12-8 西南日本の歪集中域における歪速度・断層強度の観測と応力集中機構のモデ ル化

Studies on strain rate, fault strength and modeling of stress concentration in some regions with high strain in southwest Japan

京都大学防災研究所地震予知研究センター

Research Center for Earthquake Prediction Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

西南日本における内陸地震準備過程のモニタリングに関する研究の例として,ここでは,近畿地 方における歪速度の時空間分布,山陰地域の地震活動帯における応力集中機構のモデル化,および 野島断層における強度回復過程の検出について報告する.

1. 近畿地方における歪速度の空間分布と時間変動

GEONET データの F3 解を使用して,最近3年間の平均歪速度から歪主軸を求めたものを第1図 に示す.近畿地方全域にわたり北西-南東方向の収縮が顕著であるが,これと直交する方向の伸長 は特定の地域に偏り,新潟-神戸歪集中帯の他,紀伊半島南西部および志摩半島で大きい歪速度を 示す.

時間的な変化として最も顕著なのは、2002年後半期に大阪湾から琵琶湖西岸に見られた系統的な 歪速度の変化である.隣接点間のみならず、測線長を40km程度まで伸ばし、この時点での観測点 分布で672ペアについて調べた結果、第2図に示す測線で明瞭な歪速度変化が見られた(第3図). ここに示された時間変化の特徴は、すべての変化が東南東 - 西北西方向で収縮量が半減し、直交す る方向に見られた伸長変化も小さくなるという方位依存性である.この時期から約半年後の2003年 初めから丹波山地での微小地震活動に静穏化が見られる.上記の歪速度の変化は、この地域の微小 地震発震機構のP軸頻度分布の最頻方向の収縮が半減していることに相当し、地震活動の変化と調 和的といえる(第4図).

2. 山陰の地震活動帯における応力集中機構のモデル化

山陰地域の地震帯について,応力インバージョンによる応力場の推定と FEM によるモデリングを 行った結果,地震帯において応力場の回転が起こっており,それは下部地殻の不均質構造により説 明可能であることが分かった.

西南日本合同観測のデータを用いた応力インバージョンにより,第5図に示すように,中国地方の広域における最大圧縮応力の方向は,およそ N100°E とほぼ東西であるのに対して,地震帯では N120°E と,約 20°回転していることが推定された.

地震帯における応力場の回転の原因を探るため,FEM(Abaqus)によるシミュレーションを行った.日本列島とその周辺では高温のため地殻と上部マントルはデカップルしていると仮定して,第6図に示すように地殻のみをモデル化した.中国地方の広域において応力インバージョンにより推定された主応力の方位と応力比R,鳥取県西部地震の余震域で推定された差応力の下限値等から,広域における応力テンソルを推定し,深さに依存しない偏差応力を境界条件として与えた.応力比Rについては,第5図に示すように,広域では0.4程度であるのに対して,地震帯では0.5程度と大き

いことが推定されている.

内陸地震の断層付近の不均質構造としては、(1)地震帯の上部地殻の幅 5km の低速度の断層帯 (UCFZ)、(2)地震帯直下の下部地殻の幅 5km の低粘性の断層帯 (LCFZ)、(3)地震帯直下の下部 地殻の延性的な断層 (LCF)の3とおりを仮定した.第7図に十分長時間経過した後の計算結果を 示す.地震帯からの距離と、最大圧縮応力軸の方位(上)、および応力比R(下)との関係を3つ の不均質構造について示した.いずれのモデルでも主応力軸の回転を再現しているが、(1)の上部 地殻に不均質をおくモデルでは、地震帯の応力比Rが周辺に比べて小さくなり、観測データと逆セ ンスとなっている.(2)、(3)の下部地殻に不均質をおくモデルでは、応力インバージョンにより推 定された応力比Rの空間変化を定量的によく説明し、鳥取県西部地震の余震域における最大圧縮応 力軸の方位の空間変化もよく再現している.

3. 野島断層の強度回復過程

野島断層では、1995年兵庫県南部地震の直後における断層の強度回復過程について、繰り返し 注水実験とボアホール連続観測等により調べられてきた.野島断層近傍岩盤(震源断層からの水平 距離約 400m)の540m 深度への注水実験を1997年~2009年にかけて6回実施した.800m 孔にお ける地下水位・歪、および地表における自然電位の変動データのモデリングにより、野島断層近傍 岩盤の透水係数が1997年~2003年にかけて約 60%低下したこと、および2003年以降ほぼ頭打ち となったことを検出した.これは野島断層近傍におけるクラック密度の低下(強度回復)を示唆す ると考えられる.

800m 孔底の3成分歪計による潮汐歪の連続観測データ(1997年~2004年)から周辺岩盤の弾 性定数を推定した.2000年8月の孔口密閉によるステップ状の変動を除くと、ヤング率は約8年 の時定数で増加し、ポアソン比は約5年の時定数で低下を示す.これらは繰り返し注水実験による 800m 孔の歪変動データから推定された透水係数の低下とほぼ同じ時定数を持ち、野島断層の強度 回復過程を示すと考えられる.

(大谷文夫・飯尾能久・西上欽也)

参考文献

 Kawanishi, R., Y. Iio, Y. Yukutake, T. Shibutani, and H. Katao (2009), Local stress concentration in the seismic belt along the Japan Sea coast inferred from precise focal mechanisms: Implications for the stress accumulation process on intraplate earthquake faults, J. Geophys. Res., 114, B01309, doi:10.1029/2008JB005765.



- 第1図 近畿地方における歪速度の空間分布(2007年1月1日~2009年12月31日). 歪主軸および 年間歪率を表示.
- Fig.1 Strain rate distribution in the Kinki district (Jan. 1, 2007 Dec. 31, 2009) . Principal strain rates are plotted in annual value.



- 第2図 2002 年後半に歪速度変化が認められた測線.赤: 歪速度増加,青:歪速度減少.
- Fig. 2 Baselines where the strain rate varied significantly in the second half of 2002. Red indicates the increase of the strain rate and blue indicates the decrease of the strain rate.



- 第3図 第2図枠内の各測線における歪の時間変化.赤の縦線は変化時期, 緑の縦線は紀伊半島沖の地震(2004年9月5日).上段より,時 計まわりの測線方位順に並べている.
- Fig. 3 Time series of the strain in each baselines shown in Fig.2. Red lines indicate the time of the strain rate change and green line indicates the occurrence time of the earthquake southeastern off Kii peninsula on September 5, 2004. The graphs are arranged on their clockwise azimuth from top to bottom.



第4図 2002 年後半を境とした歪主軸の変化,および丹波山地の微小地震の P 軸頻度分布 Fig. 4 Principal axes of the strain rate change in the second half of 2002 and frequency distribution of the P axis direction of the focal mechanism in the Tamba highland.



第5図 (左)中国地方におけるメカニズム解の P 軸の空間分布. (中・右) 2 つの region において,応力インバージョンにより推定された主応力の方向と応力 比 R を 95% 信頼区間とともに表示¹⁾.

Fig. 5 Distribution of P-axes of focal mechanisms and results of the stress inversion in region W1 (seismic belt) and region W2 (surrounding region).



第6図 FEM モデル. モデルの側面は水平面内主応力に直交するように取られている¹⁾. Fig. 6 Framework of the finite element model. The edge directions are set to be parallel to the axes of the principal stresses estimated in region W2.



第7図 FEM による計算結果. 25: 広域の最大圧縮応力軸と地震帯との角度が 25°のモデル. 15: その 角度が 15°のモデル¹⁾.

Fig. 7 Results of the FEM modeling. 25: the model with the angle between the ductile fault zone in the lower crust and the azimuth of the maximum principal stress of 25 degrees. 15: that of 15 degrees.