## 塗膜防水材を用いた 吹付けリニューアルエ法の基礎的検討

澤田 幸平 1・橋本 貴之<sup>2</sup>・菅野 道昭<sup>3</sup> 池山 正一 4・大矢 夏帆<sup>5</sup>・今野 清之朗<sup>6</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>正会員 大成建設株式会社 技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1) E-mail: hsmtky00@pub.taisei.co.jp

3 正会員 成和リニューアルワークス株式会社 営業部 (〒106-6032 東京都港区六本木 1-6-1) E-mail: knnmta00@pub.taisei.co.jp

<sup>4</sup>正会員 成和リニューアルワークス株式会社 営業部 (〒106-6032 東京都港区六本木 1-6-1) E-mail: ikymsk00@pub.taisei.co.jp

> <sup>5</sup>非会員 BASF ジャパン(〒253-0071 神奈川県茅ケ崎市萩園 2722) E-mail: natsuho.oya@basf.com

6非会員 ポゾリスソリューションズ株式会社(〒253-0071 神奈川県茅ケ崎市萩園 2722) E-mail: kiyoshiro.konno@pozzolith.com

コンクリート構造物のリニューアル工法は、主にシート系、パネル系、左官系、吹付け系などが適用さ れている。その中でも、特に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 観点から吹付け工法による補修が有利となることが多い。しかし、従来の吹付け工法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ともに、従来 工法と比較し経済的でより耐久性に優れた新工法の開発を目指し基礎的な検討を行った。

Key Words: spray repair method, coating waterproofing material, test construction, 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<sup>1</sup>.

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 どが挙げられる<sup>2</sup>.例えば、トンネルの二次覆工の補修 では、いずれの工法においても地山からの湧水を完全に は止めることはできず、施工後に補修箇所が再劣化する 事例が散見される.また、断面修復工法は主に左官工法、 吹付け工法、充填工法があり<sup>2</sup>、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



図-1 吹付け補修工法の新旧比較

経済性などの観点から吹付け工法による補修が有利である.

そこで著者らは、既設コンクリートの劣化した箇所を 斫った面に対して、従来のプライマーに替わりEVA樹脂 系の塗膜防水材を塗布し、その上から保護モルタルを吹 付ける補修工法を開発した(図-1)<sup>3,4,5</sup>.

本工法は、高い接着力を有する中間層の塗膜防水材に 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.

本論文では、塗膜防水材を既設コンクリートと保護モ ルタルの間に挟んだ構造体に関して室内試験や試験施工 を行った結果を整理し、上記構造体を用いたトンネル全 体の構造安定性を数値解析により検討した結果をまとめ る.

## 2. 塗膜防水材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斫って除去し, 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



図-3 本工法の防水層による水の浸入防止

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,塗膜防水材を塗布した後,2週間以上気中 養生を行う. 塗膜防水材が乾燥して硬化後,散水等によ り湿潤状態とし,保護モルタルを吹き付けて補修する. これにより,本工法は既設部と保護モルタル層の間に防 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.

#### (2) 使用材料

#### a) 塗膜防水材

本工法で使用する塗膜防水材は,EVA 樹脂系の塗膜 防水材であり,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吹付機・コンプレッサなど簡易な機械で吹付け可能

## b) 保護モルタル

本工法の保護層に用いるモルタルは、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. 室内試験

## (1) 室内試験概要

本研究では、塗膜防水材を既設コンクリートと保護モ ルタルの間に挟んだ構造体に関する基本物性を確認する ため、各種試験を実施した.本論文では基本物性のうち、 以下の代表的な3項目について示す.

①防水性能 ②剥落防止性能 ③耐久性能



**写真-1** 塗膜防水材に対する透水試験 (インプット法)結果

## (2) 試験結果

## a) 防水性能

・透水試験[インプット法]

本工法で用いる塗膜防水材自体の防水性能を確認する ため、透水試験(インプット法)を実施した.供試体は ポリマーセメントモルタルで作製した平板(幅300×奥 行300×高さ60 mm)に塗膜防水材を2~3 mm 塗布し、2 週間の気中養生後に  $\phi$  100 mm のコア(写真-1)を3 本採 取した.硬化後の塗膜防水材の厚さは1~2 mm であった. その後、防水層表面に直接水圧0.5 MPa を24 時間作用さ せた.加圧終了後は供試体を円柱軸方向に割裂し、破断 面での水の浸透状況を確認した.その結果、全ての供試 体で平板への漏水は確認されなかった(写真-1).

## ・ひび割れ漏水試験

ひび割れ漏水試験は、既設コンクリートからひび割れ を通じて浸入した水が、塗膜防水材を通過して保護層の 表面まで達するか、もしくは塗膜防水材と既設コンクリ ートとの間に入って平面的に拡がり漏水するかを確認し た.図-4に示すように、供試体は0.2 mmのひび割れを有 する既設コンクリートを想定して2本の角柱コンクリー ト(幅150×奥行300×高さ150 mm)を離隔0.2 mmで設置 し、その上に塗膜防水材を厚さ約3 mmで塗り付け、約2 週間養生後に保護層のコンクリートを厚さ150 mm に打 ち込んで作製した.既設側から鉛直上向きに水圧0.3、

0.6, 1.0 MPa を作用させ, それぞれ6, 6, 12 時間加圧した. 漏水確認は, 保護層の上側表面で加圧前後の①目視確認, ②触手確認, ③含水率測定を行い, 加圧後に供試体を鉛直方向に割裂して④防水層境界の乾湿状態を観察した.

その結果,いずれの加圧条件においても,加圧前後で 保護層のコンクリート表面は色の変化がなく,触れても 濡れておらず,含水率の結果も加圧前後で変化がなかっ た.また,塗膜防水材と既設コンクリートの境界に水の 拡がりは見られなかった.



図-4 ひび割れ漏水試験の供試体

以上より、本工法の優れた防水性能を確認できた.

#### b) 剥離防止性能

## ·引張接着性試験

引張接着性試験では、塗膜防水材(厚さ約3 mm)を 保護層および母材で挟んだ平板(300×300 mm)を供試 体として作製し、40×40 mmの鋼製アタッチメントを供 試体の切込み部に取り付け、建研式接着力試験器により 各材齢(7日、14日、21日、28日)で3体の引張接着強度 を測定した(図-5).本試験は、塗膜防水材および保護 層のモルタルの施工方法を、左官・吹付けにそれぞれ変 えて引張接着強度を確認した。

表-1に示す結果より,左官施工の場合は防水層が均質 となることから,引張接着強度も大きくなった.しかし, 施工効率を考えると吹付けでの施工が有利となるため, 左官施工の品質と同等になるように吹付け方法を改善す ることが今後の課題である.

・曲げひび割れ試験

曲げひび割れ試験は、図-6のような中央部に切欠きを 設けた梁(幅150×高さ200×長さ2000 mm)を作製し、切 欠き部にモルタルを打ち込んで保護層とした.なお、母 材と保護層の間は従来の補修方法を想定してプライマー を塗布したものと、本工法の塗膜防水材を塗布したもの を用意し、鉄筋の降伏した後も変位測定が可能な範囲ま で曲げ試験を実施した.試験中のひずみは、デジタル画 像相関法による測定<sup>6</sup>を行った.

その結果,図-7にて母材と保護層の間の最大離隔を確認すると,無塗布の従来工法では剥離が生じたが,本工法では塗膜防水材がひび割れに追従するため,剥離が生じない結果となった.つまり,本工法は外力により補修



図-5 引張接着性試験の供試体

#### 表-1 引張接着性試験結果

| 施工方法  |        | 引張接着強度 [N/mm <sup>2</sup> ] |      |      |      |  |  |
|-------|--------|-----------------------------|------|------|------|--|--|
| 塗膜防水材 | 保護モルタル | σ7                          | σ14  | σ21  | σ28  |  |  |
| 左官    | 左官     | 0.85                        | 1.14 | 1.44 | 1.78 |  |  |
| 吹付け   | 左官     | 0.89                        | 1.06 | 1.21 | 1.15 |  |  |
| 吹付け   | 吹付け    | 0.91                        | 1.01 | 1.16 | 0.99 |  |  |
|       |        |                             |      |      |      |  |  |

※材齢は保護モルタルの施工後 ※目標値:1.5 N/mm<sup>-</sup>以

表-2 促進中性化試験·遮塩性試験結果

| 塗膜  | 中   | 実効拡散係数 |     |                      |
|-----|-----|--------|-----|----------------------|
| 防水材 | 1週  | 4週     | 8週  | [cm <sup>2</sup> /年] |
| 有り  | 0.1 | 0.1    | 0.2 | 0.28                 |
| 無し  | 4.3 | 7.1    | 9.5 | 2.64                 |

箇所が面外変形した場合も、中間層である塗膜防水材が 有する接着性とひび割れ追従性により剥落のリスクを小 さくできる可能性を示した.

## c) 耐久性能

・促進中性化試験

促進中性化試験はNEXCO 試験法432 に準じて行い, 塗膜防水材の有無による中性化深さを比較して検証した. 本試験は,母材コンクリート(水セメント比53%)に塗 膜防水材を約3 mm 塗布し,その面に対して直接促進中 性化を行った.中性化深さの測定は,促進開始後1,4, 8 週とした.試験結果を表-2 に示す.この結果から,塗 膜防水材により中性化が抑制され,無塗布に比べて促進 開始後8 週の中性化深さは約1/50に低減した.

## ・遮塩性試験

項目

No. 1 透水試験

遮塩性試験は、NEXCO 試験法432 に準じて行い、塗

膜防水材の有無による実効拡散係数を比較して検証した. なお、本試験の供試体は、塗膜防水材(厚さ約3 mm) の塗布面に対して直接電気泳動試験を行った.試験結果 を表-2に示す.この結果から、塗膜防水材により塩化物 イオンの浸透が抑制され、無塗布に比べて実効拡散係数 は約1/10に低減した.

以上のことから,塗膜防水材の中間層により中性化抑 制・遮塩性が期待できるため,本工法は補修箇所の再劣 化を低減できる可能性があることを見出した.

#### d) そのほかの試験結果

上述のa)~c)を含む室内試験の結果を表-3に示す.なお、表中の供試体構造は、塗膜防水材が保護層と母材の間に挟まれる状態を「両面」、保護層がなく母材に塗膜防水材を塗布した状態を「片面」とした.

ひび割れ追従性試験は、塗膜防水材の硬化後の伸びを

Ne /11 = + / 1 1#+ \#



図-7 塗膜防水材の有無による曲げひび割れ試験の結果

| 表-3 👔  | 室内試験での |                      | <u>水材</u><br><u>1)-ト<br/>(両面)</u> (片) | 「<br>「<br>「<br>「<br>」 |
|--------|--------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 試験方法   | 供試体構造※ | 試験結果                 | 目標値                                   | 判定                    |
| インプット法 | 片面     | 漏水なし(0.5MPa, 24hr加圧) | 漏水なし                                  | OK                    |
| -      | 両面     | 漏水なし(1.0MPa, 12hr加圧) | 漏水なし                                  | OK                    |

| 2  | ひび割れ漏水試験                                     | —                  | 両面 | 漏水なし(1.0MPa, 12hr加圧)  | 漏水なし                          | OK |
|----|--|--------------------|----|---|-------------------------------|----|
| 3  | 引張接着性試験                                      | 建研式引張試験            | 両面 | 接着強度 1.78 N/mm <sup>2</sup> (材齡28日:左官工法)                        | 1.5 N/mm <sup>2</sup> 以上      | OK |
| 4  | 曲げひび割れ試験                                     | —                  | 両面 | 塗膜防水材により剥離・剥落なし(母材圧壊時)  | 剥落なし                          | OK |
| 5  | 促進中性化試験                                      | 試験法432(JIS A 1153) | 片面 | 無塗布に対して中性化深さが約1/50に低減   | —                             |    |
| 6  | 遮塩性試験  | 試験法432(JSCE-G 571) | 片面 | 無塗布に対して実効拡散係数が約1/10に低減  | —                             |    |
| 7  | ひび割れ追従性試験                                    | JSCE-K 532         | 片面 | 1.56 mm (塗膜防水材厚さに対する伸び率57%)                                     | 0.2 mm以上                      | OK |
| 8  | 促進耐候性試験                                      | 試験法425(JIS K 5600) | 片面 | 変状なし(キセノンランブ法:1200時間)   | 変状なし                          | OK |
| q  | 0 泪冷绿运口及び回归/贝准封除                             | 試験法425             | 片面 | 変状なし(-30°C3hr, 60°C3hr・アルカリ溶液に半浸漬,                              | 亦壮た」                          | ОК |
| 5  | 加川休区し及り7000000000000000000000000000000000000 |                    |    | 23°C18hr・アルカリ溶液に全浸漬:30サイクル)                                     | え 小な じ                        |    |
| 10 | 延焼性試験  | 試験法738             | 片面 | 消炎時間t=0秒,延焼範囲上端L≦490mm  | t≦30秒, L≦600mm                | OK |
|    |  |                    |    | 一酸化炭素(CO): 530ppm,  | CO: 1000ppm未満,                |    |
| 11 | 11 発生ガス安全性試験                                 | _                  | 片面 | 硫化水素(H <sub>2</sub> S):未検出,                                     | H <sub>2</sub> S: 100~300ppm, | OK |
|    |  |                    |    | 二酸化窒素(NO <sub>2</sub> ):未検出                                     | NO <sub>2</sub> : 50~150ppm   |    |
| 12 | <b>正</b>                                     | US & 1107          | 両面 | 圧縮強度σ28 [N/mm <sup>2</sup> ] 母材: 57.6                           | _                             | _  |
| 12 | /上/===================================       | 510 A 1101         |    | $\alpha = 0^{\circ}$ : 44.2, 45° : 4.82, 55° : 9.07, 70° : 14.4 |                               |    |

確認した.一般に,ひび割れ幅が0.2 mm以下の場合は補 修対象としない<sup>20</sup>ため,ひび割れ後も塗膜防水材の性能 を保持できるように伸び量の目標値を0.2 mm以上とした. 表-3より,伸び量1.56 mmと目標値を上回ったため,本 工法はひび割れ追従性を十分に満足する結果を得た.

塗膜防水材自体の耐久性確認として促進耐候性試験, 温冷繰返し及びアルカリ促進試験を実施した.その結果, 塗膜防水材に変状がないことが分かった.今後,促進試 験後も防水性能や剥落防止性能を満足するかを確認する 必要がある.

その他,延焼性試験・発生ガス安全性試験の結果,塗 膜防水材は延焼せず,有害なガスも発生しないことが分 かった.圧縮強度試験については,塗膜防水材をモルタ ルで挟んだ供試体を対象に行い,塗膜防水材による中間 層の角度を45,55,70°に変化させて実施した.圧縮 強度試験より得られた結果は,後述の構造解析に用いた.



写真-2 本工法の試験施工対象



## 4. 試験施工

#### (1) 試験施工概要

本試験施工では、比較的広い範囲の補修を想定し、下 地処理から保護モルタルの吹付けまで一連の施工を行っ た.これにより、下地処理方法や不陸調整の有無による 塗膜防水層の状態と引張接着強度を確認した.

#### a) 施工対象

**写真-2**に示す幅2m×高さ2mのプレキャストボックス カルバート外壁,幅4m×高さ1.5mの擁壁を対象に試験 施工を実施した.なお,JISA1107よりボックスカルバ ートと擁壁の圧縮強度は70.5、36.8N/mm<sup>2</sup>であった.

#### b) 下地処理の種類

施工対象の下地処理は、コンクリートドレッサー、ウ オータージェット、ハンドブレーカーにより表面を約1 0mm 斫り、それぞれの範囲の半分をモルタルにより約2 0mm の不陸調整して、全6パターンとした(表-4)、下 地処理による表面状態を**写真-3**に示す.

### c) 塗膜防水材・保護モルタルの吹付け

モルタルでの不陸調整後は2週間気中養生し、散水し て湿潤後に乾式吹付けで塗膜防水材を約3 mm に施工し た. さらに2週間気中養生を行い、散水して湿潤後に湿 式吹付けで保護モルタルを約30 mm に施工した.

#### (2) 試験施工の結果

#### a) 防水層の形成

下地処理方法,不陸調整の有無による防水層の状態を 確認した. 写真-4 より, Case 3, Case 5 にて斫り面の凹 部への材料の未充填, ピンホールの発生により均一な塗 膜形成が困難であった. このことから,防水層の品質確

|              |      |      | - <b>-</b> • • • • • • • • •     |      |      |  |
|--------------|------|------|----------------------------------|------|------|--|
| 下地処理         | 不陸調整 | 表面粗さ | 引張接着強度                           | σ28の | Case |  |
| 方法           | 有無   | [mm] | $\sigma$ 28 [N/mm <sup>2</sup> ] | 標準偏差 |      |  |
| コンクリートト゛レッサー | 無し   | 10   | 0.50                             | 0.13 | 1    |  |
|              | 有り   | 5    | 0.69                             | 0.09 | 2    |  |
| ウォーターシ゛ェット   | 無し   | 20   | 0.79                             | 0.20 | 3    |  |
|              | 有り   | 5    | 0.96                             | 0.11 | 4    |  |
| ハント゛フ゛レーカー   | 無し   | 30   | 0.55                             | 0.18 | 5    |  |
|              | 有り   | 5    | 0.78                             | 0.13 | 6    |  |

表-4 下地処理による引張接着強度



写真-4 下地処理による塗膜防水材塗布後の状態

保のため、下地調整後の表面粗さを10 mm 以下にする必要があることが分かった.

## b) 引張接着強度

下地処理方法,不陸調整の有無による引張接着強度を 確認した.試験方法はJSCE K 561 に準拠して行った.保 護モルタル施工後28 日の引張接着強度を表-4 に示す.

今回の結果では、Case 5 にて引張試験後の破断面が母 材コンクリートの凝集破壊となった.これは、Case 5 の 斫り後の表面粗さが30 mm と大きいためと考えられる. また、Case 3 の一部で塗膜防水材が引き裂かれて破断し たことから、上述の塗膜形成の不均一による影響と考え られる.他のケースは、概ね塗膜防水材と保護モルタル の界面で破断が生じ、強度のばらつきが大きい結果とな った.これは、乾式吹付けによる施工品質のばらつきが 影響したと推察される.

## 5. 構造安定検討

## (1) 検討概要

今回,塗膜防水材を覆工コンクリート(以下,覆工) と保護モルタルの間に塗布した構造を有するトンネル全 体の構造安定性を数値解析により検討した.これにより, 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



図-8 圧縮強度試験供試体のモデル化



写真-5 圧縮強度試験後の供試体

ネルの挙動に与える影響について検証した.

#### (2) 塗膜防水材のモデル化

図-7に示すように、塗膜防水材による中間層の角度を 変えた供試体(θ=45,55,70°)と、保護モルタルの みの供試体を対象に圧縮強度試験を実施した.ここで得 られた荷重-変位曲線を再現できるように、塗膜防水材 の解析モデルと物性値を以下の通り検討した.

## a) 塗膜防水材の解析モデル

圧縮強度試験後の供試体を観察すると、塗膜防水材と 保護モルタルの境界で滑っていることが確認できた(**写 真-5**).そのため、塗膜防水材と保護モルタルの境界を、 Mohr-Coulomb の破壊基準に従うインターフェース要素

(以下, IF要素) でモデル化し,境界の滑りを再現した (図-8).なお,保護モルタル・塗膜防水材は弾性体に てモデル化した.

#### b) 保護モルタルおよび塗膜防水材の解析用物性値

保護モルタル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既往文献<sup>7</sup>より350 MPaとした.  $k_n$ は10,000GN/m<sup>3</sup>, T<sub>s</sub>は10,000kN/m<sup>2</sup>と非常に大きな値とす ることで,要素同士の食い込みと付着切れを防止するこ ととした.また, Mohr-Coulombの破壊基準ではせん断強 度S<sub>s</sub>は粘着力c,内部摩擦角 $\phi$ の関数となる. $\phi$ は既往 文献<sup>7</sup>より12.1°とし,ばね定数(せん断方向) $k_s$ とcは 圧縮強度試験の荷重-変位曲線を再現できるように同定 した.

ー例として図-9に、試験と解析により得られた荷重-変位関係( $\theta=45^{\circ}$ ), k<sub>s</sub>とcの同定方法を示す.試験の 弾性限界は最大荷重の1/2 までの範囲とし、弾性限界内 の試験値と解析値の傾きの誤差の2 乗和が最小となるよ うにk<sub>s</sub>を同定した.また、試験と解析における弾性限界 の変位差の2 乗和が最小となるcを同定した.その結果、 k<sub>s</sub>は1.16 GN/m<sup>3</sup>, cは1.92 MPaとなった.



| 表-5 構造解析の検討ケース |         |      |      |            |                |       |      |            |  |
|----------------|---------|------|------|------------|----------------|-------|------|------------|--|
|                | 第十回     | 保護モル | 塗膜防  |            | インターフェース要素の物性値 |       |      |            |  |
| CASE           | [mm]    | タル厚  | 水材厚  | kn         | ks             | С     | φ    | Τs         |  |
|                | LIIIII) | [mm] | [mm] | $[GN/m^3]$ | $[GN/m^3]$     | [MPa] | [°]  | $[kN/m^2]$ |  |
| 1              | 300     | -    | -    |            |                | -     |      |            |  |
| 2              |         |      |      | 10,000     | 10,000         |       |      |            |  |
| 3              | 270     | 30   | 3    | 10,000     | 1.16           | 1.92  | 12.1 | 10000      |  |
| 4              |         |      |      | 10,000     | 0              |       |      |            |  |



図-12 トンネル全体構造系の解析結果(覆工,保護モルタルの応力)

#### (3) トンネル全体構造系の挙動

トンネル全体構造系の数値解析を実施し、塗膜防水材 の有無がトンネルの安定性に与える影響を検討した.本 検討では常時、L1 地震時(水平震度0.3),L2 地震時 (水平震度2.0)の検討を行い、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た.なお、表-5 に示す ように、「覆工のみ」のCASE1、「本工法を適用した覆 工」のCASE2 ~ CASE4で検討を行う.CASE2~ CASE4で はインターフェース要素のせん断ばね定数ksをそれぞれ 10,000GN/m<sup>3</sup>(覆工と保護モルタルが一体となって挙動 するケース),1.16GN/m<sup>3</sup>(同定したksを用いるケース), 0GN/m<sup>3</sup>(覆工と保護モルタルが分離しているケース) とし、ksの違いがトンネルの安定性に与える影響を検討 した.

## a) 解析モデル

図-10 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,本工法 による補修は覆工全周としてモデル化した.

#### b) 解析結果

図-11 (a)にCASE3 のL2 地震時におけるトンネル変形図, (b)に各ケースの下端に対する天端の相対水平変位を示 す. 覆工のみのCASE1 と比較して, CASE2~CASE4 で 相対水平変位は同程度であることが確認できる. これは, 覆工と保護モルタルがともにリング状に閉合しており, 覆工と保護モルタルが一体となって変形したためである と考えられる.

図-12 (a)にCASE3 のL2 地震時における覆工と保護モル タルの応力図, (b)に各ケースの覆工の最大圧縮応力, (c) に各ケースの保護モルタルの最大圧縮応力を示す.この 結果から,覆工のみCASE1 とCASE2 ~CASE3では覆工 に発生する圧縮応力は同程度であることが確認できた. また,k,が小さくなるにつれて覆工に発生する応力は大 きくなり,保護モルタルに発生する応力が小さくなるこ とが分かる.これはk,が小さくなると,トンネルに作用 する荷重が覆エコンクリートから保護モルタルに伝達し にくくなるためであると考えられる.

また,保護モルタルの最大圧縮応力は,覆工に発生す る応力の1/3 程度であり,覆工と比べて裕度がある結果 となった.保護モルタルの弾性係数または厚さを増加

(剛性を増加) させた場合,覆工の圧縮応力は減少し, 保護モルタルの圧縮応力は増加することが想定される. 今回の解析では保護モルタルの弾性係数を801 GPa,厚 さを30 mm として検討している.保護モルタルの最大圧 縮応力が覆工と比べて裕度がある結果は,保護モルタル の剛性を増加させることで,覆工と保護モルタルにとっ てより最適な仕様を提案できることを示唆している.

## 6. まとめ

本研究では、既設コンクリートの劣化部を斫った面に 塗膜防水材を塗布し、その上をモルタルで保護する吹付 け補修工法を開発し、室内試験や構造解析などの基礎検 討を行った.本検討で得た知見を以下に示す.

- (1)本工法の基本物性を確認するため各種試験を実施した.その結果,塗膜防水材により防水性能や剥落防止性能を保持するだけでなく、中性化抑制や遮塩性などの耐久性を有することが分かった.さらに、塗膜防水材の引張接着性とひび割れ追従性から剥離が抑えられ、剥落のリスクを低減できる可能性を示した.
- (2)本工法の試験施工を実施した結果,防水層の品質 を確保するためには,母材コンクリートの斫り 後の表面粗さを10 mm以下にする必要があること が分かった.また,乾式吹付けによる施工は, 防水層の品質のばらつきが大きくなることが確 認されたことから,今後,室内試験と同程度の 品質(引張接着強度など)が確保できるように 施工方法や機材の改良を行う予定である.
- (3) 構造解析により覆工全周を補修する条件下で,覆

エのみのケースと本工法を適用した覆工のケー スで比較検討を行った.その結果,両ケースに トンネルの変形や覆工の圧縮応力に大きな違い がないことが確認できた.今後は,覆工の一部 を補修した場合や,保護モルタルの諸元を変化 させた場合の検討を行う予定である.

## 参考文献

- 内閣府:インフラ維持補修・更新費の中長期展望, 2018.
- 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) 山本悠人,村田裕志,畑明仁:デジタル画像相関法 を用いた RC はり部材の損傷評価の試み、コンクリ ート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp.55-60, 2019.
- Hyuk-il Jung Associate, UKMEA Tunnel Skills Leader, Arup: LOAD SHEARING ANALYSIS AND RESULTS, Design of Composite Tunnel Linings Workshop, September 2017.

(2019.8.9 受付)

## DEVELOPMENT OF SPRAY REPAIR METHOD USING COATING WATERPROOFING MEMBRANE OF EVA

# Kouhei SAWADA, Takayuki HASHIMOTO, Michiaki KANNO, Shoichi IKEYAMA, Natsuho OYA and Kiyoshiro KONNO

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.