

# 高強度鉄筋を用いた 場所打ちコンクリート杭工法の開発

## Development of Cast-in-place Concrete Pile with High-strength Longitudinal Reinforcement

和田湧気\* 舟木秀尊\* 岸本 剛\*\* 山口敏和\*\*\*

### 要 旨

場所打ちコンクリート杭の過密配筋抑制のため、規格降伏強度が 590N/mm<sup>2</sup>、685N/mm<sup>2</sup> の高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭工法を、当社を含む 9 社で共同開発した。本開発では、高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭の耐震設計手法の構築のため、各種実験を行った。それらの実験結果より、鉄筋が安定液に浸漬されることによるコンクリートとの付着性能や、重ね継手の力学的性能への影響は見られないことを確認し、高強度鉄筋のコンクリートへの定着長さ、高強度鉄筋同士の重ね継手長さの設定方法について知見を得た。また、杭体の損傷過程や変形性能を把握し、平面保持を仮定した断面の曲げ解析により、曲げモーメントと曲率の関係は終局限界状態まで概ね評価可能であることを確認した。

キーワード：場所打ちコンクリート杭、高強度鉄筋、安定液

### 1. まえがき

近年、場所打ちコンクリート杭は、高支持力化や要求性能の向上により配筋が過密化傾向にあり、コンクリートの充填不良や杭主筋と基礎梁主筋の干渉など施工性の低下が問題となっている。これに対し、普通強度の鉄筋に代えて規格降伏強度が 590N/mm<sup>2</sup>、685N/mm<sup>2</sup> の鉄筋（以下、高強度鉄筋）を主筋に用いることで、過密配筋の抑制による施工性の向上や、杭断面を小さくした設計による杭工事のコスト低減が可能になると考えられる。

高強度鉄筋は、建築研究所による「鉄筋コンクリート造構造物の超軽量・超高層化技術の開発<sup>1)</sup>」において、主に上部構造を想定した適用について検討されたが、場所打ちコンクリート杭の主筋に高強度鉄筋を用いるための知見は少ない。また、日本建築学会から刊行された「基礎部材の強度と変形性能<sup>2)</sup>」（以下、基礎部材解説書）にも、適用範囲は SD490 までであることが示されている。そこで、当社を含む 9 社の共同で、設計手法の構築を目的とした各種実験<sup>3)~6)</sup>を行い、高強度鉄筋を用いた場所打ちコンクリート杭工法を開発した。

本報では、各実験の概要と、それらの実験結果をもとにした高強度鉄筋とコンクリートの付着性能、高強度鉄筋同士の重ね継手の力学的性能、および杭体の構造性能の検証について報告する。

### 2. 鉄筋の引抜き実験

#### 2.1 実験の目的

場所打ちコンクリート杭の施工では、鉄筋が安定液に浸漬された状態でコンクリートが打設されるが、その場合の鉄筋とコンクリートの付着性能については既往の知見が少ない。そこで、安定液に浸漬された高強度鉄筋の降伏後におけるコンクリートとの付着性能を把握することを目的に、鉄筋の引抜き実験を行った。

#### 2.2 試験体概要

引抜き実験の試験体パラメータを表-1に示す。加力するのは規格降伏強度 685N/mm<sup>2</sup> (D32 ねじ筋) の鉄筋であり、コンクリートへの定着長さは、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説<sup>7)</sup>」（以下、RC 規準）に示される必要定着長さの算定式をもとに、コンクリートの設計基準強度（以下、 $F_c$ ）と鉄筋の規格降伏強度から設定した。加力する鉄筋には、2 体の試験体にひずみゲージを貼付してひずみ分布を確認する計画とした。安定液浸漬ありの試験体については、表-2に配合と試験結果を示す安定液に鉄筋を 24 時間浸漬後、付着した安定液が落ちないように留意して試験体コンクリートを打設した。ここで、鉄筋の安定液浸漬状況と、24 時間浸漬後の鉄筋への安定液付着状況を写真-1に示す。安定液の配合については、事前に行った要素実験

\*技術本部技術研究所建築研究グループ \*\*技術本部技術研究所企画・管理グループ

\*\*\*西日本支社建築設計部

3) の結果から、実際に想定される範囲で付着性能に不利となるような配合を設定しており、模擬土は安定液の転用泥水を模擬的に作成するために加えている。表-2の試験結果より、一般的な悪条件下での安定液と同等であることを確認した。また、材料試験結果を表-3に、試験体形状の一例を図-1(a)に示す。コンクリート中央に鉄筋を埋め込んでおり、コンクリート端部の付着劣化の影響を避けるため、上端からおおよそ 10d (d: 鉄筋の呼び径) の範囲に、プチルゴムとビニールテープを巻いた付着除去区間を設けた。

2.3 実験方法

加力・変位計測状況を図-1(b)に示す。試験体は、反力床に固定した下部治具に載せ、コンクリート部分を固定している。鉄筋はジャッキの先端に取り付けた上部治具に固定して引張加力する。加力は荷重制御とし、長期許容応力度の 1.5 倍相当を 2 回、規格降伏強度の 95% 相当を 2 回繰り返した後、引張強度の 95% 相当まで単調引張加力する計画とした。

鉄筋に作用させる引張荷重は、ジャッキの荷重計により計測した。鉄筋の変位は、試験体コンクリート側面を不動点とし、計測治具を介して設置した変位計によりコンクリートと鉄筋の相対変位(以下、抜け出し量)を計測した。抜け出し量は、コンクリート上端から 150mm の位置において 2 箇所で計測している。

表-1 引抜き実験のパラメータ

試験体名	安定液浸漬	$F_c(N/mm^2)$	定着長さ	ひずみゲージ
30-52d-G	なし	30	52d (1,664mm)	あり
B-30-52d-G	あり	30	52d (1,664mm)	あり
60-36d	なし	60	36d (1,152mm)	なし
B-60-36d	あり	60	36d (1,152mm)	なし

表-2 安定液・模擬土の配合と安定液試験結果

安定液配合		模擬土配合			安定液試験結果*		
ペントナイト	CMC	粘性土	砂質土	砂分率	比重	粘性 (s)	pH
5.0%	0.2%	16.0%	5.0%	5.0%	1.15	32.78	9.0

※試験方法 比重: マッドバランス 粘性: ファンネル粘度計  
pH: pH メータ

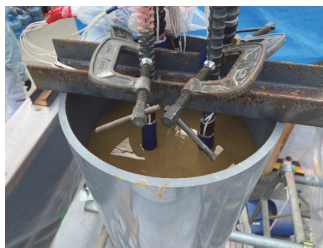


写真-1 鉄筋の安定液浸漬

表-3 材料試験結果 (引抜き実験)

コンクリート		鉄筋		
$F_c(N/mm^2)$	30	60	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	712.2
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	29.5	67.6 <sup>※1</sup> 68.7 <sup>※2</sup>	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	181,100
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	28,700	37,600 <sup>※1</sup> 38,200 <sup>※2</sup>	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	930.5
※1: 60-36d で使用 ※2: B-60-36d で使用		降伏ひずみ ( $\mu$ )		3,933

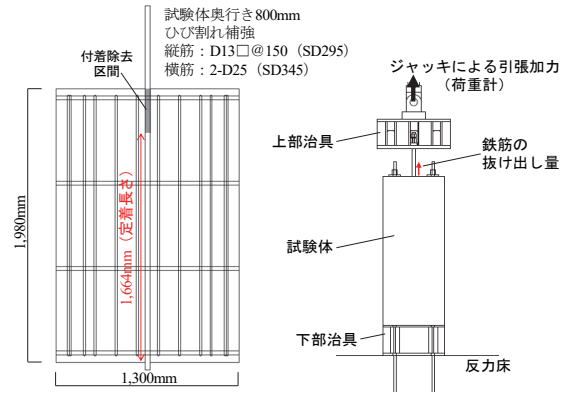


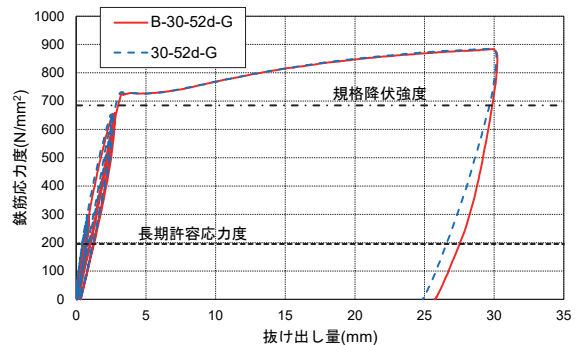
図-1 引抜き実験の試験体と加力・変位計測状況

2.4 実験結果および考察

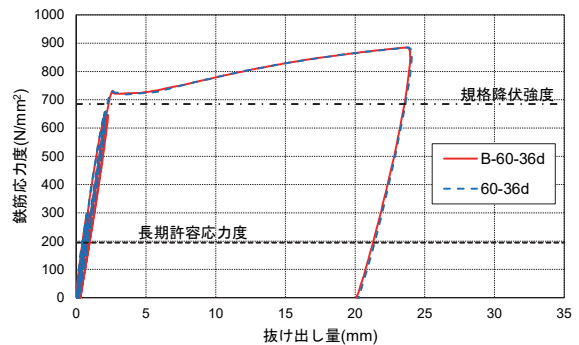
鉄筋応力度-抜け出し量関係の比較を図-2に示す。鉄筋応力度はジャッキ荷重を鉄筋の公称断面積で除した値、抜け出し量は 2 箇所計測値の相加平均値とした。図より、安定液浸漬の有無に関わらず、いずれの試験体も引張強度の 95% 相当まで荷重を保持している。

安定液浸漬有無によるサイクルピーク時の鉄筋のひずみ分布の比較を図-3に示す。図より、ひずみ分布についても安定液浸漬の有無で有意な差は確認できない。なお、規格降伏強度の 95% 相当以降の荷重においても、微小なひずみの部分が存在することから、応力伝達のために十分な定着長さを設定できているといえる。

以上より、安定液浸漬による付着性能への影響は見られず、RC 規準をもとに高強度鉄筋のコンクリートへの定着長さを安全側に評価することができる。



(a) 安定液浸漬の有無による比較 ( $F_c=30N/mm^2$ )



(b) 安定液浸漬の有無による比較 ( $F_c=60N/mm^2$ )

図-2 鉄筋応力度-抜け出し量関係 (引抜き実験)

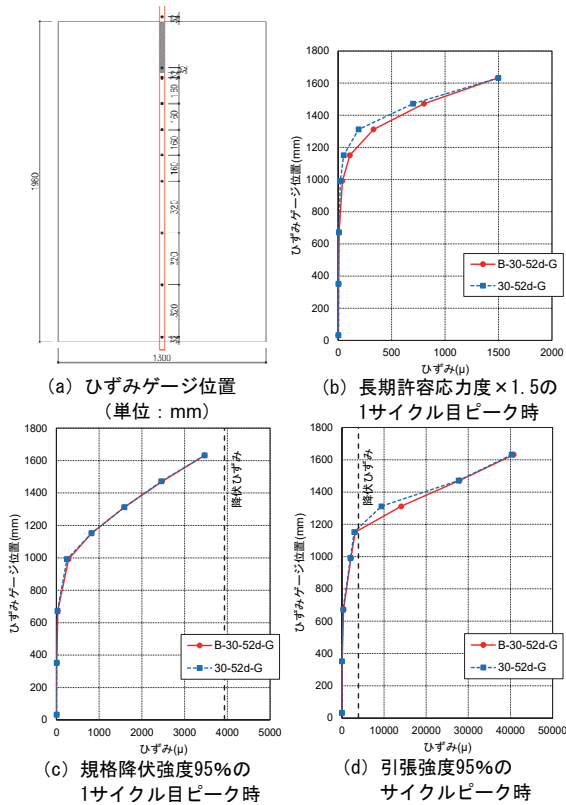


図-3 安定液浸漬有無による鉄筋のひずみ分布の比較

### 3. 重ね継手を有する鉄筋の引抜き実験

#### 3.1 実験の目的

場所打ちコンクリート杭の主筋に高強度鉄筋を用いる場合においても、従来と同様に主筋には重ね継手を設ける場合があり、高強度鉄筋同士の重ね継手となることも想定される。しかし、高強度鉄筋同士の重ね継手長さは、既往の規準<sup>7)</sup>には明確に示されていない。そこで、安定液に浸漬された高強度鉄筋同士の重ね継手の力学的性能を把握するため、重ね継手を有する鉄筋の引抜き実験（以下、重ね継手実験）を行った。

#### 3.2 試験体概要

重ね継手実験の試験体パラメータを表-4に示す。加力するのは規格降伏強度 685N/mm<sup>2</sup> (D19 ねじ筋) の鉄筋であり、重ね継手長さは、RC 規準に示される重ね継手の大地震動に対する安全性確保のための検討式をもとに、 $F_c$  と鉄筋の規格降伏強度から設定した。鉄筋の重ね継手部分には、1 体の試験体のみひずみゲージを貼付してひずみ分布を確認する計画とした。安定液浸漬ありの試験体については、表-2に配合と試験結果を示す安定液に鉄筋を 24 時間浸漬後、付着した安定液が落ちないように留意して試験体コンクリートを打設した。また、材料試験結果を表-5に、試験体形状の一例を図-4(a)に示す。2 組の重ね継手を、互いに影響が生じないように十分に離してコンクリート中（奥行き方向中央）に埋め込んでおり、上下端からおよそ 10d の範囲に、2 章に示した引抜き実験と同様に付着除去区間を設けた。

### 3.3 実験方法

加力・変位計測状況を図-4(b)に示す。試験体は、反力床に固定した下部治具に載せ、反力床側に突出させている鉄筋を下部治具に設けた穴に通して固定している。ジャッキ側には突出させている鉄筋（以下、ジャッキ側鉄筋）は、ジャッキの先端に取り付けた上部治具に固定して引張加力する。なお、重ねた鉄筋同士の加力時の偏心による影響を抑えるために、2 本の鉄筋を同時に引張加力する方法とした。また、加力スケジュールは、2 章に示した引抜き実験と同様に計画した。

鉄筋に作用させる引張荷重は、ジャッキの荷重計により計測した。鉄筋の変位は、試験体コンクリート側面を不動点とし、計測治具を介して設置した変位計によりジャッキ側鉄筋の抜け出し量を計測した。抜け出し量は、コンクリート上端から 50mm の位置において、ジャッキ側鉄筋 1 本あたり 2 箇所計測している。

表-4 重ね継手実験のパラメータ

試験体名	安定液浸漬	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	重ね継手長さ	ひずみゲージ
J-30-55d	なし	30	55d (1,045mm)	なし
J-B-30-55d	あり	30	55d (1,045mm)	
J-B-60-38d		60	38d (722mm)	
J-B-30-55d-G		30	55d (1,045mm)	あり

表-5 材料試験結果（重ね継手実験）

コンクリート		鉄筋	
$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	30, 60	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	696.0
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	32.6, 69.6	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	189,800
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	31,400, 39,800	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	890.7
		降伏ひずみ ( $\mu$ )	3,667

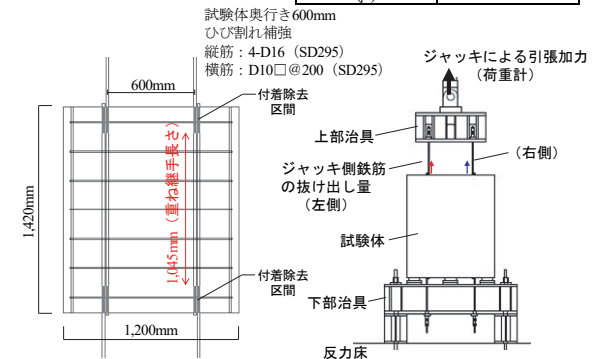


図-4 重ね継手実験の試験体と加力・変位計測状況

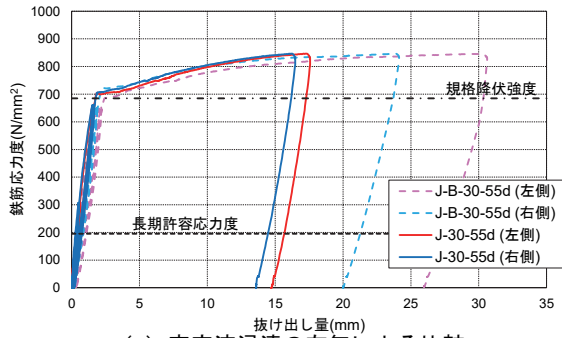
### 3.4 実験結果および考察

鉄筋応力度-抜け出し量関係の比較を図-5に示す。鉄筋応力度はジャッキ荷重を鉄筋の公称断面積の合計で除した値、抜け出し量は 2 箇所の計測値の相加平均値とした。図より、安定液浸漬の有無、コンクリート強度の違いに関わらず、いずれの試験体も引張強度の 95% 相当まで荷重を保持している。

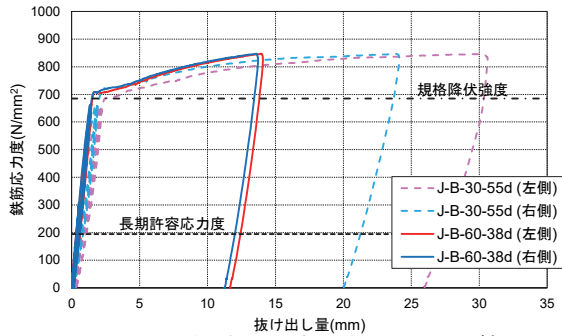
J-B-30-55d-G について、サイクルピーク時の鉄筋のひずみ分布を図-6に示す。図より、荷重が大きくなるにつれて、ひずみの生じる範囲がジャッキ側鉄筋では上端

から、反対側の鉄筋では下端から進展していくことが確認できる。なお、規格降伏強度の95%相当以降の荷重においても、微小なひずみの部分が両側の鉄筋に存在していることから、応力伝達のために十分な重ね継手長さを設定できているといえる。

以上より、重ね継手の力学的性能についても安定液浸漬による影響は見られず、RC 規準をもとに高強度鉄筋同士の重ね継手長さを安全側に評価することができる。

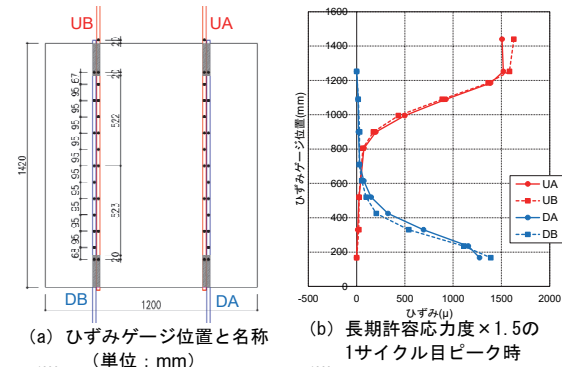


(a) 安定液浸漬の有無による比較

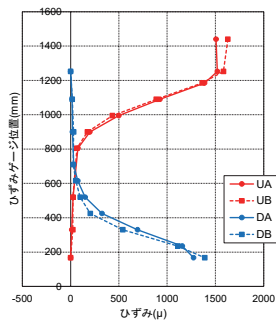


(b)  $F_c$ と重ね継手長さの違いによる比較

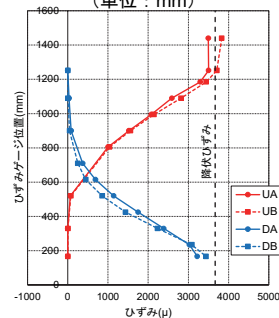
図-5 鉄筋応力度-抜け出し量 (重ね継手実験)



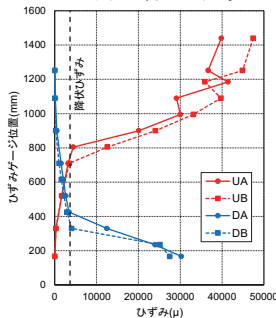
(a) ひずみゲージ位置と名称 (単位: mm)



(b) 長期許容応力度×1.5の1サイクル目ピーク時



(c) 規格降伏強度95%の1サイクル目ピーク時



(d) 引張強度95%の1サイクル目ピーク時

図-6 J-B-30-55d-Gの鉄筋のひずみ分布

#### 4. 杭体の構造性能確認実験

##### 4.1 実験の目的

場所打ちコンクリート杭の構造性能を確認するための既往の実験としては、最大杭径 800mm の規模での杉山らの事例<sup>8)</sup>、主筋に高強度鉄筋を適用した篠原らの事例<sup>9)</sup>などがある。ただし、極めて稀に発生する地震動に対する安全性を検証した事例は少なく、知見の蓄積が望まれている。そこで、主筋に高強度鉄筋を用いた杭体の構造性能を把握するために、杭体の曲げせん断実験 (以下、構造実験) を行った。

##### 4.2 試験体概要

試験体パラメータを表-6に示す。杭径はいずれも 600mm であり、主筋には規格降伏強度 685N/mm<sup>2</sup> の竹節鉄筋を使用した。基礎部材解説書の適用範囲は、軸力比 (圧縮側: 正) が -0.05~+0.4、 $F_c$  が 21~40N/mm<sup>2</sup> であるが、本実験では、高強度鉄筋のメリットが期待できる引張軸力下の構造性能を検証するため軸力比を -0.2~+0.4 に、 $F_c$  の上限値を 60N/mm<sup>2</sup> にパラメータを設定した。また、材料試験結果を表-7に、試験体形状の一例を図-7に示す。杭体部分は内法高さ 2,700mm (せん断スパン比 1.35) であり、上下対称にスタブ (奥行き 1,600mm) を有している。2章、3章に示した実験で、安定液浸漬による影響が見られなかったことから、構造実験では安定液を用いずに試験体を製作した。なお、杭体にはスパイラル状の高強度せん断補強筋を使用しており、せん断破壊が先行しないよう計画した。

##### 4.3 実験方法

加力装置の概要を図-8に示す。上下スタブを平行に保つよう2台の軸力ジャッキを制御して、一定軸力を与えた。また、杭体中央を反曲点とした逆対称モーメントが生じるようせん断力を与えた。その加力サイクルは、部材変形角  $R$  (杭体端部間の水平変位/試験区間長 2,700mm) で制御し、 $\pm 0.125\%$  を1サイクル、以降は  $\pm 0.25\%$ 、 $\pm 0.50\%$ 、 $\pm 0.75\%$ 、 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 、 $\pm 2.0\%$ 、 $\pm 3.0\%$ 、 $\pm 4.0\%$  を2サイクルずつ、No.3を除き  $+5.0\%$  (正側) で片押しした後、除荷して実験を終了した。

表-6 構造実験のパラメータ

試験体名	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	主筋 <sup>※1</sup>	せん断補強筋 <sup>※2</sup>	軸力 <sup>※3</sup>
No.1	30	10-D19 $p_g=1.01\%$	U9@150 $p_w=0.14\%$	$N=-944$ kN $\eta=-0.1$
No.2	30		U9@150 $p_w=0.14\%$	$N=1,702$ kN $\eta=0.2$
No.3	30		U9@100 $p_w=0.21\%$	$N=3,551$ kN $\eta=0.4$
No.4	60	18-D19 $p_g=1.82\%$	U9@50 $p_w=0.42\%$	$N=6,379$ kN $\eta=0.4$
No.5	30	18-D19 $p_g=1.82\%$	U12.6@50 $p_w=0.83\%$	$N=-1,880$ kN $\eta=-0.2$

※1 主筋比  $p_g=a_g/A_c$   $a_g$ : 主筋全断面積  $A_c$ : 杭の断面積

※2 せん断補強筋比  $p_w=a_w/(D \cdot x)$   $a_w$ : 1組のせん断補強筋の断面積  $D$ : 杭径  $x$ : せん断補強筋のピッチ

※3 軸力比  $\eta=N/(\sigma_B \times A_c)$   $\sigma_B$ : コンクリートの圧縮強度  $N$ : 作用軸力 (圧縮: 正、引張: 負)



表-7 材料試験結果  
(構造実験)

(a) 杭体コンクリート		
試験体名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	33.4	28,900
No.2	30.1	28,300
No.3	31.4	29,000
No.4	56.4	32,900
No.5	33.3	28,100

(b) 鉄筋		
主筋		
試験体名	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1~5	748.1	202,200
せん断補強筋		
試験体名	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1~4	1,417	207,900
No.5	1,387	206,600

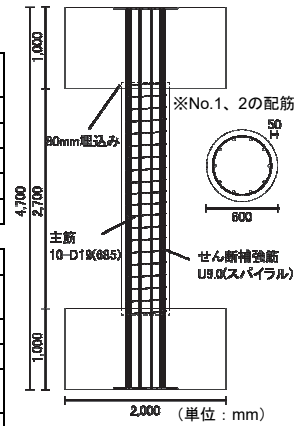


図-7 構造実験の試験体

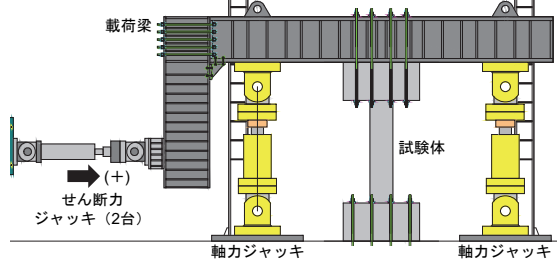


図-8 加力装置の概要

#### 4.4 実験結果 (No. 4、5)

No.4、5 を例に、杭体脚部の曲げモーメント  $M$  と部材変形角  $R$  の関係 (以下、 $M-R$  関係)、および損傷過程を図-9、図-10 に、最終破壊状況を写真-2 に示す。その他の試験体については既報論文<sup>5)</sup>を参照されたい。なお、曲げモーメントには軸力による付加曲げ ( $P-\delta$  効果) を考慮している。

No.4 は、 $R=0.5\%$ で杭体脚部に曲げひび割れが発生し、剛性低下が生じた。その後、 $R=0.7\%$ 付近で脚部のコンクリートが圧壊するが耐力は低下せず、ほぼ横ばいに推移した。また、 $R=4.0\%$ で引張側最外端の主筋が破断し曲げモーメントが低下したが、高圧縮軸力下においても高い靱性を有することを確認した。No.5 は、引張軸力導入時、円周方向に連続的なひび割れが発生した。 $R=0.7\%$ で主筋が引張降伏し、その後、 $R=1.5\%$ で主筋の圧縮降伏、およびせん断ひび割れが発生した。以降は、曲げモーメントは緩やかに増加し、 $R=5.0\%$ においても曲げモーメントの低下は確認されなかった。なお、No.1~5 いずれの試験体も曲げ降伏先行型の破壊形式であり、部材変形角の増大に伴い軸方向変位は大きくなったが、軸力保持性能を有することを確認した<sup>5) 6)</sup>。

写真-2 より、杭端部  $1.0D$  ( $D$ : 杭径) 区間に損傷が集中していることが確認できる。No.4 では、杭外端部のコンクリートが圧壊したうえ、引張側最外端の主筋が破断していることを確認した。No.5 では、主筋の降伏に伴う曲げひび割れ、および杭・スタブ接合面の抜け出しが卓越していることを確認した。

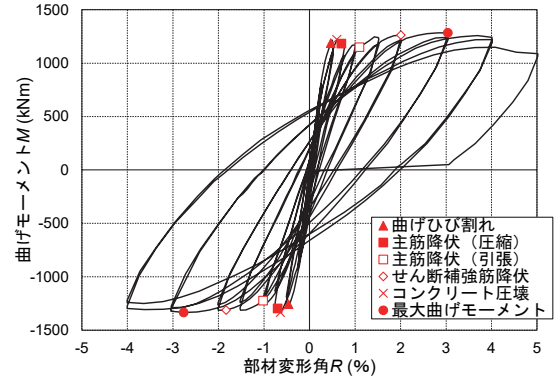


図-9 No. 4 の  $M-R$  関係と損傷過程

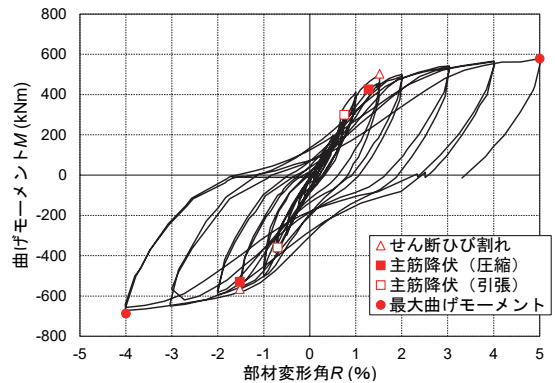


図-10 No. 5 の  $M-R$  関係と損傷過程

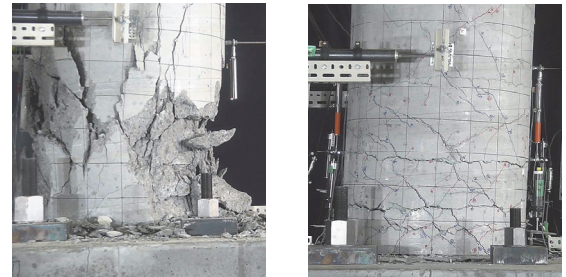


写真-2 最終破壊状況 (杭体脚部)

#### 4.5 実験結果と解析結果の比較

杭体の耐震設計時に用いられることの多い、曲げモーメント  $M$  と曲率  $\phi$  の関係 (以下、 $M-\phi$  関係) について、各試験体の実験結果と解析結果の比較を図-11、図-12 に示す。実験結果の曲率は杭体脚部  $1.0D$  区間の変位計の計測値より算定し、図には正加力サイクルピーク時の  $M-\phi$  関係を示す。解析は、平面保持を仮定した断面の曲げ解析<sup>2)</sup> (以下、断面解析) とし、矩形の要素を組み合わせて近似的に杭の円形断面をモデル化した。解析に用いた主筋とコンクリートの応力-ひずみ関係は、バイリニア (ただし、コンクリートの引張抵抗はゼロ) とし、材料定数は材料試験結果を用いた。また、終局限界として設定<sup>2)</sup> したコンクリートの限界圧縮ひずみ  $3,000\mu$ 、または主筋の限界ひずみ  $10,000\mu$  のいずれかに到達した時点で解析を終了した。図より、限界ひずみを超える領域においても、杭体は高い変形性能を有していることが確認できる。また、実験結果と解析結果の傾向はある程

度の対応を示しており、いずれの試験体でも断面解析による限界ひずみ時の曲げモーメントは、実験結果に対し小さい結果となった。

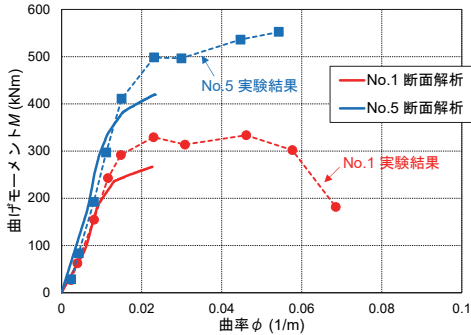
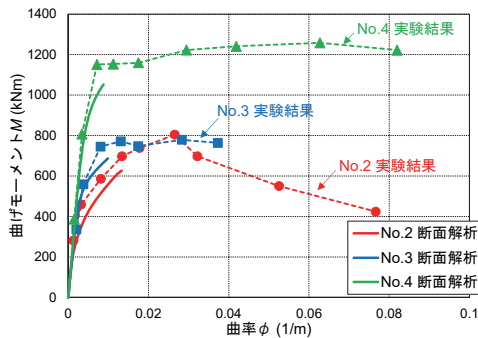
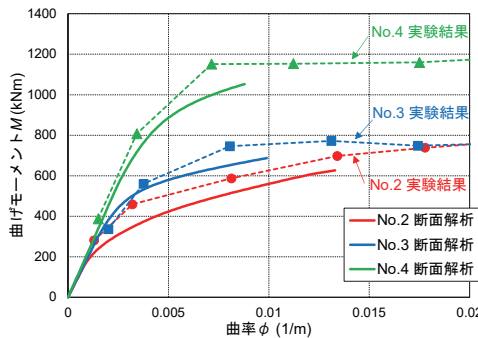


図-11 実験結果と解析結果の比較（引張軸力）



(a)  $\phi=0.1$  (1/m) まで表示



(b)  $\phi=0.02$  (1/m) まで表示

図-12 実験結果と解析結果の比較（圧縮軸力）

5. まとめ

各実験の結果から、高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭の耐震設計手法を構築するための以下の知見を得た。

- i. 安定液浸漬による付着性能への影響は見られず、RC 規準をもとに高強度鉄筋のコンクリートへの定着長さを安全側に評価することができる
- ii. 重ね継手の力学的性能についても安定液浸漬による影響は見られず、RC 規準をもとに高強度鉄筋同士の重ね継手長さを安全側に評価することができる

- iii. 杭体の損傷過程や  $M-\phi$  関係などの構造性能を把握し、杭体が高い変形性能を有していることを確認した
- iv. 断面解析により、杭体の  $M-\phi$  関係は終局限界状態まで概ね評価することができる

6. あとがき

本報は、安藤ハザマ、佐藤工業、鉄建建設、東急建設、戸田建設、西松建設、長谷工コーポレーション、三井住友建設との共同研究の成果の一部をまとめたものである。また、本研究において広島工業大学 金子治教授からご指導とご助言を受けた。ここに感謝を記す。

【参考文献】

- 1) 国土交通省建築研究所、「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」、建築研究報告、No.139、2001
- 2) 日本建築学会、「基礎部材の強度と変形性能」、2022
- 3) 田附遼太、太田雄介、中村光男、森 泰夫、森 清隆、和田湧気、浦川和也、金子 治、「高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭の付着性能（その 1 付着強度試験）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、20256、pp.511-512、2023
- 4) 森 清隆、田附遼太、和田湧気ほか、「高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭の付着性能（その 2~4）」日本建築学会大会学術講演梗概集、2024、20219-20221、pp.437-442
- 5) 福田 健、佐野大作、田口智也、金子 治、新上浩、郡司康浩、Van Quang Phan、葛西勇紀、「高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭の構造性能（その 1 実験概要）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、20255、pp.509-510、2023
- 6) 福田 健、田口智也ほか、「高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ちコンクリート杭の構造性能（その 2、3）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2024、20222~20223、pp.443-446
- 7) 日本建築学会、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、2018
- 8) 杉山智昭、脇田拓弥、今井和正、成原弘之、「場所打ちコンクリート杭の構造性能（その 1）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、23287、pp.573-574、2018
- 9) 篠原保二、鈴木翔太、日比野陽、林 静雄、「高強度鉄筋を主筋に用いた場所打ち杭の軸力の違いが曲げ性状に及ぼす影響（その 1 実験概要および実験結果、その 2 検討と考察）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、23377、23378、pp.779-782、2011