

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 5 0 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49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協会が第146研究部会においてとりまとめたものである。

第146研究部会委員名簿

(敬称略, 順不同)

部会長	佐山昭彦(川崎汽船)		
	網矢勉(山下新日本汽船)	石津善雄(日本鋼管)	
	岩田昌男(大阪商船三井船舶)	岩田省治(三菱重工業)	
	植田昭二(三菱重工業)	小野賢一(ジャパン・ライン)	
	国広敏之(日立造船)	近藤莊一(石川島播磨重工業)	
	沢山武(三菱重工業)	重野隼太(中川防食工業)	
	陣駒美登(佐世保重工業)	須永正人(川崎重工業)	
	平田栄(三井造船)	吉田真(日本郵船)	
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)	賀田秀夫	
	翁永一彦(船舶技術研究所)	桑田稔(笹倉機械製作所)	
	北野三夫(出光タンカー)	小吹泉(佐野安船渠)	
	小林豊治(科学技術庁)	佐武二郎(住友金属工業)	
	坂本進(日本ペイント)	竹田征雄(日本海事協会)	
	佐藤義一(函館ドック)	瀬尾正雄	
	諏訪部伝司(神東塗料)	西岡正美(造船工業会)	
	染矢博文(三保造船)	村上豊(三井造船)	
	外原利彦(日輪ゴム工業)	弘田孝輔(日本郵船)	
	森川卓(日本船主協会)		

目 次

1. ま え が き	1
2. 4 9 年度実施状況報告	2
2.1 就航船のアンケートによる実態調査	2
2.1.1 調 査 の 目 的	2
2.1.2 調 査 要 領	2
2.1.3 実態調査実施船	2
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 の 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	12
2.3 新造船就航時からの追跡調査研究	28
2.3.1 調 査 の 目 的	28
2.3.2 調査実施方案	28
2.3.3 実 施 対 象 船	28
2.3.4 調 査 結 果	28
2.3.5 調査結果の考察	34
2.3.6 ま と め	35
2.4 実験室基礎研究	46
2.4.1 実験室基礎研究の目的	46
2.4.2 回転翼車型腐食試験装置の概要	46
2.4.3 試 験 方 法	46
2.4.4 試験結果および考察	47
2.4.5 ま と め	49

1. ま え が き

船舶の補修工事費節減を図るため諸管材料の腐食対策がとりあげられ過去何回かこの実態調査を行い、究明を図ってきたがまだ十分な目的を達していない。

そこで1 昨年、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より計画的な腐食の実態追跡調査研究の必要性が提唱され、昭和48年度より第146 研究部会「諸管材料腐食に関する調査研究」として4 年継続にて船会社、造船会社および関連会社が協力し、この調査研究に取り組むことになり、本年度（昭和49年度）で第2 年目を迎えた。たまたま調査期間中に石油パニックに端を発した消費経済のあり方が問題となったが、省資源の面から本研究調査の重要性を十分認識して今後作業を進めたいと考えている。

本研究調査は計画的・効果的に推進するため次の三項目から成り立っている。

- (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。

2 年目を迎えた本年度（昭和49年度）はいよいよ本研究調査が軌道に入ったと云え、実験室での回転翼車型腐食試験装置による基礎調査、就航船のアンケート調査および開放調査、新造船就航時よりの追跡調査を実施した。この結果、電縫鋼管についての腐食問題等多くの腐食実態の究明に必要なデータを入手することが出来たので当初設定の昭和50年度以降の調査計画により、この究明を続ける予定である。

2. 49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 調査要項

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24隻、266件で対象船は表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	重量吨数	船 種	主 機		建 造	
						場 所	竣工年月日
◎ ジャパンライン	ジャ パ ン カ ン ナ	210,243 ^{KT}	タ ン カ ー	T	36,000 ^{PS}	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	鉤 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 界	45. 3.20
	笠 木 山 丸	117,571	鉤 石	D	22,400	三 菱 広 島	45.11.30
	三 船 三 丸	123,553	鉤 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	鉤 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 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 1 中 央 (M.O)	び す け い 丸	101,723	鉤 油	D	21,600	石 播 相 生	44. 5.23
	鹿 島 丸	120,174	鉤 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	鉤 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	鉤 油	D	18,400	三 菱 広 島	43. 9.30
	富 貴 丸	104,475	鉤 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

船 主	船 名	重量吨数	船 種	主 機		建 造	
						場 所	竣工年月日
昭和海運 (N.Y.K)	健 昭 丸	KT 115,340	徹 積	D	PS 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 界	45. 7.24
	日 鉦 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
	春 日 井 丸	42,212	チ ッ プ	D	11,600	日 立 舞 鶴	45. 6.25

表 2.1.2 49 年度アンケート調査対象船

船 名	調 査 時 期	主 要 航 路	調 査 件 数
ジ ャ パ ン カ ン ナ	S 49. 2.13 ~ 6. 6	PG-U.K.C	10
ご う る で ん あ ろ う	S 48.12. 1 ~ S 49. 4.20	日本/北米	6
ジ ャ パ ン ガ ラ ン サ ス	S 48.12.	日本/PG	1
海 燕 丸	S 49. 1.11 ~ 2. 4	日本/PG	4
能 登 丸	S 49. 1. 5 ~ 9.26	カリブ/西アフリカ/ガルフ	12
伏 見 丸	S 48.12.31 ~ S 49. 5. 1	紅 海	8
高 峯 丸	S 49. 4.22 ~ 10.29	千葉/シンガポール/ロッテルダム	11
加 賀 丸	S 49. 9.17 ~ 12. 7	地 中 海	16
じ ぶ ら る た る 丸	S 49. 5.10 ~ 8.22	日本/ブラジル カリブ海	11
富 久 川 丸	S 48.12.31 ~ S 49. 5.24	オーストラリア/カナダ	16
飛 鳥 川 丸	S 49. 3. 5 ~ 9.18	日本/PG	6
く い ん ず う え い ぶ り っ じ 丸	S 48. 7.16 ~ S 50. 1. 6	P. S. W	43
鹿 島 丸	S 49. 4. ~ 8.	和歌山/ダンピア	6
ぶ り す と る 丸	S 49. 1.26 ~ 1.30	ベルシャ湾/ヨーロッパ	3
紀 邦 丸	S 49. 2. 7 ~ 12.16	PG/ダーバン	15
大 嶋 丸	S 49. 6. 8 ~ 6.10	日本/ベルシャ	2
東 米 丸	S 49. 4.27 ~ 9. 2	日本/N.Y	7
新 鶴 丸	S 48. 7.23 ~	日本/オーストラリア	1
健 昭 丸	S 49. 7.10 ~ 11.26	福山-オーストラリア	8
日 産 丸	S 49. 9.10 ~ 9.27	遠 洋	4
邦 昭 丸	S 49. 6. 4 ~ 6.25	中 近 東	10
さ ま ら ん 丸	S 49. 4.11 ~ 9. 9	日本/インドネシア	28
第 8 と よ た 丸	S 48. 9.26 ~ S 49.10. 1	USAガルフ	14
水 戸 丸	S 48. 4.30 ~ S 49. 4	USAガルフ	24
			計 266

表2.1.3 アンケート集計結果（項目別）

項目	内 訳	件数	比率 %	項 目	内 訳	件数	比率 %	項 目	内 訳	件数	比率 %
使用期間	0 ～ 12か月	4	1.6	呼び	15	2	0.8	腐食状況	無し	56	44.1
	24か月	8	3.0		20	4	1.6		有り	71	55.9
	36か月	63	24.8		25	7	2.8		貝類	8	
	48か月	65	25.6		32	18	7.1		海藻類	6	
	60か月	45	17.7		40	35	13.8		泥	35	
	72か月	44	17.3		50	20	7.9		シラ	4	
	84か月	5	2.0		65	18	7.1		ミ	18	
	96か月	3	1.2		80	12	4.7		その他	1	
	96か月～	17	11.0		90	4	1.6				
1. 発見経緯	破孔	104	41.1	3. 配管仕様	100	26	10.2	異物の堆積量	全面	5	
	漏洩	145	57.3		115	2	0.8		多小点	36	
	膨出	3	1.2		125	23	9.1		一部	8	
	開放	1	0.4		140	1	0.4		多小点	0	
					150	18	7.1		局所	0	
	1. 冷却海水	156	61.9		165	5	2.0		多小点	16	
	2. 他の常用海水	51	20.2		175	1	0.4		異常	3	
	3. ビルジ・バラスト等	10	4.0		200	26	10.2		剥離	68	27.0
	4. 蒸気・排気	19	7.5		250	13	5.1		塗装	21	8.3
	5. 作動制御用	6	2.3		265	0	0		発錆	88	34.9
2. 系統	6. 蒸溜水	2	0.7	管 径	300	15	5.9	5. 外部状況	ラギング状況	46	18.3
	7. その他ドレン	8	3.2		350	2	0.8		良好	16	6.3
					400	2	0.8		不良	11	4.4
	水 平 管	96	37.5						無し	2	0.8
	立 上 り 管	97	37.9		鋼 電 鋼 管	36	14.6		有り	244	98.8
	傾 斜 管	22	8.6		継 目	164	66.7		主機停止	0	
	その他枝付	30	11.7		無 銅 管	31	12.6		主機減速	3	1.2
	立体曲り管	11	4.3		その他の	15	6.1		出港遅延	0	
	直 管 部	122	70.9		無 処 理	40	16.4		荷役支障	0	
	曲 管 部	38	22.1								
配管				管材質				6. 運航障害			
場											

所	分岐管 支金部 ねじ込	9 1 2	5.2 0.6 1.2	内面処理	亜鉛めっき アルミニウム 合成ゴムライニング その他	200 0 1 4	81.6 0 0.4 1.6	7. 補修処理	新切当肉接内面パその他 替替接溶盛溶着再処 理掛の	73 13 24 75 28 1 40 7	28.0 5.0 9.2 28.7 10.7 0.4 15.3 2.7
部	非溶接部 溶接部 電綫シーム部 フレンジ溶接部 スリーブ溶接部 枝付部 突合わせ溶接部	36 147 47 86 0 10 9	10.7 43.9 14.0 25.7 0 30 2.6	外面処理	無塗装 亜鉛めっき アルミニウム ラギング 塗装(その他)	12 182 2 11 59	4.5 68.4 0.7 4.1 22.2	8. 施工補修者	乗組員による補修 造船所或は業者による 修理	169 60	73.8 26.2
個	水平管上部 水平管下部 水平管横部 立上り管横部 曲管外周部 曲管内周部 傾斜管	43 36 43 85 17 14 4	17.8 14.9 17.8 35.1 7.0 5.8 1.7	検査方法	外観のみの検査 管取外しの上内面検査	63 53	54.3 45.7	9. 補修に要した労力	マ ン ・ ア ワ ー 30以上	84 51 17 17 17 2 4	
使用環境	機関室内床下 機関室内床上 暴露甲板部 多湿 高温	53 87 55 33 19	21.5 35.2 22.3 13.4 7.7	程度	表層 深層 貫通	10 33 200	4.1 13.6 82.3	10. その他	海洋微生物防止装 置 鉄イオン発生装 置	255 7 10	93.8 6.2
使用条件	連続使用 航海時のみ使用 停泊時のみ使用 その他間歇使用	66 138 67 22	22.5 47.1 22.9 7.5	範囲	局点全 無 有	161 37 41	67.4 15.5 17.1		腐食影響なし 腐食影響なし 腐食影響なし	163 1 1	98.8 1.2
流体入口側の弁操作	全開 ／開 微開	221 30 3	87.0 11.8 1.2	腐食生成物	黒色 赤褐色 色	32 171 38 21	15.8 84.2		無 不 有	146 20 14 21	72.6 10.0 17.4

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

損傷した管の使用期間は3年から6年の間で全体の85%を占め、前年度に報告された3年以上から腐食損傷の多いことが裏付けられている。件数を該当する船の船令で除し、船別の発生件数をみると、3件以内が全体の70%をしめており、例外として22件というものもあった。

(2) 発見方法

大半が破孔と漏洩であり、後記の腐食形態、程度、範囲からみて局部腐食による流体の洩れによって損傷を発見したものと推察される。

(3) 系 統

冷却海水と常用海水系統の損傷が80%以上を占めており、その他の系統で数パーセントずつ発見されている。

(4) 場所および部位

大部分が直管部および曲管部であるが、スケッチ、所見などから判断すると、溶接部（フランジ、枝付、突合せ）のほか電縫管のシーム部等で約90%程度と圧倒的に多い。

配管では水平管と立上り管は同程度であるが、水平管は上部と下部では上部側の方がやや多い。

(5) 使用環境

使用環境では機関室内で約57%発見され、機関室内の床上の方が多い。暴露甲板部は約82%程度で機関室床下とほぼ同程度である。

(6) 使用条件

連続使用の場合に約23%発見されるが、残りは航海時のみ使用、停泊時のみ使用およびその他間歇使用となっている。

(7) 流体側の弁操作

弁の全開が圧倒的に多いことは前年度と同じである。スケッチおよび所見からみると、フランジ溶接部に起きているものもあり、弁操作によるものか、溶接による影響なのか判然としない。

(8) 管 の 材 質

電縫管が約67%で、継目無鋼管は約13%である。そのほか区別の判然としなかったと思われる鋼管とのみ記入されたものが約15%程あった。その他は銅およびアルミブラス管である。

(9) 内 面 処 理

亜鉛めっき管が約82%で最も多く、前年度と同じような傾向を示している。無塗装管はすべて蒸排気系統である。

(10) 腐食状況（形態、程度、範囲）

三項目から判断すると、大半は局部腐食により、貫通したものと考えられる。その原因についてはスケッチ、所見記事からみると溶接部に多く、またフランジ継手、曲管部など流体の乱流による影響も相当あるものと思われる。

(11) 腐 食 生 成 物

約80%の回答率であるが、前年度とほぼ同程度の84%の黒色ないし赤褐色の生成物であった。

(12) 異物の種類と堆積量

異物が報告されているのは全体の約28%で、その量も少なくアンケートの結果からでは異物の影響はないものと判断される。

(13) 外 部 状 況

暴露部で全体の約60%が発錆し、塗膜も約8%が剝離している。

(14) 運 航 障 害

主機減速が3件報告されているほかは障害はない。

(15) 補 修 処 理

新替と切替が全体の約33%で、その他肉盛溶接、当金溶接、接着剤、バンド掛けなどの局部補修が約67%で、ほぼ前年度と同じ傾向を示した。

(16) 補 修 施 行 者

乗組員による補修が約74%で、そのうち数件は乗組員による暫定修理している。また入渠後手直しされているものもかなりある。

(17) 補修に要した労力

費用として報告されたものは、32件であった。工数では最低0.25マン・アワーから最高120マン・アワーまでで大部分は6マン・アワー以下である。

(18) そ の 他

海洋微生物付着防止装置を装備した対象船が少ないが、報告されたものは17件あり、そのうち10件は腐食に影響ありと報告されている。鉄イオン発生装置を装備したものの2件あり、そのうち1件は腐食に影響を及ぼしている。

2.1.6 ま と め

今回のアンケート回収は件数で前年度の約3倍(266件)に達し、そのうち7船は48年度の未回収分が含まれている。

対象船24隻中半分が前年度と同一のもので、残りは別の船であった。今回の調査ではっきりしているのは、海水系統の管の腐食が約80%を占め、その他蒸排気管がこれに次いでいる。

海水系統の大部分は亜鉛めっき管で、就航後3乃至6年の間が最も多く約85%である。腐食管のうち約80%が局部腐食であった。腐食の部位は大部分が溶接部(フランジ、枝付、突合わせ、電縫、シーム部)にみられ、このことは前年度にも報告されている。腐食機構については更に今後の調査研究によって明らかにしていきたい。

亜鉛めっき管以外の防食材料に対する資料は少なく、合成ゴム、ライニング1件のみであるが、これらについても今後の実験室実験、就航船の開放調査、新造船の追跡調査での計画的な調査研究に期待する。

2.2 就 航 船 の 開 放 調 査 研 究

2.2.1 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腐食の実態、傾向を早期に把握するため就航船について、昭和48年度に引継ぎ開放調査を実施した。

2.2.2 調 査 実 施 要 領

開放調査実施に当たって、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」に基づき昭和48年度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 開放調査実施状況一覧表

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	調査迄の 経過月数	主 要 航 路	備 考
能 登 丸 (日 本 郵 船)	13 型 O (D)	日立 (築港)	S 49 5.19~5.25	9	74 ヶ月	日本 / 紅海	
富 久 川 丸 (川 崎 汽 船)	124 型 O (D)	日立 (堺)	S 49 7.29~7.31	7	47 ヶ月	日本 / オーストラリア 或は北米	
飛 鳥 川 丸 (川 崎 汽 船)	231 型 T (T)	川重 (神戸)	S 49 10.5~10.7	7	36 ヶ月	日本 / P . G	
新 鶴 丸 (山 下 新 日 本)	165 型 O (D)	三井 (由良)	S 49 10.17	8	37 ヶ月	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)	S 49 11.11~11.12	11	54 ヶ月	日本 / アメリカ	
笠 木 山 丸 (大 阪 商 船 三 井)	117 型 O (D)	三菱 (神戸)	S 49 11.27	9	47 ヶ月	日本 / オーストラリア	
高 岡 丸 (日 本 郵 船)	211 型 T (T)	三菱 (長崎)	S 50 1.28~2.11	8	45 ヶ月	日本 / P . G	
光 珠 丸 (山 下 新 日 本)	222 型 T (T)	佐世保	S 50 2.8~2.11	9	41 ヶ月	日本 / P . G	

(注) ジャパンオーキッド (ジャパンライン) , 天倉山丸 (大阪商船三井) の 2 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、取りまとめたものを以下各表に示す。

(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肉厚を標準肉厚と仮定して算出した腐食速度を系統別に取りまとめたものを表 2.2.3 に示す。

(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 に示し、スケール定性、定量分析方法を表 2.2.6 に示す。

(4) 甲板上蒸排気管の外腐食 (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 2.2.7 に示す。

(5) 甲板上作動及び制御用油圧系統発錆速度比較表

甲板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 2.2.8 に示す。

(6) 蒸留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 2.2.9 に示す。

2.2.5 調 査 結 果 の 考 察

開放調査は本船の入渠時を利用して入渠造船所が担当して実施したが調査管の数が限定されており、且つ管を装備した時の状態および腐食と密接な関連のある使用環境等についても把握不十分な点があるので今回の調査結果のみでは腐食に対する具体的な推定は難しい。しかし今年度は第 2 回目の開放調査であり、調査要領の統一、前年度のデータとの比較等により、除々に腐食の実態が明らかにされつつある。以下各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

管仕様が合成ゴム系被覆の場合

(a) 調査件数 7 件中 6 件は損傷なく良好であった。(写真 2.2.1 ~ 2.2.3)

ただし、F丸の場合、フランジ近傍で1件部分的(幅20mm×長さ100mm 1ヶ所)にネオプレンの剥離があり、また前年度と同様調査管以外の所でネオプレンの全面剥離事故(写真2.2.4)が発生しており、薬液の配合およびランニング前処理を含めた施工要領決定に当たって十分配慮する必要がある。

なお、調査7件中3件にフジボの付着(写真2.2.5, 2.2.6)が見られたが、ネオブレン表面への影響はないと思われる。

管仕様が亜鉛メッキ鋼管の場合

(a) 管装備時の管内厚が不明であり、正確な腐食量ではないが、当初の肉厚を標準肉厚と仮定して調査結果より破孔個所以外の腐食速度を算出して見ると次の通り。

(イ) ①主補冷却海水系統のとき	平均腐食速度	0.229 mm/year (S48年度0.22 mm/year)
	最大腐食速度	0.429 mm/year (S48年度0.40 mm/year)
(ロ) ② ①以外の常用海水系統のとき	平均腐食速度	0.141 mm/year (S48年度0.13 mm/year)
	最大腐食速度	0.453 mm/year (S48年度0.27 mm/year)

(b) 今回の調査データより、腐食の傾向として次のことが考察される。

(イ) 電縫鋼管のシーム部の溝食

写真2.2.7～2.2.13に示す如く、シーム部に顕著な溝食発生のもが多く見受けられた。①、②系統の電縫鋼管の調査件数は17件であり、このうちシーム部の腐食が顕著なものは11件あり、そのうち4件が破孔漏洩に到った。シーム破孔部の腐食速度は表2.2.3に示しているが、このシーム部の腐食速度の平均値は1.44 mm/yearとなっている。なお今年度より新替え管の一部に鍛接管をC丸に試験的に採用しており電縫鋼管との耐食性の比較も次年度の開放調査で行う予定である。

(ロ) フランジ溶接部及びエルボ溶接部の腐食

写真2.2.7, 2.2.10, 2.2.11に示す如く今回の調査においてもフランジ溶接部の溝状あるいはあばた状の腐食が数多く見受けられた。特にクーラー、弁、ポンプ等に直接接続しているフランジの内面はほとんどの管で腐食が発生していた。又、エルボ溶接部に関しても数件溝食の報告があった。

今後、さし込管フランジ内面溶接部の腐食に関しては、開放調査による、より詳細な観察と、実験室の基礎実験及び新造船の実船テストにより総合的に検討・究明する必要があると考えられる。

(2) ③ ①、②以外の海水系統(ビルジバラスト等)について

管仕様が亜鉛メッキ鋼管の場合

(a) 一部を除きほとんどの調査管が管内面、シーム部共に比較的良好であり、平均腐食速度0.098 mm/year (S48年度0.033 mm/year)、最大腐食速度0.282 mm/year (S48年度0.161 mm/year)と常用海水系統に比較してかなり小さな値となっている。ただしH丸のG.Sポンプ入口(写真2.2.14)及びJ丸ビルジ吸込管では、全面にあばた状の腐食が発生していた。

(3) ④甲板上蒸排気系統について

管外面の仕様がアルマ加工の場合

(a) 今回調査されたのは蒸気系統1件のみであったが、写真2.2.15に示す如く外面にやや変色がある程度で、すこぶる良好であった。

管外面の仕様が亜鉛メッキの場合

(a) 調査件数は排気系統2件のみであったが、写真2.2.15, 2.2.17, 2.2.19に示すようにかなりの腐食が発生している。

(b) C丸排気系統では写真2.2.17に示すように船側半面のみがかなりの腐食を呈しており、蒸気管輻射熱と曝露腐食条件との相乗作用によるものと推定される。

管仕様がベアーマタルの場合

(a) 調査件数は蒸気系統 1 件、排気系統 1 件の計 2 件のみであるが、両者共外面が著しく層状に腐食されている。

(写真 2.2.2 0)

(b) 腐食速度については表 2.2.7 参照。

管仕様が銅管の場合

(a) 調査件数は蒸気系統 1 件のみであったが、異常なくすこぶる良好であった。

(4) 甲板上作動及び制御油圧系統について

管仕様が外面塗装のみの場合

(a) 調査件数 5 件であったが、そのうち外面腐食の著しいもの 2 件(写真 2.2.2 1)、外面発錆軽度のもの 3 件であった。外面腐食の著しいものは風浪に直接さらされるもの、あるいは海水、雨水の滴下する環境に取付けられていると想定されるものであった。

(b) 甲板上の調査管の腐食については、取付位置、周囲環境が重要な要因となるため今後これらを含めより詳細な調査が必要であろう。

(5) 蒸留水系統について

管仕様が亜鉛メッキ鋼管の場合

(a) 調査件数は F 丸の 1 件のみであったが、表 2.2.9 に示すように経過月数 37 ヶ月で亜鉛メッキは全く消失している。

(b) 前年度の報告にも書かれているように蒸留水管に対する亜鉛メッキの効果は調査課題になっているので更に調査する必要がある。

管仕様がベアーマタルの場合

(a) 調査件数は I 丸の 1 件のみであったが、異状は認められなかった。

2.2.6 ま と め

前年度の調査結果との全般的な比較を行うにはデータ不足であるが、その傾向をみると、①、②、③の海水系統の亜鉛メッキ鋼管の平均腐食速度は前年度に比べやや増加している。これは亜鉛メッキの防食作用が劣ったことによるものと推定される。

また腐食破孔に関しては全すべて電縫シーム部の溝食が原因であり、今後鍛接管をも含め、直接事故につながる管シーム部及びさし込管フランジ内面溶接部の腐食の原因究明及び対策が重要な課題であろう。④の甲板上蒸排気系統に関しては前年度と同様アルマ加工管、銅管が良好であるのに対し、亜鉛メッキ鋼管、銅管(ベアー)の腐食が激しく、今後この系統に関しては外面防食の面から表面処理を十分検討する必要がある。⑤の甲板上作動及び制御用油圧系統に関しても外面防食を十分考慮する必要がある。

本年度の開放調査により、除々に腐食の傾向が明らかになりつつあるが、その原因に関しては推定段階にとどまり、今後実験室の基礎研究及び新造船での実船テストにより総合的に検討・究明して行く必要がある。

表 2.2.2 調査結果概要一覧表

注) 腐食形態の分類

良好……あばた状等腐食……10%以下(管内表面積にて)

軽微……"……10~50%(")

大……"……50%以上(")

シーム部腐食……腐食深さ管肉厚さの1/2以下

シーム部深層腐食……" 1/2以上

シーム部破孔……破 孔

No.	管 系 統	管 仕 様	調査件数	調 査 結 果 の 概 要	備 考
①	主補冷却海水系統	合成ゴム系被覆	6 件	良 好	一部ネオブレンの剝離したもの1件
		亜鉛メッキ鋼管	12 件	(1)全面及びシーム部の腐食大 (2)腐食速度及び腐食の概要は表 2.2.3 参照 (3)スケール分析結果は表 2.2.4, 5 参照	シーム腐食漏洩 3 件
②	① 以外の常用海水 系統 (サニタリー等)	合成ゴム系被覆	1 件	良 好	
		亜鉛メッキ鋼管	6 件	(1)全面及びシーム部の腐食大 (2)腐食速度及び腐食の概要は表 2.2.3 参照 (3)スケール分析結果は表 2.2.4, 2.2.5 参照	シーム腐食漏洩 1 件
③	①, ② 以外の海水 系統 (ビルジバラスト等)	亜鉛メッキ鋼管	11 件	(1)腐食は常用海水ラインより軽微, 詳細は表 2.2.3 参照 (2)スケール分析結果は表 2.2.4, 2.2.5 参照	
		鋼管(ベアー)	1 件	良 好	
④	甲板上蒸排気系統	アルマ加工管	1 件	良好(メッキ健全) 表 2.2.7 参照	
		銅 管	1 件	良 好	
		亜鉛メッキ鋼管	2 件	外面腐食著しい	
		鋼管(ベアー)	2 件	外面腐食著しい	
⑤	甲板上作動及び 制御用油圧系統	銅 管 (外面塗装のみ)	5 件	外面発錆状態	
⑥	蒸 溜 水 系 統	亜鉛メッキ鋼管	1 件	内面全面メッキ剝離状態	
		鋼管(ベアー)	1 件	良 好	
⑦	そ の 他 の 系 統	鋼管(ベアー)	1 件	良 好	E/R内排気管
合 計			51 件		

表 2.2.3 亜鉛メッキ鋼管の系統別管腐食速度比較表

(注) 腐食形態の分類は表 2.2.2 と同じ

船 名	系 統 No	系 統 名	調査時迄の減厚量 mm	総経過月数 ヶ月	推定腐食速度 mm/Y	備 考
B 丸	①	主機 T/C L.O. クーラー入口	max 1.2 mean 0.28	43	max 0.33 mean 0.078	破孔発生新替 ※破孔ヶ所の数値 1.17 mm/year
C 丸	①	T/G L.O.クー ラー入口	max 1.05 mean 0.77	36	max 0.35 mean 0.257	破孔発生新替 ※破孔ヶ所の数値 1.38 mm/year
C 丸	①	C.O.P.タービン L.O.クーラー入口	max 0 mean +0.27	36	max 0 mean ※+0.099	計測肉厚 4.37~3.9 標準 2.9 ※平均値より除外
H 丸	①	補助復水器入口	max 2.7 mean 2.02	54	max 0.6 mean 0.449	シーム部深層腐食
H 丸	①	L.O.クーラー海水 入口	max 2.181 mean 1.531	54	max 0.485 mean 0.34	破孔発生新替 ※破孔ヶ所の数値 1.58 mm/year
H 丸	①	D/G ジャケット クーラー入口	max 1.9 mean 1.07	54	max 0.422 mean 0.238	腐食大 シーム部腐食
I 丸	①	補助冷却海水ポン プ出口	max 2.2 mean 1.062	47	max 0.562 mean 0.271	軽微な腐食 シーム部腐食
I 丸	①	補助コンデンサー 冷却海水入口	max 1.9 mean 0.456	47	max 0.230 mean 0.116	シーム部腐食
J 丸	①	主冷却海水ポンプ 出口	max 0.4 mean +0.03	11	max 0.436 mean ※+0.036	軽微な腐食 計測肉厚 6.325~5.40 標準 5.8 ※平均値より除外
J 丸	①	補助冷却海水ポン プ入口	max 0.85 mean 0.173	14	max 0.729 mean 0.148	軽微な腐食
J 丸	①	主機エヤークーラ ー海水入口	max — mean —	14	max — mean —	腐食大 計測せず
J 丸	①	補助コンデンサー 冷却海水入口	max 0.925 mean 0.259	19	max 0.584 mean 0.164	腐食大 シーム部腐食
	①	平 均			max 0.429 mean 0.229	
B 丸	②	サニタリーポンプ 出口	max 0.45 mean 0.02	48	max 0.113 mean 0.005	良 好
B 丸	②	造水装置エゼクタ ーポンプ吸入	max 1.25 mean 0.173	48	max 0.312 mean 0.043	シーム部腐食
C 丸	②	造水装置入口	max 1.3 mean 0.353	36	max 0.433 mean 0.118	破孔発生新替 ※破孔ヶ所の数値 1.636 mm/year
C 丸	②	サニタリーポンプ 出口	max 0.25 mean +0.013	36	max 0.083 mean ※+0.004	良好 計測肉厚 4.2~3.6 標準 3.9 ※平均値より除外
I 丸	②	サニタリーポンプ 入口	max 1.2 mean 0.454	47	max 0.306 mean 0.116	シーム部腐食
J 丸	②	サニタリーポンプ 入口	max 1.35 mean 0.386	11	max 1.473 mean 0.421	腐食大
	②	平 均			max 0.453 mean 0.141	

船名	系統 No.	系 統 名	調査時迄の減厚量 mm	総経過月数 ヶ月	推定腐食速度 mm/Y	備 考
B 丸	③	ビルジポンプ出口	max 0.0 mean +0.27	48	max 0 mean ※+0.068	良 好 計測肉厚 4.95~4.2 標準 4.2 ※平均値より除外
B 丸	③	バラストエゼクタ - 駆動海水	max — mean —	48	max — mean —	良 好 計測せず
C 丸	③	ビルジセパレータ 出口	max 0.22 mean 0.02	36	max 0.073 mean 0.007	良 好
F 丸	③	ビルジ吸入管 (ビルジポンプ付)	max 0.3 mean 0.18	12	max 0.3 mean 0.18	良 好
H 丸	③	GSポンプ入口	max 1.9 mean 1.13	54	max 0.422 mean 0.251	腐食大
H 丸	③	GSポンプ出口	max 0.3 mean +0.63	54	max 0.07 mean ※+0.14	良 好 計測肉厚 8.3~6.8 標準 7.1 ※平均値より除外
I 丸	③	GSポンプ出口	max 1.4 mean 0.144	47	max 0.357 mean 0.037	良 好
I 丸	③	ビルジセパレータ 入口	max 0.4 mean 0.062	47	max 0.102 mean 0.016	良 好
I 丸	③	バラストポンプ出 口	max 0.4 mean 0.331	47	max 0.102 mean 0.085	良 好
J 丸	③	ビルジ吸入管	max 0.65 mean 0.063	7	max 1.114 mean 0.108	腐食大
J 丸	③	バラストポンプ出 口	max +0.1 mean +0.513	74	max ※+0.016 mean ※+0.083	良 好 計測肉厚 6.05~5.1 標準 5.0 ※平均値より除外
	③	平 均			max 0.282 mean 0.098	

表 2.2.4 スケール定量分析成績一覧表

船名	系統 /号	管 系 統 名	成分 管仕様	Ig loss	SiO ₂	Mgo	Cao	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CuO	ZnO	PbO	SO ₃ SO ₄	P ₂ Os	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	Mn	FeO	S	酸不 溶分	NiO	備 考
C 丸	①	T/G L.O.ク ラ入口	SGP gal	—	0.93	0.77	0.48	6787	6.71	0.10	0.10	0.05	1.93	0.23	0.58	0.02							
C 丸	①	C.O.P.タービン L.O. クラ入口	STPG33S gal	—	1.01	0.45	5.57	5110	1.38	2.24	1.241	0.36	1.37	0.30	1.01	0.04							
H 丸	①	主L.O. クラ 海水入口	STPG38 gal	132	2.00	0.88	0.27	81.7	0.23	0.14	0.45	0.01	1.39	0.30	0.57	0.03							
H 丸	①	D/Gジャケット クラ入口	STPG38 gal	165	10.1	0.38	0.06	66.2	0.83	0.18	2.73	0.02	0.89	0.30	1.28	0.09							
H 丸	①	補助復水器入口	STPG38 gal	190	0.68	0.40	0.10	732	0.15	0.03	5.22	0.20	3.09	0.41	1.09	0.03							
I 丸	①	補助冷却海水ポン プ出口	SGP gal	7.06	—	0.16	0.25	875	0.15	<0.1	<0.1	<0.1	4.42		0.90		1.54				0.56	<0.1	
I 丸	①	補助コンデンサー 冷却海水入口	SGP gal	122	—	0.31	1.73	80.0	0.15	<0.1	0.36	<0.1	6.81		0.71		3.45				0.72	<0.1	
I 丸	①	ジャケットクラ ー冷却海水入口	SGP ネオブレ	314	—	2.27	1.69	42.6	1.49	0.14	0.57	0.25	1.89		5.23		1.24				8.70	<0.1	
J 丸	①	主冷却海水ポン プ出口	SGP gal	1089	0.33	0.11	0.54	65.9	0.5	0.03	0.06	0.58		0.004	0.74	0.08				1.39			
J 丸	①	補助冷却海水ポン プ入口	SGP gal	1493	0.98	0.30	0.17	59.34	0.84	0.04	5.05	0.34		0.013	1.26	0.11				0.80			
J 丸	①	主機エヤークラ ー海水入口	SGP gal	1390	0.82	0.50	5.95	50.17	0.40	0.02	6.24	0.16		0.007	0.55	0.08				0.45			
J 丸	①	補助コンデンサー 冷却海水入口(No1)	SGP gal	1155	0.54	0.44	1.41	56.96	0.74	0.02	0.04	0.01		0.007	0.83	0.11				2.44			
J 丸	①	補助コンデンサー 冷却海水入口(No2)	SGP gal	982	1.01	0.65	1.49	58.32	0.84	0.02	0.56	0.01		0.011	0.94	0.16				1.35			
B 丸	②	サニタリーポン プ出口	SGP gal	145	1.18	0.40	0.49	74.9	0.91	0.02	4.19	0.047	<0.04 2.75	0.63	1.56	0.06							
B 丸	②	造水装置エゼクタ ーポンプ吸入	SGP gal	138	0.68	0.40	32	75.3	<0.2	0.048	0.56	<0.004 5.76	<0.04 5.76	0.59	1.24	0.034							
C 丸	②	造水装置入口	SGP gal	—	0.88	0.40	1.53	79.10	1.12	0.04	6.52	0.13	2.02	0.18	0.47	0.02							
C 丸	②	サニタリーポン プ出口	STPG38E gal	—	5.15	1.22	1.11	51.90	1.32	0.02	13.08	0.36	1.92	0.48	1.75	0.12							

I 丸	②	サニタリーポンプ 入口	STPG 38 gal	106	—	0.21	0.70	800	0.23	<0.1	202	<0.1	605	0.85		2.30		1.36	<0.1	
J 丸	②	サニタリーポンプ 入口	SGP gal	1106	0.31	166	202	5441	0.49	0.05	0.83	0.01		0.005	0.36	0.13		262		
F 丸	③	ビルジ吸入管 (ポンプ付)	STPG(#40) gal	36.38	360	0.58	0.71	4176	Tr	1.60	12.48	0.53	Tr	1.40	0.18	0.06			0.15	V ₂ O ₅ 184
F 丸	③	ビルジ吸入	SGP 無塗装	5401	—	0.97	0.80	2420	—	1.14	12.66	1.64	—	1.03	0.54	0.08			0.46	V ₂ O ₅ 109
H 丸	③	G Sポンプ入口	STPG 38 gal	169	0.36	114	4.38	728	0.07	0.06	0.37	0.02	10.3	0.12	0.89	0.03				
H 丸	③	G Sポンプ出口	STPG 38 gal	296	1.78	3.25	3.29	186	0.15	0.01	5.97	0.28	0.16	0.27	0.39	0.03				
I 丸	③	G Sポンプ出口	SGP gal	103	—	0.35	1.11	720	0.37	<0.1	9.09	0.16	4.00		0.77		0.97	1.56	<0.1	
I 丸	③	ビルジセパレータ ー入口	SGP gal	80.9	—	0.93	1.76	586	0.52	1.45	1.90	0.43	7.31		2.51		1.77	2.24	<0.1	油分 240
I 丸	③	バラストポンプ出 口	SGP gal	254	—	1.54	0.56	1.91	0.90	<0.1	6.22	1.63	2.61		0.93		0.79	0.14	<0.1	
B 丸	④	ウインドラス蒸気	SGP bare	51	0.58	0.60	0.31	915	<0.2	0.068	0.054	1.1	<0.04 1.15	0.31	0.05	<0.001				外 面
B 丸	④	ウインドラス排気	SGP gal	59	0.25	0.53	0.59	917	<0.2	0.049	0.59	0.004	<0.04 1.15	0.30	0.43	<0.001				外 面
C 丸	④	カーゴウインチ排 気	STPG 38 S gal	—	0.07	0.23	0.10	910.3	1.47	0.06	0.10	0.02	0.34	0.11	0.30	0.02				外 面
H 丸	④	補助復水器排気入 口	SGP	—	0.95	0.03	0.02	978	0.19	0.20	0.30	0.08		0.25	0.10	0.02		0.01		
J 丸	⑤	ウインドラス作動 油	STPG 38	1064	0.36	0.66	0.03	671.2	0.37	0.02	0.02	0.19		0.003	0.80	0.14				
F 丸	⑥	造水装置蒸留水ポ ンプ入口	SGP gal	110	—	0.004		918.2		0.87	4.00	0.33	Tr	0.20	Tr					

表 2.2.5 スケール分光定性分析成績一覧表

(注) スペクトルの強さ, +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 No.	管 系 統 名	成分 管仕様	Fe	Zn	Si	Ca	Mg	Al	Cu	Pb	Mn	Ti	Mo	V	Ni	Cr	Na	Sn	K	Ag	備 考
B 丸	①	主機 T/C L.O. ク ーラー入口管	SGP gal	+4	+2	+2	+2	+3	+2	+2	+	+2	+2	±	+	+	+2					
H 丸	①	L.O. クーラー 海水入口	STPG38 gal	+5	±	+3	+3	+3	+3	+3		+4	+3	+	±	+2	+3	+2				
H 丸	①	D/G ジャケットク ーラー入口	STPG38 gal	+5	±	+4	+3	+3	+4	+2		+	+2	+	±	+	+	+2				
H 丸	①	補助復水器入口	STPG38 gal	+5	+	+3	+2	+3	+3	+2	+2	+2	±	+	+	+2	+2	+3				
J 丸	①	補助冷却海水ポンプ 入口	SGP gal	+5	+4	+5	+2	+5	+3	+	+4	+3				+2	+					
B 丸	③	バラストエゼクター 駆動海水	SGP gal	+4	+4	+2	+3	+3	+2	+	+	+	+	±	+	+	+					
F 丸	③	ビルジ吸込管 (ポンプ付)	STPG(#40) gal	+4	+4	+2	+3	+2	+2	+2	+2	+	±	±	+3	+2	+		±			
F 丸	③	ビルジ吸込	SGP 無塗装	+4	+4	+	+3	+2	+	+2	+2	±	±	+	+3	+2	+		+			
H 丸	③	G.S. ポンプ入口	STPG38 gal	+5		+3	+5	+4	+3	+2	+	+3		+	±	+2	+2	+3				
H 丸	③	G.S. ポンプ出口	STPG38 gal	+4	+3	+3	+5	+5	+3	+	+3	+	+	±	±	±	+	不明				
J 丸	③	バラストポンプ出口	SGP gal	+4	+5	+5	+	+5	+3	+	+4					+	+					
C 丸	④	カーゴウインチ蒸気	SGP アルマー	+5	+	+2	+	+2	+3	+2	±	+2	+	±	±	±	+		±			(内面)
C 丸	④	カーゴウインチ排気	STPG38S gal	+	+5	+	±	±	±	+2	+	±							+			Cd Bi + ±
H 丸	④	補助復水器排気入口	SGP	+5	±	+2	+2	+2	+3	+3	+2	+3	3	+		+	+2	+				
F 丸	⑥	造水装置蒸留水ポン プ入口	SGP gal	+4	+4	+	+	+2	±	+2	+2	+	+	±	±	±	+		±			

表 2.2.7 甲板上蒸排気管の発錆速度比較表

船 名	管 仕 様	経過月数 ヶ月	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-)	48	100%		推定腐食速度 約 1.1 mm/Y	
B 丸	SGP (亜鉛メッキ)	48		100%		推定腐食速度 約 0.4 mm/Y
C 丸	SGP (アルマ加工)	36	0		0	
C 丸	STPG38S #40 (亜鉛メッキ)	36		50%		16.5%/Y 最大腐食速度 0.396 mm/Y
F 丸	銅 管	37	0		0	
F 丸	STPG38 #40 (-)	37		100% 最大減厚量 4.12 mm		推定腐食速度 1.34 mm/Y

表 2.2.8 甲板上作動及び制御用油圧系統発錆速度比較表

船 名	管 仕 様	経過月数 ヶ月	外面発錆 面積比率%	発錆速度 発錆率 %/Y	備 考
I 丸	STS38 (-)	47	87	22.2 %/Y	

表 2.2.9 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 ヶ月	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		
F 丸	SGP 亜鉛メッキ	37	蒸溜水 ポンプ入口	0.12 m/s	40℃	航海中常時	0 %	

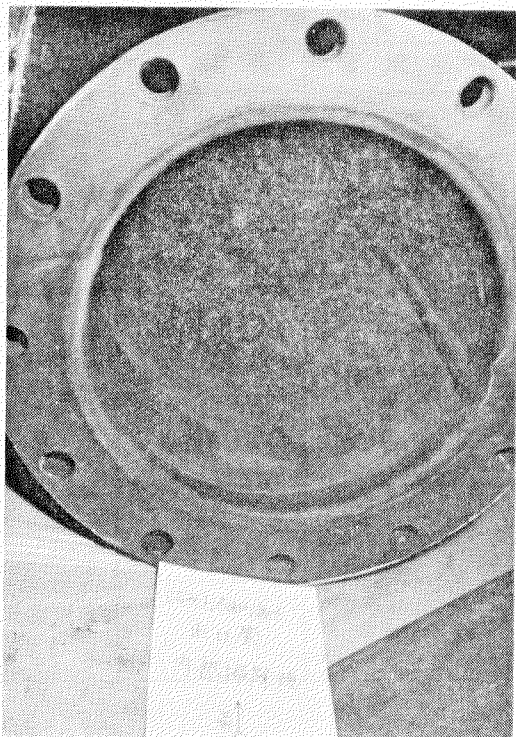


写真 2.2.1

I 丸 ジャケットクーラー冷却海水出口
(掃除後)

管 仕 様 : 300A SGP ネオブレンライニング

経過月数 : 32 ヶ月

概 要 : ライニング異状なく良好

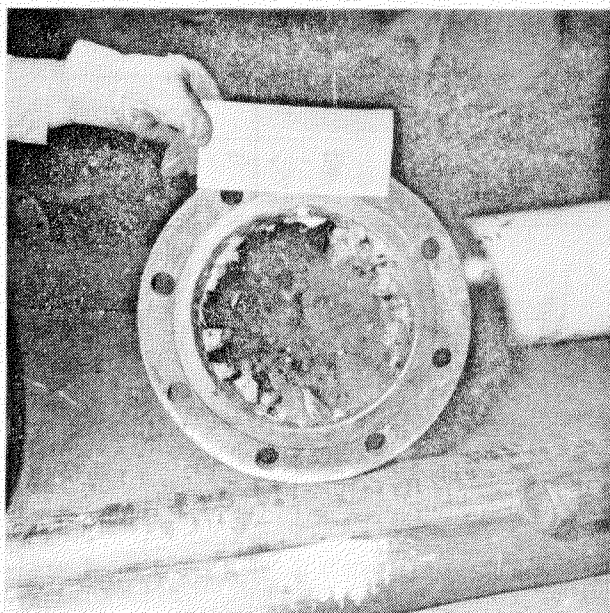


写真 2.2.2 (掃除前)

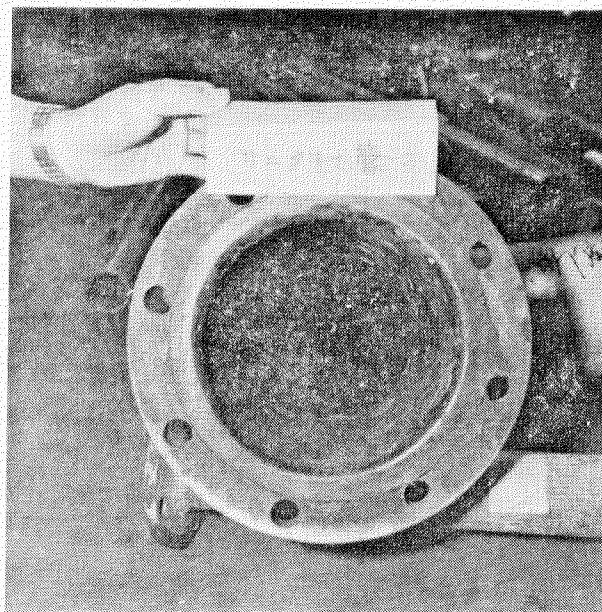


写真 2.2.3 (掃除後)

F 丸 補助コンデンサ冷却海水出口
(掃除前後)

管 仕 様 : 200A SGP ネオブレンライニング

経過月数 : 37 カ月

概 要 : (掃除前) フジツボ付着, (掃除後) ライニング異状なく良好

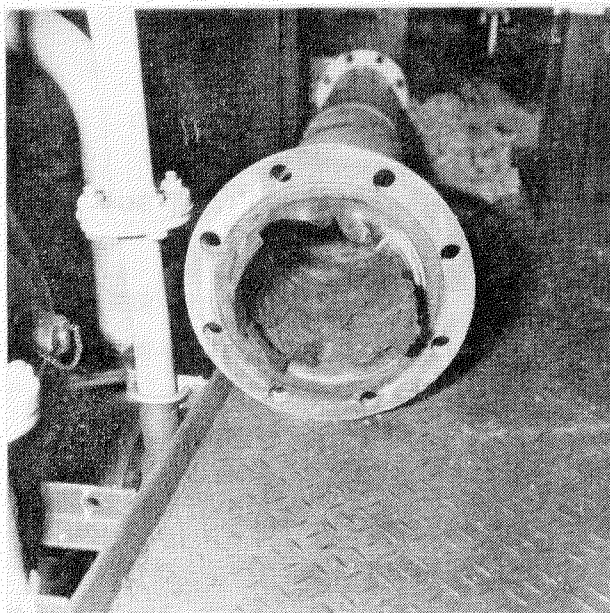


写真 2.2.4

F 丸 補助コンデンサ冷却海水入口
(開放後, 非調査管)

管 仕 様: —

経過月数: —

概 要: ライニング剥離

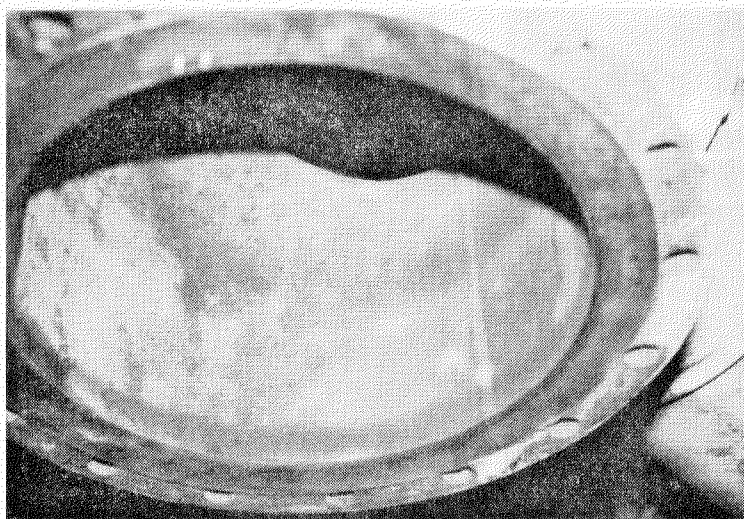


写真 2.2.5

H 丸 冷却海水ポンプ出口 (No.1)
(開放後)

管 仕 様: 400A SS41P
ラバーライニング

経過月数: 54 ヶ月

概 要: フジツボ付着
ライニング異状なく良好



写真 2.2.6

H 丸 冷却海水ポンプ出口 (No.2)
(開放後)

管 仕 様: 400A SS41P
ラバーライニング

経過月数: 54 カ月

概 要: フジツボ付着
ライニング異状なく良好

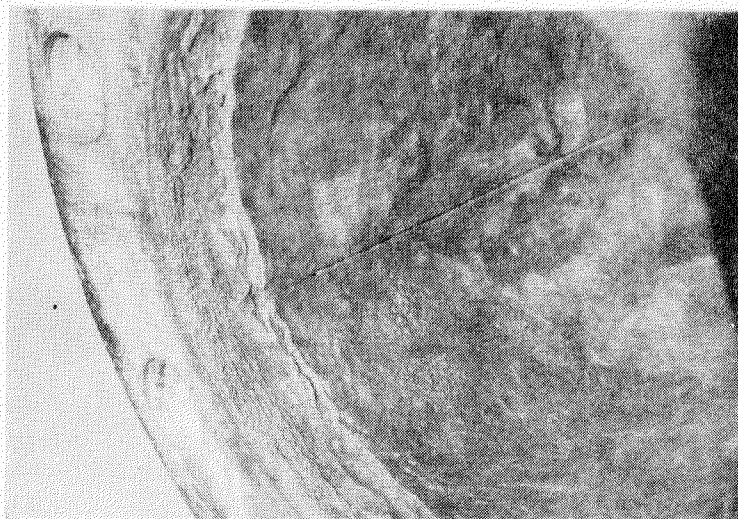


写真 2.2.7

C 丸 造水装置入口
(掃除後)

管 仕 様 : 100A SGP 亜鉛メッキ

経過月数 : 36 カ月

概 要 : フランジ溶接部腐食

管シーム部溝食 (破孔)

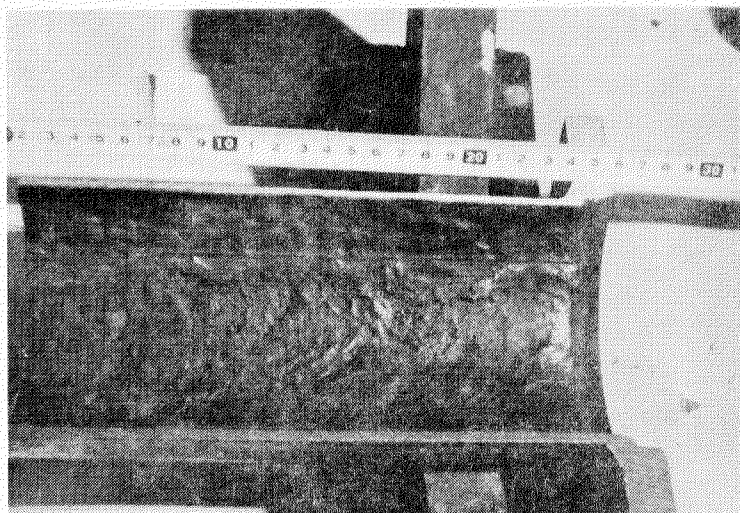


写真 2.2.8

C 丸 同上カッティング後

概 要 : 内面激しいあばた状腐食

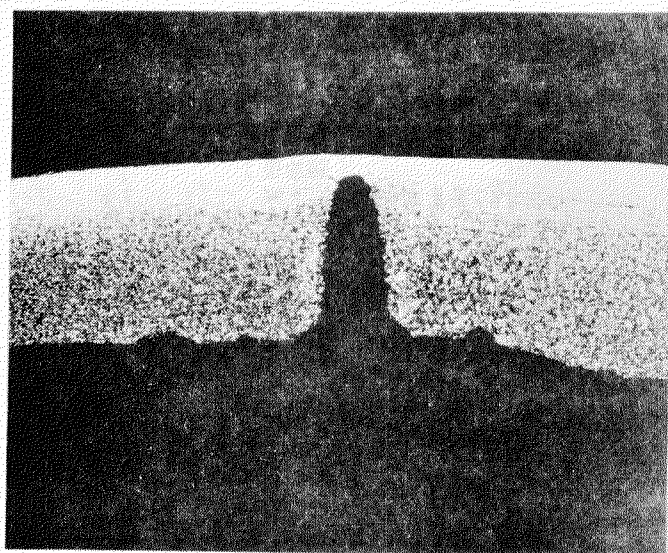


写真 2.2.9

C 丸 同上シーム部

拡大写真×10

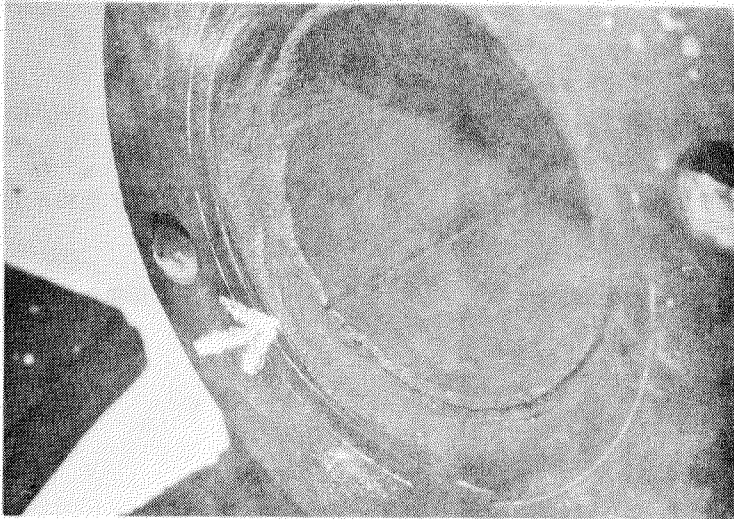


写真 2.2.10

C丸 T/G L.O.クーラー入口
(掃除後)

管 仕 様 : 65A SGP 亜鉛メッキ

経過月数 : 36 ヶ月

概 要 : フランジ溶接部腐食
管シーム部溝食 (破孔)

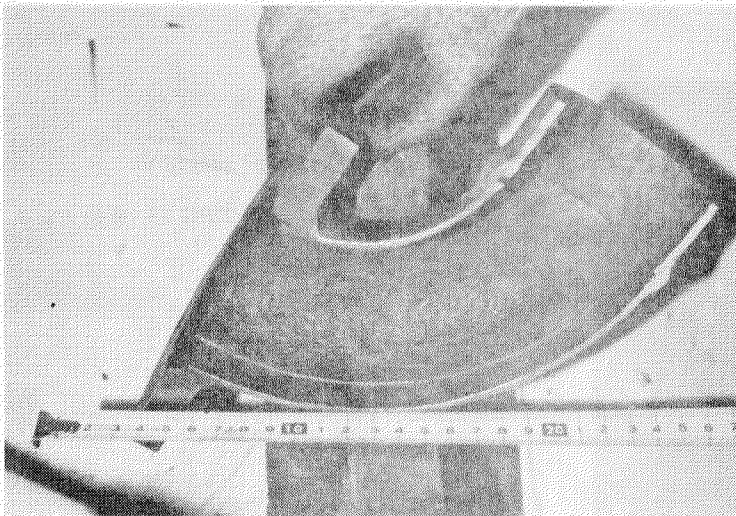


写真 2.2.11

C丸 同上 カutting後

概 要 : エルボ溶接部及びエルボ
シーム部溝食, エルボあ
ばた状腐食

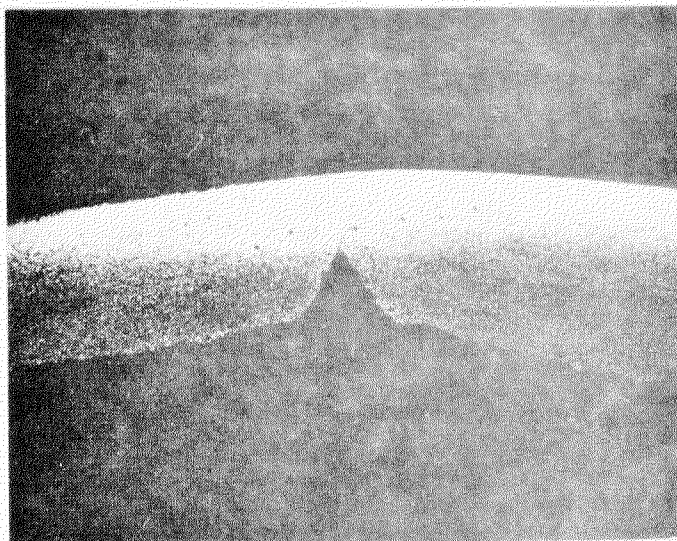


写真 2.2.12

C丸 同上 シーム部
拡大写真×10

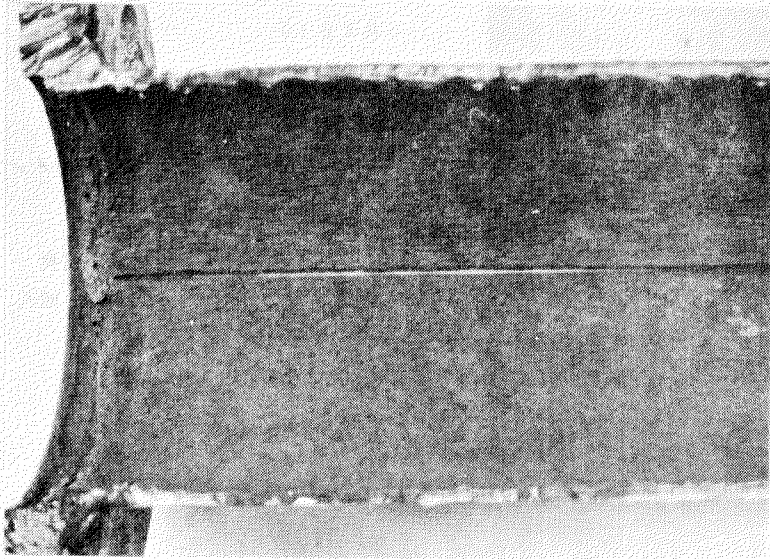


写真 2.2.13

B丸 主機T/C L.O. クーラー入口
(カッティング後)

管 仕 様：80A SGP 亜鉛メッキ

経過月数：43ヶ月

概 要：管シーム部溝食(破孔)

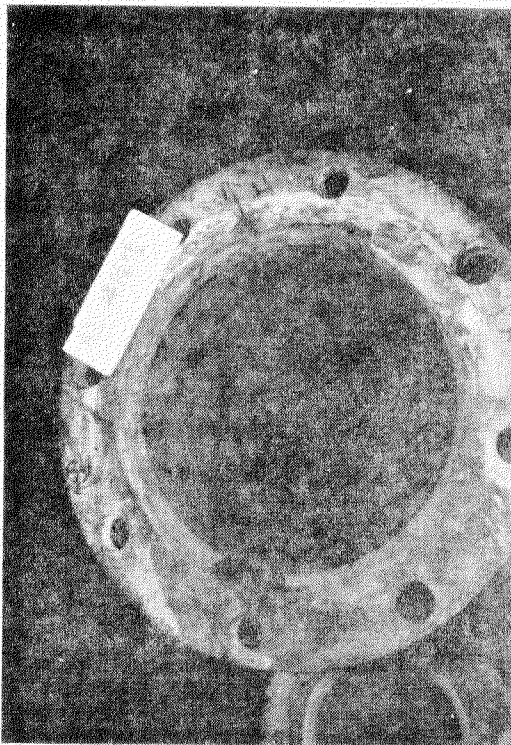


写真 2.2.14

H丸 GSポンプ入口(掃除後)

管 仕 様：200A STPG38 亜鉛メッキ

経過月数：54ヶ月

概 要：全面あばた状腐食

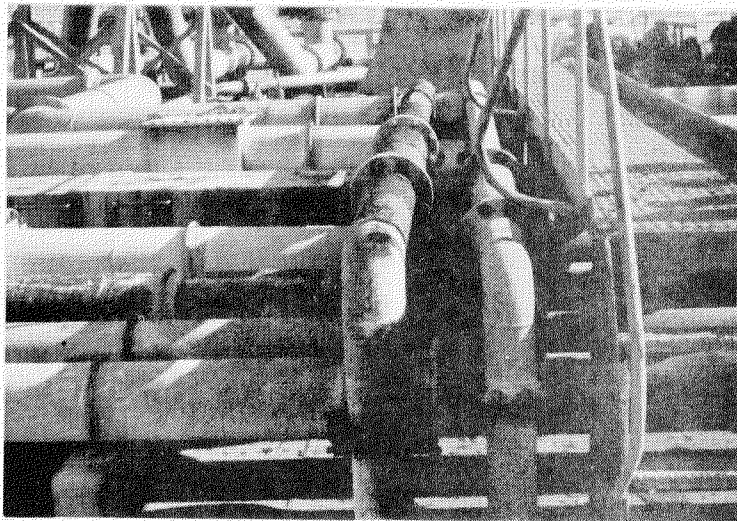


写真 2.2.15

C丸 カーゴウインチ蒸気及び排気
(取付状況)

右側：蒸気管

左側：排気管

(写真は右側が艀，左側が艫)

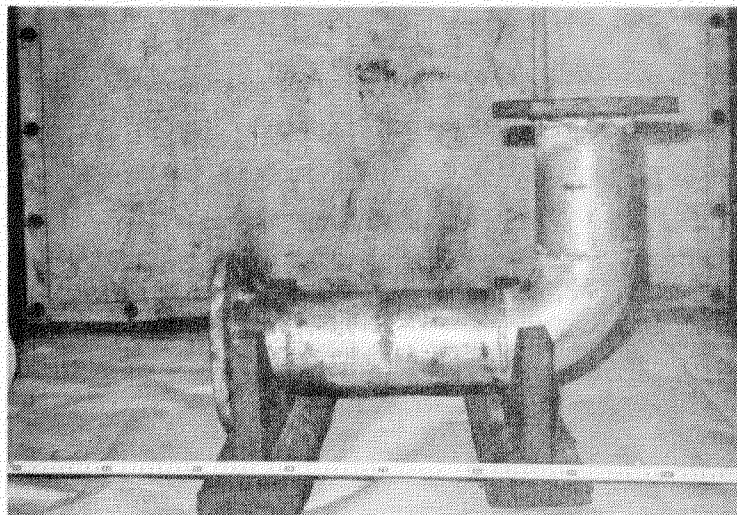


写真 2.2.16

C丸 カーゴウインチ蒸気
(掃除後)

管仕様：100A SGP アルマー

経過月数：36 カ月

概要：外面異状なく健全

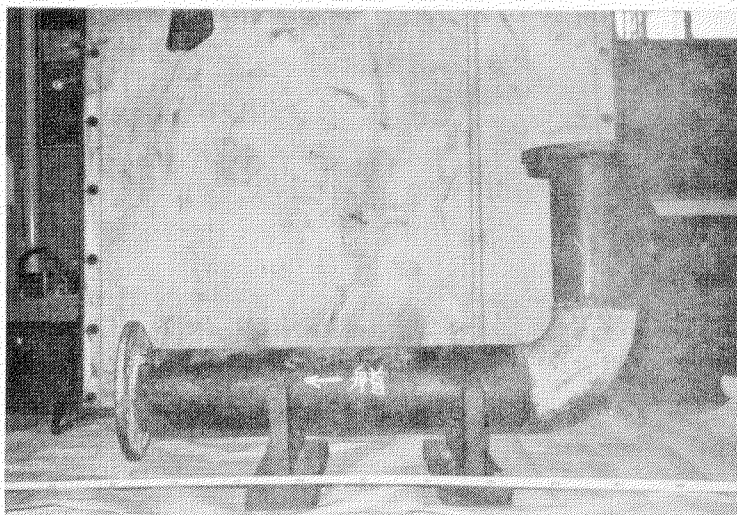


写真 2.2.17

C丸 カーゴウインチ排気
(掃除後)

管仕様：125A STPG38S
亜鉛メッキ

経過月数：36 カ月

概要：艀側半面エルボを除き激しく腐食
(艫側はメッキ共健全)

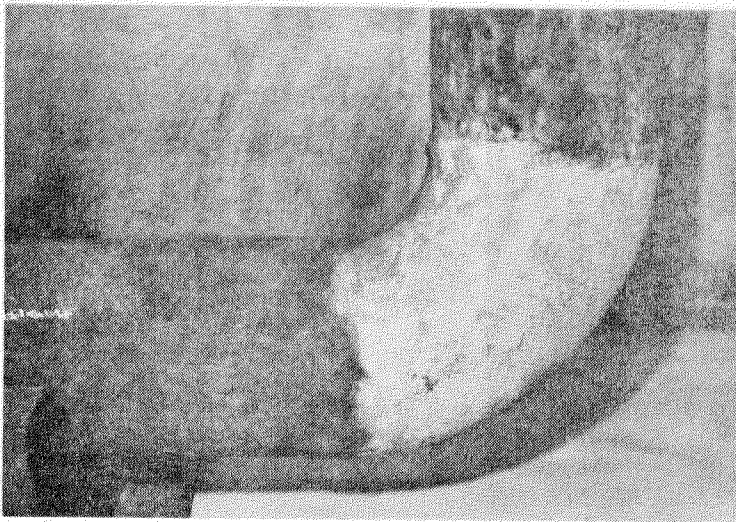


写真2.2.18

C丸 カーゴウインチ排気
(開放後)

管仕様：125A STPG38S
亜鉛メッキ

経過月数：36 カ月

概要：エルボを除きスケール層状
に成長

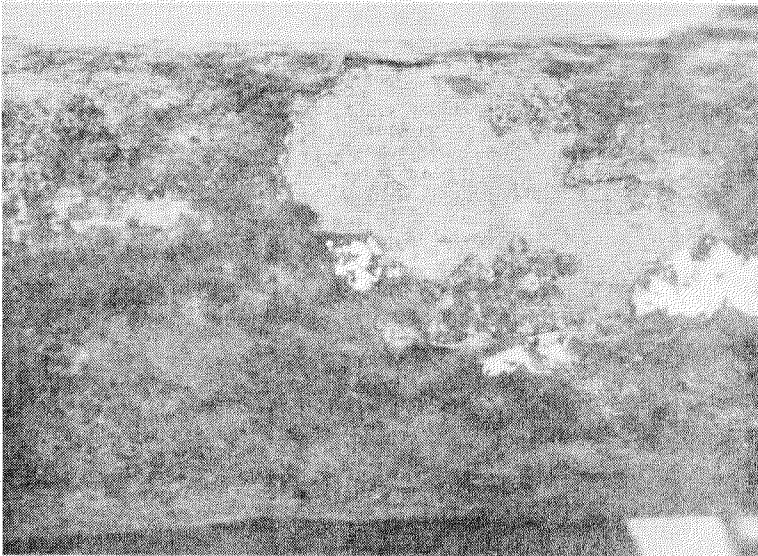


写真2.2.19

B丸 テンションウインチ排気
(開放後)

管仕様：80A SGP 亜鉛メッキ

経過月数：48 カ月

概要：スケール層状剝離

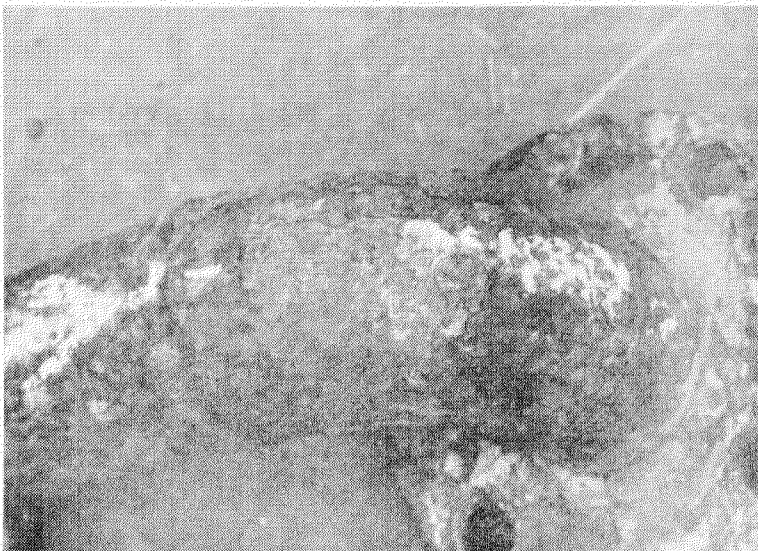


写真2.2.20

B丸 テンションウインチ蒸気
(開放後)

管仕様：65A SGP ペアー

経過月数：48 カ月

概要：スケール層状剝離

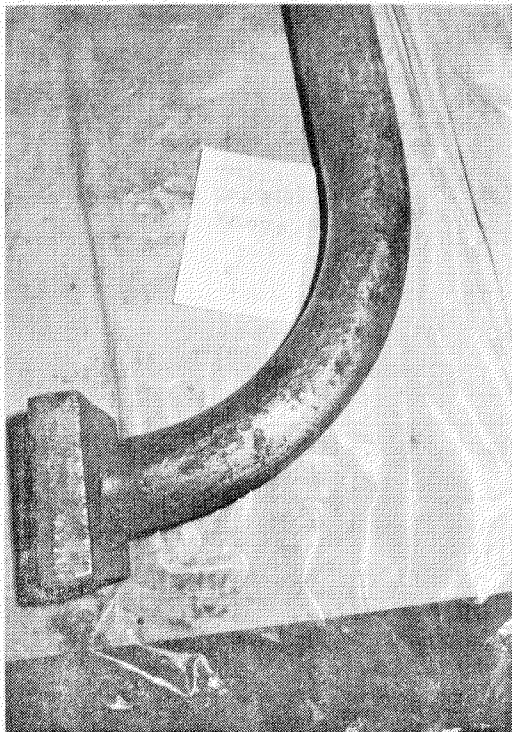


写真 2.2.21

I 丸 ムアリング作動油圧管
(掃除後)

管 仕 様 : 80A STS38 —

経過月数 : 47 カ月

概 要 : 外面あばた状腐食

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入梁時(約1年就航後)に開放調査を実施した。

2.3.2 調査実施方案

開放調査実施に当た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」に基づいて実施した。

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)	日 本 鋼 管 鶴 見 造 船 所	昭和49年10月	15ヶ月	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 相 生 造 船 所	昭和49年11月	11ヶ月	日本-P.G.	
ジャバンコスモス (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 1月	12ヶ月	日本-P.G.	

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) 防食亜鉛の効果

合成ゴム系被覆を施した海水系統における部品の腐食に対する防食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。

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。№1冷却海水ポンプには装備せず。

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。

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 ネオプレンライニング						鋳 鉄	青 銅	
M 丸	SGP-E ネオプレンライニング	480m ³ /h t25m 1,770 r.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	青 銅	

試験時の保護亜鉛の状態を表 2.3.3 に示す。

表 2.3.3 保護亜鉛の状態

船 名	亜鉛装備箇所	亜鉛付近の流速 $\frac{m}{s}$	ポンプの状態	防食電流 就航前 A	亜鉛の減少量 g	備 考
L 丸	弁入口側フランジ	2.27	運 転	0.08	50	
			停 止	0.06		
	弁出口側フランジ	2.27	運 転	0.08	45	
			停 止	0.06		
M 丸	№2 冷却海水 ポンプ		運 転	0.1	50	
			停 止	0.1		
	同上ポンプ入口弁 入口側フランジ	2.72	運 転	0.1	50	
			停 止	0.1		
	同上ポンプ入口弁 出口側フランジ	2.72	運 転	0.19	46	
			停 止	0.16		

(b) 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		表 層	全 面	なし	赤錆軽微
M 丸	№1 冷却海水 ポンプ	常 用	海水常温		表 層	上面点在	なし	
	№2 冷却海水 ポンプ	常 用	海水常温		表 層	上面点在	なし	
	№1 冷却海水 ポンプ入口弁	常 用	海水常温		異常なし			
	№2 冷却海水 ポンプ入口弁	常 用	海水常温		異常なし			

(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 系	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	STPG38-E(Sch40) 亜鉛メッキ後中央部溶接	STPG38-E(Sch40), タールエポキシ塗装	
L 丸	海水サニタリーポンプ出口管 STPG38-E(Sch80)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch80) 亜鉛メッキ後中央部溶接	STPG38-E(Sch80) タールエポキシ塗装	
M 丸	海水サービスポンプ出口管 STPG38-E(Sch40)亜鉛メッキ	STPG38-E(Sch40) 無塗装中央部溶接	STPG38-E(Sch40), STPG38-E(Sch40) タールエポキシ塗装 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 2.3.6 に、腐食速度を表 2.3.7 および写真 2.3.1 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	2.40	異常なし			な し	
	亜鉛メッキ後 中央部溶接	常 用	海水常温	2.40	段 状 —	表 層 表 層	溶 接 部 全 点 周 在	な し	
L 丸	タールエポキシ 塗装管	常 用	海水常温	1.49	異常なし			な し	
	亜鉛メッキ後 中央部溶接	常 用	海水常温	1.49	段 状 —	表 層 表 層	溶 接 部 全 点 周 在	な し	
M 丸	タールエポキシ 塗装管	常 用	海水常温	1.58	異常なし			な し	
	無塗装管 中央部溶接	常 用	海水常温	1.58	段 状	表 層	溶 接 部 全 点 周	な し	
	亜鉛メッキ管	常 用	海水常温	1.58	異常なし			な し	

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	15	0.08	0.06	残存部 65	30	98	
L 丸	亜鉛メッキ後 中央部溶接	11	0.4	0.43	残存部 95	56	85	
M 丸	無塗装管 中央部溶接	12	0.54	0.46	—	—	—	

(3) アルミニウムプラス管の対海水腐食

海水管系にアルミニウムプラス管、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	アルミニウムプラス管、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	アルミニウムプラス管、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	アルミニウムプラス管、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 および写真 2.3.9 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	アルミニウムプラス管	常用	海水常温	1.68	異常なし				ガルバニック腐食 腐食量 $177mg/cm^2$
	鋳鉄ピース	常用	海水常温	1.68	黒鉛化腐食	表層	全面		
L 丸	アルミニウムプラス管	常用	海水常温	1.49	異常なし				ガルバニック腐食 ガルバニック腐食
	鋳鉄ピース	常用	海水常温	1.49	黒鉛化腐食	表層	全面		
	亜鉛メッキ鋼管	常用	海水常温	1.49	溝状	表層	フランジ 溶接部		
M 丸	アルミニウムプラス管	航海時	海水常温	1.93	異常なし				ガルバニック腐食 ガルバニック腐食
	鋳鉄ピース	航海時	海水常温	1.93	黒鉛化腐食	表層	全面		
	亜鉛メッキ鋼管	航海時	海水常温	1.93	溝状	表層	溶接部		

(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	1.68		表層	全面		アルミ層溶出 合金層は残存
L 丸	アルミメッキ管	常用	海水常温	0.45	異常なし				
M 丸	アルミメッキ管	常用	海水常温	2.0		表層	全面		

表 2.3.1 2 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	アルマ加工管	15	0	0	40	50	100	
L 丸	アルマ加工管	11	0	0	52	61	100	
M 丸	アルマ加工管	12	0	0	40	50	100	

(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 2.3.1 3 に示し、装備状態を図 2.3.5 に示す。

表 2.3.1 3 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 2.3.1 4 に、腐食速度を表 2.3.1 5 に示す。

表 2.3.1 4 腐食状態の観察

船 名	試 験 片	使用条件	温度 $^{\circ}\text{C}$	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	0.38	異常なし				
M 丸	亜鉛メッキ管	航海時	20	0.8	異常なし				

表 2.3.1 5 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	11	0	0	72	85	100	
M 丸	亜鉛メッキ	12	0	0	75	87	100	

(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 2.3.1 6 に示し、装備状態を図 2.3.6 に示す。

表 2.3.1 6 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	ターボ発電機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	ターボ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 2.3.1 7 に、腐食速度を表 2.3.1 8 および写真 2.3.3 に示す。

表 2.3.1 7 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	2.35	あばた状	表 層	上 面		
	溶 接 鋼 管	航 海 時	43	2.35	あばた状	表 層	上面点在		
L 丸	継目無鋼管	常 用	海水常温	1.1	異常なし				
	溶 接 鋼 管	常 用	海水常温	1.1	異常なし				
M 丸	継目無鋼管	常 用	海水常温	1.6	あばた状	表 層	上面点在		
	溶 接 鋼 管	常 用	海水常温	1.6	あばた状	表 層	上面点在		

表 2.3.1 8 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	15	2.21	1.77	残存部 40	残存部 50	60	
	溶 接 鋼 管	15	1.4	1.12	残存部 40	残存部 50	90	
L 丸	継目無鋼管	11	0	0	46	43	100	
	溶 接 鋼 管	11	0	0	34	31	100	
M 丸	継目無鋼管	12	0	0	45	44	100	
	溶 接 鋼 管	12	0	0	32	41	100	

(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 2.3.1 9 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	係船ウィンチ用蒸気管 STPG38-E Sch40アルミメッキ	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	
	係船ウィンチ用排気管 STPG38-E Sch40アルミメッキ	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	
M 丸	係船ウィンチ用蒸気管系 DCUT2-H	STPG38-E Sch40 アルミメッキ	
	係船ウィンチ用排気管系 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 面 積 率	備 考
					形 態	程 度	範 囲		
L 丸	蒸 気 管	間 歇	165℃	—					乗組員により塗装されたため調査不可能、管を新替
	排 気 管	間 歇	100	—					
M 丸	蒸 気 管	間 歇	165	—	異常	なし			
	排 気 管	間 歇	100	—	異常	なし			

2.3.5 調査結果の考察

新造船就航時からの追跡調査は、本年度調査が就航後 1 年目にあたり、1 年間の実績では腐食に対する具体的な推定は難しいが、次のことが考察できる。

(1) 防食亜鉛の効果

合成ゴム被覆された海水管系における、未被覆部品（鋳鉄）に対する防食亜鉛の効果进行调查したが、未被覆部品にはほとんど腐食が認められず、防食亜鉛は一応の効果があったと考えられる。

(2) 塗装管の対海水腐食

(a) タールエポキシ塗装鋼管にはほとんど認められず、良好な耐食性を示した。

(b) 亜鉛メッキ後溶接した調査管では、溶接部の熱影響を受けたと考えられる部分は亜鉛メッキがはがれ赤錆が発生したが、その程度は軽微である。溶接部以外の部分は、表層の亜鉛メッキが溶出していたが合金層は残存していた。

(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良好な耐食性を示した。

(b) アルミニウムブラス管に挟まれている鋳鉄ピースは内面に赤錆が厚く付着し、これはアルミニウムブラスによるガルバニック腐食と考えられ鋳鉄母材は黒鉛化腐食を起していた。

(c) アルミニウムブラス管と接続する亜鉛メッキ鋼管のフランジ部には、ガルバニック腐食によると考えられる局部腐食が認められた。

(4) アルミメッキ鋼管の対海水腐食

アルミメッキ鋼管は表層のアルミ層は溶出しているが、合金層は残存しており発錆は認められなかった。

(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管では未だ合金層は残存していたが、メッキ層の減少量は海水管系に用いられる場合に比べてかなり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) L丸では、継目無鋼管、溶接鋼管共表層の亜鉛層は溶出しているが、合金層は残存しており発錆は認められなかった。

(b) 一方K丸では、両管の内上面に局部腐食を起しかなり大きな錆こぶが固着した。その程度は継目無鋼管に多く認められたが、これの原因については取付位置の影響もあると考えられるので、次年度の調査と併せて考察したい。

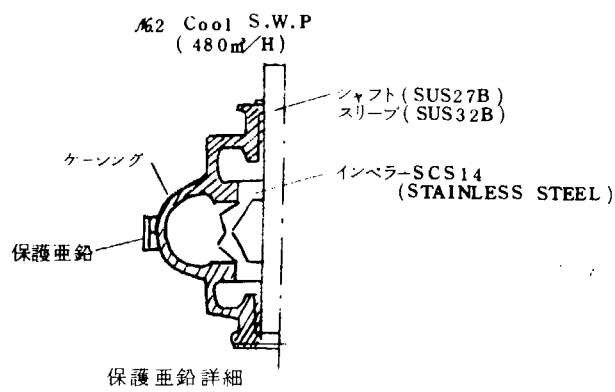
(7) 甲板上の蒸排気管の腐食

調査管が乗組員により塗装されたため調査不能であった。

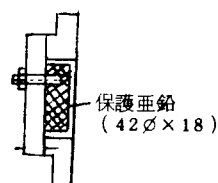
今回調査時管を新替したので、次年度に調査を行なう予定である。

2.3.6 ま と め

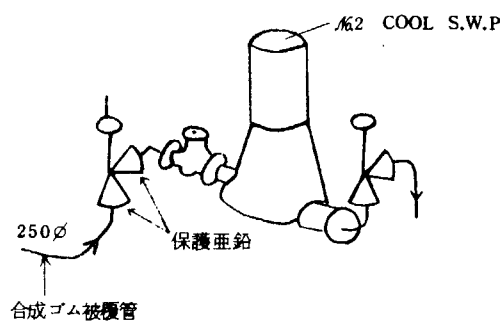
新造船就航時からの追跡調査による開放調査は本年度が1年目であるため、今回の調査結果を基に管腐食について推察するのは差控えたい。来年度以降の2年目、3年目の開放調査を待つて結論を出したい。



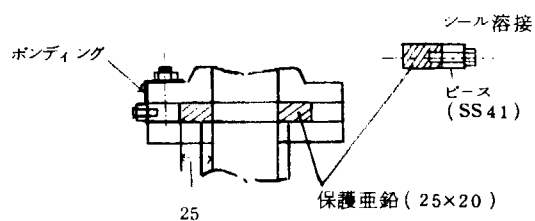
M丸：№2冷却海水ポンプケーシングに
保護亜鉛を取付けた。



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。

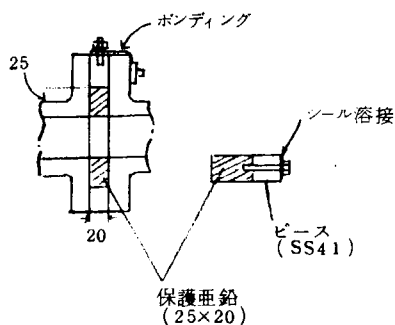
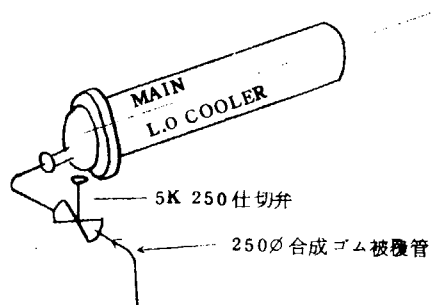
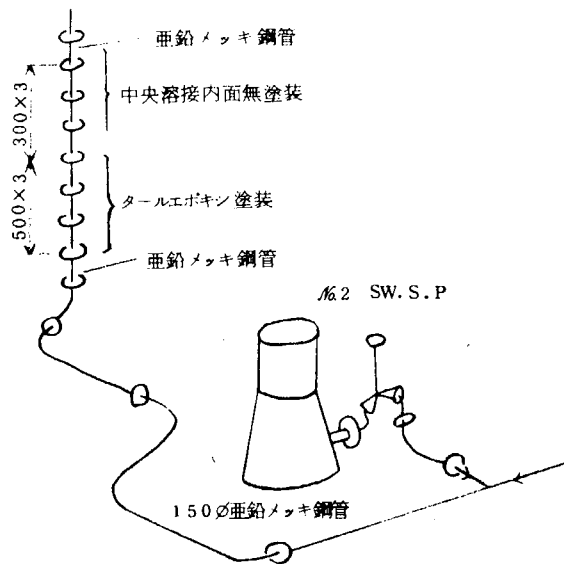
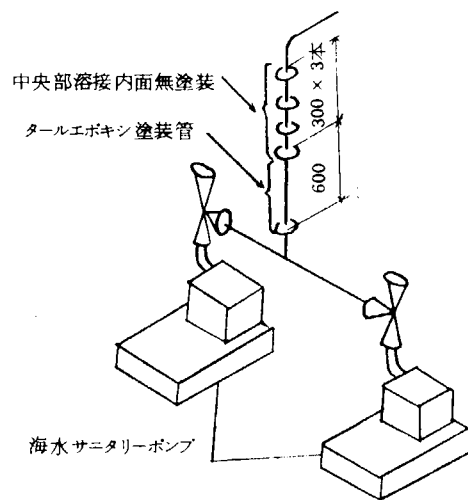


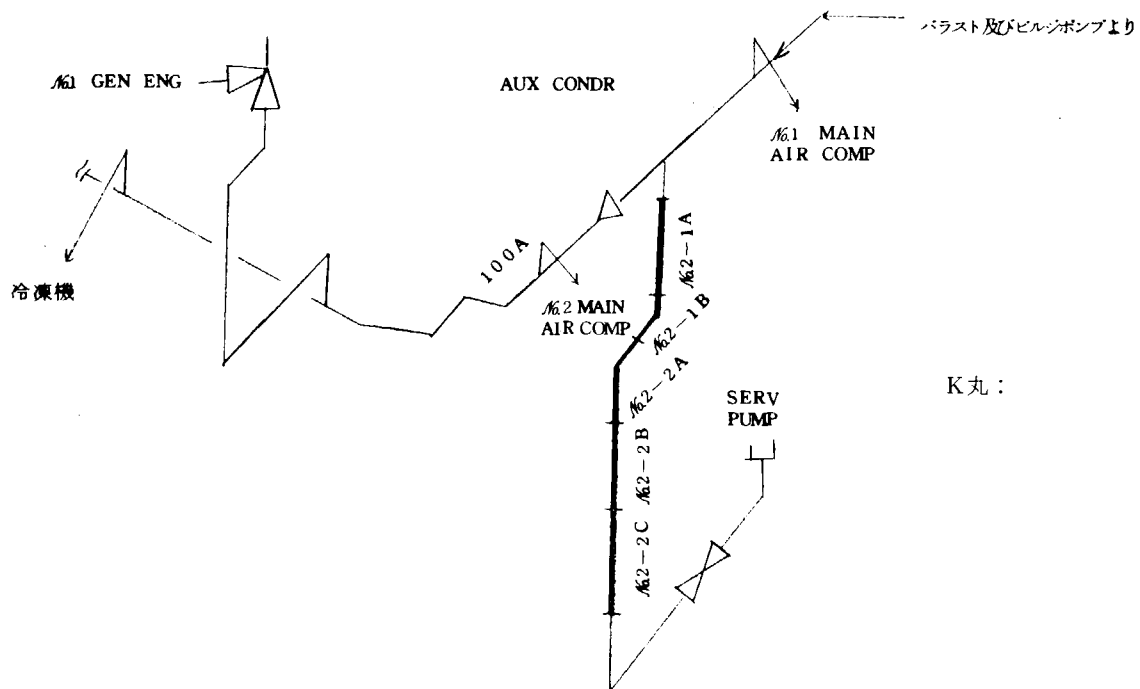
図 2.3.1 ポンプおよび弁に取付けた試験片装備状態 (保護亜鉛)



M丸：海水サービスポンプ出口管
に取付けた。

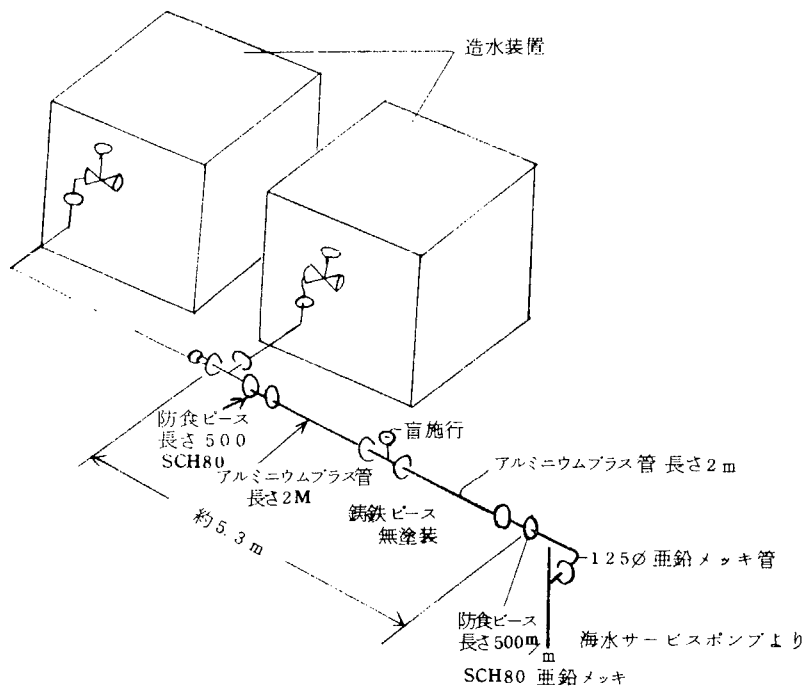


L丸：海水サニタリーポンプ出口管
に取付けた。

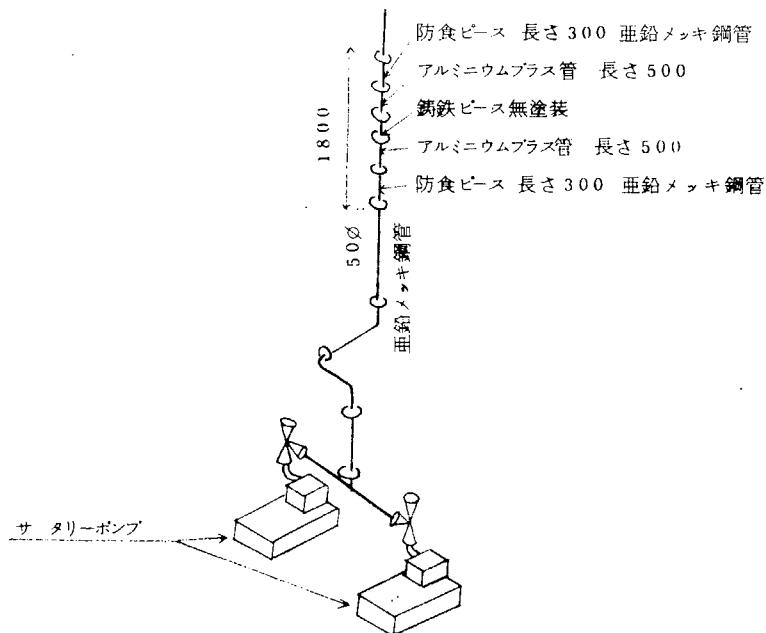


K丸：

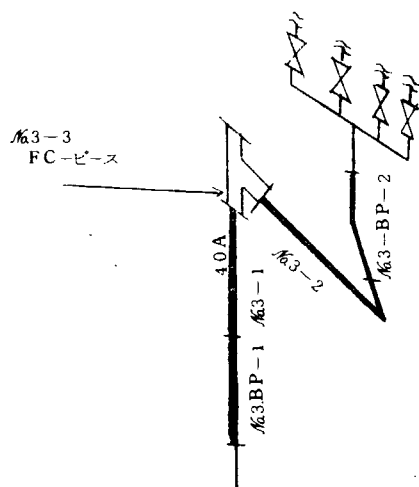
図 2.3.2 海水管系に取付けた試験片の装備状態（タールエポキシ管，中央部溶接鋼管）



M丸：海水サービスポンプ出口管に取付けた。

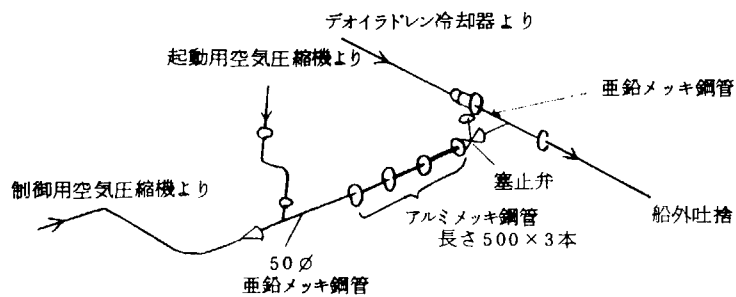


L丸：サタリーポンプ出口管に取付けた。

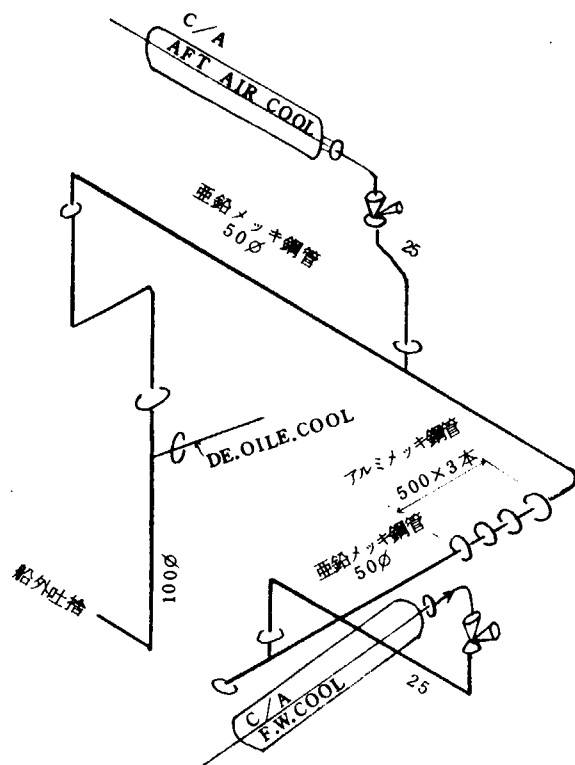


K丸：

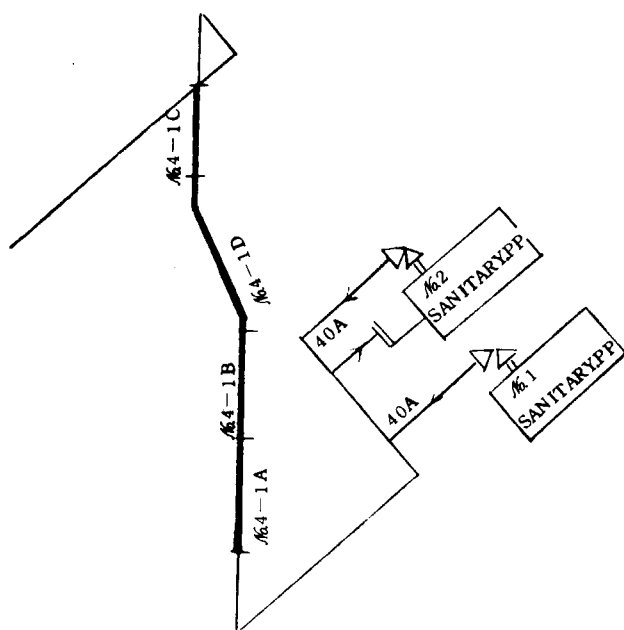
図 2. 3. 3 海水管系に取付けた試験片の装備状態（アルミニウムプラス管）



M丸：空気圧縮機冷却海水出口管
に取付けた。

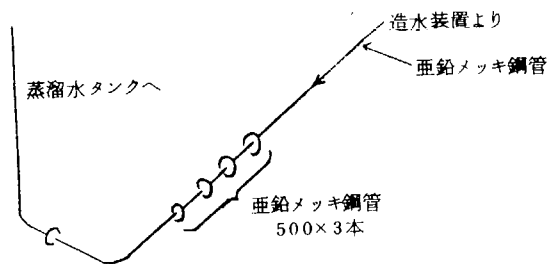


L丸：空気圧縮機冷却海水出口管
に取付けた。

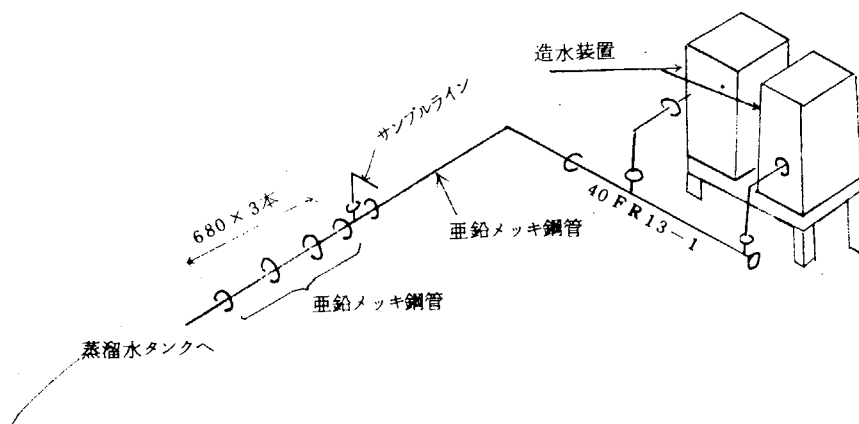


K丸：

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）

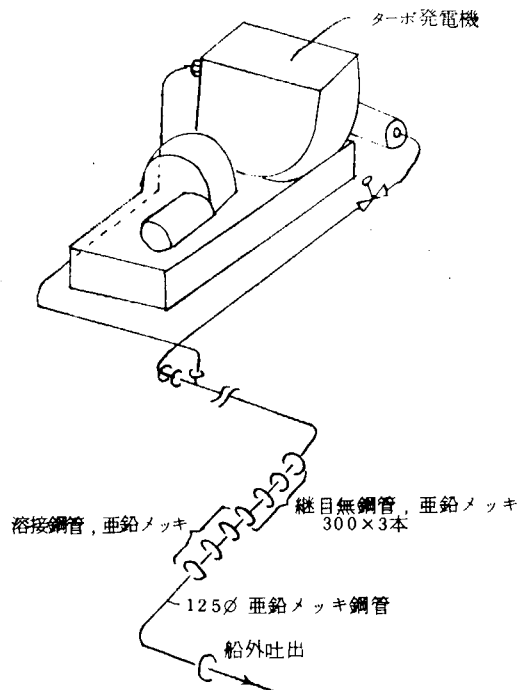


M丸：造水装置蒸溜水出口管に取付けた。

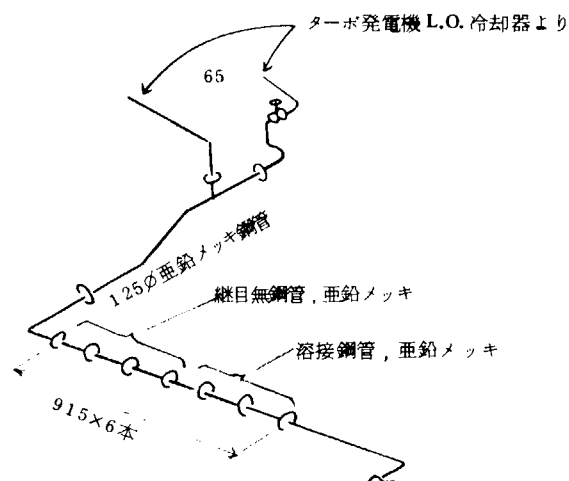


L丸：造水装置蒸溜水出口管に取付けた。

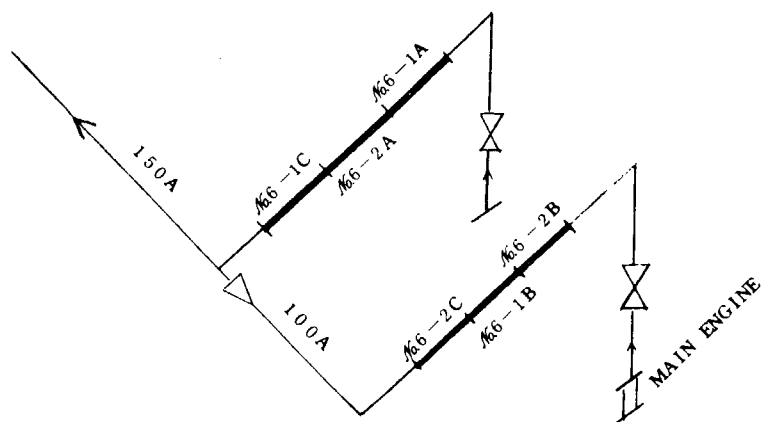
図 2.3.5 蒸溜水管系に取付けた試験片の装備状態（亜鉛メッキ鋼管）



M丸：ターボ発電機冷却海水出口管に取付けた。

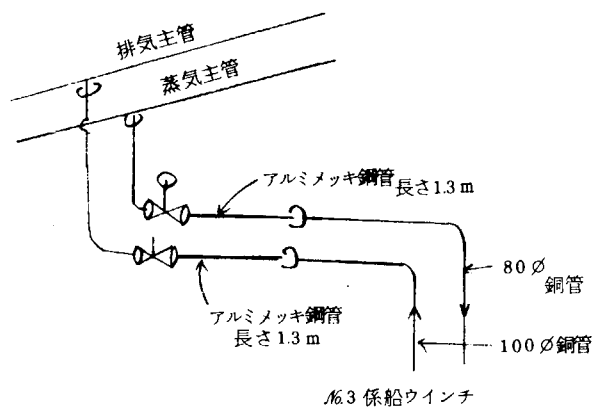


L丸：ターボ発電機L.O. 冷却器冷却海水出口管に取付けた。

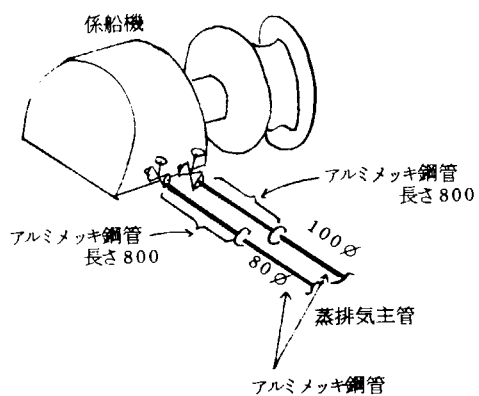


K丸：

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）

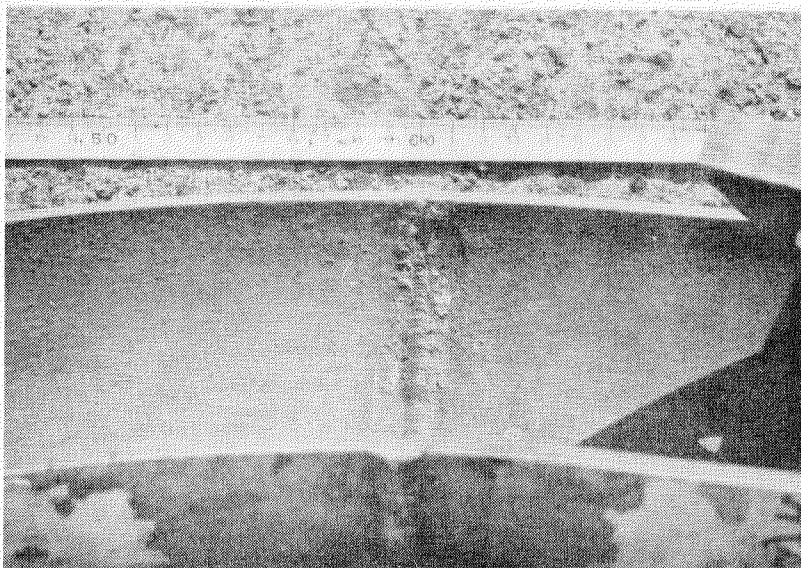


M丸：係船ウインチ蒸排気管に
取付けた。

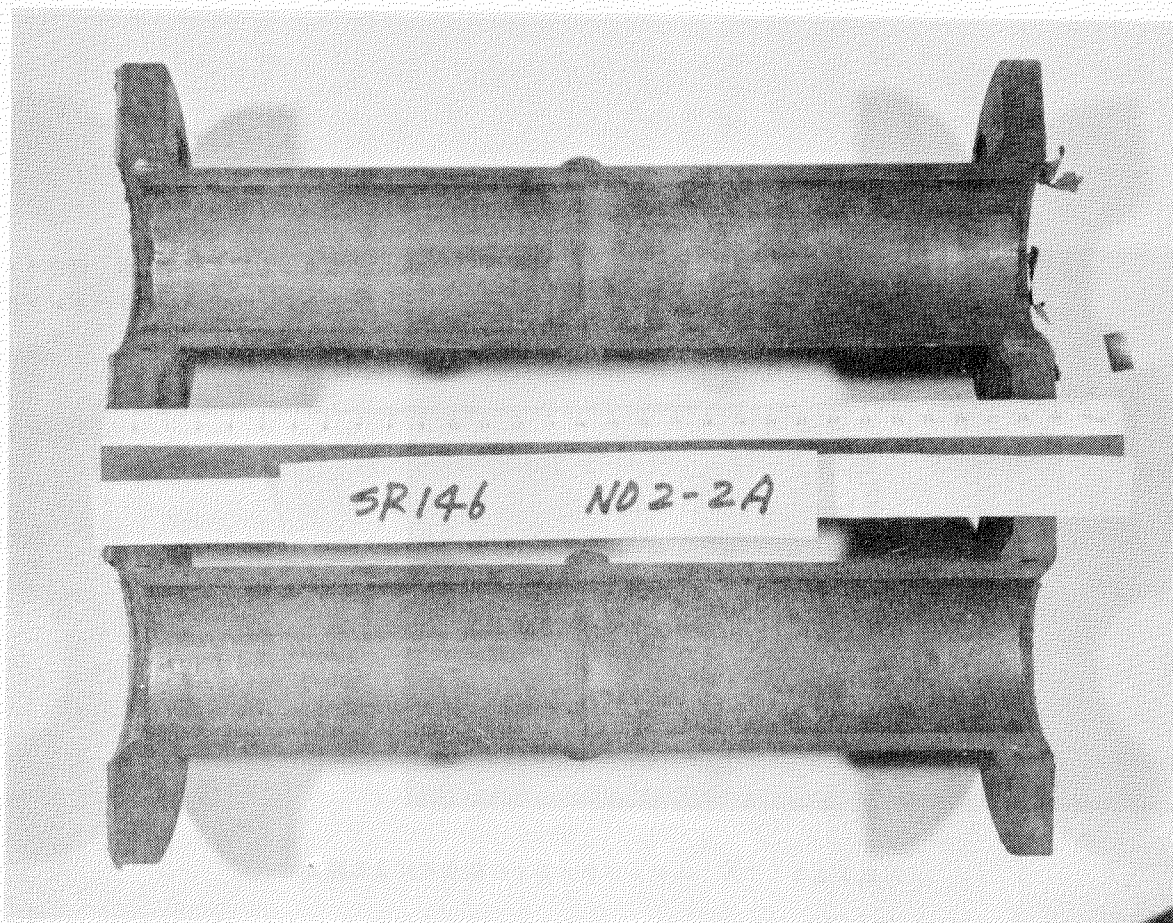


L丸：係船ウインチ蒸排気管に
取付けた。

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）

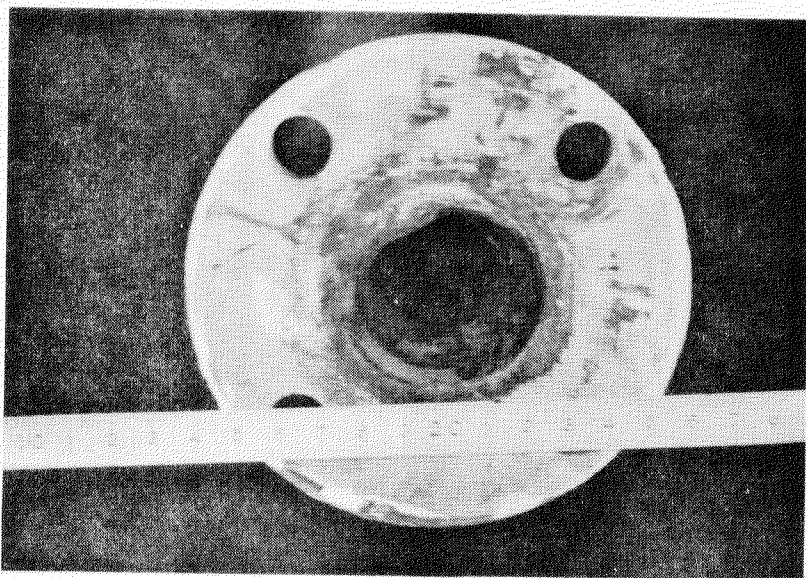


K丸：口径125φ)
管系統：海水サービスポンプ出口管
経過月数：15ヶ月
(酸洗前)

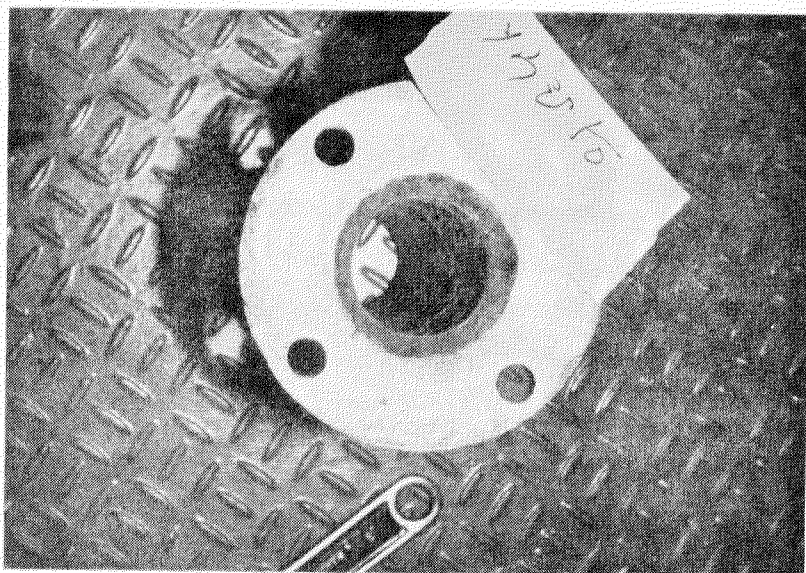


L丸 口径50φ
管系統：海水サニタリーポンプ出口管
経過月数：11ヶ月
(酸洗後)

写真 2-3-1 亜鉛メッキ銅管溶接部の海水による腐食
(亜鉛メッキ後中央部を溶接した)



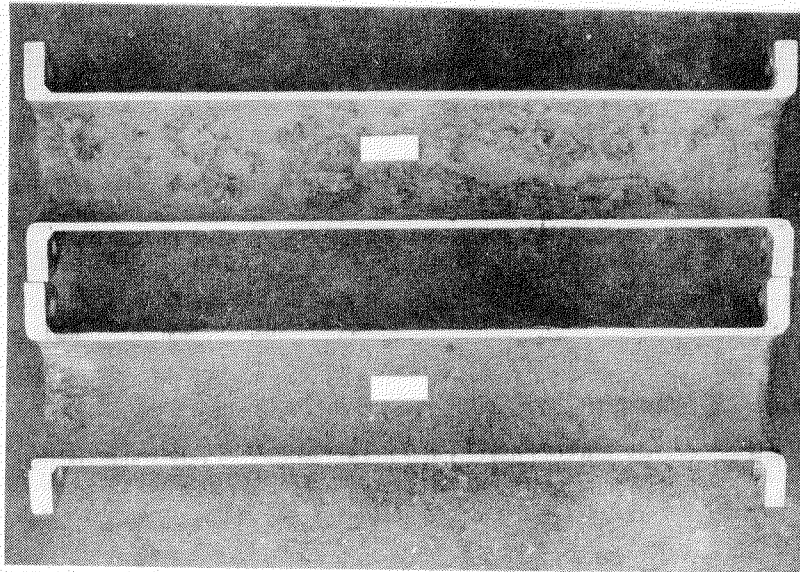
K丸：鑄鉄ピース（口径40φ）
管系統：海水サービスポンプ出口管
経過月数：15ヶ月
（酸洗前）



L丸：亜鉛メッキ銅管（口径50φ）
管系統：海水サニタリーポンプ出口管
経過月数：11ヶ月
（酸洗後）

写真2.3.2 アルミニウムプラス管との組合せによる腐食

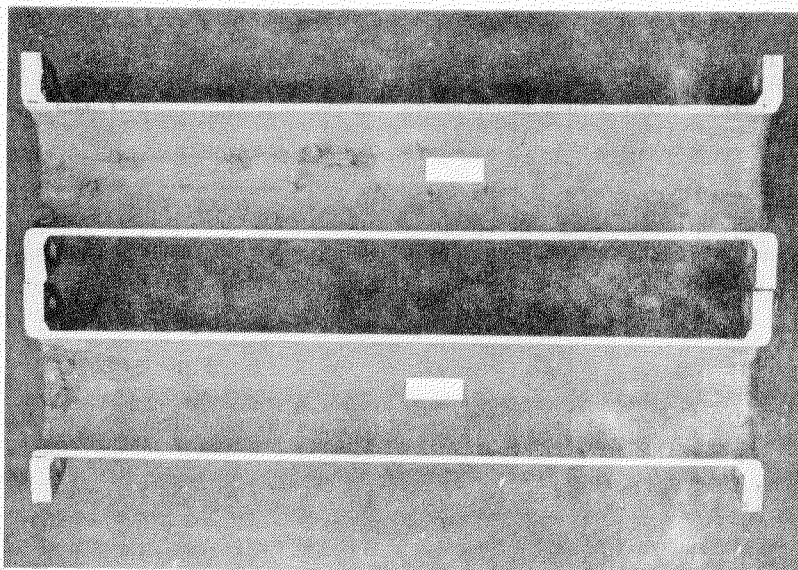
上 面



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：15ヶ月
（酸洗前）

下 面

上 面



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：15ヶ月
（酸洗前）

下 面

図 2.3.3 継目無鋼管と溶接鋼管の海水による腐食

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カ年計画で実施する。

(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）
- 銅合金の腐食におよぼす鉄イオン濃度の影響

例—ネオプレン塗布管と接続されたインペラの腐食

(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。

- ベンド部の腐食

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、回転翼車型腐食試験機を製作し、「海水中におけるメッキ鋼管の寿命、異種金属接触腐食および電縫溶接部の腐食におよぼす流速の影響」を調査し、本報告書にまとめた。

2.4.2 回転翼車型腐食試験装置の概要

図2.4.1に試験機の組立図、写真2.4.1に試験装置の外観、表2.4.1に試験装置の仕様を示す。

40mmφ×10mm tの試験片は、図2.4.2に示すようにFRPによって絶縁され、1900mmφの回転円板および485mmφ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。

試験片取付け状況を写真2.4.2および写真2.4.3に示す。回転円板を44rpmの速度で回転させると各試験片の取付け位置によって、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。

図2.4.1に示したように、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、フィンと試験片との距離を3mmにしているために、海水がいくらか移動した。このために試験片の負の移動速度は、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。

2.4.3 試験方法

供試材の製作要領および性状を表2.4.2に、試験片形状を図2.4.3、図2.4.4および図2.4.5に示す。各試験片条件は、下記のとおりである。

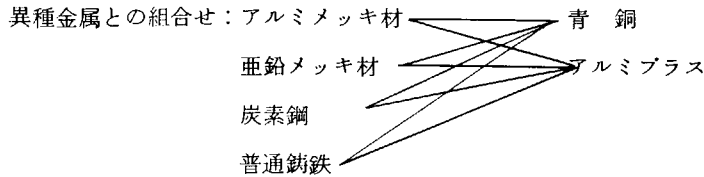
1) メッキ試験片

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

2) 異種金属接触試験片

接触試験片面積比 : $1/1$



3) 溶接試験片

電縫鋼管 鍛接鋼管

4) 比較試験片

炭素鋼

流速条件は前述したように, 0 m/sec , 1.5 m/sec , 2 m/sec , 3 m/sec , 4 m/sec とした。試験液には長崎港外の海水を使用し, 海水温度は $20 \pm 3^\circ\text{C}$ に調節した。(秋期は水道水を保温タンクに通水, 冬期は棒状ヒーター 4 KW にて加熱調節)

円板の回転により, タンク内の海水が流動しているので, 空気の吹込みはとくに行なわなかった。試験片までの海水の深さは, 回転円板上で 3.4 cm , 静止円板上で 2.6 cm であった。

腐食試験は, 昭和49年10月25日から昭和50年1月25日(試験期間3ヶ月)まで行なった。試験終了後の海水のPHは8.3であった。

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, 酸洗液自身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は, 図2.4.6に示す測定要領でポイントマイクロメーターを使用して行なった。メッキ試験片のメッキ膜厚測定には, Kett 電磁微厚計(試片A, B, C, Dに使用)および Mikro Test (試片E, Fに使用)を使用した。

2.4.4 試験結果および考察

腐食試験後の表面状況および酸洗後の表面状況を写真2.4.4~2.4.8に, 重量減から求めた腐食速度と流速の関係を図2.4.7および図2.4.8に示す。

1) Alメッキ材(試片A, B, E)

Alメッキの表面には単独浸漬の場合も, 青銅あるいはアルミブラスと組合せた場合も白色の腐食生成物が点在し, 酸洗してみると, その部分だけAlメッキが局部的に腐食していたが, 純Al層はまだ残存しており, メッキ膜付着面積率は 100% であった。

図2.4.7から明らかなように, Alメッキ材を単独に浸漬した場合, 重量減から求めた腐食速度は $0.01 \sim 0.02\text{ mm/year}$ で, 3ヶ月の腐食試験では流速の影響を見出すことはできなかった。また肉厚減およびメッキ膜厚減の測定値はバラツキが大きく, 流速の影響を見出すことはできなかった。

重量減から求めた腐食速度から換算すると, Alメッキ材の寿命は15年程度ということになる。これまで行なわれた通常のAlの腐食試験結果1)でも腐食速度は $0.013 \sim 0.028\text{ mm/year}$ 程度であり。むしろ問題になるのは局部腐食であることが示されているが, Alメッキ材の場合, いったん局部腐食が発生し, 母地が現われるとAlメッキ膜の部分の腐食速度が上昇するため, Alメッキの寿命は上述の値よりはるかに小さいものとなることが予想される。したがってAlメッキ材の寿命の推定にはもっと長時間の試験が必要である。

参考までに写真 2.4.9 に A l メッキ材の断面の顕微鏡写真を示しておく。

青銅あるいはアルミプラスと組合せられると、A l メッキ材の腐食は促進され、また流速の上昇につれて腐食速度は上昇しているが、3ヶ月の本テストではA l メッキ膜が残存していた。青銅あるいはアルミプラスは防食された形になり、ほとんど腐食せず、金属光沢が残っていた。青銅あるいはアルミプラスと組合せられた場合のA l メッキ材（面積比 1 : 1）の腐食速度は最大約 0.2 mm/year であり、この腐食速度から判定すると約 6 ヶ月で純 A l 層は消失することになるが、上述したように A l 合金層はまだ残存していることになるので、青銅あるいはアルミプラスと組合せられた場合の A l メッキ材の寿命の推定には、長期の腐食試験を行なう必要がある。

2) Z n メッキ材（試片 C, D, F）

Z n メッキ材の表面には、単独浸漬の場合も、青銅あるいはアルミプラスと組合せた場合も、白色の腐食生成物が線状に存在し、酸洗してみるとメッキ膜は均一に薄くなっていた。しかし、3ヶ月のテストでは、まだメッキ膜は残存しており、メッキ膜付着面積率は 100% であった。

図 2.4.9 にメッキ膜厚減と流速との関係とを示すが、図 2.4.7 および図 2.4.9 から明らかなように、単独浸漬の場合の腐食速度は流速につれて増大し、流速 0 m/sec で約 0.03 mm/year 、流速 4 m/sec で約 0.08 mm/year になっている。

膜厚が 50μ の場合は、Z n メッキ膜が消失する時間は、流速 0 m/sec で 1.7 年、流速 4 m/sec で 0.6 年と推定されるが、この値は経験的に知られている値とほぼ一致するようである。

参考のために写真 2.4.10 に Z n メッキ材の断面の顕微鏡写真を示しておく。

青銅あるいはアルミプラスと組合せられると、図 2.4.7 および図 2.4.9 から明らかなように、腐食速度は単独浸漬に比べて大巾に増大すると共に、流速の影響も顕著になっており、流速 0 m/sec で約 0.1 mm/year 、 4 m/sec で約 0.25 mm/year に達している。

膜厚が 50μ の場合は、Z n メッキ膜が消失する時間は、流速 0 m/sec で 0.5 年、流速 4 m/sec で 0.2 年と推定される。したがって、青銅あるいはアルミプラスと組合せて Z n メッキ材が使用される場合は、Z n メッキの膜厚を大きくしないと、その効果は極めて小さいと言えそうである。

青銅あるいはアルミプラスは、A l メッキ材の場合と同様に防食された形になり、ほとんど腐食せず、金属光沢が残っていた。

3) 炭素鋼および普通鋳鉄（試片 G, H, K）

比較材として挿入した炭素鋼を単独で浸漬した場合、図 2.4.8 から明らかなように、流速の影響は小さく約 0.04 mm/year の腐食速度を示した。この腐食速度は、通常自然海水に暴露された炭素鋼と比較するとやや小さいが、これは本腐食試験雰囲気それがそれ程厳しいものでないことを示しているようである。

一方、青銅あるいはアルミプラスと組合せた場合、炭素鋼の腐食速度は普通鋳鉄とほぼ同じで、約 $0.08 \sim 0.14 \text{ mm/year}$ であった。

図 2.4.8 から明らかなように、流速 0 m/sec の場合の腐食速度が、流速 1.5 m/sec の場合よりも大きな値を示したのもあったが、その原因はよくわからない。むしろ流速の影響は小さく、データのバラツキによるものと見た方がよいのかも知れない。

また、肉厚減および最大肉厚減の測定値は大きくばらついており、流速の影響を見い出すことはできなかった。

なお、青銅およびアルミプラスはほとんど腐食してはず、金属光沢が残っていた。

4) 電縫鋼管および鍛接鋼管

電縫鋼管の溶接部は写真 2.4.8 から明らかなように、鍛接鋼管と異なって直線状に腐食していた。しかしながら、重量減から求めた腐食速度は、鍛接鋼管のそれと大差なく、 $0.03 \sim 0.08 \text{ mm/year}$ であった。電縫鋼管の溶接部の腐食深さを表面アラサ計で測定しようとしたが、試験片形状から制限を受けて、うまく測定できなかったため、その

断面を顕微鏡的に調べた。その顕微鏡写真を写真 2.4.1.1 に示すが、電縫部の溝状腐食の深さは、流速の増加につれて増大し、流速 4 m/sec で約 0.16 mm に達していた。

また、鍛接鋼管溶接部の断面の顕微鏡写真を写真 2.4.1.2 に示す。試験前の断面写真の溝は、鋼管製造時のものであり、試験片加工する際には、矢印で示した個所より切断した。

なお、鍛接鋼管の腐食速度が、流速 $1.5\text{ m/sec} \sim 3\text{ m/sec}$ の時よりも流速 0 m/sec の方が大きい理由は良くわからない。

2.4.5 ま と め

回転翼車型腐食試験装置を製作し、 20°C の自然海水を用いて 3 ケ月間腐食試験を行なった結果、次のことが明らかになった。

- 1) Al メッキ材の寿命を把握するためには、もっと長期のテストを行なうかあるいは試験環境を厳しくしなければならない。
- 2) Zn メッキの効果は、膜厚 $50\text{ }\mu$ では、静止海水中で約 1.7 年間、流速 4 m/sec で 0.6 年間保持されると推定される。
 Zn メッキ材が青銅やアルミブラストと結合される場合は、 Zn メッキの効果は膜厚 $50\text{ }\mu$ の時、静止海水で 0.5 年間、流速 4 m/sec で 0.2 年間保持されると推定される。
- 3) Al メッキ材を Zn メッキ材の寿命を比較した場合、本試験結果からは Al メッキ材の寿命が長く、 Zn メッキ鋼管の代りに、 Al メッキ鋼管を使用した方が良いと判断される。しかし、 Al メッキ材の場合、アルミの酸化物、コスト、処理温度等の問題があるので、今後更に検討する必要がある。
- 4) 電縫鋼管の溶接部は、選択的に腐食され、その腐食深さは流速の増大につれて増加し、流速 4 m/sec ではわずか 3 ケ月で 0.16 mm に達していた。

参考文献

- 1) C.V.Brouillette: "Corrosion Rate in Port Hueneme Harbor",
Corrosion 14.8. 352t (1958)

表 2.4.1 回転翼車型腐食試験装置仕様

試験片寸法	40φ×10t
試験片取付個数	150個(含静止海水用試験片30個)
試験片取付用円板直径	回転円板1900φ, 静止円板485φ
海水タンク容量	2,000ℓ
保温水タンク容量	2,500ℓ
乾湿交番用タンク容量	2,900ℓ
塗料	海水タンク: タールエポキシ系塗料, 他のタンク: 船底塗料
試験片取付用円板回転数	0~87 r.p.m (無段変速可)
モーター	住友重機械工業製直流モーター, DS-100型 7.5KW
減速機	椿本興業製ED60V20 減速比1/20
付属機器	1. 自動乾湿交番制御装置(京電子技研) 2. 回転計(小野測器) 3. 記録計(千野製作所, 温度回転数自然電位記録)
設計	平井技研工業
製作	黒川鉄工所

表 2.4.2 供 試 材

供 試 材	製 作 要 領	製 作 場 所																								
Aℓメッキ材	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>	試験片符号	メッキ厚さ	浸 漬 温 度	浸 漬 時 間	A	50μ	730℃	10min	B，E	100μ	730℃	20min	滲透工業(株)												
試験片符号	メッキ厚さ	浸 漬 温 度	浸 漬 時 間																							
A	50μ	730℃	10min																							
B，E	100μ	730℃	20min																							
Znメッキ材	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>33 sec</td></tr><tr><td>D</td><td>100μ</td><td>456～458℃</td><td>130 sec</td></tr><tr><td>F</td><td>100μ</td><td>470～472℃</td><td>132 sec</td></tr></table>	試験片符号	メッキ厚さ	浸 漬 温 度	浸 漬 時 間	C	50μ	464～466℃	33 sec	D	100μ	456～458℃	130 sec	F	100μ	470～472℃	132 sec	有田工業(株)								
試験片符号	メッキ厚さ	浸 漬 温 度	浸 漬 時 間																							
C	50μ	464～466℃	33 sec																							
D	100μ	456～458℃	130 sec																							
F	100μ	470～472℃	132 sec																							
普通 鑄 鉄	FC20 相当品 (特製)	長崎鑄造(株)																								
炭 素 鋼	SS41	—																								
電 縫 鋼 管	API 5L-B (電縫部シームアニール) 114.3φ×6.02t <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>σg(kg/mm²)</th><th>σB(kg/mm²)</th><th>δ (%)</th></tr><tr><td>0.20</td><td>0.01</td><td>0.37</td><td>0.009</td><td>0.012</td><td>42.6</td><td>49.7</td><td>36.8</td></tr></table>	化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質			C	Si	Mn	P	S	σg(kg/mm ²)	σB(kg/mm ²)	δ (%)	0.20	0.01	0.37	0.009	0.012	42.6	49.7	36.8	住友金属工業(株) 和歌山製鉄所
化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質																					
C	Si	Mn	P	S	σg(kg/mm ²)	σB(kg/mm ²)	δ (%)																			
0.20	0.01	0.37	0.009	0.012	42.6	49.7	36.8																			
鍛 接 鋼 管	ASTM A120 (U L-6) 鍛接のまま 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>σg(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>	化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質			C	Si	Mn	P	S	σg(kg/mm ²)	σB(kg/mm ²)	δ (%)	0.12	0.01	0.39	0.011	0.018	—	38.2	49.3	
化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質																					
C	Si	Mn	P	S	σg(kg/mm ²)	σB(kg/mm ²)	δ (%)																			
0.12	0.01	0.39	0.011	0.018	—	38.2	49.3																			
青 銅	BC-3 相当材 (特製)	淵 製 作 所																								
アルミプラス	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>77.9</td><td>2.0</td><td>0.05</td><td>0.3</td><td>0.01</td><td>Bal</td><td>37.8</td><td>69.0</td></tr></table>	化 学 成 分 (%)						機 械 的 性 質		Cu	Aℓ	As	Ni	Fe	Zn	σB(kg/mm ²)	δ (%)	77.9	2.0	0.05	0.3	0.01	Bal	37.8	69.0	(株)神戸製鋼所 門司工場
化 学 成 分 (%)						機 械 的 性 質																				
Cu	Aℓ	As	Ni	Fe	Zn	σB(kg/mm ²)	δ (%)																			
77.9	2.0	0.05	0.3	0.01	Bal	37.8	69.0																			

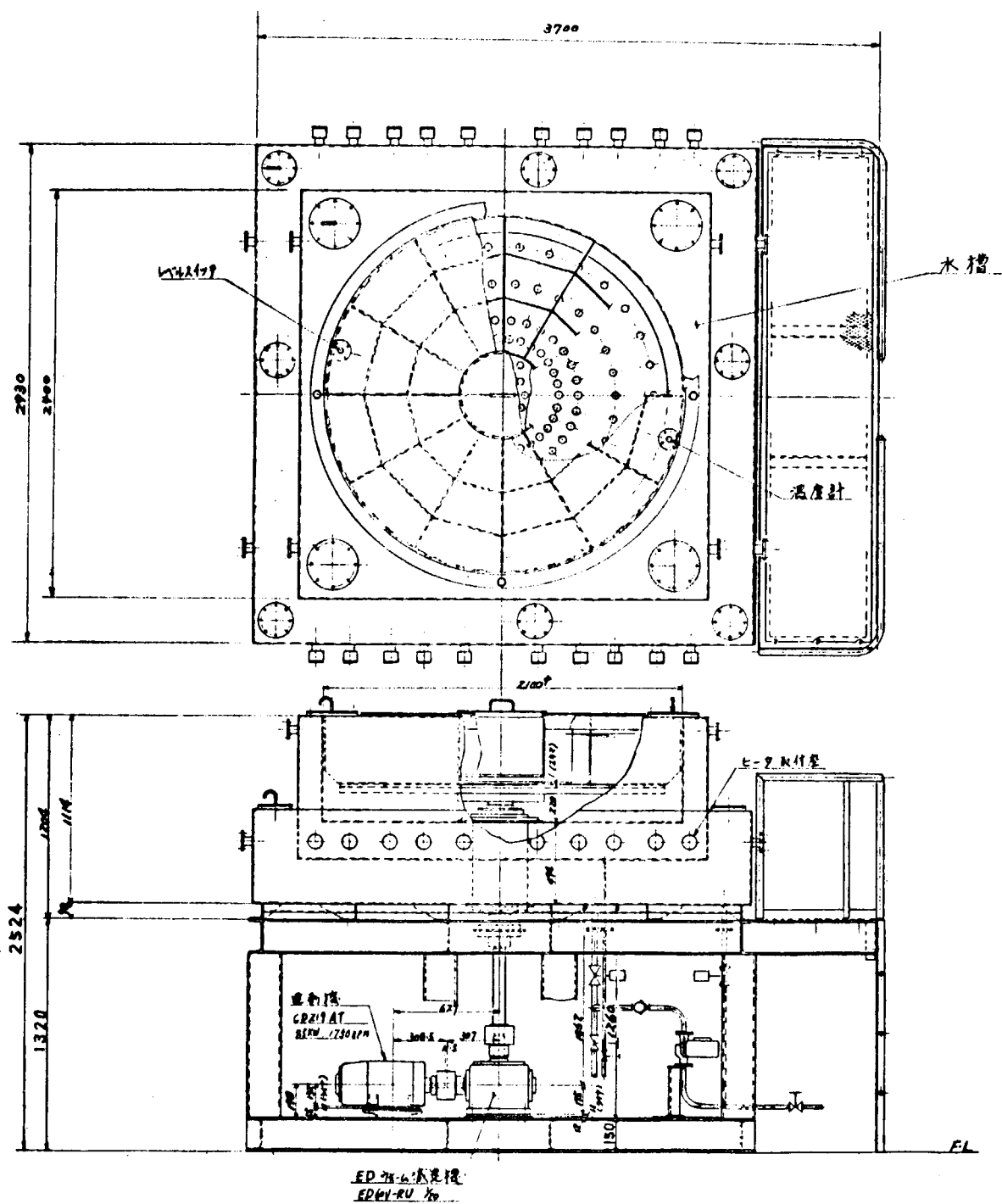
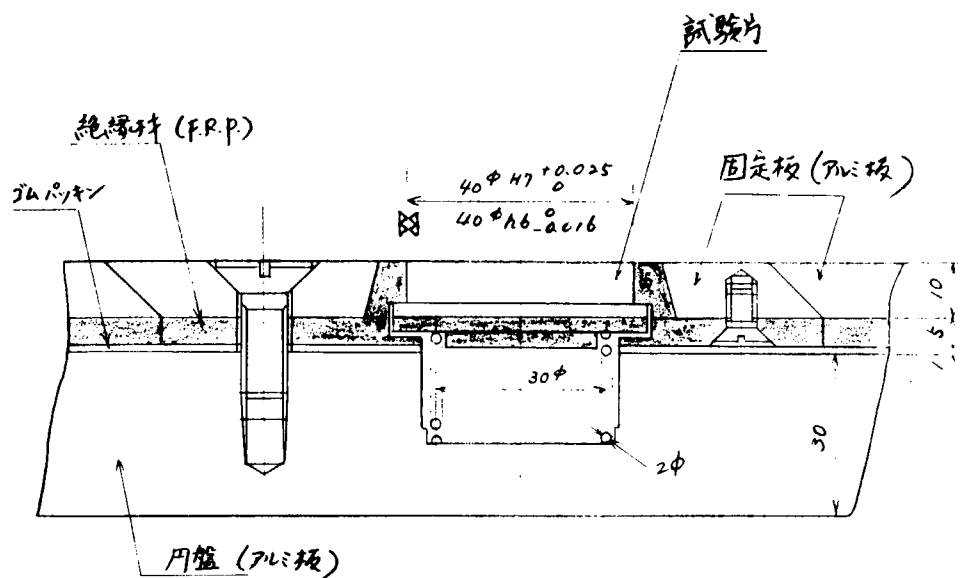


図 2.4.1 回転翼車型腐食試験装置



注) 試験片底面は、ビニール塗料を塗付
隙間の水漏防止にはシリコンゴムを注入

図 2.4.2 試験片取付要領

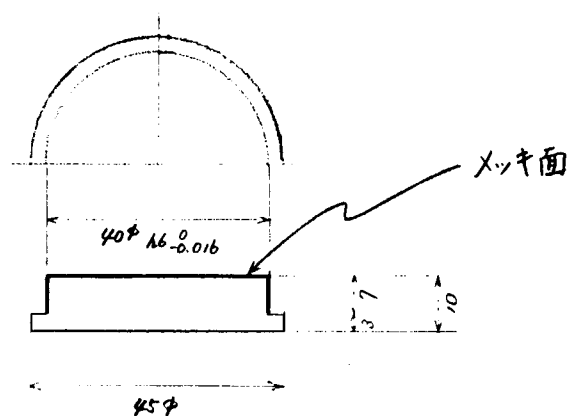


図 2.4.3 試験片形状 (メッキおよび裸試験片)

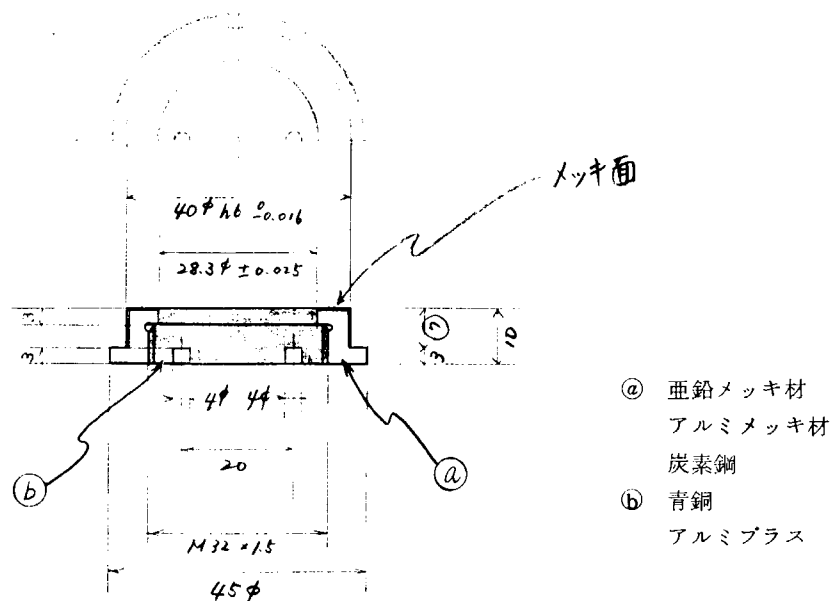
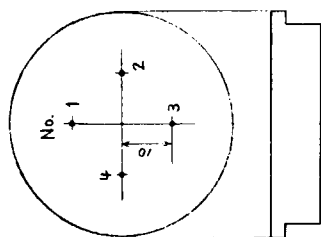


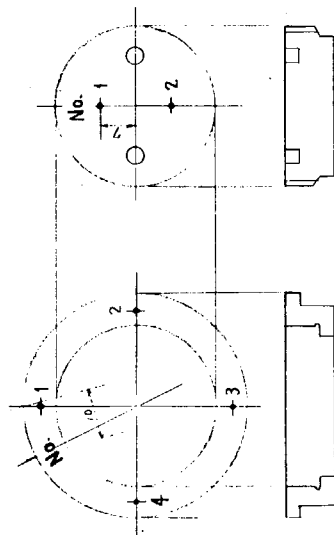
図 2.4.4 試験片形状 (異種金属接触試験片)

<メッキおよび裸試験片>



測定箇所: 1, 2, 3, 4

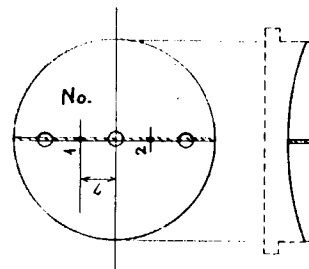
<異種金属接触試験片>



測定箇所: 1, 2

測定箇所: 1, 2, 3, 4

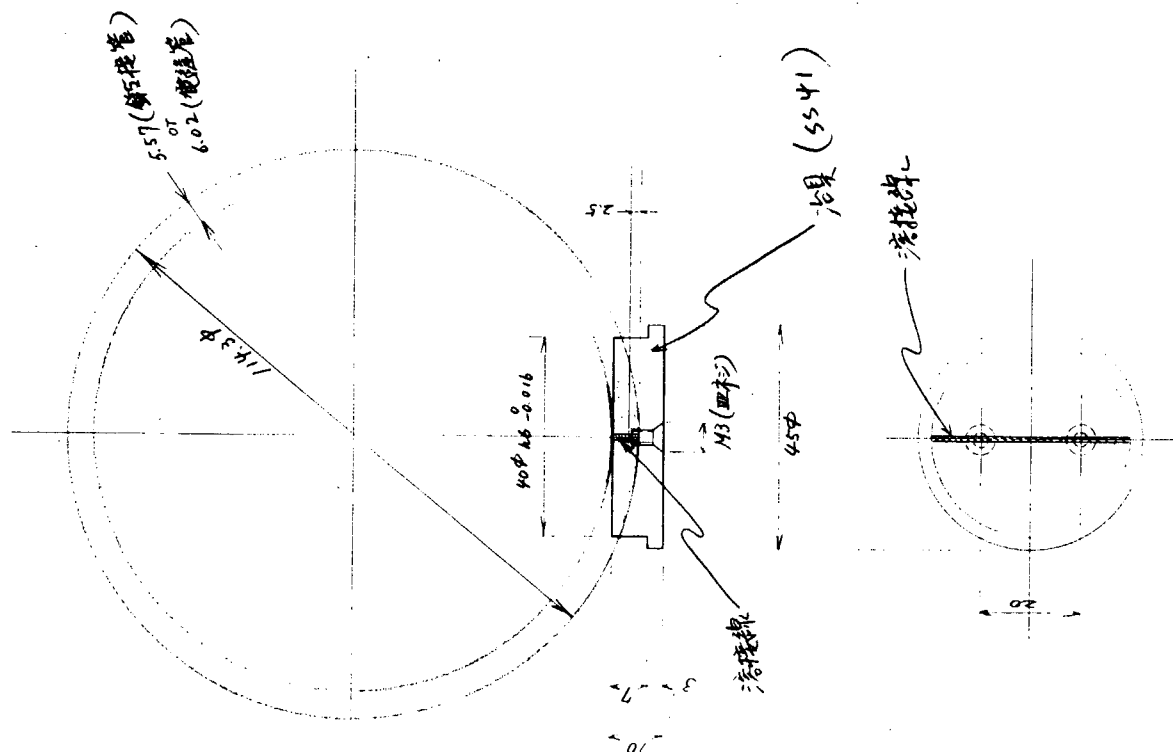
<溶接試験片>



測定箇所: 1, 2

図 2.4.6 肉厚測定要領

図 2.4.5 試験片形状 (溶接試験片)



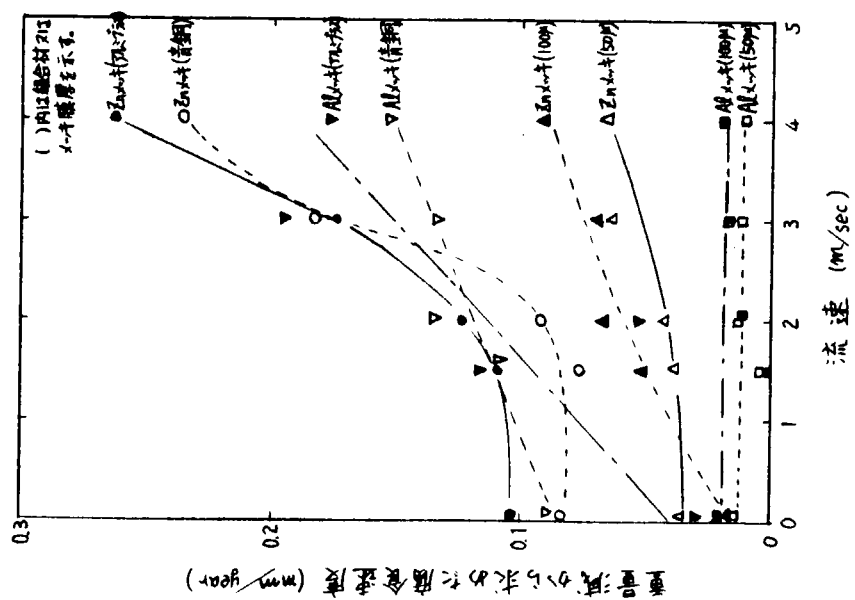


図 2.4.7 流速と腐食速度の関係 (メッキ材)

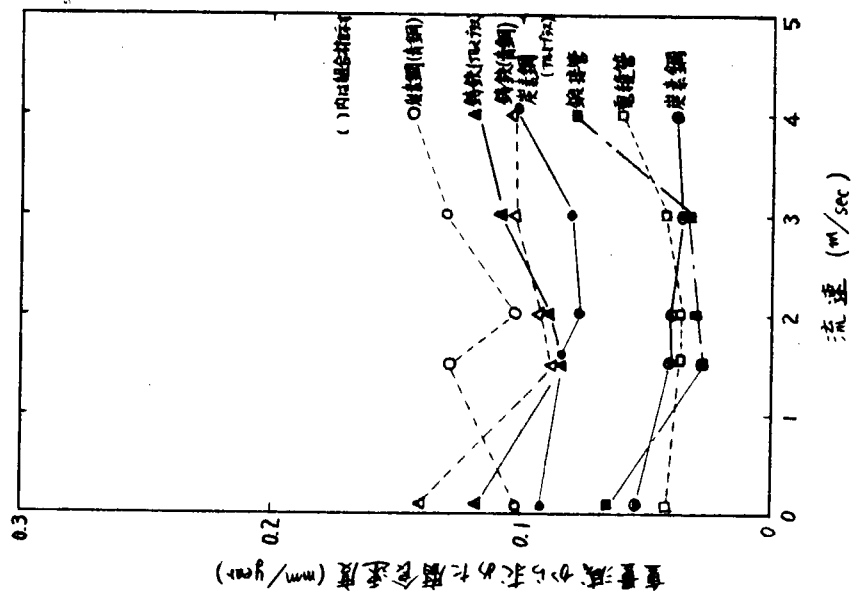


図 2.4.8 流速と腐食速度の関係 (無処理材)

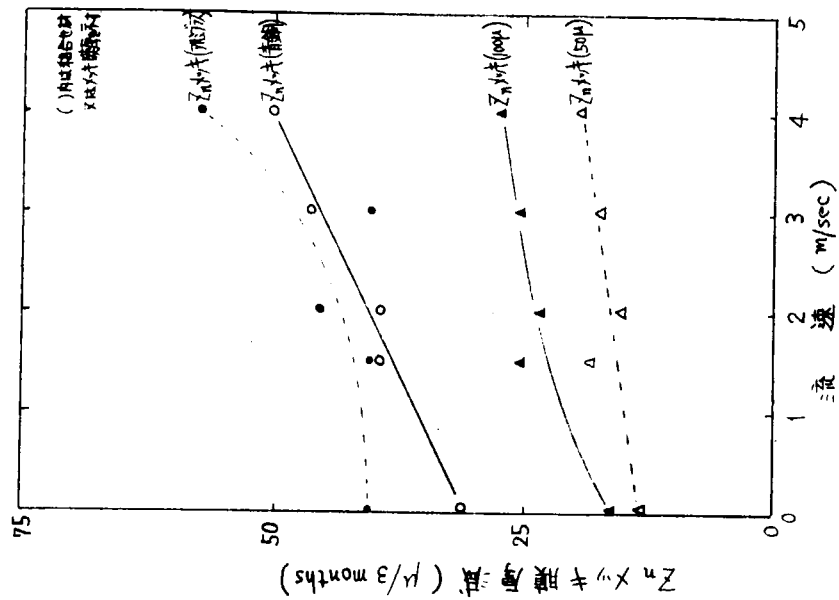


図 2.4.9 流速とZnメッキ膜厚減の関係

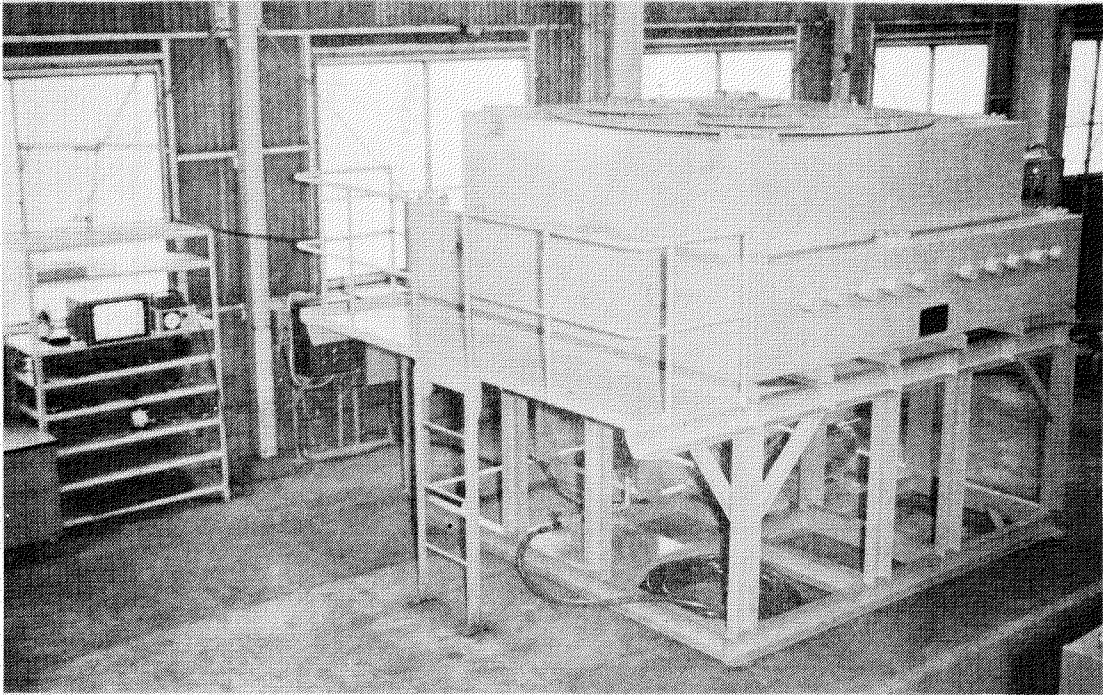


写真 2.4.1 回転翼車型腐食試験装置

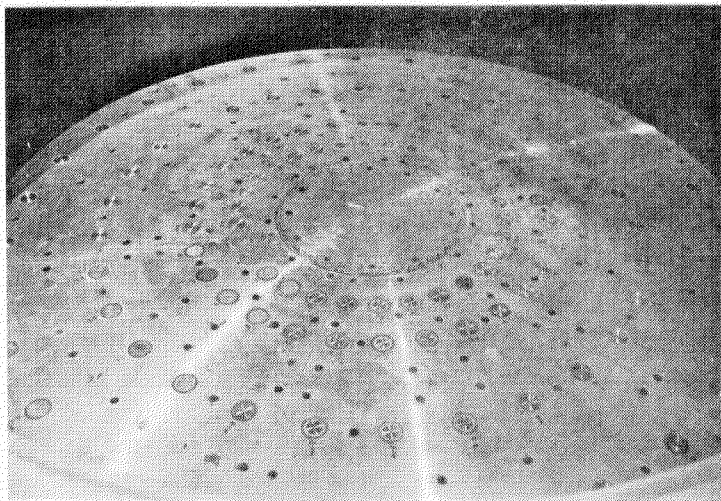


写真 2.4.2 試験片取付状況（回転円盤）

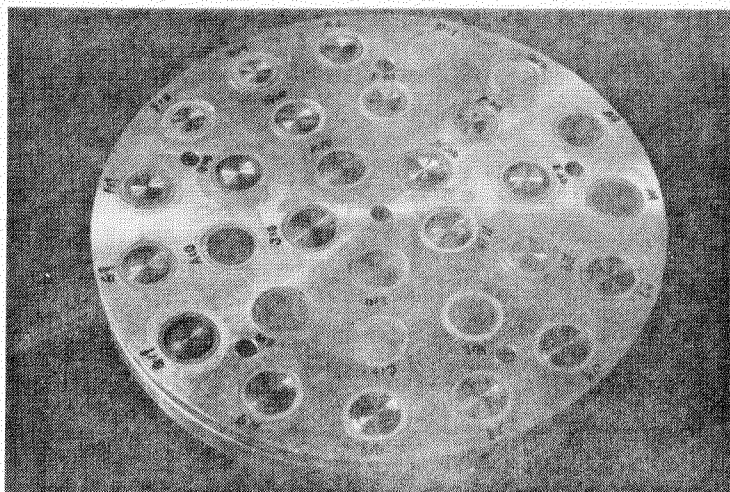
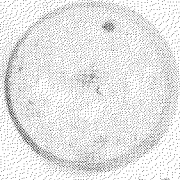
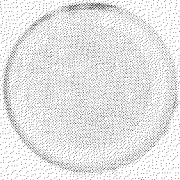
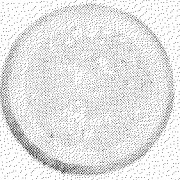
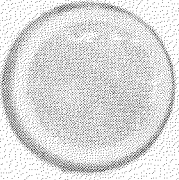
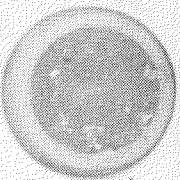
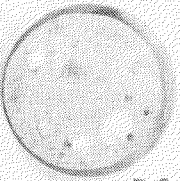
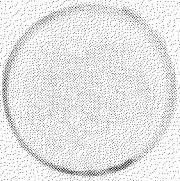
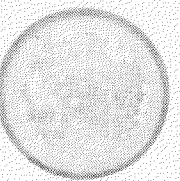
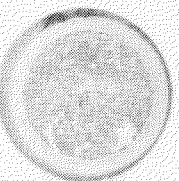
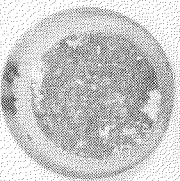
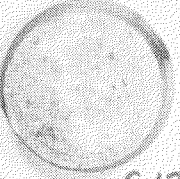
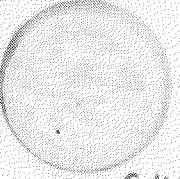
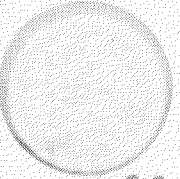
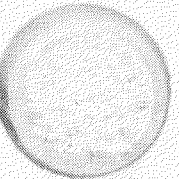
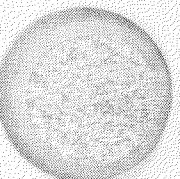
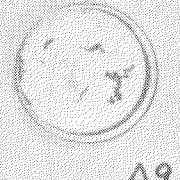
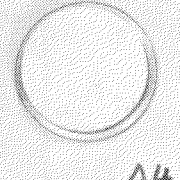
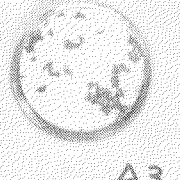
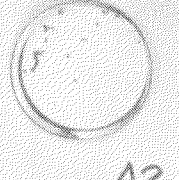
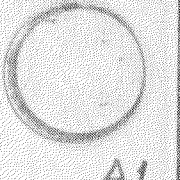
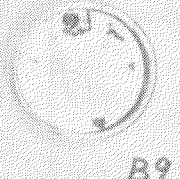
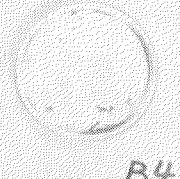
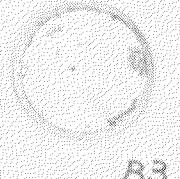
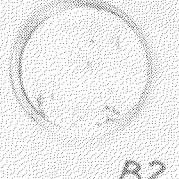
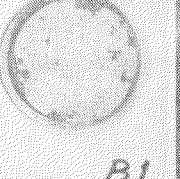
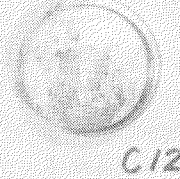
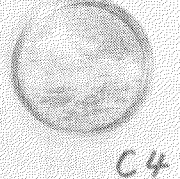
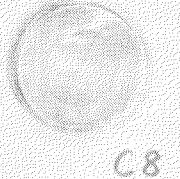
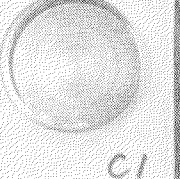


写真 2.4.3 試験片取付状況（静止円盤）

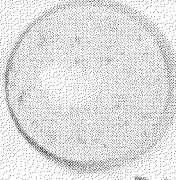
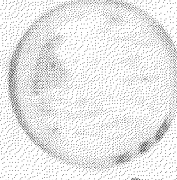
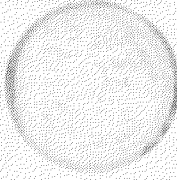
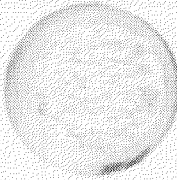
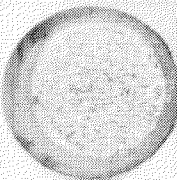
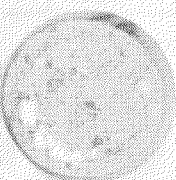
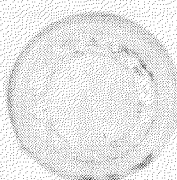
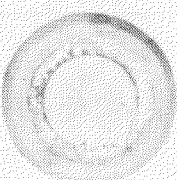
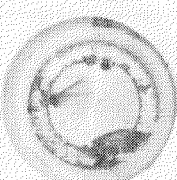
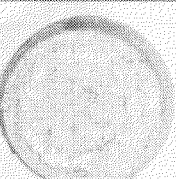
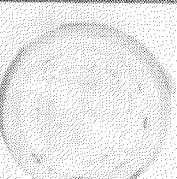
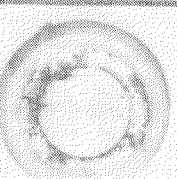
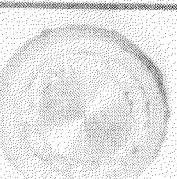
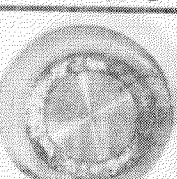
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
Al × ₁₀ ³ (50μ)	 A9	 A4	 A3	 A2	 A1
Al × ₁₀ ³ (100μ)	 B9	 B4	 B3	 B2	 B1
Zn × ₁₀ ³ (50μ)	 C12	 C4	 C8	 C7	 C1

(酸洗前)

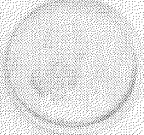
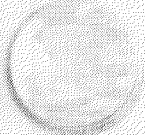
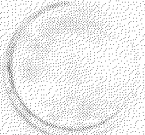
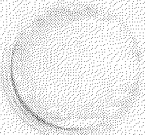
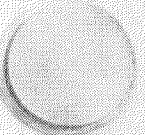
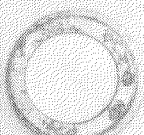
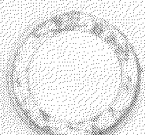
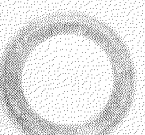
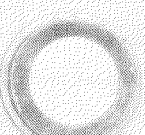
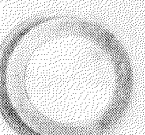
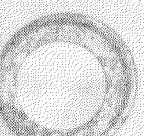
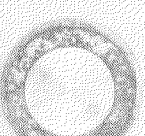
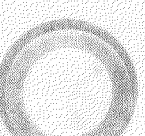
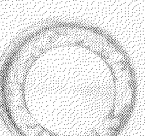
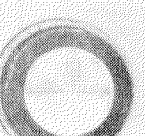
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
Al × ₁₀ ³ (50μ)	 A9	 A4	 A3	 A2	 A1
Al × ₁₀ ³ (100μ)	 B9	 B4	 B3	 B2	 B1
Zn × ₁₀ ³ (50μ)	 C12	 C4	 C8	 C7	 C1

(酸洗後)

写真 2.4.4 腐食状況

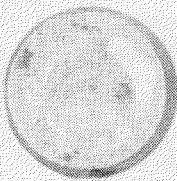
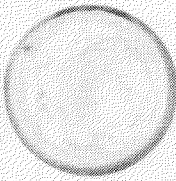
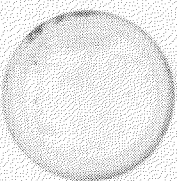
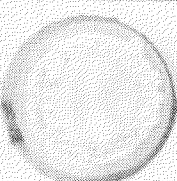
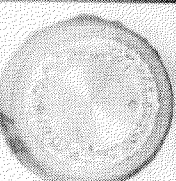
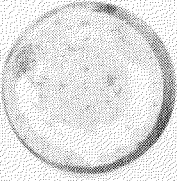
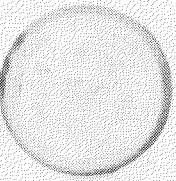
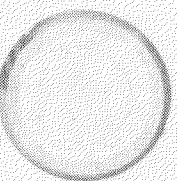
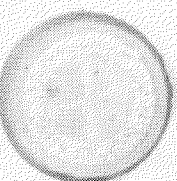
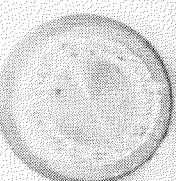
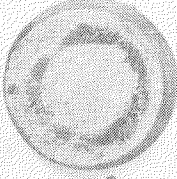
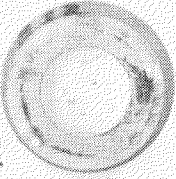
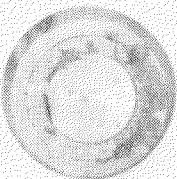
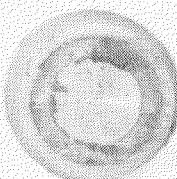
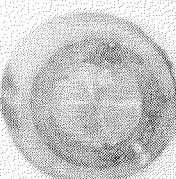
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
Zn メッキ (100μ)	 D11	 D10	 D3	 D6	 D1
Al メッキ — 青銅	 E9B	 E4B	 E7B	 E6B	 E1B
Al メッキ — アルミ ブラズ	 E19A	 E18A	 E13A	 E12A	 E15A

(酸洗前)

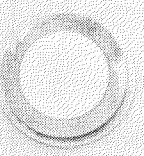
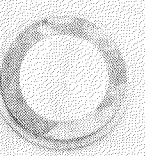
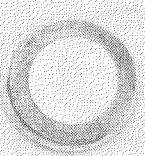
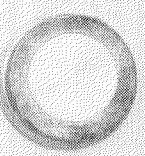
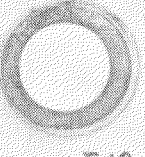
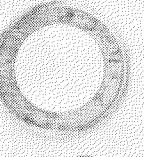
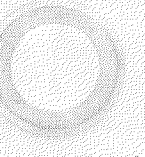
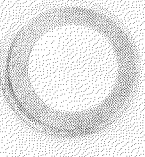
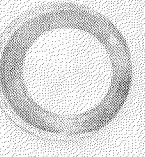
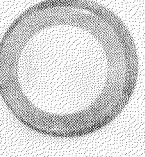
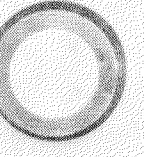
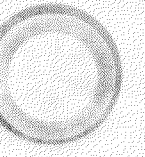
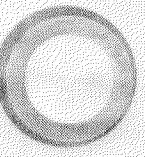
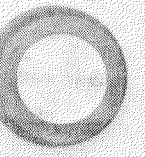
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
Zn メッキ (100μ)	 D11	 D10	 D3	 D6	 D1
Al メッキ — 青銅	 E9B	 E4B	 E7B	 E6B	 E1B
Al メッキ — アルミ ブラズ	 E19A	 E18A	 E13A	 E12A	 E15A

(酸洗後)

写真 2.4.5 腐食状況

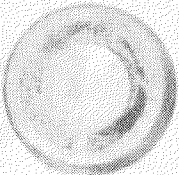
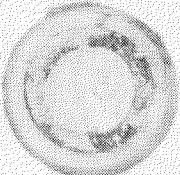
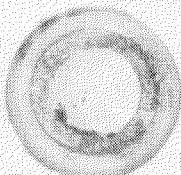
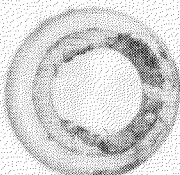
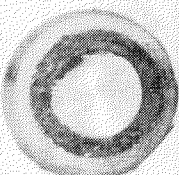
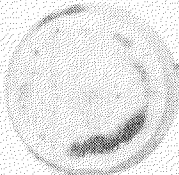
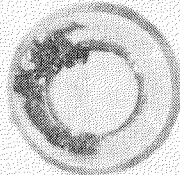
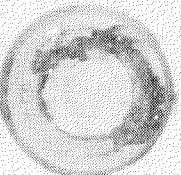
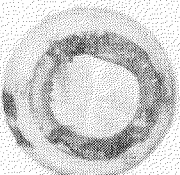
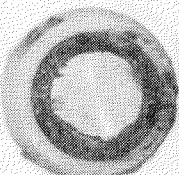
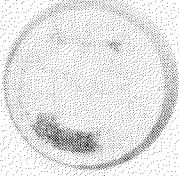
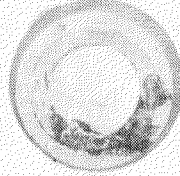
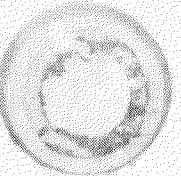
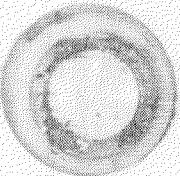
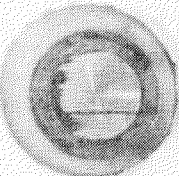
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
Zn ×ッキ — 青銅	 F18B	 F8B	 F5B	 F10B	 F3B
Zn ×ッキ — アルミ ガラス	 F19A	 F7A	 F6A	 F13A	 F12A
FC 20 — 青銅	 G10B	 G8B	 G3B	 G2B	 G1B

(酸洗前)

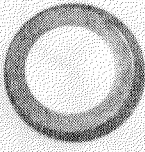
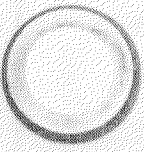
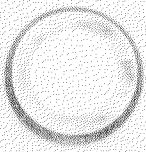
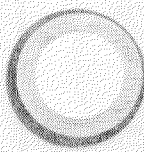
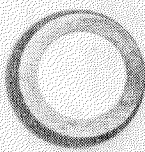
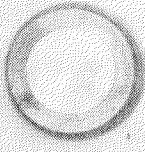
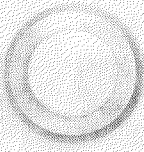
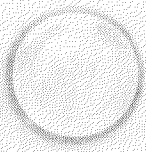
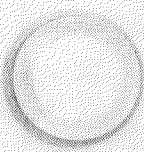
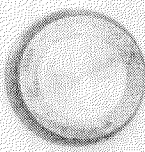
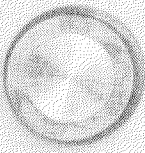
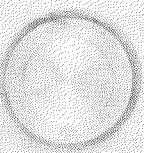
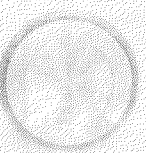
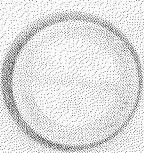
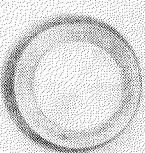
	流速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
Zn ×ッキ — 青銅	 F18B	 F8B	 F5B	 F10B	 F3B
Zn ×ッキ — アルミ ガラス	 F19A	 F7A	 F6A	 F13A	 F12A
FC 20 — 青銅	 G10B	 G8B	 G3B	 G2B	 G1B

(酸洗後)

写真 2.4.6 腐食状況

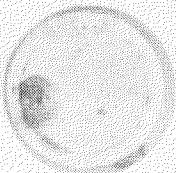
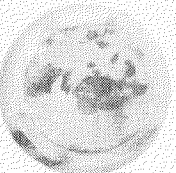
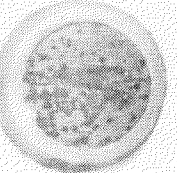
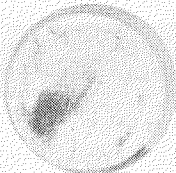
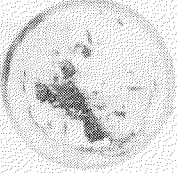
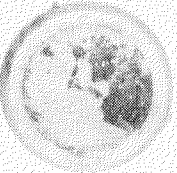
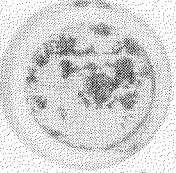
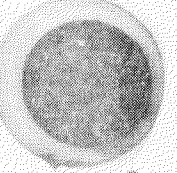
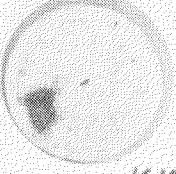
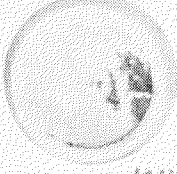
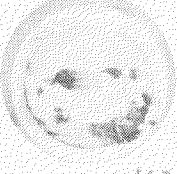
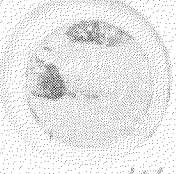
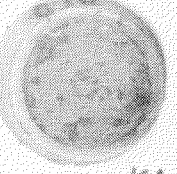
	流 速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
FC20 アルミ ガラス	 G19A	 G14A	 G13A	 G16A	 G15A
SS41 青銅	 H10B	 H4B	 H3B	 H6B	 H1B
SS41 アルミ ガラス	 H20A	 H14A	 H13A	 H12A	 H11A

(酸洗前)

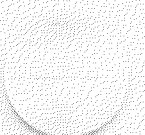
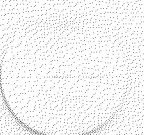
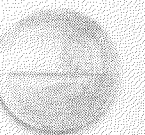
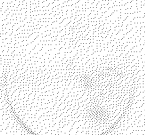
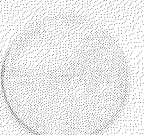
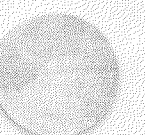
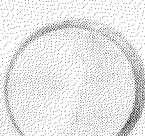
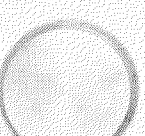
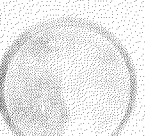
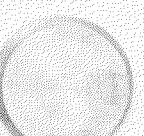
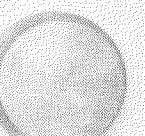
	流 速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
FC20 アルミ ガラス	 G19A	 G14A	 G13A	 G16A	 G15A
SS41 青銅	 H10B	 H4B	 H3B	 H6B	 H1B
SS41 アルミ ガラス	 H20A	 H14A	 H13A	 H12A	 H11A

(酸洗後)

写真 2.4.7 腐食状況

	流 速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
溶接材 (電綫管)	 I9	 I8	 I7	 I6	 I1
溶接材 (鍛接管)	 J10	 J8	 J7	 J2	 J1
比較材 (SS41)	 K10	 K4	 K3	 K6	 K1

(酸洗前)

	流 速 (m/sec)				
	0	1.5	2	3	4
溶接材 (電綫管)	 I9	 I8	 I7	 I6	 I1
溶接材 (鍛接管)	 J10	 J8	 J7	 J2	 J1
比較材 (SS41)	 K10	 K4	 K3	 K6	 K1

(酸洗後)

写真 2.4.8 腐食状況

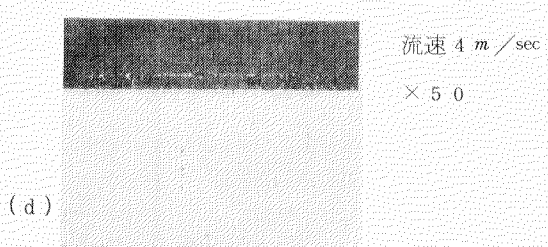
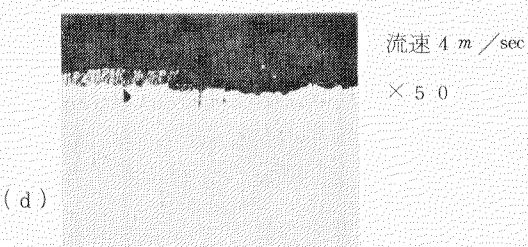
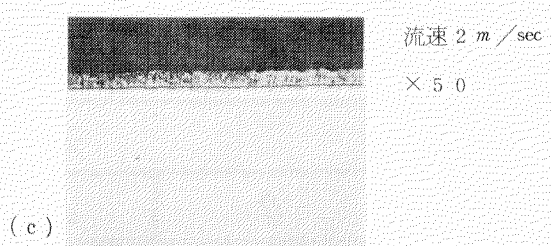
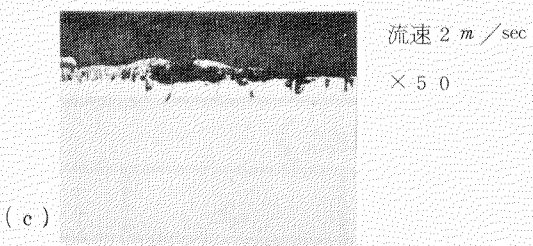
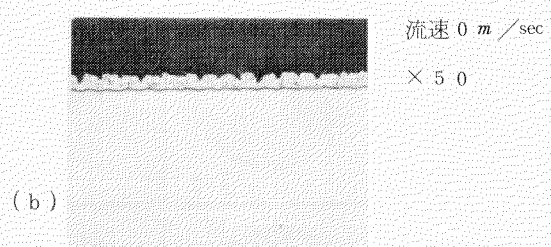
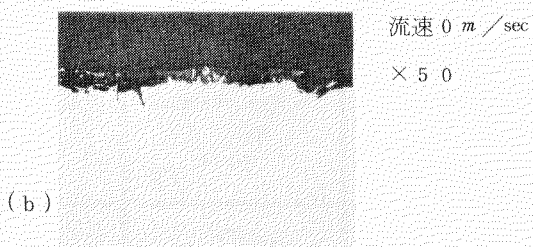
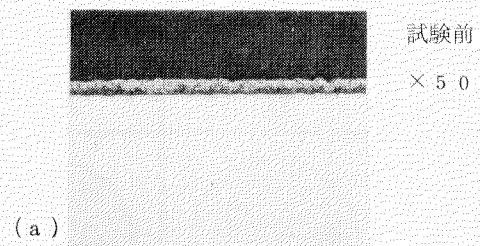
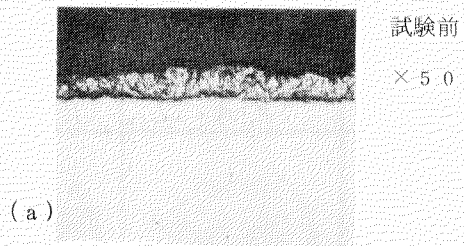
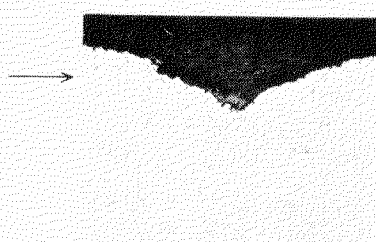


写真 2.4.9 Alメッキ材の断面
(b, c, d : 酸洗後, a : 酸洗前)

写真 2.4.10 Znメッキ材の断面
(b, c, d : 酸洗後, a : 酸洗前)



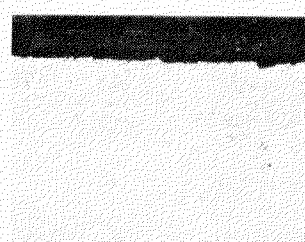
試験前
× 50



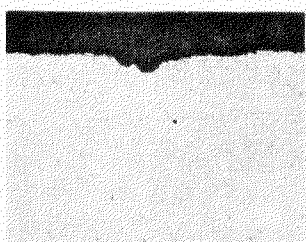
切断
試験前
× 50



流速 0 m/sec
× 50



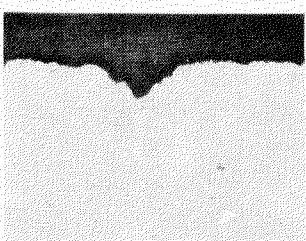
流速 0 m/sec
× 50



流速 2 m/sec
× 50



流速 2 m/sec
× 50



流速 4 m/sec
× 50



流速 4 m/sec
× 50

写真 2.4.1.1 電縫鋼管溶接部の断面（酸洗後）

写真 2.4.1.2 銀接鋼管溶接部の断面（酸洗後）