

既設トンネルのインバート追加設置時における覆工への影響範囲の検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○巽義知, 日下敦
三井住友建設株式会社 正会員 小出孝明

1. はじめに

供用中の道路トンネルにおいて、盤膨れが生じる事例があり、インバートの改築や追加設置する更新工事が実施されている(例えば1)。この際、迂回路がない場合には、トンネル内の道路中央部を土留めで仕切り、片側に一般車両の通行帯を確保し、切り替えながら、インバートを半分ずつ施工する手順となる。通行帯の安全確保には、通常、インバート施工箇所と通行帯の間に防護柵やフェンスが設置されるが、通行帯上部の覆工に工事の影響が及ぶ場合には、通行帯上部の防護が必要と考える。しかし、インバート更新時の覆工への影響範囲の検討に資する知見はほとんどない。そこで、インバート更新時の影響範囲を、施工に伴う覆工の挙動から把握することを目的として、インバート追加設置時の計測結果と、それを3次元数値解析で再現したモデルを用いて覆工の挙動について考察した。

2. 計測概要

対象トンネルは、廃坑となった、矢板工法で建設された内空幅7.4m、高さ5.2mのトンネルである(図-1)。計測は、インバート未施工区間において、延長9.0mのインバートを左右半断面ずつ追加設置する際に実施した。計測項目は覆工表面における、インバート施工前の初期応力と、施工時の応力、沈下量、および内空変位とし、図-1に示す位置で計測した。なお、初期応力は応力解放法により測定した解放ひずみから算出した。

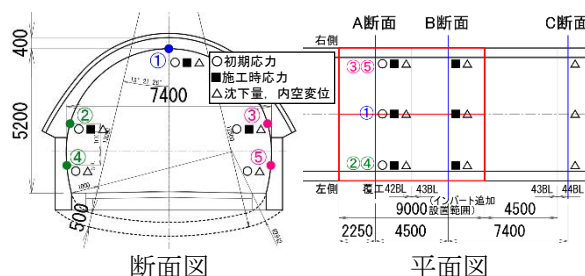


図-1 対象トンネル標準図, 計測位置

3. 数値解析概要

解析手法は3次元FEM解析とした。図-2に解析モデル全体図と断面図を、同図中に解析領域、荷重条件、境界条件を示す。地山物性値は、施工箇所付近のボーリング調査で得られた、地質が近い塊状砂質泥岩の物性値 ($q_u=23.9\text{N/mm}^2$, $E=3,670\text{N/mm}^2$) を参考に表-1の通りとし、全領域で一様とした。構造部の物性値は表-2の通りとした。地山と覆工の境界は覆工が内空側へ変位する場合に地山が追従しない設定とした。解析ステップは図-3の通りとし、全延長99.0m掘削後、中央部延長9.0mの範囲にインバートを設置した。掘削時の応力解放率は、覆工の初期応力の計測値に解析値が近づくようにトライアルして設定した。

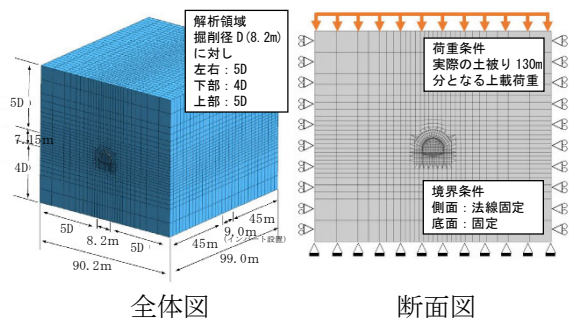


図-2 解析モデル

表-1 地山の物性値

項目	線形条件	要素条件	圧縮強度 (N/mm ²)	変形係数 (N/mm ²)	粘着力 (N/mm ²)	内部摩擦角 (deg)	単位体積重量 (kN/m ³)
地山	弾性	ソリッド要素	23.9	3,670	0.4	35	22

表-2 構造部の物性値

項目	要素条件		仕様		変形係数 (N/mm ²)		
鋼アーチ支保工	梁要素		H-150@1.2m		210,000		
項目	線形条件	要素条件	巻厚	圧縮強度 (N/mm ²)	変形係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
覆工	弾性部材	リット要素	40cm	18	22,000	23	0.2
インバート	弾性部材	リット要素	50cm	18	22,000	23	0.2
項目	線形条件	要素条件	N値		変形係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
埋戻し土	弾性部材	リット要素	15		42	19	0.35

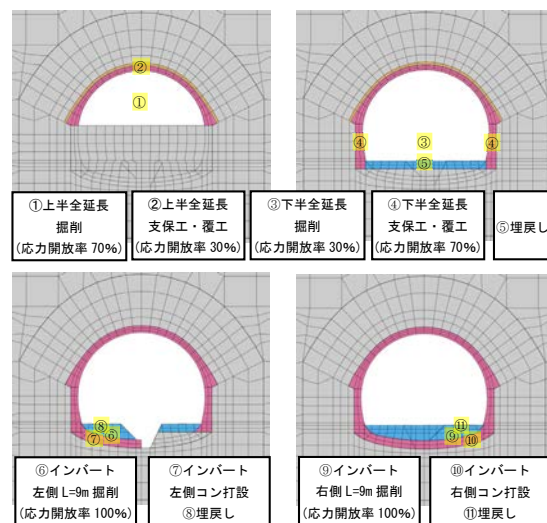


図-3 解析ステップ

キーワード：山岳トンネル, インバート, 更新, 計測, 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. 計測、数値解析結果

(1) 初期周方向応力

施工前の覆工の初期周方向応力は、表-3の通り、計測値は最大で圧縮7.55 N/mm²であり、設計基準強度(18N/mm²)の1/2に近く、大きな外力が作用していたと考えられる。解析値は計測値と近く、本解析モデルではそれを概ね再現できていると考える。

表-3 初期周方向応力

位置	計測値	解析値
①	-7.55	-5.98
②	-4.52	-3.12
③	-6.59	-3.12
④	0.33	-1.44
⑤	-1.82	-1.43

単位: N/mm²

(2) 周方向応力の変化量

インバート施工時の覆工周方向応力の変化量は、施工前日の値を0とすると、図-4、図-5、表-4の通りとなる。計測値は、A断面において、左側②部では、左側施工時に引張側に変動し、右側施工時には、ほぼ変動はない。右側③部では、左側施工時に引張側に比較的小さく変動し、右側施工時、引張側にさらに変動している。B断面において、左側②部では、左右施工時通じてほぼ変動はない。右側③部では、左側施工時に引張側に比較的小さく変動し、右側施工時、さらに引張側に変動している。これらより、インバート半断面施工時、覆工の周方向応力は、施工側では引張側に変動し、非施工側での変動は比較的小さい傾向にあると考える。

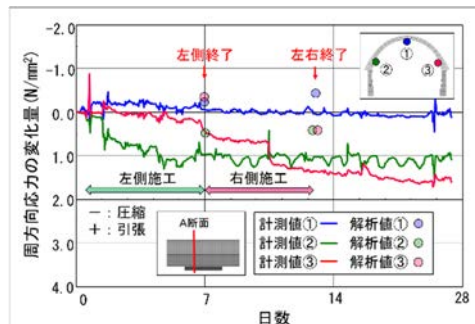


図-4 周方向応力の変化量(A断面)

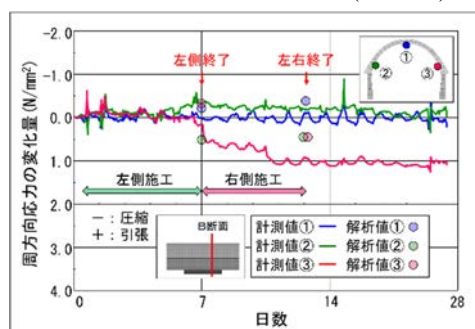


図-5 周方向応力の変化量(B断面)

また、解析値は、A、B断面ともに、左側②部では、左側施工時に引張側に変動し、右側施工時には、ほぼ変動していない。右側③部においては、左側施工時には圧縮側に比較的小さく変動し、右側施工時には引張側に変動している。これらより、計測結果で見られた、覆工の周方向応力は、施工側では引張側に変動し、非施工側での変動は比較的小さい傾向を本解析モデルでは概ね再現できていると考える。

表-4 周方向応力の変化量

時期	測点	周方向応力の変化量(N/mm ²)					
		A断面			B断面		
		①	②	③	①	②	③
施工前日	計測値	0	0	0	0	0	0
	解析値	0	0	0	0	0	0
左側終了時	計測値	-0.1	1.0	0.5	0.0	-0.3	0.2
	解析値	-0.2	0.5	-0.3	-0.2	0.5	-0.3
左右終了時	計測値	0.1	1.0	1.4	-0.1	-0.2	1.1
	解析値	-0.4	0.4	0.4	-0.4	0.4	0.4

(3) 沈下量、内空変位

沈下量と内空変位は、計測値は最大で4.2mm沈下、3.1mm内空側への内空変位を示していたが、施工前1ヶ月間の沈下量の計測値に5mm程度範囲の上下動があり、測量誤差の含有が考えられた。解析値は最大で0.3mm沈下、0.8mm内空側への内空変位であり、小さい変動であった。

(4) 周方向応力の変化量の縦断方向分布

覆工周方向応力の変化量について、縦断方向分布を同解析モデルで確認すると図-6の通りとなる。覆工周方向応力は、①~③の全測線、施工箇所中央部で最大の変動量を示している。施工箇所端部から10mの地点では、最大の

1/10以下程度、上記の初期応力と比べると1/100以下程度の変動量であり、影響は小さいと考える。

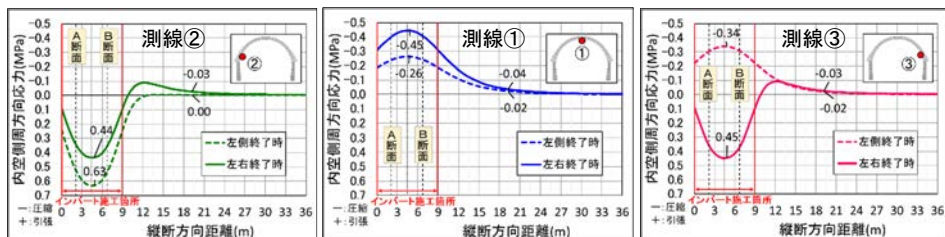


図-6 周方向応力の変化量の縦断方向分布

5. まとめ

計測結果より、インバート半断面施工時の覆工の周方向応力は、

施工側では引張側に変動し、非施工側での変動は比較的小さい傾向を確認した。また、計測結果を再現した数値解析モデルにより、覆工周方向応力の変化量の縦断方向分布を確認した。限られた条件下ではあるが、インバート更新時の覆工への影響範囲の検討に資する知見を得たと考える。ただし、工事の影響には工事振動の影響等も考えられ、それらも含めて総合的に判断する必要がある。

参考文献

1) 香川佳隆, 篠原愛明, 富永裕紀: 安全性と施工性に配慮した連続車線規制によるインバート設置工事, トンネルと地下, 598号 Vol.51No. 6, 2020.6