

学位論文題名

鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の
剪断抵抗機構に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、鉄筋コンクリート構造物の耐震設計は、部材の降伏ヒンジ発生位置を予定した崩壊機構時の終局強度に基づく設計法に移行しつつある。その背景には、過去の研究の蓄積によって鉄筋コンクリート部材や架構の弾塑性挙動がかなりの精度で把握できることや、各種の破壊モードに対する耐力の算定方法が確立されてきていることが挙げられる。

わが国では建築物が建てられる地域で起こり得る最大級の地震動に対して一般の建物を弾性設計することは経済的に得策とならないため、建物の損傷については許容するが人命に危惧を与えるような崩壊を避けるように設計を行っている。構造物が塑性変形することによって地震動のエネルギーを消費することができるので、変形能の高い塑性ヒンジを骨組内に適確に配置することによってエネルギー吸収の大きな崩壊機構を設定できれば、建物は倒壊に至らないものと考えられる。しかし、そのためには骨組を構成する部材の耐力や変形性能について破壊時までの力学特性を把握していることが必要条件である。

鉄筋コンクリート造柱梁架構では、地震時の崩壊型として大きなエネルギー吸収が得られる梁降伏型が形成されることを原則としているが、これを保証するためには柱・梁部材およびその接合部の耐力式や変形性能の信頼性を検証する必要がある。柱・梁などの線材の研究は古くから多数行われ、その曲げや剪断に対する耐力評価式や変形挙動の推定はかなりの精度を有するレベルに至っている。また、近年の鉄筋コンクリート構造の高層建物への応用に伴う高強度材料を使用した場合にも、耐力評価式・靱性評価法等の適用性に関する多くの研究がなされている。これに対して、柱と梁の部材の接合部位である柱梁接合部については、わが国において最近までその設計規定がなかったばかりか、現在において世界的にもその破壊機構を含む応力伝達機構に関する統一した見解が得られていない状況にある。

本研究は鉄筋コンクリート造骨組の中で最も基本的な形状である内部柱と梁の接合部を対象にして、その設計法の確立に寄与することを目的としたものであり、設計に必要な接合部の耐力の評価方法、接合部の変形挙動についての知見を与えるものである。

本論文の構成は全7章からなり、その内容は以下に示す通りである。

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わる既往の研究を概述し、応力伝達機構、剪断耐力評価方法、変形性状等に関する未解明の事項を明らかにして本研究の目的を定めている。

第2章では、鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の耐力に関する既往の実験資料を整理し、内部柱梁接合部の諸性状とこれに及ぼす影響要因との関係を統計的に明らかにしている。鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部については現在に至るまで多くの実験的研究がなされているので、その実験データを用いて接合部の破壊機構・耐力に及ぼす影響要因を検

討し、現時点での知見を明確化した。

第3章では、本論で行った鉄筋コンクリート造柱梁接合部模型実験の概要を述べている。模型実験は、内部柱梁接合部の剪断破壊機構に及ぼす接合部補強筋等の影響を把握することを目的として、隣接梁の降伏時に接合部に入力される剪断力のレベルを変化させた3つの実験シリーズを行っている。その結果、梁降伏する前に柱梁接合部が剪断破壊する時の耐力は接合部補強筋量の違いに拘らずコンクリート強度によって決まること、梁降伏時の接合部剪断応力度に対する接合部剪断耐力の比が大きくないことによって余裕度が小さければ梁降伏後の繰り返し加力と変形増大によって接合部剪断破壊が進行すること、梁の降伏が先行する際に余裕度が十分大きく接合部の剪断破壊が起きない場合であっても梁主筋の接合部からの抜出しによって履歴性状が劣化する可能性のあることを示した。

第4章では、鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の剪断破壊機構の解明を目的として、力の釣合から仮定したマクロモデルを用い接合部補強筋や梁主筋付着力の応力伝達機構に対する影響等を考察している。さらに、梁崩壊型の骨組を設計する際に問題となる隣接梁の降伏後における接合部剪断破壊への移行のメカニズムについて検討を行っている。

具体的には、まず、接合部剪断亀裂耐力については主応力度式によって推定できることとその算定に用いるコンクリートの引張強度の評価法について提案を行った。次に、剪断亀裂発生以降の接合部内における応力伝達は、接合部斜め亀裂の発生により接合部コンクリートの対角引張力が徐々に失われるため亀裂間のコンクリートに生じる対角圧縮力に強く依存していることを示した。また、接合部の剪断耐力はこの2軸応力状態のもとで梁主筋の付着力を介して対角引張歪が増大するために接合部コンクリートの圧縮強度低下と圧壊に起因することを明らかにした。さらに、梁が降伏して後に接合部の剪断入力量が抑えられる場合にも剪断破壊に移行する条件として接合部補強筋量が重要な要因であることを明らかにした。

第5章では、柱梁接合部の変形性状の把握を目的として、繰り返し加力を受ける接合部の剪断応力度と剪断変形角関係についてのモデルを提案している。接合部の剪断剛性低下の原因が接合部の剪断亀裂の発生・拡幅による接合部コンクリートの劣化にあることを指摘し、接合部への累加剪断入力量を基本とする剪断剛性劣化指標を提案した。また、梁降伏によって接合部の剛性低下が生じるため、この影響を表す梁降伏時の剪断応力レベルを考慮した剪断劣化指標に対する修正係数を定義して、梁降伏が先行する場合にも提案モデルを適用出来ることを示した。

第6章では、鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の設計方法の提案を目的として、接合部の設計応力レベル、接合部補強筋の機能等について検討を行った。骨組の変形が柱・梁の変形、接合部の変形、接合部と各部材との接合端の局所的変形に分解でき、全体の変形に占める割合の大きい成分の性状が骨組の挙動を支配することを指摘した。これらの結果に基づく柱梁接合部の設計としては、梁降伏時の接合部剪断応力度の大きさを基準とする判定式を定義し、コンクリート強度のみに依存する接合部剪断耐力式および剪断余裕度の提案と接合部剪断亀裂耐力を越える場合について亀裂発生後の接合部剪断劣化を許容する接合部補強筋量の設計方法について提案を行った。

第7章では、本論文の結論を述べるとともに、残された課題について言及している。

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 井 野 智
副 査 教 授 角 田 與史雄

学位論文題名

鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の 剪断抵抗機構に関する研究

鉄筋コンクリート造骨組は崩壊型を予定した設計法へ移行する方向にあり、これを確実にするため部材の終局状態における耐力・変形についての研究が精力的に行われている。柱および梁などの線材についてはかなり精度のよい設計法が示されているのに対し、その交差部である柱梁接合部の水平加力時耐力・変形性能については、これを決定する影響要因が複雑であり、また、抵抗機構についても統一した理解がなされていないためにその設計法は未だ確立されていない。

本論文は、鉄筋コンクリート造骨組の柱梁接合部について、骨組の中で基本的な形状である内部柱梁接合部を対象として、既往の実験資料を用いた耐力に関する統計解析的検討と模型実験に基づく応力伝達機構・破壊機構の検討によりその設計法の提案を目的としたものであり、次の7章よりなる。

第1章では、鉄筋コンクリート造柱梁接合部に関わる既往の研究を概述し、応力伝達機構、剪断耐力評価方法、変形性状等に関する未解明の事項を明らかにして本論文の目的と範囲を定めている。

第2章では、柱梁接合部の耐力に関する既往の実験資料を整理し、内部柱梁接合部の諸性状とこれに及ぼす影響要因との関係を統計的に明らかにしている。ここでは、多くの実験データを用いて接合部の破壊機構・耐力に及ぼす影響要因を検討し、接合部剪断耐力及び剪断破壊を防止するための現時点での知見を明確化している。

第3章では、鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の剪断破壊機構に及ぼす接合部補強筋等の影響を把握することを目的として、著者が行った隣接梁の降伏時に接合部に入力される剪断力のレベルを変化させた実験について述べている。実験結果から、梁降伏する前に柱梁接合部が剪断破壊する時の耐力は接合部補強筋量の違いに拘らずコンクリート強度によって決まること、梁降伏時の接合部剪断応力に対する接合部剪断耐力の比すなわち剪断余裕度が大きくない場合には、梁降伏後の繰り返し加力と変形増大によって接合部剪断破壊が進行することを明らかにしている。

第4章では、柱梁接合部の剪断破壊機構の解明を目的として、力の釣合から仮定したマクロモデルを用い、接合部補強筋や梁主筋付着力の応力伝達機構に対する影響等を考察している。さらに、梁崩壊型の骨組を設計する際に問題となる隣接梁の降伏後における接合

部剪断破壊への移行のメカニズムについて検討を行っている。

剪断亀裂発生以降の接合部内における応力伝達は、接合部斜め亀裂の発生により接合部コンクリートの対角引張力が徐々に失われるため亀裂間のコンクリートに生じる対角圧縮力に強く依存していることを明らかにした。また、接合部の剪断耐力はこの2軸応力状態のもとで梁主筋の付着力を介して対角引張歪が増大するために促進される接合部コンクリートの圧縮強度低下と圧壊に起因することを明らかにしている。これは、従来終局状態においてのみ検討されていた破壊条件に対し、本研究ではそれに至る過程を詳細に検討し梁主筋の付着性状、梁の降伏現象が接合部コンクリートの破壊に与える影響を解明したものである。

第5章では、柱梁接合部の変形状の把握を目的として、繰り返し加力を受ける接合部の剪断応力度と剪断変形角関係を表す精度よい荷重変形モデルを提案している。接合部の剪断剛性低下の原因が接合部の剪断亀裂の発生・拡幅による接合部コンクリートの劣化にあることを指摘し、接合部への累加剪断入力量を基本とする剪断剛性劣化指標を独自に提案している。また、隣接梁の降伏によっても接合部の剛性低下が生じることを明かにし、この影響を表す梁降伏時の剪断応力レベルを考慮した剪断劣化指標に対する修正係数を定義して、梁降伏をさせる実際の骨組にも提案モデルが適用出来るように拡張している。

第6章では、鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の設計方法の提案を目的として、接合部の設計応力レベル、接合部補強筋の機能等について検討を行っている。本論の検討結果に基づく柱梁接合部の設計法として、接合部剪断亀裂耐力、接合部破壊が生じない保証用接合部耐力、接合部剪断破壊耐力を設計の基準耐力として定義し、これに対する梁降伏時の接合部剪断応力度の大きさによって接合部補強筋量を設計する方法を提案している。これは梁降伏を先行させる実際の骨組性状に対応させた極めて実用的な設計法といえる。

第7章には、結論と今後の展望についての著者の考えが述べられている。

これを要するに、著者は、鉄筋コンクリート造内部柱梁接合部の剪断抵抗機構について検討を行い、その設計法の提案を行ったもので、鉄筋コンクリート造建物の設計に対して有益な新知見を得ており、建築構造学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

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。