

PVA 繊維とアラミド繊維を用いた積層型機能性 DFRCC の曲げ性状

筑波大学大学院 学生会員 ○古場 匠 筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

コンクリートやモルタルの引張性能を改善する材料として、高靱性繊維補強セメント複合材料 DFRCC (Ductile Fiber-Reinforced Cementitious Composite) が挙げられる。これはマトリクス中に長さ 10mm 程度の短繊維を混入させることで、引張応力下でのマトリクスの引張性能の改善、ひび割れ開口抑制による耐久性向上などが期待される材料である。

積層型機能性繊維補強セメント複合材料 (Functionally Graded Fiber-Reinforced Cementitious Composite : FG-FRCC) は、DFRCC を層状打設し、各層の繊維混入率や繊維種類を変化させることで、DFRCC の曲げ強度や靱性能などの向上を図った材料である。これまでに、曲げ応力下において引張応力の大きい下縁側により多くの繊維を混入させることで、同じ繊維混入率 DFRCC より最大荷重が増加することが確認されている¹⁾。

本研究では、異なる繊維を用いた DFRCC の層状打設を行い、ひび割れ幅や靱性能を制御することを目的とする。

2. 実験概要

DFRCC に用いる繊維の物性値を表 1 に示す。本実験では DFRCC を PVA 及びアラミド繊維を用いる層の 2 層に分け、上下の層の組合わせ及び各層の厚さをコントロールすることで、PVA 繊維のひび割れ幅抑制効果とアラミド繊維の高い靱性能を合わせ持つ FG-FRCC の提案を目標とする。

最適な組み合わせを検討するために断面 100mm ×100mm 試験体の純曲げ加力を対象として、ファイバーモデルによる断面解析を行った。PVA 繊維を用いた DFRCC の架橋則にはトリリニアモデル²⁾、アラミド繊維にはバイリニアモデル³⁾を用いた。なお、圧縮側には放物線モデルを用いた。

基準とする PVA 一体打ちの場合の最大曲げモーメント及び最大曲げモーメント時の曲率で基準化した断面

解析の結果を、図 1 に示す。引張側断面の 1/3 を PVA 繊維、圧縮側断面の 2/3 をアラミド繊維とした P3A7 が、本研究で目標とする FG-FRCC に最も近い結果を得た。比較のために引張側断面の 2/3 を PVA 繊維とした P7A3、アラミド繊維 DFRCC をモルタルに置き換えた P3M7、P7M3 も実験を行う。各 FG-FRCC の断面を図 2 に示す。繊維混入率は全 DFRCC で 1% とし、比較のために各 DFRCC 一体打ちの試験体も加力する。

FG-FRCC では、マトリクス凝結の始発時間を考慮して、各層の間に 1 時間の間隔を空けて打設を行う。また、通常 DFRCC を型枠片側から流し込むが、打設間隔 1 時間では層界面が乱れてしまうため全体に均等に流し込んだ。

加力には 2MN 万能試験機を用いて純曲げ区間を 100mm とした 4 点曲げ試験を行い、載荷点及びスパン中央部のたわみ、純曲げ区間の曲率を測定した。

表 1 繊維の物性値

繊維種類	繊維径 [μm]	繊維長 [mm]	引張強度 [MPa]	弾性係数 [GPa]
PVA	100	12	1200	28
アラミド	500	30	3432	73

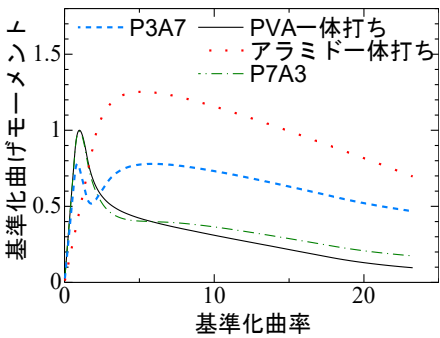


図 1 断面解析結果

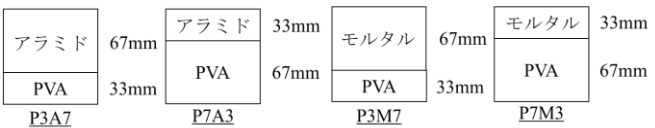
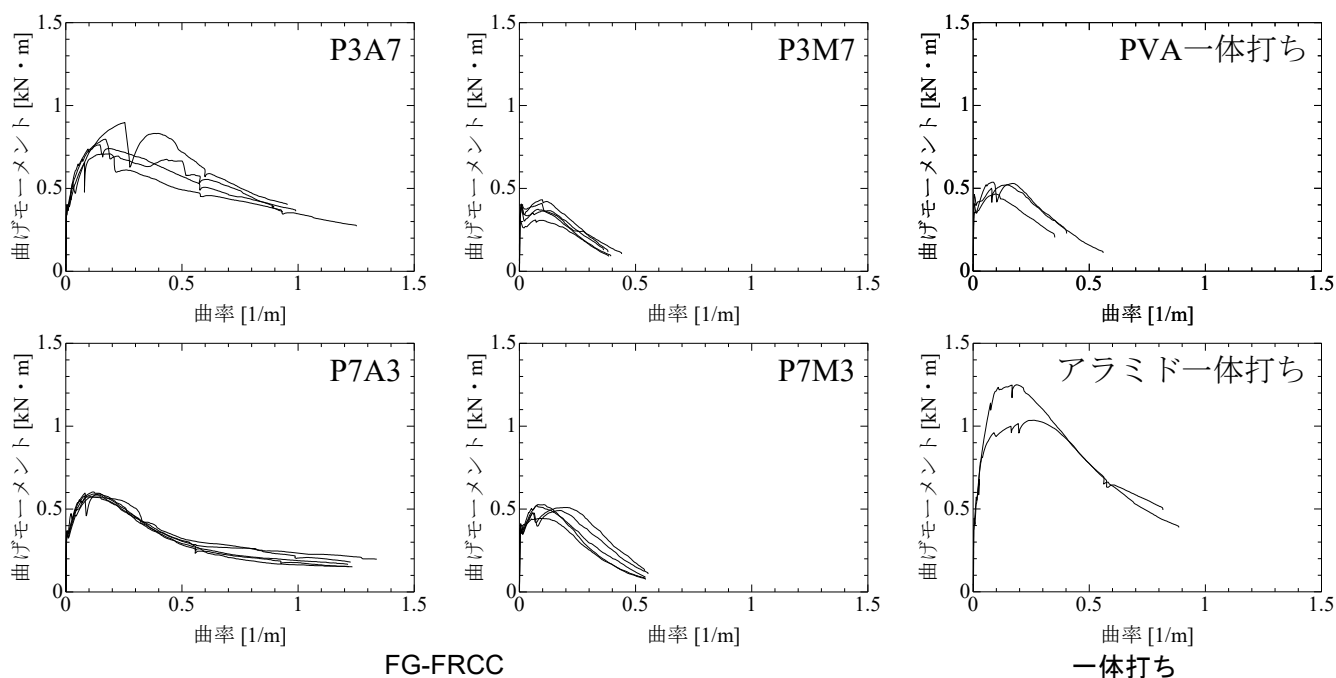


図 2 試験体断面

キーワード DFRCC, 機能性材料, FG-FRCC, PVA 繊維, アラミド繊維, 4 点曲げ試験

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



FG-FRCC

図3 モーメントー曲率関係

3. 実験結果

各試験体のモーメントー曲率関係を図3に示す。P3A7試験体の加力後の写真を図4に示す。FG-FRCCではひび割れが層界面方向へ進展したのが見られた(図4(右))。それぞれ5体中、P3A7の2体、P3M7の1体、P7A3の2体で見られたが、全体としての一体性を失うほどではなかった。P7A3試験体においては、PVAの層からアラミドの層へひび割れが進展する際に、層界面方向へのひび割れの進展の有無によらず、ひび割れが複数に別れ、一本あたりのひび割れ幅が減少する傾向が見られた。

P3A7とP3M7試験体及びP7A3とP7M3試験体をそれぞれ比較すると、アラミド繊維を用いることで強度と靱性能が向上していることが確認できた。断面解析ではP7A3試験体の最大曲げモーメントがP3A7試験体より大きい、実験結果はP3A7試験体の方が大きい。引張側にあるPVA繊維の層がアラミドの層のひび割れ開口を抑制し、アラミドの層の架橋強度を向上させた可能性がある。



図4 加力後写真 (P3A7)

4. まとめ

- (1) PVA繊維及びアラミド繊維を組み合わせた試験体では、アラミド繊維によるFG-FRCCの強度及び靱性能の向上が確認できた。
- (2) FG-FRCCでは20体中5体で層界面方向へのひび割れの進展が見られたが、一体性を失うほどではなかった。
- (3) P7A3試験体において、PVAの層からアラミドの層へひび割れが進展する際に、ひび割れが複数に別れ、1本あたりのひび割れ幅が減少した。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究(A)18H03802による。

参考文献

- 1) 古場匠, 山田恒平, 金久保利之: PVA繊維を用いた積層型機能性繊維補強セメント複合材料の曲げ性状, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 部門V-255, 2020.9
- 2) Ozu, Y., et al., Modeling of Bridging Law for PVA-FRCC Considering Fiber Orientation, Journal of Civil Engineering and Architecture, Volume12, Number 9, pp.651-661, 2018.9.
- 3) Sunaga, D., et al., Modeling of Bridging Law for Bundled Aramid Fiber-Reinforced Cementitious Composite and its Adaptability in Crack Width Evaluation, Materials. Vol.14, No.1, 179, 2021