

変状を生じた鉄道単線トンネルの補強工事（その1）

- 計画と概要 -

伊豆急行(株) 正会員 ○今村 貴仁
伊豆急行(株) 並木 勇治
伊豆急行(株) 内藤 誠

1. はじめに

近年、トンネル覆工の度重なる剥落事故が社会的に高い関心を集め、トンネル保守管理のあり方が模索されている。これを機に伊豆急行ではトンネルの総点検を行うなど、安全管理の再徹底を図るとともに早急な打開策を検討し実施しているところである。

トンネルの変状現象については、一般構造物のように作用する荷重が比較的明瞭な構造物と異なり、変状原因の推定、荷重の作用位置・方向・大きさ等を推定することは技術的に困難である。

また、補強・補修を行う上で、内空断面余裕や電車線等の鉄道施設物の制約が多いため、変状現象、施工条件等を総合的に判断して対策工を計画し施工する必要がある。

本報告では、伊豆急行線において実施した熱川トンネル補強工事（延長 1.3km）の計画について報告する。

2. 概 要

伊豆急行線は、急峻な地形の伊豆半島東海岸沿いを走行する伊東～下田間約 46km の路線であり、その内約 18km がトンネル区間である。その多くは山側から海側へ傾斜する山地部にあり、偏圧を受け易い条件下にある。地山は安山岩を基岩とするものが多く、その上にスコリアや火山灰質の粘性土が堆積している。また、温泉余土化して膨張性を示すものや破碎されて多量の湧水を発生させる困難な地山も含まれている。

さらに築後 40 年を経て、経年による劣化や過大な土圧、地震、漏水等により種々の変状をきたしている。

3. 補強計画

当計画では覆工表面の外観調査より、変状原因は、主に塑性圧、地山の緩みによる鉛直圧および覆工自体の材料劣化であると判断し、変状状況や変状原因により数種類の基本パターンを設け各々の状況に当てはめることとした。

これら変状原因に適した対策としては、表 - 1 に示す通り、裏込注入工、吹付コンクリート工、セントル（H 鋼）補強工などがあげられる。このため、当トンネルの変状に合わせ表 - 2 に示す・・・パターンを基本に補強区間を設定し、これを基に二次調査¹⁾を行った。

表-1 変状原因と対策工法

変状原因(外因) および その他比較項目	塑性圧	偏圧・斜面崩行	地すべり	地山の緩みによる鉛直圧	水圧	凍上圧	地盤沈下	支持力不足	地震	材料劣化	施工性	総合評価
対策工法												
裏込め注入工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
吹付コンクリート	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
場所打コンクリート	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
セントル補強工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鋼板巻補強工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
繊維シート補強工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ロックボルト補強工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
根固めコンクリート工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ストラット工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表-2 基本補強パターンの概要

パターン名	土圧の作用状況	覆工の劣化状況	補強方法
	土圧が作用しており、補強による大きな耐荷力増加が必要	変形が進行し、限界を支障する懸念や覆工塊が崩落する危険性がある	・裏込注入 ・鋼製支保工(H-150, @1.0m) ・繊維吹付コンクリート(t=150))
	土圧が作用した形跡が見られる、あるいは将来的に懸念されるため耐荷力増加が必要	材料劣化やブロック化が進行し、わずかな外力で剥落が予想される	・裏込注入 ・鋼製支保工(H-125, @1.0m) ・繊維吹付コンクリート(t=125)
	基本的には土圧は作用しておらず、将来的にも作用する可能性が少なく耐荷力増加は必要ない	放置すれば材料劣化が急速に進み、剥離剥落の危険性がある	・繊維吹付コンクリート(t=70)

キーワード 鉄道トンネル、単線トンネル、トンネル変状、トンネル補強、施工機械編成

連絡先 〒413-0292 静岡県伊東市八幡野 1151 伊豆急行（株）鉄道部技術課 Tel 0557-53-1116

4. 実施設計

二次調査¹⁾により，背面地山に膨張性を示す箇所が多い 内空断面に余裕がない箇所がある 覆工コンクリート強度の低い箇所が多い 覆工厚は一部を除き問題ないが覆工背面に厚い空洞のある箇所が多い等が明確になった．その結果，補強パターンを表 - 3 のように特殊パターンを設定し細分化した実施設計とした．

表-3 実施補強パターンの概要

パターン名		延長 (m)	土圧	覆工	基本補強方法	付加パターン
基本	実施					
		0	土圧が作用しており，補強による大きな耐荷力増加が必要	変形が進行し，限界を支障する懸念や覆工塊が崩落する危険性がある	・鋼製支保工(H-150, @1.0m) ・吹付コンクリート(t=150)	・ロックボルト(3～6m)
		55	土圧が作用した形跡が見られる，あるいは将来的に懸念されるため耐荷力増加が必要	材料劣化やブロック化が進行し，わずかな外力で剥落が予想される	・鋼製支保工(H-125, @1.0m) ・吹付コンクリート(t=125)	側圧や変圧の発生が懸念される区間内空の余裕が無く，かつ覆工のハツリが困難な区間 (場合によっては支保工の代用とする)
	'	155		内空断面が狭い	・鋼製支保工(H-125, @0.75m) ・吹付コンクリート(t=125)	
	-A	95		内空断面が狭く，支保工を入れるスペースがない	・上半高強度吹付モルタル(t=20) ・下半吹付コンクリート(t=70) ・ロックボルト(L=4.0m)支保工の代用	
	"	0		所要耐荷力小	・鋼製支保工(H-100, @1.0m) ・吹付コンクリート(t=100)	・裏込注入(2～4m ³ /m)
		261	基本的には土圧は作用しておらず，将来的にも作用する可能性が少なく耐荷力増加は必要ない	放置すれば材料劣化が急速に進み，剥離剥落の危険性がある	・吹付コンクリート(t=70)	側圧や変圧の発生が懸念される区間背面空洞が大きく，崩壊土砂の堆積による覆工崩壊が懸念される区間
	-A	63		内空断面が狭い	・上半高強度吹付モルタル(t=20) ・下半吹付コンクリート(t=70)	
	'	0		側壁がしっかりして，アーチ部の剥離剥落のみを防止すれば良い区間(上半のみ高強度モルタル吹付)	・高強度吹付モルタル(t=20)	

5. 補強工事の施工

鉄道営業線における補強工事の施工はトンネル新設工事と異なり，終初電間の約 3.5 時間の限られた時間内で施工する必要がある．また，工事を施工するための建設機械等の進入路，資材ヤードの確保が地形的要因から困難であること，単線の小断面トンネルであり大型機械の搬入ができず狭隘作業である事等の特殊性を考慮し，図 - 1 に示す軌道工事用モーターカーによる牽引式施工機械編成を導入した．

図-1 牽引式施工機械編成

A. 支保工及びロックボルト工 施工編成



B. 吹付コンクリート工 施工編成



この編成は，ドリルジャンボ・支保工エレクター・吹付マニピュレーター等の施工機械を，軌道保守用車両を改造した専用車両に据付けて，2 台の軌道モーターカーにより牽引して所定の場所に移動するものであり，工事箇所において分割することで2箇所での作業が可能となり，工期短縮を図ることができた．

6. おわりに

営業線下のトンネル補強は，覆工の健全度，背面地山条件などの不確定要素に対して様々な調査を行い，トンネルの病状を把握・診断し対策工を決定した上で，種々の制約の中で施工を行う必要があり困難なことが多い．しかし，列車運行の安全確保は我々が果たすべき最小限の社会的責務と認識し，これからも他のトンネルの補強・補修工事を継続して実施していく予定である．これらを通じて得られる貴重な資料や経験が鉄道安全確保の一助となれば幸いである．

〔参考文献〕後藤：「変状を生じた鉄道単線トンネルの補強工事（その2）- 補強工事のための調査 - 」第58回土木学会年次学術講演会（投稿中），2003