

塩化物イオン濃度と水酸化物イオン濃度の比が異なるモルタル供試体の電位

(株)富士ピー・エス 正会員 ○中村 文香 正会員 徳光 卓
デンカ(株) 正会員 佐々木 崇 正会員 七澤 章

1. はじめに

塩害を受けたコンクリート構造物は、塩分の浸透により塩化物イオン（以後、Cl⁻と略す）濃度が上昇した環境になっている。脱塩はコンクリート中の鋼材を陰極とし、コンクリート表面に電解質溶液と陽極を設置し通電することで、アニオンであるCl⁻をコンクリートから電氣的に排出する工法である。脱塩を行ったコンクリート構造物はCl⁻濃度が低下する一方、カチオンであるナトリウムイオンやカリウムイオン等のアルカリ金属イオンが残留するとともに、電解質溶液のカチオンが引き込まれるため、対となる水酸化物イオン（以後、OH⁻と略す）濃度が上昇する。アニオンによる不動態の破壊は鋼材周囲のOH⁻濃度の影響を強く受けることが知られており、Cl⁻濃度単独では定まらない。そこで脱塩後に残留するイオンが鋼材腐食環境に及ぼす影響を知るため、Cl⁻濃度とOH⁻濃度の比を変えたモルタル供試体を作成し、電位の測定を実施した。

2. 供試体の作成

供試体はφ50×100mmのモルタル円柱供試体とし、円柱の中心にφ3.6のPC鋼線を埋設した。

表-1 に供試体の水準を示す。7.5Na, 5.0Na, 2.5Na は塩害を受けたコンクリート構造物を想定し、塩化ナトリウムを用いて2.5~7.5kg/m³のCl⁻を添加した供試体である。5.0Ca はカチオン

の種類が電位に及ぼす影響を確認するため、塩化カルシウムを用いて5.0kg/m³のCl⁻を添加した供試体である。75%Cl, 50%Cl, 25%Cl は脱塩によるCl⁻とOH⁻の濃度比を想定して、添加する塩化ナトリウムと水酸化ナトリウムを合計70mol/m³とし、塩化ナトリウムの比率2.5Naに対し25~75%に変化させた供試体である。-2.5Na はナトリウムイオンのモル量が2.5Naと同量となるように水酸化ナトリウムを添加した供試体である。

使用材料を表-2 に、供試体の配合を表-3 に示す。供試体に用いたモルタルの品質は、スランプフロー試験によって15打フローが16±1cmとなるよう管理した。

表-1 供試体水準

| 供試体名 | 添加した塩化物イオン量(kg/m ³) | 添加した化合物(mol/m ³) | | | 備考 |
|---------|---------------------------------|------------------------------|------|-------------------|---|
| | | NaCl | NaOH | CaCl ₂ | |
| 7.5Na | 7.5 | 212.0 | 0 | 0 | |
| 5.0Na | 5.0 | 140.2 | 0 | 0 | |
| 5.0Ca | 5.0 | 0 | 0 | 70.2 | CaCl ₂ によって添加した塩化物イオン量が5Naと同じになるように製作した供試体 |
| 2.5Na | 2.5 | 0 | 0 | 70.1 | |
| Control | 0 | 0 | 0 | 0 | 化合物の添加を行わない |
| 75%Cl | 1.9 | 52.6 | 17.5 | 0 | 添加したNaCl, NaOHの合計モル量が70.1mol/m ³ となるように製作した供試体 |
| 50%Cl | 1.2 | 35.1 | 35.1 | 0 | |
| 25%Cl | 0.6 | 17.5 | 52.6 | 0 | |
| -2.5Na | 0 | 0 | 70.1 | 0 | NaOHによって添加したナトリウムイオン量が2.5Naと同じになるように製作した供試体 |

表-2 使用材料

| 使用材料 | 記号 | 密度(g/cm ³) | 備考 |
|--------|----|------------------------|-----------------------|
| 水 | W | 1.0 | 地下水 |
| セメント | C | 3.15 | 普通ポルトランドセメント(デンカ(株)) |
| 細骨材 | S | 2.61 | 砕砂(福島県東白川郡棚倉町産) |
| 高性能減水剤 | SP | 1.0 | ポリカルボン酸系減水剤(日本シーカ(株)) |

表-3 配合

| W/C (%) | 単位量(kg/m ³) | | | |
|---------|-------------------------|-----|------|---------|
| | W | C | S | SP |
| 40 | 240 | 600 | 1491 | 5.1~6.3 |

キーワード：脱塩、電位、塩化物イオン、水酸化物イオン

連絡先 〒970-1144 福島県いわき市好間工業団地16-1 (株)富士ピー・エス TEL0246-84-8700

3. 測定結果

3.1 供試体の[Cl⁻]/[OH⁻]

コンクリート構造物中の鋼材腐食発生は、一般的に Cl⁻と OH⁻のモル比[Cl⁻]/[OH⁻]の影響を受ける。このため、測定した電位は Cl⁻のモル量(以後、単に量と略す)と OH⁻量の比で整理した。

Cl⁻量は供試体作成に用いたセメントの塩素量と供試体に添加した Cl⁻量の和[Cl]_{total}として表し、電位差滴定法によって測定したセメント由来の全塩化物イオン量は供試体1体につき 0.081mol であった。

OH⁻量はセメントの pH より求めた OH⁻量と、供試体に添加した水酸化ナトリウムの OH⁻量の理論値の和[OH]_{theory}として模擬した。セメントに含まれる OH⁻量は、セメントと純水を重量比 1 : 2 で混合し、3 分間攪拌後 5 分間静置し、上澄み液の pH を測定し求めた。セメントに含まれる OH⁻量は供試体1体につき 0.013mol であった。

表-4 に各供試体の [Cl]_{total}/[OH]_{theory} を示す。供試体の [Cl]_{total}/[OH]_{theory} は 2.95~9.17 であった。

3.2. 電位測定結果

表-4 に電位の測定結果を、図-1 に供試体の電位と [Cl]_{total}/[OH]_{theory} の関係を示す。7.5Na, 5.0Na, 5.0Ca, 2.5Na, Control, -2.5Na の 6 水準は [Cl]_{total}/[OH]_{theory} が小さくなるにしたがって、電位が高くなる結果を示した。5.0Na と 5.0Ca は測定電位に大きな差は見られなかった。カチオンであるナトリウムイオンやカルシウムイオンは電気的中性条件を保つため、OH⁻および Cl⁻を対としてモルタル中に存在する。5.0Na と 5.0Ca は供試体に含まれるカチオンは異なるが、[Cl]_{total}/[OH]_{theory} は同じである。このことから、鋼材の電位はアルカリ金属イオンやアルカリ土類金属等のカチオンの種類ではなく、カチオンの量と価数に影響を受けると考えられる。

75%Cl, 50%Cl, 25%Cl の 3 水準は、電位のばらつきが大きかった。これは、塩化ナトリウムと水酸化ナトリウム両方を供試体に添加したため、水酸化ナトリウムによる鋼材の不動態被膜の形成を Cl⁻による不動態被膜破壊作用が阻害したと考えられる。

4. まとめ

7.5Na, 5.0Na, 5.0Ca, 2.5Na, Control, -2.5Na は [Cl]_{total}/[OH]_{theory} が小さくなるとともに、電位が高くなる傾向が見られた。75%Cl, 50%Cl, 25%Cl は電位にばらつきが出たが、今後電位が落ち着く可能性があるため一定期間ごとに電位を測定する。さらに、実際に脱塩した供試体の [Cl⁻]/[OH⁻] と電位の関係を測定し、今回の結果と比較を行う。

表-4 電位測定結果

| 供試体名 | Cl 量 (mol) | OH 量 (mol) | [Cl] _{total} /[OH] _{theory} | 電位 (V) |
|---------|------------|------------|---|--------|
| 7.5Na | 0.124 | 0.013 | 9.17 | -0.072 |
| | | | | -0.162 |
| | | | | -0.110 |
| 5.0Na | 0.110 | 0.013 | 8.11 | -0.092 |
| | | | | -0.051 |
| | | | | -0.113 |
| 5.0Ca | 0.110 | 0.013 | 8.11 | -0.096 |
| | | | | -0.102 |
| | | | | -0.025 |
| 2.5Na | 0.095 | 0.013 | 7.06 | -0.055 |
| | | | | -0.022 |
| | | | | -0.040 |
| Control | 0.081 | 0.013 | 6.01 | -0.058 |
| | | | | -0.011 |
| | | | | -0.029 |
| 75%Cl | 0.092 | 0.017 | 5.39 | -0.228 |
| | | | | 0.084 |
| | | | | -0.141 |
| | | | | -0.182 |
| | | | | -0.013 |
| | | | | -0.001 |
| 50%Cl | 0.088 | 0.020 | 4.30 | -0.309 |
| | | | | -0.211 |
| | | | | 0.024 |
| | | | | -0.251 |
| | | | | -0.033 |
| | | | | -0.034 |
| 25%Cl | 0.085 | 0.024 | 3.52 | -0.184 |
| | | | | 0.044 |
| | | | | -0.010 |
| | | | | -0.200 |
| | | | | -0.011 |
| -2.5Na | 0.081 | 0.027 | 2.95 | 0.110 |
| | | | | 0.270 |
| | | | | 0.164 |

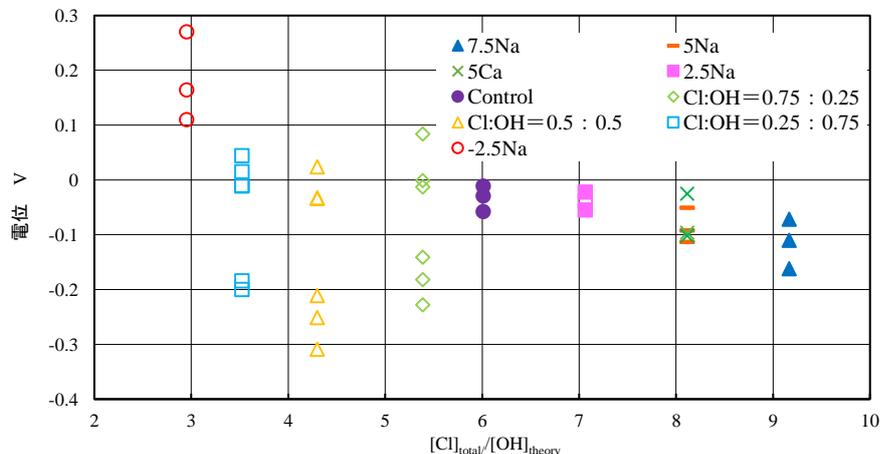


図-1 電位と [Cl]_{total}/[OH]_{theory} の関係