

# 老朽化したレンガトンネルの覆工補修 —冠着トンネル補修工事—

大本晋士郎\* 片桐朗\*\* 辻栄太郎\*\* 森康雄\* 中澤健太郎\*\*\*

冠着トンネルは、明治33年（経年100年以上）に建設された延長約2.6kmの鉄道レンガトンネルである。平成26年3月、坑口付近において、レンガ補修・補強のために施工されていた吹付けモルタルがはく落する事象が発生した。坑口付近は漏水が多く、冬季の凍結融解により劣化が生じたと考えられた。レンガ表面にも広く劣化が生じていることから、吹付けモルタルとレンガ1層を撤去し、漏水対策となる強固な材料に置換する工法を計画、施工した。

キーワード：レンガ、トンネル、補修、レーザースキャナ

## 1. はじめに

冠着（かむりき）トンネルは、明治33年（経年100年以上）に建設、昭和48年に電化された、延長2,656mのレンガトンネルである。このようなレンガトンネルの多くは断面が狭小で建築限界特別許可を受け使用されている。

本トンネルでは継続的な点検、補修が行われているが、平成26年3月に坑口付近において、レンガ補修・補強のために施工されていた吹付けモルタル（Photo.1）がはく落する事象（Photo.2）が発生した。坑口付近は漏水が多く、冬季の凍結融解（Photo.3）により劣化が生じたと考えられる。

はく落したのは吹付けモルタルであり、レンガや地山の緩み等は認められないが、はく落周辺の吹付けモルタルおよびレンガ表面に、

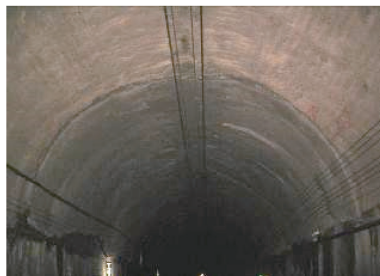


Photo. 1 レンガ・吹付けモルタル



Photo. 2 吹付けモルタルはく落



Photo. 3 凍結状況

* 土木事業本部	インフラ再生事業部
** 名古屋支店	土木部
*** 名古屋支店	営業部

広く劣化が生じていることから吹付けモルタルとレンガ1層目を撤去し、湧水対策を行い、強固な材料に置換する補修工事を、2ヶ年にわたり実施した。

## 2. 補修方法検討

冠着トンネルでは、平成22年にサポートライニング工法による補強を延長3m分、試験的に実施した<sup>1)</sup>。

その経緯を踏まえ、補修方法はサポートライニング工法<sup>1)</sup>およびJR東日本テクニカルセンターと共同開発した薄型パネルを用いたレンガトンネル補強工法<sup>2)</sup>の両工法の特徴を取り入れた方法とした。

補修工の選定ポイントは以下の通りである。

- ① レンガ1層を置換し、崩落対策となる構造とする。
- ② 劣化の主要因である漏水、凍結対策を行う。
- ③ 現状内空を維持し、狭小化しない。

### 2. 1 補修工法の構造について

Fig. 1に構造断面を示す。

補修工法は、吹付けモルタルおよびレンガ1層を除去し、防水シート設置後H100×100の支保工を約1mピッチで建て込み、薄型パネルを型枠とし、裏込めモルタルを充填する方法を採用した。

補修工のポイントを以下に示す。

- ①地山からの湧水（酸性水）対策として、補修工背面には防水シートによる遮水層を設け、スプリングライン（以下SLと呼称）位置に排水ドレーンを配置。排水パイプを通し路盤に流す構造とした。
- ②防水シートの前面には断熱材を設置し、凍結融解によるレンガの劣化を防止する構造とした。
- ③構造部材の支保工はアーチ型に加工したH鋼（H-100×100）を用い腐食対策として溶融亜鉛メッキ加工した。
- ④支保工フランジに埋設型枠を取り付け、無収縮モルタ

ルを充填する。埋設型枠には厚さ 11mm の薄型パネル<sup>2)</sup>を適用した。

⑤補修は漏水及びレンガの劣化が最も著しい、坑口から坑内に向かって延長 16m の範囲とした。

平成 22 年の試験施工では、夜間 3 時間/日の作業時間で、レンガのはつりから補修工設置までの作業を実施する施工サイクルを計画したが、レンガのはつりはピックによる手作業のため、計画以上の時間を要した。そのため今回の施工では、レンガのはつり作業と補修工設置を分離させ、はつり作業を先行完了するように計画した。その際、補修工設置までの期間、はつり出したレンガ面のはく落防止のため、樹脂ネットをアンカー止めし、レンガ面を養生した。

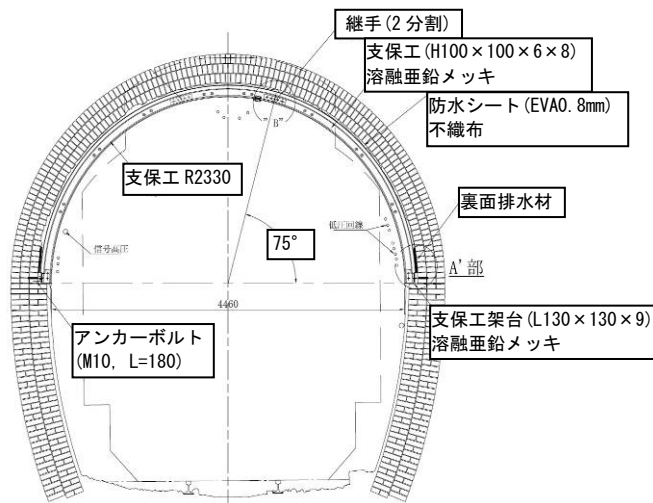


Fig. 1 構造図

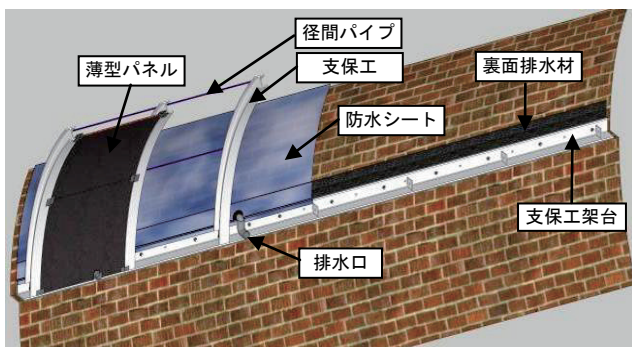


Fig. 2 構造イメージ

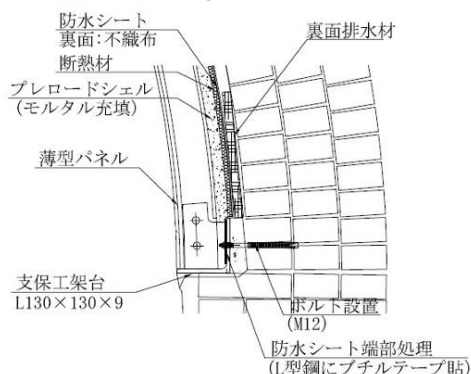


Fig. 3 SL 部詳細図

## 2. 2 使用材料

使用材料について詳述する。

### ①防水シート

防水シートは不織布が裏打ちされた厚さ 0.8mm の EVA シートで、レンガ面と支保工の間に引張りこんで設置し、レンガ面からの湧水を SL に導く。

SL にはドレーン材を設置し、2 スパン 1 箇所(約 2m 間隔)に設けた排水孔から排出する構造とした。

### ②断熱材

裏面にアルミ蒸着加工が施されたエアークッション状の断熱シートを、防水シート表面に両面テープで貼り付け設置した。充填モルタル+断熱材で、湧水を外気から断熱することで凍結防止の効果を狙った。

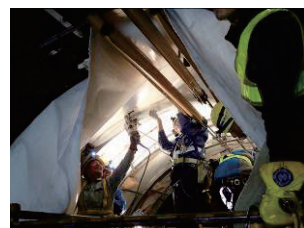


Photo. 4 防水シート  
および溶着状況



Photo. 5 断熱材設置状況

### ③支保工

支保工は H100×100 (SS400 材) をトンネル形状に合わせてアーチ加工したもので、溶融亜鉛メッキ処理を施した。施工性を考慮し、75 度の位置で 2 分割した。



Photo. 6 支保工仮組み



Photo. 7 支保工および  
径間パイプ

### ④プレロードシェル

プレロードシェルはプレロードジャケットと呼ばれる袋体にモルタルを詰める工法で、本来は、支保工と地山の間には挿入し密着させる目的のものである。

それに加え、施工は夜間で昼は列車が運行するが、昼間に防水シートが垂れ下がると、列車運行を阻害する恐れがあるため、プレロードシェルで防水シートを固定し、バタつきや抜け出しを防いだ。

また過去の試験施工時にはモルタル漏洩が見られたため、プレロードシェルで支保工と防水シートの隙間をなくし、モルタル充填時の漏洩を防ぐ目的で使用した。



Photo. 8 プレロードジャケット設置, 右:モルタル充填  
(左:プレロードジャケット設置, 右:モルタル充填)

⑤薄型パネル

薄型パネルは JR 東日本テクニカルセンターと共同開発したもの<sup>2)</sup>で、高じん性セメントボードを曲げ加工し、アラミド繊維シートを表面に張り剛性を持たせた材料(特許出願中)で、厚さ約1cmのものである。

既成品ではなく開発品であるため、使用に当たっては実物パネルを用いた戴荷試験によりパネル本体の剛性を確認し、また充填モルタルを打設する際の型枠としての剛性(パネルのはらみ)を確認した。

実物大戴荷試験ではパネル本体でレンガ4層分相当の荷重を作用させてもたわみ量が1.5mm程度(Photo. 9)と十分な剛性があることが確認でき、またモルタル充填試験ではパネルのはらみは5mm程度(Photo. 10)で、型枠として使用しても問題ないことを確認した。



Photo. 9 薄型パネル実物大戴荷試験

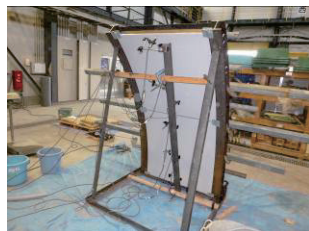


Photo. 10 モルタル充填時のパネルはらみ測定試験

⑥モルタル

現場での作業性を考慮し、プレミックスタイプの高流動無収縮タイプのモルタルを使用した。Photo. 11 に示すように軌陸車にモルタルポンプを搭載し練りながら充填した。フロー値200mm、強度は1日で約25N/mm<sup>2</sup>、28日で50N/mm<sup>2</sup>程度発現する材料を使用した。



Photo. 11 軌陸車に搭載したモルタルポンプ

2. 3 構造検討

冠着トンネルのSLより上はレンガ4層積みであり、レンガ全層がはく落してきた場合を想定し、支保工・パネルはレンガ4層の荷重に耐えられるように設計した。

また施工区間内には2箇所、架線を懸垂している部材の下束(さげつか)がある。支保工に下束を移設するため、下束の荷重に対しても耐力を有するか構造検討した。



Photo. 12 下束(左:移設前, 右:移設後)

(1) 支保工検討

支保工計算モデルを Fig. 4 に示す。

レンガのはく落のパターンを Fig. 5 の3ケース想定し、検討した。

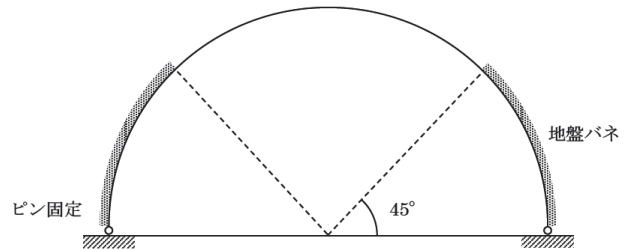


Fig. 4 モデル図

①レンガはく落荷重(4層分)

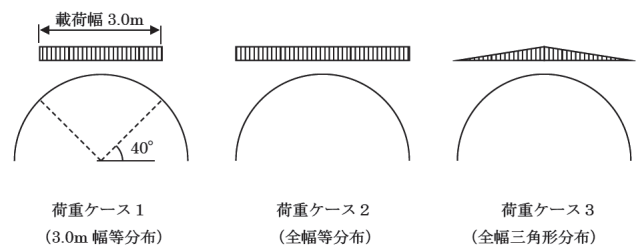


Fig. 5 レンガはく落荷重(レンガ4層分)

②下束荷重

施工区間は緩和曲線区間で、下束に7cmのオフセットがあるためオフセットした状態で検討した。

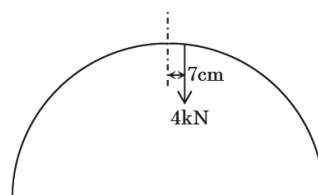


Fig. 6 下束荷重

下東なしの箇所は①の荷重を、下東ありの箇所は①+②を作用荷重とする。照査結果を Table 1, Table 2 に示す。

**Table 1 下東なしの支保工照査結果**

	単 位	荷重ケース 1 (3.0m 幅載荷)	荷重ケース 2 (全幅載荷)	荷重ケース 3 (全幅三角形載荷)
曲げモーメント	k N・m	0.695	0.625	0.707
軸 力	k N	17.719	23.196	16.183
応 力	N/mm <sup>2</sup>	17.400	19.011	16.847
最大変位	mm	0.643	0.620	0.574
判 定		OK	OK	OK

許容引張応力：140N/mm<sup>2</sup>

**Table 2 下東ありの支保工照査結果**

	単 位	荷重ケース 1	荷重ケース 2	荷重ケース 3
曲げモーメント	k N・m	1.371	1.279	1.400
軸 力	k N	21.194	26.952	19.939
応 力	N/mm <sup>2</sup>	27.952	29.402	27.754
最大変位	mm	0.926	0.904	0.857
判 定		OK	OK	OK

許容引張応力：140N/mm<sup>2</sup>

(2) 根足部分の検討



**Fig. 7 根足部レンガに作用する荷重**

支保工サイズ 100×100mm に、Fig. 7 の荷重が作用した状態で、レンガに作用する応力は

$$19.6\text{kN} / (100 \times 100\text{mm}^2) = 1.96\text{N/mm}^2$$

レンガ強度は一般に 14.7~29.4N/mm<sup>2</sup> で、作用するのは 1桁小さい程度の応力であり、問題ないと判断できる。

### 3. トンネル断面計測の効率化

補修計画にあたって、トンネルは建築限界特別認可を受けている断面であるため、断面を狭める補修は基本的に行えない。一方レンガトンネルは、一般的なコンクリートトンネルと異なり、SL 幅や天端高さが設計通りで断面が均一とは限らず、SL 幅、天端高さにうねりや不陸が見られる事がある。

このような状況で広範囲に及ぶレンガ覆工面の劣化の補修を行うためには、内空寸法や支障物の詳細を正確に把握する必要があるが、従来のトータルステーションやレベルなどを用いた測量では、多大な労力・時間を要する割には、離散的な測量点での情報が得られるのみで情報量が少ない。

また、鉄道トンネル内での作業は列車間合いによる時間制限を受けた夜間作業のため、十分に作業時間を確保

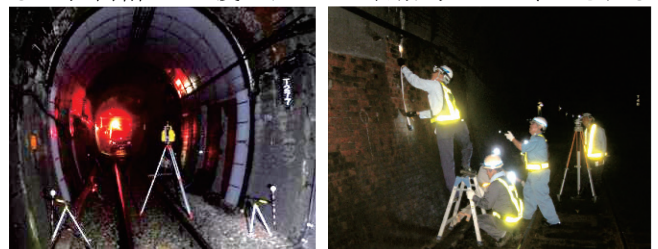
できないため、短時間で効率的に計測を行う必要がある。

そこで今回、3次元レーザースキャナ（以下レーザースキャナ）を用いて補修計画の効率化と施工精度の向上を図った。特に以下の理由でレーザースキャナの適用が最適と考えられ、覆工補修工の計画段階での断面計測に活用する事とした。

- ①測量作業の効率化（短時間施工）
- ②補修工の設置精度向上
- ③下東の移設の効率化

①測量作業の効率化（短時間施工）について

レーザースキャナによる測量作業の状況を Photo. 13 に示す。データを合成するための基点となる球体を側壁付近に設置し、レーザースキャナを三脚に据え、起動すると水平鉛直 360 度のデータが自動的にスキャンされる。



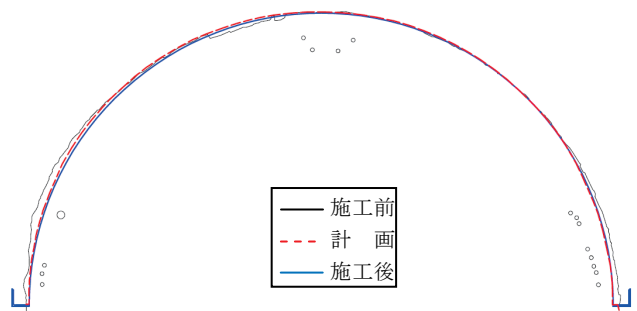
**Photo. 13 レーザースキャナ Photo. 14 従来の測量状況**

今回の補修範囲は延長 16m であり、作業員 3 名でレーザースキャナを 3 回移動して測量を行ったが、作業は夜間列車間合の 3 時間の間に終わらせることが出来た。

平成 22 年に実施した補修工の測量 (Photo. 14) では、トータルステーションを用いて 3 断面 (延長 2m 分) を行なうのに、3 名で 2 晩かかったことから、レーザースキャナを用いることで作業時間を従来に比較し 1/10 以下にすることが出来た。

②補修工の設置精度向上について

Fig. 1 に示すように、トンネル断面が狭くならない支保工の R (半円) を検討した結果、最適値は 2230mm となり、それをもとに補修を実施した。Fig. 8 に出来形例を示す。黒線が施工前断面、青線が支保工計画位置、赤線が施工後出来形 (事後測量による支保工表面) である。また水平受け架台についても Fig. 9 に示すように、仕上がり状況を 3D の立体イメージで正確に詳細検討するこ



**Fig. 8 レーザースキャナによる計画・出来形比較**

Table 3 レーザースキャナによる検測例

断面	SL幅(左側)	SL幅(左側)	差	SL幅(右側)	SL幅(右側)	差	天端高	SL幅(左側)	差
	設計値(mm)	実測値(mm)	(mm)	設計値(mm)	実測値(mm)	(mm)		設計値(m)	実測値(m)
52k615m	2230	2233	3	2230	2233	3	615.266	615.269	3
52k620m	2230	2232	2	2230	2230	0	612.929	612.938	9
52k623m	2230	2230	0	2230	2233	3	612.870	612.870	0
52k630m	2230	2231	1	2230	2233	3	612.705	612.714	9

とができた。不均一なレンガトンネルの断面の中で支保工の断面を施工前と比べ大きく縮小する事なく施工する事ができた (Table 3)。

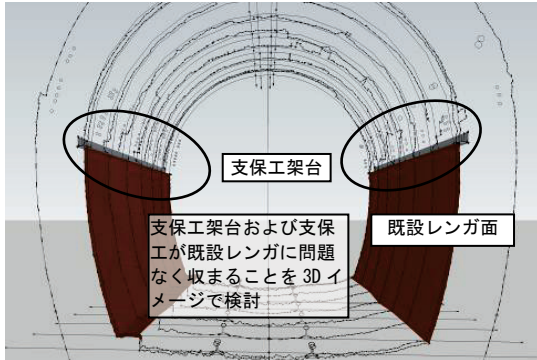


Fig. 9 支保工根足の設置検討

③下束の移設の効率化について

SLより上方に存在する支障物は架線とそれを支持する

下束(右図)があった。SL 付近の信号線は施工に先立ち SL 以下に移動させることが出来たが、架線は日常の列車運行のために移動することが出来ない。下束は約 10m 毎に架線を支持しており、今回の補修範囲では 2 箇所

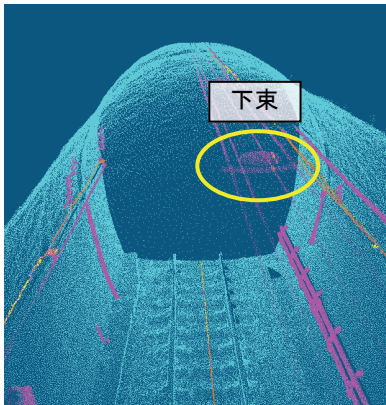


Fig. 10 点群データ(架線, 下束)

が支障したため、下束を支保工へ移設し、架線を受替える事とした。下束の移設に際しては、スキャンデータを用いて移設位置を検討した。架線の位置が上下・左右にずれないように留意した。

補修対象区間は、トンネルは直線であるものの、レールは緩和曲線区間であるため、架線は Fig. 8 に示すようにトンネルセンターからずれている。また、下り勾配で、トンネル天端からの架線の離れも場所により異なっている。Fig. 10 に架線および下束の点群データを赤色で示す。レーザースキャナにより下束の位置、架線の位置が特定できたため、支保工製作の段階で下束を吊下げるボルト孔を加工し、現場では 2 箇所の下束移設を 2 時間程度の作業で滞りなく実施することができた。

4. 施工記録

施工においては、昼間の列車運行を妨げないように、1 日毎の作業内容を定めた。特に、作業終了後に材料・部品の脱落が発生しないよう、施工の区切りを計りながら作業を進行させた。

補修工のフローを Fig. 11 に示す。

また施工ステップを Photo. 15~21 に示す。

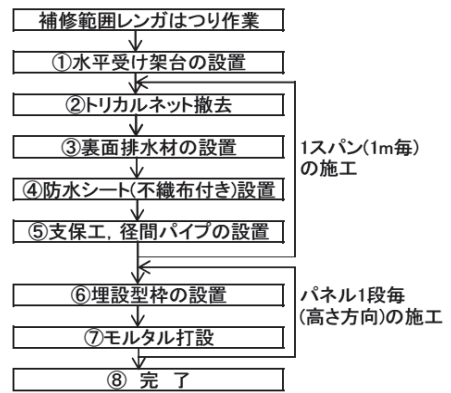


Fig. 11 補修工フロー

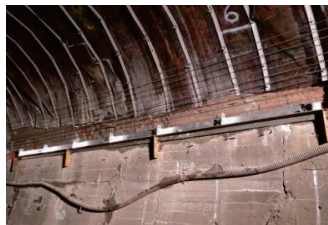


Photo. 15 ①水平受け架台設置



Photo. 16 ②トリカルネット撤去



Photo. 17 ③裏面排水材設置



Photo. 18 ④⑤支保工・防水シート設置

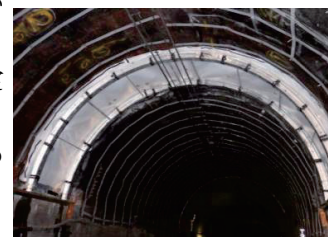


Photo. 19 1span支保工完了

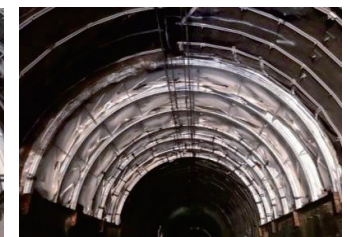


Photo. 20 薄型パネル設置前



Photo. 21 ⑥薄型パネル設置  
(左右2段分)



Photo. 22 ⑦モルタル充填



Photo. 23 補修工完了

また漏水対策として遮水シートを設置したことで漏水起因する凍害を今後防止できる。

活線化における夜間作業であったため、施工日数はやや長めではあるが、綿密な計画と施工監理により、無事故で確実に作業することが出来た。

同様の問題を有しているレンガトンネルの維持管理に役立つ、補修方法であると考えられる。

## 謝辞

冠着トンネルの補修工事にあたり、発注者である東日本旅客鉄道株式会社 長野土木技術センター、長野支社、ならびに元請企業である第一建設 長野工事所の関係者の皆様にご指導いただき、誠にありがとうございました。

紙面を借りて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 老朽レンガトンネルの酸性水を考慮した覆工補修について：土木学会第 66 回年次学術講演会(平成 23 年 9 月)
- 2) 薄型パネルを用いたレンガトンネル修繕工の開発：土木学会第 69 回年次学術講演会(平成 26 年 9 月)

## 5. 工程について

作業は2ヵ年で行い、平成 26 年度は、補修工 6m 分を平成 26 年 10 月初旬～12 月中旬の 1.5 ヶ月に実施し、予定通りの工程で実施できた。暦日 69 日間で実作業日数は 30 日であった。

また平成 27 年度は補修工 10.3m 分を平成 27 年 9 月下旬～平成 28 年 2 月下旬で行った。暦日 128 日間で実作業日数は 55 日であった。

トータルの日施工量は  $(6+10.3)m / (30+55) 日 = 0.2m/日$  であった。

## 6. まとめ

本工法では計画・出来形にレーザースキャナを取り入れ、断面を狭小化しないよう高精度に補修工を設置した。

---

## Lining repair of brick tunnel - Kamuriki Tunnel repair work -

Shinjiro OMOTO, Akira KATAGIRI, Eitaro TSUJI, Yasuo MORI and Kentaro NAKAZAWA

### Abstract

Kamuriki Tunnel is a railway brick tunnel which construction has been extended 2.6km in 1900. March 2014, the flaking of the sprayed mortar near the wellhead which has been constructed for brick repair and its reinforcement occurred. Many water leakage and freezing-thawing cycles in the winter season near the wellhead was considered to cause the degradation. Since the degradation has occurred on the brick surface widely, the construction work of removing the sprayed mortar and first brick layer and replacing rigid material as the leakage control was planned and the performed.

Keywords: Brick, Tunnel, Repair, Laser scanner

---