

氏 名	ルイス アンヘル ダールゲー グディエル Luis Angel Dalguer Gudiel
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2464 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 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	A Full Dynamic Shear and Tensile Crack Propagation during an Earthquake using a 3D Discrete Element Method (三次元離散化要素法を用いた地震時の動的せん断および引張クラック伝播)
論文調査委員	(主 査) 教 授 入 倉 孝 次 郎 教 授 梅 田 康 弘 教 授 モ リ , ジ ム

論 文 内 容 の 要 旨

地震時の破壊過程の動的シミュレーションは通常せん断すべり（モードⅡおよび／あるいはⅢ）の仮定でなされている。しかしながら、地震の生成過程は動力学的破壊問題であるから、動的なクラック伝播の最も一般的なケースを記述するには3つの基本モード（モードⅠ、Ⅱ、およびⅢ）の重ねあわせとして解く必要がある。本研究では3つのモードを含む動的破壊過程を容易に取り入れることのできる3次元離散化要素法（DEM）を用いて地震時の断層破壊過程の数値シミュレーションを行った。本研究で用いた離散化要素法では、連続体が立方体要素に分割することにより離散化され、各節点をマスとして法線と対角線がアレイ状に結合される。断層面およびその外側における破壊伝播およびそれに伴う波動伝播の動力学的過程は各節点の変動を支配するニュートンの運動方程式を解くことにより得られる。先在断層面における破壊の自発的伝播はすべり弱化学モデルに基づく摩擦構成則に従うとしている。先在断層面の外側における引張クラックに対してはグリフィス理論に従い引張破壊表面エネルギーが臨界値に達したとき破壊が生成・伝播すると仮定する。想定されたモデルは長さ19km×幅19kmの正方形断層（断層上端が深さ3km）でその中に長さ7km×幅7kmのアスぺリティを有する、その結果、先在する断層面に沿ってせん断すべりが伝播するとともに、先在断層面およびアスぺリティの先端部から新しい引張クラックが生成されフラワー構造状に発達する。アスぺリティの位置が新しい引張クラック成長に強く影響し、それが浅いときフラワー構造は地表に達して地表面クラックを作るが、深くなると引張クラックの成長は途中で止まる。つぎに、この手法が2000年鳥取県西部地震の動的破壊過程と強震動をシミュレートするために適用された、この地震は直後になされた地表断層調査では顕著な地表断層は見出されなかったが、その後の詳細な地表踏査で断層直上およびそれからやや離れたところに明瞭なクラック群の存在が認められた、想定される断層を横断する測線となされた反射法探査の結果、地表から3～4kmまでに顕著なフラワー構造が見出されている。本研究では、断層破壊の動的パラメータは運動学的震源インバージョン解析結果から推定されたものを用いている、先在する断層の上端は約2kmに設定された。結果は以下のとおりである。断層上端から伸びた引張クラックは地表面に達し、地表付近にフラワー構造が形成される。またアスぺリティ付近や断層の下端から両側に異なるパターンの新しい引張クラックが生成され、複雑なフラワー状のクラック分布が形成される。地表に達した亀裂のトレースは地表で観察された新しい線上亀裂群の位置に一致する。地中に形成されたクラック分布は余震の発生域に関係しているように見える。すなわち、せん断破壊に伴い断層面近傍に形成された開口亀裂群の領域が潜在的な余震域になることが示唆される。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

地殻浅部に生じる地震の源である断層運動が動力学的破壊伝播の問題として説明されることが最近の室内実験および数値シミュレーションの研究により明らかになりつつある。これまでの研究の多くは、震源となる断層面を仮定してせん断すべり（モードⅡおよび／あるいはⅢ）に対する摩擦構成則に基づく拘束条件にしたがって破壊の伝播過程を議論するもので、

せん断すべりのみではなく引張すべりを含む3つの基本モード（モードⅠ，Ⅱ，およびⅢ）の重ねあわせとして地震の生成過程を解明する研究は殆どなされていない。本研究では，3つのモードを含む動的破壊過程を容易に取り入れることのできる数値解法として3次元離散化要素法（DEM）を導入することにより，地震時の断層面での破壊およびその周辺域における引張クラックの生成を数値的にシミュレーションすることに成功している。地震発生を対象とした動力学的破壊問題の数値シミュレーションに関する研究の多くは境界要素法（BEM）や有限差分法（FDM）を用いてなされてきたが，これらの手法では動的な破壊モードとして引張クラックの導入は困難とされてきた。本研究では3次元離散化要素法を用いて，先在する断層面では自発的な破壊伝播がせん断すべりに対する摩擦構成則に従って生じ，先在断層面を取り巻く無傷の媒質ではGriffithの破壊基準に従って引張クラックが生成・伝播するとして，数値シミュレーションを行っている。この仮定では，破壊の3つの基本モードが複合的に関連し，地震の動力学的破壊過程に関する完全解に近い数値的シミュレーションが可能となる。本手法の応用の1例として，潜在鉛直横ずれ断層を想定してそこでの自発的なせん断破壊および引張クラックの成長と拡大が検討された。結果として，先在する断層面に沿ってせん断すべりが伝播し先端部に達すると，先在断層面を取り巻く無傷の媒質に新しい引張クラックが生成されフラワー構造状に発達することが示された。このような現象の定量的な解明は本研究がはじめてである。本論文では，手法の有効性を2000年鳥取県西部地震の動的破壊過程と強震動のシミュレーション結果と観測結果の比較により検証を試みている。シミュレーションに必要な動的パラメータは強震動記録を用いた波形インバージョンにより与えられており信頼性がある。シミュレーション結果は，断層上端から伸びた引張クラックは地表面に達し，地表付近にフラワー構造が形成される，ことを明瞭に示している。アスペリティ付近から生成された新しい引張クラックが地表に達して断層直上からやや離れたところにクラック分布を作る様子が再現されていることは大変興味深いもので，今後の活断層調査に有効な情報を与えるものである。本論文は地震時に先在断層面におけるすべりにより周辺部に引張クラックが生成・伝播する，とする動力学的な破壊伝播過程をはじめて定量的に解明している。数値シミュレーション結果と観測事実との比較から本手法が大地震の複雑な断層破壊過程の解明に有効であることを示しており，大地震の震源過程の研究に重要な成果であると考えられる。

参考文献5編はいずれも大地震の破壊過程，それに基づく震源の物理と強震動の生成過程の解明に関する重要な研究成果で，申請者が動力学震源モデルに基づく断層破壊過程について深い知見を有していることを示している。

以上の理由で，本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。