

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名 シャンタヌ ラジャセカラン メノン

地震による人的被害と経済的な被害の最大の原因は、脆弱な建物の崩壊被害である。特に世界中で住宅として利用されている柱と梁が鉄筋コンクリート（RC）造である RC フレームビルは、その数が膨大であること、また耐震設計が十分でなかったり、施工精度が低かったりするものが多いことから、地震時に被害を受けるかの可能性が高い。将来的に地震被害を軽減する上では、この種の建物の地震危険度を事前に評価し、適切な対策を講じることが重要である。

このような点を背景に、RC フレームビルの地震に対する脆弱性を評価する研究が進められるとともに、様々な評価法も提案されてきた。脆弱性の評価は、実験や観測、数値解析的なアプローチによって行われるが、一般的に、経済性、荷重条件の自由度、規模的な制約などの点で、数値解析的なアプローチは有利な点が多い。しかし数値解析の場合、適用が簡便なものは精度や信頼性が低い場合が多く、高い精度や信頼性を求めると高いスペックの電算機や長い計算時間が必要となるなど、計算負荷が高くなる傾向がある。

地震外力を受けた構造物がどのような挙動をするのかを実用的に数値解析する場合には、用いる数値解析手法には、以下のような機能が求められる。i)健全な状態から完全崩壊過程までの挙動が追跡できること、ii)解析精度が目的に応じて十分に高いこと、iii)PC で解析できるなど、計算負荷が低いこと、iv)対象構造物のモデル化が簡単であること、v)解析結果のわかりやすい表示が簡単にできること、など。

これらの点を考慮すると、連続体から非連続までの挙動が連続的に解析できる拡張個別要素法（EDEM）が有望なツールと言える。しかし EDEM は以下のような問題がある。i)解析の安定性を確保するためには非常に小さな時間増分を採用する必要があるため、計算時間が長くなる。ii)解析用の材料定数を適切に決定する手法が確立されていない。iii)ポアソン効果が考慮されていない、など。

そこで本研究は、以下で説明する 6 章から構成されている研究論文として、上記のような問題を解決し、簡便でかつ精度高く RC フレームビルの地震外力に対する脆弱性を評価でき、かつ完全崩壊過程までの解析が可能な数値解析ツールを開発するものである。

第 1 章では、研究全体の目的や背景、本研究の構成を説明している。

第 2 章では、本研究で提案する解析ツールで活用する 2 つのモデルについて解説している。2 つのモデルとは、スプリングネットワーク（SN）モデルと拡張個別要素法（EDEM）である。過去に提案されている SN モデルを用いた材料特性の決定法を解説するとともに、この方法を用いた EDEM の定式化と材料特性の決定法を説明している。さらに本研究で提案する SN モデルと EDEM モデルの 2 フェーズのモデルから構成される数値解析ツールの全体像を紹介している。

第 3 章では、有限要素（FE）マッピングに関して説明している。異なる 2 種類の要素配置（1 つの円形要素が 6 つの同半径の円形要素に囲まれている配置と 1 つの円形要素が上下、左右の 4 つの同半径の円形要素に囲まれている配置）に関してバネ定数を決定し、要素配置の違いが解析精度に与える

影響を分析し、課題をまとめた。具体的には、単純な片持ち梁を対象とした静的な線形解析で、要素のサイズや配置を変えて、解析精度や計算時間などを比較し、適用性を分析した。その際には、ポアソン効果が適切に考慮されていることも確認した。

第4章では、提案した数値解析手法を用いて RC 構造の非線形破壊解析を行い、その適用性を確認している。具体的には、過去に実施された配筋の異なる RC 梁やコンクリートの床版の破壊実験、1 方向の水平荷重を受ける RC フレーム構造の破壊実験を、既存のコンクリートの非線形材料モデルを用いた提案手法で解析し、実験結果と比較・分析した。その結果、荷重－変位関係などの非線形性の高い挙動を、高い精度で解析できることがわかった。

第5章では、前章で RC 構造の非線形破壊挙動を精度高く解析できることを確認した初期フェーズの解析モデルから、完全崩壊過程までの挙動の追跡が可能なフェーズに移行するモデルについて説明するとともに、解析例を提示している。具体的には、微小変形領域から非線形領域の高精度な解析が可能な FE マッピングに基づく SN モデルで損傷を与えた 1 階建てと 12 階建ての RC フレーム構造を対象に、基礎からの振動外力を受けて完全崩壊する挙動を廉価な PC を用いてシミュレーションした。これらの結果から、本研究で提案した数値解析モデルは、EDEM の課題であった「ポアソン効果の考慮」、「適切な材料特性が決定法」、「重い計算負荷」などを解決した上で、微小変形領域から完全崩壊過程までの RC 構造の挙動を高精度に解析できることがわかった。

第6章では、本研究で得られた研究成果と提案解析手法の特徴をまとめている。また今後の課題と研究の方向性についても議論している。

以上のように、本研究論文では、世界の地震被害の主要な原因となっている RC フレーム構造の地震に対する脆弱性評価を目的として、簡便なモデルで微小変形から地震時の崩壊挙動までを高精度に解析できる数値解析モデルを提案した。また提案モデルを用いた数値解析結果と過去に実施された実験結果との比較から、その適用性を検証した。これらの成果は、世界各地に多数存在する地震に対して脆弱な RC フレーム構造の地震対策を効率的な向上に大きく貢献するものとして高く評価できる。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。