

酸化性環境下におけるコンクリート中鋼材の腐食速度に関する実験的研究

早稲田大学大学院 学生会員 ○朝瀬 康平
東京電力(株) 金子 聡志
石川技術士事務所 石川 光男
清水建設(株) 正会員 杉橋 直行
早稲田大学 正会員 関 博

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物のうち比較的放射能レベルの高い廃棄物は、深さ 50～100m の地下地盤に RC 構造物により埋設される余裕深度処分が検討されている。このような環境下において長期耐久性を検討する際、埋設後のコンクリート中鋼材の腐食機構を明らかにすることが重要である。構造物の環境は、酸化性環境(埋設初期の約 100 年間)～還元性環境(その後の数万年間)にあり、還元性環境に関しては地下水模擬溶液中に鋼材を浸漬し水素ガスの発生量から鋼材腐食を検討した研究も報告されている¹⁾。今回の研究では、コンクリート中に埋め込んだ鋼材を浸漬し電気化学的測定法を用いて、酸化性環境から還元性環境に至る腐食機構を検討することを目的としており、本論文では現在までに得られたデータを基に、酸化性環境下における腐食速度について考察を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体の諸元

供試体の形状と寸法を図-1に示す。作用極は磨き丸鋼(SS400)を、対極は安定性の高い白金メッキチタン線を使用し、リード線を取り付け両端にエポキシ樹脂塗装を施すことにより露出面積を 31.4cm²に設定した。照合電極はコンクリート埋め込み型の鉛照合電極を使用した。供試体 4 方向にエポキシ樹脂塗装を施し、酸素拡散を一方向に限定し、作用極・対極のかぶりを同一にした。

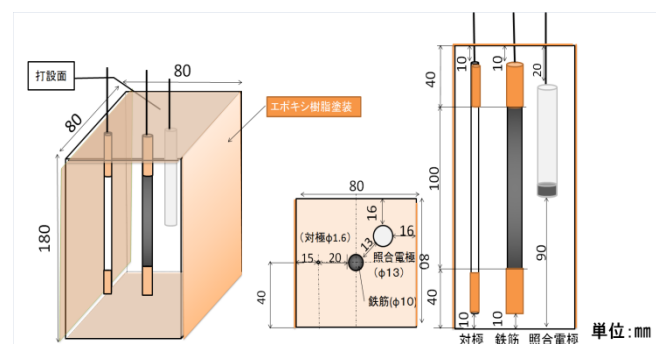


図-1 供試体の形状と寸法

2.2 鉄筋の腐食促進方法

酸化性環境においては鉄筋表面に酸化鉄の層が一樣に形成されるものと想定した。短期間でこの状態を再現するために、以下の2つの方法で酸化被膜の形成を促進させることとした。

(1) シリーズ A (乾湿繰返し養生)

打設後に室温 20℃で 10 日間気中養生を行った。その後、恒温恒湿器を用いて、高温高湿(50℃・95%・5 日間)と低温低湿(20℃・35%・2 日間)の環境を 1 サイクルとして、計 12 サイクルを繰返し行った。

(2) シリーズ B (定電位アノード溶解)

打設後 99 日間は室温 20℃の気中養生を行った。その後、供試体が十分湿潤状態になるように 21 日間水酸化カルシウム溶液中に浸漬した後、定電位アノード溶解を行った。酸化鉄(自然電位から Fe₂O₃)の平衡状態を保つように、ポテンシostatを使用し酸素発生電位を下回る電位(0Vvs.CSE)まで上昇させた状態を維持して 15 日間通電を行った。

2.3 測定方法

電気化学的測定により、腐食について検討する。なお、測定データは全て飽和硫酸銅電極基準(vs.CSE)に換算した。掃引速度は全て 10mV/min に統一した。

(1) 自然電位

測定方法は、ポテンシostatを用いて各供試体の鉄筋-鉛照合電極間の自然電位を測定した。

(2) 分極抵抗

ポテンシostatを用いて鉄筋の電位を自然電位から 10mV 貴な方向に分極させ、その際に安定した値を応答電流値とし、分極抵抗値を求めることで、腐食

キーワード：酸化性環境、鋼材腐食、余裕深度処分、不動態保持電流

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL 03-3208-8749 FAX 03-3208-8749

速度を算出した。

(3) 不動態保持電流

ポテンショスタットを用いて鉄筋の電位を自然電位から 50mV 貴な方向へ分極させ、その電位を保持し応答電流値を計測し続け、安定した応答電流値を不動態保持電流とした。

3. 実験結果と考察

3.1 自然電位

乾湿繰返し養生および気中養生における自然電位の変化を図-2、3に示す。シリーズ A については、いずれの供試体においても低温低湿環境（曲線の谷の部分）での電位は、高温高湿環境（曲線の山の部分）での電位よりも卑になっている。シリーズ B については、徐々に貴な電位へと推移しているが、これは気中養生によりコンクリート内部が乾燥し、電極間の比抵抗が増加したためと考えられる。

3.2 腐食速度

分極抵抗測定および不動態保持電流測定により得られた腐食速度を表-1、2に示す。シリーズ A、B 共に両測定法で得られた値はいずれも $10\text{nA}/\text{cm}^2$ 以下と、非常に小さい。既往の研究²⁾では、 $15\sim 20\text{nA}/\text{cm}^2$ と報告されている。このことから、シリーズ A、B の両環境下では鋼材表面に緻密な不動態皮膜が形成されているものと考えられる。

4. まとめ

- (1) 酸化性環境下では、 $10\text{nA}/\text{cm}^2$ 以下と、非常に小さく安定した腐食速度で腐食反応が進行する。
- (2) 腐食速度が非常に小さくなる要因としては、鋼材表面に緻密な不動態皮膜が形成されることが考えられる。

本研究は科学研究費補助金(基盤研究[(c)21560491])により実施したものであることを付記する。

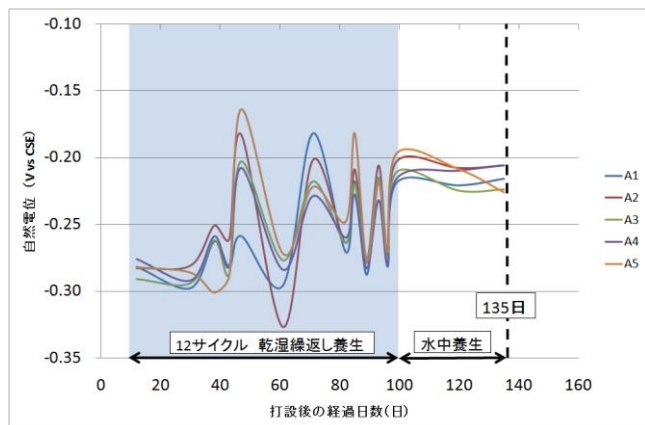


図-2 自然電位変化（シリーズ A）

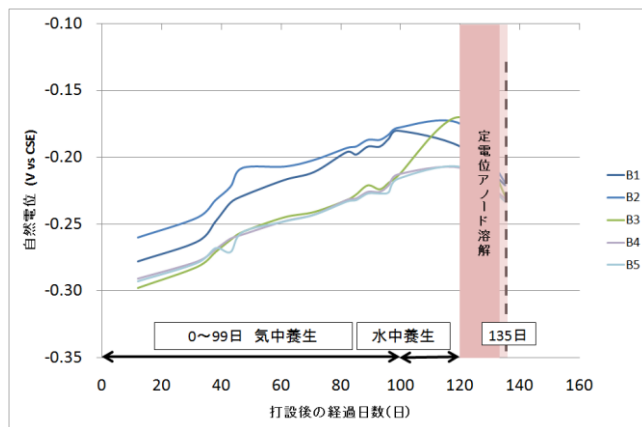


図-3 自然電位変化（シリーズ B）

表-1 シリーズ A の腐食速度

供試体No	分極抵抗測定			不動態保持電流測定	
	10mV分極前の電位 (mV vs CSE)	腐食速度 (nA/cm^2)		50mV分極前の電位 (mV vs CSE)	不動態保持電流密度 (nA/cm^2)
		横田氏 ($k\leq 33\text{mV}$)	不動態の状態 ($k\leq 52\text{mV}$)		
A1	-216	3.81	6.02	-223	3.93
A2	-206	3.61	5.69	-204	4.50
A3	-224	4.96	7.81	-230	4.25
A4	-206	5.62	8.85	-215	6.19
A5	-226	4.97	7.84	-249	8.77
平均	-216	4.79	7.55	-225	5.93

表-2 シリーズ B の腐食速度

供試体No	分極抵抗測定			不動態保持電流測定	
	10mV分極前の電位 (mV vs CSE)	腐食速度 (nA/cm^2)		50mV分極前の電位 (mV vs CSE)	不動態保持電流密度 (nA/cm^2)
		横田氏 ($k\leq 33\text{mV}$)	不動態の状態 ($k\leq 52\text{mV}$)		
B1	-221	3.61	5.70	-230	1.36
B2	-219	4.37	6.89	-225	2.22
B3	-229	3.66	5.77	-236	1.74
B4	-231	3.44	5.42	-237	1.57
B5	-233	2.77	4.36	-239	1.76
平均	-227	3.57	5.63	-233	1.73

参考文献

- 1) (財) 原子力環境整備促進・資金管理センター，炭素鋼の腐食による水素ガス発生 の検討について，原環センタートピックス，No.55，2000.12
- 2) 小川洋之，鉄筋の腐食に起因するコンクリート構造物の割れ形成，材料と環境，59，162-168(2010)
- 3) 小林一輔，コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ 3 鉄筋腐食の診断，森北出版株式会社，pp242，2005. 3.15
- 4) 杉橋直行 他、余裕深度処分施設におけるセメント系人口バリア内の鋼材腐食に関する一考察，土木学会第 63 回年次学術講演会，CS05-43，2007
- 5) (財) 日本コンクリート協会，JCI 基準集（1977～2002 年度），社団法人日本コンクリート協会，pp91～94，2004.4.12
- 6) 腐食防食協会、金属の腐食・防食 Q&A 電気化学入門編
- 7) 大即信明，コンクリート中の鉄筋の腐食に及ぼす塩素の影響に関する研究，港湾技術研究所報告，第 24 巻，第 3 号（1985.9）