

V-274 毛管水の移動にともなう塩化物イオンの移動

大成建設技術研究所 正会員 丸屋 剛

1. まえがき

コンクリート中の塩化物イオンは、毛管水中を濃度拡散により移動したり、また、毛管水の移動とともに動くと考えられる。後者の移動機構の代表的な例としては、乾湿繰返しによるコンクリート表層部分の塩化物量の増加が挙げられるが、乾燥条件が厳しい環境あるいはコンクリートの組織構造が緻密である場合にも、毛管水の移動を考慮する必要がある。本報告は、促進炭酸化により組織構造を変化させたモルタル試験体中の塩化物量の分布等から、毛管水の移動にともなう塩化物イオンの移動について検討を加えたものである。

2. 毛管水の移動にともなう塩化物イオンの移動の考慮方法

毛管水の移動にともなう塩化物イオンの移動に関しては、前川ら¹⁾が解析的な検討を、秋田ら²⁾が実験および解析的な検討を行っている。また、下村ら³⁾はコンクリート中の水分の移動に関し、水蒸気と液状水の移動を分離している。ここではこれらの既往の研究を参考に、式(1)に示すように、塩化物イオンの流束を濃度勾配による拡散による流束分と毛管水の移流による流束分に分けた。毛管水の移流による流束は、コンクリート中の相対湿度勾配と細孔溶液中の塩化物イオン濃度に比例するものとした。

$$F_c = (-D_c \cdot \partial C_{pfree} / \partial x) + (-L_w \cdot D_u \cdot \partial RH_c / \partial x \cdot C_{pfree}) \quad (1)$$

ここに、 F_c ：塩化物イオンの流束（mol/cm²/day）， D_c ：塩化物イオンの見掛けの拡散係数（cm²/day）， C_{pfree} ：塩化物イオン濃度（mol/cm³）， D_u ：水分の見掛けの拡散係数（cm²/day）， RH_c ：コンクリート中の相対湿度（%）， L_w ：移流の影響を示す係数で0～1の値，である。

毛管水による移流の影響を示す係数である L_w は、その値が0のときは毛管水の移動がなく、したがって毛管水とともに起きる塩化物イオンの移動もないことを表す。また、 L_w が1のときは水分の移動はすべて毛管水の移動であることとなり、毛管水の移動にともなう塩化物イオンの移動は激しくなることを表す。

3. 塩化物イオンの移動に関するシミュレーション

3. 1 促進炭酸化実験

高炉スラグ微粉末と普通ポルトランドセメントを1:1で混合（重量比）した結合材を用いて、水結合材比50%、砂結合材比2.47のモルタル試験体を作製した。なお、試験体には単位量にして8.43kg/m³の塩化ナトリウムを練混ぜ水に溶かして加えた。試験体は図-1に示すような形状であり、5×10cmの1面のみから乾燥が起きるように他の5面をエポキシ樹脂でコーティングした。この試験体を28日間密封養生後、20℃60%RH10%CO₂および20℃60%RH0.06%CO₂の環境に、28日、91日および182日間暴露し、暴露終了後開放面から1cmごとに深さ5cmまで、全塩化物量および自由塩化物量を測定した。

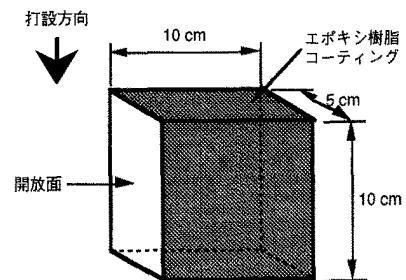


図-1 試験体の形状

3. 2 塩化物量の分布

図-2から図-4には20℃60%RH10%CO₂の促進炭酸化環境における塩化物量の分布と解析結果を暴露期間ごとに、図-5から図-7には20℃60%RH0.06%CO₂の一般環境における結果を示す。これらの図から明らかなように、促進炭酸化環境では開放面付近の塩化物量が大きく増加しており、2～3cm内部では逆に減少している。なお、小林ら⁴⁾も明らかにしているように、普通ポルトランドセメントを用いた場合には開放面より少し内部の位置で全塩化物量が最大となる傾向を示し、本報告の結果のように開放面付近の塩化物量が増加する傾向とは大きく異なる。

コンクリートの組織構造は促進炭酸化試験により緻密になるなど変化することが言われており、毛管水の移動にも影響を及ぼすことが考えられる。したがって、促進炭酸化環境では毛管水の移動の影響を大きくし（ $Lw=0.9$ ）、一般炭酸化環境ではその影響程度を小さくして解析を行った（ $Lw=0.1$ ）。一般炭酸化環境では実測値にもほとんど変化が見られず、解析結果も同様であった。促進炭酸化環境では実測値と解析値の一致はあまりよくないものの、開放面付近の全塩化物量が増加し少し内部で減少する傾向をシミュレートすることが可能であった。

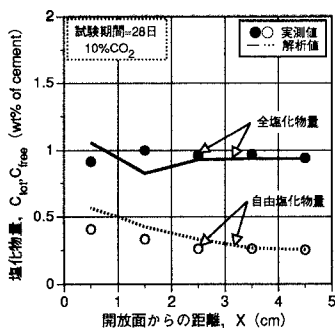


図-2 促進環境28日

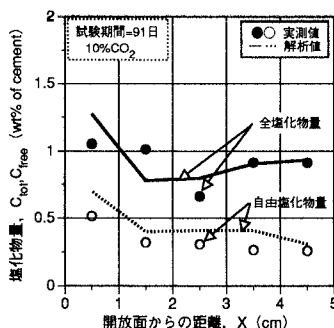


図-3 促進環境91日

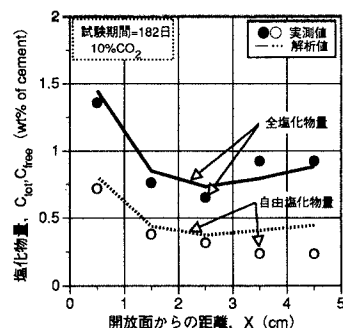


図-4 促進環境182日

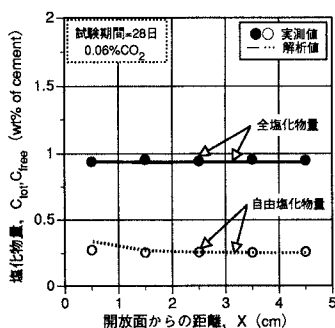


図-5 一般環境28日

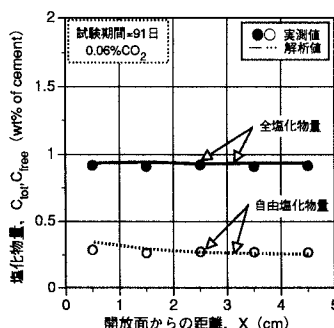


図-6 一般環境91日

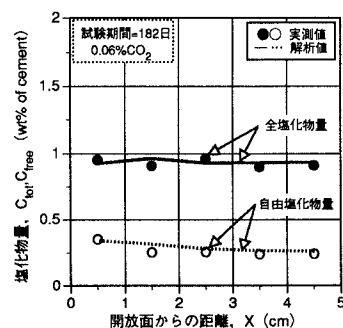


図-7 一般環境182日

4. まとめ

毛管水の移動とともに塩化物イオンも移動することを考慮して解析することにより、高炉スラグ微粉末と普通ポルトランドセメントを用いたモルタル試験体を促進炭酸化環境に暴露したときに示す、特徴ある塩化物量分布の傾向をよくシミュレートすることができた。これは、促進炭酸化により組織構造が緻密となり毛管水の移動も顕著になると仮定したことによる。

参考文献

- 1) 前川宏一・小澤一雅・國島正彦：複数の劣化因子から構成されるシステムの経時変化予測，コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム論文集，pp.39-46，1988。
- 2) H. AKITA and T. FUJIWARA, Water and salt movement within mortar partially submerged in salty water, Concrete Under Severe Conditions : Environmental and loading (Volume One), pp.645-654, 1994.
- 3) 下村 匠・小沢一雅・前川宏一：細孔容積分布密度関数に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15, No.1, pp.435-440, 1993。
- 4) 小林一輔・白木亮司・河合研至：炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物，硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮，コンクリート工学論文集，第1巻第2号，pp.69-82，1990年7月。