

早期閉合構造形状が早期閉合トンネル安定性に及ぼす影響

中日本高速道路(株)南アルプス工事事務所 正会員 佐藤 淳
 中日本高速道路(株)南アルプス工事事務所 前田 崇文
 清水建設(株)地下空間統括部 正会員 ○楠本 太

1. はじめに

地山強度比が 0.3 を下まわる押出し性地山のトンネル施工では、多心円トンネル構造の影響があらわれるようになり、トンネルの安定確保と過大变位の抑制は、重要課題である。これに対して、安定形状の曲面切羽による全断面早期閉合工法が採用されるようになり、施工を確実にしている。しかしながら、早期閉合トンネルの力学パラメータである早期閉合構造半径比 r_3/r_1 がトンネルの安定性や変形挙動に及ぼす影響は不明であるので、解析的手法を用いて定量的評価を試みた。

2. 検討方法

3D-Finite Difference Method によるトンネル掘削解析である。解析コードは、FLAC3D-ver3.0 を使用する。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。主要支保部材の吹付けコンクリートは、弾性体の薄肉シェル要素で、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、掘削補助工は、力学モデルに考慮しない。

3. 解析モデル

地山強度比は $cf=0.2$ 、吹付けコンクリート作用土圧の土被り相当高は $H=80\text{m}$ を想定する。早期閉合トンネル構造は、解析値評価点とともに、図-1 に示す。トンネル支保構造と早期閉合構造部材の吹付けコンクリート ($t=400$) と鋼製支保工 (NH-250) は、同一仕様である。切羽形状は、鏡掘込み長を $L_s=2L$ とする曲面切羽¹⁾である。3次元解析モデルは、図-2 に示す。土被り高は、 $h=150\text{m}$ である。地山物性値は、表-1 に示す。

4. 施工法と解析ステップ

早期閉合距離を $L_s=2\text{m}$ 、早期閉合施工単位を $L_c=1\text{m}$ とする全断面早期閉合工法である¹⁾。解析ケースは、 $r_3/r_1=1.5$ と 1.2 の 2 ケースである。トンネル支保部材は、全断面掘削切羽直後の 1m 間

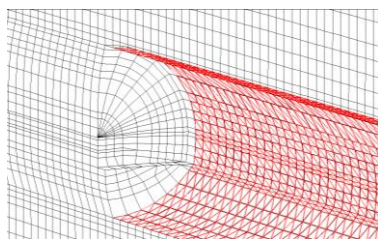


図-3 早期閉合ステップ

に考慮し、この状態で全断面を 1m 掘削する (図-3)。早期閉合部材は、 $L_c=1\text{m}$ 間に考慮し、この状態で掘削荷重を載荷する。これを 100 回繰り返す、トンネル進行方向 100m を掘削する。

5. 解析結果と考察

キーワード：押出し性地山、3D-FDM 解析、全断面早期閉合、早期閉合構造半径、トンネル挙動

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

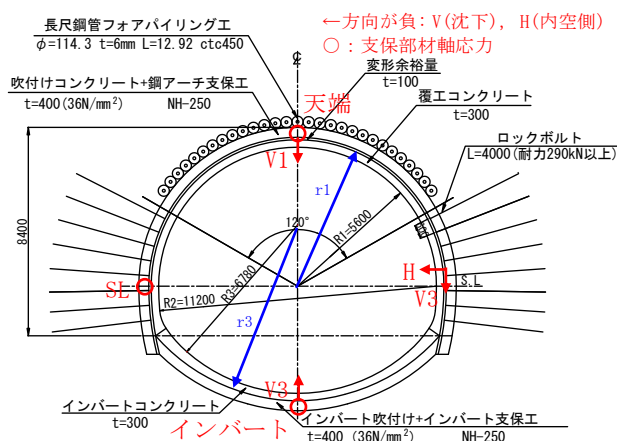


図-1 早期閉合トンネル Ec10 構造概要

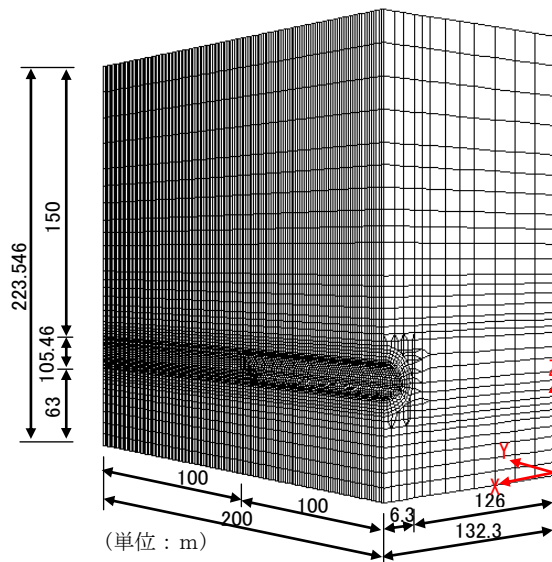


図-2 3次元解析モデル概要

表-1 地山物性値(地山等級 E)

単位体積重量 γ (kN/m ³)	20
変形係数 E (N/mm ²)	60
ポアソン比 ν (-)	0.45
粘着力 C (N/mm ²)	0.1
内部摩擦角 ϕ (deg)	20

解析結果から以下のことがわかる。

(1) 鉛直変位 V_1 , V_2 , V_3 は, $r_3/r_1=1.2$ の方が

小さく, r_3/r_1 の最小化は, 鉛直変位の抑制に有効である。側部 $SL+1.5m$ の水平変位 H は, 同等レベルであり,

r_3/r_1 の違いによる有意な差はない。

(2) トンネル中心鉛直 ($y-z$) 面の一掘進時切羽鏡面トンネル軸方向変位増分 $\Delta \delta y$ の変形モードは, 同様であり, 下半盤位置を除くと, $r_3/r_1=1.2$ の方が若干小さい。

(3) 切羽前方の下半盤から上側の切羽周辺地山塑性域の広がり, r_3/r_1 の違いによる差はない。切羽後方では, $r_3/r_1=1.2$ の方が小さく, r_3/r_1 の最小化は, 早期閉合構造周辺地山の塑性域抑制に有効で, 地山の安定性は高まる。

(4) $r_3/r_1=1.5$ の吹付けコンクリート軸応力は, $5.3 \sim 14.1 \text{ N/mm}^2$ の圧縮で分布する。 $r_3/r_1=1.2$ では $5.3 \sim 9.5 \text{ N/mm}^2$ の圧縮となり, r_3/r_1 の最小化により, インバート部は緩和され, 多心円リング構造の安定性は高まる。

(5) 鋼アーチ支保工軸応力は, $r_3/r_1=1.2$ の方が大きく, $209 \sim 269 \text{ N/mm}^2$ の曲げ圧縮であり, r_3/r_1 の最小化は鋼アーチ支保工軸応力が大きくなる。

(6) 吹付けコンクリート軸力の支保構造全軸力に対する分担率は, $r_3/r_1=1.5$ は $0.54 \sim 0.72$, $r_3/r_1=1.2$ は $0.54 \sim 0.61$ となり, r_3/r_1 の最小化は, 吹付けコンクリート分担率を低下させ, 鋼製支保工の軸耐荷力を活用することになり, 吹付けコンクリート耐荷力に余裕を持たせる。

6. まとめ

$L_s=2m$ とする全断面早期閉合の解析結果から, 多心円リング構造の力学的安定が確保されていれば, 早期閉合構造半径比 r_3/r_1 の違いによる力学挙動に及ぼす影響は小さいことが示された。今後は, 地山強度比との対応で, 合理的な早期閉合トンネルの安定形状を検討する予定である。

1) 佐藤淳, 楠本太, 土門剛, 西村和夫: 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, 2014.

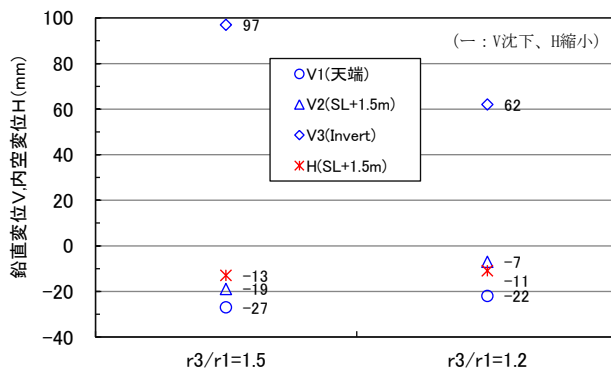


図-4 トンネル変位

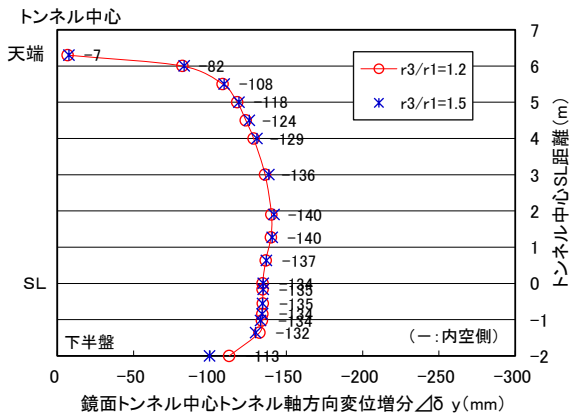


図-5 トンネル中心軸方向切羽変位増分

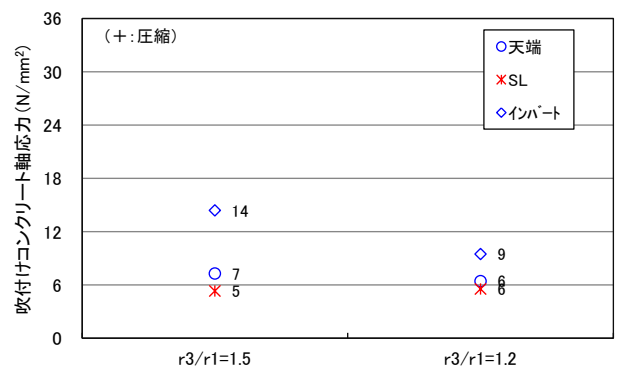


図-6 吹付けコンクリート軸応力

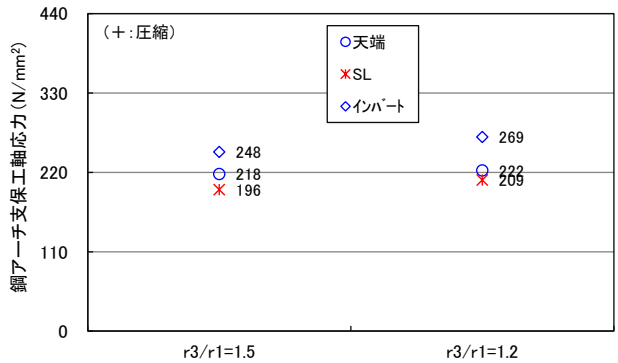


図-7 鋼アーチ支保工軸応力

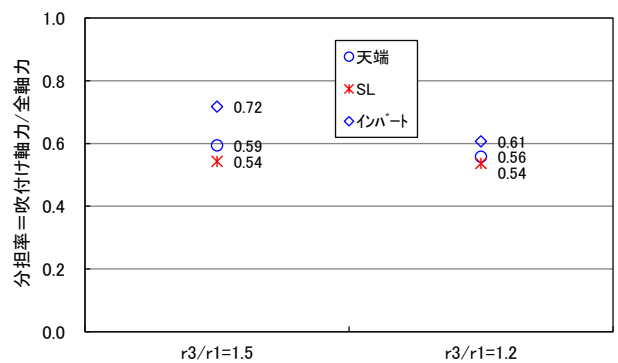


図-8 吹付けコンクリート軸力分担

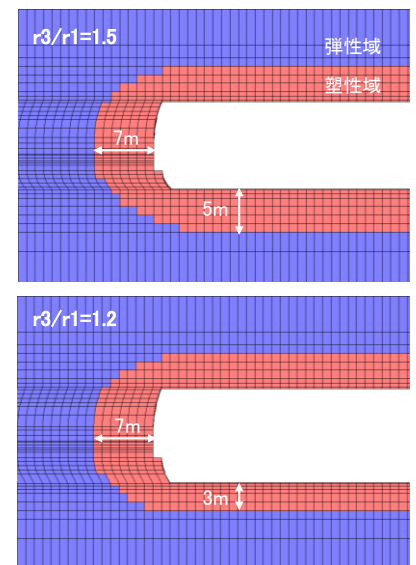


図-9 塑性域分布