

審査の結果の要旨

氏名 三橋 祐太

本論文は、全 7 章から構成されている。

第 1 章では本研究の背景と課題について説明し、それを踏まえ本研究の目的を述べている。

始めに地震の解析技術を概観した上で、地震の解析に多く用いられる有限要素法の基礎理論に関して述べている。

本研究では原子力発電所等における耐震安全性評価において課題として挙げられていた断層変位を受ける構造物の動的な影響評価を行うことを目的としている。そのための要素技術として、断層のモデル化に用いる有限要素としてジョイント要素を開発、ジョイント要素を含むメッシュの開発、動力的破壊シミュレーションによる地震のシミュレーション解析、断層の不均質性のモデル化を実施するとしている。

第 2 章では地盤の解析技術に関して述べている。

地盤を対象とした検討においては地盤中の様々なスケールの不連続面のモデル化と地盤の不確実性の考慮が重要な問題となることを指摘している。

第 3 章では地盤中の不連続面のモデル化において用いる改良ジョイント要素を提案している。

既存の **Goodman** ジョイント要素は要素形状がいびつな場合に十分精度が得られないことを指摘した上で、任意形状に対して良好な精度が得られる改良 **Goodman** ジョイント要素を提案し、実際に **FrontISTR** をカスタマイズすることで提案した要素の精度が高いことを検証している。

次に大規模解析への適用性を検証することを目的として、ジョイント要素を含む約 1600 万節点の解析モデルによる解析を実施することでジョイント要素を含む解析モデルが大規模並列計算に適用可能であることが示されている。

第 4 章ではジョイント要素を含む有限要素メッシュを作成する手法を提案している。

始めに複数のジョイント面が交差するような有限要素メッシュを作成する際に、既存のメッシュ作成手法ではメッシュ生成が煩雑であることを述べたうえで、グラフ理論を用いた新たなメッシュ生成手法を提案し、提案手法によるメッシュを実際に作成することで、手法が有効であることを検証している。

さらに作成したメッシュが実問題へ適用可能であることを確認するために不連続性

岩盤の剛性評価の問題に着目し、実際に節理を含む岩盤の解析モデルを複数作成することで剛性評価を実施している。節理の密度と等価剛性の関係を、数式モデルの結果と比較することで実問題へも適用可能であることを示している。

第 5 章ではジョイント要素を用いた神城断層地震のシミュレーションを実施したうえで、ベイズ最適化を用いて断層の不均質性をモデルに反映させる手法について検討している。

始めに断層の自発的な破壊を非線形構成則として考慮した動力学的破壊シミュレーションによる神城断層地震のシミュレーションを実施し、解析の応答を観測記録と比較し、エネルギーの保存や理論解との比較を合わせて行うことでシミュレーション解析の妥当性を検証している。

次に、断層の不均質性を解析モデルに取り込む手法としてベイズ最適化に着目し、観測記録と解析結果の変位応答の誤差を小さくするような **SMGA** の分布をベイズ最適化により求めている。また求められた **SMGA** の分布を既往の研究結果と比較することで結果の妥当性を検討している。

第 6 章では食い違い断層変位を受ける構造物の検討を動力学的破壊シミュレーションにより実施している。

第 5 章において作成した神城断層地震のシミュレーションモデルを用いて、トンネル構造物を追加することにより食い違い断層変位を受けるトンネル構造物の検討を実施している。トンネル周辺の地盤の物性値や断層のモデル化条件を変えることで、それらのパラメータが解析結果に及ぼす影響を検討している。また、既存の検討手法で課題となっていた動的な影響評価に対して、別途静的な解析を実施して動的な解析結果と比較することにより、動的な影響評価が可能であることを示している。

第 7 章では本研究で得られた結論をまとめて述べている。

以上の通り、本論文は食い違い断層変位を受ける構造物に対して、大規模有限要素解析による検討を通して動的な影響評価手法が可能であることを示したものである。なお、本論文第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章は、奥田洋司、橋本学、内山不二男との共同研究であるが、論文提出者が主体となって手法の導出、数値実験および考察を行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。提案手法は今後食い違い断層変位を受ける構造物の解析的検討に対しての適用が期待され、社会における地震時の構造物安全性向上に対して広く寄与するものと考えられる。したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。

以上 1 8 9 9 字