

# A study on mechanical properties in seismogenic zone based on the geophysical observation data

光岡, 郁穂

<https://hdl.handle.net/2324/4784410>

---

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (理学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏名	光岡 郁穂			
論文名	A study on mechanical properties in seismogenic zone based on the geophysical observation data (地殻活動観測に基づく地震発生場の力学的特性に関する研究)			
論文調査委員	主査	九州大学	教授	松本 聡
	副査	九州大学	教授	金嶋 聡
	副査	九州大学	准教授	松島 健
	副査	九州大学	准教授	相澤 広記

### 論文審査の結果の要旨

地球表面の地殻は、プレート運動の相互作用を受けて変形していく。内陸で発生する大地震については、下部地殻が低粘性化し変形が集中することで、その直上にある断層に応力集中が生じて発生する、というモデルが提唱されている。大地震発生によって断層表面で応力は解放されるが、大地震発生後、その断層の周囲では、地震発生時に生じた応力の擾乱（応力変化）を、緩和・再分配して安定化していると考えられている。この地震という現象を含め、地震観測・地殻変動観測によって観測された変形は、適当な仮定や制約条件（応答特性）の下で対応する構成則を通して、応力と結び付けられる。つまり、地震発生時やその後の変動を検出し、この変形を理解するためには、地球内部の応力（場）の把握は必要不可欠である。光岡郁穂氏は、この“応力”に注目し、大地震の震源域で応力がどのように断層面に作用しているのか、また、地震の発生後、地殻がどのように応答するのかを調べるために、地震観測・地殻変動観測データを用いて地震発生層の応力場、変形場を調べた。

対象領域を2016年熊本地震の震源域（布田川・日奈久断層帯）に設定した。この地域は多くの断層系が発達し、熊本地震発生前から活発な地震活動があり、熊本地震の活動自体も規模の大きい地震が複数回発生するなど、何が複雑であったことが知られている。この研究では、一連の活動を、内陸地震発生を考える上で非常に重要な知見を得ることができる活動であると考え、地震前後の地震観測、測地観測データを用いて、応力場、歪み場、変位場を推定し、それらの時間変化について議論を行った。

対象領域の応力場は、地震前から複雑な空間不均質性を持っており、正断層型、あるいは右横ずれ断層型が推定された。これらの主な空間的な特徴は、本震(2016年4月16日、 $M_j=7.3$ )後の期間でも確認されたが、本震の震源断層(地震時断層)のごく近傍で約 $20^\circ$ 以上の有意な主応力軸の回転があることが推定された。この地震前後に見られる主応力軸の回転は、近年大地震発生領域でしばしば報告されており、このことは、その領域の応力場の絶対値は、地震発生時の応力変化と同程度の値であるということを示している。検出された主応力軸の回転から、熊本地震の発生領域でも、本震発生によって周囲に生じる応力変化と同じくらいの絶対値を持つ応力場であるということが示された。さらに、推定された主応力軸の回転（応力場の時間変化）と地震時の応力変化との関係を用いて、応力場の絶対値を定量的に推定した。本研究では、空間的に不均質な応力場を持つ領域における新たな絶対応力場推定方法を提案し、本研究の対象領域内で有意な応力場時間変化を示した

領域に適用した。その結果、その領域の差応力（最大—最小圧縮応力）の大きさは、15 MPa 程度であることを明らかにした。この差応力状態は、岩石変形実験から得られる差応力値と 1 桁以上の差があることから、対象領域では非常に摩擦係数が小さい（摩擦係数～0.1 程度）、もしくは間隙流体圧が静岩圧と同程度ほど大きかったという、低断層強度であることを示した。

さらに、大地震後、地震・地殻変動観測を続けると、余震活動・余効変動を捉えることができる。大地震の発生によって、地震断層上では応力は解放されるが、その断層の周囲では応力が载荷されていることが想定される。その一例として、余震活動は、大地震によって生じた地殻内の応力変化を非弾性的に緩和・解消していくものととらえることができる。一般に、大地震後、断層周辺では、余震によって生じる非弾性歪み速度は時間の冪乗に従って減少していくことが知られており、時間経過と共に非弾性歪みが収束していく。本研究の対象領域で地震観測データを用いて非弾性歪み速度の時間発展を調べると、地震時断層周辺で非弾性歪みが収束していく様子が確認された。一方で、地震時断層の南西部では、時間が経っても非弾性歪みが収束していかない領域があることを見出した。

また、大地震後の地殻変動観測データを用いて地表面での変位を推定すると、プレートの沈み込みなどによって生じる定常的な運動とは異なる傾向を持つ変位があることがわかった。この変位は、熊本地震の震源域で数 cm から 10 cm ほどの大きさで、布田川・日奈久断層の運動方向である右横ずれの傾向を示していた。このような地震後に生じる地表面での変位は他領域でも観測されており、余効変動と呼ばれる大地震発生後の非地震性変動の結果生じていると考えられている。

このように地震後の地震観測データ、地殻変動観測データを用いた地殻内と地表面での変形は、どちらも地震時の応力変化だけでは説明できず、地震発生後の非地震性変動の存在を示唆していた。そのため、これまで得られた応力場・非弾性歪みの情報を考慮して、地表面で観測された変位を説明できるアフタースリップ（地震時断層の延長部の非地震性すべり）モデルを構築した。布田川・日奈久断層の 2 枚の断層面形状を設定してベイズインバージョンを行い、その断層上のすべり分布を推定した。

得られた結果は、地震時断層の端では、アフタースリップのすべりが大きいことを示し、地震時断層端では、地震時応力変化の影響が非常に大きく、そのことから非地震性すべりが生じていることを指摘した。また、低粘性を示す低非抵抗構造を示している阿蘇山地下や、熊本平野の深さ 20 km 付近領域ですべり量が大きいことを見出した。これらの領域は低粘性構造が非地震性すべりを起きやすくしている可能性がある。また、推定されたアフタースリップがすべることによって生じる応力変化は、余震活動を促進しており、観測事実と調和的なモデル構築に成功した。

以上のように、地震学的・測地学的観測データをもとにして大地震後に応力が再配分され、さらに周辺の断層への応力载荷が起こるアフタースリップ現象を見出すことができた。

上記のとおり、本研究は自ら観測したデータに基づき、大地震発生の繰り返しや発生場の時空間発展についての重要な知見を提供し、現象理解だけでなく災害軽減に資する、地震発生場の理解に大きく貢献した。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。