

樹脂吹付けによる効率的なレンガトンネル剥落対策の検討について

J R 西日本 正会員 ○吉田 隆浩 J R 西日本 正会員 西井 学

1. 概要

当社が管理する在来線トンネル約 400 k m のうち、アーチ部の覆工材料としてレンガを使用しているトンネルは約 60 k m に及ぶ。これらのレンガトンネルの大半は経年 80 年以上で、レンガ母材の劣化や目地材の劣化が多く見受けられている。このうち、レンガ母材の劣化による剥落の対策工法として、当社では、劣化部の叩き落としやネット工法、繊維シート接着工法等を採用しているが、これらの対策には、対策後も保守管理が必要な後付け設備が発生する等の短所もあり、更なる検討の余地が残されているのが現状といえる。本稿では、それらの現状を踏まえ、後付け設備が発生しない樹脂吹付け工法に着目し、実構造物への適用について検討した。

2. レンガ覆工の主な劣化原因

レンガ覆工部の剥離の原因を分析するために、覆工表面に多数の剥離箇所が存在する当社管内のレンガトンネル（大正 10 年竣工）において行った物理試験、化学分析（表 - 1）より得られた知見を以下に記す。

表 - 1 試験項目

試験項目	採取箇所	試験結果(平均値)	判定根拠
圧縮強度試験	レンガコア、レンガ単体	コア: 23.9N/mm ² 単体: 39.3N/mm ²	JIS R1250
せん断強度試験	レンガ目地	0.89N/mm ²	他構造物の調査結果
引張強度試験	レンガ目地	1.14N/mm ²	他構造物の調査結果
吸水率試験	レンガコア	10.4%	JIS R1250
成分分析 ¹	健全箇所、剥離箇所、目地材、煤煙	-	-

¹ 走査型電子顕微鏡、X線回折により実施

- ・ 各強度試験結果より、供用約 80 年の状態で材料としての欠陥等は見られなかった。
- ・ レンガの剥離面には石膏が存在する傾向があるが、これは、煤煙に含まれる亜硫酸ガスが漏水によりレンガ内に浸透し、目地材に含まれる水酸化カルシウムとの化学反応により生成したものと考えられる。この石膏がレンガに微細な亀裂を発生させ、進行したことが剥離の主原因と考えられる。

3. レンガ覆工剥落対策に期待する性能

既往の対策工法の短所や前項にて記述した主な劣化原因等より、新しい剥落対策に期待する性能として、覆工表面を保護、強化し、煤煙に対する抵抗性を有すること、後付け設備を用いないこと、レンガ覆工は目地部を有するため、凹凸のある粗な面に対して施工できること、低コストで施工性が良いこと等が挙げられる。これより、現在当社において、コンクリートの剥落対策として用いられているアクリル系樹脂を用いた補修方法に着目した。この補修方法は、まず、剥離箇所を叩き落とし、その後エアブローによる表面清掃を行った後、アクリル系樹脂を吹き付けるものである。

4. 補修性能の評価

今回検討する対策工法が期待する補修性能を有しているかを室内試験及び試験施工により評価した。以下に、各結果を記す。

(1) 含浸深さ試験・ひび割れ浸透性試験

覆工表面を保護、強化し、剥離・剥落を防止するには、塗膜層を形成させると共にひび割れ内に樹脂を浸透させ、接着させることが重要である。そこで、樹脂のレンガへの含浸性とひび割れ浸透性を試験により評価した。ここでは、樹脂の粘度（40, 100, 300 mPa・s）とひび割れ幅に着目して試験を行った。結果を図 - 1、図 - 2 に示す。図より、樹脂の粘度が低い程レンガ内部及びひび割れ内に浸透することがわかる。また、毛細管現象によるものと考えられるが、ひび割れ幅が大きい程、浸透性は低下している。

(2) 曲げ強度試験

ひび割れ間に浸透した樹脂が接着性能を有しているかを評価するため、割

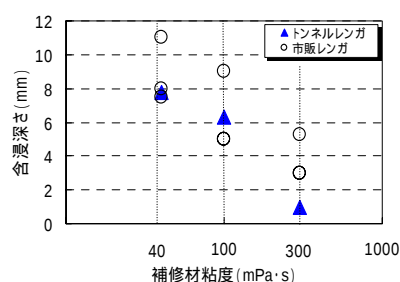


図 - 1 含浸深さ試験結果

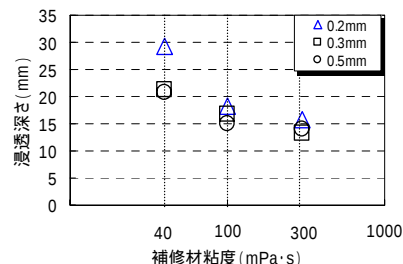


図 - 2 ひび割れ浸透性試験結果

キーワード) レンガトンネル、煤煙、剥落対策、樹脂吹付け、補修性能

連絡先) 小郡土木技術センター 〒754-0002 山口県吉敷郡小郡町下郷 1357 TEL 083-972-2864 FAX 083-973-7125

裂したレンガブロックを樹脂により接着させた供試体を用いて、曲げ強度試験を行った。ここでは、樹脂の粘度、レンガの乾湿状態に着目した。試験方法を図-3に、試験結果を図-4に示す。結果は、樹脂を介さないレンガ単体の曲げ強度との割合で示している。図より、レンガが湿潤状態の場合、接着性能は大きく低下していることがわかる。また、破壊状態については、乾燥試験体がレンガ母材で破壊しているのに対して、湿潤試験体は樹脂層で破壊した。これより、レンガが湿潤状態（漏水箇所）の場合、本工法は適していないといえる。

（3）耐硫酸性試験

レンガ覆工の劣化は、煤煙に含まれる亜硫酸ガスが主原因であることは前述した。そこで、レンガ及び目地材の煤煙に対する抵抗性を評価するため、耐硫酸性試験を行った。目地材については、モルタル試験体により代替して評価し、いずれも樹脂は全面に対して規定量（ 0.5kg/m^2 ）を塗布した。結果を表-2に示す。レンガについては、硫酸1%溶液に1週間浸漬後の重量変化はほぼ見られなかった。これは、レンガ自体が耐硫酸性を有しているためと考えられる。モルタル試験体については、樹脂を塗布していない試験体は、表面が白く変色し、重量変化が見られたのに対し、樹脂を塗布した試験体は、外観の変化、重量変化いずれもほぼ見られず、モルタル試験体が侵食されている様子はなかった。従って、本工法で使用する樹脂は、煤煙から目地材を保護し、レンガ母材の劣化を促進する劣化因子の溶出をほぼ防止するため、結果的にレンガ母材の煤煙に対する抵抗性が向上するといえる。

（4）施工性について

廃線レンガトンネルにおいて実施した試験施工（写真-1）を通して、施工性の確認を行った（施工面積 12m^2 ）。施工時間は、足場組立て・撤去等を除くと、約 25min/m^2 であった。樹脂の粘度の影響については、粘度が低い程周囲に飛び散り、覆工表面上で塗膜層を形成しない傾向があった。また、レンガの乾湿状態の影響については、湿潤面では、施工日において樹脂の硬化が認められなかったが、乾燥面では、2h程度で樹脂の硬化が認められた（写真-2）。

以上より、本工法は期待する補修性能を有しており、レンガトンネルの剥落対策に適用できるものと考ええる。試験結果では、粘度の低い樹脂の方が浸透性や接着性能は高い傾向が見られたが、施工性を重視した結果、粘度が $300\text{mPa}\cdot\text{s}$ の樹脂を使用することとし、漏水箇所には適用しないこととした。

5. 本工法の実トンネルへの適用

当社管内にて唯一定期的にSLが走行し、煤煙の供給を受ける山口線のレンガトンネルにおいて、本工法を用いた剥落対策を実施した（施工面積 606m^2 ）。施工時間については、約 12min/m^2 であり、試験施工と比較しても良好な施工性が確認できた。なお、施工範囲については、表面の光沢と打音確認により把握が可能であり、併せて樹脂の使用量を管理することにより、施工確認が可能であることも確認した。また、この工法の単価は、繊維シート接着工法の約 $1/5$ 、ネット工法の約 $2/5$ であり、低コストで施工できた。

6. まとめ

本稿では、レンガトンネルの剥落対策として、低コストで施工性が良く、劣化原因に対して補修効果を有するアクリル系樹脂吹付け工法について検討を行い、乾燥面においては、一定の成果が得られた。今後は、試験施工にて効果が得られなかった漏水箇所への適用性について検討するとともに、今回施工したトンネルにおいて、常にSLから煤煙が供給される環境下での樹脂の経時的な変化の検証を行っていく必要がある。

【謝辞】材料の提供、各試験の実施について協力頂いた電気化学工業株式会社に感謝致します。

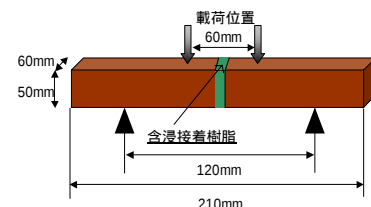


図-3 曲げ強度試験方法

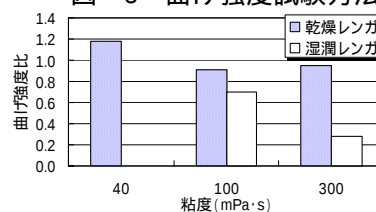


図-4 曲げ強度試験結果

表-2 耐硫酸性試験結果

重量変化(g)	塗布無	樹脂塗布
レンガ	-0.29	-0.33
モルタル	-3.10	-0.28



写真-1 施工状況（吹付け）

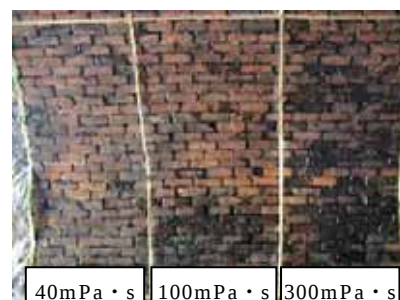


写真-2 仕上り状況（乾燥面）