

鉄筋コンクリート造柱梁接合部の耐震設計法に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、合理的な鉄筋コンクリート造柱梁接合部の耐震設計法の確立を目指して行った研究であって、既往の実験資料に基づき、従来の接合部耐力評価に取り入れられなかったトラス機構に着目する事でせん断抵抗機構と関連させた耐力評価法を提案し、さらに骨組解析に用いるための接合部変形能評価法の提案を行い、これらの評価法を用いた耐震設計法の提案を行っている。本論文は、以下の全7章から構成されている。

第1章は序論であり、鉄筋コンクリート造柱梁接合部に関する既往の研究と研究の現状について述べ、接合部のせん断耐力評価方法と変形性状評価方法を確立する事の重要性和現状で不足している点を明らかにして、本研究の目的を示した。

第2章は鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の最大せん断耐力評価方法の確立を目的として、既往の実験資料を基に各種要因の接合部性状に及ぼす影響について検討した。その結果、接合部のせん断耐力は、コンクリート強度による影響が大きいものの軸応力度および接合部横補強筋と柱中段筋さらに従来では見過ごされてきた梁主筋の付着性状も影響することを明らかにした。この結果を基に、接合部横補強筋と柱中段筋と梁主筋の付着性状はトラス機構を構成する要因であることから、これら3要因の相互作用による耐力への寄与を付着影響係数として評価し、ストラット機構として耐力に寄与するコンクリート強度と軸応力度とを組み合わせることにより、最大せん断耐力実験値を精度よく評価できる推定式を提案した。さらに柱または梁の部材降伏時接合部せん断力に対する推定式による計算値との比をせん断余裕度と定義すれば、余裕度に対して内部柱梁接合部の破壊モードを分類できることを明らかにした。また、断面分割法により算定された柱梁中立軸深さによって囲まれる接合部対角圧縮ストラットを考え、この耐力をコンクリート有効圧縮強度を用いて計算する方法を提案した。これに付着影響係数を用いて求められるトラス機構による耐力を加えることによって、ストラット耐力のみの場合よりも実験値と良い対応を示すことができ、接合部せん断耐力は、ストラット機構耐力とトラス機構耐力の和として評価することが適切であることを実証した。

第3章は第2章と同様の方法により、鉄筋コンクリート造外部柱梁接合部の最大せん断耐力評価方法の確立を目的として、既往の実験資料を基に各種要因の接合部性状に及ぼす影響について検討した。その結果、接合部のせん断耐力は、内部接合部同様にコンクリート強度による影響が大きいものの、軸応力度、接合部横補強筋、柱中段筋、折曲げ定着位置（折曲げ定着接合部対角線角度）によっても影響を受けており、特に接合部横補強筋の影響は内部接合部の場合よりも大きいことを明らかにした。さらに、これらの要因を基に、実験値を精度良く評価できる推定式を提案し、柱または梁部材の降伏時せん断力に対する

推定式による計算値との比をせん断余裕度と定義すれば、内部接合部同様に外部接合部についても破壊モードが分類出来ること示した。次いで、梁折曲げ定着内法部から柱梁圧縮端を結ぶ線上に圧縮ストラットを仮定し、コンクリート有効圧縮強度を用いてストラット耐力を算定する方法を提案した。このストラット耐力のみの場合よりも、接合部横補強筋と柱中段筋とを組合わせた場合の方が実験値と良い対応を示すことにより、接合部内補強筋の効果を明らかにし、外部接合部のせん断耐力は、ストラット機構耐力とトラス機構耐力の和として評価することが適切であることを実証した。さらに、梁下端主筋が柱内に折曲下げ定着された場合において、実験値を精度良く推定できる接合部せん断耐力評価式を影響要因との関係から導きだした。

第4章は、内部柱梁接合部を対象に、鉄筋コンクリート造骨組みの構造解析等において接合部を考慮する際に必要な柱梁接合部のせん断応力度(τ)－せん断変形角(γ)関係包絡線のモデル化に関して、既往の実験結果を使用して検討している。最初にJ型接合部データを対象に、既往の実験結果から得られる τ - γ 関係包絡線の傾向を基に、接合部パネル初亀裂時までは直線で、最大耐力時までは3次曲線で、最大耐力以降の下降域を直線で表現するモデルを提案した。最大耐力は、第2章の評価式から算定するものとし、これ以外にこのモデルを構築するために必要な各特性点（接合部パネル初亀裂時耐力、初亀裂時接合部せん断変形、最大耐力時接合部せん断変形角）と下降域における負勾配剛性を評価するために、それぞれの点における強度と変形に及ぼす各種要因の影響について検討し、影響の大きい要因を基に実験値を精度良く推定する式を導きだした。さらに、これらの推定式から計算される値を用いてモデルを構築し、実験結果と比較したところ良い対応を示した。さらにJ型モデルを使用して、BJ型接合部データを対象に、余裕度と変形性能を関係付けた τ - γ 関係包絡線モデルを考案した。

第5章は、外部柱梁接合部を対象に、第4章と同様の方法によって τ - γ 関係包絡線のモデル化に関して検討している。J型接合部を対象にした場合、既往の実験結果から得られる τ - γ 関係包絡線の傾向は内部接合部と同様であることから、内部と同一のモデルを使用し、モデル構築に必要なそれぞれの特性点の値を推定する式を各要因との関係から導き出した。この推定式により計算される値を用いてモデルを構築し、実験結果と比較したところ良い対応を示した。さらに内部接合部同様に、BJ型接合部データを対象に、余裕度と変形性能を関係付けた τ - γ 関係包絡線モデルを考案した。

第6章は、第2章から第5章までに得られた知見に基づき、内部・外部柱梁接合部の耐震設計方法を提案した。この方法では、接合部に隣接する梁部材に付与される変形能に応じて接合部に余裕度を持たせ、所定の変形に至るまでの接合部破壊を防止することを基本理念とする。接合部せん断耐力はストラット機構耐力とトラス機構耐力の和として評価し、トラス機構耐力の算定により、接合部横補強筋量を具体的に計算する。さらに、接合部せん断応力度(τ)－せん断変形角(γ)関係包絡線モデルを構築し、このモデルを骨組に導入して振動解析を行い、要求性能を満足しているかチェックを行う。章の最後に、この方法を用いた設計例を示している。

第7章は、第2章から第6章までの主要な研究成果を総括し今後の課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 城 攻
副 査 教 授 石 山 祐 二
副 査 教 授 上 田 正 生
副 査 教 授 角 田 與史雄

学 位 論 文 題 名

鉄筋コンクリート造柱梁接合部の耐震設計法に関する研究

鉄筋コンクリート造（以下RC造）建築物の構造設計では、せん断破壊などを起因とする部材や架構の脆性的な破壊を防ぐことが極めて重要である。このうちRC造柱梁フレーム架構形式建築構造物の梁や柱の部材では、多くの実験的および解析的研究の蓄積と実構造物における地震時挙動の観察を元にして信頼性の高い設計法が確立されつつある。これに対して、柱梁接合部は架構形状の多様性と応力伝達機構の複雑さから設計法の開発が取り残され、地震時の損傷が予測されていた。折しも1995年兵庫県南部地震において、柱梁接合部に顕著なせん断破壊の生じたRC造建築物がいくつか見られ、柱梁接合部の耐震設計法の確立が急務である事が実証された。

本論文は、RC造柱梁接合部に関する著者の実験的研究に加えて、極めて多数の既往の実験的研究を精力的に収集してデータベース（以下DB）を構築することにより、柱梁接合部の応力伝達機構を多角的に分析することを可能とした。この分析結果に基づいて、せん断抵抗機構に立脚した精度の高い接合部せん断耐力推定式を導くと共に、耐力劣化域を包含できる精度の良い接合部せん断応力度－変形角関係を提示することにより、信頼性の高い柱梁接合部の耐震設計法を提案したものである。本論文は、全7章から構成されている。

第1章では、既往の研究を概観し、本研究の目的とその意義を述べている。

第2章では、十字形状の内部柱梁接合部に関する既往の実験的資料によりDBを作成し、このうち試験体243個を用いて接合部せん断耐力におよぼす要因分析を行った。ストラット機構による応力伝達の主要因であるコンクリート強度と、従来考慮していない柱軸応力度の影響を明らかにし、さらにトラス機構による応力伝達に関しても接合部横補強筋と柱中段筋および梁主筋の付着性状からなる付着影響係数を新たな要因として導入している。これらの3要因を用いた回帰分析により、精度の良いせん断耐力推定式を提案している。加えて、接合部に接する梁または柱端部の曲げ降伏時接合部せん断力理論値に対する上記の推定式によるせん断耐力計算値との比をせん断余裕度と定義し、この余裕度を用いて内部柱梁接合部破壊モードであるせん断破壊型（J型）、梁降伏後せん断破壊型（BJ型）、梁降伏破壊型（B型）の3種を明瞭に分類できることを明らかにしている。

第3章では、ト字形状の外部柱梁接合部に関して既往の実験的資料によりDBを作成し、試験体129個を用いて第2章と同様の方法により要因分析を行い、コンクリート強度、柱軸応力度、接合部横補強筋、梁筋折曲げ定着位置（折曲げ定着接合部対角線角度）が主要因であることを明らかにしている。これらを影響要因とする回帰分析により精度良いせん断耐力推定式を提案すると共に、前章で定義したせん断余裕度を用いて3種の柱梁接合部破壊モードが明瞭に分類出来ることを明らかにしている。

第4章では、内部柱梁接合部を対象にして、接合部せん断応力度(τ)－せん断変形角(γ)関係包絡線のモデル化に関して検討している。提案されている既往の τ － γ 関係は、最大耐力までであり、折れ線近似による精度上の問題点を有していたので、DBを用いてJ型接合部の τ － γ 関係包絡線の性状と影響因子を分析した。この結果、接合部パネルせん断初亀裂時および最大耐力時を特性点とする3領域に分割し、回帰分析により領域ごとに近時曲線をモデル化することによって、最大耐力後の劣化域まで包含可能な τ － γ 関係式を導出している。さらに、この関係式を基準にして、BJ型およびB型柱梁接合部を対象にして、せん断余裕度と変形性能を関係付けた τ － γ 関係包絡線モデルを提案し、いずれも実験時曲線と良く対応することを示している。

第5章では、既往の提案関係式が無い外部柱梁接合部を対象にして、DBの分析によりJ型接合部の τ － γ 関係の性状は内部柱梁接合部と同様であることを明らかにし、3種の破壊形式に対してそれぞれ内部接合部と同形式の τ － γ 関係包絡線モデルを提案している。

第6章は、前章までに得られた知見に基づき、内部・外部柱梁接合部の耐震設計法を提案している。本法では、接合部に隣接する梁部材端に期待される変形能に応じて接合部にせん断余裕度を与え、所定の変形に至るまでに接合部がせん断破壊することを防止する手法に大きな特徴がある。接合部せん断耐力はストラット機構耐力とトラス機構耐力の和として評価し、接合部横補強筋量はストラット機構耐力の算定から求められる。さらに接合部 τ － γ 関係を用いた応答解析により、接合部および梁端部に生じる変形が限界変形能力を下回ることを確認するものであり、本章の最後に、本法を用いた設計例を示している。

第7章は、第2章から第6章までの研究成果を総括し、今後の課題を述べている。

これを要するに、著者は、鉄筋コンクリート造柱梁接合部の応力伝達機構を明らかにすると共に柱梁フレーム架構形式建築物における信頼性の高い耐震設計法を新たに提案するものであり、建築構造学および実務設計に対する貢献は著しいものがある。よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。