

地質調査

'09 第 3 号 [小特集] 防災・維持管理分野に係る最近の調査技術

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

人と社会と地球の 持続的発展に貢献するために

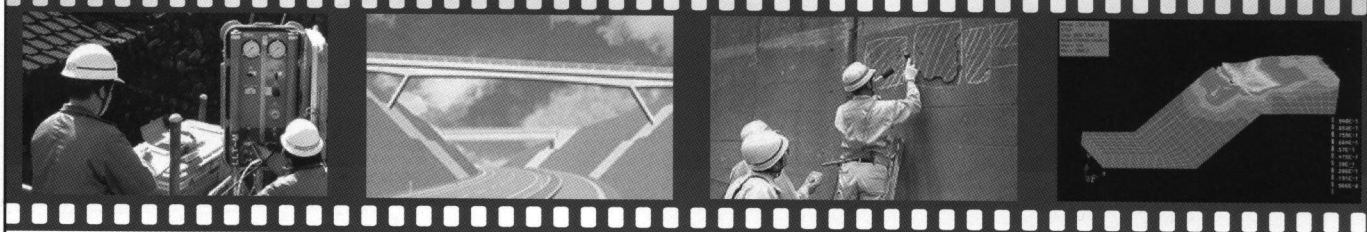
21世紀の今、私たちを取り巻く環境は地球規模の諸問題に直面しています。

地球温暖化を始めとする環境問題。

大規模地震、異常気象等に伴う災害問題。

石油に代表される化石燃料の枯渇化等のエネルギー問題。

私たちは「地球と人の調和を考える」をミッションとして、CSR（企業の社会的責任）を重視した経営により、安全・安心・快適な社会の実現に貢献してまいります。



 株式会社
ダイヤコンサルタント
<http://www.diaconsult.jp>

■ 本 社
東京都千代田区岩本町 1-7-4
Tel: 03-5835-1711 Fax: 03-5835-1720

巻頭言	構造物の維持管理と検査・調査技術 独立行政法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ長	吉岡 淳	1
総論	防災・維持管理分野に係る地質調査技術の適用と 今後の取り組み 大阪市立大学大学院理学研究科都市地盤構造研究室	原口 強	2
小特集	防災・維持管理分野に係る最近の調査技術 道路防災マップを用いた点検箇所の スクリーニング手法について	福井謙三	5
	河川堤防調査への統合物理探査の適用	林 宏一 稲崎富士	11
	河川堤防の統合物理探査適用検討委員会		
	GPS を用いた斜面変位計測サービスについて	岩崎智治	17
	地下空洞の調査技術の現状と課題	山本高司	23
	コンクリート構造物の非破壊・微破壊試験 による検査・診断	河野 寛	28
教養読本	国土地盤情報検索サイト (KuniJiban) による 地盤情報の提供とその利用	倉橋稔幸 佐々木靖人 稲崎富士	34
やさしい知識	国土交通省緊急災害対策派遣隊 (TEC-FORCE)	藤田 司	37
私の経験した現場①	河川堤防の開削調査	荒井寿文	39
各地の博物館めぐり	茨城県つくば市「産業技術総合研究所 地質標本館」 —地質調査の研究成果を社会へ—	利光誠一	41
車窓から見る地形・地質	駒ヶ岳と大沼国定公園 北海道渡島支庁 JR 北海道, 函館本線 (函館一森)	関根幸博	43
大地の恵み	悠久の時を越えて恵みを与える讃岐岩 十二律の音階を奏でる石琴	橋野直二 増田剛人 中越寛行	45
私の経験した現場②	グラウンドアンカー極限周面摩擦抵抗 τ 値の推定	向出修輔	47
会告	第44回 地質調査技士資格検定試験 396名が合格		51
	地質調査技士資格検定試験 合格者発表		52
	地質調査技士登録更新講習会 9月10日受付開始		55
	地質情報管理士資格検定試験 受験願書受付開始		
地質と調査	2007 第1号 (111号) ~2009 第1号 (120号) 目次集		56

小特集 地質調査業の課題と将来

低価格競争の実態と品質確保の取り組み

これからの競争力

労働災害と地盤

地質調査技術の伝承

地域再生プロジェクトに対する地質技術者の役割

性能設計に向けた地盤調査

生活基盤と地質調査

高齢化する世界と地質調査業のビジネスチャンス

教養読本 東京スカイツリー

やさしい知識 CO₂ 地中貯留

各地の博物館巡り

大地の恵み

車窓から見る地形・地質

私の経験した現場

構造物の維持管理と検査・調査技術

独立行政法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター
 橋梁構造研究グループ長

よし おか あつし
 吉 岡 淳

わが国では高齢化社会への対応が重要な政策課題としてとらえられているが、社会基盤施設の高齢化も、今後、確実に、かつ急速に進行してくる。限られた財政制約下では適切な維持管理による機能保全、長寿命化が不可欠であり、これまでのような重大な損傷の発生への事後的な対応から、予防保全型の維持管理への転換が求められている。土木研究所では、2008年4月に、構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)を設置し、そのために必要な技術を中心に研究開発を行っているところである。

維持管理は、既にある構造物をこれからも使い続けるためにどのようにしたらよいかという技術である。その基本を知ること、今の状態はどうであるのかを正確に把握することである。それに基づいて、これからどのように劣化が始まり、あるいは、進行するのかを予測し、いつの時点でどのような対応を行うのがよいかを判断していく。適切な時期に、効率的・効果的な補強・補修を行うことで、構造物の寿命を引き延ばし、ライフサイクルを通じた最小のコストで機能提供を行い得る。

直轄橋梁では、2003年度以降、全橋を対象に原則5年毎の定期点検を行ってきている。対象とする部位、部材に応じて、近接目視を中心とする手法で損傷の状況を把握し、対策区分を判定、必要な所見を記録する。これに基づき、あるいは、必要に応じ詳細な調査を追加し、ライフサイクルコスト等を考慮して維持や補修等を計画的に実施していく。

一方、構造物の内部などそもそも目視での検査が不可能な部位の状態把握や、目視で発見された損傷程度をより詳細に調査するための検査手法に、非破壊検査がある。弾性波や超音波、電磁波などを用いた様々な検査手法について、これまで

も多くの研究・開発がなされてきている。手前味噌であるが、CAESARにおいても特許申請中の開発技術を有している。ただ、一般的には機器の性能や検査者の技量などの様々な条件が検査精度に影響を及ぼすなど、まだまだ課題も多く、非破壊検査が確立された地位を得たといえる状況には至っていない。

しかしながら、精度の良否が全てではない。例えば、一般的なT桁橋で、プレストレスが一定値以上であれば大きな性能低下はないとの試算例もある。この場合、それを保証するに足る精度が求める性能である。構造物の応答特性や構成部材の挙動、材料的な特性などから考えて、何がどの程度わかっていけばということがより明確に示されることが、検査機器そのものの開発とともに、その表裏一体の関係として重要なのである。

また、他分野に目を転じると、様々な高度な非破壊検査技術が実用化され、一連のルーティーン of 検査にも組み込まれている。医療分野における、とりわけ昨今の、飛躍的な機器開発の進歩の状況に比べ、土木分野での技術開発の遅れは明らかである。しかるに、そうした開発実績のある分野からの技術移転は容易に進んでおらず、また、既存技術の改良や、新たな技術開発への動きにも目を見張るほどのものはない。

今後、高齢橋の急激な増加に伴い、その状態把握の必要性はますます高まる。潜在的ニーズは大きいはずである。他分野技術の取込みを、併せて、既存技術の改良、新技術の導入を促進する仕組み作りが重要となる。CAESARでは、他分野からの参入も含め多くの機関に広く門戸を開放する形で、実橋梁等での非破壊検査の適用性を調査する場づくりを考えている。技術開発の加速に向け、広範な方面からの参加・協力を得た取組みが進むことを願っている。

防災・維持管理分野に係る地質調査技術の適用と今後の取り組み

はらぐちつよし
原口強*

社会資本が支える経済成長と安全・安心

日本の経済成長は、道路、橋梁、ダム等の社会資本の整備によって支えられてきた。一方、わが国は、地形地質的にみて、豪雨、洪水、地震、火山噴火などの自然災害を極めて受けやすい地理的な場所に位置する。このため、自然災害を軽減するための防災施設が長年、営々と整備され、その結果、国民の生命・財産が守られてきた。

今後とも安定した経済成長と安全に安心して国民が生活していく上では、防災施設を含めたこれらの社会資本の機能が将来にわたって継続的に担保される必要がある。

しかしながら、現在これらの社会資本は一定のレベルで整備されている一方で、各種構造物の老朽化に伴う機能低下が顕在化し、維持、管理、保全、補修分野への投資が急速に拡大すると予測されている。たとえば西欧諸国並の水準を見れば、将来的には、建設投資の3割程度を維持管理分野が占めるとされている。

このような背景から、本論では、防災・維持管理分野に係る地質調査技術とその関連技術についての適用ならびに今後の取り組みを、(社)全国地質調査業協会連合会の維持管理に関する委員会や「地質調査業における性能設計への対応検討事業」委員会での議論や成果を踏まえて述べる。

防災・維持管理分野における施策の例

ここで、国の施策の例をみてみよう。国土交通省では、高度成長期に多数建設された道路構造物の更新時期の平準化、トータルコストの縮減等を目指して、道路の管理手法にアセットマネジメントを早期に導入する等、更新時期に対応した効率的・効果的な道路の維持管理に取り組んでいくこ

ととしている。

また、その基礎となる、道路構造物の点検、健全度評価、劣化予測等の各段階において非破壊点検手法を含めた高精度で効率的な技術開発と新たな技術の積極活用を図ることとしている。

この方向性は、道路構造物に関わらず、全ての公共構造物の維持管理にも当てはまり、他の官庁、自治体の管理する構造物にも波及していくものと思われる。

道路舗装を例にとると、全国で莫大な面積を有しており、しかも比較的短期間での維持・管理・修繕を要する分野である。道路の轍、ひび割れ等の画像撮影・分析を効率的に行う調査手法を開発やその調査結果から解析・分析、維持管理・補修計画に至る一連の舗装の維持管理システムの開発・確立などが思考されている。

このように、開発・建設から防災・維持管理のステージへの急速な移行が起きており、今後もその傾向はますます強まることとなる。

構造物の検査・診断の考え方

社会基盤である各種構造物をできる限り安いコストで長く維持することが重要である。そのためには、構造物の劣化や変状を正確に把握し、的確な補修を実施することが必要となっている。さらに構造物によっては耐震調査を行う必要があるが、この際、設計の考え方が、仕様設計から性能設計へと大きく転換が行われており、その対応も必要である。

構造物も時間の経過とともに老朽化に伴う機能低下が顕在化するために維持、管理、保全、補修が必要となる。このことは、我々が人間ドックや定期健康診断を受診し、不具合があればその結果に応じて新たに専門医による診断や処方箋、投薬、あるいは手術が必要となることと同じ状況にある。

* 大阪市立大学大学院理学研究科准教授

社会資本整備事業によって構築されたコンクリート構造物、鋼構造物、土構造物等は、使用される材料も異なり、基礎地盤、基礎形式等も多種多様である。この結果、生じる変状・損傷・劣化の形態や発生原因も構造物の種類によって異なる。

重要なことは、こうした変状等がどういった原因で発生しているかを明らかにすることである。同じ変状でも、想定されるいくつかの発生原因のどれが真の変状原因であるかの究明がまず必要である。

検査・点検では、膨大な量を短期間で確実に効率よく実施する必要がある。このため、点から線、面の点検、接触検査から非接触検査、遠隔点検などへの展開により、大幅な効率化を目指す必要がある。診断では、検査結果から現状の劣化程度を判断し、今後の劣化の進行を予測し、最適な補修時期と方法を定めることが必要である。実際の診断は、現状の形状・材料強度などを調べ再解析することになるが、基礎などの地中構造物は形状測定が難しく、診断の障壁となっている。

防災・維持管理に利用される地質調査関連手法

地質調査技術の特徴は、一言でいえば、地下の不可視部分について時間的な情報を含め、多次元的に対象物を調査し、その結果に基づいて評価・診断できることにある。ここでは地盤および構造物等を対象に、一般的な地質調査手法から周辺技術を含めて、防災・維持管理に利用される地質調査技術の現状と今後の動向について述べる。

① ボーリングなど

ボーリング、サウンディング、各種原位置試験等の地質調査技術は一般的調査手法で維持管理に特化したものではないが、構造物の健全度の判定や維持管理手法を検討する手法として基本となる。

実際にはいくつかの手法と併用して行うこととなり、機器の小型化、調査の迅速化、価格の低減、調査労力の省力化、データ精度・規格の標準化、リアルタイム化などの技術開発が課題である。

ボーリング孔を利用する探査方法にボアホールカメラ・ビデオがある。構造物に孔を開ける必要があるものの、内部を直接確認する方法で確実な方法である。これまでは使用できる機器が高価で作業にも熟練した技術が要求されていたが、安価で簡便なもの開発が進み手軽に使える環境が整っており、今後一層の利用拡大が期待される。

② 物理探査

物理探査は構造物等を破壊せず調査する事ができ、維持管理分野への適用が期待できる手法であ

る。地中レーダー、弾性波探査、電気探査等がある。これらの分野では地盤の可視化技術が急速に進展しており、探査技術も2次元から3次元、そして映像化へと発展しつつある。

③ 非破壊検査

検査手法には、① 衝撃振動試験、② AE法、③ IT法、④ 磁粉探傷法、⑤ 超音波探傷法等がある。すでに多くは維持管理分野で活用されているが、今後重要性が一層増すと考えられ、簡易さと同時に更なる精度向上が求められている。

コンクリート非破壊検査を例にとると、ひびわれや剝離の検査には超音波法、打音法がある。同様に鉄筋のかぶり検査には、電磁誘導法、レーダー法が、鉄筋の錆の検査には、自然電位法、分極抵抗法等が用いられている。ほかにAE(Acoustic Emission)法による劣化診断、散乱エックス線法による非破壊診断などがある。

コンクリートは岩盤に比較すれば実測データの集積があり、更なる実績の積み重ねとデータの統合による測定精度の向上が期待できる。

④ 測量技術

主として変状調査に用いられ、リモートセンシングやGISを用いた測量技術、GPS、写真測量、光ファイバー、レーザースキャナによる変位計測が実用化段階となっている。その結果、遠隔地から広範囲の変状の把握や位置の確定が可能となり、特にのり面・斜面等の防災点検やモニタリングとしての利用が進んでいる。

例えばモルタル吹き付のり面老朽化調査では、熱赤外線調査、地中レーダー探査、3Dレーザースキャナ調査手法などの複数の手法を組み合わせ、精度の向上を図るとともに広範囲の調査を経済的・効率的に行なおうとする技術開発も進められている。植栽など障害物の影響の排除や調査精度の向上、簡易化・低価格化等が図られればさらなる拡大が期待できる分野である。

特にGISを用いた測量技術は、維持管理が総合的・包括的に行われる手法であり、大きくのびる分野と考えられる。

⑤ モニタリング手法・技術

防災・維持管理において行われているモニタリング手法の中で地質調査技術と関連が深いものは、のり面・斜面等の防災を対象とした技術がある。わが国では地震、水害等に伴う地盤災害が多く、防災対策におけるモニタリングの重要性は極めて高い。

事例としては、AE波形解析による岩盤モニタリング、土中光ファイバーセンサーによる斜面崩

壊モニタリング、光学ストランドを用いたコンクリート橋梁の挙動モニタリング技術による健全度評価、などがある。

⑥ 地質・地盤に関する解析・検討・設計技術

維持管理での調査・点検等の特徴として、既に構造物が存在することや広範囲に及ぶ点検が必要なことなどがあげられる。このため、物理探査や非破壊検査等のように非破壊の状態での調査・検査や離れた位置からの点検・調査が求められる場合が多い。

一方、維持管理における調査は現地における調査・計測結果だけでなく、その結果をどう判断し、維持管理に生かしていくかが重要となる。そのためには、測定結果の解析が重要であり、その結果をどのように判定するかがより一層重要になる。これらの調査結果や設計資料等をデータベースとして蓄積し、将来にわたって活用できるシステムを構築する必要がある。

そのほか、自然災害に対する個々の施設のリスク評価は、最も地質調査技術を発揮できる分野である。加えて情報防災においても、維持管理情報の提供、表示技術の開発の他、モニタリング装置の設置などで連携することになる。この際、例えば地すべりセンサーなどのモニタリング装置の開発、それらの設置方法などの技術開発も地質調査のテリトリーとなる。

⑦ 補修技術

点検・診断の結果、老朽化による不具合が判明すると、構造物の補修が必要となる。この際、地質調査技術が関与すべきものについて考えてみよう。まずは、地盤と構造物の接続部、あるいは地下の地盤そのものが対象として考えられる。その例としては、地中の空洞の処理、地盤変形防止などの工法開発がある。さらに斜面防災、地震防災などにおける、防災施設の補修も維持管理と防災分野と連携した技術開発である。

維持管理分野への性能設計対応

ここでは、(社)全国地質調査業協会連合会の「地質調査業における性能設計への対応検討事業」委員会の検討内容を以下に引用しながら、維持管理分野への性能設計対応について考えてみよう。

わが国における構造物の設計は、従来、仕様規定型で行われてきた。ところが、最近、性能規定型の設計方法に急速に変わろうとしている。特に耐震設計や耐震診断においてその傾向が強い。これは1995年兵庫県南部地震の際に大変強い地震動を受けて多くの構造物が被害を受け、それ以降、強い

地震動としてレベル2地震動のもとでも構造物を設計することになった事が大きく影響している。レベル2地震動のもとでは従来の設計方法が成り立たなくなり、構造物自体が持つべき性能を規定し、それに見合った設計を行う必要がでてきた。

構造物を建設する場合、計画、調査、設計、施工、維持管理の順に行われ、これらは相互に深い関係で結ばれている。

したがって、設計方法や施工方法などが変化すると、維持管理の方法もそれに応じて変化させることが必要となってくる。

このような性能設計への移行に対し、地盤調査や土質試験がそれに応じて変わる必要がある。例えば、構造物の変形量をもとにした性能設計においては、その強度だけでなく変形量を求めるような地盤調査、土質試験が行われるべきである。そのためには、新しい地盤調査・土質試験方法が開発され、世の中で認められ、広く用いられるようにならなければならない。

現段階での建築構造物、港湾構造物、鉄道構造物、地すべり構造物、河川構造物、等々における性能設計への対応には温度差があるのは事実である。しかし、性能設計で要求される地質情報の基本は、地盤の動的モデルに関する情報である。

すなわち、地震基盤までのS波速度構造モデル、地盤の動的特性値や液状化強度などである。こうした要求には、ボーリングとPS検層の併用による調査、微動アレー探査、液状化対象層からの不攪乱試料採取と室内土質試験などがあげられる。すでにこれらは既存技術ではあるが、さらに高精度かつ汎用性のある技術へ向けた取組みとその普及が望まれる。これは新規の構造物にとどまらず、既存構造物の地盤の動的モデルの確認、すなわち維持管理段階でのバックチェックに相当するもので、優先度を決めて順次確実に実施していくべきと考えられる。

おわりに

防災・維持管理分野に係る地質調査技術は地質調査業務としてだけでなく、リスク評価、マネジメント手法等のコンサルタント業務へと発展させる必要がある。

構造物の機能、利用者や第三者に及ぼす影響も考慮した維持管理システムの構築、調査手法・技術を含んだシステムとしての健全度調査体系の確立などの構造物管理者への提案などへの業務の発展も視野に入れておく必要がある。地質調査技術の発展の可能性は大きいものがある。

道路防災マップを用いた 点検箇所のスクリーニング手法について

ふくいけんぞう
福井謙三

1. はじめに

わが国の山間地を通る道路区間においては、落石・崩壊をはじめ岩盤崩壊、地すべり、土石流などの斜面災害が発生しており、従来より道路管理上の課題となっている。このため、道路防災点検に基づく対策工の実施や防災カルテによる点検も行われている。これらの施策により、斜面災害は全体として減少しつつあるものの、膨大な数にのぼる道路斜面がかかえるリスクを的確に評価する実用的な技術は未だ研究段階にあり、台風や梅雨前線に伴う豪雨などによっては災害が突発的に増大する傾向にある。

土木研究所を中心とした道路斜面防災 GIS 研究グループでは、更なる災害軽減を目指して、道路管理の実務に役立つ防災情報地図として、豪雨等の異常気象時における道路の弱点とその対応を明示した「道路防災マップ」のあり方を検討、試行して道路防災マップ作成要領(案)¹⁾としてまとめた。

ここでは、主にこの防災マップ作成要領の重要な作成過程である安定度調査を実施する箇所の選定手法について述べるとともに、道路防災マップの整備・普及に向けた課題についても触れたい。

2. 道路防災点検における点検箇所のスクリーニング

2.1 点検箇所のスクリーニング手法の位置付け

道路防災点検における各種災害に対する安定度調査は、災害発生要因とそれに対応する対策工の効果ならびに災害履歴から専門技術者が総合的に評価して行うこととしている。結果は最終的に、「要対策」、「カルテ対応」、「対策不要」の3段階に評価され道路防災対策の基礎的データとして活用されている。

この安定度調査は既往の維持管理資料を参考に、専門技術者が現地に出向いて詳細を目視により点検することを原則としている。全路線区間周辺を詳細目視点検することは非効率であるとともに現実的でないこともあり、安定度調査を行う箇所を対象路線から抽出する作業過程（スクリーニング）が道路防災総点検要領〔豪雨・豪雪等²⁾〕にも取り入れられている。スクリーニング作業は、この要領に規定された選定基準に従うものとされているが、災害発生要因が詳細現地踏査より前段階でどの程度十分に把握されているかどうかによって点検箇所としての採否に若干の任意性が生じる余地も否定できない。しかも、このスクリーニング過程で漏れた場合には、安定度調査を行わないため、道路防災管理上ノーマークとなるため、もっとも慎重に行うべき作業過程であるとも言える。

2.2 スクリーニング手法改善の検討事項と課題

平成8年度実施の道路防災総点検以降の道路斜面災害実績分析の結果、点検対象として抽出されていない箇所から発生した災害が過半数を占め、平成18年度道路防災点検(いわゆるフォローアップ点検)ではスクリーニング手法の改善が検討された(図1)。また、点検対象であっても災害の発生箇所、災害形態やその規模が想定外であったため災害に至ったケースもあり、これらも考慮したスクリーニング手法であることが求められた。ただし、ここでも広範で膨大な数にのぼる斜面災害要因をいかに効率的かつ合理的に抽出、記録して後続の安定度調査につなげるかが課題となった。

これらに関する共同研究成果の一部も考慮して、平成18年度道路防災点検では、「点検区間の選定」と「安定度調査箇所の選定」の2段階の絞

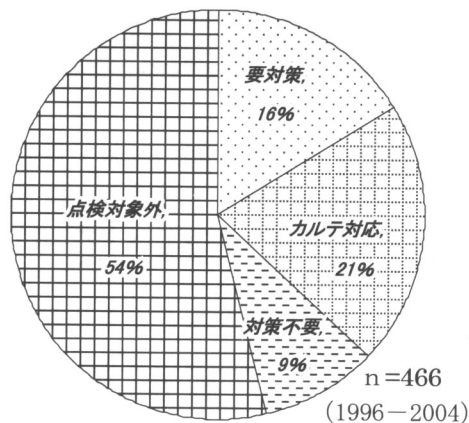


図1 災害発生件数の防災点検結果区分の割合¹⁾

込みを行うこととし、主に道路管理者が行う点検区間の選定においても基準や手法を規定するとともに、後者の絞込みにおいては、道路から視認し難い道路の後背斜面の災害発生要因は空中写真等による地形判読を行って情報収集をすることを新たに導入している。ここでは、この後者の絞込みの手法に関しての共同研究の検討成果を述べる。³⁾

3. 道路防災マップ作成時の点検箇所スクリーニング

点検箇所（安定度調査箇所）のスクリーニング手順と概要を図2に示す。以下、各段階に関して解説を行う。

A. 資料（机上）調査

1) 地域特性の把握（道路防災マップ基図）

地域特性の把握では、防災マップ作成区間における災害の特徴を把握し、点検対象項目（災害種別）と点検の着目点を明確にすることを目的としており、主に地形図と災害履歴その他から道路防災マップ基図を作成する。なお、この基図に今後の各段階での災害地形判読結果や既設対策工、安定度調査結果等の情報を重ね書きして行けば、最終的な道路防災マップになる基図である。

基図の仕様は、縮尺1/5,000程度を基本とし、道路への災害要因が潜在する場合には最大尾根筋から道路、または道路から沢筋までの範囲とする。地形図の媒体としては、路線の状況や地形の概要がわかるものであれば紙面によるものでも、電子情報によるものでも構わない。

一方、災害履歴については、その発生場所や被災範囲などを防災マップ基図に記載するとともに、災害の形態や規模、地形や地質などの素因や降雨規模などの災害誘因等についても一覧表等に適宜整理して、対象区間の災害特性の把握に資す

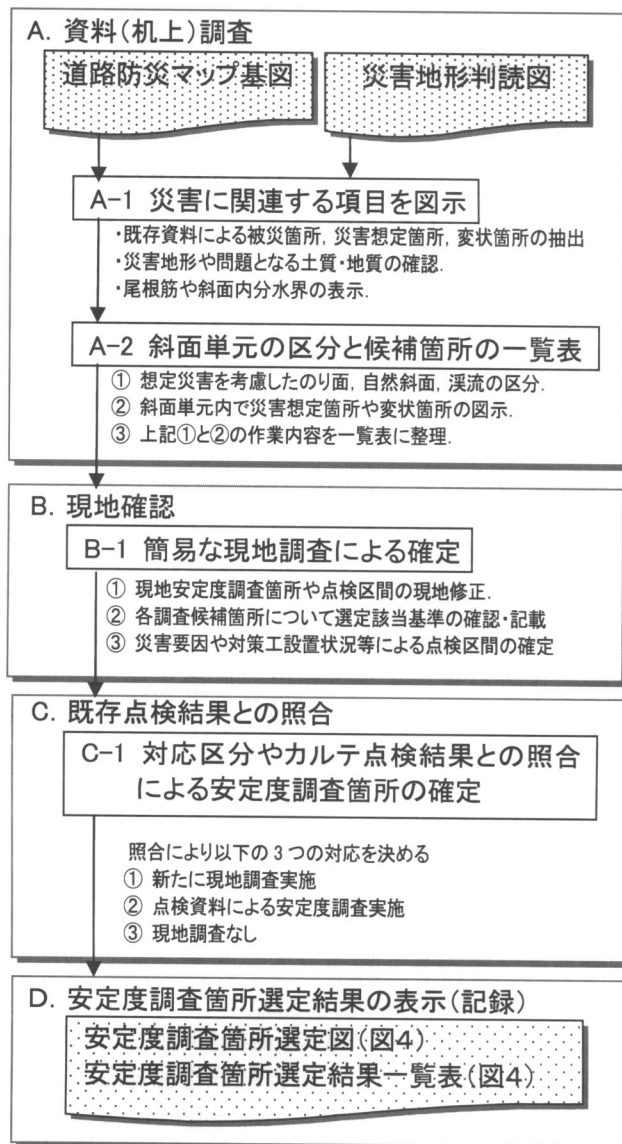


図2 点検箇所のスクリーニングのフロー

ることとする。

2) 地形判読（災害地形判読図）

机上調査における災害地形判読は、安定度調査箇所の選定に先立ち、どのような災害要因が点検対象区間（範囲）に存在しているかを把握し、災害の種別や形態とその発生範囲と影響範囲を想定する情報を得ることを目的としている。この際、地形判読によって斜面単元を極力正確に区分し、斜面上の災害発生範囲と道路延長における点検区間との関係を明確化することとしている。これらの判読結果は、上記の道路防災マップ基図に重ね書きし災害地形判読図として表示する。

3) 斜面単元による区分と点検箇所の細区分

上記1), 2)の結果を使用して、段階的に点検箇所（安定度調査の範囲）の区間を設定する流れを、図3に示した。以下、各STEPについて記述する。

STEP 1：斜面単元の設定

空中写真等の地形判読により対象斜面を傾斜、尾根や不明瞭な稜線、谷等から斜面単元として斜面を区分する。

STEP 2：地形判読結果・既往災害履歴等の明示

落石や崩壊の発生源や堆積域、岩盤崩壊や地すべり地形、土石流の危険渓流のほか、ガリー地形や植生不良等の各種災害に関連する地形要素を判読し記載する。

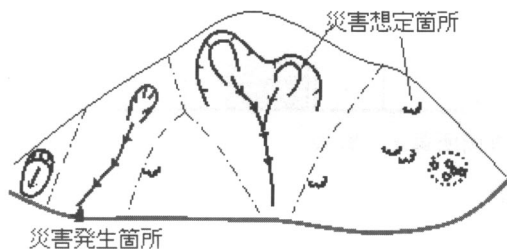
STEP 3：防災施設による斜面の細区分

道路沿いの対策工の種類や施工範囲（判読できない場合には、道路台帳や施工図面等から補完）から必要に応じて斜面を細区分する。また、のり面が存在する場合には、その背後の斜面との関係

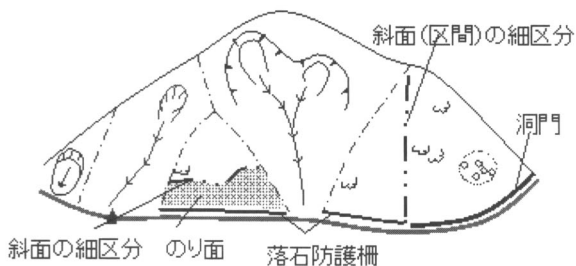
Step 1 分水界、尾根筋の表示・区分



Step 2 災害想定箇所・災害発生箇所の図示



Step 3 防災施設を考慮した細区分



Step 4 斜面単元区分、調査箇所の記号番号区分

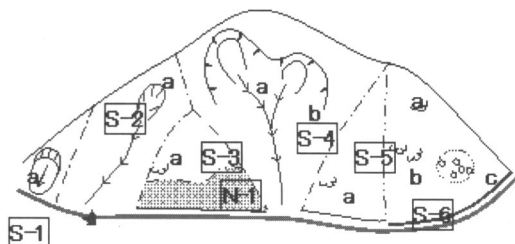


図3 斜面単元区分と点検区間設定の説明図

を明確にして区分する。

STEP 4：点検区間と安定度調査箇所の記号・番号付け

最終的に区分されたのり面 (N) や背後斜面 (S) に記号と通し番号を振る。また、各区内の災害地形 (a, b, c, …) にも通し番号 (記号) を付して区分する。

このほか、既往の防災点検や防災カルテ点検の範囲も併せて記載し、最終的に各斜面単元に対応した災害形態の有無と点検範囲を設定する。

B. 現地確認

机上調査で抽出された点検候補箇所の内容を現地にて確認し、必要に応じて修正する。点検対象項目や点検範囲、位置（距離標）もこの時点で確定させる。現地確認は主に路上から行い、机上調査から判断した各点検候補箇所が該当する選定基準も確定させるとともに、対策工施工範囲の確認や道路に面するのり面や斜面上の不安定要因が視認されれば適宜点検箇所として追加する。特に、対策工の劣化程度や最近の人為的な斜面改変、災害の兆候などの有無に関しては漏れなく確認する必要がある。

C. 既存点検結果やカルテ点検結果との照合

平成8年度道路防災点検より導入された防災カルテ作成とその運用が行われている箇所では新たな現地調査の必要性は乏しい。一方、既存の防災点検やカルテ作成時の想定災害の内容や災害発生想定範囲に違いがある場合には、不足箇所の追加調査が必要となる。この照合作業を通じて、その対応を判断する。

D. 点検箇所のスクリーニング結果の表示(記録)

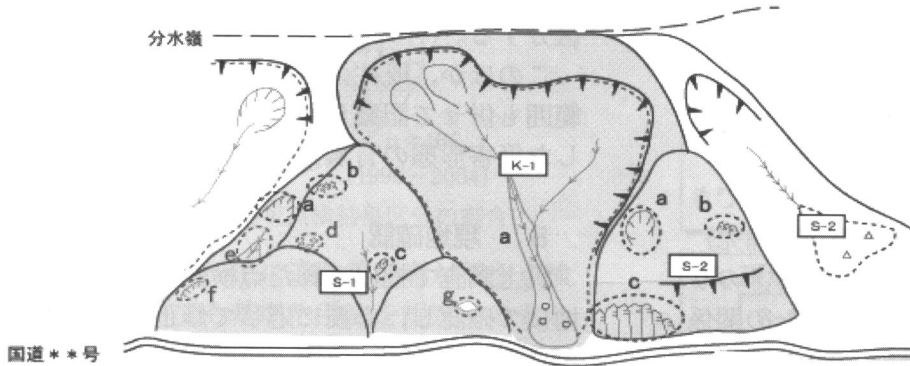
点検箇所のスクリーニング結果は、図4の安定度調査箇所の選定図と一覧表として表示することとした。安定度調査箇所選定図は、上述の道路防災マップの作成段階である災害地形判読図などを基本している。一方、その選定一覧表には、机上調査から現地確認、既存点検資料との照合と最終的な安定度調査の必要性の判断結果までの選定過程ごとの内容を示すとともに、該当する選定基準をも明示したものとしている。

なお、安定度調査箇所の選定基準には、点検対象項目ごとの基準のほかに、共通の基準が設けられており、(参考資料)点検要領(平成18年9月)²⁾に準じたものとしている。

原簿種	2010	2015	2010	2015	2010	2015
区間番号	S-1		K-1		S-2	
H8 施設管理番号、御合判断	N***A005		N***E005		N***AD10、N***B005	
現況 施設管理番号、管理状態	N***A005		N***E005		N***AD10、N***B005	
施設管理番号	N***A005		N***E005		N***AD10、N***B005	
点検対象項目	厚石・身堤					
	岩壁崩壊					
	地すべり					
	土石流					

HB要点検 HBカルテ対応 HB対策不要
 現況:カルテ継続区間

「現地点検」対象区間
 「資料点検」対象区間



凡 例	
プレスクリーニング結果	<input type="checkbox"/> a 点検対象候補抽出箇所 <input type="checkbox"/> 判断不能 判断不能部
スクリーニング結果	<input type="checkbox"/> b 現地確認に基づく抽出箇所
点検実施の判断	<input type="checkbox"/> 「現地点検」対象斜面 <input type="checkbox"/> 「既存資料点検」対象斜面

都道府県名	管理機関名	管理機関コード	路線名	道路種別																				
** 県	**土木事務所	*****	国道***号	一般国道(指定区域外)																				
区間番号	抽出箇所	1. 安定度調査候補箇所抽出結果	3. 抽出選定基準							その他・備考	施設管理番号	距離程	総合判断	5. 現況	6. 安定度調査実施の判断									
		2. 安定度調査箇所選定結果	抽出選定基準													施設管理番号	距離程	総合判断	5. 現況	6. 安定度調査実施の判断				
		現地確認に基づく選定箇所	抽出選定基準																					
		現地確認結果	抽出選定基準																					
			共通	落石・崩壊	岩壁崩壊	地すべり	土石流																	
			①②③④⑤⑥	①②③④⑤⑥	①②③④⑤⑥	①②③④⑤⑥	①②③④⑤⑥																	
S001	a	崩壊地形												N***A005	203.00 204.20	3	3	A	上部斜面					
	b	浮石群																						
	c	崩壊跡	c	崩壊跡																				
	d	転石群																						
	e	崩壊土・ガリ																						
	f	のり面上部崩壊																						
	g	のり面モルタル剥離																						
K001	a	谷頭崩壊・土石流堆											N***E005	204.20 204.51	2	2	B	渓流						
S002	a	崩壊地形											N***AD10 N***B005	204.51 205.08	1	1→2	A	上部斜面						
	b	浮石群・壁岩																						
	c	岩壁崩壊																						

図4 安定度調査箇所選定図(上)と安定度調査箇所選定一覧表(下)

4. 道路防災マップの普及に向けた課題

現行の道路防災点検の課題と道路防災マップの有用性については既にいくつかの報告がある⁴⁾。ここでは、この道路防災マップの普及の必要性和その課題について述べる。

4.1 道路防災マップの必要性

図5は直轄国道の災害件数と道路延長当りの災害発生頻度を示したものである。これによれば、延長あたり災害発生件数(発生頻度)で見ると、「要対策」や「カルテ対応箇所」と評価されていた箇所が、「点検対象外」や「対策不要」と評価されていた箇所の約7倍高い。このことは、防災対策工事は事前に対策の必要性が認められるこれらの発生頻度の高い箇所から行うことに合理性があることを示している。一方、図1でも示したように、災害件数では防災点検により何らかの対応が必要とされなかった箇所の方が多。このことは、今後のネットワークとしての道路防災水準を高める

ための維持管理手法としては、現行の手法だけでは必ずしも十分ではない一面を表している。

道路防災点検と防災対策が始まって既に40年以上が経過し、沿道の緊急性の高い危険箇所の対策はほぼ完了した路線では、中長期的に発生が懸念される想定外災害のリスク回避が相対的に重要となりつつある。落石崩壊などを主体とする道路の斜面災害では、他の人工構造物と異なり、経年的な自然地山の風化と対策工や排水施設の機能低下、伐採や造成などの人工改変のほか、突発的なゲリラ豪雨などの災害誘因も災害発生に大きく関与しており、地域特性だけでなく箇所ごとに災害要因を経年的に把握して管理することが必要である。そのための具体的な防災情報の把握・蓄積と緊急時の対応も支援するツールとして道路防災マップを位置づけることができる(図6作成例参照)。

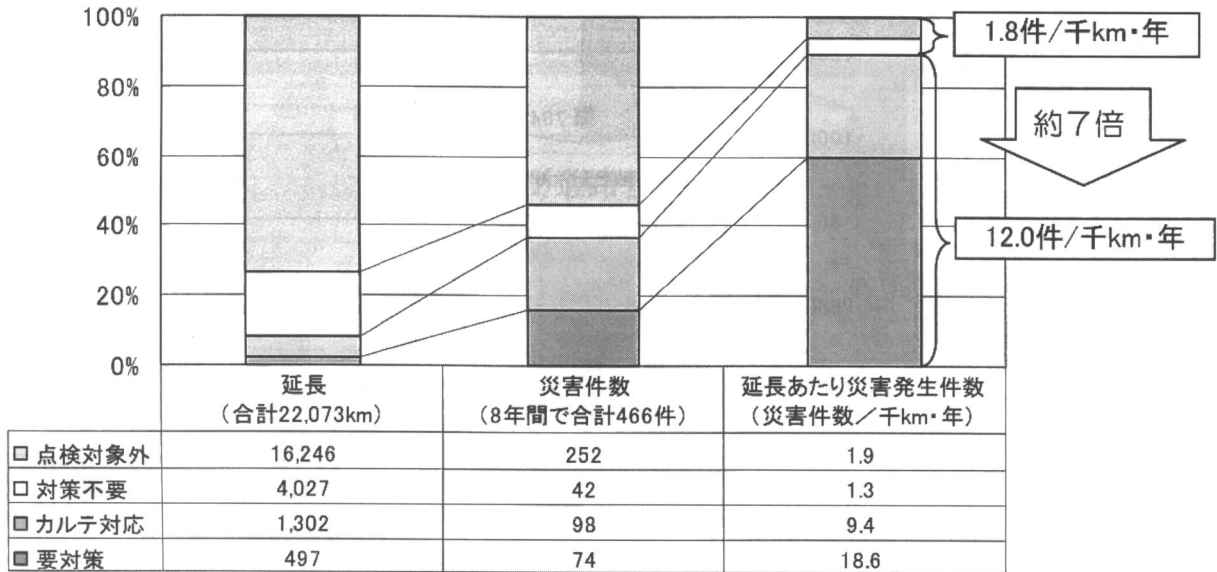


図5 H8年点検の評価区分毎の災害発生状況²⁾

4.2 道路防災マップ普及への課題

道路防災マップでは面的管理となるため、原則として道路を挟む尾根から谷までが防災管理範囲となる。従来、都市部を除き詳細な地形図を取得することは容易ではなかったし、この範囲を専門技術者が現地踏査することは、現実的には不可能であり、空中写真判読が平成18年度のフォローアップ点検時点の対応となっている。このマップの基図作成に関しては、近年の航空レーザ測量の著しい進歩が大きく貢献することは明らかであり、現地踏査とその精度の改善にも大きく寄与することが期待できる⁵⁾。

一方、道路防災マップ作成要領(案)では、基本的な現状把握と評価の手法に重きを置いて記載しており、GISを活用した防災関連情報のデータベース管理や緊急時のリアルタイム対応など、より道路管理者が必要とする事項に関しては具体的かつ実践的なものとなっていない。今後、各道路管理者のアセットマネジメント的視点に立った防災計画の中で個別に具体化すべき事項も多いと考えている。

また、平成2年度防災点検で導入された現行の「落石・崩壊」などの安定度評価法⁶⁾は、災害実績の分析を踏まえて点数評価を再評価する必要があると指摘されている。⁴⁾ただし、崩壊後に不安定性要因の情報を取得するだけでなく、沿線の道路防災マップの作成が進めば崩壊発生前の現地で取得可能な情報を記載し、これらの要因等の情報からの安定度評価法の精度向上を図っていくことが今後の仕組みとして望ましい。

このほか、想定災害の種別や規模の想定、災害発生時の影響範囲の予測、モニタリング技術と崩

壊予測、老朽化した防災施設の健全度評価と効果判定などについて、各種新技術の導入と研究開発も必要である。また、上記の継続的な防災情報の蓄積管理をしながら、そのデータに立脚した直面する管理方法も併せて採用することがより現実性があるものと考えている。

最後に、維持管理の基本となる点検に従事する経験豊かな点検技術者の高齢化が急速に進行している。道路防災マップもツールである以上、マニュアル通りの点検ができる技術者であるだけでなく、マニュアルにない場面に遭遇した場合において、的確に判断して対応できる若手技術者の育成も重要となる。

5. おわりに

昭和43年から全国一斉に行われてきた防災点検の果たしてきた使命(実績)とこれから防災点検に期待されている役割を繋ぐものとして、道路防災マップを位置付けることができる。

常に不安定化にさらされている斜面等の道路防災管理上、道路防災マップの有効性は高いものと考えている。一方で道路種別ごとに地形図や災害や点検等の維持管理記録などに格差が存在しており、平成18年時点では費用対効果の観点から、道路防災マップ作成要領案に準じた普及に難点を抱えており、当面は事前通行規制区間などへの適用を推奨していた。

近年急速に普及しつつある詳細な数値標高モデル(DEM)の採用とともにGIS利活用的高度化を進めることで、従来の危険箇所の抽出管理から、道路防災マップなどによる沿線の災害の可能性のある全域管理も可能な時期が到来しつつある。さ

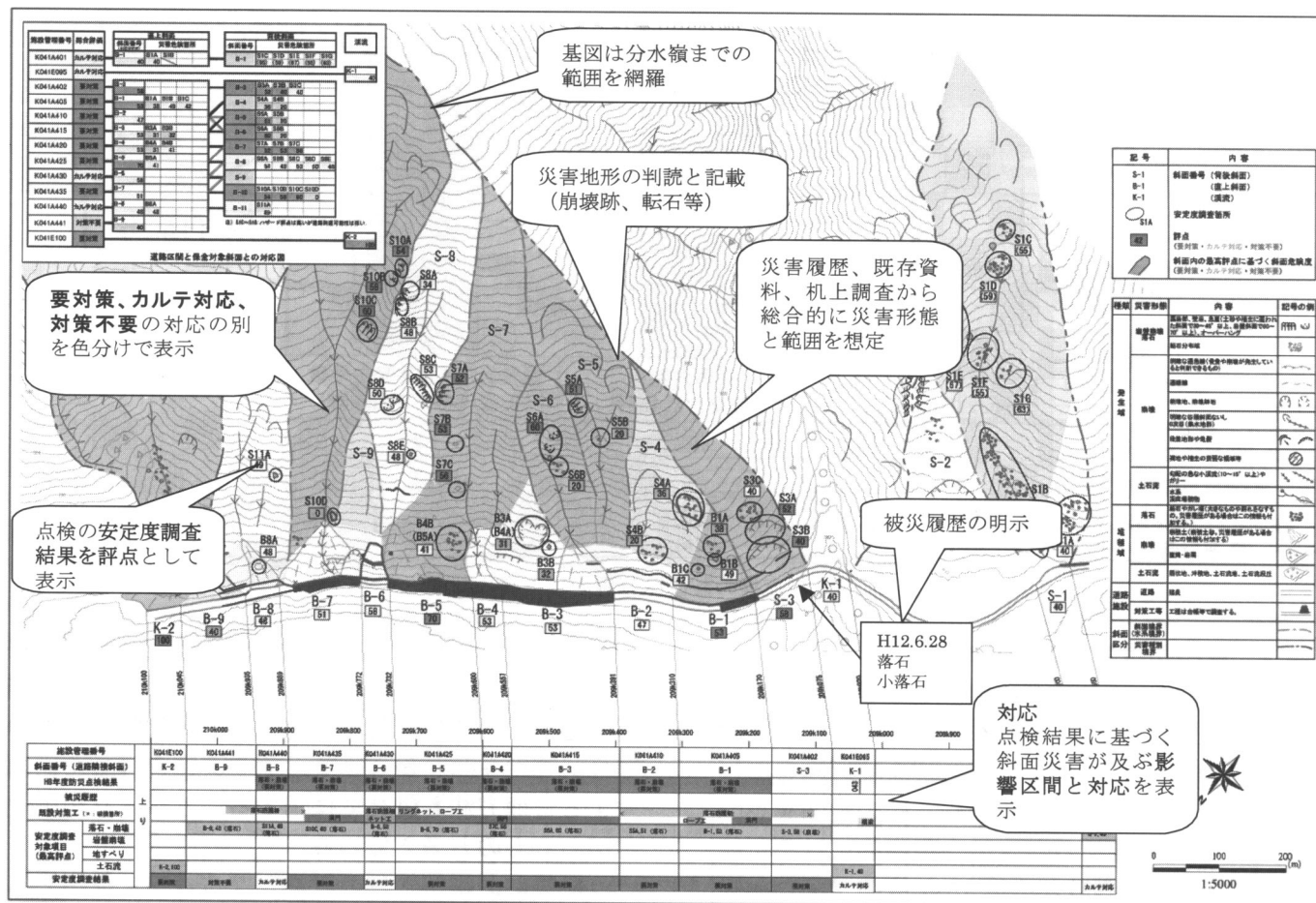


図6 道路防災マップの作成例¹⁾

らに、道路防災マップの作成だけでなく更新管理の利便性を高めるとともに、道路管理者の維持管理全体を支援する活用法も研究していくことも必要である。

参考資料

- 1) 土木研究所, アジア航測(株), 応用地質(株), 基礎地盤コンサルタンツ(株), 国際航業(株), 住鉦コンサルタント(株), 日本工営(株): GIS を利用した道路斜面のリスク評価に関する共同研究報告書 道路防災マップ作成要領(案), 第350号, 120p, 2006.
- 2) 道路防災点検の手引き編集委員会編: 道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等), (財)道路保全技術センター

発行, 2007.

- 3) 福井謙三, 佐々木靖人, 道路斜面防災 GIS 共同研究グループ: 道路防災マップを用いた点検箇所のスクリーニング手法の検討, 日本応用地質学会平成18年度研究発表会講演論文集, pp. 367-370, 2006.
- 4) たとえば, 佐々木靖人: 道路斜面防災におけるハザードマップの現状と課題, 地質と調査, No. 1, pp. 12-17, 2009.
- 5) たとえば, 小野田敏: ハザードマップを支える基礎技術, 地質と調査, No. 1, pp. 27-31, 2009.
- 6) 久楽勝行, 三木博史, 佐々木靖人, 小原昇, 福井謙三: 落石・崩壊に関するのり面・斜面の安定度評価手法, 第26回土質工学研究発表会, pp. 1643-1646, 1991.

河川堤防調査への統合物理探査の適用

はやし 林 一*
いなき 稲崎 富土**

河川堤防の統合物理探査適用検討委員会***

1. はじめに

近年、集中豪雨の発生頻度・強度が増大してきており、計画規模を超える洪水による河川堤防の破堤被害が頻発するようになってきた。さらに堤内地の土地利用の高度化と河川近傍への社会資本の集中は、2004年新潟豪雨洪水被害、兵庫県円山川・出石川洪水災害、ハリケーン「カトリーナ」によるニューオリンズ洪水に例示されるように洪水時の被害規模の著しい増大を引き起こしており、堤防の質的強化による治水安全度の向上が急務となっている。河川堤防は延長の長い構造物であり、その弱点箇所が問題となる。しかし、ボーリングなどの既存の調査手法は点の調査手法であり、堤防を連続的かつ簡便に評価する手法が求められている。

このような社会的要請に応えるために、計算機の進歩などにより急速に発展した物理探査手法の堤防調査への適用が研究されている¹⁾²⁾。本稿では、土木研究所の委託を受けた物理探査学会の委員会³⁾が実施した、河川堤防の内部構造探査手法の技術的検討⁴⁾の中から、河川堤防の連続的調査

表1 堤防の安全性照査・設計に係る調査によって把握すべき事項と物理探査手法適用のニーズ

現象	調査対象	調査によって把握すべき事項	物理探査適用のニーズ
地震	一般堤	●液状化層の分布範囲・層厚 ●砂質土のN値・粒度特性	●ボーリング地点間の土質構造の把握
	防部	●液状化層の分布範囲・層厚 ●砂質土のN値・粒度特性	●ボーリング地点間の土質構造の把握
浸透	一般堤	●堤体内の土質区分 ●基礎地盤における透水層の分布範囲・層厚 ●旧河道内の要注意地形の分布範囲	●ボーリング地点間の土質構造の把握
		●異物（木片、瓦礫等）の有無	●資料調査・現地視察では把握できない異常個所の検出
	防部	●堤体の土質構成 ●透水層および被覆土層の分布状況	●ボーリング地点間の地層の連続性や境界面の位置に関する推定精度の向上
	構造物周辺	●樋門等構造物周辺における緩みや空洞の有無・大きさ	●空洞の広がりや局所的な異常個所の検出
	堤防表のり面	●護岸背面空洞の有無・大きさ	●現地視察では把握できない空洞の広がり

における物理探査手法の適用方法についてまとめるとともに、同じ測線で複数の物理探査手法を行い、複数の物性値を併せて解釈する統合物理探査手法について紹介する。

2. 河川堤防調査の流れと物理探査の適用

表1に堤防の安全性照査・設計に係る調査によって把握すべき事項と物理探査手法適用のニーズをまとめる。堤防の安全性照査は大きく分けて、現象としては地震と浸透、対象としては縦断方向、横断方向、および構造物周辺に対して行われる。表1に示したニーズの中では縦断方向の調査が、広い範囲の概略の地盤構造を簡便に把握できるという物理探査手法の特長を最も生かしやすい。そこで、本稿では主に堤防の縦断方向調査についてまとめる。

図1に現在の典型的な堤防調査の流れと、その流れの中における物理探査手法の適用についてま

* 応用地質株式会社 技術本部技術研究所 上級専門職
** 独立行政法人土木研究所 技術推進本部 上席研究員
*** 社団法人物理探査学会

とめる。物理探査手法は特に下記のような場面で用いることが効果的と考えられる。

① 一連区間の細分のための基礎資料 (図1の①)

概略点検において堤防縦断方向の物理探査を行い、一連区間の細分を行う際の基礎資料とする。ボーリングなどの調査は点の調査であるため、物理探査によりボーリング間の堤体土質や基礎地盤土質の連続性を把握することにより、適切に細分区間の設定を行うことができる。

② 代表断面の選定 (図1の②)

代表断面を選定する際、堤防縦断方向の物理探査を行い、細分区間の中で最も安全性が低くなることが想定される地盤条件となっている箇所を抽出する。これによって、より適切に安全性照査に用いる代表断面を選定することができる。

③ 代表断面の安全性の照査 (図1の③)

代表断面における詳細調査において、堤防横断方向の物理探査を行う。堤防横断方向の土質構造を把握するためには、通常、横断方向に数本のボーリングを実施するが、物理探査を行うことにより、ボーリングを補間してより精度の高い土質断面図を作成することができる。

④ 対策区間の設定 (図1の④)

代表断面の安全性照査結果にもとづいて対策工の検討を行う際、堤防縦断方向の物理探査を行って代表断面の上下流部について土質構造の連続性を把握し、対策を必要とする範囲(対策区間)を適切に設定する。

3. 統合物理探査の概要

河川堤防の破壊要因としては、洪水(浸透・侵食)と地震がある。これらの危険性を評価する上で、個別の物理探査で得られた探査結果(物理量)は、地盤の工学的パラメータをそのまま示すものではないことに注意を要する。例えば地盤の比抵抗は堤防の

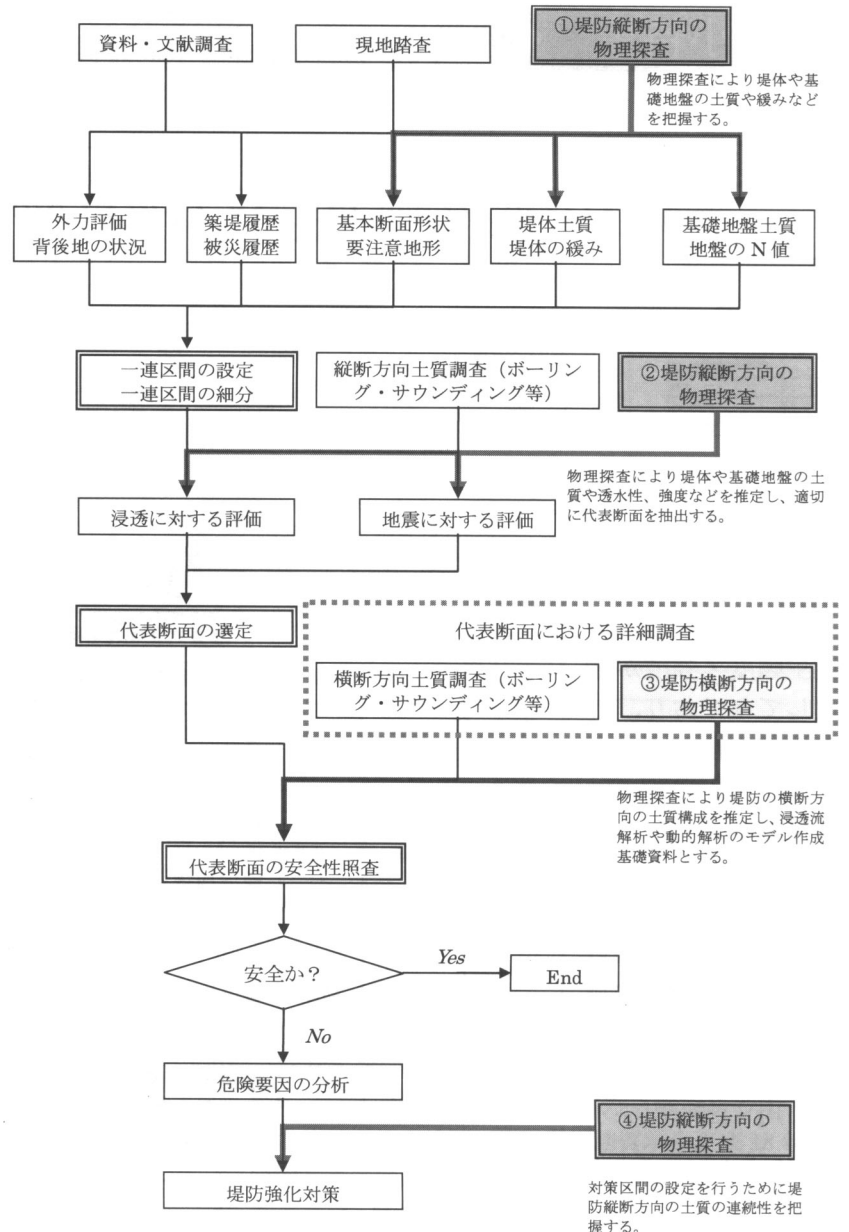


図1 堤防調査の流れと物理探査手法の位置づけ

土質構成を反映すると考えられるが⁵⁾、浸透や侵食に対する危険性は堤体の締固め度も反映する。堤体の締固め度はN値と関係がある⁶⁾ことから、

表2 河川堤防の縦断方向の調査において評価すべき項目・物性および有効な物理探査手法

弱点項目	弱点の要因	物性	有効な物理探査
高透水ゾーン	粗粒部	高比抵抗かつ低S波速度	牽引式電気探査, 電磁探査と表面波探査の組み合わせ
堤体および基礎地盤の軟弱性	強度	低S波速度かつ低比抵抗領域	表面波探査と牽引式電気探査, 電磁探査の組み合わせ
地盤構造	地山出現深度, 埋没谷の存在, 沖洪積区分	S波速度と比抵抗による土質判別, 物性の境界	表面波探査と牽引式電気探査, 電磁探査の組み合わせ。S波反射法地震探査。
異常構造	河川堤防内埋設構造物	物性の境界, 比抵抗やS波速度の異常部	表面波探査。牽引式電気探査, 電磁探査。S波反射法地震探査。地下レーダ探査, 磁気探査他

N 値と相関の良い S 波速度も併せて解釈することによって、より精度良く洪水に対する危険性を評価できると考えられる。

このように、単独の手法ではなく複数の物理探査手法を組み合わせることで測定し、異なる物性値を取得し統合して解析することにより、土質や締固め度の判定精度が高まり堤防の危険性の評価精度は高まると考えられる。堤防の危険性を推定するために必要な地盤の性状と物理探査で得られる物性値の関係を表 2 にまとめるが、いずれも複数の物性値を統合することにより精度が高まることが期待できる。統合物理探査とは、このように複数の物理探査手法を組み合わせることで調査を行うことである。

現在、縦断方向の連続的な河川堤防調査に一般に用いられている手法として、以下の 3 手法が挙げられる。

3.1 牽引式電気探査

牽引式電気探査は、地盤の比抵抗分布を探査する電気探査の一手法である。測線上のある地点から電流を流して他の地点での電位応答を測定する。通電地点と電位測定地点の組み合わせを多くとることにより地盤内部の連続的な比抵抗構造を得ることができる。土質地盤の比抵抗は粒度分布や間隙率と相関があり、比抵抗分布を知ることにより概略の土質構造を推定することができる。

牽引式電気探査では、電極にキャパシタ電極と呼ばれる特殊な電極を使用しており、電極棒を地面に打設する必要がない。キャパシタ電極は地面と導体との間に絶縁体を挟んでコンデンサーを形成し、その容量が許す範囲内の交流を通電してその応答を受信する。電極はコンデンサーを形成する平板あるいはケーブルで、その中心に点電極があるものとして近似的に従来のダイポール・ダイポール配置による電気探査と同様に取り扱う。

3.2 スリングラム法電磁探査

スリングラム法電磁探査は、電磁誘導を利用した電磁探査の一手法である。多数の周波数での応答を測定することにより、深度方向の比抵抗構造を推定することができる。地面と非接触で測定するため、手間がかからず測定効率が良いという特徴が

ある。地盤の比抵抗分布を知ることにより概略の土質構造を推定することができる。

スリングラム法電磁探査は、時間変動する電場と磁場の相互誘導を利用して地下を探査する手法である。送信コイル（ループ）から時間変動する磁場（一次磁場）を発生させると、地盤中に誘導電流が発生し、そしてこの電流は周辺に新たな磁場（二次磁場）を発生する。既知である一次磁場を地盤への入力信号とし、二次磁場を受信信号として観測し、その受信信号から地盤の電導度（比抵抗）分布を推定する。多数の周波数で応答が取得できる場合、周波数を変化させることで探査深度を変化させることができるので、深度方向の探査が可能となる。深度方向の探査を水平方向に連続的に実施することにより連続的な比抵抗構造を推定する。

3.3 表面波探査

表面波（レイリー波）は、地盤の地表面付近を水平方向に伝わる弾性波（地震波）の一種で、その伝播速度は主に地盤の S 波速度を反映する。S 波速度は地盤の剛性率から求まる物理量であり、N 値などとの相関が良いことから、地盤の動的特性や強度特性の指標として利用されている。河川堤防調査においては、堤体の土質や締固め度の評価に利用できる。

表面波探査は、地表面をカケヤなどで打撃することにより発生した表面波を、線状に設置した多数の受振器で測定し、その位相速度を求めることにより、深度 20 m 程度までの地盤の S 波地下構

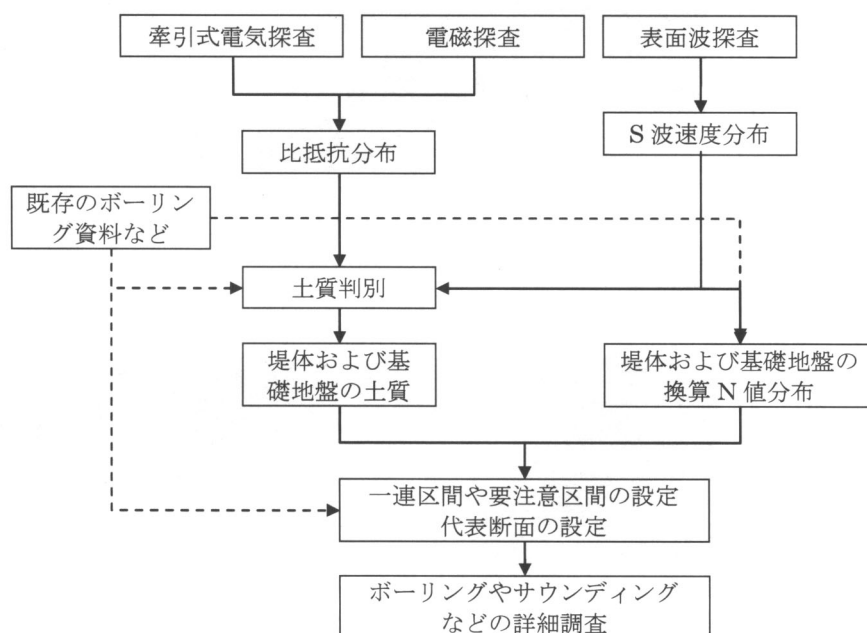


図 2 堤防縦断方向の統合物理探査の流れ

造を推定する探査手法である。

4. 統合物理探査の計画と解釈

以下に、河川堤防調査（主に縦断方向）における統合物理探査の計画と結果の解釈・評価について、その要点をまとめる。図2に調査の流れを示す。

① 調査手法と測線位置

堤防天端、堤外側および堤内側小段（堤防の規模が小さく小段がない場合にはのり尻）の3測線について、堤防縦断方向に電気探査もしくは電磁探査と表面波探査を実施する。天端の測線は堤体、小段もしくはのり尻の測線は基礎地盤を主な調査対象とする。

② 比抵抗とS波速度の統合解釈

表面波探査から得られたS波速度と電気探査もしくは電磁探査から得られた比抵抗のクロスプロット図を作成し、このクロスプロット上で土質や締固め度、換算N値などを評価する。

③ 堤体と基礎地盤の区別

比抵抗は含水の状態が大きく値が変化するため、飽和度や地下水位を考慮して解釈する必要がある。そこで堤防調査においては、特に他の情報がない場合は堤体と基礎地盤で分けて、堤体は不飽和、基礎地盤は飽和と考え上記のクロスプロット解析などを行うことが適当と考えられる。堤体と基礎地盤では土質や強度が大きく変わる場合が

多いと思われ、また堤防の安全性の評価においても堤体と基礎地盤という区分が使われる場合が多いので、この区分が最も使いやすと考えられる。なお、ボーリングやサウンディングなど、その他の調査により地下水位がわかっている場合などは、その調査地の特性に合わせて基準を作るべきである。

④ 平均物性値による評価

電気探査や表面波探査では、通常、探査結果は比抵抗やS波速度などの物性値の断面として解釈する。しかし、堤防調査の流れ（図1）において、概略点検の段階では、調査の対象となる区間が長く主として概略の土質分布のみ必要な場合も多い。このような調査では、物理探査の結果を距離-深度の断面（二次元のデータ）ではなく深度方向には物性値を平均して、距離-物性値の距離方向の一次元のデータとして扱うことも有効と思われる。

⑤ ボーリングやサウンディング等の利用

理想的には、S波速度と比抵抗のクロスプロットから、一意に土質や締固め度などを推定できれば良いが、実際には調査地ごとの土質の特性や季節による飽和度の変化など様々な要因があり、全国どこでも通用する基準を作ることは現状では難しい。したがって、各調査においては調査地周辺の既存の資料を収集整理して土質判別の基準を確認し、必要があればその調査地に合わせた基準を

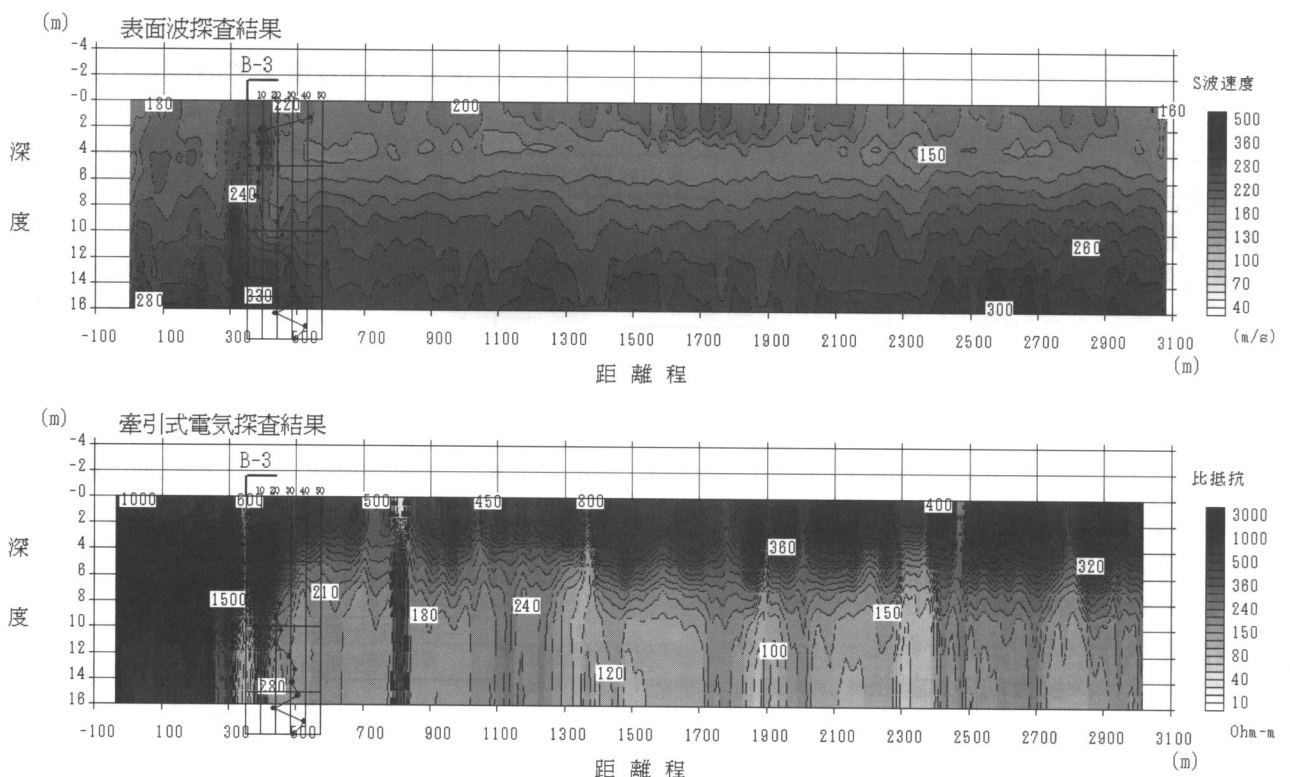
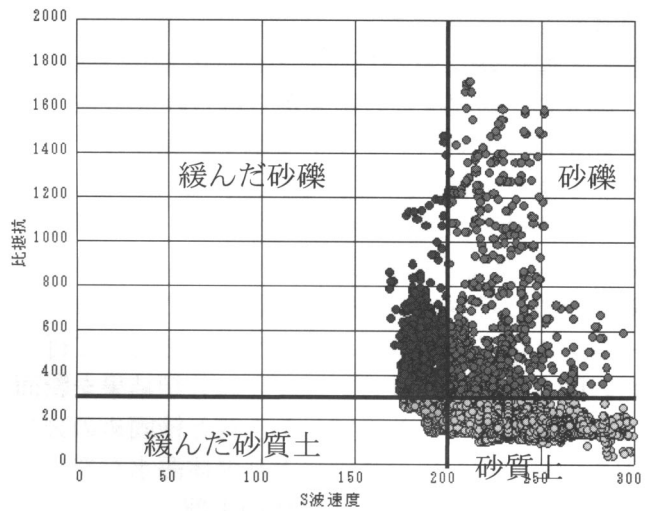
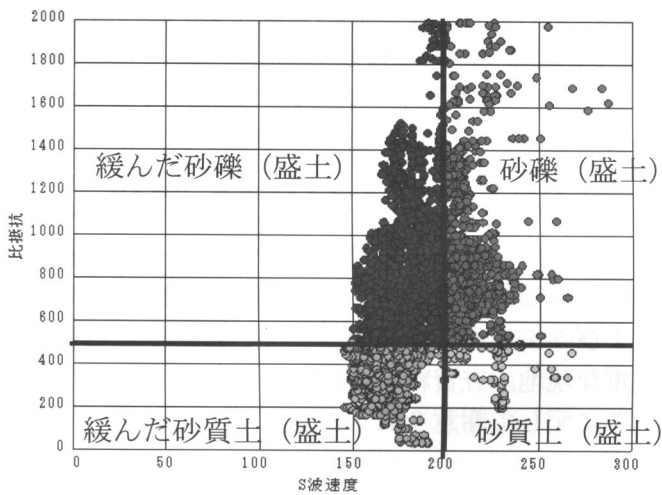


図3 千曲川堤防における物理探査結果（上：S波速度断面，下：比抵抗断面）



1) 堤体のクロスプロット

2) 基礎地盤のクロスプロット

図4 千曲川堤防における統合物理探査から得られたS波速度と比抵抗のクロスプロット

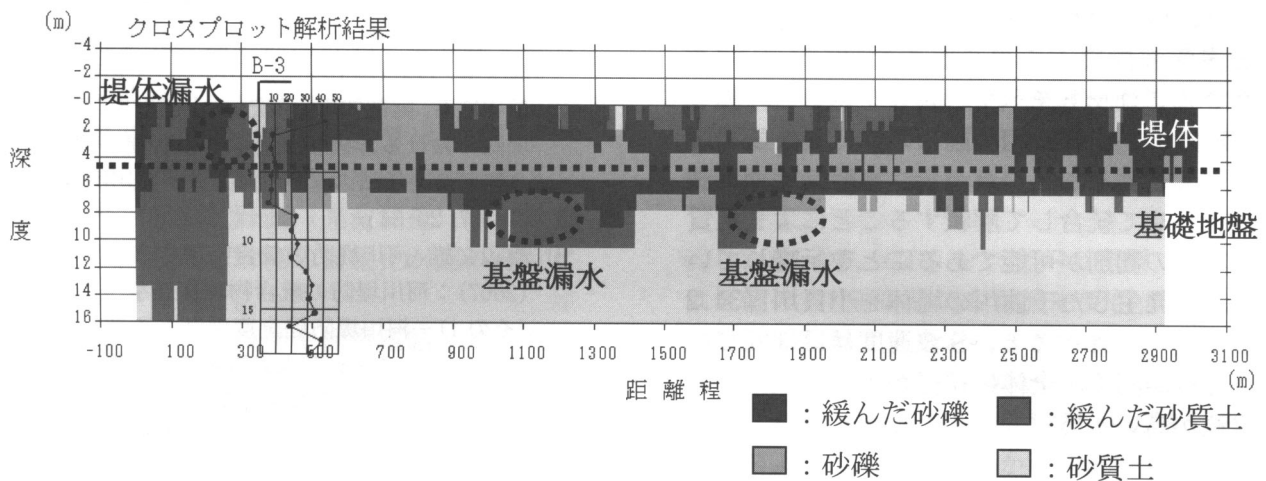


図5 クロスプロットから推定した土質と締固めの分布図

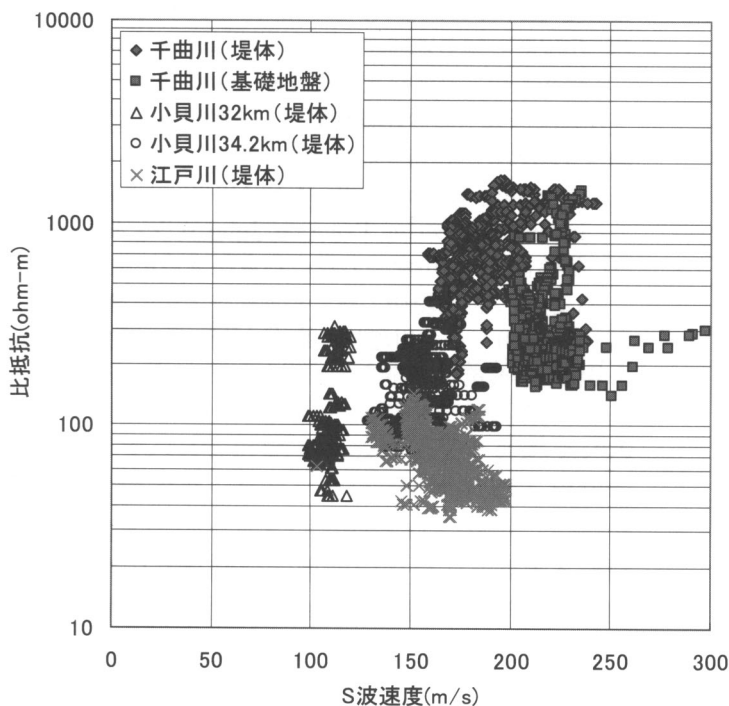


図6 S波速度と比抵抗の相関の例

用いて解釈を行うことが必要である。また、十分な資料がない場合などは、物理探査と同時、もしくは物理探査の実施後に確認のためのボーリングやサウンディングを行うべきである。

5. 調査事例

以上のような統合物理探査の適用事例として、長野県北部の須坂市の千曲川右岸堤防における調査結果⁷⁾を紹介する。千曲川では、2006年7月18日に梅雨前線による豪雨で浸水被害が発生したが、調査区間においても基礎漏水あるいは堤体漏水が発生し水防対策が実施された。

適用した手法は、表面波探査と牽引式電気探査である。探査は堤防の天端と小段(堤内側)で実施し、測線長はそれぞれ約3kmである。図3に物理探査の結果(天端測線)を示す。本調査地における堤体高は約5mである。堤体部において、比抵抗は500~3000 Ohm-mと著しく高いが、S波

速度は 200 m/s 以下とそれほど高くはなく、堤体が緩んだ砂礫主体であることがわかる。

図 4 に、物理探査の結果から得られた S 波速度と比抵抗のクロスプロットを示す。堤体のクロスプロットは天端で測定した牽引式電気探査と表面波探査の結果、基礎地盤は小段の牽引式電気探査と天端の表面波探査の結果を使用したものである。土質と締固めの分類は、調査地で行われたボーリングの結果や既存の文献⁶⁾などを用いて行った。図 5 にこのクロスプロットの分類結果を断面上に戻すことにより推定した土質と締固めの分布図を示す。2006 年の豪雨により堤体漏水が発生した距離程 300 m 付近では堤体の下部、基盤漏水が発生した距離程 1100 m や 1900 m 付近では基礎地盤の浅部が、共に砂礫もしくは緩んだ砂礫となっており、透水性が高いと思われる。

図 6 に、いくつかの堤防で実施した牽引式電気探査と表面波探査から得られた比抵抗と S 波速度のクロスプロットを示す。図 6 を見ると、異なる調査地のデータは、相関図において異なる場所にプロットされることがわかり、複数の探査手法を組み合わせると統合して解釈することにより土質や締固め度の判別が可能であることを示唆している。漏水が発生した千曲川の堤体を小貝川 (34.2 km) や江戸川と比べると、S 波速度はほぼ同じなのに比抵抗が高く、全体に粒径が大きく緩んでおり透水性が高いと推定できることがわかる。

6. まとめ

牽引式電気探査や表面波探査などの近年の新しい物理探査手法は、既存の手法に比べて大幅に短時間かつ低いコストで測定・解析を行うことが可能であり、河川堤防などの延長の長い構造物に対しても概査として用いることが可能である。今後は、多くの調査地において探査を行い、物理探査によって得られる物理量と透水係数や締固め度などの工学的なパラメーターの相関を収集・分析することが重要である。本稿で提案したような統合物理探査は、斜面や谷埋め盛土の地震時の安定、

液状化危険度などの評価でも利用が試みられており、比抵抗や S 波速度と工学的パラメーターのデータベースを蓄積すればその利用範囲は大変広いと考えられる。

謝辞

千曲川における現地調査では、国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所 調査課佐藤課長および寺田係長に便宜を図っていただくとともに貴重な現地調査資料を提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋亨, 田中莊一, 山本剛, 糸川政孝, 船曳誠二, 河川堤防の内部構造調査と探査機器の開発研究委員会 (2008): 河川堤防の内部構造調査と探査機器の開発研究 (その 1) — 研究の全体計画と平成 18 年度研究成果の概要 —, 物理探査学会第 117 回学術講演会講演論文集, 119-122 p
- 2) 田中敏彦, 阿部知之, 林宏一, 小西千里 (2008): 河川堤防における非破壊調査手法の研究 — 開削調査による物理探査手法の適用性検証 —, 応用地質技術年報, No. 27, 29-54 p
- 3) 渡辺文雄, 河川堤防の統合物理探査適用検討委員会 (2007): 河川堤防の統合物理探査手法の適用性検討 (その 1) — 河川堤防健全度評価への統合物理探査の役割とコンソーシアムの取組み —, 物理探査学会第 116 回学術講演会講演論文集, 277-280 p
- 4) 土木研究所, 河川堤防の統合物理探査適用検討委員会 (2007): 河川堤防の統合物理探査適用マニュアル 素案検討業務・報告書
- 5) 今村杉夫, 徳丸哲義, 光畑裕司, 林宏一, 稲崎富士, 河川堤防の統合物理探査適用検討委員会 (2007): 河川堤防の統合物理探査手法の適用性検討 (その 4) — 比抵抗探査手法の比較検討 —, 物理探査学会第 116 回学術講演会講演論文集, 120-123 p
- 6) Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948): Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons. 5)
- 7) 稲崎富士, 河川堤防の統合物理探査適用検討委員会 (2007): 河川堤防の統合物理探査手法の適用性検討 (その 3) — 千曲川堤防における統合物理探査 —, 物理探査学会第 116 回学術講演会講演論文集, 112-115 p

GPS を用いた斜面変位計測サービスについて

いわ きき とも はる
岩 崎 智 治

1. はじめに

地質調査の対象は多岐にわたりますが、地すべりや急傾斜地崩壊、道路のり面などを対象とした斜面防災・維持管理分野では、地質踏査やボーリング調査と合わせて斜面変位計測を実施する機会が多いと思います。

斜面変位計測には、孔内傾斜計やパイプひずみ計等のボーリング孔を利用する地中変位計測と、地表面伸縮計や移動杭計測（光波測量）等の地表面計測があり、最近では計測の自動化が進み非常に便利になってきました。

また、各種デジタル技術や携帯電話・インターネットに代表される通信技術の進歩に伴い、様々な新しい計測手法も考案され実用化されています。例えば、光ファイバー、レーザースキャナ、GPS などです。

本稿では、これら斜面計測技術のうち GPS 計測について、その計測原理と機器、最新の GPS 斜面計測サービス『shamen-net』について報告します。

なお、shamen-net とは、コンサルタント会社・測量会社・計測会社・機器メーカー等 10 数社で構成する shamen-net 研究会が提供する GPS 斜面計測サービスの名称です。

2. GPS 計測の方法

GPS は、カーナビや測量機器として広く利用されており、最近では非常に馴染み深い用語です。その一方で、GPS 計測の方法はブラックボックスに近い状態で良くわからない…というのも現状かと思えます。

そこで、GPS 計測の原理について、できるだけ平易に解説します。より詳しい内容を知りたい向きには、巻末の参考文献¹⁾²⁾ などをご覧ください。

2.1 GPS の計測原理

GPS (Global Positioning System) は、上空の

GPS 衛星からの電波を受信し、地上の GPS センサーの位置を求める「衛星を使った三辺測量」です。各衛星のその時々々の位置 (X_n, Y_n, Z_n) は GPS 衛星からの送信電波に記述されているので既知です。また、GPS 衛星と地上の GPS センサーには時計が搭載されているので、電波が衛星からセンサーに達するまでの所要時間がわかり、時間 $t \times$ 電波速度（光速）で衛星とセンサー間の距離を算出できます。

したがって、GPS センサーの座標 (X, Y, Z) は 3 個の GPS 衛星から電波を受信すれば、一般的な三辺測量で求めることができます。ただし、実際には GPS 受信機の時計の誤差があるので未知数は時間 t を加えた (X, Y, Z, t) の 4 つとなり、図 1 のように 4 個の衛星から電波を受信する必要があります。

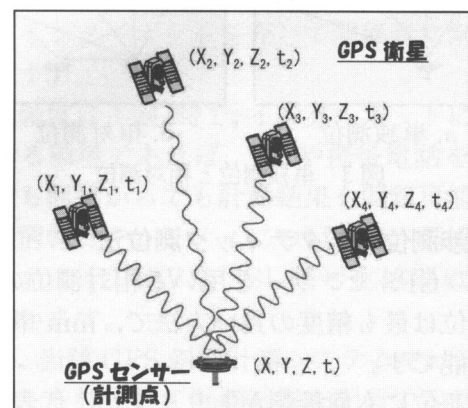


図1 GPS計測の概念図

2.2 GPS 計測の種類

GPS 計測は、大別すると図 2 のように分類されます。

計測精度は、図 2 の右側の手法ほど高く、通常、mm 単位の計測精度が求められる測量や斜面変位計測では干渉測位のスタティック測位法や

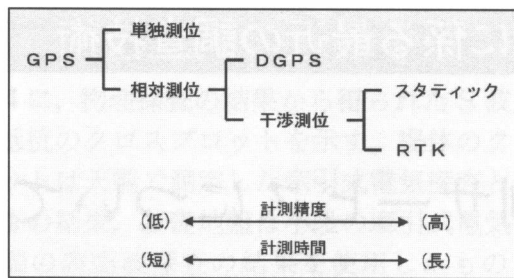


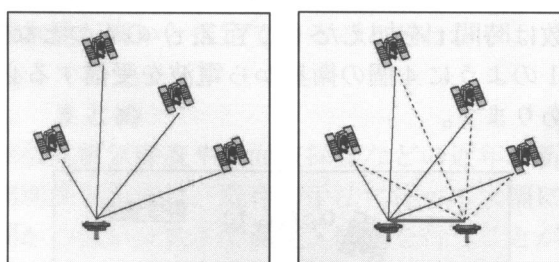
図2 GPS計測の種類

RTK (リアルタイムキネマティック) 測位法が用いられます。

①単独測位と相対測位

単独測位は、1つのGPSセンサーで計測する方法です。安価なGPSセンサーを1つ使用するだけでよく、解析処理も簡易なためカーナビなどに広く利用されています。しかし、計測精度は概ね数m～数10m程度と低く、斜面計測では使用できません。

一方、相対測位は、計測点と基準点の2つのGPSセンサーを使う方法で、2つのGPSセンサーで共通に観測される誤差要因を効率よく除去できるため単独測位より高精度です。相対測位には、幾つかの種類がありますが、2つのセンサーと衛星との距離の差(行路差)を受信電波の位相から求める干渉測位が一般にもっとも高精度です。



a. 単独測位 b. 相対測位

図3 単独測位と相対測位

②干渉測位・スタティック測位法

2つのGPSセンサーを用いる相対測位のうち、干渉測位は最も精度の良い方法で、mm単位の計測も可能です。

干渉測位にも何種類かありますが、代表的なのはスタティック測位法(静的干渉測位法)です。この方法は、衛星からの電波を長時間連続して観測することで誤差を除去し精度よく計測値を求めることができます。スタティック測位法では概ね1～3時間以上の観測時間を要します。

本稿で紹介するGPS自動計測サービスでも、主にスタティック測位法を使用しています。

2.3 GPS計測機器

スタティック測位法に代表される高精度なGPS計測は、主に測量分野で発展しました。1980年代には地すべり・切土のり面など斜面変位計測でもGPSの利用が始まりましたが、当初は移動杭測量(測量作業)として実施され、まさに測量士による手動の測量作業そのものでした(写真1)。



写真1 地すべりでのGPSによる移動杭測量

1990年代後半になると、測量用GPS機器を流用した自動計測が試みられるようになりました。

しかし、高価な測量用GPS機器を使うため、従来の伸縮計や光波測量との計測費用の差は大きく、また、測量用GPS機器は基本的に1台ごとと単独で作動するように作られているため、計測点ごとにGPSアンテナや受信機、電源装置、通信設備等を備える必要があり大規模な装置となっていました(写真2)。

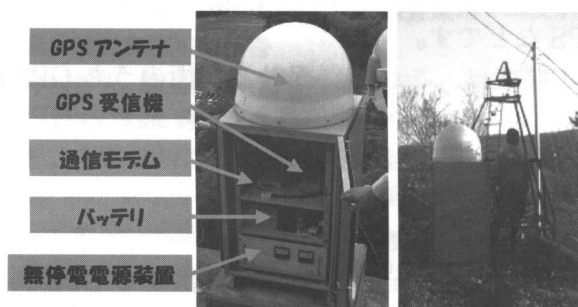


写真2 測量用GPS機器を流用した自動計測の例(亀の瀬地すべりにて撮影)

現在では、地盤変位計測専用のGPS機器が開発・利用されています(図4, 写真3)。

この新型GPS機器は、計測点や基準点にGPSアンテナだけを設置し、受信機、電源装置、通信設備等の設備は現場内の一箇所(通信集約機)に集約することで、計測点が多数であっても機器費用を安価に抑える構成になっています。計測点には小型・軽量のアンテナのみを設置すれば良いので、設置用地の確保や設置作業も容易です。通信には、ISDN・ADSL・FOMA等の定額料金制の

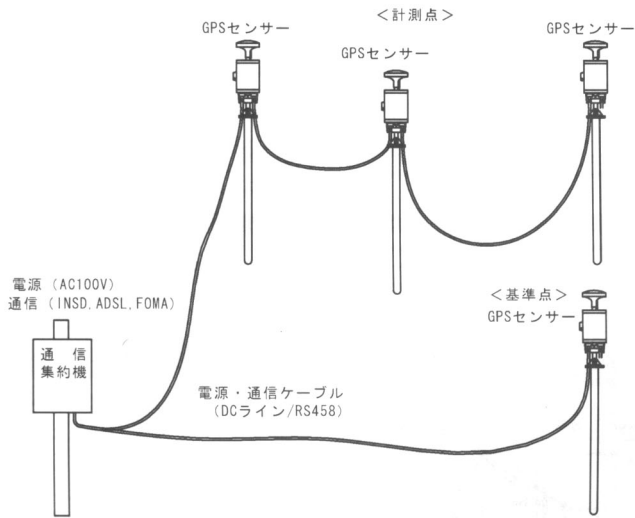


図4 地盤変位計測用 GPS 機器の基本構成

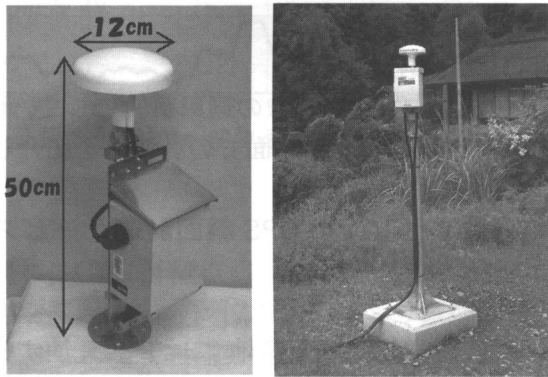


写真3 地盤変位計測用の GPS センサー

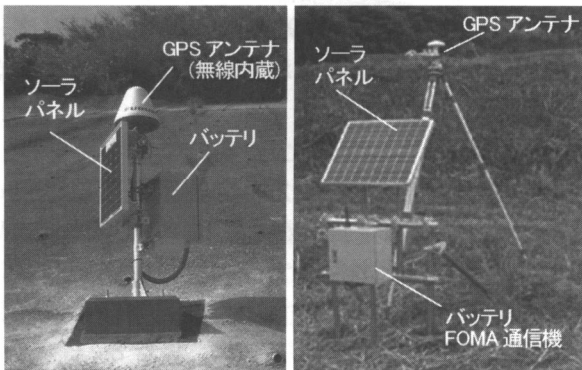


写真4 携帯電話や無線機を利用した GPS 機器

データ通信サービスを利用することで通信費も低減されています。また、写真4のようにケーブル接続を廃し、ソーラパネルとバッテリーで電源を確保し、FOMA や無線機でデータ通信が可能な機器も開発されています。

これらは、図4・写真3のケーブル接続タイプより部品点数が多くなり機器費用が割高となりますが、以前の測量用 GPS 機器を流用していたタイプ(写真2)にくらべるとかなりシンプルな機器構成で、設置作業も容易なものになっています。

3. GPS 斜面変位計測サービス

3.1 サービスの概要

ここで紹介する GPS 斜面計測サービスの概念図を図5に示します。当該サービスでは、主に図4・写真3に示した地盤変位計測用 GPS 機器を使用します。

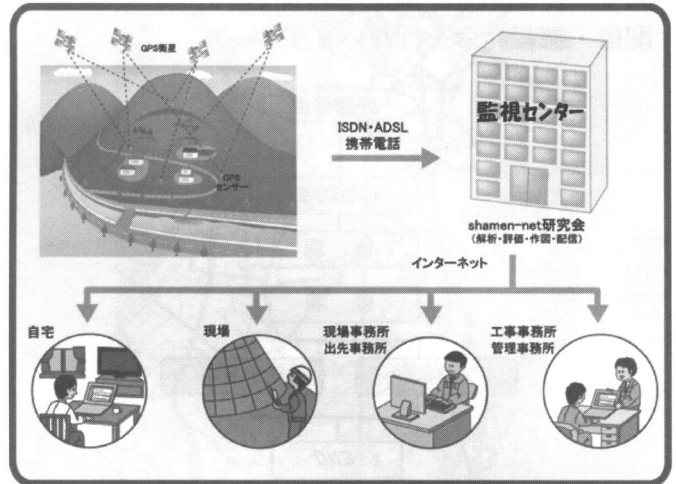


図5 インターネットを利用した GPS 斜面計測サービスの概念図

計測現場に複数の GPS センサー(一周波型、写真3)を設置し、それらを4芯ケーブルで数珠繋ぎに配線して通信集約機に導き、30秒ごとに取得されるデータをISDNやADSL、FOMA等を利用したインターネット回線で監視センターに送信します。監視センターの解析サーバでは、基線解析(スタティック測位法による座標計算)および誤差処理を実施して地盤変位量をmm単位で算出します。算出された変位量はグラフや一覧表に整理され、インターネットを介して関係者に常時配信されます。

計測頻度は1回/時で、インターネットにアクセスできる環境であれば、PCや携帯電話を用いて何時でも何処からでも計測結果を閲覧可能です。なお、情報セキュリティについては、現場ごとに設定されるID/PWとSSL暗号化処理により確保しています。

また、当該GPS斜面計測システムでは、インターネットを利用して計測結果を配信するため、複数の関係者が同時に計測結果を閲覧できる他、計測現場が複数の場合にも統合管理・情報の共有化が容易です。

GPS計測は解析処理が複雑なため、従来は高価な解析ソフト(300~500万円程度)を現場ごとに導入する必要がありましたが、図5の方法ならインターネット上の解析システムを間借りすれば良いので解析費用が安価になります(このようなイ

インターネットを利用したサービスを ASP：アプリケーションサービスプロバイダと呼びます)。

3.2 監視センター

①作業フロー

監視センターでは、GPS データを受信した後に図 6 の作業フローにしたがって解析・作図・監視・配信・警報発令を行ないます。

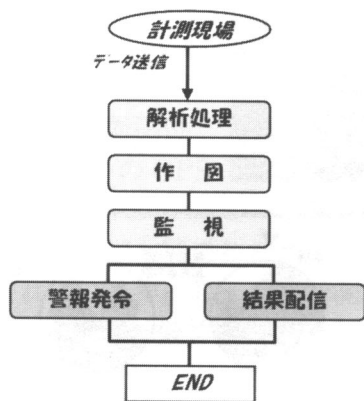


図 6 監視センターの作業フロー

②解析処理と計測精度

解析処理作業では、1 時間分の GPS データを使用してスタティック測位による基線解析（座標計算）を行うと共に、トレンドモデルによる誤差処理³⁾⁴⁾を実施します。

この方法は、式(1)(2)に示すトレンドモデルと呼ばれる確率構造を持った時系列解析モデルを用いて、計測データからノイズ（誤差成分）を分離し、真の変位挙動を推定するものです。解析に際しては、カルマンフィルタのアルゴリズムを適用します。

$$\Delta k \text{ un} = \text{vn} \text{ (システム方程式) } \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{yn} = \text{un} + \text{wn} \text{ (観測方程式) } \dots\dots\dots(2)$$

vn：システムノイズ，wn：観測ノイズ， Δk ： k 回差分
トレンドモデルによる誤差処理を実施することで、水平方向で±1 mm，鉛直方向で±1.5 mm 程度の精度でリアルタイムに斜面変位量を算出することができます。

③作図と結果配信

計測結果は、図 7 のような時系列グラフや変位ベクトル図、一覧表等に整理されます。これら計測結果は、インターネットや携帯電話を通じてほぼリアルタイムに確認することができます。

④計測値の監視と警報発令

また、監視センターでは、各 GPS 計測点での累積変位量や変位速度、地盤傾斜角等々の様々な管理基準値を設定することができ、管理基準値を超える変位が計測された場合には、PC や携帯電話

へのメールや電話連絡等々の方法で警報を発令します。

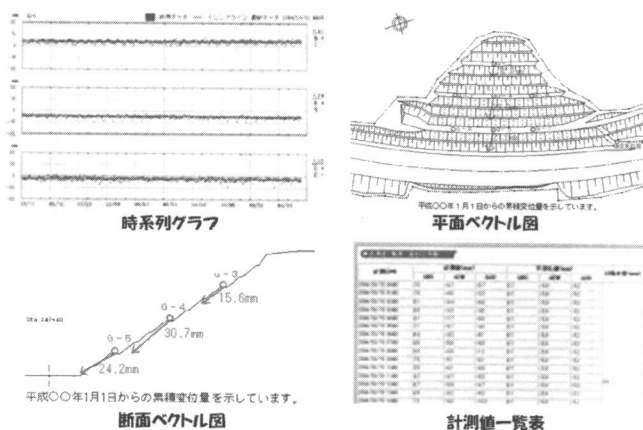


図 7 インターネット配信画面の例

4. 適用事例

GPS 斜面計測サービスの適用事例として、地すべりおよび道路切土のり面での計測例を紹介いたします。

4.1 地すべりでの GPS 斜面計測サービス事例⁵⁾⁶⁾

①計測概要

計測地は、高知県の長者地すべり⁷⁾で、地すべり下部に G-1 と G-2，長者川を挟んだ対岸の地すべり末端隆起部に G-4 の計 3 ヲ所に GPS 計測点を配置しました(後掲の図 9 参照)。また、GPS 基準点 K-1 を、不動地盤と思われる長者川対岸の露岩部に設置しました。

②計測結果

図 8 に GPS 計測点 G-2 の変位量・変位速度の計測結果を示します。上から順に NS(南北)，EW(東西)，UD(隆起沈下)方向の変位量，近傍のアメダス観測点(本川)の日雨量，最下段は変位速度(30 日当りの変位量)です。

図のように、計測開始から 574 日間の累積変位量は、N 方向に 65.5 mm，W 方向に 3.8 mm，沈下方向に 8.4 mm です。また、100 mm/日を超える降雨時には急激な変位増加が認められ、図 8 最下段のグラフから最大で 10 mm/月程度の変位速度を示しました。当該地すべりの活動が降雨により活発化することが良くわかります。

③変位ベクトル図

図 9，図 10 は、GPS で計測された変位量を平面図および断面図上にベクトル表示したものです。

これら GPS で計測された変位ベクトルは、すべり方向とほぼ一致しており、GPS による地表面変位計測が非常に実用的であることが推察されま

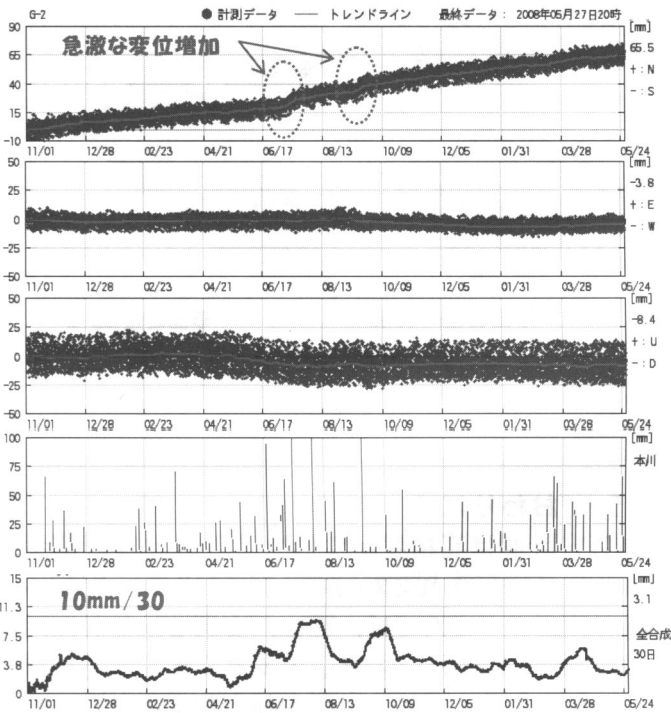


図8 変位量・変位速度の計測結果 (G-2)



図9 平面変位ベクトル図

す。

特に、GPS 計測点 G-4 の断面変位ベクトルは、明瞭な隆起方向の変位を示しており、G-4 付近が地すべり末端隆起部に位置していることがわかります。

一般に、地すべり末端部は境界が不明瞭で変位計測が難しいことも多いですが、GPS 計測により境界の判別を明確化できる可能性が示唆されています。

④サービスの利便性について

GPS 斜面計測サービスでは、図8～図10の各計測結果グラフや計測値一覧表等を常時インターネットで配信しています。そのため、関係者全員が変位量や降雨量の増加の様子をリアルタイムに知ることができ、警戒避難や対策実施の判断に役立てることができます。

また、図10のように、閲覧者が任意に期間を指定して変位量を表示することもできるため、時系列的な地すべり活動の変化を容易に理解することができ、利便性の高いサービスになっています。

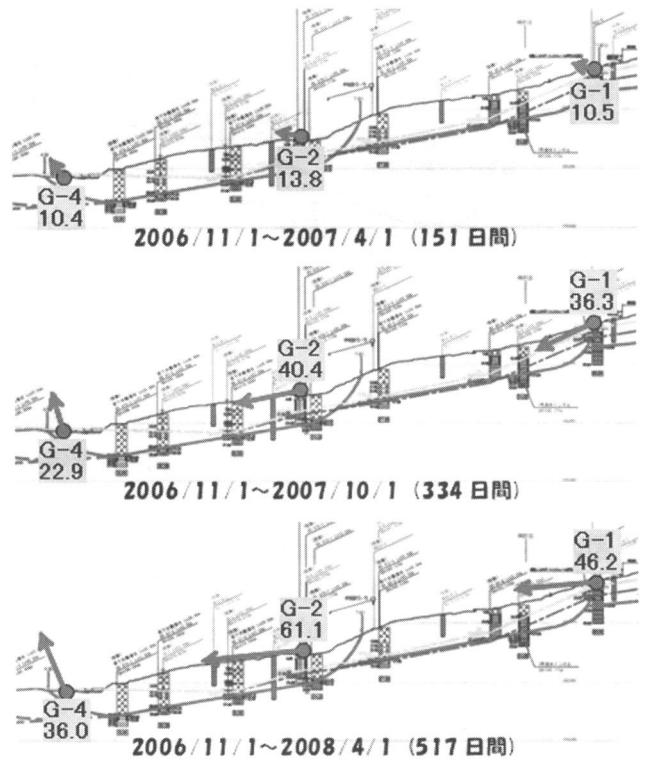


図10 断面変位ベクトル図

4.2 道路切土斜面での計測事例⁸⁾

つぎに、道路切土のり面の情報化施工ツールとして利用された事例を紹介します。

①計測概要

計測地は、国道バイパス建設現場で、表層の風化が進んだ田辺層群・砂岩泥岩互層地帯に位置します。

事前の調査で、地すべり性崩壊発生の可能性がある低角度の粘土層が確認され、切土施工中の安全性が懸念されました(図11参照)。そこで、GPSで常時観測しながら工事を行い、切土に伴う崩壊の発生をリアルタイムに監視して必要に応じて早期の対策工を実施することとしました。

GPS 計測点は、切土小段毎に幅 20 m 間隔で格子状に設置し、変位量と崩壊範囲の検知を目指しました (図 11)。

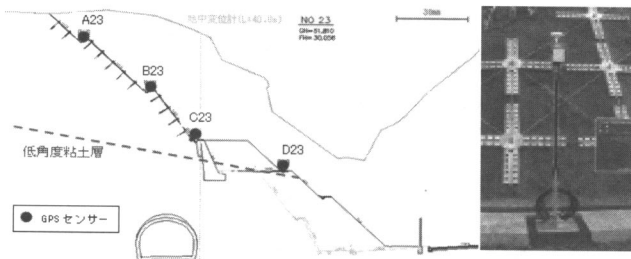


図 11 GPS 計測点の配置図

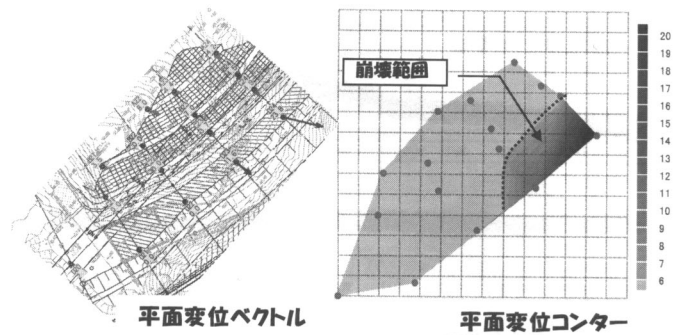


図 13 GPS 計測結果の面的表現の例

した。

5. おわりに

GPS 計測は高精度かつ低コストな地盤計測手法として注目されています。今回紹介した GPS 斜面計測サービスでは、更に、安価な地盤計測用 GPS 機器、精度向上技術、インターネットを利用した情報伝達、計測結果の各種表現手法、計測監視と警報発令等々の様々な工夫を行なうことで、より利便性の高い計測サービスを提供できるようになりました。

今後は、計測結果のより高度な利用方法について検討・開発を進め、警戒避難や対策実施のリアルタイムな判断に役立てたいと考えています。

参考文献

- 1) 土屋淳・辻宏道：新・GPS 測量の基礎，社団法人日本測量協会，2002.10
- 2) 日本測地学会編著：新訂版 GPS—人工衛星による精密測位システム，社団法人日本測量協会，1989.11
- 3) 松田浩朗・安立 寛・西村好恵・清水則一：GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証，土木学会論文集，No. 715/III-60，pp. 333-343，2002.9
- 4) 岩崎智治，武智国加，武石朗，清水則一：道路斜面の維持管理を目的とした計測評価システムの開発，土と基礎，vo. 50，No. 6 (533)，pp. 25-27，2002.6
- 5) shamen-net 研究会：GPS による地すべり地表面計測の実用性検証①。第 46 回地すべり学会研究発表会研究発表講演集，pp. 313-316，2007.8
- 6) shamen-net 研究会：GPS による地すべり地表面計測の実用性検証②。第 47 回地すべり学会研究発表会研究発表講演集，pp. 347-348，2008.8
- 7) 全国地すべり対策協議会：1972。長者地すべり。地すべり記録集，NO. 6，1972
- 8) 岩崎智治，清水則一他：情報化施工のツールとしての GPS 自動変位計測システムの適用事例。第 12 回岩の力学国内シンポジウム論文集，pp. 641-645，2008.9

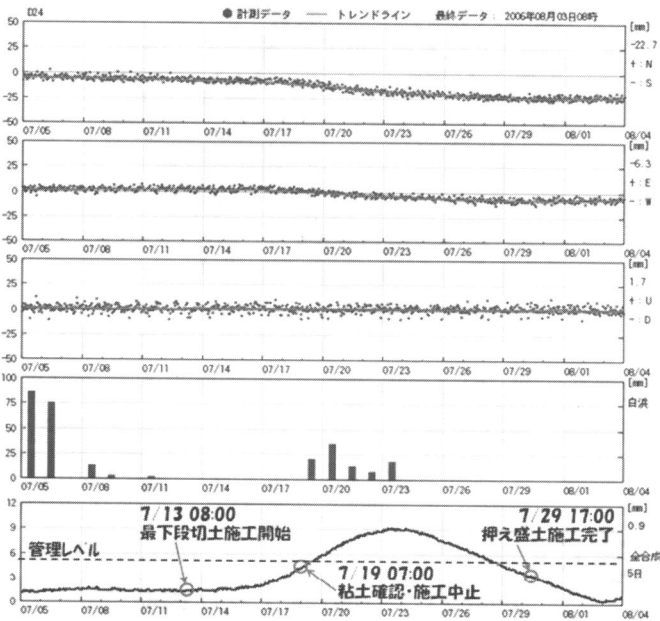


図 12 GPS 計測結果図 (計測点 D 24)

②計測結果

図 12 は、GPS 自動計測結果の一例です。上から順に、NS・EW・UD 方向の累積変位量，日降雨量および 5 日当りの変位量 (変位速度) のグラフです。

図のように，最下段切土施工開始後からのり面の変位量が増化し始め，粘土層 C1 (すべり面) を確認した時点で変位速度が管理基準値の 5 mm/5 日を超え，監視センターからの警報発令に従って切土工事が中止されました。

その後に変位速度は低下しましたが，今後も降雨により変位が発生する可能性が高いため，緊急対策として押え盛土を実施し変位は収束しました。

③崩壊範囲の特定

当該計測では、GPS 計測結果の面的表現の手法として、平面変位ベクトル図ともに変位量コンター図を描き崩壊範囲を特定して、恒久対策 (アンカー工) 設計・施工の根拠データとして利用しま

地下空洞の調査技術の現状と課題

やまもと たかし
山本 高司*

1. はじめに

近年、道路路面下の地下空洞の調査は、増加傾向にある。問題となっているのは路面下の数 m 範囲の空洞であり、転圧の施工不良や地下埋設管からの漏水による土砂の流出が原因の場合が多い。一方、御徒町での東北新幹線工事の陥没事故でも問題となったように、トンネル工事に伴うやや深部での空洞や緩み形成から地表部での陥没事故をもたらしたケースもある。

これまで地下空洞に伴う大規模陥没としては栃木県宇都宮市大谷地域での大谷石砕石空洞に伴う事故がある。この場合の地下空洞の深度は採掘対象深度によって異なり、規模も採掘範囲により非常に大きな範囲の陥没をもたらすことも知られている。また、戦時中の防空壕跡などが宅地造成区域の地下にあることが分かり問題となる事例も出てきている。防空壕は掘削しやすく安定している地山に設けられることが多く、締まったローム層（シラス）や泥岩を対象として丘陵部で発見される。空洞の深度は丘陵部の裾野で数 m 程度であるが中央部付近では 10 数 m にいたる場合も多い。

このように、地下空洞といってもその深度や規模、および形成メカニズムは様々であり、その条件に応じた調査を計画しなければならない。

2. 地下空洞調査技術

地下空洞調査技術は、ボーリングおよびその孔を利用した原位置試験や観察による直接的手法と地表部からの物理探査による間接的手法に大きく分けられる。ここでは、最近使用されている調査手法を主に説明する。

2-1 直接的手法

基本的には空洞が推定される地点において、ボーリングを行い空洞の深度や区間を求める手法である。ボーリングは点の調査であり、その地点での空洞の有無・区間・空洞の状態（水没や土砂充填）は把握できるが、その広がりや規模に関してはボーリングのみでは難しい。そこで、ボーリング孔を利用して空洞部をカメラで撮影し、測距することにより規模や大きさを把握することが必要となる。

また、ボーリングの地点選定においては、既存の資料や物理探査による空洞範囲の検出地点に基づいて行われる。これは、全体の調査費用を考慮する場合に、費用のかかるボーリングをやみくもに行うよりも、ある程度絞り込んだ後に確認するほうがトータルの調査費の縮減になるとの考えである。ただし、防空壕や砕石跡のように記録や図面があり、坑口も分かっている場合は、物理探査を実施せずにボーリングを実施する場合もある。防空壕の調査例を図 1 に示す。

地上部より古地図や物理探査で空洞想定地点でボーリングを実施する。空洞検出区間において空洞カメラ（図 2）を挿入し、空洞の広がり・状況を確認する。

空洞カメラは鉛直と側方にビデオカメラが装着

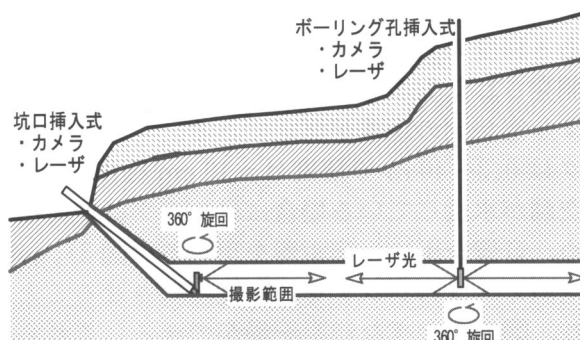


図1 防空壕での調査方法の組み合わせ

* 川崎地質株式会社事業本部



図2 空洞カメラの概要

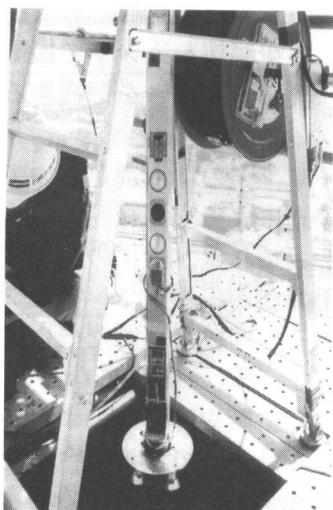


図3 音響測距装置

しており、空洞の状況を確認できる。同時にスチルカメラにより空洞内でもストロボ撮影ができることから展開写真の撮影が可能となっている。孔壁観察用のBHTVは壁面距離が短いものを高解像度で撮影するものであるが、空洞カメラは空洞がある程度の広がりを持っていることを前提として開発されたものである。また、測距用のレーザーにより空洞間の距離が測定できる。レーザーのスペックは0.3~40mで精度は±10cm程度である。

空洞が水没している場合にはレーダは使えないため、音響を用いた測距器を用いる(図3)。

空洞カメラのゾンデを360度回転させることにより、図4のような測距記録ができる。これらを深度毎に実施して空洞部の全体を再現する。最近

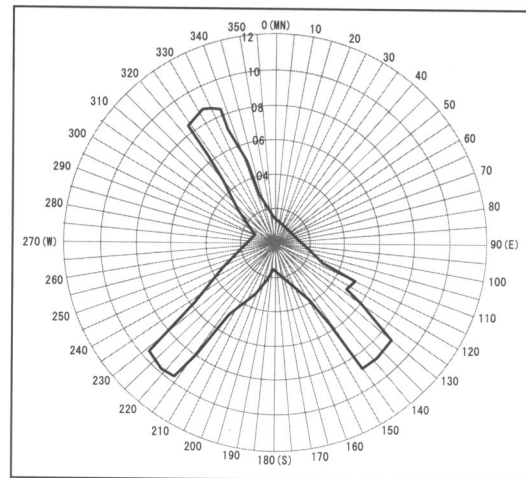


図4 測距記録例

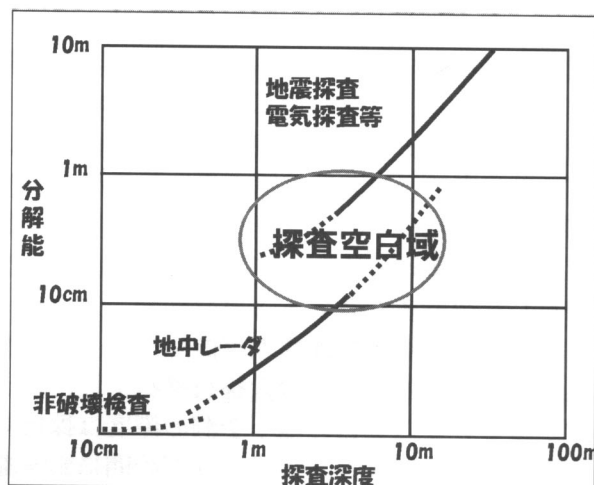


図5 探査手法と探査深度・分解能の関係

はゾンデを高速回転して3次元の測距と画像化が可能な機種も開発されている。

2-2 間接的手法

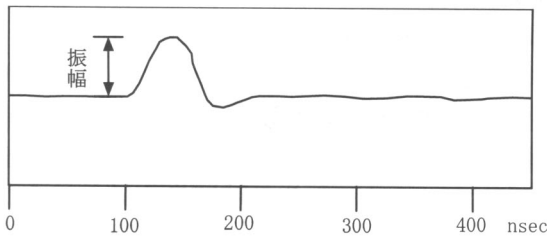
地表部より非破壊による調査であり、物理探査があげられる。物理探査は、その手法により探査深度や分解能が異なる(図5)。地下空洞は深度や規模が異なるため、あらかじめ適正な探査手法を選定しなければ空洞を検出できない。適正な探査手法の選定がされていなかったために、物理探査は当てにならないといわれる理由がそこにある。また、物理探査をすれば深度や規模に関わらず検出できるような期待をいだかせるようなことも結果として物理探査の信用を落とすことになるので、技術者はその適用に関して事前に十分な説明をする必要がある。

探査計画は、探査する場所での条件、たとえば振動、電氣的ノイズおよび埋設管路の有無等も考慮しておく必要がある。空洞の有無の判断は、検証の意味で直接的手法による調査を併用すること

が望ましい。

現状の地盤探査技術としては電気探査・反射法地震探査・地中レーダ・電磁探査・重力探査等が適用されている。図5に示したように数mの探査深度では非常に分解能が高いことから地中レーダが使われることが多い。特に、道路維持管理においては、現場作業の簡便さから実施されている。一方、10m以上の探査深度では地震探査や電気探査等が用いられる。しかし、分解能の点で検出できる空洞の規模は数m以上になる。

・パルス方式



・連続波方式

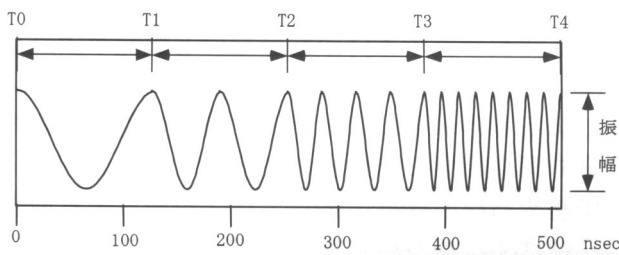


図6 パルス波と連続波の送信波形の違い

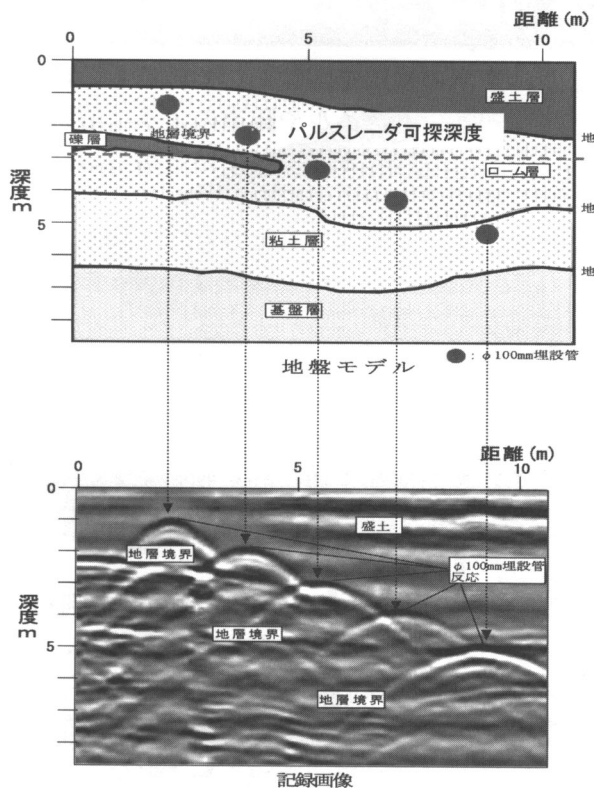


図7 連続波による探査能力
(管を挿入し双曲状の反射パターン検出を検証)

現在、多くのニーズがある10m程度で1m以下の空洞に対しては探査空白域であり、探査手法の開発が求められる。この領域に対応するものとして地中レーダを改良した連続波レーダ探査がある。従来の地中レーダはパルス波を用いるものである。パルス波を用いる場合、探査深度を増大させるためには、送信電力を増大して振幅を大きくするか、低周波数化して時間幅を長くする必要があり。

ただし、出力増大は電波法に抵触する恐れがあり、また低周波数化は手法の長所である高分解能力を損ねてしまう。そのため、現状以上の可探深度を達成することは現行の送信方式では難しい。

連続波は、固定周波数の正弦波を繰り返し送るもので、この時の波形面積は繰り返し送信した正弦波の面積の加算値と考えることができるため、振幅や時間幅を大きくせず波形面積を大きくすることが可能になる(図6)。

3. 新しい空洞探査技術への試行

現状の探査技術では都市部における振動や電氣的なノイズ、分解能と探査深度の点から探査空白域があると考えられている。地中レーダにおいては連続波の利用が行われているが、ここでは新たな試みとしてミュー粒子を用いた空洞探査技術の研究(この研究は財団法人機械システム振興協会が財団法人JKAの競輪補助金の交付を受け、その財源をもとに受託した事業)を紹介する。

ミュー粒子は宇宙線に含まれる粒子であり、重さは電子の約200倍、寿命は約 $2\mu\text{s}$ である。ミュー粒子は地表に到達し、さらに地下まで到達する高エネルギーの粒子である。

ミュー粒子の透過減衰特性は透過距離と透過した密度の積で決まる。鉛直からの角度(天頂角)による依存性もあることから、地盤を透過したミュー粒子の強度(カウント率)と透過距離が既知であれば地盤の密度を計算することが可能となる。

表1 粒子の物質の透過距離

物質名	粒子	透過距離(m)
鉄	ミュー粒子	100 m 以上
	陽子・電子	0.1 m
炭素	ミュー素子	1000 m 以上
	陽子・電子	0.5 m
水	ミュー粒子	5000 m 以上
	陽子・電子	1 m

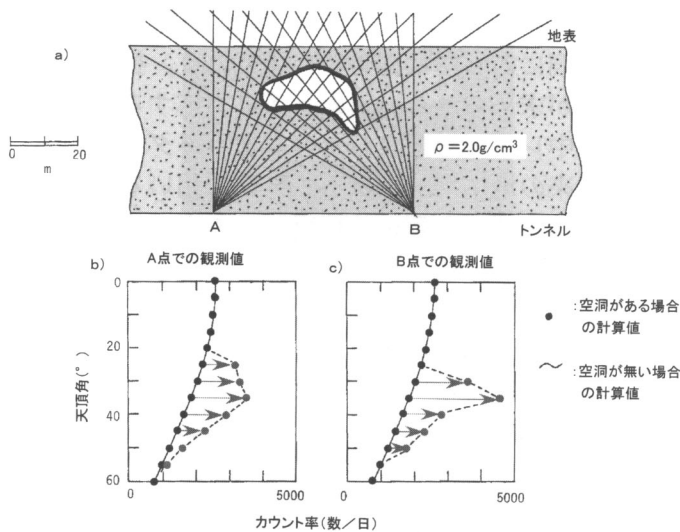


図8 空洞探査の原理

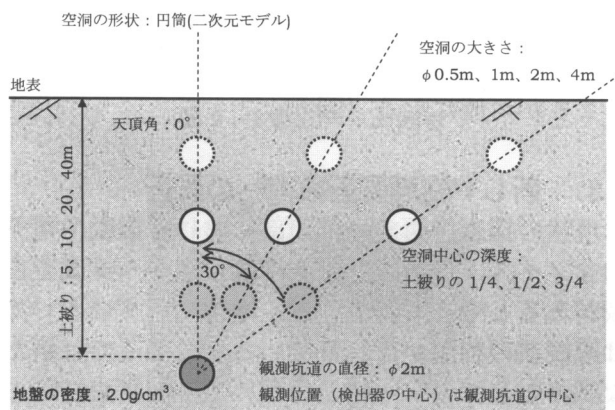


図9 観測空洞から空洞観測の理論解析

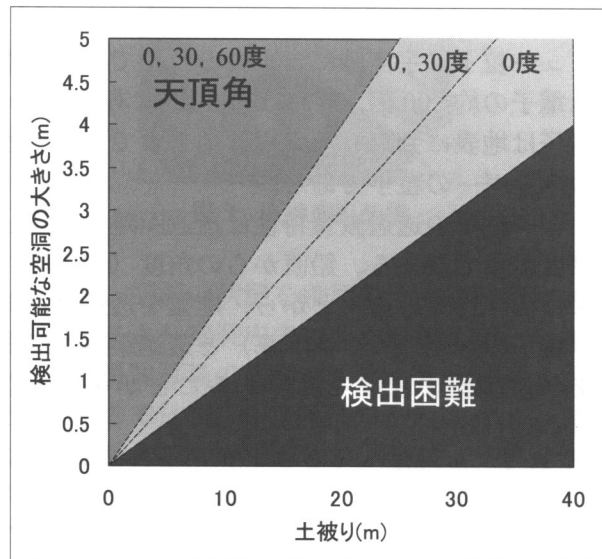


図10 土被りと検出可能な空洞の大きさの関係

図8に一樣な地盤中に空洞がある場合の計数と天頂角の関係を示す。空洞がある方向では、地盤によるミュー粒子の吸収がないため計数が増加する。空洞がない場合は天頂角に応じて計数される。土被りを5~40 m、空洞の大きさを0.5~4 m

として空洞検出の理論解析を実施した(図9)。その結果、天頂角が0度のときは土被りの1/10まで、天頂角が大きくなると分解能は低下するものの土被りの1/5間での大きさの空洞まで検出することが出来る事が分かった(図10)。

現在、試作器において高架橋や地下埋設管を空洞と想定した実験を行い、実用化に向けて研究が進められており、探査空白域を埋める手法として期待できる。

4. 空洞探査技術における課題

空洞探査技術について防災・維持管理の観点からみるといくつかの課題があげられる。

4-1 空洞の検出について

現在の探査技術においては、数m程度の深部にある空洞についてはかなりの精度良く見つけられるようになった。その一方で、10mを超える深度における空洞については分解能が低下し、数mを超える空洞や探査条件が揃わないと検知が困難な状況にある。空洞の形成については、人為的な関与によるものが多いことから、過去の記録が調査計画や探査結果の判断材料に有効である。例えば、亜炭層や石材の採掘に関しては、対象とする地層の連続性すなわち地質構造を把握することで絞り込みが可能となる。地質構造を把握するという観点からは、多くの物理探査的手法が適用できる可能性がある。

また、空洞の検知を困難にしているものに空洞の状況がある。トンネルや隧道のように形状が明らかであり、空間が確保されている場合は探査結果による異状箇所の特定は容易になる。しかし、多くの場合は空洞は崩壊しており、土砂や水で充填されているなど各地点で状況は異なる。すなわち、均質な物性が確保されていないことから、物理的な反応もバラエティに富む。このような場合は、ボーリングによる直接的な手法を併用し空洞の状況確認をせざるを得ない。技術者にとっては、これらの複数の情報を総合的に判断する能力が求められる。

4-2 空洞の形成メカニズムと危険性の判断

空洞の有無や規模が明らかになった後に、その形成メカニズムを検討しなければ危険性の判断ができない。例えば、古い隧道の天盤のゆるみがあり、地表部まで進行することにより陥没や土砂のずれ込み現象が起こることがあげられる。また、浅部では管路の破損にともなう流水による細粒分

の洗い出しによる沈下もある。

空洞の形成メカニズムは、構成する地質、空洞内部の亀裂の存在や連続性、空洞の分布・規模・状況（充填の有無）をもとに検討しなければならない。さらに、これまでの経年的な変状があるかどうか危険性の判断に重要となる。

宇都宮市大谷地区においては、陥没事故以降は危険空洞に地震計を設置しモニタリングを実施している。リアルタイムのモニタリングにおいて、空洞内で地震波形がみられた場合は、地域住民への情報発信とともに立ち入り禁止などの対策が行われている。

空洞における対策としては、形成メカニズムを明らかにした上で充填等を実施することになる。対策をすることは、空洞の規模・配置が明らかになっている必要があり、空洞カメラ等を利用した

配置図の作成とともに、施工後に充填が空洞を全体に行きわたったかの確認も必要である。

今後の空洞調査においては、空洞の発見という段階から、空洞形成メカニズムと危険性の判断の段階への対応が求められる。特に、維持管理の観点から、老朽化した地下構造物に伴う空洞発生も考えられ、維持管理調査の実施時期の検討は課題といえる。

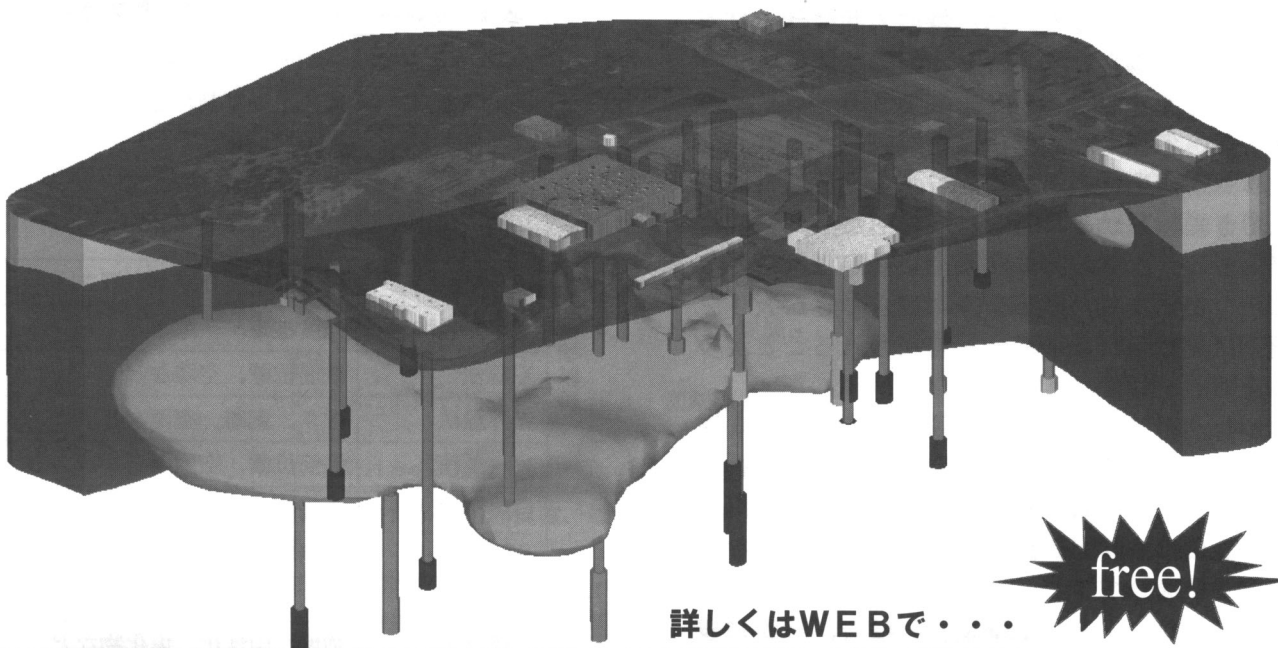
参考文献

三宅三郎 (1979) 地下深部における宇宙線研究, 日本物理学会誌, 34, 4, p. 292-301.

湊 進 (1992) 宇宙線透視像, 放射線, 19, 1, p. 49-56.

全国地質調査業協会連合 (2006) 防災維持管理分野における物理探査の適用 ワーキンググループの活動報告, p. 26. www.zenchiren.or.jp/up/siryon_pdf/06.pdf.

3次元可視化モデル自動作成配信サービス



詳しくはWEBで...

free!

有限会社 太田ジオリサーチ

<http://www.ohta-geo.co.jp/>

TEL 078-907-3120(担当:林)

<http://www.あんしん宅地.jp/>

あんしん宅地. JP

コンクリート構造物の非破壊・微破壊試験による検査・診断

こうの ひろし
河野 寛*

1. はじめに

コンクリートは、主要な構造材料として土木・建築の多くの構造物に使用されてきた。コンクリート構造物は、従来から耐久性が高くメンテナンスフリーと考えられてきたが、環境条件によっては性状が徐々に劣化するものであり、また、品質の劣った材料を使用した場合や不適切な施工を行った場合は、短い年数でコンクリートに欠陥を生じる恐れがある。

コンクリートの事故を防ぎ構造物の寿命を延ばすためには、まずコンクリートの現実の性状を把握することが必要になる。従来、コンクリートの性状を把握するには、コンクリート構造物からコアを採取し、各種試験を実施することが最も確実な手法として採用されてきた。しかし、コアの採取は構造物を傷めると共に、特に表面に仕上げが施されている場合は壊した跡を元の状態に戻す作業に労力を要する。

そこで、各種の非破壊試験法が開発され鉄筋コンクリート構造物の維持管理や耐久性診断に使用されてきた。しかし、コンクリートが不均一な材料であること、試験方法が明確に規定されていないことなどにより、試験結果にばらつきが大きく信頼性に欠けるため補助的に使用されることが多かった。

しかし、近年国土交通省で鉄筋コンクリート構造物の出来形管理に非破壊・微破壊試験を用いる要領¹⁾²⁾が制定され、実際の工事において利用されるようになるなど、試験方法等の基準化がなされるようになってきた。ここでは、土木・建築分野におけるコンクリート構造物の検査、診断に多く用いられている非破壊・微破壊試験を紹介することとする。

2. 非破壊・微破壊試験手法と適用対象

2.1 非破壊試験と微破壊試験

非破壊試験は文字通り、構造物を全く傷つけることなく、物理探査手法などを用いてコンクリート構造物の強度、剝離、鉄筋位置などを知ろうとするものである。

一方微破壊試験は、試験後の補修が簡単に済むように、構造物にわずかに傷をつけて試験を実施しようとするものであり、コンクリートの強度、中性化深さ、塩化物含有量等を知ることができる。

2.2 試験方法一覧

検査・診断でよく用いられている手法を、非破壊、微破壊に分けて表1に示す。

表1 非破壊・微破壊試験方法と測定対象^{3),4)}

試験方法	測定対象
目視調査	変色、ひび割れなど
打音法	浮き、剝離など
反発硬度法	強度推定
電磁誘導法	鉄筋位置、かぶりなど
超音波法	強度推定、ひび割れ深さ
衝撃弾性波法	強度推定、空隙など
X線法	鉄筋位置、空隙など
赤外線法	浮き、剝離、空隙など
レーダ法	鉄筋位置、空隙など
自然電位法	鉄筋腐食
分極抵抗法	鉄筋腐食速度
電気抵抗法	含水量、塩化物量など
小径コア	強度、中性化、塩化物など
ドリル削孔粉	中性化、塩化物など
小孔	透気性、透水性など
局部破壊法	強度推定

* 日本物理探査株式会社 関東支店 技術第一部

次に各試験方法の概要を述べる。

2.3 各試験方法の概要

(1) 目視調査

コンクリートの劣化が進行すると、その変状がコンクリートの表面に顕在化してくることが多い。目視調査はコンクリート表面に顕在化した損傷の状況やコンクリート構造物全体の変形状況、構造物周辺の環境状況等を目視観察や簡単な器具等を用いて把握する方法であり、コンクリート構造物を診断する上で最も重要な情報が得られる調査の一つである。

目視調査で観察すべきコンクリート表面の損傷と調査項目、調査方法は表2に示すとおりである。変状の記録にはデジタルカメラなどを用い、経年変化を比較できるようにしておくことが有効である。

(2) 打音法

打音調査は、対象となる構造物を打撃し、その際に発生する音で空洞の存在等を判定する調査法であり、簡便なわりに成績がよいので、従来から構造物の健全度判定の概査目的に広く用いられている。しかしこの方法にも以下のような問題がある。

- ① 的確な判断をするには熟練が必要である。
- ② 判断基準の曖昧さや個人差の介在を避けられない。
- ③ 客観的な記録が残らないので、経年比較ができない。

このような問題点を解消するために、ハンマー

表2 コンクリート構造物の目視調査方法⁴⁾

損傷の種類	調査方法
ひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> ・目視観察によるひび割れの発生方向、本数の把握・記録 ・ひび割れスケール等によるひび割れ幅の測定・記録 ・スケール等によるひび割れ長さの測定・記録 ・ひび割れに触れて浮き上がり、段差等の把握・記録 ・ひび割れ周囲の打音による浮き・剥離の把握・記録 ・ひび割れからの錆汁溶出箇所^{きび}の把握・記録
浮き、剥離、剥落、鉄筋露出、錆汁の溶出、豆板、遊離石灰、変色、漏水、滞水、補修跡	<ul style="list-style-type: none"> ・目視観察による損傷位置、損傷箇所数の把握・記録 ・損傷周囲の打音による浮き・剥離の把握・記録 ・スケール等による損傷の寸法測定・記録
異常音 異常振動	<ul style="list-style-type: none"> ・音源や振動位置を目視観察等で把握・記録
変色 沈下、移動、傾斜	<ul style="list-style-type: none"> ・目視観察・記録 ・スケールや下げ振り等による測定・記録

の打撃音をマイクロフォンで収録し、音響技術でコンピューター処理し、空隙、浮きなどの有無を判定する技術が開発されている。図1はウェーブレット変換を用いた解析結果の例である。

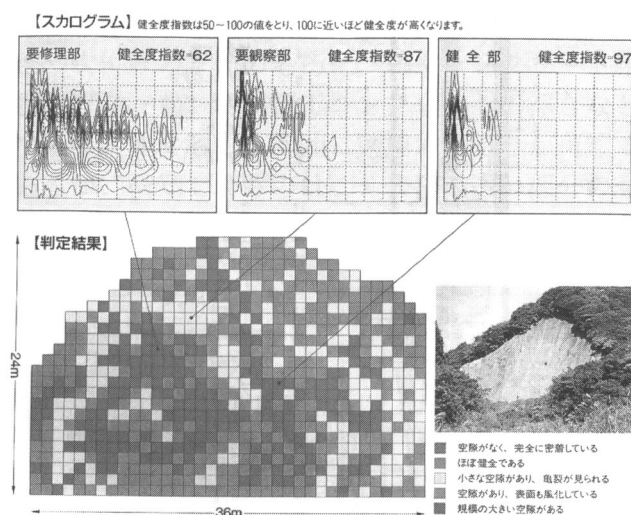


図1 ウェーブレット変換を用いた解析の例⁵⁾

(3) 反発硬度法

コンクリートの表面をテストハンマーにより打撃し、その反発硬度から圧縮強度を推定する方法である。JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」で規定されている。

コア採取によるコンクリート強度測定と比較して試験方法が簡便なこと、構造物を破壊することなく測定できるなどの利点がある。しかし、本試験方法は、コンクリート表面の硬度を利用して内部コンクリートの強度を推定しようとするものであり、湿潤度、粗骨材の大きさなどのコンクリート表面の状態に大きく影響されるため注意が必要である。

反発度から圧縮強度を求める換算式も、各種団体により種々提案されており、採取コアによる強度試験を併用して、推定精度の確認を行うことが望ましい。

反発硬度を求める方法はいくつかあるが、シュミットハンマー法が最も一般的である。シュミットハンマーの内部構造は図2のとおりであり、プランジャーと呼ばれる棒鋼をコンクリートに一定の力で打撃し、その跳返り高さを反発度として記録する。

(4) 電磁誘導法

電磁誘導法は、鉄筋探査法として電磁波レーダ法とともに利用されている。先に述べた国土交通省の「非破壊試験によるコンクリート構造物中の配

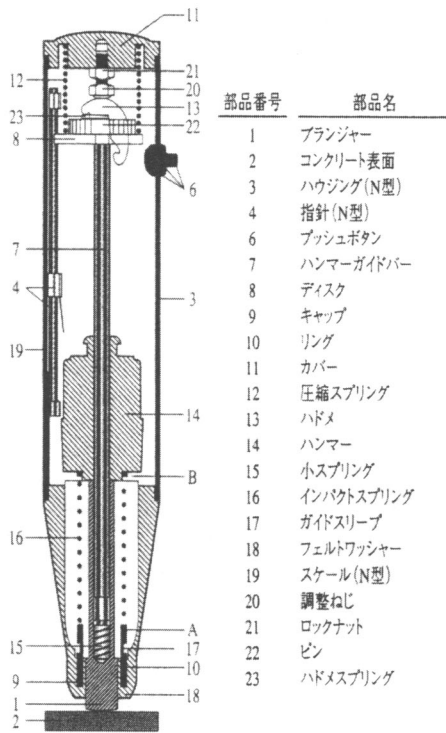


図2 シュミットハンマーの構造⁴⁾

筋状態及びかぶり測定要領(案)²⁾においても電磁波レーダ法とともに試験方法として規定されている。

電磁誘導法は、コイルに交流電流を流すことによりコイル周辺に交番磁界を発生させ、それによりコンクリート中に渦電流を誘起する。この渦電流は、鉄筋のような磁性体が存在すると乱されるという性質を有しており、この変化をコイルのインピーダンスの変化として検知するというものである。

電磁誘導法は、電磁波レーダ法と比較してコンクリート中に空隙やジャンカ等があっても鉄筋位置の推定が可能であり、鉄筋径の推定も可能であるという利点を有している。

一方で、試験コイルの作る磁束は、指向性が乏しいため配筋ピッチが密な場合、周囲の鉄筋の影響を受け正確な測定が困難となる。一般的に、かぶり厚さより配筋ピッチが密な場合は測定が困難である。また、ダブル配筋の場合、表面側の鉄筋しか検出できない。

図3に電磁誘導法の原理図を示す。

(5) 超音波法

弾性波法の一つであり、使用周波数が20 kHz以上の超音波域と呼ばれる周波数帯を主に使用する。発振子からコンクリート中に発射された弾性波を受信子で受けて、到達時間、波形、位相などの変化を測定装置で読み取ることにより、強度を推定したり内部の欠陥を検知する。

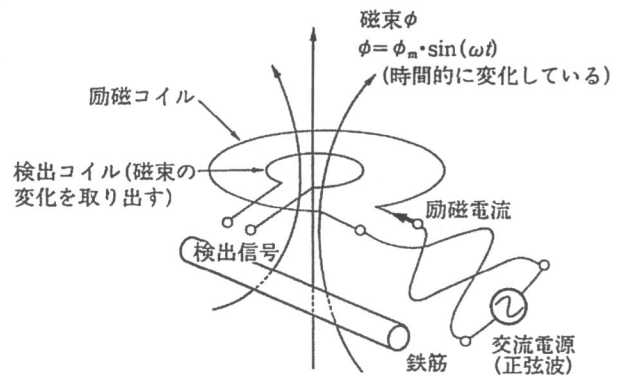


図3 電磁誘導法の原理図⁴⁾

国土交通省の「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領(案)」¹⁾において、衝撃弾性波法とともに非破壊試験方法として規定されている。ただし、圧縮強度推定においては、キャリブレーションが必要であり、円柱供試体を作成し強度と超音波速度との定量的な関係を求めておく必要がある。また、超音波速度が鉄筋の影響を受けないように図4に示すように鉄筋に対して斜めに測定する必要がある。

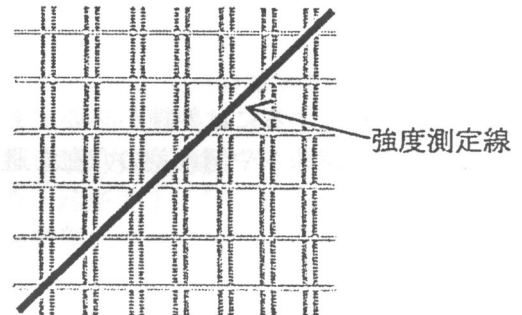


図4 鉄筋に対する強度測定線の例¹⁾

(6) 衝撃弾性波法

ハンマーなどによりコンクリート表面を打撃して弾性波を発生させ、これを受信子で測定する手法を衝撃弾性波法と呼ぶ。弾性波法の一つであり、一般的には20 kHz以下の超音波域よりも低い周波数成分の多い波を使用することになる。弾性波速度、周波数、位相などを分析することにより、強度を推定したり部材厚さ、内部欠陥や背面空洞の有無などを検知する。

国土交通省の「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領(案)」¹⁾において、超音波法とともに非破壊試験方法として規定されている。ただし、圧縮強度推定においては、キャリブレーションが必要であり、円柱供試体を作成し強度と弾性波速度との定量的な関係を求めておく必要がある。また、弾性波速度が鉄筋の影響を受けないように図4に示すように鉄筋に対して斜めに測定する必要がある。

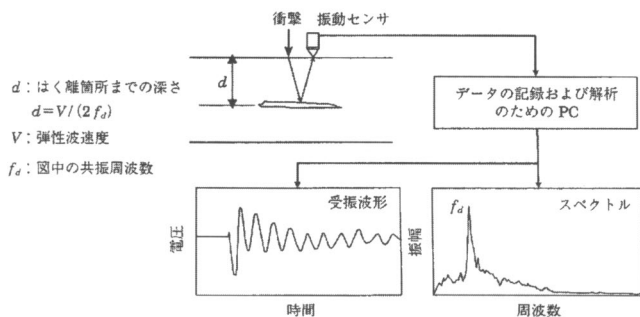


図5 衝撃弾性波法の概念図⁶⁾

衝撃弾性波法の概要を図5に示す。

(7) X線法

X線法は、電磁波を利用する試験法の一つで、コンクリート中を透過したX線の強度の分布状態から、内部の鉄筋、空隙、ひび割れの検出を行うものである。X線の波長は約0.03~100 nm程度である。

X線透過撮影法は、内部の様子をほぼ実態に近い状態で確認できる唯一の非破壊試験方法であり、工業、医療の両分野で幅広く用いられている。ただし、透過撮影された写真は点光源で映し出される投影図のような二次元画像であるため、2枚の透過写真を用いてかぶり、位置等を求めるなどの工夫が必要である。

高エネルギーのX線またはγ線を使用すれば1 mを超す躯体の撮影も可能であるが、安全管理上の制約があり、実際の現場作業においては低エネルギーのX線装置に使用が限定される。このため、普通のコンクリートを対象とした場合、適用限界厚さは400 mm程度であり、高強度のコンクリートになると適用限界厚さはさらに減少する。

(8) 赤外線法

赤外線法は、構造物表面から放射される赤外線を、検出素子を用いて二次元的に走査し、検出された赤外線量を映像として表示する方法である。赤外線の波長は、1~1000 μm程度である。

一般に、物体中に空隙などの損傷が存在する部分は、熱伝導率、比熱等、熱的性質が健全部と異なる。健全部と損傷部の熱的性質の違いは、気温や日射、あるいは人工的な加熱・冷却に起因して生じる構造物の温度変動の中で、表面温度の差となって現れる。土木・建築分野における赤外線法とは、赤外線映像装置を用いて物体の表面温度分布(熱画像)を測定し、熱画像上に現れる表面温度異常部から、損傷の存在を推定する方法である。

赤外線法による損傷検出の原理図を図6に示す。同図からわかるように、赤外線法は、内部に生じた空隙が断熱層となり、日射や気温変化に起

因して生じる表面温度の日変動の中で、図6に示すように損傷部と健全部との間に表面温度差が生じる時間帯があることを利用して、損傷を検知する手法である。

赤外線法の適用対象としては、壁仕上げ材の浮き、吹付けのり面の老朽化、橋梁コンクリート床版の浮き、トンネル覆工コンクリートの浮きなどである。非接触で広範囲に適用することが可能であるが、検知できるのはごく表面に近い部分の温度だけである。

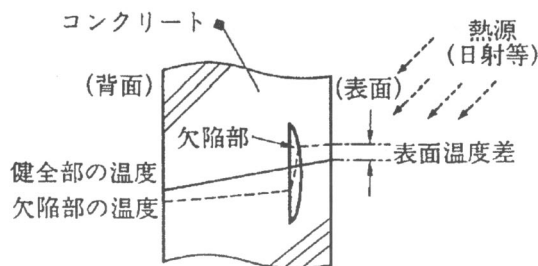


図6 欠陥検出の原理図⁴⁾

(9) レーダ法

レーダ法も電磁波を利用する試験法の一つで、コンクリート中の比誘電率の異なる物質の境界において電磁波(マイクロ波)の反射が生じることを利用したものであり、取扱いが簡単でかつ短時間で広範囲の調査が可能である。レーダ法で利用するマイクロ波の波長は0.1 cm~100 cm程度である。

レーダ法は鉄筋等の埋設物の平面位置、深さ方向の位置(かぶり厚さ)を測定するもので、市販されている装置では鉄筋径等の大きさの計測は困難である。国土交通省の「非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領(案)」²⁾において電磁誘導法とともに試験方法として規定されている。

一般に電磁波レーダのアンテナは、周波数を高くすると分解能は上がり探査深度は浅くなる。逆に、周波数を低くすると分解能は下がるが探査深度は深くなる。コンクリートの表面に水分が多く存在する場合は、表面からの反射が著しくなり内部探査が困難となる。また、配筋が密な構造である場合、鉄筋からの反射が卓越し測定精度が落ちるといった問題点がある。市販されている装置のマイクロ波は1 GHz周辺が多く、この周波数帯での分解能はかぶりが100 mm以内のとき50~100 mm程度である。

ダブル筋においては、上部筋の検知は可能であるが、下部筋の検知は難しい。

図7にレーダ法の測定原理図を示す。

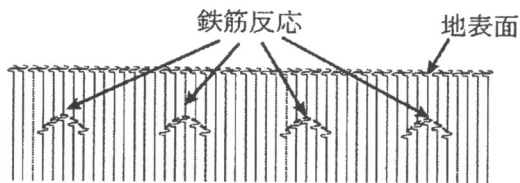
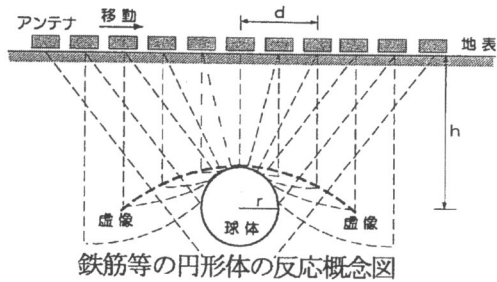


図7 レーダ法の測定原理図⁷⁾

(10) 自然電位法

自然電位とは、コンクリート内部の鋼材とその周囲の環境の平衡電位であると解釈でき、アノードのアノード分極曲線とカソード部のカソード分極曲線の交点の電位であると説明されている。自然電位の絶対値を評価することは難しいが、電位が低い場合は腐食が進行している、あるいは進行する可能性が高く、高い場合は腐食が進行していない、あるいは進行しない可能性が高いと判断される。実用的には、部材全面にわたる電位の分布図を作成し、部材中のどの部分に腐食が生じている可能性が高いかの判断をすることが可能である。

自然電位の計測は、JSCE-E 601「コンクリート構造物における自然電位測定法」に準拠して行うとよい。図8に自然電位の測定法を示す。

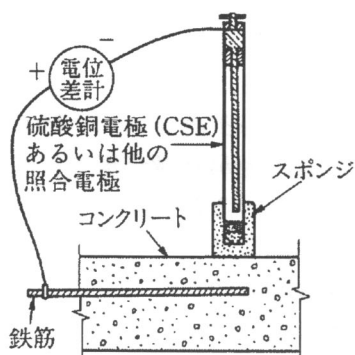


図8 自然電位の測定方法⁴⁾

(11) 分極抵抗法

分極抵抗法とは、コンクリート表面に当てた外部電極から内部鉄筋に微弱な電流または電位差を負荷したときに生じる電位変化量または電流変化量から、腐食速度と反比例の関係にある分極抵抗を求め、内部鉄筋の腐食速度を推定しようとする

ものである。

分極抵抗の計測方法として数種の方法があるが、ACインピーダンス法と呼ばれる方法を用いたポータブルな計測器が実用化されており、現場計測も十分可能となっている。図9に鉄筋の分極抵抗測定の概要図を示す。

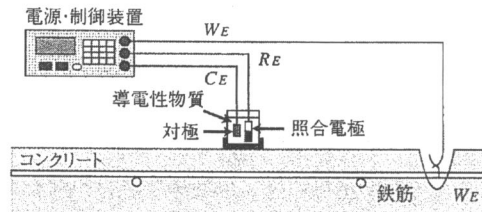


図9 鉄筋の分極抵抗測定概要図⁴⁾

(12) 電気抵抗法

一般に、電気抵抗の大きい乾燥したコンクリート中では鉄筋の腐食は生じないが、抵抗の小さい湿潤なコンクリート中では腐食が生じやすい。電気抵抗法とは、かぶりコンクリートの電気抵抗を測定することにより鉄筋の腐食の進行のしやすさについてある程度の目安を得るものである。電気抵抗の測定は、コンクリートの表面に4個の電極を並べる4電極法がもっとも一般的である。本法の適用に際して留意する点は、電気抵抗は鉄筋そのものの腐食状態を表すものではなく、コンクリートの表層近傍の電気抵抗を測定しているにすぎないという点である。

(13) 小径コア

構造体への影響を少なくする目的で、直径の小さなコアを採取し、圧縮試験を実施することが行われている。これに関する要領(案)⁸⁾が(独)土木研究所でまとめられている。それによれば、小径コアは、直径 $25\text{ mm} \pm 1.5\text{ mm}$ 、高さ $50\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$ を標準としている。従来のコアは直径 100 mm 、高さ 200 mm を標準としていたのと比べるとかなり小さくなっており、鉄筋破断の危険性が小さく、構造体に与える損傷が軽微で、補修が容易という利点がある。

要領(案)では、小径コアの圧縮強度試験値を次式で補正後、統計的手法で構造体の強度を求めている。

$$f_c = f_c' - 2.0 \quad (1)$$

ここに、 f_c ：補正後圧縮強度 (N/mm^2)

f_c' ：小径コア圧縮強度 (N/mm^2)

図10は構造体コンクリートの算出フローを示す。

このほか、小径コアを用いて次のような試験を実施できる。

- ・中性化深さ試験

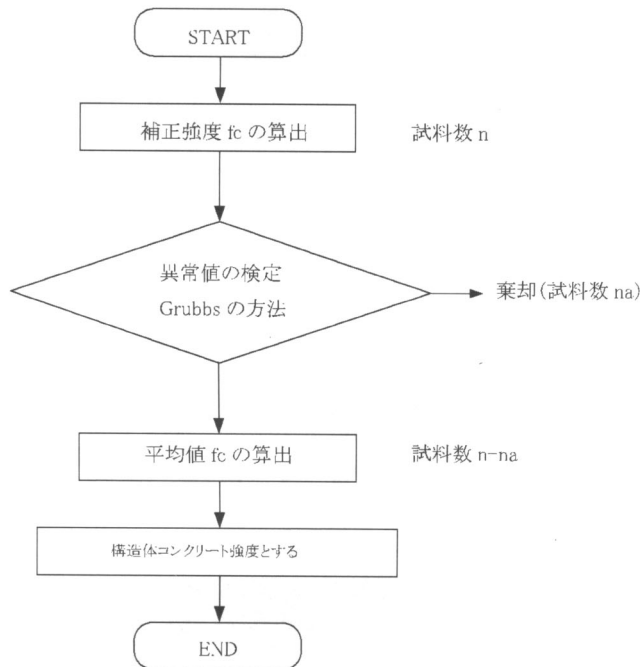


図 10 構造体コンクリートの算出フロー⁸⁾

- ・塩化物含有量試験
- ・アルカリ骨材反応に関する試験
- ・コンクリートの化学分析試験
- ・配合分析試験
- ・透気性、透水性試験
- ・細孔径分布試験 など

(14) ドリル削孔粉

小径コアよりさらに径の小さな電動ドリルで削孔を行い、その削孔粉を用いて次のような試験が実施できる。

- ・中性化深さ試験
- ・塩化物含有量試験
- ・アルカリ骨材反応に関する試験
- ・コンクリートの化学分析試験

ドリルの径としては 10~20 mm 程度のものが用いられる。図 11 にドリル法による中性化試験の概念図を示す。

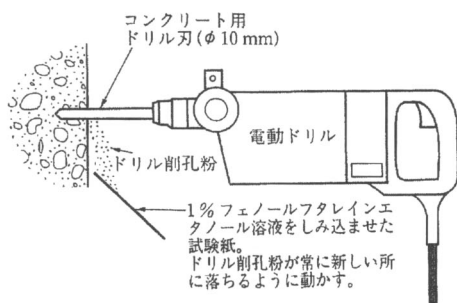


図 11 ドリル法による中性化深さ試験⁹⁾

(15) 小孔⁹⁾

小径コアを採取した孔やドリルで削孔した孔を用いて、コンクリートの透気試験、透水試験、給水試験などが実施できる。

(16) 局部破壊による強度推定⁴⁾

局部破壊法は、コンクリートの表層部を局部的に破壊し、破壊時の抵抗力を指標として圧縮強度を推定する方法である。試験によって生ずる局部的な損傷は、コンクリート構造体に影響を与えないが、損傷部分を補修する必要がある。

試験方法としては、プルオフ法、プルアウト法、ブレイクオフ法などがある。

3. おわりに

コンクリートの非破壊・微破壊試験は、コンクリート構造物の老朽化が顕著になり始めたことより注目を集めるようになった。国土交通省が、橋梁やボックスカルバート等のコンクリート構造物の出来形管理に非破壊・微破壊試験を用いるようになったことで、社会的にも認知されてきている。今後、非破壊・微破壊試験の需要は大きくなると考えられるが、その精度はまだ要求を満足しているとは言い難い。今後は、各試験のさらなる精度向上と、取り扱いが簡単な機器の開発が期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課 (2009)：微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領(案)
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課 (2009)：非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領(案)
- 3) 社団法人土木学会 (2007)：コンクリート標準示方書【維持管理編】
- 4) 社団法人日本コンクリート工学協会 (2009)：コンクリート診断技術'09
- 5) 長塚文昭, 渡辺文雄, 笠原慶一 (1993)：ウェーブレット変化を利用した打音調査, 土と基礎, Vol. 41, No. 6
- 6) 社団法人日本コンクリート工学協会 (2009)：コンクリートのひび割れ, 補修・補強指針—2009—
- 7) 社団法人全国地質調査業協会連合会 (2007)：防災・維持管理分野における物理探査の適用
- 8) (独)土木研究所, (株)銭高組, 前田建設工業(株), 日本国土開発(株) (2006)：小径コア試験による新設の構造体コンクリートの強度測定要領(案)
- 9) 社団法人日本非破壊検査協会 (2002)：非破壊検査の最前線

国土地盤情報検索サイト (KuniJiban) による 地盤情報の提供とその利用

くら 倉 橋 とし ゆき
さ 佐 木 幸
い 稲 崎 靖 人
な い な ぎ と み お
稲 崎 富 士

1. はじめに

地盤情報は地形情報等と同様に国土の利用、開発および保全に資する重要かつ公共性が高い基本情報であり、広く提供されることは国民にとって非常に有益である。そこで国土交通省は地盤情報を広く国民へ提供する施策として CALS/EC アクションプログラム 2005¹⁾、地理空間情報活用推進基本法（平成 19 年法律第 63 号）に基づく地理空間情報活用推進基本計画²⁾を策定したほか、「地盤情報の集積および利活用に関する検討会」からの提言³⁾を受けた。提言の集積と提供の基本的考え方に則して、土木研究所は国土交通省および港湾空港技術研究所とともに、平成 20 年 3 月 28 日から国土地盤情報検索サイト“KuniJiban” (www.kunijiban.pwri.go.jp)を開設し、電子国土を利用して地盤情報を国民に無償で試験提供してきた。平成 21 年 3 月 30 日現在で、国土交通省の道路や河川等の直轄事業等における約 7 万 5 千件のボーリング柱状図と土質試験結果一覧を閲覧することができるが、その分布範囲は沖縄を除く 46 都道府県に及ぶ（図 1）。

本報告では、KuniJiban を用いた地盤情報の利活用と信頼性の高い地盤情報を提供するための課題について述べる。

2. 電子国土を利用した地盤情報の提供

図 2 に電子国土を利用した KuniJiban の地盤情報の閲覧画面を示す。利用者が自分の閲覧したい地方整備局のデータレイヤを選択すれば、必要

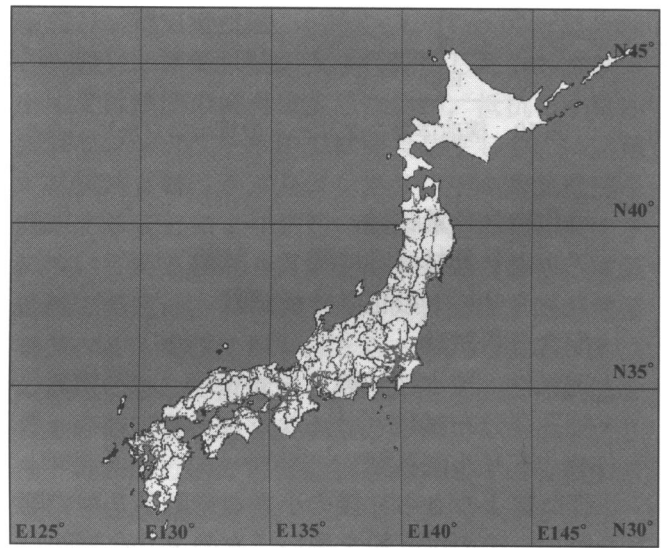


図 1 KuniJiban に集約された地盤情報の分布

利用者は国土交通省の道路や河川等の直轄事業等における約 7 万 5 千件のボーリング柱状図と土質試験結果一覧を閲覧することができ、その分布範囲は沖縄を除く 46 都道府県に及ぶ。

な範囲・精度の背景地図データを国土地理院のサーバから自動的に読み込み、画面上に地盤情報と重ね合わせて閲覧できる。このデータレイヤにはボーリングの緯度経度のほか、ID、事業工事名、調査名、緯度経度、孔口標高、総掘進長、柱状図や土質試験結果一覧の参照先の URL が XML 書式で記載されている。利用者は、URL から柱状図や記載を閲覧できるほか、無償でファイルをダウンロードすることもできる。

3. 地盤情報の利活用

地盤情報を広く国民に提供することにより、社会資本施設の改修や新築、災害の原因究明、ハザードマップの作成、地球科学や地盤工学等の学術研究や理科教育などの様々な用途での

* 独立行政法人 土木研究所 材料地盤研究グループ
地質チーム 主任研究員

** (同) 上席研究員

*** (同) 技術推進本部特命上席研究員



独立行政法人 国土研究所 〒305-8518 茨城県つくば市南原1番地6

図2 電子国土を利用した KuniJiban の地盤情報閲覧画面

利用が期待される。これらの利用を後押ししているのが、XML 書式の電子データと自由な利活用を認めた利用規約である。

まず、XML 書式の電子データは、マッピングや断面図の図化作業の省力化や、データベースを利用した集積等の高度な利活用に役立つ。KuniJiban では地盤情報を「地質・土質調査成果電子納品要領(案)」(平成 16 年 6 月版)⁷⁾ に定められた、XML 形式のボーリング交換用データと土質試験結果一覧表データを提供している。例えば、高度な利用に資するように、KuniJiban では土質試験結果の空間検索を可能とした。利用者が緯度経度の位置情報と深度を入力することで、任意の空間に含まれる土質試験結果を検索できる(図3)。

検索条件 必要な項目のみ入力して下さい。
検索対象データを確認して下さい。

ボーリングID			
調査名 (スペース区切りで検索可 and or検索)	堤防	@and Or	
発注機関名称	関東地方整備局		
整理年月日	2001年 4月 日 ~ 年 月 日		
◎試験深度 ○試験標高	0 m ~ 50 m		
試験項目(1種)	--選択してください--		
範囲	左上端	緯度 36度 30分 00秒 経度 139度 40分 00秒	
	右下端	緯度 35度 10分 00秒 経度 140度 10分 40秒	

[検索] [クリア]

検索結果 1,920件あります

ボーリングID	調査名	発注機関名称	緯度	経度	試料番号	深度(m)		標高(m)	
						上端	下端	上端	下端
KT200483316020660001	鬼怒川堤防点検詳細調査(その4)	国土交通省関東地方整備局下館河川事務所	36° 17' 42.0000"	139° 54' 27.0000"	R460050-B	0.50	1.00	33.21	32.71
					R460050-1-2	2.00	2.80	31.71	30.91
					R460050-1-2	2.00	2.80	31.71	30.91
					R460050-1-3	2.80	3.60	30.91	30.11
					R460050-1-4	4.15	4.48	29.56	29.23
					R460050-1-6	6.15	6.41	27.56	27.30
KT200483316020660002	鬼怒川堤防点検詳細調査(その4)	国土交通省関東地方整備局下館河川事務所	36° 17' 42.0000"	139° 54' 27.0000"	R460050-1-8	8.15	8.32	25.56	25.39
					R460050-1-10	10.15	10.45	23.56	23.28
					R460050-2-2	2.15	2.50	33.88	33.53
					R460050-2-3	3.45	3.76	32.58	32.27

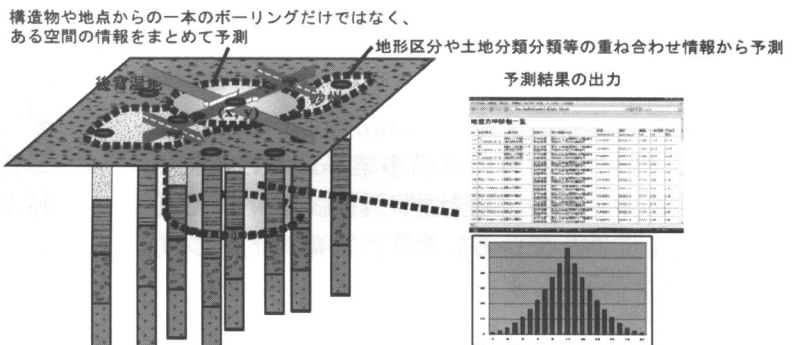
1 / 192ページ

図3 土質試験結果の検索

〔緯度経度、標高または深度を入力することで、任意の空間に含まれる土質試験結果を検索することができる。〕

これは、土質試験結果一覧表データが XML 形式で書式化されているために、リレーション形式のデータベースへ約 13 万件に及ぶ試験結果の情報を容易に登録できたことによる。今後は、ボーリングの記事や原位置試験へと検索できる対象を拡大するとともに、地形区分や構造物等の属性情報と組み合わせることにより、地質リスク等の特定の情報を抽出できるようにする計画である(図4)。

次に、自由な利活用を認めた利用規約であるが、KuniJiban の利用規約では法令や条例、公序良俗に反しない限り、自由な利活用を認めている。それは複製・改変・販売・頒布等の多岐に及び、民間利用を促している。従来の公開されている地盤情報データベースには、画期的な条文である。



さらに、構造物等の属性条件を付加することで、任意地点における地盤物性や産状を効果的に予測

図4 将来における土質試験結果の空間検索

4. 信頼性の高い情報を提供するために

ただし、継続的かつ効率的により信頼性の高い地盤情報を提供するために、KuniJiban では適切な地盤情報の更新、説明責任、原本性の確保を課題としている。

まず、地盤情報の更新においては、効率的な地盤情報の追加と、誤った地盤情報の修正が必要である。国土交通省には電子化された約 14 万件の地盤情報がある。今後も品質確認を徹底し可能な限り集約するほか、紙面の報告書の電子化するなどして地盤情報を追加する計画である。一方、誤っている地盤情報の修正については、継続的かつ効率的に地盤情報を集積・提供する仕組みとして、納品時から提供に至るまでの基本手順を策定する予定であ

る。

次に原本性の確保においては、KuniJiban は可能な限り原本に忠実に提供することを基本としている。しかし、XML 書式の電子データは高度に利用できる反面、改ざんも容易である。KuniJiban はオリジナルの地盤情報を発行できる唯一の機関として、電子署名を付記し改ざんの有無を判別できるようにすることを検討している。

最後に説明責任においては、KuniJiban は問い合わせ窓口として kunijiban@pwri.go.jp を設置し、電子メールにより一般的事項への質問に回答している。さらに、利用者が個別の記載内容への質問や報告書の閲覧等を望む場合には、事業者が情報公開法等により通常の行政サービスの範囲で応じている。また、万一、利用者から調査会社等に問い合わせがあった場合には調査会社に回答の義務はない。これらの場合には、まずは事業者へ相談されたい。

5. おわりに

国土地盤情報検索サイト“KuniJiban”は、国土交通省の道路や河川等の直轄事業等における約7万5千件のボーリング柱状図と約13万件の土質試験結果を提供している。今後は、継続的かつ効

率的に信頼性の高い地盤情報を提供するために、当面は、国土交通省の約14万件の電子化された地盤情報の集約を目標とするほか、過去の地盤調査資料の電子化・数値化に取り組む。その他、説明責任に努めるとともに、原本性の確保、品質確認等について検討をおこなう。

参考文献

- 1) 国土交通省 (2006) : 国土交通省 CALS/EC アクシヨンプログラム 2005,
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/13/130315_.html.
- 2) 国土交通省 (2008) : 地理空間情報活用推進基本計画,
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/02/020414.html>.
- 3) 地盤盤情報の集積および利活用に関する検討会 (2007) : 地盤情報の高度な利活用に向けて 提言～集積と提供のあり方～, 国土交通省,
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/13/130302_.html.
- 4) 国土交通省監修 (2004) : 地質・土質調査成果電子納品要領(案)平成16年6月版,
http://www.cals-ed.go.jp/index_denshi2.htm.

国土交通省緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）

ふじ た つかさ
藤 田 司

1. 緊急災害対策派遣隊の創設

わが国は気候、地質的な要因に地形的な要因もあいまって、世界的にみても自然災害に見舞われやすい条件にある。最近の地震災害についていうと、最大震度6強以上に限っても平成16年の新潟県中越地震（最大震度7）、平成19年の新潟県中越沖地震（同6強）及び能登半島地震（同6強）、また平成20年の岩手・宮城内陸地震（同6強）などがある。また、台風や梅雨前線による水害や土砂災害は毎年と言ってよいほど発生し、しばしば大きな人的、経済的被害をもたらしている。今年も、平成21年7月中国・九州北部豪雨では多数の死傷者や家屋浸水などが発生しているところである。しかも、地球温暖化による気候変動が、海面上昇や豪雨の激化など、新たな災害リスクの増大を招くことが懸念されており、一層の危機管理体制の強化が求められている。

このような状況の下、国の基本的責務として、自然災害から国民の生命と財産を守る体制を整えるべく、国土交通省は平成20年5月、緊急災害対策派遣隊（Technical Emergency Control Force, TEC-FORCE）を創設した。

2. 緊急災害対策派遣隊とは

緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）は、大規模自然災害における被災状況の迅速な把握や被災地の早期復旧に関し、地方公共団体等に対して技術的支援を円滑・迅速に実施するものである。活動に当たっては、全国の地方整備局等から、広域的な派遣を行い、被災地域に人員、資機材等を集中的に投入することによって、社会基盤施設の被

害拡大防止や早期復旧、二次災害防止を図ることとしている。また、関係機関と連携することにしており、独立行政法人土木研究所、独立行政法人建築研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所とは一体となって行動する。さらに、必要に応じて、応急対応業務に関して協定を締結している団体、技術専門家が登録されている団体、関係地方公共団体、日本下水道事業団とも連携して活動することとしている。

緊急災害対策派遣隊創設に当たっては、過去の災害対策の経験を踏まえ、地方整備局等の人員、資機材等の充実を図るとともに、平時においても、訓練等を重ねてスキルアップを図り、大規模自然災害が発生した時に迅速かつ円滑に活動できる体制をとることとしている。緊急災害対策派遣隊の隊員は国土交通省本省、地方整備局、北海道開発局、地方運輸局等において指名され、平成21年4月現在、全国で2,612名である。

緊急災害対策派遣隊は、自然災害に対応するために、役割に応じて班編制される。班には、先行的に派遣して被災状況等の調査を行う先遣班、災害対策用ヘリコプターや踏査による被災状況調査班、ポンプ排水や土砂撤去、迂回路設置等を行う応急対策班、特異な被災事象等に関する調査や高度な技術指導等を行う高度技術指導班、被災状況の映像配信や電話等の通信回線を構築する情報通信班、また、緊急・代替輸送に関する情報収集やニーズの把握、調整など地方公共団体の支援を行う輸送支援班などがある。

3. 平成20年岩手・宮城内陸地震

緊急災害対策派遣隊が初めて活動したのは、発足してまもなく発生した平成20年岩手・宮城内陸地震に対してである。岩手・宮城内陸地震は、6月

* 国土交通省河川防災課災害対策室 課長補佐



写真1 先遣班（国土交通省緊急調査団）



写真3 被災状況調査班（道路）



写真2 応急対策班（無人化施工機械）



写真4 高度技術指導班（応急復旧工法）

14日08時43分頃、岩手県内陸南部の深さ約8kmを震源とするマグニチュード7.2（暫定値）の地震である。この地震では、岩手県奥州市、宮城県栗原市で震度6強を観測したほか、宮城県、岩手県、秋田県の各地で震度6弱ないし5強の揺れとなり、祭時大橋の落橋などの道路被害、15箇所にも及ぶ河道閉塞（天然ダム）の発生など、大きな被害が発生した。

国土交通省は被害の大きさに鑑み、東北地方整備局だけでなく、北海道開発局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局などから隊員及び資機材を派遣した。発災直後に、先遣班としてヘリコプターによる上空からの調査や国土交通省緊急調査団による調査を行ったことをはじめとし、土砂災害危険箇所調査、道路被災状況調査、被災建築物危険度判定などの被災状況調査班、土砂崩れ箇所等における応急対策班、災害復旧工法指導や河道閉塞（天然ダム）などに対する高度技術指導班など、7月22日までに延べ1,499人日の隊員と515台の災害対策用機材を派遣した（写真1-5）。



写真5 高度技術指導班（河道閉塞（天然ダム）対応）

4. おわりに

大規模自然災害の現場においては、地質に関する専門知識が有益な場面が多い。国土交通省においては、引き続き緊急災害対策派遣隊の充実・強化を進めつつ、今後は外部の地質専門家とのより深い連携を図って、安全・安心な社会の構築に努めていきたい。

河川堤防の開削調査

あら い とし ふみ
荒井 寿文*

1. はじめに

河川堤防は土で構成された構造物としては極めて規模が大きく、防災構造物としての重要性も高いが、長い年月の中で災害のつど改修を重ねてきていることから、土質構成が複雑で、その詳細がわかっていない場合が多い。

通常、堤体の土質構成を把握する手法としてはボーリング調査が多用されるが「点」の調査であるため、上述のような複雑な土質構成を把握しきれない場合もある。このため、堤防開削調査は、樋門・樋管を新設する場合に堤防を開削する機会を利用して「面」として土質構成や築堤履歴等を詳細に把握するために行われる。

私は平成16年度に水門の新設を利用して、堤防の開削調査を実施する機会を得たので、その時の調査方法および調査結果を紹介する。

2. 調査方法

(1) 調査手順

堤防開削調査はまず、既存資料を収集し、堤防の改修履歴を調べる。既存調査で得た情報を入れ、現地調査を開始する。

現地調査は開削断面を横断方向に測量するとともに、断面に1mメッシュのグリッドを形成する。続いて、グリッドを目安に断面観察を行い、土層境界や土質の特徴を記録する。断面観察により得られた地層区分図をもとに、代表的な地層において、室内土質試験を行う。

(2) 断面観察時の着目点

開削調査において最も重要となるのが、断面観察である。断面観察は写真1に示すように、のり面に親綱を張り、降下しながら、土質の状況、土

層境界等の観察を行う。この時、築堤履歴や土質区分のカギとなるのが、草根、炭ガラ、礫の混入である。これらを見つけ、横断方向に追いかけると、凸状の旧堤防のかたちが浮かび上がってくる。混入物のうち、草根は堤防が嵩上げされた時に残された嵩上げ前の植生跡と推定され、炭ガラは蒸気機関車を利用して築堤された時代に投棄された



写真1 断面観察の状況写真

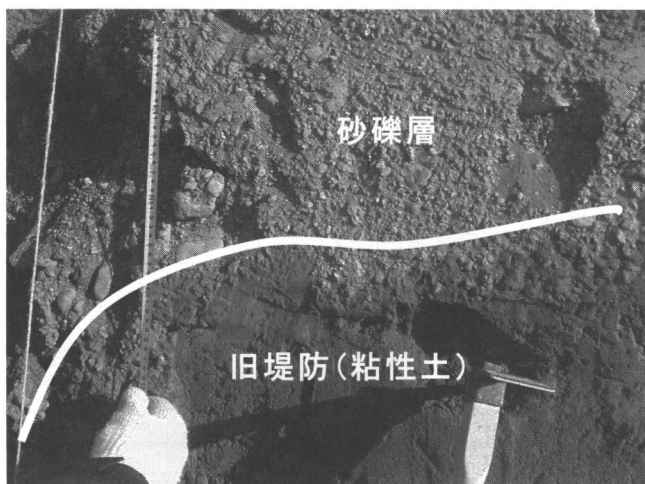


写真2 旧堤防を覆う砂礫層

* 株式会社東建ジオテック本店 技術部

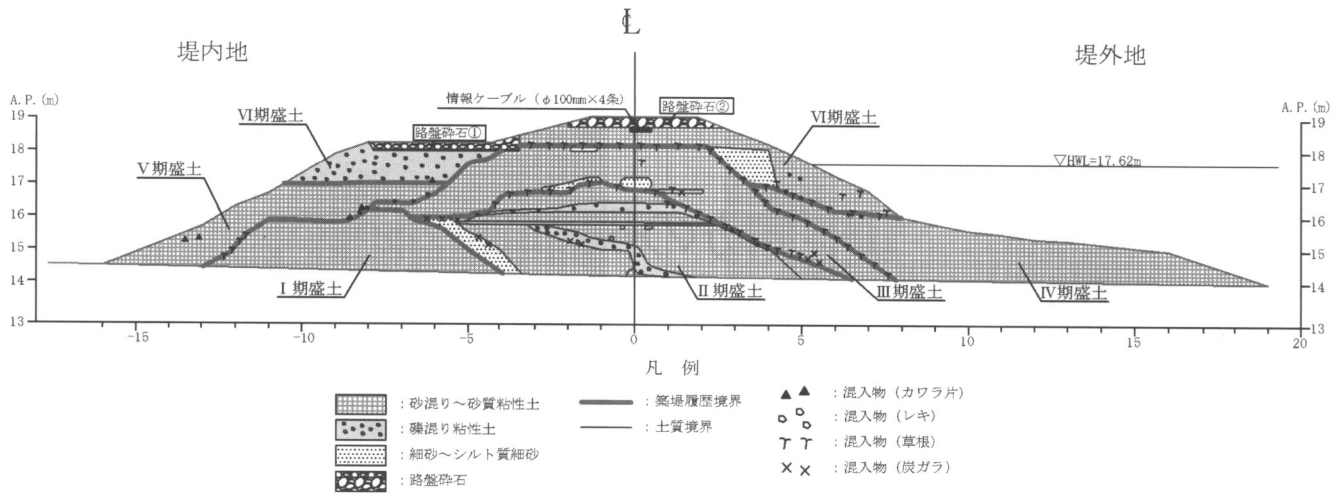


図1 断面観察結果図

燃料カスと推定される。また、礫は洪水時に上流から運ばれた土砂が堤防に被ったものと考えられる(写真2に旧堤防を覆う砂礫層を示す)。すなわち、これらの混入物により築堤履歴境界を推定することができる。

3. 調査結果

(1) 資料調査結果

事前の資料調査では周辺の堤防は昭和9年に築堤が始まり、昭和29年に完成したという記録のみが確認された。資料調査結果からは築堤の開始が古く、締固め等が人力作業によることが多かったことや堤防の完成までには20年の歳月があり、土の構成が複雑であることなどが推定された。

(2) 断面観察結果

図1に本調査で実施した断面観察結果を示す。

図に示すように堤体の土質構成は砂を混入する粘性土を主体とすることが明らかとなった。また、混入物や土層の重なり方からI期盛土からVI期盛土に6区分することができた。この区分はそのまま施工履歴になるとは限らないが、これに近い状況で築堤されたものと推定した。すなわち、川裏側に旧堤(I期盛土)が築堤され、その後、表腹

付け(II期盛土)、高上げ(III期盛土)、表腹付け(IV期盛土)、裏腹付け(V期盛土)、高上げ(VI期盛土)の順で施工されたものと推定できる。

また、断面観察による印象であるが、最も早い時期に施工されたと思われる堤防(I期盛土)は均質で締固めにムラがなく、非常にきれいな盛土という印象を受けた。

(3) 室内土質試験結果

表1に土質試験結果をまとめた。また、表中には「河川土工マニュアル(財)国土開発技術センター」に示される堤体の締固め基準も併せて示した。試験結果のうち粘着力をみると、新しい時期の盛土が古い時期の盛土より高い値を示していることがわかる。これは、古い盛土は人力で、新しい部分は機械で締固められたことによる差が粘着力に現れたものと考えられた。

また、締固め特性をみると、ほとんどが現在の基準値を満足していないことがわかった。

4. まとめ

近年頻繁に発生する豪雨災害により、洪水から国民の財産を守る河川堤防の重要性が再認識されている。また、河川堤防に関する構造検討の指針が整備され、浸透や耐震に対する計算手法が確立されつつあるが、私はこの調査を通じて、堤防検討業務では、計算の前処理である堤体のモデル化が最も重要であることを認識した。土質構成の複雑な堤体のモデル化はボーリング結果の地層をつないだだけではなく、築堤履歴を踏まえ、より現実に近いモデル作成を行う必要があると考える。

表1 室内土質試験結果一覧表

地層区分		I期盛土	II期盛土	III盛土	IV期盛土	V期盛土	締固め基準
物理特性	細粒分含有率 (%)	78	43	66	63	88	
	間隙比	0.983	0.854	0.916	0.754	1.713	
	自然含水比 (%)	24.4	19.6	22.5	20.2	52.3	
	湿潤密度 (g/cm ³)	1.720	1.761	1.744	1.894	1.497	
地盤材料の分類		砂質粘土 CLS	シルト質砂 SML	砂質粘土 CLS	砂質粘土 CLS	砂混じりシルト MH-S	
締固め特性	締固め度 (%)	87.1	86.4	84.9	97.4	81.7	90以上
	空気間隙率 (%)	15.8	17.2	15.8	11.2	11.7	2~10
	飽和度 (%)	68.0	62.7	67.0	74.1	81.5	85~95
特強性度	粘着力 (kN/m ²)	67.0	27.5	58.4	111.5	81.0	
	せん断抵抗角 (°)	14.0	20.1	19.1	23.5	13.4	

※太線で囲まれたものは堤防の締固め基準を満足していない試験結果を示す。

各地の博物館巡り

茨城県つくば市

「産業技術総合研究所 地質標本館」

—地質調査の研究成果を社会へ—



写真1 地質標本館の正面外観

はじめに

茨城県つくば市には、多くの国や民間の教育・研究機関が集まり、研究学園都市を形成しています。その中のいくつかの機関は研究成果を市民の方々にお伝えするための博物館や展示施設を併設しています。2001年に独立行政法人化して発足した産業技術総合研究所(以下、産総研)には、3つの展示施設があり、その1つが1980年8月に通商産業省工業技術院地質調査所の公開展示施設としてオープンした地質標本館です。地質調査所(現産総研地質調査総合センター;以下、GSJ)の所有する膨大な岩石試料を登録・保管するための機能をもたせ、GSJの研究成果を広く一般に普及するための公開施設として地質標本館は創設されました。

展示の案内

地質標本館の展示は、玄関ホールと、それに続く4つの展示室から構成されています。ホールの天井には、1847年から1997年までの日本付近で発生した地震の震源分布をモデル化した展示があり、来館者は地下1000kmから日本列島を見上げるようになります。この震源分布をよく見ると、太平洋側から日本海側に向かって震源が深くなり、海洋プレートが日本列島の下に沈み込んでいる様子を読み取ることができます。そしてホールから見える中庭には、宮城県牡鹿半島のジュラ紀の砂岩泥岩互層の褶曲模型が設置されており、日本列島周辺のダイナミックな動きが体感できるようになっています。

第1展示室には、日本列島の34万分の1立体地質模型があり、凡例で色分けされた多くの地層・岩体と無数の断層により、日本列島の地質の複雑さを理解できます。新生代中新世の絶滅哺乳類デ



写真2 日本列島立体地質模型(第1展示室)

スモスチルスの全身復元骨格模型は、1977年にGSJの職員だった山口昇一博士が北海道歌登町(現 枝幸町)での地質調査の際に発見した、ほぼ全身骨格のそろった貴重な標本に基づくもので、東京大学の犬塚則久博士の監修です。また、1996年1月7日につくば市に飛来した隕石(“つくば隕石”)の展示があり、隕石の落下も身近な現象であることを実感するのではないのでしょうか。この他に、100点以上の化石(複製を含む)を並べたタイムトンネル風の地質年表、関東平野の立体地質模



写真3 デスモスチルスの復元骨格模型(第1展示室)

型などが設置されています。

第2展示室では、「生活と鉱物資源」というテーマで、燃料資源、鉱物資源などの展示があり、私たちの生活に必要なさまざまなものが地質と関係していることがわかります。あわせて、太平洋の海底模型の展示があり、太平洋プレートの誕生する場である海嶺や、沈み込む場である海溝、そしてハワイの海山列などを一望してプレートの動きを感じ取ることができるようになっています。

第3展示室では、「生活と地質現象」というテーマで、火山、地熱、活構造、活断層と地震など、私たちの生活に直接かかわる可能性のある地質現象について知ることができます。中でも、富士山・箱根火山の立体地質模型は、ボタンを押すと富士山の地質断面が現れ、実は2つの古い火山が地下に埋もれていることがわかります。



写真4 富士山の立体地質模型（第3展示室）

第4展示室では、1000点を超す岩石・鉱物・化石の標本を分類展示しています。これらは、GSJの長年にわたる地質調査の成果や国内外の機関との交換・寄贈による収蔵標本のごく一部です。



写真5 青柳鉱物標本（2階休憩室前）

この他にも、各展示室をつなぐ廊下部分に小テ

ーマごとのコレクションの展示を配置しています。中でも、近年寄贈を受けた青柳鉱物標本は、その結晶の見事さや教育的な価値の高さから見学者の注目を集めています。地質標本館では標本寄贈を記念して2008年春に特別展を開催し、図録を出版しました。また、同年から「地質の日」（5月10日）が始まり、これにあわせて地質標本館の化石標本をもとにした記念グッズ「化石チョコレート」の企画・開発に協力しましたので、化石の実物と忠実なチョコレートのレプリカ（製品）の比較展示も館内で行っています。

主な行事

常設展示以外に、春と夏、秋に定例の特別展を開催しています。2009年夏は「ジオパークに行こう！」を開催中です。また体験学習として、化石のレプリカ作り、化石のクリーニング、岩石・鉱物・化石の鑑定のお手伝いをする「地球何でも相談日」などがあります。野外地質観察会も毎年企画しています。

おわりに

昨年、屋外展示としてメタセコイアの植栽の横に北海道美唄市産の珪化木を置いたところ、入館前にここで滞留される方も少なからずいます。この他にもいくつか屋外展示がありますので、来館される機会がありましたらぜひご覧ください。

館内にはミュージアムショップがあり、GSJの発行する地質図類の他、青柳鉱物標本の図録、鉱物トランプ、屋久島の地質ポスターなどを作製販売しています。展示業務と並行して地質標本館ではGSJの所蔵する膨大な地質標本の登録を進め、データベースも公開しています。今後もいろいろな成果物や催しを通して、地質が市民の皆様の身近な存在となるよう努めていきたいと考えています。

（産業技術総合研究所地質標本館 利光誠一）

利用案内

所在地：茨城県つくば市東1-1-1中央7
電話：029-861-3750 Fax：029-861-3746
開館時間：9時30分～16時30分
休館日：毎週月曜日（祝祭日の場合は翌日）、
年末年始
入館料：無料（団体の場合は要事前連絡）
HP <http://www.gsj.jp/Muse/>

車窓から見る地形・地質

駒ヶ岳と大沼国定公園

北海道渡島支庁

JR 北海道，函館本線（函館一森）

大沼国定公園と JR 函館本線

北海道の南端，いわゆる道南地方は北海道としては比較的古くから開けた地域です。今年に函館開港150周年にあたり，いろいろな記念行事が計画されています。1871年（明治4年）に開拓使庁が札幌に移るまでは，函館が北海道の政治，経済の中心でした。1869年（明治2年）に榎本武揚の率いる幕府軍と明治政府軍が最後に戦った箱館戦争の舞台がこの地です。



写真1 駒ヶ岳と小沼（JR大沼駅付近）



図1 駒ヶ岳・大沼国定公園周辺と JR 函館本線

函館本線の起点，函館駅を出発すると，車窓からはしばらくは函館の市街地から郊外の風景が続きます。

渡島大野駅（将来は北海道新幹線の新函館駅（仮称）になります）を通過したあたりから次第に標高を上げ，大沼トンネルをぬけると車窓左側に小沼とその奥に駒ヶ岳がそびえたつ光景が目に入ります。大沼国定公園に入りました。

大沼国定公園は，昭和33年7月に，全国で13番目，南北海道唯一の国定公園となりました。活火山である駒ヶ岳と，噴火によってできた大沼，小沼，専菜（じゅんさい）沼をはじめ大小の沼，自然豊かなその周辺地域一帯が指定されています。

総面積は9,083ヘクタールで七飯町，鹿部町，森町の3町にまたがっています。道南地方で最も人気のある観光地であると言っても過言ではありません。

函館本線は大沼駅で東西に別れ，駒ヶ岳の西側を通る「大沼廻り」と東側を通る「砂原（さわら）廻り」に分かれます。昔は線路勾配の関係で，上り（函館行き）が砂原廻り，下り（札幌行き）が大沼廻りだったそうですが，現在ではほとんどの列車が大沼廻りを通ります。

大沼廻りは次の大沼公園駅を出発してすぐに白鳥台セバット（狭まった場所の意味）を通ります。大沼と小沼はここでつながっております。冬期間は全面結氷する沼ですが，ここでは大沼と小沼の間で水が動くので，ほとんど結氷することがないと言われております。



写真2 白鳥台セバット（手前が小沼，橋の奥が大沼）

白鳥台セバットには鉄道橋が架かっており，観光遊覧船がこの橋の下を行き来しております。車窓からは左手に小沼，右手に大沼を見ることができます。しかし，特急ですとほんの一瞬というのがちょっと残念です。

駒ヶ岳

駒ヶ岳は北海道を代表する活火山のひとつで

す。活火山データベースでは北海道駒ヶ岳となっておりますが、ここでは駒ヶ岳と呼びます。

北海道の山の名前は「ニセ（絶壁）・コアン（に向かう）・ヌプリ（山）」などのようにアイヌ語起源のものが多いのですが、古くから和人が住んでいた地域であるためでしょう「コマガダケ」という和風の名前になっております。

駒ヶ岳は西側の剣が峰（標高 1131 m）と東側の砂原岳（標高 1112 m）の 2 つのピークがあり、馬の背のような形が駒ヶ岳の由来であるとされております。元は成層火山であったのが、山頂部分が大噴火によって失われて、山頂が破壊した円錐型の地形になっております。

火山活動の記録は北海道としては比較的早く 1640 年（3 代将軍徳川家光の在位中）から残っております。駒ヶ岳の山頂部は、この 1640 年の活動で崩壊し、東に開いた U 字型の馬蹄型カルデラになりました。この時は山体の崩壊により太平洋側で津波が発生し 700 名以上が溺死したとされております。この後の大規模な噴火としては 1694 年（5 代綱吉の在位中）、1856 年（13 代家定の在位中）、1929 年（田中義一首相在任中）、1942 年（東条英機首相在任中）があり、この間にも小規模な噴火が見られております。

最近では 1996 年、1998 年に小噴火があり、直近では 2000 年の 9 月から 11 月にかけて火山活動が活発になり、小規模の噴火がありました。

現在（2009 年 7 月）では噴火警戒レベル 1（平常）ですが、入山規制が継続されております。

駒ヶ岳では気象庁により地震計、空振計、GPS、傾斜計、遠望カメラなどにより常時観測が行われております。また、駒ヶ岳周辺には北海道開発局、北海道函館土木現業所などによる各種の火山砂防事業が施されております。

駒ヶ岳のハザードマップは全国の火山に先駆けて 1984 年に公開され、その後も改訂版が発行されて、火山災害の減災に活用されております。

このように過去に災害をもたらした山ではありますが、そのかわりに周辺には多くの温泉という恩恵を与えてくれます。



写真3 駒ヶ岳登山道入り口（2009年7月3日撮影）

大沼温泉や鹿部温泉が有名ですが、このほかにも規模は小さいですが周辺に点在しています。温泉好きの人にはたまらない地域かと思えます。



写真4 駒ヶ岳を北側から望む（JR森駅付近）

さて、大沼駅で東側に分かれた砂原廻りは、駒ヶ岳の南側から東側、北側とほぼ四分の三周するので、駒ヶ岳の風景を楽しむには良いのですが、一日 7~8 本の普通列車と、ごく一部の夜行寝台特急しか通らないのは残念です。

間欠泉で有名な鹿部温泉も砂原廻りの沿線にあります。ただし、間欠泉は国道からは見えますが（現在では壁で囲われてしまい、見るためには入場料が必要です）、鉄道からは離れており車窓から見る事はできません。

大沼廻りと砂原廻りは駒ヶ岳の北側の森駅で合流し、ここから函館本線は内浦湾に沿って北上することになります。内浦湾は噴火湾とも呼ばれております。

おわりに

現在、北海道新幹線の計画が新函館（仮称）～札幌の間で立てられております。北海道新幹線は大沼国定公園の西側をトンネルで通過してしまうために、車窓からの駒ヶ岳や大沼、小沼を楽しむことはできなくなってしまいます。



写真5 地質調査が進む北海道新幹線（北斗市）

北海道までは飛行機を利用する方が多いかと思いますが、一度は青函トンネルから鉄道で足を運んで下さい。飛行機とは違った発見があるかと思えます。

関根幸博（株）ユニオン・コンサルタント

悠久の時を越えて恵みを与える讃岐岩 十二律の音階を奏でる石琴

讃岐岩と産地

香川県は瀬戸内海に面して讃岐平野が広がり、多くの丘陵地と円錐形の山々が海に浮かぶ島嶼のように平野内に散在する特異な地形をしています。これらの丘陵地や山々は、地質的には、下部に中生代白亜紀の領家花崗岩類があり、上部に新生代第三紀の瀬戸内火山岩類があります。

今回、御紹介する大地の恵みは、これらの丘陵地や山々の最上部に部分的にみられる讃岐岩（サヌカイト）です。讃岐岩は四国讃岐地方（瀬戸内火山岩石区）に産する非顕晶質古銅輝石安山岩で、灰黒色～黒色の非常に緻密な岩石といわれています。また、讃岐岩を含めて、一般的な斜方輝石玄武岩～安山岩をサヌカイトとって、瀬戸内地域に広く分布しています。讃岐岩はカンカン石、磬石とも呼ばれています。

讃岐岩は第三紀中期中新世(約 1100～1400 万年前)に形成された溶岩といわれています。地質図では、高松市と坂出市の間で、瀬戸内海に面した丘陵地域である五色台の南に広がる青峰、国分台、白峰山、蓮光寺山と、独立峰の城山、金山の山頂部付近が分布域とされていますが、五色台の黄ノ

峰、赤子谷からも産出されるそうです。また、その産状は、岩盤露頭と異なり、赤土の中に埋もれたり、沢沿いに転がったりしている」と記載されています。

太古の利用

旧石器時代、人々は主に狩猟による生活を営んでいました。狩猟の道具として石器を使っていました。古くからカンカン石を打ち欠いて作った石器は、加工が比較的容易で切れ味が良いため、讃岐の人々の日常生活に密着し、石器として重宝されてきました。

サヌカイトは非常に緻密な岩質で、固まりを真上から叩いてもなかなか割れにくく、「石の目」といわれるところに衝撃力が加わると意外なほど簡単に割れます。また、その割れ目が刃物のように鋭くなり、紙や木の葉であれば容易に切断することができます。このため、サヌカイトは、石器として大変に優れた材料でした。

最近の X 線を用いた研究で、石器に用いられた石の原産地が特定できるようになりました。香川県産のサヌカイトで作られた石器は、香川県内だけでなく、愛媛・高知・山口・鳥取・島根・京都・愛知・福井と西日本の各地で出土していることがわかってきました。このことはサヌカイトとその石器が、重要な交易品として広く流通していたことをうかがわせ、縄文～弥生時代の生活用具として、矢じり、石刀など人類発展に大きな役割を果たしてきました。

カンカン石

江戸時代の書物にカンカン石に関する記述があります。宝暦時代(1760年頃)木村草也著「三崎誌」には、「小綱代の白髪明神に鐘の様に美しい音を出す石あり、四国から来た船が航海安全のお礼

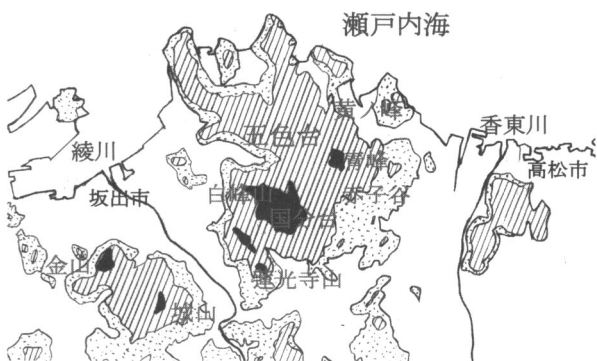
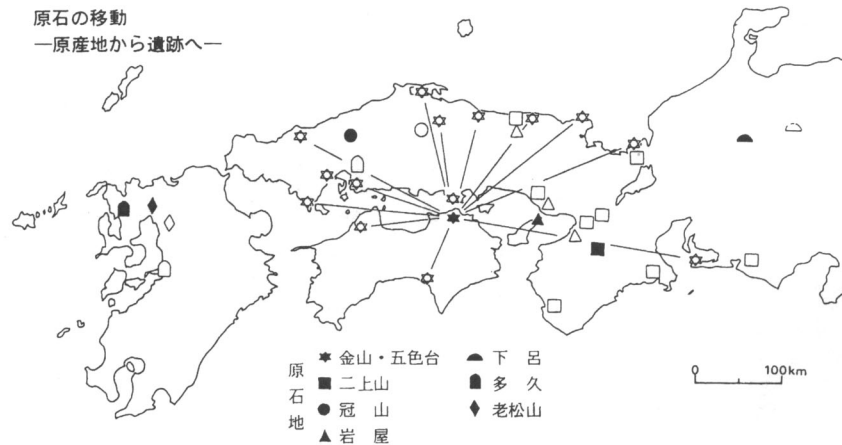


図1 地質図にみられる讃岐岩の分布¹⁾



藁科哲男・東村武信「石器原材料の産地分析」より作成

図2 讃岐のサヌカイトが出土した地域²⁾

に献じた」と書かれているそうです。また、安永年間（1772～1781）に出版された木内石亭（江戸後期の蒐集家）の著「雲根誌」の中にも、讃岐には美しい音を出す石があると書かれています。さらに、江戸時代の終わりに書かれた「全讃史」にも「白峰の声石」という記録があり、「この石の音響天下無双」とあります。これらはいずれもカンカン石、サヌカイトのことであろうと思われます。

サヌカイトは「キーン」とかん高く澄んだ余韻の残る音がし、小さい石は「チリンチリン」という涼しい音色が、大きな石は「カーンカーン」と鐘のように響く金属音がして、「カンカン石」と呼ばれています。

石琴の音色

サヌカイトは振動を妨げない部分をつまんで、そうでないところを叩くと深く澄んだ音がします。その音は石の大きさや厚さなどによりさまざままで、1つの石でも叩く位置により異なる音を出すものもあります。

石片を鍵盤打楽器のマリンバのように並べ音階を奏でる石琴や、石片を吊るして音階を奏でる「ソウ」と呼ばれる楽器があります。サヌカイトから楽器を作るには、地中から掘り出された自然石の中から音程と音質の適したものを音階順に並べなければなりません。

高松市国分寺町（旧端岡村）蓮光寺の住職であった故・長尾猛氏は、蓮光寺山から数多くのカンカン石を掘り出し、その中でも長く余韻をもつて響くものを、仏教音楽に用いる中国の楽器「磬」から「磬石」と命名しました。

長尾氏はこの「磬石」を用い、十二律の音からなる石琴を編み、大正11年に天皇陛下に、さらにその年に来日した英国皇太子にも献上しました。

全くの自然の状態できれいな音を出すものは少

なく、削ったり、穴を穿ったりしながら「調律」するそうで、歯科医師の使う道具を利用したそうです。調律は、長いものを短くすれば音程は上がり、厚いものを薄くすれば音程は下がります。理論的には単純ですが、一度加工してしまうと二度とは元に戻せません。音程のみならず、音質・音響が揃わなければ楽器としては成立しません。現在では長尾氏の娘である宮脇磬子氏が石琴作りを続けており、ピアノで言う黒鍵つきの4オクターブの石琴を何面か制作しています。そのうちの1つは現天皇の皇太子時代に献上され、ウィーン・フィルハーモニー管弦楽

団の名誉指揮者の故・カール・ベーム氏が東宮に招待された際に皇太子妃が演奏しています。また、讃岐国分寺跡資料館にも宮脇氏が寄贈した（4オクターブのものではないが）石琴が展示されており、こちらは来館者が演奏することも可能です。

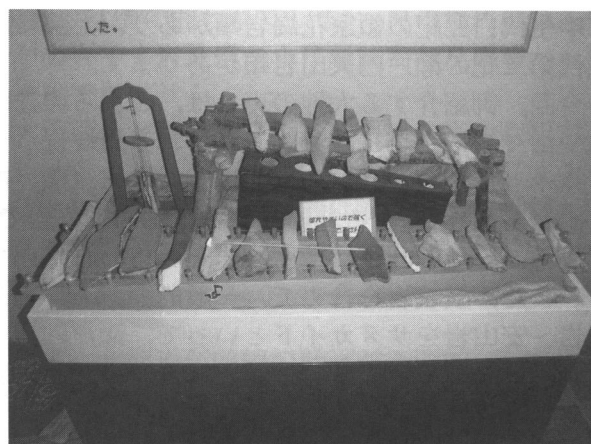


写真1 讃岐国分寺跡資料館に展示されている石琴

讃岐の恵み

太古に利用された石器が悠久の時を経て、カンカン石として親しまれ、磬石と命名され楽器として蘇ったサヌカイトは、これから先も讃岐の名石讃岐岩と讃岐地方に引き継がれていくと思います。

参考文献：

- 1) 讃岐平野の生いたち (URBAN KUBOTA 28)
- 2) サヌカイト (カンカン石) の秘密 (香川県教育委員会)
- 3) 見たい！知りたい！五色台！ (香川県自然科学館)
- 4) 電気協会報 16年 11月号
- 5) 季刊誌さあかす第5号 (NPO 法人明日に架ける橋)
- 6) 地質百選 ((社)全国地質調査協会連合会, NPO GUPI)

(文・橋野直二・増田剛人・中越寛行)

グラウンドアンカー極限周面摩擦抵抗 τ 値の推定

むかいで しゅうほ
向 出 修 輔*

1. はじめに

グラウンドアンカーの極限周面摩擦抵抗 τ 値を推定する場合、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」に示されている推定表から求めるのが一般的である。同表から土砂地盤の τ 値を推定するにあたっては，地盤の種類・N 値が明確に区分されており，本報告でも述べるようにアンカー引抜き試験 τ 値は表 1 に示した各土質毎の推定値に近い値が得られるようである。一方，岩盤に対しては区分がおおざっぱで，かつ定義も明確でないこともあって， τ 値が決定しづらいのが現状である。

このため，同表より推定した設計 τ 値と引抜き試験 τ 値が異なり，これまでも施工段階で設計変更が生じたり，なかには対策工法の見直しにまで発展したケースもある。

本報告では，主に石川県近辺に分布する地盤の「アンカー引抜き試験 τ 値」と「アンカー体設置部の地盤の種類・N 値・岩級区分」のデータを整理し，地域限定かもしれないが地盤に見合った τ 値を取り決めることができなにかどうか検討した結果について述べる。

2. 引抜き試験の現状

斜面崩壊・地すべり対策において，本来はアンカー引抜き試験が設計に先だって行われ，その試験 τ 値を採用して設計するべきである。

最近では，詳細設計段階で引抜き試験を実施するケースが増えてきてはいるが，その割合は少なく，大部分は施工段階で行われているのが実情で

ある。施工段階の引抜き試験では，表 1 から推定した設計 τ 値を用いて算定した荷重で引抜けないうかを確認するにとどまるケースが少なくないことやアンカー体長が最小値 (3 m) となる τ 値まで求めることができるように設定した計画最大荷重で引抜けない場合には，それ以上の荷重を作用させて τ 値を求めても経済的な利点がないため，試験装置・設備を変更してまでも τ 値を求めることはされておらず，真の地盤の τ 値は把握されていないのが実情である。

一方，引抜けた場合には工事内容を設計変更する方法がとられているが，引抜き試験 τ 値が設計 τ 値に近い値であれば設計変更で済むが，大きく異なる場合には他工法が経済性に優れる結果とな

表 1 アンカーの極限周面摩擦抵抗¹⁾

地盤の種類		摩擦抵抗 (MN/m ²)	
岩 盤	硬 岩	1.5 ~ 2.5	
	軟 岩	1.0 ~ 1.5	
	風化岩	0.6 ~ 1.0	
	土 丹	0.6 ~ 1.2	
砂 礫	N 値	10	0.1 ~ 0.2
		20	0.17 ~ 0.25
		30	0.25 ~ 0.35
		40	0.35 ~ 0.45
		50	0.45 ~ 0.7
砂	N 値	10	0.1 ~ 0.14
		20	0.18 ~ 0.22
		30	0.23 ~ 0.27
		40	0.29 ~ 0.35
		50	0.3 ~ 0.4
粘性土		1.0 c (c は粘着力)	

「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（社団法人地盤工学会）」から引用

* (株)ホクコク地水

ることもあり、大きな手戻りが生じてしまうことにも成りかねない。

このように表1の推定表は、引抜き試験を計画する際に重要な目安になる表であり、地盤の τ 値により近い値を想定できればコスト縮減や手戻りをなくすことに繋がると考える。

3. 引抜き試験データに基づいた地盤の種類・N値と τ 値の関係

アンカー体設置部の「地盤の種類・N値」とアンカー引抜き試験の「極限周面摩擦抵抗 τ 値」の関係を図1～図3に示す。試験データは第四紀層および新第三紀層の堆積軟岩と風化火山岩である。

3-1 収集した全データの地盤の種類・N値と τ 値の関係 (図1)

N値と τ 値の関係には、図示したように一次関数の相関が認められ、N値から τ 値の推定が可能と判断される。

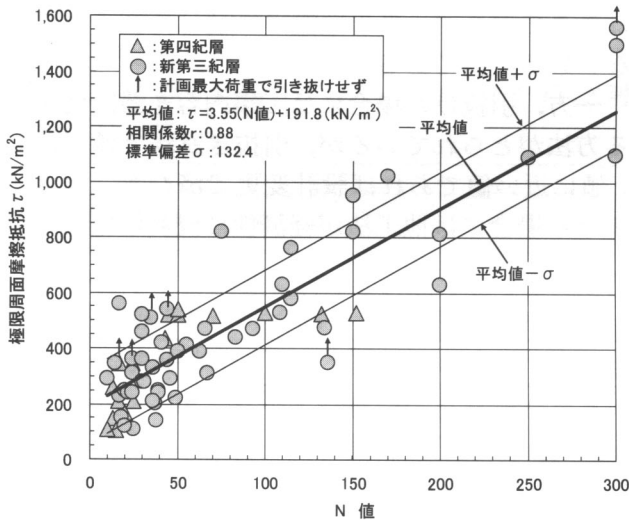


図1 全データのN値と τ 値の関係

3-2 第四紀層の地盤の種類・N値と τ 値の関係 (図2)

図2には表1に示した各土質毎の推定 τ 値を併せて示す。N値<50の粘性土・砂質土・砂礫では、概ね表1の推定値に近い τ 値が得られている。

一方、N値>50の砂礫の τ 値は、表1に示したN値=50の推定範囲の中間値($\tau=575$ kN/m²)を示す。これは、砂礫のN値が礫当たりによって過大に評価されているためと推定される。

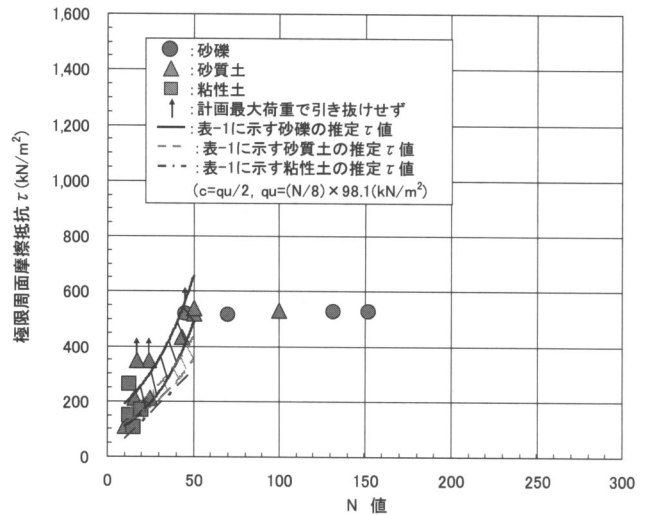


図2 第四紀層のN値と τ 値の関係

3-3 新第三紀層の地盤の種類・N値と τ 値の関係 (図3)

N値と τ 値の関係には、図3に示したように一次関数の相関が認められ、大まかではあるがN値から τ 値の推定が可能と判断される。なお、図3には表1に示した岩盤の τ 値を併せて示しており、表1に今回収集したN値と τ 値のデータを対応させながらよく見ると以下のことがわかる。

- ・石川県近辺で扱うことの多いN値<100の軟岩は、地盤の種類としては表1の「岩盤」から外れることになる。
- ・N値<50では $\tau=150\sim550$ (kN/m²)であり、バラツキが大きい領域である。
- ・図中のN値と τ 値の相関式の平均値でみると、表1の「風化岩」の τ 値の推定範囲($\tau=600\sim1,000$ kN/m²)に対応するのは、概ね「N値=110~220」の新第三紀層である。同様に「軟岩」の τ 値の推定範囲($\tau=1,000\sim1,500$ kN/m²)に対応するのは、概ね「N値>220」の新第三紀層である。

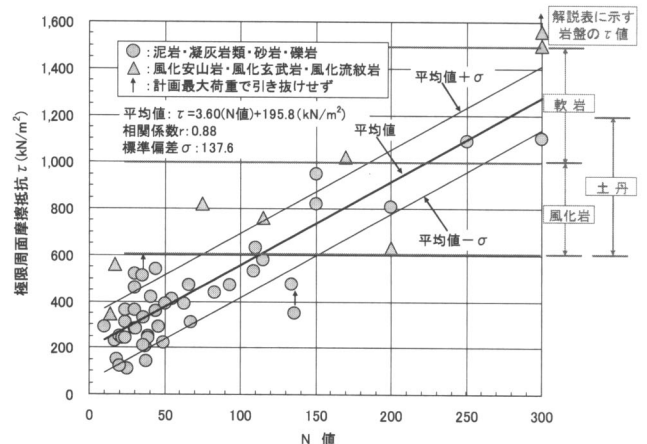


図3 新第三紀層のN値と τ 値の関係

ここで、石川県近辺に分布する軟岩のデータの多くが表1に示す岩盤の τ 値に当てはまらないのは、「地盤の種類」の定義が明確でないことを意味する。N値が判れば図3を用いて大まかな τ 値が推定できるが、N値が測定されていないオールコアボーリングや地表踏査の段階でも別の指標からN値を推定して、図3を利用することができれば、より合理的に τ 値を設定することができると思われる。このため、以下ではN値とは別の指標として岩級区分を取り上げ、岩級区分とN値との関係を整理することによって岩級区分と τ 値の関係について検討してみる。

4. N値が測定されていないケースでの岩級区分から τ 値を推定する方法の検討

(1) 岩級区分とN値の関係

岩盤等級は「ボーリング柱状図作成要領(案)²⁾」,「岩盤分類とその適用³⁾」に示されている区分要素を準用し、D級岩盤は、N値<20(岩片自体が指圧で崩せる硬さ)をD_L級, 20≤N値<50(岩片自体が指圧で崩せない硬さ)をD_M級, N値≥50(岩片自体がハンマー打で砕ける～容易に割れる硬さ)をD_H級と定義づけて区分した。

岩級区分とN値の関係について、岩級別のN値ヒストグラムを作成して整理した。岩級別のN値ヒストグラムの内、D_H級とC_L級を代表例として見てみると、図4に示したようにD_H級はN値=40~115の範囲に分布し、平均N値=72, C_L級はN値=50~189の範囲に分布し、平均N値=108を示す。C_M級はすべてN値≥300である。

次に各岩級区分とN値の関係をまとめて図5に示す。同図中の点線は、各岩級区分のN値の平均値を結んだものである。

岩盤等級が良好になるにつれてN値が大きくなり、岩級区分とN値の間には大まかな対応が認められる。図5の点線(N値の平均値)と岩級の境界線から推定した各岩級区分のN値の範囲を図中の表に示した。なお、図5ではC_L級とC_M級の境界領域N値=140~300の区間を「C_L~C_M級」として表した。

(2) 岩級区分と τ 値の関係

図6は、N値と τ 値の関係(図3)に図5に示した各岩級区分とN値の対応を重ね合せて表示したものである。

図中のN値と τ 値の相関式の平均値でみると、大まかには図中の網掛け範囲に示すように各岩級の τ 値は、

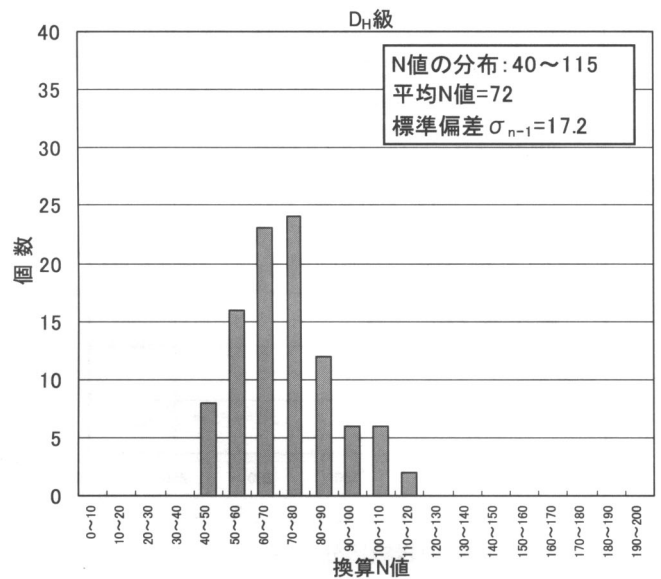


図4-1 D_H級のN値ヒストグラム

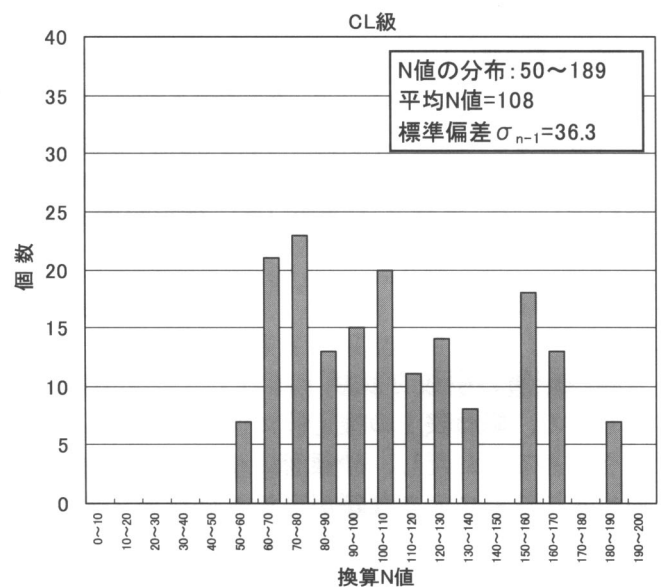


図4-2 C_L級のN値ヒストグラム

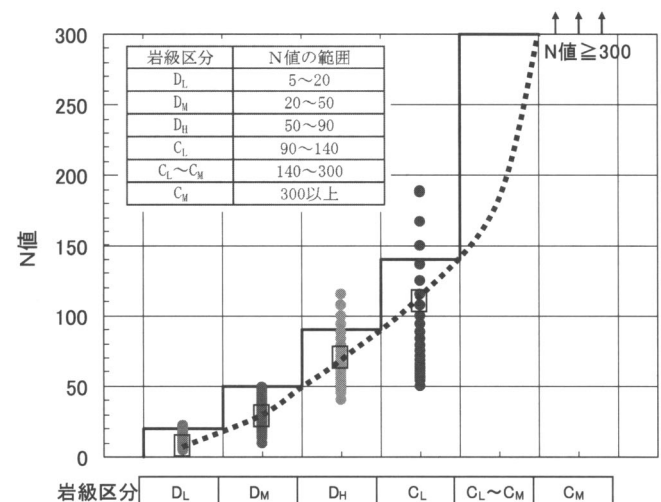


図5 第三紀層の岩級区分とN値の関係

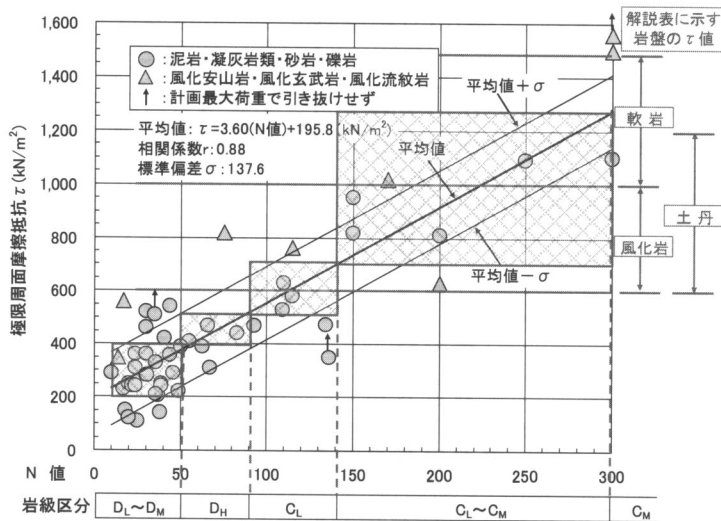


図6 新第三紀層の岩級区分とN値およびτ値の関係

「D_L~D_M級」：τ=200~400 (kN/m²)

「D_H級」：τ=400~500 (kN/m²)

「C_L級」：τ=500~700 (kN/m²)

「C_L~C_M級」：τ=700~1,300 (kN/m²)

「C_M級」：τ=1,300 (kN/m²) 以上

に対応する。「C_L~C_M級」はτ値の範囲が大きく、C_L級側では表1の推定表に示す「風化岩」のτ値に対応し、C_M級側では「軟岩」のτ値に対応する。

5. あとがき

第四紀層の引抜き試験τ値はデータ数が少ないものの、概ね表1の推定値に近い値が得られたようである。ただし、砂礫層においてはサンプラーの先端部分に大きな礫が当たったりして過大な

N値が測定されやすいため、表1からτ値を推定する場合には「打撃回数と貫入量の関係」から、修正したN値を用いてτ値を正しく評価することが必要と考える。

今回収集した新第三紀層の全データ数は72であり、N値とτ値について一対一の対応がとれるデータ数は54、N値と岩級区分とτ値について一対一の対応がとれるデータ数は23であり、N値と岩級区分とτ値について一対一の対応がとれるデータは全データの約30%と少ない。

今回取り扱ったデータにはアンカー体の構造の違いを評価していないが、今後、N値と岩級区分とτ値について一対一の対応がとれた地質データを体系的に収集して、アンカー体の構造も含めてより精度の高いτ値の推定ができればよいと考えている。

当然のことであるが、引抜き試験が調査・設計段階で行われることが望ましく、τ値を評価するには、引抜き試験の仕様に加えて、正確な地質判定、岩級区分およびN値を評価しておくことが重要と考える。

〈引用・参考文献〉

- 1) 「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説: (社)地盤工学会」
- 2) 「ボーリング柱状図作成要領(案)解説書: (財)日本建設情報総合センター」
- 3) 「岩盤分類とその適用: 吉中龍之進・桜井春輔・菊地宏吉/編著」