

都市高速道路のコンクリート橋脚における中性化が塩化物イオンの拡散に及ぼす影響

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○河本 菜瑞
 名古屋高速道路公社 正会員 鷺見 高典
 名古屋高速道路公社 山下 章
 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 梅原 秀哲

1. はじめに

凍結防止剤が散布される都市高速道路のコンクリート橋脚において塩化物イオンの見かけの拡散係数を求めると、標準的な値の $1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ ($0.032 \sim 3.154 \text{ cm}^2/\text{year}$)¹⁾ を超えるものが多くあり、点検からは中性化の進行が確認されている。このため、見かけの拡散係数を $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 以上のもの(以下「-6 乗以上」とする)と、 $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ 未満のもの(以下「-6 乗未満」とする)に二分して中性化速度係数に着目し、これらの関連性を明らかにした。

2. 塩化物イオン濃度と中性化深さの測定

調査を行ったコンクリート橋脚は 1973～1991 年に建設され、調査時の供用年数は 13～31 年であった。調査は 62 基のコンクリート橋脚の 160 箇所を梁部で実施された。

塩化物イオン濃度測定用の試料は、梁部の雨水などの流下跡、浮き・はく離等の塩化物イオンが侵入しやすいと思われる箇所から採取した。試料の採取方法は JSCE-G573-2003 に準拠し、深さ 1cm, 3cm および 5cm における塩化物イオン濃度を主に JCI-SC5 に準拠して測定した。また、中性化深さの測定は、塩化物イオン濃度測定用の試料採取位置近傍で、主に、はつり法によりフェノールフタレインを用いて変色させ、表面から変色部までをノギスなどで測定した。

3. 見かけの拡散係数と中性化速度係数

見かけの拡散係数は、式(1)²⁾を用いて試料の採取箇所ごとに測定結果から導出した。そして、-6 乗未満あるいは -6 乗以上によって中性化速度係数を分類し、これを統計解析するものとした。

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right\} \quad (1)$$

$C(x, t)$: 深さ $x(\text{cm})$, 時刻 $t(\text{s})$ における塩化物イオン濃度(kg/m^3)

D : 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm^2/s)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度(kg/m^3)

erf : 誤差関数

次に、中性化速度係数は、式(2)²⁾を用いて中性化深さの測定位置ごとに測定結果から求めた。

$$y = A\sqrt{t} \quad (2)$$

y : 中性化深さ(mm) A : 中性化速度係数($\text{mm}/\text{year}^{1/2}$)

t : 中性化期間(year)

見かけの拡散係数によって -6 乗以上あるいは -6 乗未満に分類した試料の採取箇所数と調査時の供用年数による分布を図 1 に示す。見かけの拡散係数は、41 基 80 箇所が -6 乗以上、45 基 80 箇所が -6 乗未満であった。-6 乗以上、-6 乗未満ともに供用年数 25～26 年のものが全体の約半数を占めている。また、供用年数 27 年以上のものは -6 乗以上では約 35%、-6 乗未満では約 26%で、-6 乗以上の方が約 10%多い。

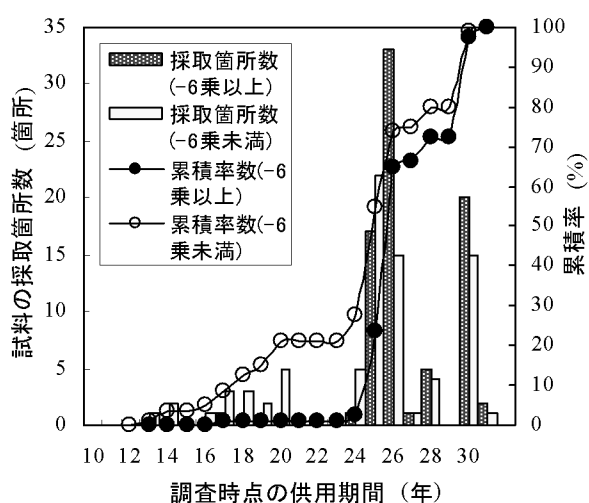


図 1 調査実施橋脚の供用年数とその基数

キーワード コンクリート橋脚, 塩害, 中性化, 詳細調査, 見かけの拡散係数, 中性化速度係数

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院 TEL052-732-2111

4. 見かけの拡散係数による中性化速度係数の分析

-6 乗未満について、中性化速度係数 A の頻度分布表を表 1 に、頻度分布図を図 2 a) に示す。表 1 より、 A の最頻値は $1.300\text{mm/year}^{1/2}$ に現れ、これより大きいものが 50% 以上を占めることから、対数

正規分布に類似していると思われる。また、対数正規分布は保全時間の分布などをうまく表現できることから、図 2 には対数正規分布に従った場合の対数正規分布曲線をあわせて表示した。ここで、対数正規分布として扱えるか χ^2 適合度検定を行った。表 3 にこの結果を示す。表 3 からは A の頻度分布が対数正規分布に従うという仮説は有意水準 5% で棄却できない、すなわち対数正規分布に従うといえる。

同様にして、-6 乗以上についても頻度分布を作成し、検定を行った。このとき、頻度分布表および頻度分布図を表 2、図 2 b) に、検定結果を表 3 に示す。表 3 より、-6 乗以上についても A の頻度分布は対数正規分布に従うといえる。

以上のことから、-6 乗未満および-6 乗以上について A の頻度分布は同じ分布形状をとるため、同じ基本統計量により比較することも可能である。そこで、両者の A の基本統計量を表 4 に示す。表 4 より A の平均値を比較したところ、-6 乗未満の $1.677\text{mm/year}^{1/2}$ に対して、-6 乗以上では $2.411\text{mm/year}^{1/2}$ と約 1.4 倍の値となった。これより、塩化物イオンの見かけの拡散係数が大きいほど A は大きくなると言え、コンクリートの中性化が進んだことで塩化物イオンの移動や濃度の濃縮が生じた可能性も考えられる。また、図 2 より累積分布 90% の中性化速度係数 A を比較すると、-6 乗未満 ($A=2.849\text{mm/year}^{1/2}$) よりも-6 乗以上 ($A=3.865\text{mm/year}^{1/2}$) では約 1.4 倍となった。-6 乗以上について累積分布 90% の値を基準にとると、中性化速度係数が $3.865\text{mm/year}^{1/2}$ を超えると見かけの拡散係数が $1\times 10^{-7}\text{cm}^2/\text{s}$ を超えるため、中性化の影響も考えられる。

5. まとめ

拡散係数の大小に関わらず中性化速度係数の分布は対数正規分布に従い、拡散係数が-6 乗以上では-6 乗未満に比べ中性化速度係数が約 1.4 倍の値となることが確認できた。これより、見かけの拡散係数が大きいほど中性化速度係数は大きくなる傾向を示すと言え、中性化が進行したことで塩化物イオンの移動や濃度の濃縮が生じた可能性がある。

〔参考文献〕

- 1)土木学会コンクリート委員会：コンクリート技術シリーズ No.57 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕に準拠した維持管理マニュアル（その1）及び関連資料，（社）土木学会，p.75，2003
- 2)（社）土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，（社）土木学会，pp.92-93，pp.102，pp.111-114，2008

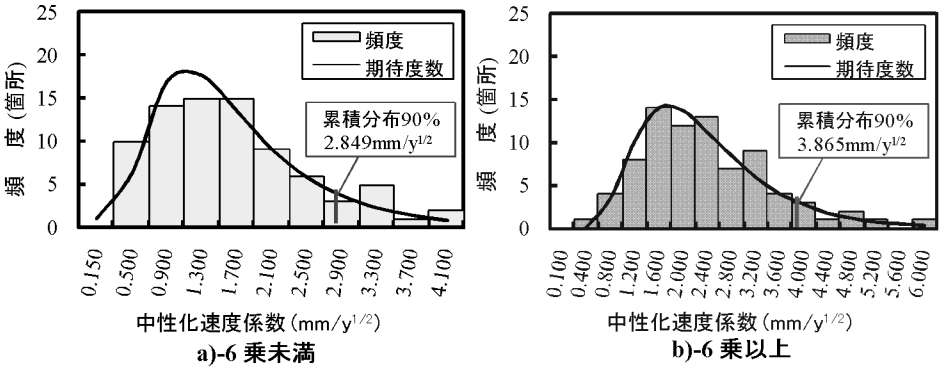


図2 A の頻度分布と期待度数分布

表 1 A の頻度分布表 (-6 乗未満)

階級限界 ($\text{mm}/\text{y}^{1/2}$)	階級値 ($\text{mm}/\text{y}^{1/2}$)	観測度数 (箇所)	相対度数 (%)	期待度数 (箇所)	χ^2 値
0.300 ~ 0.700	0.500	10	12.5	6.5	1.865
0.700 ~ 1.100	0.900	14	17.5	17.0	0.528
1.100 ~ 1.500	1.300	15	18.8	17.8	0.434
1.500 ~ 1.900	1.700	15	18.8	13.6	0.153
1.900 ~ 2.300	2.100	9	11.3	9.1	0.002
2.300 ~ 2.700	2.500	6	7.5	5.8	0.004
2.700 ~ 3.100	2.900	3	3.8	3.7	0.122
3.100 ~ 3.500	3.300	5	6.3	2.3	3.184
3.500 ~ 3.900	3.700	1	1.3	1.4	0.136
3.900 ~ 4.300	4.100	2	2.5	0.9	1.289
合 計		80	100.0	78.3	7.835

表 2 A の頻度分布表 (-6 乗以上)

階級限界 ($\text{mm}/\text{y}^{1/2}$)	階級値 ($\text{mm}/\text{y}^{1/2}$)	観測度数 (箇所)	相対度数 (%)	期待度数 (箇所)	χ^2 値
0.200 ~ 0.600	0.400	1	1.3	0.2	2.894
0.600 ~ 1.000	0.800	4	5.0	3.6	0.049
1.000 ~ 1.400	1.200	8	10.0	10.2	0.468
1.400 ~ 1.800	1.600	14	17.5	14.0	0.000
1.800 ~ 2.200	2.000	12	15.0	13.7	0.207
2.200 ~ 2.600	2.400	13	16.3	11.3	0.266
2.600 ~ 3.000	2.800	7	8.8	8.4	0.247
3.000 ~ 3.400	3.200	9	11.3	6.0	1.507
3.400 ~ 3.800	3.600	4	5.0	4.1	0.004
3.800 ~ 4.200	4.000	3	3.8	2.8	0.015
4.200 ~ 4.600	4.400	1	1.3	1.9	0.408
4.600 ~ 5.000	4.800	2	2.5	1.3	0.444
5.000 ~ 5.400	5.200	1	1.3	0.8	0.031
5.400 ~ 5.800	5.600	0	0.0	0.6	0.563
5.800 ~ 6.200	6.000	1	1.3	0.4	1.018
合 計		80	100.0	79.2	8.119

表 3 A の分布に対する χ^2 検定結果

分 類	自由度	χ^2	$\chi^2_{0.05}$	棄 却
-6乗以上	12	8.119	21.026	できない
-6乗未満	7	7.835	14.067	できない

表 4 A に関する基本統計量

基本統計量 $A (\text{mm}/\text{y}^{1/2})$	平均値	中央値	備考
-6乗以上	2.411	2.306	42基80箇所
-6乗未満	1.677	1.550	46基80箇所