

鋼および鋳鉄の腐食に関する研究

機械金属室 比嘉敏勝

1. 緒言

金属は陸上、海上の輸送機関、土木建築、など各種工業用装置、家庭用品にいたるまで、はば広く使用されている。しかし、金属は表面から起こる腐食によって数々の障害を引き起こし、これら金属製品の腐食によって受ける経済的損失は莫大である。ちなみに、工業国での腐食による経済的損失はGNP（国民総生産）の3～4%といわれているから、わが国の被害額は年間4兆円をうまわると推定される。¹⁾そのため、それらの対策に諸外国はもとより、国内の各大学、公設試験研究機関、会社等において精力的な研究が進められている。

本県のような亜熱帯気象条件（高温、多雨、多湿、強い紫外線）、海洋から飛散する塩分などは金属製品にとって苛酷な状況にある。従ってわが県は腐食による被害が多く、その対策が業界並びに一般消費者の間から強く要望されている。したがって今回は防食対策の一環として、鋼および鋳鉄に関し次のような屋外暴露試験、室内腐食促進試験等を実施し、いくつかの結果が出たので報告する。

1・1 屋外暴露試験

軟鋼SS41は県内で最もよく使用されている鋼材であり、それについては国内各地の試験結果が報告されている。しかし本県のそれがないので、1975. 1. 9～1978. 6. 6の暴露試験を実施した。

1・2 室内腐食促進試験

1・2・1 軟鋼材の試験

腐食減量／錆の全量、腐食減量／腐食増量などの比を求めた。さらに、暴露試験との対比により室内腐食促進試験の促進率を求めた。

1・2・2 軟鋼と鋳鉄の耐食試験

SS41、FC30、ダクタイルの耐食性を比較した。

1・2・3 鋳鉄の腐食減量、腐食速度、侵食量、錆皮膜の厚さの計測

なお、腐食量はSS41のデータを基にして腐食増量から算出した。

1・2・4 鋳鉄中の炭素、ケイ素量の変動と耐食性

ダクタイル鋳鉄の主な添加元素であるC、Si量が耐食性に与える影響を検討した。

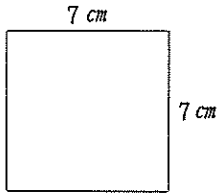
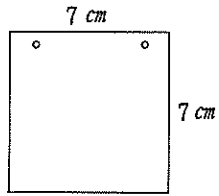
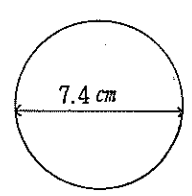
1・2・5 電磁膜厚計による錆皮膜の厚さの計量

電磁膜厚計による錆皮膜厚さの計測は錆成分が磁性を持つためその計測は従来困難だったが、電磁膜厚計の計測値に、実験定数Tを乗ずることによって測定できることがわかった。

2. 実験

2・1 試験片の作製法

表1 試験片の作製

試験の種類 供試料	屋外暴露試験		室内腐食促進試験	
	圧延鋼板 SS41		圧延鋼板 SS41	鋳鉄 (A~J)
前処理	圧延鋼板 SS41		圧延鋼板 SS41	鋳鉄 (A~J)
形状	 7 cm 7 cm 厚さ 0.2 cm		 7 cm 7 cm 厚さ 0.25 cm	 7.4 cm 厚さ 0.3 ~ 0.45 cm
切断	帯鋸盤		煎断機	直径10cm深さ25cmの砂型に鋳込み、施盤で直径7cmの円柱にした。これを電動鋸で厚さ0.3~0.45cmに輪切り。
研磨	エメリー紙 #500 → #800 → #1000 鏡面仕上げ		平面研削盤仕上げ	平面研削盤仕上げ
脱脂方法	合成洗剤		合成洗剤	合成洗剤
試験片枚数	12		24	60

2・2 供試料の元素組成

表2は、供試料の元素組成で、発光分光分析装置、島津GVM100によって測定した。

表2 供試料の成分分析

(発光分光分析)

供試記号	成分							
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu	他
A (FC30)	3.46	2.23	0.44	0.058	0.024	0.004	0.043	
B (ダクタイル)	3.50	1.67	0.39	0.060	0.024	0.057	0.048	
C (ダクタイル)	3.09	2.11	0.30	0.056	0.030	0.066	0.043	
D (")	3.29	2.20	0.34	0.052	0.024	0.057	0.078	
E (")	3.41	2.06	0.33	0.054	0.029	0.065	0.053	
F (")	3.68	2.05	0.37	0.059	0.030	0.063	0.095	
G (ダクタイル)	3.21	1.91	0.29	0.045	0.027	0.063	0.057	
H (")	3.40	2.14	0.31	0.051	0.027	0.070	0.084	
I (")	3.42	2.20	0.31	0.055	0.026	0.069	0.073	
J (")	3.36	2.12	0.33	0.058	0.029	0.068	0.013	
K (SS41)	0.064	0.006	0.40	<0.001	0.0058			

2・3 鋳鉄試料の金属組織

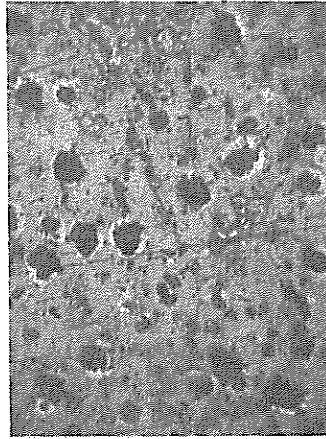
鋳鉄試料A~Jの金属顕微鏡写真を写影し、所定の材料になっていることを確認した。そのうちか

ら二三の例を図1に挙げる。

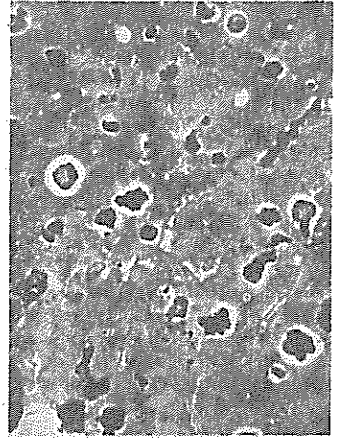
図1. 鑄鉄供試料の金属顕微鏡写真



供試料 A



供試料 B



供試料 C

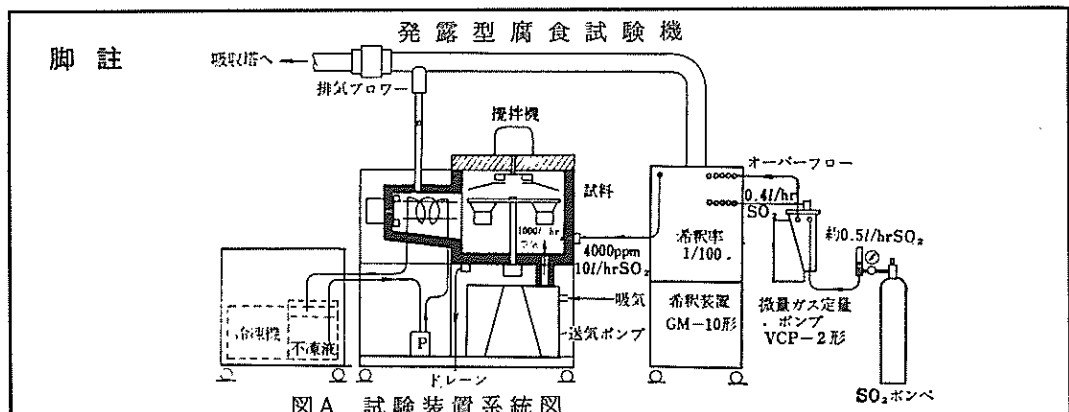
2・4 試験条件

2・4・1 屋外暴露試験

- (1) 試験台：JIS HO521-1968 に準拠して作製。南向き 45° に設置
- (2) 場所：沖縄県工業試験場内
那覇市寄宮 314 番地
北緯：35° 44'、東経：140° 45'
- (3) 期間：1975年1月9日～1978年6月6日
その間、3、6、9、12、18、48ヶ月目に台から取りはずし各々測定した。
- (4) 腐食減量：試験片をブランクといっしょに5%クエン酸二アンモニウム溶液に1日浸し、錆を水道水でスポンジを使って洗い落した。それからメタノールで洗い流し、乾燥後秤量。

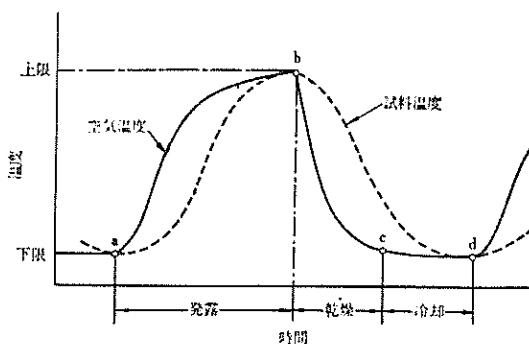
2・4・2 室内腐食促進試験

- (1) 装置は山崎精機発露腐食試験機 DW-100型を使用した。装置の概略を脚註に示す。



本試験機は山崎により考案されたもので、金属を実際に使用したとき生じる腐食と同様の形態の腐食を試験機により再現させようとするものである。JISにきめられた塩水噴霧試験ではその腐食の形態が違いすぎる点があり、また大気曝露試験では時間がかかりすぎ、かつ再現性に乏しい等の点を改善した試験法であるとしている。発露型という名前からもわかるように、試料室に冷凍機からの冷気と湿気を含んだ暖かい空気を交互に導入して、発露と蒸発を繰り返し、自然界に近い状態で腐食を促進する試験で、なお、そのほかに、試料室内は光（カーボンマーク、水銀燈）、雨（シャワー）風送塩（海水エアゾール）、腐食ガスなどの実験環境を設定できるようになっている。¹⁾

図Bは発露サイクルの原理を表わす試料室内における温度変化曲線で、まずa～bで示す空気温度の急速な上昇に対し供試材の温度はその熱容量のために点線a～bのように遅れて上昇する。この時の空気は送気ポンプにおいて水中を通過して飽和状態にあり、供試材はこれより常に低い温度、すなわち露点温度以下にあって結露する。次に実際b～cのごとく急激に試料室内の空気が冷却され、除湿されると、前とは逆に供試材の冷却が遅れて周囲の空気よりも高い温度、すなわちその露点温度よりはるかに高いことになり露の蒸発が行なわれ、乾燥しながら冷却されて行く。この動作を一定のサイクルでくり返して発露乾燥が行なわれる。²⁾



図B 発露サイクル温度曲線

引用文献

1. 加藤正義他共著、金属表面工業全書13巻金属腐食防食技術 P. 218 横書店
2. 山崎正八郎、横井康夫、防蝕技術19、18、 P. 337 (1970)

(2) 測定条件

発露サイクル： 12回／日

微量腐食ガス： 亜硫酸ガス 20ppm

光： 水銀燈

シャワー： 1時間 (P.M 5 ~ P.M 6) / 日

天然海水のエアゾール： 6時間 (P.M 6 ~ P.M 12) / 日

温度： 下限温度 20℃ ~ 上限温度 30℃

ただし供試料、SS41、A、Bに関しては上限温度35℃とした。

(3) 腐食試験後の測定

供試料SS41については試験片を取りはずし、重量、厚み、を測定後屋外暴露試験の場合と同様に錆を除き秤量した。後にブロックゲジによって厚みを測定した。その結果から腐食減量、腐食速度、

鉛の重量、腐食減量/鉛の重量、腐食増量、腐食減量/腐食増量、鉛皮膜の厚さ、侵食量などを求めた。

供試料鋳鉄については試験片を取りはずし、重量、厚み、電磁膜厚計により鉛皮膜の厚さを測定後腐食増量を求め、SS41材のデーターを基に腐食減量、腐食速度、侵食量、鉛皮膜の厚さを計測した。

3. 試験結果と考察

3・1 供試料の元素組成

(a) 表2で示すように、供試料A、BについてはFC30、ダクタイル鋳鉄の耐食性比較試験用としてMg以外の元素組成がほぼ同じになるようにした。

(b) 鋳鉄の供試料C~FはSi量一定にし、炭素量の変動と耐食性を試験するためであるが、DのSi量が他より若干高くなっている。

(c) 鋳鉄の供試料G~Jは炭素量一定にし、Si量の変動と耐食性を試験するためのものであるが、供試料Gの炭素量が他より若干低くなっている。

3・2 金属顕微鏡写真

供試料Aはねずみ鋳鉄、その他はダクタイルになっていることを確認した。

3・3 屋外暴露試験について

表3は試験片の形状と試験結果を示す。

表3. 供試料SS41の屋外暴露試験

測定 年月日	試験片番号 試験期間 (日)	試験前			錆除去後		測定結果	
		試験片寸法 (cm) 縦 横 厚	表面積 (dm^2)	重量 (g)	重量 (g)	腐食減量 (mg/dm^2)	腐食速度 mdd	
75. 4. 9	3ヶ月 (90日間)	1	7.021 6.873 0.195	1.0191	72.2433	71.1652	966.0 ± 6.00	10.73 ± 0.66
		2	6.991 7.045 0.193	1.0392	73.4170	72.4592		
75. 7. 9	6 " (181 ")	3	6.983 6.930 0.195	1.0218	72.5345	70.6901	180.49 ± 0.14	10.07 ± 0.01
		4	7.020 7.005 0.195	1.0382	73.9525	72.0788		
75. 10. 9	9 " (273 ")	5	7.065 7.000 0.193	1.0434	74.0671	71.7251	224.53 ± 0.76	8.20 ± 0.03
		6	7.017 6.967 0.193	1.0317	73.1215	70.8042		
76. 1. 9	12 " (365 ")	7	7.001 7.045 0.195	1.0412	74.7099	71.8912	270.65 ± 0.65	9.81 ± 0.03
		8	7.010 6.985 0.195	1.0339	74.2354	71.4378		
76. 7. 6	18 " (565 ")	9	6.960 7.028 0.192	1.0317	73.1448	69.9205	312.67 ± 1.45	5.77 ± 0.03
		10	6.918 6.991 0.192	1.0207	72.2479	69.0550		
78. 7. 6	42 " (1274 ")	11	6.941 7.042 0.195	1.0321	74.0793	69.7550	419.39 ± 4.06	3.29 ± 0.03
		12	6.996 6.943 0.189	1.0338	71.6449	67.3050		

期間 1975. 1. 9 ~ 1978. 7. 6

ここで、腐食減量、腐食速度は次の式によって求めた。²⁾

$$\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)} = \frac{\text{暴露後の重量 (g)} - \text{錆除去後の重量 (g)}}{\text{試験片の表面積 (dm}^2\text{)}} \times 1000 \quad \dots(1)$$

$$\text{腐食速度 (mdd)} = \frac{\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)}}{\text{暴露日数}} \dots\dots\dots(2)$$

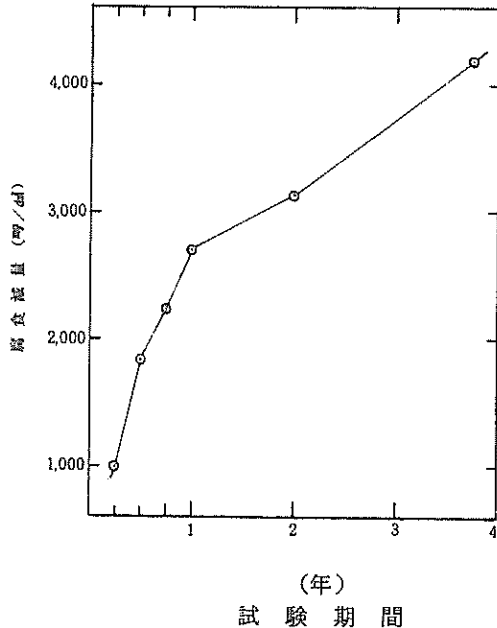


図2. 供試料K、SS41の屋外暴露試験による腐食減量の経時変化

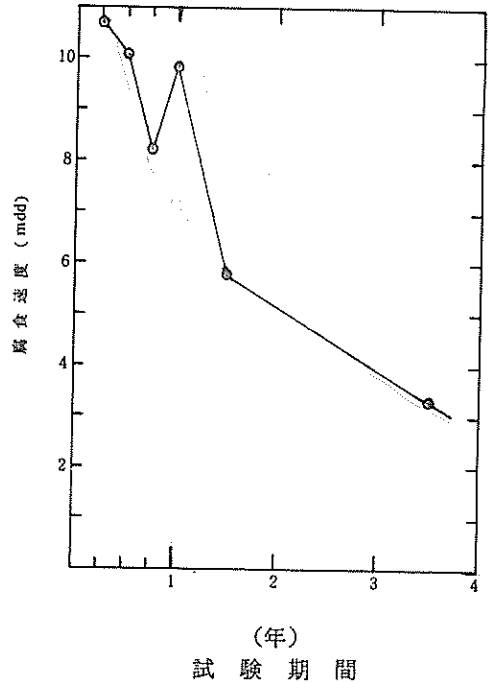


図3. 供試料K、SS41の屋外暴露試験による腐食速度の経時変化

図2、図3は軟鋼供試料SS41の屋外暴露試験における腐食減量、腐食速度の経時変化を示す。

表4. 各地区の1カ年の軟鋼の腐食試験³⁾

表4は各地区の1ケ年の腐食量³⁾と本県との比較を示す。

この表からわかるように、本県は川崎、東京(石川島)の工業地帯について高い地区になっている。

3・4 室内腐食促進試験

3・4・1 軟鋼SS41の試験

表5、表6は供試料SS41の形状と重量試験結果を示す。

地区	腐食量			備考
	(mg/cm ²)	(mdd)	(mm/yr)	
御前崎	33.3	9.1	0.042	陸防研第4報 36.5~37.4
枕崎	26.4	7.3	0.033	
高山	16.5	4.5	0.021	
輪島	23.4	6.4	0.029	
帯広	14.6	4.0	0.018	
川崎(日本鋼管)	114.8	31.5	0.144	
東京(石川島)	83.7	23.0	0.105	
那覇	27.1	9.8	0.035	

ここで腐食減量、腐食速度は式(1)、(2)によって求め、さらに、錆の全量²⁾、腐食減量/錆の全量、腐食増量、腐食減量/腐食増量、錆皮膜の厚さ、侵食量を次の式によって求めた。

$$\text{錆の全量 (mg/dm}^2\text{)} = \frac{\text{試験後の重量(g)} - \text{錆除去後の重量(g)}}{\text{表面積 (dm}^2\text{)}} \times 1000 \dots\dots\dots(3)$$

表5. 供試料K. SS41の形状と重量(発露型腐食試験)

測定項目 試験片番号 試験時間		試 験 前					試 験 後		錆 除 去 後	
		試 験 片 寸 法			表 面 積	重 量	厚	重 量	厚	重 量
		縦	横	厚さcm	dm ²	g	cm	g	cm	g
71	1	7.008	6.984	0.262	1.0522	99.5442	-	-	0.259	96.8750
	2	7.020	6.977	0.261	1.0526	99.5812	-	-	0.259	96.8760
120	3	7.050	6.991	0.261	1.0590	100.3490	0.319	102.3127	0.258	96.1923
	4	6.987	7.011	0.260	1.0525	99.6320	0.314	101.5910	0.257	95.5090
168	5	6.992	6.988	0.261	1.0502	99.5440	0.327	101.9434	0.257	94.6247
	6	6.992	7.035	0.261	1.0570	100.0065	0.331	102.4580	0.258	94.9490
247	7	7.082	6.988	0.261	1.0632	100.1235	0.338	103.2882	0.256	93.5860
	8	6.959	7.014	0.262	1.4943	99.3225	0.337	102.5210	0.255	92.7050
316	9	6.986	7.005	0.237	1.0451	90.0572	0.337	93.8818	0.229	82.0597
	10	6.991	6.990	0.237	1.0436	90.3050	0.329	94.1772	0.228	82.0847
362	11	7.062	6.984	0.237	1.0530	90.8103	0.333	94.9407	0.227	82.0659
	12	6.990	6.970	0.237	1.0406	89.9205	0.336	94.1145	0.226	80.9895
433	13	7.045	6.985	0.237	1.0507	90.8945	0.336	-	0.225	80.6308
	14	6.989	6.983	0.237	1.0423	89.0755	0.335	-	0.227	79.1707
478	15	6.953	6.983	0.237	1.0371	88.8180	0.343	93.9000	0.222	77.4326
	16	7.033	6.947	0.237	1.0434	89.6850	0.350	94.7624	0.223	78.4108
581	17	6.977	6.967	0.276	1.0566	104.6530	0.396	110.4295	0.226	91.7827
	18	6.946	7.053	0.276	1.0571	105.4033	0.396	111.1323	0.265	92.5954
670	19	6.953	6.944	0.276	1.0423	104.8050	0.415	110.9768	0.263	91.1683
	20	6.954	6.961	0.276	1.0449	104.5113	0.428	110.4108	0.262	90.6459

表6. 供試料K. SS41の発露型腐食試験結果

試験項目 試験片番号 試験時間		腐食減量	腐食速度	錆の重量	(A)	増 量	(A)	錆皮膜の厚さ	侵 食 量
		mg/dm ²	mdd	mg/dm ²	錆の重量	mg/dm ²	増 量	mm	mm
71 時間	1	2430±17	822±6	-	-	-	-	-	0.003±0.0005
	2								
120 "	3	3880±4	776±1	5736±0	0.6764	1856±4	2.091	0.059±0.002	0.003±0.00
	4								
168 "	5	4615±50	659±7	6916±68	0.6673	2299±18	2.007	0.072±0.002	0.004±0.0005
	6								
247 "	7	6134±79	596±8	9143±114	0.6709	3010±36	2.038	0.082±0.000	0.006±0.001
	8								
316 "	9	7694±112	585±9	11376±137	0.6763	3682±25	2.090	0.105±0.004	0.009±0.0005
	10								
362 "	11	8328±139	552±9	12301±193	0.6770	3973±54	2.096	0.108±0.002	0.011±0.0005
	12								
433 "	13	9451±133	524±8	-	-	-	-	0.110±0.002	0.011±0.0005
	14								
478 "	15	10731±87	539±5	15761±104	0.6809	4879±17	2.199	0.124±0.003	0.015±0.0005
	16								
581 "	17	11985±33	495±1	17422±56	0.6879	5461±0	2.195	0.131±0.001	0.011±0.0005
	18								
670 "	19	12454±35	446±1	18360±45	0.6783	5905±10	2.109	0.159±0.007	0.014±0.0005
	20								

Rの平均値 0.6783±0.0057 Kの平均値 2.103±0.062

$$\frac{\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)}}{\text{錆の全量 (mg/dm}^2\text{)}} = R \dots\dots\dots(4)$$

ここで $R = 0.6769 \pm 0.0057$ (実験値)

$$\text{腐食増量 (mg/dm}^2\text{)} = \frac{\text{試験後の重量(g)} - \text{試験前の重量(g)}}{\text{表面積 (dm}^2\text{)}} \times 1000 \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)}}{\text{腐食増量 (mg/dm}^2\text{)}} = K \dots\dots\dots(6)$$

$K = 2.103 \pm 0.062$ (実験値)

$$\text{錆皮膜の厚さ (mm)} = \text{試験後の厚さ (mm)} - \text{錆除去後の厚さ (mm)} \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{侵食量 (mm)} = \text{試験前の厚さ (mm)} - \text{錆除去後の厚さ (mm)} \dots\dots\dots(8)$$

実験の結果式(4)は $R = 0.6769 \pm 0.0057$ の定数であり、腐食進行過程において錆成分に大きな変化がないことを示している。なお、実例の結果式(5)の定数は $K = 2.103 \pm 0.06$ 、鋳鉄の腐食減量、腐食速度、などの算出の基準になった。

3・4・2 室内腐食促進試験の促進率

軟鋼SS41の暴露試験との対比から発露型腐食試験の促進率を求め表7に示す。なおここで、腐食促進率を式(9)によって求めた。

$$\text{腐食促進率} = \frac{\text{暴露試験日数}}{\text{試験機による試験日数}} \dots\dots\dots(9)$$

ただし、ここで分母と分子の腐食量が等しい。

3・4・3 A (FC30), B (ダクタイル)

の試験結果

表8はA (FC30)、B (ダクタイル)の試験結果を示す。

ここで腐食減量、腐食速度、侵食量はSS41材を基準にして、腐食増量から次の式によって算出した。

式(5)から

$$\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)} = K \times \text{腐食増量} \dots\dots\dots(10)$$

ここで $K = 2.103 \pm 0.062$

$$\text{腐食速度 (mdd)} = \frac{\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)}}{\text{試験日数}} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{侵食量 (mm)} = \frac{\text{腐食減量 (mg/dm}^2\text{)}}{d \times 10^{-4}} \dots\dots\dots(12)$$

ここでd：供試料の密度

3・4・4 軟鋼SS41, A (FC30), B (ダクタイル)の耐食性の比較

図4および図5は軟鋼SS41、A (FC30)及びB (ダクタイル)の耐食性を比較したものでB

表7. 室内腐食促進試験の促進率

腐食試験 腐食減量 mg/dm ²	屋外暴露 試験 日数	発露型 腐食試験 時間 日数	腐食促進率
966.0	90	-	-
1804.9	181	-	-
2245.3	273	60 2.5	109
2706.5	365	80 3.3	111
3126.7	565	95 4.0	141
4193.9	1277	140 5.8	220

平均 145 ± 45

表 8. 供試料、A. (FC30)、B. (ダクタイル) 形状と発露型腐食試験結果

試験片記号	測定項目		試験前			試験後	腐食増量	腐食減量	腐食速度	侵食量	
	試験片番号	試験時間	試験片寸法 直径	厚さcm	表面積 dm ²	重量 g	重量 g	mg/dm ²	mg/dm ²	mdd	mm
A	1	101	7.39	0.433	0.9584	130.4148	131.5640	1195	2513	596.93	0.0339
	2	216	7.40	0.434	0.9611	131.1069	133.0112	1974	4151	461.26	0.0560
	3	313	7.40	0.388	0.9535	117.4003	119.8206	2538	5337	409.31	0.0721
	4	409	7.40	0.450	0.9684	136.0034	139.1320	3243	6820	400.71	0.0922
	5	507	7.40	0.433	0.9643	131.1083	134.7036	3742	7869	372.43	0.1063
	6	600	7.40	0.433	0.9643	131.1924	135.3009	4261	8961	358.44	0.1210
B	1	101	7.39	0.385	0.9491	118.3930	119.4971	1163	2446	580.94	0.033
	2	216	7.39	0.465	0.9658	142.4171	144.3603	2012	4231	470.14	0.057
	3	313	7.39	0.429	0.9609	131.8979	134.3967	2610	5489	420.92	0.074
	4	409	7.38	0.363	0.9421	112.1322	114.7152	2742	5766	338.80	0.077
	5	507	7.38	0.483	0.9714	149.1335	152.3647	3326	6995	331.02	0.094
	6	600	7.38	0.346	0.9385	106.5114	109.7920	3496	7352	294.08	0.099

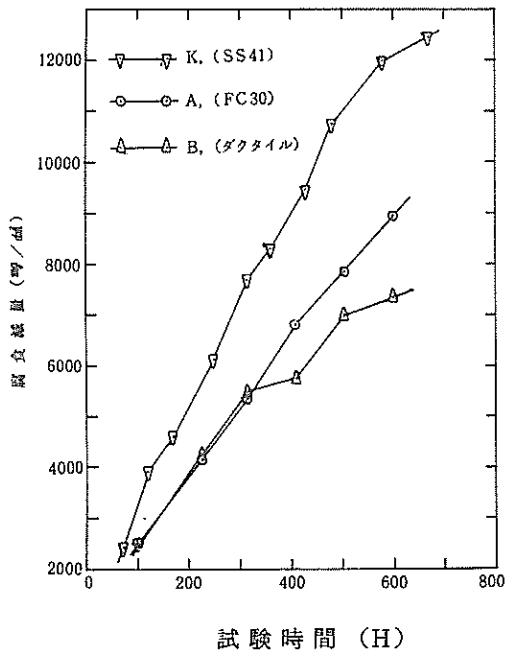


図 4. 発露型腐食試験における腐食減量の経時変化

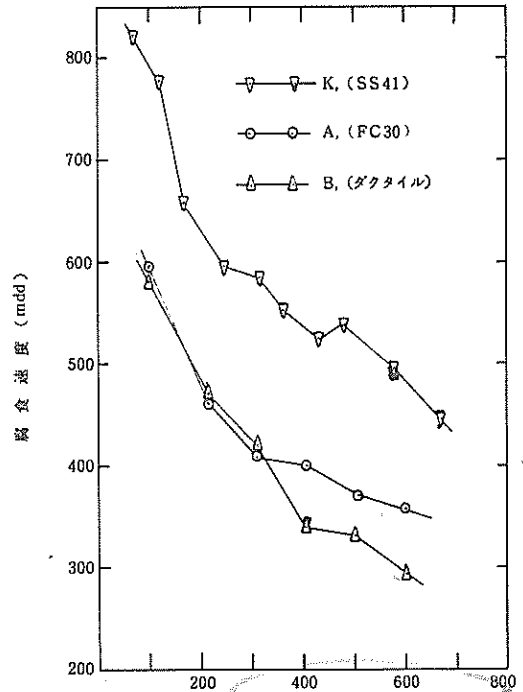


図 5. 発露型腐食試験における腐食速度の経時変化

(ダクタイル)の耐食性が最もよく、以下A (FC30)、SS41の順になっていることがわかる。

3・4・5 ダクタイル鑄鉄における炭素含有量の耐食性に与える影響

表 9 及び表 10 はダクタイル鑄鉄試料 (C~F) の試験片の形状と試験結果を示す。

表 9. ダクタイル鑄鉄、供試料 C～F の形状と重量 (発露型腐食試験)

試験片記号	試験片番号	試験時間	試験 前			試験 後		
			試験片寸法 直径	厚さ cm	表面積 dm ²	重 量 g	重 量 g	厚 さ cm
C	1	102	7.39	0.302	0.9286	93.0467	93.5460	0.313
	2	196	7.39	0.302	0.9286	93.0525	94.0089	0.320
	3	316	7.38	0.302	0.9274	93.2902	94.8044	0.329
	4	386	7.38	0.303	0.9275	91.3267	93.2627	0.334
	5	504	7.38	0.301	0.9274	92.7475	95.0808	0.337
	6	604	7.38	0.302	0.9273	93.0682	95.8965	0.348
D	1	102	7.39	0.250	0.9186	73.1118	73.5580	0.260
	2	196	7.41	0.250	0.9222	73.8642	74.6945	0.266
	3	316	7.37	0.249	0.9183	76.7671	78.1195	0.278
	4	386	7.39	0.250	0.9184	76.9097	78.6008	0.280
	5	504	7.38	0.250	0.9160	75.1879	77.2309	0.281
	6	604	7.38	0.248	0.9157	76.6965	79.1583	0.290
E	1	102	7.39	0.298	0.9296	91.9335	92.4381	0.309
	2	196	7.40	0.298	0.9308	91.6544	92.6040	0.315
	3	316	7.40	0.298	0.9320	91.7659	93.3026	0.324
	4	386	7.39	0.297	0.9294	91.6089	93.4739	0.330
	5	504	7.40	0.298	0.9308	91.7415	94.0702	0.335
	6	604	7.39	0.298	0.9296	91.7162	94.5191	0.344
F	1	102	7.40	0.283	0.9271	86.7926	87.2702	0.294
	2	196	7.39	0.283	0.9258	86.7326	87.6790	0.301
	3	316	7.39	0.283	0.9259	86.8076	88.3341	0.309
	4	386	7.39	0.282	0.9257	86.7090	88.5017	0.314
	5	504	7.39	0.281	0.9255	86.3250	88.5023	0.318
	6	604	7.39	0.283	0.9258	86.7100	89.3343	0.325

表 10. ダクタイル鑄鉄、供試料 C～F の発露型腐食試験結果

試験片記号	試験片番号	試験時間 (時間)	腐食増量、腐食減量		腐食速度 mdd	侵食量 mm	錆皮膜の 厚さ (1) mm	電磁膜度計 による錆皮 膜の厚さ(2) mm	(1) (2) = T
			mg/dm ²	mg/dm ²					
C	1	102	538	1131	266.22	0.015	0.020	0.048	0.427
	2	196	1030	2166	265.13	0.029	0.038	0.075	0.506
	3	316	1633	3434	260.76	0.046	0.059	0.113	0.526
	4	386	2087	4389	272.95	0.059	0.074	0.138	0.539
	5	504	2516	5291	251.96	0.071	0.089	0.168	0.529
	6	604	3050	6414	254.83	0.086	0.109	0.205	0.531
D	1	102	486	1022	240.48	0.013	0.018	0.042	0.428
	2	196	900	1893	231.66	0.025	0.033	0.075	0.440
	3	316	1473	3098	235.21	0.041	0.055	0.101	0.549
	4	386	1841	3872	240.77	0.052	0.067	0.125	0.536
	5	504	2230	4690	222.32	0.063	0.078	0.150	0.523
	6	604	2688	5653	224.59	0.076	0.097	0.170	0.570
E	1	102	536	1127	265.23	0.015	0.020	0.044	0.476
	2	196	1020	2145	262.55	0.028	0.036	0.085	0.429
	3	316	1649	3468	263.31	0.046	0.060	0.111	0.545
	4	386	2007	4221	262.48	0.057	0.073	0.138	0.532
	5	504	2502	5262	250.55	0.071	0.089	0.163	0.546
	6	604	3015	6340	251.91	0.085	0.108	0.195	0.553
F	1	102	515	1083	254.83	0.014	0.019	0.046	0.423
	2	196	1022	2149	263.07	0.029	0.038	0.083	0.457
	3	316	1647	3464	262.99	0.046	0.055	0.115	0.478
	4	386	1937	4074	253.33	0.055	0.068	0.130	0.523
	5	504	2353	4948	235.64	0.066	0.084	0.103	0.518
	6	604	2835	5962	236.87	0.080	0.101	0.190	0.531

T の平均値 0.523±0.055

ここで腐食減量、腐食速度、侵食量は式(10)～(12)によって求め、錆皮膜の厚さについては次の式によって求めた。

$$\text{錆皮膜の厚さ (mm)} = (\text{試験後の試片の厚さ (mm)} - \text{試験前の試片の厚さ (mm)}) \div 2 + \text{侵食量 (mm)}$$

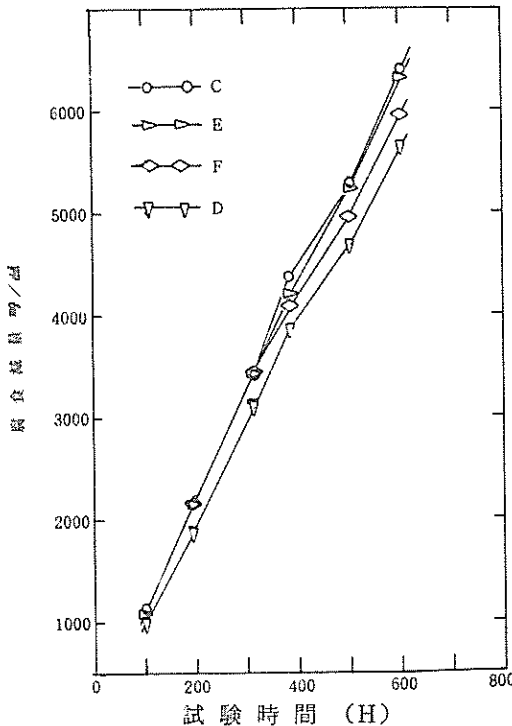


図6. ダクタイル鋳鉄の発露型腐食試験における腐食減量の経時変化

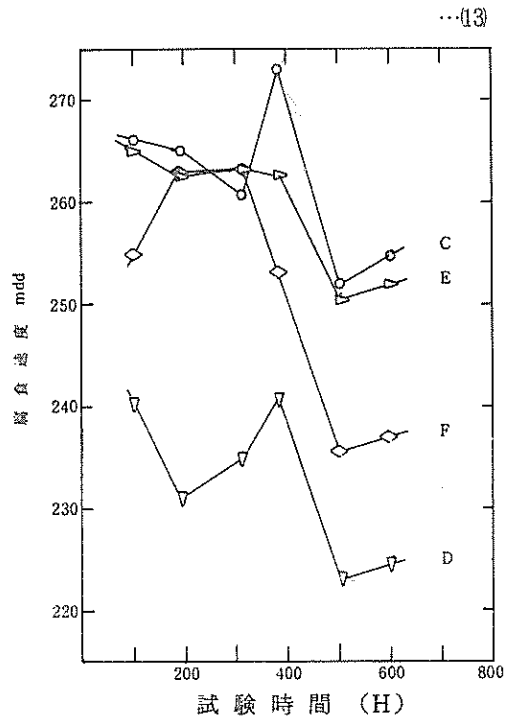


図7. ダクタイル鋳鉄の発露型腐食試験における腐食速度の経時変化

図6及び図7は試料(C～F)の腐食減量、腐食速度の経時変化を示した。ここでDが最も耐食性がよく、ついでF、E、Cの順になる。

表2からわかるように、F、E、Cに於いて、Si量はほぼ一定になっているが、Dが若干高い値を示しているため、炭素量が高くなると耐食性が上がる傾向を示している。

3・4・6 ダクタイル鋳鉄におけるケイ素含有量の耐食性に与える影響

表11、表12はダクタイル鋳鉄供試料(G～J)の形状と試験結果を示す。

ここで腐食減量、腐食速度、侵食量、錆皮膜の厚さについては式(10)～(13)によって求めた。

図8、図9は供試料G～Jの腐食減量及び腐食速度の経時変化を示す。

この図からわかるように、Jが最も耐食性が良く、H、I、Gの順になる。ここで、供試料Gの炭素量が他より若干低くなっているため、Si量が高くなると耐食性は低くなる傾向を示す。

3・4・7 錆皮膜の厚さと電磁膜厚計(Kett VL-30B型)による測定結果との比較

式(13)による錆皮膜の厚さと電磁膜厚計の測定結果との比を求め、その比がほぼ一定になることで、電磁膜厚計により錆皮膜の厚さが逆算で求まることが確認できた。

$$\frac{\text{錆皮膜の厚さ}}{\text{電磁膜厚計による錆皮膜の厚さ}} = T \quad \dots\dots\dots (14)$$

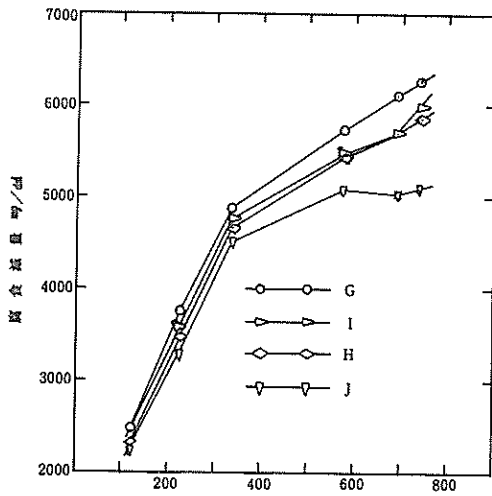
表 11. ダクタイル鋳鉄、供試料G～Jの形状と重量

試験片記号	試験片番号	試験時間	試験前				試験後	
			試験片寸法 直径	厚さcm	表面積 dm ²	重量 g	重量 g	厚さ cm
G	1	122	7.385	0.320	0.9336	98.7897	99.8970	0.349
	2	215	7.39	0.320	0.9351	98.7708	100.3875	0.354
	3	335	7.385	0.321	0.9338	98.8907	101.0565	0.367
	4	572	7.385	0.319	0.9334	98.0598	100.6019	0.368
	5	691	7.385	0.320	0.9336	95.6126	98.3265	0.368
	6	740	7.385	0.320	0.9336	98.5386	101.3192	0.375
H	1	122	7.40	0.269	0.9249	82.6355	83.6615	0.294
	2	215	7.41	0.269	0.9272	82.2142	83.7549	0.301
	3	335	7.40	0.268	0.9247	82.4697	84.5225	0.312
	4	572	7.40	0.269	0.9249	82.5773	84.9633	0.316
	5	691	7.40	0.268	0.9247	82.6748	85.1823	0.319
	6	740	7.40	0.269	0.9249	82.5682	83.1495	0.321
I	1	122	7.405	0.348	0.9456	106.2895	107.3992	0.372
	2	215	7.41	0.348	0.9467	107.0457	108.6541	0.380
	3	335	7.405	0.348	0.9454	107.1394	109.2751	0.389
	4	572	7.41	0.348	0.9467	107.2060	109.6709	0.393
	5	691	7.41	0.348	0.9467	107.2706	109.8385	0.399
	6	740	7.41	0.348	0.9468	107.1038	109.7979	0.399
J	1	122	7.40	0.291	0.9291	89.7106	90.6932	0.314
	2	215	7.40	0.291	0.9291	90.0617	91.5166	0.322
	3	335	7.40	0.290	0.9289	83.2800	85.2813	0.326
	4	572	7.40	0.291	0.9291	85.5974	87.8427	0.325
	5	691	7.415	0.290	0.9326	89.7329	91.9602	0.335
	6	740	7.40	0.291	0.9291	89.6002	91.8518	0.335

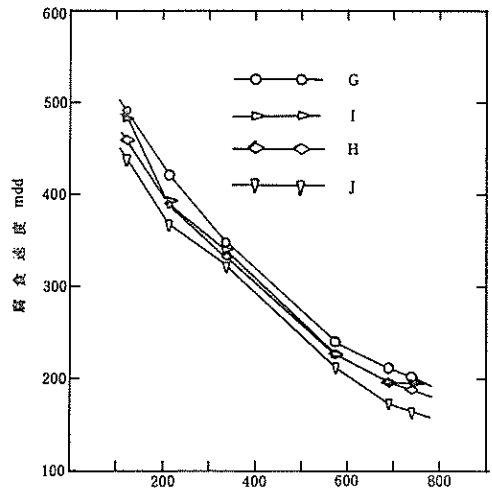
表 12. ダクタイル鋳鉄 供試料G～Jの発露型腐食試験結果

試験片記号	試験片番号	試験項目 試験時間 (時間)	腐食増量	腐食減量	腐食速度	侵食量	錆皮膜の厚さ(1)	電磁膜度計による錆皮膜の厚さ(2)	(1)/(2) = T
			mg/dm ²	mg/dm ²	mdd	mm	mm	mm	mm
G	1	122	1186	2494	490.94	0.033	0.047	0.069	0.681
	2	215	1729	3769	420.65	0.050	0.067	0.110	0.609
	3	335	2319	4877	349.35	0.065	0.088	0.136	0.647
	4	572	2724	5729	240.21	0.077	0.100	0.175	0.571
	5	691	2907	6113	212.40	0.082	0.106	0.213	0.497
	6	740	2979	6265	203.21	0.084	0.111	0.208	0.536
H	1	122	1109	2332	459.06	0.031	0.043	0.092	0.467
	2	215	1661	3493	389.84	0.047	0.063	0.113	0.557
	3	335	2220	4669	334.45	0.063	0.079	0.124	0.637
	4	572	2580	5426	227.51	0.073	0.096	0.180	0.536
	5	691	2712	5703	198.16	0.077	0.102	0.193	0.528
	6	740	2791	5869	190.37	0.079	0.105	0.200	0.525
I	1	122	1174	2469	486.02	0.033	0.045	0.092	0.489
	2	215	1699	3573	398.77	0.048	0.064	0.113	0.566
	3	335	2259	4751	340.33	0.064	0.084	0.141	0.595
	4	572	2604	5476	229.60	0.074	0.096	0.180	0.533
	5	691	2712	5703	198.16	0.077	0.102	0.193	0.531
	6	740	2845	5983	194.06	0.080	0.105	0.200	0.527
J	1	122	1058	2225	437.99	0.030	0.041	0.085	0.488
	2	215	1566	3293	367.52	0.044	0.059	0.113	0.526
	3	335	2154	4530	324.50	0.061	0.079	0.145	0.544
	4	572	2417	5083	213.12	0.068	0.085	0.180	0.472
	5	691	2388	5022	174.50	0.067	0.089	0.185	0.487
	6	740	2423	5096	165.29	0.068	0.09	0.200	0.450

Tの平均値 0.523±0.055



試験時間
 図8. ダクタイル鋳鉄G~Jの発露型腐食試験における腐食減量の経時変化



試験時間
 図9. ダクタイル鋳鉄G~Jの発露試験における腐食速度の経時変化

ここで ($T = 0.523 \pm 0.055$) は表10、表12からの平均値である。

表13は式(13)から求まる錆皮膜の厚さと電磁膜厚計の測定値に式(14)の定数Tを乗じた値を挙げたが、両結果ともよい一致を示している。

表13. 錆皮膜の厚さ表10、表12の値と電磁膜厚計の計測値 $\times T$ (mm)

測定の方法 供試料	表10、表12の値 (mm)	電磁膜厚計 の値 $\times T$ (mm)
C	0.020	0.025
	0.038	0.039
	0.059	0.059
	0.074	0.072
	0.089	0.089
	0.109	0.107
G	0.047	0.036
	0.067	0.058
	0.088	0.071
	0.100	0.092
	0.106	0.111
	0.111	0.109

4. まとめ

(1) 暴露試験の結果、一年間の軟鋼の那覇での腐食減量は 27 mg/cm^2 で、その腐食速度 9.81 mdd で工業地帯よりは低いが、その他の地域の中では高い値を示している。

(2) SS41材の暴露試験の結果と発露型腐食試験の結果から発露型試験の促進率 145 ± 45 を求めた。

(3) 試料A (FC30)、B (ダクタイル)、K (SS41) の発露型腐食試験の結果はB (ダクタイル) が最も耐食性が強く、A (FC30)、K (SS41) の順になっている。

(4) 軟鋼SS41の発露型腐食試験の結果から腐食減量/腐食増量 $= 2.103 \pm 0.062$ を求め、この定数を使い鋳鉄の腐食増量から腐食減量、腐食速度、侵食量を求めた。

(5) ダクタイル鋳鉄の主な添加元素である炭素、ケイ素が耐食性に与える影響を計測した。

(a) 炭素量の変動については炭素量が高くなると耐食性は上がる傾向を示した。

- (b) Si 量の変動については Si 量が高くなると耐食性は逆に低くなる傾向を示した。
- (6) 錆皮膜の厚さは電磁膜厚計 (Kett VL-30 B型)の計数値に定数T (0.523 ± 0.055)乗じても求めることができた。

参考文献

- 1) 日根文男、腐食工学の概要 化学同人 (1977)
- 2) 工業材料及び製品の耐候性に関する調査研究鉄鋼分科会報告書 日本ウェザリングセンター (1976)
- 3) 腐食防食協会編 金属防蝕技術便覧 日刊工業 (1972)

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。