

開削トンネルに適した通水型止水試験方法の検討

東京地下鉄（株）正会員○大槻 あや，正会員 瀬筒 新弥，保栖 重夫
（株）CORE技術研究所 正会員 小椋 紀彦
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が，本稿では，常時漏水が発生している状況下で止水可能なことを確認するための「通水型止水試験」について紹介する．

3. 通水型止水試験の方法

止水材料が漏水量で流されることなく，止水可能であることを確認する目的の試験である．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できるよう，透明なアクリル板 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を用いた．ただし，アクリル板とコンクリート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（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，割裂面にテフロンシートをスペーサーとして配置する．スペーサー配置後，割裂した供試体を再度重ね合わせ，側面からバンドで緊結した．この後，供試体の上面に塩ビ管を設置し管内を水で満たし，供試体下面からの通水量を計測する．試験には気泡の影響を考慮し飽和水を用い，水頭は供試体上面より 50cm とした．なお，供試体は事前に十分な量の飽和水を注水し，割裂（ひび割れ）面を湿潤状態にして試験を実施した．試験には，厚さ 0.1~2.0mm までの厚さの異なる 6 種類のスペーサーを用い，試験回数は，スペーサーの厚さ毎に 3 供試体，計 18 回行った．

同様に，コンクリート円柱供試体の割裂面とほぼ同じ面積となるよう，アクリル板（100×200mm）を用いて同様の試験を実施した．

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	ひび割れ追従性	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

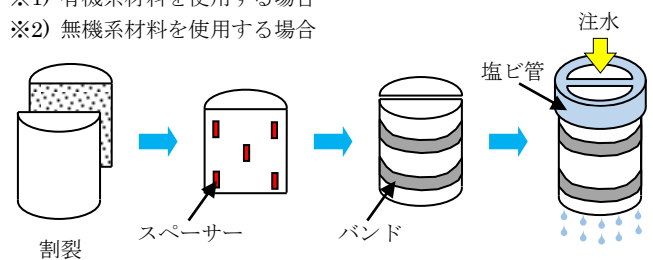


図-1 第 1 段階試験状況（コンクリート）

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

(2) 第2段階試験（通水型止水試験）

第2段階試験は、止水材料の止水性能及び拡散状況を確認するため、図-2に示す要領で実施した。アクリル板で模擬するひび割れ幅は、止水材料の充填性を考慮し0.2mmとした。試験には、表-2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。また、通水時の水頭は第1段階試験と同様、供試体上面より50cmとした。

表-2 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

4. 通水型止水試験の結果

(1) 第1段階試験（予備試験）

コンクリート円柱供試体とアクリル板供試体のひび割れ幅と供試体下面からの通水量の関係を図-3に示す。通水量は、コンクリート円柱供試体よりもアクリル板供試体の方が多かった。これは、アクリル板の方が、表面の粗度係数が小さいためと考えられる。コンクリート円柱供試体は、供試体毎の通水量のバラツキが大きかった。これは、供試体毎に割裂面の形状が異なるためであり、同じ供試体であれば高い相関が得られた。第1段階試験結果より、供試体毎の各通水量を比較し、ひび割れ幅と供試体下面からの通水量の相関に関する近似式を算出した。近似式には3次関数を用い、最小2乗法により算出した。アクリル板供試体での模擬ひび割れ幅0.2mmでの通水量は、コンクリート円柱供試体のひび割れ幅0.47mm、約2.4倍に相当する結果であった。

(2) 第2段階試験（通水型止水試験）

アクリル板供試体での止水材料の止水性能及び拡散状況を示す。止水性能は、注入前の通水量に対し、注入後にアクリル板を通水する割合（以下、通水割合）で評価するものとし、経過時間との関係を図-4に示す。有機系止水材料は、注入後10分間で通水割合90%以上の止水性能が見られた。また、主成分がウレタン系（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。（図-4, 5, 6）

一方、無機系止水材料は、注入直後にアクリル板内全面に拡散したが、約1分間で止水材料が流され殆ど止水できなかった。（図-4, 7, 8）

5. まとめ

- ①通水量は、コンクリート円柱供試体よりもアクリル板供試体の方が多かった。これはコンクリートよりもアクリル板の方が、表面の粗度係数が小さいためと考えられる。
- ②本試験の結果、有機系止水材料は、注入後10分間で通水割合90%以上の止水性能が見られた。また、主成分がウレタン系の方がアスファルト系より、若干、止水性能が高かった。
- ③本試験は、速効型の止水性能を有する止水材料に適したもので、無機系止水材料にはやや不利な試験方法であった。

今後、有機系止水材料及び無機系止水材料ともに適用できるよう、通水方向、注入方向、アクリル板の表面処理等、試験方法を見直していきたい。

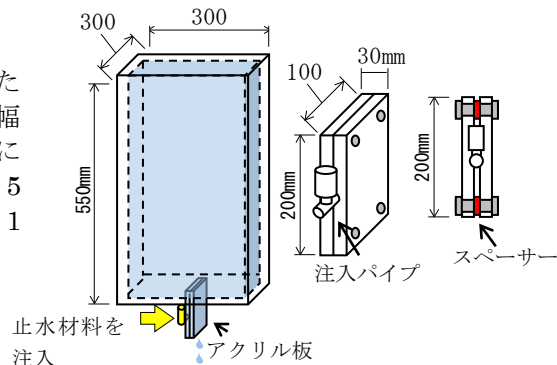


図-2 第2段階試験要領

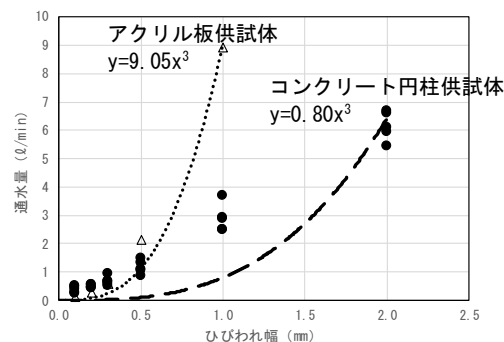


図-3 ひび割れ幅と通水量

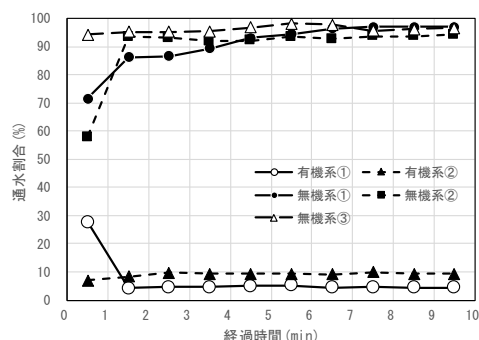


図-4 経過時間と通水割合

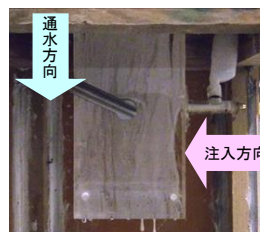


図-5 有機系①(10min)



図-6 有機系②(10min)

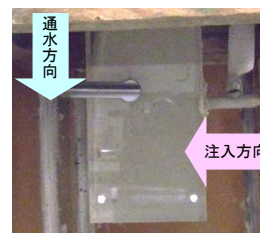


図-7 無機系（注入直後）



図-8 無機系 (1min)