令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会

地下鉄箱型トンネルの見掛けの拡散係数を用いた塩害劣化予測に関する考察

メトロレールファシリティーズ　正会員　○渡辺　貞之

メトロレールファシリティーズ　関口　恵生

東京地下鉄　諸橋　由治

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町駅は，荒川の河口に近接する塩害地域に建設され53年が経過している．昨年度軌道面と背面における塩化物イオンの浸透性を比較する目的で各種調査結果を報告 [1)] したが，ここでは見掛けの拡散係数に着目して劣化予測を行った結果を報告する．

２．東西線南砂町駅改良工事の概要及び調査内容

南砂町駅は東京湾の運河に接続する洲崎川の河川に掛る位置に，東陽町側は開削工法，西葛西側は潜函工法で建設されている．昨年度の調査結果では，開削工法部分は軌道面側の漏水箇所で高い塩分濃度を示し，背面側は鋼矢板を残置し側壁と一体化しているためか，ほとんど塩分の浸透を確認できなかった．一方，潜函工法部分は製作時の品質管理がよいこともあり函体部分では漏水が少なく軌道面側で塩分の浸透が少なかった．背面側では長期にわたり塩分を含んだ地下水に接していたため高い塩分濃度を示した．

今回は塩分濃度が高かった開削工法軌道面と潜函工法背面に着目して，塩化物イオンの浸透勾配から見掛けの拡散係数を求め将来予測を行った．

３．コンクリートの配合と塩化物イオン濃度分布

コンクリートの種類は開削工法が普通ポルトランドセメント，潜函工法が早強ポルトランドセメントを使用し設計基準強度及びW/Cは共に 210kg/cm^2，53%であった．これから鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度を求めると，開削工法が 1.81kg/m^3，潜函工法が 1.43kg/m^3 であった．またコンクリート標準示方書設計編(2017)より求められる塩化物イオン拡散係数の特性値 Dk は 0.617 cm^2/年であった．

開削工法の軌道面と潜函工法の背面における深さ方向毎の塩化物イオン濃度分布を図-1 に示す．

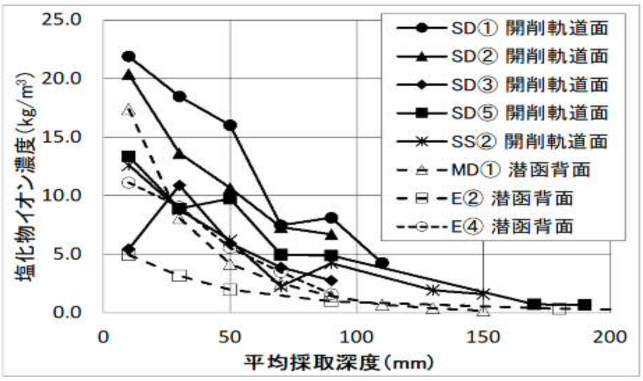


図-1　塩化物イオン濃度

表面位置の塩化物イオン濃度は開削軌道面，潜函背面ともに 5~22kg/m^3 と高かった．一方深さ約 10cm 前後の鉄筋位置を比較すると開削軌道面は 5kg/m^3 程度と高いが,潜函背面は 2kg/m^3 以下で低かった．

４．見掛けの拡散係数の算出

コンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数は，土木研究所が公開しているコンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シート [2)] を利用して算出した．

$$C(x,t) = \mathrm{Co}\left\{1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{\mathrm{Dc}\cdot \mathrm{t}}}\right)\right\} + Ci \quad \cdots(1)$$

ここに，コンクリート表面からの距離がx (cm)，竣工後の経過年数が t 年のときの塩化物イオン量が$C(x,t)$(kg/m^3)，表面塩化物イオン量がCo(kg/m^3)，初期塩化物イオン量がCi(kg/m^3)，見掛けの拡散係数が Dc(cm^2/年)，誤差関数erf ，ただし

$$erf(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \quad \cdots(2)$$

塩分濃度分析結果から簡易分析シートで求めた見掛けの拡散係数，平均的な鉄筋位置（被り深さ 100mm）での 2021 年と 40 年後の 2061 年の塩化

キーワード　箱型トンネル，塩化物イオン濃度，見掛けの拡散係数，塩害劣化予測

連絡先　〒103-0014　東京都中央区日本橋蛎殻町 1-36-5　株式会社 メトロレールファシリティーズ 土木部 TEL03-5623-5717

© Japan Society of Civil Engineers

物イオン濃度およびその増加率を表-1 に示す．

表−1 鉄筋位置での塩化物イオン濃度の将来予測

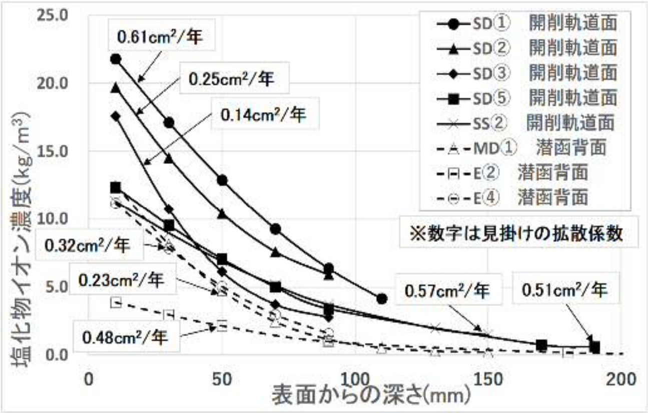
種類	試料	Co (kg/m3)	Dc (cm^2/年)	鉄筋被り (mm)	塩化物イオン濃度(kg/m^3) 2021年 a	2061年 b	比率 b/a
開削軌道面	SD①	24.10	0.61	100	5.26	8.49	1.61
	SD②	18.00	0.25	100	5.08	6.79	1.34
	SD③	19.10	0.14	100	2.31	3.00	1.30
	SD⑤	13.30	0.51	100	3.08	4.76	1.55
	SS②	11.60	0.57	100	3.29	4.81	1.46
	平均	17.22	0.42	100	3.80	5.57	1.45
潜函背面	MD①	14.70	0.23	100	0.86	2.09	2.43
	E②	4.20	0.48	100	0.92	1.44	1.57
	E④	12.90	0.32	100	0.91	2.40	2.64
	平均	10.60	0.34	100	0.90	1.98	2.21

Co:表面塩化物イオン濃度，Dc:見掛けの拡散係数

見掛けの拡散係数は，開削工法軌道面で 0.14〜0.61cm^2/年，潜函工法背面で 0.28〜0.48cm^2/年であった．潜函工法の値が小さいことから塩化物イオンが拡散しにくいコンクリートであることを示した．

また拡散係数の特性値 Dk と比較すると，最大値はほぼ同じで最小値は 4 倍程度安全側の値であった．53 年間塩害環境下にあったコンクリートにも適用できる式であると評価できる値を示した．

平均鉄筋位置での塩化物イオン濃度は，2021 年を基に 2061 年の推定値を求めると，開削軌道面は 3.80kg/m^3 から 5.57kg/m^3 へ 1.45 倍，潜函背面は 0.90kg/m^3 から 1.98kg/m^3 へ 2.21 倍となった．

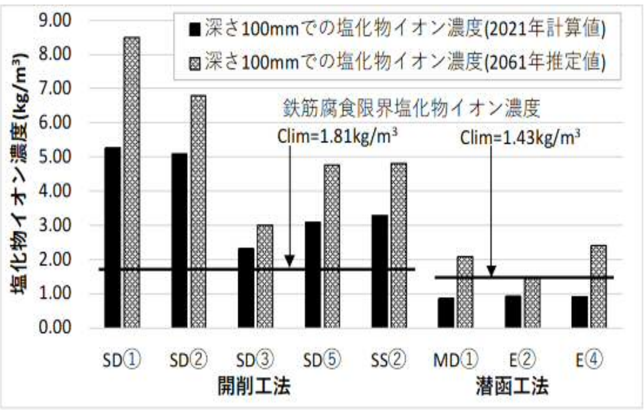


図−2 2021 年の塩化物イオン濃度の計算値

2021 年の塩化物イオン濃度の計算値を求めた結果を図-2 に示す．図-1 と比較して拡散勾配が鮮明な曲線を示し，見掛けの拡散係数が大きいほど曲率が直線に近い形で表れている．

5．鉄筋位置での塩化物イオン濃度の将来予測

見掛けの拡散係数を基に平均的な鉄筋位置での 2061 年の塩化物イオン濃度を推定し塩害の将来予測を行った結果を図-3 に示す．開削工法の 5 試料全てが 2021 年ですでに鉄筋腐食限界塩化物イオン濃度を超えている．鉄筋の腐食判定はⅡ〜Ⅲランクで，すでに損傷が発生している．このエリアでは計画的な塩害補修工事を実施している．潜函背面は表面の塩化物イオン濃度が高いが，平均的な鉄筋位置ではまだ余裕があり 40 年後には鉄筋腐食限界塩化物イオン濃度を超えることが予測される．現在の鉄筋は腐食ランクがⅠ〜Ⅱですぐに損傷が発生する状態ではないが，40 年後には健全度の調査と適切な塩害補修対策が必要になると予測される．今回の現場では改良工事のため撤去した壁の調査であるが，類似する環境では試料を採取して健全度を把握する必要があると考えられる．



図−3 鉄筋位置での塩化物イオン濃度の将来予測

6．まとめ

① 築 53 年のコンクリートを使用し，見掛けの拡散係数を用いて鉄筋位置における塩化物イオン濃度の将来予測を試みた結果，40 年後には塩分濃度が 1.45 倍から 2.21 倍となることが予測できた．

② 開削工法軌道面はすでに補修工事を実施しているが，潜函工法背面は将来的に塩害対策を講じる必要があると推測される．

③ 見掛けの拡散係数による塩分濃度の将来予測からわかる鉄筋位置での塩分濃度は，塩害対策計画の一つの手法として利用できることがわかった．

参考文献

1) 中村幸江, 諸橋由治ほか : 地下鉄箱型トンネルの軌道面及び背面における塩分浸透性に関する考察(その１，２)令和 4 年度土木学会 第 77 回年次学術講演会論文概要集Ⅴ−164, Ⅴ−165

2) 古賀裕久, 河野広隆 : コンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易分析シートを用いた塩害劣化予測の実用性検証, 土木技術資料 46-4(2004)