

氏 名	川 方 裕 則
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2045 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Experimental Studies on the Three-dimensional Structure and Growth Processes of Faults

(断層面の三次元的構造とその成長過程—実験的研究—)

(主査)

論文調査委員 教授 島田 充彦 教授 尾池 和夫 助教授 柳谷 俊

論 文 内 容 の 要 旨

地震は、一般に地球内部での断層運動によって生じると考えられている。地球内部での断層運動を実験室で模擬化することは、地震発生機構の解明にとって不可欠である。1960年代以降、この種の実験は多く行われてきた。それらは岩石の破壊実験と摩擦すべり実験に大別される。破壊実験では、実験的に形成される自然に近い断層面上のすべり運動を再現することができるが、実験前に断層面の位置をあらかじめ知っておくことが出来ない。一方、摩擦すべり実験ではあらかじめ断層面を作っておくため、種々の物理量の測定は容易であるが、断層面に端がなく、面が研磨されているため、再現されるのは単純化された1次元的な断層運動である。申請者はこれらの問題点を解決するために、実験的に形成される断層面を用いたすべり実験の手法を確立し、これによる実験から、断層面成長・すべり過程に関する議論を行っている。

申請者は、まず、封圧下の岩石試料内部に形成される断層面の成長過程を3次元的に捉えるために、断層面形成途上で回収された試料を、X線CTスキャンにより非破壊的に内部観察を行っている。実験には、室温乾燥状態の円筒形状(直径50mm, 長さ100mm)のWesterly花崗岩が用いられた。試料は、封圧100MPaおよび5MPa下で、周変位速度一定の制御で三軸圧縮され、ある応力降下量が確認された時点、すなわち断層面形成途上のある段階で除荷・回収された。回収試料の円筒軸に平行および垂直な断面で断層面像が、X線CTスキャンにより得られた。異なった応力降下量での試料の内部構造を比較することにより、断層面形成過程が推定された。封圧100MPaの実験では、応力降下量の増加に伴う断層面の面内・面外両方向への成長が確認された。また、一連の実験を通して、応力降下速度(応力降下量の周変位増加量に対する割合)が約一桁ずつ増加する3段階を経て残留応力レベルに至ることが明らかにされた。このことを組み合わせて、断層面は、面内・面外剪断の混成モードで成長を始め、面外成長の卓越する段階に移行した後に、面内成長が卓越し、試料は、最終的に二分されるというシナリオが提唱されている。さらに、形成された断層面の3次元再構成から、試料の幾何形状による影響と考えられるが、断層面は平面状ではなく曲面状であることが見出された。一方、封圧5MPaの実験からは、圧縮軸に低角度の複数の断層面が観察され、その面の数は、応力降下量の増加と共に増加することが明らかにされた。この封圧は一軸圧縮に相当するものであり、一軸圧縮と封圧下の三軸圧縮による断層面形成の本質的な相違が議論されている。本研究の目的は、一枚の断層面の成長過程を明らかにすることであるため、以降の実験は、封圧100MPaで行われている。

次に申請者は、上で得られた試料の内部構造のより微視的な観察を行っている。試料は断層面に垂直に0.5mm刻みで平面研削され、その断面が実体顕微鏡により逐次観察されている。その結果、X線CTスキャンで検出されたものと一致する断層面を検出することに成功し、X線CTスキャンによる観察の有効性を確認している。この手法は、非破壊的ではなく、再実験を行う際には有効ではないが、解像度が高いため、より深くまで断層面を検出でき、試料内部に断層のステップオーバー構造や、副次断層といったより微細な構造が検出され、自然地震断層に対する理論的研究との関連が議論されている。

さらに申請者は、断層面形成途上で回収した試料表面に至るゲージを分布させ、断層成長に伴う歪変化を測定し、得られた

歪変化の分布を基に断層すべり運動に伴う歪変化の新たなシナリオを提唱している。歪ゲージは断層面の中心付近、先端付近、延長上での接線方向歪を測定できるように配置され、再度この試料を三軸圧縮することにより断層面を成長させ、断層面近傍の局所的な歪場の変化がその成長過程で測定された。弾性論から、断層面の先端付近では歪の集中が局所化し、その極性は断層面の進行方向前方で収縮、後方で伸張となることが期待される。この実験では、これに完全に調和的な歪変化が測定され、非弾性歪が存在する最大応力レベル付近においても弾性論に従う歪の集中の局所化が見られることが明らかにされた。さらに、この歪の集中の局所化は、相対変位の開始に先行し、一度局所化を示した箇所は再び載荷されても局所化しないことも明らかにされた。これらの結果を基に断層面の成長・すべり過程に対して次のようなシナリオが提唱された。1) 断層面先端付近では、断層の非弾性剪断変形による接線歪の集中の局所化が生じる。2) 断層面の先端が通過した後、さらに非弾性歪が蓄積することにより、相対変位が生じる。すなわち、接線歪の集中の局所化は相対変位の開始に先行して発生する。3) 接線歪の集中の局所化を経験した領域は、再び載荷されても、十分なヒーリング過程を経なければ、局所化を示さない。

論文審査の結果の要旨

申請論文は、地震発生場の理解を目的とした新たな室内実験として、実験的に形成される断層面を用いたすべり実験の手法を確立し、それによる実験から、断層面成長・すべり過程に関する議論を行っている。

申請者は、まず、封圧下の岩石試料内部に形成される断層面の成長過程を3次元的に捉えるために、断層面形成途上で回収した試料を、X線CTスキャンにより非破壊的に内部観察を行っている。室温乾燥状態のWesterly花崗岩の円筒形状試料が封圧100MPaおよび5MPa下で、周変位速度一定の制御により三軸圧縮され、ある応力降下量が確認された時点、すなわち断層面形成途上のある段階で除荷・回収された。異なった応力降下量の試料の内部構造を比較することにより、断層面形成過程が推定されている。封圧100MPaの実験からは、応力降下量の増加に伴う断層面の面内・面外両方向への成長が初めて確認された。これを、応力降下量の周変位増加量に対する割合が約一桁ずつ増加する3段階を経て残留応力レベルに至るという観測事実と組み合わせ、断層面は、面内・面外剪断の混成モードで成長を始め、面外成長の卓越するステージに移行した後に、面内成長が卓越し、試料は最終的に二分されるという興味深いシナリオを提唱している。さらに、形成された断層面の3次元再構成から、試料の幾何形状による影響であると考えられるが、断層面は平面ではなく曲面状であることが見出されている。一方、封圧5MPaの実験では、圧縮軸に低角度の複数の断層面が観察され、その面の数は、応力降下量の増加と共に増加することが明らかにされた。この封圧は一軸圧縮に相当するものであり、一軸圧縮と封圧下の三軸圧縮による断層面形成の本質的な相違を議論している。本研究の目的は、一枚の断層面の成長過程を明らかにすることであるため、以降の実験は、封圧100MPaで行われている。

次に申請者は、断層面をもつ試料の内部構造をより微視的に観察するため、上で得られた試料を断層面に垂直に平面研削し、その断面を実体顕微鏡により逐次観察している。その結果、X線CTスキャンで検出されたものと一致する断層面を検出することに成功し、X線CTスキャンによる観察の有効性を確認している。さらに、両手法の解像度の違いから試料内部に断層のステップオーバー構造や、副次断層といったより微細な構造を検出し、自然地震断層に対する理論的研究との関連を議論している。

さらに申請者は、断層面形成途上で回収した試料を用いて、断層成長に伴う断層近傍の歪変化を測定している。歪ゲージは断層面の中心付近、先端付近、延長上での接線方向歪を測定できるように配置され、再荷重により断層面が成長させられた。そして、断層面近傍の局所的な歪場の変化がその成長過程で測定された。断層面先端付近で弾性論に従う歪の局所化が観測され、非弾性歪が存在する最大応力レベル付近においても基本的に弾性論に従うことが明らかにされた。さらに、歪の集中の局所化は、相対変位の開始に先行し、一度局所化を示した箇所は再び載荷されても局所化しないことが明らかにされた。

従来、断層面の2次元的な成長は、1次元モデルとして実験的に得られた断層モデルを理論的に拡張する形で議論されてきたが、本論文は、2次元的な断層面成長を実験的に捉えることに成功しており、従来の単純な理論モデルをより現実的なものに近づけるための足がかりとなるものである。また、断層面近傍の歪変化の分布を基に、断層すべり運動に伴う歪変化

の新たなシナリオが提唱されている。これらの結果は、過去の実験的研究では得ることの出来なかった新たな知見であり、将来性のある重要な実験手法が確立されたといえる。これにより断層面形成とその成長過程およびすべり運動過程の解明に新たな知見を与えたものと評価できる。

よって、本論文は、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。そして、平成11年2月5日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。