

レンガトンネルにおけるポリウレア樹脂を用いた剥落対策工の試験施工

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○鎌田 和孝
 日本基礎技術株式会社 山本 忠之
 日本基礎技術株式会社 正会員 岡田 和成
 公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 野城 一栄

1. はじめに

レンガを用いた山岳トンネルは明治～大正初期に建設され、多くのトンネルが経年100年を超えており、経年劣化に伴うレンガ母材や目地材の剥落などによって維持管理に苦慮している。今回、廃線レンガトンネルにおいて、ポリウレア樹脂吹付けによる剥落対策工に関する適用可能性の確認を目的として試験施工を実施し、下地処理の違いや漏水、覆工表面の凹凸、目地の開口によって、プライマー塗布や樹脂吹付の施工品質に与える影響を確認した。現場導入にあたっての課題整理を実施するため、実場面を想定した悪条件下での施工試験を行い、レンガ覆工を対象とした剥落対策についての知見を得たので結果を報告する。

2. 試験方法

対策工法は鉄道総研らによって開発されたポリウレア樹脂を用いた剥落対策を実施した¹⁾。試験施工は、廃線となっている在来線単線トンネルにて実施した(写真1)。このレンガトンネルは1899年に供用開始され1983年には線路付替により廃止されたもので、坑口部の漏水やかつてのSL走行によるばい煙等の付着、母材の劣化や目地やせによる不陸が認められる。施工手順は、下地処理・プライマー塗布(エポキシ系)・樹脂吹付の順で実施し、実施工を考慮して漏水の有無、下地処理方法{ディスクサンダー(以下、DS)とブラシ}に着目して、表1に示す計4ケースについて試験施工を行った。漏水については、止水モルタルで最低限の処置を実施し、下地処理については、覆工表面の凹凸や開口に対する施工性を確認することを目的に、あえて不陸整正を行わないこととした。ばい煙等の付着物(以下、付着物)を十分に取り除くことが困難であったため、付着物が残った状態でプライマー塗布を実施しており、残存する付着物が付着性に及ぼす影響を確認することとした。また、下地処理後と樹脂吹付後には、建研式接着強度試験器による付着強度試験を実施した。

不陸箇所における施工後の状況を写真2に示す。緩やかな凹凸箇所については樹脂が連続して付着しているが、極端な断面変化がある箇所では樹脂を吹き付けるスプレーからの死角となってしまう樹脂が途切れてしまう結果となった。連続した樹脂を形成するためには、凹凸の程度に応じて不陸整正が必要となる。

3. 施工結果

不陸箇所における施工後の状況を写真2に示す。緩やかな凹凸箇所については樹脂が連続して付着しているが、極端な断面変化がある箇所では樹脂を吹き付けるスプレーからの死角となってしまう樹脂が途切れてしまう結果となった。連続した樹脂を形成するためには、凹凸の程度に応じて不陸整正が必要となる。

4. 付着強度試験結果

(1) 下地処理後

下地処理後の覆工表面の状況を写真3に、このとき実施した付着強度試験結果を図1に示す。ケース1～3は目標



写真1 廃線レンガトンネルの状況

表1 実施ケース

ケース	漏水	下地処理方法
1	なし	DS
2		ブラシ
3	あり	DS
4		ブラシ

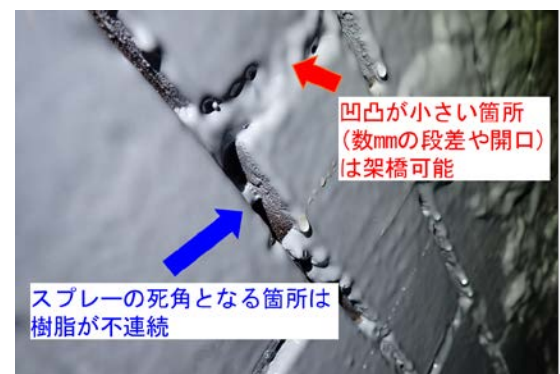


写真2 不陸箇所における施工後の状況

キーワード 山岳トンネル, 覆工, ポリウレア樹脂, 吹付型剥落対策工, 現地試験, レンガ
 連絡先 〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島5-4-20 中央ビル2F 構造技術室 TEL 06-6305-6957

値（剥落対策の基準値 $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ ）と同等とした）を下回る値となり、特にケース1・2は試験器の自重で剥がれてしまうなど著しく低い値となった。ケース4は目標値を上回る値となった。この結果を受けて、念入りにDSをかけるケース5を追加したが、改善は認められなかった。目標値を下回った要因としては、ばい煙と母材の削り粉が混ざり合いクリーム状になった付着物が残っていたことが考えられる。ケースごとの差は、付着物の違い、または母材品質のバラつきの可能性が考えられ、下地処理と母材強度の確認方法を検討する必要がある。

(2) 樹脂吹付後

樹脂吹付後に実施した付着強度試験結果を図2に示す。基準値（前出の $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ ）を満足したものが多いが、強度および破壊状況がバラつく結果となった。下地処理の違いによる主な破壊状況として、DSでは母材破壊、ブラシではプライマー破壊が認められた。DSは、付着物が多少残っていたものの、付着物もプライマーと混ざって硬化し、一定の強度を発現したが、DSによるケレンによって母材を痛めた可能性が考えられる。ブラシは、付着物を十分に除去できなかったため、付着物とプライマーが混ざって一定の強度を発現したが、母材よりも小さい強度となったと考えられる。漏水については、プライマーの材料自体を逸散させてしまうような漏水状況では施工できないことを確認した。

5. 考察

付着物の除去が不十分であったことから、ケースによって程度の差はあるものの、プライマーが触手で剥がれるなどプライマーの硬化不良が生じていた。漏水の無いケース2で硬化不良が起こっているため、水だけが原因ではないと考えられる。このことから、付着物に含まれる何らかの物質が硬化不良の主たる原因と推定される。エポキシ樹脂の硬化反応として、A（主剤中）とB（硬化剤中）の反応基が反応して硬化しているとする、付着物に含まれる何らかの物質が、①AとBの間に入り込み、AとBが接触できなかった。あるいは②AもしくはBと反応し、AとBのバランスが崩れて硬化不良になったと考えられる。①②どちらの場合でも、原因物質の特定および各現場における環境条件の整理（付着物の種類や量の特定等）が困難であることから、施工品質を確保するためには、付着物を除去することも含めて下地処理を的確に実施することの重要性を確認した。

6. おわりに

今回の試験施工により、長期間供用されたレンガトンネルへの適用において以下の課題が認められた。

- ・適切な下地処理と母材強度の確認方法の検討が必要である
- ・漏水環境での施工は困難である
- ・付着物の除去が困難なばい煙等が付着するレンガ材料には適さない

参考文献 1) 嶋本他:トンネル覆工の剥落対策としてのポリウレア樹脂吹付けの模型実験と試験施工, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol. 73, No. 3 (特集号), 2017.

2) 東日本高速道路株式会社他:トンネル施工管理要領, 2015. 7



写真3 下地処理後の覆工表面

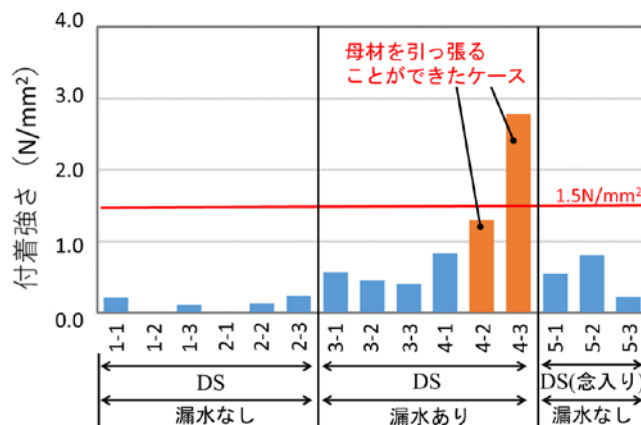


図1 付着強度試験結果（下地処理後）

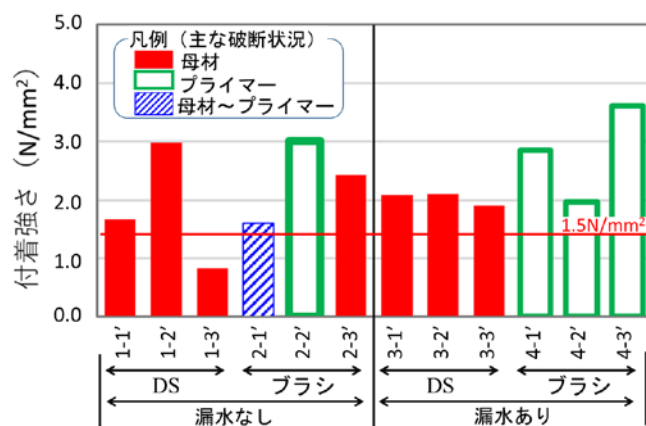


図2 付着強度試験結果（樹脂吹付後）