

# 既設トンネルの断面を拡大する掘削における断面位置に関する解析的検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○長谷川慶彦, 日下敦, 小出孝明

## 1. はじめに

供用中の道路トンネルでは、不具合の発生等の状況に応じて更新工事が実施されている。例えば、大型車輛のトンネル壁面への接触や歩行者の危険等が発生する断面積が比較的小さいトンネルを拡大する掘削(以下、拡大掘削)等がある。拡大掘削においては、何もない地山に新たにトンネルを掘削(以下、新設掘削)する場合と比較して、力学的には以下のような違いがあると考えられる。

- ・ 拡大掘削では、既設トンネルの掘削による応力再配分が発生した後の地山を掘削する。
- ・ 既設トンネルの周囲を切り拓げるため、新設掘削と比較して掘削断面積が小さく掘削部の形状が異なる。
- ・ 切羽前方に既設トンネルが存在し、地山の变形に対する抵抗性が異なる可能性がある。など

これらの違いにより、拡大掘削時の支保工や地山の応力状態は新設掘削時と異なる可能性があるにも関わらず、工事実績が少ない現状では、拡大掘削は既往の新設掘削に用いる基準類<sup>1)</sup>を参考に設計・施工されることが多い。既往の研究<sup>2)</sup>では、トンネルの左右を均等に拡大(以下、両側拡大)する条件で支保構造の負担軽減等の可能性があることが報告されている。一方、実際の施工では既設トンネルの片側を拡大(以下、片側拡大)することにより、施工性の向上等が期待できる可能性が考えられる。本稿では、拡大掘削において、拡大する位置が支保工等の力学的挙動等に与える影響に着目した。

## 2. 数値解析の概要

### 2-1. 解析モデル

半径3.4mの1.5車線断面程度の既設トンネルを半径6.0mの2車線断面に拡大する掘削について3次元有限差分法により解析した。図-1に両側拡大の場合の解析モデル全体図を、図-2に解析モデル横断面図を示す。両側拡大に関しては左右対称の掘削を想定し半断面モデルとした。また、側圧係数は1.0とした。比較する新設掘削の断面は拡大トンネルと同一とした。構成要素については、既設トンネルは矢板工法により建設されていることを想定して1次支保工はモデル化せず、覆工コンクリートをシェル要素でモデル化して地山荷重を支持する設定とした。なお、既設覆工は、初期応力として地山からの荷重を負担しているものと仮定し、全延長の掘削と同時に全延長の覆工を設置することとした。

拡大トンネルは吹付コンクリートをシェル要素で、鋼アーチ支保工をビーム要素でモデル化した。ロックボルトについては、数値解析において効果を確認することの困難さとモデルの簡略化の観点から、モデル化していない。地山はソリッド要素でモデル化し、解析領域は拡大トンネルの掘削径Dに対して上下左右に5Dを確保し、延長は150mとして90m地点までを掘削する。境界条件は上面を自由面、側面をローラー境界、底面を固定境界とした。

### 2-2. 解析条件及び解析ケース

地山等級DIを想定した弾塑性解析(Mohr-Coulomb)を実施した。解析ケースを表-1に、解析条件を表-2に示す。支保構造は、新設掘削時に適用される標準的支保構造の

目安に従い設定し、ベンチ長を2m(2掘進長分)とする補助ベンチ付き全断面掘削工法による掘削とした。

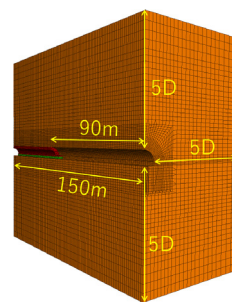
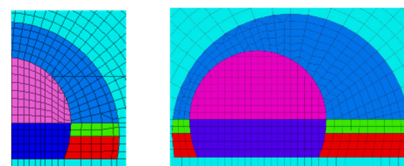


図-1 モデル全体図(両側拡大)



a) 両側拡大 (b) 片側拡大

図-2 解析モデル横断面図

表-2 解析条件

|                                | 地山   | 吹付CON            | 鋼アーチ<br>支保工 | 覆工<br>(既設) |
|--------------------------------|------|------------------|-------------|------------|
| 要素タイプ                          | ソリッド | シェル              | ビーム         | シェル        |
| モデルタイプ                         | 弾塑性  | 弾性               | 弾性          | 弾性         |
| 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | 22   | —                | —           | —          |
| 変形係数<br>(MPa)                  | 500  | 19,000<br>(材齢考慮) | 210,000     | 22,000     |
| ポアソン比                          | 0.35 | 0.20             | 0.30        | 0.30       |
| 粘着力c<br>(kN/m <sup>2</sup> )   | 400  | —                | —           | —          |
| 内部摩擦角φ<br>(°)                  | 35   | —                | —           | —          |
| 仕様等                            | —    | 厚さ15cm           | H-125       | 厚さ40cm     |

表-1 解析ケース

| CASE      | 地山<br>等級 | 設定   |
|-----------|----------|------|
| 弾塑性<br>解析 | 1        | 両側拡大 |
|           | 2        | 片側拡大 |
|           | 3        | 新設掘削 |

キーワード：トンネル更新, 断面拡大, 数値解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 国立研究開発法人 土木研究所 道路技術研究グループ TEL:029-879-6791

### 3. 解析結果

図-3 に各 CASE の切羽から 30m 地点におけるトンネル周方向の吹付コンクリートの応力、鋼アーチ支保工の縁応力を示す。横軸は、天端を  $90^\circ$  とした角度で表しており、右 SL 部が  $0^\circ$ 、左 SL 部が  $180^\circ$  となる。CASE1 及び CASE3 は半断面の解析のため、 $90^\circ \sim 200^\circ$  までのデータは、右側断面( $-20^\circ \sim 90^\circ$ )の値を反転してプロットしている。吹付応力は、アーチ部においてはほぼ一定の値を示している。両側拡大における吹付応力は、新設掘削に対して、天端付近で 11%程度小さく、鋼アーチ支保工縁応力は新設掘削に対して天端部で 11%程度小さい。片側拡大における吹付応力は、新設掘削に対して天端付近で 9%程度小さく、鋼アーチ支保工縁応力は天端部で 6%程度小さい。

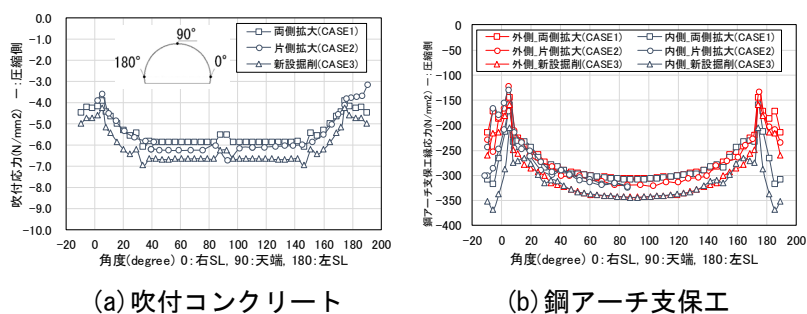


図-3 切羽から 30m 地点の解析結果比較

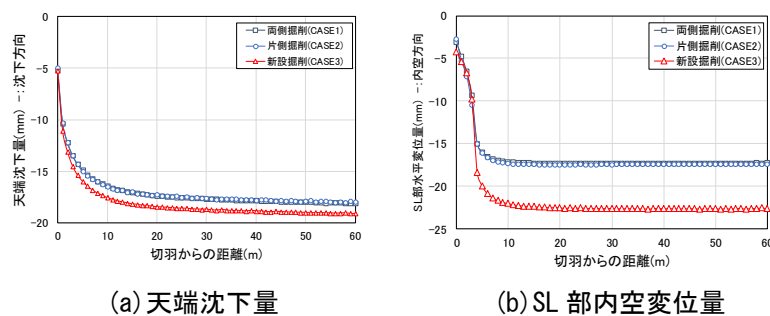


図-4 変位量比較

図-4 に各 CASE における拡大トンネルの天端沈下量、SL 部の内空変位量を示す。内空変位量について、片側拡大は左右の変位量を合計した値とし、両側拡大及び新設掘削においては半断面モデルの解析のため、解析値の 2 倍の値を示している。天端沈下量は、両側拡大、片側拡大ともに同等の値を示しており、新設掘削と比較して 5%程度小さい。内空変位量に関しても同様の傾向であり、新設掘削と比較して 20~25%程度発生量が小さい。以上より、既設トンネルの拡大において、片側拡大は、両側拡大と同様に支保工に発生する応力は新設掘削と比較して小さくなり、新設掘削の支保構造を適用する場合には、支保構造は比較的余裕のある仕様となる可能性が示唆される。

次に、既設トンネルの縦断方向において最も大きい断面力が発生する切羽直近における、既設覆工コンクリートの周方向縁応力を図-5 に示す。既設覆工コンクリートの縁応力は、天端付近では同様の値を示しているが、大きく掘削される側の肩部から側壁部 ( $10^\circ \sim 60^\circ$ ) にかけて、片側拡大の方が大きくなっていることが確認できる。これより、両側拡大と片側拡大では、既設トンネルの肩部から側壁部に発生する応力に違いがあり、片側拡大の方が発生する応力が大きくなる傾向にある。このため、片側拡大の場合、既設覆工コンクリートの変状が発生する可能性が相対的に高くなることが考えられる。

### 4. まとめ

本解析条件下では、両側拡大、片側拡大ともに新設掘削と比較して支保構造にある程度の力学的余裕がある可能性があり、支保構造の調整を検討する余地があることを確認した。また、片側拡大では、拡大トンネルにより大きく掘削される側の肩部から側壁部の範囲(本解析では右側)において、既設覆工コンクリートの応力変化が両側拡大と比較して大きくなる傾向が示唆された。これらは限られた条件下のもとでの一例であるが、今後は試験施工などの実測値を収集し、解析との整合を図るなどをして研究を進めていきたい。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，pp.125-131，2003。
- 2) 小出孝明，日下敦，吉岡知哉，砂金伸治：トンネル更新時の拡大掘削における支保構造に関する解析的検討，トンネル工学報告集，第 28 巻，1-45，pp.1-5，2018。

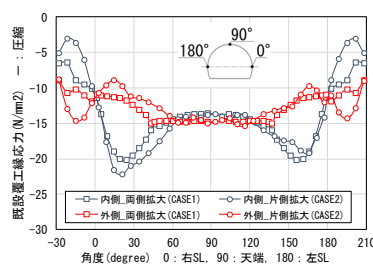


図-5 既設覆工応力