

## 自己治癒材料を用いた新たな箱型トンネル漏水補修工法の検討

東京地下鉄(株) ○正会員 諸橋 由治, 村上 哲哉, 非会員 小柴 康平  
 (株)SERIC JAPAN 正会員 安 台浩  
 (株)CORE 技術研究所 正会員 橋本 達朗, 小椋 紀彦  
 東京大学生産技術研究所 フェロー会員 岸 利治

### 1. はじめに

東京地下鉄株式会社(以下、「東京メトロ」)では、現在営業キロ約 195km のうち、約 85%がトンネル区間である。その中には供用開始から 80 年以上経過した区間もあり、維持管理の面では特にトンネル内への漏水補修対策が重要な課題となっている。漏水補修は、薬液注入と V カット工法を併用した止水を基本としているが、季節の温度変化による躯体の収縮や有機系材料の経年劣化により、再漏水が生じる場合も多い。そこで、東京大学生産技術研究所で開発が進められてきたひび割れ自己治癒補修材料を、従来使用されてきた漏水補修材料である急結材と止水材に混入し、室内試験および現地試験施工からその有効性を検討した。

### 2. 検討概要

#### 2.1 自己治癒材料

自己治癒材料にはCSA 系膨張材、ジオマテリアル、炭酸基系化学添加材を使用している。図-1にひび割れ自己治癒技術の材料設計概念を示す。これは、主原料の普通ポルトランドセメントに対するそれぞれの材料が担う機能を示している。

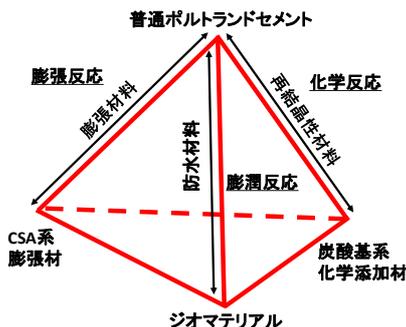


図-1 ひび割れ自己治癒材料の設計概念

#### 2.2 室内試験

自己治癒補修材料に伴う開発は、これまでひび割れ充填材料を中心に進められてきた。橋梁の張出下面や漏水量の少ないところでは十分な補修成果が認められている。しかしながら、東京メトロにおける箱型トンネルの

環境下では、常時漏水が流れている箇所や漏水量が多い箇所もあることから、薬液注入と V カット工法を用いた漏水補修工を基本としている。そのため、止水材や急結材が果たす補修効果の役割が非常に大きい。そこで、これら止水材と急結材に自己治癒機能を付加することで、特に再漏水に対する抵抗性の持続効果を期待できると考え検討を行った。

また、実現場においても適用可能な材料かを判断するため、従来材料との比較を基本とし、表-1 に示す材料の諸性能を確認した。

表-1 室内試験項目一覧

材料	試験項目	引用規格
急結材	硬化時間試験	JIS R 5201
	ビッカース硬さ試験	JIS Z 2244
止水材	ゲルタイム時間試験	ASTM 4402
	フロー試験	JHS 414

再びひび割れに対する止水性能について評価するため、0.2mm 幅のひび割れを模擬したφ100×200 mmの円柱供試体を作製し、止水材もしくは急結材を塗布または注入した。その後7日間の通水試験を実施し、補修部から漏水が無いことを確認してから、再びひび割れを導入し、通水試験を実施した。なお、再びひび割れの導入は、初期の割裂引張強度の50~80%程度の荷重で再載荷し、その載荷と除荷を10回程度繰り返すことで、意図的にひび割れ幅の変動についても模擬することとした。また、比較用に無補修のケースも実施した。

#### 2.3 現地試験施工

現地試験施工は、新規の漏水発生箇所を対象に、急結材、止水材と断面修復材に従来材料を用いた従来型(止水工③④)と急結材と止水材に自己治癒材料を添加した自己治癒型(止水工①②)の2パターンで実施した。

東京メトロの漏水補修工では薬液注入工後に再漏水に対する抵抗性を高めるため、水膨張性ゴムをひび割れ

キーワード ひび割れ, 自己治癒, 止水材料, 地下トンネル構造物, 急結材料

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野3丁目19番6号 東京地下鉄株式会社 TEL: 03-3837-7264

表-2 試験施工一覧

施工方法		止水材	急結材	水膨張性ゴム	断面修復材
自己治癒型	止水工①	従来品 ウレタン系	自己治癒入り	無し	従来品 ポリアセメント モルタル
	止水工②	自己治癒入り	自己治癒入り	無し	従来品 ポリアセメント モルタル
従来型	止水工③	従来品 ウレタン系	従来品	有り	従来品 ポリアセメント モルタル
	止水工④	従来品 ウレタン系	従来品	無し	従来品 ポリアセメント モルタル

に沿って設置するのが標準である。そこで、自己治癒型では、これら水膨張性ゴムの役割を自己治癒性能で置き換えられると考え、水膨張性ゴムの使用の有無を1つのパラメータとして、表-2 に示す各検討工法の詳細を決定した。

3. 試験結果

3.1 室内試験結果

急結材および止水材の室内試験の諸性能試験結果を表-3、表-4 に示す。

表-3 急結材料試験結果

試験項目		材齢	従来品	自己治癒型	JIS基準
ビッカース硬さ試験	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	7日	41	24	16以上
		28日	41	31	20以上
硬化時間測定	硬化時間 (分)	-	6分程度	1分程度	基準無し

表-4 止水材料試験結果

試験項目		従来品		自己治癒型	JIS基準	JHS基準
		有機	無機			
ゲルタイム時間	ゲルタイム (秒)	30	15	30	無し	無し
フロー試験	流下時間 (秒)	15.68	9.54	14.98	無し	45秒以内

(1) 急結材

急結材は硬化時間が1分程度と短く、漏水量が多い箇所での施工には適するが、使用性の面で硬化時間を5分程度に調節する必要があった。

ビッカース硬度と圧縮強度の関係から圧縮強度を算出したところ、従来品の方が強度は高い傾向を示したが、自己治癒型でも東京メトロ環境下での適用基準値(28日で20N/mm<sup>2</sup>以上)を材齢7日で満たしていた。

(2) 止水材

ゲルタイム試験の結果より、自己治癒型は従来品と同

程度の粘性を有していることを確認した。また、いずれの止水材においてもフロー値の結果は JHS 基準に対して1/3程度と短く流動性が高いことを確認した。

(3) 再びび割れに対する止水性能

再びび割れを導入した際に発生した漏水量を100%とし、経過日数で最初の漏水量からの変化(増減)を通水量変化率として表した。再びび割れ導入後の止水性能試験の結果を図-2 に示す。再びび割れ後においても、自己治癒材料を含む止水材および急結材においては、材齢が経過するにつれて無補修および従来品と比較して通水量が低下する傾向を示した。

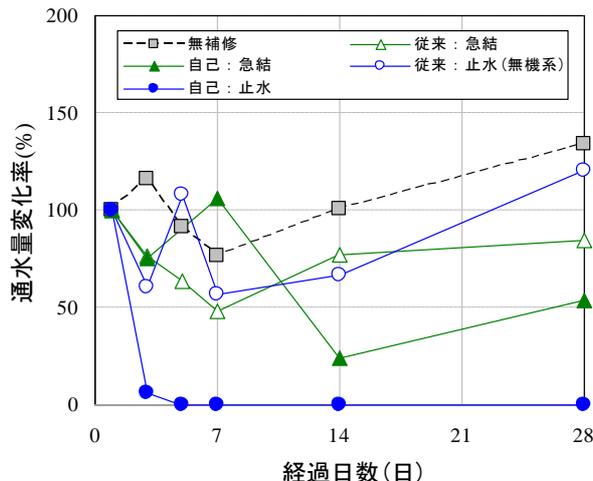


図-2 急結材料試験結果

3.2 現地試験施工結果

試験施工の結果を図-3 に示す。施工した自己治癒型は施工後2週間後も変状はなく良好であった。



図-3 施工結果(止水工②)

4. まとめ

(1) 室内試験結果より、自己治癒機能を付加した漏水補修材料は、硬化時間等の更なる改良は必要であるが、再びび割れに対する止水性能は良好であった。

(2) 現地試験施工より、自己治癒型の漏水補修材料は今後新たな漏水補修材料として適用できる可能性を有していることが分かった。今後経過観察を実施し、更なる検討を重ねていく予定である。