

早期閉合トンネル SFRC 覆工の安定性

中日本高速道路(株)南アルプス工事事務所

田丸 浩行

清水建設(株)関東支店土木部

正会員○谷村 浩輔

清水建設(株)地下空間統括部

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、剥落防止機能を有し、将来の不確かな土圧などに対するリング支保構造耐荷力に余力を付加するもので、多心円早期閉合トンネルの高耐力、高靱性化を図り、トンネルの健全性担保とされている。しかしながら、覆工コンクリートは、多心円リング支保構造の力学的安定が確保されている状態で施工されるが、リング支保構造形状や支保性能、作用土圧状態などの違いが覆工の安定性に及ぼす影響は不明で、不確かであるので、覆工コンクリート応力を測定し、トンネルの安定性を確認した。

2. 早期閉合トンネル構造概要

押出し性地山の早期閉合トンネルとして、代表的な Ec1, Ec10, EcL を設計し、トンネルの安定を確保している(図-1, 表-1)。これらの吹付けコンクリートには、最大 25N/mm^2 の圧縮応力が発生し、土被り高で 82m 相当土圧の作用が推定された¹⁾。この状態で施工される覆工に、過大な扁土圧などが作用すると曲げ圧縮破壊などの発生が懸念され、トンネル耐荷力余力の付加と剥落防止として、支保耐荷力の約 1.6~1.8 倍を考慮し、覆工巻厚 30cm, 設計基準強度 30N/mm^2 , 鋼繊維混入量 0.5% の SFRC 鋼繊維補強コンクリートを採用する。

表-1 早期閉合トンネル構造諸元

早期閉合パターン		Ec1	Ec10	EcL
想定地山強度比 cf (-)		0.1～0.3	<0.1	<0.1
土圧土被り相当高 H(m)		60～80	100	120
一掘進長(m)		1.00		
変形余裕量(cm)		10	10	20
トンネル 支保 構造	吹付け厚(cm)	30	40	30+20
	圧縮強度(28day)	36N/mm ²		
	吹付け補強	—		
	鋼アーチ支保工	NH200	NH250	H250+H200
	ロックボルト耐力	170kN	290kN	
	ロックボルト本数	L=4m(8)	L=4m(16)	
閉合 構造	早期閉合部材	上下半と同様		
	構造半径比(r3/r1)	1.50	1.20	1.10
覆工	巻厚 cm(全周)	30		40
	設計基準強度, 補強	30N/mm ² , SFRC(0.5%vol.)		

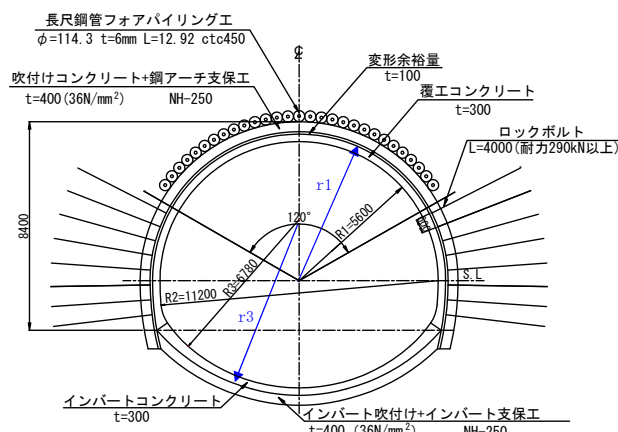
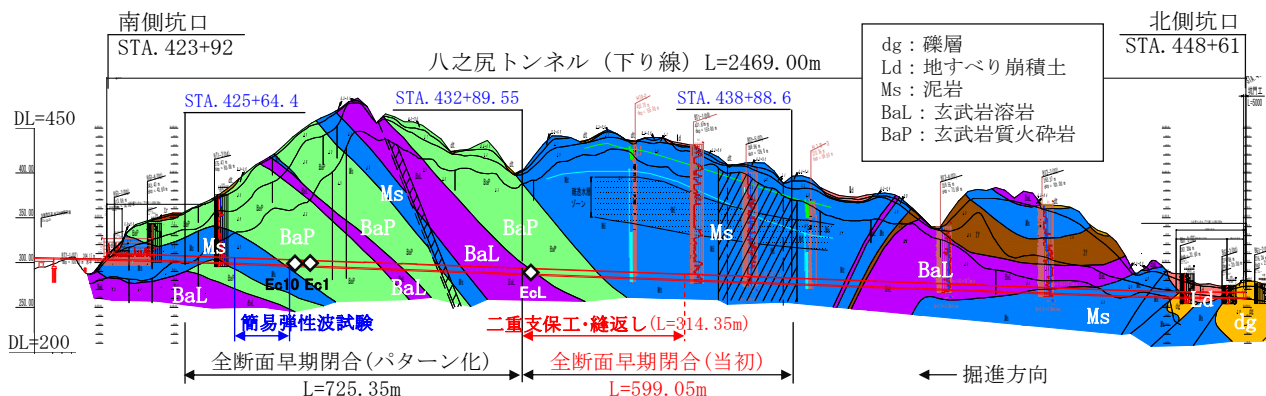
図-1 早期閉合 Ec10 パターン ($r3/r1=1.2$)

図-2 覆工コンクリート応力測定位置

キーワード：押出し性地山、早期閉合トンネル、覆工、鋼繊維補強コンクリート、耐荷力

連絡先：東京都中央区京橋 2 丁目 16-1, Tel.03-3561-3887, Fax.03-3561-8672

3. コンクリート配合

SFRC 覆工は、全断面早期閉合 Ec 区間の延長 1,300m 間で実施した(図-2)。

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 $\phi 0.65 \times 35$ である。コンクリート配合を表-2 に示す。

表-2 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

4. 測定結果の評価

Ec10 の覆工コンクリート応力測定結果の経時変化は、図-3 に示す。

覆工コンクリート軸応力は、いずれのパターンにおいても、土圧作用に起因する明確な変動はみられなく、コンクリート硬化過程でのコンクリート物性変化の影響を受けて微増減するものと推察され、概ね収束傾向にある。

応力レベルでは、設計基準強度の $30\text{N}/\text{mm}^2$ に対して覆工耐荷力に十分な余裕を有し、早期閉合トンネルの力学的安定は確保されている。

5. 早期閉合トンネルの安定性

覆工コンクリート軸力分布を図-4 に示す。直近 10 日間のコンクリート軸応力変化から 1 月当たり応力増分に換算したものを図-5 に示す。これらから、以下のことがわかる。

(1) 上半三心円二重支保 EcL の覆工コンクリート軸応力の最大は $0.9\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮で、最も小さい。 $r3/r1=1.5$ の上半単心円標準支保 Ec1 は $2.1\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮で、最も大きい。早期閉合トンネル形状を円形に近づけた $r3/r1=1.2$ の上半単心円 Ec10 は $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮で、滑らかに分布する。

(2) インバート軸応力は、最大 $0.7\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮であり、アーチ部の 10~45% である。

(3) 覆工コンクリート応力増分は、施工 6 月後軸応力が最も小さい EcL が最も大きく $0.31\text{N}/\text{mm}^2/\text{月}$ の増加である。Ec1、Ec10 は $0.07\text{N}/\text{mm}^2/\text{月}$ と小さく、概ね収束しており、覆工コンクリート物性の経年変化、多心円リング支保工応力や覆工厚変化と土圧の相互作用などが覆工コンクリート応力に及ぼす影響の解明は、今後の課題と考えられるが、地山強度比が 0.1 を下回る押出し性地山における早期閉合トンネルは、耐荷力に十分な余裕を有していることが示された。

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。

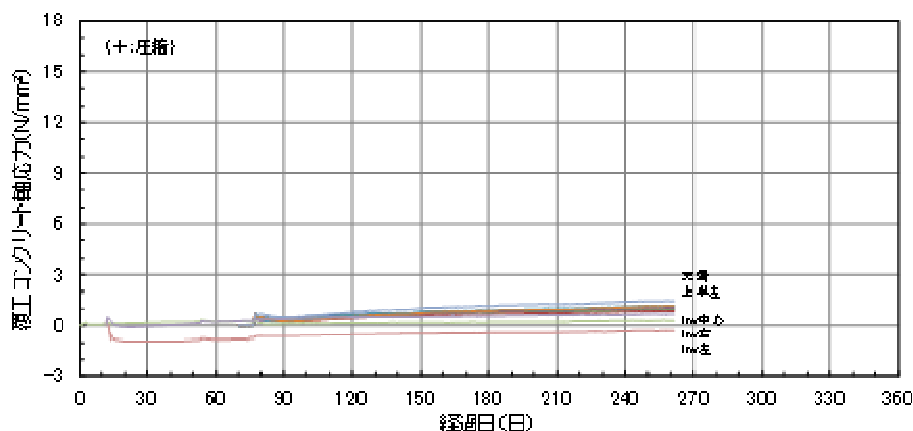


図-3 覆工コンクリート軸応力経日変化(Ec10)

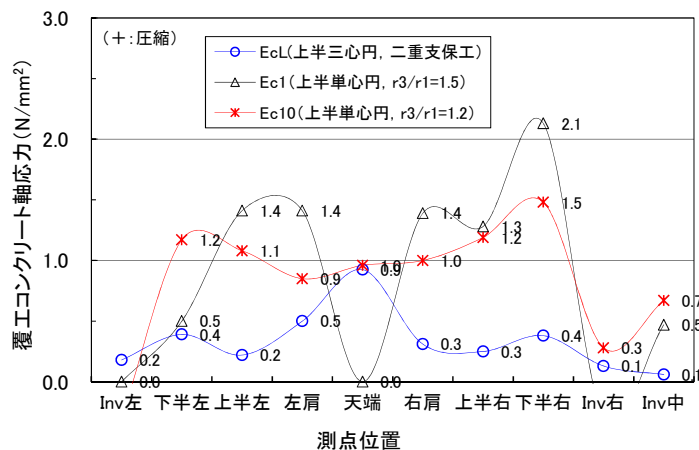


図-4 覆工コンクリート軸応力分布

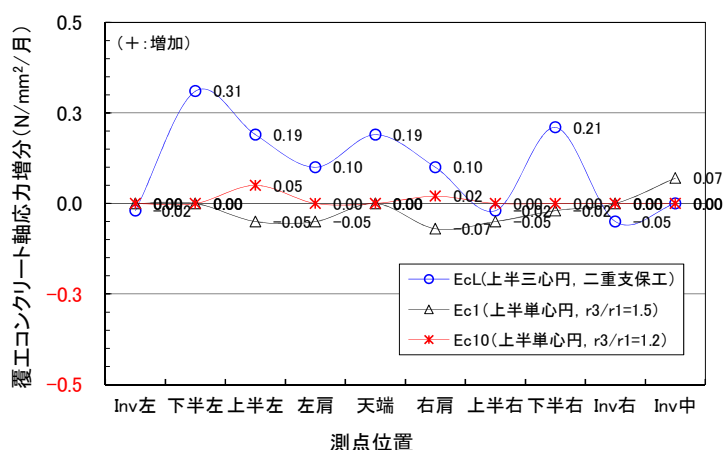


図-5 覆工コンクリート軸応力増分(換算値)