

引張力伝達可能な既製杭用杭頭半固定工法の開発  
その3 杭頭回転ばねモデル

杭頭接合部 曲げ 実験  
回転ばね モデル

正会員 吉松 敏行\*<sup>1</sup> 正会員 村田 義行\*<sup>2</sup>  
正会員 宮田 章\*<sup>3</sup> 大塚 龍一\*<sup>4</sup>  
山中 典幸\*<sup>5</sup> 桑原 義治\*<sup>6</sup>

1. はじめに

著者等が開発した引張軸力伝達可能な既製杭用杭頭半固定接合法<sup>1)</sup>は、図1に示すように杭頭曲げに対して杭頭部のコンクリートの圧縮と引張定着筋の引張で抵抗する。本報では、杭頭回転ばねモデルを提案し、実験結果<sup>2)</sup>との比較検討結果について述べる。

2. 杭頭回転ばねモデル

杭頭回転ばねモデルは、図2に示すように杭頭接合部の曲げモーメント $M_{PT}$ と回転角 $\theta_{PT}$ の関係で表現する。

2.1 初期回転剛性 $K_0$

$K_0$ と杭頭軸力 $N$ の関係は図3に示すように設定する。図中の[A], [B], [C]は凡例に示した応力分布状態を表す。

圧縮軸力時の $K_0$ は、図4に示すようにパイルキャップ内の仮想円柱、コンクリート、杭体の各部分における弾性回転剛性 $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K_p$ を用いて式1で算定する<sup>3)</sup>。

$$K_1 = 1 / (1/K_b + 1/K_c + 1/K_p) \text{ ----- 式 1}$$

ここで、 $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K_p$ は各部分のヤング率に断面二次モーメントを乗じ、長さで除した値である。軸力のない場合の $K_0$ は、最外縁の引張定着筋が降伏する[C]状態の回転剛性 $K_0$ で算定する。平面保持を仮定すると、引張定着筋の平均応力度 $\bar{\sigma}$ は式2となるので、[C]状態の曲げモーメント $M_y$ は式3で得られる。

$$\bar{\sigma} = \sigma_y \cdot 5D / (5D + 8D_c) \text{ ----- 式 2}$$

$$M_y = n_s \cdot a_s \cdot \bar{\sigma} \cdot (7/8)D/2 \text{ ----- 式 3}$$

ここで、 $\sigma_y$ :引張定着筋降伏点(N/mm<sup>2</sup>),  $D$ :杭径(mm),  $D_c$ :引張定着筋配置径(mm),  $n_s$ :引張定着筋本数,  $a_s$ :引張定着筋断面積(mm<sup>2</sup>)である。次に、[C]状態の回転角 $\theta_y$ は、ヒンジ領域を杭径とし<sup>3)</sup>, ヒンジ領域では曲率一定と仮定して<sup>3)</sup>, 式4に示す中立軸位置 $X_n$ を用いて式5に示す曲率 $\phi_y$ を算出し、式6で算定する。

$$X_n = 3 \times \{1 - (7/8)\} \times D/2 = 3/8 \times D/2 \text{ ----- 式 4}$$

$$\phi_y = (\sigma_y / E_s) / \{(5D + 8D_c) / 16\} \text{ ----- 式 5}$$

$$\theta_y = \phi_y \cdot D \text{ ----- 式 6}$$

ここで、 $E_s$ :引張定着筋ヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)である。以上から、[C]状態の $K_0$ は式7の $K_0$ で得られる。

$$K_0 = K_0 = M_y / \theta_y = (35/256) n_s \cdot a_s \cdot E_s \cdot D = (1/8) n_s \cdot a_s \cdot E_s \cdot D \text{ ----- 式 7}$$

引張軸力時の $K_0$ は、引張定着筋が降伏し圧縮縁応力度が0になる[B]状態時の回転剛性 $K_y$ を算出し、軸力範囲に

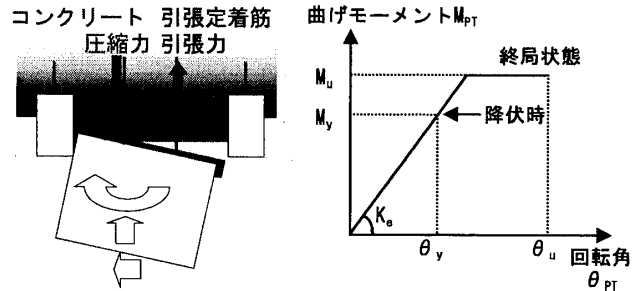


図1 杭頭曲げの伝達 図2 杭頭回転ばねモデル

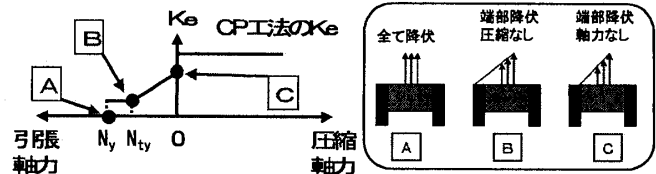


図3 初期回転剛性 $K_0$ と軸力 $N$ の関係

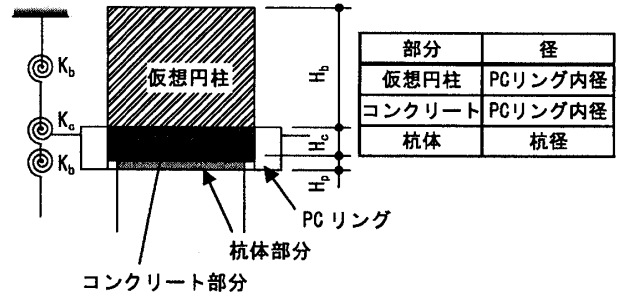


図4 初期回転剛性の算定範囲

応じて式8のように算定する。

$$\left. \begin{aligned} 0 < |N| \leq N_{ty} \text{ 時, } K_0 &= K_0 - (K_0 - K_y) |N| / N_{ty} \text{ ----- 式 8} \\ N_{ty} < |N| \leq N_{ty} \text{ 時, } K_0 &= K_y \end{aligned} \right\}$$

ここで、 $N_y$ は式9,  $N_{ty}$ は式10で計算する。

$$N_y = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y \text{ ----- 式 9}$$

$$N_{ty} = N_y \cdot D / (D + D_c) \text{ ----- 式 10}$$

式8の $K_y$ 算定に当たり、円形に配置された引張定着筋を断面積が等価な円環に置換する。円環の中心径 $dx$ 及び断面係数 $Z$ はそれぞれ式11, 式12で計算する。

$$dx = \{D_c^2 - (4/\pi) n_s \cdot a_s\}^{1/2} \text{ ----- 式 11}$$

$$Z = (\pi/32) \{D_c^4 - (D_c^2 - 4/\pi \cdot n_s \cdot a_s)^2 / D_c\} \text{ ----- 式 12}$$

曲げモーメント $M_{ty}$ 及び曲率 $\phi_{ty}$ はそれぞれ式13, 式14で算定できるので、 $K_y$ は式15で得られる。

$$M_{ty} = \sigma_y \cdot D_c \cdot Z / (D + D_c) \text{ ----- 式 13}$$

$$\phi_{iy} = 2\sigma_y / \{E_s \cdot (D + D_c)\} \text{-----式 14}$$

$$K_y = M_{iy} / \theta_{iy} = D_c \cdot Z \cdot E_s / (2 \cdot D) \text{-----式 15}$$

2.2 最大抵抗曲げモーメント  $M_u$

最大抵抗曲げモーメント  $M_u$  と軸力  $N$  の関係を図 5 に示す。圧縮軸力時は、設計の便を図るため、引張定着筋のない試験体の実験結果に基づいて評価した  $M_c = N \cdot D / 2$  (4), 式 3 で  $\bar{\sigma}$  を  $\sigma_y$  とした式 16 で算定する引張定着筋による曲げ効果の累加強度を適用する。

$$M_r = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y \cdot (7/8)D/2 \text{-----式 16}$$

軸力範囲に応じて、整理すると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \text{圧縮軸力時, } M_u &= M_c + M_r = N \cdot D / 2 + M_r \\ \text{軸力なし時, } M_u &= M_r \\ \text{引張軸力時, } M_u &= M_r (1 - |N|/N_y) \end{aligned} \right\} \text{--式 17}$$

3. 杭頭部の許容曲げモーメント  $M_a$

軸力なしの場合、 $M_a$  は  $M_y$  でよい。引張軸力の場合、 $N$  による低減を  $M_y$  に対して考慮した式 18 で算定する、

$$M_a = M_y (1 - |N|/N_y) \text{-----式 18}$$

圧縮軸力の場合、PCリングに囲まれたコンクリートが拘束されているため、図 6 (a) に示すようにPCリング上端レベルに想定した仮想円柱の平均圧縮応力度がパイルキャップコンクリートの短期許容圧縮応力度  $f_c$  に達した時を  $M_a$  とする。仮想円柱に作用する圧縮力  $N_s$  は、 $M_y$  による付加軸力を  $N$  に加算した式 19 で算定する。

$$N_s = N + M_y / (7/8 \cdot D/2) = N + n_s \cdot a_s \cdot \bar{\sigma} \text{-----式 19}$$

図 6 (b) に示すように仮想円柱を断面積等価矩形 (幅  $b_e = \pi/4 \cdot D_2$ , せい  $h_e$ ) に置き換えて単純化を図ると、圧縮軸力時の  $M_a$  は式 20 となる。

$$M_a = N_s \cdot \{ (D_2 - N_s / (b_e \cdot f_c)) / 2 \} \text{-----式 20}$$

4. 実験結果との比較

杭頭回転ばねモデルと試験結果の比較を図 7 に示す。試験体 No. 1 の負荷荷時及び試験体 No. 2 は、 $M_a$  と引張定着筋降伏時、最大曲げモーメント  $M_{max}$  と  $M_u$  が良く対応している。試験体 No. 1 の正荷荷時は、 $K_a$  が初期剛性とよく対応しているものの、 $M_a$  が降伏時を上回り、 $M_u > M_{max}$  であった。これは、試験体 No. 1 の正荷荷時が杭体損傷で終局に至ったためであり、杭体の終局曲げモーメント 395kN・

m とよく対応している。

5. おわりに

既製杭用杭頭半固定接合部の曲げモーメント一回転角関係を表す杭頭回転ばねモデルを提案した。本モデルは実験結果の曲げモーメントより低い評価値であるが、軸力や杭径によらず概ね評価できていることを確認した。

参考文献

- 1) 宮田他：引張力伝達可能な既製杭用杭頭半固定工法の開発 その1 杭中空部に詰めたコンクリートの押込み試験, AIJ 大会, 構造 I, 2007.8, (投稿中)
- 2) 岡安他：引張力伝達可能な既製杭用杭頭半固定工法の開発 その2 杭頭接合部の曲げせん断実験, AIJ 大会, 構造 I, 2007.8, (投稿中)
- 3) 宮田他：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その3 杭頭回転ばねモデル, 建築学会大会, 構造 I, pp.353-354, 2006.9
- 4) 狩野他：半固定杭頭接合法の開発 その7 杭頭接合部のモデル化, 建築学会大会, 構造 I, pp.639-640, 2003.9

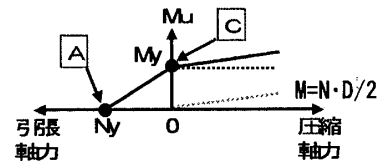
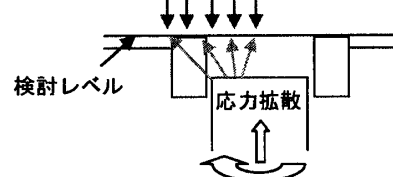
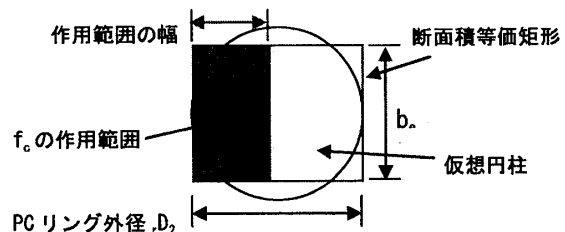


図 5 最大抵抗曲げモーメント  $M_u$  と軸力  $N$  の関係  
パイルキャップコンクリートの短期許容圧縮応力度  $f_c$ 。



(a) 断面と検討レベル



(b) 検討レベル平面

図 6 許容曲げモーメント算定時の応力分布 (圧縮軸力時)

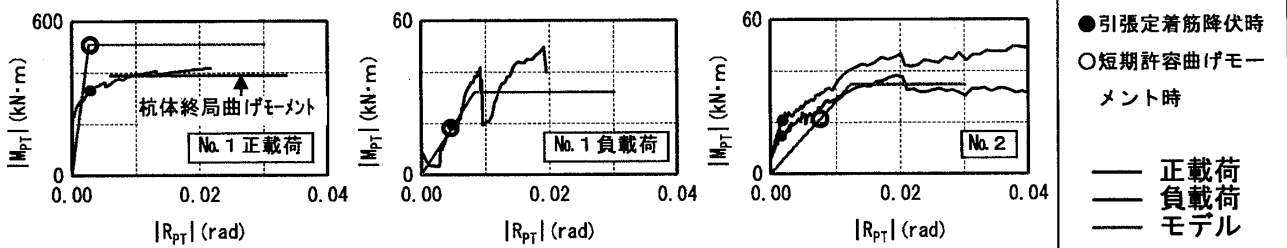


図 7 杭頭回転ばねモデルと試験結果の比較

\*1 鹿島建設 (株) 建築設計本部  
\*2 高周波熱錬 (株)  
\*3 鹿島建設 (株) 技術研究所  
\*4 山崎パイル (株)  
\*5 日本ヒューム (株) 技術部  
\*6 永井工業 (株) 札幌工場 技術部

\*1 Architectural Design Division, Kajima Corporation  
\*2 Neturen Co., Ltd.  
\*3 Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation  
\*4 Yamazaki Pile Co., Ltd.  
\*5 Technical Department, Nippon Hume Corporation  
\*6 Nagai Industry Sapporo Factory Engineering Department