

審査の結果の要旨

氏名 リヤント エディ

鉄筋コンクリート構造の柱梁接合部は各部材からの鉄筋を収め確実に定着する必要のある箇所であり、高い耐震性能が要求される構造物では多くの鉄筋が接合部に配置される過密配筋状態となり、複雑な鉄筋の組み立てに時間を要し工期が延びることや、コンクリートの打設時に施工不良の可能性が高まるなどの問題がある。接合部や定着部の配筋の設計基準での規定は簡易な配筋における実験に基づき構築されており、接合部の三次元的な複雑な配筋の力学相互作用や各鉄筋の影響度を詳細に把握し反映したものではない。接合部の配筋の合理化には内部ひび割れや応力状態の把握が重要となるが、実験による計測には限界がある。これに対して数値解析は有用なツールであるが、鉄筋の節から生じる応力や微細なひび割れの進展、三次元的な応力状態を表現するには、従来の有限要素法等に代表される10センチ程度以上の比較的大きな寸法に分割する方法では再現が困難である。本研究では、ひび割れ進展の再現に適した離散解析手法である剛体ばねモデル(RBSM)を用い、鉄筋の節形状までモデル化する三次元微細構造解析により、接合部の破壊シミュレーションを行っている。既存の解析システムを拡張し、微細なひび割れの表現のためにコンクリート要素を1~2cm³程度に分割し、80万要素程度までの大規模解析により接合部の解析を可能にし、既往の実験結果と比較しつつ接合部破壊と配置される鉄筋の役割について論じている。

第一章は序論であり、接合部の過密配筋がもたらす問題と解決の困難さが説明されている。また既往の数値解析によるアプローチが纏められている。本課題には離散解析手法による微細構造解析を適用することが有用であり、既往のRBSMによる研究と、本研究において取り組む具体項目が、解析システムの拡張、構成モデルの修正と材料レベルでの検証、鉄筋コンクリート要素レベルでの解析、構造レベルでの解析の順で示されている。

第二章には解析手法の説明がされている。川井により開発されたRBSMの三次元解析による定式化と要素分割方法が示されている。本研究により解析システムが拡張され、鉄筋の曲げ部や機械式定着具、ループ筋等が従来と比較して容易に高速にモデル化できるようになった。また、本研究でのコンクリート要素サイズと生じるひび割れパターンと実験で発生するひび割れの類似性について説明がされ、設定した要素サイズの合理性が示されている。

第三章、第四章では、構成モデルの修正と材料レベルでの解析結果が示されている。これまでの解析システムで用いられてきた微細スケールでの構成モデルでは、コンクリート材料の圧縮強度と引張強度の関係が適切には表現できておらず、モデルの修正により改善がなされた。このプロセスにおいて構成モデルの材料強度への感度解析も行われている。一軸の圧縮試験、引張試験、二軸圧縮試験が実施されており、二軸圧縮試験では、実験結果を過大評価する結果となっている。また鉄筋モデルへのひずみ硬化の導入と、界面モデルの改善もなされている。

第五章では、鉄筋コンクリートの一軸引張試験の解析が行われている。使用する鉄筋の降伏応力が低い場合と高い場合の両方の試験において、鉄筋のひずみ分布とひび割れパターンの局所挙動と平均ひずみ - 平均応力関係が、実験と同様に再現されている。また、感度解析として、鉄筋のひずみ硬化が無い場合の結果も示されている。

第六章では、桁受け部である鉄筋コンクリートコーベルの解析が、実構造物で生じた損傷を対象に実施されている。コーベルの載荷点となる桁受け箇所がコーベル端となると、鉄筋が近傍に配置されていないことに起因して局所ひび割れが進展し、耐力が半分程度まで下がることが、鉄筋配置を直接的にモデル化する本研究の解析により再現可能であることが示された。設計基準に準じて中央部に載荷した場合は所定の耐力が発揮され、これはコーベル端に載荷して初期損傷を受けた後に載荷点を移動した場合でも確保され、簡易な対策として適用可能である。

第七章では、接合部の解析が実験を対象に行われている。通常の L 字形接合部の配筋であり曲げ鉄筋がモデル化されている。交番載荷試験における荷重変位曲線は、解析が実験を 25%程度下回っている。この原因については更なる検証が必要である。しかし、内部応力状態やひび割れ進展は合理的に再現されており、本研究で可能となった柱梁接合部の三次元微細構造解析が内部力学状況の把握や各鉄筋の役割について検討するのに有用であることが確認された。

第八章では、接合部に機械式定着具を用いた場合の解析がなされている。定着性能の高い機械式定着具を用いると接合部の鉄筋量を減らせると期待される一方、定着具からの局所応力により破壊が起きる場合がある。既往の実験に、機械式定着具により破壊が生じるケースと、補強筋や定着具付近のコンクリート厚さを増すことにより定着具に起因する破壊を制御するケースを検討したものが、主に 4 体を対象に解析がされた。いずれのケースも耐力を 10%以内の精度で再現すると共に、解析結果から追加の補強筋が主鉄筋の定着性能を増す効果と、接合部の斜めひび割れの開口抑制効果の 2 つがあることが示された。これを確認するために、鉄筋の節を無くした丸鋼により補強した場合の解析も行っている。また、かぶり厚を増すことでの接合部破壊の制御プロセスも明らかにした。

第九章は研究全体を纏めた結論である。

このように本研究は、鉄筋コンクリート接合部の破壊シミュレーションを可能にするために、既存解析システムの拡張や材料モデルの見直しなど基礎的な取り組みから積み上げて最終的に接合部の配筋の合理化のために鉄筋の役割や破壊進展プロセスを論じており、現象解明のみならず実務に活かせる情報を提供している。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。