

氏 名	ザン 章	ウェン 文	ボー 波
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)		
学 位 記 番 号	理 博 第 2623 号		
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 24 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 Dynamic Rupture Process and Near-Source Strong Motion Simulation—Case of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake— (断層の動的破壊過程と震源近傍域の強震動シミュレーションに関する研究—1999年台湾集集地震を例として—)		
論文調査委員	(主 査) 教 授 入 倉 孝 次 郎	教 授 Mori, James J.	教 授 岡 田 篤 正

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、大地震の震源像の解明を目的として不等間隔格子をもつ3次元有限差分法を用いて断層面での動力学破壊伝播過程および震源近傍域での強震動シミュレーションを行っている。本手法を1999年台湾集集地震の震源破壊過程のシミュレーションに適用する。この地震の断層面は1枚の平面断層では近似できず非平面の断層構造を設定する必要があることが地表断層の調査および余震分布などからわかっている。そこで、非平面断層に適用可能な3次元差分法コードの開発がなされた。さらにシミュレーション結果の有効性が合成された強震動と観測記録の比較によりなされる。

本研究の解析手続きは次の3段階でなされる。1) 地震動記録を用いてなされた運動学的震源インバージョンの結果から断層面上における応力の時空間変化の推定を行う。この解析により各小断層(分割された格子に対応)に対する破壊強度と摩擦応力レベルが推定される。2) 上で得られた応力パラメータとすべりの時間関数から応力—すべり関係および応力すべり速度の関係が解析される。その時臨界すべり弱化解距離 D_c が摩擦構成則(すべり弱化解摩擦則)に基づいて推定される。3) 上で得られる摩擦構成則による動力学震源パラメータを用いて自発的な動的破壊過程のシミュレーションおよび震源近傍域における強震動のシミュレーションを行う。

1) で、運動学的インバージョンによる集集地震のすべり分布は大きな不均質性を示しており、従ってそれに基づいて推定された動力学震源パラメータも極めて不均質なものとなっている。推定された応力降下量は震源域内で大きく変化するが、その分布はすべり量と正の相関がある。推定された強度超過(Strength excess: 破壊強度と初期応力の差)は応力降下量に比べ一般的に小さい。これはテクトニックな煎断応力は本震の前に殆ど破壊強度のレベルに達していることを示唆している。

2) で推定された応力とすべりの関係は摩擦構成則としてはすべり弱化解摩擦構成則が妥当であることが示唆している。臨界すべり弱化解距離 D_c は深さ依存はしていないようであるが、空間的にかなり不均質で最終すべりに比例している。このことは D_c が媒質を構成する物質の常数ではなく地震規模に依存して変わること示唆するものとなっている。余震は一般的に応力降下が小さいか負となるところに集中する。 D_c の大きいところは地震の発生を阻害し余震活動を低下させている。

3) において、推定された動力学破壊過程は運動学的シミュレーションでは見られない破壊伝播のジャンプなど動的破壊伝播に特有の現象がみられる。これは破壊伝播フロントが強度の高い部分に出会うと、破壊はそれをブレイクするためのエネルギーが蓄積するまで1時休止し、強度の高いところを残したまま強度の低いところに破壊がジャンプする現象である。本研究では震源断層に対して断層帯モデル(Thick fault zone model)を用いている。それにより、ここで設定された動力学震源モデルによる上盤側のすべりは下盤側のすべりに比べて顕著大きくなり、地表断層周辺における観察によく一致する結果が得られる。また動力学震源モデルに基づいてシミュレーションされた震源域近傍の強震動は観測強震動をよく一致している。このことはここで設定された断層面での動力学震源パラメータは集集地震を引き起こしたチャランブ断層の断層面の物理的特性をよく近似しており、かつそれに基づく断層破壊過程は現実起こった現象を近似的に再現していることを

裏付けるものである。

論文審査の結果の要旨

本研究は、1999年台湾・集集地震の震源断層の動力学的破壊過程を解明するため不等間隔格子をもつ3次元有限差分法を用いた破壊伝播の動的シミュレーション手法の開発を行った。申請者の提案する方法は、①不等間隔格子を用いた差分法を適用することにより震源断層の詳細な動力学的破壊伝播のシミュレーションを行う、②非平面断層構造の動的シミュレーションに適用可能である、という特長を有しており極めて独創的なものである。

これまで有限差分法を用いた動的破壊シミュレーションは平面断層を仮定してなされており、非平面への拡張は困難と考えられていた。1999年台湾・集集地震の震源断層は地表断層の調査および余震分布などにより非平面構造であると考えられており、精度よい動力学的シミュレーションを行うには非平面断層構造に適用可能な手法が不可欠である。Aochi and Fukuyama (2001) は非平面断層に対する境界積分方程式法を用いた動力学的モデルによる破壊伝播シミュレーションを提案している。しかしながら彼らの方法は差分法に比べて膨大な計算機リソースが必要とされ、1999年台湾・集集地震のような断層面が地表に達するような地震に対しては適用困難とされてきた(青地, 2001)。申請者は差分法のグリッドを非平面断層面に適用可能のように配置することで困難な問題を解決している。

本研究では、震源断層の動的破壊シミュレーションに必要な動力学震源パラメータ(媒質の強度、応力降下、臨界弱化距離 D_c) は強震動記録を用いた運動学的波形インバージョンによるすべり時間関数の分布結果を用いて上記の有限差分法を用いて動力学弾性方程式を解くことにより精度よい推定がなされた。結果として得られた断層面の応力降下すべり関係から破壊域内の殆どのところですべり弱化摩擦モデルが有効であることがわかったことは重要な成果である。応力降下は最終すべりと正の相関があるという結果は運動学的インバージョンで得られた断層すべり分布が応力降下の重要な指標となることを示しており、強震動生成モデルにも有効な情報を提供する。推定された強度超過(Strength excess)が一般に小さいことはテクトニックな煎断応力が本震の前にすでに断層の破壊強度のレベルに達していることを定量的に示しており、将来の地震の発生過程の研究に極めて重要な成果であるといえる。臨界すべり弱化距離 D_c がすべりに比例するという結果は D_c が物質常数と考えていたこれまでの常識を破るものであり、精度の検討および D_c の物理的意味づけなど今後詳細な検討が必要とされる。

ここで設定された動力学震源モデルによる上盤側のすべりや下盤側のすべりの関係は地表での観察とよく一致しており、また動的シミュレーションにより得られた震源域近傍の強震動は観測強震動をよく一致している、という事実は、本研究で設定された動力学震源モデルが震源の物理モデルとして有効であることを示すもので、今後新たな震源像の確立に貢献することが大いに期待できる。

参考論文計5編は、大地震の動力学震源パラメータの推定、動的破壊伝播シミュレーション、強震動推定のためのサイト特性などであり、動力学震源のモデリングに深く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を有するとともに、継続的に研究を発展させる力があることを示している。

以上の理由より、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。論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。