

PVA-UFC を用いた RC 梁の曲げ試験による PVA 繊維の補強効果に関する一考察

(株) エスイー 正会員 ○小林 裕貴*1 (株) エスイー 正会員 野澤 忠明
 (株) 大塚社会基盤総合研究所 フェロー 大塚 久哲 九州大学大学院 正会員 崔 準祐

1. はじめに

高強度・高耐久という特長を有する超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC)は、構造物の軽量化・長寿命化を可能とし、現場での省力化と経済性向上が特に求められる近年において有用な材料の一つである。

しかし、UFC 製 RC 構造は従来の示方書等^{1),2),3)}の適用範囲外であり、UFC の特長を活かした RC 構造物を設計する為には新たに設計用値を設定する必要がある。

そこで本研究では、補強繊維として PVA 繊維を用いた PVA-UFC と超高強度鉄筋を組み合わせた RC 梁部材に対して曲げ載荷試験を実施し、曲げ特性にかかわる設計用値、ならびに設計手法の提案を行った。

2. 試験概要

使用した PVA-UFC の特性値を表-1 に示す。本材料の標準配合では PVA 繊維を 1.7vol% 配合し、水結合材比は 15%、圧縮強度の特性値は 150N/mm² である。

試験供試体の材料諸元を表-2 に示す。繊維の効果を定量的に把握する為、標準配合から繊維量のみを変化させ、繊維混入量を 0.0, 1.0, 1.7vol% とした供試体を作製した。各配合の圧縮強度は繊維量の増加に伴い線形的に減少する傾向を示した。

供試体は図-1 に示す寸法・配筋とし、また、PVA-UFC の高圧縮強度を活かす為、引張側主鉄筋として超高強度鉄筋 USD685 の D19 を 3 本配置した。また、荷重載荷位置は純曲げスパンが梁高の 2 倍となる 700mm に設定した。計測項目は載荷荷重、たわみ量、最大ひび割れ幅とした。

3. 試験結果と考察

3.1 破壊形態

いずれの供試体も、載荷荷重の増加に伴い載荷点付近のコンクリートが圧縮破壊する曲げ破壊の性状を示した。図-2 に各供試体の荷重-たわみ曲線、表-3 にひび割れ発生時、および主鉄筋降伏時等の各段階での載荷荷重を示す。ただし、ひび割れ発生荷重は、荷重-たわみ曲線の初期勾配が変化する段階の荷重、降伏荷重は供試体のたわみ量が急増する段階の荷重とした。表-3 に示す通り、繊維量が多い程ひび割れ発生荷重、降伏荷重が向上する傾向が確認され、補強繊維が引張応力の一部を負担したと考えられる。また、最大耐力を見ると

表-1 PVA-UFC (標準配合) の材料特性値

項目	単位	特性値
単位体積重量	kN/m ³	24.0
圧縮強度	N/mm ²	150
ひび割れ発生強度	N/mm ²	6.8
引張強度	N/mm ²	7.0
ヤング係数	N/mm ²	4.6×10 ⁴

表-2 各供試体の材料諸元

供試体名	B-1	B-2	B-3	
P-UFC	繊維混入率(vol%)	0.0	1.0	1.7
	圧縮強度(N/mm ²)	203	180	164
	ヤング係数(N/mm ²)	4.88×10 ⁴	4.82×10 ⁴	4.68×10 ⁴
主鉄筋	鉄筋の種類			USD685
	降伏強度(N/mm ²)			690
	引張強度(N/mm ²)			899
	ヤング係数(N/mm ²)			1.9×10 ⁵

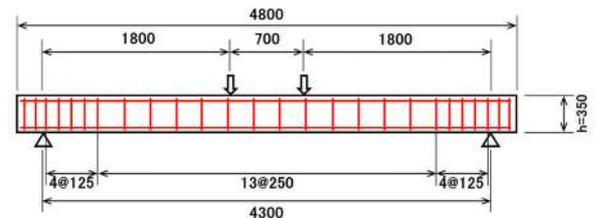


図-1 供試体概要図

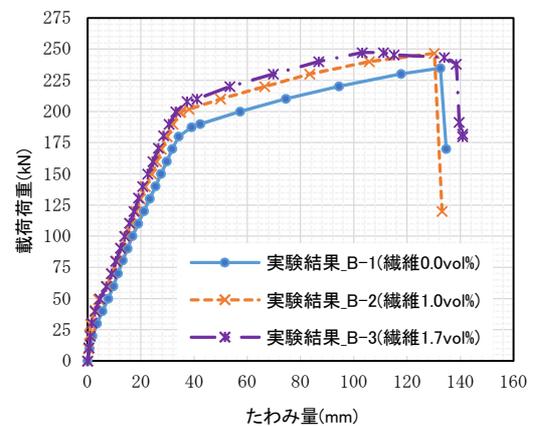


図-2 載荷荷重-たわみ関係

表-3 曲げ載荷試験結果一覧

供試体名	B-1	B-2	B-3
繊維混入率	0.0	1.0	1.7
ひび割れ発生荷重	26(1.00)	33(1.27)	38(1.46)
降伏荷重 (kN)	187(1.00)	199(1.06)	208(1.11)
最大荷重 (kN)	235(1.00)	247(1.05)	247(1.05)
終局荷重 (kN)			238(1.01)

() 内の数値は B-1 の値との比

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート、PVA 繊維、曲げ載荷、降伏耐力、曲げひび割れ幅
 連絡先：*1 東京都新宿区西新宿 6-5-1 新宿アイランドタワー43 階 TEL (03)3340-5564 FAX (03)3340-5345

繊維混入により圧縮強度が低下するにもかかわらず、繊維を混入した供試体の方が大きい最大耐力を示した。これは補強繊維が引張力の一部を負担することにより、繊維のない供試体と比較し、中立軸と圧縮端の距離が大きくなり、圧縮領域が広がった為と考えられる。

3.2 最大ひび割れ幅と主鉄筋の許容引張応力度

図-3 にクラックスケールにて計測した最大ひび割れ幅とその時の載荷荷重の関係を示す。最大ひび割れ幅は繊維無しと比較し繊維を混入した供試体の方が小さく、繊維によるひび割れ幅の抑制効果が確認された。また、繊維を混入した供試体の場合、超高強度鉄筋(USD685)に一般的な主鉄筋(SD345)と同程度以上の安全率を見込み、許容引張応力度を 300N/mm² とすると、その応力時の載荷荷重 80kN における最大ひび割れ幅は図-3 から 0.15mm である。これはコンクリート標準示方書 2) に示される腐食に対するひび割れ幅の限界値 $W_a (=0.005c=0.165\text{mm}, c: \text{純かぶり})$ より小さい。したがって、PVA-UFC 製 RC 部材では超高強度鉄筋の許容引張応力度を 300N/mm² 以下とすることで、補強繊維の効果により、最大ひび割れ幅を耐久性上問題のない範囲に抑えられると考えられる。

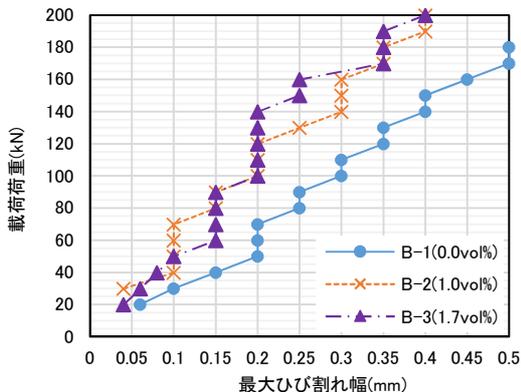


図-3 載荷荷重の最大ひび割れ幅の関係

3.3 繊維の補強効果を見込んだ降伏耐力の計算

PVA-UFC は一般的なコンクリートと比較し圧縮強度・ヤング係数が大きい。そこで断面計算にて用いるヤング係数比を従来の $n=15$ から $n=4.5$ としたところ、図-4 に示すように B-1 (繊維なし) ではより試験値に近似した計算値が得られた。一方、繊維を混入した供試体では繊維の補強効果により耐力が向上している為、降伏耐力を過小評価する結果となった。そこで試験結果から、式(1)に示すような繊維混入率に関する主鉄筋作用応力度の低減係数を提案した。

$$\alpha = 1 - 0.05f_m \tag{1}$$

ここに、

α : 繊維の影響を見込んだ鉄筋応力度の低減係数

f_m : 繊維混入率 (vol%) ($0 \leq f_m \leq 1.7$)

この時、低減された鉄筋の引張応力度 σ'_s は、平面保持の法則から式(2)で表せる。

$$\sigma'_s = \alpha \cdot \sigma_s = \alpha \cdot \frac{n \cdot \sigma_c (d - x)}{x} \tag{2}$$

ここに、

- σ'_s : 繊維による分担を考慮した鉄筋に作用する引張応力度(N/mm²)
- σ_s : 断面計算により算出される鉄筋に作用する引張応力度(N/mm²)
- n : ヤング係数比($n = 4.5$)
- σ_c : 断面計算により算出される PVA-UFC に作用する圧縮応力度(N/mm²)
- d : 有効高さ(mm)
- x : 圧縮端から中立軸までの距離(mm)

図-4 に各繊維量における降伏耐力の試験値と、従来のヤング係数比 $n=15$ を用いて算定したケース、ヤング係数比 $n=4.5$ を用いて算定したケース、および、ヤング係数比を $n=4.5$ とし、さらに上記提案式を用いて鉄筋応力度を低減させたケースの計算値の比較を示す。繊維混入率に応じて鉄筋応力度を低減させることで、供試体の降伏耐力を精度良く算定できた。

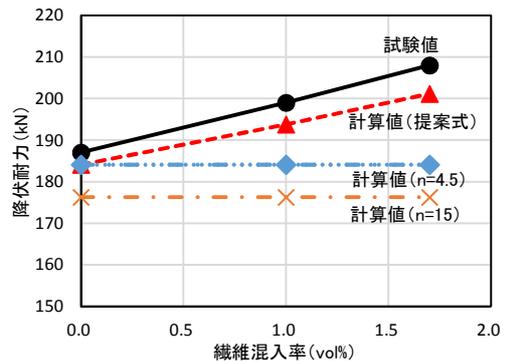


図-4 降伏耐力の試験値と計算値の比較

4. まとめ

PVA-UFC と超高強度鉄筋を組み合わせた RC 梁部材の曲げ載荷試験を実施し、繊維混入率 0~1.7vol% の範囲では、繊維量の増加に伴い、ひび割れ発生荷重・降伏荷重が向上する傾向が確認された。また、繊維の混入により最大ひび割れ幅は低減し、さらに主鉄筋の許容引張応力度を 300N/mm² 以下とすることで、耐久性上問題ない範囲にひび割れ幅を抑えられることが確認できた。また試験結果との比較から、RC 部材の降伏耐力をより精度よく算定する手法を提案した。

5. 参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー113，2004
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編)，土木学会，2012
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，2012