

第 1 章

序論

1.1.はじめに

2011年の東日本大震災では、構造設計時に十分な検討が明示的に求められていない部位の損傷が顕在化し、その結果、当該建築物が地震後、継続使用できなくなる事例が確認されている^[1-1]。上記の典型的被害の一つとして杭基礎の被害が挙げられる。現行基準において杭基礎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基礎構造の終局限界状態における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、近年の研究として、東日本大震災にて被災した既製杭を対象とした被害再現のための曲げせん断実験^[1-2]をはじめとして、種々の既製杭の杭頭曲げせん断実験^[1-3]、杭・パイルキャップ・基礎梁を有する部分架構実験^[1-4]等の他、東北太平洋沖地震によって被災した杭基礎構造の被害要因分析のための解析的検討^{[1-5][1-6]}に加え、大地震の地盤の応答変位を考慮した杭基礎構造を対象とした構造設計法についての検討^{[1-7][1-8]}が実施されつつある。また継続使用の観点においては、杭基礎が損傷した場合に補修補強を行い、その後も建物を継続使用することがあり、例えば、東日本大震災において杭頭部等が損傷した後に補修補強を行う事例が散見^[1-9]されており、それに関連して補修補強後の構造性能評価に関する実験^[1-10]が行われている。一方で、大地震時に靱性を期待した杭部材として場所打ちコンクリート杭があるが、大地震時の地盤変位等の影響を想定した構造性能評価のための杭頭曲げせん断実験^[1-11]が実施されている。

一方、日本建築学会から2017年に基礎構造の構造性能を示した指針案^[1-12]が刊行され、大地震時に対する杭基礎構造を対象とした構造性能評価に資する技術資料が纏められつつある。このように、近年の大地震時に対する技術資料の整備のための杭基礎構造に関する研究活動が精力的に実施されている。

そこで本研究では、上記の研究背景を踏まえ、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資する技術資料の収集を目的とした実験的研究を行う。ここでの杭基礎構造システムとは、杭周辺に付帯するパイルキャップ、基礎梁、柱部分の総称である。

1.2. 杭基礎構造システム

杭基礎構造システムとは、杭周辺に付帯するパイルキャップ、基礎梁、柱部分の総称である。本研究では、各部の名称と位置について、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^[1-12]を参考に、図 1.1.1 のように定義している。なお、杭基礎構造システムでは杭体の一部がパイルキャップにのみこまれた形で杭体とパイルキャップが接合される。この時、図 1.1.1 (b) のように杭体とパイルキャップとの接合境界面を、本研究では杭頭接合面とする。また、杭の上部分を杭頭部とする。

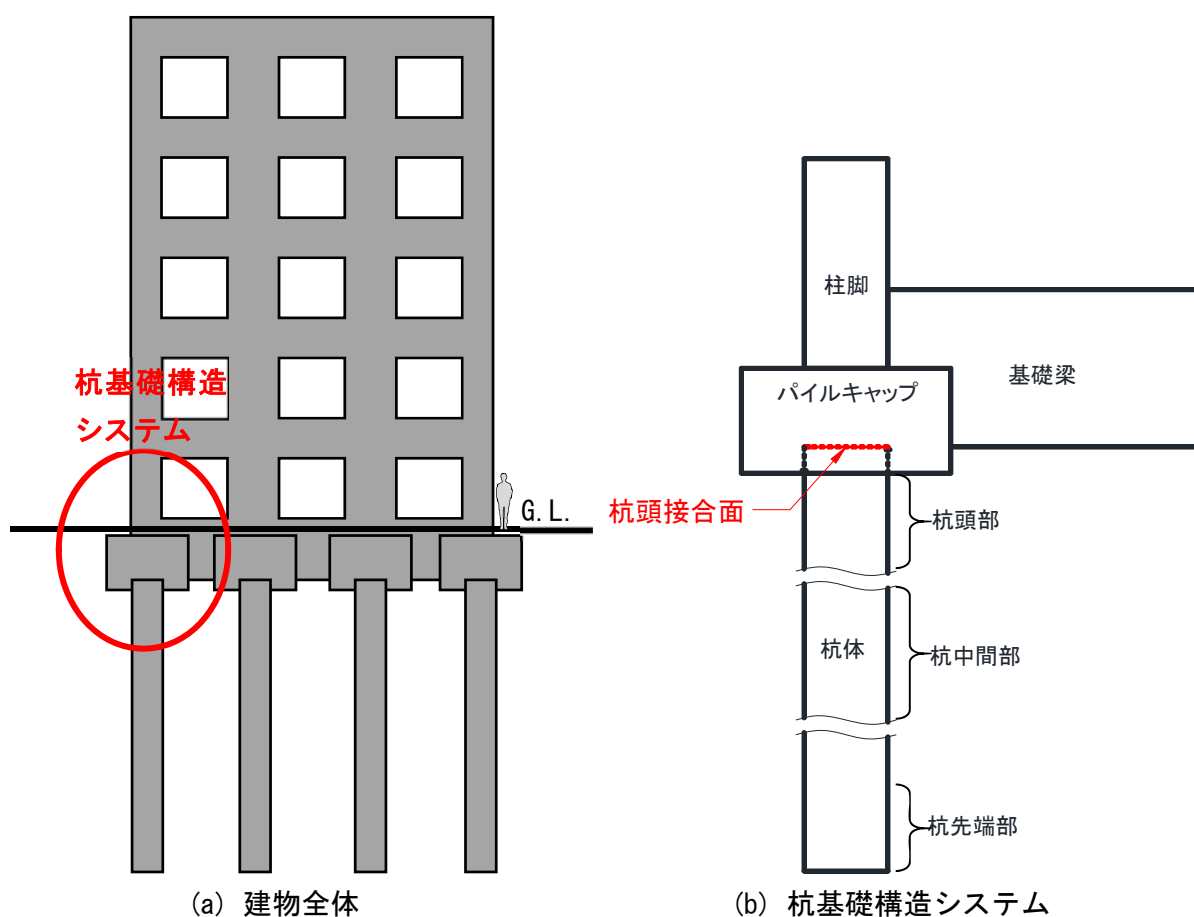


図 1.1.1 杭基礎構造システム 各部の名称

1.3.各章の構成

2, 3, 4, 6 章は各種杭体の構造性能把握のための構造実験の結果を, 5, 7, 9 章では杭基礎構造システムのト形部分架構試験体を用いた実験の結果を示している。8 章では, 杭頭接合面におけるコンクリートの支圧強度解明のための要素実験を実施した結果を示している。最後の 10 章で研究のまとめを行っている。章ごとに, 研究の概要を以下に示す。

2 章では, 大地震時の既製コンクリート杭の曲げ挙動の把握を目的として, 42 体の既製コンクリート杭試験体を用いて曲げ実験を実施した結果の報告を行う。試験体は全て杭径 $\phi 400$ の既製コンクリート杭であり, コンクリートの設計基準強度は 105N/mm^2 である。試験体は 17 体の PHC 杭, 17 体の PRC 杭, 8 体の SC 杭である。導入した軸力は, 杭の基本的な性能把握のために軸力比 $0\sim 0.2$ 程度とした試験体だけでなく, 大地震時を想定して引張軸力 (最大で軸力比 0.40) や, 高圧縮軸力 (最大で軸力比 0.52) を導入した。実験は静的加力実験であり, 2 点載荷単純梁方式の曲げ実験を実施した。また, 実験を実施した既製コンクリート杭の分析を目的としてファイバーモデルを用いた曲げ解析を実施した。

3 章では, 大地震時の既製コンクリート杭のせん断挙動の把握を目的として, 9 体の既製コンクリート杭試験体を用いて構造実験を実施した結果の報告を行う。2 章の曲げ実験と同様に, 試験体は全て杭径 $\phi 400$ の既製コンクリート杭であり, コンクリートの設計基準強度は 105N/mm^2 である。試験体は PHC 杭 3 体, PRC 杭 6 体である。導入した軸力は, 大地震時を想定して引張軸力 (最大で軸力比 0.26) や, 高圧縮軸力 (最大で軸力比 0.34) とした。実験では, 試験体に逆対称曲げモーメントが作用する静的曲げせん断実験を実施した。

4 章では, 大地震時の場所打ち鉄筋コンクリート杭の曲げ挙動およびせん断挙動の把握を目的として, 9 体の場所打ち鉄筋コンクリート杭を用いて構造実験を実施した結果の報告を行う。また, 曲げ破壊した 3 体の試験体に対して, モルタル補修および鋼板巻き立て補強を施し, 再度載荷を行い, 補修または補強を施した場合の杭の耐震性能についても実験的に確認した。試験体は全て杭径 $\phi 400$ の場所打ち鉄筋コンクリート杭であり, コンクリート設計基準強度は 33N/mm^2 である。基準試験体に対して, 軸力比やせん断スパン比を変化させて試験体パラメータとした。また, 軸力は軸力比 0.15 または 0.40 の一定軸力としたが, 一部の試験体は大地震時を想定した変動軸力を作用させた。その際, 引張軸力は最大で軸力比 0.20 , 圧縮軸力は最大で軸力比 0.40 とした。

5 章では, パイルキャップや杭頭接合部の構造性能の把握や, 杭基礎構造システム全体の地震時挙動の把握を目的として, 12 体の杭基礎構造システムト形部分架構試験体を用いて構造実験を実施した結果の報告を行う。試験体は, 杭径 $\phi 190$, 鋼管厚 45mm の鋼管杭を用いた試験体 12 体である。試験体パイルキャップ内の配筋方法 (標準型・かご筋型) をパラメータとして, パイルキャップせん断耐力の検討をおこなった。また, 杭頭接合部の鉄筋量をパラメータとして杭頭接合部の破壊についての検討を行った。杭基礎構造システム全体の地震時挙動の把握を目的として, 取付く柱を偏心させた試験体や袖壁付き柱とした試験体を用いて実験を行った。試験体の軸力は, 柱に対する軸力比 0.30 とした。

6章では、大地震時の場所打ち鋼管コンクリート杭の曲げ挙動の把握を目的として、5体の場所打ち鋼管コンクリート杭試験体を用いて構造実験を実施した結果の報告を行う。試験体は全て杭径 $\phi 1200$ 、鋼管厚さ9mmの場所打ち鋼管コンクリート杭であり、コンクリート圧縮強度は 30N/mm^2 程度である。試験体5体のうち、2体は鋼管内に異形鉄筋を軸方向に配筋した試験体であり、残り3体は鉄筋を配筋していない試験体である。試験体の軸力は、大地震時を想定して載荷区間の最大曲げモーメントに応じて変動させた。その際、引張軸力は最大で軸力比0.15、圧縮軸力は最大で軸力比0.43とした。実験は、2点載荷単純梁方式の静的曲げ実験である。

7章では、パイルキャップや杭頭接合部の構造性能の把握や、杭基礎構造システム全体の地震時挙動の把握を目的として、2体の実大杭基礎構造システムト形部分架構試験体を用いて構造構造実験を実施した結果の報告を行う。試験体は、杭径 $\phi 400$ の既製鋼管コンクリート杭を用いた試験体2体である。この試験体では、杭頭接合筋の鉄筋量をパラメータとして杭頭接合部の破壊についての検討を行った。試験体の軸力は、大地震時を想定して杭頭接合面の最大曲げモーメントに応じて変動させることを基本とした。その際、引張軸力は最大で杭に対する軸力比0.49、圧縮軸力は最大で杭に対する軸力比0.54とした。

8章では、杭頭接合面におけるコンクリートの支圧強度の検討を目的として、17体の縮小試験体を用いて、支圧強度に関する要素実験を行った結果の報告を行う。基準試験体はパイルキャップを模した $250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 、高さ310mmの直方体である。試験体の上部に中空円形の支圧盤（径150mm）を取付け、支圧盤が試験体にめり込むように、一軸単調押し切り載荷を行った。そのほかの試験体は、試験体のサイズや配筋、支圧盤のサイズなどを変更して試験体パラメータとした。特に、試験体の配筋量や中子筋の配置を変化させることで、支圧強度に有効な配筋方法についての検討を行った。

9章では、パイルキャップや杭頭接合部の構造性能の把握や、杭基礎構造システム全体の地震時挙動の把握を目的として、2体の実大杭基礎構造システムト形部分架構試験体を用いて構造構造実験を実施した結果の報告を行う。試験体は、杭径 $\phi 800$ の実大場所打ち鉄筋コンクリート杭を用いた試験体2体である。試験体の軸力は、大地震時を想定して杭頭接合面の最大曲げモーメントに応じて変動させた（引張軸力比0.39～圧縮軸力比0.37）試験体と一定軸力（圧縮軸力比0.36）の試験体の2体である。

10章では、2章～9章で実施した実験および検討結果をまとめて、本研究で得られた成果と今後の研究課題を示す。

参考文献

- [1-1] 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
- [1-2] 金子治，中井正一，阿部秋男，向井智久：東北地方太平洋沖地震における杭基礎被害の要因分析に向けた検討 その3 杭基礎の強度・変形特性に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.699-700，2014.9
- [1-3] 長澤他 既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.757-758，2016.8
- [1-4] 岸田慎司，伊藤宏亮，向井智久，柏尚稔，平出務，谷昌典，金子治，小林勝己，飯場正紀，土方勝一郎：既製杭・RC杭を用いたト型部分架構に対する静的載荷実験 その1 実験概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.215-216，2015.9
- [1-5] 金子治，川股紫織，中井正一，関口亨，向井智久：東北地方太平洋沖地震における杭基礎の被害要因に関する解析的検討，日本建築学会構造系論文集第717号，pp.1699-1706，2015.11
- [1-6] 土方勝一郎，吉田洋之，平出務，飯場正紀，向井智久，柏尚稔：東北地方太平洋沖地震において杭基礎が大破した建物の被害要因分析 その4 建物・杭・地盤連成解析による検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.221-222，2015.9
- [1-7] 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
- [1-8] 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
- [1-9] 尻無濱昭三，金子治，平出務，向井智久：東日本大震災において基礎杭が被災した共同住宅の被害と補修，補強事例，コンクリート工学，Vol.53，No.3，pp.283-288，2015.3
- [1-10] 平出務，向井智久，岸田慎司，柏尚稔，坂下雅信，小林勝己，金子治：既製杭・RC杭を用いたト形部分架構に対する静的載荷実験 その3 補修を施した場合，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.387-388，2016.8
- [1-11] 柏尚稔，坂下雅信，向井智久，平出務：静的載荷実験に基づく杭頭部の損傷度評価法の検討，日本地震工学会大会，P3-31，2016.9
- [1-12] 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，2017.3