

図2 杭断面

断スパン比は 3.0 である。らせん筋は、 $3.2\phi @ 50\text{mm}$ に加えて、異形 PC 鋼棒 $6.0\phi @ 50\text{mm}$ を添え巻きした。既往の研究（文献 4）によれば、杭頭回転拘束の状態に近づけるためには、杭頭部をパイルキャップ内に少なくとも杭径程度埋め込む必要があることから、本実験では、埋込み長さを杭径にあたる 30cm とした。杭体軸方向筋は、付着すべりによる耐力低下を防ぐために、杭径の 1.5 倍（45cm、鉄筋径の約 50 倍）伸ばして先端にヘッディングを施し、完全定着した。異形鉄筋 D10 も 45cm 伸ばして定着したが、これは鉄筋径の 45 倍にあたり、定着長としては十分と考えた。杭中空部には中詰めコンクリートをほぼ全長にわたって施した。使用材料の力学的性質は表 1 に示す。

2.2 加力・測定方法

加力装置を図 3 に示す。実際の状態とは天地を逆に、試験体を反力フレーム内に設置し、片持ち梁形式で杭の先端に軸力と水平力を作用させた。軸力装置は、杭先端の水平変位に追従して、滑らかに動くようにした。そして杭の先端に、杭体軸方向筋破断が問題となる 0tonf および極限支持力に相当する 105tonf の軸力を作用させ、水平力を片持ち梁形式で載荷した。水平力は、加力治具を介して左右の PC 鋼棒を交互に引っ張ることにより加えた。載荷経路は、軸力を一定に保ち、外径 30cm B 種 PHC 杭の長期許容曲げモーメントが生じる水平力の 2 倍まで荷重制御で、その後変形制御

表 1 使用材料の力学的性質

コンクリート	圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (x10 ⁵ kgf/cm ²)	
杭体	865 ~ 897	60 ~ 63	3.5 ~ 3.8	
パイルキャップ	278 ~ 305	23 ~ 25	2.6 ~ 2.7	
鉄筋	降伏耐力 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (tonf/cm ²)	
軸方向筋	9.2φ D10 D13 (高強度) D13 (普通)	14200 1930 7640 3830	15100 3650 8540 5720	2060 5260 2210 1930
らせん筋	3.2φ 6.0φ 4.0φ	7320	6390 15200 7570	2100 2210

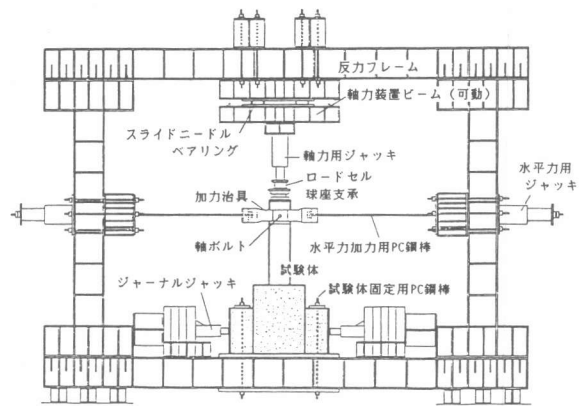


図3 加力装置

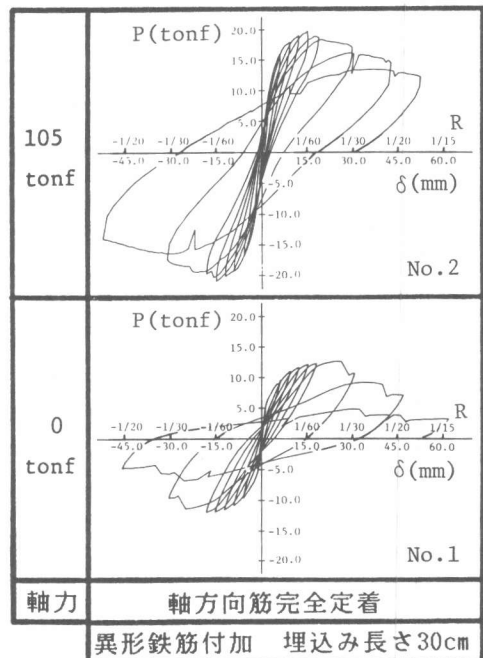


図4 P ~ δ 曲線

で設定したループを正負各1回繰返し、最終的に部材角 1/15 まで変形させることを原則とした。荷重は球座と軸力用ジャッキ間に設置したロードセルおよび水平力加力用PC鋼棒に貼布したひずみゲージで測定し、水平変位は、パイルキャップに固定したゲージホルダーからの相対変位として測定した。

2.3 実験結果

図4に水平力(P)と加力点の水平変位(δ)の関係を示す。軸力 105tonfの場合には最大水平力に達した後、徐々に耐力が低下するが、軸力を保持し部材角(R)で 1/20 以上変形した。軸力 0tonfの場合には、ひび割れが分散する傾向にあったが、水平変位約 25mm の時、急激に保持水平力が低下した。その後も変形の増大に伴い急激な保持水平力の低下が見られた。実験終了後試験体を調べた結果、杭体軸方向筋が破断していることが確認された。

3. 実験 [2]

実験 [1] の結果、杭体軸方向筋の間に異形鉄筋を付加するとひび割れは分散したが、杭体軸方向筋をパイルキャップ内に完全定着させた場合、大変形時の軸方向筋破断は防止できなかった。そこで、杭体に損傷を与えず杭体軸方向筋を残してカットオフすることは施工上困難であることを考慮し、杭体軸方向筋も含めて杭頭部をカットオフして軸方向筋の破断を防止しようと考えた。付着すべりの対策としては、中詰めコンクリート内に軸方向筋を配筋してパイルキャップ内に十分定着させ、杭体軸方向筋の定着には期待せず、杭体軸方向筋の受け持つ応力を中詰めコンクリート内の軸方向筋

(以下中詰め軸方向筋と呼ぶ)に伝えて定着をはかることにし、その場合の変形性能を確認することにした。

3.1 試験体

試験体を図5に、試験体一覧を表2に示す。杭体軸方向筋を含めて杭頭部をカットオフし、杭中空部に中詰めコンクリートをほぼ全長にわたって施し、中詰めコンクリート内に軸方向筋 8-D13とらせん筋 4.0φ @50mmを配筋して図5のようにパイルキャップ内にできるだけ長く定着させた。必要定着長は、これにひずみゲージを貼布してひずみ測定を行なうことにより求めることとした。中詰め軸方向筋の鉄筋量は次のようにして決定

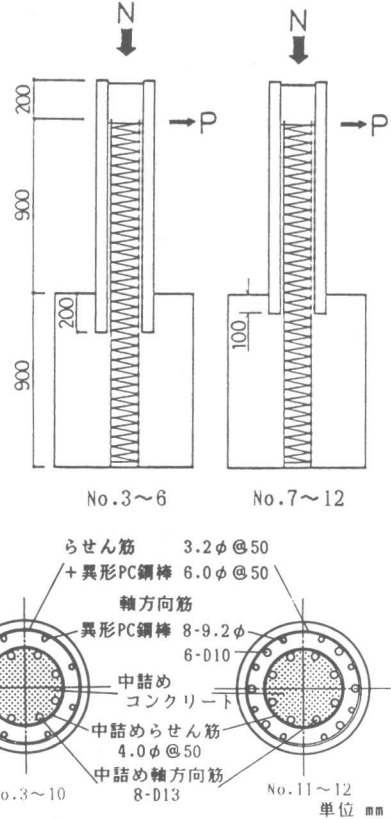


図5 試験体

表2 試験体一覧

No.	試験体記号	埋込み深さL (cm)	中詰め軸方向筋	軸力 (tonf)	杭体軸方向筋	
実験 [1]	1. FDB-2u-80-3-0	30	—	0	8-9.2φ + 6-D10	
	2. FDB-2u-80-3-3			105		
実験 [2]	3. FB(20H)-2u-80-3-0	20	8-D13 (高強度)	0	8-9.2φ	
	4. FB(20H)-2u-80-3-3		8-D13 (高強度)	105		
	5. FB(20N)-2u-80-3-0		8-D13 (普通強度)	0		
	6. FB(20N)-2u-80-3-3		8-D13 (普通強度)	105		
	7. FB(10H)-2u-80-3-0	10	8-D13 (高強度)	0		
	8. FB(10H)-2u-80-3-3		8-D13 (高強度)	105		
	9. FB(10N)-2u-80-3-0		8-D13 (普通強度)	0		
	10. FB(10N)-2u-80-3-3		8-D13 (普通強度)	105		
	11. FDB(10H)-2u-80-3-0	10	8-D13 (高強度)	0		8-9.2φ + 6-D10
	12. FDB(10H)-2u-80-3-3		8-D13 (高強度)	105		

した。強度および応力中心間距離を考え、杭体軸方向筋を全て中詰め軸方向筋に置き換えようとしたとき、SD35の異形鉄筋の場合 D19となる。しかし D19では径が大きすぎるので、断面積が約 1/2で降伏強度が約2倍の高強度の D13を使用した。実験は、普通強度の D13を使用した試験体についても行なった。試験体 No.11と No.12では、軸方向筋 8-9.2φの間に 6-D10を図5のように付加した。杭のパイルキャップへの埋込み長さは、水平反力さえ取れば零でもよいと考えるが、本実験では杭径の 2/3 (20cm) または 1/3 (10cm) をパラメーターとして選んだ。試験体の形状やパイルキャップの配筋および加力・測定方法は、実験 [1] の場合と同様である。

なお、使用材料の力学的性質は表 1 に示した通りである。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 水平力 (P) と加力点の水平変位 (δ) の関係

表 3 に実験結果一覧を、図 6 から図 8 に各試験体の P ~ δ 曲線を示す。

図 6 は、埋込み長さ 20cm の試験体の P ~ δ 曲線である。高強度の中詰め軸方向筋を用い、軸力 0tonf を与えた試験体 No.3 では、水平変位が部材角 1/60 に達したあたりで一時的に急激な保持水平力の

表 3 実験結果一覧

No.	試験体記号	P max (tonf)	M max (tonf·m)	δ_{pm} (mm)	P bc (tonf)	P sc (tonf)	P cf (tonf)
実験 [1]	1. FDB-2u-80-3-0	12.7	11.4	24.7	6.5	8.5	12.5
	2. FDB-2u-80-3-3	19.8	19.4	15.1	14.2	17.6	19.4
実験 [2]	3. FB(20H)-2u-80-3-0	16.8	15.1	27.0	7.4	9.4	12.2
	4. FB(20H)-2u-80-3-3	19.7	19.2	14.2	16.4	19.7	18.3
	5. FB(20N)-2u-80-3-0	11.7	10.5	30.6	8.5	9.6	10.7
	6. FB(20N)-2u-80-3-3	19.9	19.6	15.9	15.3	19.8	19.8
	7. FB(10H)-2u-80-3-0	13.0	11.7	28.0	6.4	9.1	11.8
	8. FB(10H)-2u-80-3-3	18.0	19.0	26.7	17.7	17.4	17.8
	9. FB(10N)-2u-80-3-0	8.4	7.3	8.7	7.5	7.5	-
	10. FB(10N)-2u-80-3-3	18.0	17.8	14.5	16.8	16.5	17.9
	11. FDB(10H)-2u-80-3-0	13.6	12.3	30.7	7.1	8.5	13.3
	12. FDB(10H)-2u-80-3-3	19.0	19.0	18.2	13.5	16.8	19.1

P max : 最大水平力 M max : 軸力による付加曲げを考慮した最大曲げモーメント
 δ_{pm} : 最大水平力時の水平変位 P bc : 曲げひび割れ発生時の水平力
P sc : せん断ひび割れ発生時の水平力 P cf : 圧壊開始時の水平力

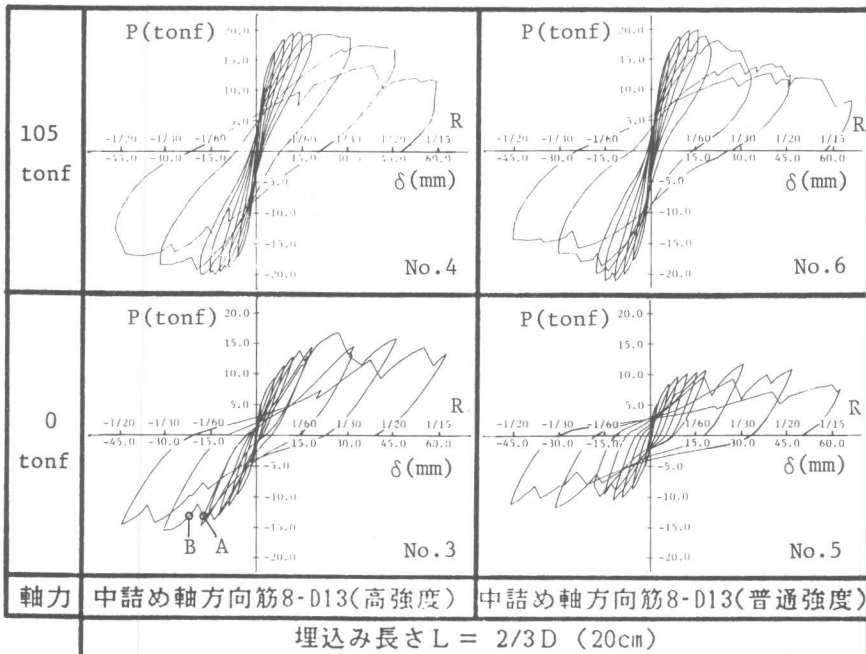


図 6 P ~ δ 曲線

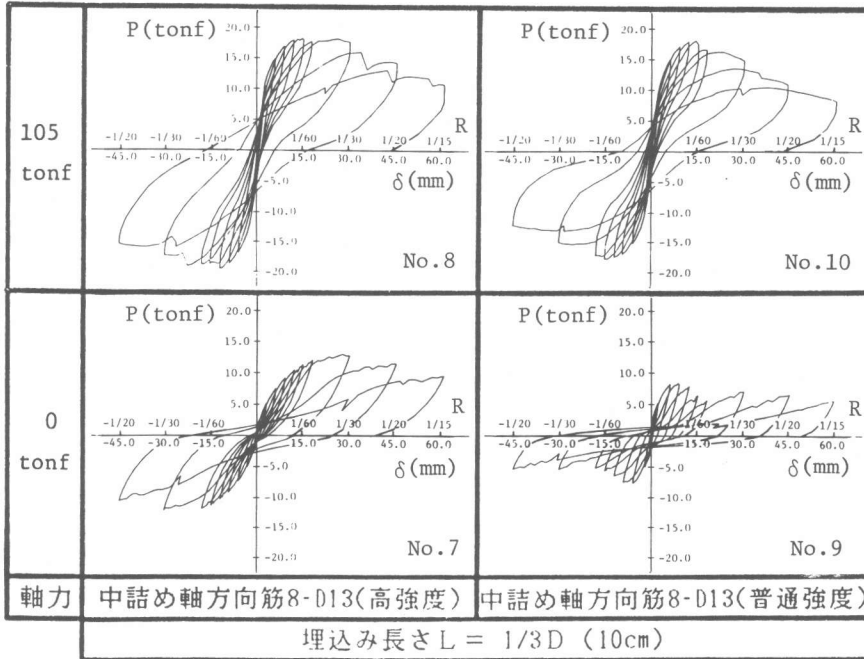


図7 P～ δ 曲線

低下を生じたが、変形増大に伴い保持水平力が回復した。これを繰返しながら結果的には保持水平力があまり低下せず到大変形に耐えた。軸力 105tonfの No.4 でも同様の現象が見られたが、大きな耐力低下をせず部材角 1/20 以上変形した。普通強度の中詰め軸方向筋を用いた No.5 と No.6 では、軸力が 0tonfのとき、高強度鉄筋を用いたものより耐力が低くなったが、それ以外は、ほぼ同様の性状を示した。

図7は、埋込み長さが 10cm の試験体の P～ δ 曲線である。高強度の中詰め軸方向筋を用い、軸力 0tonfを与えた No.7では、杭のパイルキャップからの抜け出しが大きく、埋込み長さ 20cm の No.3 よりも耐力が低くなった。軸力 105tonfの No.8 も耐力は多少低くなったが、埋込み長さ 20cm の No.4 と同様の耐力、変形状を示した。普通強度の中詰め軸方向筋を用いたものは、軸力が 0tonfのとき、高強度鉄筋を用いたものより耐力が低くなったが、それ以外は、ほぼ同様の性状を示した。

図8は、埋込み長さ 10cm で、杭体軸方向筋の間に異形鉄筋を付加した試験体の P～ δ 曲線である。耐力は、異形鉄筋を付加しているため高くなったものの、変形状は

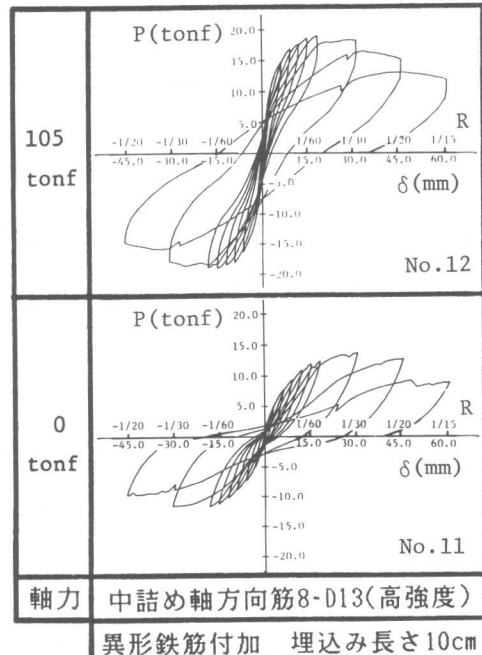


図8 P～ δ 曲線

異形鉄筋を付加しない場合と同様であった。

試験体 No.3 から No.12では、部材角 1/15 まで変形しても軸力を保持した。また、実験終了後試験体を調べ、杭体軸方向筋が破断していないことを確認した。

3.2.2 中詰め軸方向筋のひずみ分布

図9に中詰め軸方向筋に貼布したひずみゲージの位置と図6中 No.3 の $P \sim \delta$ 曲線上の A, B 点、またそれまでの各載荷ループピーク時における引張側中詰め軸方向筋のひずみ分布を示す。急激に保持水平力が低下した A, B 間で、歪が急増していることから、杭体軸方向筋の付着すべりが生じ、中詰め軸方向筋が引張力を負担したと考えられる。また、ひずみ分布より、パイルキャップ内への必要定着長をパイルキャップ底面からの長さとする、中詰め軸方向筋が普通強度の場合、鉄筋径の30倍程度、高強度の場合、鉄筋径の40倍以上であることがわかった。

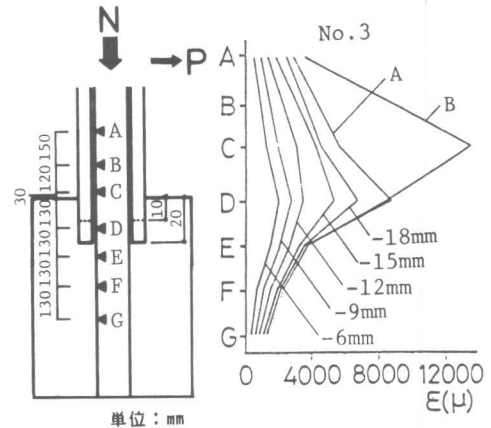


図9 中詰め軸方向筋のひずみ測定位置とひずみ分布

4. 結論

以上の実験結果から次のようなことが言える。

- (1) 杭体軸方向筋の間に異形鉄筋を付加するとひび割れは分散するが、杭体軸方向筋をパイルキャップ内に完全定着させた場合、大変形時の軸方向筋破断は防止できない。
- (2) 杭体軸方向筋を含めて杭頭部をカットオフし、パイルキャップ内に杭径の 2/3 程度埋込み、中詰めコンクリート内に杭体軸方向筋の強度と応力中心間距離を考慮した鉄筋量に相当する軸方向筋を配筋して十分定着させれば、低軸力下での杭体軸方向筋の付着すべりによる耐力低下および杭体軸方向筋破断を防ぐことができ、大変形時にも耐力を確保できる。

〔謝辞〕

基礎構造に関し、東京工業大学岸田英明教授には日頃より御助言を頂いており、深く感謝の意を表します。本研究の実験計画に際しては、東京工業大学林静雄助教授、㈱日建設計堀井昌博、木原碩美、斎藤安生の諸氏に有益な御助言を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。また、本研究は、昭和61年度文部省科学研究費補助金の援助を受けております。関係各位に厚く御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- [1] 黒正清治、和田 章、林 静雄、小林克巳、堀井昌博、木原碩美、斎藤征次、他：水平力を受ける杭と基礎の結合部に関する研究（その1）、日本建築学会学術講演梗概集、p.p.2731-2736、1983。
- [2] 黒正清治、和田 章、林 静雄、小林克巳、堀井昌博、木原碩美、斎藤安生、他：高強度PC杭の曲げ変形性能に関する実験研究（その4）、日本建築学会学術講演梗概集（構造1）、p.p. 973-974、1985。
- [3] 池田尚治、榎 龍哉、山口隆裕：プレストレストコンクリートくいの靱性向上に関する研究、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、p.p. 365-368、1982。
- [4] 黒正清治、林 静雄、堀井昌博、和田 章、木原碩美、藤井裕士、斎藤征次、他：正負交番繰返し水平力を受ける杭と基礎の結合部に関する実験研究（その1～3）、日本建築学会学術講演梗概集、p.p.2323-2328、1981。
- [5] 六車 照、渡辺史夫、幅 伊佐男、浅井政宏：超高強度PCくいの曲げ靱性改善、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、p.p. 465-468、1985。
- [6] 黒正清治、和田 章、小林克巳、他：高強度PC杭の耐力及び変形性能向上に関する研究（その1～4）、日本建築学会学術講演梗概集（構造1）、p.p. 977-980、1985、p.p.2622-2625、1986。
- [7] 和田 章、堀井昌博、武 秀彦、塚本正彰、：軸力と水平力を受けるくいとフーチングの結合部における応力伝達に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、No.364、p.p. 111-120、1986。