

SFRC 覆工の管理値による施工管理方法の適用性

中日本高速道路(株)南アルプス工事事務所
清水建設(株)関東支店土木部
清水建設(株)地下空間統括部

田丸 浩行
正会員○木村 厚之
正会員 楠本 太

1. はじめに

押出し性地山のトンネル覆工は、将来の不確かな土圧などに対するリング構造耐力に余力を付加するもので、早期閉合トンネルの高耐力、高靱性化を図り、供用中トンネルの健全性を担保するとしている。このことから、覆工コンクリート施工において、密充填のための吹上げコンクリート圧力作用下での打止め、コンクリート強度発現後の脱型枠など、管理値による覆工コンクリート品質管理が重要と考えられている。

本報告では、打設ブロック間での施工時判断のばらつきを少なくし、施工状況を数値で可視化する「吹上げ覆工コンクリート打止め・脱型枠強度管理システム」を開発、SFRC 覆工への適用性を試験施工で確認し、有効性を実証した。

2. トンネル構造概要

地山強度比が 0.1 を下まわる押出し性地山の早期閉合トンネルとして Ec10 を設計し、トンネルの安定を確保している (図-1、表-1)。この Ec10 の吹付けコンクリートには、最大 24N/mm² の圧縮応力が

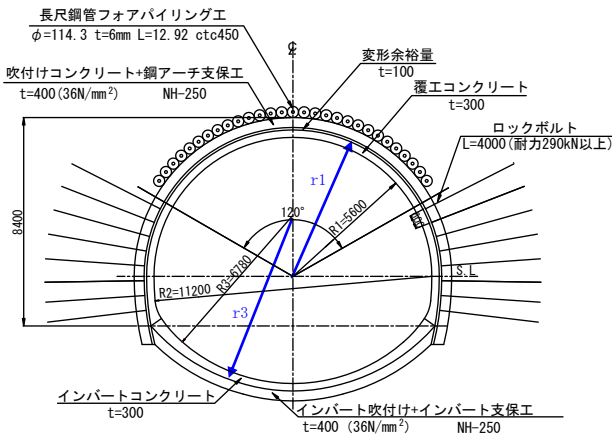


図-1 Ec10 構造概要 (r3/r1=1.2)

表-1 早期閉合トンネル Ec10 構造諸元

一掘進長 (m)		1.00
変形余裕量 (cm)		10
トンネル 支保 構造	吹付け厚 (cm)	40
	圧縮強度 (28day)	36N/mm ²
	吹付け補強	—
	鋼アーチ支保工	NH250
	ロックボルト耐力	290kN
早期 閉合 構造	ロックボルト本数	L=4m (16 本)
	早期閉合部材	上下半と同様
	構造半径比 (r3/r1)	1.20
覆工	早期閉合距離 Lf (m)	3~4
	巻厚	30cm (全周)
	設計基準強度, 補強	30N/mm ² , SFRC

発生し、土被り高で 82m 相当の押出し性土圧の作用が推定された¹⁾。

この状態で施工される多心円リング構造の覆工に過大な扁土圧が作用すると曲げ圧縮破壊などが予想されるので、トンネルの余力と剥落防止として、支保耐力の約 1.6~1.8 倍を考慮し、覆工巻厚 30cm、設計基準強度 f' = 30N/mm²、鋼繊維混入率はコンクリート体積比 0.5%とする鋼繊維補強コンクリートを採用する。

3. コンクリート配合

SFRC 覆工は、八之尻トンネル全断面早期閉合 Ec 区間の延長 500m 間で採用を計画している。

覆工コンクリート種別は、T3-3(S)である。セメントは普通ポルトランドセメント、混和材は高性能 AE 減水剤 (SP)、鋼繊維サイズは φ0.65×35 である。コンクリート配合とフレッシュコンクリート実機試験値を表-2 に示す。鋼繊維混入率が 0.5%の SFRC の曲げ靱性は、曲げ靱性試験で確認する。

表-2(1) コンクリート配合 (T3-3(s))

材齢 28 日 圧縮強度 (N/mm ²)	粗骨材 最大寸 法 (mm)	水結合 材比 W/C (%)	粗骨材 率 s/a (%)	単位粗 骨材絶 対容量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維混 入率 (%) (kg/m ³)	混和剤 SP (C×%)
					W	C	S	G		
30	20	47.3	52.0	318	175	370	904	849	0.50 3.925	0.700

表-2(2) フレッシュコンクリート試験結果

ベースコンクリート		鋼繊維補強コンクリート	
スランブ (cm)	空気量 (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)
19.5	3.0	18.5	4.5

キーワード：押出し性地山、覆工、鋼繊維補強コンクリート、打止め圧力、脱型枠強度
連絡先：東京都中央区京橋 2 丁目 16-1, Tel. 03-3561-3887, Fax. 03-3561-8672

4. 管理システム適用性試験概要

フレッシュコンクリート圧力と温度をリアルタイムに測定、データ処理、モニター出力する覆工コンクリート打止め圧力・脱型枠強度管理システム²⁾のSFRC 覆工への適用性を試験する。このシステムによるフレッシュコンクリート打止め判定位置は、棲枠側天端部防水シート表面を基本とし、中央と棲枠側の2箇所に検知センサーを配置、測定し、これの妥当性を確認する。離隔を10cmとする棲枠側2箇所の検知センサーデータの再現性から、検知センサーのSFRC仕様フレッシュコンクリートへの適用性を確認する(図-2)。

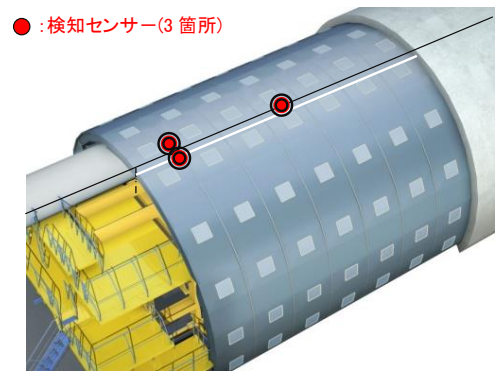


図-2 検知センサー位置概要

5. 打止め判定方法

ハンマー等で棲型枠を打撃した際の打音の変化と天端部の棲型枠間隙から逸出させているブリージング水がセメントペーストに移行した時点で、密充填したものと判断する経験的な判断方法を基本とし、トンネル中心天端部防水シート表面に貼り付けた検知センサーからのフレッシュコンクリート圧力が打止め圧力管理値を超えた時点を打ち止めとする。

6. 脱型枠判定方法

脱型枠に必要な若材齢コンクリート強度は、骨組構造解析で計算し、打止め時からの若材齢コンクリート積算温度からの強度推定値と比較することで、脱型枠の可否を判定する。この若材齢コンクリート強度は、積算温度から有効材齢(等価材齢)を算定し、これからコンクリート強度を推定する方法³⁾と現地での若材齢強度試験で得られる積算温度 $M(=\sum(t+10))$ 、 t はコンクリート温度(°C)とコンクリート強度 σ (N/mm²) の関係式の $\sigma=10.9481\log(M)-23.646$ を用いて推定する。

7. 測定結果と考察

吹上げフレッシュコンクリート圧力と温度の経時変化、積算温度とコンクリート圧縮強度推定値の経時変化から、以下のことがわかる。

- (1) 棲枠側打止め時コンクリート圧力は、0.004N/mm²であり、覆工中央の0.011N/mm²より小さく、棲枠側での打止め判定は可能である。
- (2) 棲枠側位置での10cm離れの測定値は同等であり、SFRC仕様フレッシュコンクリートの検知センサーによる測定は可能である。

(3) 脱型枠時コンクリート強度は、等価材齢からのものは2.3N/mm²、現地の若材齢強度試験からは6.4N/mm²となり、脱型枠時必要コンクリート強度1.1N/mm²の6倍以上の強度発現で脱型枠が行われている。

今後は、打止め圧力と脱型枠強度によるSFRC 覆工施工管理を継続し、その成果を報告する予定である。

- 1) 佐藤淳ほか：早期閉合トンネル挙動特性と力学パラメータに関する考察，トンネル工学報告集，I-18，2014。
- 2) 小沢裕介ほか：覆工吹上げコンクリート打止め管理に関する考察，第69回年次学術講演会，JSCE，VI，2014。
- 3) マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説，(社)日本建築学会，pp.9-10，2008年。

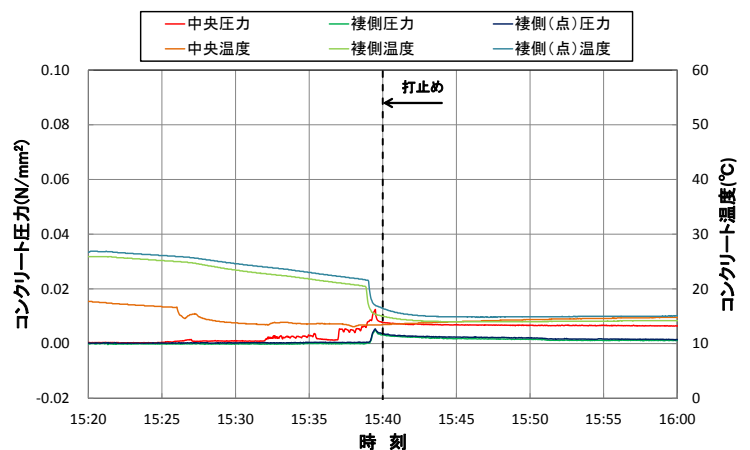


図-3 コンクリート圧力と温度経時変化（打止め前後）

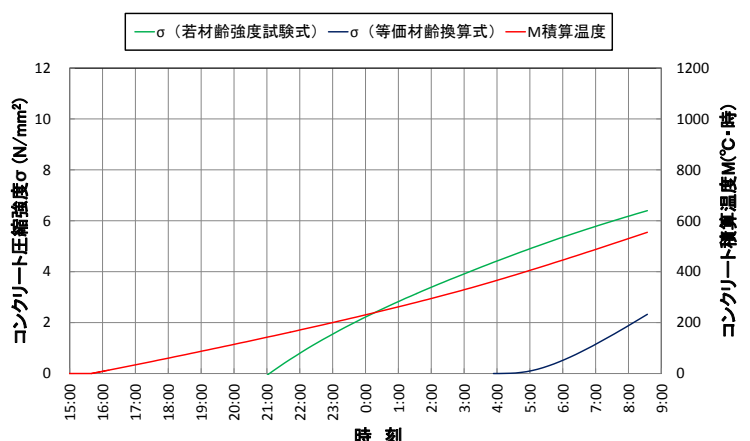


図-4 コンクリート強度と温度経時変化（脱型枠時）