

53 年間使用した南砂町駅の軌道部側壁の採取コアを用いた塩害に関する研究

日本大学 学生会員 ○班 鈞豪
東京地下鉄 大澤 篤
メトロレールファシリティーズ 正会員 渡辺 貞之
日本大学 吉岡 悠生
日本大学 正会員 齊藤 準平

1. はじめに

東京メトロ東西線の南砂駅は、荒川に近接する塩害地域に構築し 53 年が経過している。この度駅舎の改良工事に伴い軌道部側壁及び上床のコンクリートの塩分浸透状況が調査された。その結果、潜函工法は背面側、開削工法は軌道面側の塩分濃度が 20(kg/m³)前後程度の高い結果となった。ここでは、その原因をコンクリートの施工不良等による低品質化や外的要因と想定し、コンクリートの品質を調べることを目的とした。さらに、各調査方法の有効性についても検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の概要

実験で使用する供試体は軌道面側から背面側までをコア抜きして得られた直径 40mm と 70mm で全長 79.5mm～98mm の円柱である。それらを軌道面近傍、中央部および背面近傍の 3 箇所を切断機で粗加工、ダイヤモンドカッターとヤスリで仕上げ加工して 40mm の正方形に切断して供試体とし、塩水浸せき試験、アルキメデス法、3 次元 X 線 CT 法に用いる。なお、軌道面近傍、背面近傍の供試体は、塩分の影響を受けていないやや内側部分を使用した。

表－1 供試体の詳細

コア名	全長 (cm)	コア径 (mm)	外観変状	工法
40-6	91	70	有り	開削
44-6	98	70	有り	開削
46-4	88.5	60	健全	開削
D2-20	79.5	70	－	潜函
D2-23	95	40	－	潜函
D2-24	95	40	－	潜函
コア名	サンプル (検体名：表面から 1, 2, 3, 4)			切った径 (mm)
40-6	A1'	A2	A3'	40
44-6	A1'	A2	A3'	40
46-4	A1'	A2	A3'	40
D2-20	B1'	B2	B3'	40
D2-23	B1'	B2	B3'	40
D2-24	B1'	B2	B3'	40

2.2 塩水浸せき試験

浸透面は、壁面側とし、それ以外の面を被覆加工し、24 時間の給水を得て、塩水浸せきを開始した。塩水は濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液を用いた。塩水浸せきは、30 日間行った。試験終了後は、コンクリートカッター及びワイヤーソーによって供試体の浸透面から 10mm ずつ切断し、それぞれを粉砕機で粉状にした。その後、硝酸による塩化物イオンの抽出を経て、電位差滴定装置による塩化物イオン濃度の測定を行った。濃度分布から、表面濃度 C₀と見掛けの拡散係数 D_cを求めた。見掛けの拡散係数 D_cは塩分の浸透速度を表し、値が低いほど塩分が浸透しにくいと評価される。また、将来の塩分濃度の推定に用いられる。

2.3 空隙率試験（アルキメデス法）

塩化物イオン濃度分析は、分析のための労力や手間がかかる。その代わりとして、簡単に行えるアルキメデス法を用いて原因を究明できないか検討を行った。

40℃の恒温・恒湿環境下で質量が恒量(0.1℃/日)になるまで乾燥させ、乾燥質量を計測し、その後、水に浸漬し 24 時間真空脱気した後の水中質量と飽水質量の計測を行い、空隙率を算出した。

2.4 3 次元 X 線 CT 装置による空隙率と骨材率の算出

2.3 と同理由から、3 次元 X 線 CT を用いて、原因の究明を行えないかどうかを検討した。供試体全体を管電圧 100kV と管電流 2mA を基準値とし、3D 撮影を行った。2mm 間隔の断面ごとに画像化を行い、ImageJ による p タイル法で画像処理（二値化）を施した。その際、空隙と骨材に対してそれぞれの閾値（p タイル法）を設定し、空隙と骨材をそれぞれ別の二値化画像で示し、空隙および骨材をそれぞれ黒色で示されるようにした。断面中央付近の 25mm×25mm の正方形内において、黒色部を全面積に対する黒色部の割合を計算し、供試体全長 40mm 分において平均して求めた値を、空隙

キーワード 拡散係数、空隙率、骨材率
連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部交通システム工学科 TEL047-469-5241

率 Pr と骨材率 Gr とした。

3. 試験結果及び考察

3.1 見掛けの拡散係数

図－1 に供試体ごとの拡散係数を示す。本研究室の他研究テーマにおける同条件のデータは、約 15(cm²/年)程度であり、それと比較すると今回の拡散係数の値は、おおむね同程度から低いものとなっており、また、工法による違いの影響も無く、これらの材料の品質は良好であると考えられる。

3.2 空隙率

図－2 に供試体ごとの空隙率を示す。図を見ていくと供試体の空隙率は 10%～20%の範囲に収まっていることが確認できる。一般的なコンクリートの空隙率は 20%以下であることから、今回試験を行ったコンクリートは概ね健全であると予想される。拡散係数の値から品質が良好と計算されていることから、空隙率から品質を評価することは、有効だと考える。

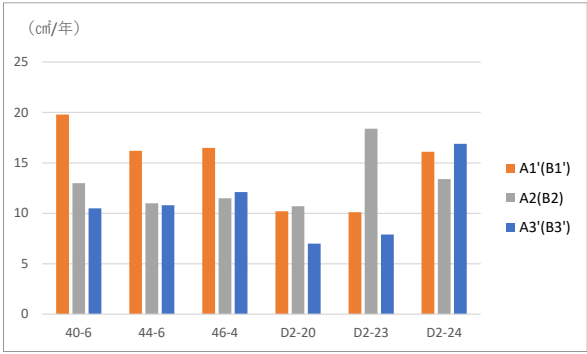
3.3 3次元 X 線 CT 装置による骨材率と空隙率

図－3 に骨材と空隙の二値化画像を示す。図によるとそれぞれが概ね良好に二値化処理が行われたことがわかる。表－2 に空隙率と骨材率を示す。一般的なエントラップドエアの空隙率は、W/C によって差異があるが、通常の場合は 2%程度りである。それに対し実験結果の空隙率は 0.29%～3.11%となり、概ね良好な空気量であったことがわかる。なお、アルキメデス法で得られた空隙率は、エントラップドエアだけでなく、毛細管空隙など微細な空隙を含めた空隙率のため大きくなった。X 線 CT では微細な空隙を把握できないという欠点があることが確認された。一般的な骨材率は 60%～70%であるが、実験結果は 51.2%～68.2%と、一般的な骨材率にかなり近い傾向にあり、適切な量の骨材が使われたことがわかった。これらのことから今回試験を行った供試体は、健全なコンクリートであると評価できる。

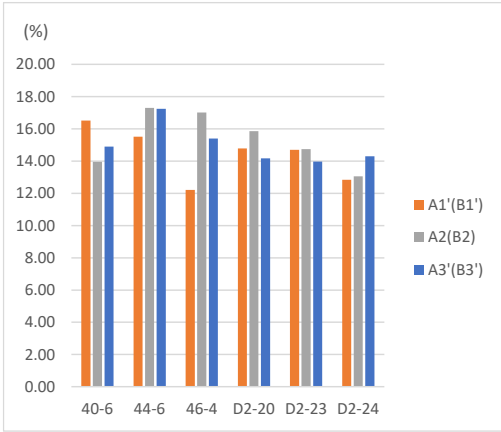
4. まとめ

本試験の各結果を総合的に評価すると、開削および潜函の工法の違いに関係なく良好なコンクリートの性質を有していることがわかった。すなわち、潜函工法は背面側、開削工法は軌道面側の塩分濃度が 20(kg/m³)前後程度の高い結果となった理由は、施工不良による材料の低質化が原因ではないと判断ができ、外的要因が影響していると結論づけられる。

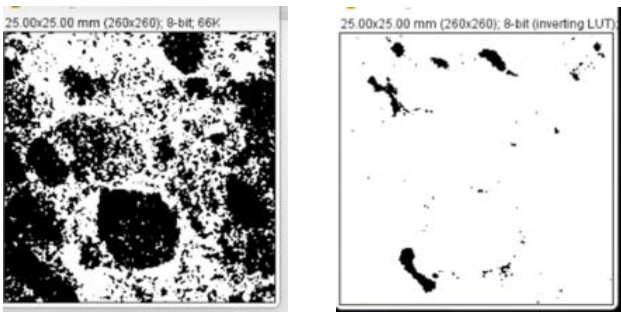
本研究結果より、長期間使用された構造物の健全性を評価するには、塩化物イオン濃度分析、アルキメデス法、X 線 CT 画像解析は有効であることがわかった。



図－1 見掛けの拡散係数



図－2 空隙率



図－3 二値化処理 (a) 骨材率 (b) 空隙率

表－2 3DX 線による空隙率、骨材率

骨材率 (%)	A1'	A2	A3'
40－6	60.2	51.2	62.5
46－6	61.2	54.2	68.2
46－4	67.3	63.3	67.1
	B1'	B2	B3'
D2－20	62.1	58.5	59.0
D2－23	66.0	62.3	65.3
D2－24		65.6	67.2
平均値		62.4	
空隙率 %	A1'	A2	A3'
40－6	2.40	1.55	1.80
44－6	2.48	2.62	1.10
46－4	0.294	1.66	1.71
	B1'	B2	B3'
D2－20	1.98	3.11	2.99
D2－23	0.979	2.29	0.984
D2－24		0.715	1.03
平均値		1.75	

参考文献

1) 岡田清, 六車熙, “コンクリート工学ハンドブック”, 朝倉書店, p.607