

トンネルの補修材の現地耐久性試験

鉄道総合技術研究所 正会員 ○岡田 岳彰
正会員 小西 真治
正会員 津野 究
東京都交通局 正会員 新治 均

1. はじめに

トンネルの劣化・剥落対策工として断面修復を採用する事例が多いが、近年修復材そのものの耐久性が重要視されている。今回、地下鉄開削トンネルにおいて5種類の修復材を用いた試験施工を行い、施工性および耐久性の評価を行ったので報告する。

2. 試験概要

2.1 試験箇所

耐久性試験は、図-1 および図-2 に示すような地下鉄開削トンネルの拡幅部を利用して行った。

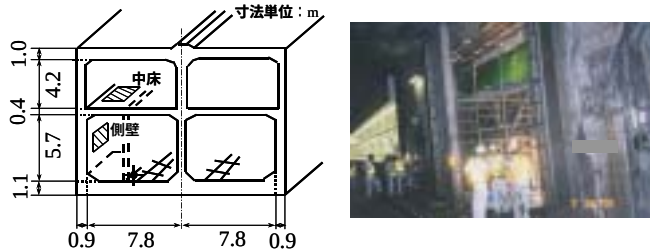


図-1 試験施工箇所 図-2 試験施工全景

2.2 施工手順

試験手順は、まず図-3 に示すような基板コンクリートの上に厚さ 3cm の断面修復材を充填できるように型枠を組んで試験体とし、これを軌道階の天井面および側壁に取り付けた。試験体の設置状況および設置数を図-4 および表-1 に示す。そして、夜間の間合いの3時間（午前0時半～3時半）で断面修復材を充填し、3日間（計9時間）で5種類の施工を行った。側壁部については横向きの施工、天井面については上向きの施工となる。なお、配合および施工は材料メーカーの立会のもと、メーカーの仕様則って行っている。

なお、施工条件および環境条件が異なる場合との比較を行うため、鉄道総研内の実験棟の床に同様の試験体を設置して供試体の充填（下向きの施工）を行っている。

表-1 型枠の設置数

設置箇所		施工の向き	型枠数
トンネル内	天井面	上向き	各材料 8 個×5 種類=40 個
	側壁	横向き	各材料 8 個×5 種類=40 個
鉄道総研		下向き	各材料 8 個×5 種類=40 個

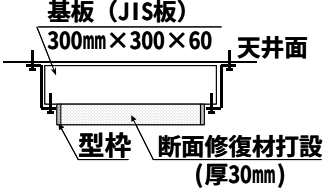


図-3 試験体



図-4 試験体の設置状況(天井面)

2.3 使用材料

試験では、樹脂モルタル、ポリマーセメントモルタル（軽量、普通および早硬）の中から、仕様実績のある5種類の修復材（表-2）を選定している。

表-2 使用材料

材料	種類
修復材 A	樹脂モルタル
修復材 B	ポ [®] リマーセメントモルタル（軽量）
修復材 C	ポ [®] リマーセメントモルタル（普通）
修復材 D	ポ [®] リマーセメントモルタル（普通）
修復材 E	ポ [®] リマーセメントモルタル（早硬）

2.4 評価項目

試験施工結果から施工性を評価するとともに、施工後1、3、6ヶ月の段階で、外観目視、打音ならびに付着強度試験（各ケース5回ずつ）を行った。付着強度試験は現場から試験体を回収し、建研式の引張り試験機を用いて測定している。なお、現場で打設した供試体を用いて、一軸圧縮試験（7日および28日、各3本）も行っている。

表-3 施工に要した時間

	修復材 A	修復材 B	修復材 C	修復材 D	修復材 E
1 日目			1:00 プライマー		1:00 プライマー
2 日目		2:10 プライマー 充填 (2回塗り)	1:30 充填 (2回塗り)	0:10 プライマー	1:30 充填 (2回塗り)
3 日目	1:30 プライマー 充填 (1回塗り)	0:40 充填 (天井面2 層目のみ)		2:40 充填 (4回塗り)	(2:00) 落下した箇所を再施工
合計	1 日	中床 2 日 側壁 1 日	2 日	2 日	2 日 (3 日)

注1) 1:30 は1 時間30 分を意味する。なお10 分未満については切り上げている。
注2) 作業開始から作業終了時間まで全てを含み、配合に要する時間や実作業を行っていない時間（プライマーを乾かす時間等）も含める。
注3) あらかじめ、3 日間（1 日3 時間以内）以内に施工できればよいと、メーカー側に伝えている。足場は事前に設置している。
注4) 作業終了時間は、作業箇所が手狭であるため、メーカー側から提示のあった計画案に基づき鉄道総研サイドで決定している。
注5) *は、天井面のみ2 日に分けて1 層塗りおよび2 層塗りを行っている。

3. 試験結果

3.1 施工性

表-3 に、施工に要した作業時間を示す。修復材 A については、天井面でも 1 回に 3cm の厚さを塗りつけることが可能、かつ一日での施工が可能であり、限られた時間内での施工には適している。修復材 B～D についても、今回の 3 時間の間合いの施工であれば問題なく施工できる。修復材 E は非常に取り扱いが容易な材料ではあるが、天井面において施工直後の硬化前に落下する試験体もみられた。これは、比重が重いのが原因であると考えられる。

3.2 各材料の物性

表-4 に、施工現場で打設した供試体を用いた一軸圧縮試験の結果および単位体積重量を示す。一軸圧縮強度については、修復材 C（28 日）を除き、規格値を満たしていた。

表-4 各材料の一軸圧縮強度および単位体積重量				
打設後日数	一軸圧縮強度 [N/mm ²]		単位体積重量 [gf/cm ³]	
	7 日	28 日	7 日	28 日
修復材 A	35	37	0.70	0.71
修復材 B	28	30	1.53	1.52
修復材 C	15	17	1.30	1.25
修復材 D	34	46	2.03	2.02
修復材 E	38	46	1.94	1.94

注1) 数値は3本の供試体の平均値 注2) 気中養生している。

3.3 耐久性の評価

(1) 外観目視および打音検査の結果

6 ヶ月後の段階においても、すべての供試体についてひび割れ等の変状がみられなかった。また、打音検査を行ったところ、すべて清音であった。

(2) 付着強度試験結果

付着強度試験の結果を表-5 に示す。付着強度試験における破壊状況は、以下の 3 つに分類できる

- ①基板（コンクリート板）での破壊
- ②基板と修復材の界面（プライマー）での破壊
- ③修復材での破壊

このうち①については、修復材およびプライマーが既存コンクリート以上の引張強度を有していることを意味し、一番望ましい破壊形態である。試験結果より、以下のことがいえる。

- ・施工 1 ヶ月後の段階で、ほとんど付着強度がなくなっている材料もある。
- ・外見上（目視および打音）では健全でも、付着強度がなくなっている場合もある。
- ・天井面の修復材の付着強度が小さい材料もある。

- ・天井面のみ 2 日に分けて施工した修復材 B に関しては、天井面で施工した修復材の付着強度が大きい。

表-5 付着耐久性

	1 ヶ月後		3 ヶ月後		6 ヶ月後	
	強度	性状	強度	性状	強度	性状
修復材 A	2.1	◎	0.7	×2	1.1	△
修復材 B	3.4	○	3.1	○	3.3	○
修復材 C	1.0	×4	---	×5	---	×5
修復材 D	2.2	△	1.9	○	2.2	△
修復材 E	---	×5	0.6	×3	2.2	×4

	1 ヶ月後		3 ヶ月後		6 ヶ月後	
	強度	性状	強度	性状	強度	性状
修復材 A	2.7	◎	1.6	○	2.7	×2
修復材 B	2.6	△	2.5	△	2.0	△
修復材 C	1.9	×4	---	×5	---	×5
修復材 D	2.3	△	2.6	△	2.6	△
修復材 E	0.9	×3	2.2	×4	2.6	×

	1 ヶ月後		3 ヶ月後		6 ヶ月後	
	強度	性状	強度	性状	強度	性状
修復材 A	2.4	○	2.3	○	3.0	◎
修復材 B	2.6	△	1.1	×1	2.8	△
修復材 C	0.9	×3	---	×5	0.4	×4
修復材 D	2.5	◎	2.8	○	3.2	◎
修復材 E	---	×5	0.1	×3	0.6	×4

注1) 強度の欄には、付着強度 [N/mm²] を記す。
注2) 性状の欄には、以下のように破壊形態を区分して記す。
◎：全て基板で破壊（コンクリート以上の引張強度を有する。）
○：大部分が基板で破壊
△：大部分が界面、修復材で破壊 あるいは 基板と界面を跨いで破壊
×：試験箇所のひびきみを入れる段階で剥離するものあり
(×のうしろの数字は、剥離して試験不可能であった試験体の数)

4. まとめ

この試験施工はある条件のもとで行ったものであるが、施工後 6 ヶ月以内でほとんど付着強度がなくなっている材料もあった。本試験施工ではあらかじめ基板にディスクサンダーで目荒らしを行ったが、はつった箇所に断面修復材を充填する場合と比べ、厳しい条件であると考えられる。しかし、実際の施工も厳しい条件下で行われることも考えられるので、同様の現象が起こる可能性は否定できない。したがって、断面修復を行った後も十分な検査・点検を心がける必要がある。

また、基板と修復材の間の付着が得られていないケースもあることから、プライマーの選定が付着強度に大きな影響を与えるとも考えられる。

なお、本報告書は施工後 6 ヶ月までの試験体により断面修復材の付着性状について調査したものであるが、付着強度試験は今後も一定の経過年数ごとに実施し、付着後の耐久性を引き続き行う必要である。