

ステンレス鉄筋との異種金属接触による普通鉄筋の腐食促進の可能性

京都大学 正会員 ○平野 裕一, 高谷 哲, 山本 貴士

1. 研究目的

近年, 厳しい腐食環境やかぶりが十分に確保できない部位においてステンレス鉄筋を部分的に使用しコンクリート構造物の腐食抵抗性を向上させようとする試みがなされている. 大気中でステンレス鉄筋と普通鉄筋を併用する場合には文献^{1),2)}をはじめとし異種金属接触腐食が懸念され対策がされている. 一方, コンクリート内部の高アルカリ環境下での異種金属接触の懸念は十分にされていなく対策も十分にされていない. そこで, 水溶液によりコンクリート内部環境を模擬し, 自然電位法および分極抵抗法を用いステンレス鉄筋の電気化学的測定を行い, 自然電位が貴のステンレスのカソード曲線と卑の普通鉄筋のアノード曲線との交点から求める腐食速度の検討から異種金属接触による普通鉄筋の腐食促進の可能性を考察した.

2. 試験概要

JIS G 4322 の異形棒鋼であるオーステナイト系ステンレス SUS316 およびマルテンサイト系ステンレス SUS410 を使用した. 強度区分は 295A である. 試験片は D10 の SUS316 および SUS410 で長さ約 30 mm に切り出したものとした. 試験片の一端にリード線を結び付け, 各試験片の水溶液との接触面積を一定にするため, 中央部分 10 mm を残しリード線との接触部分およびそれ以外の部分をエポキシ樹脂で被覆した. 同溶液環境下における比較およびマイクロセル腐食速度の計測のため, 同様に普通鉄筋 SD295 の試験片も作製した.

pH, 塩化物イオン濃度は, それぞれ水酸化ナトリウム, 塩化ナトリウムにより調整した. pH は pH11, pH12, pH12.6 とした. pH12.6 は水酸化カルシウム飽和水溶液の pH であり, 健全なコンクリート内部環境を想定した条件である. また, 塩化物イオン濃度は 0 kg/m^3 , 5 kg/m^3 , 10 kg/m^3 , 15 kg/m^3 の 4 種類とした. 外気に直接触れないようふた付のプラスチック容器内を溶液 1000 mL で満たしながら測定し保管した. それぞれの要因ごとの試験数は $N=2$ とした. SUS316, SUS410, SD295 を 2 つずつ用意しそれぞれ同じ容器に入れ, 一方を作用極用, もう一方を対極用の試験片とした.

分極試験は, 溶液浸漬後から 30 日程度までの自然電位が安定した試験片に対し行った. 照合電極には銀塩化銀電極を使用した. 測定機器は自動電位制御が可能な機器を使用した. 電位の変化速度は 20 mV/min とし, 30 秒ごとに自動計測をした. カソード曲線の計測範囲は SUS316, SUS410 共に自然電位から SD295 のアノード曲線またはその延長線と交わる程度とした. 交わるまでに測定終了したものは延長線を引き交点を求めた. 本稿では普通鉄筋単独での腐食速度をマイクロセル腐食速度, 交点から求めた腐食速度を普通鉄筋の腐食を促進させるマクロセル腐食速度と定義し, マイクロセル腐食速度とマクロセル腐食速度の比から異種金属接触による影響を検討した.

3. 試験結果および考察

測定した SUS316 および SUS410 のカソード分極曲線と, SD295 の分極曲線の例を図-1 に示す. 自然電位および, SD295 の分極曲線から文献³⁾を参考にターフェル外挿を用いて求めた SD295 のマイクロセル腐食速度 i_{micro} , SD295 のアノード曲線と SUS316, SUS410 それぞれのカソード曲線との交点から求めたマクロセル腐食速度

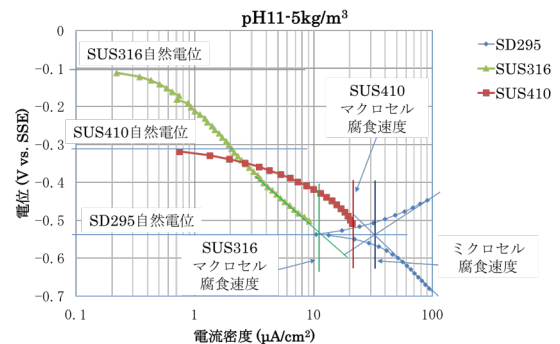
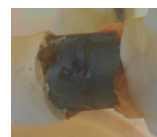


図-1 分極試験結果の例



SD295 pH11 0kg/m³



SUS410 pH11 10kg/m³

写真-1 腐食した試験片の様子

ル腐食速度 i_{macro} , i_{macro} と i_{micro} の比 $i_{\text{macro}}/i_{\text{micro}}$ を表-1 に示す. また, 腐食した試験片の様子を写真-1 に示す.

3.1 自然電位

文献⁴⁾から換算した ASTM C 876 の 90 %以上で腐食発生しているとされる自然電位は 256 mV 以下である. 表-1 より, SUS316 の自然電位は 0 から -150 mV までの範囲であり, 今回試験した条件では腐食を

確認した試験片はなかった. SUS410 では pH11 の Cl⁻ 10 kg/m³, 15 kg/m³ で写真-1 のように試験片端部に腐食が確認された. SD295 ではいずれの要因においても自然電位が -256 mV 以下であり, 自然電位が -500 mV 程度の要因のものでは写真-1 のように試験片端部に腐食が確認されたが, -350 mV 程度の pH12 の Cl⁻ 0 kg/m³, pH12.6 の Cl⁻ 0 kg/m³ では腐食は確認されなかった.

SD295 の自然電位と i_{micro} には関連が見られた. 自然電位が -350 mV 程度の要因のものでは i_{micro} が 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ より小さく, 自然電位が -500 mV 程度の要因のものでは 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えている. よって, 今回試験した溶液環境下においては, 腐食速度が 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えると腐食が発生すると考えられる.

3.2 腐食速度

表-1 より, SUS316 の pH11 の Cl⁻ 5 kg/m³, 10 kg/m³, SUS410 の pH11 の Cl⁻ 5 kg/m³, 10 kg/m³, 15 kg/m³ では, i_{macro} が 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えているため異種金属の接触による普通鉄筋の腐食に対する影響が大きくなると考えられる. 腐食速度比 $i_{\text{macro}}/i_{\text{micro}}$ を比較すると, SUS316 と SUS410 のいずれも pH11 の Cl⁻ 0 kg/m³, 10 kg/m³ では $i_{\text{macro}}/i_{\text{micro}}$ が 1 以上となる. これは, i_{micro} の影響よりも i_{macro} の影響が大きいことになり, 普通鉄筋の腐食が大きく促進すると考えられる.

SUS316 と SUS410 の比較において, $i_{\text{macro}}/i_{\text{micro}}$ が概ね同じ傾向となったため, 異種金属接触による腐食促進の程度はステンレスの種類に関わらないと考えられる.

4. まとめ

高アルカリのコンクリート内部環境において, ステンレス鉄筋との異種金属接触により普通鉄筋の腐食が促進されることが示唆された. 特に pH11 では普通鉄筋の腐食が大きく促進されることが示唆された. こうした異種金属接触による腐食促進の程度はステンレスの種類に関わらないと考えられる.

謝辞

本研究の一部は, (一社) 日本鋼構造協会助成金 (コンクリート中におけるステンレス鉄筋と普通鉄筋のマクロセル腐食に関する検討) により実施しました. また, 同協会「ステンレス鉄筋の利用技術課題検討小委員会 (委員長: 下村匠 (長岡技術科学大学))」の委員の方々より助言をいただきました. ここに謝意を表します.

参考文献

- 例えば, ステンレス協会 配管システム普及委員会: ステンレス鋼管と異種金属とを接続する場合の絶縁施工について (建築設備配管編), p.2, 2015.9
- 例えば, 八木雄太: 全チタン製熱交換器への電気防食の適用, NAKABOU REPORT No.51, 株式会社ナカボーテック, pp.14-18, 2016.12
- 山本悟, 竹子賢士郎, 高谷哲: コンクリート中鋼材の腐食速度測定方法 (CIPE 法) の開発, さび第 148 号, 日本防蝕工業株式会社, pp.2-7, 2015.1
- 日根文男: 金属腐食の化学と電気化学, さんえい出版, p.95, p.153, 2006

表-1 自然電位と腐食速度の測定結果

pH	Cl ⁻ (kg/m ³)	自然電位 (mV vs SSE)			ミクロセル 腐食速度 i_{micro} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	マクロセル腐食速度 i_{macro} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)		腐食速度比 $i_{\text{macro}}/i_{\text{micro}}$	
		SUS316	SUS410	SD295		SUS316	SUS410	SUS316	SUS410
12.6	0	-145	-186	-337	1.3	3.9×10^{-1}	1.1	0.30	0.85
12.6	5	-98	-232	-498	1.6×10	3.5	4.0	0.22	0.25
12.6	10	-108	-239	-515	1.4×10	7.2	7.5	0.51	0.54
12.6	15	-123	-346	-525	1.4×10	5.8	4.5	0.41	0.32
12	0	-11	-116	-352	3.3	9.5×10^{-1}	6.0×10^{-1}	0.29	0.18
12	5	-101	-225	-496	1.7×10	4.2	8.0	0.25	0.47
12	10	-113	-337	-527	2.6×10	6.0	6.0	0.23	0.23
12	15	-56	-339	-527	2.0×10	5.9	9.0	0.30	0.45
11	0	-50	-140	-516	5.4	5.4	8.5	1.00	1.57
11	5	-102	-310	-532	3.3×10	1.2×10	2.2×10	0.36	0.67
11	10	-139	-351	-534	1.5×10	1.9×10	1.8×10	1.27	1.20
11	15	-84	-312	-545	3.0×10	8.0	2.0×10	0.27	0.67