

|             |                                                                                                                                       |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | あさ の きみ ゆき<br>浅 野 公 之                                                                                                                 |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (理 学)                                                                                                                             |
| 学 位 記 番 号   | 理 博 第 3133 号                                                                                                                          |
| 学位授与の日付     | 平 成 19 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 | Study on Strong Motion Generation Based on Detailed Analysis of<br>Earthquake Source Rupture Process<br>(震源破壊過程の詳細な分析に基づく強震動生成に関する研究) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 岩 田 知 孝      教 授 川 崎 一 朗      教 授 平 原 和 朗                                                                                |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は大地震時の震源における強震動生成過程の解明を目的として、詳細かつ信頼性の高い震源破壊過程を推定するための2つの方法論を提示している。詳細な震源破壊過程の推定は、アスペリティ（すべりの大きい領域）と強震動生成の関係を理解するために重要である。

第1の方法として、低周波数（ $<1$  Hz）の強震波形を用いた震源インバージョンによって震源破壊過程の推定がなされている。解析に使用する観測点毎に適切な速度構造モデルを小地震の観測波形のフォワードモデリングによって推定することにより理論的グリーン関数の信頼性を高めた。本手法を2004年新潟県中越地震（ $M_w6.6$ ）に適用し、すべりの詳細な時空間分布が得られた。得られた結果の安定性を吟味するため、データセットに含む観測点数や組み合わせを変えた解析を実施し、観測点数が少ない場合は解のばらつきが大きいものの、一定数以上の観測点配置でよく吟味された速度構造モデルを使用した場合は、安定した解が得られることを示した。

次に、波形インバージョンで得られたすべり分布を用いて、地震時の断層面上でのすべり分布から、静的応力降下量分布を計算し、アスペリティ及び非アスペリティ領域での静的応力降下量の特性をを行った。ここでは、本研究で得られた震源モデルを含む8つの内陸地殻内地震の震源モデルが収集され、分析された。その結果、内陸地殻内地震のアスペリティの静的応力降下量は地表からの深さに依存して大きくなることが示され、その実験式が提案された。また、地表地震断層を伴う地表出現アスペリティは、同程度の深さの伏在アスペリティに比べ、応力降下量が小さいことが示された。

第2の方法では、強震動の低周波速度波形（ $<1$  Hz）と高周波加速度エンベロープ（ $>1$  Hz）を同時に使い、断層面上でのすべり量と最大すべり速度及び破壊時刻分布を独立に推定する新たな広帯域震源インバージョン手法が開発された。この手法には、広帯域強震動シミュレーションに有効であるグリーン関数として小地震記録を用いる経験的グリーン関数法が使用されている。この場合、インバージョンによって直接に得られるパラメータは、経験的グリーン関数である小地震のそれに対する相対的な値である。本研究では、小地震を円形クラックモデルで近似し、その震源パラメータを予め求めておくことにより、大地震のすべり量や最大すべり速度の絶対値を得ることを可能とした。この手法が2003年5月に宮城県沖で発生したスラブ内地震に適用され、すべり量分布と最大すべり速度分布の空間的な関係が調べられた。広帯域強震動は主として2つのアスペリティから放射されていることが示された。また、破壊開始点を含む第1のアスペリティでは破壊開始点付近ですべり速度が大きいのにに対し、深部に位置する第2のアスペリティでは、破壊終端部付近ですべり速度が大きいといったアスペリティの破壊様式の特徴に違いがあることが見出された。

本論文では、2つの方法によって大地震の詳細な震源過程が調べられた。特に、応力降下量や最大すべり速度といった物理量が実記録から精度よく求められ、それに基づいて、断層破壊メカニズムと強震動生成の関係を定量的に議論できるようになった。

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、大地震によって引き起こされる強震動の成因を分析するために、不均質な震源破壊過程を詳細に求めることに焦点を当てて解析手法の確立と実記録への適用を行っている。震源での断層破壊過程を詳細に把握することは、地震災害と密接に関係する強震動の評価のみならず、地震発生メカニズムと地殻不均質の関係などを考える上でも重要な研究課題である。

本研究は、この目的を達するための2つの方法論を提示し、実際に観測された地震の詳細な震源破壊過程の分析と得られた結果の検討を行っている。

第1の方法では、波形インバージョン法により2004年新潟県中越地震の詳細な震源過程が調べられた。ここでは、理論的グリーン関数の信頼性を高めるため、余震波形のモデリングにより、観測点毎に適切な速度構造モデルが推定された。それにより、従来よりも信頼性の高い震源モデルが得られたといえる。また、申請者は震源近傍での良質な強震記録が豊富にえられることから、観測点配置が異なる解析結果を比較整理し、得られる解のばらつきを評価している。震源インバージョン結果を解釈し、活用する上で、安定した解を得るための観測点数や配置についての指針を示した点が評価できる。

次に、上記の成果を受けて、内陸地殻内地震のアスペリティでの静的応力降下量分布の特性化を行っている。アスペリティでの応力降下量は、アスペリティから放射される強震動の強さを規定する重要な物理パラメータである。本研究では、限られた解析数ではあるものの、深いアスペリティほど応力降下量が大きいこと、地表出現アスペリティは伏在アスペリティよりも応力降下量が小さいことを見出した。これらの知見は地殻内地震の破壊メカニズムの考察や将来の地震の強震動予測のための震源のモデル化に有用であると考えられる。

第2の方法では、広帯域(0.2-10 Hz)で断層面上のすべり量と最大すべり速度、破壊時刻分布を推定する新たな波形インバージョン法が開発された。すべり速度はすべりよりも高周波数の波の生成に寄与するため、最大すべり速度を精度よく求めるには、本研究が提案するように、高周波地震波の情報を取り込むことが不可欠である。既往の研究では、アスペリティ内外でのすべり速度強度の違いのように相対的な特徴で議論されてきたが、本手法の特色として、経験的グリーン関数として用いる小地震の震源パラメータを予めクラックモデルにより推定しておくことで、大地震のすべり量やすべり速度分布を絶対値で議論できた点にある。本手法は2003年宮城県沖地震に適用された。最大すべり速度分布はすべり分布と類似しているが、破壊開始と終端付近で最大すべり速度が大きいという特徴は、アスペリティの破壊進展過程を反映していると考えられる。

本研究は、アスペリティと強震動生成の関係を議論する上での重要な方法論を提示している。これらが、高密度に得られる強震記録に適用されていくことにより、詳細な震源破壊過程モデルが蓄積され、不均質な震源過程における強震動生成の本質が解明されることが期待される。

参考論文計12篇は、強震記録を用いた震源モデルの推定、強震動シミュレーション、長周期地震動の分析、地盤の速度構造推定のための微動観測など、いずれも大地震時の強震動生成と詳細な震源破壊過程の推定に関わる重要な研究成果である。これは申請者が幅広い知見と経験を有するとともに、研究を継続的に発展させ、取りまとめていく能力があることを示している。

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る。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。