

弾性体力学の不変量による深部ボアホール歪・応力連続観測の精度確認 How precise is continuous observation of stress-strain in deep borehole? Examination by invariants of elastic theory.

石井 紘^{1*}, 浅井 康広¹, 川崎 一朗¹
ISHII, Hiroshi^{1*}, ASAI, Yasuhiro¹, KAWASAKI, Ichiro¹

¹ 地震予知総合研究振興会 東濃地震研

¹Tono Research Institute of Earthquake Science

東濃地震科学研究所ではボアホール地殻活動総合観測装置を開発し、深部ボアホール（最深は1030m）に設置し地殻活動のデータを蓄積している。地震に関連した種々の現象を検知し確実にするためには1本のボアホールにおいて多成分・多項目の観測をすることが重要である。このために1本の深部ボアホールで多成分・多項目の観測を可能にする地殻活動総合観測装置を開発してきた。この装置は4成分水平成分歪計または応力計、2成分の斜め成分歪計または応力計、2成分の鉛直歪計または応力計、2成分傾斜計、4成分の地磁気計、3成分速度型地震計、3成分加速度計、水晶温度計、IC温度計などを搭載することが可能であり、任意の組み合わせも可能である。ここで歪計、応力計、傾斜計と地磁気計は当研究所で新しく開発したものであるが他は市販の計器を搭載している。

この総合観測装置は現在10カ所の深部ボアホールにおいて観測を実施し良好なデータを蓄積している。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）は震央距離約600kmであったがすべてのボアホール観測点の応力計と歪計において応力地震動や歪地震動が記録された。

そこでこれらのボアホール計器がどの程度精度のよい観測をしているかを調べることを試みた。弾性体力学においては応力や歪には不変量というものが存在する。この不変量は座標が異なっても同じ値であることが証明されている。それぞれのボアホール観測点では応力や歪の複数の観測をしている。従って計器の異なる成分から複数の不変量を計算することが出来る。それぞれの観測点においてこの異なる観測成分から合成した複数の不変量は初動から後続波まで完全に一致した。従ってボアホールによる応力や歪の観測の精度は非常によいことが明らかになった。

更に異なる観測点の不変量を比較してみた。その結果は異なる観測点の不変量を比較してもほとんど一致することが明らかになった。また、地震波ではなく地球潮汐の記録の比較も行ったが同様の結果が得られた。このことから深部ボアホールの観測データは信頼性のある観測をしていることが明らかになった。これらの結果を報告する。

キーワード: 深部ボアホール, 応力・歪連続観測, 弾性体力学の不変量, 観測精度確認, 3.11地震の応力地震動波形, ボアホール地殻活動総合観測装置

Keywords: deep borehole observation, continuous observation of stress and strain, invariants of elastic theory, observation accuracy, stress seismogram of 3.11 earthquake, multi-component borehole instrument

茂住祐延断層近傍における歪連続観測結果

Results of continuous crustal strain observation in vicinity of Mozumi-sukenobe fault

浅井 康広^{1*}, 石井 紘¹

ASAI, Yasuhiro^{1*}, ISHII, Hiroshi¹

¹ 東濃地震科学研究所

¹Tono Research Institute of Earthquake Science, ADEP

陸域地下構造フロンティア研究 (Ando, 2007) により掘削された活断層調査坑道 (跡津川断層系の一つである茂住 - 祐延断層を貫く延長 480m、地表下 300m の坑道 ; 例えば Takeuchi et al, 2007) の 2 カ所、それぞれ破碎帯 (断層) の近傍約 100m、坑道床面から深さ 10m に石井式ボアホール歪計 (長さ 113.8 cm、歪計部の直径 6 cm) が埋設設置され観測が行われていた (Ishii et al, 2007)。フロンティア研究としての観測は 2001 年度に終了しているが、その後 2006 年 7 月より東濃地震科研が歪計観測システムを管理、連続観測 (サンプリング間隔 1 分) を継続している。

2006 年 7 月以前の観測では、歪計埋設設置前の初期応力測定とその後の歪観測の結果から、断層近傍の主応力と主歪は、テクトニックな作用よりも活断層の運動が反映されることが判明している (Ishii et al, 2007)。

本講演では、2006 年 7 月以降の観測結果を紹介し、Ishii et al (2007) が示した断層運動を反映した主歪場が現在も観測されているかについての検証を行う。

キーワード: 石井式ボアホール歪計, 現位置応力測定, 歪連続観測, 茂住 - 祐延断層, 活断層近傍観測

Keywords: Ishii-type borehole strainmeter, in-situ stress measurements, continuous strain observation, Mozumi-Sukenobe fault, Observation in vicinity of active fault

2009年駿河湾地震 (M6.5) 前後のひずみの挙動

A strain behavior before and after the 2009 Suruga-Bay earthquake (M6.5)

高波 鐵夫^{1*}, 平田 直¹, 北川源四郎², 上垣内修³, アラン・リンデ⁴, セルウィン・サックス⁴

TAKANAMI, Tetsuo^{1*}, Naoshi Hirata¹, Genshiro Kitagawa², Osamu Kamigaichi³, Alan T Linde⁴, Selwyn I Sacks⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 情報システム研究機構, ³ 気象庁, ⁴ カーネギー研究所

¹ERI University of Tokyo, ²Research Organization of Information and Systems, ³Japan Meteorological Agency, ⁴DTM Carnegie Institution of Washington

On 11 August 2009 the intraslab earthquake (M6.5) struck the Tokai area. The largest seismic intensity observed was VI- in JMA scale, and it was a felt earthquake in a wide area including the Kanto and Koshin'estu Regions. Tsunamis were observed at and around the Suruga Bay. In the Tokai area, the Japan Meteorological Agency (JMA) continuously monitors strain data by the real time automated processing in the Tokai network. According to JMA, it is unconnected to the anticipated Tokai Earthquake (M8) judging from the acceptable reasons. For instance, it is an intraslab earthquake in the Philippine Sea plate, while the anticipated earthquake is a plate boundary earthquake on the upper side of the Philippine Sea plate. We consider it as an appropriate earthquake for validation of the Tokai network, though the feature of earthquake is different from one of the anticipated earthquake. We here tried to investigate the strain behavior before and after the 2009 Suruga Bay earthquake occurred in the fault zone of the anticipated Tokai earthquake. In actual, the Tokai network of strainmeters has been monitoring the short-term slow slip events (SSE) synchronized with nearby low frequency earthquakes or tremors since 2005 (Kobayashi et al., 2006). However, the earth's surface is always under the continuous influence of a variety of natural forces such as earthquakes, wave, wind, tide, air pressure, precipitation and a variety of human induced sources, which create noise when monitoring geodetic strain. Eliminating these noise inputs from the raw strain data requires proper statistical modeling, for automatic processing of geodetic strain data. It is desirable to apply the state space method to noisy Tokai strain data in order to detect precursors of the anticipated Tokai earthquake. The method is based on the general state space method, recursive filtering and smoothing algorithms (Kitagawa and Matsumoto, 1996). The first attempt to apply this method to actual strain data was made using data from the 2003 Tokachi-oki earthquake (M8.0) recorded by the Sacks-Evertson strainmeter, which has been operating since 1982 at Urakawa Seismological Observatory (KMU) of Hokkaido University in the southern part of the Hidaka Mountains (Takanami et al., 2009). KMU is far 105 km NW of the epicenter of the 2003 Tokachi-oki earthquake. After the earthquake, the data showed a clear episode of contraction for 4 days followed by expansion for 23 days. These signals correlate with increased aftershock seismicity for events greater than M4. The strain changes, together with surface displacements detected by the GPS network, are indicative of propagation of slow slip at depth (e.g. Geographical Survey Institute, 2004). We here review the computational approach to state space method and the results of its application to the strain data from the 2009 earthquakes (M6.5) occurred off Sagami in the Tokai area. Interestingly, for the 2011 Tohoku Earthquake off the Pacific coast no pre-slip was detected by land-based observations even though its magnitude was M9. In order to detect the nucleation of such an earthquake occurring far offshore, high-precision strain data is necessary but was not available.

キーワード: 2009年駿河湾地震 (M6.5), ひずみ, 想定東海地震, 状態空間モデル

Keywords: 2009 Suruga-Bay earthquake(M6.5), Strain, Anticipated Tokai earthquake, State-space model

京都大学付近の花折断層周辺の地殻上下変動 京都大学における一般教育科目としての地球科学実験 (続報)
Vertical Crustal Movements in the vicinity of Hanaori fault nearby the campus of Kyoto University(Subsequent Report)

大塚 成昭^{1*}, 加藤 護², 金子 克哉², 石川 尚人², 酒井 敏²

OTSUKA, Shigeaki^{1*}, KATO, Mamoru², KANEKO, Katsuya², ISHIKAWA, Naoto², Satoshi SAKAI²

¹ 神戸学院大学 人文学部, ² 京都大学大学院人間・環境学研究科

¹Faculty of Humanities and Sciences, Kobe Gakuin University, ²Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

京都大学における一般教育科目(全学共通科目)の一つとして開講されている「地球科学実験B」の実験テーマ「測地」での学生による1982年から2008年までの測量成果を2009年の日本地震学会秋季大会において報告した。ここでは、前回の報告以後に実施された2009年~2011年の3年間の測量成果を加え、続報として報告する。

実験テーマ「測地」では、地殻活動としての地殻変動や地震現象に関心を持たせるため、キャンパス近傍に存在する活断層である「花折断層」を取り上げ、『京都大学~吉田山付近の花折断層周辺の地殻上下変動』を監視する」ことを目的の一つとして行う精密水準測量を継続してきた。一等水準儀と精密標尺とを用い、一等水準測量の精度を確保するよう努力している。学生実験であるので時間の制約により年度によっては、一等の精度を確保できなかった年もあるが、概ね一等水準測量に準じた精度の測定ができています。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、京都市内においても震度2を記録しており、2011年度の授業では、地盤へのその影響の有無について関心をもって測量が行われた。

図1に京都大学キャンパスおよび吉田山付近に配置した水準点および花折断層の推定位置を示す。成果の一例として、図2に水準点(1)-(4)間の標高差変化を示す。また、図2には、1988年-2002年および1999年-2011年の二つの期間に対する回帰直線を示した。2000年頃までの変化率が0.001cm/年であったものが、2000年頃以降、0.05cm/年と吉田山の隆起速度が増加した。これが、何に起因しているかは、今のところはっきりしない。一方、最近数年間は増加率が変化しておらず、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の影響も全くないことが確認された。

[文献]

大塚成昭・加藤護・金子克哉・石川尚人・酒井敏:「京都大学付近の花折断層周辺の地殻上下変動 京都大学における一般教育科目としての地球科学実験」, 日本地震学会講演予稿集 2009年秋季大会, D21-02, p126, 2009.

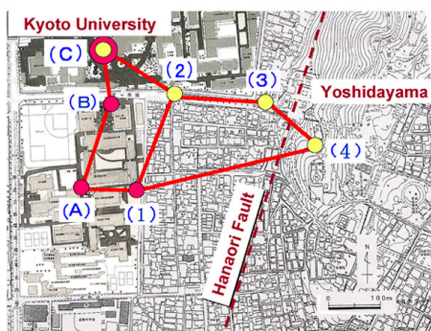


Fig. 1 Leveling net in and around the campus of Kyoto University and Yoshidayama.

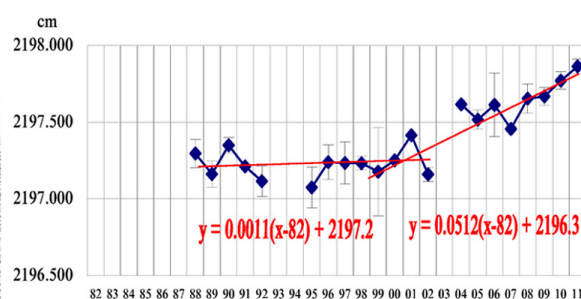


Fig. 2 Height difference change between the bench marks (1) and (4).

日本列島の地殻変動の3次元解析 3D Analysis of crustal motions of Japan

原田 靖^{1*}, 加藤 忠義¹

HARADA, Yasushi^{1*}, KATO, Tadayoshi¹

¹ 東海大学 海洋学部 海洋資源学科

¹School of Marine Science and Technology, Tokai University

国土地理院では、約 1400 の GPS 観測点からなる GEONET の観測結果から得られた F3 解を基に日本列島の地殻変動アニメーションを作成し公開している。これは F3 解で得られた水平変動量を 40 万倍に誇張して地形データに加算した数枚の地形図を動画にしたものである。しかしこれらは日本列島の地殻変動の詳細を理解する上で十分なものではない。

本研究では国土地理院の F3 解を使い、同様な方法で垂直変動を含めた 3 次元時間変動の可視化を行った。時間分解能を上げるため 30 日分のデータを平均して月変動を求めた。これにより東北地方太平洋沖地震以前の日本列島の収縮運動や、地震後の余行変動を月毎により詳細に可視化することができた。また垂直変動を含めることで非常に特徴的な隆起・沈降変動の可視化も可能になった。求められた東北地方太平洋沖地震以前の日本列島の隆起・沈降量を、約 100 年の歴史がある水準測量のデータ、及び約 200 万年間の地質学的な隆起・沈降量と比較を行ったところ、定性的な日本列島の隆起・沈降変動の大局的特徴はどの時間スケールにも見られ、GPS データと水準測量のデータは定量的にも調和的であることが分かる。

キーワード: GPS, 日本列島, 地殻変動

Keywords: GPS, crustal deformation, 3D Analysis

GPS 観測網 (AGNeSS) によるスマトラ断層の断層固着の空間変化 Spatial variations in Fault Coupling on the northern portion of the Great Sumatran Fault

伊藤 武男^{1*}, Endra Gunawan¹, 木股 文昭¹, 田部井 隆雄², 太田 雄策³, Meilano Irwan⁴, Agstan⁵, Nurdin Irwandi⁶
ITO, Takeo^{1*}, ENDRA, Gunawan¹, KIMATA, Fumiaki¹, TABEL, Takao², OHTA, Yusaku³, MEILANO, Irwan⁴, Agstan⁵, Irwandi Nurdin⁶

¹名古屋大学, ²高知大学理学部応用理学科, ³東北大学, ⁴ITB, ⁵BPPT, ⁶Syah Kala University

¹Nagoya University, ²Faculty of Science, Kochi University, ³Tohoku University, ⁴ITB, ⁵BPPT, ⁶Syah Kala University

インドネシアのスマトラ島には約 1200km に渡るスマトラ断層帯がある。右横ずれの断層のスマトラ断層帯はいくつかのセグメントに分かれており、それらの多くのセグメントは最近 100 年以内に地震がすでに発生している。しかしながら、スマトラ島北部の約 200km の長さのセグメントでは最近 170 年間に地震が発生していない。我々は 2004 年スマトラ-アングマン地震 (Mw9.2) の発生後から GPS 観測網 (Ache GPS Network for the Sumatran fault System : AGNeSS) を構築してきた。現在は、AGNeSS は連続 GPS 観測とキャンペーン GPS 観測点を合わせて 24 点で構成されている。AGNeSS の観測を維持・発展させるために、バンダアチェにあるシアクラ大学と協力して、観測システムを維持できる体制を整備してきており、現在では、シアクラ大学だけで観測網を拡張できる体制が整いつつある。

AGNeSS で得られた地殻変動データには 2004 年スマトラ-アングマン地震の余効変動も含めて観測しているため、それらをモデル化して影響を取り除く必要がある。それらの影響を取り除いた後にプレート境界の影響とスマトラ断層の固着、断層の位置などをモデル化し、マルコフ連鎖モンテカルロ法によってそれらの推定を行った。その結果、北側のセグメントと南側のセグメントで断層固着の不均質がみられた。北側のセグメントではほぼクリープしており、南側のセグメントでは、深さ約 15km までの断層固着が推定された。また、すべり欠損速度は約 1.6cm/yr が得られた。これらから換算するとこの地域では、マグニチュード 7 クラスの地震の発生ポテンシャルがすでに蓄積していると考えられる。

キーワード: スマトラ断層, カップリング, モンテカルロ法

Keywords: Sumatran fault, fault coupling, Monte Carlo method

GPS データから求められた地震発生前の表面変位 Surface motions prior to mega earthquakes by using GPS data

鶴田 夏実^{1*}, 服部 克巳¹, Han Peng¹
TSURUTA, Natsumi^{1*}, HATTORI, Katsumi¹, HAN, Peng¹

¹ 千葉大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Chiba University

地震の過程には地震前の応力蓄積、地震時の岩石破壊、および地震後の弾性および粘弾性反発というサイクルがある。このサイクルにおいて地震時と地震後の変位は全地球測位システム (GPS) を用いた研究が進められてきた。しかし、地震準備過程で地震短期予測を実現するために重要な地震前の地下応力の変化 (たとえば前兆すべりに対応する地表変位) を検出することは課題として残っている。

そこで本研究では、日本で発生した最近の海溝型地震について地震前と GPS 変位について詳細に調べ、調査し、従来の研究ではあまり指摘のなかった前兆すべりに関連する変位の有無を確認する。

本研究では 2003 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震 (M8.0) と 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に関して調査を行った。

GPS 変位データの短周期解析より、2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震 (M8.0) では本震の 1 日前に前兆すべりを示唆する結果が得られた。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震 (M9.0) では、本震の 2 日前から東方向の変位が卓越した。ただし、前震に相当する 9 日の M7.3 の co-seismic な変動及び余効変動の影響を含有している。

そこで、東北地方太平洋沖地震に関して、GPS 変位データから長周期解析を行うと、海溝型巨大地震の発生モデルを支持するテクトニックな力が東北日本に加わっていることを示唆する結果を得ることができた。

2011年東北地方太平洋沖地震による東海地域の地殻変動への影響 Effects to the crustal movements of the Tokai region by 2011 Tohoku Earthquake

野村 晋一^{1*}, 里村 幹夫¹, 生田 領野¹, 島田 誠一², 加藤 照之³, 原田 靖⁴

NOMURA, Shinichi^{1*}, SATOMURA, Mikio¹, IKUTA, Ryoya¹, SHIMADA, Seiichi², KATO, Teruyuki³, HARADA, Yasushi⁴

¹ 静岡大学理学部地球科学科, ² 防災科学技術研究所, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 東海大学海洋学部

¹Department of Geosciences, Shizuoka University, ²NIED, ³ERI, University of Tokyo, ⁴School of Marine Science and Technology, Tokai University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、日本全域にわたって地震時および地震後の地殻変動や地震活動の変化に大きな影響を与えた。

一方、東海地方は、プレート境界に位置し、大規模地震の発生が想定されている地域である。この地域では、東北地方太平洋沖地震の誘発地震とみられる地震も発生した。したがって、今回の巨大地震は東海地域の地殻変動にも影響を与えていると考えられる。そこで、我々はこの地震が東海地方の地殻変動に与えた影響について調べた。

東海地方には国土地理院のGEONET点と大学連合の観測点をあわせ、大変稠密なGPS観測網が設置されている。そこで、我々は、静岡県、愛知県、長野県、山梨県に亘る84点のGPSデータについて、2011年2月から9月にかけての200日間のデータを解析し、日々の座標値を求めた。解析ソフトはGAMIT ver.10.4で、基準座標系としてITRF2008を採用した。

まず地震時の変動を求め、続いて地震後の速度場とひずみ速度の変化を求めた。その結果を、以前に求めていた2005年8月から2006年12月までの結果(橋本・ほか、2010地惑連合大会要旨)と比較した。

その結果は、東北地方太平洋沖地震の前のひずみの分布と地震後のひずみの分布に明らかな違いがみられた。地震後は、静岡県北部の長野県や山梨県の県境周辺には東北地方太平洋沖地震に伴う余効変動とみられる変動が見られるほか、この北部地域と南部の御前崎周辺に明瞭な膨張域が現われ、その中間に収縮域が見られた。このことは東北地方太平洋沖地震の影響により、フィリピン海プレートの潜り込みに伴うプレートのカップリングの状態にが変化している可能性があることを示唆している。

キーワード: GPS, 地殻変動, 東海地域, 東北地方太平洋沖地震, ひずみ速度, 時間変化

Keywords: GPS, crustal movements, Tokai region, Tohoku Earthquake, strain velocity, temporal change

西南日本におけるプレート間固着と前弧スリバーの運動の推定 Plate Coupling and Deformation of Forearc Sliver in Southwest Japan

一谷 祥瑞^{1*}, 田部井 隆雄², 田中 幹人¹
ICHITANI, Shozui^{1*}, TABEL, Takao², TANAKA, Mikito¹

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² 高知大学理学部

¹Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, ²Faculty of Science, Kochi University

フィリピン海プレートは四国南方の南海トラフより西南日本の下に沈み込んでいる。地震間にプレート境界面が強く固着し、プレート進行方向がプレート境界の走向に斜行していることにより、西南日本の地殻は北西-南東方向の弾性圧縮変形を受けながら、中央構造線 (MTL) を境に前弧スリバーが横すべり運動をしている。本研究では、国土地理院 GEONET および MTL トラバース稠密 GPS 観測データを用い、弾性圧縮変形と横すべり運動という異なる様式の地殻変動の分離を試みる。

プレート境界面上の固着分布の推定には、GEONET 座標最終解 (2004-2009 の F3 解) から求めた近畿から九州まで計 333 点の水平および上下速度を用いる。観測値には弾性圧縮変形と前弧スリバーの横すべりの運動の両方が含まれるため、最初に横すべり運動を取り除く補正を行う。MTL の走向方向に前弧スリバーのブロック運動を仮定し、これに一樣な速度を与える。速度の値として 3mm/yr から 10mm/yr までを 1 mm/yr 刻みで採用する。次に、MTL の断層面上部は地表から深さ 15km まで固着していると仮定し、この面にブロック運動と同じ大きさのすべり欠損速度を与えることで、断層面固着の影響を算出する。ブロック運動と断層面固着の影響を観測値から差し引き、前弧スリバーの横すべり運動を取り除く。続いて、補正した GPS 速度場を用い、500 枚以上の三角要素で近似したプレート境界面上でのすべり欠損速度を推定する。こうして推定されたすべり欠損速度から陸上の変位速度を計算し、もとの観測値との残差を求めると、プレート間固着に起因する弾性圧縮変形が消え、MTL に沿う横すべり運動のみが現れる。このときの観測値として、GEONET 速度場に加え、四国東部 (1998-2000) と西部 (2002-2007) で行われた MTL トラバース稠密 GPS 観測の水平速度を併用する。残差には MTL 断層面上部の固着による影響とブロック運動が含まれている。残差から最初に仮定したブロック運動を取り除き、MTL 断層面上部の固着分布を推定する。最初に仮定したブロック運動速度の妥当性の評価は、推定された MTL 断層面上部のすべり欠損速度との比較によって行う。MTL では断層の地表トレスをはさんでクリープは観測されておらず、両者は基本的に一致すべきであるとの判断に基づく。本研究では、ブロック運動として 5 mm/yr を採用したとき、最適値が得られたと判断した。MTL 断層面上部のすべり欠損速度分布を見ると、四国東部では 2-4 mm/yr の純粋な横ずれを示すのに対し、四国西部では最大で約 5 mm/yr の横ずれ以外に顕著な正断層成分が認められた。

上述のモデルでは前弧スリバーのブロック運動を仮定したが、スリバー内部の弾性変形を調べるため、プレート沈み込みの影響を除去した後ひずみ分布を作成した。四国東部では東西方向の圧縮が認められるのに対し、四国西部から九州中部へかけては伸長ひずみが卓越し、伸長軸が東西から南北へと反時計回りに回転する。このようなひずみ分布と四国西部の MTL が開口成分を含むことは、前弧スリバーの横すべり運動の駆動力がプレート斜め沈み込みによる引きずりだけではないことを示している。こうしたメカニズムを解明するには、対象を四国から紀伊半島、九州にも拡大し、総合的なモデル化が必要である。

キーワード: フィリピン海プレート, 中央構造線, GPS, 南海トラフ

Keywords: Philippine Sea plate, the Median Tectonic Line, GPS, Nankai Trough

東海スロースリップの再解釈

A new interpretation of the slow slip event in the Tokai region

落唯史^{1*}, 加藤照之¹

OCHI, Tadafumi^{1*}, KATO, Teruyuki¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, Univ. Tokyo

In the Tokai region, central Japan, anomalous displacements had been detected by GEONET during the period from mid-2000 to mid-2005 and they seem to have been caused by a slow slip event (SSE) beneath the Lake Hamana and have been called as "Tokai SSE". Previous studies introduced the Tokai SSE by the inversion of data which is the difference between the observed displacements and the displacements due to the continuous plate coupling. However, this model has no physical meaning. The present study claims that the combined effects of the slow slip events (or forward slip) and the plate coupling (or so-called back slip) should represent the state of the plate interface. In addition, the temporal change of the plate coupling has not been taken into account in the previous studies. In this study, we estimated the state of the plate interface by the geodetic inversion method without the assumption of the steady state coupling in order to estimate the temporal change of the coupling and slip process on the plate interface.

The data used in this study are the GPS data taken from the GEONET and the leveling data published by GSI for the period from July 1996 to June 2009. In order to examine the temporal change, we divided the entire period into 12 epochs. The duration of each epoch is two years and the neighboring two epochs overlap one year. The two-year averaged rate of crustal deformation are derived from the GPS data and the leveling data separately and are taken into the geodetic inversion simultaneously.

The estimated distributions of the strain accumulating and releasing areas, by which "strain accumulating area" indicates a area of slip deficit and accumulates in the continental wedge and vice versa, suggested that the whole period was able to be divided into three sub-periods depending on the emergence of the strain releasing area. The strain releasing area emerged in the period from 2000 to 2005, which is consistent with the duration of the Tokai SSE in the previous studies. The maximum value of the strain releasing was about 20 mm/yr and the depth was around 30-40 km, while the maximum value of the Tokai SSE was about 35-50 mm/yr in the previous studies. Compared with the previous studies, the present study showed that only the deeper portion of the Tokai SSE really released the strain. The total amount of the released strain was equivalent to the seismic moment of Mw ~ 6.6, while the Tokai SSE was equivalent to Mw ~ 7.0 to 7.1. Therefore the previous studies overestimated the released strain.

The spatial distribution of the interplate coupling also changed temporally, whereas the coupling of the area had been assumed to be time invariant in the previous studies. It had extended along the plate interface to a point beneath the Lake Hamana before the emergence of the strain releasing area, and then became narrower with the emergence of the strain releasing area, and then had not recover the original distribution after the end of strain releasing process. Although the distribution of coupling changed with time, the maximum value of the interplate coupling did not change; 35 mm/yr through the entire period from July 1996 to June 2009. The maximum value estimated in this study were almost the same as the maximum coupling estimated by the previous studies.

The results also revealed that the distribution of the strain releasing area well coincide with the hypocenters of the low frequency events which occurred repeatedly near the plate boundary. The previous studies inferred that the distribution of the Tokai SSE is shallower than that of the strain releasing area in the present study.

Therefore the Tokai slow slip and the low frequency events were thought to be spatially segregated. The results of present study may require a change of the view about the relationship between these two sorts of strain releasing processes, which may be important for the study of background physics.