

開削トンネルの止水工に対する通水型止水試験による検討

東京地下鉄(株) 正会員 ○新田 裕樹, 大塚 努, 堀 真大
(株) CORE技術研究所 正会員 小椋 紀彦, 小西 雄治
東京大学 フェロー会員 岸 利治

1. はじめに

東京地下鉄(株)(以下, 東京メトロ)では, 営業線 9 路線約 195km のうち, 約 85%がトンネルであり, 隅田川や荒川等の河川下や, 東京湾近郊の埋立地に建設されたものもある. 特に開削トンネルでは, 漏水補修が大きな課題の 1 つになっている. 止水工の方法, 使用材料については標準化しているが, 補修後数年で再漏水してしまうケースが発生している.

そこで, 東京メトロでは, 東京大学岸教授を主査に迎え, 鉄道総研等の外部有識者を含めた検討会を開催し, 止水工に対する要求性能及び要求性能を確認するための試験方法について検討してきた.

2. 止水工の要求性能及び試験方法

止水工等の保守作業は, 終電後から始発までの限られた時間内で行わなければならない. したがって, 限られた時間内で, 確実に止水可能な工法及び材料が求められる. 表-1 に, 止水工の要求性能及び要求性能を確認する試験方法を示す.

要求性能は, 必ず満たさなければならない「必須要件」と, 必要に応じて満たすべき「特長要件」の 2 つに区別した. 「特長要件」を設けることで, 現場状況に応じた工法及び材料を選定可としている.

また, これら要求性能に対し, 東京メトロの開削トンネルを想定して, いくつかの要求性能を確認するための試験方法を考案した. 本稿では, 過年度大規模により行われた止水性能を確認する通水型止水試験を, より東京メトロの開削トンネルに近い条件を模擬して行った試験を紹介する.

3. 通水型止水試験の方法

止水材料が漏水で流されることなく, 要求した時間ないで止水可能な材料を選定する試験である. 本試験では, 止水性能の確認と併せ, 止水材料の拡散状況を目視確認するため, コンクリート表面を模擬するガラス板 2 枚の間にスペーサーを挟みひび割れを模擬した供試体試験を実施した. ただし, コンクリート表面を模擬するガラス板の選定及びコンクリートとの通水量の違いを把握するため, 試験は 2 段階に分けて実施した.

(1) 第 1 段階試験 (ガラス板選定予備試験)

図-1 に示すとおり, コンクリート円柱供試体 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ (W/C=53%) を作製, 硬化後に割裂し, 割裂面に 0.1~0.5mm の厚さの異なる 4 種類のテフロンシートをスペーサーとして配置し, 再度重ね合わせることで模擬ひび割れを導入した. 側面からバンドで緊結し, 供試体の断面方を L 型の塩ビ管に取り付け水平方向の通水量を計測した. 水頭は供試体上面より 50cm とし, 注水には飽和水をを使用した.

同様に, 表-2 に示す 5 種類の表面処理を施した 100×200mm のガラス板 2 枚を用いて, 0.1~0.5mm の模擬ひび割れ毎の通水量を計測した. コンクリート円柱供試体と比較することで, コンクリート表面とガラス板の濡れ性及び粗さ形状の違いを検討した. なお, 第 2 段階試験では, この検討結果からガラス板を選定した.

表-1 止水工の要求性能及び試験方法

要件	要求性能	内容	試験方法
必須要件	施工性	き電停止中に所定の作業が完了でき, 初電に影響を及ぼさない性能	現地試験施工
	止水性	トンネル内への水の侵入を阻止する性能	通水型止水試験
特長要件	耐久性	季節変化によるひび割れの開閉に止水材料が追従する性能	追従性確認引張試験 ^{※1)}
	自己治癒性	ひび割れ幅の拡大による再漏水を止水する性能	再止水確認試験 ^{※2)}

※1) 有機系材料を使用する場合
※2) 無機系材料を使用する場合

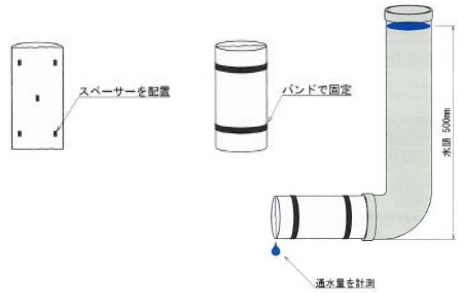


図-1 第 1 段階試験状況 (コンクリート)

表-2 ガラス板一覧

	表面処理方法	接触角	備考
No. 1	フィルム貼付け	10度	超親水性
No. 2	表面処理ガラス	150度	超疎水性
No. 3	表面処理なし	約30度	親水性
No. 4	すりガラス加工#80	-	-
No. 5	すりガラス加工#180	-	-

キーワード 開削トンネル, 漏水補修, 止水材料, 通水型止水試験

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-3 第2段階試験に用いた止水材料の種類

止水材料の特徴			備考
有機系①	ウレタン系	黄色透明	反応後白色
有機系②	アスファルト系	黒色	
無機系①	セメント系	白色	超微粒子セメント
無機系②	セメント系	薄墨色	超微粒子セメント
無機系③	セメント系	灰緑色	自己治癒

(2) 第2段階試験（通水型止水試験）

止水材料の止水性能及び拡散状況を確認することを目的とし、図-2に示す3面にシーリングを施したガラス板を容器に取り付け、注入パイプから止水材料を注入し、24時間後に注入パイプおよびその面のシーリングを撤去したときの通水量および拡散状況を目視確認した。試験には、表-3に示すとおり、有機系止水材料2種類、無機系止水材料3種類の計5種類を使用し、注入量は25mlとした。なお、通水時の水頭は第1段階試験と同様、供試体上面より50cmとし、ガラス板での模擬ひび割れ幅は、コンクリート円柱供試体での0.2mm時の通水量とした。

4. 通水型止水試験の結果

(1) 第1段階試験（ガラス板選定予備試験）

コンクリート円柱供試体とガラス板供試体の各ひび割れ幅と通水量の関係を図-3に示す。ひび割れ幅と通水量の近似式には、3次関数を用い最小2乗法により算出した。本試験の結果から濡れ性の影響はあまり認められなかった。濡れ性による空隙内での停滞現象は、100nm(0.1μ)前後の空隙で起こる現象であり、ひび割れ幅との差異が大きかったためと考えられる。そのため、第2段階試験で用いるガラス板はコンクリートとの表面粗度がより近い、すりガラス#80を選定することとした。また、コンクリートひび割れ幅0.2mmの通水量と同等となる、すりガラス#80のひび割れ幅は0.3mmであり第2段階試験での幅とした。

(2) 第2段階試験（通水型止水試験）

ガラス板供試体での止水材料の止水性能（注入前の通水量に対する注入後のガラス板を通水する割合）を表-4に、注入24時間後の拡散状況を図-4～8示す。有機系止水材料は、通水割合10%未満と高い止水性能が見られ、ウレタン系（有機系①）の方がアスファルト系（有機系②）より、若干、止水性能が高い結果となった。一方、無機系止水材料は、無機系③では多少の止水性能が確認できたものの、図-6～8に示したように水に対して比重が大きい材料が沈下する傾向にあり、止水性能は低い結果であった。無機系材料では条件の厳しい試験であった。

5. まとめ

- ①有機系止水材料は、注入口付近で瞬時に反応及び拡散して止水することが分かった。
- ②本試験では注入後の挙動を目視確認するため、すりガラス板を用いたが、模擬ひび割れが平行であるため沈下が起こり易く、無機系材料には条件の不利な試験であった。
- ③止水性能を確認するためには本試験の第一段階試験で用いた、コンクリート供試体で実施するのが望ましい。

参考文献

- 1) 大槻あや、瀬筒新也、保栖重夫、小椋紀彦、岸利治：開削トンネルに適した通水型試験方法の検討，土木学会第72回年次講演会，I-015，pp.29-30，2017

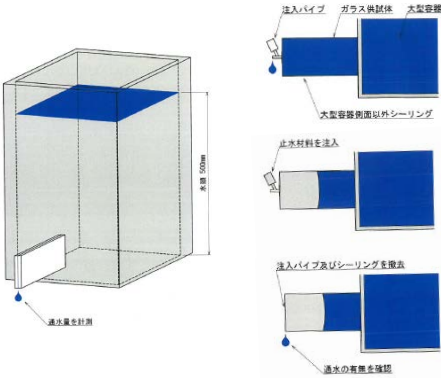


図-2 第2段階試験要領

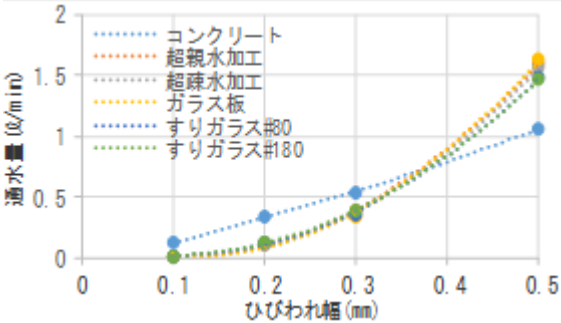


図-3 ひび割れ幅と通水量

表-4 止水性能一覧表

止水材	シーリング撤去後の通水量 (ℓ /min)	第一段階試験すりガラス#80 (ℓ /min)	通水割合 (%)
有機系①	0.017	0.364	4.6
有機系②	0.026		7.2
無機系①	0.203		55.6
無機系②	0.297		81.8
無機系③	0.142		39.0

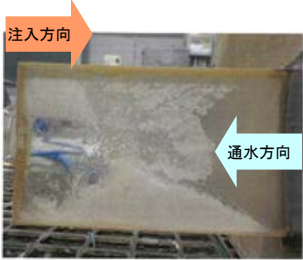


図-4 有機系①



図-5 有機系②



図-6 無機系①



図-7 無機系②



図-8 無機系③