

論文の内容の要旨

論文題目 柱梁接合部の弾塑性変形を取り入れた鉄筋コンクリート骨組の
地震応答解析手法に関する研究

氏 名 朴 哲敏

本論文は、柱梁接合部の弾塑性変形を鉄筋コンクリート骨組の地震応答解析に取り込む手法に関する研究であり、柱梁接合部の弾塑性変形が卓越する鉄筋コンクリート骨組の地震応答特性を解明するのに、本論文で提案した手法が実用的に活用可能であることを示した研究である。そのために、本論文では柱梁接合部の周辺の弾塑性変形に注目したマクロエレメントを提案し、このマクロエレメントの適用性について検討し、さらにこのマクロエレメントを用いて部分架構レベルにおける柱梁接合部の破壊条件と、骨組レベルにおける柱梁接合部の破壊と崩壊機構の関係について検討した。以下では、本論文の要旨を各章ごとにまとめて示す。

第 1 章では、鉄筋コンクリート造柱梁接合部の弾塑性モデルと柱梁接合部の破壊が起こる建物の地震応答特性の把握が必要とされる経緯を説明した。その経緯には、鉄筋コンクリート造柱梁接合部の破壊によって建物が全体崩壊あるいは部分崩壊に至った地震被害事例から生まれた建物の耐震診断法の確立の必要性やこれからの設計で考慮せざるを得ない柱梁接合部の変形の許容範囲を定める必要性などが挙げられた。次に、本研究の目的と論文の構成について述べた。

第 2 章では、柱梁接合部の弾塑性モデルに関する既往の研究についてまとめた。ここでは既往のまとめをもとに、扱う文献に対して選別を行った。つづいて、本研究で扱うマクロエレメントにおけるせん断変形角との対応関係を明確するために、既往の実験で定義した柱梁接合部のせん断変形角について紹介した。次に、柱梁接合部の力学性能に与える諸設計因子の影響に関する実験的・解析的な研究についてまとめ、その成果は以下のものであった。接合部のせん断強度はコンクリート強度と強い相関を示しているが、柱の軸力、柱の中段筋とは相関性が低いことを指摘した。また、付着指標が接合部のせん断強度に与える影響は研究ごとに異なり、同じ結論には至らなかったことを指摘し、横補強筋が梁降伏後の接合部せん断破壊を防止するのに効果があることを指摘した。最後に、建物の動的地震応答解析における柱梁接合部の変形の取り扱い方法について紹介し、既往の手法が接合部のせん断破壊あるいは梁主筋の付着破壊する建物以外には適応できないことを指摘した。

第 3 章では、鉄筋コンクリート造柱梁接合部の弾塑性モデルであるマクロエレメントの構成について説明した。本章では、柱梁接合部周辺の弾塑性変形に注目して、マクロエレメントの簡易化を試み、マクロエレメントの仮定条件、適合条件、釣合条件、構成方程式について説明した。さらに、柱梁接合部における不釣合力の解除方法や動的地震応答解析法の *Newmark- β* 法と *Predictor-Corrector* アルゴリズムについて説明した。また、マクロエレメントの構成要素である一軸ばねの荷重変形関係につい

て説明した。

第 4 章では、マクロエレメントの適用性を検討するために、柱梁接合部の実験結果とマクロエレメントによる解析結果を比較して、以下のような結果が得られた。マクロエレメントは柱梁接合部の実験で得られる荷重変形関係をよく追跡することができるが、十字型柱梁接合部の降伏強度を小さく、ト型と L 型接合部の降伏強度を大きく評価することがわかった。また、マクロエレメントはト型と L 型の接合部に生じる正負変形割合の非対称現象を追跡できないが、十字型接合部の変形割合を精度よく評価するものの、十字型接合部における梁の回転変形角を大きく、そして接合部のせん断変形角を小さく評価することがわかった。つづいて、本章ではマクロエレメントの付着ばねの定着長さ、付着強度、横補強筋の初期剛性、梁主筋の初期剛性、柱・梁の塑性ヒンジ長さ、接合部のコンクリート強度をパラメータとし、解析精度に及ぼすパラメータの影響を検討し、以下のような結果が得られた。荷重変形関係に影響を与える因子としては、付着ばねの定着長さや接合部のコンクリート強度が挙げられ、これらの因子が柱梁接合部の耐力低下や履歴のループ形状に大きな影響を与えることがわかった。そして、変形割合のみに影響を与える因子としては、梁主筋の付着強度、鉄筋の初期剛性、柱・梁の塑性ヒンジ長さなどが挙げられ、これらの因子が接合部の応力分布と損傷分布の違いに大きな影響を与えることがわかった。

第 5 章では、柱梁接合部の破壊条件に与える柱・梁主筋量と諸設計因子の相互作用について検討した。柱の主筋量は柱梁曲げ耐力比、梁の主筋量は梁断面の力学的鉄筋比で表して、梁の主筋間距離、梁主筋の付着強度、柱軸力、そしてアスペクト比、柱梁幅比、スパン比、横補強筋比などの設計因子が変化したときの柱・梁主筋量が柱梁接合部の力学性能に与える影響について検討し、以下のような知見が得られた。柱梁曲げ耐力比が高いほど、接合部が壊れにくく、そして柱梁曲げ耐力比がどのような設計因子とからみあっても上述の傾向性は変わらなかった。梁断面の力学的鉄筋比が高いほど、接合部の入力せん断力が大きく、接合部が壊れやすいが、梁断面の力学的鉄筋比が柱の軸力とからみあうと梁断面の力学的鉄筋比が高いほど、接合部が壊れにくい場合もあった。そして、梁の多段配筋により主筋間距離が小さくなるのが、接合部を破壊させる主な原因であることがわかった。また、柱の圧縮軸力比が 0.2 の場合とスパン比が大きい場合に接合部が壊れにくく、アスペクト比が 1.0 より大きい場合に接合部が壊れやすく、梁幅と柱幅の比の変化と横補強筋比が 0.3% 以上の場合に接合部の破壊状況に影響を与えないことがわかった。

第 6 章では、柱梁接合部の弾塑性変形を取り入れた鉄筋コンクリート骨組の静的漸増載荷解析や動的地震応答解析を通じて、接合部の破壊と骨組の崩壊の関係について、以下のような知見が得られた。まず、柱梁接合部の弾塑性モデルであるマクロエレメントを骨組の静的漸増載荷解析や動的地震応答解析に取り入れる手法によって、柱梁接合部の弾塑性変形が骨組の応答特性に与える影響を検討することができた。また、柱梁曲げ耐力比は骨組の崩壊機構と密接な関係があり、柱梁曲げ耐力比を大きくしても、柱主筋と接合部内主筋が降伏するようになり、完全に骨組の崩壊機構の梁降伏型にするのは難しいことがわかった。そして、柱梁曲げ耐力比が小さいと下層の接合部が破壊しやすく、柱梁曲げ耐力比が大きいと上層の接合部が破壊しやすく、柱梁曲げ耐力比をおおむね 1.3 以上にすると、骨組の接合部に損傷が入るものの、全体的に梁に損傷が集中することがわかった。さらに、梁断面のせい

が低く、梁断面の幅を広くすることによって骨組の接合部に損傷が増え、骨組の層崩壊する可能性が高くなることがわかった。最後に、横補強筋比が骨組の応答特性に与える影響は小さいことがわかった。

第 7 章では、本論文で得られた成果と論文全体の結論を述べた。最後に、今後の課題と展望について述べた。

以上のように、本論文では柱梁接合部の弾塑性変形が卓越する骨組の静的力学特性と動的地震応答特性を検討するための手法を提案した。