

アンボンドアンカーを用いた既製コンクリート杭の
杭頭半剛接合部の力学的挙動に関する研究STUDY ON MECHANICAL BEHAVIOR OF SEMI-RIGID CONNECTION ON PILE
HEAD FOR PRE-CAST CONCRETE PILES USING UNBONDED ANCHORS佐々木 聡^{*1}, 小林勝已^{*1}, 山本秀明^{*2}, 小林恒一^{*3}
松山俊樹^{*4}, 内海祥人^{*4}Satoshi SASAKI, Katsumi KOBAYASHI, Hideaki YAMAMOTO,
Koichi KOBAYASHI, Toshiki MATSUYAMA and Yoshito UTSUMI

Recently, several methods have been developed to improve the performance of semi-rigid connections on pile heads by reducing the stress on pile heads and decreasing the cost of foundation works.

This study was carried out as a part of research into the semi-rigid connecting method for pile heads on pre-cast concrete piles. This paper describes the mechanical behavior of the pile heads connected using un-bonded round steel bars with anchor plates. Full-scale loading tests and numerical analysis were carried out to estimate the complicated behavior of this type of connection. As a result, it was confirmed that the connection developed retains its bending capacity at rotational angles of less than 1/20 radian. The prediction result based on the flexural analyses, which modeled the confined effect and non-linear stress - strain characteristics of the concrete, corresponded closely to the relationship between the bending moment and the rotation observed in the full scale tests.

Keywords : Pre-cast Concrete Pile, Pile Head, Semi-rigid Connection, Unbonded Anchor bar, Moment-Rotation Relationship

既製コンクリート杭, 杭頭, 半剛接合部, アンボンドアンカー, モーメント-回転角関係

1. はじめに

杭基礎において杭頭接合部は、建物の耐震性能を左右する重要な部位である。1995年兵庫県南部地震においても、杭頭部が破壊し建物が傾くなどの甚大な被害を与えた例も見られている¹⁾。杭基礎の耐震安全性を検討するにあたり、杭頭接合部およびその近傍の耐震性能を明確にすることが重要な課題の一つである。

杭基礎を有する建物が地震時の水平力を受けた場合、杭頭接合部の回転が拘束された状態では、杭頭部の曲げモーメントが最大になり、非常に厳しい応力状態となる。一方、杭頭の回転拘束を無くすると、地中の杭中間部の曲げモーメントが大きくなり、また、水平変位も大きくなる。いずれの場合においても、曲げ降伏する部位の変形能力が乏しいと、せん断力および軸力を保持する能力が喪失し、建物に甚大な被害を与える結果となる。

近年では、杭頭部の曲げモーメントを緩和し、杭の耐震安全性を確保する合理的な設計を意図した杭頭半剛接合部の研究開発が行われている。場所打ちコンクリート杭では、杭頭部の断面を縮小し鋼管を巻いて横拘束することで耐力と変形性能を確保した半剛接合部に関する研究²⁾が見られる。この工法は接合ディテールが比較的簡易

であり、類似した工法の開発も行われている³⁾。一方、既製コンクリート杭では、杭頭部に半剛接合あるいはピン接合を実現するためのデバイスを設置した接合部に関する研究⁴⁾が見られるが、より単純な工法の開発が望まれている。

杭頭接合部の曲げ耐力に関する既往の算定方法には、パイルキャップのコンクリート部分の有効断面積を杭断面積よりも大きくした慣用的な計算法⁵⁾や、それに加えてパイルキャップコンクリートの支圧効果を考慮した研究⁶⁾が見られるが、半剛接合部の曲げ耐力に関する検証は十分ではないと考えられる。

以上の背景を考慮し、本研究では、図1に示す丸鋼と定着板からなる金物(以下、アンボンドアンカーと称す)を用い、接合部の応力伝達機構が単純な半剛接合工法を提案し、その力学的挙動の検討を行う。杭頭端板にアンボンドアンカーを接合した半剛接合部は、曲げモーメントが作用すると、定着筋の伸びに伴う回転変形が生じる。この接合部の曲げ耐力、剛性を評価するためには、パイルキャップのコンクリートの支圧効果と定着筋の付着挙動を考慮する必要がある。本論文は、実寸法の杭頭接合部の水平加力実験を行い、主として、曲げモーメント-回転角関係について検討した結果を示す。

本論文は、文献14)に加筆・修正してまとめたものである。

*1 (株)フジタ技術センター 博士(工学)

*2 (株)フジタ東京支店

*3 ジャパンパイル(株) 博士(工学)

*4 岡部(株)

Technology Development Division, Fujita Corporation, Dr. Eng.

Tokyo Branch, Fujita Corporation

Japan Pile Corporation, Dr. Eng.

Okabe Co., Ltd.

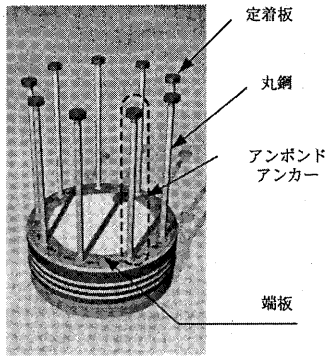


図1 本論文における杭頭接合部の概要

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、既製コンクリート杭とパイルキャップからなる実大杭頭接合部試験体6体である。試験体の諸元を表1に、形状および寸法を図2に示す。

主な実験因子は、①軸力、②杭種、③杭径の3つとした。軸力は一定軸力とし、長期荷重時の杭の軸力に相当する圧縮軸力 1500kN を基本に、軸力の無い状態、若干の引張軸力が作用した状態(-500kN)、ならびに短期荷重時の圧縮軸力に相当する 3000kN を導入した。杭種は、鋼管巻既製コンクリート杭(SC杭)、プレストレスト鉄筋コンクリート杭(PRC杭)の2種類とした。杭径は、SC杭では500mm、PRC杭では500mm、600mmとした。杭頭のパイルキャップへののみみみ高さは100mmとした。杭頭接合部は、定着板を有する定着筋を、杭頭端板外縁部より30mm内側の位置に均等間隔でスタッド溶接により接合した。定着筋と定着板は、定着板に定着筋を貫通させる孔を設け、定着板にK形の開先をとり完全溶け込み溶接により接合した。本工法では、定着筋の付着を期待していないので、コンクリートの打設方向が接合部の力学性状に与える影響は少ないと考え、杭を水平に設置しパイルキャップの側面よりコンクリート打設を行った。

パイルキャップのコンクリートには設計基準強度が 27N/mm² の普通コンクリート(早強セメント)を用いた。定着筋には SNR490B を用い、パイルキャップのはかま筋および横補強筋にはそれぞれ SD345(D19)、SD345(D16)を用いた。コンクリートおよび鋼材の力学的特性を表2、表3にそれぞれ示す。

2.2 加力および測定方法

加力方法は、パイルキャップを PC 鋼棒で反力フレームに固定した片持ち梁形式とした。軸力は、一定軸力とし、水平加力は、杭頭接合部の回転角を制御して行った。加力プログラムを表4に示す。

杭頭接合部の曲げモーメント(M)は、図3に示すように、水平力による曲げモーメントと加力点の変位および軸力により生じる付加曲げモーメントを考慮して算出した。接合部の回転角(θ_j)は、杭頭端部の両側の軸変位より算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果の概要

実験結果の一覧を表5に示す。図4に杭頭接合部の曲げモーメント(M)と接合部回転角(θ_j)との関係を示す。図4中に示す定着筋の降伏は、最外縁定着筋の引張降伏を示し、定着筋に貼付したひずみゲージの値より判定した。

表1 試験体の諸元

試験体名	杭種	杭径(mm)	定着筋	定着長	軸力(kN)	シラスパン比 M/(QD)
No.1	SC	500	12-φ24	20d _b ^{*1}	0	4
No.2					1500	
No.3					3000	
No.4					-500	
No.5	PRC	600	16-φ24		1500	3.3
No.6	Ⅲ種				0	

*1 d_b:定着筋径

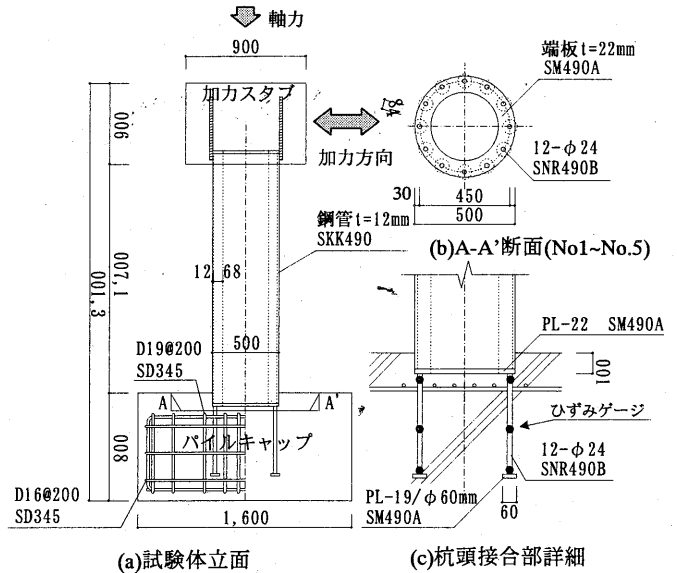


図2 試験体の形状および寸法

表2 コンクリートの力学的性質

部位	試験体	圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (10 ⁴ N/mm ²)	割裂引張強度 σ_{st} (N/mm ²)
パイルキャップ	No.1~No.6	37.8	2.39	3.2
SC杭	No.1~No.4	89.5	-	-
PRC杭	No.5,6	96.8	-	-

Eは、1/3 σ_c 時の値

表3 鋼材の力学的性質

部位	鉄筋	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張強さ σ_u (N/mm ²)	伸び El (%)
定着筋	φ24	363	537	28.8
パイルキャップ	D19	377	590	17
	D16	370	558	17.6

表4 加力プログラム

段階	制御量	繰返し回数
P1	1/1000(rad)	1
P2	1/450(rad)	1
P3	1/400(rad)	1
P4	1/200(rad)	1
P5	1/100(rad)	2
P6	2/100(rad)	2
P7	3/100(rad)	2
P8	5/100(rad)	1
P9	破壊に至るまで	

制御量 杭頭接合部回転角(θ_j)

$$M = P \times L_1 + N \cos \alpha \times \Delta + N \sin \alpha \times L_2$$

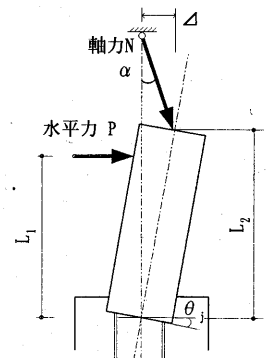


図3 曲げモーメント(M)の算出方法

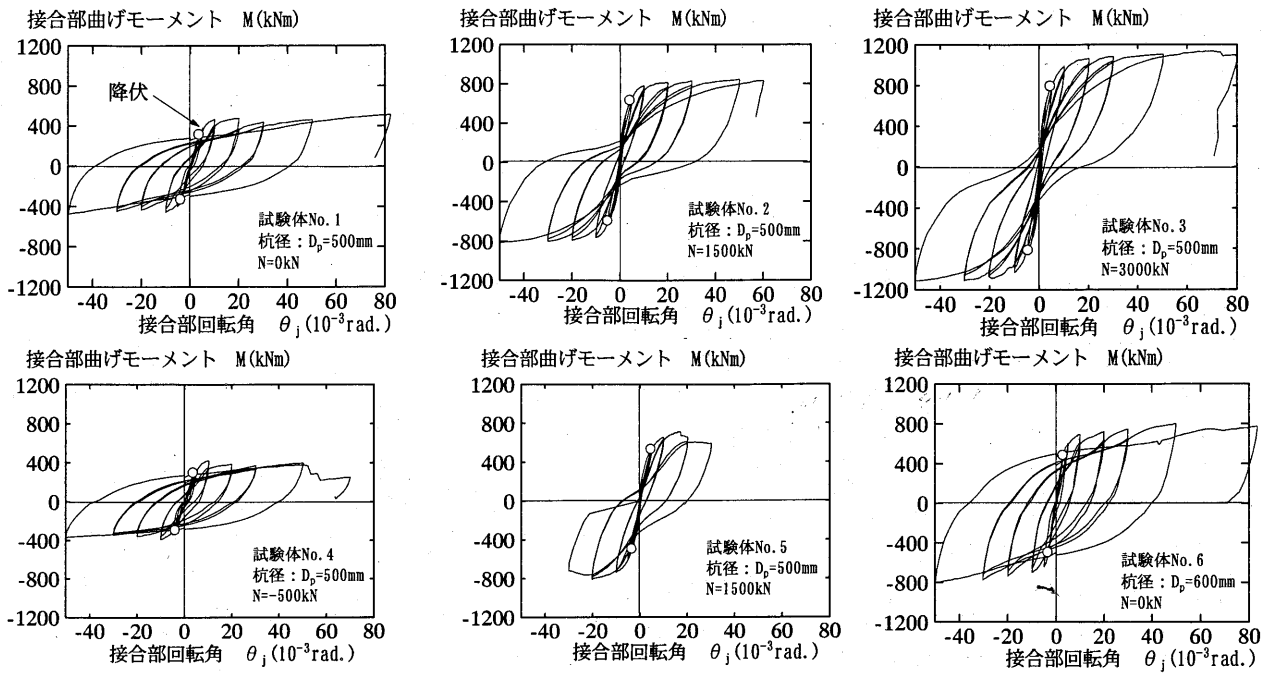


図4 接合部のモーメント(M)－回転角(θ_j)関係

表5 実験結果の概要

試験体	加力方向	定着筋降伏 ^{#1}		最大曲げモーメント			最大曲げモーメント時回転角 θ ₀ (10 ⁻³ rad.)	破壊モード	
		実験値 ^{#2} M _y (kNm)	計算値 ^{#2} M _y (kNm)	実/計	実験値 ^{#3} M _m (kNm)	計算値 ^{#3} M _m (kNm)			実/計
No.1	+	297	289	1.03	514	486	1.06	80.0	接合部
	-	318		1.10	477		0.98	50.0	曲げ破壊
No.2	+	622	520	1.20	847	750	1.13	50.0	接合部
	-	600		1.15	815		1.09	50.2	曲げ破壊
No.3	+	802	723	1.11	1137	952	1.19	67.1	接合部
	-				1.17		1113	1.17	50.0
No.4	+	279	204	1.36	421	388	1.08	10.3	接合部
	-	283		1.38	387		1.00	10.5	曲げ破壊
No.5	+	524	520	1.01	713	750	0.95	17.1	接合部
	-	484		0.93	806		1.08	20.1	曲げ破壊
No.6	+	495	470	1.05	804	695	1.16	49.2	接合部
	-	478		1.02	800		1.15	49.9	曲げ破壊

#1: 最外縁の定着筋の引張降伏時の値。

#2: 非線形解析による計算値

#3: 定着筋のひずみ硬化とコンクリートの支圧効果を考慮した計算値(図7, 図8)

#4: 杭の補強バンドの座屈を確認

試験体 No.1~4,6 の最大荷重を決定する破壊モードは、定着筋が伸び出して接合部が曲げ破壊する形式であった。特に引張軸力が作用した試験体 No.4 は、最終加力サイクルにおいて定着筋が破断したと思われる音とともに、荷重が急激に低下した。PRC 杭を用いた試験体 No.5 は、定着筋が降伏した後、3/100rad.の加力で杭の補強バンドの局部座屈が確認され、それに伴う荷重低下が観察された。

また、いずれの試験体においても、曲げ引張側の定着筋が降伏するまでは、顕著な剛性低下が見られなかった。定着筋が引張降伏した後は、定着筋の伸び量が顕著になるとともに、杭頭接合部の曲げ剛性が低下し、最大曲げモーメントに達した。

試験体 No.1~4 の M-θ 関係を比較すると、軸力が增大するにつれ、降伏までの剛性が高くなり、降伏および最大曲げモーメントも大きくなっていることが分かる。また、杭の補強バンドが座屈した No.5 を除く試験体では、いずれも 1/20rad.程度の大変形時においても、急激な耐力低下が生じていない。このことから、定着筋の伸び出しが生じる本工法の接合部は、優れた変形性能を有するといえる。

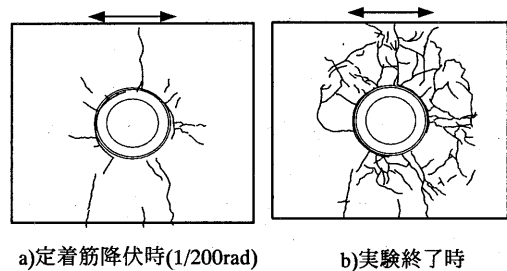


図5 パイルキャップのひび割れ状況例(No.1)

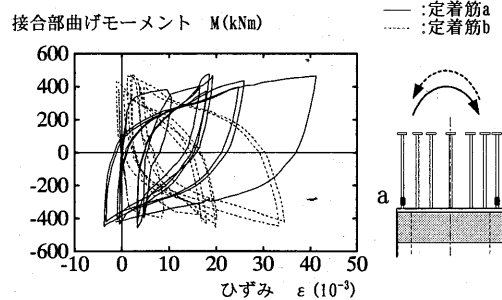


図6 接合部のモーメント－定着筋のひずみ度関係例 (試験体 No.1)

パイルキャップのひび割れ状況は、図5に例示するように、定着筋が降伏するまでは、杭を中心としたひび割れが多少生じる程度であった。その後の漸増の繰返し載荷により、ひび割れの発生、幅の増大が見られ、最終的には杭をのみ込む部分のコンクリートの剥離が見られた。なお、これらのコンクリートの損傷は、接合部の曲げモーメント－回転角関係に明確な影響は与えていなかった。

図6に曲げモーメント(M)－定着筋のひずみ度(ε)関係例を示す。定着筋のひずみは、定着筋が降伏するまでは、曲げ引張側は引張ひずみを、曲げ圧縮側では圧縮ひずみを示している。降伏して大きな引張ひずみを生じた後は、曲げ圧縮側の加力ピーク時に、引張ひずみが残留する傾向も若干見られる。この場合には、定着板からパイルキャップコンクリートに圧縮力が作用することが推測される。

3.2 杭頭接合部の終局曲げ強度

(1) 杭頭接合部の有効断面の仮定

杭頭接合部の曲げ強度の検討の際、応力の拡がり、コンクリートの支圧効果等を考慮し、接合部の有効断面積に杭断面積よりも大きい仮想の円柱あるいは円環を仮定する方法が慣用的に行われている⁷⁾。

本実験の場合、曲げ引張側の定着筋がパイルキャップから伸び出し、曲げ圧縮側の杭頭端部とそれに接するパイルキャップが圧縮力を受けるので、接合部の有効断面積は、杭とパイルキャップの接触面と考えられる。したがって、本研究では、上記の慣用的な有効断面積の扱いは行わず、有効断面積を図7に示すように接合部の断面積を仮定する。一方、コンクリートの支圧効果は、コンクリートの圧縮強度に後述する割増係数を乗ずることにより考慮する。

(2) コンクリート圧縮強度の割増係数と最大曲げ強度

定着筋のひずみ硬化とコンクリートの支圧効果を考慮し、図8に示す応力分布を仮定して、最大曲げ強度について検討する。コンクリートの支圧効果を過大評価しないようにするため、定着筋のひずみ硬化の影響を考慮して、便宜的に降伏点を1.2倍し、また、支圧効果によるコンクリートの圧縮強度の割増係数(ϕ_c)を変化させて最大曲げ強度を計算した。算定した最大曲げ強度の計算値と本実験結果とを比較して図9に示す。同図によるとコンクリートの圧縮強度にシリンダーの一軸圧縮試験による圧縮強度(σ_B)を用いた計算値、すなわち $\phi_c=1$ の計算値は、軸力が無い場合の実験値と良好に対応しているが、圧縮軸力がある場合には実験値を過小評価している。コンクリートの圧縮強度を $3\sigma_B$ ($\phi_c=3$)とした場合の計算値は、軸力の大きさによらず実験値と概ね良い対応を示している。

ϕ_c を3として算定した最大曲げ強度の計算値(M_u)と杭頭接合部試験体で接合部の曲げ破壊型と思われる既往の実験結果^{8)~12)}とを比較して図10に示す。計算値は、実験値を安全側に評価する傾向にあるが、実験値と計算値との対応はほぼ良好である。既往の実験結果と M_u との比(M_m/cM_u)を諸因子で整理して図11に示す。コンクリート圧縮強度および軸力比と M_m/cM_u との関係では、明瞭な相関性は見られない。また、支圧強度に影響を及ぼすと考えられるパイルキャップ幅と杭肉厚との比(D_c/t_p)、パイルキャップと杭径との比(D_c/D_p)については、 D_c/t_p 、 D_c/D_p の値が大きくなるにつれて、 M_m/cM_u がわずかに小さくなる傾向が見られる。この傾向は、支圧強度に与える受圧面積/全断面積の影響¹³⁾と反対の傾向であり、他の要因によるばらつきと考えられる。

以上の検討結果より、コンクリートの支圧効果を考慮して、コンクリート圧縮強度の割増係数を3として杭頭接合部の終局曲げ強度の評価することは、ここで検討した実験データの範囲では、ほぼ妥当であると考えられる。

3.3 杭頭接合部の曲げモーメント-回転角関係

(1) 材料非線形を考慮した断面解析

定着筋およびコンクリートの応力度(σ)-ひずみ度(ε)関係に材料非線形を考慮し、断面の平面保持を仮定した曲げ解析を行い、その結果を基に杭頭接合部の力学的挙動について検討を行う。

コンクリートの引張応力を無視し、圧縮側の応力度(σ)-ひずみ度(ε)関係は、先に検討したコンクリート圧縮強度の割増係数(ϕ_c)を導入し、e関数を用いた次式に示す関係を用いる。

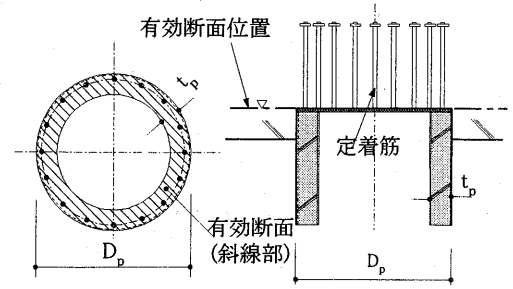


図7 杭頭接合部の有効断面

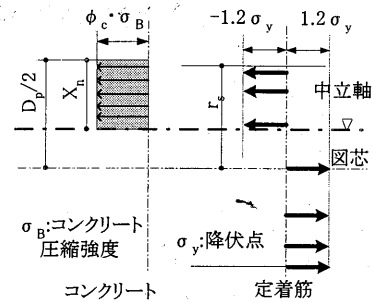


図8 最大曲げ強度時の応力分布

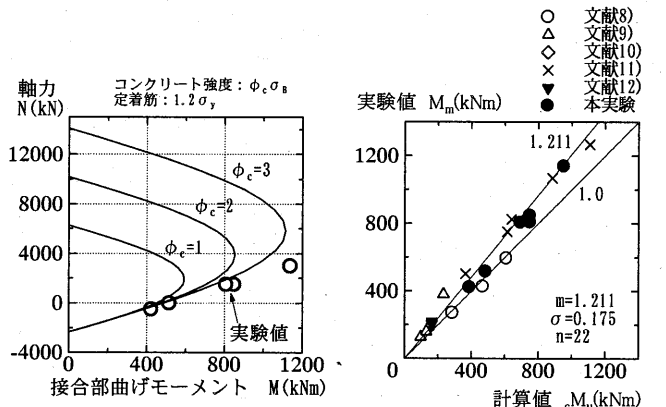


図9 最大曲げ強度の計算値と本実験値との比較
図10 最大曲げ強度の計算値と既往の実験値との比較

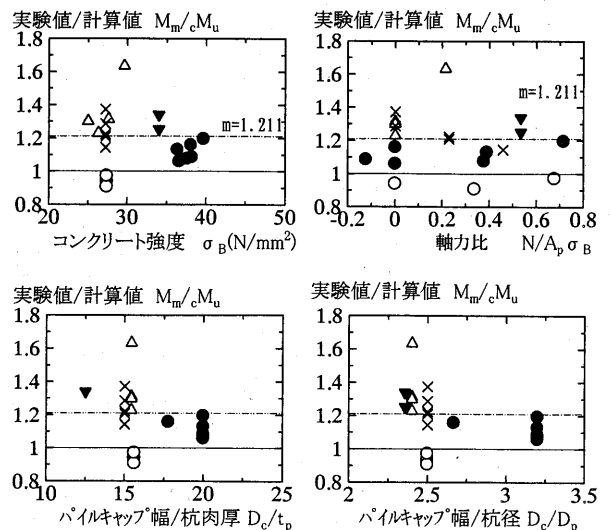


図11 最大曲げ強度の実験値と計算値との比 (M_m/cM_u)と諸因子との関係

$$\begin{cases}
 0 < \varepsilon < \varepsilon_B \text{ の時:} \\
 \sigma = 6.75 \phi_c \sigma_B \left\{ e^{-0.812(\varepsilon/\varepsilon_B)} - e^{-1.218(\varepsilon/\varepsilon_B)} \right\} \\
 \varepsilon \geq \varepsilon_B \text{ の時:} \\
 \sigma = \phi_c \sigma_B \\
 \phi_c = 3
 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 σ_B はコンクリートの一軸圧縮強度であり、 ε_B は圧縮強度時のひずみ度で0.3%を仮定する。なお、本研究の実験結果では、接合部の曲げモーメント-回転角関係が1/20rad.程度の大変形時においても、変形の増大に伴う荷重低下が見られなかったことから、解析に用いるコンクリートの $\sigma-\varepsilon$ 関係は強度低下が生じないモデルを仮定した。また、定着筋に関しては、完全弾塑性型の $\sigma-\varepsilon$ 関係を仮定する。コンクリートおよび定着筋の $\sigma-\varepsilon$ 関係を図12に示す。

(2) 定着筋の降伏時の曲げモーメント

図4の接合部の曲げモーメント(M)-回転角(θ_j)関係中に図示したように、定着筋の引張降伏は、 $M-\theta_j$ 関係の剛性低下が開始する点にはほぼ対応し、その予測は重要な検討事項である。図12に示す材料の $\sigma-\varepsilon$ 関係を用いて、断面解析を行い、定着筋の降伏時の曲げモーメントを計算した。定着筋曲げ降伏時の実験値と計算値とを比較して図13に示す。計算値は、実験値と良好に対応し、軸力比にかかわらず実験値をほぼ安全側に評価している。

(3) 接合部のモーメント-回転角関係の評価

a) 接合部の回転変形機構

杭頭接合部の回転変形機構のモデルを図14に示す。回転中心は断面の中立軸とし、曲げ引張側の定着筋のひずみが長さ方向に一律とすると、接合部の回転角(θ_j)は次式で与えられる。

$$\theta_j = \frac{\Delta_b}{D_p/2 + r_s - X_{n0}}, \quad \Delta_b = \varepsilon \cdot L_b \quad (2)$$

ここで、 D_p は杭径、 r_s は杭芯から定着筋までの距離、 X_{n0} は圧縮縁から中立軸までの距離、 ε は引張側最外縁の定着筋のひずみ度、 L_b は定着筋の埋め込み長さである。

定着筋の引張降伏時のひずみ分布の例を、図15に示す。同図中には、解析により算定されるひずみ分布および中立軸位置を併せて示す。解析値の中立軸位置、ひずみ分布共に、実験結果と良好に対応している。

また、定着筋が曲げ引張時の長さ方向のひずみ分布を図16に示す。定着筋は長さ方向にほぼ一律なひずみ分布を示し、定着筋とパイルキャップのコンクリートとの間には、ほとんど付着力がないことがわかる。これらより、式(2)で示す回転角の算定法およびその前提条件はほぼ妥当と考えられる。

b) 接合部のモーメント-回転角関係

図17に接合部の曲げモーメント(M)-回転角(θ_j)関係の実験値と計算値とを比較して示す。 $M-\theta_j$ 関係の計算値は、曲げ解析の各解析ステップの曲げモーメントと、中立軸位置および定着筋のひずみ度を式(2)に代入して求めた回転角との関係を示す。 $M-\theta_j$ 関係の計算値は、作用軸力にかかわらず、定着筋降伏時近傍までの実験値を比較的精度良く評価している。 θ_j が大きくなると、計算値に定着筋のひずみ硬化の影響を考慮していないため、計算による耐力が実験値を安全側に評価する傾向にある。

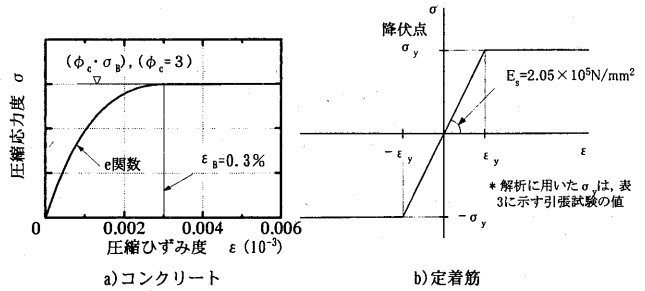


図12 曲げ解析に用いた
応力度-ひずみ度関係

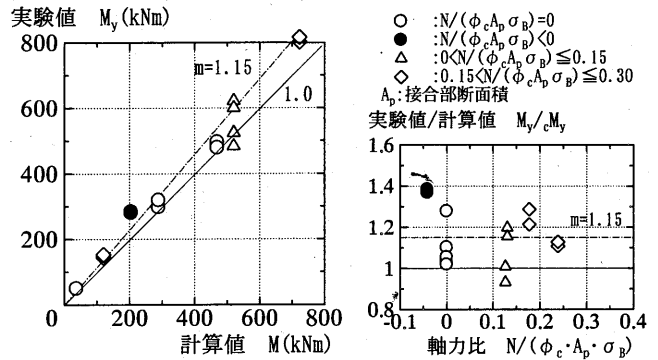


図13 曲げ降伏強度の実験値と計算値との比較

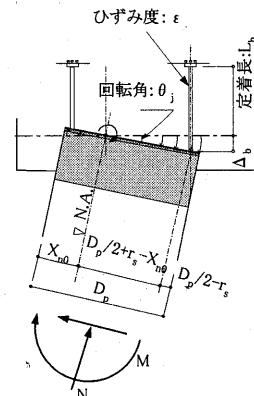


図14 杭頭接合部の回転機構

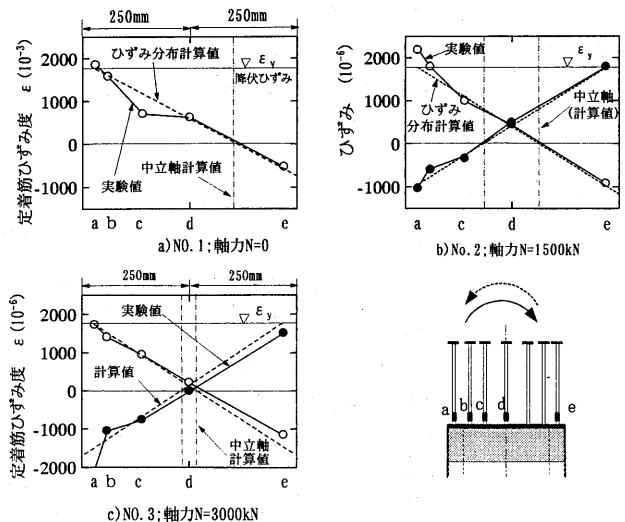


図15 定着筋のひずみ分布(断面)

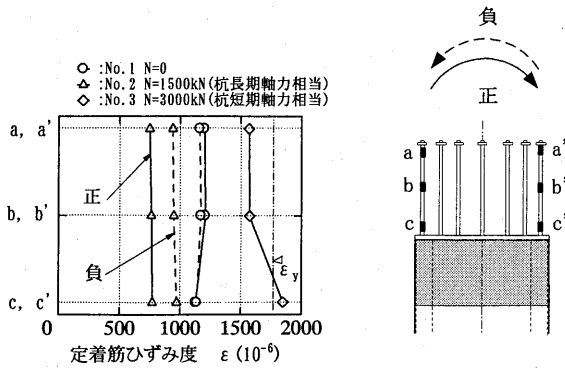


図 16 定着筋のひずみ分布 (軸方向)

4. まとめ

定着板を有する付着のない丸鋼(アンボンドアンカー)を用いた杭頭接合部の水平加力実験を行い、接合部の曲げモーメント-回転角関係について検討した。実験および解析的検討で得られた知見をまとめて以下に示す。

- (1)軸力が低下するにつれ、杭頭接合部の回転剛性が小さくなる事が確認された。
- (2)最外縁の定着筋が降伏した後、1/20rad.程度の大変形時においても、変形の増大に伴う耐力低下は無く、本研究で対象とした杭頭接合部は、優れた変形性能を有することを確認した。
- (3)接合部の最大曲げ強度および降伏曲げ強度は、コンクリートの支圧効果による強度割増係数を3とした計算法で評価することができた。
- (4)接合部のモーメント-回転角関係は、解析により算定される曲げモーメント、中立軸を回転中心として曲げ引張側の定着筋が一樣に伸び出すと仮定したモデルを用いて概ね予測できる。

本研究では、接合部の有効断面に杭端板の面積をとり、コンクリートの支圧効果を仮定する方法により、接合部の曲げ強度を評価した。より正確な曲げ強度の評価のためには、パイルキャップ内のコンクリートの応力状態を詳細に検討する必要がある。なお、杭とパイルキャップとのせん断力の伝達は、定着筋を用いた従来の接合部と同様、杭のみ込み部の側面支圧、定着筋のダボ効果、ならびに接合部の曲げ圧縮域での伝達が考えられる。接合部の回転が、せん断耐力に与える影響の検討については、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部基礎構造部会,兵庫県南部地震建築基礎被害調査委員会:兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告書,1996.7.
- 2) 小林勝巳,益永英治,森山英治,大西靖和,寺岡 勝,和田 章; 場所打ち杭一基礎梁部分架構における杭頭半剛接合の力学的特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 NO.533 P.107~115, 2000.7.
- 3) 片岡隆広,吉川信二,井川望,佐竹啓一,他:場所打ち杭の杭頭半剛接合に関する実験研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,B1,pp.515~516,2002.8, pp.609~610,2003.8.
- 4) 堀井宏謙,渡邊則雄,笹原厚,野田和政,北島圭二,中根博,他:場所打ち杭を対象とした杭頭半剛接合に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B1, pp. 429~439,2005.8.

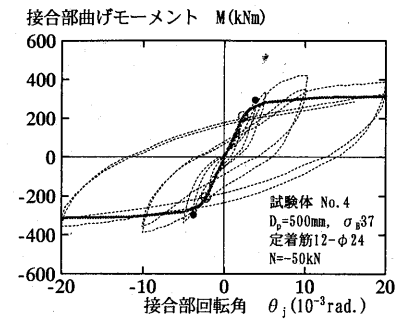
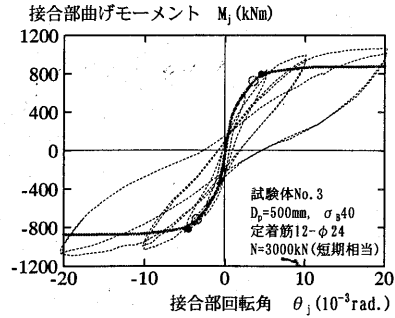
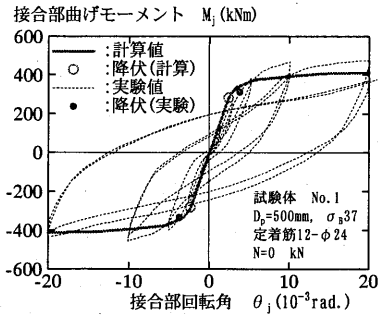


図 17 接合部曲げモーメント(M)-回転角関係(θ_j)関係の実験値と計算値との比較

- 5) 上田栄,辻英一,松尾雅夫,小野俊博,細野久幸,福元敏行,他:杭頭新接合法(P/Rパイル工法)の開発 (その5)~(その7),日本建築学会大会学術講演梗概集,B1,pp777~782,2000.9.
- 6) 斎藤一,吉松敏行,宮田章,岩本賢治,高野護二,他:半固定杭頭接合法の開発,(その1),(その2),日本建築学会大会学術講演梗概集,B1, pp.433~434,2001.9, pp.541~542,2002.8.
- 7) 日本道路協会:杭基礎設計便覧 1992.10.
- 8) 平出務, 杉村義広, 大杉文哉: アンボンド型スタッド鉄筋を用いた PHC 杭の杭頭接合法の力学特性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集,第 581 号, pp71~78, 2004.7.
- 9) 川合弘之, 稲田修, 他: SC 杭を使った杭頭接合部に関する実験, (その1), (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集,B1,pp.1551~1554, 1990.10.
- 10) 小嶋一好, 永井興史郎, 他: 基礎スラブと接合した PHC 杭の曲げ性能に関する実験的研究(その1)~(その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集,B1,pp.529~532,2002.8, pp.631~634, 2003.8.
- 11) 榎並昭, 岡田満, 他: アンカボルト工法による杭とフチク'の接合部の曲げ耐力試験, (その1)~(その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集,B1,pp.1621~1626, 1994.9.
- 12) 橋本一也, 豊岡恒夫, 他: 杭頭接合部に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集,B1,pp.1037~1038, 1995.8.
- 13) 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,1987.
- 14) 山本秀明, 佐々木聡, 小林勝巳, 他: 既製杭の杭頭半剛接合部に関する実験的研究 (その1), (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, B1, pp.465~468, 2006.8.