

STT056-01

会場:101

時間:5月26日 14:15-14:30

空気シャワーソフトコンポーネントを用いたラジオグラフィー New radiography method for small scale structure using soft component of air shower

武多 昭道^{1*}, 田中 宏幸¹
Akimichi Taketa^{1*}, Hiroyuki Tanaka¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute

空気シャワーはハード成分とソフト成分から構成されている。ハード成分は主にミュオンで構成されており、ソフト成分は電子及び光子で構成されている。ハード成分は物質中の貫通力が強いので、それを用いて火山や断層のラジオグラフィーが行われている。しかし、その貫通力のため、ハード成分は、建物や小さい丘陵などの、 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 、水換算で10mより短い構造のラジオグラフィーを行うには適していない。

ソフト成分は小さい構造物のラジオグラフィーに適しているが、それを行うためにはソフト成分とハード成分との弁別を行う必要がある。強力な磁石と高分解能の検出器を用いれば簡単に弁別が可能であるが、そのような検出器はその重量と価格のためラジオグラフィーには適さない。

ミュオンラジオグラフィー検出器には2種類ある。一方はプラスチックシンチレータから構成されており、もう一方は原子核乾板から構成されている。仮にこれらのいずれか一方を用いて、ソフトコンポーネントを用いたラジオグラフィーを行うことが可能であれば、同じ検出器を用いて $1\text{kg}/\text{cm}^2$ より短い構造のラジオグラフィーが出来る。

我々はプラスチックシンチレータ型検出器を用いて空気シャワーの横方向分布の観測が可能であること、また、横方向分布を用いてラジオグラフィーを行うことが出来ることを発見した。ここで、横方向分布とは検出器間隔毎の同時係数率を指す。

ソフト成分の横方向分布はハード成分のそれよりも急峻であり、ランダム成分の横方向分布はフラットになる。また、ハード成分の横方向分布は、元々貫通力が強い上に、同時係数イベントに含まれるミュオンは孤立したミュオンに比べてはるかに高いエネルギーを持っているため、薄い構造物を通過しても変化しない。これらの情報を用いて、ソフト成分、ハード成分、ランダム成分を統計的に分離することができた。

この観測手法を評価するため、コンクリートの厚みを測定する実験を行った。コンクリートの厚さは0m,0.1m,2m,2.1mを用いた。コンクリート無しの測定結果はシミュレーションにより完全に再現された。また、0.1mの厚みの横方向分布とシミュレーションを用いて、誤差3%の測定精度で、2mの厚みと2.1mの厚みが再構成できた。

本発表では、このソフト成分を用いた新たなラジオグラフィー手法の解説、測定の詳細、および今後の発展について述べる。

キーワード: ミュオン, ラジオグラフィー, 空気シャワー

Keywords: muon, radiography, air shower

STT056-02

会場:101

時間:5月26日 14:30-14:45

スリングラム電磁探査による河川堤防周辺比抵抗分布の季節変動測定 Slingram EM surveys for the delineation of seasonal change in the near-surface resistivity around a river levee

稲崎 富士^{1*}, 三浦 豪²
Tomio INAZAKI^{1*}, MIURA Goh²

¹ 土木研究所 つくば中央研究所, ² テラ
¹PWRI Tsukuba Central Institute, ²Terra Corporation

河川堤防周辺の表層地盤の含水状態が季節によってどのように変動するかを把握する手法の開発を進めている。その一環として、スリングラム電磁探査法を用いた比抵抗マッピングによって、河川敷および堤内地の表層の比抵抗の季節変動を明瞭にとらえることができたので報告する。調査区域は、長野盆地を北流する千曲川の右岸、須崎市相之島地区周辺である。調査域は東西約1km、南北約3kmの広がりを持ち、河川堤防を挟んで、果樹林が展開する河川敷と、主として居住地、農耕地からなる堤内地からなる。調査域内に測線を配置し、測線上において測定を実施した。総測点数は約6000点に達した。スリングラム電磁探査は、一組の小型送信コイルと受信コイルを一定間隔でコイル面を水平に配置して2次磁場の離相成分を測定する電磁探査法の一つであり、小型化された測定装置を手持ちで移動しながら測定できるため、簡便かつ迅速に現場測定を実施することができる。今回の測定では、測線上を移動して約5m間隔で立ち止まり、あらかじめ設定した時間だけ装置を静止させて測定し、次の地点に移動する「静止測定方式」を採用し、小型のGPS信号を同時取得することで測定位置を決定した。測定周波数帯域は約1kHz~30kHzで、この間の12周波数を測定対象とした。現地でノイズデータを定点測定し、観測データに対してバイアス補正を施した。その後離相成分のみを使用し、Mitsuhata, et al. (2006)の平滑化制約つき次元逆解析手法により比抵抗構造を求めた。測定は地元自治会等の協力の下2009年8月初旬(雨季直後)および同年12月(乾季)に実施した。

探査結果は明瞭な比抵抗の季節変動を示している。まず堤外地(河川敷)側に比べ、堤内地側が相対的に低比抵抗となっていた。このことは既設堤防が浅部地盤の含水状態に関与していることを表している。堤内地側では低周波数ほど低比抵抗を示し、さらに特定のゾーンに集中することから、高含水部をイメージしていると解釈することができる。その位置は空中写真判読による旧河道判定位置、あるいは過去の洪水流跡と調和的であり、堤内地側の地下水がそれに規制されて流動していることを強く示唆している。一方堤外地側の比抵抗は乾季で低くなるという傾向を示している。河川敷側での含水状態が、地下水ではなく、人為的な影響を受けていることが推定された。

以上の結果は、主断層部のみを対象とした調査では断層の変形速度を過小に見積もる危険性があること、浸食・堆積作用が最近まで継続しているような沖積平野域では、従来の変動地形学的手法が活断層の変形構造調査には有効ではないこと、逆に高分解能反射法地震探査が活断層の浅部変形構造の把握に有用であることを示している。

キーワード: スリングラム電磁探査, 比抵抗, 河川堤防, 季節変動

Keywords: Slingram EM survey, resistivity, river levee, seasonal change

STT056-03

会場:101

時間:5月26日 14:45-15:00

海底資源探査のための AUV および曳航体を用いた磁気探査装置の開発 - ベヨネース海丘域での試験 -

Development of a magnetic exploration system for seabed resources using AUV and deep-tow system: tests in the Bayonnaise

佐柳 敬造^{1*}, 伊勢崎 修弘¹, 原田 誠¹, 笠谷 貴史², 松尾 淳³, 後藤 忠徳⁴, 西村 清和¹, 澤 隆雄², 馬場 久紀¹, 川畑 広紀¹, 齋藤 章⁵, 中山 圭子⁵, 山下 善弘⁶, 浅田 美穂², 野木 義史⁷, 大西 信人⁸, 大美賀 忍²
Keizo Sayanagi^{1*}, Nobuhiro Isezaki¹, Makoto Harada¹, Takafumi Kasaya², Jun Matsuo³, Tada-nori Goto⁴, Kiyokazu Nishimura¹, Takao Sawa², Hisatoshi Baba¹, Koki Kawabata¹, Akira Saito⁵, Keiko Nakayama⁵, Yoshihiro Yamashita⁶, Miho Asada², Yoshifumi Nogi⁷, Nobuhito Onishi⁸, Shinobu Omika²

¹ 東海大学, ² 海洋研究開発機構, ³ OYO インターナショナル株式会社, ⁴ 京都大学, ⁵ 早稲田大学, ⁶ 応用地質株式会社, ⁷ 国立極地研究所, ⁸ (有) テラテクニカ

¹Tokai University, ²JAMSTEC, ³OYO International Co., ⁴Kyoto University, ⁵Waseda University, ⁶OYO Co., ⁷National Institute of Polar Research, ⁸Tierra-Technica Co.

最近、海底熱水鉱床などの海底資源が大変注目されている。しかし、それらの資源の正確な賦存量を見積もることは難しい。従来の海上物理探査では分解能が低く、掘削調査には時間と費用がかかる。したがって、高精度にかつ実用レベルで鉱床を検出・評価するには、海底近傍における新しい物理探査技術が必要である。このような背景から、我々は、海底下の詳細な構造を推定するために、自律式無人探査機 (AUV)、有索式無人潜水機 (ROV)、曳航体を用いた磁気・電気探査装置の開発に取り組んでいる。本研究は2008年に始まり、これまでに磁気および電気探査装置それぞれの試作機を作製した。本講演では、特にベヨネース海丘域での試験を中心に磁気探査装置の開発の現状を報告する。磁気探査装置については、2009年のよこすか航海 (熊野海盆) において、AUV「うらしま」と深海曳航体「よこすかディープ・トウ」に搭載して、海底に設置した人工の磁気ターゲットを使った試験を実施した。さらに、2010年には、AUV「うらしま」およびチタン製曳航フレームに搭載して、海底熱水鉱床の存在するベヨネース海丘において実践的な試験を実施した。これらの試験の目的は、磁気探査装置の実用化に向けて、実際の海底熱水鉱床域でシステムの性能を評価することであった。試験の結果、これらの結果、AUVを用いた地磁気3成分・全磁力測定、および深海曳航体を用いた地磁気全磁力測定に成功した。得られたデータは、海底資源の磁気探査装置の開発およびベヨネース海丘域の海底熱水鉱床である白嶺鉱床域の磁氣的構造の研究に寄与するものである。また、今後、実用的な磁気探査装置の構築に向けて、さらに磁気測定精度の向上、深海曳航体での地磁気3成分測定の改良、深海曳航体の測位の改善などを進める予定である。

キーワード: 海底資源, 海底熱水鉱床, 物理探査, 磁気, 機器開発

Keywords: seabed resources, sea-floor hydrothermal deposits, geophysical exploration, magnetic, development of instruments

STT056-04

会場:101

時間:5月26日 15:00-15:15

粒子法による地震発生時の地震波動場モデリングに関する研究 A particle method for modeling seismic ground motion

武川 順一^{1*}, Raul Madariaga², 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹
Junichi Takekawa^{1*}, Raul Madariaga², Hitoshi Mikada¹, Tada-nori Goto¹

¹ 京都大学, ²Ecole Normale Supérieure

¹Kyoto University, ²Ecole Normale Supérieure

地震国である我が国では、安全・安心な社会の実現にとって地震防災や構造物の安全性の評価などは重要な課題である。また、近年の資源の枯渇や地球環境問題といった地球規模での問題から、放射性廃棄物の地層処分やCO₂ 地中貯留などへの関心が高まっている。これらの安全性を考慮する際、構造物や地下施設などの複雑な形状を有する解析対象を正確にモデル化することは重要である。また、大きなエネルギーを有する表面波の伝播を正確に再現することは極めて重要であり、そのため任意の形状を有する地形もモデル化する必要がある。地震発生時における弾性波動伝播のモデリングは、従来から有限差分法が広く使われてきた。有限差分法は理論も簡便であり計算時間も比較的短いという特徴があるが、一方で、規則的に配置された格子に基づいて空間の離散化をおこなっているため、複雑な形状を有する対象をモデル化することは容易ではない。また、自由境界条件を導入することも容易ではなく、そのため任意の地形を再現することも難しくなる。本研究では、粒子法的一种である MPS 法に着目し、その地震動モデリングへの適用性を検討した。まず、震源におけるダブルカップルモデルを MPS 法に導入した。ダブルカップル震源の導入には Graves (1996) が用いた方法を参考にし、震源の周辺に存在する粒子に対して対応するモーメントテンソルの成分と等価な物体力の組を与えることで表現する。スタガード格子を用いた有限差分法では、規則的に配置された格子に基づいて離散化がおこなわれているため、震源位置と隣り合う格子点に力を与えればよい。MPS 法における粒子配置では規則性が前提となっていないため、本研究では震源に位置する粒子の影響半径内にある粒子に物体力を与えることとする。また、1995年に発生した兵庫県南部地震でみられた盆地内での地震動の増幅である "site effect" が再現できるかは、数値シミュレータの地震防災分野への適用性を考える上で重要である。よって、MPS 法で "site effect" を再現できるか検討した。また、MPS 法では自由境界条件が自動的に導入されることから容易に任意の地表面形状をモデル化できる利点があるため、差分法ではモデル化が難しかった任意の地表面形状をモデル化し、そこを伝播する表面波をシミュレーションすることで、MPS 法の地震動計算における優位性を検証した。

キーワード: 粒子法, 地震波伝播, 数値シミュレーション

Keywords: particle method, seismic wave propagation, numerical simulation

STT056-05

会場:101

時間:5月26日 15:15-15:30

中国北京における微動探査法を用いた活断層の調査 The Investigation of the Active Fault in the Beijing, China, Using Microtremor Survey Method

凌 甦群^{1*}, 徐 佩芬²
Suqun Ling^{1*}, Peifen Xu²

¹ 有) ジオアナリシス研究所, ² 中国科学院地質与地球物理研究所

¹Geo-Analysis Institute Co. Ltd, ²Institute of Geology and Geophysics, CAS

微動アレー探査は、工学的に重要なS波速度が分かること、低速度層が検出できることであるが、ほかに、人工震源を使わず自然の波動を利用するため環境に負荷を与えないこと、非破壊法でかつ迅速であること、作業に制約を受ける市街地でも容易に実施できること等が評価され、ここ数年では、主な周期数秒の長周期微動を利用して地震防災に直結する地震応答解析のパラメータとなる地下数千メートルまでのS波速度が求まる微動アレー探査が注目されている。

今回、筆者らは中国北京市郊外で活断層を対象にボーリング調査や反射法調査やトレンチ調査等を実施している地点で、主な周期1秒以下の短周期微動を利用して測線上に2次元の微動アレー(最小アレー半径3.5m)観測を実施し、擬似S波速度断面図を求め、地表から約100mまでの活断層構造を求めることを行った。

観測実施する地点はすべて既知の活断層付近である。微動アレー観測については、測線上に半分オーバーラップする連続微動アレーによって実施する。アレーの形は2重(あるいは4重)円形アレーで、半径は探査目的深度により、数メートルから数百メートルまでであり、観測時間はアレーごとで約30分である。

解析は、まず微動観測データにSPAC法によって分散曲線を求め、次に、S波速度を求め、今回、従来のインバージョン法ではなく、より簡便、快速な方法 擬似S波速度(V_x)断面法を利用した。擬似S波速度断面法では、1)分散曲線に示すRayleigh速度 V_r 値から擬似S波速度 V_x を計算; 2)各アレーの擬似S波速度 V_x を用いて、2次元 V_x 断面図(横軸は距離、縦軸は深度)を作成; 3)2次元 V_x 断面図から地下構造を解析する。今回、北京市郊外に深さ100m以内の浅部構造5ヶ所で、深さ約800mの深部構造1ヶ所でこの方法を適用して微動アレー探査を行い、それらの結果を見て、この方法に基づいて作った断面図は地表から数百メートルまでの地質構造が表現することができ、活断層は明らかに表れる。なお、この結果とボーリング調査や反射法調査やトレンチ調査等ほかの方法の結果と調和していることが分かった。

本研究では、2次元速度分布を簡便かつ快速的な計算方法を紹介するとともに、微動アレー探査法を利用して、活断層の調査への適用法についての可能性を示した。広域調査あるいは2次元断面図調査を目的とした場合、従来のS波速度構造を求めるというインバージョン解析を必ずしも実施する必要はない。上述の擬似S波速度構造を利用すれば、調査地域の地下構造(特に各層の相対的速度値)の把握が簡便かつ快速に行うことが可能である。この方法は有効な手法と考えられる。

キーワード: 微動探査法, アレー観測, 擬似S波速度, 活断層

Keywords: the microtremor survey method, array observation, apparent S velocity, active fault

STT056-06

会場:101

時間:5月26日 15:30-15:45

Determination of S-Wave structure beneath Istanbul, by using Love wave and by Joint Inversion of Rayleigh Wave and H/V Determination of S-Wave structure beneath Istanbul, by using Love wave and by Joint Inversion of Rayleigh Wave and H/V

Oguz Ozel^{1*}, Savas Karabulut¹

Oguz Ozel^{1*}, Savas Karabulut¹

¹Istanbul University, Engineering Faculty

¹Istanbul University, Engineering Faculty

On August 17, 1999, a devastating earthquake with a moment magnitude of $M_w=7.4$ struck the Kocaeli and Sakarya (Adapazari) provinces, and part of suburbs of Istanbul in the northwestern of Turkey, a very densely populated region in the industrial heartland of Turkey. This earthquake is considered to be the largest event to have devastated a modern, industrialized area since the 1923 Great Kanto earthquake. This earthquake caused about 30,000 losses of life and collapsed thousands of buildings. Thus, total loss figure amounted to about US\$ 16 Billion. Following the losses during this large earthquake, there has been a broad recognition among Turkey governmental, non-governmental and academic organizations of the need for extensive response planning based on detailed risk analysis of likely seismic hazard, microzonation studies and ground-motion researches in Turkey, in general and, Istanbul particular. In this frame, we have been performing a project on the determination of S-wave velocity structure beneath the European side of Istanbul, Turkey. One of the aims of the project is to improve the knowledge about the influence of local geology in the city on the expected earthquake ground motion. In this project, we conducted both array measurements and single station microtremor measurements at 30 sites. We applied SPAC method for the inversion, and used both Love and Rayleigh waves, and H/V technique, as well, to determine the S-wave velocity structure. Furthermore, we compared S-wave velocity-depth model obtained from the inversion of Love wave dispersion curve with that obtained by joint inversion of Rayleigh wave dispersion curve and H/V curve. As a conclusion, we have found that Love waves are more sensitive to shallower parts than Rayleigh waves, since penetration depth of Love waves are shallower than Rayleigh waves. Contrarily, deeper parts are modelled more precisely by the joint inversion of Rayleigh waves and H/V curves.

キーワード: Microtremor, SPAC, Love waves, Rayleigh wave, H/V technique, Istanbul

Keywords: Microtremor, SPAC, Love waves, Rayleigh wave, H/V technique, Istanbul

STT056-07

会場:101

時間:5月26日 15:45-16:00

音波検層を用いた岩盤分類の定量的評価について Quantitative Evaluation of Rock Mass Classification by Using Sonic Logging Data

家島 大輔^{1*}, 坪田 祐至¹, 野原 秀彰¹, 山口 浩司²
Daisuke Kashima^{1*}, Yuji Tsubota¹, Hideaki Nohara¹, Koji Yamaguchi²

¹ 中国電力株式会社, ² 中電技術コンサルタント株式会社

¹The Chugoku Electric Power Co., Inc., ²Chuden Engineering Consultants Co., Ltd.

ダムや原子力発電所等, 基礎岩盤の性状評価が設計上重要となる場合には, 岩盤の性状を工学的に分類するいわゆる「岩盤分類」が行われる。

(社)地盤工学会は, 岩盤の工学的性質に影響を与える特性として, 「岩石の物理的性質」, 「不連続面に関する性質」および「岩盤の風化状態」を挙げ, これらを分類要素とし, 適切に組み合わせた工学的な分類方法を基準化している。しかし, 「岩盤の風化状態」については, 評価基準が定性的であり, また, 岩盤分類結果を定量的に検証する方法も確立していない等, 現状では技術者の経験に基づく定性的な判断によるところが大きい。

そこで, 近年, 石油鉱業の分野で用いられており, 微小区間での岩盤性状の変化に対応可能, かつ, 岩盤物性について十分な数量のデータが取得可能な「音波検層」に着目し, 岩盤分類の定量的な評価を行った。

今回, 岩盤分類の対象とした上関原子力発電所建設予定地は「領家帯」に属し, 主として白亜系の領家変成岩類および領家花崗岩類から構成される。

このうち, 領家変成岩類は, チャート, 泥岩等を原岩とする変成岩であり, 新鮮な状態の一軸圧縮強度が 25N/mm^2 以上を示す「硬質岩盤」に分類されるが, 片理面沿いに割れ目が発達する傾向があり, 特に「割れ目間隔」と岩盤物性に相関が認められる。

一方, 領家花崗岩類も新鮮な状態の一軸圧縮強度は 25N/mm^2 以上を示す塊状岩盤であるが, 風化に対する抵抗性が比較的小さく, 特に「風化程度」と岩盤物性に高い相関が認められる。

本岩盤を対象に, 3つの分類指標(「岩石・岩盤の硬さ」, 「割れ目間隔」, 「割れ目状態」)を用いた岩盤分類を実施するとともに, 音波検層による検証を実施した結果, 以下の知見が得られ, 定量的な岩盤分類の実施に当たり, 音波検層が非常に有効であることが確認された。

(1) 「岩石・岩盤の硬さ」をハンマーの打撃によりランク分けしていることの妥当性について, 定量的な検証を行うことができた。

(2) 異なる分類要素の組合せからなる各岩級の物性が等価であることを検証することができた。

(3) 3つの分類要素組合せによる岩級区分が, 異なる岩種においても適用可能であることを検証することができた。

今後, その他の試験データも踏まえた更なる工学的な岩盤分類手法の高度化が期待される。

キーワード: 岩盤分類, 岩盤物性, 音波検層

Keywords: Rock Mass Classification, Rock Mass Properties, Sonic Logging

STT056-08

会場:101

時間:5月26日 16:00-16:15

くりこみを用いた多孔質岩石の空隙スケール画像のフォーメーションファクターの計算

Fast calculation of formation factors of 3-D pore-scale images of geo-materials by renormalization

中島 善人^{1*}, 中野 司¹

Yoshito Nakashima^{1*}, Tsukasa Nakano¹

¹ 産業技術総合研究所

¹ AIST

フォーメーションファクター（間隙流体の比抵抗値で規格化された多孔質岩石/堆積物の比抵抗）は、CO₂ 地中貯留のモニタリングなどで採用される電気電磁物理探査法における基本的な岩石物性である。3次元的な空隙構造がフォーメーションファクター値を左右するので、空隙スケールのマイクロな岩石内部構造を撮影した X 線 CT 画像データを出発点にして、電位に関するラプラス方程式を数値的に解いてアーチーの法則等を再考察する研究を進めている。3次元の大サイズの画像のラプラス方程式を解くのは時間がかかるので、我々は多孔質岩石のフォーメーションファクターをくりこみという近似手法で迅速に推定する方法を考えだした。約 10 種類の砂岩・溶岩・堆積物のマイクロ X 線 CT 画像について、空隙率、空隙の異方性、空隙サイズの近似精度への影響を定量的に評価した。

Ref: Nakashima, Y. and Nakano, T. (2011) J. Appl. Geophys. (in review)

キーワード: 比抵抗, 大規模シミュレーション, スーパーコンピューティング, ラプラス方程式, X線CT, 拡散係数

Keywords: resistivity, large-scale simulation, super computing, Laplace equation, X-ray microtomography, Diffusion coefficient