

経年 80 年を超える丹那トンネルの漏水対策

JR 東海 静岡支社 富士保線区 正会員 飯久保 雄太

1. はじめに

東海道本線熱海～函南間に位置する丹那トンネルは、延長 7841m の馬蹄型複線トンネルである。当社在来線において最長であり、1934 年の竣功から 87 年が経過している。

丹那トンネルは 1918 年に着工したが、施工中に湧水が大量に発生したことが影響して工期が 9 年延伸された経緯があり、供用開始後も湧水が非常に多く漏水が発生しやすい環境にある¹⁾。このため丹那トンネルでは、漏水箇所に対して漏水を側壁部に導水する役割のある漏水防止板²⁾をトンネル全長の約 2 割に設置しており、固定のためトンネル全体で約 56300 本のアンカーを使用している（写真-1）。漏水防止板を設置すると、漏水への対応を行えるものの、漏水防止板本体やこれを固定するアンカーの維持管理に多大な労力・費用が必要となるほか、覆工表面の変状が確認できなくなってしまう等の課題がある。本稿では、これを踏まえ丹那トンネルで適用する新たな漏水防止対策を検討したので報告する。



写真-1 漏水防止板設置状況

2. 対策工法の検討

2. 1 丹那トンネルにおける漏水対策工法の検討

一般的な漏水対策工法のうち、漏水防止板以外の工法である水位低下工法、止水充填、止水注入および背面注入工法について施工性、メンテナンス、耐久性、施工費の 4 つの指標で比較検討した（表-1）。丹那トンネルの夜間間合いの長さに対応した短い時間（実作業時間：最大 60 分）で施工が可能で、覆工表面の検査にも支障はなく、材料によっては長期的な止水効果が期待できることから、止水注入の適用が最も妥当であると考えた。

表-1 漏水対策防止工比較

	水位低下工法	止水充填	止水注入	背面注入工法
施工性	✕ 丹那 T の漏水が多い所で試験施工を実施	△ 適水程度しか施工できない	○ 短い間合いで施工可能	△ 資機材等が多い短い間合いでは施工困難
メンテナンス	○ ⇒覆工裏は隙間がない状態で、湧水は出てこなかった	○ 覆工表面見える	○ 覆工表面見える	○ 覆工表面見える
耐久性	 期間経過に伴い剥離剥落の恐れ	△ 材料によって長期的な止水効果	○ 材料によって長期的な止水効果	○ 長期的な止水効果 ※覆工背面の状態による
施工費	△ 施工性が低いため施工費が高くなる	△ 材料費が高い	△ 材料費が高い	✕ 工事費が全体的に高い

止水注入は、ひび割れ等から発生した漏水に対して材料を注入し、止水する工法である。コンクリート造のひび割れ等から発生した線状の漏水に対して適用実績があるが、ブロック積みトンネルの目地から発生した面状の漏水に対しては、適用実績がない。丹那トンネルアーチ部の覆工材はレンガ（ブロック積み）が 4 割、コンクリートブロックが 6 割となっており、ブロック積みへの対応が必要となる。ブロック積みトンネルの目地に止水注入を適用する場合、複数の目地から漏水が発生している場合があるなど止水する標的を絞りにくいことから、目地空隙に材料を注入し、覆工内部に止水層を形成することを目指した。

2. 2 適用する注入材の検討

注入材料には主に 4 種類ある。湧水の水質への影響を配慮した施工が可能であるということを前提に、施工性、可とう性、サイクルコスト、持続性の観点から評価し、アクリル系を採用することとした（表-2）。

硬化時間が早いため施工性が高く、躯体への可とう性があるため止水効果を持続でき、初期投資は必要となるものの、長期的効果を持続できると期待できることから、長期的には有利となると判断したためである。

次に適用するアクリル系樹脂の選定を行った。①硬化時間を 10 秒から 4 分まで変更可能、②硬化後も水と反応すると再度膨張すること、③コンクリート躯体で約 30 年間継続して止水した実績があること、④硬化した材料が水に混ざっても水質への影響がないこと等、⑤可とう性に優れている等から、低粘度のアクリル系二成分合成樹脂（以下、アクリル系材料という。）を選定した。

キーワード：トンネル、ブロック積み、レンガ、漏水対策、アクリル系材料、注入工

連絡先：〒416-0942 静岡県富士市上横割字横堀南 19 番 4 東海旅客鉄道株式会社富士保線区

これらの特徴から、注入材施工により止水した後に、温度変化等により目地が拡大した場合においても再度漏水することなく、長期的な止水効果を期待できる。

3. 丹那トンネルへの適用性検討

3. 1 丹那トンネルへ適用する際の課題

丹那トンネルは、実作業間合いが最大で 60 分と非常に短く、施工性の向上が必要となる。一般的な注入では、覆工裏での注入を目指し、ドリルにて覆工厚の半分を目安に 45 度方向に削孔、材料硬化時間を長くとり、注入を行う。このため施工時間が長い。今回は、覆工裏ではなく、覆工表面での止水を目指し、ドリルにて垂直方向に削孔し、材料硬化時間を短くすることとした。

3. 2 試験施工の実施

2019 年 1 月に廃線トンネル（レンガ目地から面的な漏水）における試験施工を実施した。覆工厚 450 mm 程度に対し、2 パターン施工した結果、パターン①の方が、施工性が高く、止水効果が期待できると考えた（表-3）。また、止水箇所に対してコア抜きを実施し、目地空隙に材料が充填されていることを確認したほか施工後 20 か月に亘って調査を行い、止水効果が持続していることを確認している。

3. 3 丹那トンネルでの本施工

丹那トンネルでの本施工は 2019 年 10 月に実施した。施工箇所は、坑口付近のレンガ覆工アーチの施工継ぎ目部 1 箇所、面的な漏水箇所 2 箇所の計 3 箇所である。坑口付近は温度変化が著しく厳しい条件であるため、坑口付近で止水効果が継続すれば、丹那トンネル全体に適用できると考え、本箇所を選定した。注入方法は試験施工の結果を踏まえ（図-1）の通りとした。注入 1 箇所あたりの所要時間は、ドリル削孔 1 分、ノズル設置 1 分、材料注入 5 分程度の計 7 分程度であった。施工時間 60 分で約 8 箇所施工でき、止水延長は 2m 程度（約 2m²）となった。このように、本工法は短い間合いでも十分施工可能であるといえる。

3. 4 止水注入による覆工への影響・止水効果の持続性の検討

漏水箇所を注入によって止水する場合、トンネルの覆工が水圧の影響を受けることが懸念される。本工法における止水箇所は、図-2 の実線枠で示すレールと架線に影響がある箇所のみであり、点線枠で示す箇所は止水しない。このため水の逃げ道は施工後も存在する。止水した箇所の周辺を定期的に追跡調査しているが、新規変状は発生していない。また止水効果が持続していることも確認しており、本工法は温度変化の影響を受ける坑口付近でも十分止水効果を持続できている。

4. まとめ

漏水防止板に代わり、新たな漏水対策としてアクリル系材料の止水注入が丹那トンネルにて適用可能であることを示した。止水注入を適用した際に期待される効果は、①漏水防止板の再補修が不要になり、ライフサイクルコストの低減が期待できる、②漏水防止板を撤去でき検査労力を大幅に削減できる、③覆工表面が目視にて確認が可能となる、④漏水防止板の剥れによる運転事故のおそれなくなることが挙げられる。今後は、丹那トンネル内の既設漏水防止板を劣化度に応じて撤去しながら、止水注入の実施を計画している。止水箇所の「新規変状の有無」や「止水効果の持続性」を継続的に確認するとともに、止水注入効果を長期的に検証していきたい。

参考文献：1）鉄道省熱海建設事務所（1936）『丹那隧道工事誌』

2）鉄道総合技術研究所（2007）『鉄道構造物等維持管理標準（トンネル）』

表-3 試験施工の確認項目

	パターン①	パターン②
施工面積	約2.0m ²	約2.0m ²
覆工材	レンガ	レンガ
削孔深さ	覆工厚の1/3	覆工厚の2/3
材料硬化時間	10秒	30秒
注入圧力	22MPa	22MPa
施工完了時間	60分	170分
止水効果	良	良

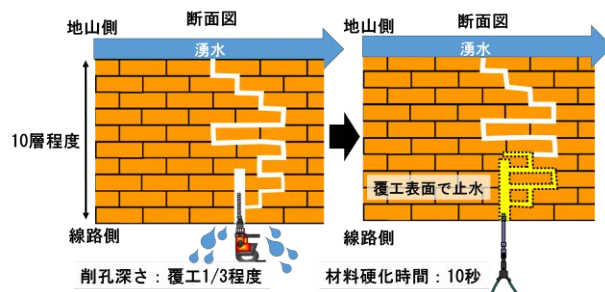


図-1 丹那トンネルにおける注入方法

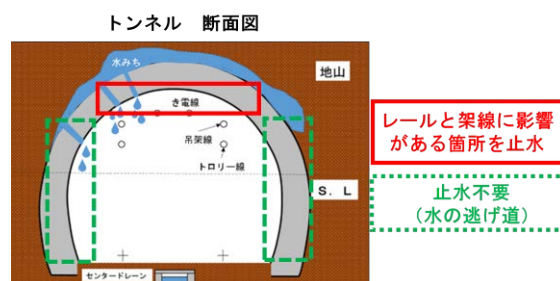


図-2 止水範囲の考え方