# トンネル覆工内部の豆板を対象とした豆板注入補修工の試験施工について

東日本旅客鉄道（株）　正会員　○橋場　一富
東日本旅客鉄道（株）　鈴木　航
東日本旅客鉄道（株）　大谷　厚至

## 1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの初期欠陥のひとつに豆板がある．トンネル覆工の豆板の発生は，一般的にコンクリートの流動性およびポンプ打設等の施工方法の影響を受ける．

豆板注入補修工 [1] を行った供用中の新幹線トンネルは，昭和 47～54 年にかけて矢板工法により施工された山岳トンネルである．このトンネルの覆工コンクリートは，プレスクリートによる圧縮空気で圧送打設されたため，材料分離による内部豆板が確認されている．

試験施工は，覆工内部の豆板に対して行った（**図－1**）．これまで豆板補修は，豆板を含む脆弱部のはつり落しやはつり落とし後に断面修復を行っていた．今回補修する豆板は，豆板の面積・奥行とも規模が大きく，はつり落としで措置すると覆工の安定性を一時的に損ねる可能性があることから，豆板注入補修工を適用することとした．

本稿では，時間的・空間的に制約を受ける，供用中の新幹線トンネルで行った豆板注入補修工の試験施工について報告する．

## 2. 補修後の覆工コンクリートの品質目標

補修目的は，豆板が発生した覆工コンクリートの性能回復である．樹脂による空隙充填により，周辺の覆工コンクリートと同等の密実度と圧縮強度の発現を目指した．注入補修完了後の品質確認方法は，充填確認孔を削孔し，小型カメラを挿入して目視で直接密実度を確認すること，および小口径のコア削孔で供試体を採取し，圧縮強度試験を実施することとした．

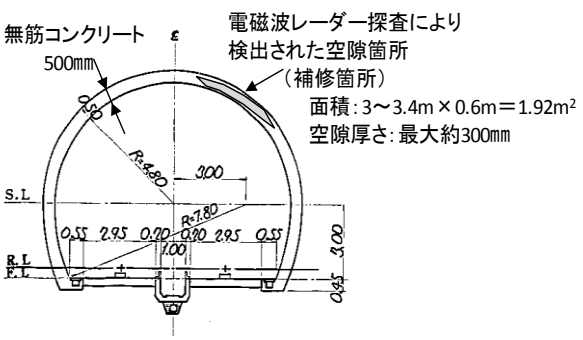



図-1　トンネル断面図と豆板補修箇所

表-1　施工工程

| 施工日数 | 工程 | 作業内容 | |
|---|---|---|---|
| 1日目 | 1 | 豆板補修範囲の把握<br>打音調査<br>調査孔の削孔（φ 10.5mm）<br>小型カメラによる内部確認 | 調査 |
| （内業） | 2 | 空隙量の把握 | |
| 2日目 | 3 | 注入孔、空気孔の削孔（φ 10.5mm） | 施工 |
| | 4 | 表面シール工（アクリル樹脂） | |
| 3日目 | 5 | 樹脂注入<br>注入・排出（空気孔）パイプの取付<br>固結材注入（アクリル樹脂） | |
| | 6 | パイプの撤去・補修 | |
| 4日目 | 7 | 充填確認<br>コア削孔<br>小型カメラによる充填確認 | 充填確認 |
| | 8 | 充填確認孔の補修 | |

## 3. 施工

### 3.1　工程

施工工程を**表－1** に示す．工程は調査から施工，充填確認まで 8 工程あり，現場での作業予定日数は 4 日間である．また，施工は新幹線営業時間外における作業のため，現場での実作業時間は，1 施工日あたり 150 分未満である．

### 3.2　豆板補修範囲・空隙量の把握

CLIC の記録を使用しての 1 次調査，現地での打音・削孔調査を行った 2 次（現場）調査の結果から豆板範囲および空隙率を推定した．2 次調査の削孔は，概ね 1～2m メッシュで削孔（直径 10.5㎜，削孔長 400㎜）し，小型カメラ（直径 6㎜）で孔内を観察した．覆工内部の豆板の空隙率は，カメラ画像より 20％と判定した．これにより，固結材注入量は約 40L と推定した．

### 3.3　注入孔と空気孔の削孔および表面シール工

注入孔・空気孔（直径 10.5㎜，削孔長 400㎜）の配置平面図を**図－2** に示す．注入孔・空気孔は，各孔の間隔が 250㎜ 程度となるように削孔し千鳥配置とした．その後，空気孔のエアの抜けを確認し．覆工内部の豆板が連続したものであることを確認した．表面シールは，特定した豆板補修範囲より 500㎜ 程度広い範囲に塗布した．また，注入孔・空気孔を利用し，詳細な豆板範囲を特定した結果，豆板は線路方向 3.0～3.4m×横断方向 0.6m に分布し，深さ約 70～385㎜ の位置に確認された．内部豆板の平均厚さは 100㎜ 程度であった．

### 3.4　固結材注入

固結材は低粘度のアクリル樹脂を使用し，注入は 2 ショット方式で 1.0MPa 程度の圧力をかけて充填した．アクリル樹脂 [2]の物性値を**表－2** に示す．注入器 [3]は，

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　〒330-0853　埼玉県さいたま市大宮区錦町 630　東日本旅客鉄道（株）大宮土木技術センター　TEL048-643-5799

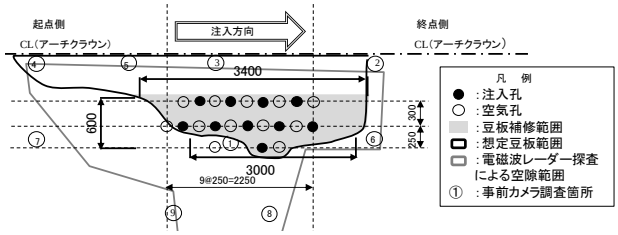



図-2 注入孔と空気孔の配置平面図（見下げ）

表-2 アクリル樹脂の材料特性

| 試験項目 | 粘度 (m・Pa・s) | 接着強さ (MPa) | 引張強さ (MPa) | 破壊時伸び (%) | 圧縮強さ (MPa) | 硬化収縮率 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |
| アクリル樹脂 | 300 | 9.2 | 16.5 | 3.0 | 52.0 | 2.7 |

エアーガンに小型コンプレッサー〔圧力 0.98～2.45MPa，吐出空気量 100L/min（2.3MPa 時）〕を接続し，2 本合計 1500ml のカートリッジとミキシングノズルで構成されている（**図－3**）．注入孔および空気孔には，パイプ（直径 8mm）を豆板付近（深さ 180mm）まで挿入して固定した．

注入は 1.0MPa を超えない範囲でガンを操作し，豆板分布範囲端部（**図－2** 左から右へ向かって）から千鳥に注入した．注入の終了判断は，隣接の空気孔または注入孔から固結材が漏出されるまでとした．

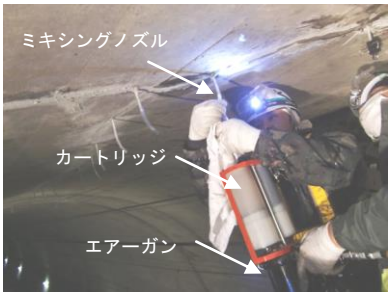
注入は概ね想定どおりのステップで終了し，注入量は約 20L であった．

### 3.5 固結材充填状況の確認

覆工内部の固結材充填状況の確認のため，あらたに充填確認孔を削孔した．削孔数は，0.25m$^2$ あたり 3 孔とし，補修面積 1.92m$^2$（3.0～3.4m×0.6m）に対し，計 24 孔とした．このうち，21 孔は注入孔・空気孔と同様（直径 10.5mm，削孔長 400mm）の削孔を行い，残り 3 孔は後述する圧縮強度試験用の供試体採取を目的としてコア削孔（直径 55mm，削孔長 400mm）を行った．圧縮強度試験用の採取コアを**図－4** に示す．小型カメラ調査の結果，独立した気泡を除き，いずれの確認孔においても覆工面から深さ約 200mm まで固結材が充填され，豆板は確認されなかった．しかし，約 200mm 以深では，一部豆板が残存しているのが確認された．

## 4. 充填箇所のコンクリート圧縮強度

豆板注入補修後の覆工コンクリートの強度特性を確認するため，圧縮強度試験を行った．供試体は補修範




図－3 樹脂注入状況

図-4 コア外観状況（樹脂充填状況）

表-3 圧縮強度試験結果

| 供試体No. | | 圧縮強度 |
|---|---|---|
| 健全部 | B-1 | 50.2 N/mm$^2$ |
| | C-2 | 48.5 N/mm$^2$ |
| 樹脂充填部 | A-1 | 31.6 N/mm$^2$ |
| | C-1 | 22.2 N/mm$^2$ |

囲中心部付近の 3 箇所から採取し，裁断して固結材充填部を含む 2 本と健全部 2 本（いずれも直径 55mm，長さ 110mm）の供試体を作成した．圧縮強度試験結果を**表-3** に示す．

## 5. 試験施工結果の考察

### 5.1 覆工表面から 200 mm以深の固結材未充填

覆工表面から 200mm 以深の豆板が，背面空洞と連続して存在している箇所があり，一部固結材が背面空洞に流出したため，200 mm以深へ充填されなかったものと考えられる．今後は注入パイプの延長，注入圧力の増加，固結材の粘度の変更などを検討し，未充填箇所の減少に取り組む．

### 5.2 固結材充填部と健全部の供試体の圧縮強度差

今回の試験施工箇所は，豆板内部または背面に空気の逃げ道があった．そのため豆板部に固結材注入圧力が継続してかからない状態であったと考えられる．その結果，豆板周辺の微細な空隙まで固結材を充填することが難しく，健全部に比べ固結材充填部を含む供試体の圧縮強度が低くなったと考えられる．しかし覆工コンクリートの設計基準強度である 16N/mm$^2$ を上回る結果を得られたことで，豆板の充填・固結に一定の効果を期待できることがわかった．

## 6. おわりに

今回の試験施工によって，時間的・空間的制約のある供用中の新幹線トンネルの豆板に豆板注入補修工を適用できることがわかった．

今後は，課題である覆工背面に空洞を有する箇所や豆板の性状に応じた工法に改良していく．

### 参考文献

1) 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
2) 電気化学工業（株）：デンカ DK550-003
3) 電気化学工業（株）：シリンジ：1500ml，スタティックミキサー：SM-818，ガン：AG-1500