

開削トンネルにおける断面修復材料の性能照査手法

東京地下鉄(株) 正会員 ○田口 真澄, 中村 幸江, 小柴 康平, 小西 真治
(株) メトロレールファシリティーズ 渡辺 貞之
(株) ジェイアール総研エンジニアリング 飯島 亨

1. はじめに

開削トンネルは、検査により得られた漏水や浮き・はく離を順次補修することによって構造物の健全性を維持している。しかし、東京地下鉄(株)(以下、東京メトロ)では、一度標準工法として定められた工法は長年更新されておらず、新材料を導入する基準もなかったために標準工法としての新材料が導入されていなかった。

そこで、開削トンネルに適した断面修復材料を選定するため、要求性能および評価項目を設定の上、既設躯体の状況を考慮した試験方法を開発してきた^{1) 2)}。今回、補修材料を実施工に導入するまでの運用上の基準値を設定することで、開削トンネルに適した断面修復材料の選定システムを開発し、運用を開始したので報告する。

2. 室内試験

吹付け工法ならびに左官工法による材料 A および B の断面修復材料を調査対象とし、躯体コンクリートを模擬した供試体に断面修復を重ねた平板を作製した。躯体部分は 400mm×200mm×120mm とし、断面修復材料ごとに 3 体作製、材齢 24 時間で脱型後、材齢 28 日まで封緘養生した。平板を 20mm はつり、乾燥、プライマーおよび水湿しそれぞれの界面処理を行った。はつり面に対して 100mm 厚の断面修復を行い、平板の寸法厚さを 200mm とした。

なお、東京メトロでは、はつり後に簡易洗浄、プライマー処理を標準的な界面の処理方法としている。

(1) 室内透水試験

本試験は、躯体コンクリートと界面の緻密性を確認するために行う。試験用の供試体として、平板中央部から採取した φ100mm×200mm のコアを円筒容器に入れ、隙間をエポキシ樹脂でシールし、透水試験機に設置して水圧 1MPa で 48 時間加圧した。その間に排水が認められない場合はインプット法を用いた。

試験結果を図 1 に示す。界面の処理方法によらず、左官 B の材料がもっとも透水係数が低いことが明らかとなった。また、すべての材料に共通して界面の処理方法「乾燥」で透水係数が高く、一方で「プライマー」では低くなる傾向を示した。左官材料は全体を通して良好な結果となったが、左官材料 A かつ「乾燥」はもっとも透水係数が高くなった。いずれの材料でも界面の処理方法が「乾燥」である場合は透水係数が高くなったことから、処理方法として望ましくないといえる。また、左官 B のプライマー処理が最も透水係数が低くなったことから、現在の東京メトロにおける標準的な処理方法および使用材料における界面の緻密性を確認できた。これらの結果より、東京メトロでは透水試験に用いた全ての供試体の透水係数が $10 \times 10^{-11} \text{m/s}$ 未満であることを適用条件とした。

(2) 室内建研式付着強度試験

材齢 28 日において、建研式付着強度試験を 3 本ずつ行った。コアボーリングマシンを用いて断面修復材からコンクリートに達するまで鉛直方向に φ75mm の大きさで切込みを入れ、断面修復材と躯体コンクリートとの界面のみで付着させた。また、断面修復材の表面には、試験にて引っ張りを行う鋼製アタッチメントをエ

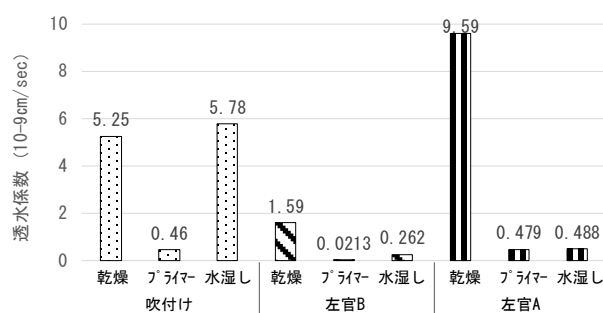


図 1 透水試験結果

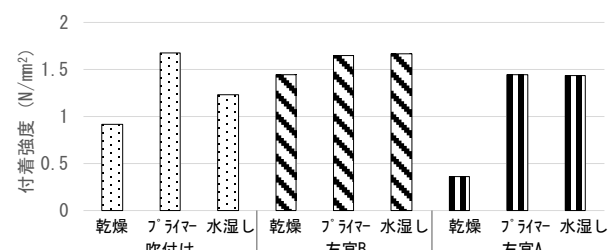


図 2 室内付着強度試験結果

ポキシ樹脂で接着した。

図 2 に材齢 28 日の付着試験結果を示す。補修材料を比較すると、左官 B の付着強度がもっとも高く、またばらつきが少なかった。界面の処理方法では、乾燥、水湿し、プライマーの順に強度が高くなった。

これらの結果より、東京メトロでは室内建研式付着強度試験を実施する全ての供試体の付着強度が 1.00(N/mm²)以上であることを適用条件とした。

3. 現地試験

既設の躯体コンクリートの影響を確認するため、有楽町線のトンネル内で試験施工を行った。条件を表 1 に示す。それぞれ 300mm×200mm の範囲で施工した。適用した材料は東京メトロ構内で施工実績のあるものとし、界面は東京メトロの標準方法で処理した。

(1) 現地簡易注水試験

本試験は、注射器型容器を用いて簡易的に躯体コンクリートと断面修復材の界面に注水し、その注水量によって界面の接着性を評価するものである。断面修復を施した箇所に対して、注射器型容器を用いて実施した。

キーワード 開削トンネル, 断面補修, 透水試験, 付着強度,

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄(株) 工務部土木課 TEL 03-3837-7264

表 1 現地試験の条件

No.	断面修復材	はつり後の処理	界面処理方法
側壁 1	従来工法	無処理	無処理
側壁 2			プライマー
側壁 3			異物混入
側壁 6		簡易水洗浄	無処理
側壁 7			プライマー
側壁 8	躯体コンクリート		

直径 5mm のドリルビットを取り付けたハンマードリルで深さ 100mm まで削孔し、孔箇所座金を接着、24 時間以上経過後に容器内を清水で満たし、容量 50ml 位置でプランジャーを固定した。加圧ゴム 2 本をプランジャーとシリンジに掛け座金に取り付けた。容器を固定した後、ストッパーを解除して容器を加圧状態とし、加圧開始から現地の状況により 60 分まで 10 分単位でシリンジ内の清水の減少量を計測した。

注水後 60 分経過時の注水量を図 4 に示す。側壁 7 が示す通り、東京メトロの標準的な界面処理方法の妥当性が確認できた。しかし、すべての条件で注水量のばらつきが生じた。これは、躯体コンクリートに微細なひび割れが連続して生じているためと推測される。そこで、側壁 8 に示す躯体コンクリートの付着強度に対する各工法の注水量の比を整理したものを図 5 に示す。標準方法の側壁 7 は平均で 50% を示した。

結果より、現時点では躯体コンクリートに対する注水量の比が 50% 未満であることを適用条件に設定した。

(2) 現地建研式付着強度試験

断面修復箇所に対して、コンクリートコアドリルで接着剥離試験器用治具（直径 75mm）の外径と同じ径の切り込みを躯体コンクリートまで達するように入れ、切り込みを入れた箇所に治具をエポキシ樹脂系接着材で接着した。治具接着後、硬化時間を 1 時間以上確保し、接着剥離試験器（井谷衡機製作所製）を用いて測定した。

試験結果を図 6 に示す。室内で行った付着強度試験と比較すると、付着強度は全体を通して低くなった。また、付着強度が高くなるほど躯体で破断する傾向にあった。現地試験では躯体コンクリートの影響を受けるため、得られた付着強度の絶対値を基準値とすることは適当でない。躯体の付着強度に対する各工法の付着強度の比を図 7 に示す。従来工法の側壁 7 は 50% を上回ったことから、安定した強度発現性能を有するといえる。したがって、躯体コンクリートに対する付着強度の比が 50% 以上、かつ最低 2 本は躯体コンクリート側での破壊となることを東京メトロの適用条件に設定した。

4. まとめ

開発した照査手法は、地下鉄に限らず開削トンネル全般に対しての断面修復材料の適用検討に資するものである。東京メトロでは新材料導入の新規提案の受付を 4 月より開始した³⁾。今後は各試験の基準値について、データの増加とともに見直していく。



図 3 現地試験の状況

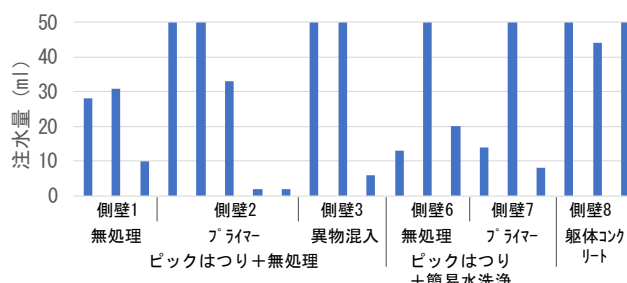


図 4 現地簡易注水試験結果

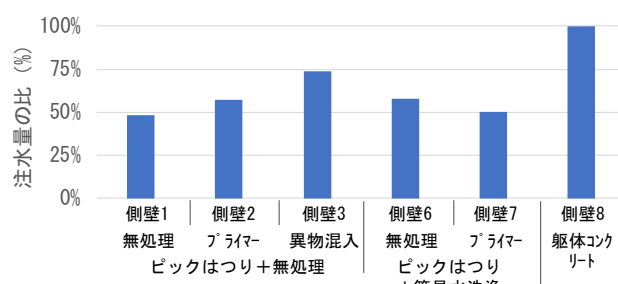


図 5 対躯体コンクリートの注水量比

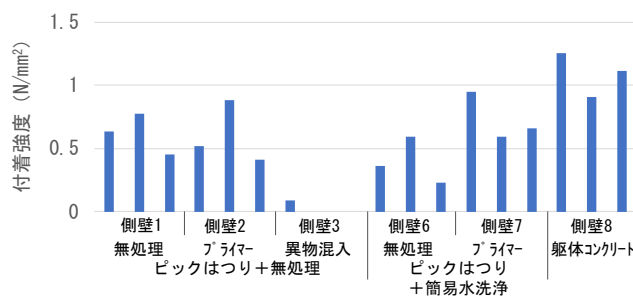


図 6 現地付着強度試験結果

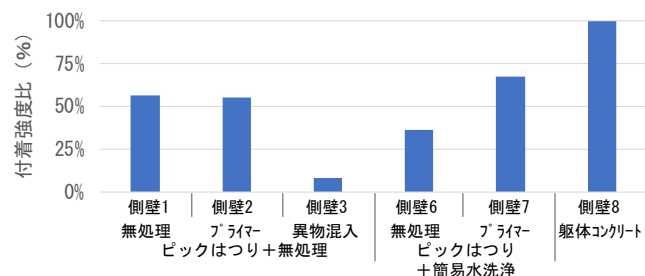


図 7 対躯体コンクリートの付着強度比

参考文献

- 1) 佐藤ら：箱型トンネル構築補修方法現地試験工事，第 24 回鉄道技術・政策連合シンポジウム（J-RAIL 2017），pp.94-97，2017
- 2) 三浦ら：開削トンネルの断面修復工に対する性能照査試験の検討，土木学会第 74 回年次講演会，V-231，2019
- 3) 株式会社メトロレールファシリティーズ：
<http://www.metrorailfa.co.jp/>