切羽形状が山岳トンネルの変形挙動に及ぼす影響

- 中日本高速道路㈱南アルプス工事事務所 細野 泰生
- 清水建設㈱地下空間統括部 正会員 楠本 太

1.はじめに

地山強度比が1.0を下まわる強度不足や押出し性地山のトンネル施工に,補助ベンチ付き全断面工法の早期閉合が 採用されるようになり,自立安定が困難な山岳トンネル施工を確実にしている.しかしながら,このような脆弱地 山の直切羽は,頻繁に崩壊し,不安定であるので,鏡止めボルトなどの鏡補強工が併用される場合が多く,切羽 形状の違いや掘削補助工の有無が早期閉合トンネルの切羽やトンネル構造体の変形挙動に及ぼす影響は不明であるの で,数値解析的手法を用いて調べた.

2.トンネル構造概要

地山強度比は 0.2 とし, 土かぶり高は h=150m である.トン 補着造半径比は(r3/r1)=1.5 とする. トン 補造(Ec)概要は,図-1 に示す.解析に用い る地山物性値は,Ko=1.0 とし,表-1 に示す.トン 补支保構造と早期閉合構造の断面性能値は,表-2 に示す.吹付けコンクリートの圧縮強度は 36N/mm²,鋼 アーチ支保工は SS400 の従来鋼である.

3.解析モテル概要

3次元 Finite Difference Method(FLAC3D)によるトンネル掘削解析とする.地山は,Mohr-Coulombの

降伏規準にしたがう完 全弾塑性体とする.トン 礼支保構造と早期閉合 構造部材の吹付けコン別 ートは弾性体の薄肉シェル 要素,鋼アーチ支保工とイ ンパ・ート支保工は弾性体 のはり要素でモデル化す る.ロッ/ボルトは,力学モ デルに考慮しない.掘削 補助工の長尺先受け工



図-2 早期閉合トンネルパラメータ

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.

解析ケースは,3掘削パターンである(表-3).早期閉合距離はLf=9m, 早期閉合施工単位はLc=3m とする(図-2).解析ステップは,上・下 半を1m単位に2m施工する.支保部材は,掘削の1m後方で考慮

する.早期閉合は,上半切羽から 6m 後方で 3m を掘削,早期閉合部材で断面閉合するが,上・下半 3m 時と同時 キーワート: :押出し性地山,FDM 解析,切羽形状,早期閉合,変形挙動 連絡先:〒400-0405 山梨県南アルプス市下宮地 445-5, Tel.055-283-8888, Fax.055-283-5700



図-1 トンネル構造(Ec, r3/r1=1.5)

表-1 入力地山物性值

| 地山等級区分 | E | | | |
|-----------------------------|------|--|--|--|
| 地山強度比(-) | 0.2 | | | |
| 単位体積重量 (kN/m ³) | 20 | | | |
| 変形係数 E(N/mm ²) | 60 | | | |
| ポアソンヒヒ (-) | 0.40 | | | |
| 粘着力 C(N/mm ²) | 0.2 | | | |
| 内部摩擦角 (deg) | 20 | | | |

表-2 トンネル断面性能(支保と早期閉合部材)

| 吹付けコンクリート | 厚さt(cm) | 30 | |
|-----------|-----------------------------|---------|--|
| | f'ck(N/mm²) | 36 | |
| | 弾性係数 Ec(N/mm ²) | 6000 | |
| 鋼アーチ支保工 | 規格・サイズ | NH-200 | |
| | ヤング 率 Es(N/mm²) | 2.1×10⁵ | |
| | 断面積 As(cm ²) | 63.53 | |
| | 断面 2 次モーメン I(cm⁴) | 4,720 | |

表-3 解析ケース(掘削パターン)

| 掘削パターン | ベンチ長(m) | | 閉合 | 切羽 | 鏡 |
|------------|---------|----|----|----|-----|
| | 上半 | 下半 | 距離 | 形状 | ホルト |
| 補助ベンチ付き全断面 | 3 | 3 | 9 | 直 | - |
| 全断面 | 6 | | 9 | 直 | - |
| 鏡扩 | 6 | | 9 | 直 | あり |

施工する.補助工は, 上・下半 9m 進行毎に 12m でモデル化する. 4.トンネル変位

天端沈下V(mm 切羽から 1,3,6,9m, 1D,2D,5D位置の天端と インバート中心の鉛直変位 は図-3 に示し,上半水 平変位は図-4 に示す. また,補助ベンチ付き全 Ĩ 断面の変位に対する全 5m, SL+ 断面の変位比は、図-5 变位H に示す。トン礼変位の最 水平 終値 に対する早期閉 合直後。の閉合時変 位比は,図-6に示す。



これらから,以下の ことが分かる.

・全断面掘削の鉛直変位は,補助ベンチ付き全断面の約 1.1 倍 多く変位する.上半水平変位は,約1.04倍となり,切羽形状の 違いによる影響は,鉛直変位の方が大きい.また,早期閉合以 前の天端沈下とインバート中心鉛直変位は,最大1.2倍変位する.

・鏡ボルトで補強した全断面掘削は,全断面掘削に比べて約2% 小さくなり,若干の変位抑制効果が現れる.

・収束時変位に対する早期閉合直後の変位比は,天端沈下は 83%, インバート中心鉛直変位は 96%, 上半水平変位は 98%となり, 切羽形状の違いに関係なく,早期閉合効果が大きく現われる.

5. 切羽鏡の押出し変位

トンネル中心天端から下方位置の鏡の押出し変位は、図-7に示す. こらから,上半切羽鏡の押出しは,全断面掘削が最も大きく変 位し,天端から 3m 位置で,補助ベンチ付き全断面の約1.1 倍大き く変位する.これより下方の 4m 位置からは,鏡ボルトより補助ベ ンチ付き全断面の方が,鏡押出し変位の抑制効果が高い.

6. 先行变位

収束時トン、 いっていまでの に対する切羽通過時 o の先行変位比は,図 -8に示す.これから,先行変位比は,鉛直変位より水平変位の方 が,補助ベンチ付き全断面より全断面掘削の方が大きくなり,早期 閉合効果が大きく現われる.

7.おわりに

今後は、試験施工をとおして、切羽形状の違いや掘削補助工の 有無が早期閉合トンネルの切羽やトンネル構造体の変形挙動に及ぼす影響 を明らかにする予定である.





図-7 切羽鏡の押出し変位

