

# 高強度構成材料を用いた RC 耐震柱部材へのプレストレスの導入による構造性能の改善

|         |      |       |
|---------|------|-------|
| 東北大学    | 正会員  | ○秋山充良 |
| 東北大学    | 学生会員 | 浅沼大寿  |
| 前田製管(株) | 学生会員 | 前田直己  |

|        |      |      |
|--------|------|------|
| 大林組(株) | 正会員  | 阿部諭史 |
| 東北大学   | 学生会員 | 三浦 稔 |
| 東北大学   | フェロー | 鈴木基行 |

## 1. はじめに

重要度の高い土木構造物は、兵庫県南部地震クラスの地震が作用した直後でも、供用可能であることが要求される。このような耐震設計を実現する一つの方策が高強度構成材料を使用した RC 耐震部材の開発であり、兵庫県南部地震クラスの地震に対しても弾性応答させることをその目標性能とする。しかし、高強度コンクリートを用いても、常時荷重による軸圧縮力が小さい橋脚などの柱では、地震時の水平力に対して、断面の大部分が引張域となってしまう、コンクリートの高強度化を全く活かすことができない。そこで、高強度コンクリートの有効利用を図るため、高強度構成材料を用いた RC 柱部材にプレストレスを与え(以下、高強度 PRC 柱)、地震時保有水平耐力の向上を試みた。10 体の高強度 PRC 柱の曲げ実験を実施し、損傷進展や耐力の発現状況などを考察し、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結果を報告する。

## 2. 実験概要

供試体は、直径 400mm、長さ 4000mm の中空構造(肉厚約 80mm)が基本であり、断面中心付近に PC 鋼棒を配置する。実験因子は、コンクリート圧縮強度  $\sigma_c'$ 、プレストレス  $f_{pe}$ 、軸方向鉄筋比  $\rho_g$ 、らせん筋比  $\rho_w$ 、および中詰めコンクリートの充填の有無である。供試体諸元の一覧と断面図の一例を表-1 および図-1 に示す。軸方向鉄筋の径は D22 または D32 を使用している。PC 鋼棒を中空部分に配置しているため、供試体両端に設置した厚さ 45mm のアンカプレートを通じて緊張力が供試体に導入される。

本構造形式の特徴は、i)大きなプレストレスを作用させ、中立軸位置を図心軸に近づけることで高強度コンクリートの有効利用を図る、ii)PC 鋼棒を断面の中心部に配置することで PC 鋼棒の塑性化を防ぎ、柱の残留変位の抑制を期待する、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。載荷点および支点位置は参考文献 1)を参考に、純曲げスパンを 1000 mm、せん断スパンを 1260mm とした。載荷の際、高強度 PRC 柱の復元力特性を確認するため、引張側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  $3\delta_y$ 時に除荷を行い、残留変位や残留ひび割れを観察した。

### 3. 実験結果

圧縮強度、軸方向鉄筋量、らせん筋比を共通諸元とした 4 供試体の荷重－変位関係を図-2 に示す。プレストレス  $f_{pe}$  が大きいほど曲げひび割れ荷重が大きくなり、ポストピークの荷重低下が急になる傾向が見られ

**Key Words** : 高強度コンクリート, 高強度鉄筋, プレストレス, 耐震部材, 地震時保有水平耐力

連絡先：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 Tel：022(795)7447 Fax：022(795)7448

表一1 供試体諸元一覽

| 供試体名            | $\sigma_c'$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\rho_g$<br>(%) | $f_{pe}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\rho_w$<br>(%) | 中詰め             |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| D4F8P0L3T1      | 94.1                                | 2.9             | 0                                | 1.12            | 無               |
| D4F8P21L3T1     |                                     | 2.9             | 20.6                             | 1.12            |                 |
| D4F12P0L3T1     |                                     | 2.9             | 0                                | 1.12            |                 |
| D4F12P10L3T1    | 107                                 | 2.9             | 9.8                              | 1.12            |                 |
| D4F12P21L3T1    | 114                                 | 2.9             | 20.3                             | 1.12            |                 |
| D4F12P21L3T05   |                                     | 2.9             | 19.5                             | 0.56            |                 |
| D4F12P21L6T1    | 110                                 | 5.9             | 19.8                             | 1.12            |                 |
| D4F12P21L6T05   |                                     | 5.9             | 20.3                             | 0.56            |                 |
| D4F12P14L2T1-F  | 108                                 | 1.8             | 12.6                             | 1.12            | 有 <sup>注)</sup> |
| D4F12P14L2T05-F |                                     | 1.8             | 12.1                             | 0.56            |                 |

注) 中詰めコンクリートの圧縮強度 41.0(N/mm<sup>2</sup>)

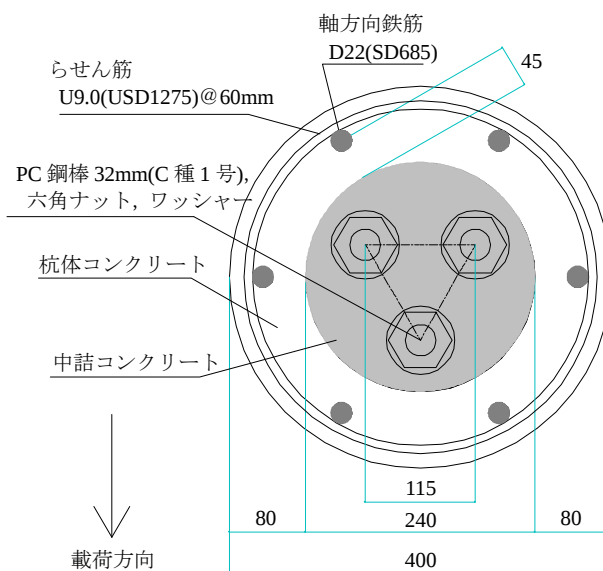


図-1 供試体断面の一例

た. 最大荷重を比較すると,  $f_{pe}=0\text{N/mm}^2$  と  $f_{pe}=9.8\text{N/mm}^2$  では両供試体に明らかな差が見られるのに対して,  $f_{pe}=9.8\text{N/mm}^2$  と  $f_{pe}=20.3\text{N/mm}^2$  の最大荷重の差は小さかった. 中詰めコンクリートを充填した供試体では最大荷重とそのときの変位が増大し, 中詰めにより杭体外側にあるコンクリートにコンファインド効果が現れることが確認された.

### 3. 実験結果

実験で測定したモーメントー曲率関係の再現解析を試みた. 解析では, 平面保持を仮定し, PC 鋼棒によるプレストレスは表-1 に示される値のまま一定とした. 中詰めコンクリートを充填した供試体のコンファインドコンクリートに関しては, 著者ら<sup>2)</sup>の提案した平均化応力ーひずみ関係を使用した. 一方, 小橋ら<sup>3)</sup>は, 中空円筒形のコンクリートのコンファインド効果は, 中実供試体に比べて低下することを実験的に明らかにし, その低下量を修正係数 $\zeta$ で評価している. この修正係数の概念を著者らの提案式に組み込むことで, 中空供試体のコンクリートの平均化応力ーひずみ関係を得た. 実験と解析で得られたモーメントー曲率関係の比較を図-3 に示す. 図-3 には, 実験で測定したプレストレスの変化を考慮した解析結果もあわせて示した. これより, 導入したプレストレスが大きい供試体では, 表-1 の  $f_{pe}$  を用いた解析でも実験結果を概ね良好に再現していることがわかる. しかし, 導入プレストレスが小さい供試体は載荷中に生じるプレストレスの変化を考慮しなければ, 実験結果を再現することができない.

上記の結果をふまえて, 本構造をさらに高耐力化するための改善案を検討した. 図-4 は, 中詰めコンクリートの充填を共通条件とした供試体の圧縮強度  $\sigma'_c$ :  $80\sim 150\text{N/mm}^2$  とプレストレス  $f_{pe}$ :  $6\sim 22\text{N/mm}^2$  に関する感度解析の結果である. これより, より高強度なコンクリートを大きなプレストレス作用下で使用することで, 曲げ耐力をさらに向上させることが可能になる結果となった.

### 4. まとめ

高強度 PRC 柱を開発し, 曲げ載荷実験から各実験因子がその力学的特性に与える影響を考察した. また, 実験で得られたモーメントー曲率関係を再現できる曲げ耐力算定法を提示し, それに基づき, 本構造をさらに高耐力化するための基礎検討を行った. 今後, 検討結果を反映した柱を製作し, 追加実験を行う予定である.

**謝辞** 本研究の一部は, 平成 16 年度吉田研究奨励賞の支援により実施したものである. 実験供試体の製作では, 前田製管(株)水沢工場および高周波熱錬(株)の方々にご協力いただきました. ここに記して謝意を表します.

**参考文献** 1) (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, 2) 秋山充良ほか: 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. 3) 小橋弘樹ほか: 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.

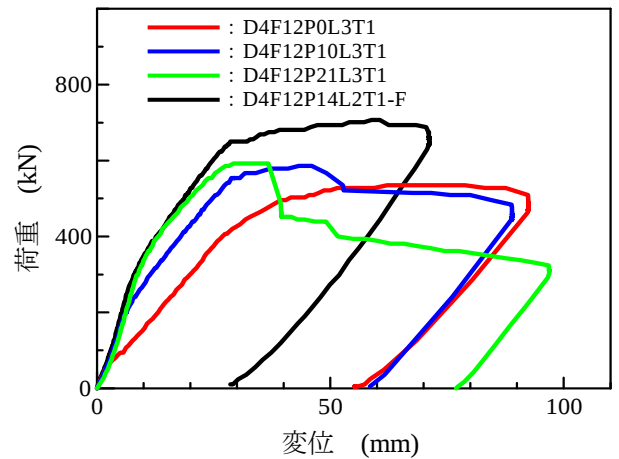


図-2 荷重ー変位関係

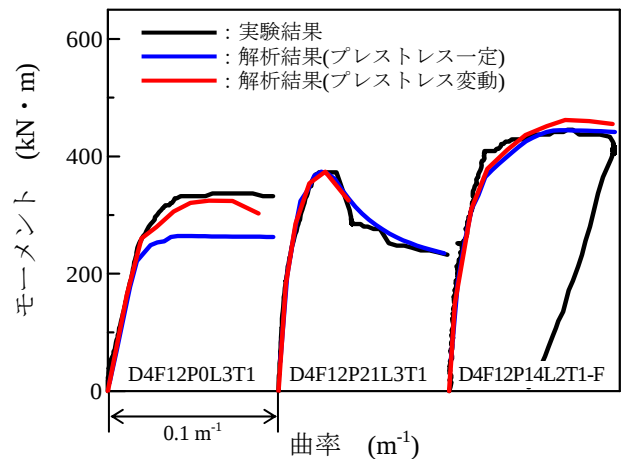


図-3 モーメントー曲率関係の比較

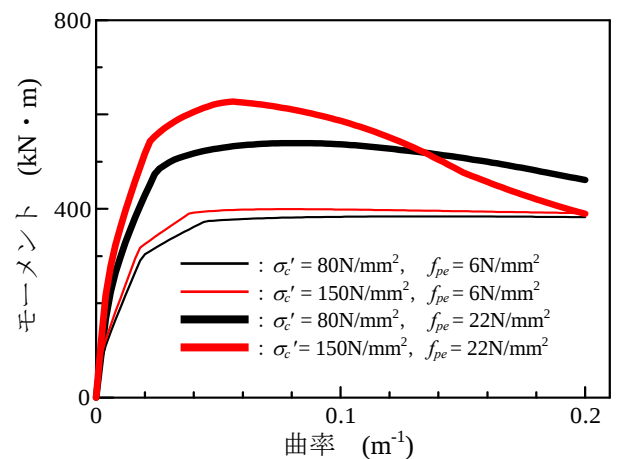


図-4 構造性能の改善を目的とした感度解析