

# 豆板に樹脂を注入して補修する工法の トンネル覆工への適用

岩井 俊且<sup>1</sup>・橋場 一富<sup>2</sup>・鈴木 尊<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 JR東日本 構造技術センター (〒151-8512東京都渋谷区代々木二丁目2番6号JR新宿ビル4階)  
E-mail:t-iwai@jreast.co.jp

<sup>2</sup>正会員 JR東日本 大宮土木技術センター (〒330-0853埼玉県さいたま市大宮区錦町630番地)  
E-mail:kazutomi-hashiba@jreast.co.jp

<sup>3</sup>正会員 JR東日本 構造技術センター (〒151-8512東京都渋谷区代々木二丁目2番6号JR新宿ビル4階)  
E-mail:suzukitakashi@jreast.co.jp

コンクリート構造物に残された豆板は、豆板を取り除いて断面修復する方法が一般的である。しかし、この方法では健全なコンクリート部と補修部の間に連続的な補修境界面が生じ、構造上の耐久性や安全性、使用性に影響を与える恐れがある。これらの課題を解決するため豆板をはつり取らず、空隙に樹脂を充填することで将来的な剥離剥落要因を内在させず、健全部のコンクリートと同等以上の性能に回復させることができる豆板注入補修工法を開発した。今回、豆板注入補修工を供用中のトンネル覆工コンクリートに適用するにあたり時間的、空間的に余裕のない環境で施工しなければならないことや、比較的規模の大きい豆板の補修を行う必要があるなど、従来の豆板注入補修工法では対応が難しい問題があったことから工法改良を行ったので報告する。

**Key Words :** honeycombing, resin injection repair method, tunnel lining

## 1. はじめに

トンネル覆工に発生する初期欠陥のひとつに豆板がある。豆板とはコンクリート打設時の生コン投入方法の不適切さや、バイブレーターによる締め固め不足により材料分離が発生し硬化したものでジャンカとも呼ばれている。豆板が発見されると補修が行われるのが一般的であるが、建設時に発生した豆板が補修を行わずに残置されている場合がある。また、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。残置された豆板は剥離剥落の原因になると同時に、豆板の規模によっては構造上の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。豆板を補修する場合、豆板部を取り除いて断面修復する方法（以下、従来補修工法という。）が一般的であるが、この方法では健全なコンクリート部と補修部の間に連続的な補修境界面（以下、界面という。）が生じる。界面ではひび割れや剥離が発生しやすく、適切な補修がなされなかった場合、構造物の耐久性や安全性、使用性に影響を与え補修部が将来的に剥落する可能性がある。また、豆板の規模が大きい場合、

はつり落としにより覆工の安定性を一時的に損ねる可能性があり、覆工を支えるために支保工を組むなどの措置は供用中のトンネルでは難しいため、全面的なはつり落としは採用できない。これらの課題を解決するため、豆板をはつり取らずに空隙に樹脂を充填することで、将来的な剥離剥落の発生要因を排除し、健全部のコンクリートと同等以上の性能に回復させることができる豆板注入補修工法を、トンネル覆工の補修に適用するための検討を行ったので報告する。

## 2. 開発の目的

### (1) 従来補修工法の概要

通常の豆板補修は豆板を取り除き、断面欠損した部分に断面修復材（ポリマーセメントモルタル等）を用いて断面修復する方法により行われるのが一般的である<sup>1) ~ 4)</sup>。従来補修工法の補修手順の例を図-1に示す。図-1(a)はトンネル覆工コンクリート内面側に比較的大きな豆板が残置されている状況を表わしている。従来補修

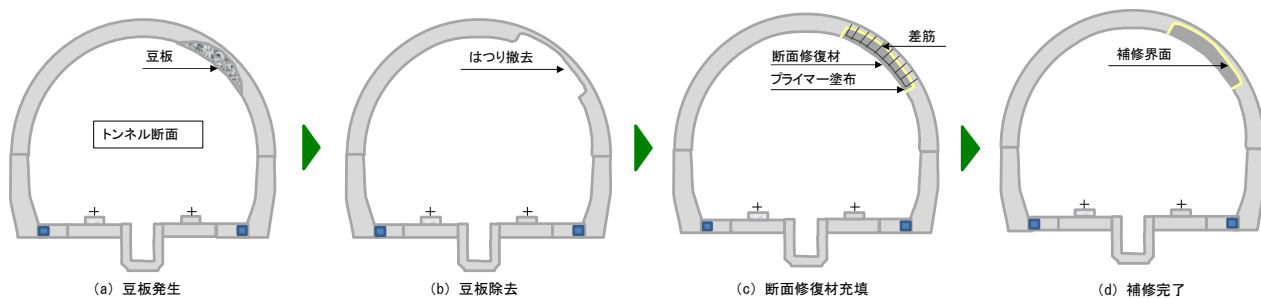


図-1 従来補修工法の補修手順の例

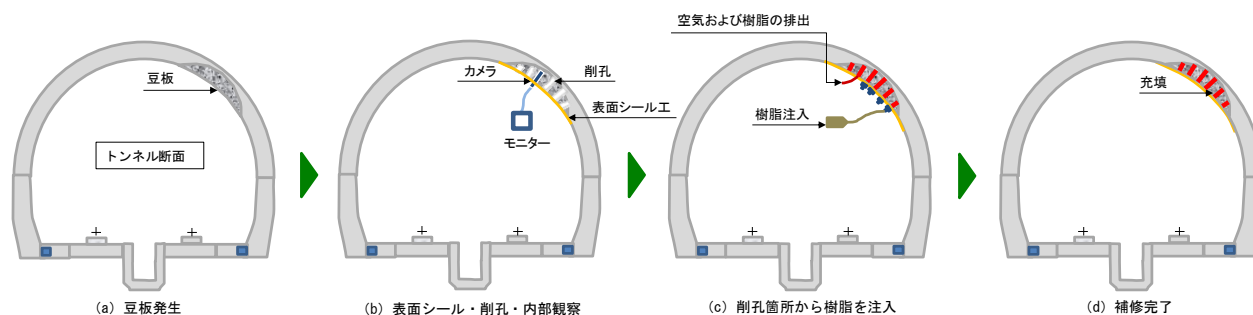


図-2 豆板注入補修工法の補修手順

工法による豆板の補修は図-1 (b) に示すように、まず豆板背後の健全部が確認できるまでコンクリートブレーカー等により豆板を完全に取り除く。次に図-1 (c) に示すように、コンクリート健全部と補修部界面の接着強度を確保するため、健全部のコンクリート表面にプライマー（接着剤）を塗布したり、断面修復の規模が大きい場合はアンカーボルトを打設しラス網や鉄筋を設置するなどして、豆板を取り除いた部分に型枠を組み立てて断面修復材を充填する。断面修復材硬化後、型枠を取り外して補修が完了する。

従来補修工法の問題点として図-1 (b) に示すように、規模の大きな豆板を取り除くため、トンネル覆工が極端に薄くなる場合にトンネルの安定性が確保できなくなる恐れがあること。図-1 (d) に示すように、豆板を取り除いた後の健全部と補修部の間に連続的な界面が生じるため、適切な補修がなされなかった場合、将来的に剥離剥落の原因になることが挙げられる。

## (2) 豆板注入補修工法の概要

既設構造物のひび割れ補修や損傷した梁や柱の補修などに樹脂による補修が行われており、既往の研究では、樹脂を注入することで梁や柱の耐力の回復や鉄筋との付着性能が大幅に改善することなどが報告されている<sup>5) 6)</sup>。従来補修工法の界面の影響を無くしトンネル覆工の安定性を損なわず補修するためには、豆板を取り除かないで補修することが考えられる。また、補修部を健全部のコンクリートと同等以上の性能にする必要がある。そこで豆板を取り除かず、空隙部に樹脂を注入して補修することで豆板部の力学的特性を健全なコンクリートと同等に

改善し、将来的な剥離剥落の危険を低減できる豆板注入補修工法が開発された<sup>7)</sup>。注入する樹脂はエポキシ樹脂またはアクリル樹脂である。エポキシ樹脂とアクリル樹脂を選定した理由は、ひび割れ注入に用いられておりコンクリートとの接着性もよく十分な強度を有することや、注入の際に無機系材料のように事前に水通しを行う必要がないことなどである。豆板注入補修工法の補修手順を図-2に示す。図-2 (a) は図-1 (a) と同じくトンネル覆工コンクリートの内面側に豆板が発生した状況を表わしている。はじめに、図-2 (b) に示すように、豆板の空隙部を充填する注入剤の漏れ出し防止のために豆板の表面にシール材を塗布した上で、硬化した表面シール材の上から直径10mm程度の孔をドリルで削孔する。この孔は、樹脂の注入および空気孔に用いる。注入孔は健全部との境界部からさらに50mm程度内部まで削孔することで、確実に健全領域を確認することとした。また、空気孔は豆板の奥行先端まで削孔することで、豆板の奥行先端から空気および注入された樹脂が排出されるようにした。具体的には、削孔後、孔内の切粉をエアブローやブラシで清掃し、清掃した孔に小型カメラ（直径5mm程度）を挿入して内部の空隙状態を把握する。これにより、注入孔および空気孔の位置、深さ、本数等を決める。次に、図-2 (c) に示すように、注入孔に注入器を取り付け、空気孔には孔内にパイプを挿入し、樹脂の排出を確認するためのホースをパイプの先端に取り付ける。樹脂の注入は一定の圧力で行う。空気孔からの樹脂の排出を確認し、豆板内部の空隙が充填されると補修が完了する〔図-2 (d)〕。

### (3) 新幹線トンネルでの豆板注入補修工法の適用

供用中の鉄道トンネルの覆工に補修されずに残置された豆板の多くはNATMが広く普及する1980年以前に在来工法で建設されたトンネルに存在する。豆板の性状はプレスクリートをを使用した覆工コンクリート打設の際、材料分離した状態で打ち込まれたことが原因で発生した比較的規模が大きな豆板<sup>8)</sup>から、コンクリート打設時に締固めが不十分であったため発生した中小規模の豆板、型枠の部分的な変形などにより目地や型枠の隙間からモルタルやペーストが漏れ出たことに起因する比較的規模の小さな豆板まで大小様々なものが存在する<sup>9) 10)</sup>。中小規模の豆板については、従来補修工法その他、程度によってはそのまま残置したり、はつり落としにより豆板を取り除いて表面に風化防止材を塗布するなど、これまでも豆板補修を実施してきた。また、比較的大規模な豆板については豆板をはつりとっている間、覆工コンクリート自体の安定性を損ねることのないよう一部の豆板を残し、表面被覆や当て板等の剥落防止措置をしていた(図-3)<sup>11)</sup>。しかし、この方法では覆工コンクリート内に豆板を残したままとなり補修完了後も覆工コンクリートの弱点箇所となってしまう。

このため列車運行に支障せず、健全部の覆工コンクリートと同等の性能に回復させることのできる有効な方法として豆板注入補修工法をトンネル覆工コンクリートに適用することとし、材料選定や施工方法の確立を目的に試験施工を行い、課題の抽出と今後の施工方針について検討を行うこととした。

### 3. 改善しようとした問題点

トンネル覆工コンクリートに発生した豆板の補修に豆板注入補修工を適用するにあたり課題として以下の3点が挙げられる。

#### a) 時間的制約

供用中の鉄道トンネルの補修は夜間、列車運行時間外の限られた時間内で行う必要がある。このため施工日当

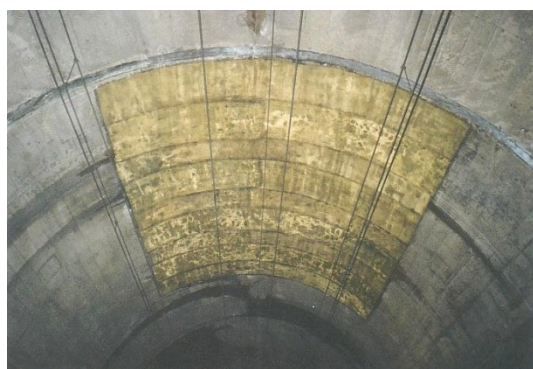


図-3 表面被覆工で対処した施工例

りの作業時間が一般的な土木工事で想定する7～8時間と比べ大幅に短くなることに対応しなければならない。また、比較的規模の大きい豆板を補修対象としているため、なるべく短時間で大量の樹脂を注入する必要がある。

#### b) 空間的制約

鉄道トンネル内の限られたスペースでは、トンネル覆工内側の空間に列車運行の支障になる可能性がある仮設資機材を仮置きできない。その他、狭隘な鉄道トンネル内で作業のできる施工・運搬機械の選定が必要である。

#### c) トンネルの構造的な問題

在来工法で建設された鉄道トンネルは、覆工と地山との間に空隙があることがある。豆板の規模が大きい場合、覆工の豆板が覆工と地山との間の空隙に直接、接していることがある。よってトンネル覆工内側からシーリングを行い樹脂注入を試みても樹脂が地山側の背面空隙から漏出する恐れがある。

## 4. 改善の方法

### (1) 各課題への対処方針

#### a) 時間的制約への対応方法

これまで豆板注入補修工法は自動低圧注入工法を用いてエポキシ樹脂を注入していた<sup>12) 13)</sup>。エポキシ樹脂の硬化時間は24時間程度であり硬化までの間、注入器で低圧力をかけ続ける必要があった。これは、中粘度で硬化時間の長い樹脂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樹脂を隙間なく充填し固結させるためである。

鉄道トンネル内で硬化時間が24時間程度かかるエポキシ樹脂を使用し、未硬化のエポキシ樹脂がトンネル内空側に漏出した場合、列車運行に支障が出る恐れがある。これを防止するため初列車通過までの間に、注入した樹脂が一定程度硬化するアクリル樹脂に固結剤を変更することとした。表-1に従来使用していたエポキシ樹脂とアクリル樹脂との物性比較表を示す。硬化時間を短縮すると豆板周辺に発生した微細な空隙やひび割れに樹脂が浸透する前に硬化が始まるため充填性の低下が懸念された。アクリル樹脂の充填性を良好に保つため変更後の樹脂は、従来のエポキシ樹脂で採用していた中粘度から低粘度に変更することとした。

トンネル覆工では比較的大規模な豆板の補修を行うことが求められていたため、短時間で多量の樹脂が注入で

表-1 エポキシ樹脂とアクリル樹脂の物性比較表

| 樹脂種別   | 粘度      | 接着強さ  | 引張強さ  | 破壊伸び | 圧縮強さ  | 硬化収縮率 | 硬化時間  |
|--------|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|        | (mPa・s) | (MPa) | (MPa) | (%)  | (MPa) | (%)   | (min) |
| エポキシ樹脂 | 580     | 10.8  | 43.4  | 7.0  | 76.4  | 1.0   | 1440  |
| アクリル樹脂 | 300     | 9.2   | 16.5  | 3.0  | 52.0  | 2.7   | 120   |

きるようにする必要があった。前述のよう低粘度のアクリル樹脂を採用したことにより従来より樹脂の充填性が良くなったことを利用し、時間当たりの樹脂注入量を増やすため自動低圧注入工法でかけていた0.2MPa程度の圧力を増加させて樹脂を注入することとした。

#### b) 空間的制約への対応方法

鉄道トンネルの場合、列車通過時の列車風圧や負圧による飛散で列車運転支障を起こさせないため、列車運行時間帯は注入器等の仮設物を覆工面より内側に残置することはできない。よって自動低圧注入工法で使用する低圧注入器を覆工面に残置することができない。この問題を解決するため覆工面に最小限の口元治具のみ残し、注入機械器具やアクリル樹脂は施工日毎に撤去できる注入ポンプを採用することとした。また、補修に使用する軌陸車は載線場所の自由度が比較的高い軌陸高所作業車とした。作業床寸法は1.5×2.7×0.9m（幅×奥行×高さ）、最大積載荷重500kgである。施工人員は4名（軌陸車操作者、削孔・注入者、樹脂補充者、施工記録者）である。資機材は樹脂、コンプレッサー、樹脂注入機械器具、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に抑えることとした。

#### c) トンネルの構造的な問題への対応

自動低圧注入工法で豆板を補修する場合、コンクリート表面に目視で確認できる豆板部は表面シールで塞ぎ、それ以外は樹脂が漏出する可能性のある孔等がないか確認し、ある場合は事前に塞いでおく必要がある。これにより最上部の空気孔から樹脂の漏出確認を行い、内部充填を確認することができる。トンネル覆工コンクリートに発生した比較的大きな豆板の場合、覆工表面から背面まで豆板が連続して発生していることも想定される。その場合、背面側のシール工の施工は難しいため何らかの方法で覆工背面の空隙を塞ぐ必要がある。今回は覆工背面に事前に裏込め注入を行い、背面空洞の間詰めを行うことで覆工背面側の豆板部のシール効果を期待することとした。

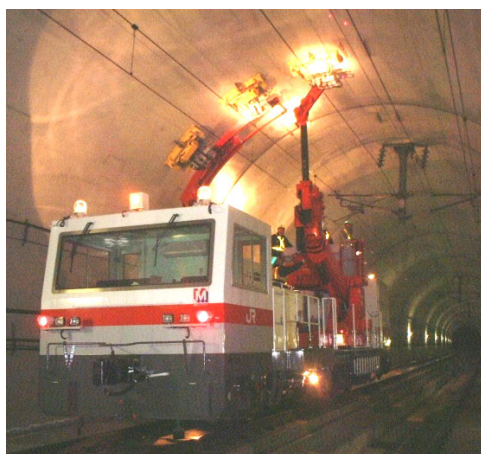


図-4 CLIC 計測状況

## (2) 試験施工

### a) 試験施工箇所を選定

試験施工は在来工法で建設された新幹線トンネルで実施することとした。1次調査として試験施工箇所を選定するためCLIC<sup>14)</sup>による覆工調査を実施した。計測状況写真を図-4に示す。CLICとはトンネル覆工検査車の略称であり、電磁波レーダを用いることで非破壊で覆工コンクリート内部の状態を確認できる検査車両である。レーダーは送受信アンテナ各16個を組み合わせて覆工内部を3次元表示することが可能であり探査深度は約40cmである。レーダー概念図を図-5に示す。CLICは専用解析プログラムを用いてコンクリート内部を立体的に表示・記録することができる。解析結果例を図-6に示す。CLIC計測結果をもとに内部に豆板のある箇所を抽出した。試験施工箇所は覆工表面に豆板がなく、内部に豆板が存在していて、比較的大きなものをとした。抽出した豆板の分布範囲を図-7に示す。

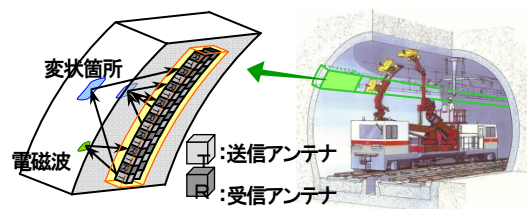


図-5 レーダ概念図

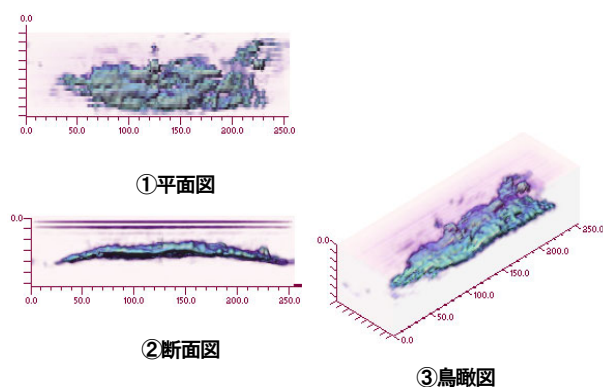


図-6 解析結果例



図-7 覆工内部豆板の注入補修箇所

## b) 試験施工手順

具体的な施工工程を表-2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日間の計画である。また、施工は新幹線運行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。

1次調査結果を踏まえ、1日目に現場でトンネル覆工を打音および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する。また調査孔を削孔後、小型カメラによる豆板の確認を行い空隙量を推定する。

2日目は注入孔、空気孔（直径10.5mm、削孔長400mm）を削孔し、各孔の間隔が250mm程度となるように配置する。今回抽出した試験箇所は表面豆板のない箇所であるが、覆工内部の豆板とつながった目視で確認できない微細なひび割れ等を塞ぐ目的で、注入するアクリル樹脂と同様の樹脂を覆工表面に塗布し表面シールとする。

3日目に注入孔および空気孔にパイプ（直径8mm）を覆工内部豆板まで挿入して固定した後、アクリル樹脂を注入する。アクリル樹脂は2ショット方式で1.0MPa程度の圧力をかけて充填する。注入の終了判断は隣接の空気孔または注入孔から樹脂が漏出されるまでとする。

4日目に覆工内部の樹脂充填確認のため、新たに充填確認孔を削孔する。削孔数は0.25m<sup>2</sup>あたり3孔とし全孔数は20～30孔と想定する。このうち3孔は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）を行いコア表面状態から充填状況を直接確認する。その他の孔は注入孔・空気孔と同様の仕様で削孔を行い、小型カメラを挿入して内部充填状況を確認する。すべての調査完了後、充填確認孔を注入したアクリル樹脂と同等以上の充填剤で削孔穴の埋戻しを行う。

## c) 補修後の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ので、アクリル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。

## d) 試験施工結果

1日目に削孔調査で確認した豆板位置を図-8に、小型カメラの映像を図-9に示す。これをもとに、表-3<sup>15)</sup>に示す空隙率の推定表より20%の空隙率と判断した。また、大きな背面空洞がなく漏水等も見られなかったほか、覆工表面に脆弱な部分やひび割れがなかったことから、樹脂のトンネル内空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。しかし、想定より豆板の分布範囲が狭かったため、調査孔位置の選定に予想以上に時間がかかり、豆板の分布範囲を正確に把握することができなかった。よって豆板の範囲の特定は注入孔・空気孔を利用して再度、調査することとした。

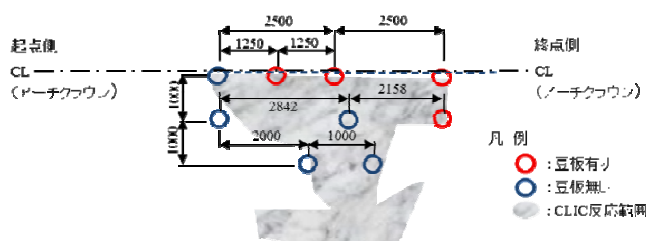


図-8 調査平面図



図-9 内部豆板

表-3 空隙率の推定表

| 豆板の空隙ランク                 | ランク0           | ランク1                              | ランク2                                                            | ランク3                                                              |
|--------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 健全なコンクリートに対する空隙率 (%)     | 健全 0%          | 10%程度                             | 20%程度                                                           | 35%以上                                                             |
| 表面状態                     |                |                                   |                                                                 |                                                                   |
| コメント*                    | 粗骨材が表面に露出していない | 粗骨材が露出しているが、表層の骨材を叩いても剥落することがない程度 | 粗骨材が露出し、表層の粗骨材を叩くと剥落するものもある。しかし、粗骨材同士の結合力は強く、連続的にバラバラと剥落することはない | コンクリート内部に空洞が多数見られる。セメントペーストのみで粗骨材が結合している状態で、粗骨材を叩くと連続的にバラバラと剥落する。 |
| 内部状態<br>(小型カメラによる撮影画像の例) |                |                                   |                                                                 |                                                                   |
| コメント                     | 空隙なし           | 一部に空隙が見られる                        | 削孔は可能。空隙が多く見られる。                                                | 削孔すると崩れ、孔壁が形成されない。                                                |

\*コンクリート診断士資料、「等級別豆板の程度」を参考とした。

表-2 施工工程

| 施工日数 | 順序 | 施工手順                                                                       |
|------|----|----------------------------------------------------------------------------|
| 1日目  | 1. | 準備工（資機材搬入）                                                                 |
|      | 2. | 豆板補修範囲の把握<br>〔打音、鉄筋探索、φ10mm削孔〕<br>→カメラによる内部確認                              |
|      | 3. | 表面シール材塗布                                                                   |
| 2日目  | 4. | 樹脂注入孔、空気孔の削孔<br>〔φ10mm削孔、エアの抜け具を確認〕<br>→座金の取付、排出パイプの設置                     |
|      | 5. | 樹脂注入<br>〔注入器により、注入量の確認〕<br>→養生                                             |
| 4日目  | 6. | 充填状況の確認<br>座金撤去、樹脂残量計測<br>〔注入孔、空気孔以外の箇所では〕<br>充填確認孔を削孔（φ10mm）<br>→カメラで内部確認 |
|      | 7. | 表面仕上げ<br>充填確認孔の充填、表面樹脂塗布                                                   |
|      | 8. | 表面の清掃、片付け（資機材搬出）                                                           |

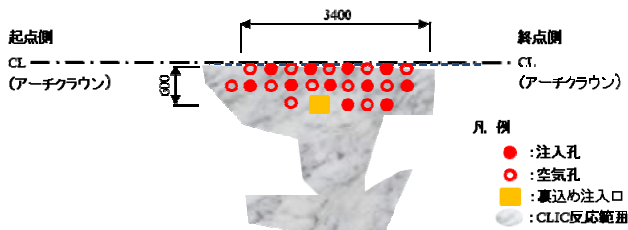


図-10 注入孔・空気孔平面図



図-11 アクリル樹脂注入状況

2日目に注入孔・空気孔を削孔後、注入孔・空気孔のエア抜けを確認した。これにより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500mm程度広い範囲に塗布し漏出防止とした。また、注入孔、空気孔を利用した詳細な豆板範囲の調査の結果、豆板はトンネル縦断方向3.4m×トンネル断面方向0.6m、覆工表面からの深さ70mm~385mmの間に分布していることが確認された。豆板の平均厚は約100mmであった。これにより先に判定した空隙率と合せアクリル樹脂注入量は約40Lと算定した。注入孔、空気孔の配置平面図を図-10に示す。

3日目に注入孔および空気孔にパイプ（直径8mm）を豆板付近（深さ180mm）まで挿入して固定した。注入器はエアガンに1,500mlのカートリッジとミキシングノズルをセットし、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）〕に接続した。注入は注入器1台で1.0MPa超えないようレバーを操作しアクリル樹脂を注入した。注入は、図-10に示した注入孔の左側から右側に向かって行った。左側から右側に向かい注入した理由は、左側の覆工内部の豆板厚が薄く充填が比較的容易であると考えたためである。アクリル樹脂は、注入開始後、数十秒～数分間で隣接の空気孔または注入孔から漏出が確認された。注入状況を図-11に示す。注入は概ね想定どおりのステップで終了し総注入量は約20Lであった。

4日目に充填確認孔を削孔した。削孔数は補修面積が2.04m<sup>2</sup>であったので計24孔とした。このうち21孔は注入孔・空気孔と同様の削孔を行い、残り3孔はコア削孔を行った。圧縮強度試験用の採取コアを図-12に示す。小



図-12 コア外観状況

表-4 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 <sup>2</sup> |
|        | C-2 | 48.5 N/mm <sup>2</sup> |
| 樹脂充填部  | A-1 | 31.6 N/mm <sup>2</sup> |
|        | C-1 | 22.2 N/mm <sup>2</sup> |

型カメラ調査の結果、少数の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までは樹脂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。

## 5. 補修後のコンクリートの品質

### (1) 密実度について

小型カメラによる充填確認では、覆工表面から200mmまでの間はアクリル樹脂が隙間なく充填されていた。しかし200mm以深は密実に充填することが出来なかった。これは200mm以深の豆板が覆工背面の空隙と連続している箇所があり、一部アクリル樹脂が背面空隙に流出したためと考えられる。事前調査時に覆工背面側には裏込めがなされていることを確認していたため、裏込め材による覆工背面のシール効果を期待したが充分ではなかった。

### (2) 圧縮強度について

圧縮強度試験の結果を表-4に示す。結果は周辺の健全部と比べ低い値であった。今回の試験施工は豆板背面に空气の逃げ道があったため、豆板部に樹脂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樹脂を充填することが出来ず、健全部に比べ樹脂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建設時の設計基準強度である16N/mm<sup>2</sup>を上回る結果を得られたことで、豆板の充填・固結に一定の効果が期待できることが確認できた。

## 6. おわりに

今回の試験施工の知見をもとに、今後は注入パイプの延長、注入圧力の調整、注入樹脂の粘度の変更などを検討し密実度の向上を図る。また、複数回の注入により覆工背面の空隙を埋め、シール効果を持たせるなどの方法で圧縮強度を健全部コンクリートと同等以上にすることを目指し試験施工を行う計画である。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会, コンクリート構造物の補修工法研究委員会: コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(Ⅲ), 1996.10
- 2) 本間淳史, 横山和昭, 玉置一清, 三加崇: PC 橋の断面修復に関する実験的研究, プレストレストコンクリート, Vol.49, No. 1, pp51-58, 2007.1
- 3) 槇島修, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリート構造物の耐久性を考慮した断面修復工法の適用と断面修復材の性能評価に関する一考察, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.1, pp101-111, 2010.2
- 4) 上田洋, 玉井譲, 工藤輝大: コンクリートと断面修復材との界面における接着性と水分移動抵抗性, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 11 巻, pp. 13-18, 2011.10
- 5) 田才晃, 小谷俊介, 青山博之: 腰壁付き梁柱接合部のエポキシ樹脂注入補修に関する実験的研究, 第 5 回コンクリート工学年次講習会講演論文集, No.3, pp.261-264, 1983
- 6) 永山正幸, 八十島章, 加川順一, 荒木秀夫: エポキシ樹脂注入による既存 RC はりの補修効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No. 3, pp.1615-1620, 2008.
- 7) 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 (材料・コンクリート構造), Vol. 70, No. 2, pp. 252-271, 2014.6
- 8) 日本国有鉄道仙台新幹線工事局: 東北新幹線(黒川・有壁間)工事誌, pp567, 1983.3
- 9) 日本コンクリート工学会, コンクリート基本技術調査委員会 不具合補修 WG: コンクリート基本技術調査委員会 不具合補修 WG 報告書, 2012.8
- 10) 松田芳範, 徳光卓, 十河茂幸: 施工中に発生した不具合の対処方法についてーコンクリート基本技術調査委員会不具合補修 WG 活動報告ー, コンクリート工学, Vol. 10, pp. 807-813, 2013.10
- 11) (財)鉄道総合技術研究所: トンネル補修・補強マニュアル, ppⅡ - 25-Ⅱ - 28, 2007.1
- 12) 佐々木尚美: コンクリート構造物の豆板を対象とした樹脂注入工法の開発, 2015.3
- 13) コニシ株式会社: ボンドシリンダー工法カタログ, 2017.8
- 14) 大澤裕之, 赤井司: トンネル覆工検査車の導入, 日本鉄道施設協会誌, pp911-913, 2004.12
- 15) 東日本旅客鉄道株式会社: 土木構造物補修補強マニュアル, pp186, 2016.2

(2017.8.11 受付)

## APPLICATION OF TUNNEL LINING FOR CONSTRUCTION METHOD TO REPAIR RESIN BY INJECTING RESIN INTO HONEYCOMBING

Toshikatsu Iwai, Kazutomi Hashiba and Takashi Suzuki

In general, honeycombing left on a concrete structure is repaired by removing the part. However, with this method, a continuous repair interface occurs between the sound concrete part and the repair part, which may affect the structural durability, safety and usability. In order to solve the above problems, we developed the injecting method of repairing honeycombing without removing honeycombed part by filling the gap with resin. We report the improvement of repair method in this time, when applying the honeycombing repair method to the tunnel lamination concrete being served, it is necessary to construct in an environment which does not have time and space margin, and it is necessary to repair a relatively large scale honeycombing, because there was a difficult problem such as existence with conventional honeycombing injection repair method.