

導水機能付きトンネル剥落対策工法の 断熱性能に関する研究

向井 鷹則¹・栗林 健一²・秋山 保行³

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター（〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2 丁目 479 番地）

E-mail: takanori-mukai@jreast.co.jp

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター（住所同上）

E-mail: k-kuribayashi@jreast.co.jp

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター（住所同上）

E-mail: yasu-akiyama@jreast.co.jp

当社で開発した導水機能付きトンネル剥落対策工法（以下、トンネル導水剥落対策工法）はトンネル覆工面からの落下物対策と導水対策の二つを目的に、ポリカーボネート波板に FRP 補強材を組み合わせた構成の対策工法である。本工法開発時につらら発生が見られるトンネルで試験施工を行ったところ、施工後に漏水の凍結防止効果が望めることを確認した。本稿では試験施工時の実測温度データを用いて温度変化解析を行い、トンネル導水剥落対策工法の持つ熱遮断性能の検証する。

Key Words: tunnel, peeling prevention, leakage, temperature change analysis

1. はじめに

当社の在来線トンネルは平均経年は約 70 年を迎えており、老朽化が進み、漏水や漏水に起因した覆工面の剥落といった変状が散見される。これらの変状が進行しているトンネルにおいて、覆工コンクリートの剥落など落下物による列車の運転支障はもちろん、寒冷地では冬期にトンネル覆工面からの漏水が凍結してつららや氷塊となり、列車への衝撃といった事象につながる恐れもある。

安全・安定輸送確保のため、当社では剥落と漏水を同時に防止できる導水機能付きトンネル剥落対策工法（以下、トンネル導水剥落対策工法）を開発¹⁾した。開発時にパネル内側温度やトンネル坑内温度の実測を行い、この工法による漏水の凍結防止効果を期待できるかどうか確認を行うこととした。

ルトのワッシャー部と曲率を有した波板部が干渉せず、施工時に破損しない構造としている。耐剥落荷重については、過去の落下物の分析結果よりレンガや吹付けモルタルの破片が大部分を占め、その大きさが 0.1 m² 以下のものが多いことに鑑み、レンガ 1 層と吹付けモルタルの合計荷重 (3kN/m²) とした。

(2) 施工

前述の部材構成により製作を行い、実構造物で施工する事とした。対象としたのは山形県に位置する非電化区間のトンネルである。当該トンネルは全長約 1.3km で、施工箇所は坑口から 280m 付近の漏水箇所とした。

2. トンネル導水剥落対策工法について

(1) 部材構成

トンネル導水剥落対策工法はポリカーボネート波板（厚み 1mm）にかまぼこ型の FRP 成型品（補強材 幅 28mm×厚み 7mm）を合わせた構成とした（図-1）。

これにより耐剥落荷重の増大が期待でき、アンカーボ

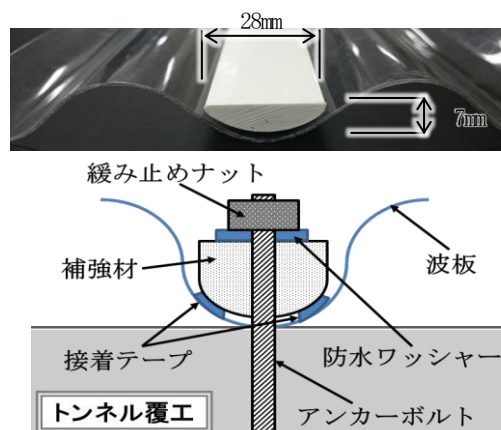


図-1 トンネル導水剥落対策工法 部材構成

施工は本工法をトンネル断面全周にわたって設置し、坑内の冷氣と覆工面をつたう漏水は直接触れないものとした。また、当該トンネルは冬期につらら発生も確認されている。

3. 温度計測

トンネル導水剥落対策工法による断熱効果を確認するため、施工時にポリカーボネート波板のパネル内側および外側に温度センサーを設置した。（図-2）パネル内側温度と坑内温度をおよそ14カ月（2015年8月17日～2016年10月26日）にわたり計測（1時間ごと）を行った。

坑内温度は外気温と連動して変化するが、この温度計測結果より、夏場のパネル内側温度は坑内温度より低い。反対に冬期のパネル内側温度は坑内温度より高い。

また、実測データで最も低い坑内温度は -2.3°C （2016年2月12日7:00）であり、この時の外気温は -8.3°C 、パネル内側温度は 1.0°C であった。坑内温度が 0°C を下回る状況でもパネル内側温度は 0°C より高く、一定の断熱効果があることが分かる。漏水の凍結が発生するのはパネル内側温度が 0°C 以下とすると、漏水の凍結防止に効果があると考えられる。（図-3）

また、冬期に現地調査を行ったが、パネル内側に生じている漏水が凍結する事象は確認されなかった。

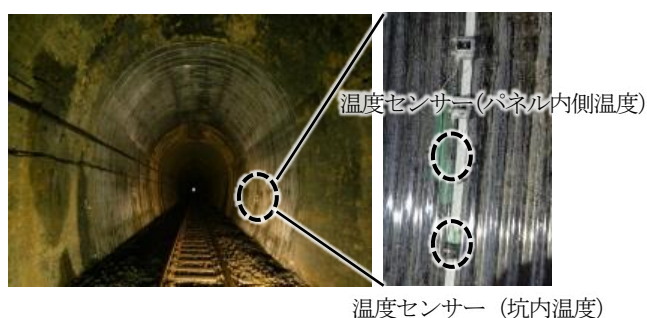


図-2 施工状況と温度センサー設置状況



図-3 実測温度変化グラフ

4. 実測温度データからの再現モデル作成

トンネル導水剥落対策工法は一定の断熱効果があり、漏水の凍結防止効果を期待できることを確認できた。ただし、温度計測していた14カ月のデータでは実際にパネル内側の漏水の凍結が見られなかったため、坑内温度が何 $^{\circ}\text{C}$ になると漏水の凍結が発生するかの限界を把握するには至らなかった。そこで、どの程度の断熱性能を持っているかを把握するため、前述の実測温度データから再現モデルを作成し解析を行うこととした。

解析は当該トンネルの構造とトンネル導水剥落対策工法の構成を作成し、覆工背面から地山の温度と、坑内からの冷氣がそれぞれ伝わり、パネル内側が何度になるかを求めた。（図-4）

漏水の凍結防止を主眼に置いていることから、再現モデルの作成には温度を実測した14カ月のうち厳冬期（2015年12月1日～2016年2月28日）のデータを対象に作成した。

また、覆工背面から供給される地山温度の設定について、過去の研究²⁾より「地山温度は（土被りを大きくとれば）一般にはその土地の年平均気温に収束する」という記述を参考にした。この考えを元に、当該トンネルの位置する地域の過去30年分（1987～2016年）の気象データから年平均気温を求め、地山温度を 10.9°C と設定した。

作成した再現モデルでのパネル内側温度と坑内温度を上記の厳冬期データと比較し、パネル内側温度と坑内温度について実測値と再現モデルによる推定値は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以下であった。この程度の誤差であれば、トンネル導水剥落対策工法による漏水の凍結防止可能な坑内温度およびパネル内側温度を推定するに堪える精度を持つと考えられる。

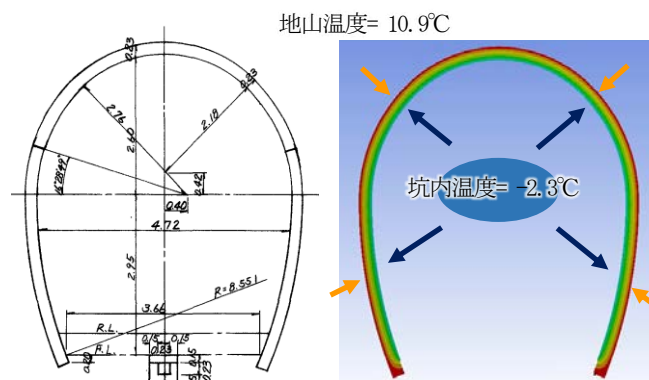


図-4 作成した再現モデル

5. 再現モデルを使った各温度の推定

トンネル導水剥落対策工法による漏水の凍結防止可能な坑内温度は何℃までかを推定するため、再現モデルを使って過去の気象データから坑内温度とパネル内側温度を推定することとした。

対象とした気象データは、地山温度の設定に用いた当該地域の過去 30 年分の気象データである。この中より最低外気温-17.2℃（1988 年 2 月 22 日 7:00）の記録から前後 12 時間、計 24 時間のデータを抽出し、対象とした。

この結果、坑内温度-5.2℃、パネル内側温度-1.2℃という推定値をそれぞれ得た。これは、再現モデル作成の際に比較した実測データ坑内温度-2.3℃、外気温-8.3℃、パネル内側温度 1.0℃より、坑内温度で 2.9℃低く、パネル温度が 0℃を下回る結果となった。（図-5）

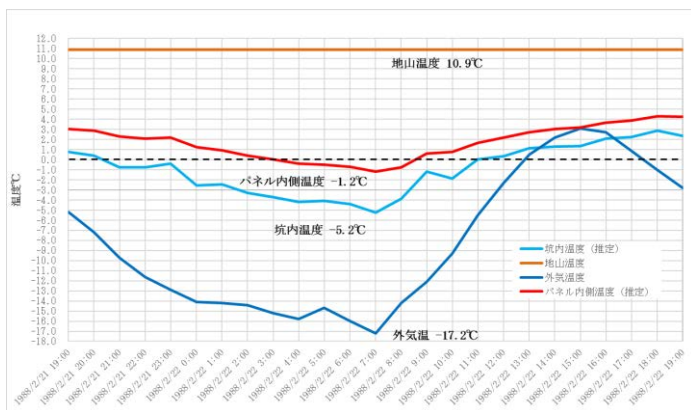


図-5 再現モデルによる各温度の推定

6. まとめ

トンネル導水剥落対策工法の断熱性能、とりわけ漏水の凍結防止効果について着目し、検証してきた。取得した実測データからこの工法の断熱効果から、漏水の凍結防止に一定の効果があると考ええる。

ただし、14 カ月連続したデータであるものの冬期間は 1 シーズンだけである事や、何より対象とする場所の地山温度や外気温に左右される部分が大い。解析による検証は有効であるものの、漏水の凍結という冬期間に発生する現象を対象に本工法の断熱性能を見極めるにはまだ検証の余地がある。

当社管内での本工法の展開を検討するにあたり、より気温が低い地域を対象とするなど検証を続け、安全・安定輸送の確保につなげたいと考える。

参考文献

- 1) 金塚智洋：導水機能付きのトンネル剥落対策工法の断熱効果に関する検証，土木学会第 72 回年次学術講演会，2017。
- 2) 岡田勝也：トンネルの断熱つらら防止工における断熱材の材料とその厚さの最適化，鉄道技術研究報告 No.1350, P.7，鉄道技術研究所，1987。

STUDY ON THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF TUNNEL PEELING PREVENTION METHOD WITH WATER TRANSFER FUNCTION

Takanori MUKAI

The tunnel peeling prevention method with water conveyance function is a countermeasure with a configuration in which FRP reinforcement is combined with polycarbonate corrugated sheet. The purpose of this is to prevent falling objects from the tunnel lining surface and to prevent water flow. It was confirmed that this method can prevent the leakage of water.

Here, the temperature change analysis is performed using the measured temperature data at the time of test construction, and the thermal insulation performance of this method is verified.