

高周波表面波探査による舗装・盛土のS波速度構造探査

Delineation of S-wave velocity structure of pavements and embankments by means of high-frequency surface wave measurements

*稲崎 富士¹、木佐貫 寛¹、林 宏一²、今村 杉夫³、北 高穂⁴

*Tomio INAZAKI¹, Hiroshi Kisanuki¹, Koichi Hayashi², Sugio Imamura³, Takaho Kita⁴

1. 土木研究所 つくば中央研究所 地質・地盤研究グループ、2. 応用地質、3. 地圏探査技術研究所、4. TK海陸調査事務所
1. Public Works Research Institute, Tsukuba Central Institute, 2. OYO USA, 3. CTGK, 4. TK Ocean-Land Investigations Ltd.

浅層物理探査が対象とする表層30mの領域は、ほとんどの場合表層が舗装や盛土などの人工地盤で覆われており、さらに下位の自然地層にも改変が加えられている場合が多い。従来地球内部構造を対象とする調査研究では、このような人工地盤や地層改変の影響は無視されるか、あるいは除去すべき雑音対象として扱われてきた。一方社会生活は基本的にはこの表層空間領域で営まれており、その不均質構造や耐震性などを評価することは、安全安心な都市機能の維持、各種社会インフラ施設の維持管理を推進する上で最も重要な現場計測課題の一つになっている。都市域では表層がアスファルト等で舗装されており、さらに地下浅所にはほとんどの場合金属製の埋設管が敷設されていることから従来の電気・電磁探査手法は適用が難しい。さらに屈折法地震探査も最表層部に高速度層が存在する条件下では適用・解析が困難となる。これに対し表面波探査は速度逆転層があっても解析が可能である。加えて高周波領域における速度分散を解析することによって、地表下数10cm～数mの極浅層領域の2次元S波速度層構造を取得することができる。この手法を用い、舗装および盛土のS波速度構造を把握する手法の開発と実用化研究を進めてきた。

この間の調査実験によって、従来の地震計をベースプレートを介してカップリングさせるランドストリーマー方式の表面波探査によっても、500 Hz程度以上の表面波の位相速度分散特性を測定できることがわかった。また加速度センサを用いることで、4 kHz程度以上まで分散特性を追跡することができることがわかった。ただし加速度センサを用いた高周波表面波測定においては、センサを舗装路面に接着させることが必要であり、機動性が不足しているとともに路上での作業安全性の確保の面でも問題があった。そこでマイクロフォンアレイを用いて漏洩表面波を取得する非接触型の表面波計測システムを開発した。漏洩表面波の取得にあたっては、音速で伝播する振源雑音の低減が求められるが、マイクロフォンアレイを音波吸収函体で覆い、函体を可搬型にすることで解決した。

これらのツールを用い、深さ1m程度までの舗装・盛土の内部物性構造を2次元S波速度構造断面としてイメージングできることがわかった。

キーワード：表面波、漏えい表面波、高周波数、高次モード、人工地盤

Keywords: surface wave, leaky surface wave, high frequency, higher mode, artificial layer

電磁波を用いた1次元誘電率分布の推定手法の開発

Development of a method to estimate one-dimensional distribution of dielectric constant using electromagnetic waves

*古川 陽¹、高木 勘多¹、廣瀬 壮一¹、山中 義彰²、今井 博²

*Akira Furukawa¹, Kanta Takagi¹, Sohichi Hirose¹, Yoshiaki Yamanaka², Hiroshi Imai²

1. 東京工業大学、2. サンコーコンサルタント株式会社

1. Tokyo Institute of Technology, 2. SUNCOH CONSULTANTS CO., Ltd.

It is important to monitor water distribution under the ground near repository sites of radioactive waste. Water content in the ground and rocks can be evaluated via electromagnetic wave analysis. Electromagnetic wave analysis has advantages to evaluate water content for the following reasons: (1) The existence of pore water provides significant change in dielectric constant. (2) There is a relation between dielectric constant and degree of saturation. However, it is difficult to evaluate the distribution of dielectric constant in wave propagation direction by existing methods which are based on information of arrival time and amplitude of electromagnetic waves reflected from gap of dielectric constant. This study presents a method to estimate the distribution of dielectric constant via electromagnetic wave analysis. The proposed method consists of an unscented Kalman filter and a finite element method. The unscented Kalman filter is a nonlinear Kalman filter which can evaluate state values of a nonlinear system from observation signals with zero-mean Gaussian noise. In the estimation process, the nonlinear Kalman filter requires computation of nonlinear transform. In this study, the computation of a nonlinear transform corresponds to the FEM analysis of reflected electromagnetic waves for arbitrary distribution of dielectric constant. The validity and performance of our proposed method have been confirmed by numerical and laboratory experiments. In numerical experiments, reflected electromagnetic waves computed by FEM are used as observed signals. The estimated distribution of dielectric constant is in good agreement with the correct distribution. In laboratory experiments, reflected waves measured by a ground penetrating radar (GPR) are used as observed signals. The estimation results are not well fitted with the distributions expected. One of the reasons is that finite element analysis doesn't consider the effects of wave attenuation, and this problem is a future task of this study.

キーワード：電磁波、誘電率分布、アンセンテッドカルマンフィルタ

Keywords: Electromagnetic wave, Distribution of dielectric constant, Unscented Kalman filter

Processing of ground penetrating radar (GPR) data for underground cavity by Convolution neural network

*磯 真一郎¹、齋藤 章¹、尾西 恭亮²、松岡 俊文³、戸部 征雄⁴、高橋 亨³

*Shinichiro Iso¹, Akira Saito¹, Kyosuke Onishi², Toshifumi Matsuoka³, Yukio Tobe⁴, Toru Takahashi³

1. 早稲田大学理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科、2. 国立研究開発法人 土木研究所、3. 公益財団法人 深田地質研究所、4. 株式会社 ジオファイブ

1. Graduate School of Creative Science and Engineering Dept. of Resources and Environmental Engineering, 2. Public Works Research Institute, 3. Fukada Geological Institute, 4. Geofive Co., Ltd.

Title

Processing of ground penetrating radar (GPR) data for underground cavity by Convolution neural network

Background

For many years, GPR (Ground Penetrating Radar) systems have been used to detect cavities underneath the road surface. A system on a vehicle is available to acquire a large amount of data with multi channels, such as 21 channels, faster than about 40 km/h driving. Amount of the data has become larger and larger. The accumulated surveyed road path is supposed to be more than 150,000 km.

Today, experts take a long time to inspect visually such massive data to identify cavities. It also takes years to become a skilled expert. These years, besides development of the new machine learning design, the Machine Learning and parallel computation technology, such as Deep Learning and GPU frameworks and computer hardware show drastic improvement.

Deep Learning approach is supposed to work with the acquired data directly and automatically. It means that automation of recognition and classification of the types of reflectors with the acquired data directly. In addition, the learning network can be improved with the accumulated training data less computation effort as a transfer learning. Such feature will fit the analysis of the GPR data for underground cavity survey.

Iso et al. presented "Processing of ground penetrating radar (GPR) data for underground cavity survey by deep learning", at the 135th SEGJ Conference in 2016 in Japan. It shows a possibility of the being effective of usage of Deep Learning to distinguish cavities, metal pipes and others for 2D GPR cross-section. However, this previous study, in order to classify the target reflectors, users need to pick the specific reflection anomaly, the top of the shape of hyperbolic curves, manually. The classification result failed in some cases, even though considering amount of training data is limited.

Purpose

The aims of new study are 1) eliminating the manipulation of users to pick the target reflectors and 2) mitigating the errors of cavity classification, with the new Deep Learning network. Besides the limited training data, the problems are supposed to be caused by the limitations of the Learning Network design in the previous study. It uses Deep Neural Network with the hidden three layers as a Deep Learning. This is a simple learning network, and it may not be fit to find out the target objective in the large image region. The new study uses the Convolution Neural Network, CNN, design as a Deep Learning to distinguish and locate cavities and the others. The CNN is one of the feed-forward artificial neural network and widely used for 2D image recognition in the other industries these years. The study bases the real acquired data for training images and evaluate with the other set of real 2D GPR data.

Conclusion / Discussion

The results are compared and discussed with the previous study to the recognition accuracy and efficiency of training effort (CPU time and training images) for initial training and transfer learning.

キーワード : 深層学習、GPR、自動化、データ処理、道路点検、空洞調査

Keywords: Deep Learning, GPR, Automation, data processing, road inspection, cavity survey

施工中道路の路床内埋積巨礫検出を目的とした稠密 GPR探査 Detailed GPR survey for delineating boulders buried in a roadbed of a highway under construction

*青池 邦夫¹、木佐貫 寛²、小河原 敬徳²、稲崎 富士²

*Kunio Aoike¹, Hiroshi Kisanuki², Takanori Ogahara², Tomio Inazaki²

1. 応用地質株式会社、2. 国立研究開発法人 土木研究所

1. Oyo corporation, 2. Public Works Research Institute

施工中の道路工事現場において、路床内に埋積された規格外の巨礫の検出を目的として稠密GPR探査を実施した。路床内の埋積巨礫は転圧不良により表層舗装面の起伏発生、車両走行性の低下を招く可能性があり、事前に除去する必要がある。そこで巨礫埋積が想定された、延長540 m、道路幅20 mの区間で直営でGPR探査を実施した。探査は2名2班に分かれ、VRS RTK-GNSS測位システムを装備した同一性能のGPR装置を用いた。現地一次調査は3日、取得データを引き続き2日で処理し、合計で148箇所異常信号を抽出した。その処理結果に基づき、2次調査として異常信号観測箇所の再確認・精密測位を行なった。異常信号観測・再確認箇所は直ちに掘り返され、巨礫の埋積の有無が確認された。この2次調査・埋積巨礫確認に要した日数は1.5日であった。その結果、148箇所中146箇所において、20cmから100cmサイズの巨礫の埋積が確認された。この極めて高率での抽出を可能にしたのは、水平位置誤差2cmを達成したVRS RTK-GNSSによる精密測位と、GPR反射信号パターンに対する識別基準の策定と、それに基づいた客観的な抽出作業である。実際この策定した識別基準は極めて有効であり、金属片などの巨礫以外の埋積物の識別に役立った。本探査では、集中的な探査解析によって実質6.5日で調査から巨礫掘り起しまでを終わらせることができ、道路工事の遅滞を最小限にとどめることに貢献できた。

キーワード：道路物探、GPR、路床、巨礫

Keywords: Highway geophysics, GPR, roadbed, boulder

地中レーダの反射波形に着目した坑道近傍の割れ目内の地下水評価 Evaluation of groundwater in fractures adjacent to tunnel using information of waveforms of Ground Penetrating Radar

*升元 一彦¹

*Kazuhiko Masumoto¹

1. 鹿島建設株式会社

1. Kajima Corporation

割れ目を有する岩盤構造物においては、岩盤の割れ目内の地下水流動特性を評価することは重要である。特に、地下の岩盤空洞掘削時において空洞周辺に割れ目の発生、進展、応力状態の変化、間隙水圧の変化が生じる。このような変化が生じる領域をEDZ（Excavation Damaged Zone、掘削影響領域）と呼ぶ。EDZ内の割れ目群は、岩盤空洞の力学安定に関する問題を生じさせると共に地下水の透水経路としての問題も生じさせる。これら坑道周辺に発達する割れ目群はトンネル湧水や湧水の浸潤による支保の劣化の原因や、石油やLPGの水封式岩盤貯蔵における水封システムのトラブルの原因となる。特に、高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、これらの割れ目群が処分場の安全性に影響を与えることから、EDZ内の水みちとしての割れ目や不飽和割れ目を調査により評価しておくことは重要である。

これらの割れ目は坑道近傍に3次元的に、断続的に、チャンネル状に分布していると考えられる。しかし、ボーリング孔を利用した調査では、調査時に水理場が乱れる可能性があり、また点による評価であり、面的な分布の評価に限界がある。これに対し、筆者は電磁波探査の一つである地中レーダの適用について研究を進めている。電磁波の伝搬特性は水分の影響に敏感であることから、弾性波を用いる方法では把握できない地下水の評価に適している。また、中心周波数数百MHzのレーダを用いる場合、電磁波の波長が短いため数cm程度の高分解能が期待できる。さらに地中レーダによる探査法は岩盤内部を非破壊で調査する手法であるため、岩盤内の水みちの面的な分布を水理場を乱さずに調査することができる。このため地中レーダは坑道近傍数m以内の岩盤割れ目内の地下水情報を得る最適な調査手法であると考えられるが、これまでは割れ目の幾何学的な分布情報の取得にとどまっている。本研究では、地中レーダの反射波形に着目することにより岩盤割れ目内の地下水に関する評価を実施することが可能か検討を行った。

地中レーダの反射波形に着目する本評価手法は、反射境界面となる媒質の電磁気特性に応じて反射波形の振幅強度や卓越周波数が変化することを利用し、反射波形の変化から岩盤割れ目内の地下水の浸透状況を評価しようとするものである。この評価手法の確立のためには、割れ目のような薄い反射面であっても、内部の液体の電磁特性の変化が反射波の波形変化により評価可能であることを理論的、実験的に示すことが必要である。

初めに、電磁波の理論的な検討とFDTD法による反射波形の数値シミュレーションを行った。この結果、反射面となる割れ目内における水の存在の有無や塩水のような高導電性の媒質が存在する場合において、反射波形の振幅や卓越周波数が異なることが分かった。これは経時的な計測により反射波形の変化を捉えられれば、割れ目内の浸透状況の評価が可能であることを示している。

次に、この評価方法が実際のフィールドにおいて適用可能か確認するため、流動化処理土に挟まれた模擬割れ目¹⁾、コンクリートと岩盤の境界面²⁾、花崗岩中の割れ目³⁾を対象として実験的な検証を行った。この結果、対象とする割れ目からの反射波に着目し、初動の大きさや後続波の変化、卓越周波数の変化をモニタリングすることで割れ目内の浸透状況を評価できる可能性が示された。

これらの検討の結果、地中レーダを活用し坑道近傍の岩盤内割れ目の媒質の変化を評価するための手がかりが得られたと考えられる。本評価方法は、放射性廃棄物の地層処分分野だけでなく土木分野へも活用分野が広がることが期待できる。

参考文献

1) 升元一彦・栗原啓丞（2014）：模擬亀裂を用いた地中レーダによる亀裂性岩盤の地下水浸透状況調査に

関する検討, 応用地質, 55巻, 1号, p.17-27.

2) 升元一彦・栗原啓丞 (2015) : 地中レーダによる地下空洞近傍の亀裂性岩盤の地下水浸透状況調査, 第43回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, p.188-192.

3) 升元一彦・竹内竜史 (2016) : 地中レーダを用いた坑道近傍の岩盤内の水みちとしての割れ目の評価, 応用地質, 57巻, 4号, p.154-161.

キーワード : 地中レーダ、掘削影響領域、地下水

Keywords: Ground Penetrating Radar, Excavation Damaged Zone, Groundwater

漏水田における湛水の比抵抗モニタリング

Resistivity monitoring of water-leaking paddy field filled with water

*井上 敬資¹、若杉 晃介¹、脇山 恭行¹、野見山 綾介¹、田中 誠司²

*Keisuke Inoue¹, Kosuke Wakasugi¹, Yasuyuki Wakiyama¹, Ryosuke Nomiyama¹, Seiji Tanaka²

1. 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構、2. 熊本県農業研究センター

1. National Agriculture and Food Research Organization, 2. Kumamoto Prefectural Agricultural Research Center

A large earthquake causes high hydraulic conductivity zones in the soil and the high hydraulic conductivity zones of soil often lead to leakage of water from a paddy field. Although the locations of infiltration have to be estimated, the locations cannot be observed from the surface. Electrical resistivity survey can provide spatial geological information non-invasively because electrical resistivity is strongly affected by the level of water saturation in the soil. After the 2016 Kumamoto earthquake occurred, although the amount of leakage from a paddy field increased, the location of infiltration was not observed. In this study, resistivity monitoring of a water-leaking paddy field filled with water was conducted. A resistivity change derived from 2D inversion of resistivity survey data was small beneath the paddy field and the resistivity beneath the bank of the paddy decreased 4 hr. after the start of filling with water. Since some rain occurred before the filling test, there was a possibility that the high saturation level caused no change beneath the paddy field. However, the resistivity beneath the paddy field decreased 24 hr. after the start of filling with water.

These results suggest that the leakage occurred beneath the bank of the paddy rather than beneath the paddy field.

This work was financially supported in part by Science and technology research promotion program for agriculture, forestry, fisheries and food industry.

キーワード：比抵抗モニタリング、漏水田、地震

Keywords: Resistivity monitoring, water-leaking paddy field, earthquake

道路盛土崩壊部における浅部物理探査手法を用いた内部構造のイメージング

Imaging of the internal geophysical structure by means of near surface geophysical surveys at a road embankment failure site.

*木佐貫 寛¹、小河原 敬徳¹、尾西 恭亮¹、稲崎 富士¹

*Hiroshi Kisanuki¹, Takanori Ogahara¹, Kyosuke Onishi¹, Tomio INAZAKI¹

1. 国立研究開発法人土木研究所地質地盤研究グループ

1. Public Works Research Institute

大雨により高さ約8mの道路盛土の一部が崩壊した。崩壊2か月前に発生した熊本地震以後、変状が確認されており、崩壊の原因として、地震と豪雨が考えられた。筆者らは、残存する道路の内部物性構造の把握、および崩壊のメカニズム解明のために、本サイトで多種類の物理探査手法を適用した。残存する道路上では、GNSSアンテナと連動する地中レーダ探査装置を用いた。本計測システムはRTK-FIX解が得られた条件で±1cmの位置精度が得られる。また、崩壊面に直交する方向に測線を設定し、比抵抗トモグラフィを実施した。地中レーダ探査の結果からは、崩壊面に向かう方向へ傾斜する構造が認められ、崩壊に関連した構造と解釈した。このことは、崩壊の背面にまでその影響があったことを意味する。また、比抵抗トモグラフィの解析結果には、すべりの舌端部の構造が明瞭に捉えられており、この比抵抗構造と崩壊前後における地表面の5点の変位ベクトルからすべり面を推定した。本調査により得られた物理探査の解析結果は残存する道路の状態や崩壊のメカニズムを解釈する際に役立つ情報であった。

キーワード：盛土崩壊、浅層物理探査

Keywords: Embankment failure, Near surface geophysics

大型降雨実験装置を用いた盛土中の水分の電気探査モニタリング Geoelectrical monitoring of changes in water content in an embankment using a large-scale rainfall simulator

*高倉 伸一¹、吉岡 真弓¹、酒井 直樹²、石澤 友浩²、檀上 徹²

*Shinichi Takakura¹, Mayumi Yoshioka¹, Naoki Sakai², Tomohiro Ishizawa², Toru Danjo²

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター、2. 国立研究開発法人防災科学技術研究所
1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

斜面災害の防災の観点から、斜面内に浸透した水分の時間変化を空間的に把握することが重要とされている。本研究では、防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内に作成された盛土において、2011年2月から約1か月おきに比抵抗法電気探査の繰り返し測定を行ってきた。盛土の斜面を横切るように18mの電気探査測線を設置し、0.5m間隔に37本の電極を常設した。この測線に沿って、5箇所で浅部の体積含水率や温度が計測されている。盛土は通常は屋外にあり、自然の気象下での観測が行われている。電気探査の繰り返し測定から、短期の比抵抗変化は雨によって起きる含水状態の変化に対応することが明らかになった。

我々は、降雨による比抵抗変化を詳細に調べるため、大型降雨実験装置を用いて、降雨の強度や量を制御した人工降雨を盛土に降らせる実験を実施し、その間の地下の比抵抗変化を連続的に観測した。この実験は、2013年から2015年まで毎年約1ヶ月間実施された。比抵抗構造の解析には多くの電極組み合わせによる測定が必要なため、普通の電気探査装置では、短い継続時間の強い降雨では、正確に比抵抗構造の変化を求めることは難しい。そこで、人工降雨時およびその前後は $a=0.5\text{m}$ および $a=1\text{m}$ のウェンナー配置の測定だけを5分おきに行った。そこで、2012年から2014年の測定では、 $a=0.5\text{m}$ と 1m のウェンナー配置だけの測定を行った。得られた見掛比抵抗の変化と土壤水分の変化も類似しており、特に降雨強度の強い場合には両者の変化はほぼ同時に起こることから、比抵抗によって盛土中の体積含水率の急な変化が把握できることが示された。

2015年の実験では、高速な電気探査計測が可能な装置を用いた比抵抗モニタリングを試みた。この装置は、送信24ch、受信24chの合計576組の電極組み合わせのデータを10秒程度で取得できる。人工降雨の期間中、土壤水分の観測とともに1分あるいは2分間隔で比抵抗モニタリングを実施し、2次元解析によって盛土内の一連の比抵抗断面を求めた。その結果、高速電気探査モニタリングは短時間降雨によって起こる土壤水分変化をリアルタイムで観察する有効な手法であることが確認できた。

キーワード：電気探査モニタリング、比抵抗、含水率、大型降雨実験施設、斜面災害

Keywords: Geoelectrical monitoring, resistivity, water content, large-scale rainfall simulator, slope disaster

電磁探査装置GEM-2の適用例 — 河口付近の砂浜およびデイサイト貫入岩上での測定 —

Case studies of the survey of induction method using GEM-2 -- along the sand beach and above the intrusive rock --

*坂中 伸也¹、高津戸 悠輝²、丸山 純也¹、井上 雄介¹、小林 拓也¹

*Shin'ya Sakanaka¹, Yuki Takatsuto², Junya Maruyama¹, Yusuke Inoue¹, Takuya Kobayashi¹

1. 秋田大学大学院国際資源学研究科、2. JR東日本

1. Graduate school of International Resource Sciences, Akita University, 2. JR East

GEM-2 is the electromagnetic instrument used in this study. Since it can simultaneously operate multiple frequencies in the broadband domain from 300 Hz to 96 kHz, we will be able to estimate the distribution of the conductivity to the depth direction. The purposes in this study are detection of the boundary of freshwater of the creek and seawater at Katsurahama coast in Akita city and examination on the anomaly of the electrical conductivity above the intrusive rock at the quarry site in Sugisawa, Daisen city, Akita prefecture.

On the exploration at Katsurahama coast, the freshwater of the creek has the characteristics of the low electrical conductivity of 0 to 40 mS/m. On the other hand, the high electrical conductivity is seen on a part of the western sea side. The change in the low conductivity to the depth beneath the creek cannot be observed, but on the part of the high conductivity on the sea side the change to the depth can be detected. The conductivity is higher at the shallower depth compared with deeper place at the part of the high conductive western sea side. I consider that the high electrical conductivity of the shallow sea side is more influenced by the invasion of the seawater.

At the quarry site in Sugisawa, the anomaly of the low electrical conductivity surrounded by the high conductivity is seen above the intrusive rock by the exploration. The distribution of the high electrical conductivity is considered to be due to alternation and mineralization in the contact part of intrusive rock and pre-existed rock. Examining the tendency of the depth change of the distribution of the low conductivity surrounded by the high conductivity above the intrusive rock, it is said that the structure change cannot be seen to the depth from 5 to 19 m.

I understand that the resolution by the exploration using GEM-2 is excellent at shallow depth, but that GEM-2 is easy to catch the noise when the exploration depth exceeds 10 m. In other words, GEM-2 is easy to catch the noise when we operate it with low frequencies. It is sometimes necessary to remove noises on low frequency operation. In this study, I successfully remove the noises and improve the data with taking the median values and using the running mean method on a finite length of data section.

キーワード：電磁探査、電磁法、GEM-2、塩淡水境界

Keywords: electromagnetic survey, induction method, GEM-2, freshwater/seawater interface

地下水低下工法による潮来市日の出地区のレーリー波位相速度変化: 極小 微動アレイ解析のケーススタディ

Changes in phase velocity of Rayleigh waves at the Hinode area, Itako, Ibaraki, Japan, due to the construction by the ground water lowering method: A case study of the miniature array analysis of microtremors

*長 郁夫¹、横田 俊之¹、先名 重樹²

*Ikuo Cho¹, Tishiyuki Yokota¹, Shigeki Senna²

1. 産業技術総合研究所、2. 防災科学技術研究所

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

茨城県潮来市日の出地区では2011年東北沖地震によって甚大な液状化被害が生じた。現在、同地区では液状化被害の再発を抑制するために地下水低下工法が試みられている。本発表では、極小微動アレイ解析(Cho et al., 2013)のケーススタディとして、同工法着工前後のデータを解析した際に見られたレーリー波位相速度の変化について報告する。

日の出地区では地下水低下工法に従って、ほぼすべての道路に沿って深さ3mに排水管が埋設され(施工期間2013年4月~2016年3月)、揚水ポンプで地下水が汲み上げられている(稼働時期2016年5月~2017年1月現在)。こうして地下水位を3m深まで下げてその水位を維持することにより甚大な液状化被害の再発を防げると試算されている(潮来市, 2016)。

我々は、2012年8月および2013年5月初旬に、日の出地区(約2.8kmx1.5km)とその周辺を横断する長さ3.2kmの東西測線に沿って極小微動アレイ観測を実施した。半径60cmの4点アレイと半径約5mの3点不規則アレイのセットを基本とし、約200m間隔で観測を行った。各地点で15分間微動を観測した。一方、Yokota et al. (2016)は、2012年12月に日の出地区とその周辺を含む1.2kmから1.6kmの3本の測線に沿って表面波探査を実施した。以下では微動による東西測線と表面波探査による2本の南北測線の合計3本で取得されたレーリー波位相速度及びS波速度を「着工前のデータ」として参照する。

「着工後のデータ」として、2015年9-10月に上述の3測線に沿いに極小微動アレイ観測を実施した。東西測線では個々のアレイ設置位置が前回と同一となるように注意した。表面波探査測線沿いには約100m間隔でアレイ観測を実施した。なおすべての微動観測は舗装道路の路肩で行われたため、着工後のデータには工事による物性変化の影響が含まれると期待される。

こうして得られた着工前後の東西測線の分散曲線を比較したところ、日の出地区では特に高周波数帯域で位相速度が高くなっていることが分かった。S波速度構造を簡易解析によれば、変化したのは5~6m以浅のS波速度のようである。表面波探査測線沿いの極小アレイによるS波速度構造についても同様の傾向が見られた。すなわち、微動観測によるS波速度の空間分布は表面波探査と良く似たパターンを示すが、日の出地区内の5~6m以浅に限ってはS波速度が相対的に高かった(添付図参照)。

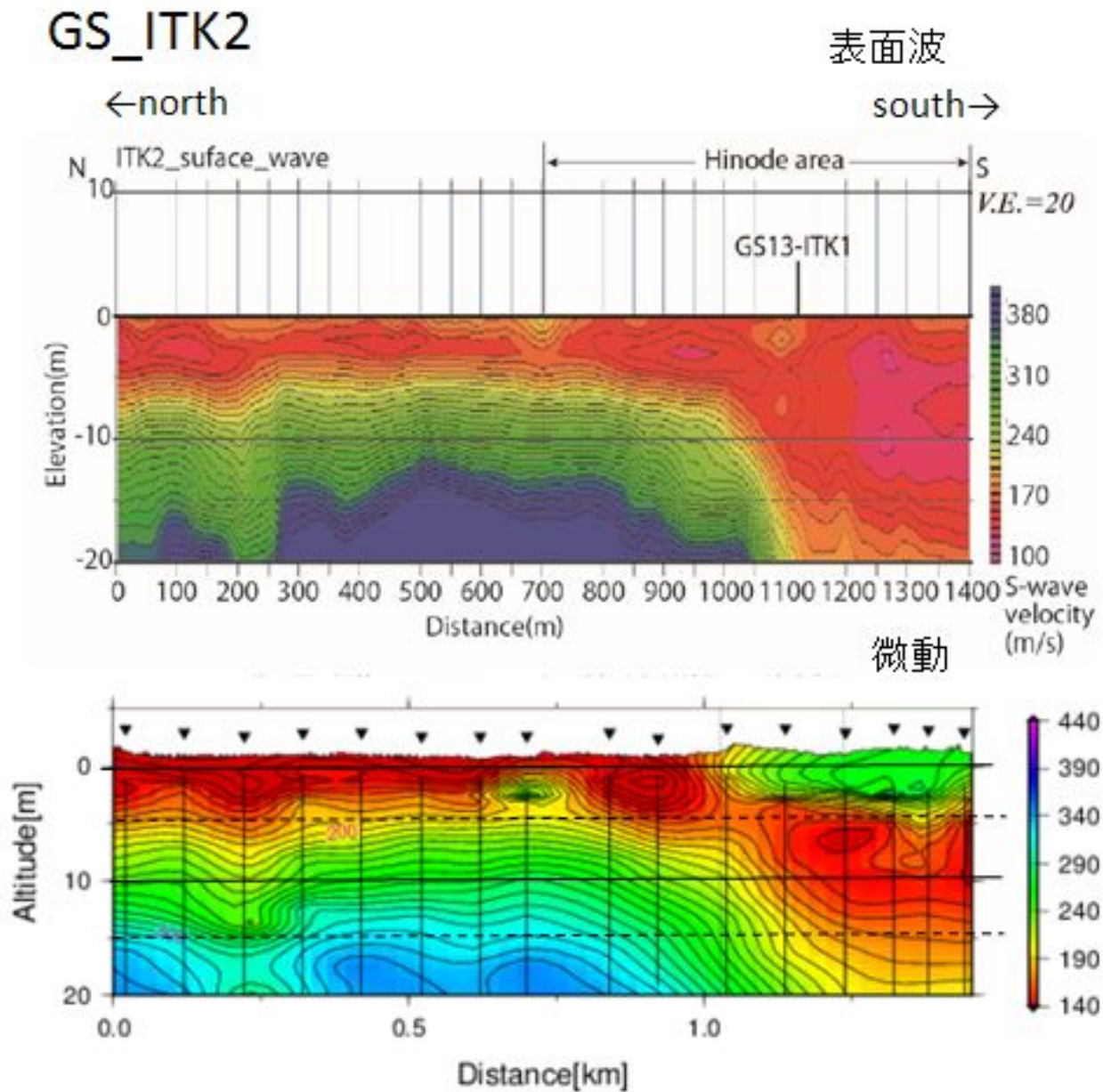
日の出地区の浅部についてのみ速度構造の変化が見られたことは定性的には自然であり、極小微動アレイのポテンシャルを期待させる結果である。今後はより定量的に極小微動アレイの可能性と限界を検討する予定である。

Cho et al., 2013, *Geophysics*, 78, KS13-KS23.

潮来市, 2016, <http://www.city.itako.lg.jp>.

Yokota et al., 2016, *Exploration Geophysics* (in press).

キーワード：微動、アレイ、表面波、液状化、2011年東北沖地震、地下水低下工法
 Keywords: microtremor, array, surface wave, liquefaction, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, the ground water lowering method



千葉県九十九里平野、南白亀川下流域における浅層地下水の塩水・淡水の分布

Distribution of saline-freshwater in shallow groundwater in the lower reaches of Nabaki River, the Kujukuri Plain, Chiba Prefecture, Japan

*伊藤 有加¹、張 馨仁¹、徳永 朋祥¹、茂木 勝郎¹

*Yuka Ito¹, Xinren Zhang¹, Tomochika Tokunaga¹, Katsuro Mogi¹

1. 東京大学大学院新領域創成科学研究科

1. School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

千葉県、九十九里平野の南部に位置する南白亀川河口域は、低平なところを流れる感潮河川のため、満潮時には河口から海水が河川に流入する。さらに九十九里平野は日本有数の地盤沈下地域であり、本地域でも最近5年間の累積沈下量は14.86cmと報告されており地盤沈下による地表環境変化への影響として、地下水の塩水化の可能性が挙げられる。それゆえに、地盤沈下と塩水化との関係を考える上でまず、淡水性地下水と塩水性地下水の分布および感潮河川が周辺地下水に与える影響について把握する必要がある。そこで本研究では、地下水の塩水化影響評価として、浅層地下水の塩淡水境界の空間分布の把握と、地下水の塩水化プロセスについて電気探査と水質調査により検討をおこなっている。これまでに電気探査は、南白亀川河口周辺で平成25年から平成28年11月までの期間に、計16箇所を実施した。電気探査の測定は、比抵抗二次元探査によりおこなった。解析比抵抗断面の分布からは、全体的な傾向として地下浅部（約3~5m）は比抵抗値が高く、地下深部（約5~7mより以深）は値が低いという結果が得られており、地下浅部には淡水が存在し、深部は塩濃度が高い地下水が分布すると思われる。一方で、一部の地域においては南白亀川から離れるに従って、塩濃度の高い地下水（低比抵抗領域）が浅部から深部へと傾斜するような分布を示し、その要因の一つとして潮汐河川の影響が示唆された。

キーワード：南白亀川、比抵抗探査、塩水・淡水、浅層地下水

Keywords: Nabaki River, Resistivity survey, saline-freshwater, shallow groundwater

鳥取砂丘におけるNMR探査とGPRによる帯水層の評価

Characterization of the aquifer at Tottori sand dunes using NMR and GPR sounding

*小西 千里¹、青池 邦夫¹、河合 隆行²、黒田 清一郎³

*Chisato Konishi¹, Kunio Aoike¹, Takayuki KAWAI², Kuroda Seiichiro³

1. 応用地質株式会社、2. 鳥取大学、3. 農研機構

1. OYO Corporation, 2. Tottori University, 3. Institute for Rural Engineering, NARO

鳥取大学乾燥地研究センターにおいて、地下水帯水層の評価を目的にNMR探査とGPRを実施した。NMR探査は、地表に設置したループ状のコイルから地下に高周波パルスを送信し、帯水層内の水の陽子からの応答を得ることで地表から非破壊で地下水帯水層の深度、層厚、および体積含水率を求める手法である。得られる信号強度は磁場に比例するため、地球磁場を用いる地表からのNMR探査の場合、非常に信号強度が小さくなる。そのため、電磁ノイズレベルが高い都市近郊では測定が困難となる場合が多い。鳥取大学の乾燥地研究センターも鳥取市の中心からわずか数kmに位置しており、ノイズテスターによる電磁ノイズレベルの測定値もそれほど小さくはなかったが、測定可能な範囲内であった。測定配置は、1辺35mの正方形を2つ組み合わせた8の字型とし、同一コイルを用いた送受信により12種類のパルスモーメントを用いたサウンディングを行った。測定時にはノイズの混入が少ない、なるべく良質なデータのみを250個程度取得し、スタッキングにより信号のS/Nの向上を図った。その結果、特定のパルスモーメントでNMR信号の特徴である減衰信号を確認した。得られた結果を順計算によるモデリング結果と比較したところ、深度30m付近に数mの帯水層があると推定された。

GPRは通常は深度数m以浅を対象とする場合が多く、特に地盤が不均質な場合や、粘性土が分布するような場合には探査深度はさらに浅くなる。しかし乾燥地研究センター内の砂丘のように、非常に均質な砂が数10mも分布しているような場合には、探査深度は格段に深くなり、深部の地下水面を検出することも可能となる。今回は、中心周波数が35MHzのアンテナを用いた測線長100mのプロファイル測定を行い、さらにCMP測定により電磁波速度を求めて深度断面を作成した。GPRの深度断面図から、深度29～30m付近に地下水面に対応する反射波が連続して見られた。この地下水位の深度は、周囲に存在する井戸の水位計測結果とも整合していた。

NMR探査の結果からは特定箇所における帯水層の上面深度とおおよその層厚が把握できる。一方、GPRの結果からは、帯水層の上面深度を二次元的に把握できる。両手法を組み合わせることにより、乾燥地域において効率的な帯水層の評価が可能になると考えられる。

キーワード：NMR探査、地中レーダ、地下水、砂丘

Keywords: Surface NMR, GPR, groundwater, Sand dune