

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 アーメッド モハメッド ヨセフ モハメッド
Ahmed Mohammed Youssef MOHAMMED

既設建造物の耐震補強では、地上及び地下施設のみならず、それらを支持する基礎構造と周辺地盤をも取り入れた全体構造系を設定し、系の地震時応答解析を基に構成部材の損傷評価を行うことが必要となる。支持杭に大きな損傷が予見され、甚大な損壊を構造系にもたらすと判断された場合には、増し杭や横梁敷設などによって構造システム系を変更する等の措置が求められる。一方、地上部の構造部材は地中のそれと比較して耐震補強は容易ではあるものの、施工空間に制約の強い人口密集地帯では、弱点となる構造部材に直接的な補強工事を経済的に施すことが困難な場合も少なくない。このような場合にも、構造系の変更によって、構成部材の損傷を制御することが有効な場合がある。

本論文は、地盤と基礎杭と構造部材からなる構造システム系の地震時応答解析の精度と信頼性を、基礎杭の靱性評価法の改善を通じて向上させることを第一の目的とする。さらに、地盤と基礎杭周辺に鋼製矢板を敷設することによって、地上一地下構造ならびに液化化リスクの高い地盤の三者構造系の全体応答特性を制御し、地上部構造の耐震性能を向上させるシステム補強法の有効性を示すことを、第二の目的としている。

第1章は本論文の目的と背景について述べ、既往の杭基礎の耐震設計法と耐震性能照査技術の現状を取りまとめている。鉄筋コンクリート構造の非線形応答解析技術の現状をまとめ、地盤－構造－基礎の3者を3次元非線形応答解析で一括してモデル化すれば、地盤と杭基礎の両者の拘束効果を耐震性評価で考慮できることを述べている。

第2章では、基礎杭が地盤による拘束下で曲げ-せん断力を受ける状況を模擬した模型実験を実施し、10m以深の地盤による拘束効果がRC杭の曲げ靱性を倍程度にまで向上させる効果があることを実証している。直径5cmのマイクロ杭模型を極細径の異形鉄筋と、新たに考案したクリップ形状の模擬せん断補強鉄筋と、粗骨材を取り除いたモルタルの三者を組み合わせることで作製し、実規模杭と同様の曲げ-せん断破壊モードを再現することに成功している。地盤の拘束効果を高めることにより、曲げ靱性はほぼ比例的に増加するが、一旦、せん断破壊が発生すると周辺地盤にも大ひずみが生じる結果、地盤による拘束効果と杭の曲げ靱性向上の効果も消失することがあわせて観測された。さらに杭単体に一樣な周辺拘束力を与えた非線形応答解析を実施して、地盤による周辺拘束効果を等価なせん断補強鉄筋比に変換する方法を提示し、実務設計を支援する情報を提供している。

第3章では、地盤と鉄筋コンクリート要素を組み合わせた3次元非線形応答解析法の適用性を詳細に検証している。鋼矢板と杭と地盤との連成系に対しても、全体応答のみな

らず、杭や鋼矢板に発生する局所変形も良好に追跡が可能であることを、既往の大型振動台実験結果から検証した。基礎構造に直接、補強工を施すことは一般に困難を極め、補強コストの大幅な上昇をもたらす。従来まで、地中 RC 杭の靱性に及ぼす地盤拘束効果は考慮されず、結果として過剰な補強を強いる場合もあった。地盤による拘束効果を地震時応答解析で考慮するには、構造と地盤ともに 3 次元非線形応答解析が不可欠となる。そこで、第 2 章で報告している地盤-杭構造系の実験に対する時刻歴非線形解析によるシミュレーションもあわせて実施し、良好に実験結果を再現可能であることを示した。

第 4 章は既存構造物の耐震補強を念頭におき、中層階の鉄筋コンクリート建物と地盤との連成解析を多角的に実施し、基礎近傍に鋼矢板を敷設することで、建物へのせん断入力と地盤中への沈下が有効に制御可能となる場合があることを示している。すなわち、構造物自体への直接的な補強や杭を増設しなくても、安価な鋼矢板を敷設することで構造全体系を転換し、人と財産を直接、保護する陸上部構造の損傷を軽減・制御する方策をとり得ることを解析的に提示している。地盤が液状化する場合には、鋼矢板敷設により沈下を完全に抑えることができなくとも大幅に軽減し、液状化地盤の自然免震効果から建物への地震力が大きく低減する利点を活用できる見込みが得られた。

第 5 章は新設構造物の設計を念頭におき、杭基礎の諸元が地上部の構造系の地震時応答に及ぼす効果について、系統的に解析結果を取りまとめている。従来、基礎部の設計と地上部の設計及びそれらを結合するフーチングや基礎マットの設計は、それぞれのユニットごとに個別に実施されてきたために、地盤を介在とした構造システム全体系で整合のとれた設計に必ずしも誘導され得ない側面があった。本章では、これらを総合的に設計する指針を与える目的から、設計で裁量の幅の広い杭基礎の主鉄筋比を主たる変数とした建物への地震入力と地震後の沈下・安定性の感度分析を行い、基本設計の指針について提案を行っている。

第 6 章で本研究の結論をまとめ、地盤-基礎杭-中層階陸上構造物の設計フローの提案をとりまとめ、今後の課題について概括している。

地盤と鉄筋コンクリート部材は、ともに拘束効果によって両者の靱性-変形能は大きく向上する。これまで両者の拘束効果は限定的に設計実務で考慮されてはきたが、本研究はさらに両者の連成効果まで踏み込み、工学上の利得と鋼矢板敷設による制御を明示したものである。また、これを実務において実現するための 3 次元非線形応答解析の機能向上を実現している点でも工学上の貢献が示された。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。