

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 張 学磊

論 文 題 目 Modeling of intraplate strike slip faulting and shear zone evolution in the lower crust based on nonlinear rheological laws

(非線形流動則に基づく内陸横ずれ断層運動と下部地殻剪断帯発達のモデル化)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学減災連携研究センター 教 授 鷺谷 威

副 査 名古屋大学大学院環境学研究科 教 授 山岡 耕春

副 査 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授 伊藤 武男

副 査 国立研究開発法人建築研究所 上席研究員 芝崎 文一郎

論文審査の結果の要旨

本論文は、プレート内の横ずれ断層における大地震の繰り返し発生と断層下の下部地殻における剪断帯の形成を、岩石の非線形流動則を考慮した数値シミュレーションによって再現し、その結果について考察したものである。

1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震のように、陸域の地殻内で発生する大地震は大きな被害をもたらすが、こうした内陸地震の発生に至る仕組みの理解は不十分とされてきた。地殻内の断層における変形や応力の蓄積過程については、従来、サンアンドレアス断層のように年間数 cm の平均変位速度を持つプレート境界の横ずれ断層を主たる対象として研究が進められてきた。プレート境界断層と同様に、プレート内断層直下の下部地殻で変形集中が生じている可能性が構造探査から示されたものの、プレート内断層の平均変位速度は年間数 mm 以下とプレート境界断層より1桁以上小さく、その変形過程がプレート境界の断層とは本質的に異なる可能性がある。そのため、プレート内断層直下の下部地殻がどのように変形しているか、その変形の支配要因は何か、また、そうした変形と地震発生がどのような関係にあるか、といった諸問題が未解明であった。そこで、本研究では、高温高压下の岩石実験により求められた岩石の流動則を用いて、1mm/年という小さい相対変位速度の条件下で、断層周辺の地殻変形に関する2つの数値シミュレーションを行った。

まず、下部地殻が斜長石の流動則に従うと仮定し、一定の地温勾配を与えるとともに、上部地殻中の断層を境とする一定速度の剛体ブロック運動によって下部地殻が変形するという条件で数値実験を行い、下部地殻における変形集中の再現および変形の支配要因に関する検討を試みた。その結果、プレート境界断層では、剪断および断層摩擦による発熱に伴って岩石の粘性が低下し変形集中が生じるのに対して、変位速度の小さいプレート内断層では発熱による温度上昇の効果は殆ど無視でき、岩石の粘性率が応力のべき乗に比例するべき乗則クリープの効果が変形集中の要因として最も重要であることが分かった。一方、この計算では、モデル中の水平面における応力が下部地殻の上端付近で非現実的に大きな値となることを見出し、境界条件を強制変位として与える方法の問題点も明らかとなった。

上記の結果を踏まえ、第二のモデルでは、地殻全体を非線形 Maxwell 粘弾性体として定義し、また、断層強度をクーロンの摩擦法則で与え、遠方における一定速度の変位を境界条件として与えることにより、地殻内における応力蓄積とその結果生じる地震の繰り返し発生と下部地殻内における剪断帯形成を一連の力学過程として再現した。計算結果は、変形の累積に伴って地殻全体の一様変形から断層周辺に集中した変形へと変形様式が次第に変化すること、下部地殻の流動に伴って断層下端に応力集中が生じ断層が深部へ成長すること、最終的には断層下端における応力蓄積が地震発生を支配し短い間隔で地震が繰り返し発生するようになること等、地殻内における応力場の形成とそれに伴う地震の繰り返し発生、さらには断層直下の下部地殻における剪断帯の構造発達が一連の力学過程として再現された。こうした内陸地震の発生に関する諸現象を統一的に再現した本研究のモデルはプレート内における地震発生および地殻変形の諸過程に関する基本的な枠組みを提示するものであり、プレート内地震の仕組み解明上重要な意義を持ち高い独自性が認められる。

本論文では未解決の課題も残っている。本論文で扱われたのは二次元モデルであり、走向方向に無限の長さを持つ断層が仮定されている。しかし、現実の断層の長さは有限であり、断層端の力学過程は未解明の課題として残る。また、本論文の計算結果では、上部地殻の応力が大きくなり過ぎるという問題点がある。この点について、申請者は地殻の塑性変形を考慮する必要性を指摘しているが、その考察はまだ道半ばであり、今後の研究を通して、より現実に即したモデルが提案されるものと期待される。

以上のように、本研究は、プレート内の断層における応力蓄積と地震発生および下部地殻における剪断帯の形成・発達を一連の力学過程として統合的な形で理解する枠組みを提示した。本研究は、従来謎とされてきた地殻内地震の発生過程の理解に至る重要な一歩と位置づけることができ、学術上寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者張学磊君は博士（理学）の学位を授与される資格があるものと判定した。