切羽形状が早期閉合トンネルの安定性に及ぼす影響

中日本高速道路㈱南アルプス工事事務所	正会員	○佐藤	淳
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

切羽鏡面の不安定な岩塊や岩盤ブロックなどを取り除き,鏡止めボルトなしで,切羽鏡の安定性を高めた 曲面切羽が採用されるようになった¹⁾.しかしながら,掘削工法や切羽形状の違いが切羽鏡を含めた早期閉 合トンネルの力学的安定性に及ぼす影響は不明であるので,解析的手法で調べた.その結果,切羽周辺を含 めた早期閉合トンネルの力学特性が明らかになった.

2. 検討方法

解析的手法は、3次元 Finite Difference Method によるトンネル掘削解析とする.解析コードは、 FLAC3D-ver.3.0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.トンネル支保構 造の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,掘削補助工は,考慮しない.

R 開音フォアバイリングエ (11.3 1 世間 20 では55 (11.3 2 ビロー 12 29 ロート (300 (300/mm⁻) MF-200 (1200 (17) 170 KIRLE) (1200 (17) 170 KIRLE

地山強度比(-)

単位体積重量γ(kN/m³)

内部摩擦角 ϕ (deg)

3. 解析モデル

早期閉合トンネル構造は、図-1に示す.支保構造と早期閉合構造は 同一仕様とし、r3/r1=1.5 である.解析領域は、トンネル構造体と作用 荷重の対称性を考慮し、トンネル中心を対称軸とする半断面とする. 土被り高は h=150m である.解析に用いる地山物性値は、表-1 に示す.

4. 解析ケースの設定

掘削工法は,全断面掘削と補助ベンチ付き全断面掘削の早期閉合と する.切羽形状は,直平面と曲面半径をrf/r1=1.7とする曲面の2タ イプである.解析ケースは,曲面切羽による全断面掘削,直平面切羽 による全断面掘削,補助ベンチ付き全断面掘削の3ケースである.

5. 解析ステップ

早期閉合距離は Lf=9mである.支保部材は、全断面掘削切羽の直後 1 m間に考慮し、この状態で全断面を 1m掘削する (図-2).早期閉合 部材は、早期閉合施工単位の Lc=3m間に考慮し、早期閉合した状態に 早期閉合 3m間の掘削荷重を載荷する.全断面で 3m掘削と早期閉合は 交互施工とし、これを 33 回繰り返し、トンネル延長方向 100mを掘削 する.

6. 解析結果と考察

トンネル中心鉛直(y-z)面, SL レベル水平(x-y)面の最大主応力 分布は、グランドアーチ形成域として、図-3に示す.最大せん断ひず

キーワード: 3D-FDM 解析,地山強度比,早期閉合,全断面掘削,曲面切羽,切羽鏡安定性 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

変形係数 E (N/mm²)50ポアソン比ν(-)0.40粘着力 C (N/mm²)0.1

0.2

20

30

表-1 地山物性值(地山等級 E)



図-2 解析ステップ概要

み分布は、図-4 に示す. SL 部の吹付けコンクリート応力と鋼アーチ支保工応力は図-5 に示し、トンネル支 保構造軸力から換算した作用土圧の土被り相当高 H は図-6 に示す. これらから、以下のことが分かる.



(1) SL レベルの切羽前方 7~11m間に,最大主応力が 3.5~4.0N/mm²(σ zo=3.1N/mm²)の圧縮ゾーンを形成する.切羽後方では,曲面切羽は0.3D 後方,

補助ベンチ付きは1D後方に現れ、トンネルの安定性は曲面切羽の方が高い. (2)切羽鏡面の前方4mの範囲内では、全断面掘削は1.0~1.5N/mm²の明確な 球面形状の最大主応力場を形成する.補助ベンチ付きは、切羽分割の影響があ らわれ、不連続に分布する.地山の一軸圧縮強度が 0.5N/mm²を下まわる強度 不足地山では、このゾーンは、不安定になりやすく、剥落しやすい.

(3) 切羽鏡背面地山の最大せん断ひずみは,曲面切羽が,最も球面形状に近く,なめらかに分布する.既施工支保工の下半盤位置から切羽前方上向き 60 度の主働崩壊線の上側に,15~17.5%の最大せん断ひずみが分布する.

(4) 吹付けコンクリート応力の最大値は,曲面切羽は9.3N/mm²,補助ベンチ 付きは11.1N/mm²の圧縮で,圧縮強度の1/3以下である.補助ベンチ付きのSL 部は,補助ベンチの影響を大きく受け,切羽から3m位置で曲面切羽の3.7倍



図-4 最大ひずみ分布



(5) トンネル支保構造には,土被り73m相当の土圧作用が 推定される.切羽形状の違いによる差は小さく,直平面切羽 の全断面掘削が若干高くH=78mとなり,地山強度比=0.2の 施工事例からのもの¹⁾と同等レベルである.

7. まとめ

今後は、地山等級 E において、曲面切羽による全断面掘削 の早期閉合で施工を行い、これらの力学特性を検証する. 参考文献 1)佐藤淳、細野泰生、楠本太:DⅡ地山における切羽 の安定形状、JSCE、第 66 回年次学術講演会、VI部門、2012.

