

審査の結果の要旨

氏名 金 秀 禧

本論文は、「立体柱梁接合部マクロエレメントによる柱梁強度比が小さい RC 架構の挙動に関する研究」と題して、水平二方向地震力を受け、柱梁接合部が降伏する鉄筋コンクリート造骨組架構の弾塑性挙動を解析的に明らかにしようとしたものである。そのため、新たに水平二方向地震力を受ける柱梁接合部の弾塑性挙動を表す立体柱梁接合部モデルを提案し、これに柱と梁のモデルを加えて立体骨組モデルを作成して、一方向地震力と二方向地震力に対する骨組の弾塑性地震応答解析を行い、接合部降伏と呼ばれる柱梁接合部の破壊形式が架構の地震応答性状に及ぼす影響を明らかにしている。論文は、以下の8章から構成されている。

第1章「序論」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、各章の要約により示している。

第2章「既往の研究」では、過去の鉄筋コンクリート建物における柱梁接合部の地震被害と現行の柱梁接合部の設計法について述べ、柱梁接合部の数値解析モデル及び二方向水平力を受ける柱梁接合部に関する既往の研究について述べている。

第3章「解析モデル」では、立体骨組モデルを構成する要素を詳述している。柱と梁は在来の方法を適用して線材に置換し、材軸方向に複数の積分点を設け、積分点のモーメントと曲率の関係をファイバーモデルで求める。立体柱梁接合部は、新たなマクロエレメントを提案し適用する。マクロエレメントは、柱と梁端部の平面保持を表す6枚の剛板、対角方向と水平方向および鉛直方向のコンクリートばねおよび鉄筋と付着ばねの一軸ばねで構成され、それらの一軸ばねの幾何学的配置と寸法および材料モデルの構成則と剛性方程式の導出方法が詳述されている。

第4章「水平1方向加力を受ける柱梁接合部部分架構の実験と解析結果の比較」では、提案したモデルを適用して、一方向地震力を受ける十字形部分架構の静的水平繰り返し載荷実験の模擬を行い、その解析精度を検討している。提案モデルは、最大強度、破壊モードの異なる試験体群について、強度、剛性、復元力の履歴性状をよく模擬できるとしている。さらに、主筋量、柱梁強度比、主筋間距離、接合部アスペクト比の各設計因子がそれらに及ぼす影響も、良い対応が得られたとしている。大変形繰り返し加力を受ける柱梁接合部の解析においても、最大耐力後の耐力低下について実験結果と良い対応が得られたとしている。

第5章「水平2方向加力を受ける柱梁接合部部分架構の実験と解析結果の比較」では、提案したモデルを適用して、二方向地震力を受けるスラブ付立体柱梁接合部部分架構の静的水平二方向繰り返し載荷実験の模擬を行い、解析精度を検討している。提案モデルは、強度、剛性、復元力の履歴性状をよく模擬できるとしている。また、一方向の変形を保ったまま、直交方向に加力もしくは除荷時に、変形を保った方向の復元力が低下する二軸相互作用もモデルにより適切に表現されることを報告している。柱梁強度比が大きいと、梁曲げ降伏型の破壊形式となり、架構の強度は上昇し、履歴性状が太った形状を示すことが確認され、提案モデルは接合部降伏型と梁降伏型の破壊形式の両方に適用できることを示している。

第6章「平面骨組モデルを用いた地震応答解析」では、提案したモデルを適用して柱梁接合部に接合部降伏が生じる4層および8層の平面骨組架構の地震応答性状を検討している。また、柱梁曲げ強度比を主な変数とした、ダイナミック・プッシュオーバー解析手法を使い、建物の倒壊余裕度を検討している。提案モデルと従来の柱梁接合部を弾性としたモデルの比較より、提案モデルでは柱梁接合部降伏が起こると特定層に変形が集中しやすく応答変形が大きくなることが確かめられている。柱梁接合部の弾塑性挙動を無視する従来のモデルによる解析では、全層に渡って損傷が分散し最大応答変形が小さく、骨組の崩壊が生じにくいことが確認されている。つまり、従来のモデルでは架構の地震応答を過少評価し、層崩壊の危険性を見逃す可能性があることが示されている。

第7章「立体骨組モデルを用いた解析」では、提案モデルを適用した二方向ラーメン形式の建物の二方向静的漸増載荷解析と二方向地震応答解析を行い、柱梁強度比と水平力の向きを変数とした検討をしている。水平力の向きを変化させた静的増分解析結果の二方向復元力を平面上の点で表した場合、柱梁強度比が約1.4の骨組の強度は円弧で近似され、方向による骨組の強度の変化は少ない。一方、柱梁強度比が2.5の骨組の強度は長方形で表され、強度は45度方向での架構の強度が最も大きい結果が得られており、水平二方向の梁の耐力が有効となったものと考えられる。さらに、建物の構面方向と入力地震動の主軸方向のなす角度 θ を0度から90度に変化させながら、地震応答性状を検討している。その結果、一方向地震動を建物の構面方向に入力した時の最大層間変形角を基準とした場合、地震動の方向 θ や、二方向地震動の同時入力により、地震応答が増大するケースは一部であり、大多数のケースについては、影響は小さかった。ただし、柱梁強度比が約1.4の場合では、二方向入力地震動の主軸の向きが構面方向から45度の方向で層間変形角が最大となる傾向が見られ、これは、建物の構面方向から45度の方向における柱梁強度比が1.0となるため、相対的に弱くなる方向であるためであるとその理由を明らかにしている。

第8章「まとめ」では、本研究で得られた成果と今後の課題および展望について述べている。

このように、本研究は、立体架構の地震応答をより正確に捉えるために、平面柱梁接合部に対して適用されるマクロエレメントを立体柱梁接合部に適用できるように拡張し、骨組の三次元立体地震応答解析のための数値モデルを構築したことは、新しい成果であると高く評価される。さらに、提案モデルを用いて、平面骨組や立体骨組の系統的な地震応答解析を行って、従来地震応答評価において考慮されてこなかった架構の設計変数である柱梁強度比などの設計因子が耐震安全性に及ぼす影響を数値実験により定量的に明らかにしたものであり、耐震工学の発展に大きな貢献をしたものである。

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。