

種々の合成繊維を用いた DFRCC 梁部材のせん断性状

筑波大学 学生会員 ○須永 大揮

筑波大学 非会員 並木 啓恭
筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

繊維がひび割れを架橋することで高い引張靱性能を示す高靱性繊維補強セメント複合材料 (Ductile Fiber-Reinforced Cementitious Composite : DFRCC) を構造部材へ適用することで、構造物の損傷低減などが確認されている¹⁾。しかしながら、統一した性能評価手法が確立しておらず、DFRCC を実構造部材へ適用した例は少ない。特に、繊維種類が性能に大きく影響する DFRCC においては、種々の繊維を用いた DFRCC 部材の構造性能を解明し、その評価手法を確立することが求められる。

著者らはこれまでに、PVA 繊維を用いた DFRCC 梁部材の曲げせん断実験を行い、部材性能の確認およびひび割れ幅の評価を行った²⁾。

本研究では、DFRCC に用いる繊維の種類がせん断性状に及ぼす影響を検討するため、新たに 2 種類の合成繊維を用いた DFRCC 梁部材の曲げせん断実験を実施するとともに、既往研究²⁾の試験体と合わせてせん断耐力の評価を行った。

2. 実験概要

試験体形状および配筋を図 1 に、試験体一覧を表 1 に示す。試験体形状は既往の研究²⁾と同一で、断面が 160×200mm の矩形断面、せん断スパン比が 1.5 である。せん断破壊先行型とするため主鉄筋には SD490 ($\sigma_y=520\text{MPa}$) を用い、せん断補強鉄筋には SD295 の異形鉄筋を 120mm 間隔で配置した。せん断補強鉄筋の径

は D4 と D6 の 2 種類で、それぞれ鉄筋比は 0.15%および 0.33%となる (D4 : $\sigma_y=380\text{MPa}$, D6 : $\sigma_y=393\text{MPa}$)。DFRCC には、既往の研究²⁾で用いたものとは異なる細径の PVA 繊維 (PVA05 シリーズ)、および細径アラミド繊維 (AR05 シリーズ) を用い、いずれも施工性を考慮して繊維体積混入率を 0.5%とした。DFRCC における繊維分量以外の配合は既往の研究²⁾と同一とした。

DFRCC に用いた繊維の物性値を表 2 に示す。DFRCC の材料特性 (試験体加力材齢時) を表 3 に示す。

加力には 2MN ユニバーサル試験機を用い、試験機に加力梁を取り付け、大野式逆対称曲げせん断加力 (単調載荷) を行った。計測項目は、試験機による荷重値、全体変形を導出するための加力点でのたわみ、主鉄筋およびせん断補強鉄筋の歪である (図 1)。これらの加力計測方法は、既往の研究²⁾と同一である。

3. 実験結果

各試験体の最終破壊状況を図 2 に、せん断力-部材角関係を図 3 に示す。いずれも比較のため、既往研究²⁾におけるモルタル試験体 (MT シリーズ) の結果も合わせて示した。

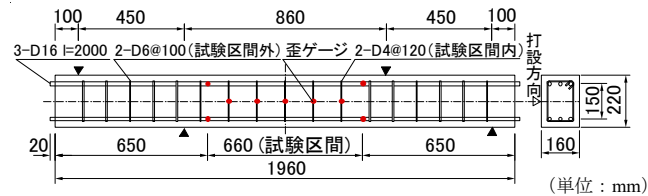


図 1 試験体形状および配筋

表 1 試験体一覧

試験体名	共通事項	繊維種別	繊維体積混入率	せん断補強鉄筋
PVA05-D4	断面：160×220mm せん断スパン比：1.5 主鉄筋：3-D16 (SD490), $p_t=2.01\%$ せん断補強鉄筋：@ 120 (SD295)	PVA ($\phi 27\mu\text{m}$)	0.5%	2-D4 ($p_w=0.15\%$)
PVA05-D6				2-D6 ($p_w=0.33\%$)
AR05-D4		アラミド		2-D4 ($p_w=0.15\%$)
AR05-D6		($\phi 12\mu\text{m}$)		2-D6 ($p_w=0.33\%$)

表 2 繊維の物性値 (メーカー公称値)

繊維種類	繊維長 (mm)	繊維径 (μm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
PVA	6	27	1800	45
アラミド	12	12	3300	72

表 3 DFRCC の材料特性

試験体種別	圧縮強度 (MPa)		弾性係数 (GPa)	
	D4 シリーズ	D6 シリーズ	D4 シリーズ	D6 シリーズ
PVA05	48.8	51.9	16.7	17.1
AR05	47.3	48.1	16.3	16.6

キーワード DFRCC, 合成繊維, 梁部材, 曲げせん断実験, せん断性状, 耐力評価

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 TEL 029-853-5045

PVA05 シリーズの試験体では、微細なせん断ひび割れが多数発生し、それらが局所化していくことで、最大荷重を迎えた。PVA05-D4 では繊維混入によりモルタル試験体よりも耐力が向上したが、PVA05-D6 では急激なひび割れ局所化に伴って早い段階で最大荷重を迎えたため、モルタル試験体と同程度の耐力であった。

AR シリーズの試験体においても、微細なせん断ひび割れが多数発生したが、最大荷重の直前までひび割れ幅は極めて小さく、数本のひび割れが急激に拡幅するとともに最大荷重を迎えた。D4 および D6 の両試験体において、モルタル試験体よりも耐力が向上した。

なお、いずれの試験体においても、モルタル試験体で見られたようなかぶりの剥落は確認されなかった。

4. せん断耐力評価

既往の研究³⁾に基づいてせん断耐力の評価を行う。角柱供試体の曲げ試験結果より DFRCC の引張強度を算出し、日本建築学会終局強度型指針式 A 法⁴⁾に DFRCC の引張寄与分 V_{DFRCC} を累加してせん断強度を求める。

$$V_{DFRCC} = b \cdot j_t \cdot v_t \cdot \sigma_t \cdot \cot \varphi \tag{1}$$

ここで、 b ：部材幅、 j_t ：主鉄筋中心間距離、
 v_t ：引張強度低減係数 0.41、 σ_t ：DFRCC の引張強度、
 φ ：圧縮束の材軸に対する角度

上記で得られたせん断強度の計算値と実験値の比較を表 4 に示す。なお、モルタルおよび PVA（太径）の 6 体は、既往の研究²⁾における試験体である。

実験において繊維混入による耐力向上が見られなかった F1-D4 および PVA05-D6 では、実験値と計算値の比がそれぞれ 0.74 および 0.71 と小さく、DFRCC の引張寄与分を累加したことで計算値が過大評価となった。しかしながら、それ以外の、繊維混入による耐力上昇が見られた試験体では、実験値と計算値の比が 0.90 から 1.05 の範囲にあり、おおむね良好な対応関係を示した。

5. まとめ

- (1) 細径 PVA 繊維を用いた試験体では、せん断補強鉄筋径によって耐力上昇する場合としない場合があったが、アラミド繊維を用いた試験体では、鉄筋径によらず耐力が上昇した。
- (2) 繊維混入により耐力が上昇した試験体では、既往の DFRCC 梁部材におけるせん断耐力算定手法を用いて、せん断耐力を評価することができた。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究(A)18H03802 による。

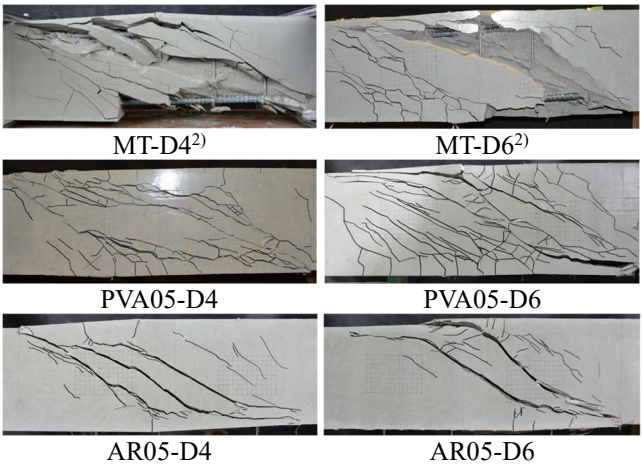


図 2 最終破壊状況

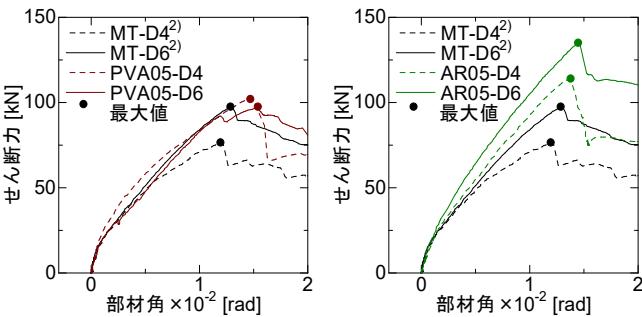


図 3 せん断力－部材角関係

表 4 せん断強度の比較

DFRCC 種別	試験体名	せん断強度		
		実験値 (kN)	計算値 (kN)	実験値 / 計算値
モルタル	MT-D4 ²⁾	76.1	82.8	0.92
	MT-D6 ²⁾	97.7	103.4	0.94
PVA (太径)	F1-D4 ²⁾	75.1	101.7	0.74
	F1-D6 ²⁾	119.3	130.0	0.92
	F2-D4 ²⁾	110.9	116.5	0.95
	F2-D6 ²⁾	131.2	146.4	0.90
PVA (細径)	PVA05-D4	102.8	108.1	0.95
	PVA05-D6	96.9	135.8	0.71
アラミド	AR05-D4	113.7	108.1	1.05
	AR05-D6	134.4	145.4	0.92

参考文献

1) 日本コンクリート工学会：繊維補強セメント系複合材料の新しい利用方法研究委員会報告書，2012.9
2) 須永ほか：DFRCC 部材のせん断ひび割れ幅の評価，コンクリート工学年次論文集，2020.7
3) Kanakubo *et al.*: Evaluation of Bending and Shear Capacities of HPFRCC Members toward the Structural Application, Proceedings of the Hokkaido University COE Workshop on HPFRC for Sustainable Infrastructure System, pp.35-44, 2007
4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990