熱帯水中における構造用鉄系金属の腐食^{*1}

C. R. Southwell & A. L. Alexander^{*2}

概 要

海水、淡水および平均干満帯の天然熱帯水中において最高16年間暴露した20種の構造用鉄系金属の腐食データが報告されている。重量減ならびに孔食の腐食-時間曲線が多くの鉄合金について図示され、かつ金属と環境とのすべての組合せに対するデータが表として示されている。これらの広範囲にわたる長期の結果は、現在用いることのできる海水および淡水の腐食の正確なデータの中で最も詳細な集録である。ほとんどの鉄系金属の腐食速度は最初は変化するが、その後安定化し一定となる。この定常速度がそれぞれについて示されており、これは種々の環境における異なった金属の耐食性の比較および長期にわたる使用寿命の評価の際の重要な手段を与えるものである。8種の低合金鋼、Aston 法練鉄および種々の鋳鉄鋼の腐食曲線が炭素鋼に対して図示されている。熱帯海洋環境の腐食を温帯の鉄系金属の結果と比較する。

長期間海に浸漬される構造物に対する関心が高まるに伴い、海洋における構造材料の長期の安定性を立証することを意図した研究に注意が向けられている。

水中構造物の防食法の必要性和設計とを納得の行く方法で決定するには、それらの金属の規準となるべき腐食の経時変化の大きさと傾向についての適切な知識が不可欠である。腐食に関する天然海水についてのこの種の情報は従来ほとんどなかった。Panama 運河の改修のために予備的な検討がなされたときに開始された広範囲にわたる長期の研究^{*3}によって、海洋環境における将来の多くのプロジェクトに役立つと思われる価値ある多数の水中腐食のデータが提供されつつある。

この論文は Panama 運河地帯の海洋・内陸両環境に

おける長期試験の結果を述べる一連の報告の9番目にあたる。以前の報告¹⁾では練鉄のいくつかについては中間報告にすぎなかったが、ここではこれらの16年間の最終結果が暴露されたすべての構造用練鉄および鋳鉄に関する水中腐食の完全なデータとともに記載されている。

実験条件

Panama 計画に含まれている52種の金属の内26種は鉄系であり、この中の大半は5%以下の合金元素を含む構造用鋼である。これらの組成と最初の表面状態を表1に示す。

浸漬試験はプロジェクトのために特別に設計された二つの棧橋で行なわれた。熱帯の淡水試験場は Gatun 湖にあり、岸から約 50 feet 離れた水深 30 feet の個所の平均水深 6 feet の位置に試片が取り付けられた。流速はほとんどなかった。太平洋の海洋暴露の棧橋は Ft. Amador の堰堤沖の Naos 島にあり、海岸線から 1.5 mile 離れている。海洋暴露は高さが 14 feet 異なった二つの位置で行なわれた。上方の架台は干満帯の中央にあり、下方の架台は最低干潮線の直下に置かれた。平均水深は約 30 feet であり干満帯の幅は平均 13 feet である（最大 21 feet 近くになる）。また最大流速は 1 ft/sec 以下である。海水の組成は外海の典型的なものであり水温は平均 80° F である。潮水は完全に軟水であり中性である。すなわち全溶解塩量は平均 0.1 ppt^{*4} であり pH は 7.5 である。水温は平均 82° F である。試験地の淡水と海水の化学組成および20年間の水温はすでに報告してある^{1,2)*5}。

それぞれの環境に対して各金属につき10枚の試験片が用意され、1, 2, 4, 8, 16年にそれぞれ2枚ずつ試片を採取した。腐食の程度を評価するために重量減と孔食深さを測定した。その後除錆した板を短冊型に切り、引張り強さの変化の測定に供した。暴露の詳細ならびに試片の除錆法、測定法および試験法については前報に述べた^{1)*5}。

結果の考察

16年間にわたって集積されたデータはきわめて膨大なのでいくつかの表示法について議論しておくことが必要であろう。

^{*1} 訳者：湯川憲一（新日本製鉄株式会社基礎研究所）

^{*2} Naval Research Laboratory, Washington, D. C. (原文) Structural Ferrous Metals (Corrosion of Metals in Tropical Waters). *Mater. Prot.*, Vol. 9, No. 1, 14~22 (1970).

^{*3} 訳者注：1942年に試験場選定の調査が開始され、1946年に1, 2, 4年暴露材が、1947年に8, 16年暴露材が浸漬された¹⁾。

^{*4} 訳者注：parts per thousand の略

^{*5} 訳者注：付録参照

表 1 供 試 材 の 組 成

記号	金 属	最 初 の 表面状態	規 格	組 成 (%)								
				C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo
A	炭 素 鋼	酸 洗	QQ-S-741, IIA1*	0.24	0.48	0.040	0.027	0.008	0.03	0.051	0.080	—
B	炭 素 鋼	機 械 切 削										
C	炭 素 鋼	ミルスケール										
D	炭素鋼-0.3% Cu	酸 洗	QQ-S-741, IIA2*	0.22	0.44	0.019	0.033	0.009	Trace	0.14	0.35	—
E	2 % Ni 鋼	酸 洗	RR-3A*	0.20	0.54	0.012	0.023	0.18	0.15	1.94	0.63	—
F	5 % Ni 鋼	酸 洗	SAE 2515	0.13	0.49	0.010	0.014	0.16	0.10	5.51	0.062	—
G	3 % Cr 鋼	酸 洗	特 許 成 分	0.08	0.44	0.010	0.017	0.13	3.16	0.16	0.11	0.02
H	5 % Cr 鋼	酸 洗	AISI Type 501D	0.08	0.41	0.020	0.019	0.20	5.06	0.11	0.062	0.52
I	低 合 金 鋼	酸 洗	特 許 成 分	0.08	0.47	0.007	0.026	0.060	0.00	1.54	0.87	—
J	低 合 金 鋼	酸 洗	特 許 成 分	0.15	0.45	0.113	0.026	0.47	0.68	0.49	0.42	—
K	低 合 金 鋼	酸 洗	特 許 成 分	0.078	0.75	0.058	0.022	0.04	Trace	0.72	0.61	0.13
L	低 合 金 鋼	酸 洗	特 許 成 分	0.13	0.60	0.089	0.021	0.15	0.55	0.30	0.61	0.059
M	鋳 鋼	機 械 切 削	QQ-S-6816, 1*	0.27	0.68	0.028	0.028	0.41	0.12	0.22	0.10	—
N	鋳 鋼	受入れのまま										
O	ね ず み 鋳 鉄	機 械 切 削	QQ-I-652, 30*	3.18	0.80	0.162	0.103	1.98	0.57	0.31	0.08	—
P	ね ず み 鋳 鉄	受入れのまま										
Q	オーステナイト 鋳鉄	機 械 切 削	INCO 18-22 Ni	2.66	0.94	0.24	0.104	3.17	2.29	17.9	0.80	—
R	オーステナイト 鋳鉄	受入れのまま										
S	練 鉄	機 械 切 削	Aston 法 ASTM A42- 39	0.04	0.038	0.141	0.018	0.098	Trace	0.006	0.020	—
T	練 鉄	受入れのまま										

* 訳者注：Federal Specification（連邦規格）でそれぞれ ASTM に対応する鋼がある。

図 1 一期間と多期間の暴露によって決定される腐食度の差異

図 1 の実線は典型的な腐食の経時変化を示しており、これは生物体付着のない状態で水中で腐食する軟鋼に対して予想される曲線のパターンと型が類似している。この曲線から、腐食速度は最初はきわめて大きく、初めの 1 年は平均 7.4 mpy であるが 4 年後のわずか 1.0 mpy という最終一定速度まで変化することがわかる。勾配が

変化しつつある期間から決められた腐食度は限られた意味しか持たない。一方最終定常速度 (R_c) は腐食環境における金属に対して得られる最も有用でかつ基本的な腐食速度であるが、それは適当な回数と間隔をもって測定された長期間の暴露によってしか決定することはできない。

腐食度を報告する際に用いられる最も普通の方法は腐食減量の一つの測定値を経時時間で除しその商を腐食度と呼ぶが、この方法では真の腐食度からかなりずれることは避けられない。すなわち図 1 に示したように腐食量の経時変化を実際に図示して比較すれば明らかになる。図 1 の破線はそれぞれ 1 年目のデータ、8 年目のデータを 1 点だけとって直線的に引いたものであるが 1 年目のデータだけで求めた腐食度 (R_1) は曲線の最終勾配 (R_c) の 7.4 倍である。8 年のデータだけで求めた腐食度 (R_8) でさえ実際の最終速度 (R_c) の 2 倍である。図 1 の実線で示した腐食-時間曲線は腐食の進行を最も明確に示しており、直線になったとき一定速度であることを表わしている。この方法を用いて 16 年の腐食のデータを以下に報告する。

表 2、3、4 は三つの水中環境における 20 種の鉄系金属に対する腐食の結果を総括的にまとめたものである。腐食減量を g/dm^2 で、板厚減少を mil で示した。孔食

表 2 淡水に連続浸漬した構造用鉄系金属の腐食損傷の比較表
(Gatun 湖, Panama 運河地帯)

金 属 属			全 面 腐 食										孔 食 侵 食 度										
分類 記号	種 類	表面状態	重 量 減 (g/dm ²)					平 均 侵 食 度 (mil)*					定常腐食速度 [†] (mpy)	20個の最大孔食 [†] 深さの平均値 (mil)			最大孔食深さ (mil)			孔 食 係 数 [§]			
			1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr	1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr		1 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	16yr	
			1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr	1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr		1 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	16yr	
圧	A	炭 素 鋼	洗	15.2	23.7	34.0	43.7	56.2	7.7	12	17	22	28	0.7	20	58	72	24	71	93	3	3	3
	B	炭 素 鋼	機 械 切 削	15.0	23.2	31.8	40.3	48.8	7.5	12	16	20	25	0.6	22	60	65	26	88	94	3	4	4
	C	炭 素 鋼	ミルスケール	12.6	19.0	27.2	37.7	50.7	6.3	9.5	14	19	25	0.7	29	48	66	40	74	91	6	4	4
	D	炭 素 鋼	洗	15.7	24.2	35.2	46.4	57.1	7.9	12	18	23	29	0.7	22	64	64	34	82	89	4	4	3
	E	0.3% Cu 2% Ni 鋼	洗	14.7	25.3	34.7	40.2	43.6	7.4	13	17	20	22	0.3	19	63	66	29	89	87	4	4	4
延	F	5% Ni 鋼	洗	13.1	24.6	35.5	46.8	59.4	6.6	12	18	24	29	0.8	18	69	71	33	100	99	9	7	3
	G	3% Cr 鋼	洗	4.84	7.29	10.8	19.3	29.3	2.4	3.7	5.4	9.7	15	0.7	24	54	77	28	63	98	12	6	6
	H	5% Cr 鋼	洗	3.80	4.49	7.09	17.1	26.7	1.9	2.3	3.6	8.6	13	0.6	23	52	67	29	58	96	15	7	7
	I	低 合 金 鋼	洗	12.1	19.7	26.0	32.6	43.9	6.0	9.9	13	16	22	0.7	17	67	75	31	85	110	5	5	5
	J	低 合 金 鋼	洗	11.3	17.2	23.6	33.1	48.4	5.7	8.6	12	17	24	0.9	40	79	88	56	93	112	10	6	5
材	K	低 合 金 鋼	洗	14.5	22.6	31.7	44.6	62.1	7.3	11	16	22	31	1.1	24	81	101	32	120	124	5	5	5
	L	低 合 金 鋼	洗	10.7	16.3	25.3	31.1	53.4	5.4	8.2	13	16	27	1.2	40	111	113	47	146	141	9	9	9
	S	練 鉄	機 械 切 削	15.0	23.1	28.3	28.9	△	7.6	12	14	15	△	△	27	50	△	32	89	△	4	6	△
	T	練 鉄	受入れのまま	14.6	22.4	29.5	37.2	△	7.4	11	15	19	△	△	18	54	△	23	80	△	3	4	△
	鋳 造 材	M	銅	機 械 切 削	16.2	23.7	28.7	38.2	52.4	8.2	12	14	19	26	0.9	30	67	98	38	92	140	4	5
N		銅	鋳造(受入れのまま)	13.7	21.7	29.0	**	**	7.6	12	16	**	**	**	62	**	**	116	**	**	15	**	**
O		ね ず み 鋳 鉄	機 械 切 削	12.5	21.0	27.0	41.4	59.1	7.0	12	15	23	33	1.2	52	106	108	68	131	11	6	11	11
P		ね ず み 鋳 鉄	鋳造(受入れのまま)	14.2	23.3	29.8	**	**	7.9	13	17	**	**	**	72	**	**	150	**	**	19	**	**
Q		Ni 鋳 鉄	機 械 切 削	1.64	2.88	5.12	7.60	14.5	0.9	1.6	2.8	4.2	8.0	0.4	9	27	37	11	36	61	12	9	8
R		Ni 鋳 鉄	鋳造(受入れのまま)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

*: $\bar{P}=393.7 W/AD$, ここで $\bar{P}$ =平均侵食度 (mil), W =重量減 (g), A =暴露面積 (cm²), D =密度 (g/cm³)

†: $t=16$ 年における腐食-時間曲線の勾配

‡: 2枚のパネルの各面の5個の最大深さ

§: 比; 最大孔食深さ/平均侵食度

△: 暴露試験なし

** : 算定不能

††: パネルの穿孔により正確な値の算出不可能

表 3 海水に連続浸漬した構造用鉄系金属の腐食損傷の比較表
(太平洋, Panama 運河地帯)

分類 記号		金 属 属 類		全 面 腐 食										孔 食 侵 食 度								
				重 量 減 (g/dm ²)					平 均 侵 食 度 (mil)*					20個の最大孔食 [†] 深さの平均値 (mil)		最大孔食深さ (mil)		孔 食 係 数 [§]				
表面状態				1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr	1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	1 yr	8 yr	16yr	
圧	A	炭素鋼	洗	11.8	16.5	31.4	50.9	90.8	5.9	8.3	16	26	46	41	66	90	62	86	155	11	3	3
	B	炭素鋼	機械切削	11.0	18.0	29.8	53.9	98.7	5.5	9.0	15	27	49	38	58	††	64	157	††	12	6	††
	C	炭素鋼	ミルスケール	8.38	15.5	30.1	46.5	††	4.2	7.8	15	23	††	55	††	††	104	††	††	25	††	††
	D	炭素鋼 0.3%Cu	洗	11.8	18.3	29.1	55.3	98.1	5.9	9.2	15	28	49	36	63	85	61	108	124	10	4	3
	E	2%Ni鋼	洗	14.8	18.3	34.1	63.0	104	7.4	9.2	17	32	52	33	94	††	51	179	††	7	6	††
延	F	5%Ni鋼	洗	12.5	20.0	33.2	63.7	103	6.3	10	17	32	52	29	117	††	57	214	††	9	7	††
	G	3%Cr鋼	洗	4.13	10.9	35.6	80.4	140	2.1	5.5	18	40	70	11	65	93	20	78	109	10	2	2
	H	5%Cr鋼	洗	5.34	12.1	33.6	63.5	119	2.7	6.1	17	32	56	27	63	69	91	90	100	34	3	2
	I	低合金鋼	洗	11.7	16.9	41.2	52.6	96.7	5.9	8.5	21	26	48	54	82	††	65	152	††	11	6	††
	J	低合金鋼	洗	13.6	22.3	37.5	85.7	160	6.9	11	19	43	80	31	80	††	46	175	††	7	4	††
材	K	低合金鋼	洗	12.8	19.1	30.2	50.9	89.8	6.4	9.6	15	25	45	27	56	71	47	139	110	7	5	2
	L	低合金鋼	洗	12.6	21.9	41.2	87.4	167	6.3	11	21	44	84	26	††	††	36	††	††	6	††	††
	S	鉄	機械切削	12.7	15.1	28.2	43.8	△	6.5	7.7	14	22	△	34	63	△	51	138	△	8	6	△
	T	鉄	受入れのまま	12.5	18.4	29.9	51.5	86.4	6.3	9.3	15	26	44	46	††	127	73	††	200	7	††	3
	鑄 造 材	M	鉄	機械切削	14.7	18.7	29.9	55.2	86.1	7.4	9.4	15	28	43	56	84	103	84	135	146	11	5
N		鉄	鑄造(受入れのまま)	12.6	11.9	15.8	△	△	6.3	6.0	7.9	△	△	65	△	△	131	△	△	21	△	△
O		ねずみ鉄	機械切削	17.8	27.5	39.6	104	170	9.9	16	22	58	95	42	97	△	58	160	△	6	3	△
P		ねずみ鉄	鑄造(受入れのまま)	11.3	14.1	26.7	△	△	6.3	7.9	15	△	△	69	△	△	204	△	△	32	△	△
Q		Ni 鉄	機械切削	5.98	8.98	14.5	27.3	41.2	3.3	5.0	8.0	15	23	<5	42	67	<5	114	116	<2	8	5
R		Ni 鉄	鑄造(受入れのまま)	4.51	4.00	△	△	△	2.5	2.2	△	△	△	<5	△	△	<5	△	△	<2	△	△
		鉄	鑄造(受入れのまま)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

*: $\bar{P}=393.7 W/AD$, ここで $\bar{P}$ =平均侵食度 (mil), W =重量減 (g), A =暴露面積 (cm²), D =密度 (g/cm³)

†: $t=16$ 年における腐食-時間曲線の勾配

‡: 2枚のパネルの各面の5個の最大深さ

§: 比; 最大孔食深さ/平均侵食度

△: 暴露試片なし

** : 算定不能

††: パネルの穿孔により正確な値の算出不能

表 4 平均干満帯に暴露した構造用鉄系金属の腐食損傷の比較表
(太平洋, Panama 運河地帯)

金 属			全 面 腐 食 度										孔 食 侵 食 度								
分類	記号	種 類	表面状態	重 量 減 (g/dm ²)					平 均 侵 食 度 (mil)*					20個の最大孔食 ⁺ 深さの平均値 (mil)		最大孔食深さ (mil)		孔 食 係 数 [§]			
				定常腐食速度 [†] (mpy)																	
				1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr	1 yr	2 yr	4 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	16yr	1 yr	8 yr	1 yr	8 yr	16yr
圧	A	炭 素 鋼	洗	18.8	18.5	25.4	46.3	94.5	9.5	9.3	13	23	47	16	40	66	27	65	98	3	2
	B	炭 素 鋼	切 削	21.0	21.7	30.5	49.5	83.5	11	11	15	25	42	21	45	52	46	124	73	4	2
	C	炭 素 鋼	ミルスケール	18.4	22.5	26.3	36.9	87.0	9.3	11	13	18	44	18	43	54	24	75	102	2	2
	D	炭素鋼 0.3%Cu	洗	22.4	22.6	23.0	48.3	92.1	11	11	12	24	46	24	45	51	38	63	67	3	1.5
	E	2%Ni鋼	洗	17.7	17.9	27.5	45.6	110	8.9	9.0	14	23	55	22	39	70	39	50	83	4	1.5
延	F	5%Ni鋼	洗	15.6	17.2	25.4	39.8	107	7.8	8.7	13	20	54	△	39	62	△	75	91	△	1.7
	G	3%Cr鋼	洗	22.1	23.6	29.1	51.1	95.7	11	12	15	25	48	23	82	††	32	93	††	3	††
	H	5%Cr鋼	洗	23.3	22.6	24.9	48.6	94.1	12	12	13	25	47	28	88	††	37	99	††	3	††
	I	低合金鋼	洗	23.7	26.0	30.0	79.3	98.0	12	13	15	40	49	△	70	58	△	134	93	△	1.7
	J	低合金鋼	洗	21.4	19.5	24.2	41.9	98.0	11	10	12	21	49	20	47	60	27	54	72	3	1.5
材	K	低合金鋼	洗	21.6	30.3	37.3	49.3	122	11	15	19	25	61	24	40	59	32	94	147	2	2
	L	低合金鋼	洗	18.2	18.0	21.5	40.9	91.3	9.1	9.0	11	21	46	19	39	61	27	50	93	2	2
	S	練 鉄	機械 切削	14.3	15.6	23.9	32.3	**	7.3	7.9	12	16	**	17	35	**	27	49	**	3	**
	T	練 鉄	受入れのまま	11.9	12.3	16.1	33.9	71.2	6.1	6.2	8.2	17	36	17	35	△	23	41	△	4	△
	鋳 造 材	M	鋼	機 械 切 削	15.8	15.2	21.8	42.3	97.5	7.9	7.7	11	21	49	35	53	91	77	76	159	10
N		鋼	鋳造(受入れのまま)	10.6	13.6	19.2	△	△	5.3	6.8	9.6	△	△	65	△	△	256	△	△	48	△
O		ねずみ鉄	機 械 切 削	46.0	52.6	55.2	81.8	157	26	29	31	46	87	55	††	††	80	††	△	3	△
P		ねずみ鉄	鋳造(受入れのまま)	12.1	16.6	16.8	△	△	6.7	9.2	9.3	△	△	58	△	△	125	△	△	10	△
Q		Ni 鋳	機 械 切 削	2.96	3.71	5.38	7.04	13.2	1.6	2.1	3.0	3.9	7.3	△	42	67	△	114	116	△	29
R		Ni 鋳	鋳造(受入れのまま)	1.39	1.17	2.14	△	△	0.8	0.6	1.2	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

*: $\bar{P} = 393.7 W/AD$, ここで $\bar{P}$ = 平均侵食度 (mil), W = 重量減 (g), A = 暴露面積 (cm²), D = 密度 (g/cm³)

†: $t = 16$ 年における腐食-時間曲線の勾配

††: 2枚のパネルの各面の5個の最大深さ

§: 比; 最大孔食深さ/平均侵食度

△: 暴露試験なし

** : 算定不能

††: パネルの穿孔により正確な値の算出不能

深さは2枚のパネルの各面に存在する食孔のうち深い方から5個の計20個についての平均値で表わした。更に測定した中で最も深い食孔の深さも記した。

定常腐食速度は各金属のそれぞれの環境に対する腐食-時間曲線から決められたもので、曲線の最終 tangent, すなわち最終直線部分の勾配である。それらの値は最終定常速度に近いまたは等しく、異なった金属および環境を評価する最良の方法の一つである。またこの値をより長い期間にまで外挿することは次の関係式を用いればきわめて簡単である。

$$\bar{P}_t = \bar{P}_{16} + R_c(t - 16)$$

$\bar{P}_t$ = 期間 t 年における平均侵食深さ ($t > 16$)

$\bar{P}_{16}$ = 16年の平均侵食深さ

R_c = 定常(一定)腐食速度

これらの表には引張強さのデータは含まれていない。というのはすでに Hudson³⁾ や著者ら⁴⁾ が示したように、構造用鋼の引張強さの減少は腐食減量から求められる平均板厚減少と本質的に等しいからである。腐食減量の値は特に激しく腐食した鉄鋼材料の場合は機械的性質の測定値よりはるかにばらつきが小さい。したがって引張強さの減少をより正確に評価できる。大部分のパネルは約 1/4 in の厚さであり、この場合には 12.5 mil の平均侵食度は引張強さが10%減少することに相当する。

金属と環境の全ての組合せに対する完全なデータが三つの表に示されているが、以下に行なう考察は三つの全環境における軟鋼ならびに海水中における合金鋼、鋳鋼および練鉄に焦点を絞る。

(構造用炭素鋼)

炭素鋼はミルスケールのまま、機械切削および酸洗の表面状態で暴露された。銅を0.31%含む軟鋼は酸洗表面で暴露された。水中において軟鋼の4種のなかである程度以上の差異を示したのはミルスケール付の試料だけで、しかも海水中でのみ差異は顕著であった。海水中ではミルスケール付きの表面は他に比してはるかに深い食孔を生じていた。このことは表3の孔食深さのデータより明らかである。ミルスケールは腐食によって速かに除去されるという予測は長期のデータから強い疑問が生ずる。スケールの付いた多くの個所が、最初の8年間の暴露中比較的侵食されずに残っていた。

酸洗材、機械切削材および銅を含む軟鋼の結果は類似しているので三者の平均をとった曲線は軟鋼の腐食の経時変化を最も正確に表わしている。この三者のデータを組合せて淡水、海水および干満帯における構造用軟鋼のより正確な曲線を求めた。

淡水に連続して浸漬した炭素鋼の結果の平均が、図2に示されている。全面腐食および強度減少の目安となる重量減少が下側に滑らかな曲線で図示されている。いっ

図2 淡水に連続浸漬した炭素鋼の腐食

ぽう、平均孔食侵食度が上側に隣り合った2点を線で結んだ曲線で示されている。16年後に最大孔食深さは94 milに達している。重量減少は時間に対しほぼ放物線則に従う滑らかな曲線である。これは酸素拡散律速の可能性を示している。すなわち腐食生成物の厚さが連続的に増加することによって金属表面に到達する酸素の速度が減少するため腐食過程が抑制される。腐食速度は1年目の平均値である7.5 mpyから事実上一定な最終速度である0.7 mpy以下にまで減少する。平均孔食深さは最初の数年間は急速に増加するがその速度は最終的には全面腐食速度に近い値に漸近する。16年後の最大孔食深さは94 milである。最大孔食深さと平均侵食度の比は孔食係数として知られているが、この場合は3.4である。

海水は疑もなく、本研究で調べた環境の中で最も重要である。海水中での構造用炭素鋼の腐食曲線が図3に示されている。全面腐食量は最初の1, 2年後には時間に対してほぼ直線となる。しかしこの初期においては無視できないかなりの速度変化が生ずる。1年目の平均速度は5.8 mpyであるが最終定常速度はこの半分以下の2.7 mpyである。この速度は海水中の軟鋼について通常報告されている温帯における値よりもかなり小さい。これはおそらく試験が普通短期間であることおよび初期の速度変化が平均されて常に繰り込まれているからであろう。Larrabee⁴⁾もまた23年経過したCaliforniaの海中構造物のH形鋼を調べ、海水中の炭素鋼について報告されている通常の腐食度が実際の長期間後の腐食速度に比してはるかに大きいと結論している。

図3 海水に連続浸漬した炭素鋼の腐食
(記号の説明は図2と同じ)

海水中の鋼の孔食速度は一般に全面侵食に比し数倍大きいと報告されている。Fink⁵⁾は10~15mpyの値を報告している。本研究の浸漬初期のデータを用いればこの値よりはるかに大きい(1年目は約40mil)。しかし長期の孔食曲線を描くと2~4年の間に孔食速度が顕著に減少することがわかる。そして最終的には孔食曲線は重量減曲線とほとんど平行になる。これは平均孔食侵食が長期間にわたってわずか約3mpyの速度でおそく進行していることを示している。

鋳鋼の曲線は後で議論するように炭素鋼のそれとほとんど同様であり、孔食速度も全面腐食速度に近い値まで減少する。淡水および平均干満帯においても孔食はこれと同じ型をとる。海水に連続浸漬したときの最大孔食深さは157milであったが、これは16年後の孔食係数が3.2であることを意味する。

Panamaの平均干満帯の実験結果が図4に示されている。しかしながら平均干満帯のデータは応用がいくぶん限定されることを強調しておく必要がある。平均干満帯の腐食は風速および風向、波浪の高さ、干満の幅、生物体付着ならびに飛沫帯と大気条件によって影響される可能性がある。その結果、腐食量は場所によってかなり変化すると思われる。

このことは世界中のいくつかの場所で10年間暴露したときの海水中和干満帯の腐食比を考察することによって示すことができる⁶⁾。

図4 平均干満帯の炭素鋼の腐食
(記号の説明は図2と同じ)

場 所	腐 食 比 (海水/干満)
Nova Scotia* ⁶	2.5
New Zealand	2.0
Panama Pacific	1.1
England	0.8
Ceylon	0.6

Panamaの実験では平均干満帯での初期の全面腐食の値はきわめて大きかった。すなわち1年目の平均侵食度は10milであった。しかし1~3年の間はほとんど増加が認められず速度は大幅に減少した。その後速度は増加し4年以後はほぼ一定の2.7mpyの値となった。これは海水中で得られた最終速度とほぼ同じである。

炭素鋼の平均干満帯におけるこの腐食挙動は興味ある現象である。多かれ少なかれ類似の経時変化が平均干満帯に暴露されたほとんどの構造用鋼に見いだされたが、そのような速度の変動は淡水や海水に浸漬した炭素鋼には認められなかったし、また大部分の非鉄金属の場合は平均干満帯でも生じなかった。

浸漬部と干満部とは異なった形式と速度で生物体付着が生ずるために、平均干満帯においては速度の安定化がはるかに緩慢になる可能性がある。安定化後は鋼の腐食はいずれの海水環境においても厚いスケールと自己保修作用をもつ生物体付着の被覆の結合体の下で成育する嫌気性バクテリアによっておそらく支配されるのである

*6 訳者注：カナダ太平洋岸

- ：海水（太平洋，Panama）
 ○：淡水（Gatun 湖，運河地帯）
 △：かん水（Mirafleres 湖，運河地帯）
 各“○”と“□”は 6 枚のパネルの平均値を示す。
 各“△”は 2 枚のパネルの平均値を示す。

図 5 異なった塩分濃度の水中における炭素鋼の重量減の比較

う。そのような侵食が生ずれば二つの異なった環境において最終速度が等しくなることが説明できるであろう。

平均干満帯の初期の孔食は浸漬部におけるほど大きくはないが、この場合も最終的には重量減とほぼ平行になる。98 mil という最大孔食深さは淡水中のそれとほぼ等しく海水中に比し 40% 小さい。平均干満帯における 16 年後の孔食係数は 2.2 である。

塩分濃度の異なった水中における炭素鋼の腐食速度の比較が図 5 に示されている。これらは平均 Cl 含有量が 0.007 ppt の Gatun 湖、0.4 ppt の Mirafleres 湖のかん水、17.4 ppt の Ft. Amador の海水である。かん水のデータは予備試験により得られたもので余り重視できない。というのは実験に用いたパネルの数が少なくかつ十分な精度がなかったことおよび環境条件が定量的でなく塩分濃度や溶存酸素量がかなり変動している可能性があるからである。しかし類似の温度と流速でもってかん水中の鉄系金属の腐食が淡水や海水よりもはるかに大きいという結果が現実示されている。かん水中で腐食量が多いことは溶存酸素が多かったことに起因する可能性があるが、低い塩分濃度においては厚い保護性の生物体付着が生じないことも初期の腐食速度が大きい原因になっていると思われる。この 2 点のために、曲線の勾配す

なわち最終腐食速度をいかにしても求めることができない。しかし厚い生物体付着の保護作用がなくても淡水に見られるような速度減少が生ずる可能性はある。

図 5 の淡水と海水に対する実線を比較すれば短期間のデータから長期間の腐食速度を外挿することが本質的に危険なことがわかる。Gatun 湖の 1, 2, 4 年後の平均腐食減量は海水より大きい。8 年間の浸漬後にはじめて両者の相対的な定常状態が実際に推定できる。16 年間の曲線を調べることによって最終定常速度が海水では 2.7 mpy であり淡水では ≤ 0.7 mpy であることが示される。

Crennel⁷⁾ は“運河地帯のデータは鋼が淡水において海水中とはほぼ同じ速度で腐食するという驚くべき情報を提供している”と述べている。この結論は、平均速度と発表時に利用できた一部のデータから下されたものである。16 年で完了した暴露によって天然水中での金属の腐食速度は時間とともに顕著に変化し、ある場合にはそれが長年にわたることが今や明らかになった。最終定常速度あるいはそれに漸近する速度だけが実際には重要である。本研究で得た定常速度評価法によれば、結局のところ海水は淡水に比し約 4 倍以上の腐食性がある。

（合金鋼）

鋼中の種々の合金元素について系統的に検討することは、本研究の主目的ではなかった。しかし、本研究が開始された当時の代表的な商用低合金鋼が異なった環境に暴露された。これらの金属は含銅鋼、4 種の特許成分低合金鋼、2% と 5% Ni 鋼および 3% と 5% の Cr 鋼である。

他の研究者によって海水中における同じような金属の研究がなされてきたが、試験期間がかなり短かく試料の数も少なかった。彼らの結果はおおむね、5% あるいはそれ以下の元素を添加しても Cr 以外は鋼の海水腐食に対してほとんど効果がないことを示している。しかし Cr に関しては議論がわかれている。ある研究者は 2~5% の Cr は海水中の腐食度を 50% まで低減させると報告している⁸⁻¹⁰⁾。しかし Chaudron¹¹⁾ は Cr は腐食を増すと述べている。16 年のデータによって静止海水中の低合金鋼の長期の定常腐食速度の評価が初めて可能となった。図 6~8 に示されたこれらのデータのいくつかはやや驚くべき結果を提供している。

2% と 5% Ni 鋼の海水中での腐食減量が炭素鋼と比較して図 6 に示してある。2 種の Ni 鋼の重量減はほぼ等しく両者とも軟鋼よりわずかにばかり腐食量が多いことがこの曲線から明らかである。最終定常速度は三者ともほぼ等しく 2.7 mpy である。

一方、長期浸漬後の孔食は Ni 鋼のほうがかなり激しい。そして 5% Ni 鋼は 2% Ni 鋼に比し平均孔食深さ

孔食侵食度, 8 yr (mil)

平均	A	E	F
	66	94	117
最深	86	179	214

図 6 海水に連続浸漬した 2% および 5% Ni 鋼の腐食

孔食侵食度, 8 yr (mil)

平均	A	G	H
	66	65	63
最深	66	78	90

図 7 海水に連続浸漬した 3% および 5% Cr 鋼の腐食

が大きい。短期間のデータでは耐孔食性が Ni 含有量の増加とともに増すという誤った印象を与える。すなわち 1 年目の平均孔食深さは炭素鋼に比し 2% および 5% Ni 鋼のほうがそれぞれ 25% および 30% 小さい。しかし 8 年以内にこの関係は完全に逆転し、2% および 5% Ni 鋼は炭素鋼よりそれぞれ 42% および 72% 深い孔食を生じて

いる。16 年後には Ni 鋼のパネルは穿孔を生じ最終的な孔食深さを正確に評価することはできなかった。

3% および 5% Cr 鋼を軟鋼と比較すると、重量減少は更に驚くべき結果を与えている。図 7 に図示された長期の全面腐食のデータによれば、炭素鋼に比し Cr 鋼がかなり不利なことが明らかである。それらの曲線からは 3% と 5% Cr 鋼の腐食が最初は遅いことがわかる。すなわち 1 年後では重量減は炭素鋼の半分以下である。しかし 2 年と 4 年の間に Cr 鋼の腐食速度は急激に増加している。4 年後にはこの大きい腐食速度は漸次減少し、約 3.5 から 3.8 mpy の定常値に達するように見える。このときの炭素鋼の腐食速度は 2.7 mpy である。16 年後の重量減は炭素鋼に比し 5% および 3% Cr 鋼ではそれぞれ 22% および 45% 大きい。

1 年後の孔食侵食深さも Cr 鋼の場合にはるかに小さい。しかし 8 年および 16 年後には 3% Cr 鋼の平均孔食深さは軟鋼とほぼ等しいことがわかる。5% Cr 鋼は 3% Cr 鋼に比し孔食を生じ易いが暴露期間を通じて侵食度がわずかに浅いことがわかる。

Cr 鋼は海水に対する耐食性が炭素鋼よりすぐれていると一般に考えられて来た。もし短期間のデータだけに基づいて比較すれば実際のところこれは真実のように思われる。更に、もし従来報告された Cr 鋼の優位性が除錆後暴露することを繰り返した試料の重量減を積算して導き出されたとすれば、相対的な優位性が大きくなるという誤りを起こし、かつこの優位性は無限に続く可能性がある。

次に 4 種の特許成分鋼の結果について考察する。この種の金属は大気腐食に対する耐食性を有していることが立証されている。実際製造者によって行なわれた長期の大気腐食のデータの集録によれば、腐食生成物の皮膜が数年後に非常に保護的となるため多くの大気中で保護的な被覆や余計な補修をせずにこれらの鋼を使用することができる。この大気腐食に対する良好な耐食性を考えるとこれらの金属のいくつかは海水中においてもすぐれた耐食性を有すると推定されてきたが、本研究によるとそのような環境上の外挿はきわめて不確かなことが繰り返し示されている。図 8 の 16 年間のデータはこれらの 4 種の特許成分鋼に対する海水の長期の影響を示している。

軟鋼 (図 8 の破線) の曲線と低合金鋼のそれを比較すると、金属 (I) と (K) の全面腐食速度が軟鋼 (A) と非常に似ていることがわかる。(L) と (J) の他の 2 種の金属はより速く腐食することが明らかである。(J) は約 4.8 mpy, (L) は 5.0 mpy の腐食速度で一定となるが軟鋼は 2.7 mpy である。耐食性の悪いこの両者に共通な元素は Cr である。(L) と (J) はそれぞれ 0.6 および 0.7% の Cr を含んでいるが他はトレース

孔食侵食度, 8 yr (mil)

平 均	A	I	J	K	L
	66	82	80	56	97
最 深	86	152	175	139	P

注：Pは $\frac{1}{4}$ ''の板が穿孔
(A)：炭素鋼……………
特許成分低合金鋼
(I)：Cu-Ni ○ (K) Cu-Ni-Mn-Mo △
(J)：Cu-Cr-Si + (L) Cr-Ni-Mn □

図 8 海水に連続浸漬した特許成分低合金鋼の腐食

としてしか含まれていない。そして先の図7に示されているように、3%および5% Cr 鋼はむしろ全面腐食量が多いという結果を得ている*7。

*7 訳者注：参考までに Schmitt らによって最近報告されたデータを次表に示す [R. J. Schmitt & E. H. Phelps: *J. Metals*, **22**, 47 (1970).]。1%程度までの少量の Cr の添加が余り有効でない点については Panama の結果とほぼ一致しているが、3%程度の Cr 含有鋼の耐食性に関してはまったく異なっている。

海水中での鋼の腐食速度 (Wrightsville Beach)

鋼 種	腐食速度 (mpy)			
	1. 5yr	2. 5yr	4. 5yr	8. 5yr
ASTM A242 Type 1 (Cr-Si-Cu-Ni-P)	4. 2	4. 3	3. 8	3. 1
ASTM A583 Grade A (Cr-Si-Cu-V)	4. 4	3. 8	3. 0	2. 6
1. 8Ni-0. 8Cu 鋼	5. 3	4. 5	3. 5	3. 2
2. 6Cr-0. 5Mo 鋼	1. 4	1. 6	1. 6	0. 3
構 造 用 炭 素 鋼	4. 8	4. 1	3. 3	2. 7

孔食のデータによれば、低合金鋼のグループは軟鋼に比し優位性はほとんどあるいはまったくない。(I),(J),(L)の低合金鋼では長期の食孔がやや深く、(K)ではいくぶん浅い。

(練 鉄)

海水における Aston 法練鉄の腐食が図9に軟鋼と比較してある。脱スケールした鋼と練鉄を比較したデータは8年間のものが利用できるにすぎない。機械切削した練鉄は8年間試験された。しかしミルスケールつきの練鉄は16年間浸漬された。2種の表面状態の腐食量は8年間を通してほぼ同一である。ミルスケールつきの試料(T)によって得られた曲線が長期にわたる練鉄の腐食速度をかなり良く表わしていることは確実である。Aston 法練鉄によってやや有利な点は重量減が少ないことである。鋼と練鉄の孔食深さの比較は脱スケールした試料については8年までしかできない。というのはミルスケールは実際耐孔食性に悪い影響を及ぼすからである。8年では海水中での孔食侵食度は、機械切削した練鉄と炭素鋼では事実上等しい。

(鑄鉄および鑄鋼)

鑄鉄鋼の重量減と孔食が図10に示されている。これらの曲線は海水中に続けて暴露された $\frac{1}{4}$ inch 厚さの機械切削板のものである。左側の図10(a)の鑄鋼の腐食は重量減と孔食の両者から判断すると、練鉄のそれとまったく類似している。平均孔食速度は最初は速いが4年後

平 均	B	S	T
	58	63	83
最 深	157	138	P

注：Pは $\frac{1}{4}$ ''の板が穿孔

図 9 海水に連続浸漬した Aston 法練鉄の腐食

(a) 鋼 (b) ねずみ铸铁 (c) オーステナイト铸铁
図 10 海水に連続浸漬した铸铁鋼の腐食

には重量減曲線の勾配と平行になりその値は約2～3 mpy である。16年後の孔食係数は3.3で練鉄とほぼ等しい。

ねずみ铸铁の結果は図10(b)に示されているが、グラファイト化が激しい。すなわち海水に16年浸漬した後では初めの金属の約1/5が中心部に残っているにすぎない。グラファイト化層はそのまま残存しておりパネルは表面上ほとんど元の状態を保っているように見える。このグラファイト化した物質は除錆する前に機械的に除去した。多孔質のグラファイトが腐食していない金属に対する保護性がないことは明らかである。実際、それはガルバニック作用によって腐食を促進している可能性がある。グラファイト化層の下に存在する金属は試験した他のどの鉄系金属よりも、より速い速度で腐食していた。定常速度はほぼ6 mpyであった。孔食は激しくなかった。8年後の孔食係数は3.1であった。

図10(c)の18%のNiを含むオーステナイト铸铁は、ここに報告した鉄系金属の中で海水に対して最も耐食性が良好であった。全面腐食の最終定常速度は1.1 mpyかそれ以下である。これはねずみ铸铁の約1/5の腐食速度である。オーステナイト铸铁の平均孔食深さは、約3～4 mpyの速度で定時増加しているように思われる。他のほとんどの鉄系金属の場合のような孔食速度の低下は生

じていない。16年後の最大孔食深さは116 milであった。孔食の点から考えると高Ni鉄の優位性は全面腐食に比しはるかに小さいことがわかる。16年後の孔食係数は5.1である。

鑄造のままの表面状態で2年および4年間暴露した鑄造金属の結果が表3に記してある。これらのデータを検討すると機械切削面に比し腐食挙動が特異なことが示唆される。すなわち、すべての場合単位面積当りの重量減は機械切削面より少ないのに対し^{*8}、孔食侵食度は一般に鑄造ままの板のほうが大きい。

(熱帯および温帯での腐食の比較)

熱帯海水における鉄系金属に関するこの膨大な腐食データを温帯での腐食データと比較することが特に興味ある点である。他の緯度における構造物の設計のためにこれらの結果が有用であるかどうかは、適切な一致があるか否かによる。図11に熱帯海水中での軟鋼の腐食曲線と温帯で得られたデータを比較して示した。Harbor 島での実験期間はわずか3年であるが¹²⁾、定常腐食度はほぼ2 mpy程度と思われる。イギリスでの2例のデータ⁹⁾が棒グラフで示されているが、これは多数の試験片から得られた確実に信頼できる値ではあるが、それらは2箇所における単一時点での値を表わしているので棒グラフ間を線で結ぶことはなされていなかった。しかしながら、もし腐食条件がこれらの2箇所等でしいならば約2 mpyという一定速度がイギリスの実験からも示される。Kure Beach の8.5年にわたって得られた曲線は¹³⁾、熱帯のデ

*8 訳者注：鑄造材表面のチル層は耐食性がすぐれているといわれていたが本研究によってこの点を確認されたように思われる。

○：海軍技術研究所（太平洋パナマ運河地帯）
 ×：INCO (Harbor 島, N. C.)

△：BISRA

(a) Gosport Eng. (1.2 yr, 10枚の試片)

(b) Emsworth Eng. (4 yr, 4枚の試片)

△：U. S. Steel (Kure Beach, N. C.)

図 11 熱帯および温帯海中における構造用炭素鋼の腐食の比較

ータと比較する場合最も有用な温帯でのデータである。最初は両者の曲線は事実上一致しているが、熱帯でのデータは曲率がわずかに大きい。Kure Beach における最終定常速度は約 2.2 mpy であるのに対し運河地帯では 2.7 mpy である。両者の一致は満足すべきであるので実際の設計のデータとして熱帯暴露のものをを用いることができる。熱帯での重量減が多少大きいがこの値は汚染されていない天然海水中での鉄系金属の腐食の一般的な上限を与えていると考えるべきであろう。

結 論

熱帯水中での金属の腐食速度はほとんどの場合、1年から8年の暴露の間に一定となり定常状態に達する。最終一定速度は異なった金属の腐食速度の比較ならびに暴露期間の長期への外挿上最も重要な値を与える。

炭素鋼の淡水腐食は、時間に対し滑かなほ放物線則に従っており、酸素拡散律速の可能性を示している。腐食速度は1年目の平均 7.4 mpy から8～16年の間の0.7 mpy まで変化する。孔食侵食度の曲線は最初は立上りが急であるが、結局は全面腐食にほぼ等しい最終速度になる。

海水中における炭素鋼の腐食は、1年から2年以内の暴露により時間に対して直線となる。全面腐食の最終速度は 2.7 mpy であることが立証された。これは通常報告されていた温帯海水における速度よりかなり小さい。

熱帯海水での軟鋼の孔食速度の最初の2年間の平均は25～35 mpy であるが最終的には全面腐食曲線の約 3 mpy なる勾配とほぼ平行になる。

干満帯における炭素鋼の腐食速度は暴露後4年までは一定とならない。最終一定速度は 2.7 mpy である。これは海水中において1年から2年以内に到達する最終速度と同じ値である。定常状態に達した後は両海洋環境での腐食速度は自己補修する厚い生物体付着被覆の下での嫌気性バクテリアによって律速される可能性がある。

2%および5% Ni 合金鋼は海水中で軟鋼とほぼ等しい腐食速度を示す。Ni 鋼の孔食は1年では軟鋼に比し激しくないが、8年および16年後では軟鋼よりかなり深い。

3%および5% Cr 鋼は海水中で最初は炭素鋼に比し腐食速度は小さいが、4年以上経過するとその傾向は逆転する。16年では Cr 鋼は普通鋼より22～45%腐食量が多い。

4種の特許成分鋼の内2種は海水中で長期にわたり炭素鋼とほぼ等しい腐食速度を示す。少量の Cr を含む他の2鋼種は8年および16年後に全面腐食量がかかなり大きくなる。

Aston 法線鉄は海水中において孔食については軟鋼に比し優位性はないが、全面腐食性ではわずかに有効である。

ねずみ鋳鉄は海水中で試験した鉄系金属の中で腐食速度が最も大きい。すなわちその最終一定速度は軟鋼の2倍でありオーステナイト鋳鉄の5倍以上である。

熱帯での腐食減量を温帯海水のデータと比較すると異なった緯度において類似の腐食-時間曲線が得られたが熱帯におけるほうがわずかに定常速度が大きかった。

謝 辞

Panama 運河会社および Fort Belvoir の陸軍技術研究所の援助がこの仕事の遂行に不可欠であった。

本研究の開始と遂行の最高責任者であった故 H. W. Mundt 氏ならびにこの計画に精力的に協力された B. W. Forgeson, L. J. Thompson, C. W. Hummer, Jr. の諸氏に特に感謝する。

引用文献

- 1) A. I. Alexander, C. R. Southwell & B. W. Forgeson: Corrosion of Metals in Tropical Environments, Interim Reports, Parts 1~5: Part 1, *Corrosion*, **14**, 73 t (1958); Part 2, *Corrosion*, **14**, 435 t (1958); Part 3, *Corrosion*, **16**, 105 t (1960); Part 4, *Corrosion*, **16**, 512 t (1960); Part 5, *Corrosion*, **17**, 345 t (1961).
- 2) C. R. Southwell, A. L. Alexander & C. W. Hummer: Corrosion of Metals in Tropical En-

vironments, Final Reports, Parts 6~8: Part 6-Aluminum and Magnesium, NRL Report 6105 and *Materials Protection*, **4**, No. 12, 30~35 (1965); Part 7-Copper and Copper Alloys, NRL Report 6452 (1966); Part 8-Nickel and Nickel-Copper Alloys, NRL Report 6592 (1967).

3) J. C. Hudson: British Iron and Steel Research Assoc., Sixth Report of the Corrosion Committee, Special Report No. 66 (1959) p. 68.

4) C. P. Larrabee: New Data Show That Steel Has Low Corrosion Rate During Long Sea Water Exposure. *Materials Protection*, **1**, No. 12, 95 (1962).

5) F. W. Fink: Corrosion of Metals in Sea Water. Battelle Memorial Institute PB 171344 (1960).

6) J. N. Friend: Eighteenth Report of Deterioration of Structures in Sea Water, 1940, The Institution of Civil Engineers, London.

7) J. T. Crennel: Corrosion of Metals and Alloys in Sea Water. *Corrosion*, vol. 1 **2**: 33: Shreir, L. L., editor, Wiley, N. Y. (1963).

8) J. C. Hudson: Corrosion of Bare Iron or Steel in Sea Water. *Journal of the Iron and Steel Institute*, **166**, 123 (1950).

9) C. P. Larrabee: Corrosion Resistance of High Strength Low-Alloy Steels as Influenced by Composition and Environment. *Corrosion*, **9**, 259~271 (1953).

10) F. L. LaQue: Behavior of Metals and Alloys in Sea Water. *Corrosion Handbook*, H.H. Uhlig, editor. Wiley, N. Y. (1948).

11) M. H. Baudot & G. M. Chaudron: Essais de Corrosion naturelle de longue duree sur divers aciers de construction dans l'air atmospherique et dans differentes eaux de mer et de riviere. *Revue de Metallurgie, Memories*, **43**, 1 (1946).

12) T. P. May & D. B. Anderson: International Nickel Co. Personal correspondence.

13) M. W. Lightner: Vice President, Applied Research, U. S. Steel Corp., Personal correspondence.

付録 (訳者による)

文献 1) に記載されている環境条件および実験方法を参考までにここに再録する[*Corrosion*, **16**, 105 t (1960)]。

(1) 環境条件

水質分析結果を表 A に示した。このデータは 1946 年 5 月から 1951 年 3 月にわたる測定値の要約である。

海水は清浄海水であり通常の組成とほとんど変わらない

が、淡水は採取個所によって組成にばらつきが大きい点に注意する必要があると記されている。

水温の変化を図 A に示した。

(2) 実験方法

試片は厚さ 1/4 inch の 9 inch 四方のものをを用いた。

前処理は次の手順で行なわれた。トリクロルエチレンによる脱脂→10%硫酸, 170±5° F, 10 分間酸洗→水洗

表 A 浸漬試験場において採取した水質分析の要約¹⁾

成分または性質	淡 水 (Gatun における Gatun 湖)			海水 (Fort Amador における太平洋)					
				上方の架台の高さ 0.0 ft			下方の架台の高さ -14.0 ft		
	最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均
電気伝導度 ($\sigma \times 10^{-3}$ at 81°F)	0.12	0.091	0.11	51.7	21.3	42.2	51.7	35.4	45.4
全溶解塩量 (ppm)	165	69	113	42,776	22,613	35,832	41,480	26,390	35,735
全浮遊固形物 (ppm)	23	0.0	7.6	220	0	64	173	0	49
懸濁物 (ppm)	<5	<5	<5	20	<5	<5	25	<5	<5
酸素飽和度 (%)	98	78	90	105	62	90	103	64	87
酸素消費量 (ppm)	2.4	0.7	1.4	2.5	0.6	1.6	2.6	0.4	1.6
生物化学的酸素要求量 (ppm)	2.2	0.1	1.0	3.4	0.2	1.6	2.3	0.0	1.5
pH (呈色)	8.0	6.9	7.5	8.4	7.8	8.2	8.4	7.8	8.1
有機物および揮発性物質 (ppm)	65	6.6	34	10,379	2,150	6,226	10,632	2,759	6,236
SO ₄ ²⁻ (ppm)	7.2	0.0	2.6	3,240	1,590	2,431	3,177	1,837	2,437
Cl ⁻ (ppm)	12.5	0.0	7.0	20,098	11,300	17,415	19,949	10,379	17,357
NO ₃ ⁻ (ppm)	Trace	0.0	Trace	0.01	0.00	Trace	0.01	0.00	Trace

図 A 浸漬試験場の水温¹⁾

し、植物性ブラシによるブラッシング→吸蔵水素を追いだすために170°Fの水中に0.5～1時間浸漬→160°Fの炉で乾燥→デシケーター内で冷却→測定および写真撮影。

なおパネルは陶器の絶縁体のみ接触し、圧延方向が垂直になるよう設置された。

暴露試片の除錆法は次のごとくである。生物体付着物

および厚い腐食生成物は現地で除去した後研究所に持帰り、1%のキノリン・エチアジオダイドのインヒビターを含む10%硫酸に浸漬し化学的に除錆した。酸洗ブランクは40 mg/dm²以下であった。必要に応じ機械的除錆法を併用した。測定後腐食状態を観察するとともに写真撮影を行なった。なお孔食深さは浸漬前の表面を規準にとった。

新刊紹介

腐食科学入門

前田正雄著：240頁 オーム社書店 (1,500円) 1970年
腐食の分野に物性や科学が存在するか否かという疑問に対し、腐食が構造感受性の現象であり、腐食科学が影響因子の個々についてその影響を解析し、統一した基盤のうえにまとめる上での意義を持つとともに、実験の結果得られる information の比較基準としてのモデルの向上に役立つものとして書かれた本である。

腐食を扱う人間にとってそのバックボーンとなるべき腐食科学は多岐にわたるうえ境界領域としての宿命として、他の分野の人々によって展開されたために生じる観点や取り扱い方法のなじみの悪さ、種々の分野の人々による貢献を一元化して大系化することのむずかしさ、分野間の旨点やギャップの存在などのために、組織的に勉強し、有機的な知識、認識を持つことがきわめてむずかしい。このような現状にあって本書の出現はきわめて歓迎すべきものである。

本書は、1. 腐食科学の基礎、2. 結晶の構造と表面構造、3. 酸化、4. 腐食、5. 格子欠陥と腐食、6. 応力腐食、付録として、I. エネルギー帯論概要、II. 自由エネルギー、III. 格子欠陥、IV. リンデマンの公式、V. 仕事関数、VI. 化学ポテンシャルの電流からなっている。すなわち電気化学の基礎理論、結晶および表面の構造、転位論、電子論、熱力学などに基づいて腐食現象に対する

科学的モデルを平易に述べたものである。

書名にもある通り入門書であって、腐食をはじめの人や腐食に興味のある現場技術者にも良く理解でき好適であるとともに、腐食の専門家の知識の整理にも役立つであろう。ただしこの書物は目前に起こっている腐食の解決にすぐ役立つことを目的としたものではない。また、腐食科学と実際の腐食問題とのつながりを詳しく論じてはいない。これらの関連はまだあまり開拓されていない分野であり、むしろ本書を基盤とした読者の将来の努力に残された課題というべきであろう。(松島)

ブリキとティンフリースチール

東洋鋼板株式会社、アグネ出版社

本書はブリキ、TFS全般について書かれた書物であるが、長年この問題に取り組んできた東洋鋼板(株)の技術陣が総力を結集して書かれただけあって、あらゆる部門にわたって詳細に、かつわかり易く書かれてある。全体の約8割程度の頁数がブリキの問題にさかれているが、古い技術から最新の技術にいたるまでくまなく書かれている。またTFSにさかれた頁は少ないとはいえ、独自の技術によって開発した関係もあってその基本的問題から関連特許にいたるまで実に詳細に論述してある。ブリキ、TFSの技術に携わっている方々、また関心の深い人々にとって好個の書物といえよう。(岡田)