

薬液注入材に含まれる硫酸塩による歩床コンクリートの劣化調査

NTT インフラネット株式会社 正会員○館野 哲
NTT インフラネット株式会社 渡辺 龍一

1. はじめに

1980 年代通信用トンネルは、地下埋設物の輻輳や路上の交通状況、騒音・振動による周辺環境への影響からシールド工法により築造されることが多くなった。その中で軟弱地盤において施工されるシールド推進工事では、発進および到達時の立坑土留め壁の撤去に際して、開放面からの湧水または地山の崩壊防止を目的に薬液注入による地盤改良が多く実施された。

この注入材に含まれている硫酸塩が、地下水等で希釈され、セグメントの継ぎ手部から流入し、二次覆工打ち継目やひび割れを介して、通信用トンネル内へ浸入する。側溝に溜まった地下水が乾湿を繰り返されコンクリート内部へ浸透し、年月を重ねる間にコンクリートを劣化させる。化学的腐食の代表とされる硫酸塩が通信用トンネルの歩床コンクリートを劣化させた状況について報告する。

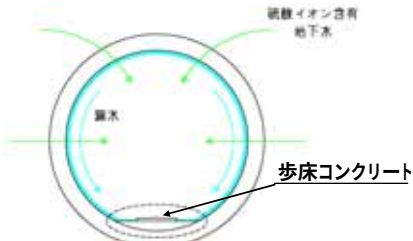


図1-1硫酸塩の浸入経路

2. 調査対象と項目

(1) 調査対象トンネルの概況

本調査対象の通信用トンネルは、東京都台東区吉原にあり調査範囲が 412mのシールド式通信用トンネルで建設後 30 年が経過している。シールド推進工事は、A 点を発進立坑（土被り：19.5m）として B 点が到達立坑（土被り：18.8m）となっている。当時の施工記録によれば A 点で坑口から 30mを DDS 工法（注入材料名：クリーンファーム）で B 点坑口から 60mを LAG 工法（注入材料名：PG-3）でそれぞれ薬液注入による地盤改良がなされている。クリーンファームは、酸性シリカゾル系の注入材でシリカゾルグラウトの中和剤として硫酸が用いられており、PG-3 は、硬化剤として硫酸水素ナトリウムが使用されている。いずれも硫酸塩を含んだ薬液注入材である。

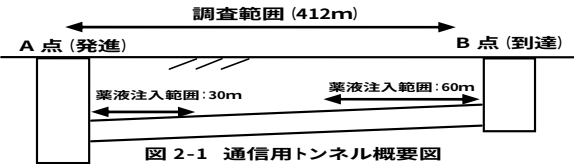


図 2-1 通信用トンネル概要図

(2) 調査項目

調査項目	工程量	調査内容
目視・打音調査	412m	劣化箇所を目視にて確認し、テストハンマーによる打音調査にて詳細な劣化範囲を把握する。
水準測量	412m	水準測量を実施し、劣化範囲とトンネルの勾配との関係を把握する。測点は 10m間隔に設置して行う。
コンクリートコア採取による硫酸塩濃度分析試験	6 箇所	採取コアの表層側から 3 スライス（1 スライス幅 3cm）について、硫酸塩濃度の分布を把握し劣化深さを把握する。
コンクリートコア採取による生成物 X 線回折試験	3 箇所	脆化コンクリート片を採取して、X 線回折試験により成分分析し、劣化要因とされる生成物の確認を行う。
水質試験	3 箇所	硫酸塩の供給先と考えられる漏水中の水質分析を行う。調査項目は、水素イオン（pH）塩化物イオン（Cl ⁻ ）ナトリウムイオン（Na ⁺ ）硫酸イオン（SO ₄ ²⁻ ）

キーワード コンクリートの劣化調査 硫酸塩 薬液注入

連絡先 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-18-3 NTT 小石川第一ビル NTT インフラネット(株) TEL03-5800-9771

3. 調査結果

調査項目	工程量	調査結果				
目視・打音調査	412m	特に歩床コンクリートの脆化が顕著なのは、到達立坑からの約 110m区間である。ハンマーで強く引っ掻くと削れる程度であり、強度はおろかコンクリートとしての性状は有していない状況である。さらに硫酸ナトリウムの結晶が認められた				
水準測量	412m	A 点から B 点に向かって 0.3%の上り勾配で計画したが、実際に測量すると 0.0%～0.6%と 3 箇所の中だるみがあり、排水されずに溜まり水が生じている。				
コンクリートコア採取による硫酸塩濃度分析試験	6 箇所 SO3 濃度 (単位：%)	試料名	表面～3cm	深さ 3～6cm	深さ 6～9cm	
		コア№1	0.38	0.65	0.36	
		コア№2	0.17	0.54	0.36	
		コア№3	0.67	0.92	0.28	
		コア№4	0.12	1.44	0.32	
		コア№5	0.23	0.72	0.27	
		コア№6	0.04	0.84	0.28	
一般的なコンクリートの初期含有硫酸塩濃度(単位：%)			0.26～0.35			
コンクリートコア採取による生成物 X 線回折試験	3 箇所	試料 同定鉱物	№1		№2	№3
		二水石膏	10,000Counts 以下		検出されず	検出されず
水質試験	3 箇所	試料	pH	Cl-	SO42-	N a +
				mg/ l	mg/ l	mg/ l
		№1	9.2	66	660	740
		№2	9.1	470	3700	2400
	№3	9.3	280	3200	2500	
評価基準値			>7.0	>1900	>1000	—

4. まとめ

調査結果によれば、水質試験で溜まり水には、高濃度の硫酸イオンが含まれており、硫酸塩濃度分析試験においてもコンクリート中に高濃度の硫酸塩が確認された。生成物X線回折試験結果によれば、外部からの硫酸塩供給があったことを示す石膏が確認され、目視点検で劣化付近に硫酸ナトリウムの結晶が認められた。

二次覆工の本体コンクリートの品質は良好であったのに比べて、歩床コンクリートの劣化が顕著であるのは、コンクリートの水セメント比が関係していると考えられる。本体コンクリートに比べると設計基準強度が低い（水セメント比が高い）歩床コンクリートは、ポーラス（多孔性）な状態であるため、硫酸塩を含んだ漏水が浸透しやすく、また強度も低いことから膨張破壊も生じやすいためだと考えられる。

このことから歩床コンクリートの劣化要因は、薬液成分中の硫酸塩が、トンネル内に流入し、硫酸イオンを含む水が、側溝に溜り乾湿を繰り返して年月を重ね硫酸イオンが高濃度になる。高濃度の硫酸イオンが歩床コンクリートに浸入して、カルシウムアルミネート系水和物と反応し、この反応でエトリンガイドが生成され、その膨張圧や劣化付近に顕著に認められる硫酸ナトリウムの結晶成長圧も加わり、劣化（膨張破壊）を引き起こしたと考えられる。現在の対策としては、歩床コンクリートの劣化部は取り除き、打ち替える必要がある。打ち替えるコンクリートについては、本体コンクリートと同品質以上であり、今後の漏水の浸透を防ぐ意味で表面被覆を施す必要がある。