

豆板注入補修工のトンネル覆工への適用について

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○岩井 俊且
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 鈴木 尊
 東鉄工業(株) 正会員 松田 康紀

1. はじめに

トンネル覆工の初期欠陥の1つに豆板がある。覆工表面に発生した豆板は、はつり落としやはつり落とし後に断面修復が行われることが一般的であるが¹⁾、覆工内部に発生した豆板は、発見が難しく残置されることが多い。覆工内部に豆板が存在すると弱点箇所となるので、豆板の状態を把握し適切な補修を行う必要がある。

本稿では、覆工表面コンクリートおよび豆板を取り除かずに補修する方法として、トンネル覆工に豆板注入補修工法²⁾を適用するため、注入材料の特性や施工方法について検討を行ったので報告する。

2. トンネル覆工への豆板注入補修工適用の課題

(1) 従来の豆板注入補修工法との違い

従来の豆板注入補修工は、主に高架橋の柱や梁のような時間的・空間的に比較的余裕のある条件下において、コンクリート構造物に発生した豆板を取り除かずに補修する場合を想定している。今回施工する供用中の新幹線トンネル覆工を図-1に示す。施工は最終列車通過後から初列車までの短時間で行う必要があり、施工足場が限られるなど、制約条件のある環境で施工できる方法の確立が求められた。

(2) 短時間施工への対応

自動低圧注入工法を用いて固結材を充填する場合、

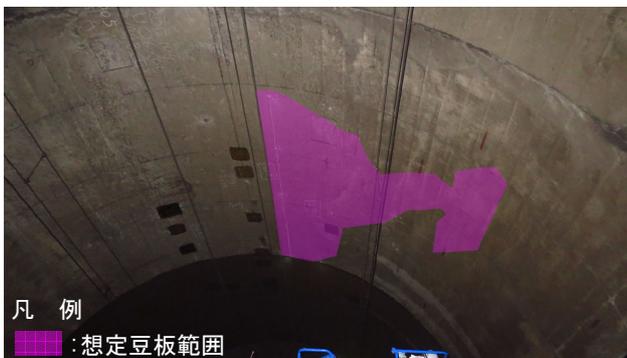


図-1 覆工内部豆板の注入補修箇所

表-1 固結材物性値 (JIS A 6024:2015)

試験項目	粘度	接着強さ	引張強さ	破壊伸び	圧縮強さ	硬化収縮率
	(m・Pa・s)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
試験条件	標準条件A	標準条件B	標準条件B	標準条件B	標準条件B	標準条件B
規格値	100~1000	6.0以上	15.0以上	10.0以下	50.0以上	3.0以下

固結時間を24時間程度としていた。これは、中粘度で硬化時間の長い固結材を低圧で充填することにより、豆板周辺に発生した微細な空隙やひび割れに固結材を隙間なく充填し、健全部と補修部の間に形成される界面がなく、将来的な剥離剥落の発生要因を内在させないことを目的としているためである。しかし、供用中の新幹線トンネル覆工では、未固結の固結材が漏出した場合、列車運行に支障するおそれがある。よって列車運行時間前までに硬化する材料を使用する必要があった。固結材に求められる物性値を表-1に示す。1晩当りの固結材注入終了時刻より、初列車通過までの間の硬化時間は現場条件より200分以内が求められた。これにより固結材可使用時間も短縮する必要があり、時間当りの固結材注入速度を早める必要がある。固結材注入速度を早めるため、注入圧力を自動低圧注入工法の0.4MPa以下から1.0MPa程度とした。また、注入圧力が高まったことで充填不良が発生しやすくなることに配慮し、粘度の低い固結材を選定することとした。

(3) トンネル内の限られた作業空間への対応

今回施工する覆工内部の豆板の固結材注入量は、50kg程度と想定し、トンネル内での施工体制について検討を行った。施工人員は4名(軌陸車操作者、削孔・注入者、清掃・固結材補充者、施工記録者)である。資機材は固結材、コンプレッサー、固結材注入機械器具、養生材、補修材等であった。施工人員と資機材重量の合計は、約450kgであるので、施工は軌陸高所作業車で行うこととした。作業床寸法は1.5×2.7×0.9(幅×奥行×高さ)m、最大積載荷重500kgである。また、原則として仮設物を覆工面より内側に残置させないこととしたが、固結材注入用パイプや座金等は、注入作業や

キーワード 豆板, 豆板注入補修工, 鉄道トンネル, 覆工コンクリート, 樹脂注入

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2丁目2番6号 JR新宿ビル4階 TEL03-6276-1251

空気孔からの固結材排出確認作業に最低限 20 mm 必要のため、覆工に堅固に固着させ、残置することとした。

(4) 豆板背面の不可視部からの固結材漏出防止

豆板が覆工背面まで続いている場合、固結材が漏出する可能性がある。不可視部のシールは技術的に難しいため、補修箇所選定時に覆工背面空洞に裏込め材 (JETMS) が注入済である場所を選定し背面型枠の代わりとすることで漏出防止効果を期待した。

3. 1次調査

施工箇所を選定するための1次調査をトンネル覆工検査車 (CLIC) ³⁾ の記録を用いて行った。CLIC は、コンクリート覆工内部の状態をマルチパス方式レーダにより探査し異常箇所を抽出するものである。専用解析プログラムを用いてコンクリート覆工内部を立体的に表示・記録することができる。図-2 に抽出した施工箇所の CLIC の記録を示す。

4. 2次(現場)調査

CLIC の記録を元に、現場でトンネル覆工を打音・削孔調査し、実際の豆板の位置や規模を確認するとともに、背面空洞や漏水・湛水などの有無、覆工コンクリートの品質等を確認した。その結果、削孔穴に挿入した小型カメラの映像から覆工内部の豆板の存在を確認した。また、大きな背面空洞がなく漏水等もみられなかったほか、覆工表面コンクリートに脆弱な部分やひび割れがなかったことから、固結材の覆工表面側への漏出などの可能性が低く豆板注入補修工を適用できることを確認した。

豆板の分布している箇所は、覆工表面から 70~385 mm までの深さであった。このことから注入孔・空気孔に差し込むパイプは、覆工表面から 180 mm の深さに突出

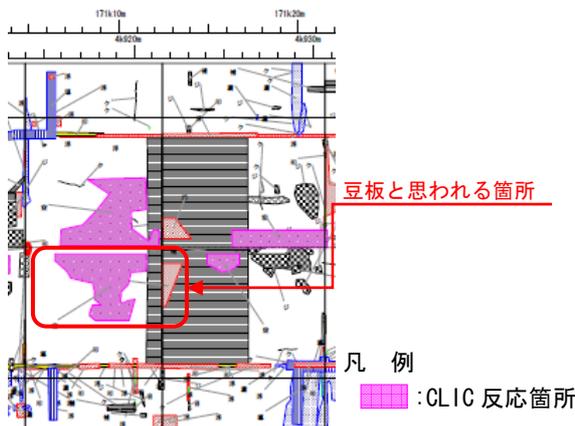


図-2 トンネル覆工検査車 (CLIC) の記録

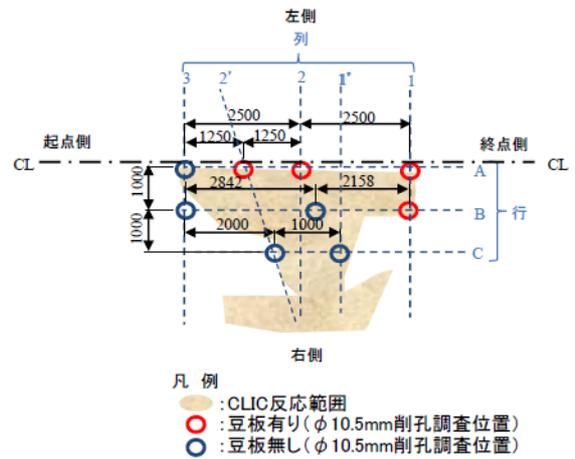


図-3 2次調査(削孔調査)位置平面図

口がくるようにした。パイプは注入作業や空気孔からの固結材排出確認作業のため覆工面から 20 mm 突出させる必要がある。よってパイプ全長は 200 mm とした。突出口を覆工表面からの豆板深さに比べて、比較的浅い位置にしたのは、圧力をかけて固結材を注入した場合、裏込め材に接触していると、背面流出の懸念があったためである。図-3 に2次調査結果を示す。

5. 補修計画

固結材料は、表-1 に示した物性値を満足し、低粘度であり、他の注入補修工で実績のあるアクリル樹脂を使用することとした。注入・空気孔の配置ピッチは、自動低圧注入工法の 100~150 mm にかえて 250~300 mm とした。これは2次調査での豆板空隙率の推定に加え、注入圧力と施工性を考慮して変更したものである。施工順序や充填確認方法は、基本的に自動低圧注入工法と同様とし試験施工を行うこととした。

6. おわりに

トンネル覆工内部の豆板は、覆工コンクリートの潜在的な剥落要因である。今後は試験施工を通じ、工法の実用性の検証を行っていく。

参考文献

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル (平成 19 年 1 月) pp II-7-8, pp II-13-14
- 2) 佐々木尚美, 小林薫, 半井健一郎：樹脂注入による豆板補修工法の提案と各種材料強度の評価, 土木学会論文集 E2, Vol. 70, No. 2, pp. 252-271, 2014.6
- 3) 松沼政明, 鈴木尊：電磁波レーダを用いたトンネル覆工検査車の検証, 建設の施工企画 2011.6