

地質調査

2022

第1号

(通巻159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

小特集 堆積物の科学

- ≫ 河川堤防周辺の地盤漏水と堆積物 品川 俊介
- ≫ 堆積物中の宇宙線生成核種の分析に基づく流域剝蝕速度の推定と地形発達モデリング 松四 雄騎
- ≫ X線CTスキャンを用いた地質試料の観察 清家 弘治
- ≫ 法地質学における土の検査 杉田 律子
- ≫ 堆積物がもたらす年代の爪痕 微化石(花粉)分析からわかること 渡辺 正巳

教養読本

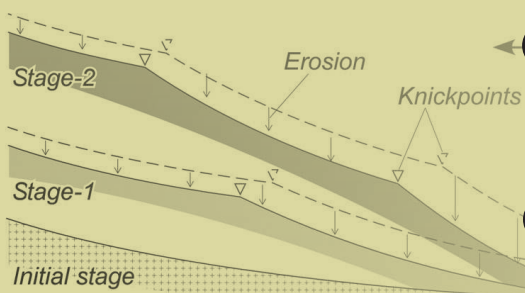
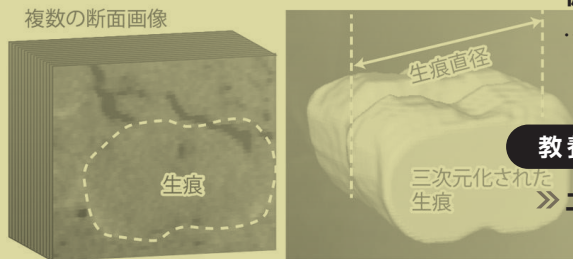
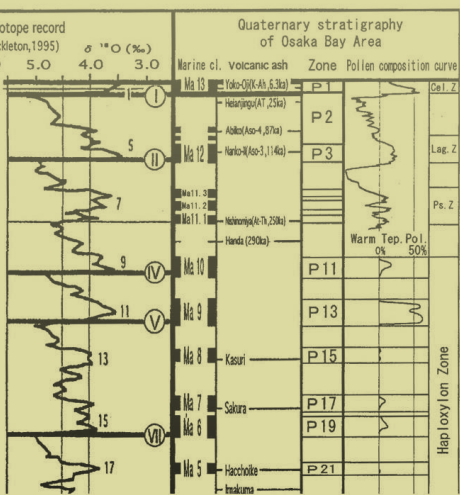
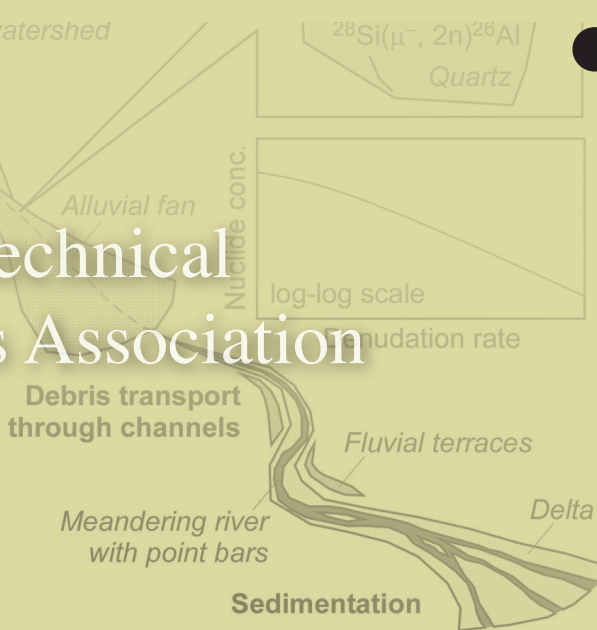
- ≫ 土質試験 吉泉 直樹

やさしい知識

- ≫ やさしい「川の地形」 原田 守啓

基礎技術講座

- ≫ 地すべり調査(後編) 杉本 宏之



小特集

■ 堆積物の科学

- ≫ 河川堤防周辺の地盤漏水と堆積物 品川 俊介 …… 1
- ≫ 堆積物中の宇宙線生成核種の分析に基づく流域削剥速度の推定と地形発達モデリング 松四 雄騎 …… 5
- ≫ X線CTスキャンを用いた地質試料の観察 清家 弘治 …… 9
- ≫ 法地質学における土の検査 杉田 律子 ……13
- ≫ 堆積物がもたらす年代の爪痕 微化石(花粉)分析からわかること 渡辺 正巳 ……17
- ≫ 土質試験 吉泉 直樹 ……21
- ≫ やさしい「川の地形」 原田 守啓 ……25
- ≫ 地すべり調査(後編) 杉本 宏之 ……29
- ≫ ラオス国ナムニアアップダム調査 武田 伸二 ……35
- ≫ 北海道の地熱発電資源～現況と探査の視点 加藤 孝幸 ……41
- ≫ 広島県三次市 みよし風土記の丘ミュージアム(広島県立歴史民俗資料館) 小林 公明 ……43
- ≫ 国指定史跡名越切通(神奈川県) 小林 恵 ……45
- ≫ 衛星の防災利用実証活動(その2) 川北 史朗 ……47
- ≫ 知っておきたい斜面のはなし2 Q & A - 斜面の災害に備える - (公社) 土木学会 ……51

教養読本

やさしい知識

基礎技術講座

私の経験した現場

大地の恵み

各地の博物館巡り

各地に残すべき地形・地質

研究所からの報告

書籍紹介

地質だより

- 地質調査業発展ビジョンの作成 …… 52
- 地質調査業のPR動画について …… 52
- 令和3年度「応用地形判読士資格検定試験」 「地質リスク・エンジニア認定試験」の合格者の決定 …… 53
- 全地連「技術フォーラム2022」の開催について(開催予告) …… 53
- 全地連資格制度 令和4年度の検定試験および登録更新の実施概要について …… 54
- 講習会の開催情報(令和4年度) …… 56

既刊情報

下記の「地質と調査」は、次の URL または QR コードから、どなたでもご覧いただけます。

全地連の機関誌「地質と調査」

https://www.zenchiren.or.jp/jgca/jgca_geo-se.html



● 掲載概要

2000 年第 1 号 (通巻 83 号) ~ 2005 年第 4 号 (通巻 106 号) → メインテーマのみ

2006 年第 1 号 (通巻 107 号) ~ 2013 年第 1 号 (通巻 135 号) → 【会告】を除くすべてのページ

2013 年第 2 号 (通巻 136 号) 以降 → すべてのページ

※ Web 掲載版の「地質と調査」はカラーで閲覧いただけます。

● 最近の発刊

通巻	発行年月	メインテーマ
149 号	8 月	特定テーマ：～離島～
150 号	12 月	小特集：熊本地震
151 号	2018 年 4 月	小特集：インフラメンテナンス
152 号	11 月	小特集：地熱
153 号	2019 年 6 月	小特集：地盤情報データベースの現状と課題
154 号	11 月	小特集：沿岸
155 号	2020 年 4 月	小特集：AI で地質調査はどう変わるのか
156 号	11 月	小特集：防災・減災 - 豪雨災害の被害軽減に向けて -
157 号	2021 年 4 月	小特集：地図データの活用
158 号	11 月	小特集：物理探査が拓げる地質調査
159 号	2022 年 4 月	小特集：堆積物の科学

次号予告

地質調査 2022 年 第 2 号 (通巻 160 号) 内容 (予定) 令和 4 年 11 月発行予定

小特集テーマ：DX (Digital Transformation | デジタルトランスフォーメーション)

* 編集方針により小特集テーマは変更となる場合があります。

河川堤防周辺の地盤漏水と堆積物

しながわ しゅんすけ*
品川 俊介*

Key Word

河川堤防, 地盤漏水, 破堤, 堆積物, パイピング, 砂脈, 地形, 安全性評価

はじめに

日本の平野を流れる河川には、長大な延長の河川堤防が築造されている。国が直轄管理する堤防だけでも12,624.5km（令和2年3月現在）¹⁾に及ぶ。

洪水により河川が氾濫すると、重大な被害が生じる。最近でも平成30年7月豪雨（西日本豪雨）により、岡山県内の小田川やその支流の河川が破堤し、岡山県倉敷市真備町において51名もの死者が発生してしまった（災害関連死を除く。）²⁾。

洪水時に河川堤防が破堤に至る主要な機構として、次の3つが挙げられる（図1）。

- 1) 越水
- 2) 侵食
- 3) 浸透

越水は、河川水位が堤防高さより高くなり、堤防を河川水が乗り越え、その際に堤防のり尻や堤防天端を侵食し、堤防断面が失われて破堤に至るものである。

侵食は、河川水が堤防を乗り越えないが、水流により堤防が侵食され、堤防断面が失われて破堤に至るものである。

浸透は、堤防で仕切られた河川側の土地（これを「堤外地」という。）と堤防で守られている土地（これを「堤内地」という。）との水位差によって堤体または基礎地盤に水が浸透することであり、堤体浸透と基礎浸透に分けることができる。

堤体浸透は、洪水が継続することで河川と堤内地との水位差が維持されている間に堤体を通じて浸透

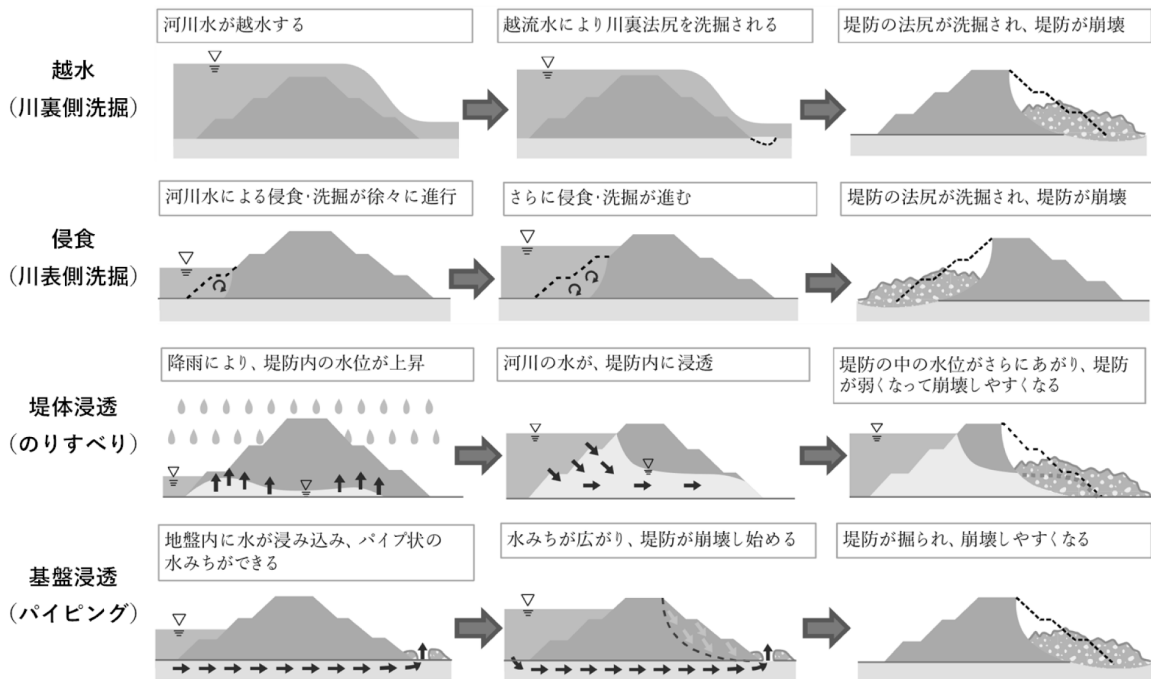


図1 河川堤防が決壊に至る主要な機構³⁾を改変

*国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ地質チーム 上席研究員

が起こり、堤体が弱体化して「のりすべり」を起こし、最終的に破堤に至るものである。

基盤浸透は、河川と堤内地との間を通じる高透水の地層が水の浸透経路となり、その圧力で堤内地地盤の表層を破壊し、漏水が生じる。そして漏水に伴って基礎地盤を構成する土が移動して吸い出されて（これを「パイピング」という。）、その結果堤防や基礎地盤が陥没し、最終的に破堤に至るものと考えられている。なお、堤体材料によっては堤体浸透によってもパイピングが起こりうる。

本論では特に、地盤を構成する堆積物をその経路とする基盤浸透による災害、すなわち地盤漏水を取り上げ、河川堤防周辺の災害実態や調査方法について紹介する。

なお、河川は下流に向かって右側を「右岸」、左側を「左岸」という。

2 地盤漏水による河川堤防被災の実例

1947～1969年度の破堤事例（原因不明なものを除く）についてその原因の比率を表1に示す。これによると河川堤防の破堤原因は主に越水であったが、浸透（漏水、のりすべり）による破堤も発生している。また、この調査では破堤に至る支配的要因を事例ごとに1つ挙げているが、実際には複合要因で破堤に至っていると考えられることから、地盤漏水への対策の必要性は変わらない。本節では、地盤漏水による破堤事例および、筆者が調査を行った漏水事例について紹介する。

表1 河川堤防の破堤原因⁴⁾をもとに作成

破堤原因	越流	洗掘	のりすべり	漏水	その他	計
箇所数	231	32	5	10	5	283
比率(%)	81.6	11.3	1.8	3.5	1.8	100

2.1 遠賀川の破堤事例

基盤浸透による破堤であることが明確に記載された国内の事例として、1953年6月26日に発生した、遠賀川左岸14.1km付近（現在の福岡県直方市植木、新幹線橋梁の下流約600m）の破堤がある。以下に古賀・内田⁵⁾に基づき紹介する。

本堤防は、1907～1910年頃に築造されたもので、その際堤防の位置を変更し、破堤地点は以前の河床であった。破堤後の調査によれば堤体材料は特に不良と考えられるものではない。また破堤箇所より30mほど離れた箇所に以前より大きな池があり、この池の水をポンプで汲み上げたが、干上がらせるこ

とは不可能であったという（1948年撮影の米軍空中写真によると、池は破堤した堤防の川表側に隣接して存在している）。この池の底は透水層に通じていたと考えられている。

破堤は午前10時50分頃に起こったが、午前8時頃の時点では異常は見られず、午前10時30分頃通行人より漏水の報告があった。午前10時50分頃、まず川表側ののり面上端が陥没し、引き続き川裏側ののり面上端が陥没した。そのとき川表側に土俵を投げ込んだところ、堤防は横断方向に約1m切断され、それが約10分間で10m程度に広がり、最終的には80mにまで拡大した。なお、破堤直前においては破堤箇所を挟んで堤防が10m位の区間で弓なりに沈下したという。

破堤地点の直近で行われたボーリング調査結果によると基礎地盤は表層より暗褐色粘土（厚さ約3m）、細粒砂（厚さ約1.5～2m）、暗灰色粘土質砂（厚さ約13.5～15m）、黄褐色礫を含む砂（厚さ約2～2.5m）、その下位に褐灰色細粒砂粘土が分布していた。

破堤の原因として、河川水が基礎地盤の透水層を通じて漏水し、それが堤防の下部を洗って破堤に至ったものと推定している。

2.2 矢部川の破堤事例

近年発生した地盤漏水による破堤事例として、2012年7月14日に発生した、矢部川右岸7.3km付近（福岡県柳川市大和町六合、都留橋上流約100m）の破堤がある。以下に矢部川堤防調査委員会⁶⁾に基づき紹介する。

大和町史⁷⁾によれば、破堤地点付近の矢部川は蛇行が著しく、1645年に河道の直線化工事が行われている。そして破堤地点付近はちょうど付け替え箇所付近にあたる。また、治水地形分類図⁸⁾によると、破堤箇所付近には「現存しない堤防」が示されており、現在の堤防位置は、過去の堤外地にあたる可能性がある（図2）。

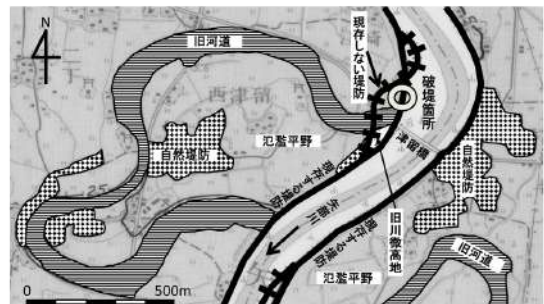


図2 破堤地点付近の治水地形分類図⁸⁾に加筆

破堤地点の推定水位によると、計画高水位を5時間以上上回る状態が継続した後に破堤に至ってい

る。その原因は越流ではなく、堤防川裏のり尻の漏水に引き続いて起こった堤防横断方向の陥没による破堤であった。監視カメラ画像によると、13時15分には破堤は生じていなかったが、13時30分には約10mの幅で堤防が失われていた。破堤前後の様子は、水防活動中の消防団員らが目撃していた。それによると、川裏のり尻付近から水が高さ1m程度まで噴き上がり、その後10分程度の間堤防横断方向に幅1mに満たない陥没様の崩壊が生じ、その後一気に断面全体が失われるようにして破堤した。破堤時刻は13時20分ごろで、その後、破堤口は主に上流側に急速に拡大し、15時30分には約50mとなり、拡大が停止した。

破堤後の現地調査によると、堤体は粘性土で、残存する堤防は破堤直後においても含水比が高くない状態であった。また堤体部から堤内地にかけて盆状の洗掘（これを「押掘（おっぼり）」という。）が生じていた。破堤箇所周辺の基礎地盤は厚さ1.2m程度の粘性土の下位に、局部的に厚さ1～1.5mの砂層が分布し、これが透水経路となったと考えられている。そして、この砂層が漏水に伴って吸い出しを受け、堤体の陥没に至ったものと推定されている。なお、本調査では旧河道と砂層との関係は不明とされている。

2.3 北川の漏水事例

宮崎県北部を流れる北川左岸13.0km付近の延岡市北川町川坂地区（川坂大橋の上下流それぞれ約350mの区間）ではたびたび漏水が発生しており、近年では2014年、2016年、2017年、2018年に大規模な地盤漏水が発生した。なお、本事例は多数の漏水箇所が同時多発的に生じたものの、破堤に至っていない。以下に石原ほか⁹⁾、品川ほか¹⁰⁾に基づき紹介する。

図3に、川坂地区の地形分類図上に漏水箇所を示した。漏水箇所は主に旧河道に存在することがわかる。地質調査結果によると、漏水が多い地点周辺の地質構造は、表層2～3mまでは耕作土および砂質シルトやシルト質砂からなる洪水堆積物、その下位に厚い砂礫層が約40～50mの層厚で存在することが明らかになっている。

漏水経路を把握する目的で、漏水箇所のトレンチ調査を行った。図5に、図3および図4に示す漏水箇所の掘削面の様子を示す。

この地点では、地表から約2.2mの深さに存在する砂礫層から上方に向かう、粗砂で構成される砂脈が観察された。砂礫層の上位にある中粒砂層は砂脈に切られており、砂脈とはその層相も異なる。砂脈

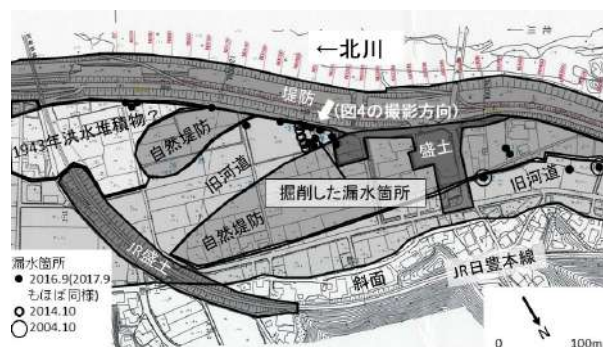


図3 川坂地区の漏水地点と地形分類図¹⁰⁾を改変

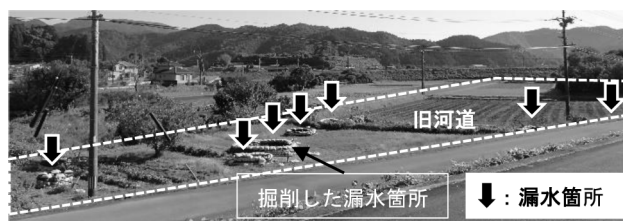


図4 旧河道内に列をなす漏水

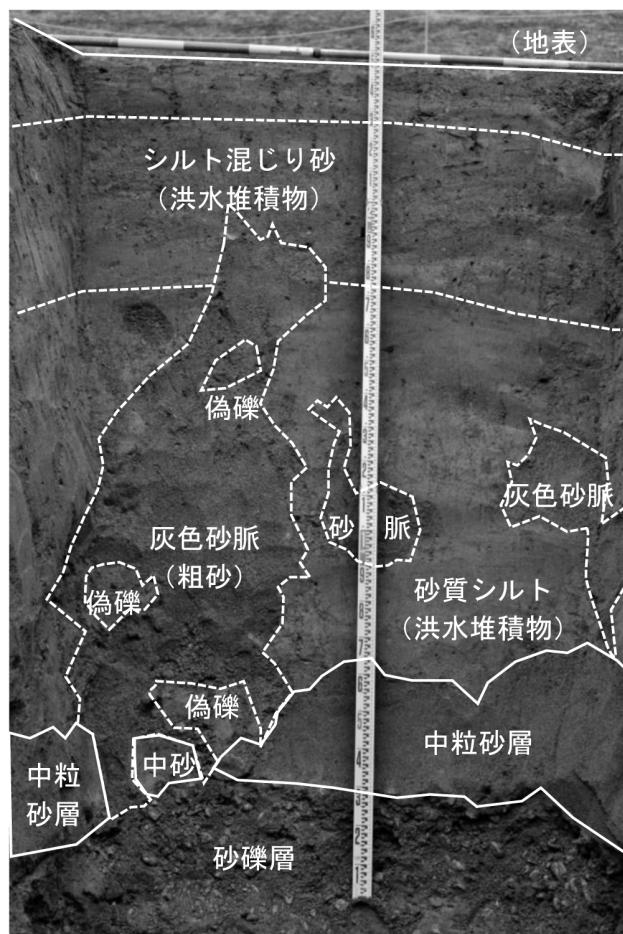


図5 礫層から上方に伸びる砂脈

は、下方に向かって粗粒となっており、最下部には礫および周辺の砂質シルトを削り込んで生産されたと推定される偽礫を含む。この観察面は、漏水箇所の縁辺域に相当しており、更に掘削を進めたところ、砂脈は地表に達し、幅約3mの掘削面全体が砂脈に置き換わっていた。漏水地点そのものは若干陥没が

見られるが、大量の砂が移動していたにもかかわらず、漏水地点の周囲には、陥没などの地盤の変形は認められなかった。砂脈の供給源が砂礫層中の砂であり、砂礫層の骨格が維持されているために地盤の陥没が起こらなかったものと考えられる。なお、トレンチで観察される砂礫層上面は平滑で陥没は認められなかった。

以上の観察結果を踏まえると、この地点での漏水は、遠賀川や矢部川のような破堤には結びつかない可能性が高いものと推察される。

3 地盤漏水に関する河川堤防弱点箇所の把握

地盤漏水の可能性のある箇所については堤防の安全性確保のために予め把握と安全性評価を行い、必要な対策を施すことが求められる。一般に、河川堤防の安全性評価は国土技術研究センター¹¹⁾を参考にして実施されている。その中の浸透安全性に関する評価では、概略評価に基づいて抽出された一連区間について、最も条件が厳しいと考えられる代表地点1断面で浸透流解析を実施し、評価することになっている。適切な解析を行うためには、基礎地盤の不均質性を踏まえた調査により、代表地点が選定される必要がある。

事例からもわかるとおり、地盤漏水は地質などの場の条件がその発生に大きく関与していると考えられる。また、堆積、侵食プロセスの最終形である現在の地形は、地質と密接な関わりを持っている。一方、同一の地形種（たとえば旧河道）においても、河川内の堆積物を見ればわかるとおり、河川堆積物は不均質で、特に側方に変化が激しい。

河川堤防やその基礎地盤に関する弱点箇所の調査には、主にボーリング調査が用いられてきた。しかしながら河川堤防は連続構造物であり、一連の区間の中に弱点箇所が存在すると、全体として安全性が損なわれてしまうことから、河川堆積物が有する不均質性を適切に把握するため、本来的には連続データ、もしくは高密度の点群データによる調査、評価が必要である。

これらの条件を満たす調査手法として、地形的手法や物理探査手法、稠密サウンディング調査が挙げられる。これらをボーリング調査と適切に組み合わせることで、地質・地盤情報の持つ不確実性を低減させることができる。

地形的手法としては空中写真判読や航空レーザーデータなどによる高精細DEMを利用した地形判読が挙げられる。地形判読により、高透水地盤に関連する旧河道、自然堤防などを把握できる。国管理河

川を中心として、国土地理院が「治水地形分類図」を刊行しており、最近では「地理院地図」ウェブサイトでも公表しているため利用できる。同じく「地理院地図」で、5mDEMを用いた様々な図が利用できる。

堤防調査に適用される物理探査手法としては、電気探査、表面波探査、地中レーダ探査、S波トモグラフィ探査などの手法が用いられる。これらの適用にあたっては、ボーリング資料などの適切な参照データを有効に利用することや、複数の調査手法を組み合わせることで解析、解釈を行うなどの配慮により、精度の向上ができる¹²⁾。

稠密サウンディング手法として、筆者らは土層強度検査棒を河川堤防基礎地盤の空間分布調査に適用し、その適用性の検討を実施している^{13)、14)}。今後、このような地盤情報の簡便な空間補間技術の普及により、情報の不確実性の低減に貢献すると思われる。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：「河川データブック2021」, pp.267-274, 2021, 国土交通省, https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/index.html (2022年4月5日現在)
- 2) 岡山県：「平成30年7月豪雨災害記録誌」, p.63, 2020.3, 岡山県, <https://www.pref.okayama.jp/page/653529.html> (2022年4月5日現在)
- 3) 常呂川堤防調査委員会：「常呂川堤防調査委員会報告書」, pp.3-1-2, 2017.3, 国土交通省北海道開発局網走開発建設部, <https://www.hkd.mlit.go.jp/ab/tisui/v6dkjr00000006el.html> (2022年4月5日現在)
- 4) 山村和也, 久楽勝行：「堤防補強に関しての考察」, 土木研究所報告, No.145, pp.34-35, 建設省土木研究所, 1974.2
- 5) 古賀雷四郎, 内田一郎：「遠賀川堤防決壊及び漏水について」, 土と基礎, Vol.1, No.4, pp.4-7, 1954.1
- 6) 矢部川堤防調査委員会：「矢部川堤防調査委員会報告書」, 2013.3, 国土交通省九州地方整備局筑後河川事務所, <http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/gaiyou/yabe/teibochosa/index.html> (2022年4月10日現在)
- 7) 大和町史編纂実務委員会編：「大和町史 資料編」, 大和町, 1999
- 8) 建設省国土地理院：「治水地形分類図 柳川」, 1977
- 9) 石原雅規ほか：「北川における漏水の変遷と地形及び堤防構造等の関係」, 河川技術論文集, Vol.25, pp.517-522, 2019.6
- 10) 品川俊介ほか：「河川堤防基礎地盤漏水現場におけるトレンチ調査」, 日本第四紀学会講演要旨集, Vol.48, p.7, 2018.8
- 11) 国土技術研究センター：「河川堤防の構造検討の手引き(改訂版)」, 2012.2, <https://www.jice.or.jp/tech/material/detail/10> (2022年4月17日現在)
- 12) 尾西恭亮, 品川俊介：「物理探査の地質・地盤リスクマネジメントへの活用」, 土木技術資料, Vol.64, No.6, 2022.6 (印刷中)
- 13) 品川俊介ほか：「土層強度検査棒による河川堤防基礎地盤の高密度サウンディング調査」, 第1回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム 委員会報告・講演概要集, pp.64-65, 土木学会地盤工学委員会堤防小委員会, 2013.11
- 14) 品川俊介ほか：「土層強度検査棒による地盤性状の把握—河川堤防基礎地盤調査における検討—」, 土木技術資料, Vol.63, No.3, pp.24-29, 2021.3

堆積物中の宇宙線生成核種の分析に基づく流域削剥速度の推定と地形発達モデリング

まつし ゆうき
松四 雄騎*

K
ey Word

宇宙線生成核種, 土砂の給源域と集積域, 削剥速度, 地形発達モデル,
堆積物アーカイブ, 流域圏システム

1 はじめに

地形学と堆積学は、地球表層における土砂の生産、輸送、堆積という一連の過程における流砂の給源域 (source) と集積域 (sink) をそれぞれ扱う。地形学は、地表の起伏形態すなわち地形の多角的な調査・解析により、土砂の移動を伴うその成立過程を探求する。堆積学は地下に保存された土砂すなわち堆積物の諸相を記載・分析して、その生成過程を究明しようとする。従って両者は、地球表層における物質循環を担う流域圏システムを統合的に理解するうえで相補的な役割を果たすものと期待される。

陸域侵食場における地形発達モデルの妥当性は、侵食に伴って発生した土砂の堆積場におけるアーカイブに照らして検証されることが望ましい。山地流域は土砂の一次供給源であり、侵食の過程や速度を反映した土砂供給システムの振る舞いやその時空間的変遷は、低地や沿岸域といった土砂の堆積場に記録されうる。しかし、一般に堆積相の鉛直変化や堆積盆の埋積速度は、堆積システムの全体的変動に影響を受けて、その時間発展を記録しており、土砂の給源における環境変遷をそうした情報から直接的に復元することは難しい。すなわち、流砂の給源域と集積域を繋げて、侵食場におけるモデリングを堆積物アーカイブにより厳密に検証することは従来困難であったといえる。

地表近傍の造岩鉱物中に生成する宇宙線由来の放射性同位体 (宇宙線生成核種) を用いることで、土砂の給源域と集積域に定量的で精確なリネージを作り出すことができる可能性がある。特に、石英中に生成する ^{10}Be と ^{26}Al は、その存在量に基づいて、多様な地形における削剥 (土砂生産) の速度^{1), 2), 3), 4)} や、地表面の露出年代^{1), 5)} を決定できるうえ、石

英粒子が風化に対して堅牢で、かつ核種が長寿命であることを利用して、土砂給源域における過去の削剥速度を表す指標として用いることもできる。ここでは、堆積物を対象とした宇宙線生成核種の分析により得られる情報を整理し、侵食場における地形発達モデリングと堆積場に記録されたアーカイブを橋渡しする本手法の有用性を解説する。

2 宇宙線生成核種の生成と削剥速度の決定

地球の大気や地表では、宇宙線の照射を受けることで宇宙線生成核種が生成している (図 1)。例えば大気中の窒素原子核の熱中性子捕獲により ^{14}C が、酸素原子の核破砕反応により ^{10}Be が生じる。こうした大気生成の (meteoric) 核種とは別に、地表に到達した二次宇宙線により、地表近傍の造岩鉱物の結晶格子中には、地上生成の (terrestrial) 核種が蓄積する^{1), 5)}。代表的な地上生成核種として、石英中の酸素とケイ素をそれぞれ主たる標的原子核として中性子による核破砕や負ミューオン捕獲等により生成する ^{10}Be と ^{26}Al がある。これらは、原位置 (in-situ あるいは in situ-produced) 宇宙線生成核種と呼ばれた時代もあったが、本稿で述べるように、初生的な場所から移動した堆積物までもが分析の対象となって「原位置」の語が相応しく無くなるような手法適用範囲の拡がりを経て、現在では、この呼称は使われなくなってきている。

^{10}Be と ^{26}Al の半減期はそれぞれ 138.7 万年および 71.7 万年であり、地質学的な時間スケールからみればやや短寿命、地理学的な時間スケールからみれば十分に長寿命である。このことが、これらの核種の地形学的あるいは堆積学的な有用性をもたらしてい

*京都大学 防災研究所

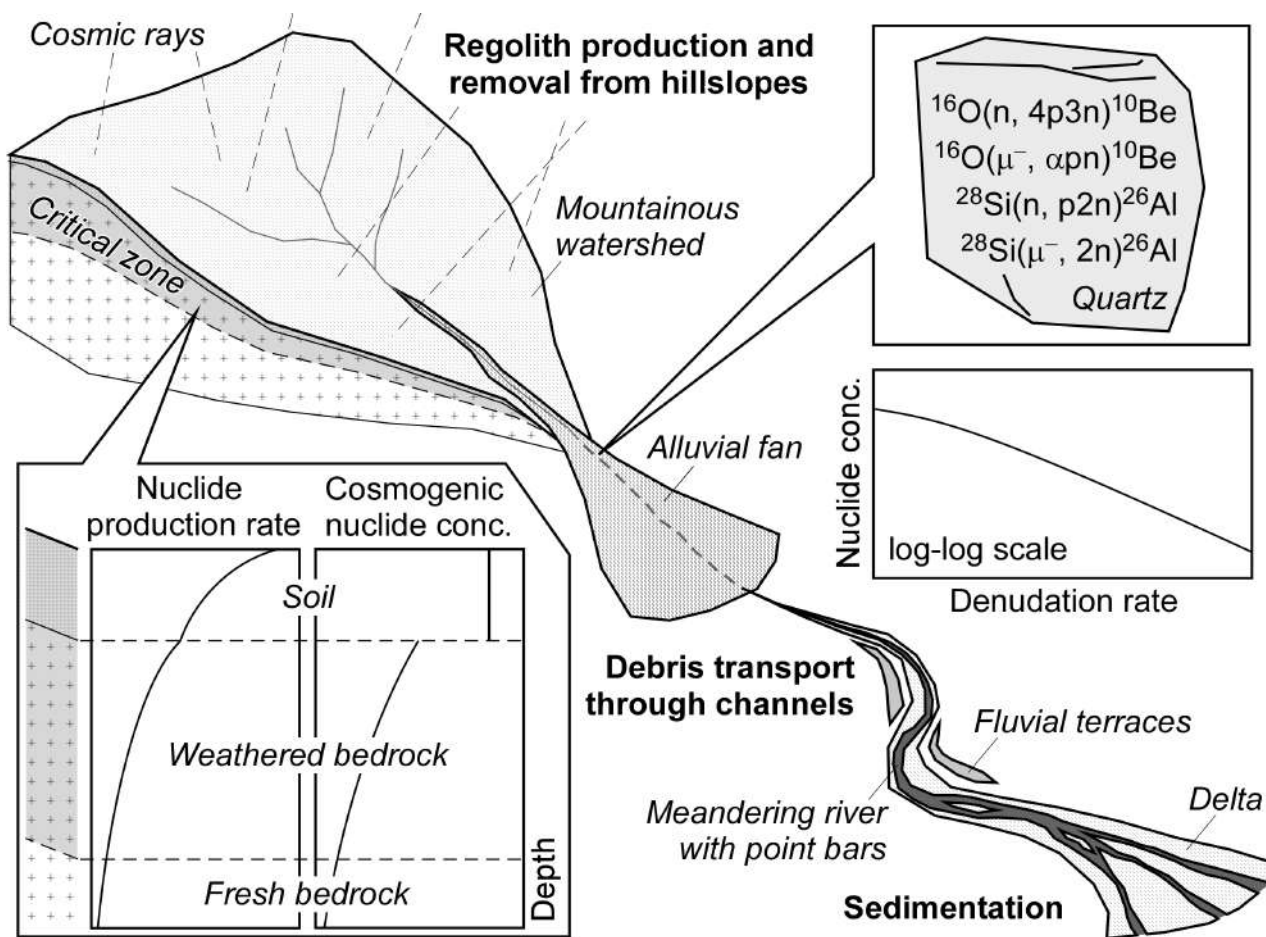


図-1 流域圏における土砂の生産・輸送・堆積過程と宇宙線による地上生成核種の蓄積

る。すなわち、 ^{10}Be や ^{26}Al は、深成岩類や付加体といった 10^7 年以上の時間スケールで生成した地質体の石英中には存在せず、それらの岩体が隆起し削剥される過程において、宇宙線が有意に到達する地表近傍の数メートル程度の深度でのみ生成する (図 1)。定常的に削剥されている地形の表面において、地上生成核種の存在量は、その場の削剥速度を反映した平衡状態となっており、削剥速度が大きいほど核種濃度は小さくなる (図 1)。現世の河川堆積物に含まれる石英中の核種濃度は、その土砂を供給した流域の空間平均削剥速度を反映する^{1), 3)}。石英粒子は、侵食・運搬・堆積の過程ではほぼ化学風化せず、土砂給源域の削剥速度の情報を保持したまま埋没する。これにより、 10^6 年以下の時間スケールで生成した第四系に対しては、それが宇宙線照射から遮蔽された状態を維持している限り、埋没以降の放射壊変量を補正する必要はあるものの、石英中の ^{10}Be と ^{26}Al 濃度を、土砂給源域における過去の削剥速度の復元に用いることができる。

日本のような温暖湿潤変動帯における石英中の ^{10}Be と ^{26}Al の一般的濃度は、 10^6 atoms g^{-1} 以下と

極微量であるが、加速器質量分析によって定量できる⁴⁾。分析の対象となる試料は現世の河床堆砂や低地の沖積層あるいは浅海域の第四系等が考えられる。こうした堆積物は、採取時には多種の鉱物粒子が混合した状態であり、多くの大気生成の降下 ^{10}Be も吸着している。よって、酸処理や比重分離・磁性分離などによって石英粒子のみを抽出し、かつその表面をエッチングして、完全に清浄な状態になるよう物理化学処理を施す必要がある。通常、分析のために準備する石英の純度と量は、 $> 99.9\%$ 、 > 20 g 程度である。それを秤量して $100\text{--}300$ μg の Be 担体を添加したのち酸分解し、標的元素を単離して最終的には酸化物に化学形を変化させ、所定の金属粉体を混交して圧密固化することで導電性を付与した状態にして加速器質量分析に供する⁴⁾。加速器質量分析では標準物質との相対測定によって同位体比が決定され、安定同位体の量と分解した石英の質量から核種濃度が算出される。

得られた宇宙線生成核種の濃度は、試料となった石英粒子が核種を獲得した場の核種生成率に基づいて削剥速度へと換算される。このとき削剥速度の値

が平均化している時間スケールは削剥速度自体に依存するが、一般に 10^3 年から 10^4 年程度である。これは、宇宙線が核種を有意に生成させる深度の地形構成物質が更新されるのに要する時間（核種濃度が動的平衡状態に達する時定数）に相当する。削剥速度の算出に用いる地表での核種生成率は、地磁気（緯度）と大気圧（標高）および地形による宇宙線遮蔽効果に基づき計算できる。核種生成率の推定精度は $\pm 5\%$ 程度であり、長期の宇宙線変動を考慮する必要がある場合はより大きくなる。加速器質量分析の誤差は $\pm 10\%$ であり、削剥速度の値には、これらを合わせて伝搬させた不確かさが付随する。

3 侵食地形の発達モデルと堆積物アーカイブの結合

堆積物に含まれる石英中の ^{10}Be および ^{26}Al を用いた手法を適用できる一つの場として、いま、山地の前縁で上下変位を伴う断層が侵食基準面を規定し、土砂の給源域と集積域を分かちような状況を想定してみよう（図2）。断層運動に伴う上下変位は 10^5 年程度の時間スケールで段階的に加速するものとし、その結果、土砂の給源域となる山地では侵食基準面の低下に対する応答として削剥が加速し、地

形が発達する。流域の地形は、山塊のテクトニックな隆起の速度に対応した平衡形へと向かうはずであるが、その進化の過程では過渡的な形状をもつ河川縦断形あるいは斜面形が出現し、河道上の遷急点と斜面上の遷急線で構成される侵食前線が上流・上方側へと伝播することで、地形の遷移が生じる。隆起と削剥が釣り合った動的平衡状態にある流域内の任意点での集水面積と勾配の間には、経験的あるいは理論的に冪関数で表現される関係があることが知られているが、過渡的な地形においては、ひとつの流域内でそうした冪関係が複数出現することになる。一方、土砂の集積域では堆積場の相対的な沈降に伴って 10^5 年から 10^6 年程度の時間スケールで地層が形成される。ここでは山地から供給される砂礫堆積物のほか、沿岸域であれば海水準の変動に伴って不整合面が形成されたり海成粘土層が堆積したりするであろうし、立地によっては広域テフラが挟在するなどして、タイムマーカーとなり得る層準もアーカイブされてゆく。日本のような沈み込み帯島弧では、こうした状況にある場合は少なくないだろう。適用しうる場合は、近畿三角帯周辺や中部山岳近辺、東北日本弧など、各地に思い浮かぶ。

このとき、山地における侵食地形の発達モデリングと低地や沿岸域のような土砂集積域における堆積

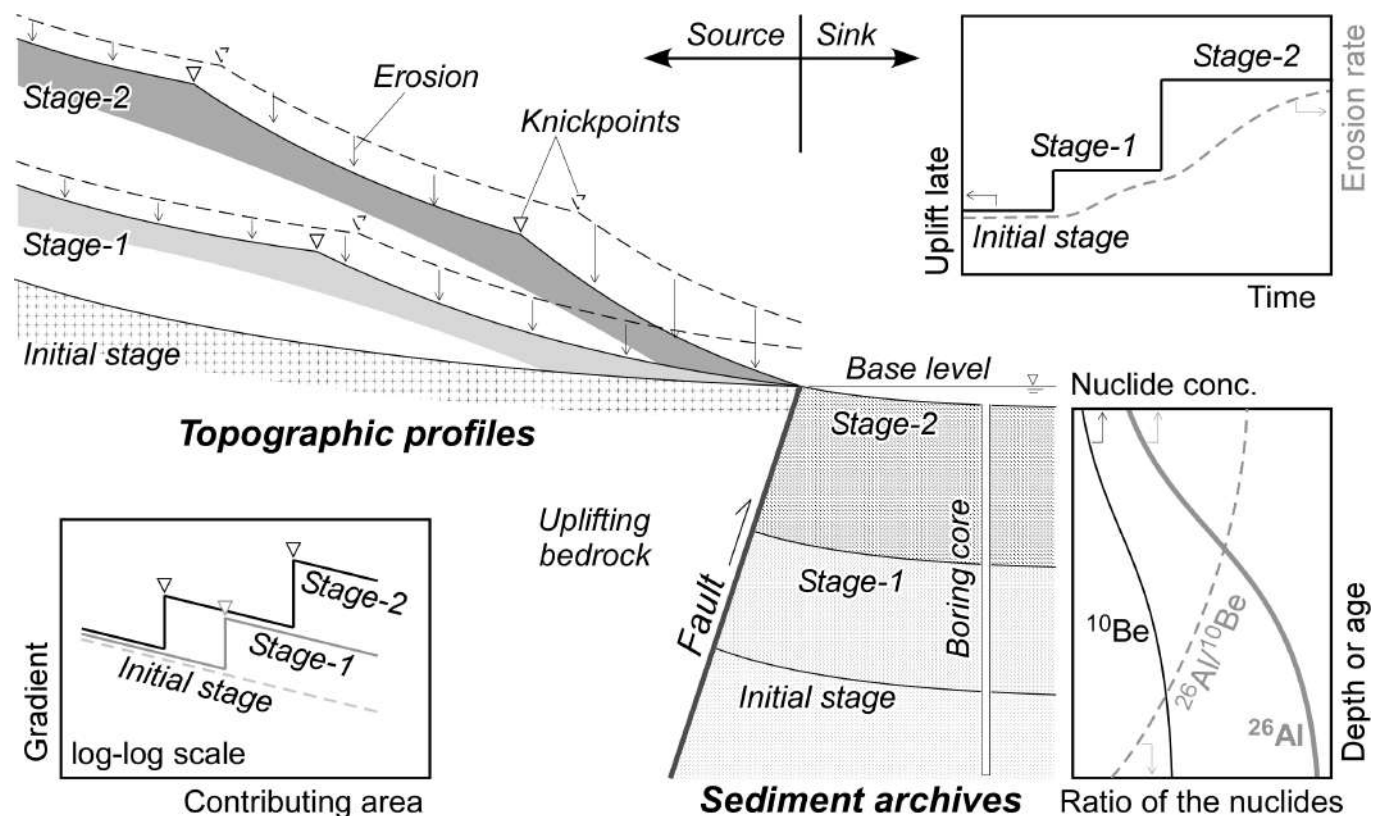


図-2 テクトニックに隆起する土砂給源域での地形発達過程と沈降する土砂集積域での宇宙線生成核種の記録

物アーカイブは、石英中の ^{10}Be および ^{26}Al によって、どのようにリンクするだろうか？まず、異なる地形の状態にある多数の流域をターゲットとして、現世の河床堆積物に含まれる石英粒子中の ^{10}Be および ^{26}Al を定量することにより、ある地形条件（特に、集水面積と勾配がどのような冪関数で表される状態にあるか）において、地形がどれほどの速度で削剥されるのかが経験的に定式化される²⁾。これにより地形の発達過程を具体的にシミュレートするためのモデルパラメータが定まる。次に、そのパラメータを用いて、現状の過渡的地形が成立するのに、どのようなタイミングで、どれほどの侵食基準面低下（すなわち断層運動に伴う外部強制力としての山塊の隆起）が継続すれば良いのか、モデルの出力と現地地形データを同化させることで推定する。このとき、流域から排出される土砂中の石英粒子に含まれるであろう ^{10}Be および ^{26}Al の濃度の時系列的变化も、給源流域の標高と削剥速度から同時に定まる。従って、このモデリングの確からしさは、堆積場において掘削した大深度ボーリングコアに含まれる石英中の ^{10}Be および ^{26}Al 濃度のデータによって確認できることになる。すなわち半減期の差異を利用して ^{10}Be と ^{26}Al の比から砂礫の埋没年代を推定したり、鍵層の対比からコアに対する年代軸を構築したりすることで、堆積後の放射壊変量を補正し、地形発達モデルに基づいて計算された核種濃度の変遷が、堆積物に記録された核種濃度と合致するか、という比較検討によってモデルの妥当性を検証することが可能である。推定された地史の全体としての確からしさは、堆積物の層相解析や、他の方法で復元されたテクトニクスの履歴などに照らしても独立的に吟味できるであろう。

4 まとめ

地表近傍の造岩鉱物中に蓄積している宇宙線生成核種は地形の削剥速度の指標となる。現世の河川堆積物を分析の対象とした場合は、現成の侵食地形である山地流域の削剥速度を算出でき、地形の解析と合わせて地形発達モデルのパラメータ決定を行うことができる。また、第四系堆積物を分析対象とした場合は、その土砂の給源における過去の削剥速度に関する情報を得ることができ、そのデータをモデルの検証に用いることができる。ここまで述べてきたような定量性と客観性を確保したフレームワークでの研究は、適用に相応しい場があり、分析のための試料さえ入手できれば、現時点で到達している技術水準で実行可能であり、実際に試みられてもいる⁶⁾。

今後は、このアプローチにより、多様なテクトニクスや地質条件の場において、第四紀における地形発達と層序形成の高精度・高精度かつ定量的な復元が試みられてゆくであろう。これにより地球表層における流砂の鎖を駆動させている流域圏システムの一般的理解が一層進むことが期待される。

〈参考文献〉

- 1) 松四雄騎, 若狭幸, 松崎浩之, 松倉公憲 (2007): 宇宙線生成核種 ^{10}Be および ^{26}Al のプロセス地形的応用, 地形, 28, 87-107
- 2) 松四雄騎, 松崎浩之, 牧野久識 (2014): 宇宙線生成核種による流域削剥速度の決定と地形方程式の検証, 地形, 35, 165-185
- 3) 松四雄騎, 松崎浩之, 千木良雅弘 (2014): 宇宙線生成核種による山地流域からの長期的土砂生産量の推定. 応用地質, 54, 272-280
- 4) 松四雄騎 (2017): 宇宙線生成核種を用いた岩盤の風化と土層の生成に関する速度論—手法の原理, 適用法, 研究の現状と課題—, 地学雑誌, 126, 487-511
- 5) 松四雄騎 (2022): 鉱物中に生成する宇宙線生成核種を用いた地形形成年代の決定, RADIOISOTOPES, 印刷中
- 6) 太田義将, 松四雄騎, 松崎浩之 (2020): 隆起速度の増加に対する流域地形の過渡的応答: 六甲山地を例とした地形発達の定量的モデリングとその検証, 日本地理学会発表要旨, 97, P195

X線CTスキャンを用いた地質試料の観察

せいけ こうじ
清家 弘治*

K
ey Word

堆積構造, コア試料, 生物源堆積構造, 生痕, 物理的堆積構造, 生痕
不攪乱, 採泥, 立体構築, 三次元, 生痕形成者, 四次元, 4DCT

1 はじめに

ボーリングコア, 海洋コアなど, コア試料を用いた地質調査で, 堆積物の構造を調べることは, 地層の性状を調べる上で重要である。堆積構造は物理的堆積構造と生物源堆積構造の二つに大別される。物理的堆積構造とは, 平行葉理や斜交層理, あるいは海底液状化に伴い変形した葉理構造など, 物理的な要因によって形成された地層中の構造である。生物源堆積構造とは生痕とも呼ばれ, 底生生物が海底で動き回ること, あるいは巣穴を形成することによって地層中に形成された構造である。これら堆積構造を調べることで, 対象とするコア試料に含まれる地層が, どのような環境で, そしてどのように形成されたかを明らかにできる。

X線CTスキャン(以下CT, 図-1)を用いることで, 対象とする試料内部を“透視”して観察することができる。さらには, 観察対象を三次元で観察することもできる。現在では, 地質コア試料の堆積構造をCTを用いて調べることは, 海洋地質調査あるいは陸上ボーリング調査をする上で必須項目のひとつであるとも言える。その理由は, 肉眼観察では不明瞭あるいはほぼ認識できないような堆積構造も, CTを用いることで明瞭に観察できることにある。また, コア試料を切り分けてサンプリングする前にCTをすることで, 作業を行う前にどのような物質がコアに含まれているかをプレビューすることができ, 作業の効率化にもつながる。ここでは, CTを用いた筆者の研究事例や, 筆者の経験から得られた知見を紹介したい。なお, 地質コア試料のうち, 筆者が主な研究対象としている海洋コアの採取および輸送についても言及する。また, コア試料の解析の他にも, CTが地質学および生物学分野でどのように活用さ

れているかを紹介したい。

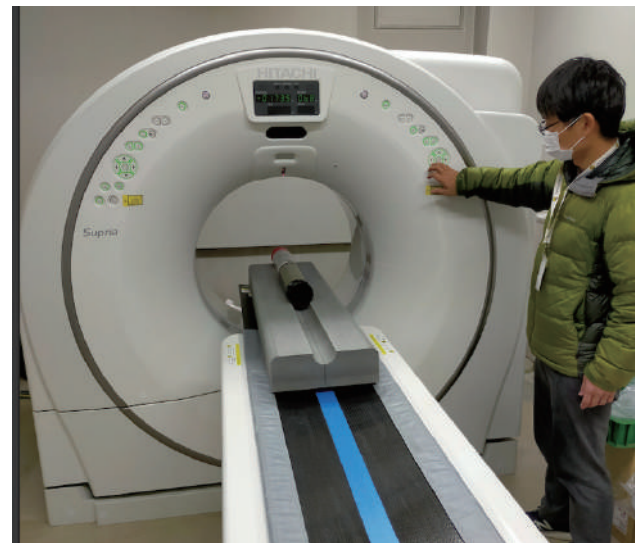


図-1 コア試料のX線CTスキャン。コア試料を寝台に設置しガントリーに送り出している様子

2 X線CTスキャン用のコア試料の採取

CTを用いて堆積構造を詳細に調べるための前提条件として, なるべく不攪乱でコア試料採取を行うことが重要となる。コア採取時に内部が液状化あるいは崩れてしまうと, 堆積構造が変形してしまう。その場合, その変形構造がオリジナルな(地層に存在していたものなのか), あるいは試料採取時・運搬時に形成されたものなのかは区別できなくなる。

泥質な海底であればマルチプルコアラーなどの各種採泥器を用いることで, ほぼ不攪乱な状態で海底からコア試料を採取できる。なお, 砂質な海底では一般的な採泥器では採泥パイプが海底に貫入しにくい。その場合は, コアパイプを震動させながら採泥する機器(バイブロコアラー)を用いてコアを採取

*産業技術総合研究所 地質情報研究部門 主任研究員

する。もしくは、ダイバーが潜水して海底からコアを採取する方法が有効である。筆者自身も水深 20 m 程度までの浅海に潜水し、コアパイプをハンマーや小型の振動器などを用いて海底に挿入し、パイプの両端にゴム栓をはめて回収する方法で良好なコア試料を得ている (図-2)。なお、コア採取時だけでなく、輸送時にもコア試料を乱さないように配慮する必要がある。低温による試料の凍結や、脱水・乾燥による乾裂なども、堆積構造を変形させる原因となる。高温状態が続きコア試料中の有機物が腐敗してしまうと、ガスが発生しこれも堆積構造を乱してしまう。

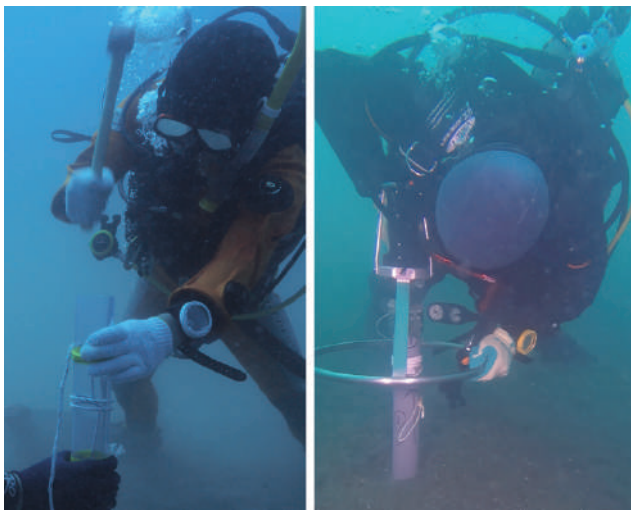


図-2 筆者が潜水してコア試料を採取している様子
左：ハンマーを用いたパイプの打ち込み
右：振動器を使ったパイプの打ち込み

図3 X線 CT スキャンの実施

地質コア試料の CT は医療用の CT 機器を用いて行われることが多い。筆者が所属している産業技術総合研究所・地質調査総合センターに設置されている CT スキャナー (Supria Grande, 日立製作所製, 図-1) も、医療用に設計・販売されているものである。一般的な CT スキャナー撮影部は、寝台とガントリーと呼ばれる部分で構成される。寝台はその名の通り、医療目的の撮影の際に被検者が横たわる場所である。地質コアの場合は、ここにコアが横倒しになり実際の CT を行う。ガントリーとは内径 60 cm ほどのドーナツ状の部分のことであり、X線を放出する管球と検出器が入っている。コア試料はガントリーを通過しながらスキャンされる。スキャンの際には、コアを横倒しにする必要がある。CT はコア試料以外の地質試料、例えばサンゴ群体やそのスラブ試料、脊椎動物化石などの大型化石試料の内観観察および立体形状観察にも利用されている。

陸上で採取したボーリングコア試料や、水を含まない海洋コア試料 (ピストンコアなど) の場合は、コアを横倒しにしてスキャンしても問題ない。一方、海底表層で採取されたコアの場合は直上水を含む、あるいは含水率が高く崩れやすい場合が多いため、コアを横倒しにする際は予め水を抜き、スポンジ等の押さえを入れて崩れ止めをする必要がある。

一般的な医療用の CT スキャナーの場合、その解像度は XY 軸方向 (コアの横断面、輪切り方向) では 0.1 mm 程度まで、Z 軸方向では 0.6 mm 程度までである。そのため、ミリメートルスケールの細かい葉理などを観察するためには、医療用に設計された機器ではなく、マイクロメートルスケールの構造を観察するためのマイクロフォーカス X 線 CT と呼ばれる機器を用いる必要がある。

塩ビ管やポリカーボネイト製のパイプに入ったコア試料に関しては、一般的な CT 機器で撮影が可能である。その一方で、ステンレスなどの金属パイプに入ったコア試料については、金属部分が X 線の透過を阻害するためコントラストの低い画像データしか得られない場合がある。

図4 研究事例：砂質コアの堆積構造解析

ここからは、筆者が CT を用いてコア試料を観察した研究事例を紹介したい。図-3 は岩手県船越湾の海底約 20 m から採取したコア試料の通常の写真 (コアを半裁し写真撮影したもの) および CT 像を比較したものである。このコアは細粒砂の津波堆積物から構成され、肉眼では無構造にも見える。一方、CT 像では、コア上部にはウニ類のオカメブンプクによって形成された生痕が明瞭に認識でき、コアの下半分では平行葉理が見える。このように、CT を用いて観察することで、一見すると無構造に見えるコアにおいても、堆積構造を明瞭に観察できる (図-3)。そして、生物によって激しく攪拌されている部分と、そうではない部分が存在していることが分かる¹⁾。この性質を利用し、筆者は現在の船越湾の海底が底生生物によって海底からどれくらい深くまで攪拌されているかを調べることができた²⁾。

堆積構造の観察に慣れた“達人”であれば、CT 無しに不明瞭な堆積構造を認識することが可能かもしれない。しかしそれを他者に説明することは難しく、定量的な評価もまた難しい。CT は、堆積構造の観察に詳しくない“素人”でも、詳細な観察を可能にするツールであるとも言える。

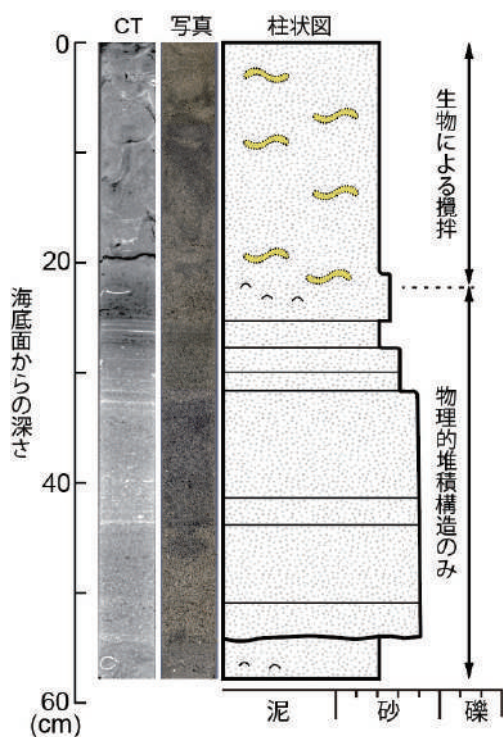


図-3 岩手県船越湾における堆積物コアのCT像(左), 通常写真(中央), および柱状図(右)。写真には写っていない構造でもCT像では確認できる

CTスキャンの利点は、不明瞭な構造を見やすくだけではない。露頭やコア試料の堆積構造を観察する際には、通常は露頭表面や試料を削り現れた平面(断面)を観察する。しかし、観察面上に現れた構造の大きさを正確に測定することは難しい。二次元の平面上では、三次元の観察対象物の見かけの大きさが、地層を切る方向によって変化してしまうためである。その一方で、CTでは堆積構造を立体的に解析できる。例えば、円筒状の生痕がコア試料に含まれている場合、CTデータを立体的に解析することで、その直径(円筒物の横幅)の正確な測定が可能である(図-4)。筆者はコア試料のCTスキャンデータを解析することによって、船越湾の調査地点ごとに、チューブ状構造であるオカメブク生痕の直径が異なることを明らかにすることができた³⁾。

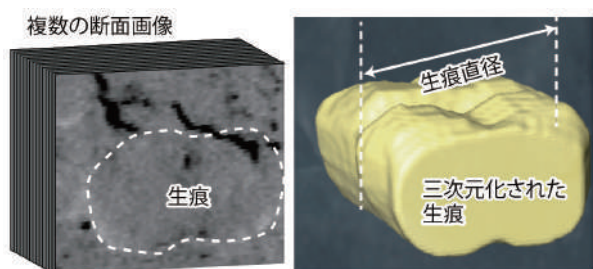


図-4 生痕を立体的に可視化することで、その正確なサイズを測定できる

5 X線CTスキャンのさらなる可能性

CTは医療用機器として発展し、学術研究では医学・生物学の領域で多く用いられてきた。上述のように、地質学分野および古生物学分野でもCTを用いた研究は多く実施されている⁴⁾。

筆者が研究対象としている生痕化石(地質時代の生物が堆積物に残した痕跡)は地層に存在している。したがって、生痕化石を扱う研究者は地質学あるいは古生物学の研究者であることが多い。生痕化石がどのような生物によって形成されたことを知ることであれば、生痕化石から古環境および古生態情報を引き出すことができる。しかしそのためには、対応する今現在の生痕がどのような生物によって形成されているかを知る必要がある。

現世生痕の観察には樹脂を用いた巣穴型取り手法が多く用いられる。これは、海底に開いた巣穴に樹脂を流し込み、樹脂が固まった後に掘り出して巣穴の内腔構造を調べるといものである。この手法は単純であるが故に干潟のような浅い海から水深1000 mを超える深海底にまで適用でき、巣穴形状を正確に把握できる有用な研究手法である⁵⁾。しかし、対象とする巣穴の形成者を調べることは、困難であることが多い。なぜなら、形成者は巣穴型の中に封入されており、硬い樹脂の中から柔らかい体の生物体を取り出すことは困難であるからである。加えて、巣穴型を壊して内部の生物を取り出してしまうと、貴重な巣穴型標本が失われてしまうことにもなる。

筆者は、干潟で採取された巣穴の型(図-5)をまるごとCTすることで、その巣穴がヤハズアナエビという甲殻類2匹のペアによって形成されていることを解明することができた⁶⁾。また、この巣穴には巣穴の主に加えて、複数の二枚貝および巻貝が居候して暮らしていることも判明した。このように、CTを活用して、観察対象物を非破壊で、かつその内部の微細な構造を観察できる。



図-5 甲殻類ヤハズアナエビの巣穴型(左)とそのCT像(右)。画像解析を行った後のCT像では、巣穴型の中に巣穴形成者(大矢印の部分)および複数の共生者(小矢印の部分)が確認できる

古生物学分野においては、例えば岩石中に含まれる脊椎動物化石をクリーニングして取り出す際の効率化に上記のCTを用いた方法は貢献できる。研究対象とする化石が母岩中のどこに、どのように、そしてどれくらい含まれているかをCTによって作業前にプレビューすることができる^{7), 8)}。

近年では、材料工学の分野で物質の材料試験をCTスキャンを繰り返しながらおこない、対象物質がどのように変形・変質していくかを四次元（三次元＋時間）で解析する手法が利用されている。同じ試料を繰り返してCTし、対象物質の時系列な性状変化を追跡する手法は、「動くCT」あるいは「4DCT（四次元CT）」と呼ばれる。4DCTは、物理的な各種作用（引張、圧縮、曲げ、切断など）が対象物質内部でどのように影響しているかを、時間軸を含めて調べることが可能にする。材料試験だけでなく、筆者の研究領域である生痕学においても、昆虫のアリの巣の立体形状が時系列で変化していく様子が4DCTによって調べられている⁹⁾。もちろん、材料工学、生物学、生痕学だけでなく、4DCTは地質学における各種土質試験などにも適用できる。

6 おわりに

CTを用いた地質試料の研究は、今では国内外で一般的に行われている。コア試料のCTには医療用のCT機器が一般的に用いられるが、病院などの医療機関を利用しなくとも、公的な研究教育機関の共同利用制度を利用することで、地質試料のCTを実施できる。筆者が把握しているだけでも、産業技術総合研究所・地質調査総合センターの民間共同研究制度や、高知大学海洋コア研究センターの共同利用制度が存在する。こうした制度を利用することで、各種地質調査のためにCTを利用できる環境が構築されている。

〈参考文献〉

- 1) Seike, K., Shirai, K., & Murakami-Sugihara, N. (2017) : Using tsunami deposits to determine the maximum depth of benthic burrowing. *Plos One*, 12, e0182753.
- 2) Seike, K., Sassa, S., Shirai, K., & Kubota, K. (2018) : Lasting impact of a tsunami event on sediment-organism interactions in the ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123, 1376-1392.
- 3) Seike, K., Shirai, K., Kubota, K., Ota, Y., & Sassa, S. (2020) : Does trace fossil size correspond with burrower population density? An example from the modern counterpart of the trace fossil *Bichordites*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 557, 109946.
- 4) Cnudde, V., & Boone, M. N. (2013) : High-resolution X-ray computed tomography in geosciences: A review of the current technology and applications. *Earth-Science Reviews*, 123, 1-17.
- 5) Seike, K., Jenkins, R. G., Watanabe, H., Nomaki, H., & Sato, K. (2012) : Novel use of burrow casting as a research tool in deep-sea ecology. *Biology Letters*, 8, 648-651.
- 6) Seike, K., & Goto, R. (2017) : Combining in situ burrow casting and computed tomography scanning reveals burrow morphology and symbiotic associations in a burrow. *Marine biology*, 164, 1-8.
- 7) 吉澤和子, 清家弘治, 天野敦子, 兼子尚知 : 「一般向けオンラインライブ配信「さんそうけん☆サタデー」第3回出演報告」, 「GSJ地質ニュース」, Vol.11, No.1, pp26-30, 2022.2
- 8) Youtube : 【産総研公式】第3回さんそうけん☆サタデー～あつまれ！科学フレンズ～。 <https://www.youtube.com/watch?v=vsBNNm9XtuM> (2022年2月25日現在)
- 9) Minter, N. J., Franks, N. R., & Robson Brown, K. A. (2012) : Morphogenesis of an extended phenotype: four-dimensional ant nest architecture. *Journal of the Royal Society Interface*, 9, 586-595.

法地質学における土の検査

すぎた りつこ
杉田 律子*

Key Word

法科学, 法地質学, 土, 異同識別, 鉱物, 人工物, 地質学の応用

はじめに

法科学とは事件・事故の捜査や裁判に関する科学を言う¹⁾。その中で、地質学的な証拠資料を扱う分野は法地質学という²⁾。法地質学は大きく3つの分野、すなわち地中の隠匿物の探査、証拠資料の分析、犯罪現場に関する地質情報の提供に分けることができる³⁾。土は、指紋やDNAと違い犯罪と犯人を直接結び付けることはできないが、犯人の行動を証明するための重要な証拠の一つである。

国際的には国によってどの分野に重点を置いて研究がすすめられているかに違いがあるが、ここでは触れないので詳しくは既報を参照されたい^{4, 5)}。日本では1950年までには犯罪の証拠資料としての土の分析について検討が始められており、主に警察の研究機関で発展してきた⁶⁾。2021年にはIUGS-IFG⁷⁾が監修したA Guide to Forensic Geology⁸⁾が発刊され、土の検査法も含む法地質学について詳しく解説されている。各検査法の妥当性は国内外で検討され、研究成果は学術誌などで公表され、また、現在も研究開発が進められている。現在、世界で行われている検査法には様々なものがあるが、いずれも地質学や土壌学などで利用されている方法を応用したものである。ここでは、土や砂（以降「土砂」と呼称する。）の検査法について紹介するが、犯罪の証拠資料の鑑定だからといって特別な技術を使っているわけではない。使用する機材は、特に分析機器は汎用性の高いものがほとんどである。これは、微細証拠物には土をはじめ繊維や金属、プラスチック、ガラス、紙など非常に多様性があることから、このような物質の検査にも対応できるような機材を中心に整備されていることが理由のひとつである。

証拠資料には様々なタイプの地質学的資料がある

が、多くは土砂であり、岩石が証拠資料として検査に付されることもある。これらの鑑定では、多くの場合は異同識別、すなわち証拠資料が由来既知の土砂が別の場所で見つかったものと同じか否かについて検査が行われる。証拠資料となる土は、被害者・容疑者の衣服や犯罪に使用された自動車やシャベルなどの道具に付着していたり、犯罪現場や関係した可能性のある場所から採取されたものである。

法地質学に限らず、法科学的な検査では証拠資料の検査は非破壊検査から破壊検査へと進められる。これは、貴重な証拠資料をできるだけ消費せず、後に必要となった場合に備えてできるだけ残すためでもある。検査は概ね図1に示すような流れで実施される⁹⁾。採取された証拠資料などはまず風乾され、検査に付されるまで保管される。検査では非破壊である外観検査を最初に行い、全体の特徴を把握した後に、粒度ごとに分けたり化学的な処理を行ったりしたうえで、鉱物や岩石の種類や量比、夾雑物の検査などを顕微鏡や分析機器を用いて実施する。最後に全検査の結果を考察し、異同識別を行う。図1では検査を3段階に分けて表記している。最初の非破壊検査、2番目は前処理をしながら実施する検査、3段階目は各種機器を用いての検査となっている。

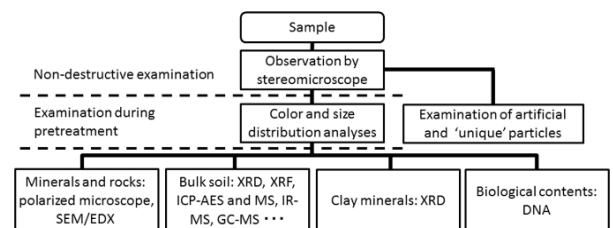


図1 法地質学的な土の検査の流れ⁹⁾

*科学警察研究所 附属鑑定所 所長

試料量が非常に少なく、全量を消費しても通常実施している検査が全てはできないような場合もある。また、検査にかけることのできる時間も制限されることがある。そのため、法地質学では、簡便で迅速な操作や少量の試料を対象とした検査法の開発を目的とした研究もされている^{10, 11)}。

なお、ここでは証拠資料や証拠資料との対照のために採取される資料（対照資料）を資料、分析のために取り分けたものを試料とする。

2 検査の概要

2.1 外観検査

外観検査では肉眼と実体顕微鏡による観察が行われ、試料全体の特徴の把握を行う。また、写真撮影や重量の測定も実施される。ここでは全体的な粒子の淘汰度や円磨度の傾向、鉱物や岩石粒子表面への粘土鉱物の付着程度、土の固結状態、夾雑物の有無や量などを記載し、その後の検査の方針を決める。特に、試料量が非常に少ないときや海岸砂のように極端に粒度の偏りがある場合は、どの検査を優先的に実施するかを検討するためにも重要である。また、この段階で大きな礫や夾雑物を取り分ける。これらは以下の検査とは別に物質ごとに検査される。対照資料の量が豊富にあっても、証拠資料そのものの量が少ないときは、対照資料に含まれる大きな物質は検査対象にならないこともしばしばある。

2.2 前処理

前処理では、顕微鏡観察や分析の際に支障となる有機物や酸化鉄などの除去と篩別や重液分離などを行う。目の開き2 mmの篩で礫を分離したのち過酸化水素水で有機物分解を行う。有機物を完全に分解するには数時間から数日を要することがあるが、法地質学の検査では完全に分解されていなくても、ほとんどの試料で激しい反応が終了する一定の時間を定めて操作を終了する¹⁰⁾。有機物分解が終了した試料を目の開き0.05 mmの篩で湿式篩別し、0.05 mm以下のシルトと粘土を含む画分（粘土画分）と砂に分離し、それぞれ水洗して風乾する。粘土画分はメーラ-ジャクソン法¹²⁾、砂はアジレラ-ジャクソン法¹³⁾を用いて脱鉄する。砂は、この後、0.1 mm, 0.2 mm, 1 mmなどの篩を使用して分けることがある。重鉱物と軽鉱物をポリタングステン酸ナトリウムにより重液分離を行い、さらに重鉱物から磁石を使って磁性鉱物を分取する。重液分離には偏光顕微鏡で観察可能な0.1または0.2 mm以下の粒径の画分を使用する。

前処理を行う過程で、次に述べる色と粒度の検査を実施する。

2.3 色の検査

土の色は、土の生成過程を反映している。一般に有機物は暗色を与え、鉄は赤色を与える。元の粒子の色が違っていても、鉄酸化物に鉱物表面が覆われ、腐食などの有機物が付加されることで似たような色になることもある。風乾後の2 mm以下の試料、有機物分解後および脱鉄後の乾燥状態の粘土画分の色を検査する。これらの色を比較することで試料のスクリーニングが可能であることが、山梨県韮崎市付近の母材の異なる表層土を用いた研究により明らかにされている¹⁴⁾。いずれの色も証拠資料と対照資料とが類似していれば、母材も土砂の形成過程も同じである可能性があるが、どれか一つでも異なっていれば、同じ場所から由来した可能性は低いと考えられる。色の検査には土色帖が使用されている。この方法では色はマンセル表色系で表示されるが、肉眼での検査であることや試料表面の粗さの違いにより生ずる差を考慮して類似する色の許容範囲をやや広く設定し、明らかに異なる場合はその時点で検査は終了するが、それ以外は次の検査に残るようにしている。このようにすることで、表面状態を整えるなど厳密な操作にかかる時間や、試料の消費を抑え、効率的に検査を実施することが可能となる。分光測色計を使用する場合は、測定条件を整える必要があり、現在、迅速に検査をするための実用化に向けた研究が進められている。

現在はスクリーニングとして利用されている色の検査であるが、分光測色計の導入により、さらに客観的で再現性の高い検査が可能となることが期待される。

2.4 粒度分析

堆積物の研究では篩やレーザー回折／散乱方式の粒度計を用いた粒度分析がしばしば行われている。法地質学の検査では試料を回収できる方が望ましいことから、主に篩を用いている。使用する篩の目の開きは、試料の量や粒度の偏りによって選択するが、一連の鑑定検査では必ず同じ目の開きの篩のセットが使用される。粒度分析の結果もスクリーニングとして利用されるが、衣服に付着した少量の土は粒径の大きい粒子が脱落している可能性もあり、粒度だけで識別を行うのは難しいとされている^{15, 16)}。また、粒度分析では細粒な粒子は水簸が行われることがあるが、この方法は少量の試料には適さないため通常は実施していない。

2.5 重軽鉱物比

砂画分中の重軽鉱物および重鉱物中の磁性鉱物の重さを測り、その量比を資料間で比較する。花こう岩地域の砂にはほとんど重鉱物が含まれておらず、本検査ができないこともある。

2.6 顕微鏡検査

顕微鏡検査では主に実体顕微鏡と偏光顕微鏡が使われる。偏光顕微鏡観察は光を透過する0.1または0.2 mm以下の砂画分について行われ、これより粗粒で光を透過しない粒子は実体顕微鏡を使用する。偏光顕微鏡検査では、粒子をスライドガラス上で屈折率1.54のほぼ無色透明のオイルに封じ、カバーガラスをかけて観察する。薄片を作成することもあるが、薄片作成に伴い表面形態に関する情報が失われたり、観察できる粒子の数が減少することから、そのまま観察することが多い。また、この方法は必要な場合は回収して別の検査に使うこともできる。観察では鉱物や岩石の種類やその量、各鉱物の光学的な特徴だけでなく、同じ種類の鉱物でも風化状態なども記載する。粗粒な砂や礫に含まれる岩石に特徴がある場合には、薄片の観察も実施される。

鉱物や岩石以外でも特徴的に含まれている粒子に注目する。例えば、植物ケイ酸体や珪藻や、道路の白線に使用されているガラスビーズ、塗料のかげらなどがしばしば見られる。これらは異同識別の指標となるだけでなく、資料の由来する環境を推定する手がかりともなる。複数の資料に共通している場合は少量でも同じような環境にあったことを示している可能性がある¹⁷⁾。

2.7 XRD

粘土画分の細粒な鉱物、特に粘土鉱物は顕微鏡検査で鉱物の種類を決めることが難しいので、XRDによる検査が行われる。粘土鉱物の識別には様々な処理があるが、微量な土砂試料の異同識別のための粘土鉱物分析法が提唱されており¹⁰⁾、これに沿った方法で分析が行われている。すなわち、脱鉄まで終了した粘土画分から20 mg程度を2本の試験管に取り分け、それぞれカリウムまたはマグネシウムによる陽イオン交換を行った後に定方位試料を作成する。これらに対してXRDで粘土鉱物の特徴的なピークが現れる範囲（銅を線源とする場合は 2θ で $2^\circ \sim 20^\circ$ ）を風乾状態、マグネシウム飽和したもののグリセロール飽和処理した試料、カリウム飽和した試料の300℃及び600℃でそれぞれ1時間加熱した試料の合計5回測定する。得られた5つのXRD図のパターンを試料間で比較し、類似しているか否

かで含有されている鉱物種が同種か否かが判断できる。同時に一次鉱物の長石や角閃石のピークも検出されるが、特に支障はない。また、緑泥石や雲母類は粘土鉱物としても一次鉱物としても含まれている可能性があるが、証拠資料と対照資料の粘土画分が同じ特徴を有するか否かの判断するためなので問題ない。

また、一定量の軽鉱物をXRDにより分析し、石英と長石のピーク強度に基づき、量比の資料間での比較もされる。

2.8 元素分析

元素分析はバルクの試料に対して行う場合と、鉱物の元素組成を分析する場合に分けられる。バルク試料の分析の法地質学的な有効性は、日本でもいくつか研究されている^{例えば18, 19)}が、分析には比較的大量の試料を粉碎や溶解するために消費するなど、やや使いにくいことは否めない。一方、鉱物の元素組成については、X線分析装置付き走査型電子顕微鏡やEPMAを利用して行われている。砂画分を用いて、各粒子の分析を行い、得られた元素組成情報に基づき、鉱物種の推定をすることで、客観的な鉱物の量比判定が可能となる^{20, 21)}。

2.9 その他の検査

ここまでに紹介した方法のほか、pHやEh、熱分析、安定同位体分析、磁気分析、ラマン分光分析、DNA分析などが提唱されている。このうちpHやEhは土壌学的な検査では一般的であるが、法地質学的な検査に対し十分な情報が得られないことから、検査にはあまり用いられていない¹⁶⁾。有機物は温度や水分量などにより容易に変化しやすいため、犯行の時期から対照資料の採取までの時間がかかると同じ場所から採取されたものであっても異なる結果が得られる可能性がある。しかし、植物の脂質由来の物質などでは安定した結果が得られることが知られている²²⁾。

3 おわりに

検査が全て終了した後、それぞれの検査の結果を比較し、総合的に証拠資料と対照資料が類似しているかどうかを回答する。土は様々な物質の混合物であり、分析法もたくさんある。また、不均質性や結果の解釈など、より客観的に結論を得るために検討すべき課題も残っている。しかし、法地質学も地質学や土壌学の他分野とも連携して研究を進めることで、課題を解決し、さらに発展していくと期待される。

〈参考文献〉

- 1) Siegel, J. A. (2007) : Forensic Science: The Basis, CRC Press, 548.
- 2) 杉田律子・川村紀子・組坂健人 (2020) : 地地質学入門, 地質学雑誌, 126, 407-410.
- 3) Donnelly, L. J., (2017) : Introduction: The Episodes themed issue on Forensic Geology, Episodes, 40, 97-105.
- 4) Di Maggio, R. M., Donnelly, L. J., Al Naimi, K. S., Barone, P. M., Da Silva Salvador, F. A., Dawson, L., et al. (2017) : Global developments in forensic geology, Episodes, 40, 120-131.
- 5) 杉田律子 (2020) : 最近の地地質学の国際動向, 地質学雑誌, 126, 433-442.
- 6) 組坂健人・杉田律子 (2020) : 日本の地地質学の歩み, 地質学雑誌, 126, 425-431.
- 7) IUGS-IFG <https://www.qub.ac.uk/sites/iugs/> (2022年2月25日現在)
- 8) Donnelly, L. J., Pirrie, D., Harrison, M., Ruffell, A., and Dawson, L. A. (2021) : A Guide to Forensic Geology, The Geological Society.
- 9) 杉田律子 (2015) : 地地質学における分析機器を用いた検査法の発展, 地質汚染—医療地質—社会地質学会誌, vol. 11, 11-20.
- 10) 丸茂義輝・永塚鎮男・大羽裕 (1981) : 粘土鉱物の迅速分析による微量土砂試料の異同識別 1. 分析操作の簡易化とその成帯性土壌への応用, 科学警察研究所報告 (法科学編), 34, 222-235.
- 11) 丸茂義輝・永塚鎮男・大羽裕 (1982) : 粘土鉱物の迅速分析による微量土砂試料の異同識別 2. 火山灰土壌および河川泥への応用, 科学警察研究所報告 (法科学編), 35, 130-142.
- 12) Mehra, O. P. & Jackson, M. L. (1960) : Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, Clays and Clay Minerals, 7, 317-327.
- 13) Aguilera, N. H., and Jackson, M. L. (1953) : Iron oxide removal from soils and clays. Soil Science Society of America Journal, 17, 359-364.
- 14) Sugita and Marumo (1996) : Validity of color examination for forensic soil identification, Forensic Science International, 83, 201-210.
- 15) Sugita and Marumo (2001) : Screening of soil evidence by simple techniques: Validity of particle size distribution, Forensic Science International, 122, 155-158.
- 16) Ruffell, A., Pirrie, D., and Dawson, L. (2021) : Geological evidence analysis, In: A Guide to Forensic Geology (Donnelly, L. J., Pirrie, D., Harrison, M., Ruffell, A., and Dawson, L. A. eds.) , The Geological Society, 129-155.
- 17) Sugita, R., and Marumo, Y. (2004) : 'Unique' particles in soil evidence. In: Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications (Pye, K., and Croft, D. J., eds.) , Geological Society, 97-102.
- 18) Hiraoka, Y. (1997) : Characterization of weathered products from granites around southern Lake Biwa, central Japan - Application to forensic geology, Journal of the Geological Society of Japan, 103, 36-46.
- 19) 代田祐介・平尾将崇・阿部善也・大阪恵一・伊藤真義・中井泉 (2017) : 放射光X線分析による北海道地方の法科学土砂データベースの構築, 分析化学, 66, 607-612.
- 20) Pirrie, D., Butcher, A. R., Power, M. R., Gottlieb, O., and Miller, G. L. (2004) : Rapid quantitative mineral and phase analysis using automated scanning electron microscopy (QemSCAN) : potential applications in forensic geoscience, In: Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications (Pye, K., and Croft, D. J., eds.) , Geological Society, 123-136.
- 21) Kikkawa, H. S., Naganuma, K., Kumisaka, K., and Sugita, R. (2019) : Semi-automated scanning electron microscopy energy dispersive X-ray spectrometry forensic analysis of soil samples, Forensic Science International, 305, 109947.
- 22) Mayes, R. W., Macdonald, L. M., Ross, J. M., and Dawson, L. A. (2009) : Discrimination of domestic garden soils using plant wax compounds as markers. In: Criminal and Environmental Soil Forensics, Springer, 436-476.

堆積物がもたらす年代の爪痕 微化石（花粉）分析からわかること

わたなべ まさみ*
渡辺 正巳*

Key Word

花粉生層序, 大阪層群, 火山灰層序, 層序対比, 地下構造

はじめに

●●層序（地層のできた順序）という言葉が、古くから地質学では用いられる。●●には、例えば「化石（生物）」の種類である「放散虫」, 「貝形虫」, 「有孔虫」などや、植物の生殖細胞の「化石」である「花粉」, 堆積物である「火山灰」が付けられることが多い。また近年では「シーケンス層序学」など堆積場を念頭に置いた言葉が付けられる場合もある。

「化石」を用いた層序（生層序）では、中学校の理科で習った「示準化石」の考え方（各化石（前述「放散虫」, …）の小分類群（科, 属, 種など）の初出と絶滅の組み合わせ）が基本となる。このほか、小分類群間の組み合わせ（組成）とその時間的変化を基に層序を確定する方法もある。

一般に、未固結の沖積層, 洪積層を対象とした「層

序」の決定には、広域に分布し、しかも同時間面を示す「(広域) 火山灰層」を用いた「火山灰層序」を利用するのが最も確かである。しかし、給源となる火山の近くであれば厚く堆積する火山灰層も、給源（火山）から離れるに従い薄くなる。特に孔径の狭いボーリングコア中で、遠方飛来の火山灰層（薄層）の存在を認めることは難しい。このため、火山灰層序を補完し、なおかつ単独でも層序の成り立つ「化石」が必要となる。

前述の「放散虫」, 「貝形虫」, 「有孔虫」は、海～汽水に生育することから、海～汽水成層の層序に対しては有効と考えられる。ただし、それらの化石相（組成）は生育（堆積）環境にも左右され、同一時間面でも異なる化石相（組成）を示す可能性がある。また、淡水成層には本来含まれないことや、堆積後

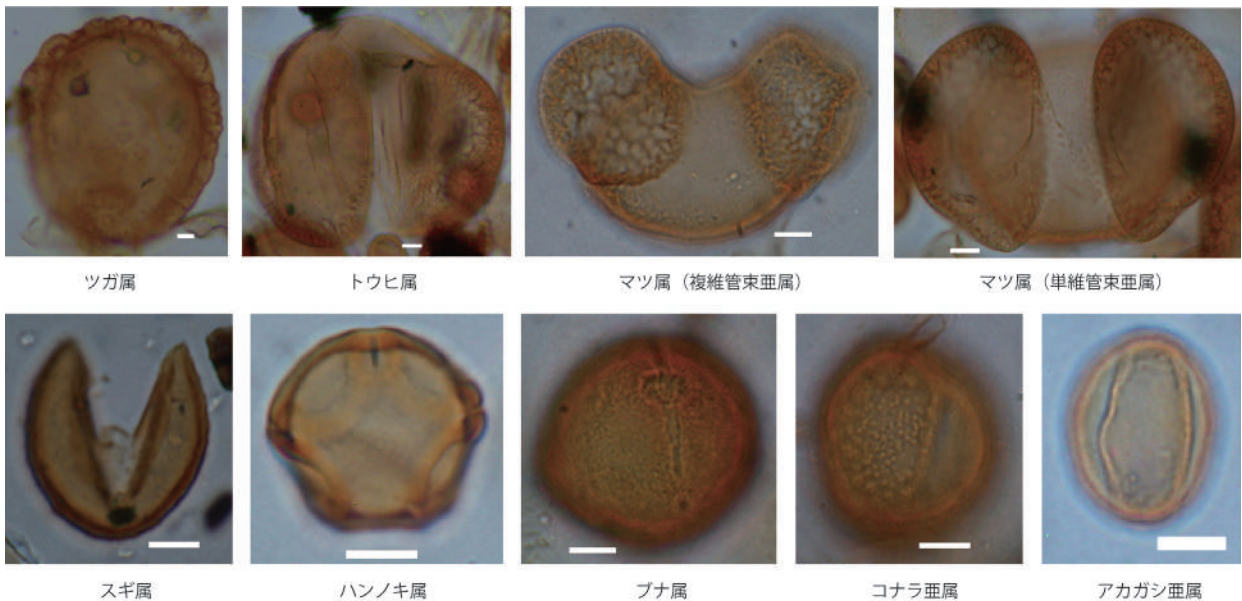


図1 花粉化石の顕微鏡写真
スケールバーは 0.01mm (10 μ m)

*文化財調査コンサルタント株式会社 代表取締役 博士（理学）

の環境によってはそのものが溶解し検出されないことにも注意が必要である。

一方、生物（植物）の生殖細胞にすぎない「花粉」は、「スポロポレニン」という有機物で「外形：膜」ができていて（化石として検出されるのはこの「膜」である）。生殖細胞という特殊性からこの膜は頑強で、「花粉」の化石は1億年以上前の地層からも検出されているほどである。化石として地層に取り込まれた「花粉」は、条件次第では層序対比に有効であり、火山灰層序を補完できる「化石」の一つである。

2 花粉の特性

生殖細胞である「花粉」は植物の雄しべで造られ、様々な方法で雌しべへと移動（受粉）する。大きくは、風とともに移動し雌しべに至る方法（風媒）と、昆虫などの助けを借りて雌しべに至る方法（虫媒）が上げられる。これら以外にも、イネのように自家受粉する植物も存在する。風媒植物（花）は「花粉」を大量に生産し、風とともに遠方までまき散らすことが特徴で、背の高い樹木が多い。またその花も特徴的で、開花期には風によって棚引いている。厄介な花粉症の一因である「スギ（図1参照）」は、このグループに入る（風とともに飛散するスギ花粉の映像を、TVなどで視聴された方も少なくないだろう）。このほか風媒花には、マツ類や、ブナ類、カシ類、ナラ類などが含まれる。どれが「花」か一般には分からないような植物である。これに対し、一般に「花」を認識できる植物の多くは虫媒花で、草本や灌木に多い。虫媒花の多くは、その色と香りで昆虫などを引き寄せ、受粉をする。風媒に比べ受粉の効率が良く、そのためか虫媒花一枝あたりの花

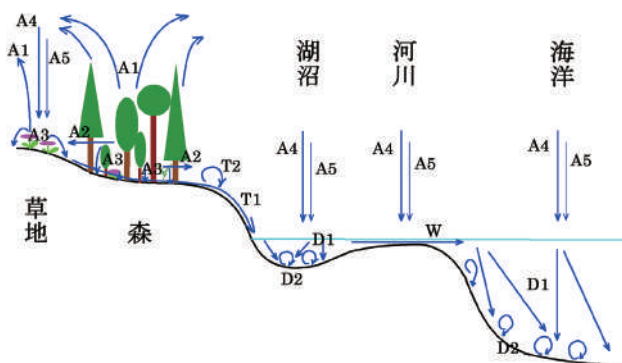


図2 花粉の散布・堆積の過程
(辻：1979¹⁷⁾、松下：1988¹⁸⁾を基に作成)

A1：大気中の散布 A2：樹間を通しての散布 A3：地上への落下 A4：大気中より落下
A5：降雨による落下 A6：フィルター効果による通過 T1：流水・河川による運搬
T2：堆積後の再移動 W：河川による運搬 D1：水域における堆積
D2：巻き上げによる再移動

粉生産量は風媒花の1/10000にも至らない¹⁾。また、意外なことにクリやシイノキ類は虫媒花である（新緑の頃のシイやクリの匂いを御存じの方も、少なくないだろう）。

風媒花の花粉は時に数百キロ以上の飛散距離を持ち^{2), 3)}、堆積盆（海、あるいは湖）に落下した後、堆積物中に取り込まれ化石となる。また、地上や内水面に落下し、雨水とともに河川経路で堆積盆に至る花粉もある。一方虫媒花の飛散距離は短く、堆積盆まで到達するものは、岸部近くに生育するものがほとんどである（図2参照）。このため大きな堆積盆では、虫媒花等による局所的な植生を示す要因が排除され、その種類や量（組成）は、堆積物中に取り込まれた時期での、陸上の広範囲に亘る平均的な植生を表すことになる。ただし、岸辺に局地的な植生が存在すれば、その沿岸部では特異な組成を示すことになる。

一方、同時期の異なる堆積盆の場合、周辺の植生が似ていれば（例えば暖温帯地域内：本州（関東あたり以西）～九州）、同様の組成を示すことが期待される。しかし、暖温帯地域と冷温帯地域（本州（東北北部）～北海道）では生育する樹木が異なることから、同様の組成を示すとは考えにくい。

前述の様に気候条件によって、生育できる樹木は異なる。アカガシ類やシイノキ類、クスノキ類が暖温帯では主となり、ブナ類やミズナラ類が冷温帯では主となる。また、ニヨウマツ類やスギの様に広い気候帯に亘り生育可能な樹木もある。この外、降雨量、湿度などの違いから、生育できる樹木に違いが生じてくる。さらに土地条件も関与し、湿潤を好むスギやハンノキ類、ニレ・ケヤキ類が存在する半面、多くの針葉樹類の様にやや乾燥を好む樹木もある。

気候が長期的に変化してきた事は既知の事実であり、気候の変化に伴って生育する樹木も当然変化してきたと考えられる。従って、気候変化に伴って、その時期に堆積物中に取り込まれた花粉組成にも変化が生じる事となる。堆積物中の花粉組成の変化は、このような事から生じる現象と考えられている。

3 花粉生層序の応用例

花粉生層序の土木事業への応用に関して、古谷正和氏による功績が大きい。古谷氏は、関西国際空港海底地盤の詳細な花粉生層序を示した⁴⁾ほか、大阪層群 Ma8 層より上位（現代堆積物まで）の花粉生層序をまとめた⁵⁾。更に、大阪層群 Ma1～10 層までの花粉生層序を簡素にまとめ⁶⁾、「大阪層群の花粉生層序による対比」手法の普及に努めた。

土木事業に各種微化石分析が用いられた極初期の例として、大阪市における地盤沈下調査^{7) 8) 9) 10) 11) 12) 13)}が上げられる。更に画期となった調査として、関西国際空港島埋立に伴う地盤地質調査が上げられる¹⁴⁾。前述の古谷氏による、関西国際空港海底地盤での花粉生層序²⁾も、ここでの調査の一つとして行われたものであった。関西国際空港島埋立に伴う地盤地質調査では、各種微化石及び広域火山灰層などによる海成層と非海成層の判別と層序対比が行われ、関西新空港島全域での地層対比が行われた。一方で、検出された広域火山灰層（あるいは大阪層群中の火山灰層）がK-Ah（鬼界アカホヤ火山灰）、AT（始良丹沢火山灰）、サクラ火山灰、アズキ火山灰の4層に止まることから、大阪層群との対比が試案に止まっていた。一方、古谷氏による大阪層群 Ma1～10層までの花粉生層序のまとめ⁶⁾（図3参照）には、大阪層群の主な火山灰層との関係も記載されており、利用価値は高い。その後、火山灰層序、花粉生層序や、各種微化石分析による海成層と非海成層の判別は、大阪湾沿岸地域での地盤調査に多用されている。

また近年、海成、非海成層の判別に微化石分析ではなく、イオウ濃度分析が簡便性から用いられることが多くなってきている¹⁵⁾。

4 花粉生層序記載の具合例

花粉生層序を決定するためには、試料（土）に物理処理、化学処理を加え、花粉化石を抽出することから始める必要がある。抽出処理方法として様々な手法がある。処理を短時間で終えるためには、少量（重量：1g程度）で分析処理を進めた方が良いが、十分な量の花粉化石が得られないケースが多くなる。また、試料内での花粉組成のバラツキが顕著になり、層序対比ができなくなるケースも生じる。このため、時間を要することになるが、可能なだけ多量（重量：数10g以上）を対象にした方が、良い成果が得られる。このように、仕様についての注意が必要である。また、分析試料の採取間隔が短い（試料数が多い）ほど、層序対比の精度が上がる。さらに、調査対象とする海成粘土層1層準だけではなく、その上下数層準を対象にした方が、より精度が上がる。

抽出した花粉化石を顕微鏡下で観察し、同定・計数を行い、花粉ダイアグラム（図4参照）を作成する。研究者（業者）毎に独自のソフト（データ形式）を用いる傾向にあるが、市販のソフト（D.M.D.¹⁶⁾）もある。検証、あるいはデータベース等を構築する必要がある場合には、市販ソフトの指定をお勧めする。

花粉ダイアグラムから花粉組成の変遷を読み取り、分帯（ゾーニング）を行う。更に大阪層群での花粉生層序（あるいは複数地点間）との比較（対比）を行い、層序の決定（断面図の作成）へと進む。

5 花粉生層序の他地域での応用

花粉生層序を用いた層序対比の前提には「同一堆積盆内（あるいは同一気候帯）での堆積物であること」がある。つまり古谷氏による大阪層群 Ma1～10層⁶⁾、更に現世堆積物⁵⁾までの花粉生層序は、大阪層群の分布地域（あるいは関東あたり以西～九州）でのみ利用できるということになる。また、大阪層群のように海成層、非海成層が連続して堆積している場合には層序対比が比較的容易であるが、断続的（あるいは断片的）に堆積が認められる場合には、大変困難である。この様な場合（あるいは冷温帯地域の場合）複数地点間の花粉化石群集変化を用いた対比から実施し、その地域での花粉生層序を再構築する必要が生じることになる。

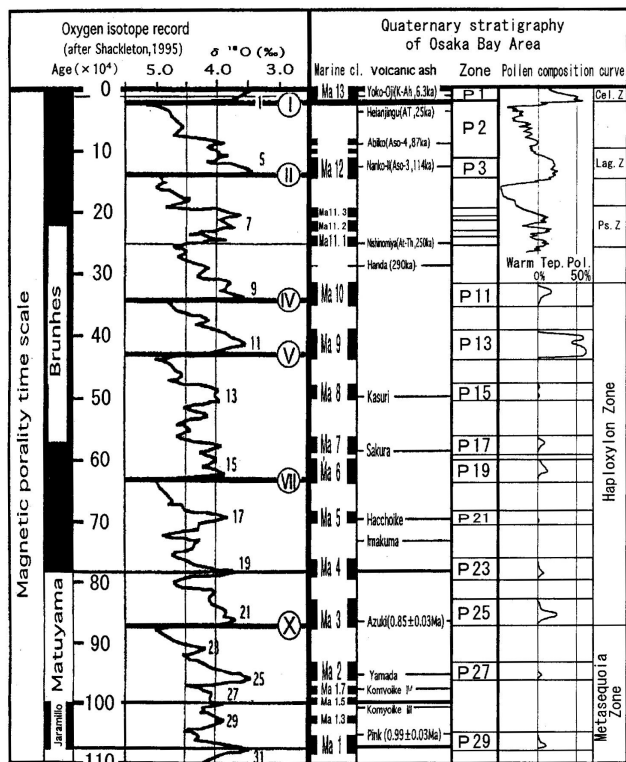


図3 大阪湾域の花粉化石層序と酸素同位体比曲線の関係⁶⁾

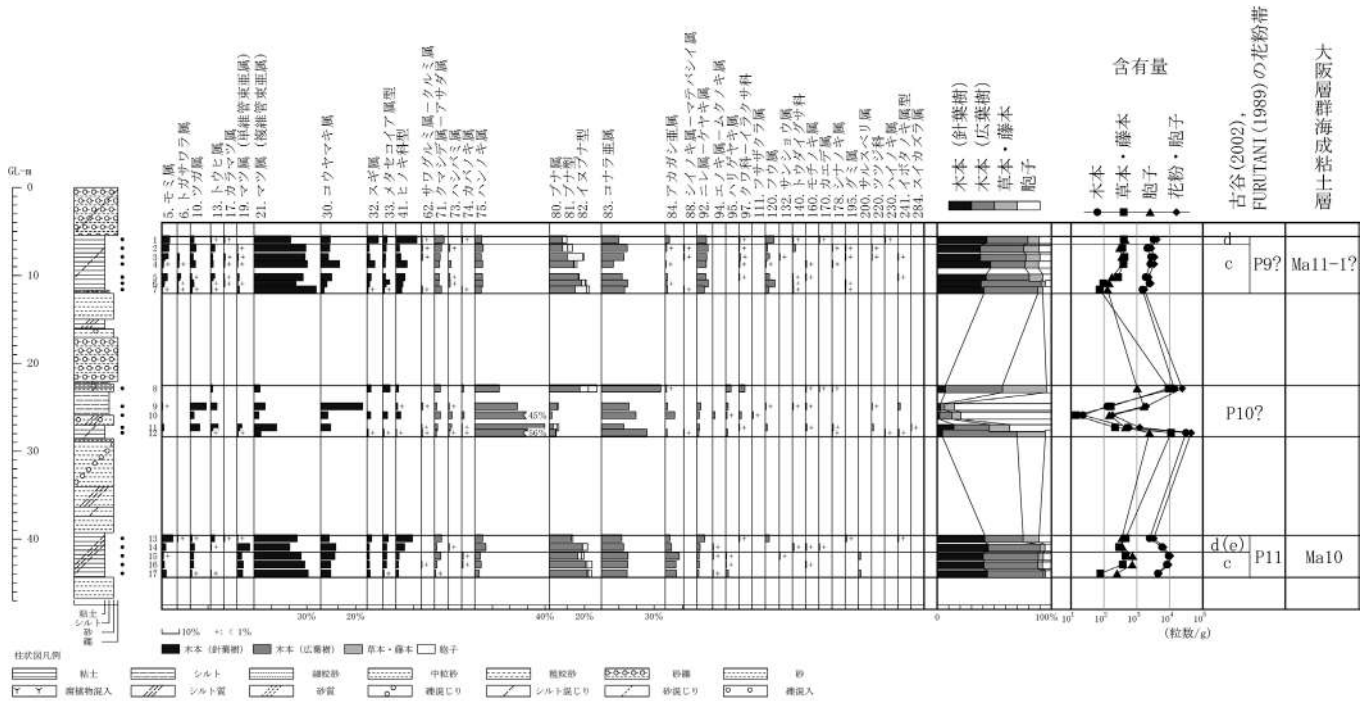


図4 花粉ダイアグラムの例
D.M.D.¹⁶⁾で作製。草本・藤本花粉の記載を省略した。試料No.8～12は非海成層。

(参考文献)

- 1) 幾瀬マサ:「葯中野花粉粒の数並びに大きさについて」,「第四紀研究」, pp.144-149, 1965
- 2) 中村 純:「花粉分析」, 古今書院, 1967
- 3) 那須孝徳:「日本海をこえてきたマオウ(麻黄)属の花粉」,「Nature Study」, No.23, pp.41-43, 1977
- 4) 古谷正和:「花粉化石調査」,「関西国際空港地盤地質調査」, pp.91-116, 1984.6
- 5) Furutani, M.:「Stratigraphical Subdivision and Pollen Zonation of the Middle and Upper Pleistocene in the Coastal Area of Osaka Bay, Japan」,「Jour. Geosci., Osaka City Univ.」, No.32, pp.53-83, 1989
- 6) 古谷正和:「大阪層群上部各層の花粉化石による識別」,「コア精密対比による京阪神地域の地下地質・地質構造の高精度解説」, 33-49, 2002.7
- 7) 大阪市総合計画局:「大阪市地盤沈下調査中間報告書, OD-1調査報告」, 1964
- 8) 大阪市総合計画局:「大阪市地盤沈下調査報告書, OD-2調査報告(地質), OD-1調査追加報告(地質)」, 1966
- 9) Nakaseko, K., Chiji, M.:「Discovery of radiolarian fossils from the Osaka Group, Micropaleontological studies in the Osaka deep well, I」,「Bull. Osaka Mus. Nat. Hist.」, No.17, 87-92, 1964
- 10) 田井昭子:「大阪市におけるボーリング(OD-1)コアの花分析(1)」,「地球科学」, No.83, 25-33, 1966
- 11) 田井昭子:「大阪市におけるボーリング(OD-1)コアの花分析(2)」,「地球科学」, No.84, 31-38, 1966
- 12) 千地万造:「大阪市深層ボーリング(OD-1)における大阪層群上部の化石有孔虫群について」,「大阪市立自然史博物館研究報告」, No.21, 55-61, 1968
- 13) Ikebe, N. Iwatsu, J., Takenaka, J.:「Quaternary geology of Osaka with special reference to land subsidence」,「Jour. Geosci., Osaka City Univ.」, No.13, pp.39-98, 1970
- 14) 財団法人 災害科学研究所:「関西国際空港地盤地質調査」, 1984
- 15) 瀬戸浩二, 中武 誠, 佐藤高晴, 香月興太:「斐伊川東流イベントとそれが及ぼす堆積環境への影響」,「第四紀研究」, Vol.45, 375-390, 2006
- 16) 文化財調査コンサルタント株式会社:「微化石ダイアグラム作成支援ソフト「D.M.D. Ver.2.2」」<http://www.cons-ar.co.jp/dmd2.htm> (2022年2月24日現在)
- 17) 辻誠一郎:「花粉群集に関する基礎的問題」,「第四紀研究」, Vol.17, 239-244, 1979
- 18) 松下まりこ:「水域における花粉運搬と堆積」,「植生史研究」, No.3, 3-11, 1988



土質試験

よしいずみ なおき
吉泉 直樹*

Key Word 土質試験, 物理試験, 力学試験

1. はじめに

「土質試験」とは文字通り「土」を対象に行う試験である。その実施目的は、基準、規格によって定められた方法により「土」の性質や特性を数値化し、客観的な評価を行えるようにすることにある。地盤を構成する「土」は様々な状態で存在する。自然環境下で堆積した粘土や砂の他に、人為的な締固めや固化材等で改良されたものも地盤を構成する一部である。「土」を広義の意味で「地盤材料」とした場合、多岐にわたる履歴、成因を持つことにより、その性質や特性は、鉄やゴムなどの一般的な材料と比較し広範囲に及ぶ。「地盤材料」の性質や特性を明らかにするための土質試験は、物理的、化学的、力学的等の複数の観点に基づく数多くの方法が存在する。実際には、これらの複数の試験より調査目的、研究目的に応じた適切な試験を選択することになる。

本稿では、全ての試験項目について触れることは出来ないので、主に地盤調査で実施される機会が多い試験項目について解説する。特に複数条件の基準が設定されている三軸試験については、求める強度定数 (c , ϕ) の工学的意味が試験条件によって異なることについて解説する。

2. 主な土質試験の解説

2-1. 物理試験

前述したように、「地盤材料」は他の材料に比較し広範囲な性状を示すため、複数の試験を適切に行い評価する必要がある。物理試験は基本となる物理特性を求める試験である。

(1) 含水比試験

本試験は地盤工学会により「土の含水比試験方法 JIS A 1203:2020」として基準化されている。本試験で得られる含水比 w (%) は、湿潤試料に含まれる水の質量とその試料の乾燥質量比を百分率で示したものである。一般値として、沖積粘土は 50 ~ 80% 程度、砂質土では 20% 前後の値を示す。

(2) 土粒子の密度試験

本試験は地盤工学会により「土粒子の密度試験方法 JIS A 1202:2020」として基準化されている。本試験で得られる土粒子密度 ρ_s は、土の粒子自体の密度を示している。土粒子の密度はそれを構成する鉱物の密度を反映した値であり、石英を主鉱物とする砂は 2.7 Mg/m^3 前後を示し、長石や雲母を含む粘土は $2.6 \sim 2.8 \text{ Mg/m}^3$ を示す。また、これらの無機物質を構成主体とするものに対し、有機物質を主体とする泥炭などの有機質土は 2.0 Mg/m^3 以下を示す場合もある。

(3) 粒度試験

本試験は地盤工学会により「土の粒度試験方法 JIS A 1204:2020」として基準化されている。土は様々な大きさの土粒子で構成されており、その分布状態を求めるのが本試験の目的である。75 μm 以上の粒径については規定のふるいを用いたふるい分析より粒径分布を求め、75 μm 未満についてはストークスの法則を利用した沈降分析より粒径分布を求める。それぞれの結果を合わせて、粒径加積曲線を作成し対象試料の粒径分布を評価する。

*川崎地質株式会社 関東支社 ジオラボグループ

(4) 液性限界・塑性限界試験

本試験は地盤工学会により「土の液性限界・塑性限界試験方法 JIS A 1205:2020」として基準化されている。本試験は粘土分を含む細粒土を対象に行う試験であり、試験基準では $425 \mu\text{m}$ 以下の試料を用い試験を行う。土は含水量の大小で硬軟の程度が異なり、含水量が小さい状態では硬く、含水量が大きいと軟らかくなる。このように、含水量に依存し個体、半個体、塑性体、液状体と状態が変化することをコンシステンシーと呼ぶ。液性限界試験から求まる液性限界 w_L (%) は、塑性体と液状体の境界の含水比を示し、塑性限界試験から求まる塑性限界 w_P (%) は、塑性体と半個体の境界の含水比を示す。液性限界と塑性限界の差は塑性指数 I_p と呼ばれ、 I_p が大きいほど粘性が大きい性質であると評価出来る。また、試験結果を塑性図と呼ばれる図にプロットすることにより、粘土の性質を分類することが出来る。

(5) 湿潤密度試験

本試験は地盤工学会により「土の湿潤密度試験方法 JIS A 1225:2020」として基準化されている試験である。地盤材料は土粒子の集合で構成されているが、その空間（間隙）には水及び空気が存在する。つまり、地盤材料は「土」、「水」、「空気」によって構成されている。また、間隙に空気が存在せず、水のみで満たされている場合は、「土」、「水」のみで構成されていることになり、それを飽和土と呼ぶ。前述した土粒子の密度試験では土粒子自体の密度 ρ_s を求めたが、本試験で求める密度は、集合全体の体積（土の体積+間隙の体積）とその質量（土の質量+間隙内の水の質量）より求める密度であり、それを湿潤密度 ρ_t と呼ぶ。添字“t”は Total を意味する。また、間隙に空気しか存在しない状態の密度を乾燥密度 ρ_d と呼び、間隙に水しか存在しない状態（完全飽和状態）の密度を ρ_{sat} と呼ぶ。

2-2. 力学試験

地盤材料の基本的な物性値を求める物理試験に対し、力学試験は工学的課題（支持力・強度、地すべり、圧密沈下、液状化現象など）に対応する試験値が得られる試験である。

(1) 圧密試験

本試験は地盤工学会により「土の段階荷重による圧密試験方法 JIS A 1217:2021」及び「土の定ひずみ速度荷重による圧密試験方法 JIS A

1227:2021」として基準化されている試験である。対象試料の圧密特性を求めるために、供試体を直径 6cm、高さ 2cm の圧密リングと呼ばれる金属製の円筒リングにセットし、垂直方向に荷重を載荷し、供試体の変位量（沈下量）を測定する。供試体の側面は圧密リングにより拘束されているので、供試体は垂直方向のみに変形する一次元変形となる。本試験は荷重の載荷方式により 2 つの基準が設けられている。段階載荷方式とは、5～2000kN/m² の範囲で 8 段階の荷重を設定し、小さな荷重から順次載荷する。各段階の載荷開始時点から供試体の変位量を 24 時間計測する。よって試験日数は、8 段階×24 時間で 8 日間となり、これに除荷過程 1 日を加えると 9 日間となる。定ひずみ速度載荷方式とは、ある一定のひずみ速度で供試体を強制的に変位させていく方式である。圧密試験結果より、圧密降伏応力 p_c 、圧縮指数 C_c 及び圧密変形に関するパラメータ m_v 、圧密時間に関するパラメータ C_v が得られる。

(2) 一軸圧縮試験

本試験は地盤工学会により「土の一軸圧縮試験方法 JIS A 1216:2020」として基準化されている試験である。本試験では一軸圧縮強さ q_u とその時の破壊ひずみ ε_f が得られる。一軸圧縮強さから原地盤の非排水せん断強度を $c_u = q_u / 2$ として推定することが出来るが、これは、後述する UU 条件の三軸圧縮試験で得られるモール円の接線が水平であることを根拠とする。また、応力-ひずみ曲線より E50 と呼ばれる変形係数を求めることが出来、設計用パラメータとして広く利用されている。

(3) 三軸圧縮試験

三軸圧縮試験は、原地盤に作用する外力条件や施工条件に対応した次の 4 つの試験基準が設けられている。「土の非圧密非排水 (UU) 三軸圧縮試験方法 JGS 0521-2020」, 「土の圧密非排水 (CU) 三軸圧縮試験方法 JGS 0522-2020」, 「土の圧密非排水 (CU) 三軸圧縮試験方法 JGS 0523-2020」, 「土の圧密排水 (CD) 三軸圧縮試験方法 JGS 0524-2020」。これらの条件で共通する項目は、
1) 円柱形の供試体を使用する（一般的に 3～4 個）、
2) 各供試体には異なる拘束圧を負荷する、
3) 各供試体の破壊時のモール円より破壊線を求め、切片を c 、角度を ϕ とし強度定数を求める。
得られる強度定数 (c , ϕ) は、試験条件によりその工学的意味が異なる。

【UU 条件】 UU 条件とは、拘束圧による圧密は行わず (Un consolidation)、非排水条件で圧縮せん断を行う (Un drain) 試験条件である。粘土地盤上に盛土を施工した場合、その荷重により粘土地盤の圧密が進行し、間隙比の減少とともに強度が増加していく。しかし、粘土は透水性が低いため、圧密の進行は長期間に及ぶ。この一連の過程において、盛土施工直後が最も危険な状態とする考え方を「短期安定問題」という。盛土施工直後の粘土地盤は未圧密状態であり、急速な盛土荷重の載荷に対し非排水条件で変形する。この場合、安定解析に必要な強度定数が、UU 条件で得られる非排水せん断強度 c_u である。

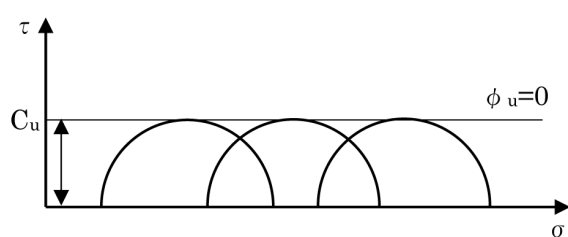


図-1 UU 条件のモール円

UU 条件で三軸圧縮せん断試験を行うと、図-1 のようなモール円が得られる。図-1 は拘束圧が異なる 3 供試体の試験結果を示している。各供試体の拘束圧は異なっているが、非圧密条件により強度は増加しないので、圧縮強度 q ($= \sigma_1 - \sigma_3$: モール円の直径) は同じ値を示すことになる。これらのモール円に接線を引くと、傾きは当然ながら水平となる。このときの切片値が試験試料の非排水せん断強度 c_u を示すことになる。つまり、 c_u はモール円の半径 ($= q / 2$) に対応する。このように、UU 条件のモール円に対する接線の傾きが水平であることを根拠として、非排水せん断強度を $c_u = q / 2$ として求める方法を「 $\phi_u = 0$ 法」と呼ぶ。前述したように「 $\phi_u = 0$ 法」の考え方を拡張すると、拘束圧が 0 ($\sigma = 0$) 条件の一軸試験からも非排水せん断強度 c_u を求めることが出来る。ここで注意すべき点は、一軸圧縮強さ q_u が UU 条件の三軸圧縮強度 q と「 $q_u \doteq q$ 」という関係を示す場合のみ、一軸試験結果に「 $\phi_u = 0$ 法」を適用出来るということである。

砂などの拘束圧 0 条件で自立しない試料は、そもそも一軸試験が成立しないので適用出来ない。また、自立する粘性土であっても内部クラックを有する等の条件で「 $q_u < q$ 」となる試料も適用できず、このような試料は UU 条件の三軸試験より非排水せん断強度を求める必要がある。

【CU 条件】 CU 条件とは、拘束圧による圧密を行い (Consolidation)、非排水条件で圧縮せん断を行う (Un drain) 試験条件である。試験供試体は拘束圧に応じて圧密するため、間隙比が減少し強度が増加する。図-2 に示すように、CU 条件のモール円の接線は角度を持つことになる。

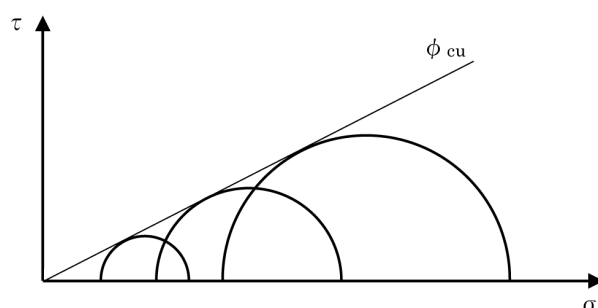


図-2 CU 条件のモール円

UU 条件と同様に、粘土地盤上に盛土を施工したケースを考える。UU 条件は盛土施工直後の状態である「短期安定問題」に対応した試験条件であるのに対し、CU 条件で得られる非排水せん断強度は、盛土荷重による圧密沈下が終了し、強度が増加した状態の粘土地盤に対応する。盛土を段階的に施工するケースにおいては、現段階の盛土荷重による圧密沈下が終了し、次段階の盛土施工に移行する時点で、次段階の盛土施工直後の「短期安定問題」を検討する必要がある。この時の解析に必要なのが、現段階の盛土荷重で強度が増加した粘土地盤の非排水せん断強度である。図-2 のモール円の接線角度 ϕ_{c_u} は盛土荷重による非排水せん断強度の増加率を示しており「強度増加率 c_u / p 」と呼ばれ、 $c_u / p = \tan \phi_{c_u}$ となる。

図-2 の接線は原点から引かれており、これは正規圧密粘土と呼ばれる状態に対応している。粘土層の堆積過程における原始の状態は浮泥であり、せん断抵抗はほぼ 0 である。堆積の進行とともに土被り圧は増加し、間隙比が減少することによりせん断抵抗が増加していく。このように、土被り圧の増加に対する間隙比の減少量が、その粘土の圧縮指数と一致している状態を正規圧密状態という。一方、過圧密状態とは、現在の粘土地盤が受けている土被り圧 p_v が圧密降伏応力 p_c より小さい状態であり、 $p_v < p_c$ という関係にある。過圧密状態の粘土地盤の非排水せん断強度は、過去に現在よりも大きい圧密応力履歴を持つことから、同じ土被り圧の正規圧密粘土の非排水せん断強度よりも大きな値を示す。その状態を示しているのが図-3 である。

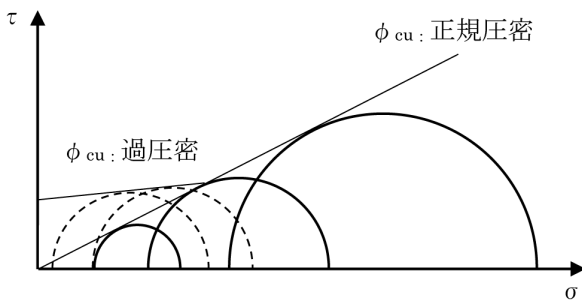


図-3 CU条件のモール円（過圧密・正規圧密）

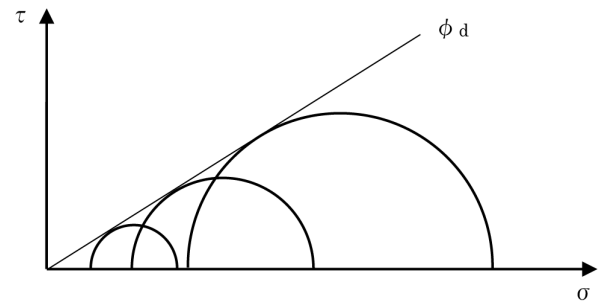


図-4 CD条件のモール円

図中の2本の接線は、過圧密状態の試料のモール円に対する接線と正規圧密状態の試料のモール円に対する接線であり、2本の接線が交差する圧力が圧密降伏応力 p_c に対応する。過圧密状態の粘土は、拘束圧（圧密圧力）の変化に対する間隙比の減少量が正規圧密粘土よりも小さいため強度増加率も低くなる。一般的な粘土地盤は、過圧密状態であることが多く、試験結果のモール円に明らかかな過圧密、正規圧密の相違が得られた場合は、過圧密領域の強度増加率、正規圧密領域の強度増加率をそれぞれ求め解析に用いる必要がある。また、すべての試料で過圧密、正規圧密の相違が得られるとは限らないため、不明瞭な場合は平均的な1本の接線で強度増加率を求める。

【CU条件】 CU（CUバー）条件とは、上記のCU条件の非排水圧縮せん断過程に供試体内の間隙水圧測定が加わった試験である。試験結果からはCU条件と同等の強度増加率が得られるのと同時に、有効応力に基づくモール円も得られ、そのモール円に対する接線角度 ϕ' は、排水圧縮せん断で得られる土の内部摩擦角 ϕ_d と等価である。 ϕ' は「長期安定問題」と言われる粘土地盤の掘削に伴う安定解析に利用される。また、試験結果から有効応力経路を求めることが出来るため、有効応力解析用の地盤モデルのパラメータ設定目的に実施される機会も増えている。

【CD条件】 CD条件とは、拘束圧による圧密を行い（Consolidation）、排水条件で圧縮せん断を行う（Drain）試験条件である。主に排水条件で変形する砂礫、砂質土を対象に実施する試験である。

図-4にCD条件の三軸試験より得られるモール円を示す。図-2のCU条件のモール円と同じように見えるが、それぞれの工学的意味は全く異なるので留意する必要がある。

CD条件のモール円の接線角度 ϕ_d は、クーロンの摩擦係数 μ と等価な物性値を示している。ある2つの物体接触面に働く垂直力 N と摩擦力 F は線形関係にあり、 $F = \mu N$ と示すことが出来る。この関係は、地盤材料のような粒子の集合体である物質内部でも成立することが、クーロンによる実験で確かめられている。地盤材料固有の摩擦係数は、材料内部で発現することから「内部摩擦（内部摩擦角）」と呼ばれる。また、図-4のようにモール円の接線から内部摩擦角を求めることを「モール・クーロンの破壊規準」と呼ぶ。

3. おわりに

冒頭で述べたように「土質試験」の目的は、地盤材料の性質や特性を「数値化」し、客観的な評価を与えることにあるが、地盤調査項目として土質試験を実施する際に留意すべき点は、試験データが示す情報は地盤の点の情報を示しているということである。計画した試験実施箇所が地層の代表値となり得るか、また、その頻度は十分かなどを調査目的、施工計画に沿って検討し実施する必要がある。

〈参考文献〉

公益社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説【第一回改訂版】：2020年12月

やさしい
知識

やさしい「川の地形」

はらだ もりひろ
原田 守啓*

Key Word 土砂生産, 沖積平野, 扇状地, 自然堤防帯, 三角州, 治水地形分類図

1. はじめに

私たちが普段目にする風景の中には様々な地形が含まれている。それぞれの地形の成り立ちを理解し、例えばボーリング調査を行おうとしている土地がどのような地形に属する場所であるかをあらかじめ知っておくと、地盤の性状が予測でき、地質調査結果から引き出すことができる情報量を飛躍的に増やすことができる。本稿では、主に川が作り出した地形と堆積物の関係性、とくに川が運んだ土砂が堆積して形成された沖積平野の地形の特徴や、インターネットで得られる有用な情報の活用方法について解説する。

2. 日本は「土砂生産」大国

日本は世界的に見ても土砂生産が多い国である。そもそも土砂が「生産」されるとはどういうことかということ、岩石が物理的な風化作用や化学的な風化作用によってばらばらになり、土砂へと変化することを指す。物理的風化作用には様々な要因があり、岩のわずかな隙間に入り込んだ水が気温の低下により凍結・膨張して、楔のように隙間を押し広げることによって岩が砕かれる凍結融解が物理的風化作用の代表例である。不安定な斜面が地震等の外力によって崩落して岩塊がばらばらになり、大量の土砂がまとまって生産されることもある。

日本列島は、地球の地殻を構成する複数のプレートの境界にあり、プレート同士が押し合う力が日本の基盤を構成する岩盤に無数の断層を生じさせている。断層の活動は地震を発生させるだけでなく、断層とその周囲の岩盤をヒビだらけにしてい

る。このようにして形成されたヒビだらけの脆い地質に加えて、梅雨や台風、冬季の積雪を伴うアジアモンスーンの気候によってもたらされる降水量の多さ、寒暖差の大きさなどが風化・侵食を促進するために、日本の山地は土砂を多く生産する条件が揃っている。

山地からの土砂生産には、地形地質・気候等により大きな地域差がある。岡野ら(2004)が全国46箇所のダム貯水池に堆積した土砂量から推定した「土砂生産量強度マップ」によると、日本国内でも土砂生産量にはかなりの幅が認められ、国内でも最も高い値が示されている中部山岳地帯では、 $1400\text{m}^3/\text{km}^2$ 年以上という推定値が示されている。また、山地からの土砂生産量は、山を覆う森林や土壌の状況にも大きく左右される。緑に覆われた現在の山々の姿からは想像もつかないことだが、かつての日本の山地は、森林の収奪により荒廃し、その結果として多量の土砂が生産され、これが河川に流れ込むことによって、水害の頻発もたらされた。日本の国土における山林の荒廃と緑の回復の歴史については太田(2014)に詳しく述べられている。1890年代に明治政府により制定された治水三法(河川法, 砂防法, 森林法)によって、荒廃した山地における森林の回復が国家的命題として進められた結果、すっかり緑に覆われた山々を現代の私たちは目にしているのである。

3. 削られてできた地形と堆積してできた地形

山地で生産された土砂は、流水すなわち河川によって侵食・運搬され、堆積・侵食を繰り返しながら下流へと運ばれる過程で、様々な河川地形を

*岐阜大学流域圏科学研究センター 准教授

形成する。山地に見られるV字谷は、山腹斜面における土砂生産と、谷底を流れる溪流が河岸と河床を侵食し土砂を運び去る作用が継続することによって形成された「削られてできた地形」である。一直線のV次谷は、断層活動による岩盤の弱点に沿って侵食が進んだ地形であることも多い。一方、谷底に開けた平坦地がみられる谷底平野は、河川が山地を側方に（横方向に）侵食して谷底が開けた後に、河川が運搬してきた土砂が堆積して平坦な地形が形成されたものが典型的である。また、河岸段丘は、土砂が堆積した後に、堆積面を河川が側方に侵食して形成されるなど、堆積と侵食が繰り返されることで様々な地形が形成される。このように、河川地形は、川の中だけに留まるものではなく、流水の侵食・運搬・堆積作用により形成された地形全般をいう。

日本の国土の面積を、大地形区分によって分けると、山地が61%、丘陵地が14%、台地が11%、低地（平野）が14%、内水面が2%とされている。この面積にしてわずか14%の平野に、人口の半分、資産の3/4が集中している。山地・丘陵地を除く平地のほとんどは、川の流れに運ばれた土砂が「堆積してできた地形」であり、日本に住む大部分の人間が、川に運ばれた土砂によって形成された土地の上に暮らしているといえるだろう。また、その土地を形作る土砂は、土砂を運んだ河川の流域の山々から生産された土砂であることから、平野の堆積物と流域の山地の地質とは切っても切れない深い関係がある。

4. 土砂の粒度分布と選択運搬作用

山地から平野に向かって、地形を形作る土砂の粒度分布がどのように変化しているか、改めて見てみよう。山地は土砂の生産源であり、生産された直後の土砂には、大きな岩からシルト・粘土まで、幅広い粒径の土砂が含まれている。

流水が土砂を押し流す力は、地形の勾配と水深に比例する。同じ流量が流れるのであれば、勾配が急で川幅が狭い方がより沢山の、より粒径が大きい土砂を押し流すことができる。また、日本の川は流量の変動が大きいので、大部分の土砂はいわゆる洪水時に輸送されている。大きな粒径の土砂よりも小さな粒径の土砂の方が小さい力で動かされることから、一回の洪水で移動する距離は、小さな粒径のものほど長い。大きな石が川を流れ下るには、実のところ非常に長い気が遠くなるような歳月を要するのである。洪水時には、石同士

が衝突して破碎したり、角がとれて摩耗するなどして、大きな粒径の土砂から細かい粒径の土砂が生み出されたりもしている。

繰り返される洪水によって土砂が下流へと運搬される過程で、河川が土砂を押し流す力に応じて、動きにくい（大きい粒径の）土砂が留まることで、概ねその区間を流れる河川の勾配に応じた粒度分布が形成されていく。このように移動しやすさに応じて土砂が選択的に運ばれる作用によって、河川の縦断的な粒度分布の変化がもたらされる。

5. 沖積平野の地形区分と特徴

土砂を運搬する河川が山間地を抜け、いよいよ両岸に山のない開けた空間に至ると、人間が堤防などによって流路を拘束しない限りは、川は流りたい場所を自由に流れられるようになる。とはいえ、平野部においては洪水は川の両側に広がる氾濫原に氾濫することができるので、洪水の水深は頭打ちとなり、土砂を押し流す力は山間地ほどには大きくはなりえない。結果として、川が山地から平野に出る場所には、大きな粒径の土砂、多くの場合、石や砂利が堆積した扇状地が形成される。扇状地よりも下流には、砂、シルト、粘土といった流水に運搬されやすい土砂が到達する。平野の周囲が山地や半島などに囲まれていれば、細かい砂やシルト、粘土が堆積した低平な平野が形成される。沖積平野に見られる典型的な地形区分は、先に述べた扇状地と、自然堤防帯（蛇行原）、三角州がある（図-1）。

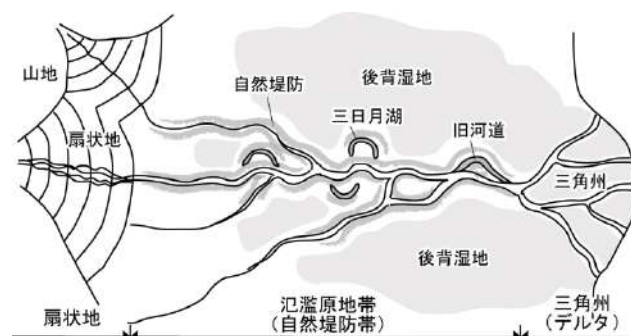


図-1 臨海沖積平野の代表的な地形区分

ただし、すべての平野にこれら3つの区間が存在するわけではない。例えば、木曾三川が伊勢湾に注ぐ濃尾平野には3つの区間が明瞭に見られるが、扇状地が日本海に突出するような地形となっている富山県の黒部川は、自然堤防帯を持たないため、黒部川扇状地と呼ばれることはあっても、黒部平野とは呼称されない。以下に、3区間それぞれ

れの地形の特徴について、とくに地形を形成した堆積物との関係性に着目して概説する。

(1) 扇状地

扇状地は、山麓の谷口を頂点として下流の低地に扇型に広がる半円形ないしイチヨウの葉状の平面形をもつ緩い傾斜地である(図-2)。扇状地の規模はさまざまで、半径数十mの超小型のものから数十kmまでさまざまな規模のものがある。洪水によって山間地から土砂が大量に押し流されてきた際には、土砂ともども氾濫して、河道の両側に自然堤防と呼ばれる礫が堆積した高まりができる。後の洪水で自然堤防が破れると、川の流れは違った向きでより低いところに向けて流れるようになり、元の流路は涸れ川となって自然堤防とともに残される。これを繰り返すことで、谷口を頂点とした扇型の地形が形成される。現在の扇状地の地形を詳細に観察すると、扇状地の地表面は平滑ではなく、ところどころ高い場所が帯状に存在する。これらは扇状地における自然堤防の名残である。

このような形成過程を経ていることから、扇状地の堆積物は一様ではなく、礫が多く含まれる層もあれば、砂が多く含まれる層もある。また、かつての流路であった場所がその後の流路変動で埋没していたりもする。

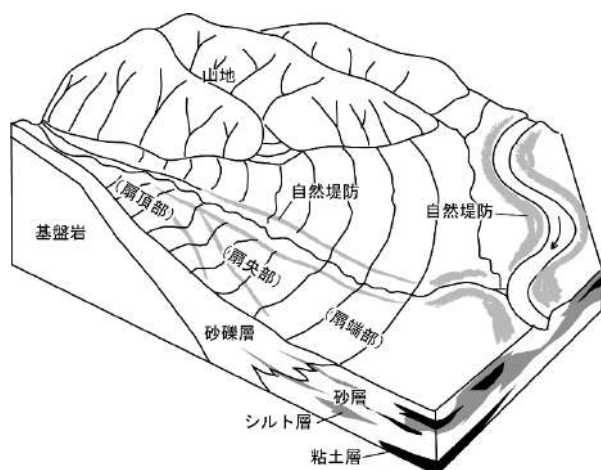


図-2 原生的な扇状地の地形

(2) 自然堤防帯

自然堤防帯は、扇状地の扇端から三角州までの間の地形で、川が蛇行しながら砂やシルト、粘土といった細かい粒径の土砂を堆積させて形成された土地である(図-3)。自然堤防帯を特徴づけるのは、その名のとおり、河川の両側に形成された自然堤防である。原生的な状態であれば自然堤防帯の河川は蛇行し、カーブの外側を浸食し、カーブの内側に土砂が堆積することによって、ムチがし

なるように川の位置が移動していく。洪水時には流路から両側に土砂を含んだ水があふれて、中砂・細砂が河岸に堆積して、流路に沿った帯状の自然堤防を形づくる(扇状地では自然堤防の材料は礫であったが自然堤防帯では主に砂である)。濃尾平野における自然堤防の高さは3mに達するところもあるが、自然堤防の幅自体が大きいため、緩やかな勾配をもつ微高地として認識される。

自然堤防を越流して氾濫した水には、川の濁りとして認識されるシルトや粘土が多量に含まれており、水はけが悪い低い土地にゆっくりと沈殿して堆積する。こうして氾濫平野の地盤が形成される。とくに水はけが悪く普段から湿地状である土地は後背湿地と呼ばれる。流路が蛇行しながら移動した結果、旧流路が河跡湖や低湿地として残される場合もある。このように、自然堤防帯は全体としては低平だが、微高地と極低地が斑に分布する複雑な地形が形成される。自然堤防帯を流れる大河川の多くは、主に明治時代以降に行われた大々的な河川改修を受けて流路は拡幅され、河道は直線的に整備されており、かつての蛇行した流路の姿を見ることはないが、平野の面積の大部分を占める自然堤防帯には、河川による土砂の侵食・運搬・堆積作用によって形成された複雑な堆積層が存在している。

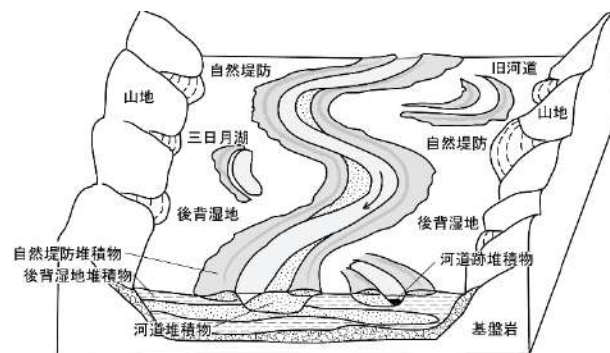


図-3 原生的な自然堤防帯(蛇行原)の地形

(3) 三角州

三角州(デルタ)は、海や湖等の静水域に河川が流入する河口部周辺に形成される。地形は極めて平坦で、自然状態であれば河川は複数に枝分かれし、河川の流路に挟まれた洲が上流側に頂点をもつ三角形をしているので三角州と呼ばれる(図-4)。三角州地帯の地形は微細砂で構成される低い自然堤防、シルト・粘土が堆積した低地と湿地で構成される。三角州の前縁では、河口まで流れてきた細砂が、水中で一定の勾配で堆積していく。三角州に区分される地形は、もともと海の満ち干の影響を受けるような河口域に形成されているこ

とから、いわゆる標高ゼロメートル地帯と呼ばれるような、低平な土地である。加えて、地下水くみ上げや自然圧密によって地盤沈下が生じている地域も多い。

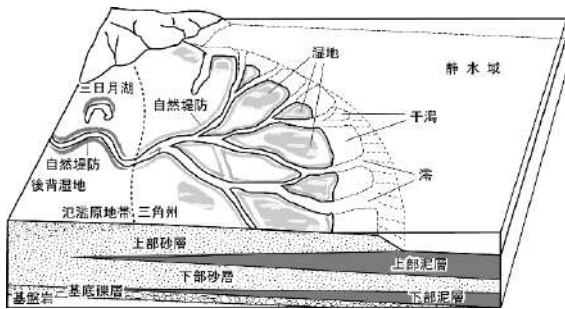


図-4 原始的な三角洲の地形

自然堤防帯や三角洲の区間で地盤を掘り下げていくと、いずれ沖積層基底礫層と呼ばれる強固な礫層に突き当たる。最終氷期最寒冷期（約18,000年前）には、地表が寒冷化して陸の氷が増えた結果、現在よりも海面が100m以上低くなっていたことが明らかになっている。海面低下時に形成されていた谷底を覆っていた礫層が沖積層基底礫層である。最終氷期最寒冷期以降、気候が温暖化し陸の氷が解けて海面が上昇（海進）する過程で、基底礫層の上に堆積した土砂が沖積層である。沖積層の厚さは上流側の扇状地近くでは薄く、河口近くほど厚い（沖積層基底礫層が深い位置にある）のが普通である。

6. 治水地形分類図は情報の宝庫

沖積平野の地形と地形を形成する堆積物の特徴を踏まえて、実際の平野部の地形について確認してみよう。近年、インターネットで地図情報の公開が進んでおり、主に平野部の詳細な地形区分が示された「治水地形分類図」を閲覧することができる。治水地形分類図は、図-5に示すとおり、全国の主要な平野部について作成・公開が進んでおり、国土地理院が運営するウェブサイトである地理院地図でも表示することができる。地理院地図は、さまざまな地図情報を重ねて表示することができる大変優れたウェブサービスである。治水地形分類図を表示するには、画面左のメニューの中から「土地の成り立ち・土地利用」を選び、その中にある「治水地形分類図」を選択する。治水地形分類図は初版（1976～1978年）と更新版（2007年～）があるが、更新版を選ぶと良いだろう。治水地形分類図には、現在はすっかり開発が進んで建物や構造物が立ち並び、一見しても分からなくなってしまう地形

を確かめることができる。かつて川が流れていた旧河道や自然堤防の位置なども一目瞭然である（図-6）。スマートフォンからも利用可能であり、スマートフォンの位置情報を使って、自分がいる場所を表示することもできる。

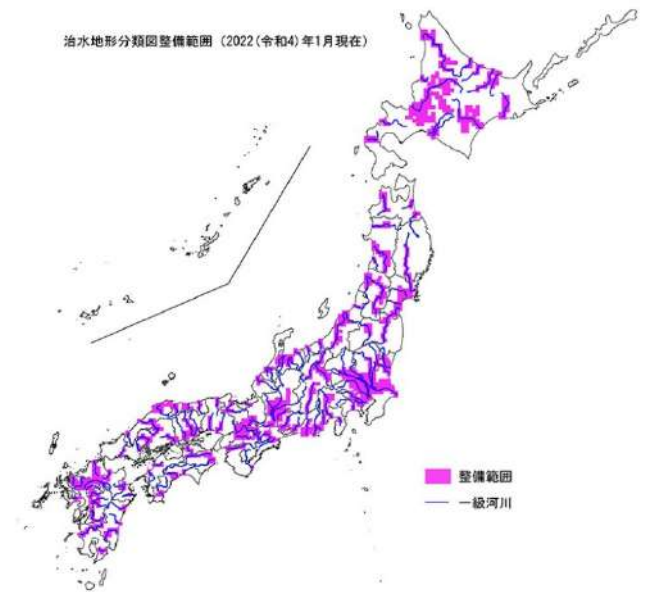


図-5 治水地形分類図整備範囲（現時点）

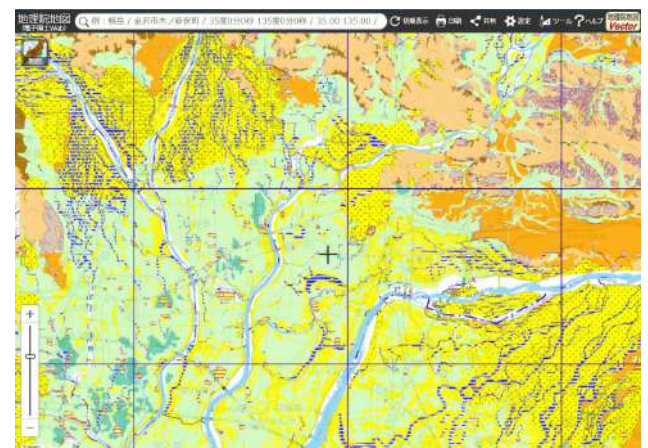


図-6 地理院地図で治水地形分類図を表示した例

治水地形分類図は、土地の成り立ちを読み解く上で非常に多くの情報を含んでおり、地形を形成した自然の営力はすなわちその土地で遭遇しうる自然災害を示していることから、市民の方々にも広く知っていただく価値がある情報であると考えている。

〈引用文献〉

- 岡野真久・高柳淳二・藤井隆弘・安藤明宏：ダム貯水池流入土砂量に基づく堆砂管理についての考察—土砂生産量強度マップの開発の事例—, ダム工学, 14 (3), 167-176, 2004.
- 太田猛彦：森林飽和 国土の変貌を考える, NHK ブックス [1193], NHK 出版, 254pp., 2012.
- 国土地理院：地理院地図（電子国土 Web）, (<https://maps.gsi.go.jp/>)

基礎技術 講座

地すべり調査 (後編)

すぎもと ひろゆき*
杉本 宏之*

Key Word 地すべり災害, 緊急調査, 地すべり災害対応の BIM/CIM モデル, 長寿命化計画, 維持管理, 事業評価, 費用便益分析

1. はじめに

本講座の前編では、河川砂防技術基準調査編¹⁾と地すべり防止技術指針及び同解説²⁾を中心として、地すべり対策を実施する際に行う「地すべり調査」について説明した。後編では、地すべり災害の発生の恐れがある、または発生した場合に行う「緊急時の調査」、地すべり対策後の「恒久対策実施後の地すべりに対する観測・点検」、事業評価に関する「地すべり経済調査」について説明する。一般には、地すべり調査というと、前編で説明した地すべり防止計画を策定するための調査や災害時の調査がイメージされることが多いと思うが、対策事業後の維持管理における調査や事業評価に関する調査なども広い意味で地すべり調査となる。これらの調査については、説明する機会はあまり多くないので、この機会に概要を説明する。



図1 宇井地区地すべりの滑落前後 (奈良県提供)

2. 緊急時の調査

2.1 地すべり災害時の調査

地すべりは一般には緩慢な動きを呈するものが多いが、中には突発的に移動、滑落するものも見られる。図1は、国道168号奈良県五條市大塔町宇井地区において平成16年8月10日に発生した地すべり³⁾の滑落である。

本地区では、図2に示すように地すべりによる変状が斜面や道路に現れていたため、国道の通行止めを行い、監視をしていたところ、8月10日に大規模に滑落した。

このように、地すべりの緩慢な動きから急速に滑落に至ることがある。そのため、斜面やのり面

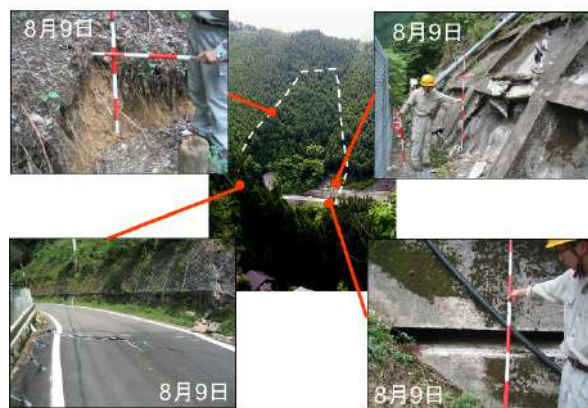


図2 滑落前に生じた地すべり変状 (奈良県提供)

に地すべりによる変状が確認された場合には、突発的な移動や滑落による被害の防止・軽減のため、緊急的に調査が行われ、監視体制や避難体制、応急対策等が検討される。緊急時の調査では、以下の①～⑦の調査・検討が行われる。

* 国立研究開発法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム 上席研究員

- ① 変状範囲と地すべり移動方向の確認
- ② 地すべり移動量、移動速度等の計測
- ③ 発生機構（地すべりの素因・誘因）の推定
- ④ 移動土塊の滑落予測
- ⑤ 拡大の可能性の検討
- ⑥ 影響範囲の推定
- ⑦ 危機管理に用いる計測データの基準値の設定

斜面に変状が確認された場合には、まず、変状の生じている範囲と地すべりの移動方向を特定する必要がある。これは、地すべりの規模や、滑落した場合に被害が生じる可能性がある範囲の推定、移動量観測位置の検討等に必要となる情報となる。調査は、変状の認められる範囲だけでなく、変状範囲を包括する大規模な地すべり地を見逃さないよう、背後斜面や隣接斜面の確認を十分行うことが重要である。また、滑落の危険のある斜面付近での調査にあたっては、調査者の安全の確保が必要である。

次に、地盤伸縮計等を設置して移動量等のリアルタイム計測を行う必要がある。地すべりは緩やかな動きから、急速な動きに至ることが多いことから、移動速度が滑落の危険性の指標となる。そのため、緊急対応の急迫の程度を把握するためにも、速やかに設置することが必要である。一体として動く地すべりブロックの移動速度を把握するために、適切な位置に設置することが重要である。また、地すべりブロックが複数に分かれる場合は、監視を行う地すべりブロックそれぞれに設置する。

現地調査結果や既存資料等が得られたら、地すべりの発生機構（素因・誘因）の推定を行う。斜面の地形、地質、地質構造等の素因を把握し、降雨、融雪、地震、末端の侵食、地形改変等の地すべりが発生した誘因を推定する。応急対策は、誘因となった要因を除去するような工法が効果的であることから、誘因の把握は重要である。また、地すべりの変状や地形状況等から、今後の移動土塊の滑落の危険性の検討を行う。地すべりが拡大した場合には、甚大な被害となる危険性があることから、地すべり発生機構や移動土塊の挙動予測を踏まえ、上部斜面や隣接斜面への拡大、土塊の二次移動等の可能性についても検討する。これらの調査および検討結果を基に、地すべりの影響範囲と警戒避難体制をとるための危機管理基準値を設定する。なお、危機管理は災害対策基本法、土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（土砂災害防止法）により、警戒、避難等が行われる。

2.2 土砂災害防止法に基づく緊急調査

地すべり災害への対応は、砂防部局や道路管理者等によってなされているが、特に大規模な地すべり災害の場合は、土砂災害防止法に基づく緊急調査の仕組みがある。

土砂災害防止法では、大規模な土砂災害が急迫している状況において市町村が適切に住民の避難指示の判断等を行えるよう、国土交通省または都道府県が調査（緊急調査）を実施し、被害の想定される区域・時期の情報（土砂災害緊急情報）を関係自治体の長に通知するとともに、一般住民にも周知をすることとなっている。河道閉塞に起因する土石流と湛水、火山噴火に起因する土石流については国土交通省が、地すべりについては都道府県が緊急調査を行う。土砂災害防止法に基づく地すべりの緊急調査は、地すべりによる地割れや建築物等の亀裂が発生、または広がりつつある状況で、かつ、概ね10戸以上の人家に被害が想定される場合が対象となる。今までに、平成24年に発生した新潟県国川地区の地すべり（図3）、令和2年に発生した長崎県牧の地地区の地すべり（図4）の2地区で実施されている。



図3 緊急調査が実施された国川地区（新潟県提供）



図4 緊急調査が実施された牧の地地区（長崎県提供）

2.3 災害対応における CIM の活用

地すべり災害対応において、災害状況の把握や関係者間の情報共有を迅速かつ円滑に行うことが重要だが、時間制約や様々なソースに限りがあるために実際は難しい。そのような課題を解決するための取り組みとして BIM/CIM の活用が行われているので紹介する。

地すべり災害が発生した場合は、「2.1 地すべり災害時の調査」で説明したような現地調査を行い、それに基づいて警戒避難対策や応急対策工事等の検討が行われる。その際には、地すべり周辺の斜面地形や地すべりによる変状発生状況、保全対象の位置等の 3 次元的な関係をふまえ、地すべり災害の全体像を的確に把握した上で検討を行うことが重要である。しかし、大規模な地すべり災害では、現地状況の情報の不足や、逆に図面や写真等の情報が多すぎて収集・整理が追いつかないなどの理由で、地すべり災害の全体像の把握が難しい。また、災害時の対応は、国・都道府県・市町村の土木部局や防災部局、民間の調査会社、建設会社等の多数の関係機関が連携する必要があることから、地すべり災害の状況について十分に情報伝達・情報共有することが重要であるが、それらを地形図や写真だけで発災直後に迅速に行うことは難しい。



図 5 地すべり災害対応の BIM/CIM モデルの例
(長崎県牧の地地区)

上記のような、「全体像把握が難しい」、「情報伝達・情報共有が難しい」という災害対応の現場での課題を解決するため、BIM/CIM 活用ガイドライン(案)第3編 砂防及び地すべり対策編⁴⁾では、災害時にも迅速に作成可能な「地すべり災害対応の BIM/CIM モデル」が定義されている。図 5 は、緊急調査の実施事例でもある長崎県牧の地地区(図 4)の対応の際に作成された地すべり災害対応の

BIM/CIM モデル」である。地すべり災害対応の BIM/CIM モデルは、UAV で撮影した災害後の空中写真を基にカラー点群データを作成し、それに地図等のデータを組み合わせて作成し、「バーチャル現場」として災害状況の把握や対策の検討などに活用可能である。発災直後に用いるための作成手順は図 6 に示す 4 ステップで、1 日程度で作成できる⁵⁾。

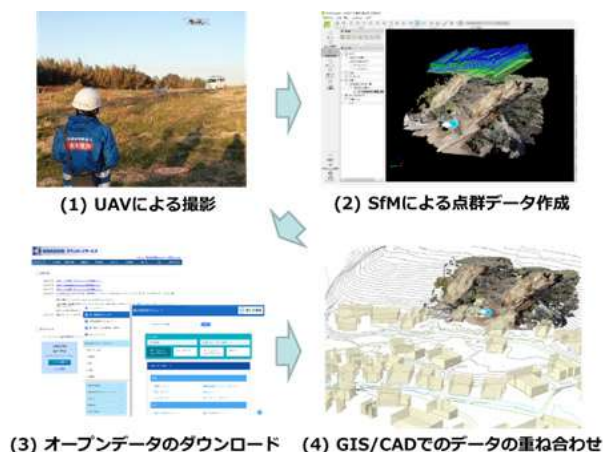


図 6 地すべり災害対応の BIM/CIM モデルの作成手順

3. 恒久対策実施後の観測・点検

3.1 観測

地すべりの発生・運動機構は複雑なことが多く、地すべり防止工事実施後の地すべり斜面であっても地すべり運動が活発化することがある。そのため、保全対象の多い地すべりなどでは、恒久対策実施後の地すべり斜面の観測は、対策終了後十分な期間において目視による点検のほかに地すべりの安定状況を各々監視するために、必要に応じて地すべり地内外に計器を設置して観測する。地すべり斜面の計器観測の対象と手法を表 1 に示す。

表 1 地すべり斜面の計器観測の対象と手法²⁾

観測対象	計測機器及び手法	計測値
地すべり斜面 地表	地盤伸縮計	地表移動量 クラック開口量
	移動杭測量	地表移動量
	G P S 測量	地表移動量
	地盤傾斜計	地盤傾斜量
地すべり斜面 地中	パイプひずみ計	地中ひずみ量
	孔内傾斜計	地中移動量
	縦型伸縮計	移動量
	間隙水圧計	間隙水圧
	地下水位計	地下水位
	アンカー荷重計	緊張力

地すべり防止施設についても機能低下を監視するために必要に応じて地すべり防止施設に計器を設置

して観測する。地すべり防止施設の計器観測の対象と手法を表2に示す。

表2 地すべり防止施設の観測対象と手法²⁾

	観測対象	計測機器及び手法	計測値
防止施設	地表排水路	排水量計	排水量
	横ボーリング	〃	〃
	集水井	〃	〃
	杭	孔内傾斜計	杭の変形量
	アンカー	センターホール型荷重計	受圧板の荷重

計器による観測が長期にわたる場合は、計器の耐用年数が課題となる。そのため、できるだけ長期にわたって計測可能な観測手法であることや計器の交換が可能であることなども考慮しておくことが望ましい。例えば、孔内傾斜計であれば、長期間の大変位に対応した小型孔内傾斜計が開発されている⁶⁾。また、既設アンカーにも取り付け・交換が容易で、長期間の観測が可能なアンカー荷重計計測システムも開発されている⁷⁾。

3.2 点検

地すべりの防止施設は地すべりによる被害の防止・軽減の機能を有する重要な社会資本であり、そのためには機能を持続的に発揮させなければならない。近年、土砂災害が多発しているが、一方で厳しい財政状況ということもあり、予防保全型維持管理として、長期的な展望をもって長寿命化を推進し、維持、修繕、改築、更新等にかかるライフサイクルコストの縮減及び各年の修繕等に要する費用の平準化を図りつつ、防止施設の機能を確実に確保していく必要がある。そのために「長寿命化計画」⁸⁾を策定し、維持、修繕、改築、更新の対策を的確に実施することとなっている。

地すべり防止施設等の点検は、砂防関係施設点検要領⁹⁾を参考に行われるが、点検にあたっては、劣化・腐食、損傷・変形等の原因とメカニズム、進行速度、機能や性能が低下した場合の問題点を推定しながら実施することが重要である。地すべり防止施設の機能や性能の低下の主な原因としては、経年劣化と地すべりの再滑動が考えられる。このため、施設のみならず、周辺の状態についても点検の対象としている。

地すべり斜面の点検の結果、地すべりによる斜面の変状が認められた場合には、「2.1 地すべり災害時の調査」で説明したような現地調査を速やかに行い、地すべりの移動状態を把握する。これらの結果、地すべり災害に至る可能性のある場合は対策を検討することになる。また、地すべり防止施設の点検・

観測の結果、機能低下が生じている場合(図7)は、必要に応じて施設の維持、修繕、改築、更新の対策を検討する。

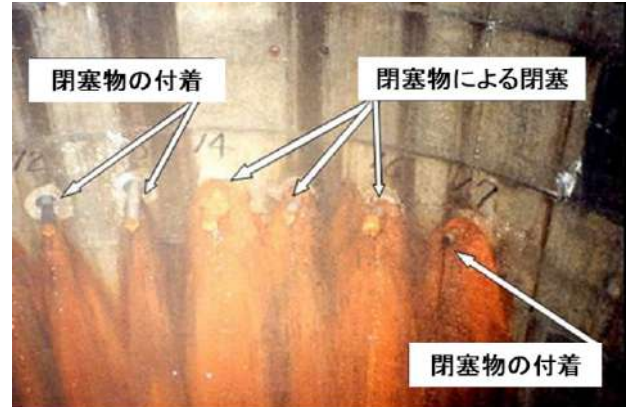


図7 機能低下の例(集水井の閉塞)⁹⁾

点検の実施から施設の健全度を把握するまでの一連の流れを図8に示す。恒久対策が実施された地すべりに対しては、定期点検および臨時点検(異常時点検)を行う。点検の結果、必要と判断された場合には、より詳細に把握するための詳細点検を実施する。点検結果に基づく部位単位の変状レベルと施設周辺の状況から総合的に施設(あるいは施設群)の健全度を評価する。

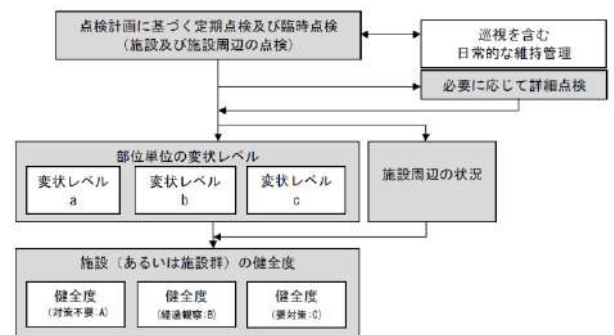


図8 点検～健全度把握の流れ⁹⁾

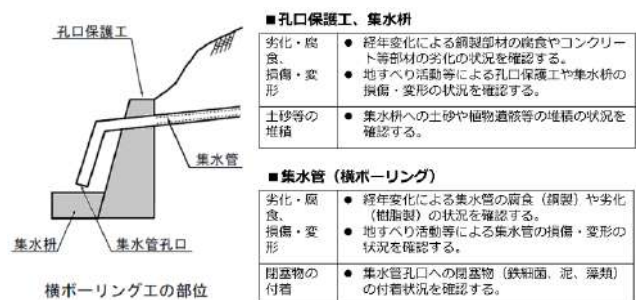


図9 点検部位と点検項目の例(横ボーリング工)

定期点検では、地すべり斜面について、地すべりによる斜面変状や湧水の状況の変化等を視認可能な範囲で現地踏査により確認する。また、地すべり防止施設については、地表排水路の状況、地下水排除施設の状況、排土・押え盛土斜面の状況、河川構造物等の侵食防止施設の状況、アンカー等の状況を視認可能な範囲で現地踏査により確認する。図9に横ボーリング工の点検部位と点検項目を例として示す。臨時点検は、規模の大きな地震や豪雨等の後に定期点検と同様、目視により確認する。

点検の際、対象とする部位に変状が認められた場合には、軽微であるかどうかを見極め、その変状を放置すると当該施設の機能や性能にどのような影響を与えるかを考慮することが必要となる。このため、点検に従事する者は、各部位の点検に当たっては、表3に示されるような当該施設に求められる機能と要求される性能を十分理解しておくことが必要である。

表3 施設に求められる機能と必要な性能⁹⁾

施設区分	求められる機能	必要な性能
水路工	地すべりを抑制する機能	地すべり防止施設の安定性、強度など構造上の性能
横ボーリング工		
集水井工		
排水トンネル工		
排土工	地すべりを抑制する機能	地すべり防止施設の安定性、強度など構造上の性能
押え盛土工		
砂防堰堤工、床固工、水制工、護岸工		
杭工、シャフト工		
アンカー工	地すべりを抑制する機能	車両が安全に通行できるための路盤等の強度を保持していること
管理用道路	地すべり防止施設に至る道路の安全を確保する機能	

4. 地すべり経済調査

公共事業の効率性及び実施過程の透明性の向上のために新規採択時や事業着手してから一定期間経過後、事業の完了後に事業評価が行われる。事業評価の検討項目は、事業に関連する社会経済情勢として、災害の影響や実績・危険度、地域の開発状況や事業への協力体制などがあり、事業の投資効果に関連して費用対効果分析（費用便益分析）などがある。地すべり経済調査は、事業評価の評価項目の一つである費用便益分析に関する調査である。本調査は、地すべり対策事業の費用便益分析マニュアル（案）¹⁰⁾及び治水経済調査マニュアル（案）¹¹⁾に基づいて実施する。

費用便益分析は、地すべり対策施設の整備と維持管理に必要な費用と地すべり対策施設によってもたらされる便益について、評価期間中に発生する

毎年の費用と便益を現在価値化し、それぞれを評価期間内で合計した総費用と総便益を比較するというのが基本である。

費用便益分析の実施手順を図10に示す。まず、便益の計測は、被害想定区域の設定、被害額の算出、年平均被害軽減期待額の算出、総便益の算出の順で検討を行う。費用の算定は、施設計画に基づいて投資計画・整備計画の想定、総費用の算出を行う。

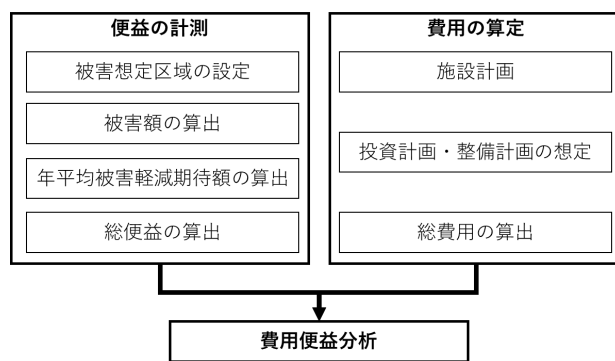


図10 地すべり対策事業効果の検討手順

被害想定区域は図11に示すように、地すべりブロックと移動土塊の到達範囲である「①地すべり危険区域」、移動土塊が溪流を閉塞した場合の「②上流湛水区域」、河道閉塞が決壊した場合の「③下流氾濫区域」を設定する。

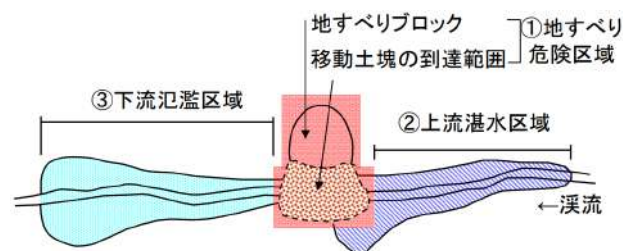


図11 被害想定区域の考え方

「①地すべり危険区域」については被害額として人的損失額と物的損害額を算出し、「②上流湛水区域」と「③下流氾濫区域」については物的損害額を算出する。物的損害額を算出する対象は、直接被害として家屋、家庭用品、事業所の資産、農作物、公共土木施設等であり、間接被害として営業停止被害、応急対策費用、交通途絶による波及被害、ライフライン切断による波及被害等となる。例えば、家屋資産額については、家屋戸数×平均床面積×都道府県別家屋1m²当たり評価額で算定し、これを基に被害額を集計する。これらは、住宅地図、個別の家屋が判別できる地形図、総務省統計局地域メッシュ統計

等を活用して調査を行う。

年平均被害軽減期待額は、地すべり土塊が滑落に至るまでに発生する被害と、地すべり土塊が滑落した場合に生じる被害をそれぞれ算定し、それらを合算する。評価対象期間における年便益の総和と評価対象期間終了時点における残存価値を加算し、総便益を算定する。

費用の算定は、施設計画に基づいて投資計画・整備計画の想定を行い、総費用を算出する。対象とする費用は、事業実施期間内の総建設費と供用期間内の維持管理費を対象とする。

経済性を評価するための費用便益分析は、便益と費用の比 (B/C) により評価する方法 (CBR 法) が基本となっている。この方法では、便益と費用の比が 1 を上回った場合に経済性の効果があると判断する。また、参考値として、純現在価値 (NPV 法: 便益と費用の差 (B-C) により評価する方法) 及び経済的内部収益率 (EIRR 法: 内部収益率の大小により評価する方法) についても併せて算出することとなっている。

なお、砂防関係事業等の防災事業については、災害時の直接的な被害の防止・軽減だけでなく、周辺地域を含めた社会的な混乱・不安の回避や中山間地の集落・文化の保全、国立・国定公園に指定されるような貴重な自然・景観を含めた国土保全等の様々な効果もあると考えられるが、現時点では貨幣換算の手法が確立していないため、このような効果は除外している。今後も被害軽減効果に関する知見を積み重ねるとともに評価手法についても検討を行っていく必要がある。

5. おわりに

本講座では、前後編の2回にわたり、河川砂防技術基準調査編の各調査について説明してきた。実際の調査の実施にあたっては、基準類を良く理解し、適切に調査を実施していただきたい。ただし、現場の状況によっては基準類をそのまま適用すると不合理となる場合もある。そのような場合は、基準類をそのままは適用しないということもある。また、調査技術の改良や新技術の開発によって、より適切な別の方法が存在するという場合もあり得る。それぞれの現場の状況に合わせて十分に検討した上で調査を実施していくことが重要である。

〈参考文献〉

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局:「河川砂防技術基準 調査編」, 2014.4
- 2) 国土交通省砂防部, (独) 土木研究所:「地すべり防止技術指針及び同解説」, 2008.4
- 3) 藤澤和範, 野村康裕, 小山内信智, 池田正, 谷口房一:奈良県大塔村で発生した地すべり災害(続報), 土木技術資料, vol.46, No.10, pp.4-9, 2004.10
- 4) 国土交通省: BIM/CIM 活用ガイドライン(案) 第3編 砂防及び地すべり対策編, 2021.3
- 5) (国研) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム: 土木研究所資料第4412号 地すべり災害対応の BIM/CIM モデルに関する技術資料, 2021.4
- 6) (国研) 土木研究所, 応用地質(株), 多摩川精機(株), 坂田電機(株), 株オサシ・テクノス: 共同研究報告書第530号 長期観測を可能にする地中変位観測技術の開発—孔内傾斜計の小型・軽量化—, 2021.7
- 7) (独) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム: 土木研究所資料第4171号 既設アンカー緊張力モニタリングシステム運用マニュアル, 2009.12
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課: 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案), 2020.3
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課: 砂防関係施設点検要領(案), 2020.3
- 10) 国土交通省水管理・国土保全局: 治水経済調査マニュアル(案), 2020.4
- 11) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部: 地すべり対策事業の費用便益分析マニュアル(案), 2021.1

ラオス国ナムニアップダム調査

たけだ しんじ
武田 伸二*Key
eý Word

ラオス国、ナムニアップ1水力発電プロジェクト（NNP1）、高品質ボーリング、ハイブリッドボーリング工法、ダム、海外での調査

1. はじめに

2015年4月、ナムニアップ1パワーカンパニーからのボーリング調査の問い合わせが、私が経験したラオスでの現場の始まりです。

2015年から2019年にかけて、ラオスへの9回の渡航を通し、ナムニアップダムの基礎掘削から完成までを見ることが出来ました。

ナムニアップ1水力発電プロジェクト（NNP1）は、関西電力とタイ電力公社、ラオス国営投資会社の出資により、ラオス国のナムニアップ川に2組のダムと発電所（それぞれ主ダム・発電所と逆調整ダム・発電所）を建設し、計29万kWの電力をタイとラオス国内に売電するIPP（独立系発電事業者）プロジェクトです。2013年8月にラオス政府と事業許可書を締結し、27年間の運転後にラオス政府に設備を無償譲渡することになっています。アジア開発銀行（ADB）や国際協力銀行（JBIC）、日本とタイの主な商業銀行が融資銀行団に加わり、建設や環境などに関わる国際基準を順守したプロジェクトです。また、土木・電気・金物・送電線の建設工事を分割で発注し、送電線工事を除く主要な建設契約を日本のコンストラクターとするオールジャパンの体制で取り組んだ事業です¹⁾。図-1にダム及び主要設備のイメージと基本諸元を示します。

2. 調査の経緯

弊社はこの調査の3年前、2012年1月に、NNP1地質調査で、ダムサイトの正確な地質情報を把握するための、高品質ボーリングによる調査に携わっています。

まだ、道路や橋もない現地で、索道で資材を対

岸に運搬し、ジャングルにテントを設営し、深度110mの高品質ボーリング（弊社ハイブリッドボーリング工法）とルジオンテストを実施し、ダイムサイトの基準となるボーリングコアを採取しました。写真-1に、当時の現地の状況を示します。



写真-1 ナムニアップ川右岸、河岸には数mの巨礫が分布する。

その後は、地元調査業者による通常工法のボーリングによる地質調査が実施され、設計、施工へと進みました。弊社はルジオンテストのデータ処理などを行う以外、現場でボーリング調査に携わることはなくなりました。

NNP1は2014年9月に、建設工事を本格着手しました。ところが、ダム基礎掘削が進む2015年に、河床部に粘土を含む水平弱層が出現しました。

水平弱層は、ダムの安定性を根本的に揺るがす可能性があるもので、事前の地質調査では捉え切れなかったものです。このため、早急に河床部に出現した水平弱層の分布状況や物性を把握する調査が必要となりました。

ラオス国内では、弱層をサンプリングするボーリ

*ハイテック株式会社 地質・地盤調査部 地質・調査第1部 部長補佐

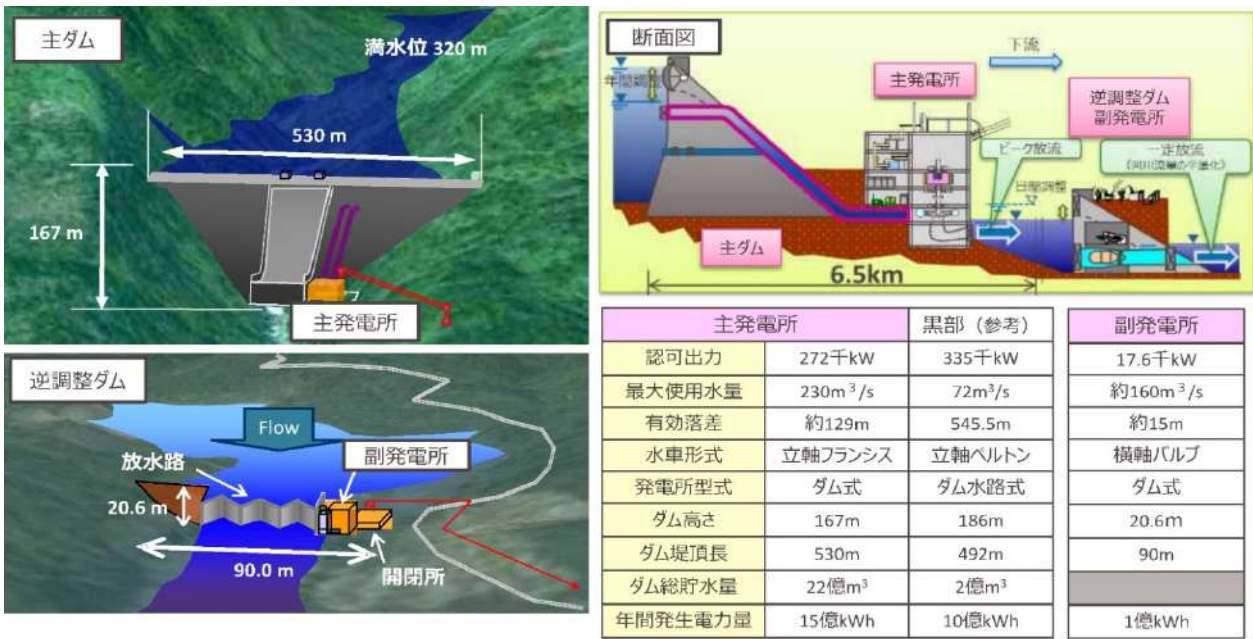


図-1 ナムニアップ1水力発電プロジェクト主ダム逆調整ダム概要 (ラオス人民民主共和国ナムニアップ1水力発電所の商業運転開始について (関西電力プレスリリース添付資料より))

ング技術も、室内試験を実施する試験所もありません。このため、2012年に高品質ボーリングを実施した、弊社に調査の依頼がまいりました。

調査は、日本よりボーリング資材を搬入し、高品質ボーリングによりサンプリングを実施し、採取した試料を日本国内に搬送し、室内試験(力学試験)を実施するものです。



図-2 NNP-1位置図

3. 概要

●ラオス国

ラオス人民民主共和国、通称ラオスは、東南アジアのインドシナ半島に位置する人民民主共和国国家で、ASEAN加盟国し、通貨はキープ(1000キープ=10円)、人口約710万人、首都はヴェンチャンです。ASEAN加盟10か国中唯一の内陸国で、面積は24万平方キロメートル、日本の国土の約63%に相当し、国土の約70%は高原や山岳地帯です。北は中国、東はベトナム、南はカンボジア、タイ、西はミャンマーと国境を接します。

●NNP1の位置

NNP1は、ラオス中部、タイとの国境(国境はメコン川)から北へ50km程度内陸に入った地点、ラオス国ボリカムサイン県ボリカン郡に位置します。図-2に、NNP1の位置を示します。

●ラオスの地質

インドシナ半島の地質構造は図-3に示すよう、

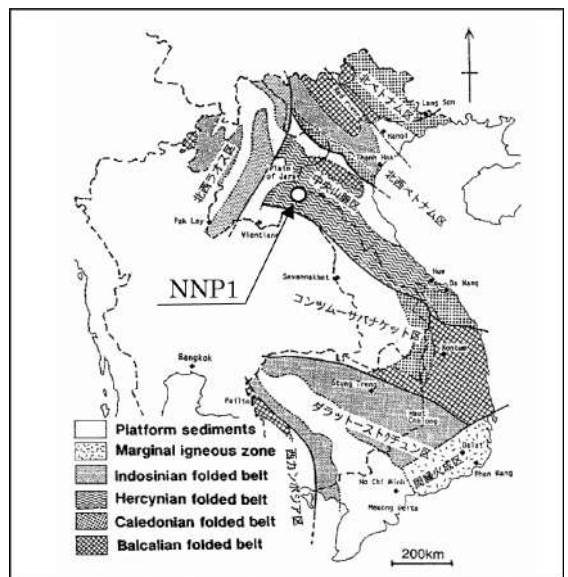


図-3 インドシナ地域の地質構造区分(資源開発環境調査 ラオス人民民主共和国より)

北西-南東方向が卓越します。

ラオスは西側の北西ラオス区、東北部から東部までの大半を含む中央山脈区、南側のコンツム-サバ

ナケット区に分けられます。

NNP1は、中央山脈区に位置し、中生代三畳紀後期から白亜紀前期の砂岩が分布するエリアに位置します。

NNP1周辺の地質は砂岩、泥岩が分布し、一部礫岩が認められ、地質構造はNW-SEで、SWに10～15°で緩く傾斜しています(写真-2)。河川沿いでは、巨礫を含む崖錐堆積物(写真-1)が、基盤岩を被覆しています。

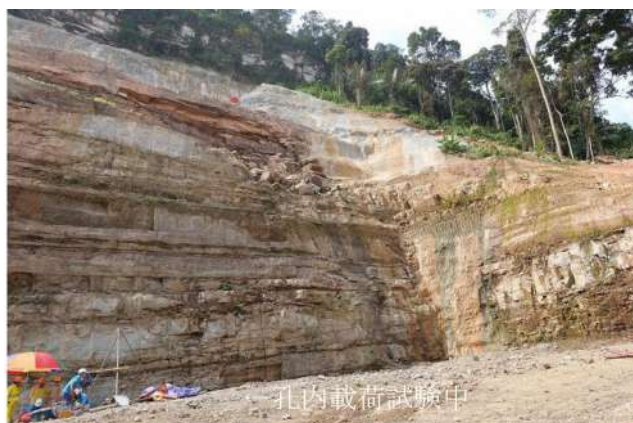


写真-2 右岸掘削面、砂岩・泥岩が分布する。
孔内載荷試験実施中。

●調査内容

現地では、以下の調査を実施しました。ボーリングは鉛直下方への掘削以外に、水平から斜め下方12～45°の傾斜ボーリングを実施しています。

- 高品質ボーリング (ハイブリッドボーリング工法)
- 普通工法ボーリング
- 標準貫入試験
- ルジオンテスト
- 孔内水平載荷試験
- ポアホールスキャナー観測
- サンプリング (ライナー管, リング)

採取した試料を国内に搬送し、以下の室内試験を実施しました。

- 土質試験 (三軸, 一面せん断, 物理, X線回折)
- 岩石試験 (一軸, 一面せん断, 物理)
- 岩石薄片作成・鏡下観察

また、ボーリング孔に、投入型水位計を設置し、水位観測を実施しています。

●現地調査会社

現地の調査会社で実施した、ボーリングコアを観

察する機会がありました。現地で調達できるコア箱は、木製(写真-3)と金属製(写真-4)があります。



写真-3 現地調査会社のコア (木製)

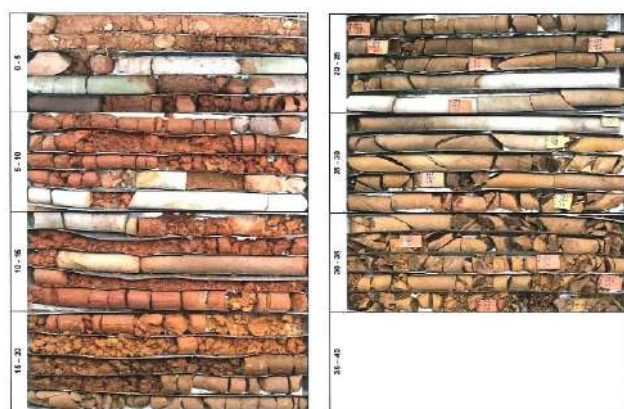


写真-4 現地調査会社のコア (金属製)

木箱は現場で、オペレーターが手作りで制作します。金属製は仕切りが簡単に變形して、コアが真っ直ぐに収納されません。

硬質な岩はダイヤモンド・ダブルコアチューブでコア採取を行います。弱層や破砕部に相当する区間はメタルクラウン・シングルコアチューブでの無水掘進でコア採取を行い、コアは土砂状で採取されます。また、このような区間では、コアの無いコアロスが、所々で認められます。

4. 現地調査の問題点

現地調査を実施するに当たり、(1) 天候、(2) 資材運搬、(3) 資材調達、(4) 現場内運搬、仮設が問題となりました。

(1) 天候

ラオスでは5月～9月が雨期となり、降雨量が多くなります。

調査中の2015年8月下旬には、降雨により掘削面が崩壊し、アクセス道路が寸断され、足場・機

私の経験した現場

械が流されかけました。このためアクセス道路復旧まで、1ヶ月以上作業が休止となりました。

雨期前の4月は、高温の日が続くことが多く、2016年4月は、熱波がラオスに押し寄せ、連日42度C以上の気温が記録される日が続きました。ちょうどコア観察、写真撮影を行う期間で、炎天下の中、熱中症と戦う作業となりました。



写真-5 熱波の中のコア観察，ボーリングコアが多いため、ベースキャンプのバレーボールコートに占有して作業を行いました。体感気温は45度以上。

(2) 資材運搬

資材の運搬は、船便と航空便で行いました。船便は4週間程度、航空便は6日程度掛かります。

ボーリングマシン等は、オイルが入っている物は航空便では受け付けてもらえませんが、初回の運搬では、調査を急ぐため、ボーリングマシンのオイルを抜き、航空便で運搬しました。

エラスト、ボアホールスキャナーは航空便で運搬、往復で各40万円程度の費用が掛かりました。但し、輸出入代行業者への搬入、受け取りは別です(他の資材も同じ)。

コア箱も現地調達ができないため、初回は航空便で運搬し、1梱包(2箱)で、15,000円程度の費用がかかりました。初回の調査で、急遽、標準貫入試験を実施する事となり、航空便では間に合わないため、分割モンケン、ノッキングヘッド、サンプラーを4つのスーツケースに入れ、2名の社員が現場まで運搬する事もありました。

2回目以降は、船便での運搬となり、殆どのものを日本から運搬するようになりました。

(3) 資材調達

発電機、エンジンなどの品物は豊富に出回り、ビエンチャンでは殆どのものが入手できます。しかし、似たような物がありますが、すぐに壊れます。中国製、タイ製の工具が購入できますが、パイプレンチの歯は2~3回使うと欠けるなど、すぐに

壊れる物が多く、初回の渡航では、資材を航空便での運搬のため、運搬できる資材に制約があり困りました。

単管パイプやクランプは同じ様な物はありますが、日本の物に比べ、簡単に曲がり、単管パイプはボーリング足場材として信頼がもてず、船便で日本から運搬することとなりました。

現場では、レンチなどの小道具が盗難に遭う場合があります、特殊な物は現地での入手が困難なため、盗難対策が必要となり、船便で運搬が可能となった時点で、金属製の鍵付き工具箱等を準備することとなりました。しかし、施工中の現場で、多くの現地作業員が働き、昼夜作業もあるため、最後まで小物が紛失し、エラストの付属品である、小さなモンキーレンチも何度も被害に遭いました。

ボーリング資材では、保孔管用のPVC管はありますが、ネジ加工、ストレーナ加工が日本と同程度の費用が掛かります。コア箱は、使えるものではありません。コアチューブやビットなどのツールは、すべて日本から搬入する事となりました。

(4) 現場内運搬・仮設

現場は基礎掘削中、大型重機が稼働している中での現場内運搬・仮設作業となりました(写真-6, 7)。



写真-6 NNP1基礎掘削中のドローン空撮写真、矢印先2か所でボーリング作業を行っています。



写真-7 掘削作業中の重機の横で、足場仮設を行います。ピックアップトラックが横まで乗り込めない場合は、人力での運搬となります。

発注形態が異なり、コンストラクターの重機やトラック、ユニック車などが使えないため、運搬はピックアップトラックと人力で行う事となりました。

初回は1次下請けのベトナムのコンストラクター (SongDa5) から作業員を派遣してもらいました(写真-8)。その後、本体工事が忙しくなり、作業員の派遣が難しくなったため、近隣のハジュン村の村民を作業員として雇用する事になりました。



写真-8 SongDa5 作業員 (世話役1人, 作業員6人) と、人力で運搬・足場仮設を行いました。

ベトナムのコンストラクターでは、多少英語で会話できる世話役が付きましたが、ハジュン村作業員とは、弊社のオペレーターは片言のラオス語でコミュニケーションを取りながらの作業となりました。

5. 私の役割

私は国内では、NNP1 との協議折衝、試験機関 (関西地盤環境研究センターなど) との試験方法に関する協議、空港での試験試料 (ボーリングコア) の受け取り、試験機関への搬入、現地で使用する試験機やボアホールスキャナー、窒素ボンベ等の輸出代理店への搬入を行いました。特に試験試料の受け取りは、日ごろ立ち入ることのない関西国際空港国際貨物地区での引き取りで、貴重な体験となりました。

ラオスでは、工程調整の他、コア観察、写真撮影、孔内載荷試験やボアホールスキャナー撮影を行い、現地でコア写真やボアホール展開画像の整理・作成、データのNNP1 への提出を行いました。

ちなみの現地の通信事情は、2015年の時点で、主要な都市、町では普通に、携帯電話が使用できました。データ通信環境も併せて整備されているため、携帯 Wi-Fi を使用すれば、日本で使用している PC やスマートフォンが使用できました。

6. まとめ

NNP1 で、2015年4月から2019年12月に調査を実施しました。日本と同仕様の高品質ボーリングを含めた調査を行い、採取した試料を日本に搬送し、日本の試験機関で室内試験を実施しました。採取したボーリングコアを、写真-9 に示します。ラオスでの調査は、次の4期間に分けられます。

- 2015年4月から2016年4月にダム本体の調査(写真-10 転流前のダム軸 (2015年10月))
- 2017年8月から9月に堤体内ボアホールスキャナー観測(写真-11 本体打設状況)
- 2018年10月から12月に発電所周辺調査(1回目)
- 2019年10月から12月に発電所周辺調査(2回目)(写真-12 本体完成後)

延べ37孔 (延長1,476m) のボーリングを実施しました。本文では、プロジェクトの概要、海外で調査を実施するに当たっての問題点を中心に述べました。

全期間を通し、弊社小宮代表取締役を先頭に、技術系、オペレーターの社員15名がラオスでの作業に携わり、全社一丸となって現場に取り組みました。期間中、誰の怪我もなく無事故で調査を終えることができ、嬉しく思います。

最後に、創業20周年記念旅行として、社員とその家族46名で、NNP1 を訪問し、調査に携わったダムの工事現場を見学できた事を記し、本稿を終えたいと思います(写真-13)。



写真-9 高品質ボーリング (ハイブリッドボーリング工法) のコア状況、巨礫を含む崖錐堆積物。巨礫のサイズは最大2m、基質は礫混じり粘土。



写真-10 転流前のダム軸，右岸から左岸上流方向を望む
(2015年10月撮影)



写真-11 本体打設中，左岸上流より望む。NNP1はRCC(Roller Compacted Concrete)ダム
(2017年9月撮影)



写真-12 本体完成後，ダム高167m，堤長530m
(2019年11月撮影)



写真-13 ダム展望台での社員旅行記念撮影
(2019年3月撮影)

〈参考文献〉

- 1) 筒井勝治：意見・提言コーナー「海外水力発電事業～オールジャパンによるインフラ輸出～」，「ダム工学」，pp.189-193，Vol.28 No.3 (2018)

大地の恵み

北海道の地熱発電資源 ～現況と探査の視点

1. はじめに

我が国の発電を主な目的とする地熱開発は1966年、岩手県の松川地熱発電所の稼働に始まり、東北地方と九州が日本の地熱発電の先進地となっている。1980年ころよりはNEDO（新エネルギー総合開発機構）を中心に全国調査が行われていた。しかし、その後国策が変わり（1997年、新エネ法）、地熱開発は2011年まで15年の停滞期にあった。

北海道の地熱発電は最近まで、1983年に稼働した森地熱発電所（25MW）1か所であった。

このような中で、2011年に東日本大震災が起これ、原子力発電頼みの危険性が露わになった。自然エネルギーへのシフトを本格的に目ざそうという機運のなか、2012年からJOGMEC（石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が予算の配分を行っていることなどを背景に、道内でも各地で地熱調査が行われている。奥尻島や洞爺湖町では2017年にバイナリー発電が始まった。バイナリー発電は地下から得られた水蒸気を直接使わず、汲み上げた熱水によりアンモニア・水混合物など水より沸点の低い物質を気化させてタービンを回す間接的な発電方式である。一般に直接水蒸気を使うフラッシュ発電より出力は小さい。南茅部では5MW以上という日本最大級のバイナリー発電が準備中である。他地域でも複数個所で探査が続いており、成功例がいくつか出始めている。

2. 北海道の地熱資源

北海道で地熱開発が有望と考えられる地域を、フラッシュ発電を念頭に置いて、少なくとも200℃以上の地熱流体を開発できる可能性のある地温勾配、すなわち10℃/100m以上のエリア（垂直深度2000mで地温が210℃に達する）を捜す。それらは「北海道地温勾配図」¹⁾に基づけば、概ね西南北海道の

渡島半島南端から道東へ「恵山～南茅部～鹿部」「濁川～上の湯」「鉛川～熊石」「奥尻島」「島牧」「有珠山」「登別～北湯沢」「ニセコ」「阿女鱒岳～京極北部～豊羽～定山溪」「十勝岳～大雪山」,「阿寒湖周辺」「弟子屈」「知床半島」などとなる。また、これらの近傍にある「ルスツ」「糠平」「武佐岳」なども有望とみられている。



図1 上川町白水沢にて（2013年撮影）

また、より低温の熱水で発電可能なバイナリー発電も、これらのエリアであれば、より浅部から開発できるし、深く掘ればより地温勾配の低いエリアからも開発可能になる。実際、上記地域の多くで地熱開発調査が試みられている。

3. 地熱流体の存在様式

地熱流体はマグマ中の水がマグマの固結時に岩石に取り込まれないで吐き出された酸性流体もあるものの、大部分は天水由来のアルカリ性地下水や両者の混合した中性流体を起源とする。

地熱流体は蒸気卓越型と熱水卓越型に区別でき

る。日本は変動帯である地質環境から、熱水卓越型が大部分で、フラッシュ発電では、気液分離装置で蒸気を取り出してタービンを回す。

発電ができるような高温の地熱流体は固結度の高い岩盤中の割れ目で、実際上は割れ目の一種である断層や周辺の開口部を通過しているものである。ただし、断層ならば何でもよいというわけではない。断層粘土や析出した鉱物により充填されていれば、地熱流体が通過できない。

地熱流体となる地下水はそれが浸透する深度の地温によって暖められたものである。フラッシュ発電ならば、現実的に掘削できる深度（垂直深度にして約2000m:実際は断層に当てるために傾斜掘りする）で、200℃を超える地熱流体が得られる場所（火山周辺など）でなければ開発できない。

4. 探査の視点—断層と熱水変質帯

現在、国家レベルではJOGMECが日本中の地熱開発の有望地を抽出するための調査を行っている。最近では空中物理探査により重力や電磁探査の精密化や解析法の進歩があり、また地表調査ではMT法電磁探査が主流である。物理探査の解釈のために地質踏査も行われる。これらは大変参考になるが、これらだけでターゲットを決めてボーリングを行って地熱開発に成功できるわけではない。

地質技術者の立場から見れば、当然のことであるが、地質踏査を行って、①断層を確認し②断層など開口断層を通路として地熱流体が過去～現在に活動した証拠、すなわち熱水変質帯を見出すことが非常に重要である。断層は破碎帯の規模や長さとともに方向が重要である。例えば、西南北海道では東西系が、道東では北西—南東系の断層が圧縮方向²⁾なの

で開口しやすく、他の諸条件が許すならば、これらの方向の断層をターゲットとするのがベストである³⁾。図2には地熱地帯において踏査と室内分析を総合して得られる、断層と熱水変質の関係を概念的に示す。これらを含めた総合判断でターゲットが選定される。

今のところ、見学が自由にできる地熱発電所の施設はないが、上記エリアの多くは風光明媚な火山地帯であり、関連する温泉や熱水変質岩などを見ながら、今後の北海道における地熱発電の可能性を想像していただきたい。

[加藤 孝幸：アースサイエンス株式会社]

(参考文献)

- 1) 北海道立地下資源調査所(1995) 60万分の1「北海道地温勾配図」.
- 2) 高橋浩晃(2010) 北海道の地殻変動. 日本地方地質誌「北海道地方」, 397-399, 朝倉書店.
- 3) 加藤孝幸・国分英彦(2017) 日本地熱学会平成29年学術講演会, 講演要旨集, P29.

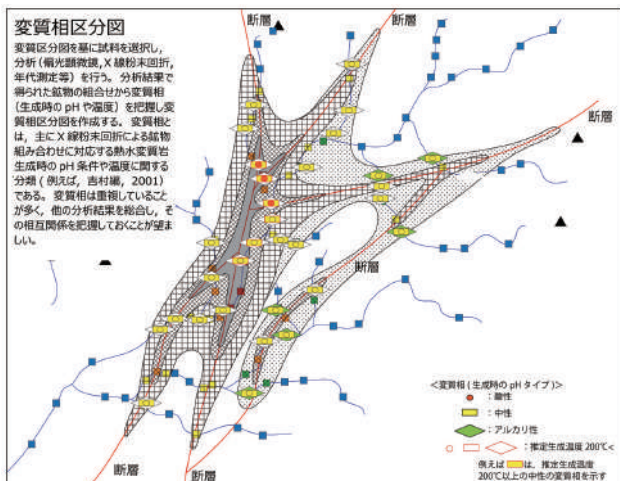


図2 熱水の通路となった断層と変質分帯との関係の概念図(国分英彦 原図)

各地の博物館巡り

広島県三次市

みよし風土記の丘ミュージアム (広島県立歴史民俗資料館)



外観

はじめに

広島県は、北は中国山地に接し、南は瀬戸内海に面しています。そのため、早くから大陸・北部九州・近畿地方の新しい文化や、山陰地方のたたら製鉄などの影響を受けて文化が発達しました。

中でも広島県北部の三次市中心部にある三次盆地は、その地勢を反映して古くから文化が開けた地域で、重要な文化財が多く残っています。特に古墳は、県内の三分の一にあたる約4,000基がこの地域にあり、中国地方有数の古墳密集地帯です。

みよし風土記の丘ミュージアムでは、こうした歴史的風土を背景に、多くの歴史・考古・民俗に関する資料を展示しています。また隣接する広島県立みよし風土記の丘では、古墳群を中心とする約30ヘクタールのエリアを広域的に保存し、ミュージアムの資料と一体的に公開しています。

展示内容

みよし風土記の丘ミュージアムでは「ひろしまの原始・古代」が常設展示されています。ここでは、地質年代と関連付けて紹介します。

●三次盆地の地質

三次盆地は、中国山地の山頂脊梁部と吉備高原面との間に連なる盆地群の一部にあたります。4本の河川が合流して江の川となり、島根県を経て日本海に流れ込んでいます。新第三紀中新世(2303万年前～533.3万年前)には、このエリアを含む広範囲に内海が発達していました。この内海に堆積した海成堆積物が備北層群であり、その下位に分布する非海成の塩町累層とともに、三次盆地を特徴づけてい

ます。なお盆地周辺には中生代白亜紀の花崗岩や流紋岩が広く分布しています。

常設展示では、備北層群から出土したカキの化石などが展示されています。



写真1 備北層群の大露頭から出土したカキの化石

●旧石器時代

第四紀更新世(258万年前～1.17万年前)には、衝上運動によって三次盆地が形成されます。更新世末期の旧石器時代になって、日本列島に人々が住み始めますが、彼らは洞窟・岩陰・台地などに住み、石器を使っていました。

常設展示では、旧石器時代の遺跡や、そこから出土した打製石器などが展示されています。



写真2 地質・鉱物で区分された旧石器

●縄文時代

第四紀完新世（1.17万年前以降）に入って、縄文海進とその後の海面低下によって日本列島が形成されていきます。完新世と類比される縄文時代（約1万年前～2,300万年前）には、人々は弓矢や土器を作り始めます。狩猟の幅が広がるとともに、食べ物を加熱できるようになり、人々の暮らしは豊かになっていきます。

常設展示では、貝塚や遺跡から出土した縄文土器などが展示されています。

●弥生時代

弥生時代（2,300年前～1,700年前）は地質年代としては極めて現在に近いですが、この時期に稲作が日本に広がります。青銅器や鉄器、機織りの技術も伝わるとともに、定住的なムラが造られるようになり、農耕社会への大きな変換期を迎えます。

常設展示では、重要文化財である広島県矢谷古墳から出土した特殊壺・特殊器台をはじめ、弥生土器や銅鐸などの青銅器が展示されています。なお写真-3の特殊器台は、古墳時代の埴輪へと変遷したそうです。



写真3 重要文化財の特殊壺と特殊器台

●古墳時代

古墳時代になると、各地のクニは有力な豪族によってまとめられていきます。豪族は高く盛り上げた大きな墓（古墳）を造ることで自分たちの富と力を示しました。

一方、この時代に本格的な製鉄が始まります。この時代の製鉄方法は、炉に「ふいご」で風を送りながら炭を燃やし少しずつ砂鉄を振り入れて、炉の底に鉄の塊（けら）を作り出すという方法だったそうです。原料となる砂鉄は周辺に分布する花崗岩や江の川から採取したのでしょうか。当時の製鉄については、そのルーツや「ふいご」の詳細など、分かっていないことも多いようです。

常設展示には、各地の古墳からの出土品が展示されるとともに、後述する浄楽寺・七ツ塚古墳群の解

説や模型を通して、古墳と当時の人々の生活について楽しく学べるコーナーもあります。

広島県立みよし風土記の丘

ミュージアムに隣接する広島県立みよし風土記の丘は、176基の古墳が群集する中国地方最大級の古墳群です。北側の浄楽寺古墳群には116基、南側の七ツ塚古墳群には60基の古墳があります。なお古墳群の中には遊歩道があり、距離4.9km、所要時間1時間30分のウォーキングコースが整備されています。古代ロマンに思いをはせながら散策されてはいかがでしょうか。



写真4 みよし風土記の丘
（上：復元古代建物、下：前方後円墳）

ご利用案内

●所在地・連絡先

〒729-6216 広島県三次市小田幸町122
TEL 0824-66-2881, FAX 0824-66-3106
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/rekimin/>

●開館時間 9時～17時 ※広島県立みよし風土記の丘も同様

●休館日

月曜日（祝・休日の場合は開館し、翌日以降の最初の平日）、
年末・年始（12月28日～1月4日）
※広島県立みよし風土記の丘は年中無休

●入館料

一般 200円（160円）
大学生 150円（120円）
高校生以下無料
※（ ）内は20人以上の団体料金
※特別企画展は別料金
※広島県立みよし風土記の丘は入園無料

[中国地質調査業協会広島県支部長
小林 公明（荒谷建設コンサルタント）]

各地に残すべき

地形・地質

なごえきりどおし
国指定史跡名越切通（神奈川県）

1. はじめに

今回は地形や地質に関係の深い「遺跡」をご紹介します。人々の活動の痕跡である遺跡を訪れると、先人たちが地形や地質を巧みに利用していた様子を見ることができます。例えば、縄文時代の遺跡は川や海に面した台地上に多く立地しています。また、中世の山城は山の尾根や谷筋を巧みに利用して造られていますし、平地にある近世城郭も実は小高い丘を利用して造られていたりします。遺跡の立地は、地形や地質と密接に関係しています。

今回は、そんな中から岩盤を加工して造られた「石造文化財」である「国指定史跡名越切通」（神奈川県逗子市）についてご紹介します。

2. 史跡の概要

名越切通は、鎌倉時代に尾根を掘り割って造られたとされる道で、鎌倉幕府の事績を記した『吾妻鏡』の天福元年（1233年）八月十八日条に「名越坂」として登場します。後には鎌倉七口の一つ

としても数えられ、鎌倉と三浦半島方面とを結ぶ陸路として永く重要な役割を果たしてきました。切通周辺には、鎌倉の防衛にも関係すると考えられる平場や切岸、やぐらや火葬跡なども多く分布しており、中世都市鎌倉の周縁の歴史的景観を今もよく残していることから、国史跡に指定されています。総面積は逗子市域、鎌倉市域合わせて11万m²以上に及びます。

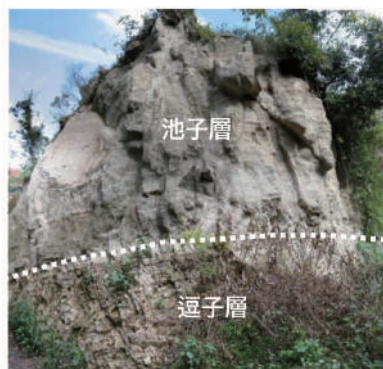
3. 史跡の地質と遺構

史跡周辺の地質は、新第三紀三浦層群の逗子層と池子層から構成されています。標高50m前後に地層境界があり、池子層は逗子層の上位を整合で被覆し、地層は緩やかに北西方向に傾斜しています。池子層は軽石を含む火山砕屑岩で鷹取山火山砕屑岩部層に相当します。逗子層は逗子層主部に相当する泥岩優勢の泥岩砂岩互層に相当します。

劣化のメカニズムは、池子層が間隔の広い割れ目が発達しやすく、この割れ目で囲まれた部分が浮石化して崩落するのに対し、逗子層は岩盤全体にスレーキングが発達し、岩盤の表層が厚さ数cm～10cm程度の板状に剥落します（写真-1）。



図-1 名越切通の位置

写真-1 第1切通の地質
(上；池子層，下；逗子層)

(1) 切通路 (写真-2)

切通は大小3か所の狭い掘り割りからなり、このうち最も南側（逗子市側）にある第1切通は、崖の高さが10m、最も狭い部分が幅1m以下です。開削当時はもっと高い位置に路面があったようですが、時代と共に掘り下げられて今の形になったと考えられています。第1切通の崖面では池子層と逗子層が上下に堆積している状況を見ることができます。

第1切通は両側の崖面がそそり立ち、切通路としての景観を最もよく残していますが、崩落による落石の危険性が高いことから、池子層には亀裂充填やロックボルト工、逗子層には強化撥水処理等の保存工事が行われました。



写真-2 第1切通

(2) まんだら堂やぐら群 (写真-3)

やぐらは、崖に四角い横穴を掘り、その内部に石塔を建てるなどして納骨・供養した葬送施設です。13世紀後半頃から概ね15世紀いっぱい使用され、鎌倉及び鎌倉とゆかりの深い地域や寺院などにのみ分布する特殊な遺構と言われています。

まんだら堂やぐら群は、2m四方程度の小規模なやぐらを中心に150穴以上が確認されており、まとまった数のやぐらを良い状態で見ることができる貴重な遺跡です。ここに供養された人は、当初は僧侶や武士が主だったと考えられますが、後には経済力を蓄えた商工業者などもいた可能性があります。近世の初めにはこの地を「まんだらどう」と呼んでいます。既に建物はなく、これまでの発掘調査でも平場の一部で14世紀頃の建物の痕跡が見つっていますが、明確な史料がなく具体的な姿は不明です。



写真-3
まんだら堂やぐら群

まんだら堂やぐら群の地質は池子層で、樹木の根が岩盤の亀裂に入り込んで不安定化し、崩落の危険性が高い箇所がみられるため、亀裂充填やロックボルト等による保存工事が現在も行われています。

(3) 大切岸 (写真-4)

大切岸は、長さ800m以上にわたって高さ3～10mもある切り立った崖が尾根に沿って続いています。従来は、鎌倉幕府が三浦一族からの攻撃に備えるために築いた防衛遺構と考えられていました。しかし発掘調査の結果、現在のこのような形状は石材を切り出す作業を行った結果できたもの、つまり石切り場の跡だったことがわかっています。ここで切り出された石材は、鎌倉へ運ばれ建物の基礎や溝の護岸、井戸枠などに用いられたと考えられます。

大切岸の地質は池子層です。風化により岩盤の弱い部分がえぐれ、横長で楕円形のタフォニが連続する様子を見ることができます。

大切岸の一部では樹木の根が岩盤の亀裂に入り込んで不安定化し、崩落の危険性が高い箇所がみられたため、亀裂充填等の保存工事が行われました。



写真-4 大切岸

4. おわりに

名越切通では園路等の整備や遺構の保存工事が行われ、安全に歩くことができるようになっていきます。切通路は現在も交通路として利用されていますし、大切岸は前面の平場に下りて迫力ある景観を間近で見ることができます。まんだら堂やぐら群は、初夏（4月下旬～5月下旬）、秋（10月下旬～12月中旬）の月曜日及び土日祝日に期間限定で公開されています。今年のNHK大河ドラマ『鎌倉殿の13人』の舞台にもなり話題の鎌倉。お越しの際はぜひ名越切通にも足を運んでみてください。

[応用地質株式会社
メンテナンス事業部 技術部 小林 恵]

〈文献引用〉

1) 逗子市教育委員会(2016): 国指定史跡名越切通パンフレット

衛星の防災利用実証活動 (その2)

かわきた しろう
川北 史朗*

K
ey Word

人工衛星, 地球観測衛星, レーダ衛星, 光学衛星, 防災活動, 国際枠組み,
センチネルアジア

1. はじめに

近年, 梅雨前線が本州付近の広域を長期に渡り停滞したことで多大な被害を及ぼした令和2年7月豪雨災害や, 震度5以上の地震が多く発生するなど, 自然災害が高頻度化・激甚化しています。人工衛星は, 天候や夜間を問わず, その被害状況を広域に知ることができることから, その被害規模の把握に活躍しています。

前号では, 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の防災活動である, 国内の防災関係機関との取り組み, 人工衛星による被災地域の緊急観測とその撮影画像からの被害情報の抽出手法, およびその抽出された被害情報の国内災害での活用例を紹介しました。

本誌では, JAXA の地球観測衛星の陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)を含む, アジア・太平洋地域の宇宙機関による人工衛星を用いた国際的な防災活動の枠組みである「センチネルアジア」¹⁾の活動について紹介します。

2. センチネルアジア

センチネルアジアは, アジア太平洋地域の自然災害の管理を目的とした国際協力プロジェクトです。地球観測衛星などの宇宙技術を使って得た災害関連の情報をインターネット上で共有し, 台風, 洪水, 地震, 津波, 火山噴火, 山火事などの自然災害による被害情報を推定し, その情報を防災機関に提供をボランティアで行っています。また, その活動の対象は災害発生時の対応だけでなく, 災害前の予防および減災や, 災害後の復旧・復興活動も含めた全災害サイクルへの支援を目的とし

ています。

センチネルアジアは, 2005年(平成17年)にアジア太平洋地域宇宙機関会議 (APRSF: Asia-Pacific Regional Space Agency Forum) において提唱され, 翌年に宇宙機関を中心としたプロジェクトチームが発足されました。2022年2月時点で, 28カ国・地域の94機関と17国際機関が参加しており, その活動は着実に広がっています。

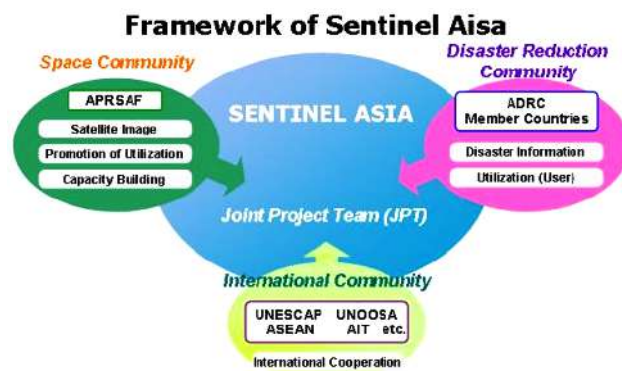


図 2-1 センチネルアジア

センチネルアジアのメンバーは, 当該地域の防災活動を担当する防災機関, 人工衛星による緊急観測及び観測画像を提供する宇宙機関で構成されたデータ提供機関 (DPN: Data Provider Node), 宇宙機関より提供された観測画像を解析することで被害情報を抽出する大学や研究所で構成された解析支援機関 (DAN: Data Analysis Node), および国連防災事務局 (UNDRR: UN Disaster Risk Reduction) などの国際機関にて構成されています。DPNとしては, 2022年2月時点でJAXAの他に, 台湾国家宇宙センター (NSPO: National Space

*宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター 技術領域主幹

Organization), タイ地理情報・宇宙技術開発機関 (GISTDA: Geo-Informatic and Space Technology Development Agency), シンガポール国立大学のリモートセンシングセンター (CRSIP: Centre for Remote Imaging, sensing and Processing), ベトナム国家衛星センター (VNSC: Vietnam National Space Center), インド宇宙研究機関 (ISRO: Indian Space Research Organization) および UAE ドバイ政府の宇宙機関 MBRSC (Mohammed Bin Rashid Space Centre) の6つの宇宙機関が支援しています。これらの宇宙機関が提供する人工衛星は、1m以下の高分解能を有する光学衛星や、広域観測が可能な中・高分解能光学衛星、夜間・天候によらず被災地域の情報を知ることができるレーダ衛星があり、どこで被害が発生しているのか、その災害規模はどの程度か、それぞれの衛星から提供される観測画像の特徴を生かした解析を行うことで、被害の概要(規模)を把握することができます。

2006年のセンチネルアジアの発足以来、2022年3月時点で、アジア・太平洋地域の35カ国・地域の防災機関からの381件の緊急観測要請に対応し、支援活動を行っています。(2022年2月末時点)



図 2-2 センチネルアジアの緊急観測対応の国・地域分布。(数字は該当国の緊急観測要請数をしめています。)

被災国の防災機関は、一刻も早く被災地域の被害情報を把握したいと強い要望があります。その解決手段は、センチネルアジアに参加する宇宙機関の増加や、各宇宙機関の人工衛星の機数を増やすことが考えられますが、観測要望から観測画像の提供をスムーズな情報共有および連携のためのシステムにより、迅速かつ効率的な対応が可能です。センチネルアジアは、運営委員会のメンバーである NSPO, GISTDA および JAXA が共同で災害発生時の緊急観測対応を支援するシステムを開発し、運用しています。センチネルアジアのメン

バーはこのシステムを用いて自身のウェブブラウザから容易に観測要請をすることができ、また宇宙機関および解析支援機関との対応状況や、観測データより得られた被害情報がセンチネルアジアの全メンバーに共有されています。



図 2-3 センチネルアジアの緊急観測要請支援システム (SA-OPTEMIS: Sentinel Asia Operational Planning Tool for Earth-observation MISsion)

これらの活動にともない、センチネルアジアによる緊急観測要請がなされてから、人工衛星による観測、その後のデータ提供までの日数を平均3.3日にまで改善することができました。今後は、例えば JAXA からは ALOS-2 の後継機である ALOS-3 や ALOS-4 などの新たな人工衛星による支援や、他の宇宙機関も新たな宇宙観測衛星の打上げが計画されるなど、衛星機数の増加により要請から情報提供までのさらなる短縮化が期待できます。また、地球全域を常時観測する人工衛星を用いることで、災害発生後速やかな観測画像の提供や、観測画像を自動解析による被災情報の抽出が可能となります。これらを実現することで、防災機関の災害対応に更に効果的な支援となるよう、センチネルアジアのメンバー機関と共同で推進しています。

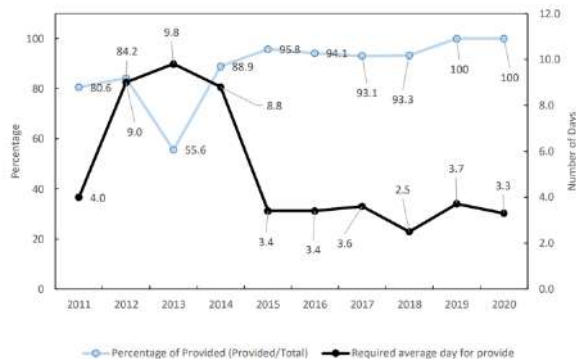


図 2-4 センチネルアジアの発動から衛星画像提供までの平均日数の推移²⁾

DPNより提供された衛星画像は、センチネルアジアのDANが解析し、浸水域や建物被害などの被害情報に抽出(変換)され、SA-OPTEMISやセンチネルアジアのポータルサイトを通じて支援要請を行った防災機関だけでなく、センチネルアジアの全メンバに提供されます。センチネルアジアには55のDANがあり(2022年2月現在)、自国の自然災害発生時はもちろん、他国の災害においても、自分たちの解析技術を用いて、衛星画像より災害対応活動に必要な被災情報などの情報化を行い、その対応を支援しています(図2-5)。



図2-5 センチネルアジアの解析支援機関

次に、最近のセンチネルアジアによる緊急観測活動による主な対応例を、メンバー機関からの報告を中心に紹介します。

ASEAN防災人道支援調整センター(AHA Centre: ASEAN Coordinating Centre for Humanitarian Assistance on disaster Management)は、ASEAN加盟機関間の協力調整を促進することを目的とした国際機関であり、その活動目的の一つにASEAN加盟国の災害管理と緊急事態対応があります。そこでは、ASEAN加盟国で重大な災害が発生した場合、その被害状況の報告書(Flash Update, Situation Report)を発行し、被災情報を共有・発信しています。2020年は、インドネシアジャカルタ地域の大洪水、ベトナム中部の洪水、フィリピンの大型台風「GONI」にて、AHA Centreはセンチネルアジアに支援要請を行いました。このとき、センチネルアジアの解析支援機関である南洋理工大学が衛星画像より建物被害情報が抽出され、その被害地図がAHA Centreの速報情報に活用されました³⁾。とりわけ、この台風GONIについては、新型コロナウイルス(COVID-19)のパンデミックの下で社会的距離を保つ必要性から被災地での救難・救援活動が制約

されていました。この状況下で、センチネルアジアから提供された被災情報がこれらの活動の展開先の優先付けに役立てられたと評価されています。「宇宙技術を利用した災害対応支援」というセンチネルアジアの強みが、パンデミック下でこれまでに以上に発揮されたものと考えます。



図2-6 フィリピン大型台風「GONI」での災害対応にて提供されたAHA Centreの速報レポート³⁾

2020年10月にトルコとギリシアの国境付近でマグニチュード7の地震が発生し、トルコのイズメル県では建物が倒壊するなど甚大な被害となりました。本災害に対して、トルコの防災機関であるトルコ災害緊急事態局(AFAD: Disaster and Emergency Authority)からセンチネルアジアへ被害状況を把握することを目的に緊急観測要請が行われ、JAXA, GISTDA, NSPO, MBRSCおよびISROの5つの宇宙機関による緊急観測が行われ、衛星画像が提供されました。DANであるアジア工科大学、南洋理工大学およびMBRSCが提供された衛星画像より被害情報を抽出し、SA-OPTEMISおよびセンチネルアジアのポータルサイトより提供されました。AFADは提供された情報を用いて、被害状況(深刻さや範囲など)が推定され、緊急支援や復旧活動に活用されました。

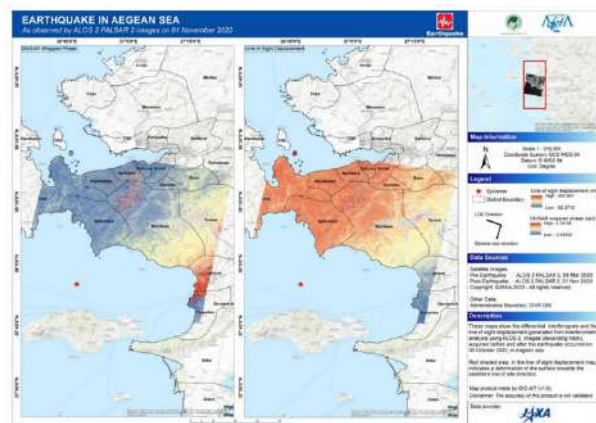


図2-7 トルコ地震災害にてアジア工科大学より提供された地殻変動情報

2022年1月に発生したトンガ王国のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山噴火及び津波被害に対して、センチネルアジアのメンバーである国際協力機構（JICA: Japan International Cooperation Agency）によりセンチネルアジアへの緊急観測要請が行われました。このとき、JAXA、NSPO、GISTDA および ISRO の4宇宙機関による緊急観測および観測データが提供され、南洋理工大学およびMBRSCが衛星データの解析を行い、建物被害地図等の被害情報が提供されました。これらの情報は、アジア太平洋諸島の連携体である太平洋共同体（the Pacific Community）などの現地の防災機関にも提供され、被害状況の把握に活用されています。また、これらの情報は、JAXAから国連食糧計画（UN WFP）やJICAにも提供され、太平洋島嶼国を管轄するUNWFP フィジー事務所や、トンガを含む周辺の太平洋諸島を管轄するJICA フィジー事務所にも提供されています。



図 2-8 トンガ王国火山噴火・津波災害にて、センチネルアジアより提供された推定建物被害地図

図 2-8 の衛星画像より推定された被害情報は、インターネットで利用可能な地理情報サービスである WebGIS でもセンチネルアジアメンバーに提供されています。このサービスにより、利用者はウェブブラウザにて任意の場所の被害情報を容易に確認ことができ、現地での災害対応や復旧活動にて活用されています。

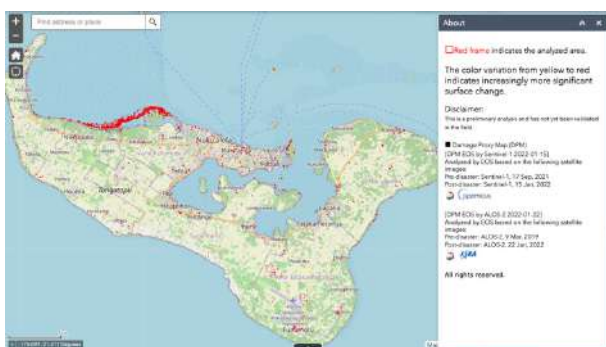


図 2-9 WebGIS による推定被災情報

3. まとめ

本稿では、宇宙技術を用いた防災活動の国際枠組みである「センチネルアジア」の活動について紹介しました。センチネルアジアには、JAXA を含むアジアの複数の宇宙機関が参加しており、アジア・太平洋地域の防災活動を宇宙技術により支援しています。この活動はボランティアによるメンバの相互連携により行われており、毎年開催される年次報告会にて、宇宙機関、解析支援機関、防災機関および国際機関から活動が共有され、それぞれの今後の活動にフィードバックされています。これにより、それぞれの活動が改善されるだけでなく、より強い連携となることを実現しています。

今後は、2018年に成立した長期計画に基づき、災害時の対応だけでなく、災害前の準備・減災フェーズや、災害後の復旧・復興フェーズも含めた全災害サイクルに対する支援を行い、宇宙技術による自然災害の減災を共同で進めていきます。

本稿を含め、2回に渡り宇宙技術による防災活動を紹介しました。近年、災害数が増加し、また被害域が広域化するなど、人工衛星による災害情報が強く望まれています。JAXA を含め、世界の宇宙機関、研究所や大学などの学術機関、災害対応活動を行う防災機関および関連する国際機関との協力により成り立っています。今後も、これらの関係機関との連携を強化し、宇宙技術による防災活動の成果としての減災の実現に向けて活動していきます。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、JAXA 関係者および外部機関の方々に多くのご支援をいただき感謝いたします。

〈参考文献〉

- 1) センチネルアジア
<https://sentinel-asia.org/> (2022年2月28日現在)
- 2) センチネルアジア 年次報告書
<https://sentinel-asia.org/reports/Reports.html>
(2022年2月28日現在)
- 3) FLASH UPDATE: No. 03 -Super Typhoon GONI, PHILIPPINES and VIET-NAM- 04 NOV 2020
<https://ahacentre.org/flash-update/flash-update-no-03-super-typhoon-goni-philippines-and-viet-nam-04-nov-2020/>
(2022年2月28日現在)

知っておきたい斜面のはなし 2 Q&A

— 斜面の災害に備える —

(公社) 土木学会



- B5版 171頁
- 定価：1,320円（本体1,200円＋税）
- 発行所（公社）土木学会
- 発行日 令和4年1月20日
- ISBN 978-4-8106-1041-3

この書籍は土木学会から2005年に発刊された「知っておきたい斜面のはなしQ&A - 斜面と暮らす -」の続編として、同学会の斜面工学研究小委員会のメンバーにより執筆されたものである。前著の発刊後に、能登半島地震および中越沖地震（2007）、岩手・宮城内陸地震（2008）、東日本大震災（2011）、熊本地震（2016）、北海道胆振東部地震（2018）といった地震による斜面災害が発生し、豪雨に伴う甚大な斜面災害も毎年のように各地で発生している。これらの災害について、斜面工学研究小委員会では災害直後に現場に入り、調査・研究を進めてきた。その成果を含め、「斜面の災害に備える」を副題にして前著と同様にQ&A方式でまとめたもので、どこからでも手軽に読みやすいものになっている。

読者の対象は「はじめに」で述べられており、土砂災害に関心のある一般の方、学生、技術者、自治体の防災・減災に携わる方などとして執筆されたので、わかりやすい用語や説

明に努め図表や写真で理解が深まるよう配慮されている。執筆者は、土木、地形・地質、砂防・治山、植生・生態、環境・景観、法律といった多彩な分野の研究者・技術者25名である。

本書の具体的な内容は、目次のように6項目の見出しに分けられ、合計82題のQ&Aから構成される。

目次

1. 山地の土砂災害とは（19題）
地震や降雨が原因で斜面が不安定化して崩れることについて数式のない平易な説明から始まり、表層崩壊と地形や植生の関係、崩壊による流木被害や天然ダム形成、崩壊斜面の植生回復、土石流の再来周期、特殊な富士山の雪代災害などを題材にしている。
2. 宅地の土砂災害とは（13題）
宅地の災害リスクについてまとめた部分で、造成盛土の安定、既存の不適格擁壁と調査、宅地を選ぶ時の作法などを題材にしている。
3. 土砂災害が起きないように調査する（12題）
技術者向けにまとめたやや専門的な部分で、すべり面の状態、地下水圧の計測方法、斜面の調査、安定解析と土質定数、安全率などを題材にしている。
4. 土砂災害が起きないように対策する（20題）
斜面防災対策の方法や種類の説明に始まり、排水工や抑止工の対策効果およびトップリング発生機構について模型実験とセットでの平易な説明、スレーキング地盤の切土や盛土対応、応急対策としてのブルーシートの目的、のり面保護工等の劣化と維持管理、切盛り土工の設計・施工・維持管理へのITの導入などを題材にしている。
5. 土砂災害が起きる前に避難する（9題）
災害にさらされる住民に役立つ内容の部分で、避難して助かる秘訣と避難できず被災した理由、災害を避けるための警戒避難情報、土砂災害警戒区域、防災教育などを題材にしている。
6. 土砂災害に関する法制度（9題）
斜面で発生する土砂災害に関する法令の概要から始まり、斜面に関する訴訟事例、斜面の開発許可と環境影響評価、斜面に関する労働安全衛生規則と労働災害などを題材にしている。

キーワード索引

Q&Aにはキーワードが挙げられており、合計270余りのキーワードについて巻末に索引として整理されているので、斜面に関する事項を調べたいときに便利である。

内容としてやや専門的な部分もあるが、斜面災害の備えについて最新の知見を含めて平易に説明したものであり、斜面防災・減災に関心のある多くの方の手元に置いて欲しい書籍としてお勧めする。
(応用地質(株) 上野 将司)

地質調査業発展ビジョンの作成

全地連は令和3年12月、地質調査業の発展に向けたビジョン「新たな時代の地質調査業発展ビジョン～2020年代を駆け抜けるための地質調査業の羅針盤～」を作成しました。

本ビジョンは、地質調査業界が抱える諸課題に取り組むにあたり、目指すべき方向性を示したものです。その具体的な取り組みとして、地質・地盤3Dモデルの活用、地質地盤のデータベースの充実・活用など地質調査のさらなるDXの推進、ボーリングマシンの自動化、さらには地質リスクマネジメントの普及、技術伝承の仕組みの構築、魅力ある業界に向けてのPRや処遇改善など様々な方策を提示しています。

詳しくは、以下のURLよりご覧ください。

▶▶▶ <https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/vision/vision.pdf>

地質調査業のPR動画について

全地連では、地質調査業で活躍する地質調査技術者のPR動画を4編作成し、ホームページ上で公開しております。

本動画は、地質調査の大切さや地質調査業務の内容を一般向けにわかりやすく紹介した内容となっており、全地連会員の調査会社では自社の求人用コンテンツの一つとして活用いただくなど好評をいただいております。

PR動画は、今後もテーマを変えてさらに増やしていく予定です。この機会にぜひご覧ください。

▶▶▶ <https://www.zenchiren.or.jp/pr/>



全地連ホームページ「地質調査業のPR動画」イメージ

令和3年度「応用地形判読士資格検定試験」、 「地質リスク・エンジニア認定試験」の合格者の決定

全地連理事会は令和4年2月、応用地形判読士資格検定試験および地質リスク・エンジニア認定試験の合格者を決定しました。各試験の合格者数および合格者の資格登録手続き完了後の全有資格者数は次の通りです。

応用地形判読士：	合格者数 9 名	全有資格者数 115 名
地質リスク・エンジニア：	合格者数 14 名	全有資格者数 123 名

なお、地質リスク・エンジニア認定試験は、全地連が平成27年度に開設し毎年実施してきた「地質リスク・エンジニア養成講座」を継承し、認定試験制度として令和3年度に第1回目となる試験を開始したものです。養成講座の発足当時は、地質リスク・エンジニアの活躍場面となる「地質リスク調査検討業務」の発注が始まって間もない時期でした。その後、地盤の災害や事故の多発などもあり、本業務は必要性の認識が一層高まり、発注件数も増えつつあるといえます。

全地連では今後、地質リスク・エンジニアのさらなる活躍と資格活用を目指すにあたり、この認定試験制度を通じてより高度な調査技術と地質リスクマネジメント力を有する技術者を育成し、また発注機関へのPRを展開してまいります。

全地連「技術フォーラム2022」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、2022年度は下記のとおり開催する予定です。

全地連「技術フォーラム2022」那覇 開催概要(案)

- 主 催：一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 協 力：沖縄県地質調査業協会
- 後 援：内閣府沖縄総合事務局，沖縄県，那覇市
- 協 賛：国立研究開発法人土木研究所，沖縄地盤工学研究所
- 開催日程：令和4年11月8日(火)～9日(水) 2日間
- 開催場所：沖縄ハーバービューホテル 沖縄県那覇市泉崎2-46
- プログラム：11月8日 13：30 開場
14：15～14：30 開会式
14：30～16：30 特別講演会
18：00～19：30 技術者交流懇親会
- 11月9日 9：00～15：00 技術発表会
- 技術発表論文 募集期間：令和4年4月27日～5月18日

技術発表論文の募集案内は、募集期間になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。また、フォーラム当日の一般参加者募集(技術発表会の聴講参加，技術者交流懇親会の参加)につきましては、8月以降にご案内いたします。

全地連資格制度

令和4年度の検定試験および登録更新の実施概要について

全地連資格制度の検定試験および登録更新は、下記のとおり実施いたします。なお、地質情報管理士および応用地形判読士の検定試験は、受験資格などを変更し実施いたします。受験予定者の方は、内容を事前にご確認ください。

■ 検定試験

(地質調査技士、地質情報管理士)

試験日：7月9日（土）

試験地：全国10会場（札幌、仙台、新潟、東京、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、沖縄）

願書受付：4月8日（金）～5月11日（水）

合格発表：9月9日（金）

受験資格の変更（地質情報管理士）：

受験資格は、令和4年度より必要とする〔保有資格〕と〔経験〕のうち、〔経験〕は対象となる経験を次の通り追加します。

対象となる経験：①地質調査報告書の電子納品の経験

② CALS/ECの普及活動経験

③ 3次元地質・土質モデルの作成業務やBIM/CIMに関連する業務（追加項目）

その他：試験申込み、受験資格などに関する詳細は、全地連のホームページをご覧ください。

(地質リスク・エンジニア (GRE))

試験日：10月14日（土）

試験地：東京会場

願書受付：8月1日（月）～8月31日（水）

合格発表：令和5年3月1日（水）

その他：試験申込みに関する詳細は、全地連のホームページをご覧ください。

(応用地形判読士)

試験日：10月22日（土）

試験地：東京

願書受付：5月23日（月）～7月4日（月）

合格発表：令和5年2月20日（月）

受験資格の変更：

試験方法や受験資格などは、令和4年度より次の通り変更します。

【受験資格等の変更ポイント】

項目	旧	新
試験の回数	一次試験、二次試験	統合して一度の試験（1日）で実施
受験資格	一次試験：なし 二次試験：応用地形判読士補の保有者	地形、地理、地質に関連する実務経歴5年以上
試験実施月	一次試験：7月 二次試験：11月	10月
試験会場	全国10会場	東京1会場
出題内容	一次試験：多肢択一 / 論述 二次試験：判読図作成、応用地形学の所見	午前の部：学科（従来の一次試験相当） 午後の部：実技（従来の二次試験相当）
その他	—	応用地形判読士補の保有者は、午後の部を受験

その他：試験申込み、受験資格などに関する詳細は、全地連のホームページをご覧ください。

■登録更新**(地質調査技士)**

受講対象者：2017年度検定試験に合格し資格登録した方
2017年度登録更新の手続きを完了された方

申込日：9月9日（金）～10月11日（火）

更新方法：講習会受講形式またはCPD記録報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

(地質情報管理士)

受講対象者：2019年度検定試験に合格し資格登録した方
2019年度登録更新の手続きを完了された方

申込日：12月1日（木）～令和5年1月15日（日）

更新方法：CPD記録報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

(応用地形判読士)

受講対象者：2017年度検定試験に合格し資格登録した方
2017年度登録更新の手続きを完了された方

申込日：12月1日（木）～令和5年1月15日（日）

更新方法：CPD記録報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

(地質リスク・エンジニア)

受講対象者：2017年度認定講習会を終了し資格登録した方

申込日：12月1日（木）～令和5年1月15日（日）

更新方法：業務実績等の報告形式

その他：詳細は、申込み開始日になりましたら全地連のホームページでご案内いたします。

※以上の検定試験，登録更新は，新型コロナウイルス感染症の今後の感染状況により，実施方法を見直す場合があります。

講習会の開催情報（令和4年度）

令和4年度に実施予定の全地連主催講習会および関連講習会は、下記のとおりです。なお、今後新たな講習会の開催が決まりましたら、全地連のホームページでご案内いたします。

●「道路防災点検技術講習会」

主催：（一社）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

開催地・日程：東京（1）：6月17日（金） 福岡：6月24日（金） 広島：9月2日（金）

大阪：9月9日（金） 東京（2）：11月18日（金）

その他：全地連のホームページにて申込みを受け付け中です。

●「地質リスクマネジメント事例研究発表会」

共催：地質リスク学会，一般社団法人全国地質調査業協会連合会

開催地：東京都千代田区

日程：11月4日（金）

その他：開催内容の詳細が決まり次第、全地連のホームページでご案内いたします。

●その他

●（一財）全国建設研修センターとの共催の研修会

・地質調査研修 5月11日（水）～5月13日（金） 集合＋ライブ形式

・土質設計計算（基礎講座） 5月30日（月）～6月5日（日） オンデマンド形式

・土質設計計算－構造物基礎設計の演習－ 9月12日（月）～9月15日（木） 集合＋ライブ形式

※開催内容や申し込みは、全国建設研修センターのホームページをご覧ください。

●関連研修団体 富士教育訓練センターの研修会

・地質調査技術者の入職時教育 6月13日（月）～6月17日（金） 集合形式

※開催内容や申し込みは、富士教育訓練センターのホームページをご覧ください。

3年前に編集を担当させていただいた折には、執筆者の皆さまのもとに伺って、色々と意見を交わしながらご執筆の依頼をさせていただきました。そして、社内状況が大きく変わった今回は、メールベースでの依頼が主体となったため、皆さまに依頼申し上げたご執筆テーマに関して十分な説明ができなかったのではと心配していました。しかし、原稿を拝読させていただいた後、それが不要な心配であったことが分かるとともに、本号のご執筆者への敬意を素直に感じた次第です。

さて、本号は『堆積物の科学』と題して、多様な研究内容をご紹介いただきました。昨今、地質調査業界において、地盤情報、地盤の3次元化、地質リスク、DX等々、

多くの新しい概念や試み等が話題となっています。これらの取り組みでは、地質技術者が科学的かつ根拠をもって堆積物等から地質情報を取得・整理・分析・評価することが欠かせません。地質技術者は、現場で採取した試料や露頭を観察して、その種類や性質を判定することが基本的な能力になります。そして、その観察結果を踏まえて、計測・測定や分析等を行うことで、更なる地質情報を得ることとなります。今回、様々な観点からご紹介くださる手法や方法が、当業界の若手や中堅の地質技術者にとって知見を深める一助になることを願っています。ご執筆の皆さまに、心より御礼申し上げます。

(2022年6月 加藤記)

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、谷川 正志、細矢 卓志、須見 徹太郎、高橋 暁、相澤 隆生、村上 貴美恵、廣田 一樹、各地区地質調査業協会

委員 北海道：関根 幸博 東北：庄子 夕里絵 北 陸：桜井 幹郎 関 東：藤本 泰史 中 部：今井 良則
 関 西：東原 純 中 国：西田 宣一 四 国：大岡 和俊 九 州：原田 克之 沖縄県：砂川 尚之

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島町通 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 (本町クィーパービル)	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」 '22 年 1 号 No.159

2022 年 6 月 5 日 印刷
 2022 年 6 月 10 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 株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-6 TEL. (03) 3230-2511 FAX. (03) 3230-1381

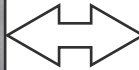
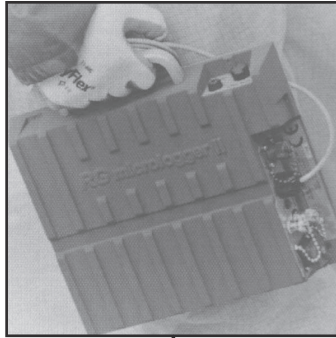
印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

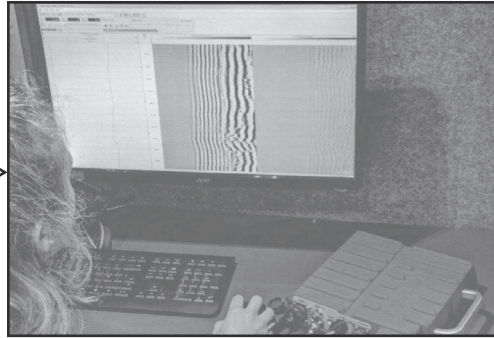
印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

RG社検層一筋40年、土木地質から資源分野まで豊富なプローブとウインチに加え、強力なデータ処理ソフト「Winlogger」を提供しています。

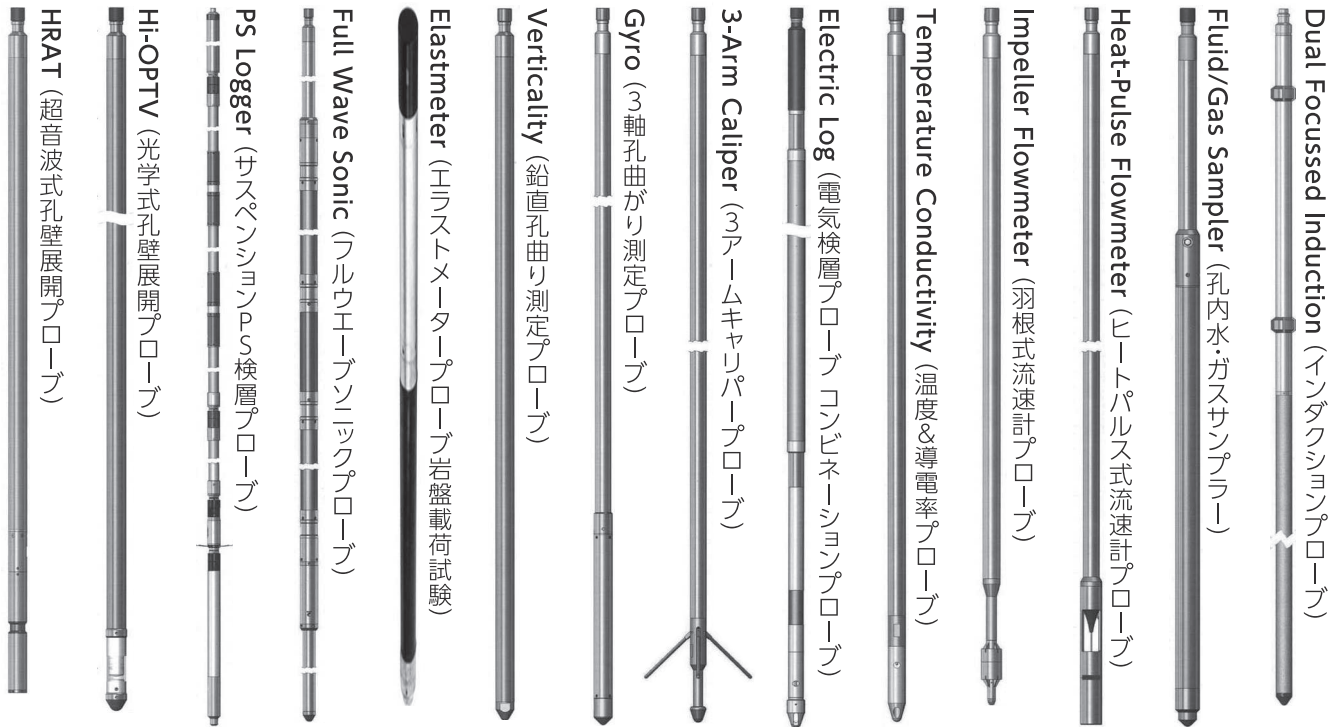
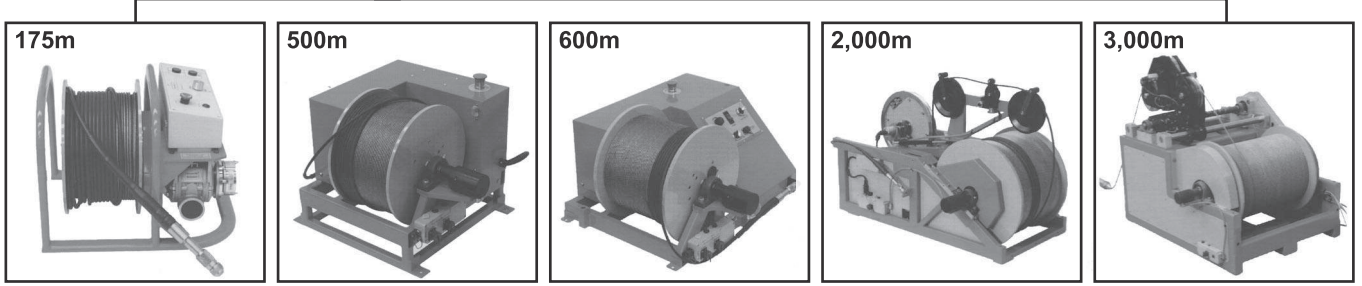
Micrologger-2



Winlogger Software



Cableは、同軸又は4芯アーマードで最大3,000m可能



株式会社 ジオファイブ

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

〒331-0812 さいたま市北区宮原 1-453-2

TEL 048-662-9175 FAX 048-662-9176

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・非破壊検査機器

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



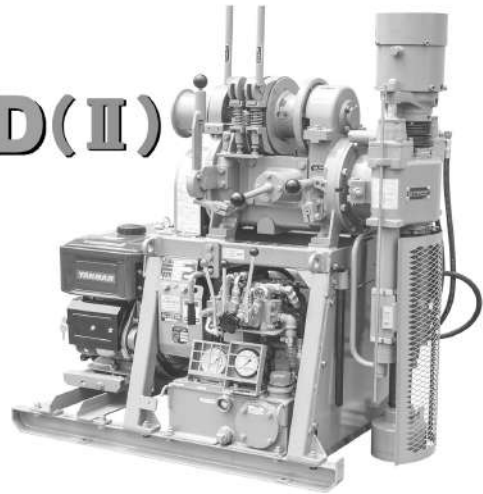
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

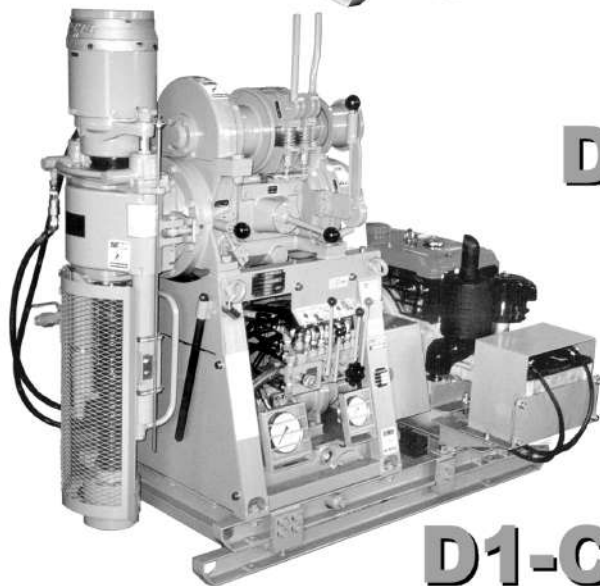
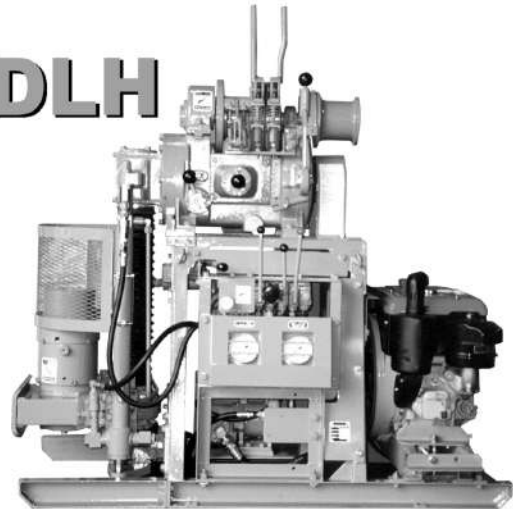
DM-03



D0-D(Ⅱ)



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(Ⅱ)	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	(A)60,170,330	(A)65,130,170,370
			(B)110,320,625※	(B)110,320,625※	(B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	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	350(油圧チャック装着時)	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1225×655×1285	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。



東邦地下工機株式会社

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159号