

Ⅲ-B9 補助ベンチ付き全断面工法によるトンネル切羽周辺地山の挙動

大阪工業大学短期大学部	正会員	○吉岡	尚也
大林組技術研究所	正会員	木梨	秀雄
摂南大学工学部土木工学科	正会員	道廣	一利
大阪大学大学院工学研究科	正会員	谷本	親伯

1. 序

普通の地山にトンネルを掘削する場合には、切羽自身の拘束効果により、自立のための支保能力を地山自身が有している。しかしながら、強度定数が悪い地山、すなわち、地山強度比が1以下となるような地山内にトンネルを掘削するときには、切羽の自立時間が問題になることが想定される。このような切羽の自立時間が問題になるような地山においてトンネルを安全に施工していくためには、何らかの補助工法を採用してトンネル切羽周辺地山の安定性を確保する必要がある。

切羽の安定性を確保するには、掘削断面を分割する方法や一掘進長を短くするなどの方法がある。しかし、近年では、長尺鋼管フォアパイリングやフォアボーリングを積極的に採用し、大きな断面で施工している例が多い。ところが、長尺鋼管フォアパイリングやフォアボーリングなどの補助工法にどの程度の効果があるのかということを定量的に把握し、補助工法を採用している現場は少ないようである。

そこで、著者らは、土かぶり高さが100m程度で、粘着力 100kN/m^2 ・内部まさつ角 15° のような強度定数を有する地山を想定し、このような地山内に二車線の高速自動車道が構築されるものとして切羽周辺地山の挙動を把握するための数値計算を行った。

2. 不良地山における補助ベンチ付き全断面工法

不良地山内にトンネルを掘削するときの掘削工法としては、最も基本的かつ一般的なショートベンチカット工法が用いられている。ショートベンチカット工法が用いられるのは、地山の変化に対応しやすいという長所を有しているためである。その反面、インバートによってトンネル断面を早期に閉合することによって変形を抑制したい場合には、ショートベンチカット工法ではいろいろな不都合が生じる。

このような場合には、トンネル断面を早期に閉合するためには、上半・下半・インバートの掘削および支保設置に係わる作業を上半切羽近傍に集約させることが望ましい。しかし、上述したような不良地山内にトンネルを掘削する場合には、切羽の安定性を確保するための最適な補助工法を併用する必要がある。

3. 数値解析

不良地山内において補助ベンチ付き全断面工法で掘削した場合、切羽周辺地山でどのような挙動が見られるかを検討するため、FLAC^{3D}(Fast Lagrangian Analysis of Continua in Three Dimensionsの略称)による弾塑性解析を行った。

3.1 解析のためのモデル化

トンネルが掘削される地山については、完全弾塑性体的な挙動を呈するものとした。降伏の判定には、ドラッカー・プラガーの降伏基準を用いた。つぎに、ロックボルトについては、FLAC^{3D}の構成要素として用意されているケーブル要素でモデル化した。また、鏡止めボルトについてもケーブル要素でモデル化した。そして、吹付けコンクリートについては、弾性的な挙動をするものとした。

キーワード；非常に悪い地山、補助ベンチ付き全断面工法、三次元数値解析

連絡先；〒535-8585 大阪市旭区 5-16-1 Tel.06-6954-4398 Fax.06-6955-6265

3.2 解析のための入力定数

地山の弾性係数については、Serafim らの提案式を利用して弾性係数の値を推定した。ロックボルトは、ねじり棒鋼 TD24 を打設するものとし、定着材のせん断剛性などは、Hyett らが行った引抜き試験から得られた結果に基づいて決定した。吹付けコンクリートの弾性係数については、土屋の提案した値を用いた。

4. 解析結果と考察

図-1 は、日本道路公団による D_{IIa} なる支保パターンを基本にし、補助ベンチ付き全断面工法で掘削したときにトンネル周辺地山に生じる緩み域（塑性域）を黒く塗りつぶして表示したものである。弾性挙動を示す領域と緩み域との境界に着目すると、緩み域の外側境界はほぼトンネル中心軸と S.L. との交点を中心とする同心円上に形成されていることがわかる。この緩み域の外側境界が、NATM における地山内部に形成された支持力帯に相当するものと考えられる。このような観点から図-1 を見ると、切羽前方の地山にはドーム状の支持力帯が、切羽面より後方の地山にはアーチ状の支持力帯が形成されていることが理解できる。

図-2 は、解析から得たトンネル壁面間の変位および天端の変位を切羽面からの距離との関係で示したものである。図-2 に示した変位曲線は、同心円状に形成された図-1 の緩み域と関連していて、緩み域の外側境界までの径を D' とすれば、 $2D'$ に相当する位置で収束することがわかった。この例では、 $2D'$ に相当する切羽位置は、 $2D'=38\text{m}$ となった。逆に言えば、図-2 は、計測された変位をトンネル切羽位置との関係で整理し、 $2D'$ に相当する位置がわかれば、トンネル周辺における緩み域の拡大状況が推定できることを示唆している。

5. 結

トンネル施工時における切羽面の安定性を把握するため、三次元による数値解析的検討を行った。数値解析結果から得られた知見をまとめると以下になる。

- ①切羽前方の地山にはドーム状の支持力帯が、切羽面より後方の地山にはアーチ状の支持力帯が形成され、これによりトンネルの安定性が確保されることが明らかになった。
- ②上に述べた支持力帯の形成位置（すなわち、トンネル周辺における緩み域の外側境界）は、計測された内空変位をトンネル切羽位置との関係で整理し、 $2D'$ に相当する位置を見出すことで推定できることがわかった。

今後は、不良地山内でトンネルを施工していくうえで、鏡止めボルトによる拘束効果や切羽面の変形抑制について数値解析的に解明する所存である。

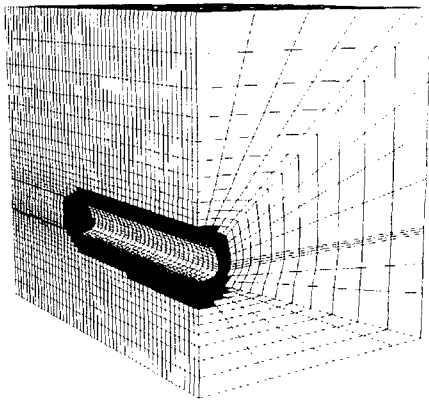


図-1 トンネル周辺の緩み域

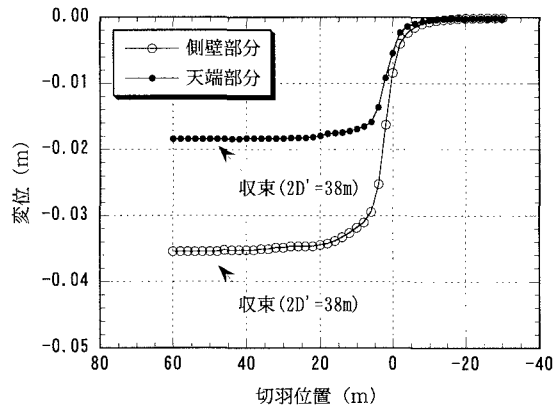


図-2 内空変位曲線