

第V部門

2024年9月5日(木) 16:50 ~ 18:10 C204(川内北キャンパス講義棟C棟)

プレストレストコンクリート (3) / 連続繊維補強コンクリート (構造)

座長：上原子 晶久 (弘前大学)

17:30 ~ 17:40

[V-130] CFRP補強筋とアラミドFRCCの付着性状

*佐々木 秀人¹、齊藤 稜河¹、Negash Shiferaw Helen¹、高砂 柊伍¹、金久保 利之¹ (1. 筑波大学)

キーワード：CFRP、FRCC、付着試験、付着応力、荷重端すべり量、テトラリニアモデル

本研究では、FRP補強FRCCの構造性能を明らかにすることを目的とし、CFRPとアラミド繊維を用いたFRCCの付着試験を行った。付着長はCFRP補強筋径の約4倍とし、アラミド繊維の体積混入率を変動因子とした。平均最大付着応力は、繊維混入率0.25%および0.5%でモルタル試験体のそれぞれ1.67倍、2.01倍となり、FRCCの繊維による付着耐力の向上が確認された。また、テトラリニアモデルによって付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化を行った。

CFRP 補強筋とアラミド-FRCC の付着性状

筑波大学 学生会員 ○佐々木 秀人
 筑波大学 非会員 齊藤 稜河
 筑波大学 正会員 Shiferaw Helen Negash

筑波大学 非会員 高砂 柊伍
 筑波大学 正会員 金久保 利之

1. 目的

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 (fiber-reinforced polymer : FRP) と、短繊維を混入し引張性能を向上させた繊維補強セメント系複合材料 (fiber-reinforced cementitious composite : FRCC) を組み合わせることで、高耐久かつ維持管理コストの低い構造物が期待できる。本研究では FRP として他 FRP よりも引張強度と弾性率が高く、補強効果の期待できる CFRP (carbon fiber-reinforced polymer) と、アラミド繊維を用いた FRCC について付着試験を行い、付着性状の検討を行った。また、付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料

CFRP の材料特性を表-1 に、形状を図-1 に示す。FRCC にはアラミド繊維を使用した。アラミド繊維の材料特性を表-2 に、形状を図-2 に示す。FRCC の配合計画及び圧縮性状を表-3 に示す。変動因子は繊維体積混入率であり、繊維を混入しないモルタル、繊維体積混入率 0.25%、0.5% の 3 種類である。

2.2 付着試験

試験体一覧を表-4 に、試験体形状・加力方法を図-3 に示す。試験体は、断面 60x100mm の長方形ブロックであり、中心に CFRP 補強筋を配した。補強筋端部には試験機のチャック固定用に鋼製カップラーを取り付けた。付着長は補強筋径の約 4 倍の 64mm としており、両端にコーン状破壊を防ぐために塩ビ管によってアンボンド区間が設けられている。試験体は 2MN 万能試験機の上部ヘッド上の加力版にセットし、下部ヘッドのチャックでカップラーをつかみ単調引抜加力を行った。試験体の横方向への変位を拘束しないように、試験体と加力版の間にテフロンシートを配置した。計測項目は引抜荷重及び自

表-1 CFRP の材料特性 (メーカー公称値)

直径 (mm)	断面積 (mm ²)	引張強度 (MPa)	弾性率 (GPa)
15.9	125.0	1770	150

表-2 アラミド繊維の材料特性

繊維長 (mm)	繊維径 (μm)	引張強度 (MPa)	弾性率 (GPa)
12	12	3432	73



図-1 CFRP の外観



図-2 アラミド繊維

表-3 FRCC の配合計画及び圧縮性状

試験体	単位量(kg/m ³)					圧縮強度 (MPa)	弾性率 (GPa)
	W	C	S	FA	AF		
MT					0	47.6	18.3
AF-0.25%	380	678	484	291	3.475	39.6	15.9
AF-0.5%					6.95	39.0	16.3

W:水道水, C:早強ボルトランドセメント, S:7号珪砂,
 FA:フライアッシュ, AF:アラミド繊維

表-4 試験体一覧

試験体	繊維・補強筋	断面寸法	繊維体積混入率	試験体数
MT	補強筋:CFRP 径:d=15.9	60mm × 100mm	-	3
AF-0.25%	繊維:アラミド(AF) 径:12μm 長さ:12mm		0.25%	3
AF-0.5%	付着長:l _b =64mm(=4d)		0.5%	3

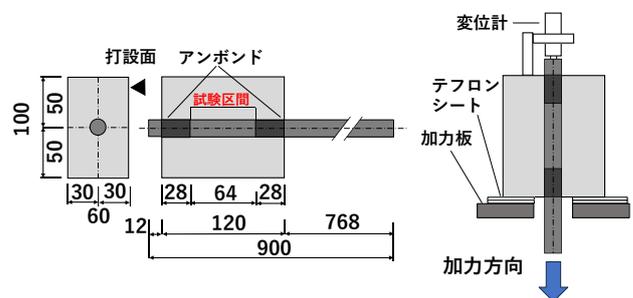


図-3 試験体形状・加力方法

由端すべり量である。

3. 試験結果

付着試験により得られた付着応力-荷重端すべり

キーワード CFRP, FRCC, 付着試験, 付着応力, 荷重端すべり量, テトラリニアモデル
 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

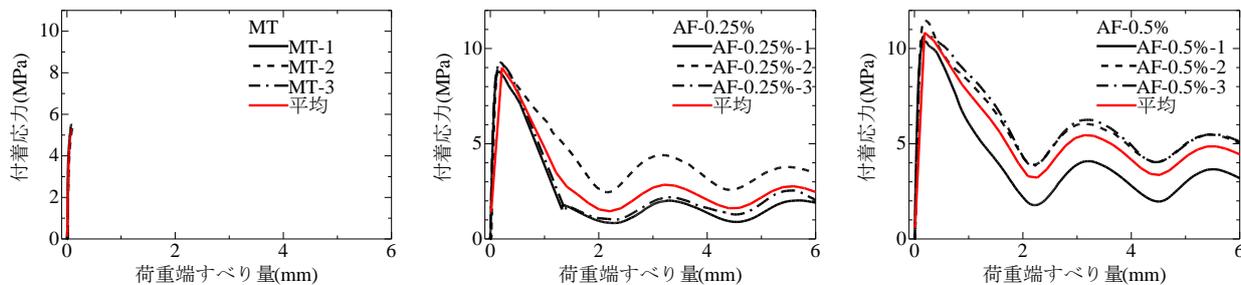


図-4 付着応力-荷重端すべり量関係

表-5 平均最大付着応力一覧

試験体	平均最大付着応力(MPa)
MT	5.37
AF-0.25%	9.07
AF-0.5%	10.8

表-6 モデルの各特性値一覧

試験体	τ_1	S_1	k_1	τ_{max}	S_{max}	τ_2	S_2	S_u	k_u
MT	4.83	0.0571	84.6	5.37	0.109	-	-	2.2	-5.42
AF-0.25%	8.16	0.0961	84.9	9.07	0.187	2.25	2.24	58.3	-0.0401
AF-0.5%	9.76	0.0962	101	10.8	0.209	4.31	1.90	70.3	-0.0630

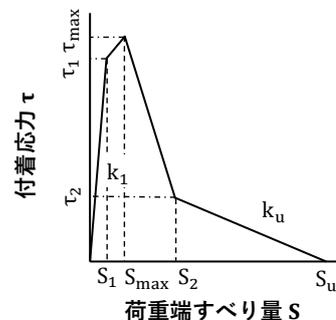


図-5 テトラリニアモデル

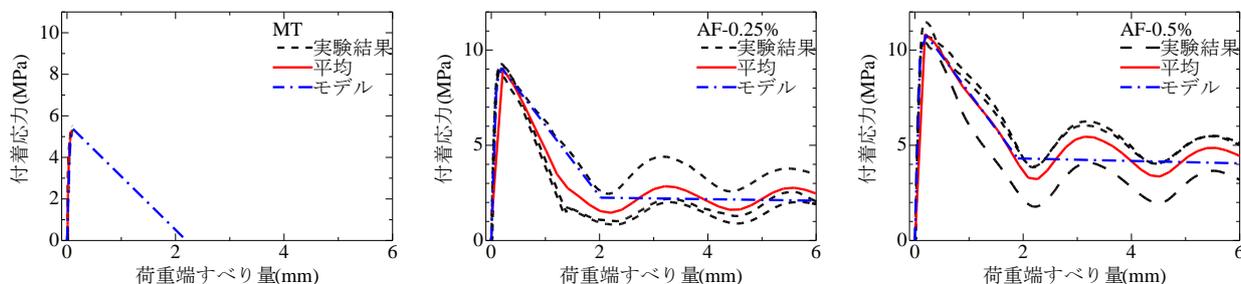


図-6 実験結果とモデルの比較

量関係を 図-4 に示す。なお、荷重端すべり量は、FRCC の変形を無視し試験区間の付着応力が一様であるとして、自由端すべり量に補強筋の伸びを加算することで求めた。付着応力は、引抜荷重を付着領域の補強筋表面積 ($\pi \times$ 公称直径 \times 付着長) で除することで求めた。MT は、最大付着応力に達したのち、割裂ひび割れが拡幅し急激に付着応力が低下した。AF-0.25% 及び AF-0.5% では最大付着応力に達したのち、ひび割れが生じ荷重端すべり量 2.2mm まで急激に付着応力が低下した。荷重端すべり量 2.2mm 以降、付着応力は 2.2mm 周期で上昇と下降を繰り返しながら緩やかに低下した。平均最大付着応力一覧を表-5 に示す。平均最大付着応力は、AF-0.25% が MT の 1.67 倍、AF-0.5% が MT の 2.01 倍であり、繊維による補強効果が見られた。

4. 付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化

付着応力-荷重端すべり量関係をテトラリニアモデルによってモデル化を行った。テトラリニアモデルを図-5 に示す。最大付着応力 τ_{max} は最大付着応力の平均とした。 S_{max} は、最大付着応力時の荷

重端すべり量の平均とした。初期勾配 k_1 は、経験的に最大付着応力の 9/10 までの勾配とした。 τ_1 は最大付着応力の 9/10 である。終局までの勾配 k_u は荷重端すべり量 2.2mm 以降の中心を通るように引いた直線の傾きとした。 τ_2 と S_2 は前述の直線と最大付着応力と荷重端すべり量すべり量 2.2mm の点を結んだ直線の交点とした。なお、MT では軟化域の実験結果が得られなかったため、終局すべり量 S_u を 2.2mm とした。モデルの各特性値一覧を表-6 に示す。実験結果とモデルの比較を図-6 に示す。モデルは実験結果を全体として概ねよく表現できている。

5. まとめ

- (1) FRCC の繊維による付着耐力の向上が確認された。
- (2) テトラリニアモデルによって付着応力-荷重端すべり量関係のモデル化を行った。

謝辞

CFRP 補強筋は東京製綱インターナショナル (株) にご提供いただいた。