

早期閉合トンネルの変形特性に関する考察

(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室
(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室
清水建設(株)地下空間統括部

正会員 ○小川 澄
中野 清人
正会員 楠本 太

1. はじめに

近年、地山不良区間においてトンネルの変形を抑制するために、早期に切羽近傍(1D前後)で吹付けコンクリートやインバート支保工により断面閉合を行う施工方法(以下、早期閉合という)の実績が多くなっている。今回、早期閉合を行うトンネルの基本パラメータのうち、支保構造半径 $r1$ に対するインバート部構造半径 $r3$ の比であらわす構造半径比($r3/r1$)、早期閉合距離 Lf が早期閉合するトンネルの変形挙動におよぼす影響について、数値解析的手法で検討を行ったものである。

2. 力学モデル概要

地山は、Mohr-Coulomb の破壊規準を降伏条件とする完全弾塑性体でモデル化する。吹付けコンクリートは弾性体の薄肉シェル要素、鋼アーチ支保工は弾性体のはり要素でモデル化する。ロックボルトは、考慮しない。長尺先受け工は、地山の改良体として等価剛性で考慮する。長尺鏡ボルトは、軸方向の付着特性を考慮したケーブル要素でモデル化する¹⁾。

3. 解析モデル概要

3次元 Finite Difference Method によるトンネル掘削解析とし、FLAC3D-ver.3.0 を使用する。解析モデルの土かぶり高は、 $h=100\text{m}$ である。地山強度比($=qu/\gamma h$)は、地山等級別に一軸圧縮強度 qu 、単位体積重量 γ を定めて算定する。変形係数は、 $E=100\cdot qu$ で換算する。地山物性値は表-1 に示し、側圧係数は $K_0=1.0$ とする。トンネル支保構造と早期閉合構造仕様は表-2 に示し、掘削補助工仕様は表-3 に示す。補助ベンチ付き全断面掘削早期閉合の解析モデル概要は、図-3 に示す¹⁾。

4. トンネル変形特性

解析ケースは、地山強度比が 0.2、0.5、1.0、2.0 の 4 タイプを基本とし、これに対して早期閉合無し、早期閉合距離 5m と 8m の 12 ケースである。早期閉合トンネルの構造半径比は、2.98 とする。

表-1 地山物性値

地山等級	E	D	D	D
地山強度比(-)	0.2	0.5	1.0	2.0
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20	21	21	22
変形係数 E (N/mm ²)	50	100	200	500
ポアソン比 ν (-)	0.40	0.35	0.35	0.35
粘着力 C (N/mm ²)	0.1	0.2	0.2	0.4
内部摩擦角 ϕ (deg)	30	30	35	35

表-2 トンネル支保構造と早期閉合構造仕様

支保部材		E	D	D
吹付けコンクリート	厚さ (cm)	30	25	20
	f_{ck} (N/mm ²)	36	36	36
鋼アーチ支保工	サイズ	H-250	H-200	H-150
	材質	SS400	SS400	SS400

表-3 掘削補助工仕様

補助工名	サイズ (m, mm, mm)	範囲・間隔
長尺先受け工	L=12.5 ϕ 114.3 t=6	120° p=45cm
長尺鏡ボルト	L=12.5 ϕ 76 t=8	120° p=1.5m

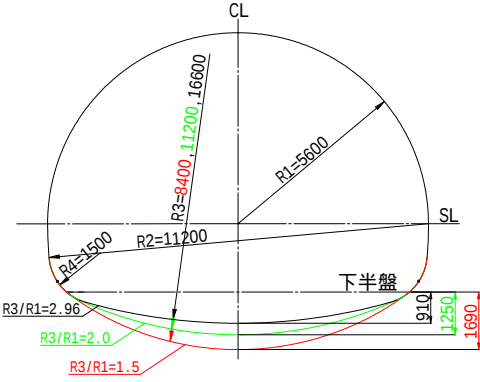


図-1 トンネル内空断面

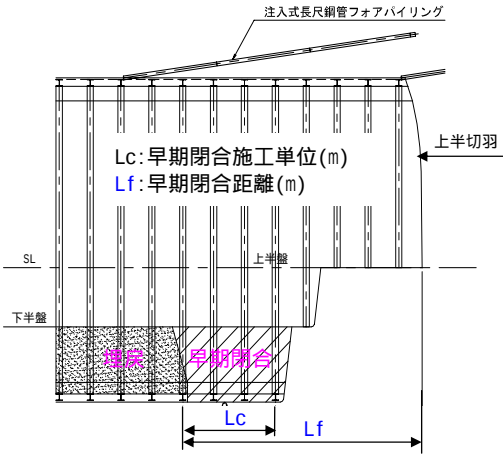


図-2 早期閉合トンネルパラメータ

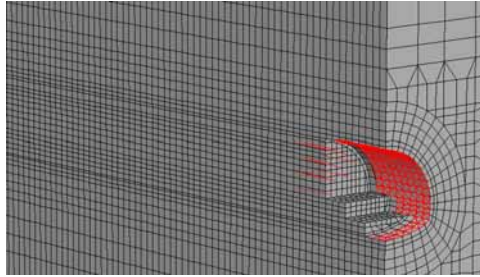


図-3 解析モデル概要 (Lf=8m)

キーワード：早期閉合，早期閉合距離，構造半径比，FDM 解析
連絡先：東京都町田市忠生 1-4-1，Tel.042-791-1629，Fax.042-791-2380

地山強度比別の天端沈下 V ,上半(SL+1.5m)水平変位 $H1$ は 図-4 , 図-5 に示す . 先行変位率は , 天端沈下と上半水平変位の最終値 (V , $H1$) に対する上半切羽通過時 (V_0 , $H1_0$) の比で定義し , 図-6 に示す . この結果より , 以下の傾向が確認できる .

天端沈下 , 上半水平変位とも地山強度比=2.0 では , 早期閉合の有無による差は見られない .

天端沈下 , 上半水平変位とも地山強度比=1.0 以下では , 早期閉合の有無による差が見られ , 閉合距離の違いによる効果は上半水平変位の方が天端沈下より大きく表れる .

上半水平変位の先行変位率では , 地山強度比が小さくなるにつれて大きくなり , 早期閉合後のトンネル変位は大きく抑制される .

5. 基本パラメータの特性

解析モデルは , 地山強度比=0.2 の地山等級 E である . 解析ケースは , 構造半径比 2.98 と 1.5 , 早期閉合距離 5m と 8m の組合せで定めた . 解析結果の天端沈下 V と上半水平変位 $H1$ の経距変化は , 図-7 , 図-8 に示す .

構造半径比の違いによる変位抑制の効果は , 天端沈下の方が上半水平変位より大きく表れる . また , 閉合距離の違いによる変位抑制の効果は , 構造半径比を小さくするより変位抑制効果は大きく表れる .

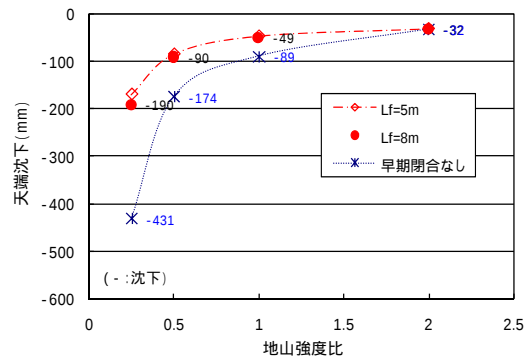


図-4 天端沈下 V

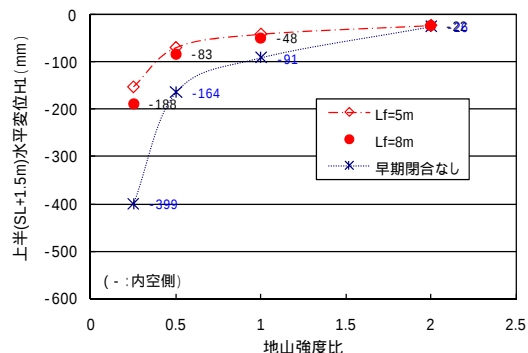


図-5 上半水平変位 $H1$

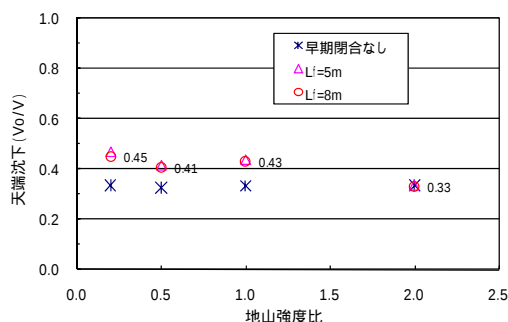


図-6(1) 先行変位率(天端沈下 , V_0/V)

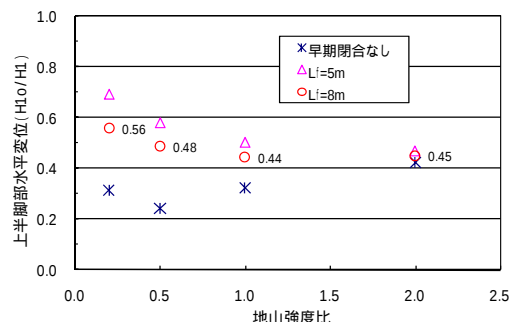


図-6(2) 先行変位率(水平変位 , $H1_0/H1$)

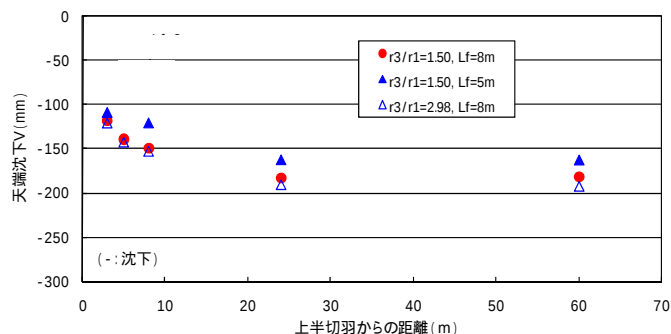


図-7 天端沈下 V 経距変化

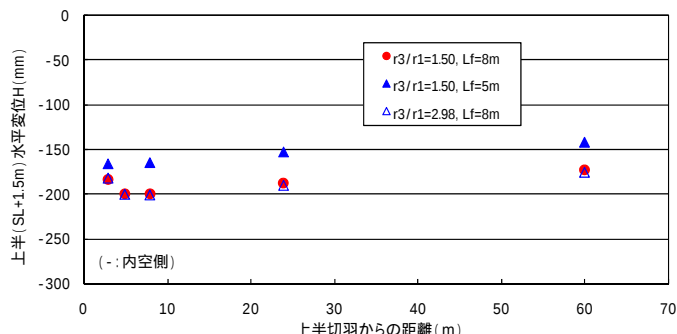


図-8 上半水平変位 $H1$ 経距変化

6. おわりに

今後もインバートの形状や閉合距離などがトンネルの力学的安定におよぼす影響を調査する予定である .

参考文献 1) 中野清人ほか: 早期閉合トンネルの現状と挙動特性, トンネル工学報告集, pp.151-162, 2010.