

Project Brief	Survey on Soundness of Brick-Built Tunnels and Study of Measures - Improvement of promenades by the use of former railway tunnels -
プロジェクト紹介	2 レンガ積みトンネルの健全度調査と対策検討 ～旧鉄道トンネルを利用した遊歩道整備～
	佐々木洋平 SASAKI Yohei 株式会社復建エンジニアリング/保全技術部

1 ―はじめに

山梨県甲州市（旧勝沼町）には、長い歴史を持つぶどう作り・ワイン作りに関連した貴重な歴史的建造物が存在し、その中でも江戸～明治期に造られた建造物が数多く残されている。

甲州市では、「勝沼タイムトンネル100年構想」を掲げ、これらの歴史的建造物を周遊する散策路の整備が進められている。この散策路の一つである「鉄道遺産コース」は、勝沼ぶどう郷駅からワインカーブ（地下ワイ

ン貯蔵庫）としてすでに利用されている深沢トンネルなどの鉄道遺産を通り、柏尾山大善寺方面へ抜けるコースである。

この「鉄道遺産コース」の一部として利用予定である大日影トンネルは、明治36年（1903年）に供用を開始し、平成9年（1997年）に新大日影トンネルが開通するまでの94年間にわたり、鉄道トンネルとして利用されてきた。その後、平成17年にJR東日本から甲州市に無償移譲され、現在に至っている。現在、供用開始から100

年余り経過しているこのトンネルは、SLの煤煙の付着やレンガ目地からの漏水などによる劣化が見られる。

本稿は、大日影トンネルを安全な散策路として利用していくことを目的に実施した、健全度調査ならびに要求性能に応じた対策工の検討について報告する。

2 ―構造概要

トンネル概要を図2に示す。本トンネルはアーチ部に長手積みを、側壁部にイギリス積みを採用しており、レンガ積みトンネルとしては一般的な構造と言える。

3 ―健全度調査

●1 健全度調査項目

健全度調査実施項目を以下に示す。

1) 現地調査

- ・ 外観観察
- ・ たたき調査
- ・ 内空寸法測定
- ・ 背面空洞調査（内視鏡観察）
- ・ コア採取（φ 250×200mm）

2) 室内試験

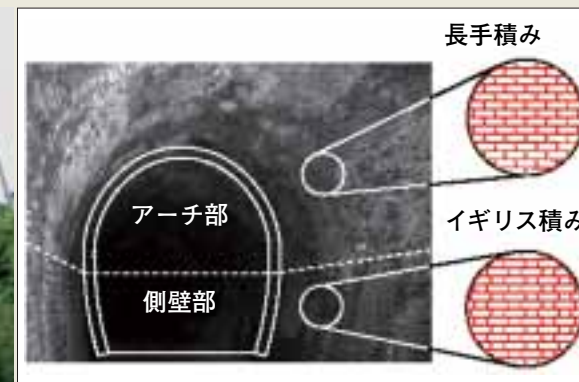
- ・ 物性試験（圧縮強度・吸水率）
- ・ 中性化深さ試験（レンガ目地）
- ・ 水質調査（pH、・ Cl⁻・ SO₄²⁻測定）
- ・ 成分分析（付着物）
- ・ EPMA 分析（採取試験片）



■図1―大日影トンネル位置図



■写真1―大日影トンネル



■図2―大日影トンネルの構造概要

●2 現地調査

1) 外観観察・たたき調査

レンガの積層状態は良好で、はらみ出し等の大きな変形や卓越したひび割れは確認されなかった。しかし、レンガ覆工のおよそ30%の範囲で目地やせが確認され、その深さは30mm以内のものから、局部的に100mmに達するものまで存在した（写真2）。

特に目地やせが著しい側壁部に

おいて、レンガの欠損やはく落を確認した（写真3）。なお、この周辺におけるレンガ表層は脆弱化しており、素手やハンマーで容易にはつり落とすことが可能であったが、レンガ自体のぐらつきは認められなかった。

さらに、トンネル全長にわたって黒色の付着物（写真4）やトンネル全長の約20%の範囲において白色析出物が確認された（写真5）。黒色付着物自体は脆弱であるが、レンガ表層

に浸透することで強固なものとなっていた。

また、覆工の一部では漏水が、軌道部では湧水が確認された。

2) 内空寸法調査

レーザー距離計を用いて、内空寸法を測定した。測定の結果、極端な数値の変化は認められなかった。

3) 背面空洞調査

直径30mmのコアボーリングにより覆工部に貫通孔を設け、内視鏡カメラにより覆工背面の空洞の有無および状態を観察した。

調査の結果、勝沼ぶどう郷駅方の坑口部では空洞は無く、トンネル中間部で若干の空洞が確認された。

この空洞は建設時から生じていた可能性が高いと推測される。

4) コア採取

レンガトンネルのアーチ部及び側壁部よりφ 250×200mmのレンガコアを採取した。目地モルタルは部分的に空隙があるが、深部まで充填されている（写真6）。



■写真2―目地やせ



■写真3―レンガの欠損・はく落



■写真4―黒色付着物



■写真5―白色付着物



■写真6 採取コア

●3 室内試験

1) レンガの物性試験

採取コアより210×100×60mmの試験体を切り出し、レンガの物性試験(圧縮試験・吸水率測定: JIS R 1250)を行った。

採取部位によるレンガの物性値には、差は確認されなかった(図3)。

採取レンガの圧縮強度は、他のレンガ積みトンネルの圧縮強度¹⁾と同程度であり、また、当時の規格と比べ吸水率が低く、M34規格¹⁾程度以上の圧縮強度を有していた(図4)。

これらの結果より、レンガ母材は風化状況が若干見られてはいるものの、建設当時の品質を保持していると考えられる。

2) 目地モルタルの中性化試験

採取コアより試験体を切り出し、目地モルタルの中性化深さ測定を行った。なお、中性化深さの判定に際しては、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、着色しない部分を中性化領域とした。

測定の結果、目地モルタルが十分に充填された箇所の中性化深さは

約20mmであったが、他の試験体は目地モルタルのセメント分が少なく、全面(200mm以上)にわたって中性化が進行していた。

3) 漏水および湧水の水質調査

漏水および湧水を採取し、イオンクロマトグラフを用いて水質調査を行った。

水素指数(pH)・塩基物イオン(Cl⁻)・硫酸イオン(SO₄²⁻)を対象として分析した結果、構造物に悪影響を及ぼす値は認められなかった。

4) 黒色付着物の成分分析

レンガ表層より黒色付着物を採取し、水に溶出する成分を分析した。分析は、90μmのメッシュでふるい分けた5gの試料(煤煙)を蒸留水50mlに入れ、攪拌後1日静置し濾過した後、イオンクロマトグラフにより行った。

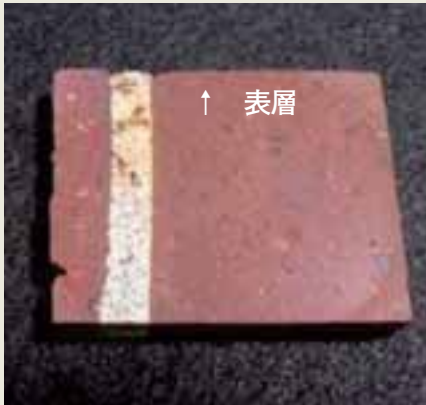
分析の結果、硫酸イオンが多く検出された(図5)。これはSLの煤煙の亜硫酸ガスに含まれる硫酸イオンであると推測される。

煤煙に含まれる亜硫酸ガスは、漏水を介してレンガ内に浸透し、目地に含まれる水酸化カルシウムとの化学反応により石膏を生成する。この石膏がレンガに微細なき裂を発生させ、レンガ表面のはく離・はく落の主原因となる。

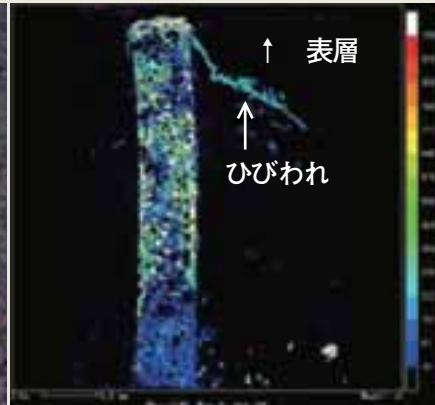
また、目地モルタルに対しては、硫黄・窒素酸化物の浸透による劣化をもたらす。目地モルタルが中性化していたのはこれに起因したのと考えられる。

5) 目地モルタルの元素分析

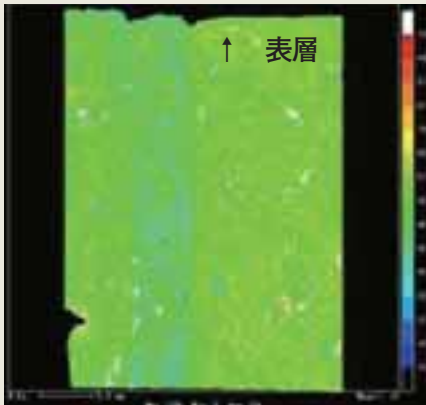
煤煙に多く含まれていた硫黄が、目地モルタルにどの程度浸透しているかを把握するため、電子線マイクロアナライザー(EPMA)を用いて元



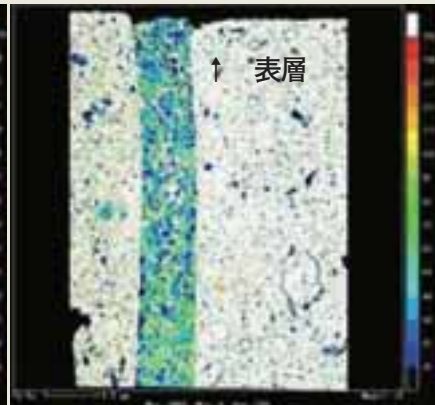
■写真7 元素分析の試験片



■写真8 硫黄の分布



■写真9 窒素の分布



■写真10 鉄の分布

素分析を行った。なお、測定元素は硫黄(S)に加え、窒素(N)ならびに鉄(Fe)とした。

試験片を写真7に示す。また、写真8～10に各測定元素の分布状況を示す。上方がレンガ表面であり、白く表示されている部分ほど測定元素の濃度が高くなっていることを示している。

窒素・鉄に顕著な分布は見られなかったものの、硫黄は表面から37mm程度の深さまで高濃度の分布

が見られ、外部から浸透していることが確認された。

また、硫黄がレンガのひび割れ部分へも浸透していることが確認された。

4——健全度判定および対策工の検討

散策路として利用される大日影トンネルの要求性能とこれを満足しない項目に対する対策の基本方針を表1にまとめた。

レンガのはく落防止対策としては、歴史的建造物の散策路としての美観・景観を考慮し、含浸性能に優れ、表面強度の向上が期待できる無色透明の含浸樹脂を用いた表面劣化防止工法を提案した。

背面空洞については、はらみ出し等の大きな変形や卓越したひび割れが確認されなかったことから、内空変位測定により監視を行い、必要に応じて裏込め注入することとした。

付着物に対しては、第三者影響、美観・景観、耐久性の観点から叩き落し・洗浄を実施することとした。

5——おわりに

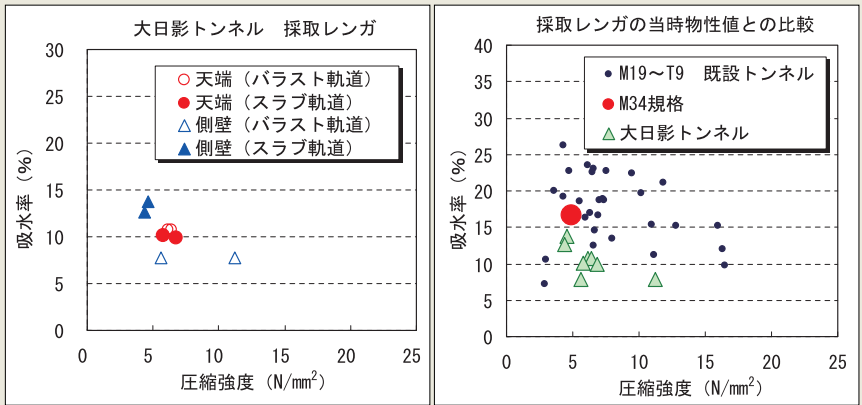
今回の調査により、大日影トンネルは、部分的な対策を必要とするものの、今後も十分に利用可能であることを確認した。

「勝沼タイムトンネル100年構想」の一環として整備されている大日影トンネルは、既に100年余りの時を刻んできた、まさにタイムトンネルである。この10年の間、人目に晒されることはなかったが、鉄道遺産コースの散策路として新たな時を刻むこととなった。

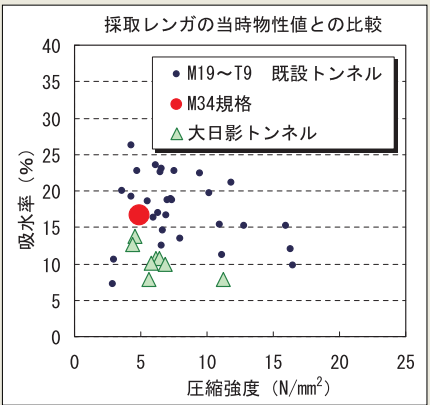
今後、この散策路が多くの人々に利用されることを望むものである。

<参考文献>

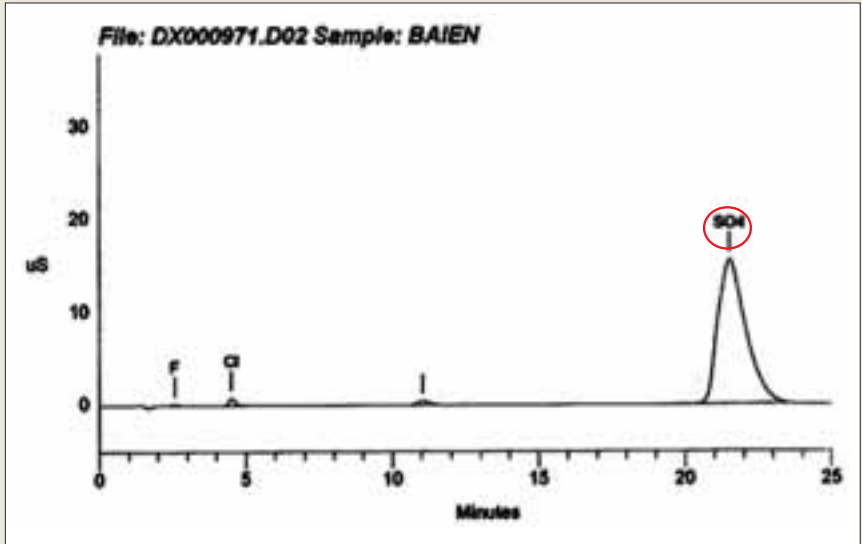
1) 栗林健一、岡野法之、仲山貴司、小島芳之『レンガ積みトンネル覆工における対策工法の定着および接着に関する実験』コンクリート工学年次大会 2005.6



■図3 採取部位ごとのレンガ物性値



■図4 採取レンガの物性値の評価



■図5 黒色付着物の成分分析結果

■表1 要求性能と対策工の基本方針

要求性能	要求性能を満足しない項目	対策の基本方針
①耐荷性能	覆工背面の空洞	監視 (必要に応じて裏込め注入)
②第三者影響度	レンガ: レンガ自体の浮き 付着物 (補修材・煤煙・エフロ等) 目 地: 付着物 (煤煙・エフロ等)	叩き落し 場合によってははく落防止
③美観・景観	レンガ: 付着物 (煤煙・エフロ等) 目 地: 付着物 (煤煙・エフロ等)	叩き落し (もしくは高圧洗浄)
④全3項の耐久性能	レンガ: 風化による表層欠損 目 地: 付着物 (煤煙) による劣化	表面保護 叩き落し

※ エフロ: 粉状物質の付着物