

組紐型 AFRP 補強筋と PVA-DFRCC の局所付着性状

筑波大学 学生会員 ○小林 寛弥

筑波大学 学生会員 高砂 柊伍

筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

近年の構造物の長寿命化に伴い、構造物の建設後の維持管理についても重要性が高まっており、高性能高寿命な部材の実現が期待されている。著者らは、非腐食材料である連続繊維補強材（Fiber Reinforced Polymer：FRP）と高靱性を有する高靱性繊維補強セメント複合材料（Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composite：DFRCC）の組合せによる高性能高寿命な部材を期待し、組紐型 AFRP 補強 PVA-DFRCC 試験体について AFRP 引抜試験、両引試験を行い、AFRP 補強 DFRCC 部材のひび割れ幅評価を行った¹⁾。

本研究では、AFRP 引抜試験の結果を用いて最大付着応力の評価を行った。また得られた最大付着応力-かぶり厚関係を利用し、付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化を行った。

2. 引抜試験概要

正方形断面を有する高さ 100mm の直方体ブロックの中心に組紐型 AFRP 補強筋を配置した試験体について引抜試験を行った¹⁾。変動因子は繊維体積混入率（0%，1%，2%）及び断面寸法（100mm×100mm：A シリーズ，120mm×120mm：B シリーズ，140mm×140mm：C シリーズ）とした。DFRCC には PVA 繊維を使用した。試験体は各変動因子につき 3 体作製した。図-1 に補強筋形状、図-2 に PVA 繊維形状、表-1 に補強筋の材料特性、表-2 に PVA 繊維の材料特性を示す。



図-1 AFRP 補強筋写真



図-2 PVA 繊維写真

表-1 補強筋材料特性

	直径 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
組紐型アラミド FRP 補強筋	13.58	1261	66.0

3. 最大付着応力の評価

引抜試験から得られた最大付着応力を以下に示す既往の手法を用いて評価する。

DFRCC の付着性状に関する既往の研究²⁾では、主筋が軸方向に力を受ける際の主筋周辺の応力状態を中空厚肉円筒でモデル化している。異形鉄筋と歪軟化型 DFRCC を対象とした既往の研究³⁾においては、図-3 に示すように、主筋周辺の応力状態を内部ひび割れが発生した範囲が塑性域となり応力を伝達し、ひび割れの生じていない範囲で弾性である elastic plastic stage と仮定し、最大付着応力とかぶり厚の関係式を得ている。

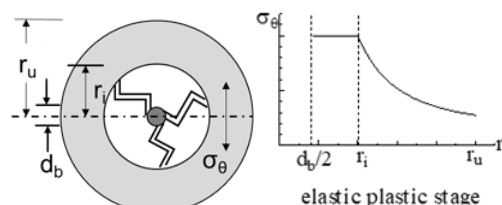


図-3 主筋周辺の応力状態

組紐型 AFRP と PVA-DFRCC を対象とする本研究においても、elastic plastic stage を仮定し、最大付着応力の評価を行う。elastic plastic stage において内部ひび割れが発生している r_i までの塑性域において繊維架橋による様な引張応力が生じると仮定し、最大付着応力を式 (1) のように与え、式 (1) を用いて最大付着応力-かぶり厚関係を表現する。

$$\frac{\tau_{b,max}}{\sigma_t} = \frac{2}{d_b} \left\{ \left(r_i - \frac{d_b}{2} \right) + \frac{r_i(r_u^2 - r_i^2)}{r_u^2 + r_i^2} \right\} \cot \alpha \quad (1)$$

ここで、

$\tau_{b,max}$ ：最大付着応力， σ_t ：DFRCC の引張強度

d_b ：AFRP 補強筋径， r_i ：内部ひび割れ範囲

r_u ：かぶり厚に AFRP 補強筋径の 1/2 を加えた値

$\cot \alpha = 2.15$

表-2 PVA 繊維材料特性（メーカー公称値）

	繊維長 (mm)	繊維径 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
PVA 繊維	12	0.10	1200	28

キーワード 組紐型 AFRP 補強筋，DFRCC，引抜試験，最大付着応力，トリリニアモデル

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

式 (1) において引張強度 σ_t には両引試験の結果から得たひび割れ強度を用いた。また r_i を漸近的に増加させ、実験から得られた各パラメータにおける最大付着応力の平均を満たす r_i を決定した。得られた r_i を繊維体積混入率毎に平均し、各繊維体積混入率における r_i を決定した。表-3 に σ_t , r_i の値を示す。決定した σ_t , r_i 及び式 (1) による最大付着応力比 ($\tau_{b,max}/\sigma_t$) - かぶり厚関係を実験結果と比較して図-4 に示す。

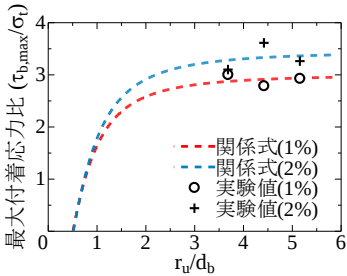


図-4 最大付着応力比-かぶり厚関係

4. 付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化

4.1 トリリニアモデルによるモデル化

引抜試験より得られた付着応力-荷重端すべり量関係をトリリニアモデルによってモデル化する。モデル化のために、ひび割れ発生時の付着応力 τ_l 、最大付着応力 τ_{max} 、ひび割れ発生までの傾き k_1 、最大付着応力における荷重端すべり量 S_{max} 、ピーク後の傾き k_3 を決定する。 τ_{max} は前節にて得た関係式により算出し、 τ_l は τ_{max} の 1/2 の値とする。 S_{max} は、引抜試験より得られた付着応力-荷重端すべり量関係について各変動因子毎に作成した平均化曲線に対しコンプリメンタリーエネルギーの等価を考え決定した。ひび割れ発生までの傾き k_1 は最大付着応力の 1/5 までの勾配とし、ピーク後の傾き k_3 は-0.31 とした。決定した各特性値を表-4 に示す。

4.2 トリリニアモデルと実験結果の比較

トリリニアモデルと引抜試験より得られた付着応力-荷重端すべり量関係を比較して図-5 に示す。いずれの変動因子においても、最大付着応力までの勾配が実験結果とモデルでよく適合しており、ピーク後の軟化域についても概ねよく表現できている。

5. まとめ

- 1) 補強筋周辺の応力状態を elastic plastic stage と仮定し、既往の手法から最大付着応力-かぶり厚関係を導出した。
- 2) AFRP 補強 DFRCC における付着応力-荷重端すべり量関係をトリリニアモデルによってモデル化した。モデルはピークまでの勾配がよく適合しており、全体としても概ねよく実験結果を表現できている。

表-3 各繊維体積混入率における σ_t , r_i

繊維体積混入率 (%)	ひび割れ強度 (MPa)	内部ひび割れ範囲 (mm)
1%	2.29	8.16
2%	2.29	8.86

表-4 各特性値

	τ_{max} (MPa)	S_{max} (mm)	k_1 (N/mm ³)	k_3 (N/mm ³)
1%-A シリーズ	6.58	0.58	71.35	-0.31
1%-B シリーズ	6.67	0.56	58.28	
1%-C シリーズ	6.73	1.54	38.56	
2%-A シリーズ	7.51	0.48	84.85	
2%-B シリーズ	7.63	1.22	60.79	
2%-C シリーズ	7.70	1.26	45.49	

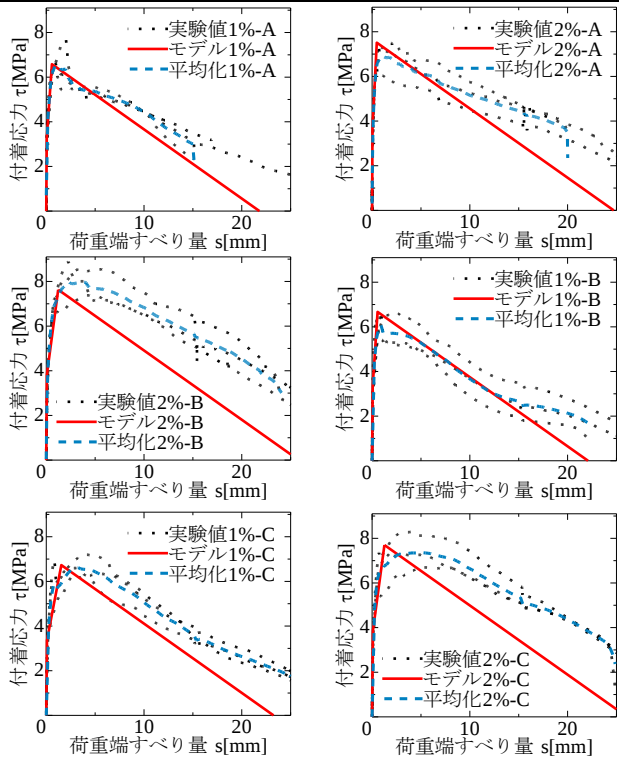


図-5 付着応力-荷重端すべり量関係の比較

謝辞: 組紐型アラミド補強筋はファイベックス (株) に、PVA 繊維は (株) クラレにご提供いただいた。

参考文献

- 1) 高砂柊伍, 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) 古田昌弘, 金久保利之: 高靱性セメント系複合材料の局所付着割裂性状に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, C-2 構造IV, pp.43-44, 2002
- 3) 小林寛弥, 須永大揮, 金久保利之: PVA-FRCC と異形鉄筋の局所付着構成則のモデル化, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造IV, pp.43-44, 2021