

## 覆工コンクリートにおける繊維混入率の検討事例

国土交通省 九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 建設監督官 森川 義博  
 (株)大林組 正会員 ○鈴木 成 正会員 後藤 隆之  
 正会員 桜井 邦昭 正会員 西野 俊論

### 1. はじめに

近年、トンネルの覆工コンクリートには、はく落、剥離防止の観点から、非鋼繊維を混入した繊維補強コンクリートを用いる事例が増えている。東九州道（清武～北郷）椿山トンネル新設工事（表-1）においても繊維補強コンクリートの適用区間があり、流動性と材料分離抵抗性確保の観点から、単位セメント量を 340kg/m<sup>3</sup>以上、繊維混入率を 0.3Vol%と規定されている。一方、一般に流通している非鋼繊維において、要領りに準じて設計上必要となる繊維混入率を算出すると 0.15～0.2vol%となる。より合理的にコンクリート構造物を構築し続けていく観点からは、単位水量やセメント量が少なく、曲げ靱性の確保に必要な非鋼繊維を最低限混入したコンクリートを適用することが望ましいと考えられる。

今回、本工事で設計上、繊維補強コンクリートの適用が不要となる区間（全 16BL）において、単位セメント量と繊維混入率を変化させた配合で実施工を行った。本報告は試験練りから実施工における各種試験結果を示す。

### 2. 使用材料および配合

表-2 に使用材料、表-3 に配合条件および配合をそれぞれ示す。使用した非鋼繊維は、一般に流通しているポリプロピレン繊維である。なお本工事の施工位置は山間部に位置し、生コン工場からの運搬時間は約 45 分となることから、高い流動性を長時間保持し、かつ材料分離抵抗性を有する高充填コンクリート<sup>2)</sup>を用いている。

### 3. 試験練り

#### (1) フレッシュ性状試験

実施工に先立ち、室内試験を行った。各種性状試験結果を表-4 に示す。いずれの配合も混和剤の添加量の調整で、目標とする品質を有するコンクリートを製造することができた。

単位水量が同一の場合、セメント量が少ないと材料分離を生じやすくなるため、C340-0.3 配合と C315-0.3 配合でブリーディング試験を行った。結果を図-1 に示す。ブリーディング率は同等であり、本配合においては、セメント量を低減しても十分な材料分離抵抗性を有しているといえる。

表-1 工事概要

工事名称	東九州道(清武～北郷) 椿山トンネル新設工事
工期	平成26年2月4日～平成29年3月30日
工事場所	宮崎県宮崎市大字鏡洲地先
発注者	国土交通省九州地方整備局
工事監理者	宮崎河川国道事務所
用途	2車線道路トンネル(高速道路)
工事数量	・トンネル延長 L=1,100m (掘削断面積:120㎡～140㎡) ・支保パターン:CⅡi、DⅠi、DⅢa ・坑門工:2基 ・残土処理工:1式 ・擁壁工、排水工:1式

表-2 使用材料

種類	記号	材料
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	海砂(粗目), 表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup>
	S2	海砂(細目), 表乾密度2.57g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G1	砕石2005, 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup>
	G2	石灰砕石4020, 表乾密度2.71g/cm <sup>3</sup>
混和剤	SP	高性能AE減水剤
非鋼繊維	PP	ポリプロピレン繊維, 密度0.91g/cm <sup>3</sup>

表-3 配合条件および配合

配合	スランブ (cm)	空気量 (%)	Gmax (mm)	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ靱性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				非鋼繊維 (vol%)
								W	C	S	G	
C340-0.3	21±2	4.5±1.5	40	18	1.4	48.5	46.3	165	340	814	972	0.30
C340-0.2									315	883	956	0.20
C315-0.3	21±2	4.5±1.5	40	18	1.4	52.4	47.8	165	340	814	972	0.30
C315-0.2									315	883	956	0.20
C315-0.15									315	883	956	0.15

キーワード 繊維補強コンクリート、曲げ靱性係数、セメント低減、トンネル覆工

連絡先 〒889-2156 宮崎県宮崎市鏡洲 560-1 (株)大林組 椿山トンネル工事事務所 TEL 0985-55-3026

表-4 試験結果一覧表

配合名	スラブ (cm)		空気量 (%)		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		曲げ靱性係数 (N/mm <sup>2</sup> )		打設数 (BL)
	試験練り	実施工	試験練り	実施工	試験練り	実施工	試験練り	実施工	
C340-0.3	23.0	20.2	4.9	4.5	41.1	35.3	2.43	1.81(36)	92
C340-0.2	-	20.5	-	4.7	-	34.4	-	1.80(2)	2
C315-0.3	22.5	-	3.9	-	38.5	-	2.37	-	-
C315-0.2	22.0	21.0	4.5	4.9	36.1	31.3	1.66	1.66(3)	6
C315-0.15	23.0	20.7	5.4	4.6	36.2	31.3	1.63	1.05(3)	8

※( )内は試験回数を示す

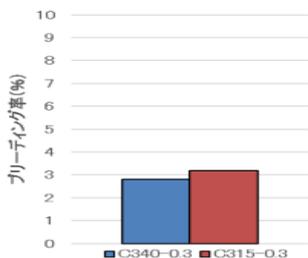


図-1 ブリーディング試験

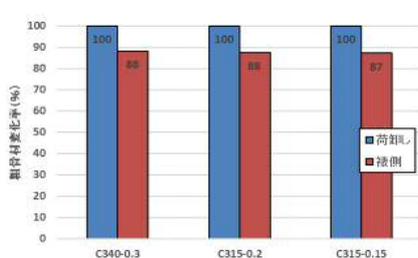


図-2 粗骨材変化率

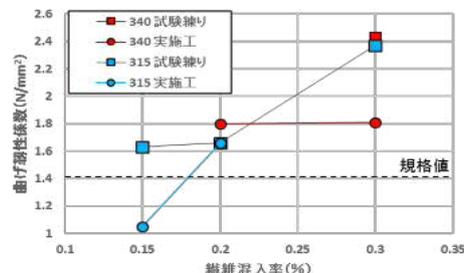


図-3 繊維混入率と曲げ靱性係数の関係

(2) 圧縮強度試験および曲げ靱性試験

圧縮強度は、全ての配合で設計基準強度 (18N/mm<sup>2</sup>) を上回った。曲げ靱性係数についても、最も条件の厳しい C315-0.15 配合で 1.63N/mm<sup>2</sup> となり、要求性能(1.40N/mm<sup>2</sup>)を満たす結果が得られた。以上の結果を踏まえて、C340-0.3、C340-0.2、C315-0.2、C315-0.15 の 4 配合で実施工を行うこととした。

4. 実施工

(1) フレッシュ性状試験

実施工における試験結果(表-4)は、打設回数分の平均値を示す。いずれの配合も荷卸し時のコンクリートの品質は安定しており、品質管理基準を満足した。施工性についても問題はなく、配管閉塞や充填不良等の不具合は生じなかった。材料分離の確認として、荷卸し時と最もコンクリートの流動距離が大きい天端部側での粗骨材量を比較したが、配合の違いによる著しい差異は認められなかった(図-2)。

(2) 圧縮強度試験および曲げ靱性試験

圧縮強度は、試験練り時と同様に全て設計基準強度を上回ったが、試験練り時と比較すると、10%強の強度低下が見られた。曲げ靱性係数も同様に低下傾向が見られ、C315-0.15 配合は要求性能を満足しないものとなった。試験練り時は練り上げたコンクリート全量を用いて供試体を作製するが、実施工では生コン車から排出される一部のコンクリートで供試体を作製するため、品質にばらつきが生じ易いことが一因として考えられる。

試験練りと実施工における繊維混入率と曲げ靱性係数の関係を図-3に示す。繊維混入率を同一とし、単位セメント量のみ低減した場合においては、曲げ靱性係数はほぼ変化しない。一方、セメント量が少ない場合に繊維量を低減させていくと、曲げ靱性係数が低下しやすい傾向にあり、特に少ない場合は、実施工でのバラつきが顕著に生じる傾向にある。このことから、単位セメント量に関しては低減できる可能性があるが、繊維混入率は実機によるバラつきを考慮すると 0.3vol%とする現状の規定は妥当な数値であるといえる。

5. おわりに

より合理的に高品質なトンネル覆工を構築する観点から、従来の配合条件を見直し、セメント量および繊維量を低減した繊維補強コンクリートで実施工を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 単位セメント量を低減した場合においても、設計基準強度 18N/mm<sup>2</sup> を満足し、流動性および材料分離抵抗性を有したコンクリートを製造、打設できる。
- (2) 実機による品質のばらつきを考慮すると、設計上算出される繊維混入率に対して、1.5~2 倍程度の安全率を見込んでいる現状の規定値は妥当といえる。

参考文献

1) 東・中・西日本高速道路：トンネル施工管理要領(繊維補強覆工コンクリート編)  
 2) 鈴木 成・永松 雄一・黒川 尚義・西野 俊論・西浦 秀明・桜井 邦昭：高充填コンクリートの諸地域への展開、トンネル工学研究発表会講演集 26,1-6,2016