

# 建築研究資料

*Building Research Data*

No. 207

July 2023

## 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

Seismic evaluation method and case studies for concrete pile foundation system  
with post-earthquake functional use

向井智久, 渡邊秀和, 中村聡宏, 小原拓,  
岸田慎司, 木谷好伸, 平尾一樹, 宮原清, 八田宏志, 浅井陽一, 松田竜,  
永田敦, 溜正俊, 伊藤裕一, 倉持博之, 小林治男, 若林博, 三町直志 kku i  
*Tomohisa MUKAI, Hidekazu WATANABE, Akihiro NAKAMURA, Taku OBARA,*  
*Shinji KISHIDA, Yoshinobu KIYA, Kazuki HIRAO, Kiyoshi MIYAHARA, Hiroshi HATTA,*  
*Yoichi ASAI, Ryu MATSUDA, Atsushi NAGATA, Masatoshi TAMARI, Yuichi ITO,*  
*Hiroyuki KURAMOCHI, Haruo KOBAYASHI, Hiroshi WAKABAYASHI, Tadashi MIMACHI*

国立研究開発法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国立研究開発法人建築研究所、関係機関及び著者は、  
読者の皆様が本資料の内容を利用することで生じた  
いかなる損害に対しても、一切の責任を負うもの  
ではありません。

## はしがき

近年発生した大地震では、建築物の杭基礎、特に既製コンクリート杭の被害が顕在化し、それが原因で建築物の上部構造が傾斜した例が複数報告されており、このような建築物では、上部構造そのものの構造被害は小さくても、地震後継続使用できなくなりました。建築基準法では、杭基礎に関して、中小地震に対する損傷制御のための設計が必要ですが、大地震に対する終局限界状態を確保するための設計は義務づけられていません。上記の杭基礎被害を軽減するためには、現行基準で求める構造性能を上回る設計や損傷軽減できる杭基礎の技術開発等が必要な状況にあります。

そのような問題意識の下、建築研究所では 2013 年から 3 カ年実施した研究課題「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」や基準整備促進事業課題である「基礎ぐいの地震に対する安全対策の検討」において、杭体やパイルキャップなどからなる杭基礎構造システムの大地震時における損傷評価を目的とした検討を行ってきました。具体的には大学や民間企業と連携して東日本大震災における地震被害の収集・分析並びに被害再現のための構造実験に加え、日本建築構造技術者協会と連携して地震後継続使用性を確保するための構造設計法についての検討を行いました。

さらに、2016 年より 3 カ年で、指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」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比較的大規模の構造実験を実施し、建築研究資料 No.195 号「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」にその成果を取り纏めました。また、2016 年に発生した熊本地震において被害を受けて、地震後に継続使用できなくなった建築物について詳細な調査・分析を行い、その成果を、建築研究資料 No.204 号「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」にて取り纏めました。

このような背景のなか、建築研究所では 2019 年より 3 カ年実施した指定課題「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評価手法の開発」の中で、前課題で必要性が明らかとなった靱性のある杭基礎構造システムの開発を実施するとともに、この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地震後継続使用のための耐震性評価手法についての開発を行い、ここにその成果を取り纏めました。

令和 5 年 7 月

国立研究開発法人 建築研究所  
澤地 孝男（理事長）

# 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

## 概要

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。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カ年実施した研究課題「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」、基準整備促進事業課題である「基礎ぐいの地震に対する安全対策の検討」、2016年より3カ年実施した指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」において、杭体やパイルキャップなどからなる杭基礎構造システムの大地震時の損傷評価を目的として、東北地方太平洋沖地震や熊本地震における地震被害の収集・分析や被害再現のための構造実験、地震後継続使用性を確保するための構造計算方法について検討を行ってきている。その検討において、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カ年で、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評価手法の検討を行った。具体的に本課題では、前課題で問題となった上記の課題について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。

第1編では、本資料の全体概要を示す。第2編では、靱性のある既製コンクリート杭の開発として、鋼管による拘束中実（既製）杭工法の構造実験を実施した結果を示す。また第3編では、杭頭接合部で破壊することを想定した接合面降伏型埋込既製杭工法とパイルキャップのせん断終局耐力のための構造実験を実施した結果を示す。第4編では、第2編と第3編で開発した鋼管による拘束中実（既製）杭工法と接合面降伏型埋込既製杭工法などを用いて、試設計を行った結果を示す。

Seismic evaluation method and case studies for concrete pile foundation system  
with post-earthquake functional use

Summary

In the 2011 Tohoku earthquake and the 2016 Kumamoto earthquake, some buildings were tilted due to pile damage. Therefore, it was difficult that these buildings to be used continuously after the earthquake. Under the Japanese building code, a concrete pile foundation system must be designed based on the allowable stress concept under medium-level earthquakes. However, structural design based on the ultimate limit state for post-earthquake functional use is not generally required. The Building Research Institute (BRI) has conducted research for concrete pile systems in the priority research project “Development on seismic performance evaluation methods for government office buildings and evacuation facilities with post-earthquake functional use (2013-2015)”, Building Standard Provision Promotion Research Project “Investigation on safety limit state of concrete pile foundation under severe earthquake” and research project “Development on seismic performance evaluation techniques for existing buildings with post-earthquake functional use (2016-2018)” in order to evaluate the structural performance of concrete pile system. In these previous projects, some structural tests were conducted in order to analyze factors of pile foundation damage due to the 2011 Tohoku earthquake or the 2016 Kumamoto earthquake. Furthermore, a structural design method for concrete pile systems with post-earthquake functional use was shown. However, some issues remained in the project. The first issue is the development of ductile precast concrete piles. The second one is the structural performance evaluation method for pile-pile cap joints for ductile concrete pile foundation systems. The third one is the evaluation method for shear capacity for pile caps.

In order to solve these issues, the next research project “Development of seismic resistance evaluation technology for continuous use of existing buildings after an earthquake (2019-2021)” had been conducted. In this project, more structural tests were conducted for the above issues. Furthermore, case studies with ductile concrete pile foundation systems were conducted.

In part 1 overall overview of this report is shown. In part 2 of this report, static loading tests for the solid section pre-cast concrete pile with steel tube were conducted to develop ductile precast concrete piles. In part 3 of this report, column-beam-pile joint specimens were tested in order to evaluate the structural performance of the pile-pile cap joint and the shear capacity of the pile cap. In part 4 of this report, case studies with ductile concrete pile foundation systems which are developed in part 2 or part 3 were conducted.

目次  
第一編 全体概要

第二編 既製中実杭の構造性能に関する実験

- 第1章 序論
- 第2章 杭の中心一軸圧縮実験
- 第3章 杭の曲げせん断実験
- 第4章 既製鋼管巻き中実杭の曲げ実験
- 第5章 鋼管巻き中実杭部分架構実験
- 第6章 各章の比較と結論

第三編 靱性のある杭基礎構造システムの破壊モード検証のための部分架構実験

- 第1章 序論
- 第2章 パイルキャップのせん断終局強度評価式の検証実験
- 第3章 既製杭を対象とした靱性のある杭頭接合面降伏の実現可能性を確認するための実験
- 第4章 場所打ちコンクリート杭を対象としたパイルキャップ降伏破壊モードの検証実験
- 第5章 まとめ

第四編 継続使用性を確保した杭基礎構造システムの試設計

- 第1章 序論
- 第2章 杭基礎構造システムの耐震設計及び設計方針
- 第3章 設計例1：学校校舎A
- 第4章 設計例2：共同住宅B
- 第5章 設計例3：共同住宅B（杭頭半剛接合工法）
- 第6章 設計例4：共同住宅C
- 第7章 結論

## 執筆者一覧

### 第一編 全体概要

渡邊秀和（建築研究所），向井智久（建築研究所／国土技術政策総合研究所）

### 第二編 既製中実杭の構造性能に関する実験

第1章：渡邊秀和（前掲），小原拓（東京工業大学／国土技術政策総合研究所），向井智久（前掲），木谷好伸（COPITA）

第2章：宮原清（COPITA），平尾一樹（COPITA），渡邊秀和（前掲），浅井陽一（COPITA）

第3章：宮原清（前掲），平尾一樹（COPITA），渡邊秀和（前掲）

第4章：八田宏志（COPITA），渡邊秀和（前掲），松田竜（COPITA）

第5章：渡邊秀和（前掲），岸田慎司（芝浦工業大学），小原拓（前掲）

第6章：渡邊秀和（前掲），向井智久（前掲）

### 第三編 靱性のある杭基礎構造システムの破壊モード検証のための部分架構実験

第1章：岸田慎司（前掲），向井智久（前掲），渡邊秀和（前掲）

第2章：岸田慎司（前掲）

第3章：岸田慎司（前掲），小原拓（前掲）

第4章：岸田慎司（前掲）

第5章：岸田慎司（前掲），向井智久（前掲），渡邊秀和（前掲）

### 第四編 継続使用性を確保した杭基礎構造システムの試設計

第1章：若林 博（竹中工務店），向井 智久（前掲），渡邊 秀和（前掲）

第2章：溜 正俊（日本建築センター），渡邊 秀和（前掲）

第3章：永田 敦（三菱地所設計），渡邊 秀和（前掲）

第4章：倉持 博之（日本設計），渡邊 秀和（前掲）

第5章：小林 治男（大成建設），渡邊 秀和（前掲）

第6章：伊藤 裕一（大建設），渡邊 秀和（前掲）

第7章：三町 直志（日本郵政），若林 博（前掲），向井 智久（前掲），渡邊 秀和（前掲）