

各種高分子繊維の単繊維引抜性状に関する研究

正会員 ○浅野 浩平*¹
正会員 金久保 利之*²

FRCC 単繊維引抜性状 高分子繊維
スナビング効果

1. はじめに

近年の耐震設計の進展により、鉄筋コンクリート構造物の倒壊は抑制されている一方で、地震後の継続使用性や高耐久性といった付加価値が求められている。本研究は、中性化や腐食の影響を受けない、終始弾性挙動を示す FRP(Fiber -Reinforced Plastics) 補強材と、ひび割れ架橋性能を有する FRCC(Fiber-Reinforced Cementitious Composites) を組み合わせることで、修復を要しない高耐久構造要素の実現を目的とした研究背景の下、FRCC の基礎的検討として、各種高分子繊維を対象とした単繊維引抜試験を行った。

2. 単繊維引張試験

本研究で使用する繊維は、PVDF (ポリフッ化ビニリデン)、PET (ポリエチレンテレフタレート)、PE (ポリエチレン) の三種類の高分子繊維である。各繊維の引張強度および弾性係数を把握するため、図 1 に示すようなアクリル製の固定タブを作製し、繊維をタブに施した溝に沿って配し、瞬間接着剤を溝に浸透させることによって繊維をタブに接着した。タブ間(試験区間)が 10mm、15mm、20mm の三水準となるように試験片を作製し、タブを介して図 2 に示す引張治具で把持し、載荷速度 1.0mm/min で引張試験を行った。各繊維の寸法と併せて、実験結果を表 1 に示す。補正前の弾性係数には装置やタブの変形による影響を含むため、図 3 に示す治具コンプライアンス値を考慮した方法¹⁾で弾性係数を補正した。PE 繊維は撚糸であるため、弾性係数については参考値としている。

3. 引抜試験体概要

作製した試験体は図 4 に示すような 30×30×5mm のモルタル板の中央に繊維を埋め込んだ形状である。モルタル板の厚みが付着長さとなるように設計した。試験時には、試験体から伸びた繊維の端部に、単繊維引張試験で用いたタブを接着する。モルタル板の使用材料は、水、早強ポルトランドセメント、フライアッシュ、7 号珪砂、各種混和剤である。打込み方法等については既往の研究²⁾を参照されたい。試験体は各繊維、配向角毎に 6 つずつ作製した。

4. 単繊維引抜試験

図 5 に示す治具を介し、卓上小型万能試験機を用い、変位制御により載荷速度 1.0mm/min で単調引張載荷を行った。計測項目は引抜荷重(N)、引抜変位(mm)である。配向角は、試験体設置台下部の台座を回転させることで

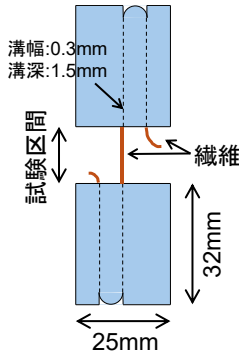


図 1 単繊維固定用タブ



図 2 引張治具

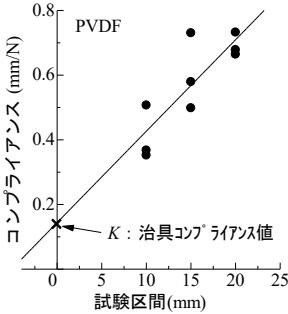


図 3 弾性係数の補正

表 1 実験結果 (引張試験)

繊維種	繊維径 (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数(kN/mm ²)	
			補正前 E_{exp}	補正後 E_{cor}
PVDF (単繊維)	0.129	452	2.03	2.80
PET (単繊維)	0.096	530	4.69	4.17*
PE (撚糸)	0.028	9611	160**	229**

* : K が負のため、参考値 ** : 撚糸のため、参考値

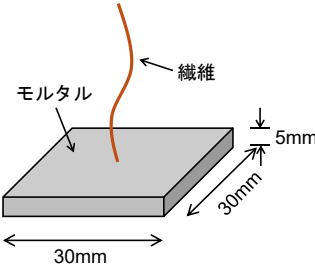


図 4 試験体概形

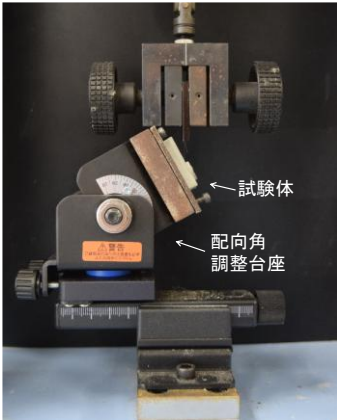


図 5 引抜試験装置

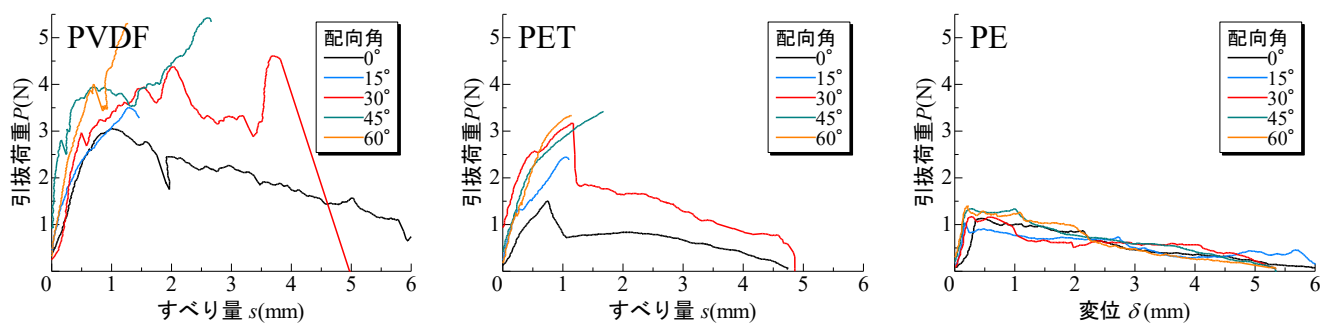


図6 引抜荷重－すべり量関係（PEのみ変位）

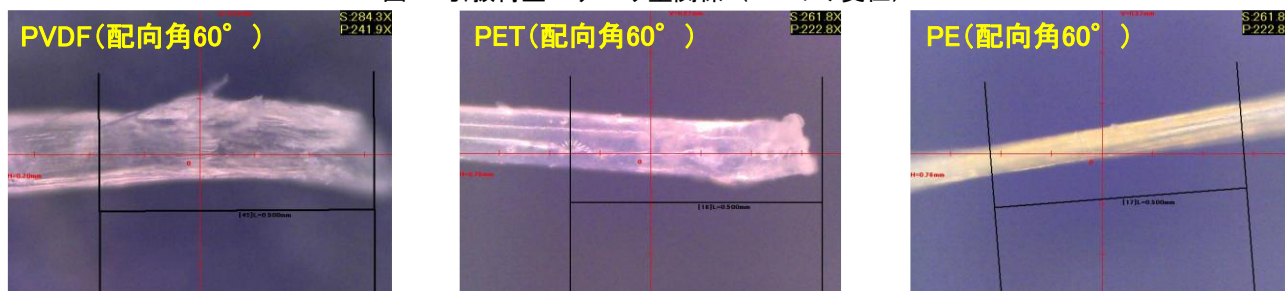


図7 引抜後の繊維表面の様子

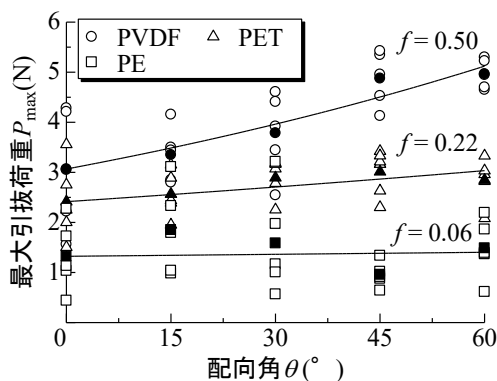


図8 最大引抜荷重－配向角関係

調整する。

5. 実験結果

単繊維引抜試験で得られた引抜荷重－すべり量関係（図6）より、いずれの配向角でも PVDF 繊維は高い引抜荷重を示した。荷重の細かな変動は、試験後に確認された繊維表面の毛羽立ちに起因すると考えられる（図7）。これは強アルカリ下での脱フッ化水素反応による表面劣化が付着力向上に寄与したためと推察されるが、長期的には強度低下の懸念があり、FRCC への適用には検討を要する。PET 繊維は最大荷重後に急減し漸減する挙動を示し、表面も滑らかで化学的安定性が高いと考えられる。PE 繊維は配向角に依らず同様の引抜性状を示し、樹脂コーティングによる平滑な表面が影響していると考えられる。撚糸の使用には表面処理の検討が必要である。図8は最大引抜荷重－配向角関係を示したものであり、配向角の増加に伴う引抜抵抗の増大傾向が確認された。この傾向は、配向角による抵抗増加を表す指標であるスナビング係数³⁾により評価でき、前述の引抜性

状と同様に、繊維表面性状の影響を強く受ける結果となった。すなわち、表面に毛羽立ちが生じた PVDF 繊維ではスナビング効果が顕著に現れる一方、表面が平滑な PET および樹脂コーティングされた PE 繊維では、その影響は比較的小さいと考えられる。

6. まとめ

FRCC の基礎的検討として、各種高分子繊維を対象とした単繊維引抜試験を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) PVDF 繊維は強アルカリ下での表面劣化により毛羽立ちが生じ、付着力およびスナビング効果が増大するが、長期的な強度低下の懸念がある。
- (2) 繊維表面性状が引抜性状およびスナビング係数に大きく影響し、平滑な PET・PE 繊維では引抜抵抗の増加は比較的小さい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費（課題番号：25K01362）の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 佐藤浩幸ら：単繊維引張試験・モノフィラメント試験機の機能紹介と適用例, IIC REVIEW, No.62, pp.45-52, 2019.10
- 2) 浅野浩平, 金久保利之：高性能繊維補強セメント複合材料における短繊維の付着性状に関する研究：その2 配向角を有した PVA 単繊維の引抜実験, 日本建築学会学術講演会, 材料施工, pp.345-346, 2012
- 3) Li, V.C. et al.: Effect of Inclining Angle, Bundling, and Surface Treatment on Synthetic Fiber Pull-out from a Cement Matrix, Composites, vol.21, No.2, pp.132-140, 1990

*¹ 都城工業高等専門学校 建築学科 准教授・博士（工学）

*² 筑波大学システム情報系 教授・博士（工学）

*¹ Associate Prof., NIT(KOSEN), Miyakonojo College, Dr. Eng.

*² Prof., Dept. of Eng. Mechanics and Energy, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.