

VLBI アンテナ駆動に伴う振動を用いた地震波干渉法による擬似発震記録 (2) Pseudo Shot Records by Seismic Interferometry with VLBI (2)

伊藤 忍^{1*}, 名和 一成¹, 住田 達哉¹, 大滝 壽樹¹, 大谷 竜¹

Shinobu Ito^{1*}, Kazunari Nawa¹, Tatsuya Sumita¹, Toshiki Ohtaki¹, Ryu Ohtani¹

¹ 産総研

¹GSJ, AIST

2012年4月に国土地理院本院構内で、VLBI アンテナ駆動に伴う地面の振動を探鉱機で記録した。伊藤他(2012)は日本地震学会2012年度秋季大会において、VLBI、自然地震、交通雑音を用いて作成した擬似発震記録の特徴について報告した。原記録をVLBI、自然地震、交通雑音に分類し、それぞれで相互相関処理および重合を試みたので、その特徴について報告する。

擬似発震記録は原記録を目視することにより分類した。明らかに複数の種類の震源による振動が記録されているものは除外した。しかしながら、これらの振動は相互に他の震源による振動が含まれていることに留意する必要がある。

VLBIの記録を重合して得られた記録中に、Transverse成分では少なくとも音波、表面波が記録されており、それ以外のイベントも見られる。Radial成分でも重合による改善は見られたが、Transverse成分と比較すると劣る。

自然地震については、水平動2成分のうち、VLBI駆動による振動のTransverse成分を記録している水平動成分で大きく改善された。交通雑音についても、ほぼ同様の結果が得られた。自然地震と交通雑音については、その震源の位置を考慮して測線を展開しているわけではない。すなわち、これらの記録が改善されたのは、その背景に記録されているVLBIの振動による影響であると推測される。従って、自然地震や交通雑音と比較して、VLBIアンテナ駆動による振動のTransverse成分を用いて擬似発震記録を作成することが有効であることが明らかとなった。

謝辞：観測に際して、国土地理院測地部物理測地課に多大なご協力をいただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 地震波干渉法, VLBI, 擬似発震記録

Keywords: seismic interferometry, VLBI, pseudo shot record

断層破砕帯構造探査のためのボアホール内宇宙線ミュオン観測手法開発 Development of the cosmic-ray muons detecting system in boreholes to image the fault zone structure

仲達 大輔^{1*}, 武多 昭道¹, 小村健太郎², 田中 宏幸¹

Daisuke Nakadachi^{1*}, Akimichi Taketa¹, OMURA, Kentaro², Hiroyuki Tanaka¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹ERI, ²NIED

断層の走向と傾斜角は、震度予測を行う上で重要な基礎データである。しかし、活断層の破砕帯は浸食されやすく、必ずしも地質調査のみからこれらが得られるとは限らない。また、断層破砕帯の幅や密度形状は断層の活動履歴を知る上で重要であるが、従来の方法でそれを知るためには、稠密な掘削調査を行う必要があった。しかし物理探査による間接的な手法を用いればその構造をより簡単に調査することが可能となる。

そこで、本研究では物理探査の手法である宇宙線ミュオンを取り上げ断層構造探査の手法開発に着手し、その原理実証試験を行った。近年、宇宙線ミュオンを用いた物理探査手法によって、火山や地表に露出した断層の透かし撮りに成功しており、その有用性が示されてきた (e.g. Tanaka et al., 2007, 2008, 2009, 2011)。この手法は検出器の視線方向に沿った平均密度が与えられるというものであり、その結果は構造物の密度以外の性質にはほぼ依存しない。これは他の物理探査手法にはない特性であり、特に不均質性の高い地殻表層部においても意味のあるデータを提供できるものと期待される。

しかし従来行われてきた方式では、地上に検出装置を配置して上空より飛来する宇宙線ミュオンを検出する形で行われてきたため、地表面下に存在する構造物はみることができなかった。宇宙線ミュオンの飛来方向を検出するために大面積を要する従来の地上設置型検出装置を小型化し地下に降ろすことは難しく、新たな手法開発が求められる。そこで、我々は個別のミュオンの飛来方向を知る代わりに、統計的に飛来方向を知ることのできる手法および検出器を開発し、検出器の小型化に成功した。本検出装置はボアホール内部から数百メートルに渡る周辺の地質構造を調べるものであり、実証試験を通してこの性能が保証されれば、単一のボアホールから周辺の断層破砕帯の構造探査を行えることが示される。

我々はボアホール型検出装置の性能試験を行うため東京大学弥生門裏に存在する井戸を用いて周辺領域の構造探査を実施した。地表から地下深さ 60m に至る範囲で試験観測を行い周辺地盤の密度構造を測定、結果として過去の掘削調査時の記録とよい一致をみせた。検出装置小型化に伴う空間分解能の精度低下は課題として残るものの、本ボアホール型検出装置により宇宙線ミュオンを用いた地下構造探査への実用性が示された。地殻表層部における断層破砕帯調査の新たなデータ提供手法として期待がもたれる。

キーワード: ミュオン, ボアホール, 断層

Keywords: muon, borehole, fault

プレート構造イメージングの高精度化に向けた反射法地震探査技術の進展と課題 Strategic seismic data acquisition and processing for the delineation of subducting slab

阿部 進^{1*}, 佐藤 比呂志², 岩崎 貴哉², 蔵下 英司², 石山 達也², 平田 直²

Susumu Abe^{1*}, Hiroshi Sato², Takaya Iwasaki², Eiji Kurashimo², Tatsuya Ishiyama², Naoshi Hirata²

¹地球科学総合研, ²東大地震研

¹JGI, Inc., ²ERI, Univ. of Tokyo

海陸境界域を含む近年の反射法地震探査では、有線テレメトリー方式の陸域及び浅海域における受振システムと独立型データ収録システムの併用による稠密展開を伴う多チャンネル長大測線(測線長100~250km, 受振点間隔25~50m)の設定によって、同一測線内の複数の探査対象及び深度に見合った、低重合広角反射法、広域屈折法及び稠密展開反射法の同時取得、海域着底ケーブルを中心とした多成分データ取得によるマルチスケール・マルチモード型調査仕様が実現した。

本研究では、従来型のCMP重合解析のみでは限界があった深部地殻・プレート構造プロファイリングについて、以下の多角的なアプローチをマルチスケール型稠密長大展開データに適用することによって、深部反射波列の抽出とイメージングの高精度化について検証を実施した。第一に、屈折法・反射法統合プロファイリングによる速度推定の高精度化を試みた。屈折トモグラフィ解析に関しては、ランダム化初期モデル手法の採用によって、客観指標による速度構造推定と誤差評価が実現し(白石他(2010))、反射波及び屈折波フォワードモデリングを併用した総合的な速度モデル構築が上部地殻領域に達する深度まで可能となった。第二に、広角領域を含む反射法イメージングの改善を目的として、近軸波線理論を前提としたMDRS(Multi-dip Reflection Surface)法を含めた最適化重合処理、さらには短波長不均質を含むMDRS速度アトリビュートを前提とした重合前深度マイグレーション処理の適用性を検討した。さらに、本研究では、関東地域に沈み込むフィリピン海プレートの高精度イメージングを目的とした制御震源探査データを対象事例として、多様な速度推定情報の複合化を実施し、分岐断層を含めた反射法プロファイルの精度向上を試行した。併せて、相対振幅保存処理を通じプレート境界面における反射係数及び反射パターン変化に関して、定量的な議論を行った。

キーワード: プレート構造, 反射法地震探査, MDRS 解析

Keywords: Subducting Slab, Seismic Reflection Profiling, Multi-dip CRS Analysis

濃尾地震断層域における人工地震による地殻構造探査(序報) The seismic experiment with artificial sources at the Nobi fault area (Preliminary Report)

飯高 隆^{1*}, 濃尾断層域構造探査解析グループ¹

Takashi Iidaka^{1*}, The Research Group for the 2013 Nobi Fault Seismic Expedition¹

¹ 東京大学 地震研究所

¹ERI, Univ. of Tokyo

1) はじめに

内陸地震の発生は、日本列島域周囲の海洋プレートの沈み込みなど、プレート運動に伴って生ずる歪が島弧地殻内部に蓄積し、それに伴い特定の断層への応力集中がおこり破壊に至るといふ、一連のプロセスから成ると考えられる。その物理メカニズムを理解するためには、島弧地殻内の不均質構造を解明するとともに、プレート境界から加わる歪・応力がその不均質構造や内部変形によって局在化していく過程を明らかにしなければならない。現在実施されている“地震及び火山噴火予知のための観測研究計画”においては、2009年から5ヶ年計画で、全国の大学・関係機関と共同で、1891年に発生した国内最大規模の内陸地震である濃尾地震の断層域を研究対象として、地震観測、地球電磁気観測、GPS観測等による地球物理的総合観測を実施している。この断層は、新潟-神戸歪集中帯の中に位置しており、断層への歪・応力集中の様子を調べるのに適した断層である。

これまでにおこなってきた跡津川断層などにおける合同観測の研究から、内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく、下部地殻の構造や地殻の下に沈み込んでいる海洋プレートから供給される流体の影響が大きいことがわかってきた。濃尾断層域でおこなっている総合観測の一環である自然地震のテレメータ観測のデータを用いた広域トモグラフィ解析によっても、濃尾断層域下のフィリピン海プレートから上部地殻へとつながる低速度域が検出された。この低速度域は、東西方向においては濃尾地震断層の西側の琵琶湖の下あたりに存在するフィリピン海プレートから下部地殻内部を断層域直下に伸びており、また断層の走向方向においても、1891年の濃尾地震の断層の北部の下部地殻に存在していることがわかった。今年度は、その低速度域の性質を明らかにすべく、構造探査を行った。

2) 実施概要

2012年11月15日-16日の日程で、濃尾地震断層域を横切るように、京都府福知山市から長野県伊那市に至る全長約280kmの測線において地殻構造探査をおこなった。この構造探査では、測線上に1793点の観測点を展開し、ダイナマイトを用いた8点(500kg-6点, 300kg-2点)の発震作業をおこなった。

3) 結果

全体として、長測線であったにもかかわらず、すべてのショットにおいて明瞭な記録が得られた。また、明瞭な初動に加えて、プレート上面やモホ面と考えられる境界面からの明瞭な反射波の存在が確認された。それらの反射波は低速度域を通過しているため、今後の解析によって、その低速度域の性質が明らかになっていくものと考えられる。

これまでの地震波トモグラフィや震源分布から求められているフィリピン海プレートの等深度線を今回の測線上に投影してみると、起伏が激しいことがわかる。浅いところでは40よりも浅く、深いところでは80よりも深い。測線の東側で深く、徐々に浅くなって濃尾断層域近傍で一番浅くなる。反射断面においても、その等深度線にそって浅くなる波群がみられ、測線上の一部ではあるものの、フィリピン海プレートからの反射波であるものと思われる。また、測線の東側の下部地殻において西側へと傾斜する境界面が検出できた。

この地域においては、比抵抗構造研究もなされており、その研究から濃尾地震断層に沿う地下浅部に低比抵抗帯が見出されている。また、断層直下の下部中部地殻はおしなべて高比抵抗領域となっていることが得られている。今後は、地震波速度や比抵抗構造などの他の物理量との比較検討も含めて、断層域の構造を明らかにしていく予定である。

キーワード: 地殻構造, 人工地震

Keywords: crustal structure, artificial source

ひずみ集中帯周辺域における異方性構造の特徴

Anisotropic feature inferred from receiver function and S-wave splitting analysis around the high strain rate zone

汐見 勝彦^{1*}, 武田 哲也¹, 関口 渉次¹Katsuhiko Shiomi^{1*}, Tetsuya Takeda¹, Shoji Sekiguchi¹¹ 防災科学技術研究所¹ NIED

防災科学技術研究所では、文部科学省委託研究「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」において、ひずみ集中帯域およびその周辺における地殻・最上部マントル構造の特徴を把握することを目的に、新潟県を中心とした地域を対象に臨時機動観測を行った。前回、我々はこの臨時観測および基盤観測網で得られた遠地地震記録にレシーバ関数(RF)解析法を適用し、深さ約35kmのモホ面相当層からの変換波を検出したこと、越後山地内の観測点でモホ面付近に強い異方性媒質が存在する可能性があることを報告した(汐見・他, 2012; JpGU)。今回、この異方性構造について、簡単な地下構造モデルによる理論波形との比較を通じて考察を行うとともに、当該観測点におけるS波の偏向異方性解析を行い、両者の結果について比較・検討したので、報告する。

解析対象は、良好な遠地地震記録が多数得られている防災科研 Hi-net の高郷(N.TSTH)および津川(N.TWAH)観測点とした。RF解析には、2000年10月から2012年9月までに発生したM5.5以上の遠地地震による波形記録のうち、良好なS/Nを有する記録を用いた。一方、S波偏向異方性解析には、2000年10月から2012年10月までに観測点近傍で発生した地殻内地震(深さ40km以浅)とやや深発地震(深さ80~120km)を用いた。N.TSTH観測点については、短周期RF(コーナー周波数 $f_c=2.0\text{Hz}$ の低域通過フィルタを適用したRF)が安定して求まったことから、この記録を参考に地下構造モデルの検討を行った。RFの時間0秒(直達P波到着時)に対し、radial成分のピークは優位に遅延するとともに、西側から到来する位相は2つに分裂している。これは、地表付近に低速度の堆積層と西傾斜の不連続面が存在することを表している。また、モホ面からの変換波は4秒付近に現れるが、南方から到来する位相は2つに分裂している。一方、この時間・方位におけるtransverse成分の極性が反転している。この特徴を再現するため、6層からなる簡単なモデルを構築し、このモデルから得られる理論的RFと観測との比較を行うことにより、地下構造の特徴の推定を行った。6層のうち、上位3層は堆積層や上部地殻に相当し、以下、中部地殻、下部地殻、最上部マントルを想定した。モデル化の結果、N.TSTH観測点下の中部地殻および下部地殻には、fast axisが南北方向である強い異方性媒質が存在すること、最上部マントルのfast axisは東西方向であることが望ましいことが示唆された。一方、N.TWAH観測点では、 $f_c=1.0\text{Hz}$ の低域通過フィルタを適用したRFに対し、同様の地下構造モデルの評価を行った。観測されたradial成分RFの時間0秒のピークはN.TSTHよりも遅延しており、より低速度あるいは厚い堆積層が表層付近に存在する。モホ面相当層からの変換波は4秒付近に現れる。位相の分裂は明瞭ではないが、N.TSTH同様にモホ面直前に顕著な負の振幅を有する位相が存在する。また、時間2-4秒付近のtransverse成分RFに南方で極性の反転が見られることから、本観測点下には、低速度かつ南北方向のfast axisを有する中部地殻が存在する可能性を示唆している。これらの観測点におけるS波偏向異方性解析の結果、地殻内の地震に対するLSPDは、いずれも北北西-南南東あるいは北西-南東方向を示しており、RFが示す特徴と矛盾しない。当該地域周辺は東西方向の圧縮場にあると考えられているが、観測される異方性の特徴は、地表のリニアメントの方向を反映している。また、最上部マントルの異方性は、マントル内の鉱物のLPOを反映していると考えられる。

キーワード: ひずみ集中帯, レシーバ関数, 異方性, 防災科研 Hi-net

Keywords: High strain rate zone, Receiver function, Anisotropy, NIED Hi-net

Network-MT 法による中部地方背弧の電気伝導度構造 Electrical conductivity structure beneath backarc side of Chubu District, Central Japan, revealed by the Network-MT

上嶋 誠^{1*}, 山口 寛², 村上 英記³, 丹保 俊哉⁴, 吉村 令慧⁵, 市原 寛⁶, 小村 健太郎⁷

Makoto Uyeshima^{1*}, Satoru Yamaguchi², Hideki Murakami³, Toshiya Tanbo⁴, Ryohei Yoshimura⁵, Hiroshi Ichihara⁶, Kentaro Omura⁷

¹ 東京大学地震研究所, ² 大阪市立大学大学院理学研究科, ³ 高知大学理学部応用理学科, ⁴ 立山カルデラ砂防博物館, ⁵ 京都大学防災研究所, ⁶ 海洋研究開発機構, ⁷ 防災科学技術研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, ³Department of Applied Science, Faculty of Science, Kochi University, ⁴Tateyama Caldera Sabo Museum, ⁵Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ⁶Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁷National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

中部地方においては、その背弧域を日本で最大のレートでひずみが蓄積しているとされる「新潟 - 神戸ひずみ集中帯」が、ほぼ海岸線に沿う方向に、富山、石川 - 岐阜県境、福井 - 岐阜県境を走っている（例えば Sagiya et al., 2000）。また同地域では、南からフィリピン海プレート、その下に東から太平洋プレートの両プレートが沈み込み、フィリピン海プレートからの脱水のほか、フィリピン海プレートの存在によってマントルウェッジの温度が下げられる効果で、太平洋プレートからも深さ 200-300km のかなりの深部で脱水が進行していることが議論されている（例えば Iwamori, 2000, Nakamura et al., 2008）。

これらの深部から供給される流体分布を明らかにし、「新潟 - 神戸ひずみ集中帯」をはじめとする当該地域の地殻活動のメカニズムを探ることを目的として、まず 2005-2008 年にかけて跡津川断層周辺域（1858 年飛越地震（M7.0-7.1）発生域、その後、2011-2013 年にかけてその西側にあたる濃尾地震（M8.0）断層周辺域でネットワーク MT 法観測を実施してきた。

跡津川断層に直交する婦中 - 秋神測線においては、ひずみ集中帯のひずみ蓄積の大部分を担っているとされる（Ohzono et al., 2011）牛首、跡津川、高山 - 大原断層帯のそれぞれの直下の中下部地殻に低比抵抗が見出され、その深部にフィリピン海プレートからの脱水を示唆すると考えられるウェッジマントル低比抵抗帯が決定された。その西にあたる高松 - 付知測線でも同じく、ウェッジマントル内に（この測線上では収斂している）牛首、跡津川断層に向けて、南側から立ち上がる低比抵抗領域が認められ、フィリピン海プレートからの脱水が示唆された。これら 2 測線では 2 次元解析を行ってきたが、さらに、その西側にあたる濃尾地震断層周辺域データについては、そのデータに著しい 3 次元性が認められたため、福井県北東部から岐阜県南西部に至る領域について 3 次元インバージョン解析を行った。その結果、福井 - 岐阜県境のひずみ集中帯に沿う領域の地下で（当該地域では 40-60km に存在するとされる（Hirose et al., 2008））フィリピン海プレートの上側、下側に深部から立ちのぼる低比抵抗帯が認められ、太平洋プレートからの脱水を見ている可能性が示唆された。また濃尾地震断層に沿って表層付近に良導体が認められたほか、その中下部地殻はおしなべて高い比抵抗値を示す。

キーワード: 比抵抗構造, 中部地方背弧, ネットワーク MT, ひずみ集中帯, 地殻流体

Keywords: resistivity structure, backarc side of Chubu District, Network-MT, Niigata-Kobe Tectonic Zone, crustal fluid

御嶽山周辺の群発地震域における V_p/V_s の推定Local V_p/V_s ratio estimation in earthquake swarm area around Mt. Ontake大藪 竜童^{1*}, 山中 佳子², 中道 治久²Ryudo Oyabu^{1*}, Yoshiko Yamanaka², Haruhisa Nakamichi²¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., ²Earthquake and Volcanology Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

長野県と岐阜県の県境に位置する御嶽山は1979年に有史初の噴火(水蒸気爆発)を起こし、その後1991年、2007年にもごく小規模な水蒸気爆発を起こしている活火山である。御嶽山周辺は地震活動が活発な地域であり、1976年から御嶽山の南東・東山麓で群発地震活動が観測されて以来、現在に至るまで30年以上の期間にわたって群発地震活動が継続している。群発地震活動中の1984年9月14日にM6.8の長野県西部地震が発生している。この群発地震活動は地震の発生頻度が高く、年間2000回以上の年もある。一方、地震の規模はM1以下と小さいものが大半を占める。

群発地震の発生には流体が関与していると考えられている(Nur, 1974など)。御嶽山周辺の群発地震域では深部からの流体の供給が電磁気探査(Kasaya et al., 2002)や、湧水中のLiやSr同位体の分析(Nishio et al., 2009)から示唆されている。本研究では御嶽山周辺の群発地震発生における流体の存在を明らかにするために、流体の存在に比較的敏感な指標である地震波速度比 V_p/V_s を群発地震震源域について推定した。

本研究ではLin and Shearer (2007)の方法を用いて群発地震震源域内の V_p/V_s を直接推定した。 V_p/V_s が一定と仮定した微小領域中の V_p/V_s は、微小領域中の近接する1組の地震ペアに共通する観測点でのP波、S波の走時差 dTp 、 dTs を用いて $V_p/V_s = dTs/dTp$ と表すことができる。複数の観測点、地震ペアから得られる (dTp, dTs) を dTp を横軸、 dTs を縦軸とするグラフにプロットし、近似直線を引くことでその直線の傾きが微小領域中の V_p/V_s であると推定できる。 (dTp, dTs) のプロットは両軸に誤差を持つため、近似直線は直線とプロットとの垂直距離が最小となる直線の傾きを反復グリッドサーチにより決定した。また、各微小領域について V_p/V_s を推定する際、単独の観測点のみで V_p/V_s を推定する作業を行い、反復グリッドサーチにより傾きの値が収束しなかった観測点のデータは解析結果に悪影響を与えるものとして除外して解析を行った。解析データとして気象庁一元化震源カタログにある1997年から2011年の地震検測値を用いた。微小領域は $0.01^\circ \times 0.01^\circ \times$ 深さ1.5 と設定して群発地震震源域全体について解析を行った。

解析の結果、深さ4 - 7 では $V_p/V_s = 1.6 - 1.9$ の値が得られた。この範囲の深さでは地震活動は御嶽山の南東側に多くみられる。地震数が多い微小領域では $V_p/V_s = 1.8$ 前後の値が推定された。また、地震数がそれほど多くないが $V_p/V_s = 1.9$ になるような高 V_p/V_s となる領域もみられた。深さ7 - 10 では全体的に深さ4 - 7の領域よりも高 V_p/V_s が推定され、 $V_p/V_s = 2.0$ に達するような微小領域もみられた。地震活動は御嶽山の東 - 北東側に集中し、南東側では少なくなっているようにみられる。地震が集中している微小領域では1.9前後の高 V_p/V_s になり、その周りの微小領域よりも高い V_p/V_s が推定される傾向がみられた。全体的に深さが増加するにつれて V_p/V_s も増加しているようにみられた。また、 V_p/V_s 直接推定に用いたものと同じデータでDouble-Difference トモグラフィ解析したところ、群発地震震源域付近で高 V_p/V_s が推定され V_p/V_s 直接推定の結果と概ね似た傾向が得られた。

浅部の高 V_p/V_s の領域の中には電磁気探査や湧水中の同位体分析の研究結果により深部からの流体の供給が示唆されている場所と対応している領域がある。このことから浅部における高 V_p/V_s の推定結果には流体の存在が関係している可能性がある。

本研究は文部科学省受託研究「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」の一環として実施しました。

本研究では気象庁一元化震源のデータを使用させていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: V_p/V_s , 群発地震

Keywords: V_p/V_s ratio, earthquake swarm

紀伊半島下に沈み込むフィリピン海スラブ周辺の3次元地震波速度構造(3) 3D seismic velocity structure around Philippine Sea slab subducting beneath Kii Peninsula (3)

澁谷 拓郎^{1*}, 今井 基博¹, 平原 和朗², 中尾 節郎¹

Takuo Shibutani^{1*}, Motohiro Imai¹, Kazuro Hirahra², Setsuro Nakao¹

¹ 京大・防災研, ² 京大・理

¹DPRI, Kyoto Univ, ²Science, Kyoto Univ

1. はじめに

紀伊半島は、南海トラフ巨大地震の震源域の一部であり、強い地震波の関西都市圏への伝播経路に当たる。さらに紀伊半島沖は破壊開始点になる可能性が高いと考えられている。2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けての見直しにおいて、南海トラフ巨大地震の想定震源域が陸側深部に拡大された(南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2011)。拡大された部分はプレート境界の深さ30~40kmに相当し、フィリピン海プレートではこの深さにおいて海洋地殻中の含水鉱物が脱水分解し、水が放出される。この水は断層面であるプレート境界面の摩擦特性に影響を与えると考えられる。それゆえこの深さの地震波速度構造をより正確に推定することは重要である。

2. これまでの結果

我々は、紀伊半島下に沈み込むフィリピン海プレートとその周辺の構造を推定するため、2004年から稠密リニアアレイ地震観測を行ってきた。これまでにフィリピン海スラブの傾斜方向の4測線と直角方向の2測線でレシーバ関数解析を行い、大陸モホ面、海洋地殻上面、海洋モホ面などの地震波速度不連続面の3次元形状を推定した(福居・他, 2012)。さらにこれらの不連続面を組み込んだ速度構造モデルと稠密リニアアレイ観測点も含んだ読み取り値を用いた地震波走時トモグラフィ解析を行った(澁谷・他, 2012)。その結果、紀伊半島下のフィリピン海スラブ周辺の構造について以下のような特徴が明らかになった。深さ40kmでは海洋地殻は低速度であり、浅くなるにつれて、その低速度領域はマントルウェッジ、下部地殻へと広がっている。紀伊半島北西部では深さ16kmを中心とする大きな低速度域が存在し、その上方の上部地殻内では地震活動が非常に活発である。これらの特徴は、海洋地殻の含水鉱物が深部低周波イベント発生域付近で脱水分解して、その結果放出された水がマントルウェッジや下部地殻に移動して、低速度域を作り出していることを示している。

3. 結果の更新

レシーバ関数解析では、現在観測を行っている亀山-御坊測線においてレシーバ関数を追加し、S波速度不連続面のイメージを改善した。定常観測点と既存の臨時観測点を組み合わせ、新たな8測線を設定し、レシーバ関数イメージを作成した。上述の6測線のイメージと併せて解釈し、不連続面の3次元形状のより詳細な推定を試みた。トモグラフィ解析では、観測走時の読み取りデータを追加した。40km以深の分解能を向上させるため、深発地震に加えて、より広範囲の地震を利用することを試みた。

本研究では、防災科学技術研究所、気象庁、東京大学地震研究所、名古屋大学、京都大学防災研究所の定常観測点の波形データを利用した。

キーワード: トモグラフィ, レシーバ関数, フィリピン海スラブ, 紀伊半島, 南海トラフ巨大地震

Keywords: tomography, receiver function, Philippine Sea slab, Kii Peninsula, Nankai Trough megaquake

近畿地方北部における地殻内 S 波反射構造の推定 The estimation of S wave reflector in the northern Kinki region

青木 将^{1*}, 飯尾能久¹, 片尾 浩¹, 三浦 勉¹, 米田 格¹, 中尾節郎¹, 西村和浩¹, 澤田麻沙代¹, 近藤和男¹, 坂 靖範¹, 佐々木裕樹², 土井一生³

Sho Aoki^{1*}, IIO, Yoshihisa¹, KATAO, Hiroshi¹, MIURA, Tsutomu¹, YONEDA, Itaru¹, NAKAO, Setsuro¹, NISHIMURA, Kazuhiro¹, SAWADA, Masayo¹, KONDO, Kazuo¹, BAN, Yasunori¹, SASAKI, Yuki², DOI, Issei³

¹ 京都大学防災研究所, ² 国際石油開発帝石株式会社, ³ 立命館大学理工学部物理科学科

¹DPRI, Kyoto University, ²INPEX Corporation, ³Department of physical sciences, Ritsumeikan University

1. はじめに

内陸地震の発生を予測する上で、真実に近い内陸地震の発生過程モデルを構築する事は重要である。しかし、依然として地震の主な発生場である地殻の構造は未解明な部分が多く、地震の発生予測を困難なものにしており、活断層や反射面の形状など地殻の構造をより正確に推定する必要がある。近畿地方北部ではおよそ 5 km 間隔という、稠密な地震観測が行なわれており、その観測網によって質の良い大量のデータが得られている。本研究では、この観測網で得られた近地地震データを用い、地殻内の S 波反射構造を推定する目的で反射法解析を行なった。解析期間は、2009 年 2 月から 2011 年 2 月であり、主な解析対象領域は、丹波地域及び琵琶湖西岸地域である。

2. 手法

本研究では、先行研究である佐々木 (2011) の振幅補正処理において急激に振幅が大きくなならない場合には正規化により反射波を消してしまっていることが明らかとなったため、振幅補正処理を変更し解析を行なった。また、東西・南北約 60 km の範囲に東西と南北それぞれ 11 の測線をとることができたため、解析の分解能が向上し、反射面の 3 次元的なイメージングが可能となった。さらに、波形を測線ごとに反射点の順番に並べ、東西測線と南北測線で反射の強い部分の深さを比較する事により、測線ごとに得られた結果の検証を行い信頼できる反射面の分布を推定する事ができた。

3. 結果

S 波反射面は、京都府と大阪府の県境付近から北東方向に京都府中部までの広範囲の地下約 23km から 28km の間に分布しており、若干波打っているが、ほぼ水平である事が明らかとなった。また、この反射面は、丹波地域における微小地震発生域と概ね一致している事も明らかとなった。

キーワード: S 波反射面

東海地域のHi-netで観測された土岐からの弾性波アクロス信号の走時変化(2004年~2012年)

Travel time change of Toki seismic ACROSS signals observed by Hi-net in Tokai area from 2004 to 2012

國友 孝洋^{1*}

Takahiro Kunitomo^{1*}

¹名古屋大学

¹Nagoya Univ.

1. はじめに

東海地域の弾性波アクロスの常時送信は、岐阜県土岐市(原子力機構、2012年7月から名古屋大学)、静岡県森町(気象研究所)、愛知県豊橋市(名古屋大学)において実施されている。そのうち土岐送信所は、2002年10月から10年以上に渡って連続送信が継続されている。2004年2月からは、100km遠方までのグリーン関数取得が可能なパラメタでの送信が行われており、走時変化(地下の地震波速度変化)については、8年以上という比較的長期の議論ができるようになってきている。本報告では、東海地域のHi-netで観測された土岐からの弾性波アクロス信号のうち、S波およびP波の走時変化、特にその経年変化について報告する。

2. 手法とデータ

土岐送信所での送信パラメタは以下の通り。

2004年2月~2007年2月:搬送波周波数13.01Hz、変調周期50秒、送信周波数帯域10.25Hz~19.45Hz、平均発生力約5.5tonfのFM送信で1時間毎に回転方向を反転。

2007年3月~現在まで:搬送波周波数13.005Hz、変調周期50秒、送信周波数帯域10.245Hz~19.445Hz平均発生力約5.5tonfのFM送信で2時間毎に回転方向を反転。

送信装置の偏心軸は、回転軸が鉛直であり、異なる回転方向に対応する観測データを後に線形結合することで、直交2方向の直線加振に対する伝達関数およびグリーン関数(時間波形)を取得することができる(視線方向R、接線方向Tの加振に対する視線方向r、接線方向t、鉛直方向zの観測成分で計6成分)。

走時変化は、1年間のスタッキング波形を基準とし、1日間、1週間、3ヶ月間のスタッキング波形とのクロススペクトルの位相から計算した。計算に用いたのはP波およびS波を含む1秒間の波形である。Hi-netの収録装置には、再起動の度にサンプリングクロックがGPSクロックに対して最大数ミリ秒ずれるという問題があるため、センサーチェック信号を用いて相対的なクロックのジッターを求めて、走時変化を補正した。その結果、Hi-net八百津観測点などで地震発生時以外にも見られたミリ秒オーダーのステップ状の変化はなくなり、比較的大きなステップ状の変化としては、東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日M9.0)のような大地震に伴う遅延のみが残った。

3. 結果

Hi-net八百津観測点(土岐送信所から11.3km)では、0.5~1ms程度の年周変化と大地震時のステップ状変化は認められるものの経年的な変化はほとんど見られない。Hi-net鳳来観測点(56.9km)での走時変化では、年周変化と大地震時のステップ状の遅延が顕著に認められる。ただし、tT成分(SH波)では年周変化はあまり認められない。年周変化は、地下水など地下浅部の変化が関係していると考えられるが、SH波は浅部の影響を余り受けておらず、地殻のより深部の状態を反映している可能性がある。経年変化は最近数年間は、S波で0.5ms/yr程度、P波で0.3ms/yr程度の割合で走時が早くなっており、地殻の応力蓄積過程を反映しているのではないかと考えられる。

(謝辞)防災科学技術研究所のHi-netのデータを使わせて頂きました。また、原子力機構東濃地科学センターの方々には、土岐送信所の稼働にご尽力を頂きました。記して感謝致します。

キーワード:弾性波アクロス,クロススペクトル,地震波速度変化,経年変化,東北地方太平洋沖地震

Keywords: seismic ACROSS, cross-spectrum, seismic velocity change, secular change, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

深部地盤構造モデルを改善した S-wavevector レシーバ関数解析による関東平野下の地震学的構造の推定

Seismic Structure under the Kanto Plain Derived from Receiver Function Analysis by using Improved Deep Subsurface Model

村越 匠^{1*}, 竹中 博士², 上田 拓哉²

Takumi Murakoshi^{1*}, Hiroshi Takenaka², Takuya Ueda²

¹ 防衛大学校, ² 九州大学

¹National Defense Academy, ²Kyushu Univ.

深井戸のような地中観測点の記録にも適用可能なレシーバ関数解析として、“S-wavevector receiver function” (SWV-RF) がある。SWV-RF と従来のレシーバ関数との違いは、従来のレシーバ関数が radial 成分と上下動成分を使うのに対して、SWV-RF では上昇 S 波を上昇 P 波でデコンボリューションを行う点である。そのため、従来のレシーバ関数では地表面やセンサーより上層の堆積層からの反射波の影響でゴーストが強く PS 変換波の判別が困難になるのに対して、SWV-RF ではゴーストを取り除く効果がある。その効果を検証するため、Murakoshi and Takenaka (2012, JpGU), や Murakoshi and Takenaka (2012, SSSJ) において関東平野にある Hi-net の深井戸観測点の波形データに SWV-RF を適用して、プレート形状等の地震学的構造の推定を行った。ただ、SWV-RF を深度変換する際にはイメージングを行いたい領域のリファレンスモデルとなる地下構造モデルを使用する必要がある。本研究では、特に地震観測点のある基盤付近やプレート形状を考慮してリファレンスモデルを扱うことで、地下構造のイメージングの改善を試みた。本発表では、関東平野にある Hi-net の深井戸観測記録に加えて設置深度の浅い観測点も用いて、関東平野の地殻構造および沈み込むスラブの形状のイメージングを行い、その効果について報告する。

キーワード: レシーバ関数, 関東平野, 地殻構造, プレート構造, 深井戸

Keywords: receiver function, Kanto Plain, crustal structure, plate structure, deep borehole

首都圏の減衰構造

Attenuation structure beneath the Tokyo Metropolitan area

パナヨトプロス ヤニス^{1*}, 平田 直¹, 酒井 慎一¹, 中川 茂樹¹, 笠原 敬司²

Yannis Panayotopoulos^{1*}, Naoshi Hirata¹, Shin'ichi Sakai¹, Shigeki Nakagawa¹, Keiji Kasahara²

¹ 東京大学地震研究所, ² 地震予知総合研究振興会

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Association For The Development Of Earthquake Prediction

本研究では首都直下における沈み込み帯の物質特性を得るために減衰構造(Q構造)を求めた。日本全国の大まかな減衰構造について、たとえば Jin & Aki, 2005 や Edwards & Rietbrock, 2009 により調べられてきた。また、関東盆地の減衰構造はボアホール観測によって Kinoshita, 1994, 2006; Yoshimoto & Okada 2009、強震観測により Nakamura et al., 2006 など調べられてきた。しかし、首都直下地域において沈み込むプレートの物質特性を知るために十分な精度の減衰構造は知られていない。2007年度から始まった「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」では、首都圏に新たに296点からなる稠密な地震観測点「MeSO-net」が構築された。MeSO-netの平均観測点間隔は約2~5kmであり、首都圏下の減衰構造をこれまでよりも高空間分解能で知ることが可能となった。本研究では、MeSO-netで観測された地震波形のスペクトルを求め、それと²震源モデルによる理論スペクトルと比較して、震源と観測点の間の減衰効果を表す指標値「 t^* 」を求めた。MeSO-netの観測点ごとに t^* 値を推定し、トモグラフィ解析を適用した。これにより、空間分解能が数kmの詳細な減衰構造を求める。

2010年1月1日から2011年5月31日までに発生した地震に対して解析を行った。最大計測震度0.5以上の452個の地震を選択して t^* 値を求めた。得られた t^* 値を用いて減衰構造を推定するためにSIMUL2000を用いてトモグラフィ解析を行った。関東盆地のなかに水平方向に15km間隔、深さ方向に10km間隔でトモグラフィ解析用の格子点を配置した。速度構造は3次元構造を用い(Nakagawa et al., 2012)、初期減衰構造は水平方向一様、深さ0kmは $Q=116$ 、深さ>0km $Q=400$ とした。

トモグラフィ解析によって得られた首都直下の減衰構造は次のようにまとめられる。深さ0kmから5kmの間の低Q値は(Q値50~100)関東盆地に対応すると考えられる。千葉県西部や東京都心部直下では深さ40kmを中心に低Q域(Q値300)が存在する。首都圏下に沈み込むフィリピン海プレート内に顕著な低Q域が存在し、この低Q域はフィリピン海プレートが太平洋プレートと固着している領域に対応する。太平洋プレート上面付近で発生する地震の波線はフィリピン海プレート内の低Q域を通過し、減衰すると考えられる。歴史地震の震源を推定する際、このような減衰の効果を考える必要がある。本研究で得られた減衰構造とMeSO-netデータを使った他の研究で求められた速度構造を統合して解釈することにより、沈み込むプレートの物質特性を知ることができる。これらの成果を利用することでより現実的な強震動シミュレーションが期待され、首都圏の地震防災・減災に寄与すると考えられる。

キーワード: 減衰, トモグラフィ, MeSO-net

Keywords: Attenuation, Tomography, MeSO-net