

大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価

構造研究グループ 研究員 渡邊 秀和

I はじめに

2011年の東日本大震災や2016年の熊本地震では、地震により杭基礎が被害を受けたために、当該建築物が地震後、継続使用できなくなる事例が確認されている。現行基準において杭基礎は、中小地震における損傷制御を目的とした設計が行われているものの、大地震後の継続使用性を確保するための基礎構造の終局限界状態における構造性能に基づく設計は求められていない。しかし、例えば庁舎や避難施設等の災害拠点となる建築物では、大地震後であっても継続的に使用することが望ましい。また、地震により杭基礎が補修を必要とする損傷を受けた場合、建築物を継続的に使用するためには杭基礎の補修や補強を行う必要がある。しかし、杭基礎の補修・補強技術についての工学的な蓄積は十分ではない。

建築研究所では平成25年度から建築物に関する継続使用性の確保を目的とした研究を行ってきた。ここでは、その中から大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムに関する一連の構造実験の結果を報告する。

II 本プロジェクトで実施した実験概要

本プロジェクトでは杭基礎構造システムの杭体・杭頭部・部分架構（パイルキャップ含む）に分けてそれぞれ静的載荷実験を実施した。実施した構造実験の概要を以下のように示す。

(1) 杭体曲げ性能評価に関する実験シリーズ

杭体の曲げ性能評価に関する実験は、既製コンクリート杭を対象とした第1シリーズと、場所打ちコンクリート杭を対象とした第2シリーズに分けられる。

第1シリーズでは、PHC杭2種類（A種、C種）を17体、PRC杭2種類（I、III種）を17体、SC杭は1種類で8体の合計42体の試験体を用いて実験を行った。杭は全て杭径φ400mmである。実験変数は、上記に示した杭種、載荷方法（一方繰返載荷、正負交番繰返載荷（上下方向、水平方向））、軸力比である。このとき、軸力比は最大引張軸力比0.4から最大圧縮軸力比0.5程度として実験を行った。なお一部の試験体では、実験の再現性を確認するために同一仕様の試験体を数セット

用意した。全ての試験体において、2点載荷単純梁方式の曲げ実験である。そのうち、高軸力を作用させた試験体は建築研究所実大構造物実験棟に設置された載荷装置（図1）を用いて実験を行った。第1シリーズの実験結果から、PHC杭・PRC杭ではコンクリート圧壊またはPC鋼棒破断の破壊モードによって試験体が終局状態となった。また、SC杭では鋼管局部座屈によって試験体が終局状態となる実験結果が得られた。

第2シリーズでは、場所打ち鋼管コンクリート杭3体と場所打ち鋼管鉄筋コンクリート杭1体を用いて実験を行った。これらの杭は杭径φ1200mm、鋼管厚が9mmである。実験変数は、杭種および軸力比であり、軸力は地震時想定して変動軸力（引張軸力比0.21～圧縮軸力比0.43）を作用させた。第2シリーズでは、試験体全てにおいて鋼管の座屈が観察され、その後の鋼管の引張破断によって試験体が終局状態となったことが確認された。

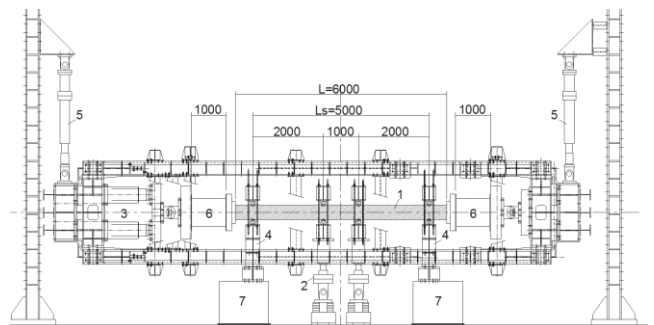


図1 杭体曲げ実験 載荷装置

(2) 杭体せん断性能評価に関する実験

杭体のせん断性能評価に関する実験では、杭径φ400mmのPHC杭1種類（C種）を3体、PRC杭1種類（IV種）を6体の計9体の試験体を用いた。実験変数は杭種、せん断スパン比および軸力、軸力比は引張側0.1～0.2、圧縮側が0.1～0.5である。載荷は逆対称曲げモーメントが作用する曲げせん断実験である。実験の結果、5体の試験体では想定通りせん断破壊が確認されたものの、軸力比が0.2を超えるような圧縮力を作用させた試験体の一部で、図2のような軸方向ひび割れを伴う破壊が見られた。

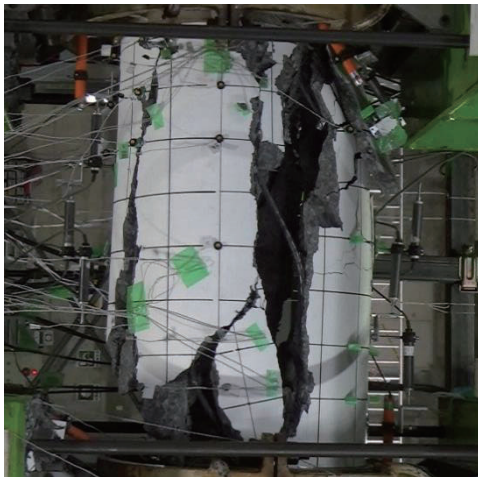


図2 軸方向ひび割れを伴う破壊

(3) 杭頭部の構造性能評価に関する実験

場所打ち鉄筋コンクリート杭の杭頭部を対象に、曲げ破壊を計画した杭頭部試験体 7 体およびせん断破壊を計画した杭頭部試験体 2 体を用いて静的加力実験を行った。また、地震で被害を受けた杭の補修および補強方法の確認を目的として、曲げ破壊した加力後の杭頭部試験体 3 体の補強を行い、再度静的加力実験を行った。補強工法の一つとして、損傷した杭体内の曲げ補強筋を切断した後に、あと施工アンカー筋を曲げ補強筋として新設し、その後、損傷箇所を鋼板で巻き立てる手法を用いた(図3)。載荷は、片持ち柱形式の曲げせん断実験であり、実験の結果から補強工法の効果を確認できた。



図3 鋼板巻き立てによる補修および補強

(4) 杭基礎部分架構の構造性能評価に関する実験

(1)～(3)の杭体や杭頭部の構造性能を確認する実験シリーズに加えて大地震時の杭基礎構造システムを対象とした構造性能評価が必要となることから、杭基礎部分架構を対象とした実験を行った。実施した実験は、縮小試験体シリーズ1、2と実大試験体シリーズに大きく分けることが出来る。

縮小試験体シリーズ1では、建築物の隅角部を模したト形杭基礎部分架構試験体を用いて、実験を行った。ト形杭基礎部分架構試験体は、柱・基礎梁・杭の各部材とそれらを接続するパイルキャップで構成されている。パイルキャップのせん断耐力式の開発を目的として、約1/3スケールの試験体9体を用いて実験を実施した。試験体の変数は、軸力の作用方法(一定軸力または変動軸力)、パイルキャップの配筋方法(従来配筋またはかご筋型配筋)、パイルキャップの帯筋量とした。ただし、試験体の中には、杭心と柱心がずれた状態で接続した偏心試験体や、上部構造として袖壁付き柱など用いた試験体も含んでいる。全ての試験体でパイルキャップのせん断破壊が先行するように設計を行ったところ、杭心と柱心がずれた偏心試験体では柱の曲げ圧壊となったものの、その他の試験体はパイルキャップがせん断破壊した。これらの実験結果から、かご筋型配筋の場合のパイルキャップのせん断耐力式を提案した。

縮小試験体シリーズ2では、杭基礎部分架構の杭頭接合面の曲げ破壊を想定した実験を実施した。約1/4スケールの杭頭接合面試験体を10体作成し、杭頭接合面が曲げ破壊する時のコンクリートの支圧強度の解明を目的に実験を行った。

実大試験体シリーズでは、縮小試験体シリーズ1、2で得られた知見を元に、パイルキャップのせん断破壊または杭頭接合面の曲げ破壊を計画した2体の実大杭基礎部分架構試験体を用いて実験を行った。建築研究所実大構造物実験棟に設置された載荷装置(図4)を用いて実験を行い、地震時の杭基礎部分架構の挙動を考慮して変動軸力を作用させた。



図4 実大杭基礎部分架構 載荷装置

III まとめ

大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価のための研究について、プロジェクトの背景と実施した実験の概要を示した。