日本船舶振興会昭和50年度補助事業
"船舶の構造・性能に関する基礎的研究"

研究資料 No. 243

第146研究部会

諸管材料腐食に関する調査研究

報　告　書

昭和51年3月

社　団　法　人

日本造船研究協会

はしがき

本報告書は，日本船舶振興会の昭和５０年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究会が第１４６研究部会においてとりまとめたものである。

本調査研究は，船舶の補修工事費に占める諸管材料の腐食によるものの割合が非常に大きいことに鑑み，その工事費節減を図るための具体的な腐食対策確立の基礎資料を得る目的で，昭和４８年度から４ケ年計画で実施しており，本年度は，就航船についてアンケートによる実態調査および訪船開放調査，新造船就航時からの追跡調査（以上初年度から継続），さらに実験室基礎研究において，回転翼車型腐食試験機による試験および実管テストを行ない，基礎資料の蓄積をはかるとともに腐食実態の究明を行なったものである。

第１４６研究部会委員名簿

（敬称略，五十音順）

部会長	佐山昭彦	（川崎汽船）			
幹事	網矢勉	（山下新日本汽船）	石津善雄	（日本鋼管）
	岩田省治	（三菱重工業）	岩田昌男	（大阪商船三井船舶）
	植田昭二	（三菱重工業）	沢山武	（三菱重工業）
	陣駒美登	（佐世保重工業）	高田正輝	（ジャパンライン）
	平田栄	（三井造船）	望月峻右	（石川島播磨重工業）
	吉田真	（日本郵船）	渡辺精三	（日立造船）
委員	池田秀夫	（住友重機械工業）	植田靖夫	（船舶技術研究所）
	内堀利也	（日本防食工業）	翁長一彦	（船舶技術研究所）
	賀田秀夫		北野光夫	（出光タンカー）
	久野忠一	（川崎製鉄）	桑田稔	（笹倉機械製作所）
	小林豊治	（科学技術庁）	小吹泉	（佐野安船渠）
	坂本進	（日本ペイント）	佐武二郎	（住友金属工業）
	佐藤義一	（函館ドック）	重野隼太	（中川防食工業）
	諏訪部伝司	（神東塗料）	瀬尾正雄	
	染矢博文	（三保造船所）	竹田征雄	（日本海事協会）
	西岡正美	（造船工業会）	外原利彦	（日輪ゴム工業）
	前田直昭	（新日本製鉄）	森川卓	（船主協会）

目　　次

1. ま え が き …… 1

2. ５０年度実施状況報告 …… 3

2.1 就航船のアンケートによる実態調査 …… 3

2.1.1 調 査 目 的 …… 3

2.1.2 調 査 要 領 …… 3

2.1.3 実態調査実施船 …… 3

2.1.4 調 査 結 果 …… 8

2.1.5 調査結果の考察 …… 8

2.1.6 ま と め …… 9

2.2 就航船の開放調査研究 …… 9

2.2.1 調 査 目 的 …… 9

2.2.2 調査実施要領 …… 9

2.2.3 開放調査実施船 …… 9

2.2.4 調 査 結 果 …… １０

2.2.5 調査結果の考察 …… １０

2.2.6 ま と め …… １７

2.3 新造船就航時からの追跡調査研究 …… ３０

2.3.1 調 査 目 的 …… ３０

2.3.2 調査実施方案 …… ３０

2.3.3 実 施 対 象 船 …… ３０

2.3.4 調 査 結 果 …… ３０

2.3.5 調査結果の考察 …… ３６

2.4 実験室基礎研究 …… ５０

2.4.1 実験室基礎研究の目的 …… ５０

2.4.2 回転翼車型腐食試験機による実験 …… ５１

2.4.3 実 管 テ ス ト …… ５５

1. まえがき

船舶の補修工事費の内で，管装置の腐食に起因するものの割合は非常に大きく，その節減は船の経済性向上に大きな意義を有する。諸管材料の腐食は現象が複雑であるだけに，過去何回かの実態調査，実験室的研究にもかかわらず，その成果が実船に有効に反映できる段階に至っているとは言い難い。

第１４６研究部会は上記の必要性に応えるため，日本造船工業会機関部会および日本船主協会工務専門委員会の提唱により「諸管材料腐食に関する調査研究」を目的として，昭和４８年度より４ケ年継続事業として発足以来，船会社，造船会社および関連会社の協力のもとに活動を続け，本年度（昭和５０年度）で第３年目を迎えた。世界的な省エネルギー，省資源の動きの中で，本調査研究の意義は益々高くなりつつあることを認識し，参加各委員および関係者は真剣に作業を続行している。

研究調査は，当初の方針に従い下記の三項目に分けて実施した。

(1) 就航船のアンケートによる実態調査および開放調査研究

(2) 新造船就航時からの追跡調査研究

(3) 実験室基礎調査

初年度（昭和４８年度）は基礎的調査の段階で，就航船のアンケート調査，就航船の開放調査および昭和４８年度完成の新造船３隻を選定し，これらの船に対して実船テストのための諸テストピースの装着を行なった。

第２年度（昭和４９年度）は，就航船の調査の続行，新造船のテストピースの取外し調査等の実施，回転翼車型腐食試験装置の完成およびそれによる実験の実施がなされた。

第３年度たる本年度は，就航船調査，新造船テストは大体前年度に準じ順調に実施された。実験室研究では回転翼車型試験装置による試験の実施のほか，大規模な海水循環式実管テストリグが完成し，約４ケ月の試験が実施された。これらの本年度の成果は以下本文に述べる通りであるが，有効な所見が着々と蓄積されつつあることは誠に喜ばしいことである。

来年度も，ほぼ当初計画通りの調査が研究実施される予定である。

2. 50年度実施状況報告

2.1 就航船のアンケートによる実態調査

2.1.1 調査目的

諸管材料腐食に関する調査研究の一環として，就航船のうちから適当な船舶について腐食事例をあげ，その実態を把握するために実施したものである。

2.1.2 調査要領

実施に当って思想統一と円滑，効果的な実施を図るため「諸管腐食実態調査表」を作成し，調査対象船（表2.1.1）48隻に対しアンケート調査を行なった。

2.1.3 実態調査実施船

アンケートを求めた48隻のうち本年度内に回答のあった対象船は14隻，142件であった。対象船は表2.1.2のとおりである。

表2.1.1　アンケート調査対象船

船主	船名	重量屯数	船種	主機		建造	
						場所	竣工年月日
		KT			PS		
◎ジャパンライン	ジャパンカンナ	210,243	タンカー	T	36,000	三菱長崎	44. 6.25
	ごうるでんあろう	19,090	コンテナー	D	28,000	石播相生	45. 5.14
	ジャパンガランサス	208,902	タンカー	T	36,000	石播横浜	45. 8.12
	ジャパンアカシア	122,482	鉱石	D	26,100	三菱広島	47. 7.27
	ジャパンオーキッド	231,723	タンカー	T	36,000	川重坂出	46. 6. 8
◎商船三井	天倉山丸	181,881	タンカー	T	30,900	三井千葉	44. 5.30
	海燕丸	209,261	タンカー	T	36,000	日立堺	45. 3.20
	笠木山丸	117,571	鉱石	D	22,400	三菱広島	45.11.30
	三船山丸	123,553	鉱石	D	23,000	川重神戸	46. 5.15
◎日本郵船	能登丸	12,952	貨物	D	8,300	日立向島	44. 1.26
	伏見丸	12,611	貨物	D	12,000	三菱神戸	45. 3. 2
	高岡丸	215,850	タンカー	T	36,700	石播横浜	46. 3. 4
	高峯丸	180,585	タンカー	T	30,000	三菱長崎	44. 2.15
	加賀丸	15,098	貨物	D	18,400	三菱神戸	41. 3.12
◎川崎汽船	じぶらるたる丸	12,199	貨物	D	7,200	石播相生	43.10.21
	富久川丸	121,552	鉱石	D	14,750	川重神戸	45. 8.11
	飛鳥川丸	232,339	タンカー	T	36,000	川重坂出	46. 7.10
	くいんずうえいぶりっじ丸	30,465	コンテナー	D	36,000	川重神戸	47. 1.27
	うええるず丸	12,180	貨物	D	18,400	川重神戸	45.12.21
第一中央(M.O)	びすけい丸	101,723	鉱油	D	21,600	石播相生	44. 5.23
	鹿島丸	120,174	鉱石	D	23,200	住重浦賀	45. 9.29
	ぶりすとる丸	168,394	撒油	T	28,000	住重追浜	48. 1.25
飯野海運(K.L)	紀邦丸	189,476	タンカー	T	34,000	川重坂出	43. 7. 4
	光邦丸	165,920	タンカー	D	28,800	石播呉	44. 4.22
	星邦丸	106,814	タンカー	D	24,700	川重神戸	42. 9. 5
出光タンカー(J.L)	松寿丸	207,108	タンカー	T	33,000	石播横浜	44. 1.29
	大嶋丸	221,500	タンカー	T	33,000	石播横浜	46.12.24
	高宮丸	253,500	タンカー	T	36,000	三菱長崎	47.12.25
山下新日本(M.O)	東米丸	28,760	コンテナー	T	45,000	日立因島	47. 8.19
	新鶴丸	165,196	鉱石	D	30,900	日立因島	46. 9.14
	光珠丸	222,139	タンカー	T	35,000	佐世保	46. 9. 2
新和海運(N.Y.K)	筑波丸	88,207	鉱油	D	18,400	三菱広島	43. 9.30
	富貴丸	104,475	鉱石	D	21,600	石播相生	44. 2.28
	鉄瑞丸	11,100	石炭	D	15,500	三井玉野	45.10. 9

◎印幹事会社　　(　)内担当会社

船主	船名	重量屯数	船種	主機		建造	
						場所	竣工年月日
		KT			PS		
昭和海運 (N.Y.K)	健昭丸	115,340	撒積	D	17,000	鋼管鶴見	46. 6.30
	日産丸	27,212	カーキャリアー	D	9,400	日立舞鶴	45. 7.21
	邦昭丸	11,458	貨物	D	8,000	東北ドック	41. 4. 7
日正汽船 (M.O)	日安丸	195,405	タンカー	T	34,000	日立堺	45. 7.24
	日鉱丸	154,630	タンカー	D	30,900	日立因島	44. 7.11
	日寿丸	25,031	タンカー	D	10,400	笠戸	47. 3.22
照国海運 (J.L)	照国丸	251,987	タンカー	T	40,000	石播呉	46. 4. 5
	宇佐丸	268,770	タンカー	T	40,000	石播呉	47.10.23
東京船舶 (N.Y.K)	さまらん丸	9,772	貨物	D	6,700	三菱下関	44. 8.18
	第8とよた丸	30,307	貨物	D	11,200	名村	45. 7.31
	水戸丸	65,350	貨物	D	15,000	鋼管鶴見	45. 3.16
共栄タンカー (N.Y.K)	共栄丸	216,121	タンカー	T	33,000	石播横浜	46. 4.21
	金山丸	49,893	L. P. G.	D	17,400	三菱横浜	45. 8.24

表2.1.2　50年度アンケート調査回答船

船名	調査時期	主要航路	調査件数
ジャパンガランサス	S50. 6.25～ 7.25	日本／PG	2
能登丸	S49.12.12～S50.11.12	日本／紅海	32
伏見丸	S49. 7.10～S50.10. 5	日本／紅海	29
高岡丸	S50. 9.22～12.2	三国間	8
高峰丸	S49.11.20～S50. 9.14	日本／PG	9
加賀丸	S50. 2.21	日本／紅海	1
じぶらるたる丸	S49. 7.14～10.31	日本／カリブ海	4
富久川丸	S49.10. 9～S50. 1.28	日本／豪洲／欧州，ブラジル	9
飛島川丸	S49.12.27～S50. 3.26	PG／UKC	4
くいんずうえいぶりっじ丸	S49.12.30～S50. 6.16	CALCO	22
筑波丸	S48. 6. 1～S49.10.26	不定	5
富貴丸	S49. 6.11～10. 6	三国間	4
鉄瑞丸	S49. 5. 1～S50. 6. 7	北米／豪洲／パナマ	11
邦昭丸	S50. 8.29～ 9. 2	ペルシャ海	2
			計142

表 2.1.3　アンケート集計結果

項目		内訳	件数	比率
				%
使用期間		0～12か月	0	—
		24か月	0	—
		36か月	4	2.8
		48か月	25	17.6
		60か月	44	31.0
		72か月	32	22.5
		84か月	34	23.9
		96か月	0	—
		96か月～	3	2.1
1. 発見経緯		破孔	58	42.0
		漏洩	79	57.3
		膨出	1	0.7
		開放時	0	
2. 発配管系統		1. 冷却海水	67	57.3
		2. 他の常用海水	28	23.9
		3. ビルジバラスト等	5	4.3
		4. 蒸気・排水	8	6.8
		5. 作動・制御用	6	5.1
		6. 蒸溜水	3	2.6
		7. その他のドレン	0	—
	配管場	水平管	69	48.9
		立上り管	43	30.5
		傾斜管	11	7.8
		その他（枝付）	11	7.8
		立体曲り管	7	5.0
		直管部	108	76.6
		曲管部	23	16.3

項目		内訳	件数	比率
				%
3. 配管仕様	流体入口側の弁操作	全開	128	95.5
		／開	3	2.2
		微開	3	2.2
	呼び径	15	5	3.5
		20	5	3.5
		25	7	4.9
		32	5	3.5
		40	17	12.0
		50	7	4.9
		65	11	7.8
		80	12	8.5
		90	1	0.7
		100	18	12.7
		115	2	1.4
		125	5	3.5
		140	1	0.7
		150	12	8.5
		165	0	—
		175	1	0.7
		200	11	7.8
		250	9	6.3
		300	7	4.9
		350	2	1.4
		400	3	2.1
		450	1	0.7

項目		内訳	件数	比率
				%
4. 異物の堆積量	腐食生成物	無し	35	30.2
		有り	81	69.8
		黒色	12	
		赤褐色	57	
		灰黒色	4	
	異物の有無	無し	77	72.6
		有り	29	27.4
	異物の有無	貝類	1	3.5
		海藻類	0	—
		砂泥	18	62.1
		スラッジ	5	17.2
		その他	5	17.2
	異物の堆積量	全面 多量	3	16.7
		全面 少量	15	83.3
		全面 点在	0	
		局所 一部	2	18.2
		局所 多量	0	—
		局所 少量	8	72.7
		局所 点在	1	9.1
5. 外部状況		異常なし	32	25.6
		塗装剝離	17	13.3
		発錆 局所	53	42.4
		発錆 点在	12	9.6
		発錆 全面	10	8.0
		ラギング状況 良好	1	0.8
		ラギング状況 不良	0	—
6. 運航障害		無し	136	97.8
		有り 主機停止	2	1.4
		有り 主機減速	1	0.7
		有り 出港遅延		
		有り 荷役支障		

見個所	所	分岐管	10	7.1
		（支金部）	0	—
	部位	1. 非溶接部	57	29.5
		2. 溶接部	54	28.0
		a) 電縫シーム部	33	17.1
		b) フランジ溶接部	37	19.2
		c) スリーブ溶接	0	—
		d) 枝付部	4	2.1
		e) 突合せ溶接	8	4.1
	個所	水平管上部	27	18.4
		水平管下部	40	27.2
		水平管横部	27	18.4
		立上り管横部	33	22.4
		曲管外周部	16	10.9
		曲管内周部	4	2.7
	使用環境	機関室内床上	41	29.1
		機関室内床下	81	57.4
		暴露甲板	17	12.1
		多湿	2	1.4
		高温	0	—
	使用条件	連続使用	48	34.1
		航海時のみ使用	56	39.7
		停泊時のみ使用	2	1.4
		その他間歇使用	35	24.8

4. 腐食状況	管材質	鋼管	0	—
		電縫鋼管	101	72.7
		継目無鋼管	36	25.9
		その他	2	1.4
	内面処理	無処理	25	24.0
		亜鉛めっき	77	74.0
		アルミめっき	0	—
		ネオプレン	0	—
		その他	2	2.0
	外面処理	無処理	8	5.2
		亜鉛めっき	79	51.0
		アルミめっき	0	—
		ラギング	3	1.9
		塗装	65	41.9
	検査方法	外観のみ検査	69	51.1
		管取外しの上内面検査	66	48.9
	形態	針孔状	45	31.0
		溝状	32	22.1
		あばた状	16	11.0
		破孔	43	29.7
		割れ	9	6.2
	程度	表層	21	14.9
		深層	10	7.1
		貫通	110	78.0
	範囲	局所	95	67.4
		点在	33	23.4
		全面	13	9.2

7. 補修処理		新替	30	18.3
		切替	2	1.2
		当金溶接	9	5.5
		肉盛溶接	48	29.3
		接着剤	25	15.2
		バンド掛け	35	21.3
		その他	15	9.2
8. 補修施工者		乗組員による補修	116	87.2
		造船所或は業者による修理	17	12.8
9. 補修に要した労力	マン・アワー	0 ～ 3	39	55.7
		～ 6	8	11.4
		～ 10	10	14.3
		～ 15	3	4.3
		～ 20	2	2.9
		～ 30	4	5.7
		30 以上	4	5.7
10. その他	海洋微生物付着防止装置	無し	102	76.1
		有り 腐食影響無し	3	23.9
		有り 〃 有り	6	
		有り 不明	23	
	鉄イオン発生装置	無し	112	99.1
		有り 腐食影響無し		
		有り 〃 有り		
		有り 不明	1	0.9
	腐食管の前歴	無し	111	82.2
		有り 報告済	10	7.4
		有り 未報告	5	3.7
		不明	9	6.7

2.1.4 調 査 結 果

アンケートの集計結果を項目別にまとめたものを表2.1.3に示す。

2.1.5 調査結果の考察

(1) 使 用 期 間

管の使用期間は4年から7年の間で全体の９５％を占め，前年度より1年伸びたような形となった。これは調査対象船のうち4隻が比較的補修件数（１１件～３２件）と多かったことによるものと考えられる。

(2) 発 見 方 法

大半が破孔と漏洩であり，その比率は前年度とほとんど同じ値であった。

(3) 系　　統

冷却海水と常用海水系統が８０％以上を占めており，その他の系統も大体前年度と同じ傾向を示した。

(4) 場所および部位

直管部が曲管部の約5倍位多く，両方で全体の約９０％である。スケッチ，所見などからみると溶接部および電縫シーム部に多く見られた。

配管では水平管が立上り管より約1.6倍で，水平管は上部より下部の方がやや多く，前年度とは逆となった。曲管外周部と内周部では前者の方が4倍位多かった。

(5) 使 用 環 境

機関室内で約８６％発見され，機関室床下の方が床上の約2倍位多かった。暴露甲板部は約１２％程度であった。

(6) 使 用 条 件

航海時のみ使用が約４０％で最も多く，連続使用，その他間歇使用の順となり，停泊時のみ使用が最も少く前年度と異なった結果を示した。

(7) 流体側の弁操作

弁の全開が圧倒的に多く，過去の調査結果と同じであった。

前年度にも述べたように，腐食の原因が弁操作によるものか，溶接によるものか判然としないので，実験室実験の研究結果をみた上で確認したいと考えている。

(8) 管 の 材 質

電縫鋼管が約７３％で継目無鋼管の約2.8倍であった。

(9) 内 面 処 理

亜鉛めっき管が全体の約¾程度で無処理が約¼程度記録されたが，実際には亜鉛めっき層が溶出し無処理同様になったと思われるもの（例えば外面めっきとの関係から）もあり，実際には亜鉛めっきはもう少し多いのではないかと判断される。

(10) 腐 食 状 況

形態，程度，範囲などからみると，大部分は局部腐食により貫通したものと考えられる。これらは溶接部，フランジ継手部に特に多くみられた。

(11) 腐 食 生 成 物

管の約７０％に腐食生成物がみられ，生成物の約８０％は赤褐色および黒色のものであった。

(12) 異物の種類と堆積量

異物の付着は前年度の約６０％と少なかった。その種類は砂泥が最も多く，残りはスラッジ，その他であり，その量はいずれも少量であった。

(13) 外 部 状 況

塗装の剝離および局部的な発錆は前年度よりやや多い傾向を示したが，異常なしと報告されたものは大体同じ程度

であった。

(14) 運 航 障 害

主機停止2件，減速1件が報告されたが，そのほかは障害はなかった。

(15) 補 修 処 理

大部分が乗組員による補修で，肉盛溶接が最も多く，バンド掛けがこれに次ぎ，新替えまたは接着剤の使用がなされている。

(16) 補修に要した労力

７０件の回答であったが，造船所による修理のもので記入のないものが多かった。これは入渠時に他の諸工事と込みで精算されたものと思われる。全体の約半分が3マン・アワー以下であった。

(17) 海洋微生物付着防止装置

装置を装備していないものが多いが，装備されたものでは腐食に影響を与えたのかどうか明らかでなかったものが多く，明らかに影響したものは6件あった。

2.1.6 ま と め

今回のアンケート回収は前年度の約半分（約１４２件）であった。

対象船１４隻のうち１０隻が前年度にも回答されたもので，残り4隻は別の船であった。

海水系統の管の腐食が約８０%を占め，そのほか蒸排気管がこれに次ぎ，この傾向は前年と大体同じであった。

海水系統の大部分は亜鉛めっき管で，就航後4乃至7年が最も多く約９５%であった。これは前年度の3乃至6年のものより1年伸びたような結果であった。腐食の部位は大部分が溶接部（フランジ，枝付，突合せ，電縫管シーム部）にみられ，このことは過去2回における場合と同様であった。

亜鉛めっき管以外の防食材料は1件もなかった。

前年度にも述べたように現在実施中の実験室実験，新造船の追跡調査および就航船の開放調査資料を基にして検討を進めたい。

2.2 就航船の開放調査研究

2.2.1 調 査 目 的

諸管材料腐食に関する調査研究の一環として腐食の実態，傾向を把握するため就航船について，昭和４８年度及び昭和４９年度に引継ぎ3年目の開放調査を実施した。

2.2.2 調査実施要領

開放調査実施に当って，思想を統一して円滑且つ効果的な実施を図るため，「就航船の開放調査要領」に基づき，従来の調査要領と同一要領にて実施した。

2.2.3 開放調査実施船

本年度の開放調査実施状況を表2.2.1に示す。

表2.2.1　開放調査実施船要目表

船名（船主）	船型（主機区分）	調査施行造船所	調査時期	調査件数	航海後の経過月数	主要航路	備考
高岡丸（日本郵船）	211型T（T）	三菱（長崎）	S50 2. 7～ 2.10	10	47	日本／PG	S49年度調査実施
光珠丸（山下新日本）	222型T（T）	佐世保	S50 2. 8～ 2.28	9	41	日本／PG	〃
能登丸（日本郵船）	13型O（D）	日立（築港）	S50 5.26～ 6. 5	9	88	日本／紅海	〃
ジャパンオーキッド（ジャパンライン）	231型T（T）	川重（神戸）	S50 6.20～ 6.23	10	48	日本／PG	但し内1件は調査が出来なかった
飛鳥川丸（川崎汽船）	231型T（T）	佐世保	S50 8. 4～ 8. 8	7	48	日本／PG	
富久川丸（川崎汽船）	124型O（D）	川重（神戸）	S50 8.27～ 8.30	7	60	日本／オーストラリア or 北米	
新鶴丸（山下新日本）	165型O（D）	三井（由良）	S50. 9. 22	8	48	日本／オーストラリア	
ゴールデンアロー（ジャパンライン）	19型CON（D）	IHI（相生）	S50 11. 4～11. 5	9	66	日本／北米	

(注)　光珠丸（山下新日本），笠木山丸（大阪商船三井），天倉山丸（大阪商船三井）の3隻は，本年度開放調査を実施しなかった。

2.2.4　調査結果

本年度，調査した結果を主要アイテム毎に分類，取りまとめると共に各年度毎の調査結果の比較を以下各表に示す。

(1)　調査結果概要一覧表

各船の調査結果を系統，管仕様別に分類，取りまとめたものを表2.2.2に示す。

(2)　亜鉛メッキ鋼管の系統別，管腐食速度比較表

亜鉛メッキ鋼管の初期の肉厚を標準肉厚と仮定して算出した腐食速度及び調査期間中の新替管については実測管肉厚を基準とした腐食速度を算出し，これらを系統別に取りまとめたものを表2.2.3で示す。

(3)　スケール分析成績一覧表

各船で実施された定量分析結果を取りまとめたものを表2.2.4，分光定性分析結果を取りまとめたものを表2.2.5に示す。

(4)　甲板上蒸排気管の外面腐食（発錆）比較表

甲板上蒸排気管の腐食（発錆）状況を管仕様別に比較したものを表2.2.6に示す。

(5)　甲板上作動及び制御用油圧系統の腐食（発錆）速度比較表

甲板上作動及び制御用油圧管の腐食（発錆）状況を管仕様別に比較したものを表2.2.7に示す。

(6)　蒸溜水系統の管内面亜鉛メッキ付着比較表

各船の亜鉛メッキ付着率を比較したものを表2.2.8に示す。

2.2.5　調査結果の考察

就航船開放調査は，本船の入渠時を利用して各入渠造船所が担当して実施したが，今年度は調査対象船8隻より69件の調査結果が収集できた。就航船開放調査は，今年度で3年を経過し調査管の数が限定されているにも拘らず調査件数が前年度までのデータを加えて190件余に達し，各造船所の調査要領の統一に伴い腐食に関するデータが系統別，管仕様別に収集されてきている。しかし，腐食と密接に関係する使用環境が複雑なこともあり尚検討を要するものもあるが，他の調査研究の成果と共に今後その具体的腐食因子の推定が可能になるものと考えられる。

以下に，調査結果を系統別に考察を行なう。

(1) ①主補冷却海水系統及び②，①以外の常用海水系統について

(A) 管仕様が合成ゴム系被覆の場合（写真2.2.1，2.2.2参照）

(a) 調査件数は4件であったが，前年度調査時と同様4件とも損傷なく，良好であった。その内3件にフジツボが付着していたが，合成ゴム系被覆表面に対する影響はなかった。

(b) 現在までの調査結果から見て適切なライニング処理が施工されている場合は，安定した耐腐食性が認められる。

(B) 管仕様が亜鉛メッキ鋼管の場合

(a) 腐食速度

管装着時の管肉厚が不明なものもあり，正確な腐食量は求められないが不明な管に対しては，当初の管肉厚を標準肉厚と仮定した腐食速度の算出及び，この他調査期間中の新替管（表2.2.3参照）については，実測管肉厚を基準とした腐食速度を算出し，この結果を取りまとめたものを次の表に示す。但し，調査結果より破孔箇所は除いた。

単位：㎜／y

調査年度	①主・補冷却海水系統		②，①以外の常用海水系統	
	平均腐食速度	最大腐食速度	平均腐食速度	最大腐食速度
S・48年度	0.22	0.40	0.13	0.27
S・49年度	0.29	0.43	0.14	0.45
S・50年度	0.39	0.77	0.21	0.43

(b) 調査結果よりの腐食傾向

(イ) 電縫鋼管の腐食の概要

1) 腐食発生箇所及びその要因

①，②系統に含まれる電縫鋼管の調査件数は今年度21件あるが，その腐食発生箇所をみると前年度の調査結果と同様に

ⓐ 主管から直角に分岐している枝管の入口近傍

ⓑ 弁，クーラー，ポンプ等に接続する管の近傍

となっており，管シーム部の溝食及びあばた状腐食が，管内他部分より顕著に発生していた。腐食関係因子としては

ⓐ 乱流による腐食速度への影響

ⓑ 異種金属接触による腐食速度への影響

ⓒ 管材質，種類による　〃　〃

などが考えられる。しかし，腐食速度比較表（表2.2.3）より同一使用条件及び環境と思われる。管系についても不統一な腐食速度を示しているものがある事から，これらの関係因子の適確な把握は難かしい。今後さらに使用条件及び環境をふまえて，詳細に腐食因子を追求する必要がある。

2) 腐食速度

平均推定腐食速度は，系統①及び②でも，調査年度毎に増大しており，その原因として腐食速度比較表（表2.2.3）及びスケール分析結果（表2.2.4）より次の事が考察できる。

j) 系統①について

スケール分析結果より，顕著に検出された成分を分類すると次の通りである。

ⓐ ZnOの検出が顕著なもの ---------- C丸の2件

ⓑ SO_3 の検出が顕著なもの -------- H丸の２件

ⓒ CuO の 〃 -------- C丸，H丸各々１件

ⓓ K_2O の 〃 -------- G丸の１件

又，腐食速度比較表より

ⓐ 推定腐食速度が最大の管系 -------- J丸の１件

ⓑ 〃 最小の 〃 -------- H丸の１件

前年度の調査結果と比較すると，ZnO の検出が全般的に減少の傾向にあり，SO_3が増加の傾向を示している。この為，ZnOの検出量減少の管系は腐食速度が増加しており，特にC丸とE丸とでは同様な使用環境及び条件でもかなりの腐食速度が異なっている。また，SO_3の検出量の相違による腐食速度への影響は認められなかった。

ii）系統②について

スケール分析結果より，顕著に検出された成分を分類すると次の通りである。

ⓐ ZnO の検出が顕著なもの -------- E丸の１件

ⓑ CuO の 〃 -------- G丸の１件

ⓒ $A\ell_2O_3$ の 〃 -------- B丸の１件

ⓓ SO_3 の 〃 -------- D丸の２件

系統①に比較すると，ZnOの検出量は大部分の管系で多くみられるが，SO_3の検出量はほぼ同程度となっている。従って腐食速度は，Znメッキの防食効果が作用して系統①よりも小さい値となり，特にE丸ではほとんど腐食の進行は認められなかった。しかし，腐食速度が他管系に比較して大きい値を示している。D丸及びG丸に関しては，D丸はSO_3の検出量が多く，G丸はCuOの検出量が多いことから，前者は海水汚染による影響，後者は電食による影響と推定される。

しかし，SO_3による影響は系統①においても腐食速度に関係する腐食因子として認めがたいため一概に海水汚染による腐食への影響とは断定出来ない。

(ロ) 電縫鋼管のシーム部の腐食（写真2.2.3，2.2.4，2.2.5参照）

調査件数２３件の内，シーム部の溝食が顕著なもの７件あり，その内破孔に至った件数はJ丸の１件のみであった。（但し，調査対象外の管系でJ丸にて，さらに３件発生の報告あり），その破孔発生箇所はフランジ溶接部近傍であり，その腐食原因は複雑に構成した管系の一部でポンプ吸込側に接続する管系であるため，乱流，電食，金属組織差などの影響にあるものと推定される。

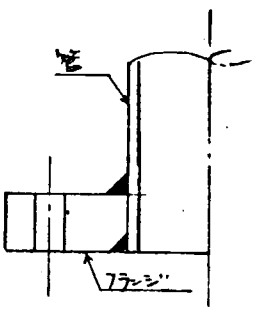
又，C丸において，前年度調査時，新替管として装着した鍛接鋼管（SGP－B）（写真2.2.5参照）の調査結果をみると，シーム部の腐食はなく良好であった。

スケール分析結果では，ZnOの検出量が多く亜鉛メッキの影響力が作用したものと思われる。しかしながら管装着後１０ケ月経過での腐食状態であるので，今後の腐食の推移に注目したい。

(ハ) フランジ溶接部及びエルボ溶接部の腐食（写真2.2.4，2.2.5，2.2.6参照）

今年度の調査においても前年度同様フランジ溶接部に多数，溝食及びあばた状腐食がみられた。その腐食発生箇所は概要で述べた通りである。また，前年度の調査時，C丸において新替管に試験的に採用した特殊フランジ（右図及び写真2.2.5参照）の溶接部には腐食の発生はみられず，健全であった。しかし，これは管装着後１０ケ月経過の腐食状況であること。又スケール分析結果よりZnO の検出量が多い事からZnメッキの防食効果が働いたものと思われ，従来の管サシ込みフランジとの耐食性の比較に関しても今後の腐食の推移に注目し

特殊フランジ形状



たい。又，エルボ溶接部も調査件数は少ないが溝食の発生をみた。しかし，エルボ自体の腐食はそれに接続する直管部よりも腐食の程度は軽微であり，亜鉛メッキがほぼ完全に覆っている状態のものもあった。（写真2.2.6参照）この原因は，エルボ素材の金属的組成に起因するのか，管との比較を行なって検討する必要が認められるが詳細については現在，不明である。

(ニ) 海洋生物付着防止装置の腐食に対する影響

1) 腐食速度比較

船名	系統№	系統名	腐食速度（mm／y）						腐食状態		
			S48年度		S49年度		S50年度				
			最大	平均	最大	平均	最大	平均	S48年度	S49年度	S50年度
E丸	①	T/G L.O.クーラー入口	0.60	0.32			0.92	0.47	シーム部破孔		腐食大
J丸		補助冷却海水ポンプ入口			0.73	0.15	1.18	0.64		軽微な腐食	シーム部破孔
J丸		補助コンデンサー海水入口			0.58	0.16	0.35	0.23		腐食大	シーム部破孔
	①	平均				0.16		0.45			
E丸	②	サニタリーポンプ出口					＊ +0.03	＊ +0.06	—		軽微な腐食
E丸		冷凍機入口	0.24	0.02			0.32	0.10	軽微な腐食		腐食大
E丸		海洋生物付着防止装置出口	0.93	0.53			0.85	0.63	軽微な腐食		腐食大
	②	平均		0.28				0.37			

注：1) ＊：年度毎の平均値より除外した。

2) 調査対象船中海洋生物付着装置装備船はE，J丸のみ

2) 腐食状況と考察（写真2.2.7，2.2.8参照）

平均腐食速度は，系統①及び②とも他管系に比較して大であり，特にJ丸の補助冷却海水ポンプ入口管は28ケ月で破孔に至っており，その腐食速度は2.14mm/yearとかなり高い値を示している。しかし，海洋生物付着防止装置出口管には海藻等の付着（写真2.2.7参照）がみられ，又スケール分析結果ではClの検出量は他管系と差は認められない事により塩素イオンの腐食に対する影響力とは推定しがたい。E丸のサニタリー・ポンプ出口管（写真2.2.8参照）及び冷凍機入口管は腐食速度が小さい値を示しているが，前者はスケール分析結果ではZnOが多量に検出されている事から，亜鉛メッキの防食効果によるものと思われ後者については，詳細は不明である。

(ホ) その他

1) 電縫鋼管と継目無鋼管との比較

i) 腐食速度比較

船名	使用箇所	管材質	流速 (m/s)	経過月数	管肉厚減量 (mm)		推定腐食速度 (mm/y)		腐食状態
					最大	平均	最大	平均	
E丸	T/G L.Oクーラー入口 (クーラーと入口弁との間の短管)	STPG−38E gal.	1.5	27	1.35	−	0.6	0.324	シーム部破孔
		STPG−38S gal.		18.2	1.40	0.71	0.923	0.468	全面腐食大

ii) 腐食状況と考察

同一条件での比較調査件数は，1件のみで比較するデータとして不十分であるが，次の事が言える。腐食速度の平均をみると電縫鋼管の腐食進行速度がより低い値を示している。これは，シーム部に腐食が選択的に集中し周囲に対して保護作用として働いた結果と思われる。

腐食発生形態は継目無鋼管については，全面腐食，電縫鋼管は，シーム部の溝食→破孔となっており，シーム部の金属組織差の影響力が大きい事を示しているが使用環境及び条件により，どれほどの影響力を持つか不明であり，今後さらに両者を比較し，耐用期間と腐食因子の分析を続けたい。

2) 鍛接鋼管と電縫鋼管との比較

i) 腐食速度比較表

船名	系統No.	系統名	管材質	流速 (m/s)	経過月数	管肉厚減量 (mm)		推定腐食速度 (mm/y)		腐食状態
						最大	平均	最大	平均	
C丸	①	T/G L.Oクーラー入口 (クーラーと入口弁との間の短管)	SGP−B gal.	1.53	10	0.35	0.29	0.42	0.35	軽微な腐食 (特殊フランジ使用)
			SGP gal.	〃	36	1.05	0.77	0.35	0.26	シーム部破孔
	②	造水装置入口	SGP−B gal.	1.02	10	0.10	0.06	0.12	0.07	軽微な腐食
			SGP gal.	〃	36	1.30	0.35	0.43	0.12	シーム部の破孔

ii) 腐食状況と考察

鍛接鋼管を電縫鋼管と同一条件で装着後10ケ月経過なので，電縫鋼管との腐食の傾向を比較するには適切な時期でないと思われるが，現在までの結果では次の事が言える。

推定腐食速度に関して，系統①及び②を比較すると

ⓐ 系統①は，系統②より大きい。

ⓑ 系統①の内，鍛接鋼管が電縫鋼管より大きい。系統②の内，電縫鋼管が鍛接鋼管より大きい。

又，この腐食傾向の要因に関しては

ⓐ 異種金属接触面積は，系統①が系統②より大きい。

ⓑ スケール分析結果よりZnOの検出量は，鍛接鋼管（SGP−B）が電縫鋼管より多い。

ⓒ 管内流速は，系統①が系統②より速い。

推定腐食速度が系統①及び系統②において，各々相違した傾向を示した原因は，上記腐食傾向の要因が相互に作用し，さらにシーム部の局部腐食が周囲に対して保護効果として作用したためと思われる。

尚，鍛接鋼管の今後の腐食の推移に注目して，さらに詳細な腐食の原因を追求，調査し耐食性の判定を行なう必要があろう。

(2) ③，①②以外の海水系統（ビルジ・バラスト等）について

(A) 管仕様が亜鉛メッキ鋼管の場合（写真2.2.9，2.2.10，2.2.11参照）

(a) 腐食速度

管装着時の管肉厚が不明なものもあり，正確な腐食量は求められないが，不明な管に対して当初の肉厚を標準肉厚と仮定した腐食速度の算出及びこの他調査期間中の新替管（表2.2.3参照）については，実測管肉厚を基準として腐食速度を算出し，この結果を取りまとめたものを次の表に示す。

但し，調査結果より破孔箇所は除いた。

単位：mm/y

調査年度	③，①②以外の海水系統（ビルジ・バラスト）	
	平均腐食速度	最大腐食速度
S 48年度	0.033	0.161
S 49年度	0.098	0.282
S 50年度	0.285	0.589

(b) 腐食状況と考察

調査管の管内面腐食の程度は軽微であるが，数件局部的に或いは全面的に腐食が進行していたものがみられたが，シーム部の腐食はなくほぼ正常な腐食進行状態と言える結果であった。しかし，腐食速度は調査年度毎に増大しているが，この原因はスケール分析結果ではほぼ全対象管においてZnOの検出量が年々減少の傾向にあるため，Znメッキの防食効果の減衰が考えられる。

尚，J丸においてポンプ付ビルジ管が，シーム部溝食より破孔（写真2.2.9，2.2.10，2.2.11参照）に至った管があったが，その腐食原因はスケール分析結果がないため究明困難である。しかし，ビルジ管系の破孔件数は本件を含め調査期間中に4件の発生をみており，今後詳細に腐食因子の追求が必要である。

(3) 甲板上蒸排気系統について

(A) 管外面の仕様がアルマ加工の場合（写真2.2.12参照）

前年度の調査結果と比較すると，管外面のフランジ溶接部及びエルボ溶接部に若干，白色酸化物の生成等の発錆が見られるが，管内外面とも健全である。

(B) 管外面の仕様が亜鉛メッキの場合

(a) 腐食状況

調査件数は排気管系統2件のみであるが，腐食形態は前年度と同様に管外面は激しい腐食を示していたが，管内面はほぼ良好であった。

亜鉛メッキ鋼管は，アルマ加工管に比較して腐食が著しく，厳しい使用環境中では防食性に劣る結果が出ている。

(C) 管仕様がベアーメタルの場合

(a) 腐食速度

単位：㎜／y

船名	管系統	S49年度 平均腐食速度	S50年度 平均腐食速度	備考
B丸	蒸気管	1.10	0.17	前年度調査結果よりの減厚量より算出した
F丸	排気管	1.37	1.06	〃

(b) 腐食状況と考察

調査件数は2件のみであるが，管外面はスケールが層状になる程，著しく腐食していた。管内面は部分的に腐食が発生していたが健全である。

但し，B丸の腐食速度がS49年度と比較してS50年度が極端に小さいのは管肉厚計測に誤差があったのではないかと推定される。

(D) 管仕様が銅管の場合

調査件数は蒸気系統3件，排気系統2件であるが，管外面に一部緑錆の発生は認められるが，前年度の調査結果と同様，管内外面ともすこぶる良好である。

(4) 甲板上作動及び制御油圧系統について（写真2.2.13参照）

調査件数はJ丸の2件のみであるが，管外面は部分的にメッキの剥離がみられる程度の軽度な発錆状態であり，前年度の調査結果と同様な腐食形態であった。

(5) 蒸溜水系統について

(A) 管仕様が亜鉛メッキ鋼管の場合

(a) 腐食速度

船名	流速 (m/s)	経過月数	腐食速度 (㎜/y) 最大	腐食速度 (㎜/y) 平均	腐食状態	備考
D丸	0.2	47	0.128	0.089	亜鉛メッキ付着率98%	
E丸	0.12	48	0.180	0.090	亜鉛メッキ前年度調査時全面消失	
G丸	0.6	41	0.205	0.095	〃	

(b) 腐食状況と考察

調査件数3件の内，2件は前年度亜鉛メッキが全面消失しており，他1件は亜鉛メッキがほぼ全面に残存しているが，両者とも腐食の進展はみられない。

亜鉛メッキの防食効果は，平均腐食速度に関する限り判明しないが，最大腐食速度は亜鉛メッキ付着管の方がかなり低い値を示している事からみて防食効果が働いているものと思われる。しかし，なぜ亜鉛メッキ寿命にこのような差が出たかは不明である。蒸溜水系統の亜鉛メッキの耐用年数について，さらに調査すべきと考える。

(B) 管仕様が銅管の場合

調査件数は，E丸の1件のみであるが前年度同様，管内外面とも良好であった。

2.2.6 ま と め

管系統①，②，③の腐食発生形態の傾向は，前年度の調査結果と同様，電縫鋼管におけるシーム部及びフランジ溶接部の溝食，又フランジ溶接部近傍のあばた状腐食が主に

ⓐ 弁・クーラー・ポンプとの接続管

ⓑ 分岐管の入口部

に集中して発生しており，腐食の進展が多くの調査管にみられた。平均腐食速度をみてみると，調査年度毎に上昇しており，この腐食原因として，スケール分析結果より

ⓐ ZnOの検出量が年度毎に，減少傾向にある。

ⓑ SO_3の 〃 が多い。

となっており，亜鉛メッキの防食効果の低下，さらに乱流，電食，金属組織差，隙間腐食が相互に作用して，あばた状腐食及び溝食が拡大，進展したものと思われる。又，継目無鋼管，鍛接鋼管及び特殊フランジを試験的に採用した調査管に対して，電縫鋼管との耐食性に関する比較を含めて今後の腐食の推移に注目したい。

管系統④に関しては，アルマ加工管及び銅管を採用した管は，管内外面とも良好であったが，亜鉛メッキ鋼管及びペアー管の管外面はスケールが層状になる程，激しい腐食を起こしているため，亜鉛メッキ鋼管の使用は使用環境により制限されるであろう。甲板作動油管は，部分的に外面塗装の剝離がみられ，又フランジ溶接部及び管下面に発錆がみられる程度で一般的にみて管外面は良好であった。管系統⑥の蒸溜水管に対する亜鉛メッキの有効性は，平均腐食速度をみる限り，亜鉛メッキ付着に関係なく大差が認められない結果となった。今後さらに亜鉛メッキ残留管を対象に追求する必要があろう。

以上のように腐食発生の要因及び形態が除々に明らかになっているが，腐食因子が相互に作用し合って腐食に影響を与えているので今後，腐食因子と腐食量の関係を明確にするために，さらに詳細に分析し，追求したい。

表 2.2.2　調査結果概要一覧表

注）腐食形態の分類
- 良好……あばた状腐食……１０％以下（管表面積にて）
- 軽微……　〃　……10～50％（　〃　）
- 大……　〃　……５０％以上（　〃　）
- シーム部腐食……腐食深さ管肉厚の½以下
- シーム部深層腐食……　〃　½以上
- シーム部破孔……破孔

系統No.	管系統	管仕様	調査件数	腐食形態の分類	備考
①	主・補冷却海水系統	合成ゴム系被覆	4	良好	(2)*
		亜鉛メッキ鋼管	13	(1)全面及びシーム部の腐食大 (2)シーム部の破孔１件	(1)*, (2)*
		鋼管（ベアー）	1		(1)*, (2)*
②	①以外の常用海水系統（サニタリー等）	合成ゴム系被覆	2	良好	(2)*
		亜鉛メッキ鋼管	10	全面及びシーム部の腐食大	(1)*, (2)*
		鋼管（ベアー）	1		(1)*, (2)*
③	①②以外の海水系統（ビルジ・バラスト等）	亜鉛メッキ鋼管	12	(1)腐食は常用海水ラインより軽微 (2)シーム部の破孔１件	(1)*, (2)*
		鋼管（ベアー）	1	良好	(2)*
④	甲板上蒸・排気系統	アルマ加工管	3	良好	－
		亜鉛メッキ鋼管	2	管外面の腐食大	(1)*, (2)*
		鋼管（ベアー）	4	管外面の腐食大	(1)*, (2)* 但し，２件は機関室内管
		銅管	5	良好	－
⑤	甲板上作動及び制御用油圧系統	鋼管（外面塗装のみ）	5	管外面発錆あるも良好	(2)* 但し，１件は機関室内管
⑥	蒸溜水系統	亜鉛メッキ鋼管	3	良好	(1)*, (2)*
		銅管	1	良好	－
⑦	その他の系統	鋼管（ベアー）	1	良好	F.O. 噴燃ポンプ入口
合計			68	破孔による新替管…２件	

(1)*：腐食速度及び腐食の概要は表 2.2.3 参照
(2)*：スケール分析結果は表 2.2.4 及び 2.2.5 参照

表 2.2.3　亜鉛メッキ鋼管の系統別管腐食速度比較表

注）1.　腐食形態の分類は表 2.2.2 と同じ。
2.　新替管の場合は実測肉厚からの減肉量を示し，その他は標準肉厚との比較を示す。▲：新替管を示す。（Ｓ５０年度は除く）

船名	系統名	系統名	管材質	流速 m／s	塩素イオン発生器の影響	経過月数 ケ月	調査時迄の減厚量 最大mm	調査時迄の減厚量 平均mm	推定腐食速度 最大 mm/y	推定腐食速度 平均 mm/y	腐食形態の分類	備考
B丸	①	主機 L.O. クーラー海水入口	STPG−38E 管内面無処理	2.5	無	13	▲ 1.70	▲ 0.84	▲ 1.569	▲ 0.775	• 腐食大 • シーム部腐食	Ｓ４９年度調査時，管を新替えした
C丸		T/G L.O. クーラー入口	SGP−B gal.	1.53	〃	10	▲ 0.35	▲ 0.29	▲ 0.42	▲ 0.35	軽微な腐食	Ｓ４９年度調査時，管材質をSGPよりＳＧＰ−Ｂに新替した。又特殊フランジを採用した。
E丸		T/G L.O. クーラー入口	STPG−38S gal.	1.6	有	18.2	▲ 1.4	▲ 0.71	▲ 0.923	▲ 0.468	腐　食　大	Ｓ４８年度調査時，管を新替えした
G丸		主機 L.O. クーラー出口	SGP gal.	1.7	無	41	1.85	0.94	0.54	0.28	シーム部腐食	
J丸		主海水冷却ポンプ出口	SGP gal.	3.1	〃	25	1.60	0.71	0.77	0.34	シーム部腐食	
J丸		補助冷却海水ポンプ入口	SGP gal.	2.2	有	28	2.75	1.50	1.18	0.64	• 破孔発生新替 • 破孔ケ所の数値2.14mm／y	
J丸		補助コンデンサ冷却海水入口	SGP gal.	2.2	〃	34	1.0	0.66	0.353	0.233	• 軽微な腐食 • シーム部腐食	
H丸		主機 L.O. クーラー海水入口	STPG−38E 管内面無処理	2.59	−	12	0.8	0.206	0.8	0.206	• 腐　食　大 • 管出入口に溝食発生	Ｓ４９年度調査時，管肉厚をsch 40よりsch80にして新替えした。亜鉛メッキ施行せず。
H丸		No.1 D/G ジャケット クーラー海水入口	STPG−38E gal.	2.20	−	66	2.0	1.231	0.364	0.224	腐　食　大	
	①	平　　均							0.769	0.391		
B丸	②	サニタリーポンプ出口	SGP gal.	1.23	無	60.6	0.90	0.39	0.178	0.077	• 腐　食　大 • シーム部腐食	
B丸		造水装置エゼクターポンプ吸込	SGP gal.	1.69	〃	60.6	1.40	0.42	0.277	0.083	• 腐　食　大 • シーム部腐食	
C丸		サニタリーポンプ出口	STPG−38E gal.	1.27	〃	48	0.12	0.11	0.03	0.03	軽微な腐食	
C丸		造水装置入口	SGP−B gal.	1.02	〃	10	▲ 0.10	▲ 0.06	▲ 0.12	▲ 0.072	軽微な腐食	Ｓ４９年度調査時，管材質ＳＰＧよりＳＧＰ−Ｂに新替えした。
D丸		サニタリーポンプ出口	STPG−38E gal.	−	−	47	0.8	0.49	0.204	0.125	軽微な腐食，但しフランジ溶接部腐食大	
D丸		海水サービスポンプ出口	STPG−38E gal.	−	−	47	2.7	1.08	0.689	0.276	腐　食　大	
E丸		サニタリーポンプ出口	STPG−38E gal.	1.28	有	45.2	+0.1	+0.23	+0.027	＊ +0.061	腐　食　大	計測肉厚 4.3〜4.0，標準 3.9 ＊：平均値より除外
E丸		冷凍機入口	SGP gal.	1.68	〃	45.2	1.2	0.36	0.319	0.096	曲り部（エルボ使用）を除き，直管部腐食大	

E丸		海洋生物付着防止装置出口	STPG−38E 管内面無処理	1.51	有	45.2	3.2	2.38	0.850	0.632	• 出口側腐食大 • 部分的にシーム部溝食	
G丸		サニタリーライン中間	SGP gal.	2.5	無	41	0.2	0.04	0.06	0.011	• 腐食軽微 • 入口側の方が腐食は進んでいる	
G丸	②	冷房機用冷却海水ポンプ出口	SGP gal.	1.55	〃	41	1.9	0.6	0.556	0.18	腐　食　大	
G丸		サニタリーポンプ出口	SGP gal.	1.55	〃	41	1.0	0.26	0.29	0.08	入口側より出口側の方が腐食は進んでいる	
G丸		蒸溜水冷却器出口	STPG−38E gal.	2.2	〃	16	▲ 1.4	▲ 0.76	▲ 1.05	▲ 0.57	腐　食　大	S48年度調査時，管を新替えした。
J丸		サニタリーポンプ入口	SGP gal.	1.70	〃	25	2.05	0.945	0.984	0.454	• 腐　食　大 • シーム部腐食	
	②	平　　均							0.431	0.207		
B丸		ビルジポンプ出口	SGP gal.	0.77	無	60.6	0.10	+0.03	0.02	＊ +0.006	良　　好	計測肉厚 4.1〜4.3，標準 4.2 ＊：平均値より除外
B丸		バラスト排出エゼクター海水管	SGP gal.	2.94	〃	60.6	+0.20	+0.34	+0.04	＊ +0.067	良　　好	計測肉厚 5.5〜5.2，標準 5.0 ＊：平均値より除外
D丸		ビルジセパレータ出口	SGP gal.	−	−	47	0.6	0.28	0.4	0.19	良　　好	
E丸		ビルジ吸込	STPG−38E gal.	0.155	無	45.2	0	+0.16	0	＊ +0.042	軽微な腐食	計測肉厚 7.5〜7.1，標準 7.1 ＊：平均値より除外
G丸	③	ビルジバラストポンプ出口	STPG−38E gal.	2.2	〃	16	▲ 1.1	▲ 0.31	▲ 0.83	▲ 0.23	入口側の腐食大 その他は良好	S48年度調査時，管を新替えした。
F丸		ビルジ吸引管	STPG−38S gal.	−	〃	24	1.2	1.09	0.60	0.55	良　　好	
J丸		ビルジ吸込管（ビルジポンプ付）	SGP gal.	2.0	〃	21	1.35	0.367	0.771	0.21	• 破孔発生新替 • 破孔箇所の数値2.50㎜/y	
H丸		G・Sポンプ吸込管	STPG−38E gal.	−	−	66	1.90	1.36	0.345	0.247	腐　食　大	
H丸		G・Sポンプ吐出管	STPG−38E gal.	−	−	66	0.3	+0.488	0.05	＊ +0.089	良　　好	＊：平均値より除外
	③	平　　均							0.589	0.285		
B丸		甲板蒸気管		23.3	無	60.6	1.10	0.80	0.218	0.158	• 管外面　腐　食　大 • 管内面　下面腐食軽微	
B丸		甲板排気管	SGP gal.	81.9	〃	60.6	0.80	0.56	0.158	0.111	• 管外面　腐　食　大 • 管内面　良　好	
C丸	④	甲板排気管	STPG−38S gal.	29.0	〃	48	1.25	1.02	0.31	0.26	• 管外面　腐食軽微 • 管内面　良　好	
H丸		補助復水器排気管	SGP	−	−	66	0.5	+0.188	0.091	＊ +0.034	管外面　発錆状態	• 管内面無処理 • 機関室内管 • ＊：平均値より除外
	④	平　　均							0.229	0.176		
F丸	⑥	蒸溜水ポンプ入口	SGP gal.	0.12	無	48	0.7	0.37	0.18	0.09	腐食全面に渡り進行	

表 2.2.4　スケール定量分析成績一覧表

注)
ND：検出限界以下

船名	系統No.	管系統名	管仕様	成分 Ig loss	SiO_2	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	CuO	ZnO	PbO	SO_3/SO_4	P_2O_5	Na_2O	K_2O	Cl	Mn	FeO	S	酸不溶分	NiO	備考
B丸		主機T/C L.O. クーラー入口	STPG-38E 内面無処理	18.63	0.60	0.33	2.28	76.91	3.89	0.02	0.09	0.01	1.89	0.13	0.50	0.03							
C丸		T/G L.O. クー入口	SGP-B gal.	12.06	0.68	0.17	ND	72.12	0.80	ND	12.98	ND		0.14	0.70	0.04	2.20			0.4			MnO 0.06
C丸		C.O.P. タービン L.O. クーラー入口	STPG-38S gal.	13.19	1.16	3.75	7.68	59.54	2.32	0.11	11.13	ND		0.18	0.50	0.03	0.25			1.41			MnO 0.26
E丸		T/G L.O. クー入口	STPG-38S gal.	11.9	1.17	0.45	0.56	7.95	0.15	0.05	0.15	0.04	2.33	0.14	0.85	0.05				0.20			
G丸		主機 L.O. クーラー出口	SGP gal.	0	0.74	0.19	0.32	86.29	1.14	0	—	—	1.35	0.12	2.53	3.45	3.58						MnO 0.14
J丸	①	主冷却海水ポンプ出口	SGP gal.	19.6	0.40	0.30	6.24	73.5	0.19	0.056	0.13	0.72	<0.03	—	0.45	0.014	2.33	0.55	—	1.94			
J丸		補助冷却海水ポンプ入口	SGP gal.	19.3	0.50	0.43	0.69	7.19	0.25	0.062	0.45	0.05	<0.03	—	0.73	0.019	3.01	0.13	—	1.59			
J丸		補助コンデンサー冷却海水入口	SGP gal.	15.7	0.52	0.22	0.44	81.2	0.36	0.025	0.44	0.005	<0.03	—	0.67	0.017	2.28	0.091	—	1.07			
F丸		補助復水器冷却海水入口	SGP ネオプレン	73.35	8.84	1.01	2.87	5.94	2.61	0.07	0.05	0.01	0.46		2.29	0.23						0.03	MnO 0.15
H丸		主機 L.O. クーラー海水入口	STPG-38E 内面無処理	11.8	3.03	1.24	1.30	74.40	0.57	0.38	0.90	0.03	4.02	0.32	0.92	0.03	2.00						PH 6.4
H丸		No.1 D/G ジャケットクーラー海水入口	STPG-38E gal.	12.7	0.98	0.66	8.03	68.10	0.16	0.11	0.97	0.02	5.59	0.17	0.96	0.03	1.50						PH 6.55
H丸		主機ジャケットクーラー循環ライン	STPG-38E ネオプレン	35.5	11.7	2.24	1.83	29.10	1.02	0.68	0.90	0.34	1.87	0.93	6.40	0.42	5.46						PH 7.0
B丸		造水装置エゼクターポンプ海水吸込	SGP gal.	16.62	3.64	0.50	1.72	73.73	4.65	0.09	3.09	0.06	1.03	0.09	0.50	0.05							
C丸		サニタリーポンプ出口	STPG-38E gal.	8.07	1.24	0.28	1.20	80.5	0.51	0.21	6.91	ND		0.15	0.65	0.04	1.49			0.57			MnO 0.13
C丸		造水装置入口	SGP-B gal.	11.26	0.76	0.14	ND	77.99	0.63	ND	8.33	ND		0.13	0.48	0.04	1.74			0.32			MnO 0.06
D丸	②	サニタリーポンプ出口	STPG-38E gal.	17.1	0.5	0.4	0.8	69.6	2.2	0.0	2.1	0.0	4.9	0.0	1.6	0.1							
D丸		海水サービスポンプ出口	STPG-38E gal.	16.1	1.9	0.6	0.8	71.0	1.0	0.1	0.1	0.0	4.5	0.0	1.0	0.1							
E丸		サニタリーポンプ出口管，入口側	STPG-38E gal.	15.0	0.72	0.25	0.74	73.1	0.09	0.01	4.51	0.05	1.67	0.08	0.90	0.06				0.71			
E丸		サニタリーポンプ出口管，出口側	STPG-38E gal.	—	10.82	1.72	1.25	23.8	1.97	0.10	15.93	0.46	0.67	—	2.20	0.30				0.40			

E丸		海洋生物付着防止装置出口管	STPG-38E 内面無処理	19.4	1.11	0.27	0.36	76.3	0.02	0.03	0.04	0.01	0.77	0.07	0.46	0.01				0.79			
E丸		冷房機冷却海水入口	SGP gal.	16.1	0.99	0.33	3.85	70.7	0.11	0.01	1.15	0.03	0.68	0.08	0.67	0.04				1.20			
G丸		サニタリーポンプ出口	SGP gal.	12.88	1.24	0.44	2.52	74.26	1.64	0	—	—	1.51	0.16	2.02	0.44	2.59	0.13					
G丸		サニタリーライン中間管	SGP gal.	24.65	2.16	0.58	1.38	60.61	2.00	0	—	—	1.47	0.25	2.86	1.20	2.55	0.14					
G丸	②	冷房用冷却海水ポンプ出口	SGP gal.	22.15	2.22	0.38	0.62	65.00	2.00	0	—	—	0.94	0.21	3.37	0.75	2.13						MnO 0.06
G丸		エバポレータ給水入口	STPG-38E gal.	7.05	0.92	0.25	0.16	70.27	1.16	12.10	—	—	1.44	0.17	2.85	1.64	1.73	0.14					
F丸		サニタリーポンプ出口	SGP ネオプレン	36.61	8.78	2.42	0.88	32.68	4.39	0.56	0.29	0.06	0.74		7.02	0.48						0.06	MnO 0.57
F丸		冷凍機用冷却海水ポンプ出口	SGP ネオプレン	17.89	3.96	0.42	0.23	64.35	1.35	6.56	0.06	0.03	0.84		0.73	Tr						0.03	MnO 0.15
J丸		サニタリーポンプ入口	SGP gal.	16.6	0.44	0.86	4.21	78.5	0.15	0.067	0.11	0.007	<0.03 1.95	—	0.65	0.018	1.99	0.093	—	3.11			
C丸		ビルジ船外排出管	SGP gal.	26.52	0.40	1.50	ND	68.29	0.75	ND	6.91	ND		0.16	0.53	0.03	0.46			5.44			MnO 0.10
D丸		ビルジセパレータ出口	SGP gal.	12.8	0.4	2.2	0.5	58.2	3.5	0.1	3.3	0.1	18.0	0.0	0.6	0.0							
E丸		ビルジ吸込管	STPG-38E gal.	22.4	0.78	1.23	1.26	57.1	0.15	0.86	7.74	0.25	1.58	1.65	0.66	0.06				1.21			
G丸	③	ビルジバラストポンプ出口	STPG-38E gal.	31.54	0.78	0.54	10.54	46.70	1.38	0	—	—	1.72	0.20	3.37	0.75	2.20	0.13					
F丸		ビルジ吸引管	SGP 内面無処理	54.14	1.04	1.23	0.19	29.77	0.16	1.78	6.33	0.37	1.58		0.67	Tr						0.62	MnO 0.11
F丸		ビルジ吸引管（ポンプ付）	STPG-38S gal.		3.60	0.56	0.71	41.76	Tr	1.60	12.48											0.15	V_2O_5 1.84
H丸		G・S ポンプ吸込管	STPG-38E gal.	11.5	0.22	0.98	4.67	69.40	0.07	0.09	0.30	0.05	9.11	0.06	0.53	0.02	2.42						PH 5.6
H丸		G・S ポンプ吐出管	STPG-38E gal.	27.1	1.87	3.13	5.50	2.13	0.21	0.04	57.70	0.34	0.65	0.28	0.49	0.03	0.68						PH 8
B丸		甲板蒸気管（内面）	SGP 無処理	2.80	0.46	0.34	0.04	92.64	5.60	0.04	0.16	0.13	0.03	0.05	0.02	0.01							
B丸	④	甲板蒸気管（外面）	SGP 無処理	16.62	0.32	1.14	0.12	82.9	4.33	0.03	0.05	0.10	0.06	0.01	0.53	0.04							
B丸		甲板排気管	SGP gal.	12.08	0.36	0.83	0.11	79.42	4.88	0.03	4.11	0.06	0.10	0.03	1.59	0.04							
F丸		ウィンドラス排気管	STPG-38E 無処理	3.77	1.04	0.25	0.02	86.24	0.33	2.99	0.17	0.34	0.27		—	—						0.04	MnO 0.74
J丸	⑤	ウィンドラス作動油	STPG-38E 無処理	14.5	0.54	0.59	0.48	81.6	0.09	0.028	0.033	0.32	<0.03 <0.09	—	0.069	0.059	0.50	0.26	—	<0.05			管外面より採取
F丸	⑥	蒸溜水ポンプ吸込	SGP gal.	6.54	0.30	0.25	0.03	87.96	0.10	2.50	0.20	0.01	0.24		—	—						0.04	MnO 0.12

表 2.2.5　スケール分光定性分析成績一覧表

注）スペクトル強度の分類
＋5…すこぶる強，＋4…強，＋3…すこぶる明瞭
＋2…明瞭，＋…弱，±…辛じて認む

船名	系統№	管系統名	管仕様	成分																	備考
				Fe	Zn	Si	Ca	Mg	Al	Cu	Pb	Mn	Ti	Mo	V	Ni	Cr	Na	Sn	K	Ag	
E丸	①	T/G L.O. クーラー入口	STPG-38S gal.	＋5	±	＋2	＋	＋2	＋	＋	＋	＋		＋	±	±	±	＋				
F丸		補助復水器冷却海水入口	SGP ネオプレン	＋3	±	＋3	＋3	＋2	＋2	＋	±	＋	＋		±		±	＋3	±	＋		
H丸		主機L.O. クーラー海水入口	STPG-38E 内面無処理	＋5		＋	＋2	＋3	＋2	＋2		＋2	＋			＋	＋2	＋				
H丸		№1 D/G ジャケット海水入口	STPG-38E gal.	＋5		＋	＋3	＋3	＋2	＋2		＋2	＋			±	＋	＋				
H丸		主機ジャケットクークーラー循環ライン	STPG-38E ネオプレン	＋5		＋	＋3	＋3	＋3	＋2	＋	＋2	＋2		＋		＋	＋2				
F丸	②	冷凍機用冷却海水ポンプ出口	SGP ネオプレン	＋4	＋	＋3	＋3	＋2	＋2	＋3	＋	＋2	＋	＋	＋	±	±	＋3	＋			
F丸		サニタリーポンプ出口	SGP ネオプレン	＋4	＋	＋3	＋3	＋3	＋3	＋2	＋2	＋2	＋		＋	±	＋	＋3	＋	＋2		
F丸	③	ビルジ吸込管（ポンプ付）	STPG-38S gal.	＋4	＋3	＋2	＋3	＋3	＋2	＋2	＋	＋2	±		＋2	＋3	＋		±		±	
F丸		ビルジ吸込管	SGP 無処理	＋4	＋3	＋2	＋3	＋3	＋	＋2	＋	＋			＋	＋2		＋2				
H丸		G・Sポンプ吸込管	STPG-38E gal.	＋5	±	＋	＋3	＋3	＋2	＋2	＋	＋2		＋3	＋	＋	＋4	＋				
H丸		G・Sポンプ吐出管	STPG-38E gal.	＋	＋2	＋	＋3	＋3	＋2	＋	＋	±	±	＋			＋					
F丸	④	ウインドラス排気管	STPG-38E 無処理	＋4	＋	＋3	＋2	＋2	＋2	＋3	＋2	＋2	＋	＋	±	＋	±		＋		±	
F丸		ウインドラス蒸気管	DCuT	＋4	＋2	＋3	＋3	＋2	＋2	＋3	＋	＋2	＋		±	±		＋2	±		±	
F丸	⑥	蒸溜水ポンプ入口管	SGP gal.	＋4	＋	＋	＋	＋2	±	＋3	＋	＋				±						
E丸		清水圧力タンク入口	DCuT$_1$ −1/2H	＋5	＋2	＋3	＋2	＋2	＋3	＋3	＋2	＋3	＋2	＋	＋2	＋	＋	＋2	＋			

表 2.2.6　甲板上蒸・排気管の発錆速度比較表

注）亜鉛メッキ鋼管以外の特定管のみ
推定腐食速度を参考値として記載した。

船名	管仕様	経過月数	外面発錆面積率(%)		発錆速度，発錆率(%/y)	
			蒸気管	排気管	蒸気管	排気管
B 丸	SGP (ベア－)	60.6	100	－	－	－
B 丸	SGP (亜鉛メッキ)	60.6	－	100	－	－
C 丸	SGP (アルマ加工)	48	5	－	1.25	－
C 丸	ST.PG－38S (亜鉛メッキ)	48	－	80	－	20
D 丸	STPG－38E (アルマ加工)	47	5以下	5以下	2.4 推定腐食速度0.20mm/y	1.3 推定腐食速度0.13mm/y
E 丸	銅管	45.2	30	10	8.0	
F 丸	STPG－38E (ベア－)	48	－	100	－	－ 推定腐食速度1.06mm/y
F 丸	銅管	48	0	－	－	－

表 2.2.7　甲板上作動及び制御用油圧系統発錆速度比較表

注）＊印は未調査

船名	管仕様	経過月数	外面発錆面積比率 (%)	発錆速度・発錆率(%)	備考
D 丸	SGP	47	8.2	2.1	機関室内導波管
H 丸	SGP	66	＊	－ 推定腐食速度 0.043mm/y	フランジ溶接部及び管下面の腐食が激しい
H 丸	STPG−38E	66	＊	－ 推定腐食速度 0.122mm/y	同上

表 2.2.8　蒸溜水系統亜鉛メッキ付着面積率一覧表

船名	管仕様	経過月数	調査管使用条件				亜鉛メッキ付着面積率	備考
			調査管位置	流体速度 (m/s)	流体温度 (℃)	平均1日の使用時間Hr		
D丸	SGP (亜鉛メッキ)	47	蒸溜水ポンプ出口	0.2	20	航海中常時	約98%	
G丸	SGP (亜鉛メッキ)	41	エバポレータ出口	0.6	20～25	〃	0	前回調査時全面消失
F丸	SGP (亜鉛メッキ)	48	蒸溜水ポンプ入口	0.12	40	〃	0	〃

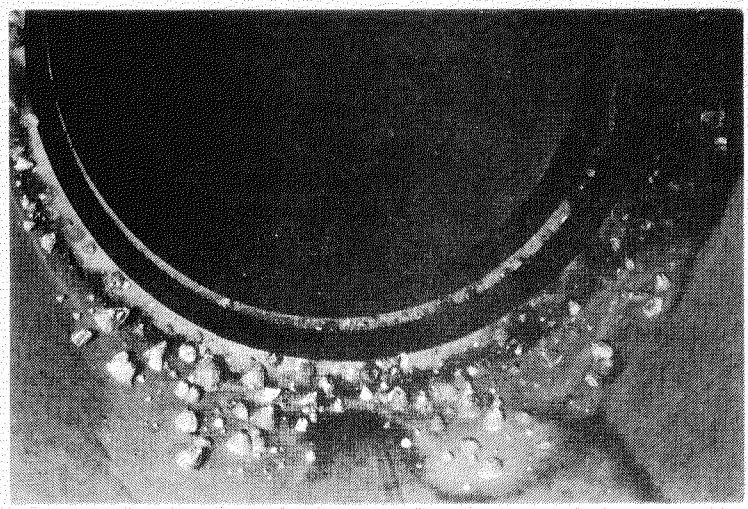


写真2.2.1（掃除前）

D丸　主冷却海水管

管仕様：1000A SGP ネオプレンライニング

経過月数：47ケ月

概　　要：（掃除前）フジツボ付着

（掃除後）ライニング良好

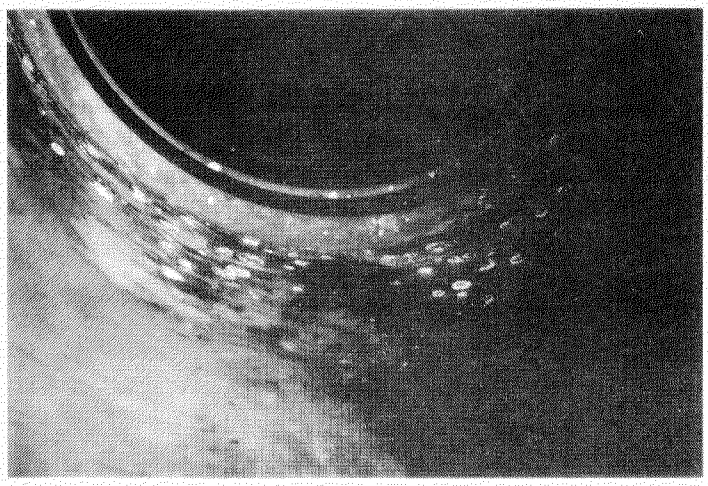


写真2.2.2（掃除後）

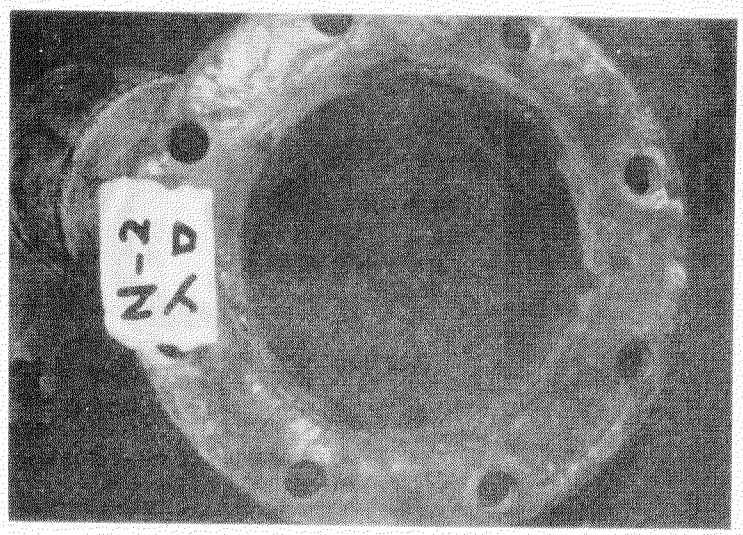


写真 2.2.3

J 丸
補助冷却海水ポンプ入口（掃除後）

管 仕 様：150A SGP 亜鉛メッキ

経過月数：28ケ月

概　　要：シーム部破孔

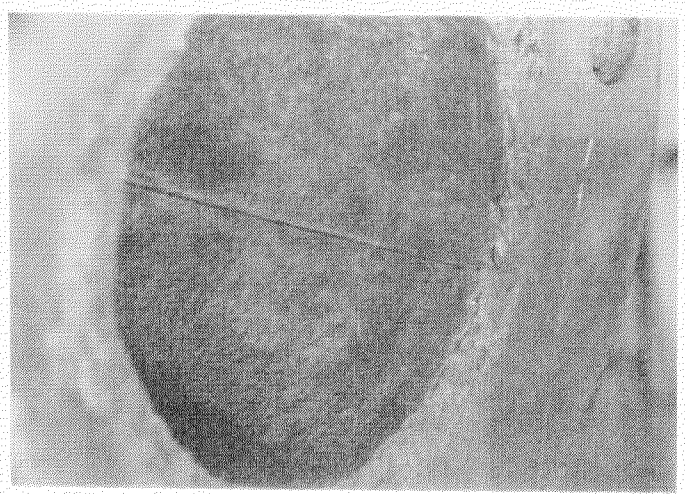


写真 2.2.4

B 丸
主機 L.O. クーラー入口（掃除後）

管 仕 様：80A STPG-38E 内面無処理

経過月数：10.2ケ月

概　　要：フランジ溶接部の腐食
管シーム部の溝食が見られる。

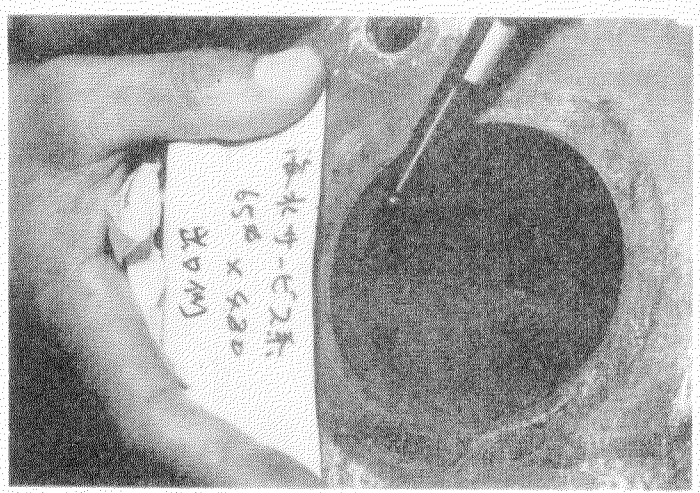


写真 2.2.5

C 丸
T/G L.O. クーラー冷却海水入口
（掃除後）

管 仕 様：65A SGP-B 亜鉛メッキ

フランジ
仕　　様：特殊フランジ

経過月数：10ケ月

概　　要：軽微な腐食である。
管シーム部健全

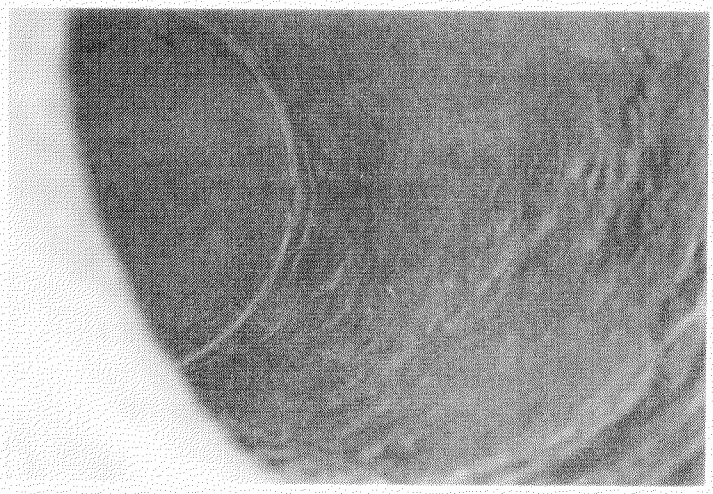


写真2.2.6

E丸

冷房機冷却海水入口（掃除後）

管 仕 様：100A SGP 亜鉛メッキ

経過月数：45.2ケ月

概　　要：あばた状腐食，但しエルボ部は亜鉛メッキが残存するほど健全

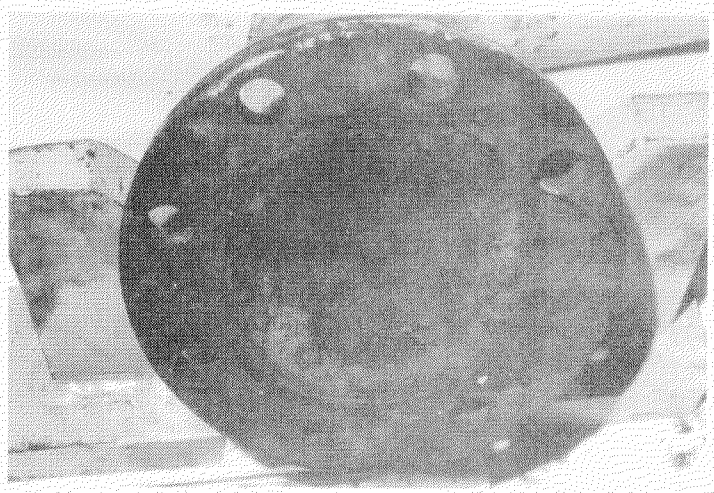


写真2.2.7

E丸

海洋生物付着防止装置出口（掃除前）

管 仕 様：100A STPG-38E 亜鉛メッキ

経過月数：45.2ケ月

概　　要：全面にあばた状腐食及び枝管のシーム部に溝食が発生。又，管内面に海藻類の付着がみられた。

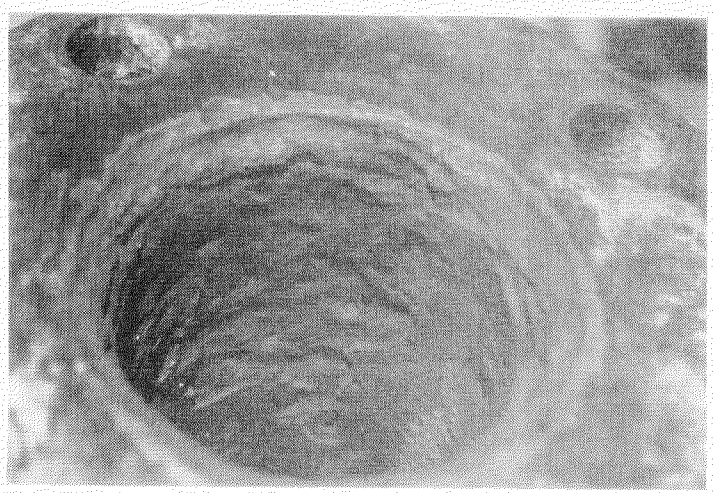


写真2.2.8

E丸

サニタリーポンプ出口（掃除後）

管 仕 様：50A STPG-38E 亜鉛メッキ

経過月数：45.2ケ月

概　　要：あばた状に腐食が進行しているが，部分的に亜鉛メッキが残存している。

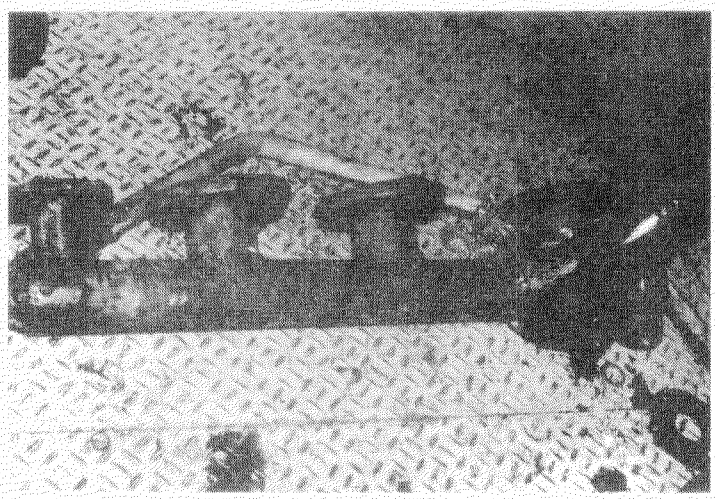


写真２.２.９

Ｊ丸

ビルジ吸込管（ポンプ付）

管 仕 様：65A SGP 亜鉛メッキ

経過月数：２１ケ月

概　　要：シーム部溝食（破孔）

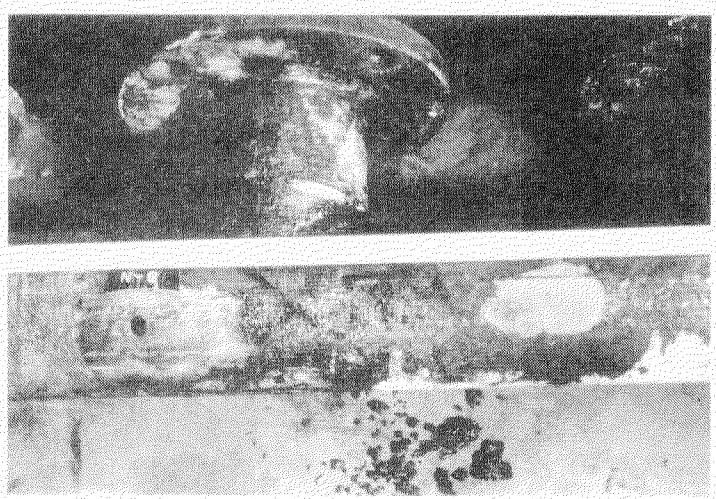


写真２.２.１０

同　　上

シーム部破孔箇所

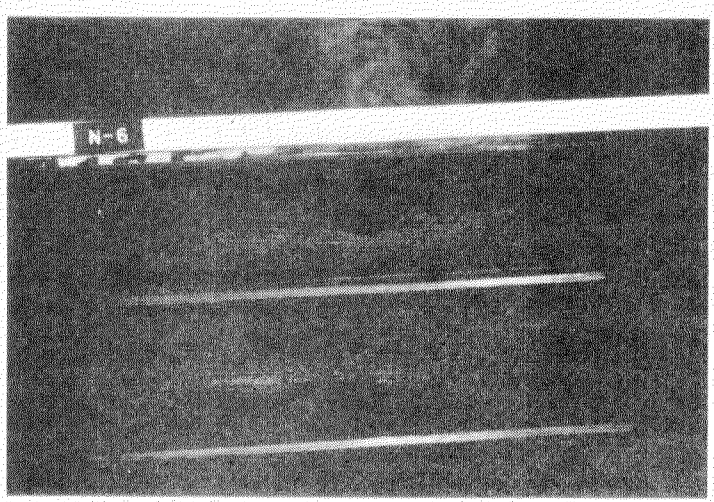


写真２.２.１１

同　上

カッティング



写真2.2.12

D丸

ウインドラス蒸気管（取付状況）

管 仕 様：200A STPG−38 アルマ加工

経過月数：47ケ月

概　　要：部分的にアルミ酸化物の付着がみられるが，外面異状なく健全

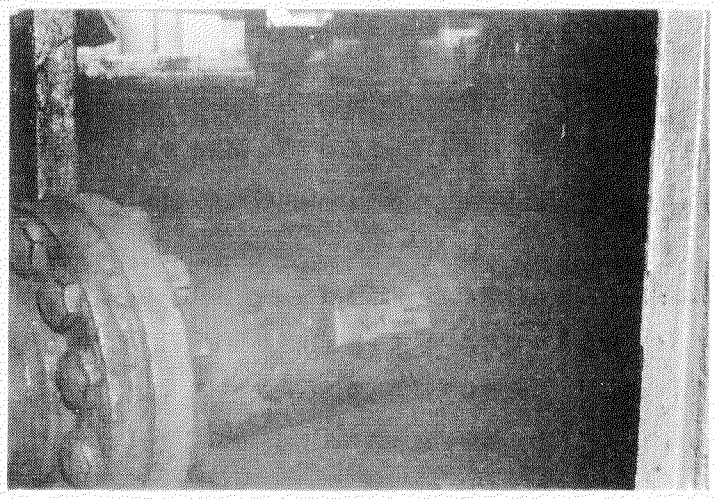


写真2.2.13

J丸

ウインドラス作動油管（取付状況）

管 仕 様：150A STPG−38S

経過月数：88ケ月

概　　要：管外面のメッキが部分的に剥離

2.3 新造船就航時からの追跡調査研究

2.3.1 調査の目的

諸管材料腐食に関する調査研究の一環として，４８年度研究で新造船に装備した試験片を，４９年度に引続き，本年度は就航後２年経過の状態を見るため開放調査を実施した。

2.3.2 調査実施方案

開放調査実施に当って，思想を統一して円滑且つ効果的な実施を図るため作成された，「新造船就航時からの追跡調査研究方案」に基いて実施したが，調査範囲・内容は４９年度とほぼ同様である。

2.3.3 実施対象船

実施対象船として選定された３隻の概要を表2.3.1に示す。

表2.3.1 実施船要目表

船名（船主）	船種（主機）	調査実施造船所	調査時期	経過月数（就航後）	主要航路	備考
赤石丸（大日海運）	２４型CHIP（16PC2－2V 8,000HP）	常石造船	昭和５０年１０月	２７ケ月	日本－北米西岸	
太栄丸（共栄タンカー）	２３１型OIL（T33,000PS）	石川島播磨重工	昭和５１年　１月	２５ケ月	日本－PG	
ジャパンコスモス（ジャパンライン）	２７０型OIL（T36,000PS）	三井造船由良造船所	昭和５０年　８月	１９ケ月	日本－PG	

2.3.4 調査結果

本年度調査した結果を各アイテム別に取りまとめたものを以下に示す。

(1) 保護亜鉛の効果

合成ゴム系被覆を施した海水系統における未被覆部品の腐食に対する保護亜鉛の効果を調査した。

(a) 試験状態

試験片を下記の通り装備した。

L丸：主機タービン用L，O，冷却器の海水入口弁の出入口側フランジに保護亜鉛を装備した。

M丸：№２冷却海水ポンプおよび同ポンプ入口弁の出入口側フランジに保護亜鉛を装備した。比較対照のため，№１冷却海水ポンプおよび同ポンプ入口弁には，保護亜鉛を装備しなかった。

試験に使用したポンプ，弁の要目，材質を表2.3.2に示し，装備状態を図2.3.1に示す。

表2.3.2 ポンプおよび弁の仕様

船名	管系材質	冷却海水ポンプ					入口弁		備考
		要目	ケーシング	インペラー	マウスリング	シャフト	弁箱	トリム	
L丸	SGP－E 合成ゴム被覆						鋳鉄	青銅	
M丸	SGP－E 合成ゴム被覆	480㎥/h t25m 1,770r.p.m	青銅	18Cr－12Ni－M. ステンレス鋼	鉛青銅	18Cr－8Ni ステンレス鋼	鋳鉄 合成ゴム被覆	青銅	

(b) 亜鉛の状態

就航前と調査時の保護亜鉛の状態を表 2.3.3 に示し，その写真を写真 2.3.1 に示す。

表 2.3.3 保護亜鉛の状態

船名	亜鉛装備個所	亜鉛付近の流速 m/s	ポンプの状態	防食電流 就航前 A	経過月数	亜鉛の減少量 g	備考
L 丸	弁入口側フランジ	2.3	運転	0.08	25		
			停止	0.06			
	弁出口側フランジ	2.3	運転	0.08	25		
			停止	0.06			
M 丸	№2冷却海水ポンプ	−	運転	0.1	19	599g（全量）	亜鉛は全く無くなっていた。
			停止	0.1			
	同上ポンプ入口弁入口側フランジ	2.7	運転	0.1	19	計測できず	海水接触部は白く変色しているが，寸法的には減少は無い
			停止	0.1			
	同上ポンプ入口弁出口側フランジ	2.7	運転	0.19	19	計測できず	海水接触部は白く変色しているが，寸法的には減少は無い
			停止	0.16			

(c) 腐食状態

ポンプおよび弁の腐食状態の観察結果を表 2.3.4 に示す。

表 2.3.4 ポンプおよび弁の腐食状態の観察

船名	試験片	使用条件	温度	腐食状況				備考
				形態	程度	範囲	異物の堆積	
L 丸	L.O.冷却器入口弁	航海時	海水常温					
M 丸	№1冷却海水ポンプ（保護亜鉛なし）	常用	海水常温	非常に良好（腐食全く無し）			なし	
	№2冷却海水ポンプ	常用	海水常温	〃	（	〃	） 〃	
	№1冷却海水ポンプ入口弁（保護亜鉛なし）	常用	海水常温	〃	（	〃	） 〃	ネオプレンライニング部に貝の付着有り。
	№2冷却海水ポンプ入口弁	常用	海水常温	〃	（	〃	） 〃	

(2) 塗装管の対海水腐食

海水管系にタールエポキシ塗装管，亜鉛メッキ管および無塗装管を装備し，その腐食状態の違いを調査した。

(a) 試験状態

試験を行なった管系および試験片の仕様を表 2.3.5 に示し，装備状態を図 2.3.2 に示す。

表 2.3.5 管系および試験片の仕様

船名	管名	試験片		備考
		本年度調査したもの	本年度は調査対象外のもの	
K 丸	海水サービスポンプ出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	STPG38E(Sch40) 亜鉛メッキ後中央部溶接	STPG38E(Sch40),STPG38E(Sch40) タールエポキシ管 亜鉛メッキ管	
L 丸	海水サニタリーポンプ出口管 STPG38-E(Sch80)亜鉛メッキ			
M 丸	海水サービスポンプ出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	STPG38E(Sch40) 無塗装中央溶接	STPG38E(Sch40),STPG38E(Sch40) タールエポキシ管 亜鉛メッキ管	

(b) 腐食状態

試験片の腐食状態の観察結果を表 2.3.6 に，腐食速度を表 2.3.7 に示し，その写真を写真 2.3.2 に示す。

表 2.3.6 腐食状態の観察

船名	試験片	使用条件	温度	流速 m/s	腐食状況				備考
					形態	程度	範囲	異物の堆積	
K丸	タールエポキシ塗装管	常用	海水常温	2.4	良	好		赤褐色の水あか，ハイドロイデス多数付着，全面赤褐色の付着物錆こぶ	
	亜鉛メッキ後中央部溶接	常用	海水常温	2.4	段状 孔食	表層 表層	溶接部全周 点在		
L丸	タールエポキシ塗装管	常用	海水常温	1.5					
	亜鉛メッキ後中央部溶接	常用	海水常温	1.5					
M丸	タールエポキシ塗装管	常用	海水常温	1.6	塗装のふくれ	比較的良い	全面にわたり点在	赤褐色の水あか	
	無塗装管中央部溶接	常用	海水常温	1.6	層状	表層	全面	全面赤褐色の付着物	
	亜鉛メッキ管	常用	海水常温	1.6	良	好		赤褐色の水あか	

表 2.3.7 腐食速度

船名	試験片	経過月数	母材最大腐食量 mm	母材最大腐食速度 mm/year	メッキ厚減少量 μ	メッキ厚減少率%	メッキ付着面積率%	備考
K丸	亜鉛メッキ後中央部溶接	27	1.0	0.44	残存部 100	残存部 80	40	
L丸	亜鉛メッキ後中央部溶接	25						
M丸	無塗装管中央部溶接	19	1.1	0.69	亜鉛メッキせず			

(3) アルミニウムブラス管の対海水腐食

海水管系にアルミニウムブラス管，鋳鉄ピースおよび亜鉛メッキ管を装備し，その腐食状態の違いを調査した。

(a) 試験状態

試験を行なった管系および試験片の仕様を表 2.3.8 に示し，装備状態を図 2.3.3 に示す。

表 2.3.8 管系および試験片の仕様

船名	管系	試験片	備考
K丸	海水サービスポンプ出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	アルミニウムブラス管，鋳鉄 STPG38-E(Sch40) 亜鉛メッキ	
L丸	海水サニタリーポンプ出口管 STPG38-E(Sch80)亜鉛メッキ	アルミニウムブラス管，鋳鉄 STPG38-E(Sch80) 亜鉛メッキ	
M丸	造水装置冷却海水入口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	アルミニウムブラス管，鋳鉄 Tピース，STPG38-E(Sch80) 亜鉛メッキ	

(b) 腐食状態

試験片の腐食状態の観察結果を表 2.3.9 に示し，その写真を写真 2.3.3 に示す。

表 2.3.9 腐食状態の観察

船名	試験片	使用条件	温度	流速 m/s	腐食状況				備考
					形態	程度	範囲	異物の堆積	
K丸	アルミニウムブラス管	常用	海水常温	1.7	良	好		全面赤褐色の水あか	
	鋳鉄ピース	常用	海水常温	1.7	黒鉛化腐食	表層	全面	錆こぶ	
L丸	アルミニウムブラス管	常用	海水常温	1.5					
	鋳鉄ピース	常用	海水常温	1.5					
	亜鉛メッキ鋼管	常用	海水常温	1.5					
M丸	アルミニウムブラス管	航海時	海水常温	1.9	良	好		鋳物ピース側に多量の堆積あり	
	鋳鉄ピース	航海時	海水常温	1.9	黒鉛化腐食	3～4 mm	全面	錆こぶ	
	亜鉛メッキ鋼管	航海時	海水常温	1.9	層状	表層	アルミブラス管側から150 mmまで	錆こぶ	アルミブラス管との反対側は亜鉛メッキも残っていて良好

(4) アルミメッキ鋼管の対海水腐食

海水管系にアルミメッキ鋼管を装備し，その腐食状態を調査した。

(a) 試験状態

試験を行なった管系および試験片の仕様を表 2.3.10 に示し，装備状態を図 2.3.4 に示す。

表 2.3.10 管系および試験片の仕様

船名	管系	試験片	備考
K丸	海水サービスポンプ出口管 STPG38-E(Sch80)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch80) アルミメッキ	
L丸	空気圧縮機冷却海水出口管 STPG38-E(Sch80)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch80) アルミメッキ	
M丸	空気圧縮機冷却海水出口管 STPG38-E(Sch80)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch40) アルミメッキ	

(b) 腐食状態

試験片の腐食状態の観察結果を表 2.3.11 に，腐食速度を表 2.3.12 に示し，その写真を写真 2.3.4 に示す。

表 2.3.11 腐食状態の観察

船名	試験片	使用条件	温度	流速 m/s	腐食状況				備考
					形態	程度	範囲	異物の堆積	
K丸	アルミメッキ管	常用	海水常温	1.7					
L丸	アルミメッキ管	常用	海水常温	0.5					
M丸	アルミメッキ管	常用	海水常温	2.0	付着物を除くと比較的良好			赤錆が全面に付着	

表 2.3.12　腐食速度

船名	試験片	経過月数	母材最大腐食量 mm	母材最大腐食速度mm／year	メッキ厚減少量μ	メッキ厚減少率%	メッキ付着面積率%	備考
K 丸	アルミメッキ管	27	0	0	37	50	100	
L 丸	アルミメッキ管	25						
M 丸	アルミメッキ管	19	0	0	100	60	100	顕微鏡観察ではメッキが無くなっている部分もある。

(5) 亜鉛メッキ鋼管の対蒸溜水腐食

蒸溜水管系に亜鉛メッキ鋼管を装備し，その腐食状態を調査した。

(a) 試験状態

試験を行なった管系および試験片の仕様を表 2.3.13 に示し，装備状態を図 2.3.5 に示す。

表 2.3.13　管系および試験片の仕様

船名	管系	試験片	備考
L 丸	造水装置蒸溜水出口管 SGP－E 亜鉛メッキ	SGP－E 亜鉛メッキ	
M 丸	造水装置蒸溜水出口管 SGP－E 亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch40) 亜鉛メッキ	

(b) 腐食状態

試験片の腐食状態の観察結果を表 2.3.14 に，腐食速度を表 2.3.15 に示し，その写真を写真 2.3.5 に示す。

表 2.3.14　腐食状態の観察

船名	試験片	使用条件	温度℃	流速m／s	腐食状況				備考
					形態	程度	範囲	異物の堆積	
L 丸	亜鉛メッキ管	航海時	20	0.4					
M 丸	亜鉛メッキ管	航海時	20	0.8	段状	表層	フランジ溶接部のみ	赤褐色の水あか	フランジ溶接部以外は比較的良好

表 2.3.15　腐食速度

船名	試験片	経過月数	母材最大腐食量 mm	母材最大腐食速度mm／year	メッキ厚減少量μ	メッキ厚減少率%	メッキ付着面積率%	備考
L 丸	亜鉛メッキ	25						
M 丸	亜鉛メッキ	19	0	0	90	99	95	

(6) 継目無鋼管と溶接鋼管（電縫管）の対海水腐食

海水管系に亜鉛メッキ継目無鋼管および亜鉛メッキ溶接鋼管を装備し，その腐食状態の違いを調査した。

(a) 試験状態

試験を行なった管系および試験片の仕様を表 2.3.16 に示し，装備状態を図 2.3.6 に示す。

表 2.3.16　管系および試験片の仕様

船名	管系	試験片	備考
K 丸	主機空気冷却器海水出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch40)，STPG38-S(Sch40) 亜鉛メッキ　　亜鉛メッキ	
L 丸	タービ発電機L.O.冷却器海水出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch40)，STPG38-S(Sch40) 亜鉛メッキ　　亜鉛メッキ	
M 丸	タービ発電機冷却海水出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch40)，STPG38-S(Sch40) 亜鉛メッキ　　亜鉛メッキ	

(b)　腐食状態

試験片の腐食状態の観察結果を表2.3.17に，腐食速度を表2.3.18に示し，その写真を写真2.3.6に示す。

表 2.3.17　腐食状態の観察

船名	試験片	使用条件	温度℃	流速m／s	腐食状況				備考
					形態	程度	範囲	異物の堆積	
K 丸	継目無鋼管	航海時	43	2.4	あばた状	表層	局所	赤褐色の水あか	
	溶接鋼管	航海時	43	2.4	あばた状	表層	全面	赤褐色の水あか	
L 丸	継目無鋼管	常用	海水常温	1.1					
	溶接鋼管	常用	海水常温	1.1					
M 丸	継目無鋼管	常用	海水常温	1.6	ふくらみ	表層	局所	赤褐色の水あか	
	溶接鋼管	常用	海水常温	1.6	あばた状	表層	全面	赤褐色の水あか	

表 2.3.18　腐食速度

船名	試験片	経過月数	母材最大腐食量 mm	母材最大腐食速度mm／year	メッキ厚減少量μ	メッキ厚減少率%	メッキ付着面積率%	備考
K 丸	継目無鋼管	27	1.60	0.73	60 残存部	75 残存部	90	
	溶接鋼管	27	1.30	0.60	90	98	40	
L 丸	継目無鋼管	25						
	溶接鋼管							
M 丸	継目無鋼管	19	0	0	80	54	95	
	溶接鋼管	19	0.45	0.28	90	100	0	

(7)　甲板上の蒸排気管の腐食

暴露甲板上の蒸排気管にアルミメッキ鋼管を装備し，外面の腐食状態を調査した。

(a)　試験状態

試験を行なった管系および試験片の仕様を表2.3.19に示し，装備状態を図2.3.7に示す。

表 2.3.19　管系および試験片の仕様

船　名	管　　系	試　　験　　片	備　　考
L　丸	係船ウインチ用蒸気管 STPG38-E Sch40アルミメッキ	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	
	係船ウインチ用排気管 STPG38-E Sch40アルミメッキ	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	
M　丸	係船ウインチ用蒸気管系 DCuT2－H	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	
	係船ウインチ用蒸気管系 DCuT2－H	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	

(b)　腐食状態

試験片の外面の腐食状態の観察結果を表 2.3.20 に示し，その写真を写真 2.3.7 に示す。

表 2.3.20　腐食状態の観察

船　名	試験片	使用条件	温　度	流　速	腐食状況			塗膜付着	備　　考
					形　態	程　度	範　囲	面積率	
L　丸	蒸気管	間　歇	165℃	—					
	排気管	間　歇	100	—					
M　丸	蒸気管	間　歇	165	—	良　好			100	表面には弁の錆が付着している。
	排気管	間　歇	100	—	良　好			100	

2.3.5　調査結果の考察

(1)　合成ゴム被覆された海水管系における防食亜鉛の効果

(a)　海水ポンプケーシングに取付けた防食亜鉛は約3ケ月程度で無くなった。防食亜鉛を取付けたポンプおよび取付けていないポンプ共にケーシング（青銅）やインペラ（ステンレス鋼）に腐食は認められなかった。

(b)　海水弁の出入口フランジに取付けた防食亜鉛は，海水接触部が白く変色しているが19ケ月を経過しても寸法的にはほとんど減少していない。これは合成ゴム被覆された管系では電食が起らない為であろう。

弁内面に腐食は認められなかった。

(2)　塗装管の対海水腐食

(a)　タールエポキシ塗装鋼管は，K丸では表面に微生物（ハイドロイデス）が付着していたが良好な耐食性を示している。M丸では局所的な塗膜のふくれが現われている。

(b)　亜鉛メッキ後溶接した鋼管は，溶接熱影響部は亜鉛メッキがはがれ赤錆が発生していたが，母材の腐食は1㎜（27ケ月）である。溶接部以外は亜鉛メッキ層が局所的に溶出し母材がわずかに露出し始めた程度である。

(c)　無塗装管の中央部を溶接した鋼管は，溶接熱影響部が特に激しいが全面にわたり層状に腐食しており，母材は最大1.1㎜（19ケ月）腐食した。

(3)　アルミニウムブラス管の対海水腐食

(a)　アルミニウムブラス管は昨年度調査時と同様に良好な耐食性を示した。

(b)　アルミニウムブラス管にはさまれた鋳鉄ピースは，内面に赤錆が厚く付着し，アルミニウムブラス管との接触による電食により鋳鉄母材は黒鉛化腐食を起こした。

(c) アルミニウムブラス管に接続させた亜鉛メッキ鋼管は，アルミニウムブラス管と接続する側のフランジおよびフランジ面から約１５cm位迄の母材に，電食により腐食した。アルミニウムブラス管から離れた部分では，亜鉛メッキも残存し管内面は良好であった。

(4) アルミニウムメッキ鋼管の対海水腐食

アルミニウムメッキ鋼管は表層のアルミニウム層は溶出しているが，合金層は残存しており，発錆はわずかで昨年度調査時と大差は無く良好であった。

(5) 亜鉛メッキ鋼管の対蒸溜水腐食

蒸溜水管系の亜鉛メッキ鋼管は，フランジ溶接部が腐食している以外母材内面は比較的良好であったが，亜鉛メッキは合金層もほぼ無くなっており母材の腐食が始まる直前と考えられる。また，亜鉛メッキ層の減少率は昨年度調査と同様に，海水管系に用いられる場合と比較し大きい傾向を示した。

(6) 継目無鋼管と溶接鋼管（電縫管）の対海水腐食

(a) K丸では両管共に内面に赤褐色の付着物が固着し，その程度は電縫管に多く管母材の侵食も大きかった。この傾向は昨年度調査の結果と逆である。

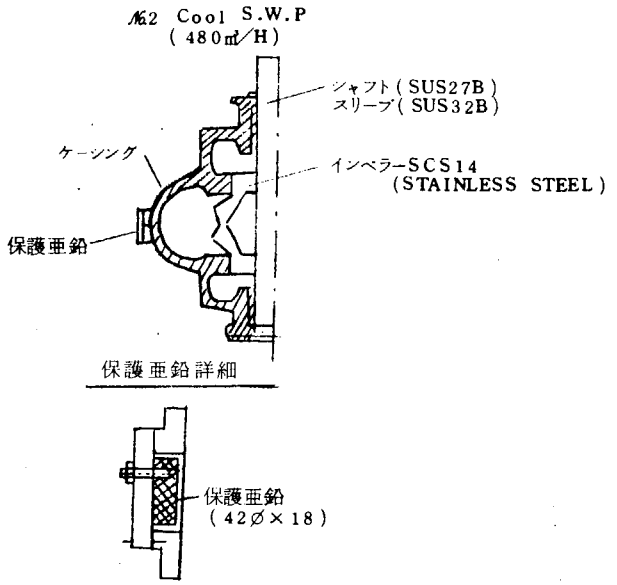
M丸では電縫管にあばた状の腐食が全面に見られたが，継目無管は局部的なふくらみだけであった。ところが，それぞれの調査管に隣接している次年度開放調査予定管では，腐食の状態が逆となっている。

上記から，腐食に対して，管製造法（継目無管と電縫管）の違いによる影響より，流体の温度・流れの状態（乱流）や管工作法，その他の影響の方がより大きいものと考えられる。

(b) 電縫管の電縫部は，一般部と全く同程度であり特に異常は認められなかった。

(7) 甲板上の蒸排気管の腐食

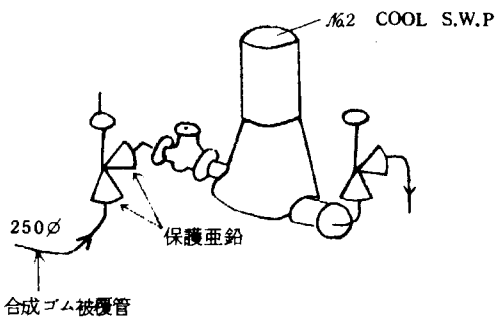
甲板上のアルミニウムメッキされた蒸排気管は，発錆も無く極めて良好であった。



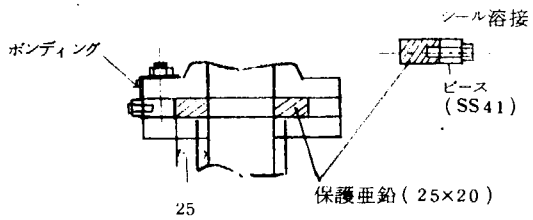
保護亜鉛詳細

M丸：№2冷却海水ポンプケーシングに保護亜鉛を取付けた。

M丸：№2冷却海水ポンプ入口弁の両端フランジに保護亜鉛を取付けた。



保護亜鉛取付詳細



L丸：主L.O. 冷却器海水入口弁の両端フランジに保護亜鉛を取付けた。

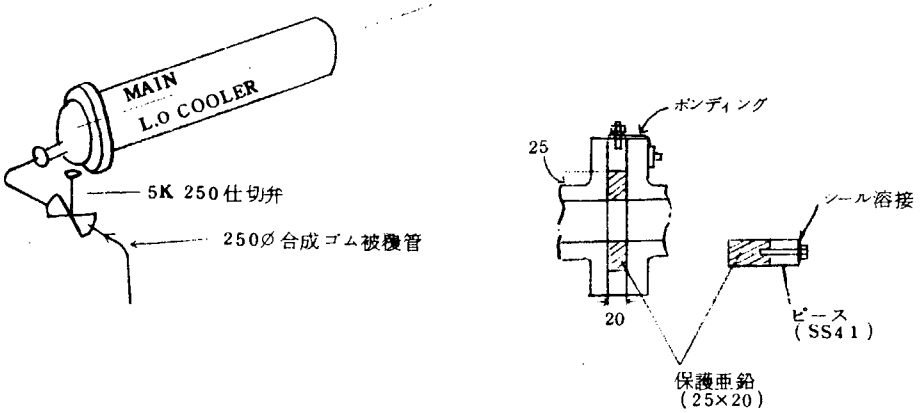
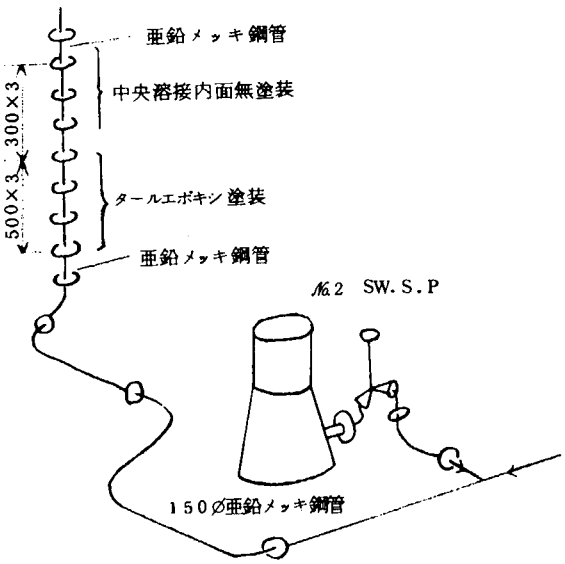
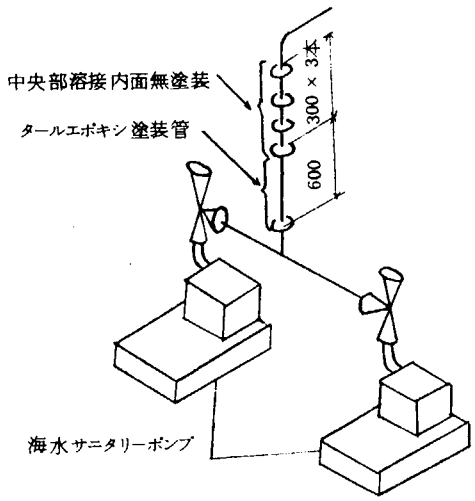


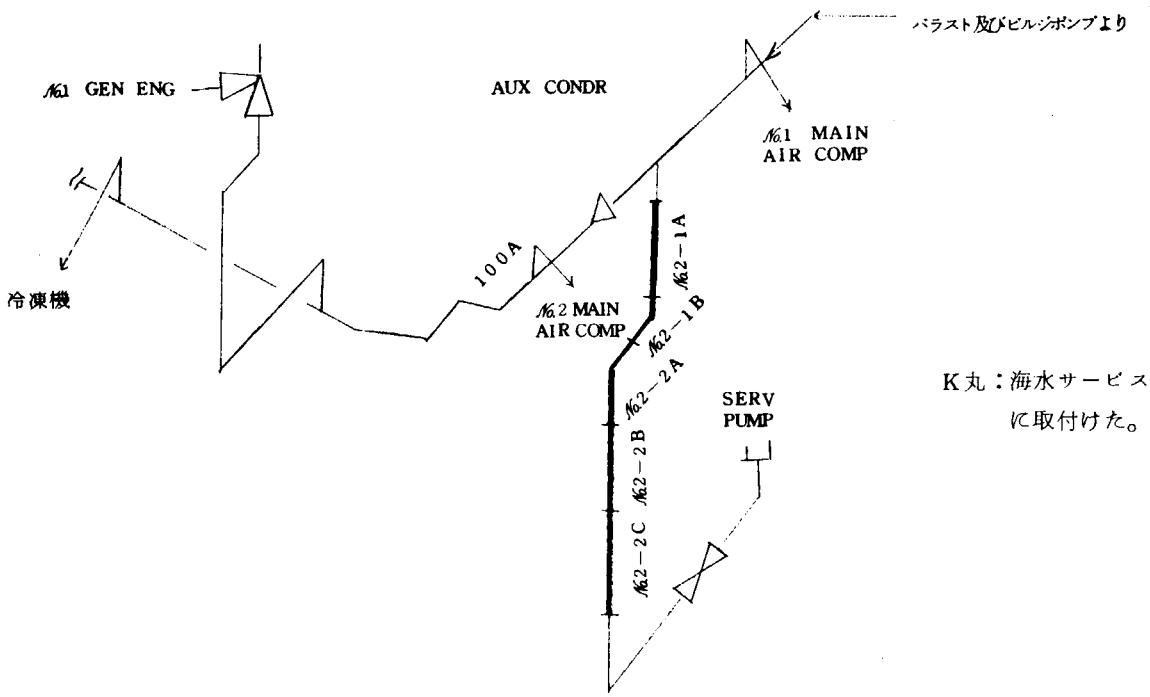
図 2.3.1　ボンプおよび弁に取付けた試験片装備状態（保護亜鉛）



M丸：海水サービスポンプ出口管に取付けた。

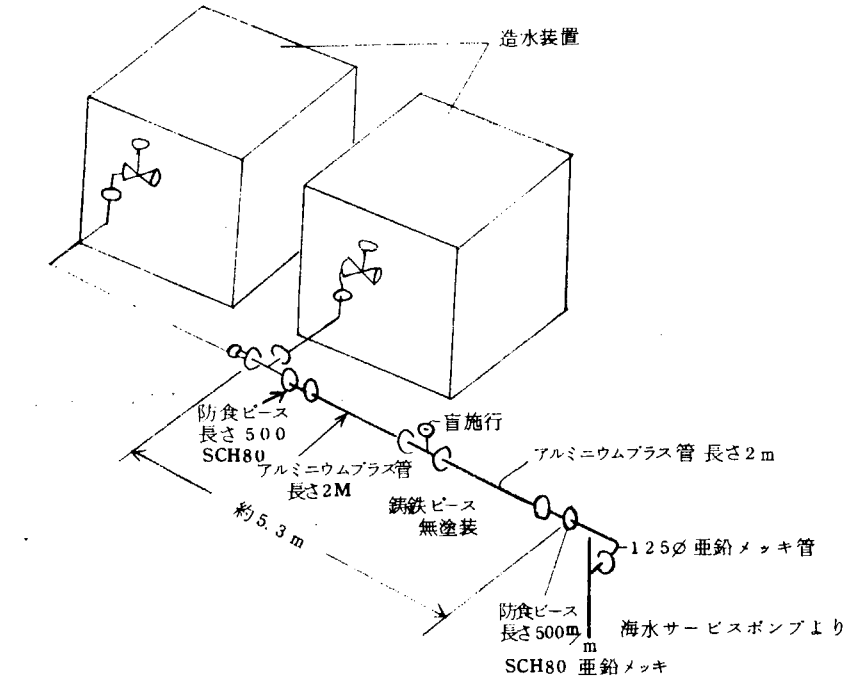


L丸：海水サニタリーポンプ出口管に取付けた。

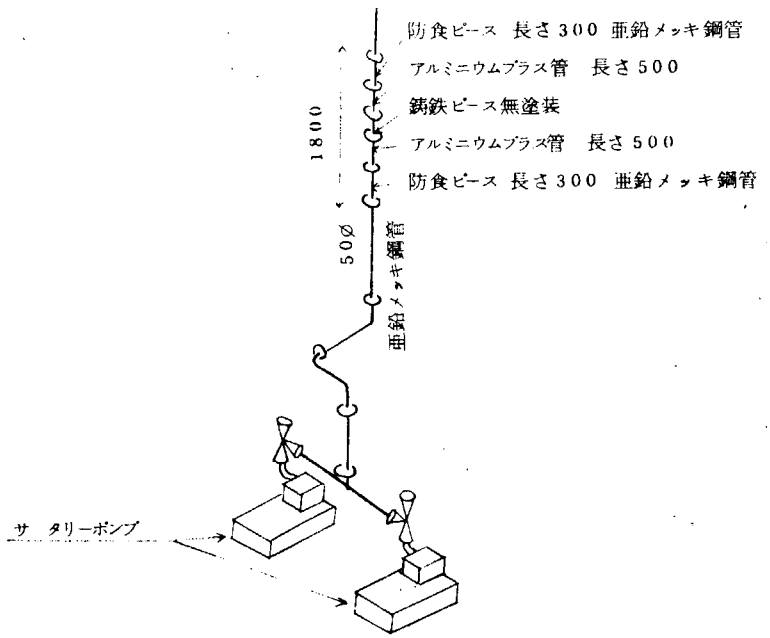


K丸：海水サービスポンプ出口管に取付けた。

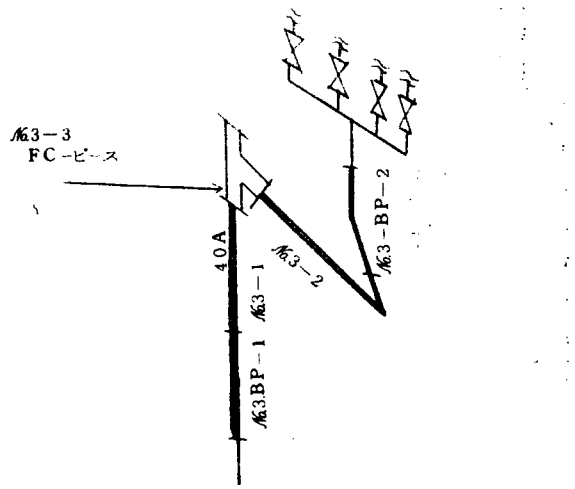
図 2.3.2　海水管系に取付けた試験片の装備状態（タールエポキシ管，中央部溶接鋼管）



M丸：海水サービスポンプ出口管に取付けた。

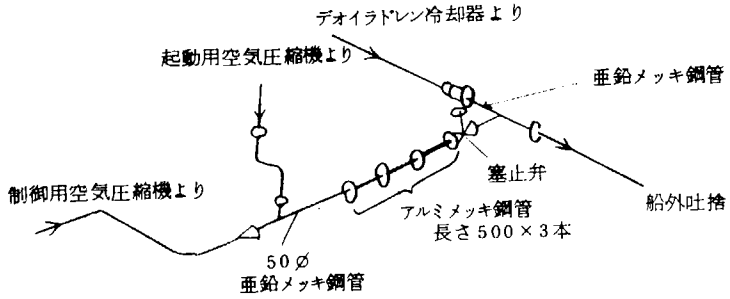


L丸：サニタリーポンプ出口管に取付けた。

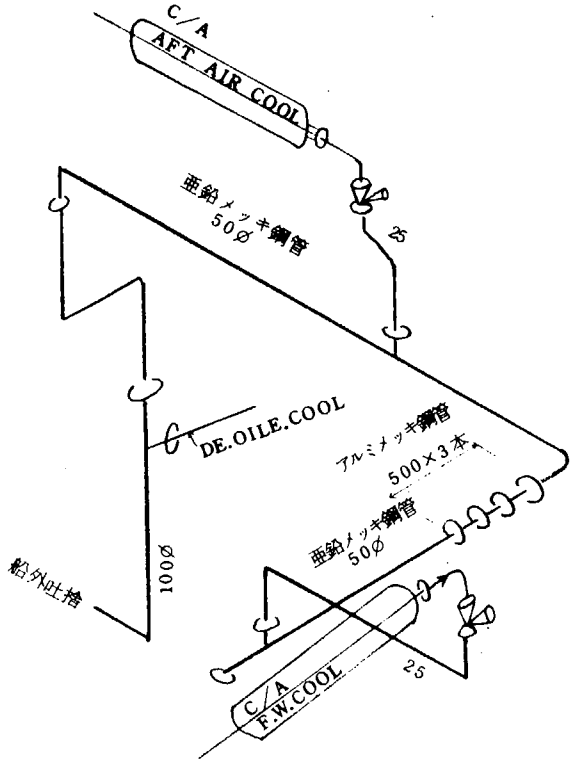


K丸：サニタリー管系に取付けた。

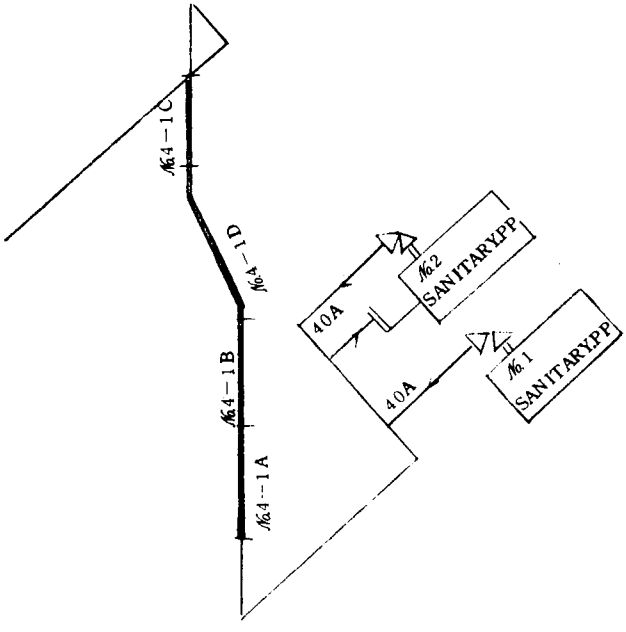
図 2.3.3 海水管系に取付けた試験片の装備状態（アルミニウムプラス管）



M丸：空気圧縮機冷却海水出口管に取付けた。

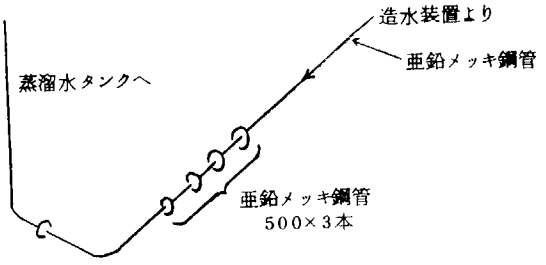


L丸：空気圧縮機冷却海水出口管に取付けた。

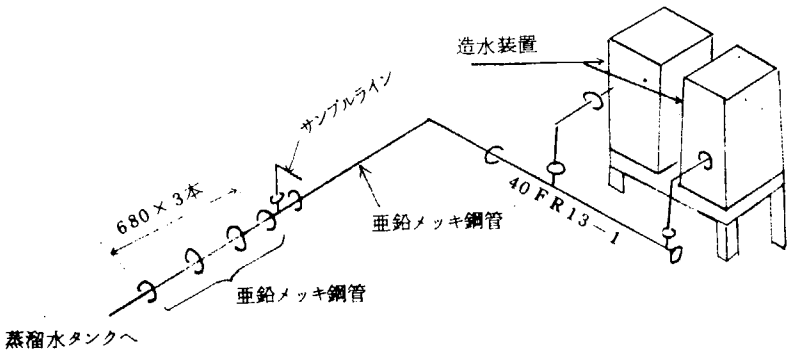


K丸：サニタリーポンプ出口管に取付けた。

図 2.3.4　海水管系に取付けた試験片の装備状態（アルミメッキ鋼管）

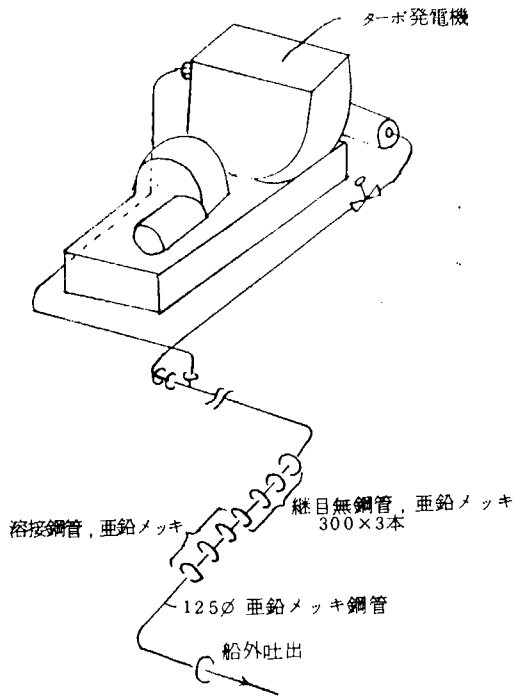


M丸：造水装置蒸溜水出口管に取付けた。

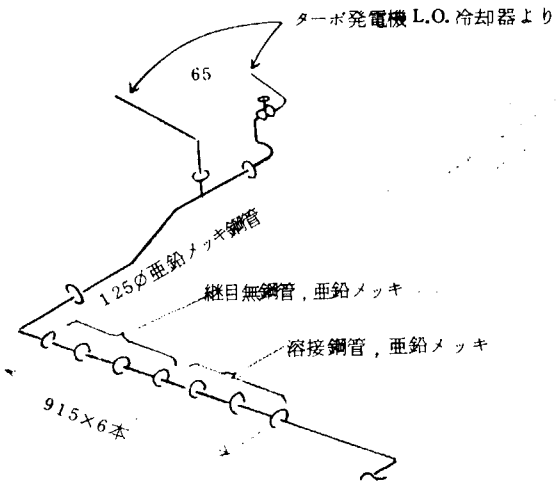


L丸：造水装置蒸溜水出口管に取付けた。

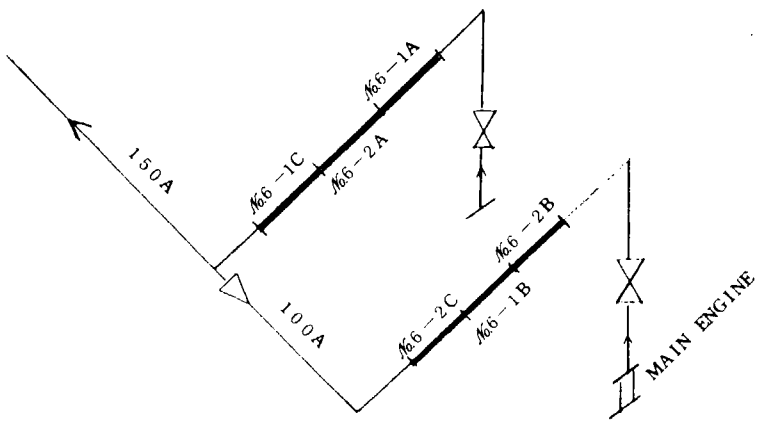
図 2.3.5　蒸溜水管系に取付けた試験片の装備状態（亜鉛メッキ鋼管）



M丸：ターボ発電機冷却海水出口管に取付けた。

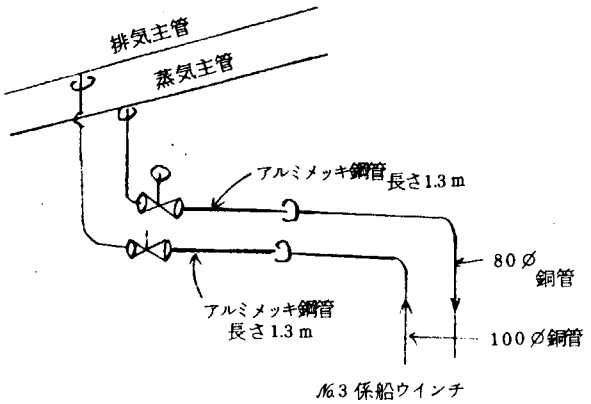


L丸：ターボ発電機L．O．冷却器冷却海水出口管に取付けた。

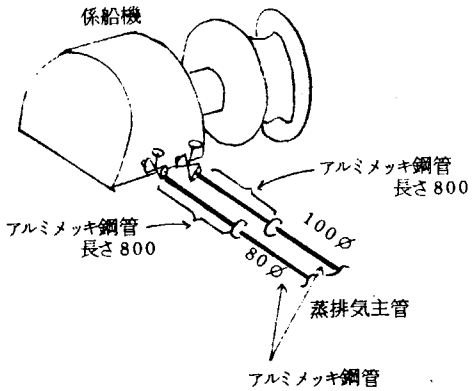


K丸：主機械空気冷却器冷却海水出口管に取付けた。

図 2.3.6　海水管系に取付けた試験片の装備状態（亜鉛メッキした継目無鋼管，溶接鋼管）



M丸：係船ウィンチ蒸排気管に取付けた。



L丸：係船ウィンチ蒸排気管に取付けた。

図 2.3.7　甲板上蒸排気管系に取付けた試験片の装備状態（アルミメッキ鋼管）

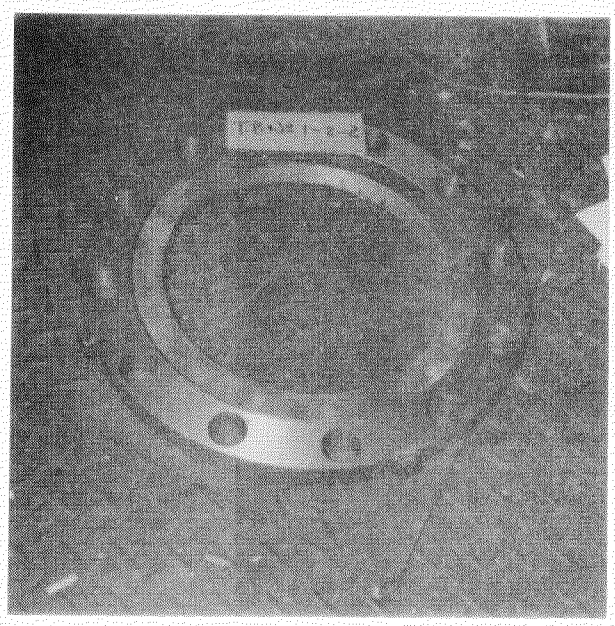


就航前

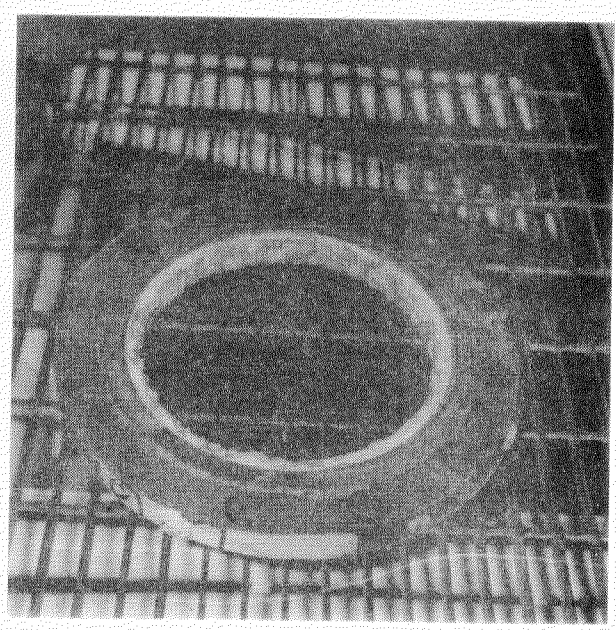


就航後１９ケ月

M丸　冷却海水ポンプに装備した保護亜鉛



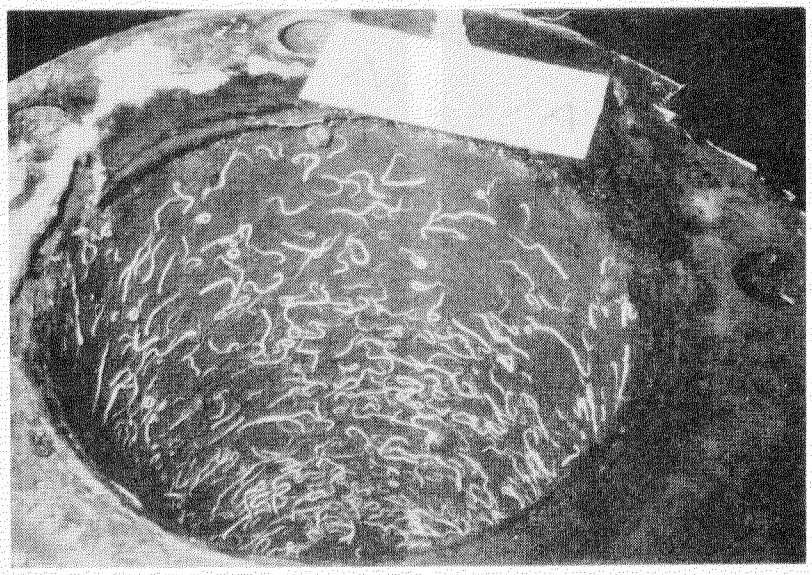
就航前



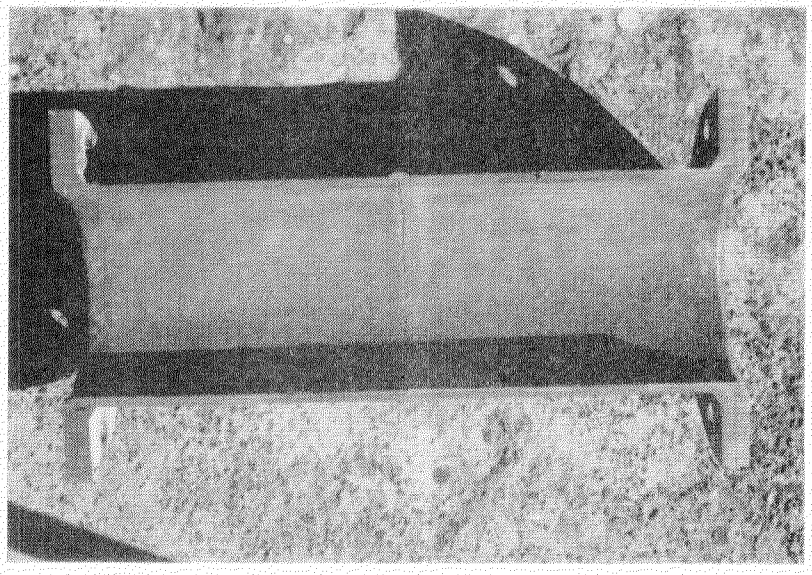
就航後１９ケ月

M丸　冷却海水ポンプ入口弁フランジに装備した保護亜鉛

写真２.３.１　合成ゴム被覆管系中の保護亜鉛

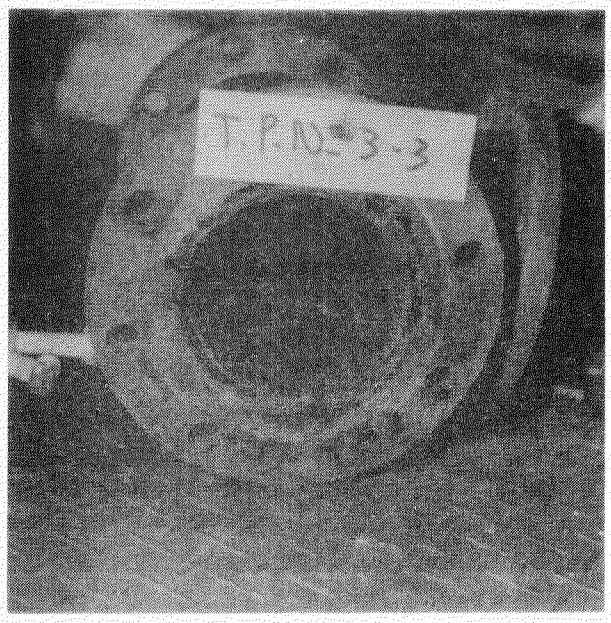


K丸　溶接鋼管タールエポキシ塗装（口径１２５φ）
（ハイドロオデス付着例）
管系統：海水サービスポンプ出口管
経過月数：２７ヶ月

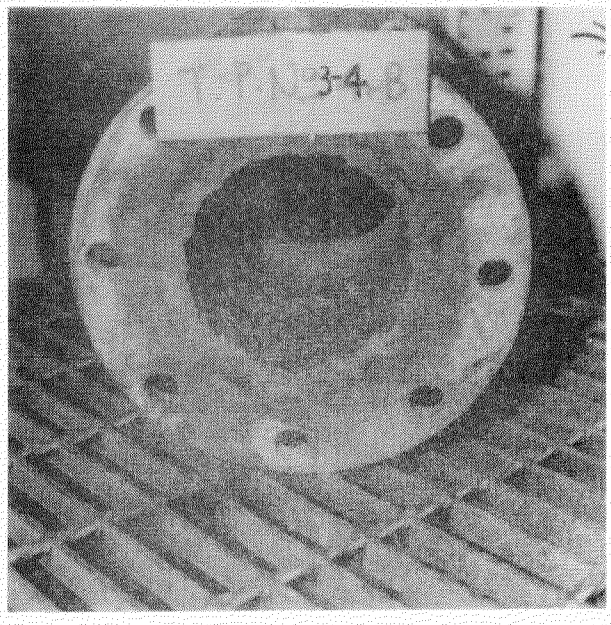


K丸　溶接鋼管亜鉛メッキ後中央部溶接管（口径１２５φ）
管系統：海水サービスポンプ出口管
経過月数：２７ヶ月
（酸洗後）

写真２.３.２　塗装管の海水による腐食

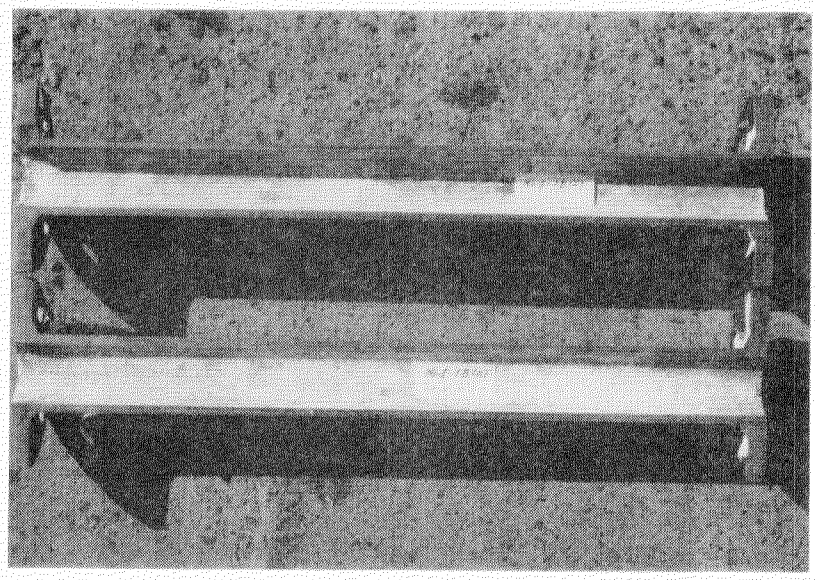


M丸　アルミニウムブラス管にはさまれた鋳鉄ピース（口径１２５φ）
管 系 統：造水装置冷却海水入口管系
経過月数：１９ヶ月



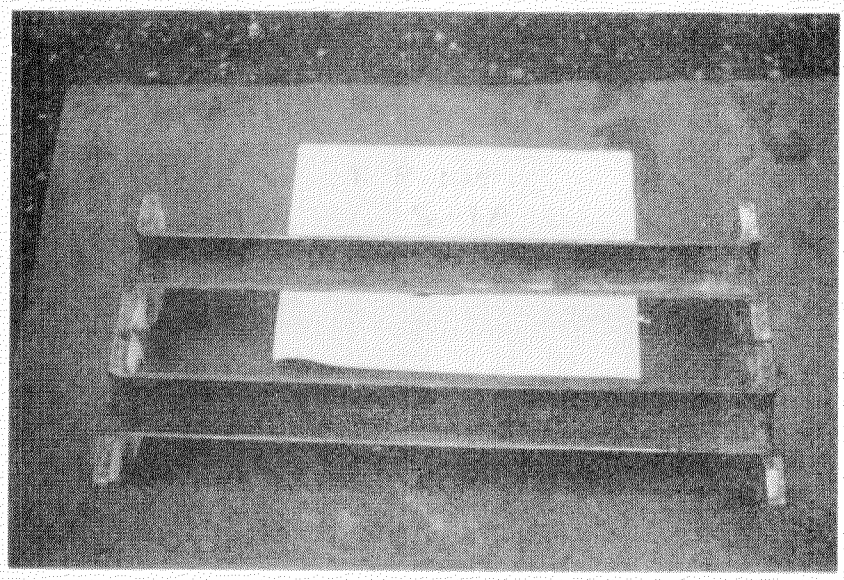
M丸　アルミニウムブラス管に隣接する亜鉛メッキ溶接鋼管（口径１２５φ）
管 系 統：造水装置冷却海水入口管系
経過月数：１９ヶ月

写真2.3.3　アルミニウムブラス管との接合による腐食



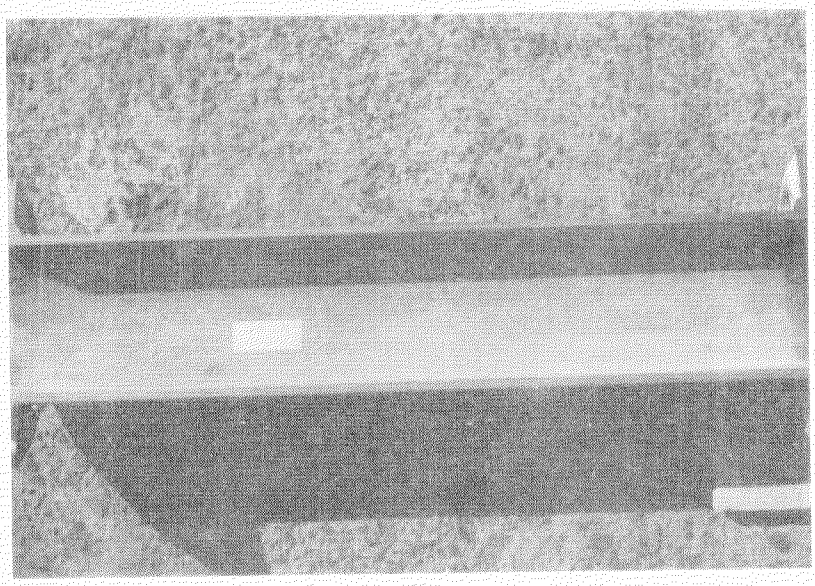
K丸　アルミニウムメッキ溶接鋼管（口径４０φ）
管系統：サニタリーポンプ出口管
経過月数：２７ケ月

写真２.３.４　アルミニウムメッキ鋼管の海水による腐食

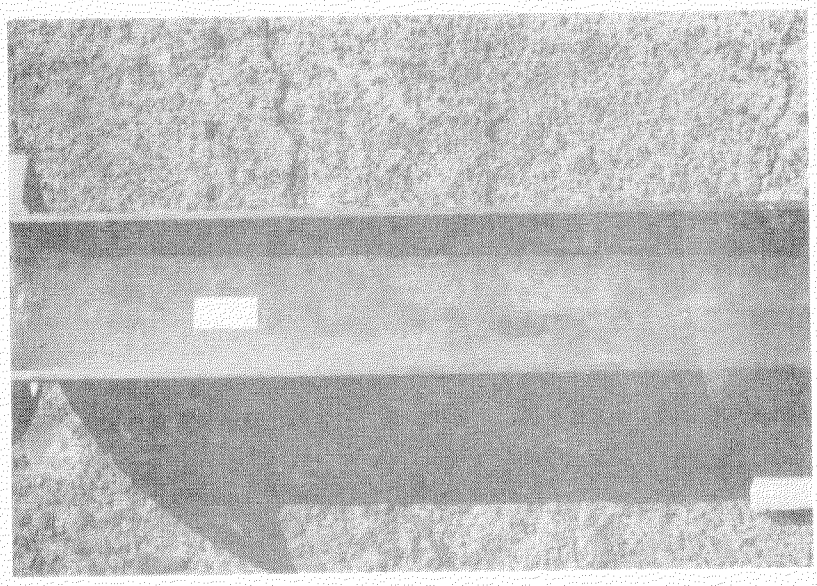


M丸　亜鉛メッキ溶接鋼管（口径４０φ）
管系統：造水装置蒸溜水出口管
経過月数：１９ケ月

写真２.３.５　亜鉛メッキ鋼管の蒸溜水による腐食



K丸　亜鉛メッキ継目無鋼管（口径１００φ）
管系統：主機空気冷却器冷却海水出口管
経過月数：２７ヶ月



K丸　亜鉛メッキ溶接鋼管（口径１００φ）
管系統：主機空気冷却器冷却海水出口管
経過月数：２７ヶ月

写真２.３.６　継目無鋼管と溶接鋼管の海水による腐食



M丸　アルミニウムメッキ溶接鋼管（蒸気管7－1，口径　80φ）
　　アルミニウムメッキ溶接鋼管（排気管7－2，口径100φ）
　　管系統：係船ウインチ蒸排気管
　　経過月数：19ヶ月

写真2.3.7　甲板上の蒸排気管の腐食

2.4　実験室基礎研究

2.4.1　実験室基礎研究の目的

実船における諸管材料の腐食は多くの因子が複雑に作用して生じている。これらの因子としては，流速，温度，異種金属接触，電縫溶接，メッキ厚さ，被覆材の欠陥などの因子があげられる。そこで本研究では，これらの諸因子の腐食速度におよぼす影響を実験室試験により定量的に把握し，具体的な腐食対策のための基礎的データを提供するために，下記項目について3カ年計画で実施している。

(1)　回転翼車型腐食試験機による実験（昭和49，50，51年度実施）

本実験は本来，パイプラインで実施すべきものであるが，腐食速度の定量的測定が難しいこと，試験期間が長くなること，試験費用が莫大なものになること等のために，便宜的に回転翼車型腐食試験機を製作し，次の項目について調査を行なう。

○メッキ鋼管の寿命におよぼす流速および温度の影響（海水中）

○異種金属接触腐食におよぼす流速および温度の影響（海水中）

例－銅合金バルブと亜鉛メッキ鋼管の組合せ

○電縫溶接部腐食におよぼす流速および温度の影響（海水中）

(2)　実管テスト（昭和50，51年度実施）

回転翼車型腐食試験機では再現できない環境条件下の腐食現象に対しては，実際にパイプラインを製作し腐食試験を行なう。

○ベント部の腐食

流速，曲げ角度等を変えて実験する。

○フランジ接合部の腐食

○被覆材欠陥部の腐食

ネオプレンコーティング等の被覆材欠陥部の腐食速度，亜鉛メッキ鋼管の溶接部の腐食速度等を，欠陥の大きさを種々変えて実験する。

上述した試験のうち本年度は，「メッキ鋼管の寿命，異種金属接触腐食および溶接部の腐食におよぼす温度の影響」を回転翼車型腐食試験機による実験にて，「ベンド部およびフランジ部の腐食」を実管テストにて調査し，本報告書をまとめた。

2.4.2 回転翼車型腐食試験機による実験

(1) 試験方法

回転翼車型腐食試験機の詳細は前年度報告書（研究資料№２２８）に報告したが，その概要は次のとおりである。４０㎜φ×１０㎜ｔの試験片はＦＲＰによって絶縁され，１９００㎜φの回転円板および４８５㎜φの静止円板に取付けられた。隙間の水漏れはシリコンゴムを注入することによって防止した。

回転円板を４４ｒｐｍの速度で回転させると，各試験片の取付位置によって，４ｍ／sec，3ｍ／sec，2ｍ／sec および1.5ｍ／sec の速度で試験片は移動することになる。槽内にフィンをつけることによって海水が円板について動くことを防止しようとしたが，フィン端面と試験片との距離を3㎜にしているために海水がわずかに移動した。このために試験片の真の移動速度は上述の速度よりいくらか小さいと思われるが，本報告書では一応上述の速度を流速として表わした。

供試材の製作要領および性状を表2.4.1に示す。各試験片条件は下記のとおりである。すなわち，

○メッキ試験片

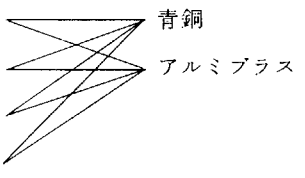
メッキ：溶融アルミメッキ，溶融亜鉛メッキ

メッキ厚さ：５０μ，１００μ

○異種金属接触試験片

接触試験片面積比：１／１

異種金属との組合せ：



○溶接試験片

電縫鋼管（熱処理なし，溶接部熱処理）

鍛接鋼管

○比較試験片

炭素鋼

流速条件は，前述したように，０ｍ／sec，1.５ｍ／sec，２ｍ／sec，３ｍ／sec，４ｍ／secとした。円板の回転により，タンク内の海水が流動しているので，空気の吹込みは特に行なわなかった。試験片までの海水の深さは回転円板で３４cm，静止円板で２６cmであった。

試験液には長崎港外の海水を使用し，海水の温度は８０℃±１℃および５０℃±１℃に調節した。（２００Ｖ，４０KWのヒーターにて加熱調節）加熱による水の蒸気減量を補うために蒸溜水を注入し，水位を一定に保った。

８０℃腐食試験は昭和５０年７月５日から昭和５０年１０月３日（試験期間３ケ月）まで，５０℃腐食試験は昭和５０年１０月２０日から昭和５１年１月１８日（試験期間３ケ月）まで行なった。

腐食試験後の酸洗には７％塩酸＋0.５％溶解促進剤＋0.５％ヒビロンＡ１００溶液を使用した。なお，重量測定に際しては，酸洗液による腐食量を調べて測定結果の補正を行なった。

各試験片の肉厚測定にはポイントマイクロメーターを使用し，メッキ試験片のメッキ膜厚測定にはKett電磁厚み計（L－2B）を使用した。測定の要領は前年度報告したとおりである。

(2) 試験結果および考察

海水の性状は，試験開始前PH7.9，溶存酸素濃度6.6 ppmであり，試験終了時（80℃腐食試験の場合）PH6.1，溶存酸素濃度1.8ppmであった。80℃および50℃の試験期間中，試験液は腐食生成物が懸濁した状態であり，静止円板表面には腐食生成物が約2㎜の厚さで堆積していた。

80℃および50℃の場合の酸洗後の試験片表面状況を写真2.4.1～写真2.4.6に，重量減から求めた腐食速度と流速の関係を図2.4.1および図2.4.2に示す。さらに前年度実施した20℃における結果を図2.4.3に示す。メッキ材および無処理材の流速4m／secの時の腐食速度と温度の関係をそれぞれ図2.4.4および図2.4.5に示す。メッキ膜厚を100μとした場合，腐食速度から推定されるメッキ膜の寿命を図2.4.6に示す。

(イ) Aℓメッキ材

○単独浸漬

80℃および50℃共にAℓメッキ膜付着面積率は100%であった。図2.4.1(a)，図2.4.2(a)および図2.4.3(a)から明らかなようにAℓメッキ材の腐食速度におよぼす流速の影響はほとんどなく，80℃で約0.05㎜／year 50℃で約0.02㎜／year，20℃で約0.015㎜／year の腐食速度を示した。

Aℓメッキ材の腐食速度におよぼす温度の影響は，図2.4.4に示したようにわずかであり，高温におけるAℓメッキの耐食性がすぐれていることがわかる。Aℓメッキ膜の寿命は，図2.4.6に示したように，メッキ膜厚100μの場合，80℃で約2年，50℃で約5年，20℃で約6.7年と推定される。

写真2.4.7に80℃および50℃のAℓメッキ材の断面の顕微鏡写真を示すが，80℃の場合でもまだわずかに純Aℓ層が残存している。

○異種金属組合せ

青銅あるいはアルミブラスとの組合せ試験片のAℓメッキ膜付着面積率は，80℃の場合95%以上，50℃の場合98%以上を示し，共に異種金属組合せ部および試験片絶縁部の隙間近傍にはピット状の腐食が見られた。

図2.4.1(a)，図2.4.2(a)および図2.4.3(a)から明らかなように，青銅あるいはアルミブラスと組合せられるとAℓメッキ材の腐食は促進され，流速の上昇につれてAℓメッキ材の腐食速度は増加している。すなわち80℃では約0.25㎜／year（流速0m／sec）～約0.45㎜／year（流速4m／sec），50℃では約0.06㎜／year（流速0m／sec）～約0.35㎜／year（流速4m／sec），20℃では約0.06㎜／year（流速0m／sec）～約0.17㎜／year（流速4m／sec）を示した。

Aℓメッキ材の腐食速度は，図2.4.4に示したように，温度上昇につれて増加し，温度が20℃から80℃に上昇することによって，流速4m／secで腐食速度は約2～3倍増加している。

Aℓメッキ膜の寿命は，図2.4.6に示したように，メッキ膜厚100μの場合，約0.2年（80℃，流速0m／sec）～約1.7年（20℃，流速0m／sec）と推定される。青銅およびアルミブラスは防食され，腐食試験後も金属光沢が残っていた。

なお，肉厚減およびメッキ膜厚減と流速および温度との関係はバラツキが大きく，明確な関係を見い出すことはできなかった。

(ロ) Znメッキ材

○単独浸漬

80℃の場合のZnメッキ膜付着面積率は30%～80%であり，Znメッキ膜は部分的にふくれており，素地鉄はピット状に腐食されていた。50℃の場合のZnメッキ膜付着面積率は100%であった。

図2.4.1(a)，図2.4.2(a)および図2.4.3(a)から明らかなように，流速の上昇につれてZnメッキ材の腐食速度

は増加し，８０℃では約0.１７㎜／year（流速０ｍ／sec）～約0.３５㎜／year（流速４ｍ／sec），５０℃では約0.１０㎜／year（流速０ｍ／sec）～約0.１４㎜／year（流速４ｍ／sec），２０℃では約0.０３㎜／year（流速０ｍ／sec）～約0.０８㎜／year（流速４ｍ／sec）の値を示した。

Ｚｎメッキ材の腐食速度は，図2.4.4に示したように，温度上昇につれて増加し，温度が２０℃から８０℃に上昇することによって，流速４ｍ／secで腐食速度は約５倍増加している。

Ｚｎメッキ膜の寿命は，図2.4.6に示したように，メッキ膜厚１００μの場合，８０℃では約0.6年※1（流速０ｍ／sec）～約0.３年（流速４ｍ／sec），５０℃では約1.０年（流速０ｍ／sec）～約0.７年（流速４ｍ／sec），２０℃では約3.３年（流速０ｍ／sec）～約1.２年（流速４ｍ／sec）と推定される。

写真2.4.8に８０℃および５０℃のＺｎメッキ材の断面の顕微鏡写真を示す。５０℃の場合は完全にＺｎメッキ膜が残存しているが，８０℃ではＺｎメッキ膜はかなり消失し，流速４ｍ／secでは素地鉄が腐食されている様子がわかる。

○異種金属組合せ

８０℃の場合のＺｎメッキ膜付着面積率は１０％～８０％の範囲にあり，素地鉄は大きなピット状にかなり腐食されていた。５０℃の場合のＺｎメッキ膜付着面積率は９５％以上を示し，Ｚｎメッキ膜には小さなふくれが見られた。

図2.4.1(a)，図2.4.2(a)および図2.4.3(a)から明らかなように，青銅あるいはアルミブラスと組合せられるとＺｎメッキ材の腐食は促進され，流速の上昇につれてＺｎの腐食速度は増加している。すなわち，８０℃では約0.５２㎜／year（流速０ｍ／sec）～約0.８３㎜／year（流速４ｍ／sec），５０℃では約0.１８㎜／year（流速０ｍ／sec）～約0.３６㎜／year（流速４ｍ／sec），２０℃では約0.１０㎜／year（流速０ｍ／sec）～約0.25㎜／year（流速４ｍ／sec）を示した。

Ｚｎメッキ材の腐食速度は，図2.4.4に示したように，温度上昇につれて増加し，温度が２０℃から８０℃に上昇することによって，流速４ｍ／secで約３～４倍増加している。

Ｚｎメッキ膜の寿命は，図2.4.6に示したように，メッキ膜厚１００μの場合，約0.１年（８０℃，流速４ｍ／sec）※1～約1.０年（２０℃，流速０ｍ／sec）と推定される。

青銅およびアルミブラスは防食され，腐食試験後も金属光沢が残っていた。

なお，肉厚減およびメッキ膜厚減と流速および温度との関係はバラツキが大きく，明確な関係を見い出すことはできなかった。

８０℃の場合，単独浸漬および異種金属組合せ試験片は両者ともメッキ層が残存しているにもかかわらず，素地鉄がピット状に腐食される現象が見られ，Ｚｎメッキ膜の防食効果はなくなっている。これは一般に云われているように，温度が上昇するにつれてＺｎとＦｅの自然電位列の順位が変化することによるのかも知れないが，今後詳細に検討する必要がある。

(ｲ) 炭素鋼および普通鋳鉄

８０℃の場合はいずれもあばた状に腐食されており，５０℃の場合は流れに平行な帯状に選択腐食されていた。

図2.4.1(b)，図2.4.2(b)および図2.4.3(b)に示したように，炭素鋼（単独浸漬）では，腐食速度におよぼす流速の影響は小さく，むしろ温度による影響が大きい。図2.4.5に示したように，流速４ｍ／secの場合，８０℃では約0.６５㎜／year，５０℃では約0.４０㎜／year，２０℃では約0.０４㎜／yearの腐食速度を示し，温度が２０℃から８０℃に上昇することによって腐食速度は約１６倍増加している。

※注１　後述するように，８０℃ではＺｎメッキ膜が残存しているにもかかわらず素地がピット状に腐食する現象が認められたので，この推定寿命は一応の目安である。

また青銅あるいはアルミブラスと組合された炭素鋼の場合も流速よりはむしろ温度の影響が大きかった。すなわち流速4 m／secの場合，８０℃では約1.1㎜／year，５０℃では約0.９０㎜／year，２０℃では約0.１３㎜／yearの腐食速度を示し，温度が２０℃から８０℃に上昇することによって，腐食速度は約８～９倍増加している。

一方，青銅あるいはアルミブラスと組合された普通鋳鉄では，腐食速度におよぼす流速の影響は非常に大きく，８０℃で約0.９５㎜／year（流速０m／sec）～約2.２㎜／year（流速4 m／sec），５０℃で約0.７０㎜／year（流速０m／sec）～約1.５㎜／year（流速4 m／sec），２０℃で約0.０８㎜／year（流速０m／sec）～約0.１１㎜／year（流速4 m／sec）の腐食速度を示した。また温度の影響も大きく，２０℃から８０℃に温度が上昇することによって，腐食速度は約２０倍増加している。

青銅およびアルミブラスは防食され，腐食試験後も金属光沢が残っていた。

なお，肉厚減および最大肉厚減と流速および温度との関係は，バラツキが大きく明確な関係を見い出すことはできなかった。

(ニ) 電縫鋼管および鍛接鋼管

８０℃および５０℃の場合の腐食形態は前述した炭素鋼と同様であったが，電縫鋼管は溶接部が溝状に腐食されている現象が認められた。写真2.4.5から明らかなように，電縫鋼管溶接部は，Ａ．Ｗ．材（熱処理なし）およびＳ．Ａ．材（溶接部熱処理）共に溝状に腐食されていたが，鍛接鋼管の溶接部には溝状の腐食は見られなかった。

写真2.4.9，写真2.4.１０および写真2.4.１１に電縫鋼管（Ａ.Ｗ.），電縫鋼管（Ｓ.Ａ.）および鍛接鋼管の断面の顕微鏡写真を示す。

電縫溶接部の溝状腐食深さは，８０℃の場合最大0.４４㎜／３ケ月（Ｓ.Ａ.材，流速2 m／sec），５０℃の場合最大0.９０㎜／３ケ月（Ａ.Ｗ.材，流速4 m／sec），２０℃の場合最大0.１６㎜／３ケ月（Ｓ.Ａ.材，流速4m／sec）であった。電縫鋼管Ａ.Ｗ.材およびＳ.Ａ.材との耐溝状腐食性に関しては，顕著な差は認められなかった。写真2.4.9および写真2.4.１０から明らかなように，溝状腐食深さは，バラツキはあるが，流速および温度が上昇すると深くなっていた。

一方，電縫鋼管および鍛接鋼管の場合，図2.4.1(b)，図2.4.2(b)，図2.4.3(b)および図2.4.5から明らかなように，流速よりも温度が腐食速度に大きな影響をもっていた。

(3) まとめ

回転翼車型腐食試験機を使用して，「メッキ鋼管の寿命，異種金属接触腐食および電縫溶接部におよぼす流速および温度の影響」について，２０℃，５０℃および８０℃海水中で腐食試験を行った結果，次のことが明らかとなった。

(イ) Ａℓメッキ膜の寿命は，膜厚１００μの場合，２０℃で約6.７年（流速０及び4 m／sec），８０℃で約2年（流速０及び4 m／sec）と推定される。青銅あるいはアルミブラスと組合せると，２０℃で約1.７年（流速０m／sec）～約0.６年（流速4 m／sec），８０℃で約0.４年（流速０m／sec）～約0.２年（流速4 m／sec）と推定される。

(ロ) Ｚｎメッキ膜の寿命は，膜厚１００μの場合，２０℃で約3.３年（流速０m／sec）～約1.２年（流速4 m／sec），５０℃で約1.０年（流速０m／sec）～約0.７年（流速4 m／sec）と推定される。青銅あるいはアルミブラスと組合せると，２０℃で約1.０年（流速０m／sec）～約0.４年（流速4 m／sec），５０℃で約0.６年（流速０m／sec）～約0.３年（流速4 m／sec）と推定される。

８０℃では，Ｚｎメッキ膜が残存しているにもかかわらず素地がピット状に腐食する現象が認められ，Ｚｎメッキ膜の効果はなくなっていた。

(ハ) Ａℓメッキ膜とＺｎメッキ膜の寿命を比較した場合，２０℃で約2倍（流速０m／sec）～約６倍（流速4 m／sec）５０℃で約5倍（流速０m／sec）～約7倍（流速4 m／sec）Ａℓメッキ膜の寿命が長いと推定される。

(ニ) 電縫鋼管の溶接部は選択的に腐食され，その腐食深さはバラツキはあるが，海水の流速および温度の上昇によって大きくなり，溝状腐食深さはわずか３カ月で0.９０㎜（５０℃，流速4 m／sec）に達していた。

電縫鋼管のＡ．Ｗ．材（熱処理なし）とＳ．Ａ．材（溶接部熱処理）との耐溝状腐食性に顕著な差は認められなかった。

2.4.3　実管テスト

(1)　海水管腐食試験装置の概要

海水管腐食試験装置の組立図を図2.4.7および図2.4.8に，外観状況を写真2.4.12に，仕様を表2.4.2に示す。

本装置は，４系統の試験管ラインとこれに附属した分岐管，給水ポンプおよび３０tonの貯水タンクからなっており，海水は貯水タンクから給水ポンプ，分岐管を経て試験管ラインに入り，再び貯水タンクにもどる海水循環方式がとられている。

海水の汚染および温度上昇を防ぐため，貯水タンクに，常時三菱重工業㈱長崎研究所深堀支所の沖合（長崎港外）から，自然海水を約１０ton／Ｈｒの速度で供給した。

試験管内の海水の流速は，分岐管部に取付けた仕切弁によって調整した。流速の測定は，オリフィスを使用し，Ｕ字管マノメータで行なった。

停電等のために，貯水タンクへの自然海水の供給が停止したときは，自動的に給水ポンプが停止するようにし，給水ポンプのＯＮ－ＯＦＦ状況および貯水タンク内の海水温度を電子式ミニ記録計に記録した。

(2)　試験方法

表2.4.3に供試材の製作方法を示す。

試験条件は下記のとおりである。

(イ)　試験管種類：電縫鋼管，鍛接鋼管，Ｚｎメッキ鋼管，Ａℓメッキ鋼管

(ロ)　試験管径および流速

ＳＧＰ８０Ａ（流速1.9 m／sec）

ＳＧＰ６５Ａ（流速2.9 m／sec）

ＳＧＰ５０Ａ（流速4.9 m／sec）

(ハ)　曲げ角度：４５度，９０度，１８０度

(ニ)　曲げ半径：２Ｄ，５Ｄ，（Ｄ：試験管外径）

ただし，曲げ角度１８０度の場合は２Ｄのみ。

(ホ)　フランジ：差込フランジおよび開先フランジ（図2.4.9参照）

(ヘ)　フランジの喰い違い：０mm，2.5mm（図2.4.9参照）

(ト)　パッキンのハリ：０mm，5.0mm（図2.4.9参照）

(チ)　試験期間：４カ月および１６カ月（昭和５１年度調査）

試験管ラインとしては，電縫鋼管と鍛接鋼管の組合せを２系統，Ｚｎメッキ鋼管とＡℓメッキ鋼管の組合せを２系統，合計４系統の試験管を製作した。

また，異種材料間のフランジは図2.4.8のｅ部に示したような絶縁フランジを使用するとともに，試験管と受台との間にゴムシートを挿入して異種材料間の電気的絶縁をはかった。※1

試験管の海水流量は１系統あたり３４ton／Ｈｒで，給水ポンプ入口のこし器の目詰り等によって生じる流量変動は３％以下であった。

写真2.4.12に示したように，本実管テストは屋外で実施しているため，試験管外面はタール・エポキシ系塗料で塗装した。ただし，肉厚測定の部分はスリオンテープをまきつけた後に塗装した。

※注１　試験終了後，試験管内の海水を抜いて電気抵抗を測定してみると，一部に導通個所があったが，異種材料が結合されている部分のフランジ等は，前述した試験項目に入っていなかったので，腐食状況は調査しなかった。

図2.4.10に肉厚測定位置および膜厚測定位置を示す。肉厚測定はKRAUTKRAMER社の超音波厚さ計DM－1（プローブ径10㎜φ）で，膜厚測定はKett電磁厚み計L－2Bで行なった。

試験期間は4カ月（昭和50年9月1日～昭和51年1月5日）であり，途中停電や海水池清掃のため，給水ポンプは合計約200時間停止した。この給水ポンプ停止時には，試験管内面は静止海水に暴露されていることになる。

海水温度は，ほゞ次のように変化した。すなわち，

昭和50年	9月 1日～10月 7日	33℃～30℃
	10月 8日～10月25日	30℃～25℃
	10月26日～12月10日	25℃～20℃
	12月11日～昭和51年1月5日	20℃～15℃

試験終了後，つぎの要領で試験管の腐食状況を調査した。

○酸洗前腐食生成物付着状況写真撮影
（フランジ部切断，2分割切断，カラーおよびモノクロ写真）
○肉厚測定（超音波厚さ計）
○酸洗（電縫および鍛接鋼管。3％HCℓ＋0.5％イビット1L酸洗液中に3時間浸漬後中和洗浄防錆）
○ブラッシング（Znメッキ鋼管およびAℓメッキ鋼管。ただしAℓメッキ鋼管のみは，3％HCℓ＋0.5％イビット1Lに最高25分浸漬後ブラッシングした。）
○膜厚測定（Kett電磁厚み計）
○酸洗後腐食状況写真撮影
○直管部およびフランジ部の断面写真撮影
○接合部の顕微鏡写真撮影
○メッキ膜付着状況写真撮影

(3) 試験結果および考察

(1) 電縫鋼管および鍛接鋼管

写真2.4.13に酸洗前のフランジ部近傍の腐食生成物の付着状況（電縫鋼管80A，差込フランジ）を示す。腐食生成物の付着状況の観察結果をまとめるとつぎのとおりであった。すなわち，

○メッキ鋼管に較べて，電縫および鍛接鋼管への腐食生成物の付着量が多かった。
○電縫鋼管および鍛接鋼管の場合，フランジ近傍に多く付着しており，とくに下部側に5～10㎜厚さの腐食生成物が付着していた。（この厚い腐食生成物の付着現象は回転翼車型腐食試験ではみられない。）
○腐食生成物の表面は赤褐色であったが，母地に近い側では黒色であった。
○フランジ形状の違いによる腐食生成物の付着状況の差は顕著ではなかった。

酸洗後のフランジ近傍の状況を写真2.4.14および写真2.4.15に，直管および曲り管の内面状況を写真2.4.16および写真2.4.17に，超音波厚さ計による肉厚減測定結果を表2.4.4および表2.4.5に示す。また図2.4.11に，表2.4.4および表2.4.5の結果をまとめて示す。これらの結果※1からつぎのことが明らかである。

○試験期間が4カ月では，腐食量が小さく，フランジ形状の違い，パッキンのバリの有無，フランジの喰い違いの有

※注1 電縫鋼管および鍛接鋼管の腐食形態は，試験期間が短かかったこと，溶接バリが残存していたこともあって，全面腐食であり，後述するように，接合部の大きな溝状腐食を見出すことはできなかった。超音波厚さ計の測定精度は±0.1㎜なので，最大の腐食量でも0.4㎜程度しかない腐食量を超音波厚さ計で測定することは困難であった。したがって，今回の4カ月の試験結果を定量的データとして取扱うのは問題であり，昭和51年度の試験（16カ月）によって定量的なデータを得たい。

無等の因子が腐食におよぼす影響を明白にすることはできなかった。

○直管部の腐食に較べて，曲り部およびフランジ部近傍の腐食は大きい。

○曲り管の場合，腐食量は曲げ角度４５度－曲げ半径５Ｄ，９０度－５Ｄ，４５度－２Ｄ，１８０度－２Ｄの順に大きくなっている。

○流速が大きくなるにつれて，腐食量は増大している。

○フランジ面から１７５㎜以上離れると，直管部の腐食量と大差ないが，流速が低い場合（１.９ｍ／sec），フランジ近傍の腐食量は直管部より２～３倍大きい。

一方，写真2.4.１４～写真2.4.１７から明らかなように，試験管の下部側の腐食が激しい傾向が認められたので，直管部について，超音波厚さ計の測定結果を上部，中央部，下部に分けてまとめなおしたのが図2.4.１２である。図2.4.１２から明らかなように，いずれの流速においても，下部の腐食量が上部および中央部よりも大きくなっている。

写真2.4.１８に直管部の断面写真を，写真2.4.１９にフランジ部近傍の断面写真を，写真2.4.２０に接合部近傍部の顕微鏡写真を示す。写真2.4.１８から明らかなように，電縫鋼管の場合溶接バリが残存していたために，とくに顕著な電縫部の溝状腐食を見出すことはできなかった。しかしながら，試験管製作時にフランジ部近傍だけはグラインダーによって溶接バリを除去していたので，その部分だけに電縫部腐食が認められた。写真2.4.２０(1)に電縫部の溝状腐食の例を示したが，最大０.２５㎜／４months の溝状腐食（８０Ａ，差込フランジ）が認められた。

他方，鍛接管ではとくに接合部が選択的に腐食するという現象は認められなかったが，製管時に形成されたと考えられる溝が軸方向に残っていた。※1 また，写真2.4.１８(2)から明らかなように，鍛接鋼管の場合凹凸も激しく，肉厚変動も大きかった。

(ロ) Ｚｎメッキ鋼管およびＡℓメッキ鋼管

前述したように，Ｚｎメッキ鋼管およびＡℓメッキ鋼管への腐食生成物の付着量※2は少なかったが，赤褐色の腐食生成物が全面に付着していた。Ｚｎメッキ鋼管の場合，この腐食生成物はブラッシングによって容易に除去できたが，Ａℓメッキ鋼管の場合，メッキ膜の凹凸が激しく，また局部的にふくれた個所もあって腐食生成物の除去が困難だったので，３％ＨＣℓ水溶液に最高２５分間浸漬した後にブラッシングを行なった。

写真2.4.２１および写真2.4.２２にブラッシング後のＺｎメッキ鋼管およびＡℓメッキ鋼管の内面状況を示す。

Ｚｎメッキ鋼管の場合，いずれの試験管にもＺｎメッキ膜が残存していた。写真2.4.２１には，誤って酸洗したＺｎメッキ鋼管の内面状況も示しているが，母地の腐食は全く生じていなかった。

一方，Ａℓメッキ鋼管においては，とくに曲り管において，ブラッシングによって，メッキ膜が剥離した部分（純Ａℓ層の部分が剥離したと考えられる。）があった。

ＺｎメッキおよびＡℓメッキ鋼管の超音波厚さ計による肉厚減測定結果を表2.4.4および表2.4.5に，Ｋｅｔｔ電磁厚み計による膜厚減の測定結果を表2.4.6に示す。これらの表の結果をまとめたのが図2.4.１３である。これらの結果からつぎのことが明らかである。

○ＺｎメッキおよびＡℓメッキ鋼管の肉厚減は，電縫鋼管および鍛接鋼管よりも小さい。

○平均のＺｎメッキ膜厚減は２０μ／４months以下である。

※注１　今回の試験では，電縫鋼管の溶接バリや鍛接鋼管の溝が腐食におよぼす影響を見出すことはできなかったが，一般に溶接部のオーバラップやアンダーカット等の表面欠陥が存在する場合，すきま腐食が生じると言われているので，これらの欠陥を作らないようにしなければならない。（たとえば，防食技術便覧１５７頁参照）

※注２　ＺｎメッキおよびＡℓメッキ鋼管の場合，後述するように，母地の腐食は生じていなかったので，腐食生成物という表現はまずいかもしれない。海水循環方式をとっているため，他の部分の腐食生成物が堆積した可能性がある。

○Aℓメッキ膜は剝離しやすく，平均のAℓメッキ膜厚減は最大８２.５μ／４monthsに達した。※1

○Ｚｎメッキ膜厚減およびAℓメッキ膜厚減は，流速の上昇につれて増大している。

○Ｚｎメッキ膜厚減測定値と肉厚減測定値とは一致していない。

写真2.4.23にメッキ鋼管の断面写真を，写真2.4.24にメッキ膜付着状況を示す。これらの写真から明らかなように，メッキ鋼管の母地はまだ腐食していない。

試験前のＺｎメッキ膜厚は６８～１５５μであったのに対して，Aℓメッキ膜厚は９０～５００μの間にあり，Aℓメッキ膜厚が大きかった。

(4) まとめ

海水管腐食試験装置を製作し，電縫鋼管，鍛接鋼管，Ｚｎメッキ鋼管およびAℓメッキ鋼管のベンド部およびフランジ部の４カ月間の腐食を調べた結果，つぎのことが明らかになった。すなわち，

(イ) 回転翼車型腐食試験と異なって，フランジ部近傍のパイプ内面下部に厚い腐食生成物が付着していた。（電縫および鍛接鋼管）

(ロ) 流速が大きくなるにつれて腐食量は増大した。

(ハ) 直管部に較べて，曲り管およびフランジ部近傍の腐食は大きかった。

(ニ) 曲り管の場合，曲げ角度４５度－曲げ半径５Ｄ，９０度－５Ｄ，４５度－２Ｄ，９０度－２Ｄ，１８０度－２Ｄの順に腐食量は大きくなっていた。（電縫および鍛接鋼管）

(ホ) 溶接バリが残存していたこともあって，電縫部の大きな溝状腐食は生じていなかった。

(ヘ) Ｚｎメッキ鋼管およびAℓメッキ鋼管の場合，まだメッキ膜が残存してあり，母地の腐食は生じていなかった。しかし，Aℓメッキ鋼管の場合，メッキ膜が剝離する現象が認められた。

(ト) 超音波厚さ計の測定精度が±0.1㎜なので，精度良く腐食量を測定するためには，もっと長期の試験が必要である。

※注１　Aℓメッキ膜厚減がＺｎメッキ膜厚減よりも大きいという結果は，回転翼車型腐食試験結果と異なっている。これは試験管のAℓメッキ膜厚が大きすぎたこと，試験片の形状寸法が全く異なっていること等によるものと考えられる。

したがって，甲板上の蒸排気管のように外面をAℓメッキする場合と違って管内面にAℓメッキする場合には，前処理をはじめAℓメッキ工程全般にわたって充分な管理が必要と考えられる。

表 2.4.1　供試材（回転翼車型腐食試験）

<table>
<tr><th>供試材</th><th>製作要領</th><th>製作場所</th></tr>
<tr><td>Aℓメッキ材</td><td>素　　材：SS41
メッキ方法：溶融Aℓメッキ
<table><tr><th>試験片符号</th><th>メッキ厚さ</th><th>浸漬温度</th><th>浸漬時間</th></tr><tr><td>A</td><td>50μ</td><td>730℃</td><td>10min</td></tr><tr><td>B，E</td><td>100μ</td><td>730℃</td><td>20min</td></tr></table></td><td>滲透工業㈱</td></tr>
<tr><td>Znメッキ材</td><td>素　　材：SS41
メッキ方法：溶融Znメッキ
<table><tr><th>試験片符号</th><th>メッキ厚さ</th><th>浸漬温度</th><th>浸漬時間</th></tr><tr><td>C</td><td>50μ</td><td>464～466℃</td><td>33sec</td></tr><tr><td>D</td><td>100μ</td><td>456～458℃</td><td>130sec</td></tr><tr><td>F</td><td>100μ</td><td>470～472℃</td><td>132sec</td></tr></table></td><td>有田工業㈱</td></tr>
<tr><td>普通鋳鋼</td><td>FC20相当品（特製）</td><td>長崎鋳造㈱</td></tr>
<tr><td>炭素鋼</td><td>SS41</td><td>——————</td></tr>
<tr><td>電縫鋼管</td><td>API5L－B　A.W.（熱処理なし）
API5L－B　S.A.（溶接部熱処理）
114.3φ×6.0t
<table><tr><th colspan="6">化学成分（%）</th><th colspan="3">機械的性質</th></tr><tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>P</th><th>S</th><th>Cu</th><th>σy(kg/mm²)</th><th>σB(kg/mm²)</th><th>δ(%)</th></tr><tr><td>0.20</td><td>0.01</td><td>0.32</td><td>0.009</td><td>0.030</td><td>0.02</td><td>44.9(A.W)
42.0(S.A)</td><td>50.7(A.W)
49.8(S.A)</td><td>34.0(A.W)
38.2(S.A)</td></tr></table></td><td>住友金属工業㈱
和歌山製鉄所</td></tr>
<tr><td>鍛接鋼管</td><td>ASTM　A120（UL－6）鍛接まま
114.3φ×5.57t
<table><tr><th colspan="5">化学成分（%）</th><th colspan="3">機械的性質</th></tr><tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>P</th><th>S</th><th>σy(kg/mm²)</th><th>σB(kg/mm²)</th><th>δ(%)</th></tr><tr><td>0.12</td><td>0.01</td><td>0.39</td><td>0.011</td><td>0.018</td><td>—</td><td>38.2</td><td>49.3</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>青銅</td><td>BC－3　相当材（特製）</td><td>淵製作所</td></tr>
<tr><td>アルミブラス</td><td>復水器用黄銅継目無管3種　相当品（特製）
<table><tr><th colspan="6">化学成分（%）</th><th colspan="2">機械的性質</th></tr><tr><th>Cu</th><th>Aℓ</th><th>As</th><th>Ni</th><th>Fe</th><th>Zn</th><th>σB(kg/mm²)</th><th>δ(%)</th></tr><tr><td>77.7</td><td>1.9</td><td>0.05</td><td>0.3</td><td>0.01</td><td>Bol</td><td>39.6</td><td>65.0</td></tr></table></td><td>㈱神戸製鋼所
門司工場</td></tr>
</table>

表 2.4.2　海水管腐食試験装置の仕様

貯水タンク容量	３０ton
補給海水流量	１０ton／hr ～ １５ton／hr
給水ポンプ	高砂鉄工㈱製　うず巻ポンプＯＮ１５０５ 流量１５０ton／hr，場程３０m ケーシング：塗装　インペラー：ＰＢＣ，シャフト：ＳＵＳ３０４ モーター：２２０Ｖ３相　３０KW密閉屋外型 スリース弁，圧力計，チャッキ弁，フード弁付
試験管本数	ＳＧＰ８０Ａ：１８本／１系統 ＳＧＰ６５Ａ：１８本／１系統 ＳＧＰ５０Ａ：１８本／１系統 合計　５４本／系統 ２１６本（４系統）
塗装	試験管外面：タールエポキシ系塗料 貯水タンクおよびその他配管：銀色ペイント
付属機器	１）　流量計 U字管式マノメーター（岡野製作所製ＰＡ４００ＰＣＤ） ２）　記録計（温度および給水ポンプのＯＮ－ＯＦＦ） 電子式ミニ記録計（千野製作所製　ＥＳ２００－０２）
設計	平井技研工業㈱
製作	㈱長田鉄工所

表 2.4.3　供試材（パイプ）

供試材	製作要領	製作場所
電縫鋼管	ＳＧＰ－８０Ａ－ＥＧ ＳＧＰ－６５Ａ－ＥＧ ＳＧＰ－５０Ａ－ＥＧ	日本パイプ㈱
鍛接鋼管	ＳＧＰ－８０Ａ－Ｂ ＳＧＰ－６５Ａ－Ｂ ＳＧＰ－５０Ａ－Ｂ	住友金属工業㈱
アルミメッキ管	素　　材：電縫鋼管 メッキ方法：溶融アルミメッキ	滲透工業㈱
亜鉛メッキ管	素　　材：電縫鋼管 メッキ方法：溶融亜鉛メッキ	有田工業㈱

表 2.4.4　フランジ近傍の肉厚減測定結果（超音波厚さ計による）

（単位：㎜/4months）

材料	管径	フランジからの距離	差込フランジ						開先フランジ						平均値
			喰い違いなし				喰い違いあり		喰い違いなし				喰い違いあり		
			パッキンバリなし		パッキンバリあり		パッキンバリなし		パッキンバリなし		パッキンバリあり		パッキンバリなし		
			流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	
電縫管	80A	50㎜	0.13	0.53	0.03	0.09	0.29	0.04	0.13	0.20	0.43	0.10	0.13	0.21	0.19
		175㎜	0	0.53	0.31	0.09	0.20	0.04	−0.01	0.10	0.14	0.03	0.10	0.24	0.15
	65A	50㎜	0.05	0.13	0.10	0.43	−0.06	0.03	0.25	0.29	0.03	−0.01	0	0.13	0.11
		175㎜	−0.01	0.20	0.05	0.18	0.01	0.15	0.20	0.09	−0.13	−0.01	0.06	0	0.07
	50A	50㎜	0.23	0.13	0.38	0	0.28	0.18	0.50	0.30	0.18	0.15	0.15	0.15	0.22
		175㎜	0.18	0.15	0.05	0.23	0.25	0.20	0.30	0.25	0.25	0.18	0.18	0.28	0.21
鍛接管	80A	50㎜	0.23	0.20	0.06	0.39	0.03	0.04	0.08	0.29	0.04	0.33	0.14	0.01	0.15
		175㎜	0.16	0.23	0.20	0.11	0.01	−0.01	0.04	0.24	−0.08	0.11	0.05	−0.10	0.08
	65A	50㎜	0.10	0.15	0.10	0.23	0.24	0.11	0.35	0.48	0.15	0.43	0.28	0.08	0.23
		175㎜	0.20	0.23	0.40	0.18	0.24	0.15	0.13	0.18	0.09	0.20	0.28	0.16	0.20
	50A	50㎜	0.13	0.25	0.58	0.23	0.10	0.40	0.20	0.13	0.23	0.30	0.08	0.30	0.24
		175㎜	0.28	0.35	0.23	0.15	0.10	0.33	0.30	0.35	0.20	0.18	0.20	0.35	0.25
Znメッキ鋼管	80A	50㎜	0.01	0.11	0.09	0.05	−0.01	0.05	0.11	0.01	−0.06	−0.10	−0.06	−0.10	0.01
		175㎜	0.05	0.09	−0.03	0.13	-0.13	0.16	0.10	−0.04	-0.06	−0.08	0	−0.04	0.01
	65A	50㎜	0.06	0.43	0.14	0.03	0.04	−0.04	0.04	0.08	0.38	0	−0.04	-0.01	0.09
		175㎜	−0.10	0.28	0.05	0.03	0.03	-0.11	0.15	0.04	0.13	0.04	−0.06	0.05	0.04
	50A	50㎜	0.11	0.25	0.48	0.10	0.05	0.15	0.05	−0.23	0.06	0.38	0.38	0.18	0.16
		175㎜	0.04	0.40	0.13	0.08	0.14	0.25	0.05	−0.15	0.11	0.30	0.18	−0.01	0.13
Alメッキ鋼管	80A	50㎜	0	0.14	−0.05	0.15	0.09	0.08	−0.01	−0.08	0.01	0	0.14	0.01	0.04
		175㎜	0.04	0	0.03	0	0.08	0.04	−0.10	−0.15	−0.1	0.24	0.19	0.09	0.03
	65A	50㎜	0	0.13	0.35	−0.03	−0.11	−0.2	−0.05	0.06	0.15	0.05	−0.01	0.16	0.04
		175㎜	−0.05	0.28	0.06	0.13	-0.11	-0.18	−0.06	0.05	0.06	0.05	-0.15	0.03	0.01
	50A	50㎜	0.11	0.55	0.23	0.08	0.09	−0.13	0.03	0.38	0.26	−0.03	0.03	0.19	0.15
		175㎜	0.11	0.50	0.40	0.05	0.01	−0.04	0.05	0.30	−0.14	0.06	−0.08	0.18	0.12

※　測定位置は図 2.4.10 参照

フランジから１７５㎜の位置とはフランジ面から１７５～８２２㎜離れた位置（直管部）を指す。

表 2.4.5　直管部および曲管部の肉厚減測定結果（超音波厚さ計による）

（単位：mm/4 months）

材料＼管径		直管※1					曲り管※2				
		肉厚減測定値				平均値	曲げ角度 45度		曲げ角度 90度		曲げ角度 180度
							曲げ半径 2D	曲げ半径 5D	曲げ半径 2D	曲げ半径 5D	曲げ半径 2D
電縫管	80A	0.09	0.09	0.14	0.03	0.09	0.27	0.06	0.18	0.15	0.46
	65A	0.08	0.06	−0.03	0.03	0.04	0.22	0.05	−0.05	0.03	0.36
	50A	0.25	0.13	0.23	0.18	0.20	0.52	0.26	0.40	0.17	0.31
鍛接管	80A	0.10	0.05	0.03	−0.10	0.02	0.14	0.12	0.09	0.15	0.32
	65A	0.14	0.24	0.28	0.19	0.21	0.26	0.22	0.24	0.17	0.28
	50A	0.35	0.28	0.25	0.15	0.26	0.26	0.17	0.32	0.32	0.42
Znメッキ鋼管	80A	−0.09	−0.08	−0.03	0.01	−0.05	0.14	0.10	0.13	0.00	0.16
	65A	0.33	0.09	0.01	−0.05	0.10	0.06	0.12	0.15	0.02	0.22
	50A	−0.14	0.33	0.05	0.20	0.11	0.19	0.25	0.13	−0.04	0.31
Alメッキ鋼管	80A	−0.10	−0.14	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.26	0.01	0.11
	65A	0.03	−0.10	−0.14	0.10	0.03	0.09	−0.01	0.16	0.13	0.18
	50A	−0.09	−0.01	0.13	0.06	0.02	0.23	0.13	−0.08	0.05	0.41

※注1　直管の肉厚減測定位置は図 2.4.10 の直管の符号3の位置である。

※注2　曲り管の肉厚測定結果は，図 2.4.10 の曲り管の曲り部（符号 3.4.5）の肉厚減の平均値を示す。

表 2.4.6　膜厚減測定結果（Kett 電磁厚み計による）

（単位：μ／4 months）

材料＼管径		差込フランジ						開先フランジ						平均値
		喰い違いなし				喰い違いあり		喰い違いなし				喰い違いあり		
		パッキンバリなし		パッキンバリあり		パッキンバリなし		パッキンバリなし		パッキンバリあり		パッキンバリなし		
		流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	流出側	流入側	
Znメッキ鋼管	80A	5	2	7	3	5	6	7	19	7	32	4	8	9
	65A	13	9	10	8	21	25	11	21	9	32	19	9	16
	50A	24	32	23	19	20	30	1	19	11	8	26	14	19
Alメッキ鋼管	80A	剥離 16	16	11	剥離 5	剥離 18	剥離 78	剥離 18	15	60	3	剥離 172	15	35.7
	65A	11	50	剥離 65	剥離 29	69	剥離 41	剥離 69	54	剥離 68	30	22	剥離 40	45.7
	50A	79	88	剥離 111	61	剥離 186	剥離 55	剥離 129	39	22	剥離 54	剥離 136	剥離 30	82.5

測定位置は図 2.4.10 参照

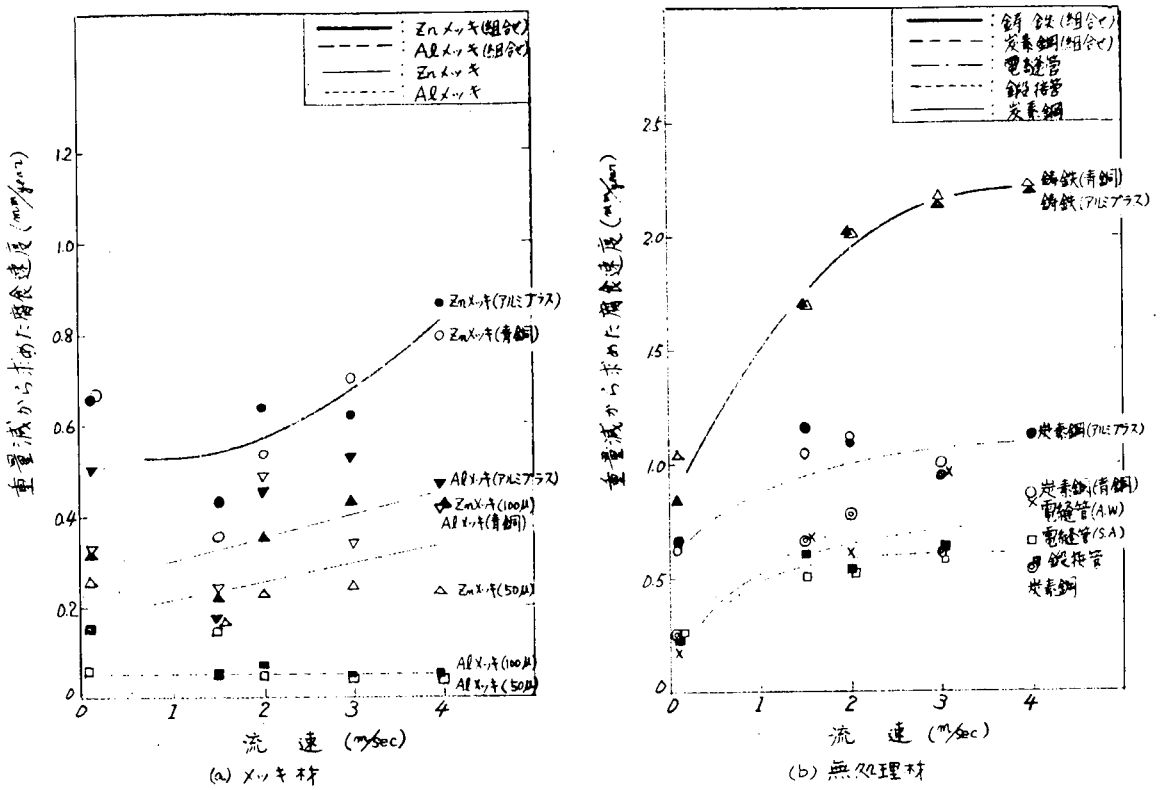


図 2.4.1　流速と腐食速度の関係（ 80℃ ）

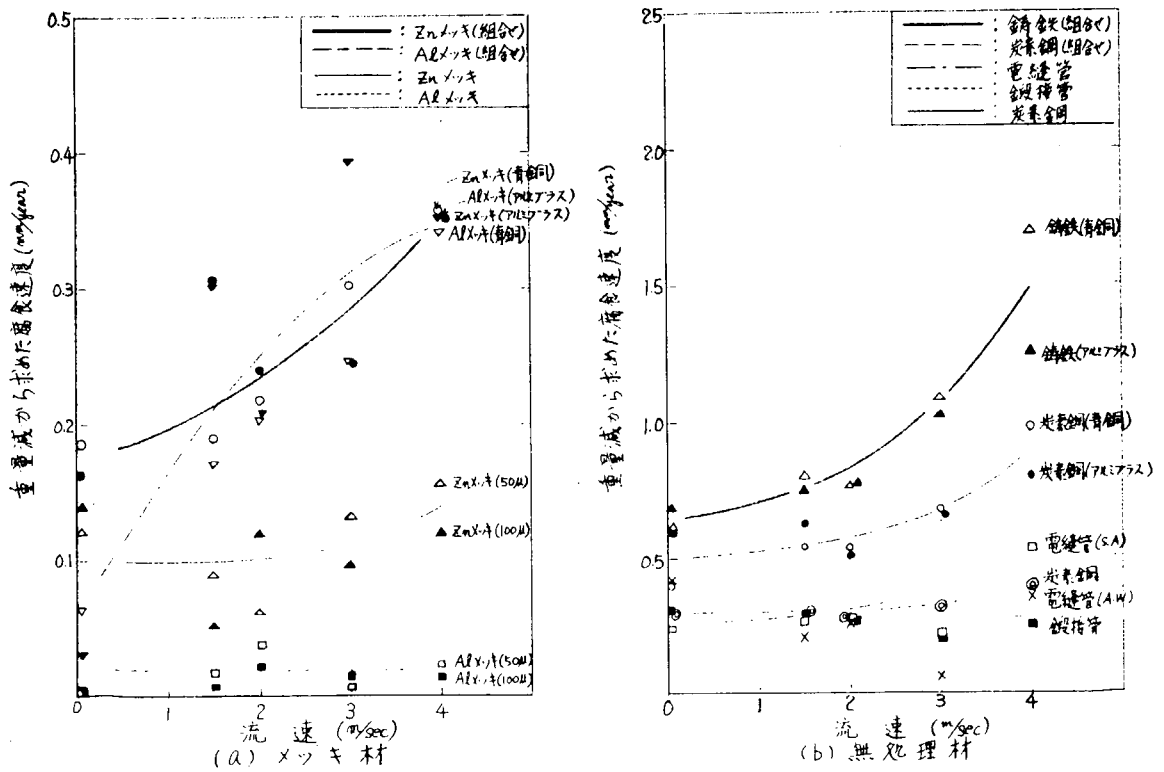


図 2.4.2　流速と腐食速度の関係（ 50℃ ）

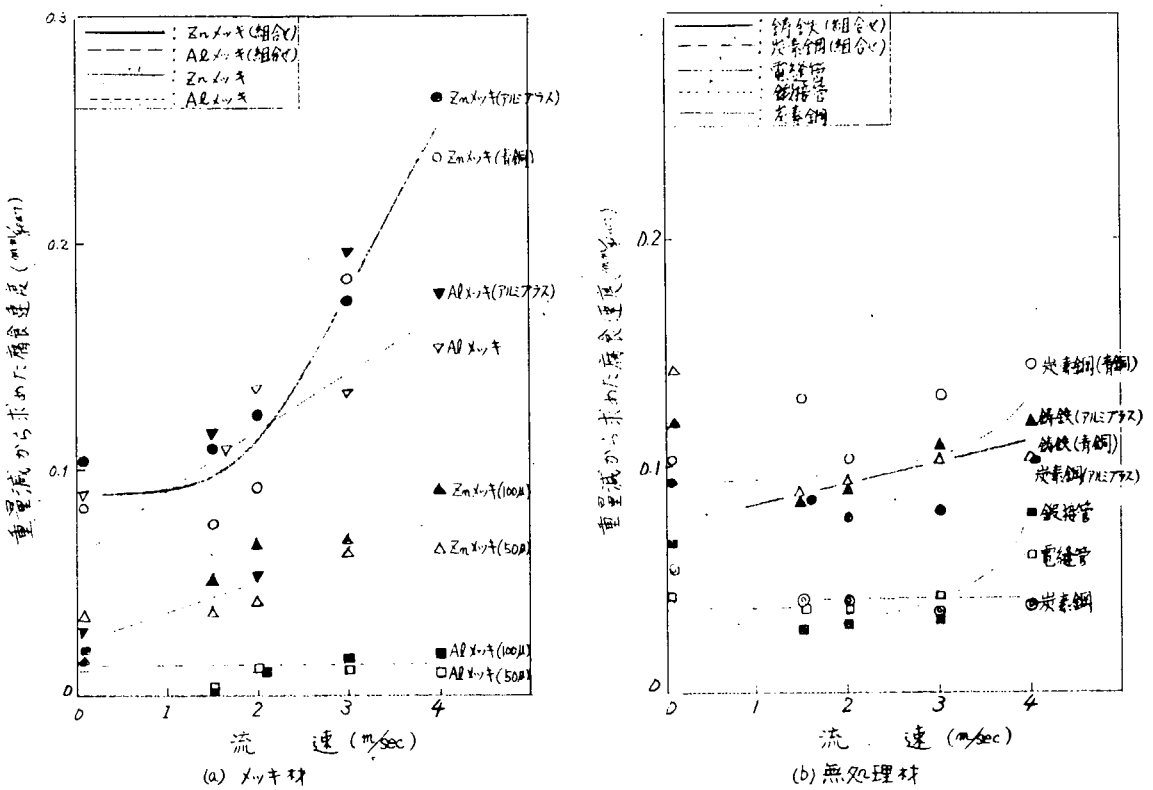


図 2.4.3　流速と腐食速度の関係（２０℃）

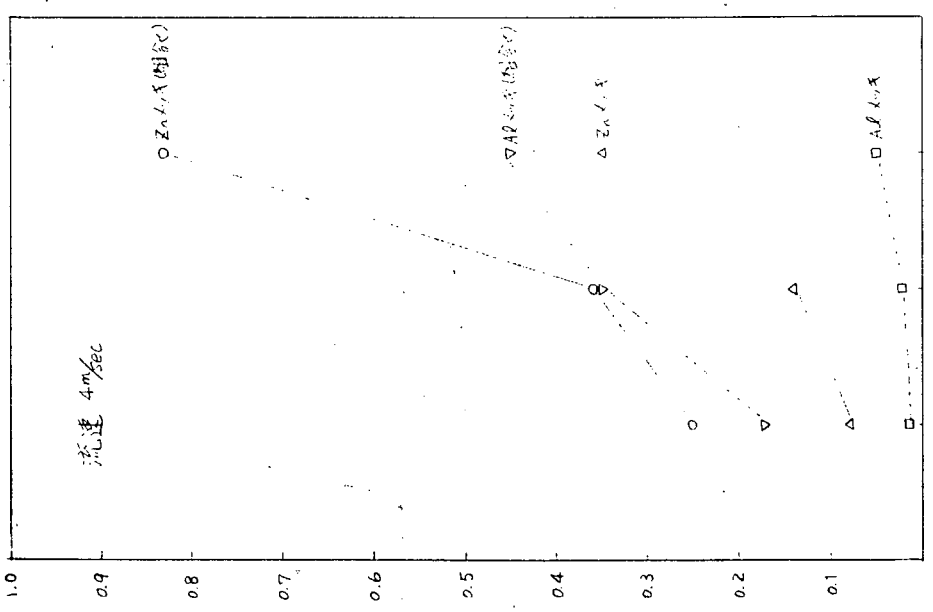


図 2.4.4　温度と腐食速度の関係（メッキ材）

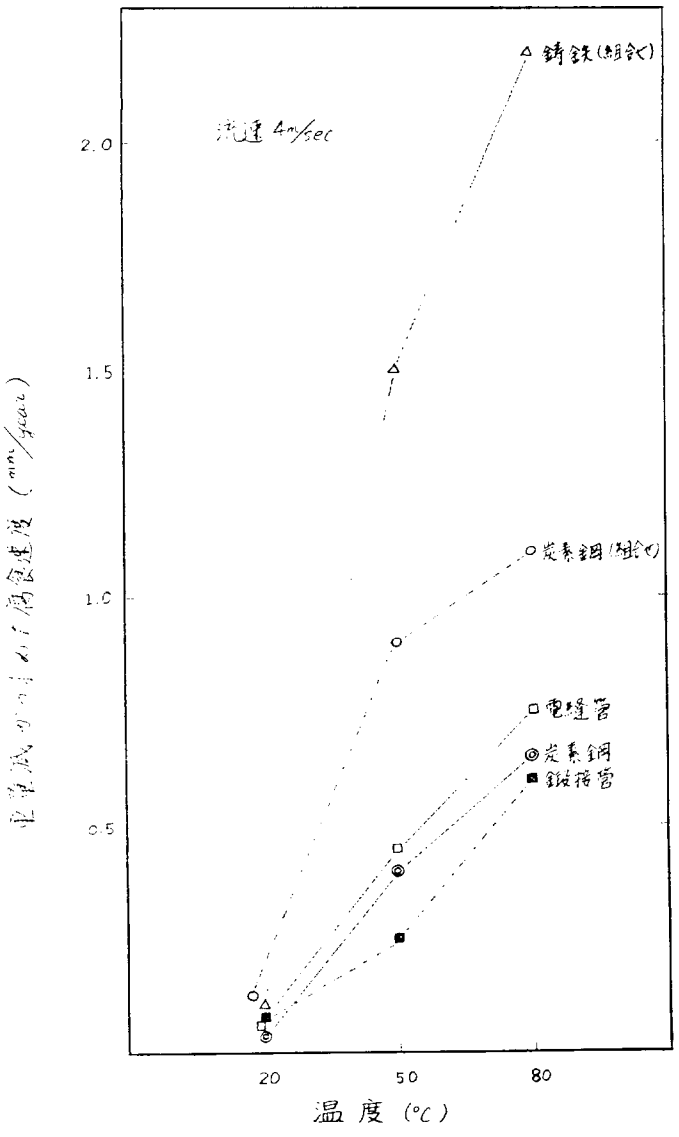


図 2.4.5　温度と腐食速度の関係（無処理材）

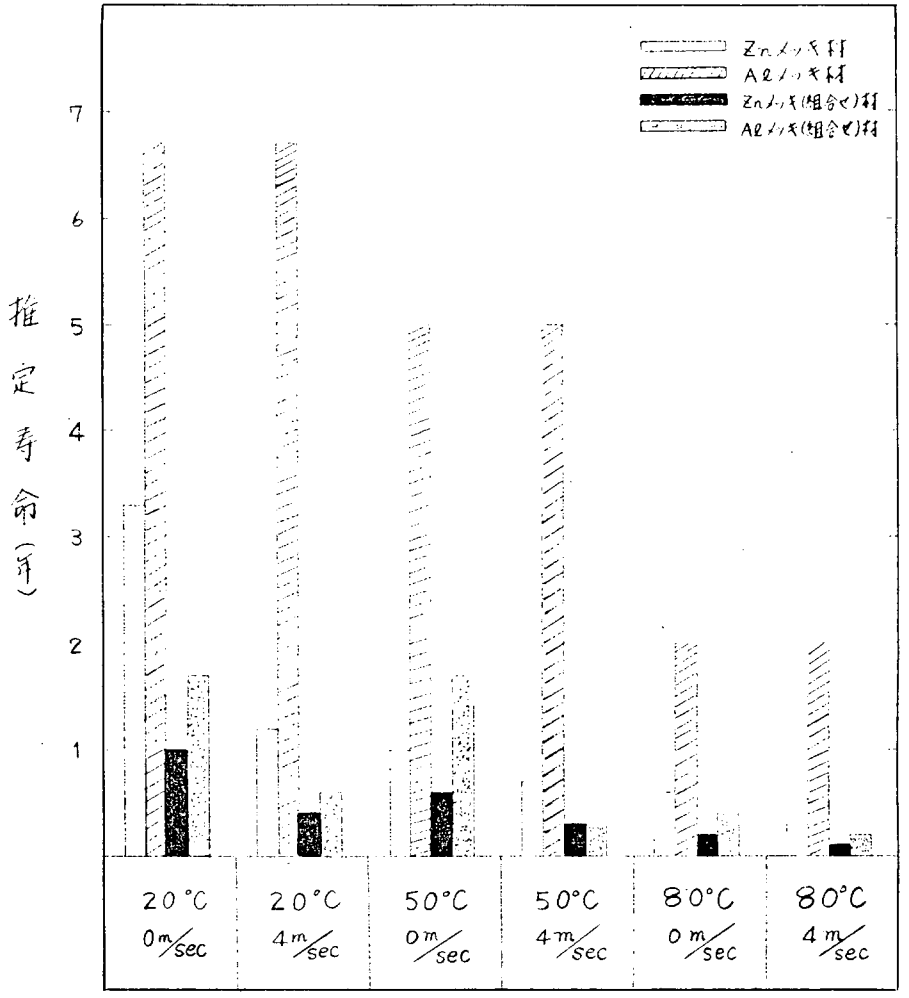
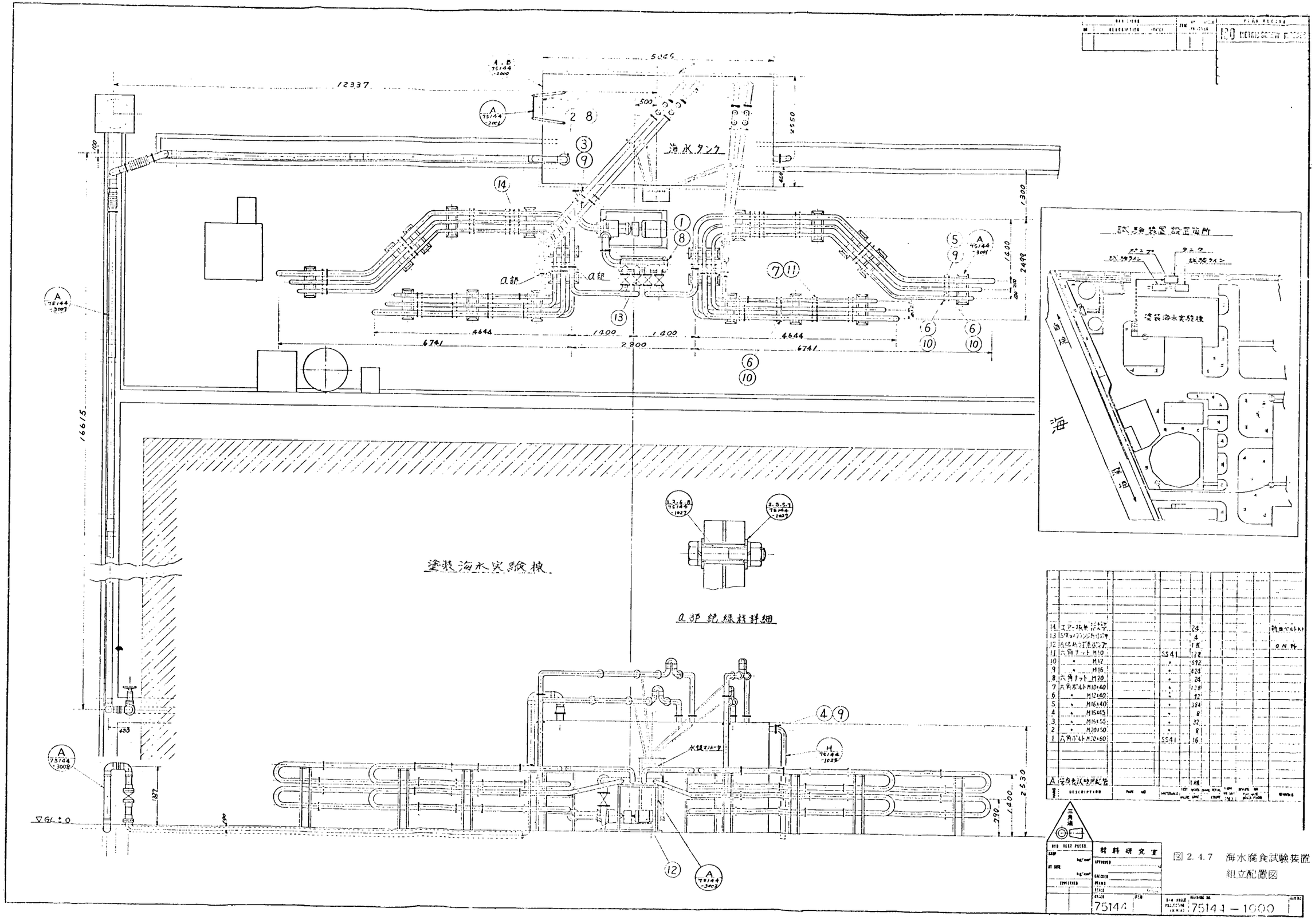


図 2.4.6　メッキ膜の推定寿命（メッキ膜厚１００μの場合）



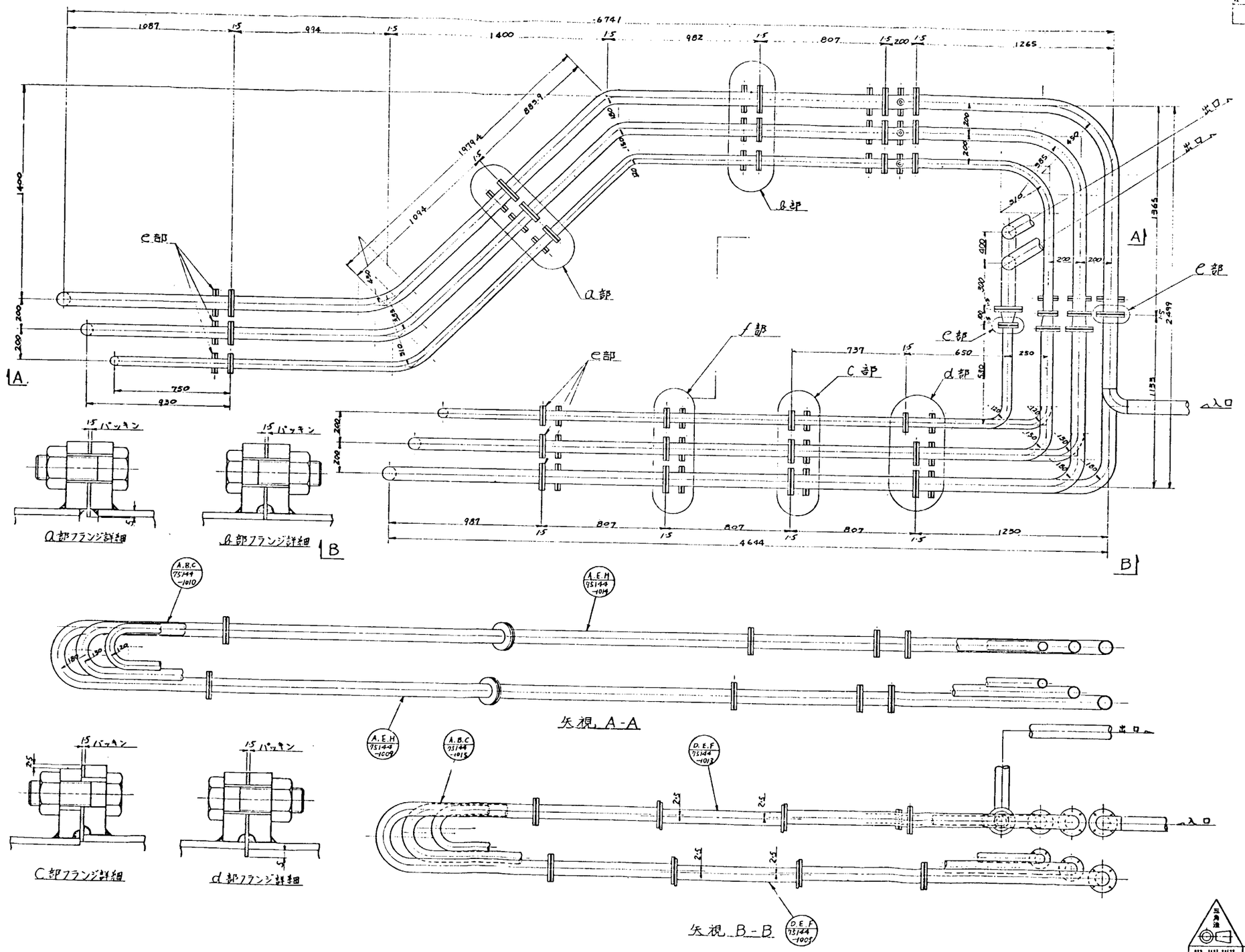
Q部 給水枝詳細

14	エア抜弁			24	
13	SUSフランジ付ボール弁			4	
12	給水枝ネジ込継手加工			1式	
11	六角ナット M10		SS41	128	
10	〃 M12		〃	592	
9	〃 M16		〃	424	
8	六角ナット M20		〃	24	
7	六角ボルト M10×40		〃	128	
6	〃 M12×40		〃	92	
5	〃 M16×40		〃	384	
4	〃 M16×45		〃	8	
3	〃 M16×55		〃	32	
2	〃 M20×50		〃	8	
1	六角ボルト M20×60		SS41	16	
A	海水腐食試験装置配管			1式	
NO.	DESCRIPTION	PART NO.	MATERIAL	TEST WORK PRESS. WORK PRESS. WORK TEMP. WORK QUANT.	REMARKS

三角油

DES. TEST PRESS	材料研究室		
CAMP	APPROVED		
AT 50℃	CHECKED		
CONCERNED	DRAWN		
	SCALE		
	ORDER NO.	DRAWING NO.	
	75144	75144－1000	

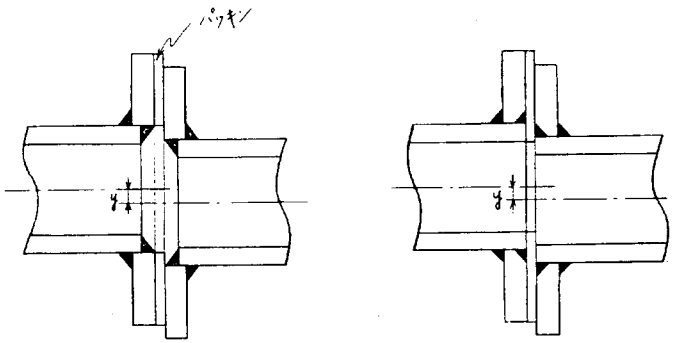
図 2.4.7 海水腐食試験装置組立配置図



NOTES
本図組立図は材質 SGP-B～SGP-EGの組合せを示す。

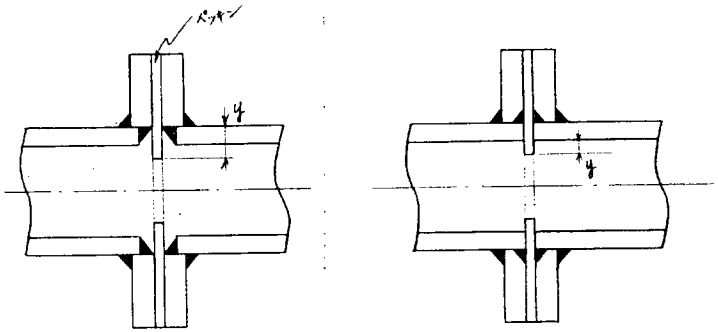
材料研究室	
75144	75144 -1001

図 2.4.8 海水管腐食試験装置 試験管組立図



(A) フランジ　　y = 0

y = 2.5 mm



(B) パッキン　　y = 0

y = 5.0 mm

図 2.4.9　フランジおよびパッキンの試験条件

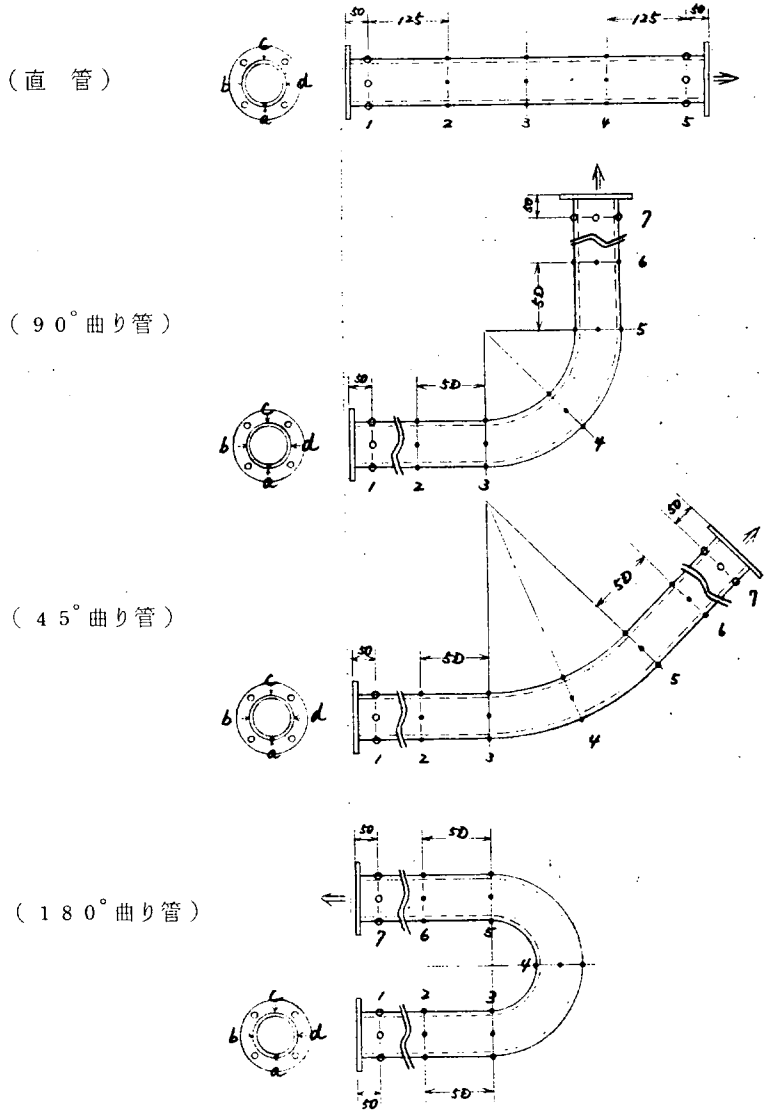


図 2.4.10　パイプのメッキ膜厚および肉厚測定要領

○……メッキ膜厚および肉厚測定個所

•……肉厚測定個所

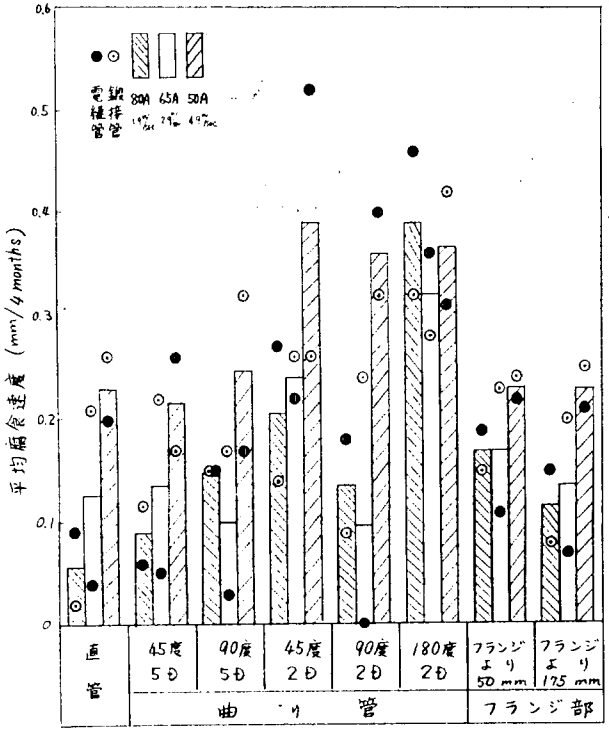


図 2.4.1 1　電縫管および鍛接管の腐食速度

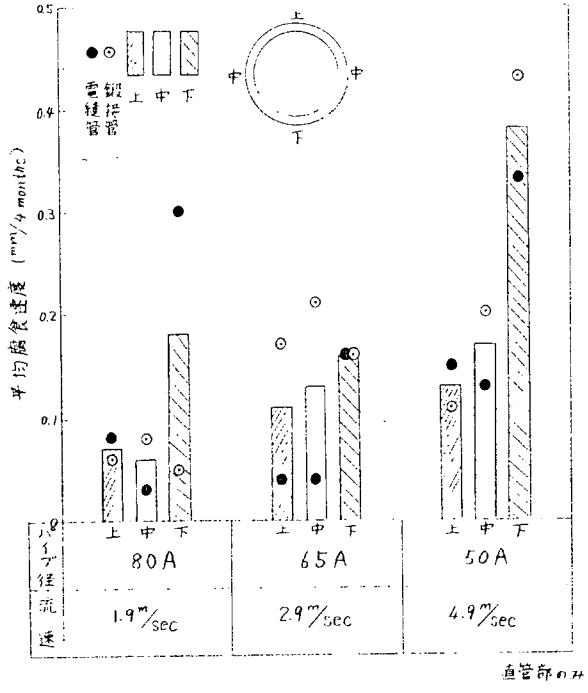


図 2.4.1 2　直管部各部の腐食速度

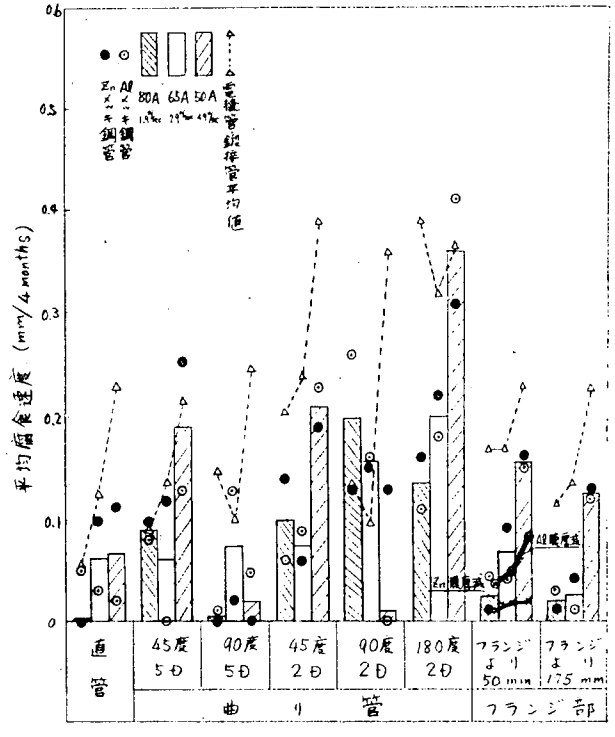
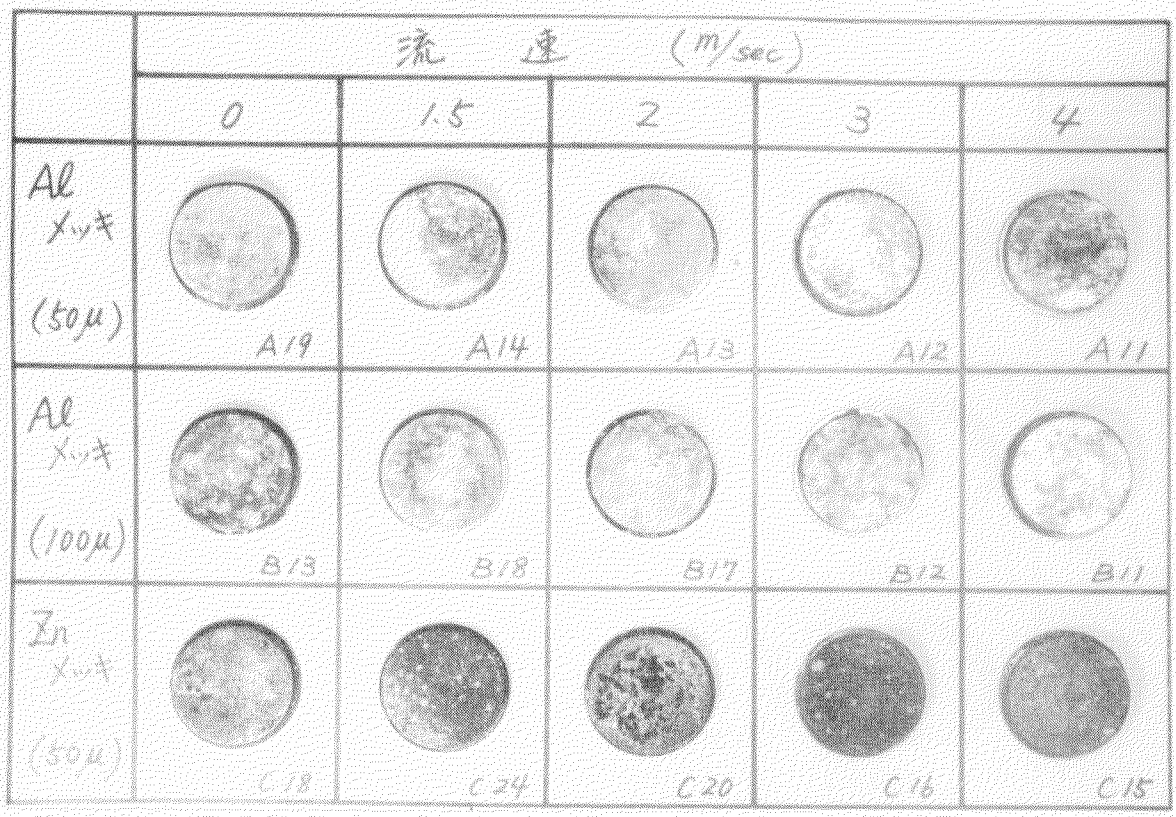
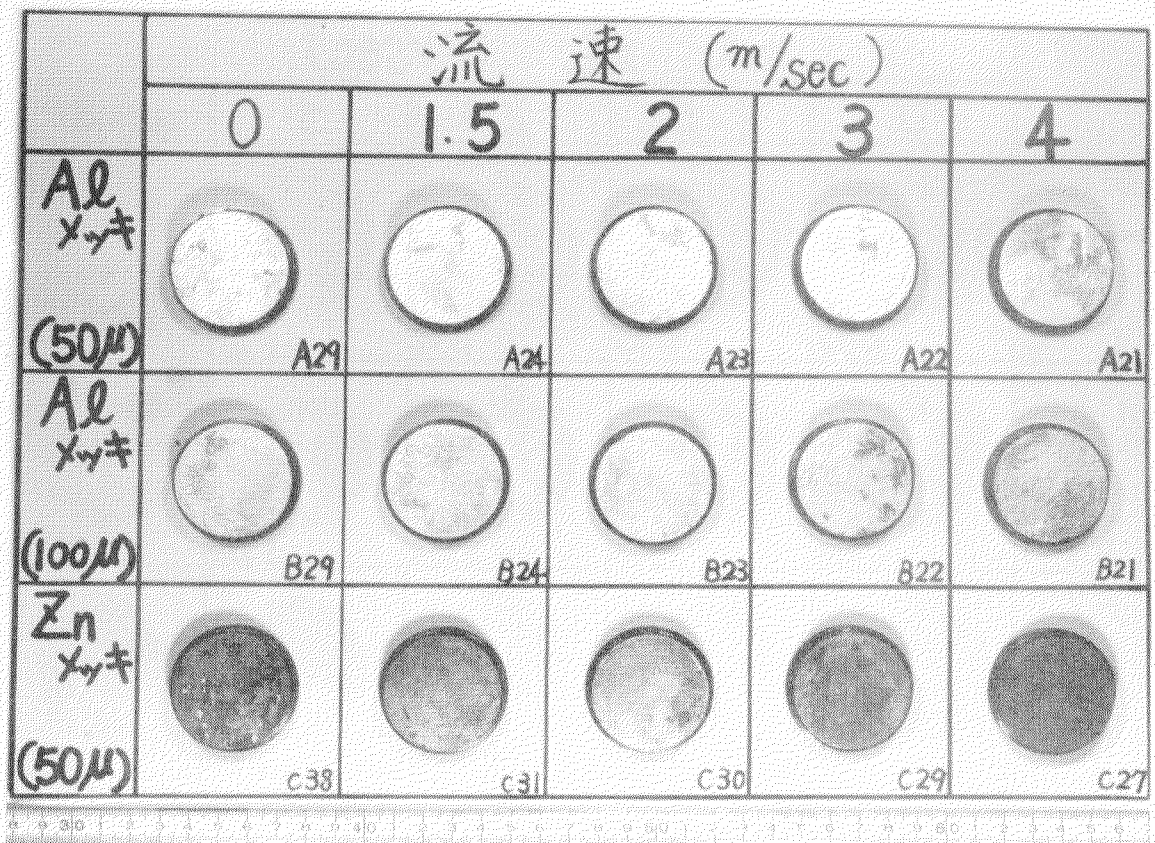


図 2.4.1 3　Znメッキ鋼管およびAℓメッキ鋼管の腐食速度

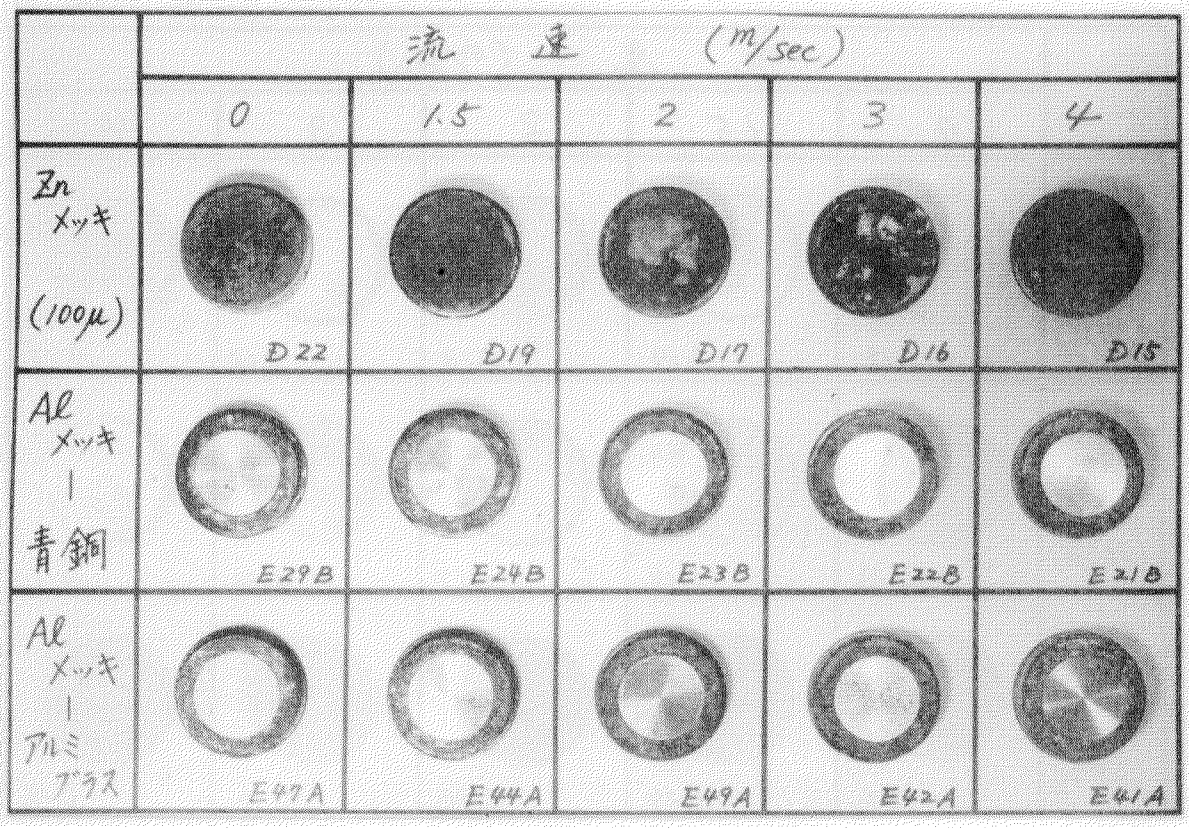


（80℃）

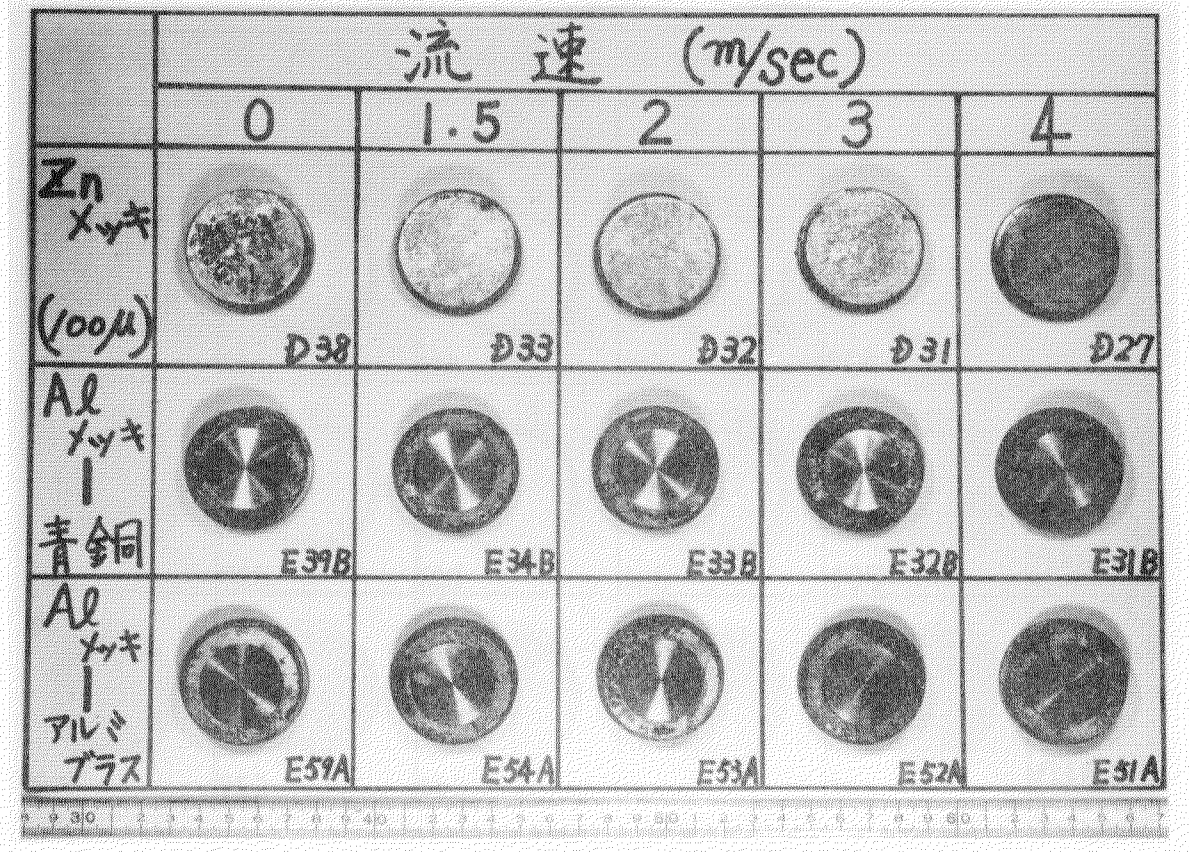


（50℃）

写真 2.4.1　腐食状況

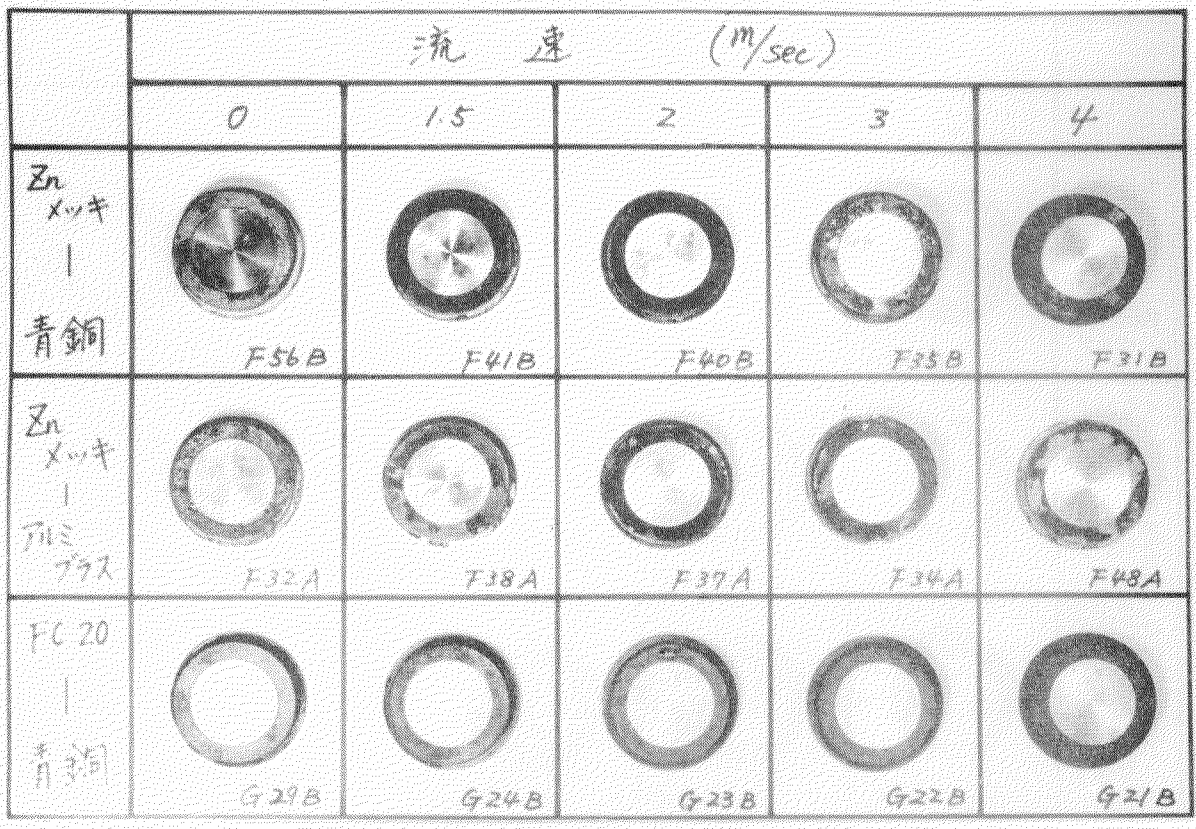


（80℃）

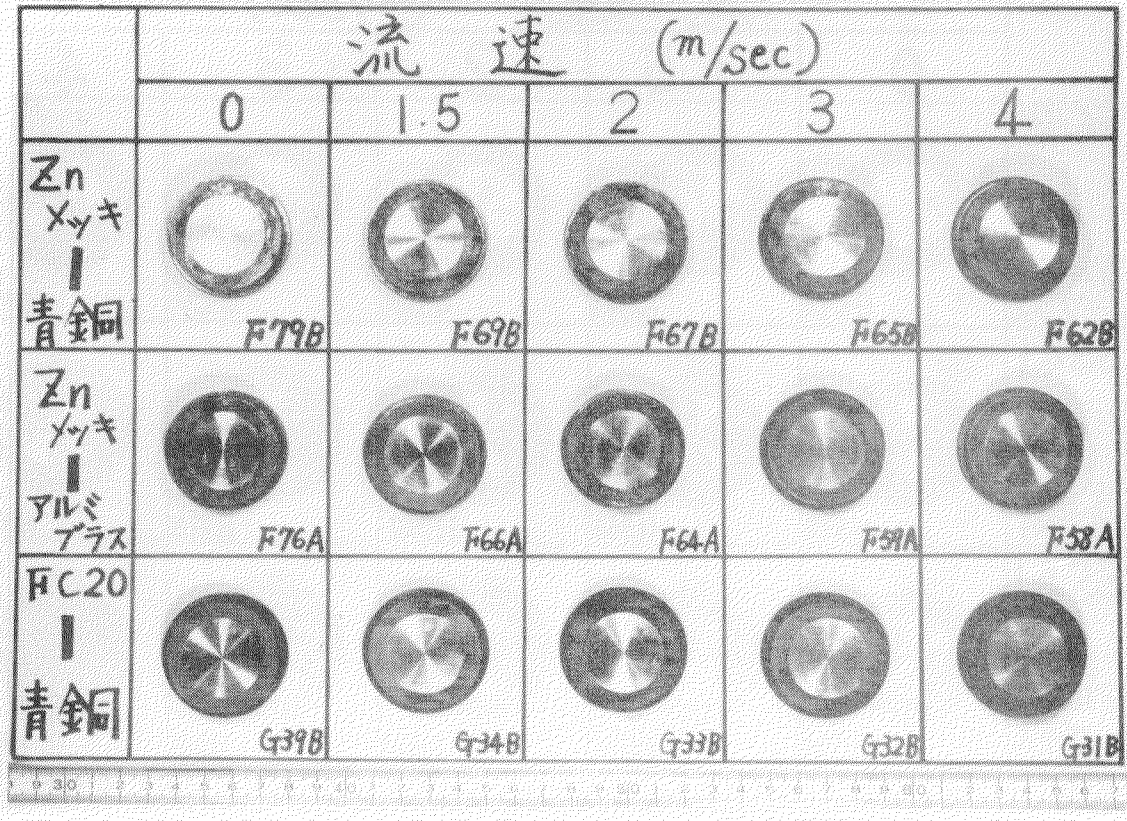


（50℃）

写真 2.4.2　腐食状況

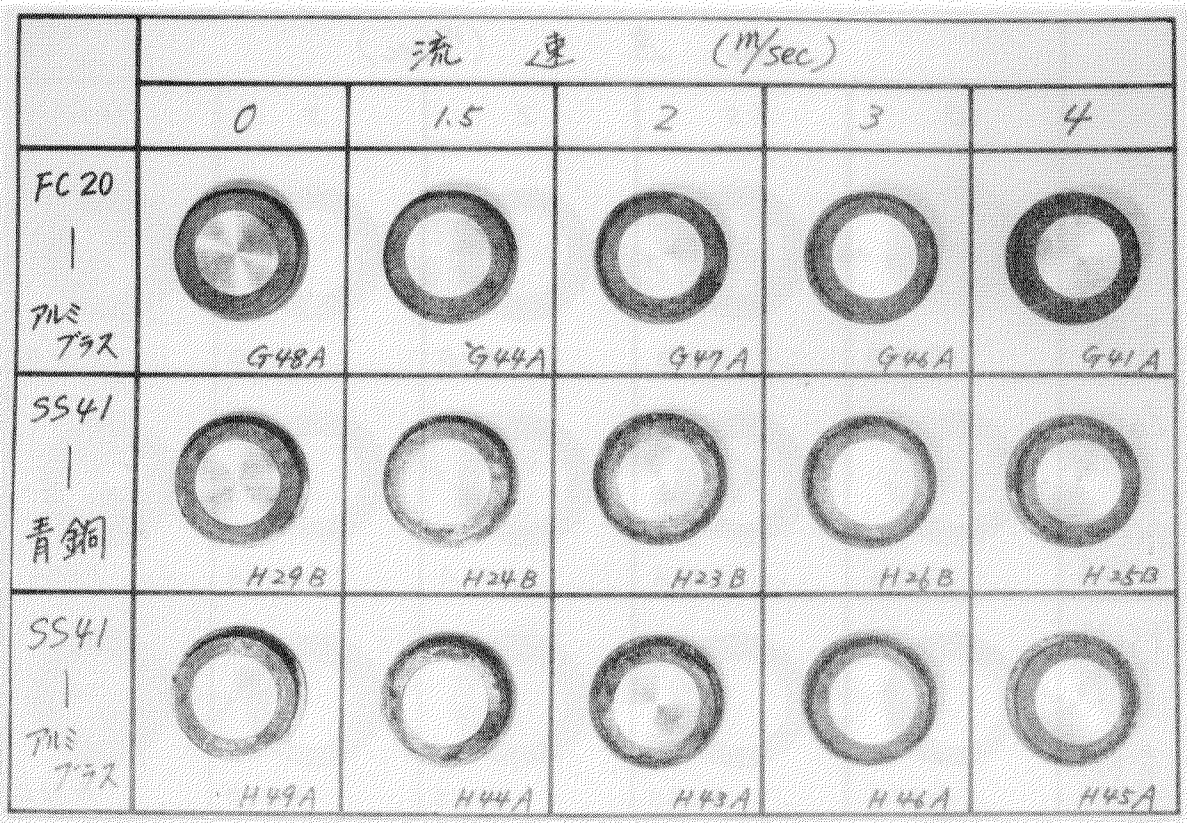


(8 0 ℃)

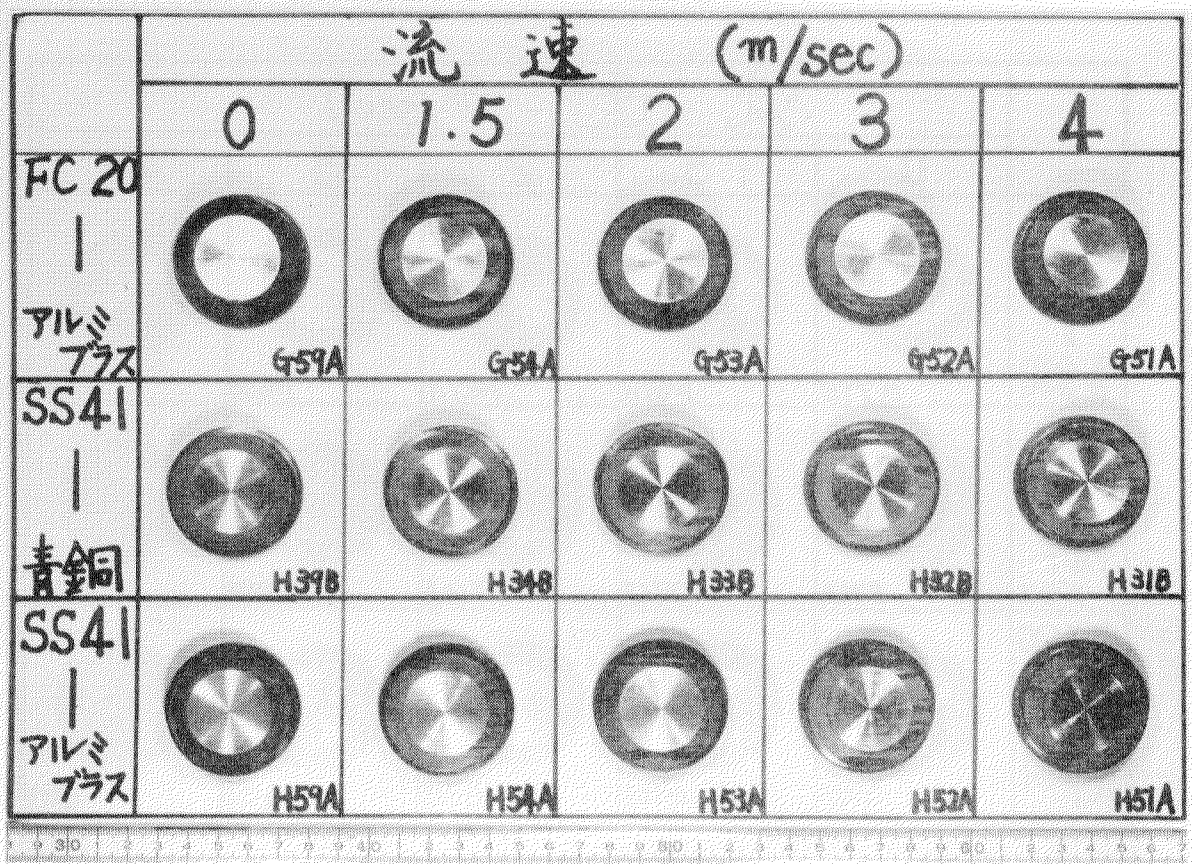


(5 0 ℃)

写真 2.4.3 腐食状況

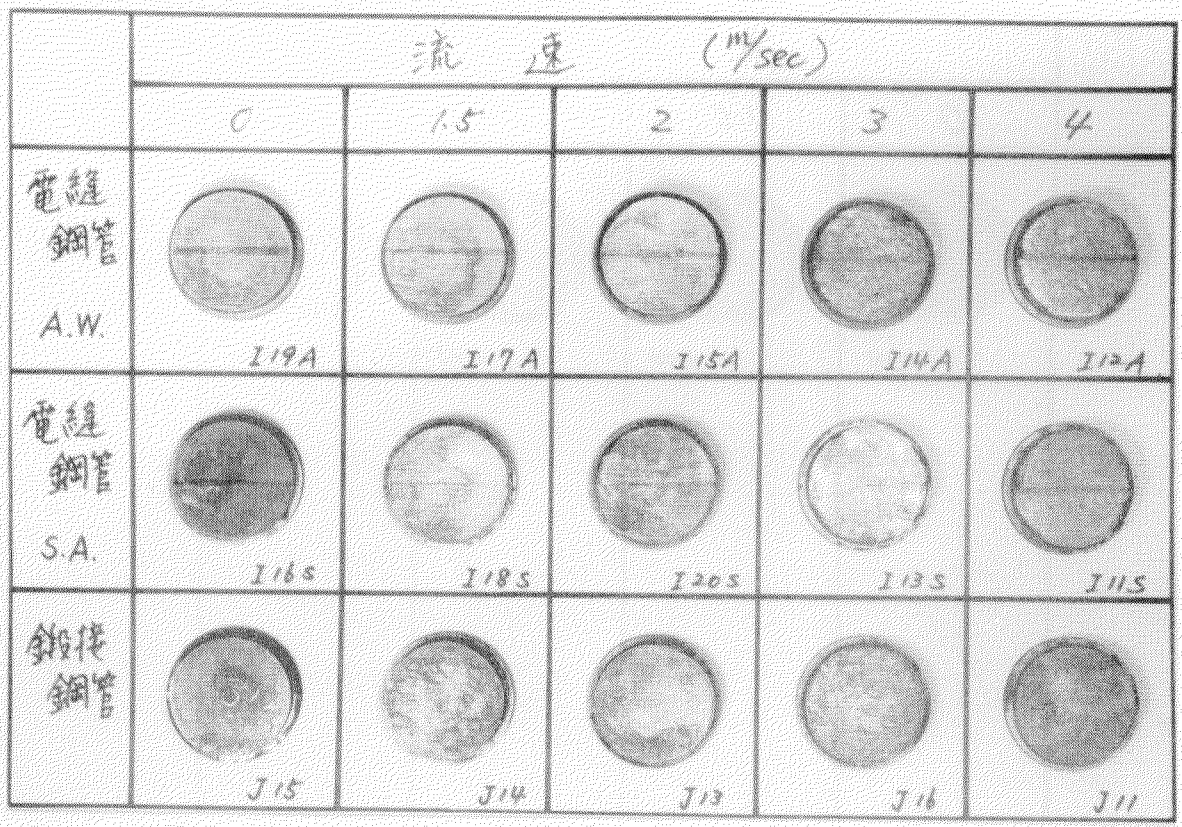


（80℃）

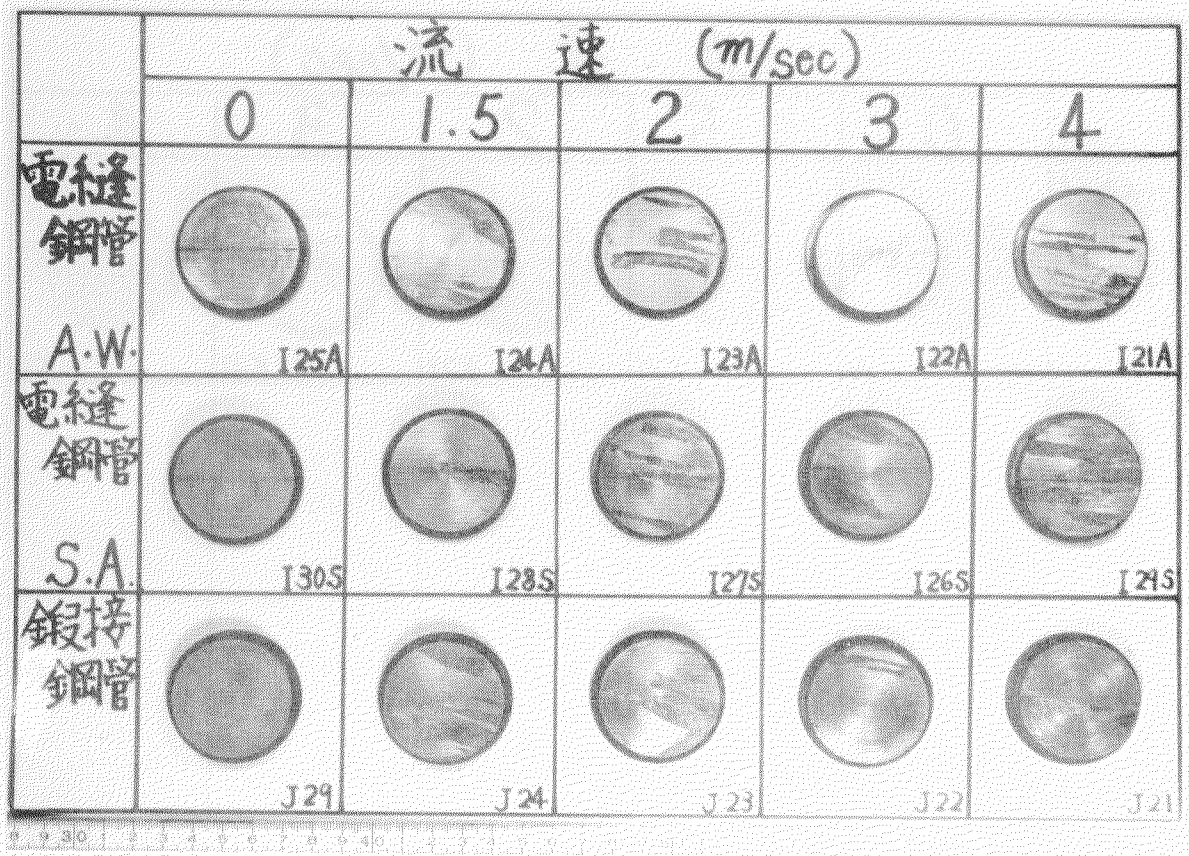


（50℃）

写真2.4.4　腐食状況

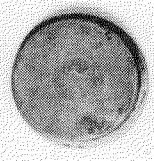
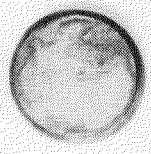
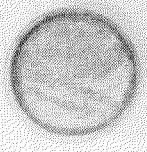
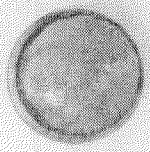


（80℃）

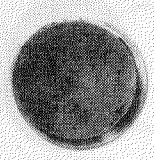


（50℃）

写真 2.4.5　腐食状況

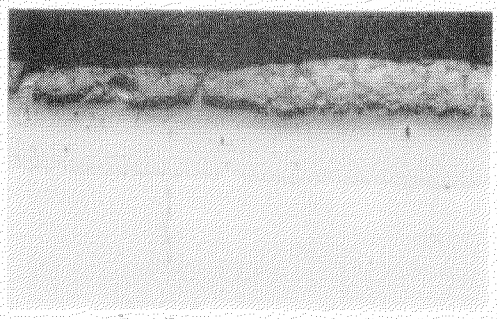
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
比較材 (SS41)	 K19	 K14	 K13	 K16	 K15

（80℃）

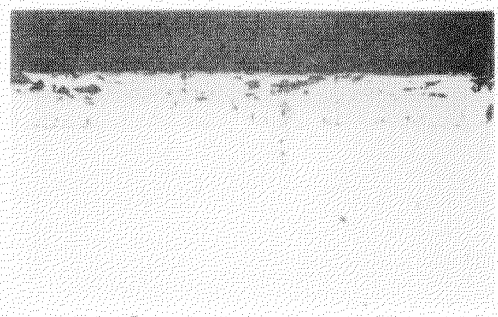
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
比較材 (SS41)	 K29	 K24	 K23	 K22	 K21

（50℃）

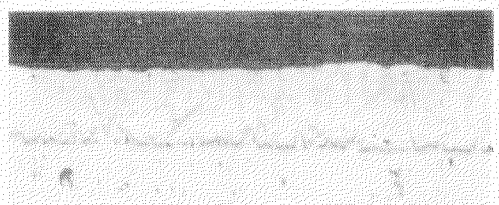
写真 2.4.6　腐食状況



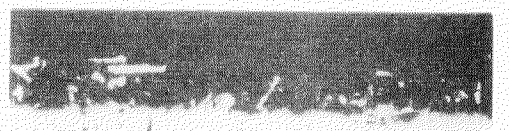
流速 0 m/sec



流速 0 m/sec



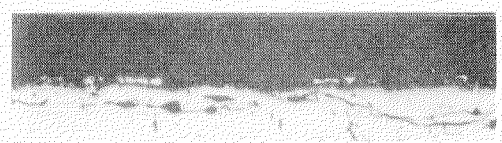
流速 1.5 m/sec



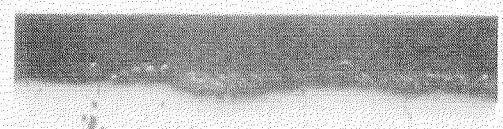
流速 1.5 m/sec



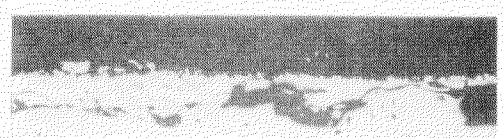
流速 2 m/sec



流速 2 m/sec



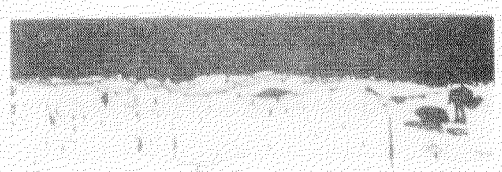
流速 3 m/sec



流速 3 m/sec

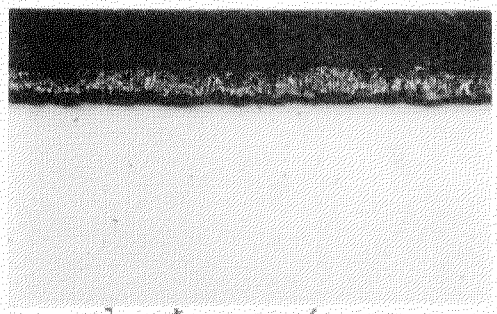


流速 4 m/sec
(50°C)

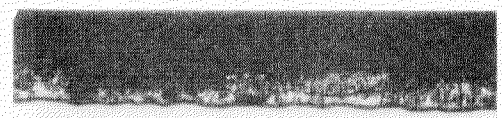


流速 4 m/sec
(80°C)

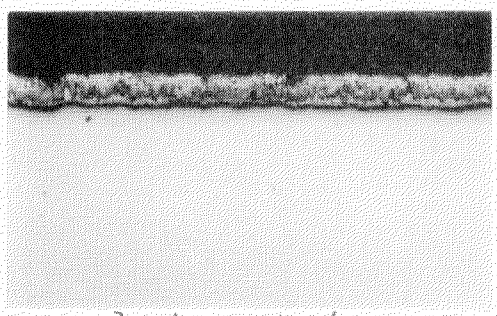
写真2.4.7 Aℓメッキ材の断面 ×100



流速　0 m/sec



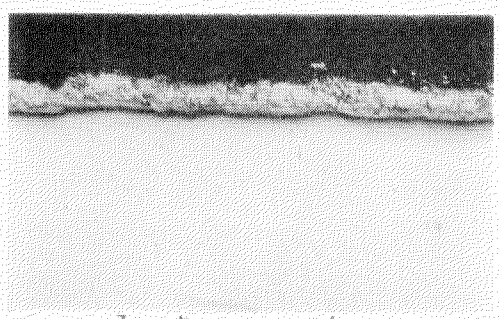
流速　0 m/sec



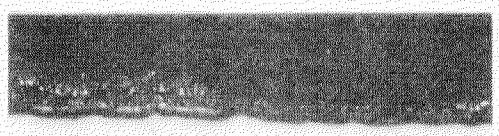
流速　1.5m/sec



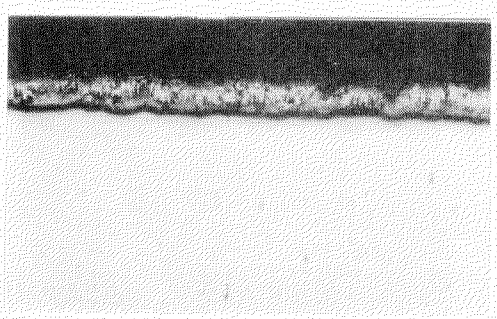
流速　1.5 m/sec



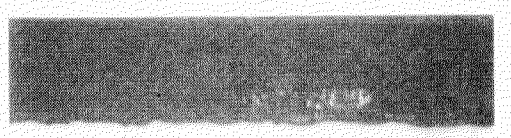
流速　2 m/sec



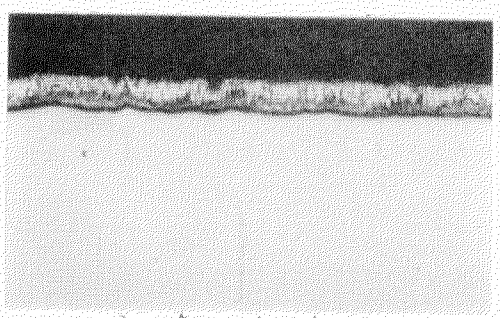
流速　2 m/sec



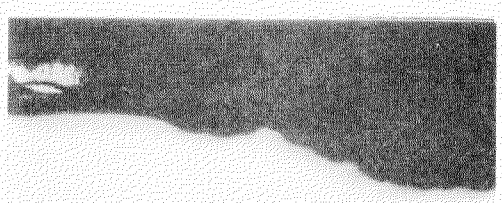
流速　3m/sec



流速　3 m/sec

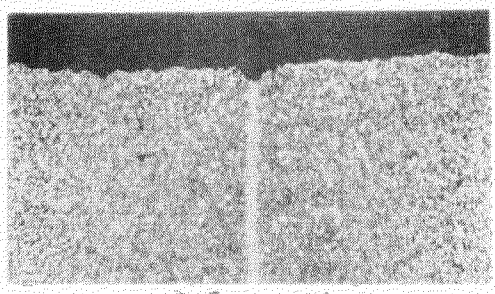


流速　4m/sec
(50°c)

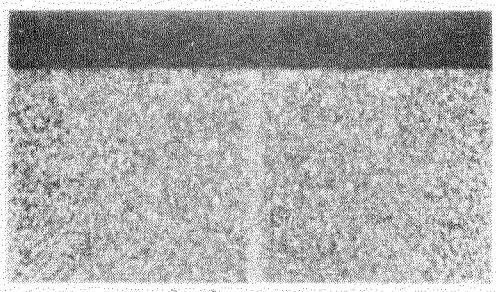


流速　4 m/sec
(80°c)

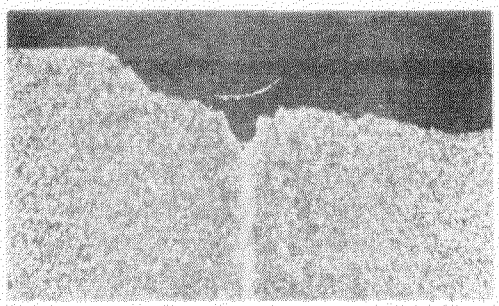
写真 2.4.8　Znメッキ材の断面　×100



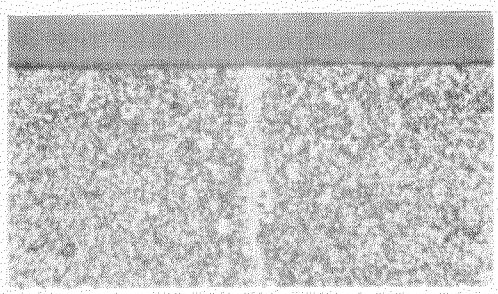
流速 0 m/sec



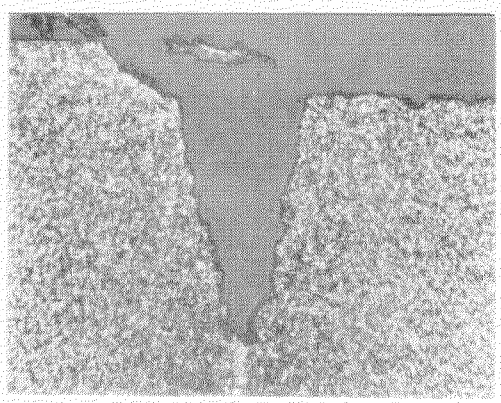
流速 1.5 m/sec



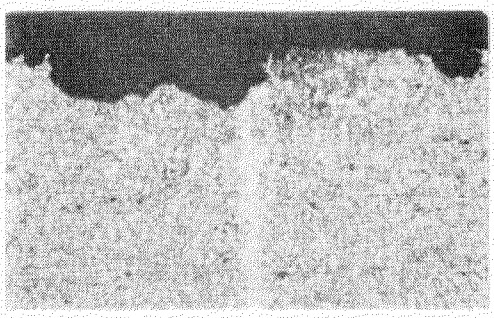
流速 2 m/sec



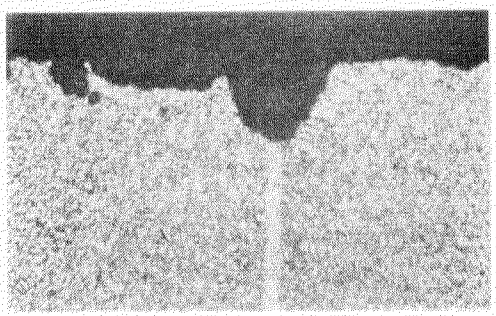
流速 3 m/sec



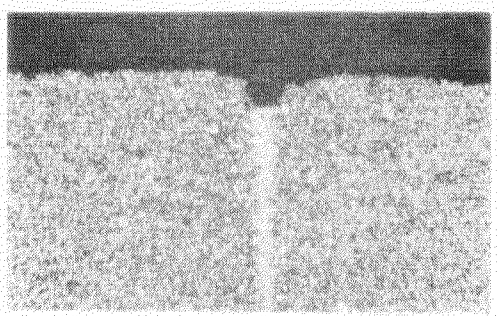
流速 4 m/sec
(50°C)



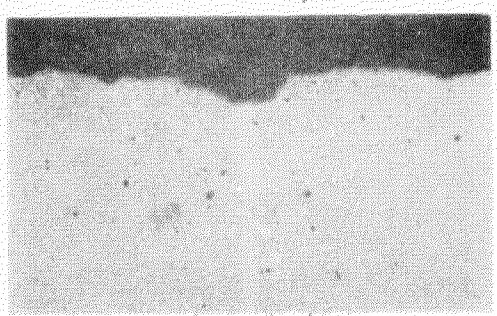
流速 0 m/sec



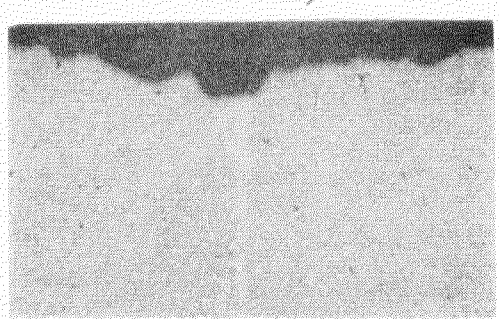
流速 1.5 m/sec



流速 2 m/sec

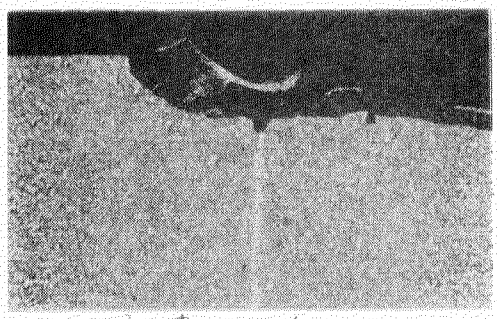


流速 3 m/sec

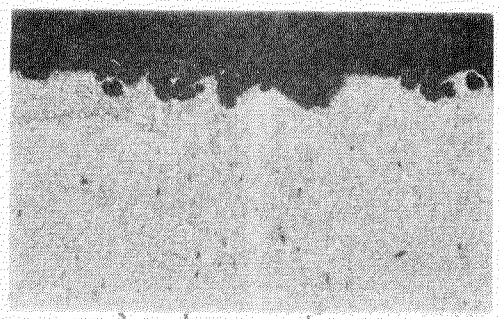


流速 4 m/sec
(80°C)

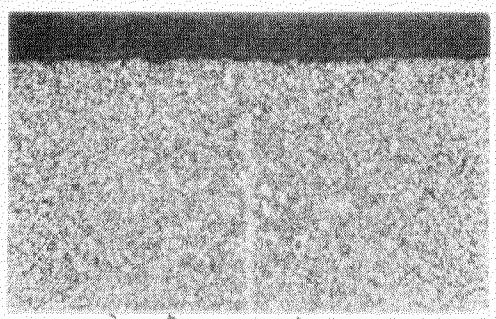
写真 2.4.9 電縫鋼管（A.W.）溶接部の断面 ×50



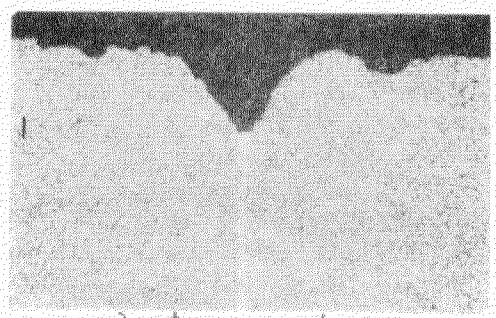
流速 0 m/sec



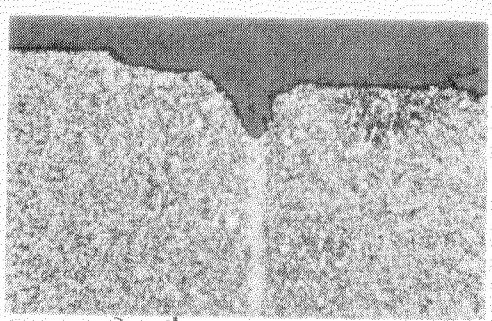
流速 0 m/sec



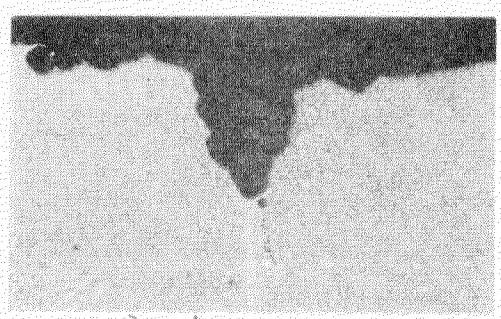
流速 1.5 m/sec



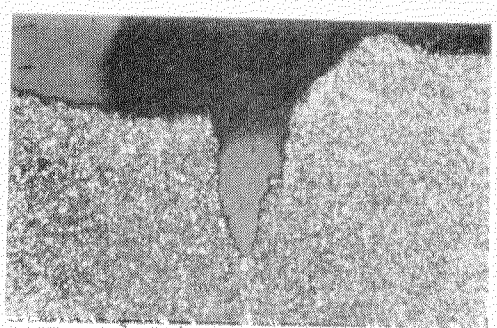
流速 1.5 m/sec



流速 2 m/sec



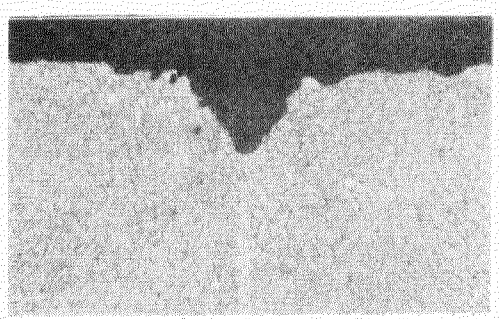
流速 2 m/sec



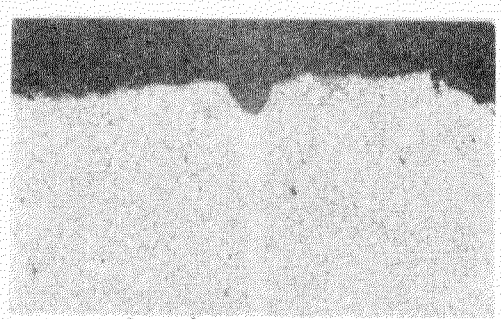
流速 3 m/sec



流速 3 m/sec

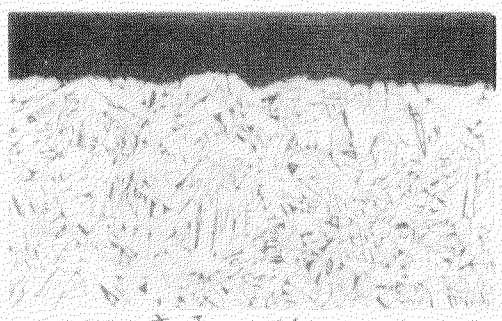


流速 4 m/sec
(50°C)

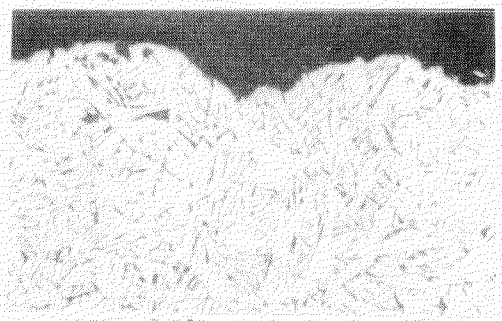


流速 4 m/sec
(80°C)

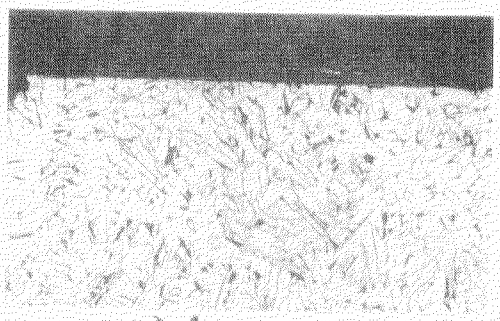
写真 2.4.1 0　電縫鋼管（S.A.）溶接部の断面　×5 0



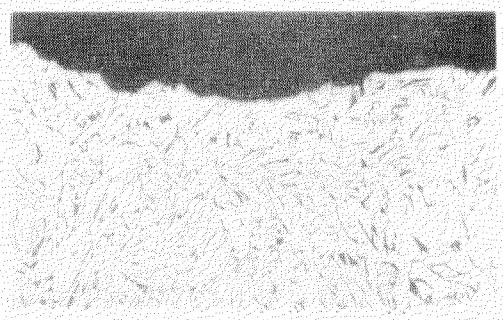
流速 0 m/sec



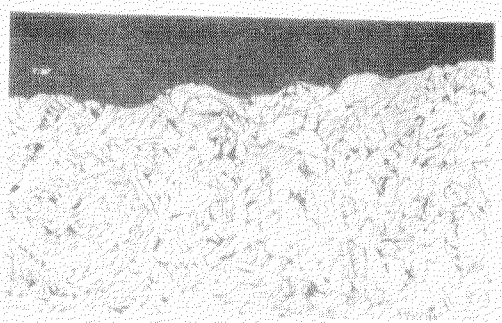
流速 0 m/sec



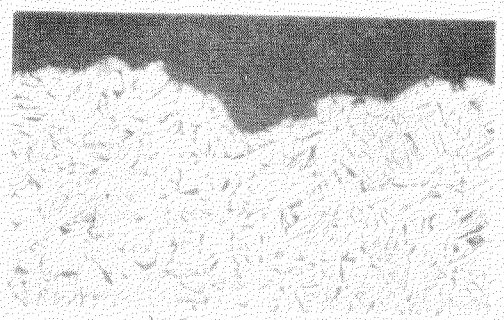
流速 1.5 m/sec



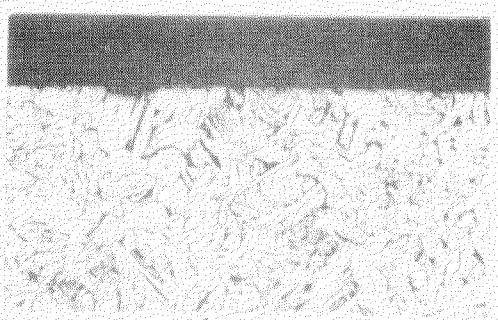
流速 1.5 m/sec



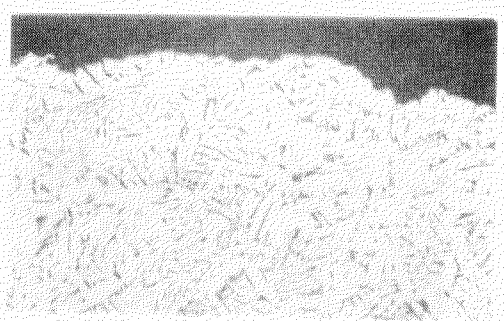
流速 2 m/sec



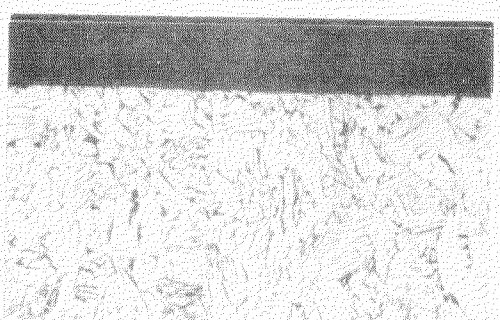
流速 2 m/sec



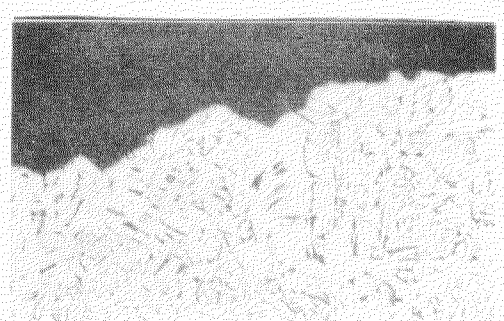
流速 3 m/sec



流速 3 m/sec



流速 4 m/sec
(50°C)



流速 4 m/sec
(80°C)

写真 2.4.1.1　鍛接鋼管溶接部の断面　×50

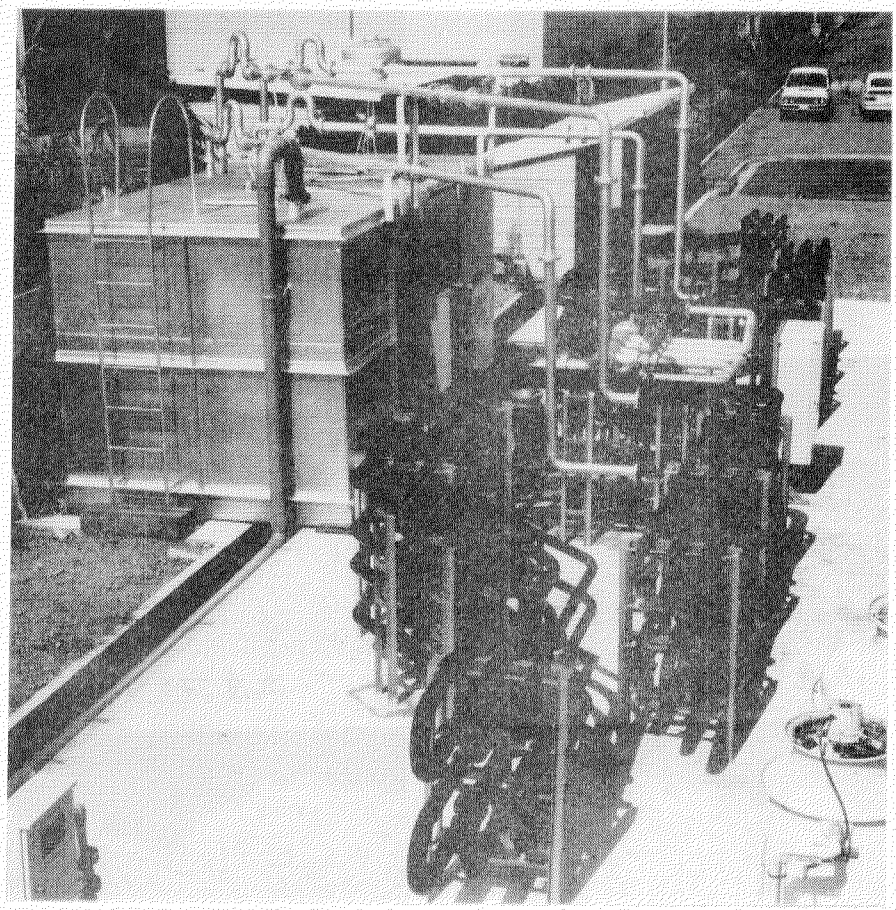


写真２．４．１２　海水管腐食試験装置外観

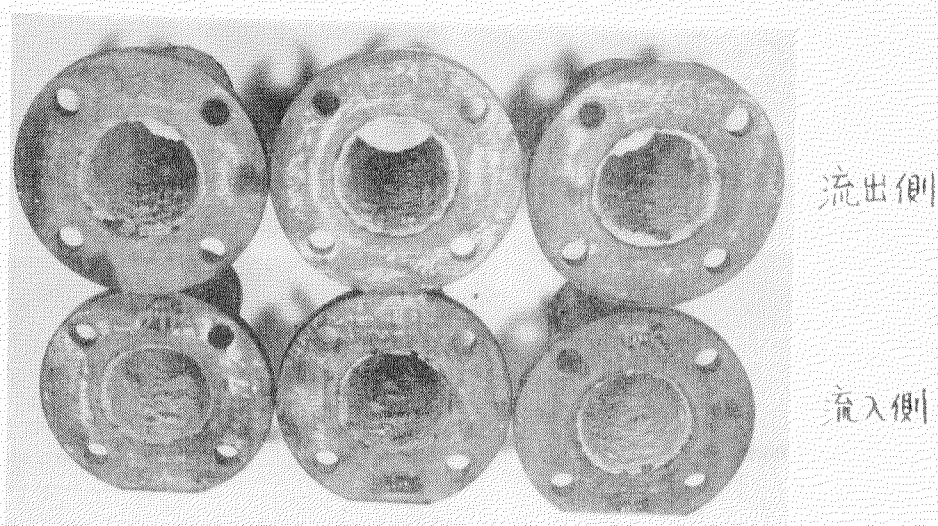


写真２．４．１３　酸洗前のフランジ近傍の状況
（電縫管８０Ａ，差込フランジ）

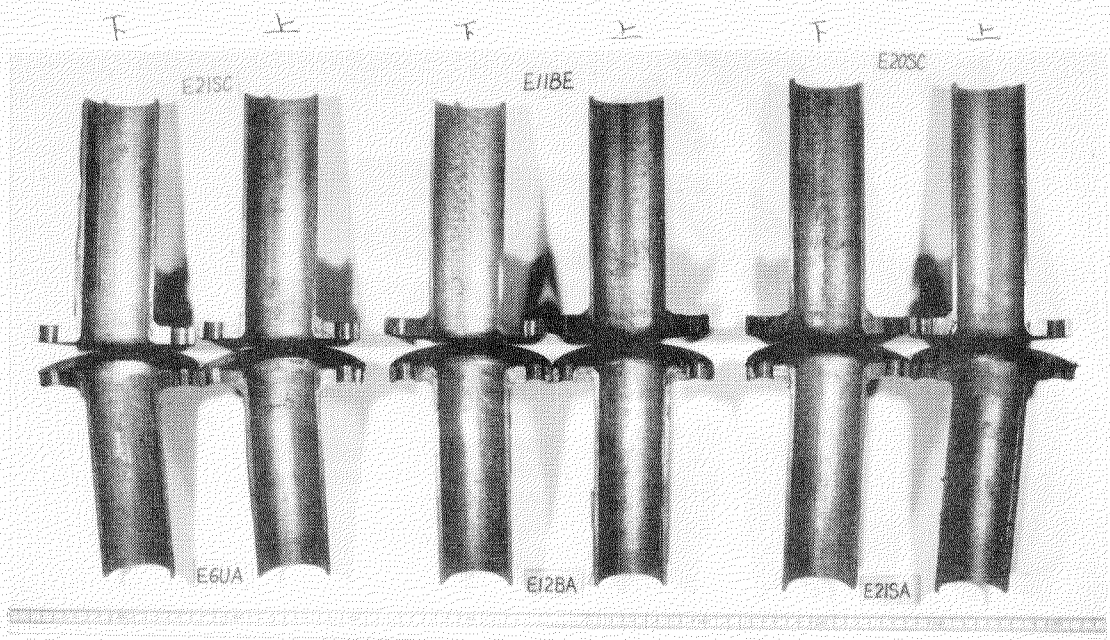


写真２.３.１４　酸洗後のフランジ近傍の状況

（電縫管５０Ａ，差込フランジ）

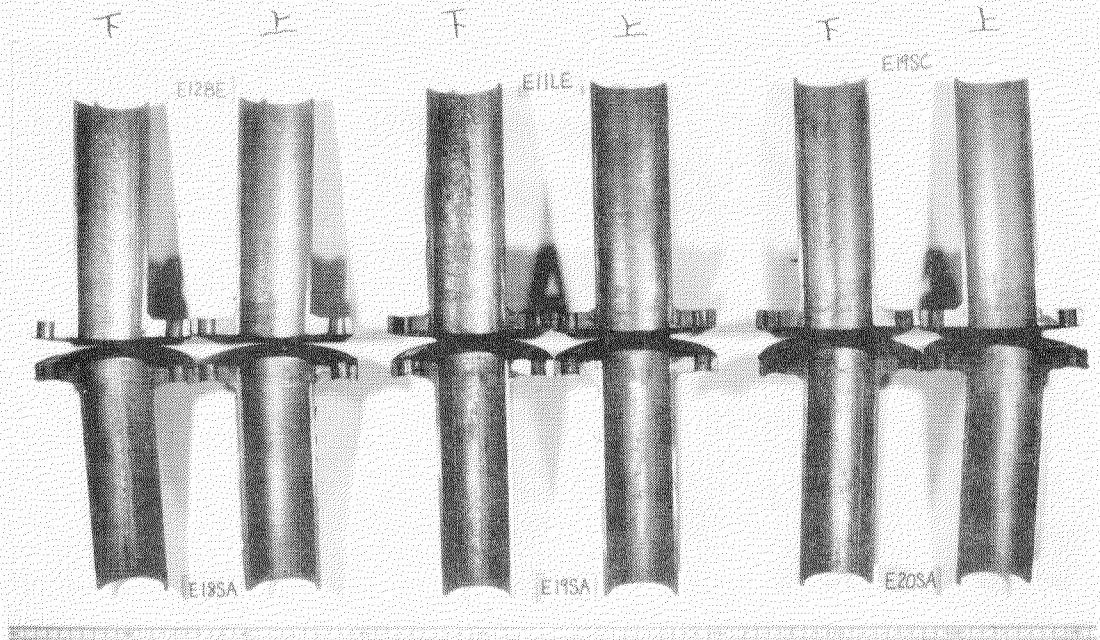


写真２.４.１５　酸洗後のフランジ近傍の状況

（電縫管５０Ａ，開先フランジ）

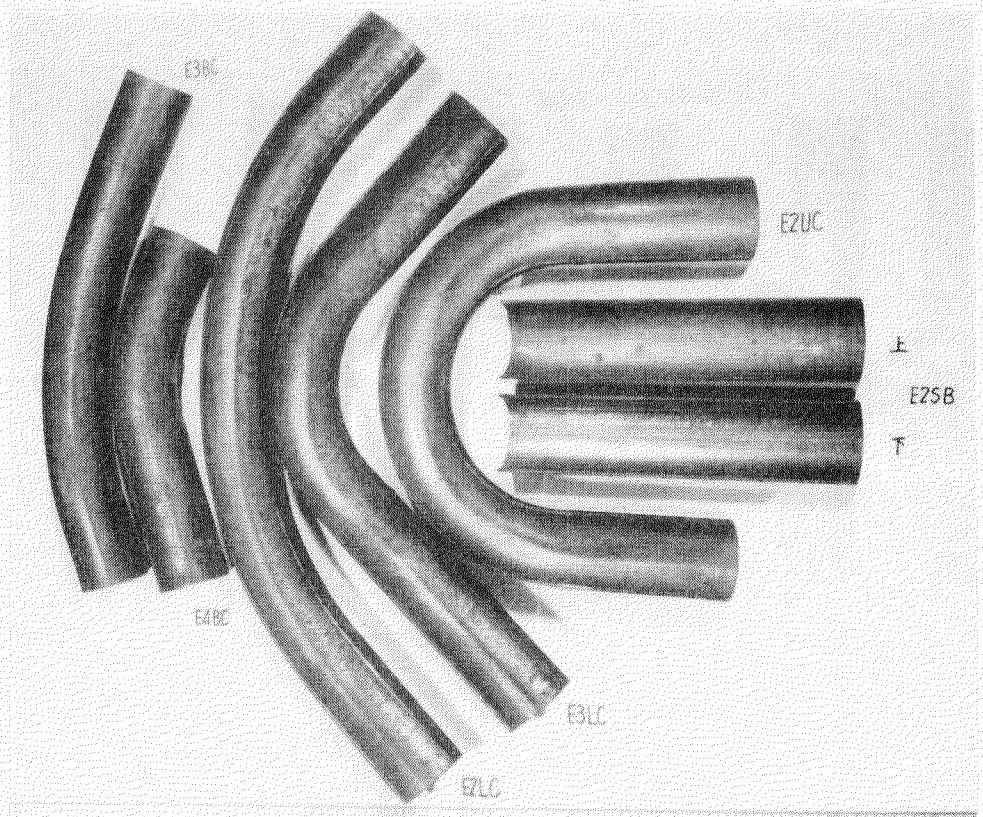


写真２．１．１６　酸洗後の電縫管（８０Ａ）の内面状況

（海水は符号側から流入する）

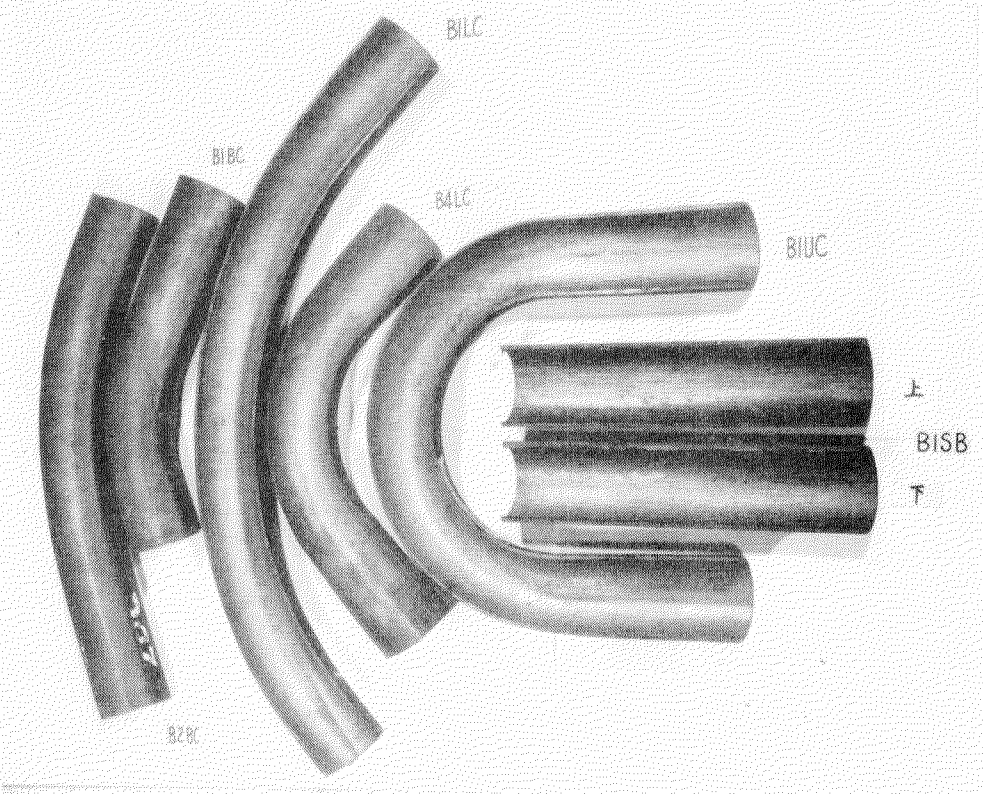


写真２．４．１７　酸洗後の鍛接管（８０Ａ）の内面状況

（海水は符号側から流入する）

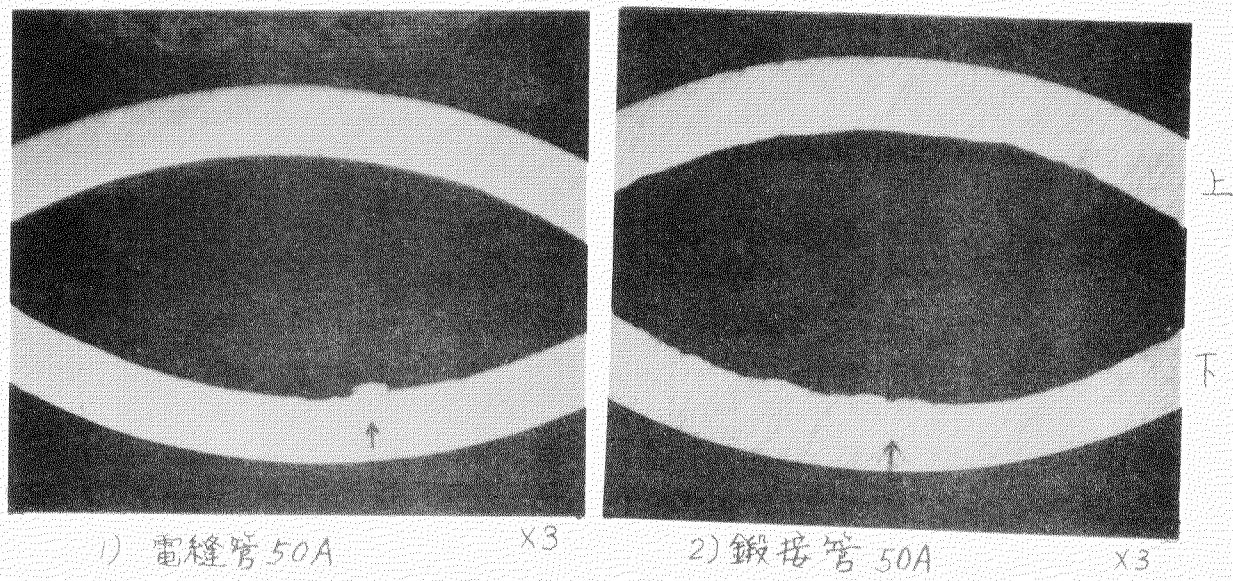


写真 2.4.18　試験管断面写真

（↑印が接合部）

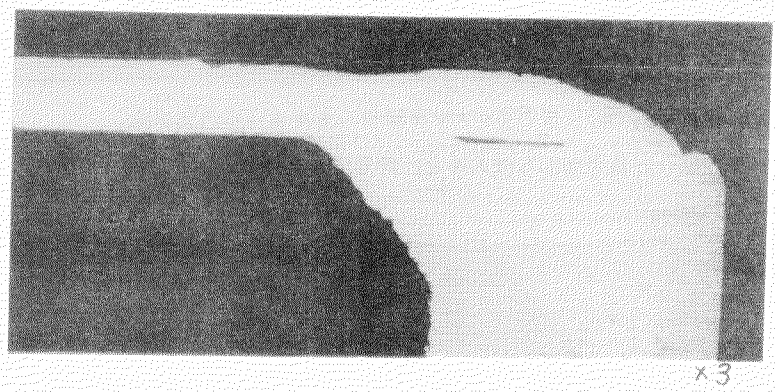


写真 2.4.19　フランジ部近傍の断面写真

（鍛接管 50A，差込フランジ，パッキンバリあり）

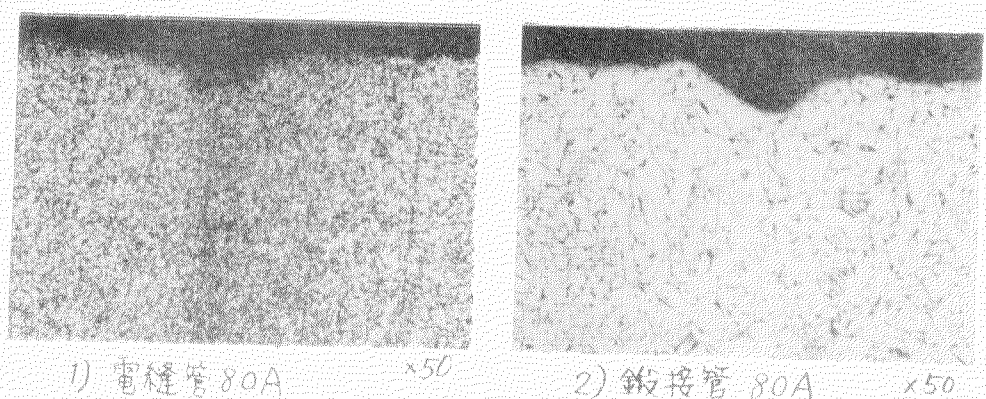


写真 2.4.20　接合部近傍の腐食

（フランジ面より 2.5㎜離れた部分）

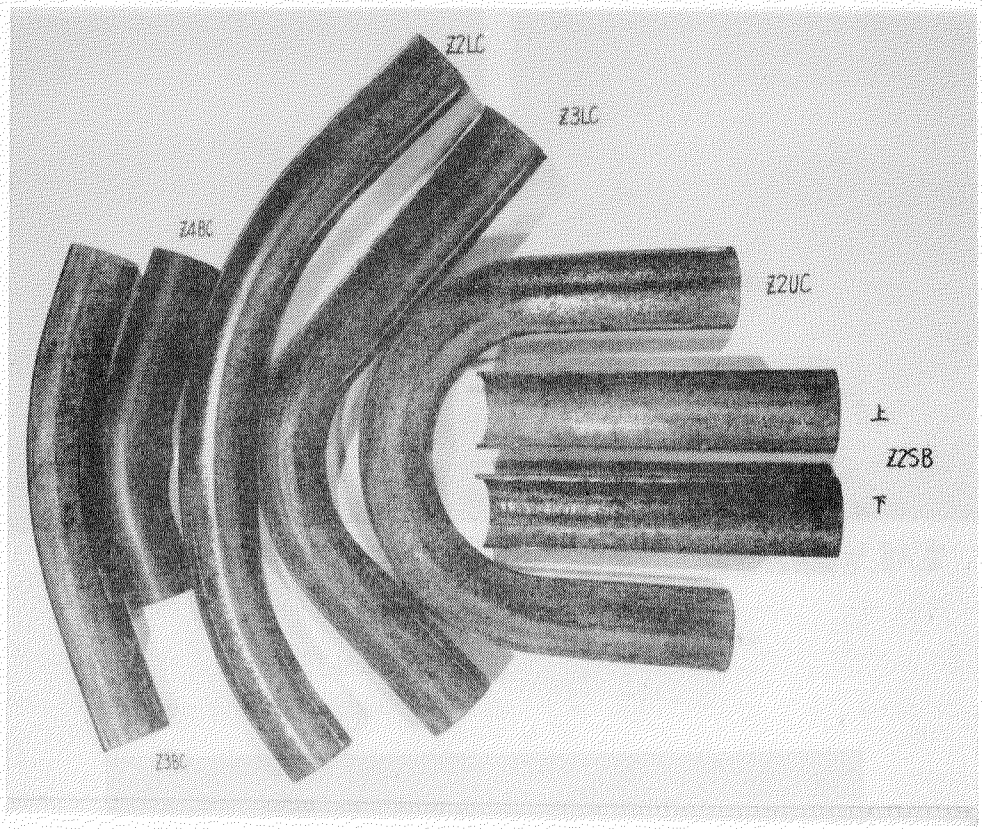


写真 2.4.2.1　腐食生成物除去後のZnメッキ鋼管（８０Ａ）の内面状況

（海水は符号側から流入する。符号Ｚ４ＢＣのパイプは誤って酸洗したもの）

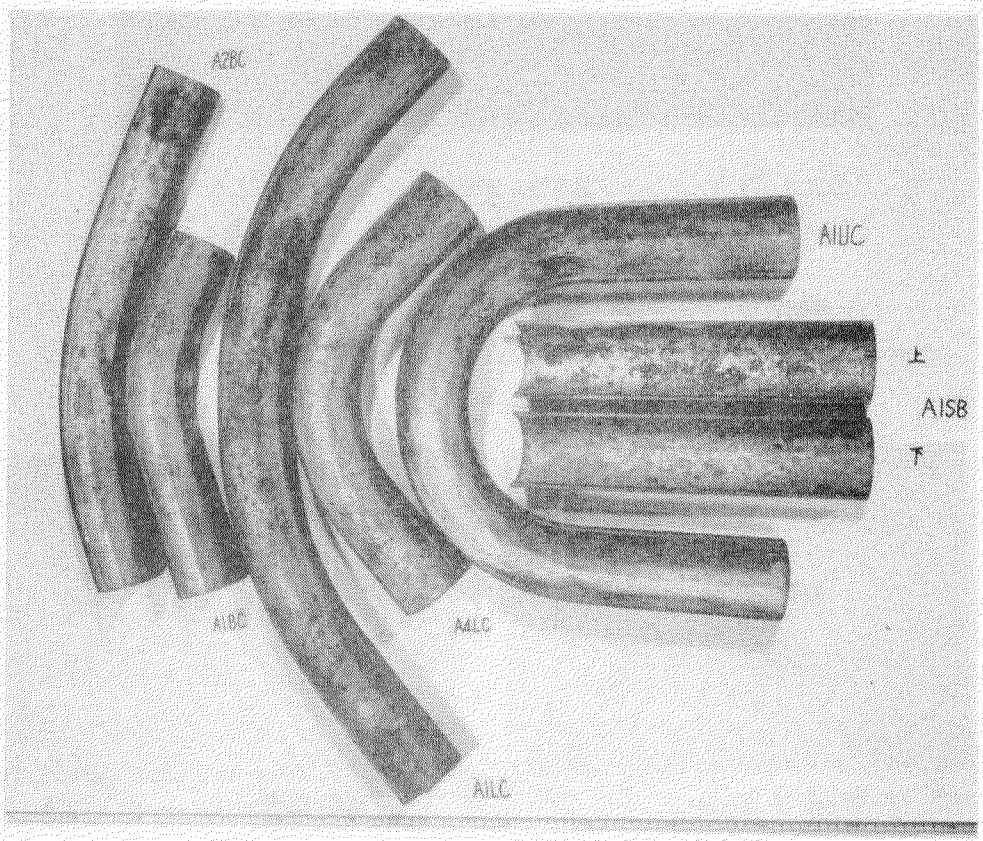
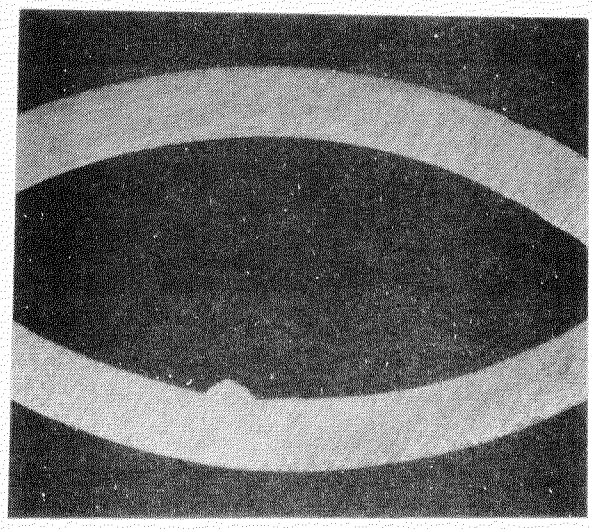
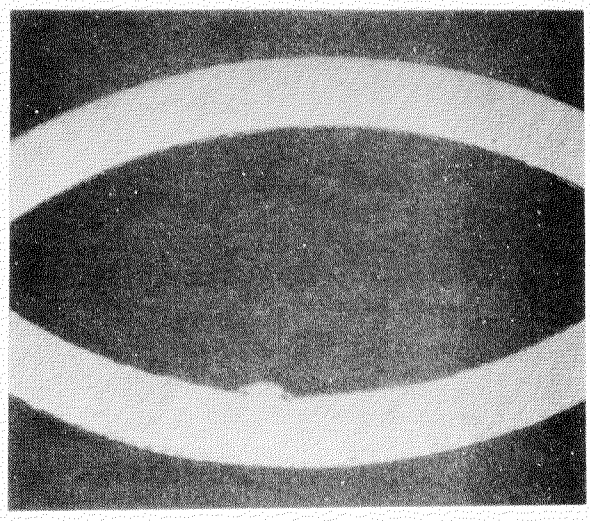


写真 2.4.2.2　腐食生成物除去後のAℓメッキ鋼管（８０Ａ）の内面状況

（海水は符号側から流入する）

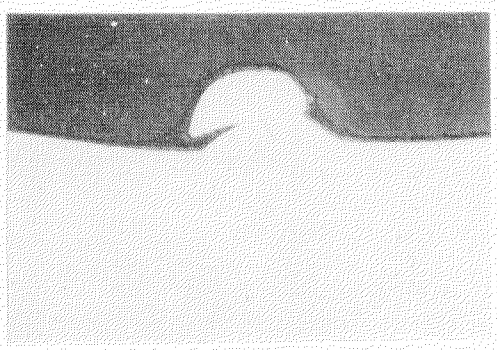


1）Znメッキ鋼管50A　×3

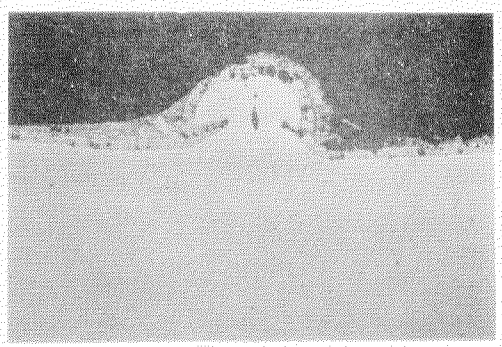


2）Aℓメッキ鋼管50A　×3

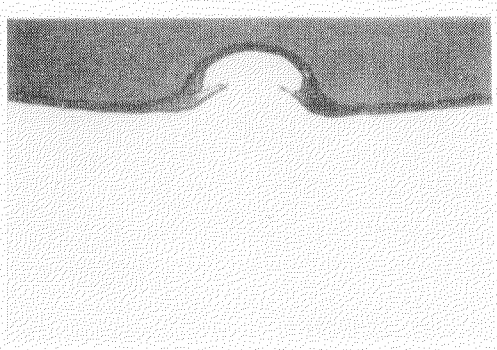
写真2.4.23　メッキ鋼管の断面写真



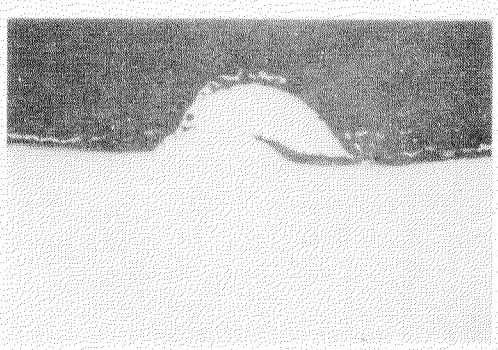
1）試験前のZnメッキ状況　×10



3）試験前のAℓメッキ状況　×10



2）試験後のZnメッキ状況　×10



4）試験後のAℓメッキ状況

写真2.4.24　メッキ膜付着状況（80A）