

## 二次覆工に適用する鋼繊維補強高流動コンクリートの特性に関する一考察

日本道路公団 酒井 松男 岡澤 祐三  
株式会社大林組 正会員・安田 敏夫 正会員 赤井 知司

## 1. はじめに

近年、トンネル工事において、新支保材料の採用により、支保の軽減、および施工の急速化を図る試みが見られる。長崎自動車道・長崎トンネル工事では、2次覆工において高流動コンクリートを採用し、覆工の薄肉化（厚さ 20cm）を図った<sup>1)</sup>。一方、日本道路公団では、地山等級Dパターンにおいては、長期耐久性の向上、コンクリートのはく離、はく落の防止を目的として、鋼繊維補強コンクリートの適用を図っている<sup>2)</sup>。本工事においても等級Dとなる地山があるため、鋼繊維の使用が不可欠となるがトンネル覆工において高流動コンクリートをベースに鋼繊維を混入した事例は少ない。本論文は、本工事において薄肉二次覆工に鋼繊維補強高流動コンクリートを適用するに当たり行った実験結果より、鋼繊維補強高流動コンクリートの特性についての一考察をまとめると同時に、今後の有用性を示唆したものである。

## 2. ベースコンクリートの配合

地山等級Dでの覆工コ

表 - 1 コンクリートの品質基準（地山等級D）

ンクリートの品質基準を  
表 - 1 に示す。型枠脱型時  
（15時間後）の圧縮強度は、  
事前解析を行ない1

| 最大粗骨<br>材寸法<br>(mm) | U型間隙<br>通過性試験<br>(mm) | スラン<br>プフ<br>ロー<br>(mm) | 空気量<br>(%)   | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |     | ひび割れ<br>抵抗性              | 曲げ<br>タネ                        |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|------------------------------|-----|--------------------------|---------------------------------|
|                     |                       |                         |              | 15時間                         | 28日 |                          |                                 |
| 20                  | 300<br>(障害なし)         | 650 ± 50<br>(保持90分)     | 4.5 ±<br>1.5 | 1.0                          | 35  | 良好なひび割<br>れ抵抗性を有<br>すること | 道路公<br>団基準<br>による <sup>2)</sup> |

N/mm<sup>2</sup>以上とした。

鋼繊維混入前の高流動コンクリート

表 - 2 配合表（ベースコンクリート）

（以降ベースコンクリートと称す）の配  
合は、試験練りを行い選定した（表 - 2）

| W/(C+EX)<br>(%) | s/a<br>(%) | 単 位 量 （上段：kg/m <sup>3</sup> 、下段：m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ） |              |             |              |              |              | SP<br>(P×%) |
|-----------------|------------|------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|                 |            | W                                                                | C            | EX          | LF           | S            | G            |             |
| 50.4            | 49.2       | 175<br>0.175                                                     | 317<br>0.100 | 30<br>0.010 | 216<br>0.080 | 745<br>0.290 | 822<br>0.300 | 2.0         |

C:普通ポルトランドセメント, EX:膨張材, LF:石灰石微粉末  
SP:高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）, P=C+EX+LF

<sup>1)</sup>。高流動コンクリートの種類は、粉体  
系とし、ひび割れ対策として、膨張材を

使用した。なお、この配合は、Dパターン以外の一般部（設計厚は20cm）の覆工に適用したものである。

## 3. 鋼繊維補強高流動コンクリート

## 3.1 試験概要

鋼繊維補強高流動コンクリートの配合選定試験概要を以下に示す。鋼繊維として、φ0.8×30mm（短繊維と称す）とφ0.8mm×60mm（長繊維と称す）の2種類を混合して使用した。

1)鋼繊維の混入量を0.5vol%（外割）とし、フレッシュ性状を満足する単位粗骨材容積、および2種類の鋼繊維の混合比率を求めた。2)上記1)で選定した単位粗骨材容積、鋼繊維の混合比率においてW/Cを3水準とし、フレッシュ性状、および硬化性状により最終的な配合を選定した。

## 3.2 鋼繊維の混合比率の決定

鋼繊維は、実施工では出荷予定の市中プラントで投入することができないため、現場ヤードで投入するものとした。よって、本試験では、実施工を考慮し、ベースコンクリート練混ぜ後30分に鋼繊維を投入した。

試験は、ベースコンクリートの単位粗骨材容積、鋼繊維混合比率（短繊維対長繊維）を1)0.25m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>、1対1、2)0.30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>、1対1、3)0.30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>、2対1の3種類とし、フレッシュ性状を確認した。スランプフロー試験結果を図-1に示す。1)の配合では鋼繊維投入直後のスランプフローロスが大きく、また、鋼繊維の分散

キーワード：2次覆工、鋼繊維、高流動コンクリート、膨張材

〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インタ-シティB棟

TEL.03-5769-1324 FAX.03-5769-1979

性も悪く施工不可と判断した。2)の配合では、鋼繊維投入後も所定のスランプフローは確保できたが、繊維が粗骨材の流動を阻害し、モルタルの先走りが認められた（分離していた）。3)の配合では、良好な流動性を確保できた。一般に鋼繊維を使用する場合、単位粗骨材容積を減少させるが、高流動コンクリートでは、鋼繊維を攪拌により分散させるためにはある程度、粗骨材量が必要となる場合があることが判明した。

### 3.3 水セメント比の決定

単位粗骨材容積  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、短繊維対長繊維 = 2 対 1 において、水セメント比（膨張材はセメントの一部とする） $50.4 \pm 3.0\%$ の3種類（ただし、単位水量  $170 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、単位粉体容積  $0.19 \text{ m}^3/\text{m}^3$  は一定）について、フレッシュ性状、硬化性状を確認した。スランプフロー試験結果を図 - 2 に、 $W/C=47.0\%$ での曲げ試験結果（4 供試体）を図 - 3 に示す。スランプフローは、いずれも 90 分まで基準値を満足したが、 $W/C=50.4$ 、 $53.4\%$ の 90 分後の性状は、 $W/C=47.0\%$ と比べると、若干分離傾向にあった。硬化性状では、圧縮強度はすべての配合で基準値を満足した。曲げじん性試験では、曲げじん性係数が、 $W/C=47.0$ 、 $50.4$ 、 $53.4\%$ で  $3.12$ 、 $2.92$ 、 $2.91 \text{ N}/\text{mm}^2$  となり、 $W/C$  が小さくなると曲げじん性係数は若干大きくなった。また、 $W/C=50.4$ 、 $53.4\%$ で各 1 本ずつ規定荷重 - たわみ線を下回るものが見られた。単位粉体容積が一定のとき、 $W/C$  を変更することにより、フレッシュ性状、曲げタフネスが変動することが判明した。

### 3.4 配合の選定

以上の結果、本工事における鋼繊維補強高流動コンクリートの配合を表 - 3 とした。なお、実施工に至るまでに現場ヤードにセントルを模擬した型枠（充てん厚さ  $10 \text{ cm}$ ）による充てん性実験、および、試験施工区間におけるモデル施工を行い実設備でのフレッシュ性状、圧送性、充てん状況を確認した。

### 4. 終わりに

本論文では、鋼繊維補強（膨張性）高流動コンクリートをトンネル 2 次覆工に適用するに当たり行った実験成果を示した。検証の結果、1)単位粗骨材容積量、短繊維、長繊維の比率が流動性に影響を与えること、2)単位粉体容積が一定のとき水セメント比を変えることにより、流動性、曲げタフネスが変動することが明らかになった。なお、長崎トンネルでは全長  $2,560 \text{ m}$  中、D パターン約  $500 \text{ m}$  についてこの配合により施工を行った。全スパンとも品質基準をすべて満足し、良好な結果を得た。今後、これらの結果は、同種工事での配合計画に資するものと考えられる。

[参考文献] 1) 安田敏夫ほか：膨張材を用いた高流動コンクリートのトンネル 2 次覆工への適用に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、第 6 部門、pp415-416、2002.9

2) 日本道路公団：トンネル施工管理基準（案）「鋼繊維補強覆工コンクリート」、1999.12

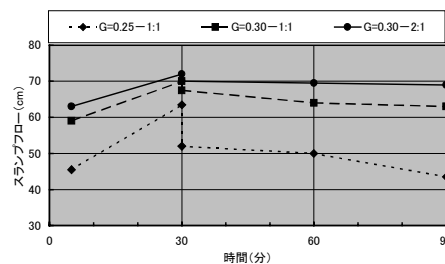


図 - 1 スランプフロー試験結果  
(単位粗骨材容積と鋼繊維の混合比率)

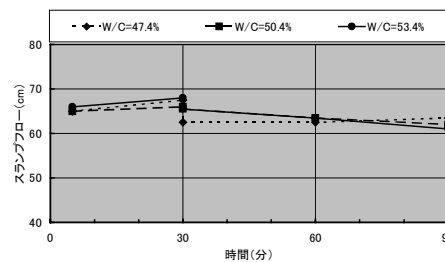


図 - 2 スランプフロー試験結果  
(水セメント比)

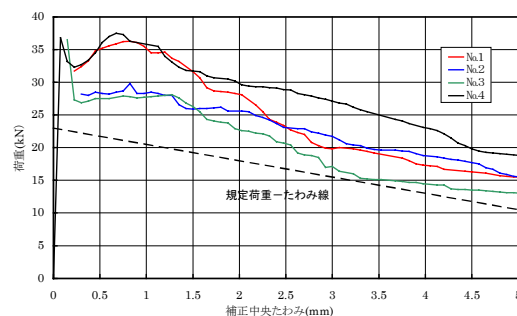


図 - 3 曲げじん性試験結果( $W/C=47.4\%$ )

表 - 3 配合表（鋼繊維補強高流動コンクリート）

| W/(C+EX)<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (上段: $\text{kg}/\text{m}^3$ 、下段: $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) |              |             |              |              |              |         | SP<br>( $P \times \%$ ) |
|-----------------|------------|----------------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------------------------|
|                 |            | W                                                              | C            | EX          | LF           | S            | G            | SF      |                         |
| 47.4            | 49.2       | 175<br>0.175                                                   | 339<br>0.107 | 30<br>0.010 | 197<br>0.073 | 745<br>0.290 | 822<br>0.300 | 40<br>- | 1.8                     |

SF: 鋼繊維 短繊維 ( $\phi 0.8 \times 30 \text{ mm}$ ) : 長繊維 ( $\phi 0.8 \times 60 \text{ mm}$ ) = 2:1 (外割)