

博士（工学）宮本泰志

学位論文題名

鉄筋コンクリート造柱梁接合部における折曲げ筋の定着性能

学位論文内容の要旨

鉄筋コンクリート構造物では、外柱－梁接合部で見られるように鉄筋の端部を他の部材に定着させる際に、定着力が鉄筋の直線区間で確保できない場合には鉄筋端を折り曲げて定着させることが一般的である。鉄筋の折り曲げ角度は90度にする事が最も多く、この折り曲げ鉄筋に作用する力は、直線部・折り曲げ部・余長部の3区間からそれぞれに異なる伝達機構で周辺のコンクリートに伝わると予測される。しかし、各部の応力伝達機構はもとより、折り曲げ定着耐力に関しても充分に解明されていない。このために日本建築学会鉄筋コンクリート配筋指針では、直線定着方式に適用される鉄筋の必要定着長を折り曲げ定着部の合計長として要求し、極めて不合理な設計法を使用している。さらに、折り曲げ位置や折り曲げ半径に関する構造規定の制限値は、直交梁を有する柱梁接合部やプレキャスト部材の接合部における実構造物の配筋条件を著しく限定し、実務の設計施工側からの要求と大きくかけ離れている。折り曲げ定着が用いられる接合部は、柱と梁、大梁と小梁、梁とスラブ、壁と壁、その他の広範囲の部位に亘る。このうち柱梁接合部は部材形状・配筋方法・応力状態が最も多様で複雑であるため、柱梁接合部における定着機構を解明することができれば、他の部位における理解も容易となる。またラーメン架構の終局限界状態設計では、梁端または柱端に鉄筋降伏を期待するのでこれを確実に実現するために、柱梁接合部のせん断破壊と定着破壊は絶対に避ける必要がある。このためにも、柱梁接合部の折り曲げ定着機構の解明が強く要求されている。

これらの状況を背景にして、本研究では、鉄筋コンクリート造ラーメン架構の柱梁接合部を対象として、梁筋が接合部または柱内に90度で折り曲げ定着される場合の定着性状を実験的に明らかにし、これに基づいて定着部の設計に必要な耐力算定式および応力変形関係を導くことを目的とした。まず、既往の研究と筆者らの外柱梁交差部の研究から、定着破壊には複数の破壊形式があること、従来の定着耐力算定式はこれらの破壊形式を混在したままで扱っていることを明らかにした。続いて破壊形式を側方割裂破壊型・局部圧縮破壊型・搔き出し破壊型の3種に分類し、柱梁接合部の模型実験に基づいてそれぞれの定着耐力推定式を提案した。特に、搔き出し破壊型は、これまでに分類されていなかった定着破壊形式で著者らが新しく命名したものであり、破壊性状に及ぼす各種の影響要因について総合的な模型実験を行った。さらに搔き出し定着破壊に関しては、無負荷状態から最大耐力後の大変形に至るまでの鉄筋力－抜け出し関係を数値モデル化して、この種の定着破壊を伴う架構の弾塑性応力・変形解析を行えるようにした。

本論文は全 6 章より構成されている。

第 1 章は緒論であり、鉄筋コンクリート造建築物の柱梁接合部における折り曲げ定着に関する既往の研究を概説してその問題点を指摘した後、本研究の目的と研究の範囲を明らかにした。

第 2 章では、定着破壊形式を次ぎの 3 種に分類できることを示した。すなわち、側方割裂定着破壊形式は、梁筋の側方被り厚が薄い場合に折り曲げ部の支圧力によってコンクリートが皿状に割裂剥離するもので、梁外側筋に生じる単独の破壊である。局部圧縮定着破壊形式は、折り曲げ半径が小さい場合に折り曲げ部に内接するコンクリートが局部圧壊するもので、梁内側筋にも単独に生じる。搔き出し定着破壊形式は、直線定着長が短く多列配筋された場合に、折り曲げ部から発生する台形状の破壊面に沿う滑り破壊が生じ、全鉄筋が同時に耐力を失うものである。それぞれの破壊形式について縮小模型実験を計画し、合計 67 体の柱梁接合部試験体を製作して加力実験を行った。これより各破壊形式毎の定着耐力と変形性能に及ぼす影響要因を明確にした。

第 3 章では、まず実験結果から直線定着部の付着力を分離抽出して、その耐力算定式を導いた。次に、局部圧縮破壊型定着耐力を折り曲げ半径とコンクリート強度との関係で表し、上記の直線部定着力との合計力として定着耐力算定式を提案した。また、側方割裂破壊型については、柱軸力および 2 段配筋による耐力への影響係数を求めて、既往の定着耐力算定式に修正を施して広範に適用できる推定式を提案した。

第 4 章では、搔き出し破壊型の定着破壊機構について検討した。多列に配筋された折り曲げ鉄筋によって囲まれるコンクリートブロックが梁の圧縮域を中心とする回転変形を生じ、これに伴うコンクリートブロック境界面の滑り破壊によって最大耐力が決定することを特定した。また、最大耐力はコンクリート負担力と帶筋負担力との和で表わされる事を明らかにした。この破壊機構に基づき、コンクリート強度、水平定着投影長、接合部有効幅、帶筋比、柱軸力比、折り曲げ方向、その他の形状・材料・応力条件を影響要因として考慮した精度良い定着耐力算定式を提案した。

第 5 章では、搔き出し定着破壊に伴う梁筋の応力変形関係のモデル化を試みた。鉄筋の梁端部における引き抜き力と抜け出し量（柱せいの中央部に対する相対変位）との関係は、最大耐力までを Tri-linear で表現し、最大耐力以降は耐力低下域と耐力安定域との 2 直線で表すことによって、弾性変形から塑性変形に至る全域を Poly-linear モデルに置換した。提案した数値モデルは、実験結果に概ね良く適合する事を示し、このモデルを用いて柱梁ラーメン架構の荷重変形の推移を精度良く推定することを可能にした。

第 6 章は総括であり、本研究で得られた結果を要約して述べると共に、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柱梁接合部における折曲げ筋の定着性能

鉄筋コンクリート構造物では、鉄筋の端部を他の部材との接合部に定着させる際に、定着力が鉄筋の直線区間で確保できない場合には鉄筋端を折曲げて定着させることが一般的であり、鉄筋の折曲げ角度は90度にする事が最も多い。しかし、折曲げ定着部の応力伝達機構や定着耐力に関しては未解明な事項が多く、折曲げ位置や折曲げ半径に関する構造規定の制限値に従って設計するのが通常である。折曲げ定着は、柱と梁、大梁と小梁、梁とスラブ、その他の広範囲の部位で使用される。このうち柱梁接合部は部材形状・配筋方法・応力状態が最も多様で複雑であるばかりでなく、近年、建築物の高層化や材料の高強度化に伴って部材断面の応力度が上昇する傾向にあり、柱梁接合部の設計条件が厳しくなってきてている。これらは1995年の阪神・淡路大震災でも接合部被害が報告されていることからも明らかである。またラーメン架構の終局限界状態設計では、梁端または柱端に鉄筋降伏を期待するのでこれを確実に実現するために、柱梁接合部のせん断破壊と定着破壊は絶対に避ける必要がある。このためにも、柱梁接合部の折曲げ定着機構の解明が強く要求されている。

これらの状況を背景にして、本研究では、鉄筋コンクリート造ラーメン架構の柱梁接合部を対象として、梁筋が接合部または柱内に90度で折曲げ定着される場合の定着性状を実験的に明らかにし、これに基づいて定着部の設計に必要な耐力算定式および応力変形関係を導くことを目的としているもので、本研究の成果は以下のように要約される。

まず、既往の研究と筆者らの外柱梁交差部の研究から、折曲げ筋の定着破壊には複数の破壊形式があること、従来の定着耐力算定式はこれらの破壊形式を混在したままで扱っていることを明らかにした。これらの定着破壊形式は、梁筋の側方被り厚が薄い場合にコンクリートが皿状に剥離する側方割裂定着破壊形式、折り曲げ半径が小さい場合に折曲げ筋の内接部が圧壊する局部圧縮定着破壊形式、直線定着長が短く多列配筋された場合に折曲げ部の内側コンクリートが塊状のままで抜け出てくる掻き出し定着破壊形式の3種である。特に、掻き出し定着破壊形式は、これまでに分類されていなかった破壊形式で著者が新しく命名したものである。

次に、それぞれの破壊形式について総合的な縮小模型実験を計画し、合計67体の柱梁接合部試験体を製作して加力実験を行い、各破壊形式毎の定着耐力と変形性能に及ぼす影響要因を明確にした。すなわち、側方割裂破壊型については、既往の定着耐力算定式に柱軸力および2段配筋の影響を付加した修正算定式を提案した。局部圧縮破壊型については、定着耐力を折り曲げ半径とコンクリート強度との関係で表し、直線部定着力との合計力として定着耐力算定式を提案した。

また、新しく分類した搔き出し定着破壊形式については詳細な検討を行い、その定着破壊機構とこれに及ぼす影響要因を明確にした。すなわち、多列に配筋された定着筋の周辺コンクリートが折曲げ側に中心を持つ回転変形を生じ、これに伴うコンクリートブロック境界面の滑り破壊によって最大耐力が決定することを特定した。この破壊機構に基づき、最大耐力はコンクリート負担力と帶筋負担力との和で表わされる事を明らかにして、コンクリート強度、水平定着投影長、接合部有効幅、帶筋比、柱軸力比、折り曲げ方向、その他の形状・材料・応力条件を考慮した精度の高い定着耐力算定式を提案した。更に、搔き出し定着破壊に伴う梁筋の応力変形関係のモデル化を行った。鉄筋の梁端部における引き抜き力と抜け出し量との関係を、弾性変形から塑性変形に至る全域について Poly-linear モデルに置換した。提案した数値モデルは、実験結果に良く適合する事を示し、このモデルを用いて柱梁ラーメン架構の荷重変形の推移を精度良く推定することを可能にした。

これを要するに、著者は、鉄筋コンクリート造柱梁接合部に折曲げ定着される梁筋の定着性能について詳細な実験的検討を行い、その破壊機構を解明すると共に精度の高い耐力算定法および応力変形関係の数値モデル化の提案を行ったもので、鉄筋コンクリート構造物の設計に対して有益な知見を得ており、建築構造学および構造工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。