

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 牧 剛 史

社会基盤施設や建築物を支える基礎構造の設計においては従来、大地震時においても過度の非線形性を生じさせないような耐震設計体系が採用されてきた。しかし、性能照査型設計への移行も相まって、杭基礎の大変形領域における挙動を正確に予測することで、より合理的な耐震設計の開発に関心が高まりつつある。本研究は、鉄筋コンクリート構造物全体系の性能照査型耐震設計法の確立を見据え、RC杭-地盤系の復元力特性と変形性状を明らかにすると共に、応答特性を合理的に予測する照査技術の開発を目指すものである。

第1章は序論であり、性能照査型設計への移行を念頭に置き、杭基礎の地震時応答特性のモデル化に関する現状と課題について記述し、構造全体系の耐震設計と基礎の性能評価との関連について整理すると共に、本研究の目的とその意義および方法について論じるものである。

第2章では、杭基礎およびそれによって支持される構造物全体系の応答評価に関する既往の解析的・実験的研究を、構造力学的見地および地盤力学的見地から概観している。さらに、国内の現行耐震設計基準3例について、これを杭基礎の耐震設計法として適用する際のポイントと差異について纏めたものである。

第3章は、地盤中における単杭の静的・動的復元力特性と変形性状に関する載荷実験についてとり纏めたものである。地盤条件や杭体諸元などのマクロな条件が杭の復元力特性に及ぼす影響の観点から、高非線形領域における応答特性を把握することを目的としており、併せて構造応答を正確に予測する構造解析システムの構築・検証のための実測データを得ることを目的とした。杭頭水平荷重を受ける杭体に生じる最大損傷深さが、杭体と地盤との相対剛性に応じて移行する傾向を実験的に明らかにし、最大損傷深さが杭-地盤間の相互作用を顕著に代表する指標であることを明確に示している。従来行われてきた杭の載荷実験とは異なり、実杭の条件を再現することを前提としながらも、後の解析的検討において不明瞭な条件設定とならないように配慮している点が、本実験的検討の特徴である。

第4章では、従来杭基礎の設計および性能照査に用いられてきた骨組み解析手法（マクロモデル）を用いて、第3章で行った実験に対する再現性について検討を行うものである。実設計では、マクロモデルが適用されるケースが多いと予想される点に配慮し、現状の技術レベルと本研究の主題であるミクロモデルに基づく手法との橋渡しをするものである。本章で従来型の照査技術の守備範囲が明示されることによって、材料非線形性に立脚したミクロモデルによる照査技術との差異を明らかにした。

第5章は、3次元有限要素解析（ミクロモデル）を用いて、第3章で行った実験結果の再現性について検討を行っている。鉄筋コンクリートの構成材料であるコンクリートと鉄筋の履歴依存型材料構成則に立脚した線材要素（ファイバーモデル）と、地盤材料の非線形

性を考慮した立体要素によって解析対象をモデル化し、特に杭-地盤間の界面剥離や初期受働土圧、杭体近傍の締め固めといった局所的な非線形現象を、杭体要素と地盤要素間に設置した界面要素に取り込むことによって、これらの現象が杭体の挙動に及ぼす影響について考察するものである。当該解析手法の適用性は低変位レベルにおいてはある程度確認されたものの、大変形領域については地盤ひずみレベルの増大と共に推定精度が低下する。また、杭頭降伏変位および降伏荷重は杭体の軸方向鉄筋比と最大損傷深さによって一意的に決定されることが解析的に明らかとなった。さらに、同等の履歴依存型構成則を導入した鉄筋コンクリートの3次元立体要素に基づく解析を併せて実施し、杭体周辺における地盤応力分布を比較検討することによって、杭体を線材要素でモデル化することによる問題点を明らかにし、解析自由度を縮退した解析モデルによる照査システムについて提案を行っている。

第6章では、第5章の解析結果をふまえ、当該3次元解析を用い、杭体を線材でモデル化することによって耐震性能照査を行う際に構造モデル化上の誤差に対する安全係数として見込むべき構造解析係数を、耐震性能毎に具体的に提示している。併せて、杭体近傍の非線形局所挙動が及ぼす影響を定量的に評価した。耐震性能1, 2共に、応答変位はおおよそ安全側に評価され、その際に適用する構造解析係数は1.1~1.0となる一方、耐震性能2において、杭体に生じる応答せん断力は総じて危険側評価となり、構造解析係数を1.5~1.3程度に設定するのが適切であることを示した。

鉄筋コンクリート構造物の耐震性能照査技術レベルの向上および照査技術の評価という点で、既設構造物の耐震性能診断のみならず、新設構造物の耐震設計に対しても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。