

氏 名 アーベン ビタルカ
Arben PITARKA
 学位(専攻分野) 博 士 (理 学)
 学位記番号 理 博 第 1815 号
 学位授与の日付 平 成 9 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 **Modeling wave propagation in two-and three dimensional
 heterogeneous structures and its application to the strong
 ground motion prediction**
 (2次元および3次元不均質構造における波動伝播のモデル化およ
 び強震動予測へのその応用)

(主 査)
 論文調査委員 教 授 入 倉 孝 次 郎 教 授 安 藤 雅 孝 助 教 授 赤 松 純 平

論 文 内 容 の 要 旨

申請論文は、複雑な地層構造中にある震源断層から生成される地震動の評価のため、2次元および3次元の差分法による波動場の数値計算方法を開発し、それをを用いて1995年兵庫県南部地震の強震動の生成過程および強震動と被害との関係を明らかにした。

第1部では、不規則な地表面地形を含む3次元構造における波動場の差分法による計算方法の定式化とその計算結果の有効性が示される。3次元構造中の波動伝播問題に対する差分法の定式化は1990年代のはじめに複数の研究グループにより発表されている。しかしながら、それらは地表面については水平面を仮定している。本論文で示された方法はより現実的な地形・地質構造における地震動の評価を可能にした。地表面の境界条件は方向成分に依存して応力ゼロの条件と真空中の弾性波速度をゼロとする条件の組み合わせで与えられる。差分の計算は3次元スタッガード・グリッドを用いて計算精度の改良を行っている。本手法の有効性は境界要素法を用いた不規則な表面地形の地震動への影響の評価結果との比較で確かめられた。

本手法を用いて兵庫県南部地震の震源域近傍で強震動記録の得られた神戸海洋気象台の観測点での地形効果が検討された。この観測点は小高い丘(高さ約20 m, 幅約100 m)の頂上近くに位置している。この局地的地形によって観測点の水平震動は平坦部でのそれに比べ1-3 Hzの周波数で約2倍増幅される。この結果は気象台観測点の余震観測記録とその周辺部の岩盤上の観測点のそれとのスペクトル比から推定される増幅度と調和的である。この地形による増幅効果がこの観測点の本震の時に大きな地震動となった原因の1つと考えられる。

第2部では3次元差分法を用いて兵庫県南部地震の時の震源域近傍の地震動の数値シミュレーションを行っている。この地震の震源断層近傍の3次元地下構造は種々の機関でなされた反射法探査断面、深層ボ

ーリング、屈折法探査結果をコンパイルして構築された。震源過程は強震記録を用いた波形インバージョンにより推定された震源断層面でのすべり時間関数の分布を基にモデル化された。震源断層での破壊は、明石海峡付近約17 kmの深さでスタートし、神戸側は大阪盆地の北端を形成する六甲断層系を約30 km、淡路側は右にステップオーバーした後ほぼ野島断層に沿って約10 km進んで止まったとされる。神戸側断層面での大きなすべりは深さ10 km以上の深い所に集中しており、地表近くは殆どすべりが無いが、淡路側は地表近くに大きなすべりが生じたモデルとなっている。数値計算の有効な周期範囲は1秒—10秒である。震源断層近傍の8つの観測点での観測記録とここでの数値計算結果は速度波形について互いに良く一致しており、モデル化の有効性が確認された。

震源近傍での地震動の数値計算結果は次のような特徴を示す。1. 神戸側の震源断層近傍域において、震源断層面に直交する方向の水平成分に1—2秒の幅の2つのパルス波が顕著にみられる。断層平行な水平成分は相対的に小さくパルス波は形成されない。これは破壊伝播の前方方向生じる指向性効果に対応すると考えられる。2. 地震動の速度振幅の大きくなる領域は震源断層の直上ではなく盆地側に1 kmほど離れたところに現れる。これは、震源から岩盤を通して盆地端部に到着後回折して盆地側に伝わる波と盆地側の堆積層下に到着後速度の遅い堆積層をゆっくり上昇する波が盆地側で重なり大きな振幅の地震動が形成されることによるものである、ことが地震動の時空間分布として示される。

第3部では、地下構造を2次元、震源として点震源から3次元的に伝播するいわゆる2.5次元の波動場について波動伝播による減衰を含む計算方法の定式化をおこない、兵庫県南部地震の余震の地震動の数値シミュレーションを行った。断層直上から被害集中域さらに被害少ない地域にいたるアレイ観測により得られた余震観測記録と数値計算結果の比較は極めて良い一致を示している。被害集中域付近では盆地端部効果で強震動が形成されることが余震記録からも確認された。

これらの数値シミュレーション結果から、本震時に、断層破壊の伝播による指向性効果と盆地基盤形状により生じる盆地端部効果の相乗効果によって、震源断層からやや離れたところに強い地震動が形成されたことが明らかとなった。この強震動域が被害の集中域の分布に対応しており、申請論文は兵庫県南部地震のときの震災の帯の生成のメカニズムに明瞭な物理的説明を与えている。

論文審査の結果の要旨

大地震の時の被害の元となる強震動は震源のみならず伝播媒質の不規則構造によって大きな影響を受け、地震の被害は震源域から離れて帯状や飛び地状に分布したりする。このような大地震時の被害原因の解明には強震動の生成過程の研究が重要とされている。そのためには断層破壊過程の解明と同時に震源から観測点にいたる複雑な地下構造での波動伝播の解明が必要とされる。近年震源域近傍で観測された強震動記録を用いて断層破壊過程の詳細が波形インバージョン法により推定されるようになった。しかしながら、その精度は、たとえ適当な分布と数の観測点で強震動が得られたとしても、震源から観測点までの波動伝播を特徴づけるグリーン関数の評価精度で決まってしまう。これまで強震動の数値シミュレーションの殆どは平行層を仮定してなされている。兵庫県南部地震のように盆地構造の境界に位置する活断層が震源断層となると、平行層の仮定では震源域近傍の地震動の精度良い評価困難である。

これまでも複雑な地下構造を2次元さらに3次元波動場で数値計算するため、境界要素法や波線法などの試みもなされてきたが、前者は長周期域のみ、後者は短周期域のみに有効で、地震時の構造物などの被害の分析に必要な周期帯域での精度良い計算は成功していない。差分法は現実に近い複雑な構造中を伝播する波動場を比較的容易に数値計算を可能にすると考えられ、近年多くの研究者によってその定式化が試みられてきた。しかしながら、地震動と被害の関係に必要なとされる周期帯域で震源過程と地質構造の影響を共に考慮して数値的に評価する試みは殆どなされてこなかった。申請論文は2.5次元および3次元差分法に対して上記目的を実現する上で必要な計算手法の改良を行い、兵庫県南部地震の震源域近傍の強震動の詳細な数値評価を行い、「震災の帯」など大被害をもたらした強震動の生成メカニズムの解明を行っている。

地下構造を2次元、震源を点震源とする、いわゆる2.5次元問題に対する差分法については Vidale and Helmberger (1988) がダブルカップルの震源からの波動場の定式化に成功している。この方法は線震源を仮定した2次元問題に対する波動場を点震源からの波動場へ変換するためのコンボリューション操作を行う。その時震源での不連続性を除くため震源箱法を用いており、そのためスタaggerド・グリッドを用いた精度良い計算が困難であった。申請論文は多重震源箱の考えを導入してこの困難さを克服している。また伝播媒質のもつ非弾性的性質による波動の減衰の効果を波動場に取り入れ、より現実的な地震波の伝播の評価を可能にした。

申請者は3次元差分法でもスタaggerド・グリッドを用いて地表面地形の不規則性を含む不均質地下構造を考えた定式化に成功している。有限長の波動場に必要人工境界に対しては反射波を避けるための吸収境界として Stacy (1988) が2次元問題に適用した手法を3次元に拡張し、精度良い計算が可能となっている。

兵庫県南部地震の時の破壊的強震動の生成メカニズムの解明のため、震源インバージョンの解析で得られた断層面でのすべり時間関数の空間的分布および反射法探査で得られた詳細な3次元地下構造を考慮した3次元差分法による強震動のシミュレーションは申請論文が初めての試みである。その結果は兵庫県南部地震の時に現れた震災の帯の生成メカニズムの物理学的にも明瞭な解釈を与えるものとなっている。

以上の理由で、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られる。