

### 覆工の凍害劣化を考慮したトンネル内つらら防止工法に関する一考察

JR 西日本 正会員 ○山崎 友裕 (株)レールテック 正会員 大江 崇元  
大鉄工業(株) 杉本 寿樹

#### 1. はじめに

北陸地方の山間部を走る路線のトンネルでは、冬期につららが発生し、安全輸送を阻害することから、その対応が課題となっている。特に、今回対象としたトンネル(以下、本トンネル)は、昭和5年に建設された延長243mの単線非電化断面で、覆工材料としてアーチ部はコンクリートブロック、側壁部は場所打ちコンクリートが併用されており、覆工に凍害劣化がみられる。坑口から30m付近の剥落対策を施工した箇所でも5秒に1滴程度の漏水が見られ、冬期の間、つらら落としをし、列車運行を確保しているが、その過酷な作業に苦慮している(図-1)。そこで今回、既存の対策工と同等の剥落防止機能を有するつらら防止工法について、材料試験および現地施工を行ったので、その検討結果について報告する。

の健全なコンクリートでは、超音波伝播速度は4000~4500m/sであり<sup>4)</sup>、試料1および2では表面から50mm、試料3では100mm付近で速度が低下している。また、Torrent法では透気係数が $10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ を超える範囲を“極劣”と評価しており、試料1では表面から40mm、試料2および3については50mm付近でも透気係数が大きい。これより、表面から50mm付近まで、凍害劣化が生じていると考えた。

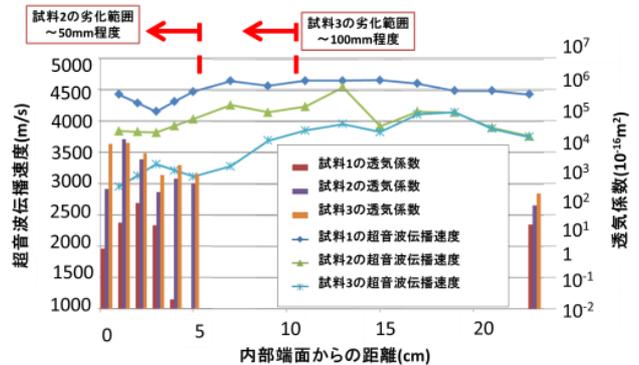


図-2 超音波伝播速度および透気係数測定結果

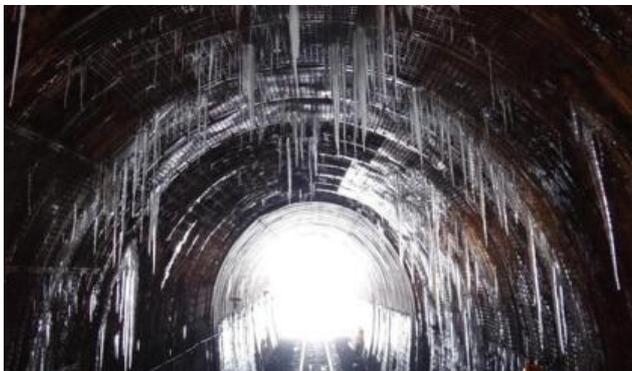


図-1 つららの発生状況

#### 2. 覆工の劣化調査<sup>1)2)</sup>

凍害による覆工劣化を評価するため、コアを採取し、超音波伝播速度、透気係数(Torrent法<sup>3)</sup>)、圧縮強度(JIS A 1107)および静弾性係数(JIS A 1149)を測定した。コアは、目視調査で覆工表面の劣化が平均程度の箇所から2本(クラウン付近:試料1、スプリングライン付近:試料2)、激しい箇所から1本(スプリングライン付近:試料3)を採取した。超音波伝播速度および透気係数の測定結果を図-2に示す。通常

#### 3. つらら防止工法の検討

##### 3.1 要求性能の設定

対策工法の選定にあたり、過去に漏水対策工として施工されてきたポリカーボネート(以下、ポリカ)製波板を参考にした。ポリカは、「き裂が発生すると極端に強度が低下する」性質があり、これが垂下の原因とされたことから、今回、き裂対策として一本のボルトが力を受け持つ範囲の1/4(ボルト孔から発生しているき裂の先端にせん断力を与える範囲)を設計荷重とした。また、凍結対策として、ポリカと同等以上の断熱性の他、トンネル内に設置する付帯物としての性能として、下記の項目を設定した。

- 列車および風荷重として  $1.0 \text{kN/m}^2$  (風速  $30 \text{m/s}$ )、また、前項の調査結果から凍害による表層コンクリートの剥落荷重である  $1.15 \text{kN/m}^2$  に耐えること。
- 覆工の曲率半径  $2 \text{m}$  程度でも施工可能

キーワード 寒冷地、鉄道トンネル、凍害、つらら、FRP

連絡先 〒920-0036 石川県金沢市元菊町 68-2 JR 西日本 金沢土木技術センター TEL 076-223-3206

・終列車から初列車までの間合で施工可能

### 3.2 材料試験

材料の選定にあたり、材料の強度試験を実施した。使用材料は、「き裂発生後の進展をプラスチック内の繊維で止める」との考えから、市販品のFRP製波板2種(短いガラス繊維を使用した製品:FRP1,長いガラス繊維を使用した製品:FRP2とする)とし、比較対象としてポリカを用いて引裂き試験を実施した。この試験は、風圧等の面外力に対するき裂先端のせん断耐力を想定し、荷重を増加し続けることで、き裂の進展が終了してから再びき裂が進展するまでの挙動を評価するものである。試験状況および試験結果を図-3に示す。縦軸はき裂に対する抵抗力(せん断耐力)として、「き裂進展時の荷重の読み値-たわみによる荷重」を示している。図より、FRP製波板は、き裂発生後もき裂に対する抵抗力を一定レベル維持することが分かる。

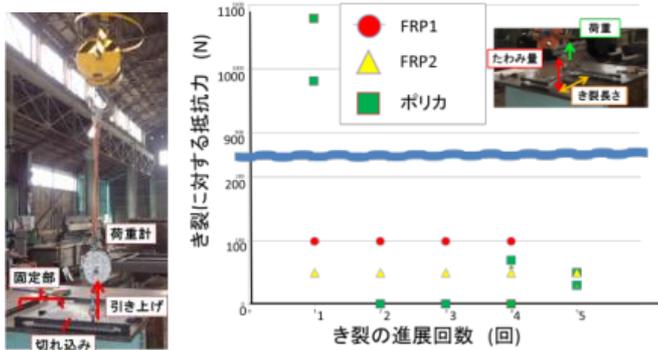


図-3 引裂き試験の状況 (左) と試験結果 (右)

また、FRP1とFRP2とを比較すると、FRP2は変形に弱く、脆性的な破壊となった(図-4)。以上より、FRP1製波板が最も適した部材であると判断した。

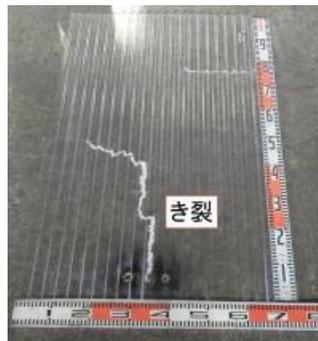


図-4 試験後のFRP2

### 3.3 現地施工

現地にて施工性の確認を行った。FRP製の波板1枚(2420mm×670mm)あたり、6行3列の計18本のボルトで固定した。また、ボルト孔からのき裂発生を防止するため、ボルト孔周辺の応力緩和を目的に従

来の座金よりも設置面積が3.5倍程度広がる座金<sup>5)</sup>を用い、さらに波板と覆工との間に緩衝材を施工した。実績として終列車から初列車までの5時間半の作業時間で約100m<sup>2</sup>の施工量を13日間で完了することができた(図-5)。また、当初計画していたセントルと比較して、1/3程度の費用であった。

なお、施工後、低温時に現地確認した結果、対策工端部に許容できるつららが発生していたものの、対策工内部に凍結は確かめられなかったことから、FRP製波板は一定の断熱性を有すると考えられる。



図-5 施工状況(左)と座金および緩衝材(右図)

## 4. まとめ

北陸地方の凍害劣化を有するトンネルにおける、つらら対策工としてFRP製波板に着目して検討を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 凍害による覆工劣化は、コンクリートの表面から50mm付近までが著しいようである。
- 2) ポリカ製波板の面外力に対する、き裂の進展挙動が明らかになった。
- 3) FRP製波板はポリカ製波板と比較し、ガラス繊維によって材料強度が増加したことにより、き裂の進展に対する抵抗力を有する。
- 4) FRP製波板と覆工との間で凍結は認められなかったことから、ポリカと同等の断熱性を有する。今回の検討結果を踏まえて、今後とも施工を実施して行きたい。

### 【参考文献】

- 1)国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル, 2007.1
- 2)国土研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所：凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案), 2016.1
- 3)R.J.TORRENT:「カバークリート」の透気性係数の迅速な決定方法, 土木工学における非破壊試験国際会議シンポジウム(NDT-CE), pp26-28, 1995
- 4)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'16, 2016
- 5)特開 2007-247162, 2007-9-27