# 実トンネルにおける拡大掘削時の既設覆工の応力変化に関する解析的検討

国立研究開発法人土木研究所 〇長谷川慶彦,日下敦,巽義知

# 1. はじめに

供用中の道路トンネルでは、不具合の発生などの状況に応じて更新工事が実施される場合がある。例え ば、大型車両のトンネル壁面への接触や歩行者の危険など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)などがある。既往の研究<sup>1)</sup>では、拡大掘削により既設覆工に発生する変位や応 力変化に関して3次元数値解析によって検討した事例はあるものの、実施工データと比較検証した事例は少 ない.そこで、本検討では、更新工事が行われた実トンネルをモデル化して数値解析を行い、工事中に得ら れた計測データ<sup>2)</sup>と解析結果を比較することで、数値解析の妥当性の検証を行った。

### 2. 対象トンネルと計測概要

本稿で対象とした更新工事は、内空断面積約 30m<sup>2</sup>程度の既設トンネ ルをNATM工法(機械掘削方式,補助ベンチ付き全断面工法)にて内空 断面積 62m<sup>2</sup>に拡大するものである.新たに建設したトンネル(以下, 拡大トンネル)の支保構造は、坑口部を除き DI-bパターンで施工され でいる.本工事で行われた既設トンネルに対する計測内容は,覆工変位 測定,覆工ひずみ(周方向)測定等である.これらの計測は,拡大掘削 開始前に既設覆工に計測器を設置し、施工開始から切羽前方 10m に近 づくまで計測を行っている.計測は、補助工法として先受け工を実施す る区間と実施しない区間において、各 1 断面ずつを対象に行われてい る.ここではその内の先受工を実施しない区間における計測結果に関し て検討を行った.なお、当該断面周辺には砂岩が分布している.対象ト ンネルの断面及び計測位置を図-1に示す.

#### 3. 数値解析の概要

数値解析にあたっての構成要素は、地山をソリッド要素、拡大トンネ ルの吹付けコンクリートをシェル要素、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、モデル簡略化の観点から省略 した.既設トンネルについては、矢板工法で建設されていることから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、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.解析領域は拡大トンネルの掘削径 D に対して左右に 5D、下部を 3D、上部は実際の土被りを基に 38m とし た.モデル延長は 150m として 90m 地点までを掘削するものとした. 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.



表-1 解析条件

	地山	吹付CON	鋼アーチ 支保エ	覆エ (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	弾性	弾性	弾性	弾性
単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	22	-	-	-
変形係数 (MPa)	373	19,000 (材齡考慮)	210, 000	22, 000
ポアソン比	0.35	0. 20	0.30	0.20
仕様等	_	厚さ15cm	H-125	厚さ20cm

表-1 に解析条件を示す.対象区間は支保パターンDI-b で施工されていることから,解析においても同様の 支保構造とした.地山の変形係数に関しては,地質調査結果をもとに設定した.既設トンネルの覆工厚に関 しては,既往の調査結果より天端部において巻厚不足があることが確認されていることを考慮して 20cm と 設定した.掘削工法については,補助ベンチ付き全断面工法による掘削とした.

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

## 4. 解析結果

図-3 に拡大掘削前の既設トンネル覆工の応力を示す.計測結果で は、両側壁部において天端部や肩部よりも大きな応力が発生している 結果となった.解析値は、両側壁部の値は計測値よりも小さいものの、 天端部及び両肩部では概ね一致しており、全体の発生傾向も表現でき ているため、初期応力状態を概ね再現できていると考えられる.

図-4 に数値解析における既設トンネルに生じる変位量の縦断方向 分布及び計測値との比較を示す.数値解析では、切羽からの距離が 10m 程度の地点では変位はほとんどなく、切羽に近づくにつれて変位 量が増加する.また、切羽から10m 離れた地点における計測値では、 いずれの部位においても1mm 以下であることが確認されている.

図-5 に既設覆工の各部位における初期応力からの増加応力の縦断 方向分布(解析値)を示す.応力の増加量は,側壁部で最も大きくな り,次いで肩部,天端部の順となっている.縦断方向の影響としては, いずれの部位においても切羽からの距離が 10m 地点まではほとんど 変化がなく,そこから切羽に近づくにつれて応力が急激に増加する. また,トンネルの左右での明確な違いは見られない.図-6 に計測にお ける縦断方向分布を示す.計測では,右肩部においては,切羽が 15m 程度に近づいた時点でやや応力の増加傾向が認められたものの,他の 部位に関しては,値の変化はほとんどなく,切羽が 10m まで近づい た時点での応力増加量はほぼゼロであった.

以上のように拡大掘削の影響により既設覆工に生じる変位や応力 増加に関して,数値解析と計測結果を比較した結果,両者に大きな相 違は見られなかった.しかし,計測に関しては,掘削の影響が顕著に 出ると考えられる切羽が 10m よりも近づいた場合の結果が得られて おらず,切羽直近の挙動については確認できていないことに留意する 必要がある.

#### 5.おわりに

本稿では、既設トンネルの拡大掘削において、実施工での既設覆工 に関する計測結果と数値解析の結果を比較した.その結果、両者に明 確な相違は認められず、現地計測で見られた切羽からの距離が10m程 度離れると変位量や応力の変化として現れる影響はほとんどない結 果が数値解析にも現れた.なお、拡大掘削による既設トンネルへの影 響としては、掘削や覆工取り壊しの際の振動等も考えられることか ら、それらの影響を総合的に判断して既設覆工への影響範囲を検討す る必要がある.



図-3 既設トンネル覆工応力









図-6 既設覆工増加応力(計測)

**謝辞**:本検討は千葉県君津市及び青木あすなろ建設株式会社よりデータを提供いただき実施したものである. 関係各位に深甚の謝意を表します.

#### 参考文献

1)例えば、小出孝明、日下敦、長谷川慶彦: 既設トンネル更新時の断面を拡大する掘削に関する解析的検討、土木技術 資料、第61巻、第4号、pp.28-31、2019.

2)高橋裕之,高山慎介,廣松直人,巽義知,伊藤和生,三弊亮:既設トンネル断面拡幅掘削時の地山挙動計測結果事 例,トンネル工学報告集,第30巻,1-20,2020.