

場所打ち鉄筋コンクリート杭の機械式定着に関する研究*

A Study on Mechanical Anchorage of Cast-in-Situ Reinforced Concrete Piles

大石 健介†

Kensuke OISHI

1. はじめに

中高層建物の大半は終局時における杭の安全性の検討を行うこととなっている。その結果、杭の曲げ耐力を高めるため杭主筋量が大幅に増加する。パイルキャップ内の部材の主筋や補強筋などに干渉する可能性が高くなり配筋施工が困難になりつつある。解決策として杭主筋を従来型 180°フック定着工法から機械式定着工法に代替があげられる。

本研究では、杭主筋の従来型定着工法から機械式定着工法への代替の可能性を確認するため、杭主筋における従来型および機械式の定着工法を用いた十字型・ト型部分架構試験体を製作し、静的正負交番繰り返し載荷実験を実施するとともに、有限要素法を用いた解析を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体の詳細

本研究の対象とする建物は、文献 1)を準用し、各部材の寸法および配筋を定めた。さらに、杭およびパイルキャップの詳細については文献 2)および文献 3)をそれぞれ参照した。

十字型の機械式定着試験体の詳細を図 1 に示す。試験体の大きさは実験施設の制約上、対象建物（実大）の 1/2 スケールとした。試験体の設計では実大の主筋比、せん断補強筋比およびせん断余裕度が同様になるように配筋を決めた。試験体は、杭主筋の従来型定着工法と機械式定着工法の計 2 体である。機械式定着具には大谷製鉄株式会社の OT ナットを使用した。

2.2 加力計画

本実験の十字型試験体の載荷システムの立面図を図 2 に示す。軸力については、十字型試験体は柱軸力比 0.1 として 664kN、ト型試験体は柱軸力比 0.05 として 312kN の一定軸力を与えた。パイルキャップの回転を含めた両梁平均部材角 1/1000 から 1/25 まで静的正負交番 2 回繰返載荷を行う。

3. 実験結果

3.1 破壊経過

十字型試験体の従来型では、部材角 1/1000 の時点で曲げひび割れが発生した。部材角 1/250 で曲げひび割れが曲げせん断ひび割れに進展し、杭の危険断面の主筋が降伏したことが確認された。部材角 1/150 でコンクリートの圧壊が見られ、部材角 1/50 で圧壊したところから杭の主筋が座屈したことが確認された。部材角 1/33 の負方向加力の 1 回目で杭の主筋が破断し、耐力が最大の約 70%となり、実験は終了した。機械式では、ひび割れ発生状況、鉄筋の降伏、圧壊および座屈な

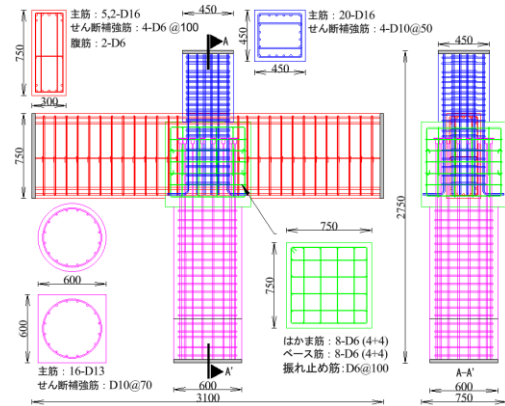


図 1 機械式定着試験体の配筋の詳細

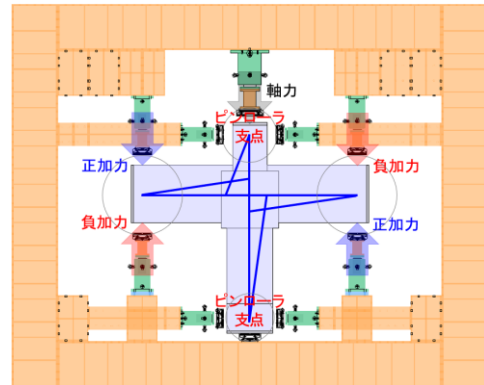


図 2 加力装置（正面）

どの破壊性状は従来型とほぼ同様であった。本試験体では部材角 1/33 の正方向加力の 2 回目で杭主筋が破断し、最大耐力の約 62%となり実験は終了した。

ト型試験体の従来型では、部材角 1/1000 の時点で基礎梁に、部材角 1/500 で杭に曲げひび割れが発生した。部材角 1/250 では一部の曲げひび割れが曲げせん断ひび割れに進展し、杭および基礎梁の危険断面付近の主筋が降伏したことが確認された。部材角 1/25 では基礎梁にコンクリートの圧壊が見られ、その後、負方向加力の 2 回目で基礎梁の耐力が最大耐力の 80%以下となり実験を終了した。機械式における各部材の損傷進展状況は、従来型と概ね同様であった。一方、杭主筋の降伏は従来型定着試験体とは異なり、部材角 1/150 で確認された。本試験体も従来型同様に部材角 1/25 の負方向加力の 1 回目で基礎梁の耐力が最大耐力の 80%以下となり実験を終了した。

* 2025年度修士論文発表概要

† 静岡理科大学 大学院理工学研究科 システム工学専攻

3.2 荷重-変形関係

十字型試験体の従来型は部材角 1/100 で梁の最大耐力は 282.6kN 杭および柱の最大耐力は 329.7kN を記録したが、部材角 1/50 まで著しい耐力低下は見られなかった。部材角 1/33 の負方向加力の 1 回目で杭主筋が破断した。機械式では、部材角 1/100 で梁の最大耐力は 287.6kN、杭および柱の最大耐力 335.5kN を記録したが、従来型と同様に部材角 1/50 まで各部材の著しい耐力低下は見られなかった。後に部材角 1/33 の正方向加力の 2 回目で杭主筋が破断した。両者は概ね一致した。計算結果との比較については、等置法は低く評価しているが MS モデルと阿部式(文献 4)は降伏点強度付近となり概ね評価できる結果となった。

ト型試験体の従来型は部材角 1/33 の正方向加力で梁の最大耐力 360.9kN を杭および柱は最大耐力 210.5kN を記録した。負加力時の-1/33 で梁の最大耐力-398.0kN を杭および柱は最大耐力-232.2kN を記録した。機械式では部材角 1/50 の正方向加力の梁の最大耐力 354.5kN を杭および柱は最大耐力 206.8kN を記録した。負加力時の-1/33 で梁の最大耐力-378.8kN を杭および柱は最大耐力-221.0kN を記録した。両試験体において、部材角 1/33 までは基礎梁、杭、柱に荷重の著しい耐力低下は見られず、耐力を維持し、概ね一致した。また、十字型と同様に MS モデルと阿部式は降伏点強度付近となり、概ね評価できる結果となった。

4. 有限要素解析

4.1 解析概要

本研究では、試験体を図 3 のようにモデル化した。モデル化は、加力点と支点の中心までとした。また、加力計画は実験と同様に、変形制御の正負交番 2 回繰返载荷を行った。

4.2 解析結果

杭の損傷の大きい十字型試験体における実験と解析結果の荷重-変形関係を図 4 に示す。押切解析については、剛性や降伏点を精度良く再現できているが単調载荷のため繰返载荷のような耐力低下が再現できなかった。繰返解析については剛性、降伏点、最大耐力を概ね再現できたものの耐力低下が早い結果となった。しかし、両者ともに最大耐力に至るまでの挙動は概ね再現できた。

十字型試験体の機械式における最終破壊状況の実験と解析結果のひび割れ図を図 5 に示す。各部材のひび割れ状況は概ね一致していることが確認できる。

十字型試験体における最大耐力時の主ひずみ分布の解析結果を図 6 に示す。従来型と機械式ともに主ひずみ分布は概ね整合することが確認できた。そのため、両定着方法における応力伝達が概ね同様であることが明確になった。

5. まとめ

本報では、十字型・ト型試験体の従来型・機械式定着工法の実験結果および解析結果について述べた。実験結果は両試験体ともに荷重-変形関係や破壊性状が概ね一致する結果となった。解析結果は、最大耐力に至るまでの実験の破壊形状の挙動を再現することができた。よって、基礎接

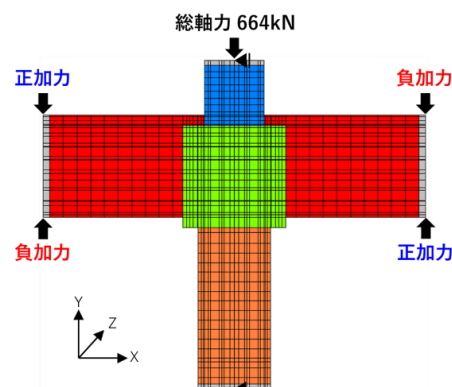


図 3 解析ソフトにおける試験体のモデル化と拘束条件

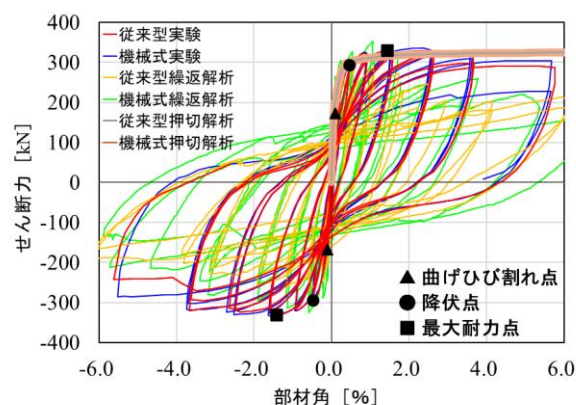


図 4 十字型試験体における杭の荷重-変形関係

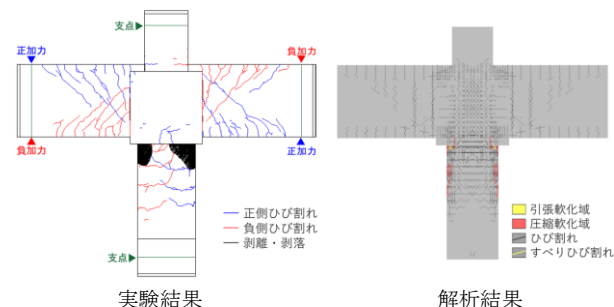


図 5 十字型試験体における最終破壊状況のひび割れ図

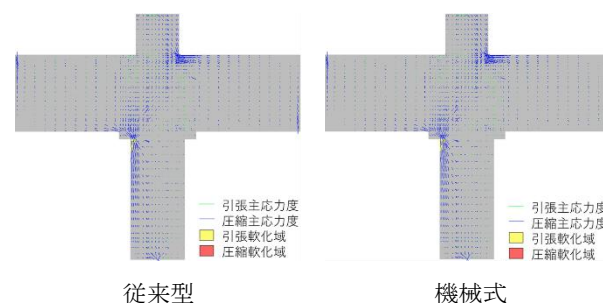


図 6 十字型試験体における最大耐力時の主ひずみ分布
合部において杭主筋の機械式定着工法は従来型定着工法を代替可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2019
- 3) 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
- 4) 阿部浩一：鉄筋コンクリート円形断面柱の曲げ終局耐力算定式、日本建築学会構造系論文報告集、423 巻、p.27-33、1991