

組紐型 AFRP 補強 PVA-FRCC 梁部材の構造性能

その2 ひび割れ幅および曲げ強度の評価

筑波大学大学院 学生会員 ○高砂 柊伍 筑波大学 正会員 金久保 利之

筑波大学 学生会員 佐々木 秀人

1. はじめに

その2では、その1で述べた FRP 補強 FRCC 梁部材の曲げ載荷実験の結果について、既往の研究によるひび割れ幅算定式¹⁾の適合性および断面解析による曲げ強度の評価を行った。

2. ひび割れ幅算定式と実験結果の適合性

既往研究¹⁾で提案されたひび割れ幅算定式は、補強筋と FRCC 間の付着構成則、FRCC における繊維架橋則および FRCC のひび割れ発生条件から、補強筋ひずみとひび割れ幅の関係を式(1)で与える。

$$\varepsilon_s = \frac{\varphi_s}{A_c \{\sigma_{cr} - \sigma_{br}(w_{cr})\}} \int_0^{s_l} \tau_x ds_x + \frac{1+np}{2npE_c} \{\sigma_{cr} + \sigma_{br}(w_{cr})\} \quad (1)$$

ここで、 ε_s :補強筋ひずみ、 φ_s :補強筋周長、 σ_{cr} :FRCC ひび割れ強度、 w_{cr} :ひび割れ幅、 $\sigma_{br}(w_{cr})$:繊維架橋応力、 n :弾性係数比($=E_s/E_c$)、 p :補強筋比($=A_s/A_c$)、 E_s :補強筋弾性係数、 E_c :FRCC 弾性係数、 A_s :補強筋断面積、 A_c :FRCC 断面積を表す。

式(1)によるひび割れ幅算定に用いた各パラメータの

値を表-1に示す。付着構成則は、同一の材料を用いて行った FRP 補強筋の引抜き試験の結果をモデル化した、図-1に示すトリニアモデルを用いた¹⁾。FRCC の断面積は、図-2に示すように引張側補強筋1本あたりが負担する FRCC の等価断面積とした。FRCC のひび割れ強度は、梁試験体と同一バッチの FRCC に対して行った 100mm×100mm×400mm 角柱試験体の4点曲げ試験において、ひび割れが発生した時の曲げモーメントを断面係数で除して求めた。ひび割れ幅算定式により得られた補強筋ひずみ-ひび割れ幅関係と実験結果を比較して図-3に示す。図中黒線で実験結果を、青線で

表-1 算定式に用いたパラメータ

パラメータ		MT	PVA1%	PVA2%	PVA2%C
組紐型 AFRP 補強筋	$A_s(\text{mm}^2)$	143.6			
	$\varphi_s(\text{mm})$	43			
	$E_s(\text{GPa})$	66			
FRCC	$A_c(\text{mm}^2)$	6000			
	$E_c(\text{GPa})$	17.4	16.6	15.9	16.4
	$\sigma_{cr}(\text{MPa})$	2.82			

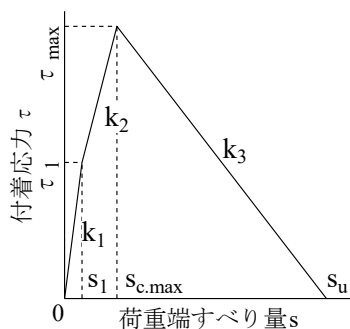


図-1 付着構成則

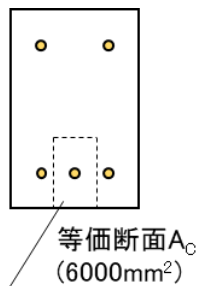


図-2 FRCC 等価断面積

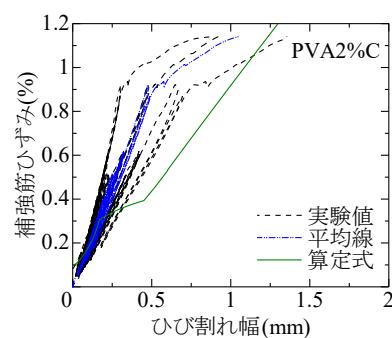
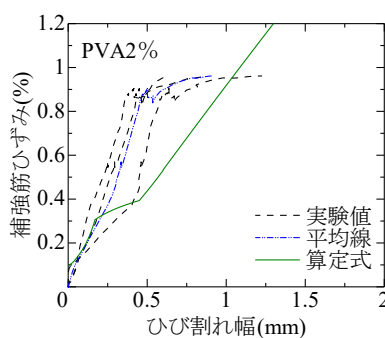
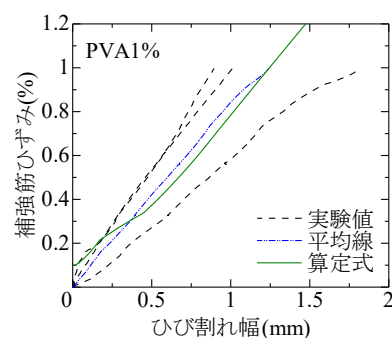
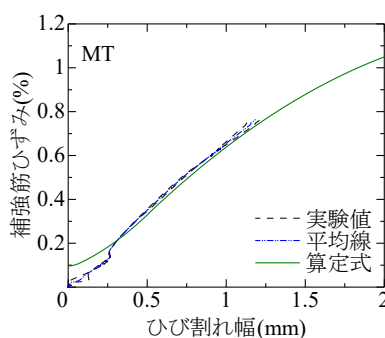


図-3 補強筋ひずみ-ひび割れ幅関係

キーワード アラミドFRP, PVA, ひび割れ幅, 曲げ試験, 断面解析

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

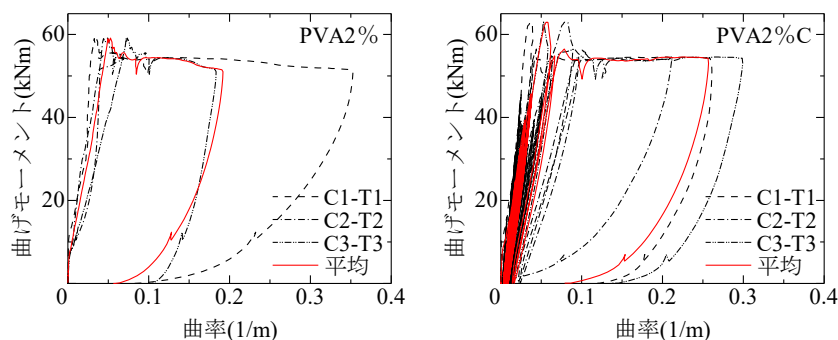


図-4 曲げモーメントー曲率関係

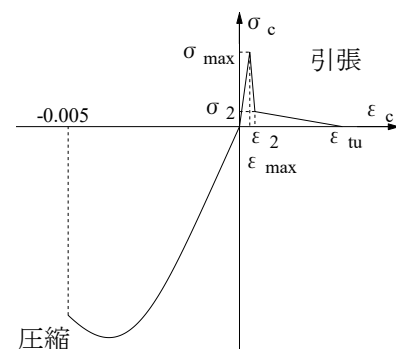


図-5 FRCC 応力ーひずみ関係

その平均線を、緑線で算定式を示している。算定式は生じ得るひび割れの最大値を示したもので、実験による補強筋ひずみーひび割れ幅関係は算定されるひび割れ幅より小さくなっており、概ね良い適合性を得た。PVA2%C 試験体における繰返し加力の影響も見られない。

3. 断面解析による曲げ強度の比較

PVA2%およびPVA2%C 試験体を対象として断面解析を行った。PVA2%およびPVA2%C 試験体の曲げモーメントー曲率関係の実験結果を図-4 に示す。曲率は、対応する区間のπ型変位計により得られた軸方向変形により求めた。黒線で各区間の曲率を、赤線でその平均を示す。両試験体は、圧縮側 FRCC の圧壊により最大に達している。

断面解析に使用した FRCC の応力ーひずみ関係を図-5 に、各パラメータの値を表-2 に示す。引張側は、同一の材料および配合による FRCC 架橋モデルをもとに、繊維の配向性および FRCC 試験体の寸法効果を考慮したトリリニアモデル²⁾とした。圧縮側は式(2)に示す Popovics モデル³⁾とした。

$$\frac{\sigma_c}{k_1 f_c} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \cdot \frac{n}{(n-1) + (\varepsilon_c / \varepsilon_0)^n} \quad (2)$$

ここで、 f_c : FRCC 圧縮強度 (MPa)、 ε_0 : FRCC 圧縮強度時のひずみ、 n : 曲線の形状を示す定数である。圧縮強度、圧縮強度時のひずみ、終局ひずみおよび定数 n は、φ100mm×200mm 円柱供試体の圧縮強度試験より決定した。なお、定数 n は、終局ひずみ-0.005 までのひずみエネルギーが等価となるように決定した。また、圧縮強度には低減係数 k_1 を乗じた。

断面解析および実験により得られた最大曲げモーメントを表-3 に示す。解析値は実験値と良い適合性を得た。

表-2 解析に用いたパラメータ

パラメータ	PVA2%	PVA2%C
σ_{max} (MPa)	1.52	
ε_{max}	0.00121	
σ_2 (MPa)	0.307	
ε_2	0.00321	
ε_{tu}	0.0429	
f_c (MPa)	-41.2	-47.0
ε_0	-0.00381	-0.00424
k_1	0.85	
n	3.68	3.66

表-3 最大曲げモーメントの比較

試験体名	最大曲げモーメント M_{max} (kNm)		
	実験値	解析値	実験値/解析値
PVA2%	59.1	66.8	0.88
PVA2%C	63.0	70.7	0.89

4. まとめ

- (1) 実験により得られた補強筋ひずみーひび割れ幅関係は、既往の研究によるひび割れ幅算定式と適合した。
- (2) FRCC の引張側応力ーひずみ関係に繊維架橋モデル、圧縮側に Popovics モデルを用いた断面解析により得られた最大曲げモーメントは、実験結果と良い適合性を得た。

参考文献

- 1) 高砂終伍, 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, No.2, pp.739~744, 2022.7
- 2) 大圖友梨子, 渡邊啓介, 八十島章, 金久保利之: 架橋則に基づく DFRCC の曲げ性状における寸法効果の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1321~1326, 2016.7
- 3) Popovics, S., A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 3, pp.583-599, 1973