

鉄道トンネルにおける断面修復材の耐久性試験

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○津野 究, 牛田 貴士

東京都交通局

石井 聡

ショーボンド建設(株)

寺尾 暁

保全技術(株)

篠村 篤史

1. はじめに

鉄道トンネルの劣化・剥落対策工として断面修復を採用する例も多いが、断面修復材の長期耐久性については十分な知見が蓄積されていない。そこで、地下鉄開削トンネルで断面修復の試験施工を行い、施工1ヶ月後～11年後の状況を確認したので報告する。

2. 断面修復の試験施工¹⁾

試験施工は、図-1に示すような地下鉄開削トンネルの拡幅部で実施した。まず、軌道階の天井面および側壁に、図-2の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な型枠を取り付けた。そして、夜間の間合い(午前0時半～3時半)の3日間(計9時間)に、表-1に示す5種類の施工を行った。各材料につき、天井面8個、側壁8個の型枠を準備し、断面修復材を充填して試験体とした。なお、断面修復材は、仕様実績のあるものを選定し、配合および施工は材料メーカーの立会のもと、メーカーの仕様によって実施した。表-1には、施工現場で打設した供試体の一軸圧縮試験の結果(7日後、28日後)も併せて示す。

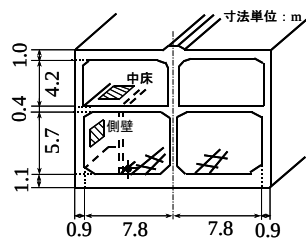


図-1 試験施工箇所

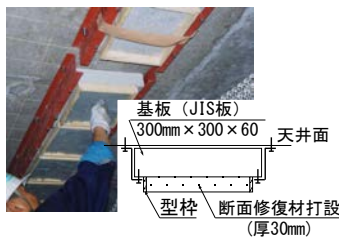


図-2 試験体の概要

表-1 使用材料

材料	種類	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	樹脂モルタル	35	37	0.70	0.71
修復材 B	ポリマーセメントモルタル(軽量)	28	30	1.53	1.52
修復材 C	ポリマーセメントモルタル(普通)	15	17	1.30	1.25
修復材 D	ポリマーセメントモルタル(普通)	34	46	2.03	2.02
修復材 E	ポリマーセメントモルタル(早硬)	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. 付着強度試験

3.1 試験概要

施工後1, 3, 6ヶ月, 1, 3, 11年後の段階で、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、付着強度試験を行った。

試験は、図-3に示すように、基板コンクリートまで切込みを入れ、1つの試験体につき5回の試験を行い、平均値を求めて整理した。

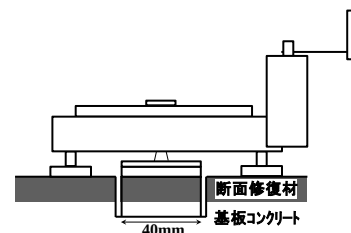


図-3 付着強度試験の概要

3.2 試験結果

付着強度試験の結果を表-2に示す。修復材CおよびEについては、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。これについては、本試験施工では基板コンクリートの上に断面修復を施工したが、はつりによる凹凸がある箇所に断面修復材を充填する場合と比べて厳しい条件であったことも要因の一つであると考えられる。また、プライマーの選定が影響して、基板と修復材の間に十分な付着が得られていないことも要因と考えられる。

一方、修復材BおよびDについては、施工後1ヶ月後から11年後に至るまで、時間の経過に伴う付着強度の低下は見受けられない。このように、施工直後の段階で十分な付着強度が得られている修復材については、施工後11年経過しても十分な付着強度を有しており、経年による低下が見られないことが確認できた。

4. 中性化深さ測定

4.1 測定概要

施工11年後の段階で回収した試験体(各材料につき、天井面および側壁それぞれ1試験体ずつ)を中央で切断し、切断面にフェノールフタレインを噴霧して断面修復材と基板コンクリートの中性化深さを測定した。

また、一部試験体については、断面修復材が被覆して

キーワード：トンネル，試験施工，断面修復，耐久性，付着強度

連絡先 (185-8540 国分寺市光町 2-8-38・TEL 042-573-7266・FAX 042-573-7248)

表-2 付着強度試験結果 (N/mm²)

		1ヶ月後		3ヶ月後		6ヶ月後		1年後		3年後		11年後	
		強度	性状	強度	性状	強度	性状	強度	性状	強度	性状	強度	性状
天井面	修復材 A	2.1	○	0.7	×2	1.1	△	1.8	×1	2.1	○	2.1	○
	修復材 B	3.4	○	3.1	○	3.3	○	3.3	○	3.2	△	3.6	△
	修復材 C	1.0	×4	---	×5	---	×5	---	×5	---	×5	---	×5
	修復材 D	2.2	△	1.9	○	2.6	△	1.6	△	1.9	△	1.8	△
	修復材 E	---	×5	0.6	×3	2.2	×4	0.5	×1	---	×5	1.6	×4
側壁	修復材 A	2.7	○	1.6	○	2.7	×2	1.7	○	1.5	○	1.9	○
	修復材 B	2.6	△	2.5	△	2.0	△	1.7	△	2.4	△	2.0	△
	修復材 C	1.9	×4	---	×5	---	×5	---	×5	---	×5	---	×5
	修復材 D	2.3	△	2.6	△	2.6	△	1.9	△	2.5	△	2.2	△
	修復材 E	0.9	×3	2.2	×4	2.6	×4	1.1	×3	1.2	×3	2.8	×4

注) 性状の欄は、以下のように破壊形態を区分して記す。

○：大部分が基板コンクリートで破壊 △：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

×：試験前切込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本の数)

いない部分を切断し、断面修復が施工されていない場合の中性化深さを測定して参考値とした。

4.2 測定結果

測定結果の一例を図-4に示す。これをもとに、15mm 間隔の18点の平均を取り、中性化深さを求めた(表-3)。

修復材 A は、セメント系断面修復材でないため、フェノールフタレインでの呈色は見られなかった。修復材 B～D については、断面修復材の中性化の進行が確認され、修復材 B では中性化深さが13～19mm 程度であった。ただし、修復材 B については、施工11年後でも十分な付着強度があり、浮き等も確認されず、基板コンクリートの中性化深さも0mm であることから、断面修復材の性能としては問題ないと考えられる。

一方、基板コンクリートの中性化深さは施工11年後でも0～0.9mm であり、断面修復材が被覆されていない部分の参考値(4.6mm および6.1mm)と比べて大幅に小さい。これより、断面修復の施工により、構築コンクリートの中性化の進行を抑制していることが確認できた。

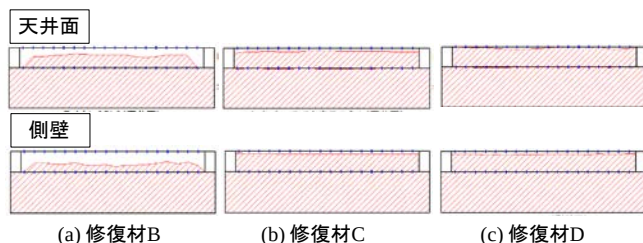


図-4 中性化深さ測定の結果の例

表-3 中性化深さ (mm)

材料	天井面		側壁	
	断面修復材	基板	断面修復材	基板
修復材 A	0.0	0.9	0.0	0.9
修復材 B	13.6	0.0	18.9	0.0
修復材 C	4.7	0.6	4.0	0.0
修復材 D	1.8	0.6	4.0	0.0
修復材 E	6.9	0.8	5.5	0.5
修復材なし	---	4.6	---	6.1

5. EPMA 分析

施工11年後に回収した試験体を中央で切断し、中央の50mmの部分を切り出してEPMA分析を行った(図-5)。修復材 B については、修復材の表面から10mm 程度の範囲(図-5(a)中の A)に、奥側よりも強い炭素の分布が見られ、中性化深さに対応している。また、基板コンクリートと修復材の境界部(図-5(a)中の B)に、プライマーによる線状の分布が見られる。つぎに、修復材 C については、修復材の表面から4mm 程度の範囲(図-5(b)中の A)と、基板コンクリートの修復材との境界部付近(図-5(b)中の B)に強い炭素の分布が見られた。これについても、中性化深さに対応している。

6. まとめ

地下鉄開削トンネルで断面修復の試験施工を行い、施工1ヶ月後～11年後の状況を確認した。

- 1) 施工直後の段階で十分な付着強度を有する修復材は、施工後11年経過しても十分な付着強度を有しており、経年による低下が見られないことが確認できた。
- 2) 断面修復の施工により、構築コンクリートの中性化の進行を抑制していることが確認できた。

参考文献

- 1) 岡田岳彰, 小西真治, 津野究, 新治均: トンネル補修材の現地耐久性試験, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, IV-115, pp.229-230, 2002.

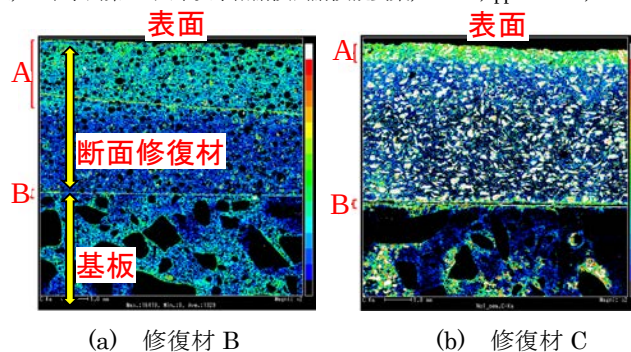


図-5 EPMA 分析の結果の一例 (分析元素: C 炭素)