

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48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47年度補助事業「船舶の防食防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。

本研究部会の委員は、次のとおりである。

第140研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	秋田好雄（日本海事協会）	
幹事	石井信夫（日本郵船）	植田昭二（三菱重工業）
	植田健二（三菱重工業）	翁長一彦（船舶技術研究所）
	国広敏之（日立造船）	瀬尾正雄
	寺田泰治（日本海事協会）	太田元久（日本防蝕工業）
	南義夫（横浜国立大学）	三好貢（神東塗料）
	早稲田瑞秋（中国塗料）	
委員	池田稔（川崎製鉄）	伊藤剛平（日本造船工業会）
	伊東達夫（川崎汽船）	植田靖夫（船舶技術研究所）
	平山昭邦（神東塗料）	大串順（日本ペイント）
	岡肇（佐野安船渠）	門智（新日本製鉄）
	金井一十三（昭和海運）	木津圭二（大阪商船三井船舶）
	北田実（尾道造船）	小池金広（山下新日本汽船）
	坂井欣一（海上保安庁）	坂見史朗（三井造船）
	佐武二郎（住友金属工業）	沢田馨（日立造船）
	柴田有三（三井金属鉱業）	重野隼太（中川防蝕工業）
	村上正三（日本油脂）	鈴木茂（関西ペイント）
	坂井在広（カナエ塗料）	柴田伸（三保造船所）
	鈴木省輔（函館トック）	高富敏男（川崎重工業）
	荒川要（神戸製鋼所）	谷川典人（新和海運）
	長門広司（笠戸船渠）	綿屋悟朗（佐世保重工業）
	服部堅一（住友重機工業）	松島敏（日本鋼管）
	播谷圭亮（石川島播磨重工業）	松平喜孝（名村造船所）
	藤井勝三（白杵鉄工所）	湯川光春（ジャパンライン）
	奥山孝志（日本中型造船工業会）	森山俊（三光汽船）
	宮本新平（三菱重工業）	西川孝寛（東亜ペイント）
討 参 加 議 者	会津司（川崎製鉄）	青木真一（川崎製鉄）
	荒川敏夫（神戸製鋼所）	安藤見（日立造船）
	飯田勇（住友重機械工業）	伊藤宏一（三井造船）
	岩竹民哉（尾道造船）	内堀利也（日本防蝕）
	大久保広海（日本郵船）	岡部利正（三菱重工業）
	織田貞四郎（三菱重工業）	織田凌司（三井造船）
	小野賢一（ジャパンライン）	小吹泉（佐野安船渠）

討
參
加
議
者

神谷敏雄 (名村造船)
川島正一郎 (日本油脂)
北島義久 (川崎汽船)
佐野隆一 (関西ペイント)
中尾学 (中国塗料)
西山孝二郎 (日立造船)
萩原広治 (三保造船所)
吉井徹 (三菱重工業)
本多洋三 (住友金属工業)
山本昇三 (日立造船)

川路正 (昭和海運)
神例昭一 (住友重機械工業)
木下元洋 (三菱重工業)
筑田新吾 (佐野安船渠)
成沢昭 (山下新日本汽船)
野口勇 (日本防蝕工業)
平井靖男 (日立造船)
広田信義 (三菱重工業)
森田節則 (中川防蝕工業)

目 次

1. ま え が き	1
2. 腐食原因に関する研究	2
2.1 応力（歪）の変化の影響の実験	2
2.1.1 試験装置と試験方法	2
2.1.2 試験結果	3
2.2 温度変化および材料表面状況の影響の実験	4
2.2.1 試験装置と試験方法	4
2.3 水質の影響等調査	1 6
2.3.1 鋼材表面の処理状態が腐食・防食に及ぼす影響の調査	1 6
2.3.2 乾湿交互の程度が腐食速度に及ぼす影響	1 7
2.3.3 試験結果	1 6
3. 防食方法に関する研究	2 5
3.1 電気防食に関する研究	2 5
3.1.1 防食電流密度に及ぼす応力（歪）の影響の実験	2 5
3.1.2 材料表面状況の影響の実験	2 6
3.2 塗装法に関する研究	2 6
3.2.1 塗装法による防食効果の実験	2 6
4. 実船調査および実船試験	3 3
4.1 対 象 船	3 3
4.2 タンク内鋼材の腐食速度調査	3 3
4.2.1 調査方法	3 3
4.2.2 試験片	3 3
4.2.3 腐食速度の算出	3 3
4.3 電気防食効果の調査	3 3
4.3.1 調査方法	3 4
4.4 浮遊性防汚剤の効果調査	3 4
4.5 浮遊性防汚剤と電気防食の併用効果	3 4
4.6 調査測定結果	3 4
5. バラストタンクの腐食の実例	7 1
5.1 腐食の一般的傾向	7 1
5.2 衰耗による強度の低下	7 1
5.3 腐食の実例	7 1
5.3.1 タンカー	7 1
5.3.2 鉍石船	7 3
6. 実船塗装試験の準備	7 6
6.1 試験塗装対象船	7 6
6.2 実施要領	7 6

6.2.1	供試塗料	76
6.2.2	試験塗装個所	76
6.2.3	塗装仕様	76
6.2.4	試験項目	77
7.	ま と め	79
付録	(1) バラストタンクの腐食・防食に関する研究の文献	80
	(2) 委員会提出資料一覧表	83

1. ま え が き

船舶のバラストタンクは大きさや環境条件が多様であり、最近みられる異常に促進された腐食現象はこれら多種の原因がからみ合っているからであると考えられる。

このような複雑な原因に対して一種類の防食法のみで解決しようとすることに無理があり、それぞれの原因に応じた防食法を適用しなければ効果的とはいえない。そのためには現在の防食方法の各種原因に対する適用限界を明らかにしておく必要がある。

本研究は、5カ年計画の第1年度として鋼材の腐食に及ぼす応力、環境温度、海水の水質の影響について調査し、防食方法に関する研究として防食電流密度に及ぼす応力の影響、材料の表面状態の防食電流密度に及ぼす影響および塗装方法による防食効果を調査研究した。

2. 腐食原因に関する研究

2.1 腐食における応力（歪）の変化の影響の実験

2.1.1 試験装置と試験方法

(1) 試験の概要

試験装置として具備すべき条件は、バラストタンク天井部分のように常時湿りガス中の腐食雰囲気が高応力付加の繰返されることおよびバラスト部分のように漲水・空槽雰囲気もできることであってこのようなことを考慮して試験装置を計画した。応力付加腐食試験装置の全景を図 2.1.1 に示し、概略を図 2.1.2、2.1.3 に示す。図 2.1.1 の写真で前面が腐食試験槽、写真には見えないが後方の壁の向う側に補助タンクが設置されている。

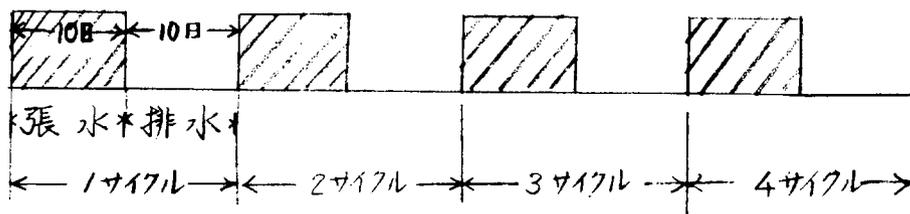
腐食環境を調節するためのバラスト海水の試験タンク内への漲水ならびに排水は補助タンクとポンプ装置の付属弁を操作し、一定時間ごとに予め保温した新鮮な海水を補助タンクから試験タンクに注入し、一定時間後排棄した。

試験装置は温度条件を一定にするため二重タンクを構成し外側タンクに水を入れて温度調節を行なうようにした。試験片を入れる内部タンクは 2 室に密閉区分され、各室に応力付加試験片取付台 2 組と無応力試験片取付台 1 組をそれぞれ取付け応力の付加は図 2.1.2 に示したパワーシリンダー①を駆動して応力負荷軸②を移動させて試験片③にたわみを与えた。この試験装置の内面はタールエポキシ塗装を施して腐食から保護した。

なお、次後の解析の参考とするため漲水期間中の試験片の自然電位を図 2.1.4 に示したように海水塩化銀電極を基準電極として試験片の応力平行部の近くに設置した。

(2) 試験条件

応力付加条件を 0、1.8、2.6、2.8、2.9、3.1 Kg/mm^2 の 6 段階の定歪とし応力繰り返し回数を 1 日に 2 回、漲水期間 10 日間に空槽期間 10 日間、合計 4 サイクルとし雰囲気温度を 40℃ とした。



(3) 試験片

供試材は A 級鋼板 (KAS-枚厚 2.2 mm) で形状を図 2.1.5、Stress-Utrain 曲線、試験片のたわみ δ とひずみ率 $\%$ 、板厚計測位置を図 2.1.6、2.1.7 に示す。枚厚計測はポイントマイクロメーター (針先径 0.3 mm、感度 5/1000 mm) を使用した。

試験片の表面は機械仕上後 (VVV) トリクレンで脱脂洗浄した後の裸試片とこれに、タールエポキシ塗料を塗布した 2 種類の試験片を供試した。供試材の化学成分を表 2.1.1 に塗装条件を表 2.1.2 に示す。

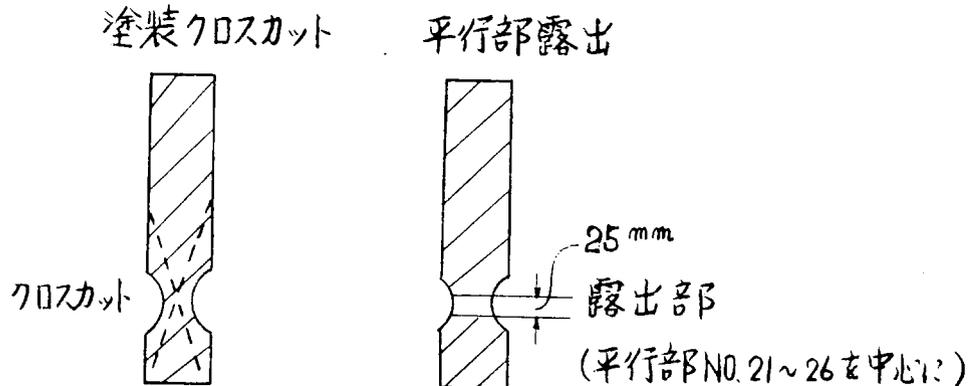
表 2.1.1 供試材の化学成分 (Wt %)

C	Si	Mn	P	S
0.12	0.02	1.08	0.024	0.019

表 2.1.2 塗装条件

塗料	タールエポキシ (ビスコン H. B)
混合比	主剤 8.5 : 硬化剤 1.5
膜厚	250 μ

鉛筆硬度	F-2H
塗装間隔	1回スプレー塗
乾燥時間	48h乾燥後10日間自然放置



(4) 試片の後処置ならびに腐食速度の表示

試験終了後、試片を取り出し表面状況を撮影し、酸洗は5% HCl + 0.5% イビット (#1-L) 約20℃で2日間浸漬後水洗、ブラッシングを行ない飽和重曹水に浸漬後水洗、さらに中和防錆処理を数時間行なった。中和防錆処理後、乾燥して表面状況を撮影し、重量および板厚計測に供した。

なお、重量減、板厚計測法による腐食速度の表示はいずれも試験片の片面の腐食速度を示した。

2.1.2. 試験結果

(1) 表面状況

試験後の表面状況を写真2.1.1~2.1.3に示す。写真2.1.1は裸鋼と塗装鋼の表面状態を示したものであり、繰返し応力の付加によって錆層の破壊の状況がよく現われている。写真2.1.2、2.1.3は裸鋼材のひずみと電気防食効果を示したもので電気防食効果については後で詳しく述べるが、腐食防食に対してひずみの影響の大きいことを写真はよく示している。

(2) 腐食速度

試験片の応力平行部(図2.1.7の測定点21~26)6点のポイントマイクロメータによる計測結果による腐食速度および重量減による腐食速度におよぼすひずみの影響を図2.1.8に示し、応力の影響を図2.1.9に示した。これらの図は重量減による腐食速度に対し繰返し応力の影響を殆んど示さないが、ポイントマイクロメータによる計測法ではひずみが0.1%以上になると腐食速度は急激に増加を示した。同様に応力と腐食速度の関係は図2.1.9にみられるように20数kg/cm²の応力値により腐食は増大し、鋼の降伏応力をこすと腐食は増加するようである。

一般に本研究で採用したポイントマイクロメータによる計測結果(P)は孔食状態を指示するものと考えられ、重量減計測法は平均腐食速度(a)を示すものとすれば孔食係数^{*1} Kは $K = \frac{P}{d}$ で示される。図2.1.8の結果をこのように目で見ると、ひずみ0.1%までは $K \approx 1$ 、0.2%以上で $K \approx 1.5$ となり、ひずみまたは応力の繰返しは孔食を促進することが推定できる。

これらの結果はいずれも図2.1.7に示したような応力分布の存在する場合であるが、応力の平行部のみを露出してその他の部分を塗装で被覆したときの腐食速度(ポイントマイクロメータ計測)は図2.1.8の○に示したようにひずみ1.4%では腐食は促進されているがひずみ0.2%では腐食の促進はないことを示している。ひずみ1.4%の繰返し

*1

$$K = \frac{P}{d}$$

孔食係数

で腐食の促進されているのは写真 2.1.1 にも見られるように塗膜が破壊されたために、純粋な応力平行部の状態が保持されなくなったためと考えられないこともないがさらに実験を重ねて検討したいと考えている。

(3) 自然電位の経時変化

自然電極電位の経時変化を図 2.1.10、2.1.11 の下段に示す。試験開始時の電位は浸漬 3 時間後その後は 24 時間ごとに計測した値である。図は後で述べる電気防食したものと併記してあるが、無応力のものに対して高応力のものは、試験開始時は両者に電位差は殆んどみられないが、試験時間と共に徐々にその差が表われ、試験終了前には約 50 mV 高応力付加のものが卑へずれている。さらに全体として自然電位は試験開始時 -700 mV 台であったものが徐々に貴の側にずれ試験終了時の浸漬期間では -600 mV 台にまで上昇した。

2.2 温度変化および材料表面状況の影響の実験

2.2.1 試験装置と試験方法

(1) 試験の概要

プラスチックタンク内の温度は四季により、また漲水、排水期間や同一タンク内部でも天井部や中央部等の場所の相違によってかなり異なるので温度および鋼材表面状態の腐食速度におよぼす影響を調査するため図 2.2.1 に示した恒温水槽は 2 条件の温度を選べるように約 1.0 m(D)×6 m(B)×1 m(H) の水槽 2 基を並べ、温度調節は、温水ボイラによる温水の巡環と水槽へ挿入した電熱ヒーターで自由調節した。

試験槽は軟鋼製の 1 m 角タンク蓋付のものを図 2.2.1 に示したように恒温水槽に浸漬し、試験槽への海水を底から 70 cm の高さまで満たすように一定期間毎に溢排水した。漲水期間中は、1 日に 1 回程度海水レベルを 10 cm (底から 80 cm) 程上昇するようにして船体の波浪による動揺によって生じると予想されるプラスチック水面付近の腐食の様相を調査できるように考慮した。

なお、次後の解析の参考とするため漲水期間中試験槽の電極電位を海水塩化銀電極を基準電極として計測した。

(2) 試験条件

温度を 30℃、50℃ の 2 条件とし、漲水期間 10 日間、空槽期間 10 日間の漲水率 50% とした。タンク水面は試験の概要でも述べたが図 2.2.2 に示したように海水を 1 且 80 cm の水位まで入れて直ちに 70 cm まで落すようにこれを漲水期間中 1 日に 1 回行なった。プラスチックタンクの天井部に相当する試験槽の蓋の内面は常時湿り雰囲気さらされることになるが、腐食におよぼす塩分付着の影響を見るため、予め海水で汚染したものと、そうでないものの 2 種とした。

(3) 試験片

供試材は、JIS G3101 SS41 の板材から切出して図 2.2.2 に示した試験槽を溶接して組立てた。

蓋の部分には、海水の給水用、排水用および後で述べる電気防食用陽極の取付フランジが設けてある。

試験に先立ち、試験槽本体の側面および蓋の数カ所を超音波厚み計 (KRAUTKRAMER D-METER DMI) で計測した。試験槽内への吊下げ試験片は 30×50×8 mm のものと、1000×50×6 mm の 2 種とし、試験槽、試験片の表面はミルスケール付のものショットブラストおよびサンダー仕上とした。

(4) 試験結果

試験は、現在 (48 年 1 月 E) 4 Cycle (80 日) の試験を終了し、継続中である。

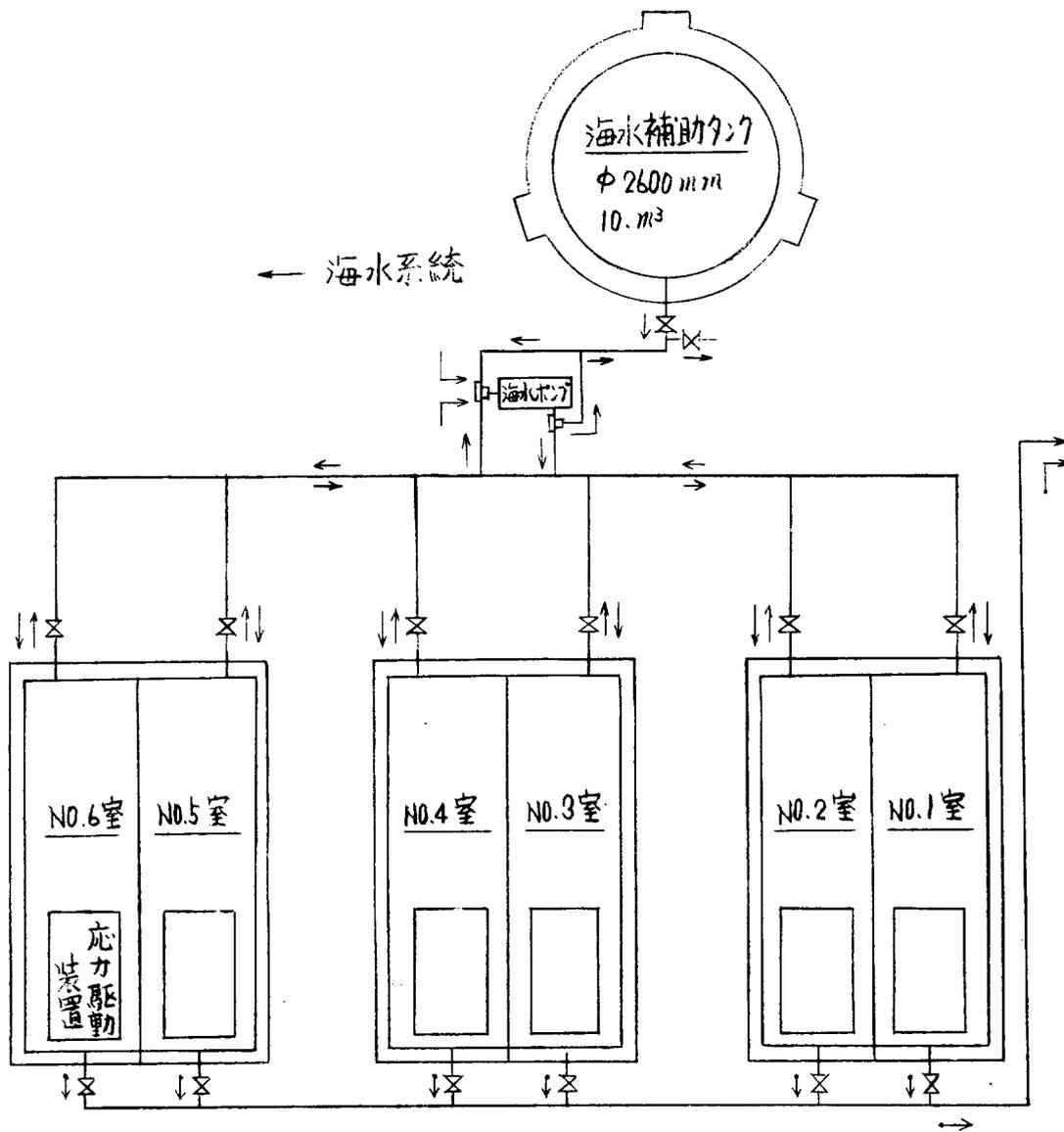
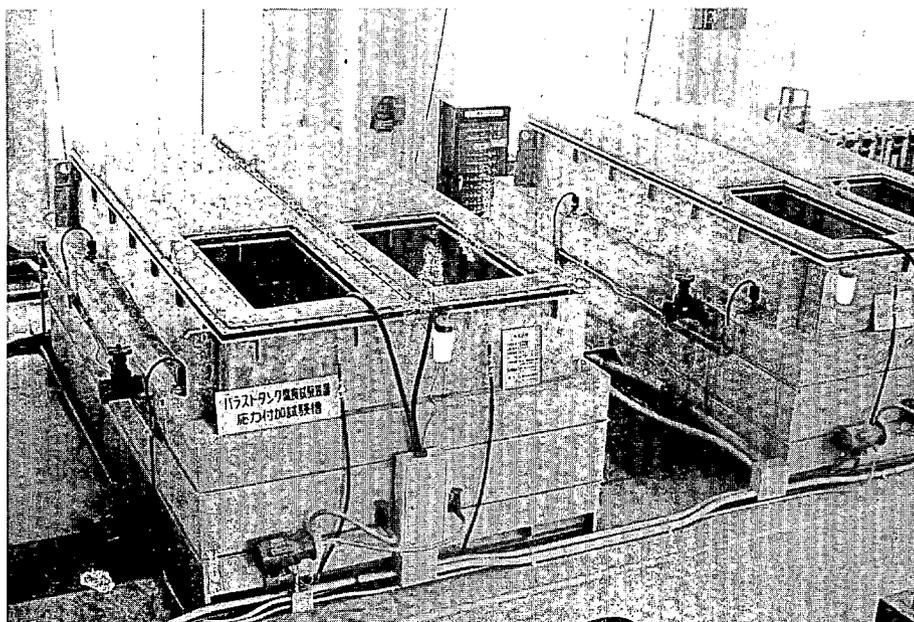


図 - 2.1.1 バラストタンク応力付加試験装置配管系統



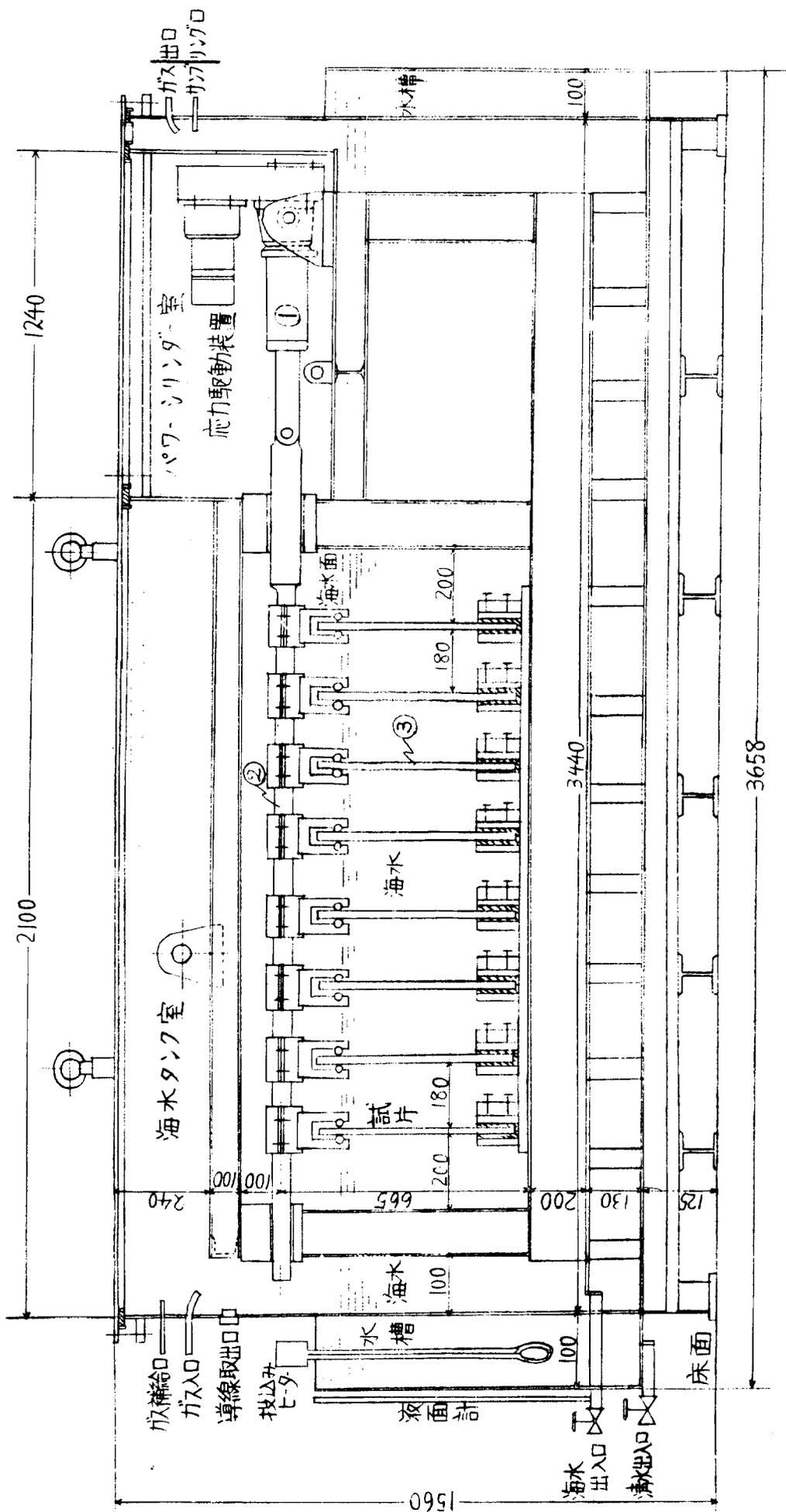
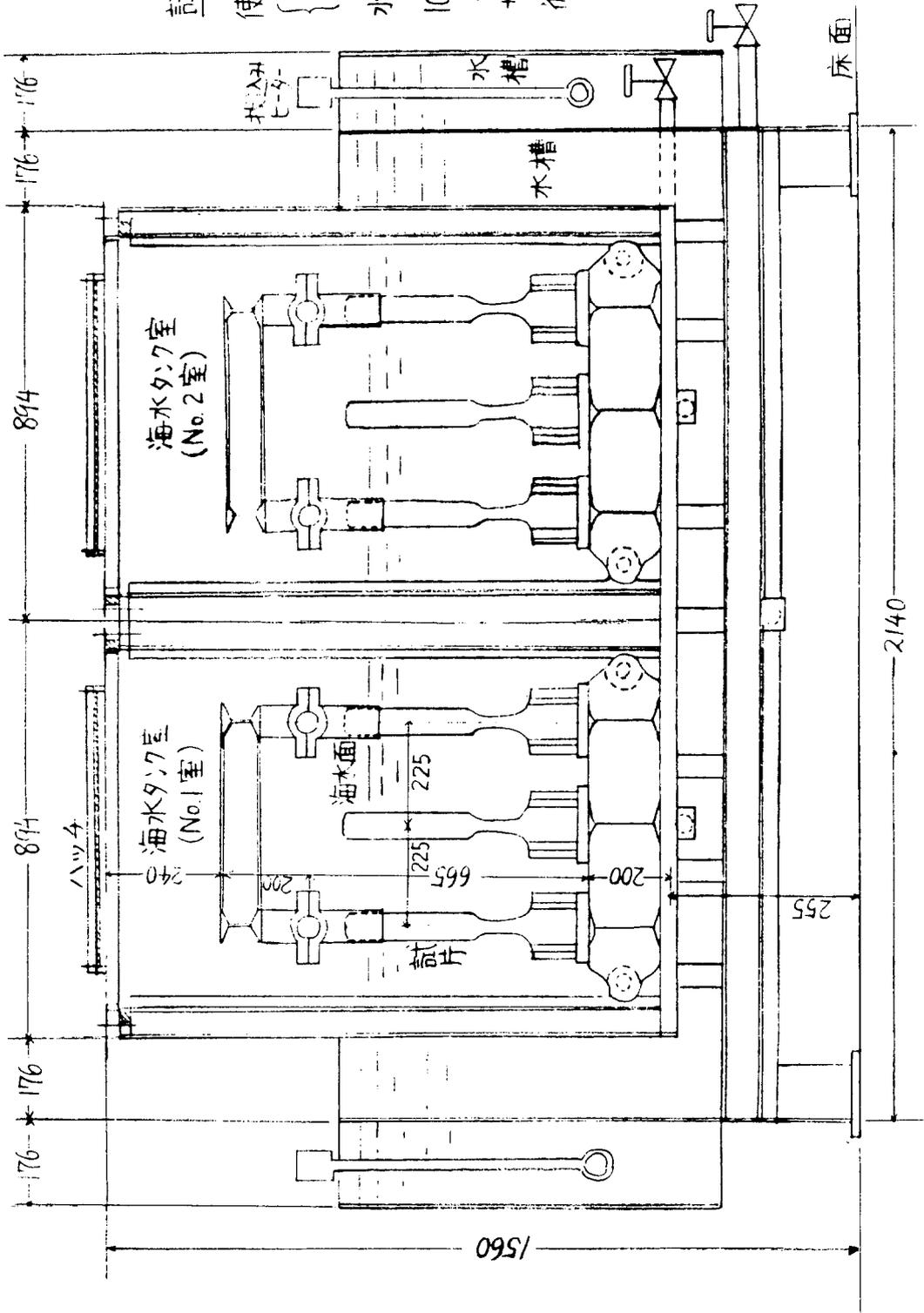


図-2.1.2 試験タンク組立略図(側面)



試験タンク仕様(1組当り)

使用海水量

{ 漲水時 3.96 m³

空槽時 0.93

水槽部水量 --- 2.04 "

100V 2KW 投入ヒター 4本

“ 1KW “ 1本

サモスタット付

循環ポンプ(3m³/分) 1台

図-2.1.3 試験タンク組立略図(正面)

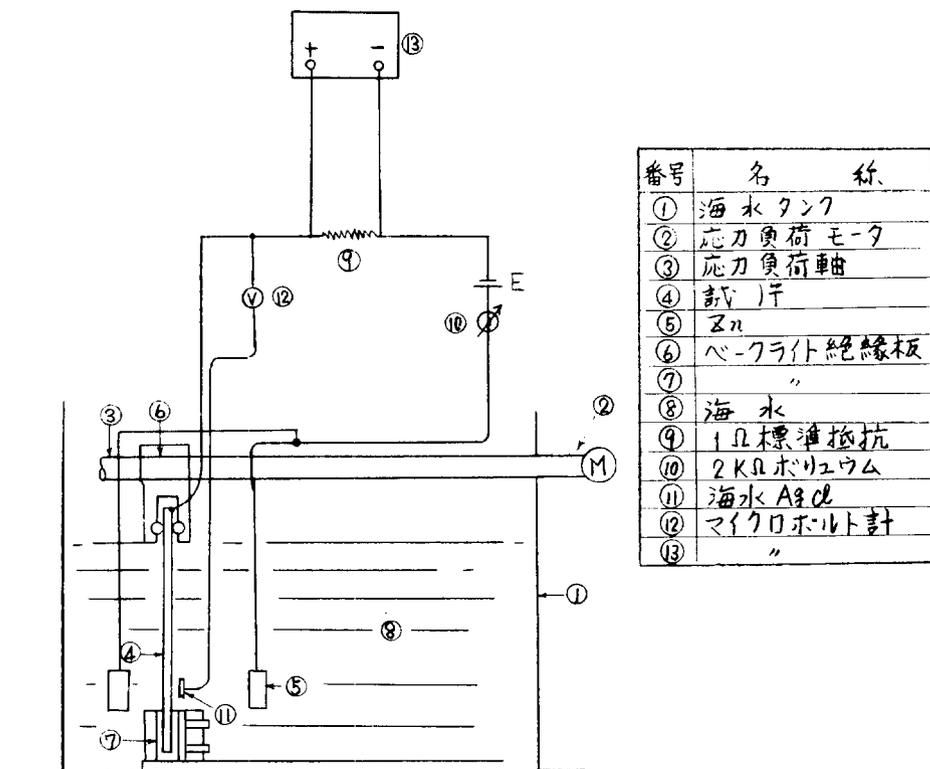


図-2.1.4 Zn による電気防食法と発生電流ならびに電位計測法

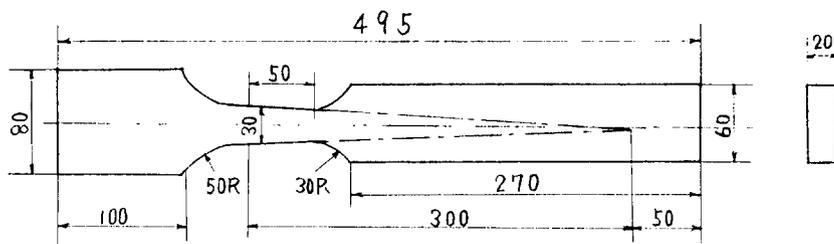


図-2.1.5 試験片の形状および寸法 (mm)
(露出表面積 565 cm²)

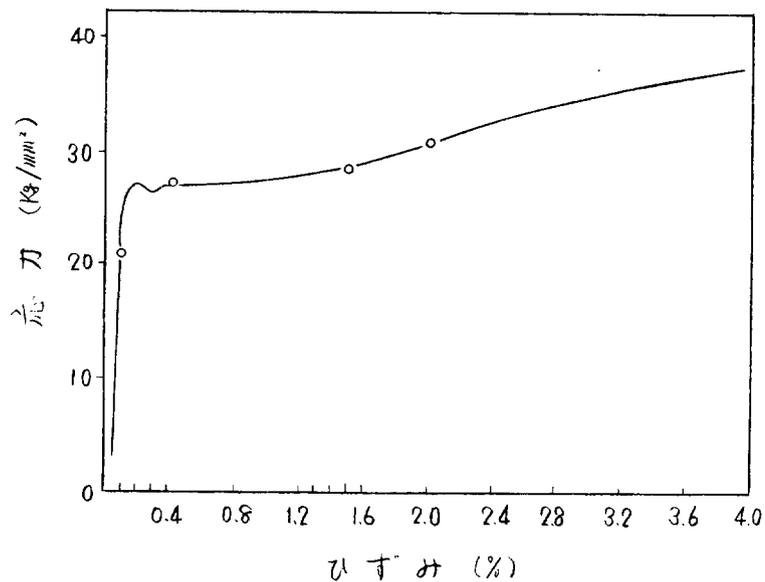
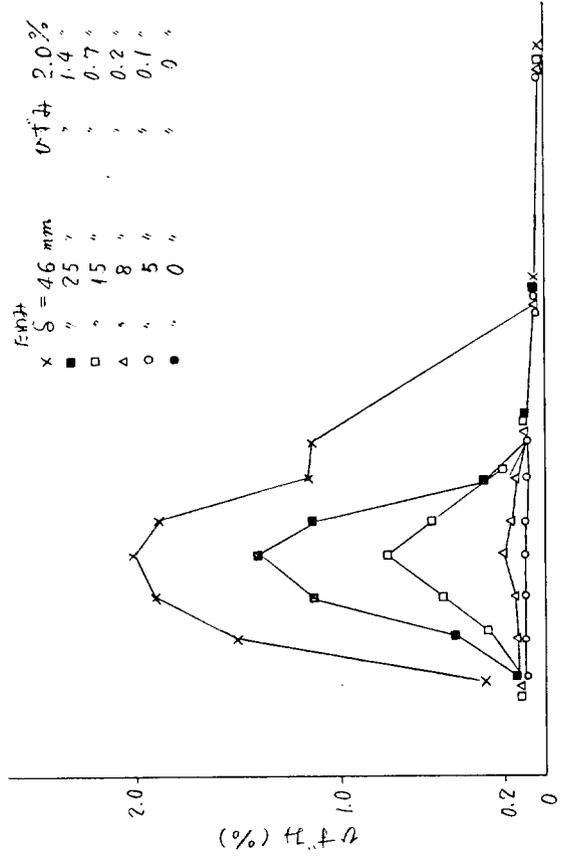


図-2.1.6 供試材 (KA 鋼) の Stress-Strain 曲線



測定位値

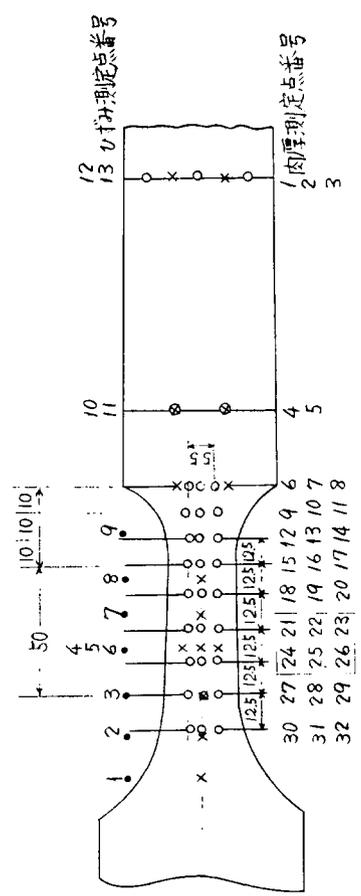


図-2.1.7 たわみ(δ)とひずみの関係

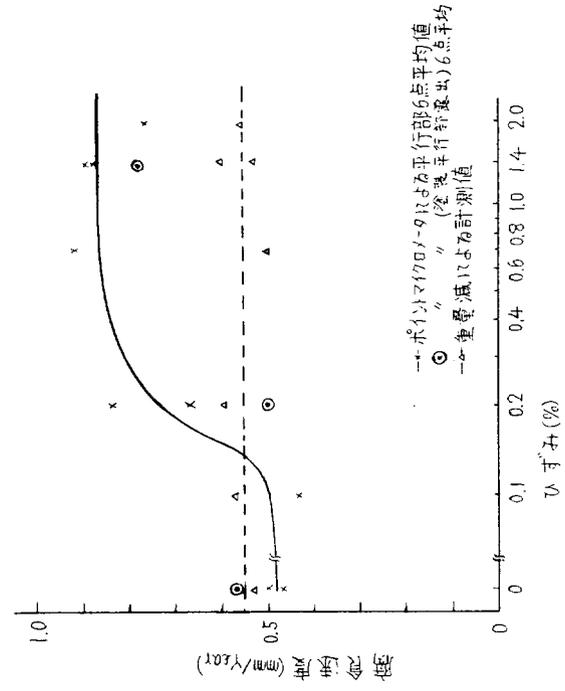


図-2.1.8 腐食速度とひずみの関係

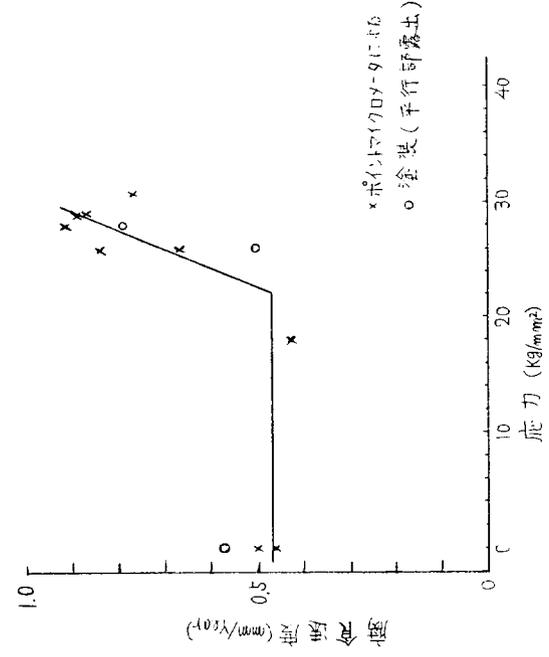


図-2.1.9 腐食速度と応力の関係 (平行部6点平均値)

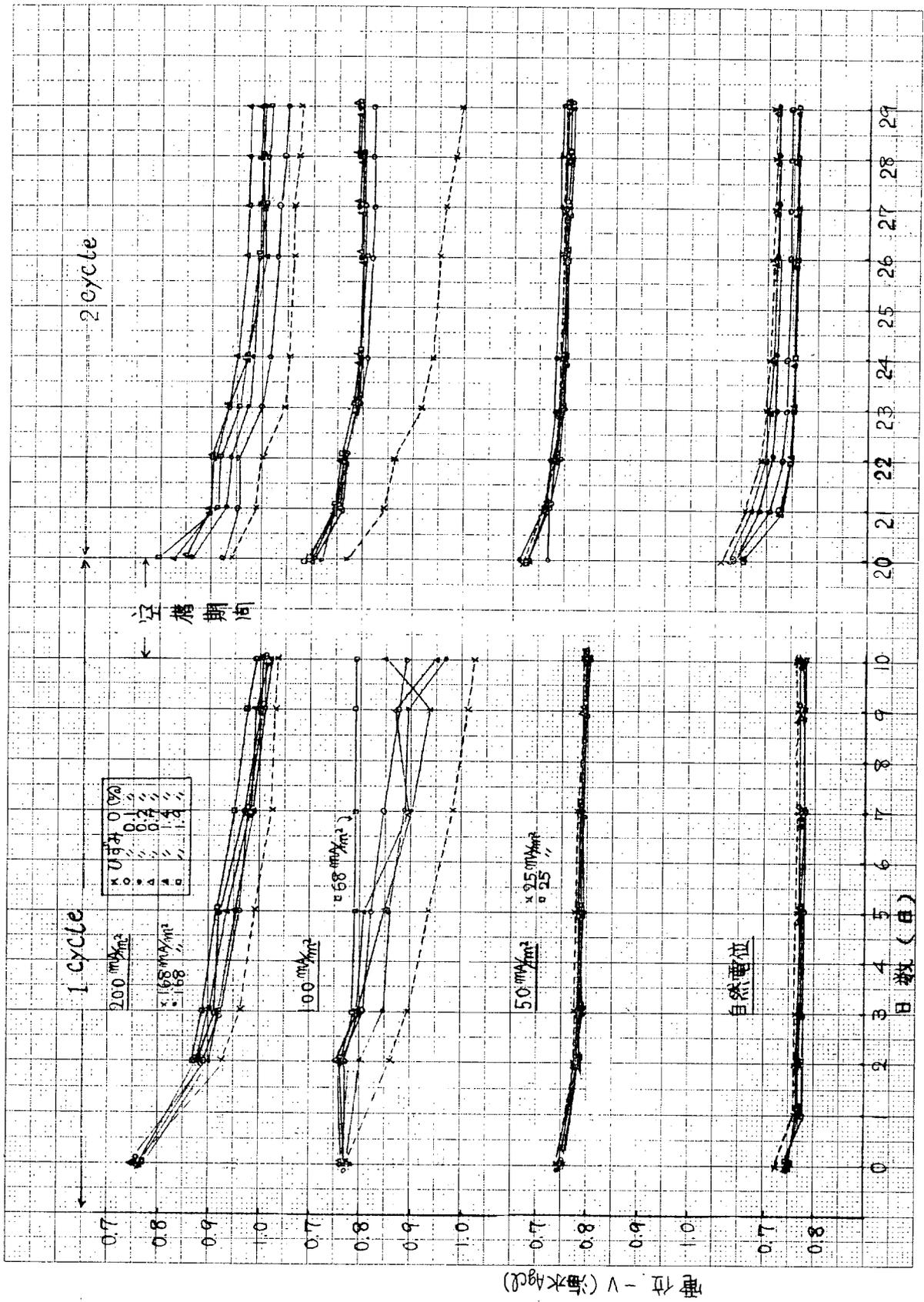


図-2.1.10 応力付加条件下における鋼材電位の経時変化

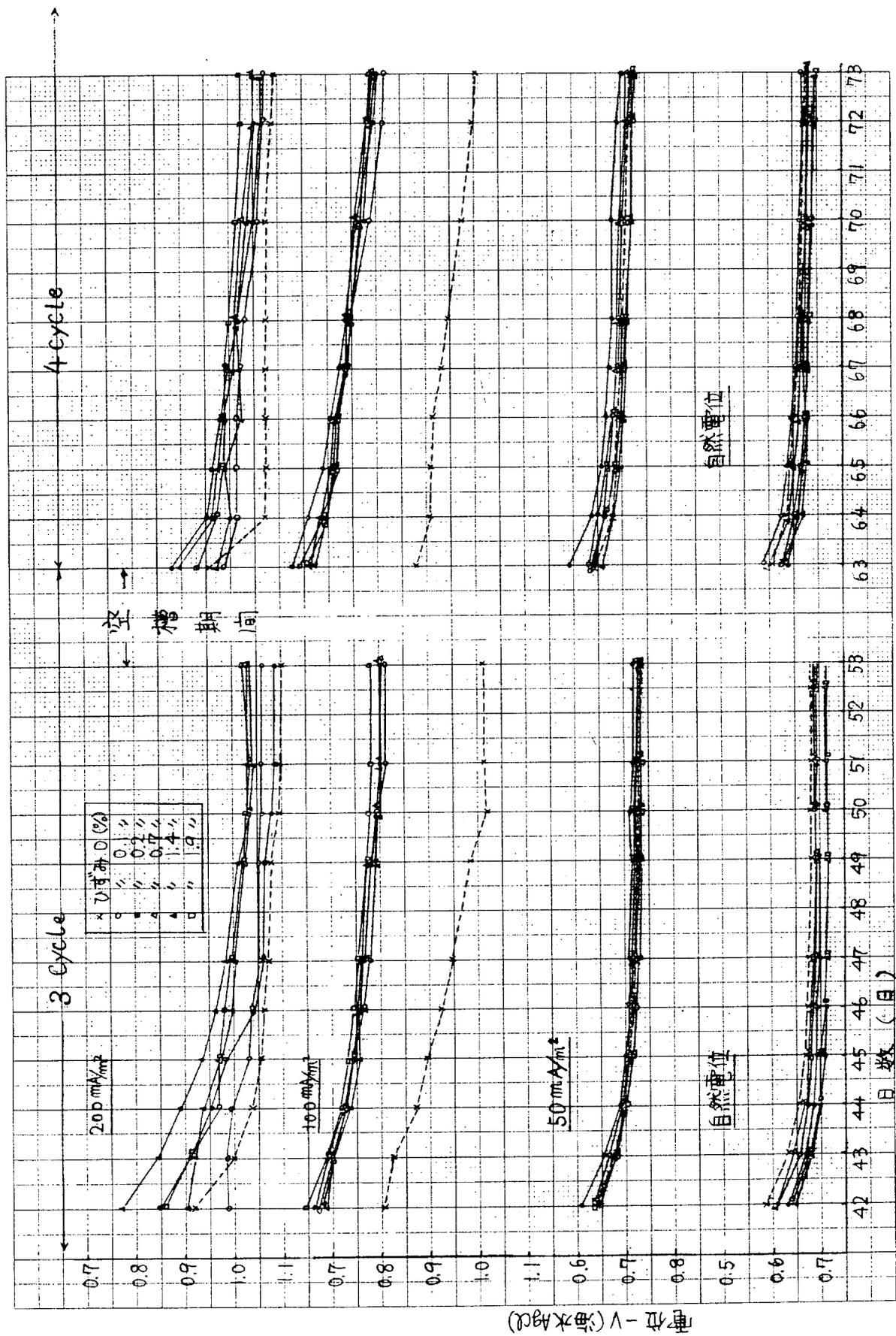


図 - 2.1.1.1 応力付加条件下における鋼材電位の経時変化

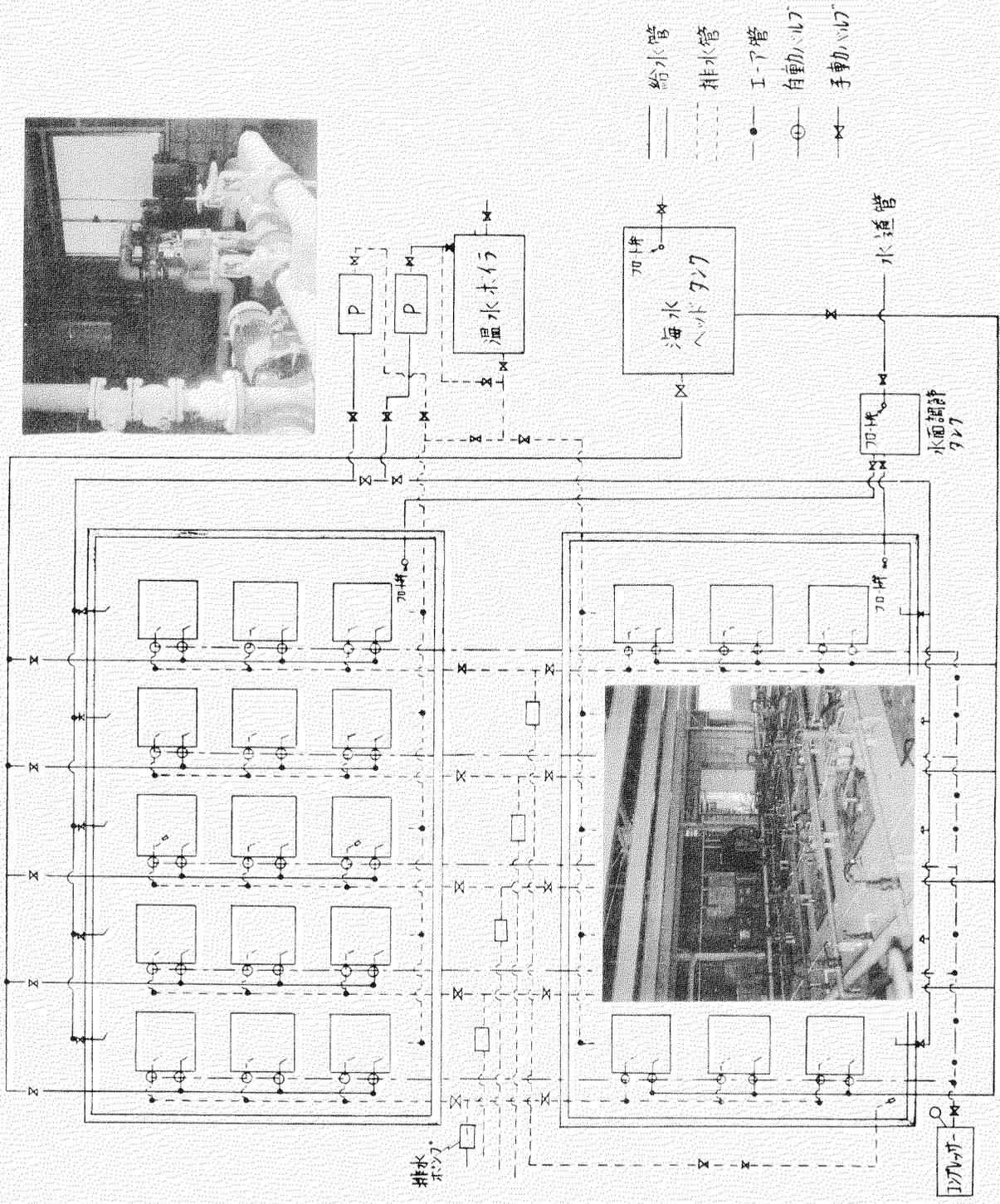
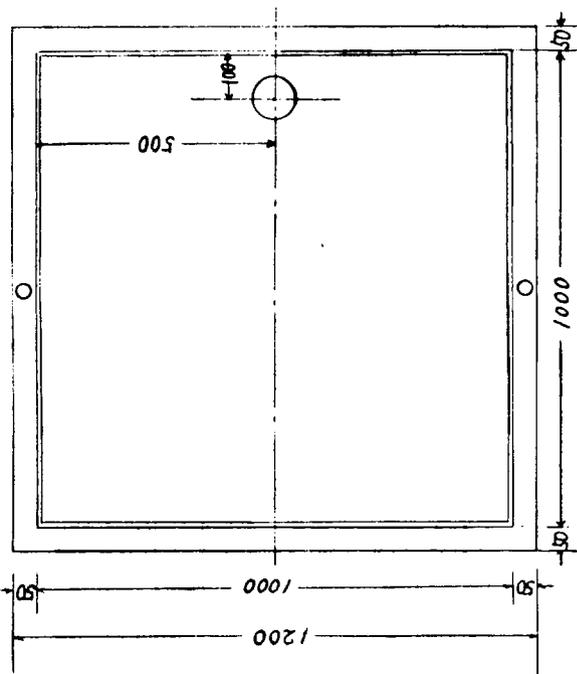


図-2.2.1 恒温試験装置

試験槽本体



試験槽蓋

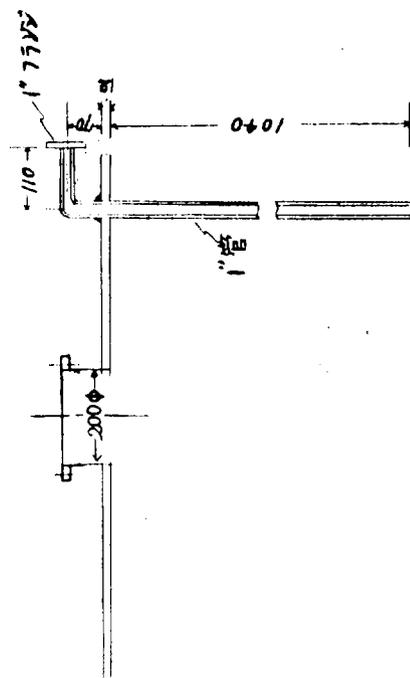
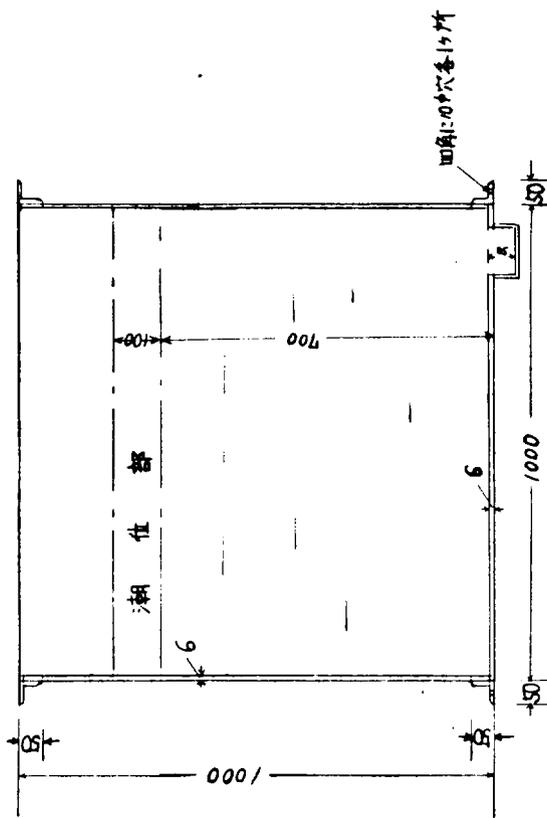
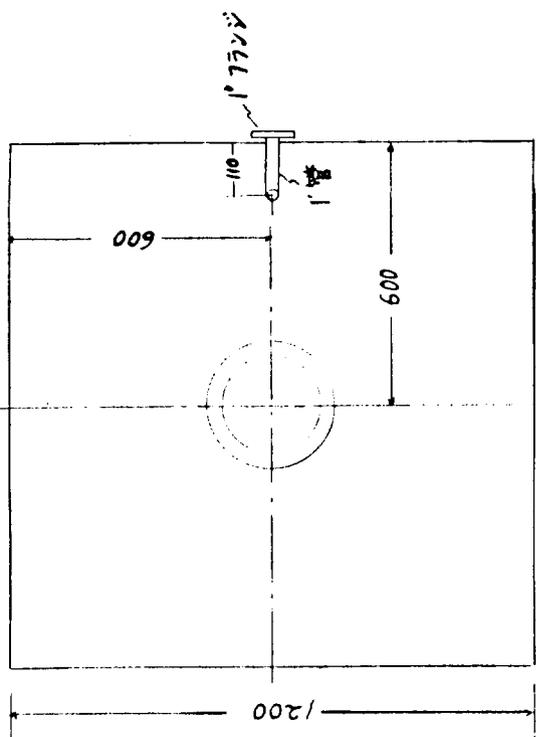
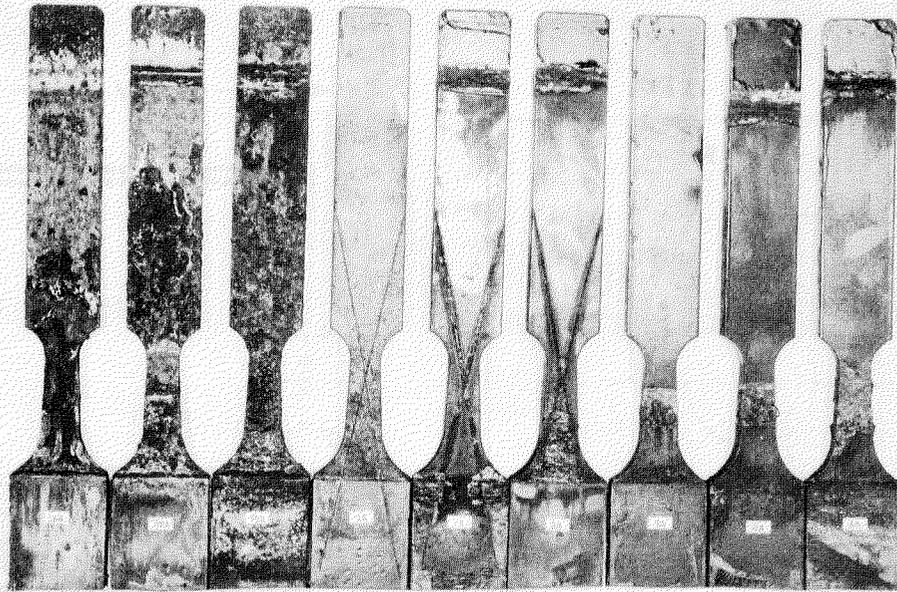
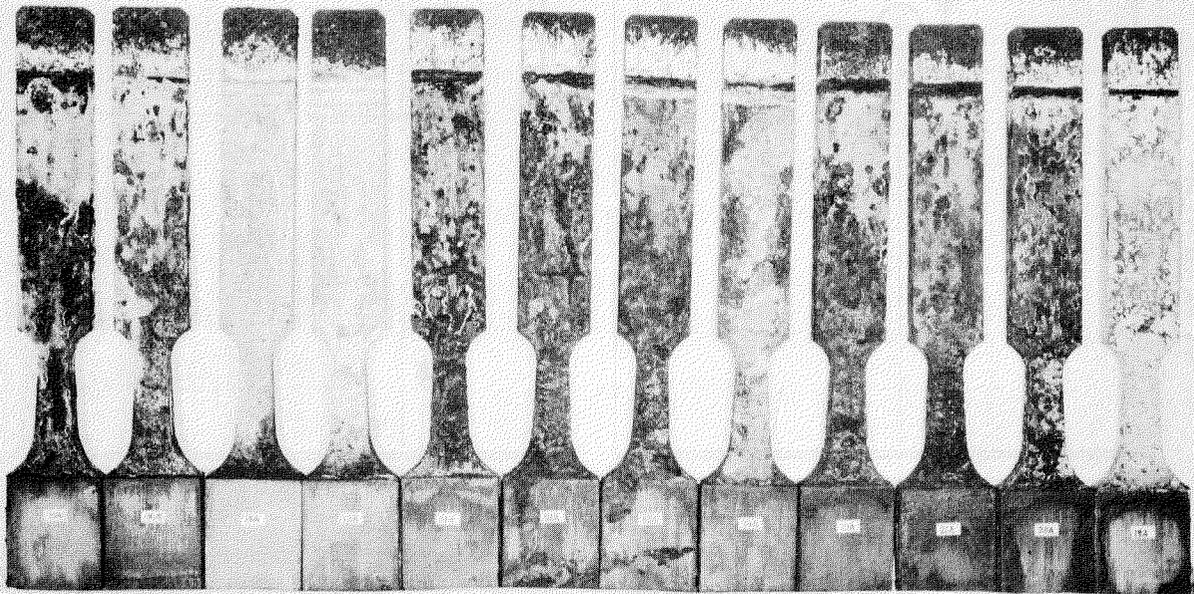


図-2.2.2 試験槽の概要



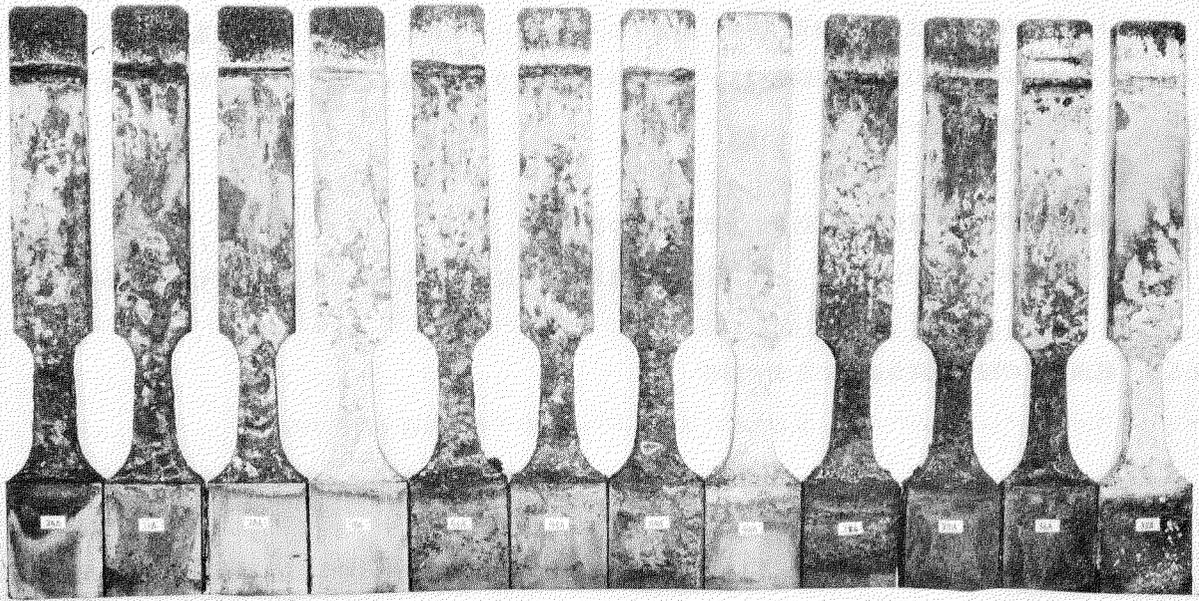
ひずみ 0% 0.2% 1.4% 0% 0.2% 1.4% 0% 0.2% 1.4%
 裸 塗装 クロスカット 塗装 平行部露出

写真-2.1.1 ひずみによる裸および塗装鋼材の表面状況



電流密度 0 50 100 200 0 50 100 200 0 50 100 200 mA/m²
 ひずみ 0% 0.1% 0.2%

写真-2.1.2 ひずみ鋼材に対する電気防食の効果



電
流
密
度

0

50

100

200

0

50

100

200

0

50

100

200

mA/m^2

ひずみ 0.7%

1.4%

1.9%

写真-2.13 ひずみ鋼材に対する電気防食効果

2.3 水質の影響等調査

バラストタンク内の状態は複数で腐食、防食に影響する因子は多い。これらの因子のうち i) 重要なもの、ii) データのないものまたは少ないもの、iii) 実験室のデータと差異のありそうなもの等について順次その影響を調査するものとし、本年度では次の試験を行なった。

2.3.1 鋼材表面の処理状態が腐食、防食に及ぼす影響の調査

漲水、排水を繰返した場合について、電気防食の有無および程度が以後の処理に及ぼす影響を調査する。

2.3.2 乾燥交互の程度が腐食速度に及ぼす影響

バラストタンクは水を入れたり、出したりの状態におかれるのでその影響を調査する。

2.3.3 試験結果

- (1) 鋼材の表面処理として大気中に1週間放置することにより、防食所要電流は初期大中(3~5倍)に増加する。所要電流の低減は3日程度で少くなり所要電流は安定する。
- (2) 所要電流に及ぼす、汚染物質、 Na_2S 、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 添加の影響はほとんど認められなかった。
- (3) 試験片を -1000mV 附近に維持するに要する電流は -800mV 、 -900mV に維持する電流に比し極めて大きい。
- (4) 漲水率100%における腐食量は、25%、50%での腐食量に比し極めて少ない。
- (5) 漲水率25%、50%、100%での侵食度は、液温 30°C では $\max 0.44 \frac{\text{mm}}{\text{yr}}$ 、 50°C では $\max 0.63 \frac{\text{mm}}{\text{yr}}$ を示した。

2.3.1 鋼材表面の処理状態が腐食防食に及ぼす影響の調査

鋼材表面の処理状態、例えば電気防食の経歴大気曝露等の影響およびこれに及ぼす鋼材の錆の有無などを電位および電流の変化によって調査し、タンク防食の資料とする。

(1) 試験片の種類

- (a) みがき試験片……………試験片 A

エメリーペーパー(#220)にて磨いたもの

- (b) 発錆試験片……………試験片 B

Hcl (1:2) 溶液につけ1週間大気放置、次いで人工海水に浸漬、3週間放置し、発錆させたもの
さびの程度 $3.0\text{g}/2\text{dm}^2$

(c) 試験片の寸法

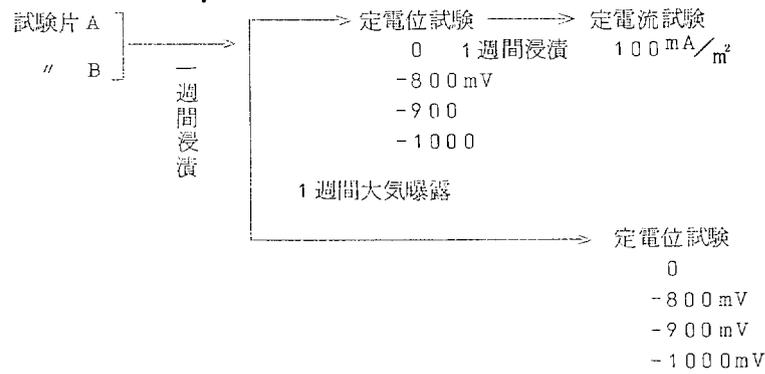
$100 \times 130 \times 2\text{mm}$ および 1.2mm t 曝露面積 2dm^2

(2) 試験の種類

- (a) 大気曝露、初期表面状態の差が電位変化に及ぼす影響

A、B試験片を1週間人工海水中に浸漬し、ただちに定電位試験を行なう場合、定電位試験前に1週間大気中に放置する場合の比較

- (b) 定電位の差が、定電流試験に及ぼす影響定電位で1週間維持後、1週間人工海水中に浸漬後定電流試験を行なう。
試験順序を図示すれば次のごとくなる。



(c) 汚染海水の影響

前述と同様の処理を施した試験片を Na_2S 、50 ppm または $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 、50 ppm を混入した人工海水中で -900 mV の定電流試験を行なった。

(3) 試験

(a) 使用計器および器具

試験液 人工海水 2.5 ℓ、蒸発分は水道水にて補充
 電位差計 横河電機製エレクトロニック回路計
 照合電極 飽和汞甘電極

(b) 定電位操作

定電位を保持するために A ℓ 陽極を用い可変抵抗を使用して電流量を調整し、調整を行ない 2 日目以後は 1 日 1 ~ 2 回の調整を行なった。なお、電流の測定はシャント抵抗を用いて行なった。

(c) 定電流操作

$1 \text{ mA}/\text{dm}^2$ の定電流を保持するため陽極はカーボン電極を用い、バッテリーを使用して電流を流し、可変抵抗で電流計が常に 2 mA を保持するよう調整した。

(4) 結果

2.3.1-(2)の(a)項の試験 図 2.3.1-1 図 2.3.1-2
 2.3.1-(2)の(b)項の試験 図 2.3.1-3
 2.3.1-(2)の(c)項の試験 図 2.3.1-4 図 2.3.1-5

2.3.2 乾湿交互の程度が腐食速度に及ぼす影響

(1) 試験の種類

(a) 表面処理の影響

試験装置 (図 2.3.2-3、写真 2.3.2-1 参照) 内にサンドブラスト、ミルスケール付、みがきの 3 種類の試験片を設置し、一定温度に維持して腐食量を求めた。

(b) 温度の影響

試験装置内温度を 30℃、50℃ で一定とした場合、(a)項と同様な試験を行なった。

(2) 試験片の種類

(a) サンドブラスト鋼板 (SB) 寸法 100×50×3 mm t

日鑄 40 番砂にて処理せるもの

(b) みがき 鋼板 (P) 寸法 100×50×3 mm t

エメリー # 220 にて研磨させるもの

(c) ミルスケール鋼板 (MS) 寸法 100×50×3 mm t

いずれの試験片も両面を使用した。

(3) 試験順序

(a) 試験装置内上、中、下段に試験片を設置し最初、上段まで3% NaCl液を満し、液温を30℃に保持した。この状態にて4日間放置後、水位を中段まで低下させ、さらに4日間放置した。次いで水位を下段まで低下させ、8日間防置した後、上段まで水位を上昇させて上記のサイクルを繰り返した。

計画では、上段の漲水率25%、中段の漲水率50%、下段の漲水率100%としたが、設置日、漲水日の延長等で実際の漲水率は、多少差を生じた。結果一覧表中(表2.3.2-1、2.3.2-2)バラスト率、欄に比較して示した。

(b) 一定時間経過後、腐食試験片を取出し、Hcl 50% (イビット3%入)液に浸漬後、ワイヤーブラシにて除錆後水洗、秤量し腐食量を求めた。

(4) 結果

30℃における腐食量 表2.3.2-1 図2.3.2-1

50℃における腐食量 表2.3.2-2 図2.3.2-2

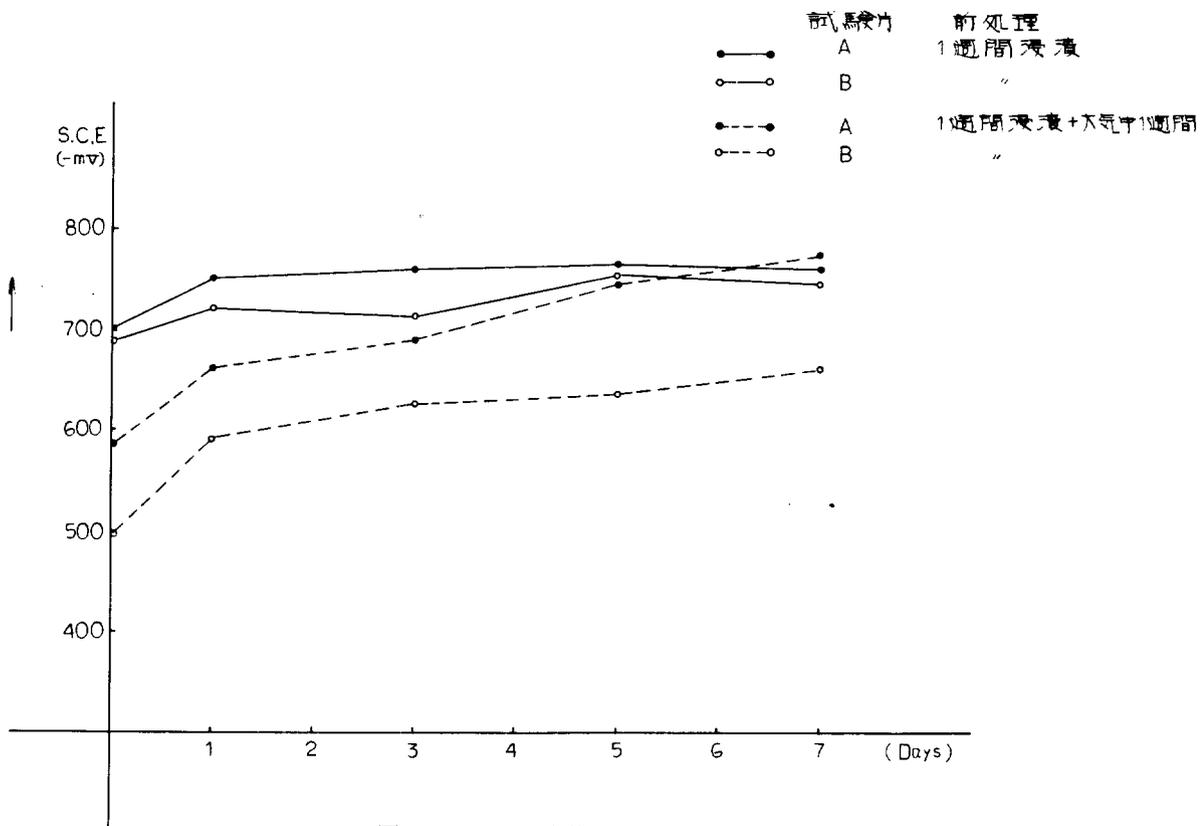


図 2.3.1-1 自然電位の変化

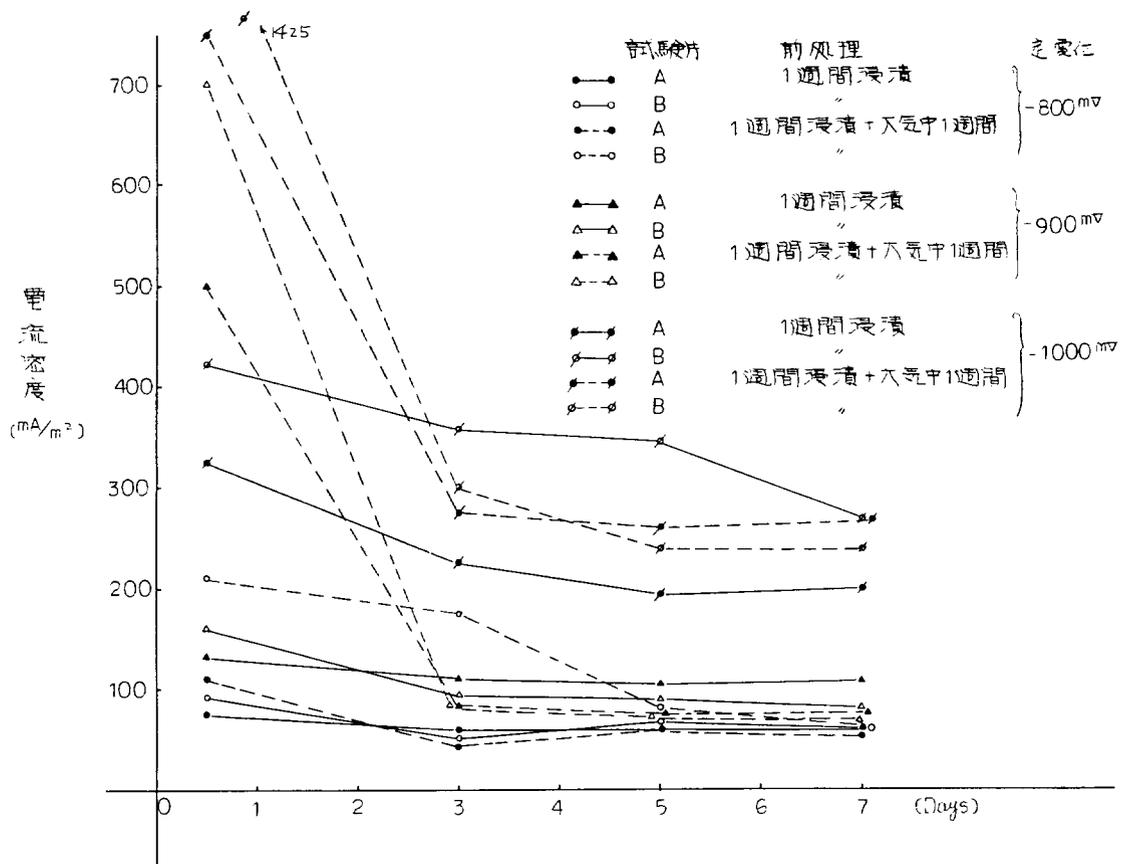


図 2.3.1-2 所要防食電流密度の変化

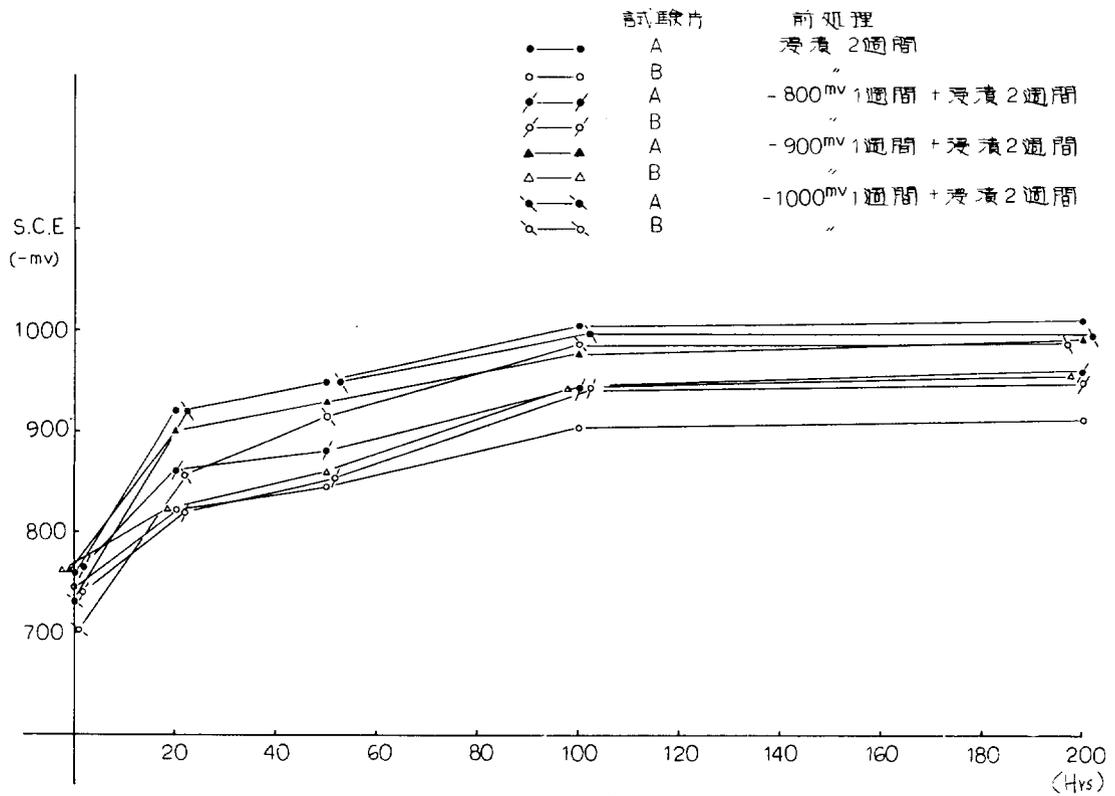


図 2.3.1-3 定電流試験 (100 mA/m²) における電位変化

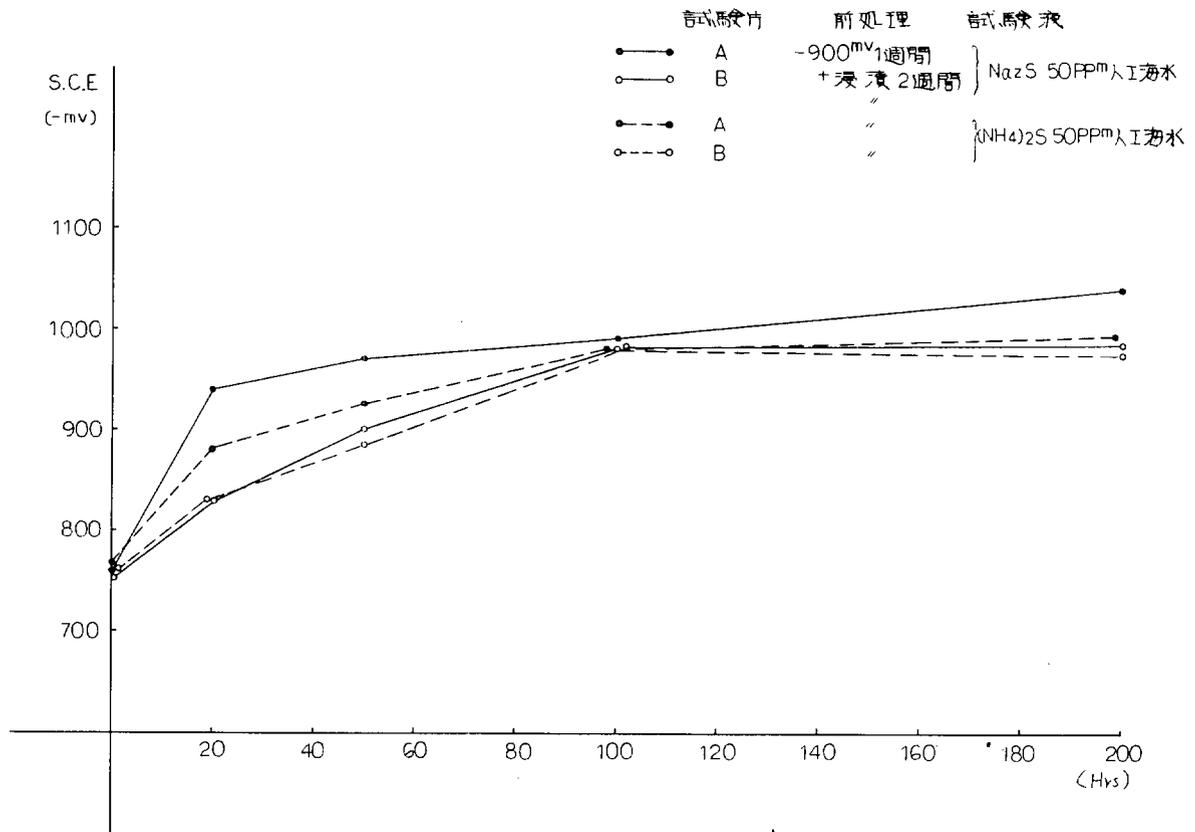


図 2.3.1-4 汚染物添加液中の電位変化 (100 mA / 定電流時)

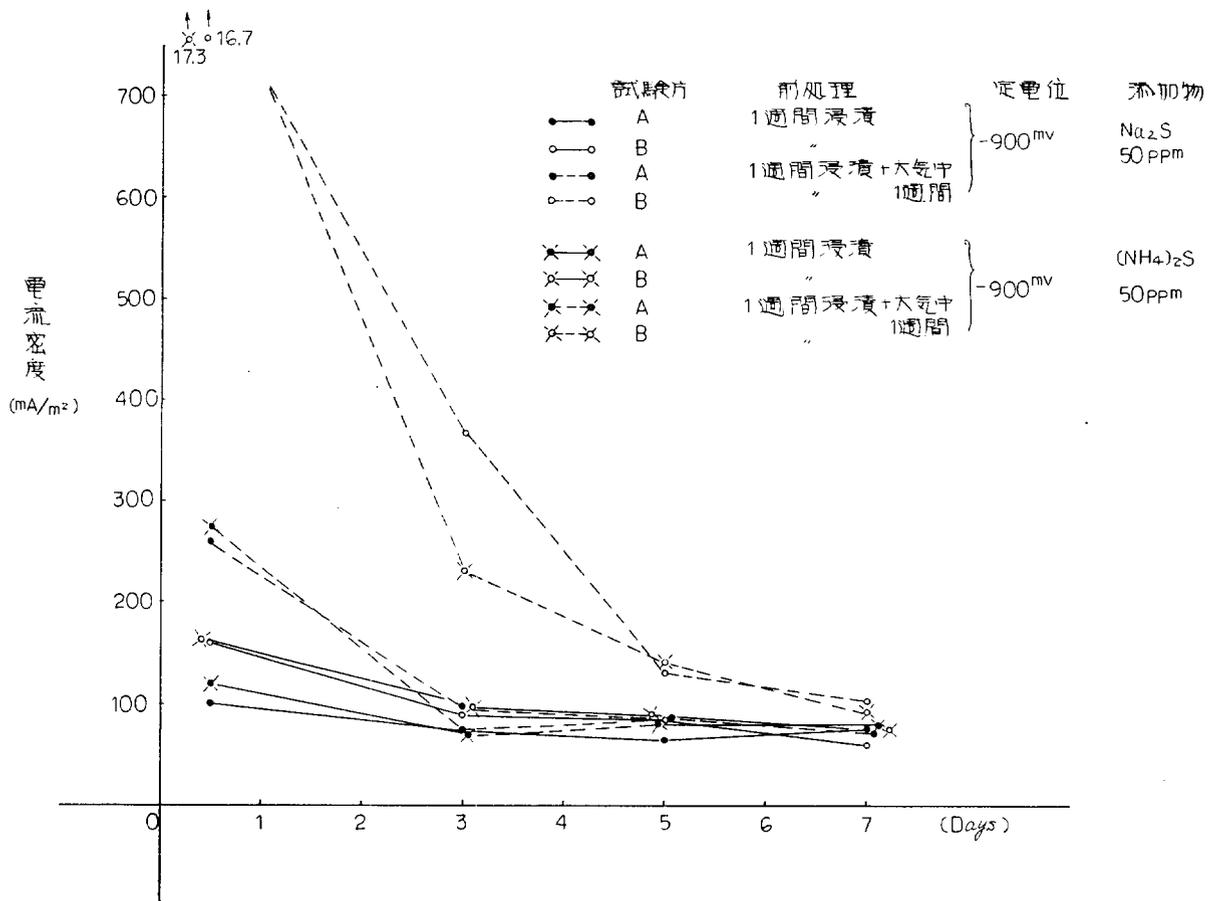


図 2.3.1-5 汚染物添加液中の所要電流変化

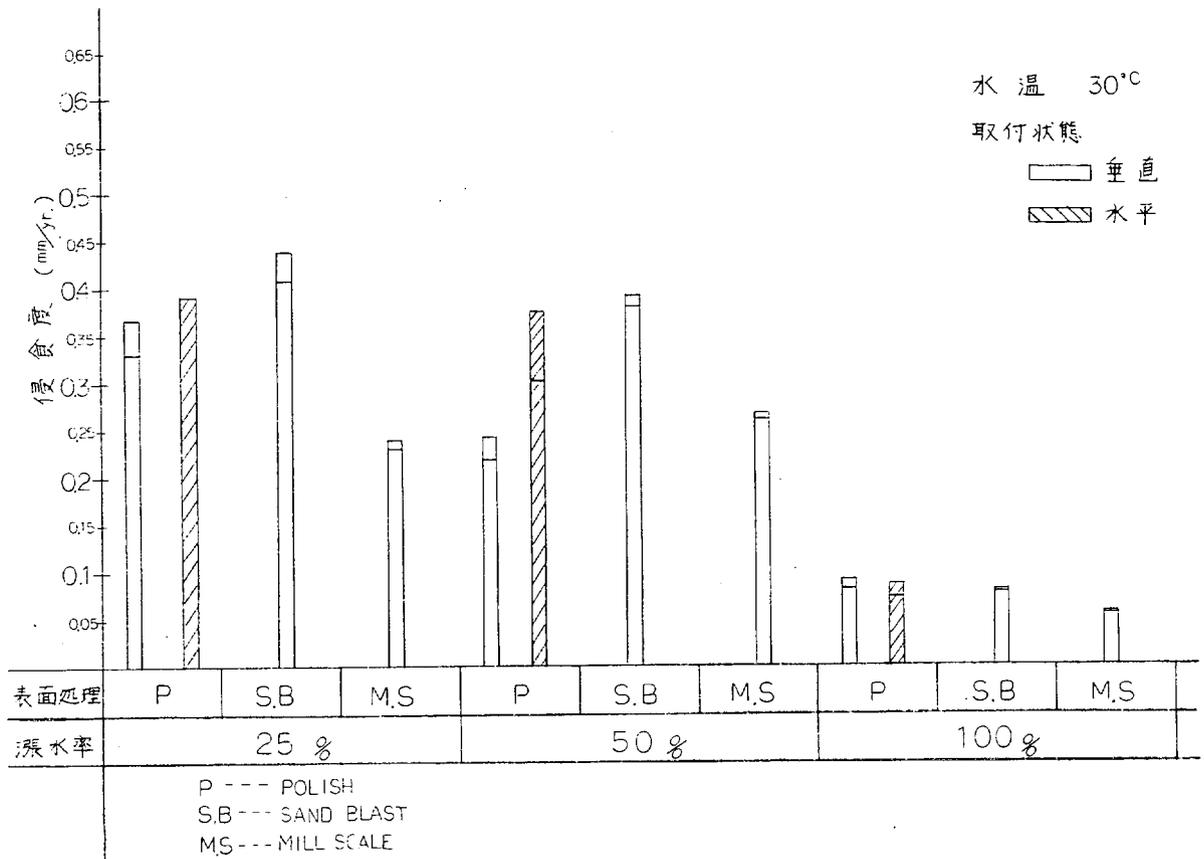


図 2.3.2-1 30°Cにおける腐食量

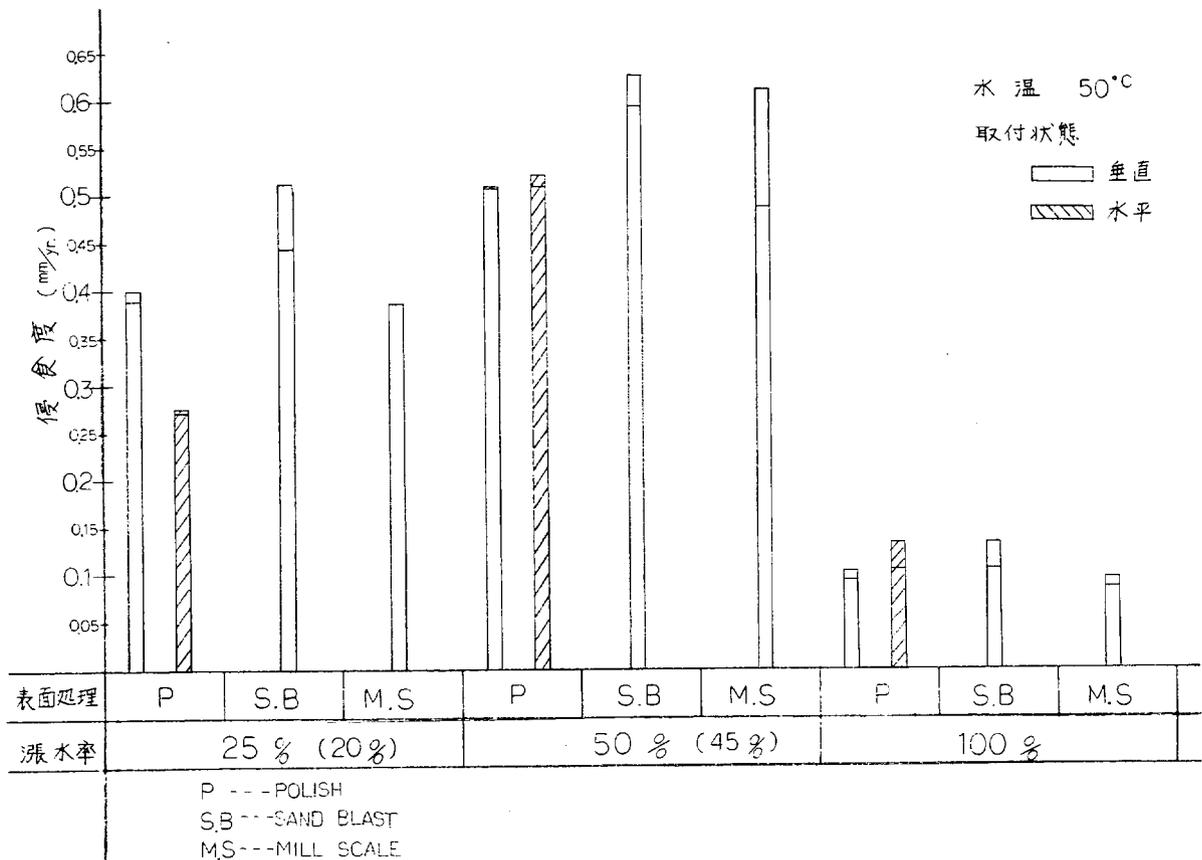


図 2.3.2-2 50°Cにおける腐食量

表 2.3.2-1 30° における腐食量

水温 30°C

No.	取付状態	バラスト率(%)		表面処理	テスト期間 (days)	腐食量 (g)	腐食度 (mm/yr)
		公称	実際				
241	垂直	25	23.5	P	34	2,6424	0.330
284	"	"	23.5	P	34	2,9400	0.368
17	"	"	38	S.B	37	3,5495	0.408
18	"	"	"	S.B	"	3,8177	0.439
124	"	"	"	M.S	"	2,0985	0.241
125	垂直	"	38	M.S	37	2,0095	0.231
253	水平	25	24.2	P	33	3,0502	0.393
232	垂直	50	47	P	34	1,9427	0.243
243	"	"	47	P	34	1,7435	0.218
14	"	"	73	S.B	37	3,2979	0.379
19	"	"	"	S.B	"	3,4165	0.393
122	"	"	"	M.S	"	2,3255	0.267
123	垂直	"	73	M.S	37	2,2620	0.260
254	水平	"	48.4	P	33	2,3437	0.302
329	水平	50	48.4	P	33	2,9004	0.374
315	垂直	100	100	P	34	0,6635	0.083
319	"	"	"	P	34	0,7345	0.092
15	"	"	"	S.B	37	0,7090	0.082
16	"	"	"	S.B	"	0,6741	0.078
126	"	"	"	M.S	"	0,4768	0.055
129	垂直	"	"	M.S	37	0,4966	0.057
328	水平	"	"	P	33	0,6628	0.086
333	水平	100	100	P	33	0,5671	0.073

S.B —— サンド、ブラスト
P —— むがき
M.S —— 黒皮付

表 2.3.2-2 50° における腐食量

水温 50°C

No.	取付状態	バラスト率(%)		表面処理	テスト期間 (days)	腐食量(g)	腐食度 (mm/Yr)
		公称	実際				
46	垂直	25	19.2	S.B	52	6.2449	0.512
47	"	"	"	S.B	"	5.3932	0.442
55	"	"	"	P	"	4.7475	0.389
56	"	"	"	P	"	4.8746	0.400
108	"	"	"	M.S	"	4.3117	0.354
109	"	25	19.2	M.S	52	4.7082	0.386
233	"	初 25 後 25	24.1 19.2		58 52	9.3648	0.365
237	"	初 50 後 25	46.6 19.2		58 52	10.1616	0.396
240	"	初 50 後 25	46.6 19.2		58 52	8.7706	0.342
283	垂直	初 50 後 25	46.6 19.2		58 52	8.7118	0.340
61	水平	25	19.2	P	52	3.3512	0.275
62	水平	25	19.2	P	"	3.3222	0.272
48	垂直	50	42.3	S.B	"	7.2472	0.594
49	"	"	"	S.B	"	7.6046	0.624
53	"	"	"	P	"	6.1972	0.508
54	"	"	"	P	"	6.1869	0.507
102	"	"	"	M.S	"	7.4264	0.609
130	"	50	42.3	M.S	52	5.8983	0.484
235	"	初 25 後 50	24.1 42.3		58 52	11.4307	0.446
238	垂直	初 25 後 50	24.1 42.3		58 52	8.8264	0.344
58	水平	50	42.3	P	52	6.3533	0.521
59	水平	50	42.3	P	"	6.1910	0.508
20	垂直	100	100	S.B	"	1.2724	0.104
50	"	"	"	S.B	"	1.6212	0.133
51	"	"	"	P	"	1.1287	0.093
52	"	"	"	P	"	1.2561	0.103
127	"	"	"	M.S	"	1.1653	0.096
128	"	"	"	M.S	"	1.0342	0.085
276	"	"	"		"	1.8745	0.073
		100	"		52		
279	"	初 100 後 "	" "		58 52	1.8627	0.073
239	垂直	初 " 後 100	" "		58 52	2.0314	0.079
57	水平	100	"	P		1.6077	0.132
60	水平	100	100	P		1.2619	0.103

S.B — サンド・プラスト

P — みがき

M.S — 黒皮付

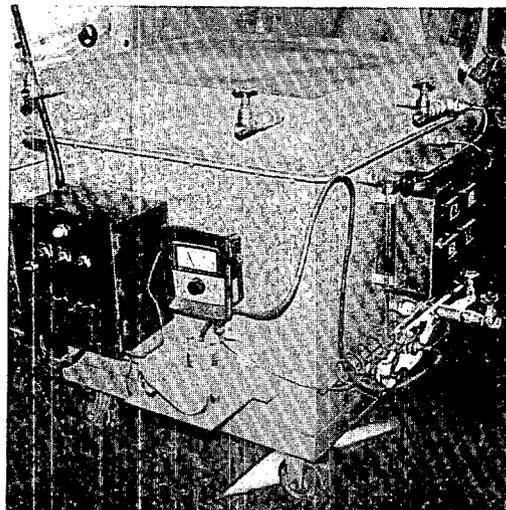
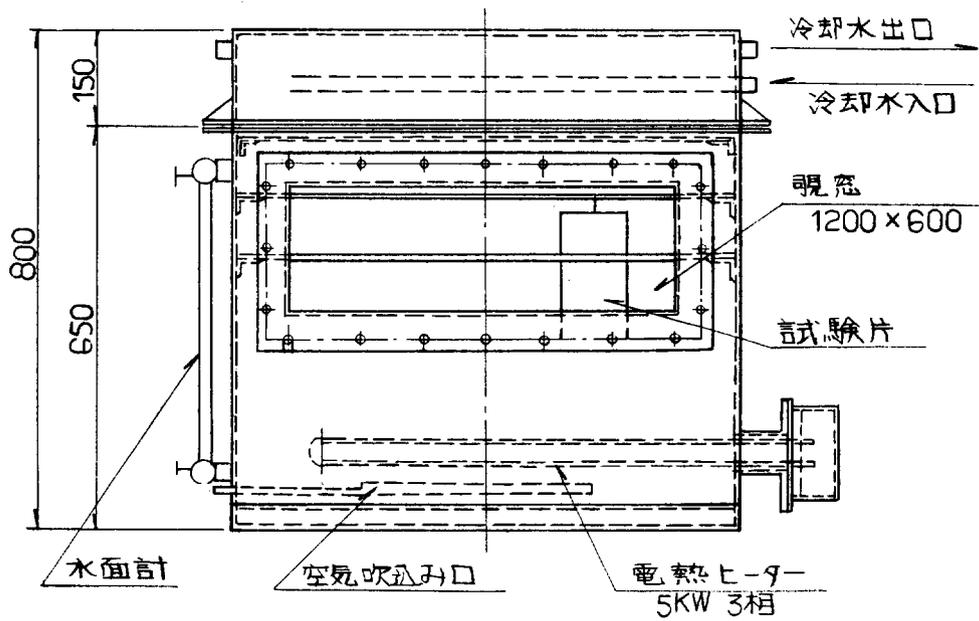
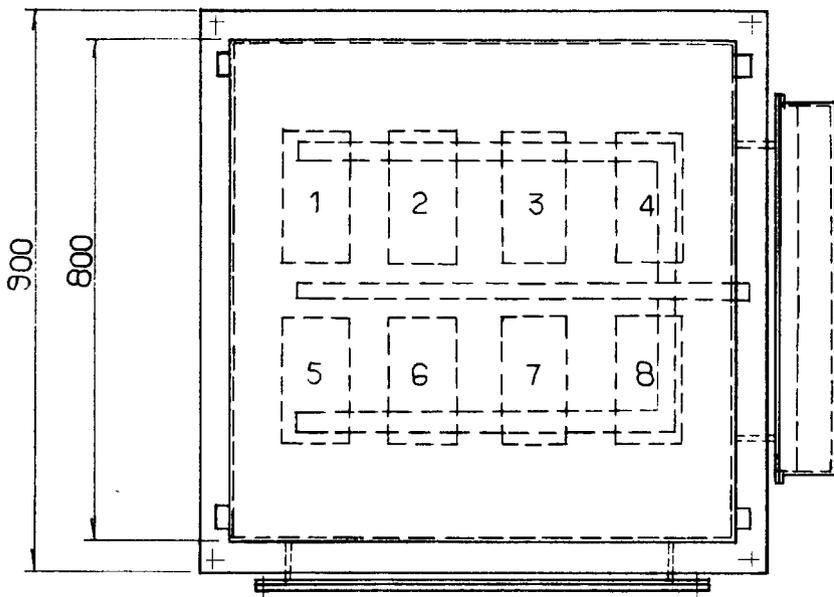


图 2.3.2-3

3. 防食方法に関する研究

3.1 電気防食に関する研究

3.1.1 防食電流密度に及ぼす応力(歪)の影響の実験

(1) 試験装置と試験方法

2.1の腐食原因に関する研究で述べたように応力付加腐食試験装置(図2.1.1~2.1.3)と図2.1.5に示した試験片を使用してバラスト水の漲水期間中一定電流密度による防食を行なった。防食試験の構成は図2.1.4に示したように、海水塩化銀電極を試験片の応力集中部分に設置するとともに、防食電流は外部電源と試験片の間に挿入した可変抵抗(0)で調節し、電流値は 1Ω の標準抵抗の電圧降下から求めるようにした。陽極は亜鉛を使用し、電気防食条件を $50\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $100\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $200\text{mA}/\text{m}^2$ としその時の電位を参考のため記録した。その他の腐食環境は1章の腐食原因に関する研究において述べたと同じく応力付加条件を0、1.8、2.6、2.8、2.9、 $3.1\text{Kg}/\text{mm}^2$ の6段階の定歪とし応力繰返し回数を1日に2回、漲水期間10日間、試験期間4サイクルとし雰囲気温度 40°C とした。

試験片および試験片の試験終了後の後処置ならびに腐食速度の表示については2.1.1.(4)を参照されたい。

(2) 試験結果

(a) 表面状況

試験後の表面状態はすでに写真2.1.2、2.1.3に示した通りである。防食電流 $200\text{mA}/\text{m}^2$ の試験片の表面は錆の色である赤褐色ないし黒褐色を示さず白色を呈していた。これは多分海水からのカルシウム、マグネシウム塩の析出によるものであろう。これに対し $100\text{mA}/\text{m}^2$ では白色および錆層の混合した状態を示し、 $50\text{mA}/\text{m}^2$ では、防食電流なしと略同じ褐色を呈している。

(b) 電気防食の効果

鋼材の腐食速度と防食電流密度の関係を図3.1.1.1、3.1.1.2に示す。図3.1.1.1はポイントマイクロメータによる計測結果図3.1.1.2は重量減より計算した平均腐食速度を示したものである。これらの図は繰返し応力のない場合と、繰返し応力の付加される場合では防食電流に大きな相違のあることを示している。

図3.1.1.3は図3.1.1.1、図3.1.1.2の結果をまとめたものに各試験片の最大孔食値^{*1}を記入したものである。図3.1.1.3中に示した曲線Aは繰返し応力のない場合^{*2}(図3.1.1.1、図3.1.1.2から明らかなように重量減法とポイントマイクロメータ法による腐食速度の計測値は殆んど1本の線で示すことができる。これに対し、最大孔食に図3.1.1.3にみられるように応力付加のない場合も、ある場合も同じように発生しており、その発生位置は図中矢印で示した2点以外は応力平行部以外に発生した。この結果から繰返し応力は腐食(孔食も含む)を促進するものの繰返し応力のみでなく、その他にも影響をおよぼす因子のあることが示唆されよう。

この孔食の発生および生長はEvans等も指摘したように多分腐食液(海水)中の Cl^- の作用と鋼の表面状態(初期および錆層形成後)の相違によるものであろう。

図3.1.1.3に見られるように、防食電流密度の増加はこれらの孔食速度を低下せしめながら重量減法による平均腐食速度に徐々に近づき、応力付加のない場合 $100\text{mA}/\text{m}^2$ 、応力付加の場合 $200\text{mA}/\text{m}^2$ の電流密度でこの両者は略一致する。このように漲排水の繰返される腐食雰囲気中で繰返し応力の付加されない場合は防食電流密度 $100\text{mA}/\text{m}^2$ で略90%の防食率の得られるのに対して応力の付加されたときは90%の防食率を達成するには $200\text{mA}/\text{m}^2$ 程度の防食電流密度に保持する必要があることをこの実験結果は示した。

* 1 試験片の応力平行部(6点)に限らず図2.1.7の計測点の中から最大値を求めた。

* 2 応力平行部6点の位置の平均値

(c) 電位の経時変化と分極曲線

図 2. 1. 1 0 ~ 2. 1. 1 1 に各電流密度による電位変化を示す。試験開始時は実験の不備から電流密度にいくらかバラツキが出たがその後は目標通り通電できた。

図 3. 1. 1. 4 はこれらの結果をもとに浸漬 1 cycle と 4 cycle の海水浸漬時の前半と後半の電流・電位曲線を示したもので、応力の付加されたものと付加されないものでは明らかに曲線に相違がありまた試験時間の相違によってもその形は大きく異なる。

(b)項で、電流密度を基準に防食に必要な電流密度の値を示したが図 3. 1. 1. 4 の結果から電位を基準にとれば $-900 \sim -1000 \text{ mv}$ の値を排水の繰返されるような腐食環境では防食電位とする必要のあることを示す。

3. 1. 2 材料表面状況の影響の実験

(1) 試験装置と試験方法

2. 1. 2 で述べた恒温試験水槽(図-2.2.1参照)に各種表面処理した1m角の軟銅製試験槽(図-2.2.2参照)を浸漬し、試験槽中央に円状の防食亜鉛を吊下げて漲水期間中一定電流密度で通電した。通電方法は図-2.1.4に示したと同じ要領で外部から定電流電源で、電流一定とし、試験槽の電位をタンク側壁に貼付けた微小塩化銀、電極を基準電極として計測した。

(2) 試験条件

温度を30℃、50℃の2条件とし、2.2.1-(2)で述べたと同じように漲水期間10日、排水期間10日、漲水期間中1日1回の水面の上昇を行なった。

防食電流密度は50、100、200 mA/m²の3種とした。

(3) 試験片および防食亜鉛

2.2.1-(2)と同じく供試材はJIS G3101 SS41の板材から切出して図-2.2.2に示した試験槽を溶接構造とし、ミルスケール付のまま、ショットブラストおよびサンダー仕上とした。

防食亜鉛は、市販のアルミ入り防食亜鉛8.5mmφ×300mmLのものを防食電流密度50 mA/m²と100 mA/m²のものに対しては1本、200 mA/m²の試験槽には2本直列(8.5mmφ×600mmL相当)として試験槽蓋のフランジ穴から槽中央に吊下げた。

(4) 試験結果

図-3.1.2.1は試験開始時(1cycle)と4cycle目の漲水時のそれぞれ2日後と7日後の電流-電位曲線を示したものである。ミルスケール付鋼の自然電位は試験の当初も4cycle後(約80日)も殆んど変わらないのに対し、サンダー仕上、ショットブラスト仕上鋼は試験当初の-760mv~-770mvから、4cycle後は、ミルスケール付のものに近い電位を示した。試験当初電流-電位曲線は、ミルスケールのものは温度30℃で他のものに較べて大きく分極しているが、試験時間がたつたと三者とも殆んど同じ形を示した。

試験は4cycle(80日)を終りさらに継続中である。

3. 2 塗装法に関する研究

3. 2. 1 塗装法による防食効果の実験

(1) 試験装置と試験方法

(a) 試験の概要

プラスチックタンクの天井部分のような殆んど海水と接しない環境部分の防食対策として3.1で述べた電気防食法は、無力であり、現在は天井部より5m下までの部分にタールエポキシ塗料の塗装方法が推奨されている。一方パーマ

ネットバラストタンクにおいては全タンク塗装の施工される場合もある。これらの塗料が完全であれば殆んど問題ないと思われるが、施工上の欠陥、或は応力の繰返し付加による塗膜の破損があった場合に、その破損部の腐食がバラストタンク特有の腐食環境にさらされた時どのような腐食を呈するか余り明らかでないようである。この様なことから、本年度は、2.1の応力（歪）の変化の影響の実験で製作した応力付加腐食試験装置を使用し塗装鋼材の応力付加による腐食の模様を予備的に調査すると共に、バラストタンク天井部のような常時湿り雰囲気さらされる環境での試験を2.2の温度変化と材料表面状況の影響の実験で述べた恒温水槽と試験タンクの蓋の部分を利用して実施した。

(b) 試験条件と試験片

応力付加に対する実験は2.1で述べたと同じ形状の試験片に表2.1.2に示した塗装条件を塗装した後応力平行部にクロスカットを入れた。腐食時間も2.1と同じように海水温度40℃、10日間漲水、10日間、排水を1cycleとして4cycleとした。このときの応力付加条件は、0、26、29 Kg/mm²（ひずみ0、0.2、1.4%）の3段階とした。これに対し、常時湿り雰囲気を総定したバラストタンクの天井部に相等するものとして、2.2で述べた試験槽の蓋（図-2.2.2参照）に表2.1.2に示した塗装条件で塗装し、そのまゝのものとしてクロスカットを入れた2種類を選んだ。このときの試験条件は、2.2.1-(2)を参照されたい。

(c) 試験結果

1) 写真2.1.1の中央3枚は繰返し応力付加による塗膜の人工傷部の腐食の状況を示したもので、付加応力の増大にともなって塗膜損傷部の発錆が激しくなっている状態がよくわかる。特にひずみ1.4%では塗膜の剝離を生じた。応力平行部のポイントマイクロメータによる板厚の減少結果を表3.2.1に示す。表3.2.1には2.1で述べた裸鋼材の板厚減少結果も比較のため併記した。表3.2.1において計測位置24、26がクロスカットのひずみ0%の鋼材でクロスカットの当たらない部分は0.006mmとポイントマイクロメータの感度（5/1000mm）ぎりぎりの値を示し、殆んど腐食していないとみられるのに対し、クロスカットの部分（計測位置24、26）では若干腐食していることを示している。

ところが、ひずみが0.4、1.4%と増すにしたがってクロスカット部の腐食の増大はもちろんであるが、その他の部分の腐食の進行していることを明瞭に示している。これらの結果から塗装された鋼材は繰返し応力の付加によって、機械的欠陥部があれば腐食はその部分から進行し、腐食の進行は欠陥部を中心に周囲へ広がっていくことを示している。

塗装の欠陥部は裸材に対して特に腐食を促進するかどうかについては、この実験結果からはいづらか促進するよう感じられるが、今後さらに検討の必要があると考える。タンク天井部の想定試験は2.2、3.1.2と同様に現在4cycle（83日）を終り試験中である。

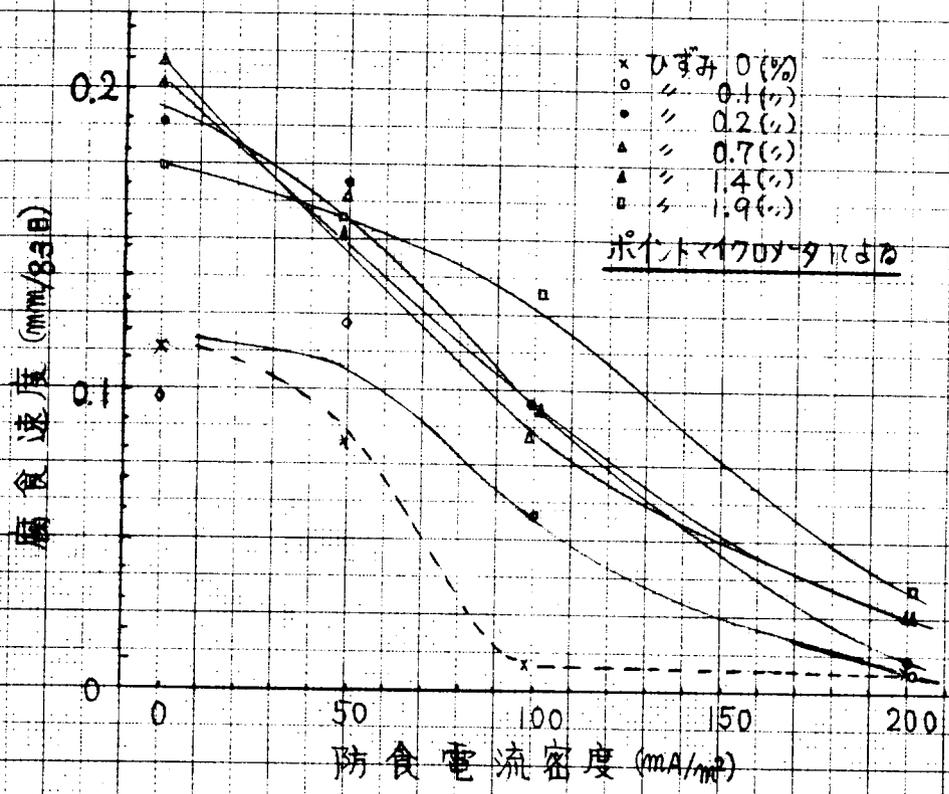


図 3. 1. 1. 1 鋼材の防食電流密度と腐食速度 (平行部 6 点平均値)

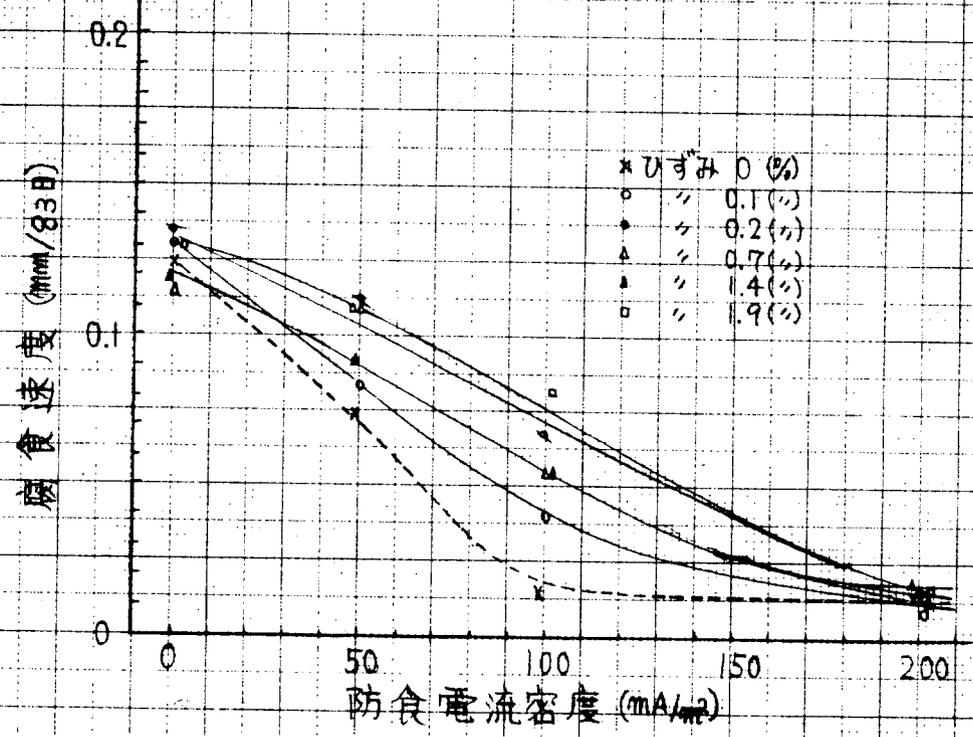


図 3. 1. 1. 2 鋼材の防食電流密度と腐食速度 (重量減による)

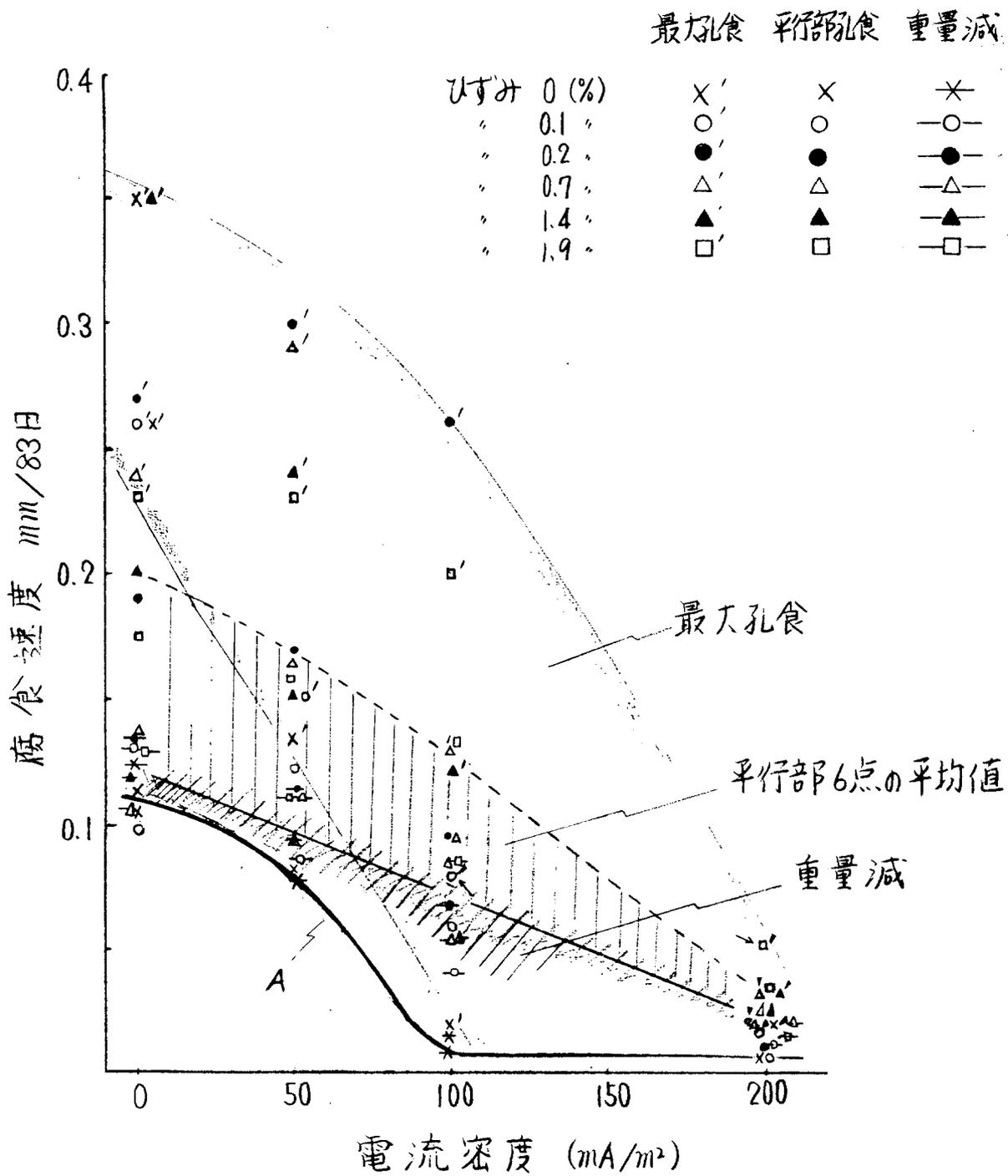


図3. 1. 1. 3 ひずみの付加された鋼材の腐食速度におよぼす電流密度の影響

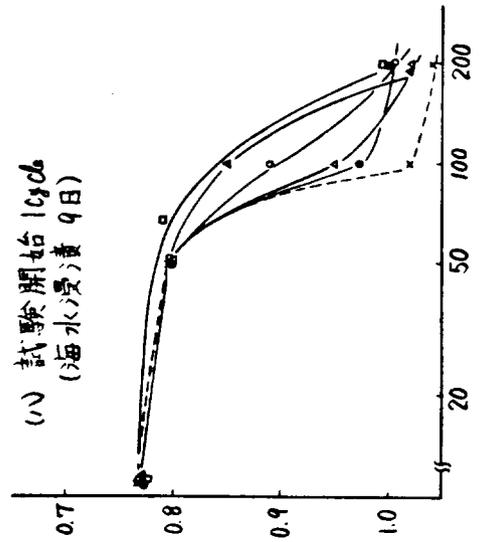
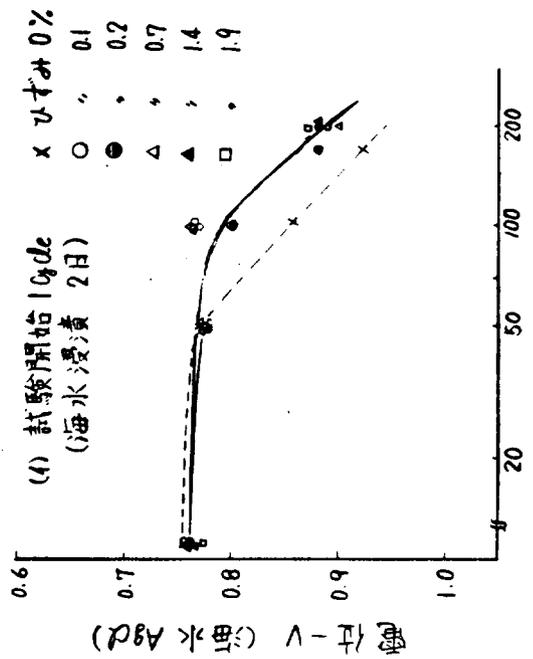
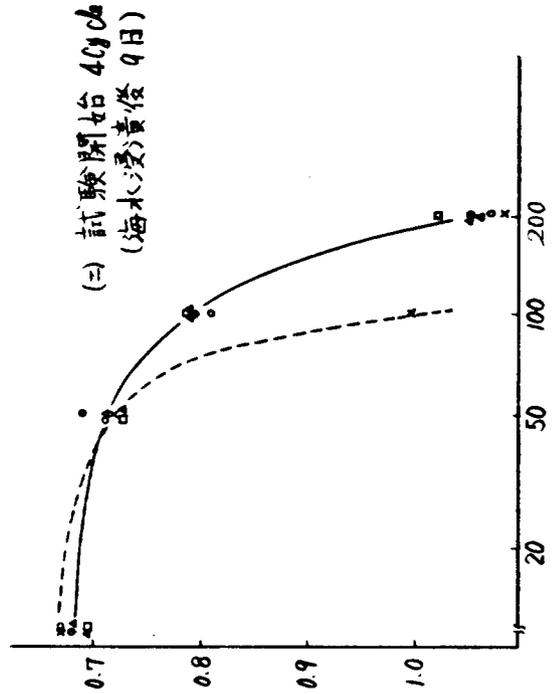
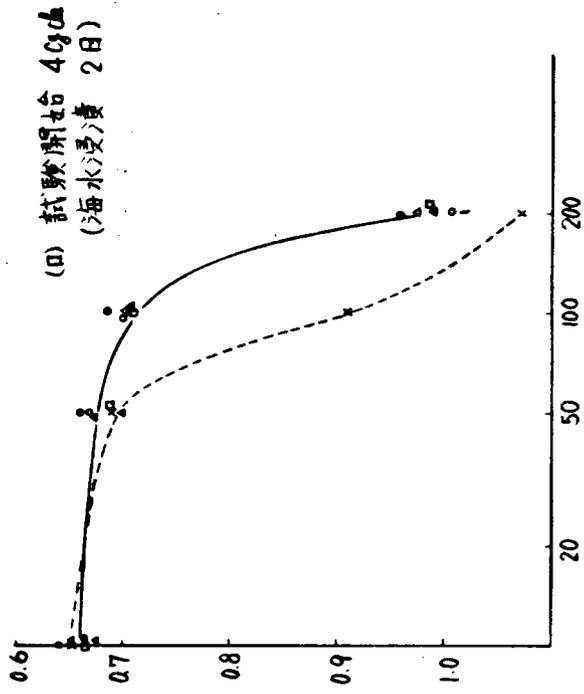
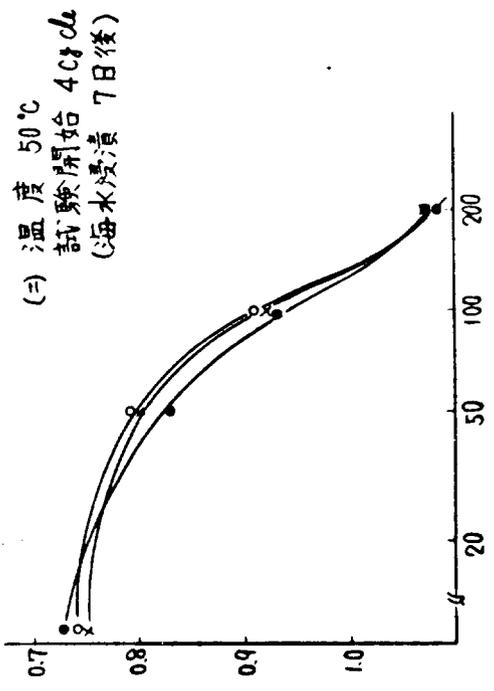
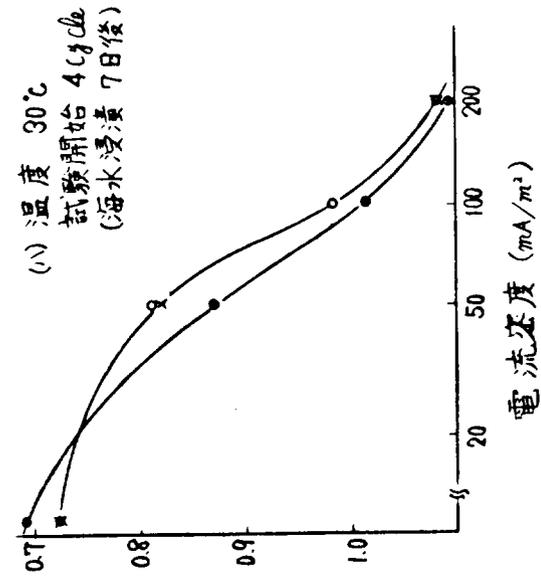
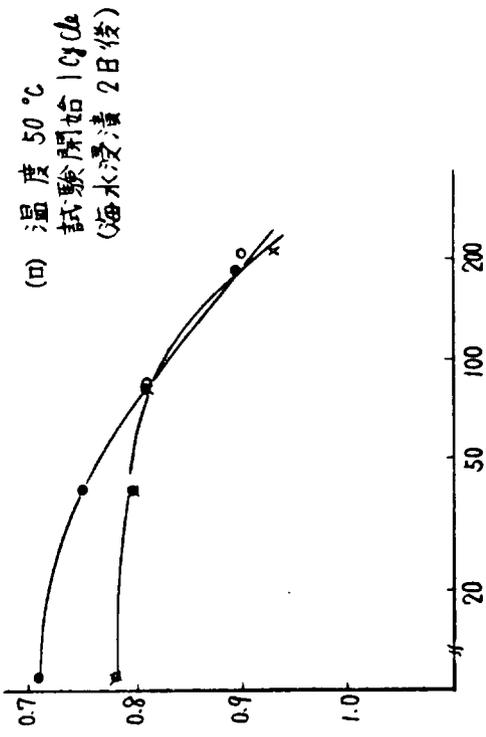
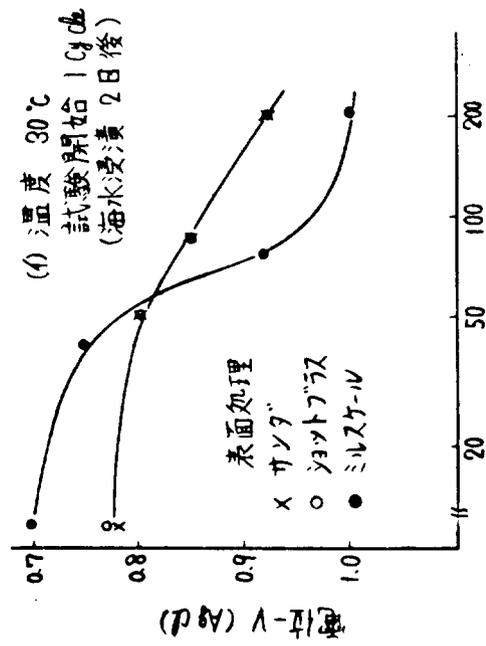


図 3. 1. 4 鋼材の繰返し応力付加条件における電流密度と電位



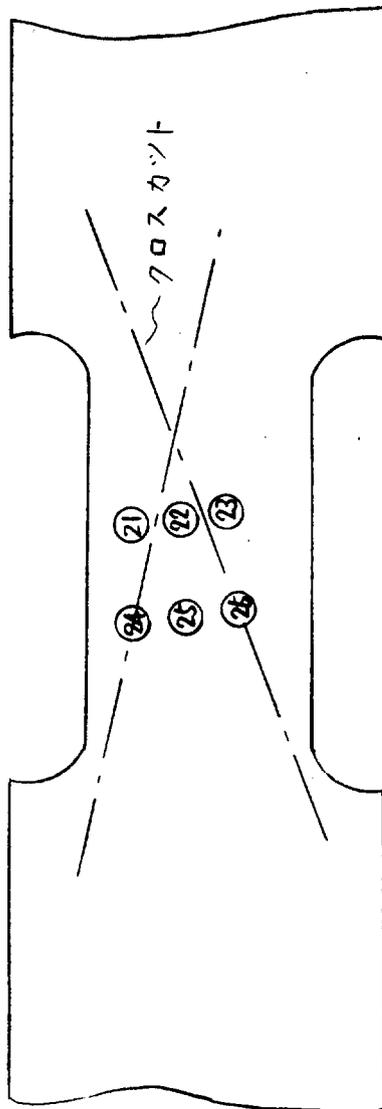
電流密度 (mA/m²)

図 3. 1. 2. 1 電流-電位曲線によらず鋼の表面状況の影響

表 3.2.1 塗装鋼のクロスカットによる腐食

mm/y 83日

試験位置 の種類	21	22	23	24	25	26
ひずみ 0 (塗装)	0.006	0.006	0.006	0.010	0.007	0.076
ひずみ 0.2% (塗装)	0.016	0.016	0.022	0.290	0.024	0.174
ひずみ 1.4% (塗装)	0.094	0.252	0.108	0.211	0.195	0.324
ひずみ 0 (裸材)	0.096	0.136	0.102	0.134	0.108	0.119



4. 実船調査および実船試験

実験室試験と平行して実船の防食方法と腐食防食状況を調査して両者の関連を求めるのを目的とし主として大型船のバラスト専用槽を中心として下記について調査を行なった。

- (1) 各種腐食環境条件での鋼材の腐食速度
- (2) 各種腐食環境条件下での電気防食の効果
- (3) " 浮遊性防食剤の効果
- (4) " (2)(3)の併用効果

4.1 対象船

タンカー5隻、鉾石船2隻を選び行なった。うち一隻は兼用槽に試験片を取付けたため試験片結果は半年経過の時点では求められていない。また、航路変更などのため専用槽取付試験片についても一部取付し不可能のものも出た。

各船の主要目、調査実施一覧を表4.1.1に示す。

4.2 タンク内鋼材の腐食速度調査

4.2.1 調査方法

タンク内鋼材表面をテストハンマーにて、さび落し後マイクロメーターにて板厚を測定した。

壁面については、同様処理後、Kメーター(クラウトクラマー社製)にて測定した。

測定位置は主としてタンク上部、中部、下部とし、高さによる腐食速度の相違を求めるのを主眼とした。また、試験片(大、小の2種類)を上記板厚測定位置近くに設定し一定期間後の重量減から腐食速度を求めた。

4.2.2 試験片

試験片は大型と小型(図4.2.1)を用いた。大型試験片は寸法 $250 \times 200 \times 6\text{mm}$ の黒皮付のものを $200 \times 180\text{mm}$ 片面を残してエポキシ樹脂にて被覆し、U型金具にて、絶縁板を介しタンク内鋼材所定の位置に取付けた。

小型試験片は $100 \times 50 \times 3\text{mm}$ のみがき鋼板を $50 \times 80\text{mm}$ 片面を残してエポキシ樹脂にて被覆し、大型試験片と同様に取付けた。

4.2.3 腐食速度の算出

(1) 侵食度

鋼材原厚: t (mm) 測定板厚 t' (mm) (マイクロメーターによる)

船 令: L (yrs)

とすれば、侵食度 (mm/yr) $= t - t' / 2L$

なお、壁面の片側が油槽または腐食速度の低い環境と考えられる場合には、片面のみの侵食度として求めた。

(2) 最大侵食度

試験片上で最大の孔食について孔食深さをダイヤルゲージにて測定し最大侵食度を求めた。

4.3 電気防食効果の調査

4.3.1 調査方法

(1) 板厚測定

4.2.1項にて求めた値は、電気防食を施工中のタンクであれば電気防食効果の目安となる。

(2) 試験片

3.3.2項の試験片に小型Zn陽極を結合させた試験片を3.3.2項の試験片に近接して設置し両試験片の重量差から電気防食効果を防食率として求めた。またZn消耗量および漲水率から試験片に対する平均防食電流密度を求めた。試験片の後処理はHcl15%（イピット3%入）浸漬、ブラッシング水洗秤量した。

(3) 防食率の算出

無防食試験片の重量減 W

電気防食せる試験片の重量減 W'

とすれば、防食率(%) = $(W - W') / W \times 100$

(4) 平均防食電流密度の算出

Zn 消耗量 : W (gr)

試験期間 : T (yr)

試験片表面積 : S (m²)

漲水率 B (%)

とすれば

$$\text{平均防食電流密度 (A/m}^2\text{)} = \frac{W \times 7.8}{T \times 8760 \times B \times S}$$

4.4 浮遊性防食剤の効果調査

肉眼による鋼材面の防食剤附着状況の調査と同時に使用条件の類似したタンクを選び、これに小型試験片を設置し、浮遊性防食剤の有無による試験片の重量差、腐食状況差よりその効果を調査した。防食効果の算出は4.3.1-(3)項と同様に行なった。防食剤にはPTC 163を使用した。

投入量は初期0.2Kg/m²以後0.1Kg/m²を標準とした。

4.5 浮遊性、防食剤と電気防食の併用効果

浮遊法防食剤を投入せるタンクと、これと条件の類似せるタンクにて、防食剤を投入しないタンクを選び、両タンクにて、電気防食効果を比較して併用効果を調査した。

試験片は小型を用いた。

4.6 調査測定結果

各船の調査結果は、各船ごとにまとめて示した。

4.6.1 ジャパンカンナ

4.6.6 おうすとらりあ丸

4.6.2 第2垂細垂丸

4.6.7 尾上丸

4.6.3 太和丸

4.6.4 菊和丸

4.6.5 日章丸

得られた結果を要約すれば次のごとくである。

(1) 調査船には、時期的差はあるがすべて電気防食を行なっているので、板厚測定による腐食速度はこの条件下の値を示す。これよりみると、デッキより5m下区間BHD側の腐食速度が特に高い。

船種で比較すれば、鉾石船では0.03~0.125mm/yrタンカーでは0.06~0.41mm/yrを示した。

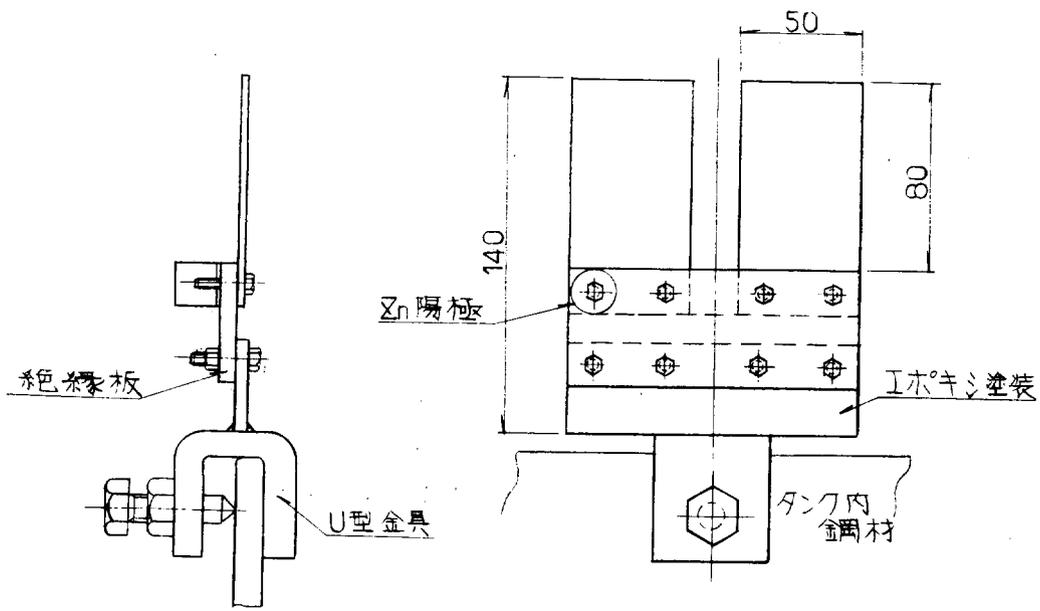
兼用槽の水平カルカーダーでは孔食状の腐食が多く0.41mm/yrに達するものもみられた。

- (2) 試験片により求めた、侵食度と実船の厚測定より求めた、侵食度とはかなりよい一致を示した。しかし、ミルスケール付試験片(大型)では、後処理の際のミルスケールの影響が大きいので(特に防食試験片)試験期間は少くとも一年とすべきである。
- (3) 試験片により電気防食効果を調査した結果、上部5m区間では、デッキ裏に近づくにつれ、防食率は大きく低下するが、孔食防止にはかなりの効果がみられた。
- (4) 浮遊性防食剤(PTC63)の効果は、日章丸、菊和丸において調査した。日章丸では期間一年のうち投入は2航海のみにとどまったため4-S/4-Pタンクの差が余り明瞭ではないが、菊和丸の測定結果では防食率の高上、侵食度の低下にその効果が認められた。特に電気防食と併用した場合は孔食防止に有効な傾向が認められた。
- (5) 鉾石船での試験片試験結果より、重垂取付のものでは水平取付けのものに比し、防食効果が高上することが認められた。逆に所要防食電流密度は水平取付のものが垂直よりも、大きい値を示した。
- (6) 板厚測定計器としては、K-メーターおよびマイクロメーターを使用した。現場状況によってはマイクロメーターの方が確度が高い場合が多い。

表 4.1.1 調査船一覧表

船種	船名	D/W	船令(年)	調査実施日	試験片		測定ヶ所
					200×180×6t	100×50×3t	
タンカ	ジャパンカナ	215,725	2.8	S.47-4-29		32(16)	20×2
	第2亜細亜丸	66,631	8.84	S.47-6-10	24(0)	14(0)	25×3
	太和丸	76,934	9.2	S.47-5-25	16(0)		10×3
	菊和丸	111,789	2.5	S-47-10-30		(16) 24(0)	17×2
	日章丸	139,328	10.0	S.47-9-7	24(0)	(19) 10(0)	20×3
鉾石船	おうすとらりあ丸	74,196	6.0	S.47-7-26	28(8)		20×2
	尾上丸	51,113	8.67	S.47-5-17	28(8)		21×3

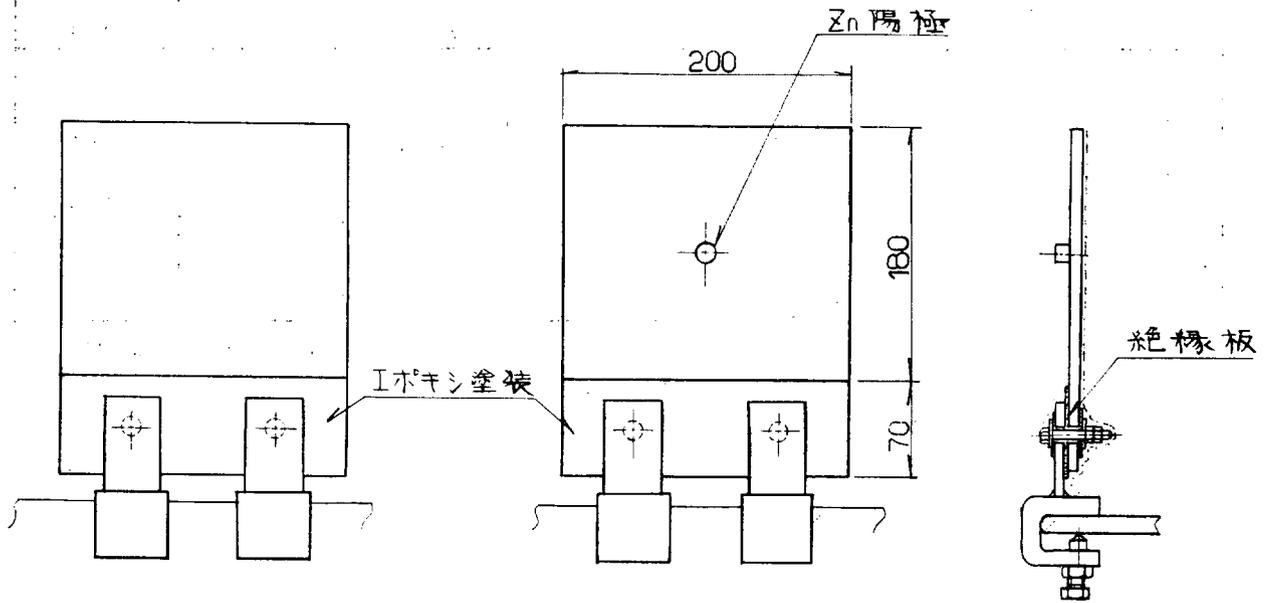
() 47年度取外し試験片数



小型試験片寸法図

無防蝕試験片

電気防蝕試験片



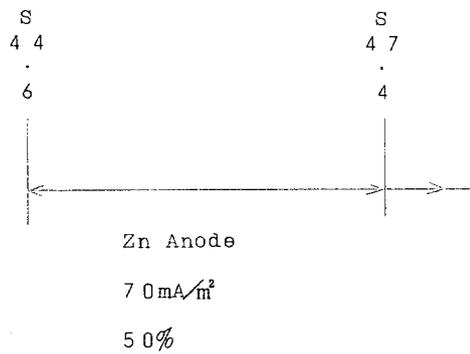
大型試験片寸法図

図4.2.1 試験片寸法図

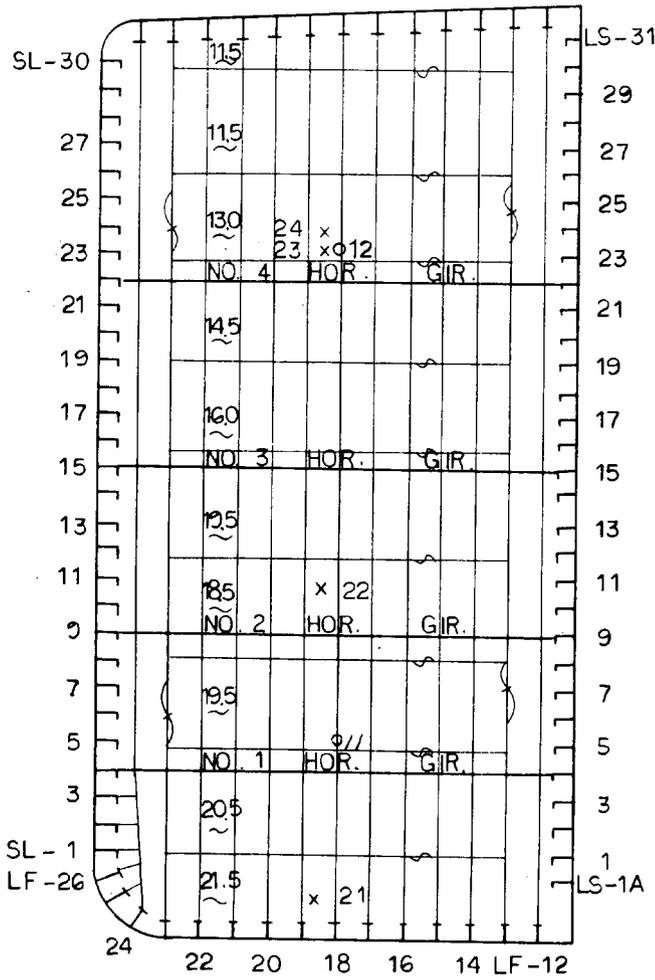
表 4. 6. 1

船 名	ジャパンカンナ		船 種	タンカー					
竣工年日	S・44-7		満載排水量						
No	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	図	表
3.1	腐食速度	No.3-S P.W.B.T. No.6-P P.W.B.T.	○	○	S.44.7~S.47.4 2.8年			1.2	1.2 3.4
3.1	電気防食	No.3-S P.W.B.T.	○		試験片 S.47.4.29 } S.47.10.22 0.56年		1.6	1.2	5
3.2	浮遊性防食剤								

調査タンク防食経過



TRANS B^{HD} (Fr. 74 SEC.)
(LOOKING AFT)



測定尺	原板厚 (mm)		測定値 (mm)	mm/Yr.
▽ STIFF (t ₁)	11	M	25.44	
		K	25.8	
	12	M	25.22	0.0636
		K	25.9	
B ^{HD} PL (t ₂)	21	K	22.2 ~ 22.3	
	22	K	19.8 ~ 19.9	
	23	K	13.2 ~ 13.6	
			13.8 ~ 14.0	
24	K			

M → マ17口メ-9-
K → K.メ-9-

VERT^L. STIFF
(W. 590x12.7 F. 150x25.4)

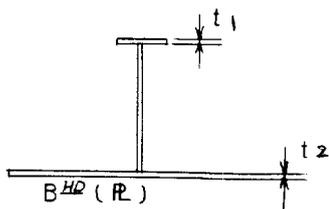
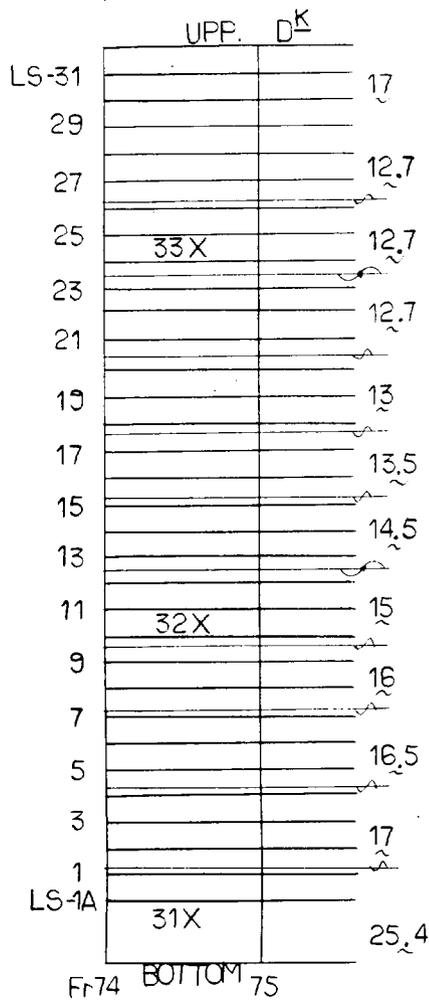


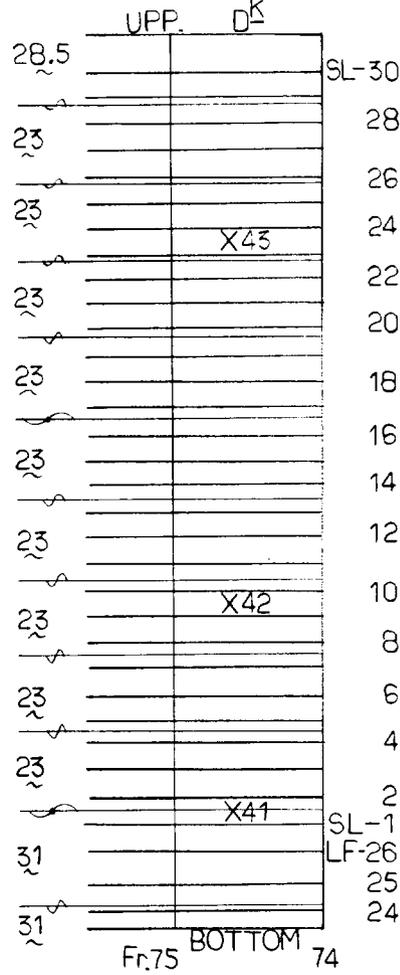
図 4. 6. 1. 1

船令 283号
ジャパンカンナ
NO. 3-S. TANK
板厚測定
S47-4-28

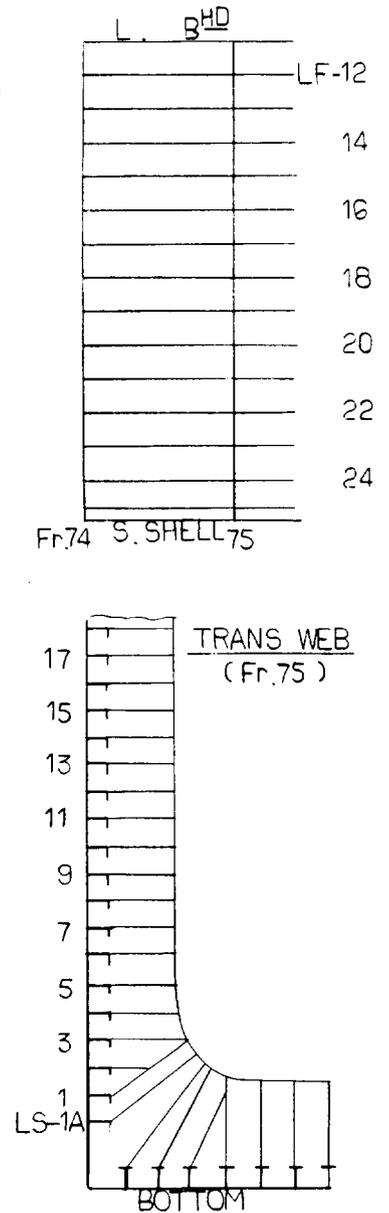
LONG L B^{HD}



SIDE SHELL
(LOOKING S.SIDE)



BOTTOM



測定点	原板厚 (mm)	測定値	mm/Yr
L. B ^{HD}	31	25.4	K 26.0 ~ 26.2
	32	15	K 15.8 ~ 16.0
	33	12.7	K 13.0 ~ 13.0
S. SHELL	41	31	K 31.3 ~ 31.8
	42	23	K 24.0 ~ 24.3
	43	23	K 24.0 ~ 24.4

K → Kメーター

船令 2.83年

ジャパンカンパ

NO. 3 - S. TANK

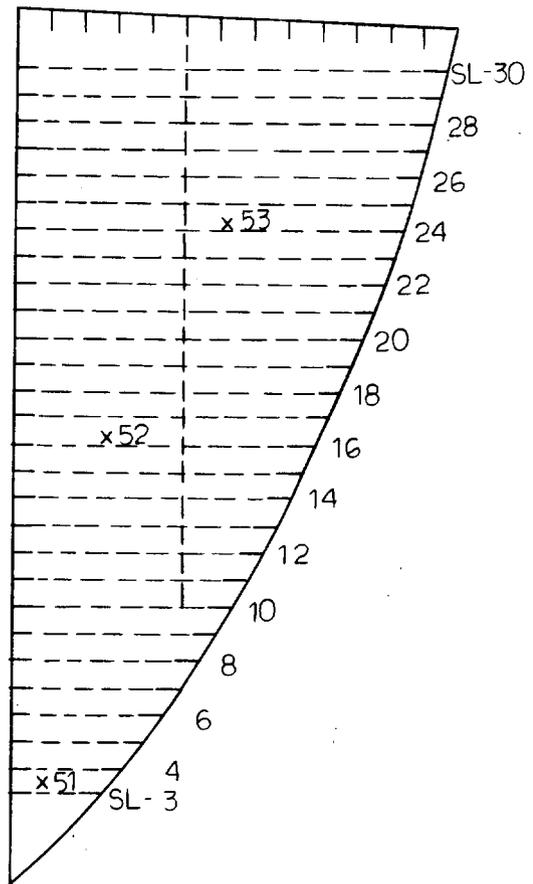
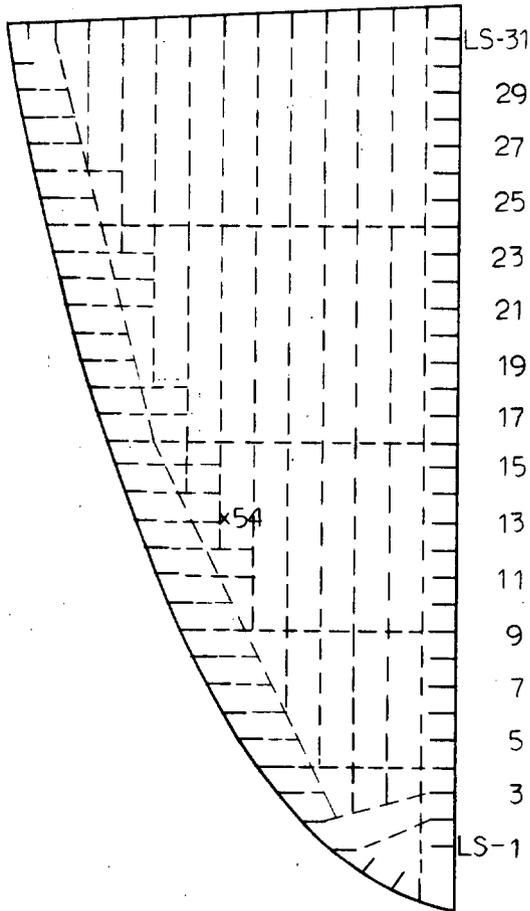
板厚測定

S 47 - 4 - 28

図 4. 6. 1. 2

TRANS. B^{HD} (Fr.53)

TRANS. B^{HD} (Fr.51)
(LOOKING AFT)



測定表		原板厚 (mm)		測定値 (mm)	mm/Yr.
T. B ^{HD}	51		K	200 ~ 20.3	
	52		K	14.0 ~ 14.2	
	53		K	14.5 ~ 14.9	
	54		M	16.34	
			K	16.8	

K → K.x-9-
M → マ170x-9-

船令 283年

ジャパンカント

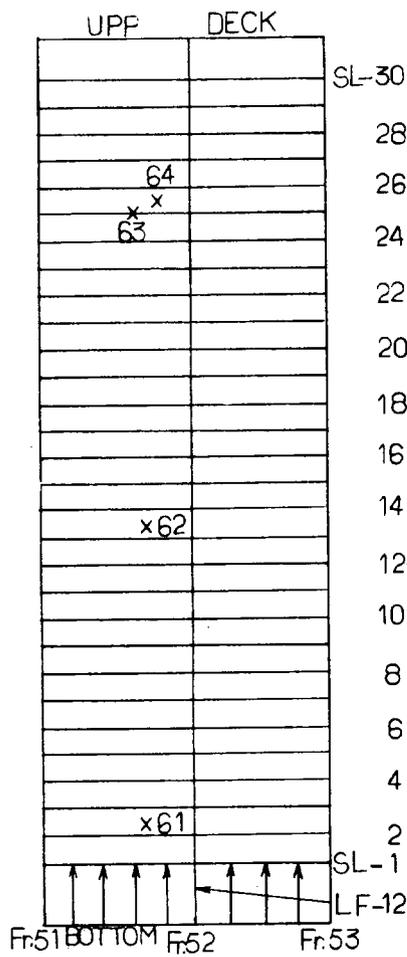
NO.6-P.TANK

板厚測定

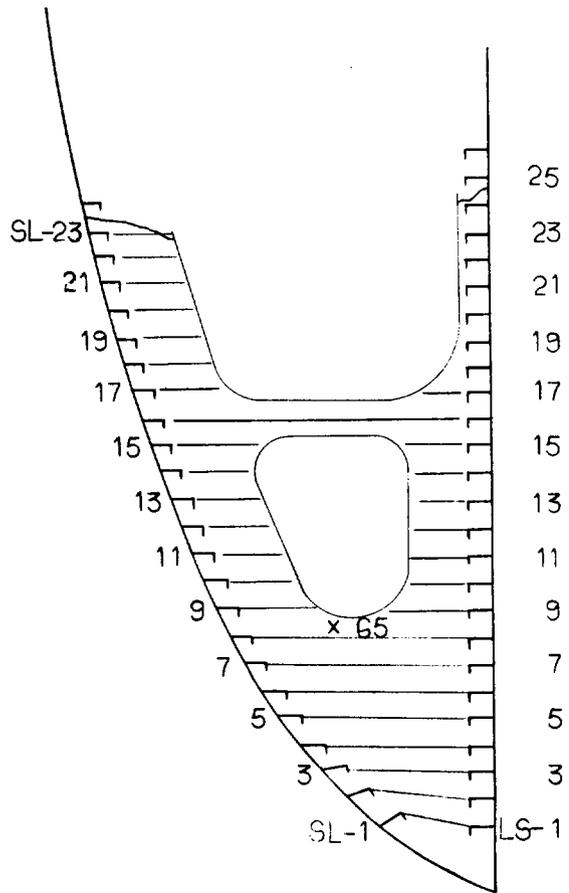
S47-4-28

図 4.6.1.3

SIDE SHELL



TRANS. WEB



測定点	t (mm)		測定値 (mm)	mm/Yr
S. SHELL	61	K	210~21.5	
	62	K	21.0~21.2	
	63	K	19.1	
		M	17.3	
T. WEB	65	M	12.84	
		K	14.3~14.7	

K → Kメーター
M → Mマイクロメーター

船令 2.83年

ジャパンカント

No. 6 - P. TANK

板厚測定

S47-4-28

図 4. 6. 1. 4

表 4.6.1.1 ジャパンカンナ試験片試験結果

No.	重量減 (g)	Zn. No.	重量減 (g)	侵食度 (mm/Yr.)	防食電流密度 (mA/m ²)	防食率 (%)
9	06197	9	1.3011	0.016		
10	116498			0.301	46.9	94.7
15	05316	15	1.2482	0.014		
16	102720			0.265	45.1	94.8
29	1.2631	29	1.6787	0.032		
30	134641			0.347	60.5	90.6
31	1.8112	31	2.0919	0.047		
32	117800			0.304	75.5	84.6
33	05177	33	0.7615	0.013		
34	6.0952			0.157	27.6	91.5
21	00842	21	0.0263	0.002		
22	00834			0.002		
23	04758	23	0.0912	0.013	コロージョン	
24	04846			0.013	バトラー	塗布試験片
35	02070	35	0.0580	0.005		
36	01755			0.005		

- 註) 1. 試験片露出面積 88.32 cm²
 2. 試験期間 0.559年
 3. 試験片取付 すべて水平

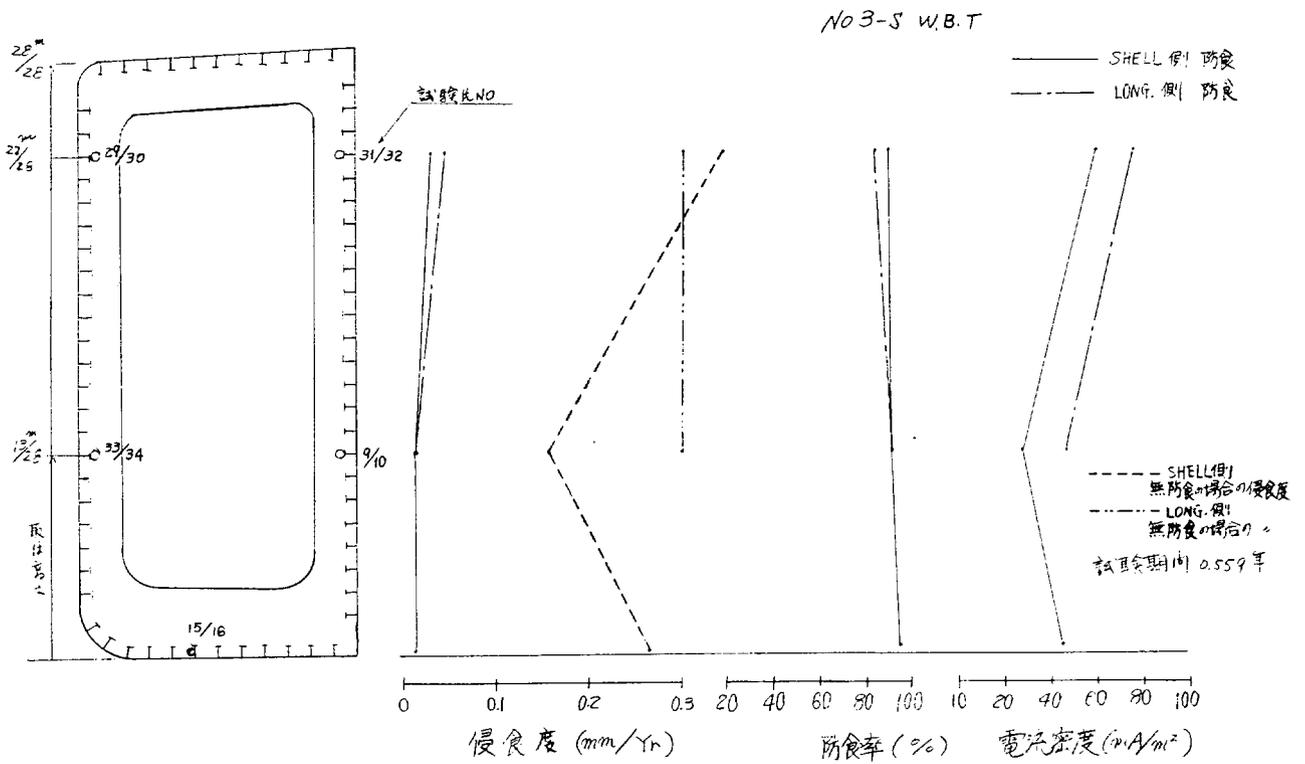


図 4.6.1.5 ジャパンカンナ試験片試験結果

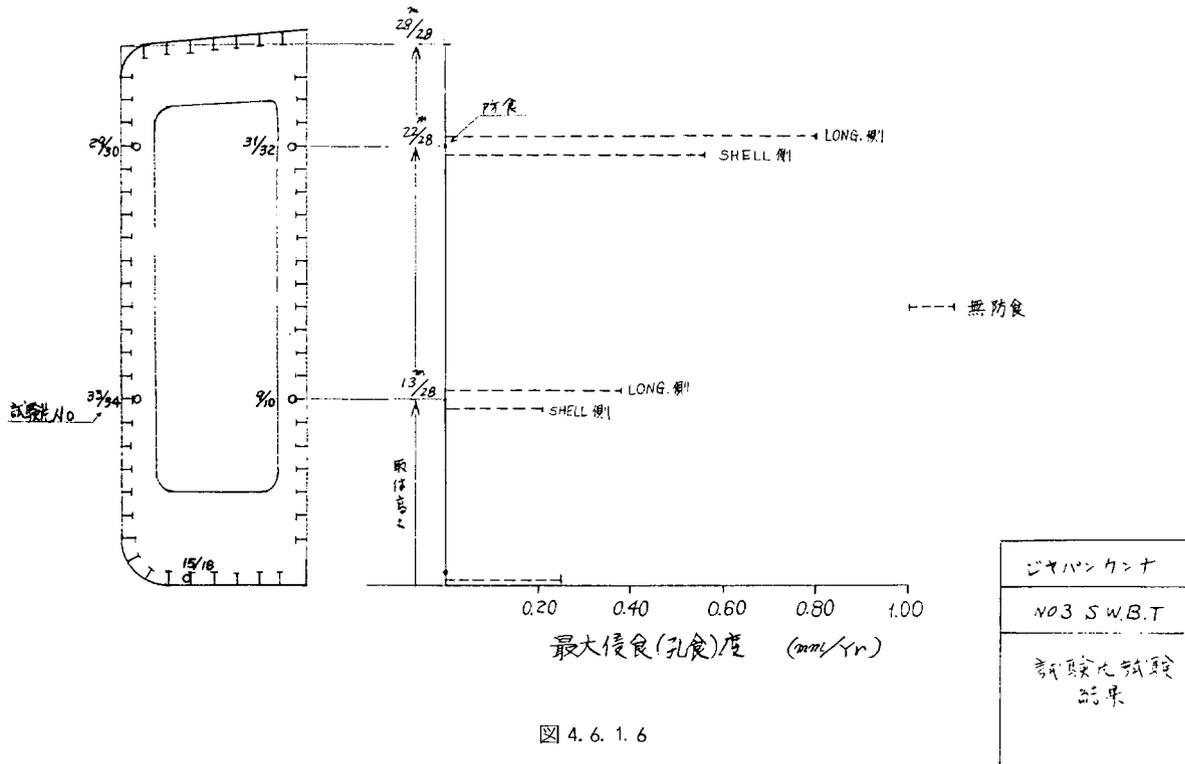
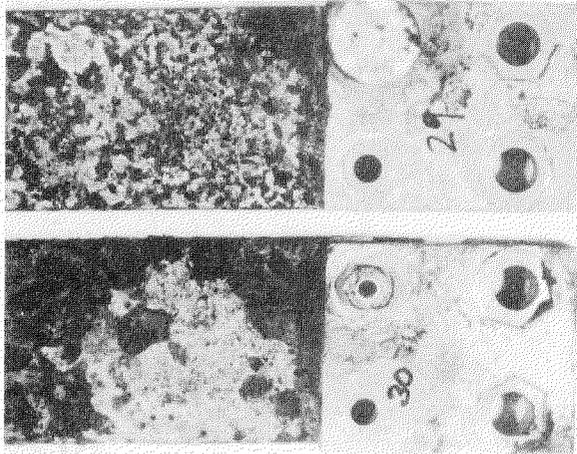
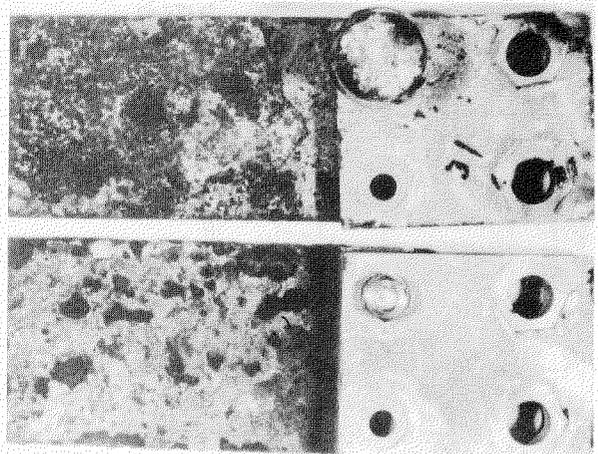


図 4.6.1.6

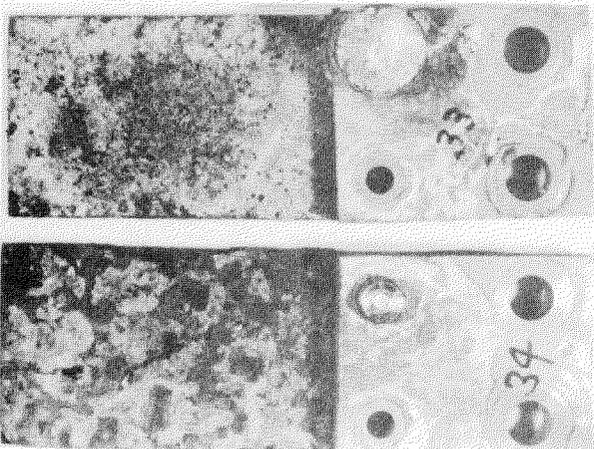
SHELL 側上部 (29/30)



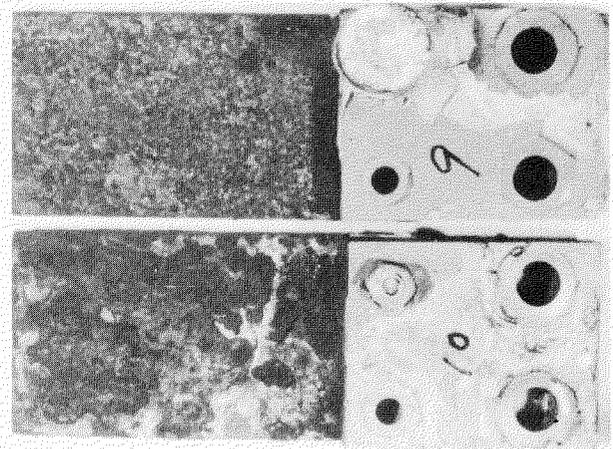
B^{HD} 側上部 (31/32)



SHELL 側中部 (33/34)



B^{HD} 側中部 (9/10)



BOTTOM (15/16)

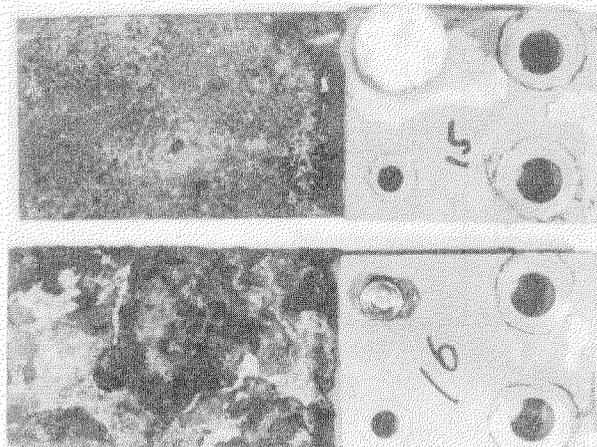
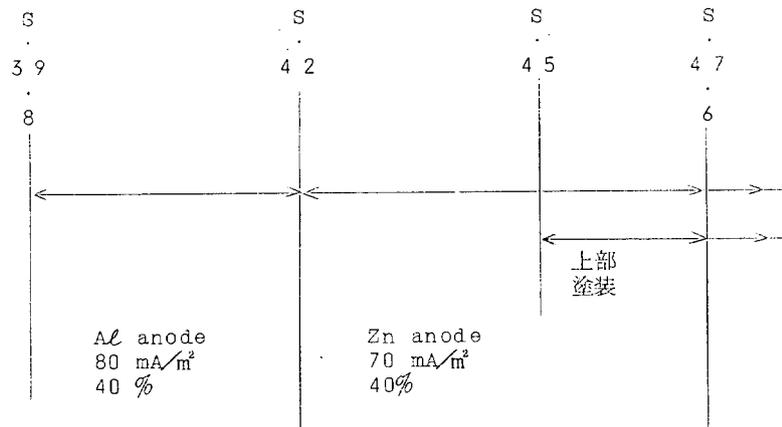


図 4.6.1.7 ジャパンカナ (No.3-S) に取付けた試験片 (小型)

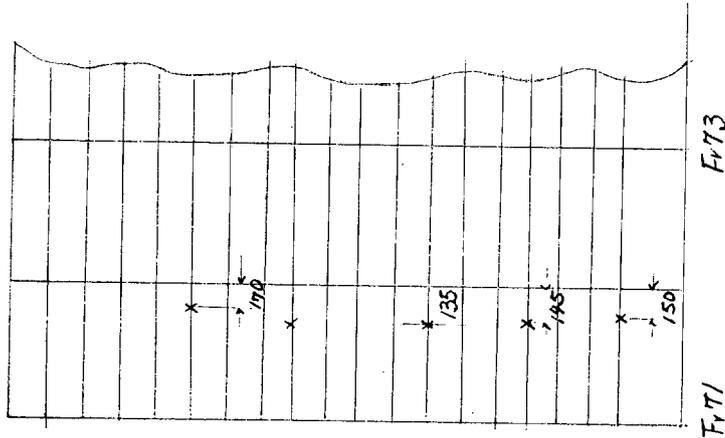
表 4. 6. 2

船名	第2亞細亞丸		船種	タンカー					
竣工年月	S 3 9 - 8		満載排水量						
No.	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	図	表
3. 1	腐食速度	No. 2 - S PWBT	○	○	S 3 9 . 8 2 S 4 7 . 6 8. 8 4 年				1. 2. 3.
3. 1	電気防食	No. 2 - S PWBT	○		S 4 7 . 6 ~ 継続中	○	○		
3. 2	浮遊性防食剤								

調査タンク防食経過



SIDE SHELL



mm/yr	
max	min
0.252	0.065
0.087	0.021
0.055	0.014
	0.029
0.017	0.005

t (mm)
7.55
10.85
9.63 (12)
10.47
11.62
10.91 (12)
11.30
11.76
11.03 (12)
19.03
18.49
19.16 (19)
24.91
25.03
24.70 (25)

船令 8.84 Y15

オ2 アジア丸
NO.2-S.W.B.T
板厚測定結果
S.47-6-10

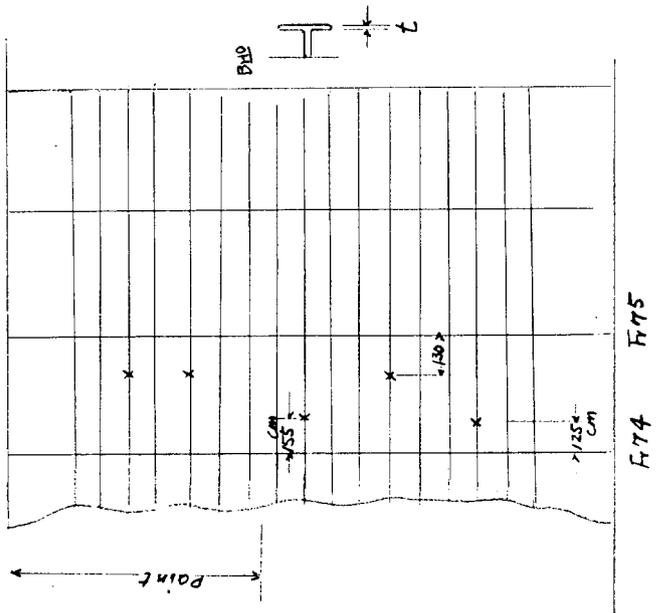
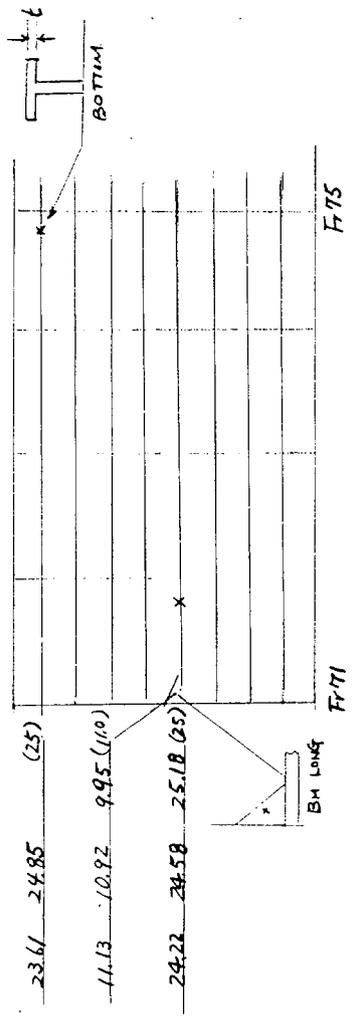
4.6.2.1

BOTTOM

t (mm)

max	min
0.0786	0.0085
0.059	0.0045
0.044	0.024

BRACKET →



t (mm)

max	min
0.226	0.194
0.195	0.175
0.188	0.140
0.184	0.162
0.108	0.069

40令 884 YRS

才 Z P 了 丸
NO.2 - S.W.B.T
板厚測定結果
S47-G-10

LONG BHD

図 4.6.2.2

TRANS WEB
FY 74

t (mm)

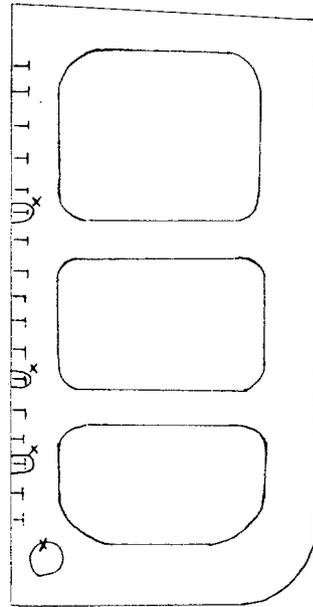
mm/yr	
max	min
0.097	0.087
0.122	0.063
0.140	0.096
0.031	0.063

9.28 9.39 9.47 (11)

10.78 10.89 9.84 (12)

9.71 9.52 10.30 (12)

12.88 13.45 12.9 (14)



mm/yr	
max	min
0.198	0.088
0.136	0.034
0.271	0.078
0.238	0.083
0.071	0.022
0.220	0.112
0.075	0.039
0.014	0.011

21.50 22.73 23.45 (25)

15.40 13.60 14.10 (16)

13.43 14.63 11.21 (16)

7.8 10.54 10.29 (12)

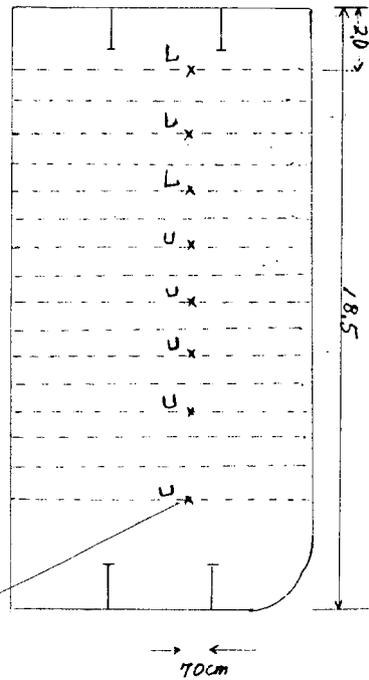
10.75 11.11 11.62 (12)

13.65 14.02 12.11 (16)

14.67 15.32 15.28 (16)

18.75 18.80 (19)

T. Base (Fr 71)



才2.7=7丸
NO.2-S.W.B.T
板厚測定結果
S47-6-10

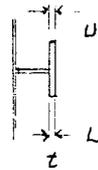
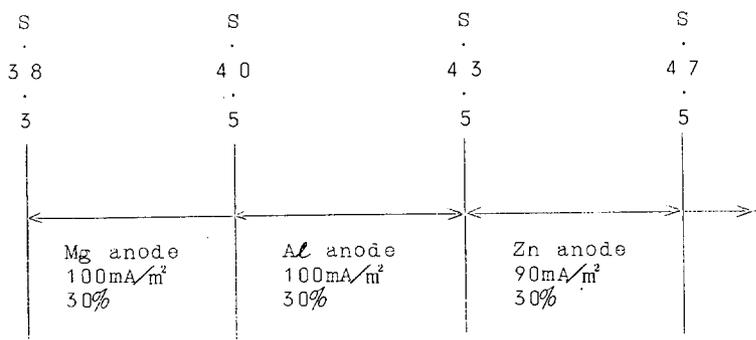


図 4. 6. 2. 3

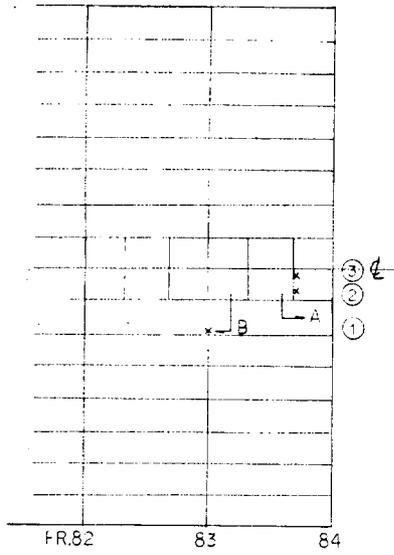
表4.6.3

船名	太和丸		船種	タンカー					
竣工年月	S 3 8 - 3		D/W	7 5, 7 1 9					
No.	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	図	表
(2)	腐食速度	3-C C.O.T.	○	○	S 3 8 - 3 9.2年 S 4 7.5				1.2
(2)	電気防食	3-C C.O.T.			S 4 7.5 ~ 継続中		0		
(3)	浮遊性防食剤								

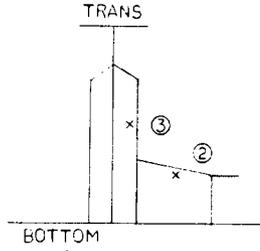
調査タンク防食経過



ECTTOM

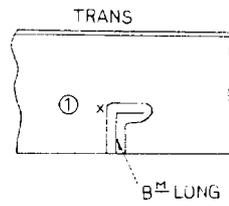


A-視



測定 NO.	測定厚(七吋)		侵食率(%)	
	()原厚		max	min
1.	12.31	12.48(12.70)	0.021	0.012
2.	12.46	12.59(12.70)	0.013	0.006
3.	12.12	12.39(12.70)	0.032	0.017

B-視

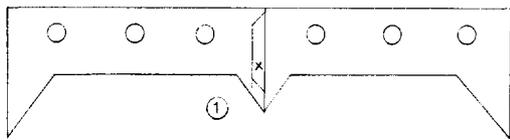


船令 9.2Yrs

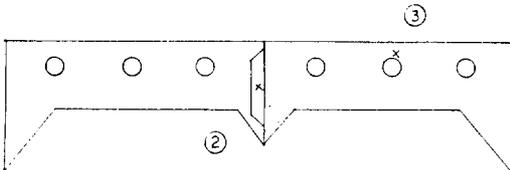
太和丸
3-CENTER TANK
板厚測定結果(1)
S.47-5-25

図 4.6.3.1

HOR. GIR 上経 (FR.84)

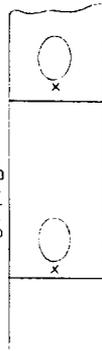


HOR. GIR 中経 (FR.84)



F.WD

O.T. BHD



H.G 上経

H.G 中経

測定 NO.	測定厚(七吋)		侵食率(%)	
	()原厚		max	min
1.	8.45	8.98(12.70)	0.231	0.202
2.	8.15	10.27(12.70)	0.247	0.132
3.	5.15	8.40(12.70)	0.410	0.234
4.	11.75	12.05(12.70)	0.052	0.035
5.	12.33	12.60(12.70)	0.020	0.005

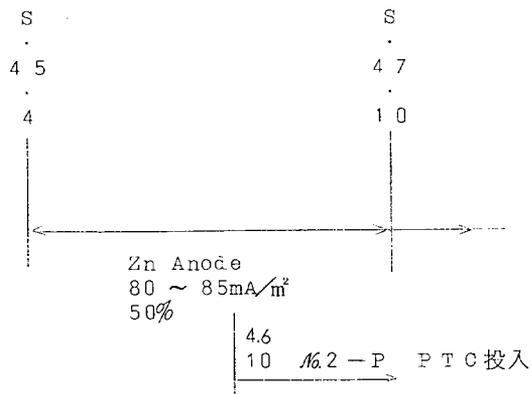
太和丸
3-CENTER TANK
板厚測定結果(2)
S.47-5-25

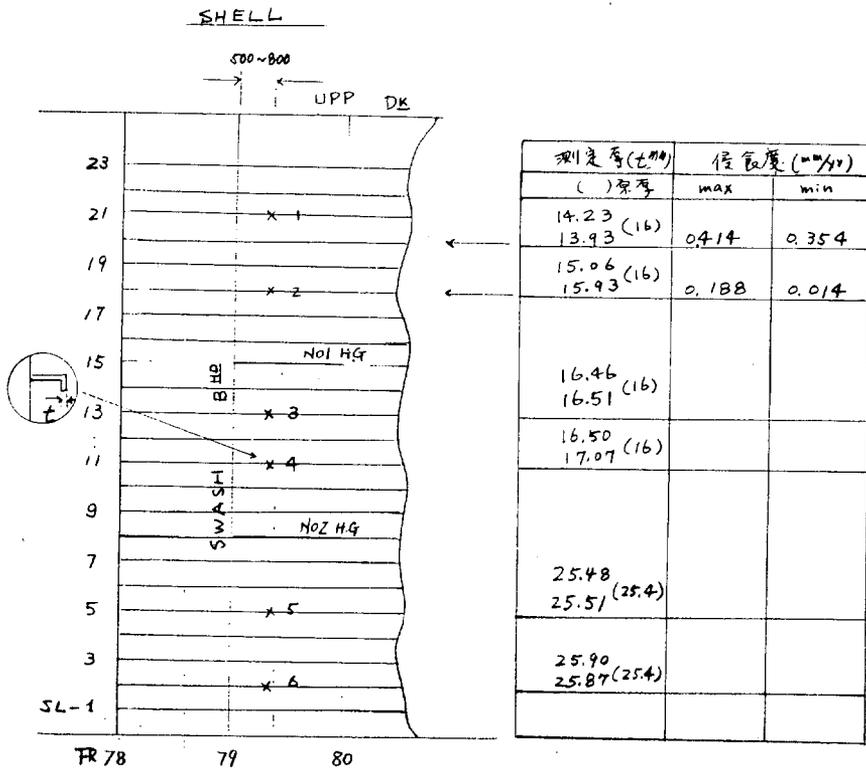
図 4.6.3.2

表 4. 6. 4

船名	菊和丸		船種	タンカー					
竣工年月	S 4 5 - 4		満載排水量						
No.	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	図	表
3. 1	腐食速度	No. 2 - P P.W.B.T.	○	○	S 4 5. 4 } 2. 5年 S 4 7. 1 0				1. 2
3. 1	電気防食	No. 2 - P P.W.B.T. F.P.T.	○		S 4 6. 1 0. 3 1 } 1. 0年 S 4 7. 1 0. 3 1		1 6	1. 2 1. 2 3. 4	3
3. 2	浮遊性防食剤	No. 2 - P P.W.B.T.	○		同上		1 6	1. 3	3

調査タンク防食経過

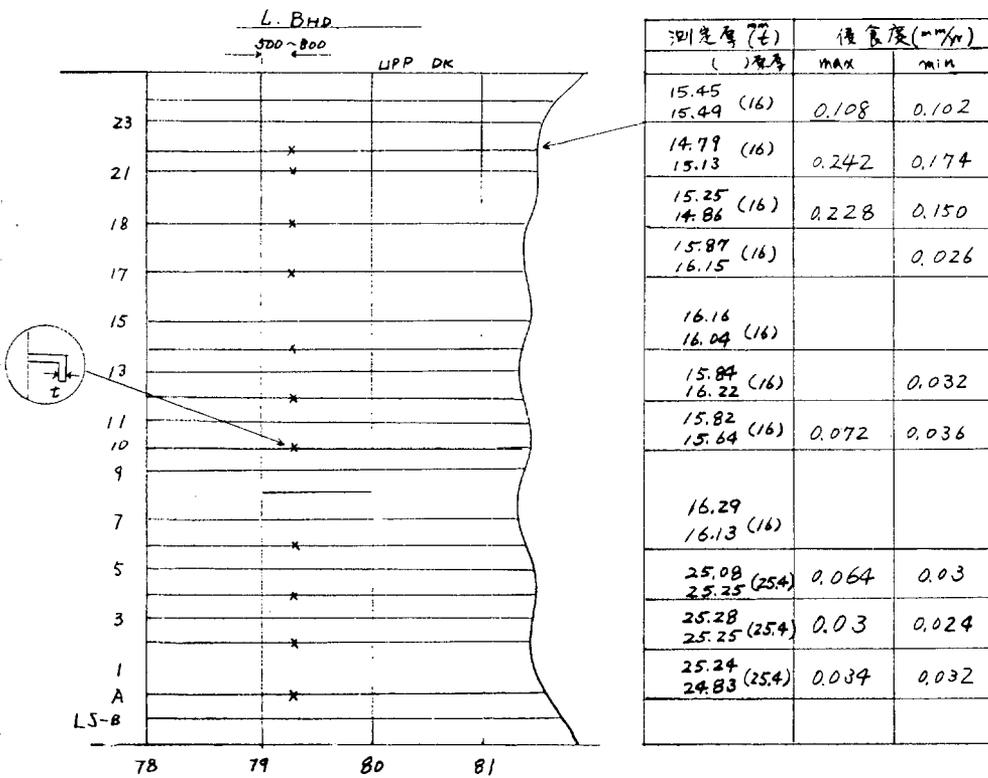




船令 2.5Y

菊和丸
NO2-P.W.B.T
板厚測定結果
S 47.10.30

☒ 4.6.4.1



船令 2.5Y

菊和丸
NO2-P.W.B.T
板厚測定結果
S 47.10.30

☒ 4.6.4.2

表4.6.4 菊和丸試験片試験結果

№	重量減 (g)	Zn Ⅿ	重量減 (g)	侵食度 (mm/Yr)	防食電流密度 (mA/m ²)	防食率 (%)
151	229158	1	5.0715	0.330	102.2	25.7
152	308519			0.444		
153	320363	2	5.7886	0.461	116.8	
154	31.9340			0.460		
155	133763	3	4.9176	0.193	99.2	54.2
156	291866			0.420		
159	11.0170	5	4.7139	0.159	95.0	47.5
160	209650			0.302		
167	15036	9	2.7802	0.022	56.0	93.5
168	229424			0.339		
169	0.7788	10	1.9743	0.011	39.8	96.1
170	20.1313			0.290		
(405) [*]	26966			0.388		
(405)	147839			0.213		
(406)	1.7369			0.025		
(407)	233002			0.336		

註) 1. 試験片露出面積 88.32cm²(外形寸法100×50×3t)
 2. ()^{*}: 発錆試験片 さび重量約2.168g(2枚の平均値)
 3. 試験期間 1.0年

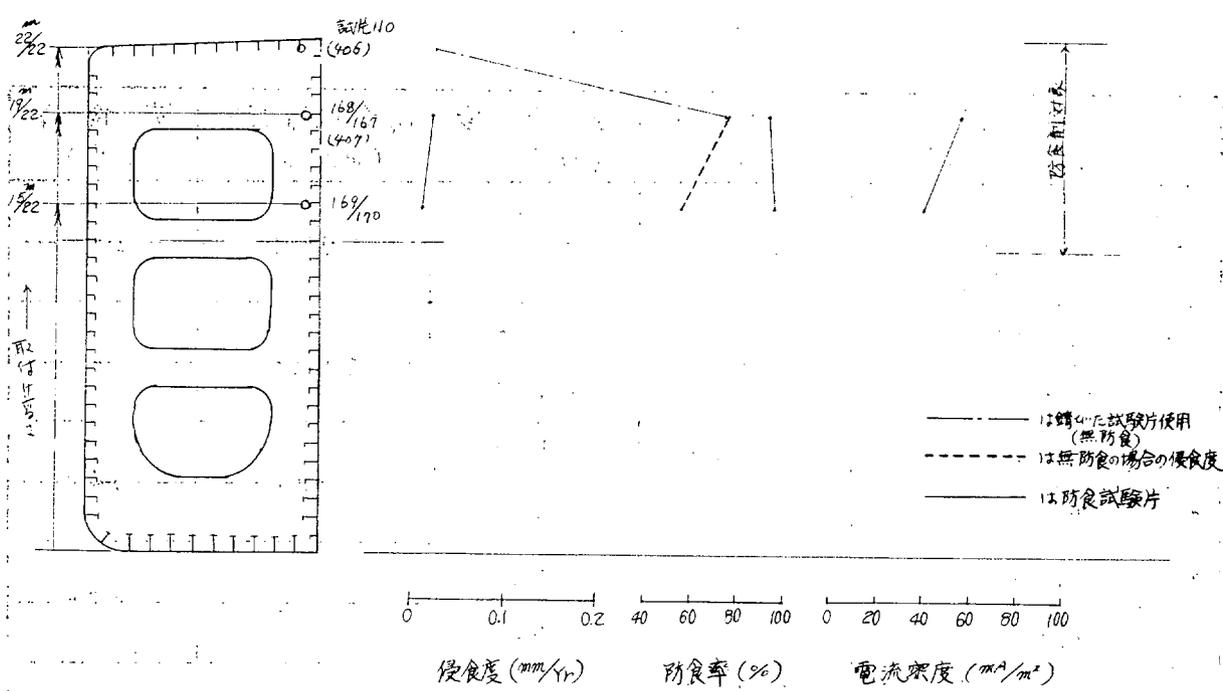


図 4.6.4.1 菊和丸試験片試験結果
 試験期間 1.0 Yr
 No. 2 P.W.B.T.

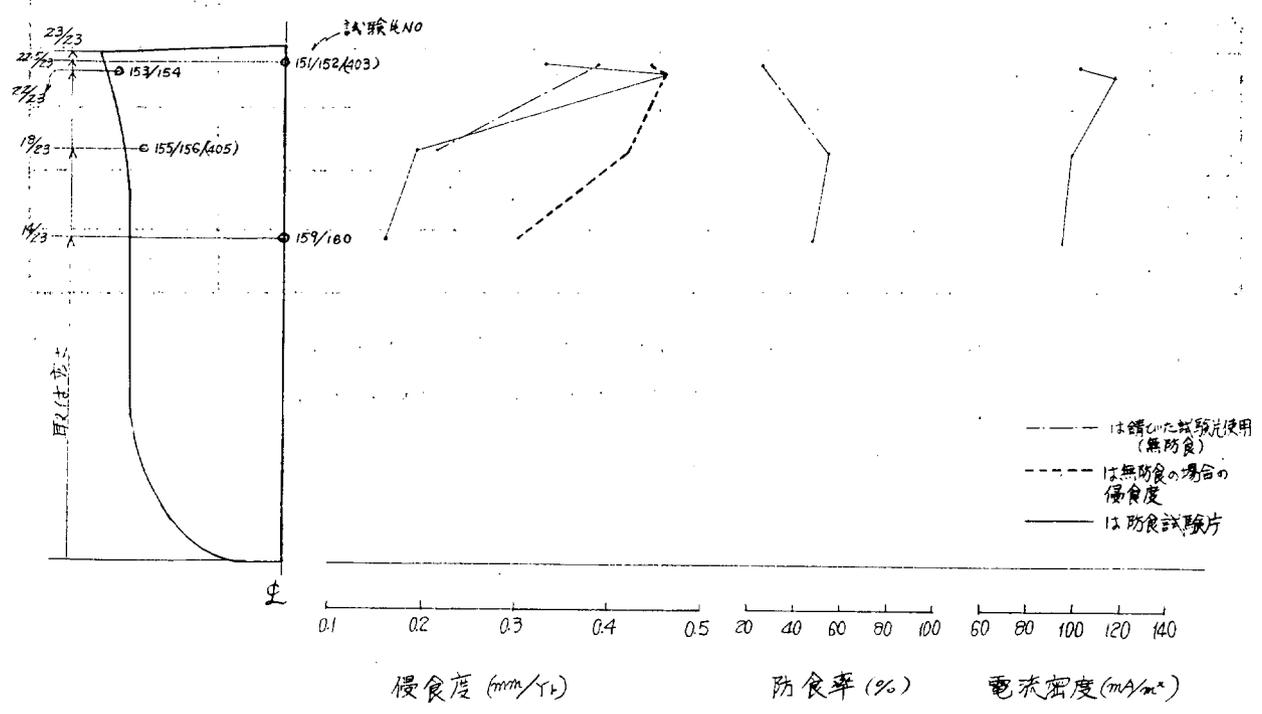


図 4.6.4.2 菊和丸試験片試験結果
 試験期間 1.0 Yr
 F.P.T.

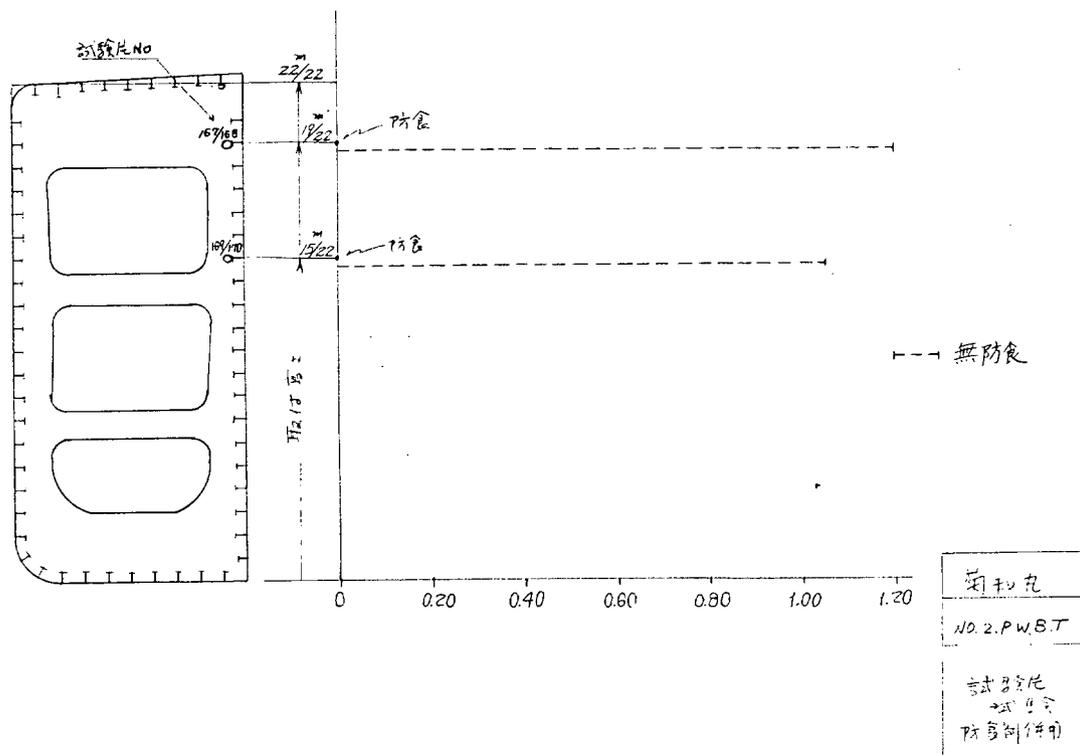


图 4.6.4.3 最大侵食 (孔食) 度 (mm/Yr)

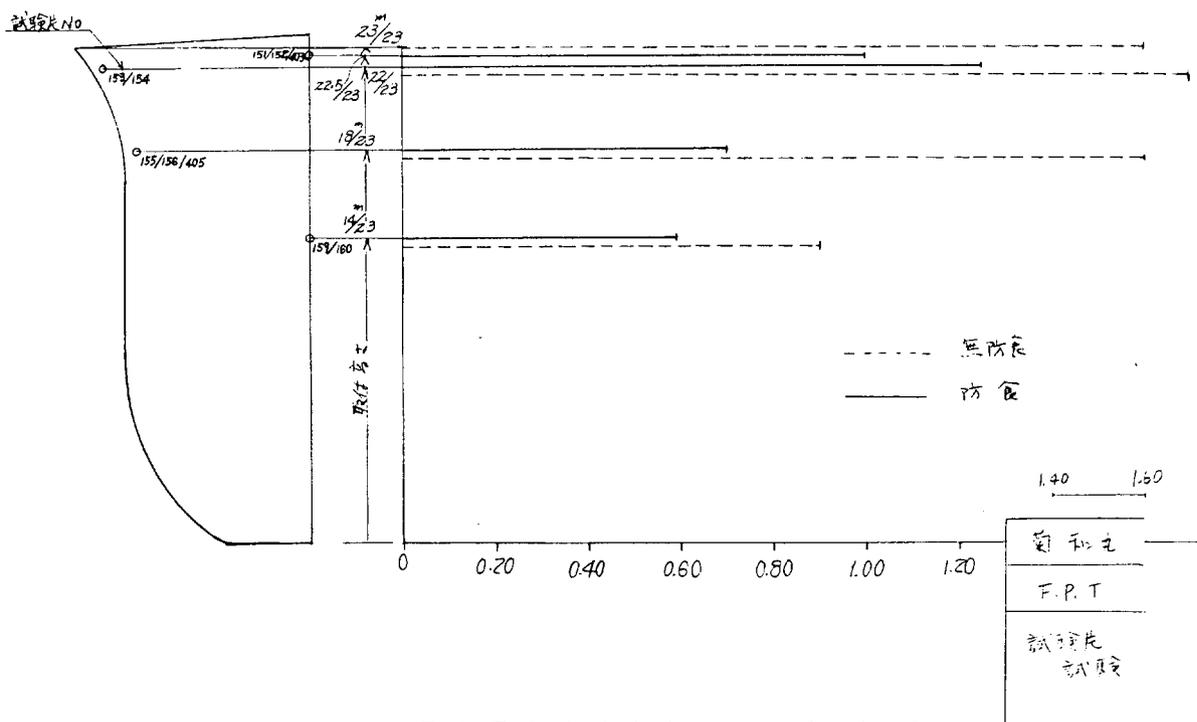
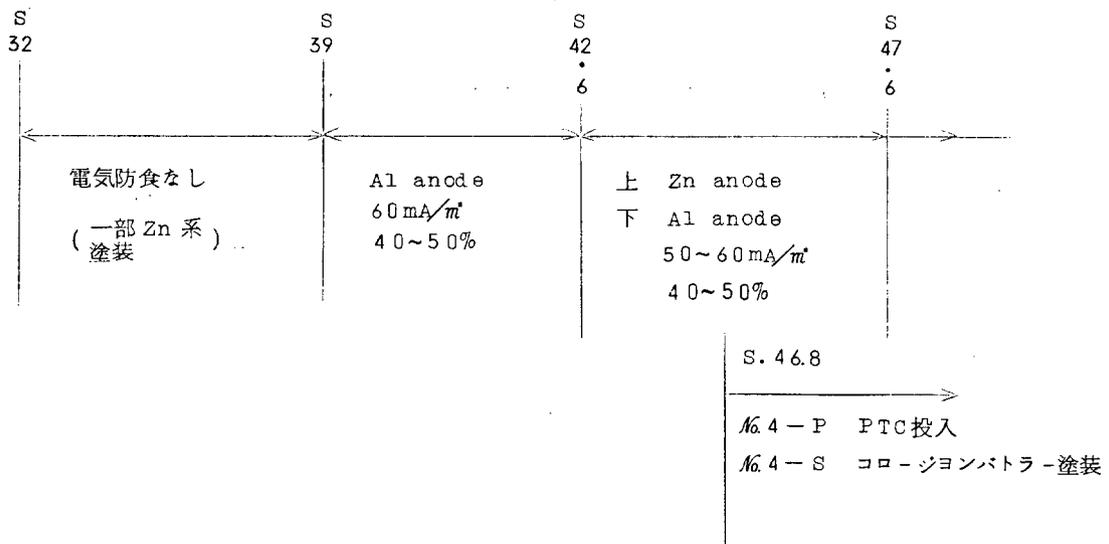


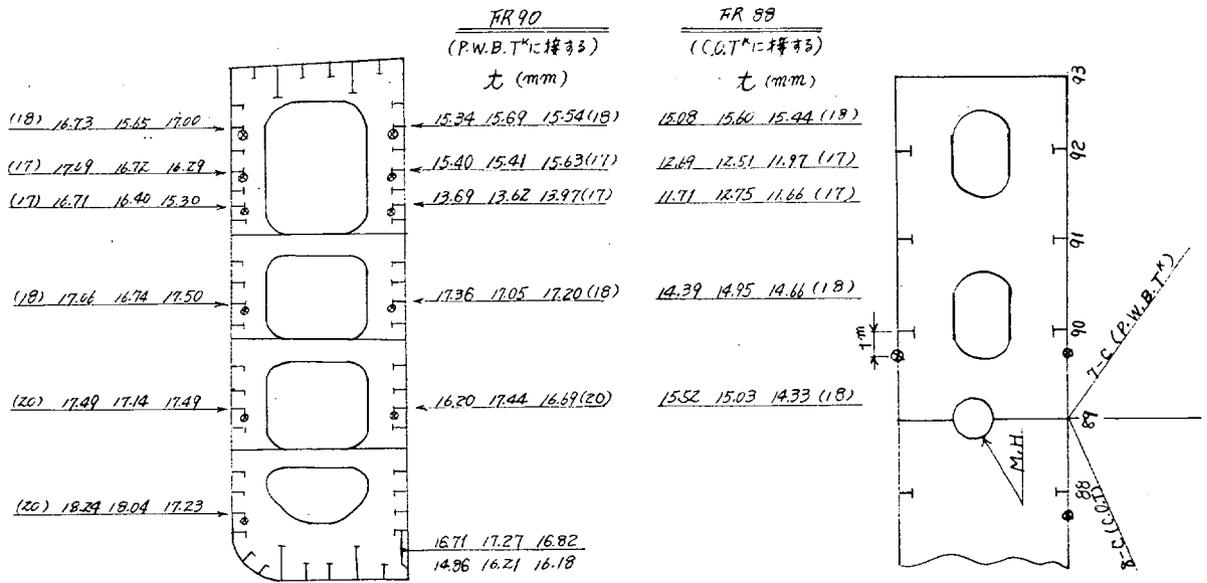
图 4.6.4.4 最大侵食 (孔食) 度 (mm/Yr)

表 4. 6. 5

船 名		日 章 丸		船 種		タンカ ー			
竣工年月		S. 37-10		満載排水量					
No	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	図	表
3.1	腐食速度	No.4-P P.W.B.T	○	○	S. 37.10 } 10.0年 S. 47.9				1.2
3.1	電気防食	No.4-P No.4-S P.W.B.T	○		S. 46.8.8 } 1.08年 S. 47.9.7 S. 46.9.16 } 1.0年 S. 47.9.7		1.9	1.2 3.4 5.6	3
3.2	浮遊性防食剤	No.4-P P.W.B.T	○					1.2 5.6	3

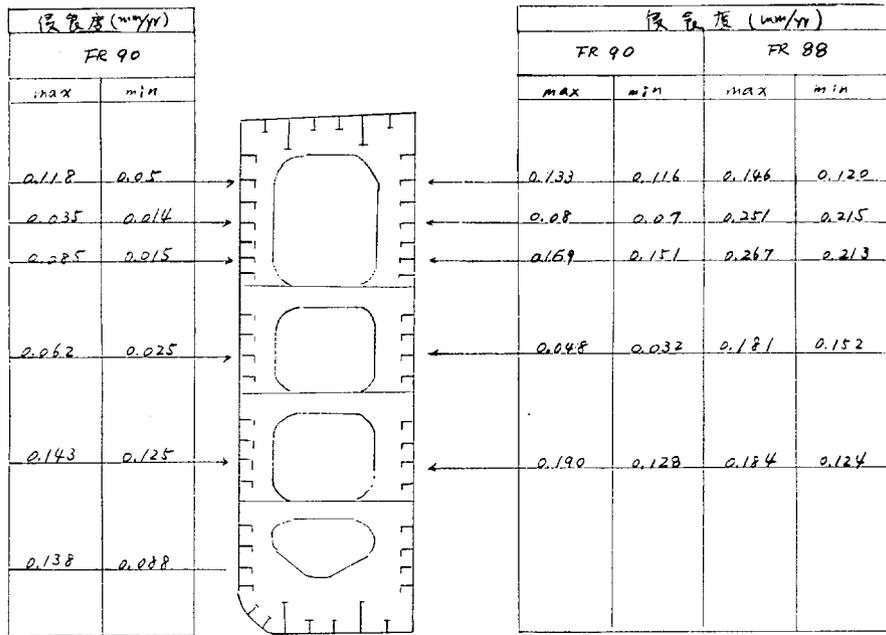
調査タンク防食経過





日章丸
4-P TANK
板厚測定値
S47-9-7

図 4. 6. 5. 1



昭和 10 年

日章丸
4-P TANK
板厚測定値 (浸食率)

図 4. 6. 5. 2

表4.6.5.1 日章丸試驗片試驗結果

試驗期間 1.08yr

試驗片 No	侵食度 (mm/yr)		防食率 (%)		平均防食電流密度 ($\frac{mA}{m^2}$)	
	4-P	4-S	4-P	4-S	4-P	4-S
①	0.091	0.268	42.3	—	38.3	68.4
②	0.090	0.047	—	4.2	75.7	47.9
③	0.104	0.200	52.4	67.9	45.0	73.0
④	0.112	0.144	74.7	33.5	51.0	60.8
⑤	0.030	0.159	64.0	75.0	25.4	58.2

試驗期間 1.0 yr

試驗片 No	侵食度 (mm/yr)		防食率 (%)		平均防食電流密度 ($\frac{mA}{m^2}$)	
	4-P	4-S	4-P	4-S	4-P	4-S
①	0.139	0.323	48.1	31.1	48.0	83.5
②	0.248	0.232	51.0	60.0	60.8	75.7
③	0.191	0.215	70.9	72.5	56.7	67.3
④	0.174	—	70.0	—	61.2	98.9
⑤	0.171	0.178	79.7	79.8	50.7	29.7

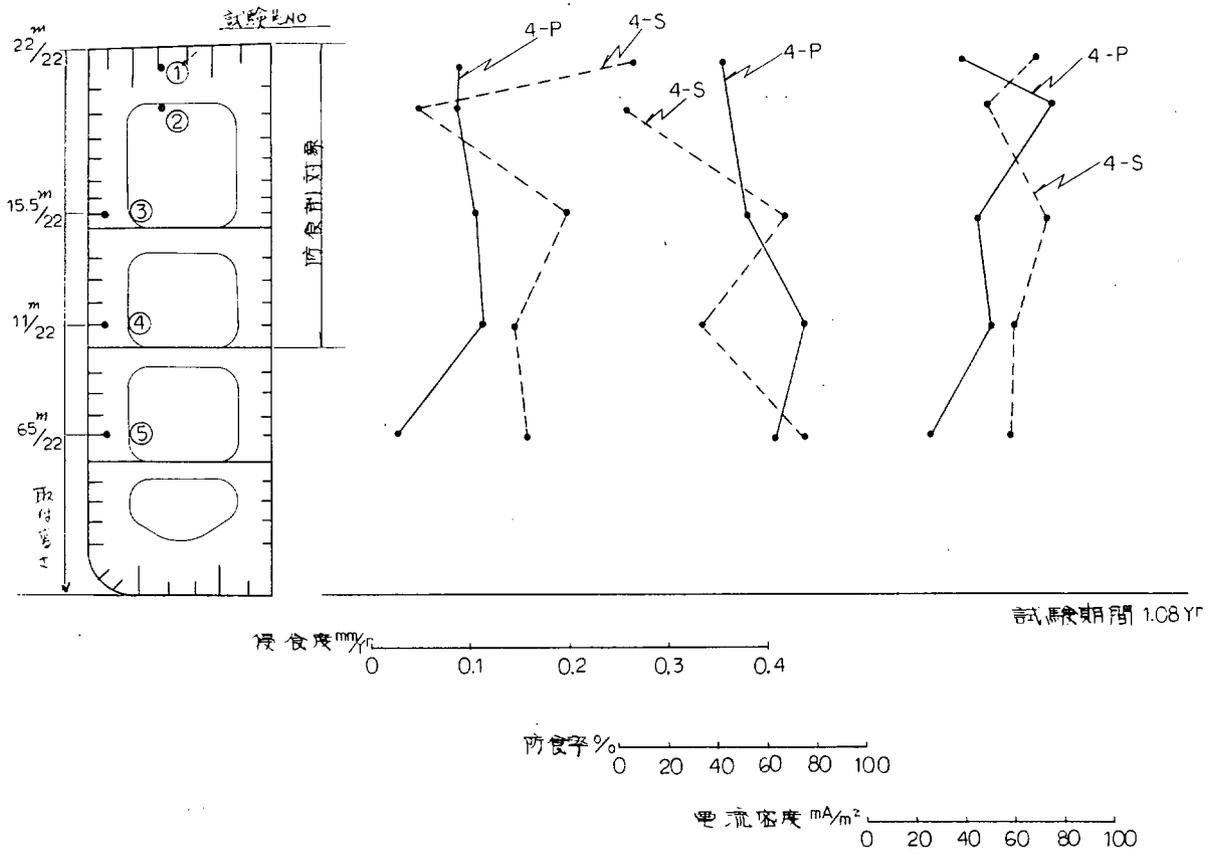


圖 4.6.5.3 日章丸試驗結果

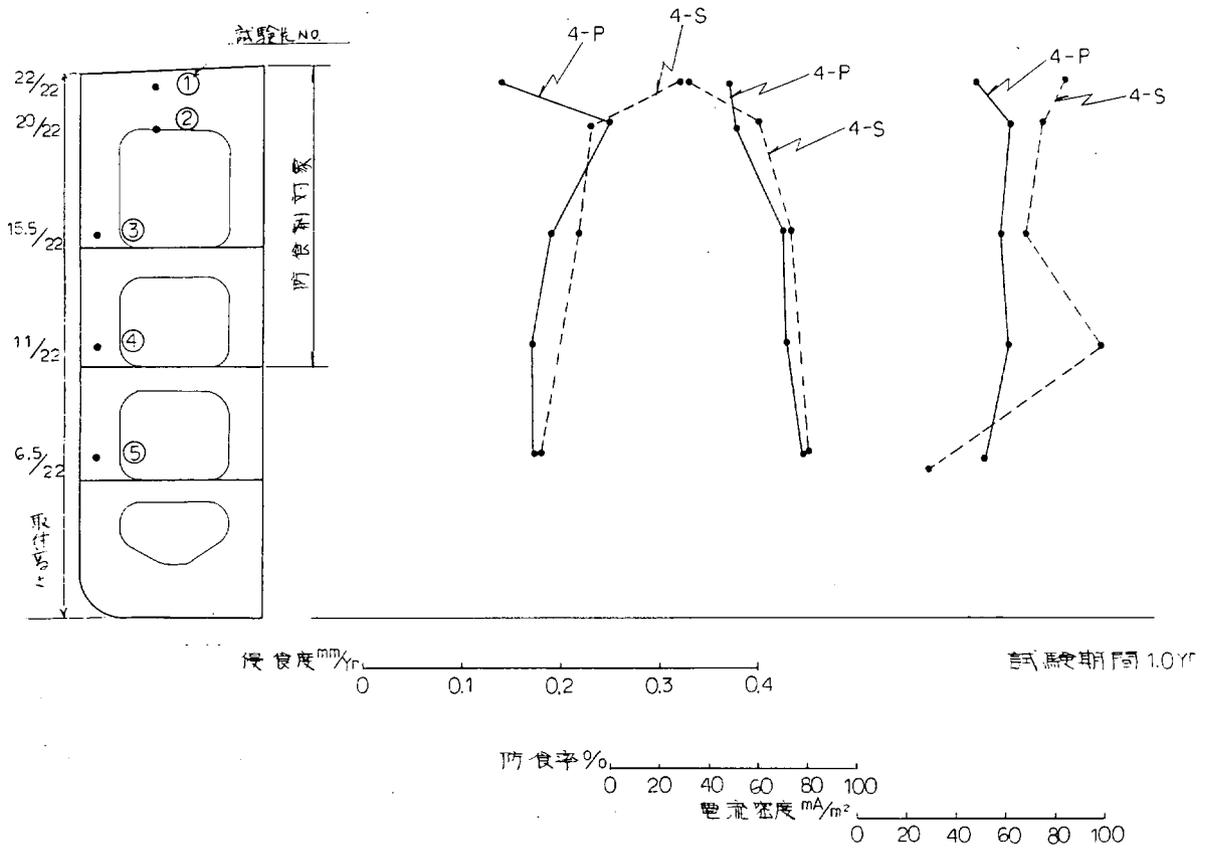


圖 4.6.5.4 日章丸試驗片試驗結果

No.4 WING TANK
Fr.89 SWASH B^{HD}(S)

(試 驗 期 間 1.08Yr)

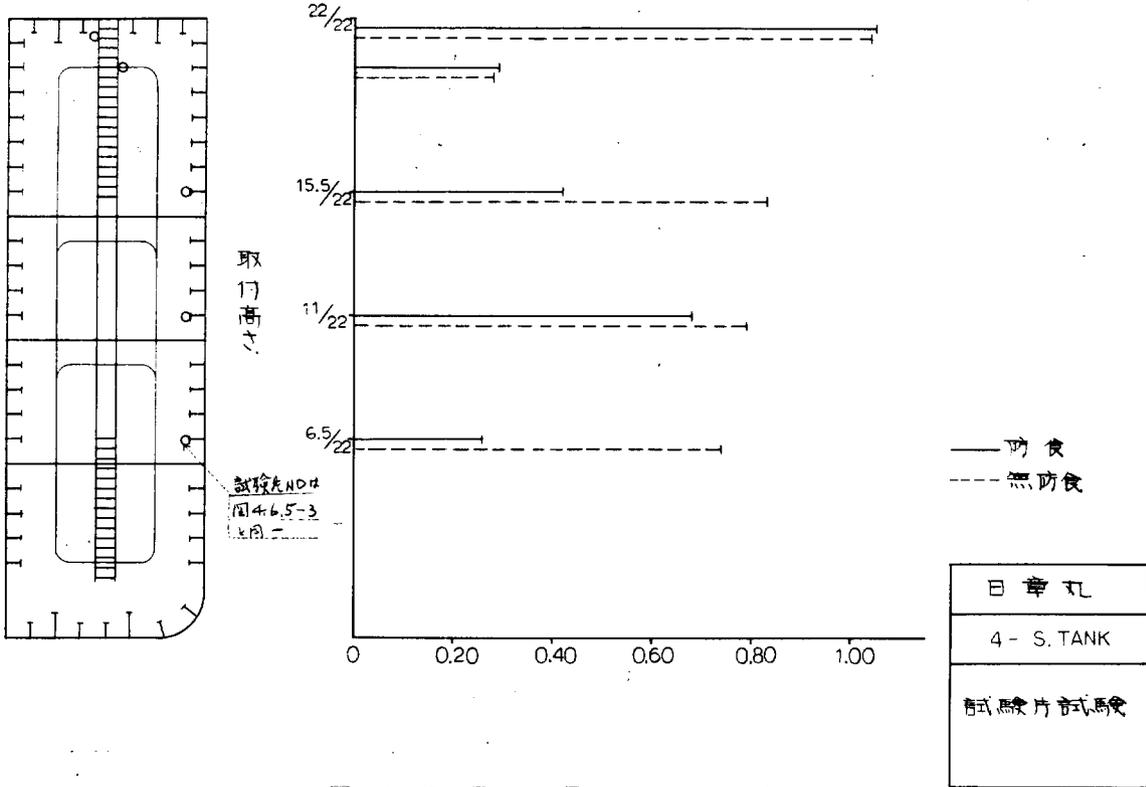


図 4. 6. 5. 5 最大 侵 食 度 (mm/Yr)

No.4 WING TANK
Fr.89 SWASH B^{HD}(S)

(試 驗 期 間 1 Yr)

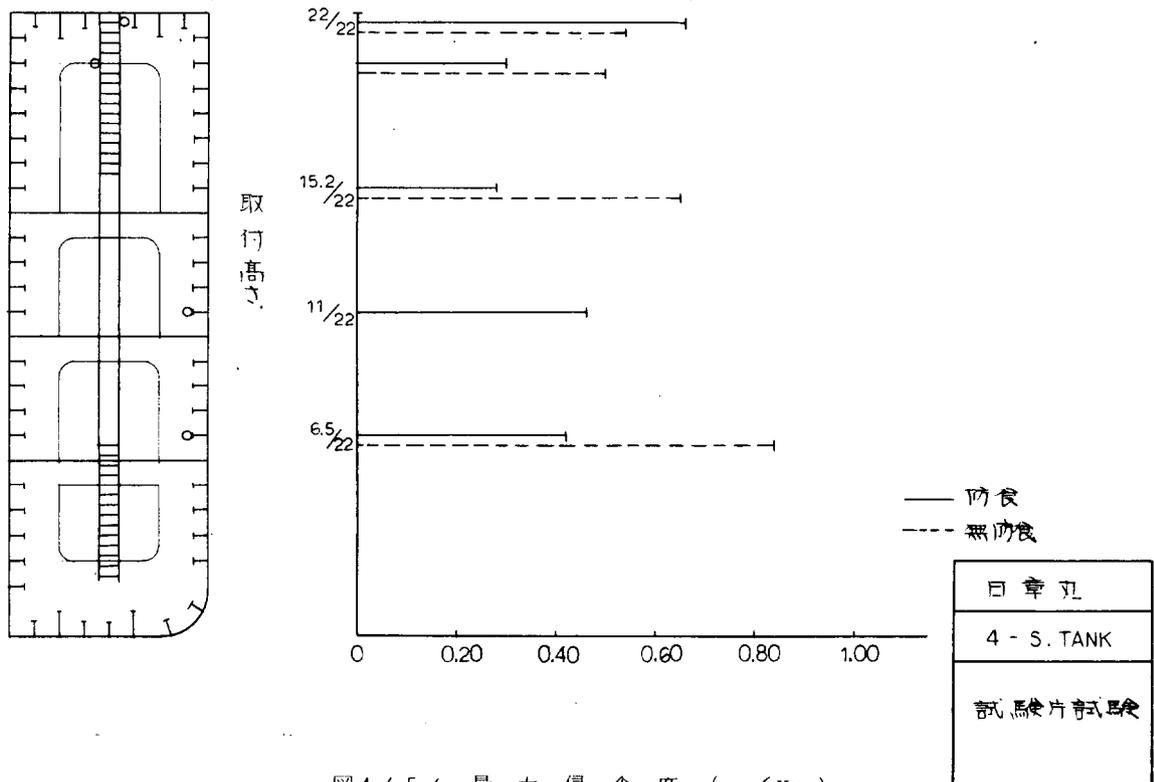
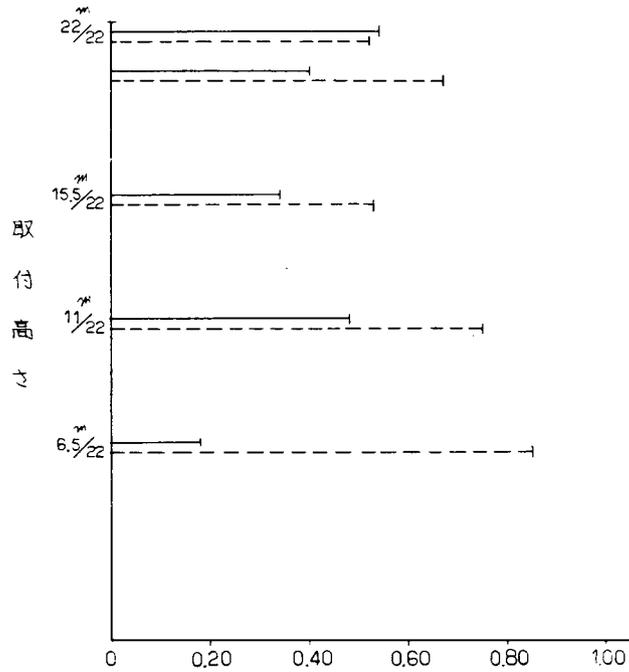
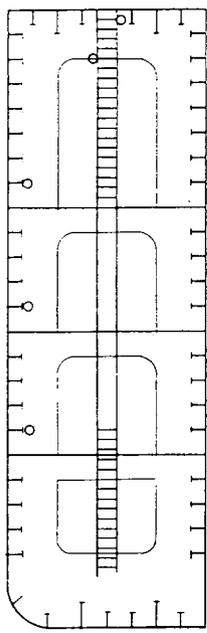


図 4. 6. 5. 6 最大 侵 食 度 (mm/Yr)

No.4 WING TANK
Fr.89 SWASH B^{HD}(P)

(試験期間 1Yr)



— 防蝕
--- 無防蝕

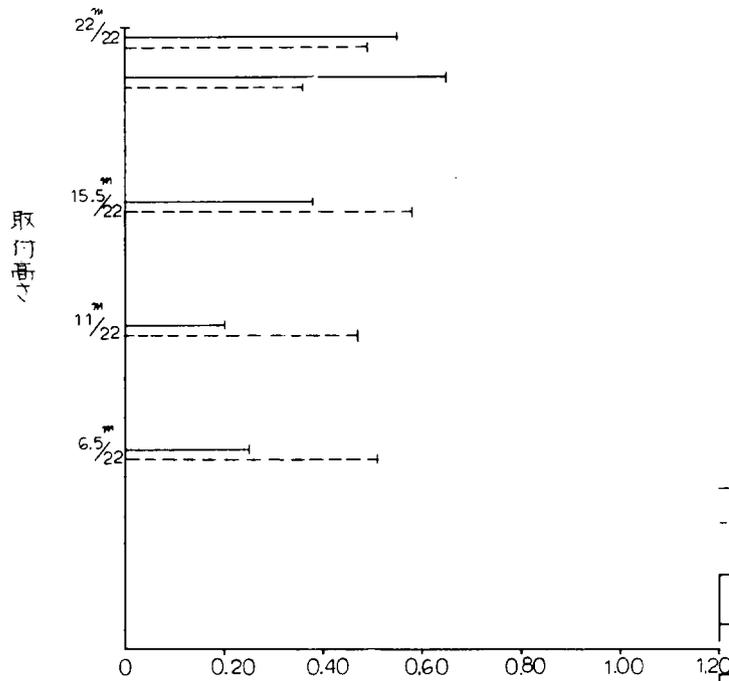
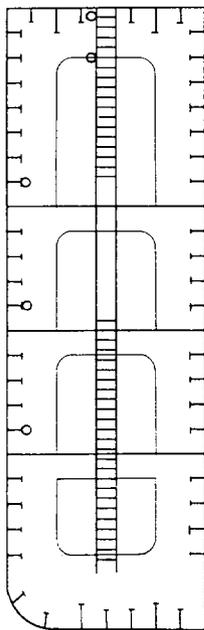
日 尊 丸
4-P. TANK
試験片試験 (防蝕剤併用)

図 4.6.5.7 最大侵食度 (mm/Yr)

No.4 WING TANK
Fr.89 SWASH B^{HD}(P)

日 尊 丸

(試験期間 1.08 Yr)



— 防食
--- 無防食

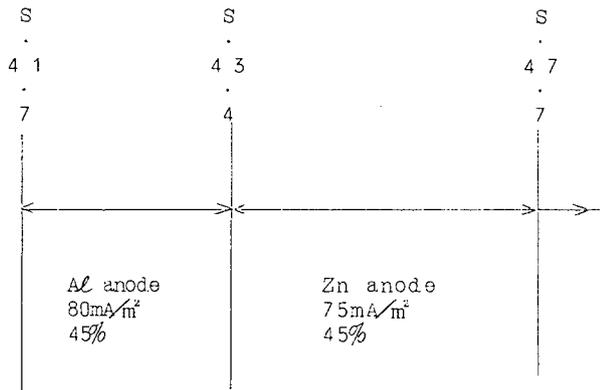
日 尊 丸
4-P. TANK
試験片試験 (防食剤併用)

図 4.6.5.8 最大侵食度 (mm/Yr)

表 4.6.6

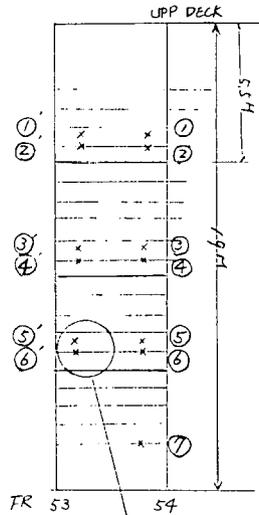
船名	おうすとらりあ丸		船種	鉍石船					
竣工年月	S 4 1 - 7		満載排水量						
No	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	図	表
3.1	腐食速度	No.4-S W.B.T	○	○	S 4 1.7 } 6.0年 S 4 7.7				1.2 3.
3.1	電気防食	No.4-S W.B.T	○		S 4 7. - 7 - 2 6 } 0.373 S 4 7. 1 2.9 年	8		1	4
3.2	浮遊性防食剤								

調査タンク防食経過



LONG BHD

測点 NO	測定厚(㎜)		侵食度(㎜/年)	
	() 原厚		max	min
1'	9.9	10.0(10.0)	0.008	—
2'	10.59	10.14(11.0)	0.072	0.034
3'	10.9	10.8(11.5)	0.058	0.050
4'	15.04 15.01	(16.0)	0.083	0.080
5'	12.2	12.3(13.0)	0.067	0.058
6'	14.5	14.45(16.0)	0.130	0.125



測点 NO	測定厚(㎜)		侵食度(㎜/年)	
	() 原厚		max	min
1.	9.6	9.8(10.0)	0.033	0.017
2.	9.56	9.95(11.0)	0.120	0.088
3.	10.7	10(11.5)	0.125	0.067
4.	15.7	14.6(16.0)	0.117	0.025
5	11.5	(13.0)	0.125	—
6	15.28	15.6(16.0)	0.066	0.033
7.	16.5			

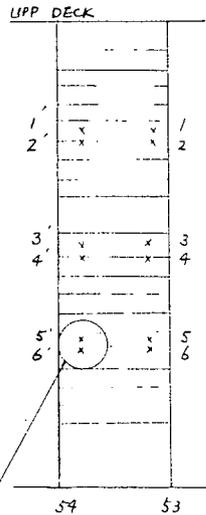
船令 6.01¹⁵

本工場の調査
4-S TANK
板厚測定結果(1)
S.47-7-25

☒ 4.6.6.1 LONG BHD

SIDE SHELL

測点 NO	測定厚(㎜)		侵食度(㎜/年)	
	() 原厚		max	min
1'				
2'	11.20	11.69(11.0)	—	—
3'	17.5	18.0(19.0)	0.125	0.083
4'	15.55	15.36(16.0)	0.053	0.038
5'	21.0	(19.0)	—	—
6'	25.24	24.96(25.0)	—	0.003

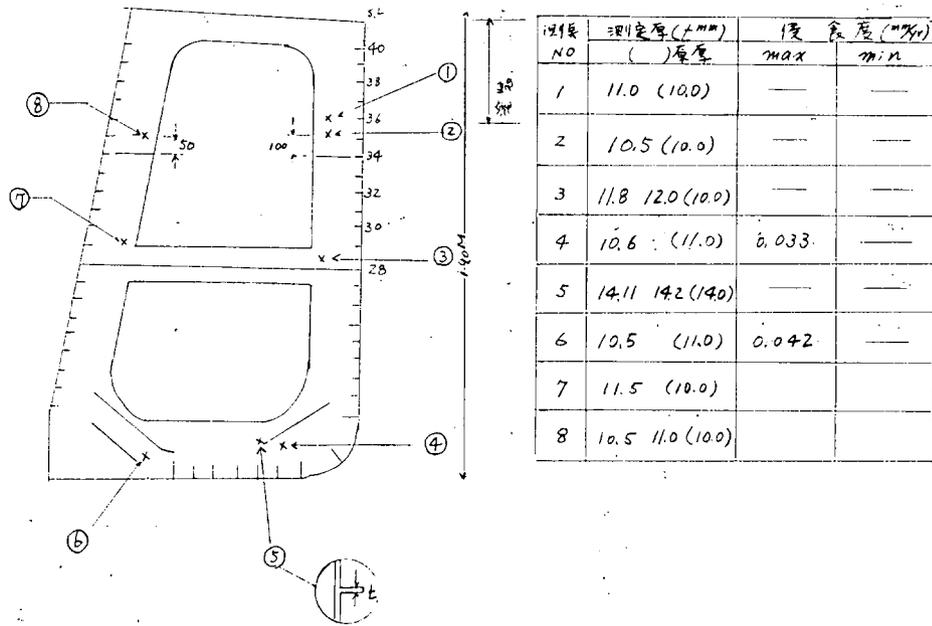


測点 NO	測定厚(㎜)		侵食度(㎜/年)	
	() 原厚		max	min
1.	18.7	19.0(19.0)	0.025	—
2.	11.6	11.56(11.0)	—	—
3.	18.5	19.0(19.0)	0.042	—
4.	15.46	15.4(16.0)	0.053	0.045
5.	21.0	20.5(19.0)	—	—
6.	25.98	24.58(25.0)	0.035	—

船令 6.01¹⁵

本工場の調査
4-S TANK
板厚測定結果(2)
S.47-7-26

☒ 4.6.6.2 SIDE SHELL



試験期間 6.0Yr

おうすとらりあ丸
4-S TANK
板厚測定結果(3)

S+I-7-26

図 4. 6. 6. 3

表 4. 6. 6. 1 おうすとらりあ丸試験片試験結果

No.	取付	重量減 (g)	Zn No.	重量減 (g)	侵食度 (mm/Yr)	防食電流密度 (mA/m ²)	防食率 (%)
113	水平	7	65	4.0235	0.066	53.4	53.5
35	水平	15			0.142		
119	垂直	7	77	4.6454	0.066	61.7	69.6
41	垂直	23			0.218		
127	水平	9	93	4.0484	0.085	53.7	50.0
49	水平	18			0.171		
120	垂直	10	79	4.5228	0.095	60.0	71.4
43	垂直	35			0.332		

註) 1. 試験片露出面積 360 cm² (外形寸法 250×200×6mm t)
2. 試験期間 136日=0.37年

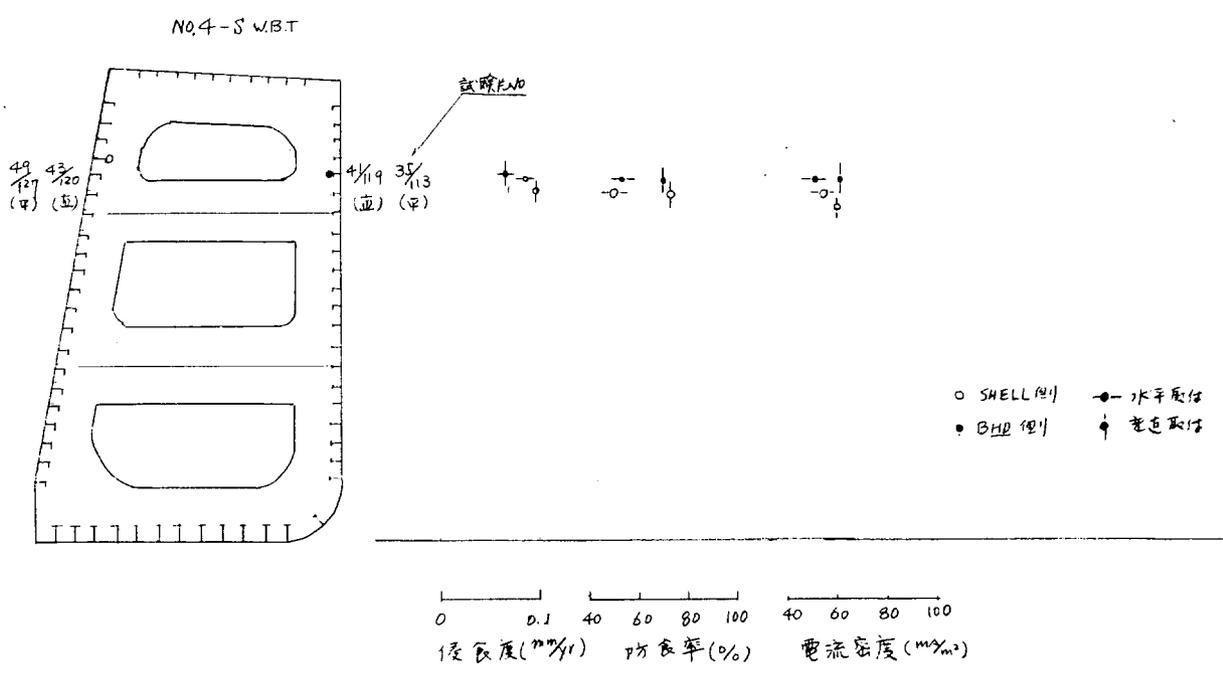
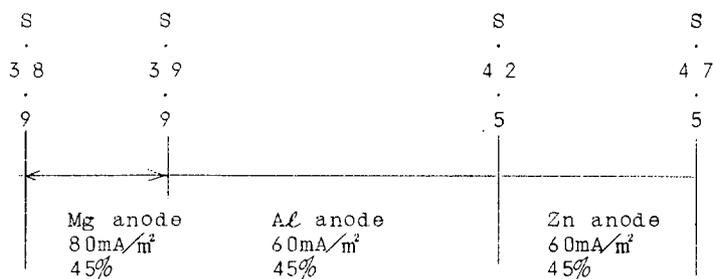


図 4. 6. 6. 1 おうすとらりあ丸試験片試験結果

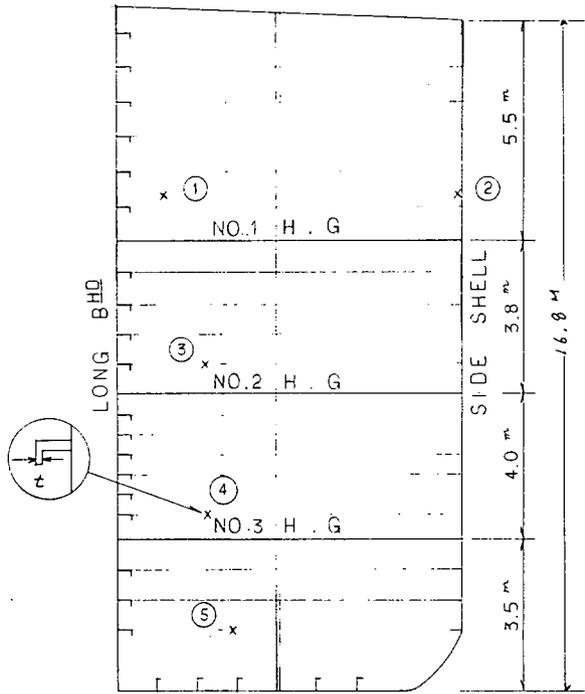
表 4. 6. 7

船名	尾上丸	船種	鉍石船						
竣工年月									
竣工年月	S-38-9	満載排水量							
No	調査項目	調査タンク	試片設置	板厚測定	調査期間	試験片		測定結果	
						大	小	回数	表
3.1	腐食速度	No.5-S W.B.T	○	○	S 3 8.9 } 8.67年 S 4 7.5				1.2
3.1	電気防食	No.5-S W.B.T	○		S 4 7.5.1.6 } 0.56年 S 4 7.1.2.7	8		1	3
3.2	浮遊性防食剤								

調査タンク防食経過



W. T. BHD (FR.72)



測定 NO.	測定厚(tmm)		侵食度(mm/Yr)	
	() 原厚		max	min
1.	9.40	9.50(10.00)	0.069	0.058
2.	11.00	11.20(11.00)	-	-
3.	15.28	15.58(15.00)	0.042	0.024
4.	17.40	17.65(18.00)	0.035	0.020
5.	17.47	17.66(18.00)	0.031	0.020

※ ①, ② は Kx-7 にて測定.

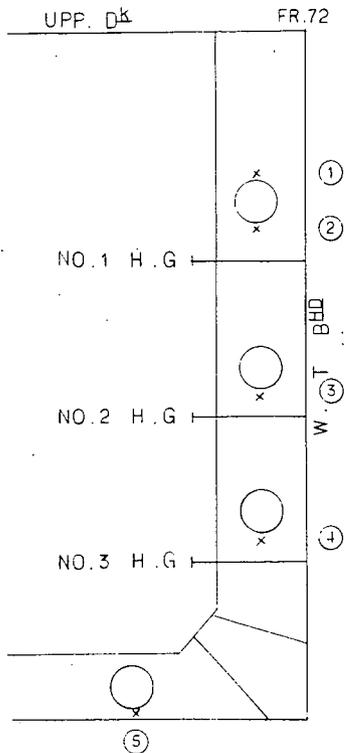
③, ④, ⑤ は MICRO x-7 にて測定.

船令 8.67Yrs

尾上丸
NO.5-SIDE TANK
板厚測定結果(1)
S.47-5-17

図 4.6.7.1 W. T. BHD (FR.72)

CENTER LINE SEC.



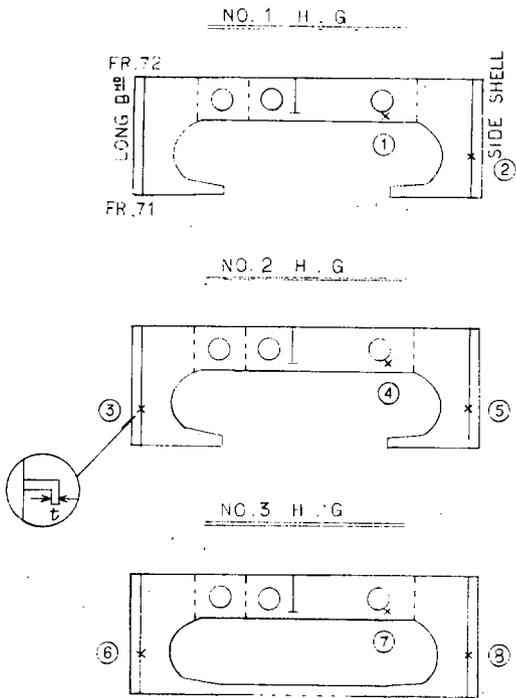
測定 NO.	測定厚(tmm)		侵食度(mm/Yr)	
	() 原厚		max	min
1.	10.20	10.42(11.00)	0.046	0.033
2.	10.16	10.80(11.00)	0.049	0.012
3.	10.99	11.03(11.00)	0.001	-
4.	11.09	11.24(11.00)	-	-
5.	15.34	15.61(15.00)	-	-

※ 測定器は、マイクロメータを使用

船令 8.67Yrs

尾上丸
NO.5-SIDE TANK
板厚測定結果(2)
S.47-5-17

図 4.6.7.2 CENTER LINE SEC



測定 NO.	測定厚(t _{mm})		侵食度(mm/Yr)	
	()原厚		max	mid
1.	10.30	10.40(11.00)	0.040	0.035
2.	15.30	15.81(12.00)	-	-
3.	15.39	15.63(16.00)	0.035	0.021
4.	10.51	10.93(11.00)	0.028	0.004
5.	16.76	17.06(16.00)	-	-
6.	15.04	15.89(18.00)	0.171	0.122
7.	12.66	12.67(12.00)	-	-
8.	17.77	17.98(19.00)	0.013	0.001

※ 測定器は、2170×7を使用。

船令 8.67Yrs

尾上丸

NO.5-SIDE TANK

板厚測定結果(3)

S.47-5-17

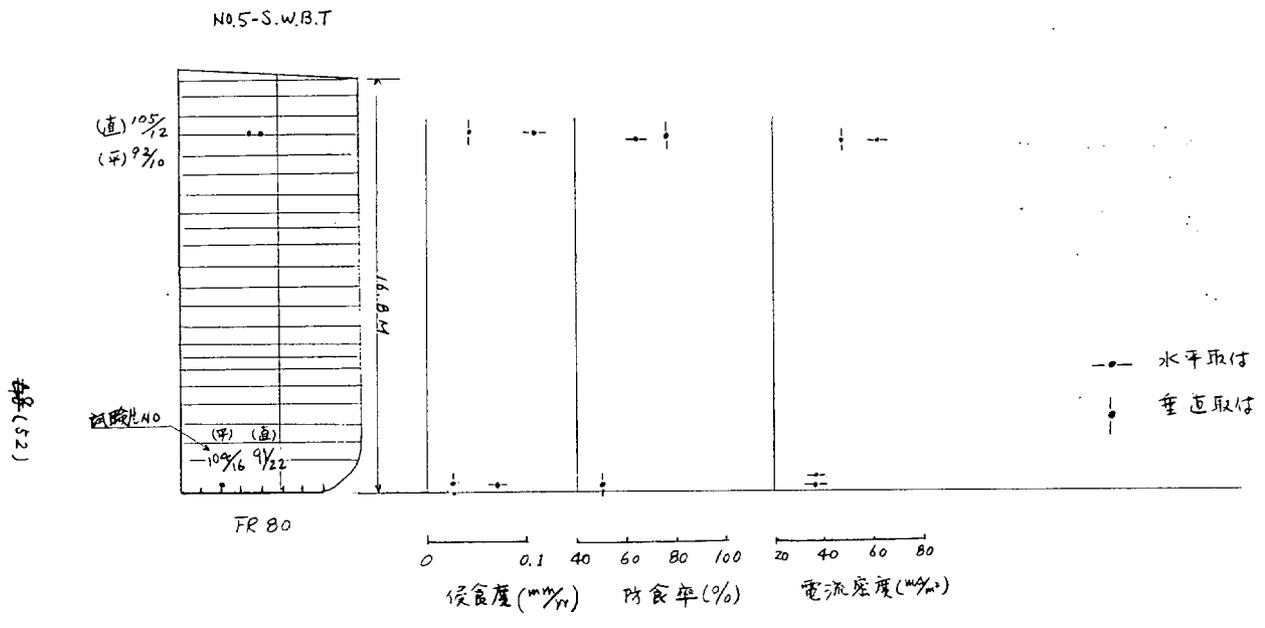
図 4.6.7.3

表 4.6.7.1 尾上丸試験片試験結果

No.	取付	重量減 (g)	Zn %	試験前重量 (g)	試験後重量 (g)	重量減 (g)	侵食度 (mm/Yr)	平均防食電 流密度mA/m ²	防食率 (%)
104	水平	11	27	1197349	1157006	40343	0.069	35.5	
16	水平	-1							
105	垂直	7	29	1200547	1147642	52905	0.044	46.6	
12	垂直	30					0.189		76.7
91	垂直	4	41	1179012	1138258	40754	0.025	35.9	
22	垂直	8					0.050		50
92	水平	18	43	1212290	1142755	69535	0.113	61.2	
10	水平	50					0.315		64

註) 1. 試験片露出面積 360cm² (外形寸法250×200×6mm²)

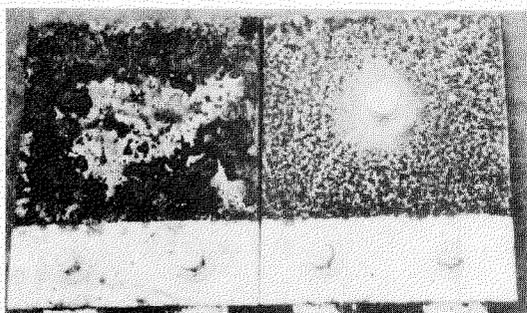
2. 試験期間 205日=0.562年



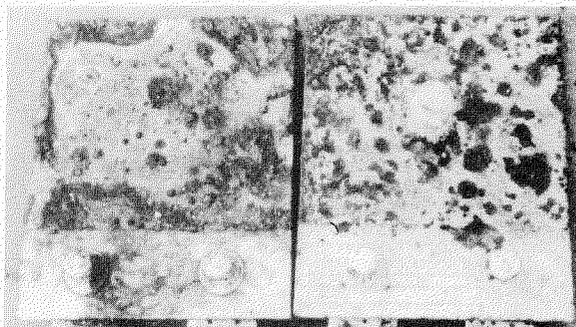
試驗點向 0.562 V_{rs}

圖 4.6.7.1 尾上丸試驗片試驗結果

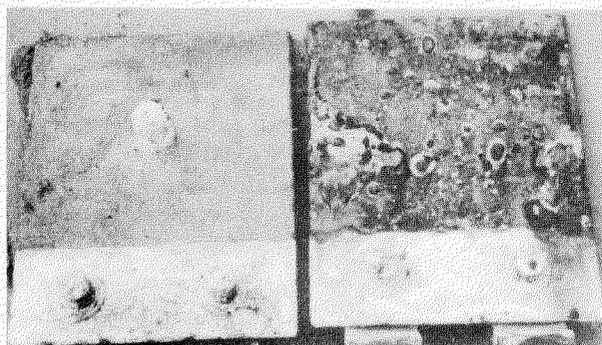
上部 B^{HD} (垂直)



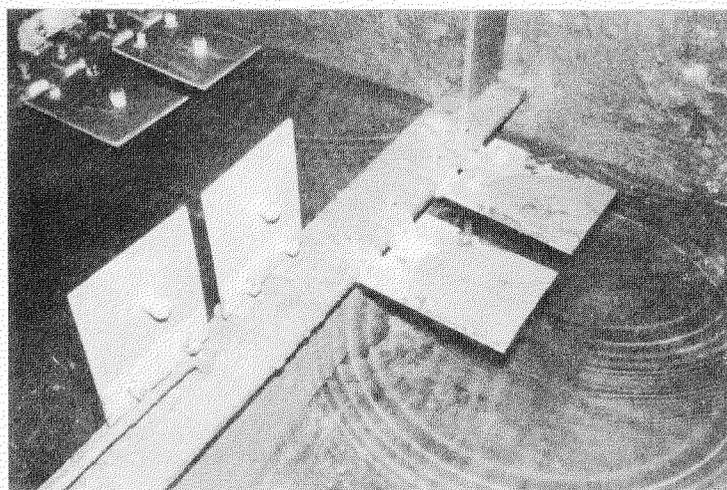
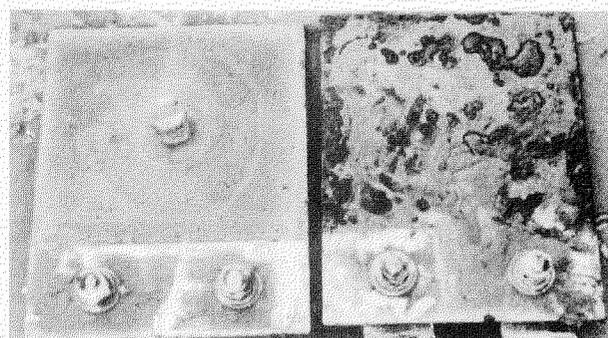
上部 B^{HD} (水平)



BOTTOM (垂直)



BOTTOM (水平)



取付状況

図 4.6.7.2 尾上丸 ϕ 5-Sタンクに取付けた試験片(大型)

5. バラストタンクの腐食の実例

5.1 腐食の一般的傾向

バラストタンクの腐食の状況は船によって多種多様である。これは船の種類、タンクの大きさ、タンクの用途（専用と兼用の別）漲水状況等によって腐食状況が異なるためであるが、特に内部材の防食方法および保守状況でかなりの差がある。一般に塗装されたタンクは電気防食のみのタンクに比べてかなり腐食は少ないようである。しかし電気防食のみのタンクでもアノードの配置、取替えの時期等を適切に行なっているものは腐食も少ないようである。

バラストタンク内では一般に高温多湿となるため腐食に対しては極めて悪い環境となり、特にタンク上部の甲板裏、デッキロンジなどはこの原因による腐食が甚しい。またトランスリングのウェブのスロット周辺などの高応力部では応力腐食が起り易い傾向にある。貨物油兼用のバラストタンクは専用バラストタンクに比して比較的良好的な状態にあるが、バラスト半載のまま使用する頻度の多いタンクでは上部が特にいちぢるしい腐食を起しており、水平桁のウェブが破口、脱落した例もある。

船令の古い船でも内部が塗装され、保守の良いものは非常に良好な状態にある、単に船令のみで腐食量の大小を論ずることはできないが、最近の船では船令の若い割に腐食量は大きい、船令、10年以上の船で上甲板の衰耗量を船令で除した年間衰耗量は平均して約0.13mm程度であるが、大型船のバラストタンクの年間腐食量は船令6年度の船で約0.4～0.6mmに達しているものもある。

5.2 衰耗による強度の低下

船体構造部材では一般に腐食による板厚の減少を考慮して設計されているが、腐食予備厚以上の衰耗を生じると強度の低下をきたす。曲げまたは座屈によって設計されている部材の応力は板厚の2乗に比例するので数%の腐食でも応力の増加はいちぢるしくなる。

また上甲板、外板、縦通隔壁等縦強力部材の衰耗による断面係数の変化は図5.2.1に示すとおりで大型船では2.5mm程度の衰耗で縦強度は2.0%程度減少する。また型鋼などの断面係数の低下は約20%程度である。

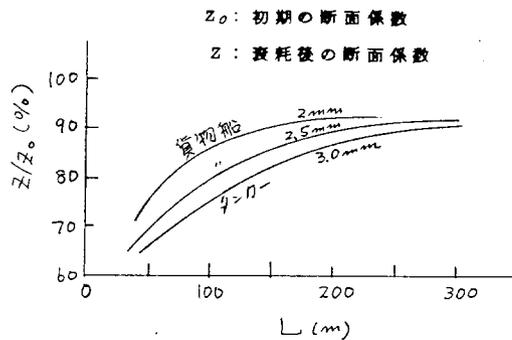


図 5.2.1 衰耗による船体断面係数の減少

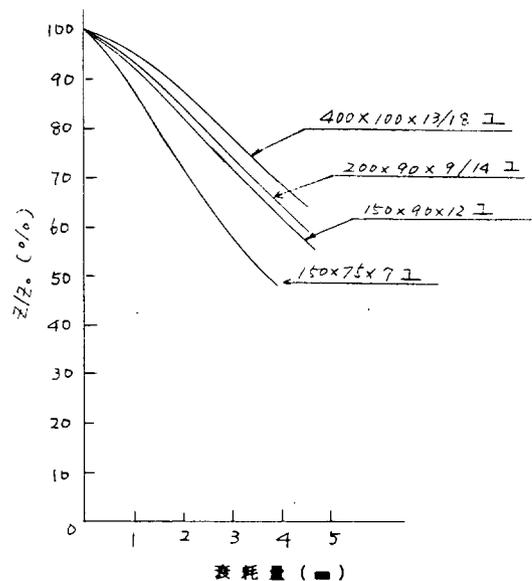


図 5.2.2 型鋼の断面係数の減少

5.3 腐食の実例

5.3.1 タンカー

船令4ないし5年タンカー14隻につき、超音波により板厚を計測した例を表5.3.1に示す。これは計測した部材を横桁、横水密隔壁、縦隔壁、非水密隔壁の4つに分類し、またそれをさらに使用条件の異なる4つのタイプに分類した。

計測は各部材の上部、中部、下部について各々に数点ずつ行なわれたもので、これらの平均値、および最大値を表示した。

上下方向の平均衰耗量の分布を各部材別に示したのが図 5. 3. 1 であるが、全般的な傾向はすでに述べたように、タンク上部でひどく、下部になるに従って衰耗量は傾向はすでに述べたように、タンク上部でひどく、下部になるに従って衰耗量は減少しているようである。しかし、同図より分るように隔壁類ではこの傾向を示さないものもある。表 5. 3. 1 の最大衰耗量は各船の最大値の平均値であり、船によってかなりの差がある。例えば専用バラストタンク内の横桁で 8mm 船首部バラストタンク内の中心線制水隔壁においては衰耗破口に至ったものもある。また貨物油タンク内の横桁で 6. 8mm、同制水隔壁で 7mm の例もあり、貨物油タンクでもかなりの腐食を生じているものもある。

衰耗量と損傷数の間には明確な関係はみられないが、一樣衰耗量がある値を越えると強度低下をきたし、それによる損傷が多発する傾向にある。

次に 2、3 の実例を示す。

表 5. 3. 1 衰 耗 状 況 (平均) 単位 mm

		横 桁				横 水 密 隔 壁			
		F.P.T. & Fd.Tk.	W.B.T.	C.O.T.	C.W.B.T. & C.O.T.	F.W.B.T.	W.B.T.	C.O.T.	C.W.B.T. & C.O.T.
上	Max	2.2	3.4	1.8	1.8	3.0	2.2	1.7	1.4
	Mean	1.3	1.6	0.7	0.9	2.0	1.2	1.1	1.3
中	Max	1.9	2.8	0.9	1.8	3.5	2.4	1.6	2.7
	Mean	1.0	1.0	0.4	0.8	2.2	1.3	0.6	1.7
下	Max	1.6	1.8	0.7	2.3	2.9	1.8	1.5	2.1*
	Mean	0.9	0.6	0.3	0.6	2.0	1.2	0.8	1.6*

		縦 隔 壁				非 水 密 隔 壁			
		F.W.B.T.	W.B.T.	C.O.T.	C.W.B.T. & C.O.T.	F.W.B.T.	W.B.T.	C.O.T.	C.W.B.T. & C.O.T.
上	Max	—	3.1	0.9	2.2	3.9	2.4	1.5	2.4*
	Mean	—	2.4	0.4	1.5	3.4	1.4	0.6	1.1*
中	Max	—	3.1	—	1.7*	4.3	2.8	0.5	3.1*
	Mean	—	1.9	—	1.5*	3.1	1.1	0.2	0.4*
下	Max	—	2.0*	—	1.8*	7.0*	1.1	0.6	2.0*
	Mean	—	1.2*	—	1.6*	3.9*	0.6	0.2	0.4*

注) *印は衰耗計測をした船が1隻だけということを示す。

(1) : F.P.T.&F.dTk (2) : W.B.T. (3) : C.O.T. (4) : C.W.B.T.&C.O.T.
 (1) : F.W.B.T.

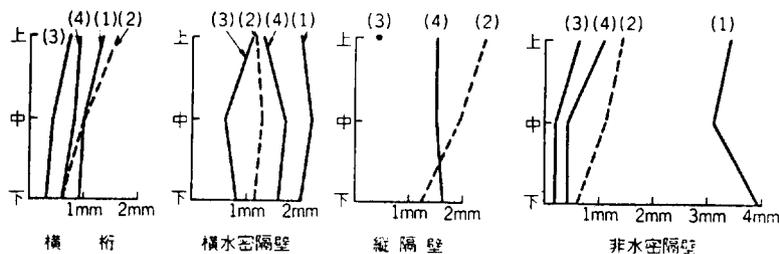


図 5. 3. 1 深さ方向の平均衰耗状況

A丸 (タンカー G.T.4万トン、船令4年)

防食法：電気防食およびタンク頂部DK TRANS下面までタールエボキシ系塗装

状況：塗装部は良好

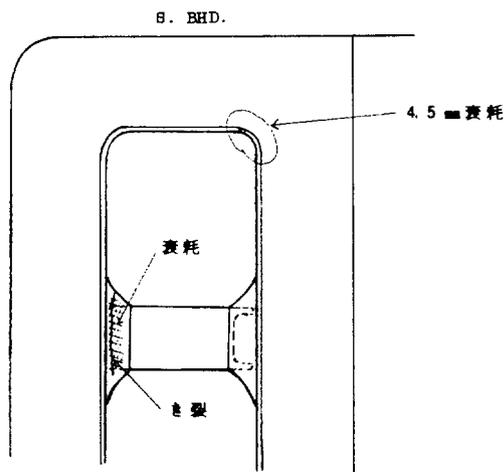
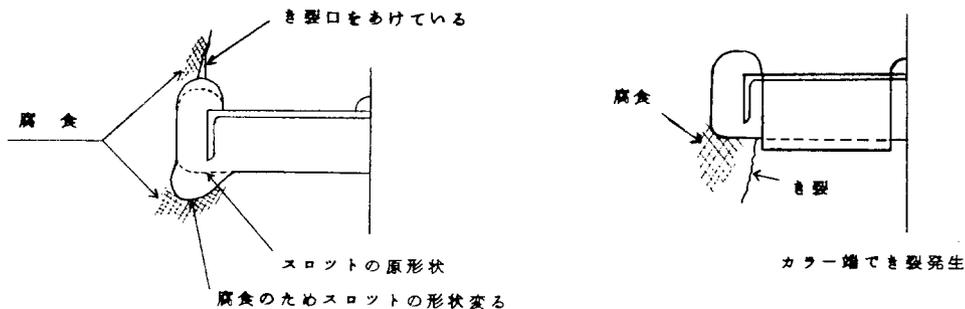
タンク上半部特にL、BHD側の腐食甚しい、V、WEBでは全面層状の錆が落下する状況、スロット部はナイフエッジ状となりき裂多数。タンク上半部の衰耗量

B丸 (タンカー G.T.4.6万トン、船令4年)

防食法：電気防食、タンク頂部塗装なし

状況：CROSS TIEより上方は腐食甚しい、スロット周辺はナイフエッジ状でき裂多数。

SWASH BHDは上部で面材がいちじるしく腐食し、CROSS TIE端は衰耗し大きい裂発生



5.3.2 鉑石船

船令3年ないし5年の鉑石船のバラストタンク内の横桁の腐食量の計測値を深さ方向にプロットしたものが図5.3.3である。一般的にいって中央部より上部ではいちじるしい腐食を生じていることが分る。年間最大腐食量が0.6mmに達している所もある。

図5.3.4は船令3年の鉑石船のトラストリング、スロット周辺の腐食を全スロットについて調査したものであるが、スロット周辺では応力集中のためかなり腐食は甚しく、年間約2mmの腐食を生じている箇所もある。

なお、実船の腐食例を次に示す。

D丸 (鉑石船 G.T.2.9万トン、船令6.5年)

No.1、2、4、5 舷側タンク

防食法：Zn 陽極、甲板裏面塗装なし

状況：甲板下1.5m位まで腐食甚しい

DK plate (50 H.T.) (原厚30mm) ……平均2.5mm 衰耗

DK long fl (") (") ……7~8mm 衰耗

DK Trans Web (") ……5~6mm 衰耗

タンク下部衰耗なし

〔注〕 船令 5.2 年の時の状況

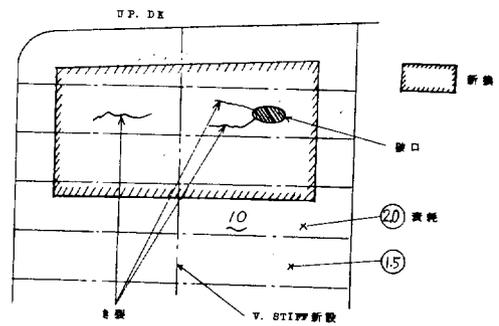
№4 ~ 5 TK の T. BHD の上部に衰耗破口が生じ新換え

№3 舷側タンクおよび F.P.T.

防食法：タンク全面にエポキシ樹脂系塗装

状況：衰耗なく良好

(№3 TK は予備バラストタンクで使用していない模様)

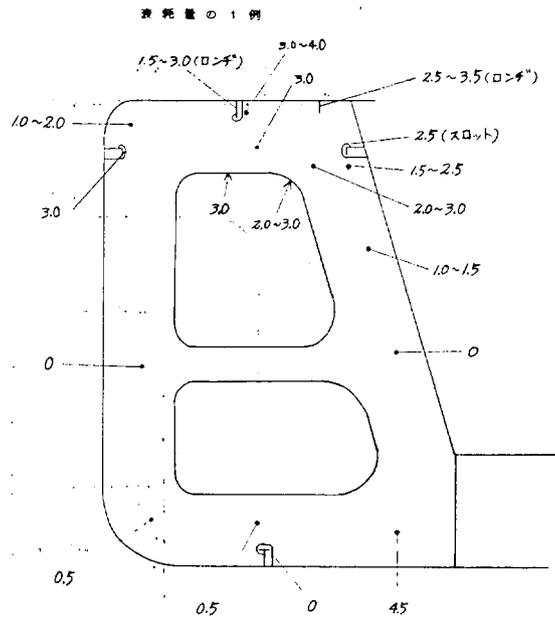
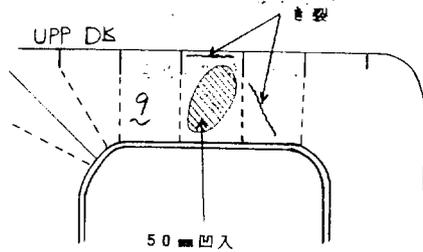


E 丸 (鉾石船 G.T. 4.2 万トン 船令 3 年)

防食法：AL 陽極をタンク深さの 3/5 まで設置、甲板裏面塗装なし

状況：上下甲板下 2 ~ 3 m まで Trans. Ring の腐食甚し。

DK Trans の web は 4 mm 衰耗、web の座屈、スロットのき裂発生、ウェブの切断に至る。

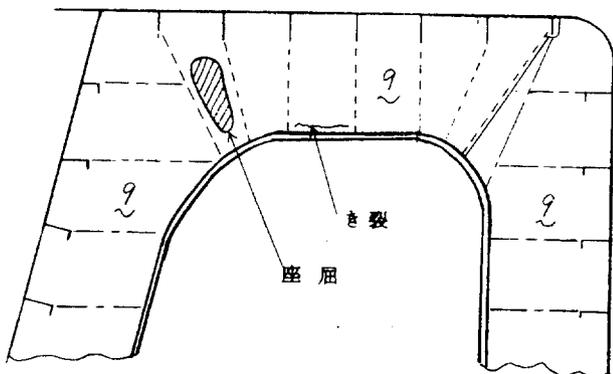


F 丸 (鉾石船 G.T. 3.4 万トン 船令 3 年)

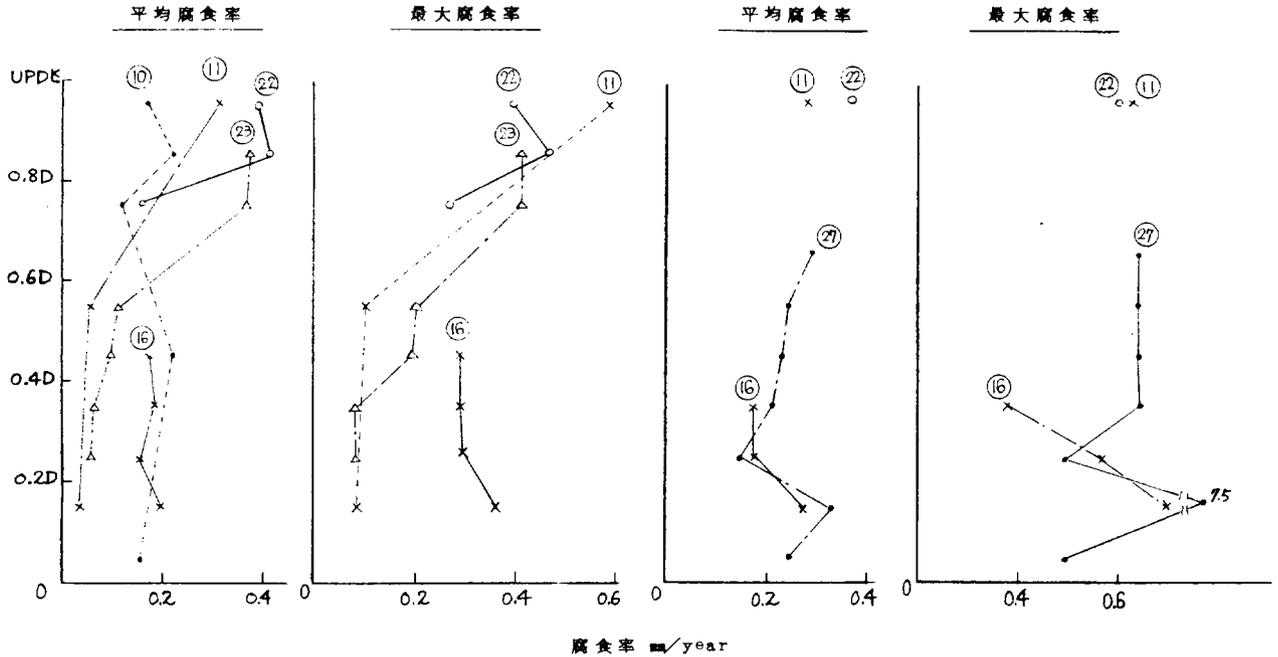
防食法：AL および Zn 陽極をタンク深さの 3/5 まで設置、甲板、裏面、塗装なし

状況：甲板下 1.5 m 付近までトランスウェブ全面的に腐食、スロット周辺は腐食著しくナイフエッジ状となっている。

衰耗量：DK Trans web 1.5 ~ 2.7 mm



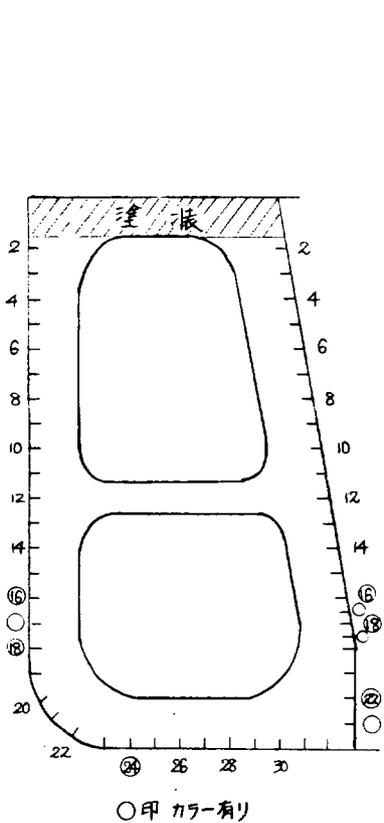
№3 TK ではシルボックス錆止め 3 回全面塗装してあるが、塗膜脱落し、1.5 mm (DK Trans) 衰耗



(注) 船令

- ⑩ 5年 ⑯ 3年 ⑳ 3年 平均値は3点の平均
- ⑪ " ㉑ 3年 ㉒ 3年 最大値は3点のうち最大のもの

図 5.3.3 鉱石船バラストタンク腐食率



L.NO.	外板側			L. BHD 側		
	A	B	C	A	B	C
2	0 (0)	0 (0)		0 (0)	1.5 (1.5)	
	1.25 (2.0)	1.75 (2.5)		0.83 (2.0)	1 (2.0)	1.15 (2.0)
	1.25 (1.5)	2.25 (2.5)		0.76 (2.0)	0.76 (2.0)	1.2 (1.2)
4	1.0 (1.0)	2.5 (3.5)		0.75 (2.0)	0.73 (2.0)	1.19 (2.5)
	1.0 (2.0)	2.0 (4.0)		0.93 (2.5)	0.76 (2.0)	1.13 (3.0)
	0.75 (1.5)	2.0 (2.0)		1.45 (3.5)	0.54 (2.0)	0.95 (2.0)
6	1.25 (2.0)	0.75 (1.5)		1.2 (6.5)	0.67 (3.5)	0.3 (0.7)
	1.33 (2.8)	0.45 (2.0)		1.97 (5.5)	1.86 (6.0)	1.02 (3.0)
	1.09 (2.3)	0.59 (2.0)	0.92 (1.5)	1.66 (6.0)	0.97 (4.0)	0.7 (2.2)
8	1.10 (2.3)	0.67 (2.0)	0.89 (1.5)	1.39 (4.5)	1.05 (4.5)	0.25 (0.5)
	0.90 (3.5)	0.66 (3.3)	1.2 (2.5)	0.14 (1.0)	0.53 (5.5)	0.4 (2.0)
	1.25 (1.5)	0.5 (0.5)	0.83 (1.5)	4.0 (5.5)	0.25 (0.5)	1.13 (3.5)
10	0.25 (0.5)	2.0 (2.5)	0.5 (0.5)	0.5 (0.5)	1.0 (1.0)	-
	0.25 (0.5)	0.25 (0.5)	0.53 (1.0)	1.75 (2.0)	0.75 (1.0)	0.78 (3.0)
	0.5 (1.0)	0.5 (0.5)		2.5 (3.0)	3.5 (4.0)	
12	0 (0)	0 (0)		1.0 (2.0)	2.5 (3.5)	
	0 (0)	0 (0)		1.0 (1.0)	0.75 (1.0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0.25 (0.5)	
14	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
16	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
18	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
20	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
22	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	
	0 (0)	0 (0)		0 (0)	0 (0)	

数字は各トランスの平均値 ()内はそのうちの最大値

図 5.3.4 C丸バラストタンク・トランスウェブの腐食状況

6. 実船塗装試験の準備

「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」に関し、現在主として応力の変化による影響が検討されているが、塗装の有無の影響を実船と対比して検討するという意図から、実船試験を実施することとし、その準備を下記のごとく行なった。

6.1 試験塗装対象船

表 6.1 の通り。国内で保証入渠を含め、随時国内に寄港し調査可能な船舶とする。

表 6.1 試験塗装対象船リスト

塗料メーカー	船主	造船所	船番	船種
日本ペイント	大阪商船三井	三井玉野	962	バルク
大日本塗料	J. LINE	三菱長崎	1712	タンカー
中国塗料	N. Y. K	三菱広島	235	バルク
"	山下新日本 日正汽船	日立堺	4351	タンカー
神東塗料	三光汽船	三井藤永田	955	石炭石
"	N. Y. K 共栄タンカー	石播横二	2339	タンカー
関西ペイント	三光汽船	日立因島	4352	タンカー
神戸ペイント	川崎汽船	石播呉	2329	タンカー
兎田化学	大阪商船三井 山下新日本	三菱神戸	1040	コンテナ
日本油脂	三光汽船	石播横二	2286	タンカー

6.2 実施要領

6.2.1 供試塗料

原則として JIS K 5664 1種ターレポキシ塗料 2回塗りとするが、これに限定するものではない。

ただし、この場合は内容を明示すること。

6.2.2 試験塗装箇所

(1) タンカー

タイトまたはスッシュバルクヘッドの上・中・下部に面積、各々約 2 m² で実施する。

上部……デッキ裏付近で調査可能な箇所、例えば梯子付近。

中部……水平ガーター上で作業容易な部分

下部……スラッジの影響を受けない部分。底部より約 1 m 上の部分。

(2) バルクキャリア

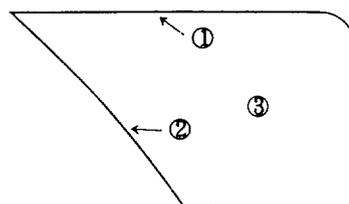
トップサイドタンク内で、下図の①、②、③の付近で実施する。

上部……デッキ裏①

底部……②の部分

垂直部……バルクヘッド③の部分

(3) その他の船種については(1)、(2)に準じて行う。



外板

6.2.3 塗装仕様

塗装仕様は原則として試験塗装対象船の仕様に準ずる。1例として次の仕様を示す。

実船試験塗装仕様例

(1) 供試塗料

タールエポキシ樹脂塗料 JIS K 5664 1種品内容例

エポキシ樹脂：タール比	1：1（重量比）
硬化剤	ポリアミド樹脂
溶剤不溶物	20%
加熱残分	70%
粘度（20℃）	20ポイズ
比重	1.17
硬化塗膜中エポキシ量	36%

(2) 鋼板前処理

ブラストによりサビ、ミルスケールなどを除去する。ブラストの程度は SIS Sa2.5とする。

(3) 塗装前処理

ディスクサンダー、パワーブラシなどで入念にサビを落し、マーキング、油脂はシンナー拭きなどで除去すること。処理程度は SIS St3 とする。

(4) 塗装

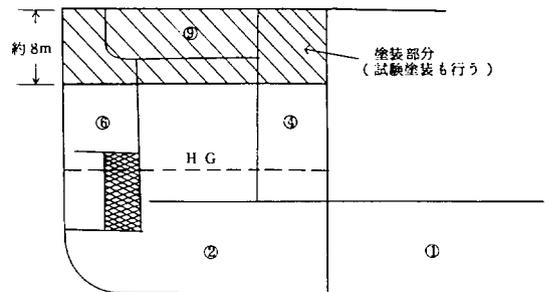
エアレススプレーを使用し、入念に塗装し、膜厚管理については特に留意のこと。

(5) 塗装仕様

工		程
鋼板前処理		ブラスト Sa 2.5
ショッププライマー		エポキシジソクリッチプライマー
塗装前処理		ディスクサンダー、パワーブラシ St3
1	回目	タールエポキシ塗料 JIS 1種相当品
2	回目	同上

(注) 上記塗装仕様、膜厚、塗付量などは、原則的には本給仕様に準ずる。

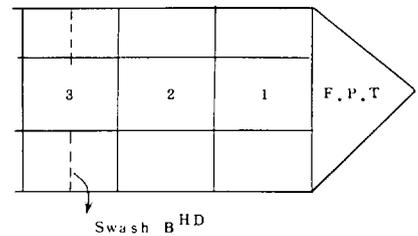
block №6-20



注 ○中の数字はブロック№
部は試験塗装部分
部は一部試験塗装部

(6) 試験塗装対象船

- (a) 番号 船 S/№4351
- (b) 船主 山下新日本、日正汽船
- (c) D / W 235.000t
- (d) 試験塗装箇所 №3. W.B.T (P.S)
Swash B^{HD} FR・NO.77片面
- (e) 塗装時間(予定)



- ショットブラスト、ショッププライマー塗装 47年12月中旬
- タールエポキシ塗装 48年1月下旬

(注) ブロック時に塗装

6.2.4 試験項目(調査項目)

(1) 塗装時

- (a) 下地処理方法および程度(表示は SIS で表わす)
ショッププライマーの種類を明記する。

(b) 塗料および塗装系

供試塗料の内容、および塗装系（塗回数）の明記。

(c) 塗装方法および塗装条件

造船所の標準により行う。

(d) 補修塗装

通常の方法で行い、その状態を記録しておく。

(2) 塗装後

(a) 塗膜状態

肉眼で行う。

(b) 乾燥膜厚

測定時間………完全硬化後（1～2週間）

測定箇所………5～6点/2m²

(c) 塗膜劣化試験（インピーダンス測定）

各社の試験器が同一のものでないので各社が適宜行う。

(3) 就航後

(a) 塗膜の状態

肉眼で行う。

(b) 塗膜劣化試験

(2)のへと同様に測定し就航前と比較する。

原則として入渠時に行う

(c) 航路、バラスト漲水期間、漲水率等

7. ま と め

海水の漲水-排水の繰り返される腐食環境下にある船舶のバラストタンクの腐食原因に関して繰り返し応力、温度、および鋼材の表面状況の影響を検討した。また防食法に関して電気防食および塗装による防食効果を実験室試験により検討した。

これらの実験室試験と併行して実験室試験との関連を求めため実船の防食方法と腐食防食状況を主として大型船のバラスト専用槽について調査した。

その結果、次のことが明らかになった。すなわち、

7.1 実験室結果

- (1) 繰返し応力値・ 20 Kg/mm^2 以上、またはひずみ 0.1% 以上の付加によって腐食は著るしく促進される。
- (2) 繰返し応力の付加は孔食を促進することが判明し、応力分布の存在は腐食を促進する傾向を示した。
- (3) 繰返し応力は所要防食電流密度にも影響をおよぼし、応力の無い場合 100 mA/m^2 の電流密度で略 90% の防食率が得られるのに対して、応力が付加されたときは 90% の防食率を達成するのに 200 mA/m^2 程度の防食電流密度を必要とすることが判明した。換言すれば繰返し応力の付加される鋼材を防食するには電位を $-900 \sim -1,000 \text{ mV}$ に下げおくことによって高度の防食率が期待される。
- (4) タールエポキシ塗膜の人工欠陥部は繰返し応力の付加によって、腐食はその部分から進行し、腐食の進行は欠陥部を中心に周囲へ広がっていく。
- (5) 大気中に放置されたような予め酸化被膜の存在する鋼の防食所要電流は磨き鋼板に比し初期 3 ないし 5 倍要する。
- (6) 人工海水に Na_2S 、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ を 50 ppm 程度添加しても防食電流密度に特に影響を与えない。

7.2 実船調査結果

- (1) デッキより 5 m 下の区間の腐食が最も大きく鉍石船で、板厚減少量は $0.03 \sim 0.125 \text{ mm/Year}$ タンカーでは $0.06 \sim 0.41 \text{ mm/Year}$ を示した。
- (2) 実船に挿入した試験片による侵食度は実船の板厚測定に近い結果が得られた。一方、電気防食効果はデッキ裏に近づくと防食率は急激に低下する。
- (3) 浮遊性防食剤は上部区間で腐食の低下に有効である。

以上の通り実船の実情調査による腐食状況、基礎試験の結果は、バラストタンクの腐食、防食対策として応力の付加の影響を充分考慮する必要があることを示した。

しかしながら、バラストタンクの腐食環境はタンクの種類やタンク内部でもバラストの張られる部分やタンク天井部のような殆んど海水と接することのない部分、或いはバラスト水と空間部の境界である水線部分の各場所、さらに船の運航スケジュールによるバラスト条件（漲水日数、漲水率）の相違などの組合せによって、多種多様であり、これらの点を明らかにするため次年度に

- 1) 応力の変化の裸鋼および塗装鋼に対する影響
- 2) バラスト漲水率と漲水期間
- 3) 水質の影響調査
- 4) タンク体積/表面積比の影響
- 5) イナートガス組成と防食効果
- 6) 応力の変化に対するイナートガスの防食効果
- 7) 応力の変化に対する塗膜の防食効果
- 8) 実船調査

を実施する予定である。

付録 1.

バラストタンク腐食、防食関係文献調査

○海水タンク陰極防食試験	防食技術、5、№5 (1956)	重野 隼太
	同上 6、№1 (1957)	同上
	同上 6、№4 (1957)	同上
○バラストタンク電気防食の現状	船の科学、11、№2 (1958)	福谷 英二
	同上 11、№3 (1958)	同上
○電気防食の実績について	防食技術、15、№8 (1966)	中川 雅央
○船舶の腐食防止	№46 (1964)	日本造船研究協会報告 (第50部会)
○陰極防食用亜鉛について	Corrosion、16、10 (1960)	J. A. H. Corson
○船体外板防食基準について	防食技術、9、№10 (1960)	福谷 英二
○船舶の陰極防食	Corrosion Technology、7、4 (1960)	P. H. Hopwood
○船体内部の陰極防食	Corrosion、13、7 (1957)	L. P. Sudrabin
○陽極材料の影響について	Corrosion Technology、9、9 (1963)	P. V. Palmer
○船体電気防食について	防食技術、13、№10 (1964)	吉井 徹
	同上 13、№11 (1964)	同上
○陰極防食における電流分布	Corrosion、13、5 (1957)	E. E. Norrosion
○油槽船タンクの防食について	造船協会論文集、102 (1956)	瀬尾 正雄
○油槽船タンク塗装のコスト解析	Material Protection、4、6 (1965)	L. Purleestal
○Al陽極による防食	防食技術、13、№5 (1964)	竹島 銀一 他
○船舶の電気防食の趨勢	Corrosion Technology、11、2 (1965)	P. V. Palmer
○タンカーの亜鉛防食	Material Protection、1、11 (1962)	A. R. Cook
○タンカーの電気防食の回路	Ger. Pat 1. 127. 172 Apr-5 (1962)	Siemens et al
○タンカーの腐食防止	Corrosion、17 (1961)	E. E. Nelson
○船主からみた腐食問題	Material Protection、2、1 (1963)	G. C. Solty
○タンカーのタンク防食	日本化学会第15年会、1962年 4/2~4/5 京大における講演	青木 万
○タンカーの電気防食	Werks. und Korrosion、13、Ht5 (1962)	W. Larsen
○陰極防食の将来	Corr. Prev. Contr. 9、6 (1962)	Wilbow
○タンカーのタンク内腐食	造船協会論文集、104 (1958)	瀬尾 正雄
○二重底タンクの防食	Corr. Prev. Contr. 5、7 (1958)	K. G. C. Berkley
○軽質油タンク船の腐食防止	Korrosion、31 (1960)	R. H. Mass
○タンカーの空気乾燥装置	Cosr. Prev. Contr. 5、7 (1958)	E. J. Hasler
○軽油タンカーの防食	Werks und Korrosion、10、Ht5 (1959)	R. H. Mass
○バラストタンクの防食効果	防食技術、8、№7 (1959)	福谷 英二 他
○方形箱壁への陰極防食の適用	Corr. Prev. Contr. 6、3 (1959)	C. Plumpton
○船体とタンクの防食	金属、26、11 (1956)	瀬尾 正雄
○タンカー防食の経済的考察	Corrosion、12、9 (1956)	C. P. Dillon
○電気防食における幾何学的形状因子	Corrosion、11、10 (1955)	W. J. Sehwerdt

○Regnt Springloh号の陰極防食	Corrosion Technology 3, 8 (1956)	
○船室の除湿防食法	Corrosion Technology 3, 11(1956)	H.J.Dean
○カーゴタンクの防食について	船の科学、10、1 (1957)	瀬尾正雄
○バラストタンクの防食	Corr. Prev. Contr., 4, 12 (1957)	K.V.Hadgson
○船体の陰極防食	Werks und Korrosion, 9, Ht6 (1958)	R.Juckniewieg
○タンカー内部腐食防止法	Corrosion, 15, 11 (1959)	J.F.Koehler
○電気防食法の船舶への適用	Corrosion Technology, 7, 4 (1960)	P.H.Hopwood
○タンカータンク内での腐食試験	防食技術、9、9 (1960)	柴他
○陰極防食法のタンク内壁への応用	Corrosion, 12, 5 (1956)	J.H.Grave
○タンカーの内部腐食の防止	Corrosion, 11, 9 (1955)	C.P.Dillon
○タンカータンクの腐食防止剤の使用	Corrosion, 10, 6 (1954)	J.D.Sudfuryetal
○腐食しなくなった米国タンカー	Corrosion Technology, 4, 8(1957)	J.Grindrod
○浮遊型抑制剤との併用防食効果	Corrosion, 14, 3 (1958)	E.R.Streed
○船舶の腐食と防食	船の科学、23, 11 (1970)	瀬尾正雄
○最近の船舶電気防食法	造船技術、3, 4 (1970)	玉利昭一

○ 海水腐食に関する文献

- (1) L.L.Warkins ; "Corrosion and Protection of Steel Piling in Sea Water"
- (2) F.L.LaQue ; "Deterioration of Metals in an Ocean Environment" Ocean Engng Vol 1, P.299~312 (1968)
- (3) W.L.Wheatfall ; "Metal Corrosion in Deep - Ocean Environments" Naval Engineers J. Vol.79 No.4 P611~618 (1967)
- (4) "Splash Zone Corrosion and Mariner Steel" Corrosion Technology Sept.1965 P.30~31
- (5) A.Baumel ; "Korrosion metallischer Werkstoffe in Seewasser" Schiff a Hafen, Heft 9/1967, P.635~641
- (6) E.Uusitalo ; "Effect of Flow Rate on the Galvanic Corrosion of Low - Carbon Steel in Sea Water" Corrosion Vol.17 No.2 P.67t~70t (1961)
- (7) H.B.Gordon ; "How Metals Resist Sea Water" Materials Engineering. May. 1967. P.82~83
- (8) C.R.Southwell & A.L.Alexander ; "Corrosion of Metals in Tropical Environments - Part 9 - Structural Ferrous Metals - Sixteen Years Exposure to Sea and Fresh Water" NRL Report 6862 April 23 (1969)
- (9) J.C.Hudson & J.F.Stanners ; "The Corrosion Resistance of Low - Alloy Steels" J.Iron and Steel - Inst. Vol.180 P.271~284 (1955)
- (10) J.C.Hudson ; "Corrosion of Bare Iron or Steel in Sea Water" J.Iron and Steel Inst. Vol.166 P.123~136 (1950)
- (11) S.A.Main ; "The Role of the Common Elements in the Corrosion of Steel under Marine Conditions" Iron and Steel Vol.56 No.2 P.44~54 (1963)
- (12) B.W.Forgeson, C.R.Southwell, A.L.Alexander, H.W.Mundt & L.T.Thompson, "Corrosion of Metals in Tropical Environments - Part 1 - Five Non - Ferrous Metals and a Structural Steel" Corrosion Vol.14 No.2 P.73t~81t (1958)

- (13) C.R.Southwell, B.W. Forgeson & A.L.Alexander ; "Corrosion of Metals in Tropical Environments - Part 2 - Atmospheric Corrosion of Ten Structural Steels" Corrosion Vol.14 No.9 P.435t~439t (1958)
- (14) 島田春夫 ; "海洋開発用材料の腐食特性(その1)"化学工業 Vol.21 No.10 P.1381~1390(1970)
- (15) 島田春夫 ; "海洋開発用材料の腐食特性(その2)"化学工業 Vol.21 No.11 P.1520~1525(1970)
- (16) 堀川、久保田、玉田 ; "海水腐食と耐海水鋼について"学振97委員会資料 No.229-6 (昭43年6月)
- (17) 佐竹、諸石、中島 ; "鋼の耐海水性に及ぼす金属元素の影響(第1報)"防食技術 Vol.18 No.8 P.355~360(1969)
- (18) 川崎製鉄(KK) ; "耐海水鋼(マリーナー)"学振97委員会資料 No.229-7 (昭43年6月)
- (19) 梅野秀夫 ; "淡水化プラントの金属材料と腐食"防食技術 Vol.18 No.1 P.2~9 (1969)
- (20) 佐竹、諸石、中島 ; "各種鋼材の実船による耐食試験"住友金属 Vol.21 No.3 P.297~306 (1969)
- (21) 紺野和義 ; "海水腐食とマリーナースチール"川崎製鉄技報 Vol.1 No.1 P.105~122 (1969)
- (22) 栄、鬼村 ; "タンカー油槽内における各種構造材料の腐食について"防食技術 Vol.9 No.9 P.385~394 (1960)
- (23) 福谷英二 ; "海洋開発と防食"防食技術 Vol.19 No.10 P.417~427 (1970)
- (24) H.R.Copson ; "腐食に及ぼす速度の影響"防食技術 Vol.9 No.12 P.551~559 (1960)
- (25) A.H.Tuthill & C.M.Schillmoller ; "海水用材料の選定に関する指針"防食技術 Vol.16, No.6 P.261~275 (1967)
- (26) 小若、長野 ; "流動海中における鋼の腐食に及ぼす合金元素の影響"防食技術 Vol.20 No.5, P.213~220 (1971)
- (27) 瀬尾正雄 ; "船舶の腐食と防食"船の科学 Vol.23 No.11 P.71~74(1970)
- (28) 水上知天 ; "大型船バラストタンクの腐食の実情"生産技術協会 塗装部会資料(昭45)

○ 電気防食法に関する文献

- (1) 清岡、山下 ; "電気防食した金属材料の海水による腐食"防食技術 Vol.15 No.2 P.56~60(1965)
- (2) 岡部、日比 ; "タンクの電気防食実験"日本造船学会誌 Vol.509 P.567~578(1971)
- (3) 中川防食工業 ; "バラストタンクの腐食と防食について"生産技術協会、塗装部会資料(昭45)
- (4) 浜田外治郎 ; "塗装と電気防食の併用によるバラストタンクの防食"生産技術協会、塗装部会 第41回研究会資料(昭45)

○ その他(塗装による防食法を含む)

- (1) 栄 幸雄 ; "バラストタンクの腐食と防食"生産技術協会、塗装部会資料(昭45)
- (2) 佐野隆一 ; "バラストタンク内面用塗料について"生産技術協会、塗装部会資料(昭45)
- (3) 神東塗料(KK) ; "各種条件下のエポキシおよびタールエポキシ塗料の性能差について"生産技術協会、塗装部会資料(昭45)
- (4) シェル化学(KK) ; "タンカーの防食"生産技術協会、塗装部会資料(昭45)

年 月 日	会 議 名	資 料 番 号	資 料 名	提 出 会 社
47. 3. 2	第 1 回 幹 事 会	SR140幹1-1	第140研究部会委員名簿	造 研
		SR140幹1-2	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(47年度事業計画書)	造 研
		SR140幹1-3	同 上 47年度研究費一覧表	造 研
		SR140幹1-4	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	三 菱 長 研
		SR140幹1-5	実船調査および実船実験	日 本 防 蝕
		SR140幹1-6	水質の影響等調査	日 本 防 蝕
		SR140幹1-7	塗装法による防食効果の実験	日 立 技 研
		SR140幹1-8	SR140幹事会提案	神 東 塗 料
47. 5. 19	第 1 回 委 員 会	SR140委1-1	第140研究部会委員名簿	造 研
		SR140委1-2	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(47年度事業計画書)	造 研
		SR140委1-3	同 上 47年度研究費一覧表	造 研
		SR140委1-4	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	三 菱 長 研
		SR140委1-5	SR140部会実船試験工程	日 本 防 蝕
		SR140委1-6	SR140部会TANK防食についての研 究項目	日 立 造 船
		SR140委1-7	三菱長船におけるバラストタンク塗装の現 状	三 菱 長 研
		SR140委1-8	バラストタンクの腐食の実例	N K
		SR140委1-9	実船調査および実船試験	日 本 防 蝕
		SR140委1-10	水質の影響等調査	日 本 防 蝕
		SR140委1-11	タンク内塗装における問題点	日 立 造 船
SR140委1-12	バラストタンク腐食・防食関係文献	三 菱 長 研		
SR140委1-13	バラストタンクの腐食・防食に関する研 究(文献調査)	日 立 造 船		
47. 9. 1	第 2 回 幹 事 会	SR140幹2-1	47年度研究進捗状況	三 菱 長 研
		SR140幹2-2	SR140部会実験経過	日 本 防 蝕
		SR140幹2-3	塗装法による防食効果の実験-繰返し応 力下の腐食防止に対する塗装の効果- (48年度実験方案)	日 立 造 船
		SR140幹2-4	バラストタンクの腐食原因および防食方 法に関する48年度研究実施方案	三 菱 長 研

年月日	会議名	資料番号	資料名	提出会社
47. 9.14	第2回委員会	SR140幹2-5	腐食加速法によるバラストタンク腐食要因の探究	船研
		SR140幹2-6a	SR128 47年度研究項目	横大
		SR140幹2-6b	SR128 48年度研究計画(案)	横大
		SR140幹2-6c	塗装試験片の腐食疲労試験	横大
		SR140委2-1	SR140 バラストタンクの腐食と防食の研究	三菱長研
		SR140委2-2	バラストタンクの腐食原因および防食方法に関する48年度研究実施方案	三菱長研
		SR140委2-3	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 — 応力の変化に対する塗膜の防食効果 — 48年度研究実施方案	日立造船
		SR140委2-4	水質の影響調査	日本防蝕
		SR140委2-5	鋼材表面の処理状態が腐食防食に及ぼす影響の調査(予備試験)	日本防蝕
		SR140委2-6	SR140部会、SR128部会供試用タールエポキシ塗料について	中国塗料
47.10.19	48年度実船試験打合せ会	SR140委2-7	腐食加速法によるバラストタンク腐食要因の探究	船研
		資料-1	試験対象希望船	中国塗料
		資料-2	SR140部会、SR128部会供試用タールエポキシ塗料について	中国塗料
		資料-3	実船調査および実船試験	日本防蝕
		資料-4	タンク内実船試験(電気防食効果)計画	日本防蝕
		資料-5	タンカーの深大タンク内の温度計測、計画概要	日本防蝕
48. 1.31	第3回幹事会	資料-6	海外出張要旨	三好委員
		SR140幹3-1	バラストタンクの腐食原因および防食方法に関する47年度報告書	三菱長研
		SR140幹3-2	水質の影響等調査	日本防蝕
		SR140幹3-3	実船調査および実船試験	日本防蝕
		SR140幹3-4	バラストタンクの腐食の実例	NK
		SR140幹3-5	附、第140研究部会委員会提出資料一覧表	造研
		SR140幹3-6	(B)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 48年度研究費一覧表	造研
SR140幹3-7	日本造船研究協会第140研究部会48年度実船塗装試験について	神東塗料 中国塗料		

年月日	会議名	資料番号	資料名	提出会社
48. 2. 7.	第3回委員会	SR140委3-1	報告書表紙、はしがき、委員名簿	造 研
		SR140委3-2	バラストタンクの腐食原因および防食方法 に関する47年度報告書	三菱長研
		SR140委3-3	「水質の影響等調査」47年度報告書	日本防蝕
		SR140委3-4	「実船調査および実船試験」47年度報告 書	日本防蝕
		SR140委3-5	バラストタンクの腐食の実例、	N K
		SR140委3-6	ま と め	三菱長研
		SR140委3-7	48年度実船塗装試験について	{ 神東塗料 中国塗料
		SR140委3-8	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(48年度研究計画)	造 研