

高強度 PC 杭とパイルキャップとの接合に関する研究

高強度 PC 杭の耐力及び変形性能向上に関する研究 (3)

正会員 黒 正 清 治*
 正会員 堀 井 昌 博**
 正会員 和 田 章***
 正会員 林 静 雄****
 正会員 小 林 克 巳*****
 正会員 上 田 邦 成*****
 正会員 斉 藤 安 生*****

1. 序 論

筆者らは、プレストレス部材としての高強度 PC 杭 (PHC 杭) を用いた杭基礎の耐震性能について実験と解析を行い、PHC 杭基礎の靱性を確保するためには、杭体中空部にコンクリートを中詰めし、さらに、杭体らせん筋をある程度以上施す必要があることを報告してきた^{1),2)}。これらの報告で用いた杭基礎試験体は、いずれも杭軸方向筋を残して杭頭のコンクリートをカットオフしたものであった。しかし、実際の工事現場で、杭に損傷を与えることなく杭軸方向筋を残して杭をカットオフすることは、現状では技術的に大変難しい。

そこで、杭頭を軸方向筋も含めてカットオフし、杭軸方向筋をアンカーしなくとも、杭とパイルキャップとの間で曲げモーメントとせん断力の伝達が可能な方法として、杭中空部に中詰めコンクリートと同時に異形鉄筋を配筋する方法を考えた³⁾。この工法は、第一に、施工が現実的であること、第二に、杭軸方向筋をパイルキャップにアンカーした場合には、軸力が低いときに生じていた杭軸方向筋の破断が、この工法によれば防止できること³⁾などの利点がある。

本論文では、このような杭とパイルキャップとの接合方法を用いた杭基礎の、力の伝達のメカニズムや強度と変形性状を調べるために行った実験と解析結果について報告している。

* 東京工業大学 名誉教授・工博
 ** (株)日建設計
 *** 東京工業大学 助教授・工博
 **** 東京工業大学 助教授・工博
 ***** 福井大学 助教授・工博
 ***** (株)大林組
 ***** (株)日建設計

(1988年7月7日原稿受理, 1989年2月7日採用決定)

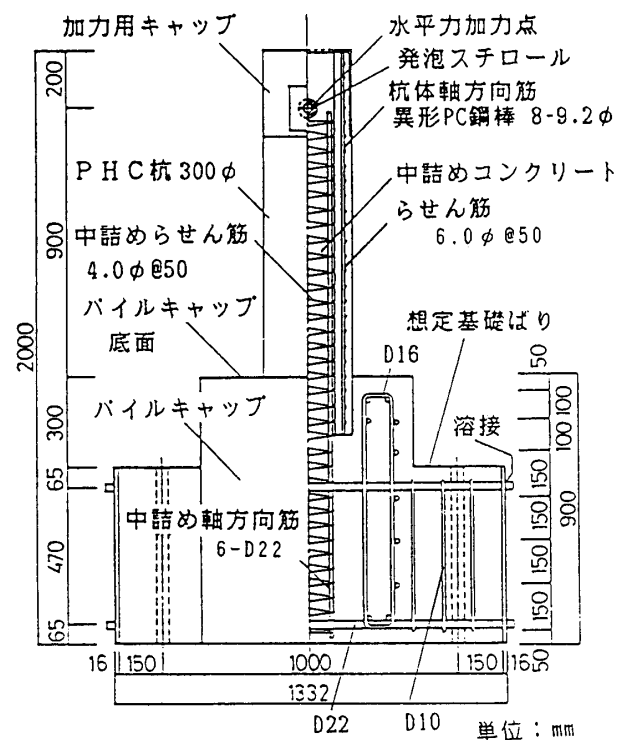
2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、表一に示す2体であり、図一に配筋と試験体の寸法を示し、図二に杭断面の詳細を示す。杭は、軸方向筋 8-9.2φ, らせん筋 6.0φ @ 50mm, 有効

表一 試験体一覧

	No	試験体記号	埋め込み長さ	らせん筋	軸力
メカニズム シリーズ	A	FB(20)-7-80-3-0	20 cm	6.0mm φ @ 50mm	0 tonf
	B	FB(10)-7-80-3-0	10 cm		



図一 試験体配筋

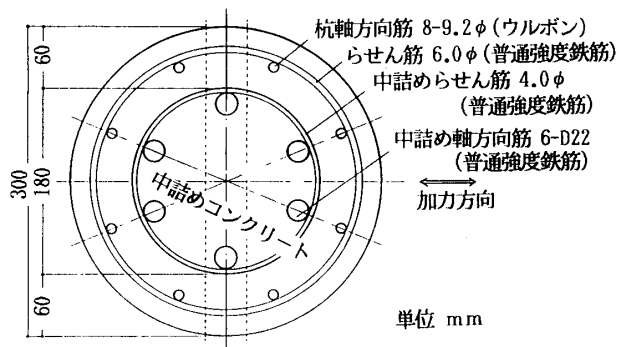


図-2 試験体断面詳細

表-2 使用材料一覧

コンクリート	圧縮強度 (平均) (kgf/cm ²)	弾性係数 (平均) (×10 ⁵ kgf/cm ²)	引張強度 (平均) (kgf/cm ²)
杭体	770~894 (834)	3.49~3.63 (3.60)	27.6~46.6 (34.3)
中詰め・ パイルキャップ	242~270 (258)	2.28~2.53 (2.45)	15.3~28.8 (23.8)

鉄筋	直径 (mm)	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)
軸方向筋	9.2φ(高強度)	14405	14964	2.154
	D22	3644	5581	1.966
らせん筋	6.0φ	4207	5177	1.945
	4.0φ	5224	5686	2.239

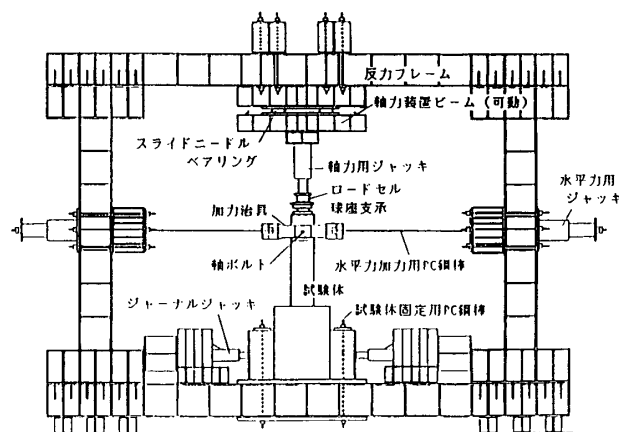


図-3 加力装置

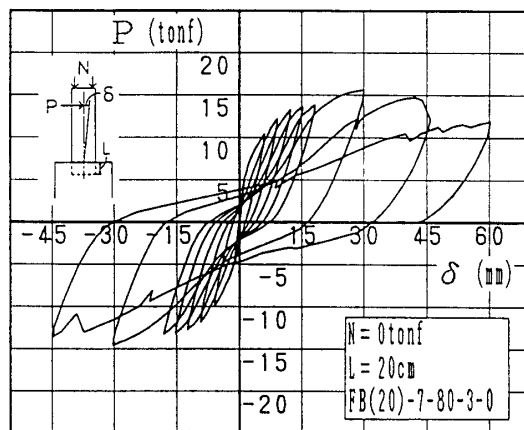


図-4 水平力-水平変位関係 (No. A)

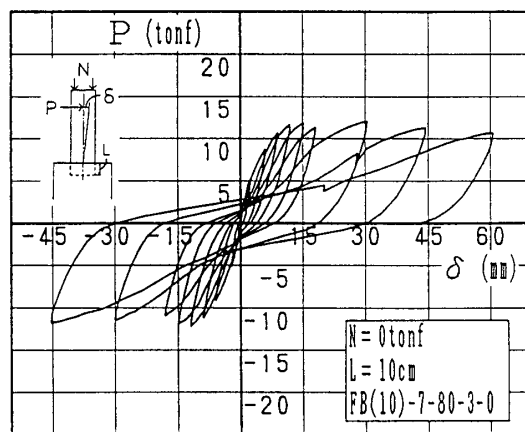


図-5 水平力-水平変位関係 (No. B)

プレストレス 80 kgf/cm² の B 種であり、せん断スパンは 3 である。中詰めコンクリート内の配筋は、軸方向筋 6-D 22、らせん筋 4.0 φ @ 50 mm である。杭頭部のパイルキャップへの埋め込み長さを、No. A は 20 cm とし、No. B は 10 cm としている。軸力による拘束が杭とパイルキャップとの接合部に生じないように、軸力を加えないものとした。

オートクレーブ養生を行うと杭軸方向筋のひずみを測定することが難しいので、本論の試験体では、富調合によってコンクリート強度を確保した。

使用材料の力学的性質を表-2 に示す。

2.2 加力・測定方法

加力の方法は前報¹⁾のとおりとし、加力装置を図-3 に示す。変位の測定も前報¹⁾のとおりであり、パイルキャップに固定したゲージホルダーにより、加力点位置での水平変位 (δ) とパイルキャップ面位置から 10 mm 加力点寄りの位置での杭頭の回転角 (θ) と抜け出しを測定した。ひずみは、杭軸方向筋と中詰め軸方向筋のひずみをストレインゲージにより測定し、また、中詰めコンクリートの主ひずみをパイルキャップ面位置から 10 mm 加力点寄りの位置を中心に水平 5 断面 (各断面 2 カ所) で 3 方向モールドゲージにより測定した。

3. 実験結果

3.1 水平力 (P) と水平変位 (δ) の関係

図-4, 5 に P-δ 関係を示す。埋め込み長さ 20 cm の No. A は、埋め込み長さ 10 cm の No. B に比べ、初期剛性、最大耐力ともにやや高く、両者ともに、水平変位 60 mm (部材角 1/15) まで急激な耐力低下を起さなかった。

3.2 杭頭回転角と杭頭の抜け出し

図-6, 7 に杭頭の回転角 (θ) と水平力 (P) の関係を、図-8, 9 に杭頭の抜け出しと水平力の関係を示す。No. A は、水平力 5 tf まではほぼ杭頭固定と見られるが、その後、回転角・抜け出しともに急に増加して杭頭の固

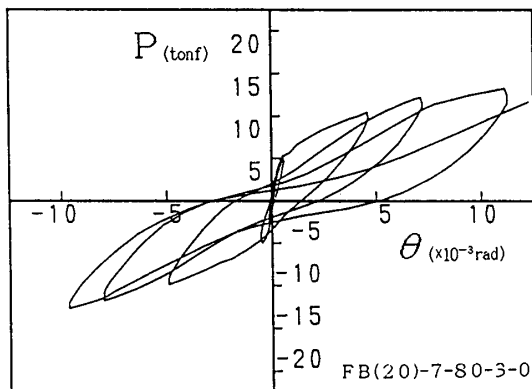


図-6 水平力-杭頭回転角関係 (No. A)

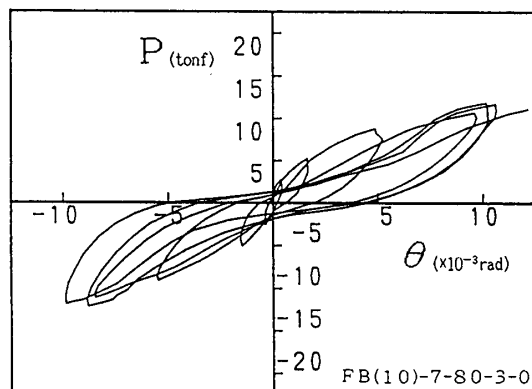


図-7 水平力-杭頭回転角関係 (No. B)

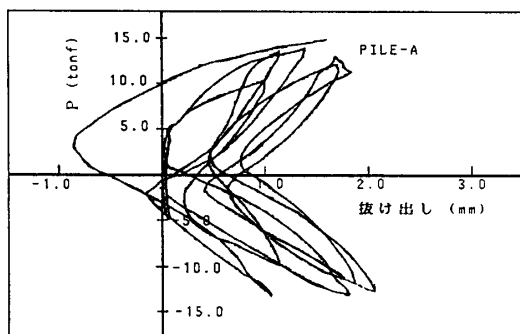


図-8 水平力-杭の抜け出し関係 (No. A)

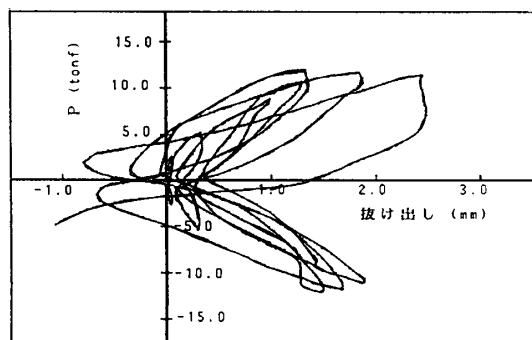


図-9 水平力-杭の抜け出し関係 (No. B)

定度が弱まっている。No. B は、初期 ($P=1$ tf) から杭頭の回転角・抜け出し共に増加しており杭頭の固定度は No. A に比べて低くなっている。埋め込み長さが浅いと初期から杭側面とパイルキャップ間ですべりが生じ

やすいと考えられる。

3.3 杭軸方向筋・中詰め軸方向筋のひずみ分布

図-10, 11 に杭軸方向筋と中詰め軸方向筋のひずみ分布を示す。両図において、それぞれ、(a) はひずみの測定位置を、(b) は水平力加力開始直前時を原点とした各繰り返しピーク時の杭軸方向筋のひずみ分布を、(c) は各繰り返しピークから除荷して $P=0$ tf となったときのひずみ分布を、(d) は (b) から (c) のひずみを差し引いたときのひずみ分布を、(e) は中詰め軸方向筋のひずみ分布を示す。杭に水平力が作用すると、杭軸方向筋のひずみは、(b) に示されるように、最初はモーメントの分布と一致するものの、水平力の増加に伴って、c~g 点におけるひずみが減少し e, f 点では負に転じてしまう。これは、杭軸方向筋に導入されていたプレストレス力 (参考資料 A 1) が水平力の増加と杭に生じるひび割れのために杭頭近傍で減少していくためと考えられる。図-12 は、杭軸方向筋のひずみ分布の変化を模式的に説明したものであり、図-12 左は、無応力 (プレストレス力導入前) の時を基準としてひずみ分布を表しており、同図右は、水平力載荷直前を基準として表している。状態 I から杭に水平力を載荷することにより軸方向筋のひずみ分布は状態 II となる。一方、曲げひび割れの発生や繰り返し加力に伴い、プレストレス力が杭頭近傍で減少し、水平力零の時のひずみ分布が状態 I から状態 III へ移行するため、水平力が加わったときの軸方向筋のひずみ分布図-10(b) は、斜線で示した状態 IV となると考えられる。図-12 の破線は、埋め込み長さが短いときの場合であり、図-11(b) を説明している。

図-10(c), 11(c) は、図-12 右の状態 III に対応し、外力がない状態であるので、No. A では h~c 点までプレストレス力が失われているものと思われ、No. B ではほとんどプレストレス力が失われていないものと思われる。同じく (d) は、水平力によって杭軸方向筋に生じているひずみ増分であり、図-12 右の状態 II を示しており、パイルキャップ面位置で最大となり、No. A では 0.35% (7.8 tf/cm²), No. B では 0.15% (3.1 tf/cm²) で頭打ちとなっている。これは杭軸方向筋の定着強度であると考えられ、杭軸方向筋には 6ϕ の丸鋼が 50 mm 間隔で点付け溶接されており必ずしも一律な付着応力度になっているとは考えにくい。この杭軸方向筋の引張力を定着長さ間の平均付着応力度に換算すると No. A で 88 kgf/cm², No. B で 67 kgf/cm² となっている。参考資料 A 2 に比べてやや低くなっているのは、付着応力度を平均したためと、プレストレス力により残留付着応力度が作用していたためと考えられる。

中詰め軸方向筋はパイルキャップ面位置で降伏している。これらのことから、杭の最大耐力は杭軸方向筋の定着強度と中詰め軸方向筋の降伏強度で定まったものと考え

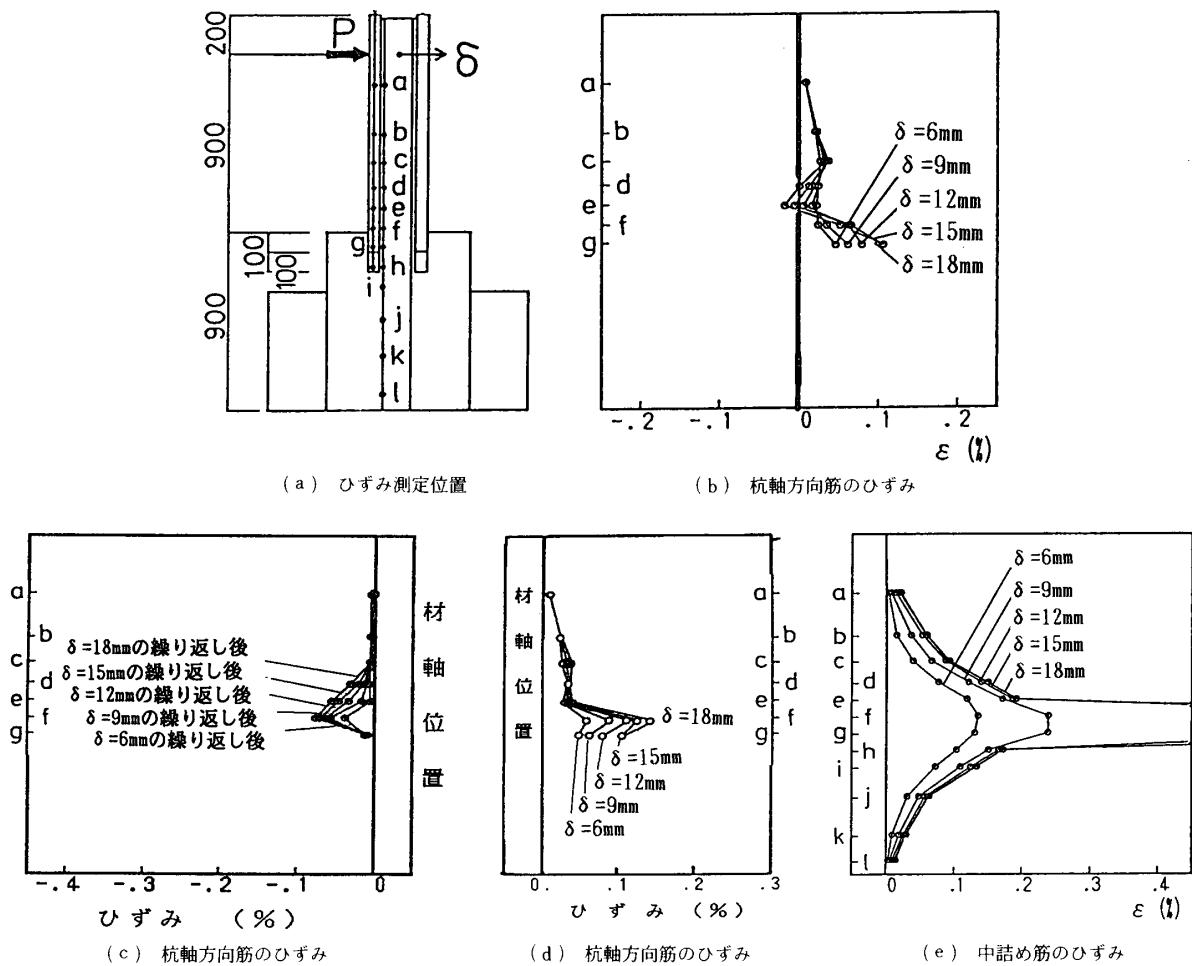


図-11 軸方向筋のひずみ分布 (No. B)

る場合 (CASE 4)

解析結果を水平力に換算した結果、および、実験結果との比較を表-3に示す。最大せん断力解析値は、杭軸方向筋のプレストレスによる初期応力にはほとんど関係せず、杭軸方向筋の見かけの降伏応力度の大きさに作用されている。

No. Aの実験値はCASE 1の0.92倍、CASE 4の1.54倍となっており、CASE 1に近い。杭軸方向筋の定着強度として本実験結果を用いたCASE 3-1に対しては1.09倍となっている。No. Bの実験値はCASE 1の0.69倍、CASE 4の1.15倍となり、むしろ杭軸方向筋を無視した場合に近い。杭軸方向筋の定着強度として本実験結果を用いたCASE 3-2に対しては0.98倍となっている。杭体コンクリートがオートクレイブ養生したものである以外は、No. Bと同じ試験体で軸力が105tfであるFB (10)-7-80-3⁴⁾を解析結果と比べてみると、CASE 1の0.92倍、CASE 4の1.15倍となっており、杭軸方向筋の定着強度として本実験結果を用いたCASE 3-2に対しては1.07倍となっている。解析が鉄筋のひずみ硬化やコンクリートの拘束効果を考慮していないことを考えれば実験結果がやや高目となるCASE 3が最も実状を表しているものと考えられ、埋め込み長

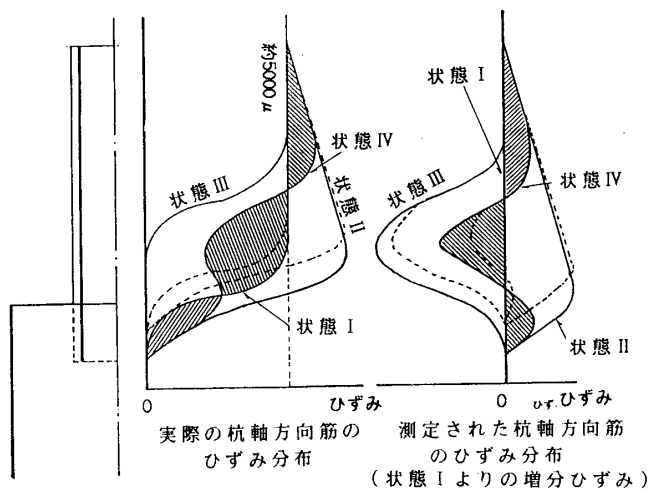
さが10cmで軸力0tfの場合には杭自体のパイルキャップからの抜け出し等によりパイルキャップ面位置で平面保持の仮定が成立しておらず、計算上の曲げ耐力を発揮できないものと考えられる。

図-14, 15は、断面曲げ解析による曲げ変形のためのP- δ 関係と実験結果との比較を示したものである。埋め込み長さ20cmの場合には、約6tfまでは実験結果と解析結果が一致しているが、その後、実験結果では剛性が急に低下しており、約6tfで杭頭の固定度が低下したものと考えられる。埋め込み長さ10cmの場合には、初期より実験結果の剛性は解析結果より低く杭頭の固定度もかなり低いことが分かる。これらのことは、図-6, 7の結果と一致している。

5. 三次元有限要素法による解析

5.1 解析の目的

前章までに、実験結果は杭頭固定とした断面曲げ解析に比べ剛性がかなり低いことを述べた。これは、杭体コンクリートと杭軸方向筋との付着、杭内側における杭体コンクリートと中詰めコンクリートとの付着、中詰めコンクリートと中詰め軸方向筋との付着、杭外側における杭体コンクリートとパイルキャップとの付着・摩擦、および、パイルキャップの杭周辺部の変形の影響と考えら



状態Ⅰ：実験開始直前、初期状態
 状態Ⅱ：状態Ⅰと水平力により生じる曲げひずみの和
 状態Ⅲ：杭頭部分のプレストレスが曲げひび割れ発生等により失われたときの状態（水平力なし）
 状態Ⅳ：状態Ⅲと水平力により生じる曲げひずみの和

実線：埋め込み長さ20cm 破線：埋め込み長さ10cm

図-12 杭軸方向筋のひずみ分布（模式図）

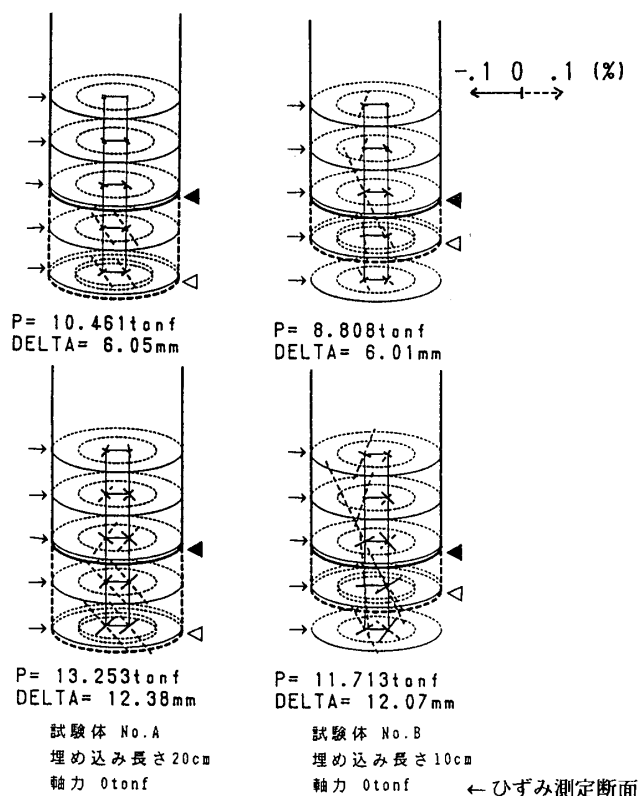


図-13 中詰めコンクリートの主ひずみ分布

れる。これらの問題を解析的に明らかにするためには、三次元的な扱いが必要である。本章では、三次元有限要素解析によって、これらの点を明らかにすることを試みた。

5.2 解析モデル

図-16に解析のモデル化を示す。加力方向の垂直面での対称性を考えて、半分を解析する。想定基礎梁の中

表-3 解析結果と実験結果との比較

(a) 解析結果および実験結果

解析例 または 試験体名	最大せん断力 (tf)	
解	CASE 1 (解析) 杭軸方向筋のプレストレスによる初期ひずみ=0.5% 杭軸方向筋完全定着	軸力=0 tf: 17.3 軸力=10.5 tf: 23.2
	CASE 2 (解析) 杭軸方向筋のプレストレスによる初期ひずみ=0.% 杭軸方向筋完全定着	軸力=0 tf: 17.6
	CASE 3-1 (解析) 杭軸方向筋のプレストレスによる初期ひずみ=0.% 杭軸方向筋定着不完全: すべり開始時引張応力度=7.8tf/cm ²	軸力=0 tf: 14.7
	CASE 3-2 (解析) 杭軸方向筋のプレストレスによる初期ひずみ=0.% 杭軸方向筋定着不完全: すべり開始時引張応力度=3.1tf/cm ²	軸力=0 tf: 12.2 軸力=10.5 tf: 19.9
例	CASE 4 (解析) 杭軸方向筋のプレストレスによる初期ひずみ=0.% 杭軸方向筋定着無	軸力=0 tf: 10.4 軸力=10.5 tf: 18.5
	試験体 A 埋め込み長さ 20cm, 軸力=0tf	16.0
験	試験体 B 埋め込み長さ 10cm, 軸力=0tf	12.0
	試験体 FB(10)-7-80-3-3 埋め込み長さ 10cm, 軸力10.5tf	21.3

(b) 実験結果と解析結果の比較

試験体名	実験結果と解析結果の比較			
	実験結果 CASE 1	実験結果 CASE 4	実験結果 CASE 3-1	実験結果 CASE 3-2
試験体 A 埋め込み長さ 20cm, 軸力=0tf	0.92	1.54	1.08	---
試験体 B 埋め込み長さ 10cm, 軸力=0tf	0.89	1.15	---	0.98
試験体 FB(10)-7-80-3-3 埋め込み長さ 10cm, 軸力10.5tf	0.92	1.15	---	1.07

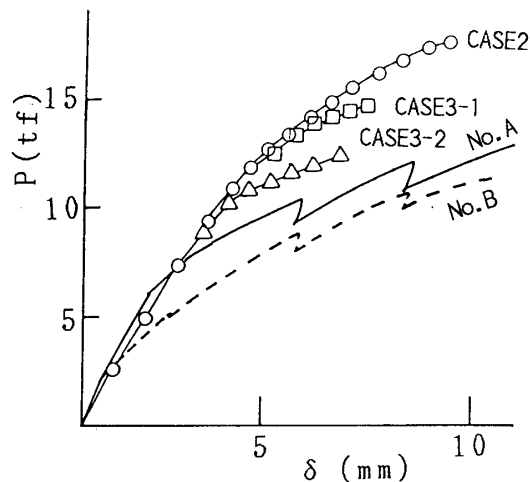


図-14 水平力-水平変位関係

心を通る水平面で切り取り、切断面で全方向を固定とし、切断面より下の中詰め軸方向筋はばねに置き換える。

PHC 杭には、プレストレスが導入されているので杭単体でプレストレス導入と杭頭カットオフによるプレストレス力の解除について解析しその結果を、図-16の解析モデルの初期応力として与えた。水平力の加力は、杭先端の節点に強制変位を与えるものとし、一方向加力とする。解析に用いた要素は、コンクリート要素、鉄筋要素、付着要素、杭体コンクリートと中詰めコンクリートとの境界要素、杭体コンクリートとパイルキャップとの境界要素の5要素とする。

(コンクリート要素) コンクリート要素は、非適合モー

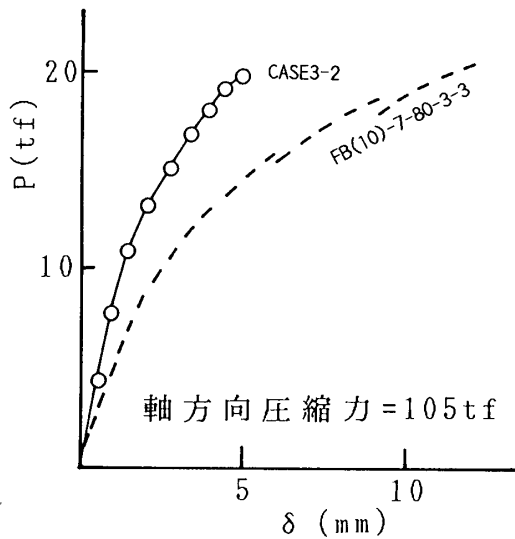


図-15 水平力-水平変位関係(軸力 105 tf)

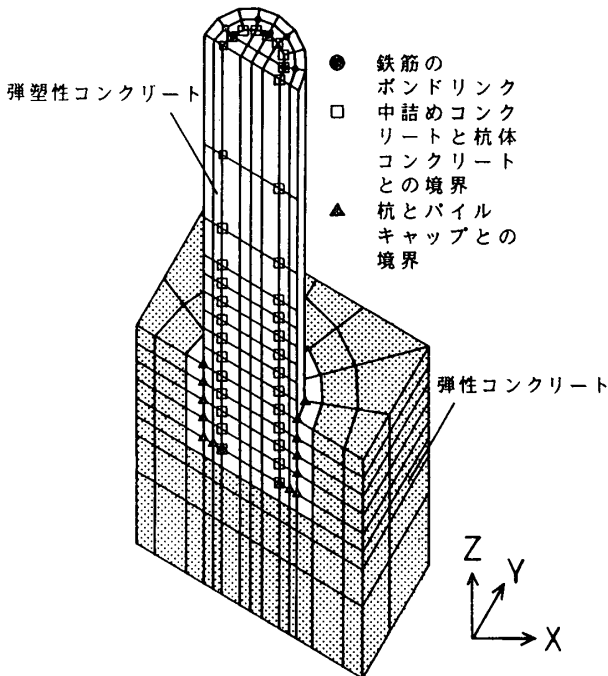


図-16 三次元有限要素法解析モデル

ドを有するアイソパラメトリック6面体要素とし⁵⁾, 数値積分は2次のガウス積分(ガウス点8点)で行った。コンクリートは弾塑性とし, その構成則は Bathe⁶⁾によった。ただし, 計算機の容量と演算時間等の関係から, パイルキャップの埋め込み杭の周辺部分以外は, 鉄筋の剛性をコンクリートに算入した等価弾性剛性とし, 弾性として扱い, 応力の解除も行っていない。

(鉄筋要素) 鉄筋は, ダボ作用を考慮せず, 軸方向剛性のみを有する1次元部材とし, 応力とひずみの関係は弾塑性とした。らせん筋は, クローズドフープに置き換えた。

(付着要素) 軸方向筋とコンクリートとの付着はボンドリンクを用い, 付着応力とすべりの関係は, 弾塑性とし

表-4 解析に使用した数値一覧

コンクリート要素	E_c $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$	σ_c kgf/cm^2	ϵ_c μ	σ_u kgf/cm^2	ϵ_u μ	σ_s kgf/cm^2
杭体	3.877	834	3200	831	320	60
中詰め・パイルキャップ	2.727	258	2600	247	330	27

E_c : 初期剛性 σ_c : 圧縮強度 ϵ_c : 圧縮強度時ひずみ σ_u : 終局強度
 ϵ_u : 終局強度時ひずみ σ_s : 引張強度

鉄筋	直径 (mm)	E_s $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$	E'_s $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$	σ_s kgf/cm^2
軸方向筋	9.2φ (高強度)	2154	300	14405
	D22	1966	20	3644
らせん筋	6.0φ	1945	480	4453
	4.0φ	2239	325	5513

E_s : 初期剛性 E'_s : 2次剛性 σ_s : 降伏強度

ボンドリンク	E_b kgf/cm^2	E'_b kgf/cm^2	τ_b kgf/cm^2	
軸方向筋	9.2φ (高強度)	9000	9	90
	D22	9000	9	70
杭と中詰めコンクリートの境界	257	5	18	

E_b : 初期剛性 E'_b : 2次剛性 τ_b : 降伏強度

た。中詰め軸方向筋の付着応力とすべりの関係は, 異形鉄筋と普通強度コンクリートとの関係として, 一般的な数値を使用した。杭軸方向筋と高強度コンクリートとの付着応力とすべりの関係は, 実験データがほとんどないために数は少ないが実験結果に基づいて定めた(参考資料A2)。

(杭体コンクリートと中詰めコンクリートとの境界要素)

杭体コンクリートと中詰めコンクリートとの境界は, ボンドリンクを用いて表現した。PHC杭の内側には, 遠心成形によって作製される際に内側には絞り出された水分の多いペーストが硬化した「のろ」と呼ばれる柔らかい層が出来る。このため, 中詰めコンクリートと杭体コンクリートとの一体性については疑問があるが, 両者の付着特性については実験データはほとんどないので, 一応実験を行って定めた(参考資料A3)。

(杭体コンクリートとパイルキャップとの境界要素)

杭体外側とパイルキャップとの間には, 単に, 付着力だけではなくかなり大きな摩擦力(杭の転倒モーメントに対する側反力によって生じる)も作用しているものと考えられる。しかしながら, このような場合の摩擦係数については全く実験データがなく, また, 杭体コンクリートとパイルキャップとの境界要素をモデル化する実験手法そのものも非常に難しい。さらに, 解析において摩擦力を考慮することは, 多量の収れん計算を必要とし, 本解析に取り込むことは困難であった。そこで, 本解析では二つの解析モデルを設定した。第一を, 「接触一体モデル」と呼び, 杭とパイルキャップとの間にリンク要素を置き, そのリンク要素の法線方向のばねに引張力が作用しているときは完全分離であるが, 圧縮力が作用しているときにはほぼ一体と考えられる程度に杭軸方向のばね剛性を高くした。第二を, 「摩擦すべりモデル」と呼び, 杭とパイルキャップとの間のリンク要素の法線方向のば

ねに圧縮力が作用しているときでも杭軸方向ばねの力がある値を超えたときには剛性を零として、すべりが生じるとした。摩擦すべりモデルにおいて、摩擦によるすべりが発生するときの杭軸方向ばねの力は、図-6, 7を参考にして、接触一体モデルの解析において水平力が5tfのときに杭軸方向ばねに生じている力の平均値とした。

解析に用いた数値を表-4に示す。

6. 三次元有限要素法解析の結果と実験結果との比較

図-17, 18に水平力(P)と水平変位の関係を示す。軸力のある例として、4章でも解析した、埋め込み長さ10cm, 軸力105tfのFB(10)-7-80-3-3⁴⁾も解析し、比較した。図-17は接触一体モデルの解析結果であり、図-18は摩擦すべりモデルの解析結果である。接触一体モデルの場合、初期剛性はほぼ実験結果と一致しているものの、その後剛性低下が少なく、強度が実験結果よりも高くなり過ぎている。これに対し、摩擦すべりモデルはかなり実験結果に近くなっており、特に、軸力105tfの場合はよくあっている。また、摩擦すべりモデルでは、接触一体モデルでは見られなかった埋め込み長さの影響もよく現れている。しかしながら、軸力が0tfの場

合には剛性が高く実験結果とはかなりの相違がある。これは、実験結果では繰り返し加力を行っているために摩擦すべりの剛性や強度が変形の増加と共に低下していくものと考えられるのに対し、解析では応力の解除を行っていないためにこのような強度低下や付着劣化などの下り勾配が取り入れられていないためと考えられる。特に、繰り返し荷重下の摩擦すべりモデルの特性は、実験データもなく今後の研究課題であると考ええる。軸力が105tfの場合には、杭の軸方向の抜け出しが少ないので、繰り返しによる摩擦すべりの剛性低下も少なく、実験結果と解析結果はよく合っている。

図-19は、変形状況と要素の塑性化の状況を示す。埋め込み長さ10cmの場合には杭の抜け出しによる転倒が大きく杭そのものの曲げ変形があまり生じていない。

図-20は、埋め込み長さ20cmの場合の中詰め軸方向筋のひずみ分布であるが、実験結果とよくあっている。図-21は、杭軸方向筋のひずみ分布である。本来これ

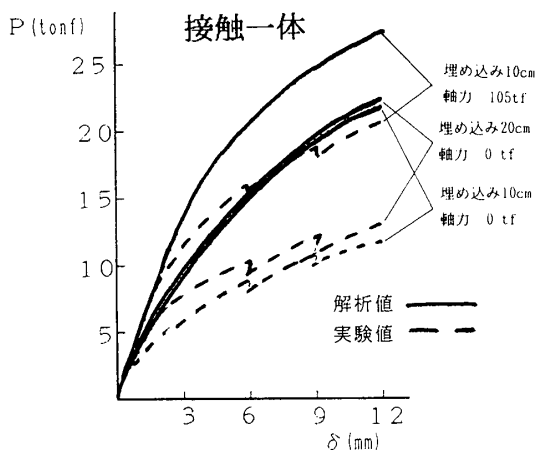


図-17 水平力—水平変位関係 (接触一体モデル)

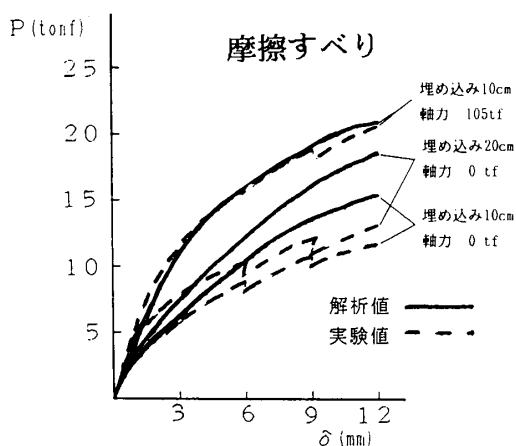


図-18 水平力—水平変位関係 (摩擦すべりモデル)

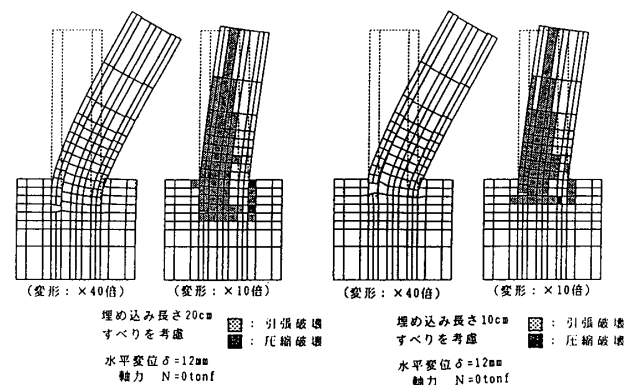


図-19 変形・塑性化状況

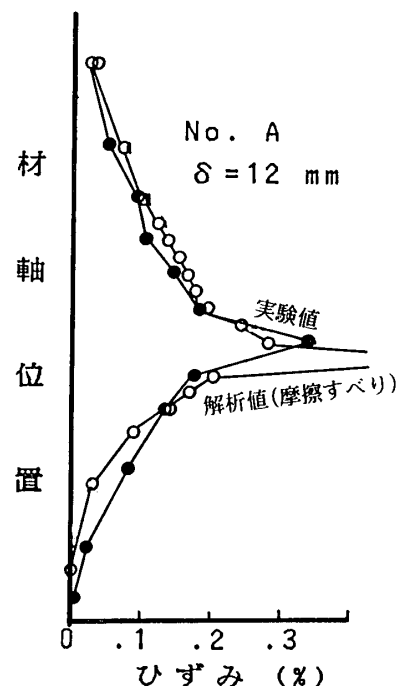


図-20 中詰め軸方向筋のひずみ分布 (No. A)

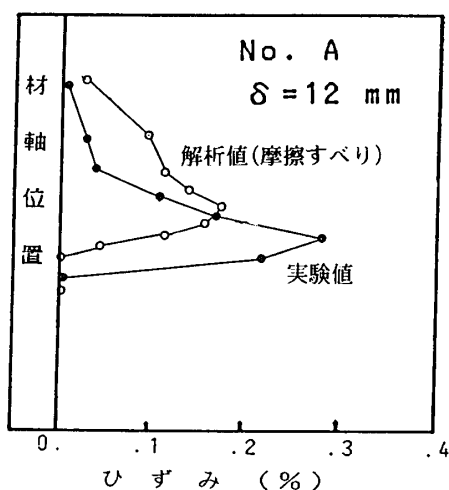


図-21 杭軸方向筋のひずみ分布 (No. A)

は図-10(b)と比較すべきものであるが、解析では応力解除を行っていないために付着の喪失が取り扱われておらず、ひずみが負になる現象を本解析では表すことが出来ていない。今後の研究課題であろう。図-21は水平力によるひずみ増分である図-10(d)と比べたものである。解析結果では図-19に見られるようにひびわれが分散しているためにひずみが載荷点近くまで増加しているものの実験結果とほぼよい対応をしている。

7. 結論

本論文では、杭頭で軸方向筋も含めてカットオフしても、杭とパイルキャップ間の曲げモーメントとせん断力の伝達が可能な方法として、杭中空部に中詰めコンクリートと同時に異形鉄筋を配筋する方法を考え、この工法による杭とパイルキャップとの接合方法を用いた杭基礎について軸力なしでの実験と解析を行い、力の伝達のメカニズムと変形性能を調べた。本論の結論を要約すれば次のとおりである。

(1) 本工法による杭基礎は、杭軸方向筋の破断を生じることなく、部材角1/15に至っても大幅な耐力低下を生じることなく、良好な性状を示した。施工の実現性から考えても本工法は有効な工法であると考えられる。

(2) 埋め込み長さが10 cmの場合は、初期から杭のパイルキャップからの抜け出しが生じ、杭頭固定度が小さかったものの、埋め込み長さが20 cmの場合には、初期の固定度はほぼ完全固定に近かった。

(3) 中詰め軸方向筋は、パイルキャップ面位置で降伏しており、曲げモーメントに対し有効に働いていた。

(4) 杭軸方向筋の曲げに対する寄与の程度は、埋め込み長さによって異なり、埋め込み長さ20 cmの場合は降伏強度の約1/2であり、埋め込み長さ10 cmの場合には約1/5であった。

(5) 上記の寄与率を考慮すれば、本工法による杭基礎の最大耐力は、断面曲げ解析によってほぼ計算できる。

(6) 三次元有限要素法解析によれば、本工法による

杭基礎の復元力特性には、PHC杭側面とパイルキャップとの摩擦すべり関係が大きな影響を与えている。

8. 今後の研究課題

本実験と断面解析、および、三次元有限要素法解析により本工法の有効性を確認できたと考えているが、今後種々の規格の杭に対して、埋め込み長さ耐震性能との関係を調べる必要があり、またそれらの耐力を計算するためには、各種の杭軸方向筋の、パイルキャップ面位置からカットオフ位置までの定着強度を確認する必要がある。

謝辞

本研究の遂行に際し、東京工業大学教授岸田英明博士には適切にご指導ご助言を頂きました。厚くお礼申し上げます。前田製管(株)には、杭に関するご助言や、試験体の製作に関するご協力を頂きました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 黒正清治ほか：軸力と水平力を受ける高強度PC杭基礎の力学的性状に関する実験（高強度PC杭の耐力及び変形性能向上に関する研究（1））、日本建築学会構造系論文報告集、No. 376, pp. 71-87, 1987. 6
- 2) 黒正清治ほか：高強度PC杭の中空部にコンクリートを中詰めした効果に関する研究（高強度PC杭の耐力及び変形性能向上に関する研究（2））、日本建築学会構造系論文報告集、No. 390, pp. 134-141, 1988. 8
- 3) 黒正清治ほか：高強度PC杭の変形性能を考慮した杭頭接合部に関する実験、第9回コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 9-2, pp. 471-476, 1987. 7
- 4) 堀井昌博ほか：高強度PC杭の耐力及び変形性能向上に関する研究（その7, 8, 9）、日本建築学会大会学術講演梗概集、Vol. B, pp. 1011-1016, 1988. 10
- 5) O. C. Zienkiewicz: The Finite Element Method in Engineering Science, McGRAW-HILL, 1971
- 6) K. J. Bathe and S. Ramaswamy: On Three-Dimensional Nonlinear Analysis of Concrete Structures, Nuclear Engineering and Design 52, pp. 385-409, 1979

参考資料

A1 杭の残留プレストレス力

杭頭カットオフに伴うプレストレスの分布の変化を調べた。図-A1-1は、杭の強度発現後杭頭両端の定着用のナットを外したときのひずみ分布である。端部から20~30 cm内側でフルプレストレス力となっており、平均付着応力度は、110~160 kgf/cm²であった。

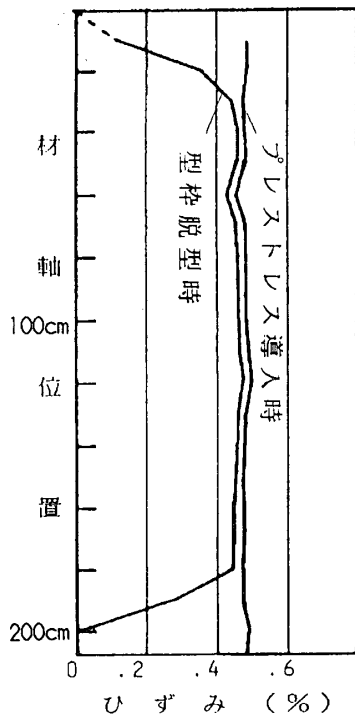


図-A1-1 プレストレス力の分布

A2 杭軸方向筋の付着強度

杭軸方向筋は、らせん筋が点付溶接された高強度異形PC鋼棒である。このような鉄筋と高強度コンクリートとの付着強度試験を行った。図-A2-1に示すように杭を縦割にして両引き試験を行った。図-A2-2は引き抜き力と荷重端すべりの関係の、図-A2-3は各部の付着応力とすべりの関係の一例を示す。最大付着強度は荷重端ごく近傍を除いて80~120 kgf/cm²であった。

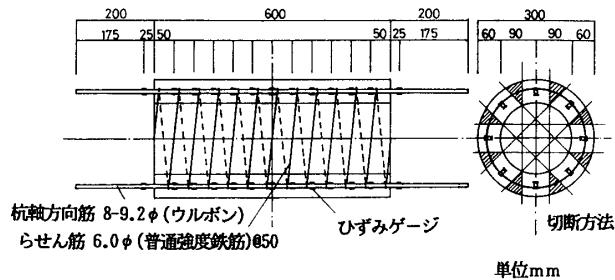


図-A2-1 付着試験体

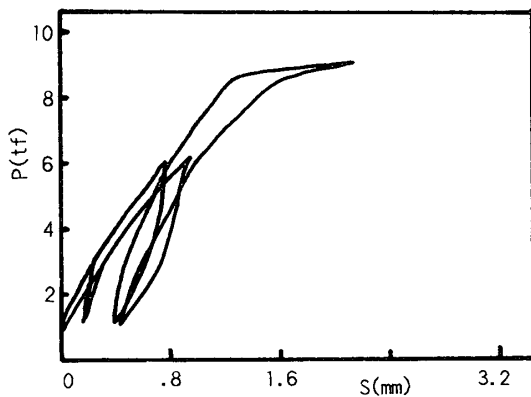


図-A2-2 引き抜き力と荷重端すべり

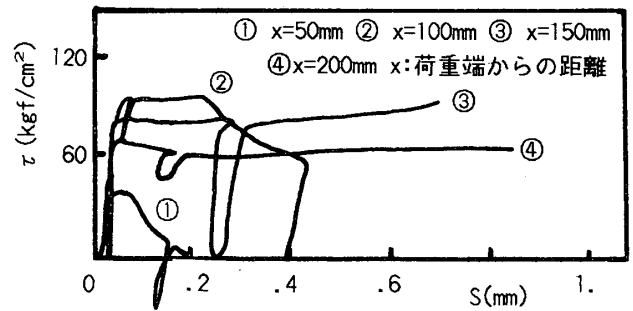


図-A2-3 付着応力すべり関係

A3 中詰めコンクリートと杭との付着強度

図-A3-1に示すように、杭中空部にコンクリートを中詰めし、押し抜き試験を行った。図-A3-2は、平均付着応力と自由端すべりの関係の一例を表す。最大付着強度は約20 kgf/cm²であった。

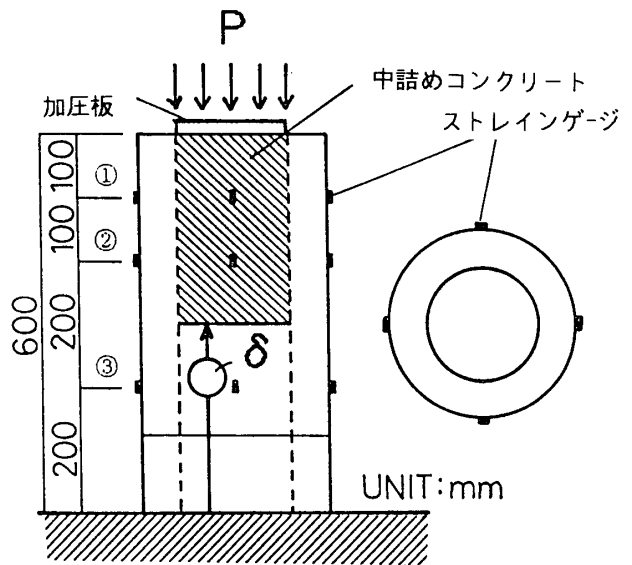


図-A3-1 押し抜き試験体

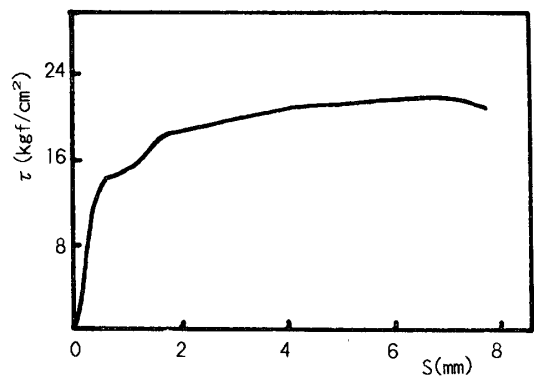


図-A3-2 押し抜き付着応力すべり関係

SYNOPSIS

UDC : 624. 155. 113

SHEAR TRANSFER MECHANISM OF PHC PILE TO PILE CAP CONNECTION

Study of the improvement in the bearing capacity and ductility of the prestressed high strength concrete (PHC) pile, Part 3

by Dr. **SEJI KOKUSHO**, **MASAHIRO HORII**, Dr. **AKIRA WADA**, Dr. **SHIZUO HAYASHI**, Dr. **KATSUMI KOBAYASHI**, **KUNINARI UEDA** and **YASUO SAITOH**, Members of A. I. J.

With the aim of providing a ductility to a PHC pile-to-pile cap connection, a new connecting method has been developed by the authors. With this method, the pile, together with its axial reinforcement, is cut off. The cut-off pile is then embedded into the pile cap 10 to 20 cm, and then axial reinforcement (6-D 22 bars) and spiral hoop (4 mm ϕ -@ 50 mm) are arranged in the hollow section of the pile and subsequently the concrete is placed into both the hollow section and the pile cap simultaneously. This new method offers greater work efficiency, and also ductility in the PHC pile-to-pile cap connection without the failure of the axial reinforcement of the pile.

This paper reports the experiments and analyses of the shear transfer mechanism in a PHC pile-to-pile cap connection. These investigations have revealed that the PHC pile-to-pile cap connection constructed under the proposed method has great ductility. The effects of embedded length on the maximum shear strength and ductility of a pile have been clarified as well.