

審査の結果の要旨

氏名 ジラディロック パンヤウット

社会基盤構造物の劣化が顕著となり社会問題ともなっている近年、鉄筋コンクリート構造物の劣化の多くは鉄筋の腐食により生じており、劣化後の残存構造性能の評価は重要である。これに対して、腐食環境を実験により再現することや、実劣化構造物の解体後の載荷試験などによる評価が試みられているが、統一的な評価法が得られるには至っていない。一方、数値解析によるアプローチは、正確な内部劣化状況が不明である構造物の内部の推定や残存構造性能の評価に有用であると考えられる。しかし既往の有限要素法による研究は、連続体解析であることと一般的には要素サイズが 10cm 程度と比較的大きいため、鉄筋の腐食に伴い考慮する必要がある、鉄筋の形状変化、膨張圧、腐食による局所ひび割れの発生と進展、周囲のコンクリートと鉄筋からの拘束による相互作用、更には腐食後の力学作用に伴う付着挙動の変化など、複雑な力学挙動を再現することは困難である。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、腐食による鉄筋とコンクリートの損傷と、力学作用による付着挙動をモデル化するための構成則を、実験の結果を用いて構築し、検証するとともに、腐食した鉄筋コンクリート梁の載荷試験の解析から、開発した構成モデルと解析システムの有用性を示している。

第一章は序論であり、鉄筋コンクリート構造物の腐食に対する数値解析によるアプローチが纏められている。有限要素法による既存の研究では、腐食した構造の挙動の再現には要素サイズを小さくする、もしくは腐食によるひび割れ生成面に事前に境界要素を導入するなどが必要であり、一般的な解法としては限界がある。それに対し RBSM による三次元微細構造解析では、腐食に伴う複雑な相互力学作用とひび割れを直接的に表現するので、本問題に適している。本章では、本研究で取り組む、腐食に関わる鉄筋と付着の構成モデルの開発、その構築のために実施する実験、検証のための解析、これを梁部材に適用し有用性を確認するという研究の順が示されている。

第二章では解析モデルの説明がされている。これまでに開発されている微細構造解析の構成則に、新たに腐食による膨張圧のモデル、断面減少、付着モデルが導入された。このモデルの構築は第三章の実験にもとづいている。本研究の微細構造レベルでは鉄筋の節形状までモデル化しており、このスケールで腐食を考慮した付着モデルは新規性が高く、また鉄筋の要素サイズは 5mm 程度であり、実際の鉄筋腐食で生じるランダムな腐食状況を直接的に考慮できる独自性の高い解析システムとなった。

第三章は、鉄筋が腐食した際の付着の構成モデルを構築するための引抜試験の結果とモデル化が示されている。鉄筋の節形状の影響を考慮するために、異形鉄筋と丸鋼の引抜試験が行われた。さらに、鉄筋が腐食すると、腐食による付着劣化とともにコンクリートにもひ

び割れが生じ、同時に劣化が進む。解析モデル構築のためにこれらを分離する目的で、腐食した鉄筋をコンクリートから取り出し、それを新たなコンクリートに配置し引抜試験を実施した。これらの実験パターンから、各因子の影響度を抽出することで、鉄筋腐食後の付着モデルが構築された。これを検証するための解析を実施し、ひび割れを含んだ状況での有用性も確認された。

第四章では、腐食した梁部材の解析が行われた。既往の実験で、X線を用いて載荷試験前の腐食率が鉄筋軸に沿って5mm間隔で把握されている試験があり、これを対象に解析を実施した。解析では5mmごとの腐食率を全て同様に導入し、腐食無しの状況から腐食を発生させ、それに応じたひび割れが進展したのちに、載荷をした。実験と同様に、無損傷に比較して、梁の剛性と耐力が低下するとともに、損傷によりひび割れの開きが早く、これが剛性低下の原因であることを示した。また、比較のために腐食を均質に導入した場合の解析も行い、局所的な腐食とひび割れの違いから、本研究のように実腐食分散を解析に取り入れることの必要性を示した。

第五章では、定着部に腐食が導入された場合の梁の解析結果が示されている。既往の、梁中央のみと、梁端部の定着にのみ腐食が導入された梁の試験を対象に解析を実施した。梁端部が腐食すると定着機能が低下し、破壊が早期に起こることが実験と同様に示され、構造の脆弱性を評価するために、本解析システムが有効であることが示された。

第六章は研究全体を纏めた結論である。

このように本研究は、腐食した鉄筋コンクリートの構造性能を評価するために、微細構造スケールでの付着モデルを構築し、既存の三次元解析システムに導入した。これを梁レベルでの実験の再現から検証し、その有用性が示された。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。