

沖縄県における鉄筋発錆と ACM 型腐食センサーを用いた腐食環境評価

琉球大学 正会員 淵脇秀晃

琉球大学 正会員 矢吹哲哉

琉球大学 正会員 有住康則

1. はじめに

沖縄県は、高温・多湿で周辺が海に囲まれており、海塩粒子の飛散などの要因により、鋼材の腐食しやすい環境下にある。このような厳しい腐食環境下で、コンクリート打設時の鉄筋が外気中でどの程度発錆するかを把握しておく必要がある。本研究では、まずその基礎資料を得る目的で、市販の鉄筋を外気中に放置し、暴露試験を行い、鉄筋が外気中でどのように変化するかを調べた。また、並行して ACM 型腐食センサーシステムを用いた腐食環境評価を行った。

2. 実験概要

暴露試験場は海岸から約 2.5km 離れ、標高約 150m の位置にある琉球大学構内である。

2.1 鉄筋暴露試験

用いた鉄筋は異形鉄筋 SD295A D13 で、市販のものを所定の長さ (30cm) に切断して使用した。暴露期間は 0 週・4 週・8 週・12 週とした。

調査項目は、外観調査、発錆調査および鉄筋引張試験の 3 項目である。

2.2 腐食環境評価

腐食環境評価は ACM センサーを用いて行った。設置場所は、暴露鉄筋の隣に設置した暴露台の南側、北側の 2 箇所に設置した。ACM センサーの暴露期間は 1 ヶ月である。計測は 10 分間隔で行った。

計測項目は、腐食電流、温度および湿度の 3 項目である。これらのデータを解析することで腐食電気量や、乾燥、結露および降雨のそれぞれの時間を求めることができる。

3. 実験結果および考察

3.1 鉄筋暴露試験

a) 鉄筋外観調査

写真 3-1 に外観調査結果の一例として、暴露後の鉄筋の発錆状況を示す。写真中の数字は暴露期間を示している。

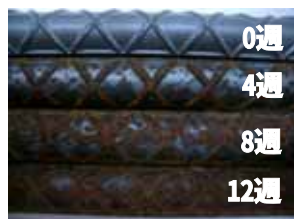


写真 3-1 鉄筋の発錆状況

錆は、鉄筋の節から点錆として現れ、次にその周辺に膜状に広がっていき、色も赤褐色、褐色、暗褐色と変化し、錆の層も次第に厚さを増していくことが観察された。また、降雨後、鉄筋の錆は急速に進むことも観測された。

表 3-1 鉄筋の腐食評価の結果

暴露期間	暴露前重量 W ₀ (g)	除錆後重量 W ₁ (g)	W ₀ -W ₁ -黒皮 (g)	鉄筋の長さ (cm)	腐食度 (mdd)	発錆量 (mg/cm ²)	侵食度 (mm/y)	総降水量 (mm)	日平均降水量 (mm)
4週	285.448	283.262	0.282	29.94	8.42	2.356	0.039	25.5	0.91
8週	286.17	283.658	0.608	29.94	9.08	5.078	0.042	130	2.32
12週	285.94	283.37	0.0662	29.98	6.56	5.52	0.031	276	3.29

b) 腐食評価

暴露鉄筋の腐食環境の評価方法として一般的である腐食度C¹⁾と、腐食度を1年あたりの腐食深さに置き換えた侵食度CR¹⁾および暴露期間中の鉄筋腐食部分の単位面積当たり重量と定義した発錆量Rの三つを用いた。以下にその関係式を示す。

$$C=(W_0-W_1)/(U \times L \times D) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$R=(W_0-W_1)/(U \times L) \dots \dots \dots (3.2)$$

$$CR=C \times 365 \times 10^{-4} / \rho \dots \dots \dots (3.3)$$

C [mdd]: 腐食度, R [mg/cm²]: 発錆量, CR [mm/y]: 侵食度,

W₀ [mg]: 暴露前重量, W₁ [mg]: 除錆後重量, L [cm]: 鉄筋長さ,

U [cm]: 鉄筋公称周長, D [day]: 試験日数, ρ [g/cm³]: 鋼材密度。

測定結果から式 (3.1)、(3.2) および (3.3) を用いて計算した腐食度、発錆量、侵食度の各平均値、暴露期間中の気象データを表 3-1 に示す。腐食度と暴露期間の関係を図 3-1 に、発錆量と暴露期間の関係を図 3-2 に、腐食度と暴露期間中の日平均降水量の関係を図 3-3 に、発錆量と暴露期間中の日平均降水量の関係を図 3-4 に示す。

図 3-1 より、腐食度は時間の経過とともに減少する傾向を示している。

図 3-2 より発錆量は時間の経過とともに減少する傾向

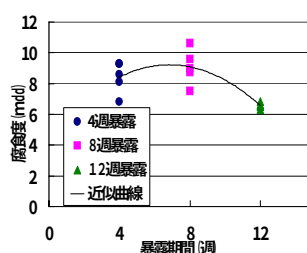


図 3-1 腐食度と暴露期間の関係

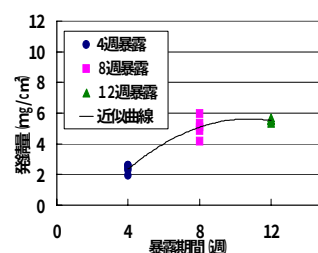


図 3-2 発錆量と暴露期間の関係

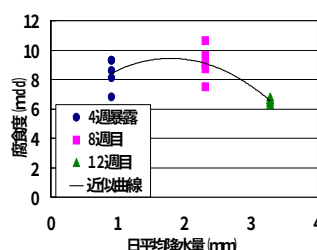


図 3-3 腐食度と日平均降水量の関係

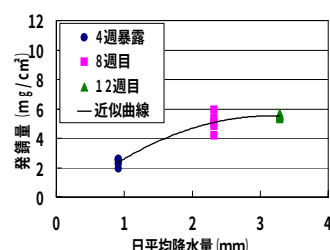


図 3-4 発錆量と日平均降水量の関係

を示している。図 3-3 より腐食度は、日平均降水量の増加に伴い減少の傾向が見られた。

外観調査より、降雨後の発錆が著しいという結果を得ていたが、図 3-4 から明らかなように、日平均降水量の増加に伴い発錆量が増加する傾向が見られる。なお、除錆後鉄筋の外観調査も行ったが、すべての鉄筋に孔食は見られなかった。

c) 鉄筋引張試験

暴露鉄筋の引張試験の結果を表 3-2 に示す。表 3-2 より明らかなように今回の場合、降伏応力、引張強度および伸びの暴露期間による変化は、ほとんど見られない。

3.2 ACM 型腐食センサー試験

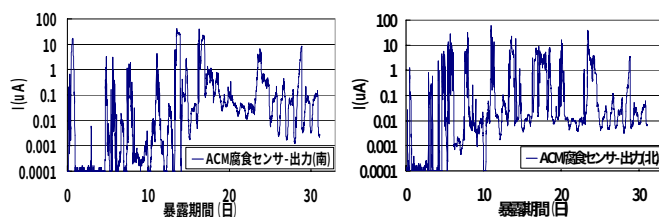
a) 測定結果

測定データをまとめた結果、平均温度は 15.04°C、平均湿度は 70.77% であった。ACM センサー出力（腐食電流）と暴露期間の関係を北側と南側について図 3-5 に示す。

b) 腐食環境評価

ACM センサー出力（腐食電流）の大きさは、降雨時と結露時とで異なるので、これを用いると設置場所における乾燥時間 T_{dry} 、結露時間 T_{dew} 、および降雨時間 T_{rain} を求めることができる。図 3-5 のように得られた測定結果より解析した各時間を表 3-3 に示す。また、その割合を図 3-6 に示す。ここで、結露時間と降雨時間の境界値は、腐食電流で $1\mu A$ とした。

表 3-3、図 3-6 より明らかなように、結露時間が大きな割合を占めており、特に南側が顕著である。これは、南側のほうが日にあたる時間が北側より長く、水分が蒸発しやすかったため、積算電流量が少なくなったと考え



a) 南側

b) 北側

図 3-5 ACM 腐食センサー出力

表 3-3 ACM センサー出力による各種時間

	ACMch01 (南側)	ACMch02 (北側)
乾燥時間 $T_{dry}[\text{hour}]$	0.000	0.000
結露時間 $T_{dew}[\text{hour}]$	691.667	647.833
降雨時間 $T_{rain}[\text{hour}]$	55.000	98.833

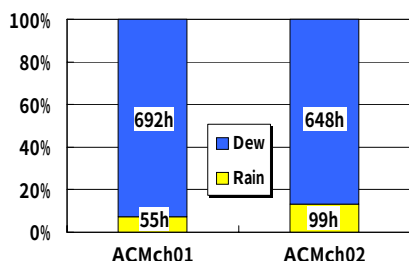


図 3-6 乾燥・結露・降雨時間の割合

表 3-4 ACM センサーシステム解析結果

	ACM ch01	ACM ch02
$Q_{dew}[C]$ (結露電気量)	0.33102	0.31973
$T_{dew}[\text{days}]$ (結露時間)	28.81944	26.99306
$Q[C/\text{day}]$ (日平均電気量)	0.01149	0.01185
$Q_{rain}[C]$ (降雨電気量)	2.25774	1.80213

られる。また、乾燥時間がほぼゼロ時間となったのは、湿度が平均的に高く ACM センサーが湿った状態にあったことが原因であると考えられる。

ACM センサー腐食電流出力の解析により得られた結露電気量、結露時間、日平均電気量、降雨電気量を表 3-4 に示す。

押川ら²⁾ はシェルター暴露試験、恒室槽内暴露試験を行い、炭素鋼と ACM センサー出力による腐食速度（侵食速度） $CR [\text{mm/y}]$ と日平均電気量 $Q_{day} [C/\text{day}]$ との関係式を以下のように提案している。

$$\log_{10} CR = 0.3781 \times \log_{10} Q_{day} - 0.636 \cdots (3.4)$$

式 (3.4) により、表 3-4 に示す ACM センサー出力（腐食電流）から得られた日平均電気量 Q_{day} から腐食速度が次のように求められる。

ACMch1 (南側) : $Q_{day}=0.01149$ で、 $CR=0.0427 [\text{mm/y}]$

ACMch2 (北側) : $Q_{day}=0.01185$ で、 $CR=0.0433 [\text{mm/y}]$

一方、表 3-1 の鉄筋暴露試験によると、腐食速度（侵食度）は、4 週暴露鉄筋が 0.039mm/y であった。

これらの結果より、鉄筋暴露試験による腐食速度（侵食度）と ACM センサー出力による腐食速度はほぼ等しい値を示しており、ACM センサーを用いて実際の腐食環境を評価することは有用であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

- 鉄筋の錆は外気中で水の供給があると急速に進行していき、発錆量の増加とともに薄い赤褐色の膜状から次第に厚みを帯びて層状となり、色も褐色から暗褐色へと変化していく。
- 鉄筋の腐食度は時間の経過とともに減少し、鉄筋の発錆量は時間の経過とともに増加する。
- 暴露後鉄筋の引張強度の暴露による変化は、今回の場合ほとんど見られない。
- ACM センサー出力により求めた腐食速度は実際の暴露試験による腐食速度を良く評価しており、腐食環境を評価するツールとして有用であると考えられる。

【参考文献】

- 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準（案）
- 押川渡，糸村昌祐，藤原正，辻川茂男：雨がかりのない条件下に暴露された炭素鋼の腐食速度と ACM センサー出力との関係，材料と環境，pp.398-403，2002.