

大土被り小断面早期閉合トンネルの作用土圧と安定性

国土交通省中部地方整備局飯田国道事務所

渡部 達宏

清水建設(株)名古屋支店土木部 正会員

八木田茂生

清水建設(株)地下空間統括部 正会員

○楠本 太

1. はじめに

長野県と静岡県を結ぶ国道474号三遠南信自動車道の内、県境に位置する青崩峠トンネルは延長約5kmであり、中央構造線に近接する。静岡側の池島トンネル調査坑は、将来の避難坑にあたり全長1,239mである。本調査坑では、地山強度比が2を下まわる低強度地山の出現が予想されていた。脆弱区間では、吹付けコンクリート作用土圧を理論式で推定、算定した必要耐荷力からリング構造の小断面早期閉合トンネルを設計し、地山性状に対応しながら採用した。今回は断層部で採用した標準、拡幅断面における、リング構造支保工の作用土圧と力学安定性について報告する。

2. 地質概要

地質は、斑状マイロナイト、泥質変成岩、珪質変成岩からなり、脆弱な断層区間が多数分布する(図-1)。主要断層部での一軸圧縮強度は、 V_p から換算すると $qu=0.4\sim0.5\text{N/mm}^2$ が推定され、土被り高が $h=400\text{m}$ を超える箇所では、地山強度比 cf は0.1を下まわる押出し性地山の出現が予想されていた。

3. 調査坑構造

脆弱区間でのリング構造支保工 Ecp1 は、トンネル掘削で再配分される半径方向土圧 σ_r が、掘削面からの距離 L の二乗に反比例しながら低下するとする理論式を用いて掘削影響域を推定し、これを想定土圧の土被り相当高 H^1 として必要支保耐荷力を算定することで、その諸元を定めている(表-1)。

4. 全断面早期閉合工法と計測工概要

調査坑はタイヤ方式とし、標準断面と90m間隔に拡幅断面を設けている。脆弱な断層区間では、リング構造の全断面早期閉合を採用し、4mを全断面掘削後に一度に2mを閉合する交互施工とした。早期閉合距離は $L_f=4\text{m}$ を基本とした。計測工A断面は10m間隔に設け、計測工B断面は、主要断層毎に1~2断面を設け、トンネル作用土圧、耐荷力余裕、安定性を確認し、リング構造の適用性を照査する(図-2)。

表-1 調査坑早期閉合トンネル構造諸元

地山等級・支保パターン*1	Ecp1	Ecp1-L	Ecp2
想定地山強度比 $cf(-)$	<2	<2	<0.5
想定土圧の土被り相当高 $H(\text{m})$	40	40	60
一掘進長 (m)	1.00	1.00	1.00
変形余裕量 (cm)	10	10	10
支保構造	吹付け厚 (cm)	15	20
	圧縮強度 $(28\text{day}, \text{N/mm}^2)$	36	
	鋼アーチ支保工	H100	H125
	ロックボルト工	$L=2\text{m}, 110\text{kN} (@1.0\text{m})$	
早期閉合構造	早期閉合部材	上・下半と同様	
	構造半径比 $(r3/r1)$	1.5	1.5
	早期閉合距離 $L_f(\text{m})$	4	4
覆工	巻厚 (cm)	20	20

*1: Ecp1, Ecp2 はタイヤ方式標準断面早期閉合パターン、Ecp1-L は拡幅断面早期閉合パターンをあらわす。

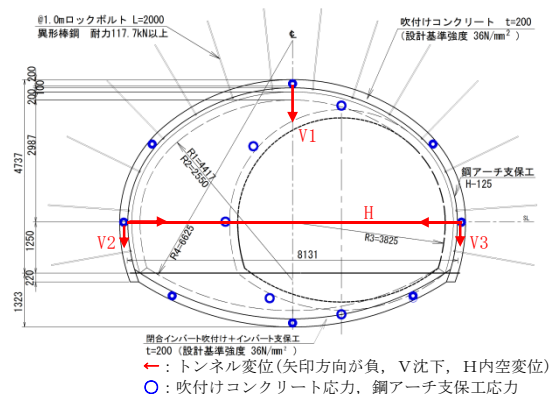


図-2 拡幅 Ecp1-L パターン計測工測点概要

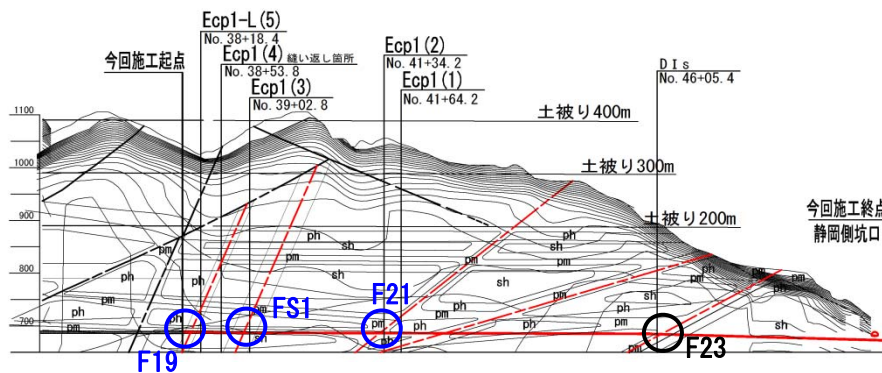


図-1 地質縦断と計測工B位置(静岡側調査坑)

キーワード：低強度地山、小断面トンネル、土圧土被り相当高、必要支保耐荷力、全断面早期閉合

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1, Tel. 03-3561-3887, Fax. 03-3561-8672

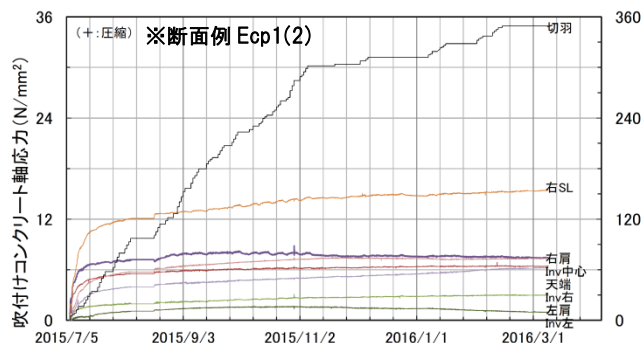


図-3 吹付けコンクリート軸応力経時変化 Ecp1(2)

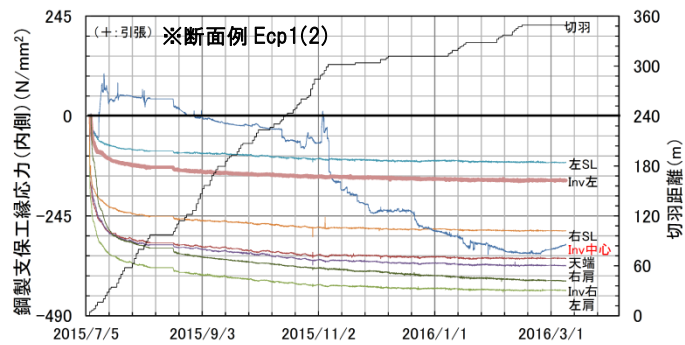


図-4 鋼製支保工縁応力経時変化 Ecp1(2)

5. 計測結果と考察

①吹付けコンクリート軸応力は、切羽が約 30m(5D)進むと収束傾向を示し、リング構造の内圧力で安定する(図-3)。

②鋼製支保工縁応力は降伏強度を超え、曲げ圧縮応力状態で微増する。インバート中心では、早期閉合時に曲げ変形の影響を受け、内空凸の曲げ引張り応力で推移した後、切羽が 120m 進むと曲げ圧縮状態となり、不安定となる(図-4)。吹付による拘束が働き、変状は生じていない。①、②の計測結果は、他の早期閉合断面にも共通してみられる傾向である。次に全体の傾向を示す。

③早期閉合断面では、全て変位は-15mm 以下であり、安定が確保できている。多心円トンネル形状の違いによる影響はない(図-5)。

④吹付けコンクリート軸応力の最大は、Ecp1-L の左肩部に発生し、24.4N/mm² の圧縮、設計基準強度の 2/3 以下で安定する(図-6)。

⑤リング構造軸力に対する吹付けコンクリート軸力分担は 50~90%

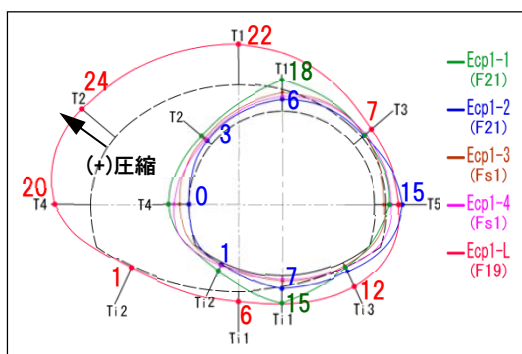


図-6 吹付けコンクリート軸応力

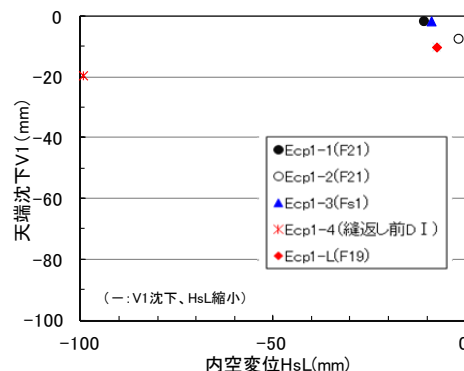


図-5 早期閉合トンネル変位

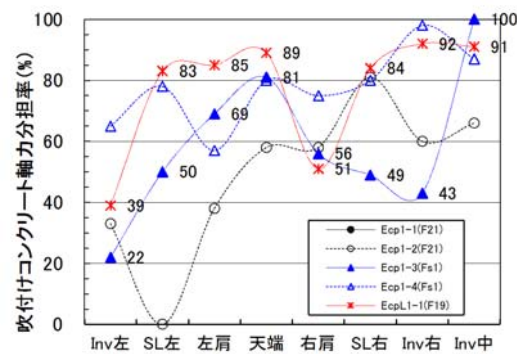


図-7 吹付けコンクリート軸力分担

であり、地山物性分布と多心円トンネル形状による影響を大きく受けて、場所によって分布は異なる(図-7)。

④地山強度比が 0.5~1.0 の低強度地山における早期閉合パターン Ecp1, Ecp1-L は、鋼製支保工は降伏強度を超えるが、吹付けコンクリートによる健全な多心円リング構造が形成されているので、トンネルは安定する。本調査坑で適用できることが分かった

⑤理論式¹⁾ $(\gamma h - q_u) \cdot r_1^2 / (r_1 + H)^2 < 0.01 \text{ N/mm}^2$ を用いて、地山強度 q_u 、土被り高 h より土被り相当高 H を推定する。吹付けコンクリート軸力 N_c からの $H (=N_c / r_1 / \gamma)$ と地山強度比 $cf (=q_u / \gamma / h)$ の関係を示すと、図-8 のようになる。これから、Ecp1, Ecp1-L の地山強度比 cf は 0.5~1.0 が推定される。 $cf=0.5$ では $H=40\text{m}$ に相当し、想定土圧と同等となる(表-1)。

今後は、土被り高 400m 以上の押出し性地山における、リング構造早期閉合断面の適用を検討する。適切な支保構造の選定には、地山強度 q_u の推定から、妥当な地山強度比 cf を評価することが課題となる。

1) 楠本太, 西村和夫, 城間博通: 早期閉合トンネル力学パラメータに関する考察, JSCE, 第 66 回年次学術講演会, VI395, 2011

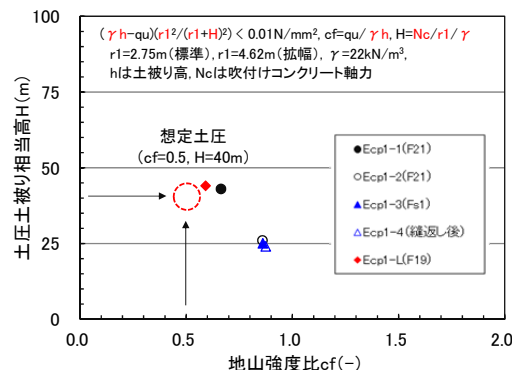


図-8 cf と土圧土被り相当高 H