

平成27年度～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」

小林 勝己 (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・ポール協会)  
金子 治 (広島工業大学)  
福田 健 (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規基準整備状況と緊急性

- 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規基準に盛り込むための努力**がここ数年で加速化している。

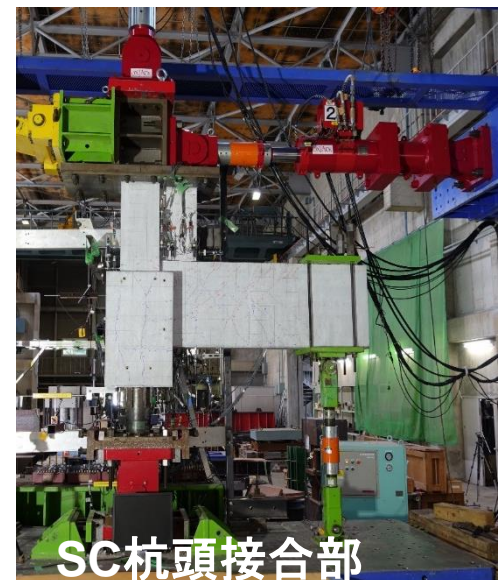


熊本地震での杭被害

# 技術開発の概要

実大規模の実験を通じて、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行い、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。

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



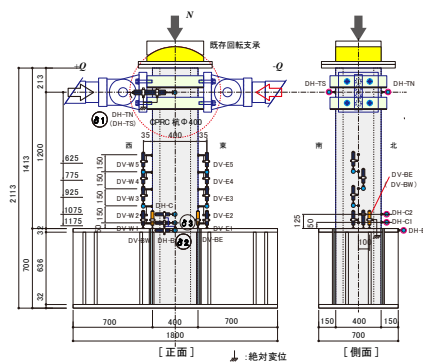


# 技術開発の先導性

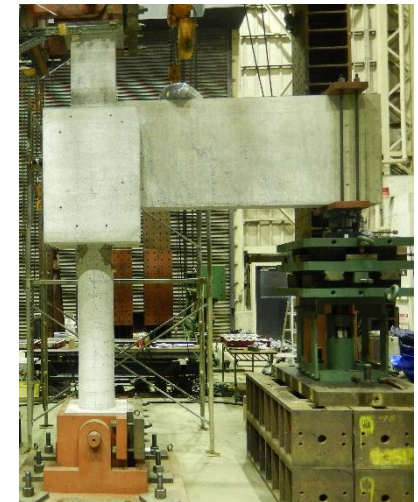
- コンクリート杭の大口徑・高軸力での実験を行い、寸法効果に関する外挿の不確定性をなくして、杭の地震時安全を確保できる。
- 杭頭接合部に対して、軸力を引張から高圧縮まで広げて載荷を行い、大地震時における杭頭接合部の破壊性状を実情に合わせて再現する。
- 変動軸力や周辺地盤の影響など、実際の地震時挙動に近い外力を想定し、地震時安全性を高めたコンクリート杭を提供可能
- 設計法と設計例を提案し、実務に役立つ開発研究を行う。



高軸力(圧縮2000t引張800t)下での曲げせん断載荷装置



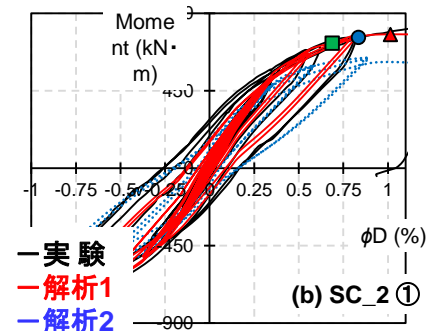
杭頭を固定したPRC杭曲げせん断実験



PRC杭頭接合部の載荷実験

# 技術開発の効率性

(3年間の研究成果)



## 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**を提案した。

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

## 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データを蓄積した。

- ① 既製コンクリート杭頭接合部のせん断性能確認実験 (計9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 (計12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 (計8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 (計42体)
- ⑤  $\Phi 1200\text{mm}$ 級杭が載荷可能な2000t/800t高軸力載荷装置 (完成)
- ⑥ SC杭および場所打ち鋼管コンクリート杭頭接合部の曲げ性能実験 (計4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 (座屈を含めた曲げモデル)
- ⑧ 実験結果を、AIJの「基礎構造部材の強度・変形性能(2021年)」または基礎指針(2019年)の基礎データに含める。 (AIJ基礎指針2019と2021年版杭部材編にデータ提供)
- ⑨ AIJ大会梗概・JCI, その他の発表件数 (計39編)



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。

# 実用化・市場化の状況

本開発研究では、下記の2点が特徴的である。

- 場所打ちコンクリート杭と既製コンクリート杭に関しては、本事業の成果より終局時までの変形性能を明示した杭製品（場所打ち鉄筋コンクリート杭、場所打ち鋼管コンクリート杭および既製コンクリート杭(SC杭、PHC杭、PRC杭))を市場に提供できようになる見通しが立った。特に、大地震時に想定される高軸力および引抜き力が加わった状態での強度特性及び変形性能を把握したことで、設計時に安易に杭本数を増やしたり、杭径を大きくしたり、または杭頭接合部の過剰な配筋にすることなく、実務者が経済的な性能設計を実施できる。今後、こうした杭製品または杭頭接合部(パイルキャップ含む)の設計情報を社会に波及させれば、杭基礎の需要が高まると予想できる。
- コンクリート杭の耐震安全性評価に基づいて、終局時の耐力や変形性能を含めた性能設計法を提案した。提案式は、建築学会RC基礎指針および建築研究所報告書に反映される予定である。

本技術開発は、共同開発者に杭メーカーや建設会社が含まれており、技術開発の成果が早期に製品や工事に反映される体制がとられており、成果の実用化・市場化が見込まれる。

# 技術開発の完成度・目標達成度

## 技術開発に関する結果(成功点)

### • 完成度・目標達成度

#### – 実験データと設計ツールの整備

- コンクリート杭全般(場所打ちRC杭, 場所打ち鋼管コンクリート杭, PHC杭・PRC杭・SC杭), およびこれらの杭頭接合部に対して, 曲げやせん断に対する実験を行い, 挙動を明らかにした.
- 実験データに基づいて, 曲げ・せん断などの設計式を整備し, 性能設計を可能にした.
- 建築研究所資料(10月), AIJ基礎指針(11月), AIJ「基礎構造部材の強度・変形性能」(2021年), COPITAマニュアル改訂版

#### – 学術的意義

- 大口径および高軸力が杭・杭頭接合の耐震性能に与える影響を実験で明らかにした. また, 今後明らかにすべき学問的問題点を抽出できた.
- 多くの論文を発表し, 若手研究者(学生, 若手技術者)の育成を行った.
- 発表論文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)

#### – 実用化・市場化について

- 杭を製作する企業, これを使用するゼネコンの2次設計に対する意識, 建築物の安全性および早期復旧性を明らかにする意識を高めた.

### • 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.



# 技術開発に関する結果(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データは、依然として足りていない。
- 杭体のせん断性能については、杭体の実験データが必要である。
- 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

- 杭体の鋼管や鉄筋の座屈挙動を含めた曲げ解析ツールを市場に提供する。
- 杭体のせん断設計に関しては、性能設計をできるような理論構築が必要である。
- 杭頭接合部の曲げ・せん断に関して、性能設計をできるツールが必要である。



# 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。
- 設計ツールの整備
  - 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, 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)に備える。
- 学術的
  - 大学関係者・設計者・技術者の力を結集して、国を挙げての取り組みが必要である。
  - 国内論文(建築学会黄表紙・JCI年次大会・AIJ年次大会)へ投稿する。
  - 国際論文(ACI等)や国際学会(WCEE, FIB)において、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。
- 実用化・市場化について
  - 杭製作会社、ゼネコン、構造設計者の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)

# 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**が可能となった。
  
- ・ 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た。

杭種	設計項目	実施前 (2017RC基礎指針(案))	実施後 (2021杭基礎指針)
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