

## 飽和水酸化カルシウム水溶液を用いた鉄筋腐食試験の妥当性の検討

東京理科大学 学生会員 ○高村 晃司郎  
 東京理科大学院 学生会員 橋本 永手  
 東京理科大学 正会員 加藤 佳孝

## 1. はじめに

コンクリート中铁筋の腐食を電気化学的アプローチから捉えようとする既往の研究では、コンクリートの主成分である水酸化カルシウムの飽和水溶液（以下、飽和 CH 溶液）に鉄を浸せきさせた実験系を活用している場合が多い<sup>例えば 1),2)</sup>。ここで、自由塩化物イオン（2, 4kg/m<sup>3</sup>）を含有するコンクリートと、同じ塩化物イオン量を含んだ飽和 CH に浸せきした鉄筋の腐食速度を測定した結果を図-1 に示す。なお、コンクリート中の塩化物イオン濃度は、宮原らの文献<sup>3)</sup>により自由塩化物イオンに換算した。このように、コンクリート中に比べ、飽和 CH 溶液中鉄筋の腐食速度が大きくなる結果が得られた。既往の研究<sup>4)</sup>によれば、コンクリートの細孔溶液の主成分は CH のみではなく、水酸化カリウムや水酸化ナトリウムも多く含まれる。このことから、飽和 CH 溶液ではコンクリート中铁筋の電気化学的性状を十分に再現しきれていない可能性が考えられる。

コンクリート中铁筋は、コンクリートの細孔溶液が高アルカリであるため、不動態皮膜を形成し、腐食に対して強い抵抗性を有している。しかし、鉄筋付近に塩化物イオンが存在することにより、この不動態皮膜は破壊されることが既往の研究より明らかとなっている。この塩化物イオンによる不動態皮膜の破壊は、実験的に破壊の事実は確認されているものの、そのメカニズムについては諸説ある。メカニズムが明らかにならない以上、塩化物イオンとコンクリート中に存在する各種イオンが共存することにより、鉄筋の不動態皮膜の破壊が、促進または抑制される可能性も否定でき

そこで本研究では、コンクリートの細孔溶液を高圧下で抽出し、細孔溶液のイオン組成を明らかにした既往の研究を参考に、コンクリート中細孔溶液の模擬溶液（以下、模擬溶液）を作製し、CH 溶液との腐食電流密度の比較をした。また、塩化物イオンとそれぞれのイオンが共存する場合の腐食速度も検討した。

## 2. 実験概要

本研究では、実験 1 として飽和 CH 溶液と模擬溶液での腐食性状の違いを、実験 2 では細孔溶液中の各種イオンと塩化物イオンの共存が鉄筋腐食に与える影響を検討した。

本研究で想定したコンクリートの細孔溶液のイオン組成は川村<sup>4)</sup>らの研究に準じており、そのイオン組成は表-1 の通りである。溶液の作製は NaOH, KOH, CH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>（以下、NS）の各試薬を用いて作製した。ここで、鉄筋付近の酸素濃度が異なると、酸素拡散限界電流密度の発現がばらつき、腐食速度の違いの要因を溶液の組成に絞ることができなくなる。そのため、溶媒のイオン交換水は、あらかじめバブリングにより酸素を飽和状態にした。

供試体の概要を図-2 に示す。作製した模擬溶液および飽和 CH 溶液を 200ml ビーカーに入れ、鉄筋を浸せきさせた。使用した鉄筋は、φ16 のみがき丸鋼の片側端部に電気化学測定を行うためにリード線を接続し、絶縁テープで防水処理をした。また、隙間腐食を防ぐためにビーカーと接さないように固定した。データロガーを用いて経時的に自然電位を測定し、自然電位が安定

表-1 模擬溶液のイオン組成

陰イオン濃度 (mol/l)				陽イオン濃度 (mol/l)		
OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
0.38	0	0	0.002	0.249	0.168	0.005

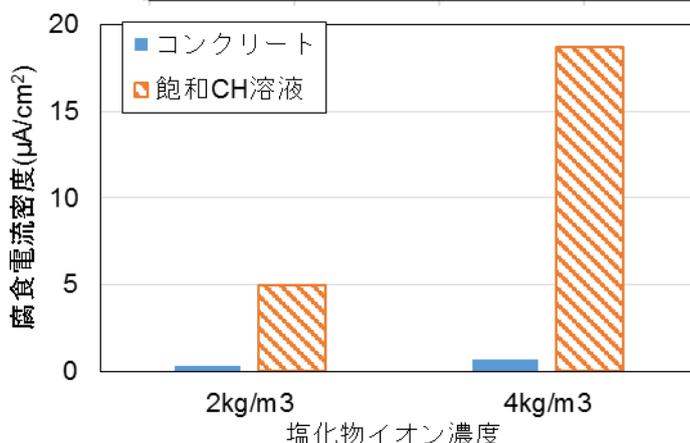


図-1 コンクリートおよび溶液の腐食電流密度

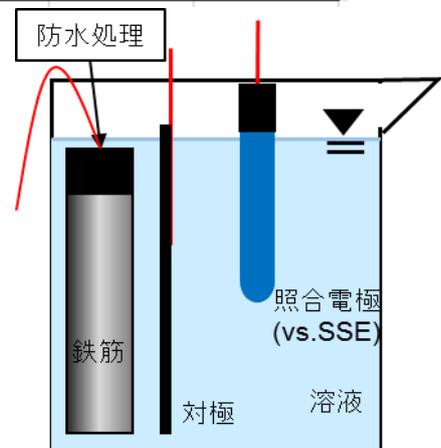


図-2 供試体概要

ない。

した時点でポテンショ・ガルバナスタットを用いて分

キーワード：細孔溶液，腐食速度，塩化物イオン，pH

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市市崎 2641 TEL 04-7124-1501 E-mail kojiro.0101@outlook.jp

極抵抗により腐食電流密度を測定した。また、分極抵抗法を適用する際の変換係数は、一般的な数字として0.026Vを用いた<sup>5)</sup>。

実験1では、模擬溶液および飽和CH溶液に加える塩化物イオン濃度は質量%濃度0, 0.05, 0.1, 1.0, 3.0, 5.0%とした。

実験2では、各種イオンの影響を把握するために、溶液の種類をNaOH, KOH, NaOH+KOH, NaOHあるいはKOHにCH+NSを加えたものと全てのイオンを含む模擬溶液の6種類と、飽和CH溶液を用いた。pHは飽和CH溶液に合わせるために12.5前後になるように調整した。塩化物イオン濃度は質量%濃度0, 0.1, 3.0%とした。

### 3. 実験結果および考察

実験1の結果を図-3に示す。縦軸に腐食電流密度、横軸に塩化物イオン濃度を示す。なお、模擬溶液については2個の溶液を準備し、それぞれを①, ②とした。この結果から、飽和CH溶液では、塩化物イオン濃度1%で腐食電流密度が増加しているとともに、目視でも腐食が確認できた。模擬溶液の場合、塩化物イオン濃度3%では腐食は確認できず、塩化物イオン濃度5%で腐食が確認できた。これは、模擬溶液ではpHが13.2程度であるのに対して、飽和CH溶液では12程度であるため、pHの大きい模擬溶液の方が不動態皮膜破壊への抵抗性が大きかったと考えられる。この結果から、実際のコンクリート中は、CH溶液よりも高いpHを有しており、不動態皮膜は相当に高い自由塩化物イオン濃度とならない限りは破壊されないと考えられる。

次に、実験2の結果を示す。各種溶液の腐食電流密度をまとめた結果を図-4に示す。凡例はそれぞれ塩化物イオン濃度を示す。

塩化物イオン濃度0%では、全ての溶液で腐食電流密度は低い値を示しており、目視でも腐食は確認できなかった。いずれの溶液もアルカリ環境下にあり、鉄筋は不動態状態にあったと考えられる。

次に、塩化物イオン濃度0.1%の結果を見ると、NaOH+KOHの溶液および飽和CH溶液では、その他の溶液と比較してやや大きい腐食電流密度を示しているものの、目視では腐食が確認できなかった。

次に、塩化物イオン濃度3.0%の結果を見ると、この結果から、腐食電流密度は溶液ごとに差はあるものの、いずれの溶液でも大きくなっている。また、目視の結果全ての溶液で腐食が確認できた。この結果から、今回の試験の塩化物イオン濃度の範囲では、溶液中のイオン性状の違いで腐食速度に大きな違いは生じない結果となった。今後、塩化物イオン濃度0.1%~3.0%の範囲で、さらに詳細な検討が必要と考えられる。

### 4. まとめ

本研究で得られた知見は次の通りである。

- 1) 今回の実験の塩化物イオン濃度では、コンクリート中に存在するイオン種で、腐食に特別な影響を与えるようなイオンは認められなかった。
- 2) 実際のコンクリート中の細孔溶液はpH12.5~13.5程度であるといわれている<sup>4)</sup>。今回の結果から、

pH13の溶液では海水中の塩化物イオン濃度を超える5%の場合も鉄筋の腐食は見られなかった。従って、pH12.5程度の飽和CH溶液ではコンクリート中の鉄筋腐食は再現しきれていないと考えられる。

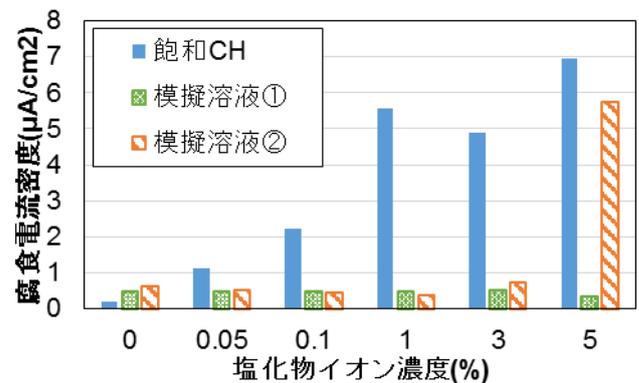


図-3 実験1結果

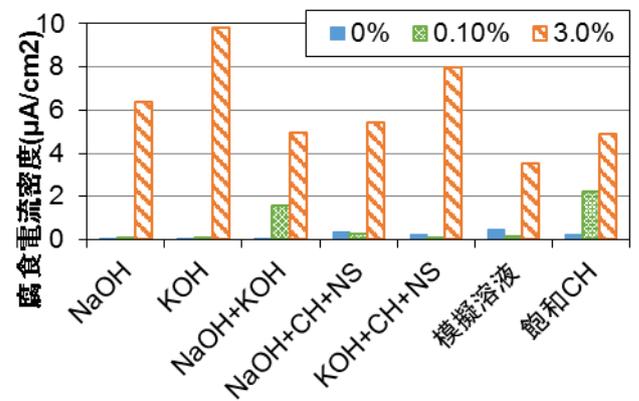


図-4 実験2結果

### 参考文献

- 1) 朝倉祝治, 中津川勲, 上原陽一: アルカリ性溶液中における鉄の腐食速度の分極抵抗法によるモニタリング, JHPI, Vol.26, No.5, pp.23-29, 1998
- 2) 石田健太, 武若耕司, 山口明信, 前田聡: 鉄筋腐食発生限界塩化物イオン量の定量評価に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1065-1070, 2007
- 3) 石田哲也, 丸屋剛, 宮原茂禎: 高炉スラグ微粉末とポゾランを使用したセメント硬化体の塩分平衡特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.673-678, 2005
- 4) 川村満紀, 谷川伸, 東風秀文: モルタル中の細孔溶液の組成からみた亜硝酸の鉄筋防錆効果, コンクリート工学論文集, 第8巻第1号, pp.75-84, 1997年1月
- 5) 村田誠四郎: 金属の腐食・防食 Q&A 電気化学入門編, 丸善, 腐食防食協会, 2002