

# 各種緊張率で軸方向プレストレスを導入した RC 巻立て補強部材の曲げ変形挙動

京都大学 学生会員○阪上 啓祐  
正会員 服部 篤史

学生会員 山本 貴士  
フェロー会員 宮川 豊章

## 1.はじめに

本研究では、曲げせん断耐力比が 1 程度の既存柱部材を想定した供試体に、軸方向プレストレスを有するコンクリート巻立て工法を適用し、正負交番曲げ載荷試験をもとに、緊張率が補強部材の曲げ変形性状、特に靱性、復元特性に与える影響を検討した。

## 2.実験概要

実験要因には、補強後の断面における全鋼材に対する緊張材の分担率として、緊張率 ( $\lambda = A_p \cdot f_{py(u)} / (A_s \cdot f_{sy(u)} + A_p \cdot f_{py(u)})$ ) で約 40%、50%、55% の 3 種類を設定した。

無補強(既存部)供試体は、幅×高さ×全長(スパン長)=200×200×2000(1800)mm で主筋として 8-D16(SD295A)を有する RC はりで、横補強筋として D6 フープ筋(SD295A)を間隔 200mm で配筋し、曲げせん断耐力比( $V_u \cdot a / M_u$ )は 1.15 とした。また、柱部材を想定し、断面中心に配置したアンボンド PC 鋼棒( $\phi 17$ mm)により圧縮軸力比  $\sigma_c / f'_c = 10\%$  を目標に軸力を導入した。なお、コンクリートの目標配合強度  $f'_{cr}$  は  $27\text{N/mm}^2$  とした。補強供試体は、図 1 に示すように幅×高さ×全長(スパン長)=300×300×2000(1800)mm で補強厚は 50mm であり、補強部の横拘束筋配置間隔は 45mm、せん断補強筋配置間隔は 100mm(PC-55 のみ 50mm) とした。緊張材として PC 鋼棒、CFRP ロッドをプレストレス導入率 60% で用いた。なお、コンクリートの目標配合強度は  $45\text{N/mm}^2$  であり、既存部と補強部コンクリート打継目処理には、既存部材表面への凝結遅延剤使用による骨材洗出しを適用した。供試体一覧および補強部緊張材の機械的性質を、それぞれ表 1、表 2 に示す。載荷はスパン 1800mm に対して曲げスパン 400mm の対称 2 点漸増繰り返し型( $(2n-1) \delta_y \times 3$ )正負交番曲げ試験とし、 $\delta_y$  は各供試体載荷時の荷重-変位曲線の屈曲点から求めた。また、終局は、最大荷重以降の荷重降下領域で荷重が降伏荷重を下回った点として定義した。

無補強(既存部)供試体は、幅×高さ×全長(スパン長)=200×200×2000(1800)mm で主筋として 8-D16(SD295A)を有する RC はりで、横補強筋として D6 フープ筋(SD295A)を間隔 200mm で配筋し、曲げせん断耐力比( $V_u \cdot a / M_u$ )は 1.15 とした。また、柱部材を想定し、断面中心に配置したアンボンド PC 鋼棒( $\phi 17$ mm)により圧縮軸力比  $\sigma_c / f'_c = 10\%$  を目標に軸力を導入した。なお、コンクリートの目標配合強度  $f'_{cr}$  は  $27\text{N/mm}^2$  とした。補強供試体は、図 1 に示すように幅×高さ×全長(スパン長)=300×300×2000(1800)mm で補強厚は 50mm であり、補強部の横拘束筋配置間隔は 45mm、せん断補強筋配置間隔は 100mm(PC-55 のみ 50mm) とした。緊張材として PC 鋼棒、CFRP ロッドをプレストレス導入率 60% で用いた。なお、コンクリートの目標配合強度は  $45\text{N/mm}^2$  であり、既存部と補強部コンクリート打継目処理には、既存部材表面への凝結遅延剤使用による骨材洗出しを適用した。供試体一覧および補強部緊張材の機械的性質を、それぞれ表 1、表 2 に示す。載荷はスパン 1800mm に対して曲げスパン 400mm の対称 2 点漸増繰り返し型( $(2n-1) \delta_y \times 3$ )正負交番曲げ試験とし、 $\delta_y$  は各供試体載荷時の荷重-変位曲線の屈曲点から求めた。また、終局は、最大荷重以降の荷重降下領域で荷重が降伏荷重を下回った点として定義した。

無補強(既存部)供試体は、幅×高さ×全長(スパン長)=200×200×2000(1800)mm で主筋として 8-D16(SD295A)を有する RC はりで、横補強筋として D6 フープ筋(SD295A)を間隔 200mm で配筋し、曲げせん断耐力比( $V_u \cdot a / M_u$ )は 1.15 とした。また、柱部材を想定し、断面中心に配置したアンボンド PC 鋼棒( $\phi 17$ mm)により圧縮軸力比  $\sigma_c / f'_c = 10\%$  を目標に軸力を導入した。なお、コンクリートの目標配合強度  $f'_{cr}$  は  $27\text{N/mm}^2$  とした。補強供試体は、図 1 に示すように幅×高さ×全長(スパン長)=300×300×2000(1800)mm で補強厚は 50mm であり、補強部の横拘束筋配置間隔は 45mm、せん断補強筋配置間隔は 100mm(PC-55 のみ 50mm) とした。緊張材として PC 鋼棒、CFRP ロッドをプレストレス導入率 60% で用いた。なお、コンクリートの目標配合強度は  $45\text{N/mm}^2$  であり、既存部と補強部コンクリート打継目処理には、既存部材表面への凝結遅延剤使用による骨材洗出しを適用した。供試体一覧および補強部緊張材の機械的性質を、それぞれ表 1、表 2 に示す。載荷はスパン 1800mm に対して曲げスパン 400mm の対称 2 点漸増繰り返し型( $(2n-1) \delta_y \times 3$ )正負交番曲げ試験とし、 $\delta_y$  は各供試体載荷時の荷重-変位曲線の屈曲点から求めた。また、終局は、最大荷重以降の荷重降下領域で荷重が降伏荷重を下回った点として定義した。

無補強(既存部)供試体は、幅×高さ×全長(スパン長)=200×200×2000(1800)mm で主筋として 8-D16(SD295A)を有する RC はりで、横補強筋として D6 フープ筋(SD295A)を間隔 200mm で配筋し、曲げせん断耐力比( $V_u \cdot a / M_u$ )は 1.15 とした。また、柱部材を想定し、断面中心に配置したアンボンド PC 鋼棒( $\phi 17$ mm)により圧縮軸力比  $\sigma_c / f'_c = 10\%$  を目標に軸力を導入した。なお、コンクリートの目標配合強度  $f'_{cr}$  は  $27\text{N/mm}^2$  とした。補強供試体は、図 1 に示すように幅×高さ×全長(スパン長)=300×300×2000(1800)mm で補強厚は 50mm であり、補強部の横拘束筋配置間隔は 45mm、せん断補強筋配置間隔は 100mm(PC-55 のみ 50mm) とした。緊張材として PC 鋼棒、CFRP ロッドをプレストレス導入率 60% で用いた。なお、コンクリートの目標配合強度は  $45\text{N/mm}^2$  であり、既存部と補強部コンクリート打継目処理には、既存部材表面への凝結遅延剤使用による骨材洗出しを適用した。供試体一覧および補強部緊張材の機械的性質を、それぞれ表 1、表 2 に示す。載荷はスパン 1800mm に対して曲げスパン 400mm の対称 2 点漸増繰り返し型( $(2n-1) \delta_y \times 3$ )正負交番曲げ試験とし、 $\delta_y$  は各供試体載荷時の荷重-変位曲線の屈曲点から求めた。また、終局は、最大荷重以降の荷重降下領域で荷重が降伏荷重を下回った点として定義した。

## 3.実験結果および考察

**3.1 終局時破壊原因** 終局時破壊原因を表 3 に示す。無補強供試体は、せん断ひび割れが数多く発生したものの、圧縮縁コンクリートの圧潰

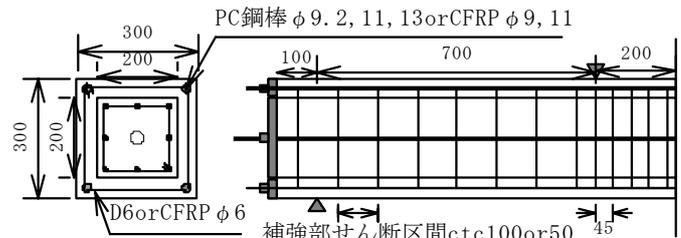


図 1 補強供試体形状・寸法(単位: mm)

表 1 供試体一覧

供試体名 <sup>1)</sup>	補強部軸方向プレストレス					載荷時 軸力比 (%)	コンクリート圧 縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	緊張材	緊張率 (%)	緊張力 (kN)	プレスト レス導入	プレスト レス(N/mm <sup>2</sup> )		既存部	補強部
無補強	—	—	—	—	—	12.6	45.9	—
PC-40	PC鋼棒;4-φ9.2	39.5	37.1	60%	2.02	9.0	35.6	53.9
PC-50	PC鋼棒;4-φ11	48.3	53.0		2.60	11.5	45.1	45.4
PC-55	PC鋼棒;4-φ13	56.6	74.0		3.53	9.0	35.6	49.1
CF-50	CFRPロッド;4-φ9	49.0	83.3		4.05	8.9	38.9	49.7
CF-55	CFRPロッド;4-φ11	56.3	105.8		4.05	9.2	33.3	51.3

1) 緊張材の種類-緊張率

表 2 補強部緊張材の機械的性質

種類	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	伸び(%)
B種1号φ9.2PC鋼棒	1083	1146	201000	12.0
B種1号φ11PC鋼棒	1063	1136	201000	13.0
B種1号φ13PC鋼棒	1063	1130	200000	12.0
φ9CFRPロッド(組紐)	—	2100	156800	1.3
φ11CFRPロッド(組紐)	—	2100	156800	1.3

表 3 終局時破壊原因

供試体名	終局時破壊原因
無補強	コンクリート圧潰
PC-40	補強部引張側緊張材破断(5 $\delta_y$ )
PC-50	補強部引張側緊張材破断(7 $\delta_y$ )
PC-55	補強部コンクリート圧潰
CF-50	補強部引張側緊張材破断(3 $\delta_y$ )
CF-55	補強部引張側緊張材破断(3 $\delta_y$ )

キーワード 軸方向プレストレス、緊張率、靱性、復元特性

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL075-753-5102 FAX075-752-1745

により終局に至った。また、PC-40、PC-50、CF-50、CF-55 は緊張材の破断により、PC-55 は補強部コンクリートの圧潰により終局に至った。

**3.2 靱性** 各供試体の変位靱性率、消散エネルギーの累積挙動を図1、図2に示す。PC 鋼棒では、緊張率が最も小さい PC-40 が  $3\delta_y$  での引張側緊張材の破断により、また、緊張率が最も大きい PC-55 では緊張率の破断は生じなかったものの、曲げ圧縮部コンクリートへの負担増大により圧潰の進行にともなう荷重低下が大きくなり、PC-50 より変位靱性率が小さくなった。このように損傷の形態は異なるものの消散エネルギーの累積挙動には差が見られなかった。一方、CFRP ロッドにおいても緊張率が大きいものほど、終局にいたる原因となる緊張材の破断時期が遅れるため、変位靱性率が大きくなった。しかし、PC 鋼棒と同様に、緊張率の増加にともない曲げ圧縮部コンクリートへの負担が増大するため、変位靱性率が低下する緊張率の範囲が存在するものと考えられる。

**3.3 復元特性** 復元特性を評価する指標として、各グループ正方向 1 回目の残留変位率(各グループの最大変位に対する除荷後の残留変位の割合)、弾性エネルギー(=各グループの吸収エネルギー—消散エネルギー)を用いた。各供試体の残留変位率および弾性エネルギーを図3,図4に示す。残留変位率、弾性エネルギーともに同様の傾向を示しており、復元特性の低下は緊張材の破断により生じていることがわかる。  $1\delta_y$  では、PC 鋼棒、CFRP ロッドともに、緊張率が大きいほどプレストレス導入量が大きくなるため残留変位率が小さくなり、また、弾性エネルギーが大きくなっている。しかし、PC 鋼棒で緊張率が最も大きい PC-55 では曲げ圧縮部コンクリートの圧潰進行にともなう荷重低下が大きくなるため、  $3\delta_y$  および  $5\delta_y$  における PC-50 との顕著な差は見られなかった。CFRP ロッドをさらに大きい緊張率で用いた場合にも PC 鋼棒と同様の傾向を示すものと考えられる。

**4.結論** 緊張率が大きいものほど緊張材の破断が生じにくくなり復元特性が持続する。しかし、曲げ圧縮部コンクリートの圧潰進行にともなう荷重低下も大きくなるため、PC 鋼棒の場合、緊張率 50%以上では、靱性の向上は得られなかった。また、CFRP ロッドの場合でも緊張率 55%以上の範囲で同様の傾向を示すものと考えられる。本研究の範囲内では、緊張材に PC 鋼棒を用いる場合、補強部緊張材の量として、緊張率 50%が最適であるといえる。

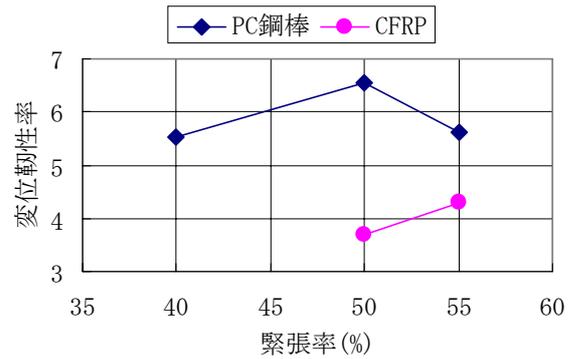


図1 変位靱性率

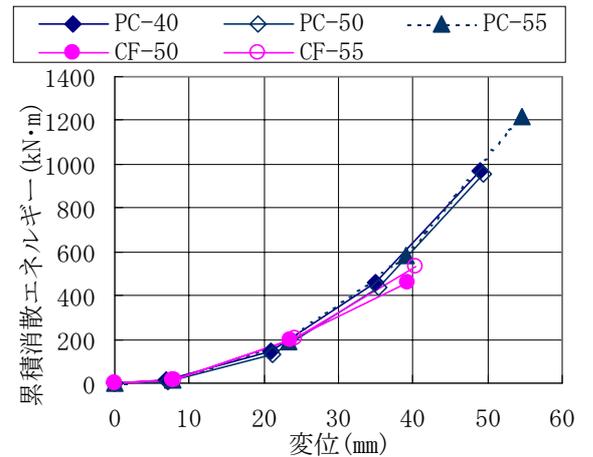


図2 消散エネルギーの累積挙動

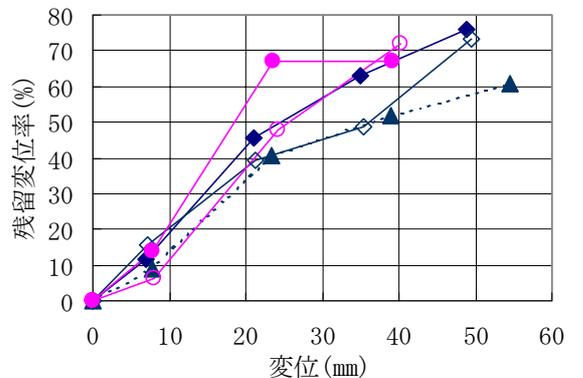


図3 残留変位率

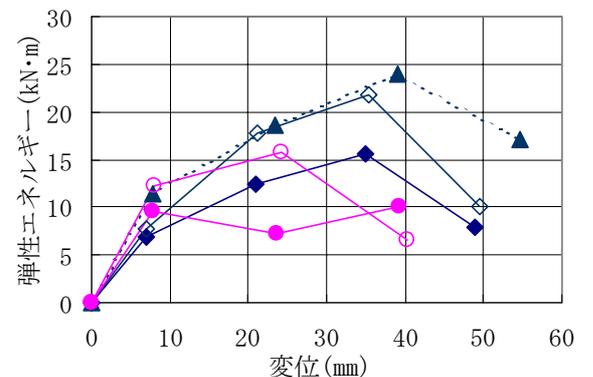


図4 弾性エネルギー