

コンクリート中鉄筋のアノード分極特性に関する実験的検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○矢野 智大, 川畑 雅樹, 阿久根 航
鹿児島大学学術研究院 正会員 審良 善和, 武若 耕司, 山口 明伸, 小池 賢太郎

1. はじめに

コンクリート構造物の予防保全的な維持管理を効率的に行うためには、進展期までの腐食進行予測が不可欠である。既往の研究 1) では、電気化学的計測によってコンクリート中鉄筋の分極曲線を測定することで、腐食挙動の評価が試みられた。しかし、コンクリートで覆われた鉄筋においては、鋼材表面の腐食環境条件に不明な点が多く、腐食挙動を定量化するまでには至らなかった。そこで本研究では、コンクリート中鉄筋表面の環境を操作可能な腐食試験装置を作製し、コンクリート中鉄筋のアノード分極特性の把握を試みた。

2. 腐食試験装置

2. 1 腐食試験装置の概要

真空グローブボックスを用いてボックス内の環境を任意に操作することで、コンクリート中鉄筋表面の腐食環境を調整できる **写真 1** に示す装置 (以下、腐食試験装置) を作製した。腐食試験装置は、真空処理が可能で、また、空気や任意のガス用および溶液用の注水口を設けた。また、電気化学的計測を行うにあたり、外部からの電気信号を伝達するための電極端子を設置している。

今回はアノード分極特性を検討するため、装置内部には、後述する真空飽和处理に必要な溶液を注水するためのチューブと鉛照合電極を入れたビーカーを設置した。また、対極に用いるチタンメッシュ、鉛照合電極を入れたビーカーを設置し、3 mass% の NaCl 水溶液で満たした。

2. 2 鋼材表面環境の操作手法

アノード分極挙動を測定することを目的に、今回は以下の操作を行った。まず、分極曲線は鋼材全表面積での反応の平均的な値を測定するため、空隙や湿度等の影響を受ける。そこで、真空飽和处理によって鋼材表面を飽和状態にすることとした。方法は、真空度 150 Pa 以下で 3 時間維持した後、真空下で蒸留水を注水した。注水後、引き続き真空度 150 Pa 以下で 1 時間維持させた。その後、酸素を除去する目的で高純度窒素ガスをボックス内に注入し常圧に戻した。なお、この方法は、不動態等の鋼材表面の状態を変化させることのないように、それぞれの作業について時間設定したものである。

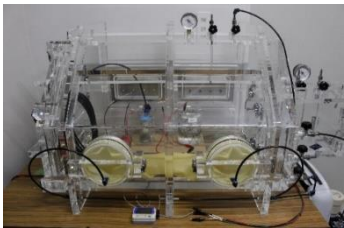


写真 1 試験装置

表 1 示方配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)		
		W	S	C
50	2.19	297	1305	595

3. 実験概要

3. 1 供試体の概要

実験に用いた供試体の配合を表 1、供試体概要図を図 1 に示す。供試体は、セメントに普通ポルトランドセメントを用いたモルタルで作製し、モルタル中の Cl⁻ がコンクリート換算で 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 (kg/m³) となるように練混ぜ時に外割で添加した。鉄筋は試験面が中央 50mm の範囲となるように、両端部をエポキシ樹脂で被覆した。打設後、28 日間の封緘養生を行った後、供試体の両端面をエポキシ樹脂で被覆した。分極試験時の材齢は約 80 日である。

3. 2 アノード分極試験の概要

一般大気環境に暴露した供試体および腐食試験装置にて環境を調整した供試体を用いてアノード分極試験を実施した。測定方法は、電位制御として、自然電位から 500mV 程度貴側に分極させた。掃引速度は 20mV/min である。

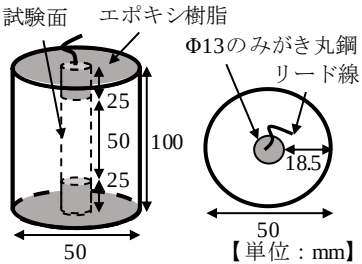


図 1 供試体概要図

キーワード 腐食試験装置, アノード分極曲線, 不動態, 孔食電位, ターフェル勾配, 塩化物イオン量
連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1 丁目 21-24 TEL 099-285-8480

4. 結果および考察

図2に、一般大気環境および腐食試験環境におけるアノード分極曲線について、一例として Cl^- 濃度が 0kg/m^3 の結果を示す。腐食試験装置で鋼材表面の環境を調整することで、電位が卑な位置から分極が開始され、わずかな電流密度の増加に伴い大幅な分極が生じる不動態領域が確認された。その後、鉄筋の電位は線形的に増加しアノード溶解が起こる領域（ターフェル領域）が描かれた。一般大気環境の分極曲線と比較すると、ターフェル領域の分極曲線がほぼ一致しているため、任意に操作した腐食試験環境の結果は一般環境と同等のアノード分極挙動が評価できることを確認した。

ここで、不動態領域で測定される微弱な電流が不動態維持電流であり、実験結果から、不動態維持電流密度は 30 nA/cm^2 であると考えられる。また、不動態のアノード曲線とターフェル領域の接線であるターフェル線との交点の電位が孔食電位であり、本試験によって推定できることを確認した。なお、孔食電位とは、不動態が破壊し、鉄の溶解が始まる電位である。

図3に、 Cl^- 濃度が異なる各供試体のアノード分極曲線の結果を示す。アノード分極曲線は Cl^- 濃度が増加するにつれて、電流密度が大きい方へとシフトした。 Cl^- 濃度が 6 kg/m^3 以下の場合には不動態が存在していることが確認された。ただし、 Cl^- 濃度が増加することで不動態が不安定な状態または不動態に欠陥が生じることで、不動態維持電流密度が大きい方へ推移したと考えられる。次に、 Cl^- 濃度が 6 kg/m^3 以下の場合には、いずれも不動態維持電流より貴側での変化点から線形部分が確認され、その勾配は 310 mV/decade 程度であった。いずれも同じ勾配を示していることから、ターフェル領域であると考えられる。一方で、 Cl^- 濃度が $8, 10\text{ kg/m}^3$ については、不動態維持電流密度は確認できず、分極曲線は弧を描き、ターフェル線の推定は困難であった。

Cl^- 濃度が 0 kg/m^3 における不動態維持電流密度 30 nA/cm^2 を基準とし、ターフェル線との交点の電位を孔食電位として整理した。なお、 $8, 10\text{ kg/m}^3$ については、アノード反応は鉄の溶解反応であるため、ターフェル勾配は一定であると考え、分極曲線との接線から求めた。図4に Cl^- 濃度と孔食電位の関係を示す。孔食電位は、

Cl^- 濃度の増加に伴い卑化する傾向が認められ、特に Cl^- 濃度が $6\sim 8\text{ kg/m}^3$ においては、その傾向が顕著になる結果となった。おそらく不安定な不動態が限界に達し、破壊に至ったためであると考えられる。

5. まとめ

コンクリート中鉄筋表面を任意の環境に操作することができる腐食試験装置を作製し、OPC モルタル ($\text{W/C}50\%$) 中鉄筋のアノード分極特性について評価した。その結果、不動態維持電流密度は 30 nA/cm^2 程度、ターフェル勾配は 310 mV/decade 程度となる。また、孔食電位は、 Cl^- 濃度の増加に伴い卑化し、 Cl^- 濃度が $6\sim 8\text{ kg/m}^3$ 程度で不動態は破壊に至ると考えられる。

参考文献：1) 公益社団法人日本コンクリート工学会：委員会報告書，電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会，2018.9.21

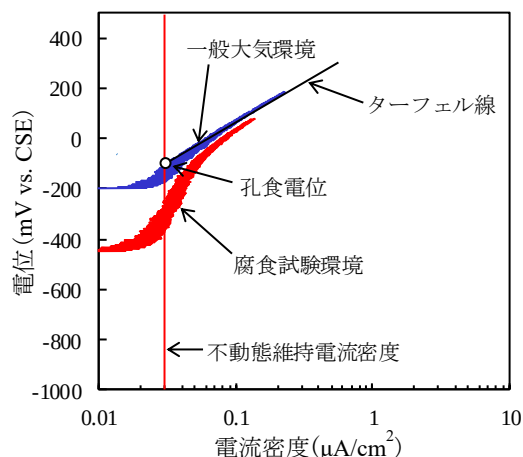


図2 アノード分極曲線

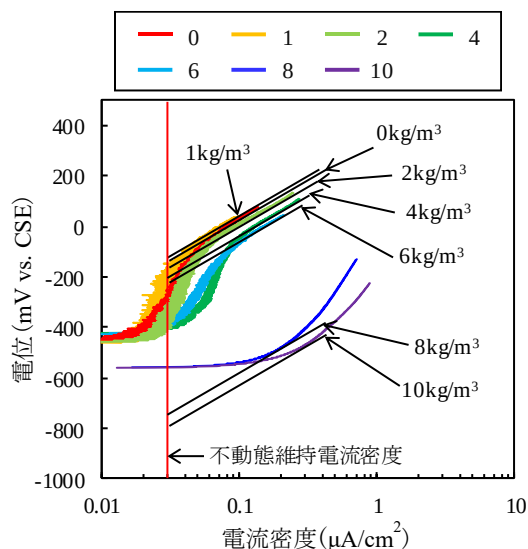


図3 各 Cl^- 濃度におけるアノード分極曲線

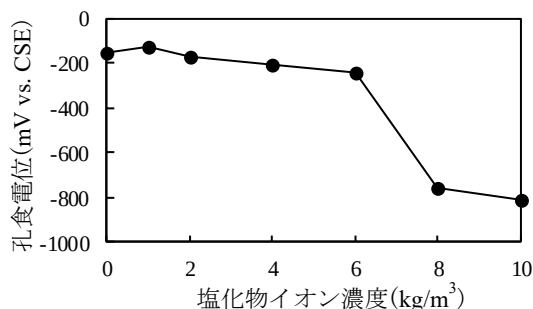


図4 Cl^- 濃度と孔食電位の関係