

鋼繊維を用いた高強度繊維補強モルタルの吹付け工法への適用に関する実験的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○高木智子 渡邊有寿 青山達彦 柳井修司 山野辺慎一 曾我部直樹

1. はじめに

RC 橋脚の耐震性を向上させる手法の一つに、プレキャスト型枠を橋脚基部の塑性ヒンジ区間に適用するものがある¹⁾。本手法は、超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）²⁾からなるかぶりのみで地震時の曲げ圧縮応力を負担させることを基本としていたが、要求性能やコストに応じた合理的な設計ができるよう、圧縮強度 120N/mm²、曲げ強度 15N/mm² クラスの高強度繊維補強モルタル（以下、高強度 FRM）でも検討されている³⁾。加えて、このような高性能な材料を薄肉で現場施工できれば、今後増加が見込まれるリニューアル工事において、既設構造物の断面寸法を変えることなく、より合理的に補修・補強できる可能性が高い。そこで本報では、鋼繊維を用いた高強度 FRM の吹付け工法への適用を目的として行った各種実験について述べる。

2. UFC を用いた事前検討

鋼繊維を用いた高強度 FRM を圧送・吹付けする場合、施工性の観点からは先端ノズルから円滑に吐出されるためのフレッシュ性状や繊維長を適切に決定する必要がある。また、吹付け施工では流込み施工に比べてだれ止め剤等の影響により、強度低下を生じることが懸念される。そこで、これら課題の抽出を行うことを目的に、UFC を用いた予備的な吹付け実験を行った。また、室内配合試験にて繊維長・繊維混入量と曲げ強度の関係を把握した。

(1) 吹付け実験によるフレッシュ性状の確認

実験は、エトリンサイト生成系 UFC（以下、AFt-UFC）を基本とし、鋼繊維を混入する前のモルタルを用いた（表-1, AFt-NF）。汎用的なモルタルポンプ（100V, 最大吐出量 16ℓ/分）やノズルを用いた場合、モルタルフロー 315×310mm の AFt-NF は、圧送・吹付けが可能であった。ただし、J14 漏斗の流下時間は 295 秒であり極めて高い粘性を有していたため、吐出量は 170ℓ/時と一般的な湿式吹付け工法（500ℓ/時⁴⁾）よりも小さくなった。このモルタルに鋼繊維を混入することを鑑みると、フレッシュ性状の改善が必要であると判断された。

(2) 繊維混入量の検討

一般に、断面修復モルタルの吹付けに使用されている機器は、先端ノズルの径が 15mm であることを鑑み⁴⁾、本検討では長さ 10mm の鋼繊維を用いることとした。繊維混入量と曲げ強度の関係を図-1 に示す。図には AFt-UFC の過去の検討結果⁵⁾も併記する。図より、長さ 10mm の鋼繊維を使用する場合、混入量を 2.5vol.% 以上混入すれば UFC と同等の曲げ強度の特性値が確保できると判断した。

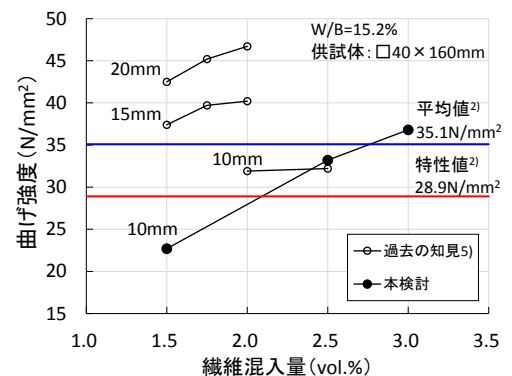


図-1 繊維混入量と曲げ強度の関係

3. 吹付け可能な配合の選定

3.1 フレッシュ性状の改善

AFt-NF は粘性が高いため、圧送性（吐出量）が低いことが課題で

表-1 AFt-UFC の配合および試験結果

	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				繊維長 (mm)	混入率 (vol.%)	フレッシュ試験		強度試験*		
		水 W	結合材 B	細骨材 S	高性能減水剤 SP			モルタルフロー (mm)	J14漏斗流下時間 (秒)	圧縮強度 φ100×200mm (N/mm ²)	ヤング係数 φ100×200mm (kN/mm ²)	曲げ強度 □40×160mm (N/mm ²)
2.1吹付け実験	AFt-NF				32.2	—	—	315×310	295	—	—	—
2.2繊維混入量	L10-1.5	15.2	195	1287	905	10	1.5	272×270	230	187.5	40.8	22.7
	L10-2.5				36.0		2.5	253×249	285	188.4	42.7	33.2
	L10-3.0						3.0	248×240	—	186.3	43.4	36.8

*：ポテンシャル評価のため85℃24時間の蒸気養生とした

キーワード 高強度繊維補強モルタル, 鋼繊維, 補修・補強, 吹付け工法

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-8008

表-2 選定配合および試験結果

	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				繊維 長 (%)	混入 率 (vol. %)	硬化 促進剤	フレッシュ試験		強度試験*			建研式 付着試験 における 破壊強度* (N/mm ²)
		水 W	結合 材 B	細骨 材 S	高性能 減水剤 SP				モルタルフロー (mm)	J14漏斗 流下時間 (秒)	圧縮強度 φ 100 × 200mm (N/mm ²)	ヤング係数 φ 100 × 200mm (kN/mm ²)	曲げ強度 □ 40 × 160mm (N/mm ²)	
3.1フレッシュ 性状の改善	16.3	210	1287	886	36.0	10	2.5	—	314×311	72.0	216.2	44.3	28.4	—
3.2吹付け実験								—	315×309	89.0	—	—	—	—
								○	100×100	—	143.3	37.5	15.7	2.6

*:ポテンシャル評価のため85℃24時間の蒸気養生とした

あった。そこで、高強度 FRM のフレッシュ特性の目標値を「J14 漏斗流下時間 120 秒以内、モルタルフロー300mm 以上」と定め、水結合比 (W/B) および単位細骨材量を調整した。選定した配合を表-2 に示す。選定配合は、目標のフレッシュ性状を満足しているとともに、繊維混入量を 2.5vol.%とすることで UFC と同程度の曲げ強度 28.4N/mm²を得ることができた。

3.2 吹付け実験による性能評価

(1) 圧送・吹付け性能

表-2 に示す選定配合を用いて吹付け実験を行った (写真-1)。本実験では、事前実験時よりも能力の高いモルタルポンプ (200V, 最大吐出量 1000ℓ/分) を用いた。選定配合はモルタルフロー315×309mm, J14 漏斗流下時間 89 秒と目標値を満足し、その吐出量は約 580ℓ/時となり一般的な施工速度が得られた。

(2) だれ止め性

鉛直あるいは上面への吹付け時にはだれ止め性や厚付け性が必要である。本検討では、だれ止め剤として硬化促進剤を使用することで良好なだれ止め性を付与させた。なお、吐出された試料のモルタルフローは 100×100mm であった。

(3) 硬化特性

強度試験用の供試体は図-2 に示すように、300×300×100mm の型枠から切り出して採取した⁴⁾。表-2 より、圧縮強度は 143N/mm², 曲げ強度は 15.7N/mm²と、室内検討 (硬化促進剤なし) よりも低下したが、高強度 FRM としての目標値である圧縮強度 120N/mm², 曲げ強度 15N/mm²を満足する結果であった。また、既設躯体を模擬して打継ぎ処理した普通コンクリート盤に選定配合を吹付けし、建研式接着力試験で付着性能を評価した (図-3)。その結果、破壊強度は 2.6N/mm²と良好な一体性が確認された (普通コンクリートの母材破壊)。

4. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

- ①鋼繊維の長さを 10mm とし、モルタルのフレッシュ性状を、モルタルフロー300mm 程度、J14 漏斗流下時間 120 秒以内に調整することで、良好な吹付け速度が得られた。
- ②繊維長 10mm の鋼繊維を 2.5vol.%混入させた高強度 FRM の吹付け後の圧縮強度は 143.3N/mm², 曲げ強度は 15.7N/mm²であり、母材コンクリートとも良好な一体性を示した。

今後は、より性能ランクの高い UFC の特性値を吹付け施工によって達成すべく各種検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 山野辺ら：高性能塑性ヒンジ構造を適用した高耐震性 RC 橋脚の開発，土木学会論文集，Vol. 64, No. 2, pp. 317-332, 2008.
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)，2004.
- 3) 玉野ら：高強度繊維補強コンクリートの圧縮軟化特性と UFC 橋脚の設計，性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，Vol. 17, pp. 417-422, 2014.
- 4) 土木学会：吹付けコンクリート指針 (案)【補修・補強編】，2005.
- 5) 松原ら：超高強度繊維補強コンクリートの諸特性に及ぼす鋼繊維の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 28, No. 1, pp. 1253-1258, 2006.



写真-1 吹付け状況

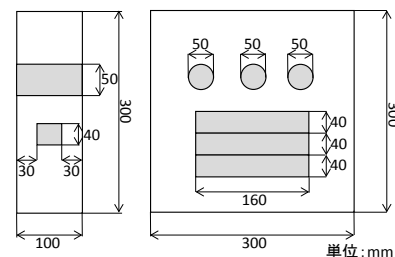


図-2 供試体切出し位置

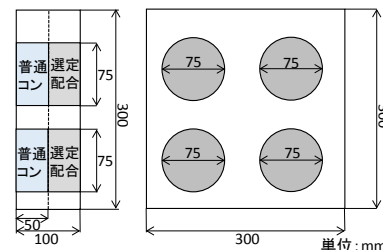


図-3 付着試験箇所