

PP ナノ繊維を用いた FRCC の力学性能に関する基礎的研究

ライフサイクル工学分野
東理実優

FRCC 繊維補強 ひび割れ
多段階繊維補強 複合効果 ナノ繊維

1. はじめに

セメントコンクリートやモルタルのようなセメント系材料は、圧縮強度が大きい、引張および曲げ強度が小さく、延性や靱性が乏しいという本質的な弱点を持つ。これを改善するために、補強材として繊維類を混和してつくられる材料が繊維補強セメント系複合材料（Fiber Reinforced Cementitious Composites、以後FRCC）である¹⁾。

通常のFRCCに荷重が作用すると単独のひび割れが拡大し破壊に至る²⁾。一方で、マクロレベルからミクロレベルまで大きさの異なる繊維を複合して使用する多段階繊維補強は、様々なサイズのひび割れをそれぞれの大きさの繊維が架橋することで、微細なひび割れが分散して形成されるなど、力学性能の大きな改善が期待される。既往の研究³⁾⁴⁾では、マイクロサイズの鋼繊維に加え、適用可能な繊維の中で最も小さいナノ繊維であるCNF（セルロースナノファイバー）、CNT（カーボンナノチューブ）を複合した多段階繊維補強について検討がされており、ナノ繊維によるナノサイズのひび割れの発生抑制と遅延およびより長い繊維との相乗効果により、引張強度や曲げ強度などの力学性能や靱性の向上が確認されている³⁾。しかし、CNFやCNTなどのナノ繊維は、極めて高い強度などの力学特性には優れているが、非常に大きなコストが欠点である。そこで本研究では、その代替案として、図 1に示すポリプロピレン（PP）ナノ繊維を取り上げて検討を行なう。このPPナノ繊維はマスクの素材などに使用されており、他の繊維と比べて軽量でありながら強度が大きく、大量生産が可能となったため、安価で入手

しやすいといった利点がある。一方で、PPナノ繊維を補強材としてセメント系材料に用いることについて十分な検討はされていない。

これらの研究背景から、本研究ではPPナノ繊維の補強効果および多段階繊維補強として他の繊維と組み合わせた場合の複合効果について検討することを目的とする。

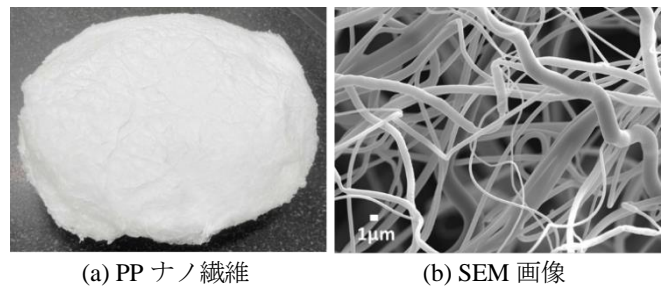


図 1 PP ナノ繊維

2. 実験概要

実験は大きく分けて2つに分かれている。1つ目は、PPナノ繊維を単独で混入した場合および他の繊維と組み合わせた場合の補強効果についての検討を行なった。2つ目は、1つ目の実験の結果を踏まえて、PPナノ繊維の分散性を向上させるための方法の1つとして、混和剤を使用し、1つ目の実験と同じように補強効果について検討を行なった。

2.1. 使用材料

調査表を表 1に示す。事前に複数の混和剤（AE剤、起泡剤、AE減水剤、高性能AE減水剤）について曲げ試験を行な

表 1 調合表 (wt.%)

シリーズ	C	S/C	W/C	AE/C	PPn (vol.%)	PP (vol.%)	PVA (vol.%)
Control				-	-	-	-
PPn0.5				-	0.5	-	-
PPn0.5-AE0.001				0.001	0.5	-	-
PPn0.5-AE0.01				0.01	0.5	-	-
PP0.5				-	-	0.5	-
PP0.5-AE	100	40	40	0.01	-	0.5	-
PVA0.5				-	-	-	0.5
PPn0.05-PP0.45				-	0.05	0.45	-
PPn0.05-PP0.45-AE				0.01	0.05	0.45	-
PPn0.05-PVA0.45				-	0.05	-	0.45
PPn0.05-PVA0.45-AE				0.01	0.05	-	0.45

い、最も優れた強度を示したAE剤を使用して複合効果を検討した。セメントは早強ポルトランドセメント（C、密度：3.14 g/cm³）、細骨材は珪砂5号（S、密度：2.61 g/cm³、平均粒径：180 μm）、混和剤はAE剤（AE、アニオン界面活性剤、密度：1.06 g/cm³）を用いた。補強繊維として、PPナノ繊維（PPn、密度：0.92 g/cm³）、PP繊維（PP、密度：0.92 g/cm³、繊維長：6 mm）、PVA繊維（PVA、密度：1.30 g/cm³、繊維長：12 mm）を用いた。また、PPナノ繊維の混入方法については、図 2に示すように、練り混ぜ前に水と混和剤とPPナノ繊維をジューサーミキサー（出力：70 W、23000 rpm）で3分間分散してから混入した。

2.2. 曲げ試験

試験体は、打ち込みの翌日に脱型して水中養生を行ない、材齢7日で試験を行なった。試験方法は、JCI-S-001-2003の「切り欠きはりを有したコンクリートの破壊エネルギー試験方法」を参考に、3点曲げ試験を行なった。また、圧縮強度を曲げ試験後の半分の試験体を用いて、JIS R 5201を参考に測定した。

2.3. SEM観察

SEM（走査電子顕微鏡）を使用してモルタル中におけるPPナノ繊維の分散性について評価を行なった。

3. 実験結果と考察

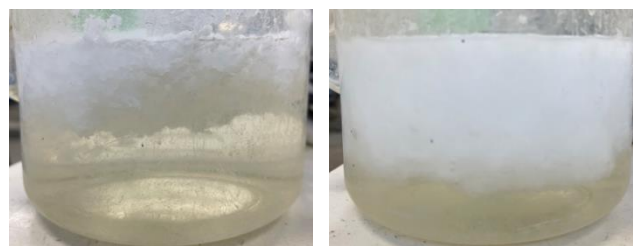
圧縮強度は、PVA0.5の75.7 MPaを除くと、54.3 MPa～65.2 MPa、ヤング係数は、16.02 GPa～21.27 GPaとなった。PVA繊維を単独で混入した圧縮強度は他と比較して高かったが、その他は大きな差が見られなかったため、PPナノ繊維の混入が圧縮強度やヤング係数に与える影響は小さいと考えられる。

次に、曲げ試験の結果を図 3に示す。PPナノ繊維を単独で混入した場合について、AE剤を使用することで曲げ強度の向上が確認された。また、PPナノ繊維と他の繊維を組み合わせて混入したものについては、AE剤とPPナノ繊維を混入することによる曲げ強度の向上は見られなかった。PP繊維との組み合わせでは、PP繊維を単独で混入したものが最も曲げが大きいので、PPナノ繊維の補強効果は見られなかった。一方で、PVA繊維との組み合わせでは、AE剤とPPナノ繊維の混入により、曲げ曲線の第2ピークでPVA繊維を単独で混入したものを上回る曲げ応力が見られた。この結果は、PPナノ繊維による補強効果と考えられる。

SEM画像を図 4に示す。図 4(a)の混和剤を使用していない場合と比較して、図 4(b)のAE剤を使用したものは、繊維の分散が確認された。これらの結果から、AE剤を使用することによって、PPナノ繊維が分散されることで、PPナノ繊維がその性能を十分に発揮することが可能となり、力学性能の向上が見られたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、曲げ試験および圧縮試験を行なうことにより力学性能の把握、SEM観察によりモルタル中でのPPナノ繊維の分散性について評価を行なった。その結果、PPナノ



PP ナノ繊維+水 PP ナノ繊維+水+AE 剤

図 2 ジューサーミキサーによる攪拌後の様子

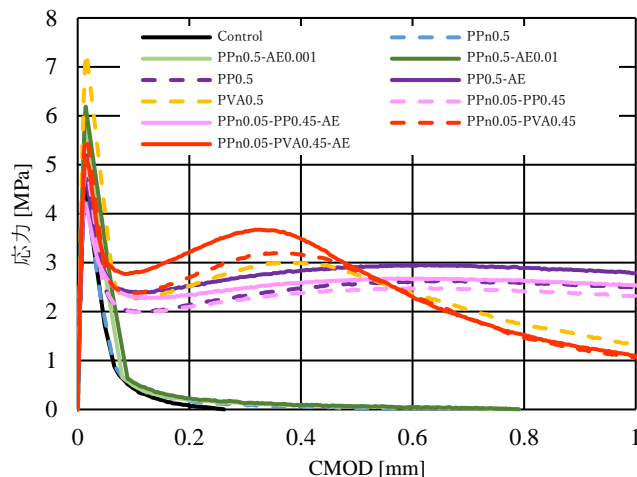
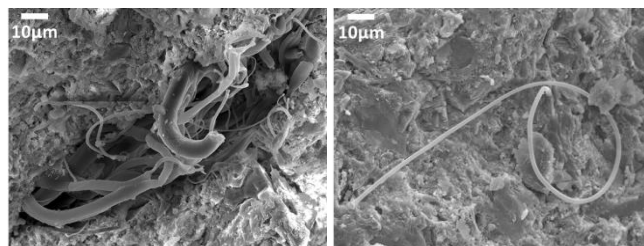


図 3 曲げ試験結果



(a) PPn0.5 (b) PPn0.5-AE0.01

図 4 SEM 画像

繊維を単独で混入したものは、AE剤を使用することによりPPナノ繊維の分散性が向上することによって、曲げ強度の向上が見られた。また、AE剤を使用してPPナノ繊維をPVA繊維と組み合わせることで、靱性の向上が確認された。

【参考文献】

- 1) 三橋博三、大濱嘉彦、小野英哲：建築材料学，共立出版，pp. 244，2015
- 2) 三橋博三：ハイブリッド型高靱性セメント系複合材料の開発とその構造的利用に関する研究，平成12年度～平成14年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)）研究成果報告書，pp. 4，2003
- 3) Alrekabi, S., Cundy, A. B., Lampropoulos, A., Whitby, R. L. D., & Savina, I. : Mechanical performance of novel cement-based composites prepared with nano-fibres, and hybrid nano- and micro-fibres. *Composite Structures*, 178, 145–156, 2017
- 4) 三浦大樹：複数の補強繊維を用いた FRCC の単繊維引き抜きによる力学的性能の評価，東北大学卒業論文，2020