

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 白戸 真大

社会基盤施設の強地震動に対する安全性と復旧性を確実に担保するには、構造物設計の高度化・合理化のみならず、それを支える地盤と基礎の非線形挙動を精度よく評価できる設計施工計画が肝要である。杭やフーチングに代表される基礎構造物の設計では、杭本体の構造特性と周辺地盤の非線形応答特性の両者を取り入れることが不可欠である。地盤バネを介した基礎構造-地盤系のモデル化が現行設計の主流であるが、基礎構造の破壊あるいは周辺地盤の崩壊に至るレベルまでを包含するものでない。そのため、震度の高い稀な強地震動に対しては杭本体に過大な安全余裕を見込むこととなり、杭本数の増加と基礎構造の建設コストに大きく跳ね返る結果となっている。塔状構造物や軟弱地盤上に建設される交通基盤施設では、基礎部の建設経費が地上部本体を含む全設コストの多くを占めている。これらの現状を鑑みて、基礎構造の設計施工の合理化が果たす社会的意義は大きい。

数多くの既存社会基盤施設の耐震診断では、設計段階で安全側の事項として考慮されていない要因も考慮のうえで極力、強地震時の応答を予測して補強の可否を判定しなければならない。新設構造設計の限界状態を超えた領域にまで数値シミュレーションを実行する必要があり、杭本体と周辺地盤の高次非線形応答特性を設計実務に活用する枠組みが求められる。以上より本研究は、鉄筋コンクリート杭基礎の耐力以後の挙動を視野において強非線形力学モデルを提示するとともに、履歴依存性を考慮した周辺地盤応答に対応した構造-地盤反力特性モデルを開発し、これらを多角的な検証を通じて実務に適用可能な形態にまで取りまとめたものである。

第1章は序論であり、基礎杭構造モデル並びに地震入力を代表する地盤バネモデルの現状を概括し、実務設計への対応と設計計画の合理化に資する技術開発の方向づけを行っている。

第2章では、地盤から杭本体への入力を、長さ8m近い杭構造試験体の応答の詳細な計測と逆解析から同定することに成功している。杭試験体自身を計測機器の一部とするため、間接的な計測機器の介在を最小限にとどめることができる。これまで地盤-構造間の土圧計測は多くの前例があるが、有限の剛性を有する土圧計測器を介在することが余儀なくされるため、真に構造に入力される地盤反力を特定することが困難であった。この計測から、交番載荷履歴と片側載荷履歴では地盤反力は極めて相違し、後者は復元力特性が著しく低減することが実証されたのである。

従来の設計では考慮されていなかった非線形機構が、砂のせん断ダイレイタンスーならびに体積拘束効果に起因することを既往の基礎研究から明らかにし、これを実務設計に使える形に非線形地盤履歴バネモデルを提示した。杭本体と本研究で開発された地盤バネの組み合わせで、土中に埋設された鉄筋コンクリート杭基礎の構造応答実験値と解析値との比

較検討を行い、良好な精度と適用性を有していることを検証した。

第3章は場所打ち鉄筋コンクリート杭の構造応答を解析するための、材料構成則について検討を行ったものである。かぶりコンクリートの圧縮破壊と軟化局所化領域の寸法、鋼材のはらみ出しが、杭基礎構造応答に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。これらは大断面鉄筋コンクリート部材ではほとんど問題とならないが、断面が比較的小さく、かつ相対的に鋼材直径が基準断面に比較して大きい事に由来することが確認された。

第4章では、断面保持仮定に基づくFiber modelによる鉄筋コンクリート杭基礎の構造モデルを提示している。コンクリートの圧縮軟化領域の寸法を断面諸元などから特定する方法を具体的に提示し、それを構造要素内で展開する応力-ひずみ関係に変換する。さらにかぶりコンクリート剥落後の鋼材の横方向への大変形を、要素内の平均応力-平均ひずみに転換して全体挙動が考慮できることを示している。このモデル化は周辺地盤と相互作用を持たない気中の状態で検証を受け、良好な精度を有していることが示された。

一方、地中に存在する条件下で実験と解析を比較検討した結果、数値解析では幾分、靱性の小さい方向に予測することが示された。すなわち、地中状態では周辺地盤の拘束力によってかぶりコンクリートが剥落する時期が遅れ、杭構造体としての靱性が向上することを、第5章において初めて定量的に明らかにした。地中で破壊した杭構造を土中から取り出し、破壊形態を詳細に調査した結果、地盤によるかぶりコンクリートの拘束効果が確かに存在することを示した。地盤による杭基礎の拘束効果を拘束圧で考慮することで、地中に存在する基礎杭の靱性予測の精度を向上させることができることを明らかにしたのである。

第6章では、本研究によって得られた成果の実務設計への応答事例が示されている。基礎研究によって得られた知見の集合を実務に反映させる枠組みが、事例をもって提案された。

第7章は結論であり、本研究の成果を概括し、今後の研究開発の方向について論じている。

本研究は、建設コストの多くを占める基礎杭構造の、強非線形応答挙動の解析システムを開発したものである。基盤施設の性能設計体系において、新設基礎構造の設計実務に直接的に貢献するものであると同時に、既設社会基盤施設の強地震時性能照査方法を与え、耐震補強計画にも活用が期待される。今後の基盤施設整備と都市再生、耐震補強と継続的な維持管理、整備コスト縮減に本研究が貢献できる点が多い。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。