

環境に適した製品創製のための腐食環境予測・評価システムの開発（その2）— SPCC 材腐食について—

中村英二郎、安里昌樹、羽地龍志

合理的な長寿命化や省資源化に寄与する合理的な工業製品を開発するためには腐食環境を的確に評価できる腐食環境予測・評価システムの開発が望まれる。本研究開発はこの塩害に重きを置いた腐食環境予測・評価システムの構築を中心に研究開発を行った。

腐食環境評価簡易パネルの開発を担当し、腐食環境評価法に関する調査、腐食環境（飛来塩分、二酸化硫黄）の評価を行うと同時に、腐食を簡易的に測定するシステムを検討した。その結果、SPCC 材の腐食に対して多変量解析を行い、沖縄本島中南部の主要な腐食環境因子を求めた。

1 緒言

維持管理による工業製品の合理的な長寿命化や省資源化に寄与する合理的な工業製品を開発するためには、腐食環境を的確に評価できる腐食環境予測・評価システムの開発が望まれる。

本研究開発においては腐食環境に適合する工業製品の創製と維持管理に貢献することを目的として、腐食環境の合理的な予測と評価を行う腐食を簡易的に測定するシステムを検討した。その1により腐食環境因子の測定手法についての検討が行われると共に、腐食の評価の指標として冷間圧延鋼板（SPCC）を切断したものを標準材として利用した。さらに、環境因子と SPCC 材の相関を求め、腐食測定に利用する因子を求めた。最終的には化に測定パネルを設計、試作し腐食環境評価が容易にできるシステムを提案する。

2 実験方法

現在国内において標準的に行われている大気環境の測定方法として、ISO 9225 を基にした規格 JIS Z 2382 (1998) 「大気環境の腐食性を評価するための環境因子の測定」があるので、この規格に準拠し腐食環境因子の測定を 2006 年行ったことはその1で報告した。この腐食環境因子と実際の腐食との比較を行うために冷間圧延鋼板（SPCC）を暴露試験を行った。

2-1 冷間圧延鋼板（SPCC）の腐食試験

今回の実験では、短期間での腐食環境を評価することを目的としていることから、1ヶ月でテストピース暴露を行った。暴露場所は、環境因子の測定を行っている場所と同様に、うるま市3箇所と那覇市3箇所、合計6箇所で行った。うるま市は金武湾に面した海岸から内陸側約1km間隔で設置し、那覇市は那覇新港の東シナ海より

内陸に約1km間隔で設置した。暴露台は45度に海岸に近い方位に傾け設置した。うるま市では東向け、那覇市では南向けに3枚ずつテストピースの設置を行った。試験片は暴露地1カ所につき3枚設置し、回収後、さびを除去した後、重量測定を行い、腐食減量を求めた。さび除去は、70℃に加熱した10%クエン酸二水素アンモニウム溶液に試験片を浸して行った。暴露台外観を図1に示す。

暴露期間は、2005年12月～2007年1月までを測定した。

45度に傾けて設置したテストピースとは別に、東西南北各方位に垂直に3枚ずつ、合計12枚テストピースの設置を行った。垂直テストピースは、各方位ごとの影響を測定するためなので、テストピースの裏面は防錆コーティングを行い、任意の方向以外よりは腐食がおこらないようにした。各方位垂直テストピースも1ヶ月毎に回収、設置を行った。

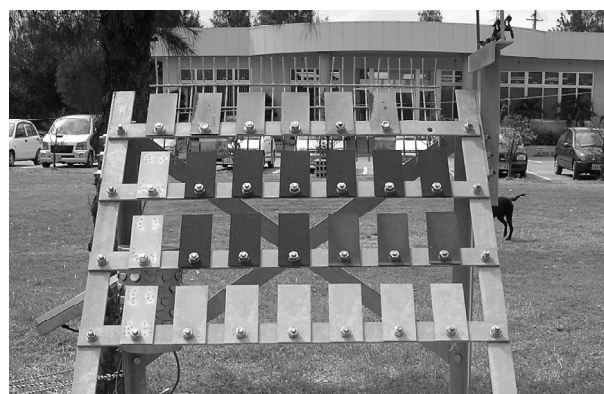


図1 暴露状況

2-2 冷間圧延鋼板（SPCC）腐食と環境因子

1ヶ月間暴露を行った SPCC 材の腐食速度と環境因子の関係を求めた。環境因子は、二酸化硫黄、飛来塩分、

二酸化窒素、風向風速、温度、湿度、ぬれ時間、降水量であり、それぞれの因子と単相関を求めた後、多変量解析を用いて近似式を算出した。

2-3 簡易測定パネルの設計、試作

多変量解析で導かれた近似式を計算するために必要な項目のみをコンパクトにまとめたパネルの設計を行った。このパネルを設置すれば、腐食環境が簡易的に判断できるようにする。簡易的なものなので、コストもなるべく安価にできるようにした。また、最終的に、この簡易パネルを実際に試作をした。

3 実験結果と考察

3-1 SPCC腐食速度

腐食速度のデータを表1、2、図2、3に示す。腐食速度の単位はそれぞれ mdd (mg/d m²/day) である。また腐食速度は試験片3枚の平均値である。

各月の腐食速度をみると、うるま市の7月で特に高い値となっているがこれは台風3号の影響によるものと推測される。またうるま市の9月についても台風13号の影響によるものと推測される。

暴露地の腐食環境を比較すると、うるま市では1ヶ月暴露の平均(月平均)および1カ年暴露とも、うるま市A>うるま市C>うるま市Bの順に腐食環境が厳しくなっている。

那覇市では、那覇市A≒那覇市B>那覇市Cの順番となった。

また1ヶ月暴露と1カ年暴露の腐食速度比は各暴露地ともおよそ0.45となっていた。

またうるま市Cおよび那覇市Bの暴露場では、方位による腐食環境の影響を調べるため四方位暴露試験を行った。使用した試験片は裏面に塗装し、暴露台側面に垂直に設置して行った。本試験に関しては、暴露台のスペースの関係上、平成18年1月から6月までは各方位1枚ずつ試験片を設置、7月以降は各方位3枚ずつ設置した。表3に4方位暴露試験の腐食速度を示す。

東西南北の方位に向けた試料の腐食速度は、台風のあった月を除くと大きな差が認められなかった。一方台風のあった7月は差が大きく、特にうるま市Cの東および南の値が大きくなっている。当該月の風向風速経時変化をみると平均風速で南東方向10m/s以上が観測されており、ある一定以上の風速環境下では風向による影響を考慮する必要がある。

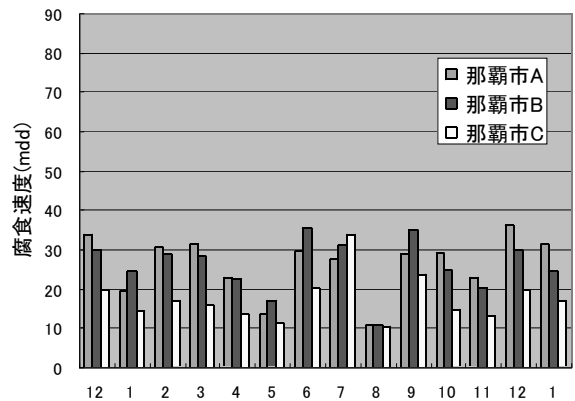


図2 腐食速度 (那覇市)

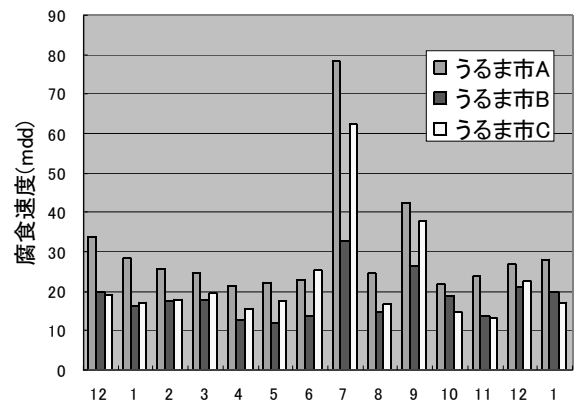


図3 腐食速度 (うるま市)

表1 腐食速度 (mdd)

	1年	月平均	1年/月平均
うるま市A	13.25	30.54	0.43
うるま市B	8.77	18.27	0.48
うるま市C	10.95	23.05	0.48
那覇市A	11.62	25.97	0.45
那覇市B	11.27	26.05	0.43
那覇市C	8.15	17.61	0.46

3-2 冷間圧延鋼板 (SPCC) 腐食と環境因子

腐食環境を測定することと、実際のSPCCテストピースの腐食により、沖縄においてどのような環境が腐食を促進しているのか求めた。今回の実験では、環境測定因子として二酸化硫黄、二酸化窒素、風向風速、温度、湿度、飛来塩分量を測定した。実際には、ここに取り上げた以外の因子も含め種々な複合的な因子が腐食環境に影響を及ぼしている。そこで、SPCC材の腐食に対してそれぞれの因子で多変量解析を行った。

表2 月別腐食速度 (mdd)

	2005年		2006年										2007年		
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	月平均
うるま市A	34.06	28.46	25.76	24.50	21.45	22.37	23.03	78.34	24.36	42.29	21.63	23.95	26.82	27.98	30.54
うるま市B	19.77	16.29	17.47	18.10	12.83	12.02	13.60	32.72	14.70	26.44	18.61	13.77	21.22	20.01	18.27
うるま市C	19.06	17.28	17.94	19.38	15.76	17.60	25.18	62.43	16.72	37.65	14.79	13.16	22.69	17.30	23.05
那覇市A	33.93	19.61	30.91	31.48	22.85	13.73	29.67	27.49	10.85	28.80	29.33	22.92	36.05	31.39	25.97
那覇市B	30.16	24.43	28.99	28.33	22.52	17.02	35.30	31.10	10.84	35.06	24.85	20.07	29.96	24.73	26.05
那覇市C	19.83	14.52	17.31	16.08	13.57	11.16	20.20	34.03	10.54	23.88	14.63	13.13	19.99	17.08	17.61

表3 4方位暴露の月別腐食速度 (mdd)

		2006年											2007年		
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	月平均
うるま市C	東	15.24	19.66	17.88	13.87	19.57	17.47	114.73	20.59	45.20	12.00	12.27	21.33	14.98	27.48
	西	12.20	17.95	17.28	10.92	12.80	19.41	71.10	13.77	30.23	13.50	11.39	19.83	18.31	20.87
	南	17.90	17.77	16.35	12.50	16.37	15.35	113.88	20.47	42.94	12.31	12.50	25.76	14.11	27.01
	北	13.92	16.66	19.67	12.18	11.89	15.07	75.24	19.14	42.66	13.06	12.28	20.77	16.84	22.71
那覇市B	東	14.72	23.66	25.83	17.67	14.60	26.68	45.51	8.86	38.85	20.37	14.04	24.57	21.95	22.95
	西	16.80	27.16	26.20	21.77	16.85	31.48	46.41	9.04	41.46	24.22	16.76	31.67	24.63	25.82
	南	13.89	25.58	25.76	21.29	17.66	38.68	35.09	10.52	46.69	25.52	17.75	29.32	23.00	25.65
	北	15.55	28.57	29.70	20.97	13.23	30.62	49.47	8.37	34.68	24.55	14.31	26.23	21.95	24.69

表4 気象因子

		2005年	2006年											2007年	
		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
平均気温	(°C)	17.20	18.10	17.90	18.40	21.20	24.80	26.80	29.10	29.20	27.80	26.10	22.90	19.70	17.8
平均相対湿度	(%)	60	72.00	73.00	69.00	76.00	83.00	85.00	79.00	79.00	75.00	69.00	71.00	67	69
平均風速	(m/s)	6.4	5.40	5.40	5.40	5.00	4.80	5.00	6.30	4.60	4.40	5.10	4.40	6.1	5.1
風向		北北西	東南東	北	北北東	西	東北東	西	南南東	東	南	北	西南西	北東	北北西
最大瞬間風速	(m/s)	28.5	22.70	20.60	26.00	30.20	23.50	23.40	36.70	22.20	36.10	19.20	21.00	22.9	20.4
降水量	(mm)	111.5	191.5	101.5	113.0	305.0	333.5	333.5	114.0	142.0	135.5	39.0	116.5	143.0	184.5
日照時間	(h)	88.5	80.9	62.4	135.1	107.9	114.5	140.2	236.9	204.1	169.4	180.5	115.5	73.4	94.8
全天日射量日合計の平均	(MJ/m ²)	8.6	8.5	9.7	14.2	14.2	15.5	16.5	22.0	19.5	16.8	14.7	10.6	8.1	9.3

表5 環境因子 (うるまC)

		2005年	2006年											2007年	
		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
腐食速度(45度)	(mdd)	19.06	17.90	17.22	19.38	15.76	17.60	25.18	62.43	16.72	37.65	21.63	13.16	22.69	
腐食速度(東)	(mdd)		15.24	19.66	17.88	13.87	19.57	17.47	114.7	20.59	45.20	12.00	12.27	21.33	
腐食速度(西)	(mdd)		12.20	17.95	17.28	10.92	12.80	19.41	71.10	13.77	30.23	13.50	11.39	19.83	
腐食速度(南)	(mdd)		17.90	17.77	16.35	12.50	16.37	15.35	113.9	20.47	42.94	12.31	12.50	25.76	
腐食速度(北)	(mdd)		13.92	16.66	19.67	12.18	11.89	15.07	75.24	19.14	42.66	13.06	12.28	20.77	
飛来塩分(カーゼ法東西南北平均)	(NaCl・mg/(m ² ・day))	84.0	52.3	77.5	29.6	29.7	20.7	34.8	109.7	33.5	149.2	41.5	39.2	48.4	58.6
飛来塩分(カーゼ法東西)	(NaCl・mg/(m ² ・day))	91.9	54.5	77.6	26.5	45.0	13.6	20.6	114.2	45.2	92.5	43.6	35.2	55.1	64.9
飛来塩分(カーゼ法南北)	(NaCl・mg/(m ² ・day))	76.1	50.2	77.4	32.6	14.3	27.7	49.0	105.2	21.9	205.9	39.4	43.2	41.8	52.3
飛来塩分(土研法平均)	(NaCl・mg/(m ² ・day))	32.6	56.2	77.0	58.2	50.5	71.4	16.9	179.4	41.7	51.6	9.6	15.8	65.7	24.9
飛来塩分(ウェットキャンドル法)	(NaCl・mg/(m ² ・day))									42.8	267.3	30.6	30.7	78.1	41.8
二酸化硫黄(アルカリ紙法)	(mg/(m ² ・day))	2.05	2.93	2.32	10.43	7.57	10.29	5.74	8.81	8.23		7.49	6.57	8.37	11.82
二酸化硫黄(二酸化鉛円筒法)	(mg/(m ² ・day))		3.5	2.6	4.5	2	1.9	2.9	2.9						
二酸化窒素	(ppb)			2.06		3.89	3.25	3.63	2.11	0.84	4.83	1.95	5.27	2.46	3.28

飛来塩分測定法は、ガーゼ法と土研法の2種類において行われたが、相関関係から土研法がより腐食速度に一致している結果となった。多変量解析では、互いに相関のある因子を複数含むことができないので、飛来塩分測定は土研法を解析に用いることとした。

多変量解析を行うと、土研法平均と那覇气象台1ヶ月の最大瞬間風速、降水量が有意となった。土研法、瞬間最大風速は正の相関、降水量は負の相関となった。

$$\begin{aligned} \text{腐食減量 (mdd)} = & 0.1079 \times (\text{土研法 4 方位平均}) \\ & + 0.5031 \times (\text{那覇气象台 1 ヶ月の瞬間最大風速}) \\ & - 0.0233 \times (\text{那覇气象台 1 ヶ月の降水量}) \\ & + 8.4814 \end{aligned}$$

このように、土研法4方位平均のデータと那覇气象台の気象データを用いることにより、おおよその腐食環境を推測することが可能となる。今回の測定でも、台風が接近した7、9月がうるま市地域において腐食環境が大きくなっていることから、台風時の扱いをどのようにするのが、計算上鍵を握る。今回は、1ヶ月で1番大きな瞬間最大風速の値を利用して台風を考慮しているが、更により方法を求め精度を向上させる必要がある。

3-3 簡易測定パネルの設計、試作

簡易評価パネルの試作を行った。従来の測定方法と比較して、安価にそして簡便に測定可能なものを目指した。多変量解析の結果から、土研法を組み込まなくてはならないので、土研法のパネルを試作した。現在は、ステンレス薄板を溶接加工して作られているため高価であるが、簡易パネルではアクリル板を積層して土研法の基準を満たすようにした。アクリルは樹脂の中では比較的高価であるが、耐候性、強度を有し、接着や加工が容易なためパネルの材質に適切であると判断した。ステンレス製のものと比較をすると、コスト的には1/10程度で製作可能である。土研法パネルの設計図を示す。下部にはアクリルパイプを埋め込み、100mm角の枠内に入った雨水が容易に取り出せるようにした。

土研法パネルは平面なため、周囲環境をすべて測定しようと思えば、東西南北4方位にすべて設置を行わなければならない。そこで、土研法を4面効率的に配置した簡易装置を提案する。短期用では、溶液回収がやりやすいように、コックを設けた。また、長期用では年間を通して雨水を回収可能な大型タンク(18L×4ヶ)を有し、長期間のメンテナンスフリーを目指した。ガーゼ法の分析は塩素イオン計で十分測定ができるので、土研法でも簡便に可能である。また、電気伝導度計をタンクにセットすることで、データの外部からのモニタも可能

と考える。

土研法の上部にある傾斜面は、暴露試験体の設置空間である。腐食環境の基準としたSPCC材や亜鉛試験体、ステンレス標準体、ACMセンサ等が設置可能である。土研法だけでは、目視において簡単な判断はできないので、これらの外観で容易に判断できる試験体を一緒にセットすることで、現場で大まかな判断を行い、戻ってから分析を行い、詳細なデータを得ることができる。また、土研法のみであると、周辺環境の異常な二酸化硫黄や二酸化窒素に対しても気が付かないが、標準試験体があることで異常に気が付くことができる。このような環境評価装置を提案する。



図5 簡易測定パネル

4 まとめ

SPCCの腐食速度は、海岸からの距離が離れるにつれ低い値を示した。このことは、飛来塩分の影響を受けているものと考えられる。東西南北の方位に向けた試験片の腐食減量は大きな差が認められなかった。

飛来塩分測定法は、ガーゼ法と土研法の2種類において行われたが、相関関係から土研法がより腐食速度に一致している結果となった。得られた環境因子データで多変量解析を行うと、土研法平均と那覇气象台1ヶ月の最大瞬間風速、降水量が有意となった。土研法、瞬間最大風速は正の相関、降水量は負の相関となった。

また本研究で簡易測定パネルを試作した。今後、暴露試験に使用し、評価を行う予定である。

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。