

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次元的な微動アレー(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

STT056-P01

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

海底地形を考慮した津波の伝播シミュレーションの手法に関する研究 Numerical method of tsunami simulation including the effects of seafloor topography

大畑 朋也^{1*}, 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹, 武川 順一¹
Tomoya Ohata^{1*}, Hitoshi Mikada¹, Tada-nori Goto¹, Junichi Takekawa¹

¹ 京大院工
¹ Kyoto Univ.

日本は海洋国であるため頻繁に津波災害に見舞われてきた。津波防災には、発生した津波の到着時間と陸地に遡上する波高を予測する必要があり、これらの情報を理解するために津波伝播の数値シミュレーションがよく利用されている。既存のシミュレーションでは、先行波の到達時間や波高の予測に焦点を当てているものが多いが、実際には複雑な海底地形による水深変化によって反射波が発生し、津波波高の推定に影響を与える。特に、津波の後続波は強く影響を受け、そうした後続波まで含めた津波挙動を予測することは従来のシミュレーションでは非常に困難である。実際に2006年千島列島沖地震による津波では第1波が到達した数時間後に最大波が到達し、天皇海山列による波の散乱が要因であると考えられている。このような現象を考えるには、海底地形が津波伝播に及ぼす影響を考える必要がある。

そこで本研究では津波伝播シミュレーションに海底地形を導入することにより反射波を表現し、海底地形による津波伝播への影響を表現した。数値モデルとして、JODC (日本海洋データセンター) の500mメッシュ海底地形データを利用した3次元不等間隔格子を計算格子とした。数値シミュレーションでは有限差分法に使用し、傾斜した海底地形を考慮した津波伝播の数値計算コードを作成した。このコードを利用して、日本近海において実際の水深変化を導入した津波の伝播シミュレーションを行った。

シミュレーションにより表現された津波は、海底地形による影響を示しており、その挙動は従来のシミュレーションによって表現されたものとは異なっていることが確認できた。これにより実際の海底地形を津波の伝播シミュレーションに導入することが、津波が実際の挙動を適切に表現するために必要であると考えられる。また本手法によって、津波の伝播における反射波・散乱波などのような地形の影響は考えた以上に強いことも確認できた。今回の結果は本研究の目的である津波後続波のシミュレーションの実現につながると考えられる。一方で数値計算の精度に関する議論は後続波の精密な挙動を考える上で重要である。そこで、精度の低下が津波の表現にどのような影響を与えるのか考察すると、格子間隔が大きいと大きな波数帯の波が正確に表現できず、津波後続波の表現に強く影響を与えることが分かった。

キーワード: 津波, 海底地形, シミュレーション手法, 不等間隔格子, 後続波, 演算精度

Keywords: Tsunami, seafloor topography, simulation method, in-equally spaced grids, later phases of tsunami, accuracy of the calculation

STT056-P02

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

海底下地殻における地震発生時の海底変形に関する研究 Seafloor deformation due to earthquakes with solid-fluid coupling

田中 伸明^{1*}, 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹, 武川 順一¹

Nobuaki Tanaka^{1*}, Hitoshi Mikada¹, Tada-nori Goto¹, Junichi Takekawa¹

¹ 京都大学大学院工学研究科

¹ Kyoto University

これまで、数値シミュレーションに基づく津波の発生・伝播に関する研究は行われているが、津波の初期波形が海底の静的な変動と等しいという仮定のもとで、線形長波理論を利用して計算されることが多かった。しかし、海底の変形は時空間的であるので、実時間に即したより正確な数値計算を行うには、動的な海底地盤変形を考慮する必要があると考えられる。既存の研究のうち鈴木 (2007) は、断層運動による動的な海底地盤変形を震源とした三次元津波伝播シミュレーションを行っており、固体から液体への効果を取り入れた数値シミュレーションを行っている。しかしながら、固体の変形 (地震時の地殻変動に伴う海底隆起) と液体の解析 (津波の伝播) を別々に考えているので、固液カップリングを十分考慮したシミュレーションではない。そこで本研究では、液体が存在することで固体の挙動がどのように変わるか調べることを目的として、有限差分法による地震波動伝播シミュレーションを行った。

STT056-P03

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

AUV・ROVを用いた海底電磁探査法の開発 Development of controlled-source EM survey using AUV and ROV

後藤 忠徳^{1*}, 今村尚人¹, 三ヶ田 均¹, 武川 順一¹, 佐柳 敬造², 原田 誠², 笠谷 貴史³, 多田 訓子³, 澤隆雄³, 松田滋夫⁴
Tada-nori Goto^{1*}, Naoto Imamura¹, Hitoshi Mikada¹, Junichi Takekawa¹, Keizo Sayanagi², Makoto Harada², Takafumi Kasaya³,
Noriko Tada³, Takao Sawa³, Shigeo Matsuda⁴

¹ 京都大学, ² 東海大学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ クローバテック

¹Kyoto University, ²Tokai University, ³JAMSTEC, ⁴Clover Tech Inc.

近年、海底下の金属資源へ世界中からの注目が集まっている。このような海底資源は陸上に比べて未知数の部分が多いためにリスクが大きく、新しい技術開発と多くの費用がかかるが、資源需要の拡大が海底資源開発を後押ししている。特に注目されているのは海底熱水鉱床である。銅・鉛・亜鉛・鉄などの金属やレアメタルを含む熱水鉱床を開発するためには地下構造を調査する必要があるが、その地下探査技術はほとんど開発されていない。そこで文部科学省は2008年からプロジェクト「海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム」を実施しており、海底熱水鉱床をターゲットとした磁気・電磁気・地震波・重力などによる地下探査技術などを各研究機関が現在開発中である。我々は、陸上の金属鉱床において成果を上げている磁気・電気・電磁探査に注目し、海底熱水鉱床調査のための新たな海底電磁探査手法の開発を行った。磁気探査については佐柳ほか(同セッション)で詳しく紹介されている。電気・電磁探査については、種々の海底観測用プラットフォーム(無人探査機:AUV・ROV)上での探査法(CSEM法、MMR法、海底電気探査法)について数値計算に基づいて事前検討を行った結果、これらの手法が海底熱水鉱床探査に有効であることを示すことができた。例えばAUVから人工電流を送信し、海底設置型の受信器(自己浮上式海底電位差磁力計:OBEM)で受信する場合を考える。AUVは熱水鉱床上を自由に動くことができるために、人工信号源を任意の場所に配置することができる。特に熱水鉱床上に信号源がある場合は、送信電流の一部が熱水鉱床に集中して流れることにより、遠く離れたOBEM(仮にこれが熱水鉱床上になくとも)では受信信号の異常減少が観測されることが推測される。すなわちAUVの位置とOBEMでの受信信号振幅を比較するだけで、熱水鉱床の水平方向の広がりが明らかになると期待される。受信信号をより定量的に解析することで、熱水鉱床の地下への広がりもイメージが可能であると思われる。同様にROVを用いた場合についても検討した。これらの検討結果に基づいて、現在実機を製作中である。このうち完成したROV搭載型海底電気探査装置については、伊豆小笠原ベヨネース海丘の熱水鉱床域において実海域試験が実施され、人工電流の送受信に成功した。また熱水鉱床付近では低い見掛け比抵抗が得られる傾向が明らかとなった。本発表では、これらの海底電磁探査法のコンセプト・数値計算の結果、開発された装置により得られたデータや序報的成果を紹介し、海底熱水鉱床の調査における海底電磁探査の有用性を示す。

キーワード: 熱水鉱床, 人工信号, 電磁探査, ROV, AUV

Keywords: deep-sea mine, controlled-source, EM survey, ROV, AUV

STT056-P04

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

AUV うらしまおよび深海曳航式探査機を用いた精密磁気探査装置の性能評価 Evaluation of developed precise magnetic exploration tools with using the AUV Urashima and deep-tow systems

原田 誠^{1*}, 佐柳 敬造¹, 伊勢崎 修弘¹, 笠谷 貴史², 松尾 淳³, 澤 隆雄², 馬場 久紀⁴, 大西 信人⁵

Makoto Harada^{1*}, Keizo Sayanagi¹, Nobuhiro Isezaki¹, Takafumi Kasaya², Jun Matsuo³, Takao Sawa², Hisatoshi Baba⁴, Nobuhito Onishi⁵

¹ 東海大学海洋研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ OYO インターナショナル (株), ⁴ 東海大学海洋学部, ⁵ (有) テラテクニカ
¹ Inst. of Oceanic R&D, Tokai Univ., ² JAMSTEC, ³ OYO International Co., ⁴ School of Marine Sci.&Tech. Tokai Univ., ⁵ Tierra Technica

We have developed new precise exploration tools for the seafloor hydrothermal deposits by magnetic method in order to estimate abundance of metallic resources (e.g. Sayanagi et al., 2009). Developed tools are assumed to be used with the underwater platforms such as deep-tow (DT) and autonomous underwater vehicle (AUV).

Since 2009, we have carried out several technical tests and performances by using the helicopter and research vessels. In this session, we introduce the results of the performance tests of following three research cruises.

1) Yokosuka YK09-09 Cruise (19-29 July, 2009; Kumano-Basin)

We carried out AUV Urashima and YKDT (Yokosuka Deep-Tow) dives in Kumano-nada (depth at 2,050m). To inspect the efficiency of equipments, we used a magnetic target which is consisted of 50 neodymium magnets. Four flux-gate (FG) and one Overhauser (OH) magnetometers were set up in the AUV and two FG and one OH magnetometers were used in the DT surveys (Harada et al., 2010a, 2010b). We could obtain the three-component magnetic field and gyro data in the whole processes of AUV and DT experiments. After the effects of permanent and induced magnetization of platform were eliminated (Isezaki, 1986), magnetic anomaly generated from the magnetic target was clearly visualized.

2) Bosei-maru (Tokai Univ) Cruise (30 May - 05 Jun., 2010; Bayonnaise Knoll)

We carried out the DT survey in the inside and outside of Bayonnaise caldera (E139.75, N31.55). One FG sensor was set at the tail of the titan frame. The frame including the magnetic exploration system was towed by 50 m non-magnetized cable after the metallic wire along east-west track line at the depth between 500-550 m, which crosses just above the hydrothermal area known as Hakurei deposit.

3) Yokosuka YK10-17 Cruise (9-19 Dec., 2010; Bayonnaise Knoll)

We carried out the AUV (Urashima) surveys in the inside and outside of the Bayonnaise caldera. Three FG sensors were installed in the payload space of AUV, and one OH sensor was towed from the rear side of AUV by 25 m cable. In those dives, we used both optical fiber gyro set up in the payload space and INS (Inertial Navigation System) of AUV. The AUV was navigated at the altitude of some tens of meters and the depth of 500m to make three-dimensional models of hydrothermal deposit of Bayonnaise caldera.

From above cruises, we could understand the efficiency of our system, restrictions of navigation and their suitable operation, and the facts to be improved which are related to some kinds of noise components and combination of plural signals.

Acknowledgement:

We are grateful to the crews of R/V Yokosuka (Captains Mr. E. Ukekura in YK09-09, and Mr. K. Sameshima in YK10-17) and Bosei-maru (Captain Mr. H. Kawachi), who made our difficult trials in the navigation possible by their professional skill. We also thank to all scientific participants, marine crew, support staff, and technical experts of private companies for overall support. This project has been supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology (MEXT) - Japan.

References:

- Sayanagi et al. (2009) Proc. The 9th SEGJ Intern'l. Sympo. Imaging and Interpretation, 2009.
Harada et al. (2010a) J. School of Marine Sci. Tech., Tokai Univ., 8 (2), 23-40, 2010.

Harada et al. (2010b) Abstracts in Fall Meeting of SGEPSS, 2010.

Isezaki et al. (1986) Geophysics, 51, 1992-1998, 1986.

キーワード: 海底熱水鉱床, 磁気探査, 海底資源, 自律式無人探査機, 深海曳航式探査機, 性能評価

Keywords: hydrothermal deposit, magnetic exploration, ocean bottom resources, autonomous underwater vehicle, deep-tow system, performance evaluation

STT056-P05

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

電気探査による沿岸域での断層構造と塩淡水境界のイメージング Imaging of fault structure and fresh/salt water boundary in a coastal zone by electric survey

御園生 敏治^{1*}, 松隈 勇太¹, 麻植 久史¹, 吉永 徹², 小池 克明¹, 嶋田 純¹
Toshiharu Misonou^{1*}, Yuta Matsukuma¹, Hisafumi Asaue¹, Toru Yoshinaga², Katsuaki Koike¹, Jun Shimada¹

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科, ² 熊本大学工学部

¹ Graduate School Sci. & Tec., Kumamoto Univ., ² Faculty of Engineering., Kumamoto Univ.

沿岸域における断層構造の把握は、海域に潜在する断層に起因した地震への防災・減災対策、塩淡水境界面形状の特定、および地下水湧出による栄養塩負荷の評価などにおいて重要である。しかしながら、陸域、海域のいずれからもアプローチが困難である沿岸域は調査データが不足している場合が多い。そこで、本研究では、沿岸域の断層構造、およびそれが塩淡水境界に及ぼす影響を把握するために、有明海沿岸で電気探査を実施し、地質物性として代表的な比抵抗や充電率を測定した。また、測定地付近のボーリングデータと合わせて水理地質構造を推定した。

有明海に面する熊本平野は、後背地に降雨量の多い阿蘇山や九州山地を擁しているため、地下水が豊富な地域である。比抵抗は、岩石や土壌の間隙率、含水比、間隙水の化学的性質などに関連する物性であり、充電率は電流遮断後の過渡的な電位分布から求められ、断層調査や粘土鉱床探査などに広く用いられている。

本研究では、御園生ほか(2010)に引き続いて海の干満に伴う比抵抗と充電率の時間変化を計測し、塩淡水境界面の変動を求めた。電気探査にはIRIS社のSyscal-R2とマルチエレクトロードシステムを用い、2007年から2010年にかけて宇土半島の干潟上で計6回実施した。測線は、宇土半島の山地に分布し、活断層としての確実度が高い上網田断層の延長線上に設定した。測線長は150mが4本(海岸線に平行な方向に1本、垂直な方向に3本)、260mが2本(いずれも海岸線に平行で、比抵抗の時間的変化や充電率の測定用)である。マルチエレクトロードシステムによれば短時間で測定が実施でき、比抵抗の時間的変化抽出が可能となる。測定で得られた見掛け比抵抗データのインバージョン解析によって、2方向に連続する断層構造を見出すことができた。これらの方向は上網田断層に平行する。また、比抵抗の時間変化から深度20m程度の地点で塩淡水境界面が変動する特徴を捉えることができた。これは断層に沿う地下水の流れに起因すると考えられる。測定地はボーリングデータと充電率より砂質の透水層と粘土質の不透水層とに分かれていることが分かった。地下水、海水は透水層に沿って移動していると考えられる。

キーワード: 有明海, 宇土半島, 充電率, 比抵抗

Keywords: Ariake Sea, Uto peninsula, chargeability, Resistivity

STT056-P06

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

透過型地中レーダの開発と基礎的検証実験

Development and Fundamental Experiments for Validation of Transmission-type Ground Penetrating Radar

槇原 慧^{1*}, 小池 克明¹, 吉永徹², 橋野芳治³, 吉田雄司⁴, 板井秀典⁵

Kei Makihara^{1*}, Katsuaki Koike¹, Tohru Yoshinaga², Yoshiharu Hashino³, Yuji Yoshida⁴, Hidenori Itai⁵

¹ 熊大・院・自然科学, ² 熊大・工, ³ 株式会社環境開発, ⁴ 九州計測器株式会社, ⁵ ジオクロノロジージャパン

¹ Graduate School Sci. & Tec., Kumamoto Univ., ² Faculty of Eng., Kumamoto Univ., ³ Environment & Technology Co., ⁴ Kyushu Keisokki Co., ⁵ Geochronology Japan Inc.

レーダを利用した地下探査技術(地中レーダ)は、地表から非破壊的に地表下数メートルまでの地下構造を可視化できる。これが最大の利点であり、そのため地中レーダは各種埋設管(水道・ガス管, 通信・電力ケーブルなど)の探索, 地盤沈下の原因となり得る地下空洞や地下亀裂の存在の調査, 考古学的な遺跡の発掘, 地質構造の推定, および地下資源(地下水脈, 石油など)の探査など, 多くの分野で利用されている。従来, レーダの反射を利用して, 物質や地層の境界面の位置や形状を把握するのが地中レーダ探査の主な目的である。さらに地下探査精度を向上させるためには, このような幾何情報のみでなく, 地下物質の物性に関する媒質定数(誘電率, 導電率, 透磁率など)を推定し, 物質が何であるかを同定することが望まれる。しかしながら, 地下の物性分布や地層境界の形状に関する不均質は特に大きく, 従来の反射型地中レーダでは地下の物性まで正確に把握するのは困難なのが現状である。

そこで本研究では, 地下構造の可視化精度の向上を目的とし, レーダの反射と透過のいずれも計測できる機器の開発を行った。試作機の段階ではあるが, これを管渠側面に形成される地下水面の下の空洞を捕捉するという問題に適用した。この機器では送信アンテナと受信アンテナを分離し, 地表から送信したレーダを地下で受信できる。地中の対象物を測定する場合, 透過型地中レーダによれば, 反射型に比べてレーダの伝播距離が約半分になることに利点がある。これによりレーダの受信強度が増加し, 探査可能な距離範囲が約2倍になり, 地下構造の解明に貢献できる。

開発機器の有用性を検証するために, 大型水槽モデルを作製し, これに砂を満たすとともに塩ビ管とヒューム管の2種類の管渠を埋設し, その上部に空洞を設けた。さらに, 注水することで, これらの管渠が地下水面以下, すなわち帯水層内に存在するという状態を模擬した。この基礎実験の結果, 減衰が大きい帯水層内でも送信信号を検出でき, 空洞の存在が把握できることがわかった。また, 測定を妨げる要因として考えられる鉄筋を含むヒューム管においても, その上部の空洞が検出できたので, 本開発機器は汎用的であり, 透過型地中レーダの有用性が実証できた。

キーワード: 地中レーダ, 透過, 空洞検知, 疎水管, 地下水面下の飽和土

Keywords: Ground Penetrating Radar, transmission, cave detection, drain pipe, saturated soil with groundwater

STT056-P07

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

EK (Electro Kinetic) 現象を利用した岩盤透水性評価に関する室内実験 Laboratory experiment of rock's hydraulic conductivity evaluation using EK (Electro Kinetic) phenomenon

窪田 健二^{1*}, 鈴木 浩一¹, 山口 伸治², 程塚 保行², 池延 勉²

Kenji Kubota^{1*}, Koichi Suzuki¹, Shinji Yamaguchi², Yasuyuki Hodotsuka², Tsutomu Ikenobe²

¹ 電力中央研究所, ² 日本地下探査

¹ CRIEPI, ² Nihon Chikatansa

放射性廃棄物の地層処分や CO₂ 地中貯留などの事業において、各種や CO₂ の移行特性を評価することを目的に、地下深部の岩盤の透水性を把握する必要がある。現状では、原位置試験やコア試料を用いた室内試験により透水性を評価しているが、時間と費用の面から調査数が限られ、透水係数の分布を詳細に測定することが困難となる場合が多い。そこで、簡易に広範囲の調査が可能な物理探査法で得られた物性値から透水性を推定する手法が確立されれば、調査時間の短縮やコスト削減につながるるとともに、詳細な透水試験区間を決定する上での重要な基礎データとなりうる。

岩盤中に弾性波が伝播する際に、微弱な電位差が発生することが知られている。この現象を EK (Electro Kinetic) 現象と呼び、発生する電位差を EK 電位という。Chandler (1981) は、理論及び室内試験を用いた検討により、EK 電位が透水性と相関性を持つことを示している。また、Pride (1994) は、Biot (1956) の理論及び Maxwell の方程式を用いて、EK 電位に関する理論的検討を行っている。小林ほか (2002) では、EK 電位について室内試験による検討を行っており、透水性の異なる試料では EK 電位の特性が異なることを示している。このように、EK 電位の測定法を用いた探査法を実用化させることにより、多くのボーリング孔を掘削することなく 3 次元的な透水係数の分布を簡易に求めることが期待される。しかし、手法の妥当性に関する検証例が少ないとともに、これまで検証されているのは透水係数が大きいケースのみであり、透水性の低い岩盤における適用性は検証されていない。そこで、本研究では、EK 電位と透水性との相関について定量的に評価することを目的に、土壌試料及び岩石コア試料を用いた室内試験を行った。

試験には、数種の土壌試料 (珪砂、珪砂に粘土を混ぜ合わせたもの) 及び岩石試料 (新第三紀堆積岩) を用いた。試料の上面から磁歪振動子を用いてバースト波、もしくはスイープ波 (周波数 100 ~ 1500Hz) を送信することで試料を振動させ、その際に発生する電位差を試料に数 cm 間隔で複数巻き付けた電極を用いて測定し、また電位差の発生時刻の差を求めることで位相速度を測定した。

土壌試料を用いた測定の結果、100 ~ 700m/s 程度の位相速度が得られ、周波数の増大とともに位相速度も増大する傾向が見られた。透水試験により得られた透水係数を用いて既存の理論から予想される位相速度との比較を行った結果、測定値と理論値はほぼ一致する結果となった。これは、試験により EK 電位を測定できており、EK 電位と透水性との間に相関があることを示す見通しを得たものと言える。

キーワード: 透水係数, Electro Kinetic 現象, 物理探査, 弾性波, 位相速度

Keywords: Hydraulic conductivity, Electro Kinetic phenomenon, Geophysical Exploration, Elastic wave, Phase velocity

STT056-P08

会場: コンベンションホール

時間: 5月26日 16:15-18:45

低周波制御震源を用いた地下伝達関数取得実験 Estimation of transfer function with long-period linear vibrator

山岡 耕春^{1*}, 生田 領野², 渡辺 俊樹¹, 道下 剛史¹, 野口 静男³, 宮川 衛⁴

Koshun Yamaoka^{1*}, Ryoya Ikuta², Toshiki Watanabe¹, Tsuyoshi Michishita¹, Shizuo Noguchi³, Mamoru Miyakawa⁴

¹ 名古屋大学環境学研究科, ² 静岡大学理学部, ³ 川崎地質株式会社, ⁴ (財) 大谷地域整備公社

¹Nagoya University, ²Shizuoka University, ³Kawasaki Geological Engineering Co., ⁴Oya Community Development Corporation

われわれは、ACROSS の概念にもとづいて精密に制御した弾性波震源の実験を続けてきた。通常使用する ACROSS 震源は、遠心力を用いて信号を発生するものであり、機構は単純であるものの発生力が回転数の 2 乗に比例するため、高周波側に対し低周波における発生力が小さいという弱点があった。特に、地下構造の不均質性が強い場においては、低周波を効率よく発生させる震源が必要とされ、おもりの直線運動による加振が有利となる。このことから、2009 年 1 月に淡路島のアクロス実験施設において鹿島技術研究所から借用した直線加振機（最大発生力 1 トン）を用いた実験を実施し、実用的な信号処理手法により伝達関数を得られることを確認した。

この実験結果を受けて、2010 年 9 月 6 日から 14 日にかけて大谷石採取場跡地（栃木県宇都宮市）において、栃木県が設置し、(財) 大谷地域整備公社によって管理・運営されている大谷石採取場跡地観測システム（以下「観測システム」という。）を利用し、淡路島で用いたものと同じ直線加振機による実験を実施した。本実験は、1) 微小振動監視に用いられている地下構造モデルの検証、2) 伝達関数に空洞が与える関係の調査、3) 花崗岩地質の淡路島と凝灰岩地質の大谷における起震機の効果の比較、を目的として行った。震源は、観測システムの北西部にある川崎地質所有の倉庫内に設置し、直交する 2 方向で 1.0Hz から 0.2Hz おきに 10.0Hz まで正弦波加振を行った。一つの周波数あたり 29 分間加振を行い、震源のおもりの加速度でデコンボリューションをしてそれぞれの周波数での伝達関数を得た。震源が GPS に同期していないため、30 秒毎のデコンボリューションから平均を計算した。

受信は大谷石採取場跡地観測所で管理している 126 観測点（うち 11 観測点は 3 成分）148 チャンネルに加え、比較のために臨時に設置した 3 成分 7 点の観測点を用いた。また、震源近傍にも加速度計を設置し、地盤の振動も測定した。観測システムの観測点は震源から最大 3km の範囲内に設置されており、全観測点のうち全帯域で信号レベルがノイズレベルを下回っているのは 6 箇所のみであった。発表では、震源からの radial 方向および transverse 方向の加振による伝達関数の記録を紹介する。

キーワード: 人工震源, 加振機, アクロス, 大谷, 地下空洞

Keywords: control source, vibrator, ACROSS, Oya, subsurface vacancy