

高軸力下における杭頭半剛接合法の構造性能に関する研究  
(その3 パイルキャップの耐力評価)

正会員 小林治男\*\*  
同 青島一樹\*  
同 堀井良浩\*  
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

その1, 2で述べた構造実験によって、高軸力下においては、改良型簡易接合法を採用した杭頭の最大曲げモーメント  $M_{max}$  は、最大偏心モーメント  $M_e$  に達しないことが判明した。その3では、 $M_{max}$  の評価手法について述べる。

2. 最大曲げモーメントの評価式

表1に今回の実験で得られた最大曲げモーメント  $M_{max}$  と最大偏心モーメント  $M_e$  の一覧を示す。同表から、軸応力が15N/mm<sup>2</sup>以下では、 $M_{max}$  は  $M_e$  とほぼ一致するが、20N/mm<sup>2</sup>以上の軸応力では、 $M_{max}/M_e$  が軸応力の増加に応じて低下することがわかる。また、この低下傾向は、パイルキャップが大きく損傷したF1(H/D=0.5, H:へりあき, D:杭径)において顕著 ( $M_{max}/M_e=0.59 \sim 0.91$ ) であるが、損傷の少ないF3(H/D=1.0)においても認められる ( $M_{max}/M_e=0.81 \sim 0.93$ )。

図1に  $M_{max}/M_e$  と軸応力比 ( $\sigma_n/\sigma_B$ ,  $\sigma_B$ :コンクリート強度) の関係を示す。同図には、既報<sup>1)</sup>で実施した杭径600mmの実験結果を併記した。実験データは、杭径が300mmと600mm, へりあき比が0.33~1.0, 軸応力比が0.11~1.62, パイルキャップのコンクリート強度が25.7~41.7N/mm<sup>2</sup>の28データである。このうちNo.2とNo.3については、パイルキャップの損傷により耐力低下が生じている。図中にて、耐力低下が生じていない26データについて、最小二乗法による一次回帰を行った。回帰直線の相関係数は、0.898であり良い相関がみられる。 $M_{max}/M_e$  は、パイルキャップの変形に伴う幾何学的な要因、および支圧やひび割れの影響を受ける複雑な材料非線形性に依存すると考えられるが、パイルキャップに耐力低下を伴う損傷が生じないことを条件とすれば、 $M_{max}$  は、式(1)によって簡便に評価できる。

$$M_{max} = \alpha \cdot M_e \tag{1}$$

ここで、

- $\alpha$ : 実験による低減係数,  $\alpha = -0.16\sigma_n/\sigma_B + 1.01$  , ただし,  $\alpha \geq 1.0$
- $\sigma_n$ : 軸応力 (N/mm<sup>2</sup>)  $\sigma_B$ : コンクリート強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_e$ : 最大偏心モーメント,  $M_e = 0.5ND$  (kN·m)
- N: 軸力 (kN) D: 杭径 (m)

3. 評価式の適用条件の検討

3.1 検討方法

ここでは、パイルキャップが損傷しない条件について検討を行う。本論では、平面保持を仮定したパイルキャップ接合面の断面解析により検討を行う。具体的に

表1  $M_{max}$  と  $M_e$  の一覧

No.	試験体	軸応力	最大曲げモーメント	最大偏心モーメント	$M_{max}/M_e$	
		H/D	$\sigma_n$ (N/mm <sup>2</sup> )	$M_{max}$ (kN·m)		$M_e$ (kN·m)
1	F1 H/D=0.5		20	123.0	135.5	0.91
2			40	196.2	272.9	0.72
3			60	239.4	407.1	0.59
4	F2 H/D=0.75		20	128.5	136.7	0.94
5			40	226.8	271.1	0.84
6			60	310.8	407.9	0.76
7	F3 H/D=1.0		5	36.1	34.4	1.05
			10	68.9	68.7	1.00
			15	100.7	102.0	0.99
8			20	128.0	137.1	0.93
9			40	231.0	271.5	0.85
			60	330.6	407.3	0.81

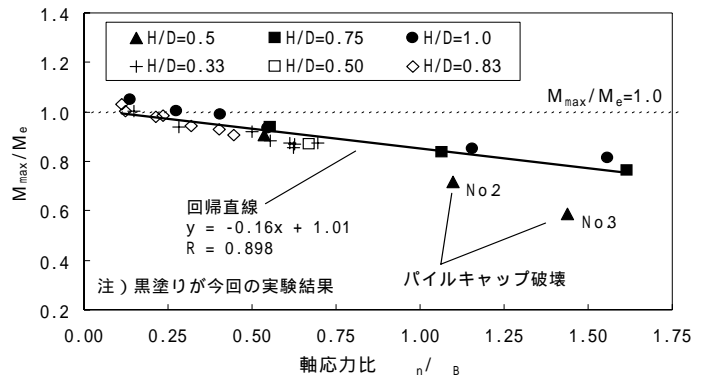


図1  $M_{max}/M_e \sim \sigma_n/\sigma_B$  関係

は、任意の軸力に対して杭頭接触面の縁応力が支圧強度に達した時に損傷が生じると仮定し、この際の曲げモーメント  $M_c$  を算定する。接触面の縁応力は、杭頭の回転に応じた支圧面積(接触面積)の減少とともに上昇する。一方、支圧強度も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<sup>2)</sup>。ここでは、最も一般的な式(2)を用いて支圧強度を算定する。

$$\sigma_{cB} = \phi_c \cdot \sigma_B \tag{2}$$

ここで、

- $\sigma_{cB}$ : 支圧を考慮したコンクリート強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_B$ : コンクリート強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\phi_c$ : 支圧係数,  $\phi_c = \sqrt{A_e/A_0}$
- $A_e$ : 有効支圧面積 (mm<sup>2</sup>),  $A_0$ : 支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

この際、支圧面積  $A_0$  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<sup>2)</sup>。また、支圧面積  $A_e$  については、パ

イルキャップの全面積 ( $a \times b$ ) を有効とした場合、および偏心荷の影響を考慮した式 (3) による支承面積<sup>2)</sup>を用いた場合について比較検討する (図2 参照)。コンクリートの材料非線形性 (  $\sigma - \epsilon$  関係 ) については、図3に例示するように圧縮強度試験で得られた応力 - ひずみ曲線に支圧係数  $\phi_c$  を乗じて用いた<sup>3)</sup>。

$$A_e = a' \times b \quad (3)$$

ここで、

- $a, b$ : 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)
- $H$ : へりあき寸法 (mm)

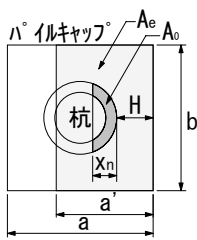


図2 支圧面積と支承面積

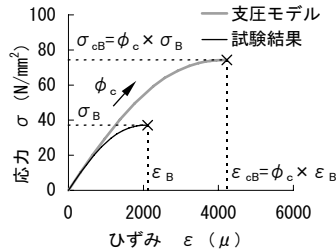


図3  $\sigma - \epsilon$  関係の概要

### 3.2 検討結果

図4に解析によって得られた  $M_c \sim \sigma_n$  関係を示す。同図 (a) は、支承面積をパイルキャップの全面積有効とした場合の結果である。同図 (b) は、偏心荷の影響を考慮して、支承面積を式 (3) によって求めた結果である。両図には、実験によって得られた構造ひび割れ発生時の曲げモーメント  $M_c$  を併記した。図中において、白抜きのプロットは構造ひび割れが発生しなかったことを示しており、実験における最大値をプロットした。表2に解析結果と実験結果の比較を示す。 $M_c / aM_{c1}$  と  $M_c$  の対応は、偏心荷の影響を考慮した場合に比較して、支承面積を全面積有効とした場合の方が良好 ( $M_c / aM_{c1} = 0.95 \sim 1.21$ ) である。一方、偏心荷の影響を考慮した場合、解析値は実験値を過小評価 ( $M_c / aM_{c2} = 1.04 \sim 1.46$ ) するが、設計的には安全側の結果が得られている。また、 $\sigma_n = 20 \text{ N/mm}^2$  未満の実験では、 $aM_c$  を超える曲げモーメントを与えているが、構造ひび割れは発生していない。構造ひび割れ発生時の曲げモーメントを精度良く評価するためには、より多くの実験データが必要と思われるが、偏心荷の影響を考慮した本解析手法によって、少なくともパイルキャップに耐力低下を伴う損傷が生じない条件を確保できるものと考えられる。

### 4. まとめ

近年普及が進む高支持力杭に杭頭半剛接合法の1つである改良型簡易接合法を採用した際の構造性能を実験的に検討し、以下の結論を得た。

- \* 大成建設㈱ 技術センター
- \*\* 大成建設㈱ 設計本部
- \*\*\* 日本大学理工学部 教授・工博

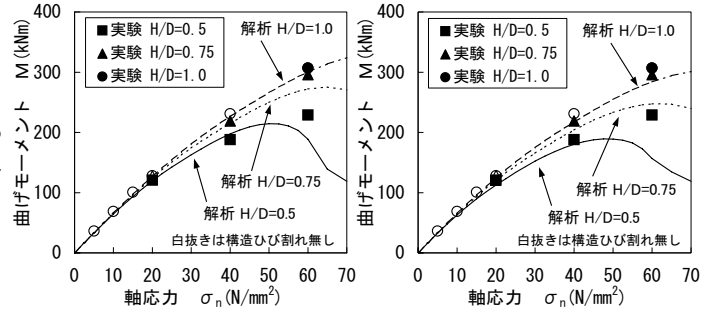


図4  $M_c \sim \sigma_n$  関係の解析結果

表2  $M_c$  と  $aM_{c1}, c_1$

試験体	軸応力 $\sigma_n$ (N/mm <sup>2</sup> )	実験 $M_c$ (kN·m)	解析		
			$aM_{c1}$ (kN·m)	$c_1$	$aM_{c2}$ (kN·m)
F1 H/D=0.5	20	120.6	119.6 (1.01)	8.07	112.8 (1.07)
	40	188.0	197.4 (0.95)	4.70	180.2 (1.04)
	60	228.9	188.7 (1.21)	3.27	156.8 (1.46)
F2 H/D=0.75	40	219.1	215.1 (1.02)	6.92	204.1 (1.07)
	60	295.7	272.1 (1.09)	5.33	247.5 (1.19)
F3 H/D=1.0	60	306.8	300.2 (1.02)	7.26	284.0 (1.08)

$aM_{c1}$ ,  $c_1$ : 支承面積を全面積有効,  $aM_{c2}$ ,  $c_2$ : 支承面積を式(3)で算定  
カッコ内の数値は、解析値に対する実験値の比率

- (1) 改良型簡易接合法を採用した杭頭接合部の最大曲げモーメント  $M_{max}$  は、低軸力下においては最大偏心モーメント  $M_e$  にほぼ一致するが、高軸力下においては  $M_e$  に達しない。パイルキャップに耐力低下を伴う損傷が生じないことを条件とすれば、 $M_{max} / M_e$  と軸応力比 ( $\sigma_n / \sigma_B$ ) の関係には良い相関が得られる。このことから、 $M_e$  と  $\sigma_n / \sigma_B$  をパラメータとした  $M_{max}$  の評価式を提案した。
- (2) 上記評価式の適用条件として、パイルキャップの寸法、コンクリート強度、杭径、軸力をパラメータとしたパイルキャップ接合面の断面解析手法を提案した。本解析手法に偏心荷の影響を考慮した支圧係数を導入することによって、パイルキャップに耐力低下を伴う損傷が生じないことを示した。

### 5. おわりに

本論その1~3では、シリーズ1の実験結果について報告した。シリーズ2の実験結果については、別の機会に報告する予定である。

### [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杭頭部の力学性状, 日本建築学会構造系論文集 第607号, pp.125-132, 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, pp.3-4, pp.90-100, 1987.9
- 3) 今井和正, 是永健好, 瀧口克己: りり込みを考慮したRC部材端部の回転変形解析法, 日本建築学会構造系論文集 第562号, pp.99-105, 2002.12

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