

バサルト繊維プレート（BFP）と防水断熱板（PG 板）を併用した対策工法の確立

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○新原 元樹

1. はじめに

中央本線奈良井～木曽平沢間の高見トンネルは、長野県塩尻市の積雪寒冷地に位置し、冬季はマイナス10℃を下回る環境下にある。トンネル内は通年湧水があり、冬季には氷柱が多数形成される。トンネルは1909年（明治42年）に築造され、覆工はレンガ4層で形成されており、建築限界ⁱとの最小離隔が38mmの狭小レンガ造トンネルという特徴を有している。現在、建設から113年が経過し、レンガ覆工の経年劣化が進んでいる（図－1）。



図－1 レンガ劣化状況

本研究では、寒冷地の狭小レンガ造トンネルである高見トンネルに対する新たな修繕工法の確立を目指して、バサルト繊維プレート（以下、BFP）と防水断熱板（以下、PG板）を併用した対策工法を実施したので、その成果について報告する。

2. 対策工法の検討

対策の検討にあたり、条件を整理し工法を検討した。

- ① 漏水が発生し広範囲であること。
- ② 寒冷地であること。
- ③ レンガ造であり、建築限界に余裕がないこと。

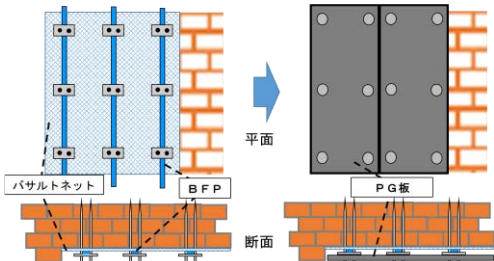
検討にあたり当社のトンネル保守管理マニュアル「トンネル漏水・材料劣化対策工法選定フロー」を参照した。漏水があり、冬季に凍結の恐れがある場合はPG板の設置を定めている。しかし、高見トンネルは建築限界に余裕がなく、PG板を設置した場合に建築限界を支障する恐れがある。そこで、施工箇所のレンガ覆工4層のうち1層目を撤去し、建築限界に余裕をもたせPG板を設置することとした。レンガ覆工を撤去した際に、覆工耐力が低下することが懸念されたため、覆工耐力を補う工法として、高強度モルタルパネル、薄肉鋼板巻き、BFPの3つの工法を比較した。比較結果を表－1に示す。いずれの工法も覆工耐力を向上させることができるが、高強度モルタルパネルは厚さが100mmあり、狭小トンネルにおいては建築限界への影響が懸念される。また、薄肉鋼板巻き工法は、

表－1 覆工耐力を補う工法の比較

	高強度モルタルパネル	薄肉鋼板巻き工法	バサルト繊維プレート
内面補強工法			
施工性	△ ・レンガ2層分削る ・支保工が必要	× ・施工手順が多く基礎を設置する必要あり ・腐蝕を避くため、電化区間の施工実績がない	△ ・施工は容易である ・不陸整正もモルタル等で可能
建築限界	△ ・厚さが100mm以上	○ ・鋼板厚さ8mmであり、内空断面の侵占少ない	○ ・厚さプレート3mm
コスト	△ ・1000万円/m	× ・1400万円/m	○ ・624万円/m
材料の耐久性	△ ・施工から2年経つが耐久性は不透明である ・モルタルパネルの耐低温性の評価は不明	○ ・雪害トンネル、施工後15年で劣化なし ・-10℃程度は問題ない	○ ・切開トンネル、施工後劣化なし ・鉄道総研で、レンガに対しての適用試験を実施し、鋼材よりも4倍の耐力を有する ・耐低温性、耐水性に優れる
総合評価	△	×	○

鋼材であるため電化区間で使用する際に、感電のリスクが生じる事と、多額のコストがかかる。検討の結果、厚さが3mmと薄く、電化区間に対応し、コスト面でも優位性のあるBFPを採用した。BFPは、覆工の耐荷性能・変形性能の向上が期待でき、バサルトネットを併用することで剥落対策も行うことができる。ⁱⁱ

以上より、レンガ覆工1層分を撤去して建築限界を確保し、BFPとPG板を併用する対策工法とした（図－2）。



図－2 BFPとPG板の対策工法

3. 施工上の課題

当該箇所は夜間に貨物列車が2本通過し、作業間合いを分断する。そのため、覆工の撤去途中に貨物列車が通過し、通過時の振動や風圧により撤去中の覆工の一部が剥落する恐れがある。列車通過前に既設の剥落防止用の樹脂ネットの復旧を考えたが、覆工を撤去する際にアンカーが撤去されるため、復旧ができない。そこで、剥落防止措

キーワード バサルト繊維プレート，防水断熱板，レンガ造トンネル，剥落，凍結

連絡先 〒453-0872 名古屋市中村区平池町四丁目1番地 JR東海 名古屋保線区 052-581-0998

置として、BFP固定用アンカーを、レンガを研っても支障しない深さまで先行打設し、そのアンカーを使用して既設の樹脂ネットを復旧する計画とした。しかし、アンカーの先行打設にあたり、以下2点の課題が生じた。

- ① 打設後にレンガ覆工を撤去するため、アンカーの位置・角度に誤差が生じ、BFPを固定する座金がはまらなくなる可能性があること。
- ② 打設後に周りのレンガ覆工を撤去するため、ねじ山が潰れ座金をとめるナットが締められない可能性があること。



図-3 座金の口径拡大

課題解消のため、2点を対策した。

- ① BFP固定に用いる座金の口径を拡大し、打設位置に微量な誤差が生じた際も設置できるものとした（図-3）。
- ② BFP固定用アンカーにレンガ1層分のビニールホースを巻き付けて打設を行うことで、注入材の付着防止、アンカーのねじ山を保護した（図-4）。

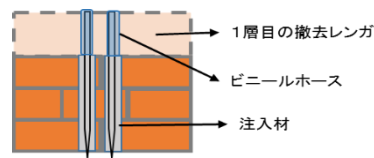


図-4 アンカーの保護

4. 施工の実施

施工は、建築限界を支障するトンネルアーチ部のレンガ1層分を撤去し、撤去部分に図-5に示すBFPを0.5m間隔で設置した。その後全周にPG板を設置した。施工は以下の手順でおこなった。

- ① マーキングを行い、アンカー打設及びBFP設置箇所を決定。
- ② 既設の樹脂ネットを撤去。
- ③ 1層分のレンガ覆工の撤去及び不陸整正の実施。
- ④ BFPアンカーに巻き付けてあるビニールホースを取り除き、剝落防止用のバサルトネットを設置。
- ⑤ BFP背面に接着剤を塗布し、固定金具による締め付け。
- ⑥ BFPの前面にPG板を設置。



図-5 BFPの設置状況

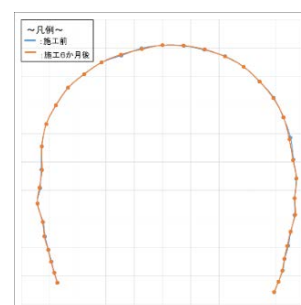


図-6 内空断面測定結果

5. 効果の確認

施工後に施工箇所、前後10mの位置で内空断面の測定を実施した。図-6に示すように施工から半年後の測定の結果、内空断面の縮小は見られなかった。PG板による断熱作用については、冬季の気温が0℃以下の時にPG板をめくり背面を確認したところ、漏水が凍結することなく排出できていた。また、BFP固定用アンカーの周囲も凍結しておらず、PG板設置の効果を確認した。

6. 補修工法の確立

当社の「トンネル漏水・材料劣化対策工法の選定フロー」では、漏水が発生し、冬季に凍結の恐れがある箇所ではPG板の設置をしているが、高見トンネルのように、建築限界に余裕がないレンガ造のトンネルに対して、BFPとPG板を併用した対策工法を確立することができた（図-7）。

おわりに

BFPとPG板を併用した補修工法を実施し、施工後の内空断面に変化はなく、漏水が凍結することなく排出できていることを確認した。今回の補修工法が狭小レンガトンネルの同種変状の解消の一助けになれば幸いである。末筆ではあるが、本トンネルの調査、工事に多大なご指導をいただいた、関係者の皆様にお礼を申し上げる。

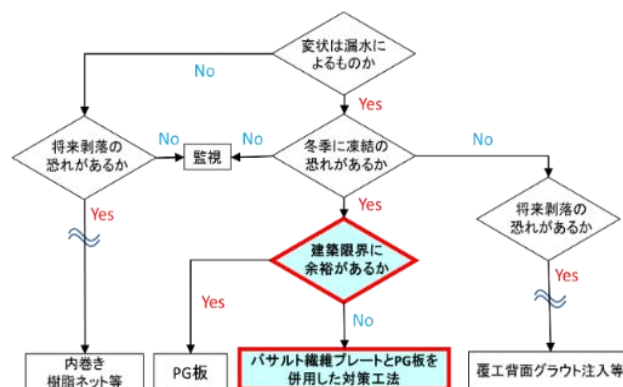


図-7 修繕フロー

i 車両が建造物等に接触することのないようにその設置限界を示すもの

ii 公益財団法人鉄道総合技術研究所、戸田建設株式会社、コニシ株式会社：バサルト帯板接着工法技術資料、平成29年11月