

# 論文 炭素繊維シートで被覆した高強度 RC 杭体の単調曲げ載荷実験

青木 直<sup>\*1</sup>・秋山 充良<sup>\*2</sup>・佐藤 啓<sup>\*3</sup>・鈴木 基行<sup>\*4</sup>

**要旨:** 基礎は、損傷の発見や修復の困難さから、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。この背景のもと、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(高強度 RC 杭体)を考案した。開発した高強度 RC 杭体は、せん断耐力の向上とかぶりコンクリートの早期の剥落防止のため炭素繊維シートで被覆されている。本研究では、単調曲げ載荷実験により、プレストレスの大きさや炭素繊維シートの有無が高強度 RC 杭体の曲げ耐力に与える影響を考察した。さらに、実験で得られた高強度 RC 杭体の曲げ耐力を評価可能な断面解析法を提案した。

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

## 1. はじめに

杭基礎の地震時保有水平耐力の向上のため、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<sup>1)</sup>。地盤の水平反力が期待できない条件下でも、確実に橋脚基部に塑性ヒンジを誘導し、橋梁の地震後の復旧性能の向上を目的としている。参考文献 1)では、高強度 RC 杭体の単調曲げ載荷実験により、既存の既製杭に比べ、大きくその曲げ耐力の改善を確認したものの、断面中空部にコンクリートを中詰しない場合には脆性的な破壊を呈したり、また、かぶりの早期剥落が生じたりする場合もあり、幾つかの改善点が指摘されていた。

本研究では、高強度 RC 杭体のさらなる高性能化を目指し、参考文献 1)の実験で指摘された改善点に対応した供試体を製作し、曲げ載荷実験によりその性能向上度を確認した。また、コンファインドコンクリートの応力ひずみ関係を工夫することで、実験結果(曲げモーメント-曲率関係)を再現可能な断面解析法を提示した。

## 2. 高強度 RC 杭体の概要

高強度 RC 杭体の断面図の一例を図-1 に示す。本実験では参考文献 1)の高強度 RC 杭体に次の改良を加えている。a)らせん鉄筋の内側にある杭体コンクリート(以下、コアコンクリート)のコンファインド効果を高めるため、中詰めコンクリートを全ての杭体に充填する。b)かぶりコンクリートの早期の剥落を防止し、かぶりコンクリートにも横拘束力を与えるために炭素繊維シート(以下 CFS)で杭体を被覆する。CFS は一方向引き揃えシートを使用したため、円周方向力のみ抵抗し、それ自体は曲げによる引張力を一切負担しない。c)軸方向鉄筋のほら

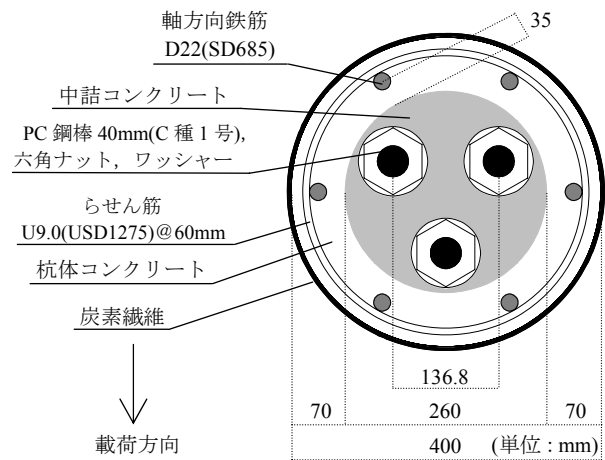


図-1 供試体断面の一例

み出しを防止するため、らせん筋間隔は 60mm とする。d)PC 鋼棒は径 40mm のものを使用し、より大きなプレストレスを作用させる。なお、PC 鋼棒の径を従来の 32mm から 40mm に変更したのに伴い、プレストレス緊張具の制約から PC 鋼棒間の間隔が大きくなったため、高強度コンクリートを使用する領域(杭体コンクリート部)の内径が参考文献 1)の 240mm から 260mm に変更されている。

## 3. 実験概要

表-1 に示す 7 体の供試体を作製し、単調曲げ載荷実験を行った。なお、D4F12P14L2T1F は参考文献 1)で報告した供試体である。

実験因子は、杭体コンクリート圧縮強度  $\sigma'_c$ : 88.0~108.0N/mm<sup>2</sup>, 導入プレストレス  $f_{pe}$ : 6.6~21.0N/mm<sup>2</sup>, 軸方向鉄筋比  $\rho_g$ : 1.8~3.8%, および CFS 被覆の有無である。表-1 に示す供試体は全て直径 400 mm, 長さ 4000mm

\*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 前田製品販売(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>	$\sigma_c^{(3)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	PC鋼棒 <sup>4)</sup>		$f_{pe}$ (N/mm <sup>2</sup> )	肉厚 (mm)	らせん筋 <sup>5)</sup>			炭素 繊維 <sup>6)</sup>	
		径 3本	径 6本			$\rho_g$ (%)	径	間隔 (mm)		$\rho_w$ (%)
D4F10P7L2T1F	102.2 (37.0 <sup>7)</sup> )	40mm	D22 <sup>8)</sup>	1.8	6.6	66.2	U9.0	60	1.12	無
D4F10P14L2T1FC		40mm	D22 <sup>8)</sup>	1.8	12.7	68.9	U9.0	60	1.12	一部巻
D4F10P22L2T1F	98.7(37.2 <sup>7)</sup> )	40mm	D22 <sup>9)</sup>	1.8	21.0	66.6	U9.0	60	1.12	無
D4F10P22L2T1FC		40mm	D22 <sup>9)</sup>	1.8	20.4	83.7	U9.0	60	1.12	一部巻
D4F10P14L4T1FC	88.0 (39.7 <sup>7)</sup> )	40mm	D32 <sup>10)</sup>	3.8	13.4	78.0	U9.0	60	1.12	全長巻
D4F9P14L2T1FC		40mm	D22 <sup>8)</sup>	1.8	13.7	66.9	U9.0	60	1.12	一部巻
D4F9P22L2T1FC		40mm	D22 <sup>8)</sup>	1.8	20.1	66.4	U9.0	60	1.12	一部巻
D4F12P14L2T1F <sup>2)</sup>	108.0 (41.0 <sup>7)</sup> )	32mm	D22 <sup>9)</sup>	1.8	12.6	89.6	U9.0	60	1.12	無

- 1) 供試体名の記号の意味 D4：直径(400mm), F9・10・12：杭体コンクリートの目標圧縮強度でF9は90N/mm<sup>2</sup>, F10は100N/mm<sup>2</sup>, F12は120N/mm<sup>2</sup>, P7~22：目標導入プレストレス(N/mm<sup>2</sup>), L2~4：軸方向鉄筋比でL2は1.8%, L4は3.8%, T1：せん断補強鉄筋比, F：中詰め有り供試体, C：炭素繊維有り供試体  
 2) 参考文献1)で報告(PC鋼棒の径は32mm)  
 3) テストピース( $\phi 100 \times 200$ mm)の材料試験結果  
 4) C種1号, 0.2%耐力1147N/mm<sup>2</sup>, 引張強度1280N/mm<sup>2</sup>  
 5) USD1275：引張強度1479N/mm<sup>2</sup>  
 6) 弾性係数232000N/mm<sup>2</sup>, 引張強度4620N/mm<sup>2</sup>, 一部巻：純曲げ区間を中心に貼付, 全長巻：供試体全長に貼付  
 7) 中詰めコンクリートの圧縮強度  
 8) SD685：降伏強度778.0N/mm<sup>2</sup>, 引張強度944.0N/mm<sup>2</sup>  
 9) SD685：降伏強度787.4N/mm<sup>2</sup>, 引張強度965.6N/mm<sup>2</sup>  
 10) SD685：降伏強度796.4N/mm<sup>2</sup>, 引張強度978.9N/mm<sup>2</sup>

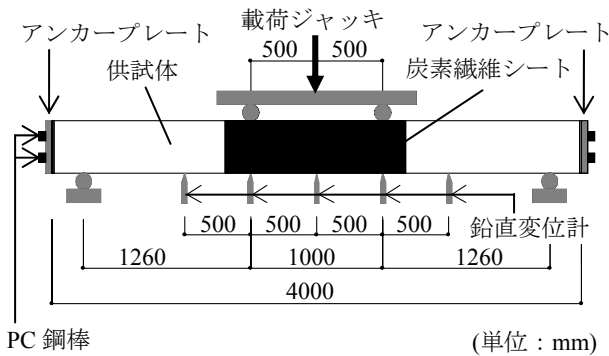


図-2 供試体荷重状況

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260mmである。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、221~268mm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、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。その後、CFS被覆を行った。CFSは一層巻とし、継手長は、田中ら<sup>2)</sup>の研究を参考に100mmとした。なお、D4F10P14L4T1FCは、軸方向鉄筋比が高く、曲げ耐力が大きいため、破壊モードがせん断破壊型となる可能性が考えられた。そこで、この供試体のみCFSを供試体全長に被覆した。全供試体において、岸田ら<sup>3)</sup>の提案したせん断耐力算定式により算出したせん断耐力が、曲げ耐力の1.3倍以上を確保するように設計している。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、供試体両端の厚さ60mm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。

表-1に示す杭体コンクリート圧縮強度はテストピース( $\phi 100 \text{mm} \times 200 \text{mm}$ )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：40mm), およびらせん筋(USD1275, 径：U9.0)であり、材料試験の結果は表-1の欄外にまとめて示している。

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、通常のコンクリート杭体の曲げ荷重試験<sup>4)</sup>を参考に、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杭の復元力特性を確認するため、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), および約 $2\delta_y$ ,  $3\delta_y$ 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、基本的には変位計の限界である、スパン中央部のたわみが約100mmに達したときとしたが、危険防止のため、PC鋼棒のひずみが降伏に達する前に荷重を終了した供試体もある。

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CFSのひずみであり、併せて損傷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。

表-2 降伏・最大荷重点の実験値と計算値

供試体名	降伏点			最大荷重点			せん断耐力 <sup>3)</sup> kN
	荷重 kN	変位 mm	荷重(計算値) kN	荷重 kN	変位 mm	荷重(計算値) kN	
D4F10P7L2T1F	598	31.2	— <sup>1)</sup>	758 <sup>2)</sup>	93.5	— <sup>1)</sup>	963
D4F10P14L2T1FC	656	28.6	633	911 <sup>2)</sup>	99.5	762	1100
D4F10P22L2T1F	668	31.8	704	751	77.5	731	1130
D4F10P22L2T1FC	790	33.7	770	957	78.3	889	1220
D4F10P14L4T1FC	918	36.0	935	1160 <sup>2)</sup>	99.2	1150	1570
D4F9P14L2T1FC	656	29.5	637	905	94.7	761	1080
D4F9P22L2T1FC	772	33.2	739	950	84.4	846	1110

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

2) 変位計の測定限界,あるいは危険防止のため,最大荷重の発現を確認する前に載荷を終了

3) 岸田ら<sup>3)</sup>のせん断耐力算定式に基づき算出



写真-1 最大荷重時  
(D4F10P22L2T1F)



写真-2 CFS 外側のかぶり剥落  
(D4F10P22L2T1FC)



写真-3 CFS 破断  
(D4F9P14L2T1FC)

#### 4. 実験結果

##### 4.1 損傷状況

表-2 に軸方向鉄筋の降伏時,および最大荷重時の荷重と変位の一覧を示す。表-1 に示す実験供試体の損傷状況は実験因子によって複雑に変化した。以下に,炭素繊維の有無による損傷過程の違いを述べる。なお,曲げひび割れとせん断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。

CFS 無しの供試体(D4F10P7L2T1F, D4F10P22L2T1F)は,純曲げ区間の引張縁に曲げひび割れが発生した後,曲げせん断区間に斜めひび割れが発生する。この斜めひび割れは,支点と載荷点方向に伸びるが,特にひび割れ幅が急激に大きくなることもなく,供試体の最大荷重の発現に影響するものではないと考えられた。その後,純曲げ区間の圧縮縁でかぶりコンクリートの剥落が発生し,引張縁の軸方向鉄筋が降伏,そして,最大荷重を発現した。写真-1 は CFS を被覆しない供試体(D4F10P22L2T1F)の最大荷重時の損傷状況である。大きなプレストレスを与えた結果として,最外縁の軸方向鉄筋の降伏が発生する前に圧縮縁のかぶりが剥落し,引張側の軸方向鉄筋が負担できるモーメントが作用する前に最大荷重に到達している。

次に CFS 一部巻を施した供試体(D4F10P14L2T1FC, D4F10P22L2T1FC, D4F9P14L2T1FC, D4F9P22L2T1FC)に共通した損傷進展を示す。まず,純曲げ区間の CFS 下部に周方向の裂け目が発生した。この位置で曲げひび割れが発生し

たと思われる。続いて, CFS を貼付した外側の曲げせん断区間にせん断ひび割れが発生し,軸方向鉄筋の降伏が生じる。その後, CFS を貼付した区間の外側でかぶりコンクリートの剥落(写真-2)が生じ,圧縮縁の CFS が破断(写真-3)するのとほぼ同時に最大荷重に至る。なお,荷重-変位関係を見る限り, CFS を貼付した区間の外側のかぶりの剥落が発生した前後でその傾きに変化は見られず,この位置の損傷は供試体の最大荷重に大きな影響を及ぼしていないと思われる。ただし,炭素繊維シートの被覆の境界部では曲げ耐力が大きく変化するため,今後は,この境界部を曲げモーメントが十分に小さくなる位置に設定する必要があると思われる。また,載荷終了後に CFS を剥がして観察したところ,かぶりコンクリートの一部に損傷が生じていたのみであり,写真-1 に示す CFS 無しの供試体(D4F10P22L2T1F)の最終破壊の様子とは対照的であった。

CFS 全巻巻の供試体(D4F10P14L4T1FC)では,一部巻の供試体と同様に CFS 下部に裂け目は生じるが,上記のような曲げせん断区間におけるかぶりコンクリートの剥落は防止される。載荷終了後のかぶりコンクリートの損傷は一部巻の供試体と同様に軽微であった。

このように,炭素繊維シートでかぶりコンクリートを被覆することで,導入プレストレスが大きくなっても,引張縁の軸方向鉄筋が十分に曲げモーメントを負担するまでコンクリートの損傷が生じず, CFS 無しの供試体よりも大きな曲げ耐力を発現することができる。

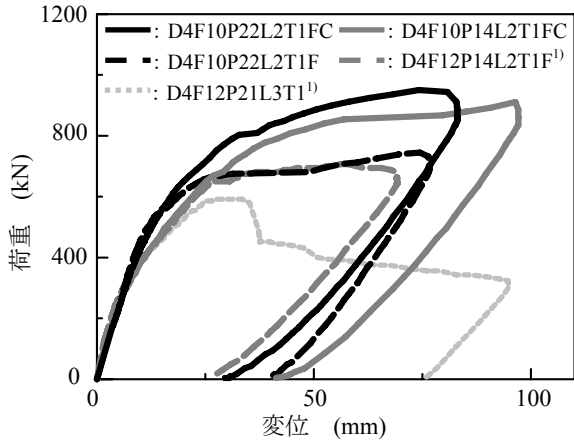


図-3 荷重-変位関係

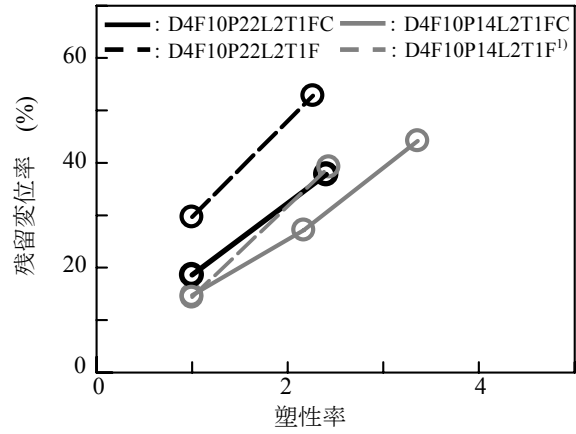


図-4 残留変位率-塑性率関係

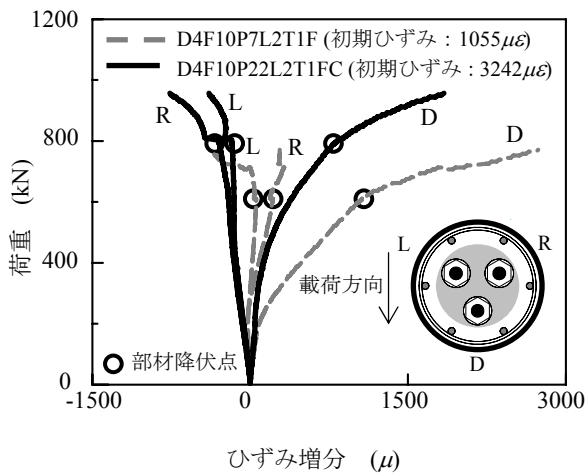


図-5 荷重-PC 鋼棒ひずみ増分関係

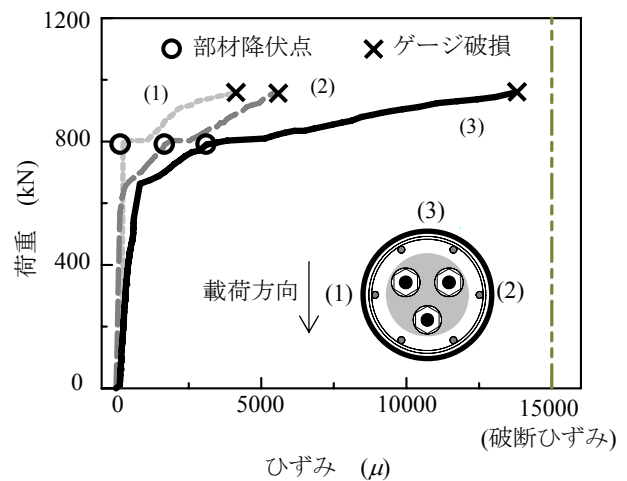


図-6 荷重-CFS ひずみ関係(D4F10P22L2T1FC)

#### 4.2 荷重-変位関係

CFSの有無と導入プレストレスの大小に着目した荷重-変位関係の比較を図-3に示す。参考文献1)の供試体に比べ、断面中心部に中詰めコンクリートを充填し、CFSで杭体を被覆することで、杭体の曲げ耐力が向上している。特に、中詰めコンクリートの充填とCFSの被覆がないD4F12P21L3T1では、最大荷重付近でかぶりの剥落が生じ、大きな荷重低下を示すのは対照的な挙動である。

これは、後述するように、中詰めコンクリートの充填がコアコンクリート部の杭体内部への剥落を防止するとともに、コンファインド効果を発現させ、曲げ耐力の改善と靱性的な挙動をもたらした結果である<sup>1)</sup>。さらに、杭体をCFSで被覆することにより、かぶりコンクリートおよびコアコンクリートに横拘束力が与えられ、高いコンファインド効果が発現する。これにより、導入プレストレスが大きい場合でも、かぶりが早期に剥落することなく、一方で、断面の中立軸位置が図心位置に近づく結果として、圧縮部の高強度コンファインドコンクリートの領域が大きくなるため、杭体の曲げ耐力が向上したと考えられる。

なお、導入プレストレス $f_{pe}$ が $20\text{N/mm}^2$ 以下の供試体では、プレストレスの大小が杭体曲げ耐力に与える影響は小さいものとなった。これは、载荷中の杭体の変形に伴い、PC鋼棒に引張ひずみが生じ、PC鋼棒が固定されている供試体端部のアンカープレートから杭体部に軸圧縮力が作用した結果、 $f_{pe}$ の小さい供試体でも見かけ上、導入プレストレスが大きな供試体と大差のない軸圧縮状態になったためである。この杭体の変形に伴う軸圧縮力の増分のメカニズムについては後述する。

#### 4.3 残留変位率-塑性率関係

図-4に残留変位率-塑性率関係を示す。残留変位率は、除荷時の残留変位を除荷前のピーク変位で除した値であり、塑性率は、除荷前のピーク変位を降伏変位で除した値である。図-4より、ある塑性率に対する残留変位率は、CFSで被覆した供試体で小さくなっている。同じ塑性率に対する杭体の損傷が小さく、特にかぶりの剥落などの断面欠損が生じにくいため、断面中心部に配置した弾性状態にあるPC鋼棒により、その残留変位を小さくできたと考えられる。また、CFSの有無に関わらず、導入プレストレスが小さな供試体は残留変位率が小さく

なっている。これは、導入プレストレスが大きい供試体では、CFS 無しの場合には圧縮縁のかぶりの剥落、CFS 有りの場合は、CFS 貼付区間の外側でのかぶりの剥落が導入プレストレスの小さい供試体に比べ早期に生じた影響と思われる。

#### 4.4 PC 鋼棒および炭素繊維シートのひずみ

図-5 に荷重-PC 鋼棒ひずみ増分関係を示す。前述したように、プレストレスが小さい供試体(D4F10P7L2T1F)では、PC 鋼棒に生じる引張りひずみの増分が大きい。プレストレスが小さい供試体は、荷重の進行に伴い、断面の中立軸が圧縮縁に近づき、PC 鋼棒 3 本を含む断面の大部分が引張域となる。一方で、プレストレスが大きい供試体は、断面内の圧縮域の領域が大きくなるため、PC 鋼棒の荷重増分後の引張りひずみの増分が小さくなる。また、導入プレストレスが大きい供試体では、曲げひび割れ幅の増加が抑制されるため、供試体の軸方向の伸びが小さくなり、これも PC 鋼棒の引張りひずみ増分が抑えられる結果に寄与したと推察される。なお、PC 鋼棒の引張りひずみ増分の定量評価は、今後の検討課題である。

図-6 に荷重-CFSひずみ関係(D4F10P22L2T1FC)を示す。ひずみゲージの添付位置によりひずみ値にばらつきが見られるものの、1000~2000 $\mu$ 程度に達した後にひずみ値の増分に変化が生じることが確認される。導入プレストレスが同じ大きさで、CFS 無しの供試体(D4F10P22L2T1F)では、かぶりコンクリートの剥落が同程度のひずみで生じており、細谷ら<sup>5)</sup>の研究でも、周方向ひずみがこの程度の値に達すると、CFS内部のコンクリートが破壊し始め、CFSによる横拘束効果が顕著に現れると報告されている。杭体のかぶりコンクリートには、このひずみ値に相当する横拘束力が与えられ、CFS 無しの供試体に比べ、杭体の高耐力化がもたらされる。

### 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、杭体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、解析対象を導入プレストレス $f_{pe}=10\text{N/mm}^2$ 以上の供試体に限定している。前記したとおり、これらの供試体では、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ることができるためである。 $f_{pe}=10\text{N/mm}^2$ 以下の供試体は、荷重中のPC 鋼棒のひずみ増分が大きく、現状では、その定

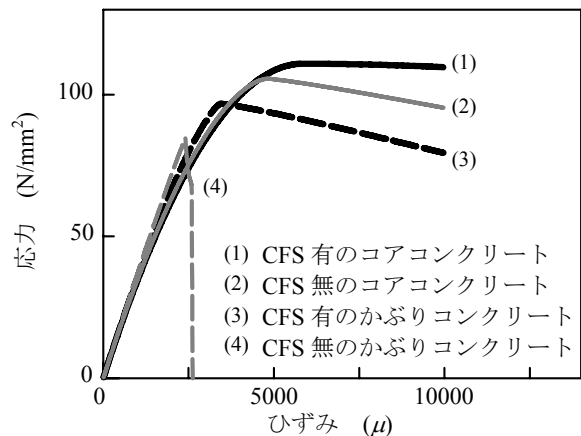


図-7 応力-ひずみ関係( $\sigma_c' = 100\text{N/mm}^2$ )

量評価ができないため、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CFSの有無により使い分けしている。CFS 無しの供試体のコアコンクリート部と中詰め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>6)</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 35~130 $\text{N/mm}^2$ 、横拘束筋降伏強度約 300~1450  $\text{N/mm}^2$ )に関わらず適用可能である。また、かぶりコンクリートはプレーンコンクリートとして扱った。CFS 有りの供試体は、図-6 に示すように、CFS に周方向ひずみが生じ、杭体コンクリート、および中詰めコンクリートに受動的な拘束力が与えられる。そこで、参考文献 5)を参考に、CFSによる横拘束力を考慮した。具体的には、コンクリート圧縮強度の発現前は、式(1)による横拘束力 $p_e^*$ が作用するとし、その後は式(2)による横拘束力 $p_e'^*$ が作用するとして、著者らが提案した応力-ひずみ関係に組み込んだ。かぶりコンクリートは、CFSによる横拘束力のみ、コアコンクリートおよび中詰めコンクリートは、これに加えて横拘束筋による横拘束力を付加する。図-7 にコンクリートの応力-ひずみ関係の一例を示した。なお、軸方向鉄筋は、バイリニア型の応力-ひずみ関係とした。

$$p_e^* = \rho_{CF} \varepsilon_{CF} E_{CF} \quad (1)$$

$$p_e'^* = \rho_{CF} f_{CF} \quad (2)$$

ここに、 $\rho_{CF}$ : CFS比、 $\varepsilon_{CF}$ : 圧縮強度発現時にCFSに作用する周方向ひずみ(ここでは 1500 $\mu$ )、 $f_{CF}$ : CFSの引張強度( $\text{N/mm}^2$ )、 $E_{CF}$ : CFSの弾性係数である。

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-8 に示した。図-8 では、かぶりコンクリート、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

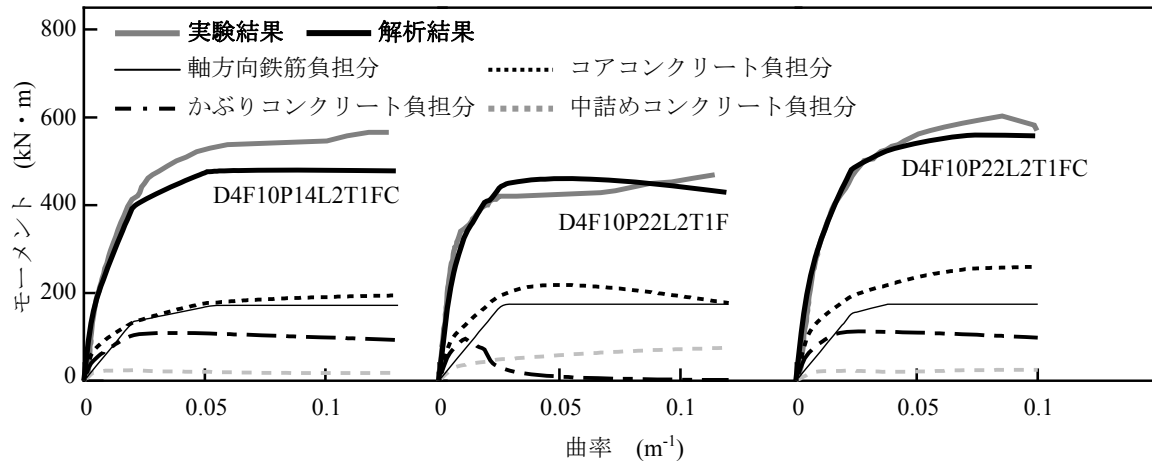


図-8 モーメントー曲率関係の比較

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ている。

次に、各要素の曲げモーメントー曲率関係を見ると、CFSで杭体を被覆していないD4F10P22L2T1F供試体は、杭体の降伏モーメント以降、CFS有りの供試体に比べてかぶりコンクリートの曲げモーメント負担分が小さくなっている。圧縮縁に位置するかぶりコンクリートは、荷重の増加とともに大きな圧縮力を受け、早期に圧縮強度に到達し、CFSによる横拘束を受けない場合は、その後の応力負担が見込めないためである。一方、CFSで杭体を被覆した供試体は、CFSから与えられる横拘束圧により、かぶりコンクリートの圧縮強度の発現後の応力低下が緩やかであり、これが杭体の曲げ耐力の向上に寄与していることが理解される。また、中詰めコンクリート自体の曲げモーメント負担分は小さいが、一方で、この存在により、コアコンクリートの杭体内部への剥離・剥落が防止され、コアコンクリートは大きな曲げモーメントを負担できる。

## 6. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

1. 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杭体について、中詰めコンクリートの充填と炭素繊維シートによる被覆などの改良を加えた。そして、単調曲げ載荷実験を実施し、これらの改良により高強度RC杭体の構造性能がさらに向上することを確認した。
2. コンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係を工夫することで、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ー曲率関係を得ることができた。また、断面解析から、杭体を炭素繊維シートで被覆することで、かぶりコン

クリート部にもコンファインド効果が期待でき、その早期の剥落防止により、大きな曲げ耐力が得られることを確認した。

今後、正負交番載荷実験も実施し、考案した高強度RC杭体の復元力特性を確認する予定である。

## 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) 浅沼大寿, 秋山充良, 佐藤啓, 鈴木基行: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1003-1008, 2008
- 2) 田中良典, 小林朗, 杉山哲也: 炭素繊維シートの基本的物性, 土木学会第51回年次学術講演会(平成8年9月), V-546, pp.1090-1091, 1996.9
- 3) 岸田慎司, 坂井晶博, 桑原文夫, 林静雄: 大口径PHC杭のせん断終局強度の計算方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.532, PP.103-110, 2000.6
- 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) 細谷学, 川島一彦, 星隈順一: 炭素繊維シートで横拘束したコンクリート柱の応力度-ひずみ関係の定式化, 土木学会論文集, No.592/V-39, pp.37-52, 1998.5
- 6) 秋山充良, 渡邊正俊, 阿部諭史, 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