

既設トンネルの断面を拡大する掘削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 ○小出孝明・砂金伸治・日下敦・吉岡知哉

1. はじめに

古い道路トンネルの中には、断面積が比較的小さいものが存在しており、交通渋滞や歩行者用のスペースの不足、大型車両のトンネル壁面への接触等の様々な不具合の原因になっている。そのため、このような状況を解消する目的から、既設トンネルの断面を拡大する掘削(以降、拡大掘削)等によりトンネルを更新する事例¹⁾がある。これらの事例は実績が少ない特殊な工事となるため、新たに設置するトンネルの構造の多くは、トンネルを新設する掘削(以降、新設掘削)の基準²⁾に従い決定されている。このような現状を踏まえ、筆者らは拡大掘削と新設掘削の力学的特性の違いについて整理するため、数値解析により比較検討することを試みた。

2. 拡大掘削の施工条件

拡大掘削では新設掘削と比べて、以下の条件が異なっている。

- ・既設トンネルの掘削時に周辺地山の応力の再配分が発生している。
- ・新設掘削と比較して掘削断面積が小さいとともに掘削部の形状が異なる場合がある。
- ・切羽前方に既設トンネルが存在し、地山の変形に対する抵抗性を有する可能性がある。

上記のような施工条件の相違により、拡大掘削と新設掘削を比較すれば力学的特性にどの程度の差が生じているのかという点に着目した。

3. 数値解析の概要

3-1.解析モデル

過去の拡大掘削の事例等を参考に、**図-1**に示す、断面幅 6.6m で 1.5 車線断面程度の既設トンネルを、断面幅 11.2m で 2 車線断面に拡大する掘削について弾性モデルによる 3 次元有限差分法解析により検討した。また、比較検討するための新設掘削モデルについては拡大掘削の断面と同一とした。両者ともに左右対称の掘削となるため、解析モデルは**図-2**に示すように半断面モデルとした。構成要素について、既設トンネルは矢板工法による構築等を考慮して1次支保工は無視し、厚さ 40cm の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。また、拡大したトンネルは吹付けコンクリートをシェル要素でモデル化し、ロックボルトはモデル化していない。地山はソリッド要素でモデル化し、解析領域はトンネル掘削径 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。境界条件については、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。

3-2.解析条件

弾性モデルとすることから、地山等級 C I 相当のトンネル掘削の設定とした。新設掘削、拡大掘削ともに、ベンチ長を 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、吹付けコンクリート厚さを 10cm の C I パターンの支保構造とした。

解析条件について**表-1**にまとめる。

3-3.解析ケース

解析ケースは以下の 3 つとした。

- ・Case1:新設掘削(C I :掘進長 1.5m)
- ・Case2:拡大掘削(C I :掘進長 1.5m)
- ・Case3:拡大掘削(C I の掘進長延伸:掘進長 2.0m)

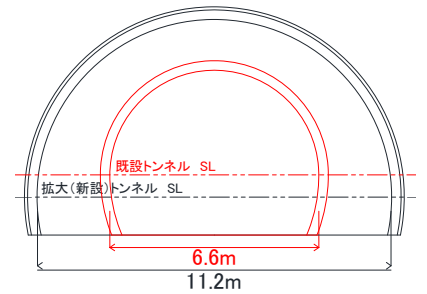
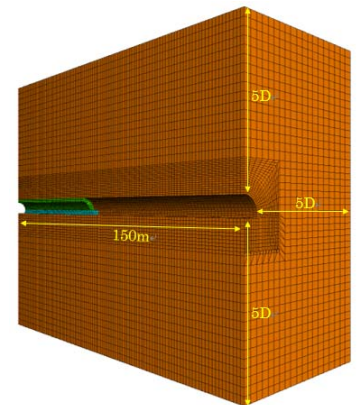
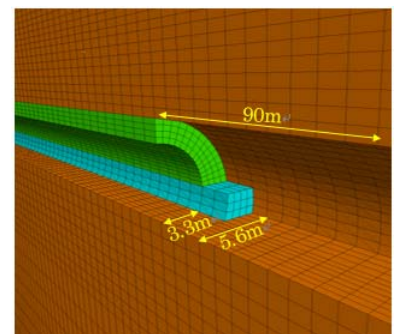


図-1 検討断面



(a)モデル全体



(b)切羽部拡大

図-2 モデル図

表-1 解析条件

	地山	吹付けcon	覆工(既設)
要素タイプ	ソリッド	シェル	シェル
単位体積重量(kN/m ³)	24	-	-
弾性係数(Mpa)	2,000	4,000	22,000
ポアソン比	0.30	0.20	0.30
厚さ(cm)	-	10	40

キーワード：トンネル更新，断面拡大，3次元有限差分法

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

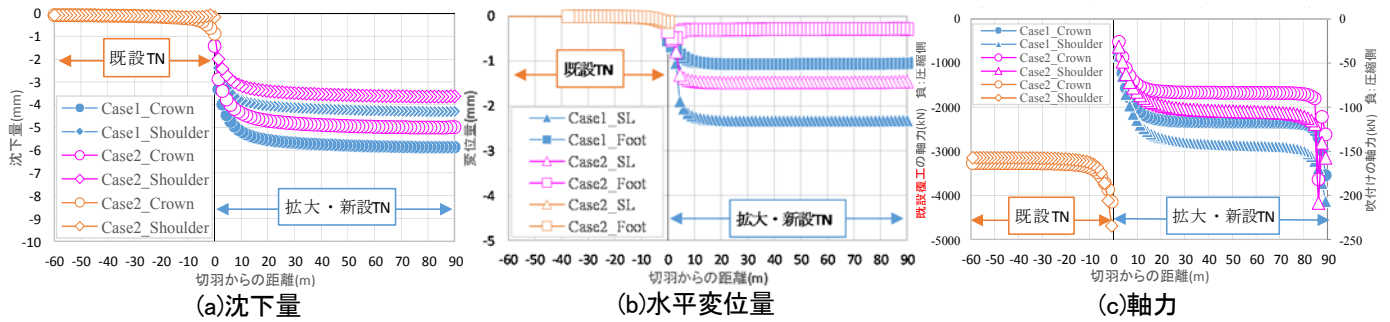


図-3 新設掘削(Case1)と拡大掘削(Case2)の解析結果の比較

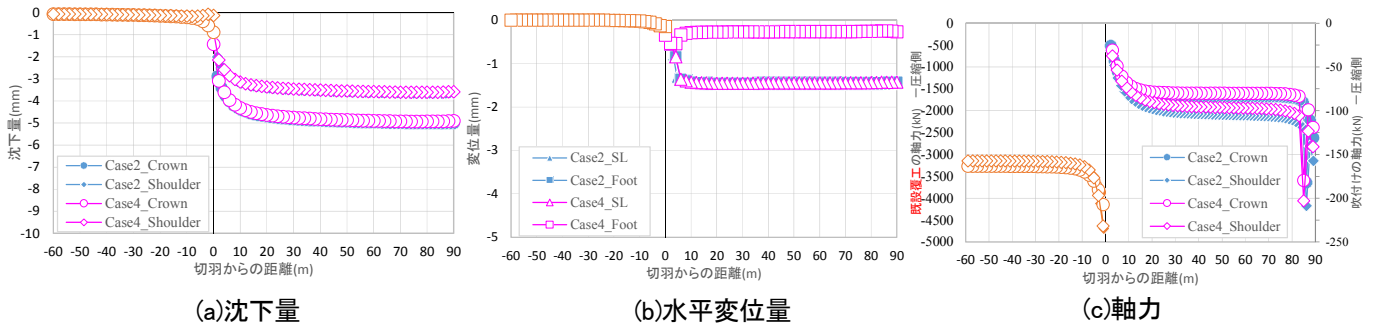


図-4 拡大掘削における掘進長 1.5m(Case2)と 2.0m(Case3)の解析結果の比較

4. 解析結果および分析

拡大掘削(Case2)では、新設掘削(Case1)と比較すると、図-3 に示すように、発生する変位量は拡大掘削の方が 20~40%程度小さい。また、吹付けコンクリートに発生する軸力は拡大掘削の方が 25~35%程度小さい。これにより、拡大掘削では新設掘削と比較して支保構造の負担が低減されることがわかる。次に、その影響の大きさを確認する目的から、拡大掘削の掘進長を 1.5m(Case2)から 2.0m に延伸(Case3)する解析を行った。その結果、図-4 に示すように変位量、軸力ともに明確な差は現れなかった。これらの比較結果から、拡大掘削の施工条件により支保構造の負担が低減される割合は、掘進長を 50cm 延伸させることにより安定性が低下する割合と比べれば大きいことが確認された。

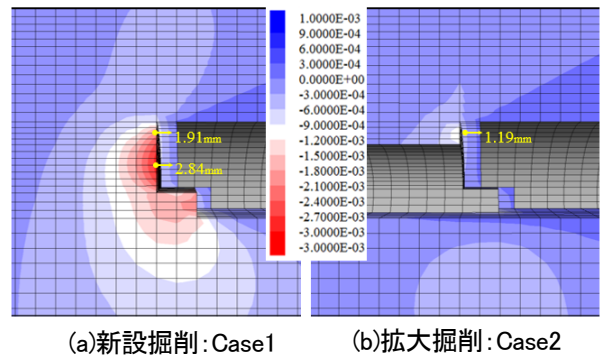


図-5 既設トンネル周辺の変位分布図

次に、既設トンネルが周辺地山に与える影響について、図-5 に示す変位分布図で確認する。変位の分布範囲については、既設トンネルが存在する拡大掘削(Case2)では新設掘削(Case1)と比較して、限定的な範囲に留まっている。変位量については、既設トンネル周辺の天端付近の同一位置のトンネル縦断方向への変位量で比較すると、拡大掘削では新設掘削より 40%程度小さい。更に、鏡面における最大水平変位量で比較すれば 60%程度小さい。この結果からは既設トンネルが切羽前方の地山の変形を抑制している状態が確認できる。これについては、拡大掘削時のトンネルの安定性が向上することが推定される。

これらの結果をまとめると、新設掘削の基準を拡大掘削に適用した場合には、力学的には比較的余裕がある支保構造となる可能性が示唆される。そのため、掘進長を延伸する等の方法で支保構造の調整を検討する余地があると考えられる。

5. おわりに

本検討では、弾性モデルによる比較的堅硬で亀裂が少ない地山を対象とした解析を行い、拡大掘削の施工条件が支保構造に与える影響の大きさについて確認した。今後は弾塑性モデルによる解析を行う予定である。また、数値解析はあくまでも予測・分析の一手段であるため、拡大掘削の施工条件を反映した支保構造の検討を進める中では、実施工における切羽観察や計測値との整合を確認していきたい。

参考文献

- 1) 例えば、鈴木昌信, 神寄一夫, 横田雄二郎: 国道 127 号丑山トンネル拡幅工事, pp.23-30, 1997.
- 2) 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.