

超高強度繊維補強コンクリートの吹付け工法における硬化促進剤と繊維長の影響

鹿島建設(株) 正会員 ○高木智子 小林 聖 渡邊有寿 柳井修司
カジマ・リノベイト(株) 正会員 白木 浩

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）は、200N/mm²級の圧縮強度と優れた曲げじん性を有する。また、硬化体組織が緻密であるため、物質浸透抵抗性の高い材料でもある。これまで UFC は、薄肉のプレキャスト部材での適用が中心であったが、近年は場所打ち施工での活用も検討され始めている。このような高機能な材料を打込みだけでなく、吹付け工法で施工が可能となれば、既設構造物の断面寸法を変えることなく補修・補強ができ、リニューアル後のメンテナンスフリー化に寄与できるものと考えられる。筆者らは、これまでの検討¹⁾で、エトリングライト生成系 UFC²⁾の配合を基に吹付け実験を行ってきた。蒸気養生後の UFC の特性値である「圧縮強度 180N/mm²、曲げ強度 28.9N/mm²」²⁾を目標とし、それぞれ 143.3N/mm²、15.7N/mm² という成果を得たが、だれ止め剤として使用している非アルカリ系の硬化促進剤が圧縮強度を低下させるという課題が明らかとなった¹⁾。本報文では、前述の目標値を吹付け工法によって達成すべく、配合や硬化促進剤の最適化に向けた検討を行った結果について述べる。

2. 実験概要

本検討で用いた UFC の配合を表-1 に示す。これまで筆者らは、汎用的なモルタルポンプ（200V、最大吐出量 100ℓ/分）と吹付けノズル（先端径 15mm）で圧送・吹付けできるように、UFC に混入する鋼繊維の長さを 10mm とした。さらに、フレッシュ性状を「モルタルフロー300mm 以上、J14 漏斗流下時間 120 秒程度」に調整することで良好な圧送・吹付け性を達成した。一方で、硬化促進剤の添加量を結合材（B）×2.0%以上とすれば鉛直面でのだれが抑えられるが、圧縮強度が大幅に低下する結果となった。そこで本検討では、硬化促進剤の添加量を 2.0%以下に低減すべく、硬化促進剤添加前のモルタルの粘性を上げた配合とした。その手法として、粘性に最も寄与するペースト量を増やすために細骨材容積比（s/m）を下げ、さらに水結合材比（W/B）を下げた。

吹付け実験には前述のモルタルポンプとノズルを用い、硬化促進剤はノズルの根元でモルタルに添加した。硬化促進剤を添加するものは、図-1 に示すように、300×300×100mm の平板に吹き付け、硬化後にφ50×100mm および 40×40×160mm に切出した供試体を用いて強度試験を実施した。比較用の硬化促進剤を添加しないものは、40×40×160mm の型枠に流し込み、採取した。なお、供試体は現場での養生を想定して加熱養生は行わず、材齢 91 日まで 20℃封緘養生を行った。

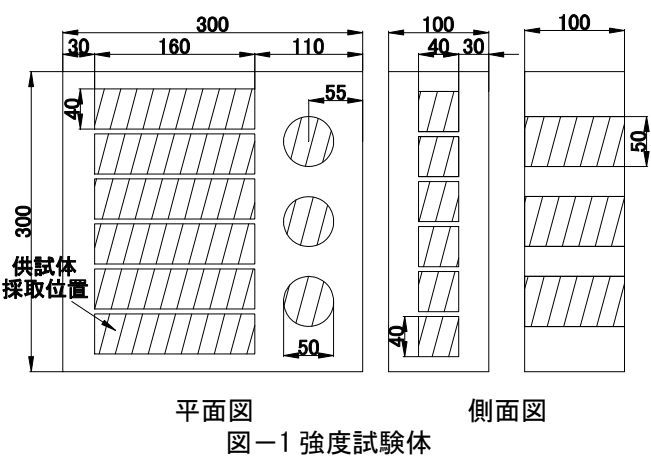
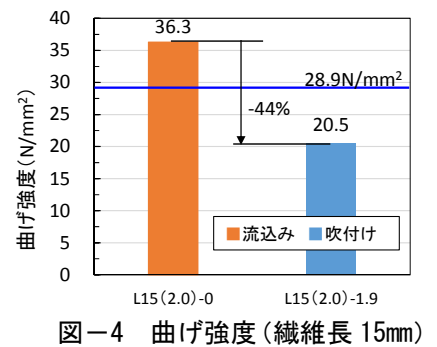
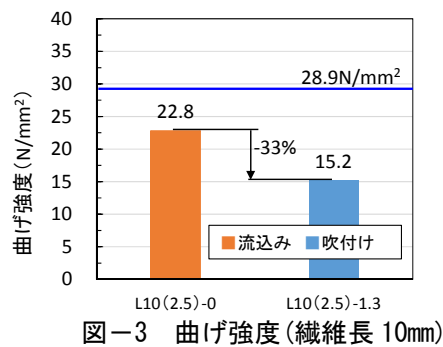
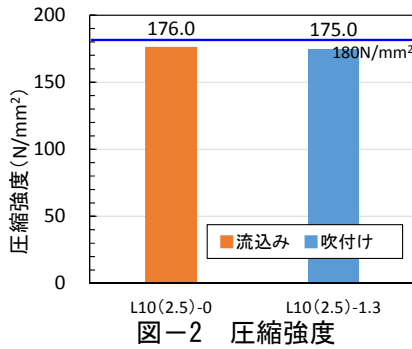


表-1 配合および各種試験結果

	水結合材比 W/B (%)	細骨材 容積比 s/m (%)	単位量(kg/m ³)				繊維長 (mm)	混入率 (vol.%)	フレッシュ試験		硬化 促進剤 (B×%)
			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)	
既往の検討	16.3	34.5	210	1287	886	36.0	10	2.5	315×309	89	2.0
(1) L10(2.5)-0	15.2	26.1	220	1448	662	39.1	10	2.5	304×291	132	—
L10(2.5)-1.3							10	2.5	304×291	132	1.3
L15(2.0)-0							15	2.0	265×261	137	—
L15(2.0)-1.9											1.9

* 凡例: L10(2.5)-1.3は、長さ10mmの鋼繊維を2.5vol.%混入し、硬化促進剤を結合材×1.3%添加したことを意味する

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、吹付け工法、硬化促進剤、鋼繊維
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



3. 実験結果

3.1 施工性

(1) 硬化促進剤の影響(繊維長 10mm)

長さ 10mm の鋼繊維を 2.5vol.% 混入したものをベースとし、吹き付けた際の性状を確認しながら硬化促進剤の添加量を調整した。その結果、添加量 B×1.3% でだれが生じず、こてを用いた均し仕上げが可能であった。

(2) 繊維長の影響

繊維長を 10mm から 15mm に変更し、曲げ強度の向上を図ったケースについても検討を行った。硬化促進剤を B×1.9% とすることで前述の B×1.3% と同様の厚付け性とこて仕上げ性が得られた。吹付け実験においては圧送性を考慮して、ノズルの先端径を 15mm から 18mm と大きくし、吐出量は 0.53m³/h と従来と同等の施工速度が得られたものの、吹付け時に度々ノズルが閉塞し、連続的な吹付けが困難であった。

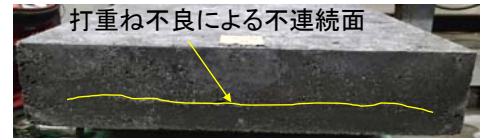


写真-1 脱型後側面

3.2 強度試験結果

(1) 硬化促進剤の影響(繊維長 10mm)

圧縮強度の試験結果を図-2 に示す。硬化促進剤を B×1.3% 添加したものは、材齢 91 日で UFC 指針の特性値 180 N/mm² 程度まで強度発現し、流込みと比較しても強度低下は認められなかった。次に、曲げ強度の試験結果を図-3 に示す。硬化促進剤を添加していないものと比較して、吹付け後は曲げ強度が 33% 低下した。これは、硬化促進剤を添加していないものが流込みで供試体を作製することで、繊維の配向が一様となりやすいのに対し、切出し供試体は吹付けによって繊維の配向がランダムになるという、打込み方法の違いによるものと考えられる。

(2) 繊維長の影響

繊維長 15mm の曲げ強度の試験結果を図-4 に示す。硬化促進剤を添加していないものは 36.3N/mm² と、UFC 指針の特性値を満足した。吹付け後の曲げ強度は 20.5N/mm² と、硬化促進剤を添加していないものに対して 44% 低下する結果となり、配向性以外の要因が考えられた。これは、写真-1 に示すように、平板に打重ね不良による不連続面が生じており、3.1 (2) で述べたように、吹付け時の閉塞によって打重ね不良が生じたと考えられる。

4. まとめ

本検討によって得られた知見を以下に示す。

- ①モルタル配合の調整と硬化促進剤の添加量の最適化によって、従来の課題である吹付け後の圧縮強度を改善した。
- ②繊維長を 15mm とした場合、ノズル先端径が 18mm での吹付けでは打重ね不良による不連続面が生じ、曲げ強度が大幅に低下した。

引き続き、吹付け工法によって UFC 指針の特性値を満足すべく、吹付けノズルの拡大や機械の大型化も視野に入れて更なる検討を進めていく。

参考文献

- 1) 高木ら：吹付け可能な超高強度繊維補強コンクリートに関する実験的研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 17 巻，pp.425-428，2017.
- 2) サクセム研究会：サクセム設計・施工マニュアル（案），2014.