

塗膜防水材を用いた 吹付けリニューアル工法の基礎的検討

澤田 幸平¹・柳下 丈偉²・大塚 勇³・菅野 道昭⁴
池山 正一⁵・大矢 夏帆⁶・栗原 靖幸⁷・長澤 智也⁸

¹正会員 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)
E-mail: swdkuh00@pub.taisei.co.jp

²正会員 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)
E-mail: ygszui00@pub.taisei.co.jp

³正会員 大成建設株式会社 土木設計部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1)
E-mail: ohtsuka@ce.taisei.co.jp

⁴成和リニューアルワークス株式会社 技術部 (〒106-6033 東京都港区六本木 1-6-1)
E-mail: knnmta00@pub.taisei.co.jp

⁵正会員 成和リニューアルワークス株式会社 営業部 (〒106-6033 東京都港区六本木 1-6-1)
E-mail: ikymask00@pub.taisei.co.jp

⁶ポゾリスソリューションズ株式会社 (〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2722)
E-mail: natsuho.oya@basf.com

⁷ポゾリスソリューションズ株式会社 (〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2722)
E-mail: yasuyuki.kurihara@pozzolith.com

⁸ポゾリスソリューションズ株式会社 (〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2722)
E-mail: tomoya.nagasawa@pozzolith.com

コンクリート構造物の劣化に対する補修工法の 1 つに断面補修工法がある。トンネル覆工など大断面での補修を想定した場合には、施工効率や経済性の観点から吹付けによる断面補修工法が有利となることが多い。しかし、従来の吹付けにより補修を行う場合には、高い接着性と耐久性を確保するため、材料費の高いポリマーセメントモルタルを用いることが多く、工事費が高くなる傾向にある。そこで本研究はこれまでの補修工法の選択肢を広げると共に、従来工法と比較し経済的で耐久性に優れた新工法の開発を目指す。新工法により断面修復を行ったトンネル覆工の挙動に関し、構造解析による基礎的な検討を行った。

Key Words: spray repair method, coating waterproofing material, structural analysis

1. はじめに

近年、我が国では高度成長期以降において集中的に整備されたインフラの老朽化が問題視されており、2013年にインフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議で「インフラ長寿命化基本計画」が策定されるなど、政府においても対策が進められている。2018年3月に内閣府が公表した試算によると、損傷などが起きた後に対処する事後保全手法を採用する場合、2015年度から40年間の累計で必要コストが547兆円にも達するとされている¹⁾。

コンクリート構造物の代表的な補修工法としては、表面被覆・含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法な

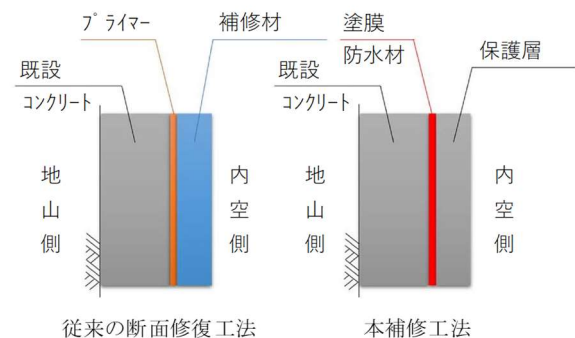


図-1 吹付け補修工法の新旧比較

どが挙げられる²⁾。トンネルの二次覆工における大断面での補修を想定した場合には、施工効率や経済性などの観点から吹付け工法による断面修復工法が有利である。しかし、補修後も地山側からの湧水を完全に止めることはできず、再劣化する事例が散見される。そこで、著者らは、既設コンクリートの劣化した箇所を研った面に対して、従来のプライマーに替わりEVA樹脂系の塗膜防水材料を塗布し、その上から保護層を吹付ける補修工法を開発した（図-1）^{3) 4) 5)}。

本補修工法は、高い接着力を有する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。一方、本補修工法を適用するにあたり、塗膜防水材料が介在することにより、構造物全体の剛性や健全性に影響がないことを確認する必要がある。

本論文では、覆工と保護層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構造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⁵⁾、補修される覆工、塗膜防水材料、保護層がリング状に閉合しているため、各材料の境界での滑るような挙動は確認できなかった。

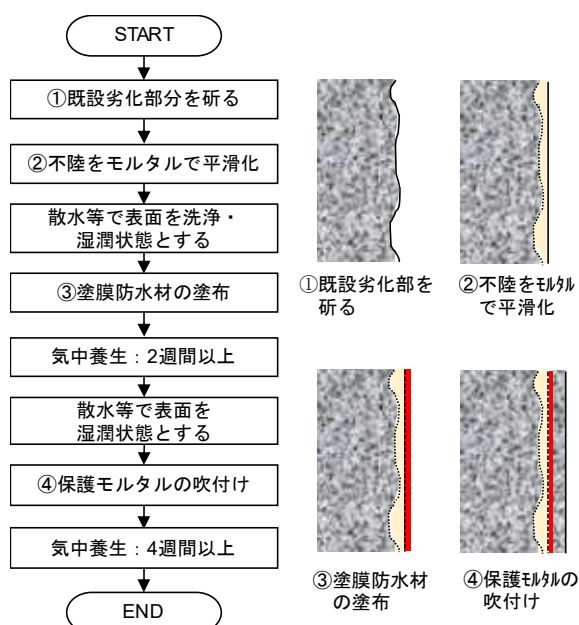


図-2 塗膜防水材料を用いた吹付け補修工法のフロー

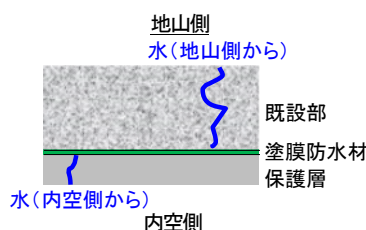


図-3 本補修工法の塗膜防水材料による水の浸入防止

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、健全性が健全な覆工と同程度であるかを検討する。

2. 塗膜防水材料を用いた吹付け補修工法

(1) 工法概要

本工法のフローを図-2に示す。まず、既設コンクリートのひび割れや浮きなど劣化した部分を研って除去し、表面の凹凸が大きい場合にはモルタルで不陸調整を行い平滑化する。その後、既設面を散水等によって洗浄・湿潤状態とし、塗膜防水材料を塗布した後、2週間以上気中養生を行う。塗膜防水材料が乾燥して硬化後、散水等により湿潤状態とし、保護層を吹き付けて補修する。これにより、本補修工法は既設部と保護層の間に防水層が形成され、図-3の通り、内空側または地山側のひび割れから浸入する水を防ぐことが可能となる。つまり、内空側からの水の浸入を止めて既設部の再劣化を低減し、地山側からの水の浸入を止めて湧水による補修箇所の剥離・剥落を防止する。また、既往の研究³⁾から塗膜防水材料は遮塩性能等の耐久性に優れた材料であることが確認できており、耐久性の向上も期待できる。

(2) 使用材料

a) 塗膜防水材料

本補修工法で使用する塗膜防水材料は、EVA樹脂系の塗膜防水材料であり、形成される防水膜は柔軟性に富み、膜両面がコンクリート面と強力に接着するため、良好な水密性を有している。他の特徴としては以下の通りである。

- ①速硬化性の粉体系材料で、乾式吹付けが可能
- ②プレミックスタイプのため取扱いが容易
- ③吹付け機・コンプレッサなど簡易な機械で吹付け可能

b) 保護層

本補修工法の保護層に用いる材料は、補修する箇所の要求性能に応じて、母材強度に応じた普通モルタル、ポリマーセメントモルタル、繊維入りのモルタル、高強度や高耐久性などの機能を付与したモルタルを使用することが可能である。

3. 構造解析

(1) 検討概要

本検討では、数値解析により「健全な覆工」と「本補

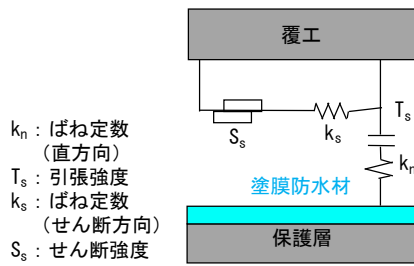


図4 インターフェース要素

表-1 インターフェース要素の物性値

k_n (GN/m ³)	k_s (GN/m ³)	粘着力 c (MPa)	内部摩擦角 φ (°)	引張 強度 T_t (kN/m ²)
10,000	1.16	1.92	12.1	10,000

表-2 検討ケース

CASE	覆工厚 (mm)	保護層		塗膜防水材厚 (mm)
		厚さ (mm)	弾性係数 (GPa)	
CASE1	300	-	-	-
CASE2	270	30	8.01	3
CASE3	270	30	22.0	3
CASE4	250	50	8.01	3

修工法を適用した覆工」の挙動を比較することで、塗膜防水材がトンネルの変形や覆工の発生応力などトンネルの挙動に与える影響について検証した。「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）の検討を行った。

(2) 解析条件

a) 塗膜防水材と保護層のモデル化

塗膜防水材と保護層の境界はMohr-Coulombの破壊基準に従うインターフェース要素（図-4）としてモデル化する。インターフェース要素により、塗膜防水材と保護層

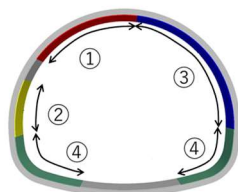


図5 補修範囲

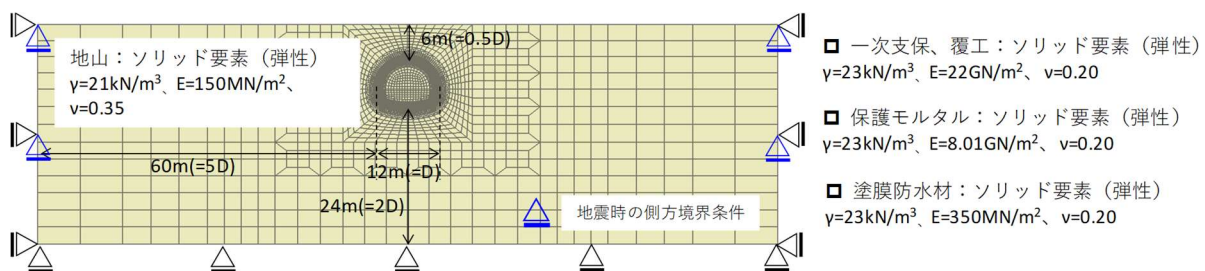


図6 解析モデル

の境界での滑りなどの不連続な挙動をモデル化できる。

インターフェース要素の物性値は既往文献より、表-1に示す通りとする。

保護層の弾性係数は圧縮強度試験より8.01GPa、塗膜防水材の弾性係数は同じ材料を用いた既往の室内試験の結果より350MPaとした。

b) 検討ケース

本検討では表-2に示すように、「健全な覆工」のCASE1、「本補修工法を適用した覆工」のCASE2～CASE4で検討を行う。「本補修工法を適用した覆工」ではCASE2のケースを基本ケースとし、保護層の弾性係数を大きくしたCASE3、保護層厚さを厚くしたCASE4の検討を行い、保護層の弾性係数や厚さがトンネルの挙動に与える影響を検討した。

c) 部分補修位置の選定

本検討では、覆工の一部のみを補修する場合の検討を行う。補修する位置は、後述する「健全な覆工」のCASE1の解析結果において、覆工内空側の応力が大きくなる位置とした。具体的な位置は、図-5に示す①～④の4か所とした。上記の検討ケースCASE1～CASE4のそれぞれのケースで補修範囲を①～④とした場合の計16ケースで検討した。本報告では、覆工内空側の応力が最も大きくなった補修範囲④に着目してその結果を示す。

d) 解析モデル

図-6に解析モデルを示す。解析は覆工構築後に地震時荷重を載荷した。地震時荷重はL2地震相当の水平震度2.0による慣性力を全要素に作用させる。常時における境界条件として、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として、底面境界は常時と同じとし、側方境界は鉛直方向のみ固定の水平ローラーとする。また、今回、本補修工法による補修は覆工全周としてモデル化した。

(3) 解析結果

a) トンネルの変形

図-7にCASE1～CASE4のトンネル水平変位図を示す。また、図-7に示した各ケースでの最大水平変位を図-8に示す。CASE1とCASE2～CASE4で水平変位は同程度にな

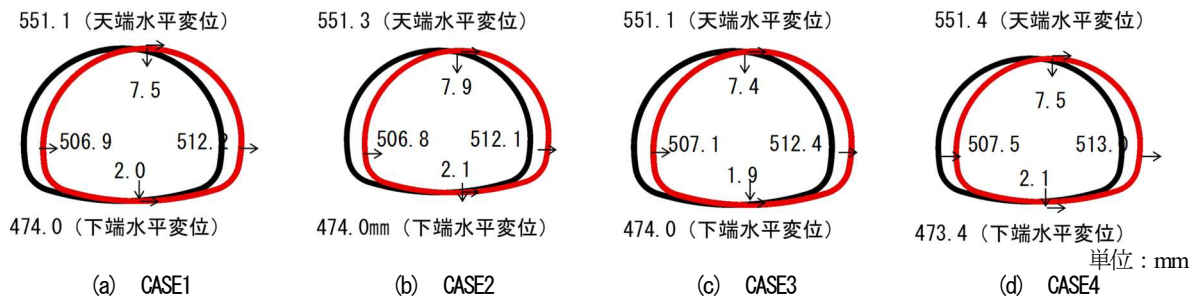


図-7 「補修箇所④」を補修したケースにおける水平変位図

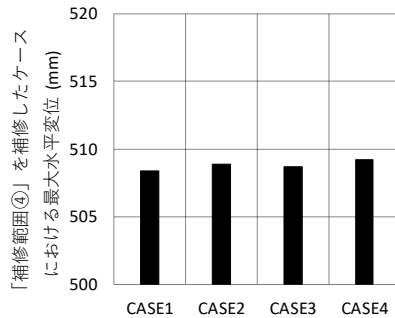


図-8 「補修箇所④」を補修したケースにおける最大水平変位

っていることが確認できる。今回の検討では、全要素に設計水平震度を作用させており、すべてのケースで覆工に作用する荷重は同程度だと考えられる。作用する荷重と発生する変位が同程度であるため、CASE1とCASE2～CASE4で覆工の剛性は同程度であると言える。つまり、「本補修工法を適用した覆工」は「健全な覆工」と同程度の剛性を有することが確認できた。

b) 覆工、保護層の応力

図-9にCASE1～CASE4のインバート隅角部における覆工、および保護層の引張応力図を示す。また、図-9に示した各ケースでの最大引張応力を図-10に示す。

CASE1で覆工に発生する最大応力（51.3N/mm²）と比べ、本補修工法を適用したCASE2～CASE4の覆工に発生する最大応力は同程度、または小さくなる結果となった。CASE1に比べ、CASE2～CASE4で覆工の断面積や断面係数などの断面諸元は減少する。CASE2～CASE4では、覆工の断面諸元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くなったと考えられる。また、保護層の厚さや弾性係数が大きくなると、覆

工に発生する応力が減少することが分かる。これは、保護層の剛性が増加すると、覆工に発生する応力が低減されるためである。

保護層の応力に着目すると、保護層の剛性が増加するにつれ保護層の応力が増加することが確認できる。しかし、CASE2～CASE4の保護層に発生する応力は、CASE1の覆工の応力より小さくなる。以上より、本補修工法の覆工、保護層に発生する応力は、健全な覆工の応力に比べて小さくなることが確認できた。つまり、本補修工法を適用した覆工はより有利な応力状態になると言える。

ただし、CASE2～CASE4の補修端部に発生する応力を確認すると、同じ位置でのCASE1の覆工応力よりも大きくなる結果となった。これは、補修端部では応力が集中するためであると考えられる。隅角部など大きな応力が集中する位置に補修端部を設けると、上述の有利な応力状態とは逆に、CASE2～CASE4の覆工に発生する応力はCASE1のそれより大きくなる可能性がある。このため隅角部など覆工に発生する応力が大きくなると想定される箇所には補修端部を設けないことが望ましいと言える。

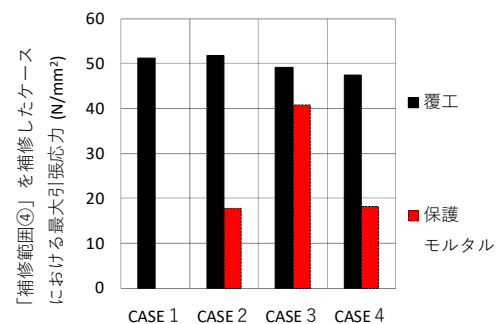


図-10 「補修箇所④」を補修したケースにおける最大引張応力

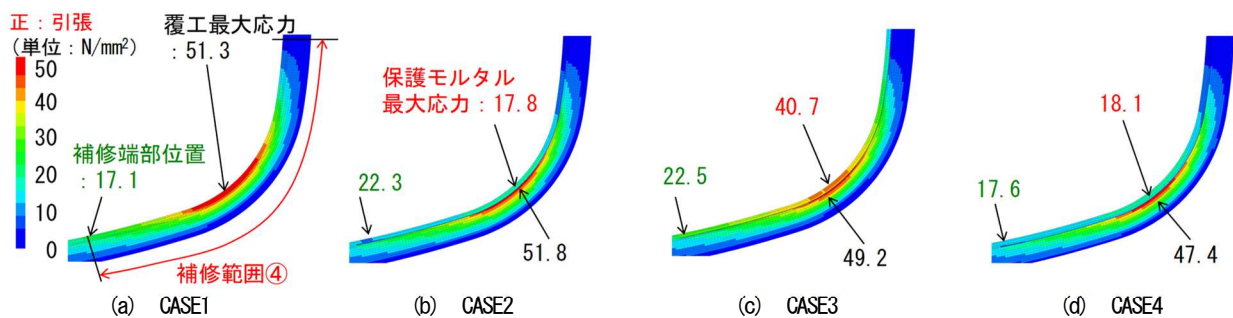


図-9 「補修範囲④」を補修したケースにおける引張応力図

6. まとめ

本研究では、既設コンクリートの劣化部を研った面に塗膜防水材料を塗布し、その上をモルタルで保護する吹付け補修工法を開発し、構造解析により本補修工法を適用したトンネルの挙動について明らかにした。

- (1) L2地震動を考慮した場合、本補修工法を適用した覆工と、健全な覆工での水平変位は同程度となった。覆工に作用する外力は本補修工法を適用した覆工と、健全な覆工で同程度であるため、本補修工法を採用しても覆工の剛性に影響がないことが確認できた。
- (2) 本補修工法を適用した覆工と保護層に発生する応力は、健全な覆工と同程度、または減少し、有利な応力状態になることが確認できた。ただし、補修端部では応力集中が発生する可能性があるため、隅角部など応力が集中すると想定される位置には補修端部を設けないことが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：インフラ維持補修・更新費の中長期展望，2018.
- 2) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案)，土木研究所資料，第 4343 号，2016.
- 3) 橋本貴之，大塚勇，澤田幸平，菅野道昭，池山正一，栗原靖幸，大矢夏帆，今野清之朗：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 1 剥落防水性能など基礎物性に関する検討，土木学会年次学術講演会講演概要集，VI341，2019.
- 4) 池山正一，菅野道昭，大塚勇，橋本貴之，澤田幸平，栗原靖幸，大矢夏帆，今野清之朗：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 2 壁部材への試験施工による施工法の実証，土木学会年次学術講演会講演概要集，VI342，2019.
- 5) 澤田幸平，大塚勇，橋本貴之，菅野道昭，池山正一，栗原靖幸，大矢夏帆，今野清之朗：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，土木学会年次学術講演会講演概要集，VI343，2019.
- 6) Hyuk-il Jung: *LOAD SHEARING ANALYSIS AND RESULTS*, Design of Composite Tunnel Linings Workshop, September 2017.

(2020. 8. 7 受付)

FOUNDAMENTAL RESEARCH ON SPRAY REPAIR METHOD USING COATING WATERPROOFING MEMBRANE OF EVA

Kouhei SAWADA, Joi YAGISHITA, Isamu OHTSUKA, Michiaki KANNO,
Shoichi IKEYAMA, Natsuho OYA, Yasuyuki KURIHARA and Tomoya
NAGASAWA

There are various renewal methods applied to concrete structure. Particularly, from the workability and the economy point of view, repair by the shotcrete is generally employed in case of the repair with large cross section. However, when the high-quality is required, the construction cost, especially the material cost is increased for the conventional method. The purpose of this research is to develop the new renewal method which is superior in economic efficiency and durability compared to the conventional method.