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試験

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○金塚 智洋　東日本旅客鉄道(株) 正会員 古川 武英
東日本旅客鉄道(株) 正会員 関口 達也　東日本旅客鉄道(株) 相澤 朗徳
東日本旅客鉄道(株) 正会員 露木 寿

1. はじめに

当社の鉄道トンネルは明治時代から建設が進められ，トンネルは約 1300 箇所にものぼる．在来線の平均経年は約 70 年を迎えており，老朽化が進んでいる．特に，覆工表面からしみだした漏水等に起因する覆工材料の劣化による落下物事象は，列車運転保安上の問題となる場合がある．

そこで，当社研究開発センターで既存工法（連続繊維シート工法）と同程度のコストで落下物と漏水を同時に防止することが可能な対策工（以下 F-ROC 工法と示す.）の開発[1)]を行い，実際に漏水が生じている営業線トンネルで施工を行った．

本報告では，F-ROC 工法の営業線における施工状況と F-ROC 工法の断熱効果について検証した事例について報告を行う．

2. 営業線トンネルにおける F-ROC 工法の施工

2.1 F-ROC 工法の概要

図 1 に示すように F-ROC 工法は，ポリカーボネート板の波板形状にかまぼこ型の FRP 成型品（補強材　幅 28mm×厚み 7mm）を合わせた構造である（以下パネルと示す.）．材料特性として，ポリカーボネート板は耐衝撃性・難燃性などの物性が高く，さらに，かまぼこ型の FRP 成型品（補強材）の樹脂には万が一の火災時に燃え広がらないことを目的に，水酸化アルミニウムの粉末樹脂を添加している．

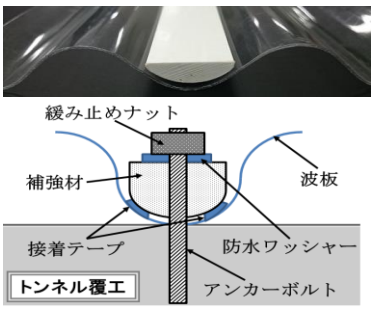

図 1　F-ROC 工法 断面

本構造により耐剥落荷重の増大が期待できること，また，アンカーボルトのワッシャー部と曲率を有した波板部が干渉しない構造となり，アンカー設置時における波板破損を防止する効果が期待できる．

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 0.1m^2 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/ m^2）とした．

2.2 営業線トンネルでの施工

1）施工概要

施工対象トンネルは，漏水の発生状況に鑑み山形県に位置する非電化区間のトンネルとした．本トンネルは昭和初期に建設されたコンクリートブロック覆工トンネルである．全長約 1.3km で，本施工では坑口から 280m 付近の漏水箇所に F-ROC 工法を施工した．施工箇所を含め本トンネルでは冬期にツララの発生が確認されている．そこで，図 2 に示すように，パネルを覆工天端から路盤まで連続して設置し，冬期の冷たい外気（坑内）が漏水と直接接触しない構造とした．

図 2. 対象トンネルと設置状況

2）施工性の確認

FRP 補強波板の設置や FRP 成型品（補強材）の現地削孔などは問題なく行うことができた．また，剛性のある波板の現地切断なども容易であったため既存設備（架線支持金具や通信ケーブルなど）の支障物をかわすことは容易であった（図 3）.

作業時間に関しては，区切りとなる一つの施工サイクルが最大で 50 分程度であり，線路閉鎖間合いなどの作業時間内で十分完了することが可能であった．

3）経済性の確認

施工歩掛および材料費を考慮すると，F-ROC 工法は本トンネルにおいて既存連続繊維シート工法以下のコストで施工を行うことができた．

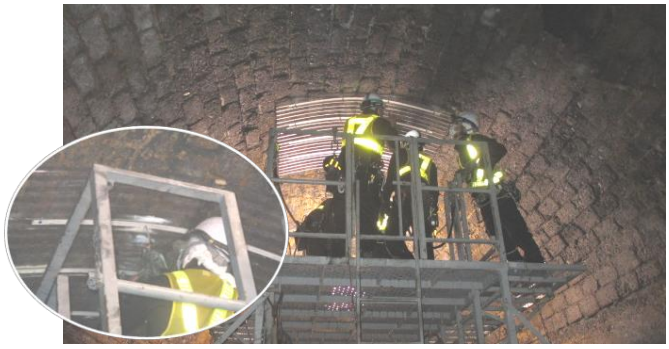

図 3. 施工状況の一例

キーワード　トンネル覆工，剥落漏水対策，断熱材，坑内温度測定
連絡先　〒958-0854　新潟県村上市田端町 11 丁目 3 番地　JR 東日本　新潟土木技術センター　村上派出　TEL0254-53-2472

3. F-ROC 工法の断熱効果

3.1 温度センサの設置

本トンネルのように寒冷地に位置するトンネルで漏水が生じると冬期にはツララとなり，列車等の安全性に影響する恐れがある．そのため対策材料には断熱効果を有することが期待されるが，今回使用した F-ROC 工法のパネルは 7mm 厚さのポリカーボネート板のため，パネル自体に断熱効果はほとんど期待できないと考えられる．

しかし，本工事のようにパネルを覆工天端から路盤まで連続して設置した場合，覆工面とパネルの間の空気層（20mm 程度）は外気（坑内）と直接接触しないため，この空気層が覆工面に生じる漏水の凍結防止に寄与することが期待された．

そこで，パネル内側（以下パネル内側温度と記す）およびパネルの外側（以下坑内温度と記す）に温度センサを設置し，それぞれの温度を 1 年以上（2015 年 8 月 17 日～2016 年 10 月 26 日）にわたって計測（1 時間ごと）を行った．図 4 に温度センサの設置状況を示す．

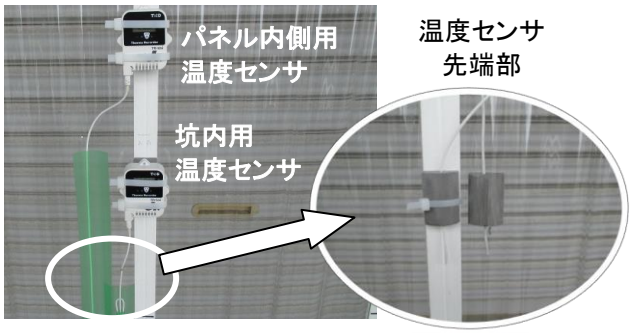

図 4. 温度センサ配置状況

3.2 測定結果

図 5 に測定結果を示す．坑内温度およびパネル内側温度ともに，夏期には 30℃以上に達し，冬期に向かって低下していくことが確認された．

図 6 に坑内温度とパネル内側温度の差分を示す．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く，最大差分は 3℃程度（断熱効果）を確認できた．

図 7 に極寒期（2016 年 1 月 14 日～1 月 26 日）の計測データと当該トンネル付近の坑外の気温データ[2)]を示す．坑内温度は坑外の気温に連動して温度変化が生じるが，パネル内側温度が連動する割合は小さいことがわかる．また付近で - 4℃が観測された 1 月 16 日の坑内温度は 0℃であるのに対し，パネル内側温度は 4℃であった．なお，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．

3.3 まとめ

測定結果から，本トンネルにおいては F-ROC 工法には一定の断熱効果が有することが確認された．パネル内側の空気層を外気（坑内）と直接接触しない構造と

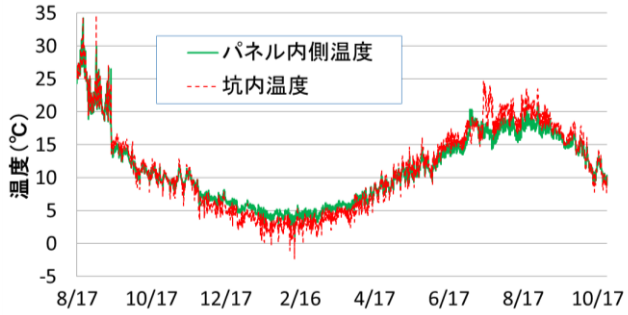

図 5 温度変化（1 年間）

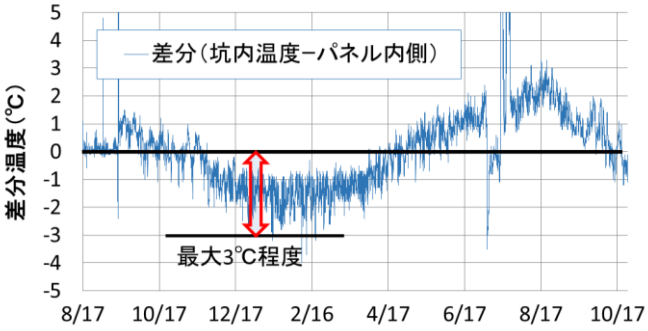

図 6 差分温度（断熱効果）

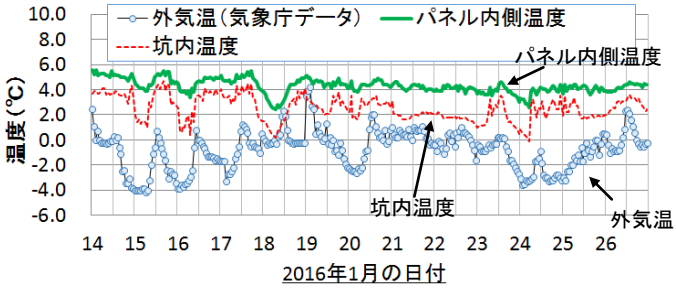

図 7 極寒期における温度

したことが寄与したと推定されるが，他のトンネルに適用した場合の断熱効果は不明な部分がある．より定量的な断熱効果について把握するためには，他トンネルでの計測やデータ分析を実施していく必要がある．

4. おわりに

本報告では F-ROC 工法の営業線での施工状況の報告とともに，パネルの断熱効果について検証を行った．以下に本報告における知見を示す．

(1) 営業線での施工を通して，F-ROC 工法の施工性および経済性についてトンネル剥落対策工法として有用であることを確認した．

(2) F-ROC 工法は，パネルによる空気層の遮断効果により一定の断熱効果を有すると推察される．定量化については，今後の課題としたい．

【 参考文献 】

1)鉄道施設協会誌：導水機能付きトンネル剥落対策工法；栗林 健一 浅田 章一 古川 武英，2015.9

2) 国土交通省 気象庁 HP（過去の気象データ検索）http://www.jma.go.jp/jma/index.html