

既設トンネルに近接した地形改変が与える覆工変状原因の予測について

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○末永 拓嗣, 下山 洋, 風呂川 京介
西日本高速道路(株) 渡邊 隆志, 辻 浩幸

1. 背景と目的

本トンネルは、1985年に竣工（矢板工法）し、竣工後8～9年後にトンネル上部で切・盛土工事及び工場建設が行われた。覆工ひび割れ変状位置は、この盛土による近接施工上の位置で発生し、既存資料からは、竣工時の土被り10.8mに対し20.6mの盛土が施工されていた。一般的に盛土した場合は上載荷重が増大し、アーチ天端に変状が発生するが、現況の変状形態は違い、上部に引張られるように変位し、両アーチ肩部にひび割れが発生していた。本論は、盛土による近接施工の影響度と現状の変状形態の相違点に着目し、FEM解析を用いた検証により変状原因を予測した結果について報告するものである。

2. 変状形態の相違点

トンネル上部の盛土工事の変状形態は、一般的には図-1のとおり、上載荷重の増加により上から押されるように変形するため、覆工アーチ天端に縦断方向引張ひび割れが発生する。しかし、現況の変状は図-2のとおり、両アーチ肩部90度ラインに沿って縦断方向引張ひび割れが卓越していた。そのため、過去調査により判明した矢板工法特有の空洞等の存在が、変状形態に起因しているのではないかと考えた。



写真-1 覆工ひび割れ状況

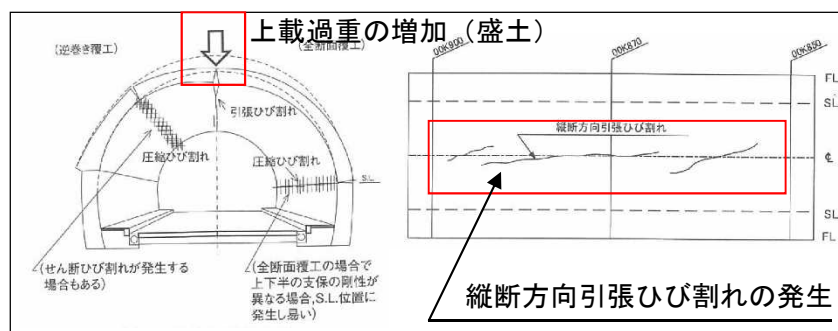


図-1 一般的な緩み土圧と変状図の例¹⁾

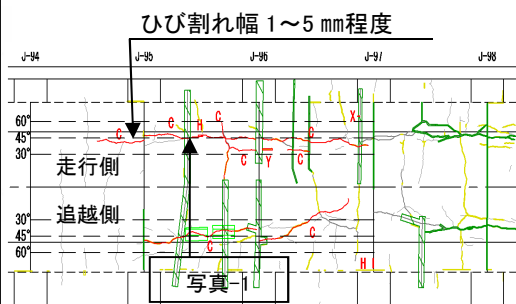


図-2 現況の変状図
(アーチ天端に縦断方向ひび割れ無し)

3. 検証概要

解析は覆工が45cmで比較的厚みがあるためソリッド要素で覆工の内部応力を検証した。検証方法は、盛土の影響とひび割れの関係をトンネル背面空洞の存在を考慮して再現するFEM解析で行なった。解析手順は、①自重解析、②トンネル掘削解析、③支保工の設置、④覆工の設置のステップで建設時の状態を再現した後、変状調査で得られた盛土後の増加応力で解析した（非線形モデル、解析ソフト：Soil Plus）。

FEMの解析モデルを図-3に、地盤の入力物性値を表-1に示す。

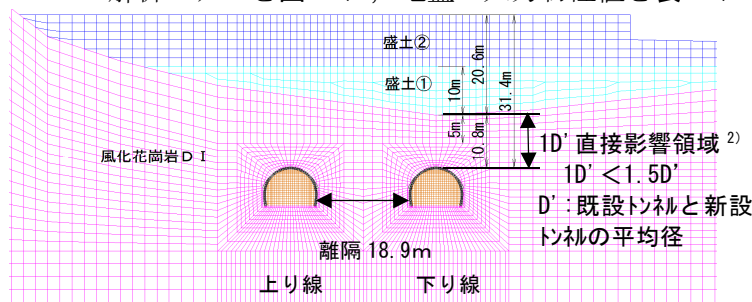


図-3 解析モデル

表-1 地盤の入力物性値³⁾

区分	単位	風化花崗岩 地山等級D I	花崗岩 地山等級C II
単位体積重量	kN/m ³	22	23
内部摩擦角	度	35	40
粘着力	kN/m ²	400	1,000
変形係数	kN/m ²	500,000	1,000,000
初期ポアソン比		0.35	0.3
破壊時ポアソン比		0.48	0.48

キーワード 近接施工, トンネル上部盛土, 空洞調査, FEM 解析

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) TEL082-532-1433

解析ケースは、トンネル部の地山物性値を地山等級CⅡとDⅠの2ケースと仮定し、覆工背面空洞を模擬するよう解析パターンを設定した。なお、天端空洞の横断的な分布を詳細に把握することは困難なことから、空洞分布範囲を空洞なし、天端60度、90度、120度と仮定し、表-2に示す4パターンについて解析し覆工発生応力の違いを比較した。

表-2 解析ケース

解析CASE	地山物性値	空洞分布 (4パターン)			
		空洞なし	60度	90度	120度
解析CASE-1	トンネル部 地山等級CⅡ	空洞なし	60度	90度	120度
解析CASE-2	トンネル部 地山等級DⅠ	空洞なし	60度	90度	120度

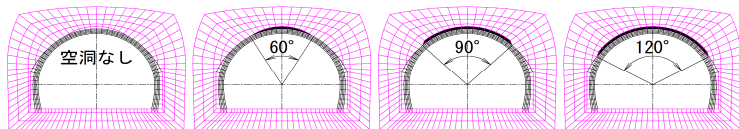


図-4 背面空洞範囲

(空洞なし、天端60度、90度、120度の4パターン)

4. 検証結果

解析CASE-2の場合は、覆工内空側に発生した最大引張応力は空洞範囲が天端90度の場合に最も高くなり、基準値の覆工コンクリート引張強度 $\sigma_t = 1,580 \text{ kN/m}^2$ を超過した。なお、解析CASE-1の場合は基準値を超える引張応力の発生はなかった。解析CASE-2の最大引張応力を表-3に、発生応力分布図を図-5に示す。

表-3 解析CASE-2 最大引張応力

空洞 範囲	最大引張応力 (kN/m^2) 注 ¹	
	上り線	下り線
空洞無し	引張応力無し	同左
60度	2,177	1,910
90度	2,346	1,988
120度	576	77

注¹ 覆工コンクリート引張強度 $\sigma_t = 1,580 \text{ kN/m}^2$

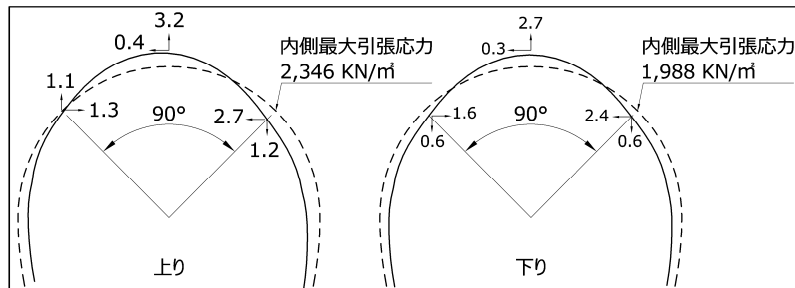


図-5 発生応力分布図 (空洞範囲 天端90度の場合)
「数値はx y方向の変位 (mm)」

5. 考察

- (1) 解析CASE-2の結果から、最大引張応力は空洞範囲が天端90度の場合に最も高くなり、現場の変状形態に最も類似した結果となった。また、地山内応力は弾性範囲内で、覆工に緩み・塑性土圧は生じていないことから、作用土圧は盛土による地盤内の増加応力と考えられた。
- (2) 解析CASE-1の最大引張応力が基準値以内で解析CASE-2が最大となった原因は、トンネル部の地山等級CⅡとDⅠの地山物性値の違いであり、現地調査で覆工背面の地山に堆積土や強風化花崗岩が確認されたことから、現状の地山物性値は経年劣化により地山等級DⅠに近い状態であったと考えられる。
- (3) 表-3から、最大引張応力が下り線より上り線側が若干上回る結果となった。但し、上り線側の覆工変状は下り線側ほど顕著で無かった。これらは、土被り、盛土量、現状地盤面の傾き、地山の物性値の違い等で土圧が不均衡となった可能性が考えられる。
- (4) 以上から、変状原因は盛土造成による上載荷重の増加により緩み鉛直圧が作用し、天端に発生した空洞の影響で空洞横断方向の支点に応力が集中し、縦断方向引張りひび割れが発生したと考えられる。

6. まとめ

本業務では、トンネル上方の盛土が及ぼす近接施工の影響度と変状形態の僅かな相違点に着目することで変状原因の特定ができた。これらの変状メカニズムの解明により、対策として、「裏込め注工及び炭素繊維シートによる覆工補強対策工法」を実施することを提案した。

参考文献

- 1) 道路トンネル維持管理便覧【本体工編】平成27年6月
- 2) 設計要領第三集 トンネル本体工保全編 (近接施工) 平成28年8月：西日本高速道路㈱
- 3) トンネル数値解析マニュアル 平成30年2月：日本道路公団 試験研究所