

組紐型 AFRP 補強 DFRCC 部材のひび割れ幅に与える架橋性能の影響

筑波大学大学院 学生会員 ○高砂 柗伍 筑波大学大学院 学生会員 小林 寛弥
筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

短繊維を数%混入し引張性能を向上させた高靱性繊維補強セメント複合材料 (Ductile Fiber-Reinforced Cementitious Composite: DFRCC) の補強筋として、耐腐食性を有し、高強度かつ弾性挙動を示す連続繊維補強材 (FRP) を利用することで、外乱が生じた後も使用可能で修復性に優れた高寿命なコンクリート構造物が期待される。実用化のためには、部材に生じるひび割れ幅評価が求められ、著者らは、組紐型アラミド FRP 補強 DFRCC 部材のひび割れ幅算定式を提案した。¹⁾

本研究では、組紐型アラミド FRP 補強 DFRCC 部材において、使用する混入繊維種類による架橋性能の違いがひび割れ幅に及ぼす影響を検討する。

2. ひび割れ幅算定式

既往研究¹⁾で提案したひび割れ幅算定式の概要を示す。DFRCC ブロックの中心にアラミド FRP を 1 本配した試験体の両引き試験において、FRP-DFRCC 間の付着性状を表す付着構成則 (付着応力-すべり量関係)、繊維架橋則およびひび割れ発生条件から、補強筋荷重端ひずみとひび割れ幅の関係を理論的に算出する式(1)が与えられる。

$$(w_{cr} < 2 \cdot s_1)$$

$$\varepsilon_{s(LOAD)} = \frac{k_1 \varphi_s}{8A_c \{\sigma_{cr} - \sigma_{br}(w_{cr})\}} w_{cr}^2 + \frac{1+np}{2npE_c} \{\sigma_{cr} + \sigma_{br}(w_{cr})\}$$

$$(2 \cdot s_1 < w_{cr} < 2 \cdot s_{c,max})$$

$$\varepsilon_{s(LOAD)} = \frac{\varphi_s}{8A_c \{\sigma_{cr} - \sigma_{br}(w_{cr})\}} \{k_2 w_{cr}^2 + 4(\tau_{max} - k_2 s_{c,max}) w_{cr} - 4s_1(\tau_{max} - k_2 s_{c,max})\} + \frac{1+np}{2npE_c} \{\sigma_{cr} + \sigma_{br}(w_{cr})\} \quad (1)$$

$$(w_{cr} > 2 \cdot s_{c,max})$$

$$\varepsilon_{s(LOAD)} = \frac{\varphi_s}{8A_c \{\sigma_{cr} - \sigma_{br}(w_{cr})\}} \{k_3 w_{cr}^2 - 4k_3 s_u w_{cr} + 4(k_3 s_u s_{c,max} + \tau_1 s_{c,max} - \tau_{max} s_1)\} + \frac{1+np}{2npE_c} \{\sigma_{cr} + \sigma_{br}(w_{cr})\}$$

ここで、 $\varepsilon_{s(LOAD)}$ は補強筋荷重端ひずみ、 φ_s は補強筋周長、 σ_{cr} は DFRCC ひび割れ強度、 w_{cr} はひび割れ幅、 $\sigma_{br}(w_{cr})$ は繊維架橋則、 n は弾性係数比 ($= E_s/E_c$)、 p は補強筋比 ($= A_s/A_c$)、 E_s は補強筋弾性係数、 E_c は DFRCC 弾性係数、 A_s は補強筋断面積、 A_c は DFRCC 断面積を表す。その他の項は、付着構成則に関する項であり、図-1 に示すトリリニアモデルにより与えられる。

3. 架橋性能の違いによるひび割れ幅の比較

3. 1 概要

式(1)に示されたひび割れ幅算定式を用いて、架橋性能の違いがひび割れ幅に与える影響を検討する。対象とする繊維は、PVA 繊維、アラミド繊維、PP 繊維、鋼繊維とする。各繊維の材料特性を表-1 に示す。

表-1 繊維の材料特性

繊維種類	繊維長 (mm)	繊維径 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
PVA	12	0.10	1200	28
アラミド	30	0.50	3432	73
PP	30	0.70	580	4.9
鋼	13	0.16	2825	210

3. 2 繊維架橋則のモデル化

PP 繊維および鋼繊維の架橋則の計算結果を図-2 に示す。計算に用いたパラメータは既往の研究²⁾と同一の値を使用した。図-2 には得られた架橋則におけるひび割れ幅 3mm 以下の範囲を対象としたモデルも示す。PP 繊維では、原点とひび割れ幅 1mm における点、ピーク点およびひび割れ幅 3mm における点を結んだトリリニアモデルとし、鋼繊維では、原点とひび割れ幅 1mm における点およびピーク点を結んだバイリニアモデルとした。

PVA 繊維およびアラミド繊維の繊維架橋則には、既往の研究と同一のモデル²⁾を用いた。これらの繊維架橋則モデルを図-3 に示す。

3. 3 算定式によるひび割れ幅の比較

計算の対象とする部材形状は、図-4 に示す既往研究

キーワード アラミド FRP, 架橋則, ひび割れ幅, 付着構成則

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

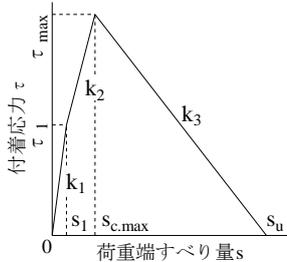


図-1 トリリニアモデル

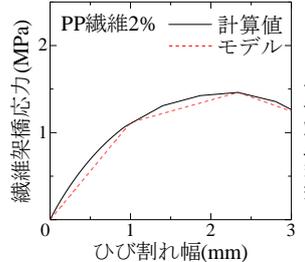


図-2 繊維架橋則 (左: PP 繊維, 右: 鋼繊維)

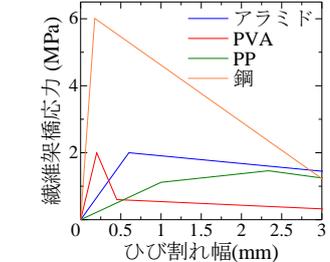
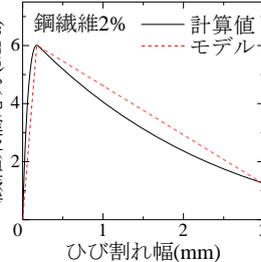


図-3 繊維架橋則 ($V_f=2\%$)

りて用いた両引き試験体に対応する部材とし、スリットを設けていない角柱とした。計算に使用した各パラメータを表-2に示す。DFRCC 断面積は 100mm 角および 140mm 角、繊維体積混入率 V_f は、1%および2%とした。なお、繊維体積混入率 1%の架橋則モデルは、図-3に示す同 2%のモデルを 1/2 倍することで導出した。DFRCC 弾性率およびひび割れ強度は既往の研究¹⁾で使用した値と同一のものを使用した。付着構成則は、図-1に示す同一材料における DFRCC を用いたアラミド FRP 補強筋の引抜き試験結果²⁾をモデル化したトリリニアモデルを使用した。

計算結果の比較を図-5に示す。図-5には繊維を混入させていないモルタルのグラフも示した。いずれの繊維においても DFRCC 断面寸法が小さく、繊維体積混入率が大きくなるほど同一補強筋ひずみにおけるひび割れ幅が小さくなる傾向が確認できる。また、同一 DFRCC 断面寸法および繊維体積混入率において、鋼繊維が他の繊維と比較し、同一補強筋ひずみにおけるひび割れ幅が小さい傾向が確認できた。鋼繊維を除く繊維は、ひび割れ幅が小さい時は、PVA、アラミド、PP の順に同一補強筋ひずみにおけるひび割れ幅が小さいが、ひび割れの拡幅に伴い、アラミド、PP、PVA の順に小さい。これは、PVA 繊維の繊維架橋則において、軟化域の応力低下が繊維、PP 繊維と比較して大きいためだと考えられる。

4. まとめ

- (1) いずれの繊維においても DFRCC 断面積が小さく、繊維体積混入率が大きくなるほど同一補強筋ひずみにおけるひび割れ幅が小さくなる傾向が確認できた。
- (2) 同一補強筋ひずみにおけるひび割れ幅は、ひび割れ幅が小さい時は、鋼繊維、PVA 繊維、アラミド繊維、PP 繊維の順で小さいが、ひび割れの拡幅に伴い、鋼繊維、アラミド繊維、PP 繊維、PVA 繊維の順に小さい。

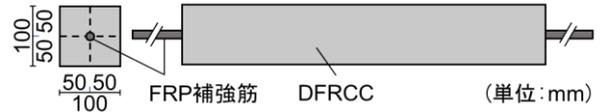


図-4 試験体形状 (100mm 角)

表-2 計算に使用した材料パラメータ

		MT	1%	2%
組紐型 アラミド FRP	$A_s(\text{mm}^2)$	144.8		
	$\phi_s(\text{mm})$	43		
	$E_s(\text{GPa})$	66		
DFRCC	$A_c(\text{mm}^2)$	100mm 角:100 ² , 140mm 角:140 ²		
	$E_c(\text{GPa})$	17.5	17.0	16.4
	$\sigma_{cr}(\text{MPa})$	2.29		

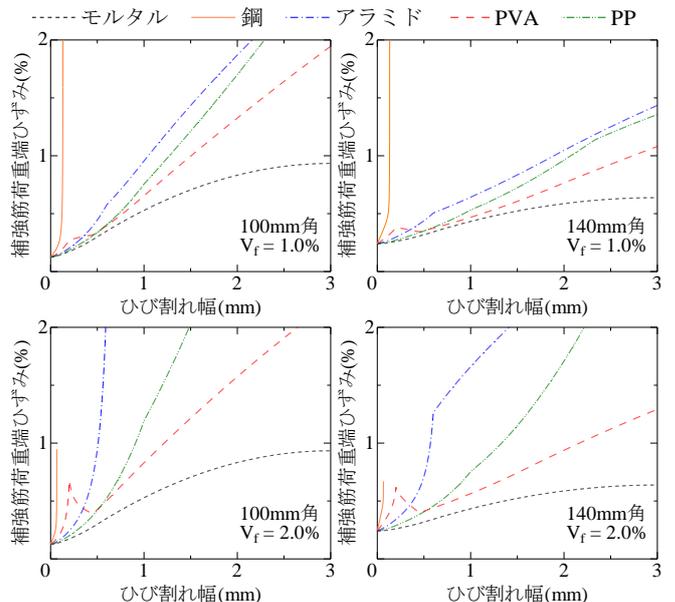


図-5 ひび割れ幅算定式による計算結果の比較

5. 参考文献

- 1) 高砂稔伍, 金久保利之, 小林寛弥: 組紐型アラミド FRP 補強 DFRCC 部材のひび割れ幅評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, 2022
- 2) 須永大揮, 古場匠, 金久保利之: 繊維種類による架橋則の違いが DFRCC 部材のひび割れ幅に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.775-780, 2021