

審査の結果の要旨

氏 名 劉 奕 歆

本論文は、Nonlinear Dynamic Frame Analysis on 3D Shaking Table Tests of a Full-Scale Four-Story Reinforced Concrete Buildingと題して、三次元地震動を受ける鉄筋コンクリート骨組構造の非線形地震応答解析のために、柱梁接合部の実用的なマクロエレメントを提案し、それを解析プログラムに組み込んで、実大四層の鉄筋コンクリート造モーメント骨組の三次元振動台による振動破壊実験の地震応答を模擬して、その有効性を検証するとともに、柱梁接合部のモデル化の良否が構造物の耐震性の推定精度に及ぼす影響を検討したものである。本研究では、柱梁接合部をせん断変形する平面パネルとして取り扱う従来の方法ではなく、梁端と柱端部に剛板を設けこれらをコンクリートと鉄筋を表す複数の一軸バネをつないで表すマクロエレメントを採用している。これは、構造解析において柱梁接合部をモデル化する際に恣意的な設定の余地がより少ない合理的な方法であり、かつ実用的な計算時間で解析可能な有用性の高い方法である。

論文は以下の9つの章から構成される。

第1章 Introduction では、本研究の背景、目的および論文の構成について述べ、現行の柱梁接合部の耐震設計における問題点を指摘して、本論文における検討の範囲と具体的な目標を示している。

第2章 Literature review では、非線形骨組の解析に用いるための鉄筋コンクリート柱梁接合部の強度と剛性のモデル化に関する既往の研究について述べている。それらの中で、十字形柱梁接合部の梁端と柱端部に剛板を設け、これらをコンクリートと鉄筋を表す多数の一軸バネをつないで表すモデル（田尻モデル）は、部分架構実験の強度・剛性・履歴特性を良く模擬できる有用なものであるとしている。しかし、これを3次元骨組の全体構造物に適用できるよう拡張するためには、十字形の他にト形・L形などの柱梁接合部のモデルも必要であり、また計算時間を減らすためには、モデルの簡略化が必要であるとしている。

第3章 Shaking table tests of a full scale four story reinforced concrete building では、独立行政法人防災科学技術研究所の兵庫耐震工学研究センターにある三次元震動台E-Defenseを用いて実施された、実大四層RC建物の実験についての既往の文献を引用して、その概要を紹介し、試験体、加振方法、実験結果について述べ、併せてこの実験では、現在の耐震基準を満たすよう設計されているにも関わらず、柱や梁よりも柱

梁接合部の損傷が大きかったとしている。

第4章 Benchmark nonlinear dynamic analysis of the shaking table tests では、第3章で紹介した実大四層RC建物の三次元震動台実験の結果を、カリフォルニア大学バークレー校で開発されたOpenseesで提供される既存の解析プログラムを用いて、現在の研究レベルで、標準的と考えられるモデル化の方法で、地震応答を模擬した結果を示している。これは、従来の方法にならない柱梁接合部は剛で変形しないものとした模擬解析を行ったもので、変位の時刻歴や剛性の変化を実験結果と比較して現在の標準的な解析方法の精度の限界を明らかにしている。

第5章 The proposed beam column joint model では、田尻モデルを簡略化した、十字形柱梁接合部のマクロエレメントに加え、ト形、L形の柱梁接合部のマクロエレメントに拡張する方法を新たに提案し、マクロエレメントの剛性マトリクスの定式方法を示している。どのマクロエレメントも、基本は、柱梁接合部を囲む4枚の剛板とそれらをつなぐ一軸バネにより構成するもので、ト形・L形柱梁接合部も違いはないが、それらに特有な主筋の柱梁接合部内での定着長さや位置を、剛板の長さやコンクリートばねの配置により考慮することとしている。一軸バネの構成則は、コンクリートや鉄の材料実験の結果をそのまま用いるものとしており、恣意的なモデル化は不要である。

第6章 Validation of the proposed joint models では、マクロエレメントを構成する一軸バネの構成則を材料実験の結果からモデル化する方法について述べ、既往の柱梁接合部部分架構の静的漸増振幅繰り返し載荷実験に適用している。さらに解析結果を実験結果と比較して、第5章で提案したマクロエレメントの有効性の検証を行っている。この方法により、材料特性や寸法・配筋では決めることのできない恣意的なパラメータを設定することなく、平面十字形、平面ト形、平面L形の相異なる形状の部分架構実験について、部分架構の剛性、強度および、履歴復元力特性を正確に模擬できることを確かめている。さらに、一軸バネの構成則の設定値が精度にどのように影響するかをパラメトリックに検討している。

第7章 Application of the proposed joint models to the nonlinear dynamic analysis of the shaking table tests では、第3章で紹介した実大四層の鉄筋コンクリート造モーメント骨組の三次元振動台による振動破壊実験の地震応答を、柱梁接合部のマクロエレメントを適用し、それ以外の柱・梁・耐震壁については、従来標準的なモデルを適用する解析を行い、柱梁接合部を剛とした場合との比較から、その有効性を検証している。特に、中小変形から大変形に至る幅広い振幅の範囲で、地震応答をより正確に模擬できるとしている。

第8章 Conclusion では、第1章から第7章における成果についてまとめている。

本研究は、柱梁接合部のマクロエレメントの一軸バネの数を減らしてマクロエレメントの簡略化を図りつつ、実用的な精度を得ることを主な目標として、幅広い既往の部分架構の実験結果を用いてその精度を確認しつつ、より自由度が少なくても正確なマクロエレメントを構築し、最終的には大規模な三次元の全体架構の弾塑性地震応答解析を十分な精度で実用的に計算できることを示すことに成功している。

この研究により、柱梁接合部が破壊するタイプの鉄筋コンクリート架構の大地震時の地震応答を恣意的なモデルの設定を行わずにより正確にかつ実用的な推定が可能であることを検証しており、鉄筋コンクリート造骨組構造物の耐震性評価の精度向上により、耐震工学の進歩に大きく貢献するものである。

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。