

既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究  
(その1 SC杭の曲げせん断実験概要)

正会員 ○長澤 和彦 正会員 木谷 好伸  
後庵 満丸

SC杭 曲げせん断試験 正負交番载荷  
軸力 曲げ耐力 変形性能

1. はじめに

(一社)コンクリートパイル建設技術協会(COPITA)では、軸力作用下で曲げせん断試験を片持ち梁方式で実施し、スタブと杭の接合方法について報告を行った<sup>1)</sup>。本論文では、検討した接合方法を用いて、軸力を変化させたSC杭の曲げせん断実験概要について報告する。

2. 試験体および加力装置概要

表1に試験体一覧を示す。試験体は杭径φ400mm、鋼管厚6mm(No.7のみ4.5mm)のSC杭とした。設計壁厚を65mm(No.6のみ50mm)とした。なお、No.6は杭径1200mmを想定した1/3縮小モデルである。中詰材としてNo.8はセメントミルク、No.9はコンクリートを打設した。軸力は、杭径φ400mmの極限支持力(N値を60、支持力係数(α)を400とした極限支持力3014kN)および設計曲げモーメント~軸力関係で、最大曲げモーメントになる荷重を考慮し、2000~3500kN(軸力比は0.23~0.47)とした。比較のために、軸力無(No.1)を実施した。表2に材料試験結果を示す。

図1に加力装置の概要を示す。加力点位置は杭頭部(スタブ上面)から1200mmである。加力方法は正負交番载荷とし、部材角2.5,7.5,10,15,20,30,50/1000radをそれぞれ2回ずつ繰返し、耐力が低下するまで载荷した。

図2に試験体形状寸法および計測位置を示す。内径φ432mmの鋼管を設置した鋼製スタブに杭体を差し込み、隙間にグラウトを充填した。変位計及びひずみゲージは5断面設置した。ただし、ひずみゲージの第2断面は、杭頭部から75mm(②下)と100mm(②上)の2箇所とした。杭頭部、ひずみゲージ位置、変形計測区間中心位置の曲げモーメントは、軸力による偏心曲げモーメントを考慮し式(1),(2)で算定し、曲率(φ1,φ2)は式(3),(4)で算定した。また、杭頭部鉛直変形量(δN)は、杭頭部から200mm位置の変位(DV-E2,DV-W2)の平均値とした。

表1 試験体一覧

| No. | 杭径 D(mm) | 壁厚 T(mm) | 鋼管厚 ts(mm) | T/D  | ts/D  | 中詰 | 導入軸力 N(kN) | 最大軸力 Nmax(kN) | 軸力比 (N/Nmax) |
|-----|----------|----------|------------|------|-------|----|------------|---------------|--------------|
| 1   | 400      | 65       | 6          | 0.16 | 0.015 | 無  | 0          | 8817          | 0.00         |
| 4   | 400      | 65       | 6          | 0.16 | 0.015 | 無  | 2000       | 8817          | 0.23         |
| 5   | 400      | 65       | 6          | 0.16 | 0.015 | 無  | 3000       | 8817          | 0.34         |
| 6   | 400      | 50       | 6          | 0.13 | 0.015 | 無  | 3500       | 7407          | 0.47         |
| 7   | 400      | 65       | 4.5        | 0.16 | 0.011 | 無  | 2000       | 8413          | 0.24         |
| 8   | 400      | 65       | 6          | 0.16 | 0.015 | 有  | 3500       | 8817          | 0.40         |
| 9   | 400      | 65       | 6          | 0.16 | 0.015 | 有  | 3500       | 8817          | 0.40         |

表2 材料試験結果

| No.       | 設計値                          |  |                              |  | 実測値       |                              |  |                              |  |      |
|-----------|------------------------------|--|------------------------------|--|-----------|------------------------------|--|------------------------------|--|------|
|           | コンクリート                       |  | 鋼管                           |  | コンクリート    |                              | 鋼管   |                              |  |      |
| 壁厚 T (mm) | 圧縮強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 Ec ×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏強度 σy (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 Es ×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) | 壁厚 T (mm) | 圧縮強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 Ec ×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏強度 σy (N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数 Es ×10 <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> ) |      |
| 1         | 65                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 72                           | 115  | 4.56                         | 505  | 2.12 |
| 4         | 65                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 69                           | 111  | 4.42                         | 505  | 2.12 |
| 5         | 65                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 74                           | 115  | 4.56                         | 505  | 2.12 |
| 6         | 50                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 58                           | 115  | 4.56                         | 505  | 2.12 |
| 7         | 65                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 67                           | 115  | 4.56                         | 452  | 2.07 |
| 8         | 65                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 74                           | 122  | 4.67                         | 408  | 2.01 |
| 9         | 65                           | 105  | 4.00                         | 325  | 2.05      | 74                           | 122  | 4.67                         | 408  | 2.01 |

「注」No.8の中詰セメントミルクの圧縮強度は27.4N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数は0.995×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>である。  
No.9の中詰コンクリートの圧縮強度は23.7N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数は2.67×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>である。

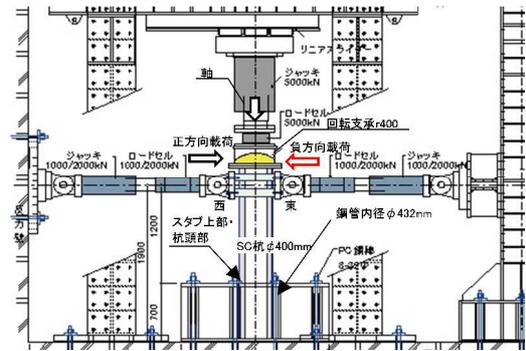


図1 加力装置の概要

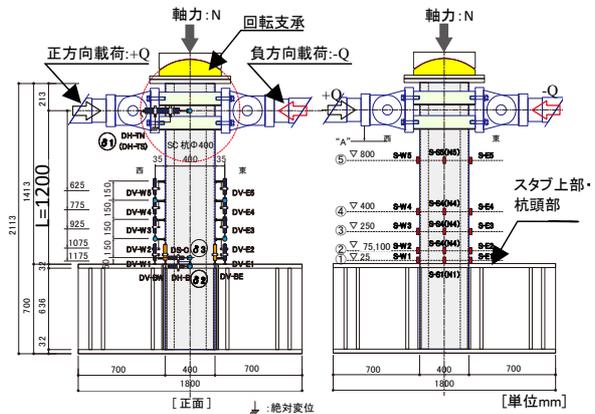


図2 試験体寸法および計測位置図

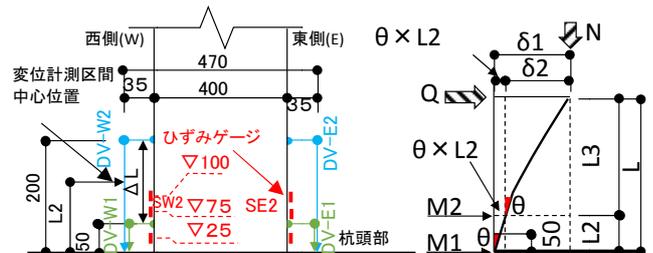


図3 曲げモーメントおよび曲率算定の概要

Study on flexural deformation of precast concrete piles  
Part 1 Experimental Outline of Bending Shear of Steel Composite  
Concrete Pile

NAGASAWA Kazuhiko, KIYA Yoshinobu, and  
GOAN Mistumaru

$$M1=Q \times L + N \times \delta 1 \cdots \cdots (1)$$

$$M2=Q \times (L-L2) + N \times \delta 2 = Q \times (L-L2) + N \times (\delta 1 - \theta \times L2) \cdots \cdots (2)$$

M1: 杭頭部曲げモーメント (kN・m)

M2: ひずみゲージまたは変位計測区間中心位置の曲げモーメント (kN・m)

N: 軸力 (kN)

L2: ひずみゲージ, 変位計測区間中心位置 (m),

$\delta 1$ : 加力点変位 (m),

$\delta 2$ : ひずみゲージ, 変位計測区間中心位置の変位 (m)

$\theta$ : 杭頭部から 50mm 位置 (DV-E1, DV-W1) の回転角

$$\phi 1 = (SE \circ - SW \circ) / 0.4 \cdots \cdots (3)$$

$$\phi 2 = (\Delta E - \Delta W) / \Delta L / 0.47 \cdots \cdots (4)$$

$\phi 1$ :  $\circ$  断面のひずみゲージから求めた曲率

$\phi 2$ : 変位計から求めた曲率

$\Delta E$ : DV-E1 ~ E2 区間または杭頭部 ~ DV-E2 区間変位 (mm)

$\Delta W$ : DV-W1 ~ W2 区間または杭頭部 ~ DV-W2 区間変位 (mm)

$\Delta L$ : DV-E1 (W1) ~ E2 (W2) または杭頭部 ~ DVE2 区間距離 (mm)

$$\delta N = (DV-E2 + DV-W2) / 2 \cdots \cdots (5)$$

$\delta N$ : 杭頭部鉛直変形量 (mm)

### 3. 試験結果

表 3 に実験で得られた最大曲げモーメント ( $M_{max}$ ) および最大曲げモーメント時の部材角 ( $R_{M_{max}}$ ) を示す。図 4 に示すバイリニア型の応力~ひずみ曲線関係を用いた設計値 ( $M_u$ ), 材料試験結果を用いた計算値 ( $M_u'$ ) も示す。コンクリートの終局ひずみ ( $\epsilon_{cu}$ ) は, 設計値では 0.005, 計算値では 0.003 および 0.005 とした。尚, No. 8, 9 の設計値および計算値は中詰部の耐力を考慮していない。図 5, 6 に杭頭曲げモーメント~軸力関係を示す。図中には設計値, 計算値, 実験値を記載している。設定した軸力は, 設計杭頭曲げモーメント~軸力関係で最大曲げモーメントになる軸力程度である事が確認できる。

図 7 に最大曲げモーメント ( $M_{max}$ ) / 計算値 ( $M_u$ ) および設計値 ( $M_u'$ ) ~ 軸力比関係を示す。軸力比が 0.4 以下では  $M_{max}/M_u'$  ( $\epsilon_{cu}=0.005$ ) 比が 1 に近く, それ以上では  $M_{max}/M_u'$  ( $\epsilon_{cu}=0.003$ ) 比が 1 に近くなる。

表 3 試験結果

| No. | 軸力<br>N<br>(kN) | 軸力比<br>N/Nmax | 設計値<br>$M_u$<br>( $\epsilon_{cu}=0.005$ )<br>(kN・m) | 計算値   |   | 実験値                 |  | 破壊状況 |
|-----|-----------------|---------------|---|---|---|---------------------|--|------|
|     |                 |               |   | $M_u'$<br>( $\epsilon_{cu}=0.003$ )<br>(kN・m) | $M_u'$<br>( $\epsilon_{cu}=0.005$ )<br>(kN・m) | $M_{max}$<br>(kN・m) | $R_{M_{max}}$<br>( $\times 10^{-3}$ rad) |      |
| 1   | 0               | 0.00          | 402   | 585   | 607   | 631                 | 29.3                                     | 曲げ破壊 |
| 4   | 2000            | 0.23          | 594   | 708   | 776   | 813                 | 15.0                                     | 曲げ破壊 |
| 5   | 3000            | 0.34          | 619   | 726   | 830   | 845                 | 15.1                                     | 曲げ破壊 |
| 6   | 3500            | 0.47          | 511   | 626   | 761   | 651                 | 7.6                                      | 曲げ破壊 |
| 7   | 2000            | 0.24          | 524   | 585   | 633   | 649                 | 13.7                                     | 曲げ破壊 |
| 8   | 3500            | 0.40          | 611   | 668   | 774   | 856                 | 13.6                                     | 曲げ破壊 |
| 9   | 3500            | 0.40          | 611   | 668   | 774   | 830                 | 11.6                                     | 曲げ破壊 |

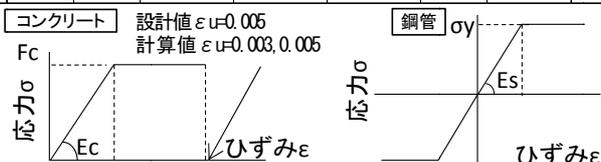


図 4 応力~ひずみ関係

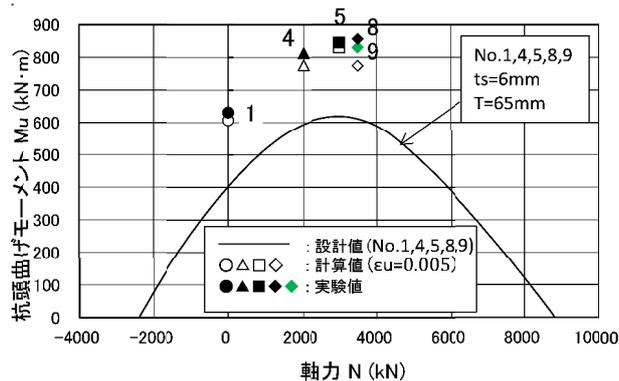


図 5 杭頭曲げモーメント~軸力関係

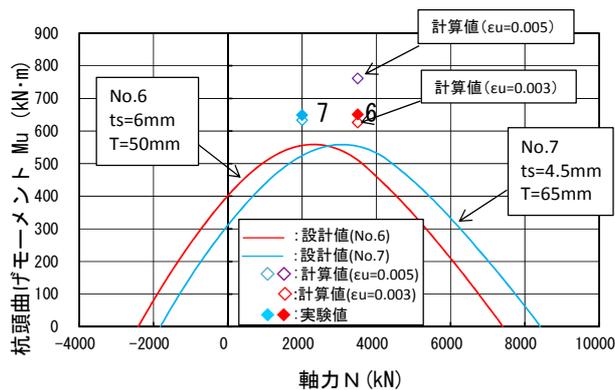


図 6 杭頭曲げモーメント~軸力関係

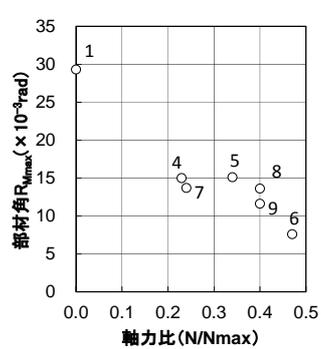
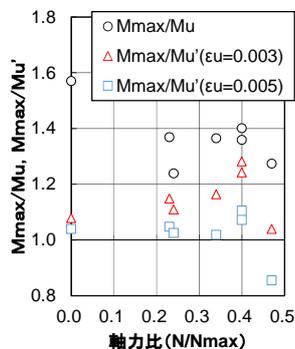


図 7  $M_{max}/M_u, M_u'$  ~ 軸力比関係 図 8 部材角~軸力比関係

図 8 に最大曲げモーメント時の部材角~軸力比関係を示す。軸力無 (No.1) の部材角は, 29.3/1000rad であるが, 軸力有の部材角は, 軸力比が高くなるに従い小さくなる傾向となった。また, No. 8, 9 のように杭中空部に中詰材を打設しても部材角はあまり大きくならなかった。

### 4. おわりに

本論文では, SC 杭の曲げせん断実験方法および試験結果概要について報告を行った。

謝辞をその 6 に示す。

### 参考文献

1) 浅井他 SC 杭の曲げせん断試験, AIJ 大会学術梗概集, pp435-436, 2015