

地下鉄トンネルにおける塩害対策区間の劣化状況に関する一考察

(株)メトロレールファシリティーズ 正会員 ○武藤義彦 工藤啓士朗 小松正典

東京地下鉄(株) 野口正則

1. はじめに

東京地下鉄(以下、東京メトロという)は首都圏に営業線9路線195.1kmを運行し、首都東京の重要な交通機関として社会生活を支えている。営業線の85%がトンネルで、安全運行の確保の面からもこれらの土木構造物の適切な維持管理を行うことが重要である。トンネルの一部区間において塩害による変状と見られる箇所が判明したことから、原因究明と対策方法を検証し、塩害対策の補修を実施してきた。これらの補修箇所については定期的な点検の他、詳細なモニタリング調査も進めている。今回、塩害対策を実施したトンネル区間に関する再劣化率等、対策前後の状況について報告する。

2. 塩害対策工事の実施

感潮域河川下や沿岸部に位置するトンネルでは、塩分を含んだ漏水がトンネル内面からコンクリート内に浸透し、鉄筋腐食による劣化が発生することがわかった。塩害対策の補修を行う前の調査として、漏水および漏水跡の箇所に硝酸銀溶液を噴霧し白色に変色する範囲について塩害対策の補修を実施することとした(図-1)。白色に変色したコンクリート表面に打音検査を行い、濁音がある範囲は鉄筋腐食による被りコンクリートの浮きがあることから、劣化部分の撤去、鉄筋のケレン、犠牲陽極材の設置、断面修復材による補修、表面含侵材の塗布を、清音である健全な範囲についてはコンクリート表面に表面含侵材の塗布のみを行うこととした。

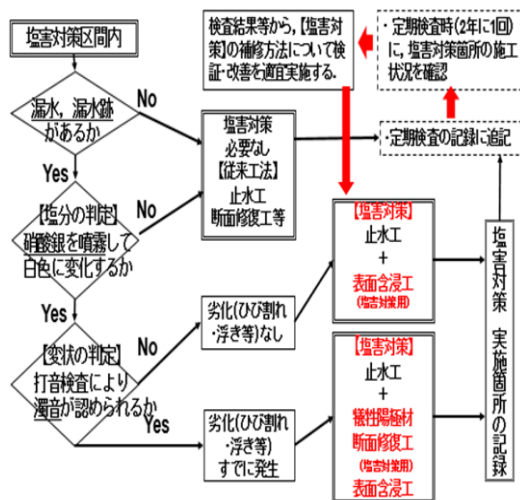


図-1 塩害対策実施箇所のフロー

表-1 塩害対策工事の実績

東京メトロではこの方法を用いて2014年から塩害対策工事を実施している(表-1)。塩害対策工事を優先的にを行う区間として感潮域河川下など漏水の塩分濃度が高いトンネルを最優先とし、トンネルに防水工がない区間を優先度Aに、防水工がある区間を優先度Bとして抽出し、事前調査により塩害対策工事の実施範囲を決定した。優先度AとBにおける1mあたりの断面修復と表面含侵材の補修面積を比較すると、優先度Aは約2倍の施工量であり、優先度の抽出方法は1つの考え方として有効であることが確認された。

なお、塩害対策工事で補修を実施した箇所については施工から数年しか経過していないこともあり、定期検査から一部箇所では再漏水が発生しているが、浮き等の劣化は確認されていない。今後、再漏水により塩分が供給され、鉄筋腐食のリスクが高まることから止水工の補修を確実に実施することが重要である。

優先 先度	路線名		駅間	橋断・近接 する 河川名称	延長	塩害対策(㎡)			断面補修 面積 (1㎡あた り)	表面含浸 材面積 (1㎡あた り)	完了時期
						断面補修面積		表面含 浸材			
						側壁	上床				
A	日比谷線	1	人形町駅～茅場町駅	日本橋川	170	15	3	207	0.106	1.218	2017年10月
	東西線	2	茅場町駅～門前仲町駅	亀島川	160	104	26	652	0.813	4.075	2017年7月
		3	茅場町駅～門前仲町駅	隅田川	320	49	56	271	0.328	0.847	2017年7月
		4	茅場町駅～門前仲町駅	大島川	62	32	4	221	0.581	3.565	2014年11月
					380	37	2	301	0.103	0.792	2015年10月
	千代田線	5	新御茶ノ水駅～大手町駅	日本橋川	180	62	20	772	0.456	4.289	2017年10月
	半蔵門線	6	九段下駅～神保町駅	日本橋川	140	2	3	157	0.036	1.121	2017年10月
				計	1412	301	114	2581	0.294	1.828	
B	日比谷線	1	上野駅～仲御徒町駅	小さい川	140	5	1	63	0.043	0.45	2019年3月
		2	築地駅～東銀座駅	築地川	140	22	11	238	0.236	1.7	2019年3月
	東西線	3	門前仲町駅～坑口	埋立地	335	5	1	65	0.018	0.194	2019年3月
					775	129	15	668	0.186	0.862	2019年3月
					708	69	5	455	0.105	0.643	2019年3月
					261	5	2	33	0.027	0.126	2019年5月
	有楽町線	4	新富町駅～坑口	埋立地	508	100	28	1199	0.252	2.36	2019年5月
					263	13	6	109	0.072	0.414	2019年5月
					298	19	1	550	0.067	1.846	2019年5月
					計	3428	367	70	3380	0.127	0.986

キーワード 地下鉄トンネル, 塩害対策, 再劣化率, 可視画像, 特別全般検査

連絡先 〒164-0003 東京都中野区東中野 4-27-16 (株)メトロレールファシリティーズ 土木部 TEL03-5623-5717

3. 通常補修後の再劣化状況

塩害対策工事を実施した中で補修箇所が多い3区間を選定し、工事前における検査および補修等との相関関係について調査を行った。2009年に撮影したトンネル壁面の可視画像（写真-1）から断面修復等の補修箇所を抽出し、その補修箇所が今回の塩害対策工事で再び補修されていれば再劣化したこととなる。その結果、通常の補修方法（断面修復、止水工のみ）で施工した箇所のうち多くが5割以上の割合で再劣化が発生し、塩害対策による断面修復を行っていることがわかる（表-2）。箇所ごとに補修後の漏水発生状況が異なることが影響していると考えられるが、漏水により鉄筋が腐食しコンクリート表面が劣化した箇所は補修を行っても再劣化を繰り返す可能性が高いことがわかった。鉄筋腐食等の劣化が起こる前に、漏水が発生した段階で早めの止水工による補修が構築の劣化を抑えることになると言える。

また、最も補修箇所が多い亀島川区間における劣化の状況をさらに詳細にみることにした（図-2）。可視画像の調査および塩害対策の実施における補修の箇所数に加え、補修面積による比較を行った。補修跡の断面修復箇所は止水工より再劣化し、塩害対策の断面修復を行う確率が高いが、全ての断面修復の範囲は行っていないことから塩害補修の面積は抑えられていることがわかる。塩害補修は新規の表面含侵材の塗布が多いが、漏水の塩分濃度に対する予防保全として実施していることとなる。

4. 定期的な検査結果等との比較

亀島川区間において、定期的実施している通常全般検査と特別全般検査で判定している浮き・はく離と塩害対策工事の事前調査（打音検査）の結果による劣化状況を比較した（表-3）。至近からの目視と打音検査である特別全般検査でも約23%の見落としがあり、すべてを判定することは難しいことがわかる。省令で定められた定期的な検査では浮き・はく離をすべて発見できず、はく離事故等をなくすためにはさらに点検が必要であると言える。

5. おわりに

地下鉄トンネルの塩害が発生している区間に対し、通常の補修、定期的な検査結果、塩害対策の補修範囲との関係について調査を行った。塩害対策区間では通常の補修では5割以上再劣化を起こすこと、特に断面修復した箇所は再劣化が多いこと、定期的な検査だけではすべての劣化箇所を判定することは困難なことがわかった。今後、検査結果と補修箇所の関連性についてさらに調査を進め、より効率的な検査・補修を実施することにより、列車の安全運行を確保していきたいと考えている。

参考文献

1) 武藤義彦, 胡フヶ野晃大他: 地下鉄トンネルにおける犠牲陽極材の防錆効果の検討, 土木学会第73回年次学術講演会, IV-342, 2018

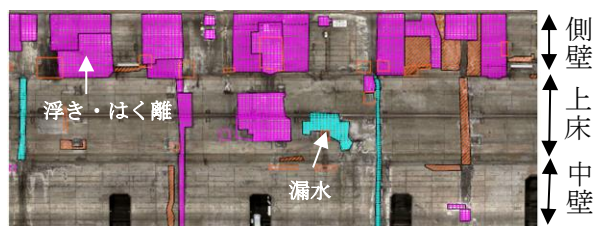


写真-1 可視画像データの一例

表-2 塩害対策工事3区間の補修再劣化率

路線名	駅間	橋桁・近接する河川名称	延長	通常による補修		塩害による断面修復（再劣化）	
				工法	箇所数	箇所数	再劣化率(%)
東西線	茅場町駅～門前仲町駅	亀島川	160	断面修復	85	60	71
				止水工のみ	30	17	57
		隅田川	320	断面修復	17	11	64
				止水工のみ	4	1	25
		大島川	130	断面修復	3	1	33
				止水工のみ	7	4	57

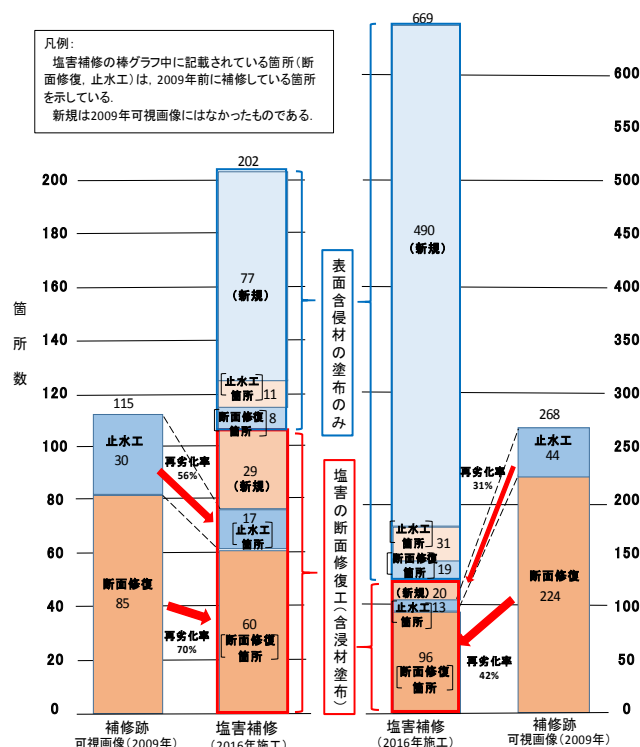


図-2 亀島川区間の補修再劣化率

表-3 定期検査との違い

亀島川区間 160m	浮き・はく離	補修材の 浮き・はく離
通常全般検査 (2015)	3箇所	6箇所
特別全般検査 (2015)	6箇所	53箇所
塩害対策による断面 修復(2016)	77箇所	