

2011 年東北沖地震による 2008 年岩手・宮城内陸地震余震域への静的応力降下と地震活動の低下 Aftershock activity of the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake suppressed by stress shadow of the 2011 Tohoku earthquake

鈴木 悠平^{1*}; 遠田 晋次²; 吉田 圭佑¹; 岡田 知己³
SUZUKI, Yuhei^{1*}; TODA, Shinji²; YOSHIDA, Keisuke¹; OKADA, Tomomi³

¹ 東北大学理学研究科地球物理学専攻, ² 東北大学災害科学国際研究所, ³ 東北大学地震・噴火予知研究観測センター
¹Department of Geophysics, Graduate school of Science, Tohoku university, ²International Research Institute for Disaster Science, Tohoku university, ³Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku university

東北地方太平洋沖地震(以下, 東北沖地震)によって, 東日本の各地で誘発地震活動が活発化した。それらは静的応力変化(例えば, Toda et al., GRL, 2011)や動的応力変化(Miyazawa et al., GRL, 2011), 間隙流体圧の変化(Terakawa et al., EPSL, 2013)などによって説明されている。一方で, 東北沖地震によって地震活動が静穏化したとされる地域はきわめて限られる。東北沖震源付近(Kato & Igarashi, GRL, 2012)と2004年中越地震余震域(廣瀬・遠田, 地震学会秋季大会, 2011), 2008年岩手・宮城内陸地震余震域(Suzuki & Toda, AGU fall meeting, 2013)のみである。そのうち, Suzuki & Toda (2013)は岩手・宮城内陸地震の余震活動の低下の原因を東北沖地震による静的クーロン応力(CFF)の低下に求めた。しかし, 余震域の断層(以下, レシーバ断層)の情報が少なく, 静穏化が応力低下によるものとの確認に至っていない。

そこで, 本研究では岩手・宮城余震域において既存データの約40倍となる4106個の発震機構データを求め, より詳細な応力/地震応答の時空間解析とモデル化を行った。メカニズム解は, 2008年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループ・原子力安全基盤機構(JNES)による臨時観測データ, 東北大学・気象庁・防災科学技術研究所(Hi-net, F-net)の定常観測データを用いてHardebeck & Shearer (BSSA, 2002)の手法にしたがって求めた。気象庁初動解と精度の良いF-netモーメントテンソル(VR?80%)も併用した。得られたメカニズム解のほとんどは逆断層型と横ずれ断層型を示す。この2つの断層タイプの比率は空間的に不均質で, 余震クラスターごとに特徴がある。これらのクラスター別の静穏化を調べたところ, 余震域南部で逆断層, 横ずれ断層がそれぞれ卓越する2つのクラスターにおいて, 東北沖地震後の地震活動の低下が顕著であった。また, 得られた全てのメカニズム解節面を同余震域に潜在するレシーバ断層とし, Iinuma et al. (JGR, 2012)の東北沖地震の震源断層モデルを用いて Δ CFFを計算した。媒質は半無限均質弾性体(Okada, BSSA, 1992)を仮定し, 見かけの摩擦係数0.0, 0.4, 0.8の場合をそれぞれ計算した。その結果, 0.0の場合で80%以上, 0.8の場合では50%以上の節面で Δ CFFが負となった。また前述の2つのクラスターでは, Δ CFFが負となる節面が卓越していたことがわかった。

Δ CFFによる地震応答は, 速度・状態依存摩擦構成則をもとにDieterich (JGR, 1994)によって定式化されている。ある時刻に応力がステップ状に増加した場合, 地震活動の急増の後ベキ乗則に従って時間減衰する(大森公式)ことが物理的に説明されている。このDieterichモデルによる地震活動の時系列計算には複数のパラメータが必要である。ここでは, 上記で得られた Δ CFFの他に, 2000年から岩手・宮城本震までの震源データから推定された常時地震活動レート, 東北沖地震までの余震活動から最尤法で推定された応力蓄積速度, 構成パラメータと法線応力の積 $A\sigma$, 岩手・宮城本震に伴う Δ CFFをパラメータ値として採用した。これらの条件のもと, 上記の大量のレシーバ断層への Δ CFFを使った地震応答をすべて計算し, その平均値の時系列と観測された地震活動の時系列を比較した。その結果, モデルでは東北沖地震時に地震発生のステップ的な増加が起こり, 観測値とは整合しなかった。このモデルと観測との不一致の原因として, 1) 東北沖地震後の地震検知率低下による余震データの欠損, 2) 余効変動による応力蓄積速度の変化, 3) 流体による摩擦の低下(摩擦係数が0.0で差が最も小さい), などが考えられる。

謝辞: 本研究では, 2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ, 科学研究費補助金・新学術領域「地殻流体」および原子力安全基盤機構(JNES)による観測データを使用して推定したメカニズム解, 気象庁一元化処理震源, 気象庁初動解, F-netモーメントテンソルを使用しました。

キーワード: 誘発地震, 静的クーロン応力変化, 速度・状態依存摩擦則, 地震活動静穏化

Keywords: induced earthquake, static Coulomb failure stress change, rate-and state-dependent friction law, seismic quiescence

熱流体解析に基づくガス圧式高温高压岩石変形試験機の改良案の創出 Improvement of gas medium triaxial apparatus derived from thermal fluid analysis

竿本 英貴^{1*}; 重松 紀生¹
SAOMOTO, Hidetaka^{1*}; SHIGEMATSU, Norio¹

¹ 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター

¹ Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

装置の改良は、安全面に留意しながら所望の性能が発揮できるように行わなければならない。一般に、この過程では、試作、評価、改善、再試作と試行錯誤のループを何度も辿るため、多大な時間と費用がかかる。近年の装置設計と改良では、可能なかぎり試行錯誤にかかるコストを低減するため、数値計算によりこのループを代替させることが主流となりつつある。

高温・高压下での岩石の力学特性の高精度決定には、ガス圧式高温高压岩石変形試験機が用いられる。しかし国内の同装置は、熱設計が十分とは言えず高温での使用には限界があった。ここでは、試行錯誤のループを有限要素法に基づく熱流体解析によって代替させ、安価かつ安全に有用な装置改良案を創出することを目指す。

実験装置に対する熱流体解析で用いる支配方程式は、熱伝導方程式、連続の式、ナビエ・ストークス方程式、気体の状態方程式の4つであり、これらを連立させて解くことで、装置部材内の温度場や封入ガスの流れ場を定量的に把握することができる。

熱流体解析を実施した結果、(1) 固体部材の温度場に対する封入ガスの影響は大きくないこと、(2) 熱源近くの断熱材の温度は、材料の耐熱温度以下となること、(3) 樹脂製 O-リング周辺での温度勾配が著しく大きいこと、などの情報を定量的に把握することができた。これらの知見に基づいて、樹脂製 O-リングに接する部材の材質変更、断熱材の材質変更、治具の輻射率の改善など、いくつかの有用な改良指針を得ることができた。

キーワード: 熱, 流体, ナビエ・ストークス, 状態方程式, ガス圧式高温高压岩石変形試験機

Keywords: heat, fluid, Navier-Stokes, equation of state, gas medium triaxial apparatus

反射法地震探査による北美濃地域の地下構造の推定 The crustal structure beneath northern Mino region, central Japan revealed by seismic reflection survey

江元 智子^{1*}; 津村 紀子¹; 藤原 明²; 阿部 進²; 小嶋 智³; 狩野 謙一⁴; 小村 健太郎⁵; 武田 哲也⁵; 浅野 陽一⁵; 小原 一成⁶; 伊藤 谷生⁷

EMOTO, Tomoko^{1*}; TSUMURA, Noriko¹; FUJIWARA, Akira²; ABE, Susumu²; KOJIMA, Satoru³; KANO, Ken-ichi⁴; OMURA, Kentaro⁵; TAKEDA, Tetsuya⁵; ASANO, Youichi⁵; OBARA, Kazushige⁶; ITO, Tanio⁷

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ²(株)地球科学総合研究所, ³ 岐阜大学工学部, ⁴ 静岡大学防災総合センター, ⁵ 独立行政法人防災科学技術研究所, ⁶ 東京大学地震研究所, ⁷ 帝京平成大学

¹Chiba University, ²JGI, Inc., ³Gifu University, ⁴Shizuoka University, ⁵NIED, ⁶ERI, The University of Tokyo, ⁷Teikyo-Heisei University

中部日本の北西部に位置する北美濃地域では 1891 年に日本国内最大級の内陸地震である濃尾地震が発生した。本地域の活断層の走向やメガキンク褶曲(狩野・他, 1990)の軸の方向は、概ね南東-北西方向を示し、この地域に沈み込むフィリピン海プレート(PSP)もまた南東-北西方向の軸を持つ尾根状の形状をしている。しかし、沈み込むプレートが地質の変形に与える影響を議論するための、地殻~上部マントルについての詳細な地震学的構造はまだ解明されていない。

本地域の地殻構造を明らかにするため、2009 年 10 月に反射法地震探査が行われた(駒田・他, 2010)。測線は根尾谷断層帯と高角に交わっている。この探査のショット記録に反射法解析を適用し地殻~上部マントルまでの反射断面を作成した。

得られた反射断面からは往復走時 10 秒付近に約 2 秒継続する反射波群が見られた。反射波群は対象地域の南西側では 9~11 秒、北東側では 10~12 秒で見られた。深度変換をすると南西側でおおよそ 28~37km、北東側で約 32~39km に反射波群が分布していた。反射波群の上端・下端は根尾谷断層帯の北東側に比べ南西側の方が深い位置にあることが分かった。特に南西から北東への深度の変化は根尾谷断層帯の下で見られる。これらの反射波群の深度の特徴は本地域での速度解析の結果(江元・他, 2012)と一致する。

往復走時 10 秒付近の反射波群は既存の反射断面を比較することで下部地殻ラミネーションと解釈している。この下部地殻ラミネーションの形状の特徴は、根尾谷断層帯の濃尾地震時の変位方向(松田, 1974)と調和的である。このことから、反射波群の南西側と北東側での深度の差は、根尾谷断層帯の変位によって生じたもので、根尾谷断層帯の変位が下部地殻にまで及んでいる可能性が示唆された。また先行研究で推定されている PSP の上面深度と下部地殻ラミネーション下端の深度を比較すると、根尾谷断層帯の南西側は深度おおむね一致する。従って、北美濃地域の南西側ではフィリピン海プレートの上面と陸側の下部地殻が接触している可能性がある。

キーワード: 下部地殻, 根尾谷断層, 反射法地震探査, フィリピン海プレート, 北美濃

Keywords: lower crust, Neodani fault, reflection seismic survey, Philippine Sea Plate, northern Mino region

市販 IC レコーダを用いた茨城県北部における臨時微小地震観測について Temporary observation of micro earthquakes in the northern Ibaraki prefecture by using commercially-supplied IC recorder

齊藤 佳佑^{1*}

SAITO, Keisuke^{1*}

¹ 齊藤 佳佑, ² 勝俣 啓

¹ KEISUKE SAITO, ² KEI KATSUMATA

P 波初動極性を用いて震源メカニズム解を推定する場合、その精度を高めるためには、高密度な地震観測網が必要であり、その実現のためには、できるだけ安価な地震観測システムを開発する必要がある。そこで、本研究では、初動極性の読み取りに特化した、機能を必要最低限に抑えた地震観測システムを提案する。用いた地震計は約 1 万円の上下動地震計で、市販されている約 1 万円の IC レコーダをデータロガーとして用いた。IC レコーダの仕様書によると、IC レコーダの記録可能周波数は 60~3400 [Hz] であるが、防災科学技術研究所 Hi-net の観測点と IC レコーダを用いた観測点で記録した地震波の周波数特性を比較した結果、20~30 [Hz] 程度の波も記録できることがわかった。

本研究では、正断層型の微小地震が多発している茨城県北部において 2012 年 8 月から約 1 か月間、臨時微小地震観測を行い、本研究で考案した地震観測システムの有効性を検討した。設置した臨時観測点数は全 29 点である。観測点設置の際は、実際の群発地震を想定し、全観測点を 1 本の道路沿いに設置することで、観測点設置に要する時間の短縮を図った。観測点設置から約 1 か月後に回収作業を行った後、P 波初動極性の読み取りを行い、震源メカニズム解の推定を行った。震源メカニズム解の計算は HASH プログラム [Hardebeck and Shearer (2002)] を用いて行い、推定した震源メカニズム解の個数は 87 個である。

また、推定した震源メカニズム解の精度を検証するため、東京大学地震研究所の臨時観測点のデータを用いて推定した震源メカニズム解との比較を行った。比較に当たっては、防災科学技術研究所 Hi-net の観測点も併せて、東京大学地震研究所の臨時観測点と Hi-net の観測点のデータを用いて推定した震源メカニズム解 (以下、この観測点の組み合わせを①とする) と、IC レコーダを用いた臨時観測点と Hi-net の観測点のデータを用いて推定した震源メカニズム解 (以下、この観測点の組み合わせを②とする) との比較を行った。また、①と②に対して、推定した 87 個の震源メカニズム解の P 軸と T 軸を比較した結果、震源球上のほぼ同じ位置に分布していたことから、両者の推定精度に対して有意な差はないと言える。したがって、IC レコーダの観測点のデータを用いて推定した震源メカニズム解は、従来通りの 3 成分地震計のデータを用いて推定した震源メカニズム解とほぼ同程度の精度を有していると言える。

2011年東北沖地震後の東北日本弧の粘弾性変形過程のモデル化 Modeling the viscoelastic deformation of the NE Japan arc after the 2011 Tohoku-oki earthquake

芝崎 文一郎^{1*}; 中井 仁彦¹; 武藤 潤²; 飯沼 卓史³

SHIBAZAKI, Bunichiro^{1*}; NAKAI, Yoshihiko¹; MUTO, Jun²; IINUMA, Takeshi³

¹ 建築研究所国際地震工学センター, ² 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ³ 東北大学災害科学国際研究所

¹International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, ²Department of Earth Sciences, Tohoku University, ³International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

The rheological structure of the Northeastern Japan arc crust and the upper mantle is heterogeneous along and transverse to the arc. Shibazaki et al. (2014) developed a model of the stress state of the Northeastern Japan island-arc crust using a finite element method with viscoelasticity and elastoplasticity. They reproduced several elongated low-stress regions transverse to the arc with viscous deformation that corresponds to hot fingers (high-temperature regions in the mantle wedge). The viscous relaxation process after the 2011 Tohoku-oki earthquake could be affected by the existence of low-viscosity regions caused by hot fingers. A three-dimensional (3D) finite element model was developed to investigate the viscoelastic deformation processes with heterogeneous viscosity distribution after the 2011 Tohoku-oki earthquake. The model considers the realistic crustal and mantle structures, viscoelasticity (Maxwell or Burgers rheology), and coseismic fault slip distribution obtained by Iinuma et al. (2012). For simplicity, only the elastic crust and viscoelastic mantle structure were considered. The westward movement near the trench and eastward movement in the inland region due to viscoelastic relaxation were reproduced, which are consistent with the observations. We also consider the local low viscosity region in the Northeastern Japan arc crust. In this case, extensional viscous strain concentrates on this region. We report the numerical results that take into account the realistic 3D heterogeneous viscosity distribution in the crust and the upper mantle beneath the Northeastern Japan island arc.

キーワード: 2011年東北沖地震, 東北日本弧, 粘弾性変形

Keywords: 2011Tohoku-oki earthquake, NE Japan arc, Viscoelastic deformation