじめに

近年、IT技術の進歩により地質調査にかかわる機器類は著しく高精度化してきた。これに伴い地質調査手法にもさまざまな技術が応用されてきている。また、情報も電子化され、インターネットを通じて容易に入手されるようになってきた。このようにIT化が進む時代の中で、地表地質踏査は「ハンマー」・「クリノメーター」という簡単な道具を使ってフィールドを調査するというスタンスは、以前と変わっていない。本特集を組むに当たって、地表地質踏査の高精度化に向けてというテーマで記述することになったが、ここでは、土木地質の分野を例に次のような視点で地表地質踏査とその周辺技術について記述する。

- ・地表地質踏査とは
- ・地表地質踏査の高精度化とは
- ・地表地質踏査の周辺技術

2. 地表地質踏査とは

2.1 土木地質における地表地質踏査の位置付け

土木地質という観点で見ると、道路・構造物をはじめ地形・地質を対象とする事業の初期の地質調査は、おおむね図1のような流れで始まる。

地表地質踏査を実施することは、この一連の項目を実施し、後工程へ続く調査・設計・施工がスムーズに進行するように最も基礎的かつ重要な結論を導き出すことである。事業の規模によっては、この段階の地表地質踏査だけで設計・施工を実施することもあるし、事業の進展状況に応じ、概略設計・予備設計・詳細設計という段階に応じて、精度を変えて地表地質踏査が繰り返し実施されることもある。施工段階・維持管理段階においても、当初の調査結果と異なる状況が出現した場合や、地山の挙動が想定と異なった場合には、現地に行き地表地質踏査を行い、適切な結論を出さなければならない。このように、地表地質踏査は、事業のいかなる段階においても必要な結論を導き出すために適宜実施されるものである。

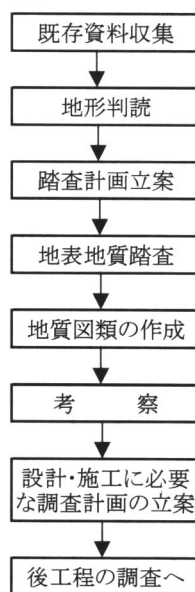


図1 事業の初期段階における地表地質踏査業務の流れ

2.2 地表地質踏査の技術

地質調査における地表地質踏査とは何か、考えてみる。池田¹⁾は、「土木建設における地質学の役割」の講演のなかで、①②のようなことを述べている。

- ① 地盤にかかわる工学的性質は、工学的な手法で出すものかも知れない。しかし、地盤というものは、地質学的な経過の結果つくられたものであり、現在の地盤がある性質を持ち、それがそれぞれの工学的性質を示す。地質学的な経歴、プロセスが分かれば、相当程度、工学的にどのような性質を示すか指摘することができる。
- ② 地質出身で土質工学や岩盤力学をやったから土木地質屋だと考えないでいただきたい。これらは、工学的な手法であり、地質屋というものは、工学的な手段とか手法のみでは分からない別の見方、地質学的なものの見方、考え方が大切である。とくに、他の分野にない技術としては、少ないデータから想像をたくましくして正しく自然を理解する。これができ

* (株)キタック

ることだと思ふ。

ここで、地表地質踏査の本質的な技術のあり方が述べられているように思う。ボーリング調査、物理探査、試験等を実施することは手段であって、その結果得られるものはデータである。各段階で実施される地表地質踏査は、その時点で得られる量のデータをもとに、調査エリア全体の地質的・工学的性質を三次元的に、しかも形成プロセスを論理的に組み立てることにより、可能な限り正しく把握し、必要な結論を導き出す「総合技術」ということができる。したがって、地表地質踏査を実施する技術者には、総合的な能力が要求され、能力の差が成果に大きく現れるものである。

3. 地表地質踏査の高精度化とは

3.1 地表地質踏査を実施する技術者に求められる能力

羽田²⁾は「現場はどのような地質家を要求しているか」の講演のなかで、①～⑥のようなことを述べている。ここで述べられていることは、30年あまりも前のことであるが、現在でも本質的に変わっておらず、地質にかかわる技術者が常に念頭におき、勉強をしていくことが求められている。これらの能力を高めていくことが、まず基本的な高精度化に結びついていくことである。これは、あたりまえの事であるが、現在このあたりまえの事が適切に行われているだろうか。

(1) フィールドでの観察能力

- ① われわれは、地学現象あるいは地質現象をそのまま実験室に持ち込めない。地質家と呼ばれるものは、高山や河床あるいは坑道の中で観察し実験をするということにひとつの本質がある。
- ② 入念な観察の裏付けとともに多くの基礎科学理解の上になつて想像をたくましくする能力、野外における極めて断片的なデータから妥当な結論と判断を下す能力が必要である。

ここで、述べられているように、フィールドで必要な情報を入手し、地質構成なり地質構造を組み立て地表地質踏査完了の時点で、三次元的な地質モデルは頭の中に描かれていなければならない。このためには、地質学に関するさまざまな分野の知識を知っていることが必要である。

(2) 事業において必要な内容を提示できる能力

- ③ 地質調査においていかなる場合にも共通な事項は、地質平面図と地質断面図という形に示される。しかし、これで終わりだということにはならない。土木地質において求められる内容はおおむね次の項目である。
 - ・ 地下の地質状況の変化から設計上の可能な変更に対する提案
 - ・ 建設に伴う可能な材料に関する情報の提案
 - ・ 地質状況に対応して構造物の建設方法に関する記述
 - ・ 掘削に関し、その量と費用に関する比較
 - ・ 構造物の安全性に関し、採用すべき地層の物理的・

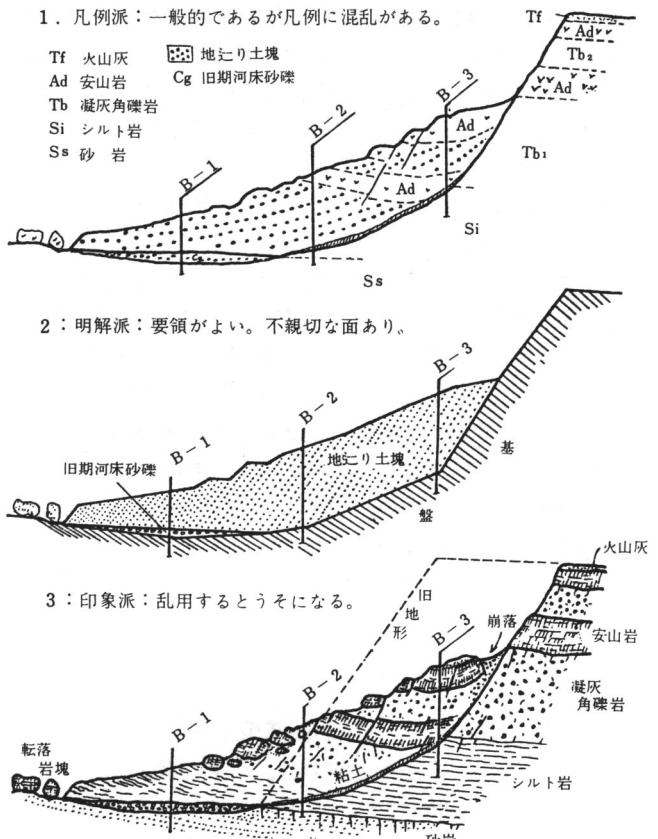


図2 地すべり地の断面図の表示 (羽田 1974)²⁾

力学的性質

- ・ 目的とする構造物の建設途上において施工上障害となる可能性のある情報の予見

ここで述べられているように、地質学的な知識のほかに、事業に対し必要な知識が地表地質踏査を行う技術者には要求される。

(3) 説明する能力

- ④ 地質を専門としていない相手 (たとえば発注者や土木技術者) に対し、相手方の地質学に対する理解度、あるいは調査の目的によって表現方法を考えること。
- ⑤ 地質断面図を提示し、そのなかで地層の実態、形成プロセスをきちっと説明すること。
- ⑥ 定性的な表現は相手方にわからない、可能な限り定量的な表現を用いること。

ここで④⑤の事例として図2を示し、次のように説明している。「2の断面はすべりの安定計算をする際には非常に分かりやすい。しかし、工事でこの地すべり土塊を掘っていたら硬い安山岩がでてきた。発破がいるぞ。という問題になる。1と3は、基本的には同じであるが、地質について理解の少ない土木の方には3が非常に分かりやすいということになる。」

この例で大事なことは、相手方の地質に対する理解度・調査の目的によって表現を変えること、そして地質的な形成プロセスをきちっと説明できる断面図を作成し報告する意識と知識が必要だということである。

3.2 学会・協会の講習会・見学会を積極的に活用する

地表地質踏査は、図学や地質図の書き方というような参考図書はあるが、多様な地質現象を対象としていること、土木地質として生かすためには多方面の知識が必要となることから、標準的なマニュアルというものはない。そこに、地表地質踏査の難しさがああり、他の分野に比べて一人前になるためには長い時間がかかるといわれている。

日本でダム等の大規模構造物が盛んに建設されていた時代には、長い間その現場での地質調査に携わり、同じ現場で計画から施工まで経験を積むことができた。現在、このような現場が減少していることにより経験を積む貴重なフィールドや業務が少なくなってきた。個人の勉強や企業内での教育を補う方法として、このような経験を積んだ技術者の知識やノウハウを利用することがレベルアップの近道につながる方法ではないだろうか。どのような分野にも、その分野のプロフェッショナルがいる。協会や学会で企画される講習会・見学会はその意味で有効な手段であり、積極的に活用するべきである。

3.3 周辺技術分野を積極的に活用する

地表地質踏査を実施する能力は、人間に備わるものである。しかし、その能力を十分に発揮し効率的な地表地質踏査を行うため、さらに、発注者・設計者・施工者が望む利用しやすい成果を提供していくためには、周辺技術分野を積極的に活用していくことが必要である。たとえば、災害現場を踏査する前に周辺地域の全貌を把握することにより効率的に調査が進められる。地盤の多様な性質を正しく識別・表現するためには機器類を活用すると有効である。技術者の頭の中にある地質モデルを相手方に理解してもらうためには三次元的表現手法が有効である。このように、地表地質踏査を実施する技術者にとって支援となるような技術に関し、本稿では、利用できる機器や利用されつつある最近の技術動向について紹介する。

4. 地表地質踏査の周辺技術

4.1 高解像度衛星画像

地表地質踏査における事前調査段階では、既往文献の収集・空中写真判読などの検討により踏査地周辺の全体を把握し、踏査計画を立案することがまず重要になる。

近年、1~3 m 分解能の高解像度衛星画像が代理店を通じ日本でも販売されるようになった。高解像度センサーを搭載した主要な衛星を表 1 に示す。大きな特徴は、民間会社が打ち上げた商用衛星が急速に増えてきた点にあり、2007 年 10 月には、地上分解能がさらに向上した(パンクロ 0.41 m, カラー 1.64 m)商用衛星 Orbview-5 の打ち上げが予定されている。

高解像度衛星画像を利用するメリットは、次のような点にある。

- ① 中縮尺程度の空中写真と同程度の地形判読ができる。分解能 1 m であれば 1/2500 の地形図に表現された施設の判読が可能³⁾。分解能 2.5 m と 1 m の違いを写真 1 に示す。
- ② 衛星画像は、センサーを用いて地表からの反射情報を取得するものであり、マルチスペクトル判別で、植生や地表の含水状態など解析できる。
- ③ 1 回の観測幅が広く、広域の画像データの取得は、空中写真よりも割安となる。
- ④ ポインティング機能(衛星直下以外の方向を観測できる機能)により、任意の方向の地域を同一軌道飛行中に複数箇所観察できる。この機能により、
 - ・ステレオデータの取得が可能で三次元標高データを得ることができる。これにより、広域のコンター図や三次元地形表現が可能である。
 - ・災害時に緊急に要請される地域の高頻度観測が可能である。
- ⑤ 衛星は、おおむね南北方向に地球を周回しており、同一地点へ戻る回帰性がある。このため、一定周期ごとにデータを蓄積しており、地表面の変化を周期

表 1 高解像度地球観測衛星の一覧*

国 籍	アメリカ	アメリカ	フランス	アメリカ	アメリカ
衛星所有会社	SpaceImagings 社	DigitalGlobe 社	—	ORBIMAGE 社	—
衛星名	IKONOS	Quick Bird	SPOT-5	Orbview-3	LANDSAT-7**
地上分解能 (衛星直下)	パンクロ 0.82 m カラー 3.3 m	パンクロ 0.61 m カラー 2.44 m	パンクロ 5 m および 2.5 m カラー 10 m	パンクロ 1 m カラー 4 m	パンクロ 15 m カラー 30 m
観測幅	11.3 km	16.5 km	60 km (最大 120 km)	8 km	185 km
軌 道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期極軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期極軌道	太陽同期準回帰軌道
周 期	98.4 分/1 周回	93.8 分/1 周回	101.4 分/1 周回	92.5 分/1 周回	99 分/1 周回
回帰日数	11 日	平均再訪時間 1~3.5 日	26 日	平均再訪時間 1~3.5 日	16 日
ポインティング能力	±45°	±30°	±27°	±45°	—
衛星高度	680 km	462 km	826 km	400 km	705 km
打ち上げ年	1999 年 9 月	2001 年 10 月	2002 年 5 月	2003 年 6 月	1999 年 4 月

* 本表は、(財)リモート・センシング技術センター (RESTEC) のホームページから衛星データを検索して作成したものである。

** LANDSAT-7 のデータは、高解像度衛星とこれまでの観測衛星との地上分解能比較のために記入した。



((C)NTT DATA CORPORATION/CNES/Spot Image Distribution)
分解能 2.5 m 衛星画像 (SPOT-5)



((C)NTT DATA CORPORATION/ORBIMAGE/CNES/
Spot Image Distribution)
分解能 1 m 衛星画像 (Orbview-3)

写真1 分解能 2.5 m と 1 m の衛星画像の比較

的にモニターできる。写真2は、SPOT-5衛星画像の例を示したものであるが、豪雨災害前後の分解能 2.5 m の衛星画像により、災害発生箇所を広域に渡って判別することが可能となっている。

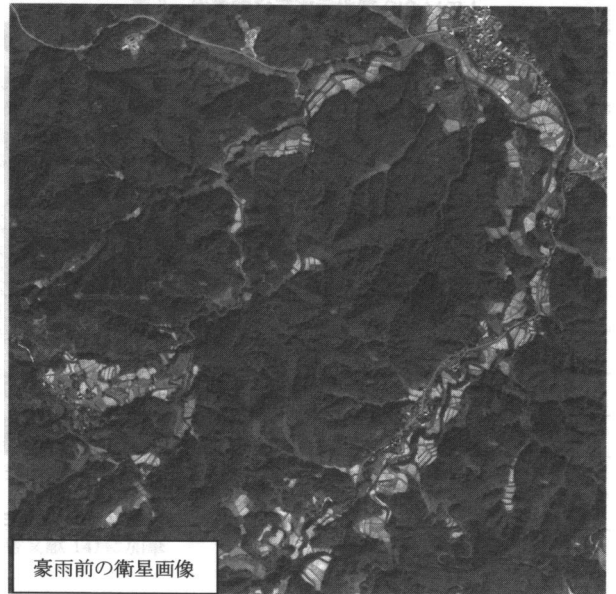
高解像度衛星画像の利用は、とくに広域調査において、今後利用が増加してくるものと思われる。

4.2 デジタルカメラを利用した三次元写真計測

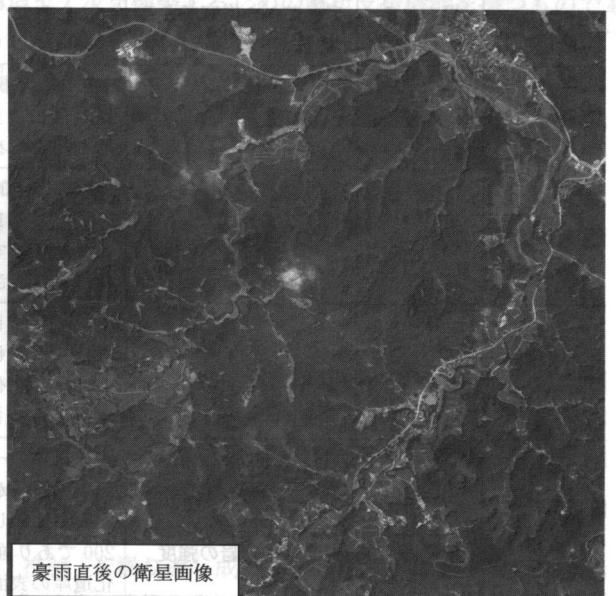
近年、一般に販売されているデジタルカメラで撮影した画像から三次元写真計測を行うソフトウェアが市販されるようになってきた。ソフトウェアは、数社から販売されているが、撮影箇所を変えた2点以上の画像の視差を利用して、三次元座標を求める原理のものが主体である。

三次元写真計測ソフトウェアを利用するメリットは、次のような点にある。

- ① 一般のデジタルカメラとパソコンを使用するため誰でも簡単に取り扱うことができる。
- ② 撮影された画像に長さ分かるスケールやポールが



豪雨前の衛星画像



豪雨直後の衛星画像

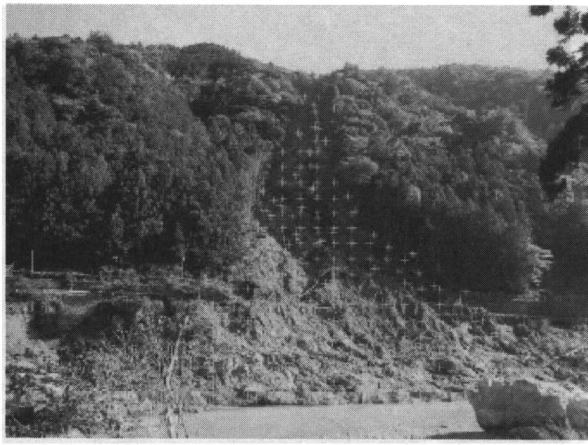
((C)NTT DATA CORPORATION/CNES/Spot Image Distribution)

写真2 2004年7月13日新潟・福島豪雨災害による斜面崩壊・土砂流出箇所の抽出 (SPOT-5衛星画像 2.5 m 分解能)

写っている、または、カメラの撮影間距離が対象物までの距離が分かれば三次元計測が可能である。

- ③ 短時間に自動でコンター図・地形断面図を作成できる。
- ④ 幾何学的に亀裂等不連続面の走向・傾斜を求めることができる。
- ⑤ ソフトウェアには、土量計算機能や3Dシミュレーションなどの機能が付加されているものが多く、設計時間の短縮やプレゼンテーション資料を短時間で作成できる。

このようなメリットから、写真3に示すような緊急を要する災害現場や急崖部の地表地質踏査の基図として利用されてきている。その他、デジタルカメラを利用した三次元写真計測からのり面変位をモニタリングするシステム⁵⁾なども発表されている。



(a) 自動で作成された三次元座標点



(b) 写真上に等高線を表現

写真3 崩壊発生現場での三次元写真計測の例⁴⁾

表2 携帯型計測機器等の利用例

機器名	得られるデータ	データから推定できる地質的・工学的性質	機器の概要および利用例
土壌硬度計	土壌硬度	・土の硬さ	土の硬さ（緻密度）を計測する機器である。土壌硬度のほか概略的な支持力を求めることができる ⁷⁾ 。土木の分野では、切土のり面の植生工の検討や岩盤の風化区分の指標などに利用されている。
針貫入試験機	針貫入勾配	・軟岩の強度	軟岩の力学的性質に関する指標を簡便に求めるために考案されたものであり、一軸圧縮強度がおよそ 10 MPa 以下の軟岩に適している ⁸⁾ 。軟岩の一軸圧縮強度を推定する指標として利用されており、また、スレーキングしやすい岩石では、時間経過に伴う強度変化の把握にも利用されている。
シュミットハンマー	シュミットハンマー反発値	・硬岩の強度	コンクリートの一軸圧縮強度や弾性係数を推定する目的で考案されたものであるが、現在では岩石にも適用されている。電力中央研究所の菊池・斉藤が昭和 50 年代はじめてから岩盤への適応性を検討し、岩盤の弾性係数・変形係数や岩盤等級の一つの指標としても利用されている ⁹⁾ 。
簡易反発度試験機 (エコーチップ反発度試験機)	反発硬度	・軟岩～硬岩の強度	金属材料の一軸圧縮強度や弾性係数を推定する目的で開発されたものであるが、近年、岩石への適用が試みられている ¹⁰⁾ 。シュミットハンマーよりも小型であることから小さな岩石試料に対しても試験が可能である。また、打撃エネルギーがシュミットハンマーの約 1/200 であり強度の小さい岩石に対しても適用可能である。岩盤構造物の表面や石造りの文化遺産の表面でも試験が可能になるものと期待されている。石黒ら ¹¹⁾ によれば、一軸圧縮強度 20 MPa 以下の岩石に対しては、シュミットハンマーよりも変化が敏感であるという結果が出されている。
帯磁率計	帯磁率	・磁性鉱物の有無 ・風化や変質の強さ	物体の帯磁率を計測する機器である。帯磁率は磁化の強さと磁場の強さの比で磁化率ともいう。岩石や堆積物中に磁鉄鉱などの磁性鉱物を含んでいる場合、他の鉱物よりも高い帯磁率を示す。この性質を利用し、火山岩と堆積岩の識別や溶岩の噴出単位の識別に利用されている。また、磁鉄鉱は風化により分解すると磁性を失って行き、また熱水変質により二次的にヘマタイトやパイライトが生成されると帯磁率は低下する。この性質を利用し、風化や変質区分の一つの指標に利用されている ¹²⁾ 。
電気伝導度計 pH 計	電気伝導度 pH	・水質	水の電気伝導度・pH を計測する機器である。電気伝導度・pH は、大まかな水質特性、地下水系統の異なる水の判定、異種の水塊における混合等の把握に利用されている。
土色計	マンセル値	・色	土壌の色を計測する機器であり、マンセルの標準土色帳に対応した色表示の他、L*a*b* 色表示もできる。土壌断面の調査に利用されている。
試薬	化学反応	・岩石・鉱物の同定	地表地質踏査の際に、肉眼観察だけでは対象物質の同定が困難なことに直面することがある。このような時、対象となる鉱物に応じて試薬を用意しておくことにより対象物質を同定することが可能となる ¹³⁾ 。希塩酸 (HCl)：炭酸カルシウムあるいはこれを多く含む石灰岩や方解石脈の同定に利用されている。フェノールフタレイン溶液：セメントミルクの検出によく用いられ、ダム基礎処理現場などでセメントグラウチングによるものか地山を構成する脈か判断するために利用されている。パラフェニレンジアミン溶液（通称パラミン）：モンモリロナイトの同定に利用されている。

デジタルカメラを活用した技術としては、トンネル切羽観察を行う地質技術者の補助システムとして、色情報を利用した岩盤風化度の判定・表示システムの開発についても研究されてきている⁹⁾。デジタルカメラの活用は、今後の精度向上と亀裂系解析・色調解析等への進展が期待される技術である。

4.3 携帯用小型レーザー距離計・携帯用 GPS

近年、携帯用小型レーザー距離計や携帯用 GPS が数社から販売されるようになり、地表地質踏査時の位置確認用に利用されつつある。

携帯用小型レーザー距離計は、測定可能距離が 500 m 程度のもので販売されており、測定精度は 1 m 前後である。

携帯用 GPS は、10 m 程度の精度で緯度・経度が求められるため、1:25000 程度の地表地質踏査には有効である。しかし、谷筋や森林地帯の見通しの悪い場所では衛星電波が受信できない等の問題があるため、地表地質踏査時にはコンパスや高度計とともに補助的に利用されている状況である。

4.4 携帯型計測機器等

地表地質踏査において、同定が難しい岩石に直面することがある。また、土木地質として観察すべき点は地質的な面だけではない。地質的観察の正確さに加え、目的に応じた工学的情報も入手し、総合的な視点に立ち地表地質踏査の成果を作り上げていくことが望まれる。また、可能な限り定量的な表現（データ）を用いることにより、踏査データの客観性やデータとしての利用価値が向上する。

表 2 は、現在、市販されている携帯型計測機器とその利用例についてまとめたものである。これらの機器は、以前から利用されているものであるが、積極的に活用していくことが望まれる。

4.5 地質情報の三次元化技術

実務における地質図類の作成は、現在、建設 CALS に対応し、CAD を利用して作成されることが一般的である。CAD を利用した地質図類の作成は、これまで手書きで作成していた地質平面図・地質断面図をパソコンで作成し、電子化することでデータの利用を容易にしたレベルである。

近年、地質情報の三次元化技術が進み、地表や地下の地質を三次元モデルで表現できるようになってきた。三次元化に使用するソフトウェアも簡易な三次元ビューワから地下構造を推定するものまでであるが、次のようなメリットがある。

- ① 地質図類を作成するうえでの地質解釈の支援と、地質断面間の整合性に関するミスを防ぐことができ、地質図類作成および修正の効率化が図れる。
- ② プレゼンテーション資料として理解されやすいものが作成できる。

また、情報の管理は GIS を前提にしたシステムが作られてきており、三次元地盤情報データベースとして運用する方向へと進んでいる。表 3 に示したソフトウェアは、代表的な三次元地質 GIS ソフトであり、ボーリングデータ・地

表 3 代表的な三次元地質 GIS ソフト

ソフト名	開発機関・会社
三次元地質解析システム GEORAMA	株式会社 CRC ソリューションズ
地下情報可視化データベース G★BASE	地熱技術開発株式会社
GeoCALS	国際航業株式会社
統合地盤情報管理システム G-Cube	中央開発株式会社
三次元地質解析支援システム	応用地質株式会社
RockWorks 2004	RockWare 社
StrataModel	Landmark 社
三次元地形地質モデリングシステム VALUCAN	株式会社ダイヤコンサルタント

参考文献 14) に加筆

質断面図・地質平面図・その他の地質情報から三次元地質構造モデルを構築するための解析支援機能を持つものである。また、これらの機能を利用して、調査・設計・施工管理まで支援することを目的としている¹⁴⁾。今後、GIS は広く普及される技術であり、データを広く活用するためには、ソフト間のデータの互換性や地質表記の標準化の課題が残されているが、三次元地質 GIS は今後発展していく技術と考えられる。

5. あとがき

本稿では、地表地質踏査に必要とされる能力、地表地質踏査に利用されつつある周辺技術の動向について記述した。具体的な知識や手法は、地質学的な図書、各事業の図書を参照していただきたい。

地表地質踏査は、フィールドを歩き回り「データ収集」と「推論」を繰り返し成果を得る労力のかかる業務である。IT 化が進む時代の中で、ともすればフィールドに行かなくともそれなりの情報を得、それなりの結論を出すことも可能になるであろう。また、近年では、最新調査手法や解析手法に重点が置かれ、地表地質踏査による綿密な地形・地質観察が軽視されているケースも見られる。しかし、地形・地質を対象とするあらゆる事業において、各段階で適切な結論・方針を導き出すためには地表地質踏査が基本であることを再認識する必要がある。そして、地表地質踏査を実施する技術者は、事業のすべての段階で地質の専門家として適切な結論を導き出すことができるだけの勉強と経験を積む努力が必要である。

参考文献

- 1) 池田俊雄：土木建設における地質学の役割、土木建設・環境問題と地質学, pp. 60-92, 築地書館, 1975.
- 2) 羽田 忍：現場はどのような地質家を要求しているか、土木建設・環境問題と地質学, pp. 94-128, 築地書館, 1975.
- 3) 森山 隆：地球観測衛星と衛星データ, JACIC 情報 58, p 36, 2000.
- 4) クラボウ：三次元写真計測システム (クラヴェス), クラボウ画像

情報システム課資料.

- 5) 長尾和之・松山裕幸・天野淨行：デジタルカメラを用いたのり面変位計測システムの開発, 技術情報誌「EXTEC」, 70号, Vol. 18, No. 2, pp. 33-36, 2004.
- 6) 棚橋大爾・門馬英一郎・石井弘允・小野 隆：デジタルカメラ画像による岩盤風化度の判定・表示システムの開発, 応用地質, Vol. 42, No. 6, pp. 373-379, 2002.
- 7) 藤原製作所：土壌の硬度測定器山中式硬度計説明書.
- 8) 土木学会：軟岩の調査・試験の指針(案), pp. 56-60, 1991.
- 9) 土質工学会：岩の調査と試験, pp. 299-305, 1989.
- 10) 川崎 了・吉田昌登・谷本親伯・舛屋 直：簡易反発硬度試験による岩質材料の物性評価手法の開発, 応用地質, Vol. 41, No. 4, pp. 230-241, 2000.
- 11) 石黒幸文・木村敏章・田邊謹欽・伊藤俊一郎・赤嶺辰之介・中田英二：熱水変質岩盤における変質分帯と強度特性に基づく岩盤分類の試み, 日本応用地質学会平成14年度研究発表会講演論文集, pp. 67-70, 2002.
- 12) 青砥澄夫・菊山浩喜：ボーリングコア観察の定量化への試みーコア帯磁率測定による地層区分・風化度指標ー, 全地連「技術 e-フォーラム 2004 福岡」講演集.
- 13) フィールドの達人刊行会：めざせフィールドの達人ー地質調査秘伝の書一, pp. 140-141, 2003.
- 14) 全国地質調査業協会連合会：次世代 CALS 対応研究会報告書, 2003.
- 15) 土木春秋社：地質と調査, [小特集] 地表地質踏査, 1989.

●新刊紹介●

リチャード・E・グッドマン 著 赤木 俊允 訳

土質力学の父

カール・テルツァーギの生涯

A 5 判/499 頁/定価 4,095 円/(社)地盤工学会

カール・テルツァーギは 20 世紀最高の土木技術者の一人であり、土質力学の父として広く知られている。彼自身が実際の工学的難問を解決するために、四つの大陸で検証しながら創り上げた地盤工学の諸原理は、世界中で普遍的に認められ実務の基盤となっている。

この本には、テルツァーギがコンサルティング・エンジニアとして、多くの大プロジェクトで遭遇した様々な自然現象の諸現象を理解しようとどんなに苦労したかが如実に描かれている。テルツァーギは常に問題に焦点を絞り、これに自らを投入し、天才的閃きをもって解決策を見いだすことの出来るアーティストだった。彼の生涯は、その相当部分が二つの世界大戦に挟まれた激動期のヨーロッパが舞台となっているが、戦中・戦後のアメリカにおける活躍も含めて、興味深い歴史物語にもなっている。

この伝記に描かれた巨匠テルツァーギの知られざる素顔と、彼が抱いていた土質力学・基礎工学に対する思いとは、わが国の地盤工学の現状に大きな一石を投げ新しい波紋を広げることになるものと期待される。

原位置試験の現状と高精度化、高能率化 に向けて

はら だ かつ ゆき
原 田 克 之*

1. はじめに

簡単な土層構成と N 値分布がわかれば、経験ある技術者は基礎工のイメージを作ることができ、ややもすれば詳細設計までやってしまった時代もあった。今では原位置試験などの適切な付加データ取得が不可欠となったが、1本のボーリング調査孔が建設や環境に関する問題点の理解と解決のための有益な情報を与えてくれるのは変わらない。

地質調査における調査や試験の方法には、原位置の地盤や孔内を対象に実施する原位置試験と、採取した試料について室内で実施する室内試験に大別されるが、両者は常に対比されながらその装置や手順、取得データの整理や活用方法など、そのあり方について議論されてきた。原位置試験の長所として、その多くが地盤を定量的に評価するために行われ、設計数値を直接決定することも可能なことが挙げられる。また、室内力学試験には十分な品質を保證できるサンプリング試料(乱れの少ない試料)が欠かせないが、これを採取できない地層では原位置試験は非常に有効な手段となる。

原位置試験は、高度な数値解析が一般化したこともあり、より詳細なデータが要求されるようになり、また周辺機器の発達に伴い革新されてきた。しかし、一般的な調査現場では、標準貫入試験を中心に、孔内水平載荷試験、現場透水試験、間隙水圧測定、ルジオンテスト、あるいは孔内水平載荷試験といった伝統ある手法がメインであり、サウンディングに至っては、ボーリング空白域の補間手法の位置づけを脱していない状況にある。

本文では、我が国の原位置試験の現状を整理し、同試験の高精度化、高能率化を図るための考えをまとめた。

2. 原位置試験を取り巻く情勢

我が国における代表的原位置試験である標準貫入試験の規格(JIS A 1219)が2001年に改正されたのは記憶に新しいところである。改正の中身としては、標準貫入試験特有の打撃貫入に関する基本機構はほとんど従来規格のまま

あるが、装置や試験方法の明確な定義とともに試験実施者の任務を規格に明記したことが特徴である。すなわち、① 機器の点検や整備、② 試験の際のロッド鉛直性確保とぶれ防止、③ 定義された複数の打撃方法やデータ記録方法の選択と報告、である。そのほかにも改正点はあるが、総じてみれば2001年の改正の主体は、従来より各方面から指摘されてきた標準貫入試験特有の「人的誤差」を取り除くことであったといえる。

また、地質調査関係者のパイプともいえる地盤工学会編集の地盤調査法『地盤調査の方法と解説』が、2004年に改訂版が発刊された。ここには地盤調査関連のJIS 6規格と地盤工学会JGS 40基準が収録されているが、今回の改訂のポイントは、① 地盤調査関連基準の適用範囲拡大(岩盤分野、環境地盤分野)、② サンプリングした試料の品質の評価、③ 一部基準ではボーリング孔埋戻しを規定、が挙げられる。すなわち、地質調査分野での原位置試験に限れば調査方法に大きな変更はみられないが、②や③からは品質保証や説明責任への対応を念頭においた結果と捉えることもできる。

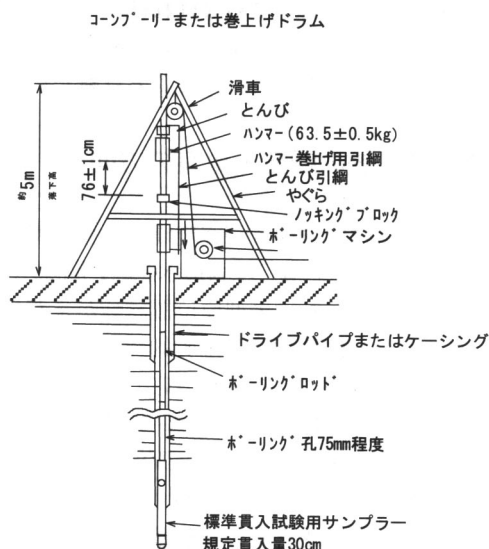


図1 標準貫入試験装置図

* 川崎地質(株)北日本支社 技術部長

3. 原位置試験に求められる精度

たとえば、原位置試験の結果から地盤特性の代表値設定を行うことを考えてみる。一般的手法には原位置試験による検討対象データの平均値採用がある。これ以外には、不確定要素を考慮した安全側数値の採用、一般値や類似地盤の引用、などがある。近年、解析・設計技術の進歩により地盤と構造物の相互作用を考慮できるモデルが普及してきているが、そこでは地盤特性の代表値について、割り引いたほうが安全か、割り増したほうが安全か、一概にいえない場合がみられる。また、「安全側」や「一般的」といった言葉は大変便利ではあるが、性能設計や説明責任という観点では十分な根拠とはならず理解が得にくい場面も想定される。したがって、平均値法を採用する場合でも、適切なデータ整理範囲の設定、特異値の排除、さらに地質学的、地盤工学的な知見や類似地盤での経験の十分な反映、といった総合的な評価に則ったものでなければならない。

また、擁壁基礎設計のため標準貫入試験の N 値から粘性土の粘着力に換算したり、スウェーデン式サウンディングの結果から宅地地盤の支持力を推定したりすることもまだまだ行われている。これらの換算式や推定法は、誤差も小さくなく信頼性に劣り、さらに沈下については何ら検証を行えないことは地質調査技術者であれば常識である。しかし、このような簡便な調査の依頼者は地盤工学の非専門家の場合が多く、換算値＝実測値、さらには推定支持力＝確認地耐力として沈下までを含めた地盤品質の保証を求めがちである。このような顧客要求と供給成果のレベルの不一致（最終的には瑕疵担保責任問題）は米国においてもみられ、ノースリッジやロマプリータ地震に伴い多くの構造物被災が発生した際に、地震被害について建築物所有者と設計技術者の間で構造物の耐震性能に関する理解に相当の開きがありトラブルとなったという話は有名である。

以上より、原位置試験における精度とは、何をどの程度知りたいのか、という調査依頼者の要求する情報内容、品質レベルに対応したもの、そして結果の扱い方と適用範囲までを含めて合理的に説明できること、さらには費用負担に問題がないこと、までを含めなければならない。試験者の一方的な精度設定では、近年における品質保証および説明責任といった社会的要請に応えることは難しい。

4. 原位置試験の開発・改良の方向

前述したように通常の地質調査現場では標準貫入試験を中心に、孔内水平載荷試験、現場透水試験、間隙水圧測定、ルジオンテストといった従来型原位置試験がまだまだ主流である。これらの原位置試験の全般的課題としては、試験地盤のボーリング掘削による乱れや応力開放の影響による精度低下をどのように低減するかが、挙げられる。通常は、調査孔掘削を先行実施し、速やかに原位置試験装置を所定の孔内位置に降下させて測定を開始するプレボーリング方式が主体であり、孔壁や孔底の作製精度の確保、削孔後の速やかな試験実施、といった現場技術研鑽と手順確立によ

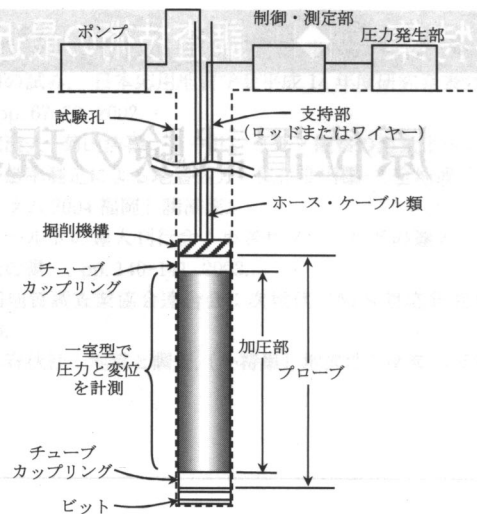


図2 セルフボーリング型孔内水平載荷試験装置

り影響低減を図ってきた。掘削による精度低下の対策の筆頭として自動掘削機構を有するセルフボーリング型試験装置(図2)があり、これまでも多くの機関が開発に取り組んでこられたのは周知のとおりである。特に均質な軟岩を対象とした物性測定型原位置試験の分野での取り組みが顕著であり、その成果として地盤工学会基準「岩盤のプレッシャメータ試験方法：JGS 3531-2004」では、プレボーリング方式に加えてセルフボーリング方式が基準上定義されるに至った。このようにセルフボーリング型原位置試験機も研究・実験段階から実務適用段階へと大きな一歩を踏み出した状況にあり、他の原位置試験技術についても、同様な進展が期待される。

また、「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法(大深度地下利用法)」に基づく大都市圏での大規模地下利用プロジェクトが動き出そうとしている。対象となる深度は40～100 m程度と想定されるため現状の地質調査技術で概ね対応可能と考えられるが、大都市圏においては計画構造物直上の地上エリアに十分な地質調査作業スペースを任意に確保することは容易ではなく、鉛直下方に限定した一次元の情報を与える通常の調査ボーリングやサウンディングでは効果的な三次元地盤情報を得ることは難しい。

これに対応するものとしてはコントロールボーリングがある(図3)。この手法は、ボーリングを行いながら任意に掘進方向を制御する技術であり、上記のように上方地盤に作業スペースが確保できない場合には有効な手法といえる。具体的には、地盤評価対象範囲に向けて斜め方向に掘進し、これを評価対象範囲で水平となるように掘進方向を制御することが可能なため、地下トンネル等の線状地下構造物に対して従来の傾斜ボーリングよりも効率的に地盤評価が可能になると期待されている。しかし、コントロールボーリングは岩盤領域を対象に開発発展してきたものであり、方向制御のための反力が軟質な孔壁でも確保できるか、掘進延長を短くするため曲率を大きくできるか、といった都市部土砂地盤に応じた作業上の課題もさることながら、原位置試験のなかでは孔内水平載荷試験が水平・傾斜孔内

において実施されることがあるものの、大部分は鉛直下方孔内での作業を前提とした装置・技術であり、コントロールボーリング孔に適用できるような原位置試験手法の開発が求められている。

さらに、大深度地下利用をはじめとして、調査対象地盤の大深度化、大規模化が進んでいる情勢のなかで従来の地質調査技術では原位置試験などの実施は単発的でありデー

タが離散しているという大きな欠点を有している。しかし、単純に測定や試験密度を増すのでは大幅なコスト増を伴うだけでなく、不連続な情報を経験的に結合させる現状の調査手法では大深度、大規模化した建設エリアでの地層の連続性評価法として合理的とはいえ課題が残る。これについては、連続的に地盤情報を入手できる手法としてボーリング削孔の状態をモニタリングする MWD (Measurement While Drilling) があるが、現状では適用実績を蓄積している段階であり一般化が待たれる。

原位置試験には、このように高性能化とともに高効率化が求められ、開発・改良の方向も見据える必要がある。

5. 原位置試験の高性能化、高能率化への取り組みの例

既存原位置試験の改良や新技術開発は、多くの企業や研究機関により取り組まれているが、最近の開発事例として以下に3つの調査試験法を紹介する。はじめの2つは、原位置において直接地盤の設計値を測定できる高性能化を目指したものであり、3つめは費用の低減と作業性向上を図る高能率化調査法である。

5.1 原位置せん断摩擦試験 (図4)

本試験 (SBIFT: Self Boring In-situ Friction Test) は、試験機構としては従来の孔内水平載荷試験と地盤のせん断定数を測定するための直接型せん断試験 (室内試験) を組み合わせたものと言え、セルフボーリング機能も有している。試験方法は、試験位置直前の深さまで通常のボーリングを実施した後、試験区間ではセルフボーリング方式に切り替え、掘削しながら測定管を挿入し、せん断試験と変形試験を実施後、測定管の回収を行う手順である。せん断試験は、壁面への垂直応力を作用させ (プローブを膨らませる)、その値を保持したまま壁面に平行な応力を作用させる (プローブを引き上げる)。この二つの応力の相互関係、応力と変位の関係から地盤強度 (c , ϕ) を評価する。また、壁面への垂直応力と孔壁変位量の関係から変形係数を整理 (通常の内水平載荷試験と同じ原理) する。

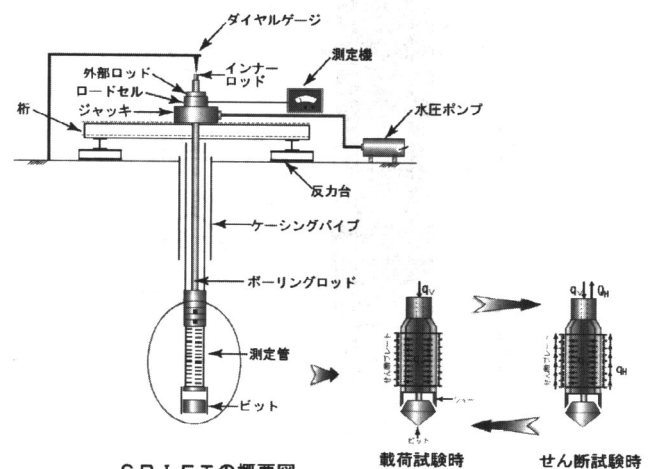


図4 原位置せん断摩擦試験 (SBIFT) の概要図⁴⁾

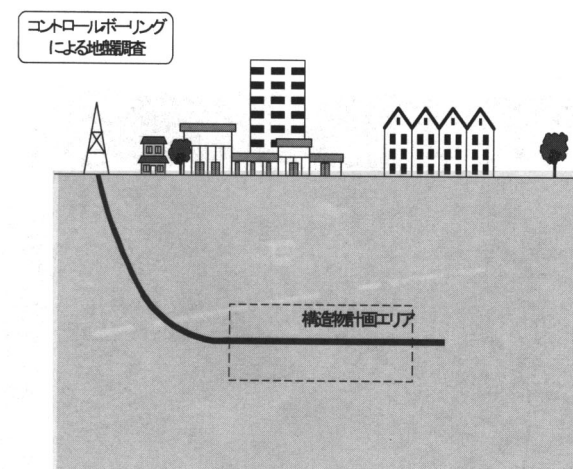
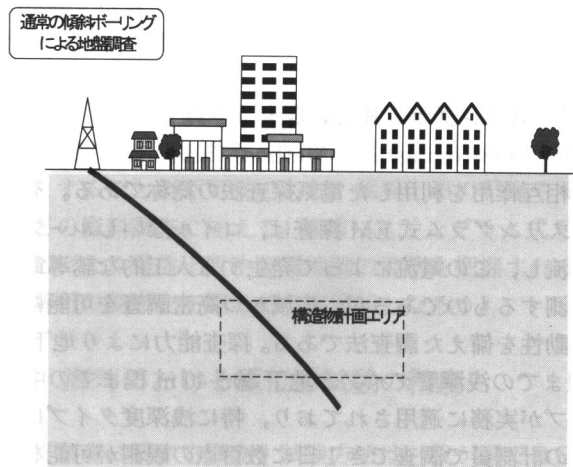
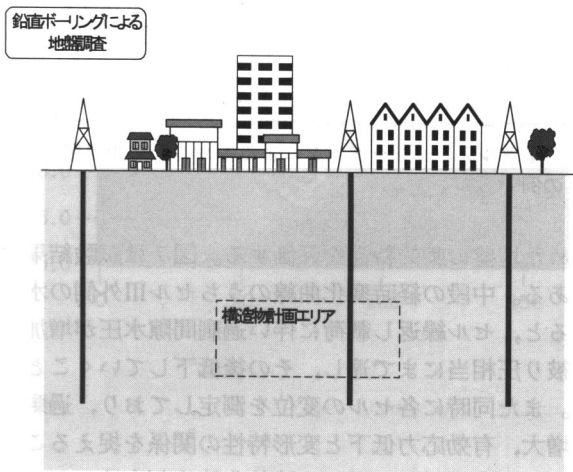


図3 コントロールボーリングによる掘進状態²⁾

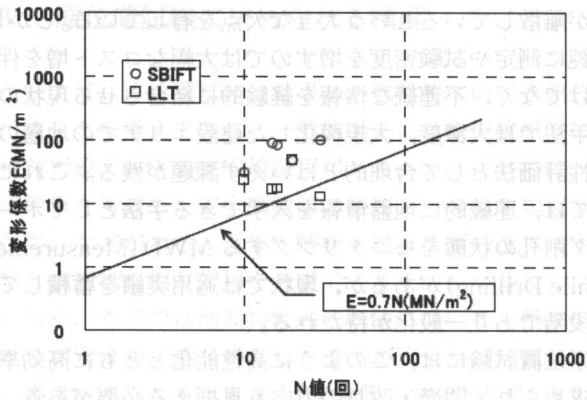


図5 N値と変形係数の関係⁴⁾

本試験による変形係数とN値を対比した一例が図5である。一般に用いられているN値と変形係数の関係式よりも大きい値が本試験で得られたことが示されている。また、これまでの試験法では困難であった軟弱地盤や礫混り地盤、強風化軟岩においても適用可能であることも特徴であり、設計値に直接結びつく地盤物性測定法として期待される。

5.2 原位置繰返し载荷試験

本試験は、多重セルを有するプレッシャメータによりボーリング孔壁に直接複数セルを通して動的繰返し荷重を作用させるものである。ゾンドは図6のように5連セルで構成されるが2番目と4番目のセルII, IVに繰返し载荷機能を有し、その間の3番目のセルIIIに間隙水圧計が組み込まれている。試験方法は、試験器を孔内の所定深度に挿入し、I~V全セルに圧力を加えて静止土圧状態とした後、セルIIとセルIVに交互に漸増動的繰返し载荷を行う。この上下に位置するセルの繰返し载荷によって生じるセルIII周辺のひずみ、間隙水圧の変化を計測し、これら全体から液状化

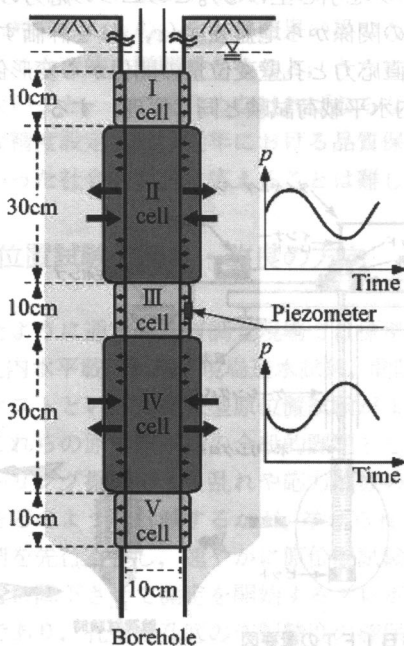


図6 多重セルプレッシャメータの構造図

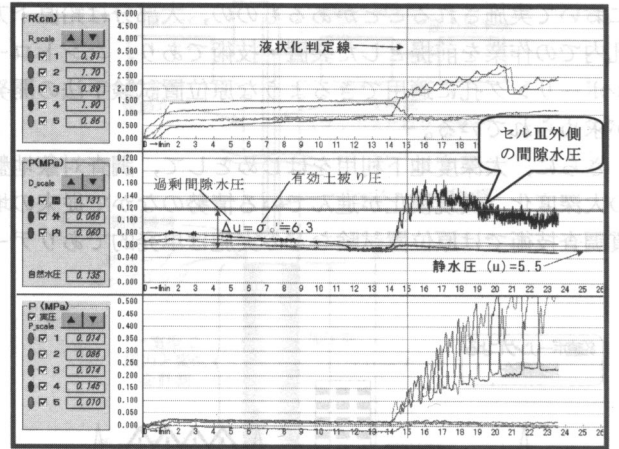


図7 多重セルプレッシャメータによる各セルの計測値経時変化図の例⁵⁾

を含めた地盤の動的特性を評価する。図7は試験結果の一例である。中段の経時変化曲線のうちセルIII外側の水圧値をみると、セル繰返し载荷に伴い過剰間隙水圧が増加し有効土被り圧相当にまで達し、その後低下していくことがわかる。また同時に各セルの変位を測定しており、過剰間隙水圧増大、有効応力低下と変形特性の関係を捉えることができる。したがって、単なる液状化強度判定法にとどまらず、地震時地盤挙動解明において重要な繰返し载荷による地盤の強度・剛性低下特性を直接原位置において測定できる試験法として意義があり、今後の開発進展が注目される。

5.3 スリングラム式EM探査(写真1)

EM (Electromagnetic-Method) 探査とは、電流と磁気との相互作用を利用した電気探査法の総称である。そのうち、スリングラム式EM探査は、コイルないしループに電流を流し、この電流によって発生する人工的な誘導電磁場を観測するものであるが、広域かつ高密度調査を可能にできる機動性を備えた調査法である。探査能力により地下6~8m程までの浅深度タイプと地下30~40m程までの中深度タイプが実務に適用されており、特に浅深度タイプは、ひとりの計測員で調査でき1日に数百点の観測が可能のため各種物理探査装置の中でも最も多点計測能力に優れた装置のひとつといえる。また、浅深度タイプの探査能力は地下



写真1 スリングラム式EM探査(浅深度タイプ)の作業状況

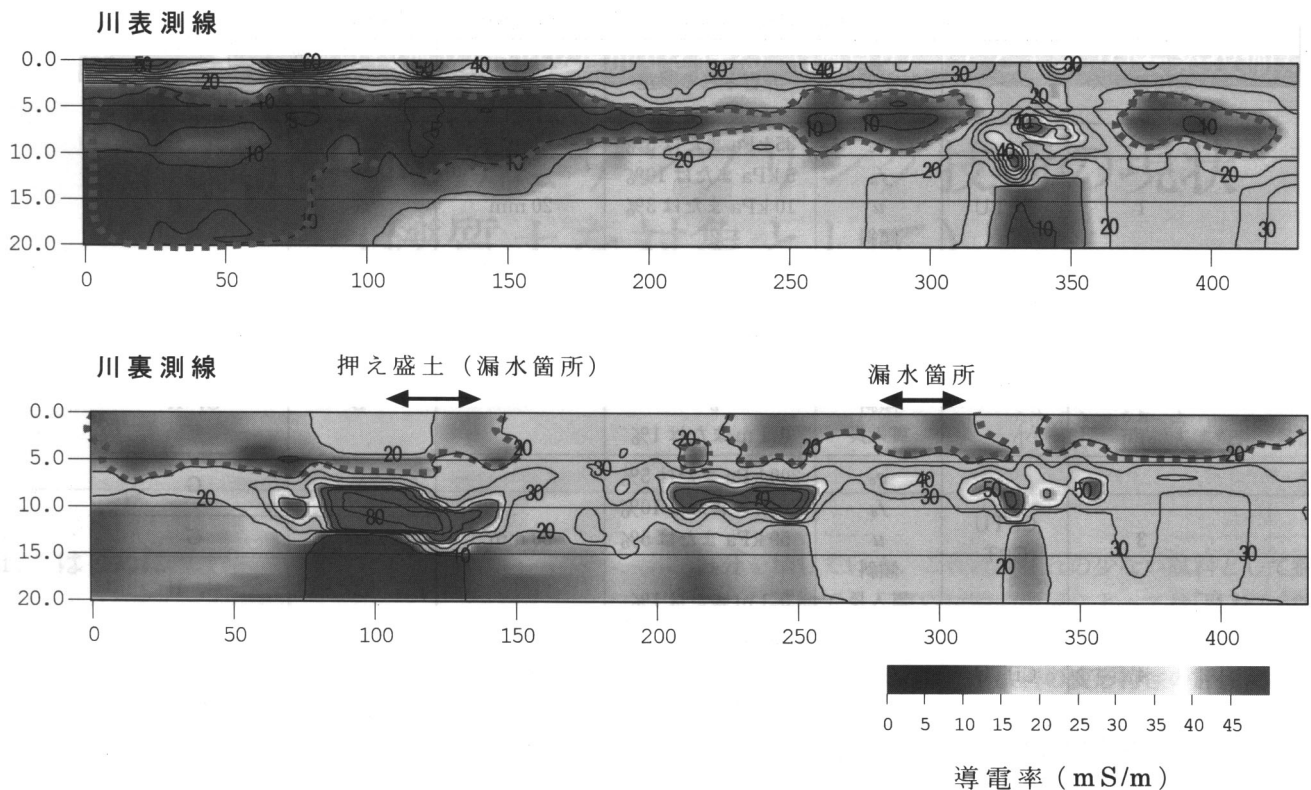


図8 EM 探査結果 (2次元断面) の例⑥

6~8 mであるが、その中でも地下3 mまでの導電率情報を分離して計測できるため、堤防堤体や表層部の地盤構造評価に効果的である。

堤防の堤体土質調査は、長い対象延長のなかの弱部を見極めボーリング調査位置や解析断面の過不足のない適切な設定とすることが不可欠である。築堤工事の記録や旧地形図などの資料調査に加えて、事前にスリングラム式EM探査などにより堤体土質や表層地盤の性状を把握すれば、調査・解析の効率化を図ることが可能となろう。

6. 海外における原位置試験の精度

地質調査に関する調査・試験方法は、我が国では日本工業規格 JIS や地盤工学会基準 JGS に定められているが、海外では各国や地域ごとにそれぞれの地質特性や設計指針に立脚した基準を制定している。近年、各国の建設技術の海外移転を促進しようとする考えに立ち、これらの基準を世界で統一しようという動きがある。この動きは欧州地域ならびに日本などの環太平洋地域を中心とし、現在は国際会議において国際標準化がほぼまとまった調査・試験法もあるが、各国ごとの地域事情を踏まえた実績のある手法を統一することは容易な作業ではなく、今後の動向が注目される。我が国と対局にある欧州地域では、まず同地域での統一基準を策定することを進めており、その担当はヨーロッパ標準化機構 CEN (以下、CEN) である。原位置試験に関する CEN 規格案のうち特徴的である静的コーン貫入試験について紹介する。

表1は、CEN 規格案における静的コーン貫入試験の適用クラスと測定項目、精度の一覧表である。1から4の適用

クラスについては、若いほど許容される誤差が小さく、かつ最大測定間隔がクラス 3・4 の 50 mm からクラス 1・2 の 20 mm へと短くなり測定精度が高いことを示している。

我が国の電気式静的コーン貫入試験に関する JGS 基準との違いとしては、まず JGS 基準ではコーンの先端抵抗 q_t と間隙水圧 u の二成分の測定を規定しているが、これに対して、CEN 規格案では周面摩擦 f_s の測定が必須であり、逆に間隙水圧 u の測定は選択性としていることが挙げられる。

もうひとつの CEN 企画案の特徴は、JGS 基準にはないコーン貫入中の傾斜の測定を重視していることである。傾斜を測定する目的は、地盤中の先端コーン到達深さを正確に評価するためであり、我が国の主流である先端プローブやロッドの全長と地上立ち上がり長の残尺から到達深さを検尺する方法とは区別される。

CEN 企画案を例に挙げたが、地質調査技術に求められる精度や品質の上記のような差異は、地質特性だけでなく各国の品質に対する国民性や文化、さらには国際的対抗意識、覇権争いといった技術論以外の価値観も影響を与えているのであろう。我が国の原位置試験技術は、他の技術分野と同様に世界的にみても高水準にあると思われるが、原位置試験の開発・改良を進める際には、海外規格や基準との整合性についての配慮も求められよう。

7. おわりに

本文の主題は、原位置試験の精度向上である。原位置試験に関して従来のをを超え、高性能化、高能率化した手法を開発することはこれまでも精力的に行われ、そしてこ

表1 CEN 企画案における静的コーン貫入試験の適用クラスと精度⁷⁾

適用クラス	コーン	測定項目	許容される誤差	最大測定間隔	適用	
					土質条件 ²⁾	得られる結果 ³⁾
1	CPTU	q_c f_a u 傾斜 貫入長	35 kPa または 5% 5 kPa または 10% 10 kPa または 3% 2° 0.1 m または 1%	20 mm	A	G, H
2	CPTU CPT	q_c f_a u 傾斜 貫入長	100 kPa または 5% 15 kPa または 10% 25 kPa または 3% 2° 0.1 m または 1%	20 mm	A B	G G, H
3	CPTU CPT	q_c f_a u 傾斜 貫入長	200 kPa または 5% 25 kPa または 10% 50 kPa または 5% 5° 0.1 m または 1%	50 mm	A B C	G G G, H
4	CPTU	q_c f_a 貫入長	500 kPa または 5% 55 kPa または 20% 0.1 m または 1%	50 mm	A B C	G* G* G*

1) %の数字は測定値に対して

- 2) A: 軟弱粘性土またはシルト ($q_c < 2$ MPa)
B: 硬質シルトまたは粘土; 緩い砂 ($2 < q_c < 4$ MPa)
C: 非常に硬い粘土あるいは砂 ($q_c > 4$ MPa)

3) G: 地盤の構成と判別

- H: 設計定数の測定
G*: 低い精度の地盤の構成

注1) 表1に示すようにCPT, CPTUはそれぞれ間隙水圧を測定しない、あるいはする静的コーン貫入試験であるが、文章中はCPTUも含めて静的コーン貫入試験の総称をCPTとする。

れからも同様であろう。しかし、ナノテクなどの最新の知見を適用し、直接的に高精度化を目指すことは結構であるが、どのような高機能装置であっても試験者が未熟では性能を発揮できないし、未熟な試験者でもスイッチひとつで常に安定した測定ができるほど地盤は甘くないのはいまでもない。ましてや原位置試験装置がブラックボックスであってはならない。

どのような原位置試験装置も、地質調査という高度な知識と経験の総合的体系のなかではひとつのツールにすぎないことをあらためて認識したい。

引用・参考文献

- 1) 地盤工学会基準部：新規制定の地盤工学会基準案「岩盤のプレッ

チャーメータ試験方法」について、土と基礎、Vol. 51, No. 12, 2003.

- 2) 地盤工学会 施工中の調査・計測技術に関する検討委員会：大深度地下利用における地盤および構造物の調査・計測技術に関する報告書, 2003.
3) IEG 研究会：新しい原位置地盤調査法 (SBIFT) 資料。
4) 小野薫・藤本弘之・橋本雅宏：原位置せん断摩擦試験の試験結果の評価について、全地連「技術e-フォーラム2005」仙台, 2005。
5) 伊藤健・益田和夫：多重セルを有するプレッシャメータによる原位置動的試験についての研究、全地連「技術e-フォーラム2005」仙台, 2005。
6) 太田史朗・杉浦達也・山田茂治・佐藤祥昭・尾山繁機：EM 探査による浸透危険個所の調査事例、全地連「技術e-フォーラム2002」よなご, 2002。
7) 地盤工学会基準部：ISO だより、土と基礎, Vol. 51, No. 4, 2003.

高品質化に向けたサンプリング技術の現状 (礫質土を対象として)

よし だ ただし
吉 田 正 *
たけ はら なお と
竹 原 直 人 **

1. はじめに

チューブサンプラーを用いたサンプリングに関する地盤工学会基準は2003年に改定され、その対象とする土質として粘性土と砂質土に軟岩が加えられた。表1は、それぞれの土質に適するサンプラーの標準的な構造・仕様や採取方法の規定およびサンプラーの性能を示したものである。また、新たに基準化された「ロータリー式チューブサンプリングによる軟岩の採取方法(JGS 3211)」は、他4つのサンプリング基準と異なり、ボーリングオペレーターの個人技術に依存しがちなサンプリング技術のプロセスを再現可能とするために、軟岩試料の採取方法としての掘削・採取時の管理項目や採取試料の取扱いに関する技術的項目を詳細に整理し、採取目的に応じた試料の品質に要点をおいている。

一方、今回の改訂では、不攪乱試料採取の名称が今までの「乱さない試料採取」から「乱れの少ない試料採取」に変更された。これは、採取した試料の品質を採取目的に応じて、すなわち各々の室内試験で必要とされる試料の品質に応じて正しく評価することの重要性を考慮して変更されたもの、表2は室内試験のための採取試料の品質クラスの

区分を示している。これは、乱れの少ない試料として採取された試料でも、室内試験の項目によっては「乱れた試料」となることを意味している。また、砂質土や礫質土の動的強度特性および硬質粘土や軟岩の変形特性の評価には、特に高品質な試料採取が要求されることが、採取試料の品質評価として改訂された『地盤調査の方法と解説』²⁾に示されている。

このように地盤工学会によって粘性土・砂質土・軟岩のサンプリングに関して、採取試料の品質を踏まえたサンプラーおよびサンプリング方法が基準化され現在に至っている。本報文は、以上のような動向を踏まえ、学会基準以外の採取技術とその品質に主眼をおき、砂質土や特に礫質土のサンプリング技術の紹介を中心にまとめるものとした。ただし、ここに挙げた方法以外にも多くのサンプラーや採取方法が、試作的にまたは汎用的に用いられており、現状のすべてを紹介するものではないことを事前にお断りし、ご容赦戴きたく願うものである。

2. 礫質土のサンプリング

礫質土のサンプリングは、通常地盤調査で使用するチ

表1 地盤工学会で基準化されているサンプラーと適用地盤¹⁾

サンプラーの種類		構造	地盤の種類						岩盤																
			粘性土			砂質土			砂礫																
			軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な	軟岩	中硬岩	硬岩												
		N値の目安																							
		0~4			4~8			8以上			10以下			10~30			30以上			30以下			30以上		
固定ピストン式 シンウォールサ ンプラー	エクステンションロッド式	単管	◎	○		○																			
	水圧式	〃	◎	◎	○	○																			
ロータリー式二重管サンプラー		二重管		◎	○																				
ロータリー式三重管サンプラー		三重管		◎	◎	○	◎	◎					○												
ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー		二重管		○	○		○	○							◎	◎							◎		
ブロックサンプリング		—	◎	◎	◎	○	○	◎				○		○											
ロータリー式チューブサンプラー		多重管			○																		◎		

◎ 最適, ○ 適

* (株)東京ソイルリサーチ 本店 技術調査部
** 同 つくば総合試験所

表2 室内試験のための採取試料の品質クラス¹⁾一部加算

試料品質のクラス	1	2	3	4	5
	高い← →低い				
サンプリング カテゴリー	A				
	B				
求める性質	C				
	乱れの 少ない試料		乱れた試料		
層相	*	*	*	*	*
層相の境界-概略	*	*	*	*	
層相の境界-詳細	*	*			
液性・塑性限界, 土粒子の密度	*	*	*		
粒度, 含水比	*	*	*		
密度, 相対密度, 間隙比, 透水性	*	*			
圧縮性, せん断強度	*				
動的強度・変形特性	*				

- *試験項目が適用できる試料の品質クラス
- ・カテゴリーA：試料採取や試料の取扱において土の構造の乱れがほとんどないか、ないもの。そして、含水比や間隙比が原位置のそれと等しい。土の構成や化学成分の変化がない。
- ・カテゴリーB：土の構造は乱れているが含水比や構成は原位置のそれと同じである。土層やその構成は特定できる。
- ・カテゴリーC：土の構造が全体的に変化している。土層やその構成が原位置の状態から変化して正確に特定できない。含水比も原位置のそれを反映しない。

チューブサンプラーでは困難である。これは、押切りや切削(カッティング)により試料が採取できる粘性土や砂質土と異なり、大きい礫粒子自体を切削または割る必要があり、この際に礫に回転や移動が起こり試料を乱してしまう。また、緩い礫質土ではサンプラー内に試料が入っても、引上げ時に脱落する可能性もある。これらのことが、一般のチューブサンプラーによる礫質土の乱さない試料採取を困難としている主な理由である。加えて、力学試験用の試料採取を目的とする場合、混入礫の最大径と供試体寸法との関係から、おのずと大きな口径のサンプラーが要求されることも、礫質土の試料採取の特徴である。

このような課題を踏まえて、礫質土の乱れの少ない試料採取には、各種の礫質土専用のチューブサンプラーが開発されてきた経緯がある。一方、昭和40年代から砂・砂質土の乱れの少ない試料採取方法として、原位置凍結サンプリング法が研究・開発され、礫質土においても最も高品質な乱さない試料を採取する方法として確立されている。

礫質土の乱れの少ない試料採取の方法は、現状ではチューブサンプラーを用いる方法(非凍結法)と凍結サンプリングによる方法(凍結法)の二種類に大別される。なお、採取深度が浅い場合などでは、表1に示したブロックサンプリングも選択肢として挙げられる。

一方、採取試料の品質クラスは、前述のようにその調査目的によっては逆に品質の良い試料を必要としない場合もある。たとえば、地質的な層序や礫層の堆積状況などの把握が目的の試料採取であれば、ダブルコアチューブ等を用いて採取したボーリングコア試料でも事足りることもあ

る。このように、礫質土の品質クラスは、それによって試料の採取方法が大きく左右されることとなるため、特に重要な問題として位置づけられる。なお、チューブサンプラーによる試料採取も凍結サンプリングによる試料も品質クラス1を目的としたものであり、その品質クラスにも幅がある。また、室内試験から要求される品質においても、静的力学試験と動的強度試験では異なる。動的強度や初期せん断剛性を求める場合の凍結サンプリングの有用性が、たとえば畑中ら³⁾、田中ら⁴⁾により示されている。

3. 非凍結法によるサンプリング

礫質土(砂礫)を対象としているチューブサンプラーの例として、唐沢ら⁵⁾による礫層サンプラーや酒井ら⁶⁾による大口径の三重管式サンプラー、ならびに土圧バランス式サンプラー(酒井⁶⁾)などが、砂礫採取用として用いられている。なお、これらのチューブサンプラーを用いた削削では、通常の循環泥水を用いた泥水掘りに替えて、気泡ボーリングが利用されているケースが多い。気泡ボーリングは、圧縮空気の流れの中に界面活性剤を注入して発生させた気泡を泥水の代わりに循環流体として用いる方法である。従来の泥水掘削では流出しがちな砂礫層のマトリックス等を流すことなく良質なコア試料の採取を可能にした掘削方法である。たとえば、唐沢ら⁷⁾、西山ら⁸⁾および武田ら⁹⁾の方法があり、礫質土用のサンプラーの開発と合わせて乱さない試料採取にも用いられている。

3.1 礫層サンプラー(可動ピストン付礫層サンプラー)

唐沢ら⁵⁾による礫層サンプラーは、図1に示すように先端のピストンで切削しようとする地盤を押さえ、礫の移動を防止しながらビットで礫を切断して採取する方式を採用している。三重管式サンプラーに可動ピストンを取り付けた構造で、ピストンロッドと内管ヘッドの間に環状のゴムパッキンが詰めてあり、ゴムパッキンとロッドとの摩擦力により拘束する圧力を調整している。気泡ボーリングとの併用により締まった礫地盤での試料採取率は高いとされている。また、室内試験の結果では物理・静的強度(c , ϕ)は凍結試料と変わらない結果が得られること、動的強度は凍結試料の方が大きな値が求められたとの報告¹⁰⁾がある。

3.2 礫層用閉塞装置付きサンプラー

三重管式サンプラーのサンプリングチューブの外側に、図2に示すように円筒状のゴム管(ゴムキャッチャー)が装着されている。サンプリング後に地上から圧力水を加えゴムキャッチャーを内側に膨張させ、サンプラー引き上げ時の試料の脱落を防止するものである。

3.3 土圧バランス式サンプラー

酒井ら¹¹⁾の開発による図3に示す装置であり、三重管式サンプラーを原型とし内径比の大きいカッティングシューを装着し、インナーチューブと採取試料との隙間に採取深度の地中応力程度に加圧された浸透性の低いゲル状グラウ

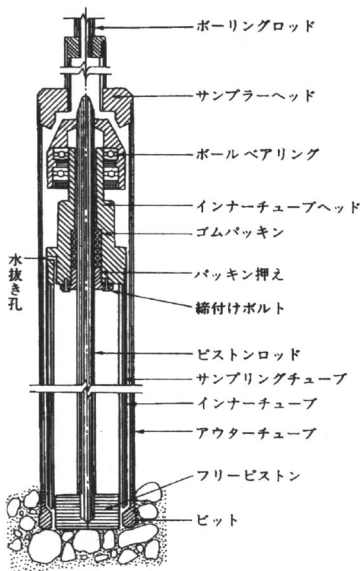


図1 礫層用サンプラー (唐沢ら⁹⁾
(地盤調査の方法と解説 2004 を引用)

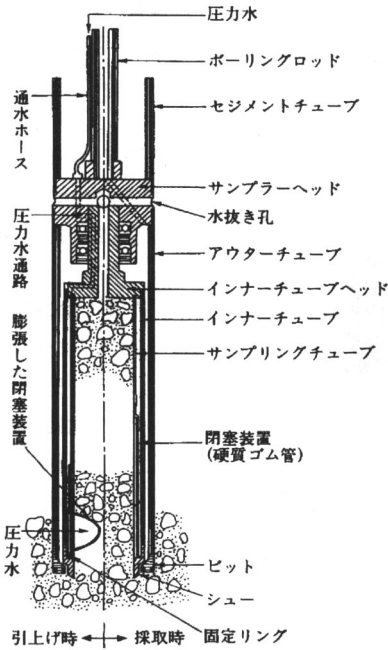


図2 砂層用閉塞装置付きサンプラー (唐沢ら⁹⁾
(地盤調査の方法と解説 2004 を引用)

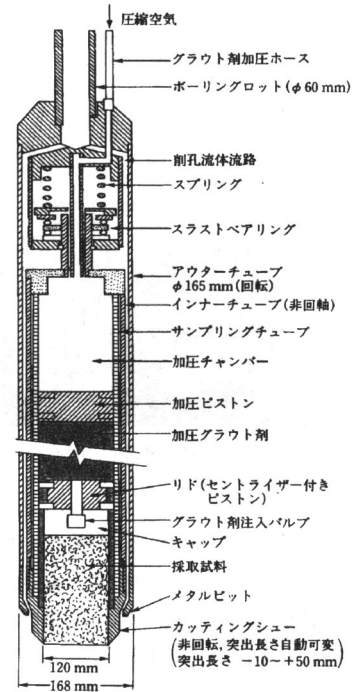


図3 土圧バランス式サンプラー (酒井ら¹¹⁾)
(地盤調査法 1995 を引用)

ト剤が充填される仕組みになっている。サンプリング中は、試料が加圧されたグラウト剤で包含されるため、チューブと試料との摩擦（コア詰まり）が低減され、拘束条件下での削孔が可能となる。また、グラウト剤の硬化後にサンプラーを回収するため、拘束圧を保持した状態で脱落することなく採取できる。ただし、試料採取に時間が掛かると、高度な技術を要する。

3.4 改良トリプルサンプラー

従来のトリプルサンプラー（三重管式サンプラー）の改良形であり、礫用のバスケット式キャッチャーを装着している。コア径 300 mm のサンプラーと気泡ボーリング（KIHO ボーリング）により、砂礫の試料採取を可能にしている。同サンプラーは、先端シューで礫を割りながら試料を採取するため、礫質が比較的軟質である程度固結した地盤に適し、コア試料の中央部付近を試験に用いれば、試料の品質は向上するとの報告⁶⁾もある。

3.5 その他のサンプラー

脱落防止用のコアキャッチャーや、内径 500 mm の採取試料をチューブ内で包含するスリーブを内蔵した三重管式・四重管式コアチューブサンプラーも開発されている。これらは、礫状や破砕性の岩の良質なコア試料採取用のサンプラーを土質用に改良したものであり、砂礫地盤へも対応可能との福富ら¹²⁾の報告がある。

4. 凍結サンプリング

チューブサンプリングによる砂質土の採取試料では、細粒分含有率にもよるが、運搬時や供試体成形時の乱れを防

ぐため、採取後に試料を凍結させる方法が用いられる。一方、原位置凍結サンプリング¹³⁾は、採取する前に地盤を凍結し、凍結地盤からの採取、試料運搬、供試体成形、試験装置への供試体セットまでを一貫して凍結した状態で行うものであり、試験開始前に適切な拘束圧下で融解することにより乱れの介入を極力排除した高品質な乱れの少ない試料を室内試験に供することを可能としている。

凍結サンプリングは、過去においては地盤調査の中でもコストの高さが難点とされていた。ただし、昨今の建設事業におけるトータルコスト削減の観点から、より詳細な動的強度等を把握し合理的な基礎設計や対策工を設定すべく、土木構造物や建築物の地盤調査において、凍結サンプリングが採用されるようになってきている。

4.1 凍結サンプリングの概要

凍結サンプリングは図4に示すように、ロータリー式ボーリングにより掘削した孔に凍結管（凍結用冷媒を循環させるための二重管）を設置し、冷媒を流して凍結管を中心として外周地盤を凍結する。次に、ダブルコアチューブを用いた泥水掘削により、地盤内の凍結領域からコアリングして試料を採取するものである。

本格的な礫質土の凍結サンプリングは、1985年の東京地区における深度 GL-20 m からの洪積砂礫層（東京礫層）の採取（畑中ら¹⁴⁾）、ならびに千葉県での GL-10 m からの洪積砂礫層（万田野砂礫層）の採取（大崎ら¹⁵⁾）に始まる。

4.2 凍結サンプリングの適用条件

凍結サンプリングを実施する上で、原則とする地盤条件およびサンプリング条件を以下に示す。

- ① 地下水位以下の飽和度が高い地盤
- ② ある程度の上

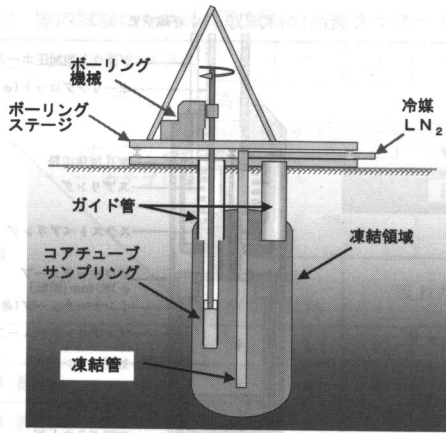


図4 原位置凍結サンプリングの概念図

載圧(拘束圧)がかかる深度の地盤, ③ 細粒分含有率が低い地盤, ④ 凍結面から外へ間隙水が逃げられるような一次元状態で凍結させる, ⑤ 凍結管から離れた部分の凍結領域から試料を採取する, などである。

①飽和度の高さは, コアリングや引上げ時の引張り力に抵抗するだけの強度が凍結土に要求されるため, それだけの凍結土を形成する含水量が必要であることを意味する。なお, 大崎ら¹⁵⁾によれば飽和度75%程度で高品質な礫質土の試料が採取可能であるとの報告がある。

②拘束圧の高さと③細粒分含有率の低さおよび④間隙水の移動性は, 水が凍る際に生じる約9%の体積膨張を凍結面から外へ追出し, それによる土の骨格構造の移動(凍結膨張)を防止するための条件である。細粒分が多く透水性が低い土では凍結膨張が生じ易く, 図5に示すように, 畑中ら¹⁶⁾は細粒分が少ない地盤でも凍結膨張を押さえるための拘束圧が必要であることを示している。ここで, 時松ら¹⁷⁾による細粒分含有率と拘束圧力による体積膨張ひずみとの関係を図6に示す。なお, 後藤ら¹⁸⁾による豊浦砂に細粒分を加えた再構成試料を用いた凍結・融解試験では, 図7に示すように, 凍結膨張に伴う体積ひずみが0.7%を越えると融解後の液状化強度に低下がみられるとしている。

一方, 間隙水の移動性は, 間隙水を閉塞した状態で凍結させると, 体積膨張に伴う間隙水の移動が妨げられ凍結膨

張が発生してしまう。このため, 凍結管1本で同心円状に凍結面を形成し, 凍結土を緩やかに成長させる方法が通常は採用されている。

⑤試料採取位置は, 凍結管を地盤凍結前に通常のボーリングにより設置するため, その周囲は乱れた領域となる。砂質土の例では, 平面的に凍結管の周面からその管径程度までの距離がボーリングの影響を受けた範囲であり, それ以上に離れた凍結領域からコアリングを行う必要がある。

4.3 サンプルング手順

礫質土を対象とした凍結サンプリングの作業手順を図8および図9に示すとともに概要を以下に述べる。

a) 地盤凍結: 地盤を凍結させる冷媒として, ① 液体窒素(-196°C), ② 冷凍機で冷却したブライン(塩化カルシウム溶液, 約-30°C), ③ ドライアイスで冷却したエタノール(約-70°C)の3種類が用いられてきた経緯がある。礫質土を対象とした採取では, 凍結する容量の大きさから液体窒素の利用が多い。凍結時の温度管理は, 凍結管の先端部とガイド管底面に取り付けた熱電対で温度を計測し管理する。なお, 凍結に要する時間は凍結領域の大きさや地盤状況により異なるが, 牧原ら¹⁹⁾の例によれば砂礫地盤で直径2m深さ10mの凍結土を形成させる場合で6日間を要している。

b) 試料採取(コアリング): 試料採取は, 深礎掘削等により設置したガイド管の下端より凍結土をコアリングする。サンプラーはダイヤモンドビットを装着したダブルコアチューブ(コア径300mm)を用い, 掘削流体には0°C以下に管理した溶液を用いる。なお, 礫質土の場合は室内でのトリミング成形が困難なため, 供試体径でのコアリングと図8に示すダイヤモンドブレードを装着した電動カッターを用いた端面成形(採取したコア試料の切断)を現地で行い, 供試体寸法(ϕ 300mm, h 600mm)に仕上げる方法が用いられる。

c) 試料の養生・運搬・保管: 供試体の寸法に成形した試料は, 冷凍保存中の昇華による乾燥を防止するためにメンブレンを被せ, 供試体は運搬時の振動衝撃や融解を防止するため, 発泡スチロールを内装した保護容器に入れた後に冷凍車で運搬し, 実験までは冷凍庫で保管する。

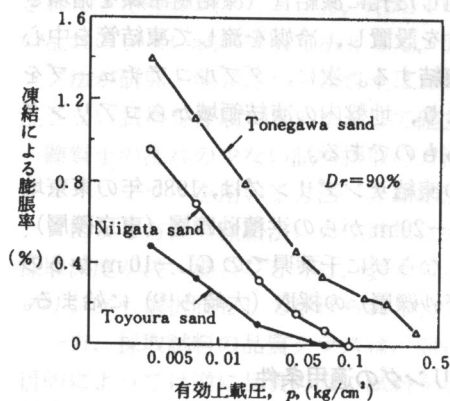


図5 砂の種類と上載圧による凍結膨張への影響(畑中ら¹⁶⁾)

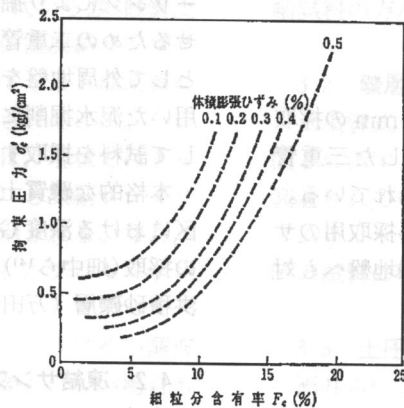


図6 細粒分含有率と拘束圧力が凍結による体積膨張ひずみに与える影響(時松ら¹⁷⁾)

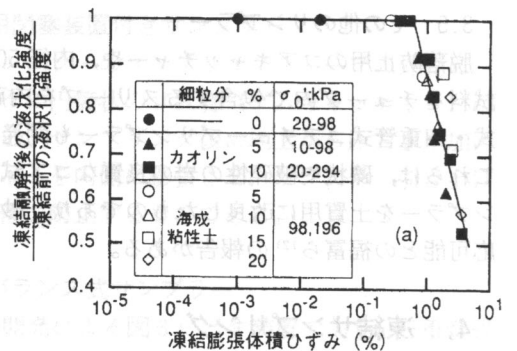


図7 凍結融解前後の液状化強度と凍結時の膨張ひずみの関係(後藤ら¹⁸⁾)

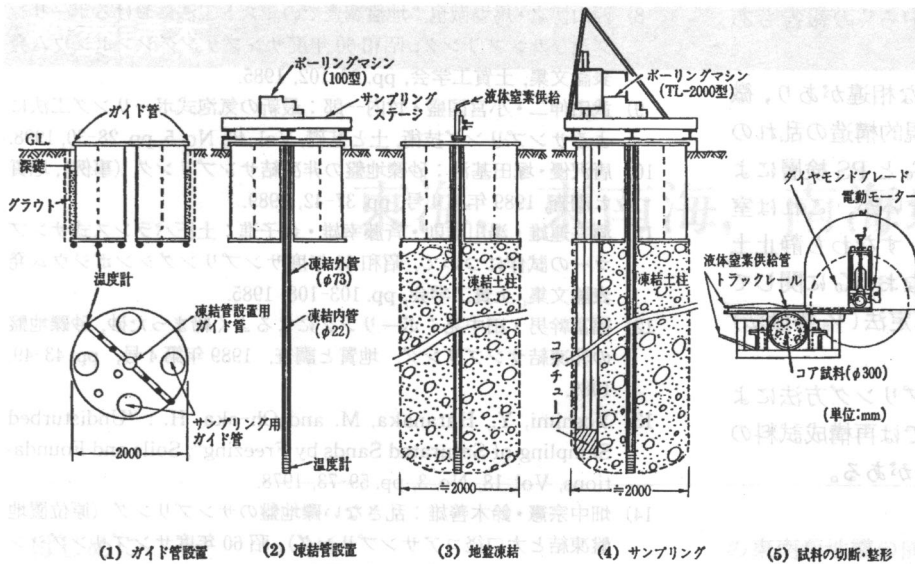


図8 礫質土の凍結サンプリングの手順 (時松ら¹⁷⁾)

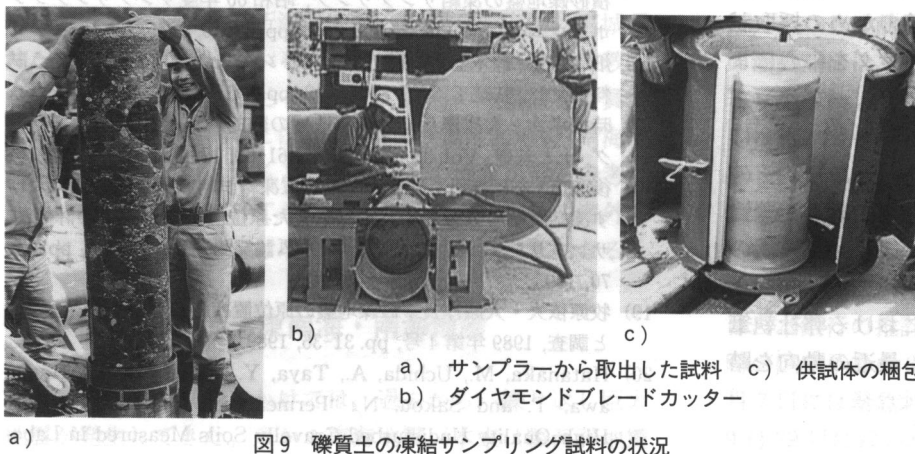


図9 礫質土の凍結サンプリング試料の状況

表3 礫質土のサンプリング方法の適用性 (田中ら⁴⁾一部加筆修正)

物性値	試料の品質クラス	サンプリング法	
		凍結サンプリング	非凍結チューブサンプリング
物理的特性			
乾燥密度	2	非凍結でもよい	○
粒度分布	細粒分含有率	○	△
	それ以外	非凍結でもよい	○
単調載荷時の変形係数	1	○	△
排水せん断強度	1	非凍結でもよい	○
初期せん断弾性係数 G_0	1	原位置試験の方がよい	×
力学的特性	$G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$ h : 減衰比 γ : せん断ひずみ	○	△
	$G/G_0 \sim \gamma/r_r, h \sim \gamma/r_r$ r_r : $G/G_0=0.5$ の時の γ	非凍結でもよい	○
非排水繰返しせん断強度	1	○	×

5. 礫質土のサンプリング方法の適用性

礫質土の試料品質クラスを考慮した各室内試験に対するサンプリング方法の適用性に関しては、既往研究として酒井⁶⁾および田中ら⁴⁾によりまとめられている。その一例を

表3に示すとともに、その適用性を以下に示す。ここで、表3には、表2に示した試料の品質クラスを加筆している。

地質的な層序や堆積状況などが目的の場合、乱れの少ない試料採取でなくとも可能であり、コアボーリングの範疇のサンプリングでも良い。ただし、砂礫層のマトリックスを流さずに採取する必要があるため、たとえば気泡ボーリングなどによる採取が有効となる。また、土粒子の密度、粒度等の物理特性に関しても、マトリックスの流出がないものであれば乱した試料でも良い。

乾燥密度や透水係数の把握を目的とした場合、粒子骨格の構造を保持することが要求されることから、非凍結法であるチューブサンプラーによる乱さない試料または凍結サンプリング試料が必要となる。なお、畑中ら²⁰⁾は礫質土地盤の鉛直・水平方向の透水係数が構造異方性の発達により大きく異なることを、凍結サンプリング試料を用いた室内三軸透水試験で求めている。

静的力学試験における排水せん断強度 (ϕ_d) や変形係数 (E) は、砂質土に関しては凍結試料とチューブサンプリング試料で有意差のないことが、時松ら²¹⁾ や畑中ら²²⁾ により報告されている。また、洪積砂礫の凍結試料と再構成試料との比較では、静的強度は同等なもの、変形係数は凍結試料の方が大きいとの工藤ら²³⁾ の報告がある。これは排水せん断強度や静的変形係数が、数パーセントオーダーのひずみレベルの問題であり、凍結サンプリングの効果である微小ひずみレベルの微視的構造を保持することによる乱れの排除が、影響として現れないためと考えられる。

礫質土の動的変形試験における初期せん断剛性率 G_0 やせん断剛性率 G ・減衰定数 h のひずみ依存性は、凍結サンプリング試料と再構成試料との畑中ら³⁾ による比較では $G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$ 関係に相違がみられ、高品質試料の必要性を示している。一方、基準ひずみで正規化した場合 ($G/G_0 \sim \gamma/r_r, h \sim \gamma/r_r$)、チューブサン

プリング試料と有意な差はないとする田中ら⁴⁾の報告もある。

また、初期せん断剛性率 G_0 には明らかな相違があり、微小ひずみレベルでの変形特性における微視的構造の乱れの現れとみられている。なお、凍結試料の G_0 と PS 検層によるせん断剛性率 G_d とは必ずしも一致しないが、これは室内試験での拘束圧条件の原位置との相違、すなわち静止土圧係数 K_0 の相違に起因するものである。なお、 K_0 に関しては、凍結サンプリング試料を用いた K_0 算定法 (V_s 等価法) が畑中ら²⁴⁾ により提案されている。

非排水繰返しせん断強度は、最もサンプリング方法による相違が現れる試験項目であり、礫質土では再構成試料の2倍程度の強度を示すとの畑中ら³⁾の報告がある。

6. おわりに

本報文は、礫質土を対象としたサンプリング技術の現状に関して、求める性質に対応した室内試験のための採取試料の品質クラスの観点から、凍結サンプリングを中心にまとめたものである。ただし、前述のようにチューブサンプラーによる試料も凍結サンプリングによる試料も、表2に示すところの品質クラス1を目的とした採取であり、その品質クラスも礫質土においては細区分が必要である。礫質土のサンプリングでは、目的に適したサンプリング技術の選択が特に重要であると考えられる。なお、本報文は、礫質土の力学特性に関するシンポジウム論文集における弊社執筆担当4.7節試料採取技術²⁵⁾の資料を基に、最近の動向を踏まえて作成した。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説, pp. 173-176, 2004.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説, pp. 187-192, 2004.
- 3) 畑中宗憲・鈴木善雄：不攪乱礫試料のくり返し変形・強度特性, 第22回土質工学研究発表会講演集, pp. 611-612, 1987.
- 4) 田中幸久・工藤康二・西好一・鈴木英也：凍結ならびに非凍結サンプリングにより得られた砂礫試料の諸物性値の品質評価, 土と基礎, Vol. 46, No. 5, pp. 37-39, 1998.
- 5) 唐沢優・塚田基治：礫層サンプラーの開発, 平成4年度サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 25-28, 1992.
- 6) 酒井運雄：砂礫地盤のサンプリング, 地質と調査, 1989年第4号, pp. 24-30, 1989.
- 7) 唐沢優・徳丸哲義・塚田基治：砂礫地盤を対象とした気泡ボーリング (J. F. B 工法) の適用例, 第23回土質工学研究発表会講演集, pp. 119-120, 1988.

- 8) 西山博之・馬場徹也：地盤調査でのミスト工法におけるボーリング及びサンプリング, 昭和60年度サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 97-102, 1985.
- 9) 武田伸二・小宮国盛・竹内一郎：最新の気泡式ボーリング工法によるサンプリング技術, 土と基礎, Vol. 46, No. 5, pp. 28-30, 1998.
- 10) 唐沢優・塚田基治：砂礫地盤の非凍結サンプリング (事例), 地質と調査, 1989年第4号, pp. 37-42, 1989.
- 11) 酒井運雄・湯川浩則・斉藤幸雄・金子進：土圧バランス式サンプラーの試作について, 昭和60年度サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 103-108, 1985.
- 12) 福富幹男・田中晃：ボーリングによるよく締まった砂, 砂礫地盤の非凍結サンプリング, 地質と調査, 1989年第4号, pp. 43-49, 1989.
- 13) Yoshimi, Y., Hatanaka, M. and Oh-oka, H.: "Undisturbed Sampling of Saturated Sands by Freezing", Soils and Foundations, Vol. 18, No. 3, pp. 59-73, 1978.
- 14) 畑中宗憲・鈴木善雄：乱さない礫地盤のサンプリング (原位置地盤凍結と大口径コアサンプリング), 昭60年度サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 49-52, 1985.
- 15) 大崎順彦・後藤茂・赤川敏・玉置克之・社本康広・西尾伸也：洪積砂礫地盤の凍結サンプリング, 昭和60年度サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 53-58, 1985.
- 16) 畑中宗憲・鈴木善雄：砂のサンプリング—サンプリングに伴う試料の乱れ, 基礎工, Vol. 8, No. 12, pp. 8-15, 1980.
- 17) 時松孝次・大原淳良：講座：地盤の熱的性質—凍結サンプリング, 土と基礎, Vol. 38, No. 11, pp. 61-68, 1990.
- 18) 後藤茂・吉見吉昭：砂質土の原位置凍結試料の液状化強度に及ぼす凍結融解の影響とそれを踏まえた原位置液状化強度の評価法, サンプリングに関するシンポジウム論文集, 土質工学会, pp. 63-70, 1995.
- 19) 牧原依夫・大原淳良：砂礫地盤の原位置凍結サンプリング, 地質と調査, 1989年第4号, pp. 31-36, 1989.
- 20) Hatanaka, M., Uchida, A., Taya, Y., Takehara, N., Hagiwara, T. and Sakou, N.: "Permeability Characteristics of High-Quality Undisturbed Gravelly Soils Measured in Laboratory Tests", Soils and Foundations. Vol. 41, No. 3, pp. 45-55, 2001.
- 21) Tokimatsu, K. and Hosaka, Y.: "Effects of Sample Disturbance on Dynamic Properties of Sand", Soils and Foundations. Vol. 26, No. 1, pp. 53-64, 1986.
- 22) 畑中宗憲・内田明彦：砂質地盤の内部摩擦角 ϕ_d と標準貫入試験の N 値の関係, 第30回土質工学研究発表会講演集, pp. 901-904, 1995.
- 23) 工藤康二・西好一・田中幸久：砂礫地盤の静力学的特性, 電力中央研究所研究報告, U 90062, 1991.
- 24) Hatanaka, M., Uchida, A. and Taya, Y.: "Estimating K_0 -Value of In-situ Gravelly Soils", Soils and Foundations. Vol. 39, No. 5, pp. 93-10, 1999.
- 25) 地盤工学会：礫質土の力学特性に関するシンポジウム発表論文集, pp. 50-59, 2001.

東海、東南海、南海地震

ふくわ のぶ お
福和 伸夫*

はじめに

阪神淡路大震災から十一年、その後、鳥取県西部、芸予、宮城県北部、十勝沖、新潟県中越、福岡県西方沖、宮城県沖、と地震が頻発している。私たちはこれらの地震の教訓を十分に活かしているだろうか？ 政府の地震調査委員会によれば、今世紀前半には、東海地震・東南海地震・南海地震がほぼ確実に発生するという。過去の地震災害を参考にして、十分な備えをしておかなければ、次の世代や海外の人々に多大の迷惑をかけ取り返しをつかいないことになる。

1. 過去の東海・東南海・南海地震

東海沖から四国沖にかけては、過去から、繰り返し巨大地震が発生してきた。東から東海地震（本来は駿河湾地震と呼ぶべき）、東南海地震、南海地震の縄張りとなっており、3つの地震がバラバラで起きたり同時に起きたりする。ただし、駿河湾地域のみで東海地震が単独で発生した記録は知られていないようだ。

過去の4回の地震は、1605年慶長の地震、1707年宝永の地震、1854年安政の地震、1944年（東南海）・46年（南海）の昭和の地震である。慶長地震と宝永地震では東海・東南海・南海の3地震が同時に発生したと言われており、慶長地震は津波地震と言われる。これに対し、安政地震では東海・東南海（合わせて安政東海地震と呼ぶ）と南海が32時間の時間差で2回に別れて起こり、昭和地震では東南海と南海のみが発生した。

これらの地震の前後には内陸でも地震が多発する。慶長地震の19年前には伊勢から飛騨を襲った天正地震（2つの地震が発生したとの説もある）が、9年前には伏見城を倒壊させた慶長伏見地震が発生した。安土桃山時代から江戸時代に移る大混乱期に重なる。宝永の地震の前後には、4年前に元禄関東地震が、49日後に富士の大噴火があり、元禄の太平期が終わった。安政地震の前後にも、7年前に善光寺地震、半年前に伊賀上野地震、翌年に安政江戸地震、4年後に飛越地震が発生し、その後10年で江戸幕府が倒れた。昭和

の東南海地震の前後には43年鳥取地震、45年三河地震、48年福井地震が発生した。

南海トラフの巨大地震は東京以西の西日本を広く被災させ、かつその前後には内陸での直下地震も続発する。地震の活動期には、社会も混乱しやすく、歴史的な出来事が起こりやすい。

特に、20世紀前半における我が国の社会混乱は、記憶に新しい。私たちが習った歴史は政治・経済だけだが、そこに地震を織り交ぜた形で、少し復習してみよう。

大正デモクラシーの最中に発生した1923年関東地震（M7.9）では、死者・行方不明者10万5千余人、経済被害は日本銀行の推計で45.7億円に上ったと言う。これは、当時の国家予算の3倍程度に当たる。このため、1週間後の9月7日には緊急勅令によるモラトリアムが出され、さらに9月29日にはいわゆる震災手形が出された。震災手形はその後不良債権化し、1927年の金融恐慌を招くこととなる。

その間、1925年には北但馬地震（M6.8）が兵庫県北部を襲い、1927年には北丹後地震（M7.3）が京都北部を襲った。ちなみに、北丹後地震が発生したのは3月7日、金融恐慌が発生したのは翌週3月15日である。これにより、我が国は一気に暗い時代が変わる。

そして、1929年に始まる世界恐慌や、1930年の北伊豆地震（M7.2）を経て、軍部の発言力が強まり、その後、1931年満州事変、1932年5.15事件が勃発する。さらに、1933年三陸地震津波（M8.1）、1936年2.26事件を経て、1937年日中戦争、1941年太平洋戦争へと突入していった。

1942年、43年と戦勝モードに沸いていたものの、1943年末からは劣勢に立ち始めたが、その直前に発生したのが鳥取地震（M7.3）である。翌1944年は、さらに戦況が悪化し、7月にサイパン、8月にグアムを奪われ、10月にはレイテ沖の海戦で歴史的な大敗を喫した。そして、3度目の太平洋戦争開戦記念日を迎える前日12月7日のお昼過ぎに、東南海地震（M7.9）が発生した。

東南海地震は、過去の東海地震と比べると小ぶりでは被害も少なめだったが、中島飛行機半田製作所や三菱重工工業名古屋航空機製作所道徳工場が壊滅的な被害を受け、海軍の飛行機や零戦の生産が不可能となった。戦時下の統制下のためか、震災の様子が広く国民に伝えられることはなかつ

* 名古屋大学大学院環境学研究所教授

た。大きな揺れを受けた長野県諏訪では、諏訪直下地震として取り扱われていた。

さらに翌週、12月13日から、名古屋に対する本格的空襲が始まった。B-29爆撃機90機が三菱発動機大幸工場を襲った。当日には、東洋一の動物園と呼ばれた東山動物園の猛獣類が、治安維持を理由に多数射殺された。

そして、この一か月後の翌年1月13日に三河地震(M6.8)が発生した。その年の夏8月に敗戦を迎える。さらに、翌年1946年には南海地震(M8.0)が、1948年には福井地震(M7.0)が連続し、戦後の混乱期に拍車をかけた。

このように、歴史的事件と被害地震が交互に発生していることは、学校で習った日本史では触れられていない事実である。同様のことは、安政の地震の前後にも認められる。

2. 地震調査研究推進本部と中央防災会議での検討

地震調査研究推進本部は、兵庫県南部地震を受けて、1995年6月に制定された地震防災対策特別措置法により設置された組織である。地震調査研究推進本部では1999年4月に、今後10年程度にわたる地震調査研究の基本として、「地震調査研究の推進について～地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策について～」を策定し、その中で当面推進すべき地震調査研究の課題として、地震動予測地図の作成などを掲げ、その結果を、2005年3月に確率的地震動予測地図として公表した。

地震動予測地図作成の基礎資料獲得のために、全国98の主要断層の断層調査と長期評価、大規模堆積平野の地下構造調査などが実施された。主要断層や海溝型地震の2005年4月時点での評価結果は、図1のように示されている。本論の主題である東海、東南海、南海地震の今後30年間の発生確率は、各々、86% (参考値, M8.0)、60%程度 (M8.1前後)、50%程度 (M8.4前後)とされており、宮城県沖地震(99%, M7.5前後)や首都直下地震(70%程度, M6.7~7.2程度)と並んで高い確率になっている。

図2に、今後30年間に震度6弱以上になる確率を示した地震動予測地図を示す。東海、東南海、南海地震の高い地震発生確率のため、伊豆半島から四国に至る太平洋岸が抜きんできて高い確率となっている。

一方、2001年1月に、中央防災会議が国土庁から内閣府に移管され、東海、東南海、南海地震の検討が本格的に行われるようになった。中央防災会議は、1959年9月の伊勢湾台風による被害を契機として、1961年に制定された災害対策基本法により設置された機関である。当初、東海地震の震源域の見直しに始まり、予測震度の発表を行ったうえで、2002年4月24日に、東海地震に対する地震防災対策強化地域を拡大指定した。東南海、南海地震に関しても、同年7月26日に東南海地震・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法を公布、2003年12月17日に東南海地震・南海地震に対する地震防災対策推進地域を指定した。強化地域と推進地域には、全国民の1/3もの人たちが居住している。

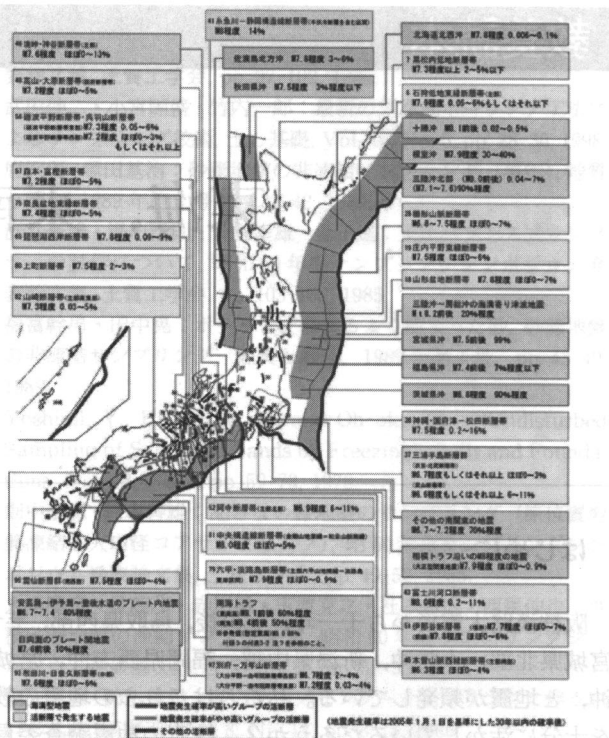


図1 主な断層帯で発生する地震および海溝型地震の想定規模と今後30年の地震発生確率 (http://www.jishin.go.jp による)

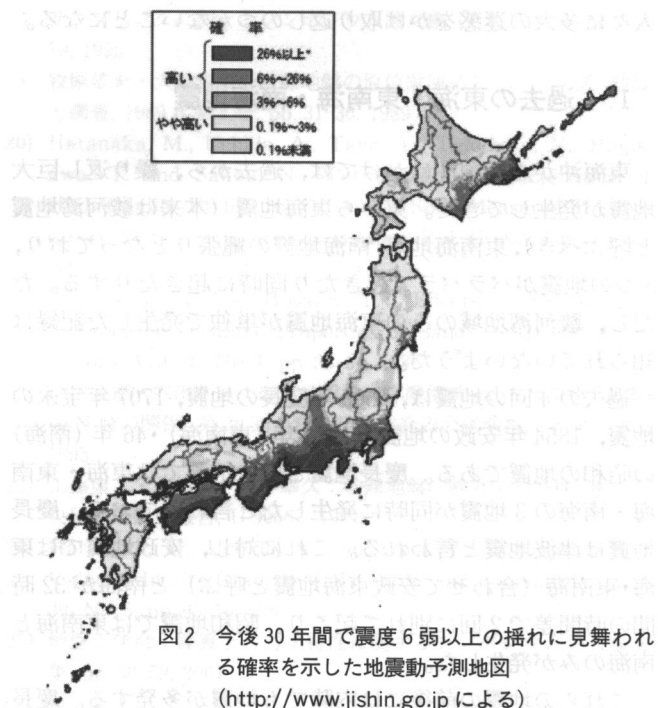


図2 今後30年間で震度6弱以上の揺れに見舞われる確率を示した地震動予測地図 (http://www.jishin.go.jp による)

3地震が同時発生した場合の予測震度分布を図3に示す。伊豆半島から宮崎県に至る広域が震度6弱以上の揺れに見舞われる。3地震の被害を合わせると、最悪、百万軒の全壊家屋、三万人弱の死者、百兆円弱の経済損失が予測されている。兵庫県南部地震と比べ、人的被害は4~5倍、物的・経済的被害は10倍の規模となる。平成18年度の我が国の一般歳出総額は79.7兆円、税収は45.9兆円である。経済損失は最悪2年分の税収にも匹敵する。ちなみに、スマトラ地震での経済被害は1兆円程度に留まったと言う。

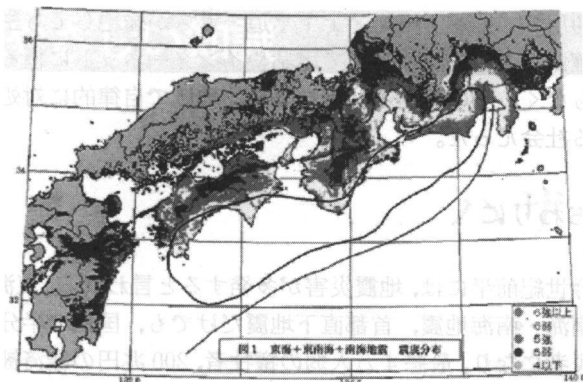


図3 東海、東南海、南海地震が同時発生した場合の予測震度分布
(<http://www.bousai.go.jp> による)

被害の差が分かる。

地震調査研究推進本部や中央防災会議での検討状況は、随時ホームページで公表されているので、参照すると良い。アドレスは、各々、

<http://www.jishin.go.jp>

<http://www.bousai.go.jp>

である。

3. 3地震に係わる課題

東海、東南海、南海地震の特徴は、被害が甚大で広域にわたること、そして、地震が近い将来に発生することを私たちが十分に認識していることである。太平洋ベルト地帯を襲うスーパー広域災害であり、個々の自治体が中心になった従来の防災対策では対応は不可能である。地域間での連携や省庁間の連携に基づく対策が必須となる。

現時点は、3地震の被害程度を概ね把握でき、今後の対応戦略を策定しはじめた状況にある。政府は、2005年3月に3地震に対する地震防災戦略を策定し、今後10年で被害を半減させるといふ、数値目標を公表した。その根幹は、被害そのものを減らす耐震化の推進と、津波による人的被害軽減のための意識啓発の2点にある。

耐震化については、耐震化率を90%にまで向上させることを目指しており、これを受けて、耐震改修促進法が改正され2006年1月より施行された。優遇税制措置も導入されることになり、飴と鞭の両面で耐震化が促進されることになった。現行耐震基準すら満足しない既存不適格建物の改修を早期に本格化させないと大変なことになる。ただし、現行の耐震基準も完璧ではない。現行基準は、震度6弱程度以下の揺れに対して人命を守るという最低基準である。基準ぎりぎりの耐震設計をしていれば、想定以上の強い揺れを受ければ相応の被害を受ける。兵庫県南部地震でも、震災の帯の中に有った中高層建物の被害は思いの外に大きかった。社会的に影響の大きい重要建築物は、適切な耐震余裕度の確保が必要である。

住民の防災意識啓発については、2005年12月に、災害被害を軽減する国民運動の推進に関する専門調査会が設置され、人作りについての本格的な動きが始まりつつある。東

海、東南海、南海地震では、消防力・行政対応力を遙かに上回る被害となるため、住民や企業が自発的に対処する共助・自助が大前提となる。企業に関しては、民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会において、企業防災の重要性が認識され、近年、事業継続計画（BCP）の策定が大企業を中心に策定されるようになってきた。

東海・東南海・南海地震のもう一つの懸案事項は、長周期地震動の問題である。巨大地震が発生すると、大規模堆積平野では長周期の揺れがきわめて長く続く。現代の都市には、過去の震災時には存在しなかった長大構造物や大規模貯蔵施設が多数存在する。超高層建物、煙突・鉄塔、長大橋、石油タンクなどである。大企業の中核部門が集中する超高層建物は、共振すると、設計時想定以上の揺れを受ける可能性もある。共振の可能性が有る場合には、今後、制震改修などの必要がある。超高層建物は構造的な被害を受けなくても、ライフラインが途絶するだけで、機能を喪失する。たとえば、トイレが使えなくなるだけで操業は難しい。巨大地震では、被災地が余りにも広域になるため、ライフラインの完全復旧には相当な時間を要する。エレベータ停止の問題や高層難民の問題もある。また、交通網の途絶による帰宅困難者や社員確保の問題なども派生する。一般に、過度な集中と効率性は災害に対して脆弱である。

人命を守る有効な手段として近年注目を浴びているのが、緊急地震速報である。震源域が大都市から離れている東南海・南海地震に関しては、震源近くの地震観測点でP波を早期にキャッチし、都市が揺れ始める前に警報を発する緊急地震速報が役に立つ。気象庁は2006年度中に本運用を開始する方向で検討中である。強い揺れの前に多少なりとも時間を確保することで、電車やエレベータの緊急停止、危険物や手術の停止、危険場所からの待避などが可能となる。ただし、例え緊急地震速報が得られても、家屋の損壊を逃れることはできない。震災後の生活を守り、財産を守るには、耐震化以外には道がないことは強調したい。

4. 我が身を振り返り早急な備えを！

戦後、60年間、私たちは、高度成長と共にまちを大きく拡大してきた。一例として、図4に、東南海地震での被災地域の上に火力・原子力発電所の位置と自動車関連工場の位置を重ね書いた図を示す。強い揺れに見舞われた地域に、発電所や工場群が集中して作られてきたことが分かる。図中の三重県尾鷲にある三田火力発電所は、尾鷲のまちの中にあつた瀬木山を切り崩して作った埋立地に立地している。当時、津波に洗われたまちには、今や木造家屋が密集し、石油タンクや発電所が港に存在する。津波に加え、タンクのスロッシングによって油の流出、火災と続くかも知れない。戦後の復興を急ぐ余り、自然に対し脆弱なまちを作ってきたことが分かる。

この地震で被災した名古屋の市街地の明治以降の拡大の様子を地質図と共に図5に示す。地質図中、黒っぽい色の部分は洪積世以前の地質、白地の部分は沖積層である。濃尾地震（1891, M 8.0）、関東地震（1923, M 7.9）、東南海

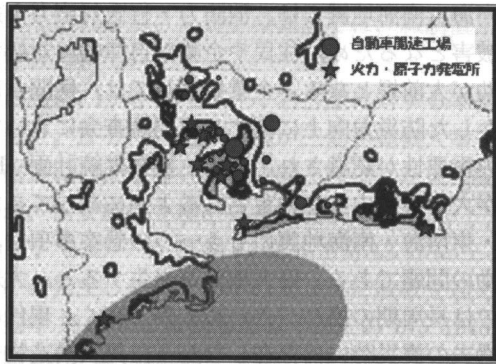


図4 1944年東南海地震の被災地域と重要産業施設の立地位置 (http://www.jshin.go.jp) に修正加筆

地震(1944, M7.9)が発生した時期には、市街地は概ね洪積台地の上に位置していた。このため、東南海地震での犠牲者は1000人程度に留まり、被害は沖積低地に位置する住宅・工場群のみに限られた。しかし、戦後、まちを大きく拡大し、今や、まちの半分は沖積低地に広がっている。同じ地震規模でも、軟弱地盤では強い揺れとなる。建築・土木構造物が戦うべき敵(地震の揺れ)は60年前より相当に強くなっているはずである。

同様のことは、1923年関東地震でも観察される。図6は、江戸時代と現在の皇居周辺の地図を、関東地震での震度分布とを比較したものである。関東地震で、強い揺れに見舞われた場所は、何れも江戸時代に海・河川や堀・池だった場所を埋め立てた場所であることが分かる。

都市は、高度に効率化させ、さまざまなものを互いに頼りあわせることによって成り立っている。60年前と今を比べてみると、現代の都市の脆弱性が容易に理解できる。60年前には、多くの人は良い地盤の上に住んでいた。電気は照明にしか使わず、薪と井戸水で炊事をし、汲み取り便所

を利用していた。電気・上下水道・ガスが途絶しても生活は確保できた。職住近接で電話やインターネットに頼ることもなく、顔の見える関係を築き、地域で自立的に対処できる社会だった。

おわりに

今世紀前半には、地震災害が多発すると言われる。東海・東南海・南海地震、首都直下地震だけでも、国民の半分が被災者になり、最悪4万人弱の犠牲者、200兆円の経済被害が予想される。若手社員は、現役のうちこれらの災害に遭遇する可能性が高い。勤務する企業が十分な地震対策をしているかどうかは、人生設計を左右する。

企業の防災対策の基本は、顧客と社員の命、企業の資産を守り、早期に事業を再開することである。最近、事業継続計画(BCP)が脚光を浴びているが、社員の命や企業の設備を守れなければ、企業活動の継続は無理である。地質調査業界は、震災後には、復旧・復興の中心的役割を担う。社員・家族の命を守り、社屋を無傷で残さなければ、科せられた役割を果たすことはできない。発災後の人員確保には、社屋に加え、社員の自宅の耐震化が必要である。

地域での防災力を高めるため、自宅のある地域での防災活動にも積極的に関わりたい。防災に多少なりとも係わりのある地質調査技術者は社会のために貢献できるチャンスである。

最近、技術者の信頼を覆す耐震強度偽装問題が発生した。再発を防ぐには、技術者自身が、自然の怖さに対して謙虚になることが必要である。防災で商売しているにもかかわらず、家具の固定すらしていない人を良く見かける。我が身から率先垂範しなければ、信頼は得られない。

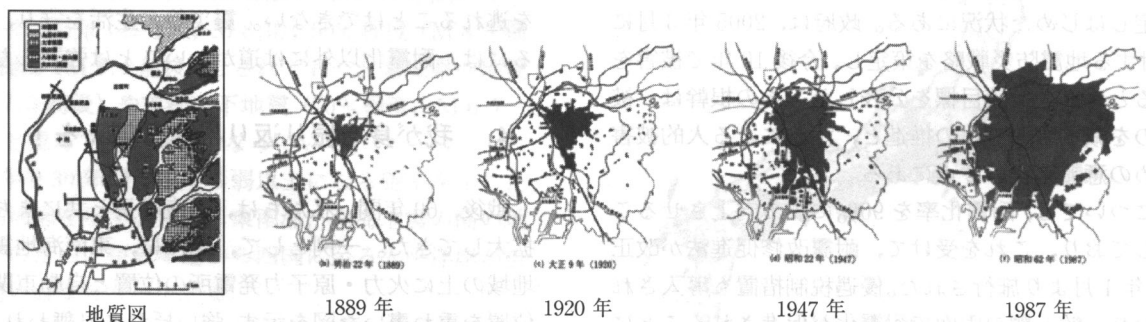


図5 名古屋地域の地質図と市街地の拡大(土質工学会中部支部:最新名古屋地盤図による)



図6 江戸時代と現在の皇居周辺の地図と関東地震の震度分布(江戸明治東京重ね地図・丸善, 武村:関東大震災, 鹿島出版会による)

ハザードマップ

なか すじ あき と
中 筋 章 人*

1. ハザードマップとは

(1) ハザードとは

「ハザード」は、辞書では「危険」、「危険を引き起こす要因」、「冒険」、「危害」、「偶然」などと訳されている。

「ハザード」とは、人的・社会的損失を伴う「災害（ディザスター）」そのものではなく、『「災害」に至る可能性を持った「危険」な事象』を意味している。「ハザード」と「リスク」の相違もここにあり、一般にリスクとは「人的・社会的な損失可能性」を意味するのに対して、ハザードはその前段階の主として自然現象としての危険性を意味することが多い。たとえば、火山噴火の危険性（ハザード）が高くても、人間活動がそこになければ災害が発生しないため、リスクは小さいということになる。

(2) ハザードマップとは

ハザードマップは一般に、「災害予測図」（土木用語辞典）あるいは「災害危険区域予測図」などと訳されている。また、近年はハザードマップという名称も一般化してきたため、たとえば国土交通省の「洪水ハザードマップ」のようにそのまま用いることもある。

しかし、あらためて「ハザードマップとは」と問われると、実は意外にあいまいな認識であることが多い。そこでわかりやすく言うと「主に防災を目的として作成される地図で、災害に至る可能性を持った危険な事象（ハザード）の種類・発生原因（誘因）・発生源・内容（形態など）・想定影響範囲などを示したもの」となる。したがって、ハザードを引き起こす現象に応じて、火山ハザードマップ・洪水ハザードマップ・津波ハザードマップ・雪崩ハザードマップ・土砂災害ハザードマップ・地震災害ハザードマップなどの種類に分けられる。

またハザードマップ（災害予測図）に類似したマップとして、ディザスターマップ（災害実績図）、アポイドマップ（災害回避図）、防災マップ、リスクマップなどもある。

(3) ハザードマップの表示法

ハザードマップは、一枚の地図の場合と複数枚の場合がある。たとえば、洪水や津波など災害を引き起こす現象が

単一の場合は、一枚に浸水危険区域や避難場所を表示することが多い。また土砂災害のハザードマップ（実際には危険箇所マップであるが）では一枚の地図に複数の現象（たとえば土石流・地すべり・がけ崩れなど）を表示している。さらに火山ハザードマップでは、複数の現象別に、あるいは現象の発生規模別に表示されるため、複数のマップが作成される。

地震時のハザードマップでは、液状化危険度マップ、家屋倒壊危険度マップ、斜面崩壊危険度マップ、火災延焼危険度マップなどのように、被災現象に応じて複数のハザードマップが描かれる。

(4) 新たなハザードマップ

河川の氾濫シミュレーションや津波の浸水シミュレーション、あるいは火山噴火の降灰シミュレーション結果のように、時々刻々と変化する様子を複数のマップまたはアニメーション的に示したハザードマップもある。それらのデータ量は膨大なものとなることから、近年はGIS（地理情報システム）を用いたデジタル地図によりハザードマップを表現し、活用する流れが一般的となってきた。新たなハザードマップは、紙媒体のマップから電子媒体によるリアルタイムハザードマップへと進化しつつある。

2. 現象別のハザードマップ実用化状況

(1) 火山のハザードマップ

日本で最初に公開された火山ハザードマップは、1983年（昭和58年）に北海道の森町を中心とした駒ヶ岳火山防災会議協議会が火山噴火地域防災計画図の中で表示した危険区域図であった。続いて北海道の上富良野町が1986年（昭和61年）に、美瑛町が1987年（昭和62年）に十勝岳の緊急避難図を作成した。

近年活発に発行されるようになった火山ハザードマップは、1992年に国土庁が策定した「火山噴火災害予測図作成指針」と1992年に建設省（現国土交通省）が策定した「火山災害予想区域図作成指針（案）」の両指針に拠るところが大きい。両指針策定後、わずかに数年で富士山も含めて30あまりの活火山で火山ハザードマップが作成され、周辺住民に配布された。図1に主な火山のハザードマップをイメー

* 国際航業(株) 技術センター技師長

ジ的に示すが、個々の火山を詳しく見たい場合は、周辺市町村や国・県のホームページで公開されているので、参照されたい。

(2) 洪水のハザードマップ

洪水のハザードマップは、建設省により1993年から「洪水氾濫危険区域」が公表され、さらに1998年からは氾濫解析の成果がホームページなどを通して公表されている。また2001年7月には「浸水区域図作成マニュアル」と「洪水ハザードマップ作成要領」が改正され、国土交通省河川局から通知された。このような経緯により、2004年時点では1200あまりの1級河川のうち直轄河川・補助河川合わせて150以上の河川で公開されている(図2参照)。

さらに河川関係では、すでに河川情報をリアルタイムに提供する河川情報システムが稼働している。つまり、過去の浸水・氾濫状況に係わる水文データ、気象データを蓄積しておき、現況の降雨データから災害の恐れがある場合にリアルタイムで洪水予測シミュレーションを行い、既往データベースと連携して災害予測や対応箇所の把握に役立つものである。このようなシステムは、次世代型のハザードマップといえよう。

(3) 土砂災害のハザードマップ

土砂災害のハザードマップに類するものとして、1993年に建設省砂防部から「土砂災害予想区域図作成要領(案)」がだされ、翌年から全国各県の土木事務所単位で、非公開で行政用として1万分の1縮尺で、また住民向けには5万分の1で危険箇所位置だけを示した防災マップが作成された。この土砂災害予想区域図は、土石流・地すべり・急傾斜地崩壊危険箇所を対象とし、危険箇所や危険区域が表示されているが、危険区域の設定手法は全国一律の地形条件を用いており、個々の斜面や溪流の特性を活かした危険区域予測図(ハザードマップ)とはなっていない(図3参照)。

また最近では、2001年4月に施行された土砂災害防止法に基づいて、個々の対象斜面や溪流ごとに土砂災害警戒区域や特別警戒区域が設定される運びとなった。この問題点は、いろいろ土地条件や自然条件の異なる対象斜面や溪流に対して、誰がやっても同じ結果が出るように、機械的な設定手法をとろうとしている点にある。しかし、地域特性に詳しい専門家の判断を入れれば解決できるであろうが、一方で住民が専門家の経験に基づく定性的な判断に納得するかという問題点も抱えている。

(4) 津波のハザードマップ

津波のハザードマップは、昭和60年前後に実施された県の地震被害調査成果をうけて、市町村で作成されはじめた。最近では消防庁が2002年3月に津波避難計画の策定を主題とする津波対策推進

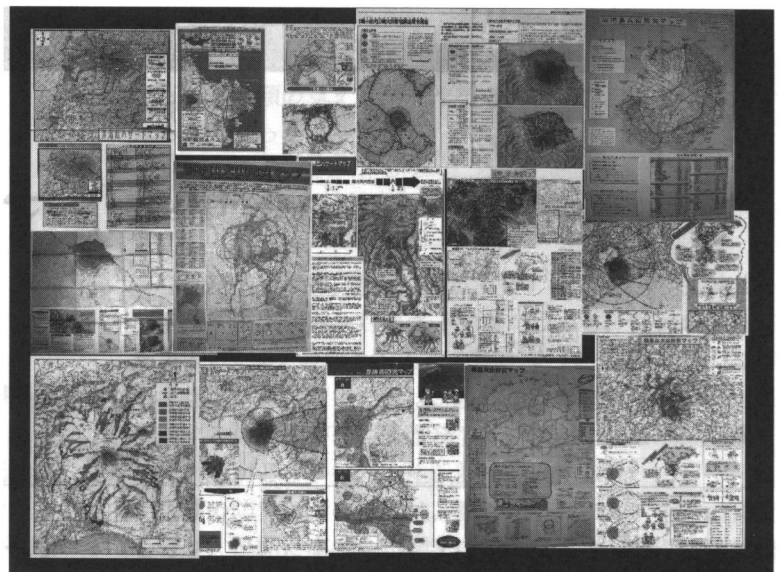


図1 代表的な火山ハザードマップ

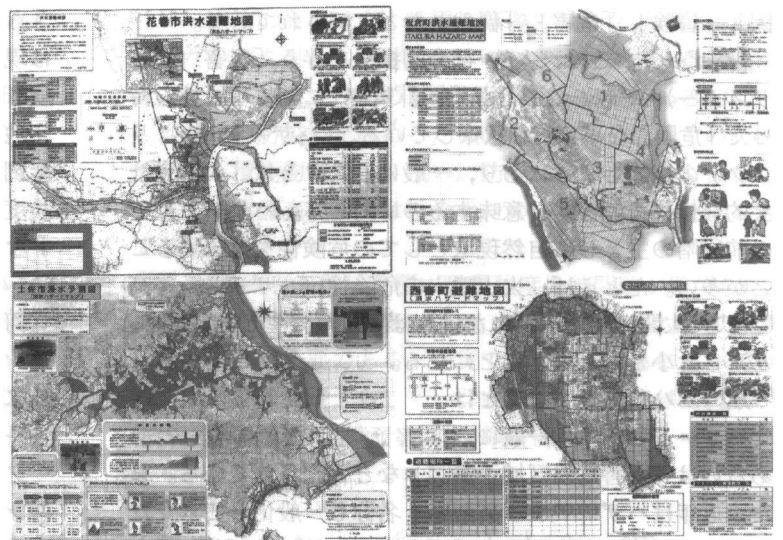


図2 代表的な洪水ハザードマップ

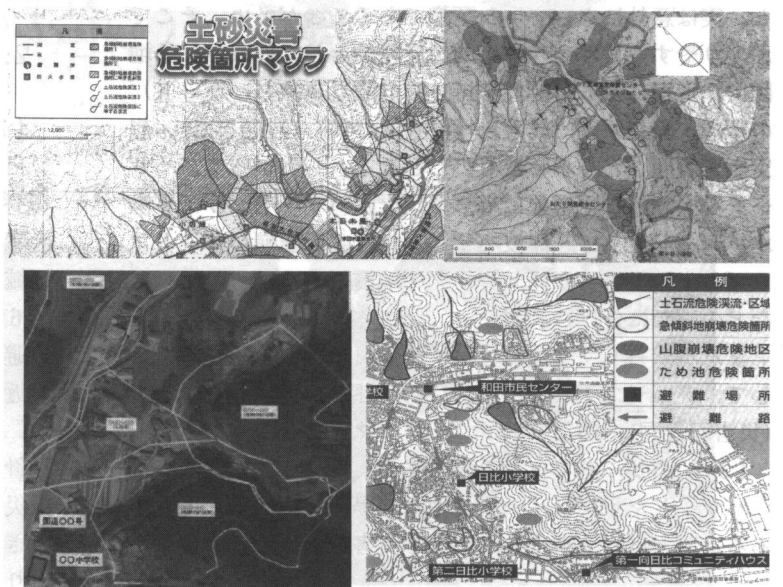


図3 代表的な土砂災害危険箇所マップ

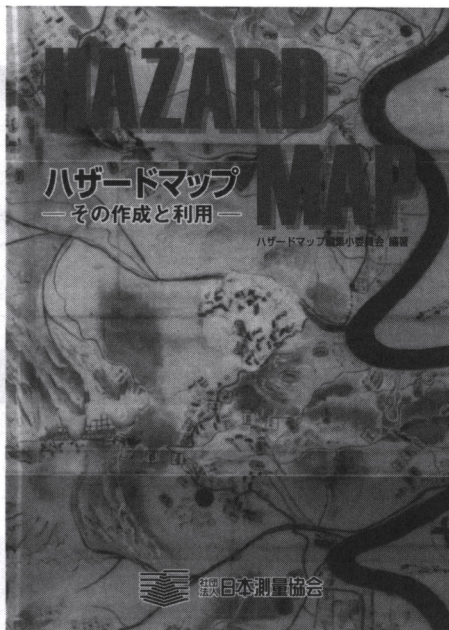


図4 参考本「ハザードマップ」の表紙

マニュアル検討報告書を示し、海岸線を有する都道府県に津波浸水予測図の作成を促した。つづいて2002年11月、内閣府と海岸3省庁は研究会を立ち上げ、市町村が津波ハザードマップを作成する際に役立つ具体的な「津波・高潮ハザードマップマニュアル」を2004年4月に完成させ出版した。これにより各市町村の津波・高潮ハザードマップの整備がよりいっそう進むものと期待されている。

(5) 地震のハザードマップ

地震のハザードマップは、地震によって引き起こされる災害現象が多様であることから、マップの種類も多岐にわたる。前記の津波もその一つであるが、1995年の阪神淡路大震災のように液状化・家屋倒壊・火災・ライフラインなど都市機能の壊滅状況から、2004年の新潟県中越地震のように山間地の崩壊・地すべり災害まで被害形態はさまざまである。いずれにしても、まず対象地域の地震実績や活断層分布をもとに想定地震を設定し、地盤データを整理した後、地表地震動を算定することからはじめ、地表の土地条件によってさまざまな被害形態を予測してマップとして表現する。したがって被害形態の種類だけハザードマップができることとなる。

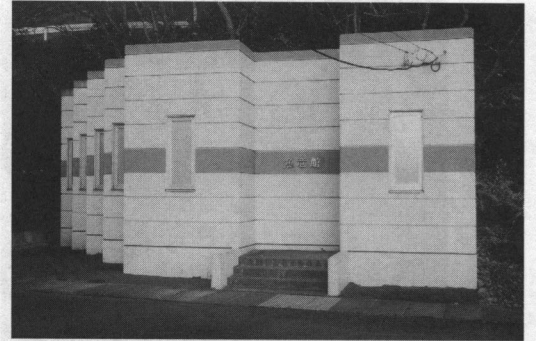
3. 詳細を知るには

自然災害のあらゆる種類を網羅したハザードマップの格好の参考書が、平成17年6月に日本測量協会から出版された(図4参照)。「ハザードマップ—その作成と利用—」と題されたこの本は、47名の専門家によって執筆された234ページの力作であり、図表がすべてカラーのわりに3000円と安価である。各種ハザードマップのバイブルとも言えるもので、ぜひとも購入をお薦めするしだいである。購入希望者は、下記のところへ申し込んでいただきたい。

〒112-0002 東京都文京区小石川1-3-4
 (社)日本測量協会刊行部
 TEL(03)5684-3354

各地の博物館巡り

南三陸町水産振興センター 「魚竜館」



魚竜館正面

海からの恩恵

「ウタツ魚竜」は世界でも最古の魚竜化石として知られ、宮城県本吉郡南三陸町（旧歌津町）の海岸で発見されました。南三陸町歌津は南三陸金華山国定公園の北端に位置して、太平洋に長く突き出た歌津崎、リアス式海岸特有の深い入り江をなす伊里前湾を有し、町は海と共に歩んでまいりました。

南三陸町の母なる海である太平洋はさまざまな恩恵を町にもたらしてくれました。沖合には世界三大漁場の一つである金華山・三陸沖漁場があり、町東部のリアス式海岸は天然の良好な漁場となって、カキ、ホタテ、ワカメ、ホヤなどの養殖が盛んに行われています。このように海とのかかわりが深い南三陸町歌津町から太古の昔にゆうゆうと群れを成して泳いでいた魚竜の化石が発見されました。魚竜館はこれらの魚竜化石を保存・展示した施設です。

ウタツ魚竜の発見

魚竜化石は昭和45年9月、東北大学地質古生物学教室の村田正文氏ら日本地質学会の研究グループが館崎の岬の西側一帯の海岸から発見しました。見つかった魚竜化石は十数体におよび、世界最古の魚竜化石の一つとして世界に知れ渡りました。化石は今から2億4200万年前のものとして推定されています。

この地で発見されたセキツイ動物化石の魚竜化石は古生物学研究上非常に重要なものであり、世界最古の魚竜化石として「ウタツ魚竜(学名:ウタツザウルス)」と命名され、昭和50年に国の天然記念物に指定されました。

魚竜館、その他の施設

魚竜化石を展示している施設は「魚竜館」と「総合展示室」に別れています。「魚竜館」は魚竜化石の内の一つ「クダノハマ魚」(管の浜)が発見された場所に建てられており、産出したままの状態(露頭)を保った全国でも珍しい展示施設といえます。

魚竜館に近接して南三陸町水産振興センターが併設されており、その二階が「総合展示室」となっています。

総合展示室にはウタツ魚竜に加え、南三陸町歌津から産



総合展示室(南三陸町水産振興センター)



ウタツ魚竜(学名:ウタツザウルス)

出したアンモナイト化石なども展示してあります。

また、ドイツ・カナダ・イタリア・タイで発見された化石やレプリカなども常設しており、世界各国で発見された魚竜化石を観察し、楽しむことができます。他にも歌津町の太古から近世までの移り変わりをさまざまな資料で紹介しています。

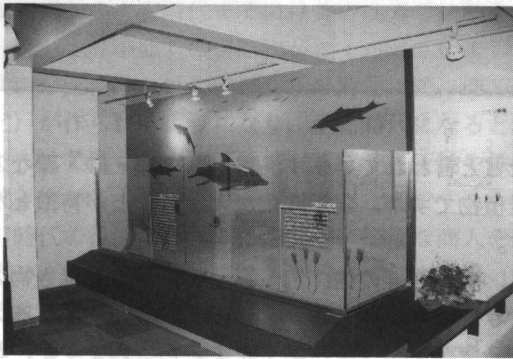
魚竜化石をとおしての国際交流

旧歌津町では魚竜化石をとおして国際交流を行っています。平成11年11月6日、町制40周年記念事業として旧歌津町を会場に「国際魚竜サミット～魚竜化石と自然史博物館」が開催されました。日本の研究者をはじめとし、ドイツ、イタリアの研究者・代表者が一同に集まり、化石の保護のあり方や活用について熱心に話し合いがおこなわれ、

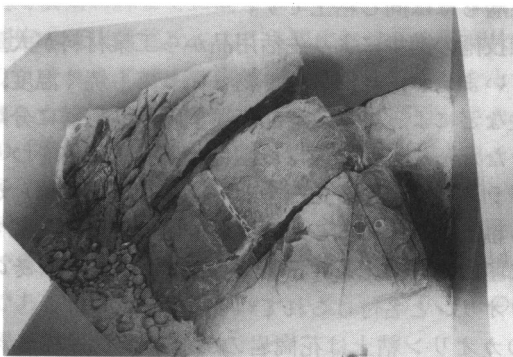
交流を深めております。また、イタリアのベザーノ町とともに魚竜化石の町として国際友好都市を締結しました。ベザーノ町とは平成7年から隔年で中学生が訪れ、ホームステイなどをとおして親交を深めています。魚竜化石は海の向こうとの友好の架け橋となっています。

海と深い関わりを持つ南三陸町歌津。その町から発見されたウタツ魚竜。現在の海、太古のロマンあふれる海。これらの施設でじかに味わっていただければと思います。

「魚竜館」



魚竜館内のジオラマ



魚竜館クダノハマ魚竜の展示

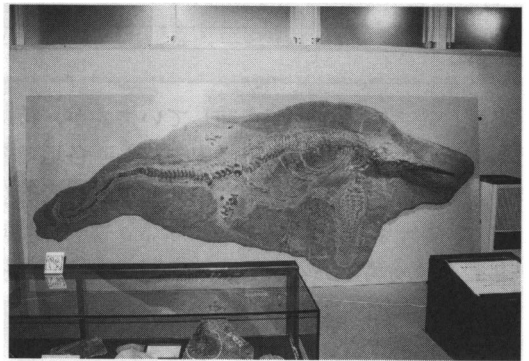


魚竜館クダノハマ魚竜の説明

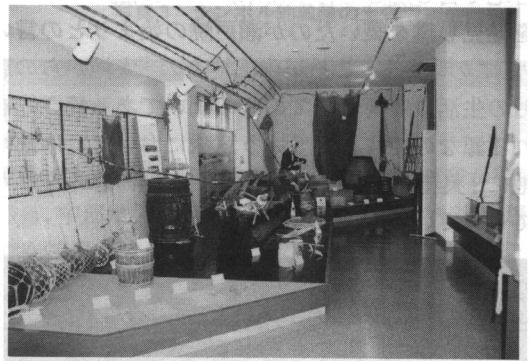
「総合展示室」



アンモナイト化石の展示



南ドイツホルマーデン魚竜化石



昔の漁具の展示

(金井亮 日本物理探鑛(株)東北支店)

- ・住所/宮城県本吉郡南三陸町歌津字管の浜 194 番地
- ・TEL 0226-36-3090
- ・開館時間/9:00~16:30 休館日/火曜
- ・入館料/一般 300 円, 小・中学生 150 円, 20 名以上の団体は各 200 円, 100 円
- ・交通/仙台駅から JR 東北本線で 45 分, 小牛田駅下車, 石巻線前谷地経由の気仙沼線に乗り換えて 1 時間 20 分, 歌津駅下車, 車で 3 分
- ・駐車場/80 台

—「せともの」の代名詞になった焼き物のふるさと— 六古窯の瀬戸・常滑がある中部地方

はじめに

全国各地に焼き物の産地が点在していますが、特に中部地方は陶磁器の産地として長い歴史を持ち、各地で特色のある焼き物を作り続けています。中部地方の代表的な焼き物としては、愛知県知多半島の常滑焼、瀬戸地方の瀬戸焼、三重県北勢地域の萬古焼のほか、岐阜県美濃地方一帯の美濃焼は世界的にも有名な焼き物産地となっています。

焼き物の代名詞となっている「せともの」ですが、瀬戸では陶祖藤四郎伝説なるものがあり、道元禅師時代の中国の宋に修行に行った藤四郎が、帰国後製陶に適した土地を探し各地で召し焼きを行った末、ついに瀬戸において「良土」を発見し窯を築いたのが瀬戸焼の始まりとの言い伝えです。この「良土」こそが中部地方の「大地からの恵み」、私たちの生活や芸術としての心の潤いである焼き物を与えてくれる源なのです。そういう意味において、中部地方には各地に「良土（陶土）」が堆積し、大地の恵みを私たちに与えてくれている地域なのです。

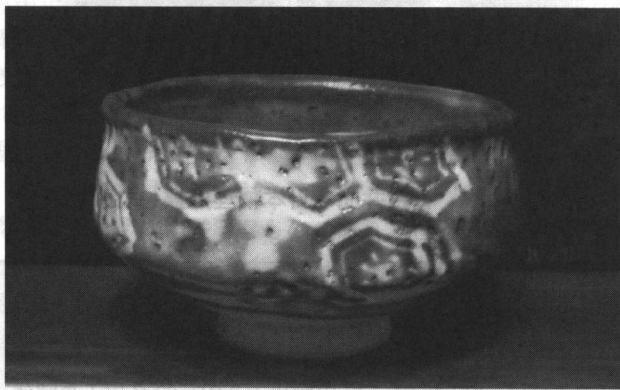


写真1 中部地方の焼き物（美濃焼の茶碗（志野））

陶土を産出する東海層群（瀬戸層群）

伊勢湾の東と西、愛知県の知多半島付近と三重県に細長く第三紀中新世～鮮新世に堆積した東海層群が分布していますが、この東海層群こそが陶土を産出する層です（図1）。地域によって呼び名が異なり、瀬戸層群・常滑層群・亀山

累層などと言われています。主として泥・砂・礫などの海成の堆積物ですが、岩相変化が大きいことが特徴となっています。

特に、瀬戸層群の内、沼～沢地成の粘土が焼き物の「良土」とされる瀬戸陶土層として分布しています。その名のとおり、窯業原料となる粘土を主としていますが、石英粒を含む蛙目粘土、植物片を含む木節粘土などが代表的粘土です。なお、多治見・土岐市を中心とした東濃地方の土岐口陶土層もほぼ同じ粘土です。

窯業技術の進歩により生活用品から工業材料が大量生産されていますが、一口に焼き物といっても焼く温度、釉、吸収性などによって、土器、炆器、陶器、磁器に分類されます。ただし、必要なのは可塑性があり、骨格をつくる石英やガラス質をつくる長石やセリサイト（絹雲母）が入っている粘土を確保することです。中国の磁器の故郷である高嶺に産出する上記条件を満たした白色粘土を、その地名からカオリンと名付けられています。

このカオリン粘土は花崗岩の風化物から生成されますが、瀬戸陶土層はまさに花崗岩の風化物が古東海湖縁の凹地に堆積したもので、堆積性のカオリン粘土は日本では瀬戸層群を除くと、古琵琶湖周辺に一部見られるのみです。

なお、カオリン粘土以外の陶磁器用粘土（炆器粘土）は

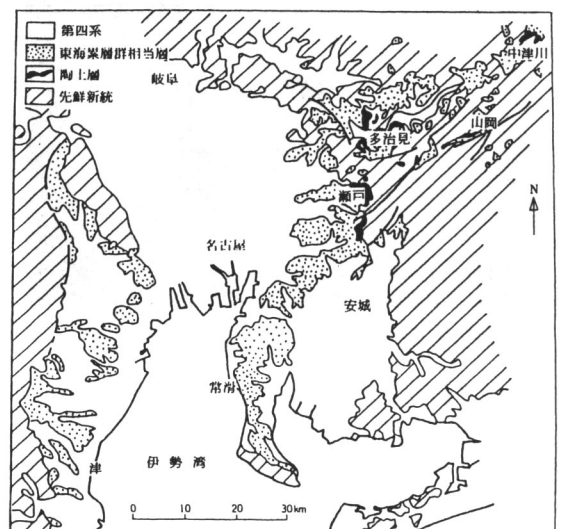


図1 東海層群の分布状況

〔株式会社クボタ発行アーバンクボタ No. 29 より〕

各地で産出されますが、粘土に含まれる種々の粘土鉱物、鉄、チタンなどの含有差と焼く温度などによって独特の色合いの陶磁器が生産されています。

今回紹介する瀬戸焼・美濃焼はガラス質の釉をかけた陶器・磁器が主であるのに対して、常滑焼は耐火度の高い土でより高温で焼いた緻密な素地で釉をかけない炆器が主となっています。

瀬戸焼・美濃焼の歴史・現況

古墳時代から平安時代までにはこの地方では釉薬をかけない「碗」や「小皿」の焼き物がつくられていました。鎌倉時代から灰釉をかけた古瀬戸系の陶器（碗、皿、壺、茶碗など）が作られるようになり、室町時代になると瀬戸の陶工たちは美濃などの周辺地域にも移り、灰釉や鉄釉をつけた焼き物が多く作られるようになったのです。

室町時代の後期には「茶の湯」が、裕福な商人や武士の間に広がり、桃山時代になるとそれまでの中国風（唐物）からそれまでにない自由な発想の日本独自の焼き物（和物）が作られるようになりました。これが、有名な「桃山陶」です。千利休や古田織部らによる茶道の興隆とあいまって、茶陶および懐石料理用の食器類が主体で、日常雑器の水準を越えて芸術の粋までに高まっていったのです。昭和初期、人間国宝の荒川豊蔵氏による美濃における志野陶片の発見により、それまで桃山古陶は瀬戸で焼かれていたと思われていましたが、美濃で焼かれていたことが確認され、桃山古陶の「黄瀬戸」「志野」「織部」などが再現され、この地域で多く生産されるようになったのです。

瀬戸や美濃において、これらのやきものを鎌倉時代～現在まで息長く作ることができたのは、この地方に焼き物の原料である良質の粘土（陶土）が豊富にあり、その供給が容易であったからです。

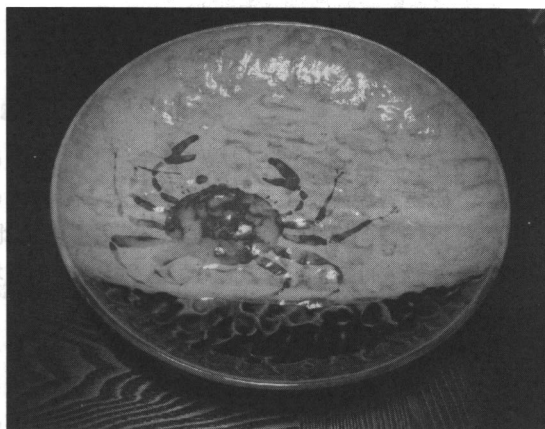


写真2 美濃焼の日常食器（織部大皿）

常滑焼の歴史・現況

平安時代末期に壺が焼かれたのが最初といわれ、室町時代に生活用の甕、鉢が多く焼かれ庶民の支持を得て全国へと発展しました。桃山時代には禁窯令（織田信長の怒りに触れたため）が発令され、瀬戸焼とは対照的に茶の湯文化

に乗り遅れてしまいました。江戸時代に入って真焼土管の量産に成功し、江戸末期には皆さん方がよくご存知の赤褐色の朱泥急須が完成しています。現在は食器、鉢などの日用品から土管、タイルなどの工業品にいたるまで幅広く焼かれています。

常滑周辺では鉄分を多く含んだ粘土が産出することから、釉薬を用いなくても朱泥焼独特の赤褐色の地色を出すことに成功しています。ちなみに、きめの細かい土で不要なものを吸着して、お茶本来の味を引き出してくれますので、是非一度ご賞味してみてください。

常滑の地名の由来（粘土層の露出が多く、地面が滑らかであった）からも解りますように、常滑焼は良質な粘土、燃料となる自然林に恵まれたことが焼きものを盛んにしたと思えますが、忘れてはならないのが、海路の便が良かったことです。常滑焼は大きいものが得意と言われるように、大型の甕、鉢、土管などに特化するようになりました。



写真3 シンボリック風景の土管坂

おわりに

平安時代から絶えることなく、現在まで窯業が繁栄してきたのは、中部地方の第三紀の地質を形成した東海層群が、日本でも特異な堆積性の粘土鉱床を「大地の恵み」として、もたらしてくれたことが大きな要因と考えられます。

また、鉄分が少ない瀬戸の粘土は細かい作業に適し、釉薬によって食器などを生産しています。一方、鉄分が多くきめが粗い常滑焼は食器には不向きで甕、鉢、土管などの大型陶器に向いていたことが、瀬戸焼と常滑焼が共存できたのではないかと考えられます。これ以外にもこの地方には有名な焼き物がたくさんあります。この地方の「大地の恵み」である貴重な資源をいつまでも大切に使う行って欲しいものです。

引用・参考文献

- 1) <http://www.city.seto.aichi.jp/setomono/rekishi/newpage4.htm>
- 2) <http://www.tokicci.or.jp/minoyaki/minoyaki.html>
- 3) 中部地方土木地質図 解説書（H.4年12月）、中部地方土木地質図編纂委員会、p.113

（文：大鹿明文（中央開発（株））
大橋 正（基礎地盤コンサルタンツ（株））

第四紀溶岩流中の風穴分布調査における物理探査の適用について

あき 秋 大木
 やま 山 和木
 みち 道 田智
 お 生* 敦** 久***

1. はじめに

北海道虻田郡京極町において、風穴の分布調査を行った。調査方法として測定が簡便で広範囲の探査が容易なEM探査を実施し、表面波探査にて検証を行った。

2. 現地状況

調査地周辺には、羊蹄山起源の第四紀更新世の火山噴出物が広く分布し、調査地点では主に安山岩よりなる羊蹄山溶岩II (Ya2) が認められる。

安山岩は、中心部では板状節理の発達する塊状部を主体とするが、堆積時に形成された風穴が溶岩流末端に確認されている。

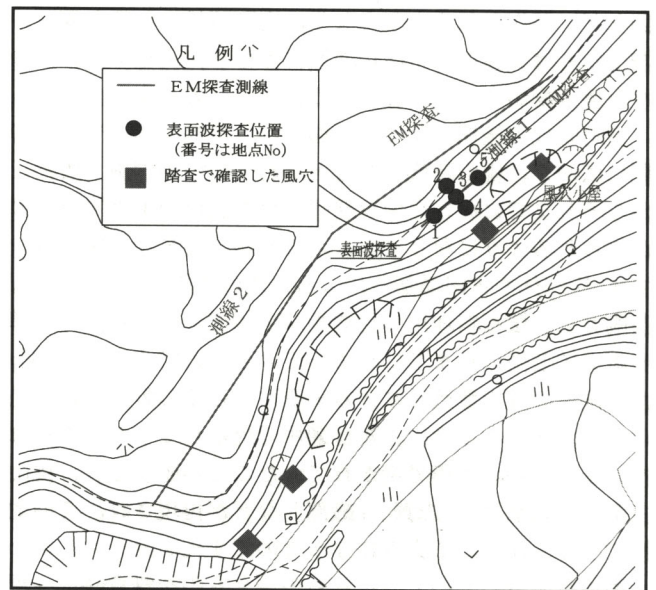


図2 風穴分布図

調査箇所では、風穴小屋を含め地表踏査により4箇所の風穴が確認されている。

3. 採用した物理探査の概要

- EM探査……人工磁場を発生させ、地中に電磁誘導現象による2次磁場を起し、その比抵抗を測定する手法である。他の手法に比べ、安価・簡易に広範囲の測定が可能であり地盤表層の影響を受けにくい。
- 表面波探査……ある周波数の表面波（レイリー波）を利用して、地盤および地下構造を探索しようとするもので、深度方向の地盤の構造は、起震する周波数を変化させることで任意の深度までの平均的な伝播速度を求めることが可能となる。

探査測線は、EM探査の適応性を確認するため、風穴小屋背後（測線1）に設置した。

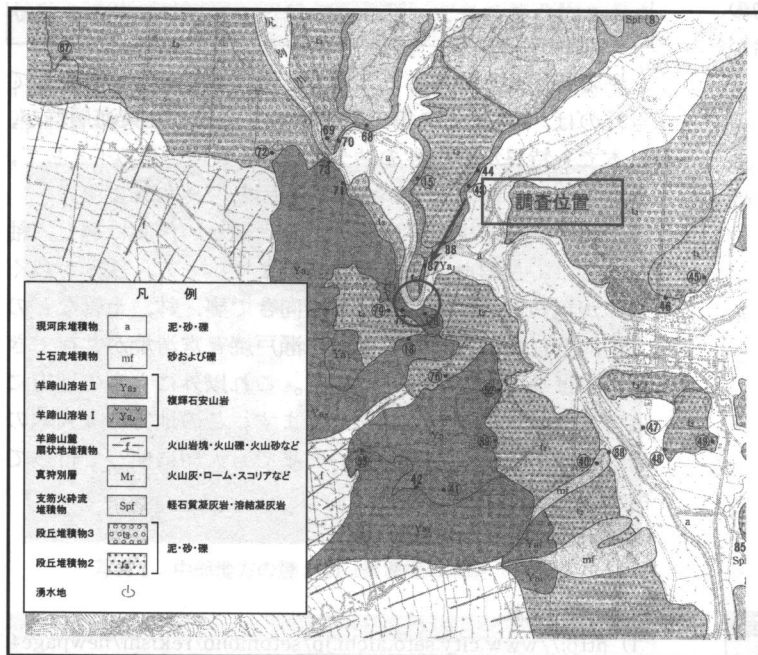


図1 調査地周辺の地質（京極町表層地質調査報告書，平成5年より）

* 大地コンサルタント(株)札幌支社 技術部地質課主任技師

** 同 部長

*** 同 主任

〈探査結果図の説明〉

EM 探査の平面コンター図は、伝導率データを入力データとして、データ変換プログラムを用いて格子データに変換し、スムージング処理によるデータ補完を行って疑似2次元平面分布図としたものである。色が濃いほど低磁化率、淡色になるにつれ高磁化率を示す。

EM 探査の結果は、上位の図面ほど高周波数（浅部）の磁化率の平面分布を示し、下位の図面（低周波数）に向かうほど深部の磁化率の平面分布を反映する。

〈測線 1：風穴小屋の裏〉

図 3 のコンター図では、風穴小屋からの延長部に低磁化率が認められる。磁化率の低い部分が、深部から浅部ま

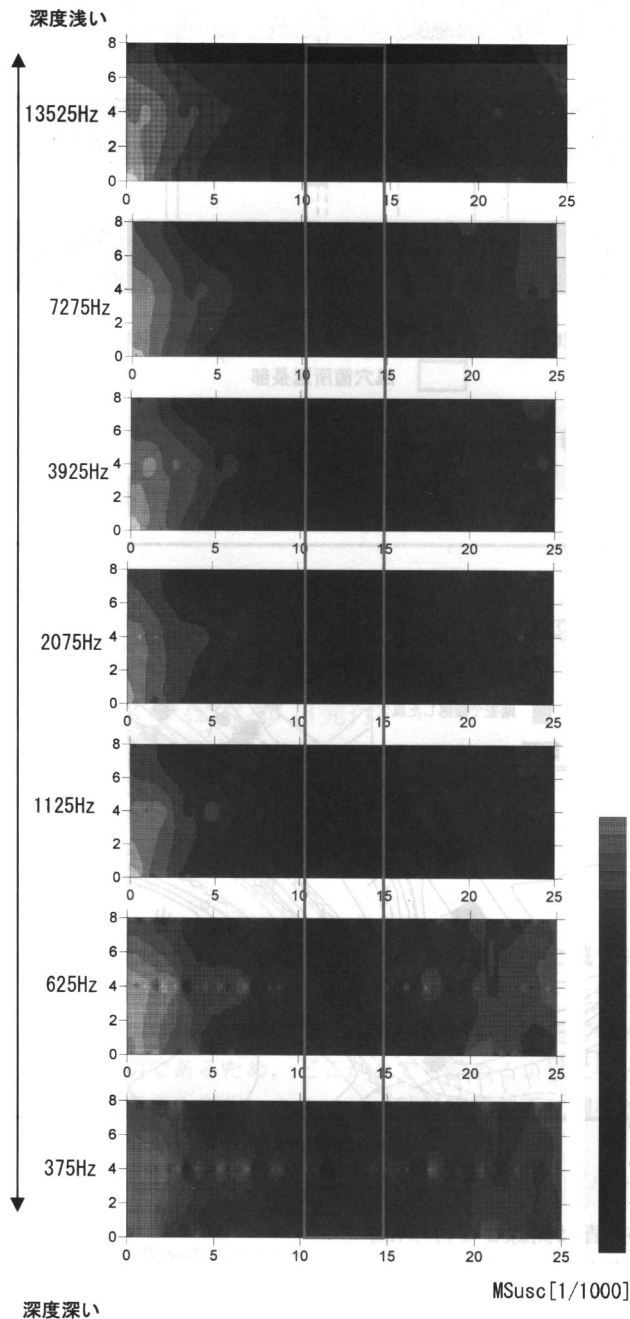


図 3 1 測線 EM 探査結果図

で带状に連続していることから、空洞の可能性が高いと判断される。

低磁化率が確認された地点に 3 点(2~4), 近隣するそれ以外の地点に 2 点 (1,5) の測定点を設定し、表面波探査を実施した (図 2 および 4 参照)。

風穴小屋延長上の 2~4 地点は、深度 10~11 m に低速度帯が見られることから、空洞 (風穴) があると判断される。また、1 点と 5 地点ではこのような低速度帯、つまり空洞 (風穴) は認められなかった。

EM 探査による低磁化率部は、風穴小屋延長部にあたり、同箇所での表面波探査により低速度帯 (風穴) が確認されたことから、風穴の連続性と分布深度 (10~11 m 付近) が特定された。

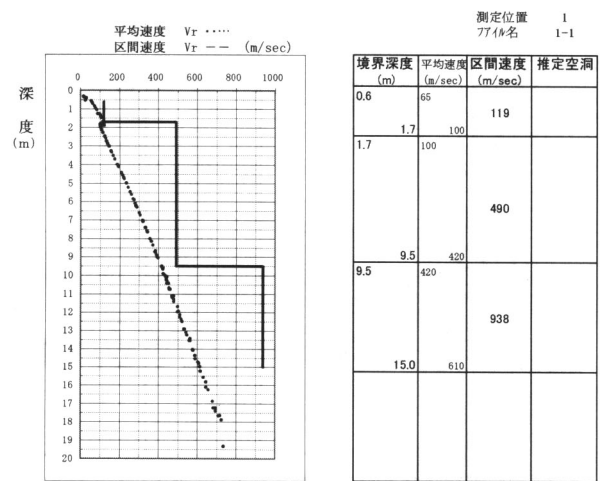


図 4 (1) 表面波探査結果 (1 地点)

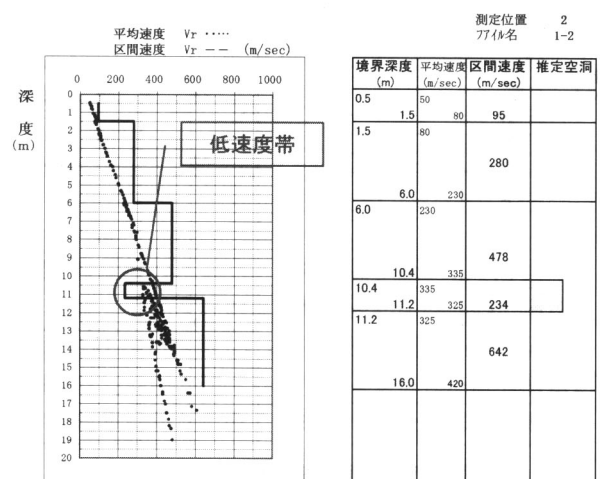


図 4 (2) 表面波探査結果 (2 地点)

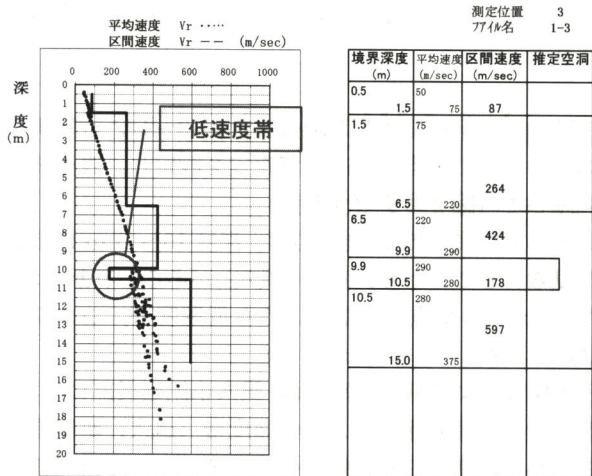


図4(3) 表面波探査結果 (3地点)

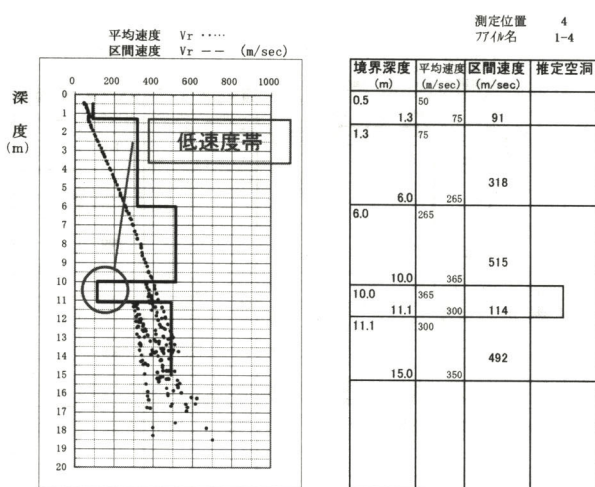


図4(4) 表面波探査結果 (4地点)

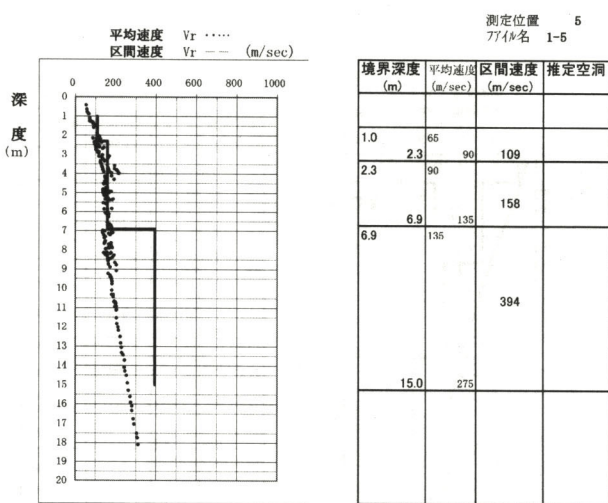


図4(5) 表面波探査結果 (5地点)

4. 周辺への適用

EM探査により検出された低磁化率部が、表面波探査により風穴部を示していることが確認されたことから、踏査により確認済みの風穴箇所背後でEM探査を行い、風穴露頭との連続性の確認を行った。

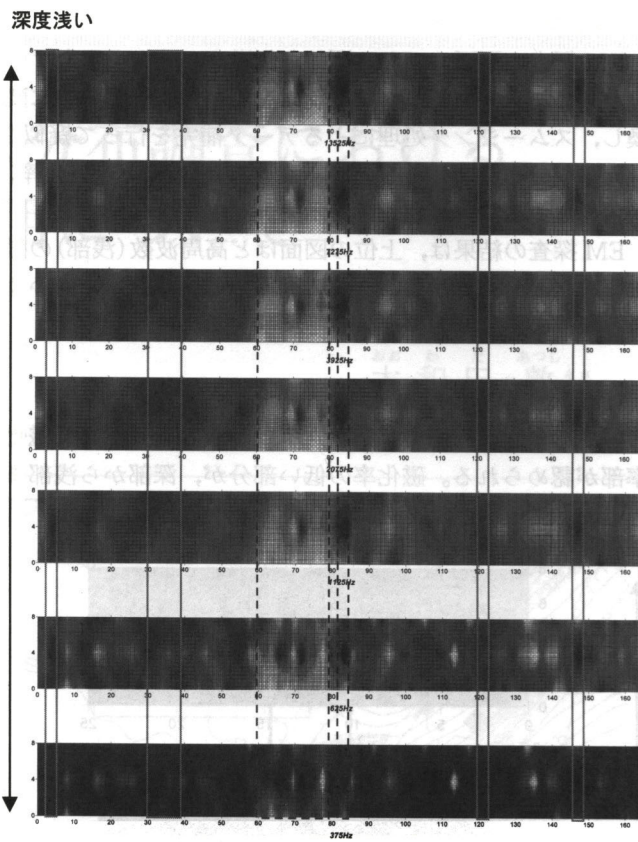


図5 3測線 EM 探査結果図

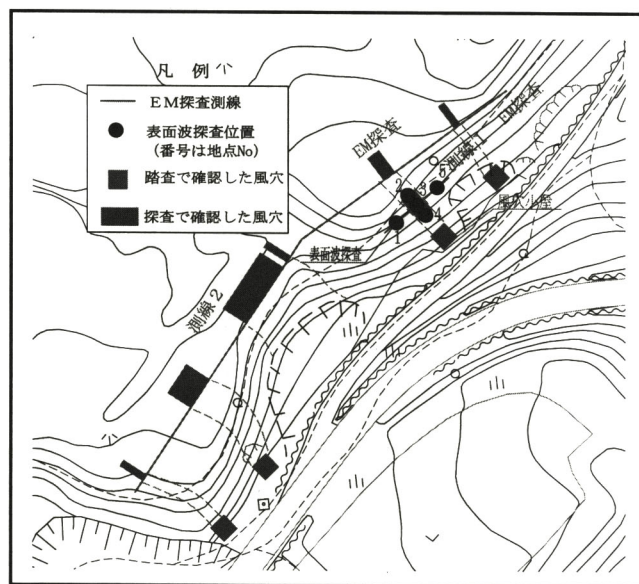


図6 調査結果図

探査は測線2で行った。

安山岩溶岩の丘陵部(測線2)では、図5の平面コンター図に示すとおり、全体には磁化率が高い淡色を示す中に、低磁化率(空洞)を示す濃い色の箇所が6箇所確認された。

図6の調査結果図に示すように、測点0~40および120~150の4箇所は、露頭で確認できる風穴部の延長上であ

り、地表と連続性が確認された。

測線中央(測点 60~80 付近)の2箇所については、露頭での風穴は未確認であるが、低磁化率部の延長部が崩壊地となっていることから、風穴部が埋没している可能性が高いと判断される。

5. まとめ

1. 風穴小屋延長部で確認された EM 探査での低磁化率部が表面波探査により低速度帯(風穴)であることが確認できた。
2. 地表踏査で確認した風穴部の延長部での EM 探査では、風穴部の延長部で低磁化率部が確認できた。
3. 簡易的にかつ広範囲に風穴の分布を確認する場合、EM 探査が有効であることが確認できた。

■新刊紹介■

「知っておきたい斜面のはなし Q & A」 — 斜面と暮らす —

発行者：社団法人 土木学会

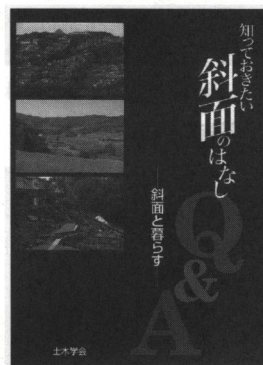
TEL 03-3355-3444 FAX 03-5376-2769

編集者：斜面工学研究小委員会

平成 17 年 12 月 20 日発行

B5 判, 291 ページ

価格：1400 円 + 税



本書は社団法人土木学会の地盤工学委員会に属する斜面工学研究小委員会のメンバーを中心に執筆されたものである。執筆者は土木・地形・地質・砂防・治山・生態・景観・気象・法律・不動産等の専門家多彩な顔ぶれであり、多方面から新たな視点を交えて斜面問題を扱っている。斜面の話題を 141 項目掲載し、2 ページで完結する Q & A 形式の説明であるため、どこからでも読めるようになっている。「はじめに」の中で述べられているように、読者層は初級の技術者や学生、さらには土砂災害や斜面に興味を持つ一般の方を対象にしたとのことなので、全体に比較的やさしい記載がなされている。

141 項目の話題については大きく次の 5 つのグループに区分されている。

- 1) 総合科学としての斜面工学
- 2) 防災からみた斜面
- 3) 維持管理からみた斜面
- 4) 環境・生態系からみた斜面
- 5) 景観・計画

(紹介者：応用地質(株) 菅原紀明)

モルタル吹付のり面の健全度診断事例

たけ だ けん
武 田 研*

1. はじめに

モルタル吹付工は昭和40年代に幅広く適用されたのり面保護工法であったが、現在では吹付モルタルの老朽化が進み、改修が必要とされる箇所が増大している。このため、吹付のり面の健全度を客観的にランク付けし、危険箇所を的確に抽出する手法が求められている。本事例では、地山の地質が異なる対象のり面にて目視点検を実施し、熱赤外線画像による診断も併用した。これらの結果から各のり面にどのような崩壊の危険性があるのかを判定した事例を紹介する。

2. 調査概要

調査対象は三陸地方沿岸の国道沿いののり面で、定期点検等で健全度が低いとされ抽出された。各のり面の概要を表1に示す。

これらののり面に対して

- (1) 現地踏査（吹付モルタル、背後地山）
- (2) 熱赤外線画像撮影

表1 各のり面の概要

のり面	地山地質	観察される変状
A	花こう岩	のり面に凹部
B	頁岩	地山のはらみ出しあり
C	安山岩	変状箇所は水のしみ出し伴う

表2 吹付のり面の地山性状と表面温度の一般的パターン¹⁾

	吹付背後の性状	深夜・早朝	日中	2時刻の温度変化
I	空洞部	低温	特に高温	温度変化が特に大きい
II	土砂部	低温	高温	温度変化が大きい
III	湿潤部	*低温	特に低温	温度変化が特に小さい
IV	健全部	高温	やや低温	温度変化が小さい

*冬季、地下水温が相対的に高い場合は日中、夜間において、湿潤部が高温となる場合がある。

を実施した。

熱赤外線画像は、同一のり面において吹付表面温度の高い時間帯と低い時間帯の2回撮影し、温度差の大きい箇所を抽出した。表2に示すとおり、空洞がある場合、高温時には地山に熱が吸収されずにモルタル表面はより高温になり、一方低温時には地山からの放射熱がモルタル表面に供給されず周囲より低温となる。よって、モルタル表面の温度差が大きい箇所を捉えることで、空洞の有無をある程度推測することが可能となる。

本文中の熱赤外線画像解析結果では可視画像と温度差大抽出画像を上下に並べて表示した。

3. 調査結果

のり面Aについて

① 現地踏査結果（背後地山）

地山の地質は花こう岩で、のり面上部ではマサ化が著しく、吹付端部から流出している（写真1左）。一方、のり面下部では亀裂が発達し、特に45~60°の受け盤方向に卓越する（写真1右）。

② 現地踏査結果（のり面）

のり面中央にある凹部は施工時に地山が崩落したなどして発生したと推測され、この場所が地質的弱線である可能性もある。この付近では施工目地がのり面上端まで開口しており、のり面の安全性は低下していると考えられる。ま

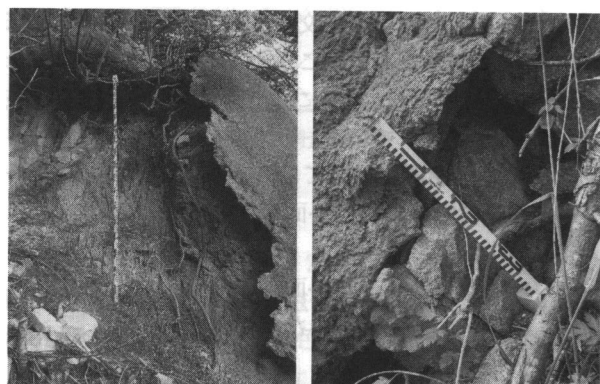


写真1 のり面Aで観察される地山状況

* 日本物理探査(株)東北支店

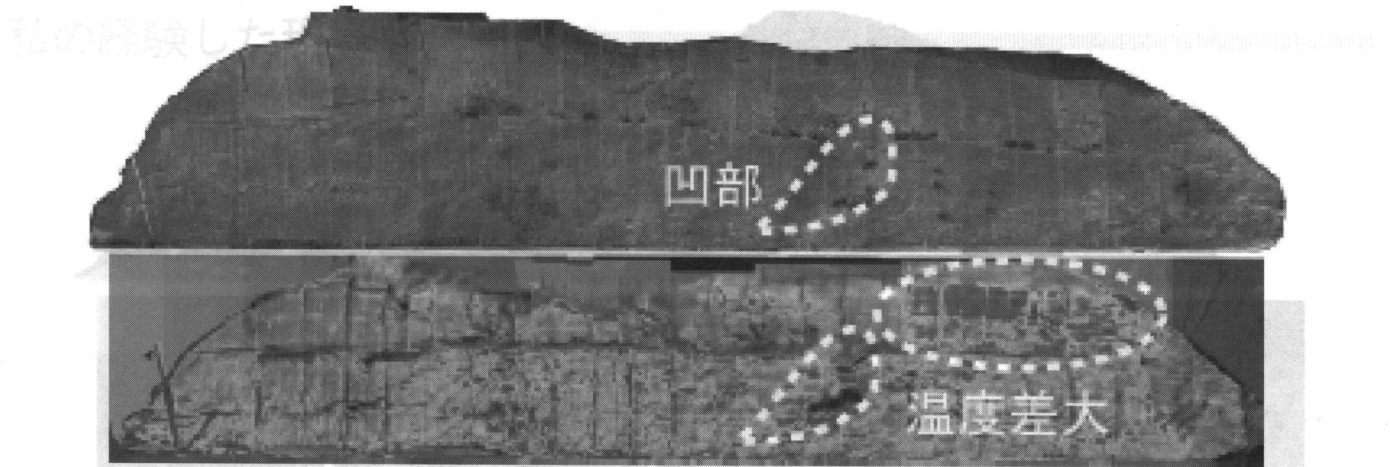


図1 のり面Aの熱赤外線画像解析結果

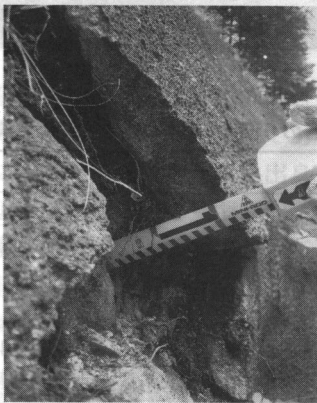


写真2 地山の粘土化

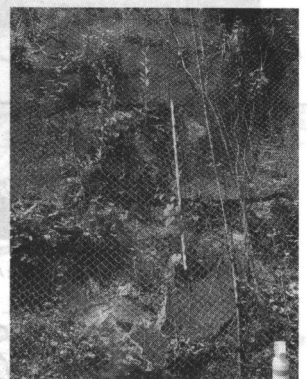


写真3 のり面Cで観察される地山および吹付剝落

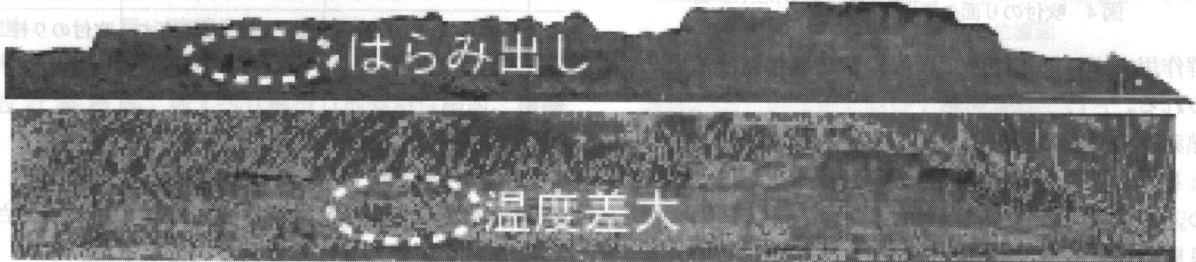


図2 のり面Bの熱赤外線画像解析結果

た、吹付最上部ではクラックが大きく開口し、雨水を容易に浸入させる。

③ 熱赤外線画像診断結果 (図1)

凹部付近に温度異常が認められ、空洞の発生が懸念される。また、のり面上段右に温度異常が集中する。目視では観察されないが、雨水の浸入などにより、マサ化した地山が流出している可能性がある。

のり面Bについて

① 現地踏査結果 (背後地山)

地山の地質は頁岩である。吹付背後では風化が進み粘土化が著しい (写真2)。

② 現地踏査結果 (のり面)

過去の点検から指摘されているはらみ出し部分で背後地山の粘土化が確認された。土圧が発生し吹付モルタルが押し出されたものと考えられる。ラスもなく土圧に抵抗でき

る構造ではない。

③ 熱赤外線画像診断結果 (図2)

はらみ出しが顕著な場所よりやや右側で温度異常が認められ、ここでは地山と密着していない可能性がある。一方、はらみ出し箇所は吹付モルタルと地山が密着するため顕著な温度異常は発生しないと考えられる。

のり面Cについて

① 現地踏査結果 (背後地山)

地山の地質は安山岩で、比較的堅固であるが垂直方向に節理が発達する (写真3左)。未吹付部では10～数10cm大の転石も確認される。

② 現地踏査結果 (のり面)

補修前と考えられる点検スケッチと同じ箇所において湧水やしみ出しを伴う吹付表面の剝落が確認される (写真3右)。したがって、この変状付近が従来からの水みちであり、

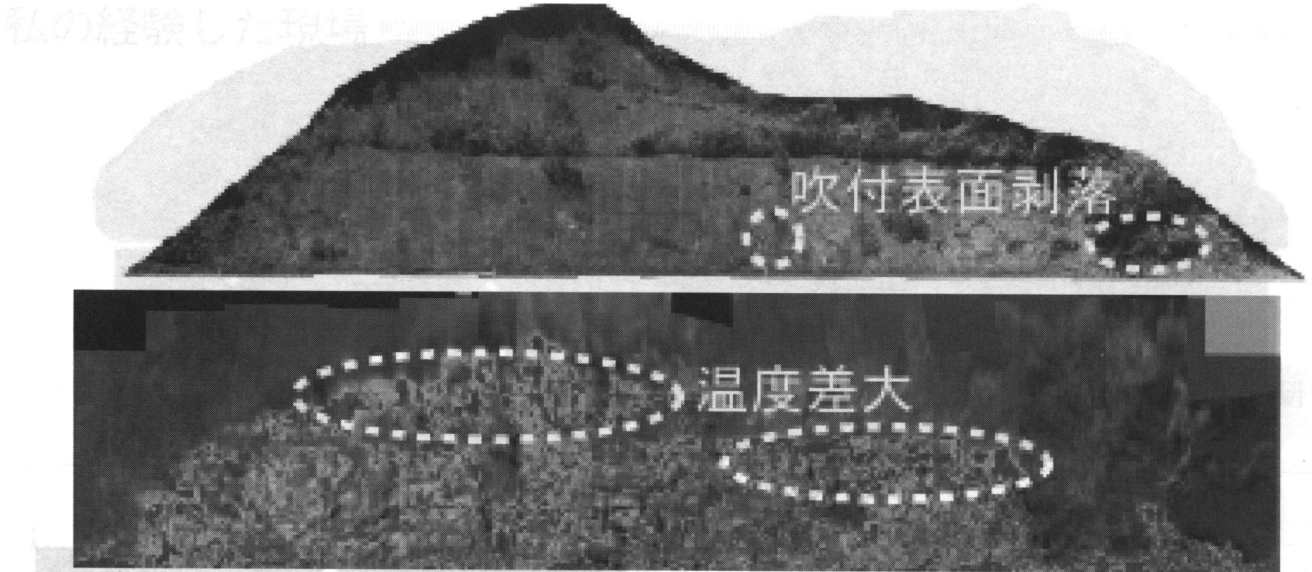


図3 のり面Cの熱赤外線画像解析結果

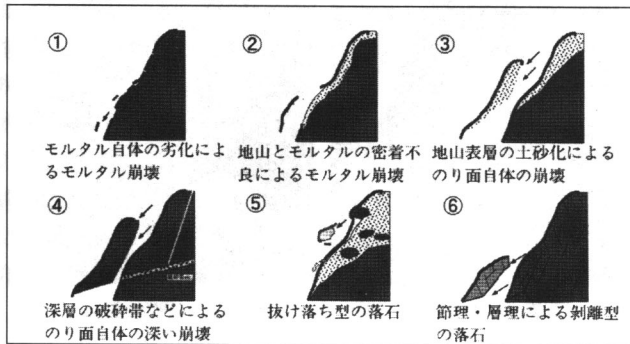


図4 吹付のり面の崩壊形態分類²⁾

凍結融解作用により同じ箇所再度変状を発生させるものと考えられる。

③ 熱赤外線画像診断結果 (図3)

湧水・しみ出しを伴う変状箇所の表面は常に湿潤状態であるため、温度異常としては現れにくい。一方上段および小段のり肩付近では温度異常が認められ、空洞化している可能性がある。

4. 吹付のり面の崩壊形態

モルタル吹付のり面の崩壊形態は、地山の風化条件に強く依存し、おおむね6パターンに分類される²⁾。図4に吹付のり面の崩壊パターンを示す。

上記の調査結果に基づき、各のり面で懸念される崩壊形態を図4に従って分類した。また、各のり面に対応した対策を提案した。表3にまとめて示す。

5. まとめ

熱赤外線画像診断は、吹付モルタル背後に発生した空洞の検出に特に有効な手法であり、非破壊で広範囲を効率よく調査できる、といった利点を有する。しかし、吹付モル

表3 各のり面における崩壊形態および対策工

	のり面A	のり面B	のり面C
地山地質	花こう岩 マサ化の進行 受け盤方向の亀裂卓越	頁岩 風化が進行し粘土化	安山岩 垂直方向の亀裂が卓越
崩壊形態	図4のうち ③マサ化による斜面の崩壊 ⑥花こう岩の亀裂拡大による崩壊	図4のうち ③粘土化により土圧が発生、はらみ出しを助長する	図4のうち ①凍結融解作用による吹付表面の剥落 ⑥垂直亀裂から転倒崩壊を発生
対策	全体を吹付のり枠工で更新	安定勾配で切り直す。もしくは吹付のり枠工・ロックボルト	吹付のり枠工 湧水箇所では栗石詰等で対処

タル背後の変状が全て空洞化を伴うわけではなく、また、空洞箇所が湧水を伴う場合は温度異常として検出されにくいことが本調査においても明らかになった。

モルタル吹付のり面の健全度は背後の地質に大きく依存している。したがって、熱赤外線画像から空洞の有無や規模を判定する際には、

- ① 地山の岩種
- ② 地山の風化程度や亀裂頻度・方向
- ③ 湧水の有無

を可能な限り現地踏査で確認しておく必要がある。

今後は、こうしたモルタル吹付のり面における熱赤外線画像診断の事例を重ねて、熱赤外線画像診断の信頼性をさらに高めていきたい。

引用・参考文献

- 1) 建設省土木研究所：熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル, p. 16, 1996.1.
- 2) 建設省土木研究所：熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル, p. 7, 1996.1.

地質構造要素を重視した 急崖岩盤斜面の安定度検討

おお おか かず とし*
大 岡 和 俊*
い とう たかし**
伊 藤 孝**

1. はじめに

筆者らは徳島県を中心に地質調査や地質コンサルタント業務に携わっている地質系学科出身者である。したがって、担当する業務についても絶えず土木系出身者では気づかないとみられるような地質現象を克明に記載し“地質的センス”を色濃く出して報告するよう心がけている。

今回、私の経験した現場の中から、地質構造要素を重視した急崖岩盤斜面の安定度検討の一例を紹介する。

2. 業務内容の概要

業務の実施内容全体は次のとおりである。

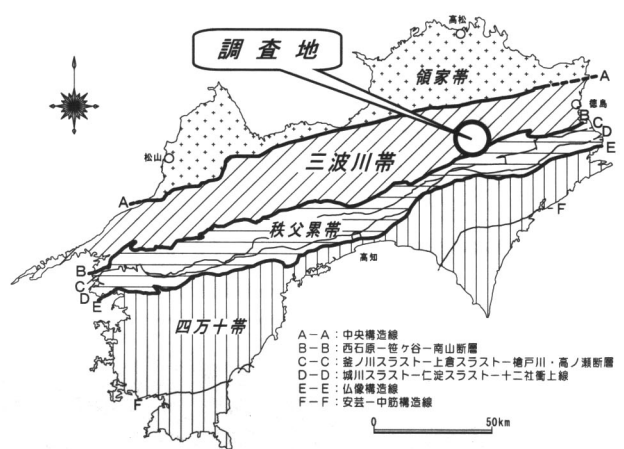
- (1) 測量：路線測量，用地測量
- (2) 地質調査業務：ボーリング6カ所（延72m）
- (3) 設計業務等：地すべり解析（地盤特性検討，機構解析，安定解析，対策工法選定），落石防護網詳細設計，法面工予備設計，アンカー付き場所打ち法枠詳細設計，報告書作成

3. 調査対象地の位置，地形，地質の概要

当調査対象地は，国土地理院発行2.5万分の1地形図「阿波川井」に収録されている徳島県の北部のほぼ中央付近に当る穴吹川の中流域に位置する。

調査地周辺は，壮年期地形に相当する急峻な山岳地域である。谷は深いV字渓谷を成し，斜面は垂直壁（一部オーバーハング箇所を含む）から45°前後の高角度の急崖を形成する岩盤斜面が連続する。現地は，この穴吹川の下刻により形成された急崖岩盤斜面に沿って穴吹町から「国定公園剣山」に向う一般国道492号の道路斜面であり，国道を含む斜面が地すべり防止区域として指定されている。

地質は，東西方向の帯状構造となっている四国の地質帯の内，中央構造線の南側に分布する三波川帯の結晶片岩類から成り（図1），後述する各種地質構造要素の卓越する異



※四国地方土木地質図編纂委員会「四国地方土木地質図」¹⁾を参考に作図

図1 調査地位置図

方性の著しい連続岩盤壁で構成されている。

結晶片岩類の岩種は，泥質の通称“黒色片岩”と海底火山噴出物起源の“緑色片岩（塩基性片岩）”，さらにはそれらの互層となっている。岩石の工学的性質を支配するとみられる変成度は比較的 low，点紋（曹長石斑状組織）の晶出には至っていない。また，急崖斜面に露出する岩盤は，わずかに風化している程度であり，新鮮で堅固な岩盤である。

岩盤斜面には浮石（φ100 cm）が目立ち，斜面凹地や沢沿いには急崖斜面からの転石（φ30～50 cm）が散在しており，落石の危険を感じさせている。

地表近くの被覆層は，所々薄い崖錐堆積物として斜面の凹地や沢沿いに少量分布するのみで“表土”もそのほとんどが流出している。

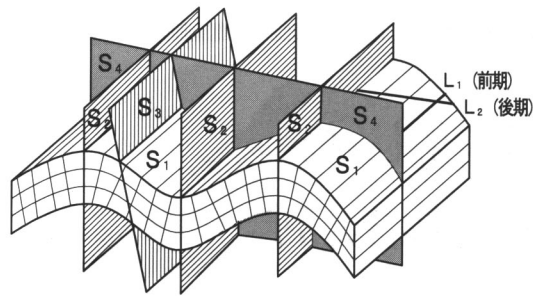
4. 調査対象地における地質構造要素

Tuener and Weiss (1963)²⁾によれば，四国の三波川帯のような結晶片岩類に見られる一般的な地質構造要素としての“面構造”や“線構造”といった構造要素は，面構造4種類，線構造2種類が識別される（図2）。

これらの内，岩盤（斜面）崩壊，落石といった岩塊分離と密接な関係を示すものとしてS₃面（破断劈開面）とS₄

* (株) サンプルーン・プラン

** 同上



- 面構造
- S₁面(層面片理面)…いわゆる地層面、堆積面
 - S₂面(軸面片理面)…褶曲軸に当る面
 - S₃面(破断劈開面)…剪断破壊による面
 - S₄面(節理面)…S₁, S₂, S₃と直交する胴切状の割れ目
- 線構造
- L₁…S₂褶曲時に生じたりニエーション
 - L₂…その後の造構造運動により生じたりニエーション

図2 地質構造要素説明図

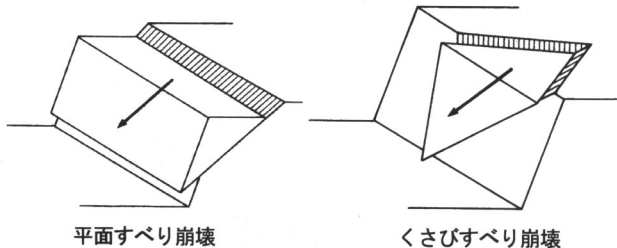


図3 すべり等による崩壊形態³⁾

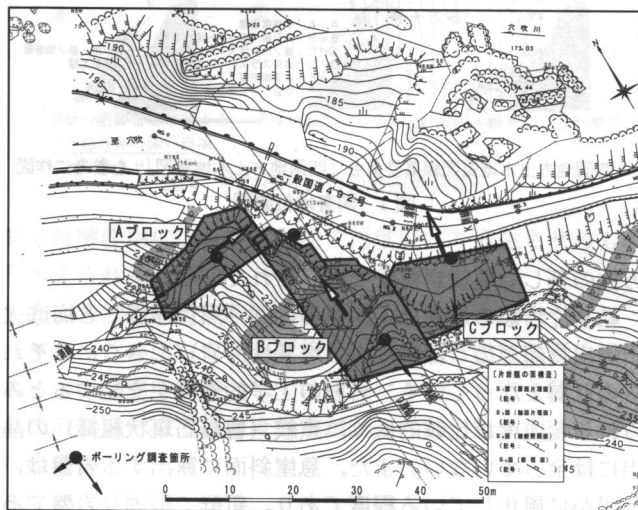


図4 調査平面図

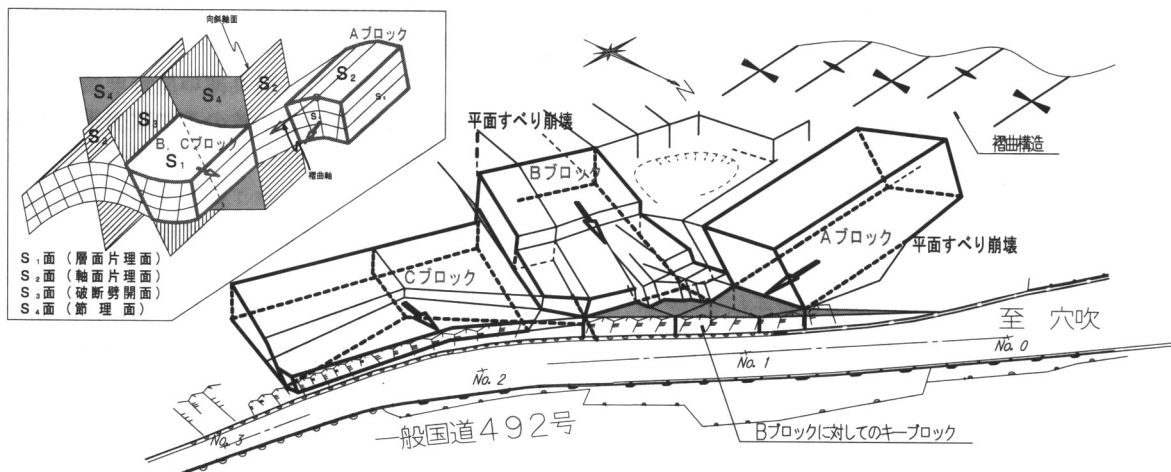


図5 岩盤崩壊(岩盤すべり)機構解析模式図

面(節理面)が挙げられる。この2つの面構造あるいはS₁面(層面片理面), S₂面(軸面片理面)を加えて2面~4面で開口, 分離すると不安定岩盤斜面となる。これら面構造で囲まれたブロック岩塊は, その置かれた位置と面構造の傾斜方向により不安定岩塊の動向範囲方向が支配され, “平面すべり崩壊”や“くさびすべり崩壊”が発生する(図3)。

調査対象地内にもみる岩盤斜面では, 上記線構造L₂を除いてはかなり明瞭に識別され, 連続する岩盤斜面の内, 不安定岩塊を特定し, その各々の岩塊について前記した地質構造要素を基にA~Cと3つのブロックに区分し, 安定化対策を検討した。

これらの関係を, 図4の調査平面図と図5の岩盤崩壊(岩盤すべり)機構解析模式図に示す。

5. 各ブロックの概要

表1に不安定岩盤ブロックの概要を示す。各ブロックの不連続面, すべり面, すべり方向, すべり角度および崩壊形態の各要素は, 地表踏査の結果に既往調査結果も加味して決定した。

A, Bブロックの最急すべり方向の代表断面を図6, 7に示す。なお, 図中のボーリング結果は, 既往調査分も加えて示している。

6. 噴煙トレースによる岩盤(塊)分離面の連続性確認

ボーリングコアには多数の面構造が確認される。これら

表1 不安定岩盤ブロックの概要

ブロック名	不連続面	すべり面	すべり方向	すべり角度	崩壊形態
Aブロック	側部: S ₂ , S ₃ 背後: S ₄	S ₁	東方向	20~30°	平面すべり
Bブロック	側部: S ₄ 背後: S ₃	S ₃	北方向	45~60°	平面すべり 座屈
Cブロック	側部: S ₄ 背後: S ₂ (S ₃)	S ₃	北方向	20~30°	平面すべり

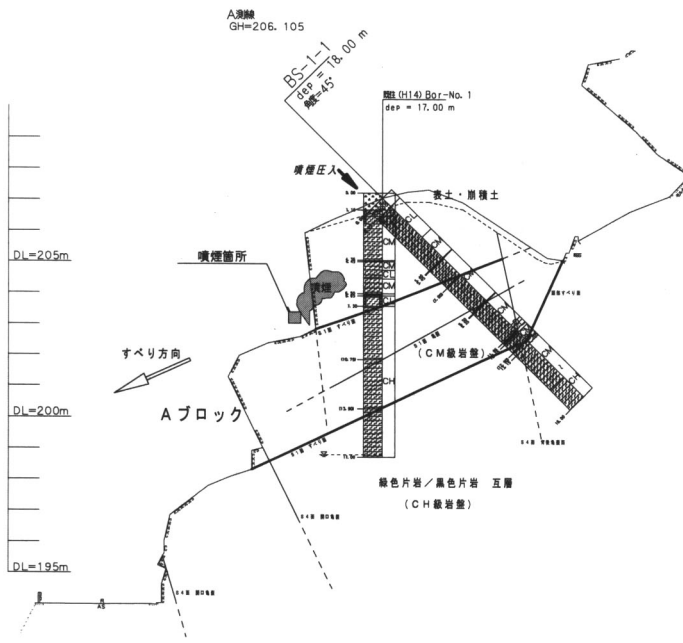


図6 Aブロック断面図

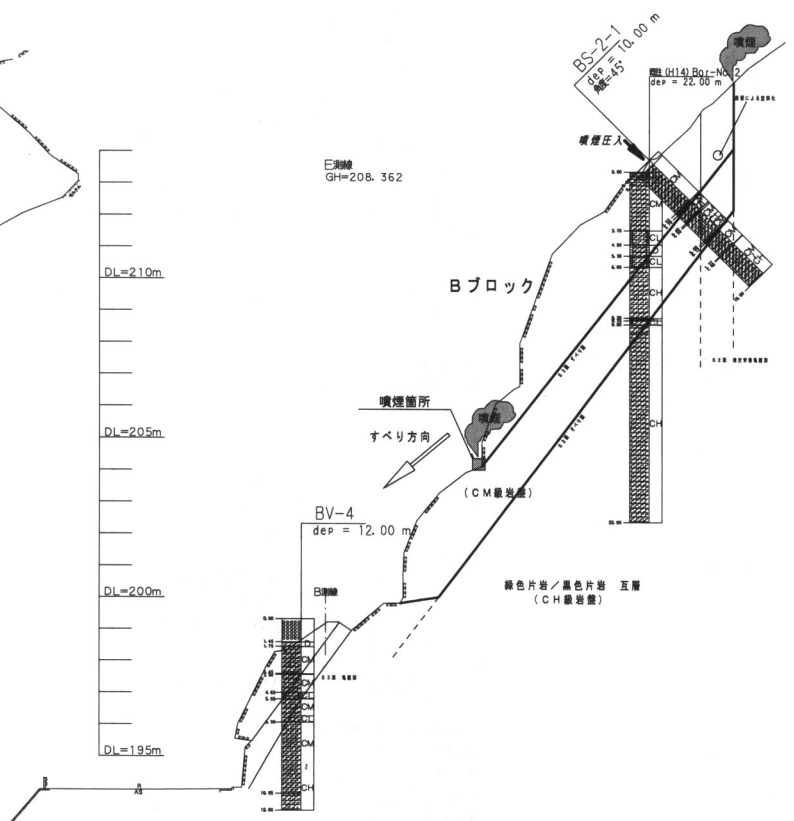


図7 Bブロック断面図

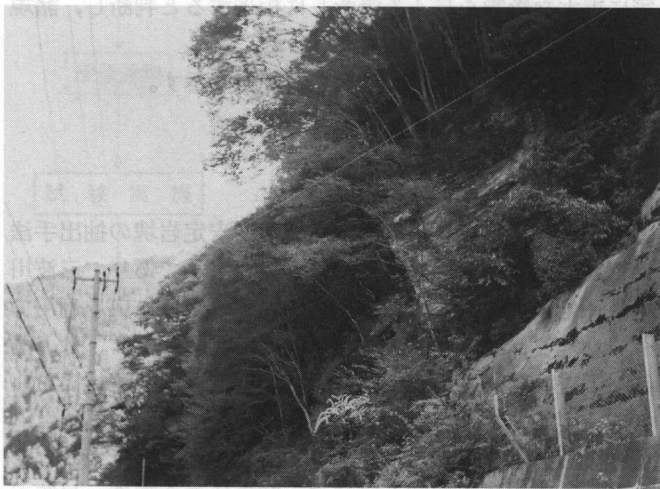


写真1 Aブロック全景 (側方より望む)

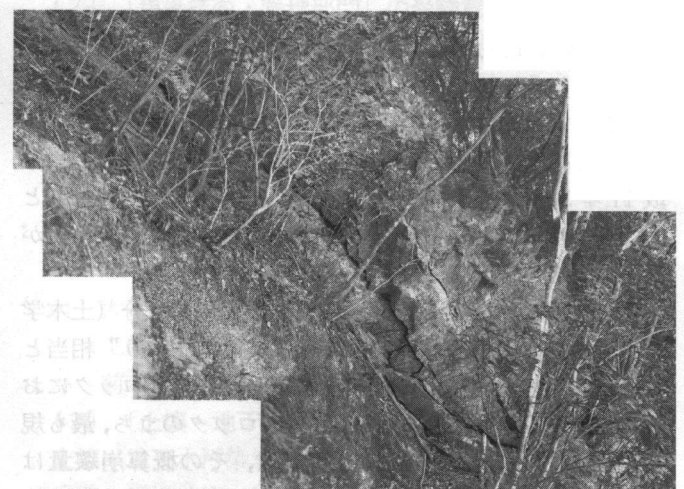


写真2 Bブロック全景 (側方より望む)

の面構造は、密着状態から最大20cmの開口を伴う分離面として認識される。ボーリングコアと面構造の関係を表2に示す。

地表部で確認した亀裂とコアで確認された面構造の対比は、表2に示す特徴について注意深く観察することにより、ある程度は可能なものと思われる。しかし、その連続性については不明である。そこで、ボーリング孔内に噴煙を圧入し、どこに噴煙が出現するかの追跡調査(噴煙トレース)を行い、開口亀裂の連続性と空間分布を把握した。

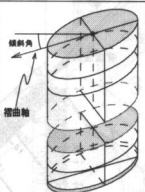
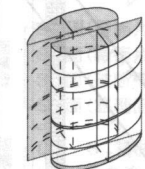
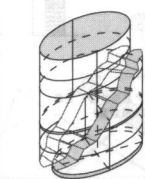
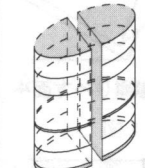
写真3に噴煙トレースの状況を示す。

この結果、図6, 7に示すように当初の見込位置(連続亀裂)に噴煙の排出が確認され、地表踏査、ボーリングコア観察結果と併せて総合的に判断し、不安定岩盤(塊)の形状を決定した。



写真3 噴煙トレーサーによる分離亀裂確認状況

表2 ボーリングコアと面構造（亀裂）の関係

面構造区分	ボーリングコアでの現れ方	亀裂の性状
S1面		<ul style="list-style-type: none"> ・堆積層構造、片理面構造と一致する。 ・亀裂面は、平滑である場合が多いが、微褶曲構造により亀裂面が波打つ場合もある。 ・亀裂面には、流入粘土（土砂）は少ない。 ・すべりによる破砕を有する場合がある。 ・亀裂面には軸方向にリニエーションが見られる。
S2面		<ul style="list-style-type: none"> ・褶曲軸方向に直交して発達する。 ・亀裂面は、平滑である場合が多いが、微褶曲構造により亀裂面が波打つ場合もある。 ・亀裂面には層面片理面が現れる。
S3面		<ul style="list-style-type: none"> ・層面片理面と斜めに交わる。 ・亀裂面は、微褶曲が発達すると非常に粗い場合が多い。褶曲が乏しいと平滑な場合もある。 ・採取コアは礫状化している場合が多い。 ・すべりによる破砕を有する場合がある。 ・亀裂面には流入土砂が付着している場合が見られる。
S4面		<ul style="list-style-type: none"> ・褶曲軸と直交方向に近い高角度で発達する。 ・亀裂面は、平滑である。 ・連続性が高く、表面に近いところでは開口している場合が多い。 ・亀裂面には層面片理面が現れる。 ・亀裂面には流入土砂が付着している場合が見られる。

7. 各ブロックの安定度検討

上記で得られた各不安定岩盤（塊）の安定度評価は、日本道路協会刊「道路土工、のり面工・斜面安定工指針」（平成11年3月）⁴⁾の判定基準に従い、A～Cの各ブロックとも「安定度区分A」に相当すると判断し「対策工の検討が必要」との結論に至った。

すべり面の形態としては、岩盤崩壊の形態区分（土木学会）で示されている平面的な“椅子型直線すべり”相当とし分離想定岩盤（塊）の規模を特定した。各ブロックにおける規模を表3に示す。A～Cの3ブロックのうち、最も規模の大きいものは“Bブロック”で、その概算崩壊量は3,350 m³である。

なお、通常安定度の検討に必要な地下水位は、既往調査結果を含めていずれも“想定すべり面以下”であり、安定解析上、水位の影響はないものと判断して検討した。

各ブロックの安定解析は、「斜面防災・環境対策技術総覧」（産業技術サービスセンター2004年2月）⁵⁾の『① 斜面崩壊の兆候が顕著、すなわち現状安全率が1.0に限りなく近いこと、② すべり面の位置が特定されていること、③ 逆算時の荷重条件（降雨、地下水位、地震など）が明らかなこと』に準拠して強度定数を極限平行法の安定計算による逆算で算出、対応することにした。

岩盤強度としては、すべり面の平均強度として算出した。現状安全率は「崩壊ぎりぎりの状態であらうじて斜面が保

表3 不安定岩盤ブロックの規模

ブロック名	規模			
	斜面長 (m)	幅 (m)	深さ (m)	概算崩壊量 (m ³)
Aブロック	22 m	10 m	12 m	2,460 m ³
Bブロック	42 m	14.5 m	5.5 m	3,350 m ³
Cブロック	30 m	18.5 m	4.5 m	2,500 m ³
合計				8,310 m ³

表4 必要抑止力一覧

ブロック	測線 不安定岩塊	必要抑止力 P _r (kN/m)
Aブロック	A_全体	414.0
	A_上部のみ	121.9
Bブロック	D_全体	773.7
	E_全体	658.2
Cブロック	E_全体のみ	328.4
	I_全体	306.3
	K_全体	334.4

持されている」という視点から F_s=1.0 と仮定した。また計画安全率は、本斜面が位置する国道が穴吹町から木屋平村を結ぶバス路線であることから「重要な道路、河川、人家に重大な影響を与える箇所」に相当すると判断し、諸規準に照し合せ、F_s=1.2 を採用した。

表4に各ブロックごとの必要抑止力を示す。

8. おわりに

今回紹介した検討事例中で用いた不安定岩塊の抽出手法は、地表踏査をベースにした基本的な手法であり、三波川結晶片岩類に限らず、面構造の発達する岩種に広く適用できる。地質構造の理解、すなわち“地質的センス”は、高価な調査機器を用いた手法による高度な計測や解析においても重要であると認識している。

今後も土木技術における地質学の重要性をPRするとともに、地質現象の理解を通じて、解析法の合理性、対策工法の経済性、さらには事後の安定性・環境問題も包括して提案したい。

参考文献

- 1) 四国地方土木地質図編纂委員会：四国地方土木地質図、平成10年3月。
- 2) Turner and Weiss: Structural Analysis of Metamorphic Tectonites, McGraw-Hill, 1963.
- 3) 土木学会岩盤力学委員会：岩盤斜面の安定解析と計測、土木学会、pp. 4～5, 1994.
- 4) (社)日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針、p. 340, 平成11年3月。
- 5) 斜面防災・環境対策技術総覧編集委員会：斜面防災・環境対策技術総覧、p. 263, 2004.