

物理探査研究グループの紹介

Introduction of the Exploration Geophysics Research Group

研究グループ長：横田俊之

Leader, Exploration Geophysics Research Group:

Toshiyuki Yokota

e-mail: yokota-t@aist.go.jp

http://unit.aist.go.jp/georesenv/explogeol/

1. グループの研究目的と課題

本研究グループでは、地熱・地中熱、鉱物資源、メタンハイドレート等の地下資源分野、放射性廃棄物地層処分、CO₂地中貯留等の地下環境利用分野、そして土壌汚染等の地下環境保全分野、さらに加えて地盤液化、地滑り、断層、火山等の防災分野やインフラ維持管理の土木分野等、広範囲な適用対象に対して、地質・地盤構造調査や岩盤評価、モニタリングに不可欠な物理探査技術の高精度化を目指し、各種探査法の技術開発と適用研究を行っている。2019年度においては、以下の7項目を中心にしている。

- 地下資源評価として、
 - 1) 海底熱水鉱床やメタンハイドレート等の探査を目指した海底電気・電磁探査法や、陸域における強制分極法による鉱物資源探査、坑井利用探査技術等の基礎研究、現場調査を行う。
 - 2) 地中熱利用における事前評価手法の研究、地熱地域における広域熱水系把握調査および空中電磁探査のデータ処理・解析に関する基礎的技術開発を行う。
- また、地下環境の利用分野として、
 - 3) 地層処分場選定における地質環境評価のため、沿岸域モデルフィールドにおける2次元および3次元弾性波探査反射法適用試験や海底電磁探査の取りまとめを行う。
 - 4) 二酸化炭素地中貯留プロジェクトでは、CO₂モニタリングを前提とした重力探査に関する基礎的研究を行う。
- さらに地下環境保全分野として、
 - 5) 土壌汚染に関連して、油分および鉱滓土壌汚染評価への各種物理探査適用結果の取りまとめ、および汚染現場での各種物理探査法適用実験を行う。
- 加えて、防災・土木分野への展開も視野に入れた基礎研究・技術開発としては、
 - 6) 断層評価のための各種物理探査法の適用結果についての取りまとめ、活動的火山の地下構造解明や物理モニタリングに関する基礎的研究を行う。
 - 7) インフラ維持管理目的や災害ロボット技術等との連携のための新規物理探査技術開発や民間企業への技術移転を目指した研究連携活動を行う。

2. 各研究項目の内容

2.1. 磁気共鳴物理探査装置の開発

老朽化したインフラの内部にたまった水の原位置非破壊検出や、打設したコンクリートの養生過程（水和反応によ

る水の消費過程）のモニタリングへの適用を目指して、水の定量能力に優れたプロトン磁気共鳴物理探査装置の開発を行っている。

昨年度のGREEN Report 2018では、探査深度（センサーコイルから感度領域の中心部分までの距離）が約3 mmのシステムを紹介した。しかしながら、その探査深度は現場のニーズを必ずしも満たしておらず、探査深度の増大が望まれた。そこで、希土類磁気回路を若干大型化し、コイルもそれに適合するように再設計・製作を行った。その結果、探査深度を約9 mmに向上することができた（図1）。

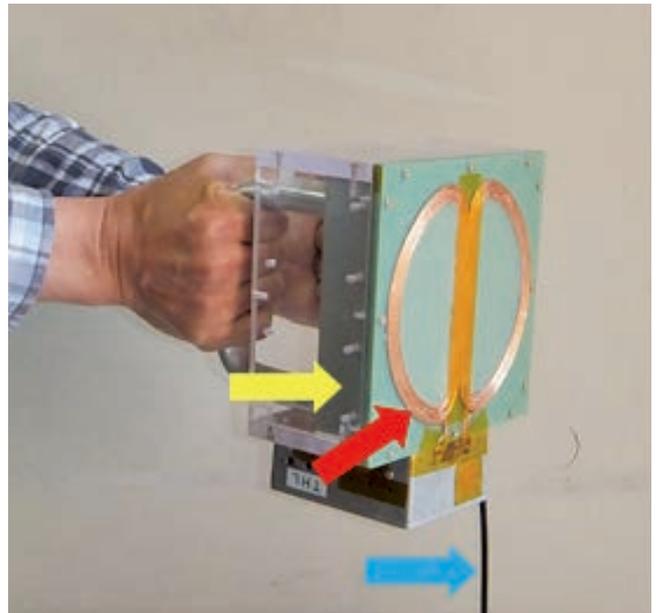


図1 開発中の磁気共鳴物理探査装置のセンサーユニット。永久磁石からなる磁気回路（黄色矢印）と、2つの半円形の高周波コイル（赤矢印）から構成されている。水色矢印は、BNCケーブル（装置本体に接続）。

今後更なる性能向上を目指すとともに、装置の性能・実用性の確認などを実施するため、以下の項目を実施する予定である。

- (1) コイルの再設計および制作を実施する。現有モデルの磁気回路の構造上、コイルを最適化することで探査深度を約12 mmまで改善できることが期待される。
- (2) 土木現場を提供いただける外部機関と連携して、当該装置の実地テストを実施する。その結果を分析し、装置の性能・実用性の確認を行う。

2.2. 工業用水用埋設管周辺地盤探査に対する高周波交流電気探査の適用実験

当該研究室で開発を行ってきた、高周波交流電気探査装置は、地表面に打設する通常のスチレン棒電極や舗装路面を傷つけずに調査が可能なローラー電極など、様々な種類の電極を用いた電気探査計測が可能である。これまではその優位性を利用して、アスファルト舗装が施された路面上から地下の埋設管周囲の比抵抗構造を調査することにより、埋設管腐食リスクを調査する技術の開発を行ってきた。

これまでは上水道管周囲の腐食性土壌調査を実施してきたが、今回はその技術を工業用水配管にも適用可能かを確かめる目的で、静岡県企業局の協力を得て、静岡県富士市内において高周波交流電気探査を実施した。

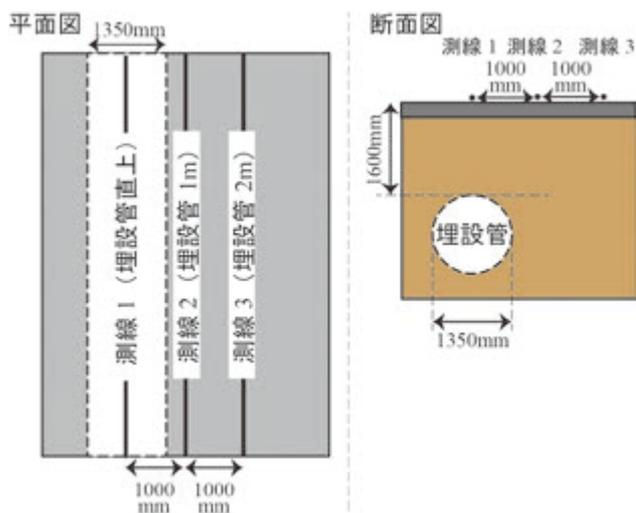


図2 埋設水道管と測線の位置関係の概念図。平面図(左)と断面図(右)。測線1は埋設水道管の直上、測線2および3は埋設水道管からの距離1 mおよび2 mにそれぞれ設定した。

上水道管は通常管径100~300 mmのものが路面下約1.5 mに埋設されている。それに比較して、工業用水管は管径500 mm以上の太い管が比較的浅い場所に埋設されているケースが多く、そのような場合の適用性についての確認を主眼とした実験を実施した。

埋設管腐食リスク調査を実施するにあたっては、街中での調査が必須であるため、調査速度を優先し、送信ダイポールの位置を固定し、受信ダイポールのみを移動させることにより送受信電極間隔を変更する、変則的なダイポール・ダイポール法電極配置により1次元探査を実施することを基本とした。今回は適用可能性の把握を目的としたため、埋設管の埋設位置・埋設深度、埋設管周囲の地盤の比抵抗値などの情報が多い位置での実験を実施し、埋設管が電気探査結果に与える影響の見積もりなども同時に実施した。

径1,350 mmの水道管が埋設深度の頂部が約1.6 mに埋設されている地点において、測線3本を埋設水道管と平行に、管からの距離を0 m(測線1), 1 m(測線2), 2 m(測線3)と変更しながら設定した(図2)。それぞれの測線で

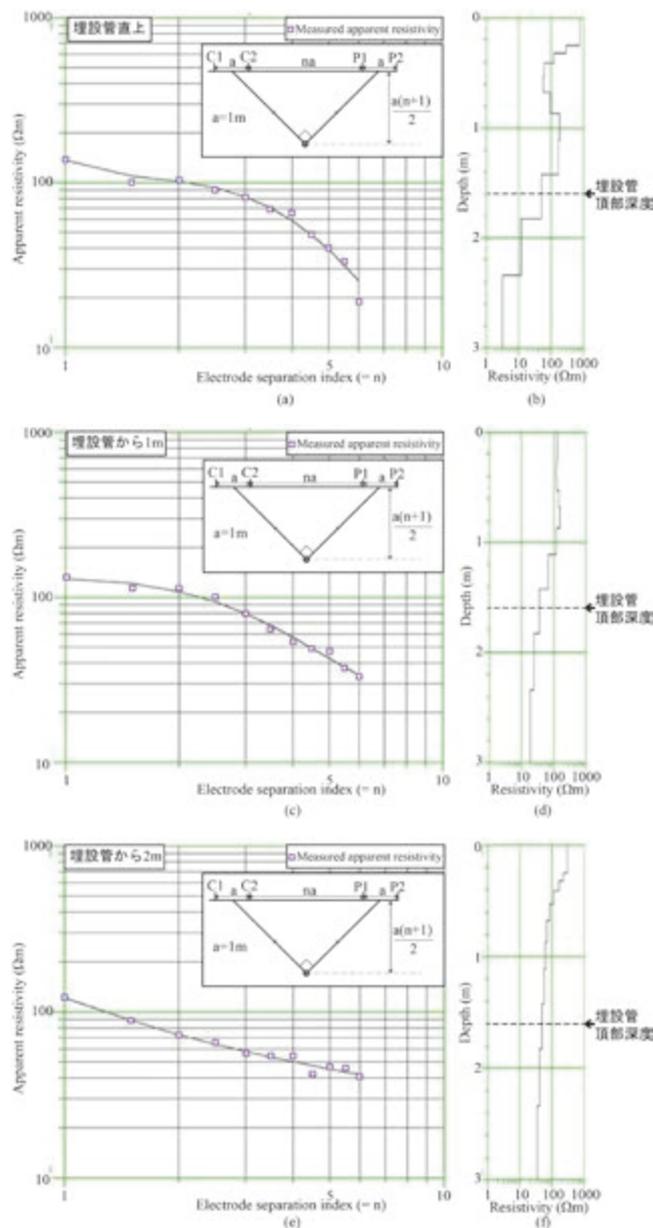


図3 比抵抗測定結果および1次元解析結果。(a), (b)は埋設管直上の測線1での結果, (c), (d)は埋設管から1 m離れた測線2での結果, (e), (f)は埋設管から2 m離れた測線3での結果をそれぞれ示す。

の比抵抗測定結果および1次元解析結果を図3に示す。

図3より、水道管埋設位置からそれぞれ、0 m, 1 mの距離にある測線1, 測線2の1次元解析結果では、埋設水道管の頂部深度に近い深度約1.4 mから比抵抗値が急激に低下していることがわかり、埋設水道管の影響(鉄の低比抵抗異常)が考えられる。一方で、水道管埋設位置から2 m離れた測線3の比抵抗解析結果中には、このような急激な比抵抗の低下は見られず、比抵抗値が緩やかに低下している。

さらに詳細に見ると、水道管の埋設深度に近い、深度1.4~1.6 mの深度区間における比抵抗値は、測線1が47 Ωm, 測線2が36 Ωm, 測線3が48 Ωmであり、一方で、水道管の影響が比較的少ないと思われる、深度1.2~1.4 mの深度区間における比抵抗値は、測線1が170 Ωm, 測線2が67 Ωm, 測線3が55 Ωmであることがわかる。両深度区間の結果を比較すると、全ての測線で水道管埋設深度に近い

深度区間（1.4～1.6 m）での比抵抗値に低下がみられる。すなわち、比抵抗計測値は埋設水道管の影響を受けることを示唆している。その中でも、水道管から最も離れた（2 m）測線 3 では、両深度区間での比抵抗値の差が最も小さく、埋設水道管の影響が小さい。

事前調査の結果より、本地点の比抵抗値は、49～144 Ω m であることがわかっている。すなわち、全ての測線において、深度区間1.2～1.4 mの比抵抗値は事前調査の結果と整合的であるといえる。本結果から考察するに、大口径の水道管周囲の腐食土壌調査に、地上からの比抵抗測定を適用する場合には、(1) 水道管埋設位置から2 m 以上測線をずらす、(2) 水道管の影響を受けて比抵抗が急激に低下する深度より浅い深度区間の比抵抗値を代替とする、などの工夫が必要である。

他の地点において、2次元探査を実施した。この地点の埋設水道管の径は500 mm、埋設管の頂部は0.83 m である。この地点においては、

- (1) 送信ダイポールの位置を固定し、受信ダイポールを移動させ、1次元データを取得する。
- (2) 送信ダイポールの位置を一地点分移動させて固定し、受信ダイポールを移動させ、1次元データを取得する。
- (3) 以上のデータを組み合わせ、通常のダイポール・ダイポール法電極配置による2次元比抵抗探査相当のデータとする。

という手順でデータ取得を行った。

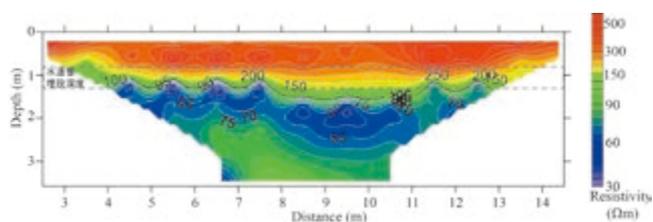


図4 2次元探査結果.水道管から約4 m離れた測線での比抵抗断面図

測線は埋設水道管と平行方向に設定し、前述の1次元探査探査結果を踏まえて、埋設水道管から4 m 離れた位置とした。

2次元解析結果を図4に示す。

埋設管の腐食リスクという観点から調査結果を見る。ANSI規格における比抵抗値による埋設管の腐食リスクを考慮すると、埋設管周辺土壌の比抵抗値が30 Ω m未滿となると腐食リスクを考慮する必要がある。今回の調査では、両地点とも30 Ω mより高比抵抗の土壌中に水道管が埋設されていることがわかり、埋設管の腐食リスクは小さいと結論することができる。

2.3. IP法を用いた灌水実験のモニタリング

気候変動リスクへの備えや、多発する豪雨に伴う地すべ

り等の土砂災害発生予測の高度化という点において、地下水賦存域や浸透現象に関連する物性値を高精度に可視化する技術の開発が求められている。本研究では上記現象の把握に土壌の誘導分極（IP）特性が有効であるかどうか検証することを目的として、灌水実験を実施中の圃場を模した実験場において、時間領域IP（TDIP）法電気探査を国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構と共同で実施した。計測は、灌水開始前と灌水開始から約2時間後の合計2回実施された。図5に、灌水前・後の解析比抵抗・充電率分布をそれぞれ示す。

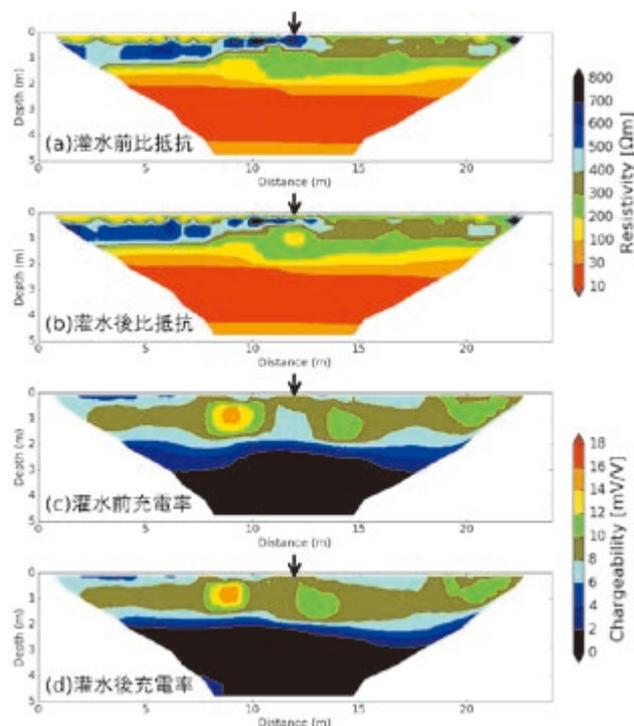


図5 灌水実験に伴う地下比抵抗・IP特性分布の時間変化. 矢印が灌水地点を表す。(a)、(b)は灌水実験前後における比抵抗値の分布を示す。(c)、(d)は灌水実験前後における充電率の分布を示す。

灌水前後の地下の電気的物性の変化に注目すると、矢印で表される灌水地点直下の領域で比抵抗が低下し、充電率は高くなっている。一方で、灌水地点から離れた場所の比抵抗・充電率分布は、灌水前後で大きな変化は見られない。灌水に伴う土壌の水飽和度の変化に対応して、比抵抗のみならず充電率及にも有意な時間変化があることを把握した。

3. グループの体制

3.1. 人員体制（2019.10.1現在）

以下の13人体制で研究を実施している。

横田俊之（グループ長）

高倉伸一（上級主任研究員）

中島善人（上級主任研究員）

神宮司元治（主任研究員）

小森省吾（研究員）

梅澤良介（研究員）

上田匠 (客員研究員)
 山口和雄 (テクニカルスタッフ)
 浅田美穂 (テクニカルスタッフ)
 中山京子 (テクニカルスタッフ)
 木村夕子 (テクニカルスタッフ)
 万沢かりん (リサーチアシスタント)
 佐竹海 (リサーチアシスタント)

部門内では、地下水研究グループ、CO₂地中貯留研究グループ、鉱物資源研究グループ、燃料資源地質研究グループ等、産総研内では、再生可能エネルギー研究センター、活断層・火山研究部門、地質情報研究部門、知能システム研究部門等と、さらに、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構等と連携して研究を推進している。

3.2. 研究予算

研究予算としては、産総研運営費交付金に加えて、以下のような公的外部予算プロジェクトに従事している。

- ・平成31年度国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業 (メタンハイドレートの研究開発) (資源エネルギー庁)
- ・平成31年度鉱物資源開発の推進のための探査等事業 (資源開発可能性調査) (資源エネルギー庁)
- ・安全な CCS 実施のための CO₂貯留技術の研究開発事業 (経済産業省再委託) 等々。

また、民間企業とも積極的に共同研究を実施し、ニーズの把握と成果の橋渡しの促進に努めている。

4. 最近の主な研究成果

Hata, M., Matsushima, N., Takakura, S., Utsugi, M., Hashimoto T., and Uyeshima M. (2018) Three-dimensional electrical resistivity modeling to elucidate the crustal magma supply system beneath Aso caldera, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 6334–6346. <https://doi.org/10.1029/2018JB015951>

Yoshimura, R., Ogawa, Y., Yukutake, Y., Kanda, W., Komori, S., Hase, H., Goto, T., Honda, R., Harada, M., Yamazaki, T., Kamo, M., Kawasaki, S., Higa, T., Suzuki, T., Yasuda, Y., Tani, M., Usui, Y. (2018) Resistivity characterisation of Hakone volcano, Central Japan, by three-dimensional magnetotelluric inversion. *Earth, Planets and Space*, 70, 66. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0848-y>

Nakashima, Y. (2019) Non-Destructive quantification of lipid and water in fresh tuna meat by a single-sided Nuclear Magnetic Resonance scanner. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28, 241–252. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1569742>

Nakano, T., and Nakashima, Y. (2019) Analytical expressions for the reconstructed image of a homogeneous cylindrical sample exhibiting a beam hardening artifact in X-ray computed tomography. *Journal of X-Ray Science and Technology*, 26, 691–705. <https://doi.org/10.3233/XST-18378>

Ikeda, S., Nakashima, Y., and Nakano, T. (2019) Three-dimensional observation of the boundary region between massive feldspar and graphic granite by X-ray computed tomography. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 114, 1–17. <https://doi.org/10.2465/jmps.180114>

山谷 祐介・高倉 伸一・浅沼 宏 (2018) AMT 法電磁探査による奥会津地域地熱貯留層の比抵抗モニタリング, 日本地熱学会誌, 40, 159-173.