

既製コンクリート杭の曲げ変形性能に関する研究
(その3 CPRC 杭の曲げせん断実験概要)

正会員 ○竹森 敬介 同 本間 裕介

CPRC 杭 曲げせん断実験 正負交番載荷
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(以下、COPITA)では、軸力作用下で既製コンクリート杭(以下、既製杭)の曲げ耐力および変形性能を確認するため、片持ち梁方式で曲げせん断実験を実施した¹⁾²⁾。本論文では、試験体としてCPRC杭を用いた場合の実験方法概要と曲げ耐力結果について報告する。

2. 試験体および加力装置概要

CPRC杭とは、COPITAが仕様を統一した高強度プレストレスト鉄筋コンクリート杭(PCRC杭)で、図1に示す通り、軸方向鋼材としてPC鋼棒と異形棒鋼が配置されている。また、せん断耐力向上のため、道路橋示方書IV³⁾に規定されるスパイラル鉄筋の体積比(ρ_s)とスパイラル鉄筋の降伏点(σ_y)の積 $\rho_s \cdot \sigma_y \geq 2.45$ を満足するようにスパイラル筋も配置した既製杭である。杭径は $\phi 300\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ 、杭体内に配置するPC鋼棒は杭径ごとに規格化されており、異形棒鋼(D13~D29)は杭種(I種~VI種)ごとに規格化されている。試験体は、杭径 $\phi 400\text{mm}$ (PC鋼棒: $\phi 10\text{mm}$ -8本)のCPRC杭I種(D13)、II種(D16)およびIV種(D22)である。図2に試験体の設置状況および曲率計測用変位計設置位置を示す。変位計は5断面に設置し、加力点は基礎スタブ上端面(杭頭部)から1200mmの位置とした。試験体と鋼製スタブとの接合は、鋼製スタブに設置した内径 $\phi 432\text{mm}$ の鋼管に試験体を差し込み、試験体と鋼管との隙間にグラウトを充填する方法とした。加力方法は、正負交番で部材角1.25, 2.5, 5.0, 7.5, 10, 15, 20, 30, ($1/1000\text{rad}$)をそれぞれ2回ずつ繰返し載荷し、試験体の曲げ耐力が低下して破壊に至るまで載荷した。

3. 実験ケース

実験ケースは表1に示す6ケースである。No.1・No.2・No.3で軸力による影響を確認し、No.2・No.5, No.3・No.4で鉄筋量(配置異形棒鋼径)による影響を確認した。No.3・No.6では、試験体中空部に中詰めコンクリート(材齢16日: $\sigma_{ck}=22.8\text{N/mm}^2$)を打設したことによる影響を確認した。導入軸力は設計モーメント-軸力関係図(M-N図)で最大曲げモーメントを示す付近の軸力を考慮し、2000kN(軸力比:0.26程度)および3000kN(軸力比:0.40程度)とした。表2に試験体に関する設計値および実測値を示す。

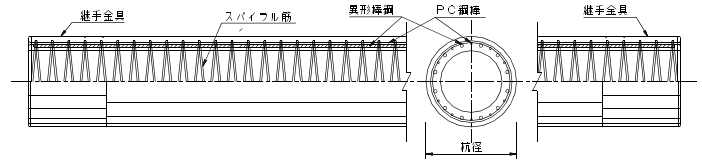


図1 CPRC杭構造図

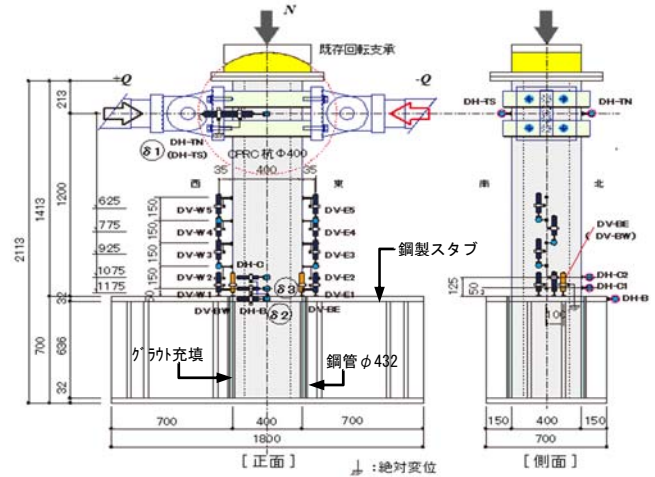


図2 試験体設置状況図

表1 実験ケース一覧表

| 実験ケース No. | 杭径 (mm) | 壁厚 (mm) | 杭種 | 中詰めコンクリート | PC鋼棒 | | | 異形棒鋼 | | | 軸力 N (kN) | 軸力比 |
|-----------|---------|---------|----|-----------|-----------|----|---------|------|----|---------|-----------|------|
| | | | | | 径 | 本数 | 鋼材比 (%) | 径 | 本数 | 鋼材比 (%) | | |
| 1 | 400 | 65 | II | 無 | $\phi 10$ | 8 | 0.92 | D16 | 8 | 2.32 | 0 | 0.00 |
| 2 | 400 | 65 | II | 無 | $\phi 10$ | 8 | 0.92 | D16 | 8 | 2.32 | 2000 | 0.27 |
| 3 | 400 | 65 | II | 無 | $\phi 10$ | 8 | 0.92 | D16 | 8 | 2.32 | 3000 | 0.40 |
| 4 | 400 | 65 | I | 無 | $\phi 10$ | 8 | 0.92 | D13 | 8 | 1.48 | 3000 | 0.41 |
| 5 | 400 | 65 | IV | 無 | $\phi 10$ | 8 | 0.92 | D22 | 8 | 4.53 | 2000 | 0.26 |
| 6 | 400 | 65 | II | 有 | $\phi 10$ | 8 | 0.92 | D16 | 8 | 2.32 | 3000 | 0.40 |

表2 試験体の設計値および実測値一覧表

| 実験ケース No. | 設計値 | | | | | | 実測値 | | | | | | | | |
|-----------|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| | コンクリート | | | PC鋼棒 | | | コンクリート | | | PC鋼棒 (ミルシート) | | | 異形棒鋼 (ミルシート) | | |
| | 壁厚 | 圧縮強度 | ヤング係数 | 降伏強度 | 引張強さ | 降伏強度 | 壁厚 | 圧縮強度 | ヤング係数 | 降伏強度 | 引張強さ | ヤング係数 | 降伏強度 | 引張強さ | ヤング係数 |
| | T (mm) | Fc (N/mm ²) | Ec (N/mm ²) | σ_{pcy} (N/mm ²) | σ_{pcu} (N/mm ²) | σ_{dy} (N/mm ²) | | T (mm) | Fc (N/mm ²) | Ec (N/mm ²) | σ_{pcy} (N/mm ²) | σ_{pcu} (N/mm ²) | Epc (N/mm ²) | σ_{dy} (N/mm ²) | Ed (N/mm ²) |
| 1 | 65 | 105 | 40000 | 1275 | 1420 | 345 | 75.3 | 117.0 | 47949 | 1461 | 1489 | 200000 | 394 | 200000 | |
| 2 | 65 | 105 | 40000 | 1275 | 1420 | 345 | 75.6 | 113.6 | 47353 | 1461 | 1489 | 200000 | 394 | 200000 | |
| 3 | 65 | 105 | 40000 | 1275 | 1420 | 345 | 76.3 | 120.6 | 48578 | 1461 | 1489 | 200000 | 394 | 200000 | |
| 4 | 65 | 105 | 40000 | 1275 | 1420 | 345 | 75.0 | 119.7 | 50692 | 1461 | 1489 | 200000 | 385 | 200000 | |
| 5 | 65 | 105 | 40000 | 1275 | 1420 | 345 | 78.0 | 118.7 | 47183 | 1461 | 1489 | 200000 | 389 | 200000 | |
| 6 | 65 | 105 | 40000 | 1275 | 1420 | 345 | 76.5 | 120.7 | 48851 | 1461 | 1489 | 200000 | 394 | 200000 | |

4. 最大モーメントの計算仮定

CPRC 杭の断面は最大モーメントに至るまで平面保持するものとして計算する。同一円周上に均等に配置されたPC 鋼棒は等断面積の薄肉鋼管とみなす。また、計算に用いるコンクリート、PC 鋼棒および異形棒鋼の応力-ひずみ曲線を図3、図4および図5に示す。最大モーメントの計算仮定は、圧縮側最外縁のコンクリートの圧縮ひずみが0.0035に達した時、または、PC 鋼材の引張ひずみが0.05に達した時とする。

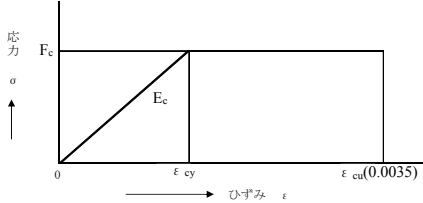


図3 コンクリートの応力度-ひずみ曲線

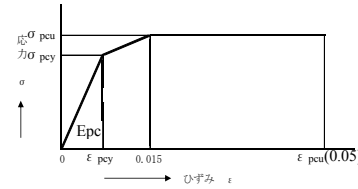


図4 PC 鋼棒の応力度-ひずみ曲線

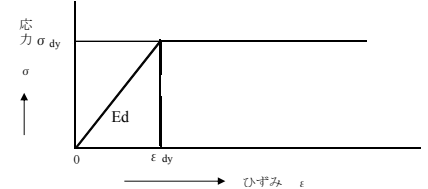


図5 異形棒鋼の応力度-ひずみ曲線

参考文献

- 1) 浅井他 SC 杭の曲げせん断試験, AIJ 大会学術講演梗概集, pp435-436, 2015
- 2) 長澤他, 石川他 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, その2), AIJ 大会学術講演梗概集 2016 投稿中
- 3) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成24年3月 社団法人日本道路協会

5. 最大モーメントの比較検討

表2の設計値を用いて算出した最大モーメントを設計値 (M_u), 実測値を用いて算出した最大モーメントを計算値 (M_u') とし, それぞれの算出結果と実験値 (M_{max}) およびその比率 ($M_{max}/M_u, M_{max}/M_u'$) を表3に示す。

表3 最大モーメント一覧表

| 実験 ケース No. | 杭種 | 軸力比 | 設計値 M_u (kN・m) | 計算値 M_u' (kN・m) | 実験値 M_{max} (kN・m) | 比率 M_{max}/M_u (kN・m) | 比率 M_{max}/M_u' (kN・m) | 破壊 形式 |
|------------------|----|------|------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | II | 0.00 | 224.5 | 247.6 | 264 | 1.18 | 1.07 | 曲げ |
| 2 | II | 0.27 | 400.8 | 450.7 | 571 | 1.42 | 1.27 | 曲げ |
| 3 | II | 0.40 | 403.2 | 503.9 | 584 | 1.45 | 1.16 | 曲げ |
| 4 | I | 0.41 | 392.0 | 486.8 | 720 | 1.48 | 1.48 | せん断 |
| 5 | IV | 0.26 | 442.9 | 510.6 | 549 | 1.24 | 1.08 | 曲げ |
| 6 | II | 0.40 | 403.2 | 505.3 | 600 | 1.49 | 1.19 | 曲げ |

※No.6の設計値および計算値は、中詰めコンクリートを無視して算出した。

図6、図7および図8は、杭種ごとの設計 M-N 図に計算値および実験値をプロットした図である。設計値 (M_u) に対する実験値 (M_{max}) の比率は 1.18~1.49 で、計算値 (M_u') に対する実験値 (M_{max}) の比率は 1.07~1.48 であった。M-N 図の設計最大破壊モーメントを示す付近の軸力 (2000kN および 3000kN) でも設計値および計算値以上の実験値を得られた。また、No.1・No.2・No.3 の軸力 0 kN 時と、2000kN および 3000kN の高軸力時を比較すると、高軸力時で比率が大きくなる傾向がある。No.4 は、想定以上に曲げ耐力を有していたことから、破壊モードは他のケースとは異なり、せん断破壊であった。No.3・No.6 の比較より、中詰めコンクリートの充填で実験値 (M_{max}) は大きくはなかったが、SC 杭ほどの曲げ耐力向上効果は確認できなかった。これは、外殻鋼管の有無によるコンクリート拘束効果に起因するものと考えられる。

6. おわりに

本論文では、CPRC 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。

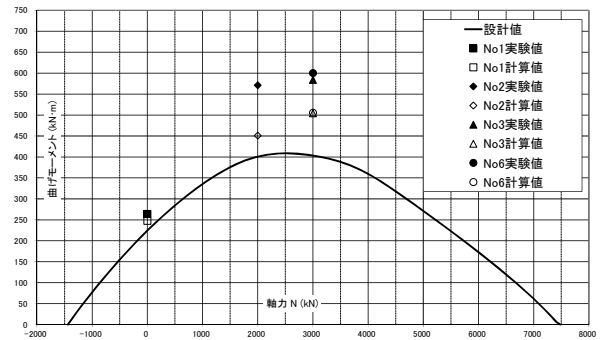


図6 CPRC 杭II種 M-N 図 (No.1・No.2・No.3・No.6)

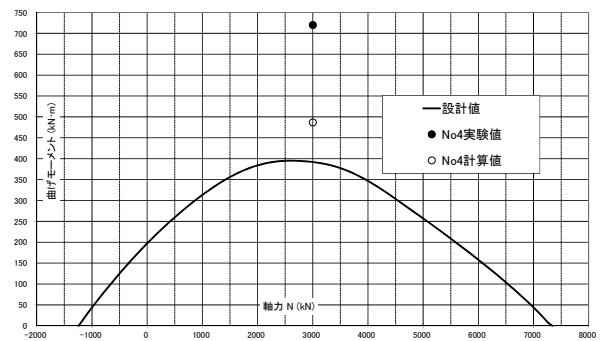


図7 CPRC 杭I種 M-N 図 (No.4)

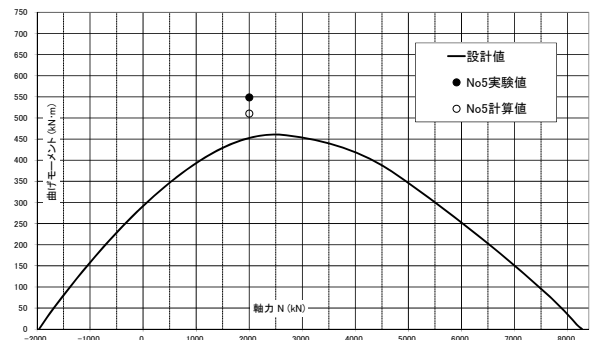


図8 CPRC 杭IV種 M-N 図 (No.5)