

技術開発成果報告書

<p>事業名 ・住宅等における防災性向上や安全対策に資する技術開発</p>	<p>課題名 大地震後の継続使用性に資するコンクリート杭および杭頭接合部の技術開発</p>
<p>1. 技術開発のあらまし</p> <p>(1) 概要 実大規模の実験を通じて、コンクリート杭（場所打ちコンクリート杭または既製コンクリート杭）を用いた杭頭および杭頭接合部の構造性能の検討を、終局時に重点を置いた性能評価の観点から行った。コンクリート杭の曲げおよびせん断性状、コンクリート杭杭頭接合面の曲げ性状、および杭頭接合部のせん断性状が、これまでに実験データが存在しない実験変数の範囲まで明らかとなった。得られた知見を用いると、これまでに構造被害を被ったコンクリート杭基礎の被害原因がより明確になり、曲げ降伏時や終局時の変形性能、杭頭接合部の配筋詳細が構造性能に与える影響など、地震後の継続使用性を確保するための一連の技術開発に繋がる成果が得られた。</p> <p>(2) 実施期間 平成27年度～平成29年度</p> <p>(3) 技術開発に係った経費 技術開発に係った経費（実施期間の合計額） 275, 278千円 補助金の額（実施期間の合計額） 121, 500千円</p> <p>(4) 技術開発の構成員 株式会社フジタ 国立大学法人東京工業大学 芝浦工業大学 国立研究開発法人建築研究所 一般社団法人コンクリートパイル建設技術協会 耐震杭協会 戸田建設株式会社</p> <p>(5) 取得した特許及び発表した論文等（全40編） AIJ 大会梗概 29編、JCI 年次大会 7編、日本地震工学シンポ 1編、口頭発表その他 3編</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 2019年7月 日本コンクリート工学会年次大会、pp.265-270（芝浦工業大学 岸田慎司 他） 偏心した柱を有するト形部分架構パイルキャップの破壊性状に関する検討 2. 2019年7月 日本コンクリート工学会年次大会、pp. 377-382（建築研究所 向井智久 他） 中空支圧盤を用いた杭頭部ーパイルキャップ間の支圧強度に関する実験的研究 3. 2019年5月 第6回東工大-同済大学構造者会議、pp. 41-48（東京工業大学 河野進 他） Shear Damage Evaluation of Prestressed High Strength Concrete Pile Using Finite Element Program 4. 2018年12月 第15回日本地震工学シンポジウム、pp.1139-1148（広島工業大学 金子治他） 変動軸力を受ける場所打ち鋼管コンクリート杭の曲げ性能 5. 2018年11月 17回日米 NZ 構造者会議 PaperID 2-9、NZ（建築研究所 渡邊秀和 他） Shear Capacity for Full-Scale Precast Concrete Pile 6. 2018年9月 日本建築学会大会基礎構造 PD、pp. 32-43（東京工業大学 河野進 他） 近年の実大規模実験に基づくコンクリート系杭の限界性能 7. 2017年~2018年 日本建築学会大会学術講演梗概 25編（株式会社フジタ 小林勝已 他） 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（その1~25） 8. 2017年 日本建築学会大会基礎構造 PD 基調講演（株式会社フジタ 小林勝已） コンクリート系杭部材の耐震性能はどこまでわかっているか？ 	

2. 評価結果の概要

(1) 技術開発成果の先導性

コンクリート杭の実大規模杭頭接合部実験結果に基づいて、杭および杭頭接合部の地震時安全性を高め性能設計に必要な基礎データを提供し、大地震後の継続使用性を高めた社会基盤整備に貢献した。

(2) 技術開発の効率性

産官学（建築研究所・2大学・杭製作者・ゼネコン2社）の共同研究体として、大型実験が実施可能な研究開発環境を最大限に利用し、実務者の意見を反映させた実用的な開発研究の体制を敷いた。高額な試験体や載荷装置を製作し、実験を中心とした開発研究を効率的に行った。

実施したのは多様多種の試験体で75体（杭体曲げ試験体42体、杭体のせん断9体、杭頭接合部の曲げ24体）であり、これらの開発研究に基づいて多くの学術論文（40件）を公表した。また、建築研究所資料（2019年10月）、建築学会基礎指針（2019年11月）、建築学会「基礎構造部材の強度・変形性能」（2021年）、COPITAマニュアルに開発研究のデータに基づいた設計法が順次盛り込まれる予定。

(3) 実用化・市場化の状況

- コンクリート杭および杭頭接合部の開発工法については、共同開発者は杭メーカーや建設会社が含まれており、研究成果を反映した実用化、製品化を始めている。特に2次設計に必要な情報を構造設計や販売証明に付与することができるようになった。
- 研究成果報告書（4月）に加え、建築研究所資料（2019年10月）に開発研究の概要をまとめ、建築基礎構造設計指針（日本建築学会2019年11月）には、設計に2次設計の考え方を取り入れることを明記した。研究結果を反映した「基礎構造部材の強度・変形性能」（日本建築学会2021年）の発刊を目指して、査読作業が間もなく開始される。また、COPITA・耐震杭協会では性能評価に基づいたマニュアルを整備予定である。本プロジェクトに基づいた学術論文・発表は既に40件であり、今後さらに増える予定である。

(4) 技術開発の完成度、目標達成度

- コンクリート杭（場所打ちコンクリート杭と既製コンクリート杭）の曲げおよびせん断性能評価が、杭頭部および中間部で行えるようになった。この成果をもとに、杭基礎の設計を行うために必要な性能を明示したコンクリート杭を提供できるようになった。
- データベースを作成し、杭体および杭頭接合部における曲げおよびせん断に関する性状を比較検討できるようにした。また、実務における杭の使用範囲を杭種・杭径・軸力比などの項目で分類し、研究開発の位置づけを明確にした。
- コンクリート杭の杭体及び杭頭接合部の耐力および変形性能に基づいた耐震安全性評価に基づく設計法。終局時の耐力や変形性能を含めた性能設計法を提案できた。提案式は、建築学会「基礎構造部材の強度・変形性能」および建築研究所報告書に反映される予定である。
- 東京工業大学 科学研究費 A（2019年～2022年）、および「杭頭接合部の地震時挙動に関する共同研究」、「鋼管コンクリート杭のせん断抵抗機構の解明および曲げ抵抗機構の解明」等の実験研究を継続中
- 建築研究所および芝浦工大「接合部面降伏破壊を靱性のある破壊モードにするための基礎構造システムの技術開発」について実験研究を継続中
- 建築学会での指針作成に向けた委員会活動：「基礎構造部材の強度・変形性能 WG」（金子・河野）、既製杭 WG（小林）、耐震杭 WG（金子）、杭設計 WG（岸田・河野）で指針を改定中

(5) 技術開発に関する結果

・成功点

- 地震に対する杭の耐震性・安全性が明確になることで、設計的にも経済的にも現状よりも適切な杭の提供が可能となる。特に大地震時の継続使用性の確保により、避難施設や災害拠点病院などの地震後の機能確保を確実なものとするための杭基礎が提供できるようになった。
- 想定外の規模の地震に対する人命確保を含む建物全体での耐震性が向上した。
- 本開発で提案した実験方法や実験装置を開示することで、杭製造企業では新しい性能の杭の開発が可能となり、耐震性能を向上させた杭を市場に提供できるようになった。

・残された課題

- 実験データの整備
 - 杭体が大口径・高軸力となった場合の曲げ・せん断のデータは、依然として足りていない。
 - 杭体および杭頭接合部の変形性能に関する議論は、いずれの杭も追加の実験データが必要である。
- 設計ツールの整備
 - 2次設計に必要な情報が十分に出そろっていない。また、性能設計を行うための各種限界状態における損傷状態の情報はさらに足りていない。
 - ◇ 杭体の鋼管や鉄筋の座屈挙動を含めた曲げ解析ツール開発
 - ◇ 杭体のせん断設計に関しては、抵抗機構に基づいた耐力式構築
 - ◇ 杭頭接合部の曲げ・せん断に関して、性能設計ができる抵抗機構の解明とモデル化

3. 対応方針

(1) 今後の見通し

- 実験データの整備
実験資金を確保して、実験を継続する。
 - 杭頭接合部の支圧効果や曲げおよびせん断抵抗機構の解明、杭体のコンクリート拘束効果の解明、杭における寸法効果の解明
- 設計ツールの整備
 - 「RC 基礎構造部材の耐震設計指針案 (2017 年 3 月、AIJ)」の設計式を検証し、改定版「基礎構造部材の強度・変形性能」(2021 年)に備えている。
 - 杭協会設計マニュアルとして、研究成果を公開する。
- 学術
 - 大学関係者・設計者・技術者の力を結集しての取り組みが必要である。ひとまず、今回の結果を国内論文(建築学会黄表紙等)、国際論文(ACI等)や国際学会(WCEE、FIB)において発信することで、基礎構造に着目したレジリエントな都市社会基盤の礎を築く先駆者となる。
- 実用化・市場化について
 - 杭製作会社、ゼネコン、構造設計者が、2次設計を含めた性能設計法の必要性意識を高める活動を行う。(学会の委員会、開発研究における共同研究)