

地質調査

2018

第1号

(通巻151号)

Japan Geotechnical Consultants Association

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言

≫ 社会資本の維持管理・更新を
巡る動向について

国土交通省 総合政策局 技術参事官 奥谷 正

総論

≫ 土構造物の維持管理に関わる
近年の動向と地盤材料に対する
非破壊計測手法の研究事例

東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授 古関 潤一

小特集 インフラメンテナンス

≫ 高速道路における土工構造物の
補修・補強技術 …… 藤原 優・横田 聖哉

≫ 河川堤防の維持管理 …… 森 啓年

≫ トネルの維持管理－現状と課題－
…………… 朝倉 俊弘

≫ 路面下空洞探査技術の現状と
今後の展望 …… 鴨下 智裕

≫ 宇宙線ミュオン粒子による社会インフラ
維持管理のための地盤探査技術
…………… 鈴木 敬一・草茅 太郎

≫ 衛星搭載合成開口レーダーSARによる
インフラヘルスマonitoring …… 竹内 渉

≫ NEDO事業による道路構造物ひび割れ
モニタリングシステムの研究開発
…………… 竹内 誠一郎

教養読本

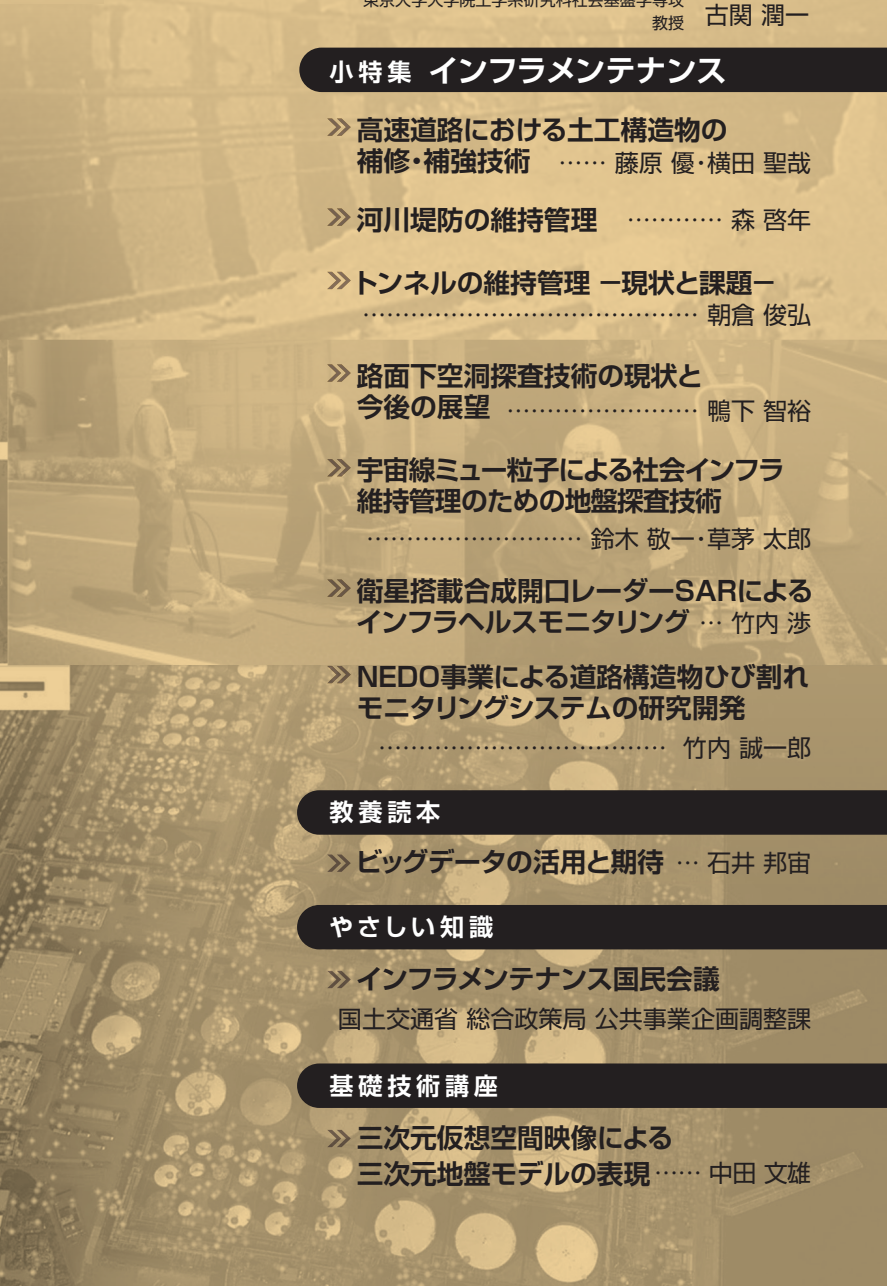
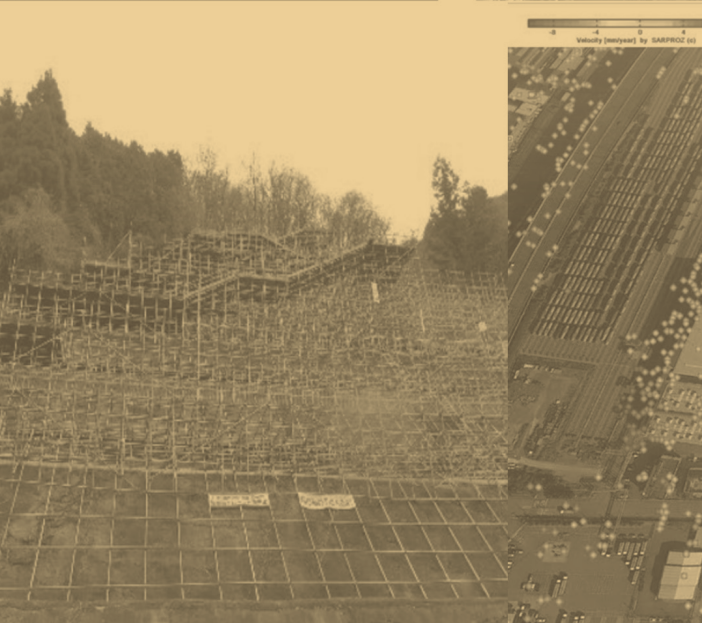
≫ ビッグデータの活用と期待 …… 石井 邦宙

やさしい知識

≫ インフラメンテナンス国民会議
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課

基礎技術講座

≫ 三次元仮想空間映像による
三次元地盤モデルの表現 …… 中田 文雄



| | |
|--------------|--|
| 巻頭言 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 社会資本の維持管理・更新を巡る動向について 国土交通省 総合政策局 技術参事官 奥谷 正 ……1 |
| 総論 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 土構造物の維持管理に関わる近年の動向と地盤材料に対する非破壊計測手法の研究事例 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授 古関 潤一 ……4 |
| 小特集 | <ul style="list-style-type: none"> ■ インフラメンテナンス ≫ 高速道路における土工構造物の補修・補強技術 藤原 優・横田 聖哉 ……8 ≫ 河川堤防の維持管理 森 啓年 ……14 ≫ トンネルの維持管理 -現状と課題- 朝倉 俊弘 ……20 ≫ 路面下空洞探査技術の現状と今後の展望 鴨下 智裕 ……27 ≫ 宇宙線ミュオン粒子による社会インフラ維持管理のための地盤探査技術 鈴木 敬一・草茅 太郎 ……33 ≫ 衛星搭載合成開口レーダー SAR によるインフラヘルスマonitoring 竹内 渉 ……37 ≫ NEDO 事業による道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発 竹内 誠一郎 ……41 |
| 教養読本 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ ビッグデータの活用と期待 石井 邦宙 ……45 |
| やさしい知識 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ インフラメンテナンス国民会議 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 ……49 |
| 基礎技術講座 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 三次元仮想空間映像による三次元地盤モデルの表現 中田 文雄 ……53 |
| 私の経験した現場 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 地すべり地の地下水の流れ特定事例 小林 昌弘 ……59 |
| 各地の博物館巡り | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 桜島国際火山砂防センター 野元 隆明 ……63 |
| 大地の恵み | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 能登の珪藻土 小川 義厚 ……65 |
| 各地の残すべき地形・地質 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 百間山溪谷の地形・地質 (和歌山県) 今井 千鶴 ……67 |
| 国土地理院からの報告 | <ul style="list-style-type: none"> ≫ 国土地理院における地理調査について(その2) 杉本 昌也・山崎 航・三谷 麻衣・栗栖 悠貴 ……69 |
| 地質だより | <ul style="list-style-type: none"> ■ 平成 29 年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者 13 名が決定 …… 75 ■ 全地連「技術フォーラム 2018」の開催について (開催予告) …… 75 ■ 平成 30 年度 全地連資格検定試験の実施概要 【地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士】 …… 75 ■ 「報告書作成マニュアル (土質編) 第 2 版」好評販売中 …… 76 ■ 平成 30 年度 道路防災点検技術講習会 開催案内 …… 77 ■ 平成 30 年度研修「地質調査」開催案内 …… 77 ■ 地質調査技士資格登録更新 (平成 30 年度) 実施予定 …… 78 |

地質調査 2018年 第2号（通巻152号） 内容（予定） 平成30年11月発行予定

小特集テーマ：地熱

社会資本の維持管理・更新を巡る動向について

おくたに ただし*
奥谷 正*

Key Word

インフラ老朽化対策, 社会資本メンテナンス戦略小委員会, メンテナンスサイクル、インフラメンテナンス国民会議, インフラメンテナンス大賞

1. はじめに

平成24年7月に国土交通大臣から社会資本整備審議会及び交通政策審議会に「今後の維持管理・更新のあり方について」が諮問され、社会資本メンテナンス戦略小委員会(以下、「小委員会」という)において、維持管理・更新費用の将来推計や維持管理・更新のあり方、技術開発の方向性の調査審議が行われ、翌年12月に答申された。

また、「情報の見える化・共有化」、「点検・診断に関する資格制度」、「維持管理を円滑に行うための体制」について平成26年4月に小委員会(第2期)を設け更なる検討が行われ、これらについて提言が行われてきた。

国土交通省は平成25年をメンテナンス政策元年と位置付け、これらの取組を進めてきた(図1)。それから早5年が経過しようとしている。

2. メンテナンスサイクルの確立

平成24年12月の笹子トンネル天井板落下事故を契機に、「インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議」が平成25年に設置され、インフラ老朽化に政府全体で取り組むこととなった。同会議は、国民生活やあらゆる社会経済活動を支えるインフラを幅広く対象として維持管理・更新等の方向性を示す「インフラ長寿命化基本計画(以下、「基本計画」という。))」を取りまとめた。

これは、国民の安全・安心を確保し、中長期的な維持管理・更新等に係るトータルコストの縮減や予算の平準化を図るとともに、メンテナンス産業の競争力を確保するための方向性を示すものと位置付けられ、基本的な考え方の冒頭には、点検・診断・修繕・更新、情報の記録・活用からなるメンテナンスサイクルを構築し、継続的に発展させていくことが位置付けられた。

国土交通省は管理・所管する14分野を対象とする「国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)」を平成26年5月に策定するとともに法令改正や点検基準の策定等を行い、各インフラ分野の点検が一斉に始まることとなった。

現在もインフラの管理者は順次点検を実施しているところだが、今後は行動計画に基づき、点検や診断の結果を踏まえ個別施設の対策内容や対策費用等を「個別施設毎の長寿命化計画(個別施設計画)」として策定することとなっている。

| | | |
|-------|--------|---|
| 平成24年 | 7月25日 | 社会資本整備審議会・交通政策審議会に対し、国土交通大臣が「今後の維持管理・更新のあり方について」を諮問 |
| | 7月31日 | 上記を受け、技術部会の下に「社会資本メンテナンス戦略小委員会」を設置し、技術的な検討に着手 |
| | 12月2日 | 中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故 |
| 平成25年 | 1月21日 | 社会資本の老朽化対策会議 設置 |
| | 3月21日 | 社会資本の老朽化対策会議 ○「社会資本の維持管理・更新について当面講ずべき措置」(工程表)決定 |
| | 10月4日 | インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議 設置 |
| | 11月29日 | インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議 ○「インフラ長寿命化基本計画」決定 |
| | 12月25日 | 「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について」答申 |
| 平成26年 | 4月16日 | 「社会資本メンテナンス戦略小委員会(第2期)」において答申の施策の具体化に向けた検討に着手 主要な検討4テーマ ・点検・診断に関する資格制度の確立 ・維持管理を円滑に行うための体制、地方公共団体等の支援方策 ・維持管理・更新に係る情報の共有化、見える化 ・メンテナンス技術の国際化 |
| | 5月21日 | 社会資本の老朽化対策会議 ○「国土交通省インフラ長寿命化計画(行動計画)」決定 |
| | 8月22日 | 「社会資本メンテナンスの確立に向けた緊急提言：民間資格の登録制度の創設について」の公表 |
| 平成27年 | 2月27日 | 「社会資本メンテナンス情報に関わる3つのミッションとその推進方法」の公表 |

図1 社会資本の老朽化対策に関するこれまでの経緯

*国土交通省 総合政策局 技術参事官

3. 経済財政運営とインフラメンテナンス

インフラ老朽化の課題は、経済財政諮問会議等における最近の経済財政運営の議論においても大きなテーマとして取り上げられている。

まず、平成28年6月の「経済財政運営と改革の基本方針2016～600兆円経済への道筋～」では、『公共施設や民間の建築物の維持管理・更新を行うメンテナンス産業の育成・拡大を図るため、新技術の掘り起こしや幅広い業種からのメンテナンス市場への新規参入等を促進していく。また、メンテナンス技術や関連する企業の海外市場への展開を図る』として、メンテナンス市場が成長市場として位置づけられた。

また、平成29年6月の「経済財政運営と改革の基本方針2017～人材への投資を通じた生産性向上～」や「未来投資戦略2017 - Society 5.0の実現に向けた改革-」では、我が国の政策資源を集中投入する5つの戦略分野の一つに「快適なインフラ・まちづくり」が位置付けられ、未来投資会議の下に平成29年11月に構造改革徹底推進会合「地域経済・インフラ」会合が設けられ、ICT活用等によるインフラの生産性と機能の向上等の成長戦略の深化・加速化に向けた議論が行われている。

4. 国土交通省における最近の取組

国土交通省では、人口減少社会の中で、潜在的な成長力を高め、新たな需要を掘り起こすことにより働き手の減少を上回る生産性の向上を目指し、社会全体の生産性向上につながるストック効果の高い社会資本の整備・活用や、関連産業の生産性向上、新市場の開拓を支える取組を加速する「国土交通省生産性革命プロジェクト」を平成28年より進めている。

同プロジェクトの具体例の一つに、インフラメンテナンスサイクルのあらゆる段階において多様な産業の技術や民間のノウハウを活用し、メンテナンス産業の生産性を向上させ、メンテナンス産業を育成・拡大する「インフラメンテナンス革命」がある。「インフラメンテナンス国民会議(本号「やさしい知識」にて詳しく紹介)」をプラットフォームとした取組を進めている。

特に、体制や予算の面からインフラメンテナンスサイクル確立の見通しを持つことが出来ない市町村も未だ多いと考えられる。

国土交通省では、メンテナンス政策元年以降講

じてきた施策や現状における市町村の動向のレビューを行うとともに、今後の取組の方向性について検討を行うため、小委員会の第3期(委員長:政策研究大学院大学 家田仁教授)を平成29年12月に立ち上げた。

同委員会(第1回)ではこれまでの取組の概略レビューを行ったので、その一部を紹介する。

4-1. これまでの取組の概略レビュー

①メンテナンスサイクルの確立

国土交通省では、行動計画に個別施設計画の対象施設を定義し、点検基準を策定した。平成30年までに全施設の点検が一通り終了する予定である。このように、点検をはじめとするメンテナンスサイクルは徐々に確立しつつあり、今後とも新技術の活用等による効率化が課題である。

また、着実な補修・修繕が大きな焦点になる。このため、技術面だけでなく財政面からの検討が重要となる。

基本計画では個別施設計画策定の目標を2020年までとしているが、これを着実に進めるため、地方自治体に対し、維持管理・更新費用の算定方法や対策の優先順位の付け方の提示、アセットマネジメントの導入など、新たな支援について今後検討が必要になると考えられる。

②インフラメンテナンス情報に関する取組

答申では、維持管理・更新を着実にを行う第一歩は情報を正しく把握することであると指摘している。施設管理者による点検結果の施設台帳等への記録をはじめ、分野別のデータベース化なども各分野で進められている。

また、インフラメンテナンスについての情報を誰もが確認できるようにするため、国土交通省では、平成29年から「社会資本情報プラットフォーム」を開設して点検状況等のインフラ情報の試行的な公開を進めてきた。

また、土木学会は、平成28年より社会インフラの施設の健全性や維持管理体制を診断する取組を『社会インフラ健康診断』として始めた。平成28年は道路部門、平成29年は河川部門、下水道部門(管路)を公表、平成30年は港湾部門についてとりまとめ、公表する予定である。

さらに、国土交通省をはじめ関係6省庁はインフラメンテナンスを専ら対象とする初めての国の表彰制度として、平成28年11月に「インフラメンテナンス大賞」を創設し、初年度は28件を表彰した。

このように、施設の健全性やインフラメンテナンスの取組、ベストプラクティスの情報について、情報の見える化や横展開の取組を進めている。

国民によるインフラ老朽化やメンテナンスに対する理解が深まることにより、老朽化に対する地域の議論を活性化し、地域の合意形成を経て、適切なインフラ・マネジメントが実現することを期待している。

今後も、メンテナンスサイクルの定着のため、インフラの状況や地方自治体の取組・進捗状況の見える化、インフラの集約・再編等の判断に参考となる指標化（ベンチマーク）など、必要な施策について検討していく。

さらに、i-Constructionの推進により測量・設計、施工、監督・検査等により生み出される施工情報のデータ化や3D、4D化、クラウド化が進んでいくため、これらをインフラメンテナンスにも活用し、点検・診断、補修・修繕、更新の効率化や質の向上、アセットマネジメントへの進化に結びつけて行くことが重要である。

第1回インフラメンテナンス大賞では下水管や地質情報の共有により道路陥没件数を大幅に減少させた東京都下水道局の取組が国土交通大臣賞を受賞するなど、地盤状態の高精度な把握や地盤情報の3Dデータ化、共有、活用等、地質調査分野の技術革新はインフラメンテナンスや社会全体の生産性向上に大きく貢献するものと期待される。

③市町村のメンテナンス体制の確立

第2期の小委員会の提言では、市町村の新たなメンテナンス体制として共同処理や技術者派遣、包括的委託、地方公共団体への支援等が提言された。

国土交通省では、技術者派遣の試行や「社会資本の維持管理における包括的民間委託等の活用促進に向けた勉強会」の開催等に取り組んできたが、地方自治体の検討、導入が進んでいるとは言い難い。

このため、第3期の小委員会では、地方自治体に対し、所管9分野の維持管理・更新についてのアンケート調査を行った。アンケート結果からは、ほとんどの分野で自治体は実施の予定が無いと答えているほか、その理由として必要性やメリットがないと捉えている自治体が多いことが明らかとなった。今後、これらの取組事例を対象とした実証分析や取組の横展開が求められる。

④民間資格の登録制度

第2期の小委員会で提言された「点検・診断に関する資格制度」については、平成26年に技術者

資格登録規程を制定し、既存の民間資格を登録する国土交通省登録資格制度を開始し、維持管理分野と新設分野あわせて計251資格の登録が進むとともに、それら資格の工事等における活用が進んでいる。

4-2. 検討の視点

これまで紹介した概略レビューの内容から、以下の通り7つを検討の視点として小委員会に提示した。

- ①メンテナンスサイクルの更なる発展
- ②地方自治体におけるメンテナンスの新たな課題（アンケート調査）
- ③個別施設計画の策定
- ④着実な補修・修繕，更新とLCCの把握
- ⑤インフラの集約・再編
- ⑥技術開発と新技術の導入
- ⑦インフラ・データプラットフォーム（構想）

を活用したアセットマネジメント等の検討

これらに対し、委員からは、

- 実質的な成果を上げていくため、施策を重点化し、効果を上げることを根本とすべき
- LCC算定では各施設分野における特性の違いもあり、算定方法のマニュアル化が難しい
- 情報のオープン化ではサイバーセキュリティも重要である
- 人工知能の導入にあたり、技術者との役割分担や、情報に対する責任分担の仕組みを考える必要がある

等のご意見を頂いた。

今後、小委員会では、地方自治体向けのアンケートや現地調査などを行い、年末までに、今後5年間で取り組むべき施策をとりまとめていく予定である。

5. 終わりに

我が国の人口は2030年には1億2千万人を切る一方で、国土交通省所管のインフラ維持管理・更新費は、2033年に2013年に比べ最大で約1.5倍になるものと推定されている。

これまでに積み上げてきたインフラは我が国の維持・発展に欠かせない社会全体の資産であり、これらを後生に適切に引き継げるよう、協会関係各位のご理解、ご協力を心よりお願い申し上げる次第である。

土構造物の維持管理に関わる近年の動向と地盤材料に対する非破壊計測手法の研究事例

こせき じゅんいち
古関 潤一*

Key Word 土構造物, 維持管理, 道路, 鉄道, AE 計測, 粒子破砕

1 はじめに

これまでに整備されてきた各種の社会基盤施設の高齢化が進みつつあり、盛土・切土や擁壁等の土構造物も例外ではない。例えば JR 東日本管内の盛土・切土はそれぞれ約 20,900 箇所（総延長 5200km）・約 13000 箇所（総延長 2800km）におよび、その過半は 1930 年代までに構築され、すでに 80 年以上が経過している¹⁾。

これらの土構造物の性能の経時変化を模式的に図 1 に示す。このような図を、特定の実構造物を対象として具体的・定量的に描くことは現時点では容易ではないが、定性的には以下のような経時変化特性を示すと考えられる²⁾。

- 適切に設計・施工された土構造物の性能(点 A)は、施工直後は要求性能を満たす。
- 重要な土構造物の場合には、地震や降雨などに起因する外力の作用を受けて性能が低下しても最低限の要求性能 (a ~ a' ライン) を下回らないような余裕を持たせる必要がある。
- その後の時間の経過とともに、土構造物の性能が高まる場合 (正の時間効果) と低下する場合 (負の時間効果) がある。後者の場合には、点 B 以降で a ~ a' ラインを下回ることになるが、我が国ではそれ以前 (点 C) に外力が作用して問題が顕在化することもある。
- 構造物の要求性能が時代とともに底上げされ、既存不適格化する場合 (点 D) もある。
- 構造物を補修・補強すると性能が回復・改善し (点 E)、それ以降の性能の低下速度を補修・補強前よりも小さくすることも可能である。

各種社会基盤施設の維持管理に関連し、本「地質と調査」誌上では、2009 年 3 月号で「防災・維

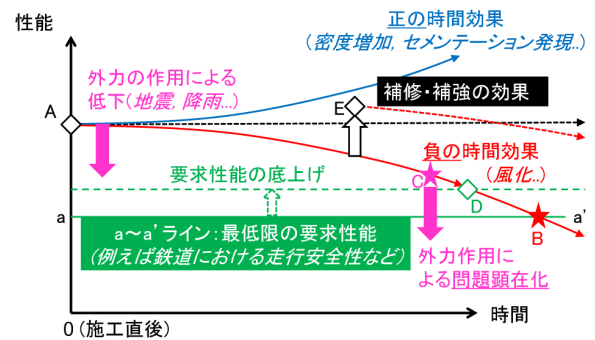


図 1 土構造物の性能の経時変化 (模式図)²⁾

持管理分野に係る最近の調査技術」の小特集が生まれ、同分野に係る地質調査技術の適用と今後の取り組み状況のとりまとめ³⁾や、具体的な適用例の紹介が行われている。

本稿では、主として上記の小特集以降における、土構造物の維持管理に関する動向と、地盤材料に対する非破壊計測手法の研究事例を紹介する。

2 土構造物の維持管理に関わる近年の動向

ここでは、道路分野と鉄道分野における土構造物の維持管理に関わる近年の動向と、関連学協会等での取り組みについて紹介する。

2.1 道路分野での動向

道路分野では、橋梁系構造物に続いて、土構造物でも性能設計の導入が進められており、その際に維持管理についても考慮することが求められるようになってきている。2017 年に発刊された道路土工構造物技術基準・同解説⁴⁾では、「道路土工構造物の

* 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授

設計にあたっては、その施工の条件を定めるとともに、維持管理の方法を考慮しなければならない」と規定して、従来よりも大規模あるいは複雑な構造を有する新形式の道路土工構造物では、以下のような場合が生じ得ることに言及し、「構造特性に合致した維持管理の方法を考慮する必要性」を指摘した。同年に点検要領^{5, 6)}も制定されている。

- 従来一般的に行われてきた方法での維持管理が困難な場合
- 万が一損傷が発生した際に短期間で復旧することが難しい場合

上記に先だって2010年に発刊された道路土工盛土工指針⁷⁾では、補強盛土の適用上の留意点の一つとして、「安全性、耐震性を高めることが可能である一方で、万一変状や損傷が生じた場合の補修が通常の盛土と比較して一般に困難であるため、十分な安全性、耐久性を持った構造とする必要がある」ことを挙げている。この具体例として、補強盛土に類似した構造特性を有する補強土壁の地震被害事例⁸⁾を写真1に示すが、下部のみが部分的に損傷した結果として、短期間での補修・復旧が困難な状況に陥っている。



写真1 高速道路橋台（建設中）の補強土壁の地震被害事例⁸⁾、a) 全景、b) 下部の詳細

なお、国土交通省の社会資本整備審議会 道路分科会 道路メンテナンス技術小委員会が2013年に公表した「道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて」と題した中間とりまとめ⁹⁾でも、「メンテナンスサイクルは、橋梁・トンネル等の人工構造物と、自然斜面・岩盤等の土工構造物では構造物特性が異なることや、構造物によって支障を生じた場合の社会的影響や復旧のしやすさ等が異なることも踏まえて、それらを適切に考慮したものであるべき」ことを重要な視点として挙げている。

2.2 鉄道分野での動向

鉄道分野では、2007年に各種構造物を対象とした「鉄道構造物等維持管理標準」が制定され、これに解説を加えたものが、土構造物¹⁰⁾および基礎構造物・抗土圧構造物¹¹⁾についても同年に出版されている。

土構造物¹⁰⁾では、表1に示す初回・全般・個別・随時検査の調査項目・方法等と、これらの結果を踏まえた各種の措置（監視、補修・補強、使用制限、改築・取替）および記録の内容が規定されている。また、付属資料にはさまざまな健全度判定例や、簡易な調査方法・調査機器の紹介と、地すべり等に対する崩壊時間の予測、限界雨量に基づく盛土・切土の危険度評価、および岩石斜面の安定性評価の各手法が記述されている。

表1 鉄道土構造物の維持管理¹⁰⁾で実施される4種類の検査の目的と調査方法の概要

| | 目的 | 調査方法 |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|
| 初回検査 (供用開始前に実施) | 新設構造物および改築・取替を行った構造物の初期の状態を把握 | 入念な目視を基本とする |
| 全般検査 (定期的実施) | 構造物の状態を把握し、健全度を判定 | 変状に対する調査および不安定性に対する調査を目視(特別全般検査は入念な目視)により行うことを基本とする |
| 随時検査 (大雨や地震等で早急な調査や広域的調査が必要な場合に実施) | 変状の発生もしくはそのおそれのある構造物を抽出 | 目視を基本とし、必要に応じて空中写真などを利用した広域調査等を行う |
| 個別検査 (全般・随時検査で詳細調査が必要とされた場合に実施) | 精度の高い健全度判定 | 入念な目視を基本とし、必要に応じて土質試験、地質調査、岩石試験、ボーリング調査等を行う |

基礎構造物・抗土圧構造物¹¹⁾でも、土構造物と同様に4種類の検査が規定されているが、例えば個別検査の調査方法として、資料調査、地上部の変状に対する調査、地中部の変状に対する調査、変状の外的条件に関する調査を行ううえでの具体的手法が詳細に記述されている。付属資料には、基礎の変状・

対策事例と、衝撃振動試験法、磁気探査法、ボアホールレーダ法、速度検層による木杭の根入れ調査法、ボアホールカメラ法、赤外線法、GPS 変動調査法の概要などが紹介されている。

さらに、抗土圧構造物のうち盛土・切土等に構築された土留め擁壁に関しては、前述した維持管理標準・同解説を補足する資料として「鉄道土留め擁壁の検査・修繕の手引き」が2014年に発刊された。土留め擁壁の特性を踏まえて変状原因を同定するための検査のポイントや、衝撃振動試験や小型起振器を活用した非破壊検査結果に基づく健全度診断手法、監視手法や補修・補強事例をまとめた変状・措置事例集や、補修・補強工をまとめた補修・補強事例集が掲載されている¹²⁾。

一方で、鉄道盛土の耐震診断・耐震補強を合理的かつ的確に行うためのマニュアルとして、「鉄道土留め構造物の耐震診断に関する手引き」が、概略診断編と詳細診断編の2編に分けて2016年に発刊されている¹³⁾。

2.3 関連学協会等での取り組み

以上のような各分野での動向に対して、関連学協会等でも様々な取り組みが行われている。

例えば全国地質調査業協会連合会では、防災・維持管理分野における物理探査の適用に関して検討した結果を2007年に報告書¹⁴⁾として公開し、2015年には、道路橋基礎等の構造物の安全性と信頼性を向上させることを目的として、注意すべき地形・地質に対する調査計画のガイドライン¹⁵⁾を公開している。

地盤工学会では、地形・地質が問題となる場合の各種評価結果に基づいて、今後の建設や維持管理・更新の際にどのように工学的に対処するかをとりまとめた書籍¹⁶⁾を2015年に出版している。

国際ジオシンセティックス学会 (IGS) 日本支部では、降雨や地震によって被災したジオシンセティックス補強土の形態や被災要因、およびジオシンセティックスを用いた復旧方法について実事例収集・分析等により検討した結果を2014年に報告書¹⁷⁾として公開している。

さらに、民間会社を主体とする研究会が、吹付のり面診断・補修補強の手引きをとりまとめて出版した例¹⁸⁾もある。

3 最近の研究事例

本小特集号では、レーダー・宇宙線を用いた空洞探査技術、衛星観測データを用いた変状モニタリ

ング技術など、最新技術の開発・適用事例が紹介されている。

また、近年では ICT (情報・通信技術) の活用も進められており、その一例として、比較的安価な小型センサーを斜面に多数配置して遠隔モニタリングする技術¹⁹⁾も実用化されている。

ここでは、非破壊計測技術の一つである AE (Acoustic Emission) を地盤工学分野で利用することを目指した研究事例を紹介する。

3.1 地盤工学分野での AE 計測技術の適用状況

物質が外力を受けて変形すると、構成粒子の転移や微小クラックの発生により弾性波が放出される。この現象が AE であり、金属や岩石、コンクリートなどの固体材料の非破壊計測手法、あるいは構造物の安全監視方法の一つとして注目されてきた。1960年代から1980年代にかけては、地盤材料の各種試験や実斜面の監視にも適用され、せん断試験中の体積変化特性が圧縮傾向から膨張傾向に転じると AE 特性も変化することなどが明らかにされてきた²⁰⁾。

その後の1990年代以降は、地盤材料に対する AE 測定の実用例は限定的で、新たな知見はあまり得られていなかった。しかし近年になって、他分野における適用により格段に高精度化された最新 AE 測定技術が、地盤工学の分野でも再度着目されるようになってきている。

3.2 地盤模型実験における AE 計測例

固結力のない乾燥砂で密な支持地盤模型を作成し、直径4cmの閉塞杭模型の鉛直貫入中に AE 計測を行う実験²¹⁾の模式図を図2に示す。このような AE 計測の適用には以下のような特徴がある。

- 1) 従来よりも著しく高感度な AE センサーを用いて微小信号を計測している。
- 2) 複数の AE センサーで同時計測することにより、波源の位置を推定している。

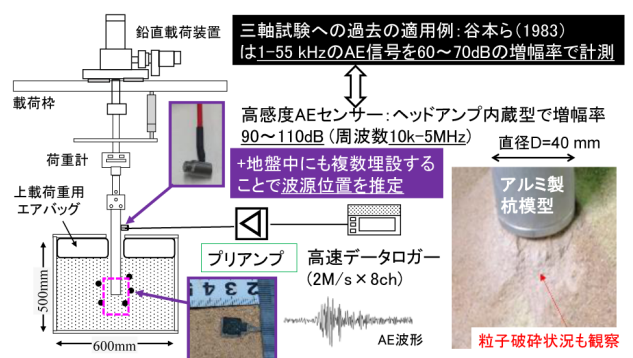


図2 AE計測を併用した地盤模型実験 (模式図)

実験結果の例を図3に示す。杭基礎模型の下方1D程度(Dは杭の直径)の深度で集中的に弾性波が発生し、別途実施した粒子破碎状況の観察記録²²⁾と整合していることから、この位置で粒子破碎が生じていることが明らかとなっている。

現在も、計測記録の周波数特性を分析して粒子破碎現象と粒子間でのすべり現象を判別する試みや、このような手法を三軸試験にも適用する試みを継続している。

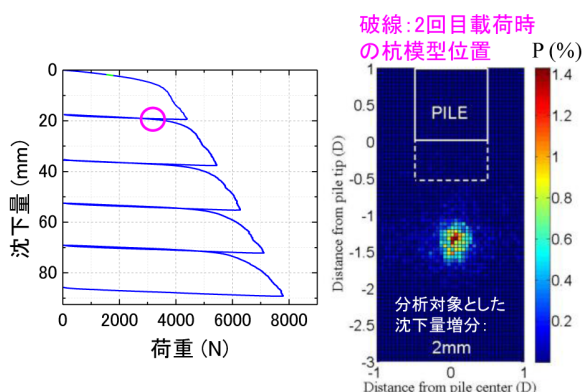


図3 AE計測を併用した地盤模型実験の結果例,
a) 杭頭の荷重沈下関係,
b) P (各領域で発生したAEの割合)の分布

- 12) 中島進, 阿部慶太: 鉄道土留め擁壁の検査・修繕の手引き, 基礎工, Vol.45, No.7, pp.48-50, 2017.
- 13) 松丸貴樹, 渡辺健治, 小島謙一: 鉄道盛土の耐震補強マニュアル, 基礎工, Vol.45, No.12, pp.36-38, 2017.
- 14) 全国地質調査業協会連合会: 防災・維持管理分野における物理探査の適用報告書(平成19年8月), <https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/zenchi/report.html> (2018年1月26日現在)
- 15) 全国地質調査業協会連合会: 構造物の安全性・信頼性向上のための調査計画ガイドライン(案) —注意すべき地形・地質に対する調査計画ガイドライン— (平成27年3月), <https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/zenchi/guideline.html> (2018年1月26日現在)
- 16) 地盤工学会: 防災・環境・維持管理と地形地質, 地盤工学・実務シリーズ32, 2015.
- 17) IGS日本支部: 災害復旧技術委員会(平成19年度~平成21年度)報告書, <http://www.jcigs.org/kaikoku/2014/Disaster-recovery-com2010.pdf> (2018年1月26日現在)
- 18) のり面診断・補修補強研究会: 吹付のり面診断・補修補強の手引き(増補版), 2017.
- 19) 例えば内村太郎, 王林, Qiao J.P.: 斜面モニタリング装置を活用した斜面防災 —迅速に設置できる小型孔内傾斜計の開発—, 地質と調査, No.1, pp.12-15, 2011.
- 20) 谷本喜一, 中村潤一, 石川正紀: 土のAE特性と変形挙動との相関について, 土質工学会論文報告集, Vol.23, No.1, pp.135-143, 1983.
- 21) Mao, W., Aoyama, S., Goto, S. and Towhata, I.: Localization of acoustic emissions from highly stressed sands near to pile tip, 第50回地盤工学研究発表会, DVD-ROM, 2015.
- 22) 濱口隼人, 毛無衛, 古関潤一: 鉛直荷重を受ける杭基礎直下地盤における粒子破碎特性, 第51回地盤工学研究発表会, DVD-ROM, 2016.

〔参考文献〕

- 1) 島津優, 村岡洋: JR東日本における鉄道盛土および切土の検査・維持管理, 基礎工, Vol.45, No.7, pp.63-68, 2017.
- 2) 古関潤一: 斜面・土構造物の性能の経時変化と補修・補強効果, 基礎工, Vol.45, No.7, p.1, 2017.
- 3) 原口強: 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, 地質と調査, No.3, pp.2-4, 2009.
- 4) 日本道路協会: 道路土工構造物技術基準・同解説(平成29年3月), pp.28-30, 2017.
- 5) 国土交通省: 道路土工構造物点検要領, http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/ty_h2908.pdf (2018年1月26日現在)
- 6) 国土交通省: 道路土工構造物点検要領の制定について, <http://www.mlit.go.jp/common/001191489.pdf> (2018年1月26日現在)
- 7) 日本道路協会: 道路土工盛土工指針(平成22年度版), p.187, 2010.
- 8) Kuwano, J., Miyata, Y. and Koseki, J.: "Performance of reinforced soil walls during the 2011 Tohoku Earthquake," Geosynthetics International, Vol.21, No.3, pp.179-196, 2014.
- 9) 国土交通省: 道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて(平成25年6月), 社会資本整備審議会 道路分科会 道路メンテナンス技術小委員会, http://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_000357.html (2018年1月26日現在)
- 10) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編) 土構造物(平成19年1月)
- 11) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編) 基礎構造物・抗土圧構造物(平成19年1月)

高速道路における土工構造物の補修・補強技術

ふじわら ゆう 藤原 優* ・ よこた せいや 横田 聖哉**

Key Word

高速道路, 特定更新等工事, 土工構造物, 盛土, 切土, 排水施設

1 はじめに

高速道路の供用年数は、最も長いもので50年以上が経過しており¹⁾、従来の維持管理・修繕では、高速道路の健全性を長期にわたり維持することが困難な状況にある。こうした背景の中、「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」での提言²⁾を踏まえて、NEXCO3会社は国土交通大臣から2015年3月に3兆64億円で15年間の特定更新等工事の実施認可を受けた³⁾。

土工構造物は高速道路の供用区間の約8割を占めており、特定更新等工事の中で盛土のり面や切土のり面、排水施設の長期耐久性の向上を図ることが目的となる。盛土のり面は、盛土材料や地形、段数、地下水位などの崩壊可能性の高い条件に該当する箇所、切土のり面は腐食しやすいグラウンドアンカー（以下、アンカー）が施工されている箇所、排水施設は現行の設計基準に対応できておらず溢水などの不具合が発生しやすい小段排水溝などを対象として補修・補強のための工事を行う（図-1, 図-2, 図-3）。

特定更新等工事の実施が認可されてから、土工構造物のリニューアルプロジェクトのための工事がNEXCO3会社で展開されている。これから事業を効率的・効果的に進めていくためにも、現場の施工データを蓄積・分析し補修・補強技術の高度化を図る必要がある。本稿では、特定更新等工事で行う土工構造物の補修・補強技術について、現場での取り組み内容などを踏まえて述べる。

2 盛土のり面

2.1 盛土内浸透水排除工

崩壊可能性の高い盛土のり面の対策は、原則とし



図-1 盛土のり面の変状



図-2 アンカーの腐食



図-3 小段排水施設の溢水

*株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 土工研究室 主任研究員

**株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部斜面防災研究担当部長



図-4 かご枠工を併用した水抜きボーリング



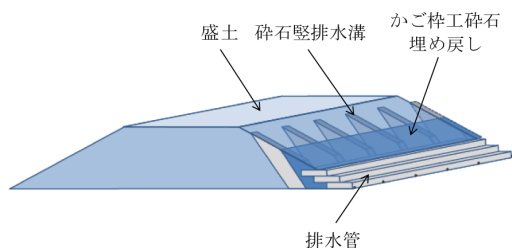
図-7 砕石スリットの施工状況



図-5 砕石縦排水工



図-8 エコジョ工法

図-6 砕石縦排水工の構造⁴⁾

て盛土内浸透水排除工を基本とし、必要に応じて抑止工を併用することを基本としている。盛土内浸透水排除工には、図-4に示すかご枠工を併用した水抜きボーリングや図-5に示す砕石縦排水工⁴⁾などがある。砕石縦排水工は、図-6に示すように砕石スリットとかご枠工から構成される。砕石スリットとは、砕石を充填した溝のことをいい、一連の砕石スリットを砕石縦排水溝という。砕石スリット底面には、砕石スリットに入る水を効率的に排出するために排水管を設置する。かご枠工は、のり尻部の水抜きと砕石スリットの押えを兼ねており、割栗石などの石材を投入する。また、盛土とかご枠工の間は砕石によって埋戻しを行う。砕石縦排水工には、土木研究所の研究により、地下水位の低減効果や地震時における過剰間隙水圧上昇の抑制及び安定性向上などの効果が確認されている⁵⁾。NEXCO 総研では、砕石縦排水工の具体的な仕様を定めるための実験検

証を行い、砕石スリットの間隔については4.0mを標準とした。また、砕石スリット部は、図-7に示すようにのり尻から標準的なバックホウ(0.7m³程度)での開削や砕石充填を想定している。このため、砕石スリットの高さはバックホウの施工が可能な範囲における最大高さとして、のり高7.0mでのり面勾配1:1.8の盛土に対して5.0m程度を目安としている⁴⁾。

なお、盛土内浸透水排除工の効果目標の目安は、これまでの実績を踏まえ、盛土高の1/2～1/3の水位としている。これは土木研究所による研究報告⁵⁾で、盛土内水位が高い場合の排水ボーリングの目標水位について、盛土高さの1/3程度以下を目安としていることによる。

2.2 砕石地盤改良体と排水パイプを併用した浸透水排除工

高盛土⁶⁾やのり尻付近の水抜き対策だけでは十分に盛土内水位が低下しない場合、追加あるいは他の対策を検討する必要がある。NEXCO 総研では、砕石縦排水工などの浸透水排除効果をより高めるために、既設盛土内に砕石地盤改良体を構築し排水パイプと連結する工法について、試験施工により効果検証を行っている。この工法の特徴は、狭小地でも砕石地盤改良体の構築ができるよう住宅の基礎地盤改

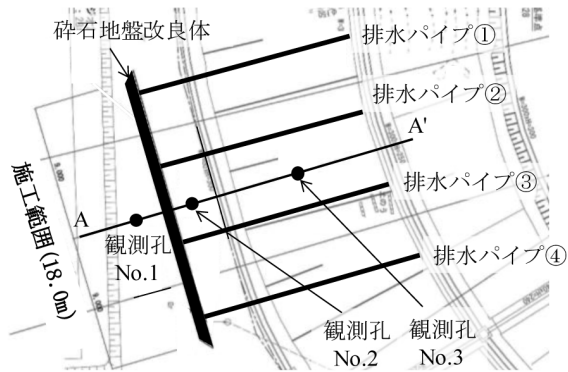


図-9 平面図⁸⁾

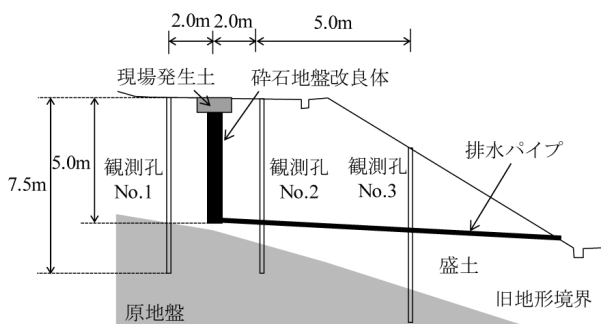


図-10 断面図 (A - A')⁸⁾

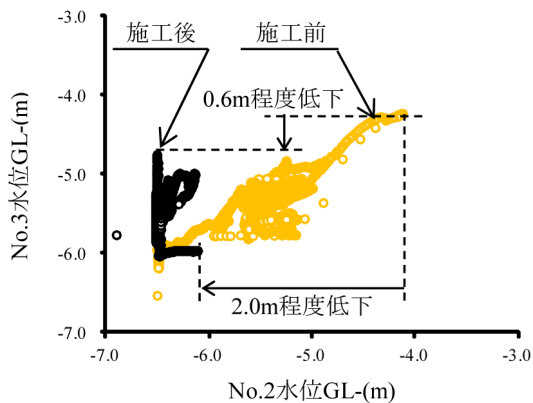


図-11 観測孔 No.2 と No.3 の水位⁸⁾



図-12 水抜きパイプの排水状況⁸⁾

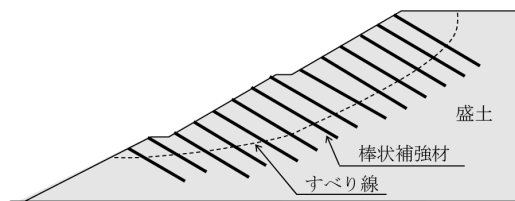


図-13 棒状補強材を用いた盛土補強対策⁹⁾



図-14 引抜き試験の状況⁹⁾

良などに用いられている「エコジオ工法」⁷⁾を利用しての点である。エコジオ工法は、図-8に示すように、砕石投入用のホッパーから掘削用のケーシング内に砕石を連続的に投入しながらケーシングを上昇させると同時に、先端スクリーから砕石を排出しながら一定層厚毎に締固める方法により砕石地盤改良体を構築する工法である。

図-9、図-10は、滋賀県湖南市にあるNEXCO総研の緑化技術センター内の盛土のり面で実施している試験施工の状況を示している。砕石地盤改良体の施工延長は18.0m、施工深度は5.0mである。砕石地盤改良体からの排水にあたっては、砕石地盤改良体に向けて施工した4本の排水パイプ①～④によ

り行っている。図-11は、同一時刻における観測孔No.2と観測孔No.3の水位を比較したものである。砕石地盤改良体の施工前は、観測孔No.2と観測孔No.3に概ね線形関係が確認された。施工後は、両観測孔の水位低下に伴いこの線形関係に変化がみられ、観測孔No.2は施工前後において2.0m程度の水位低下が認められた。なお、図-12は砕石地盤改良体に向けて施工した排水パイプ④の状況を示したものであり、梅雨前の4月においても0.06 $\mu\text{m}^2/\text{min}$ 程度の排水が確認されている⁸⁾。現在、試験施工を行ってから約2年間地下水位を観測しているが、盛土内の地下水位が顕著に低下する状況を確認している。この砕石地盤改良体と水抜きパイプを併用した浸透

水排除対策については、今後実務に展開するための具体的な仕様などについて引き続き検討を行う予定である。

2.2 盛土補強土工

盛土内浸透水排除工で水位の低下がみられない場合は、抑止工などによる対策を検討する必要がある。図-13に示す棒状補強材を用いた盛土補強土工は抑止工の一つであり、盛土内に打設した棒状補強材とのり面工を一体化することで、盛土のり面の安定を図る工法である。この工法は補強材、注入材、のり面工で構成され、補強材には異形棒鋼などを用い、注入材にはセメントミルクが使用される。棒状補強材を用いた地山補強は、高速道路では一般に切土や自然斜面などの表層崩壊を防ぐことを目的として用いられており、脆弱な盛土を補強する場合についての施工事例は少ない。また、既設盛土の崩壊は、表層より深い部分のすべりにより発生している場合があり、このような既設盛土を棒状補強材により対策しようとする、棒状補強材の延長が20m程度になる場合がある。長尺な棒状補強材に対して、二重管削孔などによりグラウトを充填した場合の、地山と棒状補強材の間に発生する周面摩擦抵抗の実態については未解明な部分がある。このため、盛土補強土工に対して、棒状補強材が長尺となる場合の削孔方法や棒状補強材の延長の違いなどが棒状補強材の引抜き抵抗力に与える影響について、棒状補強材の引抜き試験(図-14)や実験データを蓄積し分析を進めている⁹⁾。

3 グラウンドアンカー

3.1 グラウンドアンカーの老朽化対策

高速道路では、1967年頃に東名高速道路の本宿地区ではじめてグラウンドアンカー(以下、アンカー)が施工されたといわれている。1985年以降施工量は増加し、高速道路の施工量は現在12万本以上にもなる。NEXCO3会社は、1988年11月に(社)土質工学会(現在の地盤工学会)によって「グラウンドアンカー設計・施工基準」が制定されたことをきっかけとして、それ以前に設置された旧タイプアンカーの現状調査を実施するとともに、1992年には斜面安定のための「グラウンドアンカー工設計施工指針」を制定した¹⁰⁾。旧タイプアンカーの中には鋼材の腐食により所定の機能を維持できていないものがある。旧タイプアンカーが施工された切土のり面は、高速道路リニューアルプロジェクトにおいて、防食仕様が強化された「新タイプアンカー」を増し

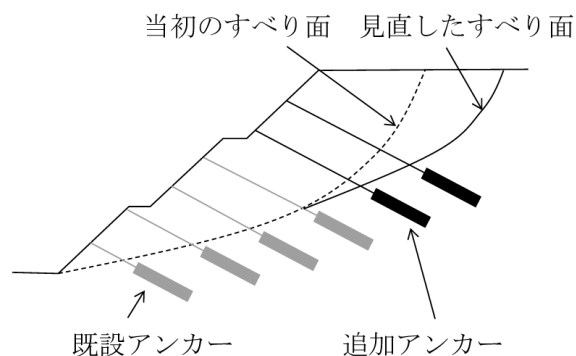


図-15 すべり面を見直したケースの追加アンカーの例¹¹⁾

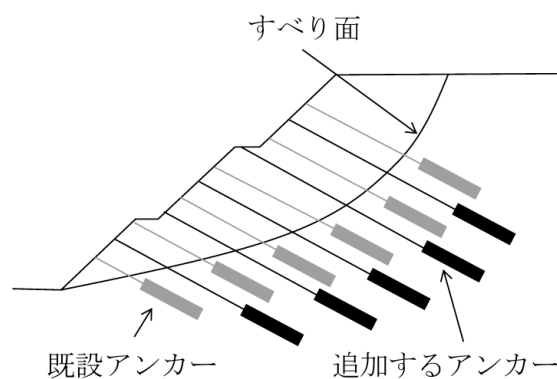


図-16 老朽化対策のための追加アンカーの例¹¹⁾

打ちするなどの対策方針が示されている。

3.2 アンカーの老朽化対策における課題

アンカーの緊張力管理を継続する中で、所定数量のアンカーを施工しても地すべり活動などが収束しない場合、図-15に示すようにすべり面の見直しを行い、追加アンカーを計画する必要がある。これに対してアンカーの老朽化対策を目的とした追加アンカーは、安定したのり面で当初設計を見直す必要が無いようであれば、多くが図-16に示すように、設計時に想定したすべり面を基本とし旧タイプアンカーとの離隔などを考慮して配置することになる¹²⁾。

アンカーの老朽化対策は、一般的な増しアンカーとは目的が異なることもあり、実施に当たっての課題を解決していく必要がある。主な検討課題と取り組み状況を以下に述べる。

(1) 対策箇所の優先順位の設定

NEXCO3会社が管理する旧タイプアンカーは6万本以上にも及び、効率的に事業を進めていくためにも対策箇所の優先順位を決める必要がある。このため、点検結果を整理した上で、アンカーに不具合が発生した場合の高速道路への影響や他工事の交通

規制の予定時期などを考慮した上で、優先的に対策すべき切土のり面を選定し工事計画を検討する必要がある。

(2) 復元設計手法の検討

旧タイプアンカーの中には30年以上前に施工されたものもあり、残存する工事資料などからアンカーの延長などの構造諸元を十分に確認できないものがある。これに対して、アンカーは長尺なものが多く、オーバーコアリングなどの実施によりアンカーの構造を直接確認することが困難な状態にある。また、変状が収束したのり面では、ボーリング調査や動態観測を行なっても、過去に想定したすべり面を特定することが難しい場合がある¹³⁾。既設アンカーの構造の推定に当たっては、ボーリング調査だけでなく、アンカーの頭部調査などの結果からすべり面を再現する手法の検討に取り組んでいる。

(3) データの記録・保存方法の検討

アンカーの設計・施工に関する記録は、維持管理段階において貴重な情報となるため、統一的な様式に整理し活用できる状態にしておくことが望ましい¹⁴⁾。これに対して、高速道路のアンカーを効率的に管理するために必要な情報の抽出・整理を行い、平成28年8月に発刊した「調査要領」¹⁵⁾の参考資料にアンカーの管理台帳を例示した。

(4) 旧タイプアンカーの緊張力を除荷する場合の緊張力管理手法の検討

新タイプアンカーは、図-17に示すように、旧タイプアンカーの近傍に設置される。のり面の安定検討において、旧タイプアンカーの抑止力は基本的には考慮されず、新タイプアンカーが施工後の抑止機能を果たすことになるが、このとき旧タイプアンカーの取り扱いが課題となる場合がある。追加アンカーの施工により点検対象となるアンカーの数量は増加することになる。そこで、旧タイプアンカーの緊張力を除荷することが維持管理への負担軽減の選択肢の一つとして考えられるが、緊張力の除荷の影響がのり面安定に与える影響を監視しながらの慎重な施工が求められる¹²⁾。

(5) 施工時の品質管理の重要性

1本のアンカーを構築するまでに、地中深くまで地盤を削孔してアンカー体を造成した後、油圧ジャッキを用いてアンカーに緊張力を導入し定着させるなどの施工過程を経る。著者らは、新タイプアンカーに発生した不具合の要因を分析しており、この結果、施工時に材料の取り扱いや防食のための止水処理が十分でないと、新タイプアンカーであっても早期に劣化することを確認している(図-18)。このため、施工時にはアンカー材料を傷付けることが

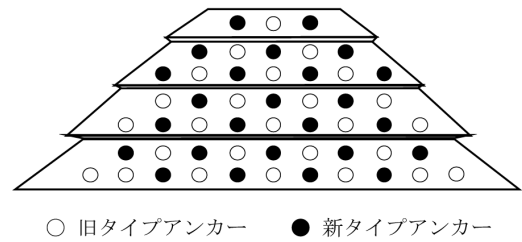


図-17 新タイプアンカーの配置イメージ¹²⁾



図-18 新タイプアンカーの変状¹⁴⁾

無いよう慎重に取り扱い、アンカー頭部の止水処理などの作業を確実にを行う対応が必要となる。また、供用してからもアンカーの状態によっては緊張力の確認が必要となることがあるためアンカー頭部に油圧ジャッキを設置できようテンダンの余長を確保するよう留意する必要がある¹⁴⁾。

3.3 アンカーの大規模修繕事業の実施状況¹²⁾

アンカーの大規模修繕事業の実施にあたっては、対策箇所の優先度などを考慮して、計画的に事業が行われている。特に、NEXCO西日本管内では旧タイプアンカーの数量がNEXCO全体の約半数の3万本以上を占めており、NEXCO東日本・中日本よりも先行して工事が進められている。アンカーの老朽化対策のための工事は、最初に沖縄自動車道ののり面で行われ、続いて長崎自動車道、米子自動車道ののり面でも工事に着手している。これらののり面の中には、新タイプアンカーの設置に伴い、旧タイプアンカーの緊張力の除荷を検討した現場もある。

図-19は米子自動車道の対策のり面の一つである。のり面には鋼棒タイプの旧タイプアンカーが設置されており、モルタル吹付工により全面的に被覆されている。こののり面では、モルタル吹付上に受圧構造物を設け、ナット定着方式の新タイプアンカーを施工した。旧タイプアンカーは、破断による飛び出しが懸念される鋼棒タイプであり、将来の維持管理の負担などを考慮して、緊張力の除荷を視野



図-19 米子自動車道の工事状況¹²⁾



図-20 排水施設の対策状況

に入れた検討が行われた。緊張力の除荷にあたっては、旧タイプアンカーが比較的高い緊張状態にあることや、のり面が7段以上と長大かつ急峻であることから、緊張力管理は、新タイプアンカーだけでなく、旧タイプアンカーについても実施した。この結果、のり面に変状を発生させること無く緊張力の除荷を完了している。

4 排水施設

のり面降雨災害は排水施設が直接関与した崩壊が約半数を占め、その更に半数が縦溝とマスの合流部であるとの分析結果が得られている¹⁾。これらのり面の維持管理上において問題となっている排水施設について特定更新等工事に対応することとしている。また、昭和58年の設計要領改訂以前に建設された小段排水溝は、土砂の堆積や閉塞などに対し維持管理できない内側300mm未満の小さい断面の排水溝が採用された場合が多い。また、のり面小段のシールコンクリートの設置も当時は標準化されていないため、のり面災害の原因となりやすいことから、設置基準の変遷に追従できていないのり面排水施設も特定更新等工事の対象としている。集水ますについても容積は水理計算から得られたものではなく、接続する小段排水溝と縦溝の大きさから一律に決定

されている。このため溢水・跳水現象を防ぐには、これらを考慮した集水ますの大型化が必要となる。これについては別報を参考にされたい¹⁶⁾。

5 おわりに

本稿ではNEXCO3社が高速道路において進めている土工構造物の特定更新等工事の中で取り組まれている補修・補強技術について述べてきた。今後事業が本格化していく中で、試験施工や対策工法の実験検証を進めていくと同時に、対策箇所での効果検証なども行いながら、土工構造物の補修・補強技術の高度化を図る予定である。最後に本稿が読者の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 横田聖哉：高速道路における土工構造物（法面）検の要点，基礎工 No.7, Vol. 45, pp.005-008, 2017.
- 2) NEXCO 東日本，中日本，西日本：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会（報告書），2014.
- 3) 横田聖哉：高速道路における土工構造物の補修・補強技術（大規模特定修繕事業），基礎工 45（10），2017.
- 4) 中日本高速道路（株）：設計要領第一集土工保全編，pp. 3-11, 2016.8.
- 5) 安部哲生 他：碎石豎排水工の対策効果について - その2- 遠心力模型実験 -，第50回地盤工学会研究発表会，pp. 1101-1102, 2015.
- 6) 中日本高速道路（株）：設計要領第一集土工建設編 高盛土・大規模盛土，2016.8.
- 7) 酒井俊典，尾鍋哲也：新型碎石地盤改良機・エコジオの開発，三重大学社会連携センター研究報告 17号，2009.
- 8) 藤原優 他，碎石地盤改良体を用いた盛土の排水効果の検証，第72回土木学会年次学術講演会講演概要集，2017.
- 9) 藤原優 他，盛土補強に用いる棒状補強材の引抜き抵抗力に関する評価，第51回地盤工学会研究発表会，2016.
- 10) 日本道路公団：グラウンドアンカー工設計指針，1992.
- 11) 中日本高速道路（株）：土工施工管理要領，2017.
- 12) 藤原優，和地敬，村上豊和，福田滉人，麻生太一，佐藤誠：大規模修繕事業におけるグラウンドアンカーの老朽化対策への取り組み，基礎工 45（10），2017.
- 13) 藤原優，竹本将，殿垣内正人，矢野法孝，藤原 太郎：既設グラウンドアンカー構造の確認方法に関する検討，第69回土木学会年次学術講演会講演概要集，2014.
- 14) 藤原優，和地敬：グラウンドアンカーの老朽化対策における課題と対応，第58回地盤工学会北海道支部技術報告会，2018.
- 15) 東・中・西日本高速道路（株）：調査要領，2018.
- 16) 永田政司，篠田雅男，藤岡一頼：のり面排水合流部の溢水対策，高速道路と自動車，第59巻，No.3, pp.26-29, 2016.

河川堤防の維持管理

もり ひろとし
森 啓年*

Key Word 河川堤防, 維持管理, 点検, 巡視, 評価

はじめに

河川堤防は、洪水・高潮・津波から住民の生命と資産を防御する極めて重要な防災施設である。今後、降雨などの外力のさらなる増加や人口資産の都市域への集中を考えると、河川堤防の重要性は今まで以上に増している。

このように重要な防災施設の一つである河川堤防が所要の機能を発揮するためには、巡視、点検、修繕などの適切な維持管理が重要であることは論を待たない。

一方、図1に示す通り、平成28年度末で国管理河川における河川管理施設（堰、水門、樋門・樋管、揚・排水機場等）10,783箇所の内、設置後40年以上を経過する施設が全体の約4割に達し本格的なメンテナンス時代が到来している。

また、平成29年8月には、国土交通省から「河川・ダム の健全性の評価結果」¹⁾が公表された。図2に示す通り、国が管理する河川堤防13,612kmのうち、「異常なし」が13.6%、「要監視段階」が63.3%、「予防保全段階」が23.1%、「措置段階」にあるものは

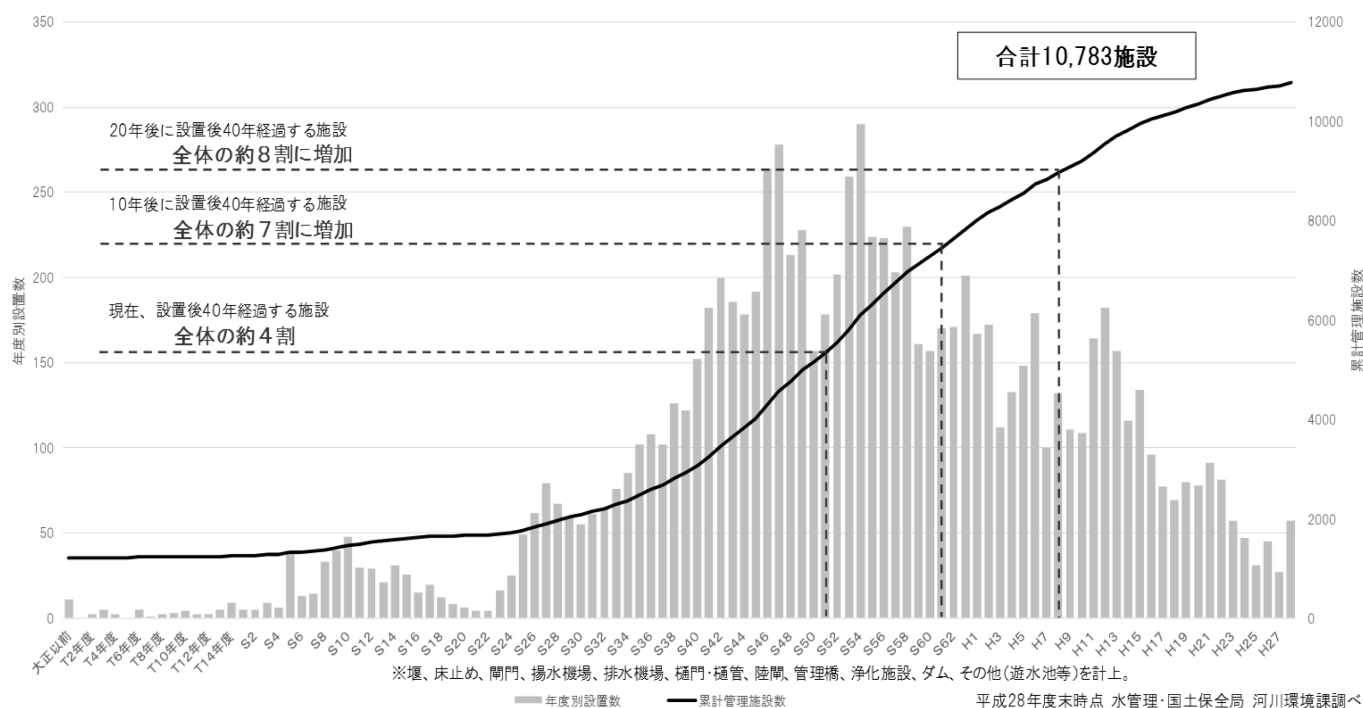


図1 河川管理施設の年別設置数と累計施設数

* 山口大学大学院 創成科学研究科 准教授

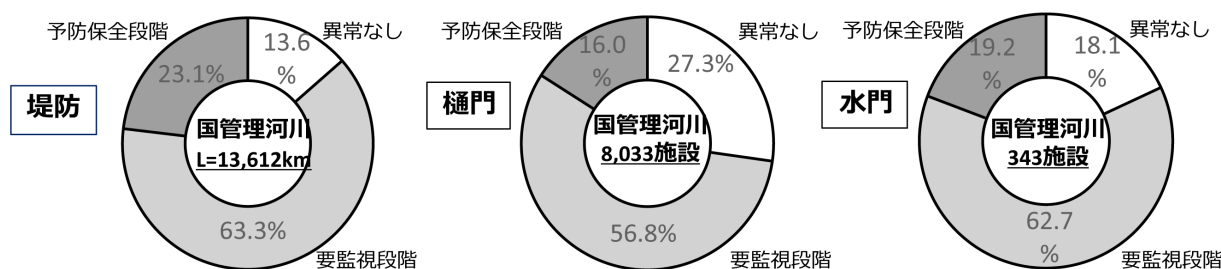


図2 河川管理施設の健全性の評価結果

なかった。河川堤防の健全性の評価結果が公表されるのは初めてであり、今後この結果に応じて、修繕等の維持管理が進められていくことが期待される。

本文では、まず河川堤防の特徴と設計を述べ、維持管理について主に現在の制度面から体系的に紹介する。

2 河川堤防の特徴と設計

2.1 河川堤防の構造物的特徴

河川堤防は、延長が極めて長い線状構造物であり、一か所でも決壊した場合、一連区間全体の治水機能を喪失してしまうという性質を有する。いわば、局所的な弱部が全体の機能を決定する特性を持つ。

一方、基本的には土質材料で構成されているため、河川堤防の材料そのものは劣化しにくい。しかし、歴史的に繰り返し築造・かさ上げ・補修されてきた経緯から、その構成材料は不均一であり、基礎地盤の土層構造も場所ごとに異なる。このため、洪水という外力を受けた時に生じる、すべり、漏水や洗掘といった現象も場所ごとに異なる。長大な河川堤防の被災箇所とその程度をあらかじめ特定することが困難であるのが実情である。

河川堤防の維持管理はそのような制約のもとで、変状を点検・評価し、修繕等を実施せざるを得ないという性格を有している。実際、河川堤防は、変状の発生とその対応、出水等による災害の発生とその対策や新たな整備等の繰り返しの中で順応的に安全性の確保に努めている。

2.2 河川堤防の外力の特徴

自然公物である河川は、自然の作用により変化し、特に洪水は河川を大きく変化させる。この外力の影響を受けて河川堤防にも変状が生じる。河川堤防は、河川区間ごとに異なる地形や河床材料等の条件に頻度や規模が不規則な洪水などによる流水や植生等の作用を受ける。

さらに、公共公物である河川は、公衆の自由使用に供されているため日常の人為的な作用も変化の要因になっている。

2.3 河川堤防の設計

これらの特徴をふまえ、河川堤防の設計については、以下の法令、基準等に基づき実施されている。

(1) 河川法（昭和39年、平成29年最終改正）

昭和39年に1級河川については建設大臣が、2級河川については都道府県知事が管理することを基本とする新河川法が施行された。河川法では第2章で「河川の管理」が規定されている。ここで、河川堤防をはじめとする河川管理施設等の設置にあたっての基準である「河川管理施設等の構造の基準（第13条）」が規定されている。

(2) 河川管理施設等構造令（昭和51年、最終改正平成25年、以下、構造令）

河川法第13条を受けて、河川管理施設が急増していた昭和51年に構造令が施行された。この結果、新設の河川管理施設等については一定の技術的な水準を確保することができた。

河川堤防では基準となる断面形状を定めて整備し、洪水に遭遇して危機的な状況になることを経験すると、その後の改修において、拡築して所要の強度を順次確保していく過程を前提に形状規定方式が採用されている。

(3) 河川砂防技術基準（案）設計編（以下、河砂基準設計編）²⁾

河砂基準は、河川等に係わる技術の体系化を図り、もってその水準の維持と向上に資することを目的としている。また、河砂基準は国管理河川については適用されるが、国管理河川以外の河川管理者に対しては技術的な助言という位置付けとなる。

平成9年に改訂した建設省河川局による河砂基準の設計編においては、「堤防の構造は、過去の被災履歴、地盤条件、背後地の状況等を勘案して過去の経験等に基づいて設計するものとし、構造令で定め

ている形状規定とともに必要に応じて安全性の照査などを行い定めるもの」とするとされている。

(4) 河川堤防設計指針（平成9年，最終改正平成19年，以下，設計指針）³⁾

河川堤防の断面形状については構造令の考え方を踏まえ、河川堤防の耐浸透性、耐侵食性については機能ごとに地盤工学的あるいは水理学的な知見に基づく安全性の照査法を用いた設計法を導入している。

この照査法は河川堤防に関して一般的に確保されるべき最低限の安全性を示すものである。既存の河川堤防の安全性を照査し、河川堤防の拡築等の強化を図る必要性の判断材料を提供することが念頭に置かれている。

実際、洪水による河川堤防の不安定化、あるいは変形のメカニズム等について、現時点において全てが解明されているわけでない。そのため、安全性の照査法には未解明な部分が残されていることに留意するとともに、モニタリングを並行して実施することにより、維持管理や水防活動と相まって洪水等に対する河川堤防の安全性の向上を図ることが重要である。

3 河川堤防の維持管理

3.1 関連法令等

河川堤防を含む河川管理施設の維持管理は、以下の法令、基準等に基づいて行われている。

(1) 河川法（昭和39年，平成29年最終改正）

これまで河川法には道路法や港湾法が有している「維持・修繕の技術的基準」に関する規定がなく、長年河川管理者の経験に基づく判断で行われており、様々な取り組みの積み重ねによって、点検・評価・修繕に関して一定の知見が蓄積されてきた。

この様な状況の中、平成25年6月の河川法改正では、河川管理者等が河川管理施設等を良好な状態に保つように点検を含めて維持・修繕すべきことが明確化され、同年12月から施行された。また、改正河川法の施行にあわせ同法施行令では、重要な河川管理施設については、一年に一回以上の頻度で目視等による点検を実施し、異状があることを把握したときは、効率的な維持・修繕が図られるよう必要な措置を講ずることが定められた。

(2) 河川砂防技術基準維持管理編（河川編）（平成23年，平成27年最終改正，以下，河砂基準管理編）⁴⁾

社会資本整備審議会分科会の答申である「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について（提言）」（平成18年）⁵⁾において、河川管理を一定の

水準で維持していくため、これまでの経験の蓄積に基づいた技術基準を整備し、計画的に維持管理していくことが提言された。

これを受けて、平成23年に河砂基準管理編が策定され、これに基づく計画的な維持管理が本格的に開始された。

河砂基準管理編では、これまで国管理河川で行われてきた河川の維持管理の実態をふまえながら維持管理の技術的な標準を定めたものである。河川維持管理に関する計画、河川維持管理目標、河川の状態把握、維持管理対策及び水防等のための対策について定めている。例えば、河川の状態把握については、基本データの収集、河川巡視、点検等によって行うこととし、維持管理対策については、その目標、河川の区間区分、河道特性等に応じて適切に実施するものとしている。

なお、点検については、出水期前・台風期、出水後、地震後に区分し、出水期前・台風期の点検については毎年、適切な時期に、徒歩を中心とする目視により、あるいは計測機器等を使用して、河道及び管理施設の点検を行うことを規定している。

また、河砂基準管理編を踏まえ、「効果的・効率的な河川維持管理の推進について」（平成23年）⁶⁾、「河川維持管理計画に基づく河川維持管理の推進について」（平成23年）⁷⁾が通達され、国管理河川においては河川毎に維持管理計画が策定されることとなった。各河川の維持管理計画は、国土交通省地方整備局の河川事務所のホームページで公開されている。

(3) 堤防等河川管理施設及び河道の点検要領（平成24年，平成28年最終改正，以下，点検要領）⁸⁾

河砂基準管理編に基づく点検に関して、点検要領が平成24年5月に定められた。

点検は、河道が所要の流下能力を確保していること、河川堤防等の河川管理施設が所要の機能、構造安定性を確保していること、の二項目の治水上の機能を確保する目的とし、詳細な点検や補修の必要性の有無を判断するための異常な変状・変化を発見・観察するために行っている。

点検は毎年の出水期前及び台風期前、出水後に担当職員の徒歩による目視を主体として実施される場合が多い。点検要領では、点検の対象、点検の実施時期、点検手法及び堤防等の河川管理施設及び河道についての点検事項等、標準的な内容が示されている。

具体的には、河川堤防の土堤を対象に、出水期前・台風期前に以下の点に着目し、実施している。

また、河川堤防の土堤の出水後の点検事項は以下の通りである。

- ①法面，小段
 - ・法面・小段の亀裂，陥没，はらみだし，法崩れ，寺勾配化，侵食等がないか。
 - ・張芝のはがれ等，堤防植生，表土の状態に異状はないか。
 - ・雨水排水上の問題となっているような，小段の逆勾配箇所や局地的に低い箇所がないか
 - ・法面・小段に不陸はないか
 - ・モグラ等の小動物の穴が集中することによって，堤体内に空洞を生じていないか。
 - ・樹木の侵入，拡大は生じていないか
 - ・坂路・階段取り付け部の路面排水の集中に伴う洗掘・侵食がないか
- ②天端
 - ・堤防天端及び法肩に亀裂，陥没，不陸，沈下等の変状はないか
 - ・天端肩部が侵食されているようなところはないか
- ③裏法尻部
 - ・堤脚付近の排水不良に伴う湿潤状態はないか
 - ・しぼり水でいつも湿潤状態のところはないか
 - ・法尻付近の漏水，噴砂はないか
 - ・堤脚保護工の変形はないか
 - ・局部的に湿潤を好む植生種が群生していないか
 - ・ドレーン工の目詰まり，あるいは濁水の排水が生じていないか
- ④堤脚水路
 - ・堤脚水路の継目から漏水・噴砂がないか
 - ・堤脚水路の閉塞がないか

- ①法面，小段
 - ・法面・小段の亀裂，陥没，はらみだし，法崩れ，寺勾配化，侵食等がないか。
 - ・張芝のはがれ等，堤防植生，表土の状態に異状はないか。あるいは出水期前よりも進行していないか。
 - ・法面・小段に泥濘化しているような箇所はないか。
 - ・モグラ等の小動物の穴が集中していた箇所に陥没等を生じていないか。
- ②天端
 - ・堤防天端及び法肩に亀裂，陥没，不陸，沈下等の変状はないか。あるいは出水期前よりも進行していないか。
 - ・天端肩部が侵食されているようなところはないか。あるいは出水期前よりも進行していないか。
- ③裏法尻部
 - ・堤脚付近の堤体土が軟弱化して，流動化の恐れはないか
 - ・法尻付近の漏水，噴砂はないか
 - ・堤脚保護工の変形はないか。あるいは出水期前よりも進行していないか。
 - ・ドレーン工の目詰まり，あるいは濁水の排水が生じていないか
- ④堤脚水路
 - ・堤脚水路の継目から漏水・噴砂がないか
 - ・堤脚水路の閉塞がないか

| 表示区分 | | 状態 |
|-------------------------|-------------------|---|
| 異状なし (機能支障なし) | 高 (健全度) | ・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていない健全な状態(施設の機能に支障が生じていない軽微な変状を含む) |
| | | ・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態(軽微な補修を必要とする変状を含む) |
| | | ・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態 ・詳細点検(調査を含む)によって、堤防等河川管理施設の機能低下状態を再評価する必要がある状態 |
| 措置段階 (機能支障あり) | 低 | ・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態 ・詳細点検(調査を含む)によって機能に支障が生じていると判断され、対策が必要なものも含む |

図3 河川管理施設の健全性の評価の区分

河川堤防等の河川管理施設の維持管理においては、現状においては統計的、工学的な手法を適用することが困難なため、河川管理者の経験に頼る部分がある。また、河川管理は河川毎に異なる特性に応じて実施する必要があり個別性が強い。点検要領は、今までの河川管理者の経験をできる限り一般化してとりまとめたものである。今後も経験を踏まえた順応的な管理手法と統計的・工学的な手法を融合させるなど、経験をできる限り一般化し基準化する努力が不可欠である。

(4) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（平成29年、以下、評価要領）⁹⁾

点検要領による点検の結果を評価するための評価要領が平成29年3月に作成された。

評価要領では点検の結果を図3に示すように機能支障がない「異常なし」、「要監視段階」、「予防保全段階」と機能支障がある「措置段階」までの4段階で評価することとしている。河川堤防を対象とする点検の結果を評価する際には、亀裂、陥没や不陸、法崩れ、沈下、堤脚保護工の変形、はらみ出し、寺勾配、モグラ等の小動物の穴、排水不良、樹木の侵入、侵食（ガリ）・植生異常、漏水・噴砂の各変状について、定性的・定量的に判定される。

なお、「1. はじめに」において紹介した河川堤防の健全性の評価結果は、これらの点検要領及び評価要領に基づき判定されたものである。

(5) 河川巡視規定（平成23年、以下、巡視規定）¹⁰⁾

河川巡視規定は、平常時及び出水時に河川管理の一環として定期的・計画的に河川を巡回し、その異状及び変化等を発見し、概括的に把握するために必要な事項を定めるものである。

平常時の河川巡視は、河川維持管理の基本をなすものであり、通常車上より目視により確認可能な範囲で行われる。

河川巡視の目的は、以下の通りである。

- ①河川区域等における違法行為（不法占用、盗掘、不法伐採、不法工作物、不法投棄等）の発見及び報告
- ②河川管理施設及び許可工作物の維持管理の状況把握
- ③河川空間の利用に関する情報収集
- ④河川の自然環境に関する情報収集

河道、河川管理施設等の状態把握については、これらの変状の発生予測が不可能であり、また人為的な影響を受けるため、平常時の河川巡視で河岸、河道内の堆砂、河口閉塞、樹木群、河川堤防、護岸・根固め、堰・水門等について目視により確認可能な大まかな変状を把握することを基本としている。な

お、平常時の河川巡視は、車上巡視を主とする「一般巡視」と、徒歩による巡視や水上巡視を含め場所・目的を絞った「目的別巡視」を必要に応じて加え巡視計画が策定、実施される。

巡視規定では、巡視を行う区間、巡視を行う者（河川監理員、河川巡視員）、その業務内容、河川巡視計画（巡視項目、一般巡視、目的別巡視）、河川巡視結果の活用（河川カルテ、情報提供）などが規定されている。

具体的には、堤防天端や小段に不陸、亀裂、わだちがないか、堤防法面に人畜や車両により損傷がないか、また、法面の芝の育成不良、法面の亀裂、法崩れ、段差がないか等、また、堤防法尻等に漏水が見られないかの状況を把握する。さらに、護岸・根固及び水制については、重大な損傷（護岸のクラック、裏込の流出、基礎部の洗掘、上・下流河岸の侵食、根固めの流出等）について状況を把握する。

なお、国管理河川においては河川維持管理の履歴は河川カルテとして保存されている。平成23年度以降原則として電子データとして保管されることになっている。河川カルテには、河川巡視や点検の結果、維持修繕の内容等が記録されている。

▼4 おわりに

河川維持管理の主要な対象である河川堤防は、長大な延長と区間・箇所ごとに異なる特性を有し、洪水という特異な事象によって箇所ごとに顕在化する変化等を捉えて管理する必要がある。また、自然の営力によって生じる河道の変化と堤防等に生じる変状、そしてそれらの相互作用の全てが解明されているわけではない。

河川堤防等の河川管理施設の維持管理は、様々な条件下で生じた過去の変状・被災、それらに対する災害復旧や維持修繕等の履歴から得られる知見を蓄積し、技術的な検討を進めつつ、それらの経験に基づいた管理が行われてきた。

このため、維持管理の各基準類に記載されている現状の河川維持管理の実施内容あるいはその水準は、点検、河川巡視による状態把握、維持修繕を繰り返してきた中で、経験に基づき培われてきたものである。また、これを変更する場合には、同等以上の安全が担保できる工学的な根拠が必要である。

さらに、維持管理においては、管理技術の基準化が進んでも、現場における具体の技術的判断には河川の管理の特質を理解し豊富な経験を有する技術者の知見を必要とする部分は依然として多く残る。また、一般化は困難な事案や未経験の事象に関しては、

類似事例や工学的な知見等に基づいて個別に判断せざるを得ない場合もあることも十分留意することが必要である。

平成 25 年の河川法の改正および同施行令の制定、点検要領改定、評価要領作成により、河川管理施設の維持管理に関して制度的な体系化が進んでいる意義は大きい。今後、河川管理施設の維持管理の主流化が進むことが期待される。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省：点検結果評価の試行結果について，2017
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/tenkenhyouka/h28_tenken/index.html (2018.2 確認)
- 2) 建設省河川局：河川砂防技術基準（案）設計編，2008
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/sekkei/pdf/00.pdf (2018.2 確認)
- 3) 国土交通省河川局治水課：河川堤防設計指針，2007
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/gijyutukaihatu/pdf/teibou_sekkei.pdf (2018.2 確認)
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準維持管理編（河川編），2013
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/index.html (2018.2 確認)
- 5) 社会資本整備審議会河川分科会安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討小委員会：安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について（提言），2006
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/05/050707_.html (2018.2 確認)
- 6) 国土交通省河川局：効果的・効率的な河川維持管理の推進について，2011
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/kasen_ijikanri_suisin_tisei_h230511.pdf (2018.2 確認)
- 7) 国土交通省河川局河川環境課：河川維持管理計画に基づく河川維持管理の推進について，2011
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/kasen_ijikanri_keikaku_h230511.pdf (2018.2 確認)
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検要領，2016
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/07_teibou_tenkenkekka.pdf (2018.2 確認)
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設の点検結果評価要領，2017
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/01_teibou_tenkenyoukou.pdf (2018.2 確認)
- 10) 国土交通省河川局水政課・河川環境課：河川巡視規程例について，2011
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/kasen_junsikiteirei_h230511.pdf (2018.2 確認)

トンネルの維持管理 —現状と課題—

あさくら としひろ*
朝倉 俊弘*

Key Word

トンネル, 維持管理, 法体系, 技術基準, 点検, 健全度, 変状, 事故, 災害

1 はじめに

山地地形が国土の大半を占める我が国では、道路や鉄道の整備においてはトンネルの占める割合が大きくなる。また、上下水道、電力・通信、等の線状インフラ整備についても同様である。このように各種のトンネルは我々の社会生活の基盤をなし、また、その総延長は20,000kmを優に超えることから、トンネルを合理的に維持管理することが求められる。

1999年に生じた山陽新幹線トンネル覆工コンクリート剥落事故、2004年新潟県中越地震における上越新幹線魚沼トンネルの被害、2012年中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故等々の事故や災害を通じて、トンネルの維持管理の重要性がますます強く認識されるに至っている。

このような状況に鑑み、本稿では、まず我が国のトンネルの現状について概観し、次にトンネルの維持管理がどのような法体系の下に実施されるか、道路と鉄道を例として示す。さらに、具体的にどのような手順で検査・判定・対策等の維持管理実務が実施されているかを簡単に述べる。また、トンネル種別ごとに、すなわち、山岳トンネル、シールドトンネル、開削トンネルに分けて変状の傾向と対策のあり方について述べる。最後に、トンネル維持管理に関連する最近の技術動向について述べる。

2 我国のトンネルの現状

我国は、国土面積に比して大変多くのトンネルを有する国である。その用途別の種類は、

- 1) 道路トンネル(自動車用, 歩行者用)
- 2) 鉄道トンネル(鉄道用, 地下鉄用)
- 3) 水路トンネル(上水道, 水力発電用, 工業用水用,

地下河川, 灌漑用水用, 運河等)

- 4) 公共用トンネル(電力線用, ガス管用, 通信用, 下水道, 共同溝等)
- 5) 貯蔵用トンネル(ワイン等)
- 6) 栽培用トンネル(きのこ類等)

等と多様にわたっており、その統計量は正確に把握することは困難であるが、道路トンネルは約10,000本(総延長約4,300km)、鉄道トンネルは約5,000本(総延長約3,800km)、導水路トンネル総延長約4,700km等、優に20,000kmを超えるトンネルが利用され、さらに毎年その数・延長が増加している。

これらのうち、高度成長期に建設された多くのトンネルが経年50年を超えてきており、さらに古く明治維新以降の近代化によって建設されたトンネルは、経年100年を超えるものも数多く存在し、老朽化が顕在化し始めている。これらのトンネルは、ほぼ全数が公共的な目的で利用されており、取替えが極めて困難であることを考えると維持管理の重要性が理解されよう。これらのトンネルが100年後、200年後にどうなっているのだろうか? 長期的な視野での取り組みが必要といえる。

3 維持管理の法体系と基準整備 (鉄道, 道路の場合)

3-1 鉄道の場合

(1) 維持管理の法体系

鉄道構造物の維持管理は、「鉄道営業法」(法律)に基づき、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」(省令)に従い、さらに「施設及び車両の定期検査に関する告示」(告示)の定めるところに従って、初回検査, 全般検査(通常全般検査, 特別全般検査),

*特定非営利活動法人 トンネル工学研究会 理事長, 京都大学名誉教授

個別検査，随時検査が行われ，健全度の判定に応じて必要な措置を取っている。ただし，事業者ごとの事業規模に応じて検査等の具体的対応については差があるのが実態である。

(2) 基準整備

1974年に（社）日本鉄道施設協会から発刊された「土木建造物取替の考え方」の中に，「取替標準に関する研究委員会」¹⁾の研究成果として「土木建造物取替標準」が示された。これは，1987年に「建造物保守管理の標準」²⁾として改訂された。さらに，1999年の山陽新幹線トンネル覆工剥落事故や，これと前後して高架橋等からのコンクリート剥落事故が続いたため，2007年国土交通省鉄道局から「鉄道構造物等維持管理標準」³⁾が通達された。（財）鉄道総合技術研究所は，その内容を解説する「鉄道構造物等維持管理標準・同解説」³⁾を発行し，この中に「トンネル編」が含まれている。

これらの他，（公財）鉄道総合技術研究所から各種のトンネル維持管理に関するマニュアル類が発行されている。

3-2 道路の場合

(1) 維持管理の法体系

道路構造物の維持管理は「道路法」（法律）に基づき，「道路法施行令」（政令）の定めに従い，「道路法施行規則」（省令）に示される場所に従って点検を行い，その結果は，「トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」（告示）に示された区分に分類する。

(2) 基準整備

2012年の笹子トンネル天井板落下事故を受けて，2013年には「道路法」が改正されて点検基準が法定化され，2014年には国土交通省令により，点検は近接目視により5年に1回の頻度で行うことが基本として定められた。

これと並行して，2014年に国土交通省より「道路トンネル定期点検要領」⁴⁾が発出された。同要領の発出を機に，2015年には最新のトンネル維持管理に関する知見を踏まえた「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」⁵⁾が日本道路協会から発刊された。一方，高速道路では，NEXCOが設計要領（トンネル保全編）を改定するなど，各種要領・便覧の整備が行われている。

4 トンネル維持管理の実施

4-1 維持管理の手順

トンネルの維持管理は，前章に一例を示したよう

に，各機関によって法令や社内基準等に定められた手順に従って進められるが，一般的な手順は図1⁶⁾に示すとおりである。

すなわち，一次点検，二次点検を段階的に行い，この結果に基づき診断し，対策工等の実施の必要性を判定する，といった手順が一般的である。

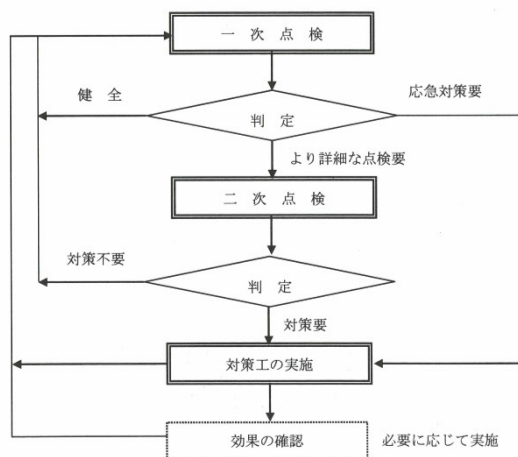


図1 トンネルにおける一般的な維持管理フロー⁶⁾

4-2 点検

点検は，法令に基づき事業者ごとに定められたマニュアル類に従って実施されるが，事業者ごとにその名称も異なる。表1⁷⁾に事業者ごとの名称を示す。

道路トンネルの一次点検には，日常点検，定期点検，異常時点検，臨時点検がある。

表1 各事業者で実施している一次点検・二次点検の名称⁷⁾

| 用途 | 道 路 | | | 鉄 道 | |
|------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----|--|
| | 一般国道トンネル | 日本道路公団 | 鉄道事業者共通 | | |
| 一次点検 | 初期点検 日常点検 定期点検 異常時点検 臨時点検 | 初期点検 日常点検 定期点検 詳細点検 臨時点検 | 初回全般検査 通常全般検査 特別全般検査 不定期検査 | | |
| 二次点検 | 調査 | 調査 | 個別検査 | | |

| 用途 | 水 路 | | | 送電・通信 | |
|------|----------------------|---------|--------|----------------------|------|
| | 東京電力 | 東京都下水道局 | 一般農業用水 | NTT東日本 NTT西日本 | 東京電力 |
| 一次点検 | 普通点検 精密点検 臨時点検 | 点検 | 日常点検 | 日常点検 定期点検 特別点検 | 定期点検 |
| 二次点検 | 詳細調査 | 調査 | 調査 | 精密点検 | 詳細点検 |

※農業用水トンネルについては，文献⁸⁾中に記載されている表現を引用した。

前述した5年に1回の頻度で行われる近接目視による点検は，「定期点検」で行われる点検である。初回の定期点検は，覆工コンクリート打込み完了後から1～2年以内に実施するのが望ましいとされて

いる。なお、NEXCOでは、定期点検を基本点検と詳細点検に分類している。前者は1年に1回以上の頻度で近接目視または遠望目視によって現状を把握するものである。一方、後者は、5年に1回以上の頻度で近接目視、打音検査等によりトンネルの健全性を診断するために行われる。

トンネルの供用時は、車上目視による「日常点検」により、トンネルの異常の有無を把握する。日常点検により異常が発見された場合は、「異常時点検」を実施する。異常時点検では、遠望目視により近接目視の必要性を判断する。また、地震等の自然災害発生後、あるいはトンネル内の事故発生時には、通行の安全性を確認するために「臨時点検」が実施される。

鉄道トンネルでは、一次点検として、トンネル完成後に近接目視及び打音調査による「初回全般検査」が行われ、その後2年に1回の徒歩による「通常全般検査」が行われる。さらに、新幹線トンネルでは10年に1回の、在来線トンネルでは20年に1回の近接目視と打音調査により「特別全般検査」が実施される。また、多客期前、地震後等には「不定期検査」が実施される。

二次点検は、各事業者とも一次点検結果の判定に基づき、変状状況の把握、変状原因の推定、構造物としての健全性、対策工の必要性・緊急性の評価・判定のために変状に関する詳細な情報を得る目的で実施される。なお、道路関係では「調査」、鉄道関係では「個別検査」と呼ばれている。

4-3 健全度の判定

点検でトンネルの変状が確認されると、その点検結果に基づいて、変状がトンネルの機能に与える影響の程度や危険性・緊急性を判断して、変状の判定区分がなされる。判定は、事業者ごとに定められた基準に基づき行われ、3～6段階に区分される。また、利用者への影響が大きい剥落や漏水については、事象に応じて個別に区分がなされている。

4-4 対策工

点検結果に基づき判定がなされ、必要に応じて対策工が施工される。対策工の選定に当たっては下記に示された項目について十分に考慮する必要がある。

- 1) 変状状況 (変状の内容, 規模, 程度, 進行性)
- 2) 変状原因 (外力, 材料劣化, 漏水, その他)
- 3) 環境条件 (地形, 地質, 気象, 土地利用)
- 4) トンネルの構造, 断面形状, 変状・補修の履歴など

- 5) 施工性 (施工条件, 施工の安全性, アクセス)
- 6) 材料の耐久性, 工法の経済性など

対策工の選定に当たっては、トンネルの変状状況のみならず、その時系列的変化、補強・補修履歴、建設時の情報 (建設工法, 建設時の事故・災害等)、トンネル周辺地山の地形・地質条件等々の情報を可能な限り収集し、変状原因に対応した計画を立案することが重要である。

しかしながら、一般に地質条件、外力の規模・分布等が十分な精度で把握できないことが多く、そのため変状の現象、原因に対応して過去の類似例を参考に対策工を選定し、設計する必要がある。表2⁸⁾には対策工選定の一例を示す。表2に示されるように対策は、

- 1) 外力の作用による変状対策
- 2) 覆工材料の劣化対策
- 3) 漏水・凍害対策

に大別される。なお、ここでは、周辺地盤からの影響でトンネル覆工に圧力が作用する際の影響因子を外力として説明したものである。

本来、変状の現象・原因に対応した、いわゆる「根治療法的対策」を採用し、根本的・本質的な対策を行うべきである。しかしながら、調査の技術的限界、経済的制約から変状原因が精度よく見極められない場合、あるいは経済的な制約から変状の現象に対応した、あるいは変状の進行性抑制を目的とした「対症療法的対策」とせざるを得ない場合がある。長期的視野からは、可能な限り「根治療法的対策」を取るべきなのは言うまでもない。

5 トンネル種別ごとの変状と対策

5-1 山岳トンネルの場合

山岳トンネルの掘削工法は歴史的に多様に変遷しており、それに応じて覆工構造も、

- 1) 無巻 (無普請)
- 2) 石積み
- 3) 煉瓦積み
- 4) コンクリートブロック積み
- 5) 場所打ちコンクリート (大半が無筋, 一部RC造)
- 6) 吹付けコンクリート (いわゆるシングルシェル)

と多様である。最も多い場所打ちコンクリートについても、

- 1) 全断面覆工
- 2) 順巻 (側壁導坑先進工法の場合)
- 3) 逆巻 (矢板工法の上半先進工法, 底設導坑先進上半工法の場合)

に分かれる。

表2 変状に対する対策工の例⁸⁾

| 部位 | 形態 | 変状現象 | 工法区分 [※] | 対策工法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|---------|------|------|--------|----------|------|------|--------|------------|------|----------|--------|
| | | | | 劣化・剥落対策 | | | | | | | | 漏水・凍結対策 | | | | 外力対策 | | | | | | | |
| | | | | ひび割れ補修工法 | 断面修復工法 | 表面被覆工法 | 電気化学的補修工法 | 電気防食工法 | 凍害対策工法 | 剥落防止工法 | 内面補修工法 | 地山との一体化 | 導水工法 | 止水工法 | 背面注入工法 | 地下水位低下工法 | 断熱工法 | 加熱工法 | 裏込注入工法 | ロックボルト補強工法 | 内巻工法 | セントル補強工法 | 内面補強工法 |
| 覆工・躯体 | 損傷 | 目地切れ、目違い、段差、目開き | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ひび割れ、コールドジョイントの開口 | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 剥離・剥落 | 山・都 | | ○ | ○ | | | | | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 変形 | 押し出し・横断面変形 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 移動、側壁転倒、沈下 | 山 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 石灰分の溶出、断面欠損 | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 材料劣化・材質不良 | ジャンカ | 山・都 | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 鉄筋の露出、鉄筋腐食 | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | | | | | | | | | | | | |
| | | ツララ、側水 | 山 | ○ | ○ | ○ | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | |
| | 漏水・凍結 | 漏水 | 山・都 | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| エフロレッセンス、錆汁 | | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 表面付着物 | バクテリアスライム、煤煙、黒鉛、カビ、汚泥 | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ひび割れ | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 路面・地盤 | 損傷 | 隆起、沈下 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | トンネル軸方向の変形(軌道狂い) | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 変形 | 排水溝の縁石の転倒 | 山 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 排水溝 | 流入水 | 水盤 | 山 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 滞水 | 山・都 | ○ | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | |
| | 流入物 | 噴泥、沈砂 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 坑口・開口部 | 損傷 | ひび割れ、食い違い | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 変形 | 前傾、沈下、移動 | 山 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 構造変化部 ^{※※} | 損傷 | ひび割れ | 山・都 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 目地切れ、目違い、段差、目開き | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 変形 | 横断面変形、縦断面変形 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 付帯設備 | 流入水 | 漏水 | 山・都 | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 腐食 | 支持金物の腐食 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 補修・補強材 | 変形 | 取付部の緩み、脱落 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 劣化 | 浮き、ひび割れ、剥離・剥落 | 山・都 | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地山 | 損傷 | 腐食 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 変形 | トンネル周辺の押し出し | 山 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 備考 | | 地表面沈下・陥没 | 山・都 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

※ 山・・・山岳トンネル(山岳工法によるトンネル) / 都・・・都市トンネル(シールド工法または開削工法によるトンネル)
この区分は、構造的特徴上比較的生じやすい変状現象を表すものであり、区分されていない工法では該当する変状が生じないというわけではない。
※※ 具体的には、既設トンネルと新設トンネルの接合部、トンネルの分岐部、工法の変化部など。

表2に示されるように、山岳トンネルの変状は、外力によるもの、覆工材料の劣化によるもの、漏水・凍害等多様である。

山岳トンネルに顕在化する現象も、

- 1) ひび割れ、目地切れ、目地の開き、段差、剥離・剥落といった覆工材料の損傷
- 2) 押し出し、移動、沈下といった変形現象
- 3) ジャンカ、石灰分の溶出、鉄筋の腐食・露出といった覆工材料の不良・劣化
- 4) つらら、側水、水盤、漏水といった湧水に関連する現象

等々、極めて多様であり、その程度も千差万別であるが、ここでは、この四半世紀に起こった規模の大きい変状・事故・災害を数例紹介する。

1) **豊浜トンネル崩落事故**：1996年2月10日に国道229号の豊浜トンネルで坑口付近上方の大規模(高さ70m、幅50m、厚さ13m、推定2700t)な岩盤がトンネル上に落下してトンネルが崩壊し、バス、乗用車が巻き込まれ、20名の方が亡くなった。湧出する地下水が厳冬期に凍結し、地下水位の上昇や凍結圧の作用が繰り返され岩盤の亀裂を徐々に進展させたものと推定された。岩盤斜面の安定性評価の難しさが顕在化した事故例であると言えよう。(写真1)



写真1 岩盤崩落事故(豊浜トンネル)
建設グラフィックネットワークダイジェスト より
<http://www.jiti.co.jp/graph/toku/toyohama/toyohama.htm>

2) **トンネルの地震被害**：1995年1月17日に兵庫県南部地震が発生し、山陽新幹線六甲トンネルをはじめとする被災地域内の約110本の山岳トンネルの約1割が被災した。また、2004年10月23日に新潟県中越地震が発生し、上越新幹線魚沼トンネルで約5m間のアーチ覆工が剥落するなど多くのトンネルで被害が生じた。その後の2007年7月16日の新潟県中越沖地震、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震、2016年4月14日の熊本地震等でも少なからずトンネルで被害が生じており、既設トンネルの

耐震補強，及び新設トンネルの耐震設計検討の契機となっている。新設トンネルでは，少なくとも地質不良箇所，浅い土被り区間，坑口付近については，インバート構造，RC化，FRC覆工等の耐震性に富む構造とすることが必要と言える。(写真2,3,4)

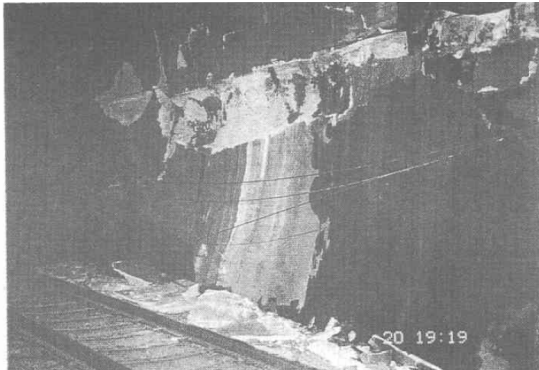


写真2 地震被害事例1 (六甲トンネル)

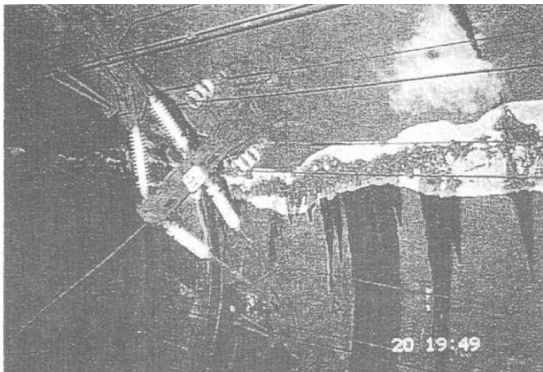


写真3 地震被害事例2 (六甲トンネル)

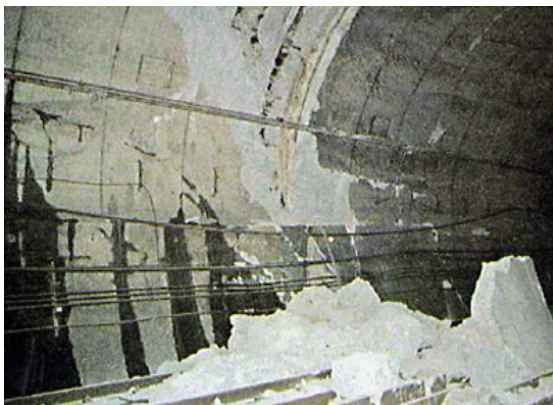


写真4 地震被害事例3 (魚沼トンネル)
日経 XTECH より
<http://tech.nikkeibp.co.jp/kn/article/const/news/20070718/509851/>

3) 笹子トンネル天井板落下事故：2012年12月2日に中央自動車道笹子トンネルのコンクリート製の天井板が落下し，通行中の自動車が被害を受けて9名の方が亡くなるという事故があった。天頂部付近の接着系ボルトの抜けによるもので，大きな原因としては，天井板構造の老朽化とされ，同様の構造の他トンネルの天井板撤去，あるいはバックアップ構造の付加が必要とされ，検査の在り方についても見直しがなされた。その結果，2014年に道路トンネル定期点検要領（国土交通省・道路局）が出され，省令で定める「トンネル」について道路トンネルの定期点検で最低限実施する内容が定められるところとなった。(写真5)



写真5 天井板落下事故 (笹子トンネル)
ニューススイッチ (日刊工業新聞) より
<https://newsswitch.jp/p/1700-2>

5-2 シールドトンネルの場合

シールドトンネルは覆工形態，覆工構造が多様であり，一次覆工（セグメント）の材料，継手，止水材の種類も多岐にわたる点，周辺地盤や地下水の影響を強く受ける点などに考慮した維持管理が要求される。表3⁹⁾にはシールドトンネルで生じやすい変状の種類と維持管理上の課題を示す。

5-3 開削トンネルの場合

開削トンネルは比較的変状が生じにくい構造物であるが，変状の事例がないわけではない。

開削トンネルの変状には，想定外の荷重の作用や荷重の変動によるひび割れの発生，異常な変形・変位の発生といった耐荷力上の原因によるものと，コンクリートの中性化や塩害等によるひび割れ，剥離，鉄筋露出及びそれらに伴う漏水や遊離石灰といった耐久性上の原因によるものがある。これらの変状に対する維持管理上の課題を表4¹⁰⁾に示す。

表3 シールドトンネルにおける維持管理上の課題⁹⁾

| 変状項目 | 維持管理上の課題 |
|-----------|--|
| 漏水 | シールドトンネルの漏水は、一次覆工の継手面、ボルト孔、グラウト孔、ひび割れからの漏水など、一次覆工からの漏水がほとんどである。この場合、次に示す問題がある。 <ul style="list-style-type: none"> ・外面から浸入する地下水を坑内から完全に止水するのは困難である。 (特に、シールドトンネルは比較的大きな地下水圧が作用する地点に構築されるため。) ・特に、継手面やボルト孔からの漏水の場合、当該箇所を止水すると新たな箇所からの漏水を誘発することが多い。 ・また、二次覆工を施した場合、漏水の一次要因は一次覆工からの漏水であるため、二次覆工の漏水箇所のみを止水しても新たな箇所からの漏水を誘発することが多い。 ・坑内への漏水は、鉄筋や鋼材などの構造部材、あるいはトンネル内設備を腐食させることでそれらの耐久性低下を促進する要因となりやすい。 ・セグメントリングが連続して組み立てられている箇所は継手面止水シール材の性能により漏水は少ないが、立坑取り付け部やトンネル開口部などの構造変化点では止水シール材が連続しないため、漏水を生じやすい。ただし、当該箇所への有効な漏水抑止工の実施は困難である。 |
| コンクリートの劣化 | シールドトンネルの覆工コンクリートは、中性化や硫化水素などによる経年劣化を生じる場合がある。特に下水道などでは、管内流下物から発生する硫化水素によって覆工コンクリートが著しく劣化することがあり、急曲線部、人孔部、段差発生部などでは乱流を生じやすいことから、局所的なコンクリート劣化の進行が起りやすくなる。 コンクリートが劣化した場合、劣化度合いや劣化深さについて適切な調査を行って補修を実施する必要があるが、供用中の水路トンネルでは管内に流下水があり酸欠空気や有害ガスが発生しやすいことから、管路の点検、調査、補修、補強などを安全・迅速に実施することは困難な場合がある。 |
| ひび割れ | ひび割れは、発生箇所、ひび割れ深さ、ひび割れ長さ、およびそれらの進展度合いについて調査した上で補修の要否や補修方法について検討する必要がある。 しかし、ひび割れ発生箇所は漏水を伴っていることが多いため、許容ひび割れ幅以下のひび割れでも覆工の耐久性確保の観点から漏水補修と併せてひび割れ補修を実施すべき場合がある。なお、微細なひび割れに対して完全な止水を伴う補修を施すのは困難である場合が多い。 |
| 断面欠損 | 地下鉄、道路、地下通路などの場合、特にスプリングライン以上の断面欠損箇所に対する補修・補強材が振動、荷重変動、材料劣化などによって落下するのを防ぐよう確実な補修、補強が求められる。 特に、現状で顕在化していない潜在的なひび割れや浮きなどについては、今後の荷重変動、繰返し荷重、振動などによって落下する恐れがあるので、綿密な調査、点検と適切な時期での補修、補強が必要となる。 |
| 過大な変形 | 耐力や覆工剛性を向上させるためには、坑内側に補強部材や二次（三次）覆工などを設置するのが一般的である。この場合、補強後のトンネル内空が小さくなるため、必要内空を考慮した補強部材の配置などの配慮が必要である。 |

表4 開削トンネルにおける維持管理上の課題¹⁰⁾

| 変状項目 | 主な発生要因およびメカニズム | 維持管理上の課題 |
|-----------------|---|---|
| 漏水、遊離石灰 | ひび割れや施工打ち継目および継手部の不良部に発生する。ひび割れの発生原因は、施工時に発生したひび割れと供用後に耐久性上の原因（鋼材の腐食等）や耐力力上の原因（作用荷重の増加等）で発生する。継手部の不良は、継手自体の劣化や不等沈下等により発生する。 | 継手部、施工打ち継目およびひび割れからの漏水や漏水に伴う遊離石灰に対しては通常ひび割れ注入工法や導水工法が用いられるが、漏水自体を止めることは困難である。特に海水の場合は、構造体内に塩分が浸入することを防ぐことが困難となり、耐久性上の問題となる可能性がある。 |
| コンクリートの劣化 | コンクリートの中性化、およびトンネル内面に発生する硫化水素などによる劣化などで、損傷としては主にコンクリートのアルカリ性が低下することによる内部鋼材の腐食等として現れる。 | 道路トンネルでは、一般に二酸化炭素の濃度が高くなるため、中性化の影響を受けやすくなる。 また、下水道等では、硫化水素が発生しやすく、常に下水が流下している場合が多いことから、点検、補修・補強などの支障となっている。 |
| ひび割れ（耐力力が原因の場合） | 土被りの増加、地下水の変化や活荷重の変化等の作用荷重の増加や、鋼材の腐食による断面欠損やコンクリート剥落による断面欠損等による耐力力の低下により発生する応力上のひび割れであり、重大な損傷となる。 | 耐力力を向上するためには、内空からの補強が一般的である。しかし、次に示すような問題がある。 <ul style="list-style-type: none"> ・補強により内空断面を縮小することが一般には困難である。 ・箱型断面の場合、隅角部の補強が困難である。 ・トンネル外からの対策は困難である。 |
| 断面欠損 | 鋼材の腐食、ひび割れ、施工不良箇所および凍害の影響等でコンクリートが剥離する。 | 鉄道、道路等では、剥離・剥落により利用者の安全にかかわる問題となる。 |
| 鋼材の腐食 | ひび割れ、コンクリートの中性化や塩害による鉄筋の腐食。施工時のかぶり不足や豆板等の施工不良も鋼材腐食の原因となる。 | 構造物の耐久性が低下するだけでなく、コンクリートの剥落の原因ともなる。対策としては、腐食の発生原因に応じた対策を実施する必要がある。 |
| 変形・変位 | 地盤の不等沈下、近接施工による側方移動および地震時の液状化等の影響により発生する。 | 根本的な対策を実施することは一般に困難であるが、取付部のすり付けや変形・変位に伴うひび割れ、目地の開き等の補修、および場合によっては軸方向の断面補強等が必要となる。 |

6 最近の技術的、社会的動向

6-1 検査手法の近代化

上述したような変状、事故、災害等の経験を経て、トンネル検査の重要性が再認識され、各機関で新しい検査技術が開発・導入されている。以下にその一部を紹介する。

JR 東日本では、レーザースキャニング電子写真方式を用いた幅 0.5mm 以上のひび割れが検出できる覆工撮影システム TuLIS (Tunnel Lining Scanning car) や、従来人間が行っていた打音検査を機械的に行えるトンネル内覆工内部検査車 CLIC (Concrete Lining Inspection Car) を開発・導入しており、さらに精度、能率を向上させるべく技術開発を行っている¹¹⁾。

JR 西日本では、同様にレーザー反射光を利用してトンネル内面を連続的に撮影できるトンネル覆工表面検査システム SATUZO や、トンネルの検査結果、補修履歴を変状展開図に一元的に保存・活用できるトンネル保守管理システム TuMaS (Tunnel Maintenance System)¹²⁾ に加え、コンクリート剥落リスクの評価を目的としたレーザーを用いた覆工内部欠陥検知システム¹³⁾ を開発した。さらに、JR 西日本は、NEXCO 西日本の eQ ドクター T をベースにした共同開発により、100km/h 走行で最小 0.2mm のひび割れの自動抽出、デジタル図面化を目指している。

6-2 社会的な動向

最近では、度重なる豪雨災害や地震被害、及び 2012 年の笹子トンネル天井板落下事故等を受けて、2013 年に内閣府が主導する「SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)」が創設され、「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」が課題の一つとして掲げられた。また、同年「国土強靱化基本法」が制定され、社会資本の戦略的な維持管理・更新と防災・減災の推進が重要課題として挙げられた。さらに、2016 年には産官学民が結集して「インフラメンテナンス国民会議」が設立された。

さらに、土木学会をはじめとする各学協会でも、それぞれ対象とする構造物ごとの委員会やそれらを統合した委員会において、メンテナンスに関する課題が取り上げられ、標準示方書や便覧といった形で基準化が進められている。

このように、国を挙げてのメンテナンスに取り組む姿勢が本格化してきている。

7 今後の課題

今後、間違いなく訪れる少子高齢化時代に備えて、目まぐるしく発展する IoT, ICT, AI 等の情報技術を取り入れ、維持管理技術の効率化、高精度化が求められるが、一番重要なことは「安全を確保するための強い意志」を当該事業者、技術者が持ち続けることである。前章で述べたような国を挙げての取り組みが一時的なものでなく、持続性を持つことが重要である。維持管理にウェイトを置いた社会へのパラダイムシフトが必要で、調査業界においても決して例外ではないと思われる。

〈参考文献〉

- 1) 日本国有鉄道施設局土木課編：土木建造物取替の考え方、1974.8.
- 2) 鉄道総合技術研究所：建造物保守管理標準、1987.
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道建造物等維持管理標準・同解説、2007.
- 4) 国土交通省道路局国道・防災課：道路トンネル定期点検要領、2014.6.
- 5) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本土工編】、2015.6.
- 6) 土木学会：トンネルの維持管理、トンネル・ライブラリー 14, 2005.7. p38.
- 7) 同上, p45.
- 8) 同上, p76.
- 9) 同上, p133.
- 10) 同上, p156.
- 11) 下山貴史, 三宅浩一郎：鉄道構造物の維持管理マネジメントについて、建設マネジメント技術, 2010.1. pp25,26
- 12) 松尾廣和, 樺田正人：トンネル覆工検査の精度向上の取り組み, 土木学会第 57 回年次学術講演会, 2002.9. VI -220, pp439,440
- 13) 御崎哲一：レーザーリモートセンシング装置を用いたコンクリート剥離検知試験, 技術の泉 Vol.28, JR 西日本, 2013.12 pp9,10

路面下空洞探査技術の現状と今後の展望

かもした ともひろ*
鴨下 智裕*

Key Word

路面下空洞探査, 技術マニュアル, AI, ヒット率, 走行型計測, 道路維持管理, 道路陥没, 地中レーダ, 異常信号

1 はじめに

突然発生する道路陥没は人命にかかわるような重大事故につながる可能性がある。そのため道路管理者や占有者は、路面下に発生した空洞を事前に検出し、補修や修繕の対応をすることが求められる。道路陥没の発生要因は、地下埋設物や道路施設の老朽化、あるいは地下構造物による影響など様々である。

国土交通省より発表されている管路施設（下水道管路）の老朽化等に起因した道路陥没の発生件数は、平成27年度には、約3,300箇所とされている¹⁾。また、同資料によると、下水道整備の進展にともない、管路延長は約47万kmとなっており、そのうち布設50年以上経過したものが約1.3万kmとの報告がある。このような現状を受け、国土交通省は平成27年に下水道法に基づく維持修繕基準を創設し、硫化水素による腐食のおそれの大きい下水道管路については、5年に1回以上の頻度での点検を義務づけた。また、国土交通省では、道路陥没を未然に防ぐことを目的として、電磁波地中レーダ（以下 地中レーダ）を搭載した走行型計測車両などを用いた路面下空洞探査を自ら実施し、路面下空洞の発生メカニズムを多角的に捉え、空洞を発見し事故防止の成果を上げている。

一方、地方自治体においても民間業者に業務を委託し、路面下空洞探査を実施している。しかし、実施要領や方針などは特に定まっておらず、成果や品質などはそれぞれに委ねられているのが現状である。

そのような中、一般社団法人全国地質調査業協会連合会における「新マーケット創出・提案型事業」の事業テーマのうち、応用地質株式会社が幹事会社となり、「路面下空洞探査車の探査技術・解析技術

の品質確保」として平成28年度よりコンソーシアム形式で活動を始めた（平成30年1月現在17社参加 表1参照）。このコンソーシアムでは、平成29年9月に「路面下空洞探査技術マニュアル（案）」²⁾を作成するなど、路面下空洞調査の品質確保および技術普及活動に努めている。

表1 コンソーシアム加盟企業一覧
H30.1.1 現在（五十音順）

| |
|---------------------|
| 株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング |
| 株式会社ウエスコ |
| 越前屋試験工業株式会社 |
| 応用地質株式会社（幹事会社） |
| 川崎地質株式会社 |
| 基礎地盤コンサルタント株式会社 |
| 株式会社キタック |
| 国際航業株式会社 |
| サンコーコンサルタント株式会社 |
| 株式会社ジオテック |
| 株式会社ダイヤコンサルタント |
| 大和探査技術株式会社 |
| 中央開発株式会社 |
| 株式会社東建ジオテック |
| 東邦地水株式会社 |
| 長崎テクノ株式会社 |
| 日本物理探査株式会社 |
| 計17社 |

2 路面下空洞の発生要因

路面下空洞の主な発生要因は、図1に示すように様々である³⁾。

- ①埋設管の破損等による土砂流出
- ②交通振動などによる埋戻し土の体積圧縮に伴う沈下
- ③切土・盛土境界部の地下水流動に伴う地盤の軟弱化または土砂流出

*応用地質株式会社 維持管理事業部 グループリーダー

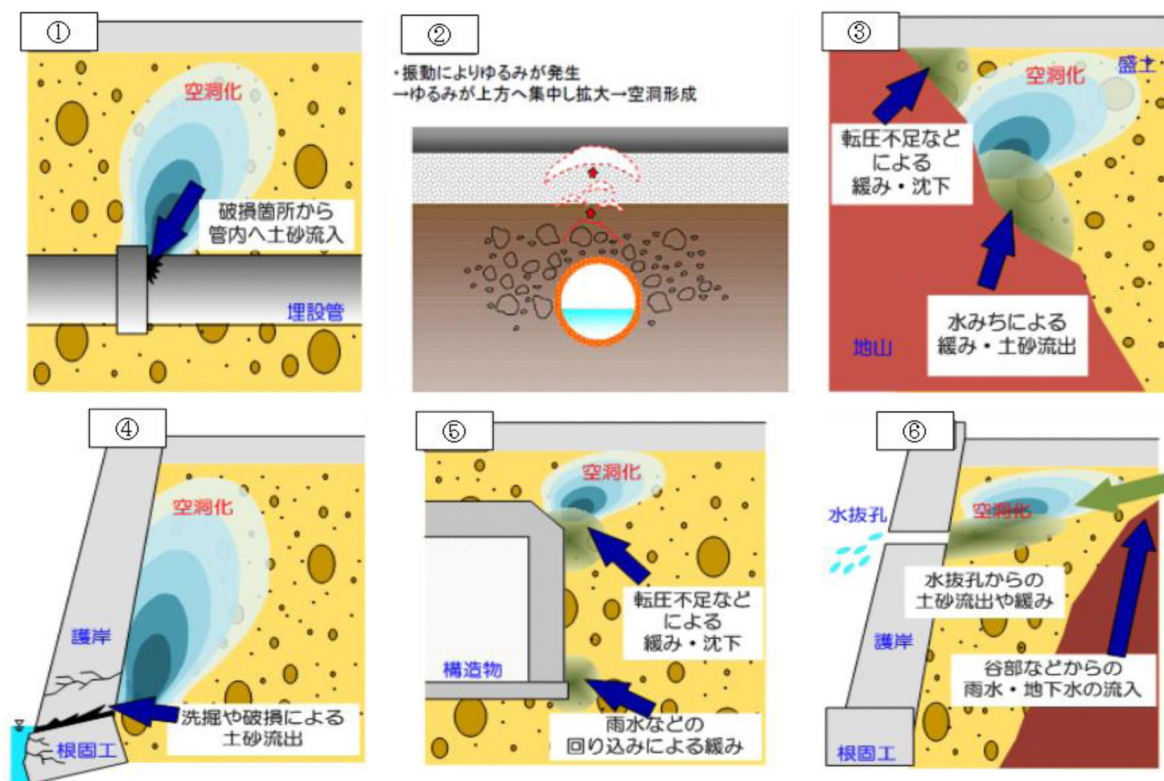


図1 代表的な空洞発生の原因

- ④擁壁等の破損部からの土砂流出
- ⑤構造物周辺への雨水などの浸入による土砂流出
- ⑥地盤中に浸透した雨水や自然地下水の流動に伴う土砂の軟弱化または土砂流出

そのほか、地中に埋没された木材の腐食、仮設矢板の引抜き跡、地下推進工事などによる土砂の過剰掘削（搬出）、防空壕の崩落などがあり、道路に限らず校庭や公共の野球場などといったグラウンドや公園などでも陥没に繋がる空洞が発生する。

この中でも特に注意すべきは、「水」の流動と共に土砂が流出するケースである。この場合、発生原因に対し抜本的な対策を講じなければ空洞の拡大化や、再空洞化が起こる。道路の維持管理においては、このような空洞が発生する素因を突き止め、その対策を講じることが重要である。

3 路面下空洞探査の現状

路面下空洞探査は、国土交通省による総点検実施要領（案）【舗装編】（参考資料）⁴⁾に準ずると詳細調査が必要な場合、図2に示すような調査の流れで実施する²⁾。このうち、一次調査の空洞探査車および二次調査のハンディ型地中レーダ探査は、路面下空洞を抽出する重要な位置付けにあたり、ここでは地中レーダについて理解を深めて頂くため、原理に

ついて記述する。なお、地中レーダ装置は複数種類が販売、使用されているが原理的には同じである。

3.1 地中レーダの原理

地中レーダは、図3に示すように電磁波を地中方向に向け連続的に照射し、地盤中の比誘電率（物質の電気的性質を表す定数）の異なる境界面で反射した電磁波（反射波）を受信する探査手法である。これを調査対象区間の地表面を移動させながら測定することで、地下の状況を二次元断面として可視化する。極端なことを言えば、均質な地盤であれば比誘電率が一樣のため、地中レーダ記録は地表面以外何も表示されないことになる。しかし、実際の地盤では砂質土・礫質土・粘性土あるいは構造物などが混在し、比誘電率はさまざまに変化する。表2に舗装道路に関係する主な材質の比誘電率を示す。この比誘電率を用いて地中レーダで捉えられた反射波の大きさは、反射率Rとして便宜的に図4中の式として表すことが出来る。これより、舗装道路路面下で想定される境界面の反射率Rは表3のようになる。

路面下空洞探査では、反射率Rの大きさが空洞の可能性として判断する指標の一つとなる。なぜなら、表3から分かるように、反射率Rの絶対値は空洞の場合が最も大きくなるためである。地中レーダ探査の記録上では、反射率Rに比例して反射波

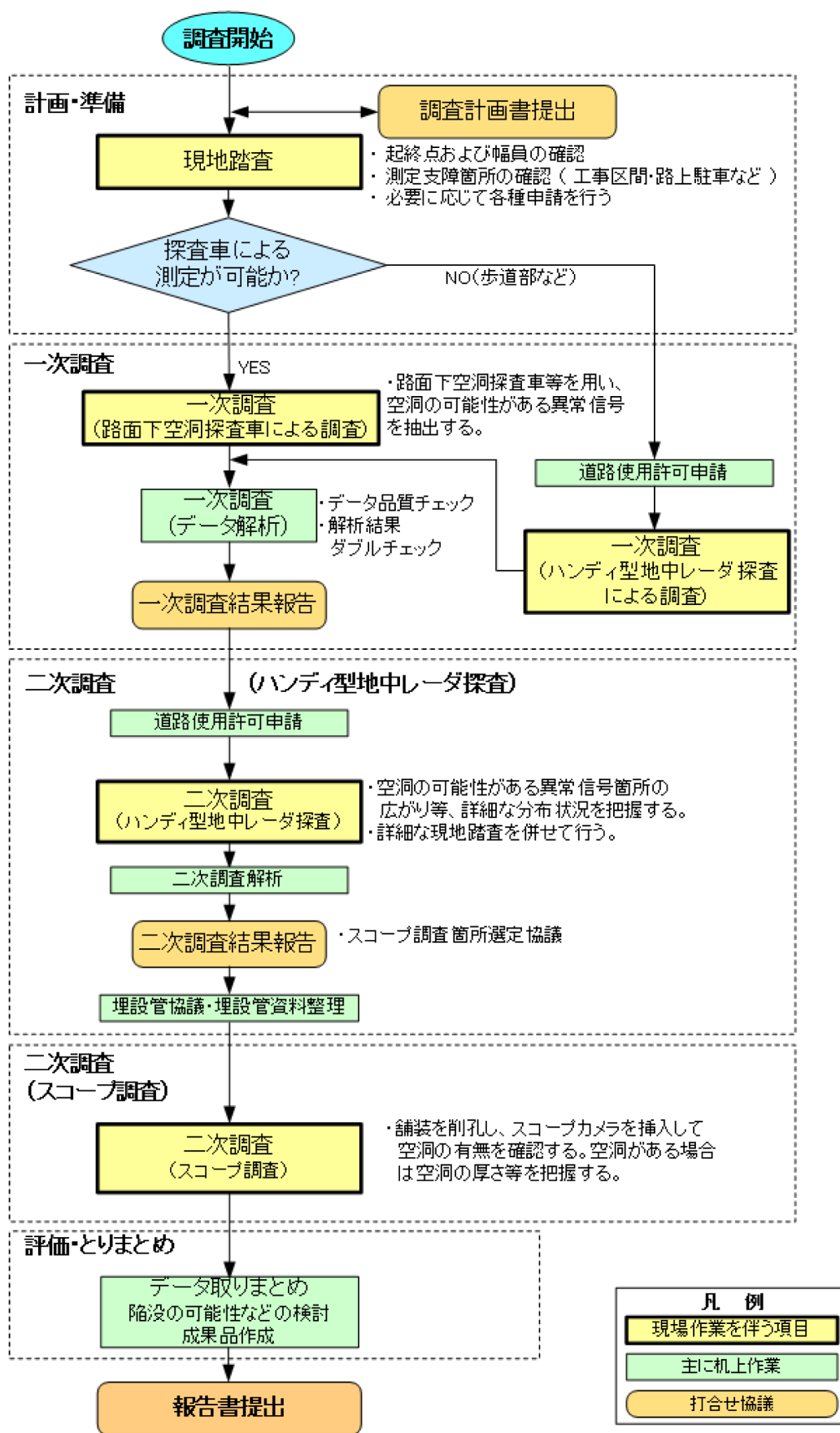


図2 路面下空洞探査の流れ

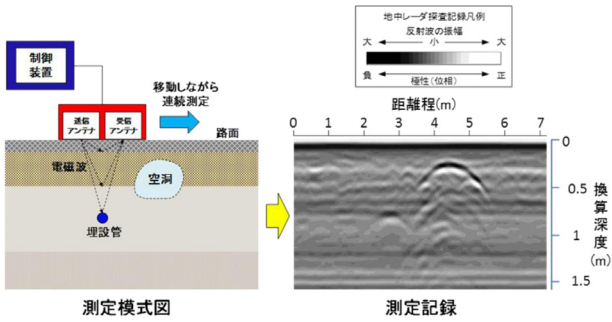


図3 地中レーダ探査の測定模式図および測定記録例

表2 舗装道路に関する主な材質の比誘電率および比抵抗

| 材料名 | 比誘電率 | 比抵抗(Ωm) | 備考 |
|--------|--------|--------------|---------------|
| アスファルト | 4.5~9 | 数1000~数10000 | 材質、含水条件によって変化 |
| コンクリート | 5~7 | 50~200 | 同上 |
| 砕石 | 7.5~18 | 10~数1000 | 種別、含水条件によって変化 |
| 土砂 | 10~36 | 20~数1000 | 同上 |
| 空気 | 1 | ∞ | |

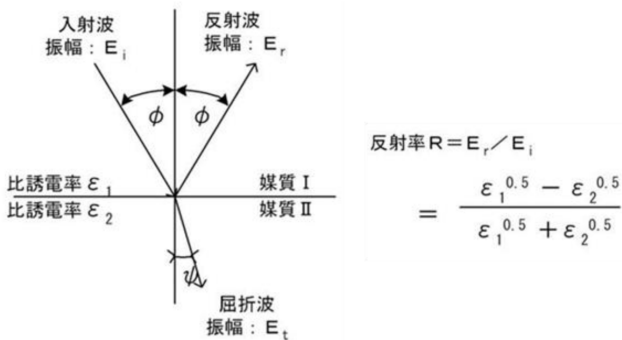


図4 比誘電率の異なる媒質境界における反射波と反射率 R

表3 舗装道路で想定される境界面の反射率 R

| 境界面 | 反射率 R |
|-------------------|---------------|
| 空中のアンテナ/アスファルト表面 | -0.50 ~ -0.36 |
| アスファルト底面/砕石(路盤上面) | -0.33 ~ +0.05 |
| 砕石(路盤底面)/土砂(地盤上面) | -0.37 ~ +0.15 |
| 砕石(路盤)/空気(空洞) | +0.47 ~ +0.62 |

振幅の大きさが決まるため、空洞からの反射波がより明瞭な(強い)反応として現れる。また、空洞の場合のみ反射率 R が全てプラス(正)となり、発信した信号と同位相の反射波になる。一方、それ以外の物質では、ほとんどの場合反射率 R がマイナス(負)の反射波になるため、逆位相になる。

以上のような原理により、反射波の極性は空洞の可能性を判断する重要なデータとなっている。

3.2 一次調査

一次調査で使用する空洞探査車は、以下に記す性能が求められることが多い。

- 探査深度：1.5m 程度
- 探査幅：2m 程度
- 探査能力：縦 50cm × 横 50cm × 厚さ 10cm 以上の空洞を検知可能
- 走行速度：レーダ記録を取得しながら 40km/h 程度で走行できること
- 位置情報：レーダ記録と同時に位置情報を記録可能であること
- カメラ映像：前方、左右の3方向の路面映像を取得できること

搭載されている地中レーダ装置として代表的なシステムを以下に記す。

- ①パルス式レーダシステム
- ②チャープ式レーダシステム
- ③3Dレーダシステム

一次調査の解析では、測定データの中から空洞の存在を示唆する信号(異常信号と呼ぶ)を抽出する。抽出にあたっては、前述した反射波の反射強度、反射極性のほか、形状などを考慮する。解析の過程で重要なことは、抽出漏れが無いように、空洞の可能性のある信号は全て抽出することである。そのため、実際は空洞ではない信号も抽出してしまう場合があることから、次項で記述する二次調査によって、異常信号の絞り込みをすることが大切である。

また、解析においては近年では、後述する AI 技術を用いた自動抽出も試みられている。

3.3 二次調査

二次調査では、写真1に示すように一次調査で抽出した異常信号の精査を行う。まず一次調査の結果を再現するためにハンディ型地中レーダ探査にて、空洞あるいは埋設管などの構造物との違いを見極める。その上で空洞の可能性を有すると再判定した異常信号に対しては路面を削孔し、スコープ調査(孔内の360°展開画像の撮影)を実施し、空洞の有無を確認する。



ハンディ型地中レーダ探査

スコープ調査

写真1 二次調査状況

4 路面下空洞探査の課題

第2章で記述したように、路面下空洞探査は一次調査において、如何に空洞の可能性を有する異常信号を見逃さずに抽出できるかが重要なポイントである。また、異常信号の位置やその大きさにより陥没の可能性が異なる。

4.1 ヒット率（空洞発見率）について

スコープ調査で実際に確認した空洞と、路面下空洞探査車による調査、ハンディ型地中レーダ探査でそれぞれ抽出した異常信号箇所を「ヒット率」と呼んでいる。例えば、路面下空洞探査車による調査で100箇所、ハンディ型地中レーダ探査で75箇所の異常信号を抽出し、スコープ調査で確認した空洞が70箇所であった場合、一次調査のヒット率は $75 \div 100 \times 100$ で75%となる。しかしながら、ハンディ型地中レーダ探査で空洞の可能性を再判定することにより、ヒット率は $70 \div 75 \times 100$ で93%となる。このことからハンディ型地中レーダ探査が重要な位置付けであることがわかる。また、最近、このヒット率の高さを気にする傾向があり、ヒット率を下げるような判断に迷う異常信号を抽出しにくい風潮が伺える。この裏には空洞の見逃しという大きなリスクが隠れていることを忘れてはならない。一方、見逃しを恐れるあまり過剰に異常信号の抽出をすることも考えられる。このことから、ヒット率にはそれぞれの調査段階での閾値を設定し許容することが肝要である。

4.2 空洞の大きさについて

地中レーダは、平面的な空洞の広がりとは地表面からの深さについては把握することできるが、空洞の厚みの把握については困難な場合がほとんどである。これは、次のように考えられる。物理探査の分野では分解能は、波長（ λ ）の半分（ $\lambda/2$ ）とするのが一般的な考えであり、波長は電磁波の地盤中の伝搬速度（ V ）と周波数（ f ）の関係から $\lambda = V$

λ/f で導かれる。実際の路面下探査では、電磁波が路盤を透過中に高周波数成分が減衰するため、空洞の発生深度により分解能が異なることを考慮する必要がある。また、周波数という概念ではなくパルス幅で考えると、空洞の厚さがパルス幅より十分に大きければ上面と底面を分離できる可能性がある。しかし、仮に空洞が電磁波の分解能やパルス幅より大きい場合でも、空洞の側面からの反射波などが干渉し、空洞底面からの反射波を見分けることは難しい。そのため、地中レーダで空洞厚を抽出することは困難である。

5 路面下空洞探査の展望

路面下の空洞による陥没は、冒頭に述べたように年間約3,300件である。しかし、これは埋設管起因によるもので、他の要素を含めればさらに陥没の発生は多いと推測できる。また、管路施設の老朽化は今後ますます進行するため、陥没が発生する可能性は高まる。その一方で人口は減少しつつあり、路面下空洞探査に携わる技術者も減少するであろうと予測される。そのため、解析技術を支援するためにも、AI（人工知能）技術の活用が望まれる。また、空洞を発見した後の対応は、進行性や陥没危険度を加味したものとなるであろう。

5.1 解析技術について

現在、路面下空洞探査車で取得した地中レーダ記録を、熟練した技術者が丁寧に解析を行っている場合が多い。しかし、解析者の個人差や疲労などによる見落としのリスクが考えられ、これを回避し生産性を向上させるために、AIを用いた解析が導入され始めている。本稿執筆中のAIの種類は、教師データありの機械学習によるディープラーニングを用いたものが登場している。しかし、抽出漏れは少ないものの過検出が多く、抽出精度は高いとは決して言えないため、今後の発展に期待される。

5.2 空洞補修について

路面下空洞探査で発見した空洞は、陥没の可能性が高い箇所からその原因を取り除きながら補修される。当然なことながら、全ての空洞が補修されることが望ましいが、優先度から経過観察とする場合もある。この時、どれくらいの進行速度で、いつ陥没するか予測技術は研究段階にあり、現状では確立できていない。そのため、道路パトロールなどによる日常点検、路面下空洞探査による定期点検を実施しているが、日常点検で簡易に対応できる空洞モニ

タリングシステムが構築されることが望まれる。また、経過観察のデータベース化や研究実験、シミュレーションなどにより AI を用いた進行度合いの予測が期待される。

6 おわりに

路面下空洞探査の現状と今後の展望について述べた。路面下空洞探査は、道路だけではなく、グラウンドやゴルフ場などの広大な敷地に発生する陥没調査にも有効な手法である。空洞による陥没は、我々の生活に突如襲い掛かり、人命にかかわる重大な被害を及ぼす場合もある。

本稿で紹介した路面下空洞探査は、事前に空洞の存在を知ることで、陥没のリスクの回避を図り、我々の日常生活における安全安心な生活を確保する技術の一つである。しかしながら、日本国内の道路延長だけでも 120 万 km 以上あり、全ての危険の種を取り除くことは困難である。例えば、目覚ましく進歩する昨今のコンピュータ技術により、日常運転する車に地中レーダあるいは類似の装置が取り付けられ、リアルタイムで道路管理者にその情報を送り、AI による解析で空洞を発見し、陥没を予測できるような IoT を活用した道路維持管理システムを確立することができれば、陥没事故を未然に防げると考える。このような道路維持管理の確立を期待したい。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省：下水道 計画的な改築・維持管理
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html
(2018 年 1 月 20 日現在)
- 2) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会：路面下空洞探査技術マニュアル（案）
<https://www.zenchiren.or.jp/market/pdf/h27-2.pdf>
(2018 年 1 月 20 日現在)
- 3) 吉澤 幸佑 「地中レーダによる路面下の空洞探査について」
国土交通省 関東地方整備局：
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000105696.pdf
(2018 年 1 月 20 日現在)
- 4) 国土交通省道路局：総点検実施要領（案）【舗装編】（参考資料）
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/roadstock06.pdf>
(2018 年 3 月 18 日現在)

宇宙線ミュオン粒子による社会インフラ維持管理のための地盤探査技術

すずき けいいち * くさがや たろう *
鈴木 敬一 * 草茅 太郎 *

Key Word 宇宙線ミュオン粒子, 密度, トモグラフィ, 空洞探査

1 はじめに

1980年代後半から道路下の空洞による陥没事故が頻発するようになり、社会的にも問題となっている。これらの空洞（以下、路面下空洞）は、主に社会インフラ施設の老朽化により発生するといわれている。例えば、下水道管が老朽化してひび割れが発生し、そこに周囲の土砂の細粒分が吸い込まれる（吸出しという）と空洞が発生する¹⁾。発生した空洞は、初めは小さいが細粒分の吸出しが止まらなると空洞は徐々に成長する。成長した空洞は、その場所にとどまらず天端の崩落が起きて徐々に浅部へと移動する。浅部へと移動した空洞は、天端を支えることができずに沈下や陥没に至る。このような陥没は2005年度だけでも約6600箇所におよぶ。日平均18箇所であり、全国のどこかで毎日これだけの陥没が起きていることになる。路面下空洞による陥没を未然に防ぐためには、空洞の位置を知る必要がある。これらの空洞を効率よく探査する方法として、車載型の地中レーダが開発されている²⁾。

河川堤防の維持管理においては、堤防の内部構造を知ることが重要である。堤防は長大な土構造物であり、内部構造を探査するには効率的な探査手法が望まれている。これを目的とした探査方法として統合物理探査が考案されている³⁾。

本稿は、近年少しずつではあるが成果を上げてきた宇宙線ミュオン粒子探査について、これまでの物理探査との違いや、適用分野、さらには今後の展望について検討したものである。

2 現状の空洞探査技術

路面下空洞は、路面の観察だけではわからないこ

とが多い。実際に孔をあけて調査するにしても、その場所を選択することは難しい。そのため非破壊的に調査する方法として地中レーダがある。地中レーダは、他の物理探査に比べて高分解能なのが特長であるが、通常の地中レーダでは探査深度が2～3メートル程度と浅いのが欠点である。連続波方式と呼ばれる方法で送受信を行うことにより10メートル程度まで探査を行うことができる地中レーダもある⁴⁾。

探査深度が10メートルを超えるような場合については、反射法地震探査や電気探査（比抵抗二次元探査）などが適用される場合もあるが、これらの手法は分解能が数メートル程度であり、目的を達成するには十分な分解能とは言い難い^{5), 6)}。

筆者らはこれらの課題を解決するために宇宙線ミュオン粒子に着目し、空洞探査を始めとした地盤の探査技術として確立できないか検討してきた。

3 宇宙線ミュオン粒子による地盤探査

宇宙線ミュオン粒子は、宇宙から飛来する高エネルギーの素粒子が、大気中の分子などとの相互作用により、生成する素粒子の一種である。比較的詳しい説明を鈴木・金沢（2017）⁷⁾に示したので、ここでは説明を省略する。宇宙線ミュオン粒子は、高エネルギーであることと、物質との相互作用が適度であるため、物質中を透過する際に、透過距離と密度に応じてその数を減ずる。この減少する割合と透過距離を測定することができれば、地盤の密度を推定することができる。

これまでの物理探査では、密度を直接的に測定することができる手法としては重力探査や、密度検層

*川崎地質株式会社 戦略企画本部 技術企画部

などがあり、現在でも利用されている。電気探査や電磁探査は、比抵抗や導電率、地中レーダでは比誘電率などの電気的特性による違いを探査している。地震探査（屈折法地震探査、反射法地震探査、表面波探査）は弾性波速度または音響インピーダンス（弾性波速度と密度を掛け合わせた量）の違いによって反射した反射波を捉えることにより地下構造を推定している。地震波速度は、P波の場合、地盤の密度と体積弾性率とが関係している。物理探査の結果から得られる地震波速度を用いて土木構造物の設計や維持管理に適用する場合、何らかの仮定や実験式などを用いて間接的な方法で密度を推定することが行われている。

重力探査では、密度を推定することにより地下構造を推定するが、密度や層構造などを仮定する必要があり、密度を一意的に決めることは意外に難しい。

宇宙線ミュオン粒子では、単位時間・単位長さ・単位立体角あたりのミュオン粒子の数（これをフラックスという）を測定することができれば、ミュオン粒子が透過してきた密度と経路の長さを掛け合わせた量（これを面密度あるいは密度長という）を計算することができる。図.1に、鉛直方向から到来するミュオン粒子フラックスと面密度との関係を表した経験式による計算の結果を示す。

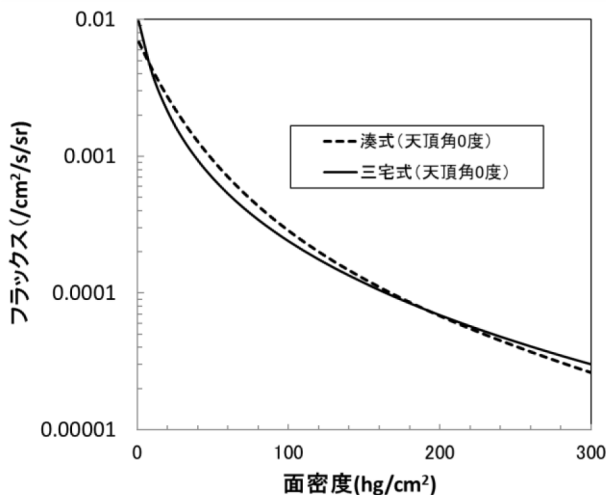


図.1 鉛直方向のミュオン粒子フラックスの深度分布の経験式。縦軸がミュオン粒子のフラックス、横軸が面密度（密度長）である。実線是三宅の式、破線は湊の式に基づく。

フラックスから面密度（密度長）への変換は、三宅の式⁸⁾あるいは湊の式⁹⁾を用いて求めることができる。経路長は、図面からの読取や測量を行うこ

とにより求めることができるので、面密度を経路長で割って経路に沿った平均密度を求めることができる。

ミュオン粒子のフラックスを測定するには、主に二つの方法がある。シンチレーションカウンタを用いて電気信号として取り出す方法と、特殊な写真フィルムである原子核乾板に映し出す方法である。前者はリアルタイムの測定が可能であるが、装置が高価であり、長期にわたって安定した電源が必要である。後者はリアルタイムの測定はできないが、電源を必要とせず、設置場所の自由度が大きいなどの長所がある。どちらの方法にしても一長一短あり、探査の目的や現地の状況等により使い分ける必要がある。

宇宙線ミュオン粒子による探査は、上方ないし斜め上方から飛来するミュオン粒子を捉え、多数の方向から到来するミュオン粒子フラックスからトモグラフィ解析を行い、三次元の地盤密度構造を算出することも可能である¹⁰⁾。

以下では、具体的な事例として、試験的に実際に行われたミュオン粒子探査¹¹⁾を紹介する。シンチレーションカウンタは、上下二段になっている地下通路のうち下段に設置され、上段の通路と、埋設されている直径1.3mの下水管の上に見る状況で測定が行われた（図.2, 3）。設置したシンチレーションカウンタは、図.4に示すように、一つの主検出器と五つの副検出器により構成され、主検出器と一つの副検出器で同時に信号検出されたときにミュオン粒子と判断し、主副の二つの検出器を結ぶ方向からミュオン粒子が到来したと判定された。測定方向は、15度刻みで±30度の範囲を一度に測定可能であった。下段の地下通路の方向に沿って三測線上において、多点測定を1m間隔で行い、約5か月間かけて、トモグラフィ的測定がなされた。その結果、上段の通路および下水管が三次元的にイメージングされた（図.5）。このとき、通路や下水管以外の地盤の平均密度（ $1.67 \pm 0.34 \text{ g/cm}^3$ ）は、土質試験結果から得られた値（ $1.61 \pm 0.20 \text{ g/cm}^3$ ）と調和的であったことが報告されている。

4 課題と今後の展望

前章で述べた通り、宇宙線ミュオン粒子による探査は上方あるいは斜め上方に限られるため、探査対象が測定機器よりも上に無ければならない。そこで、筆者らが検討しているのがボアホールタイプの測定機器である。これは、斜めボーリングなどにより、想定している対象よりも下に測定機器を置いて探査することで、例えば空洞調査に利用できるのではな

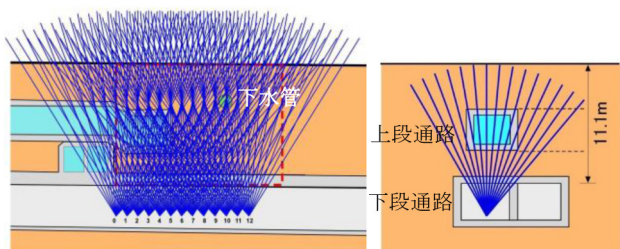


図.2 (左) 測線方向に垂直な向きから見た断面図。(右) 測線方向に平行な向きから見た断面図。放射状に広がる直線は各測定地点から見たミュオン粒子の到来方向のパターン。

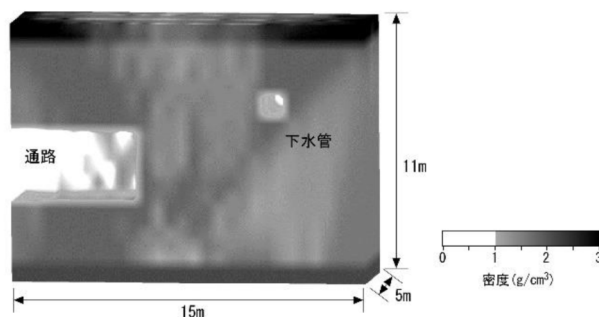


図.5 三次元イメージングされた上段の通路と下水管。

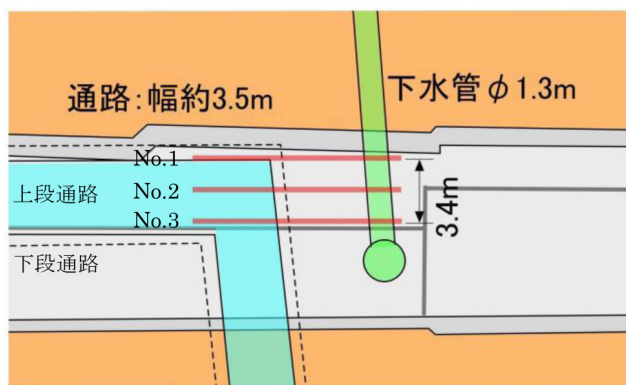


図.3 ミュオン粒子探査を行った現地の平面図。No.1, 2, 3の各側線はシンチレーションカウンタを置いた測線。

いかと考えている。その際には、電源供給の難しさと地下水の存在が考えられることから、電源不要で耐水性のある原子核乾板方式を利用しようと考えている。ただし、ミュオン粒子探査では、測定機器の設置位置および測定方向といったジオメトリを正確に知る必要があるため、孔曲がり測定やジンバルのような治具を用いて、位置と方向を押さえることが必要である。

また、昨今話題になっている AI (人工知能) やスパースモデリングも適用できると考えている。既存の物理探査でもあてはまるが、ミュオン粒子探査でも結果に対する解釈が重要となる。そのため、平均密度の分布が得られたとしても、その解釈は専門家でなければ困難である。そこで、多くのミュオン粒子探査事例を集めることができれば、AIによって解釈を手助けできるはずであると信じている。また、ミュオン粒子探査は、測定機器から遠い地点においては、空間分解能が落ちるために粗いデータが得られる。これを細かくするため、先見情報を考慮したスパースモデリングを用いることで、疎なデータから密なデータを推定することが可能になると考えている。

宇宙線ミュオン粒子を用いた探査の最近の成果としては、エジプト・ギザの大ピラミッドの道の空間の探査が報告されている¹²⁾。この成果としては原子核乾板を既知の空間に設置し、その上方から斜め上にある未知の空間を検出したものであり、その大きさは高さや幅が数メートル、長さ 30 メートルとも考えられるような巨大な空間であり、このような大型の構造物に対して、非破壊的に探査できる技術はこれまでなかった。

宇宙線ミュオン粒子を使った探査は、地盤や大型の構造物の密度分布を推定できるため、地盤だけでなく老朽化したダム堤体の内部構造を探査することや、通常は人が入ることができない溶鉱炉や原子炉、

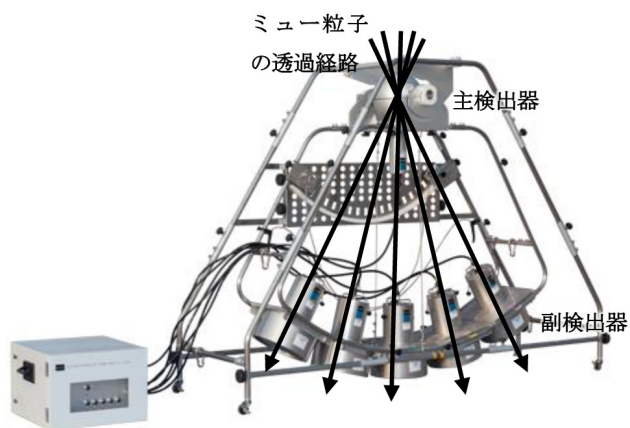


図.4 シンチレーションカウンタの写真。主検出器と各副検出器で同時に信号を捉えた時ミュオン粒子が通過したと判断している。

あるいはタンクなどの診断技術にも使える可能性がある。実際に原子炉の炉心部分を宇宙線ミュオン粒子で可視化した事例が報告されている¹³⁾。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省：「下水道機能の質的向上に関する取り組みについて」
http://www.mlit.go.jp/singikai/infra/city_history/city_planning/gesuido_18kaisai/302-2.pdf
(2018年2月20日現在)
- 2) 雑賀正嗣, 太田雅彦, W・P・J・ヴァンデルメア：「道路・港湾施設の予防保全における地中レーダ技術の活用の変遷と成果」, 最新の物理探査適用事例集 (物理探査学会編), pp.153-161, 2008.10.
- 3) 土木研究所・物理探査学会：河川堤防の統合物理探査—安全性評価への適用の手引き, 愛智出版, 2013.3.
- 4) 鈴木敬一・笠井弘幸・西山英一郎：ステップ式連続波レーダ探査装置を用いた地中レーダ探査, 地質ニュース, 537, pp.44-52, 1999.5.
- 5) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会：「防災・維持管理分野における物理探査の適用」報告書, p.20, 2007.8.
- 6) 鈴木敬一；土木構造物に関わる空洞調査の事例, 基礎工, pp.57-59, 2013.9.
- 7) 鈴木敬一・金沢 淳：宇宙線ミュオン粒子を利用した探査技術の応用地質分野への適用, 応用地質, pp.266-276, 2017.2.
- 8) 三宅三郎：地下深部における宇宙線研究, 日本物理学会誌, pp.292-301, 1979.4.
- 9) 湊 進：宇宙線透視像, 放射線, 19, pp.49-56, 1992.10.
- 10) 鈴木敬一：ミュオン粒子による土木物理探査の可能性, 物理探査, 65, 4, pp.251-259, 2012.10.
- 11) 鈴木敬一・大沼寛・浅沼博信：宇宙線ミュオン粒子による三次元トモグラフィの地盤密度精度の検討, 全地連「技術フォーラム2012」新潟, 100, 2012.9.
- 12) Morishima et al.; Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons, Nature, 552, pp.386-390, 2017.12.
- 13) 竹上弘彰・高松邦吉・伊藤主税・日野竜太郎・鈴木敬一・大沼 寛・奥村忠彦：宇宙線ミュオンによるHTTR内部構造の可視化予備試験, 日本原子力学会和文論文誌, pp.7-16, doi:10.3327/taesj.J13.010, 2014.2.

衛星搭載合成開口レーダーSARによる インフラヘルスマニタリング

たけうち わたる*
竹内 渉*

Key Word 地盤変動, DInSAR, PALSAR-2, GNSS, ARL

1 はじめに

我が国では、インフラの高齢化が進む中で、厳しい財政状況や熟練技術者の減少という状況にあり、予防保全によるインフラヘルスマニタリングが重要とされている。特に世界最先端のICRT (ICT (Information and Communication Technology + IRT (Information and Robot Technology))) を活用した技術は、従来のインフラ維持管理市場に新たなビジネスチャンスを生むと共に、同様な課題に向き合うアジア諸国へのビジネス展開の可能性を生む。衛星放送、カーナビゲーション、リモートセンシング、全球即位衛星システム (GNSS) などに代表される、宇宙開発技術を利用したさまざまなサービスは、高度情報インフラ (GII) として既に我々の生活の一部となっているが、特に、リモートセンシング分野は、地球規模で顕在化しているさまざまな環境問題の監視・管理手段のみならず、災害監視、農林水産業、都市計画、地図作成等への実利用拡大が急速に進んでいる。

本稿では、リモートセンシング技術のうち、近年特にデータ入手性・技術開発が著しい衛星搭載型の合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) に着目し、地盤変動の観測原理、社会インフラへの観測技術の活用推進に関する技術開発と実用例を紹介する。

2 合成開口レーダー (SAR) による 地表面変動の観測

2-1. 干渉 SAR 処理の観測原理

合成開口レーダー (SAR) は、衛星が軌道を移動しながらマイクロ波を地表に照射し、同じ地点を複

数回観測することにより、見かけ上大きなアンテナを持っていることと等しい画像を得る技術のことである¹⁾。マイクロ波は、雲や雨を透過するため、曇っていても地表を観測することができる。また、センサからマイクロ波を能動的に発射し、その後方散乱を観測しているため、昼夜を問わず観測が可能である。また、SARは、後方散乱と共に、衛星から地表までの距離を示す位相を取得でき、2つの画像から干渉 SAR (Interferometry SAR, InSAR) 解析を行うことで、地盤変動を計測することができる。

2-2. 干渉 SAR 処理の流れ

図1に示すように、干渉 SAR 処理の流れは大きく4つに分類される。

現在の技術では、衛星は高度な制御により軌道をコントロールされているものの、実際にはおよそ8km/sの高速で地球を周回するため、全く同一地点を通過するという事はほぼなく、軌道のずれである垂直基線長 B_{perp} がなるべく短いデータを選択することが望ましい。PALSAR2を搭載したJAXAの衛星ALOS2は、非常に高い精度で軌道の調整を行っているため基線長は500m以下に抑えられており、どの画像の組合せでも高い干渉性が得やすくInSAR解析を行うことができる。

観測された衛星データには、大気中の水蒸気の影響などによるノイズを含む可能性があることから、算出した複数の地盤高の差を重ね合わせることで、ノイズ等の誤差の低減を図る。これをスタッキング処理と呼ぶ。スタッキング解析にあたり、InSAR解析結果を目視で確認したり、GNSSや水準測量の結果と比較し、ノイズの多い干渉ペアの画像を除いたりすることで、スタッキング解析結果の精度を向

*東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門 准教授



図1 干渉 SAR 処理の流れ

上させることができる。

レーダーは斜め方向から観測を行うため、地盤の変動量に変換するためには、衛星の観測角度の情報を加味する必要がある。図2に示すように、異なる二つの衛星の北行と南行の軌道から得られる視差方向の変動量から鉛直方向成分を得ることにより、地盤変動を抽出することができる。これを2.5次元解析と呼ぶ。

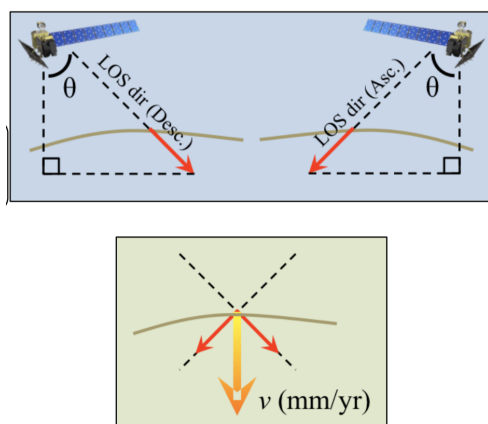


図2 異なる二つの視差方向の変動量から鉛直方向成分を地盤変動として抽出する2.5次元解析

2-3. 代表的な DInSAR 処理手法

2 画像の取得の間に、地震などの地殻変動があると、干渉画像から地形情報 (DEM) を差し引くことで、地盤変動を数 mm の精度で計測することができる。これは Differential InSAR (DInSAR) と呼ばれており、InSAR と DInSAR は実用されており、ほとんど確立した技術であると言える。代表的な DInSAR 手法には、Permanent Scatterers Interferometric Synthetic Aperture Radar (PSInSAR)、Small-BASeline Subset (SBAS) があり、またそれらを組み合わせた手法が多く用いられている。

PS-InSAR とは、ビルなど反射の位相が非常に安定なターゲットである恒久散乱体を含む画素の値のみを用いて SAR 干渉処理を行うもので、1) データ量を減らすことができる、2) 数十枚の時系列画像同時に使用して位相モデルに当てはめ、DEM の補正量や地表の変形量などを同時に推定できる、3) 画素ごとに時系列の地盤変動量の推定が可能であること、が大きな特徴である。SBAS とは、多数の SAR 画像から垂直基線長および時間間隔の短い干渉ペアを選択して干渉処理を行い、干渉性の高い画素を抽出して時間変化を検出する手法のことである。

これら DInSAR を実施するためのソフトウェアは、様々なものが手に入るようになってきているが²⁾、ほとんどが商用であり、現状で 1 ライセンスで最低でも 300 万円ほどする。

3 地盤沈下モニタリングへの適用例

3-1. 横浜市・根岸埠頭の港湾設備

図3は、東日本大震災前後の、横浜市・根岸埠頭の地盤沈下を DInSAR 解析で分析した結果である。画像は Terra SAR-X の高分解能モードの 5km 四方の微小変動量を解析したもので、観測期間は 2010 年 11 月から 2012 年 9 月となっている³⁾。画像の赤丸が、経年微小変化の大きい箇所を抽出したもので、海岸付近に大きな変動が確認できる。

衛星 SAR 画像には、X バンド (3cm)、C バンド (6cm)、L バンド (24cm) の主に 3 つの波長分解能があり、Terra SAR-X は波長分解能 3cm の X バンドレーダーである。波長分解能が高いほど高精度に地盤変動成分を検出できるが、波長分解能より大きい変動成分が検出された場合の解釈が難しくなること、波長分解能が相対的に高い X、C バンドでは、雲の影響を受けやすくなることが知られている。

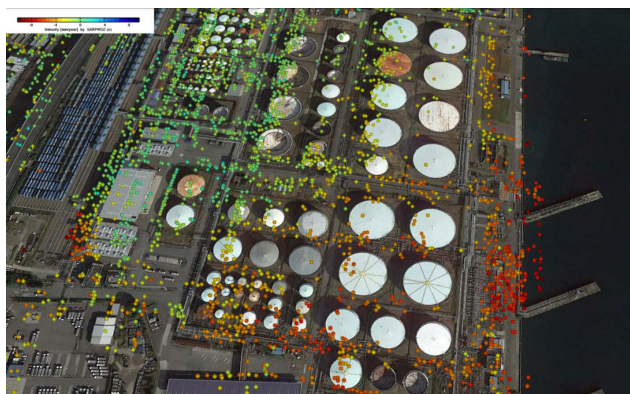


図3 Terra SAR-X を用いた横浜市・根岸埠頭の地盤沈下 DInSAR 解析結果

3-2. インドネシア・スラバヤ市の地盤沈下

図4は、インドネシア・スラバヤ市街の広域地盤沈下をDInSAR解析で分析した結果である。画像はALOS-2の高分解能モードの60km四方の微小変動量を解析したもので、観測期間は2015年7月から2017年9月となっている⁴⁾。ALOS-2は波長分解能24cmのLバンドレーダーPALSAR2を搭載している。Lバンドは、森林で相対的に高い透過性があることが知られており、日本が世界をリードする宇宙技術の一つである。

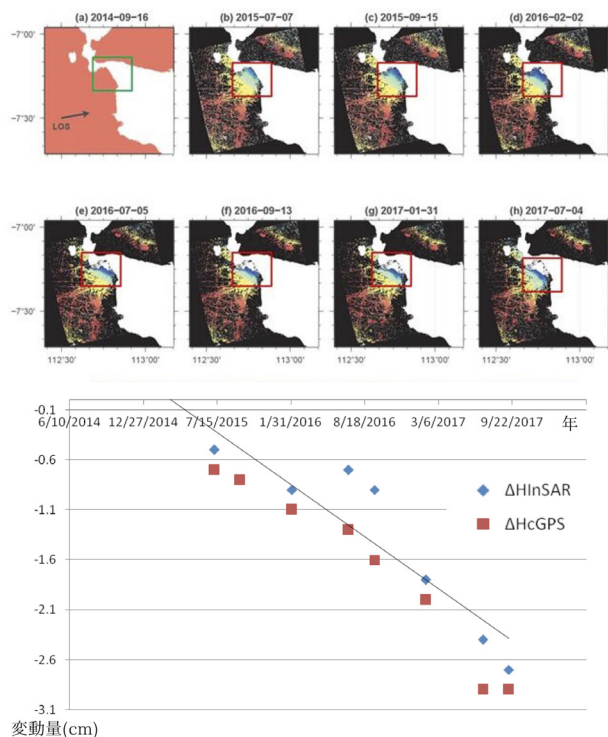


図4 インドネシア・スラバヤ市の地盤沈下 DInSAR 解析結果と GPS 計測との比較

スラバヤ市の東部と北東部に明確に沈下が大きい箇所が見られ、GPSによる測量結果でも整合性のある結果が得られている。我が国では、国土地理院が全球測位衛星観測システム(GNSS)を運用しており、現場での水準測量の情報が得られない場合でも、画像の解析範囲にGNSSデータが存在すれば、同様の解析を行うことが可能である⁵⁾。

図5は、インドネシア・スラバヤ市で地盤沈下GPS計測と現地踏査の様子を示している。地盤沈下の主な原因としては地下水の汲み上げが疑われており、現地調査やメディアの情報によると、多くの都市で、地盤沈下により橋や排水設備、ガスパイプライン、建物の損壊が発生していることが報告されている。

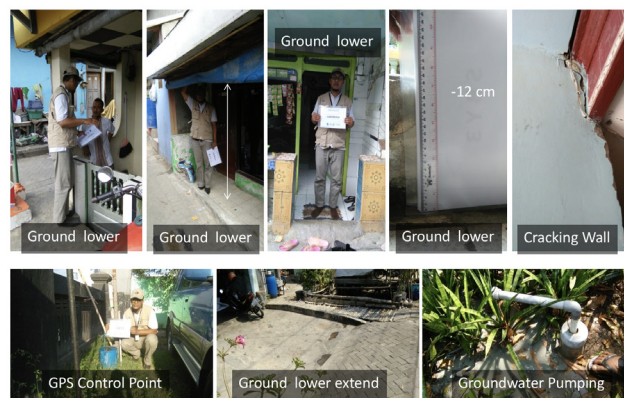


図5 インドネシア・スラバヤ市で地盤沈下GPS計測と現地踏査の様子

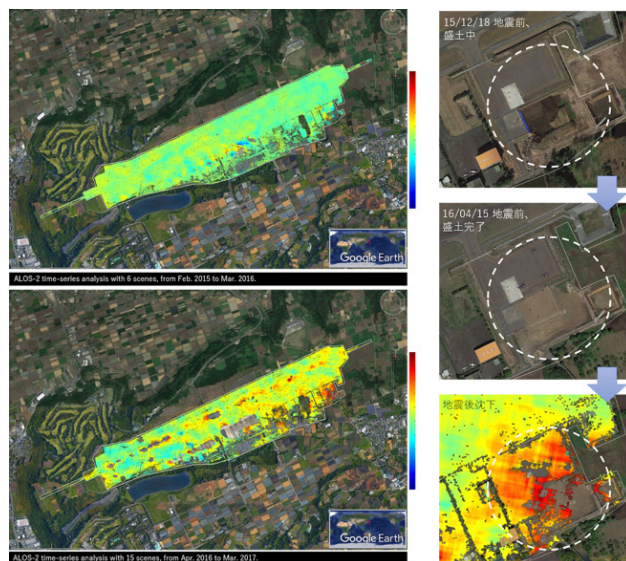


図6 2016年4月熊本地震の熊本空港の地盤沈下 DInSAR 解析結果⁶⁾

3-3. 熊本空港の地震被害

図6は、2016年4月の熊本地震後の熊本空港の変動傾向をALOS-2/PALSAR-2でDInSAR解析した結果である⁶⁾。左上の2016年3月までの6シーンによる解析では、敷地内で目立った動きは見られなかったが、左下に示す地震後の2016年4月から2017年3月までの15シーンを用いた解析では、敷地内で局所的な変動がいくつか見られた。地震後に変動が最も大きく計測された箇所について、右図に拡大したところ、光学写真では地震前に実施された盛土の様子が映し出されており、DInSARによる解析の結果、最大で年あたり8cm程度の沈下が見られ、地震によって盛土直後の地盤が圧密沈下で下がったと推測される。

紙面の制限でここに掲載することはできなかったが、ダムの堤体、工場設備と、多数のインフラヘルスマonitoringに関する解析事例が掲載されているので、参考にされたい⁶⁾。

4 さいごに

本稿では、リモートセンシング技術のうち、近年特にデータ入手性・技術開発が著しい衛星搭載型の合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar, SAR）に着目し、地盤変動の観測原理、社会インフラへの観測技術の活用推進に関する技術開発と実用例を紹介した。SARは2018年から2022年の5年間にかけて、CSG（COSMO-SkyMed Second Generation）（イタリア）、TerraSAR-NG（ドイツ）、RCM（RADARSAT Constellation Mission）（カナダ）、Sentinel-1C,1D（欧州）、先進レーダ衛星（日本）など、多くの衛星の打ち上げが予定されており、データの充足度は加速的に進んで行く。一方で、SARを用いたインフラヘルスマonitoringは、民間事業者、大学、関係省庁（内閣府、文部科学省、国土交通省など）で、様々な技術開発と利用が進みつつある。既存のインフラ現場でMonitoring結果の実証、検証試験を行い、試験結果をフィードバックしながら実用化に資する技術とするためには、産学官の緊密な連携体制が必要となる。そのためには、NASAが実施している技術成熟度⁷⁾のインフラヘルスマonitoring版を作成し、技術開発の指針となる全体の見取り図を作成することも、大変有用であると考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 大内和夫（2009）：リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎（第2版改訂版），東京電機大学出版局。
- 2) 環境省（2017）：地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル <http://www.env.go.jp/press/104084.html>（2018年3月13日）
- 3) Ram Avtar, Wataru Takeuchi, Pankaj Kumar, Ridhika Aggarwal, Ankita Gupta, S. Herth, Masumi Yamamoto（2016）. Evaluation of land subsidence using high resolution TerraSAR-X time series data in Negishi area. 第24回生研フォーラム「宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価」：東京大学生産技術研究所（東京都目黒区）。
- 4) A. Aditiya, et al.（2017）：Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR-2 over Surabaya City, Indonesia. Earth and Environmental Science, 98（1）, 012010. doi :10.1088/1755-1315/98/1/012010.
- 5) 国土地理院 全球測位衛星観測システム（GNSS） http://terras.gsi.go.jp/geo_info/geonet_top.html（2018年3月13日）
- 6) JAXA/EORC Infrastructure Monitoring Group：衛星SARによるインフラ解析事例 <https://sites.google.com/view/jaxa-infrastructure-monitor/>（2018年3月13日）
- 7) NASA application readiness level（ARL） <https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/ExpandedARLDefinitions4813.pdf>（2018年3月13日）

NEDO事業による道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発

たけうち せいいちろう
竹内 誠一郎*

Key Word

インフラ点検・維持管理, モニタリング, ひび割れ検出, AI, NEDO

はじめに

現代社会において、経済活動等を含む生活の基盤となっている日本国内の社会インフラは、高度経済成長期に集中的に整備されたものが数多く利用されている(図1)。橋梁やトンネルなどの社会インフラは、今後、建設から50年を経過するものが加速度的に増加していくため、その点検・維持管理や更新のコストが増加していくことが懸念されている。一方で、社会インフラの点検・維持管理や更新を担う人材についても、少子高齢化の影響でその十分な確保が危ぶまれている。

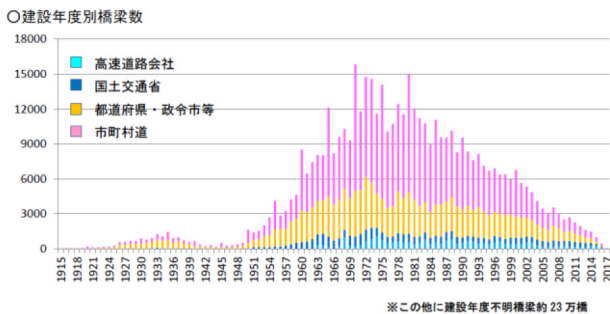


図1 建設年度別橋梁数¹⁾

今後も社会インフラを安全に、かつ安心して活用し、安定的に利便性を享受していくためには、インフラの状態を効率的に点検し、その状態に応じた効果的な維持管理を行い、さらに計画的に更新していくことが必要となる。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、この社会課題の解決に貢献すべく、インフラの状態を効率的かつ的確に把握できるモニタリングの技術開発と、インフラの点検・調

査を可能とするロボットや非破壊検査の技術開発を行う「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」²⁾を進めている。2014年度から3通りのアプローチで技術開発を進めており、5年間のプロジェクト期間中に実用的なシステムを実現することを目標としている(図2)。



図2 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト(NEDO)

第一のアプローチは「センサシステムによるインフラ状態モニタリング」である。インフラ構造物及びその構成部材の状態を常時・継続的にモニタリングするセンサシステムを実現することを狙いとしている。第二のアプローチは「イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリング」であり、画像処理技術を応用したインフラモニタリングシステムを実現する。技術発展が著しい画像処理技術を活用し、AI(機械学習)や位相解析手法を用いて客観的にインフラ構造物の変状をモニタリング評価可能とするシステムの実現を狙いとしている。第三のアプローチは「ロボットや非破壊検査装置によるインフラ施設の点検支援」である。人間の立ち入りが困難な箇

*国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 主査

所へ移動し、インフラの維持管理に必要な情報を取得するロボットシステムや、ロボットに搭載可能な非破壊検査を行う装置を開発している。

これらの取り組みのうち「イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリング」の技術開発は、インフラ構造物を定期的に撮影し、その画像からインフラ構造物の劣化やその経時変化を客観的かつ定量的に判断することで、インフラの状態をモニタリングする技術を開発するもので、プロジェクトの開始から既に3年が経過している。これまでに要素技術の開発が完了しており、2018年度末のプロジェクト期間終了までの間は、実用化のための実証実験の積み重ねと最終的なシステムの構築作業並びに仕様の確定を進めている。

今回紹介する「道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発」は、首都高技術株式会社、産業技術総合研究所、東北大学の3者で構成するコンソーシアムが研究開発に取り組んでいる（図3）。

**NEDOインフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発**

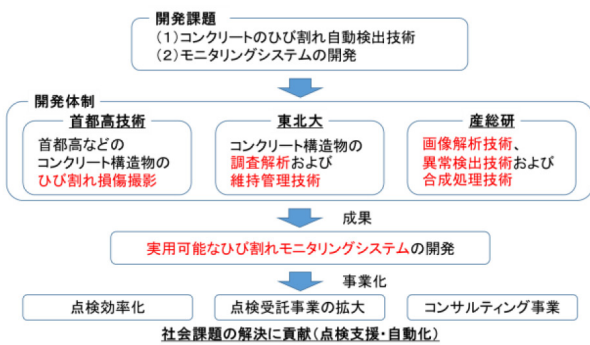


図3 研究開発を行うコンソーシアムの体制

このシステムは、道路構造物の表面をデジタルカメラで撮影した後、AI技術を活用した画像処理によって道路構造物の表面に生じたひび割れを検出・記録するシステムで、従来の野帳にひび割れをスケッチして記録を行うコンクリート構造物の点検作業に比べて、点検結果の客観性・定量性の確保、作業時間の短縮といった効果が期待され、社会課題の解決に貢献するものと考えている。

そのため本システムの研究開発にあたっては、実用的なひび割れ検出精度やシステムの使い勝手を実現し、実際にシステムが使用されて社会に貢献するように、道路構造物にシミや汚れ、型枠跡などがあってもひび割れの検出漏れや過検出が生じないこと、道路構造物のような大面積の点検に使用できる機能を持たせること、点検現場でひび割れの検出

結果を確認できることの3点を念頭に開発を進めている。

次章以降では、ひび割れ検出技術、パノラマ合成技術、クラウドシステムへの実装について述べる。

2 ひび割れ検出技術の開発

本システムを実用的なものとするため、ひび割れ検出技術については、これまでに存在したひび割れ検出用画像処理ソフトの弱点を克服する必要があった。従来の画像処理の基本的な方法として、画面上の濃淡を切り口としてひび割れの有無を判断する手法があるが、対象となる実際のコンクリート表面には部分的な湿潤、シミ、あばたや型枠跡があり、これらをひび割れとして検出してしまう過検出の傾向があった。この過検出を解消しようとして、ひび割れの検出感度を下げると、逆に本物のひび割れの検出漏れが多発するといった問題が生じる傾向があった。このため、これまでのひび割れ検出ソフトでは、検出感度（閾値）の調整をしながら画像処理ソフトでひび割れ検出を行ったのち、ひび割れ検出結果を確認しながら手作業で検出結果の修正を行うといった作業が必要であった。つまり、属人的要素が取り除けない作業が必要なため完全自動とは言えず、検出結果に客観性や定量性が確保できない問題があった。

本プロジェクトでは、道路構造物のモニタリングシステムの実用化を目的としているため、手作業の排除と客観性・定量性の確保が必要で、従来の手法にとられない、ひび割れの検出手法の開発が必要であった。本プロジェクトで開発を行ったひび割れ検出手法は、AI（機械学習）を活用したひび割れ検出手法で、ひび割れ画像の訓練データを計算機に与えることで実際のコンクリート表面に存在する湿潤、シミ、あばたや型枠跡を誤検出することなく、純粹にひび割れだけを検出する画像処理性能の実現を図った（図4）。

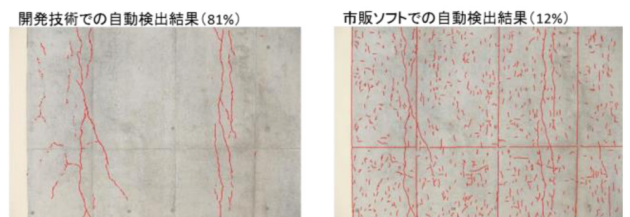


図4 ひび割れの検出結果
（左：開発した検出手法，右：市販ソフト）

本研究では膨大な訓練データを準備して機械学習を向上させていくのではなく、効率的にひび割れ検出性能を向上させていく為に、画像に対してひび割れがもつ局所的な特徴を抽出するという前処理を行うことで、AI（機械学習）の学習効果を高める工夫を行った。この結果、約700枚の訓練データで学習を行った段階で、ひび割れ検出精度82.4%に到達した。なお、ひび割れ検出精度の評価指標としては、Mean Average Precisionを用い、見落としなしにひび割れを検出するだけではなく、過検出の低減についても留意した評価を行っている。このことにより、ひび割れの自動検出を行った後の人手による確認と修正を最小限にとどめるような開発を心掛けている。

2017年3月時点でのひび割れ検出精度は81%に達し、実用化の目安として目標にしていた検出精度80%をクリアしたため、2017年8月にひび割れ検出技術のニュースリリース³⁾とともに「ひび割れ検出Webサービス⁴⁾」として、ひび割れ検出技術の試験公開を行った。

この試験公開の目的は、ひび割れ検出技術を公開することで、開発技術の到達レベルを点検事業者を確認してもらうとともに、研究期間終了後の事業化を見据えた課題の洗い出しを目的とするものであった。想定外ではあったが、Webサービスサーバーへの負荷集中や悪意のあるアクセスへの対応など、システムの実用化に際しての課題が浮かび上がった。

3 パノラマ合成技術

ひび割れ検出技術が実用的な性能を実現できたとしても、実際の道路構造物点検や管理に使用されるために解決しなければならない課題として、道路橋の床板などの広い面積を持つ道路構造物への対応が挙げられる。たとえば0.2mm幅のひび割れを画像上の1ピクセルでとらえようとした場合には、高解像度カメラ（水平方向の画角が40度、解像度5000ピクセル）で対象物からの距離1.5mの位置で撮影する必要があるが、その際に撮影できる範囲は約1m²にとどまる。したがって、道路構造物のような大きな対象物の表面を網羅するように記録し、ひび割れモニタリングを行う場合には、複数の写真を撮影する必要があるが、構造物の配置や用地、足場の制約から現実には構造物の画像を同一距離で正対した撮影で得ることは困難である。したがって、撮影視点や角度の違いによる奥行き方向の歪みにも対応し、さらに特徴の少ないコンクリート表面や、撮影毎の明るさの変化に対応した画像合成技術が必要で

あった。

また、本プロジェクトで着目している道路構造物のひび割れは、分割撮影を行った画像間を跨いで発生していることもあり、複数画像の合成にあたって画像境界部分を曖昧にぼかすことや、接合のために大きく歪めることはできない。

このような背景から本プロジェクトでは、画像合成に必要な両画像に含まれる対応点を多数検出する手法を開発するとともに、画像変形のための拘束方法の調整を行い、歪の大きくなりがちな奥行きのある立体構造物の近接撮影画像を対象とした場合でも、鮮明な合成画像が得られるようになった(図5)。たとえば、1枚あたり約180万ピクセルの画像100枚に分割撮影したコンクリート床版の点検画像を破綻なく合成することが可能になった。

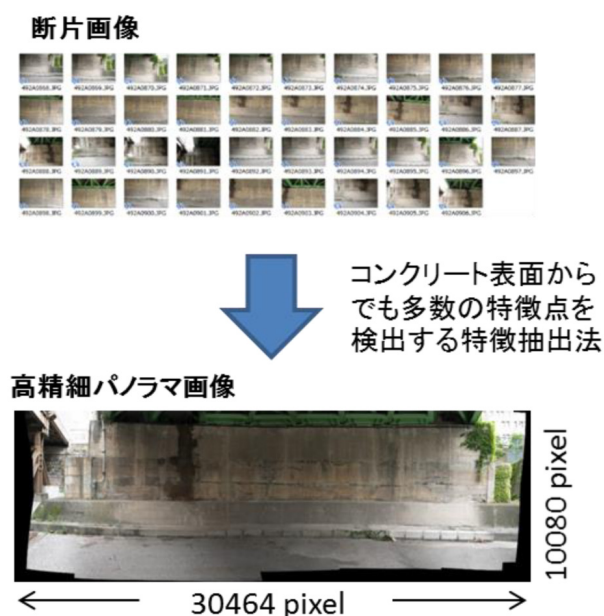


図5 高精細画像のパノラマ合成
(コンクリート橋台での実施例)

4 クラウドシステムへの実装

本プロジェクトは、開発成果が実際に道路構造物の点検現場で活用され、インフラの維持管理に役立つことでその本来の目的を達成することが出来る。本プロジェクトでは、実際の道路点検の現場に高性能PC等の高価な機材を持ち込まなくても作業できるようなシステムが必要であるとの認識のもと、道路点検現場で道路構造物を撮影し、その場でひび割れ検出結果や分割撮影の確認が可能となるようなシステムの開発を進めている。

具体的には、ひび割れの自動検出システムやパノラマ合成システムをクラウド上に実装することで、道路点検現場から撮影した点検画像の送信とひび割れ検出結果等の受信が可能なシステムの構築をすすめている（図6）。現在このシステムの一部は『ひび割れ検出 Web サービス』としてインターネット上で公開しており、ひび割れ検出性能だけではなく、利便性についても点検事業者にご評価いただいている。

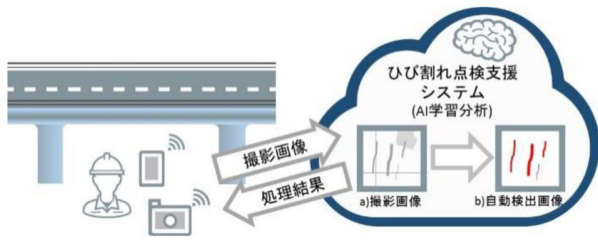


図6 クラウドへの実装
(ひび割れ点検支援システム)

最終的には、デジタルカメラとノート PC、スマートフォンやタブレット端末を点検現場に携行し、その場で撮影した写真や、ひび割れの検出結果を確認しながら点検作業を行う利用形態を想定してシステム開発を進めており、スマートフォン用のアプリの開発も進めている。

5 おわりに

今回ご紹介した NEDO の「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」の中の「道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発」では、主にひび割れの自動検出、画像合成、クラウドのシステムの開発をすすめ、当初の狙いであった、客観的かつ定量的で点検作業の効率化が可能な道路構造物のひび割れモニタリングシステムを現場で実際に利用されるシーンを想定して開発を進めている。2018 年度末の NEDO プロジェクトの終了までに、システムの仕様確定や商用化形態まで考慮したシステムの開発を進めていく予定である。2017 年 8 月にニュースリリースとともに公開したひび割れ検出 Web サービスについて、技術的な内容以外にも商用化や、道路構造物以外への応用などのお問い合わせをいただいております、本テーマに対する期待の大きさに身の引き締まる思いである。この思いは、今後も社会インフラを安全に、かつ安心して活用し、安定的に利便性を享受できるようにしていきたいという関係事業者、コンソーシアムを構成する首都高技術株式会社、産業技術総合研究

所、東北大学にも共通するものである。NEDO はコンソーシアム各者とともにシステムの開発と並行して各種展示会などの機会を利用した技術紹介、社会実装に向けた地域との連携をはかる活動などを精力的にすすめており、本プロジェクトの成果によって、社会課題の解決に資することを願っている。末筆ながら、NEDO プロジェクトにご理解いただきヒアリングや実証実験にご協力くださった方々をはじめ、関係各方面のみなさまに紙面を借りて感謝を申し上げたい。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報
平成 29 年 8 月
http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h28/29_03maint.pdf
(2018 年 2 月 15 日現在)
- 2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 事業紹介パンフレット
<http://www.nedo.go.jp/content/100871665.pdf>
(2018 年 2 月 15 日現在)
- 3) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：News Release コンクリートのひび割れ点検支援システムを開発・試験公開 ―AI を活用した高精度システムで作業時間を 1 / 10 に短縮へ―
http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100811.html
(2018 年 2 月 15 日現在)
- 4) 道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発コンソーシアム：Concrete Crack Detection Service ひび割れ検出 Web サービス β
<https://concrete.mihari.info/>
(2018 年 2 月 15 日現在)



ビッグデータの活用と期待

いしい くにひろ*
石井 邦宙*Key
ey Wordビッグデータ, IoT, AI, 深層学習, 位置情報, カープローブ,
インフラメンテナンス, G 空間情報センター

1. はじめに

2017年6月に閣議決定された「未来投資戦略2017 - Society 5.0の実現に向けた改革-」¹⁾では、IoT (Internet of Things), ビッグデータ, 人工知能 (AI), ロボット, シェアリングエコノミー等の第4次産業革命のイノベーションをあらゆる産業や社会生活に取り入れることが、先進国に共通する長期停滞を打破し、中長期的な成長を実現していく上での鍵であると位置づけている。そして、この成長戦略に必要となる第4次産業革命について、その根源となるのは「データ」であると平成29年版情報通信白書²⁾では述べられている。

同書には近年のスマートフォンの保有台数の急増が示されているが、スマートフォンを通じて提供される様々なサービスにより、利用者である我々の利便性が向上する裏側では、膨大な量のデータの蓄積が行われている。これらのデータは、マーケティングなどに活用されているが、さらなる価値の創造が期待されている。

また、これまでインターネットへの接続はパソコンやスマートフォンが中心であったが、インターネット技術やセンサー技術の進展により、家電、自動車、ビルや工場などの設備等、世界中の様々なモノがインターネットへつながり、その数は爆発的に増加しているといわれている。これが冒頭に挙げられたIoTである。IoT技術により収集・蓄積されるデータはさらに膨大なものとなっているが、これを処理するためにAIが必要不可欠となっている。

地質等の調査の分野で言えば、従来、雨量等の気象状況や地すべり等の変動を観測するために機器を設置し、その観測記録を元に状態を把握し、

対策を実施してきた。IoT技術は、家電、自動車、工場の機械などのありとあらゆるものをセンサーに変え、インターネットにつながることにより、リアルタイムなセンシングしたデータの収集を可能とした。

このように、様々なモノがセンサーの役割を果たし、かつ連続的にデータが記録されるようになったことで、従来とは異なった方法で、様々な状態を把握できるようになっている。

本稿では、このようなデータの例を紹介するとともに、インフラメンテナンスの分野での活用事例を紹介していきたい。

2. ビッグデータの例

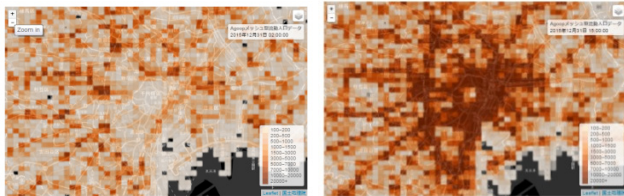
ビッグデータとは、「ソーシャルメディア内のテキストデータ、携帯電話・スマートフォンに組み込まれたGPS (全地球測位システム) から発生する位置情報、時々刻々と生成されるセンサーデータなど、ボリュームが膨大であると共に、構造が複雑化することで、従来の技術では管理や処理が困難なデータ群」と解説されている³⁾。ビッグデータの例について、G空間情報センター⁴⁾ (平成24年3月に政府で閣議決定された地理空間情報活用推進基本計画に基づき設立) で紹介、もしくは入手が可能なデータを中心に紹介する。

2-1. 携帯電話やスマートフォンの位置情報

携帯電話やスマートフォンに組み込まれたGPSや、基地局の位置を元にした位置情報であり、個人の行動が特定されないよう、匿名化されている。図1は、このような携帯電話の位置情報を、メッ

*アジア航測株式会社 社会基盤システム開発センター G空間 biz推進部 部長

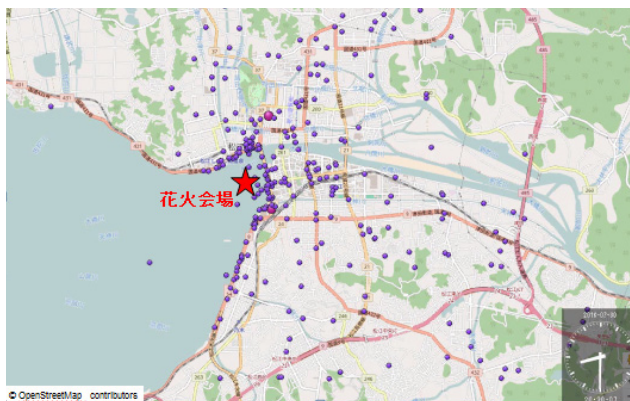
シュ単位、時間単位の滞在人数として統計処理されたデータ例であり、東京の山手線を中心とするエリアを表示したものである。濃い色ほど滞在人数が多いことを示しており、日中の時間帯には山手線などの鉄道沿線などに人が集まっている様子がわかる。



(左:2015/12/31 2:00, 右:2015/12/31 15:00)
※ Agoop 社メッシュ型流動人口データ 250m を使用

図1 滞在人口の変化の可視化例⁴⁾より閲覧可能

図2は、同じく携帯電話の位置情報をポイントデータとして扱っている例である。花火大会の行なわれている時間帯に、花火大会の打上げ場所(図中の星印)を取り囲むように、湖岸に人(小さな丸印)が集まっているのがわかる。図1に示したデータとの違いは、移動経路を確認できることである。動画はG空間情報センター⁴⁾のショーケースで確認できる。



※ Agoop 社ポイント型流動人口データを利用
※背景図にはオープンストリートマップを利用

図2 花火大会における人の流れの可視化例⁴⁾

2-2. カープローブデータ

車両に搭載されたカーナビゲーションシステムは、位置を把握するためにGPSを利用している。この位置情報を使い、携帯電話の位置情報と同様に車の流れが把握できる。

東日本大震災や熊本地震の際には、ITS Japanが各自動車メーカー等のプローブ情報を集約し、「自動車通行実績情報」として公開した⁵⁾。広範囲に多数の箇所で行き止まりが発生し、その把握には時間を要したが、「自動車通行実績情報」が公開されることで、通行可能な道路が把握でき、物資輸送等に活

用された。

図3は、2018年2月北陸豪雪で車両の立ち往生が発生した石川県～福井県の国道8号線周辺の車両の通行実績を示したものである。背景図の上にある濃い線は、2018年2月8日の0時～24時の各1時間に、3台以上の車両の通行実績があった区間を示したものである。図の中央部の太枠内の中心線付近にある国道8号線に車両の通行実績はなく、通行止めを確認することができる。

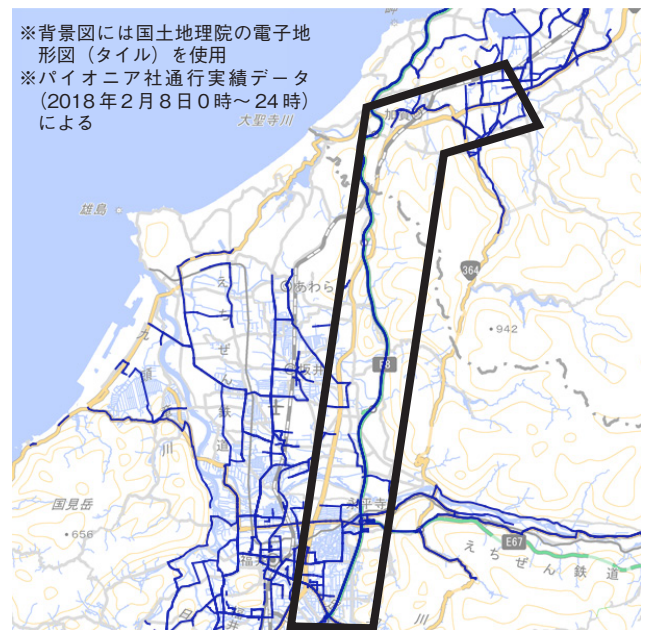


図3 2018年2月北陸豪雪の車両の通行実績⁴⁾
(2018年2月21日をもって公開終了)

2-3. SNS

SNSには、リアルタイムな状態の行動や状況が投稿される。これをもとに、観光振興、災害時情報収集、公共事業評価などに活用されている。図4は、国立研究開発法人情報通信研究機構が開発した災害時に投稿されるSNS情報を整理・集約するシステムによる、2016年の熊本地震の際の投稿データを分析した事例である。起こっている事象とおおよその場所を把握することが可能である。



図4 2016年熊本地震時のSNS情報による災害情報分析試行事例⁶⁾

3. ビッグデータのインフラメンテナンスへの活用

道路等のインフラの高齢化が進む中で、維持修繕が必要となっているが、財政状況や熟練技術者の減少が課題として挙げられている。これを新しい技術により解決していこうという取り組みが「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」⁷⁾をはじめとして、様々な機関等で行われている。

ここでは、ビッグデータやAIを活用した事例として、筆者が一部参加しているものを紹介する。

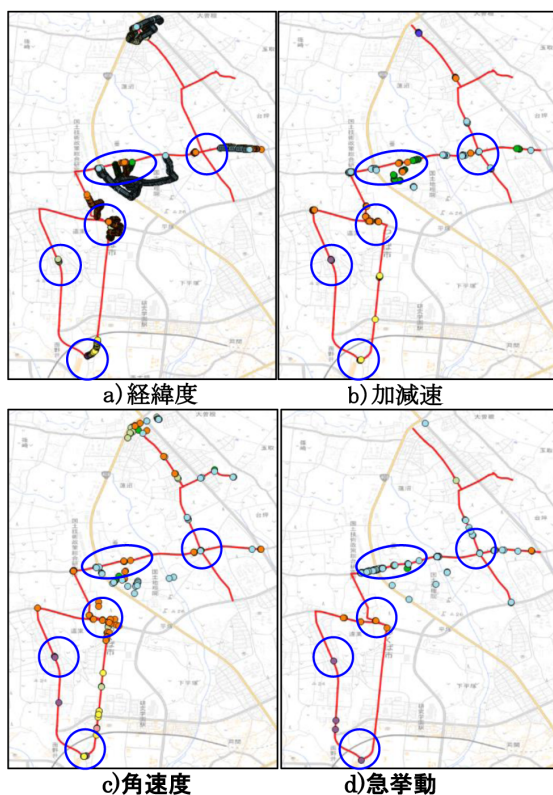


図5 車両に取り付けたスマートフォンから得られた経緯度・加減速・角速度・急挙動の各指標で特異な値が観測された箇所⁸⁾
※背景図には地理院地図を利用



図6 スマートフォンセンサー端末⁸⁾

図5は、カープローブデータを活用し、道路の舗装の劣化箇所を推定する取り組み例である⁸⁾。図3で示したカープローブは車両の緯度・経度情報だけを利用した事例であったが、図5では緯度・経度情報に加え、速度、加速度も利用した。車両に取り付けたスマートフォン(図6)から得られるこれらの情報を元に、距離・方位角、速度、重力加速度を算出し、経緯度、加減速、角速度、急挙動の4つの指標に対して設定した閾値に対し、特異な値が観測された箇所を、舗装の劣化の可能性のある箇所として抽出した。図5で丸く囲まれた箇所は、複数の指標で共通して特異な値が発生した箇所である。実際にそのほとんどの箇所は、別途行われた路面性状調査の結果、修繕が必要という結果であった。

図7は、国立研究開発法人情報通信研究機構の「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発、課題D 地域・社会課題解決のための異分野ソーシャル・ビッグデータの横断的利活用による近未来予測技術に関する研究開発」の中で実施されている事例である⁹⁾。車両に取り付けたスマートフォンで撮影された画像を用いた深層学習

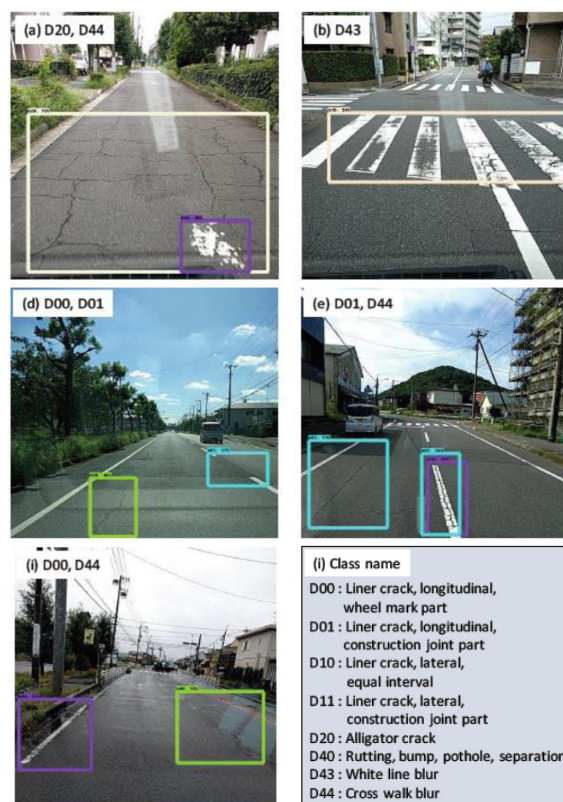


図7 スマートフォンで撮影された画像を用いた深層学習による路面損傷判定⁹⁾より抜粋

による路面損傷の自動判定結果である。自治体の道路管理担当職員によって分類された路面損傷の画像を教師データとして用いて学習させることにより、路面損傷の有無、損傷がある場合の修繕の要・不要の判定を自動で行うことを目指している。修繕の必要な箇所 500 箇所に対し、94.8%の再現率で修繕の必要性を判定できるようになっている（表 1）。

表 1 深層学習による路面損傷判定結果⁹⁾

| 10,000回学習させた場合 | | 正解 | | | 適合率 (Precision) | |
|----------------|------|-------|-------|-------|--------------------|----|
| | | 損傷なし | 損傷あり | | | |
| 予測 | 損傷なし | 480 | 11 | 1 | 97.5% | |
| | | 損傷あり | 修繕不要 | 15 | 441 | 25 |
| | 修繕必要 | 5 | 48 | 474 | 89.9% | |
| 再現率 (Recall) | | 96.0% | 88.2% | 94.8% | 精度=93.0% | |

4. おわりに

本稿では、「2. ビッグデータの例」で、スマートフォンやカーナビゲーションシステムなどの機器がセンサーとして情報を取得した事例を紹介した。それらの無数のセンサーによって得られる情報を解析することで、時間的、空間的な状態を的確に捉えられることを、人の流れや車の流れを例として示した。

「3. ビッグデータのインフラメンテナンスへの活用」では、そのようなデータのうち、位置以外に速度や加速度といった車の動きを計測したデータから特異値を抽出することで、道路の損傷箇所を抽出した事例を紹介した。従来、特定の機器や手法による調査で行っていたことが、不特定多数の車のデータを利用することで実現できた事例である。また、車両に取り付けられたスマートフォンで撮影された大量の画像から、深層学習によって路面の損傷程度を判別した事例を紹介した。従来人が目視で確認し判断していたことを、自動で精度よく実現した事例である。

このように、ビッグデータや AI といった技術は、従来の調査手法が劇的に変わるだけでなく、結果を得るまでの時間も大幅に変える力を持っている。熟練技術者の不足やコストという課題を解決できる可能性がある。また、従来、センシングできる地点は限られていたが、ありとあらゆるものがセンサーとしての可能性を持つことで、それは空間的な広がりを持ち、センシング可能なデータの種類も豊富になってきている。

インフラの高齢化が進む中、限られたコスト、限られた技術者でそれを支えるために、ビッグデータ、AI 等の技術の活用と、空間的な把握をするための GIS 技術は、必要不可欠な技術であると考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 首相官邸日本経済再生本部：未来投資戦略 2017—Society 5.0 の実現に向けた改革—
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017_t.pdf
(2018 年 2 月 11 日現在)
- 2) 総務省：平成 29 年版情報通信白書
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/index.html>
(2018 年 2 月 11 日現在)
- 3) 総務省：平成 28 年版情報通信白書用語解説
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/28yohgo.pdf>
(2018 年 2 月 11 日現在)
- 4) 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会：G 空間情報センター
<https://www.geospatial.jp/> (2018 年 2 月 11 日現在)
- 5) 内閣府：国と地方・民間の「災害情報ハブ」推進チーム第 1 回検討会「資料 4 災害時の通行実績情報提供から地域主体の情報システムの構築へ（天野委員御説明資料）」
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/saigaijyuhouhub/dai1kai/pdf/shiryu4.pdf> (2018 年 2 月 11 日現在)
- 6) 国立研究開発法人情報通信研究機構：D-SUMM 災害状況要約システム熊本地震試用版
<https://disaana.jp/d-summ-km/>
(2018 年 2 月 11 日現在)
- 7) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術
<http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>
(2018 年 2 月 11 日現在)
- 8) 今井龍一、松井晋、松島敏和、池本智、中西良成：「カープロープデータ及び MMS を用いた道路劣化分析の効率化に関する一考察」、第 33 回ファジィシステムシンポジウム, 2017.9
- 9) Hiroya Maeda, Yoshihide Sekimoto, Toshikazu Seto, Takehiro Kashiya, Hiroshi Omata: 「Road Damage Detection Using Deep Neural Networks with Images Captured Through a Smartphone, arXiv:1801.09454v1, <https://arxiv.org/abs/1801.09454>, 2018.1

やさしい
知識インフラメンテナンス
国民会議

国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課

Key Word

インフラ老朽化対策、インフラ長寿命化計画、インフラメンテナンス国民会議、現場試行、戦略的イノベーション創造プログラム、インフラメンテナンス大賞

1. はじめに

我が国の社会資本ストックは高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化することが懸念されており、インフラのメンテナンスは、国のみならず、インフラの多くを管理している自治体等を含めた、我が国全体の大きな問題となっています。(表-1)

表-1 社会資本の老朽化の現状

《建設後50年以上経過する社会資本の割合》

| | 2013年3月 | 2023年3月 | 2033年3月 |
|---|---------|---------|--------------|
| 道路橋 【約40万橋 ^{注1)} (橋長2m以上の橋約70万のうち)】 | 約18% | 約43% | 約67% 50%増 |
| トンネル 【約1万本 ^{注2)} 】 | 約20% | 約34% | 約50% 30%増 |
| 河川管理施設(水門等) 【約1万施設 ^{注3)} 】 | 約25% | 約43% | 約64% 40%増 |
| 下水道管きよ 【総延長:約45万km ^{注4)} 】 | 約2% | 約9% | 約24% 20%増 |
| 港湾岸壁 【約5千施設 ^{注5)} (水深-4.5m以深)】 | 約8% | 約32% | 約58% 50%増 |

注1) 建設年度不明橋梁の約30万橋については、割合の算出にあたり除いている。
注2) 建設年度不明トンネルの約250本については、割合の算出にあたり除いている。
注3) 国管理の施設のみ。建設年度が不明な約1,000施設を含む。(50年以内に整備された施設については概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約50年以上経過した施設として整理している。)
注4) 建設年度が不明な約1万6千kmを含む。(30年以内に布設された管きよについては概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約30年以上経過した施設として整理し、記録が確認できる経過年数毎の整備延長割合により不明な施設の整備延長を推定し、計上している。)
注5) 建設年度不明岸壁の約100施設については、割合の算出にあたり除いている。

このような背景を踏まえ、国土交通省では、平成25年を「メンテナンス元年」とし、平成26年5月に戦略的な維持管理に関する基本的な考え方や、国土交通省が取り組むべき施策をとりまとめた「インフラ長寿命化計画(行動計画)」を策定し、インフラの老朽化対策に取り組んでいます。

この計画を着実に実施するためには、インフラメンテナンスに係るコストの縮減・平準化を図るなどして戦略的なメンテナンスに取り組んでいく必要があります。この取組を加速化させるため、産学官民が一体となって技術や知恵を総動員し、インフラのメンテナンスに社会全体で取り組むためのプラットフォームとして、平成28年11月に「インフラメンテナンス国民会議(以下、国民会議)」が設立されました。

本稿では、国民会議の目的・組織体制などの概

要とともに、これまで国民会議が取り組んできた具体的な活動等について紹介します。

2. 活動の目的と推進体制

国民会議は、理念に賛同し活動に意欲のある企業、研究機関、施設管理者、市民団体等が参加し、以下の目的を実現するために活動しています。

1. 革新的技術の発展と社会実装
2. 企業等の連携の促進
3. 自治体への支援
4. インフラメンテナンスの理念の普及
5. インフラメンテナンスへの市民参画の推進

国民会議では、全体の方針等を決定する「実行委員会」、企画や広報等における実施事項を決定する「部会」、さまざまなテーマで具体的な活動を実施する「公認フォーラム」を設置しており、会員による自主的な運営が行われています。(図-1)

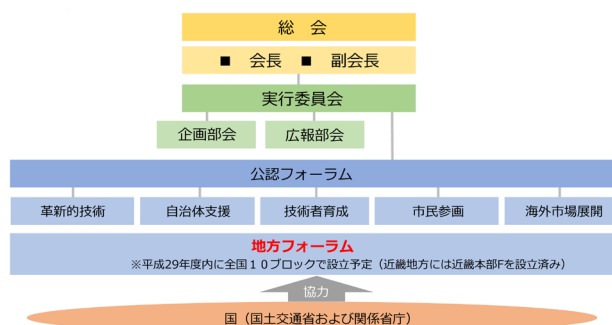


図-1 国民会議の組織体制

3. 公認フォーラムにおける具体的な取組

公認フォーラムにおいては、企業の連携や技術の融合を促進する「革新的技術フォーラム」や、自治体の課題解決に向け、ノウハウ共有や議論を行う「自治体支援フォーラム」等が現在設立されており、本

稿では各フォーラムでの取組を交えながら国民会議の活動について説明します。

3.1 革新的技術フォーラムの取組

革新的技術フォーラムは、施設管理者のニーズや技術の課題を明確化して、これを解決できる技術をもった企業に参加いただき、企業同士の連携や、技術開発のための実証を行うフィールドの提供を行うマッチングの場として開催しています。

具体的な取組の一つとして、会員の地方自治体の多数がインフラメンテナンスの課題として「道路路面性状把握の効率化」を挙げたことを踏まえ、技術開発が進む同技術について今後自治体が各技術の特徴を掴み、適切な技術の採用を後押しするため、同技術の実践事例や技術紹介（7技術）を行う「道路舗装の自治体現場における実践事例セミナー」を平成29年5月に開催しました。

本セミナーでは、国土技術政策総合研究所による国土交通省の取組の紹介、民間企業から「道路路面性状把握の効率化」技術の特性等の説明、地方自治体から管理者の視点を交えた現場実証や実装に向けた取組の紹介等が行われました。（図-2）

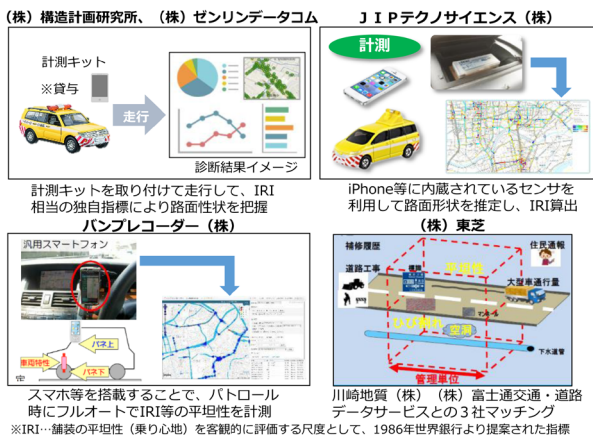


図-2 道路路面性状把握の効率化技術の例

また、AI時代を迎えるにあたり、「ビッグデータを扱う施設管理者や技術開発に携わる企業等に求められる視点」及び「ビッグデータ活用のための環境整備のあり方」を明らかにし、今後の企業連携や官民連携のきっかけとするためのセミナーを平成29年10月に開催しました。

AI活用の可能性や最新技術・取り組みの紹介があったほか、良質で大量のデータが深層学習に必要であること、教師データを産学官で連携して整備する必要性、AIを活用した「人の判断」支援による生産性向上の方向性等が共有されました。

当日はオンラインでリアルタイム配信を行うなど、全国の自治体や企業等に幅広く視聴していただく工夫を行いました。（図-3）

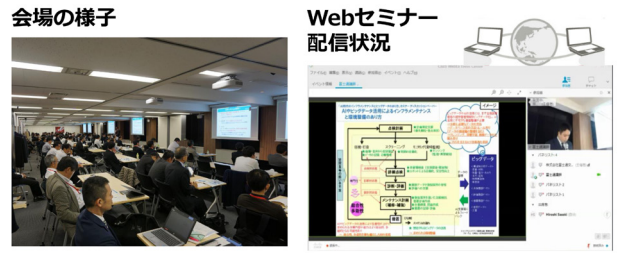


図-3 セミナー・Web配信の様子

3.2 自治体支援フォーラムの取組

自治体支援フォーラムでは、地方自治体がメンテナンスに係る課題を提示し、他の地方自治体や民間企業等が課題に対するノウハウやアイデアを提供し、自治体が抱える課題の解決につなげていくための場として開催しています。

具体的な活動としては、個別の地方自治体を支援する国民会議の新たな取組のモデル実践として、出前形式での自治体支援フォーラムを郡山市で平成29年6月に開催し、現地視察や以下の4テーマを取り上げて班別討議を行いました。（図-4）

- ・橋梁長寿命化修繕計画の策定
- ・道路舗装の予防保全型維持管理の導入
- ・道路維持補修業務における地域建設業の連携やノウハウの活用方法の模索
- ・市民参画の可能性

現地視察（大黒橋）



班別討議

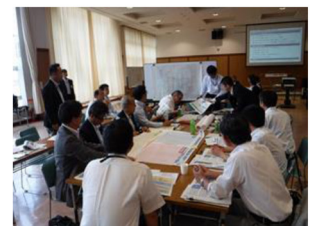


図-4 自治体支援フォーラム（出前形式）の活動

これらの議論を踏まえて、新技術の導入に向けた現場実証や地域での産学官民の取組の深化等の郡山市での新たな取組につなげるとともに、優良な取組の他地域への展開を検討していきたいと考えています。

また、その他の取組として、自治体同士で新技術等導入における経緯、課題、解決策等を共有し、課題を解決するアイデア等を生み出すフラットな交流

の場として「新技術導入研究・意見交換会」を品川区で平成 29 年 12 月に開催しました。(図-5)

自治体同士のディスカッション 先進自治体等による意見交換



図-5 新技術導入研究・意見交換会の活動

本イベントにおいては主に関東圏の地方自治体の維持管理業務担当者へ出席いただき、新技術導入における課題等を議論しました。以下に当日出された意見の例を示します。

- ・新技術導入のメリット、期待される効果を把握することが難しい
- ・新技術の実証結果等が幅広く自治体に共有されれば住民説明に有用となる
- ・中堅の技術者が少ない中でどのように技術継承を図っていくかが課題
- ・LCC・アセットマネジメント等を導入するために情報共有の効率化が必要

今後は本フォーラムでの議論を踏まえて、維持管

理分野への新技術導入において各自治体が抱える課題を整理していき、各課題を解決する取組事例について研究を深め、横展開を図ることとしています。

4. 国民会議の今後の活動展開

ここまで説明してきたようなフォーラム活動に地方自治体や地方の担い手が参加しやすいように、国民会議では全国 10 ブロックへのフォーラム活動の展開に取り組むこととしています。(図-6)

平成 28 年度には近畿本部フォーラムが設立され活動を開始したほか、中部・北陸でも地方での試行的なフォーラム開催に取り組んでおり、平成 30 年 2 月中旬までには中部・四国・九州ブロックで地方フォーラムが設立されたところであり、平成 29 年度以内に全国 10 ブロックでフォーラムが設立される見込みです。

今後は既存のフォーラム活動の本格化に加えて、地方への展開も推進していくことで、会員間の連携・交流を活性化していきたいと考えています。また、S I P (戦略的イノベーション創造プログラム) 等をはじめ、維持管理の効率化に有用な技術開発が進んでおり、これらの技術を幅広く取り上げていくことで、各地方におけるインフラメンテナンスの課題解決につなげていきたいと考えています。

新技術の活用



メンテナンスの課題を解決する技術等の紹介や技術マッチング



新技術導入の検討の現場試行の調整

地域一体で取り組むメンテナンス



各地の地域によるメンテナンス活動の紹介



地域一体の取組みへのサポート

民間のノウハウ活用



包括的民間委託等の民間活用取組み事例の紹介



個別施設設計画の策定・実施の課題解決につながるアイデア紹介

技術者体制づくり



技術者の確保や育成に関する各地での取組み紹介



地域における技術者派遣の仕組みづくりの支援

図-6 地方フォーラムの活動内容例

5. インフラメンテナンス大賞の水平展開

インフラメンテナンスに関わる事業者、団体、研究者等の取組を促進し、メンテナンス産業の活性化を図るとともに、インフラメンテナンスの理念の普及を図ることを目的として、国土交通省、総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、防衛省の6省は平成28年11月にインフラメンテナンスに係る優れた取組や技術開発を表彰する「インフラメンテナンス大賞」を創設しました。

第1回の大賞は平成28年11月に募集を開始し、248件の応募があり、有識者による選考委員会の審査を経て、各省所管施設を対象に計28件（各省大臣賞、特別賞、優秀賞）の受賞者を決定し、平成29年7月24日に表彰式を開催しました。

第2回については平成29年10月から11月までに案件を募集して審査を進めているところです。インフラメンテナンス大賞は、今後毎年実施する予定であり、国民会議としても地方展開に併せて、優れた技術や取組である受賞案件を幅広く紹介して全国への水平展開を図っていく予定です。

6. おわりに

国民会議の取組を通じ、オープンな議論等による会員同士の連携・交流の結果として企業連携や官民マッチングによる現場試行等のオープンイノベーションの事例が生まれてきました。（図-7）

今後は国民会議とインフラメンテナンス大賞を車の両輪として、インフラメンテナンスのあらゆる段階で様々な技術や民間のノウハウを活用してインフラメンテナンスの生産性革命を実現する社会課題の解決に取り組むことで「インフラメンテナンス革命」を推進し、全国隅々にまでメンテナンス実施体制の確立の支援を進めていきます。


なお、国民会議では、国民会議ホームページにおいて会員を随時募集しており、平成30年2月現在、800を超える企業、団体、自治体、個人の方に会員登録いただいています（会費無料）。本誌を読まれて関心をお持ちになられた方は、ホームページからぜひ会員となっただき活動に参加頂ければ幸いです。

（インフラメンテナンス国民会議 HP：

<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/im/index.html>）

< 官民マッチング（企業の連携、技術の融合） >

※マッチング案件に関する証明、認証、技術の裏付けを国が行うものではない

| | |
|---|--|
| <p>道路舗装面点検手法の確立・路面下情報の一元的管理・見える化</p> <p>カメラによる舗装ひび割れ解析技術 × スマートフォンによる平坦性把握技術 × レーダーによる空洞探査技術</p> <p>TOSHIBA × FUJITSU × 川崎地質株式会社</p> <p>東芝インフラシステムズ × 富士通交通・道路データサービス × Kawasaki Geotechnical Engineering Co., Ltd.</p> | <p>簡便な道路舗装面点検手法の確立・路面下情報の一元的管理・見える化を技術開発中 → 点検の効率化</p>  |
| <p>路面性状把握技術の海外展開</p> <p>スマートフォンによる平坦性把握技術 × ASEAN地域における地図情報技術</p> <p>FUJITSU × Increment P</p> <p>富士通交通・道路データサービス × インクリメントP</p> | <p>海外での技術適応性評価と新たな道路関連情報サービスの実現を目指し「舗装劣化状況把握技術の実証実験」をタイで実施(H28.12)</p>  |

< 官民マッチング（現場試行等） >

| | |
|---|--|
| <p>樹木管理技術</p> <p>桑名市 × 応用地質株式会社</p> <p>非破壊かつ、スピーディーに腐朽診断が可能な技術を試行 (H29.2.9)</p>  | <p>路面性状把握技術</p> <p>浜松市 × TOSHIBA</p> <p>カメラによる舗装ひび割れ解析技術を試行し、約30kmの解析を実施 (H29.2.23)</p>  |
| <p>下水道点検調査技術</p> <p>岡崎市 × 豊橋市 × 株式会社 カンツール</p> <p>下水道本管から取付管を調査するTVカメラシステムを試行 (H29.2.15/16)</p>  | <p>橋梁点検診断の技術力向上</p> <p>中津川市 × 大日本道路試験機</p> <p>隣接市との橋梁点検診断の官民連携勉強会の試行 (H29.2.17)</p> <p>勉強会の様子</p>  |
| <p>道路の路面及び路面下の性状把握技術</p> <p>葛飾区 × 足立区 × カナン地質 × IWANE 岩根研究所</p> <p>地中レーダ&全周囲カメラを用いた地下と地上の全方位3次元マッピング技術を現場試行 (H29.4.24)</p>  | <p>局部的損傷の点検・診断・措置の一貫技術</p> <p>浜松市 × 桑都郡山 × NICHIREKI</p> <p>局部的な損傷にあわせた点検・診断のメテオリアル一貫システムを試行し、100kmの点検・診断・措置を実施 (H29.4.19/20, 5.11/12, 6.6/7(浜松市), 7.3~(郡山市))</p> <p>計測状況</p>  |
| <p>橋梁点検支援技術</p> <p>阪南市 × NME 研究所</p> <p>梯子・足場の設置等が困難で長時間の通行止が不可能な橋梁に対し、狭幅員橋梁に用いる移動式検査路を活用した点検を試行 (H29.10.12)</p>  | <p>高機能排水性舗装技術</p> <p>桑都郡山 × GAEART</p> <p>冬季凍結の事故対策として、カーブ、坂対策のための舗装を実施（ガルベニング工法の比較）(H29.11下旬)</p>  |

図-7 国民会議の活動による企業連携・技術マッチングの成果例

基礎技術 講座

三次元仮想空間映像による 三次元地盤モデルの表現

なかだふみお
中田 文雄*

Key Word 三次元, 仮想空間, VR, 映像, 地盤モデル, 地質モデル, 属性情報, CIM

1. はじめに

2017年12月、内閣府と（国研）海洋研究開発機構が主催する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代海洋資源調査技術（海のジパング計画）のシンポジウム「－海洋資源調査産業の創出に向けて－」が東京都内で開催されました。パネルディスカッションでは、三次元音波探査などの成果を3DVR（Virtual Reality：仮想現実）ゴーグルを使用して、三次元仮想空間映像で表現するプレゼンテーションが行われました¹⁾。探査結果を三次元空間映像として表現し、それを多くの研究者や技術者が共有することにより、ボーリング調査を行う場所の決定精度が向上し、経費縮減が見込めるといった説明がありました。

国土交通省では、2017年3月31日に『CIM導入ガイドライン（案）²⁾』を公開しました。同案には、表-01に記載した大項目の一次元、準三次元と三次元の各地盤モデルの定義などが掲載されています。一方、同省は同時に『CIM事業における成

果品策定の手引き（案）³⁾』も公開しました。この手引きでは、CIM事業に関する地質調査の成果は、ボーリングモデルなどの3種類のみであって、三次元地盤モデルに関する記載はありません。しかし、現在策定中である手引き（案）の改定版では、表-01に示した三次元地盤モデルの大部分が成果品に組み込まれるという情報があります。

（一社）全国地質調査業協会連合会（以後、全地連）・（一社）日本建設情報総合センターは、前述のガイドライン（案）などに先行する2016年11月に、『三次元地盤モデル作成の手引き⁴⁾』（以後、モデル作成手引き）を公開しました。

『地質と調査2017年第3号』の基礎技術講座⁵⁾には、「地盤の三次元解析－モデリング－」という題で、三次元地質モデルの概要やその作成方法（モデリング）などについての解説が掲載されています。

三次元地盤モデルに対する筆者の認識を以下にまとめます。

表-01 本文で紹介する三次元地盤モデル

| モデル名称 | 説明 / 定義 | |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| 一次元地盤モデル | | |
| ボーリングモデル | 円柱に簡略柱状図(カラーイメージ)を貼り付けたモデル。 | |
| 円筒モデル* | 円筒の内側壁面にテクスチャを貼ったモデル | |
| 準三次元地盤モデル | | |
| テクスチャモデル(準三次元平面図) | 地形のワイヤーフレームにテクスチャを貼ったモデル | |
| 準三次元断面図 | 地質断面図のワイヤーフレームにその断面図を貼ったモデル | |
| 三次元地盤モデル | | |
| 境界面モデル** | 地層などの境界面形状に属性を持つテクスチャを貼ったモデル | |
| パネルダイアグラム | 境界面モデルから任意に設定した断面モデル | |
| ソリッドモデル | 疑似ソリッドモデル* | テクスチャモデルとパネルダイアグラムを組み合わせたモデル |
| | 柱状体モデル | 平面的にはセル、深さ方向は地層等の境界とするモデル |

注 *：筆者による独自定義です。**：従来の「サーフェスモデル」のことを言います。

*（NPO）地質情報整備活用機構

- 3DCAD で作成される構造物の三次元形状は、部品メーカーなどから提供された実寸値に基づいて作成されるため、極めて正確な位置情報を持っている。
- 三次元地盤モデルは、ボーリングなどの点群データを入力値とし、コンピュータ演算によって推定された地層境界面モデルが基本であり、結果的に形状の座標(寸法)精度は必ずしも高くない。
- 三次元地盤モデルの形状(寸法)に対して、詳細設計に直接利用できる精度を期待することは当面無理があり、三次元地盤モデルは立体パース的な利用方法が最適であろう。

本講座では、3DCG (Computer Graphics) 技術を用いて、三次元地盤モデルをウェブブラウザの三次元の仮想空間内に立体映像として表現する方法と、数種類の映像例を紹介します。

2. 3DCG による三次元地盤モデルの表現

3DCG を利用してモデルを映像化するには、コンピュータに専用のアプリケーションをインストールする方法、コンピュータの OS に準拠して設計されたウェブブラウザを使用する方法と、その両者を組み合わせる方法があります。

本文は、ウェブブラウザを使用する方法と、両者を組み合わせる方法に限定して記述します。

2.1 WebGL

WebGL は、ウェブブラウザで 3DCG を表現させるための標準的な規格(仕様)で、最新のウェブブラウザには標準的に装備されています。コンピュータにグラフィックスハードウェアが装備されていると、動作速度が向上します。現時点では、透過度 0 (透明) を持つ壁面の取り扱いに難があるため、表-01 に示したテクスチャモデルなどを表現する技術として利用されています。

2.2 VRML

VRML (Virtual Reality Modeling Language : 仮想現実モデリング言語) は、テキスト文字で三次元表現できるように設計されたファイルフォーマットです。

VRML をブラウザで三次元的に表現するためには、例えば「Cortona3D Viewer」といったプラグインをインストールする必要があります。このプラグインは、かなり質感の良い三次元仮想映像を表現できたり、透明を持つ壁面を取り扱えるという特徴があります。しかし、プラグイン自体の設計

が古いため、現在対応できるブラウザは、Internet Explorer 11 と Mozilla Firefox ESR (52) のみになりました。

3. 三次元モデルの表現例

本文では、全地連が公開している「CIM に対応するための地盤情報共有基盤開発ウェブサイト(以後、CIM 対応サイト)⁶⁾」を利用して、筆者が作成した三次元地盤モデルを、ウェブブラウザで立体感のある映像として表現する方法に限定して記述します。

一部のコンテンツを除き、「[デモサイト] 三次元地盤モデル(以後、デモサイト)⁷⁾」で、一般に公開されています。興味のある方は、アクセスしてください。

3.1 テクスチャモデルの例

図-01 は、WebGL で構築した鎌倉市中心部の土砂災害警戒区域図の立体モデルです。平地と丘陵地の違いが視覚的に理解できます。

地形は、東西 77 区画南北 65 区画で各々の間隔が 50m のメッシュデータです。CIM 対応サイト⁶⁾の標高取得機能を利用して、国土地理院のサーバから標高値を自動取得しました。なお、海上の標高は得られないので、全て 0m としました。

警戒区域図データ(キャプチャイメージ)は、地質情報ポータルサイト⁸⁾で公開されている地図タイトルの閲覧ページから、神奈川県土砂災害警戒区域図を入手して加工しました。

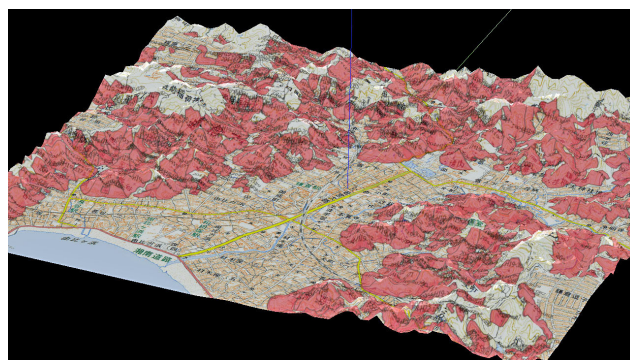


図-01 鎌倉市中心部の土砂災害警戒区域図⁸⁾

3.2 ボーリングモデルと準三次元断面図の例

図-02 は、VRML で構築した高知市中心部のボーリングモデルと準三次元地質断面図です。CIM 対応サイト⁶⁾にアクセスし、三次元地盤のデモ>地図メッシュ-2464、と遷移することで、この三次

元映像を閲覧することができます。

この方法は、複数の地質断面図を立体的に組み合わせることで表示できるので、断面図交点の整合性を検証する際に有効です。また、映像を連続的に巡回表示させると、残像効果によって地層の三次元構造が理解できるかもしれません。

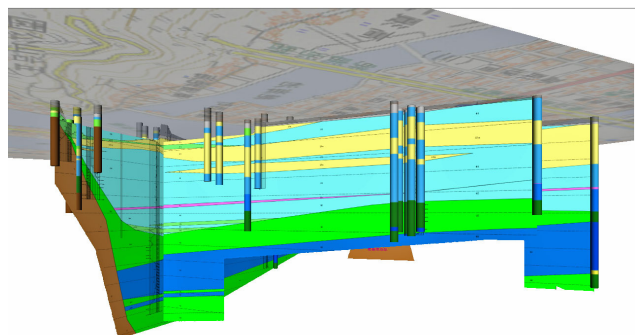


図-02 高知市中心部のボーリングモデルなど⁶⁾

3.3 境界面モデルの例

本文の境界面モデルとは、CIM対応サイト⁶⁾やモデル作成手引き⁴⁾で、サーフェスモデルと称されているモデルです。これらの文献におけるサーフェスの意味は、CG用語上のサーフェス（表面モデル）とは厳密的に異なっているため、本文では

境界面モデルとしたものです。

境界面モデルの作成過程を図-03に例示します。これらの映像には、半透明状の地表テクスチャとボーリングモデルを併せて表示してあります。

図-03 (S1)と同 (S2)は、CIM対応サイト⁶⁾を使用して作成した二つの境界面モデルです。いずれも、それぞれを個別に表現しているだけの半完成品です。

地質構造の論理モデルを適用してこれらを合成すると、(S1+S2)の境界面モデルが得られます。

デモサイト⁷⁾にアクセスし、「鹿児島市内中心部の地質構造 その1」と遷移することで、(S1+S2)の実物映像を閲覧することができます。

3.4 パネルダイアグラムの例

図-04は、CIM対応サイト⁶⁾を使用して作成した複数のパネルダイアグラムを組み合わせた映像です。対象とした場所は、鹿児島市中心部の3.5km×3.5kmの範囲です。地質の状況やモデルの作成過程などについての詳細は、田中らの論文⁹⁾と中田らの論文¹⁰⁾を参照してください。

図-04 (a)は、対象範囲の外側にパネルダイアグラムを貼り付けたモデルです。パネルを不透明で表現したので、地層の分布状況が理解しやすいかもしれません。

図-04 (b)は、三次元モデルを作成するために使用した9枚の地質断面図^{9) 10)}とほぼ同じ場所のパネルダイアグラムです。地質技術者の作成した地質断面図と、地層境界面の推定結果から作成した断面図の整合性の検証に使用しました。

図-04 (c)は、東西方向に250m間隔に設定したパネルダイアグラム群、図-04 (d)は、直交方向に250m間隔で設定したパネルダイアグラム群です。数多くのパネルダイアグラム群を作成した目的は「4章」に記述します。

3.5 杭の打設状況をイメージしたモデルの例

図-05は、建築物の杭基礎の打設状況をイメージして作成したモデルです。

図-05 (a)は、境界面モデル+パネルダイアグラム+支持杭の三次元モデルです。支持層を「D」、直上の軟弱層を「Ac」とした場合、支持杭は全て「D」に達しているように見えます。

これに対して図-05 (b)は、支持杭の部分にもパネルダイアグラムを表現した映像です。「Ac」の部分パネルダイアグラムから読み取れるため、図-05 (b)で○を付けた数本の杭で、先端が支持層Dに届いていないことがわかります。

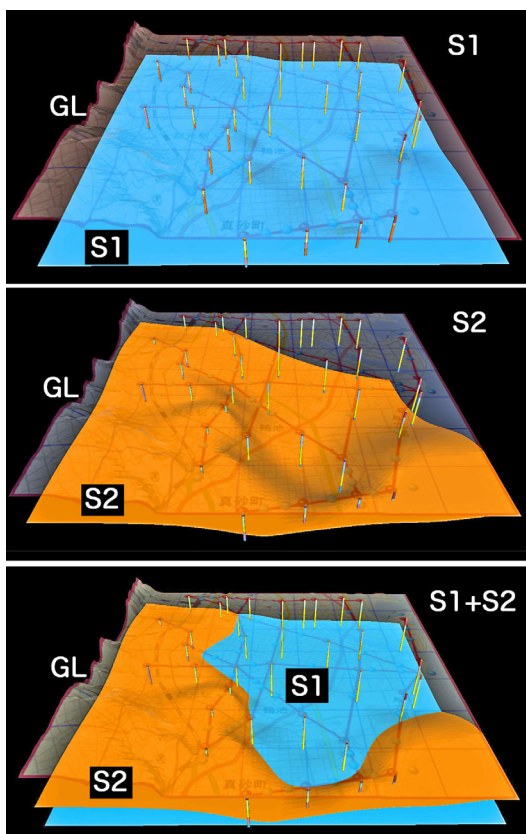


図-03 境界面モデルの表現例⁷⁾

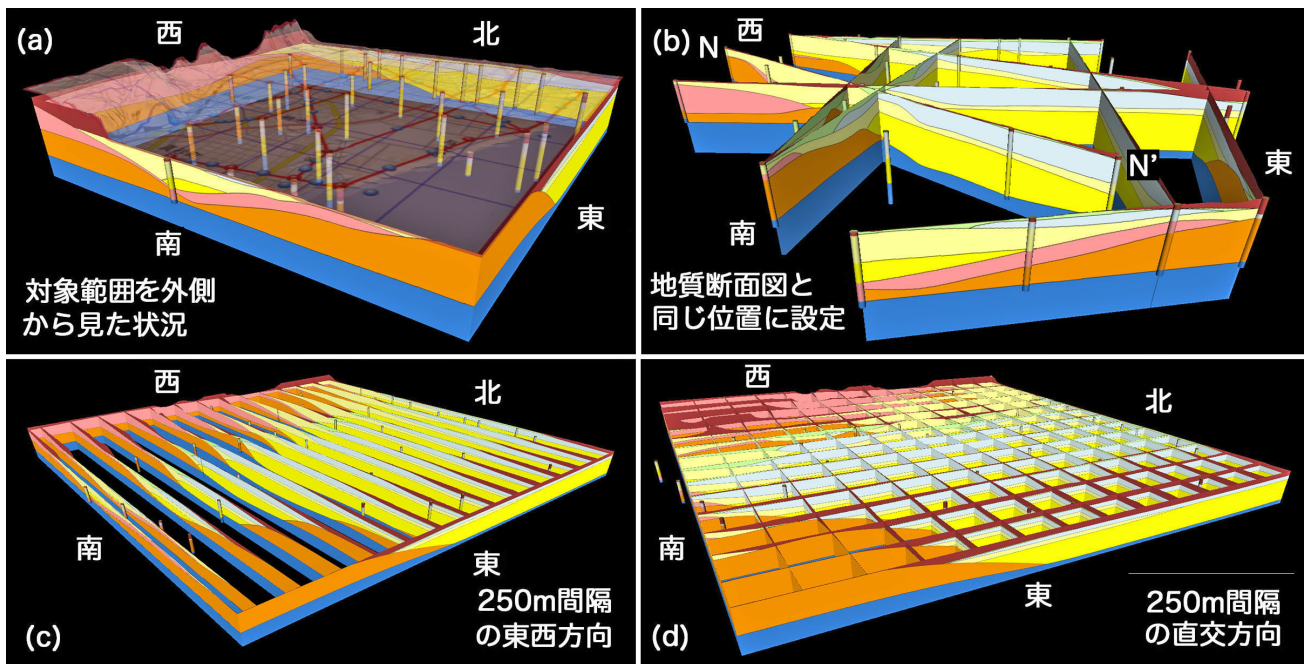


図-04 パネルダイアグラムの例⁷⁾

パネルダイアグラムやソリッドモデルなどは、境界面モデルから二次的に作成されるように、境界面モデルは三次元地盤モデルの根幹となる重要なモデルです。しかし、図-05 (a) のように、境界面モデルは、重なり合った地層境界面を上空から俯瞰することになり、境界面モデルの映像を見ただけで、地質構造などを理解するのは難しいかもしれません（立体視のような訓練が必要でしょう）。境界面モデルを表現する際には、十分考慮す

べき事項です。

3.6 疑似ソリッドモデルの例

疑似ソリッドモデルという用語は、本文のための筆者の造語です。疑似ソリッドモデルとは、表示範囲の周囲をパネルダイアグラムで囲んだモデルのことで、図-04 (a) で地表面の透過度をゼロ（不透明）にして表現した映像と同じです。

図-06 の疑似ソリッドモデルは、CIM 対応サイ

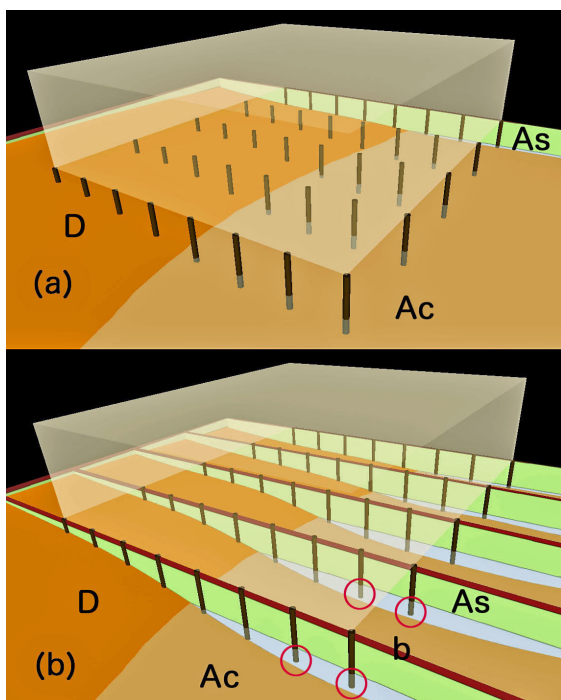


図-05 杭の打設状況をイメージしたモデル⁷⁾

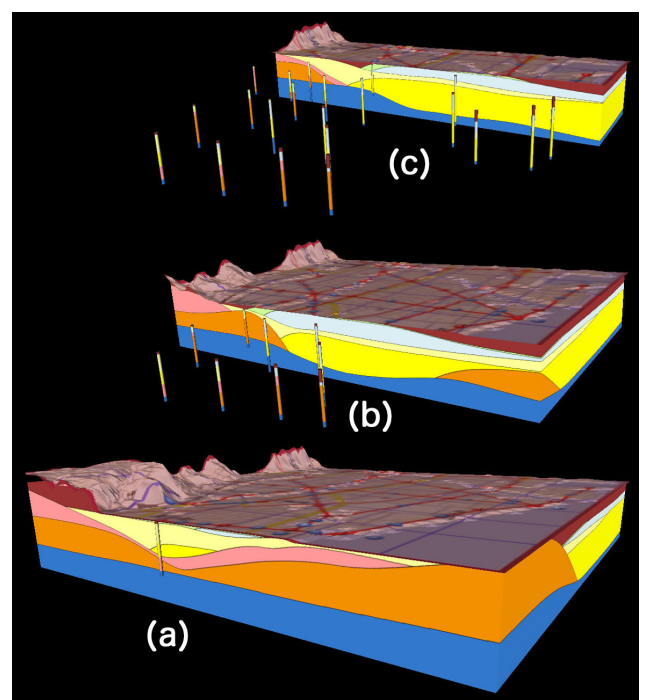


図-06 疑似ソリッドモデル⁷⁾

ト⁶⁾の根幹をなす三次元地盤モデル作成支援サイトを利用して作成しました。一見して、ソリッドモデル風になっています。

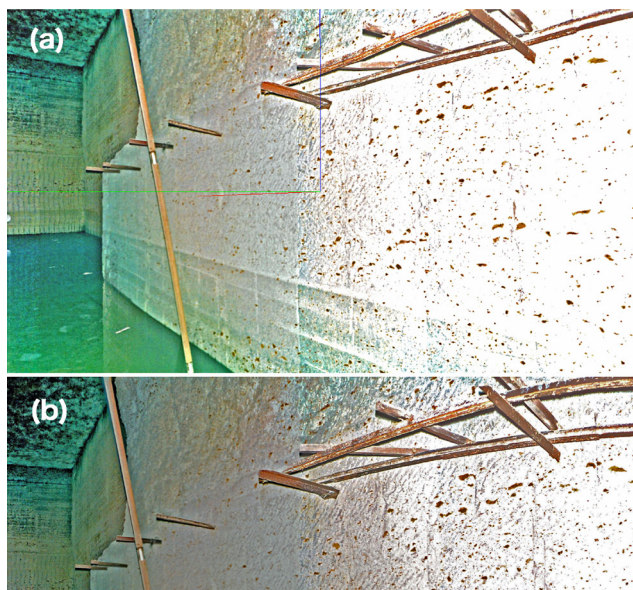
図-06 (a) は対象範囲の全域を、図-06 (b) は全域の2/3を、更に図-06 (c) は全域の1/3を表現しています。地質断面図などを見慣れた目には、複数の境界面を持つ境界面モデルを俯瞰するよりも、疑似ソリッドモデルの方が地質構造のイメージが湧いて来るようです。

ただし、この疑似ソリッドモデルには、地層や速度層などといった固体部分が存在しないので、映像として見るだけになります（二次利用はできません）。

3.7 地下空洞を表現する円筒モデルの例

図-07 (b) は、大谷石採取場跡地で実際に撮影された全周展開画像（パノラマ画像：部分）です。画像右上にある鉄柵が緩くカーブしており、近接撮影による球面ひずみが生じています。

一方、仮想円筒の内側にテクスチャとして貼り付けた図-07 (a) では、この部分がほぼ直線状になっており、撮影ひずみが改善されています。



画像提供：川崎地質（株）

図-07 地下空洞のイメージモデル⁷⁾

3.8 地層を表現する円筒モデルの例

筆者は、仮想空間で地盤を表現する場合、CT画像やMRI画像のように、パネルダイアグラムが有効であると考えています。

図-08 (a) は、16角柱として切り出したパネルダイアグラムを、円筒モデルとして表現した三次元仮想空間映像（部分）です。実際は、外側からではなく、図-08 (b) のように内側から見ます。

VRゴーグルなどを使用して、このような三次元仮想空間映像を見ると、地中に潜り込んで地層の壁を見ているような感覚が得られるかもしれません。

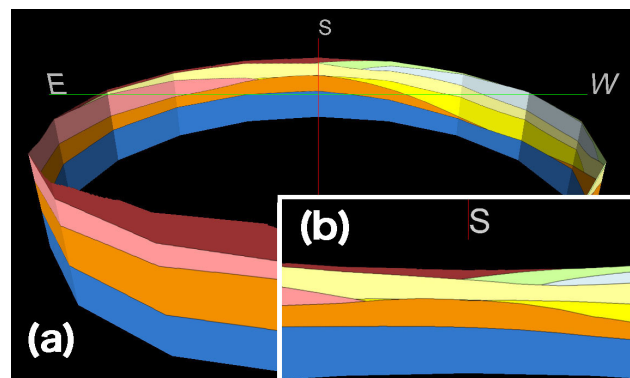


図-08 地層の円筒モデル⁷⁾

4. 直交（平行）パネルダイアグラムの二次利用

パネルダイアグラムの多くのデータ形式は、イメージ（画像）です。しかし、再利用可能なデータ形式である場合には、以下のような二次利用が可能です。注 CIM対応サイトでは、イメージ出力機能しかありません。

図-09 は、二次利用のイメージです。

① 図-09 (a) に示す例のように、各地層の地盤定数（土質定数）を集約した「属性情報（テーブル）」を整理します。

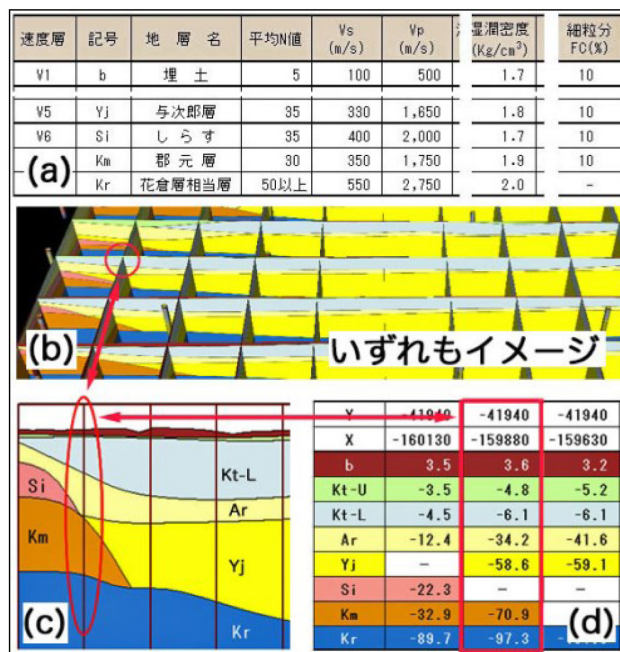


図-09 地盤のメッシュモデルの作成

② 境界面モデルを作成するための地層区分名と、属性情報の地層名（図-09 (a) では、速度層名）を一致させます。

③ 図-09 (b) は、3DCG 処理した直交パネルダイアグラム（部分）で、図-09 (c) は、図-09 (b) を二次元のパネルダイアグラムとして再表現したものです。図-09 (c) に記入した鉛直線の位置で、各地層の境界深度（または層厚）を読み取ります（自動的取得できるアプリがあれば便利）。

④ 図-09 (d) は、深度情報の例です。Ar や Si などの記号をキーワードとして属性情報とリンクさせれば、「鉛直一次元柱状体モデル」などのメッシュモデルが得られます。このようなメッシュモデルは、そのままマイクロゾーニング用の地震動シミュレーションの入力データとして利用できます。

5. おわりに

VR ゴーグルを利用した疑似スポーツ体験や疑似観光など、様々な環境を三次元仮想空間に映像として表現する技術が急速に進歩しています。

三次元地形図のデータ整備が進み、ストリートビューなどの映像と組み合わせた三次元仮想空間映像が完成すると、リアルな疑似散歩などが体験できるようになるでしょう。その時点で、地下空間や埋設物などの形状と属性の各情報が整備されているなら、VR ゴーグルを付けて下を向くと、舗装を透視して地下鉄の線路が見える、というような疑似体験が期待できます。水道管に穴を開けてしまった、という事故も無くなるかもしれません。

これを地盤にあてはめるならば、普段は見えない地質リスクや軟弱層の分布状況などが、三次元仮想空間映像として表現される、ということになるのかもしれません。地質リスクを含めた地盤を、一般の市民が理解する一助となる可能性があります。また、新規事業を開始するにあたり、必ず実施しなければならない周辺住民への事前説明会や、議会でのプレゼンテーションなどでの利用が考えられます。

そのためには、三次元的な位置情報を持つ地盤情報の整備が不可欠です。しかし、見ることも触ることもできない地中のことなので、現状の調査技術では、実現させるには多大な費用と困難が予想されます。

より高精度かつ安価な調査・探査方法やモデリング技術の開発と推進はもちろん、地盤情報の整備と汎用化（フォーマットの標準化）、共有と公開などが必要なのではないでしょうか。

末筆となりましたが、田中義人・北村良介・酒匂一成の各氏からは、共同研究の成果を引用させていただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

〈参考文献〉

以下の URL は、2018 年 3 月 14 日に存在を確認。

- 1) 平成 29 年 12 月 18 日のニュース映像：YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=1doaBs3xs-o>
- 2) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン [H29.3.31], <http://www.mlit.go.jp/tec/it/index.html>
- 3) 国土交通省：CIM 事業における成果品作成の手引き [H29.3.31], <http://www.mlit.go.jp/tec/it/index.html>
- 4) (一社) 全国地質調査業協会連合会・(一社) 日本建設情報総合センター：三次元地盤モデル作成の手引き, 2016 年 11 月, <https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/>
- 5) 根本達也：地盤の三次元解析－モデリング－, 地質と調査, 2017 年 第 3 号, pp.55-58., <https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/geo-se/index.html>
- 6) (一社) 全国地質調査業協会連合会：CIM に対応するための地盤情報共有基盤開発, <https://geonews.zenchiren.or.jp/cim3d/index.html>
- 7) (NPO) 地質情報整備活用機構：[デモサイト] 三次元地盤モデル, https://www.web-gis.jp/3D_GeoModel_Demo/index.html
- 8) (NPO) 地質情報整備活用機構：地質情報ポータルサイト > GUPI 独自編集 WMTS 規格の地図タイル, <https://www.web-gis.jp/GS-Tilemap/GUPITileMaps.html>
- 9) 田中義人・中田文雄・北村良介・酒匂一成：鹿児島平野の地層区分とその工学的特性, 自然災害研究協議会西部地区部会報, 第 42 号, pp.17-20., 2018 年 2 月
- 10) 中田文雄・田中義人・北村良介・酒匂一成：鹿児島平野の地層区分と三次元地盤モデルの作成－鹿児島版地盤情報データベースの活用例－, 自然災害研究協議会西部地区部会報, 第 42 号, pp.21-24., 2018 年 2 月

地すべり地の地下水の流れ 特定事例

こばやし まさひろ
小林 昌弘*

Key Word

地すべり, 地下水, 水質分析, 1m 深地温探査

1. はじめに

斜面崩壊・地すべりの発生の主要因の一つに地下水の存在が挙げられ、土砂災害対策工事を計画する上で、斜面崩壊に關与する地下水の流動経路を把握することが重要となる。そこで、地すべり地内に流入する地下水経路を特定する試みとして水質分析¹⁾ および1m 深地温探査²⁾ を対象地すべり地で行った。ここでは、広域的な地下水の流動経路を把握するため試みた調査概要とその結果について報告する。

2. 水質分析

水質分析は地すべり地付近の地表水である溪流や湧水、既往の調査ボーリング孔、排水ボーリング孔（以下、BH と略す）から採水した100 程度のサンプルを対象とした。

1) 方法・目的

水質分析は水の中に溶け込んでいる溶存成分（イオン）の量を分析・計量する。構成する成分は大きく陽イオンと陰イオンとで構成され、さらにその中に多くの成分が含まれる。陽イオンの主たる3成分、カルシウム、マグネシウムとナトリウム、そして陰イオンの主たる3成分として、塩素イオン、重碳酸イオンそして硫酸イオンがある。主要な陽イオンと陰イオンをそれぞれが左右に対応するように配置するように作成された図がヘキサダイアグラム（図1）である。本調査においてヘキサダイアグラムの形状で水の型を特定・分類し、採水場所によってどのような違いがあるか考察し、地すべり活動との関連性の深い地下水の水ミチを推定するのが主な目的である。

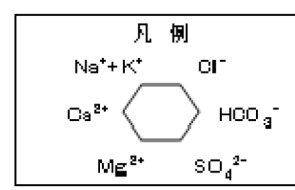


図1 ヘキサダイアグラム

2) 分析結果

一般に溶存成分濃度（イオン）は地すべり地の水は濃く、溪流は薄いといわれ、本現場においても同様の傾向となる¹⁾。そこでイオン濃度の濃い水に着目し、代表的なヘキサダイアグラムと採水位置（湧水とBHの分布）を図2、図3に示す。

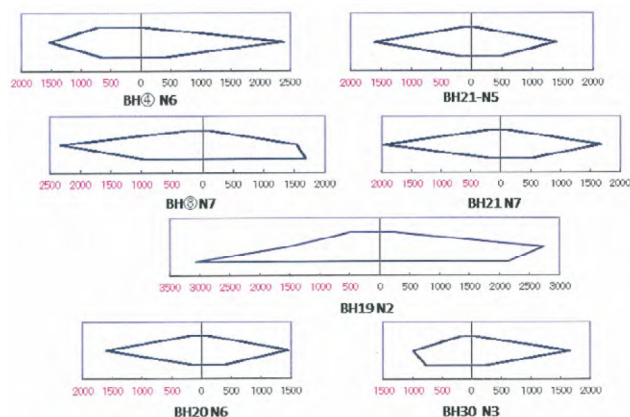


図2 濃い水の代表的なヘキサダイアグラム

図3よりイオン濃度の濃い水が採取された地点をみると、南西～北東方向への分布がみてとれる。次に調査範囲を広げ、地すべり地付近の溪流、湧

*株式会社 基礎建設コンサルタント 技術部

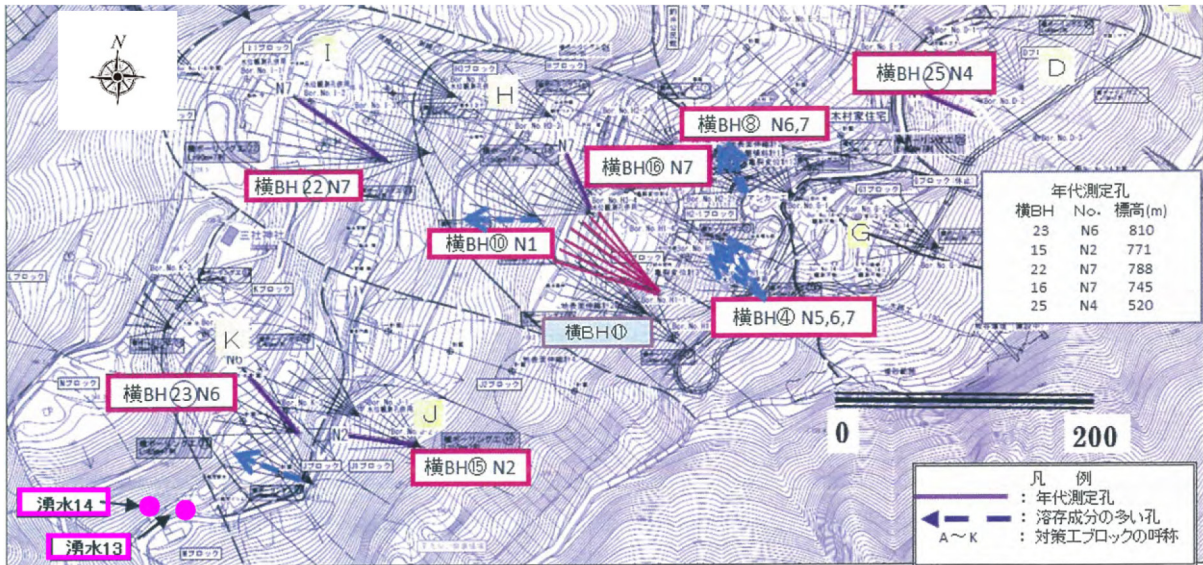


図3 濃い水の採水位置（湧水・BH分布範囲）

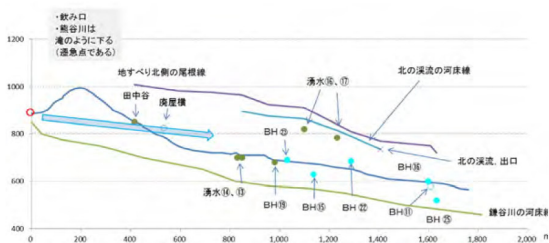


図4 広域の水系網と地すべり地

水筒所の水質分析結果の内、同様にイオン濃度の濃い水の採水位置を図4に示す(図3で示した箇所も併記)。また、単純に湧水量が多い地点、排水量が多いBH位置もあわせて示している。

地すべり地下方を流れる溪流の上流には遷急点があり滝のように下っている。この箇所を流入の起点として「飲み口」としている(図4参照)。

3) 考察

イオン濃度の違いをみると採水地点の「飲み口」, 「田中谷」, そして地すべり地内では「廃屋横」, 湧水地点⑬, ⑭, ⑯, ⑰が濃くなる。

イオン濃度の差異があるものの、単純に流量の多い(30 l/min程度)BHは⑪, ⑮, ⑯, ⑳, ㉑となる。

以上のことから、地すべり地への主な給水源は地すべり地南西部にある溪流上部の「飲み口」から、図4に示す矢印方向に流入していると推定される。

3. 1m 深地温探査

1) 方法・目的

これまで対象地では、地すべりに影響を及ぼす地下水として、尾根筋までの集水域内に存在するものを対象としていた。しかし、尾根筋の反対側にある北の溪流の上流部では多量の流水が確認できるものの、約500m下流ではほとんど流水が確認されていないことから、この溪流の水が地すべり地内へ浸透している可能性が考えられた(図5)。

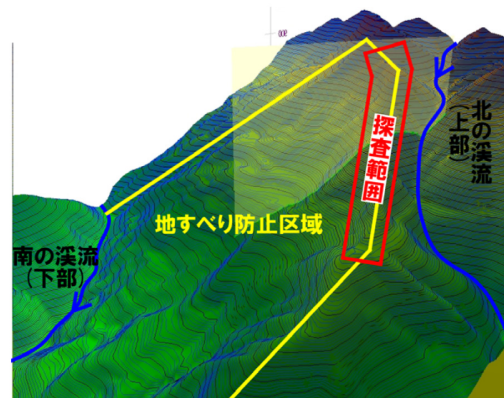


図5 1m 深地温探査範囲(模式図)

そのため、防止区域外の沢から地内へ地下水が流入してきているか否か、1m 深地温探査で検証した。

調査原理は、浅層地下水の流れによって周辺地温が攪乱される現象を利用して、浅層の流動地下水を推定する方法である。

地温探査の最適時期は地下水温と地温の温度差が大きくなる時期であり、おおよそ1月～2月、7月～9月の間に実施するのが望ましいとされている。したがって計測は、平成20年1月および9月の2回実施した。

地温探査の範囲については、地下水の流動が推測される範囲を10m×15mのメッシュで覆った(図6)。計測した測点の総数は477点である。

測定方法は以下の通り。

- ①メッシュ交点に鉄棒で深さ1m程度、径25～30mmの穴を穿ける
- ②穴が穿き次第、順に測温体を挿入していく
- ③測温体を挿入して10分以上経過した後に温度を読み取る

また、地温読みとりと同時に測定点周辺の地況、地形、地下水、地表水等気付いたことを野帳に記録した。

2) 解析結果・考察

現場で得られた測定値には、測温体間の誤差、経日変化、微地形、地質、および地表面の影響など様々な因子が関与している。そこで、これらの因子について補正を行っている²⁾。

本調査で冬期(H20.1)に計測された1m深地温は高温部、夏期(H20.9)に計測された1m深地温は低温部を、地域で連続していると判断出来る箇所を描いた地図が図6となる。

本調査で実施した1m深地温は8つのグループに分類され、その内、地すべり地への地下水流入の可能性が高いと推定されたグループは③～⑤となる。

先ず③と示している箇所は、尾根の部分にある程度の面積を持った低温部となり、この位置より下方の崖の下付近に地下水が流れているとみとれる。③と示している下方の湧水地点⑯には年間を通じて水が湧き出ており、この低温部として示される部分の地下水が一度地下に潜って地表面に湧水として現れていると考える。

次に④と示している地下水の流れは、斜面の中間に高温部が出現しているから、ここに地すべり地の標高より高い所から地下水が流れてきていると解釈され、その供給源は上述の③であると推定される。

なお流れ(④)としている範囲の下部斜面には、

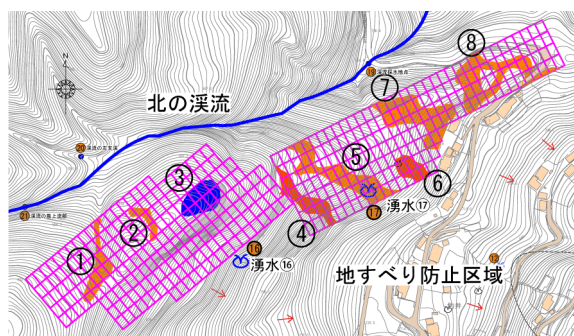


図6 1m 深地温探査位置および解析結果



写真1 竹林の状況

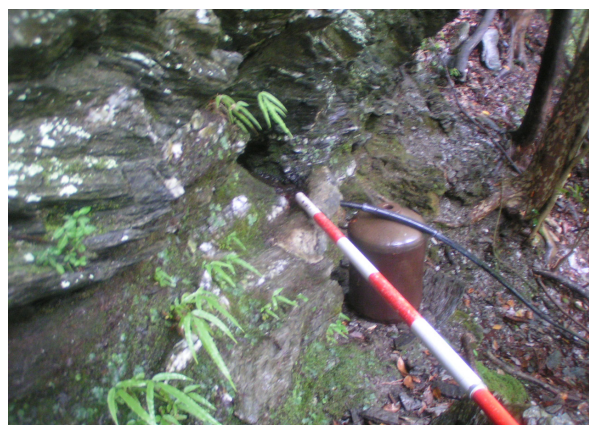


写真2 湧水点

竹林(写真1)がある。もともと竹は水分を好む植物であることからこの推定の根拠付けの一つと考えられる。

⑤としている地下水の流れは、尾根筋を跨いで高温部が連続していることから、この地下水は、尾根部を横断して地すべり地に流入していると解釈できる。流路③と同様に流路⑤の下部にも湧水

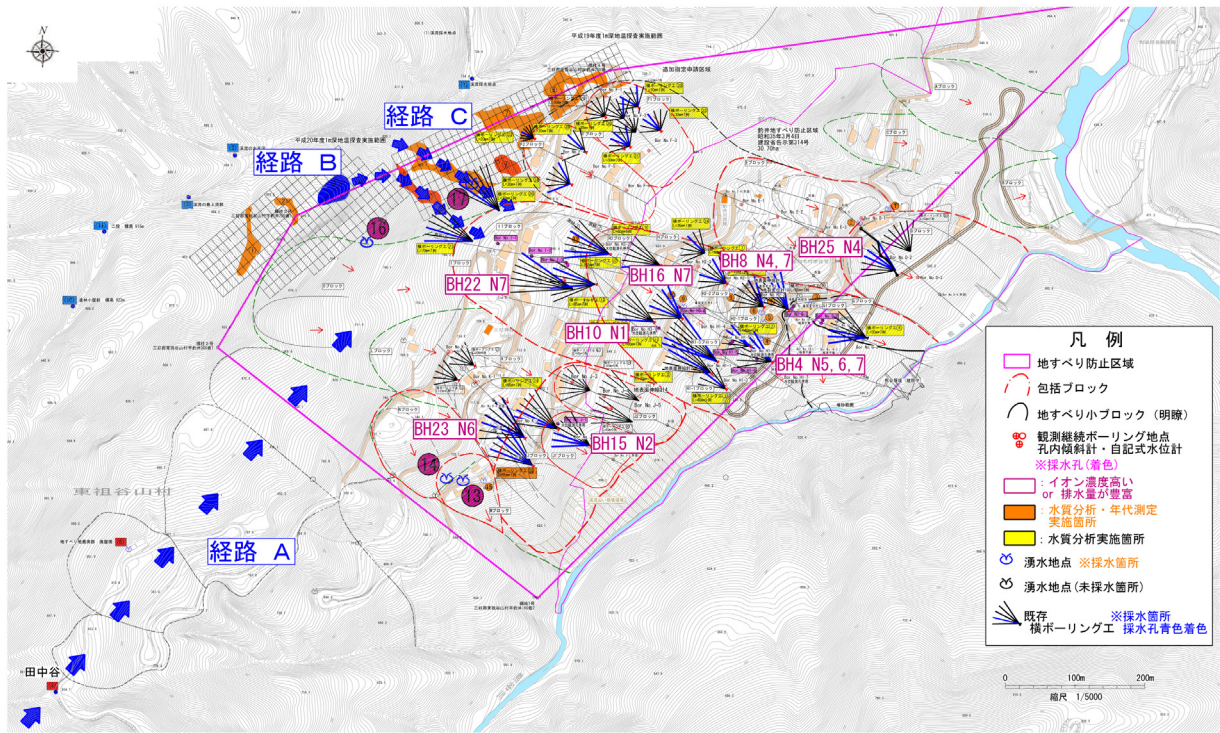


図7 推定される地すべり地内への流入経路

点(写真2)があるため、この流路上の湧水と推定している。

4. まとめ

本調査結果より地すべり地内へ流入する地下水の経路はA～Cの3経路が推定された。

(経路A) 地すべり地の南西方向(南の溪流上流部付近)からの地下水流入

地形図から読み取れるリニアメントに沿った採水点で溶存成分量が高い、または、排水量が多い地点が南西方向に連続的に認められている。このことから、南溪流上流部の遷急点と考えられる「飲み口」を起点とする南西方向から地下水の流入が示唆される。この流入した地下水が地すべり地内の斜面を流下していると考えられる。

(経路B) 防止区域外の斜面上方から尾根を伝って流入している経路

(経路C) 地すべり地上部の尾根を挟んだ北側の溪流の伏流

経路B、Cについては、1m地温探査結果で推定された経路上に、一年中水が湧き出している湧水地点(生活水に利用)や竹林の存在などから、信憑性の高い流入経路であると思われる。

現在、これらの地すべり地内への流入が推定された水脈に対して、地下水排除工(横ボーリング工)が計画・実施され、地下水抑制につながると期待

される。

最後に、本調査を実施するにあたり、元京都大学の末峯章先生、元高知大学の日浦啓全先生には、調査に深く携わっていただくともに技術的なご指導を賜りました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 日浦啓全, 田中昭雄, 「広域の水系網と地すべり地の水」, (公社) 日本地すべり学会関西支部現地討論会 四国における結晶片岩地すべり 論文集, pp.29～38, 2014年
- 2) 末峯章, 日浦啓全, 王功輝, 能野一美, 「結晶片岩地すべり地における尾根からの地下水流動の観測例」, 第47回(社)日本地すべり学会研究発表会 pp.155～158, 2008年.

各地の博物館巡り

国土交通省 九州地方整備局
大隅河川国道事務所

桜島国際火山砂防センター



センター正面

はじめに

桜島は世界的に見ても最も活発な火山の一つで、2010～2013年の4年間は年間の噴火回数が800回を超えました。また有史以来たびたび大噴火を繰り返し、その度に大きな被害が発生しています。最近の大噴火は大正の大噴火（1914）で、その時に噴出した溶岩で大隅半島と陸続きになりました。

桜島における砂防事業は、1943年から鹿児島県が国の補助事業として着手していましたが、その後の噴火回数の増加によって土石流が頻発し、1974年には8名が犠牲となりました。そのため抜本的な対策が必要となり、砂防調査を経て、1976年度より大隅工事事務所による直轄砂防事業が開始されました。

桜島国際火山砂防センターは、火山活動や土石流の情報を集中的に管理し警戒避難に役立てる「集中監視施設」、災害時に避難場所として役立てる「避難施設」、火山・土石流・砂防事業に関する展示により火山砂防への意識啓発を図る「展示施設」、および桜島砂防出張所を統合した総合的な施設として1999年6月にオープンしました。

展示内容

桜島火山

●火山の成り立ち

およそ29,000年前の始良カルデラの形成から現在に至るまでの桜島火山の成り立ちがパネルで展示されています。文明・安永・大正・昭和の溶岩の分布のほか、噴出火口の変遷、現在噴火を繰り返している昭和火口の形状の変化などを見ることができます。

●噴火の歴史と被害の状況

大正の大噴火をはじめとする大噴火の歴史とその被害、最近の噴火での噴石・火山灰による被害の状況などがパネルで展示されています。中でも大正の大噴火当時の写真・絵図・新聞記事は噴火の凄まじさを現在に伝えています。

●火山観測施設

大隅河川国道事務所の有村観測坑道をはじめとする各種観測施設が立体模型やパネルで展示されています。



爆発監視施設配置模型

●火山と生物の関わり

火山と生物の関わりや、桜島に暮らす人々の防災訓練の様子などがパネルで展示されています。溶岩の時代によって植生が大きく異なる点は興味深いところです。

●桜島の火山灰

案内カウンターにはパンフレットとともに桜島の火山灰が置いてあります。自由に触れたり、キャラクターのプリントされた小袋に入れて持ち帰ったりすることができ、県外からの来館者にはとくに人気ようです。



桜島の火山灰



館内から見る野尻川の砂防施設

火山砂防

●土石流発生メカニズムと被害状況

土石流発生メカニズム、島内の土石流による被害の状況と歴史などがパネルで展示されています。また、近年に発生した噴火と土石流の映像を見ることができます。



土石流の映像

●砂防施設

砂防施設の種類と構造、設置状況、無人化施工の様子、海外砂防協力の状況などが立体模型やパネルで展示されています。また、センターの脇を流れる野尻川の砂防施設（砂防堰堤・流路工・床固工）を桜島火山を背景に館内から見るができます。



砂防施設配置模型

おわりに

桜島は周辺地域とともに桜島・錦江湾ジオパークとして、2013年9月に日本ジオパークに認定されました。桜島・錦江湾ジオパークは、活発な火山活動を続ける桜島の目の前に60万都市があることが最大の特徴で、中でも桜島は活火山と人間の共生が実現している世界的にもほとんど類を見ない場所です。

島内には湯之平展望所、有村溶岩展望所、溶岩なぎさ遊歩道、黒神埋没鳥居など、火山の息吹を強く感じる観光スポットが数多くあります。また、桜島大根や小みかんといった農産物や焼物など、火山という特色を生かした名産品もあります。

桜島国際砂防センターは啓蒙、教育の場として活用されていますが、地質や土木の技術者、防災の専門家にとっても大いに参考となる施設です。鹿児島にお越しの際はぜひお立ち寄りください。

ご案内

●開館時間

- 9:30～17:00（入館は16:30まで）

●休館日

- 年末年始（12/29～1/3）その他臨時休館あり

●入場料 ●無料

●住所・電話番号

- 〒891-1541 鹿児島県鹿児島市野尻町203-1
- 電話：099-221-2019（平日）
099-221-2030（土・日・祝日）

●アクセス

- 鹿児島市内から
鹿児島港から桜島港までフェリーで15分、バスに乗り換え「桜島病院前」停留所下車
- 鹿児島空港から
車にて約80分

〔ユニオン技術（株） 技師長 野元 隆明〕

大地の恵み

能登の珪藻土

1. はじめに

能登半島は日本海に向かって左手の親指を曲げて突き出したような形をしている。指の背側は日本海に面した外浦と呼ばれる隆起海岸で、能登山地を背後に控える断崖絶壁に荒波が打ち寄せる。一方、指の腹側は内浦と呼ばれ、富山湾に面する入江の多い沈降海岸で良港が多い。背後の広い海岸段丘や緩やかな丘陵を数多くの河川が刻む。人々の生活の場は、海のほかには河川の中・上流の谷底平野とこれに続く溺れ谷埋積平野、海岸段丘に加え、山地・丘陵における農耕を可能にした多くの地すべり地である。

産業は農林水産業とその産物の加工を主とし、それぞれに名品を生み出している。大地からの鉱産物の代表的なものは、花崗岩・片麻岩中の金（富来・宝達山ほか）、セメント材料の石灰質砂岩（七尾）、泥岩中の石膏（珠洲）、石材となる凝灰岩類（能登町など）、固結度の低い新第三紀の砂岩（七尾など）、石材・粗骨材となる火山岩など多種多様であるが^(文献1)、上記の内の後2者と珪藻土を除き現在では生産されていない。能登の珪藻土は300年以上にわたる利用の歴史があり、利用の方法は時代によって変化している^(文献1)。



写真1 珪藻土の島 見附島（撮影：滝田喜久男）

2. 珪藻土（珪藻泥岩）の特徴

珪藻は光合成を行う単細胞の植物プランクトンであり、非晶質の硬い水和珪酸（ $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ）からなる珪藻の細胞壁が大量に集積してできた泥岩が珪藻土である。珪藻の大きさはシルトから細砂に相当する $10 \sim 200 \mu\text{m}$ 程度で、外殻に多数の細孔を持つ円筒、円盤、球、針、羽、梯子などの形がある。これらは蓋のある弁当箱を重ねたように上半と下半の皮殻とこれを取りまく帯片など複数の部品からなる。珪藻土はこのようにガラスできている空隙の多い立体構造の粒子を主とし、粘土鉱物や他の鉱物粒子を含んでいる^(文献2, 3)。空隙の多い粒子を多量に含むため、珪藻土の間隙率は70%程度で飽和含水比が120%を超え、いずれも軟弱な沖積粘土に匹敵する高さである。また、同じ理由によって飽和密度や乾燥密度は非常に低い値である。一方、珪藻土の一軸圧縮強さは、新鮮な部分で 2MN/m^2 程度であり、軟岩に属するものの、岩片を指先で簡単に押しつぶすことができる（図1）。また、岩体の規模では一般に岩質が均質・等方で割れ目が少ない。また乾湿繰り返しによるスレーキングが生じにくい。

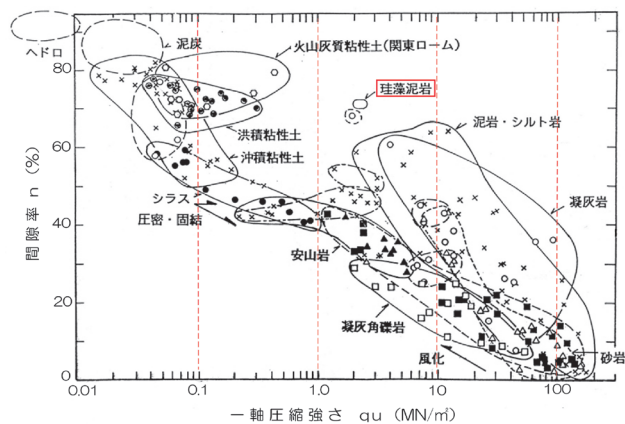


図1 土と岩石の一軸圧縮強さと間隙率の関係

3. 珪藻土（珪藻泥岩）の分布

日本国内の珪藻土分布地は、ほぼ全国にわたっており、採土地の数は78箇所が記録されている（文献⁵）。石川県では新第三紀中新世中～後期の海成泥岩と、中新世前期の淡水成泥岩が知られている。推定埋蔵量は飯塚珪藻泥岩が日本で最大規模の埋蔵量（約7億5千万m³）となっている。法住寺、和倉の珪藻泥岩は埋蔵量が比較的に多いが、前者は珪質の団塊が多数層状に配列するほか、全体に均質ではなく、砂質の部分もあり、珪藻に富む部分の分布は明確にされていない。

表1 能登の珪藻泥岩分布地と推定埋蔵量

文献4により、海面上の分布のみを抜粋した

| 形成年代 | 地層名 | 分布地域 | 陸上露出面積 (km ²) | 最大層厚 (m) | 推定埋蔵量 (×10 ⁶ m ³) |
|-------|-------------|----------------------|---------------------------|-----------------|--|
| 中新世後期 | 和倉珪藻泥岩 (W) | 和倉 田鶴浜 能登島 | 7.7 | 60 | 188 |
| | 飯塚珪藻泥岩 (Z) | 珠洲市飯塚 正院・蛸島 鶴飼 | 22.3 | 200 400 | 750 |
| | 塚田珪藻泥岩 (T) | 輪島市塚田 | 0.6 | 20 | 6 |
| 中新世中期 | 飯田珪藻泥岩 (D) | 珠洲市飯田 上戸 岡田 | 1.1 | 40 | 25 |
| | 法住寺泥岩 (H) | 珠洲市鶴飼 西方 法住寺 | 4.5 | 80 | 225 |
| 中新世前期 | 山戸田珪藻泥岩 (Y) | 中島町山戸田 土川など | 1.8 | 20 | 26 |

(Y)は淡水域、他は海水域の堆積物である。

4. 珪藻土（珪藻泥岩）の利用

珪藻土の特徴ある性質に依拠して以下のような種々の利用がなされている。

- A. 多孔質で間隙率が非常に高い（70%程度）
 - A-1 低密度・軽量である
 - A-2 気体・液体を吸収、吸着、透過、保存する
遮音・断熱・絶縁・保温・調湿・脱臭・濾過壁材・ダイナマイト（ニトロ吸収）など
- B. 構成材料の主体が非晶質の珪酸で作られた微細な構造体（珪藻の外殻）である
 - B-1 化学的に安定している
紛体としての利用－研磨材（漆器の下塗材）・充填剤・増量剤・濾過助材、触媒担体
 - B-2 高温に強い（1,000℃程度まで）
炉・窯・コンロ・防火壁・金庫

C. 岩体が均質等方で比較的軟らかく、割れ目が少ない

C-1 人力掘削や成形・加工が容易である

C-2 坑道や切土のり面の安定性が比較的高い

なお、能登の珪藻土は大部分が海成の堆積物であるため、淡水成のものに比べて粘土鉱物や有機物や硫酸塩など珪酸以外の不純物が多く含まれ、低品質だといわれている。この不純物を除去するための研究により、新たな用途や販路が開けつつある。



図2 能登半島の地質の概要と珪藻泥岩の分布
文献6に基づき再作図を行った

[興信工業株式会社 相談役 小川 義厚]

〈参考文献〉

- 1) 石川県工業試験場：能登珪藻土の基礎研究 1966
- 2) 奥野春雄：電子顕微鏡による珪藻殻微細構造の研究 IX. (英文), 植物学雑誌 Vol.65 No.769-770 p.p.158-163 1952
- 3) 尾田太郎・佐藤時幸：新版 微化石研究マニュアル, 朝倉書店 pp68-71 2013 p.p.68-71
- 4) 市川 渡・粕野義夫：能登半島の珪藻土, 地質学雑誌 Vol.73 No.2 p.p.1-45 1963 Vol.73 No.2 p.p.1-45 1963
- 5) 奥野春雄：日本珪藻土鉱床より産する化石珪藻 I, 植物学雑誌 Vol.64 No.757-758 p..151 1951
- 6) 粕野義夫：能登の丘陵と泥岩、アーバンクボタ No.23 特集：海成粘土と硫化物 p.p.36-39 1984

各地に残すべき

地形・地質

ひやっけんざん

百間山溪谷の地形・地質（和歌山県）

1. はじめに

「百間山溪谷」は、和歌山県田辺市熊野にある百間山（標高 999m）の南西斜面に位置しています。南斜面は急峻であり、時に年間 4,000mm に達する降雨地帯であるため、嶺々の間は大きな溪谷をなしています。

2. 百間山溪谷の地形・地質

地質は主に、第三紀漸新世～中新世前期に形成された四万十帯の牟婁群打越累層分布域にあたり、前弧海盆の堆積物のフリッシュ型砂岩泥岩互層、泥岩、砂岩および礫岩からなります。

また、近傍には、打越背斜に対応する第1級の向斜として、大峯向斜、熊野川背斜、八丁坂向斜からなる合川複向斜が位置しています。

3. 平成 23 年紀伊半島大水害の爪痕

平成 23 年 9 月、台風 12 号は西日本に記録的な豪雨をもたらし、紀伊半島の各地で多くの斜面崩壊が発生しました。熊野地区においても、今回紹介する百間山溪谷近傍で、大規模な崩壊が発生しましたが、現在は対策工事が進んでいます。



図 2 熊野地区整備状況（紀伊山系砂防事務所 HP）

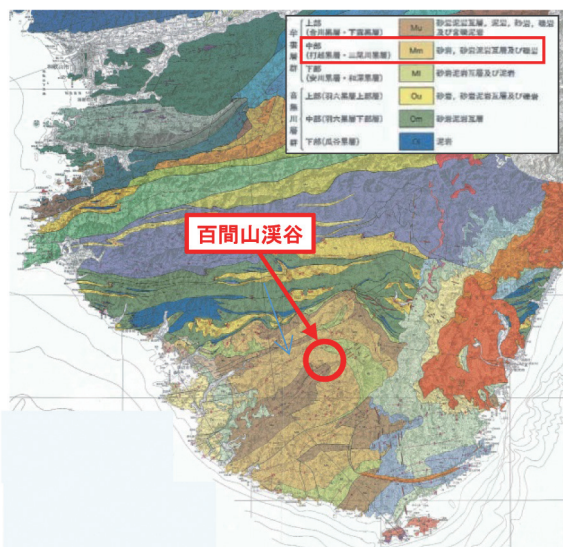


図 1 和歌山県の地質（アーバンクボタ HP）

4. 百間山溪谷の見どころ

溪谷沿いには遊歩道が設けられており、ハイキングコースとして一般向きと健脚向きの2つがあります（一般コースは、犬落ちの滝で折り返し）。



図 3 トレッキングマップ（大塔観光協会 HP）



写真1 かやの滝（隣：樹齢300年のかやの木）



写真2 夜明けの釜（ポットホール（甌穴））



写真3 大小さまざまなポットホール（甌穴）

渓谷兩岸の断崖には巨岩・奇岩群がそびえ立ち、滝や淵が連続し、また、河床の礫岩部では、流水の侵食作用でできた大小のポットホール（甌穴）が見られます。

滝や淵の壮大さもさることながら、渓谷を歩いていると、泥岩～礫岩が折りなす堆積岩の複雑さや、褶曲構造が生み出した複雑な走向・傾斜を目の当たりにすることができます。これらが、より百間山渓谷を魅力的なものにしていると感じます。

百間山渓谷は、和歌山県の県指定文化財（名勝・天然）、県立自然公園、紀の国の名水および和歌山の親しめる水辺66に挙げると同時に、「侵食地形」として、和歌山県レッドデータブック－地形・地質－の 카테고리 B（全国的に貴重なもの）にも指定されています。



写真4 走向傾斜が織りなすなだらかな溪床



写真5 百間山頂上からの絶景（豊かな植生）

奇岩群と相まって渓谷美を構成する樹木は、湿度の高い深淵に薄暗く生い茂っており、標高差により暖地性から寒地性の各種の植物が繁茂し、全体として学術的にも貴重なものです。

その他、百間山渓谷には、カエル、イモリをはじめ、アマゴ、トンボ、セミ、サンショウウオなどの多くの生物が見られます。

5. さいごに

田辺市内から国道311号で東へ向かうと、途中でカモシカの大きな像が出迎えてくれます。合川ダムを経て、百間山渓谷へ向かうことができます。

百間山渓谷入口は、駐車場スペースとトイレが整備されました。

春は新緑、夏は豊富な水と涼、秋は針葉樹・常緑樹と落葉樹とのコントラスト、冬は神秘的な結氷と、地形地質のおもしろさを感じながら、年中楽しめる所でもあります。ぜひ一度、お立ち寄りください。



写真6 カモシカくんのお出迎え

[中央復建コンサルタンツ株式会社 今井 千鶴]

国土地理院における地理調査について (その2)

すぎもと まさや * やまさき わたる * みたに まい ** くりす ゆうき *
杉本 昌也 * ・ 山崎 航 * ・ 三谷 麻衣 ** ・ 栗栖 悠貴 *

K
ey Word

指定緊急避難場所, ベクトルタイル, 地形分類, DEM, アナグリフ,
陰影起伏図, 傾斜量図

1. はじめに

国土地理院は、自然現象、人文現象等を特定のテーマに沿って調査し、その結果を主題図やデータとしてまとめ、提供・公開している。

地質と調査'17年3号(No.150)では、主題図である1:25,000活断層図、火山基本図データ及び湖沼データについて紹介した。今回は防災に関係するデータとして、指定緊急避難場所データ、ベクトルタイル地形分類及び数値標高モデルを利用した主題図について紹介する。

ここで紹介した地図は対応する二次元コードでスマートフォンなどを使って表示できるようになっており是非試していただきたい。

2. 指定緊急避難場所データについて

洪水や津波といった自然災害の危険が差し迫った際に、地域住民が自身の命を守るために緊急的に避難をする場所として、市町村長が災害対策基本法第四十九条の四に基づき指定緊急避難場所(以下「避難場所」という。)を指定している。

国土地理院では、内閣府、消防庁及び市町村等と協力し、これら避難場所の位置や名称等をウェブ地図上に表示できる「指定緊急避難場所データ」の整備を行い、2017年2月からデータを公開している。

2.1 避難場所データの整備目的・概要

避難場所の情報を住民一人ひとりが避難先の確認及び的確な避難に役立てるためには、その住所が文字列で記載された帳票では不十分で、地図上で確認できるようにしておくことが重要である。

とりわけ、旅行や出張、もしくは災害対応時の被災者支援のために他の地域から訪れている人は土地鑑がないため、地図上で避難場所の位置が簡単に確認できるよう情報提供されるべきである。また、避難場所は人命を守る重要な情報であるので市町村による指定の追加や取り消しが比較的高頻度でなされるが、提供される地図情報は常に正確かつ最新のものでなければならない。

これらを踏まえ、インターネットに接続可能なパソコンやスマートフォンがあれば誰でも簡単に利用でき、かつ常に最新の情報にアクセスすることができる国土地理院のウェブ地図「地理院地図」(<https://maps.gsi.go.jp/>)上で避難場所データを広く提供している。

2.2 避難場所データの整備・更新

避難場所データは、避難場所を指定した市町村から提供される情報をもとに、以下の手順で整備・更新している。

- ① 市町村長は、避難場所の指定・更新を通知する際に都道府県知事に提出する情報を国土地理院にも同報する。
- ② 国土地理院は、市町村が作成するハザードマップ等を活用し、避難場所の経緯度(案)を付与し、当該市町村に送付する。
- ③ 当該市町村は、付与した経緯度(案)を元にウェブ地図上に表示された位置情報を確認し、必要があれば修正し、経緯度を確定する。
- ④ 国土地理院は、確定した経緯度をもってデータを更新し、ウェブ地図に載せる。

なお、市町村が指定を取り消した場合や、新たに指定した場合においても、同じ手順に従う。

*国土地理院応用地理部地理情報処理課 **同部地理調査課 (所属は2018年3月31日現在)

2.3 避難場所データの表示方法

避難場所データは、多くのウェブ地図において活用することができるベクトルデータ（GeoJSON形式のポイントデータ、2.4に詳細を示す）である。

この避難場所は、対応する災害種別が明確に定められているため、異なる災害種別に対応する避難場所を複数同時に地図上に表示すると、表示されている避難場所が示す災害種別を誤認するおそれがある。

このため、地理院地図では、避難場所データを災害種別ごとに排他的に表示する機能を設けることで、複数の災害種別を同時に表示できないよう配慮している（図-1）。

なお、地理院地図では、それぞれの避難場所データについて以下の情報が閲覧できる。

- (1) 施設・場所の名称
- (2) 住所
- (3) 対応する災害種別



図-1 地理院地図で指定緊急避難場所を表示

※上図では、「洪水」や「地震」といった複数の災害種別レイヤがあるが、混乱を避けるためあえて1種類しか同時には表示させないようにしている。

2.4 データの公開・提供

本データが採用している GeoJSON 形式は、ウェブ地図ほかスマートフォンアプリやGISソフトウェアでも一般的に利用されているデータ形式であり、かつ本データはオープンデータとしてインターネット上の誰でもアクセス可能なウェブサーバで公開している。以下に示す「ご利用上の注意」に従い、出典を記載すれば誰でも自由に利用できる。

【ご利用上の注意】

1. 本データは、災害対策基本法第 49 条の

4 に基づき市町村長が指定した指定緊急避難場所の情報を各市町村に提供いただき、当該市町村に確認の上、地図上に表示したものです。最新の状況などは当該市町村にご確認ください。

2. 本データを、ダウンロードや印刷等を行い国土地理院サーバ外で利用される場合は、本データの更新にあわせて最新の情報をご利用ください（参照：市町村別公開日・更新日一覧）。
3. 指定緊急避難場所は、災害種別ごとに指定されています。本データを、ダウンロードや印刷等を行い国土地理院サーバ外で利用される場合、指定された災害種別を利用者が正確に理解できるよう、十分にご留意ください。

国土地理院は、引き続き関係省庁や地方公共団体と協力しながら、国民生活にとって重要な施設・場所である指定緊急避難場所を地図上に表示すべく、データの整備・提供を進める。また、地理院地図を通じた本データの活用はもちろんのこと、それ以外の様々なアプリケーションを通じて社会における本データの積極的な活用も期待している。

3. ベクトルタイル地形分類について ^{1) 2)}

3.1 ベクトルタイル地形分類の目的・概要

国土地理院は、防災対策等に必要な土地の情報を提供するため、各種の地形分類データを整備・提供してきた。地形分類データはこれまで利用目的にあわせて作成してきたため、体系の異なる複数の地形分類が存在した。また、地形の種別が多く専門的で、一般の利用者が内容を把握するのが困難であった。

これらを解消するため、3種類の地形分類データをベクトルタイル形式で統合（以下「ベクトルタイル地形分類」という。）するとともに、地理院地図の機能で地図上をクリックすると、その場所の地形分類の説明をポップアップで表示させるようにした。これにより、広範囲の地形分類を一度に閲覧できるため、地形について予備知識がなくても、土地の成り立ちや自然災害リスクが簡単に分かるようになった。

3.2 ベクトルタイル地形分類の作成方法

ベクトルタイルは、地形分類が色の情報として矩形に並ぶラスタ画像と異なり、地形分類され

た各区画の緯度経度や属性コードの情報をテキスト (GeoJSON 形式) で記述している。ベクトルタイルそのものは、各地形分類の色や内容の情報を持たないため、地理院地図上に表示する際の色やポップアップの内容を設定する「スタイル定義」(JavaScript 形式) を別途準備している。

作成方法は、図-2 のとおりである。

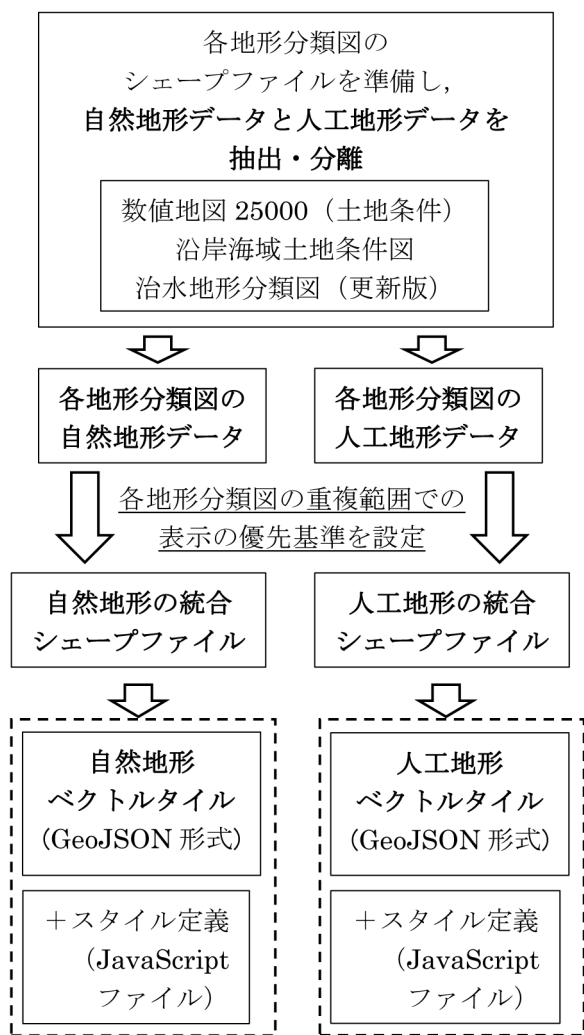


図-2 ベクトルタイル地形分類の作成フロー

- ※1：土地条件図は詳細な地形分類を示した縮尺レベル 1/25,000 の地図で、土地の開発や各種防災対策の基礎資料として昭和 38 年から整備している。
- ※2：沿岸海域土地条件図は、沿岸海域基礎調査の成果のうちの一 종류で、沿岸部の陸部及び海部の土地条件を示す地図である。
- ※3：治水地形分類図は、国土交通省水管理・国土保全局、地方整備局等と連携し平成 19 年から整備されている、河川堤防が立地する地盤条件の把握など管理を目的とした地図で、低地の地形分類がなされている。国が直接管理する河川の平野部を対象として整備されつつあり、土地条件図が整備されていない地域についても広く整備が進んでいる。

3.3 ベクトルタイル地形分類の内容

3.3.1 自然地形と人工地形の 2 レイヤ化

これまでの地形分類図の地理院タイル (画像形式) では、自然本来の地形である「自然地形」と人工的な改変で生じた「人工地形」の 2 つの地形が同じレイヤに重なって表示されてきた。そのため、2 つの地形が重なる箇所では凡例の色が重なり、地形種別の読み取りが困難であった。これを解決するために、自然地形と人工地形を抽出し 2 つのレイヤに分けた。

3.3.2 地形分類データの統合及びスタイル定義

ベクトルタイル地形分類の作成に使用した地形分類図は、土地条件図、沿岸海域土地条件図及び治水地形分類図の 3 種類である。

これまで、同一の地域に土地条件図 (沿岸海域土地条件図含む) と治水地形分類図が整備されている場合、異なる地形種別の体系で地形分類がなされており、内容が整合していないこともあった。

また、各地形分類図を別々に表示するだけでは、それぞれの整備範囲しかウェブ地図上で表示できない。そのためベクトルタイル地形分類の作成にあたっては、各地形分類図の整備範囲が重複する箇所では、整備年の新しい地形分類図を表示する処理を行った。

さらに、土地条件図と治水地形分類図の地形種別と、簡略化・共通化した地形種別との対応をスタイル定義に記載している (表-1)。これらをスタイル定義に記載することで、同じ地形分類として表示する地物の融合や属性コードの変更等の編集を行うことなく、表示のみ変更することができる。

表-1 ベクトルタイル地形分類の凡例対応表の例

| ベクトルタイル 地形分類 | 土地条件図 沿岸海域土地条件図 | 治水地形分類図 (更新版) | 属性コード (code) |
|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|
| 砂州・砂丘 | 砂丘 | | 10504 |
| | 砂(礫)堆・州 | | 10505 |
| | 砂州・砂堆・砂丘 | | 10512 |
| 凹地・浅い谷 | | 砂州・砂丘 | 3050101 |
| | 凹地・浅い谷 | | 10601 |
| | | 浅い谷 | 2010301 |

また、属性コードに対応する地形種別の名称や色設定、「土地の成り立ち」及び「この地形の自然災害リスク」に関する説明文、並びにこれらをポップアップで表示させる仕様などはスタイル定義に書き込んでいる。

「土地の成り立ち」はその地形の形状と成因をそ

れぞれ記述し、「この地形の自然災害リスク」は地形種別ごとの表層崩壊、地すべり、土石流、洪水、高潮、地震動（揺れやすさ）の受けやすさの程度、液状化等の自然災害リスクについて記述している。

3.4 ベクトルタイル地形分類の公開・閲覧

ベクトルタイル地形分類は、2017年3月にベクトルタイル「地形分類（自然地形）」（図-3）及び「地形分類（人工地形）」（図-4）として地理院地図から公開するとともに、その概要説明を国土地理院ホームページに掲載した。URLは以下のとおり。

http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/lfc_index.html

各地形分類図の地形分類データを1つに統合し、かつ分類項目を共通化することで、土地条件図だけを表示した場合の約1.5倍の面積である約70,000km²の地形分類を一度に閲覧できるようになった。各地形分類図の整備範囲が重複している箇所は整備年度の新しいものを採用することにより、地形分類の最新の知見や位置精度の良いデータを確認しやすくなった。

また、ベクトルタイル形式で公開することにより、身近な地域の土地の成り立ちと自然災害リスクの情報を得やすくなった。さらに、自然地形と人工地形をレイヤ分けすることで、その土地が本来もっている潜在的な自然災害リスクと、人工的に改変工事がなされたことで新たに生じた自然災害リスクとを見分けられるようになった。

例えば、「地形分類（自然地形）」（図-3に例示）では、山地や台地等の分布のほか、かつて海や湖、湿地、河川の流路であった場所などを確認できる。また、「地形分類（人工地形）」（図-4に例示）では、海岸・湖岸沿いの埋立地・干拓地の分布や、宅地造成による盛土地・切土地の分布を容易に把握できる。

2017年3月公開当日に国土地理院応用地理部ツイッター（https://twitter.com/gsi_oyochiri）にて行ったベクトルタイル地形分類の情報の発信は、国土地理院が運用するツイッター群の中で最も大きな反響のあった記事の一つとなっている。また、地形分類データは、ネットニュースでの紹介を通じて、住宅メーカーや地盤調査等の企業から問合せも受けており、社会の関心が高いことがうかがえる。

今後も、ベクトルタイル地形分類の閲覧範囲を広げて行く予定である。



図-3 ベクトルタイル「地形分類（自然地形）」



図-4 ベクトルタイル「地形分類（人工地形）」

4. 数値標高モデルを利用した主題図について

4.1 DEMを利用した主題図の目的・概要

二次元の地図上に三次元の地形をわかりやすく表現するために、古くから等高線や地図記号などが用いられてきた。しかし、等高線から斜面の緩急を読み取り視覚的に地形を捉えることは、地形判読技術を必要とし容易ではなかった。

ところで、近年は数値標高モデル（以下「DEM」という。）を利用した主題図により地形を直感的に理解できる表現手法が提案されている。国土地理院では、全国シームレスに地形を直感的に把握できるよう、これらの表現手法を活用した「アナグリフ」「陰影起伏図」「傾斜量図」などの主題図を整備し提供している。³⁾

4.2 国土地理院が作成している DEM

国土地理院が整備し一般に提供する DEM には、5m と 10m の 2 種類メッシュサイズがあり、それぞれ 2 種類の方法で作成されている（表-2）。

表-2 DEMの種類⁴⁾

| 種類 | 名称 | 作成方法 | 標高精度 |
|-----------------------|--------|-----------|---------|
| 5mメッシュ (3次メッシュ単位) | DEM5A | 航空レーザ測量 | 0.3m以内※ |
| | DEM5B | 写真測量 | 0.7m以内 |
| 10mメッシュ (2次メッシュ単位) | DEM10A | 火山基本図の等高線 | 2.5m以内 |
| | DEM10B | 地形図の等高線 | 5m以内 |

※約5m格子内に航空レーザ計測点がある場合の精度。無い場合は2m。

4.3 DEMを利用した地形表現の内容

4.3.1 アナグリフについて

アナグリフは、右目に青、左目に赤のフィルムを貼ったメガネを通して見ると立体的に地形が見える図であり、国土地理院では、カラーとグレーの2種類のアナグリフを整備し提供している(図-5)。

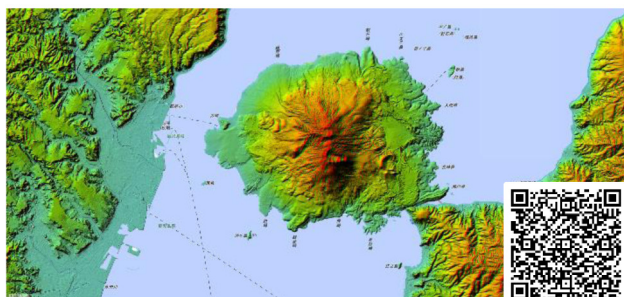


図-5 アナグリフ(カラー)

4.3.2 陰影起伏図について

陰影起伏図は、北西の斜め上の方向から地表面に向かって光を当て、凹凸のある地表面の北西側が白く、南東側が黒くなるよう作成した図(図-6)であり、尾根や谷などの地形が直感的に把握しやすい特徴を持つ。

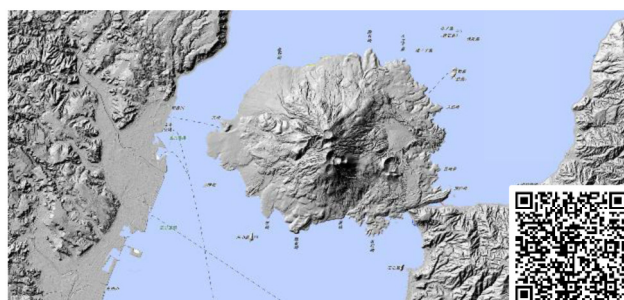


図-6 陰影起伏図

4.3.3 傾斜量図について

傾斜量図は、地形を一次微分した斜面の傾斜角の大きさを白黒の濃淡で表現したものである(図-7)。白いほど傾斜が緩やかであり、黒いほど急峻であることを意味している。光源による方向依存性はない

が、尾根と谷の区別がつきにくいいため高低差のわかる地形表現(標高段彩図など)と重ねて利用されることが多い。



図-7 傾斜量図

また、一般に雪崩が発生しやすい傾斜角度を表示した全国傾斜量区分図(雪崩関連)についても整備し提供している(図-8)。



図-8 全国傾斜量図(雪崩関連)

4.4 DEMを利用した地形表現の公開・閲覧

国土地理院は、DEMを用いて地形の直感的理解がしやすい主題図を、地理院地図上で2017年3月に公開した。

なお、これらの主題図のタイル画像データについては、オープンデータとして様々なシステムで活用できるように地理院タイル一覧(<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>)からも情報提供している(図-9)。

| 陰影起伏図 | |
|--------|---|
| URL: | https://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/hillshademap/(z)/(x)/(y).png |
| データソース | 標高タイル(基礎地図情報 数値標高モデル) |
| ズームレベル | 2~12 (DEM10B) 13~16 (DEM5A, DEM5B, DEM10B) |
| 提供範囲 | 日本全国 |
| 提供開始 | 平成29年3月15日 |
| 備考 | 陰影起伏図の解説ページ |

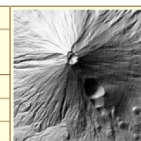


図-9 地理院タイル一覧

4.5 DEM を利用した主題図の活用

DEM を利用した主題図は、地形の様相を視覚的イメージで示し、その直感的な理解を容易にする長所がある。そのため、他の主題図や空中写真等と地理院地図上で合成することで、地形に刻まれた自然災害リスクや土地の成り立ちを捉え地域の理解を深めることができる（図-10 及び 11）。

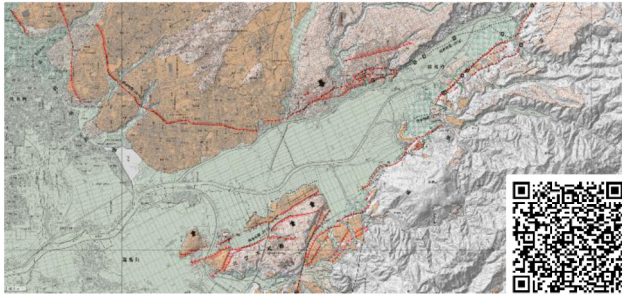


図-10 陰影起伏図と活断層図の合成例

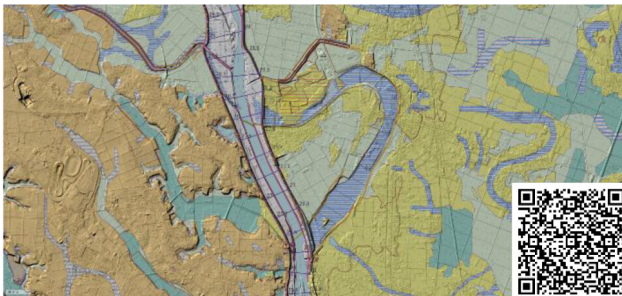


図-11 治水地形分類図と陰影起伏図の合成例

また、地理院地図には 3D 表示機能が搭載されている。そのため、DEM を利用した主題図を三次元表示すると様々な角度から地形を観察でき、地形の理解をより深めることができる（図-12）。

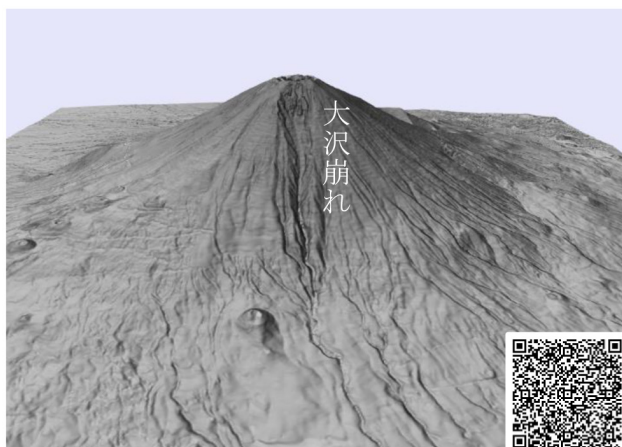


図-12 富士山を西から見た 3D 表示例

さらに、空中写真の実体視とは異なり、アナグリフや 3D 表示機能を利用すれば複数人が同時に同じ地形の三次元イメージを共有することができることから、教育現場等においても活用が期待される。

5. おわりに

2 回にわたり国土地理院で整備している主題図の一部（1:25,000 活断層図、火山基本図データ、湖沼データ）と、国土地理院ウェブサイトで公開している防災に関するデータの一部（指定緊急避難場所、ベクトルタイル地形分類、DEM を利用した主題図）について紹介してきた。国土地理院は、これからもこれらの情報整備を進めるとともに、有効活用に向けた情報発信や普及に努めて行く。

〈参考文献〉

- 1) 吉田一希, 飯田誠, 小島脩平, 清水雅行: 「ベクトルタイル形式による地形分類データの統合と公開」, 「国土地理院時報」, 時報第 129 集, pp.113-122
<http://www.gsi.go.jp/common/000191428.pdf> (2018 年 1 月 10 日現在)
- 2) 吉田一希, 飯田誠, 小島脩平, 清水雅行: 「地形分類データの改良と地理院地図 (ベクトルタイル形式) による公開」, 「平成 29 年度 国土交通省 国土技術研究会 論文集」, pp.37-41
<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/giken/brochure/2017ronbun1.pdf> (2018 年 1 月 10 日現在)
- 3) 栗栖悠貴, 高桑紀之, 関口辰夫: 「DEM を利用した主題図の整備と活用」, 「日本地理学会発表要旨集」, No.92, pp.183, 2017.9
- 4) 国土地理院: 基盤地図情報 ダウンロードサービス
https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html (2017 年 12 月 25 日現在)

平成 29 年度 応用地形判読士資格検定試験 二次試験合格者 13 名が決定

全地連理事会は平成 30 年 2 月, 第 6 回目となる本検定試験(二次試験)の合格者 13 名を決定しました。合格者は, 資格登録手続きを経て「応用地形判読士」の称号が付与されます。合格者全員の登録手続きが完了しますと, 「応用地形判読士」の全登録者数は 95 名になります。

全地連「技術フォーラム2018」の開催について(開催予告)

毎年, 多くの方々にご参加を頂いています全地連技術フォーラムにつきまして, 平成 30 年度は下記のとおり開催します。

全地連「技術フォーラム 2018」高松 開催概要

- 主 催：一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 協 力：四国地質調査業協会
- 開催日程：平成 30 年 9 月 6 日(木)～9 月 7 日(金) 2 日間
- 開催場所：サンポートホール高松(香川県高松市)

なお, 技術フォーラムの一般参加者募集(技術発表会, 技術者交流懇親会)や開催に関する詳細につきましては, 7 月にホームページ等を通じてご案内する予定です。なお, 技術発表会の原稿募集受付は, 4 月上旬で終了しました。多数のご応募をいただき, ありがとうございます。

平成 30 年度 全地連資格検定試験の実施概要 【地質調査技士・地質情報管理士・応用地形判読士】

全地連の資格検定試験(地質調査技士, 地質情報管理士, 応用地形判読士)は, 平成 30 年 7 月に全国 10 会場で実施します。受験資格や申込方法などにつきましては, 4 月 10 日に全地連のホームページに掲載します受験の手引きをご覧ください。

○資格検定試験 実施概要 (3つの資格検定試験は, 同日程・同会場で実施いたします)

試験日：平成 30 年 7 月 14 日(土)

申込期間：平成 30 年 4 月 10 日(火)～5 月 11 日(金)

試験会場：全国 10 会場

(予定)札幌, 仙台, 新潟, 東京, 名古屋, 大阪, 広島, 高松, 福岡, 沖縄

申込方法：受験手引きや受験願書は, 全地連のホームページからダウンロードし入手してください。

「報告書作成マニュアル（土質編）第2版」好評販売中

全地連では、「報告書作成マニュアル（土質編）第2版」を平成29年3月に発行し、販売を開始しました。

本書は、地質調査報告書の作成方法に関する唯一の教科書といえるものですが、初版発行の平成6年から20年余りが経過し、業界内からは改訂版の発行を希望する数多くの声が寄せられていた事もあり、第2版の発行となった次第です。

本書の目次構成は、下表の通りです。初版発行当時にはなかったコンサルティング業務、SI単位、電子納品、地質電子情報や地質リスク概念など、これら新しい分野を本書に反映し、また今の地質調査成果に求められる報告書の作成方法や留意点などを実務のながれに沿って分かりやすく解説しております。

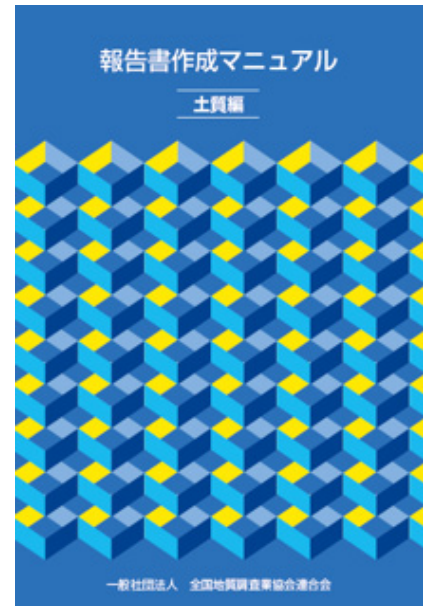
若手技術者の技術力向上、またベテラン技術者の品質管理などに本書をぜひご活用いただければと存じます。

販売窓口はこちら

⇒ [全地連 発行図書申込み](#)

[検索](#)

報告書作成マニュアル（土質編）第2版



発行（一社）全国地質調査業協会連合会
平成29年3月発行 A5判 160頁

報告書作成マニュアル（土質編）第2版 目次

第1章 報告書の意義と作成上の心構え

- 1.1 報告書の役割と作成上の心構え
- 1.2 地盤調査業務の流れと報告書の作成手順
- 1.3 仕様内容の確認
- 1.4 計画書の作成
- 1.5 結果の報告
- 1.6 報告書の標準的な構成と成果品
- 1.7 成果品の検査
- 1.8 地盤調査における瑕疵による損害賠償

第2章 報告書の作成方法

- 2.1 報告書の作成手順
- 2.2 目次の構成
- 2.3 業務概要の作成
- 2.4 調査方法の作成
- 2.5 地形・地質概要の作成
- 2.6 調査結果の作成
- 2.7 考察の作成
- 2.8 まとめの書き方
- 2.9 データシート類の種類と取り扱い方
- 2.10 図表類の取り扱い方
- 2.11 写真・スケッチの取り扱い
- 2.12 標本の整理の仕方
- 2.13 チェックリスト筆原稿の見直し

第3章 報告書執筆に必要な基礎知識

- 3.1 日本語の文章の書き方
- 3.2 執筆原稿の見直し・校閲
- 3.3 用語・単位
- 3.4 フローチャート（流れ図）の作り方
- 3.5 報告書の守秘義務
- 3.6 文献の引用方法
- 3.7 概要版報告書の必要性和まとめ方の要領
- 3.8 成果品

付録：執筆に役立つ関連情報

付録1 ICT技術の活用

- 1.1 国土交通省におけるICT技術の活用
- 1.2 電子納品に関する要領・基準等
- 1.3 電子データ作成に用いるプログラム
- 1.4 電子データの納品

付録2 既存資料の活用法

- 2.1 地形図・地質図・空中写真
- 2.2 ボーリングデータ

付録3 地盤調査関係の主なスペック一覧

- 3.1 地盤調査関係の主な基準書
- 3.2 調査・試験の規格・基準
- 3.3 各種試験結果出力様式

付録4 関連用語と記号

- 4.1 地質年代表
- 4.2 地盤工学標準記号
- 4.3 ギリシャ文字
- 4.4 従来単位とSI単位の比較
- 4.5 地盤工学用語の表記

平成 30 年度 道路防災点検技術講習会 開催案内

平成 30 年度「道路防災点検技術講習会」を下記のとおり開催します。

本講習会は、最近の災害事例を紹介するとともに、①『点検要領（平成 18 年 9 月 29 日付け事務連絡資料）』の改訂点、②点検箇所抽出方法、③具体的な着目点、などをわかりやすく解説することを目的としております。

講習会の詳細や申込方法につきましては、全地連のホームページをご覧ください。

▶▶▶ <http://www.zenchiren.or.jp/>（全地連ホームページ）

道路防災点検技術講習会 開催概要

- 開催日／開催場所： 東京 1 ■平成 30 年 6 月 29 日（金）連合会館 大会議室
- 仙 台 ■平成 30 年 9 月 21 日（金）フォレスト仙台 フォレストホール
- 広 島 ■平成 30 年 10 月 5 日（金）アスティ広島京橋ビルディング 3A
- 大 阪 ■平成 30 年 10 月 26 日（金）天満研修センター ホール
- 東京 2 ■平成 30 年 11 月 16 日（金）連合会館 大会議室

■主 催：一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

■後 援：国立研究開発法人 土木研究所

■参加費（テキスト代、税込み）

会員 8,200 円 ※会員対象：全地連会員企業の職員、地質調査技士、地質情報管理士、
応用地形判読士・判読士補・マスター、官公庁の職員

一般 9,200 円

*本講習会は、ジオ・スクーリングネットを運営する“土質・地質技術者生涯学習協議会”が開催を確認しており、CPD の加点対象となっております（加点ポイント：6）。

平成 30 年度研修「地質調査」 開催案内

毎年、多くの発注機関の方や地質技術者にご参加を頂いております本研修につきまして、平成 30 年度は下記のとおり開催します。

本研修は、発注機関の方にも多数ご参加をいただいております。参加者からは産官の相互交流、情報交換の貴重な機会としても大変好評をいただいております。講習会の詳細や参加申し込み方法につきましては、全国建設研修センターのホームページをご覧ください。

平成 30 年度研修「地質調査」 実施要領

- | | |
|----------------|---|
| 1. 共 催 | (一般) 全国建設研修センター、(一社) 全国地質調査業協会連合会 |
| 2. 後 援 | 国土交通省、全国知事会・全国市長会・全国町村会 |
| 3. 対象職員 | 国、地方公共団体及び民間企業等において建設事業に携わる者 |
| 4. 研修期間 | 平成 30 年 5 月 16 日（水）～平成 30 年 5 月 18 日（金） 3 日間 |
| 5. 教 科 目 | <ul style="list-style-type: none"> ・地盤特有の見方、考え方と地盤工学的問題解決のポイント ・地質調査の計画 ・地質調査発注のポイント ・地質調査を活用した技術 ・地質リスクマネジメントへの対応について など |
| 6. 研修場所 | 一般財団法人 全国建設研修センター 研修会館（東京都小平市） |
| 7. 研修経費 | 74,800 円（1 人当たり、宿泊費込、消費税含） |
| 8. 申込締切日 | 平成 30 年 5 月 9 日（水） |
| 9. 申込先及び問い合わせ先 | <p>講習会の詳細や申し込み方法、お問合せ先は、全地連のホームページ（イベント情報）をご覧ください。</p> <p>〈全国建設研修センター ホームページ〉 ▶ http://www.jctc.jp/training/schedule/tuchi</p> |

地質調査技士資格登録更新（平成 30 年度） 実施予定

平成 30 年度地質調査技士登録更新は、下記の日程で実施する予定です。詳細が決まり次第、全地連のホームページでご案内します。更新対象者の方は、更新手続きをお忘れのないようにご予定ください。

平成 30 年度 地質調査技士登録更新 実施概要（予定）

- 更新対象者：
平成 25 年度（2013 年度）の「登録更新講習会」を受講した方
平成 25 年度（2013 年度）の「第 48 回地質調査技士資格検定試験」に合格し、登録した方
- 更新手続き期間：平成 30 年 9 月中旬～10 月中旬（約 1 か月間）
- 更新方法：講習会受講形式または CPD 記録報告形式（任意選択）
- 講習会受講地および講習日：
全国 12 会場 各会場で定める平成 30 年 11 月～翌年 1 月のうちの 1 日間
- その他：
更新対象者の方には、8 月下旬に更新案内はがきをご自宅宛に郵送する予定です。案内が万一届かない場合は、更新手続き期間中に全地連のホームページを直接ご確認の上、手続きを進めてください。

「地質と調査」で社会資本の維持管理分野をテーマとして取り上げるのは、2009年の通巻121号以降9年振りとなります。その間、国土交通省が平成25年をメンテナンス政策元年と位置付けた取り組みを開始し、平成28年度にはメンテナンス産業を育成する目的で「インフラメンテナンス国民会議」が設立されるなど、インフラメンテナンスを巡る環境は著しく変化しました。また、既存のメンテナンス技術の進歩に加えて、IoTやAI、ビッグデータの活用など第4次産業革命と言われる技術革新がメンテナンス技術にも波及しつつあり、技術面においても大きな変化が生じています。

本号では地質調査とこれに関連する分野において、ご専門の方々にインフラメンテナンスを巡る各分野の動向や最新の技術など、幅広いテーマで執筆いただきました。日頃の業務等でインフラメンテナンスに関わっている方々、インフラメンテナンスに関心のある方々にとって興味深い内容になったのでは、と考えています。

最後になりましたが、年度末のご多忙の中にも関わらず、快く執筆を受け入れて頂きました執筆者の方々に、心から感謝の意を表します。

(2018年4月 尾高記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 尾高 潤一郎、加藤 猛士、佐護 浩一、細矢 卓志、利藤 房男、土屋 彰義、須見 徹太郎、池田 俊雄、高橋 暁、中川 直、各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄 東北：昆 孝広 北陸：津嶋 春秋 関東：丹下 良樹 中部：成瀬 文宏
関西：東原 純 中国：向井 雅司 四国：大岡 和俊 九州：永尾 一彦 沖縄県：長堂 嘉光

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

| | | | |
|------------|-----------|--|---------------------|
| 北海道地質調査業協会 | 〒060-0003 | 北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル) | TEL. (011) 251-5766 |
| 東北地質調査業協会 | 〒983-0852 | 宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階) | TEL. (022) 299-9470 |
| 北陸地質調査業協会 | 〒951-8051 | 新潟県新潟市中央区新潟町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406) | TEL. (025) 225-8360 |
| 関東地質調査業協会 | 〒101-0047 | 東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル) | TEL. (03) 3252-2961 |
| 中部地質調査業協会 | 〒461-0004 | 愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403) | TEL. (052) 937-4606 |
| 関西地質調査業協会 | 〒550-0004 | 大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クィーバービル) | TEL. (06) 6441-0056 |
| 中国地質調査業協会 | 〒730-0017 | 広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル) | TEL. (082) 221-2666 |
| 四国地質調査業協会 | 〒761-8056 | 香川県高松市上天神町 231-1 (マリッチ F1 101) | TEL. (087) 899-5410 |
| 九州地質調査業協会 | 〒812-0013 | 福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル) | TEL. (092) 471-0059 |
| 沖縄県地質調査業協会 | 〒903-0128 | 沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106) | TEL. (098) 988-8350 |

機関誌 「地質と調査」 '18 年 1 号 No.151

平成 30 年 4 月 15 日 印刷
平成 30 年 4 月 20 日 発行

編集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ジェイスパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザワビル 7 階 TEL. (03) 3264-7781 FAX. (03) 3264-7782

株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

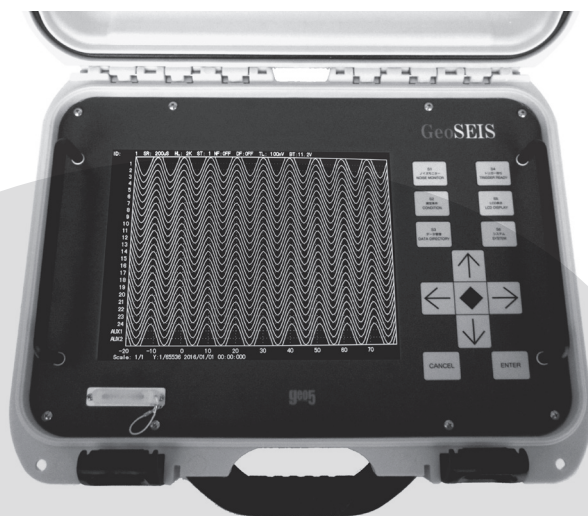
物探技術者待望の New Seismograph!

GeoSEIS-24 & GeoSEIS-48

geo5

操作性と機動性を追求した all in one 構造の土木物探用サイスマグロフ

- 24bit、20 μ sec の高速・高分解能サンプリング
- リアルタイム感覚の高速性を実現したノイズモニター
- 業界初、ショットマーク信号無線伝送機能
- 直射日光下でも見易い高輝度カラー LCD 搭載
- 小型軽量・低消費電力（48 成分で 4.3Kg、待機時 0.6A）
- 24 成分 +2Aux を 48 成分 +2Aux に増設可能な柔軟設計
- データ収録は、取扱の容易な SD カード
- 各種ソフトウェアに対応可能な SEG-1、SEG-2 標準 format



*本装置は、株式会社日本地下探査との共同開発品です。

株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1
TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512
Email sales@geo5.co.jp

■業務内容■

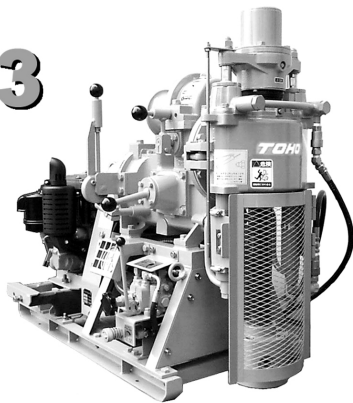
- 計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル
- 計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務
- 計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



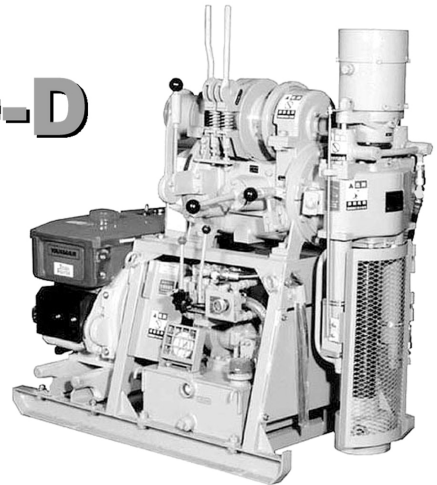
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

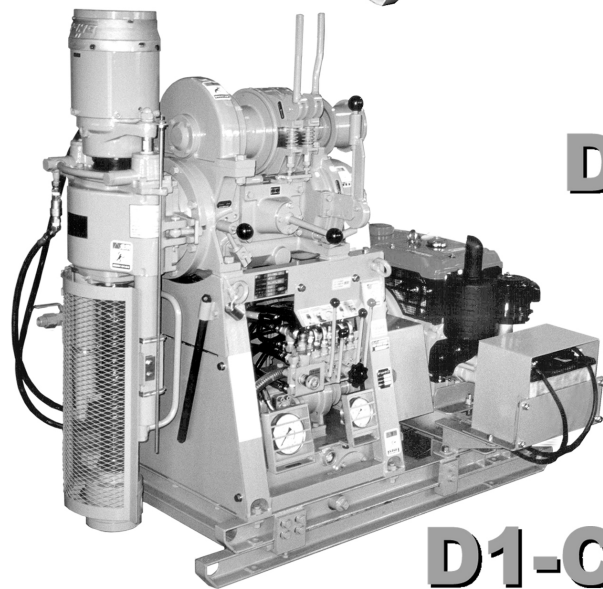
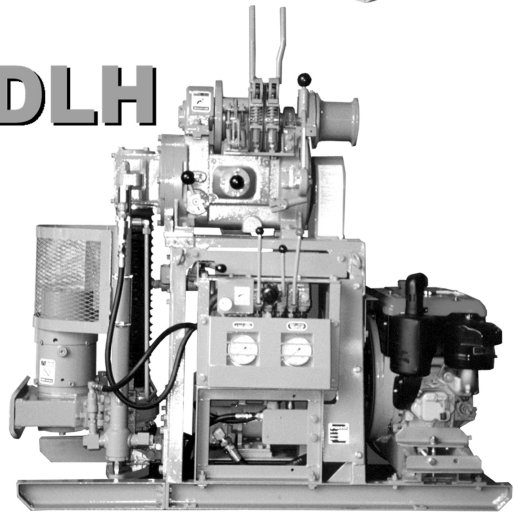
DM-03



D0-D



D0-DLH



D1-C

試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

| 機種名 | | DM-03 | D0-D | D0-DLH | D1-C |
|---------|-------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| 穿孔能力 | m | 30 | 100 | 100 | 280 |
| 回転数 | min ⁻¹ | 65,125,370 | (A)60,170,330 (B)110,320,625※ | (A)60,170,330 (B)110,320,625※ | (A)65,130,170,370 (B)90,170,320,490※ |
| スピンドル内径 | mm | 47 | 43 | 43 | 48,58 |
| ストローク | mm | 300 | 400,500※ | 500 | 500 |
| 巻上げ力 | kN(kgf) | 3.9(400) | 5.9(600) | 5.9(600) | 10.8(1100) |
| スライド | mm | | 油圧式300※ | 油圧式300※ | 油圧式300 |
| 動力 | kW/HP | 3.7/5 | 3.7/5 | 3.7/5 | 5.5/8 |
| 質量 | kg | 180 | 315 | 475 | 550 |
| 寸法 | H×W×L mm | 960×550×1115 | 1200×660×1180 | 1440×890×1415 | 1390×735×1580 |

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



東邦地下工機株式會社

東京都品川区東品川 3-15-8 TEL 03 (3474) 4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 092(581)3031
東京 03(3474)4141
札幌 011(376)1156
仙台 022(235)0821
新潟 025(284)5164
金沢 076(235)3235

名古屋 052(798)6667
大阪 072(924)5022
松山 089(953)2301
広島 082(533)7377
山口 083(973)0161
熊本 096(232)4763

地質調査

通巻151号

●発行所

株式会社ジェイスパーク／株式会社ワコー