

PVA-FRCC と異形鉄筋の局所付着構成則のモデル化

正会員

○小林 寛弥*1 同
同

須永 大揮*2
金久保 利之*3

FRCC 付着構成則 引抜試験
PVA 繊維 最大付着応力 バイリニアモデル

1. はじめに

繊維のひび割れ架橋により高い引張性能を示す繊維補強セメント複合材料 (FRCC) を効果的に部材に活用するためには、異形鉄筋-FRCC 間の付着特性を定量的に評価することが求められる。本研究では、PVA-FRCC 試験体の鉄筋引抜試験の結果を用いて、最大付着応力の評価、および付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化を行う。

2. 最大付着応力の評価

以下に示す既往の手法を用いて、引抜試験から得られた最大付着応力とかぶり厚の関係性を評価する。

高靱性セメント系複合材料を対象とした既往の付着実験¹⁾では、鉄筋が軸方向に力を受ける際の鉄筋周辺のFRCCの応力状態を中空厚肉円筒でモデル化している。図-1に示すように、内部ひび割れが発生していない elastic stage、内部ひび割れが発生した範囲で応力が生じない partly cracked elastic stage に加えて、内部ひび割れが発生した範囲で応力が生じ塑性化し、ひび割れの生じていない範囲で弾性である elastic plastic stage を仮定して付着強度を評価している。

歪硬化型繊維補強セメント複合材料を対象とした既往の研究²⁾においても、内部応力状態を 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。elastic plastic stage では、内部ひび割れが発生している r_i までの塑性化した範囲で様な引張応力が生じると仮定し、最大付着応力を式(1)で与えている。本研究においても、内部ひび割れが発生している範囲で繊維の架橋効果による応力伝達が行われていると考え、試験体内部の応力状態を elastic plastic stage と仮定し、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 : FRCC の引張強度
- d_b : 鉄筋径、 r_i : 内部ひび割れ範囲
- r_u : かぶり厚に鉄筋径の 1/2 を加えた値
- $\cot \alpha = 1.46$

式(1)において内部ひび割れ範囲 r_i を漸近的に増加させ、実験から得られた最大付着応力を満たす r_i を決定した。FRCC の引張強度には、4 点曲げ試験をもとに導出した表-

1 の値を使用した。決定した r_i とかぶり厚 r_u の関係を図-2 に示す。得られた r_i に対して PVA1%、2%それぞれで最小二乗法によって線形近似を行い、PVA1%について式(2)を、PVA2%について式(3)を得た。かぶり厚に対する r_i の増加割合は、繊維体積混入率により異なり、PVA1%シリーズと比較して PVA2%シリーズの方が小さい。

$$r_i = 0.124r_u + 1.138d_b \quad (2)$$

$$r_i = 0.003r_u + 1.005d_b \quad (3)$$

式(2)、(3)および式(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-3 に示す。

以上より、試験体のかぶり厚およびFRCCの引張強度から最大付着応力を求めることができる。

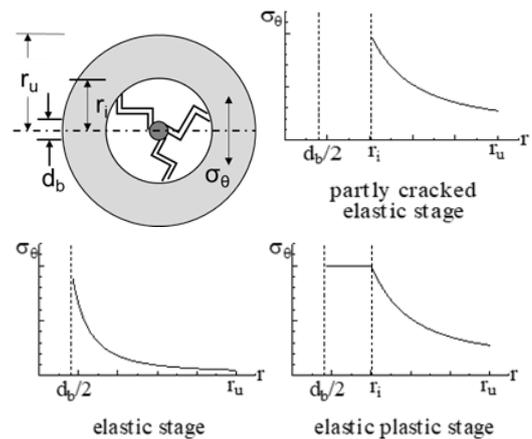


図-1 鉄筋周辺の応力状態

表-1 FRCC の力学特性

	PVA1%	PVA2%
引張強度 (MPa)	1.42*1	2.27*1

*1: 曲げ試験 (JCI-S-003-2007)³⁾

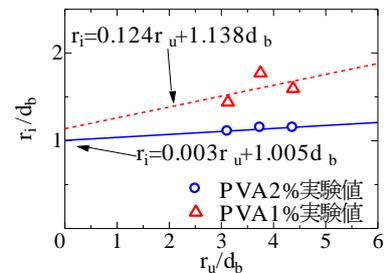


図-2 内部ひび割れ範囲-かぶり厚関係

3. 付着応力-すべり量関係のモデル化

3.1 バイ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-すべり量関係は、ピーク付近まで直線的に増加し、その後荷重端すべり量の増加に伴い緩やかに軟化していることから、付着応力-荷重端すべり量関係を図-4 に示すバイリニアモデルによってモデル化を行う。モデル化のために最大付着応力 τ_{max} 、付着応力が最大となる荷重端すべり量 S_{max} 、軟化後に付着応力が 0MPa となる荷重端すべり量 S_u を決定する。 τ_{max} は、前節の手法により算出する。最大付着応力時の S_{max} は、図-5 に示すように、最大付着応力時点までのコンプリメンタリーエネルギーが実験結果とモデルで等価となるように決定した。付着応力 0MPa 時のすべり量 S_u は、実験に用いた異形鉄筋の節間隔である 11.1mm とした。モデル化における各試験体の最大付着応力および最大付着応力時荷重端すべり量を、それぞれ表-2 および表-3 に示す。表-3 において、PVA1%-A シリーズでは、ひび割れ発生から最大付着応力に達するまでのすべり量の増加が小さいため、 S_{max} が他のシリーズの 0.6 倍程度となった。

3.2 モデルと実験結果の比較

バイ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-6 に示す。いずれの変動因子においても、実験結果の軟化勾配とモデルはよく適合している。PVA2% では最大付着応力直後の応力低下が小さく、軟化域において勾配、付着応力ともモデルと適合している。

4. まとめ

- (1) 鉄筋周辺の応力状態を elastic plastic stage と仮定した既往の式を利用して、FRCC の最大付着応力を算出することができる。
- (2) FRCC における付着応力-荷重端すべり量関係をバイリニアモデルによってモデル化した。モデルは実験結果をおおむね良好に表現できる

謝辞 本研究は JSPS 科研費基盤研究(A)18H03802 による。

参考文献

- 1) 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、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2 構造IV、pp.43-44、2002
- 2) 重水法弘、矢野正剛、細矢博、金久保利之：歪硬化型繊維補強セメント複合材料を用いた梁部材の付着割裂性状に関する研究—その 2 局所付着割裂実験—、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2 構造 IV、pp.117-118、2010
- 3) 日本コンクリート工学会：繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント-曲率曲線試験方法、JCI 規準 JCI-S-003-2007

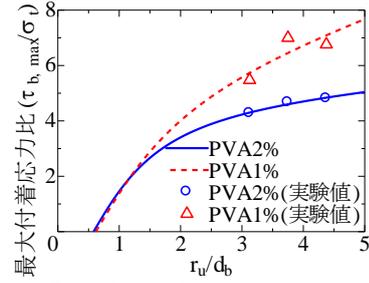


図-3 最大付着応力比-かぶり厚関係

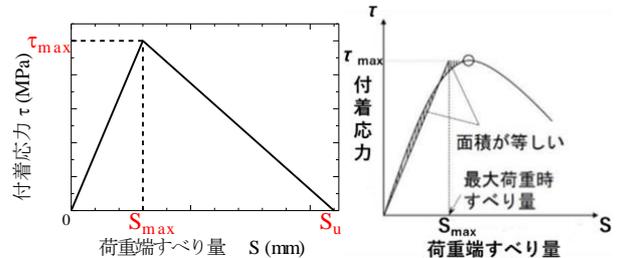


図-4 バイリニアモデル

図-5 S_{max} の決定

表-2 モデルの最大付着応力 τ_{max} (MPa)

	PVA1%	PVA2%
断面 A (100mm 角)	8.14	8.86
断面 B (120mm 角)	9.16	9.25
断面 C (140mm 角)	10.07	9.51

表-3 モデルの τ_{max} 時すべり量 S_{max} (mm)

	PVA1%	PVA2%
断面 A (100mm 角)	0.091	0.143
断面 B (120mm 角)	0.159	0.149
断面 C (140mm 角)	0.155	0.174

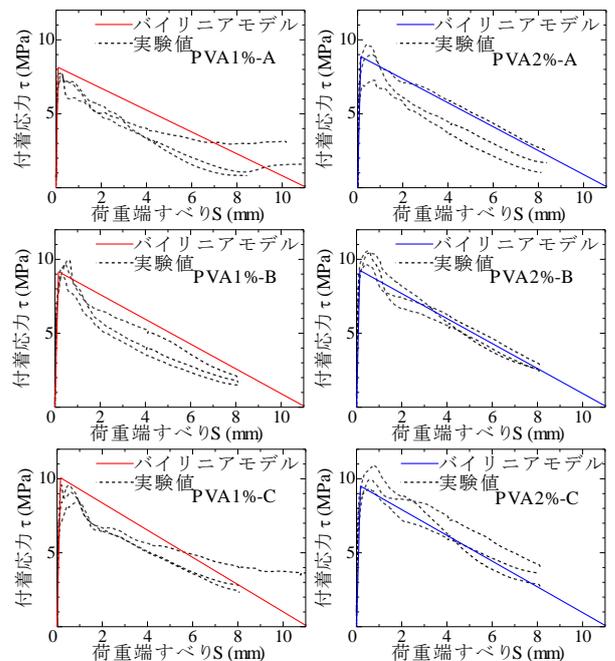


図-6 付着応力-荷重端すべり量関係の比較

*1 筑波大学 システム情報工学研究群

*2 清水建設 (元筑波大学大学院生)

*3 筑波大学 システム情報系教授 博士(工学)

*1 Master Program, Degree Programs in SIE, University of Tsukuba

*2 Shimizu Corporation (Former graduate student in University of Tsukuba)

*3 Prof., Div. of Eng. Mechanics and Energy, University of Tsukuba, Ph.D.