

トンネル覆工裏込注入工における注入材料の選定と長距離圧送環境下での施工方法

双葉鉄道工業(株) 正会員 谷 雅史
 双葉鉄道工業(株) 正会員 光宗 久雄
 (株)ミヤマ工業 瀬川 隆昌
 (株)ミヤマ工業 吉田 繁佳

1. はじめに

一般的な山岳トンネルにおける構造的安定は、覆工のアーチ部に地山からの圧力が均等に加わることによるアーチアクションによって保たれている。NATMによる施工以前に掘削されたトンネルの多くは矢板工法による施工のため、覆工と地山の間には空隙が生じやすい。図1に示すように、空隙が存在すると覆工への地山からの圧力は偏って作用するため、トンネルの覆工に変状が生じやすいほか、偏圧状態が長期間続いた場合には覆工コンクリート自体の健全性も懸念される。

覆工裏の空隙を埋めることで覆工にかかる偏圧状態を解消し、本来のアーチアクションを機能させ、覆工コンクリートやトンネル全体の健全性を確保する「長寿命化」を目的としたのが「覆工裏込注入工」である。

筆者らは硬化後の強度がコンクリートの 1/10 程度でも問題ないことが確認されている注入材料を用いて、覆工裏の空隙を完全に充填し、かつ完全充填の状態を半永久的に持続させることを最も重要な目的として、施工を行った。ここでは「覆工裏込注入工」における注入材料の選定と長距離圧送環境下での施工方法について述べる。

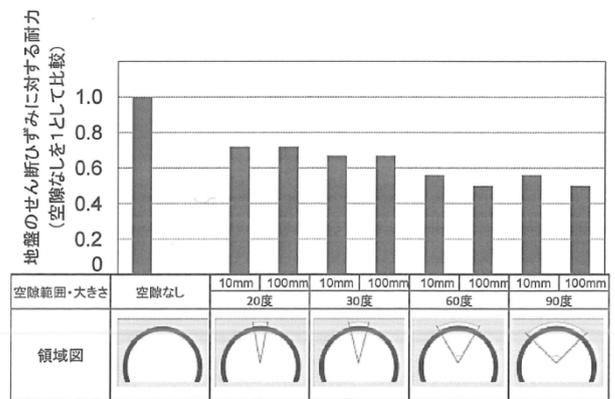


図1. 空隙による覆工耐力の変化¹⁾

2. 長距離圧送方式によるメリット

覆工裏込注入工ではプラント設備や注入孔の削孔、材料注入、作業足場の設置など多くの作業をトンネル内で行う必要がある。しかしトンネル内への各設備の長期間の存置による道路封鎖や車線規制は事実上不可能であり、特に鉄道工事においては軌道上を塞ぐような工事を行うことが可能な時間帯、いわゆる「作業間合い」がごく短い時間に限られている。

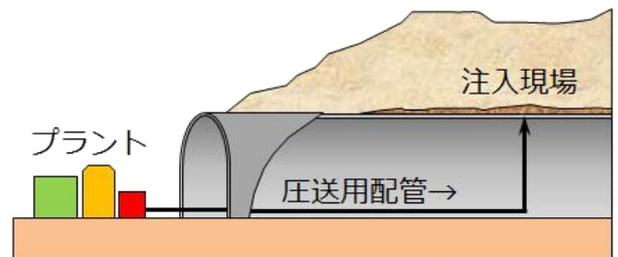


図2. 長距離圧送の概念図

そこで図2のようにトンネル外にプラントを設置した上で、夜間や作業間合いに注入現場まで配管によって材料を圧送する方法が対策として考えられる。この方法は、プラント(図3)とトンネル内の現場のみでの作業であることから人員や作業時間の削減が可能であるほか、現場の進行状況に合わせて対応できるため、注入材料の無駄なロスを削減できるなどコスト面で有利である。また、作業当日の予定数量の注入材料を確実に現場に送り込めるほか、プラントにて練り上がった2液性の注入材料を別々の配管で圧送し、現場で混和させる方式を採用することによって、品質管理面でのメリットも期待される。



図3. プラント作業の様子(材料ミキサー)

3. 注入材料に求められる性質

覆工裏込注入工において注入材料に求められる性質は主に次の3つである。(1)非収縮性：材料の硬化前から硬化後にかけて体積が減じない性質（基準値：28日硬化後 $\Delta 20\text{mm}$ 以内）。(2)水中不分離抵抗性：水中においても周囲の水と混和することなく材料のみで硬化する性質（基準値：水中投下60分後pH値 $\pm 10\%$ 以下，濁度 $\pm 2\%$ 以下）。(3)可塑性：圧力が加わっているときは流体としての挙動を示し，圧力が加わらない状態では流動せずにその場で静止・硬化する性質（基準：静止時と15回打撃後のフロー値で判断）。

筆者らは実際の工事で使用する原料と配合に基づいた注入材料を試験用プラントにて製造し，表1に示した各基準について試験を行った（図4）。試験結果はいずれの基準も十分に満たしており，良好であった。

4. 長距離圧送に適した注入材料の選定

本施工では，上に挙げた性質に加え，配管を利用した長距離圧送によっても品質低下が生じないような注入材料の開発ならびに選定を行う必要がある。

完全充填を目的とした可塑性注入材料はセメント主体のA液と可塑性主体のB液を混和させて使用する。そこで長距離圧送への適合性を確保するため，本施工では流動性の良い新たな可塑性の開発を行うとともに，別配管で圧送し直前に混和させる工法を用いた。なお，本施工で選定した可塑性注入材料は，従来の性質に加え，長距離圧送環境下での適合性も十二分に満たすことが可能であることから採用に至った。

5. 施工方法と品質確保

覆工裏込注入工の施工において最も重要なことは，「1.はじめに」でも述べた通り，覆工裏の空隙を注入材料で完全に充填することである。このため次に挙げる3点を施工上の工夫として施した。(1)注入孔の配列は空隙の多いトンネル上部にも確実に注入するため，1断面につき5孔とする。(2)注入順序は重力による注入材料の流動も考慮し，相対的に勾配の低い側の低い位置の孔（天端から 45° の位置）から勾配の高い側・高い位置（天端部）の孔へと順に行う。(3)注入管理として原則は注入中の孔に隣接した孔からの材料の漏出（リーク）をもって注入満了とし，次いで注入元の圧力や予定数量との関係によって注入状態の管理を行う。これは過剰な注入によるトンネル上部の地表への噴出にも細心の注意を払う必要があるためである。

6. まとめ

覆工裏込注入工はトンネルの健全性の確保において有効な手段の1つであるが，その目的を十分に満たすには空隙への完全充填が必須である。完全充填を可能とするためには適切な材料を選定・利用することに加え，施工上の工夫や管理も合わせて重要であることを確認できた。

《参考文献》

- 1) 竹内照造，朝倉俊弘，関雅樹，内藤繁：山岳トンネル覆工裏込め注入工法に関する研究，トンネル工学報告集，第23巻，pp.261-268，2013。



図4. 充填性試験の様子

表1. 裏込注入材料に関する各試験の基準値

| 試験名 | | 基準値 | 測定 | |
|----------|---------------|------------------------------------|-----------------------|--|
| 比重 | | 11~15kN/m ³ | 直後 | |
| 可塑性 | 流動性 (70-値) | 静止時 80~155mm (60分後：100mm以下) | 直後,5,10,30, 60分後測定 | |
| | | 打撃後 130~205mm (60分後：170mm以下) | | |
| | 充填性 | | 試験容器内に隙間なく充填されること | |
| | 非漏出性 | | 5mm以下の隙間に完全流出無し（60分後） | |
| 水中不分離抵抗性 | 濁度 | $\pm 2\%$ 以下 | 注入材投下前と 投入後60分経過後 | |
| | pH | $\pm 10\%$ 以下 | | |
| 非収縮性 | 収縮量 | $\Delta 20\text{mm}$ 未満 | 28日硬化後 | |
| 1軸圧縮強度 | | 1.5N/mm ² 以上 | 7日後、28日後の 測定3本の平均 | |