

日本船舶振興会昭和50年度補助事業
“船舶の防食防汚方法の開発に関する研究”

研究資料 No. 238

第140研究部会
バラストタンクの腐食原因および
防食方法に関する研究
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「船舶の防食汚方法の開発に関する研究」の一部として日本造船研究協会第140研究部会においてとりまとめたものである。

本研究は、5ヶ年計画の第4年度として前年度に引き続いた研究と、新しいアイデアによる防食法の研究が行なわれた。新しい防食システムは、カーゴタンクの防爆用として用いられるイナートガスの洗滌水（スクラバー海水）をバラスト海水に混合し、バラスト海水中の溶存酸素を除去して防食を図ろうとするものであり、これに関する基礎的な研究が行なわれた。すなわち、スクラバー海水との混合の割合と脱酸素効果の関係を調査し、防食法として十分可能性のあることが明らかとなつた。

前年度に引き続いた研究としては、ショッププライマー塗装と電気防食の併用による防食法、エレクトロコーティングの防食効果、低速度低応力繰返し状態における腐食防止の研究及び実船実験が行なわれた。

第140研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	秋田好雄（日本海事協会）	植田昭二（三菱重工業）
幹事	石井信夫（日本郵船）	大田元久（日本防蝕工業）
	植田健二（三菱重工業）	重野隼太（中川防蝕工業）
	翁長一彦（船舶技術研究所）	寺田泰治（日本海事協会）
	瀬尾正雄	三好貢
	南義夫（横浜国立大学）	早稻田瑞秋（中国塗料）
	湯本秀（三井造船）	
	渡辺精三（日立造船）	
委員	荒井要（神戸製鋼所）	池田稔（川崎製鉄）
	石田富之輔（日本ペイント）	伊藤剛平（日本造船工業会）
	伊東達夫（川崎汽船）	上田研一（海上保安庁）
	植田靖夫（船舶技術研究所）	岡肇（佐野安船渠）
	小川信行（日本ペイント）	奥山孝志（日本中型造船工業会）
	門智（新日本製鉄）	神谷敏夫（名村造船所）
	北田稔（尾道造船）	木津圭二（大阪商船三井船舶）
	日下幹生（大阪造船所）	小池金広（山下新日本汽船）
	近藤憲示（日立造船）	笠路真三（日本海事協会）
	佐武二郎（住友金属工業）	実藤公一（三井金属鉱業）
	坂井在広（カナエ塗料）	坂本昭弘（佐世保重工業）
	鈴木茂（関西ペイント）	鈴木省輔（函館ドック）
	染矢博文（三保造船）	高畠敏男（川崎重工業）
	谷川典人（新和海運）	長門広司（笛戸船渠）
	永野侃（昭和海運）	西川孝寛（東亜ペイント）
	播谷圭亮（石川島播磨重工業）	服部堅一（住友重機械工業）
	平山昭邦（神東塗料）	藤井勝三（臼杵鉄工所）
	松島巖（日本鋼管）	宮本新平（三菱重工業）

宮 本 芳 文(兎田化学)	村 上 正 三(日本油脂)
村 多 明(ニッコー防食)	森 山 俊(三光汽船)
湯 川 光 春(ジャパンライン)	
討議参加者	伊 藤 宏 一(三井造船)
	内 堀 利 也(日本防蝕工業)
	織 田 貞四郎(三菱重工業)
	金 沢 輝 雄(山下新日本汽船)
	川 路 正(昭和海運)
	佐々木 義 昭(日本鋼管)
	清 水 義 明(日本鋼管)
	鈴 木 昌 己(日本防蝕工業)
	轟 新 一(新日本製鉄)
	新 沢 健(日本ペイント)
	嶋 谷 四 郎(三井造船)
	山 本 昌 三(日立造船)
	山 本 豊(三菱重工業)
	岩 竹 民 哉(日本ペイント)
	海 野 武 人(中川防蝕工業)
	笠 井 清 志(海上保安庁)
	上 寺 孝 明(中国塗料)
	木 村 朝 夫(中川防蝕工業)
	座 間 正 人(三菱重工業)
	神 例 昭 一(住友重機械工業)
	玉 田 明 宏(日本鋼管)
	永 江 康 雄(三菱重工業)
	西 田 正 孝(大阪造船所)
	森 稔(川崎重工業)
	山 本 崇 也(三菱重工業)
	吉 井 徹(三菱重工業)

目 次

1. 研究の概要	1
2. スクラバー海水による新しい防食方法の研究	2
2.1 基礎試験	2
2.1.1 亜硫酸ガスを含むイナートガスを海水に吸収させたときの亜硫酸イオンの生成と海水PHの変化	2
2.1.2 スクラバー海水の脱酸素効果の検討	3
2.1.3 スクラバー海水の添加による海水中の鋼材の防食に対する予備検討	3
2.1.4 まとめ	3
2.2 防食試験	3
2.2.1 各種張排水条件における防食	3
2.2.2 繰返し応力の影響	5
2.2.3 まとめ	6
3. ショッププライマ塗装と電気防食の併用による防食法	28
3.1 試験方法	28
3.2 試験結果	29
(1) ショッププライマ塗膜の防食性能	29
(2) 電気防食に及ぼすショッププライマの効果	29
3.3 まとめ	30
4. エレクトロコーティング(E・C)の防食効果	41
4.1 試験項目	41
4.2 試験条件及び装置	41
4.3 試験方法	41
4.4 試験結果	43
4.5 まとめ	43
5. 軟鋼の低速度繰返し低応力腐食の防止に関する試験	52
5.1 試験方法および試験条件	52
5.2 試験結果	53
5.3 まとめ	54
6. 実船試験	60
6.1 電気防食関係	60
6.2 タールエポキシ塗装関係	63

1. 研究の概要

船舶のバラストタンクの腐食の原因と防食法に関する5ヶ年計画の第4年目の研究が実施された。前年度までは腐食原因の研究として、バラストタンクの環境変化が腐食に及ぼす影響、繰返し応力の影響、バラスト水の電気化学的性質の影響及び塗装効果について、小型タンク及び小型試験片を用いて実験が行なわれた。

また、防食法の研究として、電気防食の方法、電気防食と塗装の併用、イナートガスの封入等の基礎的な研究が実施された。

この結果バラストタンクの腐食原因や防食法もかなり明らかになったが、未だ解決を要する問題もあり、特にバラストタンク天井部や、バラスト水線部及び空槽期間中の防食法については問題点が残されており、これらを早急に解決する必要がある。

今年度は、前年度に引続いた研究と、新しいアイデアによる防食法の研究が行なわれた。新しい防食システムは、カーゴタンクの防爆用として用いられるイナートガスの洗浄海水（スクラバー海水）をバラスト海水に混合し、バラスト海水中の溶存酸素を除去して防食を図ろうとするものであり、これに関する基礎的な研究が行なわれた。すなわちスクラバー海水の化学的性質、バラスト海水との混合の割合と脱酸素効果の関係等を調査し、防食法として十分可能性のあることが明らかとなった。この見通しに立って更に実用試験が来年度に計画されている。

前年度に引続いた研究としては、ショッププライマー塗装と電気防食の併用による防食法、エレクトロコーティングの防食効果、低速度低応力繰返し状態下における腐食防止の研究及び実船実験が行なわれた。すなわち、

- (1) タールエポキシン塗料による全面塗装は最も効果的な防食法と考えられるが、それには設備、塗装工、工期、船価等の多くの問題点が残されている。一方電気防食単独の防食法は空槽時の防食効果、必要な防食電流密度の増大等なお問題点が残されている。鋼材には般般構造組立の前にショッププライマー塗装が施されており、この塗装と電気防食を併用すれば塗装と電気防食の短所を補って経済的な防食効果が期待される可能性があり、4種類のショッププライマーについて防食効果が検討された。このうち無機ジンクプライマーが最も良い防食効果を示したので、次年度にはこのプライマーについて引き続き各種の実験を行うこととしている。
 - (2) 電気防食の効果を高めるには、バラストタンクの漲水時に生成するエレクトロコーティングが空槽時に効果を発揮し、これが持続することである。このエレクトロコーティングはそれが生成されるときの条件によって防食効果が支配されるので、電気量及び通電電流密度と防食性の関係について調査された。
 - (3) 前年度までの研究では低速度低応力の繰返しの下では鋼材は孔食を伴う腐食が認められているので、この孔食の生成条件を確認し、さらに陰極防食を適用し得場合の防食効果及び防食条件について調査された。
 - (4) 実船による実験としては、エレクトロコーティングの効果を調査するため、エレクトロコーティングを施した試験片を2隻の船のバラストタンク内に取り付けた。この結果は約1年後に調査する予定である。又、第2年目に9隻の船のバラストタンク内の一部に試験塗装を施して塗膜の経年変化を調査している試験は、本年で2年を経過するが、9隻のうち本年度に入渠した3隻についてはいづれも塗膜の状況は良好であった。この調査は今後も引き続き行なわれる予定である。
- 以上が本年度の研究の概要であるが、以下に各項目の詳細について述べる。

2. スクラバー海水による新しい防食方法の研究

これまでの研究でバラストタンクの腐食原因がかなり明らかになったものの防食方法を見るとき、表 2.1.1 に示したように天井部は塗装による防食、バラスト部分は塗装、又は電気防食方法と特に新しい防食方法は見出されない。このようなことから本年度はバラスト部分（海水バラストが張られたり、排出されたりする部分）の防食方法として新しいアイデアに基づいた防食方法について検討した。

新しい防食方法はカーゴタンクの爆発防止方法として採用されているイナートガスシステムを利用して防食方法のフローシートを図 2.1.1 に示す。

図からわかるように、現在のイナートガスシステムにおいては注入する不活性ガスとしてはボイラ燃焼ガスを利用し、ガス中の亜硫酸ガスのような腐食性ガスを予め海水洗浄によって除去した後、タンク内に封入するようになっている。

したがって、亜硫酸を含んだ洗浄海水（300m³/H 程度）が現在のイナートガスシステム採用船では海洋投棄されている。本研究は、このスクラバー洗浄海水中に含まれた亜硫酸イオンの中性塩水溶液中での脱酸素作用に着目し、バラスト海水とこのスクラバー洗浄水とを適量混合して、水中の腐食要因である溶存酸素を除去して、防食をはからうとするものである。試験は基礎試験として、

- 1) 亜硫酸ガスを含む不活性ガスを海水に吸収させたときの亜硫酸イオンの生成効率と海水 pH の変化
- 2) このようにしてできたスクラバー海水の脱酸素効果の検討

を行ない、防食試験として、

- 3) スクラバー水単独による防食効果
- 4) 電気防食との併用による防食効果
- 5) イナートガスとの併用による防食効果
- 6) イナートガスと電気防食との併用による防食効果
- 7) 上記 3) ~ 6) の条件における繰返し応力の存在するときの防食効果

を行なった。

2.1 基礎試験

2.1.1 亜硫酸ガスを含むイナートガスを海水に吸収させたときの亜硫酸イオンの生成と海水 pH の変化

(1) 実験装置

図 2.1.2 に示したように N₂, SO₂, CO₂ ガスをポンベより一定量流し混合箱(4), (5) でよく混合して海水に通気した。実験に使用したガス組成を表 2.1.2 に示す。実験温度は 16 °C である。

(2) 実験結果

一定量の海水に人工排ガスを吸収させたときの海水 pH の変化におよぼすガス量の影響を図 2.1.3 に示し、生成した SO₃²⁻ 濃度と pH の関係を図 2.1.4 に示す。

この実験結果から実船におけるイナートガスシステムの運転条件は図 2.1.3 に示したようにガス量／海水の比が 3.0 ~ 6.0 Nm³ / 1m³ であるから実船のスクラバー海水の pH は亜硫酸ガス濃度によって変化するが、大略 3 ~ 4 近くなることがわかる。実船において計測した結果も SO₂ 濃度 2,200 ppm ガス量／海水比 = 3.4 Nm³ / 1m³ のとき pH 3.7 で本実験結果とよく一致した。

尚、図 2.1.4 は pH の計測によって、スクラバー水中の亜硫酸濃度を推定できることを示すと同時にガス吸収後の海水の pH と亜硫酸イオン濃度関係は通過した亜硫酸ガスの統計で決まることを示している。

2.1.2 スクラバー海水の脱酸素効果の検討

図 2.1.2 で示した装置を使用して一定量のスクラバー海水(9)を海水(15)に添加し、そのときの溶存酸素の変化をガルバノ式溶存酸素メータ(16)で計測した。

図 2.1.5 は亜硫酸イオンを添加した後の海水中の溶存酸素の減少の模様を示したもので溶存酸素量の約 2 当量の亜硫酸イオンの添加で 7 分程度で酸素は消失している。当量濃度は近い 3.1 ppm の添加では理論上 1.2 ppm の酸素が残留する筈であるが 5,000 秒後 2.3 ppm の残留酸素を示し、これ以降も殆んど反応は進行しないことをこの図は示している。

2.1.3 スクラバー海水の添加による海水中の鋼材の防食に対する予備検討

図 2.1.2 に示したスクラバー海水調整装置、スクラバー水を調整し、図 2.1.6 に示した試験容器(1)の気槽部の空気を追出し、上方よりスクラバー海水(7)を所定量流下させてバラスト海水(3)に加え、充分混合させる。次に試験容器(1)を開放して速かに試験片(2)を吊下げ密栓する。再び(4)より N₂ ガスを送入して上方気槽部を N₂ で置換した後、密栓したまま 16 日間試験片の浸漬試験を行なった。海水に添加した亜硫酸濃度と鋼材の腐食の関係を図 2.1.7 に示す。図に於いて亜硫酸イオンを 1.0 ~ 6.0 ppm の添加したとき腐食量は無添加の場合に較べて約 1/3 以下に減少していることがこの図からわかるが、一方過剰の添加は腐食を促進することを示している。過剰のスクラバー海水の添加は海水の pH を酸性化するためであって、海水の pH は 6 以上に保持する必要があることが本試験によって明らかになった。図 2.1.7 に参考のため海水 pH を付記しておいた。

2.1.4 まとめ

- (1) 海水に燃焼排ガスを吸収させたときのガス吸収後の海水(スクラバー水)の pH と亜硫酸イオン濃度の関係に通過した亜硫酸ガスの総計で決まる。
- (2) スクラバー海水による脱酸素速度はバラストタンクの防食に充分使用できる程度の速度を示した。
- (3) スクラバー海水添加量は海水の pH が 6 ~ 7, SO₃²⁻ 濃度として 2.0 ~ 6.0 ppm 添加すれば鋼材の普通海水に対する腐食に対して 1/3 以下に減少せしめる可能性のあることを示した。

* 1 亜硫酸イオンの脱酸素作用の基本反応は



水中の溶存酸素 1 ppm の除去には理論上 Na₂SO₃ 7.9 ppm, SO₂ 4 ppm, SO₃²⁻ として 5 ppm 必要である。

2.2 防食試験

2.2.1 各種張排水条件における防食

(1) 試験条件

第 1 年度研究で製作した恒温槽を使用し、1 m 角鋼製タンクに小型の試験片を吊下げて、表 2.2.1 に示した試験条件で試験した。

(2) 試験結果

張水日数、防食条件の異なる場合のバラスト部分^{*1}の鋼材の腐食試験結果を図 2.2.1 に示す。図に於て □ は 80 日間の腐食試験結果を ■ は 160 日間の腐食試験結果を示した。試験槽内の深さ方向の腐食分布は図 2.2.2、図 2.

* 1 バラスト部分とは海水バラストが張られたり、排出されたりする部分のことで、本試験では 1 m 水槽の下面より 70 cm までの部分。詳細は既報 1.2.3 参照。

2.3 に示した。図 2.2.1, 図 2.2.2, 図 2.2.3 には比較のため既研究で得られたスクラバー水を利用しない従来の電気防食方法による試験結果を併記した。図で自然海水と書いたのがそれである。

タンク内各部の腐食の模様は次のようであった。

(a) 天井部の腐食

図 2.2.2, 図 2.2.3 (試験片取付位置 0 mm) に見られるように雰囲気が、空気雰囲気およびイナートガス雰囲気ともとくに腐食速度に相違は認められず各張排水周期において約 0.15 mm/Y 程度の腐食であった。

(b) 空槽部の腐食

この部分は図 2.2.2, 図 2.2.3 に示した試験片取付位置が試験槽の天井部から下方へ 10 cm の部分で、空気又はイナートガス中に吊下げられた状態での腐食を示したもので得られた結果は次のとおりである。

(i) 脱酸素海水とイナートガス雰囲気中では張排水周期が短い程腐食は大きくなる傾向を示した。

$$f = 10 \text{ 日} > f = 20 \text{ 日} > f = 40 \text{ 日}$$

(ii) 一方脱酸素海水・空気雰囲気中でも同じ傾向を示しているが、 $f = 10 \text{ 日} > f = 20 \text{ 日}, f = 40 \text{ 日}$ とその影響のしかたが若干異なるようである。

イナートガス雰囲気の場合の腐食におよぼす影響が大きい理由は各バラスト周期毎に新にイナートガスを封入する実験条件であるため、イナートガスの注入量が $f = 10 \text{ 日} : f = 20 \text{ 日} : f = 40 \text{ 日} = 4 : 2 : 1$ と多いことが主な原因と考えられる。

しかしそのような条件は(a)の天井部でも同じであり、この部分の腐食が張排水周期、封入ガス雰囲気の相違によって余り変わることと矛盾する。同じ環境条件にありながら場所によってこのように腐食の異なることがバラストタンクの腐食が複雑であり、防食の難かしいところである。この点を明確にするにはより詳細な検討が必要であるが、一応次のように考えている。

本試験条件ではタンク天井部の温度は外気の影響を受けてタンク内温度より低いので、かなり多量の水滴が天井部内面に付着し、ある場合には水滴となって落ちることもあり、どちらかと言えば水中浸漬時の腐食環境に近いものと考えることができる。これに対し(b)の場合は内部のため温度変化を受けることが少なく、殆んどタンク内雰囲気の露点温度に近いため、水滴の量も僅かであって、これに腐食性ガスの亜硫酸ガスがひんぱんに供給される条件と重なって鋼材表面に濃厚な酸性液を生じるであろう。このような亜硫酸ガス吸収液の腐食性については吸収液が海水の場合ではあるが、2.1.3 項(図 2.1.7)に示しておいた。

又、イナートガスのチャージ回数と密接な関係にあることは第 2 年度報告においても示しておいた。

したがって実船においてイナートガスのバラストタンク封入に当っては、そのチャージ量(回数)を極力減らす工夫と殆んど露点温度に等しい温度条件を生じるタンク部分があればその部分に対しては塗装等の適当な防食手段を併用する等の考慮が必要であろう。

(c) 潮位部の腐食

この部分は図 2.2.2 ~ 2.2.3 で示した試験片取付位置の 20 ~ 30 cm の部分で(海水張水時にだけ海水に浸る部分、普段は空槽部分)、電気防食のない場合には空気雰囲気の場合よりイナートガス雰囲気の場合が腐食は約 $1/2$ となり、イナートガスの封入は防食効果のあることを示した。

しかし電気防食のある場合には空槽部分が空気雰囲気、イナートガス雰囲気のいずれの場合にも防食効果に相違を認めなかつた。

(d) バラスト部の腐食

本研究における防食対象部分はこのバラスト部分であるが、スクラバー排水を利用する防食法も従来の防食法(自然海水 — 電気防食)と同じように張排水周期の相違はやはり防食効果に影響を与えている。即ち、張水期間の短い日数(5 日)では防食効果が若干劣っているが図 2.2.1 の結果から見られる。しかし従来法に較べると防食

効果の改善の著しいのは明らかである。特にイナートガスを空槽期間中に封入した場合の防食効果は極めて良好でやはり空槽期間中の防食対策がバラストタンク防食の鍵であることがこの研究によっても示された。

又、スクラバー海水と空槽期間中を空気雰囲気とした場合に電気防食を併用した防食条件では自然海水と空気雰囲気に電気防食を実施した従来のバラストタンク防食方法の場合に較べて防食効果は若干劣っていることを図2.2.1の結果は示しており、電流密度 200 mA/m^2 では平均腐食量は小さくなつたものの、試験片表面の所々にピットを発生する好ましくない結果を示した。

試験片表面には電流密度が高くなるとエレクトロコーティングが多量に付着したが、空槽期間中の雰囲気が空気の場合には試験片表面にピットを生じることからみて、スクラバー海水中で生じるエレクトロコーティングの質は、通常の海水中で生じるエレクトロコーティングと異なり空槽期間中のエレクトロコーティングによる電気防食の複次効果を期待できないことを示唆している。図2.2.4～図2.2.9はスクラバー海水中での試験槽の電位変化を示したもので海水中の酸素を脱酸素することと、空槽期間中の錆の発生を防止する手段を講ずることによって、バラスト期間中の電位を速かに防食電位以下にまで下げることが可能であることを示し、図2.2.1～図2.2.3に示した試験片による腐食結果とよく対応していることがわかる。

以上の結果を要約すると次のようになる。

- (イ) バラスト注入時にスクラバー海水を添加して海水中の溶存酸素を除去する手段と空槽部分からの空気の溶解を予防する手段としてイナートガスを封入する。
- (ロ) 空槽期間中にはイナートガスを封入する。

以上のシーケンスをくり返すことによって張排水周期が10日のような腐食に対して厳しい場合でも電気防食 50 mA/m^2 で 0.18 mm/Y と現在の正常腐食値 0.25 mm/Y 以下となる程の防食結果を示し、周期40日では、電気防食はなくても充分であるとの結果を得た。

このように新しい防食法は張排水のくり返される腐食雰囲気に対して極めて有効な防食方法であることが明らかになった。

2.2.2 繰返し応力の影響

(1) 試験条件

応力付加条件を0, 0.05% (10 kg/mm^2), 0.1% (18 kg/mm^2), 0.2% (27 kg/mm^2), 0.7% の5段階の定ひずみとし、応力、繰返し速度を2回/dayとした。試験装置は第1年度研究で製作した応力付加腐食試験装置を使用し試験片もこれまでの同一形状のものを使用した。

バラスト海水の張排水条件はこれまで通りの張水期間10日、空槽期間10日、雰囲気温度 40°C とした。但し、海水を張るとき第1年度～第3年度研究では 40°C に保温したものを張水したが、今回はそのまま注入した。

試験条件を表2.2.2に示す。

*1

イナートガス組成は、 SO_2 0.02%, O_2 5%, CO_2 15%, 残り N_2 ガスとし、空槽期間の最初の日時に毎回封入した。繰返し応力の付加されたときの腐食量の変化を図2.2.10, 図2.2.11に示す。図2.2.10はポイントマイクロメータ(針先端 $0.3\text{ mm}\phi$)によって応力最大部の周囲6点の平均浸食量(片面よりの腐食表示)を示したもので、図2.2.11は重量減より試験片全体の平均浸食量を求めたものである。図の中に第1年度の結果を参考のため併記した。

図2.2.10の結果もやはり空槽期間のイナートガスの併用が防食に有効であることを示した。この結果で特異な結果が2つ見られる。1つはスクラバー海水とイナートガス併用の場合に電気防食による防食効果があまり見られないこと、もう1つは防食効果が繰返し応力の影響を殆んど受けないことである。一方、空槽期間中の雰囲気が空気の場

*1 この組成は乾ガス状態を示す。実際は 40°C の水分飽和ガスになる。

合は 2.2.1 で得られたと同じように防食効果はよくない結果を示した。

このようなスクラバー海水とイナートガスの併用の防食方法は繰返し応力の影響を殆んどうけないで良好な防食効果の得られる結果を得たが、更に長時間経過してもその効果が持続されるかどうか現在 160 日間の試験を続けており、その結果によって確認したい。

尚 1m 角試験槽で試験した結果、図 2.2.1 と繰返し応力を加えたときの試験結果、図 2.2.10 に於て◎印を付加したもののはこの両者の試験装置が異なるとは言え試験条件（無応力、無防食、スクラバー排水とイナートガスの併用）は同じにも拘らず、腐食量に大きな相異を示した。これらの電位計測結果図 2.2.6～図 2.2.7 と図 2.2.14～図 2.2.15 の結果をみると 1m 角タンク試験槽の場合（図 2.2.6～図 2.2.7）時間と共に電位が貴方向へ変化し、腐食の進行を示唆しているのに対して防食効果のある場合の図 2.2.14～図 2.2.15 では電位の経時変化を示していない。このように外部への情報にも差が認められる。これらの点については今後の試験結果を見た上で検討したいと考えている。

2.2.3　まとめ

- (1) バラストタンクの防食方法としてバラスト海水中の酸素を脱酸素し、空槽期間中にはイナートガスを封入する防食方法は、従来の電気防食方法が繰返し応力の存在によって防食効果の低下するのに対して、そのような場合にもきわめて有効である見通しを得た。
- (2) しかし、空槽期間中に空気を封入したのでは腐食がかえって促進される傾向を示した。

本研究の結果から

バラスト海水の脱酸素、イナートガスの空槽部への封入、電気防食の併用はバラストタンクのバラスト部分の防食方法として有効な方法と考えられ、IGS を装備した船では直ちに適用可能な方法と考えられる。

表 2.1.1 バラストタンク防食方法と問題点

(設計構造上の防食対策は除く)

環 境	防 食 方 法		効 果	問 題 点
天 井 部	1	イナートガスの封入	O ₂ 2~8%で著しい防食効果なし。	
	2	塗 装	略完全	塗装工数、塗料コストの低減が望ましい。
	3	イナートガスと簡易塗装		塗料、塗装方法
バラスト部	1	亜鉛による電気防食 (電流密度 100mA/m ² 以下)	張水率(%) + α	αにあまり大きな期待がもてない。
	2	電流密度増加による電気防食 (200mA/m ²)	80~90%	コストの増大と取付工費(足場)の増大。
水 線 部				

表 2.1.2 イナートガスの組成

	C O ₂ (%)	S O ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
A	11.5	0.362	5	残
B	11.5	0.134	5	残

表 2.2.1 試験条件

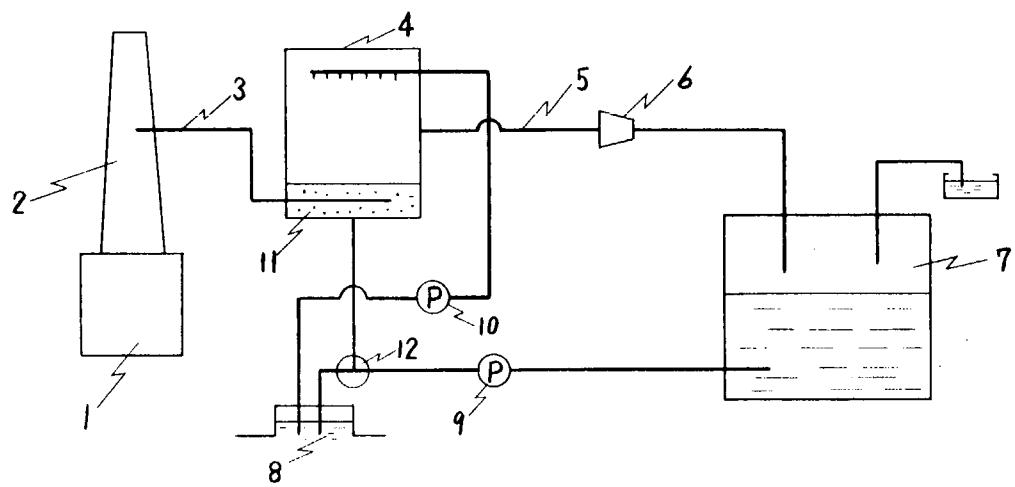
使用海水 [*] (S O ₃ ²⁻)	空槽部及び空槽期間 中の雰囲気	防 食 電 流 密 度 (mA/m ²)	間 期 (Dag)	張 水 率 (%)
30 ppm	空 気	0	10	50
			20	
			40	
30 ppm	"	50, 100, 200	10	50
			20	
			40	
30 ppm	イナートガス	0	10	50
			20	
			40	
30 ppm	"	50, 100, 200	10	50
			20	
			40	

* S O₃²⁻ を海水に添加後の残留 S O₃²⁻ を示したもので添加量はこの約2倍である。

表 2.2.2 試験条件

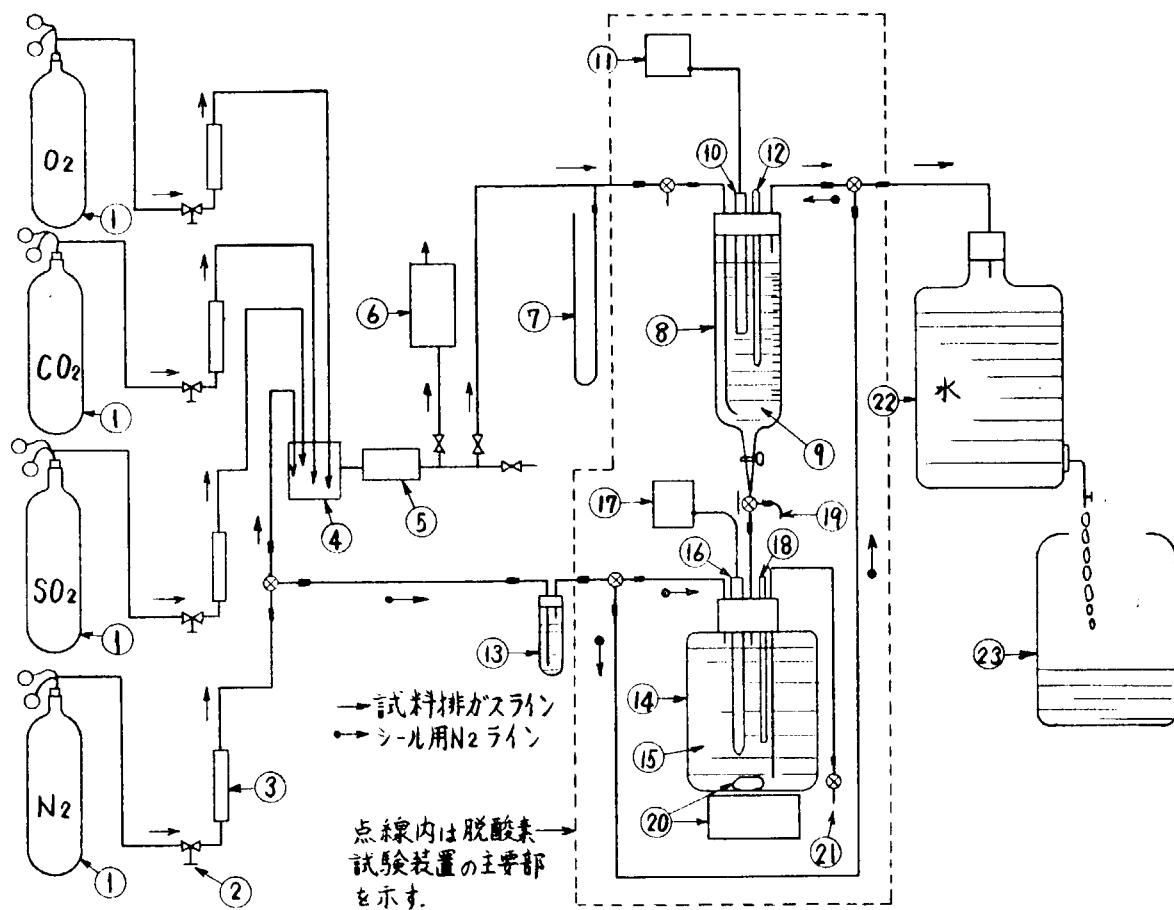
使用海水 [*] (S O ₃ ²⁻)	空槽雰囲気	防 食 電 流 密 度 (mA/m ²)	繰 返 し た 応 力 (%)
30 ppm	空 気	0	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.7
30 ppm	空 気	100, 200	"
30 ppm	イナートガス	0	"
30 ppm	イナートガス	0, 100, 200	"

* S O₃²⁻ を海水に添加後の残留 S O₃²⁻ を示したもので添加量はこの約2倍である。イナートガス組成は S O₂ 0.02%, O₂ 5%, C O₂ 15%, 残り N₂ とし、空槽期間の最初の日時に毎回封入した。



- | | | |
|-----------|------------|----------------|
| 1. 燃焼炉 | 5. 排ガス | 9. ポンプ |
| 2. 煙道 | 6. ガス誘引ファン | 10. ポンプ |
| 3. 排ガス導入管 | 7. バラストタンク | 11. スクラバー水 |
| 4. スクラバー | 8. シーチェスト | 12. スクラバー水注入装置 |

図 2.1.1 新しい防食システム



番号	名 称	番号	名 称
①	ガスボンベ(O ₂ , CO ₂ , N ₂ , SO ₂)	⑬	ピロガロール液容器
②	ニードルバルブ	⑭	バラスト海水処理容器(10ℓ)
③	フロメータ-	⑮	バラスト処理海水
④	一次ミキシング函	⑯	O ₂ 定量用電極
⑤	二次 "	⑰	溶存O ₂ メータ-
⑥	オルサツトガス分析器	⑱	温度計
⑦	差圧計(Hg入り)	⑲	スクラバー海水取出口
⑧	スクラバー容器(600ml) ガラスシリンダー	⑳	マグネチックスター
⑨	スクラバー海水	㉑	バラスト処理液取出口
⑩	ガラス電極	㉒	ガス捕集瓶(10ℓ)
⑪	pHメータ-	㉓	水溜め瓶(10ℓ)
⑫	温度計		

図 2.1.2 スクラバー海水添加によるバラスト海水の脱酸素試験装置

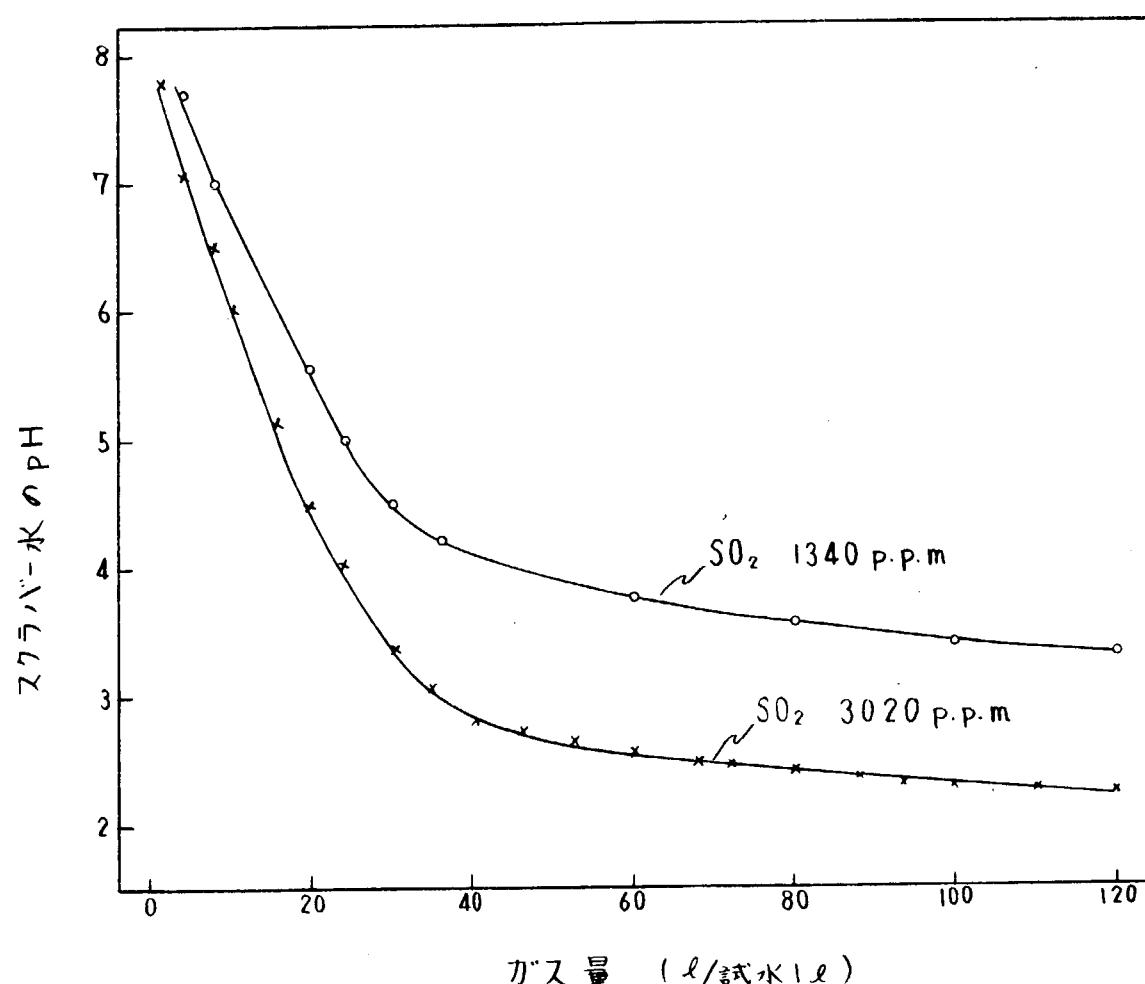


図 2.1.3 海水に人工排ガスを吸収させたときのガス量とpHの変化

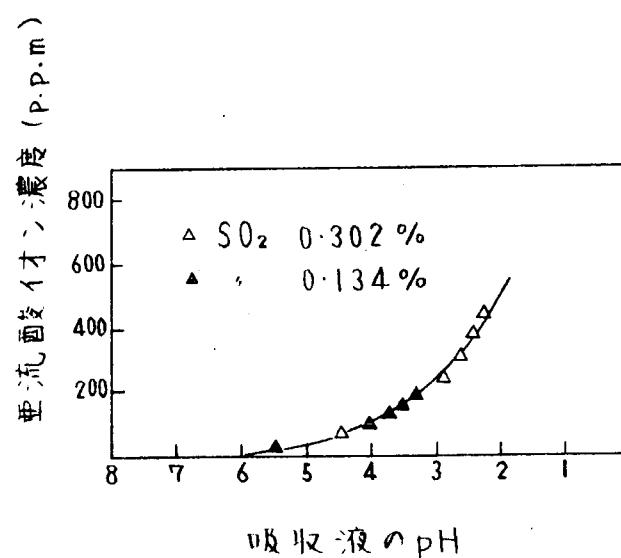


図 2.1.4 海水に SO_2 ガスを吸収させたときの SO_3^{2-} 濃度とpH

スクラバー-海水源液 $\text{pH} = 3$ ($\text{SO}_3^{2-} = 312 \text{ p.p.m}$) 使用

液温 10°C

$$\frac{\text{スクラバー-海水源液}}{\text{処理海水}} = \frac{1}{5} (\text{SO}_3^{2-} = 62 \text{ p.p.m}) \text{ 添加}$$

$$\frac{\text{スクラバー-海水源液}}{\text{処理海水}} = \frac{1}{10} (\text{SO}_3^{2-} = 31 \text{ p.p.m}) \text{ 添加}$$

$$\frac{\text{スクラバー-海水源液}}{\text{処理海水}} = \frac{1}{20} (\text{SO}_3^{2-} = 15.5 \text{ p.p.m}) \text{ 添加}$$

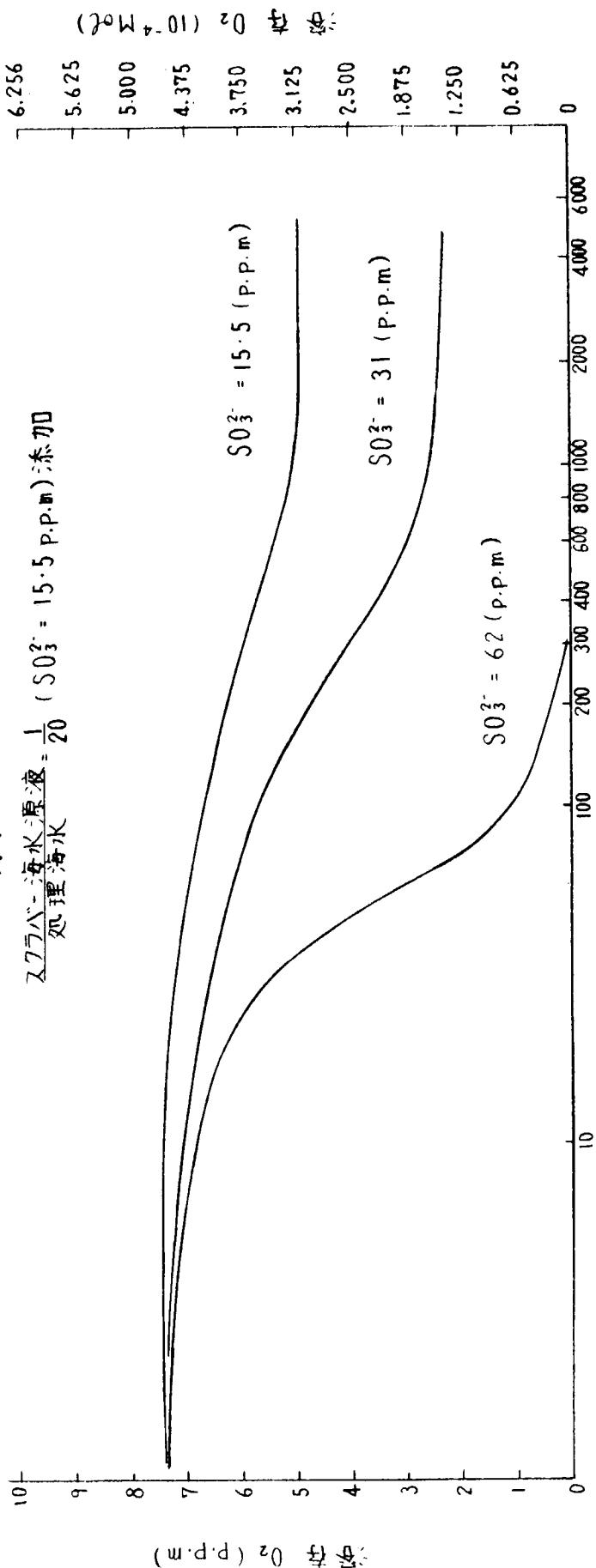


図 2.1.5 スクラバー-海水添加濃度によるスクラバースト処理海水の脱酸素の経時変化(スクラバー海水原液 $\text{pH} = 3$ 使用の場合)

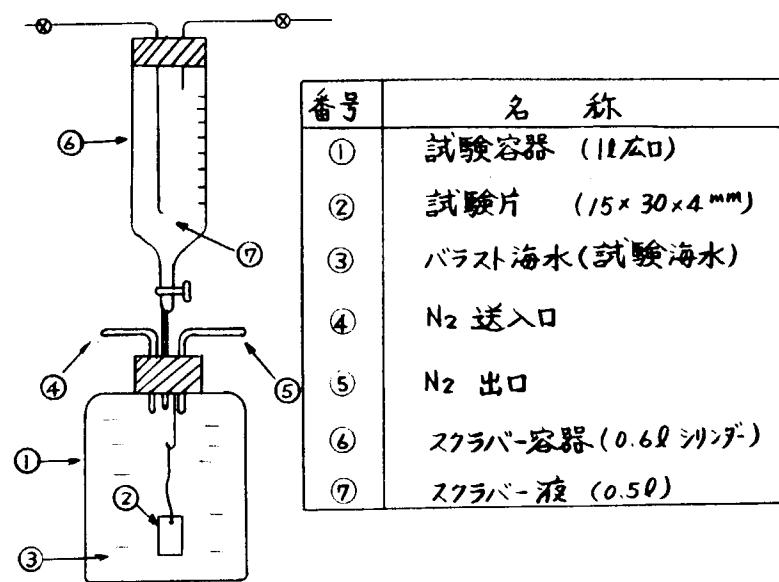


図 2.1.6 鋼材の防食試験装置

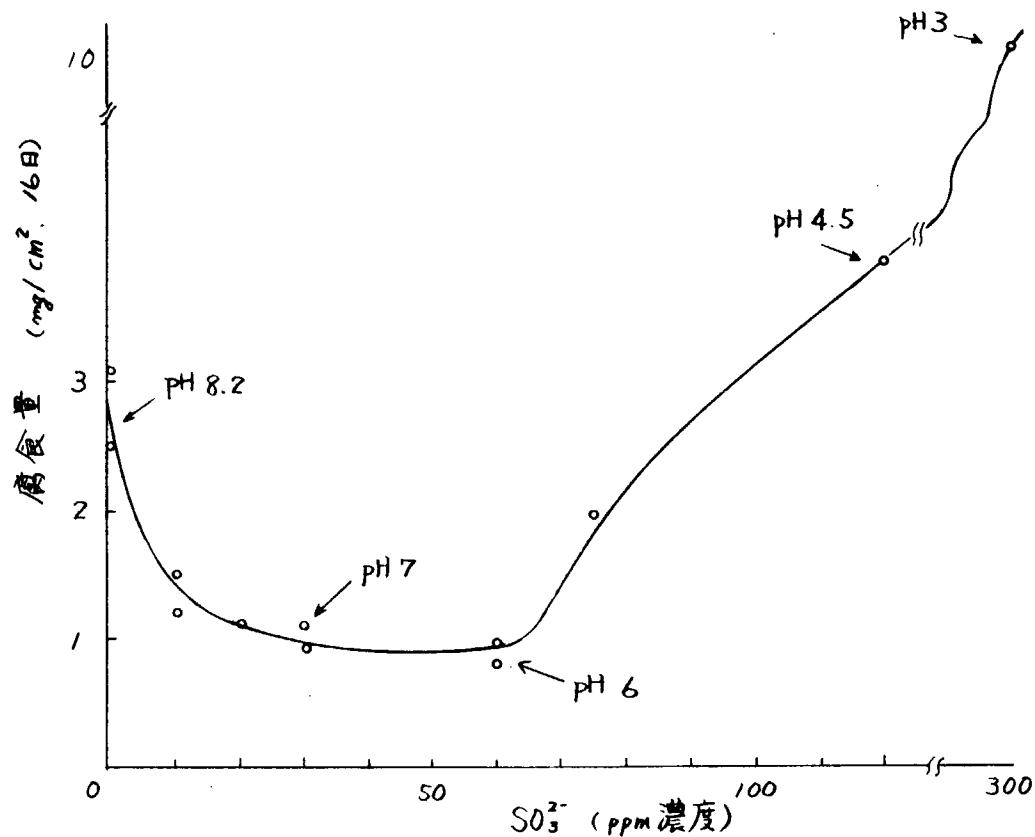


図 2.1.7 バラスト海水に添加した SO_4^{2-} (ppm) と鋼材の腐食量
および処理海水の pH と腐食量

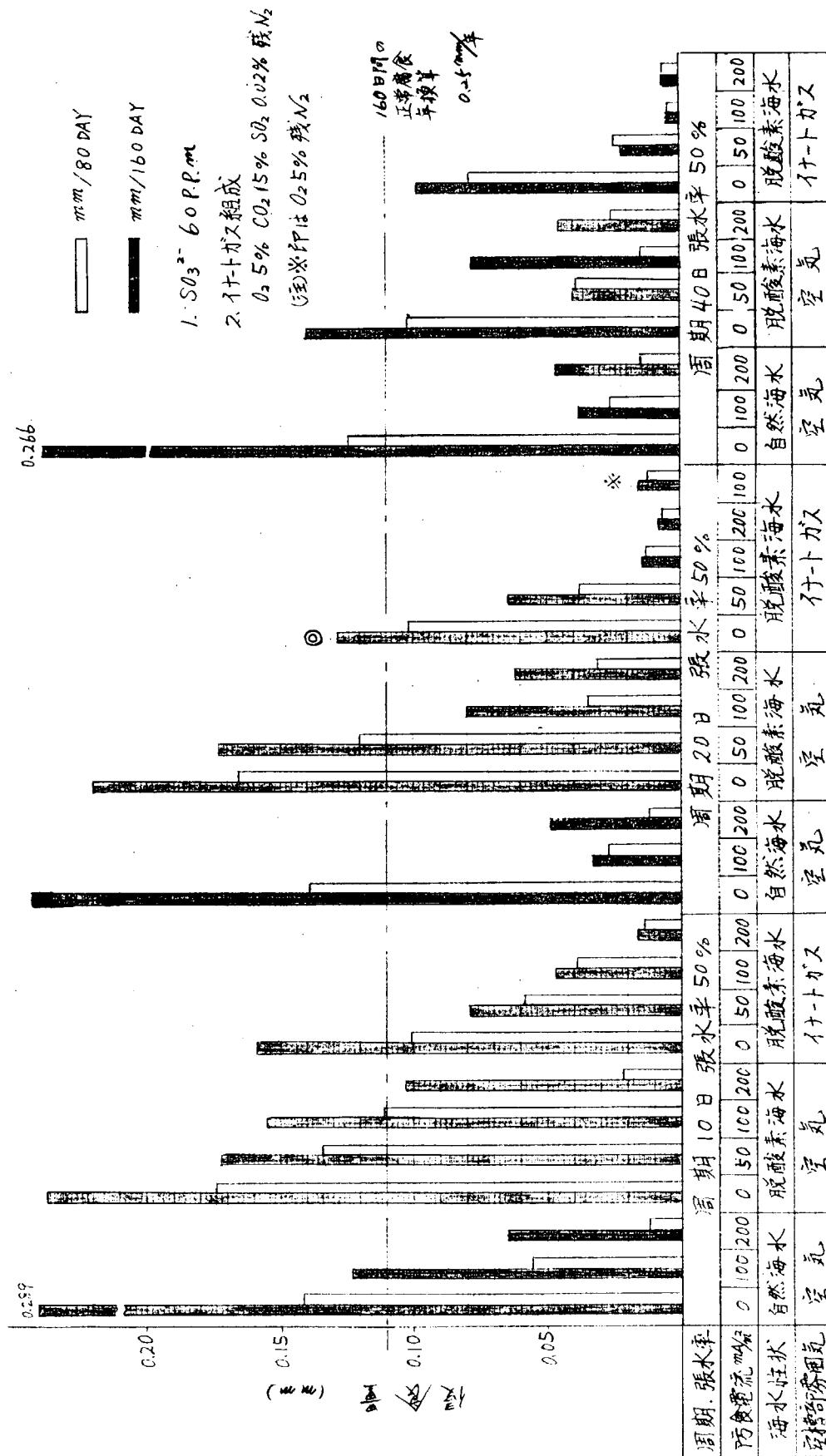
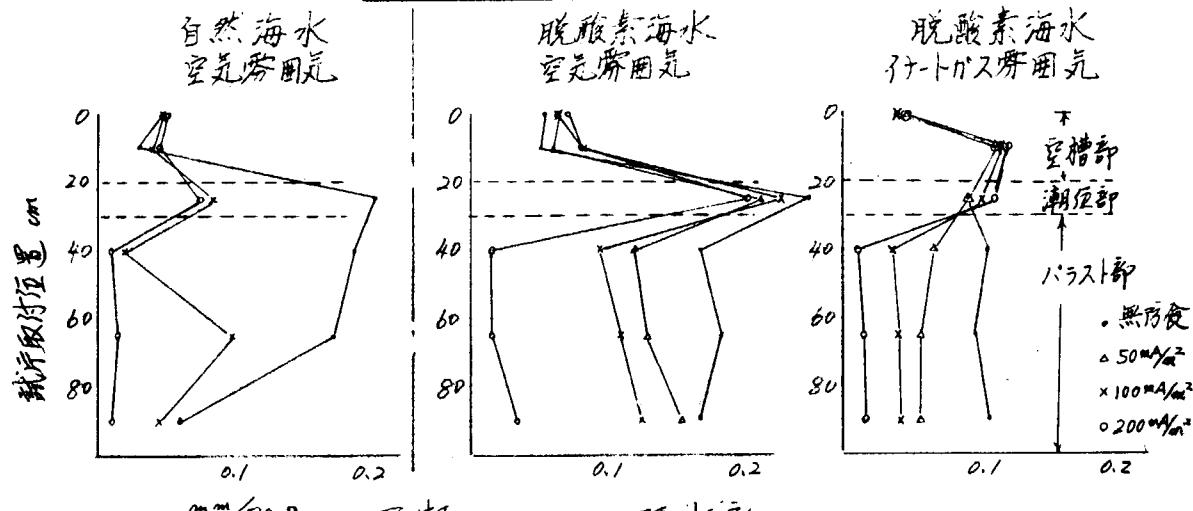
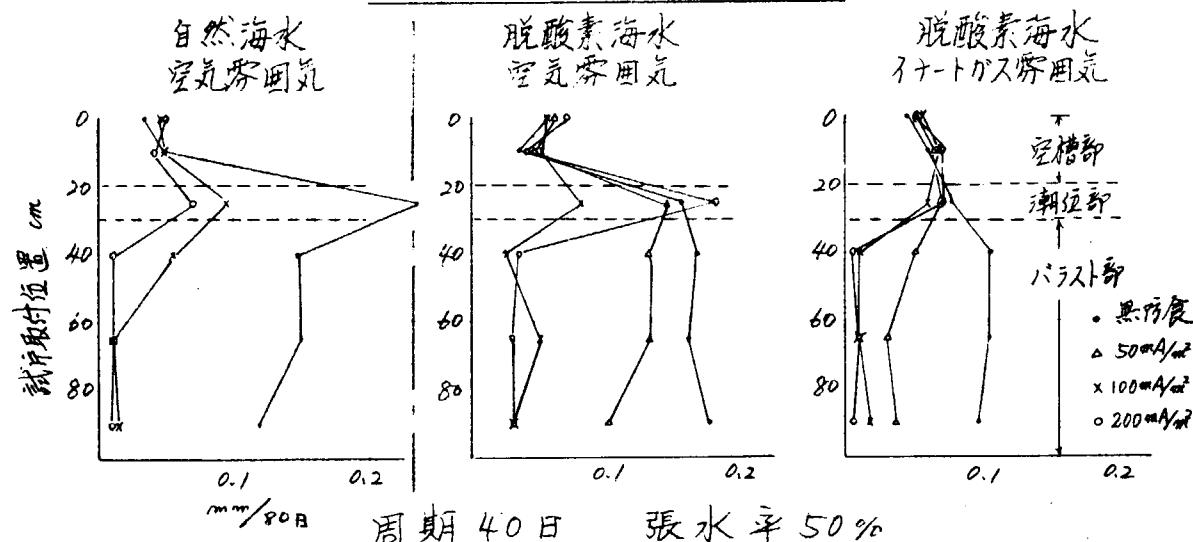


図 2.2.1 試験槽パラスト部の腐食減厚(腐食減より求めた平均減厚)

周期 10 日 張水平 50%



周期 20 日 張水平 50%



周期 40 日 張水平 50%

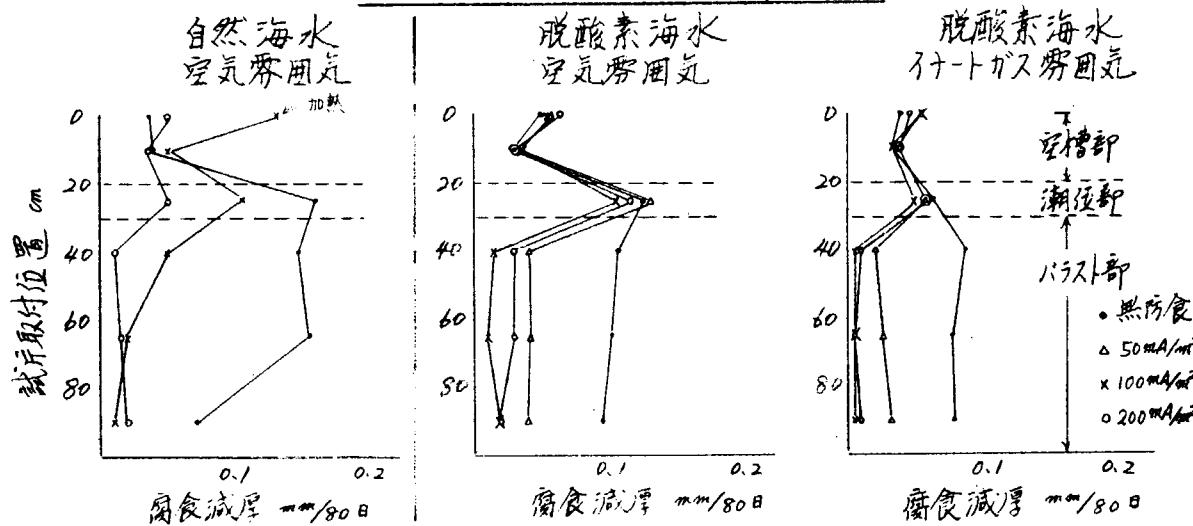


図 2.2.2 試験槽の腐食分布(腐食減量より求めた)

試験時間 80 日

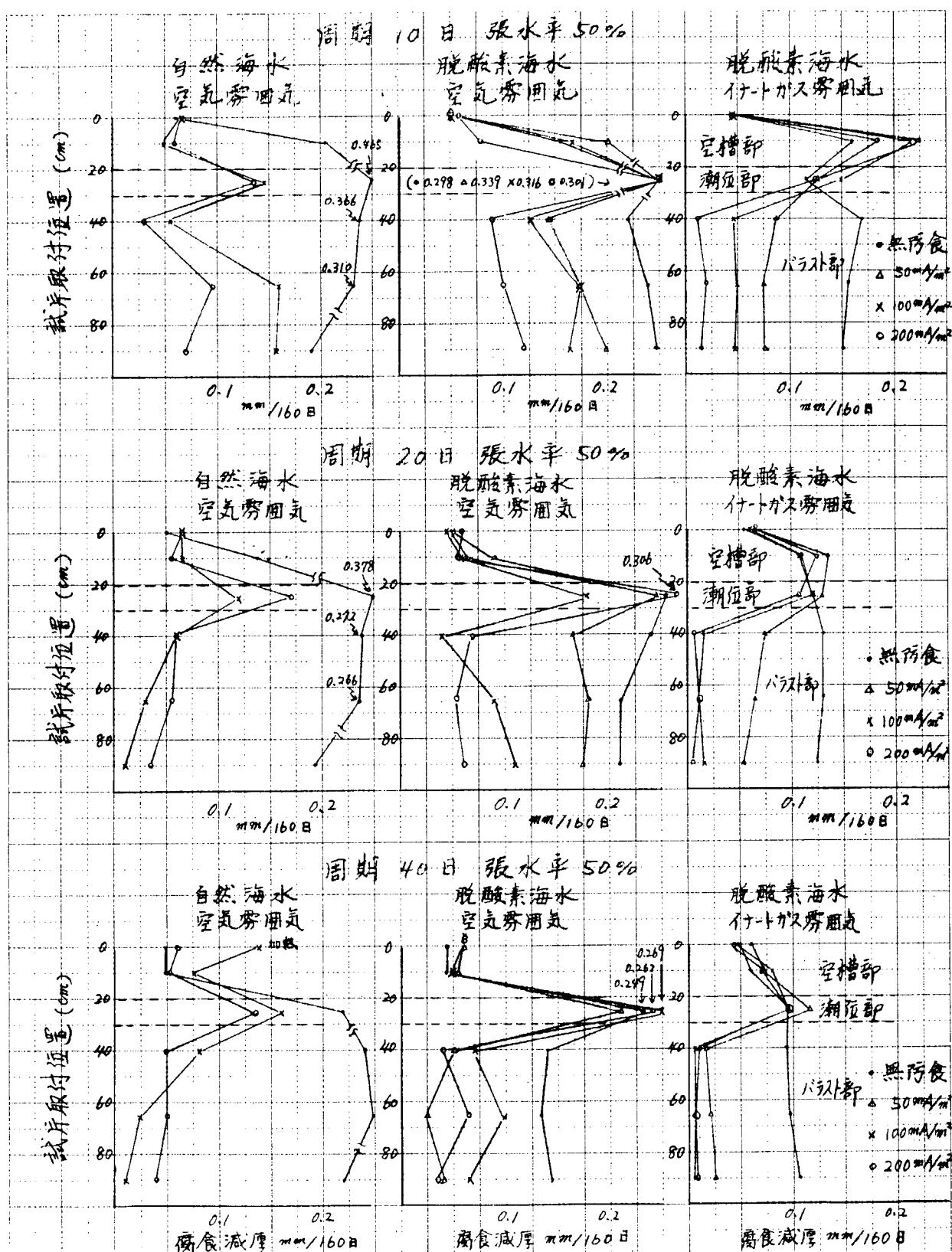


図 2.2.3 試験槽の腐食分布(腐食減より求めた平均減厚)

試験時間 160 日

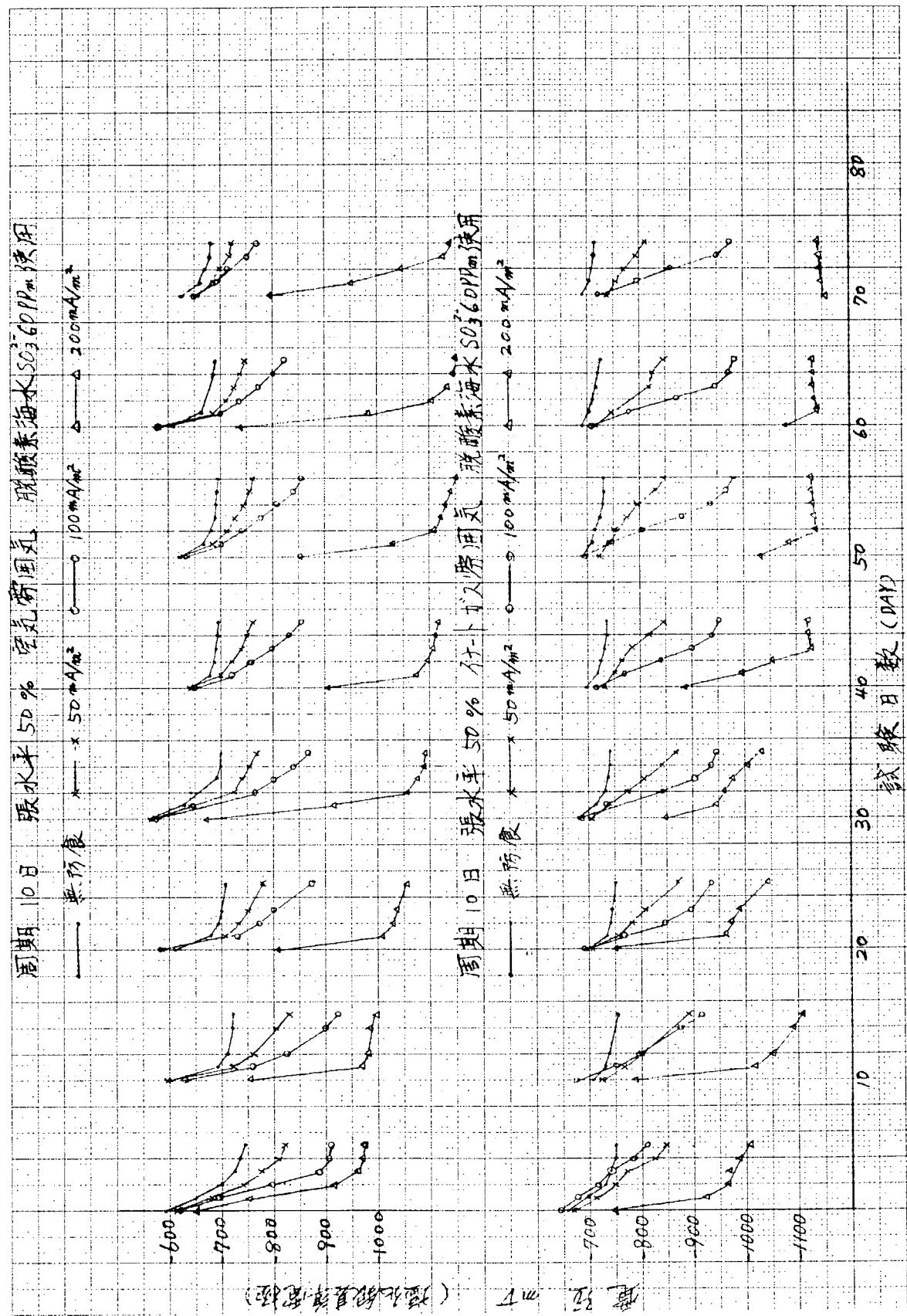


図 2.2.4 試験槽電位の経時変化

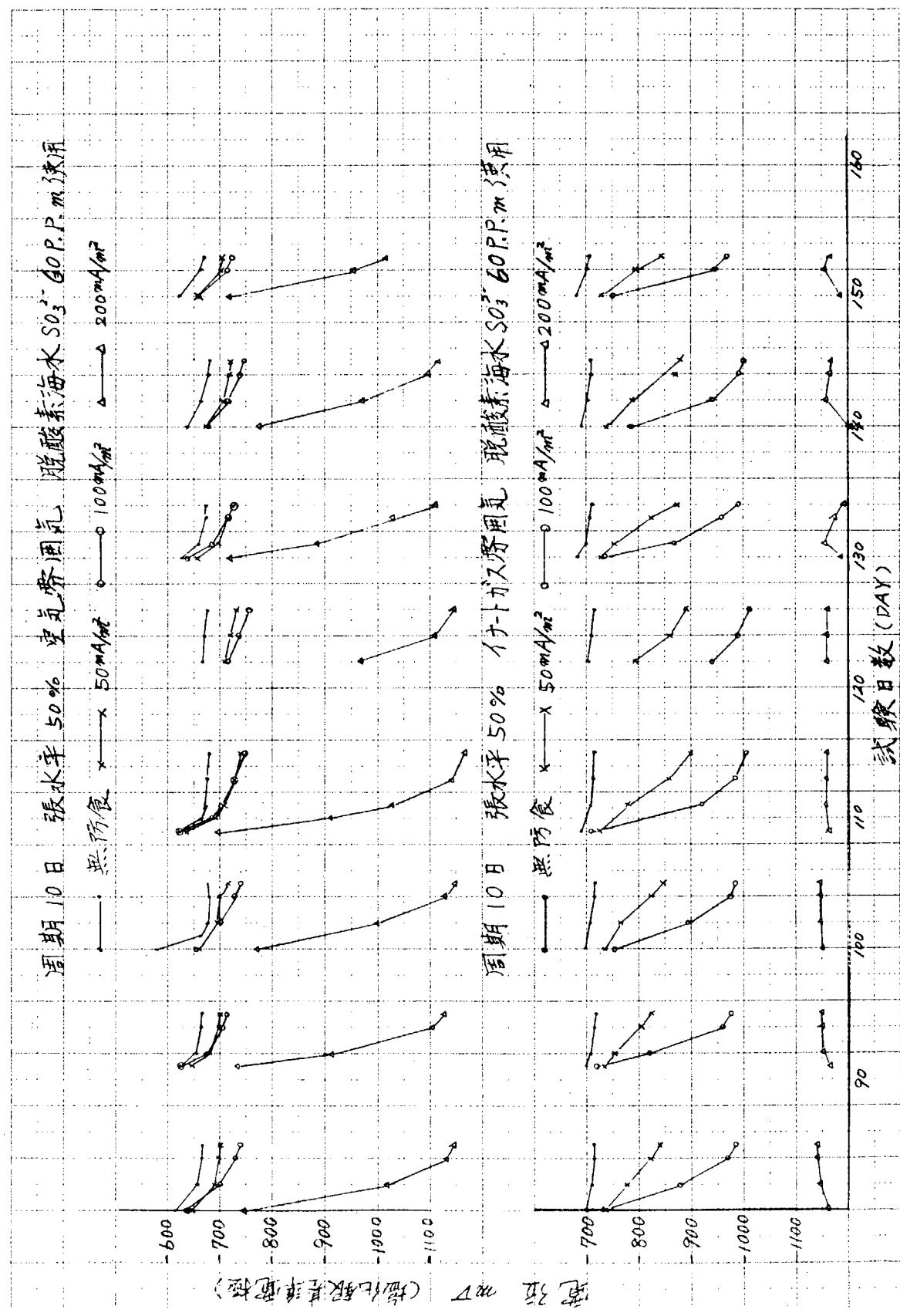


図 2.2.5 試験槽電位の経時変化

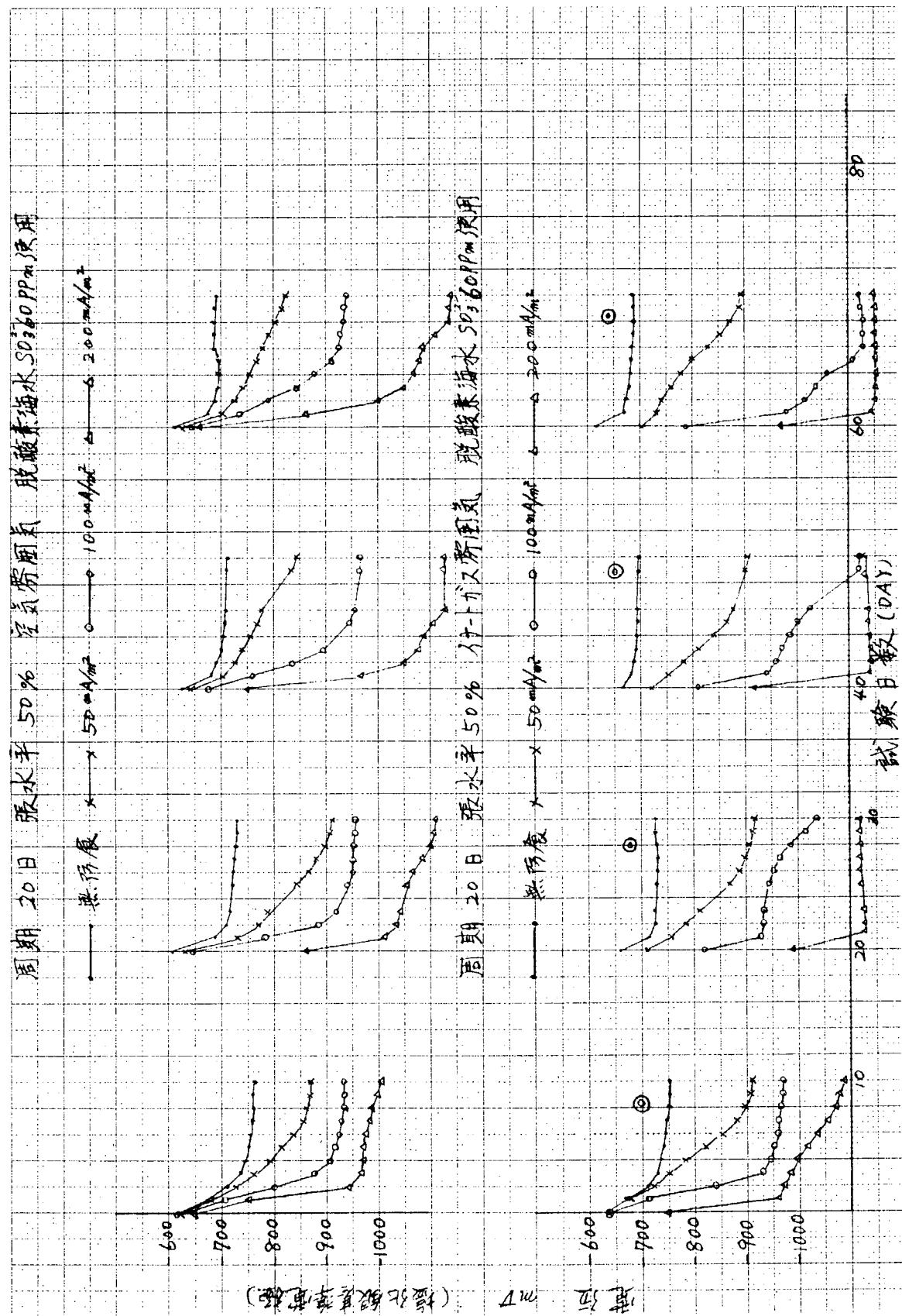


図 2.2.6 試験槽電位の経時変化

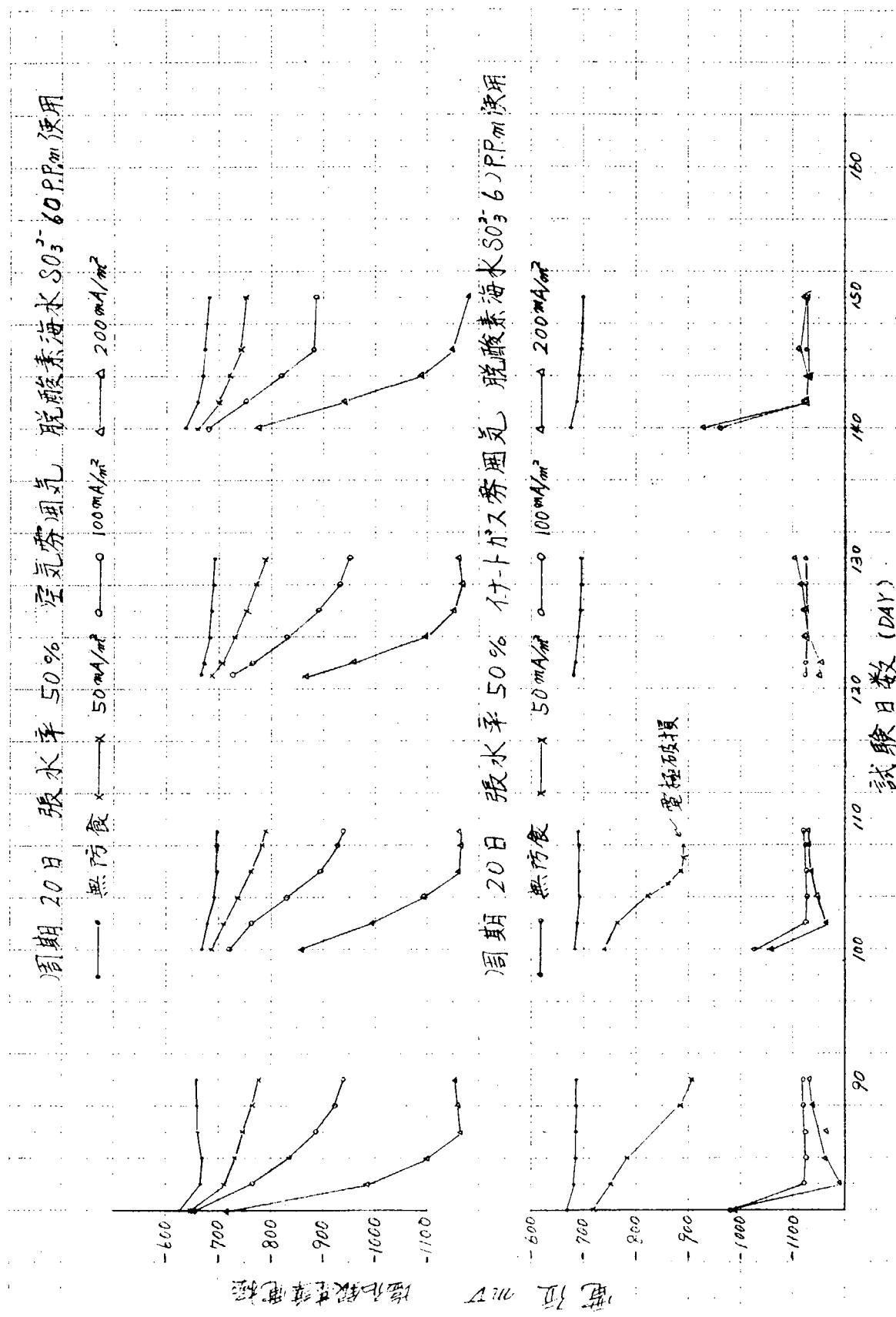


図 2.2.7 試験槽電位の経時変化

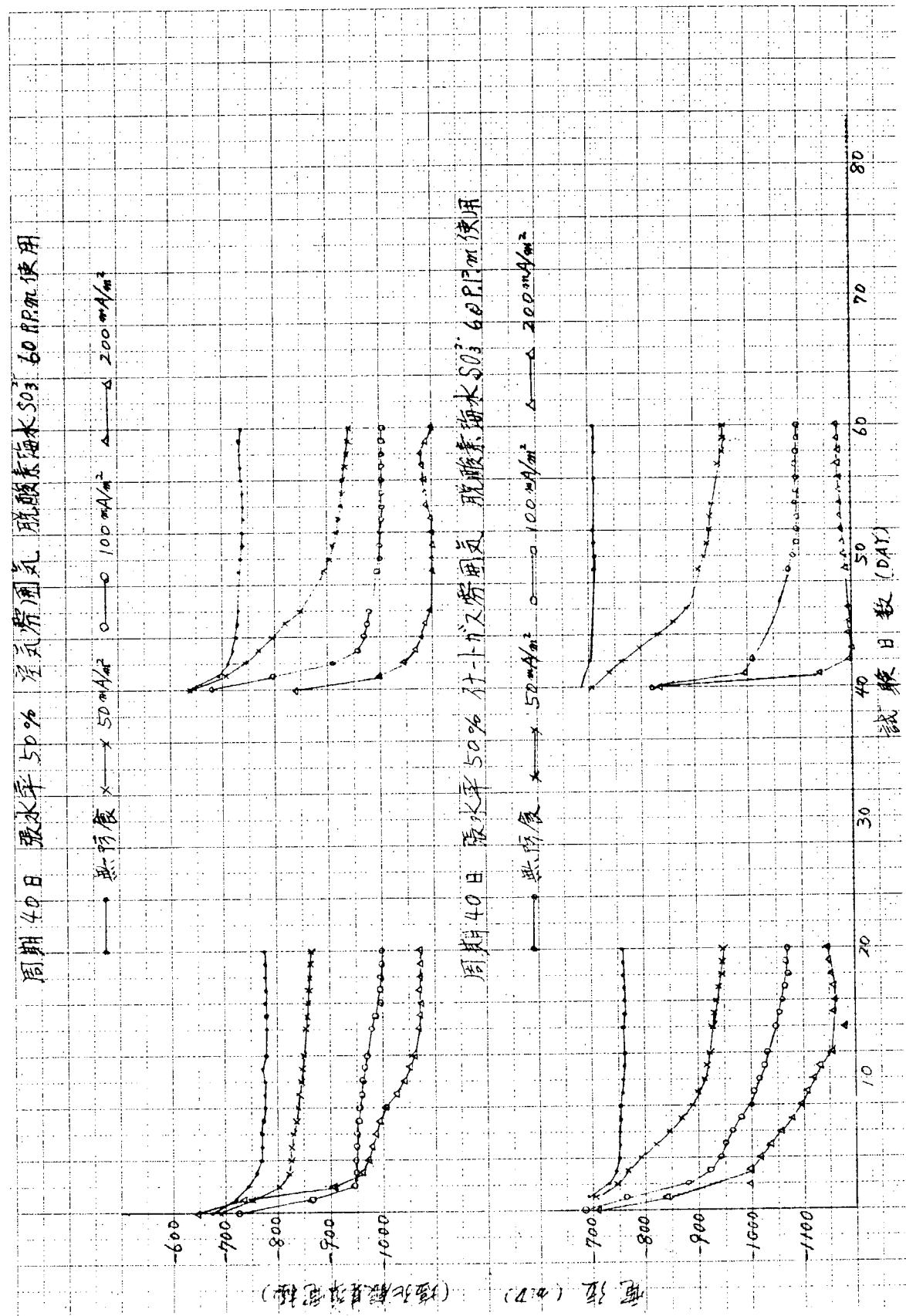


図 2.2.8 試験槽電位の経時変化

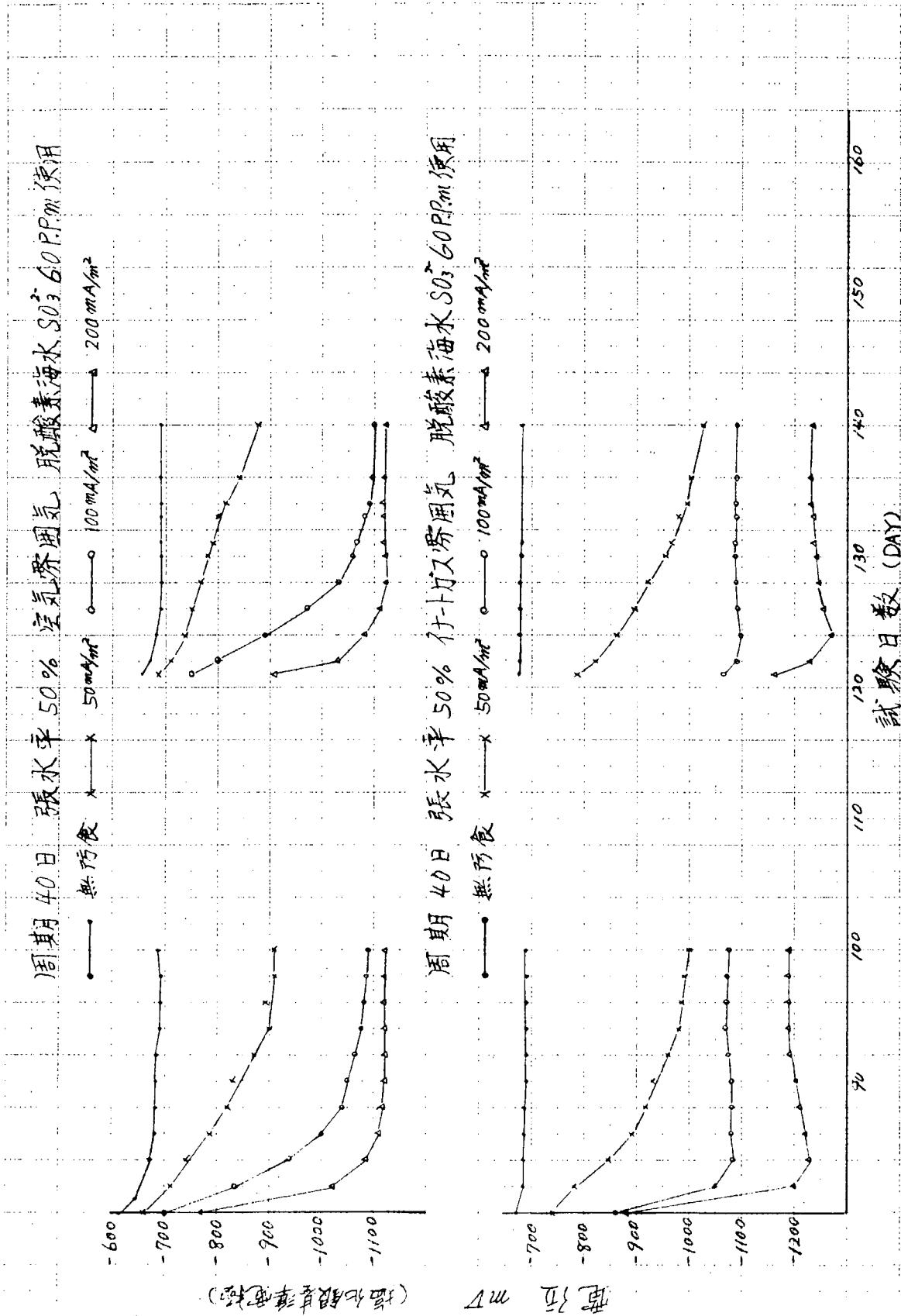


図 2.2.9 試験槽電位の経時変化

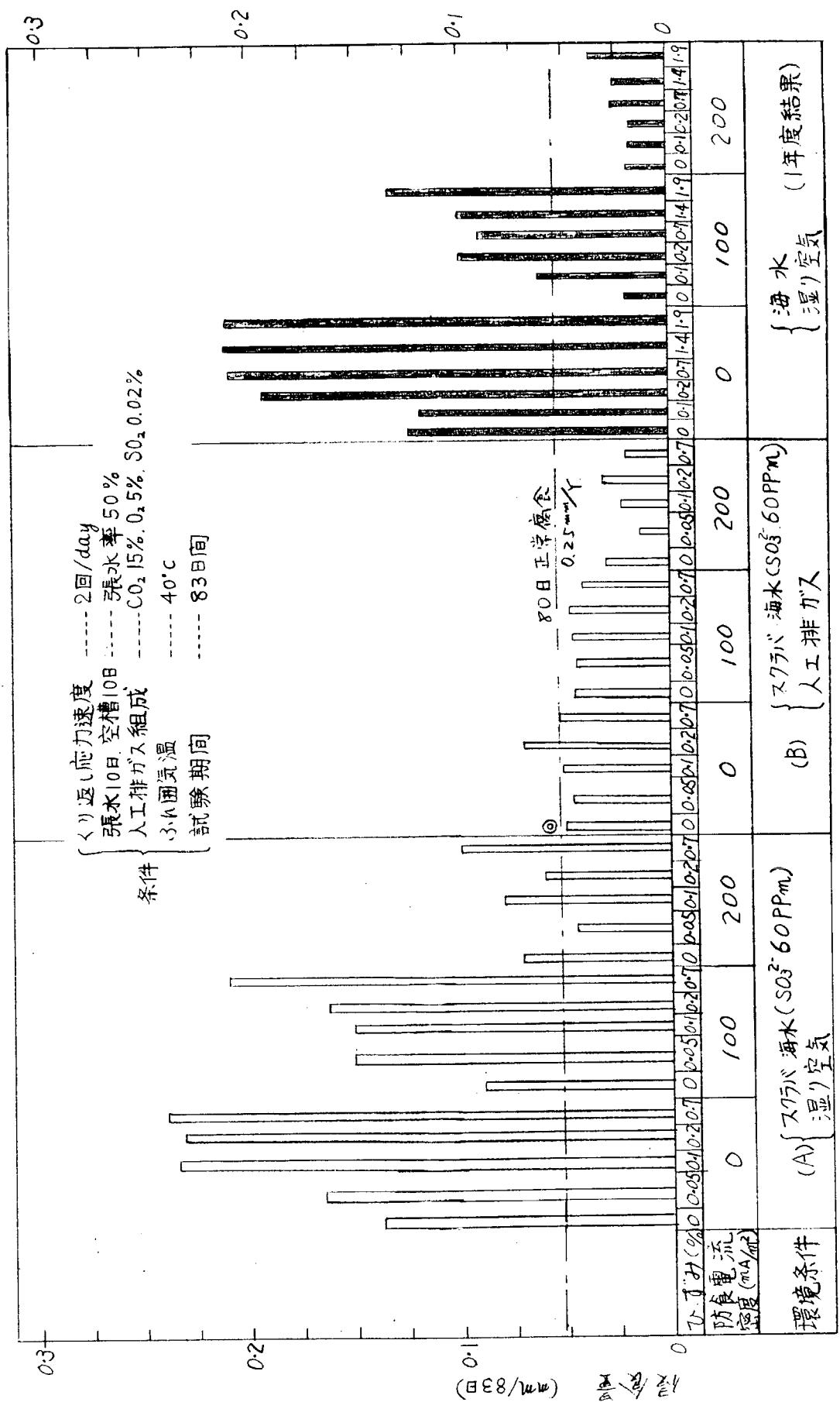


図 2.2.10 各種環境における鋼樹齢食(応力平行部板厚減)

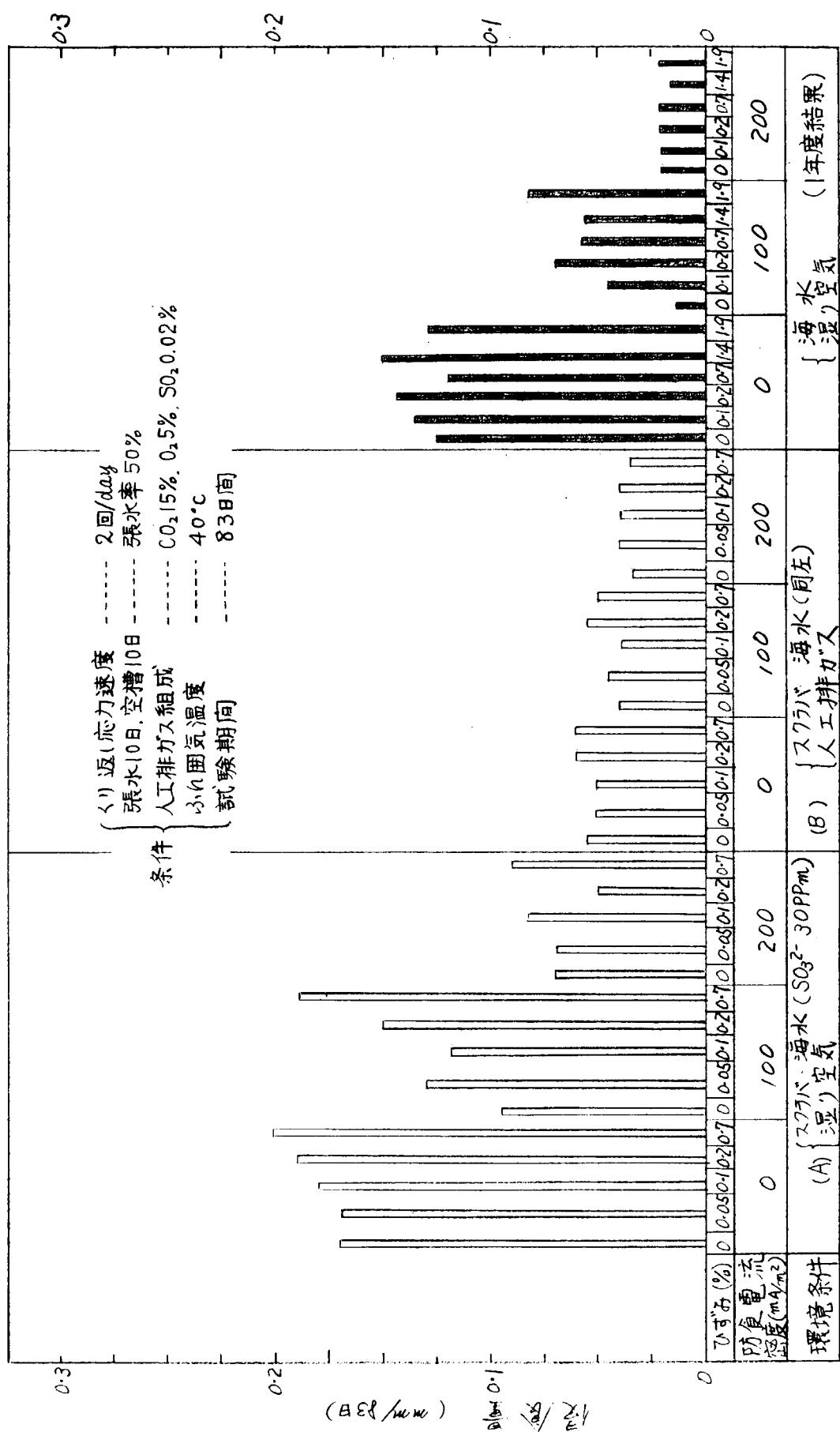


図 2.2.11 各種環境における鋼材腐食(重量減法による)

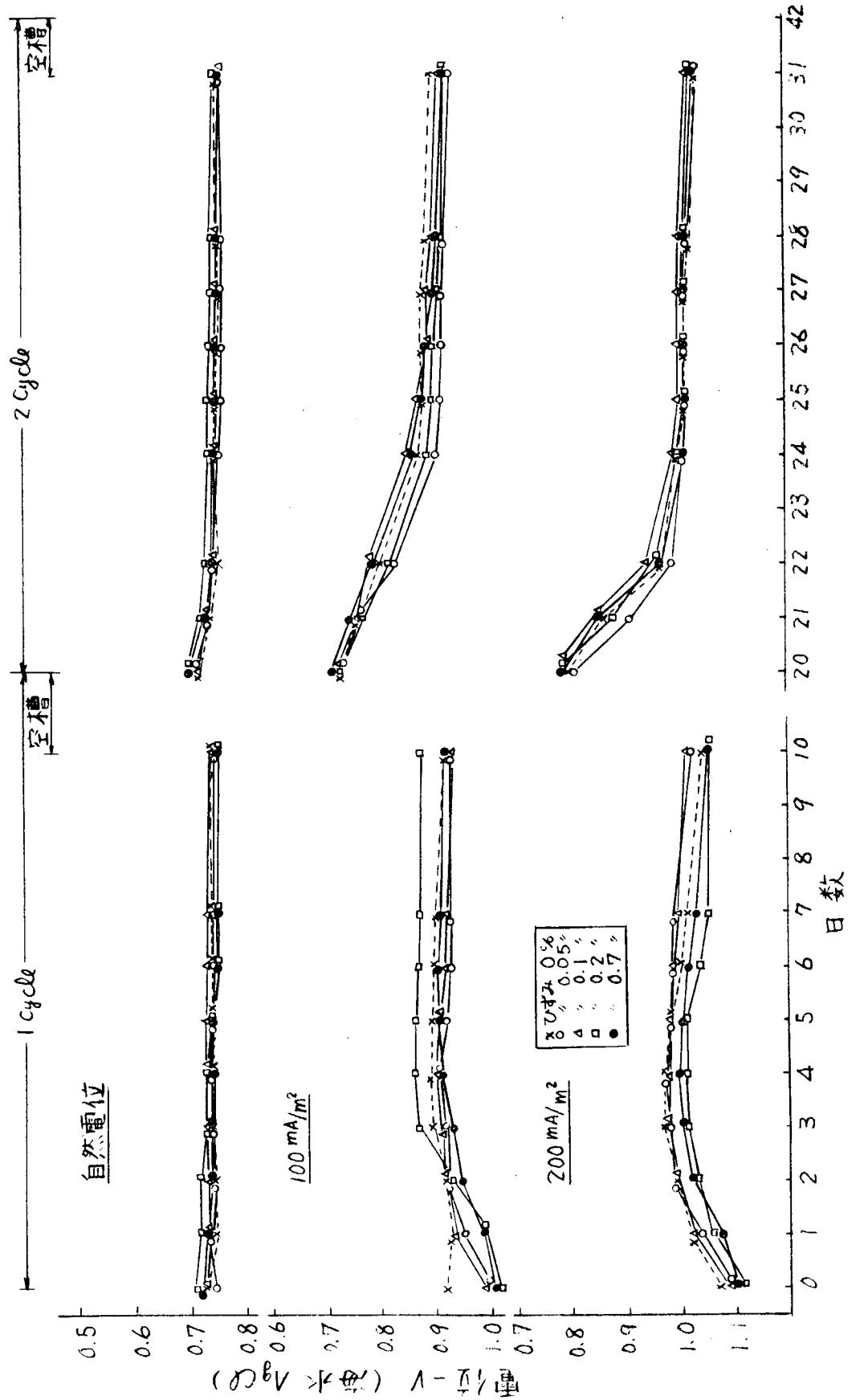


図 2.2.12 人工スクラバー海水中における電位経時変化(人工スクラバー海水 湿り空気)

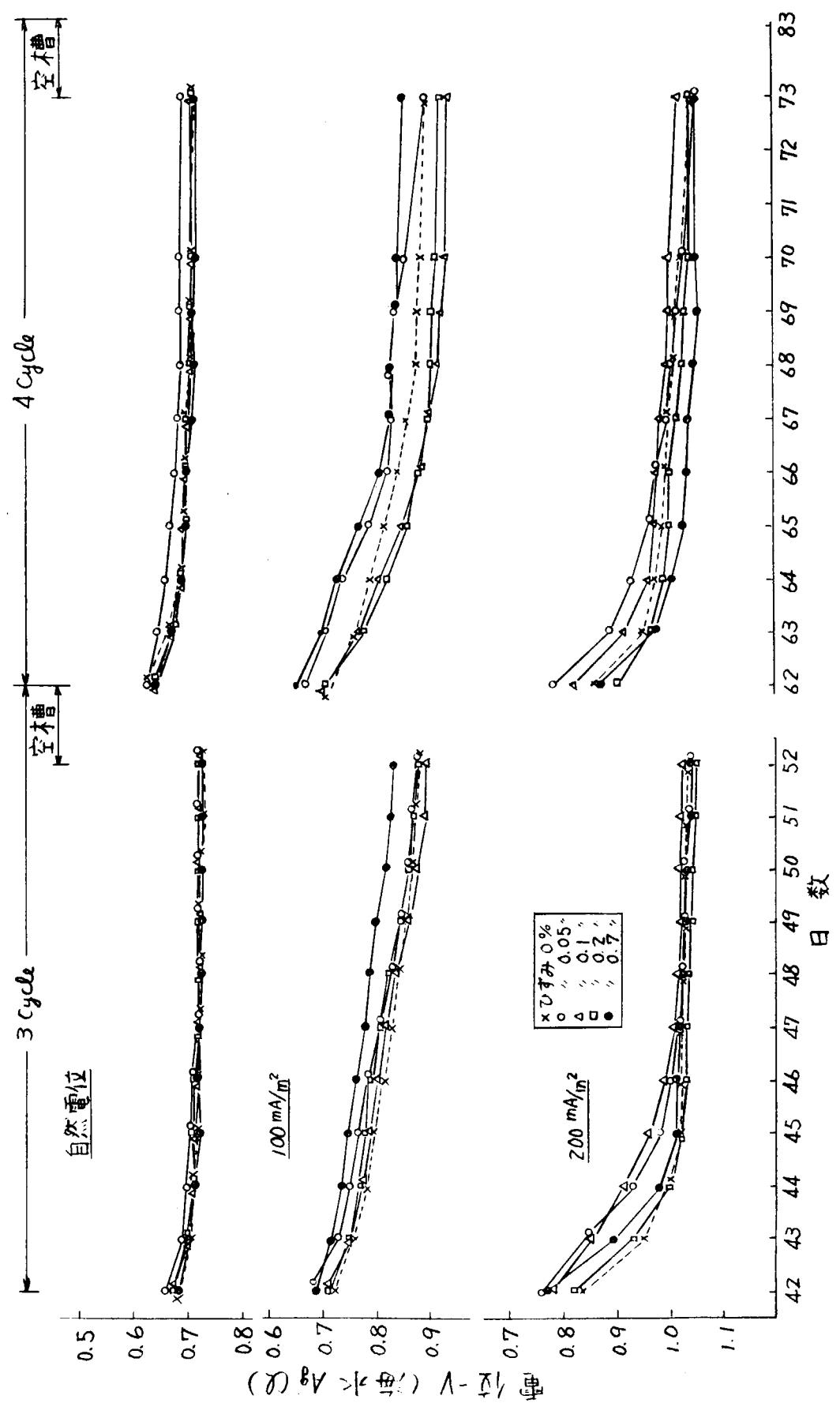


図 2.2.13 人工スクランバー海水(℃における電位経時変化(人工スクランバー海水 湿り空気))

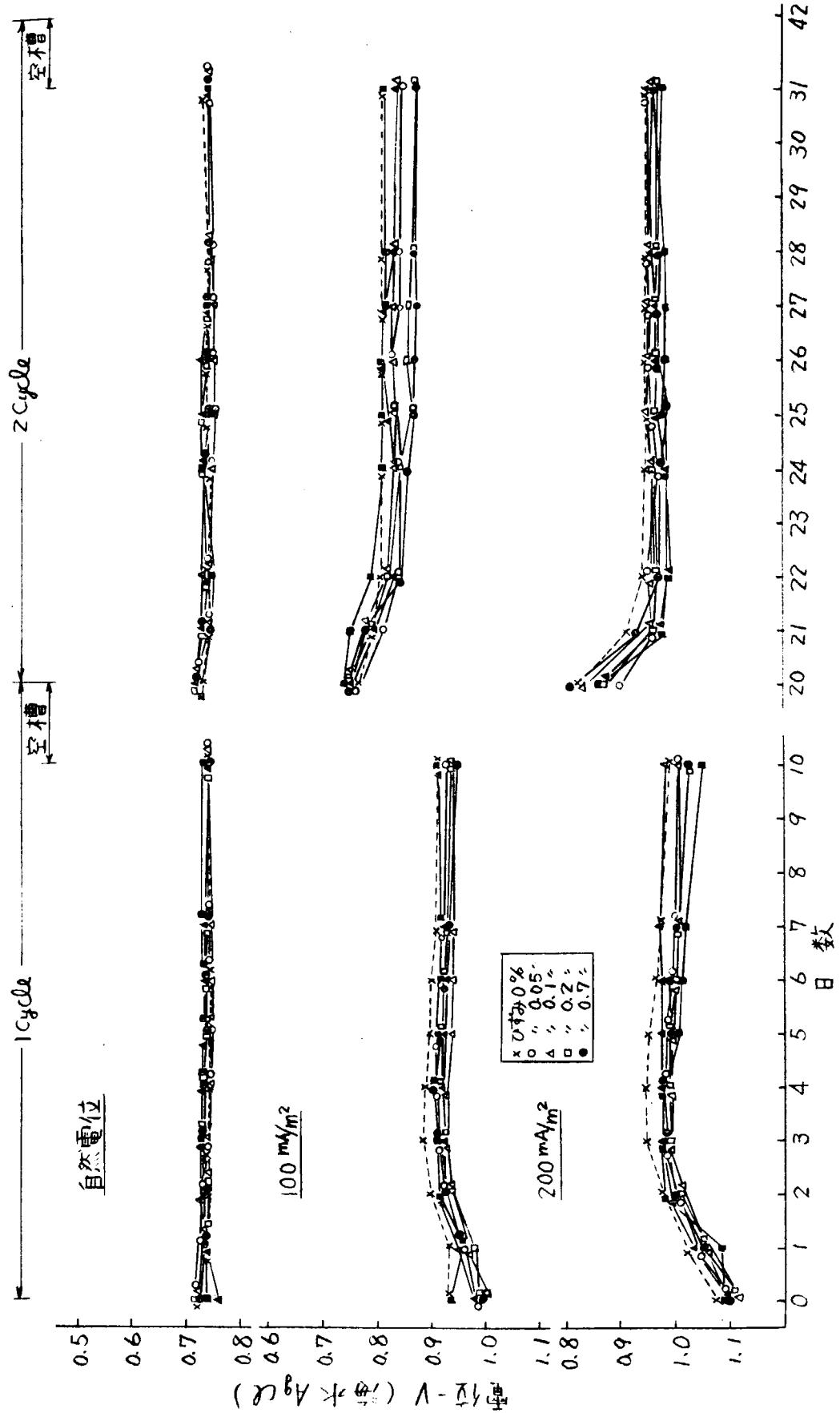


図 2.2.14 人工スクラバー海水中における電位経時変化(人工スクラバー海水 IGS)

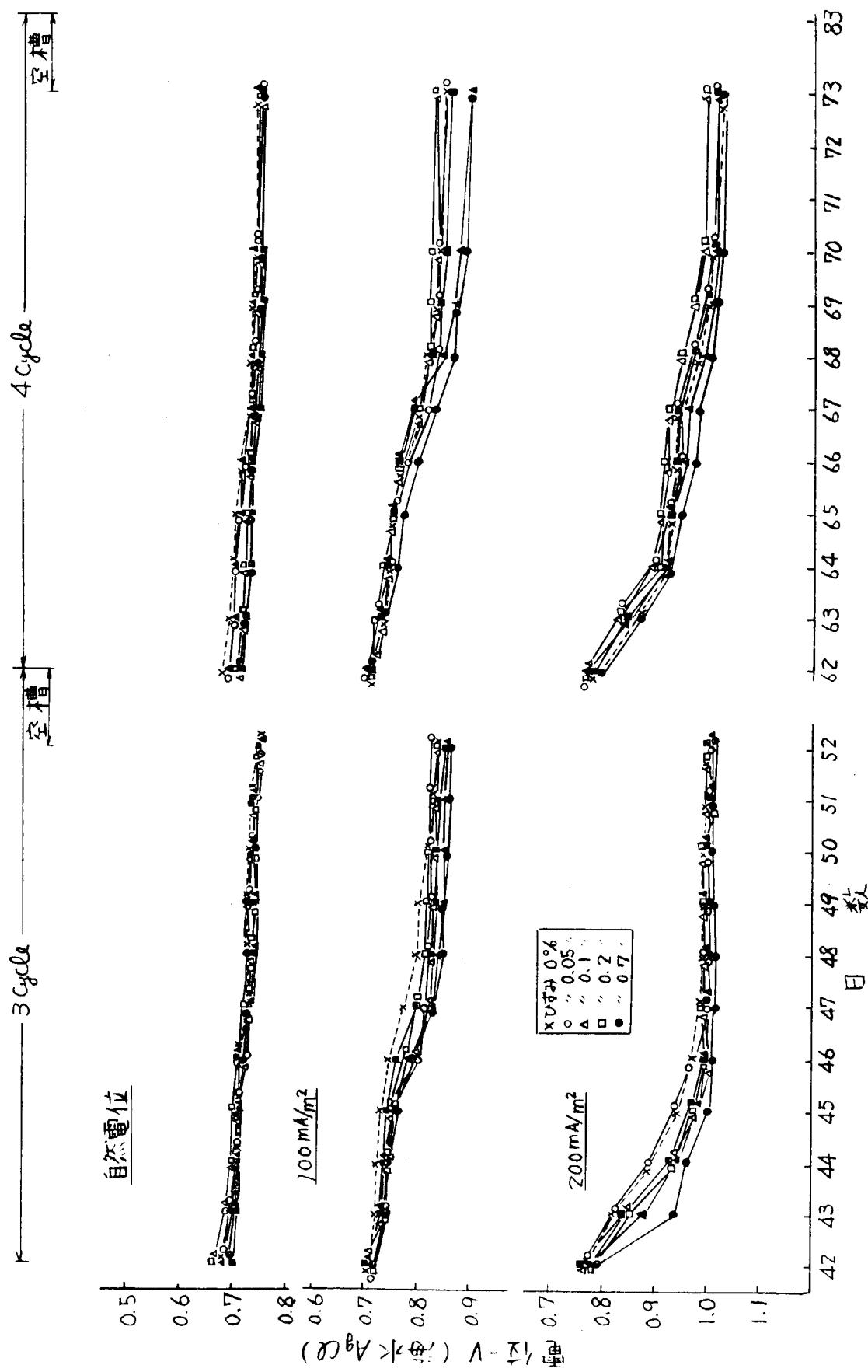


図 2.2.15 人工スクラバー海水中における電位経時変化(人工スクラバー海水 IGS)

3. ショッププライマ塗装と電気防食の併用による防食法

従来、バラストタンクの腐食対策として、電気防食法およびタールエポキシによる重防食塗装法が、単独または併用によって行なわれている。しかし、電気防食法単独で防食効果をあげるには、空槽時の腐食を抑制するために必要な電解被覆効果が得られる電気防食設計を行なう必要がある。この電気防食設計条件は、防食電位を-1.0 V (SCE) に設定する必要があり、⁽¹⁾そのため必要な防食電流密度は約 200 mA/m² でなければならない。この値は、現在一般に実施されている電気防食設計基準に基づく電流密度の約 2 倍になり、経済的に問題となろう。また、タールエポキシ塗装による防食法は、最も有効な方法であるが高価であるため全面的に採用されることが少い現状である。

そこで、ショッププライマ塗装と電気防食の併用によって、経済的に防食効果が得られないかどうかを検討することにした。すなわち、ショッププライマは、建造時の一次防錆および防食塗装の下地塗装として原板に塗装する方式が採用されている。この塗装は、ブロック塗装および組立後の完全塗装に比べると建造工程の繁雑さがないため経済的である。また、近年建造期間の短縮とショッププライマ塗料の性能の向上によってこの塗膜が建造時に劣化することが少い。従って、バラストタンク内の塗装は、溶接部に起る塗膜損傷部のタッチアップ程度でよいことになる。

この簡易な塗膜だけでは、バラストタンクの防食は不可能であるがこれに電解被覆が期待できる電気防食法を併用すれば被塗面の防食電流密度を節約させ得る効果以外に電解座覆との相乗効果によって十分な防食効果を示す可能性が想定される。

このような観点から、ここでは、バラストタンクの腐食環境に近似の条件下で防食電位を-1.0 V (SCE) に設定する電気防食法に及ぼす数種類のショッププライマ塗膜の効果について検討した。

3.1 試験方法

(1) 装置と腐食環境条件

装置は、両振平面曲げ腐食試験機を用いた。これは、バラストタンクに近似する腐食環境で変位制御の繰返し負荷試験ができる。図 3.1 に試験機の概略図を示す。その詳細については、48年度の報告書に記載した。試験槽内の腐食環境条件としては、原則として張水 10 日、排水 10 日を交互に繰返した。張水は、人工海水 (JIS K-5631) を用い、その水温を 40°C に調節した。また人工海水中には、常に空気を吹込み溶存酸素を飽和状態に保った。排水後も試験槽の底部には海水を 20 mm 程度残留させて槽内の湿度を飽和に近い状態に保った。

腐食試験は、試験片に繰返し曲げ応力を付加した場合と付加しない場合について行なった。前者の場合、初期の表面応力を 10 kg/mm²、繰返し速度を 0.6 cpm に設定した。

(2) 供試材と試験片形状

図 3.2 に試験片の形状を示す。試験片は、板厚 3.2 mm の一般圧延鋼板 (SS 41) から製作した。その表面は、ショットブラスト処理を行なって SIS, Sa 3 とし、50 S のアラサになるように留意した。

試験に用いたショッププライマは、表 3.1 に示す 4 種類のもので、それらの塗装はエアスプレーで塗布し乾燥後の膜厚が 1.5 ~ 2.0 μm になるように実施した。なお試験片に現れた膜厚の実測値は、表 3.1 に併記した。

(3) 電気防食方法

-1.0 V (SCE) の防食電位を維持するのに必要な電流密度を調べるために、北斗製 PG S-1 型ポテンショスタットを用いた。試験片の対極には流電陽極用亜鉛を用いた。照合電極は、飽和甘汞電極を用いた。

(4) 防食性の評価方法

塗装試験片表面の発錆率は、ASTM D 610-68 に準拠して評価した。これは、発錆程度の評点 (Rust Grades) を 10 段階に分けて图形描写したサンプルと比較対照して評価する方法で、その段階は発錆面積比の百分率から成立している。孔食部の最大深さは、試験後試験片を水洗、ブリッピングを行なったのち測定した。

3.2 試験結果

(1) ショッププライマ塗膜の防食性能

ショッププライマの塗膜が、バラストタンクの腐食環境下で、どの程度の防食性能をもっているかを予め知るために繰返し応力を付加しながら張水1.0日、排水1.0日を交互に繰り返し180日間続けた。

写真3.1は、試験後の外観を示したものであるが、塗料の種類によって、サビの発生状態が異なることを現わしている。これらのサビの発生程度を図3.3に示す。この図からわかるように発錆率は、無塗装鋼について、ウォッシュプライマ、エポキシシンクプライマ、70%亜鉛の無機質シンクプライマ、90%亜鉛の無機質シンクプライマの順に低下する。しかし、発錆した部分の最大孔食深さについてみると、表3.2に示すように、90%亜鉛の無機質シンクプライマ塗装鋼においても、無塗装鋼とほぼ同じ値を示し、最も小さい値を示したエポキシシンクリッヂプライマ塗装鋼でも満足すべき防食効果とは考えにくい。

亜鉛末を顔料とする塗料は、電気化学的な防食作用を有することが知られているが、その防食作用の持続性を調べるために、腐食試験期間中、腐食電位の経時変化を調べた。その結果を図3.4に示す。

この結果によると、70%亜鉛の無機質シンクプライマは、試験開始後約6日で鉄の防食電位(-0.78V)より貴な電位になり、電気化学的防食作用を失ない、80%亜鉛のエポキシシンクリッヂプライマは、試験開始後約21日、第2回目の張水直後に、その防食作用を失い、また、90%亜鉛の無機質シンクプライマは、2回目の張水期間中まで有効であったが試験開始後40日後の3回目の張水時には電気化学的防食効力をなくしていた。

電気化学的防食作用を失なった塗膜の防食性能は、鋼板と水との環境しゃ断によるものと考えられる。そのため透水した塗膜の下地金属は、徐々に腐食が進行し、孔食になる。前述したように、亜鉛を顔料とするショッププライマの防食性能について比較した場合、最大孔食深さは、発錆率の低いほど大となる傾向を示した。これは、発錆部のアノード面積とカソードを受持つ健全部の面積との比に関係しているように思われる。

(2) 電気防食に及ぼすショッププライマの効果

(a) 防食性能

バラストタンクの腐食に対して、ショッププライマ塗装と、電気防食(設定電位-1.0V)を併用した場合の防食性能について調べた。その結果を写真3.2および図3.5に示す。図3.5は、180日間試験後の発錆程度の評点を、表面応力1.0kg/mm²の繰返し曲げを付加した場合と応力を付加しない場合について示した。

この結果によると、繰返し応力の影響は、ほとんど認められなかった。電気防食をしない場合の結果(図3.3参照)と比較すると、電気防食が非常に有効であることがわかる。無塗装鋼の場合についてみると、発錆率は、電気防食をしない場合には100%であったが、電気防食をすることによって約3%に減少した。電気防食を施したショッププライマ塗装鋼の発錆程度は、ウォッシュプライマおよびエポキシシンクリッヂプライマでは、無塗装鋼の場合よりも良好でなかつたが、無機質シンクプライマでは、非常に良好であった。とくに、90%亜鉛の無機質シンクプライマの場合の発錆程度の評点は9(発錆率0.03~0.01%)であった。

表3.3は、孔食深さを測定した結果を示す。無塗装鋼の孔食深さは、繰返し応力を付加した場合で0.21mm、応力を付加しない場合で0.1mmであった。これに対して、ショッププライマを塗装した試験片は、いずれの塗料の場合にも孔食を認めることができなかつた。

次に、ショッププライマ塗装鋼が、バラストタンクの腐食環境にさらされる前に長期間、屋外ばく露されることを想定して、各試験片を、3か月間屋外ばく露したのち、バラストタンクの腐食環境に近似の条件で100日間腐食試験を行なった。その結果を図3.6に示す。この図は、腐食試験後、発錆程度の評点で比較したもので屋外ばく露なしの試験片を用いて同条件で試験した結果と併記した。

無塗装鋼の場合は、3か月の屋外ばく露によって全面発錆していたため、試験後も発錆程度の評点は0(発錆率約100%)を示した。

ウォッシュプライマおよびエポキシジンクリッヂプライマの場合は、屋外ばく露の影響によって発錆の増加がかなり認められたが、無機質ジンクプライマの場合は、両者とも発錆程度の評点が1段階劣化するにとどまることがわかった。この無機質ジンクプライマ塗装鋼については、さらに長期試験を継続して評価することにした。

(b) 防食電流密度の変化

電気防食設計に必要な防食電流密度の基礎データを得るとともに、ショッププライマ塗膜によって電気防食電流密度が、どの程度低減できるかを知るために、上述の-1.0V(SC-E)設定の防食試験中、防食電流の変化を測定した。試験前に屋外ばく露した試験片としない試験片の測定結果をそれぞれ図3.7および図3.8に示す。

繰返し応力を付加した場合と付加しない場合の防食電流の変化は、両者間においてとくに大きな差異が認められなかつたので、繰返し応力を付加した試験片の測定結果だけを示した。また、張水5回目以後の電流変化は、とくに認められなかつたので省略した。

防食電流は、通常張水直後大きな値を示し、その後減衰して定常状態になるが、亜鉛末を含む塗料は、最初の張水直後には、電気防食による防食電流を必要としない(図3.8参照)。とくに、90%亜鉛の無機質ジンクプライマは3か月屋外ばく露後でも、最初の張水直後には、防食電流を必要としなかつた(図3.7参照)。

図3.9～図3.11は、各張水時における定常状態(張水後10日)での防食電流密度の変化を比較して、図示したものであるが、いずれの試験条件においても、防食電流密度は、無機質ジンクプライマが最も小さい。とくに、90%亜鉛のものは、最初の張水時から、防食電流密度が $10\text{ mA}/m^2$ 程度で、かつ、その変化が小さいので、経済的な電気防食設計が可能となるものと考えられる。

上述したように、防食効果ならびに、防食電流密度の低減効果の上からバластタンクの防食は、-1.0V(SC-E)設定の電気防食法に、90%亜鉛の無機質ジンクプライマ塗装を併用すれば、非常に有効であることがわかる。なお、この塗装試験片については、防食効果の耐久性を調べるため継続して試験を実施することにした。

3.3 まとめ

- (1) -1.0V設定の電気防食法に、無機質ジンクプライマ塗装を併用すれば、防食効果および防食電流密度の低減効果に非常に有効であった。とくに、90%の亜鉛末顔料を含む無機質ジンクプライマが最もよい結果を示した。
- (2) この塗装鋼の防食電流密度は、約 $10\text{ mA}/m^2$ であった。

参考文献

- 1) 日本造船研究協会：第140研究部会49年度報告書 研究資料No.222 P54 昭50年3月
- 2) 日本造船研究協会：第140研究部会48年度報告書 研究資料No.201 P56 昭49年3月

表 3.1 供試ショッププライマの性状

種類 項目	長暴型ウォッシュ プライマ	無機質ジンク プライマ	無機質ジンク プライマ	エポキシジンク プライマ (B)
色相	暗緑色	灰緑色	銀灰色	灰桃色
比重(調合塗料)	0.90	1.55	2.27	2.3
配合割合(重量比)	主剤: 4 添加剤: 1	主剤: 4 添加剤: 2 粉末: 4	主剤: 3 粉末: 7	主剤: 4.2 硬化剤: 1.3 亜鉛末: 9.5
亜鉛末含有量 (乾燥塗膜中)	0	70 %	90 %	80 %
膜厚 μm	1.7	19	19	20

表 3.2 最大孔食深さ測定結果(電防なし)

種類	最大孔食深さ(mm)
無塗装	0.28
長暴型ウォッシュ プライマ	0.45
無機質ジンク プライマ (Zn70%)	0.18
〃 (Zn90%)	0.27
エポキシジンク プライマ (B)	0.08

注) 試験期間 180日

表 3.3 最大孔食深さ測定結果(電防あり)

種類	最大孔食深さ(mm)	
	応力あり	応力なし
無塗装	0.22	0.09
長暴型ウォッシュ プライマ	認められず	認められず
無機質ジンク プライマ (Zn70%)	〃	〃
〃 (Zn90%)	〃	〃
エポキシジンク プライマ (B)	〃	〃

注) * 曲げ応力 10kg/mm^2 , 0.6 cpm
試験期間 180日

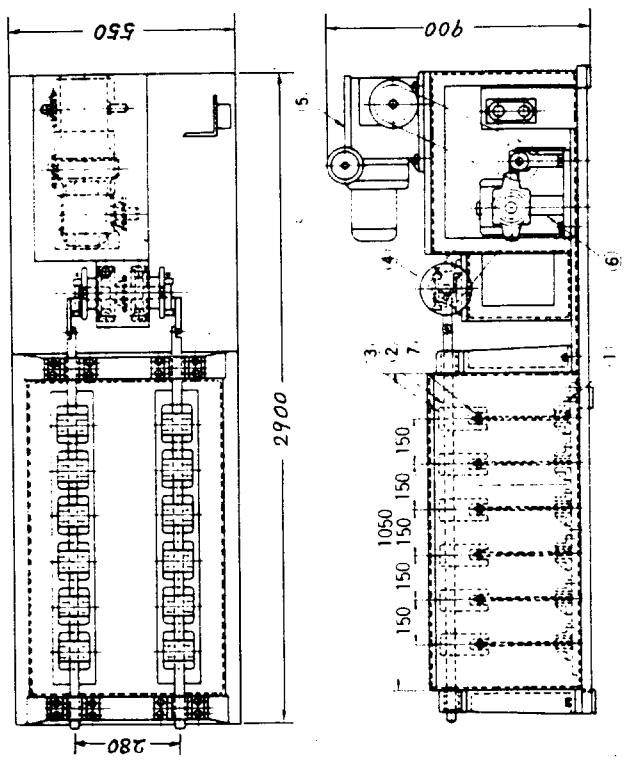


図 3.1 実験装置

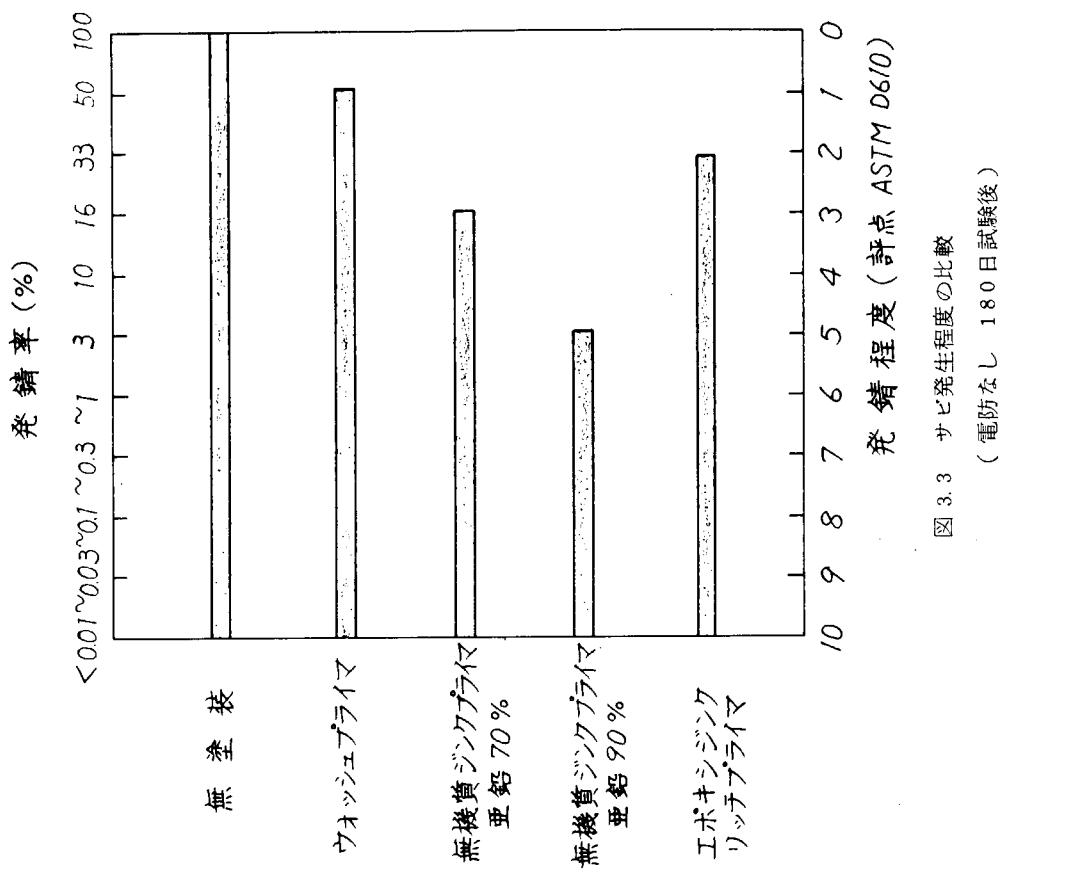


図 3.3 サビ発生程度の比較
(電防なし 180 日試験後)

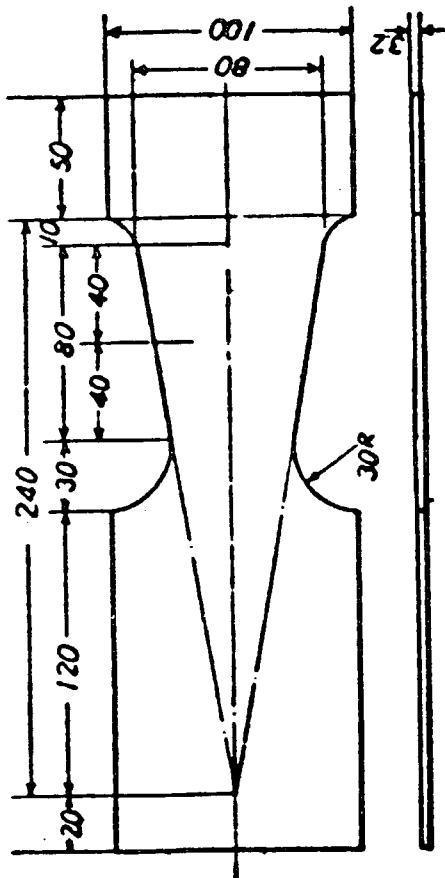


図 3.2 試験片の形状

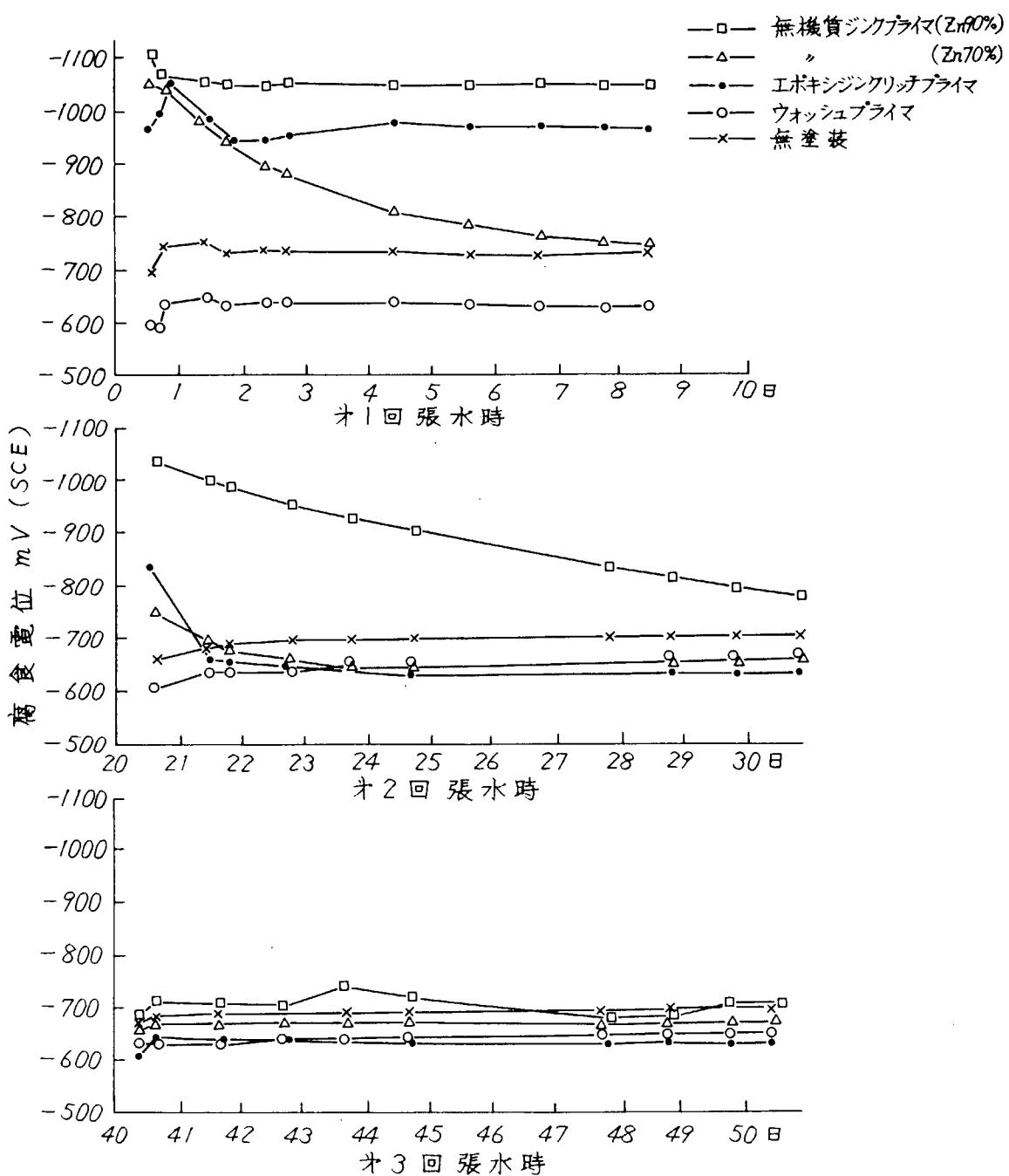


図 3.4 電位の経時変化

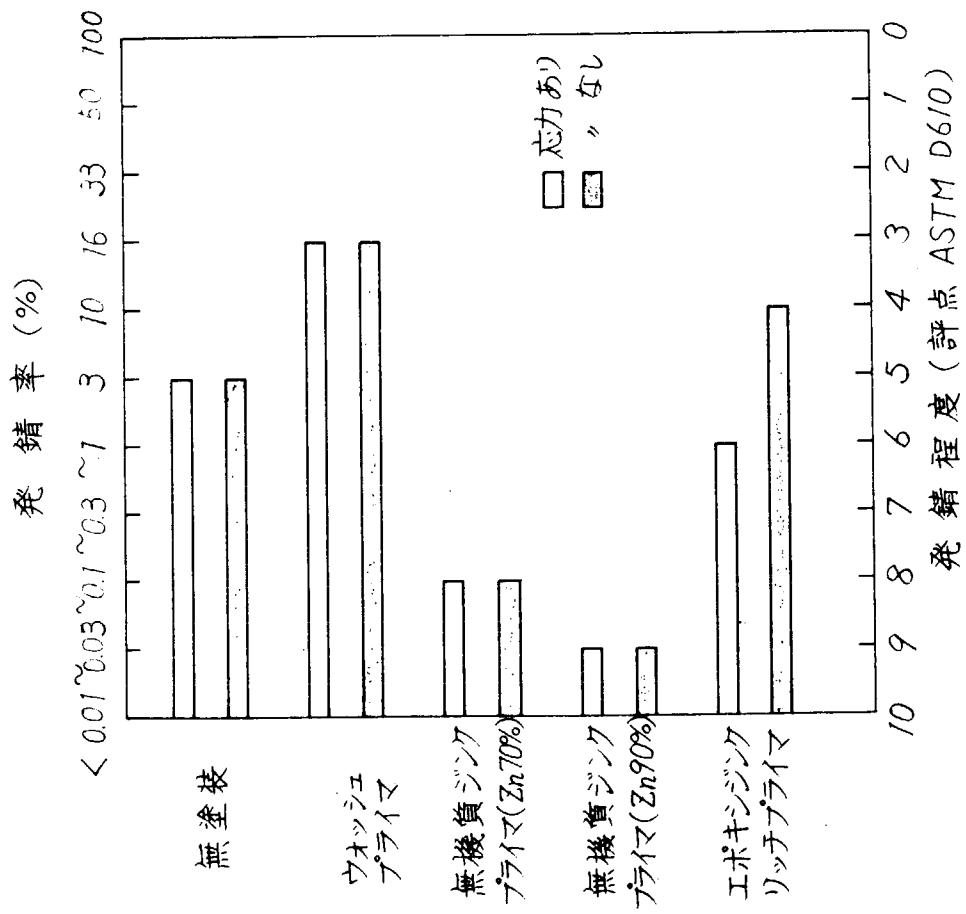


図 3.5 サビ発生程度の比較
(電防あり 試験期間 180 日)

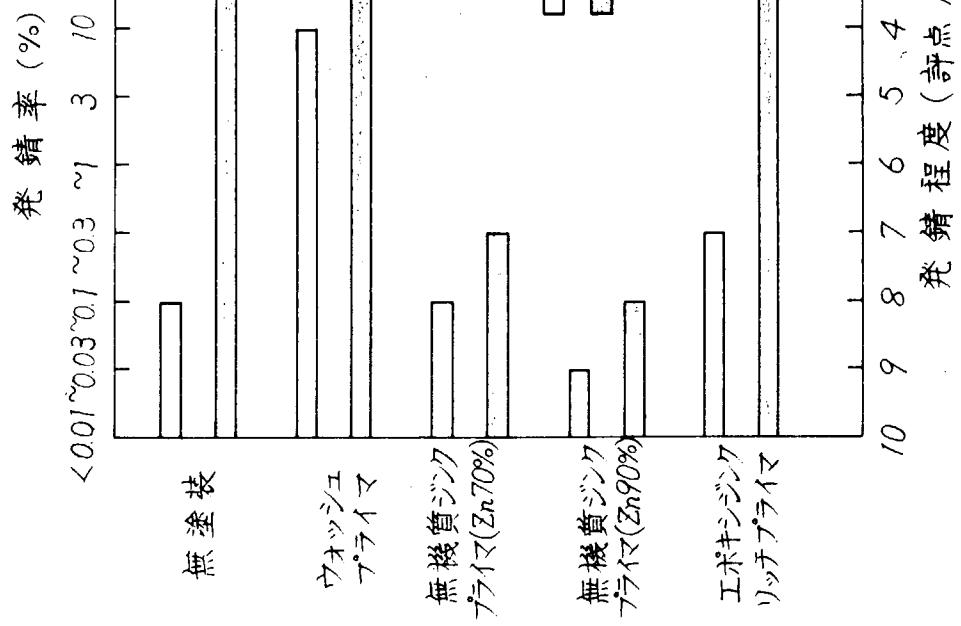


図 3.6 サビ発生程度の比較
(電防あり 試験期間 100 日)

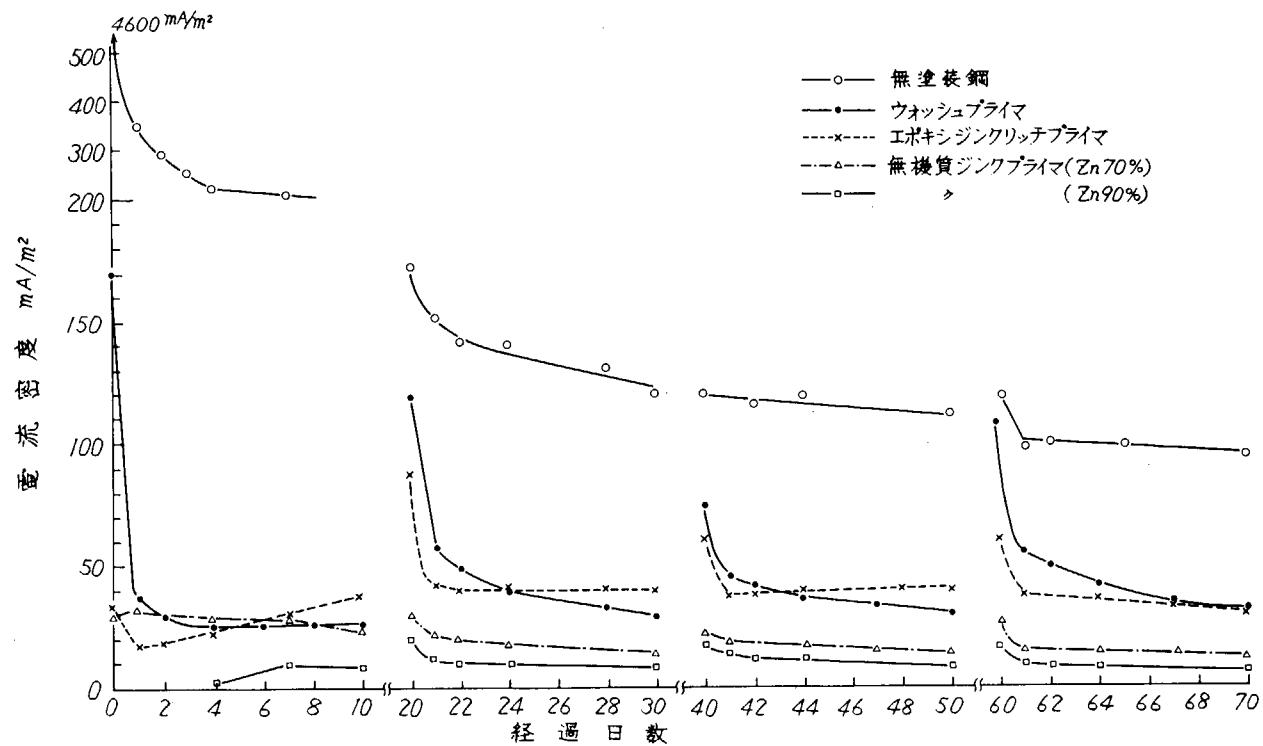


図 3.7 - 1.0 V (SCE) 設定時の電流変化(3カ月屋外ばく露後)

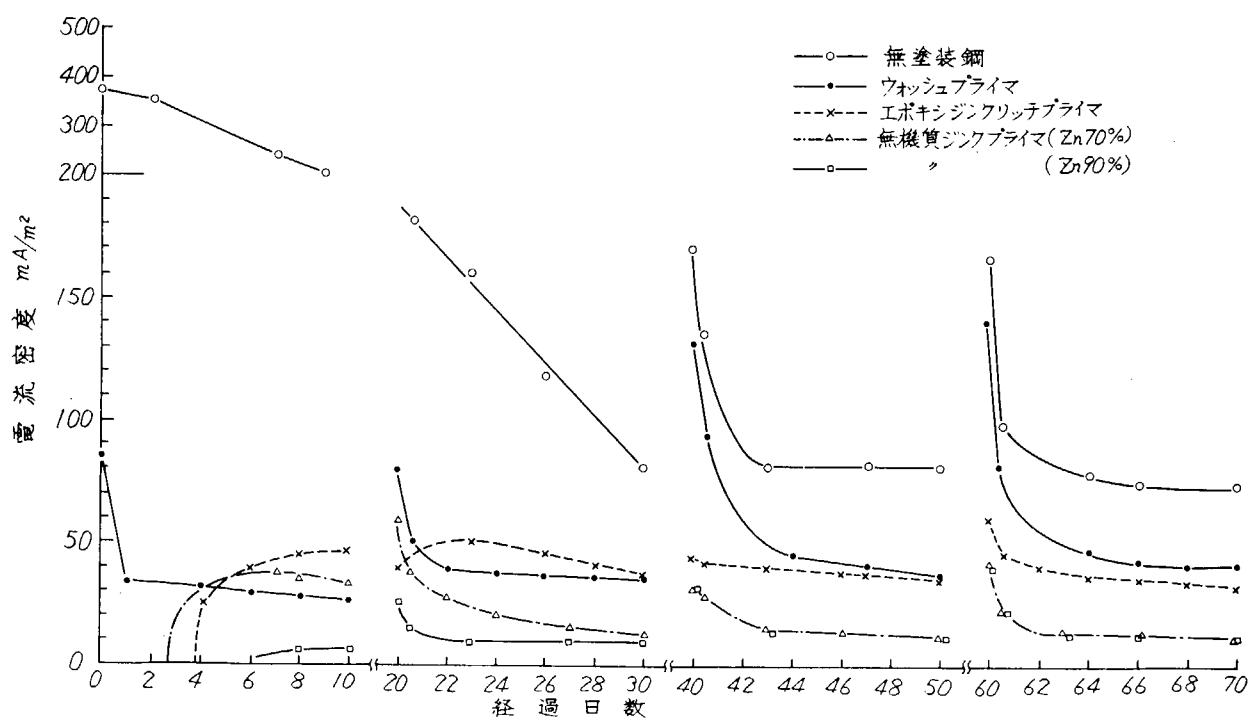


図 3.8 - 1.0 V (SCE) 設定時の電流変化(屋外ばく露なし)

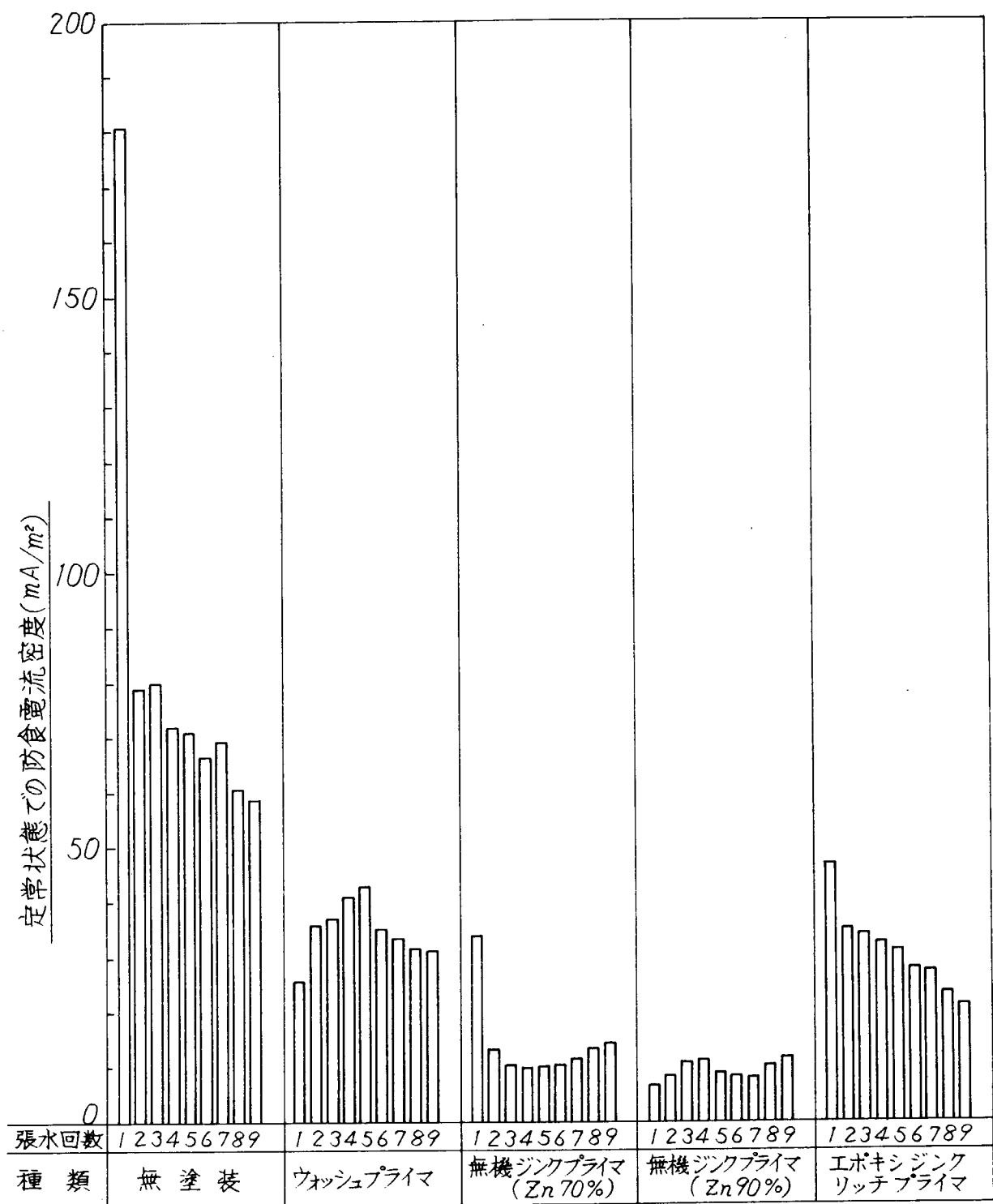


図 3.9 各張水時の防食電流密度
(応力 1.0 Kg/mm^2 , 0.6 cpm , 設定電位 = 1.0 V SCE)

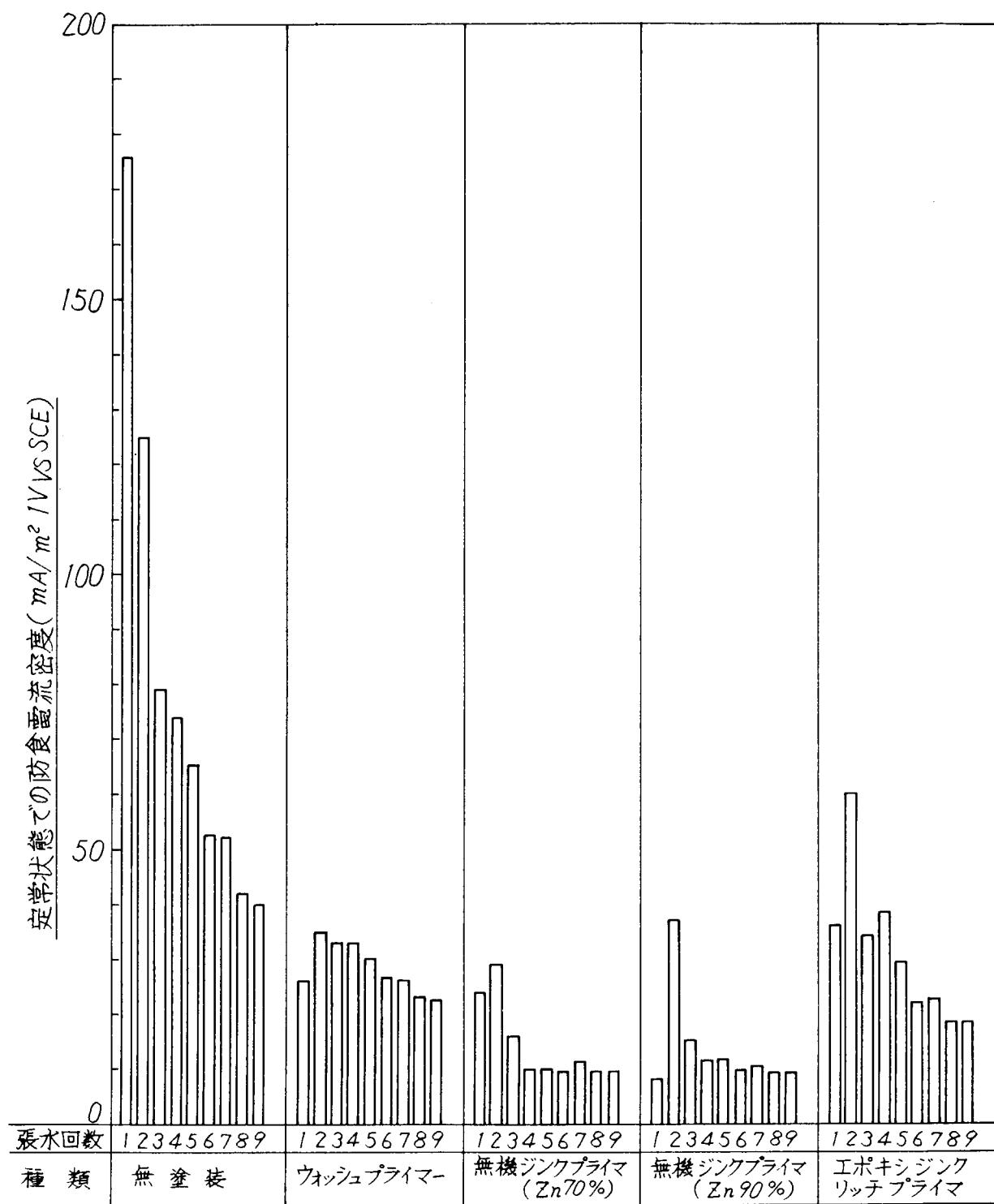


図 3.10 各張水時の防食電流密度
(応力付加なし, 設定電位 - 1.0 V)

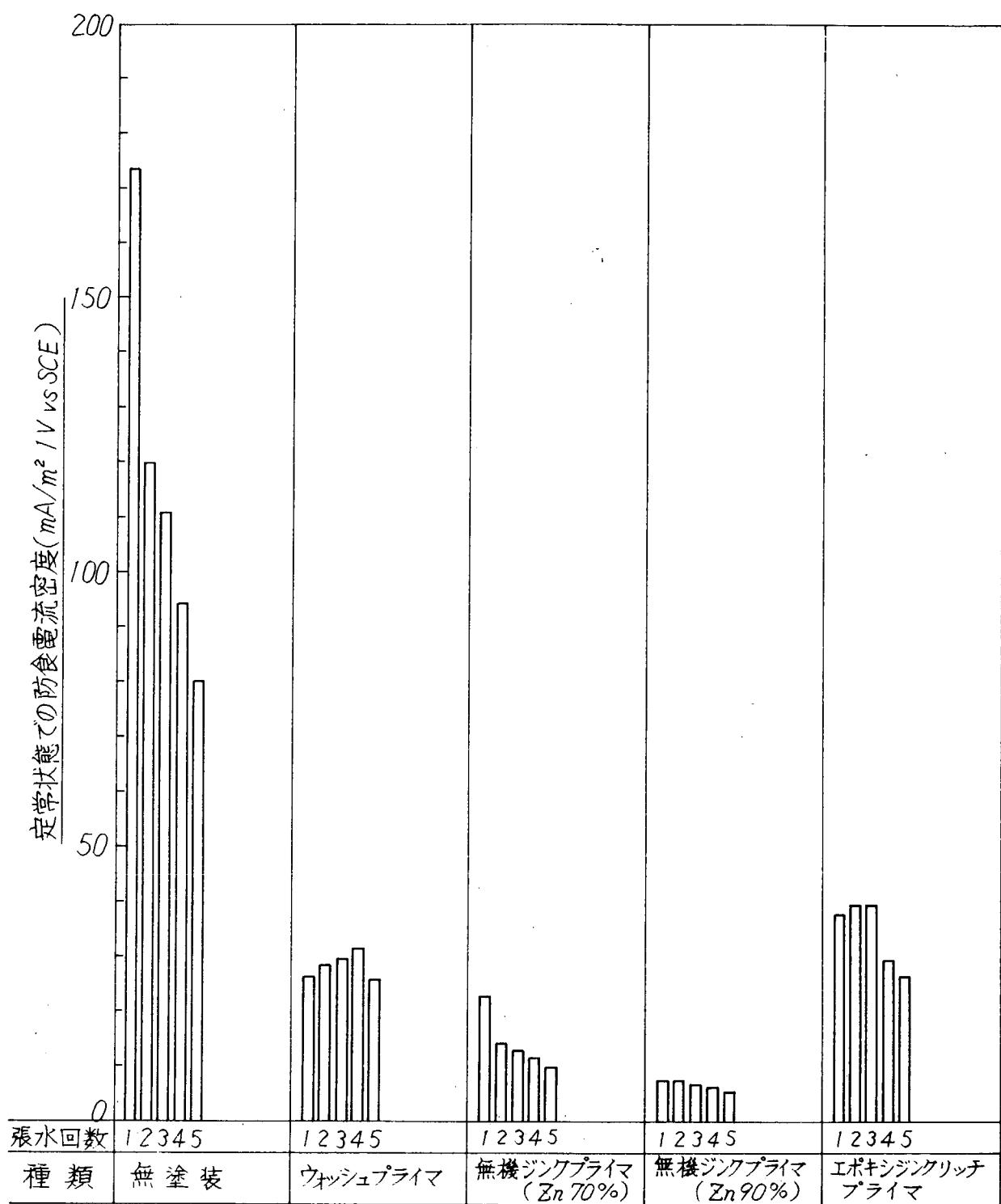
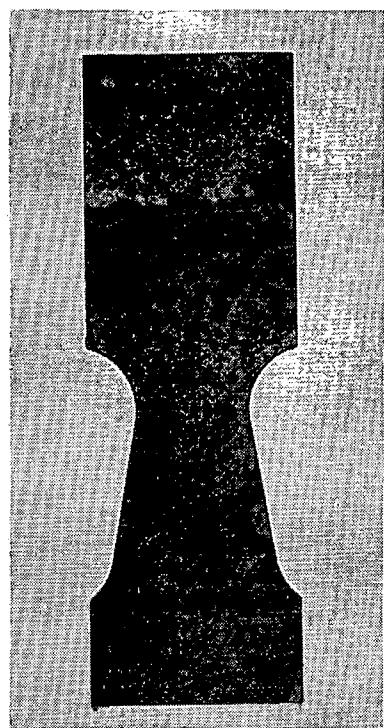


図 3.11 3か月ばく露試験片の各張水時の防食電流密度

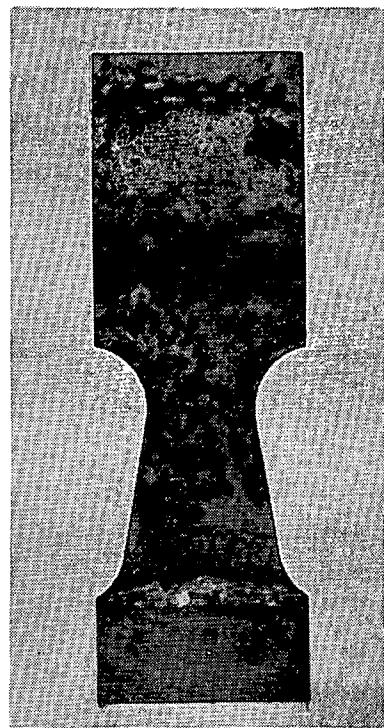
(応力 1.0 kg/mm^2 , 0.6 cpm, 設定電位 - 1.0 V vs SCE)



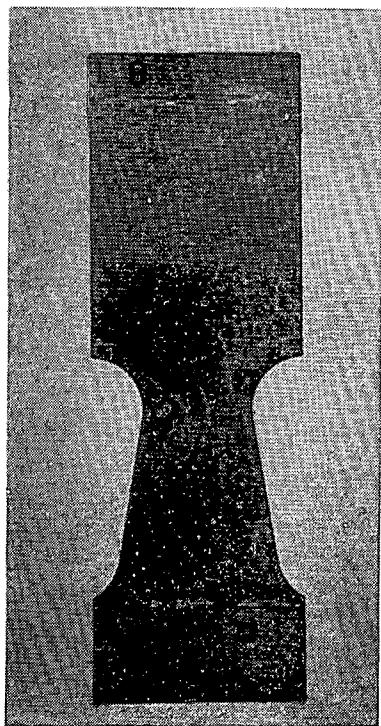
無塗装



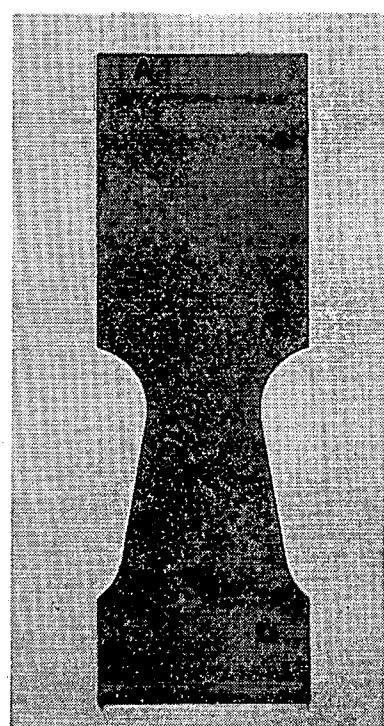
ウォッシュプライマ



無機質ジンク
プライマ (Zn 70%)



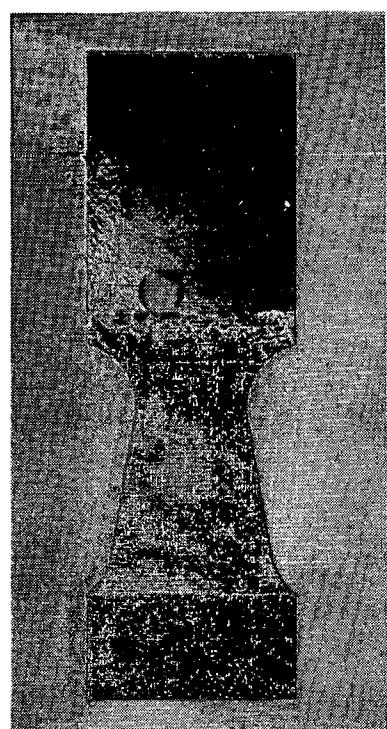
無機質ジンク
プライマ (Zn 90%)



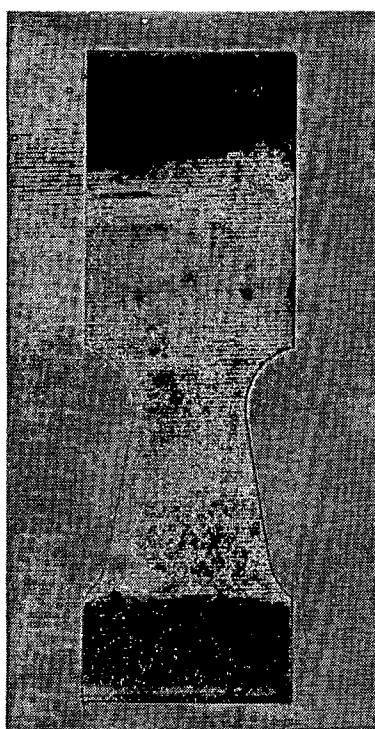
エポキシジンク
リッテプライマ

写真3.1 180日腐食試験後の表面状況

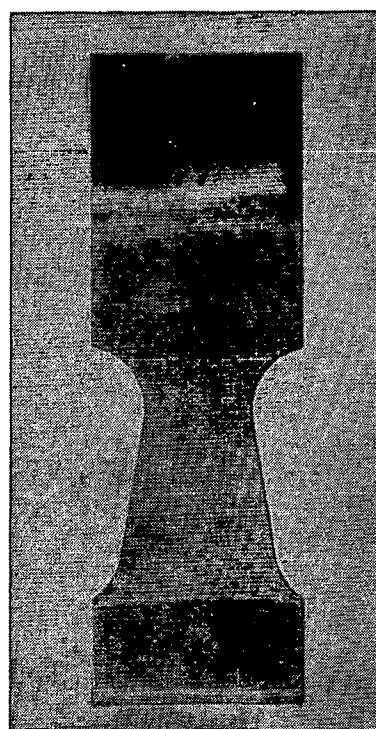
(電防なし, 曲げ応力1.0 Kg/mm, 繰返速度0.6 cpm)



無塗装



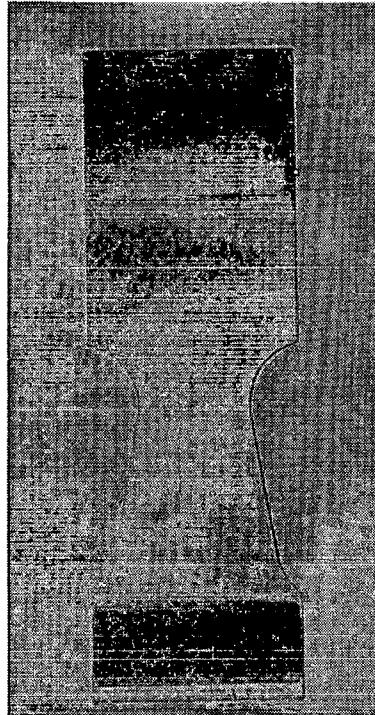
ウォッシュプライマ



無機質ジンク
プライマ (Zn 70%)



無機質ジンク
プライマ (Zn 90%)



エポキシジンク
リッテープライマ

写真 3.2 180日腐食試験後の表面状況

(電防あり、曲げ応力 1.0 kg/mm²、繰返速度 0.6 cpm)

4. エレクトロ・コーティング(E・C)の防食効果

4.1 試験項目

試験 1. 通電量と防食性(試験片両面に温度差がない場合)

試験 2. " " (ある場合)

試験 3. 通電電流密度と防食性

4.2 試験条件及び装置

試験片は SS材で寸法は試験 1 は $100 \times 50 \times 3.2\text{ t}$ (面積 80×50), 試験 2 は $130 \times 80 \times 0.8\text{ t}$ (面積 100×50), 試験 3 は $100 \times 50 \times 0.8\text{ t}$ (面積 80×50) である。試験片の面積比は試験 1 : 試験 2 = 1 : 1.25 である。

通電方法は定電位装置及び Zn 陽極による流電の 2通りとした。

1m 角タンクに合成海水(J I S . K - 5631)を満たして温度 30°C 一定とし、定電位装置による場合は電位及び電流を海水塩化銀電極、Zn 陽極と接続して設定した。流電防食のものは Zn 陽極と接続して(面積比 Zn : 試験片 = 1.6 : 1) 自然通電をおこなった。

試験 2 の排水中の腐食試験装置は図 4.1 に示す通りで試験片の試験面側を温度 50°C 、湿度 95% 以上、反対側を温度 30°C 及び 70°C の 2通りに温度差を維持した。

試験 1 及び 3 の場合は図 4.1 の中央部の槽と同様な装置により温度 50°C 、湿度 95% 以上に維持した。

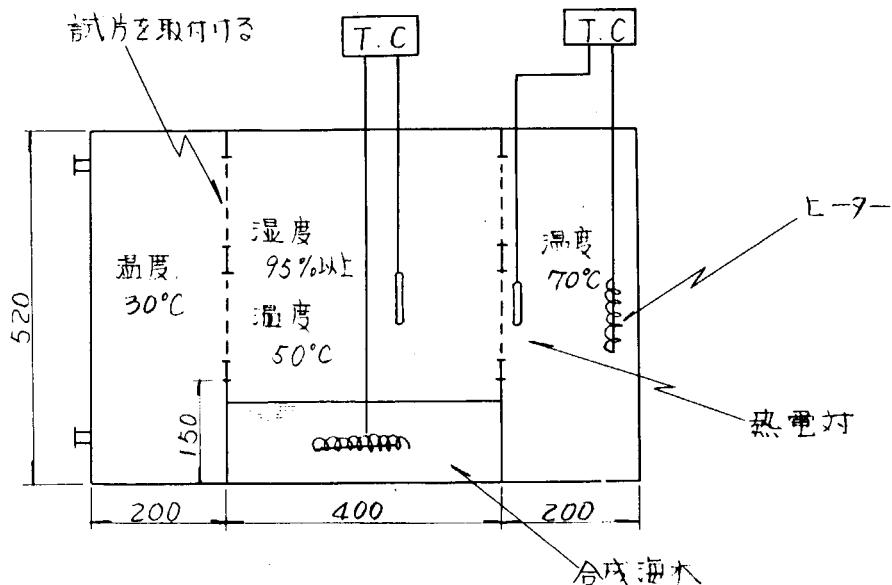


図 4.1 腐食試験槽略図

4.3 試験方法

試験 1.

第 1 サイクル目は -1.0 V 電位設定にて通電量を $60, 100, 140\text{ AH/m}^2$ にした試験片 A~F と流電防食にて通電量を変えた試験片 G, H 及び比較のため自然腐食させた試験片 I, J とした。排水中は恒温槽にて 8 日間湿度 95% 以上、温度 50°C の条件下に維持した。

第 2 サイクル以後の張水中は各試験片とも -1.0 V または Zn 陽極にて防食し、張、排水 8 日間づつ繰返して第 5 サ

イクル迄継続した。

試験 2.

第 1 サイクル目の条件は①自然腐食 ②通電量 $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ ③通電量 $140 \text{ AH}/\text{m}^2$ の 3 種類とし サイクル以後は張水中 - 1.0 V 電位設定により通電し、排水中は腐食槽内に試験片両面が異なる温度に維持するようにして 8 日間放置した。

試験 3.

第 1 サイクル目の条件は陰極電流密度をかえて定電流にて (0.1, 1.0, 5.0 A/ m^2) 通電し、通電量は各試験片共 $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ とした。

第 2 サイクル以後は試験 1 と同条件とした。

※試験 1 ~ 3 の各試験片の条件設定を表 4.1 に示した。

表 4.1 各試験での設定条件

試験 No.	試験片 No.	第 1 cycle 通電方法	初期 E.C 生成条件 (1 cycle)		2 ~ 5 cycle		
			通電	排水 8 日	張水 8 日	排水 8 日	
試 験 1	A	電位設定 pot. stat	- 1.0 V	60 AH/ m^2	温 度 50°C	- 1.0 V	
	B		- 1.0 V			Zn	
	C		- 1.0 V			- 1.0 V	
	D		- 1.0 V	100 AH/ m^2		Zn	
	E		- 1.0 V			- 1.0 V	
	F		- 1.0 V	140 AH/ m^2		Zn	
試 験 2	G	流電防食 Zn	Zn - 7 日間	湿 度 95% 以上	Zn		
	H		Zn - 20 日間		海水中放置		
	I	Blank			- 1.0 V		
	J						

1 - 30°C	Blank		腐食側 50°C 反対側 30°C	海水中放置	1 cycle と 同じ
2 - 30°C	- 1.0 V	70 AH/ m^2		- 1.0 V	
3 - 30°C	pot stat	140 AH/ m^2			
1 - 70°C	Blank		腐食側 50°C 反対側 30°C	海水中放置	1 cycle と 同じ
2 - 70°C	- 1.0 V	70 AH/ m^2		- 1.0 V	
3 - 70°C	pot stat	140 AH/ m^2			

試験 No.	試験片 No.	第 1 cycle 通電方法	初期 E.C 生成条件 (1 cycle)		2, 5 cycle	
			通電	排水 7 日	張水 7 日	排水 7 日
試 験 3	1	電流設定 にて 70 AH/ m^2 通電	0.1 A/ m^2	試験 1 と 同じ	- 1.0 V	試験 1 と 同じ
	2		1.0 A/ m^2		pot stat	
	3		5.0 A/ m^2			
	4		Blank		海水中放置	

pot stat 定電位装置

4.4 試験結果

試験 1

図 4.2 に通電量、図 4.3 に腐食量、図 4.4 に防食率をそれぞれ示した。防食率は同条件下のプランク試験片の腐食量と防食した試験片の腐食量との差より次式により算出した。

$$\text{防食率} = \frac{(\text{腐食試験片の重量減}) - (\text{防食試験片の重量減})}{(\text{腐食試験片の重量減})} \times 100$$

初期エレクトロ・コーティング (E・C) 生成時の通電量が $60 \text{ AH}/\text{m}^2$ 付近を境として腐食傾向に差が認められる。しかし $60 \sim 140 \text{ AH}/\text{m}^2$ 範囲では通電量に比例した防食効果の差はほとんど認められない。E・C 生成後の通電を定電位装置で行ったものより流電防食法で行ったものの方が通電量が低いにもかかわらず防食効果は良くなっている。

防食率は 3 cycle 以後、cycle を増すごとに上昇しているが、このことは自然腐食が 3 cycle 以後、急激に上昇しているためである。

5 cycle 目迄の平均腐食速度で比較すると自然腐食 : $0.358 \text{ mm}/\text{Yr}$ E・C 生成 : $0.021 \sim 0.079 \text{ mm}/\text{Yr}$ を示した。

試験 2

図 4.5 に通電量、図 4.6 に腐食量、図 4.7 に防食率をそれぞれ示した。

初期通電量が $140 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものは $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものに比較して各 cycle の通電量が約 $1/2 \sim 2/3$ 程度であった。

また通電量はいずれの場合も cycle を増すごとに増加している。特に $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ 、5 cycle 目の高温側のものは -1.0 V を維持するに初期通電量とほぼ同じ程度の電気量を必要とした。

腐食傾向で比較すると低温側の方はあまり差がない。しかし、高温側では $140 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものは $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものの約 $1/2 \sim 1/3$ である。また、 $140 \text{ AH}/\text{m}^2$ の高温側、低温側の差はほとんどないが、 $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものでは高温側が約 2 ~ 6 倍、腐食量が多い。

防食率では $70 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものは高温側 60 % 台、低温側 70 % 台であり、 $140 \text{ AH}/\text{m}^2$ のものは両方ともに 80 % 台を示した。

腐食速度では自然腐食 : $0.376 \sim 1.186 \text{ mm}/\text{Yr}$ (前者、低温側 - 後者、高温側)、 $70 \text{ AH}/\text{m}^2$: $0.074 \sim 0.378 \text{ mm}/\text{Yr}$ 、 $140 \text{ AH}/\text{m}^2$: $0.072 \sim 0.139 \text{ mm}/\text{Yr}$ であった。

試験 3

図 4.8 に通電量、図 4.9 に E・C 成分 (Ca/Mg 比)、図 4.10 に腐食量、図 4.11 に防食率を示した。

陰極電流密度が大きくなる程、E・C 成分中のマグネシウム分 ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) が多くなり、カルシウム分 (CaCO_3) が少なくなる。この関係は H.A. Robinson の結果とほぼ一致した。

(低電流密度での不一致は Sampling の影響が考えられる)

1 cycle 目に陰極電流密度の大きい ($1.0, 5.0 \text{ A}/\text{m}^2$) ものは、E・C 表面状態が非常に粗く、一部脱落した部分があった。 $0.1 \text{ A}/\text{m}^2$ のものは、もっとも E・C の付着が緻密であった。

各試験片の 2 cycle 目以後の通電量を比較した場合、 $0.1 \text{ A}/\text{m}^2$ 通電のものが最も低い (他に比較して約 $1/2$ 以下) のは前記の E・C 付着状態に左右されたものと考えられる。

いずれの場合も 3 cycle までは短期間のためか、腐食傾向、防食率の差があまり認められなかった。

4.5 まとめ

- (1) 通電量 $60 \sim 140 \text{ AH}/\text{m}^2$ でのエレクトロ・コーティング (E・C) 防食効果は大差なかったが、 $20 \text{ AH}/\text{m}^2$ では効果が少なかった。

- (2) E・C付着後の維持電気量(- 1.0 V 設定時)は定電位装置を使用したものより、 Zn 陽極を使用したものの方が電気量は小さいにもかかわらず腐食は少なかった。
- (3) 温度 50°C, 湿度 95%以上においての 5 cycle 目迄の腐食速度は自然腐食の場合 0.358 mm/Yr であり、 E・C 付着したものは $0.021 \sim 0.079 \text{ mm/Yr}$ であった。
- (4) 試験片の片面が高い温度に接していると両面が同一温度にある場合よりも腐食は著しく促進される。E・Cを付着すると腐食は減少するが、試験 cycle の増加により維持電気量は順次増加した。なお、このような場合でも初期電気量 140 AH/m^2 の方が 70 AH/m^2 に比べて防食効果はかなり良好であった。
- (5) 初期通電量が 60 AH/m^2 以上あれば防食率は 90% 程度であるが、温度差のある場合は 70 AH/m^2 のもので $70 \sim 80\%$, 140 AH/m^2 は $80 \sim 90\%$ であった。
- (6) E・C生成は電流密度の小さい方が良好で、電流密度が大きいと表面が粗く維持電流も大きくなつた。

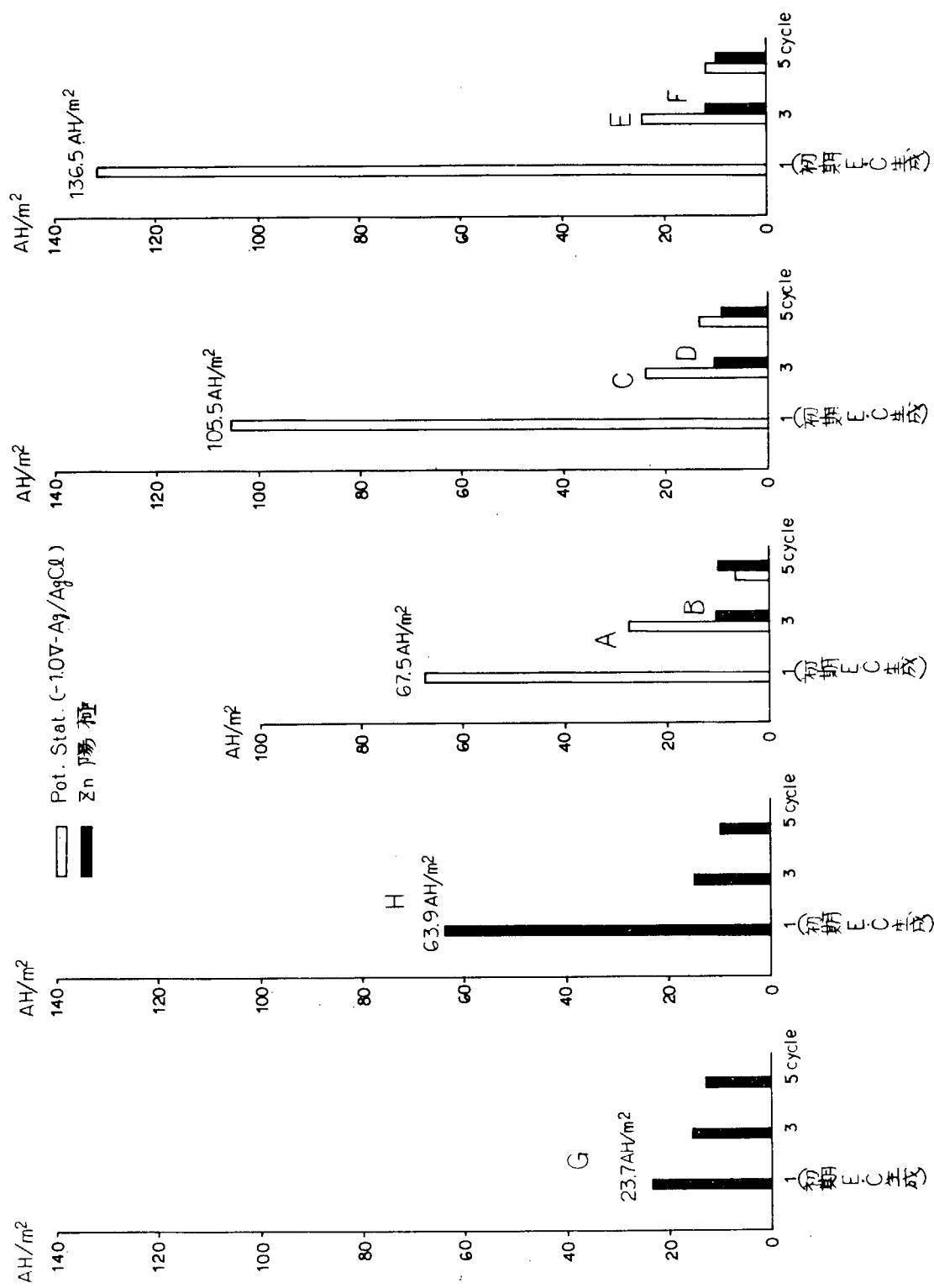


図 4.2 各サイクルでの通電量の変化(試験 1)

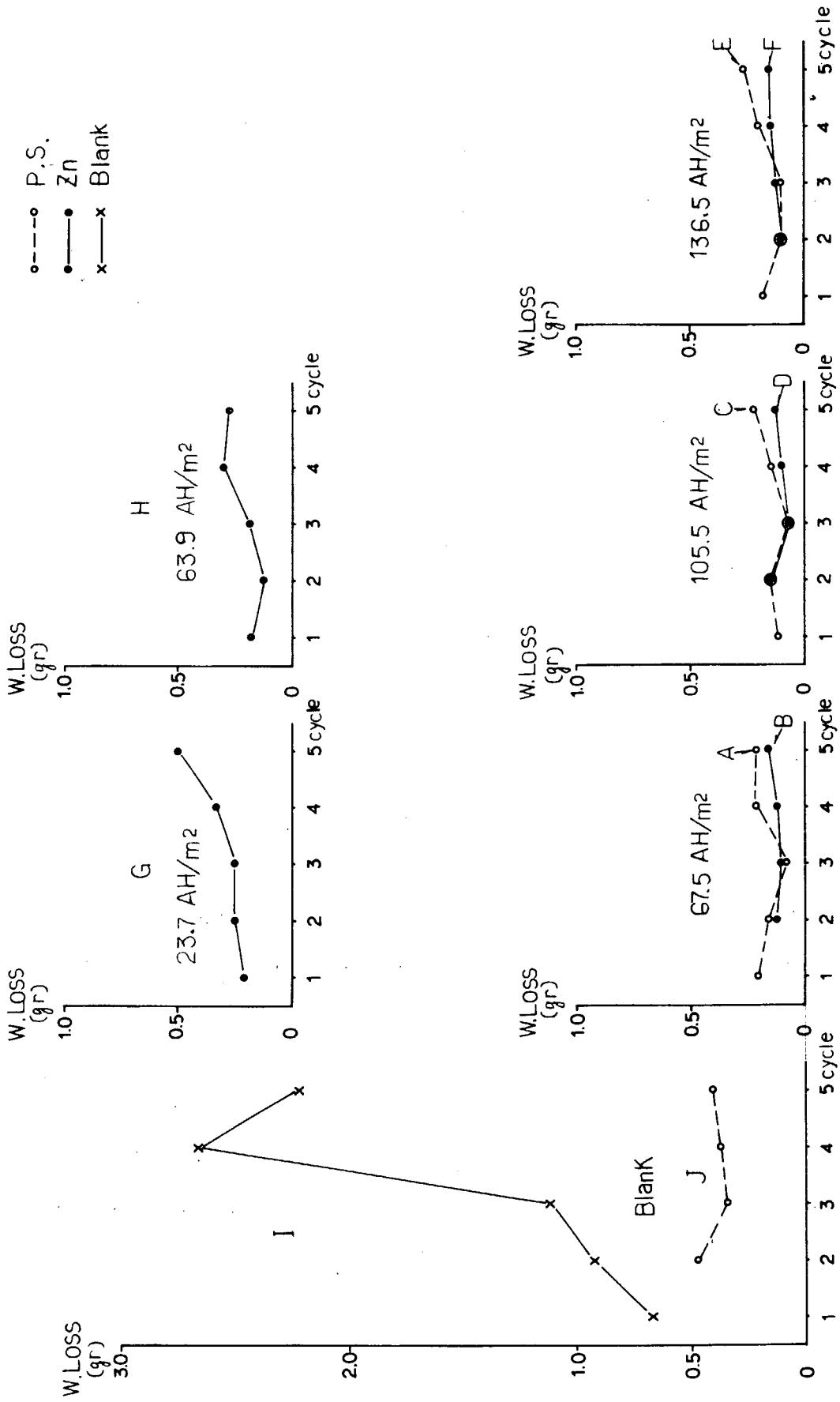


図 4.3 各サイクルの腐食量の変化(試験 1)

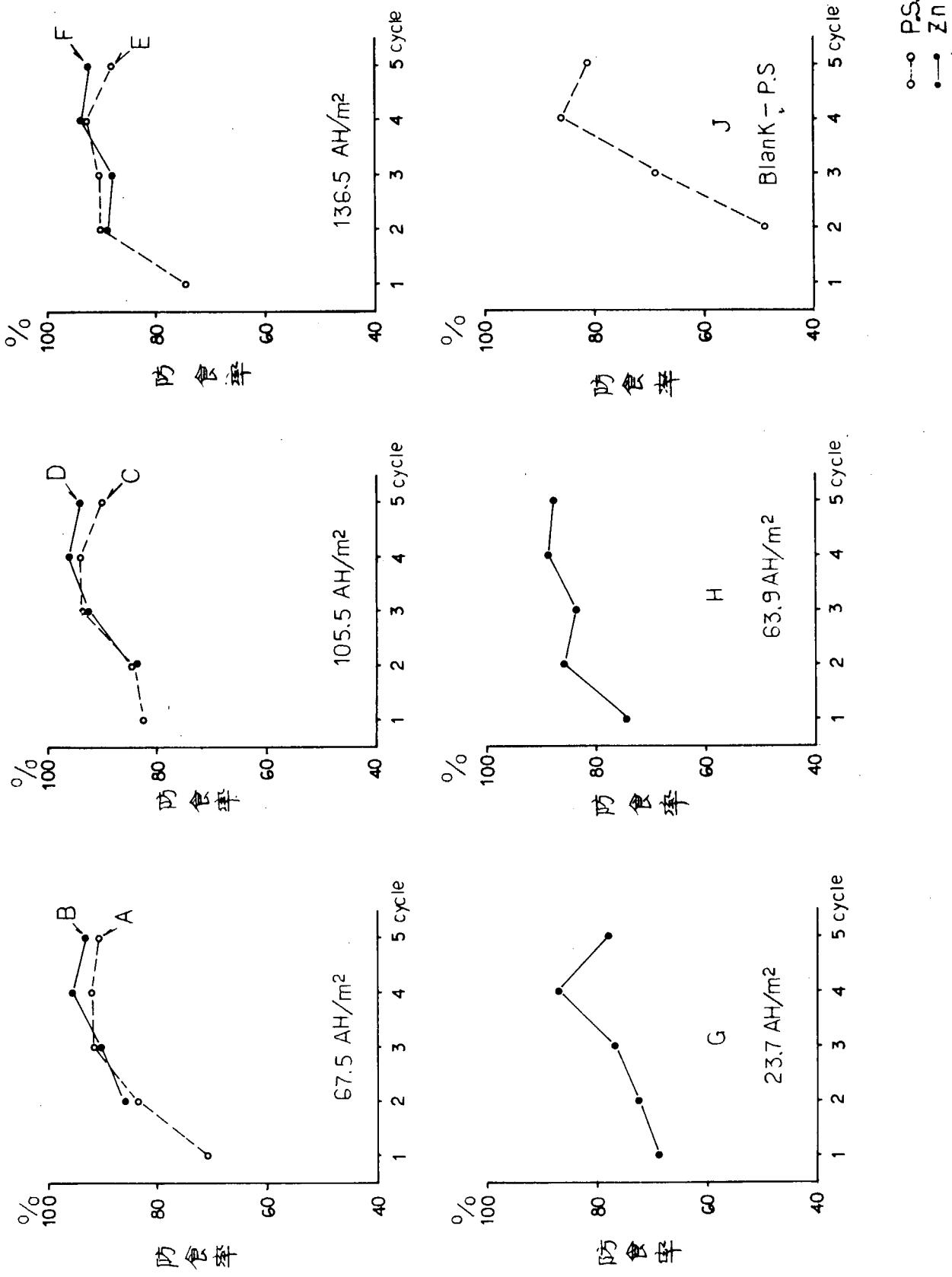


図 4.4 防食率(試験 1)

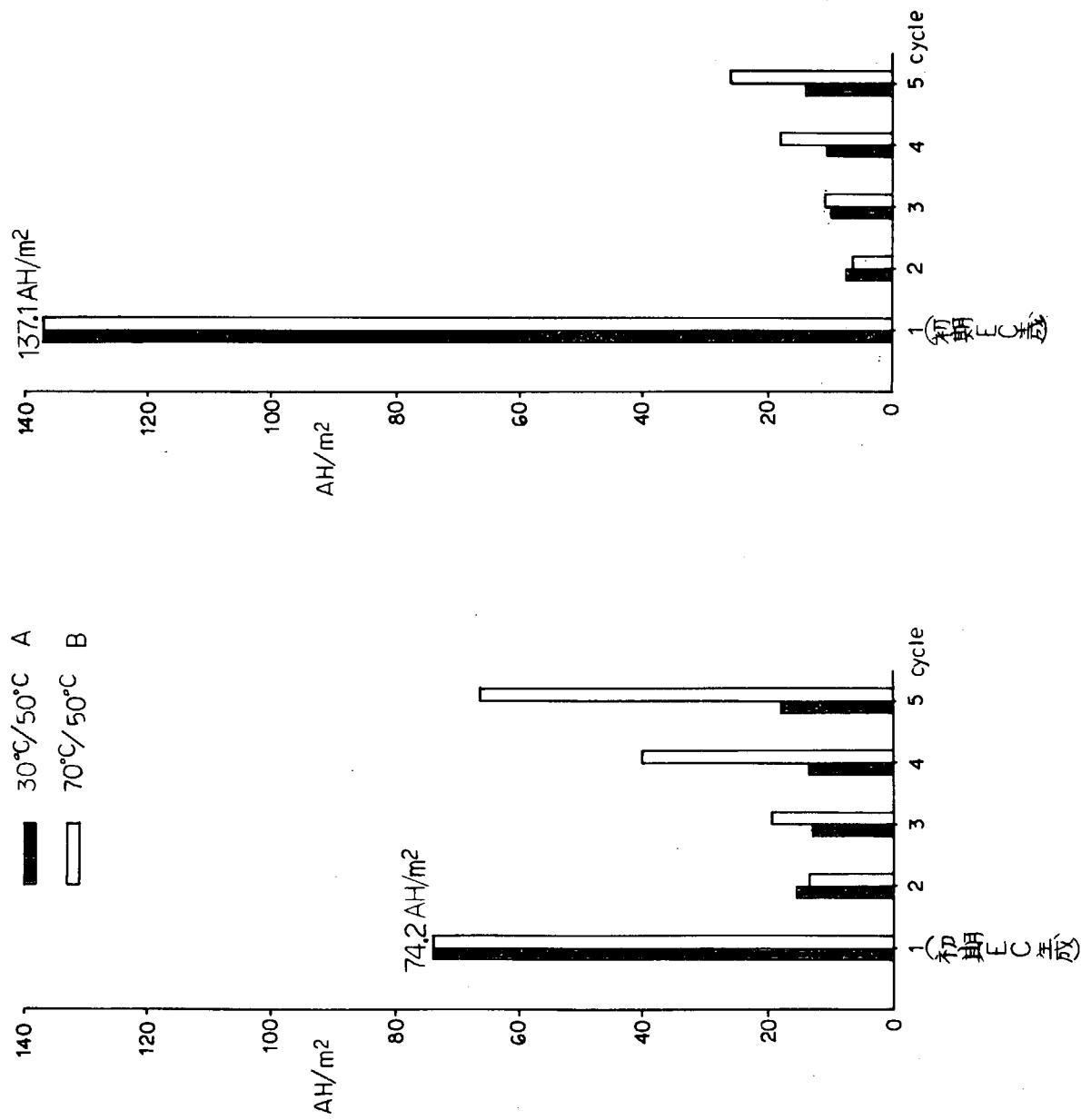


図 4.5 各サイクルでの通電量の変化(試験 2)

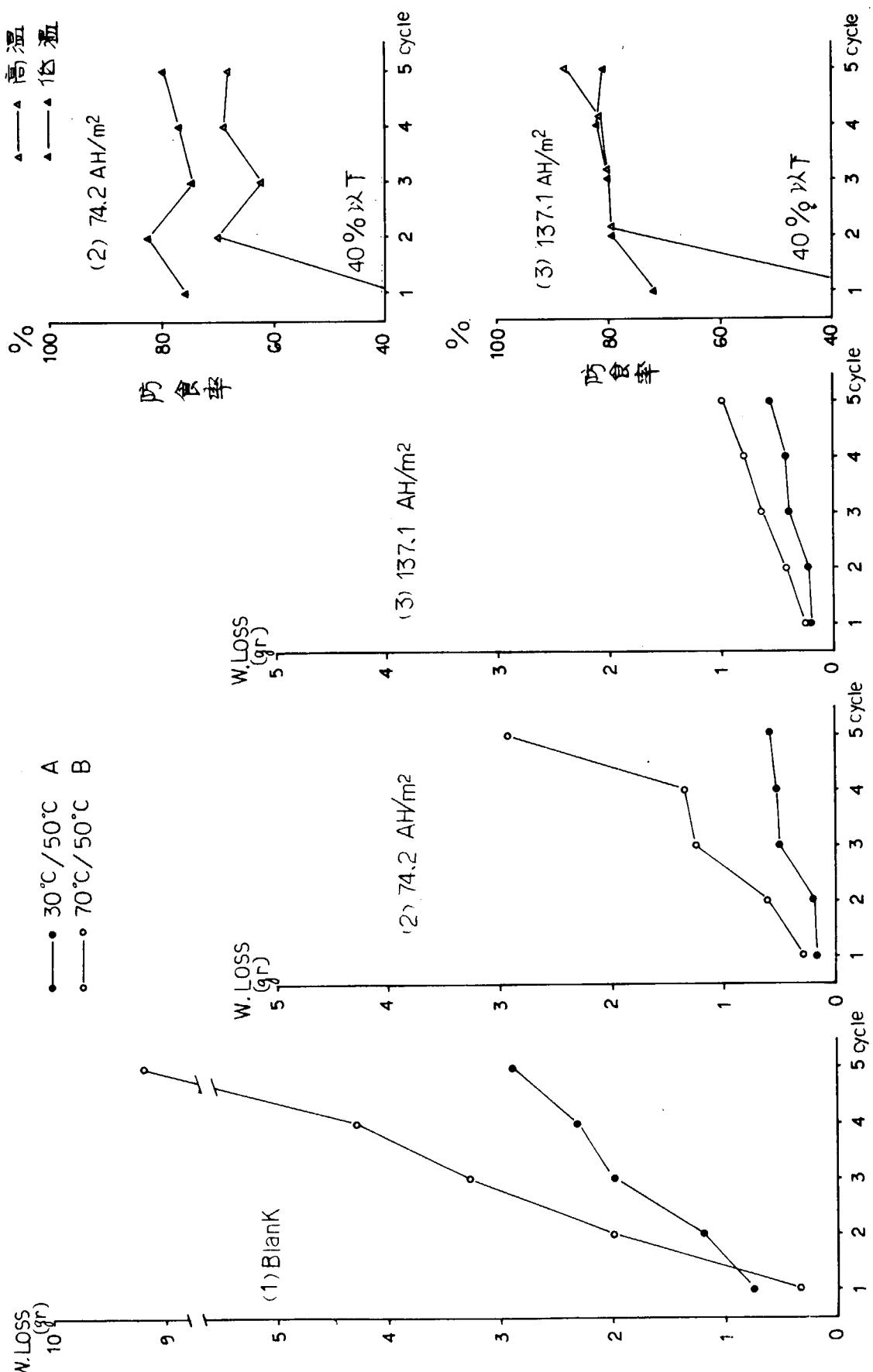


図 4.6 各サイクルの腐食量の変化(試験 2)

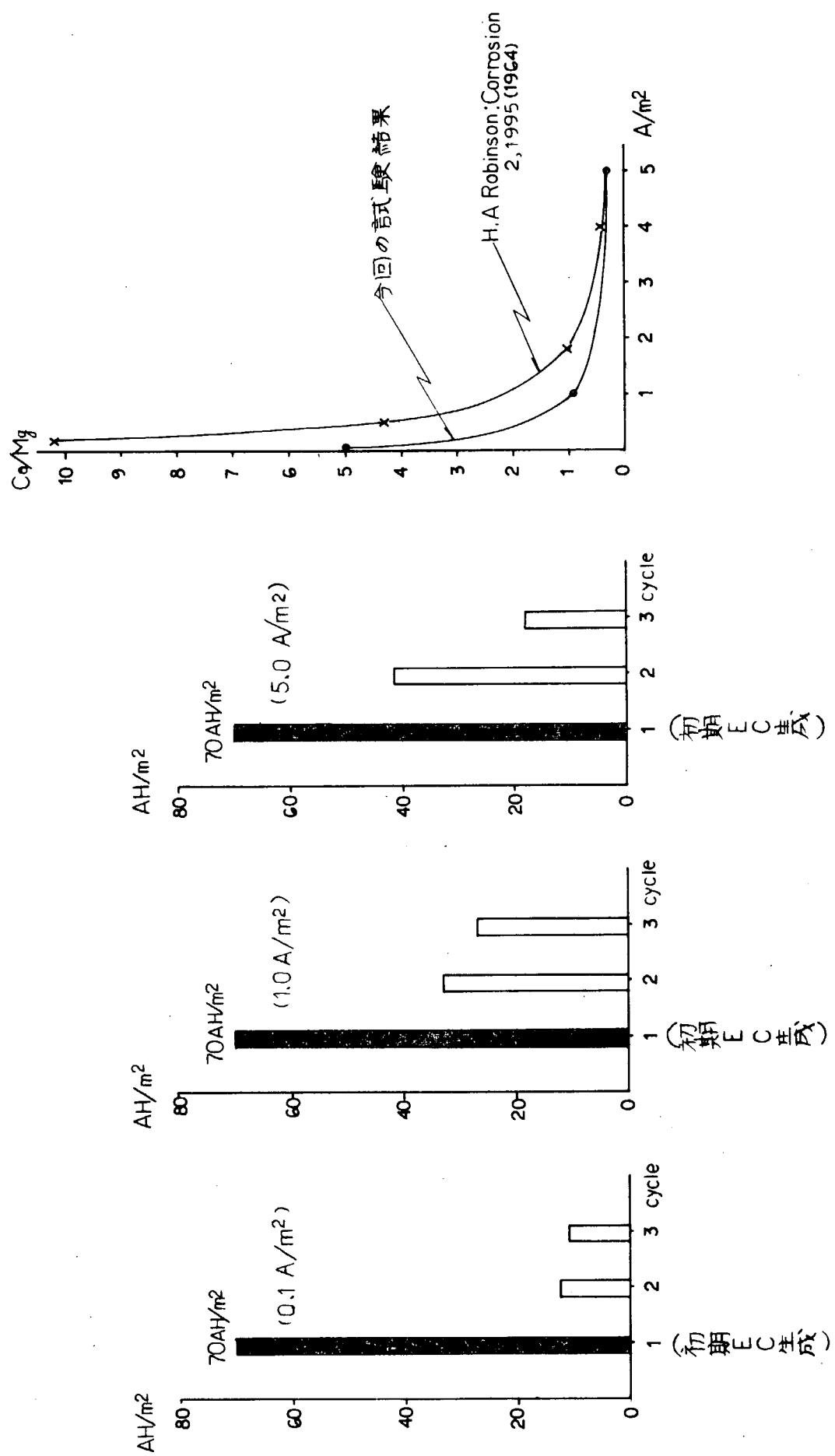


図 4.8 各サイクルでの通電量の変化(試験 3)

図 4.9 陰極電流密度と E・C 組成

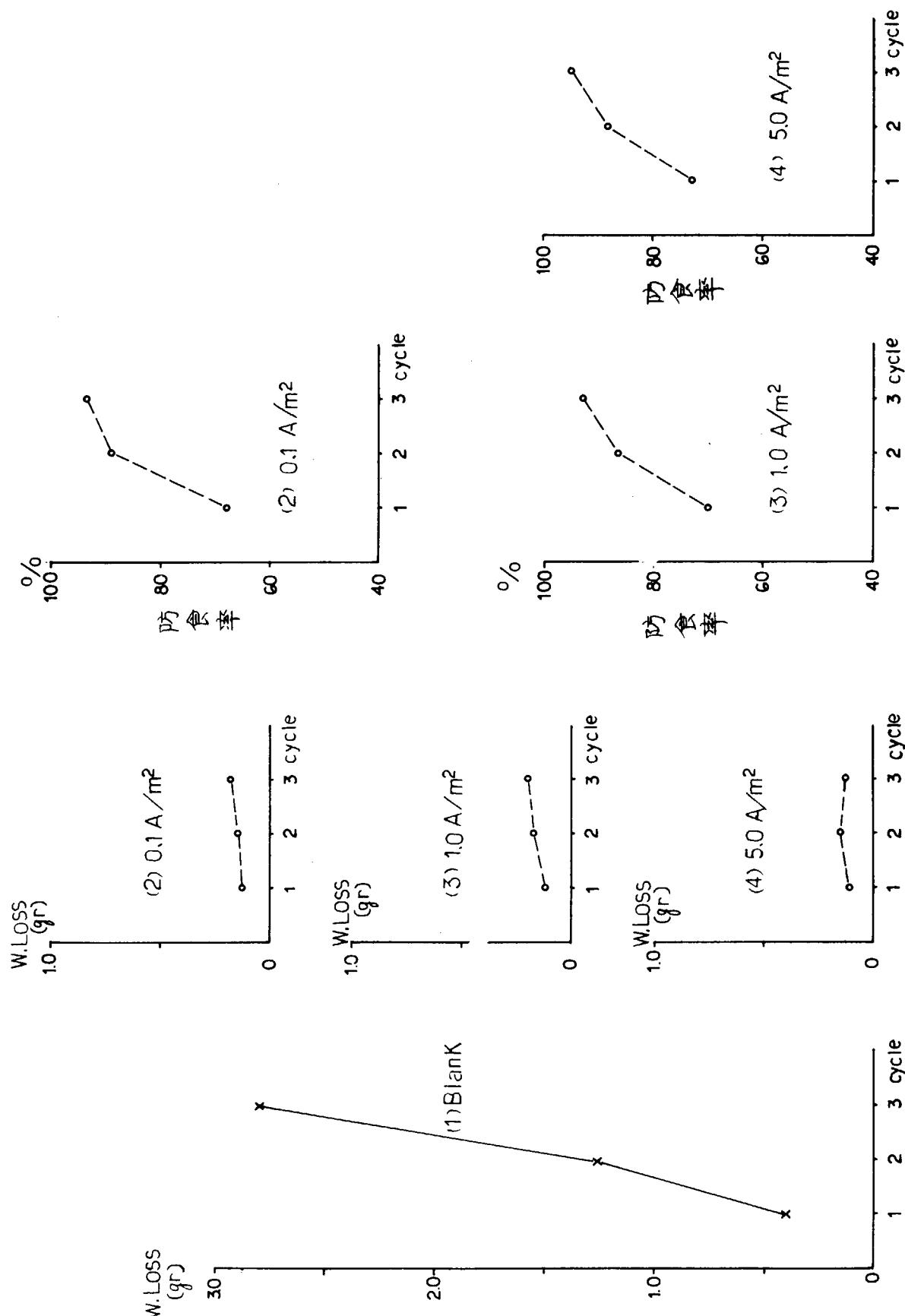


図 4.10 各サイクル腐食量の変化(試験 3)

図 4.11 防食率(試験 3)

5. 軟鋼の低速度繰返し低応力腐食の防止に関する試験

船舶のバラストタンクにおける低速度繰返し低応力環境下の鋼材の腐食傾向については、昭和49年度までの研究結果から応力あるいは歪みを付加した場合、繰返し付加条件下においては孔食をともなう腐食促進が認められている。

本年度は海水バラスト条件に低速度低応力繰返し条件を加えて腐食促進状況を確認し、さらに陰極防食を適用し、防食効果、防食条件、エレクトロコーティングの効果などを調査した。

5.1 試験方法および試験条件

試験は所定の海水バラスト条件下において鋼試験片に繰返し応力を付加し、鋼の腐食、防食状況を調査するものとした。

陰極防食は外部電源方式とし防食達成条件を検討した。

(1) 試験装置

図5.1に繰返し応力付加腐食試験装置の概略を示す。応力付加試験装置は海水の温度制御およびバラスト条件の調節が可能な水槽中に応力負荷試験片支持具を固定したもので、この支持具に外力を加え、試験片にはたわみによって所定の応力を与えた。

(2) 試験片

試験片の寸法、形状を図5.2に、試験片支持具を図5.3に示す。試験片は $15 \times 75 \times 1^t$ mmの板状で表面は研磨紙800番で仕上げアセトンで脱脂洗浄した。引張応力のかかる片面中央部凸側の 15×15 mmを供試部とし、他は絶縁塗装をほどこした。試験片の中央に生じるたわみと付加された応力は次式の関係を有し、4点支持法により供試部には平均的に応力が集中する。

$$\delta = \frac{\sigma \ell^2}{6 Eh}$$

δ : たわみ mm
 σ : 応力 Kg/mm^2
 ℓ : 外側 2 支点間の距離 mm
 E : 弹性係数 Kg/mm^2
 h : 試験片の厚さ mm

(3) 試験条件

供試したバラスト海水はASTM D-1141-52の人工海水で液温は25°C, 40°Cの2種類とした。液量は上述の試験槽で30ℓとし、各張水期ごとに更新した。海水は静止状態でバラスト率は50%とし、バラストサイクルは張水期間7日、空槽期間7日よりなる14日間とした。比較のために試験の全期間にわたって張水状態を継続する条件も加えた。

負荷応力は12.5, 25 Kg/mm²の2種類とし、繰返し速度は応力の負荷、除荷とも各1時間の12回/dayとした。

(4) 試験方法

試験は上述の各種条件下において、腐食試験としては通常の重量減少法のほかに自然腐食電位の計測、分極抵抗の測定を行ない、防食試験としてはポテンショスタットを用いて陰極電位-900mV, -1000mVの定電位防食試験を行なって所要防食電流密度の経時変化を測定した。電位測定はすべて飽和甘汞電極を用い、防食試験においては白金電極あるいは亜鉛陽極を対極とした。防食試験片は通電終了後、表面に析出したエレクトロコーティング生成物を採取して成分分析を行なった。

5.2 試験結果

(1) 自然電位

図 5.4 には 40°C における腐食試験片の自然電位の経時変化を示す。第 1 張水期においては繰返し応力を受けた場合やや貴な電位を示す。第 2 張水期においては排水期間も含むそれまでの期間中の錆生成のため全試験片とは若干貴な電位を示すが、繰返し応力負荷試験片は第 2 張水以降は卑となり、応力を受けない部分が次第に貴電位に移行する傾向を示す。

別に行なった応力負荷試験片と無応力試験片との短絡片（面積比 1:1 および 1:10）の自然電位測定では浸漬 1 週間後において 1:10 の短絡片の方が貴電位を示した。これはカソードとなる無応力試験片の面積が大きいためと考えられる。またその時点で短絡を切ると、1:1 の短絡片では両試験片の電位がほとんど認められないのに対し、1:10 の短絡片では応力負荷試験片に 10 mV 以上の電位卑化が認められた。これは 1:10 の場合、短絡状態で貴電位を示しながら短絡を切って応力集中片が大きく復極されることを示している。

以上のように応力集中部が面積として小さく、局部に偏る場合は長期間経過後、繰返し効果としてマクロ腐食のアノード部となる可能性があり、局部腐食あるいは孔食の発生も考えられよう。しかし今回の実験においては加えられた応力の大きさおよび応力の負荷、除荷の切換え時には有意の電位差が認められなかった。

(2) 分極抵抗

図 5.5 および図 5.6 に分極抵抗の変化を示す。試験片に対して極めて小さい外部電流 (ΔI) を印加し、その分極 (ΔE) を測定してつくられる分極曲線 ($\Delta I - \Delta E$) は腐食電位にごく近い電位領域 ($\pm 20 \text{ mV}$) では直線関係を示し、その傾きすなわち分極抵抗 ($\Delta E / \Delta I$) は腐食速度との間に次の関係を有する。

$$\text{腐食速度} = K \frac{\Delta I}{\Delta E}$$

図 5.5 および図 5.6 は分極抵抗の逆数を腐食速度として示したが 40°C、張排水条件においては第 1 張水期には負荷応力の有無による差は認められないが、第 2 張水期以降にみられるように排水期を経て錆の生成した表面状態では繰返し応力条件下の試験片は負荷応力のないものよりかなり大きい。しかし応力の大きさによる差および応力の負荷、除荷時の差は認められない。第 3 張水期は第 2 張水期のあまり変わらない。40°C、全期間張水の場合は張排水条件のものに比べて著しく小さい。25°C の場合は最も小さい。

(3) 防食電流密度

40°C、人工海水、バラスト率 50%，負荷応力 1.25 kg/mm² および 2.5 kg/mm²、繰返し速度 12 回/day の条件下において定電位法により -900 mV および -1000 mV の防食試験を行なった。

図 5.7 に所要防食電流密度の経時変化を示す。第 1 張水期においては -900 mV より -1000 mV の維持電流がかなり大きいが、その差は次第に減少する。エレクトロコーティングの効果と考えられる。負荷応力の大きさによる差は各張水期とも初期は大きいが時間の経過とともに減少する。第 3 張水期終了における防食電流密度は -1000 mV で約 1.90 mA/mm²、-900 mV で約 1.50 mA/mm² である。

図 5.8 に応力を付加しない場合の防食電流密度を示す。応力を加えた場合とほぼ同様の変化を示すが、全期間バラスト張水状態では電流の低減が著しい。

(4) 腐食量 および防食効果

海水温度、バラスト条件、負荷応力および防食電位を変えた各種条件における腐食試験の結果を表 5.1 および図 5.9 にまた防食試験の結果を表 5.1 および図 5.10 に示す。

表 5.1 および図 5.9 の腐食試験結果によれば、無応力で水温 40°C、張排水各 7 日間、3 サイクルのバラスト繰返し条件における腐食量は、張排水繰返しとともに増加するが、特に第 1 排水期における増加が著しい。3 サイクル終了の 42 日経過後の腐食量で比較すると、一般に張水状態より張排水繰返し条件の方が腐食が大きく、25°C より 40°C の

方が腐食が大きい。また、 40°C 、張排水繰返し条件において繰返し応力を付加した場合は無応力の場合より腐食がわずかに大きい程度で、短期間の試験では応力よりもバラスト張排水繰返しあるいは水温上昇の方が腐食に及ぼす影響は大きい。腐食表面は繰返し応力を受けた場合不均一な局部腐食を呈する。

定電位法による防食試験においては、表5.1および図5.10に示すように全期間張水状態の場合、 -900mV 、 -1000mV とも防食率が90%以上と高いが、張排水繰返し条件下では防食率は低下し、 -900mV で62%， -1000mV で85%を示した。これに繰返し応力が加わる場合もほぼ同程度の防食率を示した。応力繰返し条件下において防食率が低下するか否かは短期間試験のためよく判らない。

(5) エレクトロコーティングの効果

人工海水、 25°C および 40°C 、亜鉛陽極による陰極電位 -900mV および -1000mV の定電位防食において10日間(236時間)に析出したエレクトロコーティング被覆は下層は薄い連続性の皮膜、上層はやや粗で結晶性の白色針状細片が付着していた。成分は元素分析によると多量のCa、中量のZn、Mg、少量もしくは微量のFe、Na、Siなどが検出され、X線回折の結果では CaCO_3 を主成分とし、 Mg(OH)_2 、 ZnCO_3 などが認められた。

これらの生成被覆は防食電流の低減に有効であると言われているが、別に行なった実験においてエレクトロコーティングの皮膜抵抗が時間の経過とともに次第に増加(7日間で $0 \rightarrow 20\Omega\text{cm}$)すること、および短時間の段階的応力付加($0, 12.5, 25, 50\text{kg/mm}^2$)によって約 $1/2$ まで段階的に急速に低下することなどを定性的に確認した。繰返し応力条件のもとではエレクトロコーティング皮膜は生成、破壊を反復しながら蓄積されるものではないかと考えられる。前述の防食電流密度経時変化において繰返し応力条件の場合の低減がやや小さいのはここに原因があるものと推定される。

5.3まとめ

人工海水 40°C 、バラスト率50%，繰返し応力条件下の鋼の腐食状況、防食条件、防食効果を調査した。

- (1) 繰返し応力を受けた場合、自然電位は無応力部に対して、わずかながら卑となり応力集中部が小面積で偏り、かつ長期間継続するときはマクロ腐食のアノード部となって局部腐食の可能性が考えられる。
- (2) 一般に張水状態より張排水繰返し条件の方が腐食が激しく、また水温は高い方が腐食は大きい。これに比較して本試験の条件、とくに短期間(海水バラスト数サイクル)の結果では繰返し応力付加の影響は小さく、特に平均侵食度における増加としては極めて小さい。
- (3) 定電位法による防食試験においては、防食率は張水状態に比較して張排水繰返し条件下で低下し、 -900mV で62%， -1000mV で85%を示した。これに繰返し応力が加わる場合も同程度である。
所要防食電流密度は張水状態に比較して張排水繰返し条件下ではやや大きい。繰返し応力が加わるとさらにわずかながら大きい。張排水各7日間の3サイクル終了時における防食電流密度は繰返し応力が付加された場合、 -900mV 維持で約 150mA/mm^2 、 -1000mV 維持で 190mA/mm^2 である。
- (4) エレクトロコーティングについては繰返し応力条件下では定性的ながら皮膜抵抗の増大と低減が認められ、被覆物の蓄積は生成、破壊を反復しながらすむのではないかと考えられる。またこの皮膜は CaCO_3 を主成分とするものである。

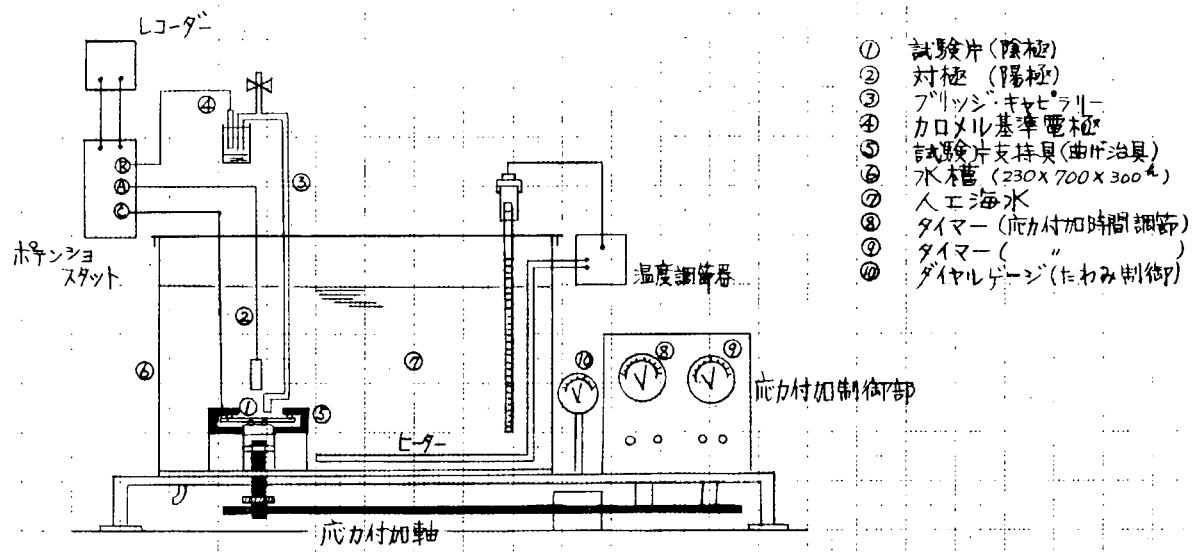


図 5.1 繰返し応力付加腐食試験装置

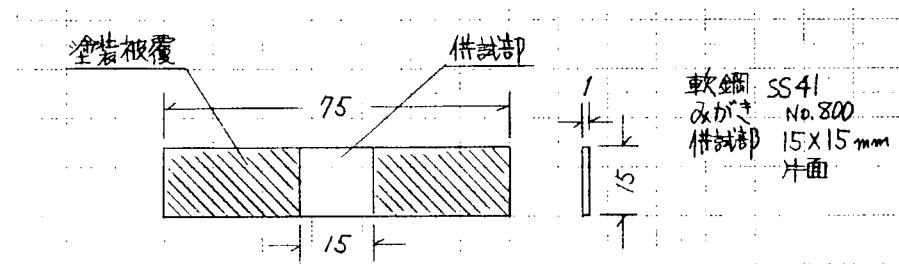


図 5.2 試験片

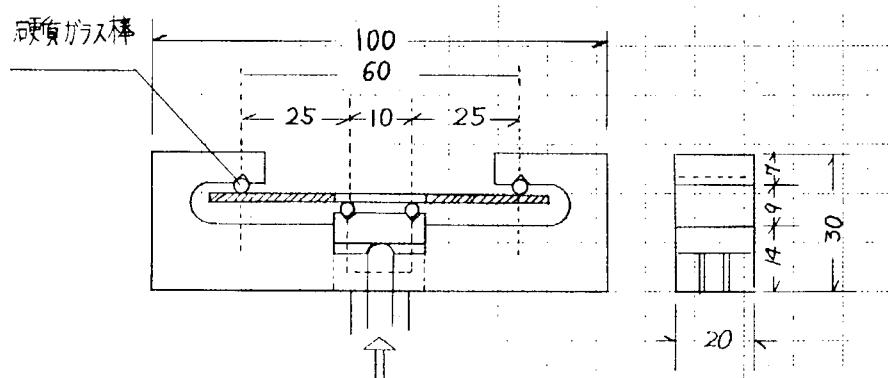


図 5.3 応力付加試験片保持具

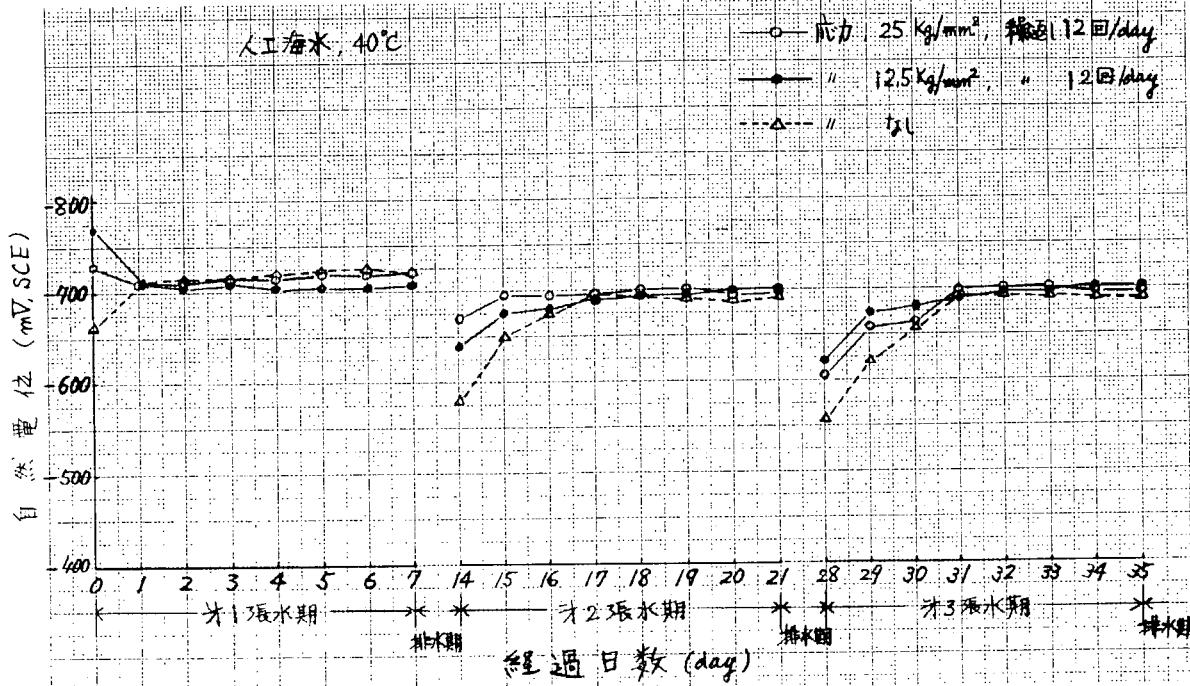


図 5.4 応力繰返し条件下における自然電位の経時変化

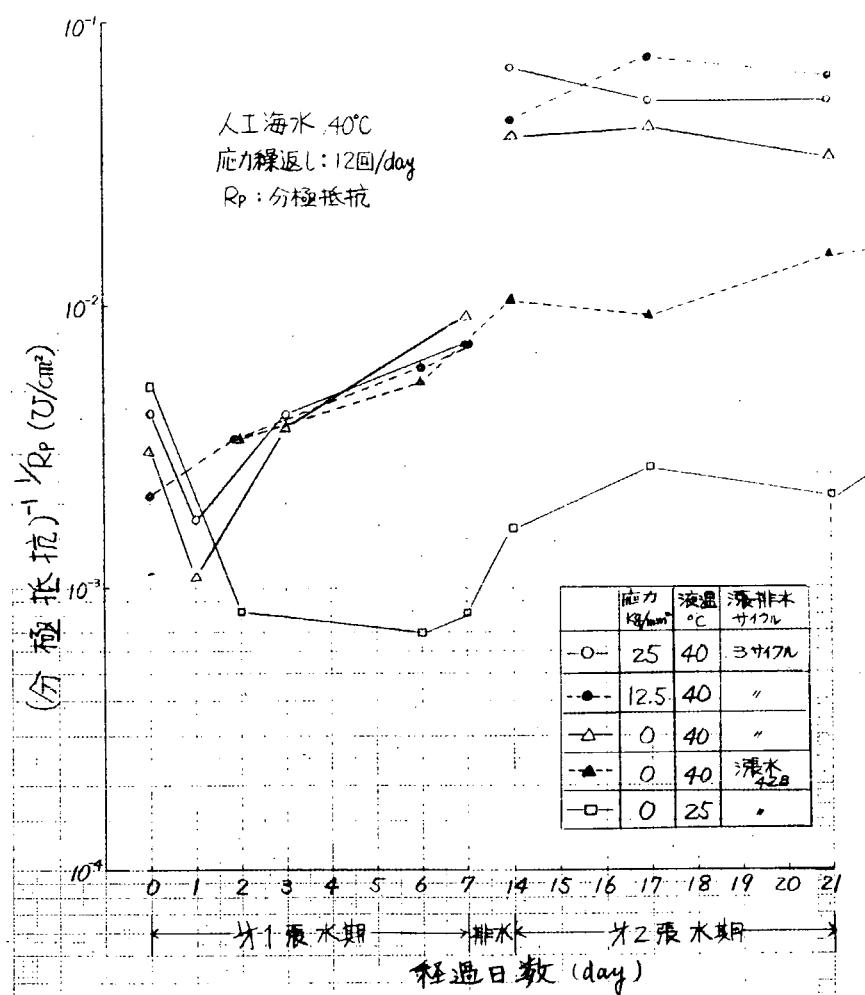


図 5.5 応力繰返し条件下における(分極抵抗)⁻¹の変化(1)

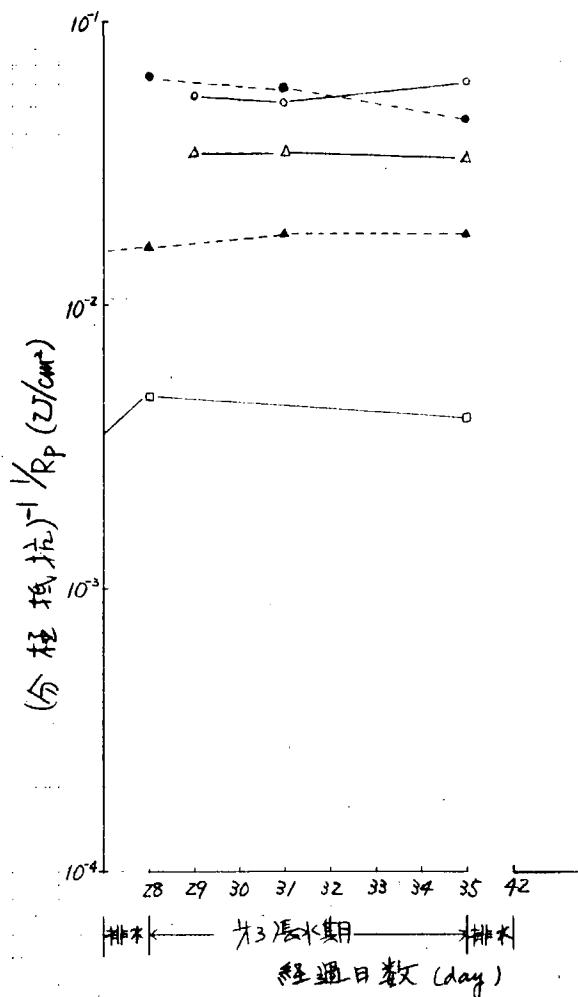


図 5.6 応力繰返し条件下における(分極抵抗) $^{-1}$ の変化(2)

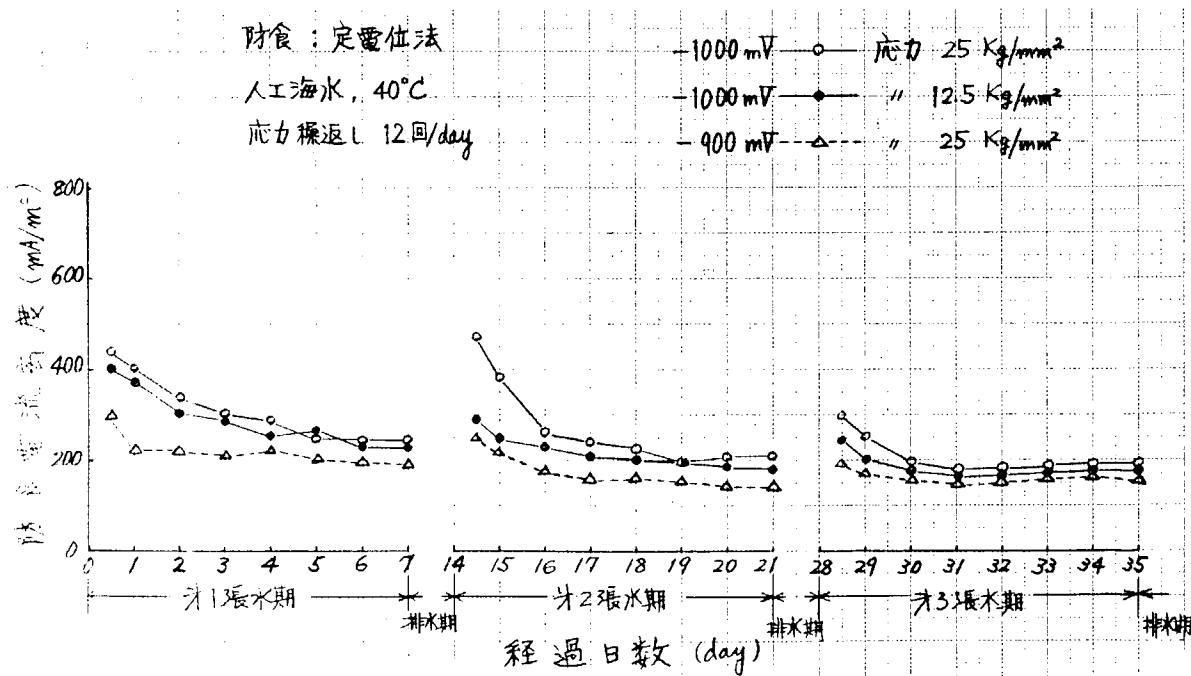


図 5.7 応力繰返し条件下における防食電流密度の変化

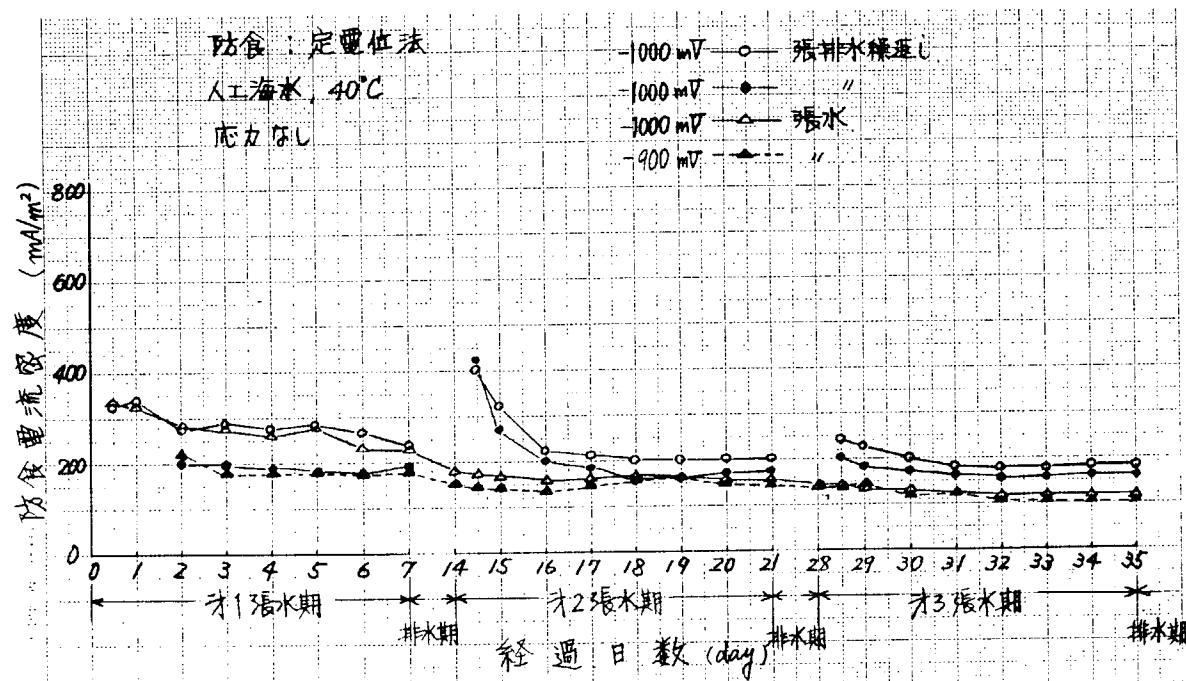


図 5.8 応力を付加しない場合の防食電流密度の変化

表 5.1 腐食試験および防食試験の結果

人工海水, 40°C, 静止, pH 維持(12回/day)

試験番号	繰返し応力 kg/mm ²	腐食形態	防食電位 mV.SCE	重量減 mg	平均腐食速度 mm/year	腐食率 %	パラメータ条件		
							SD% ±1% ±2% ±3% ±4%	排水期 灌水期 灌水期 灌水期 灌水期	排水期 灌水期 灌水期 灌水期 灌水期
1	25	腐食	—	74.0	0.363	—	40	→	→
2	12.5	腐食	—	74.6	0.366	—	40	→	→
3	25	—	-900	26.5	0.130	64.2	→	→	→
4	25	防食	-1000	7.9	0.039	89.3	40	→	→
5	12.5	—	-1000	11.5	0.056	84.6	→	→	→
6	0	腐食	—	4.1	0.121	—	→		
7	0	腐食	—	37.8	0.556	—	→		
8	0	腐食	—	43.2	0.424	—	40	→	→
9	0	腐食	—	48.8	0.359	—	→	→	→
10	0	腐食	—	51.7	0.304	—	→	→	→
11	0	腐食	—	71.1	0.349	—	→	→	→
12	0	防食	-900	28.6	0.140	61.6	40	→	→
13	0	防食	-1000	10.9	0.054	85.3	→	→	→
14	0	防食	-900	2.9	0.014	92.3	40		*
15	0	防食	-1000	2.3	0.011	93.9	—		*
16	0	腐食	—	38.6	0.189	—	40		*
17	0	腐食	—	55.9	0.274	—	25	→	→
18	0	腐食	—	20.1	0.099	—	—		*

* 全期間張水

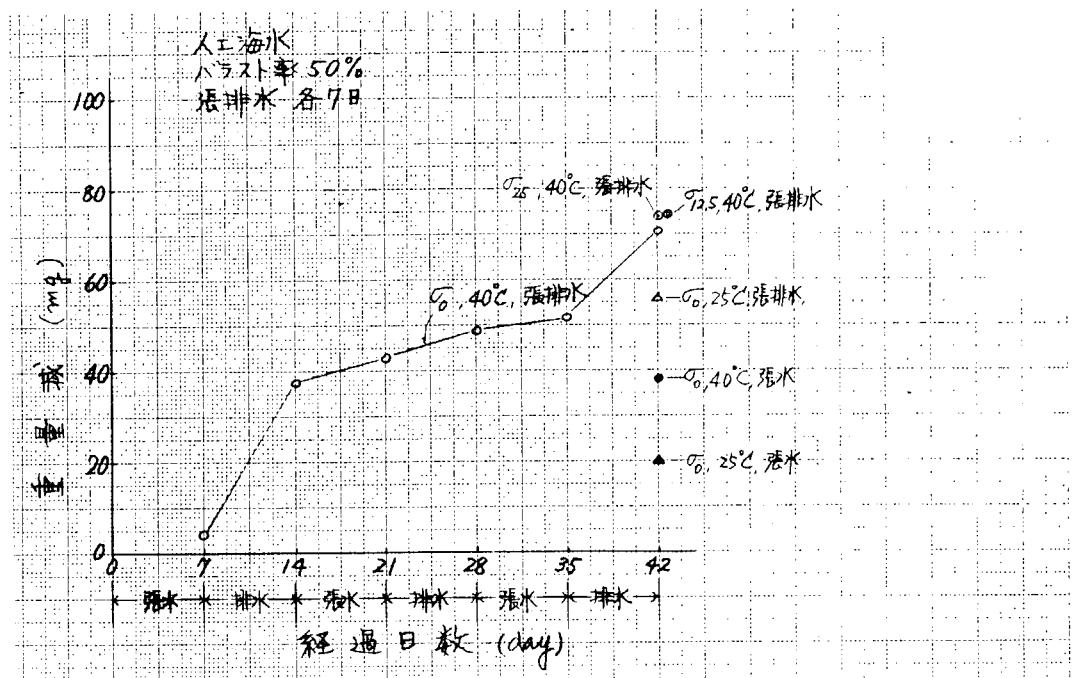


図 5.9 各種条件の腐食試験における重量減

1.52 板 50% (張排水各7日) 3+1 クル (42時間) 定電位防食法 底が津波し 12回/day							
陽極(応力) (kg/mm ²)	温度 (°C)	入込条件 (人工海水)	防食電位 (mV)	10	20	30	P% 食 率 (%)
0	40°	張排水	-900				92.3
0	40°	張排水	-900				81.6
25	40°	張排水	-900				64.2
0	40°	張排水	-1000				93.9
0	40°	張排水	-1000				85.3
12.5	40°	張排水	-1000				84.6
25	40°	張排水	-1000				89.3

図 5.10 各種防食条件における防食率

6. 実船試験

6.1 電気防食関係

バラスト専用槽内にエレクトロ・コーティング(E・C)をほどこした試験片を取付けE・Cの防食効果を調査している。

試験は太平洋海運株式会社、ジャパン・ライン株式会社の御協力により「平和丸」には昭和50年7月4日、「ジャパン・オーキット」には昭和50年7月8日にそれぞれ取付け、約1年後に調査する予定である。試験片及び取付位置は図6.1.1～3に示す通りである。

(1) 対象タンク

平和丸 №3-P.W.B. SIDE TANK (P)

ジャパン・オーキット №3-P.W.B. SIDE TANK (P&S)

(2) 試験片種類及び記号

○ E・C処理したものでZn陽極にて防食するもの (ECZ)

水平位置取付 垂直位置取付

2枚 2枚

○ 裸試験片をZn陽極にて防食するもの (BZ)

水平位置取付 垂直位置取付

2枚 2枚

○ 裸(無防食)

水平位置取付 垂直位置取付 (B)

2枚 2枚

(1船当たり)計 6枚

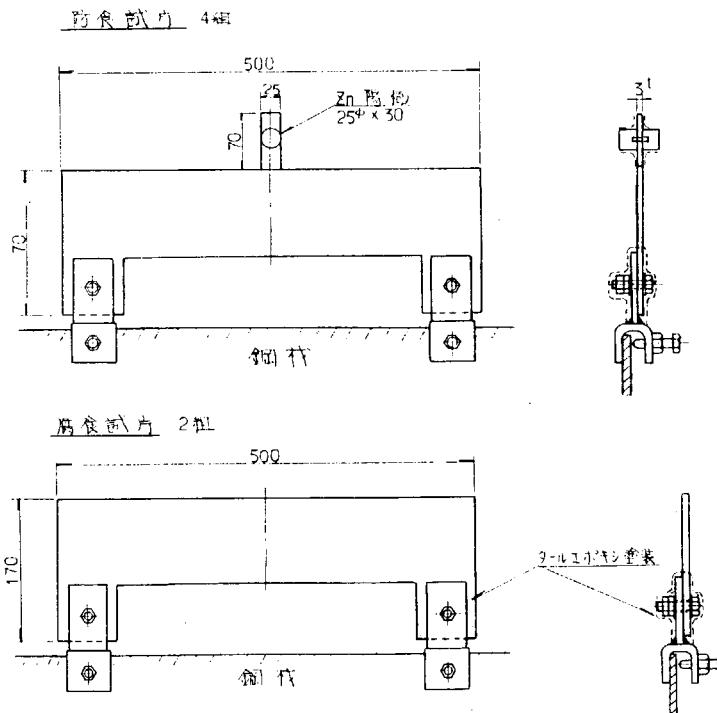
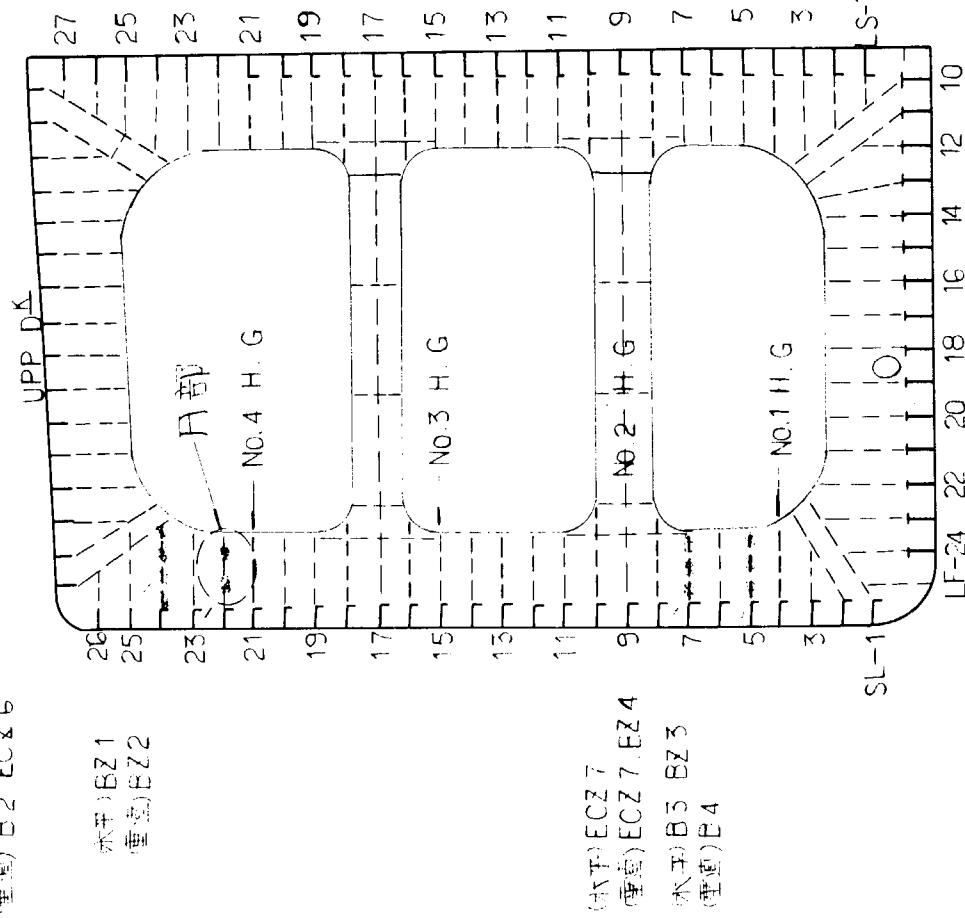


図6.1.1 試験片

TRANS WEB (FR. 77)

(横) E1 EC2 3
(重) E2 EC2 6



A 部 施 繼

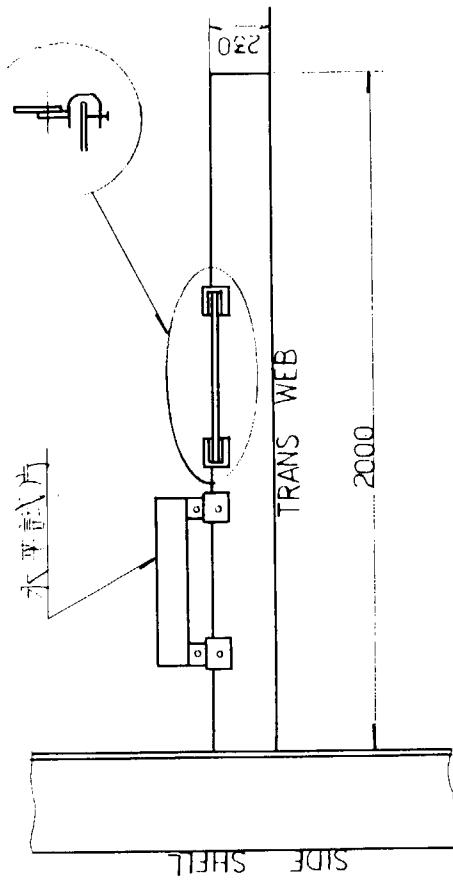


図 6.1.2 「平和丸」取付位置

No.3 P.W.B SIDE TANK (P)

O. T. B^{HD} (S)
(LOOKING AFT)

O. T. B^{HD} (P)
(LOOKING AFT)

No.3 P.W.B.S T_k (P & S)
取付日 S.50.7.8

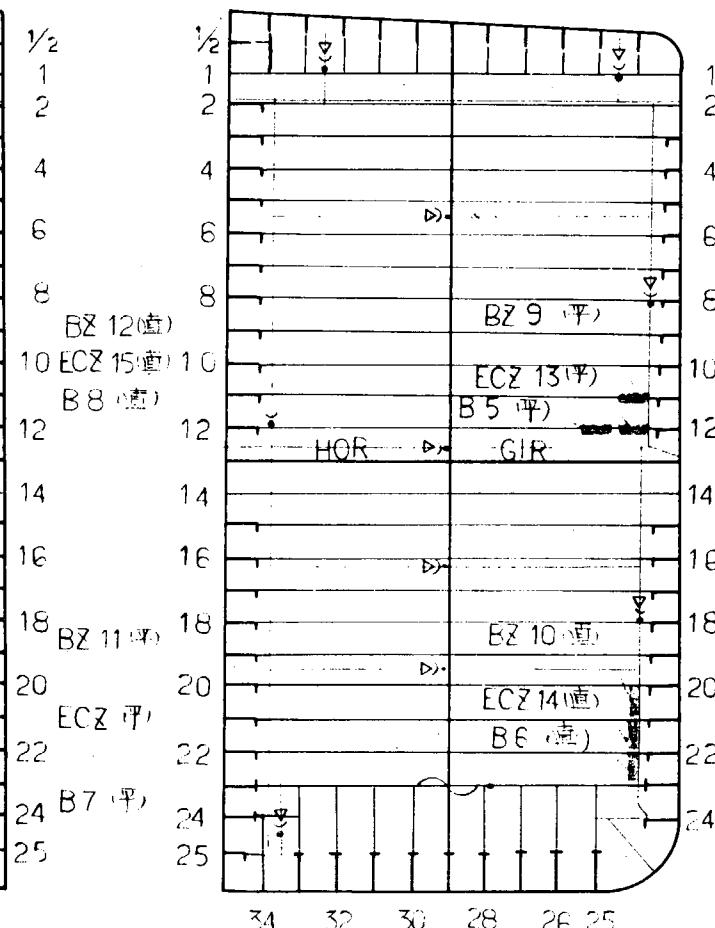
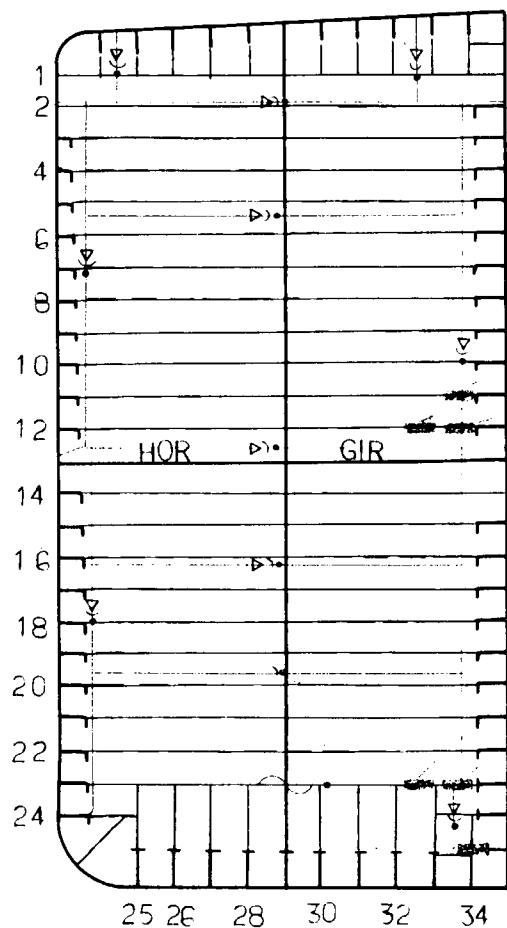


図 6.1.3 ジャパン・オーキット試験片取付図

6.2 タールエポキシ塗装関係

バラストタンクの腐食原因および防食方法に関する研究の一環としてバラストタンクの実船調査および実船試験を計画した。48年度に試験塗装を終了し、本年度(50年度)は2年目の追跡調査を行っている。

本年度(2年目)は外国入渠または2年目は入渠しないため調査出来ない船もあるが、現在対象船9年のうち3隻が2年目の調査を終了しており、この調査結果を報告する。

6.2.1 試験対象船および調査進捗状況

表 6.2.1

船名	船主	造船所	塗料メーカー	引渡し	調査年月日	
					1年目	2年目
千尋丸	大阪商船三井	三井、玉野	日本ペイント	48.7	49.7	
ジャパンスター	ジャパンライン	三菱、長崎	大日本塗料	48.9	1年目入渠せず	50.8
鳥海丸	日本郵船	三菱、広島	中國塗料	48.7	49.7	50.8
日晴丸	山下新日本正汽船	日立、堺	"	48.5	49.5	外国入渠のため調査不可
太栄丸	日本郵船 共栄タンカー	石橋、横浜	神東塗料	48.12	49.12	2年目 入渠せず
大光丸	三光汽船	日立、因島	関西ペイント	48.6	リスナベ入渠のため調査不可	"
瀬田川丸	川崎汽船	石橋、呉	神戸ペイント	48.7	49.7	51.1末 調査予定
武光丸	三光汽船	石橋、横浜	日本油脂	48.4	49.9	51.3 調査予定
あらすか丸	大阪商船三井 山下新日本	三菱、神戸	兔田化学	48.6	49.6	50.6

6.2.2 バラストタンク内実船試験塗装概要

表 6.2.2 参照

6.2.3 塗装仕様

原則として試験塗装対象船の仕様に準ずる。また塗装箇所はタンク内の上、中、下部に各々約2m²実施する。

6.2.4 試験項目

(1) 塗装時

- (a) 下地処理方法および程度
- (b) 塗料および塗装系
- (c) 塗装方法および塗装条件
- (d) 補修塗装

(2) 塗装後

- (a) 塗膜状態
- (b) 乾燥膜厚
- (c) 塗膜劣化試験(インピーダンス測定)

(3) 就航後

- (a) 塗膜の状態
- (b) 塗膜劣化試験
- (c) 航路、バラスト張水期間、張水率

6.2.3 就航後の調査結果(2年目)

(1) 塗膜の状態(肉眼観察)

各調査船とも1年目と同様にフクレ、サビ、ハクリなどなく良好。

(2) 塗膜劣化試験

各調査船とも1年目に比べて $\tan \delta$ 値は若干大きく、0.2附近くなっている。(表6.2.3, 図6.2.1)

表 6.2.2 バラストタンク内実船試験塗装概要

塗料メーカー	船名	造船所	船主	船種(D/W)	引渡し 塗装個所	塗装年月日 ショップライマー	塗装系		膜厚 (μ)
							塗装前処理	上塗	
日本ペイント (S/N 16962)	千尋丸	三井玉野	大阪商船三井	バルクキャリアー (110,000)	A62 トップサイド タンク (右舷)	48.7	ニッペシングキー 1000PC-NC (Sa 2.5)	サンドスイープ (Sa 2.5)	エボタールM (2回塗)
大日本塗料 (S/N 17112)	ジャパンライン	三菱崎長	ジャパンライン	タンカーカー (237,000)	A63 バラストタンク (左舷)	48.9	エバポンンド FM-3	デイスクサンダー ¹ バーブラシ (St 2.5)	SDCコート602 TM および SDCコート402 T (1回塗)
中塗料 (S/N 235)	三井塗料 (アスナー)	三井塗料 (122,000)	日本郵船	バルクキャリアー (122,000)	A65 トップサイド タンク (左舷)	48.7	エバポンンド FM-3	デイスクサンダー ¹ バーブラシ (St 2.5)	ピスコンHB (1回塗)
"	日晴丸 (S/N 4351)	日立	山下新日本正汽船	タンカーカー (235,000)	A63 バラストタンク (左舷)	48.5	Z-E プライマー A6100 ウェルボンド (上部のみ)	デイスクサンダー ¹ バーブラシ (St 2.5)	ピスコンHB (2回塗)
神東塗料 (S/N 2339)	大栄丸	石橋横浜共栄タンカー	日本郵船	タンカーカー (210,000)	A63 センタータンク バラスト	48.12	エバポンンドEU 48.7	デイスクサンダー ¹ バーブラシ (St 2)	オピア#3000 HB (1回塗)
関西ペイント (S/N 4352)	大光丸	日立因島	三光汽船	タンカーカー (180,000)	A63 バラストタンク (左舷)	48.6	SDノンジンク ZE A6100 48.3	エボシールA6100 (2回塗)	上22.0~30.0 中21.0~25.0 下23.0~27.0
神戸ペイント (S/N 2329)	瀬田川丸	石橋吳	川崎汽船	タンカーカー (271,000)	A63 バラストタンク 48.7	エバポンンド 48.3	サンドブラスト(Sa 2) エボシールA6100 48.4	デイスクサンダー ¹ バーブラシ (St 3)	上21.3 中23.0 下23.5
日本油脂 (S/N 2286)	武光丸	石橋浜	三光汽船	タンカーカー (231,000)	A65 バラストタンク (左舷) A63 カーゴタンク (左舷)	48.4	エバポンンド 48.11	エボシールA6100 エボシールA6100 48.2.5	エビラックス5 HB (1回塗)
兎田化学 (S/N 1040)	あらすか丸	三神戸	大阪商船三井	コンテナ (27,750)	A64 バラストタンク (左舷)	48.6	エビコンジンクリッヂ プライマーB 48.1	デイスクサンダー ¹ バーブラシ (St 3)	ピュラックA62000 (1回塗)

(偏不同 故称略)

表 6.2.3 インピーダンス測定結果

船名	タンク内 部位	周波数(KC)	就航前				就航				後				使用機器
			KΩ	M F	tan δ		KΩ	M F	tan δ	KΩ	M F	tan δ			
			(抵抗)	(容量)											
シャパン アスター	中 部	1									2.26	0.00458	0.154	CJA-3 A型 (新電子工業)	
		2		タンク内							2.19	0.00349	0.208		
		3			張水のため未測定						1.66	0.00402	0.239		
		4									4.30	0.00222	0.167		
	上 部	1	400	0.0021	0.136	3.80	0.0031	0.183			3.00	0.0030	0.177	MODEL TDI-2 (東英工業)	
		2	1.0								3.50	0.0021	0.216		
		1	500	0.0045	0.067	2.00	0.0047	0.148			3.00	0.0040	0.133		
		2									2.00	0.0050	0.159		
鳥海丸	中 部	1	700	0.0026	0.088						3.10	0.0024	0.214	MODEL TDI-2 (東英工業)	
		2	800	0.0020	0.0995						3.60	0.0021	0.211		
		3	1,000	0.0018	0.088						3.00	0.0025	0.212		
		4	900	0.0021	0.084						2.60	0.0025	0.245		
	(LS-12P)	5	700	0.0027	0.092						2.50	0.0033	0.193	(新電子工業)	
		6	600	0.0029	0.084						3.00	0.0027	0.196		
		7	200	0.0047	0.169						3.00	0.0031	0.172		
		8	500	0.0028	0.173						3.00	0.0029	0.182		

注 1. シャパンスターのタンク内下部は張水のため未測定。また上部は足場ないため測定不可。

2. あらすか丸の下部はタンク内張水のため未測定。

インピーダンス測定 ($\tan \delta$) 結果

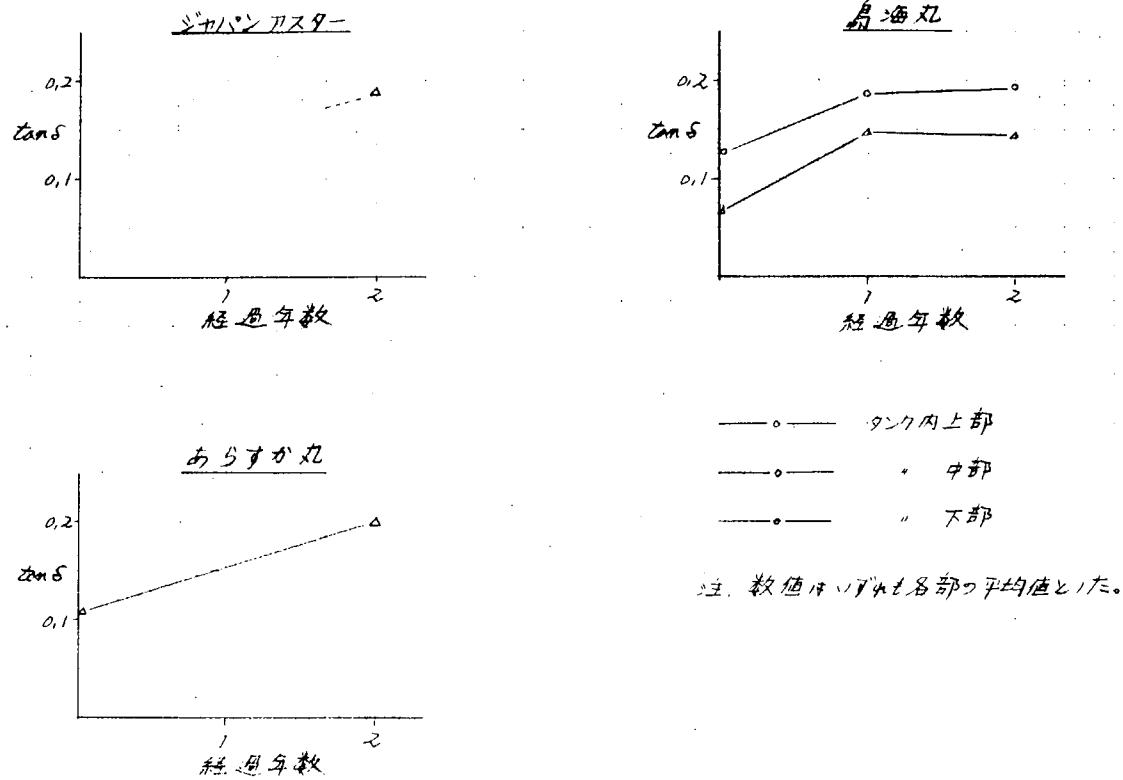


図 6.2.1 インピーダンス測定 ($\tan \delta$) 結果