

氏 名	なか の たけ ひで 中 野 健 秀
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	論 理 博 第 1415 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Postseismic Displacement Observed after the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake and Estimated Afterslip Distribution (1995年兵庫県南部地震後に観測された余効変動と推定されたアフタースリップの分布)
論文調査委員	(主 査) 教 授 竹 本 修 三 教 授 橋 本 学 教 授 岡 田 篤 正

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震(M=7.2)の前後から、全国の大学のGPS研究者で組織する「GPS 大学連合」が震源周辺地域で行ったGPS観測と国土地理院が同地域で行ったGPS観測によって得られたデータを合わせて解析し、余効変動の詳細な時空間変化を求めるとともに、得られた余効変動のインヴァージョン解析により断層面上のアフター・スリップの空間分布と時間的変化を推定したものである。

まず、GPSを用いた兵庫県南部地震の稠密観測データについて、震央から北西に約50 km離れた国土地理院の御津観測点(MITU)を不動点として解析を行った結果、23観測点において余効変動が認められた。とくに、地震断層に近い岩屋観測点など、数点の観測点では2 cmに達する顕著な余効変動が確認された。また、宇治観測点など、震央から約100 km離れた観測点においても余効変動が検出された。余効変動のベクトルの向きと地震時のco-seismicな変動の向きとを比較した結果、多くの観測点で両者は一致する傾向を示した。さらに、余効変動が顕著に表れていた観測点の観測結果に指数関数を当てはめ、その緩和時間を求めた結果、概ね50日という値を得た。また、座標成分の時間変化にベキ関数をあてはめ、ベキ数を求めると、1.11という値が得られた。この値は、余震発生頻度が時間の経過とともにベキ関数的に減少するという改良大森公式のベキ数(P値)として兵庫県南部地震の場合について求められている $P=1.1$ とほぼ同一の値を示した。なお、地震後7年間にわたって余効変動を調べた結果、時定数が数年におよぶ長期の余効変動は認められなかった。

次に、短い時定数をもつ余効変動の要因としては、地震断層面およびその延長部分におけるアフター・スリップが起こっていたことが考えられる。そこで、23ヶ所で得られた水平方向の余効変動量を入力データとして、断層面に 11×6 の格子点を取り、ベイズ型統計を用いたインヴァージョン法により、各格子点のアフター・スリップの変位量を求めた。この際、余効変動量には観測点のノイズレベルを考慮した重みを付け、また、観測方程式を作る段階でスプライン関数を用いた平滑化を行い、66点の格子点がそれぞれ完全に独立な動きをしないように拘束を与えた。まず1つの断層面を仮定し、断層面の深さ方向の厚さを35 kmとし、傾斜角を $70^\circ \sim 110^\circ$ 断層面の水平方向の長さを40 km ~ 90 kmの範囲で変化させ、最適解を探した。その結果、傾斜角を $89^\circ \sim 90^\circ$ 、断層面の長さを60 kmとした場合に最も安定な解が得られることがわかった。そこで、断層面のパラメータとして、傾斜角 90° 、走向 $N52^\circ E$ 、断層面の南西端の座標値($34.546^\circ N$, $E134.938^\circ E$)を与え、各格子点の変位量を計算した結果、神戸直下の断層下部(15~25 km)を含む4つの小領域に集中して最大数10 cmに及ぶアフター・スリップが存在した可能性が示唆された。さらに、兵庫県南部地震の周辺地域の活断層帯や余震分布などをも考慮にいれて、それぞれ 4×6 及び 9×6 の格子点から成る2つの断層面に分割した場合のモデル計算を同様のインヴァージョン手法で行ってみたが、1つの断層モデルの場合とはほぼ同じ結果が得られた。断層面上のアフター・スリップが起こった小領域と余震分布とを比較すると、余震が数多く起こっている領域ではアフター・スリップが起こっていないことがわかった。また、本震時に滑った領域とアフター・スリップが起こった領域とを比較すると、本震の高周波生成域においてアフター・スリップが卓越している傾向が見られた。さらに、本震後、40日、60日、80日及び160日までの余効変動からアフター・スリップの活動様式の時間的変化を調べた結果、すべりの起きている領域がそれぞれ異なった時間スケールで変動している可

能性が示唆された。

論文審査の結果の要旨

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震 ($M=7.2$) に伴う余効変動を観測し、そのメカニズムを解明することなどを目的として、申請者を含む全国の大学のGPS研究者で組織する「GPS大学連合」は、地震直後のまだ交通網が遮断されている困難な時期に多数のGPS臨時観測点を短時間のうちに設置して、震源域を囲む稠密なGPS観測網を作りあげた。

これらの観測データに基づき、震央から北西に約50 km離れた国土地理院・御津観測点 (MITU) を不動点として解析を行った結果、断層近傍における余効変動の変位量は約2 cmで、その変動ベクトルの向きは、多くの観測点で地震時のco-seismicな変動の向きとほぼ一致することを示した。また、震央から約100 km離れた観測点においても余効変動が観測されたことなどを見だし、地震に伴う余効変動の詳細な時空間分布を明らかにした。さらに、余効変動が顕著に認められた観測点のデータに指数関数を当てはめ、その緩和時間の時定数を求めた結果、概ね50日という値を得た。この値は、ほぼ同規模の1992年ランダース地震の場合と一致しており、今後、内陸地震の余効変動の普遍的なメカニズムを研究するうえで、重要な情報を提供したといえる。また、余効変動を示す曲線にベキ関数を当てはめ、それによって得られたベキ数が地震の余震分布から求められる改良大森公式のp値 (1.1) とほぼ同一の値となることを示したが、このことは余震活動と余効変動とが同じ力源に基づく可能性を示唆しており、余震発生のメカニズム解明につながるものとして、注目されている。

次に、得られた余効変動のインヴァージョン解析により断層面上のアフター・スリップの空間分布と時間的变化を推定した。具体的には余震分布などを考慮して、1つの断層面及び2つの断層面から成る滑り領域を考え、断層の位置・傾き・走向などのさまざまなパラメータを変化させ、インヴァージョン解析を行った。その結果、神戸直下の断層下部を含む4つの小領域に集中して最大数10 cmに及ぶアフター・スリップが求められた。本研究は、これまで地震活動がみられない下部地殻の15~25 kmの深さに数10 cmに及ぶアフター・スリップの存在を示した点に意義がある。下部地殻内でのアフター・スリップの存在は、リフレクティブな下部地殻構造の流動性、並びに震源核形成に至る応力蓄積過程を考察するうえで、今後、重要な要素となる。なお、申請者は、インヴァージョンで得られた解の信頼性を確かめるために、余効変動で得られたデータと指数関数の当てはめから生じる誤差を用いて疑似データを作り、その疑似データのインヴァージョンを行い、解の確からしさを証明している。さらに、本研究において、本震時の断層活動の様式との比較から、本震の高周波生成域においてアフター・スリップが卓越している傾向が見られることを示したほか、アフター・スリップの活動域が余震域と重ならないところに求められるなどの新たな知見を得ている。

以上の諸点から、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値があるものと認めた。

また、参考論文8篇は、GPSを用いた兵庫県南部地震の余効変動の研究に関するものであり、いずれも主論文の基礎となっている。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問を行った結果、合格と認めた。