



## 現場打ち RC 杭の機械式定着を用いたト型試験体の実験的研究

宇野瑞穂<sup>1)</sup>，大石健介<sup>2)</sup>，崔琥<sup>3)</sup>，権淳日<sup>4)</sup>，小寺耕一郎<sup>5)</sup>

1) 正会員 静岡理工科大学システム工学専攻

E-mail: 2521004.um@sist.ac.jp

2) 正会員 静岡理工科大学システム工学専攻

E-mail: 2421004.ok@sist.ac.jp

3) 正会員 静岡理工科大学理工学部建築学科，教授 工博

E-mail: choi.ho@sist.ac.jp

4) 正会員 大阪工業大学工学部建築学科，准教授 工博

E-mail: chunri.quan@oit.ac.jp

5) 正会員 大谷製鉄株式会社，上席執行役員

E-mail: k.kotera@c-osc.co.jp

### 要 約

本論文では、杭主筋の従来型定着から機械式定着への代替の可能性を確認するため、杭主筋の従来型および機械式定着を有する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した。その結果、杭主筋の定着工法の違いによらず両試験体における各部材の破壊形状、荷重－変形関係や杭主筋の曲率分布がほぼ同等であったため、本研究で検討した建物のト型部分において、機械式定着工法は従来型定着工法と同程度の定着性能を有していることを確認した。

キーワード： 場所打ち鉄筋コンクリート杭，杭主筋，機械式定着工法，ト型試験体，荷重－変形関係，破壊性状

### 1. はじめに

近年、中高層建物の多く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、杭の耐力を高めるために、杭主筋量が大幅に増えることとなるが、それがパイルキャップ内の柱主筋、柱補強筋、梁主筋、はかま筋、ベース筋、振れ止め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。その解決策の1つとして杭主筋の従来型の180°フック定着工法を機械式定着工法に代替することがあげられる。

そこで本研究では、杭主筋の従来型定着工法から機械式定着工法への代替可能性を確認するために、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およびト型部分架構試験体をそれぞれ製作し、静的正負交番繰り返し載荷実験を実施した。杭主筋の従来型の180°フック定着工法および機械式定着工法を有する十字型部分架構試験体を用いた実験結果については文献1)，2)で報告済みである。

本論文では、ト型部分架構試験体を用いた杭主筋の定着方法の違いによる各部材の荷重－変形関係、破壊形状、各部材のひずみ履歴および杭主筋の曲率分布などを比較・検討し、杭主筋の機械式定着工法の有効性を確認する。

## 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3)の「付2.構造設計例」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おいては文献4), 5)をそれぞれ参照した。対象建物（実大）および試験体の各部材の寸法、配筋および強度を表1に示す。試験体の大きさは実験施設の制約上、1/2スケールとした。各部材の長さはモーメントが0となる点が加力点あるいは支点になるように設計した（後術の図2参照）。試験体の設計では、実大の主筋比、せん断補強筋比、軸力比およびせん断余裕度が同等になるように配筋および軸力を決めた。実大および試験体の各部材はすべて曲げ降伏先行型（ $Q_{mu} < Q_{su}$ ）である。基礎梁のせん断力が杭の軸力として入力されるため、正方向加力時には杭降伏先行型、負方向加力時には基礎梁降伏先行型となる。一方、文献1), 2)で報告した十字型試験体では杭降伏先行型であったため、杭主筋に発生する付着応力は大きかったが、ト型試験体では基礎梁降伏も同時に発生するため、杭主筋の付着応力は十字型試験体に比べると相対的に小さくなると予想される。

上記の内容に基づき定めた試験体の詳細を図1に示す。本研究では、杭、柱、基礎梁、パイルキャップからなる建物外側基礎部を想定したト型接合部を対象とする。実験パラメータは杭主筋の定着工法（従来型の180°フック定着工法および機械式定着工法、定着長さは550mmと同様（文献6）より、規定のうち、最大定着長さ40D以上（D：杭主筋径）を採用）とし、計2体の試験体（従来型定着試験体および機械式定着試験体）を製作し、静的正負交番繰り返し載荷実験を行った。ここで、機械式定着具は大谷製鉄株式会社のOTナットを使用した。

両試験体は杭の定着工法だけが異なり、その他はすべて同様である。コンクリート打設は2回に分けて行った。1回目の打設は杭のパイルキャップ内への埋め込み長さまで（実大の1/2の50mm）とし、2回目の打設の前に杭の埋め込み部の目荒らしを行い、基礎梁・パイルキャップ・柱の打設を行った。

### 2.2 材料試験結果

コンクリート設計規準強度は文献3)を準用し、27N/mm<sup>2</sup>を用いた。表2にコンクリートの材料試験結果を示す。同表に示すように供試体の圧縮強度は設計値を14～28%上回った。主筋および補強筋はすべて異形棒鋼SD345を用いた。その結果を表3に示す。同表に示すように、鉄筋径によってばらつきはあるものの、鉄筋の規格降伏点強度の1.1～1.2倍の結果となった。なお、表2および表3に示す各値は3サンプルの平均値である。

### 2.3 加力計画

本実験の載荷システムの立面図を図2に示す。載荷は右側基礎梁の上下に設置したジャッキから行う。その際に、柱の上部および杭の下部は特殊なピンおよびローラー治具を有する両側ジャッキで固定され、固定面の中央では反曲点とならモーメントは0となる。載荷方法としては、反時計回りの加力を正方向加力とし、時計回りの加力を負方向加力とした。正方向加力時に各部材に生じるモーメント分布は図2に示すとおりである。また、軸力は柱軸力比0.05となるように312kNの一定軸力を加えた。

表1 実大および縮小部材の寸法、配筋および強度

| 部材                        |     | 寸法<br>(mm) | 内法<br>長さ<br>(mm) | 主筋          | 主筋<br>比<br>(%) | せん断<br>補強筋 | 補強<br>筋比<br>(%) | 曲げ終局<br>モーメント<br>$M_u$ (kN·m) | 曲げ終局時<br>せん断力<br>$Q_{mu}$ (kN) | せん断<br>終局強度<br>$Q_{su}$ (kN) | せん断<br>余裕度<br>$Q_{su}/Q_{mu}$ |
|---------------------------|-----|------------|------------------|-------------|----------------|------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 杭                         | 実大  | φ1200      | 2350             | 20-D25      | 0.90           | D16@100    | 0.42            | 1018.8/2365.7 <sup>2)</sup>   | 433.5/1006.7 <sup>2)</sup>     | 1863.2/2077.4 <sup>2)</sup>  | 4.30/2.06 <sup>2)</sup>       |
|                           | 1/2 | φ600       | 1175             | 16-D13      | 0.72           | D10@70     | 0.43            | 106.1/274.5 <sup>2)</sup>     | 90.3/233.6 <sup>2)</sup>       | 459.1/512.6 <sup>2)</sup>    | 5.08/2.19 <sup>2)</sup>       |
| 基礎梁                       | 実大  | 600×1500   | 2050             | 5,2-D32     | 1.24           | 4-D13@200  | 0.42            | 2801.3                        | 1366.5                         | 2361.0                       | 1.73                          |
|                           | 1/2 | 300×750    | 1025             | 5,2-D16     | 1.24           | 4-D6@100   | 0.42            | 350.5                         | 341.9                          | 590.9                        | 1.73                          |
| 柱                         | 実大  | 900×900    | 1300             | 20-D32      | 1.96           | 4-D19@100  | 1.27            | 1888.7                        | 1452.9                         | 2437.2                       | 1.68                          |
|                           | 1/2 | 450×450    | 475              | 20-D16      | 1.96           | 4-D10@50   | 1.27            | 236.1                         | 497.1                          | 705.6                        | 1.42                          |
| パイル<br>キャップ <sup>1)</sup> | 実大  | 1500×1500  | 1500             | 12-D13(6+6) | 0.07           | D13@200    | 0.06            | -                             | -                              | 3657.7                       | -                             |
|                           | 1/2 | 750×750    | 750              | 8-D6(4+4)   | 0.05           | D6@100     | 0.06            | -                             | -                              | 939.9                        | -                             |

1) 表中のパイルキャップにおいて、主筋ははかま筋とベース筋を、せん断補強筋は振れ止め筋を示す。

2) 左および右の数字はそれぞれ正加力時および負加力時の値である。

本実験の加力は、パイルキャップの回転を含めた片側基礎梁の部材角を1/1000, 1/500, 1/250, 1/150, 1/100, 1/67, 1/50, 1/33, 1/25までそれぞれ2回ずつ载荷する計画とした。

ト型試験体は梁のせん断力が杭の軸力として入力されるため、正加力（反時計回り）時には一定軸力より小さい軸力が、負加力（時計回り）時には一定軸力より大きい軸力が杭に加わることとなる。

## 2.4 計測計画

図3は本試験体の各計測箇所を示す。各種変位を計測するため、柱および杭の加力点中央部の正面および背面に鉄製計測フレーム（図3の水色）を、ユニバーサルジョイントを介して固定した。この計測フレームは試験体の鉛直方向の伸縮を抑制しないよう杭の固定部には鉛直方向に長方形の貫通孔を設けており、試験体の鉛直伸縮を測る変位計を設置した。また、計測フレームの正面および背面の基礎梁に変位計を設置した。加力の際の制御は基礎梁の変形計測用変位計（パイルキャップの回転を含める）で計測した変位による平均部材角で行った。さらに、パイルキャップにはせん断変形計測用変位計を上下左右対角線上に6カ所設置した。

杭および柱の部材角を算定するため、各部材の危険断面部の部材角算定用変位計（断面せいの両側に設置）と危険断面を除いた部分の部材角算定用変位計をそれぞれ設置し、両者の部材角の和で各部材の全体部材角を算定した（後述の図5(b)および(c)）。

表2 コンクリートの材料試験結果

| 部材  | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂強度(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 杭   | 34.7                     | $2.90 \times 10^4$        | 2.84                     |
| その他 | 30.9                     | $2.73 \times 10^4$        | 2.82                     |

表3 鉄筋の材料試験結果

| 直径  | 使用箇所                 | 降伏強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| D6  | パイルキャップ主筋・補強筋／基礎梁補強筋 | 429                      | 616                      | $1.99 \times 10^5$        |
| D10 | 柱および杭補強筋             | 400                      | 579                      | $1.91 \times 10^5$        |
| D13 | 杭主筋（180° フック）        | 388                      | 549                      | $2.36 \times 10^5$        |
|     | 杭主筋（機械式）             | 401                      | 584                      | $1.99 \times 10^5$        |
| D16 | 柱および基礎梁主筋            | 412                      | 562                      | $1.90 \times 10^5$        |

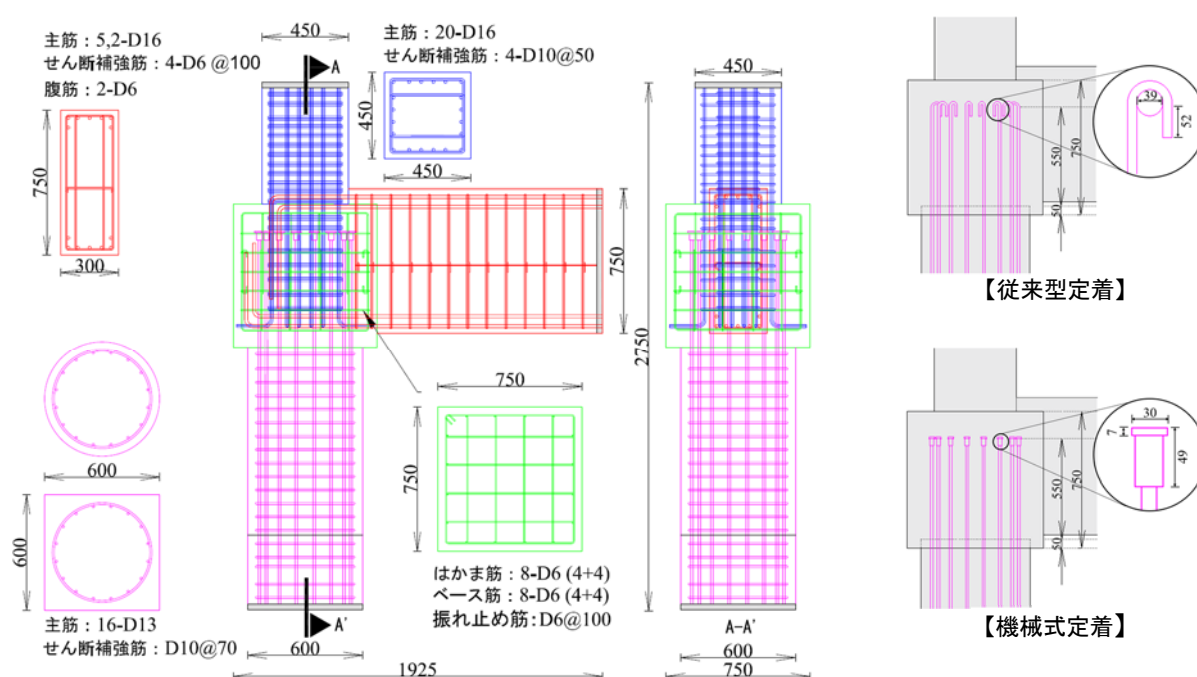


図1 機械式定着試験体の配筋および定着工法の詳細加力計画

各部材の主筋およびせん断補強筋の主要な箇所（危険断面を含む）に歪ゲージを貼り付け、歪の測定を行った。さらに、ひび割れ幅の測定は各部材角の除荷時にクラックスケールを用いて目視により行った。

基礎梁のせん断力はその上下に設置されたジャッキに取り付けたロードセルから計測した。一方、杭および柱のせん断力（後述の図5(b)および(c)）は後述の4.1節で述べるように基礎梁のせん断力に基づいて算出した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊経過

図4に両試験体の最終破壊状況を示す。以下の部材角はパイルキャップの回転を含めた片側基礎梁で計測した変位計より算出した部材角で表す。

従来型定着試験体は部材角1/1000で梁に曲げひび割れが発生し、その後部材角1/500で杭と柱に曲げひび割れが発生した。部材角1/250で杭および基礎梁の危険断面の主筋の降伏が確認され、最後の部材角である1/25では基礎梁にコンクリート圧壊が見られた。実験終了まで柱には目立った損傷は見られなかった。本試験体は、正加力時に部材角1/33で基礎梁の最大耐力は360.9kN、杭と柱の最大耐力は210.5kN（後

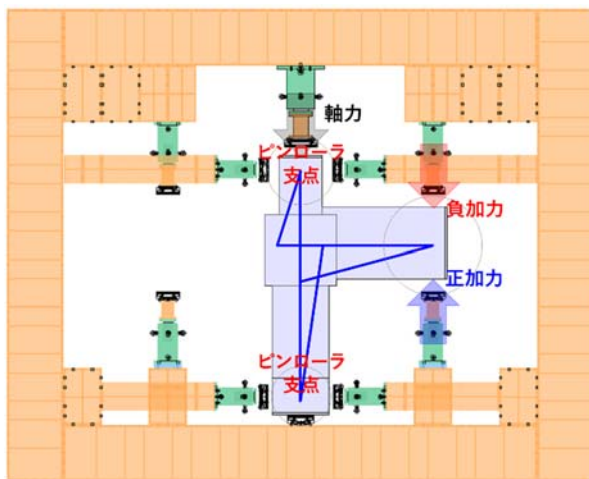


図2 加力装置（正面）

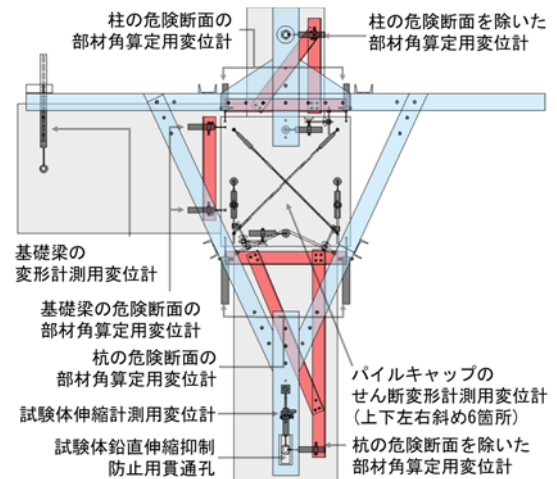
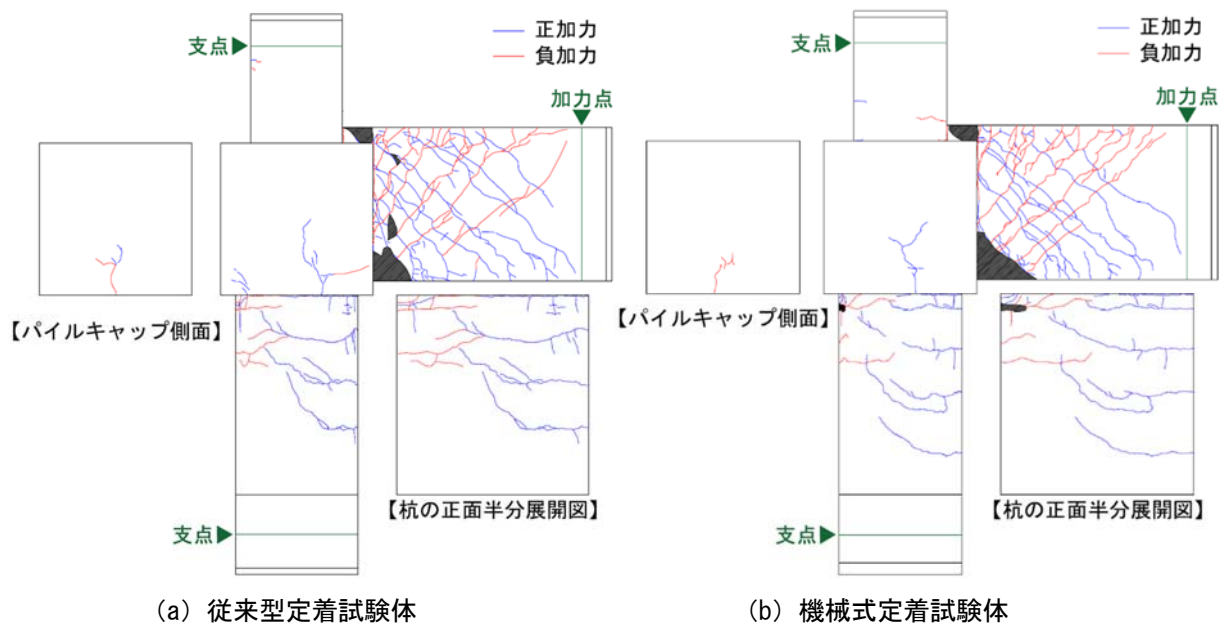


図3 計測箇所（背面）



(a) 従来型定着試験体

(b) 機械式定着試験体

図4 最終破壊状況

述の式(2)より算定)を、負加力時に部材角 $-1/33$ で梁の最大耐力は $-398.0\text{kN}$ 、杭と柱の最大耐力は $-232.2\text{kN}$ (後述の式(2)より算定)をそれぞれ記録した。

機械式定着試験体では、各部材の損傷進展状況は従来型定着試験体とほぼ同様であった。一方、基礎梁主筋の降伏は従来型試験体と同様に部材角 $1/250$ で確認されたが、杭主筋の降伏は部材角 $1/150$ で確認された。本試験体は、正加力時に部材角 $1/50$ で梁の最大耐力は $354.5\text{kN}$ 、杭および柱の最大耐力は $206.8\text{kN}$ 、負加力時に部材角 $-1/33$ で基礎梁の最大耐力は $-378.8\text{kN}$ 、杭および柱の最大耐力は $-221.0\text{kN}$ を記録した。

先述したとおり、十字型試験体では杭頭降伏先行型であるため、杭の損傷が他の部材に比べて著しかったが、ト型試験体では基礎梁の損傷が最も目立った結果となった。

### 3.2 荷重－変形関係

図5に両試験体の各部材の荷重－変形関係をせん断力の計算結果と併せて示す。ここで、せん断力の計算は後述の4.2節で詳細に述べる。また、ここで示す部材角は各部材の変位計で計測して算出したものである。

従来型定着試験体は、部材角 $1/33$ の正方向加力の1回目のサイクルにおいて梁の最大耐力は $360.9\text{kN}$ を、杭および柱の最大耐力は $210.5\text{kN}$ をそれぞれ記録したが、部材角 $1/33$ まで基礎梁、杭および柱に荷重の著しい低下はなく、耐力を維持する結果となった。その後、部材角 $1/25$ の負方向加力の2回目のサイクルで基礎梁の耐力が最大耐力の80%以下となったため、実験を終了した。

機械式定着試験体は、部材角 $1/50$ の正方向加力の1回目のサイクルにおいて梁の最大耐力は $354.5\text{kN}$ を、杭および柱の最大耐力は $206.8\text{kN}$ を記録したが、従来型定着試験体と同様に部材角 $1/33$ まで各部材の著しい耐力低下は見られなかった。その後、部材角 $1/25$ の負方向加力の1回目のサイクルで基礎梁の耐力が最大耐力の80%以下となったため、その部材角を2回繰り返した後実験を終了した。

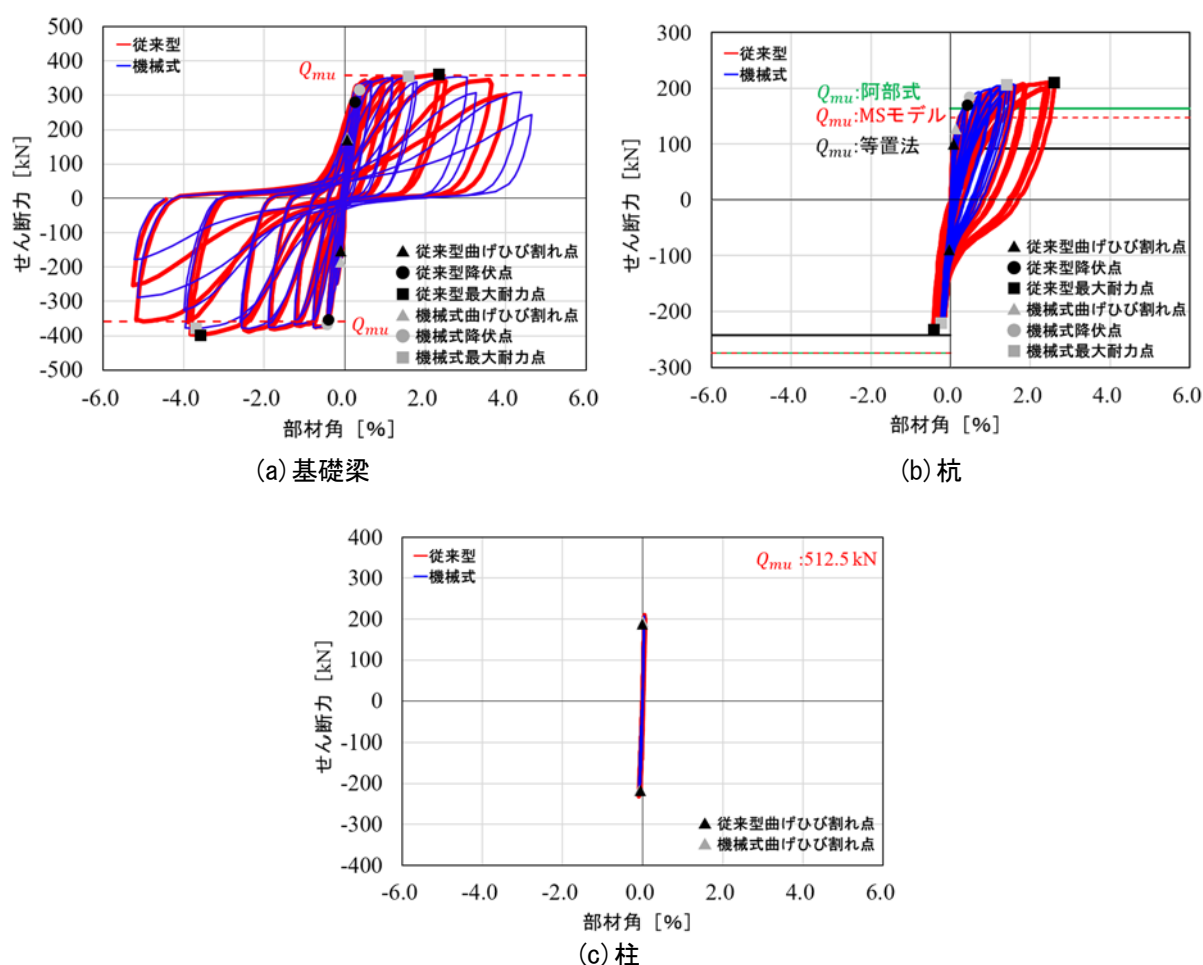


図5 各部材の荷重－変形関係

先述したとおり、本実験ではパイルキャップの回転を含めた基礎梁の部材角を 1/25 まで載荷したが、図 5(a)に示すようにパイルキャップの回転を除いた基礎梁における正方向加力の部材角は、機械式定着試験体が従来型定着試験体より徐々に大きくなっている。一方、図 5(b)に示すようにパイルキャップの回転を除いた杭における正方向加力の部材角は、機械式定着試験体が従来型定着試験体より小さくなっている。これは、機械式定着試験体において、負方向（時計回り）加力時に同じ方向に回転したパイルキャップが、次の正方向（反時計回り）加力時に負方向に留まっていたためであり、部材角が大きくなることにつれ、基礎梁だけの部材角がパイルキャップの回転を含めた部材角より大きくなった。従って、機械式定着試験体におけるパイルキャップの回転が相対的に小さいことで、機械式定着試験体における杭の部材角は従来型定着試験体に比べて小さくなった。

先述したとおり、本試験体の杭には変動軸力（正加力時には一定軸力より小さい軸力が、負加力時には一定軸力より大きい軸力が加わる）が作用したため、負加力時の杭のせん断耐力が正加力時より大きくなるので、図5(b)に示すように、正方向時では杭が降伏しているのに対し、負方向時にはほぼ弾性に留まる結果となった。一方、図5(c)に示すように柱は正負方向ともに弾性に留まっていることがわかる。

### 3.3 杭主筋のひずみ履歴

図6に両試験体の杭主筋に貼り付けたひずみゲージから計測したひずみ履歴を示す。すべての箇所において、両試験体のひずみはほぼ同様な履歴を描いている。この結果から、本研究で使用した杭の機械式定着工法は従来型定着工法とほぼ同等の定着性能が発揮できることを確認した。

### 3.4 杭の曲率分布

両試験体の正方向および負方向加力時における杭主筋が降伏する前までの部材角である1/500までの曲率分布を図7に示す。パイルキャップ内における両試験体の曲率分布はほぼ同様であったため、本研究で用いた機械式定着工法の有効性が確認された。

## 4. 各部材の強度算定

### 4.1 基礎梁の計測せん断力から杭および柱のせん断力の算定

本実験では、基礎梁のせん断力はその上下に設置されているジャッキに取り付けたロードセルから計測されるが、杭および柱のせん断力はその両側に設置されているジャッキにロードセルが取り付けられていないた

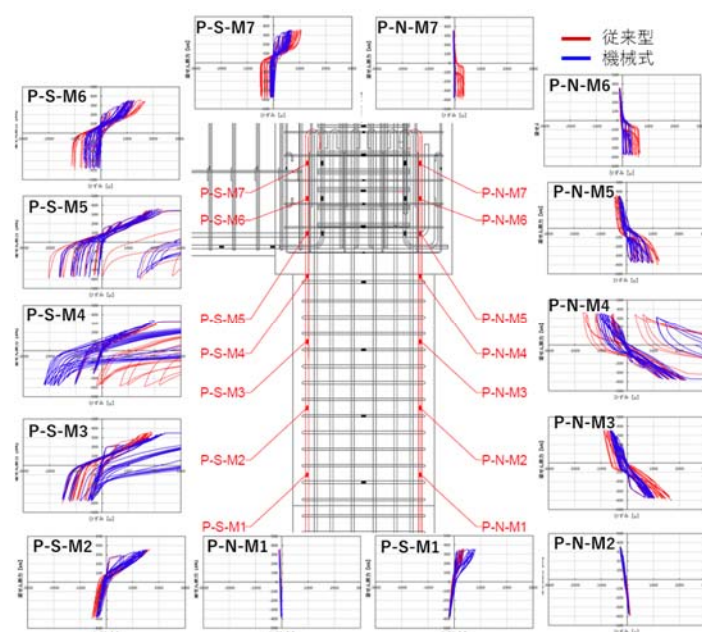


図6 杭主筋のひずみ履歴（背面）

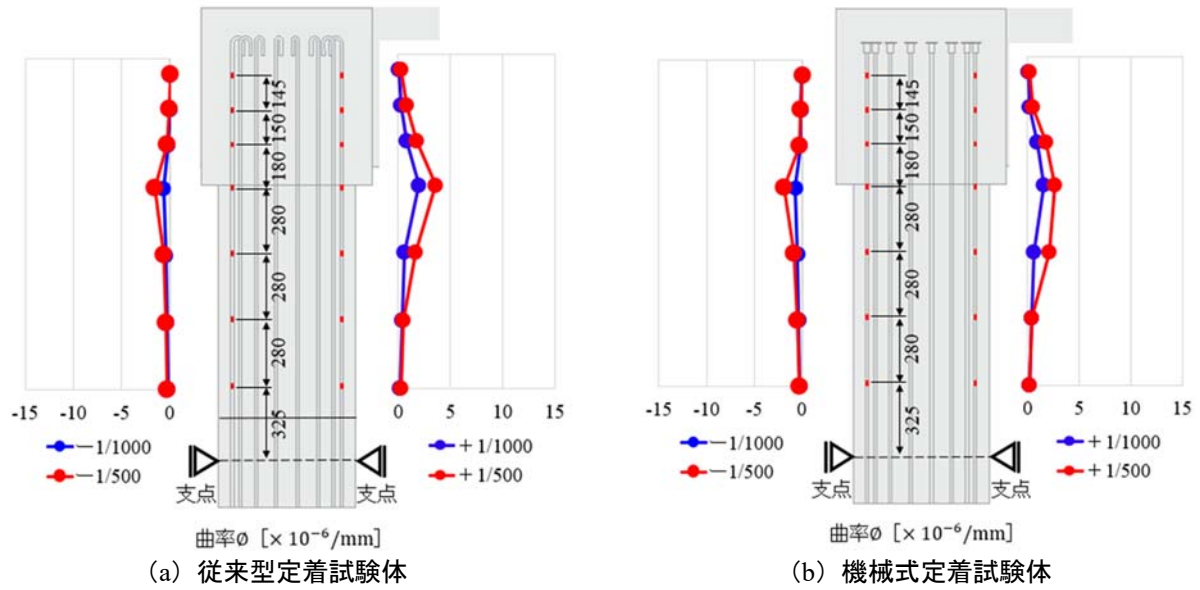


図7 杭主筋の曲率分布

め(図2参照), 杭および柱のせん断力は基礎梁のせん断力データを利用して算定した。以下に, 本研究で用いた杭および柱のせん断力の算定方法を示す。

基礎梁にせん断力を加えると, 柱梁の交点でモーメントの釣合いが成立する(式(1))。なお, ト型部分架構の水平力は杭と柱のせん断力だけとなるため, 両者のせん断力は等しくなる。杭のせん断力  $Q_{\text{杭}}$  で整理すると式(2)のようになる。図5(b)および(c)に示す杭および柱のせん断力の実験結果は式(2)で計算したものである。

$$M_{\text{梁}} = M_{\text{杭}} + M_{\text{柱}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{杭}} (= Q_{\text{柱}}) = \frac{Q_{\text{梁}} \times l}{h_{\text{杭}} + h_{\text{柱}}} \quad (2)$$

ここで,  $l$ ,  $h_{\text{杭}}$  および  $h_{\text{柱}}$  は各部材の加力点および支点からパイルキャップの中心までの距離である。

#### 4.2 基礎梁および柱の終局強度の算定

基礎梁および柱の実験結果との整合性を確認するため, 両部材の終局強度を算定し, 実験結果と比較する。基礎梁および柱の曲げ終局モーメント  $M_u$  は式(3)および式(4)よりそれぞれ求める。

$$M_{u,\text{梁}} = 0.9a_t\sigma_y d \quad (3)$$

$$M_{u,\text{柱}} = 0.8a_t\sigma_y D + 0.5ND \left(1 - \frac{N}{bD\sigma_B}\right) \quad (4)$$

ここで,  $a_t$  は引張鉄筋断面積 ( $\text{mm}^2$ ),  $\sigma_y$  は主筋の降伏強度 ( $\text{N/mm}^2$ , 表3参照),  $d$  は部材の有効せい ( $\text{mm}$ ),  $D$  は部材せい ( $\text{mm}$ ),  $N$  は軸力 ( $\text{N}$ ),  $b$  は部材幅 ( $\text{mm}$ ),  $\sigma_B$  はコンクリート圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ , 表2参照) である。

また, 基礎梁および柱の曲げ終局時せん断力  $Q_{mu}$  は, 式(3)および式(4)より求めた曲げ終局モーメント  $M_u$  を各部材の内法長さおよび内法高さで除した式(5)および式(6)よりそれぞれ求める。

$$Q_{mu,\text{梁}} = M_{u,\text{梁}}/l_0 \quad (5)$$

$$Q_{mu,\text{柱}} = M_{u,\text{柱}}/h_{0,\text{柱}} \quad (6)$$

ここで、 $l_0$ および $h_{0\#}$ は基礎梁および柱の内法長さおよび内法高さ (mm) である。

以上より求めた基礎梁および柱の曲げ終局時せん断力 $Q_{mu}$ を図5(a)および(c)に実験結果の荷重－変形関係と併せて示す。図5(a)より、基礎梁の曲げ終局時せん断力は実験結果と精度よく整合した。また、図5(c)より、柱の曲げ終局時せん断力は512.5kNで、この値は実験結果を遙かに超えており、弾性に留まる結果となった。

#### 4.3 杭の終局強度の算定

杭の実験結果との整合性を確認するため、終局強度を算定し、実験結果と比較する。本研究では、式(7)に示す等価正方形断面置換法および式(8)～式(11)に示す円形断面計算法<sup>7)</sup>の2種類の計算方法と、MSモデルを用いた解析方法、計3種類の計算および解析結果を実験結果と比較・検討した。

$$M_{u,杭} = 0.8a_t\sigma_y D + 0.5ND \left(1 - \frac{N}{bD\sigma_B}\right) \quad (7)$$

$$M_{ur} = \xi_{KR} \cdot F_K \cdot D \quad (8)$$

$$\xi_{KR} = A_R \cdot [\tan\{B_R \cdot (1 - \eta_r)\} - \{(1 - \eta_r)/2\}^m] \quad (9)$$

$$A_R = 0.7 \cdot g_{KR} \cdot R_S - 0.15 \cdot R_S + 0.28 \quad (10)$$

$$B_R = -0.2 \cdot g_{KR} \cdot R_f + 0.6 \cdot R_f + 0.9 \quad (11)$$

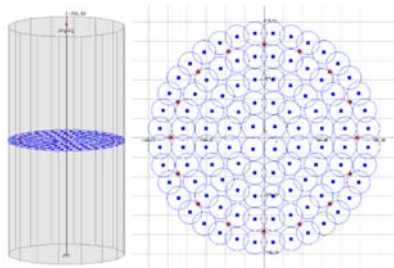
ここで、 $a_t$ は引張鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)、 $D$ および $b$ は部材のせいおよび幅 (mm)、 $\eta_r$ は軸力の基準化量 ( $=N/F_K$ )、 $N$ は軸力 (N)、 $F_K$ は基準化量 ( $=C_0(N+T_0)/(C_0+2T_0)+T_0$ )、 $C_0$ および $T_0$ は断面のコンクリート全強度および主筋全降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $C_0=F_c \cdot A_g$ 、 $T_0=\sigma_y \cdot a_g$ 、 $F_c$ はコンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $A_g$ は部材の断面積、 $\sigma_y$ は主筋の降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $a_g$ は主筋の全断面積 (mm<sup>2</sup>)、 $m$ は1から3 (1は主軸曲げの場合、3は対角曲げの場合、2は円形の場合、ここでは2)、 $g_{KR}$ は主筋等価重心間距離比 ( $=0.5g_0^2$ )、 $g_0$ は主筋位置を結ぶ円の直径を円形断面の直径 $\phi$ で除した値、 $R_S$ は断面のコンクリートに対する主筋の強度比 ( $=T_0/C_0$ )、 $R_f$ は断面の主筋に対するコンクリートの強度比 ( $=C_0/T_0$ ) である。

また、杭の曲げ終局時せん断力は、式(7)および式(8)より求めた曲げ終局モーメントを杭の内法高さで除した式(12)および式(13)よりそれぞれ求める。

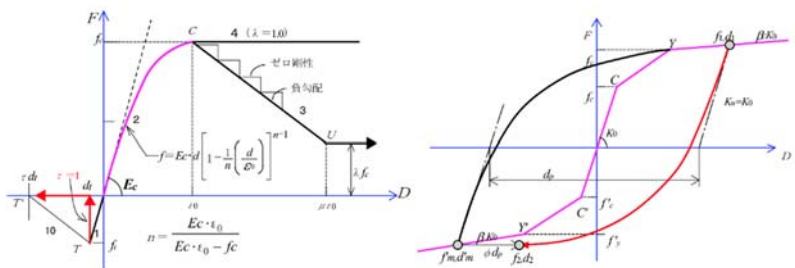
$$Q_{mu,杭} = M_{u,杭}/h_{0杭} \quad (12)$$

$$Q_{Mur,杭} = M_{ur}/h_{0杭} \quad (13)$$

次に本研究で検討した MS モデルを用いた円形断面の解析方法について述べる。図8に示すように、杭部材のコンクリートおよび鉄筋は MS 要素を用いてモデル化した。材料モデルは、図9に示すように、コンクリートは曲線剛性低下減衰型モデルを、鉄筋は修正 Ramberg-Osgood モデルをそれぞれ用いた。材料モデルの各因子は表2および表3に示す各材料試験結果を準用した。



(a) 高さ方向 (b) 断面  
図8 杭部材のMSモデル



(a) コンクリート (b) 鉄筋  
図9 材料モデル

以上より、本研究で用いた2種類の計算方法とMSモデルによる解析方法、計3種類の評価結果を図5(b)に荷重－変形関係と併せて示す。同図に示すように、正方向において、一般に用いられる等価正方形断面置換法による算定結果は実験結果を遥かに過小評価したが、円形断面計算法およびMSモデルによる結果は実験結果を概ね評価できた。一方、負方向において、実験結果が円形断面計算法およびMSモデルによる評価値を下回っており、荷重－変形関係もほぼ弾性挙動をしていることから、両方の評価値は実験値をよく説明できたと思われる。

## 5. まとめ

本研究では、杭主筋の機械式定着工法への代替可能性を確認するため、杭主筋の従来型および機械式定着を用いた1/2スケルトン型部分架構試験体を用いて静的載荷実験を行った。本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 機械式定着試験体において、負加力時に生じたパイルキャップの回転が正加力時に負方向に留まっていたため、基礎梁および杭の部材角に相違が見られた。一方、本実験結果も含めてト型骨組は基礎梁に損傷が集中することから、相対的に損傷が少ない杭部材は機械式定着に適している。
- (2) 基礎梁および杭の終局強度の計算結果は実験結果と概ね一致した。また、柱の終局強度の計算結果は実験結果より大きくなり、両部材の実際の破壊性状と概ね整合した。
- (3) 両試験体の杭部材におけるひずみ履歴および曲率分布から、本研究で使用した杭の機械式定着工法は従来型定着工法とほぼ同等の定着性能が発揮できることを確認した。

今後の研究として、パイルキャップに損傷がほとんど生じなかったことから、パイルキャップのせいを小型化とそれに伴う機械式定着長さの短縮化について実験的検討する予定である。また、本実験の有限要素解析による再現を予定している。

## 謝辞

本研究の実験にあたって、大谷製鉄株式会社に研究費を含めた多大なご支援をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 大石健介，宇野瑞穂，崔琬，権淳日：十字型試験体を用いた場所打ち鉄筋コンクリート杭の機械式定着に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 47，No. 2，pp.103-108，2025
- 2) 宇野瑞穂，大石健介，崔琬，権淳日，小寺耕一郎，北泰：場所打ち鉄筋コンクリート杭の機械式定着工法の性能検証に関する研究 その1 十字型試験体の実験概要およびその2 十字型試験体の実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp. 43-46，2025
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2019
- 5) 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
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説，2021
- 7) 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年