

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 土屋 智史

鉄筋コンクリート構造物の耐震性能を定量的に評価するシステムを構築することは、新設構造物の合理的な設計と既設構造物の耐震診断に欠くこととのできない技術課題である。社会基盤施設の設計体系が性能照査型に移行しつつある趨勢の下では、構造物の地震時応答挙動を精度良く再現するとともに、地震後の残存性能を定量化することが設計の合理化において極めて重要となる。本研究は、「任意の使用材料と構造形状、載荷経路に対して有効である非線形解析法を用いた、RC 構造物の耐震性能評価システムの確立」を目的としたものである。非線形解析法の適用範囲と精度を多角的に検証し、実設計に使用する際の安全余裕度を評価し、あわせて多方向繰り返し作用を受けるRC構造の3次元解析法の開発と、高強度材料への適用を可能としたのである。

第1章は序論であり、鉄筋コンクリートの各種解析手法の現状整理を行った上で、本研究が目標とする、数値解析手法を中心とした新しい研究成果を導出することと、その実用化を図ることの意義について述べている。耐荷機構や照査方法が未整備で、3次元応答解析法の検証も不十分である構造技術事項を選択・着目し、各々の挙動と機構の解明を目指しつつ、完全3次元立体解析手法の高精度化と統合を図る意義を述べている。さらに、実務設計上の効力を正しく評価した上で公表し、普及と実用化を目指す方法を論じている。

第2章では、正負交番繰り返しねじりと曲げ/せん断を受ける、常時偏心軸力が作用するRC柱の非線形挙動に3次元立体解析を適用することで、非直交多方向固定ひび割れ構成則と、高非線形領域における収束性/信頼性の検証を3次元応力場で行った。既往の研究成果を基に、空間平均化手法による鉄筋座屈モデルを3次元立体解析に導入し、応答挙動に及ぼす影響についても検討を加えた結果、ねじり力の低減、2方向曲げ変位の相互依存性と履歴、耐力をほぼ妥当な精度で予測することを可能とした。かぶりの剥離、鉄筋のはらみ出しが発生する耐力以降の挙動では、鉄筋の局所的な大変形を考慮することで、解の精度向上をもたらすことができることを示している。さらに、数値解析を活用することにより、柱の耐荷性状と残留変位蓄積の機構について考察を行うとともに、最大耐力以降の挙動の推定、3次元骨組み解析の実務利用、3次元形状と入力をもまま用いるRC橋脚の設計/照査法の提案を行っている。交番ねじり・せん断・曲げに対するRC部材の非線形応答を予測できる技術は、現時点で本研究以外に見当たらない。

第3章では、3次元的に導入されるひび割れ損傷の幾何構造の解明と、数値予測の精度の検証を行っている。せん断破壊に至った、側方筋を有するRC梁試験体を賽の目状に切断し、内部ひび割れ状況の観察を蛍光充填剤を用いて行った。側方筋の存在によって、ひび割れ面が多次元的に導入されることが視覚的に検証された。これは、せん断破壊の機構を考える上で、2次元解析は不十分であり、3次元的な鉄筋配置の影響を考慮する必要がある

ことを示している。幾何構造の検証に基づいて、部材奥行方向に RC/無筋要素を重ね合わせることで 3 次元配筋を考慮する準 3 次元解析を実施し、不安定現象であるせん断破壊であっても、軟化領域までを含め、実験結果を概ね評価できることを検証している。さらに実験および解析的検討を通して、寸法の変化に伴う純然たる効果と、断面諸元の比が異なる場合に現れる効果に分離して、せん断強度に現れる寸法効果の検討を行っている。

第 4 章では、4 シリーズからなるせん断破壊実験を行い、高強度コンクリートを使用した場合の斜めひび割れ発生耐力に視点をあてている。コンクリート圧縮強度増加に対して部材のせん断耐力の向上は頭打ちとなり、寸法効果が普通強度コンクリートに比べ大きくなることを実験と解析両面から実証するとともに、帯鉄筋による補強効果がコンクリート強度によっては全降伏まで期待できないことを、解析的に導出することに成功した。包括的実験の遂行によって、現行の安全性照査法の一部再検討を示唆する結果が得られている。材料強度を単に大きくするだけでは、高強度コンクリートの力学的特性をすべて代表したことになる。本研究では、ひび割れ面でのせん断伝達の低減と、ひび割れ面直交の引張応力解放率の二者に着目した高強度材料の数値解析手法を提案し、これにより RC 梁の変形挙動とせん断破壊を追跡できることを示した。第 2 章から第 4 章までの検討により、3 次元非線形解析の高度化が図られ、その適用範囲と精度がほぼ定量的に把握されるに至った。

第 5 章では、非線形応答解析をコア技術に据えた耐震設計/照査システムの提案を行うとともに、設計の観点から社会基盤施設の品質保証システムについて提言をまとめている。

本研究は、鉄筋コンクリート建造物の耐震性能評価システムの構築を通じて、新設建造物の耐震性能確保と既設建造物の耐震診断・補強計画に貢献するところが大きい。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。