

# 論文 高強度 RC 杭体へのプレストレス導入による曲げ耐力の改善

浅沼 大寿\*1・秋山 充良\*2・佐藤 啓\*3・鈴木 基行\*4

**要旨:** 基礎は、損傷の発見や修復の困難さから、地盤条件などによらず、レベル 2 地震動作用時にも弾性応答することが望ましい。本研究では、杭基礎の地震時保有水平耐力の向上を目的として、高強度構成材料を使用し、断面中心部へプレストレスを導入した RC 杭体(高強度 RC 杭体)を考案した。そして、導入プレストレスや鉄筋量を変化させた 10 体の高強度 RC 杭の曲げ実験を実施し、損傷進展や曲げ耐力の発現状況などを考察することで、この種の構造の力学特性に関する基礎データを収集した。また、高強度 RC 杭体の曲げ耐力を評価可能な断面解析法を提案し、本構造における各構成材料の曲げ耐力の負担割合等を明らかにした。

**キーワード:** RC 杭, 高強度コンクリート, 高強度鉄筋, プレストレス, 曲げ耐力

## 1. はじめに

橋梁は、地震後における救助・救急活動および被災地への緊急物資の輸送路として非常に重要な役割を担うため、地域社会生活に支障を与える地震後の機能低下をできるだけ抑制する必要がある。道路橋示方書<sup>1)</sup>では、兵庫県南部地震級のレベル 2 地震動の作用に対し、橋脚基部のみに主たる塑性化を発生させ、修復を行い得る範囲で地震エネルギーの吸収を図り、基礎などは基本的に弾性限界を超えさせない損傷シナリオを基本としている。しかしながら、液状化の影響により地盤の水平反力が十分に期待できない、あるいは橋脚が十分に大きな耐力を有しているときには、経済性への配慮から、基礎の降伏を許容せざるを得ない例が存在する。基礎の損傷は発見が難しく、またその修復は大掛かりなものとなることから、本来的には、地盤条件などに関わらず、基礎構造は弾性限界までの応答しか許容せず、修復が容易な橋脚基部に主たる塑性化を生じさせる耐震設計が望まれる。

以上の背景のもと、本研究では、杭基礎の地震時保有水平耐力の向上を目的に、高強度構成材料を使用し、断面中心部へプレストレスを導入した RC 杭体(以下、高強度 RC 杭体)を考案した。そして、その損傷進展や曲げ耐力の発現状況を実験的に確認し、この種の構造の力学特性に関する基礎データを収集した。また、解析的検討も加えることで、コンクリートや鉄筋の曲げ耐力の負担割合等を明らかにした。

## 2. 提案する高強度 RC 杭体の概要

著者らは、コンクリート圧縮強度  $100\text{N/mm}^2$  を超えたコンクリート、および降伏強度が  $1000\text{N/mm}^2$  以上の鉄筋を用いた RC 部材の実験および解析的検討に基づき、その構造性能

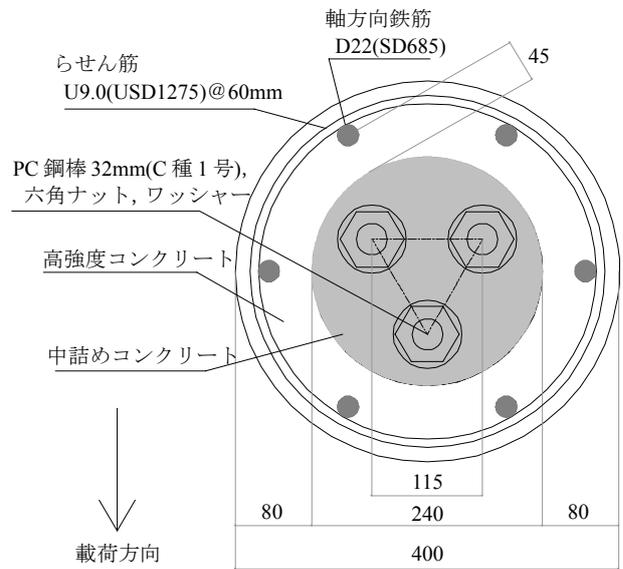


図-1 供試体断面の一例

評価法を提案してきた<sup>例えは 2),3)</sup>。このような高強度構成材料の使用により、部材の高耐力化は実現されるが、一方で、常時荷重による軸圧縮力が小さい土木構造物の柱部材などでは、地震時に曲げモーメントが作用すると、断面の中立軸位置が圧縮縁に近づき、断面内の多くが曲げ引張りを受ける領域となるため、このような部材に高強度コンクリートを使用しても、その曲げ耐力への寄与は高強度鉄筋に比べ大幅に小さいものとなる。

そこで、本研究では、プレストレスを外的に与え、中立軸を断面の図心位置に近づけることで曲げ圧縮を受ける領域を大きくし、コンクリートの高強度化による部材の曲げ耐力の向上を図ることを考えた。提案する高強度 RC 杭体の断面図の一例を図-1 に示す。これは、後述する実験供試体の断面図の一つである。プレストレスは PC

\*1 東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻 (正会員)

\*2 東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻准教授 博(工) (正会員)

\*3 前田製管(株) 技術開発本部

\*4 東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻教授 工博 (正会員)

表-1 供試体諸元の一覧

供試体名 <sup>1)</sup>	$\sigma_c^{(2)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	PC 鋼棒 <sup>3)</sup>	軸方向鉄筋 <sup>4)</sup>	$f_{pe}$ (N/mm <sup>2</sup> )	肉厚 (mm)	らせん筋 <sup>5)</sup>		
						径	間隔 (mm)	$\rho_w$ (%)
D4F8P0L3T1	94.1	32mm-3 本	D22-6 本	0	75.6	U9.0	60	1.12
D4F8P21L3T1		32mm-3 本	D22-6 本	20.6	79.6	U9.0	60	1.12
D4F12P0L3T1	107	32mm-3 本	D22-6 本	0	78.9	U9.0	60	1.12
D4F12P10L3T1		32mm-3 本	D22-6 本	9.8	81.8	U9.0	60	1.12
D4F12P21L3T1	114	32mm-3 本	D22-6 本	20.3	80.4	U9.0	60	1.12
D4F12P21L3T05		32mm-3 本	D22-6 本	19.5	84.9	U9.0	120	0.56
D4F12P21L6T1	110	32mm-3 本	D32-6 本	19.8	83.1	U9.0	60	1.12
D4F12P21L6T05		32mm-3 本	D32-6 本	20.3	80.4	U9.0	120	0.56
D4F12P14L2T1-F	108	32mm-3 本	D22-6 本	12.6	89.6	U9.0	60	1.12
D4F12P14L2T05-F	(41.0 <sup>6)</sup> )	32mm-3 本	D22-6 本	12.1	89.4	U9.0	120	0.56

- 1) 供試体名の記号の意味 D4：直径(400mm), F8・12：コンクリートの目標圧縮強度で F8 は 80N/mm<sup>2</sup>, F12 は 120N/mm<sup>2</sup>, P0～21：目標導入プレストレス(N/mm<sup>2</sup>), L2～6：軸方向鉄筋比で L2 は 1.8%, L3 は 2.9%, L6 は 5.9%, T05・1：せん断補強鉄筋比で T05 は 0.56%, T1 は 1.12%, 末尾の-F：中詰め有り供試体  
 2) テストピース(φ100×200mm)の材料試験結果 3) C 種 1 号, 0.2%耐力 1231N/mm<sup>2</sup>, 引張強さ 1294N/mm<sup>2</sup>  
 4) SD685, D22：降伏強度 787.4N/mm<sup>2</sup>, 引張強度 965.6N/mm<sup>2</sup>/D32：降伏強度 796.4N/mm<sup>2</sup>, 引張強度 978.9N/mm<sup>2</sup>  
 5) USD1275, 0.2%耐力 1390N/mm<sup>2</sup>, 引張強さ 1479N/mm<sup>2</sup> 6) 中詰めコンクリートの圧縮強度

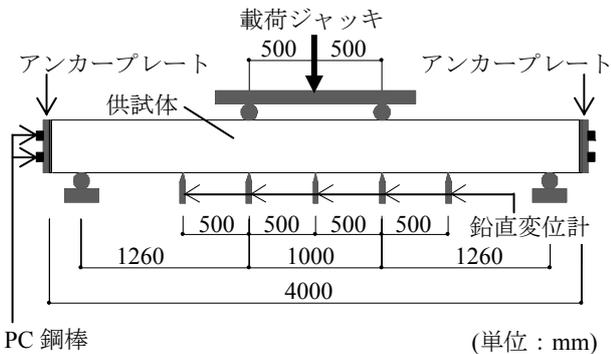


図-2 供試体荷重状況

鋼棒を介して杭体端部のアンカープレートより与えられることになるが、PC 鋼棒には曲げ耐力の負担は期待せず、断面内に一定の軸圧縮力を常に作用させるために、アンボンドとし、その配置位置は断面の中心部としている。

本構造形式の特徴は、i)大きなプレストレスを作用させることで、断面の中立軸を断面の図心位置に近づけ、コンクリートの高強度化により杭体の曲げ耐力の向上を図る、ii)PC 鋼棒をアンボンドの状態では断面の中心部に配置することで、断面内に一定の軸圧縮力を作用させることができ、また、PC 鋼棒の塑性化が生じ難くなるため、荷重除荷後の残留変位の低減を期待できる、iii)軸方向鉄筋に高強度鉄筋を使用することで曲げ耐力を向上させる、iv)らせん筋を高強度化し、せん断耐力を向上させる、の 4 点である。

### 3. 実験概要

考案した高強度 RC 杭体の力学特性の把握を目的として、表-1 に示す 10 体の供試体を作製し、単調曲げ荷重実験を行った。実験因子は、コンクリート圧縮強度  $\sigma_c'$ ：94.1～114N/mm<sup>2</sup>, 導入プレストレス  $f_{pe}$ ：0, 9.8～20.6N/mm<sup>2</sup>, 軸方向鉄筋比  $\rho_g$ ：1.8～5.9%, らせん筋比  $\rho_w$ ：0.56

～1.12%, および中詰めコンクリート(圧縮強度 41.0N/mm<sup>2</sup>)の充填の有無である。表-1 に示す供試体は全て直径 400 mm, 長さ 4000mm であり、図-1 にも示される高強度コンクリートを使用する領域の内径は 240mm とした。なお、高強度コンクリート部は遠心力成形によってつくられるが、脱型後の実測では、その内径は供試体ごとに異なり、221～249mm の範囲にばらついた。

製作手順としては、まず遠心力成形により中空の杭体を製造し、蒸気養生を行った。脱型後、D4F12P14L2T1-F および D4F12P14L2T05-F 供試体では、杭体を縦置きした状態で中詰めコンクリートを充填した。中詰めコンクリートは気中養生とした。中詰めコンクリートを充填した両供試体では、PC 鋼棒はシースに通されており、シース内にグラウトは行っていない。PC 鋼棒の緊張は、PC 鋼棒のひずみ値を管理基準として、所定の緊張力を荷重直前に与えた。杭体には、供試体両端に設けた厚さ 45mm のアンカープレートから圧縮力が与えられる。コンクリート表面や軸方向鉄筋のひずみ値を見る限り、全ての供試体の断面内には、緊張による一様な軸圧縮力が作用していると判断できた。なお、表-1 にある導入プレストレス  $f_{pe}$  とは、導入後の PC 鋼棒のひずみの実測値から求めた軸圧縮力を杭体断面積で除したものである。中詰めコンクリートを充填した供試体の  $f_{pe} \approx 12\text{N/mm}^2$  と未充填(中空)供試体の  $f_{pe} \approx 21\text{N/mm}^2$  は、PC 鋼棒に与えた緊張力が同等である。

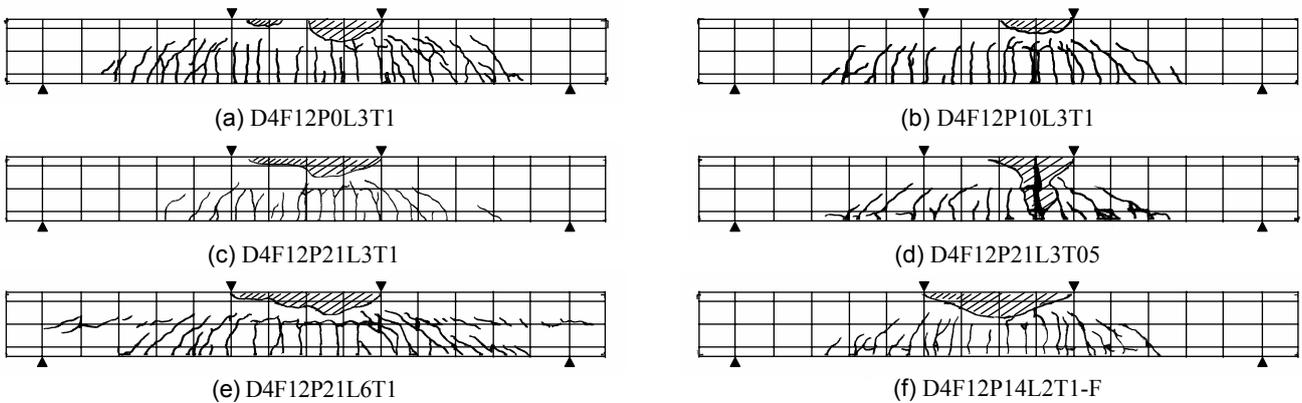
表-1 に示すコンクリート圧縮強度はテストピース(φ100mm×200mm)の試験結果の平均である。実験に用いた鋼材は、軸方向鉄筋(SD685, 径：D22 または D32), PC 鋼棒(C 種 1 号, 径：32mm), およびらせん筋(USD1275, 径：U9.0)であり、材料試験の結果は表-1 に示している。

表-2 ひび割れ発生、降伏、最大荷重時の荷重と変位

供試体名	ひび割れ		降伏			最大		
	荷重 kN	変位 mm	荷重 kN	変位 mm	荷重(計算値) kN	荷重 kN	変位 mm	荷重(計算値) kN
D4F8P0L3T1	87.9	4.40	369	24.9	— <sup>2)</sup>	509	51.6	— <sup>2)</sup>
D4F8P21L3T1	324	10.1	522	28.9	585	554	35.0	597
D4F12P0L3T1	74.9	3.08	362	24.2	— <sup>2)</sup>	535	60.5	— <sup>2)</sup>
D4F12P10L3T1	202	6.21	490	24.2	— <sup>2)</sup>	586	42.7	— <sup>2)</sup>
D4F12P21L3T1	298	8.68	測定できず <sup>1)</sup>		595	592	32.0	595
D4F12P21L3T05	298	8.24	579	28.6	550	579	28.1	550
D4F12P21L6T1	324	9.42	796	39.6	862	803	40.1	879
D4F12P21L6T05	305	9.91	測定できず <sup>1)</sup>		817	694	30.4	820
D4F12P14L2T1-F	247	6.29	643	29.0	586	707	58.2	706
D4F12P14L2T05-F	305	8.17	637	27.7	583	675	30.1	654

1) ゲージ破損により、軸方向鉄筋の降伏点を定めることができなかった。

2)  $f_{pe} < 10\text{N/mm}^2$  のため解析対象外



※斜線部はかぶりコンクリートの剥落範囲を示す。

図-3 ひび割れ状況

供試体の荷重状況を図-2 に示す。荷重点および支点位置は、通常コンクリート杭体の曲げ荷重試験を参考に<sup>4)</sup>、純曲げスパンを 1000mm、せん断スパンを 1260mm とした。荷重の際には、高強度 RC 杭の除荷剛性を確認するため、引張縁の軸方向鉄筋降伏時(このときのスパン中央位置のたわみを降伏変位  $\delta_y$  と定義)、最大荷重発現時、および約  $3\delta_y$  時に荷重を除荷し、あわせて残留変位や残留ひび割れを観察した。荷重の終了条件は、スパン中央部のたわみがおおよそ 100mm に達したとき、あるいは、PC 鋼棒のひずみが降伏近くに達したとき、のいずれかとした。PC 鋼棒は、アンボンドの状態のため、安全面の配慮から PC 鋼棒の降伏前に荷重を終了させることにした。

測定項目は、荷重、鉛直変位、PC 鋼棒のひずみ、軸方向鉄筋のひずみ、およびせん断筋のひずみであり、あわせてひび割れの進展状況を観察している。変位計の設置位置は、図-2 に示されている。なお、以降で「変位」とは、特に断りがない限り、スパン中央位置の鉛直変位を指す。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 ひび割れ進展状況

最大荷重時のひび割れ状況を図-3 に示す。また、曲げ

ひび割れ発生時、軸方向鉄筋の降伏時、および最大荷重時の荷重および変位の一覧を表-2 にまとめて示す。曲げひび割れの発生は目視により、軸方向鉄筋の降伏はひずみゲージの値により判断している。

各供試体に共通した損傷進展としては、まず純曲げ区間に曲げひび割れが発生する。当然、導入プレストレスが大きいほど、曲げひび割れ発生荷重も大きくなる。その後、曲げせん断区間内にも引張縁に曲げひび割れが発生し、その後の荷重の増加により、荷重荷重点に向かう斜めひび割れとなる。今回作製した供試体では、安定した曲げ破壊を保証するため、十分なせん断補強鉄筋を与えており、荷重荷重点と支点を結ぶような斜めひび割れに進展することはなかった。曲げ耐力が非常に大きい D4F12P21L6T1 供試体では、軸方向鉄筋に沿った縦ひび割れも見られた。なお、最終的なひび割れや破壊状況から、曲げせん断区間内に発生したこれらのひび割れは最大荷重に影響しなかったと判断している。最外縁にある軸方向鉄筋の降伏が生じると、純曲げ区間において、圧縮縁のかぶりコンクリートにひび割れが発生し、その後、かぶりの剥落がはじまると最大荷重を発現する供試体が多かった。導入プレストレスが大きいほど、軸方向鉄筋の降伏時の荷重は大きくなるが、一方で、圧縮縁のかぶりコンクリートにひ

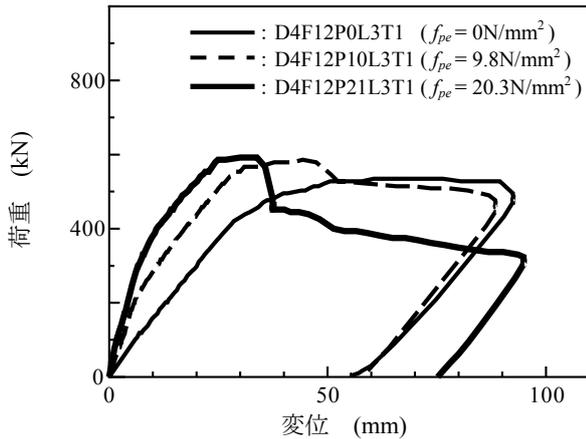


図-4 荷重-変位関係(プレストレス量に着目)

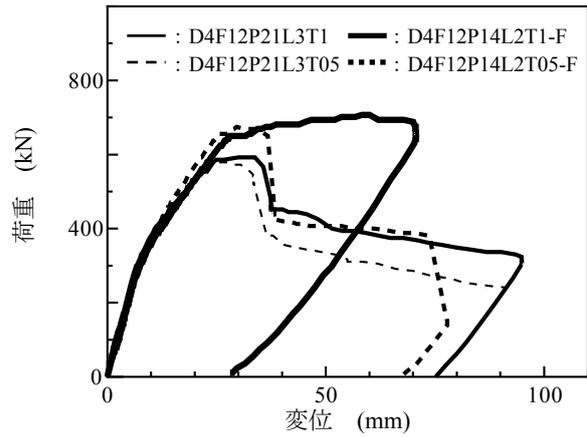


図-5 荷重-変位関係  
(中詰めの有無とらせん筋比に着目)

び割れが早期に生じている。

供試体ごとの比較を行うと、図-3 (a), (b), (c)に示されるように、プレストレスが大きいくほど、曲げせん断区間のひび割れ本数は減少し、ひび割れも図-3 (a)に示されるように、圧縮縁近くまで進展することはない。外的に与えたプレストレスの大きさにより、最大荷重時の中立軸と圧縮縁の距離に差が生じたためと推察される。

らせん筋比のみが異なる図-3 (c), (d)を比較すると、らせん筋間隔が大きいくほどひび割れ間隔も大きくなり、一方で、かぶりの剥落範囲は小さくなりコアコンクリートの激しい損傷が見られた。著者らが行った一軸圧縮実験と同様に<sup>2)</sup>、らせん筋間隔が大きくなることで、コンクリートの圧縮破壊が狭い範囲に局所化したと思われる。

軸方向鉄筋量のみが異なる図-3 (c), (e)の比較では、前記したように、軸方向鉄筋量が大きいく場合で、縦ひび割れが発生したほか、軸方向鉄筋の降伏後も斜めひび割れの進展が見られた。曲げ耐力が大きくなった結果として、曲げせん断耐力比が小さくなり、曲げせん断区間内のひび割れ状況に差が生じた。

図-3 (c), (f)に示されるように、中詰めコンクリートを充填すると、かぶり剥落範囲が大きくなる事が確認できる。後述されるように、中詰めコンクリートの充填により、外側にある高強度コンクリート部では、らせん筋による大きなコンファインド効果が発揮されるため、かぶりが剥落しても荷重は増加し続ける。その結果として、かぶりの剥落範囲が中詰めコンクリートのない供試体に比べ大きくなっている。

#### 4.2 荷重-変位関係

導入プレストレスのみが異なる3つの供試体の荷重-変位関係を図-4に示す。また、中詰めコンクリートの有無、およびらせん筋比の違いに着目した荷重-変位関係を図-5に示す。図-4と図-5では、荷重の除荷・再載荷は載せず、包絡線のみを示した。

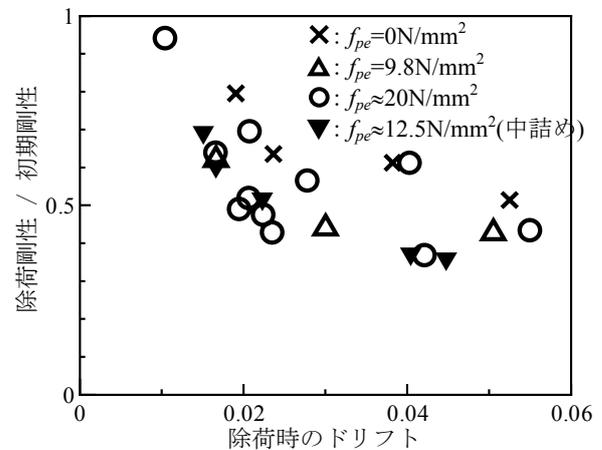


図-6 初期剛性に対する除荷剛性の比

図-4に示されるように、中詰めコンクリートがない供試体では、導入プレストレスが大きくなるほど、最大荷重発現時の変位は小さくなる一方で、その後の荷重低下が大きくなっている。プレストレスが大きいくと、中立軸位置が図心軸に近づき、断面内の圧縮領域が大きくなる結果として最大荷重は大きくなるが、早期にかぶりの剥落が生じて荷重が低下する。なお、導入プレストレス  $f_{pe}=0$  の供試体でも、実際には、曲げ載荷の途中でPC鋼棒に引張ひずみが生じている。供試体端部でPC鋼棒はナットでアンカープレートに固定していたため、載荷中に生じるPC鋼棒の引張ひずみにより、アンカープレートから杭体部に軸圧縮力が作用する。その大きさは、最大荷重時に  $f_{pe}=6.5\text{N/mm}^2$  程度に相当する。ただし、当初から  $f_{pe}=10\text{N/mm}^2$  を超えるプレストレスを導入した供試体では、軸圧縮力の増分は、最大でも  $1.9\text{N/mm}^2$  であった。これらの理由で、導入プレストレスの大きさによる最大荷重の差は小さくなったが、今後、破壊形態なども考慮し、最適なプレストレス量を見出す必要がある。

図-5では、十分ならせん筋量を持ち、かつ中詰めコンクリートを充填することにより、最大荷重が増加し、さ

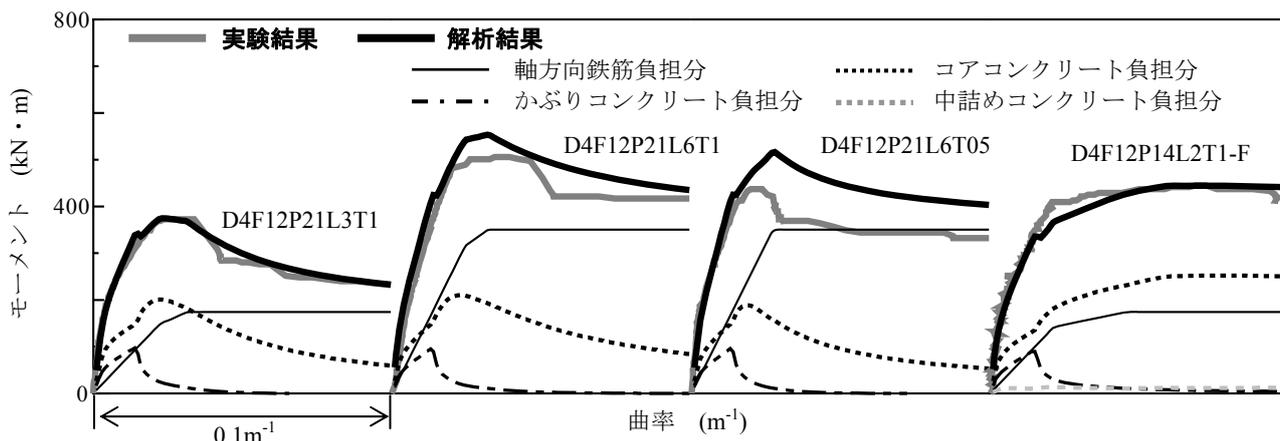


図-7 曲げモーメント-曲率関係の比較

らに、無充填(中空)供試体と異なり、最大荷重後の急激な荷重低下は生じないことが確認される。なお、このD4F12P14L2T1-F 供試体では、荷重途中でPC 鋼棒のひずみゲージが破損し、その降伏の有無を確認できなくなったため、安全上の配慮から、最大変位 71mm で荷重を終了した。後述されるように、中詰めコンクリートとらせん筋に囲まれることで、高強度コンクリートにコンファインド効果が現われ、大きな曲げ耐力が得られるとともに、最大荷重後の荷重低下を緩やかにしている。なお、プレストレスが与えられない場合には、最大荷重付近では、中立軸位置が圧縮縁に大きく近づき、中詰めコンクリートの充填によるこのような効果は期待できないと予想される。一方で、中詰めコンクリートを充填しても、らせん筋間隔を大きくした場合には、図-5 に示されるように、最大荷重の発現後に脆性的な荷重低下が生じた。これは、らせん筋間隔が大きくなり、軸方向鉄筋のはらみ出しが生じたためである。十分な曲げ耐力と靱性的な挙動を保証するためのらせん筋間隔(量)についても、今後、さらに検討する必要がある。

#### 4.3 除荷剛性

初期剛性に対する除荷剛性の比を図-6 に示す。初期剛性は、原点とひび割れ発生点から、除荷剛性は荷重除荷点と荷重ゼロ時の残留変位点を結んだ直線から求めている。横軸は、除荷時のドリフト(回転角)である。PC 鋼棒はいずれの場合も弾性状態であり、除荷時のドリフトの増加とともに、除荷剛性/初期剛性は小さくなっている。導入プレストレスが大きくなると、原点指向の傾向が強く現れることが確認される。

#### 5. 解析的検討

スパン中央に着目し、その位置の断面の曲率を増分させることで曲げモーメント-曲率関係を解析的に得た。なお、実験結果としては、図-2 に示す各変位計の値からたわみ分布を求め、その微分により曲率を求めた。断面解析の際

は、コンクリートと軸方向鉄筋は完全付着を仮定し、PC 鋼棒から与えられるプレストレスを断面中心位置に作用する外的な軸圧縮力とみなして釣り合い計算を行っている。なお、ここでは、解析対象を  $f_{pe}=10\text{N/mm}^2$  以上の供試体に限定しており、この場合には、前記したとおり、荷重中の PC 鋼棒のひずみ増分が小さいことから、緊張直後の PC 鋼棒のひずみから求められる軸圧縮力を荷重荷重の大きさに関係なく常に用いた。 $f_{pe}=0\text{N/mm}^2$  の供試体は、荷重中の PC 鋼棒のひずみ増分が大きく、現状では、その定量評価ができなかったため、ここでは解析対象外とした。

コンクリートの応力-ひずみ関係は、その位置や中詰めコンクリートの有無により使い分けている。中詰めコンクリートがある供試体で、中詰めコンクリートとらせん筋に囲まれる高強度コンクリート部には、著者らが提案した応力-ひずみ関係を用いた<sup>2)</sup>。この応力-ひずみ関係は、普通強度から高強度までの構成材料を用いた RC 柱の一軸圧縮実験に基づき定めたもので、断面形状の違いを含む横拘束筋形状、さらには構成材料の強度(コンクリート圧縮強度約  $35\sim 130\text{N/mm}^2$ 、横拘束筋降伏強度約  $300\sim 1450\text{N/mm}^2$ )に関わらず適用可能である。中詰めコンクリートにも、同様に著者らの応力-ひずみ関係を用いている。一方、中詰めコンクリートがない供試体で、らせん筋の内側にある高強度コンクリート部では、らせん筋から与えられる有効横拘束圧に小橋ら<sup>5)</sup>の提案する修正係数  $\zeta$  を掛け、それを著者らの応力-ひずみ関係に代入している。この算定式を式(1)に示す。

$$\zeta = 2.0 \frac{t}{D} (1 - e^{-F_1(100P_s)}) \quad \left( 0 < t \leq \frac{D}{2} \right) \quad (1)$$

$$F_1 = \frac{1}{(f_{sy}/200 - F_2)^2} + F_2 \quad (2)$$

$$\begin{cases} F_2 = 2.0 & (\sigma'_c \leq 60) \\ F_2 = 4 - \sigma'_c/30 & (60 < \sigma'_c < 120) \end{cases} \quad (3)$$

$$P_s = A_s/t_s \quad (4)$$

ここに、 $t$ : 肉厚、 $D$ : 直径、 $\sigma'_c$ : 圧縮強度、 $f_{sy}$ : らせん筋

降伏強度,  $A_s$ : らせん筋断面積,  $s$ : らせん筋間隔である。

式(1)は, 円筒体コンクリート柱の一軸圧縮試験により実験的に評価されたものであり, 円筒柱の直径や肉厚, らせん筋間隔や降伏強度, さらにはコンクリート圧縮強度の影響を考慮して, 中空部材におけるらせん筋の拘束効果の低減を評価できる。

かぶりコンクリート部はプレーンコンクリートとして扱い, 圧縮強度点までは著者らの応力-ひずみ関係を用い, 圧縮強度に達した後は応力をゼロとした。軸方向鉄筋は, バイリニア型の応力-ひずみ関係とした。

降伏荷重と最大荷重の計算値を実験結果とともに表-2に示した。また, 曲げモーメント-曲率関係の比較の一例を図-7に示した。図-7では, かぶりコンクリート, らせん筋内側にある高強度コンクリート(図中, コアコンクリート), 中詰めコンクリート, および軸方向鉄筋の各要素に分け, それらの曲げモーメント-曲率関係も示している。プレストレスを外的な軸圧縮力とみなし, 前記の応力-ひずみ関係を用いることで, 実験結果を概ね良好に再現できた。なお, D4F12P21L6T05は, 他の供試体に比べて実験結果と解析結果の差が大きくなっている。この供試体は, 前記したとおり, 実験時にはらみ出しの影響により, 急激な荷重低下が生じた供試体であり, 解析ではその影響を考慮していないためである。

次に, 各要素の曲げモーメント-曲率関係を見ると, 中詰めコンクリートの有無により, コアコンクリートの曲げモーメント負担分が大きく異なっている。中詰めコンクリートがない場合, コアコンクリートは十分なコンファインド効果が得られないことから,  $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ のテストピースを用いた材料試験結果から得られる圧縮強度からの増加が小さく, またその軟化勾配は大きくなるため, 結果として, 杭体の最大荷重が小さくなり, その後の荷重低下が大きくなっている。中詰めコンクリートは, ほとんど曲げモーメントを負担しておらず, これを高強度化しても杭体の曲げ耐力の向上には寄与しないが, その存在により, らせん筋内側の高強度コンクリート部(コアコンクリート部)に大きなコンファインド効果が現われ, 杭体の曲げ耐力の改善と靱性的な挙動をもたらす。なお, 軸圧縮力が小さい場合には, 荷重の増加とともに, 中立軸位置が圧縮縁に近づき, 断面内の多くが曲げ引張域となるため, 中詰めコンクリートの効果は小さくなると予想される。そのため, 今後は, 中詰めコンクリートの充填を前提として, 適切なプレストレス量を見出すための実験を継続する必要がある。

## 6. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

1. 考案した高強度 RC 杭体の単調曲げ載荷実験を実施し, その力学特性を評価した。十分なせん断補強鉄筋量を与え, 中詰めコンクリートを充填することにより, 大きな曲げ耐力が得られることを確認した。
2. かぶりやコアコンクリートの応力-ひずみ関係を適切に定めることで, 簡単な断面解析により, 実験結果に近い高強度 RC 杭体の曲げモーメント-曲率関係を得ることができた。また, 断面解析から, 中詰めコンクリートを充填することで, らせん筋内側の高強度コンクリート部にコンファインド効果が現われ, これにより大きな曲げ耐力が得られていることを確認した。

今後, 正負交番載荷実験を行い, 考案した高強度 RC 杭体の復元力特性を確認するとともに, それを反映した橋脚・杭基礎系の動的解析による耐震安全性評価を実施予定である。

## 謝辞

実験供試体の製作には, 前田製管(株)水沢工場の方々にご協力いただきました。また, 高周波熱錬(株)からは, PC 鋼棒と横拘束筋の提供, および PC 鋼棒の緊張をご指導いただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 耐震設計編, 2002
- 2) 秋山充良, 渡邊正俊, 阿部論史, 崔松涛, 前田直己, 鈴木基行:一軸圧縮を受ける高強度 RC 柱の破壊性状におよび力学的特性に関する研究, 土木学会論文集 E, V-62, No.3, pp.477-496, 2006.8
- 3) 秋山充良, 王衛倫, 前田直己, 鈴木基行:コンクリート圧縮強度  $130 \text{N/mm}^2$ ・せん断補強筋降伏強度  $1200 \text{N/mm}^2$  までを用いた RC はりのせん断耐力算定式, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.907-917, 2004.3
- 4) (社)コンクリートポール・パイル協会および(社)コンクリートパイル建設技術協会による鋼製複合杭(SC杭)団体規格曲げ強度試験
- 5) 小橋弘樹, 中塚佑, 大和真一, 山本裕之:円筒体コンファインドコンクリートの強度・変形特性におよぼす材料強度の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.3, pp.217-222, 2000