

小さく短期的な変化を検出するためのひずみ計の降水補正 (2) A rainfall correction of the strainmeter for detecting a small short-term change (2)

木村 一洋^{1*}, 露木 貴裕², 菅沼 一成², 藤田 健一²

KIMURA, Kazuhiro^{1*}, TSUYUKI, Takahiro², SUGANUMA, Issei², FUJITA, Kenichi²

¹ 気象研究所, ² 気象庁

¹Meteorological Research Institute, ²Japan Meteorological Agency

気象庁で東海地震予知に用いているひずみ計の現在の降水補正は、完全ではない。現在の降水補正は、降水による急激な変化を滑らかにしてノイズの極大を抑える効果があるものの、降水の影響を緩和的に長く引きずる傾向がある。そのような緩和的な変化の中では、小さく短期的な変化を検出することは難しい。小さく短期的な変化を検出するためには、トレンドが一定に収まっている期間ができるだけ長いことが望ましい。

降水によるひずみ計の応答は降水による荷重の影響と考え、体積ひずみ計について1層か2層の単純なタンクモデルによる降水補正を試みたところ、現在の降水補正よりも良い結果を得ることができた(木村、日本地震学会 2011 年秋季大会)。これは、タンクモデルは累積降水量の増大に伴う流失係数の増加を表現できるためである。

今回は、気象庁における土壤雨量指数の算出にも用いている3層のタンクモデルを用いた降水補正を試みた。3層のタンクモデルを構成する多数のパラメータをSCE-UA法によって推定した。一部の観測点については、タンクモデルが複雑になったことによって、さらに良好な結果を得ることができた。ここでは、これらの結果を紹介する。

キーワード: ひずみ計, 降水補正, タンクモデル, SCE-UA 法

Keywords: Strainmeter, Rainfall correction, Tank model, SCE-UA method

GPS データからの余効変動の除去について The removal of the postseismic crustal deformation from the GPS data

木村 一洋^{1*}, 小林 昭夫¹, 長谷川 浩²
KIMURA, Kazuhiro^{1*}, KOBAYASHI, Akio¹, Hiroshi HASEGAWA²

¹ 気象研究所, ² 気象庁

¹Meteorological Research Institute, ²Japan Meteorological Agency

気象庁では東海地震予知のために国土地理院の GPS データを面的監視手法 (小林,2007) によって監視し、地震防災対策強化地域判定会の資料として HP 等で公表している。GPS データは、保守作業に伴うオフセットや地震によるオフセット、定常トレンド、その他異常と思われるデータはあらかじめ除去している。しかし、東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の発生に伴い大きな余効変動が生じたため、GPS データを監視できない状況に陥った。余効変動の影響は長期間に渡って継続するが、今起きている現象を監視するにはこの余効変動を除去することが必要である。そのため、余効変動の推移を示すパラメータを早い段階で求めることを試みた。

余効変動の推移には指数関数と対数関数を組み合わせる式を用いた。調査期間の 30 日階差の合計が最小になるように SCE-UA 法でパラメータの推定を行った。2003 年十勝沖地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震について、この方法による結果を紹介する。

キーワード: GPS, 余効変動, SCE-UA 法

Keywords: GPS, postseismic crustal deformation, SCE-UA method

六甲高雄観測室で観測された東北地方太平洋沖地震後の短期的な透水係数の変化 Short-term Change of Permeability after Tohoku Region Pacific Coast Earthquake Observed at Rokko-Takao Station

向井 厚志^{1*}, 大塚 成昭²

MUKAI, Atsushi^{1*}, OTSUKA, Shigeaki²

¹ 奈良産業大学, ² 神戸学院大学

¹Nara Sangyo University, ²Kobe Gakuin University

兵庫県南部の六甲高雄観測室では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、 10^{-7} オーダの歪変化がステップ状に生じたことに加え、湧水量が550ml/sから800ml/sへと増大した。気圧変化に対する湧水量変化の応答係数を求めたところ、地震前と比べて地震直後の応答係数は約1.8倍となった。その後、応答係数は約1年かけて元の値に戻りつつある。六甲高雄観測室は万福寺断層の破碎帯に位置することから、この応答係数の時間的变化は、地震動によって破碎を目詰まりさせていた泥分等が流出し、周辺岩盤の透水係数が一時的に上昇したことを反映していると考えられる。本発表では、地震前後の湧水量変化、地下水位変化および歪変化を用いて観測室近傍の破碎帯における透水係数の経年変化を推定し、泥分等の蓄積によって短期間に生ずる破碎の再封鎖の特徴について報告する。

六甲高雄観測室は新神戸トンネル緊急避難路に開設された地殻変動観測室であり、その通路はほぼ東西方向に走向をもつ万福寺断層を横切っている。観測室内には、3成分ポアホール型歪計(ST1: N81°W, ST2: N39°E, ST3: N21°W), N69°E方向の伸縮計3台(EX2, EX3, EX4)、湧水量計および水位計などが設置されており、0.5秒間隔および10分間隔で連続観測を実施している。1993年以降に観測された歪変化に潮汐解析プログラムBAYTAP-G (Tamura et al., 1991)を適用して潮汐歪を推定したところ、その潮汐振幅は年間数%以下の割合で経年的に変化していた。このことは、1995年兵庫県南部地震後に断層破碎帯の固着が進行し、岩盤強度が経年的に上昇しつつあることによって説明できた(向井・大塚, 2008)。

六甲高雄観測室では、定常的に約550ml/sの湧水が生じている。湧水量は、東北地方太平洋沖地震の直後に800ml/sへと増大したが、その後、数日程度の時定数で300ml/sまで減少し、数ヶ月以上かけてほぼ元の値へと戻った。国土地理院が発表した東北地方太平洋沖地震の断層モデルに基づいて歪ステップを計算したところ、同観測室周辺は 10^{-7} の伸張場であった。そのため、周辺岩盤の伸張に伴う間隙水圧の低下が生じ、地震後に湧水量が減少したものと考えられる。一方、地震直後に生じた急激な湧水量の増大は、地震動によって破碎を目詰まりさせていた泥分等が流出し、周辺岩盤の透水係数が上昇したことに起因する可能性がある。

気圧の低下で湧水量が増大する場合を正として、気圧変化に対する湧水量変化の応答係数を求めたところ、東北地方太平洋沖地震前の2010年における応答係数は+3.4ml/s/hPaとなった。気圧が低下することによって周辺岩盤から地下水が吸い出され、湧水量が増大していることがわかる。2011年3月12日以降に観測された湧水量変化にBAYTAP-Gを適用して、応答係数の時間的变化を推定した。このとき、90日間の解析区間を67日ずつ移動させながら、計4区間で応答係数を推定した。第1区間である地震直後の応答係数は+6.1ml/s/hPaと求められた。この大きな応答係数は、上記で述べた地震直後の湧水量増大の原因と同様に、地震に伴い周辺岩盤の透水係数が上昇したことに起因すると考えられる。その後、応答係数は時間経過とともに低下し、2011年末には+4.0ml/s/hPaまで回復した。このことは、約1年という短い期間で破碎内に泥分等が再び蓄積し、目詰まりを起こさせて透水係数の低下を引き起こしたことを示唆する。こうした破碎内での泥分等の蓄積が破碎帯の回復過程への発端となり、歪観測値から推定された岩盤強度の経年的な上昇を引き起こすことになるものと考えられる。

キーワード: 湧水量, 歪, 透水係数, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: groundwater discharge, strain, permeability, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

様々なボアホール型多成分歪計に対する原位置キャリブレーション In-situ calibration for various multi-component borehole strainmeters

松本 則夫^{1*}

MATSUMOTO, Norio^{1*}

¹産総研地質

¹GSI, AIST

産業技術総合研究所では、四国・紀伊半島・東海地域の14地点で東南海・南海地震予測研究のために地下水位や地殻変動の観測を継続している。これらの観測点にはボアホール型の石井式多成分歪計や Gladwin Tensor Strain Meter(GTSM)が設置されている。また、いくつかの活断層の近傍などでアナログ式の石井式多成分歪計や坂田式歪計での観測を行っている。ここでは、これらのさまざまなボアホール型多成分歪計に対する原位置におけるキャリブレーション結果とその妥当性の評価について報告する。

原位置キャリブレーションは潮汐に対する歪データの応答と理論潮汐を用いた松本・他(2010)と同じ方法を用いた。理論潮汐のうち海洋潮汐加重の影響については、Kamigaichi(1998)による埋設深度ごとの荷重グリーン関数とその荷重グリーン関数を使用できる改良 GOTIC2 プログラムを用いた。長周期歪波形やキャリブレーション行列の対角成分・非対角成分を用いて原位置キャリブレーションの妥当性を検討した。

石井式歪計については、11観測点すべてにおいて原位置キャリブレーションが妥当におこなわれたことがわかった。GTSMの原位置キャリブレーション結果については、1観測点では妥当で、3観測点ではキャリブレーション手法の改善および検討が必要であることがわかった。アナログ式の石井式多成分歪計や坂田式歪計の原位置キャリブレーション結果についても評価を行った。

キーワード: 歪計, 原位置キャリブレーション

Keywords: strainmeter, in-situ calibration

水準測量から推定される 1972 年から 2009 年の紀伊半島の地殻上下変動 Vertical crustal deformation in Kii Peninsula from 1972 to 2009 deduced from leveling data

小林 昭夫^{1*}

KOBAYASHI, Akio^{1*}

¹ 気象庁気象研究所

¹Meteorological Research Institute

南海トラフ沿いでは浜名湖付近や豊後水道で長期的スロースリップイベント (SSE) が GPS により観測されており、小規模な長期的 SSE は四国西部や四国中部でも見つかっている。また、南海トラフのプレート沈み込み帯に沿って深部低周波微動の震源が分布しており、その活発化に伴っていくつかの地域では短期的 SSE による地殻変動も観測されている。これら長期的および短期的 SSE の発生域は、将来の巨大地震発生に向けて歪が蓄積されているプレート境界の固着域に隣接しており、その過去からの発生状況を把握することは、南海トラフ沿いの巨大地震の発生予測のための重要な情報となる。

過去の地殻変動を調査する手段として、水準測量は観測精度が高いが実施頻度が低い。潮位記録は海況の影響除去が難しいために水準測量より地殻変動の観測精度は悪いが、連続記録でありイベントの時期の特定には有力な情報を提供する。これらを組み合わせることにより、過去に発生した非正常なイベントによる地殻変動の場所と時期を推定できる可能性がある。これまで、四国西部や四国中部の水準測量と潮位観測から、豊後水道地域の繰り返し長期的 SSE などを推定した。ここではまず水準測量の解析により、紀伊半島の過去の地殻変動について調査した。

最近の GPS の上下変動データから定常的な地殻上下変動速度を推定し、それを水準測量結果による各測量間の上下変動から差し引くことにより、各期間に発生した非定常的な地殻変動を抽出する。GPS データは国土地理院 GEONET の日座標値 F3 解を使用した。GEONET 観測点のアンテナ交換などに伴う人為的要因によるオフセットは、国土地理院 Web ページで公開されているデータセットを用いて補正した。ここでは 1997 年 1 月から 2000 年 1 月および 2007 年 1 月から 2010 年 1 月のデータから定常的な地殻上下変動速度を推定した。この期間には紀伊半島の地殻上下変動に影響を与えるイベントは発生していない。

四国の地殻上下変動には 1970 年頃まで南海地震の余効変動が見られたため、紀伊半島についても 1972 年以降について調査した。水準路線により測量実施時期は多少異なるが、全国改測に合わせて数年に一度の測量が実施されている。水準測量データは地殻活動観測データ総合解析システム (INCA) [鷲谷・他 (2003)] および地震予知連絡会会報から入手した。GPS から推定された定常的な地殻上下変動速度に測量期間の長さに乗じた変化量を、水準測量間の地殻上下変動から差し引く。期間中に非定常な地殻変動が発生していなければ、上下変動の分布はゼロを中心とするばらつきの範囲内に入るはずである。

1972.0 - 1979.6 年の期間には、明らかに潮岬付近をピークとする隆起が見られ、1944 年東南海地震または 1946 年南海地震の余効変動が継続している。続く 1979.6 - 1983.5 年の期間にも値は小さいが潮岬付近の紀伊半島南部が隆起、北部が沈降の傾向が続いている。このことから、1944 年東南海地震または 1946 年南海地震の余効変動は紀伊半島付近では四国よりも長く 1980 年代初めまで継続していたことがわかる。1983.5 - 1989.9 年、1989.9 - 2000.9 年、2000.9 - 2009.0 年のいずれの期間にも、ばらつきの範囲を超える非定常な上下変動域は見られない。紀伊半島付近では水準測量では検出できない小規模な長期的 SSE は発生しているかもしれないが、少なくとも豊後水道や浜名湖付近で発生したと同程度の長期的 SSE は 1972 年以降には発生していないようである。

本調査には国土地理院 GEONET の座標値およびオフセット値、水準測量結果を使用させていただきました。

キーワード: 水準測量, 地殻上下変動, 紀伊半島

Keywords: leveling, vertical crustal movement, Kii Peninsula

Hi-net 高感度加速度計による傾斜変動データの原位置キャリブレーション In-situ calibration of NIED Hi-net tiltmeter data

木村 武志^{1*}, 廣瀬 仁², 松本 則夫³, 上垣内 修⁴

KIMURA, Takeshi^{1*}, HIROSE, Hitoshi², MATSUMOTO, Norio³, Osamu Kamigaichi⁴

¹ 防災科学技術研究所, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 気象庁

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Graduate School of Science, Kobe University, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Japan Meteorological Agency

防災科学技術研究所が展開する高感度地震観測網 Hi-net の各観測点に併設された、高感度加速度計水平成分（傾斜計）による傾斜変動データは、西南日本の沈み込み帯深部で深部低周波微動を伴い繰り返し発生するスロースリップイベント [例えば, Obara et al., 2004] の微小な地殻変動を捉えるなど、地殻活動の研究やモニタリングにとって重要な記録を提供している。これらの震源モデルの推定やモニタリングを精度良く行う為には、得られる傾斜変動データの振幅値について原位置で確認することは重要である。本研究では松本・他 [2010] と同様に、潮汐応答成分を用いた傾斜変動データの原位置キャリブレーションを行う。

キャリブレーションは、M2, O1 分潮の振幅・位相について傾斜変動データから得られる値と理論潮汐の値を比較することにより行う。まず傾斜変動データから BAYTAP-G [Tamura et al., 1991] を用いて、地球潮汐の M2, O1 分潮の振幅・位相を推定する。理論振幅・位相については、GOTIC2 [Matsumoto et al., 2001] を用いて計算する。ただし、海洋潮汐荷重の応答成分については、Kamigaichi [1998] によるセンサー埋設深度を考慮した荷重グリーン関数を用い、この荷重グリーン関数が使用できるよう上垣内により改良された GOTIC2 を用いる。

四国の Hi-net 観測点 31 点についてキャリブレーションを行った。ここでは 2009 年から 2010 年の各観測点・成分の傾斜変動データに対して、データ長 90 日間の解析区間（移動幅 1 日）に BAYTAP-G を適用し、得られた振幅・位相の平均値を観測値とした。観測振幅値は理論値の 0.7-1.5 倍であり、松本・他 [2010] による紀伊半島の産業技術研究所の観測点に関する結果と調和的である。また、位相の差はほとんど無く、汐見・他 [2003] によるセンサー設置方位の補正値が適当であると言える。ただし、三崎観測点については、南北成分の観測振幅値が理論値の 0.4 倍、M2 分潮の位相差が約 50 °となり、他点と比べると差が大きかった。三崎観測点は海岸線の非常に複雑な佐田岬半島に位置するため、海洋潮汐荷重の影響を適切に見積もれていないことがこの差異の原因と考えられ、今後検討が必要である。

キーワード: 傾斜変動データ, 原位置キャリブレーション, Hi-net

Keywords: ground tilt data, in-situ calibration, Hi-net

Search for Creep Signals along the Sagaing Fault Using ALOS/PALSAR Interferometry Search for Creep Signals along the Sagaing Fault Using ALOS/PALSAR Interferometry

古屋 正人¹, 孫 碩帥^{1*}

FURUYA, Masato¹, SUN, Shuoshuai^{1*}

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

¹Department of Natural History and Sciences, Hokkaido University

Sagaing fault is known as a ~1000 km continental transform fault between the India and Sunda plates, and it is one of the great right-lateral strike-slip faults of Southeast Asia. As slip rate is the important aspect of Sagaing fault, during the past 30 years, seismologists did their best to estimate the slip rate in order to get a close value. The value of slip rate estimated from 35.4 mm/yr by Curray et al. (1982) to 18.5 mm/yr suggested by Myint Thein et al. (1998) changes by different seismologists. Since GPS become useful around 21st century, Vigny et al. (2003) used two years GPS observations to estimate 18 mm/yr of elastic deformation across the central Sagaing fault, and Meade (2007) estimated the rate using GPS observations in a block model which suggests that the strike-slip rate between the Indian and Southeast Asian Plate is 17 and 49 mm/yr at across the central and northern Sagaing fault, respectively.

Whereas InSAR is a powerful technique to map the Earth's surface deformation, to our knowledge, no previous studies have been performed along the Sagaing fault, presumably because shorter-wavelength SAR data did not allow preserving interferometric coherence over the densely vegetated regions. The L-band ALOS/PALSAR, however, could keep good coherence even in vegetation, so that we can map out the surface deformation if the fault is deforming with detectable amplitude. As a preliminary study, we applied InSAR technique to such PALSAR data pairs that span 2-3 years if the fault is undergoing creeping signals like found along the San Andreas Fault in the US west coast.

Keywords: creeping signals, right-lateral, strike-slip, slip rate, InSAR

稠密な GPS 連続観測で得られた別府島原地溝帯およびその周辺での地殻変動 Crustal deformation in and around Beppu-Shimabara Graben by continuous dense GPS Network

中尾 茂^{1*}, 松島 健², 大倉 敬宏³

NAKAO, Shigeru^{1*}, MATSUSHIMA, Takeshi², OHKURA, Takahiro³

¹ 鹿児島大学大学院理工学研究科, ² 九州大学大学院地震火山観測研究センター, ³ 京都大学大学院火山研究センター

¹GSSE, Kagoshima Univ., ²SEVO, Kyushu Univ., ³AVL, Kyoto Univ.

Beppu-Shimabara Graben located in central Kyushu. In this area, there is north-south extension field. It is important to study the crustal deformation in this area to research tectonics in Kyushu district. We started 20 continuous GPS observation added to GEONET sites from 2009 in and around Beppu-Shimabara Graben.

GPS data observed at our stations, GEONET and 15 IGS sites are analyzed by Bernese GPS Software Ver. 5.0 (Dach et al., 2007) with IGS precise orbit and Earth rotation parameters. We can get daily coordinates of the sites (Nakao, et al., 2010).

Displacement velocities, which are coefficient of linear trend, are estimated by least squares method.

When these velocities, which are relative to 960688 GEONET site, plotted, clear boundary can see. 960688 GEONET site is located in the northern part of Kyushu. The displacement velocities of northern part from this boundary, where fixed site 960688 is located, are almost zero. On the other hand, those of southern part are from several to 10 mm. This boundary is from the northern part of Beppu Bay to Uki City in Kumamoto Prefecture via Aso Volcano. There are a lot of active faults on this boundary. The western part of this boundary seems the south boundary of Beppu-Shimabara Graben. However, the eastern part is not the south boundary but the north boundary.

There is the clear boundary of crustal deformation in Beppu-Shimabara Graben..