

# 実構造物のコンクリート表面における全塩化物イオン濃度に関する考察

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) フェロー ○青山 實伸, 武内 道雄

## 1.はじめに

飛来塩分や凍結防止剤が浸透した実構造物のコンクリート中の全塩化物イオン（以下、塩分）濃度の分布は、コンクリート標準示方書（以下、示方書）に示されて、フィックの拡散方程式（以下、拡散式）により近似される。拡散式中の表面における塩分濃度（以下、 $C_0$  値）と見かけの拡散係数（以下、 $D_{ap}$  値）の算出方法は、土木学会基準 JSCE-G573-付属書 B で図 1 のように示され、中性化深さ+10 mm 間の測定データを除外して求めるとしている。示方書に示される  $C_0$  値は、塩害環境の程度を表す指標であるが、中性化している場合に図 1 から求まる  $C_0$  値は、大きな値になり塩害環境を表す指標にならない。本稿は、補修時の事前調査で得られたデータを分析し、実構造物の塩分濃度分布状況を示し、中性化した場合の  $C_0$  値に代わる塩害環境を示す特性値に関して考察を行う。

## 2. 中性化に伴う塩分浸透分布の変化

著者らは、中性化領域に浸透した塩分は未中性化領域との境界付近に移動・濃縮し、未中性化領域で拡散する事象を、実構造物で確認している。この移動・濃縮は、中性化領域と未中性化領域との水分の吸水・逸散の性状の違いに起因し、外部の乾湿繰り返しの影響を受けて生じると考察している<sup>1)</sup>。そのため、中性化の進行に伴って、コンクリート中の塩分濃度分布は図 2 に示すように、塩分濃度のピークは未中性化領域との境界付近に生じ、ピーク的位置は中性化の進展に伴って次第に深くなっていくと推察している。また、中性化が進行しても  $C_0$  値に相当する濃度値は、当初の塩分濃度分布の  $C_0$  値と大きく変わらないと考えている。

## 3. 実構造物の塩分濃度分布の状況

### (1) 分析した塩分濃度分布データ

分析したデータは、北陸 3 県にある高速道路橋の凍結防止剤によって劣化した RC 中空床版橋（桁端部、張出し部）と下部工（橋台、橋脚）の補修時に実施した事前調査結果である。構造物の調査時の供用年数は平均 36 年（29～41 年）である。調査は、鉄筋腐食による浮き発生部より約 0.1 m 程度離れた位置で行なった。塩分濃度はコンクリート表面より 20 mm 間隔で深さ 100 mm までを基本にドリル法により試料採取し、JISA1154 による電位差滴定法で測定した。中性化深さは、塩分濃度試料の採取位置で実施したハツリ調査の切断面で測定している。

### (2) 塩分濃度分布パターンの分類

塩分濃度分布パターンは、図 3 の事例に示すように 3 種類に分類できる。Type1 は塩分濃度のピークが表面側にある分布、Type2 は中性化によってピークが内部に移動した分布、Type3 は分布形状が不規則で拡散式で回帰できない分布である。Type1 は中性化深さが小さいこと等が、Type3 は内部発生したひび割れ等の影響を受けていること等が、要因になっていると考える。

分析した全データの塩分濃度分布パターンの構成を図 4 に示す。データ数 139 の分布パターンの構成は、Type1 が 20 %、Type

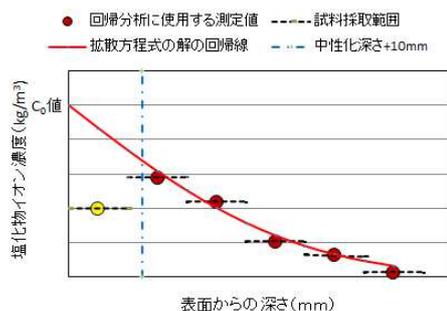


図 1 土木学会基準による  $C_0$  値の推定方法

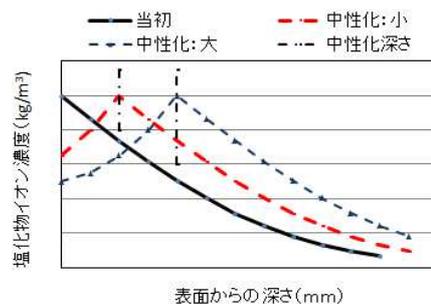


図 2 中性化に伴う塩分濃度分布の変化

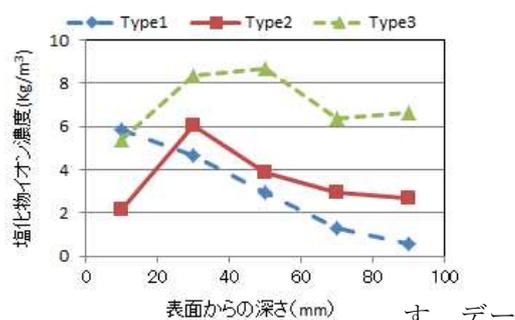


図 3 3 種類の塩分濃度分布パターンの事例

キーワード：塩害, 中性化, 塩分濃度分布, 表面における塩分濃度, 見かけの拡散係数

連絡先：〒920-0025 石川県金沢市駅西本町 3-7-1 電話 076-264-7872

2が73%，Type3が7%である。分布の多くは、塩分濃度のピークが内部に移動しているType2の分布パターンである。

(3) 中性化深さと見かけの拡散係数

全調査データの中性化深さの分布を図5に示す。中性化深さの平均値は15.3mmであり、一部は35mmを超えている。Type2で拡散式で回帰できたデータのD<sub>ap</sub>値の分布を図6に示す。分布は概ね対数正規分布を示し、平均値は6 cm<sup>2</sup>/年である。

4. 表面における塩分濃度に関する検討

拡散式によってC<sub>0</sub>値と深さ10mmの塩分濃度(C<sub>10</sub>値、試料20mm間隔)を求め、C<sub>0</sub>値/C<sub>10</sub>値の理論比を求めると1.1~1.6の範囲(D<sub>ap</sub>値、経過年数によって変化)に分布する。Type1およびType2のC<sub>0</sub>値/測定最大(C<sub>max</sub>)値の比の構成分布を求め図7に示す。C<sub>0</sub>値/C<sub>max</sub>値の比は、Type1では概ね理論比1.1~1.6の範囲に分布するが、Type2の比は1.6を超えて2.4程度まで広範囲に分布し、C<sub>0</sub>値は塩害環境の程度を適切に示さないとと言える。

Type2は、中性化に伴って塩分が移動濃縮する事象を伴うため、塩害環境をどの位置で評価すればよいか検討する。検討位置は、“測定最大値の試料採取範囲の表面側”と“中性化深さ”の2ケースで行なう。まず、“C<sub>max</sub>の試料採取範囲の表面側”位置で回帰式から塩分濃度(C<sub>max-10</sub>値)を算定し、C<sub>max-10</sub>値/C<sub>max</sub>値の比を求め、その分布の構成比率を図7に示す。この結果、C<sub>max-10</sub>値/C<sub>max</sub>値の比は理論比1.1~1.6の範囲に分布し、拡散式で算出した上述の理論比の範囲に一致する。次に中性化深さ位置に着目して回帰式から塩分濃度(C<sub>car</sub>値)を算定しC<sub>car</sub>値/C<sub>max</sub>値の比を求め、その分布の構成比率を図7に示す。C<sub>car</sub>値/C<sub>max</sub>値の比は1.6を超える部分が増える。以上から、“C<sub>max</sub>値の試料採取範囲の表面側”位置の塩分濃度は、概ね外部の塩害環境と同じ値を示すと推察する。

なお、Type1のC<sub>0</sub>の平均値は7.1 kg/m<sup>3</sup>、Type2のC<sub>max-10</sub>の平均値は7.2 kg/m<sup>3</sup>であり、ほぼ同じ塩害環境を示す値になっている。

5. 表面における塩分濃度相当値(C<sub>r</sub>値)の提案

中性化の影響によって表面部の塩分濃度が拡散式の回帰線より小さくなる場合は、“測定最大値(C<sub>max</sub>値)の試料採取範囲の表面側”位置の塩分濃度を“表面における塩分濃度相当値(C<sub>r</sub>値)”に置き換えることを提案する。C<sub>r</sub>値の概念図を図8に示す。C<sub>r</sub>値は、中性化のない初期の表面における塩分濃度(C<sub>0</sub>値)とほぼ同じ値になり、外部の塩害環境の程度を把握できる特性値になる。

表面被覆や断面修復等の補修設計等で将来の塩分濃度分布の予測が必要な場合は、図8の赤色実線で示す“C<sub>r</sub>値以深の塩分濃度分布の回帰線”を用いることを推奨する。この回帰線を用いると、より合理的な補修設計等の検討が可能になると考える。

【参考文献】

- 1) 青山實伸他：中性化した部位の塩化物イオン移動・濃縮現象に関する考察，第68回土木学会年次講演概要集，No.5，pp.965-970，2013

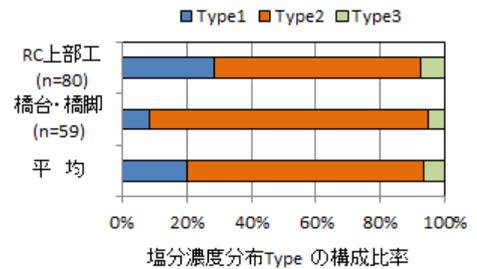


図4 塩分濃度分布パターンの構成

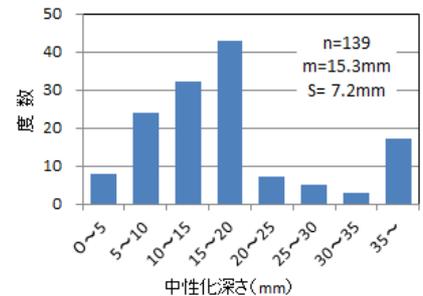


図5 全調査データの中性化深さの分布

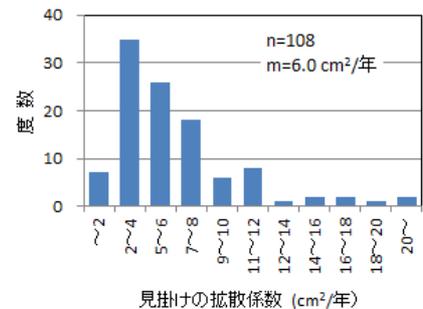


図6 データの見掛けの拡散係数の分布

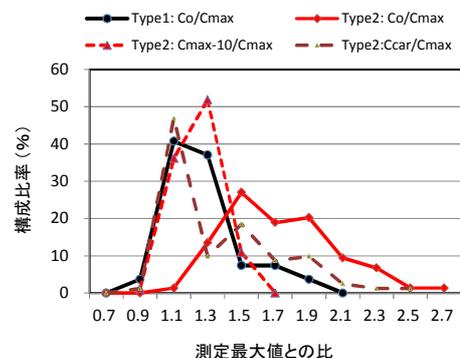


図7 Type1とType2のC<sub>0</sub>値/C<sub>max</sub>値の比およびType2のC<sub>max-10</sub>値/C<sub>max</sub>値とC<sub>car</sub>値/C<sub>max</sub>値の比との構成比率

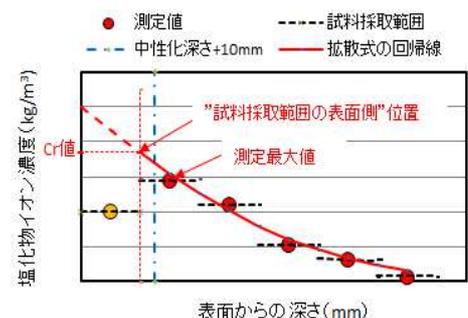


図8 表面における塩分濃度相当値(C<sub>r</sub>値)の概念図