

鋼材の腐食促進評価に用いる耐候性鋼板センサーの開発実験

構造研究室 大城英文

1. はじめに

道路橋示方書第5章「耐久性の検討」によると、「鋼材の防せい防食法の選定にあたっては、架橋地点の環境、橋の部位及び規模、部材の経常並びに経済性を考慮するものとする。」とされ、現行基準では100年以上の耐久性能を有する橋が求められている。橋の耐久性は疲労と腐食の2つが主体である。しかし、架橋地点の腐食耐久性を定量評価する環境評価法（腐食環境センサー）は明確になっていない。

そこで本研究では、架橋地点の腐食環境の定量評価法の構築を目指し、架橋地点の腐食環境を評価する鋼板センサーを開発することを目的とする。開発では、図1に示すように、腐食主因子の塩分量大ききの違いを示す曲線を求める。また、図2に示すように、任意の錆厚に達するまでに促進試験で要する日数が、大気暴露試験で要する日数の何倍の速度（促進倍率）を与えているのかを求める。

2. 実験概要

2.1 実験場所

恒温恒湿装置を用いる促進試験と大気暴露試験（琉大（離岸距離2.7Km）と那覇港（離岸距離10m）の2地点）を行った。

2.2 使用鋼材

本試験で使用する鋼材は、写真1に示すような、50×50mm、厚さ2mm、重量48mg、表面研磨、面取りをしたSMA鋼材である。その成分表を表1に示す。

2.3 実験条件

写真2に示す恒温恒湿装置を用いて腐食促進試験を行った。試験槽内の任意の温度と湿度を制御し、湿潤状態（35℃、90%）を2h、乾燥状態（40℃50%）を6hの計8hを1サイクルとし、3サイクルの24hごとに写真3に示すように塩水の塗布を行った。写真4に示す錆厚計を用いて錆厚の変化と腐食促進状況を外観調査した。表2に実験パラメータを示す。なお、鋼板表面に形成されてくる酸化不動態膜の影響を考慮して、本研究では一定錆発錆後に試験開始とし、一様な錆が形成されるまでは5%食塩水を塗布し、その後、表に示す塩水を塗布した。ここで表中、D・Wとは乾湿繰り返しのみ、0%NaClとは蒸留水塗布を表す。

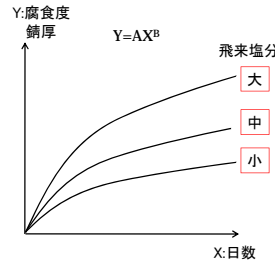


図1: 腐食度と関連因子相関曲線の構築

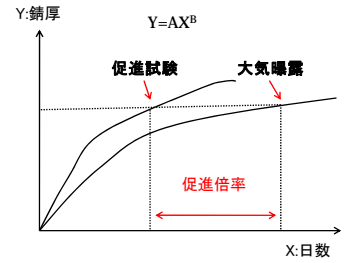


図2: 大気腐食と人工促進腐食との相関(相似則)



写真1 耐候性鋼材

表1 鋼材成分

化学成分 CHEMICAL COMPOSITION%							
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
12	26	107	11	3	31	7	45



外観



試験槽内

写真2 恒温恒湿装置



写真3 塩水塗布状況



写真4 錆厚計測

表2 実験パラメータ

パラメータ	5%食塩水塗布	50 μm	100 μm	200 μm	400 μm
促進試験	D・W	→	→	→	→
	0%	→	→	→	→
	0.5%	→	→	→	→
	1%	→	→	→	→
	2%	→	→	→	→
	3%	→	→	→	→
曝露試験	軒あり	→	→	→	→
	軒なし	→	→	→	→

→ : 5%食塩水塗布
 → : 各種食塩水塗布
 : 塗布なし

3. 実験結果

3.1 外観状態

写真5に促進試験と大気暴露（珪大軒なし）の鋼板腐食状態を示す。写真より、5%食塩水塗布では錆色は茶褐色から褐色、暗褐色へと変化している。また、表面の錆は徐々に粗さが増し、厚い錆が形成された。珪大軒なしでは、錆色は茶褐色から赤褐色、褐色へと変化している。表面の錆は細かく、薄い錆が形成された。

3.2 促進試験錆厚計測結果

図3に促進試験での錆厚と試験日数との関係を示す。同図には、最小二乗法により求めた回帰曲線を示した。回帰曲線の関数は、一般的に腐食減耗予測曲線で用いられる $Y=AX^B$ を用いた。図より、塩分濃度の大きさの違いにより曲線の傾きの違いが得られた。この結果より、一様な錆を初期形成した試験片は、センサーとして有用である。

3.3 大気-促進試験錆厚計測結果

図4に大気暴露試験と促進試験の錆厚の経時変化を示す。表3より、珪大軒なしの錆厚を基準にした1年後の促進倍率は、3%食塩水塗布が4.3倍、5%食塩水塗布が7.5倍促進されると予測される。表4に珪大軒なしを基準にして、所定の錆厚までに要した試験日数による促進倍率を示す。予測曲線から錆厚200 μm に達するのに要する試験日数は、5%食塩水塗布の場合、珪大軒なしの5220倍速で22日である。

3.4 X線回折による錆分析

珪大軒あり、3%食塩水塗布、5%食塩水塗布条件の錆厚100 μm に達した時点の外観状態を写真6に示す。軒あり表面の錆の粒径は3%食塩水、5%食塩水塗布に比べ小さく、また、表面の色も若干黒かった。表5に示すX線回折による錆分析の結果、塩分が存在する環境で生成される活性錆 $\beta\text{-FeOOH}$ が検出された。また、軒あり条件では化学的活性が高く、初期の錆層に含まれる $\gamma\text{-FeOOH}$ が検出された。

4. まとめ

- 1) 一様な錆を初期形成した試験片は、大気環境と促進試験環境の相対性評価に有用である。
- 2) 一様錆初期形成試験片に3%および5%食塩水を塗布した促進試験結果から、錆厚で大気暴露試験の4.3倍および7.5倍の促進倍率が得られた。また、時間的な促進倍率は塩水塗布を行った場合、数百倍、数千倍の促進倍率が得られた。
- 3) X線回折による錆分析の結果、軒あり条件で検出された $\gamma\text{-FeOOH}$ が $\beta\text{-FeOOH}$ に変化すると、珪大における自然環境を促進できる可能性がある。

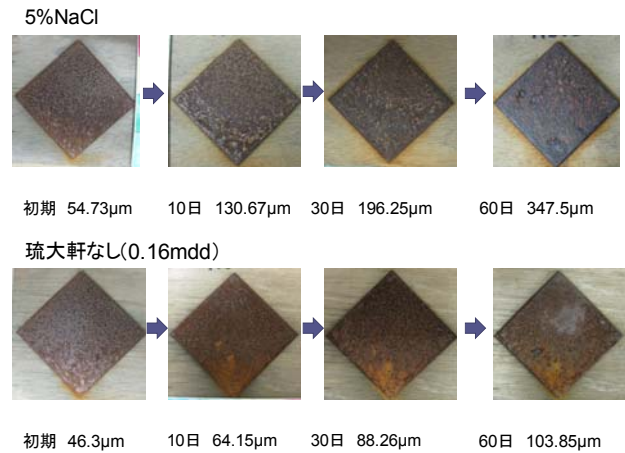


写真5 外観状態

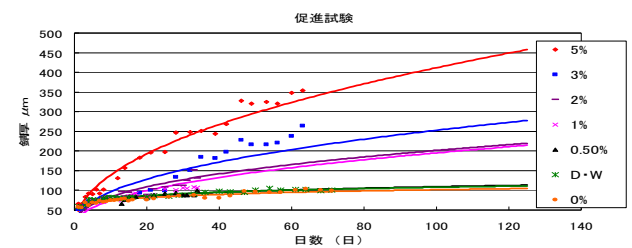


図3 促進試験錆厚の経時変化（並びは凡例の順序）

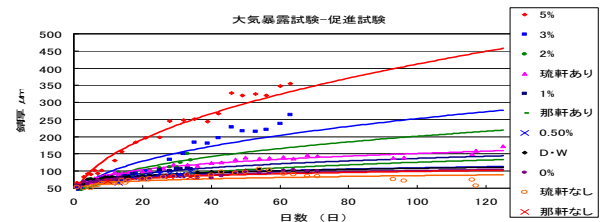


図4 大気-促進試験錆厚の経時変化（並びは凡例の順序）

表3 錆厚による促進倍率

表4 日数による促進倍率

	促進倍率	30日後		1年後予測値	
		錆厚(μm)	倍率	錆厚(μm)	倍率
大気暴露	珪大軒なし	74.7	1	101.1	1
	珪大軒なし	83.0	1.1	119.6	1.2
	珪大軒あり	114.1	1.5	204.3	2.0
	珪大軒あり	90.1	1.2	179.2	1.8
促進試験	Dry & Wet	91.3	1.2	128.6	1.3
	蒸留水塗布	86.0	1.2	121.6	1.2
	0.5%食塩水塗布	90.4	1.2	134.0	1.3
	1%食塩水塗布	102.1	1.4	187.1	1.9
	2%食塩水塗布	127.2	1.7	330.1	3.3
	5%食塩水塗布	233.4	3.1	759.1	7.5

	促進倍率	200 μm までの日数	
		日数	倍率
大気暴露	珪大軒なし	114849	1
	珪大軒なし	9710	12
	珪大軒あり	362	317
	珪大軒あり	490	234
	Dry & Wet	7527	15
	蒸留水塗布	12123	9
促進試験	0.5%食塩水塗布	6164	19
	1%食塩水塗布	446	258
	2%食塩水塗布	132	870
	3%食塩水塗布	57	2015
	5%食塩水塗布	22	5220

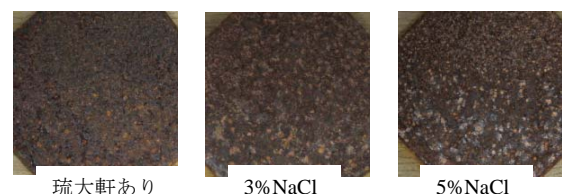


写真6 外観状態

表5 X線回折結果

	軒あり	3%NaCl	5%NaCl
X線回折結果	$\beta\text{-FeOOH}$ $\gamma\text{-FeOOH}$	$\beta\text{-FeOOH}$	$\beta\text{-FeOOH}$