

平成29年度 住宅・建築物技術高度化事業

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

(安全対策等分野)

(平成27～29年度)

小林 勝已 (株式会社 フジタ)
平出 務 (国立研究開発法人建築研究所)
河野 進 (東京工業大学)
岸田 慎司 (芝浦工業大学)
木谷 好伸 (一社 コンクリートパイル建設技術協会)
金子 治 (戸田建設株式会社)
今井 康幸 (耐震杭協会)

背景・目的と研究の必要性

【背景】コンクリート杭基礎を有する建物の現状

- ① 一般建物の基礎構造に関しては、2次設計が義務付けられていない。
- ② コンクリート杭基礎の構造被害により、地震後に建物が解体された例も多い。

【目的】コンクリート杭を有する建築物の耐震安全性および継続使用性を確保する

- ① 大地震に対するコンクリート杭の構造性能評価に必要な基礎資料を収集
- ② コンクリート杭基礎構造の終局時までの挙動を説明できるモデルを提案
- ③ 地震後の継続使用可能なコンクリート杭基礎設計式を整備
- ④ 損傷低減につながる配筋方法や新技術を提案

一般建物基礎構造の現状を鑑みた必要性・緊急性

- 大地震が予測される東京や大阪などの都市圏における大型建物の被害を軽減するためには、緊急の課題である。

建築学会や建築研究所における基準等整備状況と緊急性

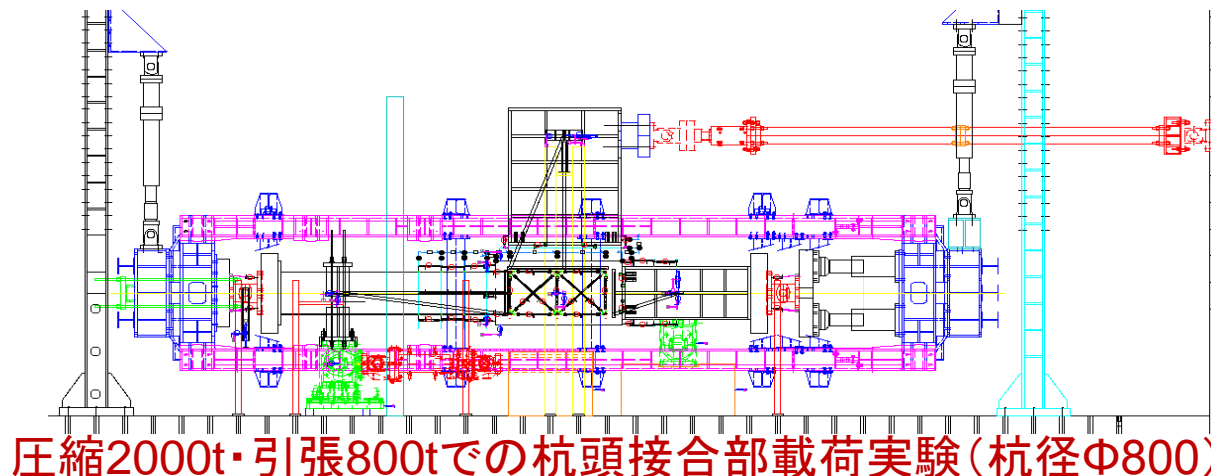
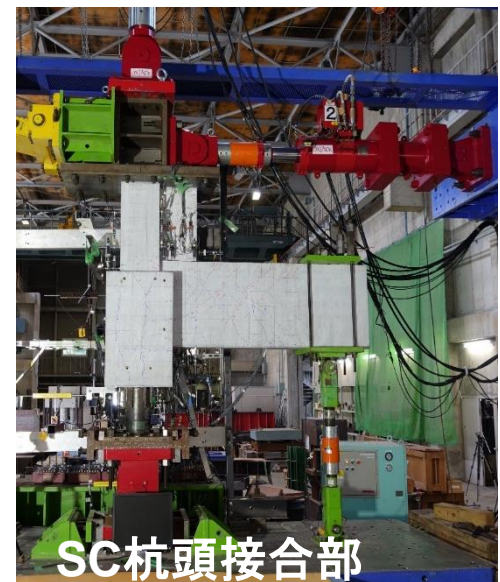
- 建築学会や建築研究所において、**地震後の建物継続使用を前提とした性能評価型設計法を基準等に盛り込むための努力**がここ数年で加速化している。



熊本地震での杭被害

技術開発の概要

1. 場所打コンクリート杭の構造性能解明
 2. 既製コンクリート杭の構造性能解明
 3. 杭頭接合部の構造性能解明
- 大口径コンクリート杭の構造実験を行って、コンクリート杭種類、軸力、配筋、コンクリート強度等が、杭体の耐力や変形性能に与える影響を調査
 - 終局時を含めた力学特性モデルの解明
 - コンクリート杭基礎構造の設計法の提案

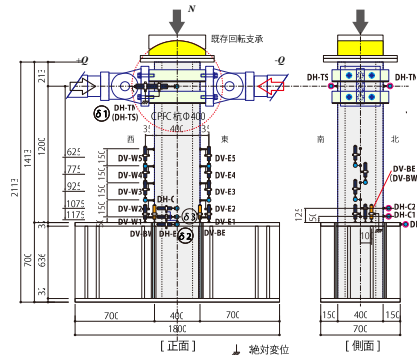


技術開発の先導性

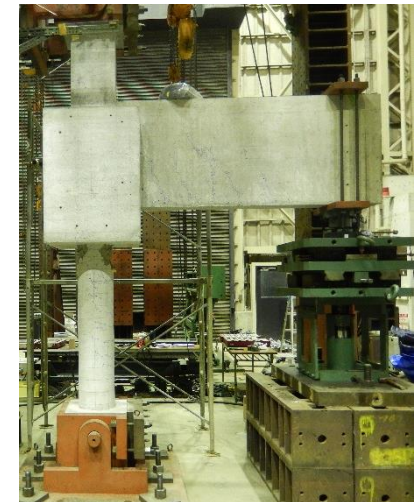
- コンクリート杭の大口径・高軸力での実験を行い、寸法効果に関する外挿の不確定性をなくして、杭の地震時安全を確保できる。
- 杭頭接合部に対して、軸力を引張から高圧縮まで広げて載荷を行い、大地震時における杭頭接合部の破壊性状を実情に合わせて再現する。
- 変動軸力や周辺地盤の影響など、実際の地震時挙動に近い外力を想定し、地震時安全性を高めたコンクリート杭を提供可能
- 設計法と設計例を提案し、実務に役立つ開発研究を行う。



高軸力(圧縮2000t引張800t)下での曲げせん断載荷装置



杭頭を固定したPRC杭曲げせん断実験



PRC杭頭接合部の載荷実験

技術開発に関する事項

• 技術開発の実現可能性

- 産官学の共同研究体として、実験設備の研究開発環境に優れ、構造解析実務者の意見を反映できる実用的な開発研究体制である。
- 応募者は、コンクリート杭基礎の設計・施工及び技術開発において豊富な実績を有している。

• 技術開発・実用化のプロセス

- 靱性能に優れたコンクリート杭および杭頭接合部の開発において、共同開発者は杭メーカーや建設会社が含まれており、開発後ただちに実用化、製品化が可能である。
- コンクリート杭体の終局時までの性能評価モデル提案では、論文発表等を通じて公開し、普及をはかる。さらに、大地震に対応した耐震設計法として日本建築学会の指針類に反映させることにより、普及をはかる。

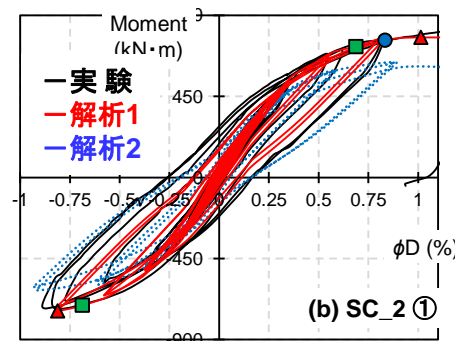
今年の活動と実用化・製品化の見通し

技術開発項目等	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30~31年度	平成32年度
	補助事業期間				
(1) 場所打ちコンクリート杭の構造性能解明に関する技術開発		<p style="text-align: center;">実験による構造性能解明</p> <ul style="list-style-type: none"> 降伏時の主筋挙動および終局時の引張側鉄筋挙動の明確化 大口径コンクリート杭頭部のせん断設計法の提案 変動軸力や杭頭境界条件を考慮した評価手法 		<p style="text-align: center;">コンクリート杭の終局挙動に基づいた設計方法提案</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート杭の終局挙動の解明 提案する杭を用いた設計例を提示 構造設計者が性能設計を行うための杭体基礎資料を提供 終局時挙動証明を付与した杭製品出荷 <p>終局時杭設計手法を普及させ、大地震後の継続使用性を高めたコンクリート杭を社会に提供</p>	
		<p style="text-align: center;">杭頭の終局挙動評価手法の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> 文献調査 実験による抵抗機構モデル解明 			
(2) 既製コンクリート杭の構造性能解明に関する技術開発		<p style="text-align: center;">実験による構造性能解明と適切な配筋方法提案</p> <ul style="list-style-type: none"> 変形性能を含めた曲げおよびせん断性能の評価手法開発 大口径コンクリート杭と高強度材料の構造性能に対する影響評価 パイルキャップでの支圧評価 杭頭の違いによる破壊モード評価方法開発 			
		<p style="text-align: center;">杭頭の終局挙動評価手法の整備</p> <ul style="list-style-type: none"> 文献調査 実験による抵抗機構モデル解明 			
(3) 杭頭接合部の構造性能解明に関する技術開発		<p style="text-align: center;">杭頭接合部の構造実験</p> <ul style="list-style-type: none"> 文献調査 高軸力・大口径杭に対応した載荷装置の構築 大型試験体の設計 大口径杭が高圧縮軸力を受けた場合の杭頭接合部のモーメント-回転角関係を終局時まで解明 		<p style="text-align: center;">杭基礎2次設計法の実用化準備</p> <ul style="list-style-type: none"> 学会指針等での調整 実験資料の開示 学会等での発表 	
		<p style="text-align: center;">コンクリート杭基礎の設計法提案</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート杭頭と杭頭接合部に関する設計法の提案 設計例の作成 			
		<p style="text-align: center;">損傷を低減可能な配筋法提案</p> <ul style="list-style-type: none"> 杭頭接合部の改良配筋法の提案 			<p style="text-align: center;">杭基礎2次設計法の実用化</p> <p>コンクリート杭の安全性および使用継続性を含めた設計手法の実用化</p>

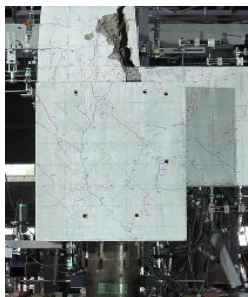
2016年度の研究成果

構造実験による杭および杭頭接合部の挙動解明

- ① 既製コンクリート杭頭接合部のせん断性能確認実験(3体) (計7体)
- ② 場所打ちコンクリート杭頭接合部の曲げ性能確認実験(2体) (計10体)
- ③ 既製コンクリート(SC)杭頭接合部の曲げ性能確認実験(4体) (計10体)
- ④ 既製コンクリート杭頭部の終局時における曲げ性能確認実験(39体) (計49体)
- ⑤ Φ1200mm級杭が載荷可能な高軸力載荷装置の動作確認(完了)
- ⑥ 場所打ち鋼管コンクリート杭頭接合部の曲げ性能実験(1体) (計1体)
- ⑦ 終局時までの曲げ性能を表現する解析モデルの開発(曲げモデルほぼ完了)
- ⑧ 実験結果を, AIJ(日本建築学会)の「RC基礎構造部材の耐震設計指針(2017年3月)」または基礎指針(2019年予定)の基礎データに含める。(AIJ委員会にて提案中)
- ⑨ AIJ(日本建築学会)大会梗概・JCI(日本コンクリート工学会)への投稿(15編) (計21編)



⑥ 杭の曲げ変形性能と損傷状況を再現可能なファイバー解析



① 杭頭の配筋詳細と軸力比によって損傷状態が変化し, 上部構造物の継続使用性に大きく影響する。



② 軸力比0.4, 変形角 $R=1.0\%$ でせん断破壊した。



③④⑤ 軸力がコンクリート杭の破壊モードに大きな影響を与えることを確認した。



審査委員会よりの指摘事項への回答

・ 2017年度ヒアリング通知時の指摘事項

- 最終年度であることから、明確な成果のイメージや製品化・実用化の見通しについて具体的に示すこと。
 - ・ 大地震時の性能を、杭頭接合面・パイルキャップの挙動も含めて明示した製品（杭体）を提供する。これにより、事業中断を伴う補修補強を行わずに、大地震後の継続使用が可能な建築物の提供を可能とする。
 - ・ 大地震時の性能を向上させた杭製品の開発を今後も継続し、建物の機能継続性をより高めた製品を提供する。これにより、強靱な社会基盤の形成に貢献する。
- 国費を投入して開発される技術成果の社会への還元方法として、実務者への基礎資料の提供、設計法や設計例の提示を行うこととしているが、その具体的方法について説明すること。
 - ・ 建築研究資料(BRI)や杭協会設計マニュアルとして、研究成果を公開する。
 - ・ 「RC基礎構造部材の耐震設計指針案(2017年3月, 日本建築学会)」の設計式を検証し, 改定に備える。
 - ・ 「建築基礎構造設計指針(2019年予定, 日本建築学会)」の設計式に成果を反映する。
 - ・ 日本建築学会年次大会PDでの基調講演(小林勝巳)で成果を公表する。
 - ・ 国内論文(日本建築学会論文集・日本建築学会年次大会・日本コンクリート工学会年次大会)へ投稿する。
 - ・ 国際論文(ACI等)や国際学会においても, 杭基礎についての情報を世界に発信し, 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。

審査委員会よりの指摘事項への回答

- ・ 杭頭接合面およびパイルキャップに関する設計法提案
 - 杭頭接合面での曲げとパイルキャップのせん断に関する設計法を、高軸力から引張軸力まで提示し、**大地震後の継続使用に資する損傷制御型設計**が可能となる。

- ・ 杭頭危険断面における杭体の設計法提案
 - 耐力や変形に関する設計式の適用範囲を大幅に広げ、検証用実験データを蓄積している。

杭種	設計項目	実施前 (2017RC基礎指針(案))	実施後 (2019基礎指針)
場所打ち鉄筋コンクリート杭	・曲げ強度及びせん断強度 ・変形	・軸力比 $-0.05 \sim 1/3$ ・限界変形角 一律 $1/100$	→ $-0.1 \sim 0.6$ へ拡大 → 軸力保持限界の提示
場所打ち鋼管コンクリート杭	・曲げ強度 ・変形 ・鋼管の幅厚比	・軸力比 $-0.07 \sim 0.15$ ・設計式あるが未検証 ・100以下	→ $-0.3 \sim 0.55$ へ拡大 → 限界変形設計式の提示 → 133以下
PHC杭	・曲げ強度及びせん断強度	・軸力比 $0 \sim 0.3$	→ $-0.05 \sim 0.4$ へ拡大
PRC杭	・曲げ強度及びせん断強度 ・変形	・軸力比 $0 \sim 0.05$ ・記述あるが未検証	→ $-0.25 \sim 0.4$ へ拡大 → 軸力保持限界の提示
SC杭	・曲げ強度 ・変形	・記述なし ・記述なし	→ 軸力比 $-0.1 \sim 0.5$ → 限界変形設計式の提示