審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名　　アリ　アーメッド

鉄筋コンクリート円形断面部材は柱や杭に多用され, その曲線形状は美観, 景観の観点からも有利とされる。実務設計において円形断面部材の強度, 靭性, 耐震性能は, 膨大な情報を背景に持つ矩形断面部材との同一性を仮定して算定される。設計基準類では, 円形断面の中心から90°の範囲にある扇型面に含まれる鉄筋を等価な主鉄筋として, これを矩形断面の耐力評価に準用して円形断面部材の終局限界状態を照査する。しかし, 最大曲げ耐力には高い適合性を有するものの, 鋼材降伏以後の変形能や中高サイクル疲労, せん断耐力に対して, 既往の断面同一性仮定の適用範囲は必ずしも明確ではない。

一方, 既設インフラ施設の維持管理の局面で, 鋼材腐食が発生している部材の耐力や構造性能の評価が求められる場合が増えてきた。鉄筋腐食の影響は, 静的耐力以上に部材靭性や疲労寿命に大きな影響を与えることが, 近年の研究で明らかになってきた。円形断面と矩形断面の同一性仮定は, 腐食劣化が進行した部材に対しては, さらに不明である。曲げに対しては, 腐食によって疲労特性に同一性の破れが顕在化することも予想される。本研究は断面同一性仮定の適用範囲を見極め, 腐食劣化した部材の応答と地震時の構造性能について論じたものである。

第一章は序論であり, 本研究の目的と背景を記している。円形断面と矩形断面との同質性仮定に関する既往の設計基準類の規定を整理するとともに, 腐食劣化が進行した鉄筋コンクリート建物の崩壊事例と損傷劣化に関する既往の報文についてまとめている。

第二章では, 断面積と鋼材全面積を同一にする新たな円形―矩形同一性則を提案している。初期剛性, 最大曲げ耐力, 静的せん断耐力, 最大耐力時の変形能の四者において, 既往の同一性則よりも提案モデルの適合性が高いことを, 三次元非線形解析及び構造緒元を多角的に変化させた単調載荷実験によって実証した。

第三章では, 非弾性領域での低サイクル繰り返し応答に関する実験的検討を行っている。地震時の 3 次元応答に相当する繰り返し加力に対しては, 第二章で得られた矩形―円形断面同一性が変位の増大に従って徐々に破れることを, 実験から示している。円形断面は等価な矩形断面部材と比較して, 繰り返し回数が増えるにつれて, 残存復元力が劣化する。従来, 円形断面の変形能と地震時耐震性能は, 矩形断面のそれと同質として扱われてきた。これに対して再考を求める結果となった。但し, 十分な横補強鋼材あるいはせん断補強鉄筋で補強されている場合には, 第二章で提案された同質性ルールが単調載荷履歴同様に適用可能であることが併せて確認された。

第四章では, 数百回オーダーでの中―高サイクル疲労荷重下での応答特性について検討を行っている。静的耐力の 9 割程度の荷重レベルを対象としている。この水準での疲労寿命が倍半分であれば, 荷重レベルが 7 割程度では 1 桁程度の寿命差となって現れると推定さ

れる。円形断面を有する梁部材で疲労曲げ載荷から,単調増加時の耐力では成立した同一性則も高サイクル疲労荷重下では成立しないことが示され,円形断面部材では疲労寿命は矩形のそれと比較して，約半分程度に劣化することが分かった。

第五章では,腐食ゲルの生成に伴う鉄筋周辺のコンクリートのひび割れを考慮した地震時応答解析を報告している。鋼材腐食が単調載荷時の終局耐力および低サイクル繰り返しによる復元力特性に及ぼす影響の解析精度は，既往の腐食劣化を導入した構造部材実験結果から検証を行った。さらに中高サイクル疲労に及ぼす腐食劣化の影響を検討するための試験体を 10 体作成した。これを元に乾湿繰り返しと塩水噴霧を継続し，三年程度後に疲労実験が可能となるように配慮した。電食による強制腐食では，生成される腐食ゲルの膨張率が自然のそれと比較して異なる。本研究では，あえて長期に腐食生成ゲルを発生させるように配慮した。

第六章は，腐食ゲルの微細空隙への圧入・移動及びびひび割れに挟まれた空間での貯留効果を考慮できる数値解析システム（POROMECHANICS）を提示し，鉄筋局所の腐食ゲルの運動に関する分析を行っている。既往の実験結果との比較からも，腐食直後には均一に腐食ゲルが鋼材表面に形成されつつも，ひび割れの発生により，腐食ゲルの生成領域が局所化することを，数値解析においても把握することに成功した。

第七章で本研究の結論を纏め，中長期にわたる腐食環境下での構造応答に関する研究課題について議論している。

経年劣化による構造部材の力学的な性能の劣化は，強度特性に留まらず，耐震性，耐疲労特性にも及ぶ。設計基準類で準用されてきた終局耐力に対する断面同一性仮定は，多様な構造応答に対して再考が必要であることが明確に示された。形状効果と寸法効果を直接的に反映できる三次元非線形応答解析が，今後の性能照査の有力な技術となることものと思われる。本研究は今後の非線形応答解析の一層の発展に不可欠なベンチマークを提供する意味も併せ持っている。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。