

## 無機系短繊維補強コンクリートの各種性状に関する基礎的検討

戸田建設株式会社 正会員 ○大橋 英紀 田中 徹  
公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 仁平 達也 笹田 航平

## 1. はじめに

著者らはこれまで、無機系材料である玄武岩由来のバサルト繊維に着目し、これを原料とした無機系短繊維補強コンクリート（写真-1）を開発している<sup>1), 2)</sup>。本稿では、実機ミキサで製造しアジテータ車で運搬した（以下、実施工）、無機系短繊維補強コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状について、事前に実施した室内試験と比較検討した。



写真-1 無機系短繊維

## 2. 検討概要

表-1 に使用材料、表-2 に配合表を示す。配合は、鉄道の連続合成桁で採用実績がある鋼繊維補強コンクリートの配合<sup>3)</sup>を参考に、W/C=50%、混入率は1.0Vo1%とした。目標スランプ値は18±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%である。無機系短繊維はバサルト繊維をエポキシ樹脂で被覆したもので、繊維長さ40mm、密度1.83g/cm<sup>3</sup>である。他の有機繊維（1.0 (g/cm<sup>3</sup>) 程度）や鋼繊維（7.85 (g/cm<sup>3</sup>) 程度）と比較して、岩石由来であること等に起因し、コンクリートの密度により近い値となっている。

本検討においては、無機系短繊維以外の材料をミキサへ投入しコンクリートを50秒間練混ぜ、ミキサ上部の投入口から無機系短繊維を1分間で投入した後、45秒間練混ぜ排出し、アジテータ車に積込んだ。無機系短繊維補強コンクリートは1m<sup>2</sup>ずつ製造し、アジテータ車は2台用いた。なお、比較対象とした室内試験では、強制2軸ミキサにより予めコンクリートを練混ぜた後、無機系短繊維を投入し、さらに45秒間練混ぜて製造した。

表-3 に試験項目を示す。試験項目は、フレッシュ性状（3.1）、繊維分散性（3.2）、および硬化性状（3.3）である。フレッシュ性状は、コンクリート練混ぜ直後（0分）、練混ぜ後30分、60分、および90分で経時変化を確認した。また、アジテータ車の排出開始直後、中間時、排出終了直前において試料を採取し、繊維混入率試験（JSCE-F554-2013）を実施した。本繊維はエポキシ樹脂で被覆されていることから、練混ぜ時や運搬時における被覆のはく離や繊維の欠損の有無について、無機系短繊維を無作為に抽出し、繊維表面を光学顕微鏡で観察した。硬化性状は、圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度を測定し、曲げタフネス（JSCE-G552）試験より曲げ強度および曲げ靱性係数を測定した。

キーワード 無機系短繊維補強コンクリート フレッシュ性状 硬化性状 曲げ靱性  
連絡先 〒160-0004 東京都中央区京橋1-18-1 戸田建設(株)技術開発センター TEL 03-3535-2401

表-1 使用材料

分類(記号)	使用材料
水(W)	上水道水(つくば市)
セメント(C)	普通ポルトランド(密度3.15g/cm <sup>3</sup> , 住友大阪セメント製)
細骨材1(S1)	陸砂(行方市産, 表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率2.50)
細骨材2(S2)	砕砂(佐野市産, 表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率3.10)
粗骨材(G)	碎石(2005, つくば市産, 表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率2.69, 実積率60%)
繊維(Fb)	バサルト短繊維(エポキシ樹脂被覆, 繊維長さ40mm, 密度1.83g/cm <sup>3</sup> )
混和剤(Ad)	高性能AE減水剤, ポリカルボン酸系

表-2 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					Ad (C×%)	無機系短繊維	
		W	C	S1	S2	G		混入率 (vol.%)	混入量 (kg)
50.0	52.0	175	350	630	280	863	1.3	1.0	18.3

表-3 試験項目

分類	試験項目	規格等	詳細
フレッシュ性状*1	スランプ	JIS A 1101	目標スランプ: 18.0±2.5cm
	空気量	JIS A 1128	目標空気量: 4.5±1.5%
	コンクリート温度	JIA A 1156	—
繊維分散性	繊維混入率	JSCE-F554-2013	排出開始直後・中間時・排出終了直前で試料採取 目標値: 想定混入率に対して, 各採取時±5%以内, 平均値95%以上
	繊維分散性	—	目視によるファイバーボール等の有無の確認
	繊維観察	—	光学顕微鏡による繊維の表面状態の確認。
硬化性状*2	圧縮強度	JIS A 1108	標準水中養生, 材齢28日
	静弾性係数	JIS A 1149	
	割裂引張強度	JIS A 1113	
	曲げタフネス	JSCE-G552	

\*1: 練混ぜ後, 0, 30, 60, および90分で測定を実施。

\*2: 練混ぜ後30分(荷卸時)に供試体を採取。

### 3. 検討結果

#### 3.1 フレッシュ性状

図-1 にスランプの経時変化を示す。実施工時の外気温は 21℃であった。スランプは、アジテータ車 2 台とも練混ぜ後 0 分（出荷時）から練混ぜ後 90 分まで、 $18 \pm 2.5\text{cm}$  以内の範囲となった。練混ぜ後 90 分では、スランプ値は、1 台目が 18.5cm（低下量 2.0cm）、2 台目は 16.5cm（低下量 3.5cm）となった。空気量は、出荷時（経過時間 0 分）から練混ぜ後 90 分まで目標空気量  $4.5 \pm 1.5\%$  の範囲となった。以上より、実施工における目標スランプ値と目標空気量は目標値を満足することを確認した。

#### 3.2 繊維分散性

表-4 に繊維混入率試験結果を示す。想定混入量と比較して、排出開始直後、中間時、排出終了直前ではいずれも  $100 \pm 5\%$  の範囲内となった。平均値は、1 台目が 99%、2 台目が 100% となり、いずれの値も JSCE-F554-2013 の値を満足した。また、全試料での標準偏差は 0.02、変動係数は 2.3% となり、既往の鋼繊維コンクリートの検討結果<sup>4)</sup>と同様、良好な値となった。なお、試料よりファイバーボールは認められなかった。これらのことから、開発した無機系短繊維コンクリートは、実施工において高い繊維分散性を有していることを確認した。

写真-2 に無機系短繊維の光学顕微鏡による観察結果を示す。練混ぜ後の繊維表面のエポキシ樹脂のはく離や繊維の欠損は確認されなかった。また、目視による観察においても繊維の折れなどは確認されなかった。

#### 3.3 硬化性状

表-4 に各強度試験結果を、図-2 に曲げタフネス試験結果を示す。図は 5 本の試験結果の平均値を示している。圧縮強度、静弾性係数および割裂引張強度において、実施工は室内試験よりもやや大きくなったがばらつきの範囲内であった。曲げ強度と曲げ靱性係数は実施工が  $5.62\text{N/mm}^2$ 、 $5.02\text{N/mm}^2$  となった。室内試験の  $5.58\text{N/mm}^2$ 、 $4.94\text{N/mm}^2$  と概ね同等となり、荷重-変位曲線もほぼ同様となった。以上より、実施工においても室内試験と同様の硬化性状を有していることを確認した。

### 4. おわりに

実機ミキサで製造し、アジテータ車で運搬した、実施工における無機系短繊維補強コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状について、室内試験で製造した場合と比較検討した結果、得られた知見を以下に示す。

- ・コンクリート練混ぜ直後から 90 分経過後において、スランプと空気量は目標値を満足した。
- ・繊維混入率試験の結果、想定混入量との差異はいずれの採取位置でも 5%以内、平均値で 1%程度となり、高い分散性を有すること確認した。
- ・練混ぜ後に無機系短繊維はエポキシ樹脂のはく離や繊維の欠損がないことを光学顕微鏡で確認した。
- ・曲げ強度と曲げ靱性係数は室内試験の値とほとんど差異がなかった。

#### 参考文献

- 1) 仁平達也, 笹田航平, 田中徹, 井戸康浩: バサルト短繊維の耐アルカリ性に関する一考察, 土木学会第 72 回土木学会年次学術講演会, V-547, pp. 1093-1094, 2017
- 2) 笹田航平, 田中徹, 仁平達也, 井戸康浩: 高アルカリ環境を考慮したバサルト短繊維補強コンクリートの引張特性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 1, pp. 339-344, 2018
- 3) 例えば, 南邦明, 下津達也, 齊藤雅充: 北陸新幹線第 4 千曲川橋りょう (連続合成桁) の架設, 橋梁と基礎, pp. 41-47, 2012
- 4) 伊藤始, 岩波光保, 横田弘: 短繊維補強コンクリートの施工性に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No. 1087, 2004

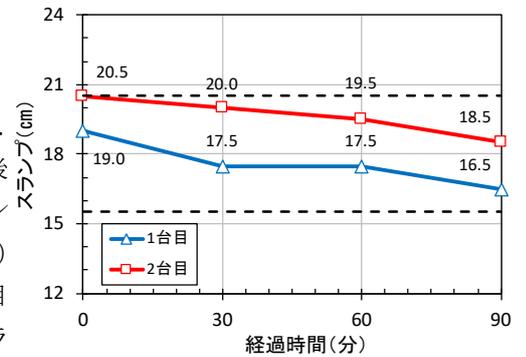
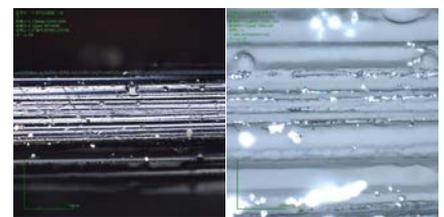


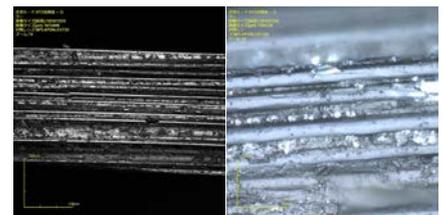
図-1 スランプの経時変化

表-4 繊維混入率試験結果 (単位: %)

	開始直後	中間時	終了直前	平均
1 台目	102	96	100	99
2 台目	102	102	98	100



練混ぜ前の無機系短繊維 (左: 倍率 400 倍, 右: 2000 倍)



繊維混入率試験で取出した無機系短繊維 (左: 倍率 400 倍, 右: 2000 倍)

写真-2 無機系短繊維の顕微鏡による観察

表-5 各強度試験結果

試験項目	実施工	室内試験
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	49.4	45.4
静弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )	29.1	25.7
割裂引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	3.62	3.43
曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	5.62	5.58
曲げ靱性係数(N/mm <sup>2</sup> )	5.02	4.94

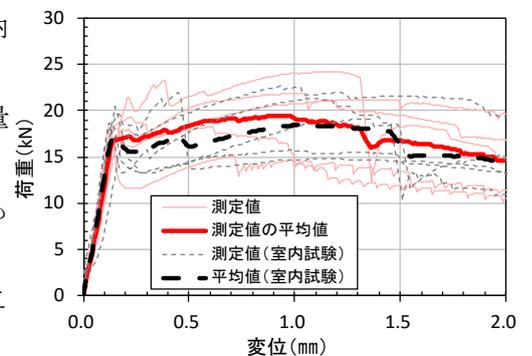


図-2 曲げタフネス試験結果