

塗膜防水材料を用いた吹付けリニューアル工法の開発 トンネル全体系の挙動に関する解析的検討

大成建設（株） 正会員 ○柳下 丈偉 澤田 幸平 大塚 勇
成和リニューアルワークス（株） 正会員 池山 正一 菅野 道昭
BASF ジャパン（株） 栗原 靖幸 大矢 夏帆
ポゾリスソリューションズ（株） 長澤 智也

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化に対する補修工法の一つに、断面修復工法がある。断面修復工法をトンネルの覆工コンクリート（以下、覆工）の補修に適用した場合、補修後も地山側からの湧水を完全に止めることが出来ず再劣化する事例が散見される。本研究では、既設コンクリート補修面に対し、EVA樹脂系の塗膜防水材料を塗布し、その上からモルタル吹付を行う工法（図1）を開発した。本補修工法は、中間層の塗膜防水材料により剥落防止性能を確保した上で防水性能を付与できるため、地山側からの湧水を止めて補修箇所の再劣化を抑制することが可能となる。

本稿は、覆工と保護モルタルの間に塗膜防水材料を塗布したトンネル全体の構造安定性を数値解析により検討するものである。既往の論文ではトンネル全周を補修した場合の結果について報告したが、本稿ではより実際の補修状況に近い部分補修したトンネル構造物に対する検討を行う。具体的には、本補修工法を適用した覆工の剛性、耐力が健全な覆工と同程度であるかを検討する。

2. 解析条件

本検討では、「健全な覆工」と「本補修工法を適用した覆工」の挙動の相違が顕著になるように、想定される最も大きな荷重として、L2地震時（水平震度2.0）の検討を行う。地震時荷重は水平震度による慣性力を全要素に作用させる。

(1) 検討ケース

本検討では表1に示すように、「覆工のみ」のCASE1、「本補修工法を適用した覆工」のCASE2~4で検討を行う。塗膜防水材料と保護モルタルの境界はMohr-Coulombの破壊基準に従うインターフェース要素（図2）としてモデル化し、物性値は既往文献より表1に示す通りとする。また、CASE2の保護モルタルの仕様を基本とし、保護モルタルの弾性係数や厚さがトンネル全体構造に与える影響を検討するために、保護モルタルの弾性係数を覆工相当としたCASE3、保護モルタルを厚くしたCASE4の検討を行う。

(2) 部分補修位置の選定

補修位置は、図3に示す4箇所に設定した。上記CASE1~CASE4のケースにおいて、それぞれ補修箇所①~④の4ケースの解析を実施した。本稿においては、覆工の発生応力度が最

表1 検討ケース

CASE	覆工厚 (mm)	保護モルタル		塗膜防水材料厚 (mm)	インターフェース要素の物性値				
		厚さ (mm)	弾性係数(GPa)		k_n (GN/m ²)	k_s (GN/m ²)	c (MPa)	ϕ (°)	T_t (kN/m ²)
CASE1	300	-	-	-	-				
CASE2	270	30	8	3	10000	1.16	1.92	12.1	10000
CASE3	270	30	22	3					
CASE4	250	50	8	3					

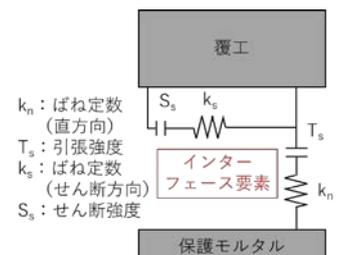


図2 インターフェース要素

キーワード 吹付けリニューアル, 塗膜防水材料, 有限差分法

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部土木設計部 TEL 03-5381-5296

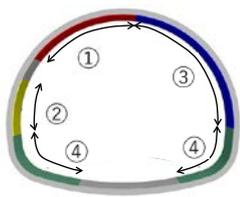


図3 補修位置

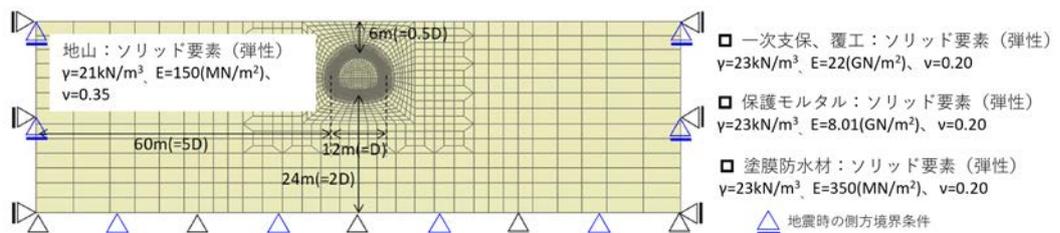


図4 解析モデル

大となる隅角部 (④) に補修を行った解析結果を示す。

(3) 解析モデル

図4に解析モデルを示す。解析は覆工構築後(常時)に地震時荷重を載荷した(地震時)。常時における境界条件は、底面境界は水平・鉛直方向を固定し、側方境界は水平方向のみ固定する。地震時における境界条件は、底面境界については常時と同じとし、側方境界については鉛直方向のみ固定の水平ローラーとする。

3. 解析結果

(1) トンネル変形

図5にCASE1のL2地震時におけるトンネル水平変位図を示す。また、各ケースの補修箇所④での最大水平変位を図6に示す。CASE1とCASE2~CASE4で水平変位は同程度であることが確認できる。覆工の外力は同程度であることから、本補修工法を適用した覆工の剛性は、健全な覆工と同程度であると考えられる。

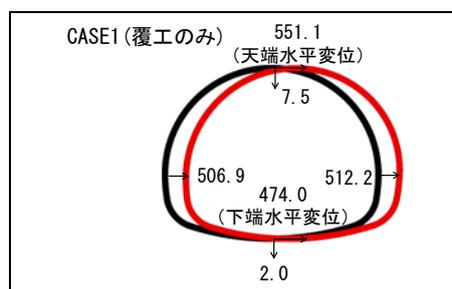


図5 水平変位図

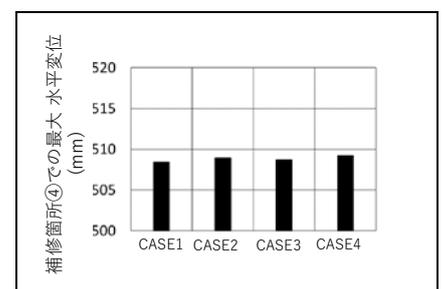


図6 最大水平変位

(2) 覆工、保護モルタル応力

図7にCASE4の補修箇所④における覆工、保護モルタルの引張応力図を示す。また、参考までにCASE1における覆工引張応力の値も合わせて

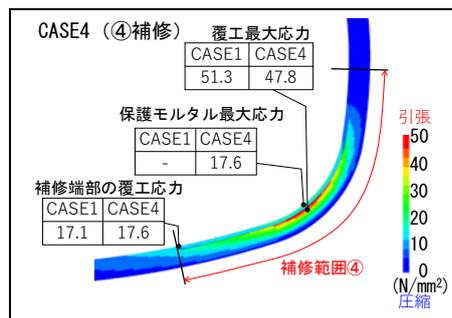


図7 引張応力図

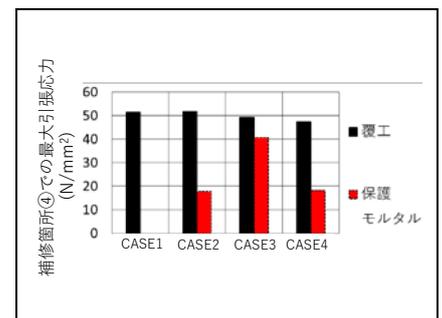


図8 最大引張応力

て示す。各ケースの補修箇所④での覆工、保護モルタルの最大引張応力を図8に示す。図7に示すように、補修箇所端部の覆工応力は、CASE1 (17.1N/mm²) と比べてCASE4 (17.6N/mm²) は増加傾向であり、補修箇所においては応力集中することが示唆される。このことから覆工の応力が大きくなると想定される箇所には補修箇所を設けない方が望ましいと考えられる。しかし、覆工に発生する最大応力を比較すると、図8に示す通りCASE1と比べCASE2~CASE4の覆工最大応力は同程度または減少することが確認できる。これは、覆工の断面積や断面係数の減少に伴う応力の増加に比べて、断面力の減少に伴う応力の減少の方が大きいためであると考えられる。また、保護モルタルに発生する最大応力は覆工と比べて小さい。以上より、保護モルタルの仕様を覆工と同程度とすれば、覆工および保護モルタルの健全性は担保される結果となった。

4. まとめ

数値解析により覆工を部分補修するという条件下で、「覆工のみ」のケースと「本補修工法を適用した覆工」のケースで比較検討を行った。検討の結果、本補修工法を適用した覆工の剛性は健全な覆工と同程度であり、部材の健全性についても問題ないことが確認できた。

参考文献

- 1) 澤田幸平, 大塚勇, 橋本貴之: 塗膜防水材料を用いた吹付けリニューアル工法の開発 その3 トンネル全体構造系の解析的検討, 土木学会第74回年次学術講演会概要集, VI-343, 2019