

## 論文の内容の要旨

論文題目            スペクトル確率有限要素法の地表地震断層問題への適用  
Application of Spectral Stochastic Finite Element Method  
to Surface Earthquake Fault Problem

氏名            中川 英則

地表地震断層による構造物への被害が発生したため、地表地震断層やその対策がホットテーマとなっている。表層に発生する地表地震断層を理解するには、地質学・地震学の理学的知見と地盤工学・地震工学の工学的知見が必要であり、現象の解明や被害の予測には未解決な部分が多い。地表地震断層のシミュレーションが共通の基盤となると期待されているが、地質・地盤構造や入力される断層変位のモデル化が困難なことのほか、数値解析手法が整備されていないことが現状である。

上記を背景として、本研究は、地表地震断層問題の数値解析手法としてスペクトル確率有限要素法を開発し、モデル実験や実測例の再現を試みてその妥当性と有用性を検討する。シミュレーションは、モデル化が比較的容易であり、断層進展の散逸が期待できる表層の未固結層を対象とする。地盤構造の実測が限られているため材料パラメータ等に平均や分散を与えた確率モデルを構築する。未固結層を支える基盤の断層変位を入力とし、断層が地表に出現するか否かの確率的な評価、出現する場合には予測される断層の形状を出力とする。

本研究で開発したスペクトル確率有限要素法は、確率モデルや応答を確率関数として扱う。その確率関数に対し、確率空間ではスペクトル展開を用いて、物理空間では有限要素法の形状関数を用いて離散化するところに特徴がある。確率関数の間の結合確率を正確に評価することは難問であるが、確率空間と物理空間で定義された汎関数を用いる変分問題を設定し、解決を図っている。また、未固結層の地盤材料の非線形性に対処するため、効

率のよい近似計算と計算アルゴリズムを開発した。

スペクトル確率有限要素法によるシミュレーションの妥当性を検証するため、二次元問題（正・逆断層）と三次元問題（横ずれ断層）のモデル実験の再現を行った。二次元問題では、底部に入力される強制変位の角度に応じて、断層が地表に出現する位置や必要な底部の変位量が変わるが、良好に再現することに成功した。三次元問題ではリーデル線と呼ばれる雁行状のせん断帯が発生する。離散化が荒いことや単純な構成則を用いたため、リーデル線を完全に再現することはできなかったが、表面の雁行状せん断帯を計算することは成功し、実験で計測されたばらつきも含め、形状やせん断帯出現に必要な底部の強制変位量を良好に再現することができた。

実地盤にスペクトル確率有限要素法を適用するためには、入力データとなる未固結層の形状や材料パラメータ、基盤面や断層変位の方向を設定しなければならない。利用できるデータに応じて、入力データを設定する手順を検討した。

上記の手順に基づき、野島断層とシャーロンポー断層の再現を試みた。前者は主に横ずれ断層、後者は逆断層である。実測データや地盤種類に応じて未固結層の確率モデルの構築と基盤断層変位の設定を行い、地表に現れる断層の形状を計算し、実測データと比較を行った。良好な一致が見られたが、これは未固結層の厚さが薄く比較的簡単なシミュレーションとなったこと、入力データが良質であることが主な原因である。妥当性が検証されたため、ついで破壊確率を計算することでシミュレーションの有用性を検討した。破壊確率とは、地表に断層が発生する確率で基盤の変位量の関数として与えられる。計算された破壊確率から、地表に断層が発生する可能性が高い基盤変位量や確実に発生する変位量が予測され、震源断層のすれ変位や地表の断層変位量との比較より、予測された変位量が妥当な範囲にあることが確認された。

上記の結果を、スペクトル確率有限要素法に基づく地表地震断層シミュレーションの開発、二次元・三次元のモデル実験の再現、二つの実地表地震断層のシミュレーションという結論として整理した。合わせて確率モデルのシミュレーションの利用を議論し、将来の具体的な課題とした。