

## 既製コンクリート杭の機械式継手における引張耐力の検証 (その3 梁モデルによる引張有効率)

既製コンクリート杭      機械式継手      引張耐力  
ペアリング ジョイント      トリプル プレート ジョイント

正会員 ○熊谷 雄二\*1      宮坂 怜奈\*1  
全田 和之\*2      正会員 八田 宏志\*2  
正会員 石川 一真\*1,\*2

### 1. はじめに

その2では、日本ヒューム株式会社製の杭径600mmのPHC杭C種同士を継ぐ金具について、引張力を与えた際の降伏荷重を実験的に求めた。しかしパイルメーカーが異なると、PC鋼材の配筋仕様や端部金具の仕様も異なる。また、PHC杭の杭径は300mmから1200mmまであり、杭種もA・B・C種がある。さらに、同様の継手構造をもつ既製コンクリート杭としてPRC杭もある。このため、引張試験結果とFEM解析結果は概ね対応する結果を示すものの、各パイルメーカーの様々な仕様の端部金具の降伏荷重の全てを、FEM解析で推定することは現実的でない。

そこで、端部金具の降伏荷重を表計算ソフトで計算できるように、推定式を構築した。その3では、許容応力度設計法に則り、端板の一部が降伏した時点を短期時と考えて、端部金具の短期許容引張耐力の推定式を示す。

### 2. 推定式の概要

図1は、PHC杭の端板外周に作用した引張力 $P$ が、どのようにPC鋼材へ伝達されるかを模式的に示している。

引張力 $P$ の一部は、補強バンドの絞り部を經由してその下方の補強バンドに伝達される。補強バンドは、縞鋼板や溝付鋼板、もしくはこれらにリング筋を取り付けたものであり、付着力や支圧力によってコンクリートに定着されている。定着によってコンクリートに生じた圧縮力は、圧縮ストラットによりPC鋼材より内側の端板に流れ、PC鋼材に伝達される。この力を補強バンドが伝達する力 $P_b$ とする。

一方、引張力 $P$ は、PC鋼材より外側の端板を經由することによってもPC鋼材へ伝達される。この力を端板が伝達する力 $P_t$ とする。

引張試験で得られた降伏荷重を $P_y$ とし、引張力 $P$ を杭体の短期許容引張耐力 $N_t$ とすると、端部金具の短期許容引張耐力は、下式で表される。

$$P_y = (P_b + P_t) \times \alpha = N_t \times a \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ は後述する実験係数である。 $a \geq 1$ の時、端部金具の短期許容引張耐力は杭体のそれを上回っているが、 $a < 1$ の時は下回っており、この時の $a$ が端部金具の引張有効率である。

### 3. 推定式の詳細

#### 3.1 杭体の短期許容引張耐力 $N_t$

杭体(PHC杭)の短期許容引張耐力は、下式により算出する。

$$N_t = (f_b + \sigma_{ce}) \times A_e \quad (2)$$

ここで、

$N_t$  : PHC杭の短期許容引張耐力

$A_e$  : 換算断面積

$f_b$  : コンクリートの短期許容曲げ引張応力度

$\sigma_{ce}$  : 有効プレストレス

#### 3.2 端板が伝達する力 $P_t$

端板が伝達する力 $P_t$ は以下の計算条件で求める。

- PC鋼材位置の曲げモーメント $M_{pc}$ は、PC鋼材より外側の端板を片持ち梁と考えて求める。(図1に示す端板の曲げモーメント図は、図2に示す鉄骨の埋込み型柱脚の例を参考にした。)
- PC鋼材位置の端板の断面係数 $Z$ は、瓢箪穴の欠損を考慮する。(図3の赤線部分の断面係数とする。)
- 端板に発生した半径方向応力が、端板の短期許容応力度 $\sigma_{sy}$ に達した時を短期時とする。(その2では、端板の降伏ひずみを短期許容曲げ応力度 $((1.5/1.3)F)$ から求めたが、ここでは、短期許容応力度 $(\sigma_{sy}=F)$ を用いる。)

$$M_{pc} = Pt \times \ell \quad (3)$$

$$\sigma_{sy} = M_{pc} / Z \quad (4)$$

$$P_t = \sigma_{sy} \times Z / \ell \quad (5)$$

$$\ell = (D_1 - PCD) / 2 \quad (6)$$

$$Z = \ell_{pc}' \times tt^2 / 6 \quad (7)$$

$$\ell_{pc}' = \ell_{pc} - (\phi 2 / 2 + p + TP / 2) \times N \quad (8)$$

$$\ell_{pc} = PCD \times \pi \quad (9)$$

ここで、

$M_{pc}$  : PC鋼材位置の曲げモーメント

$P_t$  : 端板が伝達する力

$\ell$  : 端板外周からPC鋼材配置位置までの距離

$D_1$  : 端板外径

$PCD$  : PC鋼材の配置直径

$Z$  : PC鋼材位置の端板の断面係数(瓢箪穴の断面欠損を考慮する)

$\sigma_{sy}$  : 端板の短期許容応力度(=F:基準強度)

$\ell_{pc}$  : PC鋼材位置の周長(図3の青線の長さ)

$\ell_{pc}'$  : PC鋼材位置の有効周長(図3の赤線の長さ)

$tt$  : 端板の板厚

$\phi 2$  : 座ぐり径(図4参照)

$p$  : 座ぐり芯~タップ芯の距離(図4参照)

$TP$  : タップ径(図4参照)

$N$  : PC鋼材の本数

### 3.3 補強バンドが伝達する力 $P_b$

補強バンドが伝達する力  $P_b$  は、補強バンドとコンクリートの定着力、絞り部の影響を考慮した断面耐力の最小値とする。なお、紙面の都合により、詳細な推定式の記載は割愛する。

### 3.4 実験係数 $\alpha$

表 1 に、引張試験で用いた端部金具の  $P_b+P_t$  の計算結果を示す。表 2 は、引張試験による実測降伏荷重  $P_y$  と  $P_b+P_t$  との比較である。計算値  $P_b+P_t$  は実測値  $P_y$  を過大評価しているため、実験係数  $\alpha$  として  $(P_b+P_t)/P_y$  の逆数を定めた。 $\alpha$  の値は、PJ が 0.796、TPJ が 0.865 である。

### 3.5 引張有効率 $a$

端部金具の短期許容引張耐力 ( $P_y = (P_b+P_t) \times \alpha$ ) と杭体の短期許容引張耐力  $N_t$  から、引張有効率  $a$  を求めた。これも表 2 に示しており、今回の試験で用いた金具の引張有効率  $a$  は、PJ は 41.0%、TPJ は 53.9% であった。

## 4. 杭体の軸力～曲げモーメント関係への反映

以上に示した推定式により、様々な端部金具の引張有効率を求めることができる。これを、梁モデルによる引張有効率と呼ぶことにする。ここでは、引張有効率  $a$  を考慮した杭体の軸力～曲げモーメント関係について述べる。

図 5 に杭体の軸力～曲げモーメント関係図を示す。 $a \geq 1$  の場合は、杭を継いで使用する時に杭体の短期許容曲げモーメント関係を用いる。 $a < 1$  の場合は、軸力圧縮側は杭体の短期許容曲げモーメント関係を用いるが、引張側はある曲げモーメント時の杭体の短期許容軸力を  $a$  倍した値を、継手部の短期許容軸力として用いる。PHC 杭の場合は、端部金具の短期許容引張耐力③と杭体の短期許容曲げモーメントの切片⑦とを直線で結んだ線となる。

## 5. まとめと今後の課題

- 継手の引張試験は、これまでに数例の実績があったが、杭体が破壊するまで載荷したのは、今回が初めてであった。また、端板のひずみを精度よく測定できたのも初めてだった。
- その結果、継手の終局引張耐力①(図 5 参照 以下同様)が杭体のそれ②を上回っていることを確認できた。その一方で、端板のひずみから定めた継手の短期許容引張耐力③は杭体のそれ④を下回っていた。
- 引張試験結果に基づいて、端部金具の短期許容引張耐力を求める推定式を構築した。
- 継手の曲げ耐力については、曲げ試験によって継手の終局曲げ耐力⑤が杭体のそれ⑥を上回っていることが確認されているが、試験の際に端板のひずみは計測されていない。しかし、試験数が十分にあることと、荷重～変位関係(曲げモーメント～たわみ関係)の評価から、継手の短期許容曲げ耐力は杭体のそれ⑦と同等以上と考えられてきた。今後は、引張耐力についても、試験数を増やすことにより、許容応力度ではなく終局耐力から評価するように改めることを検討する。

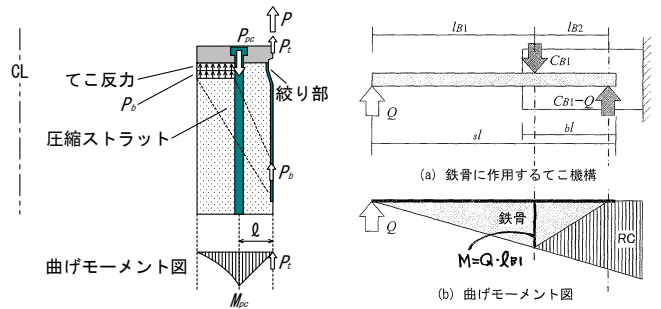


図 1 端板の曲げモーメント図 図 2 鉄骨の埋込み型柱脚<sup>1)</sup>

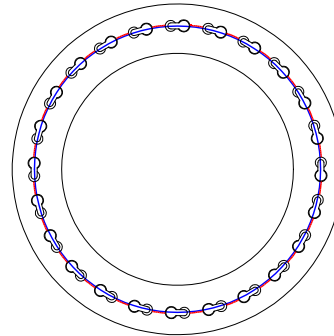


図 3 端板上面図

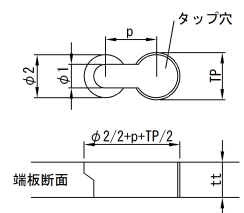


図 4 瓢箪穴詳細図

表 1  $P_b+P_t$  の計算結果

	PJ	TPJ
PCD	520mm	520mm
$l_{oc}$	$520 \times \pi = 1633.6\text{mm}$	$520 \times \pi = 1633.6\text{mm}$
$\phi/2 + p + TP/2$	44.0mm	44.0mm
N	24本	24本
$l_{oc}'$	$1633.6 - 44.0 \times 24 = 577.6\text{mm}$	$1633.6 - 44.0 \times 24 = 577.6\text{mm}$
tt	19.0mm	16.0mm
Z	$577.6 \times 19^2 / 6 = 34754\text{mm}^3$	$577.6 \times 16^2 / 6 = 24645\text{mm}^3$
$l$	$(599 - 520) / 2 = 39.5\text{mm}$	$(599 - 520) / 2 = 39.5\text{mm}$
$P_t$	$235 \times 34754 / 39.5 / 1000 = 206.8\text{kN}$	$235 \times 24645 / 39.5 / 1000 = 146.6\text{kN}$
$P_b$	966kN	1271kN
$P_b+P_t$	$966.0 + 206.8 = 1172.8\text{kN}$	$1271.0 + 146.6 = 1417.6\text{kN}$

表 2  $P_y$  と  $P_b+P_t$  の比較

	端部金具の降伏荷重(kN)		比率 $\frac{P_b+P_t}{P_y}$	実験係数 $\alpha$	杭体の短期許容引張耐力 $N_t$ (kN)	引張有効率 $a$ (%)
	引張試験による 実測値 $P_y$	梁モデルによる 推定値 $P_b+P_t$				
PJ	933	1172	1.256	0.796	2274	41.0
TPJ	1226	1417	1.156	0.865		

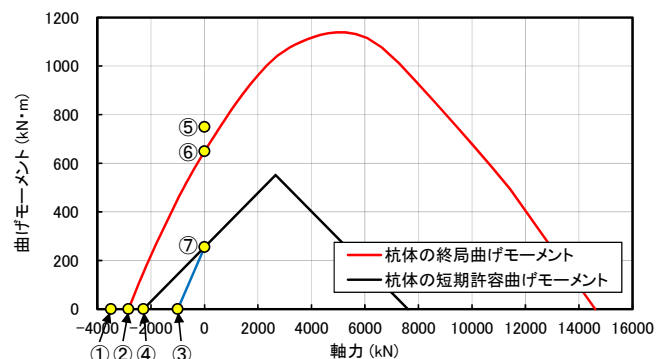


図 5 軸力～曲げモーメント関係の例

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼コンクリート構造接合部の応力伝達と抵抗機構、p.106, 2011.2

\*1 無溶接継手杭(PJ)工業会

\*2 継手研究会

\*1 Pair-ring Joint Association

\*2 Triple Plate Joint Association