

開削トンネルの止水工に対する追従性確認引張試験による検討

東京地下鉄（株）正会員　○堀　真大，大塚　努，亀井　啓太，新田　裕樹
東京地下鉄（株）非会員　江原　文武
（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、特長要件である止水材料の耐久性を確認する方法として実施した、東京メトロの開削トンネルを模擬した追従性確認引張試験を紹介する．

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)

3. 追従性確認引張試験の方法

止水材料の追従性に関する評価として、初期ひび割れからの増幅により、止水材料の変形性能を確認する目的の試験である．試験では、割裂したコンクリート角柱供試体（100×100×400mm、無筋）に引張載荷試験用治具を設置する．図-1 に示すとおり、コンクリート角柱供試体下部のひび割れから止水材料を注入した後、上部から注水をし、図-2 に示すとおり、引張載荷用治具を用いてひび割れ幅を変動させたときのひび割れ幅と漏水の有無を計測する．

本試験では、表-2 に示す有機系注入剤 2 種を用いて、試験を行った．また、初期ひび割れ幅の違いによる追従性の違いも検討するため、初期ひび割れ幅は 0.2mm と 0.3mm とし、計 12 供試体を用いた．

※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

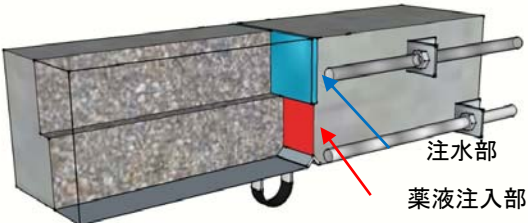


図-1 止水材料注入および注水概要図

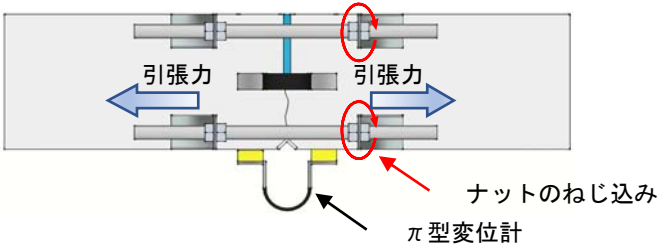


図-2 試験要領図

表-2 有機注入材料の概要

注入剤	使用材料		特徴	備考
	種類	可使時間		
A	ウレタン系	瞬結	変形性能なし	従来工法
B	アスファルト系	6min	硬化後は弾塑性体で変形性能を有する	

4. 追従性確認引張試験の結果

表-3 初期ひび割れ幅と変化率一覧表

供試体		初期ひび割れ幅 0.2mm				初期ひび割れ幅 0.3mm			
注入剤	No.	追従幅 (mm)	平均 (mm)	変化率 (%)	平均 (%)	追従幅 (mm)	平均 (mm)	変化率 (%)	平均 (%)
A (ウレタン系)	①	0.073	0.071	36.5	35.5	0.083	0.082	27.7	27.2
	②	0.062		31.0		0.078		26.0	
	③	0.078		39.0		0.084		28.0	
B (アスファルト系)	①	0.270	0.241	135.0	120.3	0.404	0.368	134.7	122.6
	②	0.229		114.5		0.359		119.7	
	③	0.223		111.5		0.340		113.3	

試験結果より、有機系注入材料 2 種における各コンクリート角柱供試体のひび割れ追従性を初期ひび割れ幅からのひび割れ幅変化率で整理した結果を表-3 に示す。また、追従性確認引張試験後の供試体の割裂面を図-3～6 に示す。なお、結果は平均値を用いる。

(1) 初期ひび割れ幅 0.2mm の試験結果

注入剤 A (ウレタン系) では、追従幅に対する変化率は 35.5% となった一方で、注入剤 B (アスファルト系) では変化率が 120.3% となり注入剤 B では、高い追従性が得られた。

(2) 初期ひび割れ幅 0.3mm の試験結果

注入剤 A (ウレタン系) では変化率が 27.2%、注入剤 B (アスファルト系) では変化率が 122.6% となり、初期ひび割れ幅の増幅に関わらず、注入剤 B で高い追従性が得られた。

(3) 初期ひび割れ幅 0.2mm と 0.3mm の比較結果

注入剤 A (ウレタン系) では、初期ひび割れ幅 0.2mm から 0.3mm に増幅させたときに、追従幅は大きく変化せず変化率が 35.5% から 27.2% に低下した。この要因として、注入剤が付着強度に依存する為であると考えられる。一方注入剤 B (アスファルト系) では、初期ひび割れ幅の増幅により、追従幅が向上し変化率は、大きく変化しなかった。

(4) 供試体の割裂面の比較

注入剤 A (ウレタン系) で、図-3、4 の供試体の割裂面を比較すると、初期ひび割れ 0.2mm の際は注入材料の反応範囲が限定的で、断面に対して十分な範囲を止水できていなかったことがわかる。注入剤 B で、図-5、6 の供試体の断面を比較すると、図-5 では注入剤が引張力により破断しているが、図-6 ではコンクリートと注入剤の境界面で、剥離が生じていることが確認できる。この要因として、注入剤とコンクリートの付着強度と注入剤の引張力の関係で、破断形状に影響が出たと考えられる。

5. まとめ

追従性確認引張試験の結果、有機系注入材料によってひび割れ追従性能の差が確認できた。また、漏水を生じる原因はコンクリート注入剤の界面で剥離が発生していることがわかった。コンクリートの付着強度および注入剤の引張力に対する応力ひずみの関係が影響していると考えられる。

追従性能の評価方法として、初期ひび割れ幅に対するひび割れ幅の変化率に着目することで、注入剤の性能をより効果的に評価することができると考えられる。

今後、本試験結果を踏まえた上で、止水工法および止水材料の選定に活用していきたい。



図-3 注入剤 A-① (初期ひび割れ 0.2 mm)



図-4 注入剤 A-① (初期ひび割れ 0.3 mm)



図-5 注入剤 B-① (初期ひび割れ 0.2 mm)

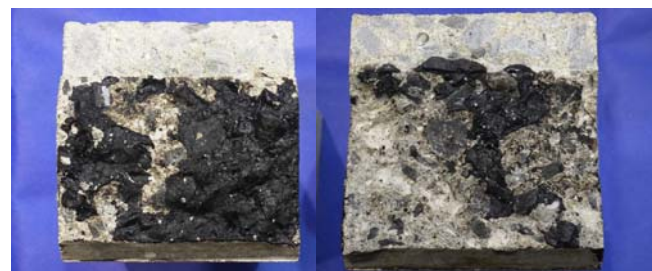


図-6 注入剤 B-① (初期ひび割れ 0.3 mm)