

# 場所打ちコンクリート杭の杭頭半剛接合に関する研究 －杭頭接合部の曲げ性能－

安藤建設(株) ○田畑 卓

## 1. はじめに

前報[1]では場所打ちコンクリート杭を対象とする杭頭半剛接合工法の工法概要と実験結果を示し、杭頭接合部の  $M-\phi$  関係が断面曲げ解析によって概ね評価できることを報告した。

本報では前報[1]に引き続き杭頭接合部の  $M-\theta$  関係を検討するとともに、本工法を適用した杭基礎の試設計を行いその有用性を示す。

## 2. 杭頭接合部の曲げ特性

本工法は杭頭部を凸型に成型し、その曲げ剛性を低減することで、杭頭曲げモーメントの低減を図ったものである(図1参照)。すなわち、杭の応力や変形性状は、杭頭部の曲げ剛性と密接に関係するため、その適用にあたっては杭頭接合部の曲げ特性を適切に考慮した評価モデルの構築が不可欠となる。

本工法による杭頭部の曲げ変形は、前報[1]の実験結果によれば、その殆どが接合面(凸部上面)で生じている。このことは、芯鉄筋の抜け出しやコンクリートのめり込みによる影響が大きく、従って、曲げモーメント分布に従って曲率を材軸方向に積分する方法は、適切な評価を与えることができない。杭頭部の曲げ特性は、接合面の局所変形として  $M-\theta$  関係で表現するのが妥当といえる。

そこで、接合部の曲率( $j\phi$ )と回転角( $j\theta$ )の関係を実験的に求め、 $jM-j\phi$  関係から  $jM-j\theta$  関係への変換を試みた。検討にあたっては両者の関係を式(1)のように仮定し、式中の係数 $\alpha$ を定量化するものとした。

$$j\theta = \alpha \cdot jD \cdot j\phi \quad (1)$$

$jD$  : 杭軸部径(接合部径は  $0.7jD$ )

図2に実験結果より求めた係数 $\alpha$ と回転角  $j\theta$  の関係を示す。ここで、 $j\theta$  は接合面より  $0.5jD$  高さで計測し、 $j\phi$  は接合部内における芯鉄筋あるいはコンクリートの歪み測定値より求めた。

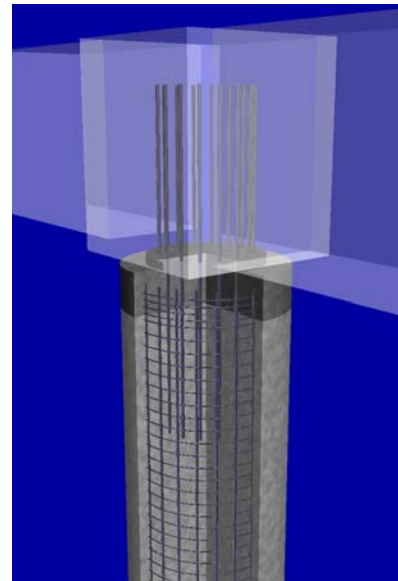


図1 杭頭半剛接合工法イメージ

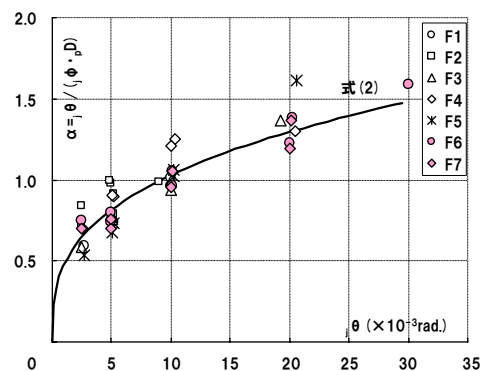


図2 係数 $\alpha$ と接合部回転角( $j\theta$ )の関係

同図より、係数 $\alpha$ は幾分のばらつきはあるものの、1次設計レベルに相当する  $j\theta \leq 1/200\text{rad.}$  の範囲では1.0程度以下であり、それ以降は  $j\theta$  とともに増大する傾向が認められる。また、これらの実験結果においては芯鉄筋の強度や有無、軸力比、杭径などが変動因子として含まれるが、それらの実験因子による明確な影響はみられない。よって、係数 $\alpha$ を  $j\theta$  のみに依存する関数として式(2)で表す。これを式(1)に代入することにより、回転角( $j\theta$ )と曲率( $j\phi$ )の関係式として式

Study on Semi-Rigid Connection on Pile Top on Cast-in-Place Concrete Pile

－ Bending Properties of Pile Top Connection －

Taku TABATA

(3)が得られる。図3に式(3)と実験結果の対応を示す。

$$\alpha = 0.48 \cdot \sqrt[3]{j\theta} \quad (2)$$

$$j\theta = 0.33 \cdot (p \cdot D \cdot j\phi)^{1.5} \quad (3)$$

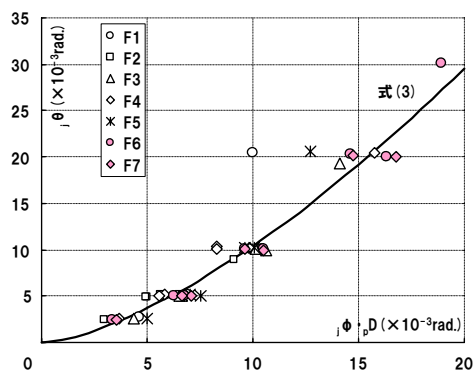


図3 接合部回転角( $j\theta$ )と曲率( $j\phi$ )の関係

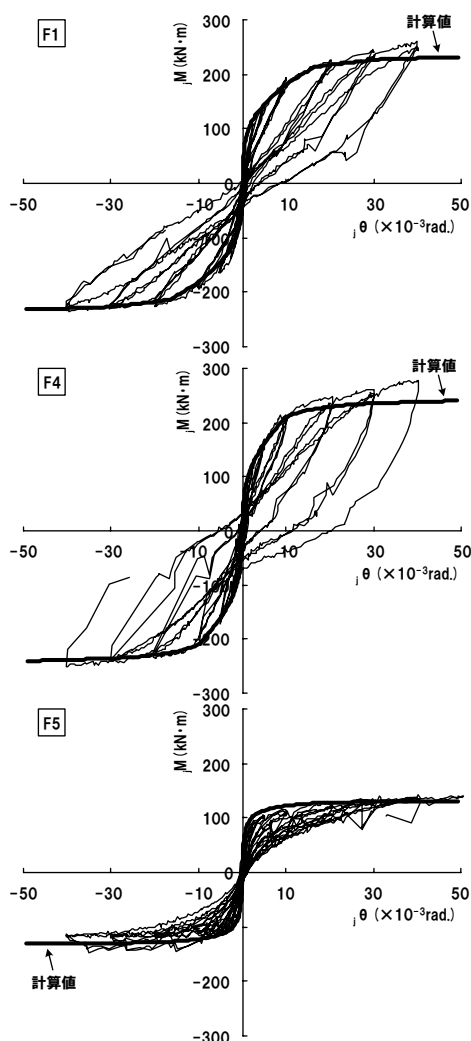


図4 杭頭接合部  $M-j\theta$  関係の適合性

図4は接合面の断面曲げ解析結果に式(3)を適用して求めた  $jM-j\theta$  関係の計算値と実験結果の対応である。例示した試験体は、F1が芯鉄筋にUSD685を用いた試験体、F4が芯鉄筋にSD390を用いた試験体、F5が芯鉄筋なしの試験体である。計算値はいずれの試験体についても実験結果を良好に表現できていることがわかる。

### 3. 試設計

本工法の有用性を検討するため、従来杭(杭頭固定)と本工法(杭頭半剛接合)による杭基礎の試設計を行った。解析にはADAMを用いた。

#### 3.1 検討建物

対象建物は文献[2]による鉄筋コンクリート造14階建ての板状共同住宅で、杭頭レベルはGL-2.8m、杭先端レベルはGL-34.5mである。図5に杭伏せ、表1に地盤条件を示す。

表2に軸力条件を示す。杭頭軸力は上部建物の応力解析結果(支点反力)から評価する。地震時の杭頭水平力は以下に示す通りである。

1次設計時:  $Q_o=22,255\text{kN}$

2次設計時:  $Q_{px}=33,383\text{kN}(Ds=0.3 \text{ 桁行き})$

$Q_{py}=44,510\text{kN}(Ds=0.4 \text{ 張り間})$

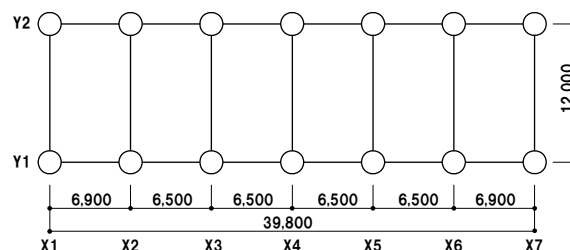


図5 杭伏せ

表1 地盤条件

層種	下限深度 (GL-m)	層厚 (m)	平均 N 値
粘性土	3.0	0.90	0.5
粘性土	5.1	2.10	1.4
砂質土	6.3	1.20	2.0
粘性土	7.2	0.90	8.0
砂質土	10.0	2.80	47.0
粘性土	10.8	0.80	15.0
砂質土	12.7	1.90	44.0
粘性土	15.1	2.40	23.0
砂質土	20.0	4.90	48.0
砂質土	22.7	2.70	22.0
砂質土	28.7	1.40	19.0
粘性土	33.0	4.30	14.0
砂質土	34.5	1.50	50.0

表 2 軸力条件

		長期 NL (kN)	1 次設計時		2 次設計時	
			Nex (kN)	Ney (kN)	Nmx (kN)	Nmy (kN)
Y1	X1	6771	-1063	-869	-6100	-9300
	X2	9743	9715	3182	10119	-3423
	X3	9681	9542	3118	9297	-3279
	X4	9742	9719	3184	9625	-3339
	X5	9638	9798	3086	10051	-3264
	X6	9735	9765	3195	8613	-3433
	X7	6761	14145	-843	20467	-9383
Y2	X1	6981	-183	14621	-5487	21816
	X2	10199	10584	16760	11632	24575
	X3	10398	10460	16961	10605	23318
	X4	10636	10611	17194	10694	23823
	X5	10087	10048	16639	10187	22975
	X6	10188	9804	16728	8257	24589
	X7	6975	14139	14579	19576	21860

表 3 杭仮定断面

杭頭工法	杭頭形式	杭軸径 (mm)	Fc (N/mm <sup>2</sup> )	杭主筋 (下段: 芯鉄筋)
従来工法	固定	1900	30	45-D35(SD390)
本工法	半剛	1900 (1330)	30 (54)	30-D35(SD390) 15-D41(USD685)

表 3 に杭仮定断面を示す。杭軸径は本工法、従来工法とも 1900mm で共通とし、各々杭断面諸元は 1 種類とした。なお、これらの杭軸径は、2 次設計まで行うことを前提として、設計用せん断力の割り増しを行わず( $Q_D=Q_E$ )、1 次設計時のせん断力が式(4)の短期許容耐力を満足するように仮定したものである。

$$Q_{sa} = f_s \cdot A_p / \kappa \quad (4)$$

$f_s$ : 短期許容せん断応力度

$A_p$ : 杭軸部断面積

$\kappa$ : せん断応力度分布係数(=4/3)

### 3.2 解析モデル

図 6 に解析モデルの概要を示す。解析モデルは基礎梁、杭、地盤とで構成される立体フレームモデルである。地盤は Winkler 型の水平ばねでモデル化し、基礎指針[3]に基づき非線形性を考慮した。杭軸部は  $M-\phi$  モデル、杭頭部は  $M-\theta$  モデルで表現し、それぞれ表 2 に示した設計時軸力に従って断面曲げ解析を行い非線形の特性を与えた。図 7 に張間方向加力時の杭頭部  $M-\theta$  関係を例示する。従来杭については杭頭接合条件を完全剛としてモデル化するのが一般的であるが、ここでは実状に近づける意味から、文献[4]を参考に式(5)および式(6)で与えられるトリニア型の杭頭回転ばねを設定した。

$${}_j\theta_{cr} = L_j \phi_{cr} \quad (5)$$

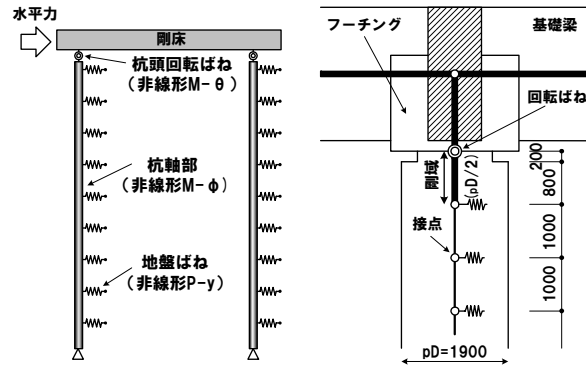
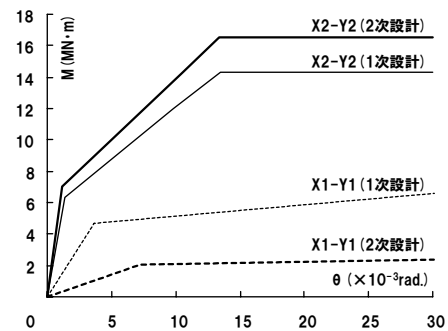


図 6 解析フレームモデル

図 7 杭頭部  $M-\theta$  関係(張間方向加力時)

$${}_j\theta_y = 20d_b \cdot {}_j\phi_y \quad (6)$$

${}_j\theta_{cr}$ 、 ${}_j\phi_{cr}$ : 曲げひび割れ時回転角、曲率

${}_j\theta_y$ 、 ${}_j\phi_y$ : 曲げ降伏時回転角、曲率

$L$ : 要素高さ、 $d_b$ : 杭主筋径

### 3.3 解析結果

図 8 および図 9 に 1 次設計時(張間方向加力時)のせん断力分布と曲げモーメント分布を示す。

各杭では作用軸力を勘案した非線形モデルにより曲げ特性を与えているため、負担せん断力は曲げ剛性に応じて分配されることになる。杭全本数の平均せん断力に対する圧縮側杭の負担せん断力の割合は、本工法で 114~119%となっている。杭頭曲げモーメントについては、本工法では従来工法に対して引張側杭(Y1 通り)で 57%、圧縮側杭(Y2 通り)で 83%まで低下しており、1 次設計レベルから杭頭半剛接合の効果が明確にみられた。なお、本工法では杭頭部曲げモーメントの低下に伴い、杭地中部の曲げモーメントが増大するものの、地中部最大曲げモーメントは杭頭部と同程度以下に収まっている。杭頭水平変位は本工法で 1.98cm、従来工法で 1.30cm であった。

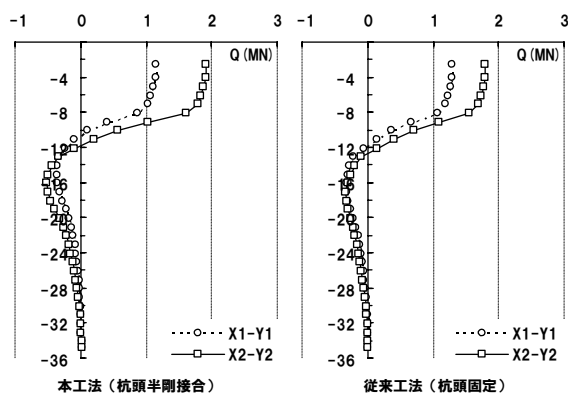


図 8 1 次設計時せん断力分布

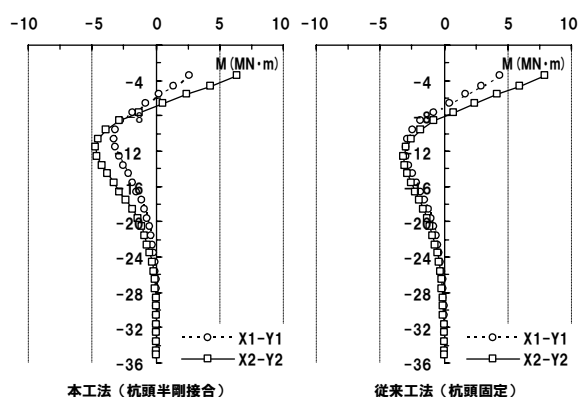


図 9 1 次設計時曲げモーメント分布

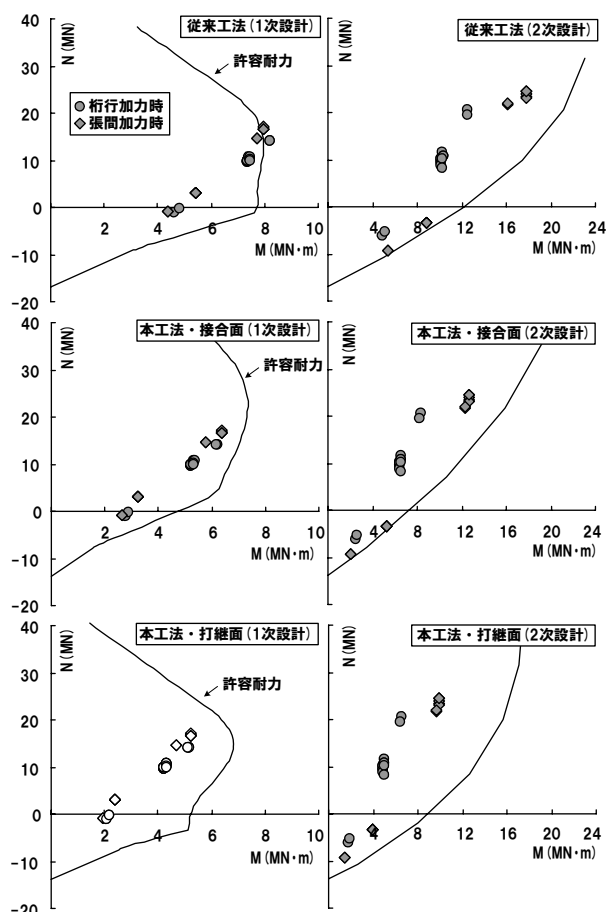


図 10 杭頭部 M-N 関係

### 3.4 断面検定

図 10 に杭頭部の M-N 関係を示す。これによると、従来工法は 1 次設計時において許容耐力に収まっていないことがわかる。特に設計用応力が許容耐力を上回る杭は圧縮側の杭であるため、杭主筋量を増すだけでは対応が困難である。

本工法では接合面と打継面について断面検定を行うこととしている。その際、打継面(接合面より下方へ杭軸径の 0.25 倍の高さ)の許容耐力は芯鉄筋と杭軸部コンクリートより評価する。また、2 次設計時では、引張り軸力を受ける杭について接合面の曲げ降伏を許容している。同図より、本工法では 1 次設計時の設計用応力が接合面、打継面とも許容耐力以下であり、2 次設計時も打継面は終局耐力以下に収まった。

また、本工法では杭および地盤の非線形性を考慮した応力解析の実施が前提である。杭を弾性モデルで評価する場合には、各杭に同じ応力を想定するため、一般に、引張り側の許容耐力が支配的になるが、本解析結果によれば、非線形性を考慮することで、むしろ圧縮側杭が厳し

くなる傾向になることがわかった。

### 4. まとめ

本工法は平成 17 年 3 月に (財) 日本建築センターの基礎評価を取得しており、これまでも数十件の適用実績がある。今後は設計労力の低減と施工の合理化に向け検討を行う予定である。

謝辞: 本工法は、青木あすなろ建設、大木建設、熊谷組、西武建設、銭高組、間組、ピーエス三菱、前田建設工業との共同研究開発である。杉村義広先生(当時: 東北大学大学院教授)には貴重なご意見と指導を頂きました。記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] 田畑卓: 場所打ちコンクリート杭の杭頭半剛接合に関する研究、日本大学生産工学部学術講演会、Vol38、pp...
- [2] プレハブ建築協会: プレキャスト建築技術集成 第4編 P-PCの設計、pp215-341、2003.1
- [3] 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針、2001.10
- [4] 小林勝巳、丸隆宏、大西靖和、寺岡勝、和田章: 水平力を受ける場所打ち杭-基礎梁部分架構の力学的特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第509号、pp83-90、1998.7