

狭小トンネルにおける漏水対策の検討

東日本旅客鉄道株式会社

正会員 ○松浦 真也

正会員 西山 秀紀

荒川 友里

1. はじめに

内空断面が狭小なトンネル（以下、狭小トンネル）における漏水は、冬季に結氷や氷盤を形成し、建築限界をさらに侵すことから、列車の安全安定輸送に影響を与えることが懸念される。また、直流電化トンネルでは、レールや架線は滴水を受けることで腐食することからも、漏水対策が求められる。しかしながら、狭小トンネルでは断面を縮小する対策を採用することは困難である。このため、対策工は止水工に限られるが、狭小トンネルの多くは、経年が100年以上のれんが造やコンクリートブロック造のトンネルであるため、漏水範囲は広く、工法適用に苦慮している。本報告では、狭小トンネルにおいて実施した2種の止水工について効果を確認し、効果的な漏水対策について検討を行ったので報告する。



図-1 結氷発生状況



図-2 軌道腐食状況

2. 目的

今回対象としたトンネルを表-1に示す。電化のAトンネルでは、架線・レールを腐食させる滴水範囲における止水を目的とし、非電化のBトンネルでは結氷・氷盤の発生防止を目的とした。

3. 工法選定

止水工は、覆工の打継目やひび割れ等からの漏水に対し、モルタル等により水みちを閉塞することで覆工面への漏水を防止する工法である。止水工は注入工と充填工に大別され、施工方法や使用材料等によって様々な工法が存在する。本報告ではアクリル系樹脂を用いた止水注入をAトンネルに適用、自己治癒モルタルを用いた目地充填工をBトンネルに適用した。止水注入は高価であり、覆工全体に対して対策が必要なBトンネルでは施工費が膨大になるため、比較的安価な目地充填による漏水対策を選定した。また、Aトンネルでも目地充填を検討したが、覆工の母材が劣化しており、目地充填できる環境にないため、止水注入により架線・レール範囲の止水注入を実施し、効果の確認を行った。

表-1 対象トンネル概要

	Aトンネル（電化）	Bトンネル（非電化）
覆工	コンクリートブロック （覆工の状態で劣）	コンクリートブロック （覆工の状態で良）
漏水範囲	覆工全体	覆工全体
結氷の有無	無	有
対策範囲	架線・レール滴水箇所	覆工全体
現場状況		
覆工状態		
対策工	止水注入	目地充填

3-1. アクリル系樹脂を用いた止水注入

アクリル系樹脂は硬化時間の調整が容易であり、温度変化等による目地の開きが発生しても、再供給された水と反応し膨張する性質があり、動きに追従することで止水効果を発揮する。施工方法は、漏水状況から施工範囲を定め、覆工面に対して直角に削孔し、注入材を直接充填する（図-3）。その後、注入材が固結してゲル状となることで目地部を閉塞する。なお、目視で漏水箇所を特定する必要があるため、漏水が発生している時期での施工が望ましい。

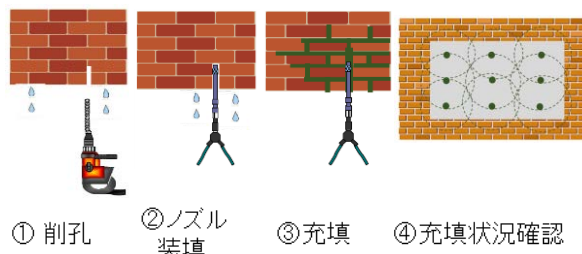


図-3 止水注入施工手順

キーワード 漏水 結氷 止水注入 目地充填

連絡先 〒380-0935 長野県長野市中御所1-8-13 東日本旅客鉄道（株）長野土木技術センター 026-480-3385

3-2. 自己治癒機能型高流動無収縮モルタルを用いた目地充填

自己治癒モルタルの特徴は、収縮によるひび割れが生じにくく、ひび割れが発生しても水分がひび割れ部に供給されると、モルタル内部の自己治癒成分が反応し、ひび割れを自動的に閉塞させることができる。施工方法は、高圧洗浄及び劣化した目地の撤去を行い、自己治癒モルタルを固練りの状態で目地コテや手で覆工目地部全体に詰める。漏水が多い場合は、止水モルタルにて止水を実施してから目地詰めを行う（図-4）。

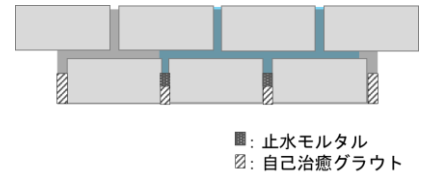


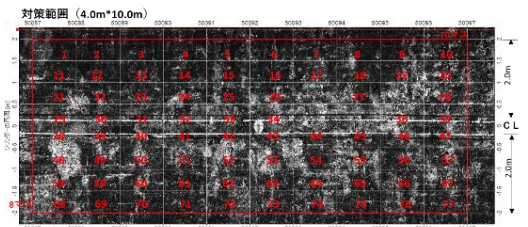
図-4 目地充填施工概要

4. 対策効果の確認

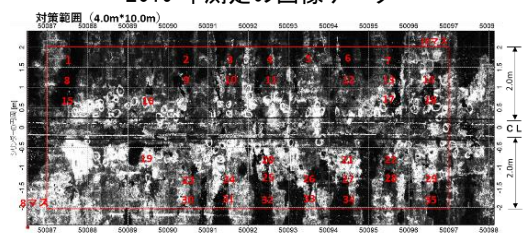
対策効果の確認は、トンネル断面の連続測定による画像データから対策前後での漏水状況の二時期比較（図-5）を行うとともに、現地にて冬期の結氷や氷盤の発生状況（図-6, 7）の比較を行った。

4-1. 止水注入結果

施工はクラウンからアーチ方向に左右 2.0m の範囲を架線・レール滴水範囲とし、10.0m の延長に対して止水注入を実施した。画像データを線路方向 1.0m、線路直角方向 0.5m のグリッドに分け、各グリッドの漏水状況を確認し、効果の検証を行った（図-5）。施工前は約 96% の範囲が漏水している、あるいは濡れている状態であったが、施工後は約 43% まで減少した。対策後は漏水量を大幅に抑制できたが、施工時は漏水が無く注入を実施していなかった箇所からの漏水が発生し、現在もレールへ滴水している。これは対策実施により、水みちが変化したことが原因と考えられる。



2019年測定画像データ



2021年測定画像データ

図-5 画像データによる対策前後二時期比較
（黒色部：湿潤状態、白色部：乾燥状態）

4-2. 目地充填結果

目地充填を実施した箇所の結氷等の発生状況は、対策後は軌道周辺に氷盤が発生した形跡は無く、2011年に側壁から結氷が発生していた箇所はつららが発生している程度に抑制できた（図-6, 7）。このことから、目地充填により当該箇所周辺の漏水量を抑制できたと考えられる。しかし、漏水が多い箇所では今回施工した目地が流出していた。施工後数カ月は目地詰めが機能していたことから、その後、漏水量が多い時期に目地材が流出したと考えられる。このことから、水量が多い箇所での使用は難しいことがわかった。



図-6 対策前 結氷・氷盤発生状況（2011年）



図-7 目地充填実施後 結氷・氷盤発生状況（2022年）



5. まとめ

各対策工について表-2 に示す。止水注入は漏水量や母材状態によらず施工が可能であるが、アクリル系樹脂材が高価であることから施工費が割高となる。一方、目地充填は対策箇所を選べば、止水効果は十分に見込める。よって、目地充填により覆工全体の漏水を抑制し、水量が多い箇所は局部的に止水注入を実施するなど工法の併用や、止水注入を実施した箇所では二時期に分けて施工するなど工法の工夫を行うことで、狭小トンネルにおける漏水対策をより効果的に実施できると考えている。

今後、長期耐久性についても確認し、引き続き最適な漏水対策について検討を行っていく。

表-2 対策工比較検討表

工法	止水効果	適用条件		
		漏水量	母材の状態	コスト
止水注入	注入範囲 漏水無	量に関係なく ○	関係なし	高
目地充填	全面的に 漏水量減	水量多いと ×	状態悪いと×	低