

既製コンクリート杭の杭頭半剛接合法の損傷限界に関する検討

正会員 青島一樹*
同 小林治男**
同 安達俊夫***

杭頭接合部 半剛接合 杭基礎
PHC杭 パイルキャップ 耐震設計

1. はじめに

筆者らは、既製コンクリート杭の杭頭半剛接合法である改良型簡易接合法を考案し、杭頭の回転性状を実験的に明らかにすると共に、そのモデル化手法を提案している¹⁾。本報では、改良型簡易接合法の損傷限界の評価手法に関する検討結果を示す。

2. 改良型簡易接合法の回転機構

図1(a)に改良型簡易接合法の概要を示す。補強鉄筋を用いずに、杭頭をパイルキャップへ100mm程度根入れし、根入れした杭頭の外周部と基礎コンクリートおよび捨てコンクリートとの境界面にテーパ状の空隙を設けたものである。図1(b)に改良型簡易接合法の杭頭部が回転した状態を模式的に示す。引張側の杭端部が浮き上がりを生じると共に、押し込み側の杭端部はパイルキャップにめり込みが生じるものと考えられる。この場合、パイルキャップと杭頭圧縮縁には軸力が局部的に作用する。

3. 改良型簡易接合法の損傷状況

前報¹⁾では、杭種とへりあき、および軸力をパラメータとし、杭頭の曲げモーメントと回転角の関係、および杭頭接合部の損傷状況を照査している。表1に、前報¹⁾で実施した実験について、損傷状況と損傷発生時の加力条件(杭頭の軸力と回転角、曲げモーメント)を示す。図2にNo.3とNo.4の最終ひび割れ状況を示す。改良型簡易接合法の損傷は、支圧応力によるパイルキャップのひび割れ、および杭頭圧縮縁におけるひび割れに分けられる。パイルキャップについては、軸力と回転角およびへりあき寸法に損傷状況が依存しており、へりあき500mmの試験体(No.1,2)では、最大加力条件(軸力:2000kN, 回転角 $60 \times 10^{-3} \text{rad}$)においてもひび割れが生じていない。へりあき200~300mmの試験体(No.3,4,5)では、表1に示した加力条件において、パイルキャップに初期ひび割れが発生した。杭頭の損傷に関しては、高軸力かつ大回転(軸力2500kN以上, 回転角 $25 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上)が生じた際に杭頭圧縮縁にひび割れが発生したが、軸力2000kN以下では $60 \times 10^{-3} \text{rad}$ の回転に対しても損傷が生じていない。また、いずれの加力条件についても、軸力保持能力の低下は生じていない。

3. 杭頭接合部の損傷限界の評価

3.1. パイルキャップの損傷限界評価法

杭頭とパイルキャップの接触面積(支圧面積)は、杭頭の回転に応じて減少する。これに伴い、軸力が上昇し、支圧強度に達した場合に損傷が生じると考えられる。

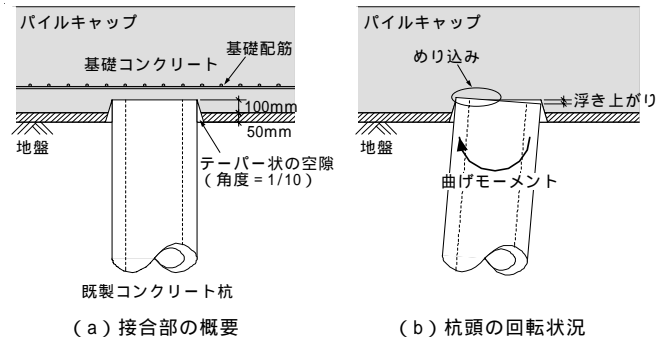


図1 改良型簡易接合法の概要

表1 損傷状況と損傷発生時の加力条件

試験体	杭種	Fc	パイルキャップ		損傷状況	損傷時の加力条件		
			へりあき (mm)	コンクリート強度 (N/mm ²)		軸力 (kN)	回転角 ($\times 10^{-3} \text{rad}$)	曲げモーメント (kN·m)
No.1	600 PHC杭-C種	85	500	33.4	杭、パイルキャップとも損傷無し	-	-	-
No.2	600 SC杭-C種	80	500	30.7	杭、パイルキャップとも損傷無し	-	-	-
No.3	600 PHC杭-C種	85	300	26.5	パイルキャップに初期ひび割れ 杭の圧縮縁に初期ひび割れ	2532	20.7	663.6
						2522	-24.0	-639.5
						2522	-25.9	-639.5
						2522	31.0	653.5
No.4	600 PHC杭-C種	85	200	25.7	パイルキャップに初期ひび割れ 杭の圧縮縁に初期ひび割れ	1021	30.8	295.9
						1020	-31.5	-302.2
						2535	27.8	675.5
						2523	-29.1	-652.9
No.5	600 PHC杭-C種	85	200	28.1	パイルキャップに初期ひび割れ	1954	18.1	522.0
						2449	-17.1	-589.5

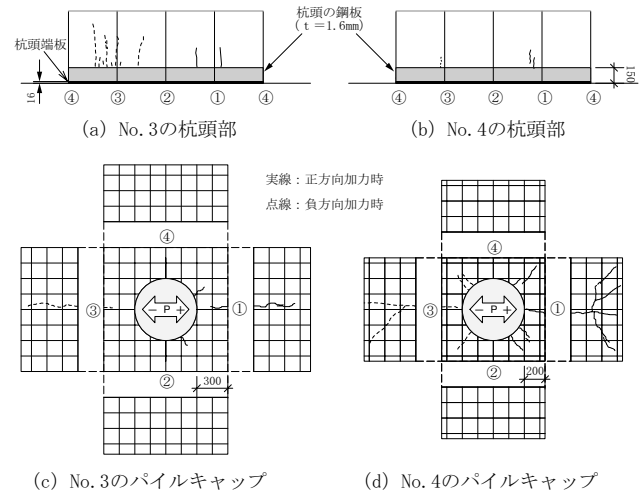


図2 No.3とNo.4の最終ひび割れ状況

本報では、平面保持を仮定した断面解析により、杭頭接合面の軸応力と支圧強度を評価する。具体的には、任意の軸力に対して、接触面の縁応力が支圧強度に達する際の曲げモーメントを算定する。この際、支圧強度は、支圧面積に対する支圧面積の減少に応じて上昇することが知られて

おり、多数の評価式が提案されている²⁾。本報では、式(1)を用いて支圧強度を算定する。ここで、支圧面積については、接触面の形状に関わらず接触面積に等しいとし、杭頭圧縮縁から中立軸位置 x_n までの面積とする²⁾。また、支圧面積については、偏心载荷の影響を考慮して、式(2)により有効支圧面積を算定する²⁾。

$$F_{ce} = \phi_c \cdot F_c \quad (1)$$

ここで、
 F_{ce} : 支圧を考慮したコンクリート強度 (N/mm²)
 F_c : シリンダーコンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
 ϕ_c : 支圧係数、 $\phi_c = \sqrt{A_e / A_0}$
 A_e : 有効支圧面積 (mm²)、 A_0 : 支圧面積 (mm²)

$$A_e = a' \times b \quad (2)$$

a, b : パイルキャップ寸法 (mm)
 a' : 偏心荷重による有効幅 (mm)
 $a' = x_n + 2h$
 x_n : 圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)
 h : へりあき (mm)

コンクリートの材料非線形性は、式(3)を用いてモデル化する²⁾。この際、支圧効果によるコンクリートの強度上昇と破壊ひずみを支圧係数を用いて評価する。

$$\sigma = \eta \cdot F_{ce} \quad (3)$$

ここで、
 σ : コンクリートの軸応力 (N/mm²)
 $\eta = 6.75(e^{-0.812\xi} - e^{-1.218\xi})$
 $\xi = \varepsilon / \varepsilon_{0e}$
 ε : コンクリートの軸ひずみ
 $\varepsilon_{0e} = \phi_c \cdot \varepsilon_0$
 ε_{0e} : 支圧を考慮したコンクリートの破壊ひずみ
 ε_0 : シリンダーコンクリートの破壊ひずみ

3.2. 杭頭の損傷限界評価法

杭体コンクリートの縁応力が、損傷限界応力に達する際の曲げモーメントをパイルキャップと同様の断面解析手法によって評価する。ただし、既製コンクリート杭の頭部には、鋼製の端板が設置されているため、杭頭接合部の軸応力は、端板による応力分散を経て杭体コンクリートへ伝達される。本報では、端板による応力分散角度を45度として評価する。図3(a)に杭頭端板による応力分散効果を示す。また、PHC杭の杭頭部は、補強バンドと呼ばれる鋼板によって外周部が拘束されており、局部的には強度上昇が期待できる。本報では、中立軸位置が杭の肉厚よりも小さい場合に限り、(1)式を用いた強度上昇を考慮することとした。図3(b)に圧縮縁での支圧効果を模式的に示す。

4. 解析値と実験値の比較

表2と表3にパイルキャップおよび杭頭の損傷限界に関する解析結果を示す。解析値に対する実験値の比率は、パイルキャップが0.97~1.06倍、杭頭が1.02~1.07で

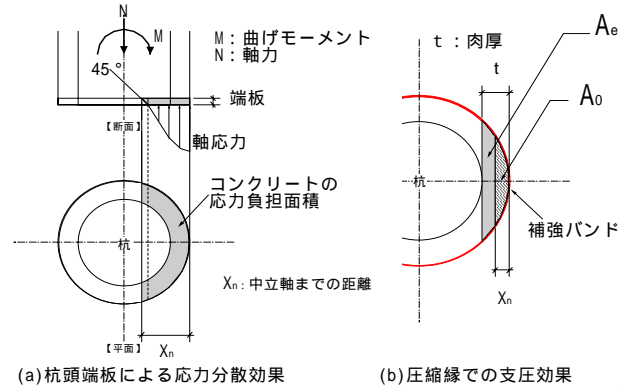


図3 杭頭部の応力分散と支圧効果

表2 パイルキャップの損傷限界に関する解析結果

試験体	軸力	実験値	解析値	実験/解析
	N(kN)	Me(kN·m)	Mc(kN·m)	
No.3	2532	664	648	1.02
	2522	640	647	0.99
No.4	1021	296	285	1.04
	1020	302	285	1.06
No.5	1954	522	506	1.03
	2449	590	607	0.97

表3 杭頭の損傷限界に関する解析結果

試験体	軸力	実験値	解析値	実験/解析
	N(kN)	Me(kN·m)	Mc(kN·m)	
No.4	2522	640	626	1.02
	2522	653	626	1.04
No.5	2535	676	629	1.07
	2523	653	626	1.04

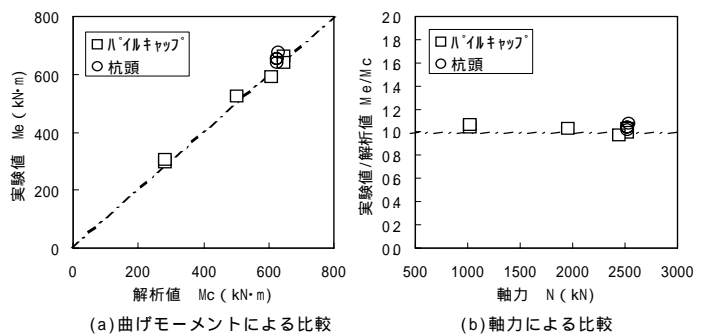


図4 損傷限界に関する解析値と実験値の比較

あり、いずれも良い対応を示している。図4(a),(b)に解析値と実験値の比較を示す。同図から、本評価手法は、曲げモーメントと軸力の大きさによらず、実験値を評価できることが分かる。

5. まとめ

本報では、杭頭半剛接合法の損傷限界を支圧を考慮した断面解析により適切に評価できる可能性を示した。

[参考文献]

- 1) 青島一樹, 島田博志, 小室 努: 改良型簡易接合法を採用した既製コンクリート杭頭部の力学性状, 日本建築学会構造系論文集, 第607号, pp125-132, 2006.9
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, pp3-4, pp90-100, 1987.9

* 大成建設(株) 技術センター
 ** 大成建設(株) 設計本部
 *** 日本大学理工学部 教授・工博

* Technology Center, Taisei Corporation
 ** Design Division, Taisei Corporation
 *** Prof. College of Science & Technology, Nihon Univ, Dr. Eng