

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

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

1. はじめに

除塩されていない海砂を含むコンクリートの中性化が進行すると、塩化物を固定しているフリーデル氏塩は分解し、塩化物イオン(以下、塩分)が解離し、濃度差拡散によって非中性化領域に移動・濃縮されるとされている¹⁾。この現象は、海砂が使用されていない中性化した部位で、外来塩分の浸透を受ける場合にも生じる²⁾。この部位では、水和作用が終了しており、塩分浸透に伴うフリーデル氏塩は生成しないと考える。

本文は、中性化した部位の塩分濃度分布や塩分移動実験の結果を示すとともに、中性化した部位の吸水および水分逸散過程の挙動を明らかにし、塩分の非中性化領域への移動・濃縮現象のメカニズムを考察する。

2. 凍結防止剤の影響を受けた部位の塩分濃度分布

凍結防止剤の浸透を受ける橋台部位(29年経過)より、秋季(11月)にコアを採取し、コア断面で観察した塩素のEPMA画像を図-1(上段)に示す¹⁾。画像のモルタル部に着目すると、中性化領域と非中性化領域の境界部と想定される付近に塩素濃度のギャップがあり、塩素濃度は境界部より内部に入った付近で最も高く、内部に向かって漸減している。図-1(下段)は、同じコアを深さごとに粉砕してJIS法によって測定した全塩分濃度の分布と、中性化深さの関係を示す。塩分濃度分布は凸形の形状をしていて、塩分濃度の最大位置はコア断面内での中性化の最大深さ付近にあると推定される。

3. 中性化した部位の塩分移動に関する実験

中性化の進行した鋼橋床版(35年経過)から採取し

たコア(径90mm)を用いた塩分浸透促進試験と自然曝露試験によって、塩分が中性化領域より未中性化領域に短期間で移動することを確認した実験結果を図-2に示す³⁾。実験は、塩分浸透促進試験によってコアに塩分を浸透させて塩分濃度分布を測定した後、塩分移動性を把握するための自然曝露試験(1, 3, 6ヶ月)を実施して、試験後に塩分濃度分布を測定した。図-2の塩分濃度分布の変化を見ると、表層部に浸透した塩分は、概ね3~6ヶ月の短い期間で非中性化領域に移動したことが解る。また、移動後の塩分濃度の最大値は、最大中性化深さの位置付近にある。

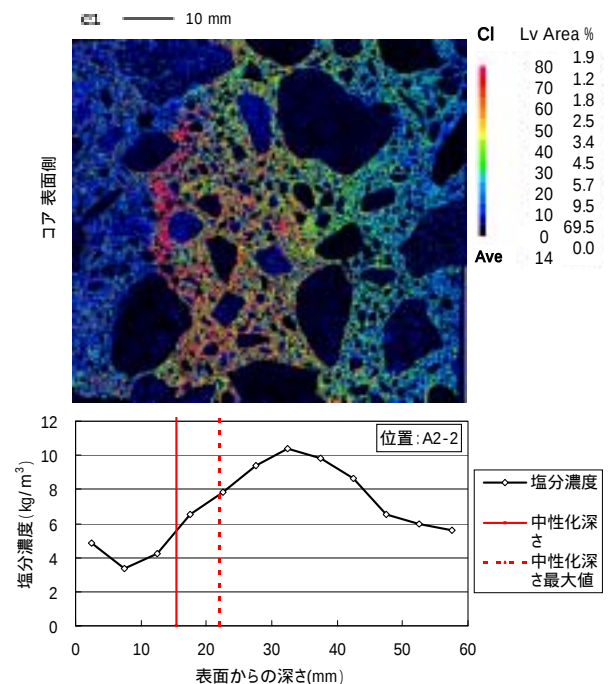


図-1 塩素のEPMA分析画像および同一コアの塩分濃度分布と中性化深さ

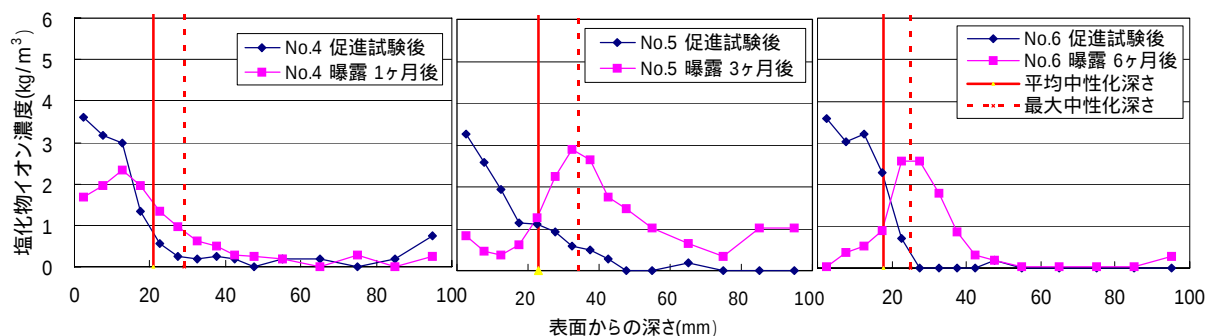


図-2 促進試験および自然曝露試験後の塩分濃度の変化

キーワード：塩害，中性化，塩分移動，塩分濃縮，吸水，水分逸散

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

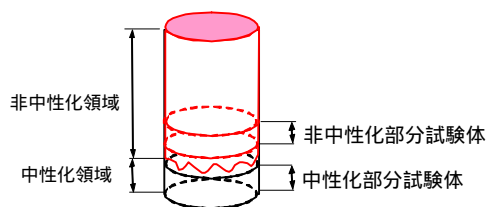


図-3 コアからの試験体の作成

表-1 各状態での密度 (g/cm³)

区 分	絶乾状態	気乾状態	飽状態和
中性化部分	2.462	2.477	2.545
非中性化部分	2.294	2.343	2.414

4. 中性化した部位の吸水・水分逸散の性状

中性化の進行した鋼橋床版(38年経過, セメント量 300kg/m³, W/C=0.51) から採取したコア(径 75mm) を用い, 図-3 に示すような中性化領域と非中性化領域からそれぞれ円盤状の試験体 3 体を作成して, JSCE-K571-2004 に準じた吸水試験, 恒温室(23℃)での乾燥試験を行って, 時間経過に伴う質量の変化を測定して密度の変化を求めた。各状態での密度を表-1 に示す。密度は, 中性化領域の試験体が非中性化領域のものに比べて大きくなっている。

飽和状態と絶乾状態の密度差を空隙と見なして, 吸水および水分逸散過程での飽和度を求め, 48 時間までの飽和度の変化を図-4 に示す。図より, 中性化領域では, 吸水過程で飽和度が 90% に達するのに半日程度を要するが, 水分逸散過程では内部空隙から水分が短時間に逸散する状態にある。逆に, 非中性化領域では, 吸水過程で短時間に内部空隙に水分が浸透して飽和状態近くに達し, 水分逸散過程では内部空隙中の水分が逸散しにくい状態になっていることが解る。

5. 中性化領域の塩分移動・濃縮現象のメカニズム

中性化領域では, 外部気象の乾湿繰り返しの影響を受けて吸水と水分逸散が生じ, 吸水過程では半日程度で高い飽和度になり, 乾燥過程では水分が短時間に中性化領域から逸散すると推定された。したがって, コンクリート表面に付着した塩分は, 水分に溶解すると比較的短時間にコンクリート内部に吸水されると考えられる。つぎに, 乾燥過程での水分逸散は, コンクリート表面から始まり, 時間の経過とともに次第に内部に向かって進んでいくと考えられる。この過程において, 水分に含まれる塩分は, 次第に内部に向かって濃縮されていくと考える。水分逸散が活発な時期には, 乾燥部分が中性化領域背面まで進み, 非中性化領域と

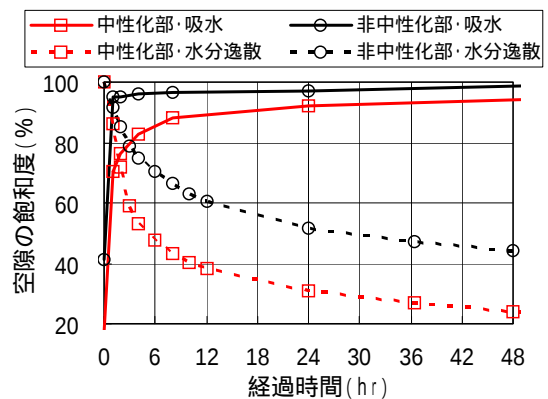


図-4 吸水および水分逸散過程での飽和度の変化

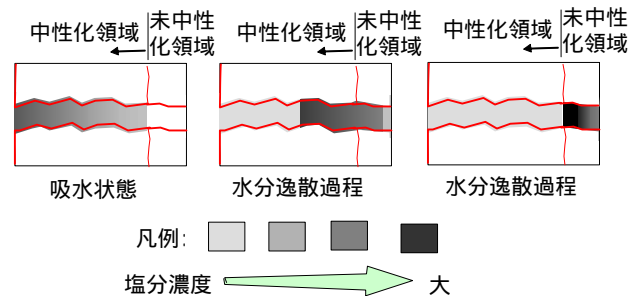


図-5 細孔での塩分移動・濃縮現象の模式図

の境界付近で塩分を含む水分が濃縮されると推定する(図-5 参照)。この吸水と水分逸散の繰り返しによって, 非中性化領域の境界面内側に順次濃縮されていくと推察する。海砂を含む中性化したコンクリートにおいても, 塩分は同じ現象で移動・濃縮すると考える。

6. まとめ

外来塩分によっても, 中性化領域に浸透した塩分は短期間に非中性化領域に移動・濃縮する現象が生じる。この現象は, 「中性化領域では短時間に水分逸散が生じ, 非中性化領域では短時間に吸水して水分逸散がしにくい」という性状の違いに起因していると考えられる。すなわち, 外部気象の影響を受けことによって生じる乾湿繰り返しの過程で, 塩分は中性化領域のコンクリート内部に容易に吸水され, 水分逸散過程において短期間に非中性化領域に移動して濃縮されると推察する。

【参考文献】

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術 '10【基礎編】： p.38
- 2) 青山 實伸 他：凍結防止剤による中性化した実構造物の塩分浸透特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.772-777, 2012.7
- 3) 青山 實伸 他：中性化の進行した道路構造物の塩化物イオン浸透特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.809-814, 2011.7