

バサルト繊維の硬化したセメント中の引抜き特性に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中 章 仁平 達也
戸田建設 正会員 田中 徹 田中 孝

1. はじめに

バサルト繊維は、玄武岩を融解して製造される無機繊維である。筆者らは、バサルト繊維を用いた短繊維補強コンクリート用の繊維（以下、BF）の開発を実施している。繊維の特徴として、セメントとの付着力向上を目的に凹凸加工を施している。この表面の凹凸が繊維の引抜き特性に及ぼす影響を把握することを目的として、引抜き角度を変化させた繊維単体の引抜き試験を実施した。

2. 検討に用いた繊維

表-1 に BF の主な物性を示す。また、図-1 および図-2 に BF の形状を示す。BF は、バサルト繊維を複数本束ねた芯材周囲にバサルト繊維のカバー糸を絡ませ凹凸を設けた形状とし、耐久性の向上を目的にビニルエステル樹脂で被覆している（バサルト繊維と樹脂の重量比は 7 : 3）。本研究では、BF の凹凸加工の有無および強弱について比較するために、芯材のみの BF-A（凹凸加工無）、カバー糸を 2 本撚った BF-B（凹凸加工弱）、カバー糸を 4 本撚った BF-C（凹凸加工強）の 3 種類を用いた。また、比較対象として繊維表面に凹凸加工が施されているポリプロピレン繊維¹⁾（以下、PP）を用いた。

3. 試験概要

試験体は、骨材の影響を除外することを目的としてセメントペースト（W/C=50%、圧縮強度 42.8N/mm²）とし各 5 体製作した。繊維の定着長深さは、実際に想定する最大 50mm 程度の繊維長を想定して、定着長を 25mm とした。繊維の引抜き角度（以下、配向角度）は、0°、15°、30°、60° の 4 種類とした。引抜き速度は 2mm/分一定とし、繊維の破断もしくは繊維が引抜けるまで実施した。図-3 に引抜き試験状況の例を示す。

4. 実験結果

表-2 に試験結果を示す。図-4 に引抜き荷重—変位関係の例を示す。BF-A の挙動についてみると、いずれの配向角度においても変位の増加に伴い荷重がほぼ直線的に増加し、ピークに達した後、芯材の破断により急激に荷重が低下した。カバー糸を用いて凹凸を設けている BF-B および BF-C については、配向角度 0°～30° のケースでピークに達した後、芯材の破断により荷重が低下した。芯材破断以降は、カバー糸が引張力を負担するため再度荷重が増加するものの、最終的にはカバー糸の破断により荷重が低下した。なお、凹凸加工の強弱による引抜き挙動の差異は確認されなかった。PP については、ピーク荷重に達した後、荷重は急激に低下せず、繊維表面の凹凸加工による影響で、荷重の上下動を伴いながら緩やかに引き抜かれる挙動を示した。

表-3 に配向角度 0° における BF-B、BF-C の BF-A に対する最大荷重の比率を示す。BF-B は BF-A の 1.9 倍、BF-C

表-1 使用した繊維の主な物性

試験体	芯材 (本)	カバー糸 (本)	平均 断面積 (mm ²)	破断時 の荷重 (N)	引張 強度 (N/mm ²)	引張 弾性率 (kN/mm ²)	破断時 伸び率 (%)
BF-A	1	-	0.16	109	660	28.8	1.7
BF-B	1	2	0.58	287	494	14.9	3
BF-C	1	4	0.91	349	383	9.4	3.3
PP	-	-	0.36	180	500	7	10

※BFは、材料実測値、PPは、カタログ値

※芯材、カバー糸共に1本辺りの重量は、0.264g/m

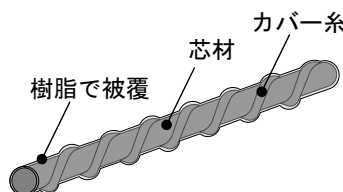


図-1 BF の概念図

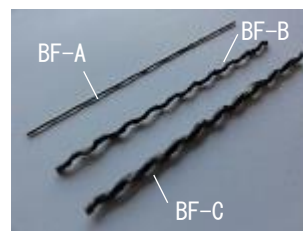
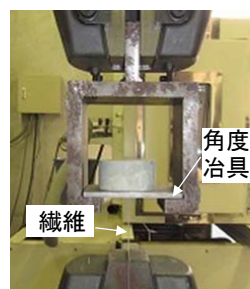
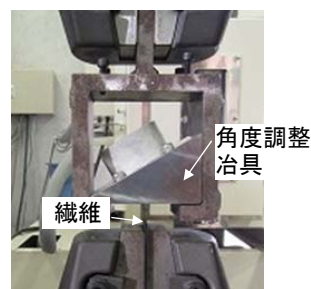


図-2 各 BF の形状



(a) 配向角度 0°



(b) 配向角度 30°

図-3 引抜き試験状況の例

表-2 引抜き試験結果

試験体	配向角度 (度)	拔出し本数 (本)	拔出し時ピーク 荷重の平均値 (N)	破断本数 (本)	破断時ピーク荷 重の平均値 (N)
BF-A	0	0	-	5	134
	15	0	-	5	130
	30	0	-	5	83
	60	0	-	5	42
BF-B	0	0	-	5	255
	15	0	-	5	250
	30	0	-	5	185
	60	0	-	5	85
BF-C	0	0	-	5	314
	15	0	-	5	276
	30	0	-	5	199
	60	0	-	5	143
PP	0	4	123	1	134
	15	4	105	1	117
	30	5	100	0	-
	60	2	112	3	143

キーワード バサルト繊維、繊維補強コンクリート、引抜き試験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7281

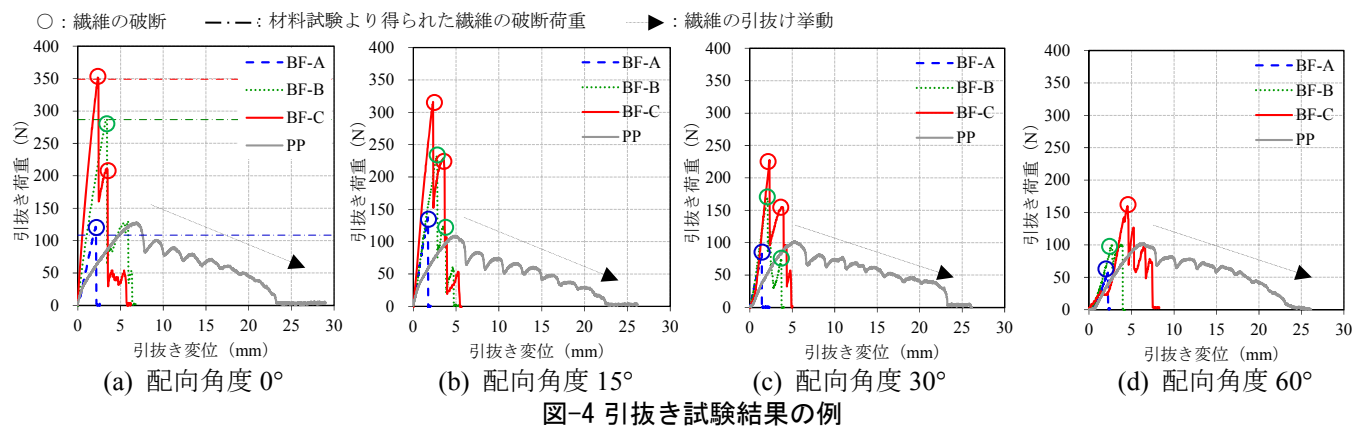


図-4 引抜き試験結果の例

は BF-A の 2.4 倍になっていることから、カバー糸が引張力を分担して最大荷重（破断時の荷重）が増加したと推測される。また、BF-C は BF-B の 1.2 倍になった。次に、カバー糸の最大荷重時における引抜きに対する効果について検討した。表-3 には、BF-A との差分をカバー糸本数で除して、カバー糸 1 本当たりの引張力の分担率（以下、分担率）として定義している。分担率を比較すると、BF-B で 0.5、BF-C で 0.3 となっており、カバー糸を 2 本用いた BF-B のほうが効果が高いことがわかる。配向角度の影響については、BF は、配向角度が大きくなると、凹凸の有無に関わらず最大荷重が小さくなる傾向がみられた。PP が抜け出すケースが多く、BF が全てのケースで破断に至った要因としては、表-1 の破断時の伸び率に示すように、BF は PP と比較して伸びにくい材料であることに起因するものと考えられる。

5. 繊維強度の減少について

短繊維補強コンクリートでは、繊維拔出時の繊維表面の損傷や、配向角度による曲げ応力が破断強度を低下させることが明らかとなっており²⁾、繊維の破断強度の減少は、強度低減係数 f' を用いて (1) 式により表わされる。

$$\sigma_{fu} = \sigma_{fu}^0 \cdot e^{-f' \varphi} \quad (1)$$

ここに、 σ_{fu} ：破断強度、 σ_{fu}^0 ：配向角度 0° の破断強度、 f' ：強度低減係数、 φ ：配向角度
そこで、本試験で繊維の破断が生じたケースを対象に、配向角度が繊維強度に与える影響を検討した。図-5 に破断荷重と配向角度の関係を示す。図中には、(1) 式を基に強度低減係数を検討し、各配向角度における繊維の破断強度を算出した結果を併せて示している。(1) 式より得られた曲線と実験より得られた各配向角度における引抜き荷重を比較すると、強度低減係数 f' は、BF-A で 0.9、BF-B で 0.8、BF-C で 0.75 で概ね評価できることがわかった。また、PP は f' が 0.5 で概ね評価できることがわかった。なお、W/C=0.5 のマトリックスに埋め込まれた PP（埋め込み長 10mm、断面積 0.385mm²）では、 $f'=0.2$ となった事例³⁾があるが、この相違は定着長や形状の影響等が考えられる。BF は PP と比較すると強度低減係数が 1.5~1.8 倍となっていることから、BF は、PP よりも配向角度が引抜き力に及ぼす影響が大きい材料であると推測された。今後は、芯材やカバー糸本数、定着長を変えた BF の引抜き特性や、コンクリートに BF を混入した際の曲げじん性係数や引張強度の評価を行い、BF の短繊維補強コンクリートへの適用について検討を行う予定である。

6. まとめ

- ・BF に凹凸加工を施すことで引抜き試験時の最大荷重（破断時の荷重）が最大 2.4 倍になった。
- ・BF は、引抜き角度が大きくなると、凹凸の有無に関わらず最大荷重が小さくなる傾向がみられた。
- ・本試験で用いた BF の強度低減係数 f' は、BF-A で 0.9、BF-B で 0.8、BF-C で 0.75 であった。

参考文献

1) 田中徹 他：ポリプロピレン短繊維の表面加工に関する基礎研究，土木学会年次学術講演会，pp415-416,2007
2) Kanda, T. and Li, V.C. : Interface Property and Apparent Strength of High-Strength Hydrophilic Fiber in Cement Matrix, Journal of Materials in Civil Engineering, pp.5-13, 1998
3) 杉本勝哉 他：ひび割れの開口ずれを想定した単繊維引抜き試験，コンクリート工学年次論文集，pp283-288,2013

表-3 カバー糸が引抜き荷重に及ぼす影響（配向角度 0°）

B/A	C/A	C/B	カバー糸1本当たりの引張力分担率	
			$1/n \times (B-A)/A$	$1/n \times (C-A)/A$
1.9	2.4	1.2	0.5	0.3

※A,B,Cは、それぞれBF-A, BF-B, BF-Cを意味する
※n は、カバー糸の本数

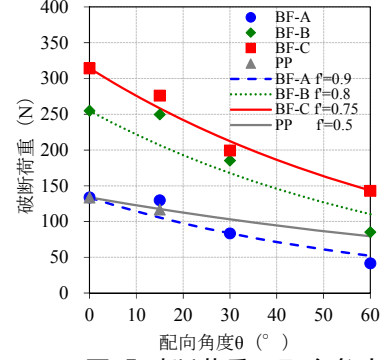


図-5 破断荷重—配向角度