

竹中工務店 正会員 米 澤 敏 男
 U M I S T V. Ashworth
 U M I S T R. P. M. Procter

1. はじめに

海洋や海岸におけるコンクリート構造物中の鉄筋の塩害による腐食や海砂を使用した構造物中の鉄筋の腐食は、いずれもコンクリート中の塩素イオンによるものである。腐食が進行する度合いは、コンクリートの間隙水中の塩素イオンの量、コンクリートの含湿状態、かぶり厚さやコンクリートの品質等、多くの要因に影響される。コンクリート中の間隙水はコンクリートが中性化していない状態では多量に存在する水酸化カルシウムのためにその飽和水溶液のPHレベルすなわち12.6以上の高いアルカリ性を示す。従って鉄筋の腐食は、このようなアルカリ環境での塩素イオンによる腐食すなわち孔食タイプの腐食である。アルカリ環境中の鉄ないし鋼の孔食は、水溶液中の腐食の問題としても従来あまり研究されていない分野である。コンクリート中の鋼材の塩素イオンによる腐食は、水溶液中の鋼以上に腐食環境としての条件が複雑であり鋼材とコンクリートの界面で生じている腐食現象は、あまり知られていない。また腐食に直接関与する間隙水中の塩素イオンの量を知ることは、従来実験上困難であった。この研究は、LanguetやDiamondらによって開発された高圧圧力容器による間隙水抽出法を用いて間隙水を分析し、さらにモルタル中の鋼材の電気化学的挙動と鋼材表面の走査電子顕微鏡による観察から塩素イオンによってコンクリート中の鋼材が腐食するメカニズムについて考察したものである。

2. 実験

2.1 実験の概要：φ8mmの軟鋼（SR24相当）を22×22×100mmのモルタル中に埋設した供試体（図-1）をNaClを含む飽和Ca(OH)₂水溶液中に材令1日から4～5か月浸漬し、その間の腐食電位と分極抵抗を測定することにより電気化学的な挙動を調べた。水溶液中のNaClのレベルは、0, 3, 15%の三水準とした。またモルタル中の練り混ぜ水にも浸漬した水溶液と同濃度のNaClを加えた。浸漬試験終了後、供試体を割裂して埋設された鋼材を取り出し、その表面を走査電子顕微鏡（SEM）で調べた。図-1に示した供試体のモルタルの体積は間隙水の抽水には十分でないため、φ22mmのポリプロピレン棒を埋設したφ40×110mmの供試体を作成し、図-1の供試体の平均かぶり厚を保持しかつモルタルの体積を増加させた。この供試体を電気化学的測定と同一の浸漬条件におき間隙水組成の変化を調べた。

2.2 使用材料と実験方法：モルタルのw/cは50%，s/cは1.43であり、セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。φ8mmの軟鋼の表面はエメリーペーパーで800番まで研磨した。腐食電位測定用の照合電極には、飽和カロメル電極を使用した。分極抵抗は、10mV/minで10mVカソード分極し容量成分の影響が無視しうようになる分極曲線の直線部の勾配から求めた。走査電子顕微鏡観察にはISI社DS-130型を使用した。間隙水の抽出には内径4.3mm，外径16.8mmの二重シリンダー（写真-1）を使用した。間隙水の水酸イオンは硝酸による滴定により、塩素イオンは銀電極を用いた自動分析機により測定した。

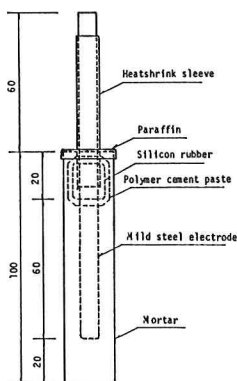


図-1 供試体

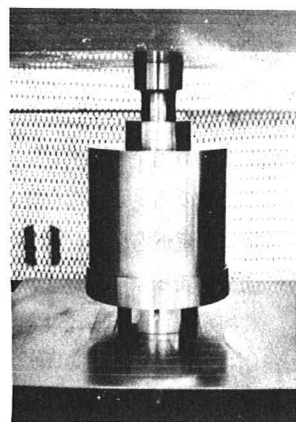


写真-1 間隙水抽出用高圧圧力容器

3. 結果と考察 モルタル間隙水中の水酸イオンと塩素イオンの濃度変化を図-2に示す。水酸イオンは凝結の経結頃から急増するが材令1日で脱型後、水槽に浸漬すると急速に減少し、水槽の水酸イオンのレベルすなわち飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のレベルに近づいた。この間塩素イオンも図示のような変化を示した。従って NaCl 3%の場合には Cl^-/OH^- 比が1~10の範囲で、15%の場合には20~40の範囲で変化したことになり、水溶液中の鋼ならば確実に腐食する厳しい腐食条件にあったことがわかる。この時のモルタル中の鋼材の腐食電位と分極抵抗(逆数で表示)の測定結果を図-3と図-4に示す。 NaCl を含まない供試体は不動態の挙動を代表するが、 NaCl 3%の場合も材令100日くらいまでは、これとほぼ同じ挙動を示し、不動態に近い状態を示した。従ってコンクリート中の鋼材は水溶液中のそれに比べてよく防食されていることになる。また15%の供試体は、最初活性であったものが、いったん不動態に近い状態にもどり20~

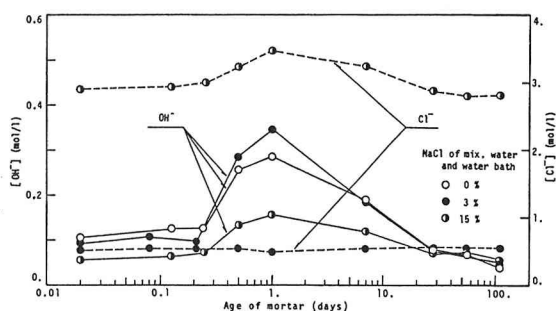


図-2 間隙水中の OH^- と Cl^- の濃度変化

40日から電位のフラクチュエーションと腐食速度の増加を示し典型的な孔食タイプの腐食挙動を示した。写真-2は NaCl を含まない供試体を浸漬試験の後割裂し、鋼材の表面をSEMで観察したものであり(下側が鋼材面),界面に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の板状結晶が集積していることを示している。これに対し写真-3は浸漬試験後の15%供試体の表面の一部である。丸みをおびた結晶の形状は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶解を示しており、孔食サイトでの鉄の溶解にともなう加水分解によるPHの低下を

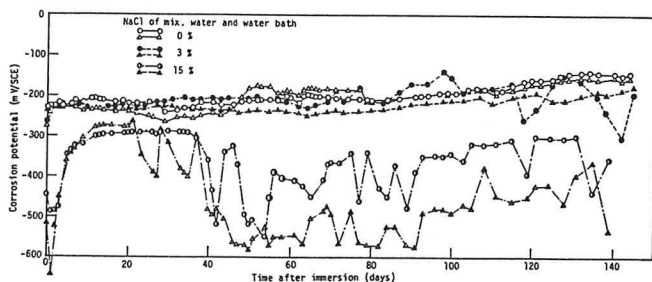


図-3 モルタル中の鋼材の腐食電位

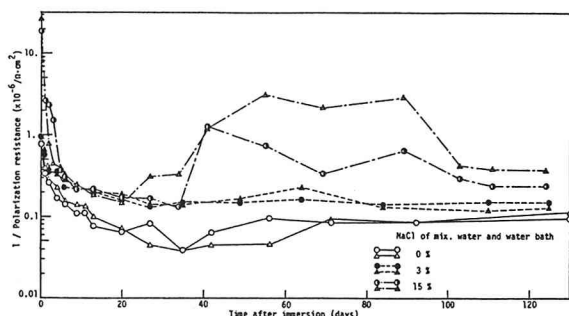


図-4 モルタル中の鋼材の分極抵抗

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ が緩衝していることを証明している。従ってコンクリート中の鋼がよく防食される機構の一つが、Pageにより推定されたようにこの緩衝作用によることが証明されたことになる。写真-

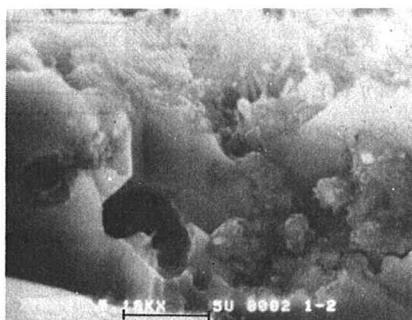


写真-2 鋼材とモルタルの界面(NaCl =0%)

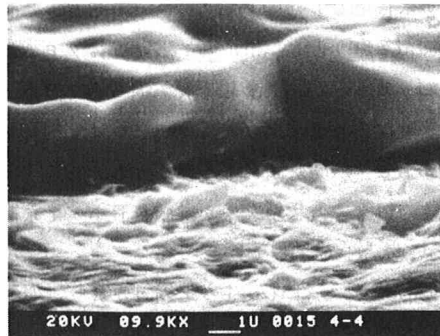


写真-3 鋼材とモルタルの界面(NaCl =15%)

の溶解によって鋼との界面に空隙が生ずることを示しており、孔食進展の機構から考えると、このような微細な空隙の形成が鉄筋の腐食進展のための重要な機構の一つであることを示唆している。

(文献) (1) C.C.R., Vol. 11 PP383等 (2) Nature, Vol. 258, 1975等