

吹き付けモルタルによるトンネル補強工法の性能評価 (その1)

－ 施工性および基本性能確認試験 －

(株) 熊谷組 正会員 ○ 岩井孝幸 正会員 森 康雄
戸上郁英 横田孝雄
川端淳司

1. はじめに

近年、コンクリート剥落防止対策として様々な工法による補強工事が各所で実施されている。供用開始から数十年経過している鉄道トンネルにおいても覆工コンクリートの劣化が進行しており、コンクリートの剥落が懸念されている。筆者らは、供用中の鉄道トンネルの補強工事を想定し、覆工コンクリートの剥落による重大災害の防止を目的としたモルタル吹き付けによる補強工法の可能性を試験により検証した。

本論文はコンクリートの剥落防止対策として、モルタル吹き付け工法の施工性および補強性能等の基本的性能を把握するため、吹き付けモルタルの材料試験および吹き付け施工試験、ならびに押し抜き試験を実施し、各試験の結果をまとめたものである。

2. 試験概要

供用中の地下鉄での工事であるため、使用するモルタルは表－1 に示す要求性能を想定した。また、終電後から始発までの短時間内（2～3 時間を想定）での施工を考慮し、吹き付けモルタルはプレミックス材料とし、施工時の手間を極力単純化させる必要がある。

1) 使用材料および配合

使用材料は表－2 に示すように市販されているポリマー系の断面修復材に急結剤等を加えたもの2種類（材料A，B）および速硬性のセメントを用いたプレミックス材料1種類（材料C）の合計3種類で試験を実施した。

2) 試験項目

表－3 に試験項目および試験方法を示す。吹き付け施工試験はウォータージェットで目荒らしを施した800^W×1000^L×80^Tmmの鉄筋コンクリート板にφ3.2mmの溶接金網を固定した後、上向き吹き付け（吹付厚＝30mm）で実施した。押し抜き試験は圧縮試験機の上に吹き付け試験体を設置して、予め設けておいたコア部分を表－4 に示す条件で載荷した。またひび割れ抵抗性確認試験は500^W×2000^L×60^Tmmの鉄筋コンクリート板にモルタルを吹き付けし、ひび割れの目視調査を実施した。

表－1 吹き付けモルタル要求性能

項目	材齢	要求性能
圧縮強度	3 時間	0.1 N/mm ²
	28 日	21 N/mm ²
付着強度	3 時間	0.01 N/mm ²
	28 日	2 ～ 3 N/mm ²
ひび割れ抵抗性	3 ヶ月	0.3mm未満

表－2 使用材料

材料	材料の仕様
A	モルタル : 補修用吹き付け材（プレミックスタイプ）
	ポリマー : SBR 系ラテックス
	水 : 水道水
	急結材 : アルミン酸アルカリ系液体急結剤
	流動化剤 : メチロールメラミン系流動化剤
	プライマー : エチレン－酢酸ビニルエマルジョン
B	モルタル : ポリマーセメントモルタル（プレミックスタイプ）
	水 : 水道水
	急結材 : アルカリフリー液状急結剤
	養生剤 : 水性エマルジョン
C	結合材 : 高アルカリ型の速硬型特殊セメント
	砂 : 珪砂
	混和剤 : 遅延系凝結調整剤
	ポリマー : SBR 系ラテックス

表－3 試験項目

試験項目	試験内容（適用規格）		
材料試験	ブルアウト試験	JSCE - G561	1，3，6時間
	圧縮強度試験	JIS A 1108	1，7，28日
	付着試験	建研式	7，28日
吹き付け施工試験	吹き付け性状の確認	吹き付け時のダレ、コデ仕上げ性状等目視調査	
	リバウンド率の測定	リバウンド率＝（はねかえり材の全質量／吐出した材料の全質量）x100	
押し抜き試験		押し抜き量と荷重の測定、破壊状況の確認等	28日
ひび割れ抵抗性確認試験		ひび割れの目視調査および長さ、幅の測定	～3ヶ月間

キーワード トンネル、補強、押し抜き試験、剥落防止、吹き付けモルタル

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株) 熊谷組 土木技術部 リニューアルグループ

TEL:0298-47-7507 FAX:0298-47-7480 E-mail:tiwai@ku.kumagagumi.co.jp

3. 試験結果および考察

1) 材料試験

表－5に材料試験結果を示す。初期材齢（～6時間）では材料Aが最も圧縮強度が大きく、次ぎに材料Bで、材料Cは最も小さい結果となった。材齢28日ではその逆となり、材料Cが最も圧縮強度が大きく、次ぎに材料B、材料Aの順であった。これは材料A、Bは急結剤を混入していることから、28日材齢時における強度の伸びが小さくなったことが原因と予想される。発現強度の傾向は材料A、Bと材料Cでは違うものの、すべての材料で圧縮強度、付着強度ともに要求性能を満足した結果となった。

2) 吹き付け施工試験

表－6に吹き付け施工試験結果を示す。材料AおよびBは一層吹き付けで30mmを確保することが十分可能であった。しかし、材料Cは30mmを確保するのに、2～3層に分けて吹き付けを実施する必要がある（打設時の環境温度による）ことがわかった。また、吹き付け施工時のリバウンド率や吹き付け性状において、材料Bが最も優れており、材料Cおよび材料Aに関しては施工性の観点で改善の余地が確認された。

3) 押し抜き試験

押し抜き試験結果を表－7、押し抜き量と荷重の関係を図－1に示す。図－1からも確認できるように押し抜き試験において材料A、Bの試験体と材料Cの試験体では、試験体の破壊状況に違いが確認され、A、Bの試験体は剪断による破壊が支配的であり、Cの試験体は曲げによる破壊が支配的であると思われる破壊状況であった。また、材料Cの試験体は3層吹き付けで製作したが、各層の界面で剥離が確認されており、層打ちしたモルタル部が一体化されていないことが確認された。

4) ひび割れ抵抗性確認試験

材料Cの試験体は材齢1日で最大0.5mm幅のひび割れが試験体長手方向に対し垂直方向に確認された。一方、材料A、B試験体では有害なひび割れは確認されなかった。

4. まとめ

今回供用中の鉄道トンネルの補強工事を想定し、各試験を実施したが、材料Bが材料物性および施工性等の観点から最適な材料であることがわかった。仮に材料Bを使用し、吹き付け補強をした場合、最大押し抜き荷重は38.0kN程度になることが確認された。

参考文献：吉川和行、小島芳之、六車崇司：FRPによるトンネル覆工剥落対策工への適用性評価 鉄道総研報告(RTRI REPORT Vol.16 No.3,2002.3)

表－4 押し抜き試験条件

試験条件	
載荷速度	モルタル破壊前 0.2mm/min 剥離後 1.0mm/min
制 御	変位制御
測定項目	荷重（ロードセル） 変位（変位計）：試験機のストローク
データ取得頻度	変位 0.2mm 毎または 10kN 毎
剥離状況の観察	必要に応じて剥離範囲を測定（最大変位量 50mm） マーキングおよび写真撮影。

表－5 材料試験結果 N/mm²

		1時間	3時間	6時間	1日	3日	7日	28日
プリアウト／ 圧縮強度試験	A	0.31	0.75	1.5	13.1	—	32.0	44.4
	B	0.23	0.37	0.97	13.2	26.9	28.4	47.0
	C	0.0	0.2	0.5	38.3	50.8	52.8	80.7
付着強度試験	A				—	(0.06)	2.60	2.78
	B				—	(0.03)	2.10	2.22
	C				—	(0.02)	2.46	3.50

()内は推定付着強度：圧縮強度の1/12

表－6 吹き付け施工試験結果

材料	フレッシュ性状		吹き付け性状				※2 リバウンド率
	フロー (スラフ)	練上 温度 (°C)	※1 吹付 性状	最大 吹付厚 (mm/1層)	吹付 速度 (m ² /hr)	コテ 仕上げ 性	
A	167x165	17	○	30	4.8	△	19.8
B	(125)	14.5	○	40	30.0	△	4.8 ※3
C	106x109	17	△	15		○	19.5 ※4

※1 吹き付け時のダレ、剥離状況 ○：良好、△：改善の余地あり

※2 リバウンド率＝（跳返材の全質量／吐出材料の全質量）×100（％）

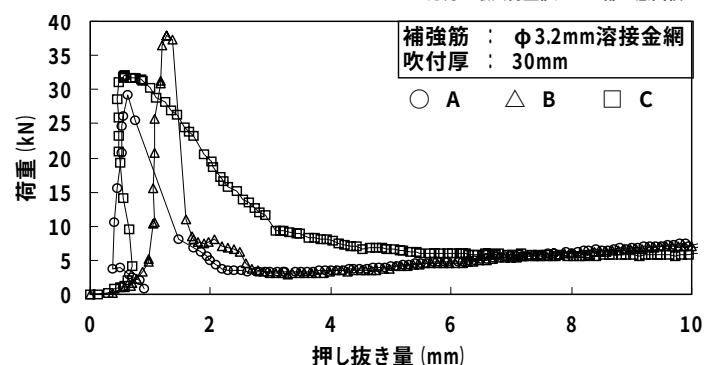
※3 エア量に対してモルタルの吐出量が小さく、単位時間あたりの吹付量が小さくなり、細骨材のリバウンドが目立った。（機械選定ミス）

※4 19.5％には吹き付け施工時に剥落したモルタルも含んでいる。

表－7 押し抜き試験結果

材料	補強筋	モルタル 吹付厚	最 大 荷重値 (kN)	最 大 変位量 (mm)	応力※ (N/mm ²)
A	溶接金網 φ3.2mm	30mm	29.2	0.62	1.65
B	溶接金網 φ3.2mm	30mm	38.0	1.28	2.15
C	溶接金網 φ3.2mm	30mm	32.2	0.56	1.82

※応力＝最大荷重値／コア部の底面積



図－1 押し抜き量と荷重の関係