

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程度の既存部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、緊張材の種類、プレストレス導入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

実験要因として、緊張率(40%、50%、55%)、緊張材の種類(PC鋼棒、AFRPロッド、CFRPロッド)、プレストレス導入率(21%、42%、60%)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

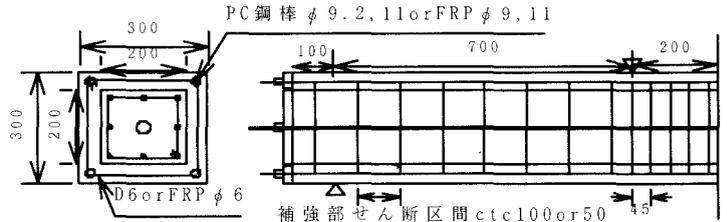


図1 補強供試体形状・寸法(単位: mm)

8-D16(SD295)を有するRCはりで、横拘束筋として異形フープ筋(D6 SD 295)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 $\sigma_c / f_{cr} = 10\%$ 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 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)= $300 \times 300 \times 2000(1800) \text{ mm}$ で補強厚は50mmであり、補強部の横拘束筋配置間隔は44mm、せん断補強筋配置間隔は100mmあるいは50mmとした。なお、コンクリートの目標配合強度は 45 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、 δ_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

載荷実験結果を表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により終局に至った。また、PC40-60、PC50-60、AF50-42、AF50-60、CF50-60は緊張材の破断により、PC55-60、Keisuke SAKAGAMI, Takashi YAMAMOTO, Atsushi HATTORI and Toyoaki MIYAGAWA

表1 供試体一覧

供試体名 ¹⁾	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^2)	
	緊張材	緊張率 (%)	プレストレス導入率 (%)	緊張力 (kN)		プレストレス (N/mm^2)	既存部
無補強	—	—	—	—	12.6	45.9	—
PC40-60	PC鋼棒;4- $\phi 9.2$	39.5	60	37.1	2.02	9.0	53.9
PC50-60	PC鋼棒;4- $\phi 11$	48.3		53.0	2.60	11.5	45.1
PC55-60	PC鋼棒;4- $\phi 13$	56.6		74.0	3.53	9.0	35.6
AF50-21	AFRPロッド;4- $\phi 11$	48.8	21	26.5	0.94	10.9	46.9
AF50-42	AFRPロッド;4- $\phi 11$		42	53.0	3.03	11.3	38.3
AF50-60	AFRPロッド;4- $\phi 11$		60	75.2	2.81	8.2	38.9
CF50-60	CFRPロッド;4- $\phi 9$		49.0	83.3	4.05	8.9	38.9

1)緊張材の種類 緊張率-プレストレス導入率

表2 補強部緊張材の機械的性質

種類	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	伸び (%)
B種1号 $\phi 9.2$ PC鋼棒	1083	1146	201000	12.0
B種1号 $\phi 11$ PC鋼棒	1063	1136	201000	13.0
B種1号 $\phi 13$ PC鋼棒	1063	1130	200000	12.0
$\phi 11$ AFRPロッド(組紐)	-	1493	68600	2.2
$\phi 9$ CFRPロッド(組紐)	-	2100	156800	1.3
$\phi 11$ CFRPロッド(組紐)	-	2100	156800	1.3

AF50-42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表3、図1に示す。緊張率による影響(PC40-60、PC50-60、PC55-60)では、緊張率が最も小さいPC40-60が3 δ_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PC55-60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、PC50-60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累積挙動には差が見られなかった。緊張材の種類による影響(PC50-60、AF50-60、CF50-60)では、FRPよりも伸びが高く、塑性変形が生じるPC鋼棒を用いたものがAFRP、CFRPよりも変位靱性率、累積消散エネルギーが大きくなった。プレストレス導入率による影響(AF50-21、AF50-42、AF50-60)では、プレストレス導入率の最も大きいAF50-60が早期に破断するため小さくなった。AF50-21、AF50-42では、前者のコンクリート圧潰による終局と後者の緊張材破断がほぼ同時期(5 δ_y)であったため同程度の値となった。しかし、消散エネルギーの累積挙動には顕著な差は見られなかった。

3.3 復元特性 復元特性を評価する指標として、各ループ正方向1回目の残留変位率(各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2,3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。緊張率による影響(PC40-60、PC50-60、PC55-60)では、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る傾向にある。しかし、緊張率が最も大きいPC55-60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、5 δ_y まではPC50-60との顕著な差は見られなかった。緊張材の種類による影響(PC50-60、AF50-60、CF50-60)では、靱性への影響と同様にFRPよりも伸びが大きく、塑性変形が生じるPC鋼棒を用いたものがAFRP、CFRPよりも残留変位率が小さく、弾性エネルギーが大きくなっている。プレストレス導入率による影響(AF50-21、AF50-42、AF50-60)では、プレストレス導入率が大きいほど残留変位率が小さくなり、弾性エネルギーが大きくなる傾向にあるが、同時に緊張材の破断も早まり、破断後は、復元特性の低下が顕著であった。

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、緊張率50%以上では、復元特性に差は見られず、また、変位靱性率およびエネルギー消散能も同程度となった。したがって、本研究の範囲内では、緊張率50%が最適な補強量であるといえる。

表3 実験結果

供試体名	変位靱性率	終局時破壊原因
無補強	4.2	コンクリート圧潰
PC40-60	5.6	補強部引張側緊張材破断(5 δ_y)
PC50-60	6.6	補強部引張側緊張材破断(7 δ_y)
PC55-60	5.5	補強部コンクリート圧潰
AF50-21	5.2	補強部コンクリート圧潰
AF50-42	5.7	補強部引張側緊張材破断(5 δ_y)
AF50-60	3.7	補強部引張側緊張材破断(3 δ_y)
CF50-60	3.7	補強部引張側緊張材破断(3 δ_y)

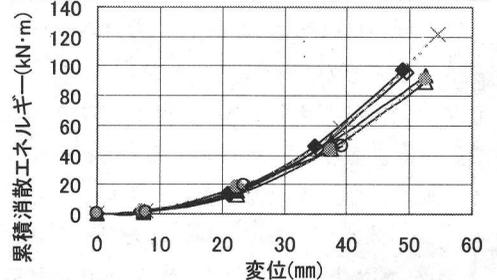
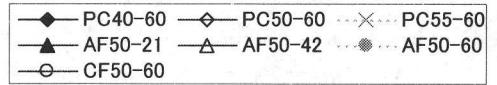


図2 消散エネルギーの累積挙動

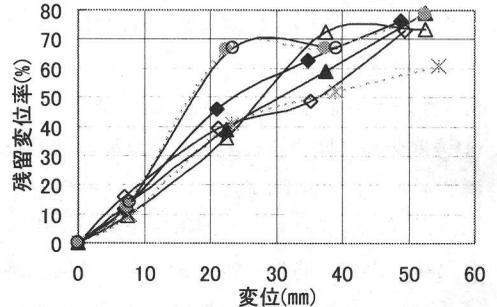


図3 残留変位率

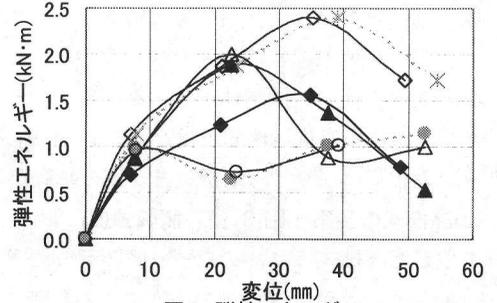


図4 弾性エネルギー