

導水機能付きのトンネル剥落対策工法の検討（その1）

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○古川武英, 齊藤裕之, 浅田章一, 栗林健一
新日鉄住金マテリアルズ株式会社 正会員 齊藤 誠

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 箇所にもものぼる。在来線の平均経年数は約 65 年を越えており、老朽化が進んでいる。

過去に覆工片等の落下および漏水対策として覆工表面にモルタルを吹き付けてきた。しかし覆工表面からしみだした漏水等に起因する材料劣化などによって、吹付けモルタル自体が落下する事象が発生していた。そのため、ネット工法やシート工法などの剥落対策を実施し、安全輸送の確保に努めてきた。

一方で、これらの対策工法は落下物の防止効果は期待できるものの、漏水防止対策としては、効果そのものが期待できない、もしくは効果が期待できても湿潤面への適用が難しいなどの課題があった。

そこで、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対策の開発について検討を行うこととした。

本報告では、室内試験の事例について報告を行う。

2. 使用材料の検討

2.1 パネル

工法の提案にあたって、各材料会社のカタログや文献等により様々なパネル材料の評価を行った。耐燃性かつ耐衝撃性に優れるなどの利点を有するポリカーボネート板を選定した。また、耐剥落荷重の向上を目的にパネルは曲げ剛性の高い波板形状（図 1）とした。

2.2 FRP 成型品（補強材）

使用材料には、ポリカーボネート板の波板形状に合わせたかまぼこ型の FRP 成型品（補強材）を設置することを提案した。これは、耐剥落荷重の増大が期待できることに加え、図 1 に示すように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直接干渉しない構造とすることで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ことによる。

また、かまぼこ型の FRP 成型品（補強材）は、既存品としては存在しないため、新たに製作を行うこととした。引き抜き成形に用いられる強化繊維は、ガラス繊維以外にも炭素繊維やアラミド繊維などがあるが、経済的な観点から、ガラス繊維を用いることとした。樹脂には一般的に不飽和ポリエステル樹脂が用いられるが、今回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

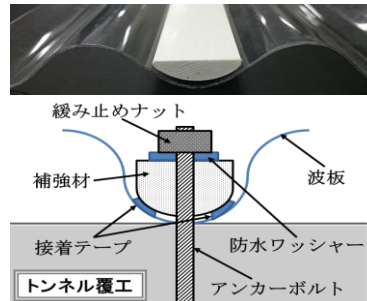


図 1 開発工法 断面



図 2 作業性の確認

を樹脂に添加することとした。

なお、FRP 成型品（補強材）の形状は、波板の幅におさまる、かつ部材厚を極力小さくすることを考慮し、幅は 28mm 以下、厚みは 7mm と 9mm の 2 種類とした。

2.3 作業性

FRP 成型品（補強材）を波板に張り付けた複合材（以下 FRP 補強波板と記す）は、通常の波板よりも曲げ剛性が高くなる。耐剥落荷重の向上は期待できるが、実際の施工に際し、曲率を有したトンネルの覆工面に対して人の手で沿わせることが困難となることも想定された。

そこで、ベニヤ板で狭小トンネル覆工曲率（半径 2,280mm）の形状を有した曲面版を製作し、FRP 成型品（補強材）を波板に張り付けた複合材を手で押しつけてみた。図 2 に示すように、狭小トンネルの曲率に簡単に沿わせることができることが確認された。

3. 開発工法に求められる各性能

3.1 耐剥落荷重性

1) FRP 補強波板

トンネルにおける落下物について分析を行ったところ、レンガや吹付けモルタルの破片が大部分を占め、その大きさは 0.1 m²以下のものが多かった。

そこで、開発工法に求められる耐剥落荷重としては、レンガ 1 層と吹付けモルタルの合計 (3kN/m²) を目標とした。荷重載荷時の許容変位は、既存の開発工法^{1) 2)}の仕様である許容変位 30mm（部材厚＋荷重載荷時変形量）とし、30mm 変位時の載荷重で評価することとした。

2) 定着アンカー

使用する定着アンカーは金属拡張式の樹脂アンカー（M8）とした。アンカーに求められる引き抜き荷重としては、M8 の許容引張耐力 (5kN/本) とした。

キーワード トンネル覆工, 剥落対策, 漏水対策, FRP 波板

連絡先 〒331-8513 さいたま市北区日進町 2 丁目 479 番地 JR 東日本 研究開発センター テクニカルセンター

3.2 寒冷地での適用性

開発工法は導水工法を兼ねる。当社管内の寒冷地では凍結により材料劣化が生じているケースが多く確認されている。そこで、対凍結融解性に優れた工法であることも要求性能とした。

3.3 施工性

鉄道トンネルは作業時間が短いため、線路閉鎖間合いなどの作業時間内で区切りとなる一つのサイクルを完了させる必要がある。そこで、貨物列車が通過するなど作業時間をあまり確保できない路線を考慮し、アンカーの強度発現時間を含む作業時間が60分以内であることを条件とした。

さらに、補強材を現地で削孔しながら剛性のある波板を設置可能かどうか、既存設備（架線支持金具など）の支障物をかわして施工可能かどうかも要求性能とした。

4. 評価試験

4.1 耐剥落荷重性の評価

1) 試験概要

基本的に「FRP 覆工剥落対策マニュアル³⁾」に記載されている試験方法に準拠するが、荷重装置については、実際のトンネル曲面形状に合わせた試験方法が望ましいと判断し、装置の製作を行った(図3)。

荷重装置は、狭小トンネル覆工曲率（半径2,280mm）を有し、FRP 補強波板を固定できる構造とした。また、荷重面である圧子の大きさは、前述の実際の落下事象の分析結果を加味し、圧子面積を0.1 m²とし、試験での評価荷重は0.3kN（耐剥落荷重3kN/m²×圧子面積0.1 m²）とした。荷重方法は、油圧ジャッキによって曲面形状に固定されたFRP 補強波板に荷重し、中央部に取り付けた変位計と、ジャッキの下にセットされたロードセルの荷重値と合わせて計測を行った。

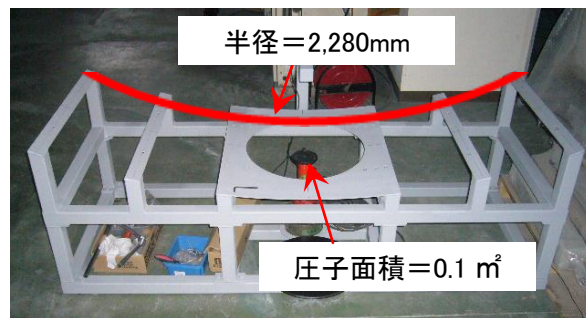
2) 試験条件

FRP 成型品（補強材）の厚さおよび有無（7mm, 9mm, 無し）を試験条件とした。また、参考値として既存工法であるネット工法との比較も行った。試験条件を表1に示す。

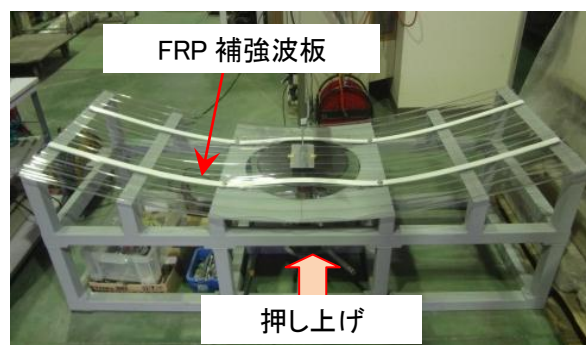
3) 試験結果

評価荷重（0.3kN）時の許容変位は、部材厚を含め30mmである。開発工法部材厚は22mmであることから、今回の試験では8mm（許容変位30mm－部材厚22mm）の変位時における荷重が評価荷重（0.3kN）以上であることを確認する。

荷重試験結果（図4）より、FRP 補強がない場合は、荷重値0.3kNの時の変位は13mmを超えるのに対して、7mm厚みのFRPにて補強した場合が変位6mm程度、9mm厚みのFRPを用いて補強した場合が変位5mm程度と、FRPを併用して補強することで、目標の耐剥落荷重性能をクリアできることが確認された。また、ネット工法（トリカルネット）は荷重時の変位が大きいことが確認された。



(荷重装置の外観)



(荷重試験状況)

図3 荷重装置

表1 試験条件

条件	備考
①波板のみ	既存導水対策工法
②トリカルネット	既存剥落対策工法
③波板+補強材 (7mm)	開発工法
④波板+補強材 (9mm)	開発工法

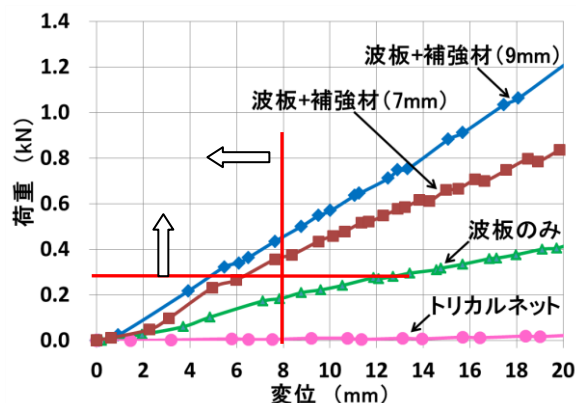


図4 荷重試験結果

5. まとめ

今回、落下物と漏水を同時に防止可能な新たな工法の開発を行い、求められる性能を明確にした。

【参考文献】

- 1)土木学会年次講演会：FRP を用いたレンガトンネル修繕工の開発；安保知紀，露木寿，内藤孝和，2013.9
- 2)土木学会年次講演会：薄型パネルを用いたレンガトンネル修繕工の開発；大本晋士郎，森康雄，栗林健一，浅田章一，2014.9
- 3)FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル；トンネル安全対策工法研究会