

審査の結果の要旨

氏名 中川 英則

本論文は、スペクトル確率有限要素法を用いた地表地震断層のシミュレーション手法の開発を試みたものである。未固結層を対象としたシミュレーションの問題設定を行い、材料や構造が不確かな地盤に対して確率モデルを導入した。非線形地盤材料からなる確率モデルに対し、スペクトル確率有限要素法を改良し、数値解析手法としての有効性を示した。逆・正断層の二次元問題と横ずれ断層の三次元問題に関するモデル実験のシミュレーションを行い、観測データとの定量的比較を行い、実験のばらつきも含め、シミュレーションが実験結果を良好に再現することを示した。横ずれ断層の野島断層と逆断層のシャーロンポー断層という二つの実地表地震断層をシミュレートし、実測された断層形状とシミュレーションの結果を比較することや破壊に必要な基盤の変位量を推定することで、シミュレーションの妥当性と有効性を検証・検討した。

本論文に関する審査会の評価は、論文の質に関して十分博士論文のレベルに達している、というものであった。地表地震断層というモデル化も難しく、また、数値計算も容易ではない力学問題に対し、合理的な数値解析手法を開発し、モデル実験から実地表地震断層まで幅広い例を対象として、数値解析手法の妥当性と有効性の検証を試みた点は高く評価された。

論文の審議は、主に次の2項目に関して行われた。

1) 横ずれ断層のシミュレーション

横ずれ断層は、基盤に一樣な横ずれ変位が与えられたにも関わらず、地表にはやや斜めに傾いて周期的に発生する断層である。これは三次元弾塑性体の分岐現象である。スペクトル確率有限要素法では、ばらつきを持つという確率モデルの特徴を活かして、意図的に初期不整を入れることなくこの分岐現象をシミュレートすることができる。この点が議論された。

分岐現象であるため、寸法や材料パラメータに結果が依存することが指摘された。確率モデルの設定を種々変更したパラメトリックスタディを行い、この点を検討していることが詳しく説明された。また、モンテカルロシミュレーションとの比較が指摘された。所期不整を入れるため、モンテカルロシミュレーションの各モデルでは横ずれ断層が計算されるものの、モデルの平均となる一樣モデルでは横ずれ断層を必ずしも計算することができないことが説明された。また、三次元弾塑性体の非線形解析を行うモンテカルロシミュレーションは、膨大な計算資源が必要となり、実用的でないことが強調された。

2) シミュレーションの利用方法

開発されたシミュレーションを、断層挙動の予測にどのように利用するかが議論となった。未固結層を対象としてシミュレーションの問題設定が行われているため、計算される破壊確率を用いて「対象とする地盤に所定の断層変位が入力された時に、断層が発生するか否か」を確率的に評価することが主要な利用方法であることが説明された。利用できる地盤のデータに応じて確率の幅が広がるとともに、入力される断層変位が変数となっているため、基盤の断層変位が正しく推定されなくとも、断層の危険性を評価できることが説明された。

地盤中の断層進展の過程に関するデータが極めて限られているため、シミュレーションの妥当性を検証することに利用できるデータは断層形状のみである。このため、シミュレーションの一つの利用は、断層形状を予測することが考えられることも指摘された。断層形状の予測も検討されているものの、主要な利用は破壊確率の予測であることが強調された。

なお、開発された地表地震断層のシミュレーション手法の妥当性と有効性に関しては、さらなる検証が必要であることが指摘された。シミュレーションの具体的な利用法の考案とともに、確率モデルの分岐現象をより正しく計算するようシミュレーションの高度化を検討することを望む指摘である。この点に関してもシミュレーションの計算アルゴリズムの工夫や将来の課題が説明された。

以上のように、本論文では、現時点での十分な検討がなされていることや、また、将来の課題として明確に問題点を示していることが審査会で示された。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。