

コンクリート中鉄筋の分極特性による電気防食効果に関する考察

日本防蝕工業(株)
日本防蝕工業(株)
早稲田大学大学院
(株)ピーエス三菱
早稲田大学

正会員

学生会員
正会員
フェロー会員

○山本 悟
田代賢吉
上野 萌
石井 浩司
関 博

1. はじめに

塩害によって腐食したコンクリート構造物を電気防食した場合、その効果を分極特性から非破壊に評価できると考え供試体を用いて検討した。本報では、予めコンクリート中で腐食させた鉄筋について単独およびマクロセル形成ならびに健全な鉄筋について分極特性を求め、電気防食の効果に関して考察したので報告する。

2. 分極特性の原理

電解質中の鋼材表面にカソード電流（電気防食では防食電流） i_{out} を流入させると(1)式に示すターフェル式に従って鋼材の電位はカソード分極する。ここで、 E_{cor} は自然電位または防食電流を流さない時の電位で、ターフェル式の交換電流密度 i_0 を腐食電流密度 i_{cor} とした。電流 i_{out} を少しずつ増加させると腐食電流 i_{cor} に達するまでは分極量（ $E - E_{cor}$ ）は少ないが、 i_{cor} を超えるとターフェル式の直線に近づき多くなる。この直線の延長と自然電位が交わる点から i_{cor} を推定するもので外挿法と呼ばれている。直線の勾配 β はターフェル勾配と呼ばれ、カソード分極では負の値をとる。

$$E = E_{cor} + \beta (\log i_{out} - \log i_{cor}) \quad (1)$$

3. 実験方法

3.1 コンクリート供試体

供試体の形状を図 - 1 に示す。供試体は 300×230×100mm とし、φ16 のみがき丸鋼を かぶり 20mm に設置した。コンクリートは水セメント比 W/C=53%とし、コンクリートに対して Cl⁻が 10kg/m³ となるように NaCl を練混ぜ水に混合した。

3.2 鉄筋のアノード溶解

実構造物の補修における鉄筋表面状態に合わせるため、丸鋼をコンクリート硬化後に 3%食塩水中でアノード溶解（電食）し、さび層を形成させた。アノード溶解は電流密度 1A/m²で 7 日間通電(168Ah/m²)した。

3.3 供試体の実験条件

供試体の番号および実験条件を表 - 1 を示す。供試体は下筋位置まで 3%食塩水に浸漬して湿潤にした。上筋と下筋を電氣的に接続しない供試体を「単独」、接続した供試体を「マクロセル」とし、比較のために電気防食をしない供試体「無防食」およびさび層がない供試体「無塩」も供試した。供試体 No.10, 11(単独, 防食)では上筋が 100mV 復極するように通電し、下筋へは上筋と同じ値で通電した。No.14, 15(マクロセル, 防食)では上筋が 100mV 復極するように通電した。電位は埋込式鉛照合電極（- 800mV vs.CSE)で測定し、飽和硫酸銅電極基準に換算した。

キーワード：塩害、電気防食、ターフェル式、分極特性、防食効果の評価
連絡先：〒144-8555 東京都大田区南蒲田 1-21-12 日本防蝕工業(株)技術研究所 TEL 03-3737-8440

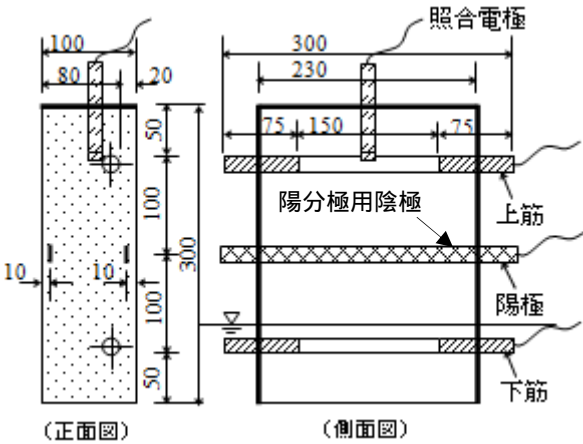


図 - 1 供試体の形状・寸法(単位:mm)

表 - 1 供試体の実験条件

供試体 No.	鉄筋 No.	暴露環境	鉄筋回路	電気防食
8	8-上/-下	大気中 / 食塩水中	単独	無 有
9	9-上/-下	大気中 / 食塩水中		
10	10-上/-下	大気中 / 食塩水中		
11	11-上/-下	大気中 / 食塩水中		
12	12-上/-下	大気中 / 食塩水中	マクロセル	無 有
13	13-上/-下	大気中 / 食塩水中		
14	14-上/-下	大気中 / 食塩水中		
15	15-上/-下	大気中 / 食塩水中		
30 (塩分含まず)	30-上/-下	大気中 / 水道水中	マクロセル	無

3.4 分極試験

分極試験は供試体 No.9, 11, 13, 15 および 30 で行った。電流密度を段階的に高めて 15 分間維持し、インスタントオフ電位を測定した。測定時期は、電気防食の通電開始時および供試体 No.8, 10, 12 および 14 の解体時(通電 0.5 年後)とした。また、同時期にアノード分極も行った。マクロセルでは上筋と下筋を切り離してそれぞれの鉄筋で分極試験を行った。

4. 結果および考察

4.1 単独, 無防食供試体

単独, 無防食供試体の分極特性を図 - 2 に示す。ここでは外挿法で求めた腐食電流密度 i_{cor} を X 印で示した。 i_{cor} は実験開始時に約 10mA/m^2 で、0.5 年後においても同様な値を示した。このことから湿潤環境のように酸素の供給が悪い場合でも、さび層中の三価の鉄 Fe^{3+} を含む物質が酸素の代わりに作用して腐食が進行したものと考えられる。実験開始時の分極特性は、いずれの鉄筋でも同様な傾向を示した。自然電位が上筋では -485 mV vs.CSE から -261 mV vs.CSE まで、下筋では -535 mV vs.CSE から -432 mV vs.CSE まで貴に変化したのは、図 - 2 に示すようにアノード分極が進んだためと考えられる。

4.2 単独, 防食供試体

単独, 防食供試体の分極特性を図 - 3 に示す。上筋の i_{cor} は通電 0.5 年後において約 1mA/m^2 まで低減した。これは電気防食によって環境が改善されアノード分極およびカソード分極が進んだためと考えられる。一方、下筋の防食電流密度は上筋と同じ値としたため防食電流が不十分であり環境の改善が進まず i_{cor} は約 7mA/m^2 までしか低下しなかったと考えられる。

4.3 マクロセル, 無防食供試体

さび層を有するマクロセルの分極特性および、さび層がない無塩の分極特性を図 - 4 に示す。さび層を有するマクロセルの分極特性は図 - 2 の結果と同様になったが、さび層がない場合はアノード分極およびカソード分極は非常に大きかった。これは、アノード分極では不動態皮膜の存在、カソード分極では酸素などの還元される物質が少ないことが原因と考えられる。

4.3 マクロセル, 防食供試体

マクロセル, 防食供試体の分極特性を図 - 5 に示す。下筋の i_{cor} は図 - 3 の結果と同様であり、下筋周囲の環境改善が進まなかったと考えられる。これらのことから、さび層を有し、かつ湿潤環境では高い防食電流密度が必要であることが分かった。

5. まとめ

電気防食を行った供試体について分極試験を行った結果、分極特性から防食効果の評価がある程度できるものと考えられる。

・謝辞 本研究実施にあたり、多大なるご協力を頂いた早稲田大学久村悠人氏に厚くお礼申し上げます。

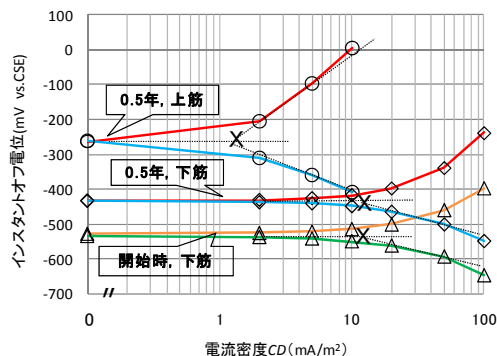


図 - 2 単独, 無防食供試体の分極特性

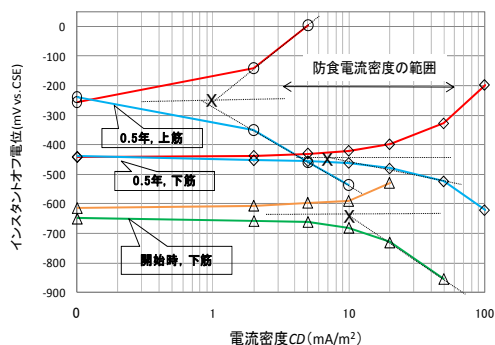


図 - 3 単独, 防食供試体の分極特性

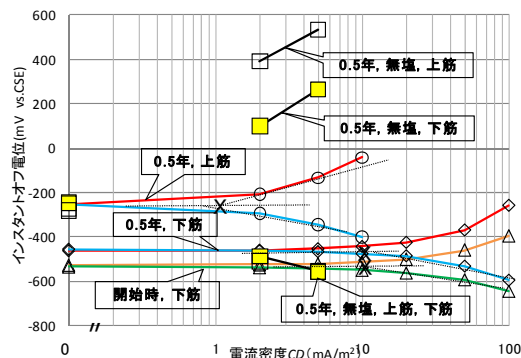


図 - 4 マクロセル, 無防食供試体および無塩供試体の分極特性

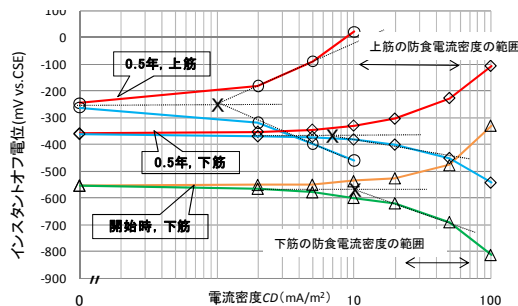


図 - 5 マクロセル, 防食供試体の分極特性