

CFRPロッドを用いたPC梁の曲げ耐荷特性

呉工業高等専門学校 正員 ○ 西谷 庸雄
 広島大学工学部 正員 米倉重州夫
 広島ガス株式会社 森沢 努
 日本舗道株式会社 小林 靖典

1. まえがき

近年、各種FRPをプレストレストコンクリート用緊張材として利用する研究が進められている。この種のFRPは、いずれも一般的に高強度で軽量かつ耐食性が大きい等の長所と共に破断時伸びが小さい欠点も有することが知られている。したがって、これらFRPを緊張材に使用したPC梁の破壊は、緊張材の破断またはコンクリートの圧壊により生じ、いずれも脆性的であることから、これをいかに改善するかが問題である。また、その繊維含有率、製法により引張特性、付着性能等が異なるため、まだ明確な設計方法は確立されてない。そこで、CFRPロッドを緊張材としたポストテンションPC梁の曲げ試験を行い、耐力および破壊性状等の基礎的資料を得る目的で実験的に検討した。

2. 実験概要

用いたPC梁の形状・寸法は、図-1に示すように長さ160cm、高さ18cm、幅12cmの矩形断面で、緊張材を図心から3cm下側に直線状に配置した。緊張材は、CFRPロッド（結合材にエポキシ、繊維混入率65%、繊維を巻き付けて付着を確保したもの）を使用し、比較のためにPC鋼棒（SBPR 80/95）を用いた場合も一本作製した。また、軸方向補強筋には鉄筋またはCFRPロッドを用いて4隅に配置した。スターラップは全て鉄筋を用い、間隔は10cmとし、一部は破壊靱性を改善するためにスパン中央部に5cm間隔で補強した。使用した補強材の力学的特性を表-1に示す。プレストレスの初期導入応力は、緊張材引張強度の0.4、0.5、0.6および0.7倍の4種類とし、全て緊張材定着後ただちにグラウト注入を行った。載荷はスパンが130cm、純曲げ区間30cmの2点載荷で、せん断スパン有効高さ比は、4.2の一定とした。

3. 実験結果と考察

ひび割れ性状は、図-1に示すように、軸方向補強筋に鉄筋を使用した場合、緊張材量、有効プレストレスに関わらず、ひび割れ本数がほぼ同数で、スターラップに沿って均等に生じ、分散も良く、曲げ破壊形式は緊張材破断またはコンクリート圧壊となった。軸方向補強筋にCFRPロッドを用いた梁では、補強筋の耐力が大きいため、ひび割れ本数が増加し、破壊もせん断破壊に移行した。なお、CFRPロッドの付着は、いずれも良好であると思われる。

表-2に載荷試験結果を示す。プレストレスの損

表-1 補強材の力学的特性

	径 (mm)	弾性係数 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	伸び (%)
CFRP	φ 8.3	1.61×10^6	23100	1.3
	φ 10.4	1.33×10^6	17500	1.2
	φ 12.2	1.58×10^6	17400	1.1
	φ 8.1	1.44×10^6	21800	1.2
PC鋼棒	φ 17.0	2.00×10^6	11800	—
鉄筋	φ 9.0	1.82×10^6	3239	—

※ただし、鉄筋は降伏点応力

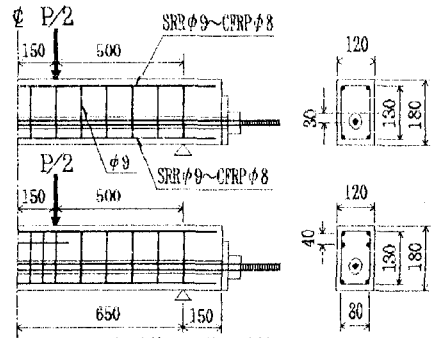


図-1 供試体の形状・寸法および載荷方法

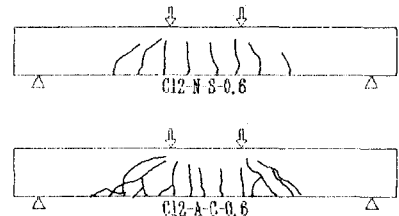


図-2 ひびわれ性状

失は、緊張材定着後7日で5~10%程度と考えられ、曲げびり割れ発生荷重の計算値と実験値は、比較的良く一致した。よって、表に示す方法により曲げびり割れ発生荷重を推定することが可能と思われる。

曲げ破壊耐力実験値と計算値は、せん断破壊した梁を除き、ほぼ近似し、終局時のコンクリートひずみを0.35%とする応力ブロックを用いた従来の算定方式で評価できるものと思われる。また、せん断破壊した梁の実験値はせん断耐力計算値より5~15%下回り、CFRPロッドを緊張材および軸方向補強筋に用いた場合、鋼材を用いた場合と異なり、せん断耐力が小さめになることを示唆する。なお、せん断耐力の算定は、土木学会コンクリート標準示方書の基本式に準じて行い、引張鋼材とCFRPロッドの弾性係数比を乗じる補正方法により行った。また、曲げ破壊荷重は、緊張力比(P_e/P_u)が大きくなるに従ってやや大きくなるが、同じ緊張材量の場合、破壊形式が曲げ圧縮破壊から緊張材破断に移行する傾向が見られる。しかし、曲げ圧縮破壊時の性状は、いずれも比較的緩やかであったことから、スパン中央部にスターラップを配置した効果が見られ、これにより破壊靱性を改善できるものと思われる。

荷重とたわみの関係を図-3に示す。軸方向補強筋に鉄筋を用いた場合、同一荷重に対するたわみは有効プレストレスの大きい方が小さくなるが、緊張材量の多少による影響はあまり大きくなかった。CFRPロッドで補強した場合、補強量が多いことやCFRPロッドが降伏現象を示さないために、鉄筋で補強した梁と比較して荷重たわみ関係が改善される。

図-4に補強材比と破壊荷重の関係を示す。ここで、補強材比とは $p = (A_p \cdot \sigma_{pu} / b \cdot d_p \cdot \sigma_{ck}) + (A_s \cdot \sigma_{su} / b \cdot d_s \cdot \sigma_{ck})$ で与えられる無次元パラメータと定義した。これより、補強材比が大きくなるに従って破壊荷重も増大するが、軸方向補強筋にCFRPロッドを使用した場合、緊張材量を多くしても、せん断破壊が曲げ破壊に先行するので、曲げ破壊させるためには、せん断補強を過大にする必要がある。

4. まとめ

本実験の結果をまとめると、以下ようになる。

(1)スパン中央部にスターラップを配置することにより、曲げ圧縮破壊の破壊靱性を改善できる。

(2)破壊荷重および破壊形式は補強材比、緊張力比および緊張材量による変形状により影響される。

今後、補強材の種類・量等を変えて実験を継続する予定である。なお、土木学会連続繊維小委員会を通じCFRPロッド等を御提供頂き貴重な助言を賜った熊谷組(株)関係各位に厚くお礼申し上げます。

表-2 載荷試験結果

供試体名	コンクリート強度 (kgf/cm ²)	曲げびり割れ発生荷重(kN)		破壊荷重(kN)		破壊形式	
		実験値 P _{cr}	計算値 P _{cr}	実験値 P _u	計算値 P _u	P _e /P _u	破壊形式
C8-S-0.4	50.3	2.5	2.3	0.89	7.5	0.97	緊張材破断
C8-S-0.5	50.3	3.0	3.0	1.00	7.5	0.97	曲げ圧縮破壊
C8-S-0.6	54.8	3.5	3.2	1.05	8.5	0.97	緊張材破断
C8-A-0.6	52.4	3.0	3.0	1.00	14.5	0.95	曲げ圧縮破壊
C8-A-0.6	52.4	3.0	3.1	0.97	9.5	0.88	緊張材破断
C8-A-0.6	52.4	3.0	3.1	0.97	14.4	0.95	曲げ圧縮破壊
C8-S-0.7	54.8	3.0	3.4	0.98	8.5	1.12	緊張材破断
C10-S-0.4	59.1	3.0	2.9	1.02	8.3	0.86	曲げ圧縮破壊
C10-S-0.5	59.1	3.0	3.1	0.97	8.9	0.86	緊張材破断
C10-S-0.6	59.6	3.0	3.4	0.88	9.0	0.86	緊張材破断
C10-A-0.6	61.6	3.5	3.4	1.03	14.5	0.99	曲げ圧縮破壊
C10-S-0.6	59.1	3.5	3.2	1.09	9.0	0.98	曲げ圧縮破壊
C10-A-0.6	62.4	3.0	3.5	0.86	13.9	0.85	せん断破壊
C10-S-0.7	60.4	3.0	3.8	0.79	9.0	0.86	緊張材破断
C12-S-0.4	60.4	3.0	3.3	0.91	11.0	0.86	曲げ圧縮破壊
C12-S-0.5	56.9	3.5	3.7	0.95	12.0	0.85	曲げ圧縮破壊
C12-S-0.6	59.8	3.5	4.1	0.85	11.0	0.85	曲げ圧縮破壊
C12-A-0.6	61.6	3.5	3.9	0.90	14.4	0.85	曲げ圧縮破壊
C12-S-0.6	60.1	3.5	3.8	0.92	11.2	0.85	曲げ圧縮破壊
C12-A-0.6	62.4	3.5	3.8	0.92	17.4	0.84	曲げ圧縮破壊
C12-S-0.7	56.9	3.5	4.5	0.78	12.0	0.85	緊張材破断
P17-S-0.6	54.7	4.5	4.1	1.10	13.9	1.09	曲げ圧縮破壊

計算は、次の方法で行った。ただし、破壊荷重計算値の内、せん断破壊した梁の場合、
1. コンクリートの圧縮強度は、最高時の強度 σ_{ck} を用いる。
2. 曲げびり割れ発生荷重 $P_{cr} = 2Mcr/l$, $Mcr = (\sigma_{cr} + 0.9\sigma_{ck})Z_e$
 σ_{cr} : 曲げびり割れ発生モーメント, l : せん断スパン, Z_e : 断面係数
 p : 有効プレストレス, σ_{pu} : コンクリートの曲げ引張強度, σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度
3. せん断破壊耐力は、 $V_u = Z(\sigma_{ck} + V_p + V_s)$

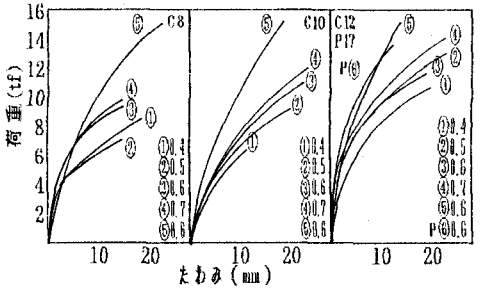


図-3 荷重とたわみの関係

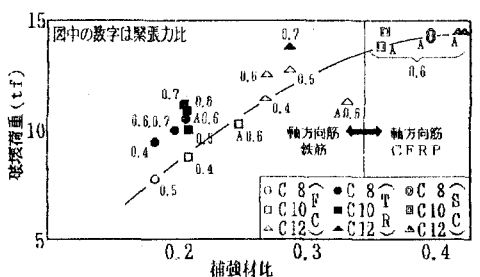


図-4 補強材比と破壊荷重