

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耐震性能評価手法および試設計

構造研究グループ 主任研究員 渡邊 秀和

I はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震や、2016年の熊本地震では、建築物の杭基礎に発生した被害が原因で上部構造物が傾き、当該建築物が地震後継続使用できなくなる事例が報告されている¹⁾²⁾。現行基準における杭基礎構造システムは、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終局限界状態の構造性能に基づく設計はほとんど行われていない。

そのような中、建築研究所では2013年から3年間実施した研究課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保に資する耐震性能評価手法の構築」において地震後の継続使用性を確保するための基礎構造の試設計を実施した³⁾⁴⁾ところ、場所打ちコンクリート杭のみ設計可能で、既製杭は設計できなかった。また、基礎梁やパイルキャップを含めた杭基礎構造システムの構造性能評価ができておらず、実験による検証が必要なことがわかった。

これを受けて2016年より3年間実施した指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性能評価技術の開発」において、既製杭や場所打ち鋼管コンクリート杭などの構造実験を網羅的に多数実施し、構造性能を把握した⁵⁾ところ、靱性のある既製コンクリート杭の開発、杭頭接合部で破壊する場合の構造性能評価、パイルキャップのせん断終局耐力の評価等に関して課題を残していた。

そこで建築研究所では2019年より3年間で、指定課題「新耐震基準で設計された鉄筋コンクリート造建築物の地震後継続使用のための耐震性能評価手法の開発」の中でコンクリート系杭基礎構造システムを対象とした構造実験を実施し、大地震後の継続使用性を確保するために靱性のある杭基礎構造システムの開発及びその耐震性能評価手法の検討を行った。具体的には本課題では、前課題で問題となった部分の検討を実施するとともに、開発を行った靱性のある杭基礎構造システムを用いた試設計を実施した。

本発表では、第II章で靱性のある既製コンクリート杭として開発した中実杭工法の概要を、第III章で杭頭接合部で破壊することを想定した降伏埋込工法の概要を、第IV章でパイルキャップの保証設計に資する終局耐力評価のための構造実験の概要を示す。第V章では、第II章と第III章で開発した中実杭工法と降伏埋込工法を用いて、また第IV章で示した保証設計を用いた試設計の概要を示す。

なお、本発表の内容の詳細な資料は、建築研究資料として建築研究所のHPに近日公開予定である。

II 中実杭工法の構造実験の概要

既往の研究では場所打ち鋼管コンクリート杭やSC杭では鋼管の座屈によって早期に終局状態に至ることが報告されており、杭体の靱性を確保するためには技術的な課題がある⁵⁾。そこで本研究では、杭外殻鋼管の座屈を発生させない方法として、図1のようにパイルキャップと杭外殻鋼管に隙間部を設けて鋼管に圧縮力を負担させない方法を採用した。本研究では、この工法を、鋼管による拘束中実(既製)杭工法(略称:中実杭工法)とした。この中実杭工法は、施工性を考慮し鋼管とコンクリートの間の付着を除去するような特別な処理はしていない。この中実杭工法を用いた構造実験を実施し、高い靱性を持つ既製杭工法であることが確認できた。

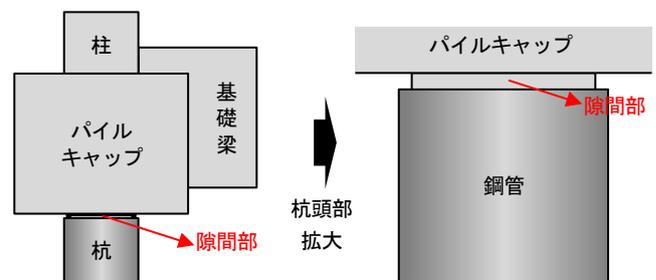


図1 中実杭工法概要

III 降伏埋込工法の構造実験の概要

一般的な既製杭のパイルキャップへの接合方法は二つあり、

一つは、杭頭定着筋を用いてパイルキャップ内に定着する接合方法である。もう一つは、杭頭部をパイルキャップに埋め込む接合方法である。一方、文献5)では、既製杭をパイルキャップに埋め込み、かつ定着筋を用いてパイルキャップ内に定着する工法の検証が行われている。この接合方法は、図2のように、埋込部にてこ作用による抵抗機構と、埋込み上端の水平面に作用するコンクリートの圧縮と鉄筋の引張力による曲げ抵抗機構の二つの抵抗機構の組み合わせで地震力に抵抗する工法である。本研究ではこの工法を、既製コンクリート杭を用いて靱性を確保するための工法として採用し、接合面降伏型埋込既製杭工法（略称：降伏埋込工法）と名付けた。降伏埋込工法を用いた部分架構試験体を作成し構造実験を実施した結果、靱性を持つ曲げ性状を確認できた。

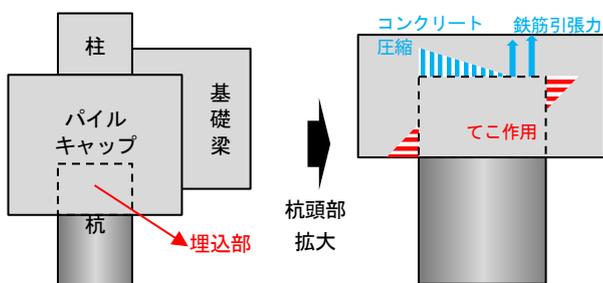


図2 降伏埋込工法概要

IV パイルキャップの終局耐力評価

文献5)では、パイルキャップ終局せん断耐力式の提案を行った。また、パイルキャップのせん断破壊を対象とした構造実験の結果を用いて提案式の検証を行ったところ、精度良くパイルキャップのせん断終局耐力を評価することが出来た。

本研究では、既往のパイルキャップせん断終局耐力式の適用範囲拡大のために、杭芯やパイルキャップ芯に対して柱などが水平方向に偏心して取付く場合や基礎梁が両側に取付く場合の構造実験を行った。また、文献6)の場所打ち杭のパイルキャップの場合に採用されている、接合部曲げ降伏破壊の検証を目的に構造実験を実施した。

V 試設計の概要

試設計では、3棟の建築物を用いて、15ケースの試設計を行った。この試設計では基礎構造に対して、1次設計、2次設計の2段階で設計を行った。2次設計では、既往の設計例³⁾⁴⁾を踏襲し、防災拠点等を対象にした大地震後の継続使用性確保のための要求性能のランクをS, A, Bの三つのランクに分け

て設計を行った。極稀地震時の要求性能は、ランクSは許容応力度以内、ランクAは終局強度以内、ランクBでは杭頭が終局強度に達して塑性ヒンジとなることを許容するが、他は終局強度以内とした。また、極稀地震に対する余裕度および脆性破壊（せん断破壊、圧縮破壊）の防止を確認する保証設計を行った。試設計を行った地上8階塔屋2階の鉄骨鉄筋コンクリート造建築物を図3に示す。検討の結果、第II章と第III章で開発した中実杭工法と降伏埋込工法を用いることで、靱性能に期待した設計例を示すことができた。



図3 試設計を行った建築物

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所，建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国土技術政策総合研究所資料第674号，建築研究資料第136号，2012.3
- 2) 建築研究所：熊本地震で被災した鉄筋コンクリート造建築物を対象とした地震後継続使用確保に資する検討，建築研究資料第204号，2021.10
- 3) 若林博，三町直志，永田敦，柏尚稔，溜正俊，倉持博之，向井智久，平出務，飯場正紀：地震後の継続使用性を確保した新築建築物の設計・耐震性能評価 その5 杭基礎の耐震設計フローと耐震性能評価方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.53-54，2015.9
- 4) 伊藤裕一，向井智久，田所敦志，田沼毅彦，草刈崇圭，柏尚稔，小田聡：地震後の継続使用性を確保した新築建築物の設計・耐震性能評価 その9 高層壁付き共同住宅の杭基礎の耐震設計・評価例，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.47-48，2016.8
- 5) 建築研究所：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に関する研究，建築研究資料第195号，2019.10
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説，2017