

2014

Vol.9

GEO CONSULTANT

ANNUAL REPORT
KANSAI GEOTECHNICAL
CONSULTANTS ASSOCIATION



関西地質調査業協会

技術者や研究者の英知でインフラ老朽化対策を。

関西地質調査業協会 理事長 荒木 繁幸

我が国は戦後の廃墟から立ち上がり、世界でも類を見ない復興と繁栄を遂げました。この影には、インフラ整備を担ってきた我々の先輩の努力があったことは言うまでもありません。昨年には2回目となる東京オリンピック大会（2020年）開催が決まりましたが、ちょうど50年前の東京オリンピック大会（1964年）では、開催を契機に高速道路や新幹線、空港などの多くのインフラ整備が急ピッチで進められました。まさに高度成長の真っ只中のことでした。しかし、半世紀を過ぎた今、笹子トンネル天井版崩落事故に代表されるように、古いインフラ構造物が老朽化によってその機能を失い、尊い人命が失われる最悪の事態が発生しております。こうしたことから、政府は「国土強靱化」を掲げ、インフラ構造物の維持管理に力を注いでおります。

しかし、土構造物の維持管理については、これまであまり議論されておらず、今やっとその途についたところであります。その原因には、そもそも土構造物の設計において「劣化」の概念がなかったことがあげられます。土構造物の維持管理にあたっては、構造

体そのものの老朽化だけでなく、地盤の風化や劣化を同時に検討する必要があります。土構造物が現在、どの程度劣化しているのかを把握し、将来の劣化状態を予測し、それに基づいて、いつ、どの程度の補修をするのが最善かを検討しなければなりません。しかしながら、土構造物の性能評価は、長期にわたる地盤の経年劣化の問題に加えて、豪雨や地震等の突発的要因も抱えています。

このように複雑で多様な土構造物の維持管理を考える場合、多くの技術者やさまざまな研究者の英知を結集して議論することが重要であります。実際の管理事例や現場での長期間の計測データの収集と解析、維持管理マネジメントのあり方など多くの課題が残されており、今後の研究に期待するところでもあります。

本書では、最新の知見に基づく土構造物の維持管理の考え方や、空港・港湾、河川・海岸堤防、道路路面、砂防施設等の維持管理について、自治体等の取り組みを紹介しております。

本書が、今後の土構造物の維持管理について議論いただくための一助となれば幸いです。



台風18号により崩壊した鉄道のり面
2013年9月13日に小笠原諸島で発生した台風18号は、14日9時に強風域の半径が500kmを超えて大型の台風となった。大雨と暴風、竜巻などにより、土砂災害、浸水害、河川の氾濫など、日本全国に大きな被害をもたらし、写真のような土構造物の被害も発生した。なお、京都府、滋賀県、福井県では、同年8月30日からの運用開始後、初の特別警報が発表された。

CONTENTS

特集 CLOSE-UP 関西地質	3
土構造物の維持管理と防災 —地盤から見た維持管理—	
■大津 宏康 京都大学大学院 工学研究科 教授	
技一徹 名物職人 ◎技術者の目線から	7
空洞化点検における地中レーダ探査の特徴と 最新機器の開発動向について	
■山田 茂治 川崎地質株式会社 事業本部	
特集 SPECIAL-ISSUE ◎土構造物の維持管理 —地盤から見た維持管理	9
1. 湊湾・空港施設の維持管理	9
■渡辺 要一 独立行政法人 港湾空港技術研究所	
2. 堤防システムの維持管理を目的とした 統合物探査技術の開発と適用	11
■稲崎 富士 独立行政法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員	
3. 滋賀県が進める流域治水の取り組み	15
■中西 宣敬 滋賀県土木交通部流域政策局流域治水政策室	
4. 老朽化吹付けのり面の健全性評価手法の開発	17
■久保 光 福井県丹南土木事務所鯖江丹生土木部 道路保全課補修グループ 企画主査	
5. 砂防施設の維持管理	19
■川上 慎二 京都府建設交通部 理事砂防課長事務取扱	
6. 道路の土構造物における予防保全型管理	21
■上出 定幸 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社	
7. 土構造物の調査とモニタリング	23
■関西地質調査業協会 技術委員会	
Challenging people ◎地質調査人	25
日頃の業務こそが一番の試験勉強	
■竹田 好晴《地質調査技士合格》 応用地質株式会社 関西支社 ジオテクニカルセンター	25
空中写真判読の経験が重要な二次試験	
■山根 博《応用地形判読士合格》 株式会社ダイヤコンサルタント関西支社 地質・防災部 地質防災第2課 課長	26
REVIEW THE REPORT ◎最新技術レポート紹介	27
InSAR技術の地質調査での利用	
■松岡 俊文 京都大学大学院工学研究科 教授	
プロジェクトK	29
□□□□□□	
■一井 博文 □□□□□□□□□□□□□□	
協会活動報告	31
現場見学会報告	33
平成25年度 琵琶湖西岸断層系・三方断層系現場見学会	
■井関 岳人 東建ジオテック大阪支店 技術部	
関西地質調査業協会加盟会社リスト	34

土構造物の維持管理と防災

—地盤から見た維持管理—

大津 宏康

京都大学大学院 工学研究科 教授

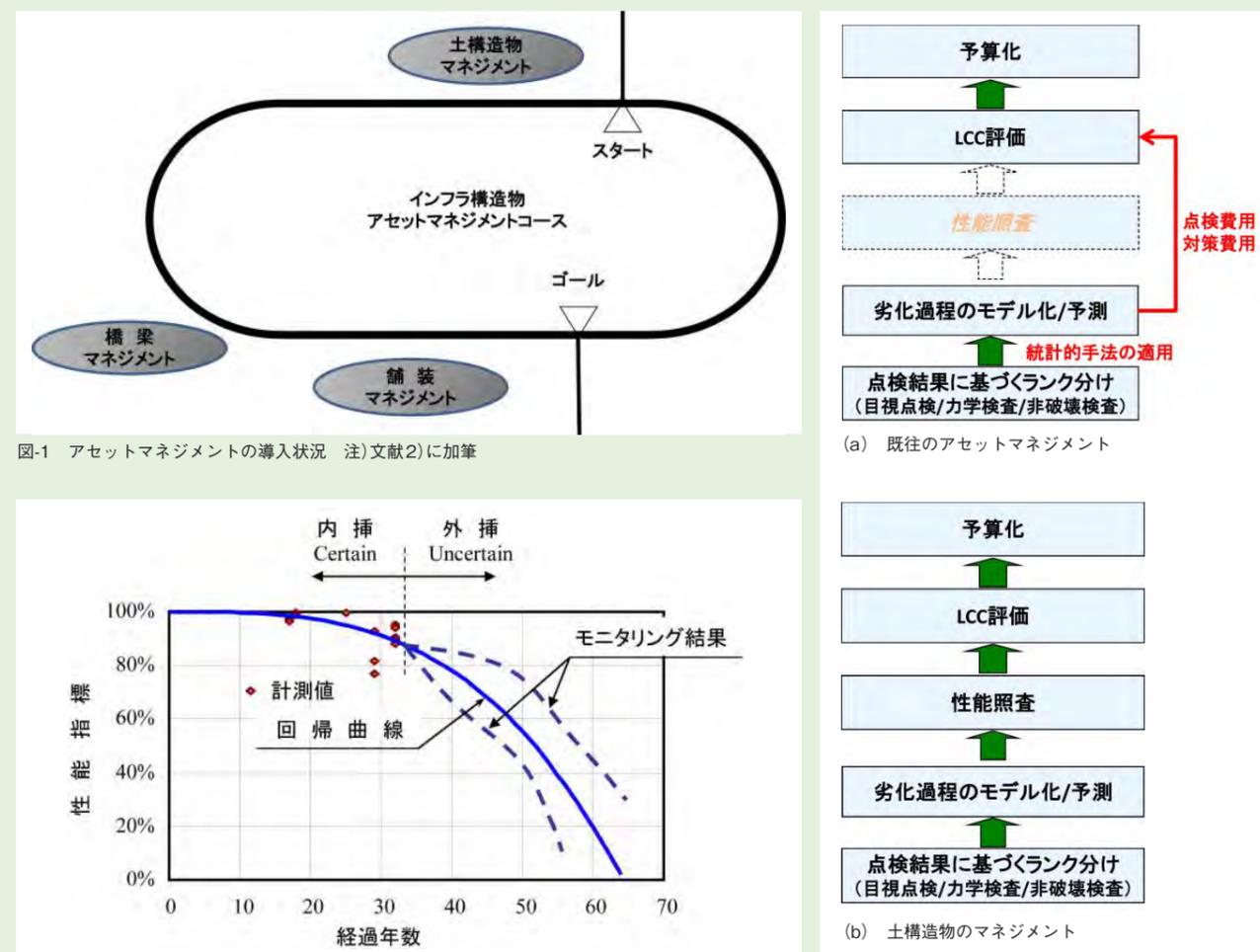


図-1 アセットマネジメントの導入状況 注)文献2)に加筆

図-3 性能低下曲線のモデル化

図-2 アセットマネジメントのフロー

1. はじめに

平成 24 年 12 月に発生した笹子トンネルでの痛ましい事例に代表されるように、高度経済成長期以降構築されてきたインフラ構造物の経年劣化への対応は喫緊の検討課題である。20 世紀後半以降、限られた予算の下で、老朽化したインフラ構造物の補修・補強・更新を合意的に検討する方策としてアセットマネジメントの概念¹⁾の導入が図られてきた。ただし、これまでの同概念の適用状況を概観すると、(図-1)に示すように、舗装への適用が最も先行しており、これに橋梁が続き、本稿で対象とする土構造物は、まだ途に就いたばかりであると位置づけられるであろう²⁾。この理由についてはさまざまな要因が複合したことによるものと推察される。主たる理由としては、土構造物の設計において、本来「経年劣化」あるいは「性能低下」という事項が欠如していたことに加えて、供用後にその進展状況を監視する点検情報が蓄積されてこなかったことが挙げられる。

ここで、アセットマネジメントでの補修・補強・更新に関する意思決

定を行う上での判断指標は、言うまでもなくライフサイクルコスト(以下、LCC と称す)である。ただし、現状で LCC の定義は、必ずしも統一されているとは言えない。例えば、(図-2a)に示すように、現状での舗装および橋梁分野では、劣化状況のモデル化後、構造物の安定性に関する性能照査がなされずに、点検費用および維持補修(補修・補強・更新)費用の和を LCC とした検討がなされることが一般的である。しかし、土構造物では(図-2b)に示すように、防災の観点からは、構造物の性能照査は不可欠な検討事項となる。すなわち、劣化にともない性能が低下したとしても、その安定性が担保されることを把握することが不可欠である。さらに、土構造物の多くは気候変動、すなわち降水量を含む外力条件の変動の影響を受ける。したがって、土構造物の維持管理と防災という課題に対処する上では、劣化にともない性能低下により安定性が低下した状況下での外力の増加を考慮した性能照査を実施することが最重要課題となる。本稿では上記の事項を踏まえた基本概念について以下に述べるものとする。

2. インフラ構造物のアセットマネジメントの基本概念

筆者らは、これまでにアセットマネジメントの基本概念は以下の事項からなることを示してきた³⁾。

- 1) 構造物の性能、機能水準の現在状態の規定
- 2) 劣化過程のモデル化および将来状態推定
- 3) モニタリングによる経年劣化過程の把握
- 4) LCC を判断指標とする補修・補強・更新に関するマネジメント戦略の策定

ここで土構造物を対象とする場合には以下の事項に留意すべきである。まず、1) および 2) については(図-3)の模式図に示す性能指標をどのように設定するかが課題となる。また、仮に性能指標が設定された場合にも、その劣化過程は一般的には回帰線を用いてモデル化されるが、将来状態の予測は外挿となるため、不確実性を含む情報となる。この不確実性に対処するためには、3) に示すモニタリングが有効な方

策となる。従来、アセットマネジメントを議論する上で、モニタリングの位置づけに対しては必ずしも明確にされていないが、今後モニタリング結果に基づく将来状態予測曲線の修正・更新のモデル化が新たな検討課題となるものと推察される。

そして、1)～3)の事項が満足された上で、前述のように LCC を判断指標とした維持補修(補修・補強・更新)の最適策が選定されることになる。

しかし、この最適化においては、単一の解が得られるものでないことに留意すべきである。すなわち、(図-4)に示す模式図で、維持補修戦略は、①点検間隔、②補修を実施する限界レベルおよび③補修後の回復レベルによって異なる。言い換えれば、①から③の項目ごとに最適な方策が設定されることになる。例えば、点検間隔を短く設定した場合には構造物の性能低下をより早く察知することが可能となるため、限界レベルは比較的低レベルに設定することが可能となる。一方、点検間隔を長く設定した場合には構造物の性能低下が適切に察知できない危険性があるため、限界レベルは比較的高レベルに設定せざるを得な

くなる。ここで点検間隔の長短は、直接点検回数に連動するため、点検費用の大きさに関連してくる。

この関係について欧米型アセットマネジメントとアジア型アセットマネジメントの相違に関連づけると、以下のような解釈が成り立つ。まず、欧米諸国とアジア諸国との人口構成の違いは以下のように要約されるであろう。

- ・欧米諸国：少子高齢化社会（人件費高）
- ・アジア諸国：労働集約社会（人件費安）

したがって、アジア諸国においては、安い人件費を活用することで、容易に点検間隔を短縮し点検回数を増やすことが可能となるため、限界レベルは比較的低位に設定する方策を選定することが可能となる。これに対して、欧米諸国では人件費が高いことから、できるだけ点検間隔を長くし、回数を減らさざるを得ないため、限界レベルは比較的高く設定することになる。しかし、この場合には、構造物の性能低下が適切に察知できない危険性があるため、併せてIT技術あるいはセンサー技術を活用した原位置モニタリング技術を活用するというインセンティブが生まれる可能性がある。つまり、人件費の高騰に対して、機材費に投資することで、最適な維持補修計画を立案することになる。

なお、現状で日本は少子高齢化社会が到来しつつあるため、人口構成としては近い将来、欧米諸国型になることが確実である。こうした状況下で、維持補修に関しては、従来のアジア諸国型の安い人件費を活用した労働集約的対応から、欧米諸国型のIT技術あるいはセンサー技術を活用する機材費に投資するという方策に転嫁することが喫急の課題であると推察される。

3. 気候変動下で、土構造物の防災

前述のように、土構造物の多くは、気候変動の影響を受け、降水量を含む外力条件の変動の影響を受ける。

自然災害のハザード情報は、過去の災害記録に基づき、(図-5)に

示すように相対発生頻度とハザードレベルにより規定される。すなわち、発生頻度はハザードレベルと反比例することが知られている。しかし、近年、短時間集中豪雨の発生頻度が増加していることに代表されるように、既往のハザード情報は、気候変動の影響を考慮して(図-5)に模式的に示したように修正する必要がある。

加えて、高度経済成長期以降に構築された土構造物は一般的に劣化していることから、安定性は確実に低下している。

以上のことから、性能の低下に加えて、過去に比較して高いハザードレベルを評価した取り組みが不可欠となる。

4. LCC 評価に基づく戦略的防災対策の立案

現状での舗装および橋梁を対象としたLCC評価式は、次式のように定義される。

$$LCC = C_I + C_R \quad (1)$$

ここに、 C_I は点検費用、 C_R は補修費用を表す。

一方、土構造物においては、その安定性を担保するため、次式のように定義されるべきである。

$$LCC = C_I + C_R + R \quad (2)$$

ここに、 R はリスク(崩壊時損失額)を表す。

式(2)の左辺第三項に示すリスクは、次式のように算定される。

$$R = p_a \times C \quad (3)$$

ここに、 p_a は年間破壊確率、 C は破壊にともなう帰結(損失)を表す。年間破壊確率は、ハザード情報と構造物の脆弱性を勘案することで評価される。このため、気候変動にともなうハザード情報の変化に加えて、劣化の影響を脆弱性評価に反映させることができる。

上記の枠組みで、(図-6)に示すような関係が得られる。なお、(図-6)では式(2)に示すように、LCC評価式に期待値を含むことから、

期待LCCとして標記した。

すなわち、(図-6)に示すように、既往のLCC評価式では、点検間隔を大きくすることで単調に減少するが、それに伴い危険性は増す。一方、リスクは、点検間隔が増すにつれて、単調に増加する。したがって、両者の和をLCCとすることで、極小値(最適値)が得られる可能性がある。

以上のように、土構造物の維持補修においては、舗装・橋梁等を対象としたLCC評価とは異なり、土構造物においては、その安定性を担保する項を評価することが不可欠となる。

5. まとめ

本稿に示したように、土構造物の維持管理と防災という課題に対処する上では、舗装・橋梁等を対象としたLCC評価とは異なり、その安定性を担保する項を評価することが不可欠となる。加えて、そのLCCの評価過程では、以下の事項について留意することが必要となる。

- 1) 土構造物の劣化過程のモデル化においては、モニタリング結果に基づく将来状態予測曲線の修正・更新のモデル化が新たな検討課題となる。
- 2) 日本における少子高齢化社会の到来を踏まえ、維持補修に関しては、従来のアジア諸国型の安い人件費を活用した労働集約的対応から、欧米諸国型のIT技術あるいはセンサー技術を活用する機材費に投資するという方策に転嫁することが喫急の課題である。
- 3) 気候変動下の状況を踏まえ、土構造物の安定性を担保する上では、性能の低下に加えて、過去に比較して高いハザードレベルを評価した取り組みが不可欠となる。

1. に述べたように、土構造物を対象としたアセットマネジメントの導入は、まだ途に就いたばかりである。今後の当該分野の発展が期待されるなか、本稿がその一助となれば幸いである。

※参考文献

- 1) Bernhardt, K.L.S.・Loehr, E.L.・Huaco, D. :Asset Management Framework for Geotechnical Infrastructure, ASCE Journal of Infrastructure Systems, pp.107-116, 2003.
- 2) 大津宏康：斜面アセットマネジメント(展望、(小特集)第42回地盤工学研究発表会)、土と基礎、55(12)、pp.10-11、2007.
- 3) 大津宏康、Supawiwat, N.、松山裕幸、高橋健二：地下水排除工の性能低下を考慮した斜面アセットマネジメントに関する研究、土木学会論文集、No.784/VI-66、pp.155-169、2005.



大津 宏康

OHTSU HIROYASU

京都大学大学院 工学研究科(都市社会工学専攻)教授
1955年生まれ。京都大学大学院修士課程修了。博士(工学)(京都大学)。大成建設株式会社、カナダプリティッシュ・コロンビア大学客員研究員、京都大学助教授、タイ アジア工科大学助教授を経て、2003年より京都大学教授。専門は地盤・岩盤工学、ジオリスク工学。

著書/『地盤の三次元弾塑性有限要素解析』(共著、丸善、1996)、『ロックメカニクス』(共著、技報堂出版、2002)、『岩盤構造物の建設と維持管理におけるマネジメント—ジオリスクマネジメントへの取り組み』(共著、土木学会、2009)、『Joint Ventures in Construction』(共著、Thomas Telford、2009)、『プロジェクトマネジメント』(単著、コロナ社、2011)。

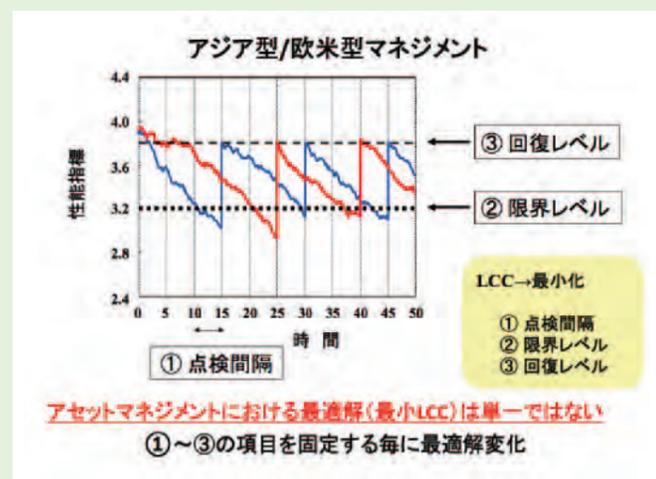


図-4 構造物の劣化過程と維持補修(模式図)

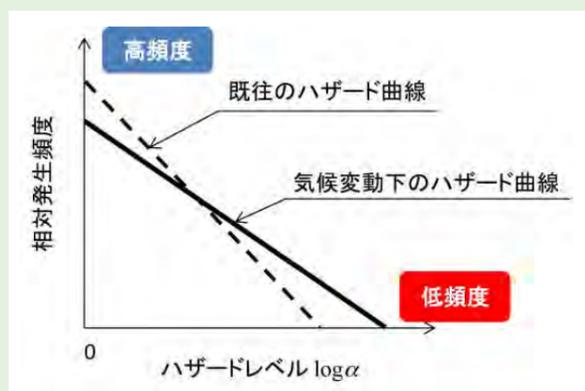


図-5 ハザード情報

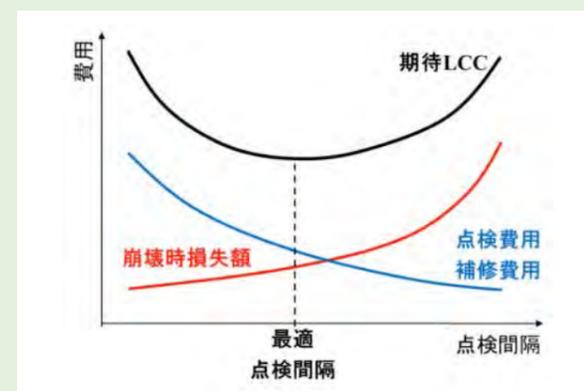


図-6 期待LCCの内訳(模式図)



技一徹 名物職人 技術者の目線から

空洞化点検における 地中レーダ探査の特徴と 最新機器の開発動向について

川崎地質株式会社 事業本部保全エネルギー部 山田 茂治

近年、土木構造物の老朽化が問題視されており、道路、港湾、河川等において既設構造物の点検業務の需要が増えてきました。その一環で行われる構造物周辺の空洞化調査は、目に見えない土中における問題であるため、目視点検とともに、空洞探知能力に優れた地中レーダ探査が併用されるケースが増えており、その探査の現状について官民ともに注目が集まっています。そこで空洞調査手法としての地中レーダ探査の特徴や問題点、また装置の種類や最新機器の動向について、専門技術者の視点から整理してみました。

地中レーダ探査は、電磁波を送信源とした反射法探査です。(図-1)に示したように、1対の送信アンテナと受信アンテナを同時に移動させながら、送信アンテナから土中に送られる電磁波の反射波を受信アンテナで測定します。測定した測線距離において数cmの細かい間隔で反射波を取得するため、その反射波トレースを並べることによって地中の反射面状況をほぼ連続的に捉えた反射面断面図が作成できます。

反射面断面図は一般にBスコープと呼ばれる画像表示形式で作成されます。画像形式は大きく分けて2種類。振幅値の絶対値に対して数百階調で着色したカラー画像で表示する場合と、振幅値の土極性に依りて白黒濃淡画像で表現する場合があります。前者は反射

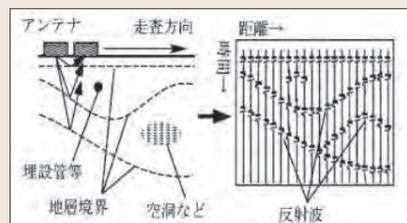


図-1 地中レーダ探査の概要



写真-1 アンテナ分離方式の探査装置 (左アンテナは周波数400MHz、右アンテナは周波数800MHz)



写真-2 手押し式探査装置 (アンテナ周波数400MHz)

波の振幅強弱が強調され、後者は振幅強弱の判別は概略的になりますが、振幅極性の判定も行えます。最近の地中レーダ探査による空洞調査では、反射波の振幅強弱よりも振幅の極性が重要な判定項目になりつつあるため、後者の白黒濃淡画像で表示する場合があります。

地中レーダ装置が取り扱う信号は数百MHz帯の高周波数の電磁波であり、超短波からマイクロ波が利用されます。この信号の長所は、高周波数であることから帯域幅が広いこと、また空気中の比誘電率が土壌に対して極めて小さいことから電磁波のインピーダンスが空洞面で大きくなり、明瞭な反射波が発生することです。すなわち小さな空洞でも明瞭な反射波が発生することから空洞探知に優れている点が長所です。ただし上記特性により短所も共存しており、分解能力や反応性が良いほど信号の減衰も大きくなるため、探査できる深度が浅くなります。

地中レーダ装置によって探知できる空洞の大きさや深度は送信する電磁波の中心周波数に依存します。前述した信号の特性と同様ですが、中心周波数が高いほど帯域幅が広がることから分解能力は高くなり、小さな物体を検出することができます。逆に中心周波数が低いほど大きな物体しか検出できなくなります。探査できる深度が深くなります。

一般に空洞探査によく利用される中心周波数は400～500MHzです。この値は、50cm程度の大きさの空洞を的確に探知できる中心周波数として古くから地中レーダ探査に従事している各企業の経験的回答が一致した結果の反映といえます。これら中心周波数において探知できる空洞の大きさは25～50cm、探査できる深度は2m程度と考えられます。しかし探査できる深度については対象地盤の特性にも大きく影響を受けるので注意が必要です。電磁波の減衰には地盤の導電率も影響するため、導電率を高める要因となる水分量の多い地盤では探査できる深度は浅くなる傾向があります。同様に地下水面下でも探査できる深度は浅くなります。

地中レーダ装置には中心周波数が400MHz以下のものや500MHz以上のものもあり、探査したい深度や空洞の大きさによって使い分けています。しかし使用する周波数に応じて送信に使うアンテナの大きさも変更する必要があるため、何種類かの使用する周波数にマッチングさせた大きさのアンテナも用意しなければなりません。一般的な地中レーダ装置としては、(写真-1)に示したようなコントローラー(画像表示および収録器を含む)と送信アンテナが分離式になっているタイプと、(写真-2)に示した一体式タイプの手押し型装置があります。分離式タイプは、牽引するアンテナ部が小型軽量であるため、平坦

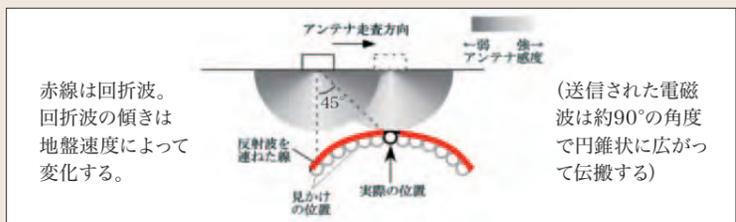


図-2 局所構造の画像パターン

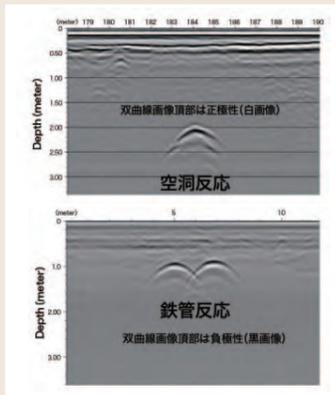


図-3 振幅距極性による空洞判定例 (使用探査装置の正極性は白画像)

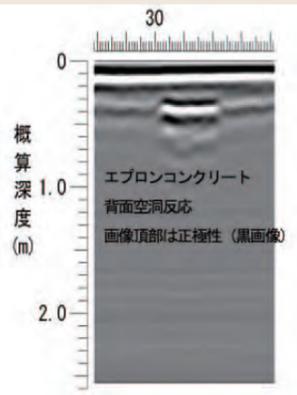


図-4 エプロンコンクリート背面空洞検出事例(使用探査装置の正極性は黒画像)

地・斜面を問わずあらゆる用途に利用できます。また使用したい中心周波数に合わせて何種類かの送受信アンテナがメーカー側で用意されています。これに対して一体式タイプは、道路路面上等の平坦地専用の装置といえるでしょう。この場合、操作者がリアルタイムで画像確認できるとともに、作業人員を縮小できるという利点があります。しかし装置が重いため、法面や擁壁、トンネルにおける空洞調査には不向きとなることや、中心周波数の変更に応じた送受信アンテナの切り替えが行えない装置が多いことが短所となります。

次に、地中レーダ探査による空洞判定について説明します。反射断面図から空洞反応を判読する場合、以下の4項目が重要な着眼点になります。

- ①(図-2)に示したように、空洞のような局所的な構造は回折波をともって検出されるため、双曲線構造あるいは台形状を呈した画像パターンとなることが多い。
- ②反射波が発生する2層の速度構造を考えた場合、下層速度の方が早い場合において発生する反射波の振幅極性は正極性となる。このことを踏まえると、空洞は電磁波が最も速く伝搬する媒体であるため、空洞上面において発生する反射波は正極性となる(使用装置によって送信波形の配色方式が異なるため、正極性が白黒濃淡画像のどちらの色になるか確認が必要である)。
- ③空洞面では大きな比誘電率差が発生するため、傾向的に強振幅の反射波が発生する。
- ④少なくとも①～②が認められた場合、反応ポイントにおいて直交する測線を設けて同様の反射波形が得られることを確認する。

現在の空洞評価方法では、①および②が重要視される傾向にあるため、振幅の極性評価が行える白黒濃淡画像による表示を推奨します。(図-3)にほぼ同規模の空洞と鉄管を検出した事例を示します。金属は空洞に反して必ず負極性になることに着目して比較した事例ですが、ほぼ同様に見える双曲線形態および振幅強度の反応でも極性に着目すれば空洞反応と区別できることがわかります。また同様の評価方法を用いて港湾や空港のエプロンコンクリート、トンネル覆工や護岸コンクリート



写真-3 一般的な路面下空洞探査車両 (調査幅2.5m程度、時速40km以上で走行計測可能)



写真-4 空洞調査に加えて路面点検も同時調査できる探査車両 (航測システムと同等の三次元点群測量システム配備)

背面の空洞評価にも適用可能です(図-4 参考事例参照)。

国土交通省や自治体から定期的に公募される路面下空洞調査の市場拡大にともない、路面計測作業の効率化を追求した車両牽引型が多チャンネルレーダ装置にも注目が集まっています。(写真-3)に示した国土交通省が保有するタイプの装置が広く知られており、車両後部に送受信アンテナが7対配置されている効果から一度の走行計測で約2.5m幅の路面下空洞を時速40km程度で調査できるように設計されています。また一度に平行した7断面画像が取得できるため、局所的な空洞反応と複数の平行測線で検出される埋設管反応の区別が容易となり、評価作業の効率も高めています。車両牽引型装置の位置特定は、通常はRTK-GPSとの同期や、前側方に備えたビデオカメラによってサブメートルの精度で計測位置や空洞反応位置を特定します。これに対し、最近ではさらなる位置特定精度の向上や連動した路面観察システムも備えた探査装置が開発されています。(写真-4)に示す車両牽引型装置は、RTK-GPSに慣性航法装置を付加して位置特定精度を10cm以内に高めるとともに、路面状況や周辺地形も観察できる3次元点群測量システムを備えており、空洞調査と路面点検が同時に走行点検できるよう工夫されています。

現状の地中レーダ探査装置の限界や問題点に関する事項として信号の伝送方式に話を移します。現在の地中レーダ装置の多くは、信号をパルス波として送信するインパルス方式を採用しています。どのような方式で送信しても最終的に取り扱う波形としてパルス波に変換する必要があります。インパルス方式はパルス波をダイレクトに取り扱うことができます。その利点として、信号変換や変換に必要な回路が少なくなることで、またこのことから受信信号にノイズ混入が少なくなることで、計測速度が速いことが上げられます。その反面、次の理由から現状の分解能力や探査可能深度を大幅に向上させることができない問題を抱えています。まずインパルス方式において分解能力を向上させることが難しい理由は、送信時か



写真-5 地下5m以上を探査できる装置 (FMCW方式+アンテナの大型化)



写真-6 地下3m以上を調査できる探査車両 (チャープ方式+アンテナの大型化)

ら固定した中心周波数のパルス波を送信するため、分解能力に関する帯域幅を意識的に調整できないことです。次に探査可能深度を深くするためには送信電圧を増幅することが重要ですが、現状の半導体の電圧立ち上げ速度では高電圧にするほど波形の立ち上げ時間が遅れてしまい、中心周波数の低下、すなわち分解能力の悪化を招いてしまうため、探査深度の向上と分解能力の維持が両立できません。

以上のインパルス方式の問題点を解決する方法としてFMCW方式やチャープ方式があります。これらは、いずれも信号の受信後にパルス波に変換する方式であり、送信時には正弦波を周波数変化させながら送る方式を採用しております。この方式により、送信電圧ではなく送信時間長に依存することになり、分解能力に関する帯域幅を回路内で調整することが可能となります。両方式ともに中心周波数の設定や送受信アンテナの大きさによって探査能力は大きく変化しますが、用途に応じて各種装置が既に開発されてきています。先に紹介した(写真-4)の車両牽引型装置は、高周波数のFMCW方式が採用されており、浅層分解能力の向上と20以上のアンテナをアレイ配置することによって3次元表示性能を追求しています。(写真-5)に示した探査装置はFMCW方式と大型アンテナの組み合わせによって探査可能深度の向上を追求した装置であり、分解能力は0.5～1mとインパルス方式に比べて低下するものの地下5m以上の探査を可能にしています。(写真-6)に示したチャープ方式の車両牽引型装置は、インパルス方式と同等の分解能力で地下3m以上の探査を可能にしています。

地中レーダ探査は、装置の操作方法をマスターすれば地質調査や物理探査の技術者でなくとも取り扱うことができる探査手法です。しかしその特性と地盤状況との関係を理解して評価するか否かでは成果の品質に歴然とした差が発生することも事実です。私たち地質調査業界の技術者は、そのことを念頭に置き、地中レーダ探査の精度確保と高品質のデータ提供に努めていく立場にあると考えております。また今回紹介した作業性や探査性能を追求した最新の地中レーダ装置の認知が広がり、さまざまな分野における地中レーダ探査の利用範囲が広がることに期待しています。

山田 茂治
SHIGEJI YAMADA



川崎地質株式会社 事業本部保全エネルギー部
平成元年3月 愛知工業大学工学科土木工学部卒業
平成元年4月 川崎地質株式会社入社
平成5年より、地中レーダ探査装置の開発や調査解析等、空洞調査関連業務に従事。

土構造物の維持管理

— 地盤からみた維持管理

今回の特集では、「生活者の安全」をテーマとして、災害に向けた対策について紹介いただきました。

1 港湾・空港施設の維持管理

独立行政法人 港湾空港技術研究所 渡部 要一

1. はじめに

鉄道や道路が「線」構造物としての平坦性を要求されるのと類似して、港湾や空港では「面」構造物としての平坦性が要求される。施設の安全のためには維持管理が重要であり、多くの施設でトータルコストを考えるライフサイクルマネジメントが導入されている。一方で、船舶の大型化や航空機の増便等に対応した施設の更新も考えなければならない。

2. 港湾施設の維持管理

入港する船舶の種類や大きさによって、必要とされる付帯施設や規模が決まってくる。物流の主役を担うコンテナ船は特に大型化が進んでおり(写真-1)、世界最大の船となると長さ400mにも達するため、岸壁の長大化と増深が進められている。

日本の港湾施設の多くは軟弱粘土地盤上に位置している。このため、建設時の安定性のみならず、供用中の沈下も維持管理の中で



写真-1 コンテナ船の大型化への対応(横浜港)

考慮されていなければならない。不均質な沈下が生じた場合、段差によってガントリークレーンやコンテナヤードなどの付帯施設の機能に支障を来すことがある。また、浮泥による航路・泊地の埋没に対しては、定期的な浚渫が必要となる。

高速走行での安全性が求められる鉄道・道路・空港とは異なり、港湾施設では多少の凹凸は許容される。このため、不同沈下に対しても極端なひび割れや段差が生じなければ上部コンクリートや舗装のオーバーレイ等によって対処可能である。従来は、浚渫土による海面埋立てで臨海域の土地を造成してきたが、近年では、埋立て処分できる海域も少なくなっており、浚渫土の処分場所確保が大きな課題となっている。浚渫土を埋立て材料としてセメント固化する工法や、さらに気泡を混合して軽量固化する工法なども実用化されている。港湾整備に伴って消失した豊かな干潟を復活させるために、浚渫土を有効活用した人工干潟造成なども行われている。また、かつて埋立てのために海底土砂を採取した湾内の深掘



写真-2 液状化による護岸構造物の被害(神戸港)

部が貧酸素水塊を生み、青潮の発生原因となることから、浚渫土砂によってこれを埋め戻す試みも行われている。

津波や波浪によって防波堤が被災したり、波浪や地震によって護岸が被災したりすることもある(写真-2)。東日本大震災後、粘り強い構造の導入が謳われており、壊れても機能が完全に失われない構造を考えるなど、高度な設計が求められている。

港湾施設は海水と接していることから、鋼材や鉄筋の腐食が問題となる。特に波浪の飛沫帯における被害が著しい。栈橋形式の場合など、構造形式によっては防食などを施して、腐食防止に努めることも重要である。老朽化による更新であっても、従来と同等のものを再び建設するというケースはほとんどなく、物流量の増大に伴う港湾機能の拡充や船舶の大型化、さらには耐震性能の向上に対応して施設の増強を図る整備がほとんどである。

3. 空港施設の維持管理

空港用地の特徴は平坦性にあり、例えば、滑走路の縦断方向の勾配は0.8%以内、横断方向の勾配は1.5%以内、誘導路の勾配は縦断方向と横断方向ともに1.5%以内、エプロンの勾配はすべての方向に1.0%以内と規定されている。一方で、空港用地は平坦であるが故に雨水の排水が難しく、排水溝に雨水を集水するために、各施設ともいずれかの方向に0.5%以上の勾配があることが望ましい

とされている。

内陸の山間部に建設される空港は、切土と盛土によって造成される。切土部分に関しては、地山そのものが構造物となり、空域制限に合わせた切土により急斜面は存在しないことから、一般に管理上の問題発生は少ない。これに対し、盛土部分に関しては、人工の土構造物であるとともに、大規模な急傾斜の法面を有することから(写真-3)、維持管理には細心の注意が必要である。



写真-3 空港高盛土(釧路空港)

高盛土空港の建設は、山を切り、谷を埋める工事を行っているため、地山の地下水脈や盛土部の地下水位に注意しなければならないことは容易に想像できる。地下水位の上昇は斜面崩壊の原因となるため、これを防止する措置を講じる必要がある。そのためには、雨水の浸入防止と速やかな排水を目的とした、法面保護工、排水溝、排水管の機能維持が重要となる。

軟弱な海底地盤上に埋め立てた海上空港の場合、沈下挙動は圧密特性や地盤改良工法等によって支配される。残留沈下を抑えるために初期費用と時間をかけるか、残留沈下を許して初期費用を抑え短期間で施工する代わりに維持・補修に費用をかけるかはトレードオフの関係にあり、建設費用のみならず、将来の維持・補修に当てる予算的な措置についても考慮して判断しなくてはならない。

浚渫土(いわゆるヘドロ)を圧密して人工地盤を造成したり(羽田空港や新北九州空港など)、浚渫土砂をセメント固化して埋め立てたり(中部空港や羽田D滑走路など)と、浚渫土の発生状況、工期などの要請、材料特性に応じて様々な工法が採用されてきた。

関西国際空港は、一般的な埋立て材である山砂で造成されているが、軟弱地盤に起因した人類史上最大規模の沈下を予測し、これを克服して建設された。関西国際空港が建設された大阪湾泉州沖は水深があり、かつ、粘土層が厚く堆積しており、表層の沖積粘土層についてはサンドドレーンにより圧密促進が図られた。しかしながら、供用開始後に生じる残留沈下の大部分は地盤改良が及ばないほどの深さに堆積した洪積粘土に起因するため、その沈下挙動を人為的にコントロールすることはできない。このため、沈下挙動を「予測」することが極めて重要であった。「予測」する

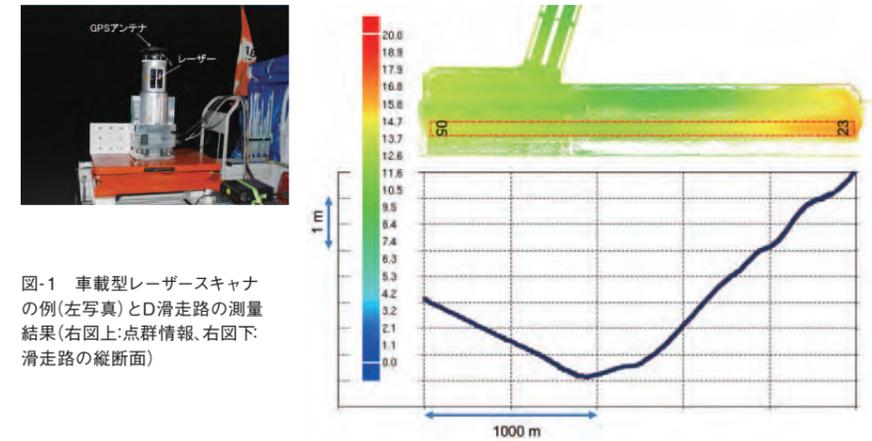


図-1 車載型レーザースカナの例(左写真)とD滑走路の測量結果(右図上:点群情報,右図下:滑走路の縦断面)

にあたっては、真の意味で地盤工学の実力が試されたとも言え、未解明であった長期圧密挙動の解明など、学術面でも大きく貢献したプロジェクトである。長期沈下予測が維持管理上重要であることは言うまでもない。

羽田空港は、1931年に東京飛行場として開港して以来、その後の空港の発展は、岸から沖方向への埋立ての歴史そのものであり、2010年には、4本目の滑走路(D滑走路)が沖合人工島として完成した(写真-4)。D滑走



写真-4 羽田空港D滑走路(手前)

路建設位置は多摩川河口にかかることから、河川の通水性確保のために一部に栈橋構造(杭で支えられた橋梁のような構造)が併用された複合構造(ハイブリッド構造)の人工島として建設された。軟弱地盤に起因した諸問題に対処するために、これまでの海上空港建設で培われた様々な技術が総動員され、技術の百貨店あるいは博物館と形容されるような大プロジェクトである。

固化処理土等の新材料開発に加え、情報化施工の高度化など、土木技術には目覚ましい発展がある。しかし、もっと身近にハイテクを感じるのには、次に挙げる測量技術かも知れない。

高精度のGPSに、レーザー測量機器と、IMU(慣性計測装置)を一体として車載化した移動体レーザー測量技術が実用化されており、D滑走路の維持管理では試験的に導入されている(図-1)。従来の水準測量では、限

られた測量点の標高情報を得るだけでも広大であるが故に長い時間と労力を要した。車載型レーザースカナを使えば、舗装表面の標高情報を三次元空間情報として僅かな時間で計測できるメリットがある。空港は天空に広がるGPS衛星を捉えられる理想的な環境にあるが、幅60m(路肩を含めると80m)の滑走路では複数回の走行で得られた結果を合成する必要があり、走行ごとに現れるGPSの計測誤差を処理して、滑らかな空間情報とするためのデータ処理技術の開発が不可欠であった。空港機能に支障を来す不同沈下の傾向をいち早く捉えるために、ハイテク技術の導入も試みられているのである。

4. おわりに

本稿では、地盤に着目して港湾・空港の維持管理について、その概要ならびに最新技術導入の試みを紹介した。一般に土地はメンテナンスフリーと思われがちであるが、実際には土地(特に人工地盤)がその利用目的のために機能し続けるためには、適切な維持管理と施設の増設や更新が欠かせない。忘れがちではあるが、重要な視点であろう。

渡部 要一

YOICHI WATABE



独立行政法人 港湾空港技術研究所
地盤研究領域長(兼 土質研究チームリーダー)
平成7年3月 東京工業大学大学院理工学研究科
博士後期課程修了
平成7年4月 運輸省入省
港湾技術研究所土質部研究官
平成10年4月 港湾技術研究所土質部主任研究官
平成15年4月 独立行政法人 港湾空港技術研究所
土質研究室長
平成24年4月より現職

2 堤防システムの維持管理を目的とした統合物理探査技術の開発と適用

独立行政法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員 稲崎 富士

1. はじめに

河川堤防は人類が構築した最も古い土木構造物の一つであり、築堤とその適切な維持管理により国土と国民を洪水被害から守ることは、中国の故事「大禹治水」に代表されるように国家形成の初期の時代から今日に至るまで国土防災の最優先的課題の一つであった。我が国では近年河川整備が進んだことから大規模な洪水被害は少なくなりつつあるが、それでも2012年7月北部九州豪雨に伴う矢部川洪水被害に見られるように、堤体あるいは基礎地盤の弱点箇所が原因となって堤防が越流を伴わないで破堤するという事例が少なからず発生している。

堤防システムがその本来機能、すなわち洪水氾濫被害を未然に防ぐという防災機能を保持しているか否か、を把握することが維持管理の大前提であることは言うまでもない。局所的であっても堤防システムがその機能を発揮できない場合、堤内地側の住民の生命と資産が広い範囲で損なわれることになりかねない。その意味では堤防システムの安全

性は「最小律」の視点で考えるべきである。最も弱い環がシステム全体の安全性を支配しているという考え方である。しかし堤防高がHWLに達していない、など外見でも容易に弱点箇所を抽出できる場合はほとんどない。浸透や裏のりすべり、表のり浸食、基盤漏水などに対する危険度は、何らかの調査試験をしない限り判定を下すことはできない。

従来の堤防に対する安全性評価にあたっては、まず堤防を河道特性などの外力条件によって一連区間に区分し、つぎに基本断面形状を設定し、堤防の現有機能を地盤条件や堤体材料構成などの観点から細分区分に区分する。さらに細分区分ごとに代表断面を設定し安全性を照査する、という段階的な設計手順が採用されてきた。この前提としては、堤体も基礎地盤も細分区分内は一様と見なすことができる、代表断面での照査結果は代表値として細分区分内全体に適用できる、という仮説が成立するという工学的判断があった。しかし、既設樋管等の撤去に伴い開削された堤防内部の断面観察調査等

によって、堤体の内部が極めて不均質であり横断方向には数mのオーダーで、縦断方向にも数10mオーダーで材料構成が異なることが明らかになってきた。さらに従来の標準貫入試験ボーリングで採取された試料に対する土質試験結果も、ばらつきが大きく代表値としては使用に耐えないことがわかってきた。線形構造物である河川堤防の内部物性情報を連続的に取得し、それから堤防システムの安全性を連続的に評価することが可能な手法を開発・適用することが喫緊の技術的課題となっていたのである。

河川堤防に対する安全性照査の手順を、我々が定期的に受診する健康診断と比較してみよう(図-1)。概略点検は、身長・体重・血圧などを測定する「基本測定」と、既往病歴・自覚症状の有無などから現時点の健康状態を判定する「問診」とほぼ内容が一致する。さらに詳細点検は血液検査や「生検」のような「サンプル検査」と対応する。これらに加えて実施される各種装置診断に該当するものが、ここで紹介する「統合物理探査」

である。基本的に2種類の要素探査技術を適用し、得られた物性データを連続的な2次元断面情報として整理し、堤防システム内部の状態を判定する。胸部X線画像で病巣の有無を確認し、その形態から病種を推定する「画像診断」と同類の技術である。

以下に、統合物理探査がどのような堤体内部情報を提供するのか、それが実際の堤体物性とどう対応するのか、を堤防開削部での開削前後の探査結果を使って例示してみよう。

2. 統合物理探査の適用例に

図-2は、東日本大震災で変状が発生した樋管(断面中央の□)。縦軸を2倍に伸長しているため縦長に変形している)横断面において、開削前に堤防天端に設定した測線上で実施した統合物理探査断面を示したものである。ただだか200mの測線長にもかかわらず、堤体部も基礎地盤も一様ではなく、不均質な物性分布をしていることが捉えられている。たとえば堤体部のS波速度(同図(a))は、基礎地盤部に比べて小さな値を示すが樋管上部域では他の区間に比べてやや高い値を示すこと、基礎地盤部でも下流側(図右側)ではS波速度は低くなっていることがわかる。比抵抗構造(同図(b))はさらに特徴的である。全般的に堤体部の比抵抗値が大きな値を示すが、中でも樋管上部域に高比抵抗帯が特異的に出現している。S波速度:145m/s(N値でほぼ3に相当)、比抵抗:250Ωm(透水係数で10E-6m/s程度)で断面を4区分すると、第II象限、すなわち相対的高比抵抗かつ低S波速度領域が、樋管上部および上流側堤体に特徴的に分布していることが浮かび上がってきた(同図(c))。後述するように第II象限に属する領域は、相対的に緩んでいる、あるいは粗粒の材料で構成されていると解釈することが可能である。そこで、この開削前探査結果を基に、地震による変化か否かは不明であるものの、樋管埋設部および上流側堤体上部が他区間に比べて脆弱であると評価した。

この堤防区間は、地震によって樋管直上の堤防道路で約14cm、川裏側取付護岸で最大15cmの沈下が発生した。また川表側擁壁が下流側に移動するとともに傾動し、約30cm程度開口した。このため樋管部を開削し、樋管を補強し護岸等を付け替える復旧工事が実施されることとなった。この復

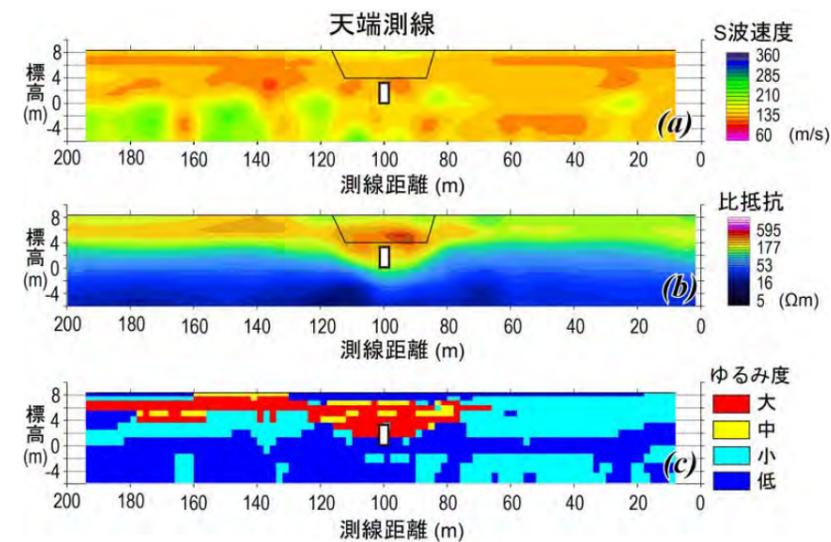


図-2 東日本大震災で被災を受けた樋管横断面堤防の統合物理探査結果断面 (a): S波速度断面、(b):比抵抗断面、(c)ゆるみ部の空間的分布断面 (縦横比を2倍に伸長)

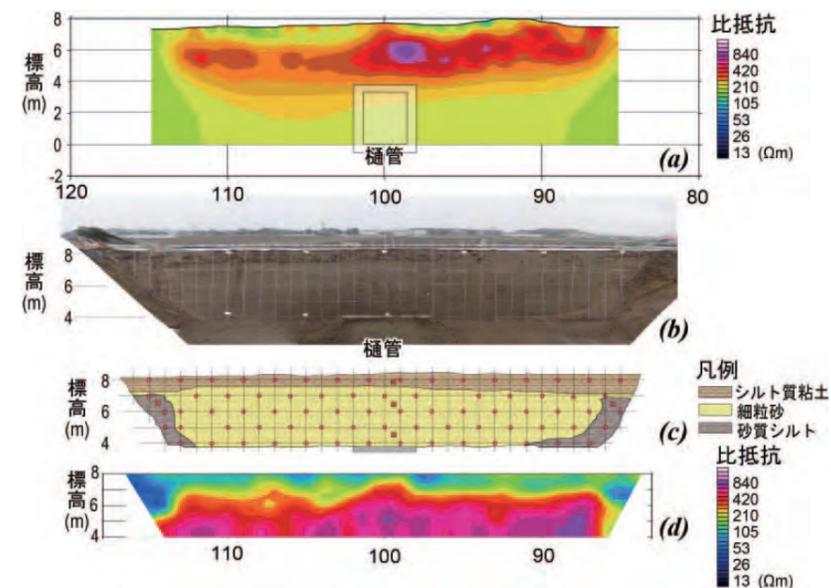


図-3 樋管部開削面における比抵抗探査結果比較 (a): 開削前高密度電気探査断面、(b):樋管部開削面モザイク写真、(c):開削面地質スケッチ、(d):開削面上での比抵抗計測結果コンター図

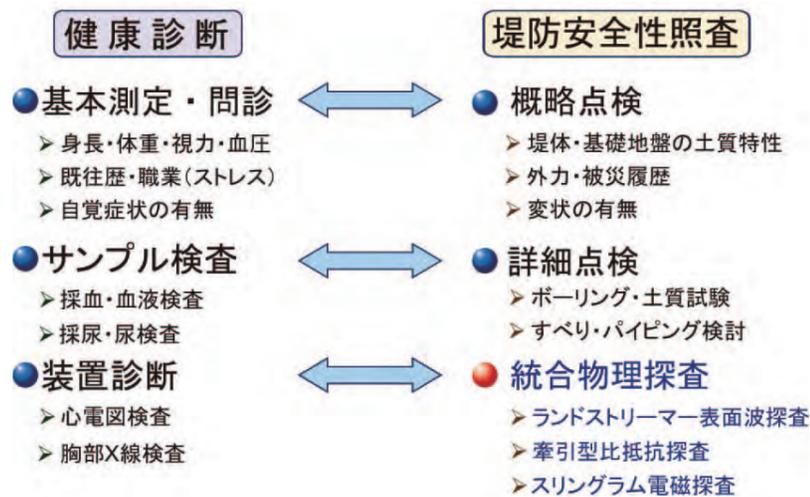


図-1 健康診断項目と堤防システムの安全照査手段との比較

旧工事に伴いまず堤体川側半部が縦断方向に開削され、樋管上部の堤体内部を観察する機会が得られた。図-3(b)、(c)は樋管上部の堤体上半部のモザイク写真と地質スケッチである。樋管中心(測線距離程100m)から上下流に15mの区間、標高で4~7mの部分に他とは明確に識別可能な細粒砂が出現した。その出現位置は、同図(a)に示した高密度電気探査断面(図-2(b)の比抵抗断面とは異なる条件・測線で測定)の高比抵抗帯と極めて調和的であり、この高比抵抗帯が樋管直上部にのみ使用されていた細粒砂と対応していることが明らかになった。図-3(d)は開削後に開削面上の282点で測定した比抵抗値のコンターマップであるが、この細粒砂層部分のみが特異的に高比抵抗を示すことが確認された。またその構造も、同図(a)に示した地表からの探査結果と極めて調和的であった。すなわち、地表からの探査断面(図-3(a)、図-2(a)、(b))に現れた、樋管上部堤体に認められた相対的高比抵抗・高S波速度の異常帯は、樋管設置に伴い局所的に使用された細粒砂の存在を示すものであり、開削前の断面評価の妥当性が実証されたのである。さらにこの適用結果は、地表からの統合物理探査によって、堤体内部の小規模な異常帯を高確度で捉えることができることを示している。

従来のボーリング調査や採取試料に対する室内試験で図-2、図-3に示した統合物理探査断面に対抗できるような空間分解能で物性データを提供するには、数m間隔でのボーリング調査の実施、かつ1m区間ごとの土質試験の実施が必要となり、現実的に適用が不可能である。言い換えれば、典型的な人工土構造物である堤体は内部物性構造が不均質であり、従来手法でそれを把握することは本来的に不可能であるのである、それに対し地表からの統合物理探査は堤防システムの不均質構造とそれ起因する脆弱性を非破壊で効率的に把握できる唯一の手段であると結論することができる。

3. 統合物理探査結果に基づく弱点箇所の抽出統合物理探査の適用例に

統合物理探査で計測される物性情報は堤防システム内部のS波速度と比抵抗値である。これまでの検討解析によってS波速度値は標準貫入試験によるN値とも相関性が

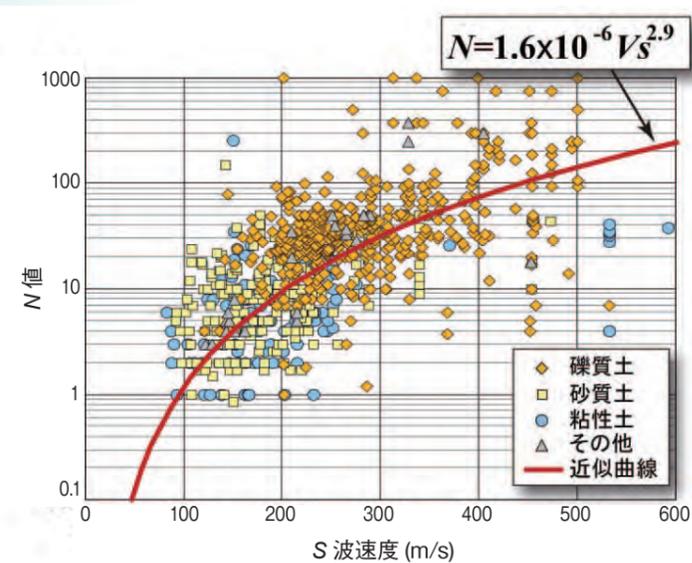


図-4左 S波速度と同一深度区間測定N値との比較

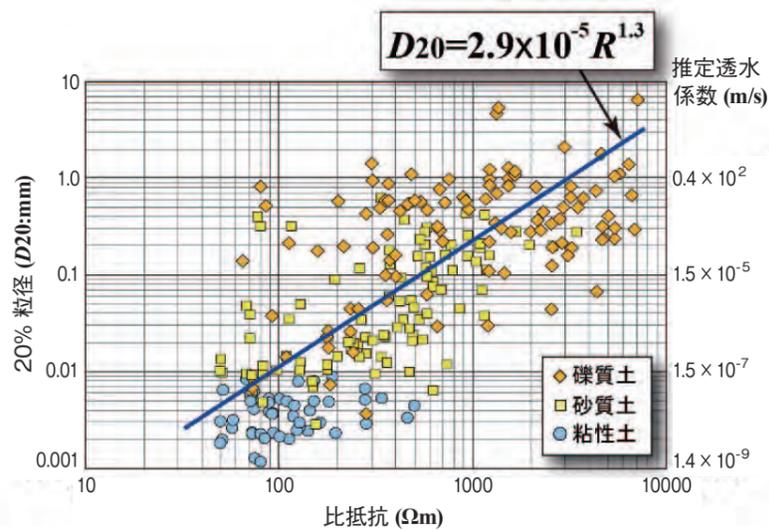


図-4右 堤防開削部比抵抗計測値と採取試料粒度特性との比較

あり(図-4左)、また間隙率などの土質特性とも高い相関性を有することが知られている。この図で注意しなければならない点は、バラつきの原因が何に起因するかを吟味する必要があることである。S波速度は高精度に1mの区間速度を求めることができるサスペンション速度検層データを使用しており、その測定誤差は5%以内と見積られる。これに対し、N値は前述のように平均で30cmの区間データでしかない。換算N値で300となるようなデータはたかだか5cm程度の区間の測定データに過ぎず、残りの95cmの区間が同じ値を示す可能性は著しく低い。すなわちバラつきの主原因はN値測定データ側にあり、その点でも物理探査データの信頼性、空間的分解能の優位性が示される。不飽和未固結試料の比抵抗値は対象の含水状態に影響を受けることが知られているが、堤体構成材料に対しては、全体として粒度特性と良い相関を示すことが知られている(図-4右)。ここでも、粒度特性がたかだか数立方cmの情報であるのに対し、比抵抗値はより大きな空間(数100立方cm)の平均値を示すものであることに注意する必要がある。堤防システムの浸透に対する安全性につ

いては、上述のような計測情報と評価情報との関係を踏まえた上で、S波速度と比抵抗値を用いて半定量的に評価する。この評価における管理基準の考え方を示したものが図-5である。S波速度が小さく、比抵抗値が大きな値を示す断面領域で砂質土が分布すると想定される箇所は浸透に対する安全性が低いと評価する。一方S波速度が大きく比抵抗値が小さな値を示す断面領域で、粘性土が分布すると想定される場合は浸透に対する安全性が高いと判断する。なおこれらの判断基準となるS波速度値と比抵抗値については、現段階では相対的なしきい値を各河川において設定しているが、より広範囲に統合物理探査を適用し、それらの結果を蓄積してデータベースを構築し、堤防システムに対する各種土質試験結果等と比較検討することで、より系統的な評価基準を設定することが可能になると期待される。

4. 統合物理探査結果に河川堤防の維持管理の課題

堤防システムの安全性に関わる視点として、我々が定期的に受診する健康診断を引

き合いに出した。人間の寿命はせいぜい80年程度であり、病気の発症と進行は年オーダーであることから、最低でも年1回の検診で異常の有無と対策の必要性を判断するのが基本となっている。これに対し堤防システムの寿命は少なくとも人間の10倍程度はありと見積られる。したがって統合物理探査による検診の間隔も10年程度が基本となるであろう。ただし我々の身体でも大病を患ったり、あるいは大きなストレスを受けた場合は特別健康診断を受けるのが一般的である。堤防システムについても、東日本大震災のような大地震を経験したか、あるいは近い将来に見舞われると想定される場合、加えて豪雨時に漏水などの症状が認められた場合などには、当該堤防区間に対して統合物理探査を実施することが望ましい。残念ながら現時点では安全性照査の体系にこの統合物理探査技術は組み入れられていないが、連続的断面調査技術としての優位性を鑑み、堤防システムの維持管理における標準的な手段として採用されるよう、さらなる技術開発と高信頼情報の発信を継続することが求められている。

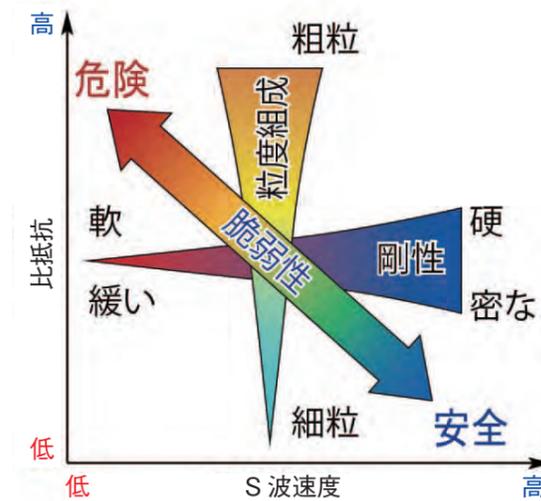


図-5 S波速度と比抵抗測定データに基づく浸透に対する堤防システムの脆弱性判定概念図

稲崎 富士
TOMIO INAZAKI

土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員
1979年3月 名古屋大学大学院理学研究科
地球科学専攻前期課程修了
1979年4月 建設省 土木研究所 地質研究室
研究員
2005年4月より現職

3 滋賀県が進める流域治水の取り組み

滋賀県土木交通部流域政策局流域治水政策室 中西 宣敬

1. はじめに

近年、我が国では高齢化社会の進展にともなう健康福祉関係費や公共土木施設の維持管理費の増大等の影響により財政状況が悪化し、河川整備等による治水安全度向上対策の進捗が鈍化する傾向にある。一方、地球温暖化等に起因する気候変動の影響等により、全国各地で異常豪雨による被害が頻発している。平成25年9月の台風18号では滋賀県、京都府、福井県に大雨特別警報が運用後初めて発令され、アメダス観測42地点のうち、最大24時間降水量で18地点、最大48時間雨量で15地点が観測史上1位を更新し、同年11月の台風26号では伊豆大島において24時間で800mmを超える降雨を観測している。これまでの記録を上回る規模の豪雨による大被害は、施設整備により洪水氾濫を防御するという従来の治水対策の限界を痛感させるとともに想定外の事態に備える減災対策の重要性を改めて認識させるものであった。

このような背景を踏まえ、本県では、川の中の対策（堤外地対策）に加えて、「ためる」「とどめる」「そなえる」対策（堤内地での対策）

を総合的に進める流域治水政策を進めている。本稿ではこの流域治水政策の概要について紹介する。

2. 水害リスクの評価方法

(1) 評価指標 — 地先の安全度

我が国ではこれまで、個別の河川や雨水渠等、個々の治水施設の安全度は評価されてきたものの、これらの施設が総体として影響を与える場である氾濫原の「地先の安全度」については明らかにされてこなかった。しかし、避難計画や土地利用等の堤内地での対策を検討するにあたっては、(図-1)に示すように、この「地先の安全度」を評価する必要がある。

(2) 水理モデル

水害リスクを評価するための水理諸量の算定には、統合型水理モデルを用いた。このモデルは県下の主要な氾濫原で測定された航空レーザ測量データを基に50mメッシュの地盤高データを作成し、河道域を一次元、氾濫域を二次元の非定常流で解くものである。また、雨水渠やばっけ整備が実施されている区域につ

いては事業計画相当の排水を考慮し、その他の小規模な河川や水路については等流水路として扱っている。本水理モデルにより、さまざまな降雨波形から内外水の区別なく流出域・河道域・氾濫域までの一連の水理現象を統合的に扱うことができる。(図-2)は統合型水理モデルのイメージである。

(3) 評価外力

評価対象外力として再現期間を10、30、50、100、200年とする降雨を流域全体に一律に与えた。降雨波形については、滋賀県降雨強度式を用いて継続時間を24時間とする中央集中型を採用した。

このうち、10年確率は小河川(雨水渠や農業用排水路も含む)の整備目標に相当する。また、30～50年確率は中規模河川(流域面積50km²以上の河川)で当面の整備目標とする戦後最大実績洪水を概ね包括する。100年確率は中規模以上の河川で将来的に(河川整備基本方針レベルで)目標とする整備水準であり、200年確率は超過外力を意図している。

3. 水害リスク情報の施策への適用

(1) 評価結果 — 地先の安全度マップ

統合型水理モデルを用いて算出したメッシュごとの水理諸量を基に、浸水の深さを表す「浸水深図」、流れの強さを示す「流体力図」、床上浸水等の家屋への被害の発生頻度を表す「被害発生確率図」の3種類の図面を「地先の安全度マップ」として作成し、以下のホームページで公表している。

(2) 滋賀県の流域治水政策

滋賀県では、流域治水の目標を「どのような洪水にあっても、①人命が失われることを避け(最優先)、②生活再建が困難となる被害を避ける」とし、これまで河川法等に基づき進めてきた治水対策に加え、これらの施設整備の目標を超える洪水が発生した場合の対策についても並行して進めていくこととしている。

この流域治水の目標を達成するため、(図-5)に示す4つの分野の施策を重層的に進める。

4. おわりに

本県では、平成19年から流域治水検討委員会を設置し、市町や住民、学識経験者との議論を行い、県議会の議決を経て、平成24年3月に「滋賀県流域治水基本方針」を策定している。現在は、この方針を実効性のあるものにするため、条例の制定に向け、市町や住民への説明、県議会での議論を進めているところである。

本条例には建築規制などの私権制限をとまなう内容が盛り込まれているため、賛否、さまざまな意見が出てきている。今後は、河川改修や堤防強化等のハード整備を着実に進めることはもちろん、市町や住民に対し、施策の内容を丁寧に説明し、理解を図るとともに、施設能力を超える洪水が生じた場合でも、市町や住民と連携し、人命が失われることがない社会づくりを進めていきたいと考えている。

中西 宣敬

NORITAKA NAKANISHI



滋賀県 土木交通部 流域政策局 流域治水政策室
企画・計画チーム 主査
平成16年4月 滋賀県入庁
平成21年4月より現職
主に河川整備計画や流域治水政策に従事



図-1 治水施設の安全度と地先の安全度

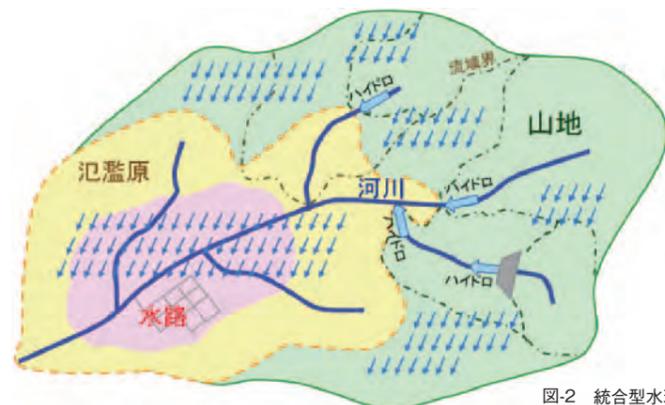


図-2 統合型水理モデルの構成

1. ながす対策 — 流下能力向上対策

- ・管理する河川の整備を行う
河道の拡幅等を計画的・効果的に推進
流下能力を維持するための河川内樹木の伐採等
当面河道拡幅等が困難な区間における堤防の強化

2. ためる対策 — 雨水貯留浸透対策

- ・森林および農地の適正な保全により、雨水貯留浸透機能を確保
- ・広い土地や建物に調整池や貯留槽等を設置することにより、雨水貯留浸透機能を確保

3. とどめる対策 — 氾濫原減災対策

- ・200年確率降雨で浸水深約3m以上の区域に住宅等を建築する場合には、次のいずれかの条件を義務化
➡想定浸水位以上に避難可能な空間を確保
➡浸水が生じた場合に確実に避難できる避難場所が付近にある
- ・10年確率降雨で浸水深50cm以上の区域は、市街化区域への編入を抑制(対策が講じられる場合を除く)
- ・盛土構造物の設置等の際に浸水の影響を配慮

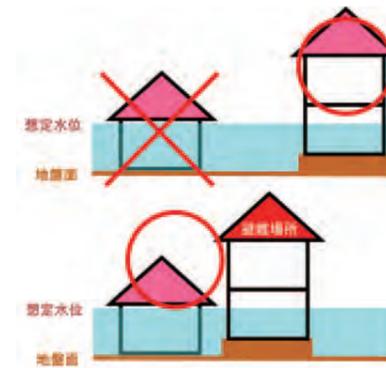


図-6 避難空間の確保

4. そなえる対策 — 地域防災力向上対策

- ・避難に必要な情報の伝達体制を整備
- ・市町や県民の避難体制整備を支援
- ・宅地等の売買時に浸水深の情報を提供
- ・水害に強い地域づくり協議会を組織し、避難体制や建築物の耐水化等を検討

(参考) 条例の検討状況:
<http://www.pref.shiga.lg.jp/h/ryuiki/jyourei/kentoujyoukyou.html>

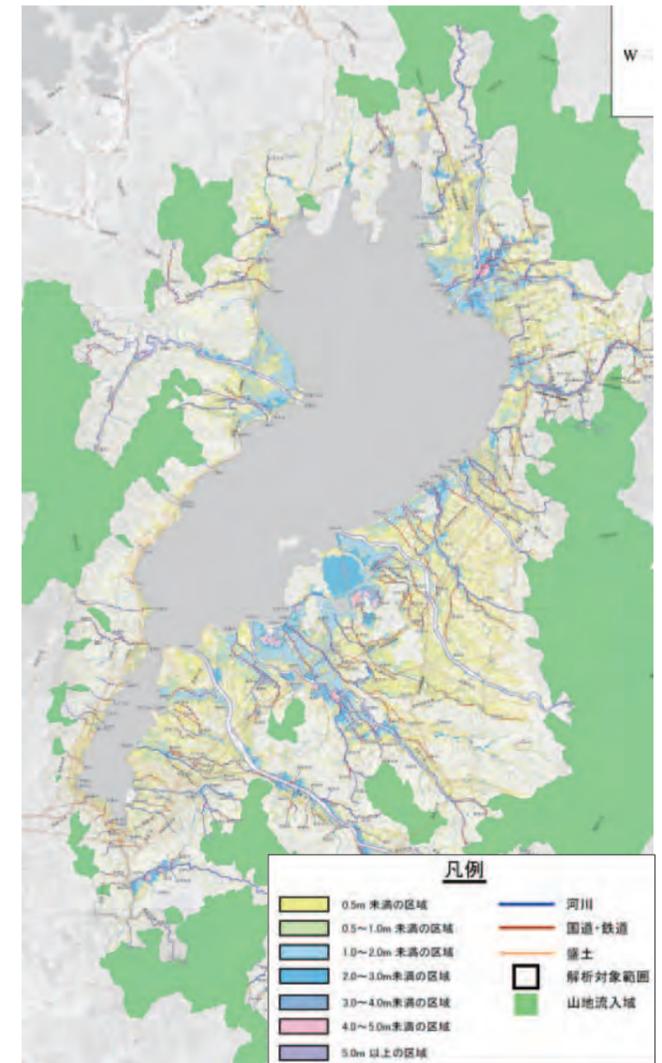


図-5 地先の安全度マップ(200年確率浸水深図)
(参考)http://www.pref.shiga.lg.jp/h/ryuiki/tisakinoanzendo/top_page.html

4 老朽化吹付けのり面の健全性評価手法の開発

福井県丹南土木事務所鯖江丹生土木部
道路保全課補修グループ 企画主査 久保 光

1. はじめに

モルタル吹付け工は、安定した岩盤斜面が風化の進行により不安定化することを防ぐために用いられるのり面保護工である。降雨水を吹付け背面に浸透させないことが風化抑制効果を発揮するための条件の一つである。平成21年度、著者ら（福井県と株式会社サンワコンの共同研究グループ）は福井県の全土木事務所に対してアンケート調査を実施。その結果、管理するほとんどの吹付けのり面で亀裂などがあり、降雨水が斜面内に浸透しうることが分かった。このうち現状で背面が健全な吹き付けのり面に対しては、亀裂への樹脂注入など簡易な補修工事で風化抑制効果を回復させることで、吹付けのり面の延命化を図る必要があると判断した。一方、背面の空洞や土砂化が進行した吹付けのり面は抜本的な対策が必要である。そこで、樹脂注入などの簡易な補修工事で延命化できる吹付けのり面か否かを簡易に評価する手法を開発した。

2. 亀裂の深さおよび吹付け背面の健全性を評価する方法の開発

2.1 目的と概要

樹脂注入による簡易補修が吹付けのり面の延命化に効果を発揮する条件は次の2点である。①吹付け背面が健全であること（土砂化しておらず、空洞もない）。②吹付けの亀裂がモルタルの背面まで到達していること。この条件を満たすか否かを判断することが本手法の目的である。評価には、吹付け表面を打撃した際に発生する縦波振動の伝搬速度、加速度の大きさ、周波数特性を利用する。



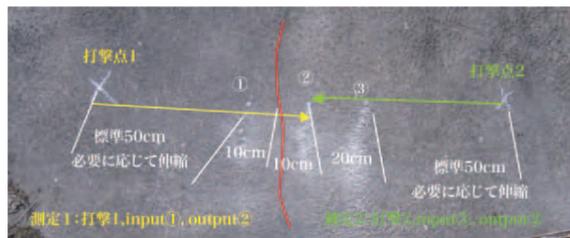
測点をドリルで削孔



測点をドリルで削孔



亀裂と測点①、②



亀裂を挟んで配置した測点①～③と打撃点



マグネット付きのセンサーで測点とセンサーを密着させる。



打撃はシュミットハンマーを行う。

図-1 振動計測の測線配置

3. 計測方法

3.1 測線と測点の設定

測線の配置例を(図-1)に示す。亀裂の代表位置を決めて、亀裂と直交方向に測線を設定する。測線上で、(亀裂の両側に)亀裂から10cm離れたポイントを測点①、測点②とする。測点②から測点①と反対方向に20cm離れたポイントを測点③とする。測点①から測点②と反対方向に50cm離れたポイントを打撃点1とする。同様に測点③から測点②と反対方向に50cm離れたポイントを打撃点2とする。

3.2 測点へ鉋を打設

測点①、②、③のモルタル表面にそれぞれ金属の鉋を打設する。鉋はマグネット式のセンサーを固定することと、継続管理(監視)のための鉋間計測に利用することを目的としている。

3.3 計測するデータ

(表-1)の振動データを計測する。縦波振動が媒体中のある地点から別の地点へ伝達するときに、最初に通過する地点のデータをInputデータ、後の地点のデータをOutputデータと称する。InputデータとOutputデータのFFT解析を行い、InputデータとOutputデータの周波数ごと成分の比を伝達関数とする。

4. 原理

吹付け表面を打撃した縦波振動の加速度時刻歴を、振動が亀裂を通過する前後(測点①、②)で計測し、亀裂を通過する際の「縦波

伝搬速度(弾性波速度)」を求めるとともに、「FFT解析」を行って、周波数ごとの加速度、および前述の伝達関数を求める。分析結果を基に、「亀裂の深さ(亀裂がモルタル背面まで連続するか)」、「亀裂の背面が健全か(亀裂の背面が土砂や空洞になっていないか)」を評価する。評価においては、縦波振動の伝播に次の特徴があることを利用する。

- ①亀裂がモルタルの背面まで到達していると、当該亀裂を通過する縦波振動の伝搬速度(弾性波速度)が遅くなる。⇒「モルタル→背面地山→モルタル」と伝達することになり、伝達媒体の界面で遅れが生じるためである(図-2のB,E,F)。
- ②①で背面が土砂や空洞の場合はさらに弾性波速度が遅くなる。⇒土砂を伝わる縦波弾性波速度が遅く、空洞があると遅れがさらに大きいためである(図-2のE,F)。
- ③亀裂がモルタルの背面まで到達していると、当該亀裂を通過する振動加速度(低周波領域:0～4000Hz)の減衰が大きい。⇒「モルタル→背面地山→モルタル」と伝達することになり、伝達媒体の界面で減衰が生じるためである(図-2のB,E,F)。
- ④モルタル背面が空洞または土砂の場合、ハンマー打撃による亀裂通過前の加速度(Inputデータ)のうち、周波数0～4000Hz付近の加速度が大きい。⇒吹付けモルタルが背面の地山で固定されておらず、吹付けモルタルが大きく振動しやすいためである(図-2のC,D,E,F)。
- ⑤モルタル背面が健全な場合、ハンマー打撃による亀裂通過前の加速度(Inputデータ)で周波数8000～10000Hz付近の加速度が大きくなる。⇒実験により得た特徴である(図-2のA,B)。

5. 評価指標

評価基準を(表-2)、(表-3)に示す。「亀裂が背面に到達するか否か」は、0～4000Hzの伝達関数(測点①から②への伝達)の平均値と測点①から②への弾性波速度を指標として評価する。両者のうち一方でも判定値に該当すれば「亀裂が背面に到達している」と判断する。

「背面空洞または土砂」は、背面がある程度広い範囲(打撃点を含む測線範囲全体)で土砂化または空洞化しているかどうかを判断する。「測点①のInputデータの0-4000Hzの加速度値」と「測点①のInputデータおよび測点③のInputデータの8000～10000Hzの加速度値」、「測点①から②の弾性波速度と測点③から②の弾性波速度の比(亀裂を挟んだ弾性波速度と亀裂を挟まない弾性波速度の比)」で評価する。一つでも該当すれば背面が「空洞または土砂」と判断する。

6. 実斜面での検証結果

本手法を実際の斜面に適用した(Aサイト、Bサイトの2斜面で測定か所は各12か所)。

検証のためのコア抜き確認を実施した。本手法による判定結果とコア抜き確認を実施した結果を(表-4)、(表-5)に示す。

本手法による「亀裂の深さ」の評価結果はAサイト、Bサイトともにほとんどが「深い」であり、一部に「浅い」と評価される。コア抜き確認ではすべての亀裂がモルタル背面まで到達していた。本手法の結果は一部判定が逆転しているが、概ね全体の傾向を捉えることができています。判定が逆転した理由は、コア抜きが局部的確認であることに對し、本手法はもう少し広い範囲の確認であること、コア抜き前は亀裂内が石灰分などで密着していたなどの理由が考えられるが、現段階では明らかではなく、今後、適用例を増やしながら検証していく必要がある。

本手法による「背面の状況」の評価結果は、Aサイトはすべて「空洞または土砂」であり、Bサイトはすべて「健全」であった。コア抜き確認の結果ではAサイトはすべて「土砂、強風化岩」、「空洞」、「砂」である。「砂」とした

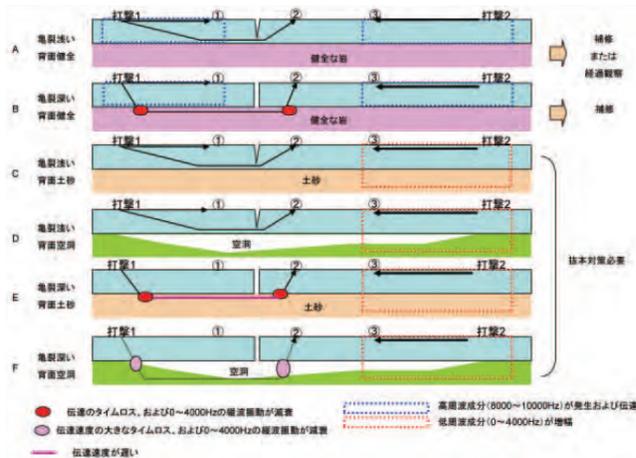


図-2 亀裂の深さや背面の状態と縦波振動の伝達

表-4 本手法による亀裂深さの評価結果とコア抜き確認結果

測線番号	亀裂の深さ				コア抜きで確認した亀裂深さ
	伝達関数 0-4000Hz平均 (2回の計測の平均)		弾性波速度		
	注入前	亀裂深さ判定 ×(0.08)△(0.1)○(0.2)	注入前	亀裂深さ判定 ×(1.0)△(1.2)○(1.5)	
A-No1	0.04	×	0.94	×	深 深い
A-No2	0.05	×	0.35	×	深 深い
A-No3	0.11	×	0.17	×	深 深い
A-No4	0.16	×	1.00	△	深 深い
A-No5	0.73	○	1.00	△	浅 深い
A-No6	0.01	×	0.16	×	深 深い
A-No7	0.44	△	2.92	○	浅 深い
A-No8	0.06	×	1.34	○	深 深い
A-No9	0.33	×	3.22	○	深 深い
A-No10	0.36	×	0.15	×	深 深い
A-No11	0.41	△	0.51	×	深 深い
A-No12	0.02	×	0.17	×	深 深い
B-No1	0.26	×	0.96	×	深 深い
B-No2	0.36	×	0.75	×	深 深い
B-No3	0.58	○	1.27	○	浅 深い
B-No4	0.81	○	0.96	×	深 深い
B-No5	1.77	○	3.33	○	浅 深い
B-No6	0.22	×	1.00	△	深 深い
B-No7	0.11	×	0.34	×	深 深い
B-No8	0.21	×	0.91	×	深 深い
B-No9	0.35	×	0.93	×	深 深い
B-No10	0.11	×	0.94	×	深 深い
B-No11	0.62	○	1.11	△	浅 深い
B-No12	0.29	×	0.41	×	深 深い

ものは吹付け工施工時のリバウンドの砂であり、ばらばらの土砂状を呈している。以上より、Aサイトの背面はすべて空洞または土砂であり、本手法の結果と一致している。Bサイトのコア確認結果ではほとんどが健全で、一部で「0.1mm程度の空隙」、「砂」が認められる。全体として本手法による評価結果は妥当と考えられる。一部で評価結果が異なる理由は、Aサイトと同様にコア抜きの結果は局所的であり、本手法がもう少し広い範囲の評価であるためと考えられる。

7. まとめ

提案した手法を実際の現場で検証して本手法の評価結果とコア抜き確認の結果が概ね一致する良好な結果を得た。一部で、本手法の評価結果とコア抜き確認結果に違いがあるが、コア抜き確認が局所的評価であるのに対し、本手法はもう少し広い範囲を評価しているためと考えられ、より適切に評価している可

表-1 計測・処理するデータ一覧

測定パターン	打撃点	データの名称・意味			データ処理		
		測点①	測点②	測点③	弾性波速度	FFT	伝達関数
測定1	亀裂を挟んだデータ	1	亀裂を挟んだ場合のInput	亀裂を挟んだ場合のOutput	-	測点①から測点②	測点②の周波数成分 / 測点①の周波数成分
測定2	亀裂を挟まないデータ	2	-	亀裂を挟まない場合のOutput	亀裂を挟まない場合のInput	測点②から測点①	測点②および測点①の周波数成分 / 測点②の周波数成分

表-2 亀裂が背面に達するか否かの判定基準

判定指標	0～4000Hzの伝達関数 (①から②の伝達関数)	①から②の弾性波速度	判定方法
判定値	0.5未満	1.2km/s未満	1つでも該当すれば、亀裂が背面に達すると判断

表-3 背面が空洞または土砂かどうかの判定基準

判定指標	0～4000HzのInput(測点①)強度の平均	8000～10000HzのInput(測点①、③)強度の平均	弾性波速度比 ①から②の速度 / ③から②の速度	判定方法
判定値	6以上	0.3未満	0.1未満	1つでも該当すれば、亀裂が背面に達すると判断

表-5 本手法による背面状況の評価結果とコア抜き確認結果

測線番号	背面状況								コア抜きで確認した背面状況
	Input強度0-4000Hz平均 (複数回の計測の平均)		Input強度8000-10000Hz平均 (複数回の計測の平均)		弾性波速度比 亀裂あり/亀裂なし		背面の総合評価 一つでも×あれば 背面土砂または空		
	注入前	亀裂なし ×(0.08)△(0.1)○(0.2)	注入前	亀裂あり ×(0.25)△(0.3)○(0.4)	注入前	速度比 ×(0.08)△(0.1)○(0.2)			
A-No1	0.53	×	0.20	×	0.15	×	0.51	○	空洞・土砂 砂20mm
A-No2	0.04	×	0.14	×	0.08	×	0.00	×	空洞/土砂 土砂
A-No3	7.18	×	0.11	×	0.21	×	0.07	×	空洞・土砂 土砂
A-No4	6.88	△	0.12	×	0.25	△	0.34	○	空洞・土砂 砂40mm
A-No5	14.59	×	0.04	×	0.19	×	0.30	○	空洞・土砂 砂25mm
A-No6	8.82	×	0.43	○	0.46	○	0.06	×	空洞・土砂 砂20mm
A-No7	3.82	○	0.10	×	0.10	×	3.79	○	空洞・土砂 砂60mm
A-No8	12.35	×	1.00	○	0.34	○	0.71	○	空洞・土砂 砂70mm
A-No9	2.42	○	0.17	×	0.13	×	0.80	○	空洞・土砂 砂50mm
A-No10	8.20	△	0.03	×	0.03	×	0.04	×	空洞・土砂 砂30mm
A-No11	13.53	×	0.42	○	0.37	○	0.00	×	空洞・土砂 空洞70mm
A-No12	13.01	×	0.56	○	1.39	○	0.06	×	空洞・土砂 強風化岩
B-No1	1.79	○	0.36	○	0.67	○	0.64	○	健全 岩
B-No2	2.59	○	0.37	○	1.57	○	0.33	○	健全 0.1mm隙間
B-No3	2.43	○	2.12	○	1.62	○	0.58	○	健全 岩
B-No4	4.95	○	0.92	○	0.27	△	0.67	○	健全 岩
B-No5	4.52	○	0.36	○	1.45	○	1.40	○	健全 岩
B-No6	5.47	○	1.48	○	0.36	○	0.26	○	健全 砂20mm
B-No7	5.22	○	0.28	△	0.90	○	0.25	○	健全 岩
B-No8	1.87	○	0.71	○	0.36	○	0.40	○	健全 岩
B-No9	5.84	○	1.44	○	0.68	○	0.78	○	健全 岩
B-No10	3.77	○	2.57	○	0.63	○	0.68	○	健全 岩
B-No11	1.51	○	0.47	○	0.26	△	0.72	○	健全 岩
B-No12	3.50	○	0.59	○	0.94	○	0.10	○	健全 岩

5 砂防施設の維持管理

京都府建設交通部 理事砂防課長事務取扱 川上 慎二

1. はじめに

砂防施設は国民の安心・安全に直結する施設であるが、山間部や人家裏といった立地条件の悪さによるアクセスの困難性や明治以降の古くからの近代砂防施設のストック形成という点等から、損傷程度等の健全度の把握が困難な状況で経過し、計画的な維持管理を進める上で多くの課題が顕在化している。このような状況の中では、今後砂防施設を一定の社会資本レベルに維持することや、除石等の定

期的管理費用や大規模修繕・補強に要する維持管理費用の増加に対応することが困難になることが予想される。

一方、国土交通省砂防部においては、平成24年12月の「笹子トンネル天井板落下事故」を受け、インフラの維持管理に多大な関心が寄せられていることから、砂防関係施設の緊急点検の依頼が各都道府県に達せられており、京都府においても全施設を対象に緊急点検を実施しているところである。

2. 京都府の砂防施設の現況

2.1 現在の砂防施設の状況

京都府管理の砂防施設（砂防設備、急傾斜地崩壊防止施設、地すべり防止施設）は、昭和初期から建設が本格的に進められ、戦後の昭和25年頃より建設スピードが加速し、バブル景気崩壊の平成3年までの約40年間で急速に建設された。その後、建設スピードは鈍化したものの、現在までに約2500施設が整備されている。経過年数を試算したところ、建設後50年以上を経過する砂防施設は4割弱程度だが、10年後には半数以上が50年を超えるため、施設の老朽化や損傷の拡大等を計画的に食い止める必要がある。（図-1、写真-1）

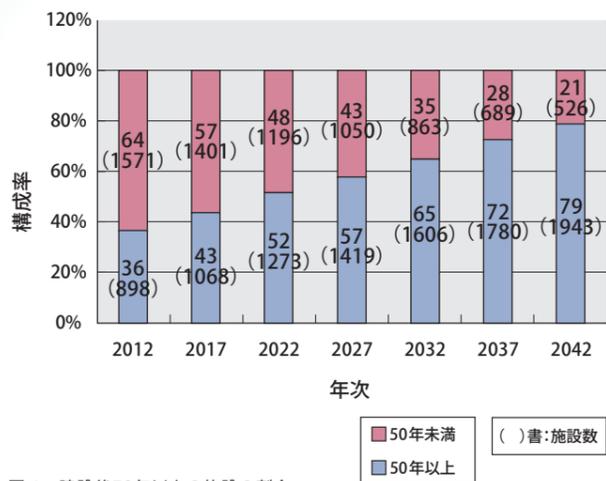


図-1 建設後50年以上の施設の割合



写真-1 築50年を超える砂防堰堤

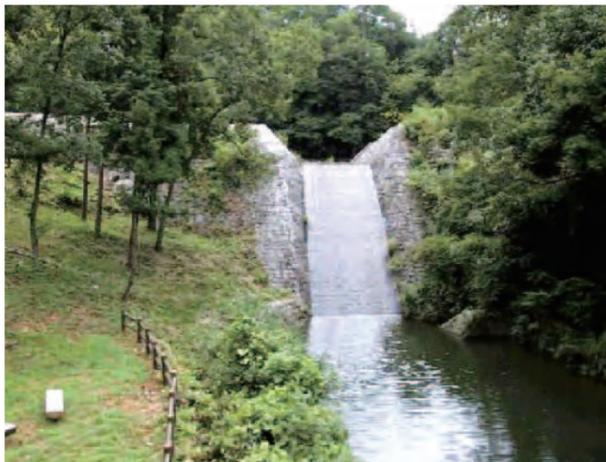


写真-2 現存する「デ・レーケ堰堤」



写真-3 護岸石材の抜け落ち

設が整備されている。経過年数を試算したところ、建設後50年以上を経過する砂防施設は4割弱程度だが、10年後には半数以上が50年を超えるため、施設の老朽化や損傷の拡大等を計画的に食い止める必要がある。（図-1、写真-1）

2.2 砂防に対する多様なニーズ

(1) 砂防施設新設ニーズ

京都府の土砂災害危険箇所内、未対策箇所は約3100箇所と非常に多いため、今後とも選択と集中を行い、計画的で重点的な整備を推進していく必要がある。

(2) 歴史的な価値を有する砂防施設の保存・利活用による地域活性化の促進

明治新政府により招かれたオランダ人技術者のヨハネス・デ・レーケは、明治8年、木津川支川不動川に現存する近代的な石積砂防堰堤を築造した。このような歴史的価値を有する砂防施設も適切に維持管理を実施し、次世代に継承していく必要がある。（写真-2）

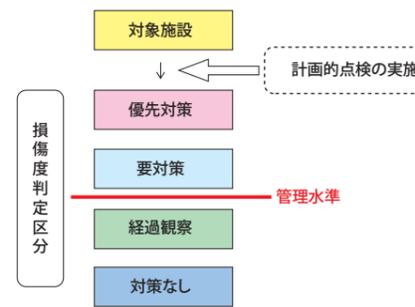
(3) 砂防施設の機能不全と管理瑕疵

近年、砂防施設の機能不全と認められる事象が発生しており、適切な維持管理の必要性が増している。（写真-3）



図-2 基本方針(イメージ)

表-1 管理水準の考え方(案)



注) 機器類の管理水準は公称耐用年数とする。

(4) 社会的な協働意識の高まり

砂防施設では、地域住民が参画するような施策は講じられていない。特に急傾斜地崩壊防止施設のように直接的に人家を保全する重要施設については、受益者である住民の協力のもと、協働して維持管理を行う仕組みづくりが必要である。

3. 維持管理基本計画の作成

3.1 維持管理の考え方

今後、施設の老朽化が進む中、補修・更新費用の最小化、施設の長寿命化、更新時期の平準化など中長期的な視点に立った維持管理や地域ニーズに柔軟に対応することの重要性がこれまで以上に増してくる。このためには、砂防施設を、その施設の特長や立地条件等を考慮し、個々の施設特性を把握した上で、維持管理方針を明確にする必要がある。京都府では、各施設を「定期的管理」と「日常的管理」に区分し、次の5つの基本方針に基づき取り組んでいくこととしている。

3.2 基本方針(図-2)

I 長寿命化の推進

・日常からのきめ細かなメンテナンスを繰り返し、重大な損傷への進行を抑制するとともに、定期的な点検により施設の損傷状況等を把握し、計画的な補修を行う。

II 維持管理の重点化

・施設の健全度や地域ニーズ、新設要望等を考慮し、予算の平準化を行った最適な投資計画を立案し、計画的な維持管理を実施する。（表-1）



川上 慎二

SHINJI KAWAKAMI

京都府建設交通部 理事砂防課長事務取扱
昭和54年4月 京都府採用
平成24年4月より現職

・安全性のリスクを考慮した管理水準を設定する。

III 情報管理

・施設の損傷状況等を適時的確に把握できるよう、点検データや補修履歴等を蓄積するデータベースシステムを構築する。

IV 府民協働の推進

・地域住民協働型の維持管理に取り組む。
・特に、急傾斜地崩壊防止施設は受益者が限定され、住民の生命・財産の保全に直結するため、地域住民や市町村の協力を得て実施することが適当と考えられる。

V 維持管理システムの確立

・計画的な維持管理を実施するための仕組み（PDCAサイクルによるメンテナンスシステム）を確立する。

4. 今後に向けて

緊急点検結果を活用し、長寿命化を推進するための効率的な点検実施体制や維持修繕計画など、中長期レベルのメンテナンスシステムを構築したいと考えている。

損傷大	損傷度ランク	損傷度判定区分	判定の目安
大	I	優先対策	施設の倒壊や第三者被害のおそれがある等、緊急に対策を実施する必要がある箇所
	II	要対策	損傷を放置すれば致命的な状態に進行するおそれのある箇所
	III	経過観察	損傷が小規模で緊急性は低いが、進行状況等を継続して点検・監視する必要がある箇所
小	IV	対応なし	損傷の無い箇所。点検頻度の低下も可能。

7 土構造物の調査とモニタリング

関西地質調査業協会 技術委員会

1. はじめに

昨今、さまざまな社会資本ストックの老朽化とメンテナンスの重要性が指摘されています。さらに近年、多発している局所的な集中豪雨や、発生が懸念されている巨大地震は、土構造物に対する損傷や損壊のリスクを高めていると考えられます。例えば、宅地や道路・鉄道などの盛土は、これらの自然現象によって崩壊する可能性があります。

このように災害リスクが高まるなか、利用者や周辺住民の方々の安全・安心を守っていくには構造物の補修・保全が欠かせません。そして補修・保全にあたっては、老朽化や損傷の度合い、関係する地盤の状況などを的確に把握し、その結果に基づいて対処していくことが重要です。また、調査結果に基づき、適切に対処することは、維持管理コストの削減にもつながります。

ここでは、私たち関西地質調査業協会が行っている、さまざまな調査・モニタリング技術をご紹介します。

2. 調査・モニタリングの基本

調査・モニタリングの基本は、ひとの感覚による調査・点検（目視確認や打音調査など）だと考えます。もちろん構造物内部の異常は外から見ただけで判らないことも多々あります。しかし一方で、表面上に何らかの変状をきたしていることも多いものです。また、表面上のわずかな異常が原因で内部に大きな異常を発生させている場合もあります。

打音調査のように、ひとの感覚に頼った方法は『客観的でない』『定量的でない』『設計に必要な正確な数値を得られない』などの欠点もあります。しかしながら、ひとの感覚というものは実は非常に優秀で、計測器やコンピューターでは検出できない、わずかな異常を感じることもあります。

これから述べるような、さまざまな技術を駆使して、現状を客観的かつ定量的に把握することは必要不可欠ですが、目視確認や打音、測量などによって、表面上に現れている状況をしっかりと捉えることが重要です。

3. 土構造物に対する調査・モニタリング技術

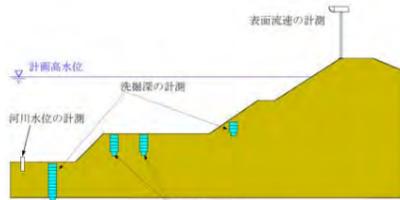
現在では、いろいろな目的、対象に合わせて、実に多くの調査技術、モニタリング技術が開発されています。ここでは、土構造物の調査・モニタリングに活用できる技術について、主なものを右の表にまとめました。

4. おわりに

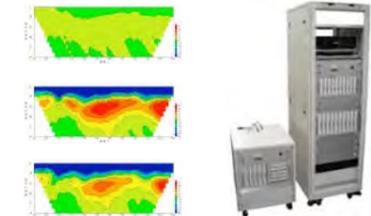
ここに示したのは、たくさんある技術の一部に過ぎません。関西地質調査業協会の加盟各社は、このほかにも多様な技術を持って、さまざまな調査や試験、監視などにあたっています。

特に、構造物そのものが『土』でできている盛土構造物や、地面そのものである法面、地盤と密接な関係にあるトンネルや道路、埋設管といった社会資本ストックの調査・モニタリングには、私たち、地盤の専門家が持つ知識と知恵がなくてはならないと信じています。

※ 紹介した技術の詳細や、地質調査、モニタリングに関するお問い合わせは、関西地質調査業協会ならびに加盟会社までご一報ください。



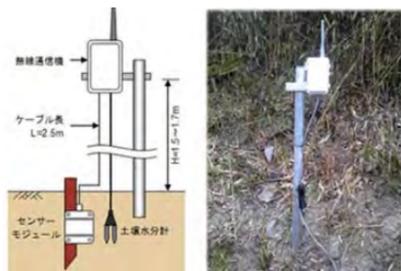
侵食モニタリングのイメージ
(国土交通省 河川堤防モニタリング技術ガイドライン(案))



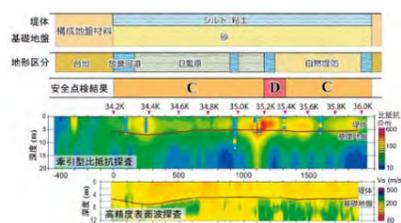
比抵抗による地盤中の水分モニタリング
(応用地質株式会社)



SAMMジャッキを用いたアンカーのリフトオフ試験
(株式会社 東建ジオテック)



傾斜センサを用いた斜面崩壊感知センサ
(中央開発株式会社)



河川堤防における統合物理探査の事例
(土木研究所 資料)

対象	技術名	手法の概要・特徴	主な目的など
盛土構造物	伸縮計	2点間をワイヤーなどで結び、その動きを測定することで、地面の変位（伸び縮み）を計測する・監視する。	地面の動きを計測・監視することで、崩壊などの危険性を察知したり、そのメカニズムを推定することで対策工の検討に利用したりする。
	傾斜計	傾斜センサなどを用いて、地表面や地中の傾き（その変化）を計測・監視する。	地面や地中の傾きを監視することで、崩壊などの発生を事前に予測したり、場所による傾きの違いを、そのメカニズムの解明に役立てたりする。
	転倒センサ	傾斜計と同様に地面の傾きを知らせるものであるが、例えば『立てておいた棒が傾きによって倒れる』ことで傾きを知らせるもの。現地が単純なため、扱いやすい。	地面の傾きから、崩壊などの危険性を事前に察知する。比較的、単純な仕組みであるため。多点での監視などに向いている。
	比抵抗モニタリング	地面に電気を流して、電気抵抗の変化を監視する手法。同じ地盤でも、水の有無や量によって電気抵抗が変化するため、水の動きを推定することができる。	盛土の崩壊は、豪雨などにより盛土の内の地下水が急激に上昇することで発生することが多い。そのため、その水の動きを監視することで、崩壊の危険性を事前に察知したり、崩壊メカニズムの解明に役立てたりできる。
落石対策	振動計測モニタリング	斜面などにある大きな岩などが、しっかり埋まっているか、浮いた状態かを調べる方法。浮いた石は、固定されている石にくらべて揺れやすいので、振動などを計測・分析することで判定することができる。	落石となる可能性のある、斜面の岩などの安定性を定量的に計ること、対策の優先度（どの岩から先に対策するか）を決めるための指標として利用できる。また、常時計測を続けることで、安定性の変化を捉え、危険性を事前に察知できる可能性がある。
	転倒センサ	盛土構造物と同じく、比較的単純な原理で斜面の岩が動いたかどうかを監視することができるセンサ。	振動計測のように、精密な評価はできないものの、単純な仕組みのため、たくさんの岩を同時に監視することが可能。それにより、斜面下の生活圏に対する危険性を察知する。
	光ファイバセンサ	光ファイバは、切れたり曲率が変わったりすると、専用の装置により、その場所を特定することができる。落石の可能性のある箇所を設置することで、岩が動いているかどうか（不安定になっているかどうか）を監視することができる。	長い光ファイバのどの場所で異常が発生したかどうかでも検出できるため、ある程度広い範囲でも、1本の光ファイバを張り巡らすことで複数箇所の岩（斜面の複数箇所）を監視することができる。これにより、落石の危険性を察知できる。
河川堤防	物理探査	地面を振動が伝わる速さや電気抵抗、電磁波が伝わる様子などを計測・解析することで、地盤の内部を可視化する、いわばレントゲンのような技術。最近では、自動車に搭載するなどしてスピーディに計測を行えるものもある。	振動などの物理現象を介して間接的に地盤の内部を調査するため、ある程度の誤差などは含んでいるものの、堤防という、非常に長距離に及ぶ構造物に対して、比較的短時間に計測できることが特徴。全体の中でも弱箇所をスクリーニングし、詳細調査箇所の絞り込みなどに役立てる。
	浸食モニタリング	河床や堤防内、護岸などにあらかじめセンサを設置し、浸食が進行する様子を監視する方法。例えば、光ファイバを備えた棒状のセンサを埋設し、浸食によって露出した部分が折れてゆく様子を計測することで、浸食の様子を捉えられる。	浸食の進行をリアルタイムに監視することで、洪水時の警戒・避難などの判断材料の一つとして利用できるほか、浸食を防ぐための対策工を検討する際の参考データとして有効に活用できる。
	管内カメラ	人が入ることができない埋設管などの中に、自走式のテレビカメラを入れ、埋設管内部の損傷などを確認する。	堤防にある、樋門や樋管といわれる施設は、堤防の強度を考えると、洪水時に弱点となりやすい場所である。特に、施設が破損している場合には、そこから堤防の内部に水が浸入するなどして決壊の原因となり得る。そのような事態を未然に防ぐための管内の調査を実施する。
グラウンドアンカー	リフトオフ試験	道路わきなどの斜面には、斜面が崩れないように、表面から硬い岩盤まで届くように地中にワイヤーをはり、崩れやすい表面の地面を、いわば縫い付けている施設があり、これを、グラウンドアンカーと呼ぶ。リフトオフ試験は、ジャッキを用いて、実際に設置されているアンカーの緊張力を調べる試験である。	グラウンドアンカーは、1960年ごろから導入されており、50年余りを経過した古いものも多い。それらの中には、すでに、表面の土を抑える力が低下しているものも多く、その危険性を調査することで、必要な対策工を行い、道路などの安全を保つことができる。
衛星画像解析	衛星画像解析	地球を周回する人工衛星の中には、周期的に電磁波画像を撮影し続けているものがある。この衛星によって得られた、撮影時期の異なる画像を解析することで、広域的な地盤の変動を捉えることが可能となっている。撮りためた衛星画像を利用することから、過去にさかのぼって解析することも可能である。	広域の地盤変動の様子を、過去にさかのぼって、かつ、現地に立入ることなく調査することができるため、広い監視対象の中で、どの部分がどの程度変位しているか、すなわち、危険箇所なのか、といったことを調査することができる。これによって、対策をすべき箇所の優先順位の検討をしたり、他の調査データを併せて、原因究明の参考データとして利用できる。
	非破壊調査技術	河川堤防の欄で紹介した物理探査は、地面の中を、いわばレントゲンのように可視化する技術であり、概略的な調査ではあるものの、広範囲を、高効率・低コストでカバーできるのが特徴である。電気抵抗を計る方法、振動の強さや伝わりやすさを計る方法、電磁波の反応を診る方法などがある。	道路やトンネル、堤防といった構造物は、非常に距離が長く、全区間にわたって高いレベルの調査・対策を行うのが難しいのが現状である。そのため、物理探査技術を利用して、全体を概略的に調査し、損壊の危険性が高い箇所を抽出、リスクの高い箇所から、詳細調査や対策を優先的に行うことで、限られた時間と予算の中で、効率的な維持・管理が可能となる。

Challenging people 地質調査人

地質調査技士
合格

日頃の業務こそが一番の試験勉強

◇基礎知識を学び直したいというのが受験動機

私は、このたび地質調査技士の「現場技術・管理部門（物理探査コース）」を受験し、合格することができました。今後受験される方々に少しでもご参考になればと思い、私の経験を述べさせていただきます。

大学・大学院時代、私は「廃棄物最終処分場のごみの分解」を中心に土木分野全般について勉強してきました。2007年、現在の会社に入社してからは、ボーリングを用いた建築基礎調査、トンネルの維持管理業務、河川環境調査、地すべり調査、地下水帯水層調査業務など、さまざまな業務に携わってきました。最近では、地中レーダ探査を用いた「路面下の道路空洞調査業務」や、「堤防の健全度評価業務」など数多く経験しており、業務に追われる毎日を過ごしています。

私はこれまでの業務のなかで、技術の原理・仕組みや、業務の契約形態、電子納品などの基礎的な知識が圧倒的に不足していると感じることが多々ありました。そこで、試験勉強を通じて改めて基礎的な知識を学び直すと考え、今回の受験を決意した次第です。

◇地質調査業務の全般的な知識が問われる問題内容

私が受験した「現場技術・管理部門（物理探査コース）」は筆記試験のみでした。その内容は、1) 社会一般、建設行政等の知識、2) 地質、土木・建築等の知識、3) 現場・専門技術の知識、4) 調査技術の理解度、5) 解析手法、設計・施工への適用、6) 管理技法、7) 入札・契約方式、仕様書等の知識、8) 現場技術・地質調査技術に係わる問題および建設一般、論理網領に関わる問題、の8分野で構成されています。1)～7)までは択一式、8)は記述式の問題形式です。

合否判定は択一式試験と記述式試験の合計点によるものですが、そのいずれもが一定の基準に達していることが求められます。日頃、地質調査業務に従事している方であれば、2)～6)は比較的、身近な問題だと思います。逆に、7)入札・契約方式、仕様書等の知識や8)現場技術・地質調査技術に係わる問題および建設一般、論理網領に関わる問題などには馴染みが薄いかもしれません。8)

の記述式では、これまで携わった業務について、その内容や問題点、それに対する解決策、現時点での評価などを記載する問題が出されました。

◇業務知識を再確認することが試験勉強に

私は数年前に、同じ試験を受験した経験があります。その時は、業務多忙を理由に試験勉強をまったくしておらず、案の定、不合格でした。その時の反省を思い出して、今回は、前もって試験対策を、と考えていたのですが、やはりなかなか試験勉強の時間が取れませんでした。試験直前となって、全国地質調査業協会連合会のホームページより3年分の過去問をダウンロードして、解答してみました。結果は、約6割の正解率で、合格ラインには達していませんでした。さらに詳しく見てみると、前述のように日頃の業務で馴染みが深い2)～6)の問題は8割程度の正解率があるのに対して、馴染みの薄い7)や8)の問題はほとんど不正解でした。したがって、不得意分野である7)や8)を徹底的に勉強することにしました。

具体的には、過去問の不正解部分を1問ずつ関連ホームページや各種基準書で調べつつ、わからない問題については会社の諸先輩方に教えてもらいました。試験までの時間がなかったため、他の参考書にまで手を広げるのではなく、過去問に絞った勉強を行いました。記述式問題については、技術士試験に向けて自分がこれまで担当した業務の問題点や解決策、現時点の評価などをまとめていたこともあり、それを再度確認しました。加えて、現在従事している、物理探査技術を用いた「路面下の道路空洞調査業務」や、「堤防の健全度評価業務」についても、インフラの維持管理という題材で課題や問題点について整理していたことが試験に役立ったと思います。

これらの勉強は、日頃業務を遂行しているなかで、知っているつもり、わかっているつもりになっていたことを、ひとつずつ「確かなもの」にしていく過程でした。勉強というよりは業務でわからないことを調べようという感覚だったので、あまり苦になりませんでした。こうした試験勉強の甲斐あってか、択一問題は

竹田 好晴

(たけだ よしはる)

応用地質株式会社 関西支社
ジオテクニカルセンター
2007年入社。物理探査の技術者として、路面下空洞調査や河川堤防の健全度評価業務などを担当



約9割が正解、記述式も自分の書きたいことを比較的スムーズに記述できました。

◇合格につながった4つのポイント

最後に、私が試験を通じて感じたことを以下に4つ述べます。

(1) まずは、過去問

前述したように、私の試験勉強は過去問での苦手分野克服を中心としたものでした。今回の試験でも、過去問の類似問題が多く出題されていました。まずは出題傾向をつかむためにも、過去問を一度解いてみるのが重要だと思います。

(2) 専門外の分野にも興味を

試験は、全部で3部門(5コース)に分けられています。部門・コースごとに設問は異なりますが、共通の設問も多く、自分の専門分野のみ勉強していたのでは解答できません。

自分の核となる技術をもとに、専門外の分野にも日頃から目を向けて、知識を広げていくことの大切さを痛感しました。

(3) 日頃の業務の重要性

私は、日頃から自分の携わった業務について、「現状」「課題」「問題点」「解決策」を明確に整理してまとめておくことを心がけています。また、業務の事業背景や、顧客の要望(ニーズ)を理解して業務を進めていくことを大切にしています。そういったふだんからの積み重ねが、今回の記述式設問の解答に、そのまま役立ったと感じています。業務を遂行するなかで疑問や不安に思うことを1つ1つ解決していくことが、一番の試験勉強になると思いました。

(4) 最後まであきらめない

日頃の業務に追われながら試験勉強をするのは大変です。私もまとまった試験勉強の時間はなかなか取れませんでした。が、「合格したい」という気持ちが強ければ強いほど、合格に近づくと思います。最後の最後まであきらめずに、1問でも多く1文字でも多く自分の言葉で解答することこそが、合格への近道だと思います。

今回の試験を通じて、日頃の業務に対する取り組み姿勢の重要性を感じました。今後は、これまで以上に、日頃からの業務に真摯に取り組む、技術・知識の向上に努めたいと思います。

プロフェッショナルへの関門をくぐり抜けた合格体験記は、資格をめざして格闘中の若きチャレンジャーにとってはいい刺激と受験のためのヒントを提供してくれることでしょう

応用地形判読士
合格

空中写真判読の経験が重要な二次試験

◇はじめに

合格発表から1年近くたったこの時期に、合格体験記を書くのも変な気持ちですが、当時を思い出しながら報告していきたいと思えます。

なお、執筆時点では第2回試験の二次試験が終わっており、試験問題が(社)全国地質調査業協会連合会のホームページに公開されています。また、第1回試験の問題と判読ポイントなども公表されています。これらの資料を見ながらこの体験記を作成しました。

◇応用地形判読士とは？

応用地形判読士は、(社)全国地質調査業協会連合会が、応用地形判読の技術を認定するための資格制度として創設したものです。

受験の手引きには創設の目的として以下の3点が記されています。

- ★ 地形と地形判読に関する知識を身につけ、「防災・減災」に役立てる人材を広く育成する。
- ★ 優れた判読技術を有し、地形リスクを判断できる応用能力を修得した技術者を認定する。
- ★ 応用地形判読士を活用することの有用性を広め、当該技術の普及と関連技術者の育成を図る。

◇試験の概要

試験には、受験資格を問わず、だれでも受験できる一次試験と、一次試験で「応用地形マスターⅠ級」に認定され、「応用地形判読士補」に登録した人が受験できる二次試験があります。二次試験に合格し、登録することで「応用地形判読士」の資格が得られます。

一次試験は地形判読に関する基礎知識および専門知識を問う学科試験です。地形や地質に興味がある一般の人々や、地形地質調査などに関わる発注者や技術者を対象に実施されています。合格者は問題の正答

率で「応用地形マスターⅠ級」もしくは「応用地形マスターⅡ級」に認定されます。

二次試験は応用地形判読士として必要な技術能力を問う実技試験(地形図と空中写真を判読し、判読図等を作成し、応用地形学的所見等を論述する)です。高度な技術を用いて地形判読業務を専門に行っている技術者や地形判読に関する報告書の内容を理解できる発注機関の職員などを対象に問題が作成されています。

◇受験勉強(一次試験)

通常であれば一次試験がある7月までは比較的業務に余裕があるため、じっくり参考書を読もうと思っていたのですが、私が受験した年は例年以上に多忙となり、ほとんど勉強できませんでした。このため「技術者のための地形学入門」を読んだだけで試験に臨むことになりました。よくまとまっているテキストだったので、基礎知識の整理・再確認に役立ったと思います。さらに不明な点があったときは「建設技術者のための地形図読図入門」も見るようにしました。

◇一次試験

一次試験は事前に模擬問題が公表されていたため、問題形式にとまどうことなく取り組むことができました。

午前の多岐択一式問題は、地形に関するものだけでなく、地学の基礎知識に関する出題もあり、想像以上に幅広い知識が問われる試験だと思いました。第2回試験の問題も見ましたが、傾向は変わっていないようでした。したがって地学の基礎知識も必要なので、上記のテキストに加えて、高校地学程度の教科書も読んでおく必要があると思いました。

◇二次試験

応用地形判読士の資格試験の特徴は二次試験にあるのではないのでしょうか。実際に空中写真を判読して地形判読図を作成

山根 博

(やまねひろし)

株式会社
ダイヤコンサルタント関西支社
地質・防災部 地質・防災第2課 課長
1994年入社
活断層調査、電力関連業務、道路調査、地すべり調査に従事
2007年より関西支社在勤



し、地形的な特徴や問題点を記述する試験は、それなりの実務経験がないと対応できないと思いました。資格創設の目的にある「優れた判読技術を有し、地形リスクを判断できる応用能力を修得した技術者を認定する」という趣旨に沿った難易度の高い試験でした。

◇第一回応用地形判読士の二次試験問題

(社)全国地質調査業協会連合会のホームページに昨年問題と判読のポイントが公開されています。

昨年度の平地問題は、鬼怒川周辺の河川蛇行原の地形判読を行うものでした。教科書的な地形であり、判読のポイントに記されているように、低地の微高地と低地の一般面をきちんと区分すること、とくに蛇行原に特徴的な自然堤防と旧河道を明確に区分することができれば合格点が取れたのではないのでしょうか。

山地の問題は、信濃川沿いの段丘地形、地すべり地形、活断層地形などを判読するものでした。この問題で難しかったのは、逆断層地形の判読だったのではないかと思います。判読のポイントにあるように、河成段丘面が河側で高く山側で低くなる異常な地形なのですが、それを活断層による背斜状変形と判読するのは難しいと思われます。

◇最後に

第一回応用地形判読士の二次試験に何とか合格することができました。最終的には全国で17名が合格、登録されています。日ごろから空中写真判読や地形判読を行っている航空測量会社の方々が多く合格されるという結果でした。

私の場合は、これまで産業技術総合研究所の業務や電力会社の業務などで活断層の調査に携わってきており、その経験があったおかげで、合格できたものと思っています。

まだまだ未熟な点も多い私ですが、今後も日々精進して、応用地形判読士の資格に恥じない仕事を行っていきたくと思います。

InSAR技術の地質調査での利用

京都大学大学院工学研究科 教授 松岡俊文



1. はじめに

リモートセンシング技術は、非接触で遠く離れた場所からターゲットの性状を認識する技術である。通常は人工衛星に搭載した各種の地球観測センサーを用いて、宇宙空間から地球上の広範囲を一度に観測する場合を想定している。この時観測されるデータは、地表面からの反射や放射される電磁波であり、それらは波長によって、可視・近赤外域(1.2~7.5X10¹⁴Hz)、熱赤外域(2.1~3.75X10¹³Hz)、マイクロ波域(3X10⁹Hz)等に分けられる。

リモートセンシングは、受動的(パッシブ)な観測手法と、能動的(アクティブ)な観測手法に分けられる。太陽からの光が地球に届き、地球表面で反射する。これを人工衛星で取得する技術が受動的な観測の代表例である。あるいは地熱地帯などにおいて、地表の温度が高くなって、熱赤外線などが放射されると、これも受動的な方法で観測可能である。歴史的にはこの観測手法がまず利用された。しかしながらこの手法の弱点は、雨天の時や、夜間には観測ができないことである。そこで光の波長よりも長いマイクロ波を人工衛星から地表に向けて放射し、その反射波を観測する能動的な手法が開発された。これがマイクロ波を利用した合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar; SAR)によるリモートセンシング技術である。ここでは、この手法の地質調査への応用を考えることにする。

2. 合成開口レーダ(SAR技術)

SARの観測システムは、光学センサと比べて多くの長所があると考えられている。それらは次のようにまとめることが可能である。

- (1) 全天候に対応し、昼夜観測が可能
- (2) 能動的な手法であるためセンサーパラメータの選択が自由
- (3) 地形の強調効果や、砂層や植生への透過性がある
- (4) 偏波による観測や、波の干渉を利用した高度な情報の抽出が可能

我が国では1992年に当時の宇宙開発事業団によって、地球観測衛星としてSARを搭載した「ふよう1号」(JERS1: Japanese Earth Resources Satellite-1)が打ち上げられた。これは1998年に運用が終了し、2006年にはSARを搭載した「だいち」(ALOS: Advanced Land Observing Satellite)(陸域観測技術衛星)が打ち上げられたが、残念なことに2011年5月に運用が停止された。海外においては、2002年に欧州宇宙機関がENVISATを打ち上げ、2012年4月に運用を終えている。またカナダ宇宙庁はRADARSAT-1と-2を1995年と2007年に打ち上げている。さらにドイツ航空宇宙センター、イタリア宇宙庁などもSARを搭載した人工衛星を打ち上げている。

マイクロ波を用いて地球を観測する時には、利用する波の波長によって分解能に違いが出てくる。これらは搭載されている機器の放射可能な電磁波の周波数によって、Lバンド(1.27GHz)、Cバンド(5.3GHz)、Xバン

ド(9.95GHz)が知られている。ちなみに我が国のJERSとALOSはLバンドを使用していた。

3. 干渉SAR(InSAR技術)

前述のようにSARは人工的に電磁波を照射して、対象からの反射波を観測する技術である。すなわち、地表で反射したマイクロ波が再び人工衛星に戻ってくるまでの時間を計測することで、人工衛星と地表の反射点との距離は一意に求めることができる。この原理を利用すれば、同じ場所からの反射で、観測時期が異なったデータを取得する場合、1回目と2回目の観測の間にももしも地表が変形していたら、この変形量が推定できる。具体的には人工衛星が同じ軌道に戻ってきた時に、対象とする場所を前回と同様に観測する。この2つの観測データの波を干渉させることにより、もしも対象の点の変動があれば、干渉させた結果に位相差が生じる。もしも半波長分の位相差が検出されれば、Lバンドの時では約12cmの差があり、これが1回目と2回目の観測時の地表変形量となる(Lバンドの波長は約24cm、Xバンドは約3cm)。

この技術(InSAR技術:SAR Interferometry)を利用することで、現在では約100Km四方の範囲において、数メートルから数十メートルの分解能で地盤変動を捉えることができ、その推定精度は数cmといわれている。しかし、植生のある場所ではマイクロ波の散乱特性が不安定になりやすいため、干渉性が悪い領域が不規則に発生するという問題点が知ら

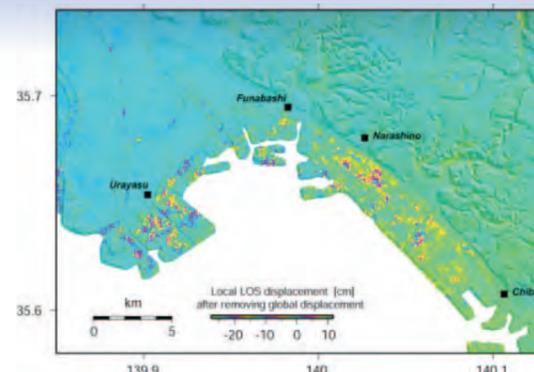


図-3a 東北地方太平洋沖地震によって生じた首都圏における地盤変動。

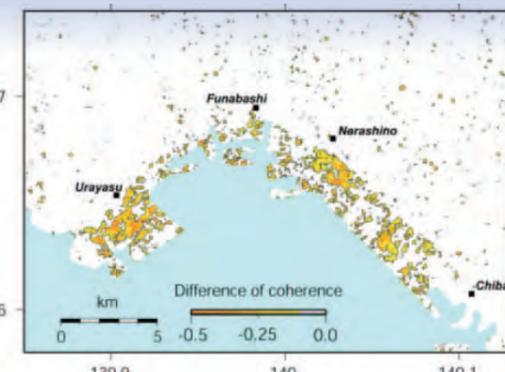


図-3b 東北地方太平洋沖地震を挟む2時期に取得されたSARデータの相関図。積砂の影響と考えられる地域においては、相関が低くなっていることがわかる。

れている。さらに衛星軌道の誤差や、観測ノイズの影響など、解析結果に誤差を生み出す各種の原因が知られているが、これらの影響を克服する技術としてPS-InSAR(Persistent Scatterers SAR Interferometry)が開発され、その推定精度は数mmから約1cmといわれている。現在では多くの組織において、PS-InSAR処理を可能とする環境が整備されつつあり、今後この処理解析技術は地盤の変動解析に広く利用されると予想される。

4. InSAR技術の地質調査への利用の現状

InSAR技術を、地質調査に利用した具体例に関して、以下に紹介する。この技術を利用して地表の変形を計測する典型例は、地震による地形の変形とその影響の検討である。2006年5月26日にインドネシアのジョグジャカルタにおいてM6.3の地震が発生した。このため3500人以上の住民が犠牲となり、2万人以上が負傷し、12.7万戸の家屋が倒壊したと報告されている。地震直後、この巨大地震を引き起こした地震断層と震源に関して、いくつかの研究機関が地震波の解析結果を発表したが、これらには食い違いがあり、議論が決着を見てなかった。そこで、この地域に対してALOSのデータに対するInSAR解析を行うこととなった。その結果を(図-1)に示す。暖色系は地震による衛星に近づく向きの変動であり、寒色系は衛星から遠ざかる向きの変動である。解析によると、この地震はジョグジャカルタを横断するOpak断層が引き起こしたのではなく、東に存在する断層が動いたと考える一方、我が国では、2007年7月16日に発生したM6.8の新潟県中越沖地震が柏崎刈羽原子力発電所をはじめ、多くの社会基盤に被害を与えた。通常、トンネルは耐震性が高い構造物として知られているが、震央から約30Km南南西に位置する柿崎地域において、山岳トンネルが顕著な被害を受けた。そこで、この地域に対してInSAR解析を行ったところ、隆起運動が米山海岸部の板窪背斜に沿って発生していることが明らかとなった(図-2参照)。板窪背斜の隆起域は、トンネルの被害が集中した地域と一致している。こ

の解析で隆起が確認された板窪背斜と震源断層の位置関係、さらに板窪背斜周辺の地質構造から、板窪背斜における地震動の増幅や層間滑りが、山岳トンネル被害を引き起こしたと解釈することができた。

そして2011年3月11日、我が国は東日本大震災に見舞われ、1万8000人を超える死者と行方不明者を出した。この震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震は、関東地方にも液状化を生じさせ、首都圏にも被害を与えた。(図-3a)に示したのはInSAR解析による地盤変動の推定値である。液状化地域において、地表の変動が観測されている。さらに、時期をずらした2つのSAR観測データ間で、相関を計算し、示したのが(図-3b)である。液状化によって生じた積砂が地表の状況を変化させ、マイクロ波の反射率が変化した結果、2つのデータで相関度が低下したと考えられる。これはInSAR解析ではないが、SARデータの利用法として有用と考えられる。

以上、地震にともなう地表変形の例を示してきたが、地盤では地震のような急激な変化以外に、日常的に隆起や沈降が生じている。図-4に示すのは、2007年から2010年までのタイのバンコクにおけるPS-InSAR解析結果である。この結果を見ると、バンコクでは、隆起と沈降の地域が入り交じっていることがわかる。実はバンコクではかつて、地下水の汲み上げによって、大変急激な地盤沈下が生じたため、政府は地下水の汲み上げに規制を設けた。その結果、1997年以降、地下水位は上昇に転じ、かつての地下水水位面を取り戻しつつある。この地下水面の回復が、地表において地盤の隆起をもたらすか否かに関しては、多くの議論がなされている。(図-4)の結果でもわかるように、バンコクの中心地域においては、地下水位面の回復によって、地表がリバウンドして隆起していることが観測された。しかしながら未だ地下水を汲み上げている地域においては、沈下の傾向がうかがえる。

5. まとめ

本稿においては技術革新が著しいSARデータの解析に関して説明すると同時に、いくつかの具体的な地質調査での利用例を示し

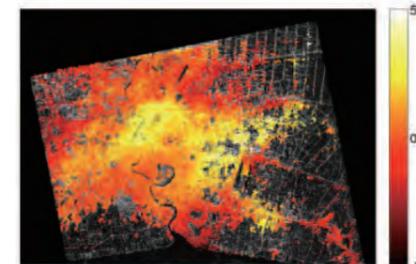


図-4 PS-InSAR解析によって得られたタイのバンコクにおける2007年から2010年までの年間地盤変動 [cm/year]。

た。これらの例からわかるように、SARデータを上手に使えば、これまでの地質調査とはひと味違った解析が可能になることが明らかとなった。ここでの例はある意味で一般的な利用法であるが、SARデータの利用はまだまだ始まったばかりである。今後、多くの事例で検証を重ねることで、技術もより進化していくと考えられる。読者に期待したいのは、このようなデータの新しい利用方法を考え出すことである。そうすることでInSAR技術は我々に、新しい地質調査の道を開いてくれるであろう。

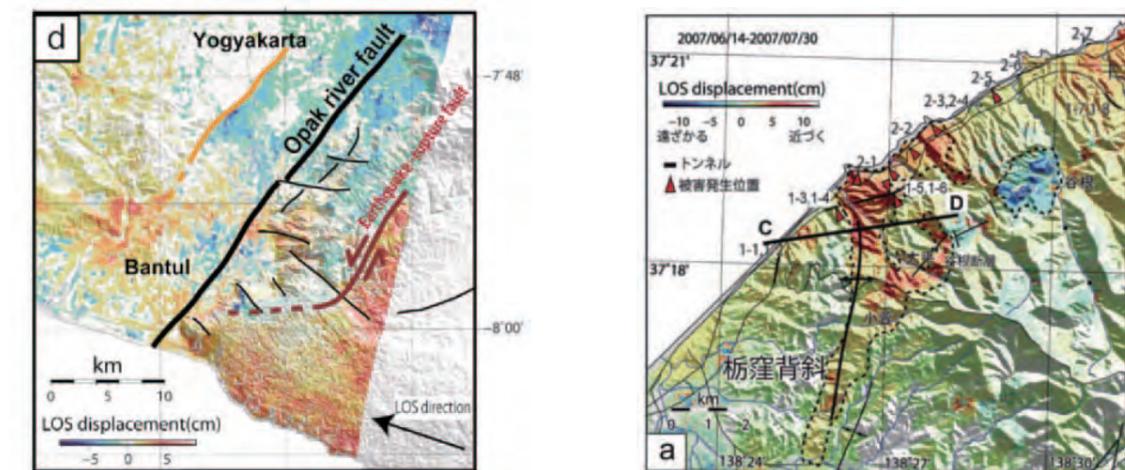


図-1 ジョグジャカルタ地域のInSAR解析結果。

図-2 新潟県中越沖地震によって生じた板窪背斜地域の地盤変形に対するInSARの解析結果。

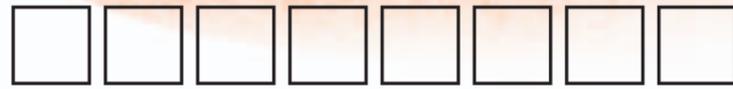
松岡俊文

Toshifumi Matsuoka



京都大学大学院工学研究科 教授(博士(工学))
 1975年 東京理科大学大学院理工学研究科 修士課程修了
 1975年 石油資源開発株式会社入社 物理探査部配属
 1982年 カナダ国ブリティッシュコロンビア大学 客員研究員
 1998年 京都大学大学院工学研究科資源工学専攻 助教授
 2001年 京都大学大学院工学研究科 教授
 物理探査手法を用いた地下資源の探査、開発に関わる技術開発と研究を行って来た。近年はリモートセンシング技術を使った地表観測に興味を持って研究と技術開発を進めている。

プロジェクトK



一井 博文

1. はじめに

京都縦貫自動車道は、宮津市と京都市を結ぶ延長約100kmの自動車専用道路である。現在、宮津天橋立IC～京丹波わちIC間の約34km、丹波IC～久御山IC間の約47km、合計約81kmが供用している。

このうち、沓掛IC～久御山IC間は、京都縦貫自動車道の一部を構成すると共に、京都第二外環状道路（通称「にそと」）として京都市圏の環状機能を有し、広域ネットワークの形成、交通混雑の緩和、地域の環境改善、地域の活性化を目的として整備したものである。

当該区間は、平成元年に都市計画決定され、延長15.7kmのうち、大山崎JCT・IC～久御山ICまでの延長5.9km区間について、平成15年8月に開通。残る沓掛IC～大山崎JCT・ICまでの延長9.8km区間について、平成20年度に本線工事に着手し、平成25年4月に開通した。（図-1）

本稿では、京都市圏における交通課題を示すとともに、京都第二外環状道路（沓掛IC～大山崎JCT・IC間）の整備による効果を紹介する。

2. 京都市圏の交通課題

京都縦貫自動車道が通過する京都市圏においては、以下のような交通課題がある。

2.1 高速道路ネットワークからの視点

東京、名古屋、大阪を結ぶ日本の高速道路の大動脈である名神高速道路と京都縦貫自動車道が接続されておらず、ミッシングリンクとなっていたために、京都市圏に用がない通過交通が京都市内に流入し、交通混雑や交通事故の一因となっている。

2.2 交通混雑からの視点

全国における渋滞等による時間損失額は、年間約11兆円と試算¹⁾されており、そのうち京都市が占める額は約1,500億円で、全体の約1.3%を占める。一方、交通需要（走行台キロ）は、全国で年間約7千億台キロのうち約43億台キロと約0.6%である。渋滞等による時間損失額の占める割合が交通需要の占める割合の約2倍となっており、少ない交通需要であるにもかかわらず、交通混雑が多い地域であると言える。（図-2）

また、京都市の一般道路における、昼間12時間の平均旅行速度²⁾は、全国平均に比べ約10km/h以上遅いうえ、近畿の他の政令市である神戸市と比べると約9km/h遅く、大阪市と同等の速度となっている。（図-3）

さらに、平成25年2月に京都府域渋滞対策協議会において選定された京都府下の一般道路の主要渋滞箇所³⁾は、154箇所存在し、このうち約6割に当たる97箇所が京都市内に点在している状況である。

2.3 交通事故からの視点

事故が発生する確率（以下死傷事故率）を平成23年の事故データを用いて全国平均と京都市とで比較を行うと、全国における死傷事故率は、94件/億台キロに対し、京都市

における死傷事故率は、199件/億台キロと全国に比べ約2倍高い状況である。（図-4）

一方で、一般論として、死傷事故率と道路種別の関係に着目すると、全国平均で、生活道路の死傷事故率は幹線道路の約2倍、自動車専用道路の約18倍となっている。京都市の死傷事故率が全国平均より高い一つの要因として、死傷事故率が高い生活道路が受け持っている交通の割合が全国平均と比べて高いことが考えられる。（図-5）

3. 京都縦貫自動車道（沓掛IC～大山崎JCT・IC 9）の整備効果

3.1 広域ネットワークの形成

京都縦貫自動車道が名神高速道路に接続されたことにより、ミッシングリンクが解消、高速道路ネットワークが接続した結果、沓掛IC～大山崎JCT・IC間で、約22分（約8割）の所要時間短縮が図られた。（図-6）

3.2 観光振興・地域経済の活性化

高速道路ネットワークの充実により、名神高速道路や第二京阪道路、京滋バイパス等から京都縦貫自動車道へのアクセスが容易となった。これにより、沿線地域に点在する天橋立やり浜等の豊富な観光資源へのアクセス性が向上し、京都府北中部地域の観光施

設の入り込み客数は、前年度と比較し大幅に増加する結果となっている。（表-1）⁵⁾

また、京都縦貫自動車道の供用延長が伸びるに従い、工業団地の区画数及び企業立地数が増加している。現在、京都縦貫自動車道全線開通を見越し、亀岡市内において新たな土地区画整理事業も実施されており、今後、さらなる企業立地が見込まれ、地域経済の活性化が期待できる。（図-7）

3.3 交通混雑の緩和・交通安全の確保

京都第二外環状道路（沓掛IC～大山崎JCT・IC間）の開通後は、今回開通区間と並行する京都府道大山崎大枝線で、交通量が約2割減少するなど、周辺道路で交通量が1割～2割程度減少した。これは、京都市圏、特に洛西・乙訓地域（京都市西京区、向日市、長岡京市、大山崎町）の一般道路を利用しての通過交通が転換されたものと想定され、周辺地域の円滑な交通の確保、交通混雑の緩和が図られている。

さらに、通過交通が転換することにより周辺地域の交通事故の削減が期待されるほか、一般的に死傷事故率の高い生活道路から死傷事故率の低い幹線道路に転換することで、周辺地域のみならず広域的な交通事故削減も期待される。（図-5）（図-8）⁴⁾

3.4 緊急輸送ネットワークの強化

今回の開通により、京都縦貫自動車道が名神高速道路に接続された事で、舞鶴若狭自動車道とのダブルネットワークが形成され、緊急輸送ネットワークが強化、災害などの緊急時における物資輸送や救急医療活動の安全性・信頼性の向上が期待される。（図-9）

3.5 救急医療活動への支援

京都第二外環状道路（沓掛IC～大山崎JCT・IC間）の開通後、高速道路を利用することで、救急搬送時間が最大で約12分短縮され、迅速な対応及び定時性が確保されている。南丹医療圏（亀岡市、南丹市、京丹波町）からの救急搬送先の選択肢が1箇所から4箇所へ広がり、柔軟な対応が可能となっている。（図-10、11）⁴⁾

4. おわりに

京都第二外環状道路（沓掛IC～大山崎JCT・IC間）については、数多くの関係者の御協力のおかげで、昨年4月に無事開通することができました。今回の開通により、今までに記述してきた様々な効果を発現しているところですが、京都にはまだ交通課題の残る箇所もあることから、京都国道事務所としては、京

都府南部地域の交通環境の改善に向けて引き続き取り組みを進めていきたいと考えています。

※参考文献

- 1) 社会資本整備審議会道路分科会第7回事業評価部会、配付資料、2011.11.16
- 2) 平成22年度道路交通センサス、一般交通量調査、2011.9
- 3) 京都府域渋滞対策協議会、「地域の主要渋滞箇所」の公表について～官民一体で京都府域の主要渋滞箇所を選定～、2013.2.15
- 4) 京都縦貫自動車道開通により周辺地域の交通状況が変化～京都縦貫自動車道（沓掛IC～大山崎JCT・IC）及び国道9号千代原IC交差点立体交差～、2013.8.13
- 5) 京都府北中部の観光入込客数が大幅増加～京都縦貫自動車道（沓掛IC～大山崎JCT・IC）開通の波及効果～、2013.10.23



一井 博文
HIROFUMI ICHII

昭和51年4月 近畿地方整備局に採用
平成14年4月 近畿地方整備局計画調整課 課長補佐
平成19年4月 豊岡河川国道事務所 副所長
平成25年4月 京都国道事務所 副所長

表-1 観光シーズンにおける入込客数の変化(日平均)

	GW期間		お盆期間	
	入込客数(人/日)	前年同期比	入込客数(人/日)	前年同期比
①天橋立ヒューランド	2,751	△32%	3,030	△21%
②おひづる智恵蔵	1,018	△19%	593	△91%
③道の駅 和	4,636	△10%	5,319	△16%
④道の駅 スパングひよし	5,149	△32%	4,275	△17%
⑤るい温泉	1,204	△10%	2,316	△3%
⑥保津川下り	1,152	△11%	1,912	△36%

GW期間 施設①②:H25.4.26～H25.5.6 施設③～⑥:H25.4.27～H25.5.6
お盆期間 施設①～⑥:H25.8.12～H25.8.18

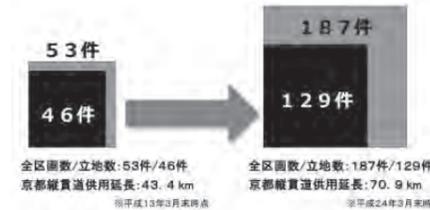
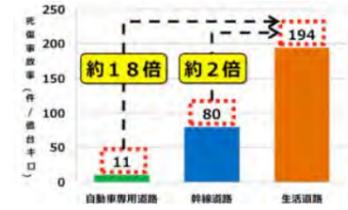
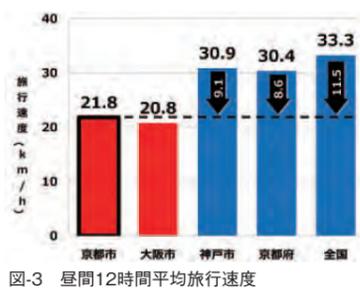
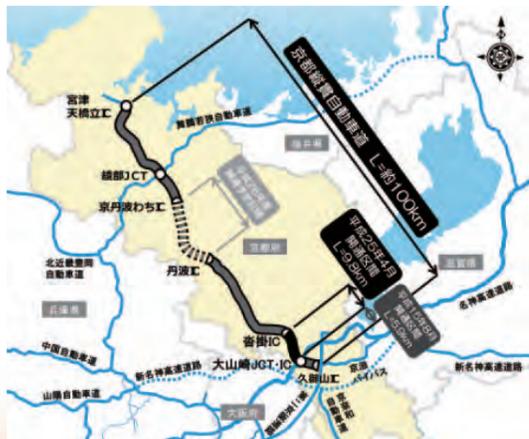
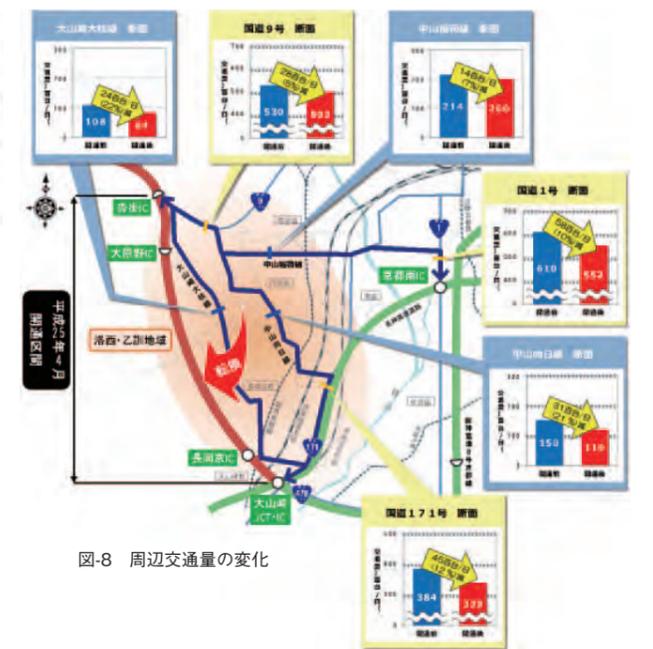


図-7 工業団地の立地企業数



死傷事故率:交通事故総合分析センター資料(H23) 平成23年度道路交通センサス 自動車燃料消費量統計年報(H22)より算出



関西地質調査業協会の活動あれこれ

関西地質調査業協会技術委員会・広報委員会

関西地質調査業協会

21世紀に入り、地球規模で地震、暴風雨等による自然災害が多発しています。しかもその被災により多数の尊い人命が失われ、経済的損失も甚大化しつつあります。

また、我々の健康に被害を及ぼす恐れのある土壌や地下水の汚染も深刻化する傾向にあります。地球温暖化、自然災害、環境汚染等の問題は、今や世界共通の関心事といえるでしょう。関西地質調査業協会では、このような背景のなか、関西圏を中心に”安全でかつ安心”な社会環境構築に向けて、行政機関と力を合わせて活動しています(協会ホームページより)。

京都府防災訓練への参加

平成25年9月1日の「防災の日」に、宮津市総合運動公園において開催された、京都府防災総合訓練に参加しました。当協会では、体験型の防災関連展示として、舞鶴高等専門学校の加登准教授のご協力を得て「液状化振動台実験」の実演等を行いました。あいにく雨天でしたが、近隣の方々や小学生が多数訪れました。実験を見学したり、准教授の説明に耳を傾けたり、中には、「自分の家は液状化に対して大丈夫なのか?」と熱心に質問する参加者もおられました。また、山田啓二知事も展示ブースに来られ、協会メンバーの労をねぎらって下さいました。



子供たちに液状化について説明する加登准教授と協会委員

「大規模災害発生時における緊急対応に関する協定」を結んでいます

関西地質調査業協会は、京都府、兵庫県と「大規模災害発生時における緊急対応に関する協定」を締結しています。この協定に基づき、土砂崩れなど大規模災害が発生した際には、府県からの協力要請に応じて、協会が府県管理の公共土木施設の被災状況を調査し、地質調査業の専門的見地から復旧計画を策定するための適切なアドバイスをを行います。協会としては、災害発生時の迅速な対応はもとより、平常時からの備えとして、防災訓練や研修にも積極的に協力していく考えです。



平成25年7月15日の豪雨による、兵庫県養父土木事務所管内の斜面崩壊に対する緊急調査の様子(7月17日)

労働安全衛生講習会の開催

関西地質調査業協会では、労働安全衛生事業の一環として、隔年毎に「労働安全衛生講習会」と「救急・救命講習会」を実施しています。昨年は「労働安全衛生講習会」を下記の要領で開催いたしました。

開催日時：平成25年6月18日(火) 14:00～16:30
開催会場：建設交流会館 7階 702会議室
講演「平成24年度工事請負事故の概要と今後の対策について」
講師：近畿地方整備局 企画部 技術調査課長 木戸 一善 様
講演「ガス事故防止のお願い」
講師：大阪ガス株式会社 導管事業部 幹線管理部 広域保全チームマネージャー 内藤 真樹 様他3名
(参加人数：52名)



国土交通省近畿地方整備局との勉強会・意見交換会

協会では、国土交通省の幹部の方々、定期的に勉強会や意見交換会を行っています。平成25年度は、7月・11月・12月に計3回の勉強会を実施。テーマは「地質調査業務の拡大」「技術伝承・若手育成」「防災協定の運用」「地元業者の受注機会拡大」等についてでした。

また、2月6日には企画部長をはじめとする幹部の方々意見交換会を開催。勉強会を通じてまとめたテーマを集約し、より実効性の高い、有意義な意見交換会を目指しました。当日は「安定的業務発注・地質調査業者の活用・地元業者の受注機会拡大」をテーマに、活発な意見交換がなされました。



未

現場見学会(33ページに報告記事)

東日本大震災など、広域に甚大な被害を生じる地震災害が頻発していることから、活断層などにより形成された地形を見ることとなりました。コースは滋賀～京都～福井にまたがる琵琶湖西岸断層系・三方断層系をたどる、一泊行程ならではの広範囲なものです。地震によって形成された台地、隆起によって干上がった河川跡などの生々しい残存地形などを見学しました。琵琶湖西岸断層系・三方断層系は、活断層に起因した歴史的大地震が古文書に明確に記載されていることから、その活動時期・場所を特定できる数少ない断層であり、最近でも多くの研究成果が挙がっています。現地では、それら研究内容について京都大学名誉教授の岡田篤正先生からわかりやすく解説いただきました。

本年度の技術見学会は、(一社)日本応用地質学会関西支部、(協)関西地盤環境研究センターの三団体合同開催で、技術交流と親睦を兼ねた有意義なものとなりました。



各種検定試験・講習会の運営

協会では、以下の検定試験を運営・監督しているほか、地質調査技士の登録更新講習会や受験者講習会、道路防災点検講習会などを企画・運営しています。

また、下記の資格に関するCPDによる更新手続きの事務も行っています。

- 協会で行っている検定試験
- ・地質調査技士(25ページに合格体験記)
- ・応用地形判読士(26ページに合格体験記)
- ・地質情報管理士



匠認定制度を制定

地震、津波、集中豪雨……近年、我々の身近では、多数の自然災害が起り、甚大な被害を受けるとともに、多くの尊い人命が奪われました。これら災害現場に、地質調査を業とする我々はいち早く駆けつけ、復旧・復興に寄与し、また、これまでも社会資本整備を支え続けてきました。そして、その最前線で働くのがボーリングオペレーターです。彼らの技術力こそが地質調査業の根幹を成していると言っても過言ではありません。

そこで関西地質調査業協会では、ボーリングオペレーターの社会への高い貢献度をアピールすべく、「匠」制度を発足させました。この「匠」制度を通じ、ボーリングオペレーターの社会的地位の向上を、協会を挙げて図ってまいります。



未

現場見学会報告

平成25年度技術見学会に参加して 琵琶湖西岸断層系・三方断層系 現地見学会

平成25年11月22日～23日に行われた「琵琶湖西岸断層系・三方断層系 現地見学会」に参加しました。この見学会は、関西地質調査業協会、関西地盤環境研究センター、日本応用地質学会関西支部の3団体による合同見学会で、総勢30名以上が参加しました。講師として京都大学名誉教授の岡田篤正先生をお招きし、2日間かけて琵琶湖をほぼ一周するかたちで、断層の活動を読み取ることのできる場所を中心に見学しました。

初日はJR堅田駅近辺、熊川宿周辺で熊川断層による地形と、能登野地域、三方五湖周辺を見学し、琵琶湖西岸の断層活動について理解を深めました。続いて能登野地域では地層の傾きから断層運動を読み取ることができました。三方五湖周辺では日向湖(三方五湖のひとつ)から西側では海蝕洞が海水面以下に、東側では海水面より上にあることから、西側が相対的に沈降し、東側は逆に隆起していることがわかりました。このことは三方五湖東側の湖成堆積物からも読み取ることができました。また周辺では“根木”とよばれる埋没した樹木がよく見つかるそうです。この日は宿

舎に着いて、夕食後、親睦会を兼ねた勉強会が催されました。勉強会では今回の見学会についてのさらに深い解説から、最近の地質学についてのホットな問題までさまざまな話をさせていただきました。

2日目は敦賀地方へ。貴重な自然が残る湿地帯である中池見(なかいけみ)や、余呉湖等の琵琶湖北岸の地形を見学しました。中池見のような地形では堆積物がほとんど外へ流出しないのでテフラなどがよく保存されています。また観光としてかまぼこ工場も見学しました。

今回の見学会では琵琶湖周辺の断層の活動によるさまざまな凹地形を多数見学しました。たとえば中池見のような湿地帯、余呉湖、三方五湖、さらには琵琶湖も周辺の断層運動によってできているそうです。普通の業務ではこれほどの大きなスケールで地質を捉えることはないので非常に新鮮でした。このような催しがあればぜひまた参加したいと思います。最後に、忙しいなか見学会を企画してくださった皆様、そして非常に内容の濃い解説をいただいた岡田先生にこの場を借りてお礼申し上げます。

井関 岳人

TAKETO ISEKI

東建ジオテック大阪支店 技術部
昭和62年生まれ。
平成18年に大阪市立大学理学部地球学科に入学、地質学を学ぶ。
平成22年に同大学理学研究科に進学、平成25年に東建ジオテックに入社。



見学会の様子



日向湖



海蝕洞



中池見



集合写真

関西地質調査業協会加盟会社

福井県	京福コンサルタント(株) 〒917-0026 小浜市多田11-2-1	(0770) 56-2345
	(株)サンケン試験コンサルタント 〒918-8112 福井市下馬3-2206-3	(0776) 33-1001
	(株)サンワコン 〒918-8525 福井市花堂北1-7-25	(0776) 36-2790
	ジビル調査設計(株) 〒910-0001 福井市大願寺2-5-18	(0776) 23-7155
	(株)田中地質コンサルタント 〒915-0082 越前市国高2-324-7	(0778) 25-7000
	中央測量設計(株) 〒918-8238 福井市和田2-1205	(0776) 22-8482
滋賀県	(株)帝国コンサルタント 〒915-0082 越前市国高1-6-1	(0778) 24-0001
	(株)ホクコク地水 福井営業所 〒910-0001 福井市大願寺2-9-1	(0776) 29-0091
	(株)石居設計 〒522-0055 彦根市野瀬町37-1	(0749) 26-5688
	キタイ設計(株) 〒521-1398 近江八幡市安土町上豊浦1030	(0748) 46-2336
	(株)国土地建 〒528-0036 甲賀市水口町東名坂38-3	(0748) 63-0680
	正和設計(株) 〒520-0806 大津市打出浜3-7	(077) 522-3124
京都府	双葉建設(株) 〒520-3302 甲賀市甲南町池田3446-3	(0748) 86-2616
	(株)アーステック東洋 〒601-1374 京都市伏見区醍醐西大路44-32	(075) 575-2233
	(株)関西土木技術センター 〒612-8415 京都市伏見区竹田中島町5	(075) 641-3015
	(株)キンキ地質センター 〒612-8236 京都市伏見区横大路下三栖里ノ内33-3	(075) 611-5281
	(株)ソーゴージケン 〒629-2251 宮津市須津1676-1	(0772) 46-5292
	(株)総合技術コンサルタント 〒601-8304 京都市南区吉祥院前河原町1	(075) 312-0653
大阪府	(株)花村コンサルタント 〒611-0042 宇治市小倉町南浦9-8	(0774) 21-5067
	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング関西支社 〒553-0001 大阪市福島区海老江5-2-2 大拓ビル5F	(06) 6456-1531
	アジア航測(株)大阪支店 〒530-6029 大阪市北区天満橋1-8-30 OAPタワー29階	(06) 4801-2230
	(株)アスコ 〒550-0006 大阪市西区江之子島1-10-1 ASCOビル	(06) 6444-1121
	(株)アテック吉村 〒596-0051 岸和田市岸野町13-16	(072) 422-7032
	(株)エイト日本技術開発 関西支社 〒532-0034 大阪市淀川区野中北1-12-39	(06) 6397-3888
兵庫県	応用地質(株)関西支社 〒532-0021 大阪市淀川区田川北2-4-66 大阪深田ビル	(06) 6885-6357
	(株)オキココポーレーション 〒531-0064 大阪市北区国分寺1-3-4	(06) 6881-1788
	川崎地質(株)西日本支社 〒543-0021 大阪市天王寺区東高津町11番9 日本生命上本町ビル6階	(06) 6768-1166
	(株)関西地質調査事務所 〒599-8273 堺市中区深井清水町3761	(072) 279-6770
	基礎地盤コンサルタント(株)関西支社 〒550-0011 大阪市西区阿波座1-11-14	(06) 6536-1591
	(株)建設技術研究所 大阪本社 〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7 北浜MIDビル	(06) 6206-5555
奈良県	興亜開発(株)関西支店 〒591-8037 堺市都島区片町2-2-40 大発ビル	(072) 250-3451
	(株)興陽ポーリング 〒534-0025 大阪市都島区片町2-2-40 大発ビル	(06) 6351-1590
	国土防災技術(株)大阪支店 〒534-0024 大阪市都島区東野田町1-10-13 イマズM-1ビル	(06) 6136-9911
	(株)コスモテック 〒577-0833 東大阪市柏田東町11-15	(06) 6729-0290
	サンコーコンサルタント(株)大阪支店 〒550-0004 大阪市西区鞠本町1-7-9 鞆イーストビル2階	(06) 4803-2010
	和歌山県	芝田土質(株) 〒580-0044 松原市田井城1-230
(株)地盤調査事務所 大阪事務所 〒531-0071 大阪市北区中津3-7-41 中津ヤマモトビル2F		(06) 6373-6550
(株)シマダ技術コンサルタント 大阪本社 〒532-0002 大阪市淀川区東三国4-6-16		(06) 6392-5171
(株)ソイルシステム 〒537-0014 大阪市東成区大今里西1-8-3		(06) 6976-7788
(株)ダイヤコンサルタント 関西支社 〒564-0063 吹田市江坂町1-9-21		(06) 6339-9141
大和探査技術(株)大阪支店 〒532-0001 大阪市淀川区十八条1-11-13		(06) 6150-4000
大阪府	中央開発(株)関西支社 〒564-0062 吹田市垂水町3-34-12	(06) 6386-3691
	中央復建コンサルタント(株) 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10	(06) 6160-3362
	(株)千代田基礎調査技術 〒530-0026 大阪市北区神山町2-2 造園会館	(06) 6312-9091
	(株)東京ソイルリサーチ 関西支店 〒564-0062 吹田市垂水町3-27-10	(06) 6384-5321
	(株)東建ジオテック 大阪支店 〒593-8321 堺市西区宮下町12-19	(072) 265-2651
	東邦地水(株)大阪支社 〒530-0035 大阪市北区同心2-4-17	(06) 6353-7900
兵庫県	(株)日さく 大阪支店 〒564-0043 吹田市南吹田1-21-27	(06) 6318-0360
	日本基礎技術(株)関西支店 〒530-0037 大阪市北区松ヶ枝町6-22	(06) 6351-0562
	日本物理探検(株)関西支店 〒543-0033 大阪市天王寺区堂ヶ芝1-3-24	(06) 6777-3517
	ハイテック(株) 〒532-0003 大阪市淀川区宮原2-11-9 白鳥ビル4F	(06) 6396-7571
	復建調査設計(株)大阪支社 〒532-0004 大阪市淀川区西宮原1-4-13	(06) 6392-7200
	報国エンジニアリング(株) 〒561-0827 豊中市大黒町3-5-26	(06) 6336-0128
奈良県	明治コンサルタント(株)大阪支店 〒563-0048 池田市呉服町10-14	(072) 751-1659
	(株)ヨコタテック 〒565-0822 吹田市山田市場5-2	(06) 6877-2666
	国際航業(株) 関西事業所 〒660-0805 尼崎市西長洲町1-1-15	(06) 6487-1205
	(株)西播設計 〒679-4161 たつの市龍野町日山229-1	(0791) 63-3796
	播磨地質開発(株) 〒670-0883 姫路市城北新町1-8-25	(079) 282-3232
	阪神測建(株) 〒650-0017 神戸市中央区楠町6-3-11	(078) 360-8481
和歌山県	(株)インテコ 〒630-8122 奈良市三条本町1-86-4	(0742) 30-5655
	(株)シードコンサルタント 〒630-8114 奈良市芝辻町2-10-6	(0742) 33-2755
	(株)阪神コンサルタント 〒630-8115 奈良市大宮町2-4-25	(0742) 36-0211
	(株)環境地盤 〒649-1444 和歌山県日高郡日高川町松瀬328-3	(0738) 36-2017
	(株)近代技研 〒649-6214 和歌山県岩出市水栖390	(0736) 62-6250
	(有)熊野路測量設計 〒647-0081 和歌山県新宮市新宮2317-20	(0735) 22-4990
和歌山県	(株)白浜試験 〒649-2211 和歌山県西牟婁郡白浜町2302	(0739) 42-4728
	(株)世紀工業 〒640-1121 和歌山県海草郡紀美野町下佐々296	(073) 489-2716
	(株)武田基礎調査 〒640-8251 和歌山県和歌山市南中間町66	(073) 423-7623
	(株)タニガキ建工 〒640-1231 和歌山県海草郡紀美野町上ヶ井30	(073) 495-2667

