

第157研究部会

船体構造のメインテナンスフリーに
関する研究

報告書

昭和52年3月

社団法人

日本造船研究協会

本年度は、工作欠陥による損傷を防止するため、建造時に於てどのような品質管理システムを設くべきか、また工作欠陥がなくても発生する構造設計上の損傷の実態、特に振動疲労に起因する損傷、さらに構造部材や艤装品についての状況について調査研究を行つた。

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会の昭和51年補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として、日本造船研究会が第157研究部会においてとりまとめたものである。

第157研究部会委員名簿

(敬称略五十音順)

部会長	木原 博	
副部会長	寺沢 一雄	
主査	藤田 譲 (東京大学)	
幹事	飯田国広 (東京大学)	飯塚 真平 (住友重機械工業)
	池田一夫 (神戸製鋼)	石黒隆義 (新日本製鉄)
	井上 肇 (船舶技術研究所)	仰木盛綱 (佐世保重工業)
	太田幹二 (日本钢管)	大橋延夫 (川崎製鉄)
	尾上久浩 (三菱重工業)	賀来信一 (日本海事協会)
	川原正言 (日本钢管)	菊池晋一 (三菱重工業)
	岸 康太郎 (三井造船)	楠原泰四郎 (日本钢管)
	後藤 大三 (石川島播磨重工業)	恒成利康 (川崎重工業)
	寺本 晋 (三菱重工業)	永井 明 (日立造船)
	平川 賢爾 (住友金属工業)	的場 正明 (三菱重工業)
	山形俊介 (三菱重工業)	
委員	青塚 剛 (横崎造船)	秋田好雄 (日本海事協会)
	石橋敬男 (佐野安船渠)	板垣 浩 (横浜大学)
	伊東達夫 (川崎汽船)	五十川幸一 (三保造船)
	太田元久 (日本防蝕工業)	岡田陽雄 (大阪造船)
	小川泰之輔 (石川島播磨重工業)	金井良助 (三菱重工業)
	金沢武 (東京大学)	木村朝夫 (中川防蝕工業)
	佐藤邦彦 (大阪大学)	堺由輝 (川崎重工業)
	沢柳政弘 (三井造船)	鈴木省輔 (函館ドック)
	高屋鋪尚史 (出光タンカー)	辻勇 (九州大学)
	長沢準 (船舶技術研究所)	永野侃 (昭和海運)
	西川孝寛 (東亜ペイント)	服部堅一 (住友重機械工業)
	藤掛勝正 (新和海運)	古川修 (日本郵船)
	松崎義男 (来島どっく)	真能創 (防衛大学校)
	毛利武弘 (大阪商船三井船舶)	八木順吉 (大阪大学)
	山口勇男 (日本海事協会)	

討議參加者	浅井孝雄（日本郵船）	有川信一（佐世保重工業）
	石井信夫（日本郵船）	板谷哲秀（三菱重工業）
	遠藤源吉（日本钢管）	岡野伊史（佐世保重工業）
	岡本太郎（日立造船）	尾野英夫（川崎重工業）
	神尾善二（三井造船）	川崎哲郎（三菱重工業）
	黄瀬利弘（三菱重工業）	操野幾三（住友重機械工業）
	小林邦彦（川崎製鉄）	小松英雄（住友金属工業）
	酒戸恒男（住友重機械工業）	出納真平（神戸製鋼）
	徳岡直明（石川島播磨重工業）	中村義隆（石川島播磨重工業）
	成木朝雄（川崎製鉄）	秦憲雄（石川島播磨重工業）
	広川紀夫（三菱重工業）	沢井博（神戸製鋼）
	松本健男（住友重機械工業）	松本重人（川崎製鉄）
	松本宏之（石川島播磨重工業）	矢島久義（石川島播磨重工業）
	山下正宏（三菱重工業）	

第157研究部会第1分科会委員名簿

主　查　藤田　讓（東京大学）
委　員　上記委員会幹事

第157研究部会第2分科会委員名簿

主　查	賀来信一（日本海事協会）	
委　員	浅井孝雄（日本郵船）	阿部晃（日立造船）
	稻葉達夫（三菱重工業）	太田紀一（三井造船）
	片島博和（住友重機械工業）	木津圭二（大阪商船三井船舶）
	崎谷安男（川崎重工業）	佐山昭彦（川崎汽船）
	伊達正（山下新日本汽船）	永野侃（昭和海運）
	広瀬精治（日本钢管）	藤敬輔（石川島播磨重工業）
	前田茂美（佐世保重工業）	宮瀬昭夫（ジャパンライン）
討議參加者	川路正（昭和海運）	斎木昇（大日本塗料）
	佐々木義昭（日本钢管）	瀬尾正雄
	高嶋幹雄（川崎重工業）	武正昇三（日本钢管）
	田所耕一（ジャパンライン）	砥石研治（日本郵船）
	徳岡泰弘（日本油脂）	永井欣一（広島大学）
	中川啓三（関西ペイント）	中村義治（日本钢管）
	新沢健（日本ペイント）	横山澄明（新東洋エンジニアリング）
	横山勉（石川島播磨重工業）	

目 次

1 まえがき	1
2 研究の目的と内容	3
3 工作欠陥の許容基準と品質管理及び検査システムの研究	4
3.1 工作欠陥の定義と欠陥を含む溶接継手の信頼性の評価	4
3.2 工作欠陥を防止するための管理と検査システム	8
3.3 欠陥と強度に関する補足実験	19
4 船体構造設計に起因する損傷の調査	29
4.1 船体損傷の概要	29
4.2 貨物船の船倉部の損傷	30
4.3 大型タンクの内部材の損傷	35
4.4 甲板及び外板の損傷	43
5 大型タンク内部材の振動疲労の実船実験	50
5.1 目的及び経緯	50
5.2 実船実験	50
5.3 解析	58
5.4 考察	59
6 船体構造の防食に関する調査	95
6.1 船体構造の腐食に関する実船調査	95
6.2 船体構造の腐食の傾向と防食対策	97
6.3 船体構造の防食対策の問題点	122
7 結言	137

1 まえがき

船舶の歴史は長く人類の歴史と同程度と考えられる。しかし近代的な鋼製貨物船が誕生したのは数十年前のことであり、さらに本格的な溶接船の歴史は30年、大型専用船は15年前後の歴史を有するにすぎない。

歴史のもっとも古い一般貨物船については船型、速力、大きさに大きな変化はなく、一般損傷のデータも充分フィードバックされて新しい改善された船舶が建造され、さらにその損傷データが還元されることによって海難による損傷のほかは殆んど設計構造に起因する損傷は少くなっている。

しかし、船令が大なるにつれて腐食衰耗による損傷や構造部材の取替えが急速に増え、メンテナンスのための工事費が年々増大するばかりでなく、船舶の安全性も阻害する結果となっている。

油送船、ばら積み貨物船、鉱石船等は急速に大型化が進んだため一般貨物船のように損傷のフィードバックが充分行われず類型的な損傷が多くあらわれ、さらに原油や鉱石、プラスチック水を搭載するため貨物倉やタンクに完全な塗装が行われないこともあって腐食が急速に進行するため損傷発生の傾向を助長し、比較的若い船令においても損傷補修や腐食部材の取替え等メンテナンスに多大の費用を要し、修理のための停船は経済的にもきわめて大きな損失となっている。

船舶の一般損傷については従来個別に取り上げられその対策が論じられたことは多いが、総合的に調査されたことは少ない。また船体構造のどのような部分が腐食しやすいかも総合的に調査されたことは少ない。昭和51年度の研究はこれらの点について検討し、問題点を抽出し未だ充分な解決法の見出されていない問題を整理することを試みた。

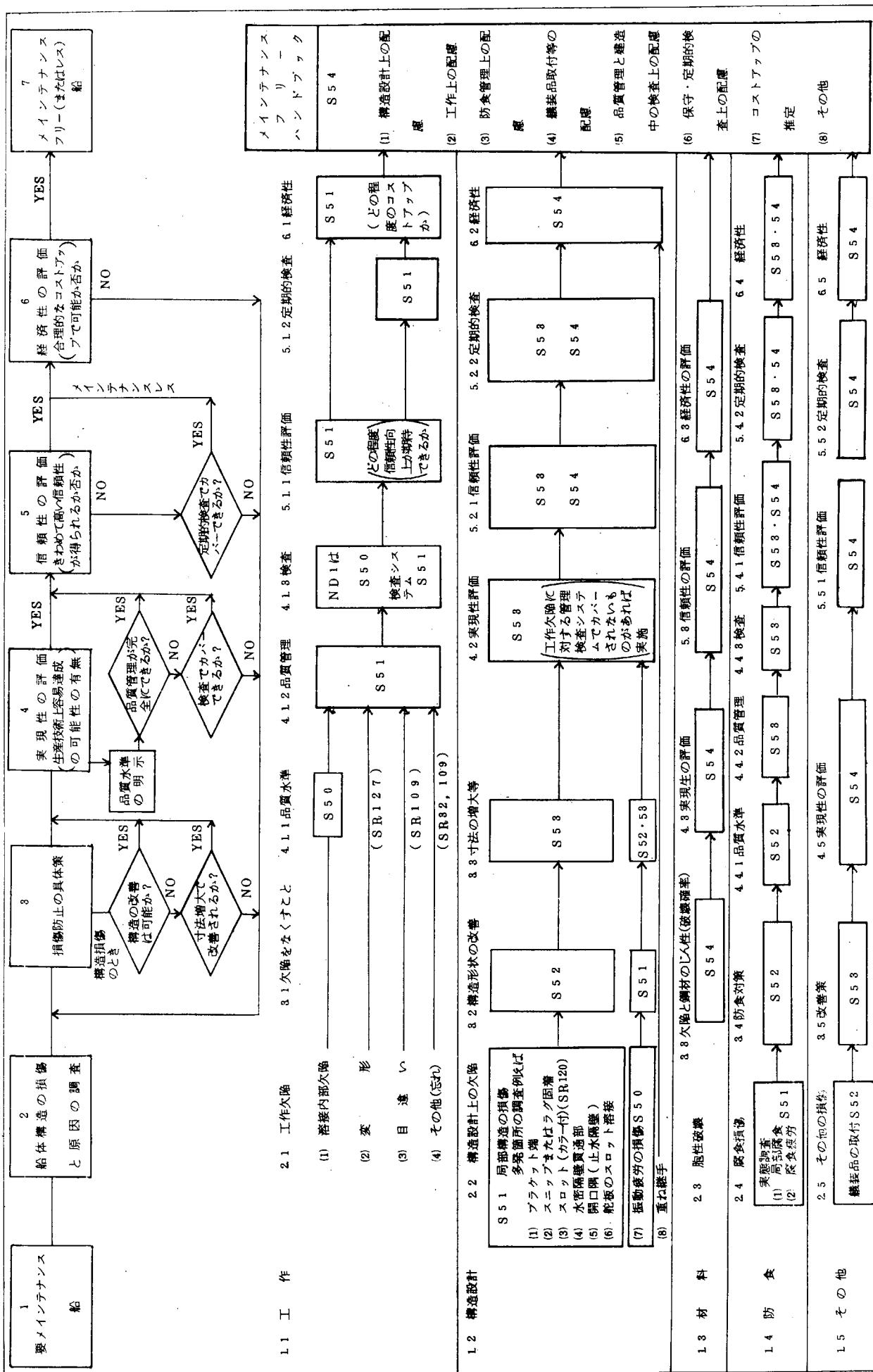
また昭和50年度に引き続き工作欠陥による損傷を極力ゼロにするための検査システムのあり方について検討を行い、造船所における品質管理のかんどころを明らかにした。

大型船の損傷件数の約半数を占めるスロット周辺の損傷はスロット部の補強によってその大部分が防止できるが、そのかわり縦肋骨や縦通隔壁の水平防撓材にき裂損傷を生じることがある。この損傷は最近の新造大型船に散見されておりその対策が必要となっているが、その原因の一つとして船体構造部材の共振が着目され、この問題についても検討が進められた。

船体構造のメンテナンスフリーのための研究は昭和50年度計画で進められ、現在ほぼ予定どおりのピッチで進捗している。いうまでもなく、この研究の最終のゴールは「船体構造のメンテナンスフリーマニュアル」を作製することである。このマニュアルは最終年度に完成するが、すでに調査、研究の完了している項目もあり、明年度から完了した項目については検討の上採録が予定されている。

本研究の実施の手順を表-1に示す。

表-1 S R 1 5 7 船体構造のメインテナンスフレイアに関する研究の進め方



S O O Iは研究調査実施年度を示す。

2 研究の目的と内容

昭和51年度は工作欠陥による損傷を防止するため建造時に於てどのような品質管理システムを設けるべきか、また工作欠陥がなくなても発生する構造設計上の損傷の実態、特に振動疲労に起因する損傷、さらに腐食による構造部材や舾装品の状況について調査研究を行った。

このような調査研究を行なう過程において現段階において実現可能となる「船体構造のメンテナンスフリー」とは次に述べるものを見地において考えることになった。

- (1) 建造後2回目の定期検査まで、一般損傷による補修工事が殆んどないこと
- (2) 建造後2回目の定期検査において防食対策の補修を行えば、船舶の一生を通じ腐食耗による部材の取替工事が殆んどないこと

上記の見地から次のような調査研究を行った。

① 工作欠陥の許容基準と品質管理及び検査システムの研究

就航後損傷の原因となるような工作欠陥を明らかにし、その欠陥の定量的な許容基準を確立し、そのような欠陥を作らないために必要な品質管理と検査システムのかんどころを明確にする。さらに溶接部の内部欠陥として溶込み不足の重要性が 50 kg/mm^2 高張力鋼ではどうなるかについても実験を行って明らかにする。

② 船体構造設計に起因する損傷調査

就航後8年間の一般損傷を皆無に近くするためには船令8ないし10年までの船舶の構造設計に起因する損傷を調査し、その原因と防止対策を明らかにし、要すれば設計時に必要な対策を講じておくことが望まれる。この船令までの一般貨物船、ばら積み船、油槽船の各構造部分についての損傷の実態を調査し、損傷防止対策の立案に役立せることになった。

③ 大型タンク内部材の振動疲労の実船実験

大型船のタンクの内部材の損傷は各種の損傷防止対策によって大巾に減少する気運にあるが、現在なお部材の振動疲労によると思われる損傷が見受けられる。これらの損傷を初期設計時に予知して未然に防止できればメンテナンスフリーの点で好ましいことである。そこで大型船のタンク内部材の振動特性及び振動応力の実態を把握するため、17万DWTタンカーについて起振機による実船振動実験、試験転時の振動・応力計測を行った。

④ 船体構造の防食に関する調査

船体構造の防食はメンテナンスフリー上きわめて重要な項目で、水線下外板の塗装をのぞき、建造後最初の4年間は防食に関し塗装の補修などを全く要せず、その後4年を経過して8年後に若干の塗膜や電極の補修を行えば船の一生を通じ内部材を腐食耗を理由として取替える必要がないようになるためにはいかにすれば良いかについて調査を行った。

まず、各種の船舶について構造部材の腐食状況について従来の実績と知識からその概要と防食対策をまとめた。その後一般貨物船、ばら積み船及び油槽船に実船調査を行い、その結果をフィードバックして、各種の船舶ごとの腐食の傾向と防食対策を取りまとめた。

特に実船調査は最新の防食対策を施した船令4～5年の船舶をえらび、8年間防食に關しメンテナンスフリーにする際の問題点を明らかにした。

以上の調査研究は予定どおり行われ、ほぼ予期された結果が得られたが、なお今後検討を要する事項も若干残されている。

3 工作欠陥の許容基準及び品質管理と検査システムの研究

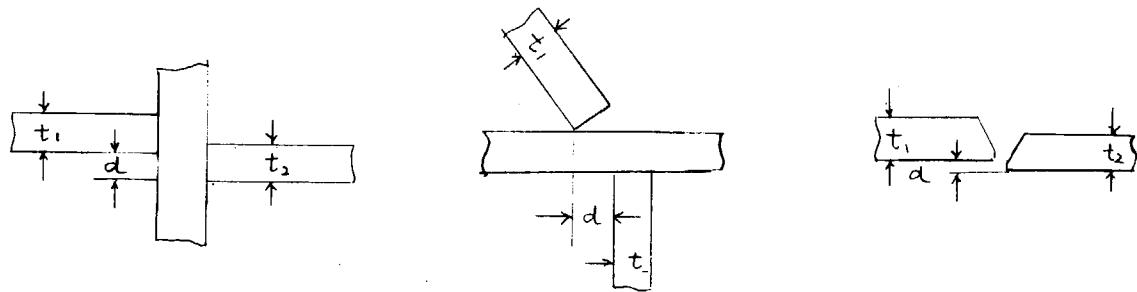
3.1 工作欠陥の定義と欠陥を含む溶接継手の信頼性の評価

3.1.1 工作欠陥の定義

(1) 組立精度に関連する工作欠陥

組立精度に関連する工作欠陥で就航後船体構造に損傷をもたらすものとしては、部材の目違い、部材の変形及び組立られる部材間の隙間の過大に集約できる。現在までの多くの研究と調査の結果¹⁾、メンテナンスフリーの見地から次の工作欠陥が許容されない欠陥として定義することができる。

(a) 部材の目違い



a) すみ肉継手の目違い(その1) b) すみ肉継手の目違い(その2) c) 突合せ継手の目違い

図 3.1.1-1 組立部材の目違い d

工作欠陥となる部材の目違い量 d (図 3.1.1-1 参照) は次の通りである。

- i) すみ肉継手：重要部材では $\frac{1}{3} t_2$ ($t_2 \leq t_1$ 以下同じ)，一般部材では $\frac{1}{2} t_2$ をいずれも越えるもの。
- ii) 突合せ継手：重要部材では $0.15 t_2$ ，一般部材では $0.2 t_2$ を越えるもの。

これら的工作欠陥となる目違いは溶接前に取付直しするのが原則で、溶接完了後発見された場合も取付直しをすることが原則であるが、重要部材のすみ肉継手で d が $\frac{1}{3} t_2$ を越え $\frac{1}{2} t_2$ 以下の場合は、10%程度脚長を増加することで取付直しにかえて差しつかえない。

(b) 部材の変形

部材の変形に関連する欠陥はいわゆる「やせ馬変形」(パネル変形)が大部分である。パネルの変形については

J S Q S で撓み量の規定があるが、強度上の裏付けはなく、損傷調査の結果凹損も多い。

現段階では、S R 1 2 7 部会で検討された基準を取敢えず採用することとした。この基準値は図 3.1.1-2 のとおりであるが、防撓材間隔、板厚との

関連でやせ馬のたわみ量がきめられており、防撓材間隔が広く、板厚が小さいときは J S Q S よりかなり厳格となっている。防撓材間隔が小さければ、かなりのやせ馬量まで許容される。図 3.1.1-2 の基準は基礎となる外力が縦曲げ応力であるため横強度部材については今後検討が必要となる。

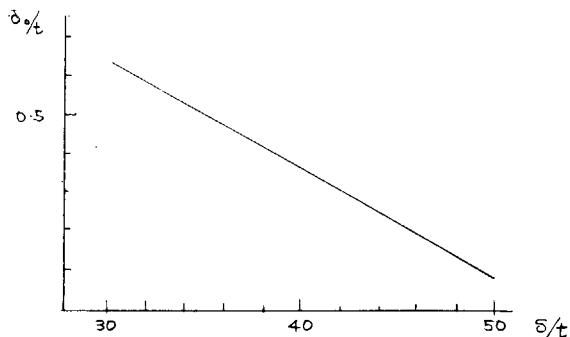
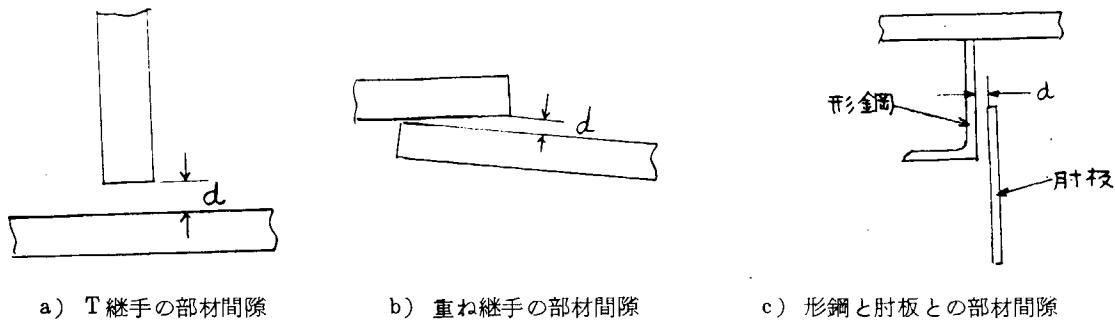


図 3.1.1-2 パネルの変形の許容基準

(c) 部材間隙

T 継手や重ね継手の場合組立部材間の間隙 d が大きいとのど厚不足等溶接継手の内部欠陥となる。



この部材間隙は 3 mm 以下とする。3 mm を越え 5 mm 以下の場合は $(d - 2)$ mm の増し脚長としてよいが、5 mm を越える場合は面取り溶接又はライナ処理を行い、16 mm を越えるときは切換えることを原則とする。

(2) 溶接に関連する工作欠陥

(a) 突合せ溶接の溶込み不足及びき裂

突合せ溶接の溶込み不足とき裂はその長短を問わず許容されない工作欠陥である。発見された溶込み不足とき裂は手直し再溶接が行われなければならない。

(b) アンダカット

0.6 L (D) の外板及び強力甲板の継手及び縦強度部材の横縫継手では深さが 0.5 mm を越えかつ 90 mm 以上連続するもの、その他の部材では深さが 0.8 mm を越えるものは許容されない工作欠陥である。このようなアンダカットは手直し補修が必要である。

(c) 脚長不足

すみ肉継手で規定の脚長より 10 % を越えて少ない場合は許容されない工作欠陥となる。脚長不足の箇所は手直しが必要となる。

(3) その他の工作欠陥

(a) ガスノッチ

舷側厚板の上縁、強力甲板、外板等の開口部、その他振動等による損傷の多いと予想される箇所の部材の自由端におけるガスノッチは許容されない工作欠陥である。

その他の部材に対しては 3 mm を越えるものは許容されない。このようなガスノッチは手直し補修が必要である。

(b) 溶接忘れ、部材の取付忘れ、誤作

いずれも許容されない工作欠陥である。

引用文献

- 1) 例えば「船体構造のメインテナンスフリーに関する研究報告書」、(社)日本造船研究協会研究資料 No.253、昭和 51 年 3 月
- 2) 「船殻部材歪量の船体強度に及ぼす影響に関する研究報告書」、(社)日本造船研究協会研究資料 No.212、昭和 50 年 3 月

3.1.2 溶込み不足を含む溶接継手の信頼性評価

突合せ溶接継手の工作欠陥の 1 つである溶込み不足を有する継手の信頼性を定量的に判定するため、この突合せ継手の疲れ強度上の capability を算出し、さらに船体構造部材に発生する波浪変動応力 σ_{wext} (10^8 回に 1 度は発生

すると見なされる特性極値)が作用した場合の継手部の疲れき裂の発生確率 P_f を計算した。

ここに 10^8 回とは船が 20 年間の航海してうける種々の大きさの波浪荷重によって生じる応力変動の回数で、この場合疲れき裂の発生確率が 1 であるとすれば 10^8 回すなわち 20 年目に疲労き裂を発生することを意味する。継手の疲れ強度の信頼性 R は次式であらわされる。

$$R = 1 - P_f \quad \dots \quad (3.1.2-1)$$

疲れ強度の信頼性算出のためには継手の S-N 線図を次式のような両対数目盛の直線式で近似し、係数 A および B を最小二乗法によって決定する。

$$\log_{10} N = B - A \log_{10} \sigma \quad \dots \quad (3.1.2-2)$$

N : 破断までの繰返し回数

σ : 応力片振幅 (Kg/mm^2)

1) 次に適当な方法によって継手の capability を算出し、波浪変動応力 σ_{wext} が $2.5, 5, 10, 15 Kg/mm^2$ 、継手の平均応力 σ_m が $0, 5, 10, 15 Kg/mm^2$ の場合、これらの変動応力と平均応力との組合せに対し、溶込不足を含む突合せ継手の P_f の値がどのようになるかを計算で求めることができる。

代表的な溶接継手として健全な継手 A1 及び A2、極めて浅い溶込不足を有する継手 P3、板厚 20 % の溶込不足を有する継手 P4、板厚の 25 % までの種々の深さの溶込不足を有する継手 P6 について上記の応力の組合せに対する損傷発生確率及び信頼性を計算すると、表 3.1.2-1 のとおりとなる。

表 3.1.2-1 によれば、平均応力が低く変動応力が低い場合の損傷発生確率はきわめて低く、継手の信頼性はきわめて高いが、平均応力が高く、変動応力も高い場合は損傷の発生確率はかなり高くなり、1 に近くなり、信頼性も低くなることがわかる。

縦強度部材の 10^8 回の波浪変動応力は $10 Kg/mm^2$ 、平均応力は $5 \sim 10 Kg/mm^2$ といわれておらず、P6 程度の溶込不足で疲れ破壊を生じた縦強度部材がきわめて少ないことはこの数字からもわかる。

横強度部材では波浪変動応力は $5 \sim 10 Kg/mm^2$ 、平均応力は $10 \sim 15 Kg/mm^2$ に達するといわれておらず、この場合 P6 の損傷発生確率が $0.3 \sim 0.5$ となる。大型船のトランスリンクの面材の継手が溶込み不足で損傷を発生することが時々見受けられる。この損傷は 20 年を経過せずとも船令 8 年前後の船で時々起る損傷であり、実際の溶込不足はかなり大きいものと考えられる。

表 3.1.1-1 溶接継手の疲れき裂発生確率と信頼性

変動応力 σ_{wext} (kg/mm^2)	平均応力 σ_m (kg/mm^2)	健全継手			
		溶込不足		不	
		A 1, A 2	P 3	P 4	P 6
2.5	0	—	0.05 t の溶込不足 (ビード止端破断)	0.10~0.15 t の溶込不足 (ビード破断)	0~0.25 t の溶込不足 (ビード破断)
		0.663×10^{-27} (*)	0.213×10^{-22} (*)	0.225×10^{-17} (*)	0.229×10^{-9} (*)
		0.389×10^{-22} (*)	0.414×10^{-18} (*)	0.423×10^{-13} (*)	0.128×10^{-6} (*)
		0.300×10^{-15} (*)	0.619×10^{-12} (*)	0.233×10^{-9} (*)	0.120×10^{-4} (*)
	5	0.211×10^{-12} (*)	0.515×10^{-10} (*)	0.556×10^{-8} (*)	0.608×10^{-4} (*)
		0.180×10^{-14} (*)	0.560×10^{-12} (*)	0.799×10^{-9} (*)	0.109×10^{-4} (*)
		0.120×10^{-11} (*)	0.193×10^{-9} (*)	0.208×10^{-6} (*)	0.376×10^{-3} (*)
		0.821×10^{-8} (*)	0.513×10^{-6} (*)	0.237×10^{-4} (*)	0.475×10^{-2} (0.996)
	10	0.479×10^{-8} (*)	0.880×10^{-5} (*)	0.183×10^{-3} (*)	0.132×10^{-1} (0.987)
		0.619×10^{-6} (*)	0.739×10^{-5} (*)	0.333×10^{-3} (*)	0.119×10^{-1} (0.989)
		0.145×10^{-4} (*)	0.124×10^{-3} (*)	0.390×10^{-2} (0.997)	0.564×10^{-1} (0.944)
		0.681×10^{-3} (*)	0.377×10^{-2} (0.997)	0.284×10^{-1} (0.972)	0.168 (0.832)
15	0	0.536×10^{-2} (0.995)	0.168×10^{-1} (0.984)	0.785×10^{-1} (0.922)	0.275 (0.725)
		0.102×10^{-2} (0.999)	0.342×10^{-2} (0.997)	0.312×10^{-1} (0.969)	0.136 (0.864)
	5	0.576×10^{-2} (0.995)	0.160×10^{-1} (0.984)	0.105 (0.895)	0.294 (0.706)
		0.381×10^{-1} (0.962)	0.843×10^{-1} (0.916)	0.261 (0.738)	0.496 (0.504)
	15	0.119 (0.891)	0.196 (0.804)	0.437 (0.563)	0.638 (0.363)

註) 1. ()内の数字は疲れ破壊に対する信頼性, ()のない数字はき裂発生確率
2. (*)は0.999以上を示す。

3.2 工作欠陥を防止するための管理と検査システム

3.2.1 目的

工作欠陥をつくりないため、たとえつくっても発見して除去するための管理と検査システムを、現在各造船所で行なわれている管理検査方法をもとに検討した。なお各造船所とともに設備レベル、作業員の技術・技能レベル、外注ならびに協力会社に対する依存度等が異なるため、管理の詳細にわたり画一的に述べることは避け、メンテナンスフリー船建造のための管理の急所と項目についてとりまとめた。

以下に述べる管理項目の管理がじゅうぶん行われるならば、100%とはいいきれないが、工作欠陥のほとんどが防止されるものと考える。

用語を次のとおり定義する。

(1) 自主管理体制

組立ステージでの船殻プロップ、外業ステージでの区画等を対象に、安全、品質、工程、工数をこれにたずさわる作業員グループ自身が管理する体制で、品質に関しては作業員全員が作業員であり、かつ検査員であって、さらにグループのリーダー等により、ダブルまたはトリプルチェックされるのが通常の方法である。

(2) 専従品質管理者

いわゆる品質スタッフ、QCメンバーとよばれているもので、実作業には従事せず、精度計測・解析を行なったり、技量レベル等を把握するために非破壊検査の指示とその結果のフィードバックを行なう人。

(3) 非専従品質管理者

(1)で述べたダブルもしくはトリプルチェックを行なう人で、グループリーダー監督者等が相当する。

3.2.2 管理と検査システムの現状

現状の工作欠陥を防止するための管理と検査システムを、アンケートにより調査した。このアンケート調査には、28造船所の協力を得た。アンケート内容は次のとおりである。

1) 品質管理・検査要員

2) 代表的な工作欠陥例に対し、現在行なわれている管理と検査の要点とその詳細および過去に効果のあった具体的管理方法

3) 今後指向する品質管理と検査システム

以下に、この調査結果の概略を示す。

(1) 品質管理・検査要員の現状

表3.2.2-1に、各造船所の船殻工作部門における直接作業員と品質管理と検査業務に従事する人員数を一覧する。表中のI、II、III群は、便宜上、直接作業員の数700人以上をI群に、400人以上700人未満をII群に、400人未満をIII群とした。

品質管理・検査業務に専従する人員数の直接作業員数に対する割合を図3.2.2-1に示す。図3.2.2-2は品質管理業務も行なう監督職を含む直接作業員数の割合を示す。これらより、専従者は直接作業員100人に對し2~6人で、一方品質管理業務も行なう直接作業員は10人に對し1~3人におよんでいる。(表3.2.2-1)(図3.2.2-1)(図3.2.2-2)

(2) 代表的な工作欠陥の具体例に対する品質管理と検査の概略

表3.2.2-2に、各工作欠陥の具体例に対する品質管理と検査の概略と効果のあった具体的な管理方法を一覧する。ここにあげた工作欠陥の具体例は、過去の損傷実績より、これらの欠陥に起因する損傷例が比較的多いものを選んだ。効果のあった具体的な管理方法としてあげられている船殻プロックへの減点法実施結果の一例¹⁾を、図3.2.2-3に示す。図3.2.2-4には、不具合発生時にそのフィードバックのための連絡票、いわゆる“誤作票”的集計結果の一例を示す。表3.2.2-3には、各造船所で行なわれている突合せ溶接継手に対する非破壊検査のメッシュの概略を示す。

す。表3.2.2-4には、ランダムに抜取り検査されたX線検査結果の一例を示す。（表3.2.2-2）（図3.2.2-3）（図3.2.2-4）（表3.2.2-3）（表3.2.2-4）

（3）今後指向する品質管理・検査システム

回答した全造船所とも現行の自主管理体制の継続とその徹底をはかり、この方法が最終的に品質保証につながり、また、つなげたいとの考えをもっている。さらに検査に関しては、上記体制が円滑に運営されているかどうかを、適宜チェックするシステムとしたいと考えている。管理の徹底の方法としては、フィードバックシステムの確立、資材、設計などの関連部門との連けい、品質に対する責任所在の明確化などが挙げられている。

3.2.3 メンテナンスフリー船建造のための管理と検査システム

船殻構造の工作欠陥による損傷と修理をなくすためには、自主管理体制の確立が最良の方法で、検査はこの体制が円滑に運営されているかどうかをチェックするシステムであるべきと考えられ、以下に各工作欠陥防止のための管理項目と効果のあると考えられる方法例を述べる。

（1）すみ肉継手の過大ギャップ

表3.2.3-1に、ステフナおよびプラケットと骨材とのすみ肉継手の過大ギャップ防止のために、各ステージで行なうべき管理項目とその内容、さらに効果のあると考えられる方法例を示す。

表中の区分Aは、工作欠陥の発生防止を、Bはその残存防止（補修されないで工事されることを防ぐ）を指向するもので、また、平均的な造船所において重点をおくるおく項目には、優先度欄に◎および○を付した。

なお、上記以外の過大ギャップで損傷に結びつく場合が比較的多い、例えばパイプ貫通部は、表3.2.3-1の現図ならびに加工ステージでの管理項目をおさえれば良く、いずれの場合も、各ステージでの一貫した、しかもバランスのとれた寸法精度管理が必要と考えられる。（表3.2.3-1）

（2）すみ肉継手の過大目違い

表3.2.3-2に、トランスバルクヘッドストールと二重底フロアとの過大目違い防止のための管理項目を示す。目違いもギャップと同様に、各ステージでの一貫した、しかもバランスのとれた寸法精度管理が決め手と考えられる。

（表3.2.3-2）

（3）取付誤り・忘れ、溶接忘れ

表3.2.3-3に、防止のための管理項目を示す。この欠陥に関しては、工作図の誤りは別にして、ダブルもしくはトリプルの自主品質管理が決め手と考えられる。（表3.2.3-3）

（4）過大変形

表3.2.3-4に、トランスリングのスチフナ間でのウェップの変形防止のための管理項目を示す。これ以外の変形についても、基本的には同じで、各ステージでの自主品質管理と、最後の歯止めとしての構造テスト時あるいは総点検と呼ばれている区画の完成検査後の自主検査により、落ちこぼれを拾うのが望ましいと考えられる。（表3.2.3-4）

（5）溶込み不足

表3.2.3-5に、溶込み不足防止のための管理項目を示す。突合せ継手全長にわたり非破壊検査を行うならば、ここにあげた管理項目のはほとんどは必要でなくなるかも知れないが、図3.2.3-1に示すように膨大な溶接長の全長を非破壊検査するのは、工期的にもまたコスト的にも問題があり、これをカバーするためには、この表にあげた管理が必要となろう。

なお、ほとんどの造船所では、前出表3.2.2-3に示したように、片面自動溶接の始終端部や開先精度が悪く欠陥発生の恐れのある箇所は、非破壊検査により確認されているが、この検査による、J I S Z 3 1 0 4 の等級分類による3種4級の欠陥の発見率は、おおむね次のようであろう。

溶接法	欠陥発生の恐れのある箇所	左記以外の箇所
手・CO ₂ 半自動溶接	0.1～0.2%	0～0.03%
F C B 溶接	0.2～0.5%	0%
F A B 溶接	0.3～0.7%	0～0.04%
エレクトロガス溶接	0～0.01%	0%

注) %はX線フィルムの枚数比率で表示。

この表より明らかなように、欠陥発生の恐れがあり、各造船所で非破壊検査が行なわれている箇所の発見率は、これ以外の箇所のそれに比べて、10～20倍となっている。換言すれば、少なくとも欠陥発生の恐れがある箇所が非破壊検査で確認されたならば、溶込み不足は90～95%除去されることになる。

参考資料

- 1) (社)日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編、溶接品質管理マニュアル、産報
- 2) 同 上

最近における溶接の技術とその管理、昭和48年6月シンポジウムテキスト

表 3.2.2-1 品質管理・検査要員一覧表

造船所群 番号	社員作業人員数 (除く監督職) ①		社員監督職人 員数	協力社員人 員数	専従検査人 員数	専従品質管理人 員数	非専従品質管 理人員数	② ①+③ +④	③ ②+③+④	④ ⑤	⑤ ⑥+⑦+⑧
	取付職	溶接職									
I-1	251	300	48	176	11	12	100	775	0.03	0.13	0.16
-2	363	514	123	8	17	41	230	1,008	0.06	0.10	0.16
-3	370	241	150	112	12	13	160	873	0.03	0.18	0.21
-4	267	299	57	100	28	9	160	723	0.05	0.22	0.27
-5	171	206	71	345	13	14	120	793	0.03	0.15	0.19
-6	631	434	137	0	23	44	184	1,202	0.06	0.15	0.21
-7	278	438	103	8	10	17	205	827	0.03	0.25	0.28
-8	245	376	135	620	13	21	300	1,376	0.03	0.22	0.24
-9	551	697	148	114	25	8	152	1,510	0.02	0.10	0.12
-10	557	745	246	63	32	27	250	1,611	0.04	0.16	0.19
II-1	244	306	55	0	8	12	224	605	0.03	0.37	0.40
-2	44	79	23	269	9	16	40	415	0.06	0.10	0.16
-3	53	45	7	457	8	6	46	562	0.03	0.08	0.11
-4	196	220	68	204	18		130	688	0.03	0.19	0.22
-5	115	116	48	302	9	5	67	581	0.02	0.12	0.14
-6	180	250	18	140	5	14	120	588	0.03	0.20	0.24
-7	80	118	21	227	8	0	70	446	0.02	0.16	0.17
-8	133	174	44	148	6	10	117	499	0.03	0.23	0.27
-9	157	240	50	0	27	0		447	0.06		
-10	189	208	49	20	11	1	130	466	0.03	0.28	0.30
-11	218	256	100	120	12	13	200	694	0.04	0.29	0.32
III-1	47	73	37	166	0	12	20	323	0.04	0.06	0.10
-2	15	27	38	243	10	12	60	323	0.07	0.19	0.25
-3	83	188	28	80	14	8	70	379	0.06	0.18	0.24
-4	60	63	14	64	4	5	36	201	0.04	0.18	0.22
-5	39	34	34	209	11	8	50	316	0.06	0.16	0.22
-6	92	92	24	80	4	2	62	288	0.02	0.22	0.24
-7	98	133	26	96	5			353	0.01		
合計	5,727	6,772	1,902	4,371	353	330	3,303	18,872	0.036	0.175	0.211

注 1) 人員数は、昭和51年7月～11月の数

2) 非専従品質管理員とは、自分以外の者が行なった工事の出来ばえをチェックする人で、かつそれに費す時間が勤務時間の80%未満の人をさす。例えば自主検査を行なうグループリーダー等。

作業人員10人当りの品質管理検査業務専従人員

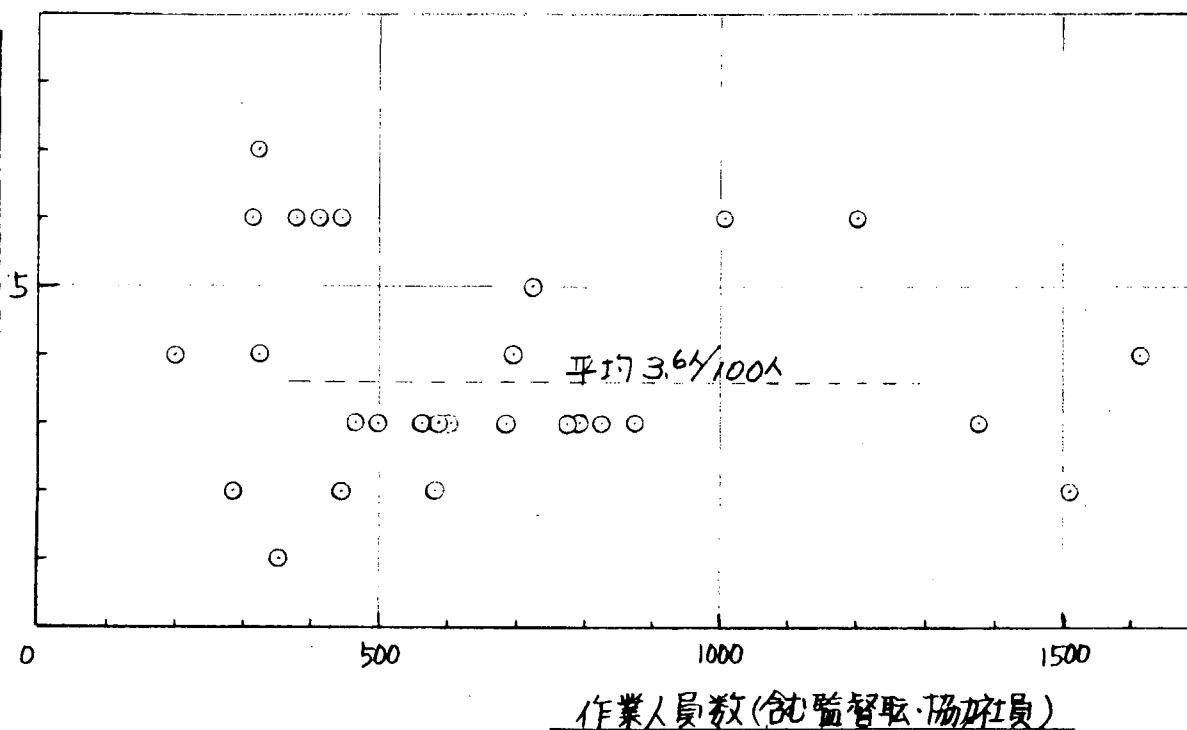


表 3.2.2-2 代表的な工作欠陥に対する品質管理と検査の概略

1) 重量管理項目は優先順位1位、2位をもつて実施義務化。但し、5種類次第で72時、183時、262時、311時と100。

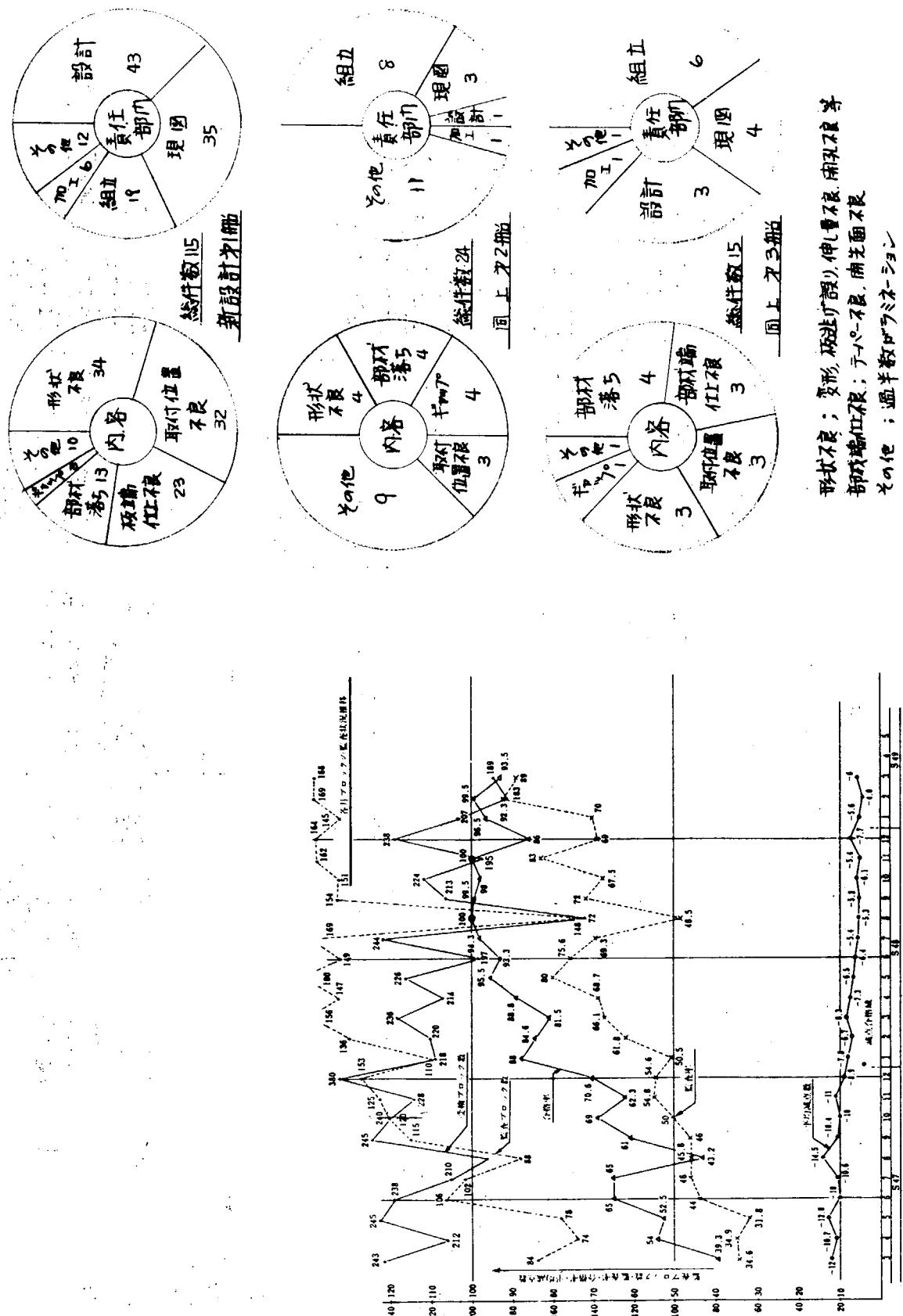


図 3.2.2-4 船殻関係“誤作票”集計結果の一例

図 3.2.2-3 減点法実施結果の一例¹⁾

表3.2.2-3 奥合せ継手に対する非破壊検査

溶接法	ステージ	社内・所内基準による検査	抜取り検査
手およびCO ₂	地上	_____	0~1.5m/10m 平均0.1m/10m
	外業	_____	0~1.5m/10m 平均0.2m/10m
F C B, R F等 大組立片面自動	地上	始・終端部 X線1~3枚又はU S T 0.5~1m 中断部 X線 1枚 又はU S T 0.5~1m.	0~0.5m/10m 平均0.05m/10m
F A B, カタフ ラックス法等の 簡易片面自動	地上	始・終端部 同上(但し3造船所は全長U S T) 中断部	0~0.5m/10m 平均0.25m/10m
	外業	始・終端部 同上(但し4造船所は全長U S T) 中断部	0~1m/10m 平均0.5m/10m
エレクトロガス ・エレクトロスラグ 溶接	外業	始・終端, 中断部 X線1~2枚/ベット (1造船所のみ全長U S T)	0~0.5m/10m 平均0.25m/10m

表3.2.2-4 突合せ継手のX線検査結果の一例

溶接法	ステージ	1種および2種の欠陥				3種 4級
		1級	2級	3級	4級	
手・CO ₂ 半自動溶接	地上	108 68	39 25	5 3	7 4	0 0
	外業	46 64	21 29	1 1	4 6	0 0
F C B溶接	地上	110 83	12 9	3 2	7 5	0 0
F A B溶接	地上	210 83	27 11	5 2	12 5	0 0
	外業	95 74	19 15	6 5	8 6	0 0

注) 上段はX線枚数、下段は(%)

表3.2.3-1 すみ肉継手の過大ギャップ防止のための管理

工作欠陥例	スチフナおよびプラケットと骨材とのすみ肉継手の過大ギャップ				
管理基準	G ≤ 3mm				
管理の急所	各ステージでの一貫した寸法精度管理				
品質管理の内容					
ステージ	管理項目	管理内容	効果のある方法	区分	優先度
現図	E P M, P Mネガ, N Cテープの寸法精度	全数または抜取り寸法チェック		A	◎
加工	マーキング寸法精度	同上		A	○
	切 断 "	同上		A	
小組立	取付寸法精度	同上	・正規寸法に対し-1~-2mmで取付 ・スチフナ止りをE M P等によりトランクス材に投影 ・治具の活用 ・取付者の記名	A	◎
中・大組立	取付寸法精度 (ギャップ, トランクス材の倒れ)	同上	減点法またはチェックシートを利用 した自主検査	B	○

表 3.2.3-2 過大目違い防止のための管理

工作欠陥例	トランスバルクヘッドストールと二重底フロアとの目違い				
管理基準	目違い量が薄い方の板厚の $\frac{1}{3}$ 以下				
管理の急所	各ステージでの一貫した寸法精度管理				
品質管理の内容					
ステージ	管理項目	管理内容	効果のある方法等	区分	優先度
設計	構造の単純化による精度確保		・ストール下部二重底にブロックバットを設けない ・ストールブロックの継手数の減少 ・ストール下部にナックルをつける	A	
現図	EPM, PMネガ, NCテープの寸法精度	全数または抜取り寸法チェック	\bar{x} -R図	A	○
加工	マーキング寸法精度	同上	同上	A	
	切断 "	同上	同上	A	
小組立	ストール内骨部材の巾寸法	同上	端部に仮補強	A	○
大組立	ストールブロック端部の巾寸法	全数寸法チェック	チェックシート, 減点法利用の自主検査	A	◎
	二重底ブロックのフロアスペース	全数または抜取り寸法チェック	同上	A	
外業	ストールブロックの位置決め・取付寸法精度	全数寸法チェック	同上	B	◎

表 3.2.3-3 取付誤り・忘れ, 溶接忘れ防止のための管理

工作欠陥	取付誤り・忘れ, 溶接忘れ				
管理基準	許容しない				
管理の急所	自主管理の徹底, 変更図の特別管理				
品質管理の内容					
ステージ	管理項目	管理内容	効果のある方法等	区分	優先度
設計	工作図での適切な指示			A	
	変更図の早期出図			A	
現図	EPMネガ等の指示誤り	全数チェック	組立・外業での工作図によるチェック	A	○
設計・現図, 加工, 小大組立外業	部材数	同上	・同上 ・パレット化	A	
大組立	取付誤り・忘れ, 溶接忘れ	同上	・減点法, チェックシートによる自主検査 ・EPMによる指示	B	◎
外業	同上	同上	・減点法・チェックシートによる自主検査	B	◎
全ステージ	変更図	全数特別管理	・一貫番号をつけて消し込む	A	◎
				B	

表3.2.3-4 過大変形防止のための管理

工作欠陥例	トランスリングのスチフナ間でのウェッププレートの変形				
管理基準	7mm以下				
管理の急所	自主管理の徹底				
品質管理の内容					
ステージ	管理項目	管理内容	効果のある方法等	区分	優先度
設計	スチフナ配置			A	
小中大組立	脚長	抜取り寸法チェック	・計測し部材に記入	A	○
外業	変形	全数チェック	・チェックシート、減点法による 自主検査	B	◎
構造テスト	変形	同上	自主検査	B	◎

表3.2.3-5 突合せ継手の溶込み不足防止のための管理

工作欠陥	突合せ継手の溶込み不足				
管理基準	許容しない				
管理の急所	作業者の技量とモラル、裏堀りの確認、欠陥多発箇所へのNDI、開先精度				
品質管理の内容					
ステージ	管理項目	管理内容	効果のある方法等	区分	優先度
設計	作業性からみた継手位置				
工作全ステージ	作業者の技量	技量の把握 "に応じた配員 "の向上	技量資格、NDI結果による把握、 ワッペン表示コンクール	A	◎
	作業者の品質意識	意識の保持・高揚	・記名 ・記録 ・教育研修 ・小集団活動	A	◎
	裏堀りの確認	溶込み不足等の欠陥	・記名	B	◎
	欠陥発生の恐れのある箇所の非破壊検査による確認	同上		B	◎
	開先精度		取付職の記名	A	○
	自動溶接の溶接条件		パトロール、教育	A	◎
	自動溶接機器		始業点検、定期点検	A	
	溶接材料	品質誤使用	パトロール、教育、抜取テスト	A	

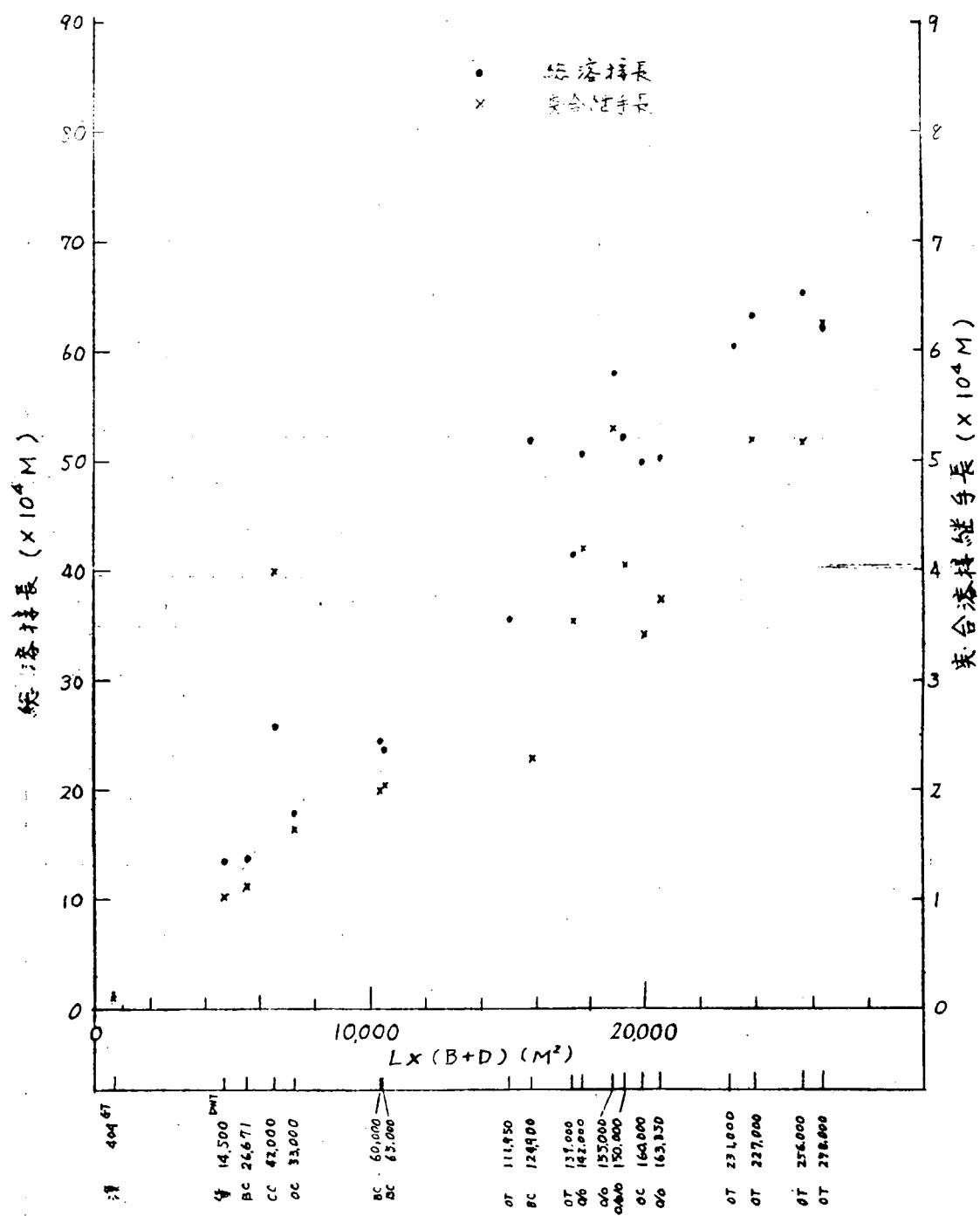


図 3.2.3-1 船体の大きさと溶接長

3.3 欠陥と強度に関する補足実験

3.3.1 実験の目的

昭和 50 年度には船体構造の突合せ溶接継手の内部欠陥の許容基準を得るという目的で、各種欠陥を含む突合せ溶接継手として軟鋼について疲れ試験を行ない、一応の結論を得た。

今年度の実験の目的は大型専用船に使用される 50 Kg/mm² 級高張力鋼について一部の実験を行ない、軟鋼継手で得られたことが 50 Kg/mm² 級高張力鋼においても適用できるか否かを確認しようとするものである。

3.3.2 供試材および試験片

(1) 供試材

供試材は板厚 20 mm の HT 50 でその化学成分、機械的性質は表 3.3.2-1 のとおりである。

(2) 試験板および試験片

試験板の寸法と試験片の採取要領は図 3.3.2-1 のとおりで内部欠陥は表 3.3.2-2 を目標として作製した。試験片の切断はガス切断とし、図 3.3.2-2 のとおり仕上げた。

(3) 試験板の溶接と欠陥の作り方

溶接は低水素溶接棒 (LB 50 A 4 φ) を用い手溶接による両面溶接とし、最終層を除き下向き、最終層は立向き上進で行なった。その開先形状と溶接条件を表 3.3.2-3 および 3.3.2-4 に示す。欠陥は 50 年度研究を参考にして次の方法で作製した。

(a) 全線プローホール

溶接棒を電気炉で 900 °C, 1 hr 加熱しフラックス中のガス成分を分解し、溶接電流を適正值の上限より約 100A 増加させて溶接。

(b) 棒継目のプローホール

溶接棒の先端 10 mm だけフラックスを取り除いて溶接。

(c) 溶込不足

ルート高さを 2.5 mm とし裏はつりせず溶接。

3.3.3 試験片の余盛

試験片の余盛りの形状は疲れ強度上極めて重要な影響を与えることを考慮して、き裂発生点の止端部形状を 50 年度と同じ要領で測定した。その結果を図 3.3.3-1 に示す。データ数が少ないので断定はできないが、50 年度研究における軟鋼継手の場合に比べやや止端部形状がゆるやかなように思われる。

3.3.4 試験結果

(1) 健全継手の疲れ強度

疲れ試験は 100 トンサーボバルサーを使用し、繰返し数 120 ~ 300 cpm、荷重制御片振り張りとした。試験は、図 3.3.4-1 に示すようにタブ板を使用しビン荷重で行なった。試験結果を表 3.3.4-1 に示す。試験片は全て余盛止端部から破壊が発生した。S-N 線図は角変形による曲げの影響を考慮して(1)式で示される余盛止端部の表面応力 (σ_S) でまとめた。その結果を図 3.3.4-3 に示し、破面写真を写真 3.3.4-1 に示す。

$$\sigma_S = \sigma \left\{ 1 + 6 (1 - \nu^2) \frac{\delta_0}{t} \frac{\tan h m}{m} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$m = \sqrt{12 (1 - \nu^2) \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{1}{t}}$$

σ : 公称応力 t : 板厚 ν : ポアソン比 E : ヤング率

$$\delta_0 : \text{変形量} \quad l : \frac{1}{2} \times \text{ビン間距離}$$

(2) プローホールを含む溶接継手の疲れ強度

疲れ試験は 50 トン電気油圧サーボ式疲れ試験機を使用し、繰返し数 300 cpm、荷重制御片振引張りとした。試験は図 3.3.4-2 に示すようにひずみ直し後に行なった。プローホールの状況は写真 3.3.4-2 のとおりで JIS Z 3104 で 1 種 4 級に属する欠陥である。試験結果を表 3.3.4-2 に示す。試験片は高応力側では内部欠陥から、低応力側では余盛止端部から破壊が発生した。S-N 線図は角変形による曲げを考慮して(2)式で示される余盛止端部の表面応力 (σ_S) でまとめた。その結果を図 3.3.4-3 に示し、破面の写真を写真 3.3.4-2 に示す。

$$\sigma_S = \sigma \left\{ 1 + \frac{6(1-\nu^2)\delta_0}{t} \cdot \frac{1}{l_1} \cdot \frac{\cosh m - \cos h \frac{l_2}{l_1} m}{m \sinh m} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$m = \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma}{E}} \cdot \frac{1}{t}$$

σ : 公称応力 t : 板 厚 ν : ポアソン比 E : ヤング率

δ_0 : 変形量 l_1, l_2 : 図 3.3.4-2 で示される距離

(3) 溶込不足を含む溶接継手の疲れ強度

疲れ試験は 60 トン電気油圧サーボ式疲れ試験機を使用し、繰返し数 120 ~ 300 cpm、荷重制御片振引張りとした。試験結果を表 3.3.4-3 および図 3.3.4-3 に示す。試験片はすべて溶込不足部から破壊が発生した。破面の写真を写真 3.3.4-3 に示す。

3.3.5 考 察

- (1) プローホールを含む溶接継手は高応力側ではプローホールから、低応力側では余盛止端部から破壊が発生し、軟鋼での結果と同じ傾向を示した。また疲れ強度も試験片の曲がり等でばらついているが、健全継手の疲れ強度と同等の値を示した。従ってこの程度のプローホールはその発生位置によらず疲れ強度に影響を与えないと考えてよい。
- (2) 溶込不足を含む溶接継手はすべてルート部から破断し、疲れ強度も健全継手のそれに比べ低下した。面積欠陥率が 13 ~ 14 % で、これと同程度の欠陥を含む軟鋼継手 (P4, P5 シリーズ、欠陥率 10 ~ 18 %) の疲れ試験結果と比較すると (図 3.3.4-3), (a) HT 50 では軟鋼継手に比べ疲れ強度の低下が大きく、(b) 低応力側では軟鋼継手と同程度の強度になってしまい、(c) 溶込不足の疲労におよぼす影響が軟鋼継手より大きいことがわかる。

表 3.3.2-1 供試材

鋼板	化 学 成 分 (%)									引張強さ (Kg/mm ²)	降伏点 (Kg/mm ²)	伸び (%)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo			
KD32(20mm厚)	0.14	0.38	1.87	0.022	0.008	0.02	0.02	0.02	0.003	53	38	25

表 3.3.2-2 HT 50 溶接継手の疲れ試験

試験片番号	欠陥の種類	試験片の数	試験片の断面寸法(mm)	繰返し荷重	余盛の有無
A-1 ~ A-10	なし	10	20 × 40	片振引張	有
B-1 ~ B-5	全線プローホール	5	20 × 40	片振引張	有
B-6 ~ B-10	棒継目のプローホール	5	20 × 40	片振引張	有
C-1 ~ C-10	溶込不足	10	20 × 40	片振引張	有

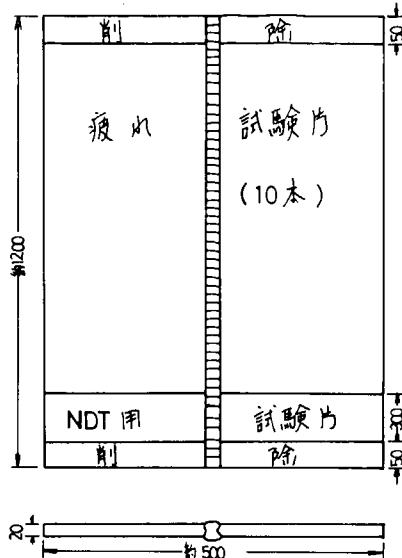


図 3.3.2-1 小型疲れ試験用試験板

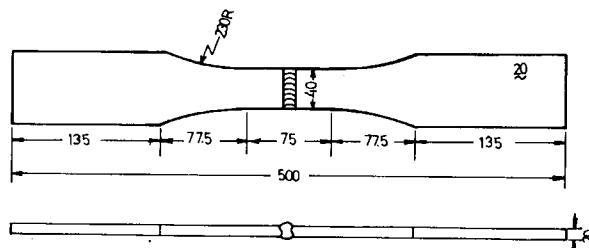


図 3.3.2-2 疲れ試験片

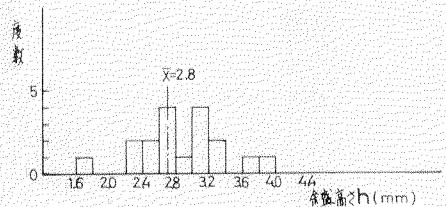
表 3.3.2-3 溶接開先形状

試験片番号	ルートギャップ g (mm)	ルート高さ h (mm)	
A-1 ~ A-10	3	0.5	
B-1 ~ B-5	3	0.5	
B-6 ~ B-10	3	0.5	
C-1 ~ C-10	0	2.5	

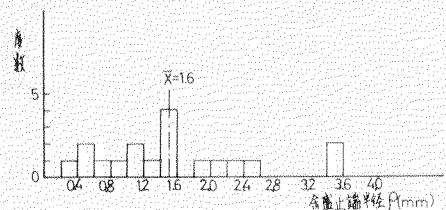
表332-4 溶接条件

試験片番号	バ ス	溶接電流 (A)	溶接速度 (cm./min.)	溶接姿勢	備 考
A-1 ↓ A-10	1 (表)	150	8.7	下向	○2層目は 裏はつり後溶接
	2 (裏)	170	12.0	"	
	3 (表)	200	9.6	"	
	4 (裏)	200	9.4	"	
	5 (表)	150	5.5	立向	
	6 (裏)	150	6.3	"	
B-1 ↓ B-5	1 (表)	150	9.6	下向	○2層目は 裏はつり後溶接
	2 (裏)	170	18.8	"	
	3 (表)	270	24.0	"	
	4 (表)	200	9.2	"	
	5 (裏)	270	23.7	"	○3層目、5層目に プロホール作成
	6 (裏)	200	9.4	"	
	7 (表)	150	6.2	立向	
	8 (裏)	150	6.8	"	
B-6 ↓ B-10	1 (表)	150	11.0	下向	○2層目は 裏はつり後溶接
	2 (裏)	170	16.9	"	
	3 (表)	200	9.0	"	
	4 (裏)	200	10.2	"	○3層目、4層目に プロホール作成
	5 (表)	150	4.9	立向	
	6 (裏)	150	5.2	"	
C-1 ↓ C-10	1 (表)	170	22.7	下向	○裏はつりなし
	2 (裏)	170	20.9	"	
	3 (表)	200	11.4	"	
	4 (裏)	200	12.4	"	
	5 (表)	150	5.9	立向	
	6 (裏)	150	6.0	"	

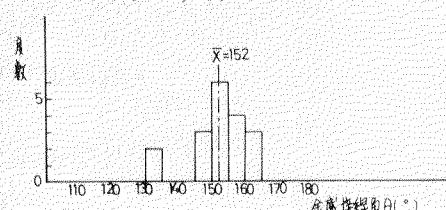
溶材はすべてLB50A(4φ)使用



(a) 試験片の余盛高さ h の分布



(b) 試験片の余盛端端厚 P の分布



(c) 試験片の余盛接線角 θ の分布

図 3.3.3-1 試験片の余盛形状

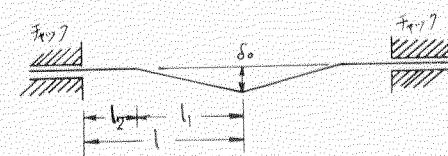
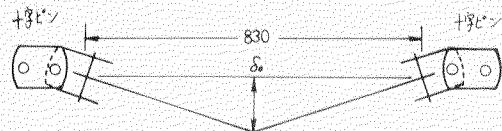


図 3.3.4-1 試験片のセッティング状況

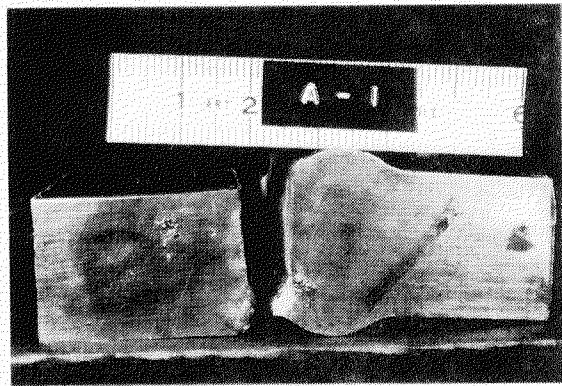
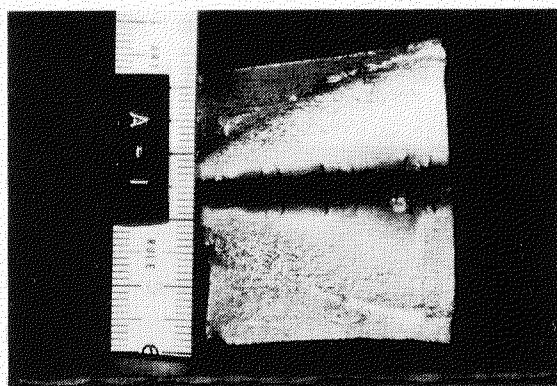
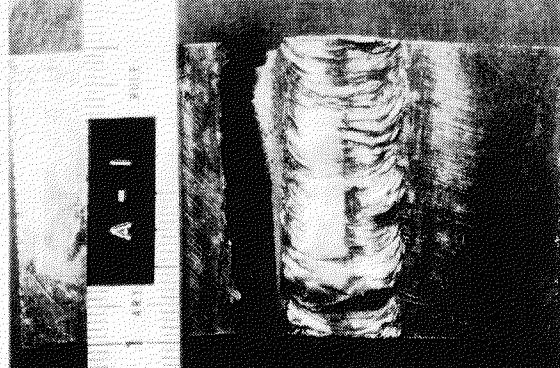


写真 3.3.4-1 健全継手の疲労破面 (A-1)



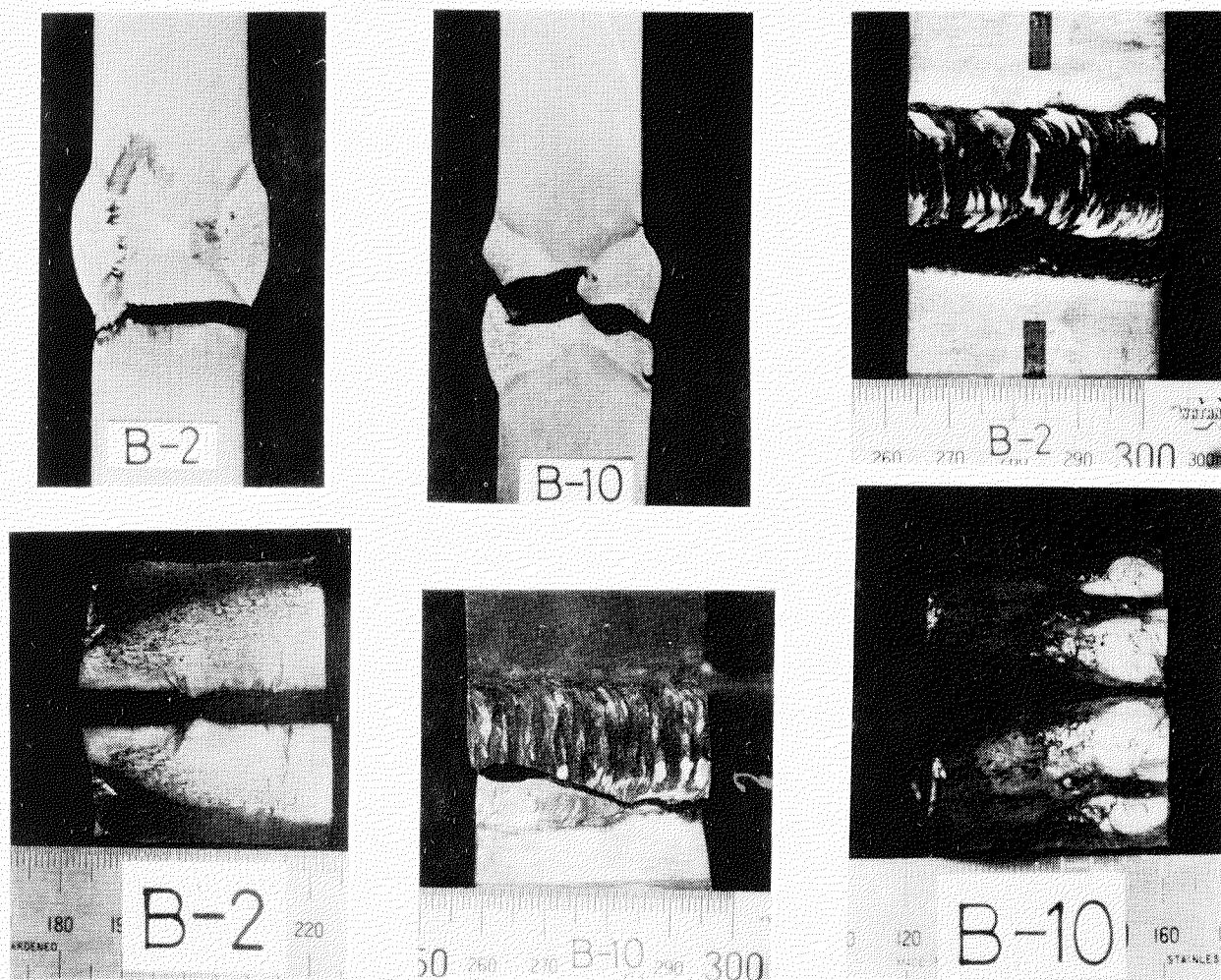


写真 3, 3, 4-2 プローホールを含む溶接継手
 (a) プローホールから破壊した試験片の破面 (B-1-0)
 (b) 溶接止端部から破壊した試験片の破面 (B-2)

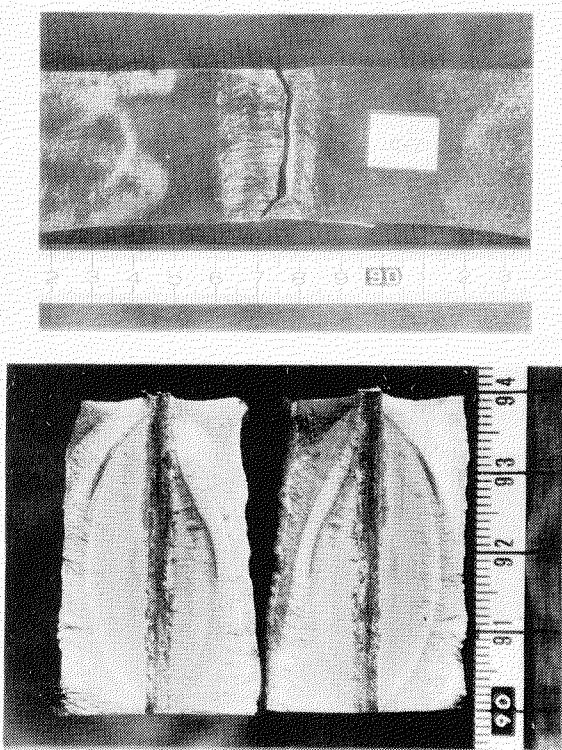


写真 3, 3, 4-3 溶込み不足を含む溶接継手の疲労破面 (C-7)

表 3.3.4-1 健全継手の疲れ試験結果

試験片 番号	応力全振幅 σ (Kg/mm^2)	表面応力 σ_S (Kg/mm^2)	破断までの 繰返し数 N	破断位置	試験片の余盛形状			角変形量 δ_0 (mm)	板厚 (mm)
					高さ h (mm)	止端半径 ρ (mm)	接線角 θ (度)		
A-1	2.8.0	3.2.2	4.28×10^5	止端部	2.8	1.2	151	1.4	20.5
A-2	3.3.3	3.8.6	6.29×10^4	"	2.7	2.2	160	1.6	20.5
A-3	2.4.0	2.9.5	1.98×10^5	"	2.8	3.5	165	2.0	20.5
A-4	2.3.8	2.8.3	2.32×10^5	"	3.1	2.5	156	2.1	20.5
A-5	4.9.6	-	2.29×10^4	"	3.4	0.8	151	2.3	20.6
A-6	2.1.8	2.5.2	4.74×10^5	"	2.3	1.5	162	1.3	20.5
A-7	1.7.6	1.8.5	1.49×10^6	"	1.8	1.0	158	0.4	20.4
A-8	4.2.5	4.3.2	4.24×10^4	"	2.6	2.0	153	0.2	20.6
A-9	1.9.8	2.0.8	1.70×10^6	"	2.5	3.5	164	0.4	20.4
A-10	1.6.7	1.8.0	2.09×10^6	"	2.3	1.5	152	0.6	20.5

注1) 試験片の余盛形状は破裂発生断面の形状を示す。

注2) 角変形はピンとピンとの距離 (830 mm) に対する値

表3.3.4-2 プローホールを含む溶接継手の疲れ試験結果

試験片 番号	応力全振幅 σ (Kg/mm^2)	表面応力 σ_s (Kg/mm^2)	破断までの 繰返し数 N	破断位置 母材	面損失率 (%)	試験片の余盛形状 ¹⁾			角変形量			板厚 (mm)
						高さ h (mm)	止端半径 ρ (mm)	接線角 θ (度)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	δ_0 (mm)	
B-1	5.5.6	-	静的引張	母材	-	-	-	-	-	-	-	2.0.4
B-2	2.2.1	3.4.1	1.01×10^5	止端部	3.8	1.4	1.48	1.6	6.9	3.2	2.0.4	
B-3	1.7.2	2.4.5	5.44×10^5	"	3.4	0.5	1.47	0.6	9.6	2.3	2.0.4	
B-4	2.7.2	3.9.6	5.35×10^4	"	3.2	2.4	1.32	0.6	9.5	2.5	2.0.2	
B-5	1.9.6	2.7.5	1.94×10^5	"	2.7	1.2	1.47	0.6	9.4	2.2	2.0.4	
B-6	2.9.4	-	8.83×10^4	止端部 内部欠陥	0.7	2.9	1.6	1.52	-	-	-	2.0.4
B-7	1.8.4	2.0.5	5.12×10^5	止端部	4.0	1.6	1.32	8.0	1.13	0.8	2.0.4	
B-8	1.4.7	1.5.7	1.94×10^6	"	3.1	0.4	1.55	9.2	9.8	0.5	2.0.4	
B-9	2.4.5	2.5.9	3.18×10^5	"	3.1	0.6	1.49	9.2	9.8	0.3	2.0.4	
B-10	3.6.6	4.5.7	1.49×10^4	内部欠陥	1.5	2.6	3.3	1.54	1.00	1.4	2.0.5	

注1) 試験片の余盛形状は止端部から破壊したものは破壊発生断面の形状、その他の試験片は各部を平均した形状を示す。

表 3.3.4-3 滲込不足を含む溶接継手の疲れ試験結果

試験片 番号	応力全振幅 σ (Kg/ mm^2)	破断までの 繰返し数 N	破断位置	破面の容込 不足 (mm)		破面の面積 欠陥率 (%)	試験片の余盛形状 ¹⁾		
				高さ h (mm)	止端半径 ρ (mm)		接線角 θ (度)		
C-1	15.0	6.53×10^5	ルート部	2.9	14.1	2.8	2.0	15.5	
C-2	20.5	1.97×10^5	"	2.8	13.7	2.8	2.6	15.5	
C-3	25.1	8.60×10^4	"	2.9	14.2	2.9	2.9	14.9	
C-4	13.6	8.58×10^5	"	2.9	14.1	2.5	2.5	15.4	
C-5	30.3	3.42×10^4	"	2.7	13.2	2.9	2.7	15.4	
C-6	34.2	2.02×10^4	"	2.7	13.2	2.6	2.4	15.5	
C-7	11.5	1.46×10^6	"	2.8	13.7	2.8	2.6	15.3	
C-8	42.6	5.98×10^3	"	2.9	14.1	2.9	2.5	15.2	
C-9	10.7	1.82×10^6	"	2.9	14.1	3.0	1.8	15.3	
C-10	56.4	静的引張	母材	--	--	2.7	2.1	15.3	

注 1) 試験片全体の平均した形状を示す。

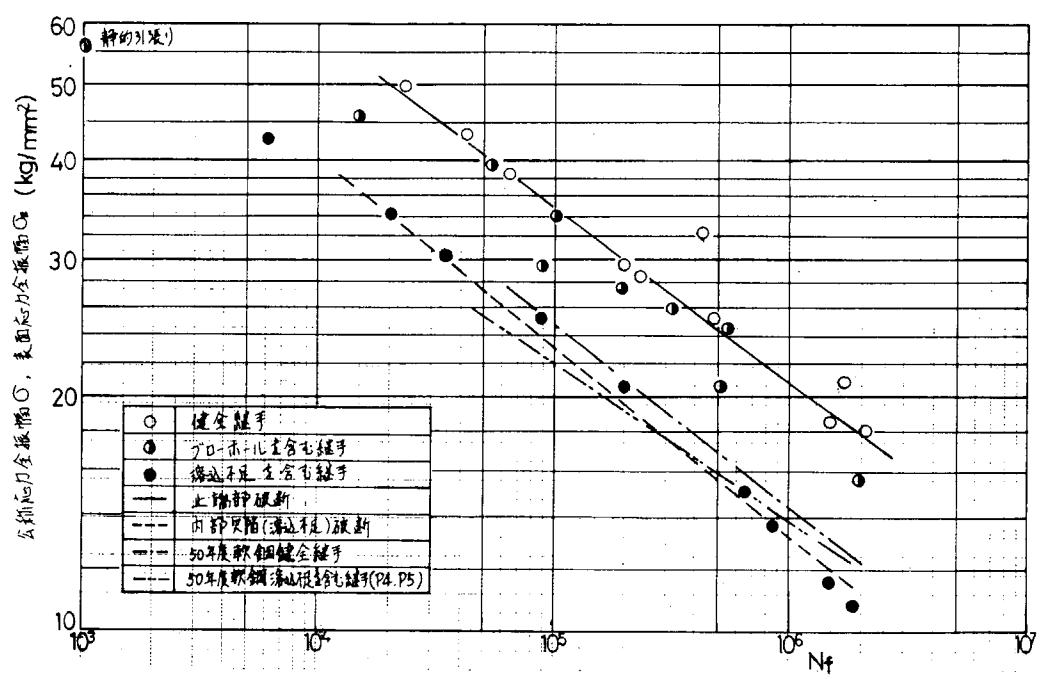


図 3.3.4-3 HT50 溶接継手の疲れ試験結果

4 船体構造設計に起因する損傷の調査

4.1 船体損傷の概要

4.1.1 船の種類と一般損傷件数

船体構造の一般損傷は船令、航路、大きさ、構造寸法等によって異なるが、船の種類によってもかなりの差がある。

図 4.1.1-1 は船の種類別に一般損傷の発生件数（き裂や変形の件数）の比をとって比較したものであるが、油槽船や鉱石船が他の船にくらべてきわどく損傷が多いことがわかる。

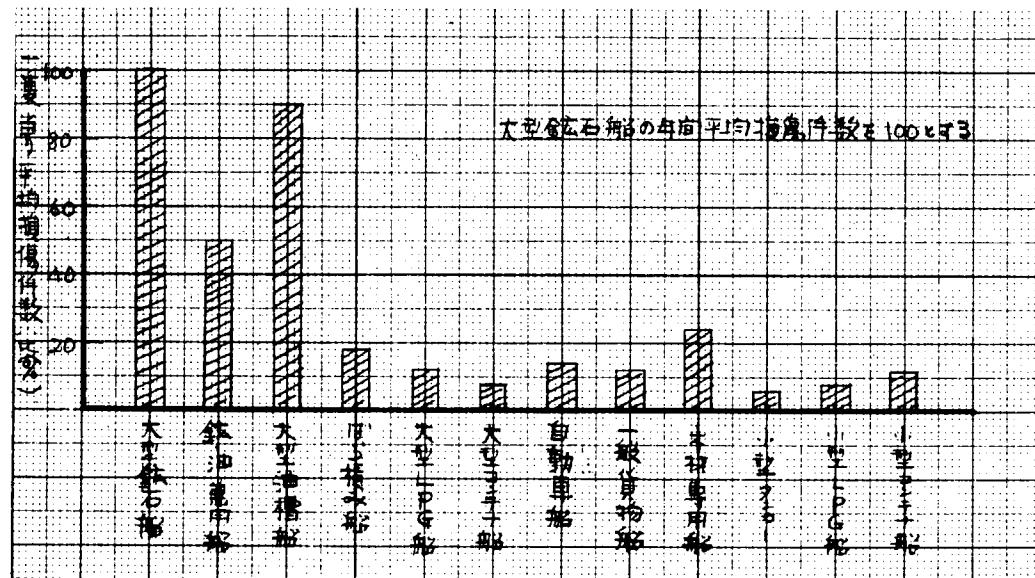


図 4.1.1-1 各種船舶の年間船体一般損傷件数比較図

メインテナンスフリーの観点からみれば最初から一般損傷の少い貨物船やばら積み船は設計構造のわずかな改善によって現在の損傷件数をさらに減少させメインテナンスレスあるいはメインテナンスフリーにすることが可能となる。一方油槽船や鉱石船をメインテナンスレスにすることはかなり段階をふまねばならないことを意味している。

4.1.2 船令と一般損傷件数

一般に船令が大となると船体構造部材の塗装も損われて腐食が進み、さらに繰返し荷重による疲れのため構造上の不連続部にき裂を生じることが多い。図 4.1.1-2 は一般貨物船の損傷件数比と船令の関係を示すもので船令が大となる

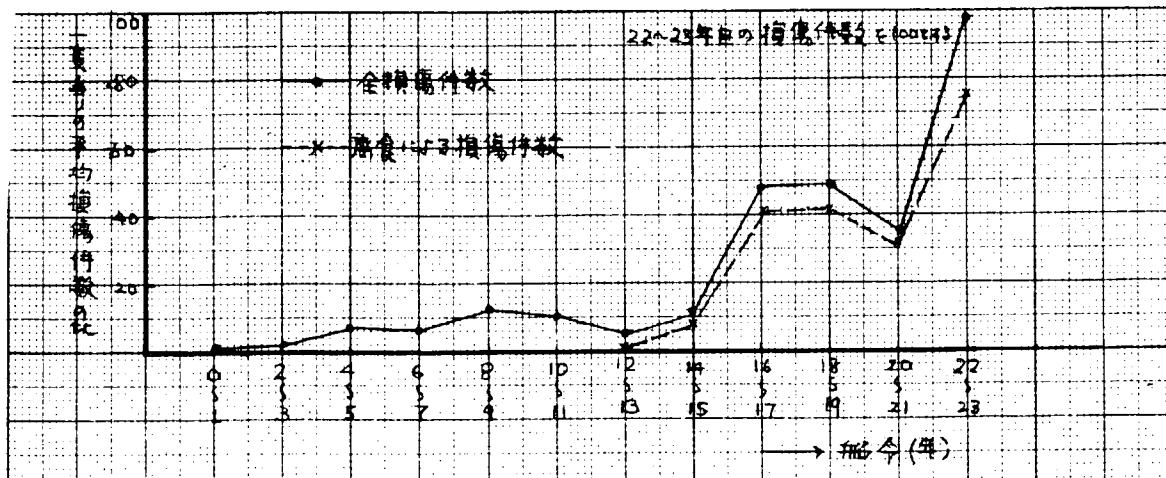


図 4.1.1-2 一般貨物船の船令と平均損傷件数

に従って損傷件数が増え、特に腐食による損傷が船令14年以降急激に増加していることが分かる。

一方油槽船や鉱石船では図4.1.1-3のとおり貨物船にくらべて早い始期に損傷件数が増える傾向があるが、それ以上の船令の船では次第に減少する傾向も見られる。これは本船の使用条件、防食、構造寸法、損傷後の補修、補強の効果等が複雑に関連しているものと考えられる。

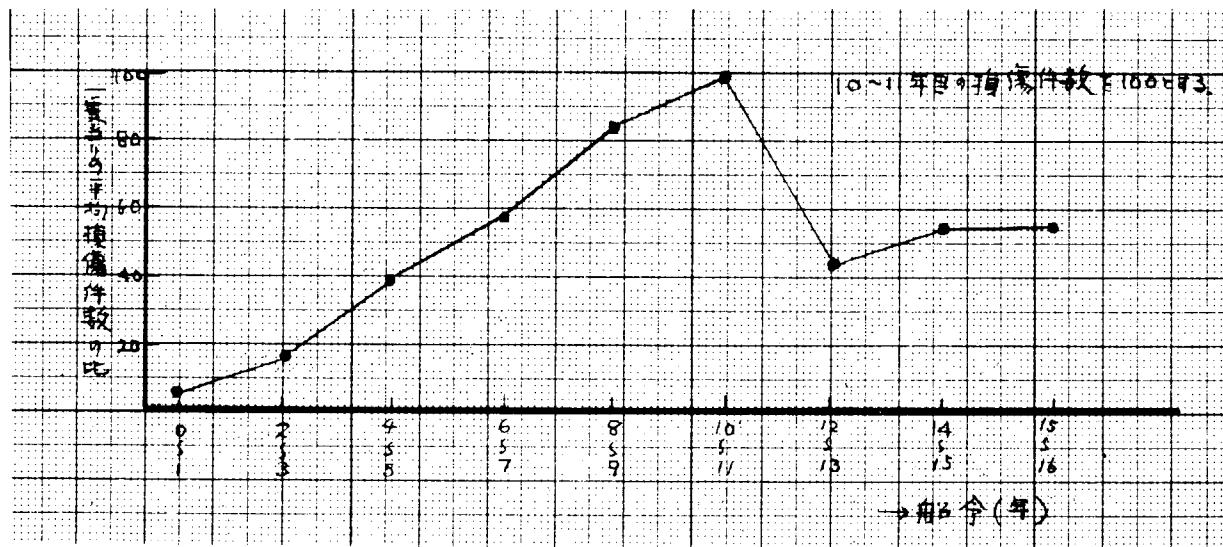


図4.1.1-3 大型タンカーの船令と平均損傷件数

4.2 貨物船の船倉部の損傷

4.2.1 一般貨物船の貨物倉の損傷

(1) 損傷の形態と発生頻度

ばら積み船、鉱石船等の専用貨物船をのぞく2,000G/T以上の一般的な貨物船(Dry Cargo Ship)515隻について建造後10年間の損傷状況について調査を行った。損傷を類型化すると図4.2.1-1のとおりでAないしVの箇所に損傷を発生していることが分かった。(図4.2.1-1)

515隻の調査対象船のうちでAないしVの各損傷を建造後10年に1回以上発生した船舶の隻数を調査対象船船総数で除した損傷発生隻数率と各損傷件数(き裂や変形の数)を調査対象船舶総数で除した損傷発生件数率を表4.2.1-1に示す。(表4.2.1-1)

損傷発生隻数率および損傷発生件数率のいずれの点から考えても船体前部貨物倉の第3甲板の甲板梁端部及び特設肋骨の下端部のき裂損傷は比較的多

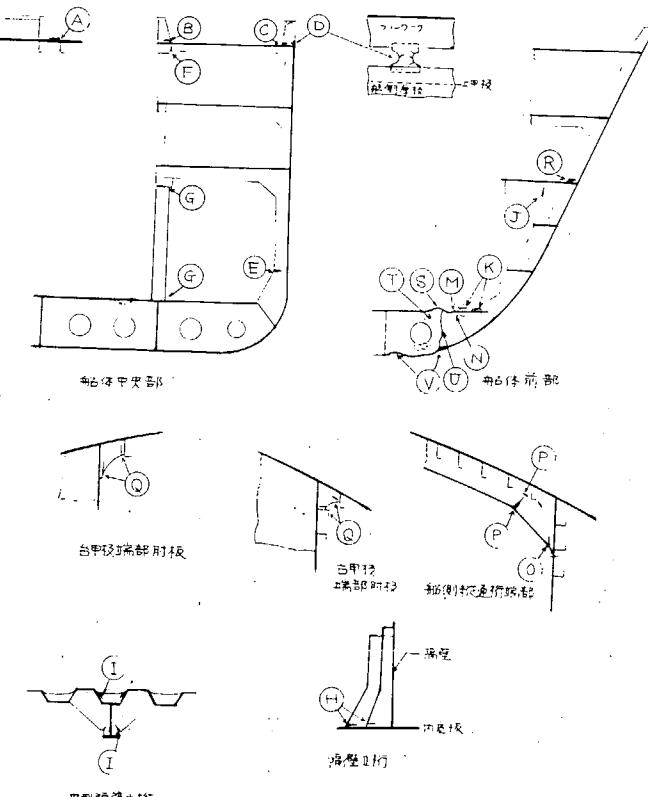


図4.2.1-1 貨物船貨物倉の損傷図

い。また倉口側部および前後端部の肘板の下端部にも損傷が多いことが分かる。

(2) 損傷の防止

損傷の防止対策には次の3種類がある。

- ① ソフトトウやリブ取付による局部構造の改善
- ② 寸法の増大
- ③ 防食の徹底

これらについてはいずれもコストアップの要因となるが、特に②の寸法の増大については慎重な配慮が必要であり、①および③については裏付けとなる実績あるいは実験の結果が必要となる。各損傷に対する現段階での防止対策を表4.2.1-1の右欄に示す。

損傷防止のためのコストを効果的に使うためには発生頻度の高い損傷から重点的に対策をたてておく必要がある。

表4.2.1-1 一般貨物船貨物倉構造部材の損傷(建造後10年)

区分	記号	損傷発生状況	10年間の損傷発生率		損傷防止対策
			損傷隻数／全隻数	1隻当たりの損傷件数	
上甲板	A	倉口縁材前後端肘板のき裂	0.011	0.097	ソフトトウ、二重張
	B	" " 側部肘板のき裂・変形	0.017	0.166	増厚、塗装保守
	C	ブルワーク下端部のき裂	0.009	0.209	塗装保守
	D	舷側厚板とブルワーク連結部のき裂	0.005	0.044	構造変更
中央部倉内	E	倉内肋骨下端部のき裂	0.009	0.052	寸法増加(規則)
	F	甲板梁内端部のき裂	0.001	0.007	—
	G	梁柱上下端部のき裂	0.001	0.001	—
	H	横置隔壁立杭(防撓材)下端のき裂	0.011	0.091	構造変更
	I	波形隔壁肘板のき裂	0.005	0.163	平板隔壁採用
船体前部貨物倉・二重底内外・外板	J	第3甲板甲板両端部のき裂	0.021	0.262	寸法増加(規則)
	K	特設肋骨下端部のき裂	0.025	0.166	構造変更
	L	" " 面材のき裂	0.001	0.003	—
	M	" " 内底板のき裂	0.001	0.007	リブ取付
	N	" " 肋板のき裂	0.003	0.005	リブ取付
	O	船側横杭前端隔壁固定部のき裂	0.009	0.027	構造変更
	P	" " 部のき裂	0.019	0.040	寸法増加
	Q	台甲板前(後)端肘板のき裂	0.005	0.031	構造変更
	R	甲板間肋骨下端のき裂	0.001	0.023	—
	S	内底板の変形	0.001	0.007	—
	T	肋板の変形	0.003	0.110	補強リング
	U	側桁板の変形	0.001	0.052	—
	V	外板の変形	0.001	0.011	—

AないしVの損傷について損傷を発生したのべ90隻の船舶について隻数及び件数でパレート図を画くと図4.2.1-3のとおりとなり、J・C・K・B・Pの損傷を防止しただけで損傷発生率は半減し、さらにI・T・A・H・EU・D・O・Qの損傷を防止すれば損傷の発生は隻数においても1割以下となることが分かる。（図4.2.1-2）（図4.2.1-3）

4.2.2 ばら積み船の貨物倉の損傷

(1) 損傷の形態と発生頻度

最近建造された3万DWT以上の大型ばら積み船144隻について建造後8年間の貨物倉部及びショルダータンク、ホッパタンクニ重底タンクの損傷状況について調査を行った。発生した損傷を類型化すると図4.2.2-1a), b) のとおりでAないしZの箇所に損傷を発生していることが分かった。（図4.2.2-1a), b)）（表4.2.2-1）

一般貨物船の場合と同様各部材の損傷について損傷発生隻数率と損傷発生件数率について調査した結果は表4.2.2-1のとおりである。損傷発生隻数率と件数率の両方からみても倉内肋骨の上下端の傷はかなり多いことが分かる。

(2) 損傷の防止

一般貨物船の場合と同様ばら積み船の貨物倉の部材に損傷を発生したのべ52隻の船舶についてAないしZの損傷を発生した隻数率及び件数率をパレート図で示すと図4.2.2-2と図4.2.2-3のとおりとなり、B, O, T, D, J, P, P N及びEの損傷を防止すれば損傷隻数では50%, 件数では80%の損傷を防止できることになる。

損傷発生隻数を1割以下とするためには数多くの項目について損傷防止対策が必要となるが、件数を1割以下にするためにはE, T, B, D, O, P, R, N, S, U, Yの損傷について防止対策を講じれば良い。現段階における損傷の防止対策を表4.2.2-1の右欄に示す。（図4.2.2-2）（図4.2.2-3）

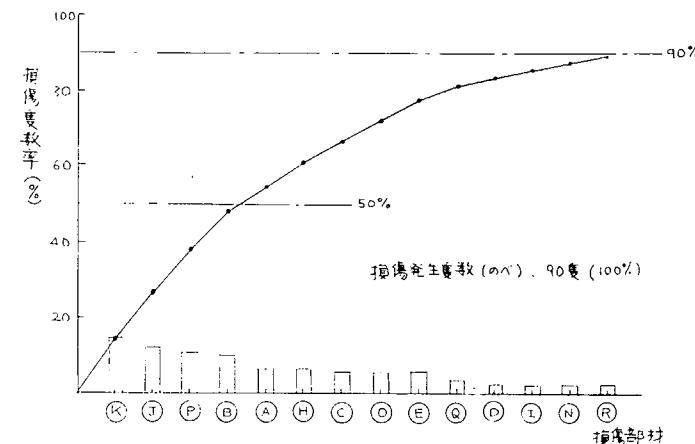


図4.2.1-2 貨物船の船倉各部材の損傷発生隻数率

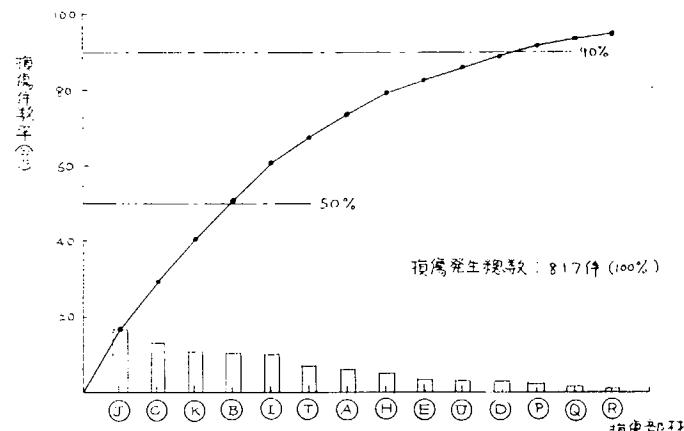


図4.2.1-3 貨物船の船倉各部材の損傷発生件数率

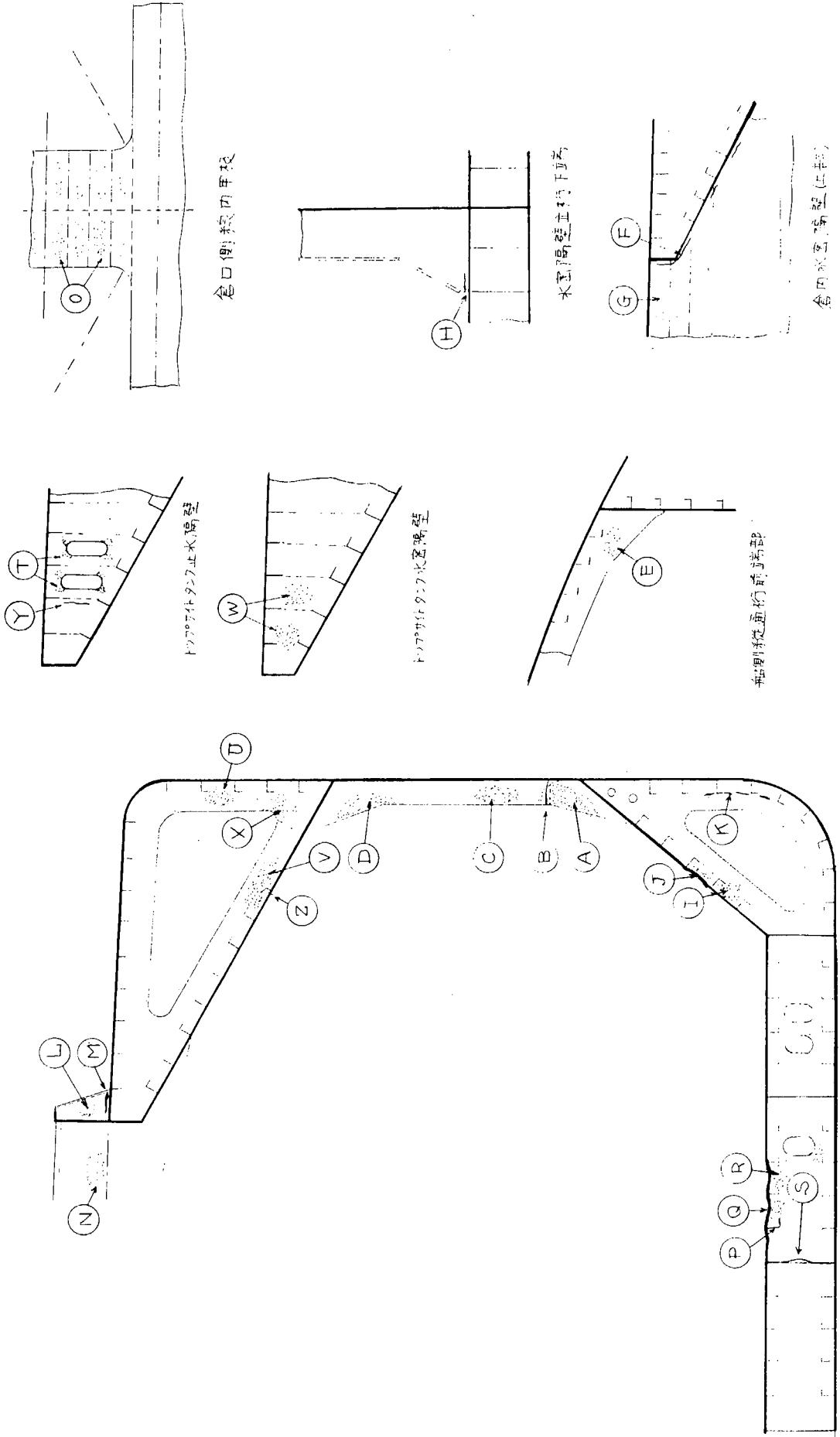


表 4.2.2-1 ばら積み船貨物倉構造部材の損傷(建造後8年間)

		損 傷 発 生 状 況	8年間の損傷発生率		損 傷 防 止 対 策
			損傷発生/ 隻数 全隻数	1隻当たりの 損傷件数	
倉内骨部材	A	肋骨下端肘板の変形	0.041	0.25	寸法増加(規則)
	B	肋骨下端のき裂	0.013	0.60	" "
	C	肋骨中間部の変形	0.034	0.22	" "
	D	肋骨上端肘板の変形	0.006	0.01	" "
	E	船側縦通桁前端ウェブの変形	0.006	0.01	構造改善
倉内隔壁	F	隔壁板周囲のき裂	0.020	0.03	寸法増加
	G	隔壁板上部のスティフナ間の凹損	0.006	0.01	"
	H	隔壁立桁ウェブ下端のき裂	0.006	0.04	構造改善
ボンバタンク	I	内底板付き横桁の変形	0.013	0.06	寸法増加
	J	内底板の凹損	0.006	0.03	"
	K	船底桁板のスロット部のき裂	0.006	0.01	構造改善(スロット対策)
上甲板倉口付近	L	倉口縁材肘板の変形	0.013	0.03	増厚, 保守塗装
	M	" 肘板下端のき裂	0.006	0.01	"
	N	倉口梁ウェブの凹損	0.006	0.01	-
	O	倉口側線内甲板の凹損	0.006	0.01	増厚, 保守塗装
内底板二重底内	P	倉口直下内底板ロンチの変形	0.020	0.07	増厚
	Q	" 内底板の凹損	0.013	0.03	"
	R	" 二重底肘板の変形	0.006	0.01	"
	S	" 二重底側桁板の変形	0.006	0.06	"
トップブーザイドタンク	T	止水隔壁軽目穴周囲の変形	0.027	0.40	補強リング
	U	船側横桁ウェブの変形	0.020	0.24	増厚(規則)
	V	底部横桁ウェブの変形	0.020	0.07	増厚(")
	W	水密隔壁板の防撓材間の凹損	0.006	0.06	増厚・工作
	X	底部隅部肘板の変形	0.013	0.05	構造改善
	Y	水密隔壁板の防撓材沿いのき裂	0.006	0.01	防撓材の間隔
	Z	底板のき裂	0.006	0.01	-

4.3 大型タンク内部材の損傷

4.3.1 船側タンクの損傷

(1) 損傷の形態と発生頻度

船側タンクは部材の種類も多く、タンク内の流動水や波浪外力の影響を受けて損傷の発生頻度も高く、損傷の形態も多様である。損傷調査の対象となった船舶は40,000t以上の油槽船114隻について建造後8年間の損傷状況の調査を行った。船側タンクの損傷を

類似化すると図4.3.1-1、図4.3.1-2、

図4.3.1-3のとおりでW1ないしW44

の損傷が発生頻度が高いことが分かった。

(図4.3.1-1)(図4.3.1-2)(図4.

3.1-3)

114隻の調査対象船のうちでW1ないし

W44の損傷について損傷発生隻数率と損

傷発生件数率を表4.3.1-1に示す。(表

4.3.1-1)

W1ないしW44の損傷は船側タンクの

損傷件数総数の約80%を占めていたが、

あまりにも項目が多くて重点がしほれない。

表4.3.1-1において＊のある損傷はいづ

れもスロット回りの損傷と呼ばれるものと

して全体の40%を占めており、トランス

リングのウェブの変形、ウェブのき裂、隔

壁板のき裂、隔壁板の変形、等もそれぞれ

一括し得る損傷である。このようにしてま

とめてみると図4.3.1-4のとおりとなり、

スロットまわりの損傷と桁ウェブのき裂が全体の半数を占めていることが分かる。(図4.3.1-4)

(2) 損傷の防止

大型船側タンクの損傷の防止には次の方法が講じられている。

- ① スロット廻りの損傷の防止にはスロットにフィラー(カラープレイト)の取付、パッキングブラケットの取付、スロットの形状の改善(例かにの目玉型スロット)差込みロンジ、塗装による防食
- ② ウェブの凹損に対する防撓材の増設、ウェブのき裂に対する防撓材の端部固定方式の改善
- ③ 止水隔壁開口部の損傷に対する補強リングの取付
- ④ 横置隔壁の隔壁板のき裂は貫通部水密カラーの工作法、防食

これらのほか寸法の増大ももちろん効果はあるが大巾なコスト増は避けられない。しかしW1ないしW44の損傷を防止できれば損傷件数は約2割に減少しよう。

(3) 前後部の船側タンクの損傷等

この調査は船側タンクのうち中央部に近いタンク(M2～M4タンク)について調査したもので船首部に近いM1船側タンク、船尾部に近いM5又はM4船側タンクでは大体は同じ傾向であるが若干差がある。すなわち船首部に近い船側タンクでは内部材の変形損傷が増えるがき裂損傷は減じる傾向がみられ、船尾部に近い船側タンクでは変形損傷は減少するがき裂損傷は全般的に増加する。総体的に損傷件数は船首部より船尾部に向うに従って増加の傾向があ

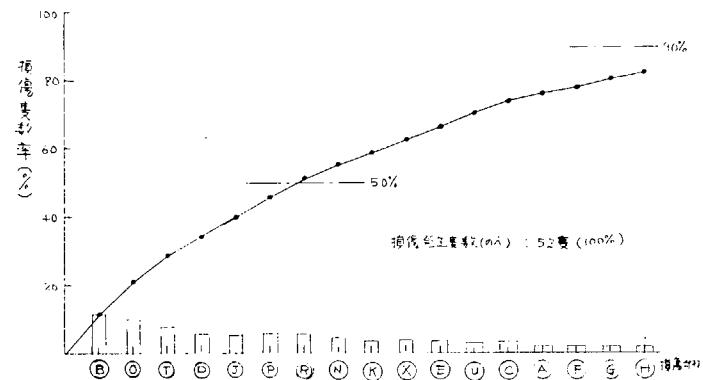


図4.2.2-2 ばら積み船の貨物倉部各部材の損傷発生隻数率

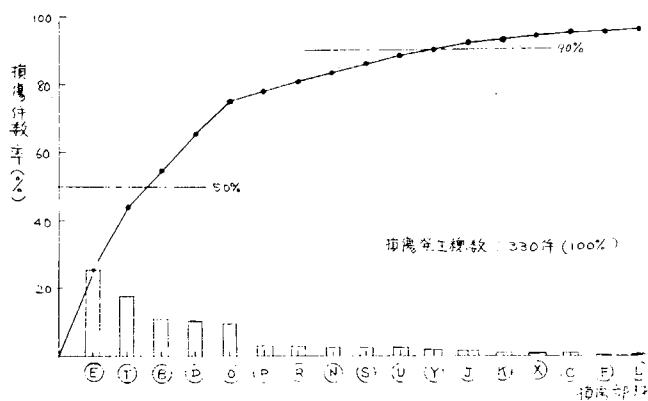


図4.2.2-3 ばら積み船の貨物倉部各部材の損傷発生件数率

る。

ここ3～4年前に建造された船舶はそれ以前に建造された船舶と建造後同じ時期で比較して損傷が少い傾向がみられるのは上記(2)の①ないし④の対策が効果を上げているものと考えられる。

しかしその反面補強の度合の少ない縦通隔壁水平防撓材や船側縦肋骨の面材及びウェブにき裂損傷(W7)が散見されるようになった。この損傷は隻数率、件数率は低いが共振の問題もあり注意を要する。

4.3.2 中央タンクの損傷

(1) 損傷の形態と発生頻度

中央タンクは船側タンクにくらべて損傷件数は2割程度少ない。船側タンクと同じ調査対象船舶について調査を行った結果、その損傷を類型化すると図4.3.1-1～3及び図4.3.2-1のとおりでC1ないしC4.4の損傷の発生頻度が高いことが分かった。(図4.3.2-1)

114隻の調査対象船のうちでC1ないしC4.4の損傷について損傷発生隻数率と損傷発生件数率を表4.2.2-1に示す。(表4.3.2-1)

表中＊をつけた損傷はいわゆるスロット廻りの損傷で、特に船底横桁の防撓材下端のき裂は発生隻数率及び件数率からみても最も多い。このほか隔壁板の変形やき裂、隔壁水平桁のウェップのき裂や変形も多い損傷であり、これらを一括すると図4.3.2-2のとおりとなる。

中央タンクではC1ないしC4.4の損傷を防止できれば損傷件数は現在の1割に減少する。(図4.3.2-2)

(2) 損傷防止対策

中央タンクの損傷の防止対策は4.3.1(2)に述べた船側タンクの損傷防止対策と同様であり、各損傷対策を表4.3.2-1の末尾に記載した。

表 4.3.2-1 中央タンクの損傷部材と損傷発生頻度

記号	損傷部材	8年間の損傷発生率		損傷防止対策
		損傷発生隻数	損傷件数	
		全隻数	全隻数	
W 1	船底縦肋骨のき裂	0.044	0.4	—
W 2	" 横桁のウェブの変形	0.070	0.2	構造改善(防撓, 寸法増加)
*W 3	" " の肘板のき裂	0.157	1.2	" (スロット対策)
*W 4	" " の防撓材のき裂	0.325	6.6	" (" ")
W 7	船側縦肋骨のき裂	0.070	0.3	—
W 8	" " の肘板のき裂	0.018	0.2	構造改善(肘板の廃止)
W 9	" クロスタイ本体の防撓材のき裂	0.044	0.2	" (肘板の取付)
W 10	" " 付根の" "	0.123	0.3	" (" ")
*W 11	" 横桁の防撓材のき裂	0.193	1.6	" (スロット対策)
*W 12	" " のスロットのき裂	0.061	0.2	" (" ")
W 13	" " のウェブのき裂	0.035	0.1	" (端部固定, 寸法増加)
W 14	" " のウェブの変形	0.061	0.2	" (防撓, 寸法増加)
W 15	縦通隔壁の隔壁板のき裂	0.061	0.1	構造改善(増厚, 防食)
W 16	" " の変形	0.044	0.5	" (増厚, 防食)
W 17	" 水平桁のウェブのき裂	0.061	0.2	" (増厚, 端部固定)
*W 18	" " の肘板のき裂	0.018	0.3	" (スロット対策)
W 19	" クロスタイ付根の防撓材のき裂	0.123	0.3	" (肘板の取付)
W 20	" " " の肘板の変形	0.018	0.2	" (寸法増加, 防撓)
W 21	" " " のウェブの変形	0.035	0.4	" (" ")
*W 22	" 立桁の肘板のき裂	0.079	0.1	" (スロット対策)
*W 23	" " の防撓材のき裂	0.237	1.6	" (" ")
*W 24	" " のスロットのき裂	0.105	1.0	" (" ")
W 25	" " のウェブのき裂	0.035	0.1	" (増厚, 端部固定)
W 26	" " のウェブの変形	0.140	2.2	" (寸法増加, 防撓)
W 27	" " の肘板の変形	0.027	0.1	" (" ")
W 28	横置隔壁の隔壁板のき裂	0.202	1.5	構造改善(寸法増加)
W 29	" " の変形	0.053	0.2	" (" ")
W 30	" のカーリングのき裂	0.061	0.3	" (" ")
W 31	" の水平桁の面材のき裂	0.079	0.2	" (寸法増加, 工作?)
W 32	" " " のウェブのき裂	0.140	0.8	" (寸法増加, 端部固定)
W 33	" " " の変形	0.088	0.4	" (寸法増加, 防撓)
*W 34	" " " のスロットのき裂	0.053	0.3	" (スロット対策)
W 35	" の立防撓材の肘板のき裂	0.018	0.2	" (寸法増加)
W 36	止水隔壁の隔壁板のき裂	0.070	0.5	構造改善(寸法増加)
W 37	" " の変形	0.079	0.2	" (" ")
W 38	" " の開口部のき裂	0.079	0.7	" (開口部の補強)
W 39	" " " の変形	0.027	1.1	" (" ")
W 40	" 立防撓材のき裂	0.061	0.7	" (寸法増加)
*W 41	上甲板横桁のスロットのき裂	0.027	0.2	構造改善(スロット対策)
*W 42	" の防撓材のき裂	0.035	0.1	" (" ")
W 43	" のウェブのき裂	0.035	0.1	" (寸法増加, 端部固定)
W 44	" " " の変形	0.027	0.1	" (寸法増加, 防撓)
その他の損傷		0.315	5.6	—
合計		—	31.5	—

備考 * スロットまわりの損傷

表 4.3.2-1 中央タンク損傷部材と損傷発生頻度

記 号	損 傷 部 材	8年間の損傷発生率		損 傷 防 止 対 策
		損傷発生隻数	損 傷 件 数	
		全 隻 数	全 隻 数	
C 1	船底縦桁の端部肘板のき裂	0.096	0.3	構造改善(端部形状の改良)
* C 2	" の防撓材のき裂	0.114	0.3	" (スロット対策)
C 3	" のウェブのき裂	0.167	0.3	" (端部固定)
* C 4	船底横桁の肘板のき裂	0.114	0.4	" (スロット対策)
* C 5	" の変形	0.018	0.1	" (" "
* C 6	" のスロットのき裂	0.044	0.5	" (" "
* C 7	" の防撓材のき裂	0.254	5.1	" (" "
* C 8	" の変形	0.044	0.2	" (" "
C 9	" のウェブのき裂	0.158	1.1	" (増厚, 端部固定)
C 10	" の変形	0.018	1.0	" (防撓材)
C 11	船底縦肋骨の変形	0.009	0.2	—
C 12	縦通隔壁板の変形	0.044	0.6	防食, 増厚, 防撓材のスペース
* C 13	止水隔壁の水平桁の防撓材のき裂	0.061	0.3	構造改善(スロット対策)
C 14	" " のウェブのき裂	0.114	0.3	" (端部固定, 増厚)
C 15	" の隔壁板のき裂	0.053	0.1	" (寸法増加)
C 16	" " の変形	0.061	0.3	" (" ")
C 17	" の開口部のき裂	0.053	0.2	" (開口補強)
C 18	" " の変形	0.105	4.5	" (" ")
* C 19	" の立桁の防撓材のき裂	0.044	0.1	" (スロット対策)
C 20	" " のウェブのき裂	0.061	0.1	" (端部固定と寸法増加)
C 21	" の立防撓材のき裂	0.105	0.7	" (寸法増加)
* C 22	横置隔壁の水平桁の肘板のき裂	0.105	0.2	構造改善(スロット対策)
* C 23	" " のスロットのき裂	0.132	0.8	" (" ")
* C 24	" " の防撓材のき裂	0.202	1.4	" (" ")
C 25	" " のウェブのき裂	0.237	2.4	" (端部固定, 寸法増加)
C 26	" " " の変形	0.105	0.8	" (" , ")
C 27	" の隔壁板のき裂	0.140	0.8	" (寸法増加)
* C 28	" の立桁の肘板のき裂	0.070	0.2	" (スロット対策)
C 29	" " の面材のき裂	0.053	0.1	" (寸法増加, 工作?)
* C 30	" " の防撓材のき裂	0.070	0.1	" (スロット対策)
C 31	" " のウェブのき裂	0.123	0.4	" (端部固定, 寸法増加)
C 32	" " " の変形	0.088	0.3	" (防撓材取付)
* C 33	上甲板下横桁の防撓材のき裂	0.035	0.1	構造改善(スロット対策)
C 34	" " のウェブのき裂	0.061	0.1	" (端部固定, 寸法増加)
そ の 他 の 損 傷		0.781	2.3	—
合 計			25.8	—

備考 * スロット回りの損傷

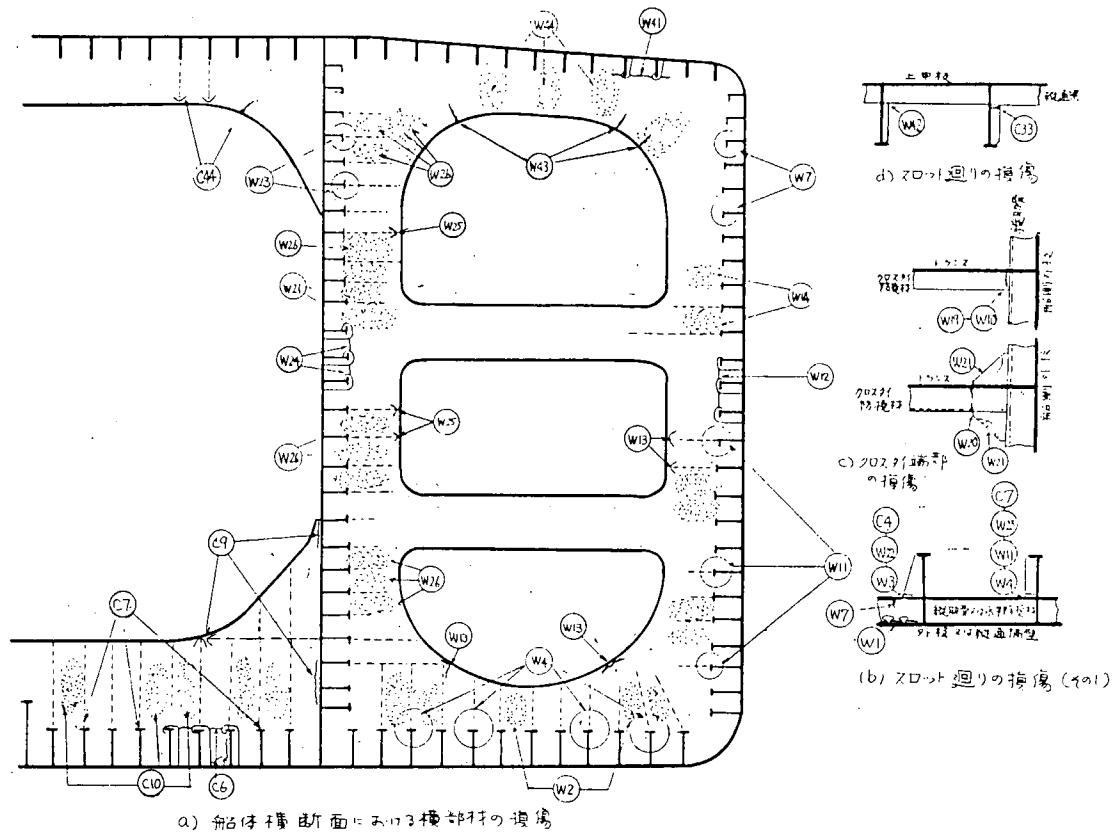


図 4.3.1-1 船側タンク及び中央タンクの損傷類型図

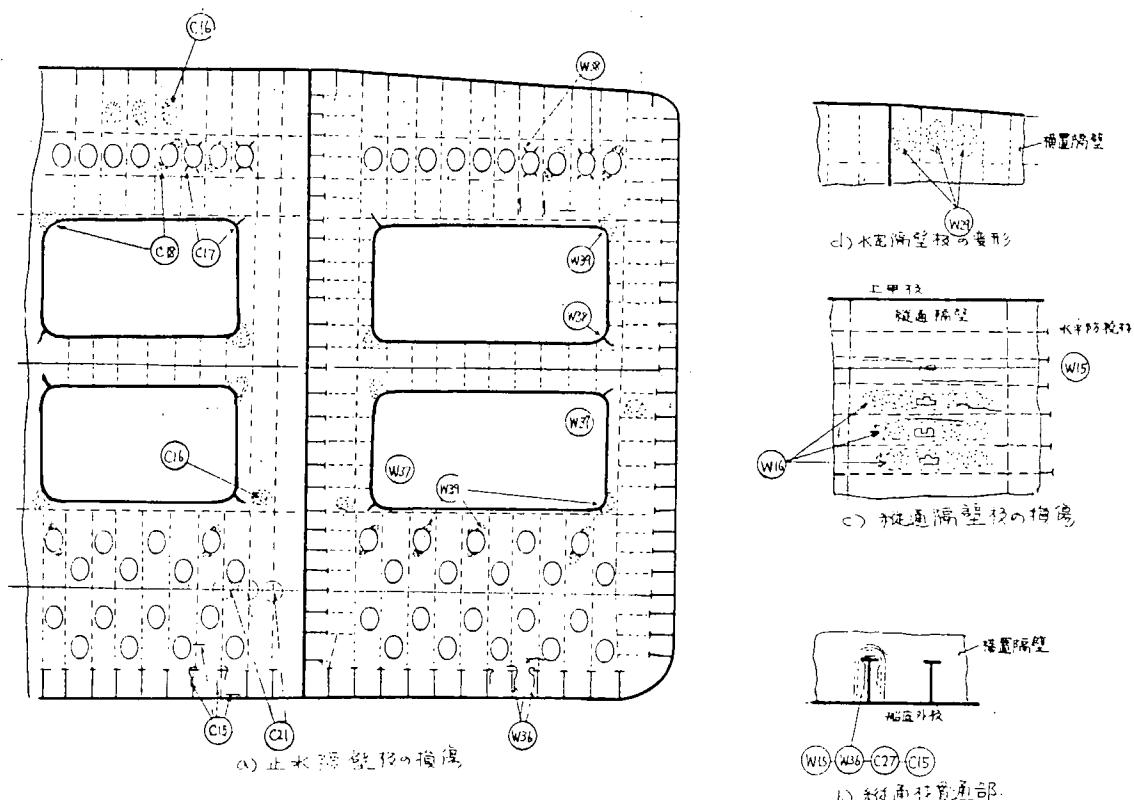
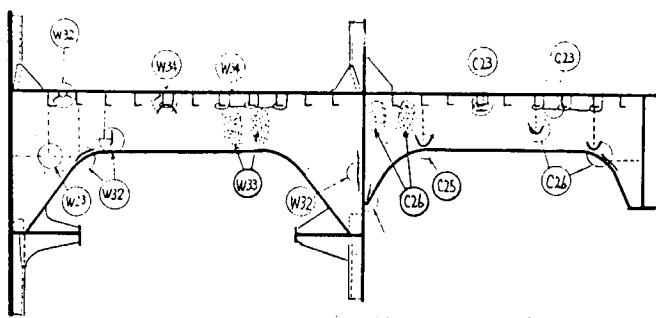
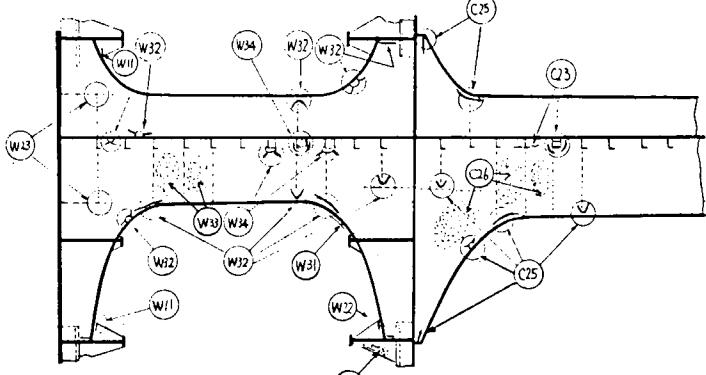


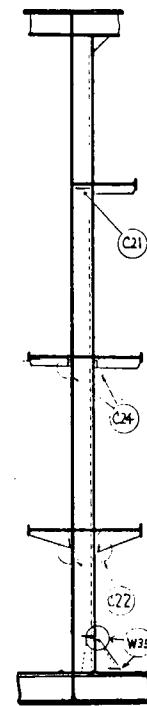
図 4.3.1-2 船側タンク中央タンクの隔壁の損傷類型図



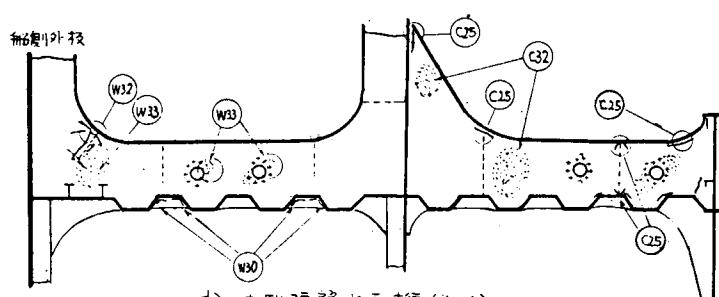
a) 半枝状隔壁水平平行(モノ1)



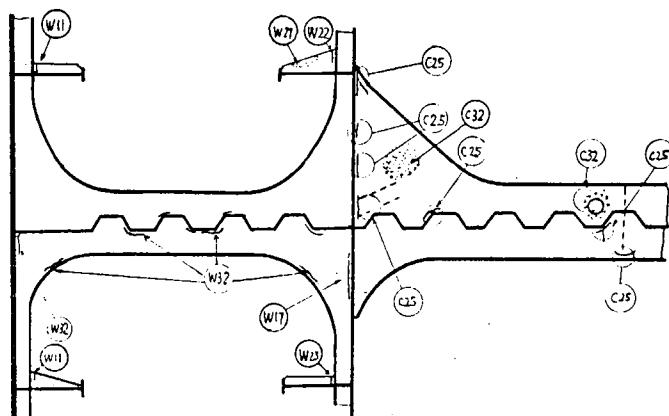
b) 平枝状隔壁水平平行(モノ2)



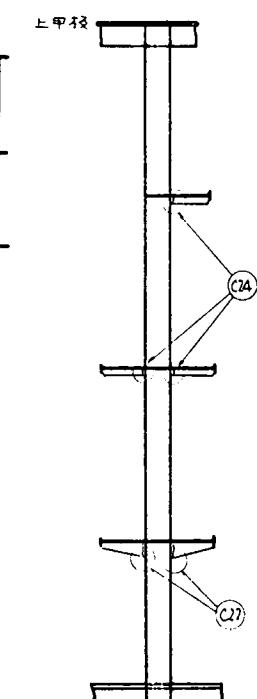
c) 隔壁立防護材



d) 波型隔壁水平平行(モノ1)



e) 波型隔壁水平平行(モノ2)



f) 水平平行の防護材、肘枝の損傷

図 4.3.1-3 隔壁水平平行の損傷類型図

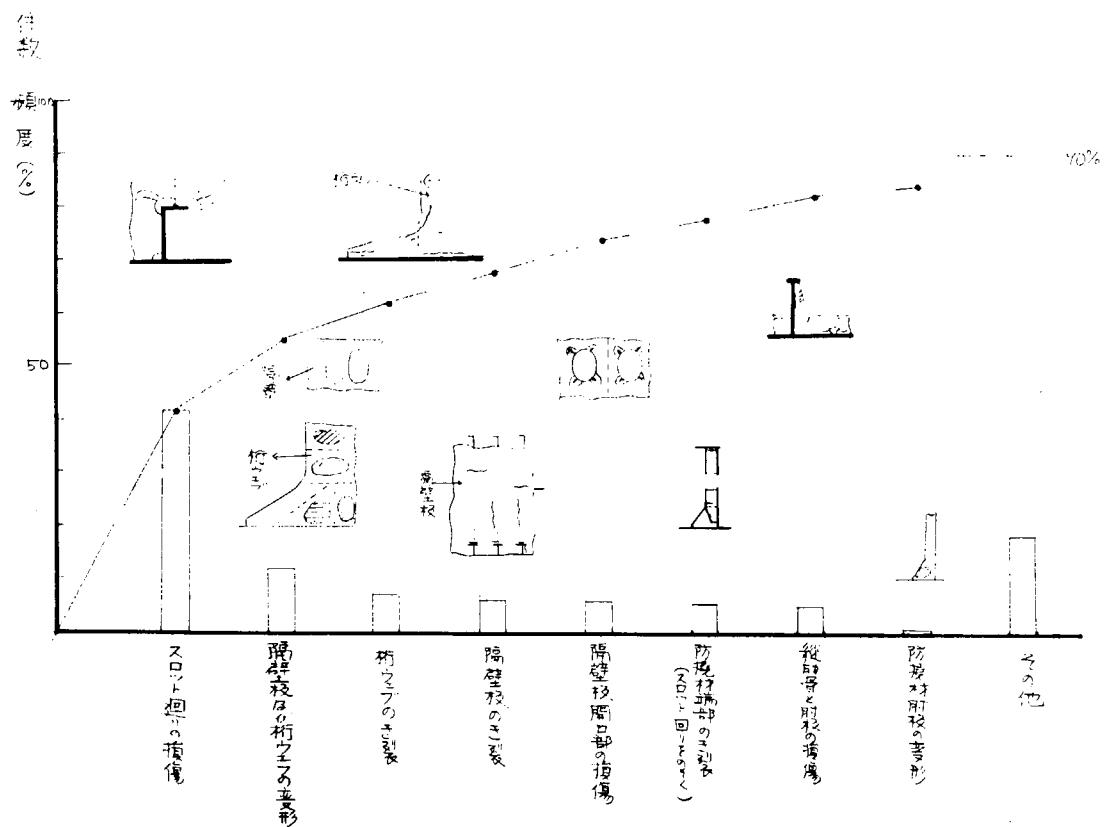


図 4.3.1-4 船側タンクの損傷件数の頻度(全損傷件数を 100 とする)

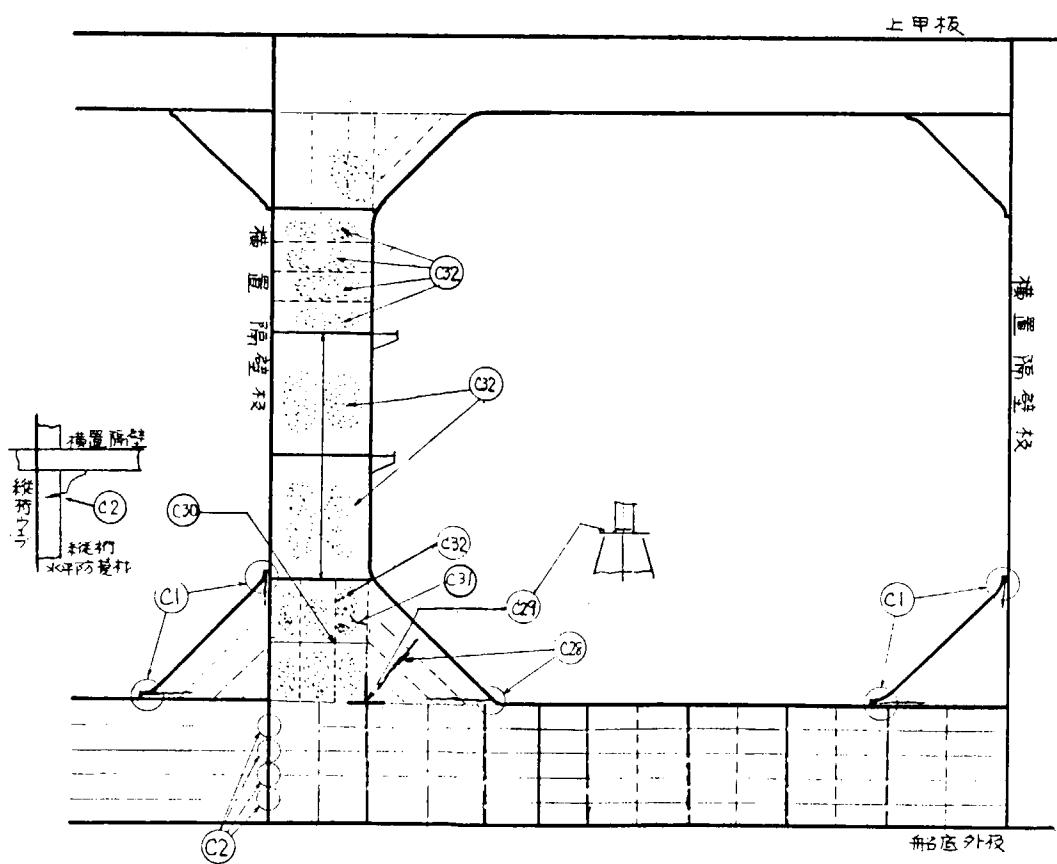


図 4.3.2-1 中央タンク隔壁立桁、船底縫桁の損傷類型図

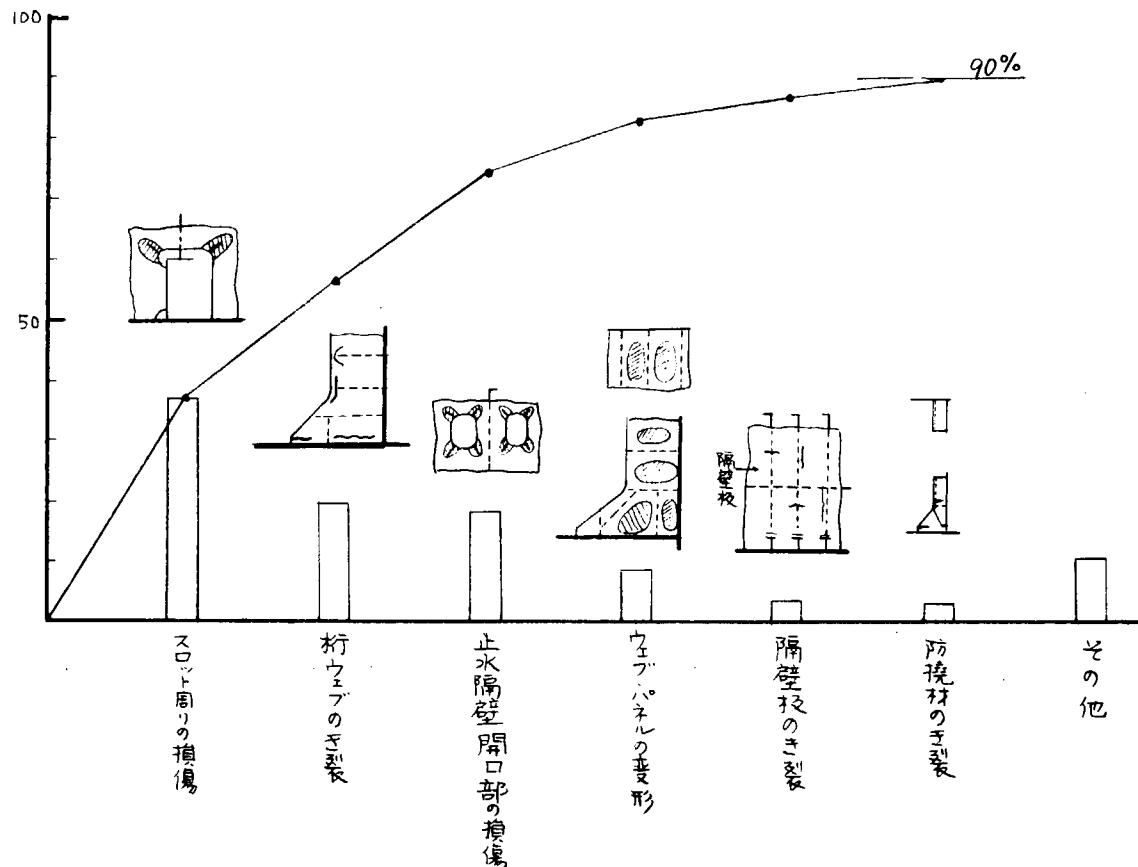


図 4.3.2-2 中央タンクの各種損傷の類型化と発生件数頻度

4.3.3 船尾タンクの損傷

(1) 損傷の形態と発生頻度

大型船の船尾タンクは比較的損傷の多いタンクであるが、その原因は推進機関等の振動に共振するためと考えられる。船側タンクと同様 40,000 重量トン以上の油槽船 114 隻について調査を行った結果、損傷の形態は図 4.3.3-1 a) ~ e) のとおりで A 1 から A 4.2 の損傷が発生頻度が高いことがわかった。(図 4.3.3-1 a) ~ i))

A 1 ないし A 4.2 の損傷の損傷発生隻数率及び損傷の発生件数率を表 4.3.3-1 に示す。表中 * をつけたものはスロット廻りの損傷で全損傷件数の 40 % を越えている。このほか横桁、水平桁、縦桁等のウェップのき裂、隔壁板のき裂、変形、防撲材のき裂が多い。

これらの損傷を一括して図 4.3.3-2 に示す。A 1 ないし A 4.2 の損傷が防止できれば損傷発生件数は 1 割以下となる。(表 4.3.3-1) (図 4.3.3-2)

(2) 損傷防止対策

船尾タンクの損傷防止対策は再本的には 4.3.1(2)に述べた船側タンクの損傷防止対策と同じであるが、共振による損傷が多いことを考え、剛性の増加や共振を避ける根本的な対策も必要と考えられる。各損傷の防止対策を表 4.3.3-1 の末尾に記載した。

4.3.4 船首タンクの損傷

(1) 損傷の形態と発生頻度

大型船の船首タンクは比較的損傷の少い区画であるが、船首の波浪衝撃によってタンク内部材が損傷をうけている。船側タンクと同様 50,000 重量トン以上の油槽船 114 隻について調査を行った結果損傷の形態は図 4.3.4-1 a) ~ g) のとおりで F 1 ないし F 38 の損傷の発生頻度が高いことがわかった。(図 4.3.4-1 a) ~ g))

F 1 ないし F 38 の損傷発生隻数率及び損傷発生件数率を表 4.3.4-1 に示す。表中 * をつけたものはスロット廻

りの損傷で、全体の損傷件数の約15%を占めている。特に損傷の多いのは止水隔壁開口部の変形、船側水平桁のウェブの変形とき裂、船側横桁のウェブの変形等である。これらの損傷を類型化して図4.3.4-2に示す。

船首タンクの損傷F1ないしF38の損傷を防止できれば損傷件数は現在の2割以下に減少する。（表4.3.4-1）
(図4.3.4-2)

(2) 損傷の防止対策

船首タンクの損傷防止対策は船尾タンクや船側タンクの損傷防止対策と共通する点も多いが、船首部特有の波浪衝撃に対する剪断強度の増加、すなわちウェブの増厚や軽目穴に対する配慮が必要と思われる。また、桁の端部におけるき裂が非常に多いことも特徴で、この部分の形状構造の改善が必要となろう。

4.4 甲板・外板の損傷

4.4.1 大型船の船首部甲板及び外板の損傷

(1) 損傷の形態

大型油槽船、鉱石船等大型専用船の甲板及び外板の損傷は船首部の甲板及び外板に発生するが主として凹損であり、き裂は少ない。40000重量トン以上の油槽船、鉱石船及び兼用船140隻について調査を行った結果、損傷の形態は図4.4.1-1a)～c)のとおりでD1からD5の損傷にかぎられている。（図4.4.1-1a)～c)）

D1～D5の損傷発生隻数率及び損傷発生件数率を表4.3.3-1に示す。この表から分かることおり船側外板の凹損が主であり、甲板の凹損、船側外板のき裂及び甲板のき裂がこれに次いでいる。

大型船の船首部の甲板、外板の損傷はタンク内部材にくらべて非常に少なく、外板、甲板及びハッチ間甲板の凹損を防止すれば損傷件数は1割以下に減少する。（表4.4.1-1）

(2) 損傷防止対策

船首部の甲板及び外板の損傷の防止は荒天時に速力を落すことが第1であると考えられる。もちろん船首部船側外板の増厚、肋骨や桁の間隔を狭くし、構造寸法を増すことも有効であるが、これらの損傷の発生隻数が多くないことから無駄なコスト増となると考えられる。

大型鉱石船のハッチコーナに見られるき裂D3は件数は少ないが注意すべき損傷と思われる。工作欠陥は見当らず構造に起因する損傷と考えられるが、コーナ部の板厚が12.7mm程度で比較的薄いので増厚が効果的かも知れない。

表 4.3.3-1 船尾タンクの損傷部材と損傷発生頻度

記号	損傷部材	8年間の損傷発生率		損傷防止対策
		損傷発生隻数 全隻数	損傷件数 全隻数	
* A 1	縦通隔壁水平桁のスロットのき裂	0.096	0.2	構造改善(スロット対策)
* A 2	" " の防撓材のき裂	0.018	0.1	" (" "
A 3	" 立防撓材のき裂	0.035	0.1	" (寸法増加)
A 4	" 立桁のウェブのき裂	0.070	0.2	" (端部固定)
* A 5	" " " の防撓材のき裂	0.044	0.2	" (スロット対策)
A 6	台甲板のき裂	0.044	0.2	—
* A 7	" 下縦桁のスロットのき裂	0.044	0.6	構造改善(スロット対策)
A 8	止水隔壁板のき裂	0.088	0.2	構造改善(寸法増加)
A 9	" の変形	0.053	0.2	" (" ")
A 10	" の開口部のき裂	0.053	0.1	" (開口補強)
A 11	" " の変形	0.026	0.4	" (" ")
A 12	" の立桁のき裂	0.114	1.1	" (端部固定)
A 13	船底肋板の肘板のき裂	0.053	0.1	構造改善(寸法増加)
A 14	" の面材のき裂	0.053	0.1	" (形状変更)
* A 15	" のスロット部のき裂	0.079	0.4	" (スロット対策)
* A 16	" の防撓材のき裂	0.254	1.9	" (" ")
A 17	" のき裂	0.307	1.6	" (端部固定)
A 18	" の変形	0.053	0.4	" (補強リング, 防撓)
* A 19	" のスロット部の変形	0.035	0.1	" (スロット対策)
A 20	船側外板水平桁のウェブのき裂	0.044	0.1	構造改善(寸法増加, 端部固定)
A 21	" 縱肋骨のき裂	0.061	0.3	" (" " —)
* A 22	船底側桁板のスロット部のき裂	0.096	0.4	構造改善(スロット対策)
* A 23	" の防撓材のき裂	0.105	0.3	" (" ")
A 24	" のウェブのき裂	0.105	0.3	" (寸法増加, 端部固定)
A 25	船側横桁のウェブのき裂	0.316	1.6	構造改善(寸法増加, 端部固定)
* A 27	" の肘板のき裂	0.070	0.1	" (スロット対策)
* A 28	" のスロットのき裂	0.132	0.6	" (" ")
* A 29	" のウェブの防撓材のき裂	0.263	0.6	" (" ")
* A 30	船尾隔壁水平桁のスロットのき裂	0.114	1.0	構造改善(スロット対策)
* A 31	" " の防撓材のき裂	0.096	0.5	" (" ")
A 32	" " のウェブのき裂	0.096	0.4	" (寸法増加, 端部固定)
A 33	" 水平防撓材のき裂	0.044	0.2	" (寸法増加)
A 34	" 隔壁板のき裂	0.123	0.2	" (寸法増加)
A 35	" の立防撓材(肘板を含む)き裂	0.123	0.6	" (寸法増加)
A 36	" の立桁のき裂	0.053	0.1	" (寸法増加, 端部固定)
* A 37	上甲板下縦桁のスロットのき裂	0.018	0.1	構造改善(スロット対策)
* A 38	" 特設梁のスロットのき裂	0.018	0.1	" (" ")
* A 39	" " の防撓材のき裂	0.026	0.3	" (" ")
A 40	囲壁の立防撓材のき裂	0.009	0.3	構造改善(防振)
A 41	第2甲板下縦桁のウェブのき裂	0.026	0.1	" (寸法増加, 端部固定)
* A 42	" " のスロットのき裂	0.009	0.3	" (スロット対策)
その他のき裂と変形		0.851	2.0	—
合計		—	18.4	—

備考 * スロット回りの損傷

表 4.3.4-1 船首タンクの損傷部材と損傷発生頻度

記号	損傷部材	8年間の損傷発生率		損傷防止対策
		損傷発生隻数	損傷件数	
		全隻数	全隻数	
F 1	船側横桁のウェブのき裂	0.044	0.1	—
F 2	" " の変形	0.383	0.9	構造改善(増厚, 防撓) " (スロット対策)
* F 3	" のスロットのき裂	0.070	0.3	—
F 4	" " の変形	0.026	0.1	構造改善(スロット対策)
* F 5	" のウェブ防撓材の変形	0.157	0.4	—
F 6	" " "	0.027	0	—
F 7	船側水平桁のウェブのき裂	0.351	1.1	構造改善(寸法増加, 端部固定)
F 8	" " の変形	0.211	1.3	" (増厚, 防撓)
* F 9	" " 防撓材のき裂	0.044	0.1	" (スロット対策)
F 10	" " 面材のき裂	0.053	0.1	" (工作?)
F 11	船側縦肋骨(肘板を含む)のき裂	0.123	0.4	構造改善(寸法増加)
F 12	" " の変形	0.114	0.3	" (")
F 15	" 橫肋骨のき裂	0.026	0.1	—
F 16	止水隔壁の水平桁のウェブのき裂	0.026	0	—
F 17	" の開口部のき裂	0.026	0	—
F 18	" " の変形	0.167	1.4	構造改善(開口部の補強)
F 19	" の隔壁板のき裂	0.044	0.1	" (増厚, 寸法増加)
F 20	" " の変形	0.132	0.3	" (" , ")
F 21	船首隔壁水平桁ウェブのき裂	0.088	0.4	構造改善(寸法増加, 端部固定)
F 22	" " " の変形	0.070	0.2	" (" , 防撓)
* F 23	" " 防撓材のき裂	0.088	0.6	" (スロット対策)
* F 24	" " スロットのき裂	0.053	0.2	" (")
* F 25	" " " の変形	0.026	0.3	" (")
F 26	" " 面材のき裂	0.035	0	—
F 27	" " 立防撓材のき裂	0.026	0.2	構造改善(寸法増加)
F 28	" " 立防撓桁のウェブのき裂	0.035	0.1	" (" , 端部固定)
F 29	船首材(立桁を含む)の変形	0.079	0.4	構造改善(寸法増加, 防撓)
F 30	" の水平補強材のき裂	0.035	0	" (" , ")
F 31	" " " の変形	0.079	0.4	" (" , ")
F 32	船底横桁ウェブのき裂	0.088	0.1	構造改善(寸法増加, 端部固定)
* F 33	" 防撓材のき裂	0.035	0.2	" (スロット対策)
F 34	船底側桁ウェブのき裂	0.035	0	構造改善(寸法増加, 端部固定)
F 35	" " " の変形	0.044	0.1	" (" , 防撓)
F 36	上甲板下縦桁ウェブのき裂	0.053	0.2	構造改善(寸法増加, 端部固定)
F 37	" " " の変形	0.044	0.1	" (" , 防撓)
F 38	" 特設梁ウェブの変形	0.044	0.2	" (" , ")
その他の損傷		0.789	2.5	—
合計		—	13.5	—

表 4.4.1-1 船首部甲板と外板の損傷部材と損傷発生頻度

記号	損傷部材	8年間の損傷発生率		損傷防止対策
		損傷発生隻数	損傷件数	
		全隻数	全隻数	
D 1	船側外板のき裂	0.029	0	構造改善(内部材の補強)
D 2	" の変形	0.129	0.6	" (寸法増加)
D 3	上甲板のき裂	0.021	0	" (船体のれ対策)
D 4	" の変形	0.036	0.2	" (内部材の補強)
D 5	倉口側線内の甲板の変形	0.021	0.2	" (増厚)
その他の損傷		0.014	0	—
合計		—	1.0	—

備考 * はスロットまわりの損傷

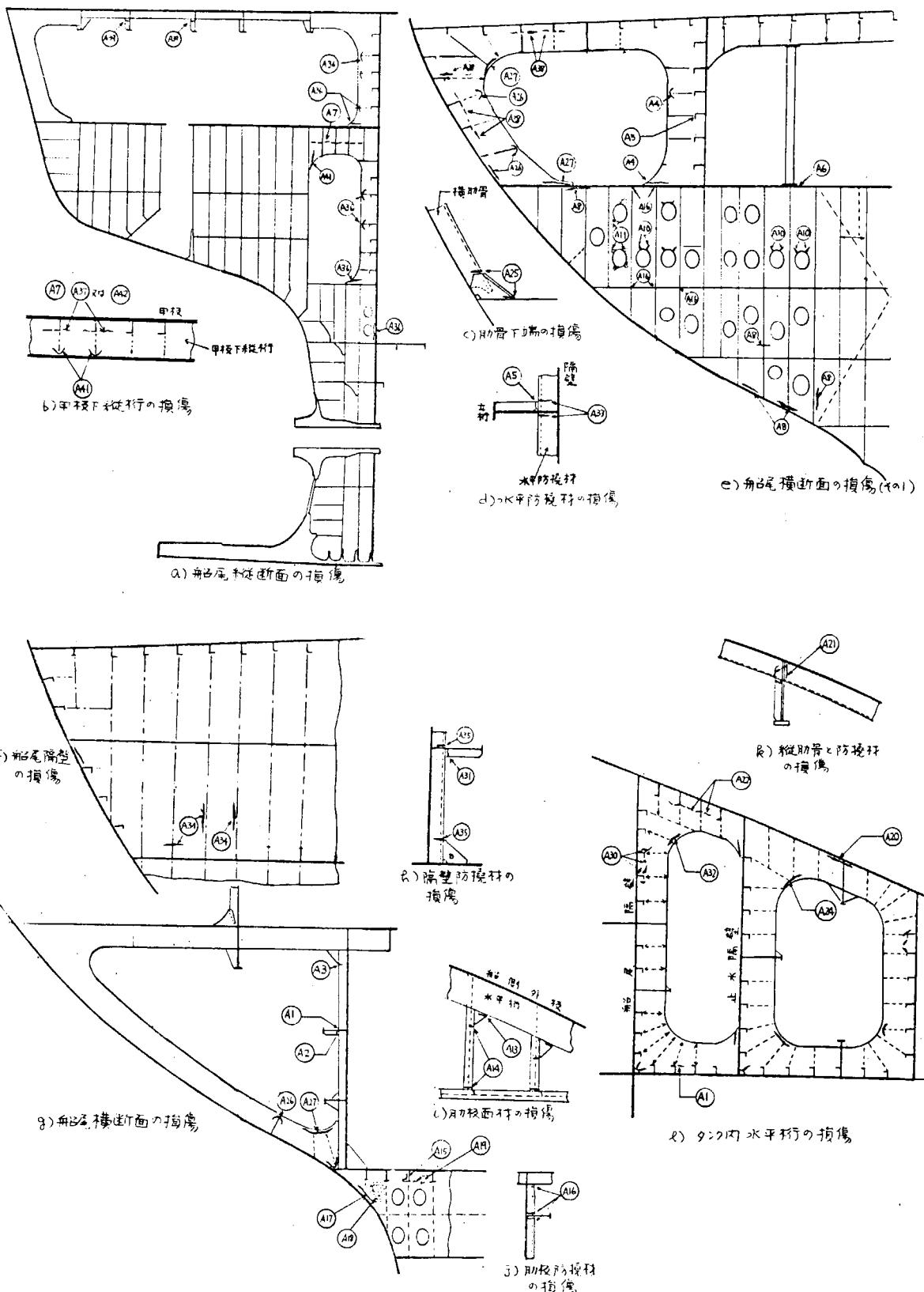


図 4.3.3-1 船尾タンクの損傷型図

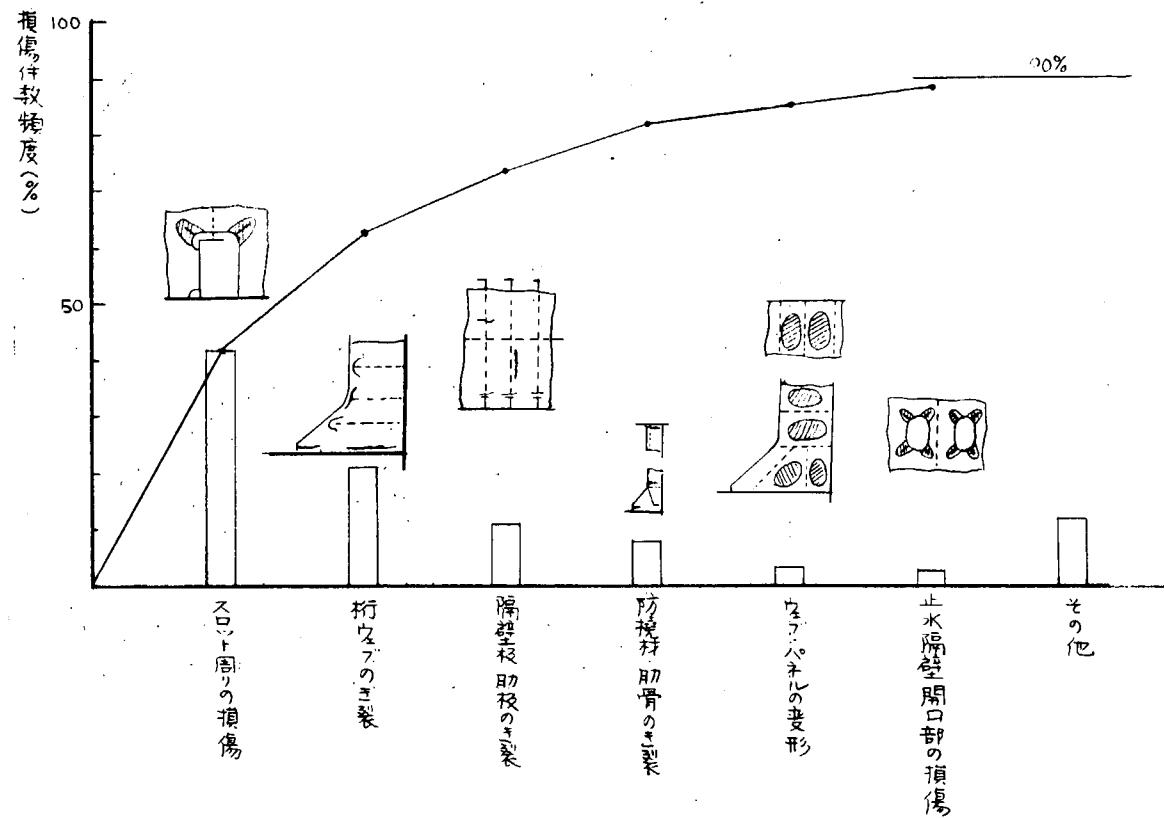


図 4.3.3-2 船尾タンクの各種損傷の類型化と頻度

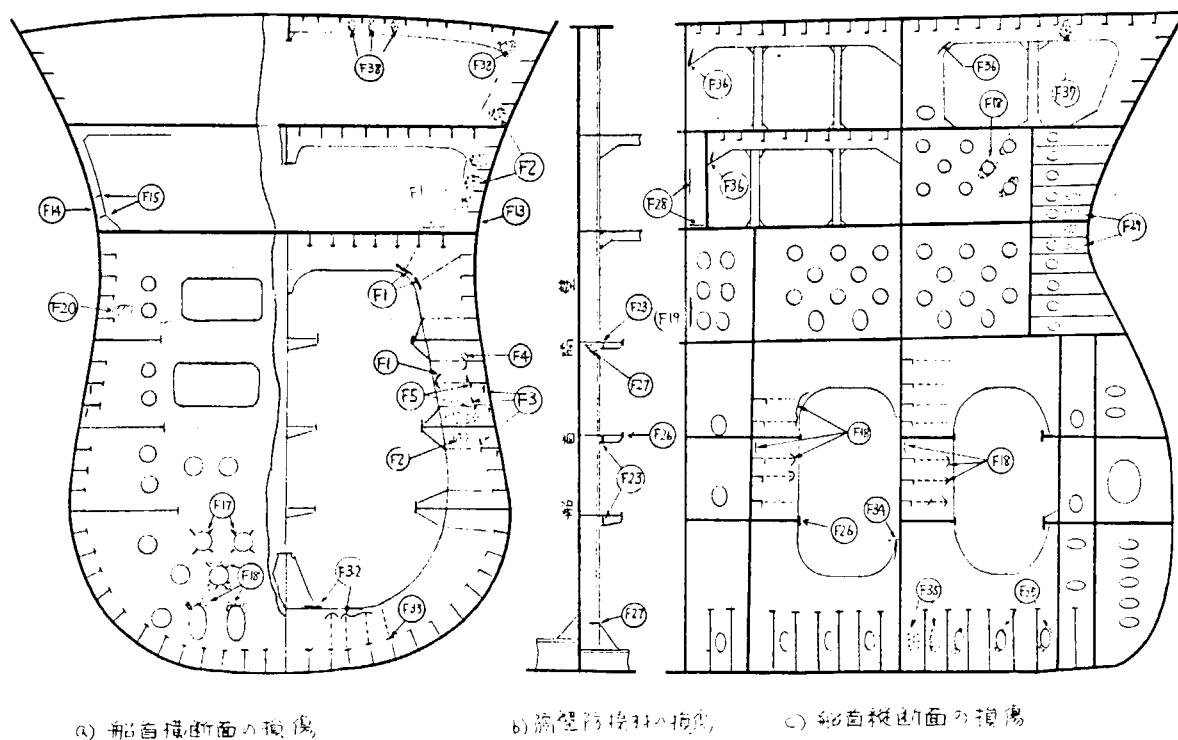
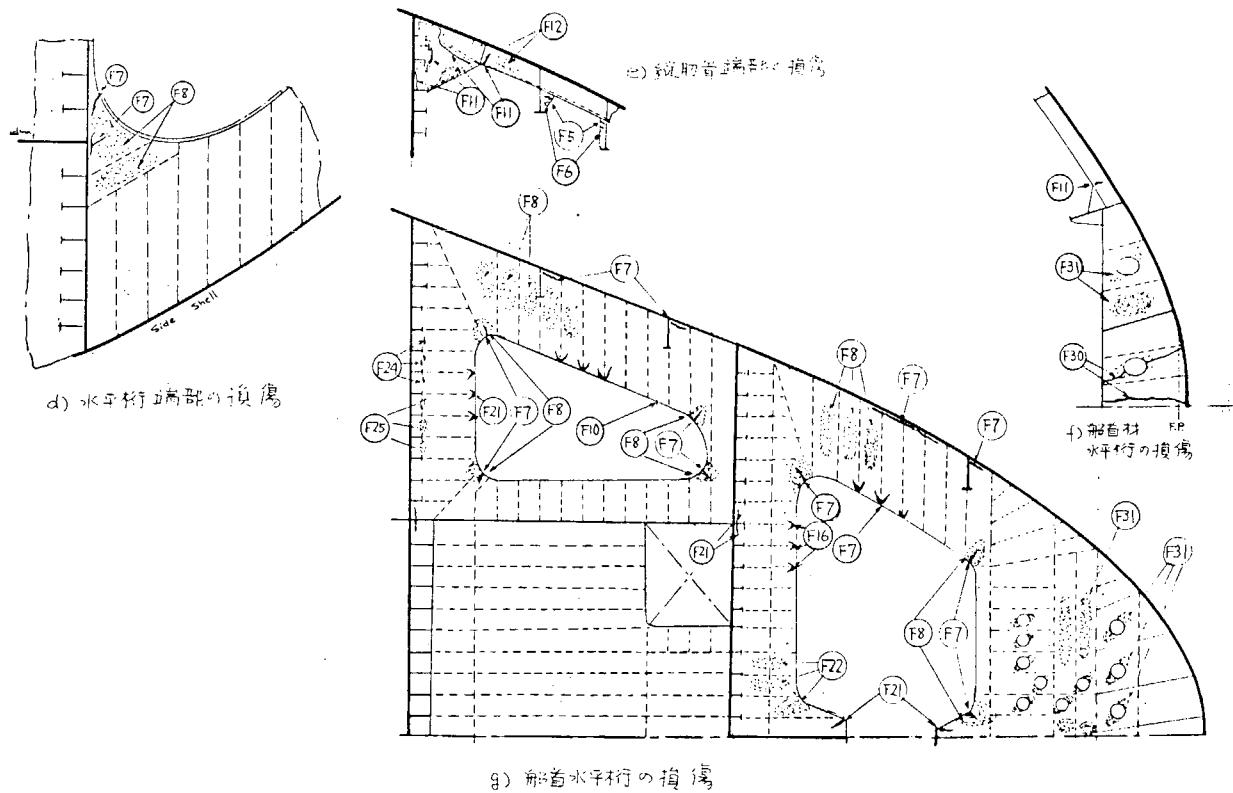


図 4.3.4-1 船首タンクの損傷類型図



g) 船首水平平行部の損傷

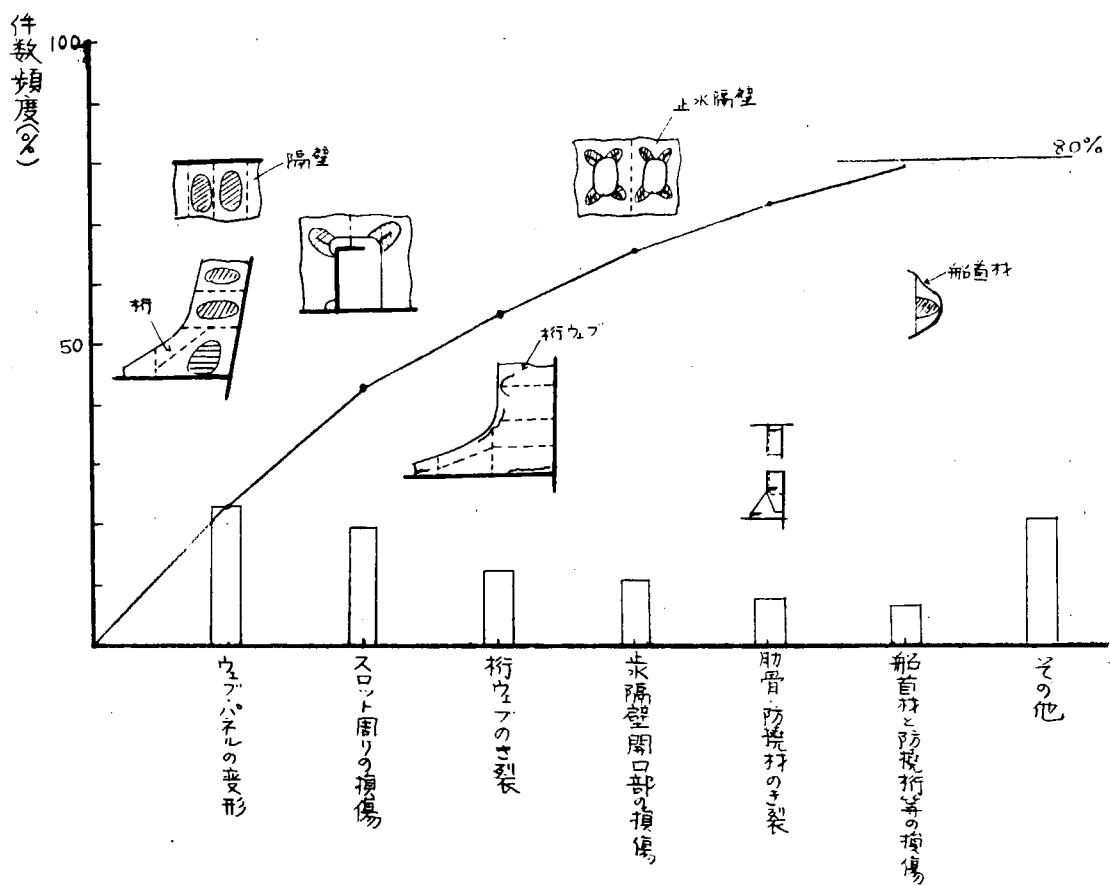


図 4.3.4-2 船首タンクの各種損傷の類型化と頻度

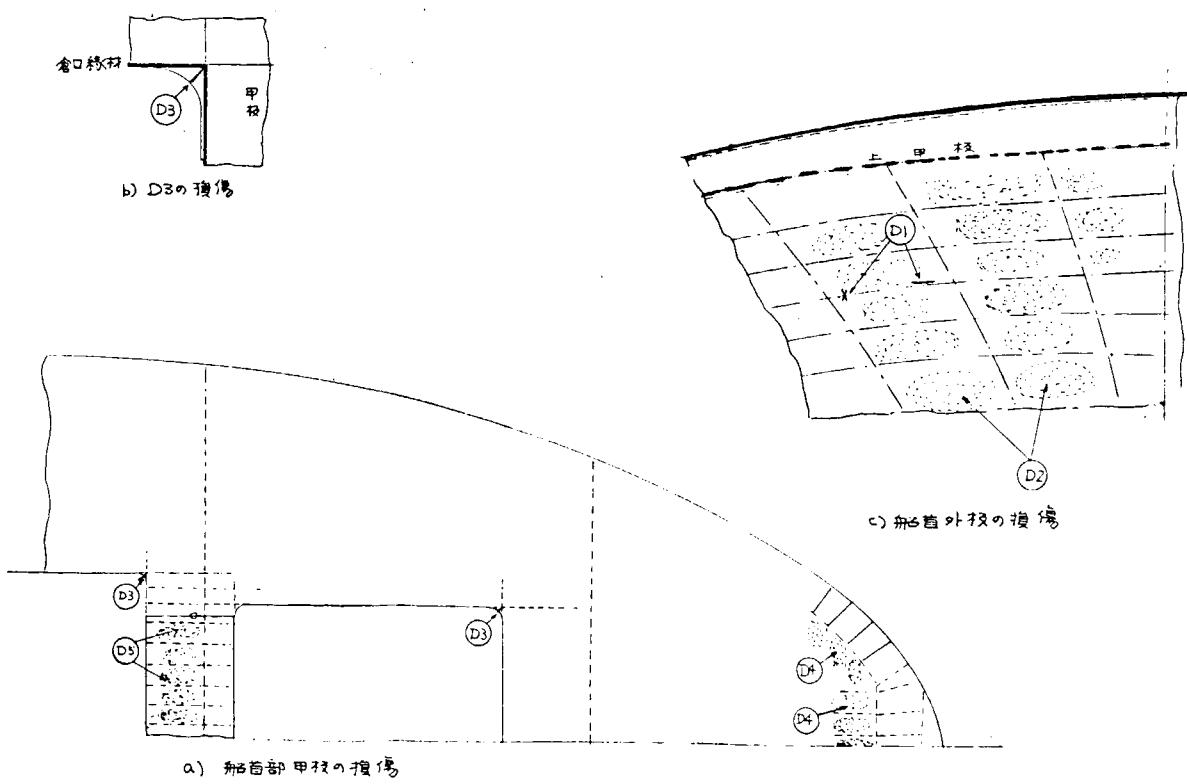


図 4.4.1-1 船首部甲板及び外板の損傷類型図

5 大型タンク内部材の振動疲労による損傷

5.1 目的および経緯

昨今、船体構造部材の損傷は減少傾向にあるが、部材の振動によると思われる疲労損傷はかなり見受けられる。これらの損傷は大事にいたる性質のものは少なく、定期的な点検と補修によって解決されているものの、初期設計時にこれを予知し、未然に防止する事ができればはなはだ望ましいことである。

この様な背景から損傷防止に関する研究をとり上げるべきであるとの意見が造船学会構造委員会関東地区部会（以下関東地区部会とする）において強調された。他地区部会でも同様の意見があり、他地区部会とも連絡をとりつつ運営する事で昭和49年8月に関東地区部会内に「振動疲労懇談会」が設立された。懇談会では昭和44年に関東地区部会船尾タンク小委が提案した設計式⁽¹⁾、越智らが行ったタンク内骨についての設計式⁽²⁾を基に検討を進めて、昭和51年2月この研究を更に発展させることになりSR157の中で研究を進めることになった。

この懇談会では種々の検討がなされたがタンク内部材の振動特性および振動応力の実態が完全に明らかになっていないのが現状である。従って実船のタンク内部材の特性を把握するため、実船計測を起振機実験、試運転時に行った結果を以下に報告する。

5.2 実船実験

5.2.1 供試船

供試船は172,800 DWTタンカーで表5.2.1-1にて船体および主機関要目を、概略配置図を図5.2.1-1に示す。計測したカーゴタンク内大骨、船尾タンク内フレームの構造図および計測点配置を図5.2.1-2a, -2bに示す。

5.2.2 実験の概要

(1) 実験方法

実験は起振機実験と航走中実験を行った。

起振機実験は10T起振機を上甲板船尾端に設置し上下、前後方向に起振した。計測はタンク内部材が空中、水中の2ケースとしたが、起振振動数は空中では300～1,100 cpm、水中では200～1,100 cpmとし10 cpmピッチで計測を行なった。

航走中実験は累進テスト時を利用して行い40 rpmから112 rpmまで1～2 rpm毎に計測した。

対象とするタンクは空中、水中の両ケースとした。

実験時のタンクコンディションを表5.2.2-1に示す。

(2) 計測、データ解析方法

計測点の詳細は図5.2.1-2a, 2bに示すが、計測点数は以下の通りである。

船倉内大骨 振動 20点

表5.2.1-1 船体および主機関要目

船 体	L B P	279.6 m
	B mold	44.5 m
	D mold	24.7 m
	d	18.85 m
主 機 関	DIESEL	IHI-SULEER 8RND 105×1
	馬力 (MCR)	32,000
	" (NOR)	28,800
	RPM (MCR)	108
	" (NOR)	104.3
プロペラ	No. of blade	4翼×1
	直 径	7.93 m

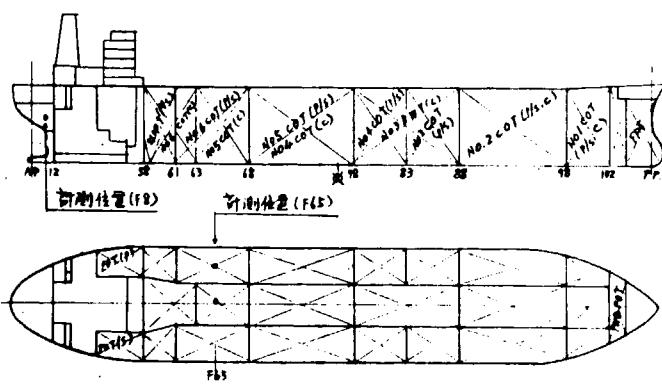


図5.2.1-1 概略一般配置図

応力 2 点
 船尾タンク内 振動 3 点
 応力 6 点

計測は加速度計と歪ゲージ（一軸ゲージ）を利用して、DPM ローパスフィルターを介して行った。尚ローパスフィルターの遮断周波数は 40 Hz である。計測データは A/D 変換器を内蔵したデータ集録装置に記録し、解析はデジタルコンピューターを用いて行なった。

この一連の流れを図 5.2.2-2 に示す。

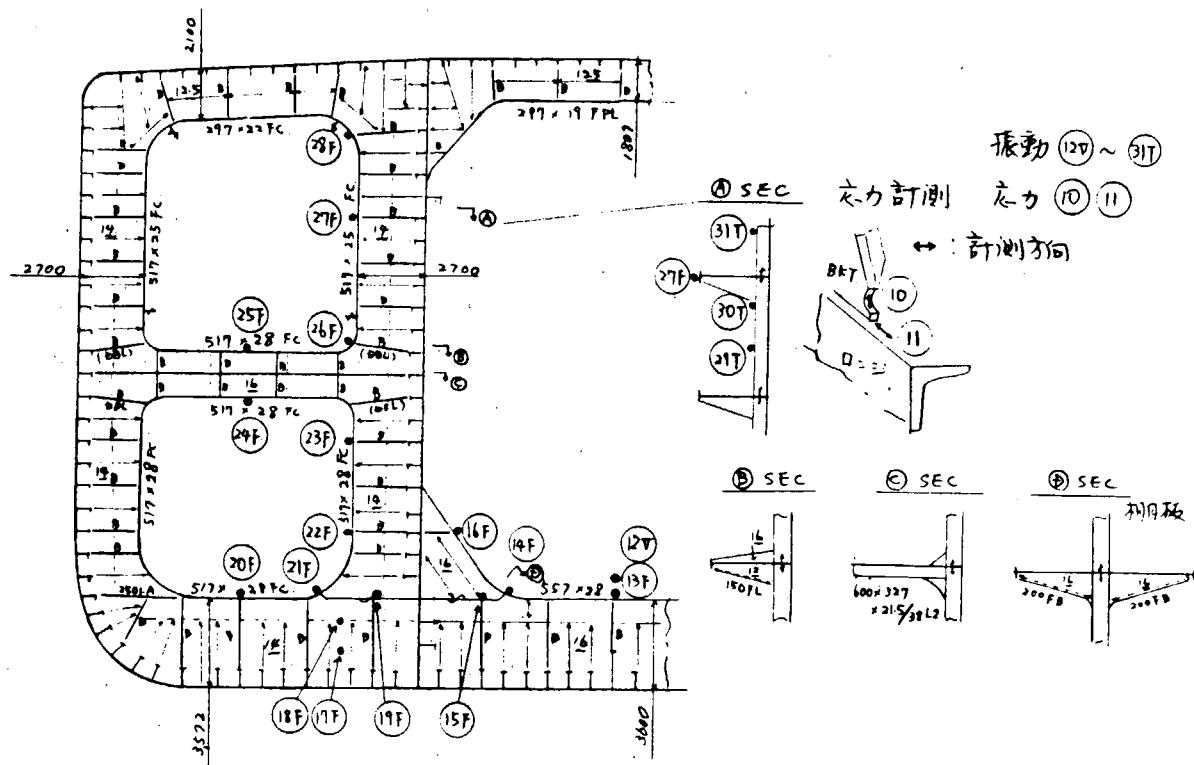


図 5.2.1-2 a 船倉内大骨構造および計測点 (F 6.5)

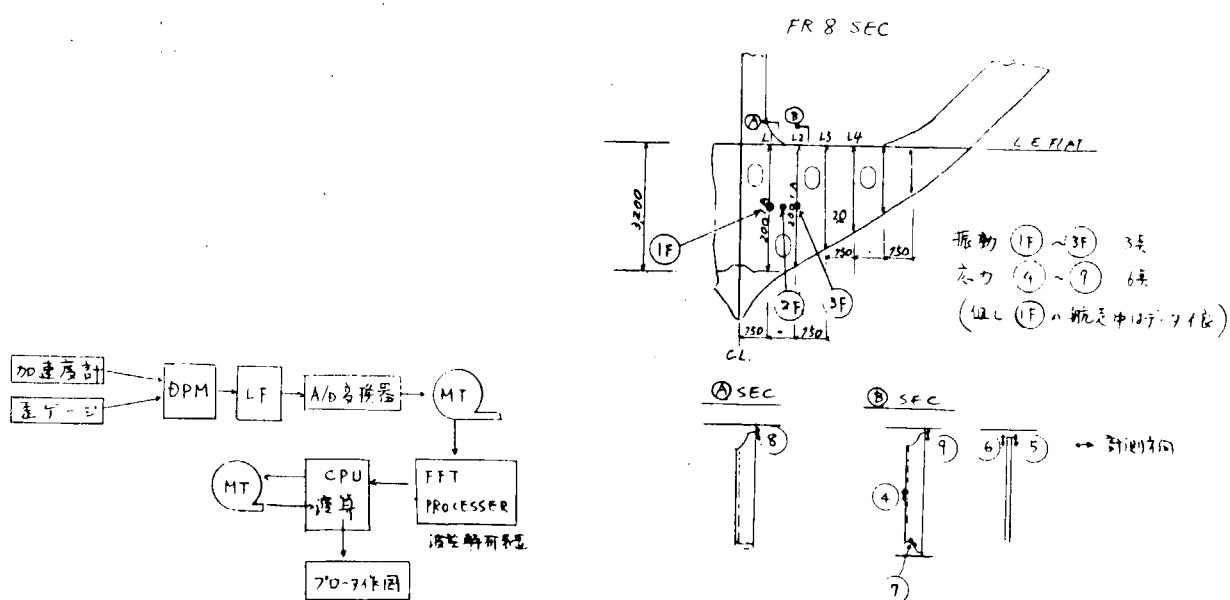


図 5.2.1-2 b 船尾タンク内フロア構造
および計測点

図 5.2.2-2 データ記録、解析装置

5.2.3 実験結果

(1) 船尾タンク

航走時、水中の共振曲線を図 5.2.3-1(a)～1(g)に示す。空中ではほとんど振動していないのでここでは水中について述べる。起振機実験では起振方向によって若干ピークの振動数が異っているが、670～680 cpm, 990～1,060 cpm に防撓材およびパネルのピークがある。

航走中実験では $84 \text{ rpm} \times 8 \text{ 次} = 672 \text{ cpm}$, $86 \text{ rpm} \times 12 \text{ 次} = 1,032 \text{ cpm}$ に顕著なピークが見られる。それらの振動モードは図 5.2.3-3 に示すように防撓板としての振動モードとなっている。

航走中実験時の応力(片振幅)は 672 cpm で現われており、防撓材の中央で 0.54 Kg/mm^2 、防撓材下部(計測点⑦)で 0.15 Kg/mm^2 、スニップ端の板で 0.16 Kg/mm^2 となっている。

(2) 船倉部

共振曲線を図 5.2.3-1(a)～2(r)に示す。空中ではほとんど振動していないのでクロスタイを除き水中についてのみ述べる。

(a) C. L. BOTT TRANS

起振機実験では 530 cpm 以外顕著なピークはみられない。航走中試験ではピークの振動数は 760 cpm, 824～860 cpm である。これらの振動モードは図 5.2.3-4 に示す様に 760 cpm では C. L.～L. BHD 間の FB 型振動(フェイスプレートとブラケット主体の振動)に近く、824 cpm ではコーナー部で節が出来ている。

尚起振機実験の 530 cpm の振動はウィングタンクの振動によるものなのでそちらで述べる。

(b) W. T. BOTT TRANS

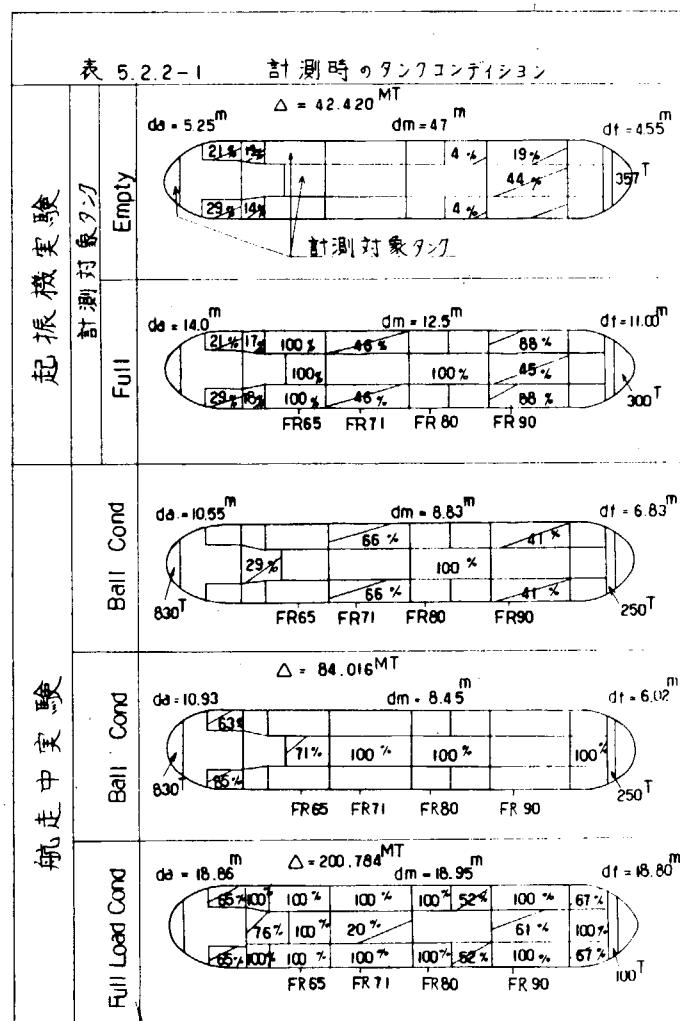
起振機実験では 530 cpm で部材交叉部(L. BHD TRANS と BOTT TRANS)主体の振動、670 cpm では、FB 型に近い振動となっている。(図 5.2.3-5 a 参照)

航走中実験では、525 cpm, 555 cpm, 688 cpm, 768 cpm にピークが見られるが、768 cpm 以外全て部材交叉部主体の振動モードになっている。又 768 cpm では棚板端付近で一つの節が出来ている。(図 5.2.3-5 b 参照)

又、パネルの振動に注目すると(計測点⑦) 1068 cpm, 1200 cpm, 1260 cpm, 1332 cpm ピークが見られるが振動モードは図 5.2.3-5 b に示す様に微妙に異っている。

(c) L. BHD TRANS (CROSS TIE より下の部分)

起振機実験では、730 cpm にピークがみられるが図 5.2.3-6 に示す様に棚板付近を境にして位相が逆転している。



航走中実験ではそれほど顕著ではないが、720 cpm, 856 cpmにピークが見られる。それらの振動モードを図 5.2.3-6 に示すが起振機実験と同じ振動モードとなっている。

(d) CROSS TIE

起振機実験では空中はピークは見当らない。水中では、430 cpm と 560 cpm に顕著なピークが見られ振動モードは図 5.2.3-7 に示す様に 430 cpm では曲げ、560 cpm では捩りのモードとなっている。

航走中試験では、まず空中についてみると、930 cpm, 1080 cpm, 1176 cpm, にピークが見られる。930 cpm では捩り振動モードとなっているが、その値が小さいので断定は出来ない。

1080 cpm, 1176 cpm はいずれも曲げ振動モードとなっている。

一方水中では、416 cpm, 555 cpm に非常に顕著なピークが見られそれらの振動モードは図 5.2.3-7 に示す様に、曲げ振動、捩り振動となっている。

(e) L. BHD TRANS (CROSS TIE より上の部分)

起振機実験では顕著ではないが、670 cpm, 780 cpm にピークがあり図 5.2.3-8 a に示す様に FB 型の振動モードとなっている。

航走中実験では 688 cpm, 736 cpm, 784 cpm, 816 cpm, 840 cpm, 860 cpm と次々とピークが出て来ている。振動モードは図 5.2.3-8 b に示す様に 784 cpm, 816 cpm では FB 型、他の振動数では若干モードが違ってはいるがいずれも部材交叉部 (L. BHD TRANS と DK TRANS) 主体の振動となっている。

航走中のプラケット端の応力 (片振幅) は 788 cpm, 816 cpm で 0.18 Kg/mm^2 , 0.12 Kg/mm^2 となっている。

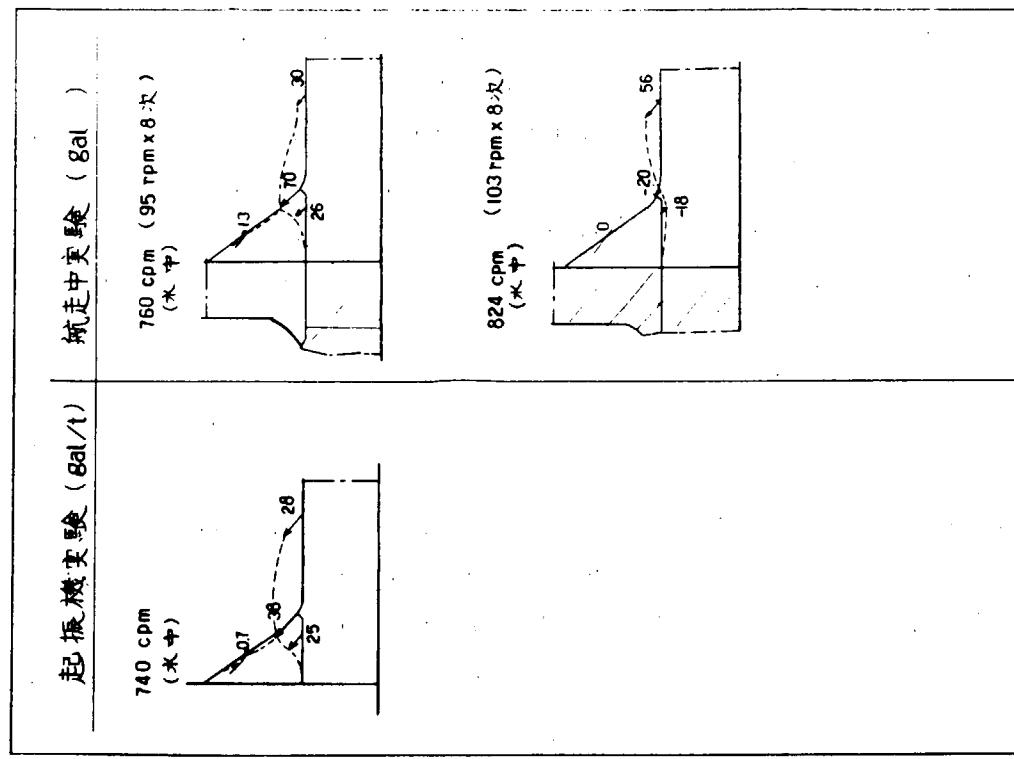


図 5.2.3—4 CL. BOLT TRANS 振動モード

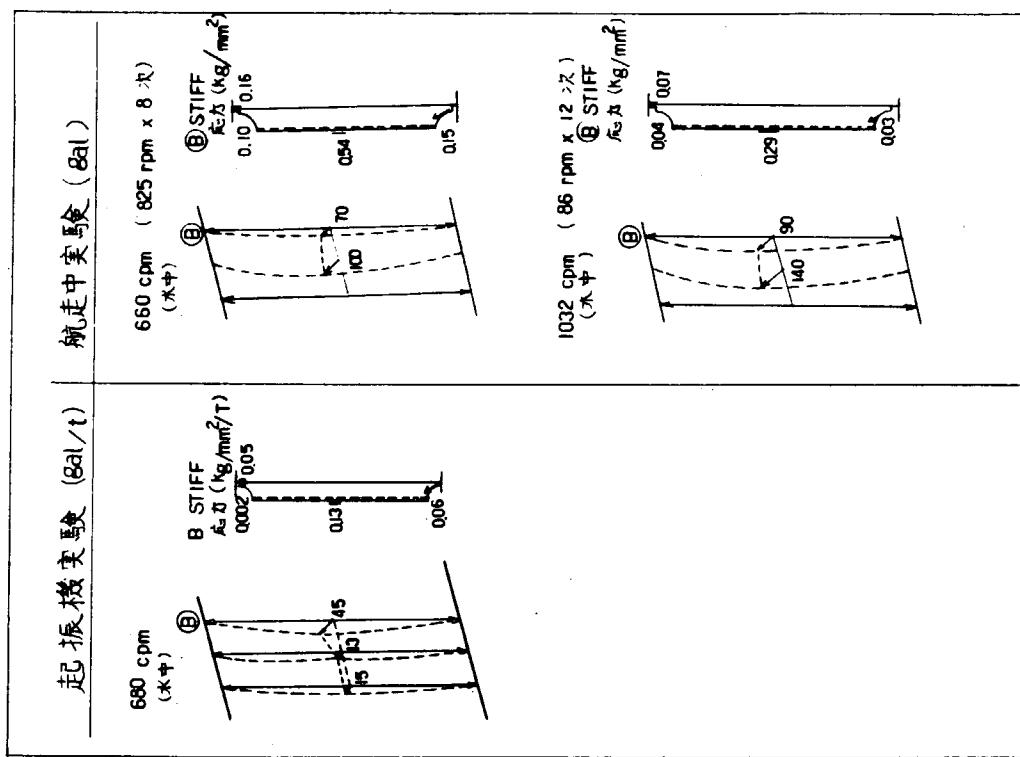


図 5.2.3—3 船尾タンク振動モード

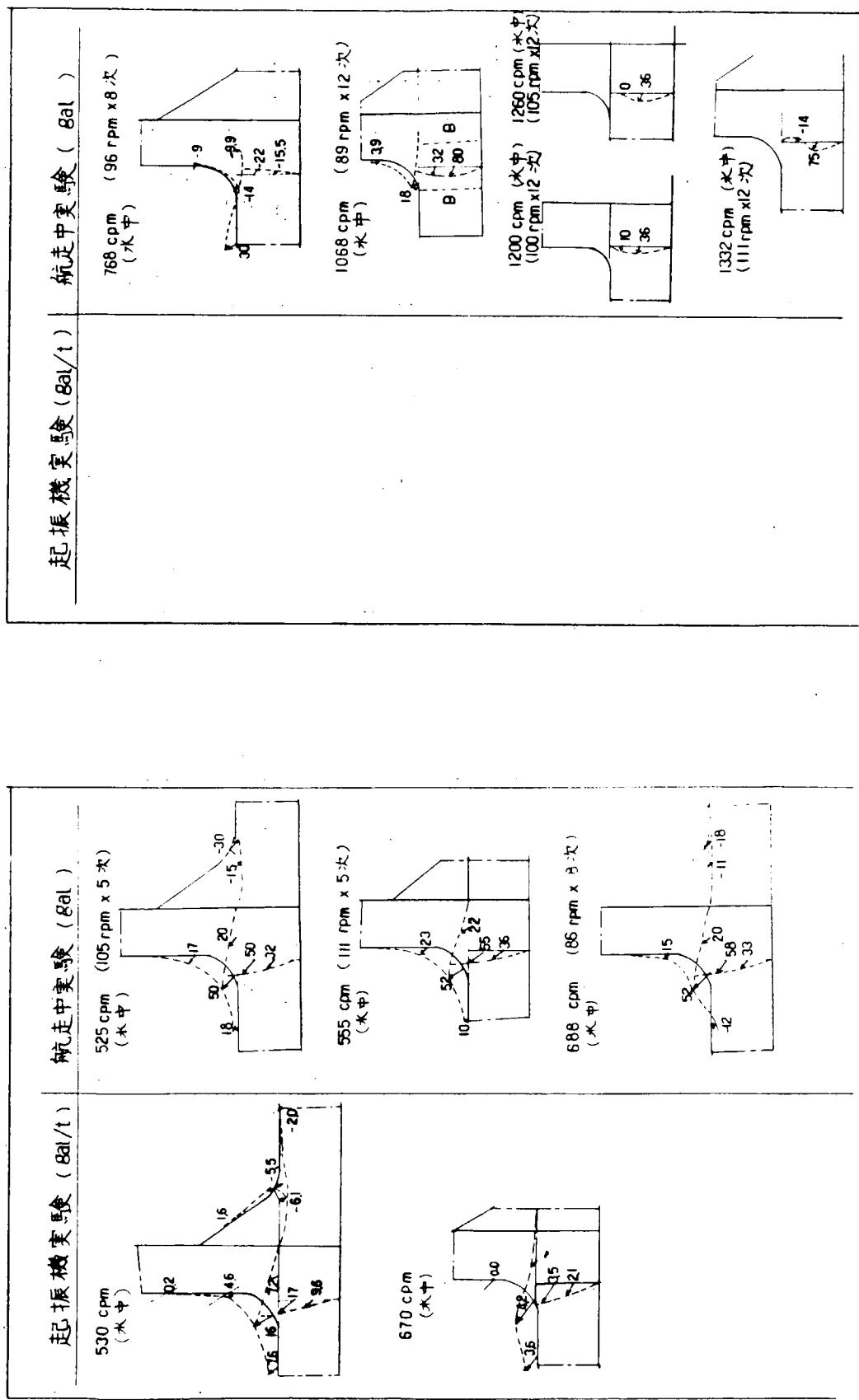


図 5.2.3-5 a W.TK.BOTT.TRANS 振動モード

図 5.2.3-5 b W.TK.BOTT.TRANS 振動モード

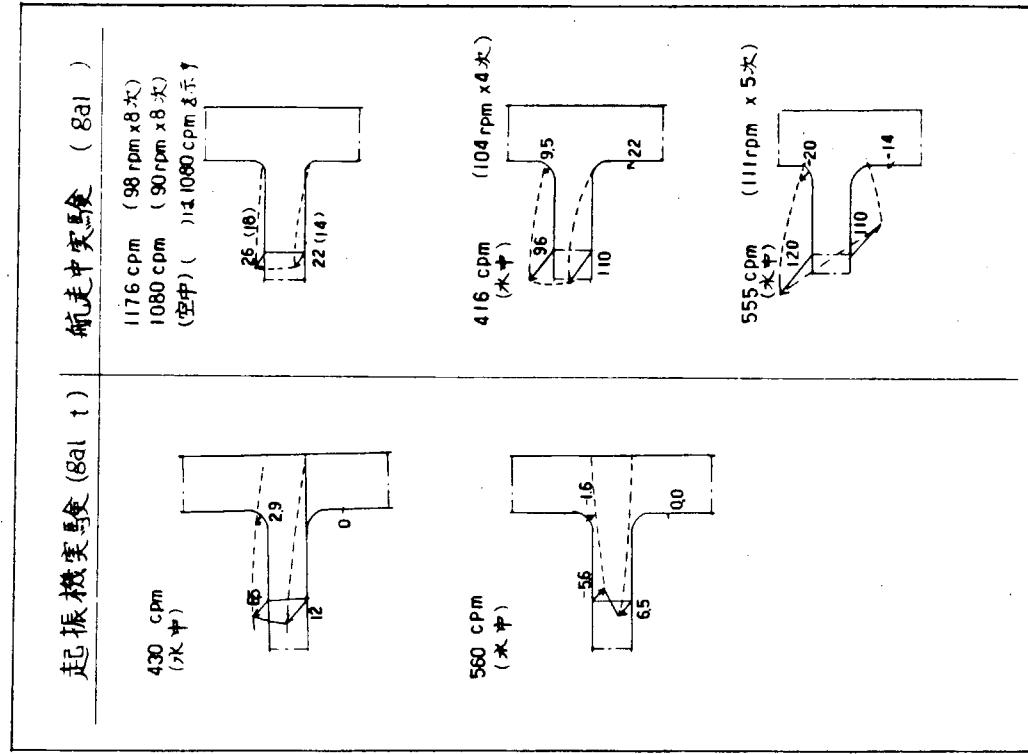
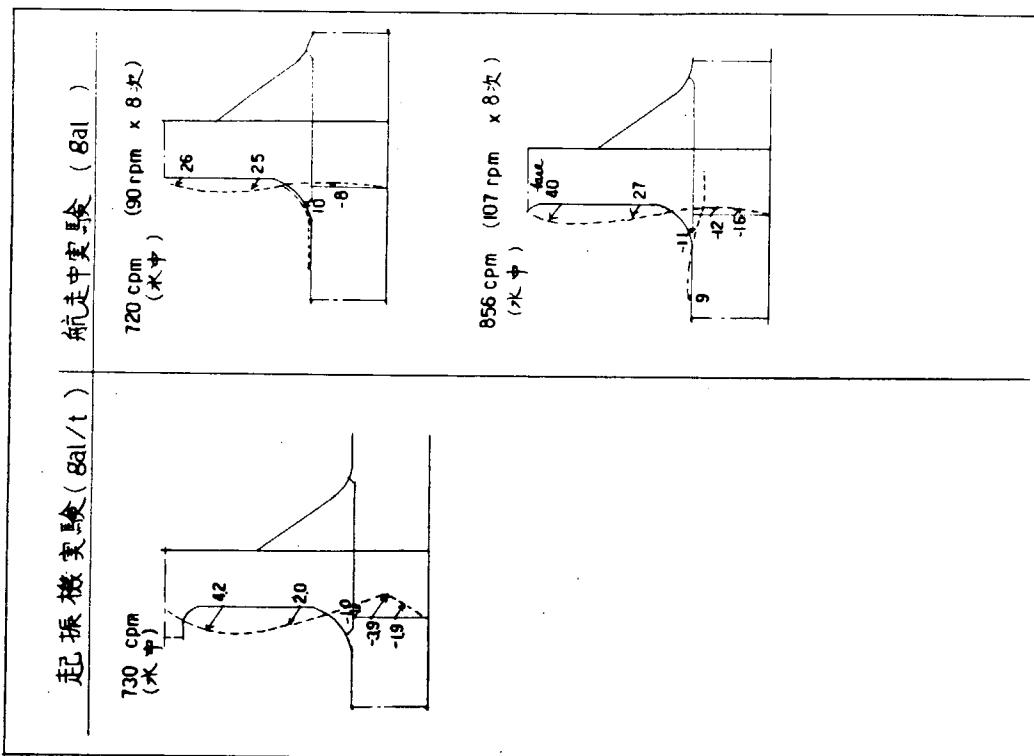


図 5.2.3-6 L.BHD. TRANS (CROSS TIE 下の部分) 振動モード

図 5.2.3-7 CROSS TIE 振動モード

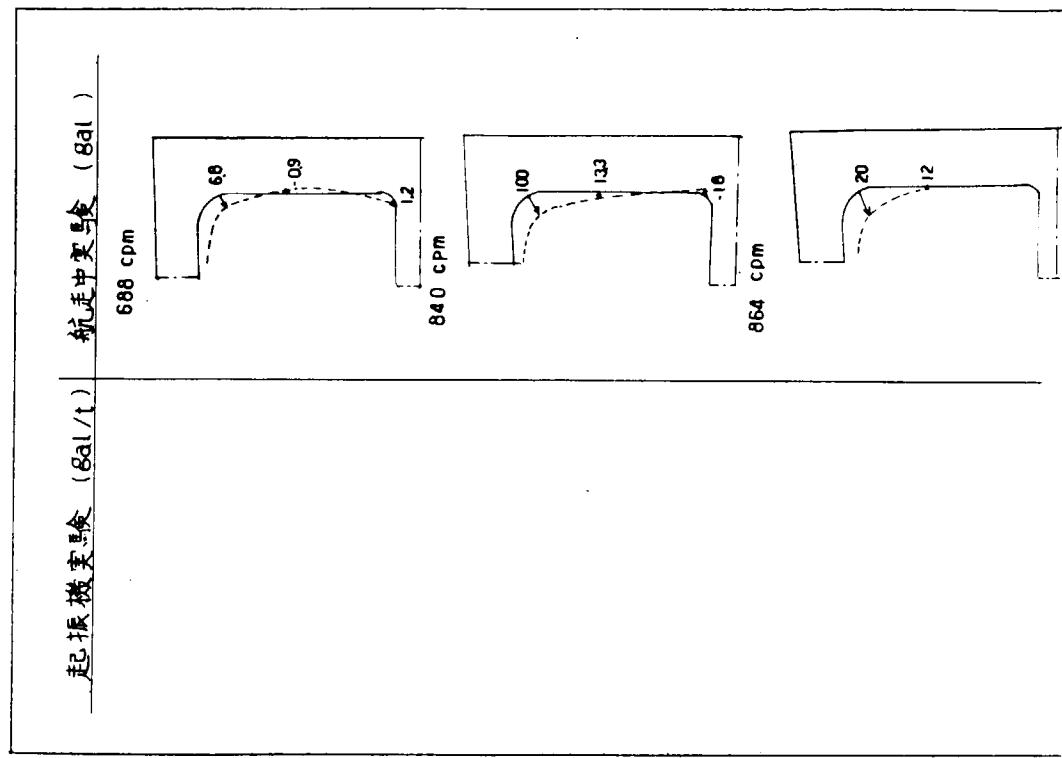


図 5.2.3-8 a L・BHD. TRANS(CROSS TIE に上
○部分) 振動モード

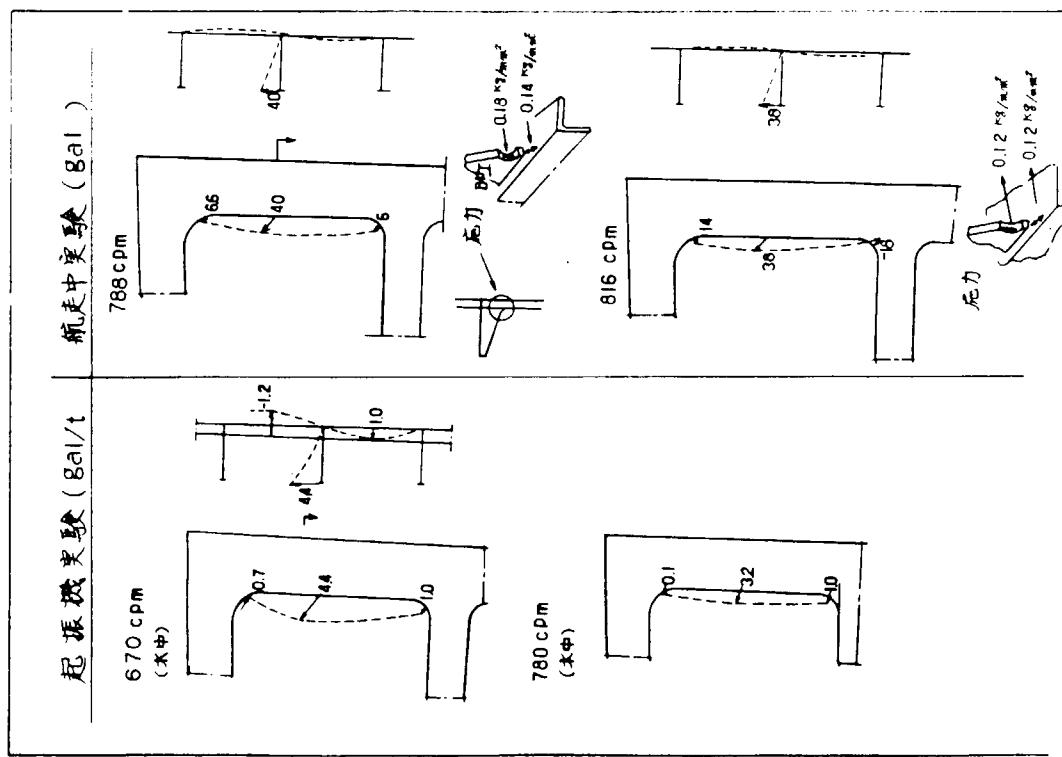


図 5.2.3-8 b L・BHD. TRANS(CROSS TIE に上
○部分) 振動モード

5.3 解析

5.3.1 固有値計算

(1) 船倉部

計算は有限要素法の電算プログラム（IHI-ZPLATE⁽³⁾）を用いて行った。（以下FEM計算）計算モデルは図5.3.1-1に示すが、トランスリングとその前後に $\frac{1}{2}$ トランスマースペースのデッキ、外板、縦通隔壁を取り出している。計算に当ってのモデル化は次の通りである。

- (a) ウェップフレーム、デッキ、外板、縦通隔壁は面内、面外要素とする。
- (b) ブラケットはその $\frac{1}{2}$ 高さの平均断面のビームとする。又ブラケット位置のロンジもビームとする。
- (c) ブラケット位置以外のロンジは異方性板で考慮する。
- (d) 振動モードの対象をFB型（フェイスプレートとブラケット主体の振動）、クロスタイルの曲げ、捩り振動としたので、固有値計算に対するパネル、不必要的Boundaryの自由度はあらかじめ消去した。

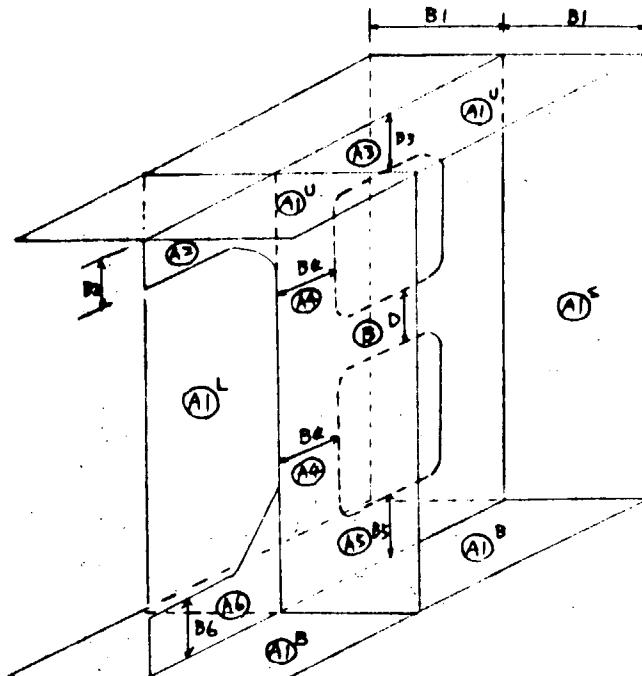
付加水質量は鬼頭の連続矩形板および、F. M. Lewis⁽⁵⁾の矩形断面に対するものをベースとして文献(2)より求めトランスクエーブ、クロスタイル、縦通隔壁等に分布質量により負荷した。計算結果を図5.3.1-2(a)～(g)に示す。

又上記計算とは別に文献(2)により各種大骨、CROSS TIE等の振動計算を行った。（以下簡易計算）

付加水質量の計算

以下の通り付加水質量の計算を行った。

文献(4)より無限水中にある、長さL、幅Bの連続矩形板が並んでいる場合は次式によって与えられる。（振動モードは下図）

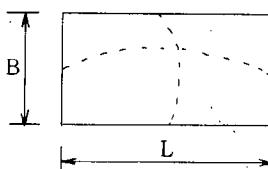


$$V_{\text{mass}} \cdot M_1 = \alpha \cdot \frac{\rho_w}{2\pi} \cdot \frac{B^2 \cdot L}{\sqrt{1 + (B/L)^2}}$$

..... ①

M_1 を分布質量とする場合は①式の4倍となる。又 $L \gg B$ とする単位面積当たりは次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} m_v &= \frac{2}{\pi} \cdot \rho_w \cdot B && (\text{両面接水}) \\ &= \frac{1}{\pi} \cdot \rho_w \cdot B && (\text{片面接水}) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad ②$$



(1) 上甲板 A1^U 空中 $\rightarrow m_v = 0$

(2) L, BHD, 外板, 船底

$$A1^L, A1^S, A1^B \rightarrow m_v = \frac{2}{\pi} \cdot \rho_w \cdot B1 \quad (\text{両面接水})$$

$$\frac{1}{\pi} \cdot \rho_w \cdot B1 \quad (\text{片面接水})$$

(3) TRANS.について近似的に②式の $\frac{1}{2}$ とする。

$$A_2 \rightarrow m_v = \frac{2}{\pi} \cdot \rho_w \cdot B_2$$

A3 ~ A6 は A2 と同様である。

(4) CROSS TIE

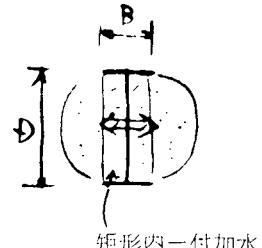
(i) 曲げ振動

文献(2)により単位長さ当りの付加水質量は次式で与えられる。

$$\Delta M = \rho_w (B D + \frac{\pi}{4} \cdot C_v \cdot D^2)$$

単位面積当りの付加水質量 m_v は

$$m_v = \frac{\Delta M}{D} = \rho_w (B + \frac{\pi}{4} \cdot C_v \cdot D)$$



(ii) 振り振動

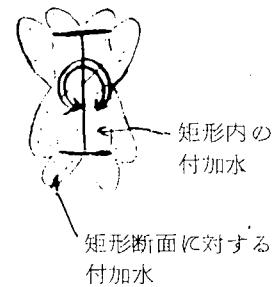
文献(2)よりクロスタイの中心回りの単位長さ当りの付加水慣性モーメントは次式となる。

$$\Delta I_{v0} = \rho_w \cdot \left\{ \frac{BD}{12} (D^2 + B^2) + \frac{\pi}{8} C_T \cdot B^4 \right\}$$

単位面積当りの付加水質量 m_T は

$$2 \int_0^{D/2} m_T \cdot x^2 dx = \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{2}^3 \cdot m_T = \Delta I_{v0}$$

$$\therefore m_T = \frac{3}{2} \cdot \rho_w \pi \cdot B \left(\frac{B}{D} \right)^3 \left\{ C_T + \frac{2}{3\pi} \left(\frac{D}{B} \right) \left(1 + \left(\frac{D}{B} \right)^2 \right) \right\}$$



5.3.2 実船計測結果との比較

計測と計算結果の比較表をまとめて表 5.3.2-1 に示す。

- (1) CROSS TIE の曲げ振動については簡易計算、FEM 計算共良い精度で一致している。振り振動については、10 % 程度で一致しているが、簡易計算は 20 % 程度の違いがある。
- (2) C. L. BOTT TRANS については C. L - L BHD 間をスパンとする振動については計測値と簡易計算は良く合っている。FEM 計算にはこの様なモードは現われていない。
- (3) W TK BOTT TRANS では L BHD - SHELL 間をスパンとする FB 型振動が簡易計算は 15 % 程度の誤差で一致しているが FEM 計算にはこのモードが現われていない。
又防撓板の振動は計測値と簡易計算値に若干の差がみられるが計算でサポートとしているプラケットが計測では若干振動している為と思われる。パネルの振動は良く一致している。
- (4) L. BHD TRANS (LOW) は計算値と比較すべき振動が計測されていない。
- (5) L. BHD TRANS (UPP) は部材交叉部 (L. BHD TRANS と UPP DK TRANS) の振動が FEM 計算と良く一致している。
- (6) APT 内の振動は防撓板としての顕著な振動ピークが 670 cpm 前後、1032 cpm を現わしている。

5.4 考 察

- (1) 船倉部においてかなり大掛かりな FEM による振動計算を行ったが大骨の面内振動を除き CROSS TIE, TRANS WEB 等の相互の関連は少なく、単独で振動している。そこで大掛かりなモデルで計算するよりも、それぞれ単独に取り出して計算する方が、精度的にも COST 的にもより良いことが分った。

- (2) 付加水質量の計算はその取り方に不明な点が多い。又その値は振動モードによって大幅に異ってくる。本計算ではかなり簡易的に計算して直接インプットする方式を採用したが、付加水と構造物は一体で計算する方法が望ましい。
- (3) 大骨の FB 型面外振動の計算は、今まで大骨部材交叉部(ex. BOTT TRANS とし BHD TRANS)をスパンボイントとしていたが、今回の計測ではこの部材交叉部の振動も存在することが分った。この振動は一種の S 型振動(BKT 等で囲まれた防撓板の振動)と考えられるが、その取扱いは今後の課題である。
- (4) 今回の計測ではプラケット端の応力値はその最大で 0.2 kg/mm^2 (片振幅) 程度であり小さかった。この応力の評価については今后検討すべき問題である。
- (5) 簡易計算についてはクロスタイの曲げ振動、ウイングタンク、ボトムランス等はよく一致しているが 10 ~ 15 % の誤差はある様である。

表 5.3.2-1 振動数比較表

単位: cpm

			起振機実験		航走中試験		簡易計算 ¹⁾		有限要素法	
	場所	振動モード	空中	水中	空中	水中	空中	水中	空中	水中
船 倉 部	CROSS TIE 曲げ		—	430	1,030 1,176	416	1,162	437 (1.04)	1,036	380 (0.91)
	CROSS TIE 振り		—	560	(930)*	555	788	443 (0.79)	908	498 (0.89)
	C.L. BOTT TRANS		—	—	—	—	—	—	1,970	745
	"		—	740	—	760	1,535	667 (0.90)	—	—
	C.L. BOTT TRANS		—	—	—	824	—	—	—	—
	WTK BOTT TRANS		—	530	—	525~550 688	—	—	2,295	—
	"		—	670	—	—	1,351	568 (0.85)	—	—
	WTK BOTT TRANS 防撓板		—	—	—	1,068	—	1,332* (1.25)	—	—
	" バネル		—	—	—	1,260	—	1,270 (1.01)	—	—
	L. BHD TRANS (LOW)		—	—	—	—	2,832	974	—	—
沿尾 タンク	L. BHD TRANS (UPP)		—	(670)* (780)*	—	(788)* (816)*	2,657	1,009	—	—
	" (UPP)		—	—	—	683,840 864	—	—	—	661,867 (0.96)(1.00)
沿尾 タンク	防燒板		—	680	—	660 1,032	—	—	—	—

注 (1) () は計算値/計測値を示す。

(2) () * は判然としないものを示す。

参考文献

- (1) 船体構造研究委員会関連地区部会船尾部タンク小委員会：船尾部タンク内構造の損傷とその対策案 日本造船学会誌 第489号（昭和45.3）
- (2) 越智義夫，長野健，吉田靖夫：タンク内大骨の振動計測と防振設計 第2報防振設計 I H I 技報 第15巻3号
- (3) 根木勲，今野暁一，安東明俊：有限要素法による汎用プログラムの開発とその適用例 一 面外曲げ，振動，座屈および材料非線型問題の解析 一 I H I 技報 第15巻4号
- (4) 鬼頭史城：水中に於て振動する平面板の附加質量に就て 造船協会雑纂 第266号（1944年5月）
- (5) F. M. Lewis : The inertia of the water surrounding a vibration ship. T. S. N. A. M. E. (1929)
- (6) 船体構造委員会関東地区部会振動疲労懇談会：振動疲労懇談会報告書 第98回関東地区部会資料（資料関東-76-7）

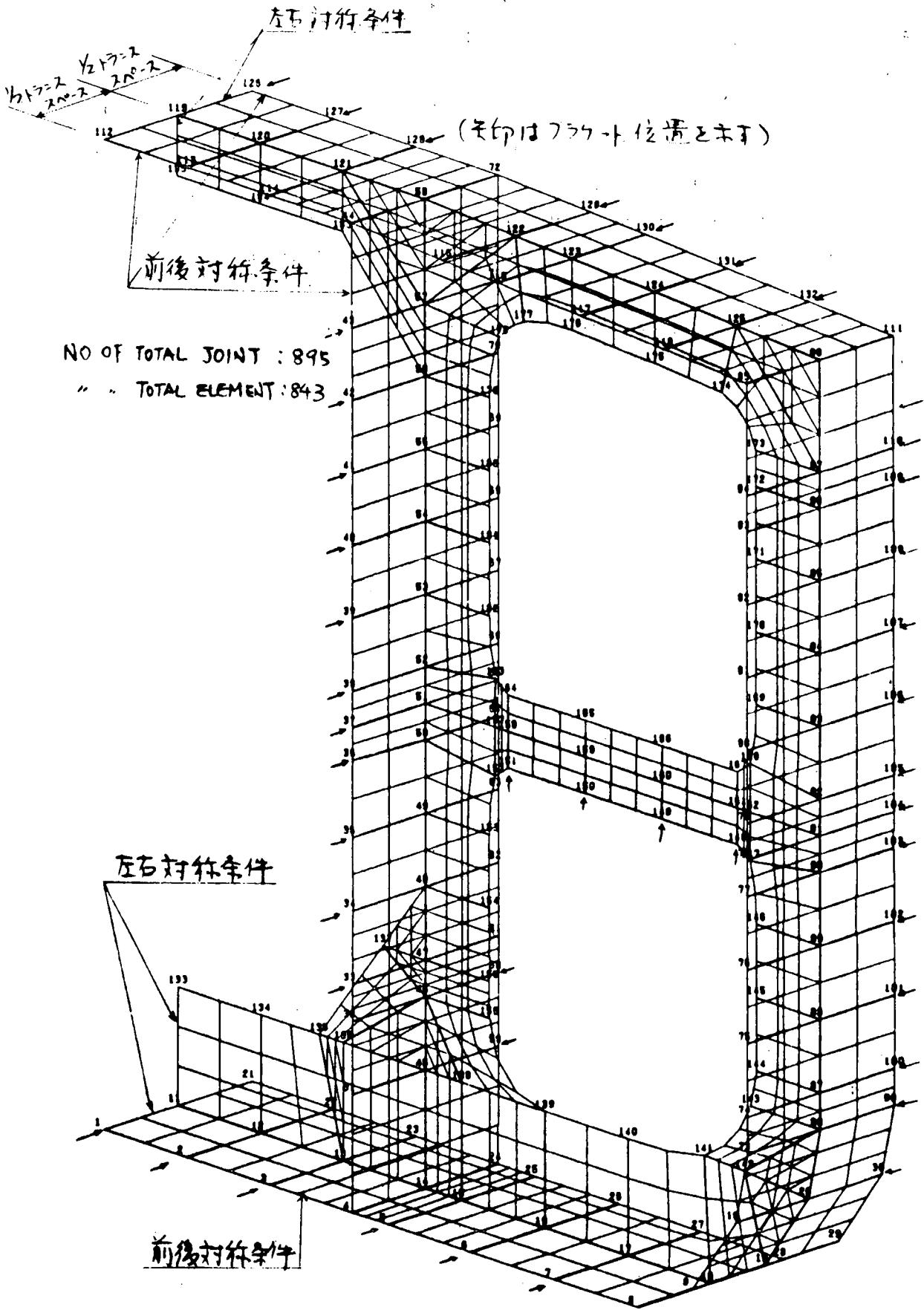


図 5.3.1-1 トランスマッピングの振動計算モデル

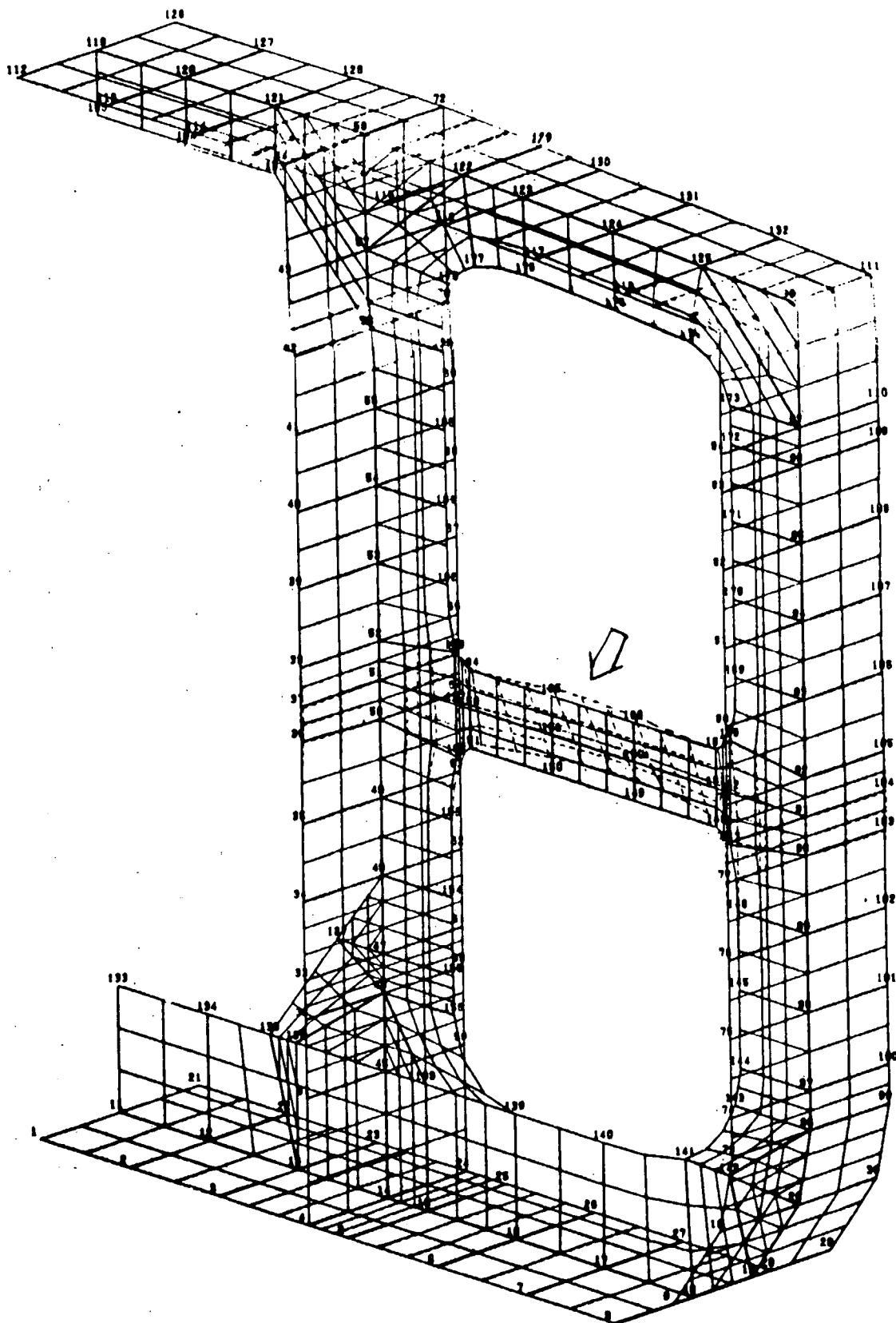
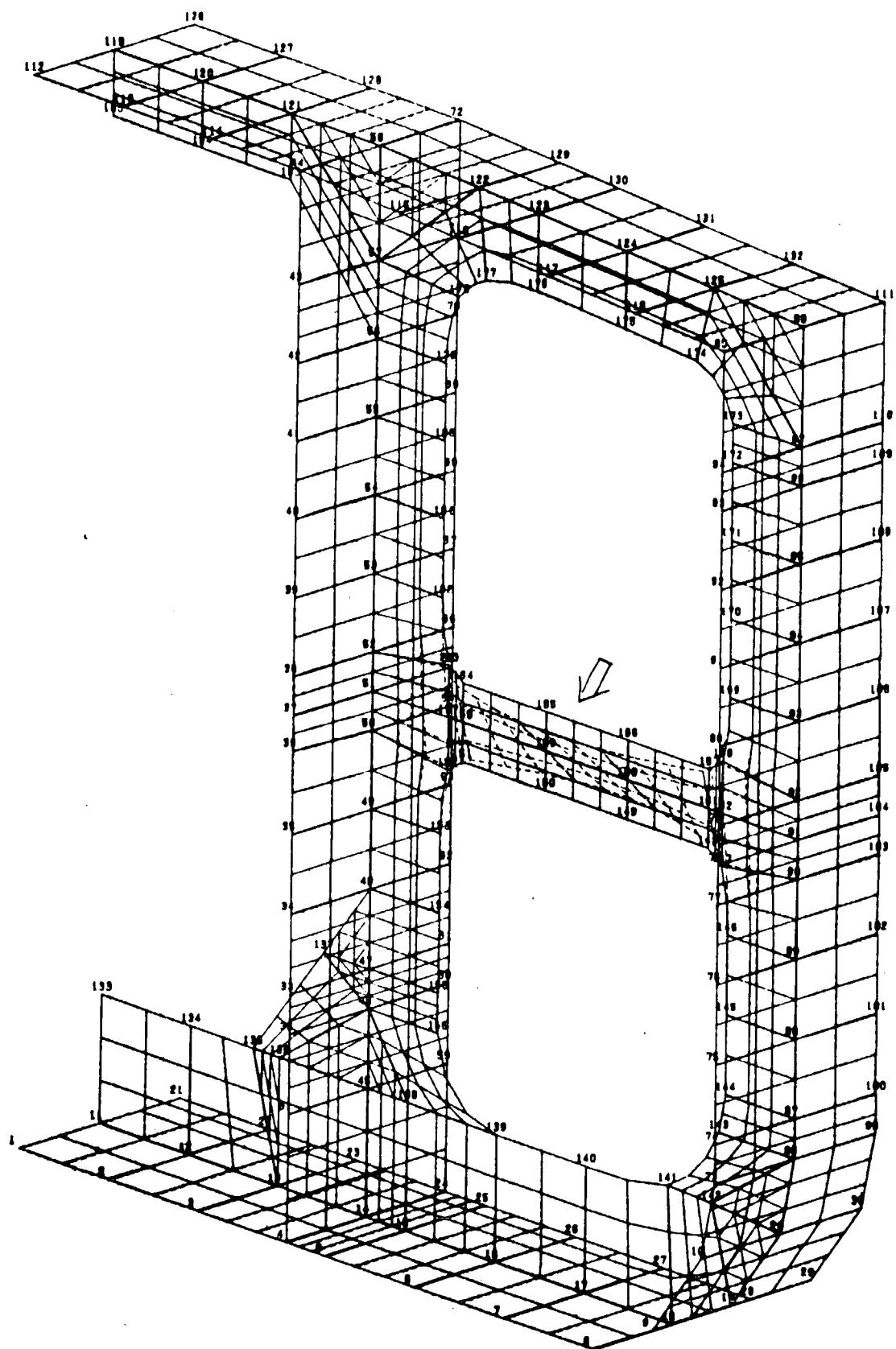
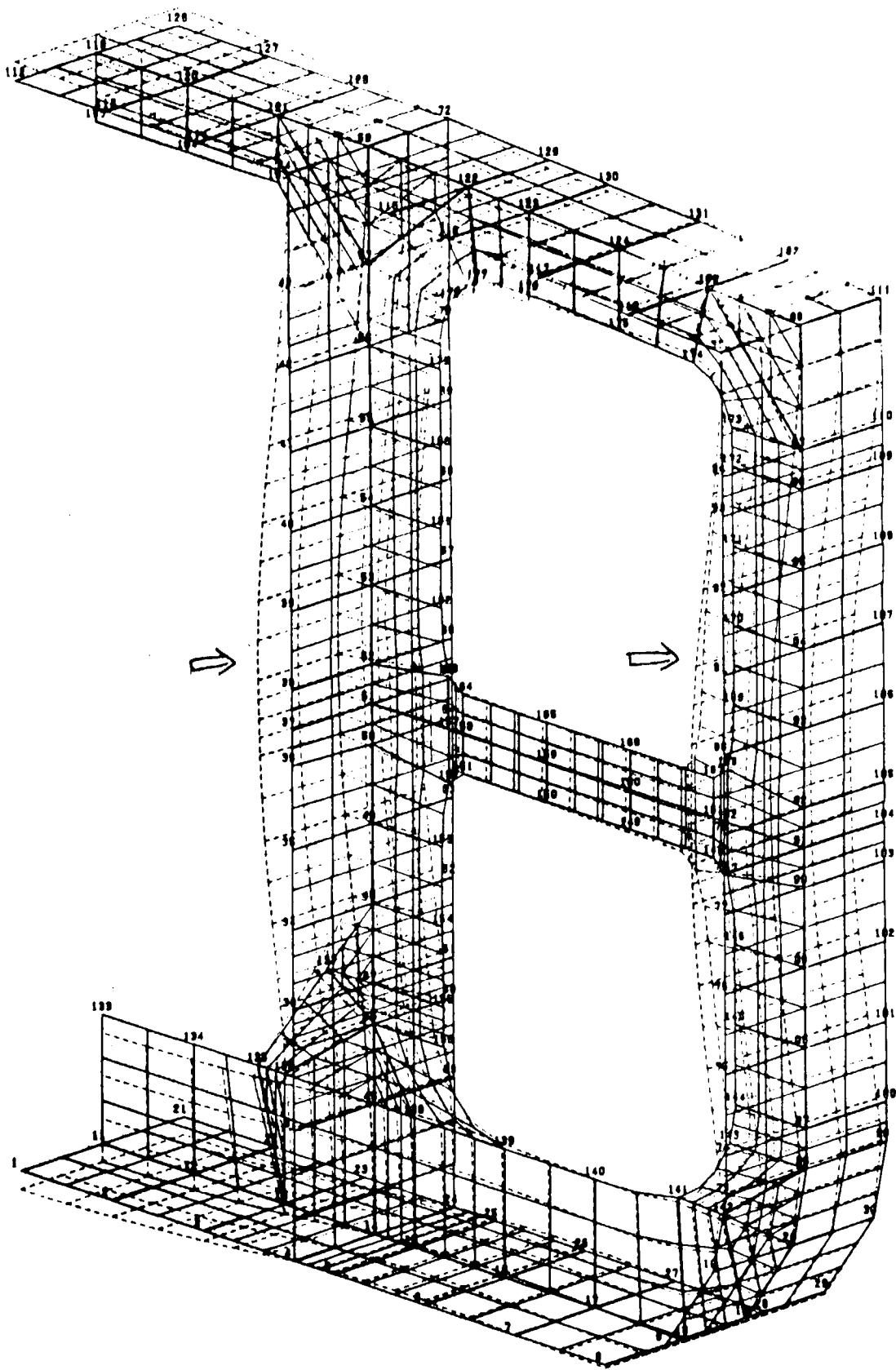


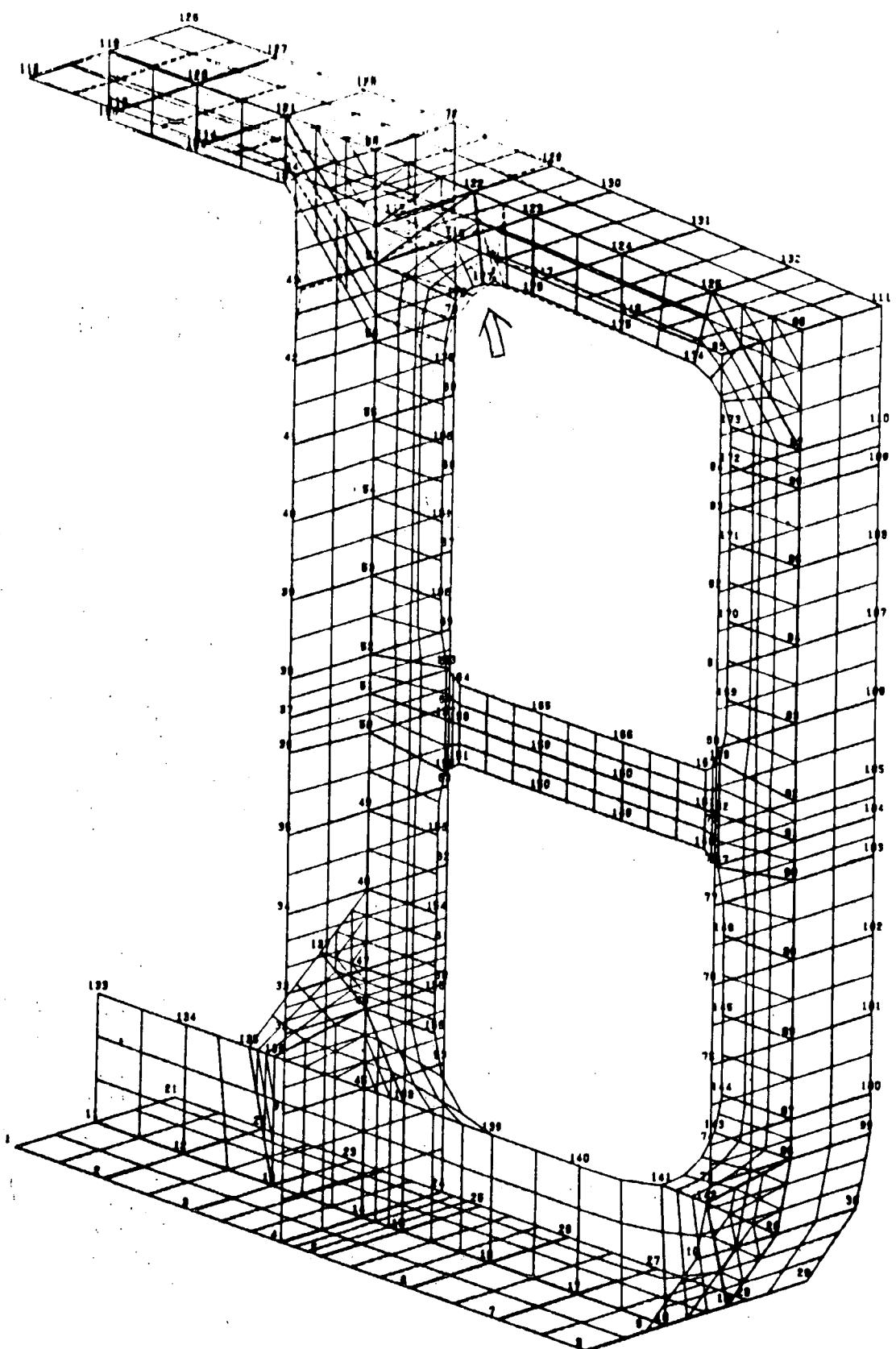
図 5.3.1-2 F.E.M. 計算結果 (a) 380 cpm CROSS TIE 曲げ振動 (水中)



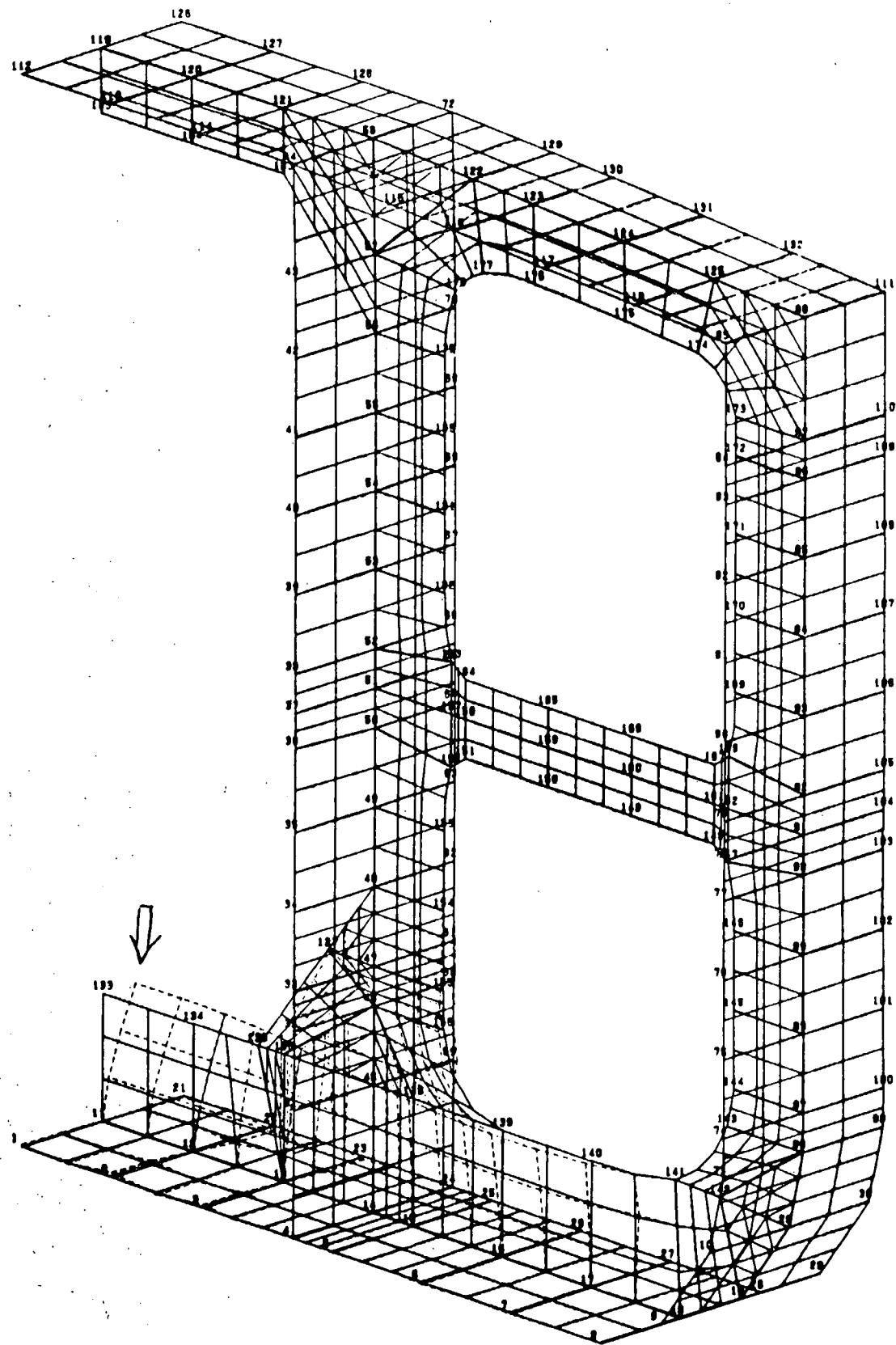
(b) 498 cpm CROSS TIE 振り振動(水中)



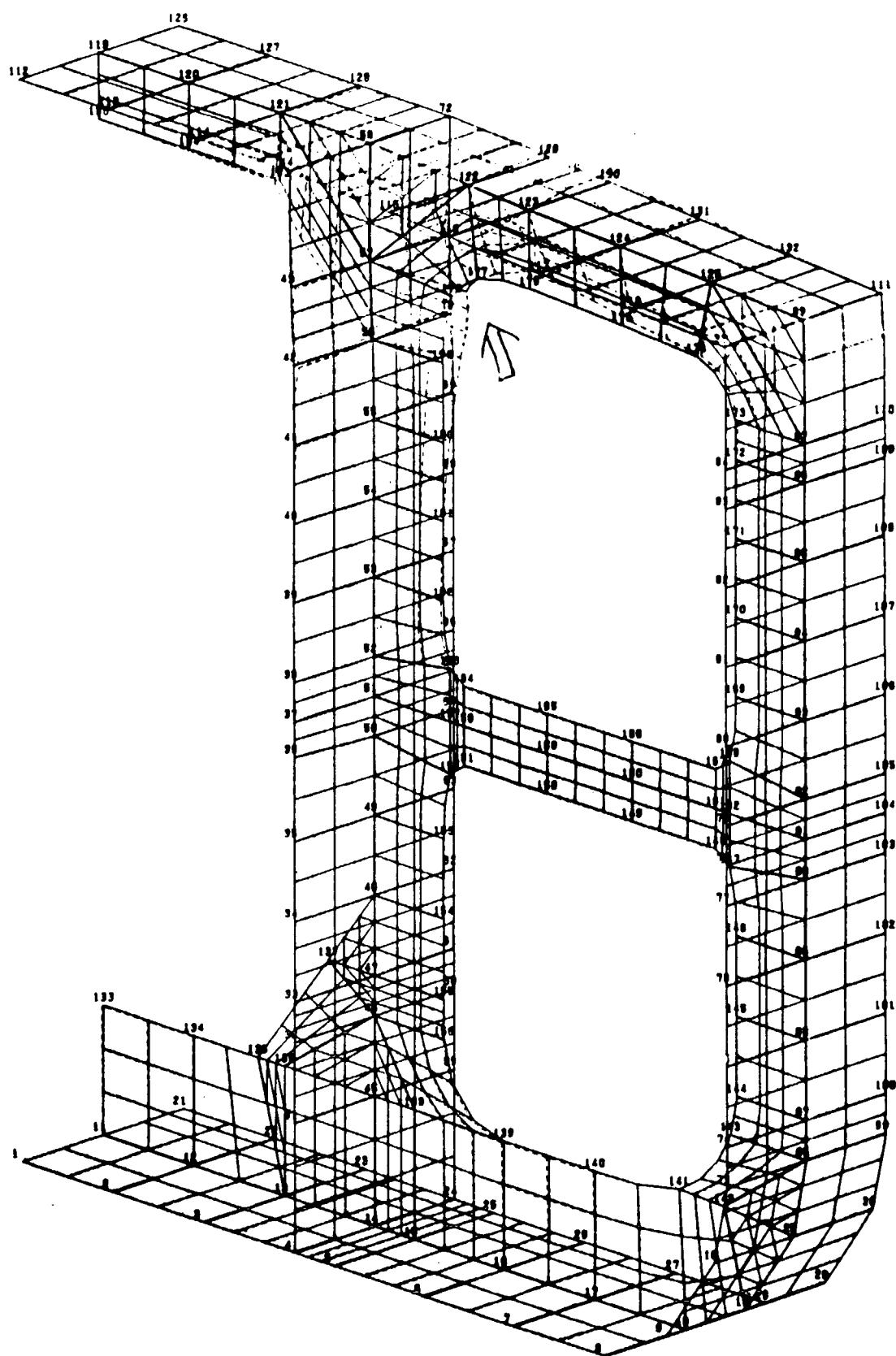
(c) 537 cpm L. BHD & SSHELL TRANS 面内振動(水中)



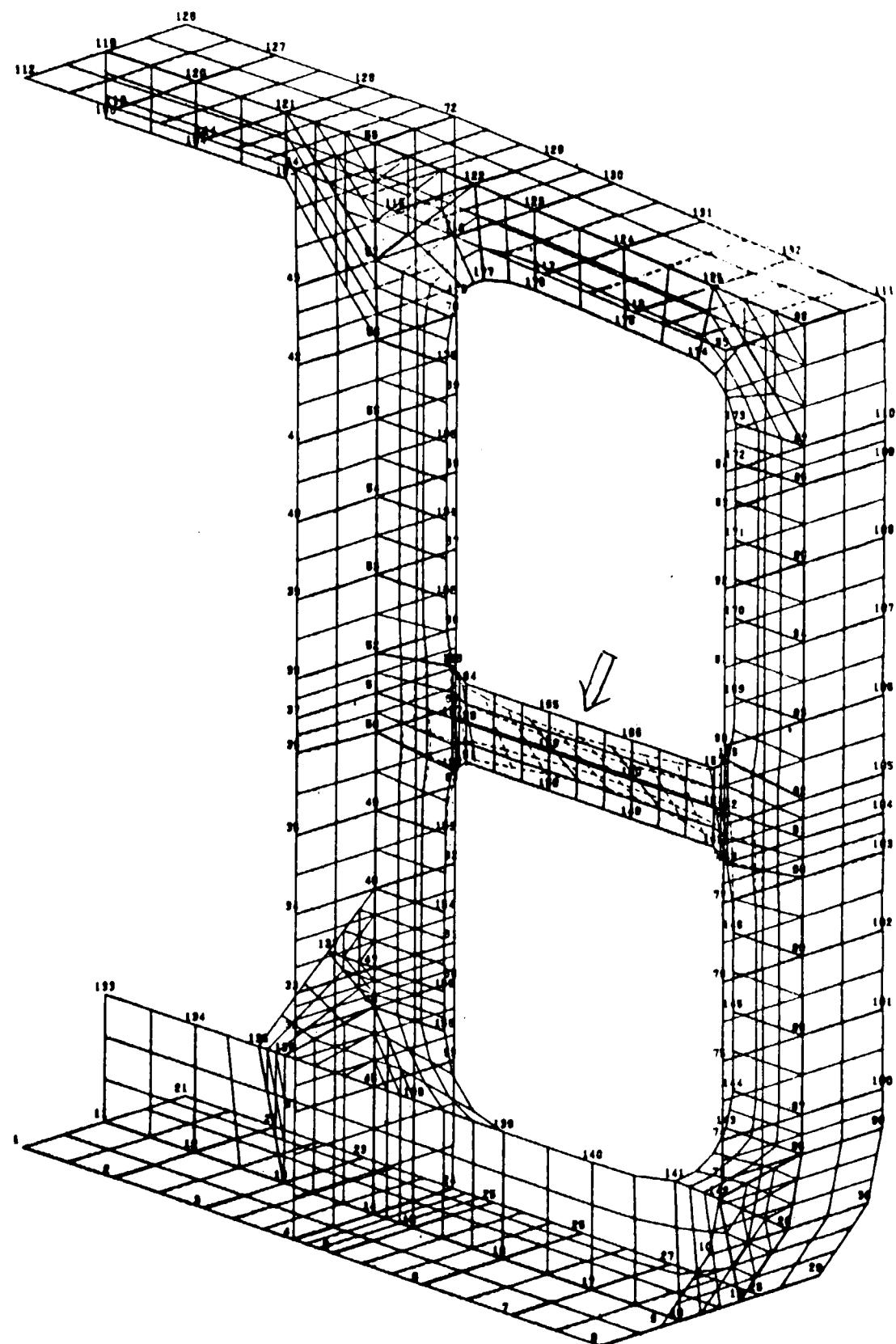
(d) 661 cpm 部材交叉部面外振動(水中)



(e) 745 cpm C. L. BOTT TRANS 面外振動(水中)



(f) 867 cpm 部材交叉部面外振動(水中)



(g) 908 cpm CROSS TIE 摆り振動(水中)

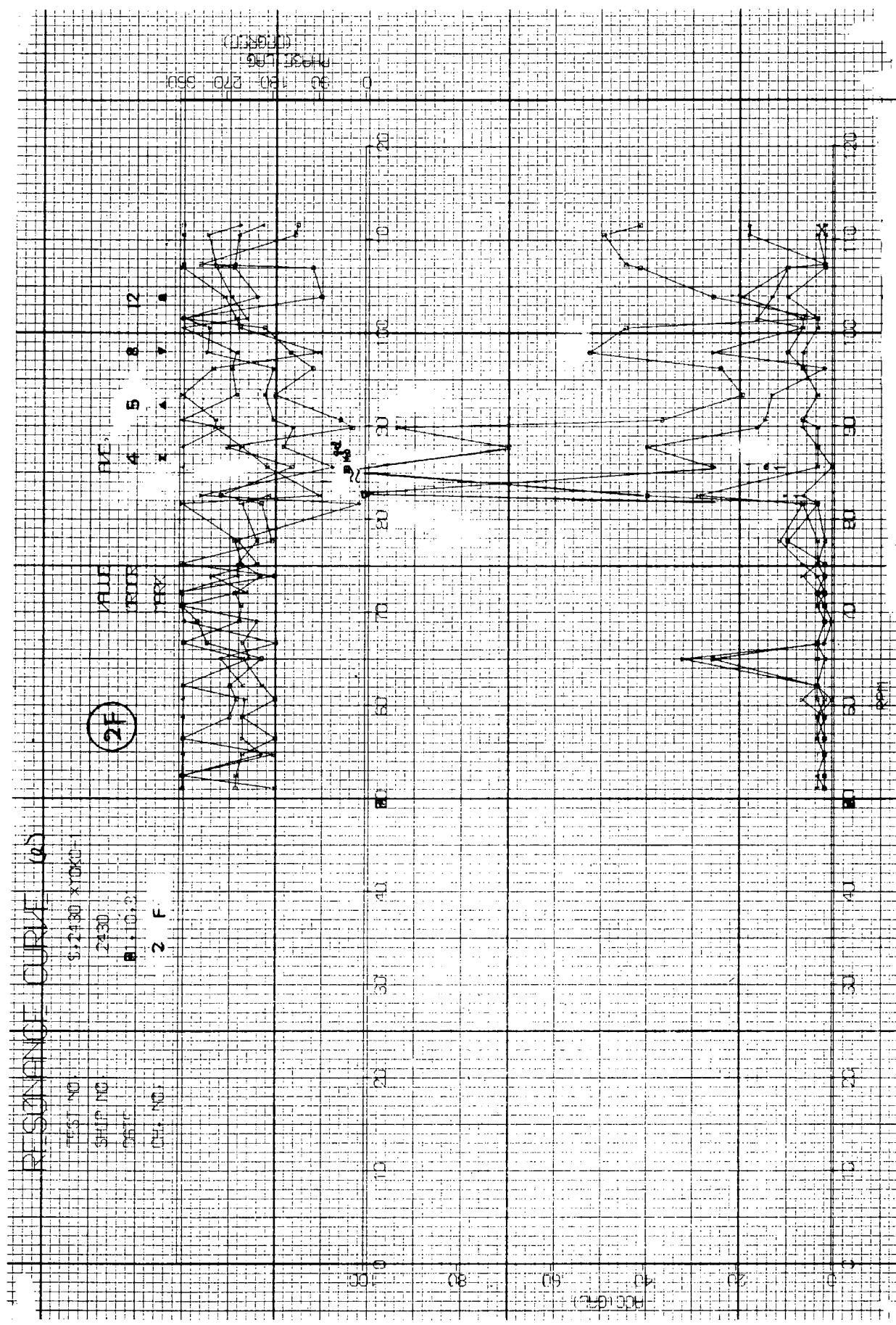
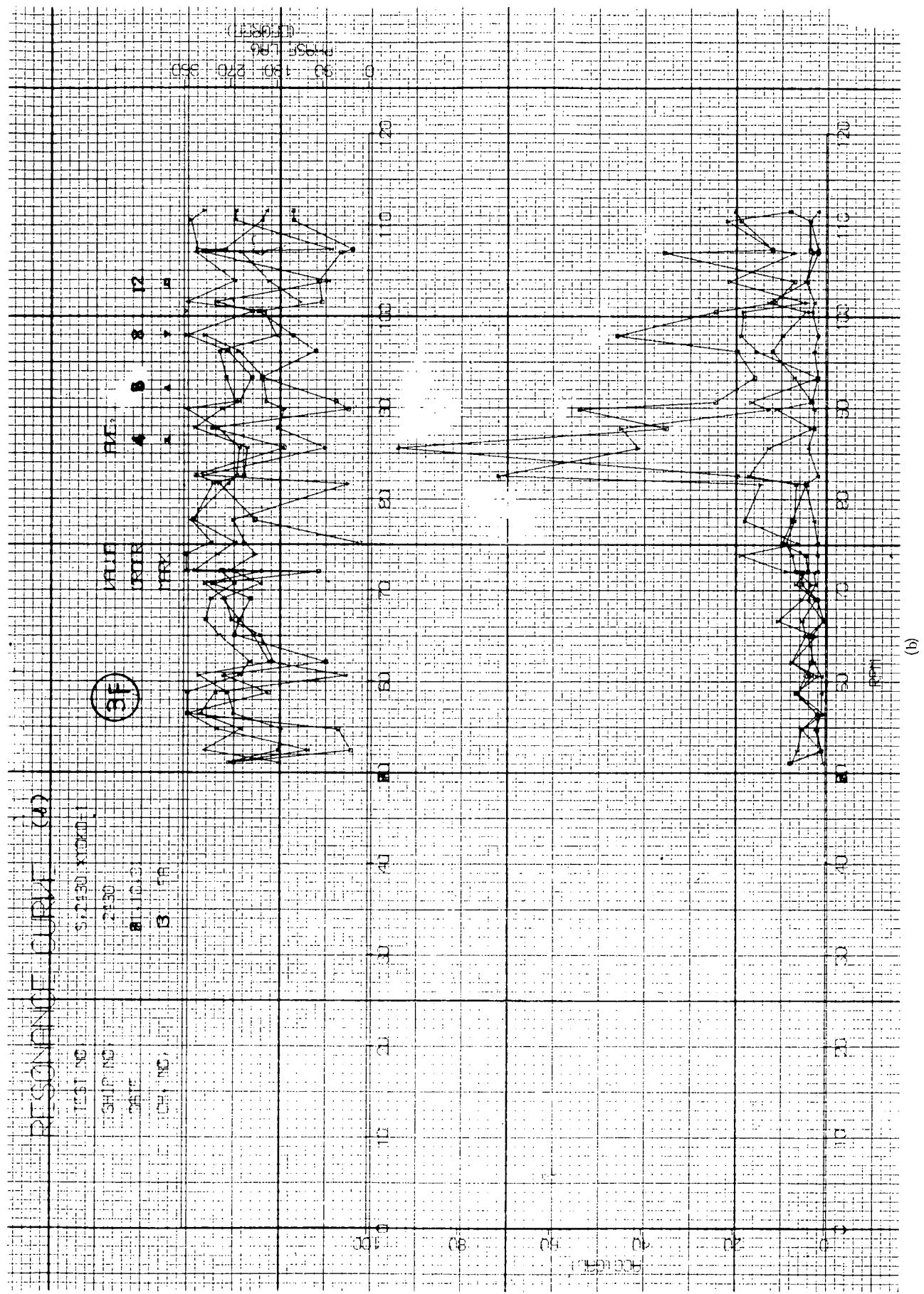
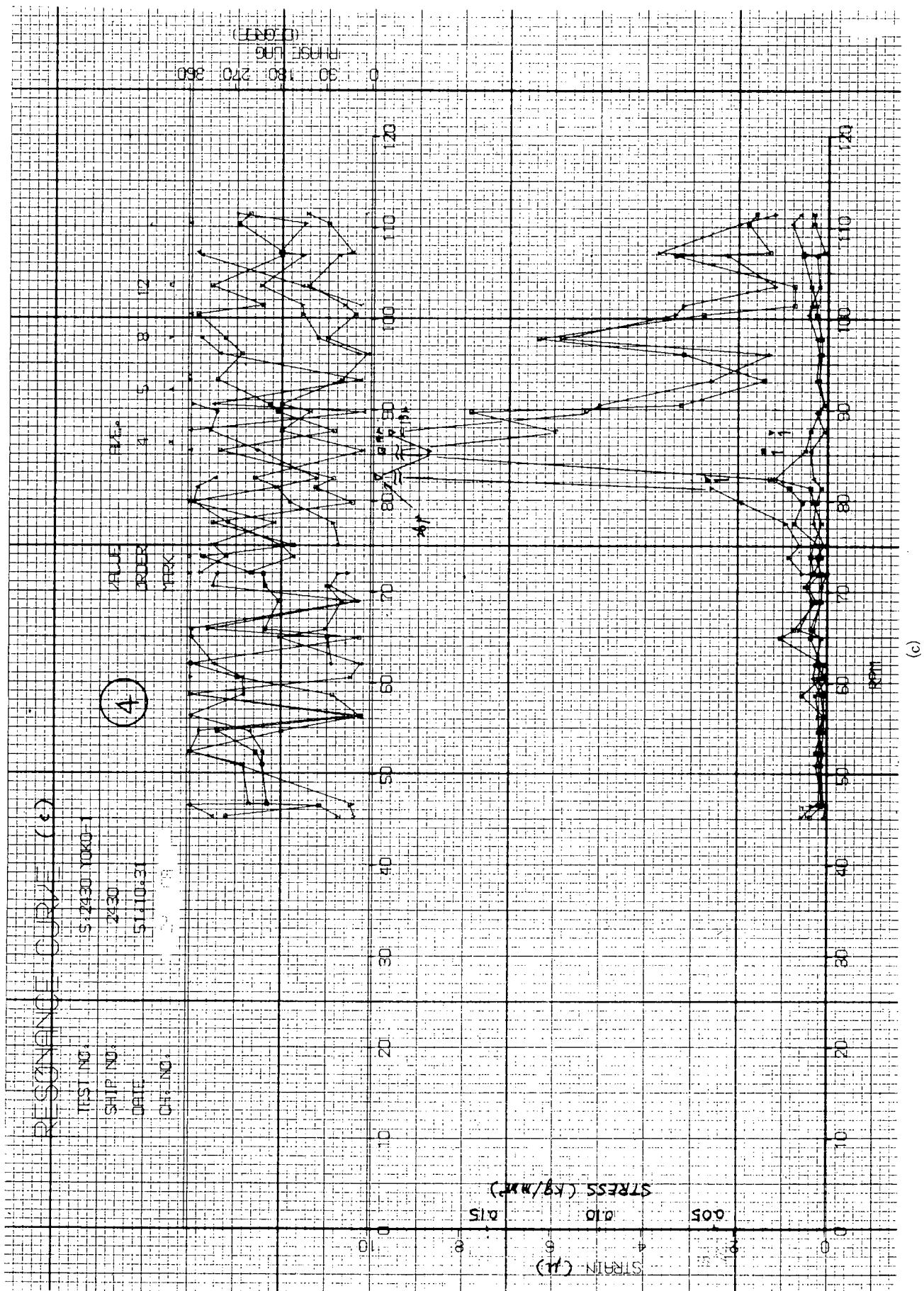
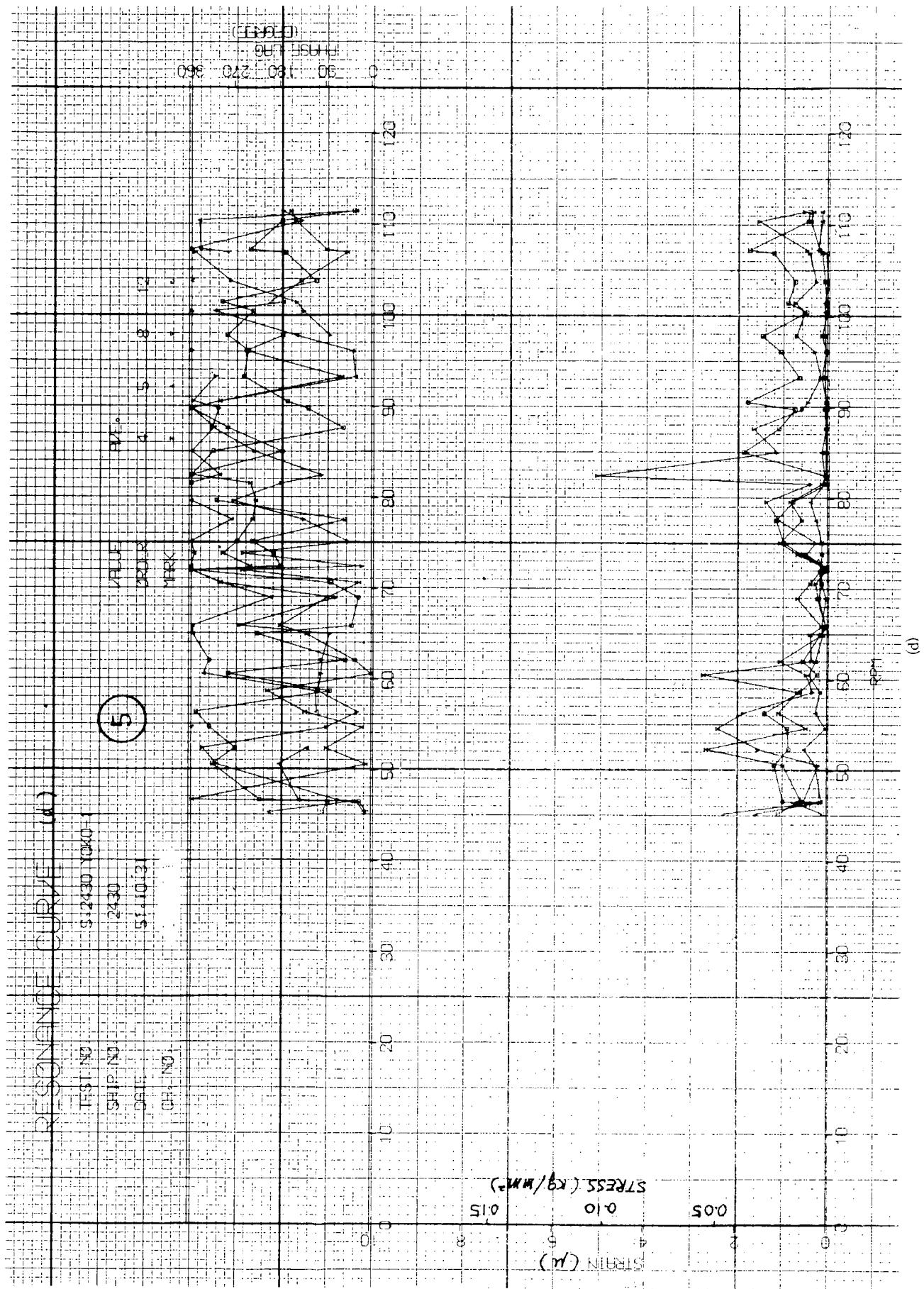
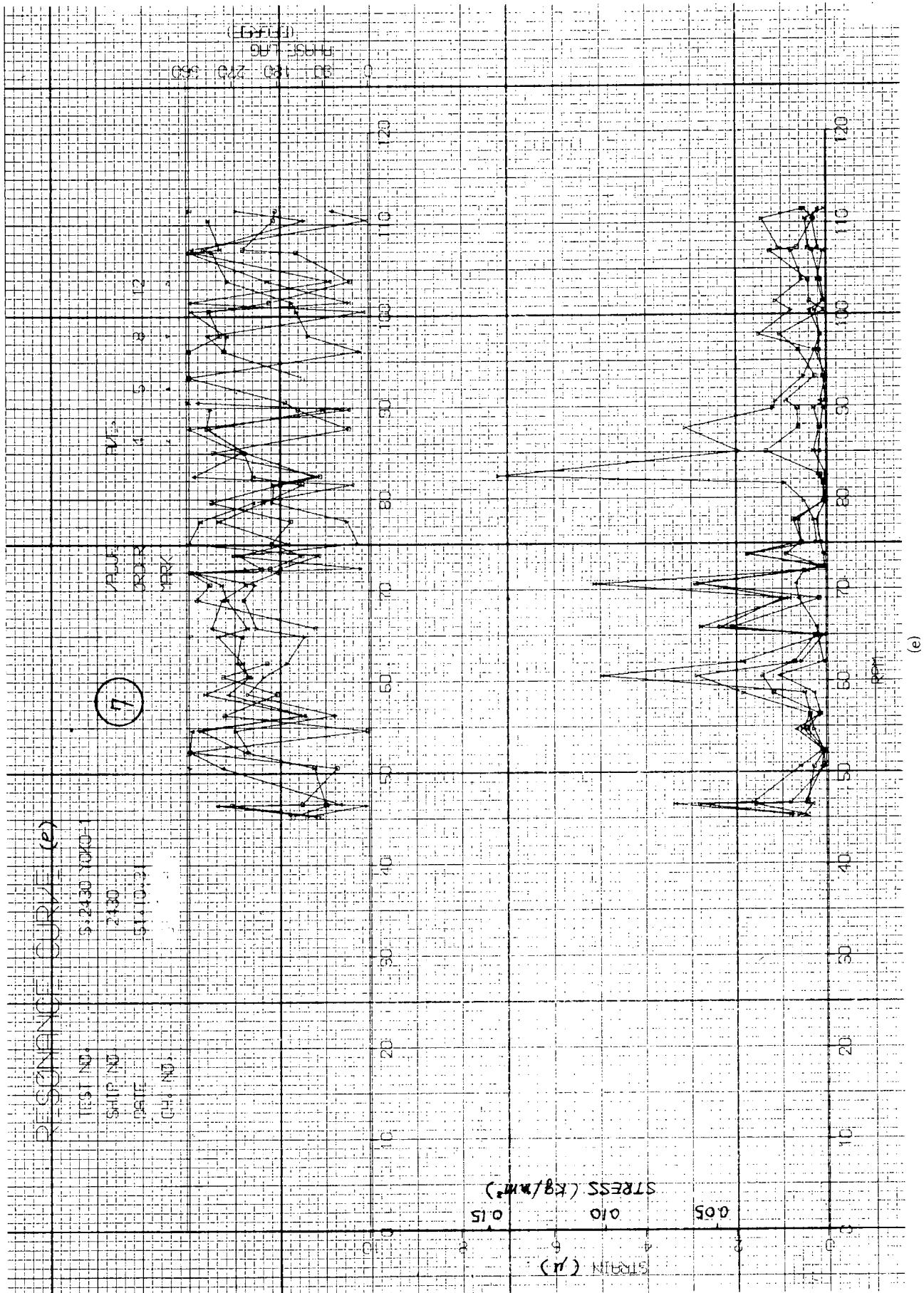


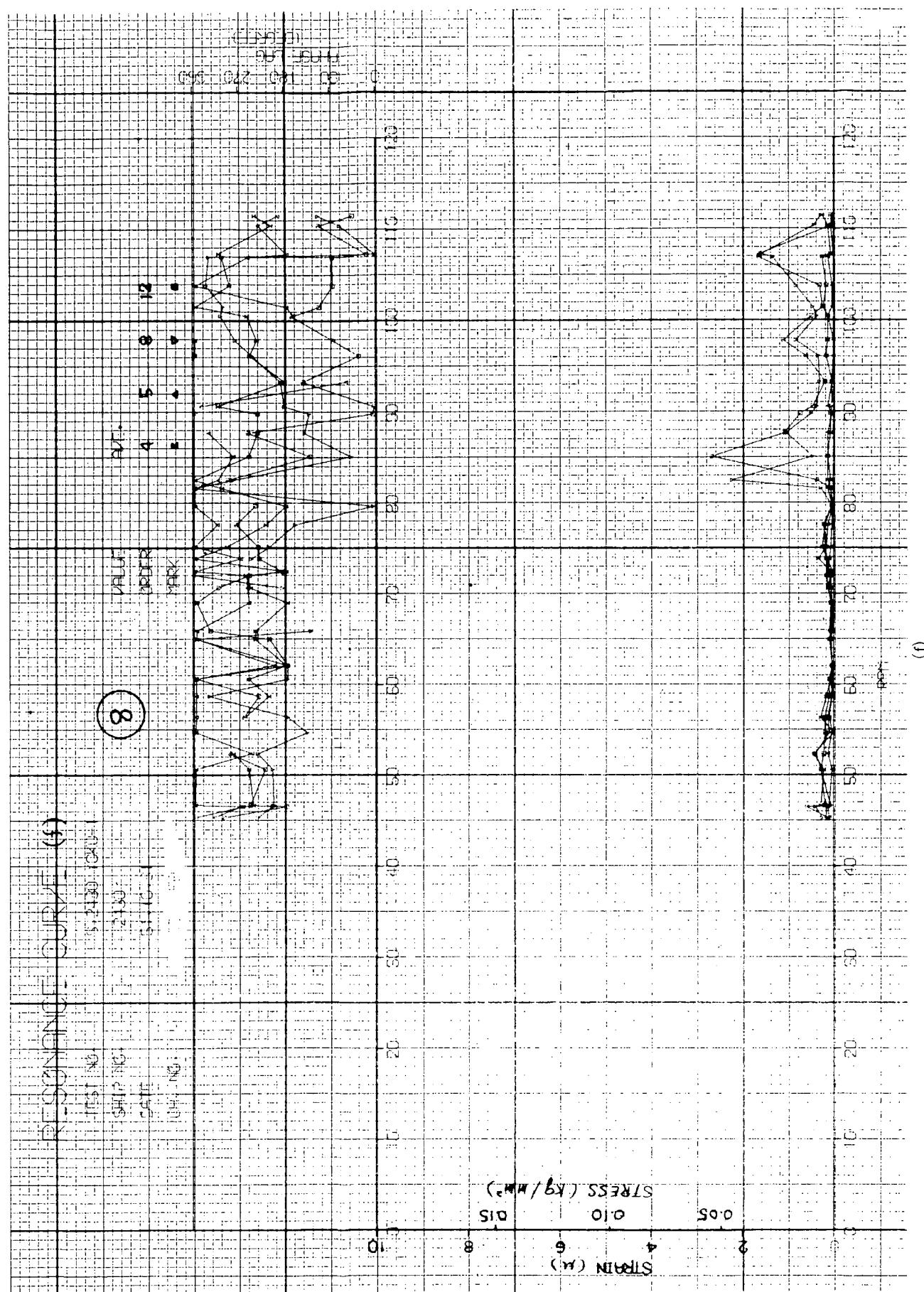
図 5.2.3-1 (a) A.P.T 実船計測結果（航走中、水中）

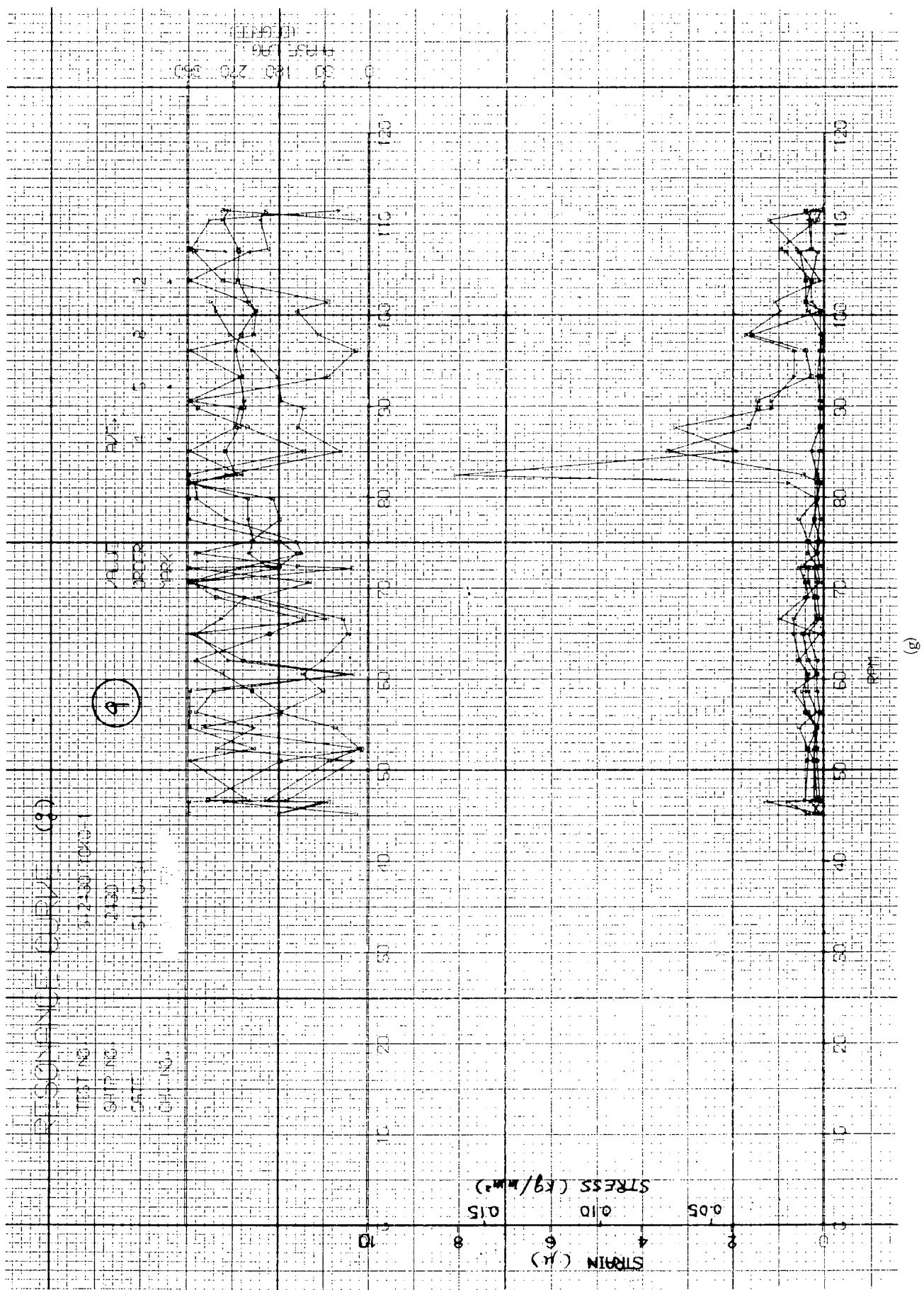












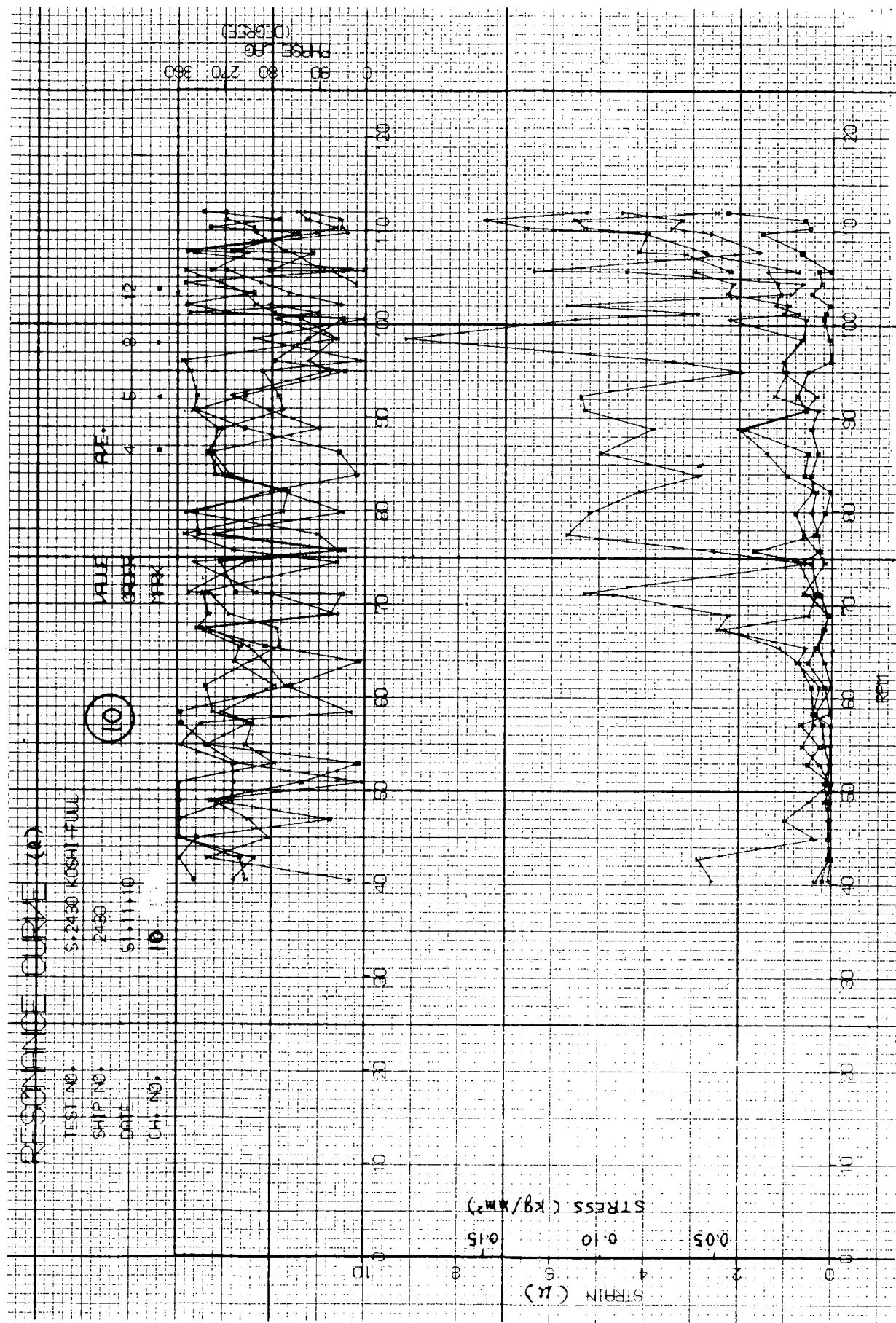


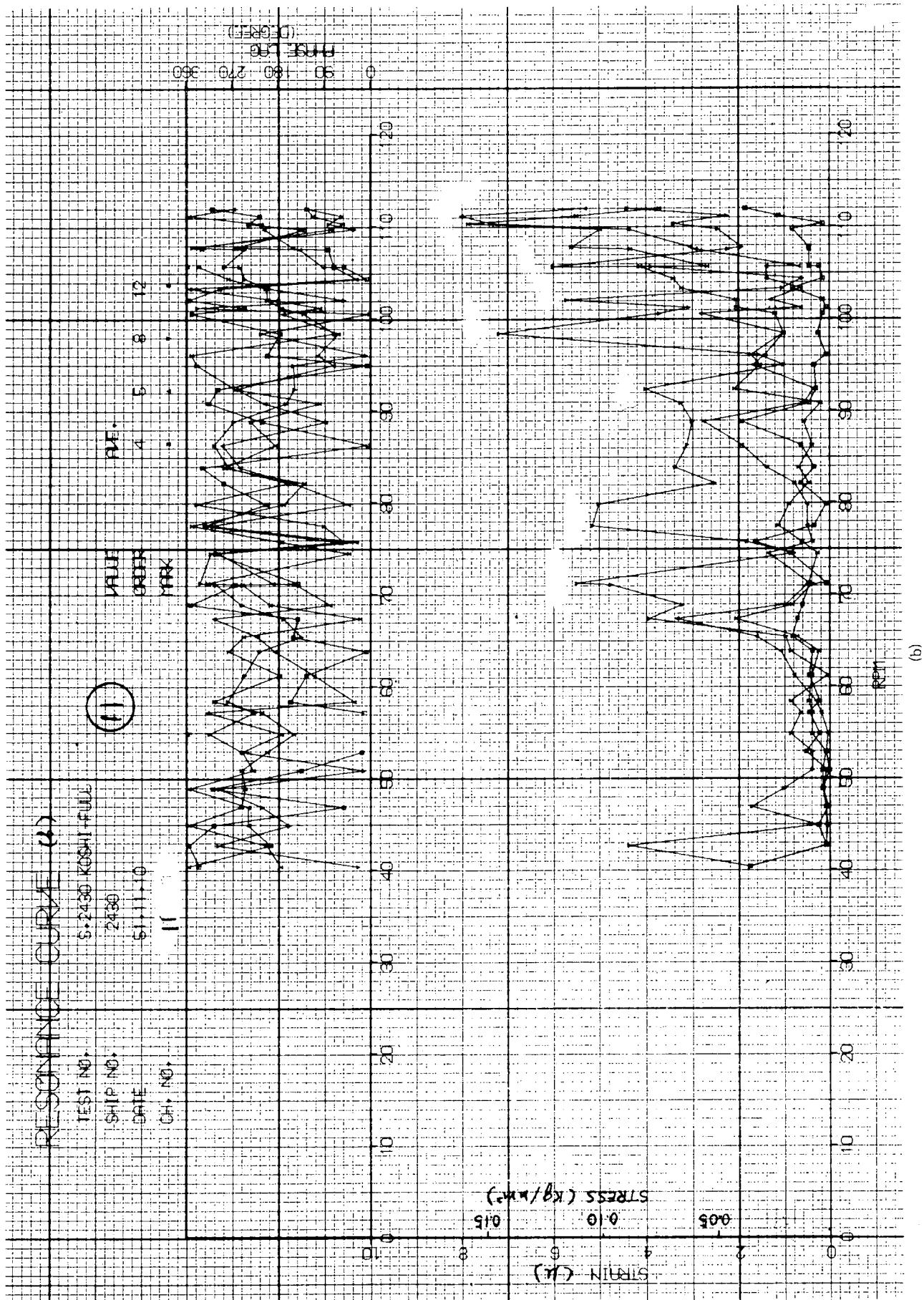
図 5.2.3-2 (a)船倉前壁船体音測結果(航走中、水中)

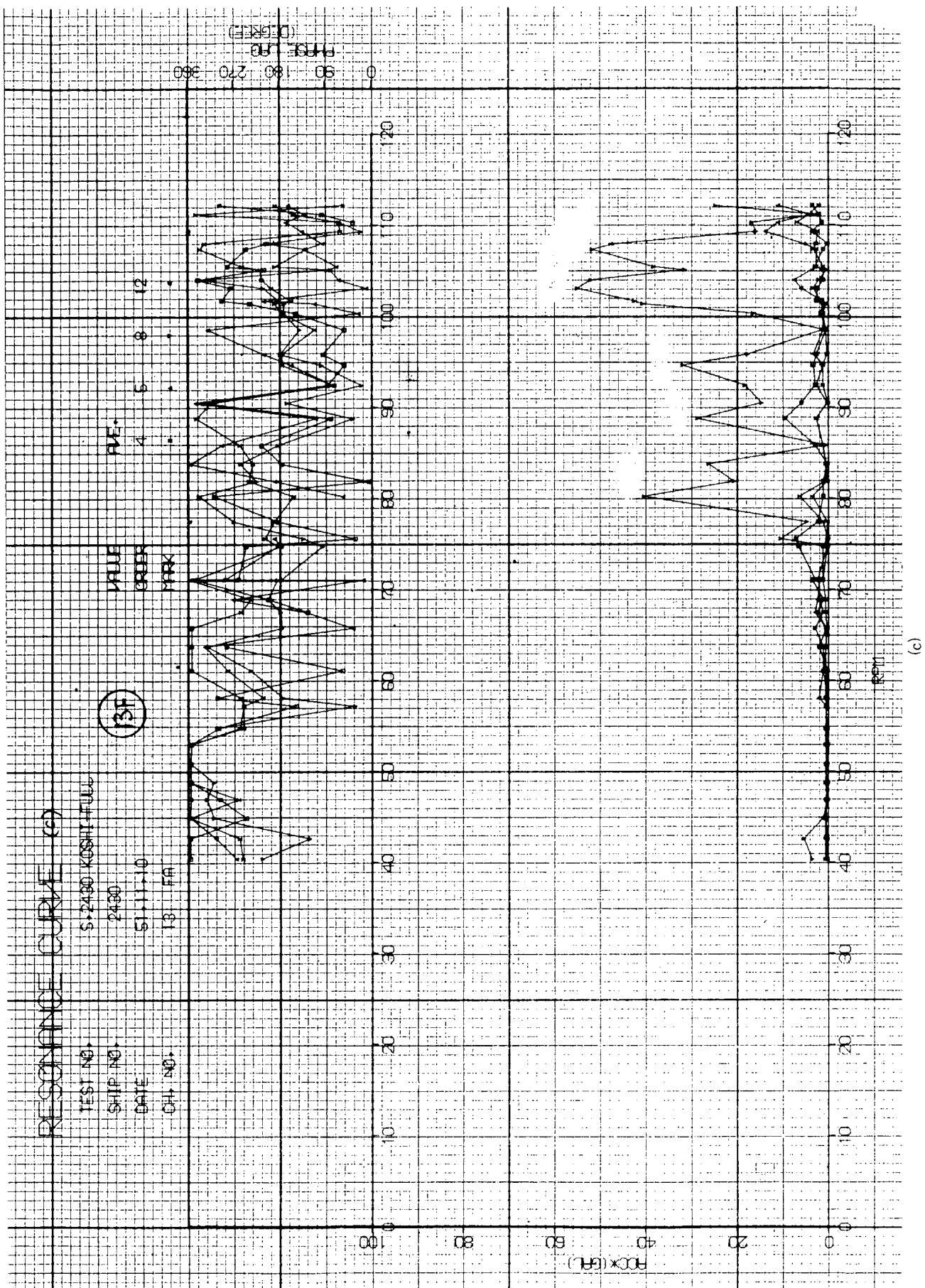
三

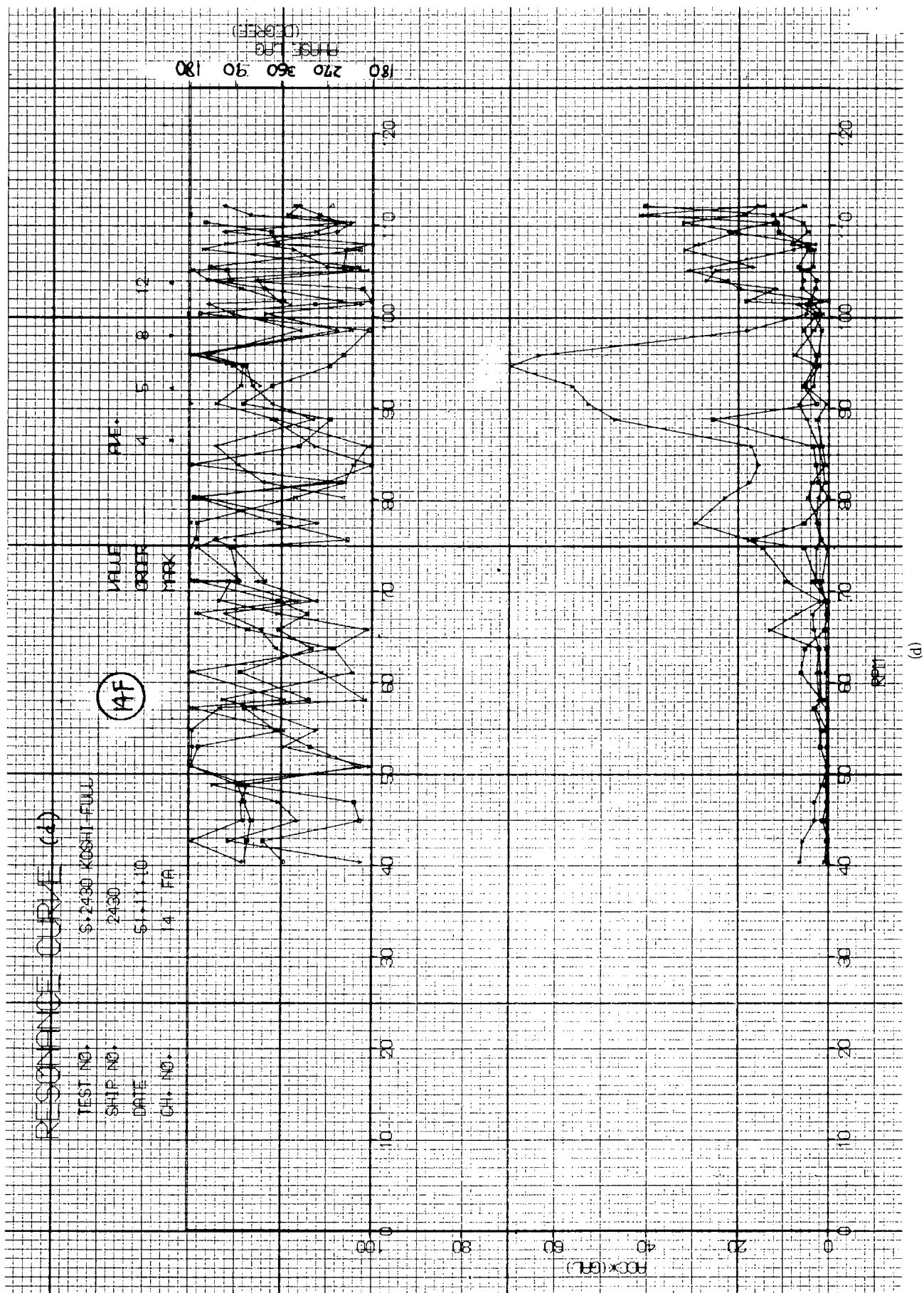
13-31
13-32
13-33

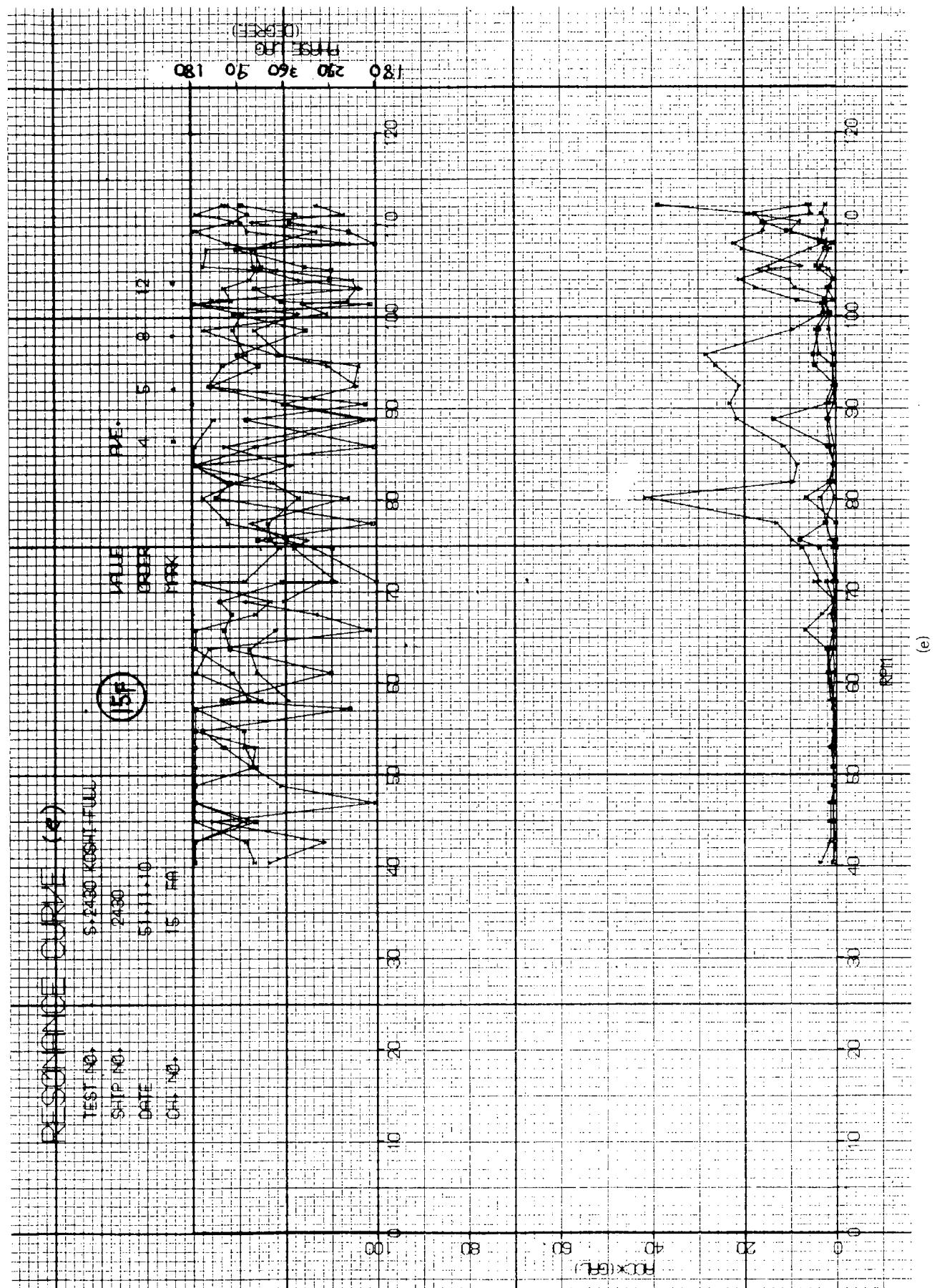
卷之三

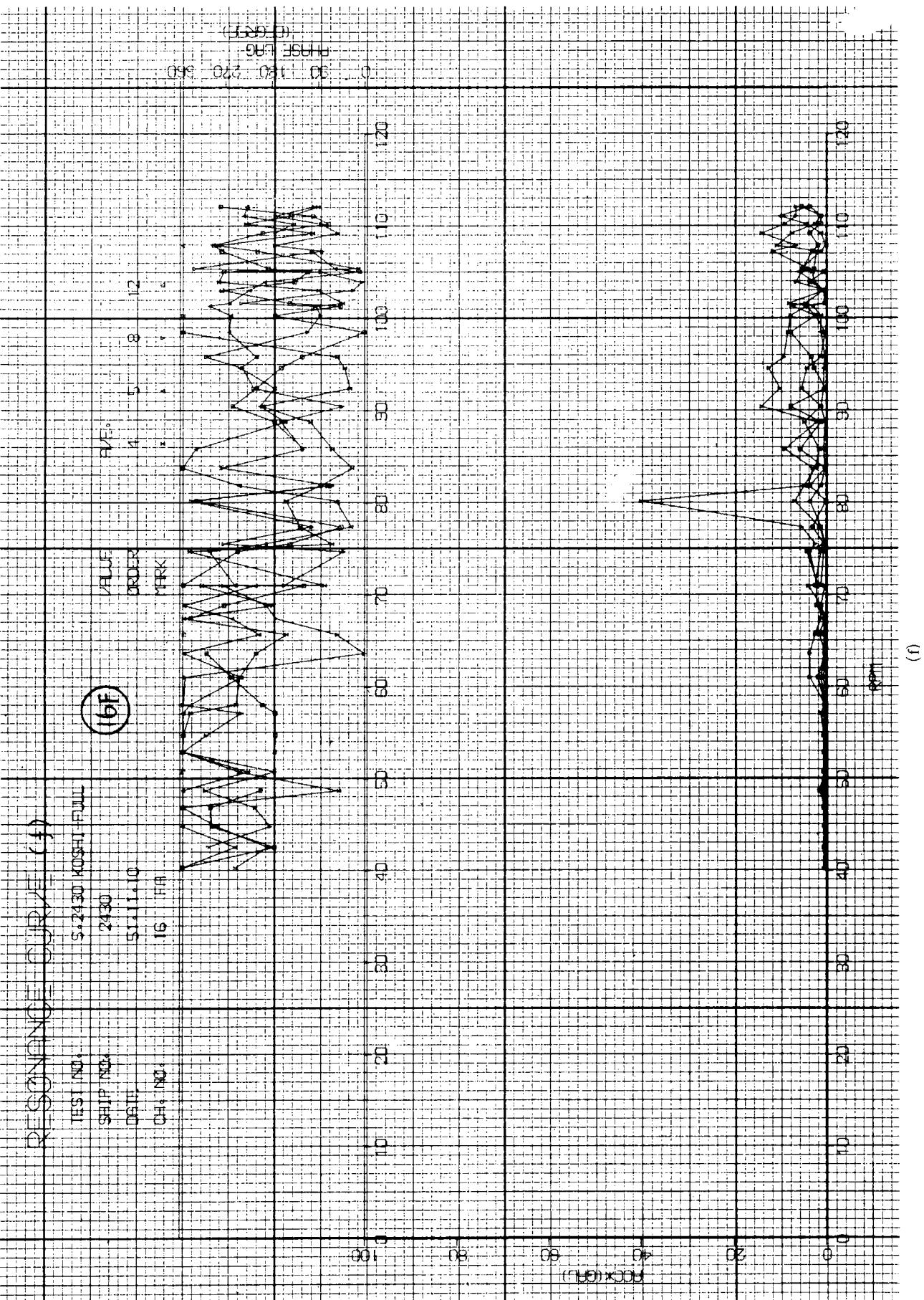
SHIP NO. 2430

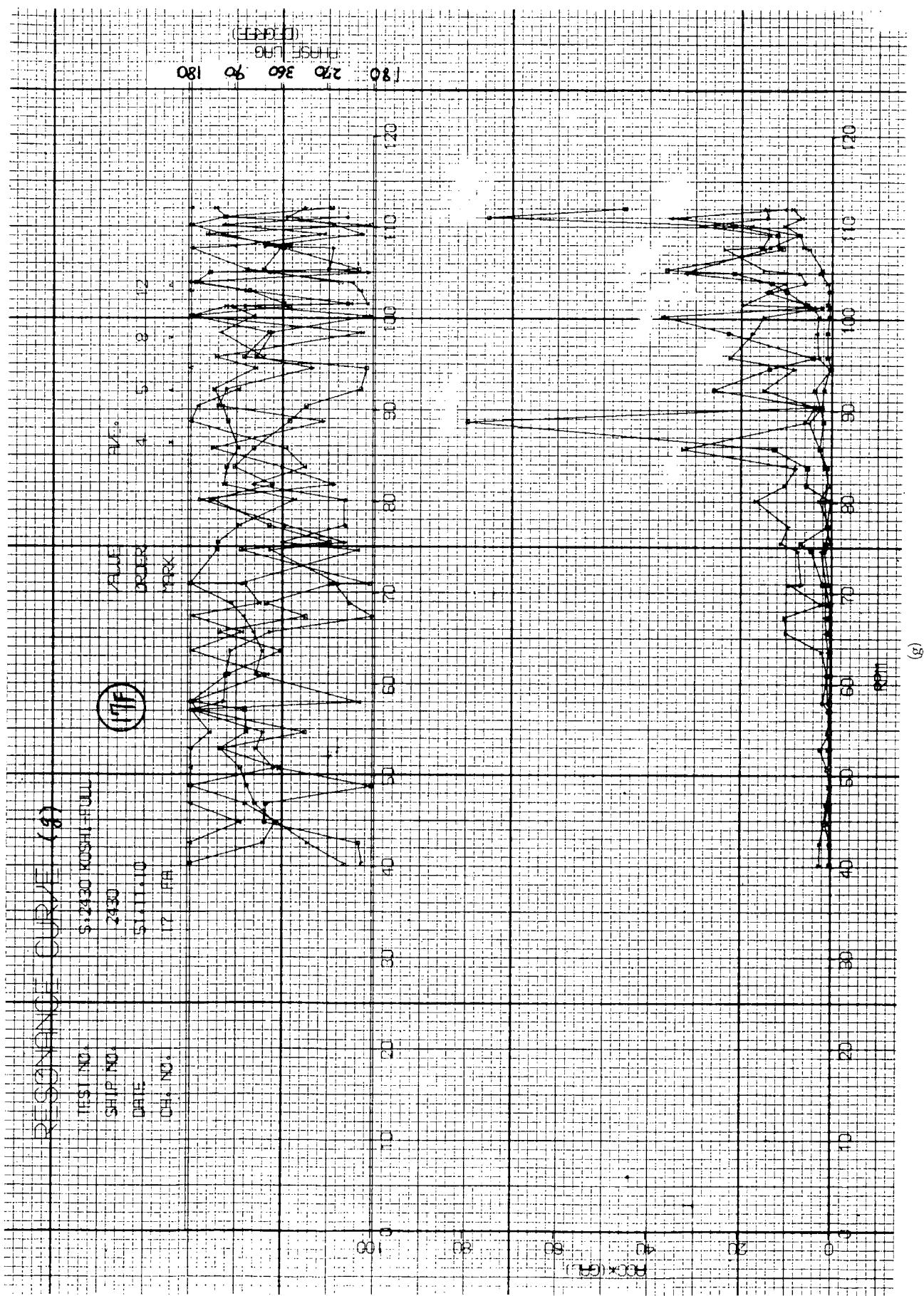


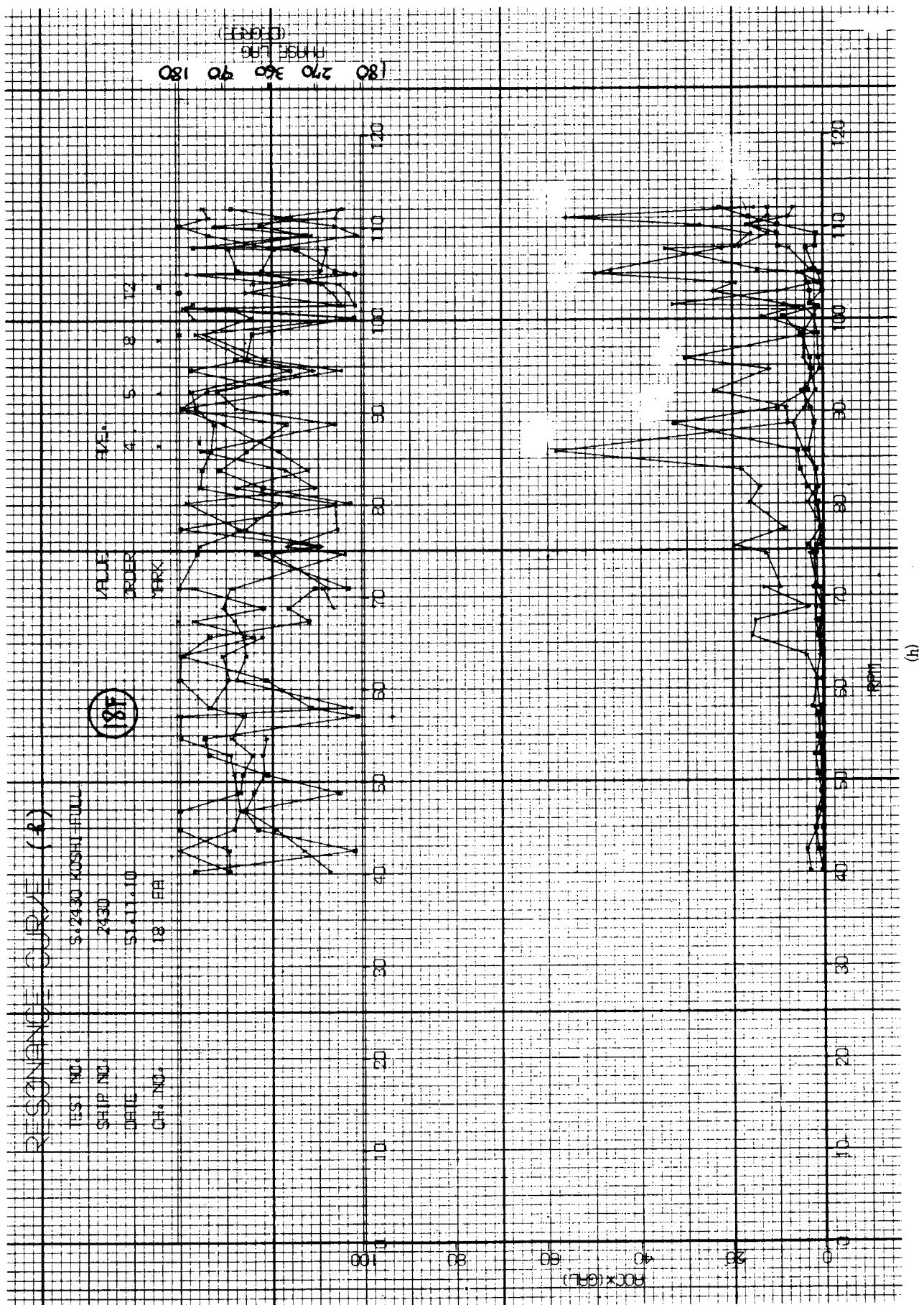


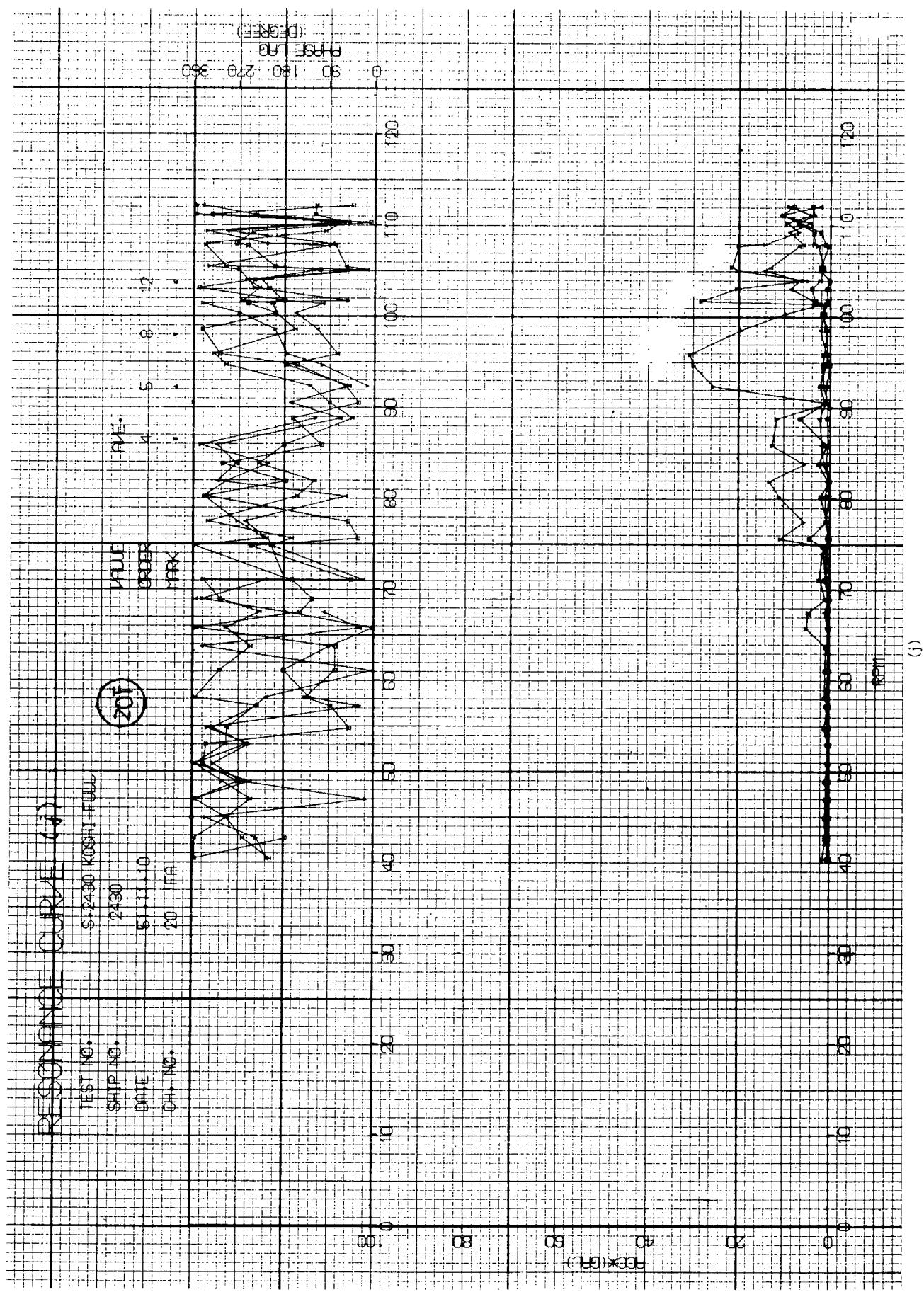


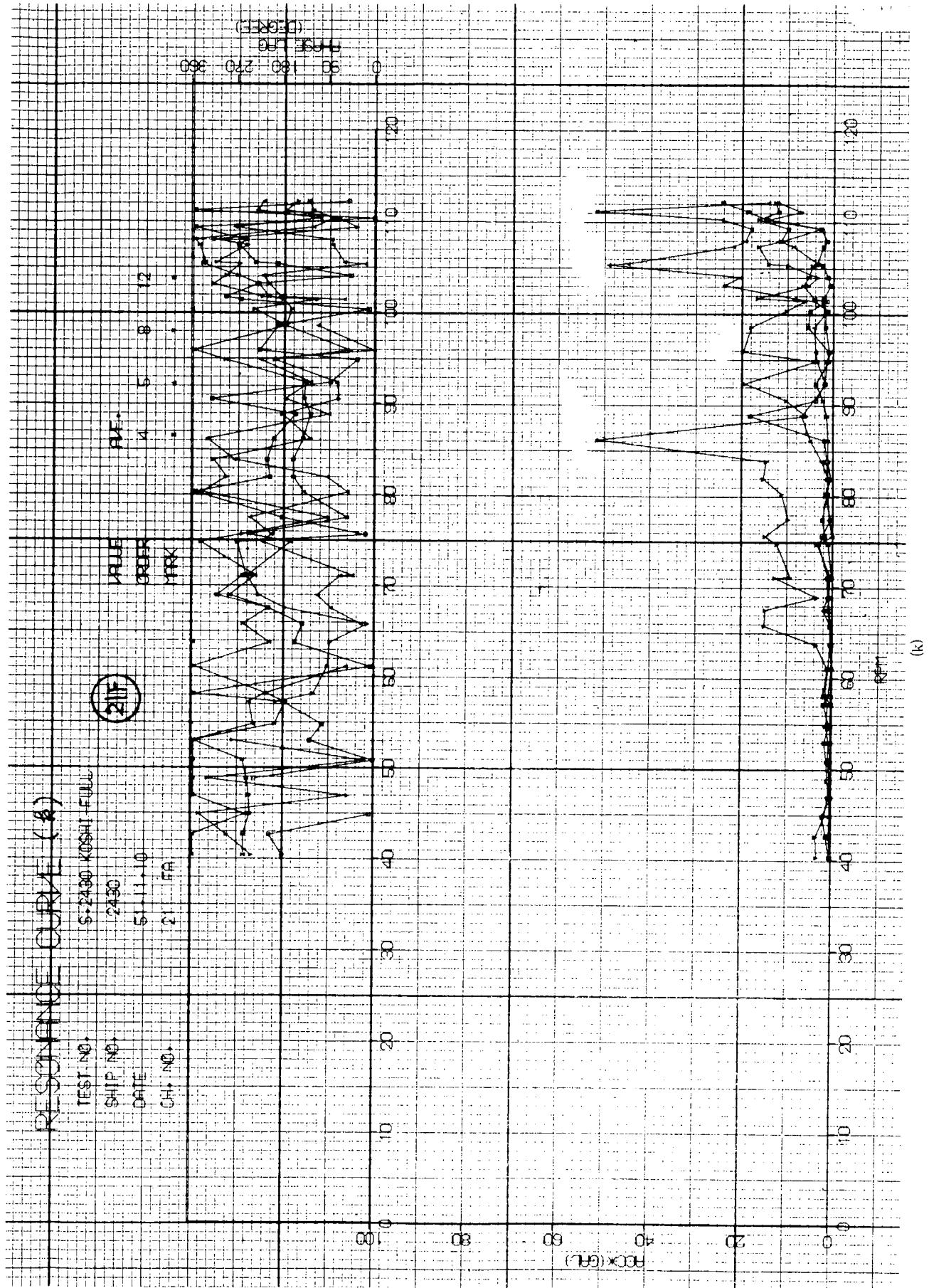


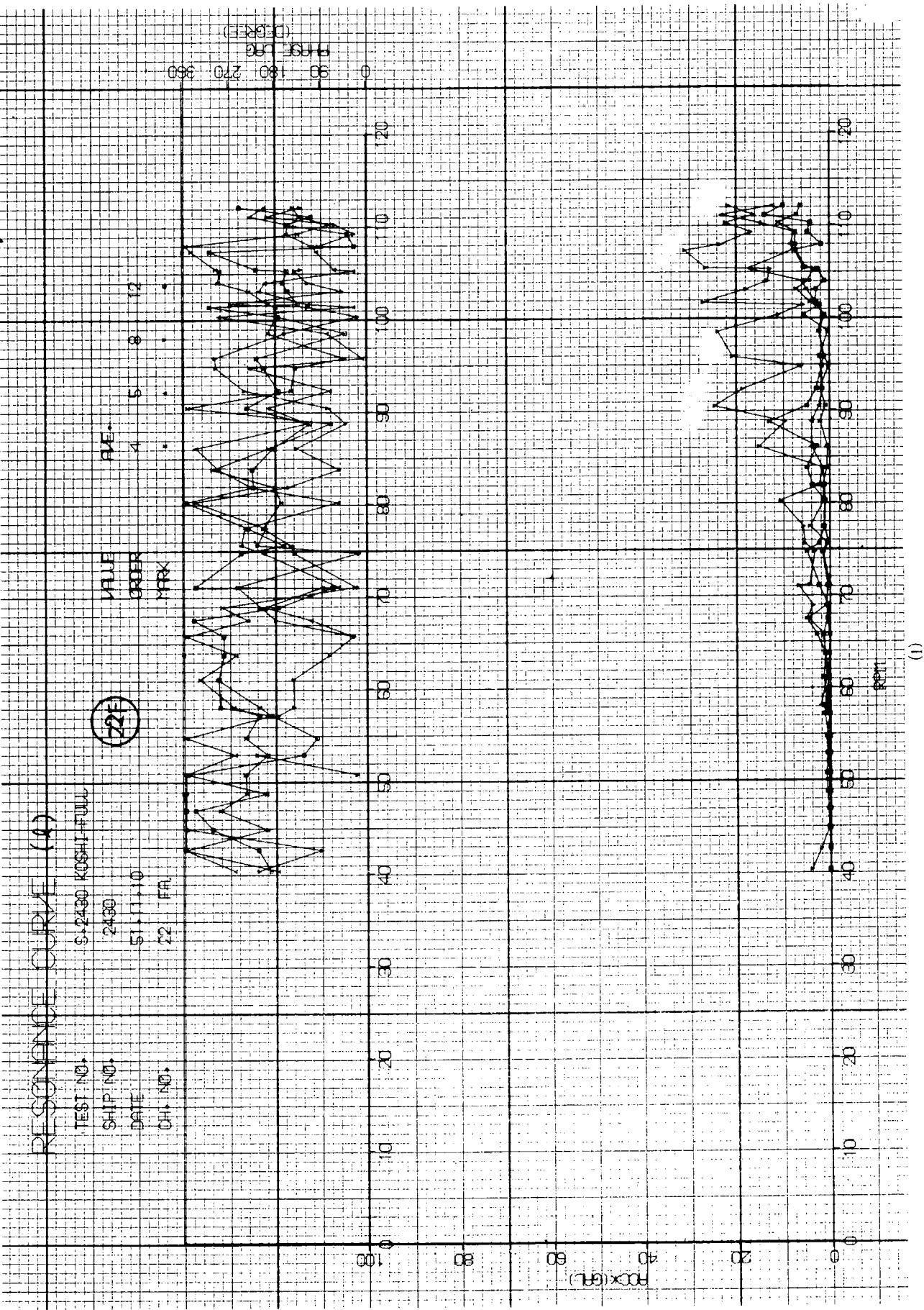


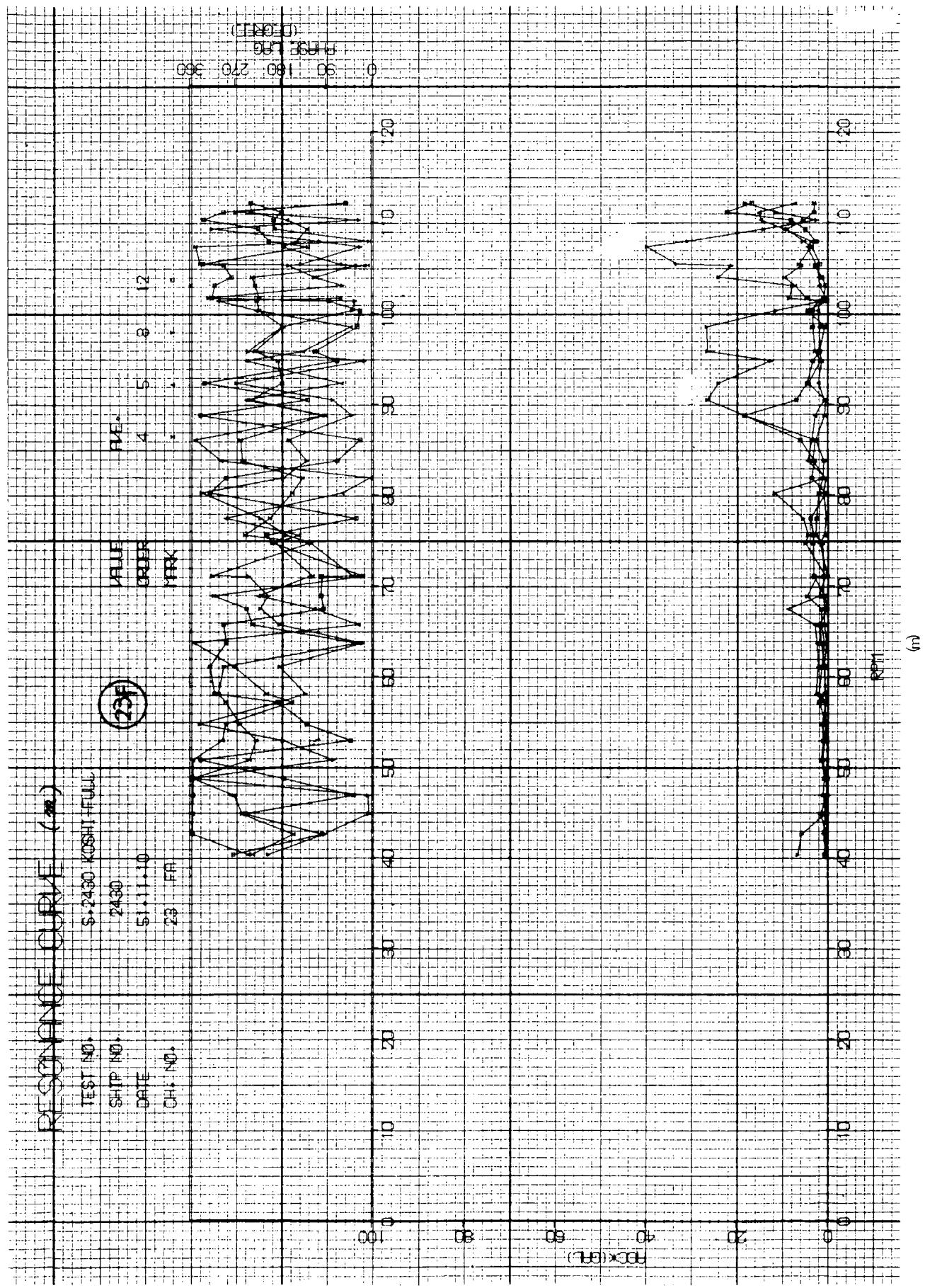


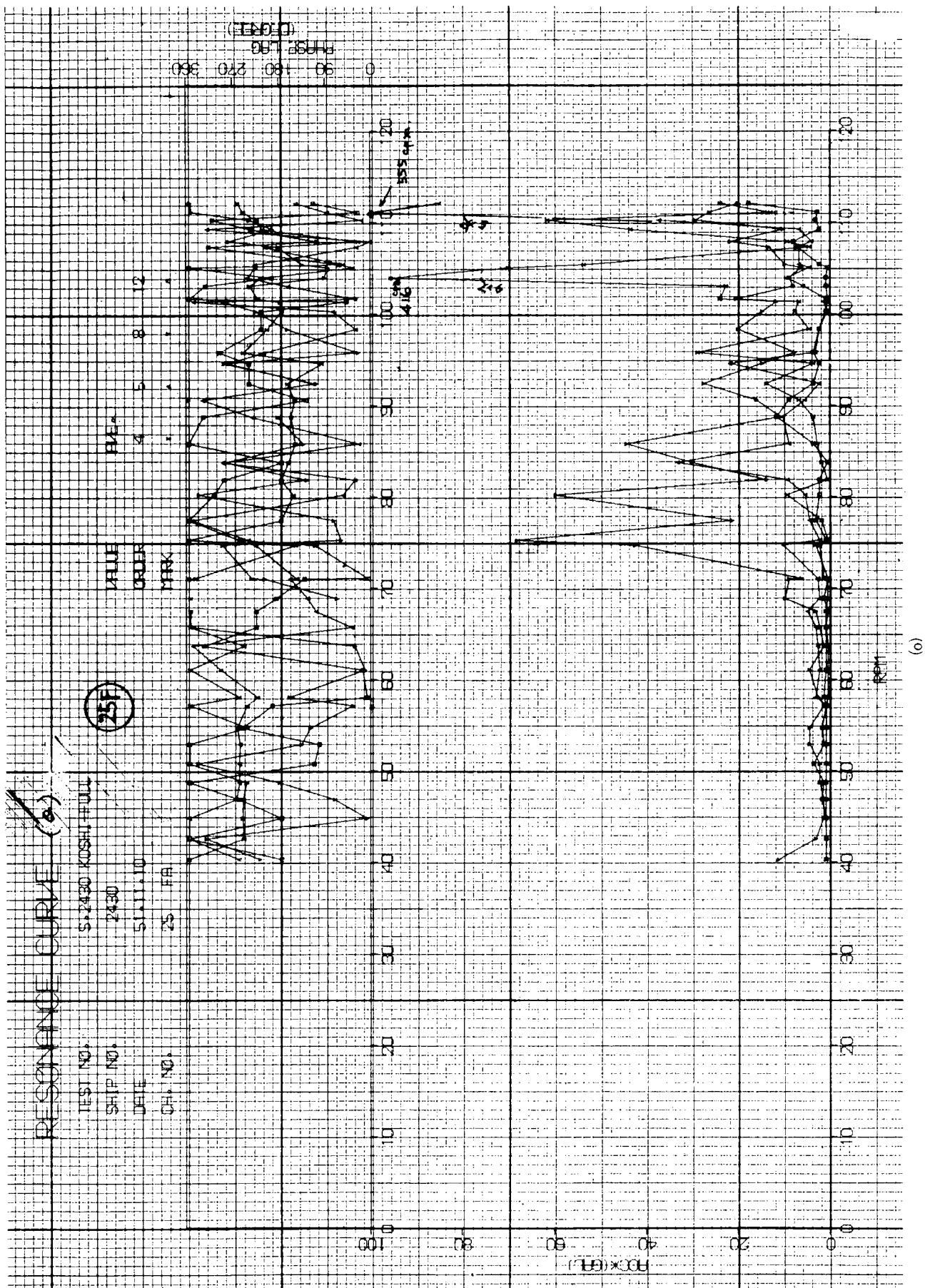












RESONANCE CURVE (P)

TEST NO. S.2430 KOSHINO

SHIP NO. 2430

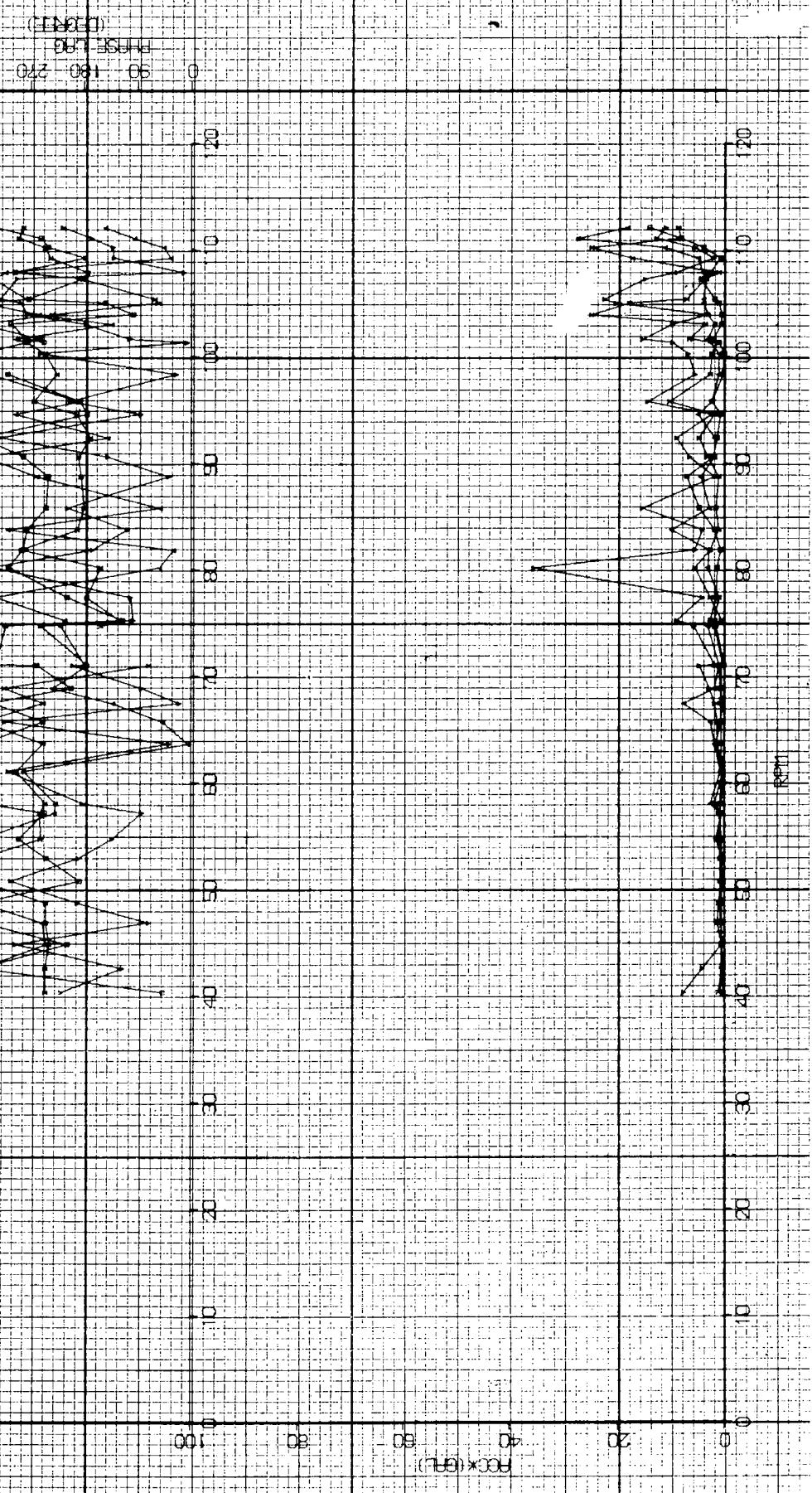
DATE 5.11.10

CH. NO. 26 FB

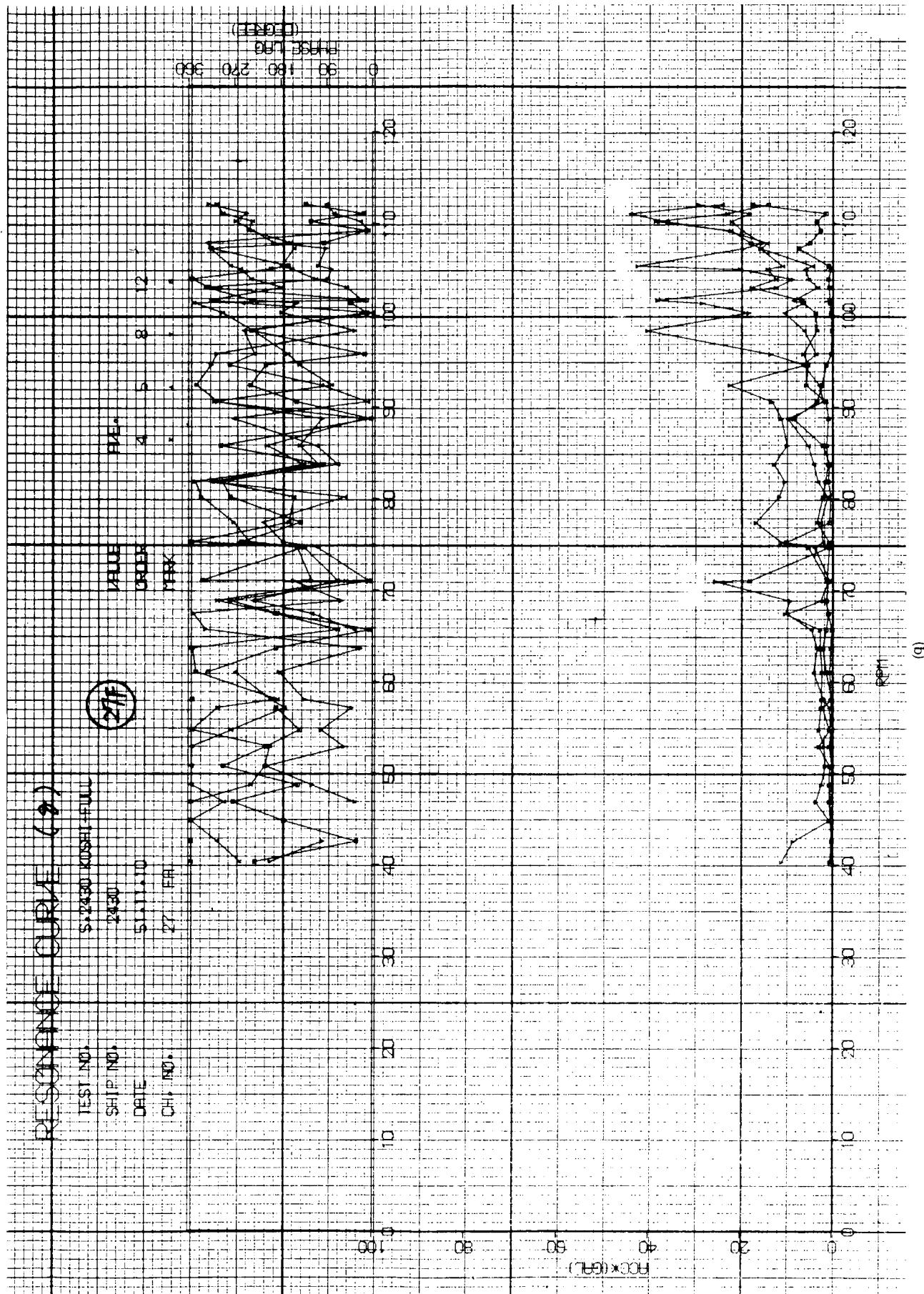
24

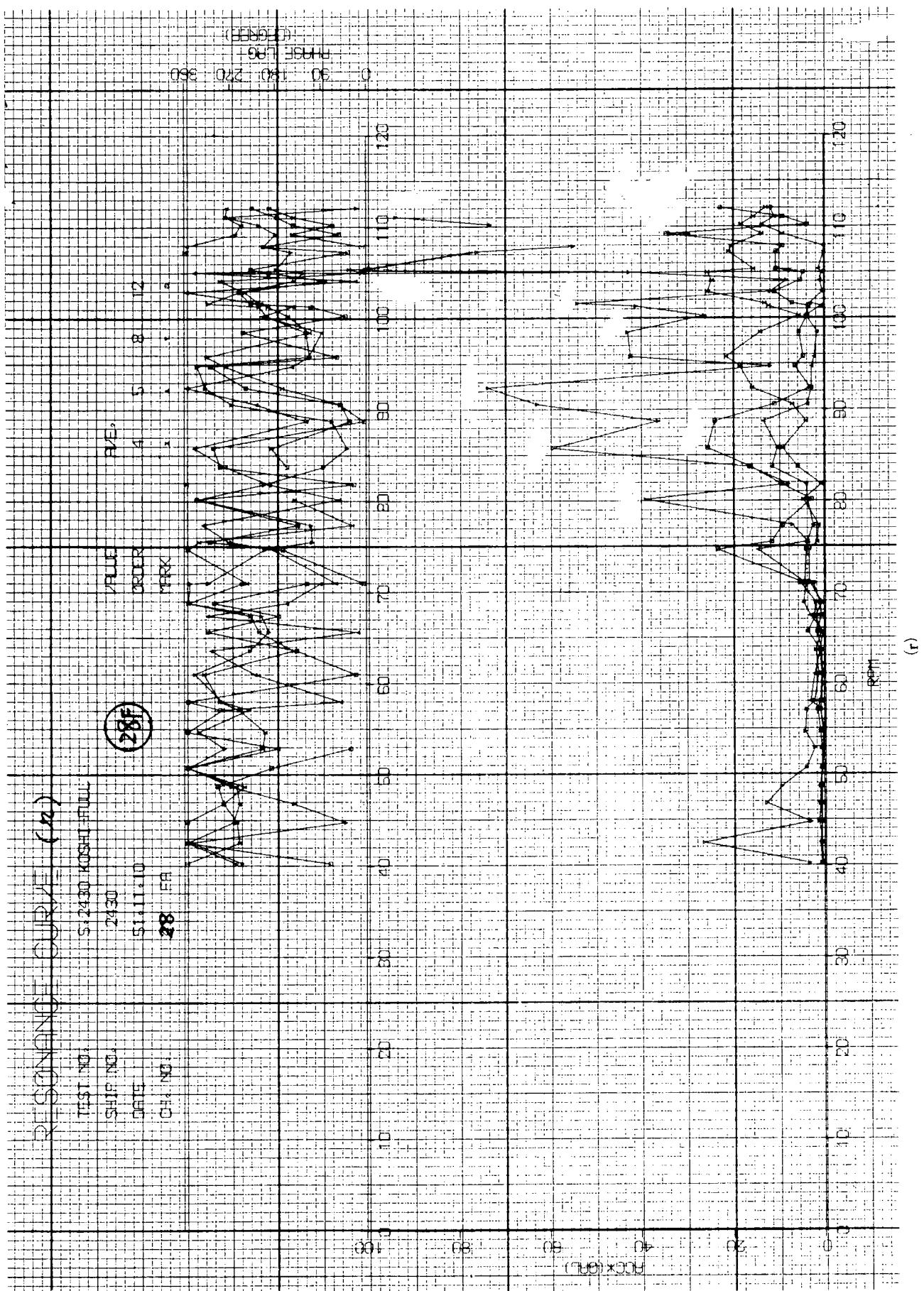
VALVE
OPEN

MRX



(p)





6 船体構造の防食に関する調査

6.1 調査の目的

6.1.1 腐食による損傷の防止とメンテナンスフリー船の目標

船体構造の構造設計や工作中に起因する損傷はその実態が明らかにされて対策が講じられると云うフィードバックシステムが機能すれば、急速に減少するものである。しかし、船の一生を考えるとき腐食耗による構造部材の損傷や新替工事はかなり大きな額になる。もちろん船体構造部材には腐食代として2~3mmのマージンが見込まれているが、実際の腐食は必ずしも一様ではなく、部材によっては数年をへずして腐食代以上に腐食が進行し、き裂や変形の原因になり、新替工事が必要となっている。

一般貨物船はすでに数十年の歴史をもち長年にわたり前記のフィードバック機能が働いているため図4.1.1-2のとおり船令12年までは損傷件数はきわめて少ないが、船令が12年を越える急速に損傷件数が増加し、その大部分が腐食耗によることがわかる。したがって腐食を防止できれば一般貨物船の損傷はかなりの程度防止できよう。

大型専用船の場合は構造設計上の損傷と腐食による損傷とが船令の若い時期から入り混じて生じるため分離し難いが、構造設計に注意をはらい防食対策を充分に行なった最近の大型タンカーに損傷が少いことから防食対策も損傷防止に有効であろうと考えられる。

特に最近特殊塗装といわれるタルエポキシ樹脂や無機ジンク系の厚被覆の塗装（以下重塗装と呼ぶ）の実用化、あるいは防爆のためのイナートガスのタンク内の充気がタンク内の酸素量を減じて防食に有効となるなど新しい防食法が考えられ、メンテナンスフリー船の建造に多くの示唆を与えている。

将来メンテナンスフリー船として防食上どのような目標を設定するかについて検討した結果は次のとおりである。

「水線部及び水線下をのぞき、建造後4年間は完全であり、建造後8年目において多少の補修塗装を行う程度とする。特に内部材については船の一生を通じて腐食耗による新替は要しないこと。」

この目標に対して現在の改善された船舶がどのような状態にあるかを実船調査し、その問題点と対策を検討することになった。

6.1.2 調査対象船舶

調査の対象となった船舶は、一般貨物船、ばら積み貨物船及び大型油槽船でいずれも最新の防食対策を施し、建造後4~5年を経過した新鋭船である。これより古い船令の船は防食対策が最新とはいえず、これより新しい船は問題点を発見するにはやや船令の点で不足と考えられた。

調査対象船の要目、調査箇所等は表6.1.2-1のとおりである。

表6.1.2-1 船体の腐食に関する実船調査対象船

船の種類	A 船	B 船	C 船
L × B × D(m)	147 × 22.4 × 13.5	248 × 38 × 16.5	304 × 52.4 × 25.7
載荷重量(t)	12,611	115,340	237,093
建造年月	1970年 月	1971年 6月	1971年10月
主要な積荷	雑貨、鉱石、その他	石炭、鐵鉱石	原油
調査年月日	昭和51年11月24日	昭和51年10月12日	昭和51年10月15日
調査箇所	外板、上甲板、貨物倉、冷凍倉、F.P.T、A.P.T、バラストタンク、機関室、居住区、上甲板上の舾装品	外板及び上甲板、貨物倉（兼用バラストタンクを含む）、F.P.T、A.P.T、上部構造、機関室、上甲板上の舾装品	外板及び上甲板、専用バラストタンク、兼用バラストタンク、スロップタンク、F.P.T、A.P.T、上部構造、機関室、上甲板上の舾装品

調査に先立ち従来の経験から船の種類に応じて腐食しやすい箇所をリストアップしておき、実船調査でこれを確認するとともに予想しなかった腐食箇所も発見してこのリストを補う方法をとった。腐食のいちぢるしい箇所については板厚を計測することも行ったが船令も若く衰耗の程度は小さく問題となった箇所は少なかった。新しい防食措置（たとえば重塗装）を行った箇所でも若干発錆が見受けられるところもあり、周辺の塗膜の厚さを計測した。腐食発錆の状況はその種類と程度に応じて次のとおりあらわすことになった。

腐食の種類	腐食の程度
u：一様腐食	ー：なし
p：孔食	+：わずかな腐食で今後4年間放置できる。
g：溝状腐食	++：今後4年以内に手入を要する腐食。
o：その他	+++：いちぢるしい腐食でただちに手入れを要する。

6.1.3 船体構造の防食対策

船体構造の腐食の傾向は従来からかなりの資料があり、防食対策も種々提案されている。これらの資料を整理し、実船調査の結果を参照しながら各種の船舶に対し、その腐食の傾向と防食対策を作成することになった。

防食対策として塗装はきわめて有効な方法であるが、鉱石船の貨物倉のように塗装してもすぐにはく離磨耗する箇所もあり、また貨物油と兼用バラストタンクのように塗装の効果がなく、バターワースの温水洗浄によって局部的な孔食を生じることもある。鉱石倉に対しては増厚を、兼用タンクでは原油洗浄等通常の防食法でない対策も必要となっている。

腐食の傾向と防食対策は次の項目について作製した。

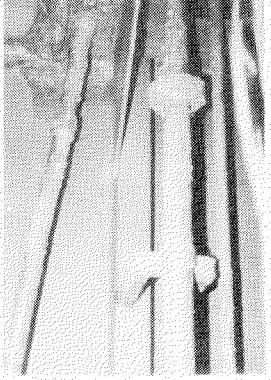
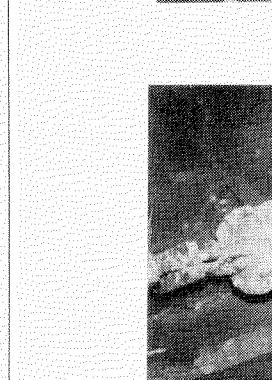
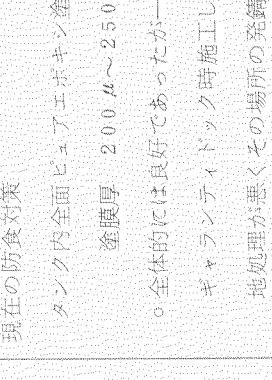
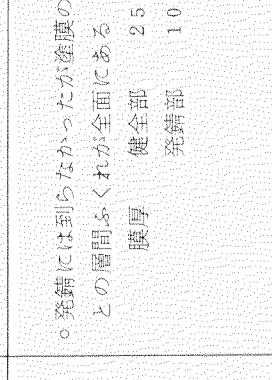
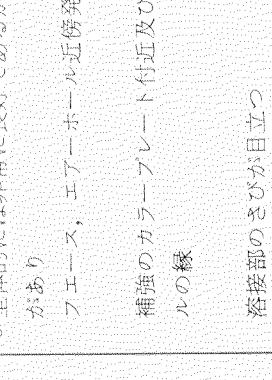
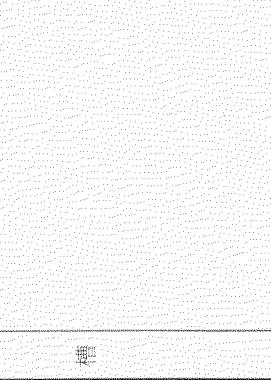
- (1) 一般貨物船の貨物倉
- (2) ばら積み船の貨物倉とバラストタンク
- (3) 鉱石船の貨物倉とバラストタンク
- (4) 油槽船の各種タンク
- (5) 船首尾タンクと船首尾外板、甲板と機関室及び機器
- (6) 外板、甲板及び機器（船首尾部をのぞく）

6.2 船体構造の腐食に黙する塞船調査

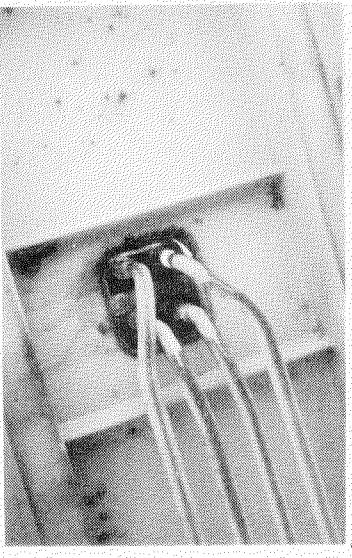
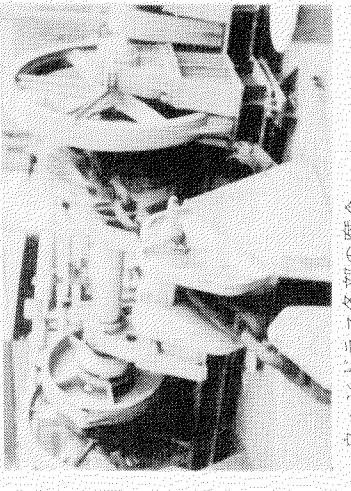
6.2.1 一般貨物船

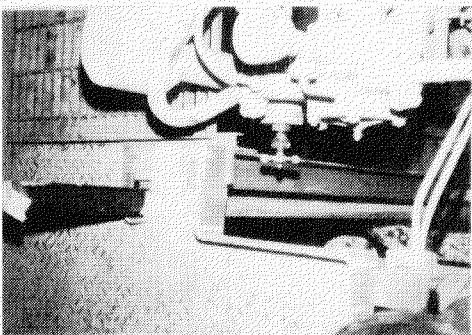
表 621-1 一般貨物の駁船の調査表

区画	調査箇所	錆の状態	事項			概略図又は写真	腐食防止策
			種類	程度	特記		
甲板	フルワーク基部	U	+	+	シアストレー キエッジ、開孔部丸棒、フルワークトップのエッジ及裏側△		
	傾斜梯子最下端踏板	U	++	++			この構造の良否? やはり特殊塗装必要
	下部の甲板	U	++	++	構造(スケッチ)上内部に水が入らぬ様にしてある		
	ロープハーネチエントランスのコニミング	U	++	++	甲板上立上り部セメントカバー(は要注意(スケッチ))		
	船首甲板	U	++	++			
	甲板機器台直下	U	t	t			
	サウンディングハイドの甲板貫通部	U	.	.			
	ビルジハット(船内)	U	なし				
	舷外	U	+	+			
	ロードベアイング	U	+	+			
貨物倉	肋骨下端付近 (第2甲板直上、内底板直上)	U	+	+	肋骨下端、隔壁下端何れも上下10cm位TARE P OXYが塗装されているが溶接ヒート付近の接着が不良で発錆しているものが多い。(スケッチ参照)△		
	隔壁下端	U	-	-	内底板は木甲板で保護されているがビルジハット近傍は腐食している		
	ビルジ溜周辺	U	-	-			
	内底板	U	-	-			
	ビルジハット	U	-	-			
	ハイド類の貫通箇所	U	-	-			
	外板内面	U	-	-			
	軸路壁下部	U	-	-			
	第2、第3甲板の隔壁、外板	U	+	+			
	コーナー部分	U	+	+			
冷凍貨物倉	運常の塗装部は板厚が0.1~0.2mmうすい、インシュレーショൺあるため構造部分調査できず	-	-	-			
	市販品使用のためさびている。特にタクトの連結部はいちぢるしく腐食、その他全般には腐食なし	U	+	+			
火災探知機センサー	タクト	U	++	++			
	タクト	U	++	++			

区 画	調 査 箇 所	鑄 の 状 態 種 類	鑄 の 状 態 程 度	特 記		現 在 の 防 食 策	概 略 図 又 は 写 真
				事 項	頁		
船 尾	A P T 内部 溶接部	U	+	タンク内全面ピュアエボキシ塗料を塗装			
	ステッナーの裏側	U	+	塗膜厚 200 μ ~ 250 μ			
	軽目孔の縁	U	+	○全体的には良好であったが一度塗装手直しを キャラフンティック時施工した様だったが下 地処理が悪くその場所の発錆が目立った。			
	塗膜の不足部分 ビース跡	U	+	○塗膜の不足部の 50 ~ 100 μ で発錆がある。			
	槽	U	+				
船 首	船首ディープタンク 天井面	U	+	○発錆には到らなかったが塗膜の A/C と FINISH との層間ふくれが全面にある			
	リーチロッド (ボールトナットを含む)	U	+	塗膜厚 健全部 250 μ 発錆部 100 μ			
	サクションパイプ (特に上面)	U	+				
	M6.5 ベラストタンク	U	+	○全体的には非常に良好であるがスポット的な発錆 があり			
	バスストンタング	U	+	フェース, エアーホール近傍発錆 補強のカラーブレート付近及びライティングホール の縁			
内 底 板	プラケット下部 内底板裏面	U	+	○密着部のさびが目立つ			
	カラーブレイト周辺の腐食	U	+				

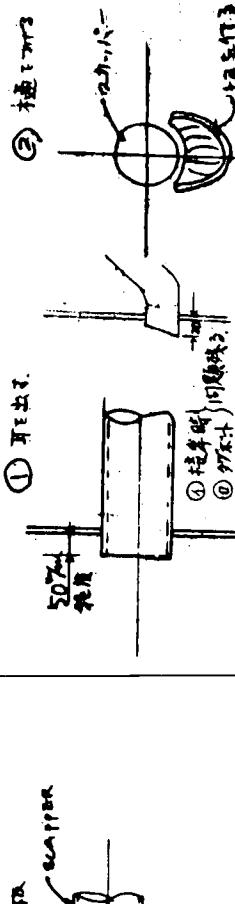
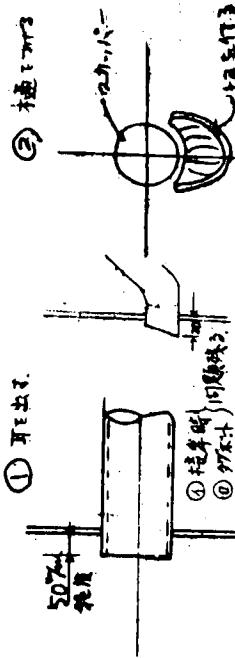
区 画	調 査 箇 所	特 記 事 項	鑄 の 状 態		
			種 類	程 度	+
バ ン ク ス タ ン ク	隔壁下部(FOTとの取合) プロックジョイント近辺 タンク内パイプ上面 〃 パイプ継手(スリーブ)		U U U U	++ ++ ++ ++	
ハ ッ チ カ ニ ー 上 面			U U U U	++ ++ ++ ++	良好 良好 良好 良好
甲 板	ハッチカニー下面 開発装置 ハネルスチフナー バッキンク溝		U U U U	++ ++ ++ ++	++ ++ ++ ++
上 部 の 機 械	パイプ類 ハッチミニン沿いのパイプ 手入してください箇所のパイプ パイプバンド パイプサポート パイプサバー コントロールスタンド立上 油圧パイプ 小口径油圧パイプ		U U U U U U U	++ ++ ++ ++ ++ ++ ++	ドレッサー接手の長いホールト 接手フランジのホールト頭 甲板との取合い部及びヘッドの裏側 } 手入れが行届いている
表 品	タンクトップエアーバイブ ハンドレール スタンション 椅子		U U U U	++ ++ ++ ++	基部に発錆 踏板裏、側板 ルーバーに厚さび
舷 梯	梯子 舷梯		U U	++ ++	(コミニグ、ダシバー)

区画	調査箇所	錆の状態		特記			項目		概略図又は写真
		重	程	要	程	記	事項		
係船機 係船機 揚貨機	コントロールス탠ド用ステージ フェアリード ボラード	U U U	++ ++ +	機械台のトップ, 厚さび 機械台のトップに厚さび 手入れよし	++ ++ +	機械台のトップ, 厚さび 機械台のトップに厚さび ドラムの觸厚さび	++ ++ +		
駆動機械 滑車	ワインチブロックトホーム ワインチ機械台下 デッキクレーン外装部	U U U	++ ++ ++	良好	++ ++ +	ワインチブロックトホーム, コントロールス탠ド 立上り油圧パイプ及びデッキ下面の腐食	++ ++ +		
甲板上の儀表 機器	ワインチのカバー 翼製扉	U U	++ ++	パッキング間に厚さびがありパッキングが浮き上つ ている箇所が多い	++ ++	SCALLOPのないCLOSED TYPEであった (コーナーは塞き板)	— —		
上部構品	エンタランスハッチの蓋 船首部甲板上フェアーダー台 マリングホール台	U	—	—	—	—	—	—	
船尾甲板上	デッキ付アイリング近傍 パイフカバー及操作台 エアーパイフヘッド 油圧パイフ	U g (DK自身) U	+(一部++) + + +	ヴィントラス各部の腐食 (腐食防止対策) 出来ればクレーチングタイプの方がよい(現在は縫板)	+(一部++) + + +	注) 驚異共通			

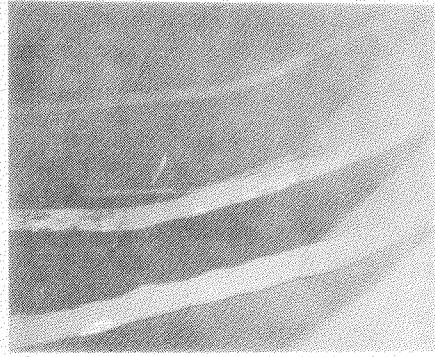
区画	調査箇所	錆の状態		特記事項	概略図又は写真
		種類	程度		
居住区	螺旋部甲板 水密扉と内側ドアとのスペース 冷蔵庫の隔離壁 エンジンルーム概況	— U U	— + +	デッキコンボジションがクラック及めくれ上っている (内部はまさび?) バッテングレーチング下の密接部近傍のコーナー部分 スカートの下のコーナー部分 ○一般的に発生少なく問題なし 海水パイプの接合部からの海水の洩れによる腐食 フレッシュウォーターポンプ取付架 合の裏面 サウンディングパイプ内外面 (プラスストンク用)	 サウンディングパイプの内外面の腐食

6.2.2 ばら積み貨物船

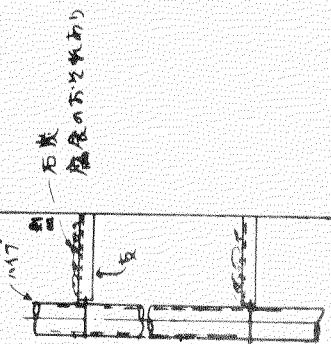
表 6.2.2-1 ばら積み貨物船の腐食調査表

区 画	調 査 個 所	錆の状態		特 記	事 項	写 真 及 び 腐 食 防 止 対 策
		種 類	程 度			
外 部 (船 首 板 部)	船側外板の変部	U	+	左舷のみ外板部 少量 (波を正面を受ける部分のみ)		アンカーブルはビルヂ外板部にプロテクター(半丸棒)を取付けたる
外 板 (船尾 部)	船外吐出管の外板面	U	+	上甲板 DK SCUPPER 下		
						
	シュー ピース周囲	P	+	上面のみ シュー ピース上面の塗膜の状態が悪い、	シュー ピースの上面は重塗装	
上 甲 板	艤口間甲板 艤口側甲板 コーミング及ステー ブルワーカーの基部 ロープハッチ, エントランスのコーミング	U U U U -	++ + ++ ++	荷役時ハッチ開放位置より外側 基部のみ 船首部は大 本船の手入れ状況良好		
貨 物 (バ ラス トタ ンク 兼用 貨物 倉庫 をふくむ)	内底板(無塗装) トップサイドタンク下面 ホッパタンク上面	U (U) (U) U U (U)	++ + + ++ ++	全般的にかたいさび、グラブ荷役による凹損が見られる。(倉口直下) 特に異常なし かたいさび		
	(注)錆の状態で()内はバラスト タンク兼用倉庫を示す					

区画	調査箇所	錆の状態		特記	写真及び腐食防止対策
		種類	程度		
貨物倉	外板内面 P.		+	特に異常なし NO 1 HOLDはグラブによる凹損が大きい。	⑤ HOLD直下の二重底構造は内底板の増厚、LONGEと FLOORのSCANTLING UPが必要とする。HOPPE TANKの内部構造も同じ。 ⑥ HOLD内面の塗装は一層HOLDのHOLD PAINTは有效。 ⑦ バラスト兼用タンクではあまり有効でないが、塗装してあつた方がよい。
	助骨 P.		+	特にWEB FRAME STRINGERのグラブ荷役の損傷が多いのは止むを得ない。	⑧ STIFF, STRINGERのようにHOR, MEMBERに傾斜をつけ、貨物がすべりやすくするのは有効である。
	肘板 P.		+		
	隔壁 P.		+	殆んど腐食なし 特に異常はない。	
	パイプのステー P.		不明		

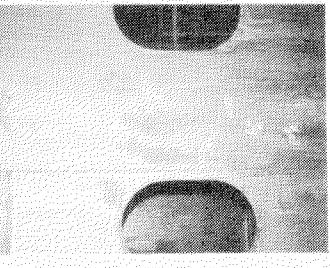


グラブ荷役による損傷部

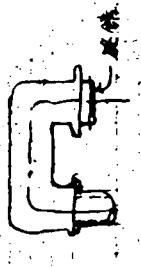


パイプのステー
腐食の状況あり

区画	調査個所	錆の状態		特記	事項	写真及び腐食防止対策
		種類	程度			
上甲板下面 デッキロンジ タンク底板	U U U	少量の + + +	100MM角程度の錆が散見された 錆は塗膜厚が80μ～100μの個所に多い、 下部の錆が多い。		①端部の増塗りが必要 ②フリーエッジ部はグラインダーでのR加工し、増塗り。 ③塗膜厚さを200μ以上としたい。但しR加工は大巾な工数アップとなる。 ④ブロック継手部分の下地処理を充分に施工し、増塗り。	
トランジ サイドタンク ボットムロング トランジ スロット部分 ドレンホール部分	U U U	+ + +	部分的な錆が多い、 STELL OR DC			
隔壁 バルブのスピンドル	U U	+ +	ブロック継手部分に集中している。 ブリスターも伴っている。			
制水隔壁 制水隔壁の孔 船首隔壁 水平B.R.A.C.K.E.Tの近傍	U U	+ +	主な発錆部 1. BLOCK継手 2. FREE EDGE 3. 热影響部（溶接部） 4. 塗装不良部（下地処理が悪い、 塗膜十分类についていない） 全体的に塗膜のふくれがある。ふくれを取るとペヤーメタルが出来る。（全面積の10%程度）	①BLOCK継手…現場にての下地処理のグレードタップ（サンドブラスト） ②FREE EDGE…①シープエッヂをなくす→グラインダ仕上げ ③増塗装を行う。（他の部分が2回なら→3回）	アンダルビーチ掛か →増塗装	
船首タンク						

区画	調査箇所	錆の状態	特記	事項	写真及び腐食防止対策
船首タング	パンティンクストリンガー上面 特設肋骨付の水平スティフナー ボルトナットストリンガーの開口部の 面材取付部 ボトムランスの堅目孔周囲 タンク内パイプ及リーチロットバルブ	U U U U U	EMPTYの状態でも水が留る部分に塗装がおかされている。 FREE EDGEと溶接部分 FREE EDGEと溶接部分 FREE EDGEのみ 少 量	③熱影響部……下地処理のグレードアップ(サンドブラスト) ④塗装不良……ワーカーマンシップ及び品質管理の向上 例 異物が付いているのにそのまま塗装する。 塗膜が十分ついてない。 ⑤塗膜のふくれの考えられる原因は塗料の品質と施工時の環境と思われる。 ⑥パンティンクストリンガー上面の水はけを良くする工夫が必要	 
船尾タング	船尾隔壁 タンク上部デッキ裏	U U	塗膜計測 ・良好な所 ・ふくれた所 ・発錆部 ・悪いか所	1.20~1.30μ以上 1.20~1.30μ 1.00~1.30μ 5.0μくらいの所もある。	塗膜厚が200μ以上の部分は発生していない。 天井部(上甲板構造)内部材の熱影響部とアリエッジに発錆 ①部分的増し塗 ②膜厚の増加
船側横桁のウェブ タンクスウェッフル付水平スティフナー ストリンガー及その堅目孔 ストリンガーとフレームの取合、 ブリケット類 ストリンガーの開口部の面材近傍		U U U U		発錆状況はF.P.T.と同様 違いとしてはA.P.T.のANOODEは皆無となっているので比べ、F.P.T.は少量残っている。又、 塗膜のふくれの範囲がF.P.T.に比べ、広くなっている。	

区 画	調 査 個 所	鋸の状態		特記事項						写真及び腐食防止対策
		種類	程度	U	+	U	+	U	+	U
	ハッチカバー ハッチカバー "	上面 下面	一般船	ビード, フリーエッヂ部分 一般船		一般船	プラスチック用 膜厚計測	良好部 発錆周辺150μ ~85~115m	
	ハッチカバー付ステイヤー		一般船	一般船	プラスチック用 膜厚計測	一般船	プラスチック用 膜厚計測	良好部 発錆周辺150μ ~85~115m	
	パッキン, 溝 タイトニングバー 開閉用ウインチ パイプ類		一般船	一般船	一般船	一般船	一般船	良好部 発錆周辺150μ ~85~115m	
	手入のしにくい箇所 バイブレンド バイブカバー 甲板上空気管		一般船	一般船	一般船	一般船	一般船	良好部 発錆周辺150μ ~85~115m	
	ハンドレール スタンション 梯子 舷梯裏板 舷梯格納台, 装置全般		一般船	一般船	一般船	一般船	一般船	良好部 発錆周辺150μ ~85~115m	
	マストハウスマ 係留金物 係船機 フェヤリーダー ボラード 鋼製風密扉		一般船	一般船	一般船	一般船	一般船	良好部 発錆周辺150μ ~85~115m	

区画	調査個所	錆の状態		特記事項				写真及び腐食防止対策
		種類	程度					
居住区	レーダーマストのステイ 居住区入口の鋼製サッシュ扉 後の架台 空気管頭の下板 電線箱	U U U U U	++ ++ ++ ++ ++	柱部分のみ 				①マスト等のステーはできるだけ使用しない。 ②居住区への出入口鋼製サッシュ扉は増厚、又は塗装仕様のUP ③電線類は曝露部に導設しないのが理想であるが、保守の関係で うまく処理できるか。
機関室	ボイラーの台 プラスチックポンプ台 海水ポンプ台 造水器、清水圧力タンク下 各クーラー類直下甲板 通風管内のダンパーフラップ 煙トック 内底板上海水管 スイッチ、スピーカー等市販電装品	U U U U U U U U U U U U U U U U	++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++	部分的には発錆あり。 機関室内の補機台はT/E塗装				

6.2.3 油槽船

区画	調査箇所	錆の状態 種類	錆程度	特記事項		写真及び腐食防止対策
				一	+	
外板	船底外板	U	—	一部に層間剝離あり		
	外板全船	U	+	全般にペイントのフクレあり		
	盤木跡	U	+	シーム、バットに発錆あり		
	船首船底	U	—			
	船側外板	U	—	船尾部のシーム、バットに一部発錆あり		
	機関室側外板	U	—	フェンダーの当る部分およびフェアリーダの下部	(1)外板各部に対する塗料と塗装については今後更に優秀なペイント出現まで大差をつけることは困難	
	汚水管等開口部下	U	+	アンカーズ、ホースパイプ下面	(2) ブロックバット、シームの下地処理については一考を要す	
	水線部	U	+	中央部より上半分が悪い、	(3) アンカー及びアンカーチェーンによるダメージ部はペイントでの保護は困難チエンズレ等を付ける必要あり	
	船首船側弯曲部	U	+	ビルヂキールの上下附近に錆あり右舷の方が悪い、	(4) マーク類は接岸時のダメージ等を考慮してステンレスにて材質を変える事も必要	
	ドラフトマーク周辺	U	+			
甲板	フリーボートマーク	U	+			
	ビルヂキール周辺	U	+			
	フォックスルデッキ	U	+			
	デッキブレート	U	+			
	ブルワーカ基部	U	+	シリンダー下部に当る部分は特に悪い、		
兼用	ウインドラス下部	U	+			
	上甲板	U	+	ブロック接手、ペイント損傷部と思われる部分		
	デッキブレート	U	+	船首側部分が特に悪い、		
	係船機下部	U	+			
用具	1. 上甲板内面	U	—	上甲板下面は原油の蒸気により一様な腐食があると		
	上甲板下面	U	—	考えられるが近寄りがたく状況は不明		
	デッキロンチ	U	—	異常腐食はない模様。		
タンク	2. 一船側外板内面	U	—			
	外板内面	U	—			
タンク	サイドロンチ	U	—			

区画	調査箇所	錆の状態		特記事項		写真及び腐食防止対策
		種類	程度	記号	記号	
3 トランслиング デッキトランス ボットムトランス 船側部	U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —	垂直の面は水分が滞留する事がないので非常に美しい表面で一様にわざかな腐食が見受けられた。 しかしバターワースのガンに近い箇所の表面は垂直な面といえども大きなピッチングコロージョン（径30～50mm）が見受けられた。	P. U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —	隔壁沿いの立パイプの点食（バターワースの影響）
ロンチ隔壁部 コーナー部 軽目穴 エヤー、ドレンホール ウエブ、面材 スティフナー	U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —	バターワースが直接かくらない箇所は不活性ガスと油分とが結合して保護膜を形成し防食効果が認められた。	P. U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —	隔壁立防護材 ウェップの点食 (ごく一部、バターワースの直接かかる箇所)
4 水密隔壁	U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —		P. U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —	
5 ホリゾンタルガーダー上面 ガーダー下面 面材 スティフナー肘板 軽目穴周辺	U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —		P. U U U U U U U U U U U U U U	— — — — — — — — — — — — — — — —	

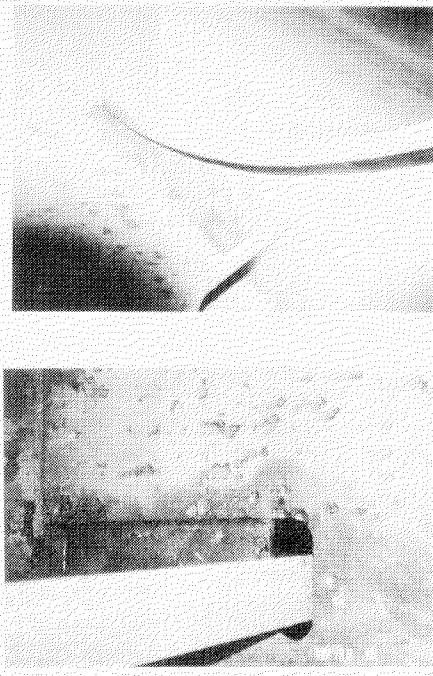
区 画	調 査 所	鑄 の 状 態		特 記	事 項	写 真 及 び 腐 食 対 策
		種 類	程 度			

兼用 バラストダング

軽目穴周辺の腐食



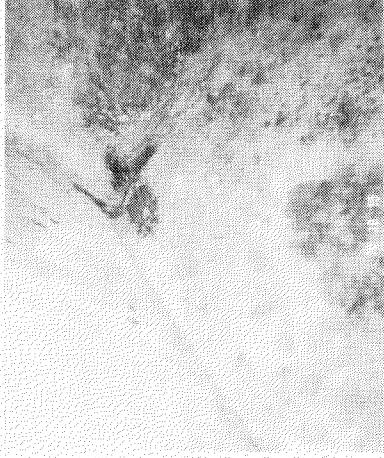
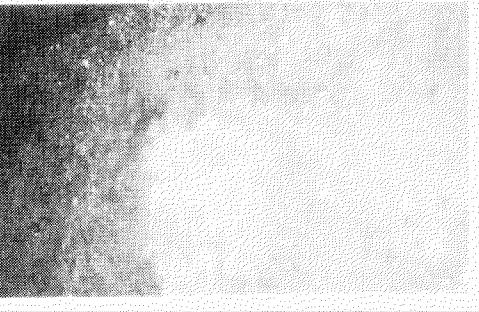
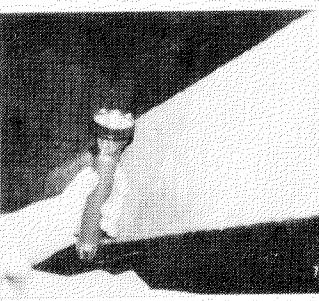
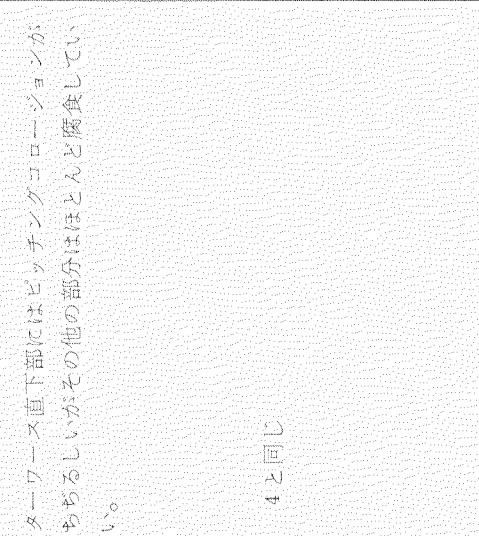
← ホリゾンタルガーダ上面の点食

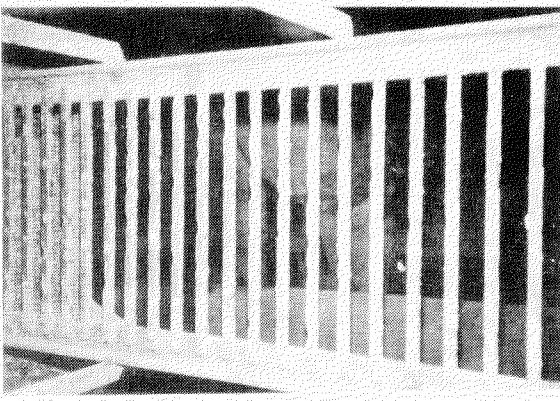


ホリゾンタルガーダ上面の点食

ホリゾンタルガーダスロット周辺
の腐食

ホリゾンタルガーダ縫通隔壁との
固定部の腐食

区画	調査箇所	錆の状態		特記	事項	写真及び腐食防止対策
		種類	程度			
兼用バーストタンク	舷側コーナー部	U	十	6.2 ~ 4ナリゾンタルガーダのTBHDとLBHDとの縦側ユーナー部は腐食が著しく、厚み測定結果でも1.6mm~2.4mmの減少を見ている(両枚共)		
						
						
6 船底外板内面	ペルマウス付近の外板 ボトムロンチ上面 ボットムランス上面	U・P — U・P	十 — 十	バターワース直下部にはヒッチングコローションがいちばん多いがその他の部分はほとんど腐食していない。		
7 止水隔壁	隔壁板 スティナー	—	—	} 4と同じ		
						

区画	調査箇所	錆の状態		特記事項	写真及び腐食防止対策
		種類	程度		
8	機械品、パイプ カニゴパイプ ヒートリンクパイプ 油圧パイプ パイプ支持 バルブ類 梯子 プラットフォーム	U.P し じ じ じ — —(+) + +	十一 一一 一 — + +	カーボンパイプは垂直のもののバタース側、ホリゾンタルの上面には大きなピッチングが見られるが、反対側は腐食していない。油圧パイプ等は一様な保護膜があり急速な腐食は見受けられない。 バルブ、パイプ、鋼製品にはほとんど腐食は見受けられないのに反し、圧延鋼管に大きなピッチングが見られた。特に丸棒、角棒には表面に一様な腐食が多いのは注目された。	 

考

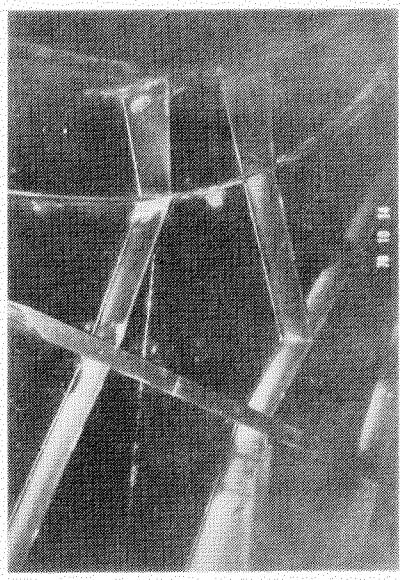
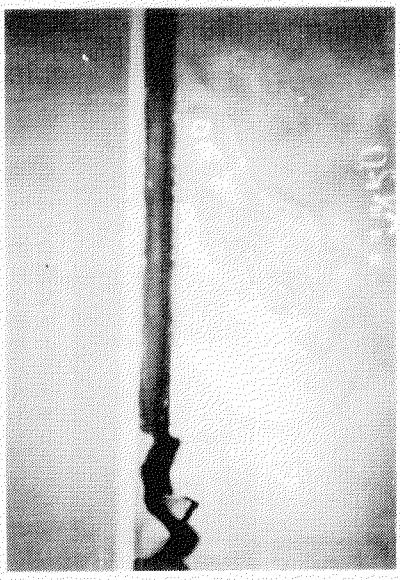
備

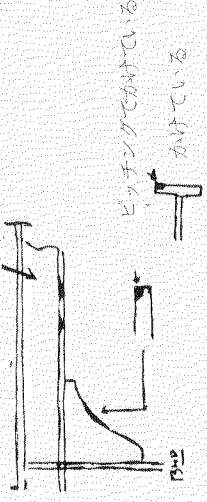
- (1) 足場の都合でテッキ裏のロング、上甲板、デッキトランクの状況がつかめなかった。
- (2) パイプ分歧点の容安部に異常な腐食があり余盛りはもちろんかなり内部まで腐食している点は注意を要する。
- (3) バターワースが直接あたる箇所の腐食は大きい。バターワースは腐食の点からみればむしろ害があり原油先条について考えておくことも必要
- (4) 鋼鉄と圧延鋼材の腐食の違いは今后検討が必要

区画	調査箇所	錆の状態 種類	程度	特記		写真及び衛食防止対策
				事項	記述	
F.P.T	1. 割水隔壁 軽目孔及びスロット周辺のエッジ 溶接裏の熱影響部	U	+		ガス切断にてシャーフエッジが残っている。その部分より塗膜が剥離しているケニスが多い。	F.P.T 全体について云えばタルルボキシガよく発生良好な状態と云える。 増塗接、端部をクリンター仕上げ
	2. ベンディングストリッパー 上面	U	+		増塗装、端部をブライター仕上げ 現状にてデスクサンダー掛 の上T/U塗装 下地処理のグレードアップ	隔壁では塗膜厚さが不足する箇所に発生、特に発生する。
船首尾タンク						ベンディングストリッパーは5段有り、上部3段までと下部2段と分けるとその発生率は(視認ではあるが) 上部 a b 5~6% 下部 a b 2~3% である。

区画	調査箇所	鏡の状態	特記	事項	写真及び腐食防止対策
船首	軽目孔およびスロット周辺	U +	剝離壁と同じ		
3 船尾	その他の部材 フレースプレートのエッジおよび 上面	U +	BKTのフリーエッジ 付のカーリング		
4 船尾	BKTのフリーエッジおよびBKT センターラインカーラー端部と ストリッパーの取合端部	U +	センターラインカーラー端部と ストリッパーの取合端部		
5 船尾	サイドロング サンドルッシュのフランジ部エッジ	U +	サイドロング サンドルッシュのフランジ部エッジ	部分的にあるがこの部分 に発錆率が高い、	
6 船尾	増塗表 増塗表 増塗表 増塗表	U + U + U +	ベースプレートのエッジ および上面 センターラインカーラー端部と ストリッパーの取合端部 サイドロング サンドルッシュ	増塗表 増塗表 増塗表 増塗表	増塗表 増塗表 増塗表 増塗表
7 船尾	肘板ブリーエッジの毛錆				

区画	調査箇所	錆の状態		専記		事項		写真及び腐食防止策	
		種類	程度						
4 艦装品	無塗装パイプ タールエボキシ塗装パイプ 交通装置 傾斜梯子 ハンドレール バルブリーチロット及び軸受 パイフバンド	U U U	++ +						
船首尾タンク		U	+						
A.P.T	全体的にはF.P.Tよりはるかに良好であるが発錆部はF.P.Tに準ずる。								
機関室	1 ビルヂウエル中段 2 二重底タンクトップ	U U	++	コシベシヨナルペイント使用 上 その他は良好であった。				特塗 本船にて手入可能にする	
NO 3 WING TANK	船底外板	U	+	全体に良LONG S.P間に一部錆がある。					

区画	調査箇所	鉄の状態		特記	事項	写真及び腐食防止対策
		種類	程度			
ボットムロンジ	ボットムトランスクエースフレート	—	—	全般に問題になる鏽なし、一部ドレンホールの周りに鏽あり (+)		
	スチルフナーランスリング(中間部)	U	+	全体に良好、2分割建造ため現場接手の一部分に発錆あり。		
	クエースフレート	U	—	フリーエッジに鏽		
	水密隔壁	—	—	全体に良好		
	横置隔壁板	—	—	全体に良好、一部欠陥あり、裏側に物が取付けた位置に150角の鏽あり		
	スチルナー、スチルナー・フラグメント	U	+			

区画	調査箇所	錆の状態		記事	写真及び腐食防止対策
		種類	程度		
専用バラストタンク	ボリゾンタルガーネット、スチフナー ウェブフレート、スチフナー スビンドル サウンティンクパイプ バラスト管 ニューマスター	P	+ + + + +	全体に良好 ドレン孔周囲下部全面に発錆あり 錆が多い	
スロッフタンク	1. 船側外板 外板内面 サイドローション 2. 装置 ストリップパイプ 3. その他 加熱管	P U P P	- + + +	良好 クエグ、フレアート共ピッキングが多く見受けられた。又ロンジの上下面にも深さ 2mm 大きさ 100 φが 1 ~ 2 個/m ² に発生している。 ピッキングでかけている ピッキングでかけている 全面に点食 但し問題になるような程度ではない。 船側 BHD 上部に赤錆量不明 その他良好	 

区画	調査箇所	錆の状態		特記				写真及び腐食防止対策
		種類	程度	事項	事項	事項	事項	
甲板上の機械装置品	ヴィントラス、係船機本体	U	+					取付時のダメージによるものと思われる。取付方法に一考を要す。 メーカーへの指導強化 内面は手入不可能のため重塗装が必要
	プラットフォームリモコンスタンード	U	+	部分的である デッキ付台は良好				
	通風筒 内面	U	卅					
	通風筒 外面	U	卅					
	ハンドレール、スタンションマスト、メントパイプ 本体	U	+					
	ステーウェイヤ	U	+					
	船口パイプ	U	+					
	手入しにくい箇所のパイプ	U	+					
	スチームパイプ	U	卅					
	その他パイプ	U	+					
舷梯	メインパイプサポート	U	卅					ソケット内に入る部分は手入がしにくいため重塗装が必要。
	パイプカバー渡り板	U	+					
	本体	U	+					
煙突	ダビット及びソケット	U	+					フリーエッジパイプ電線導板が悪い、 ホーン取付BKT、アイピース等
	ブリッジウイング裏側	U	+					

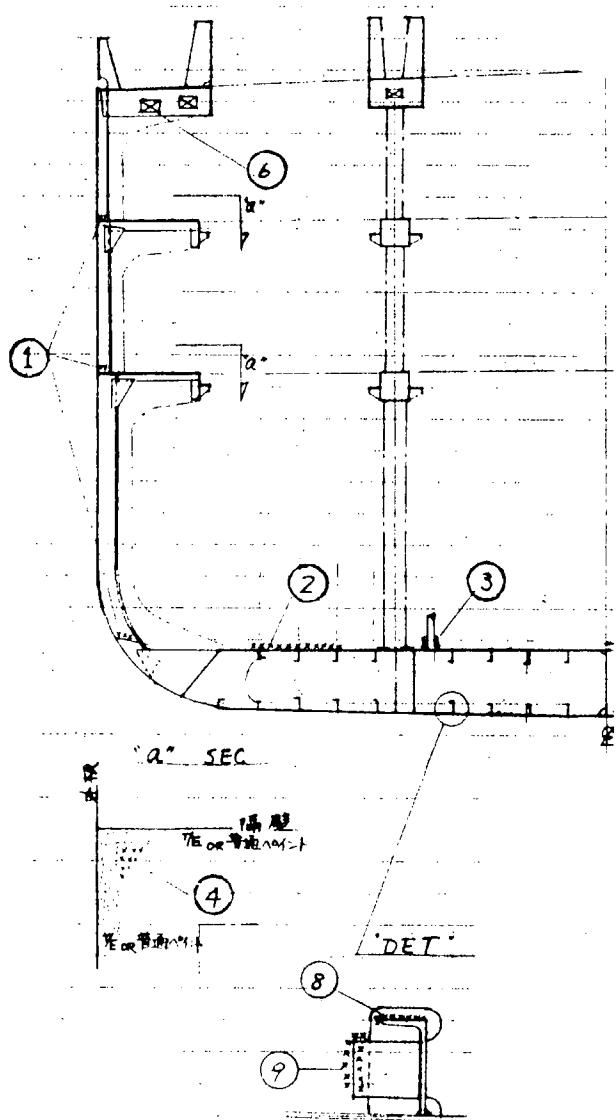
6.3 船体構造の腐食の傾向と防食対策

6.3.1 一般貨物船の船倉部

表 6.3.1-1 一般貨物船の船倉部の腐食の傾向とメンテナンスフリー対策

区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
貨物倉	① 肋骨下端付近	u	+	下端部 T/E 塗装, その他普通塗装
	② 隔壁下端	u	+	下端部 100 mm T/E 塗装
	③ パイプ類の貫通箇所	u	+	亜鉛鍍，ジンクリッヂペイント（焼損部）
	④ 中甲板隅部	u	+	T/E 塗装
	⑤ ビルジ溜周辺	u	++	普通ペイント塗装
	⑥ 通風ダクト（含連結ボルト）	u	++	T/E 塗装
	⑦ 火災探知装置吸煙孔	u	+	普通ペイント
二重底バラストタンク	⑧ 船底縦肋骨、内底縦肋骨の面材	u	+	T/E 塗装
	⑨ カラーブレート近辺の肋板	u	+	T/E 塗装
	⑩ 燃料油タンクに接する水密肋板（主として手熔接部）	u	+	T/E 塗装
	⑪ 内底板裏面熔接部	u	+	T/E 塗装
	⑫ タンク内パイプスリーブ継手	u	++	亜鉛鍍，ジンクリッヂペイント（焼損部）
深水タンク (バラスト)				

概 略 図



メンテナンスフリー対策

- ① 焼損箇所補修塗りの際の下地処理を入念に施工し、重塗装する。
- ② 現場塗装箇所の下地処理を入念に施工する。
- ③ 亜鉛鍍焼損部補修を入念に行う。厚肉管を使用するか二重管方式も考慮する。
- ④ ②と同じ。
- ⑤ 重塗装を入念に施工する。(但し掃除等により塗膜損傷が発見し易い)
- ⑥ ③と同じ。ボルトは亜鉛鍍品又は不銹鋼製を用いる。
- ⑦ 市販品の塗装を重塗装とする。
- ⑧ フリーエッジをR仕上げとし膜厚を確保する。端面、裏面等は先行塗装を行う。
- ⑨ 焊接跡の下地処理を入念に施工し増し塗りを行う。
- ⑩ 手縫接部の補修塗りの際下地処理を入念に施工する。
- ⑪ 現場継手部の下地処理を入念に施工し、塗装管理を充分に行う。
- ⑫ ③と同じ。

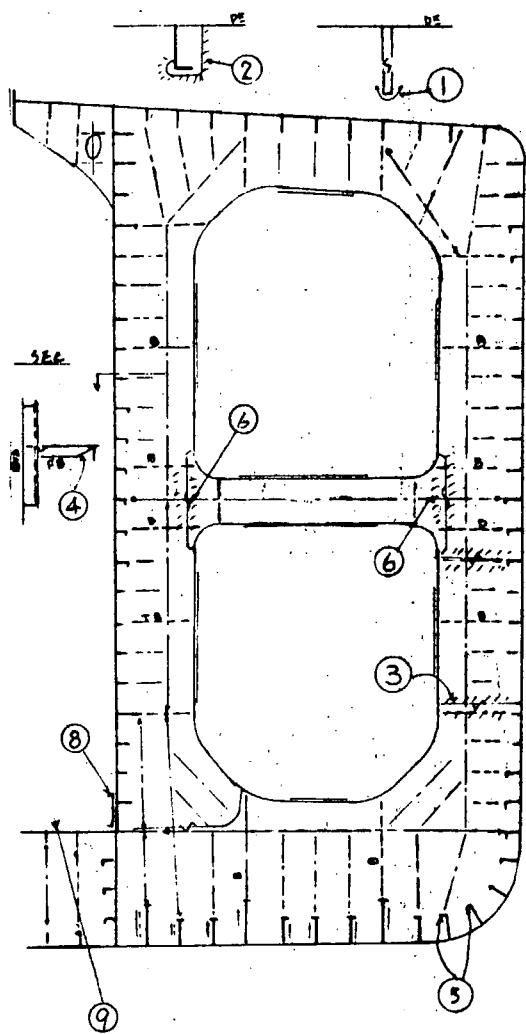
タンカーバラストタンクに準ずる。

6.3.2 鉱石船の船側タンクと鉱石倉の腐食の傾向と防食対策

表 6.3.2-1 鉱石船の腐食の傾向とメンテナンスフリー対策

区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
船側タンク	① 内構部材の切口及びコーナー	u	+	甲板下、タンク深さの 1/3 の範囲は重塗装 他は電気防食
	② トランスクエブのスロット、ドレンホールの切口とその周辺	u	+	
	③ 内構部材、隔壁のブロック継手の周辺	u	+	
	④ 防撓材のスニップエンド	u	+	
	⑤ 内構骨部材の裏面	u	+	
	⑥ クロスタイとトランスクエブの継手部分	u	+	
	⑦ 舷装バルブロット	u	+	
鉱石艤及び隔壁	⑧ 隔壁と内底板との取合い部分	g	+	ホールドペイント 内底板上面は無塗装
	⑨ 内底板の上面	u	+	
	⑩ 隔壁下部のスチール部分のホールド側の面	u	+	

概 略 図



メンテナンスフリー対策

船側タンク

- (1) バラストタンク内全面重塗装とし(例えば タールエボ膜厚 200 μ 以上), 軽い電気防食を付加することが望ましい。
- (2) 端面, 切口は増塗りが必要, フリーエッジはグラインダーで“R”を取り, 充分な塗膜をつける事が望ましい。
- (3) ブロック継手部分は下地処理を入念に施工し増塗りをすること。
- (4) 歪取りなど熱加工, 冷間加工をした箇所は下地処理を入念に施工し, 増塗りをする。
- (5) (3)及び(4)項はサンドブラストが望ましい。
- (6) バルブのロッド等機器及び取付部の塗装は入念に行うこと。
- (7) 内構部材のウラ面などは先行塗装が必要。
- (8) 塗装終了後, 工事を行う場合は塗膜の保護に注意のこと。

鉱石艤及び隔壁

- (1) 内底板と隔壁の取合い部分は, 隔壁の下部 2~3 mは1~2 mmの増厚が望ましい。
- (2) 柄, 防撓材等の水平部材及び凹部分は傾斜をつけて取付けるか, 斜板を取付ける事。
- (3) 二重底及び隔壁の下部は増厚を考えること。

6.3.3 ばら積み船のバラストタンクと船倉部の腐食の傾向と防食対策

表 6.3.3-1 ばら積み貨物船の腐食の傾向とメンテナンスフリー対策

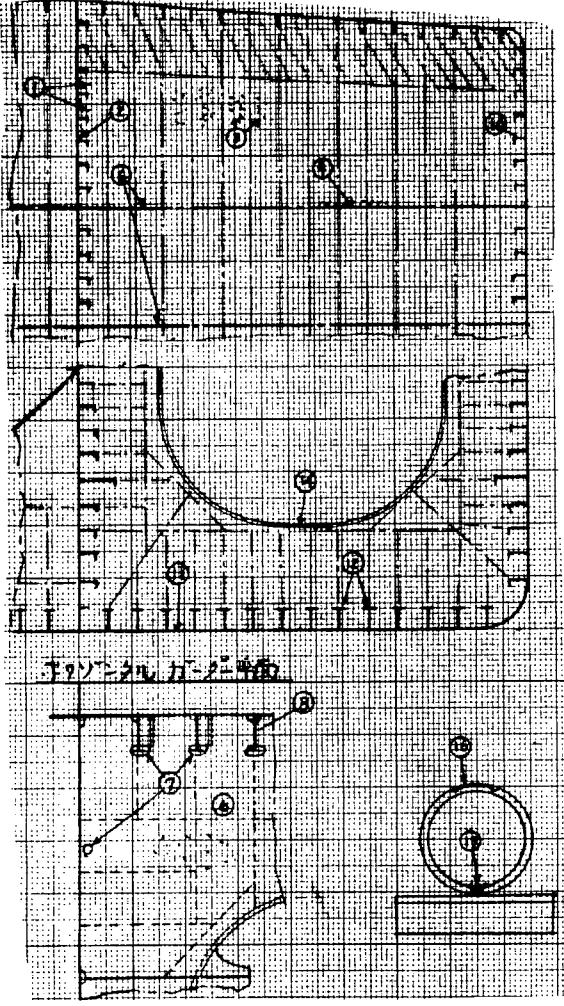
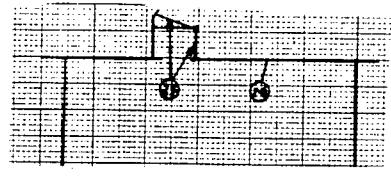
区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
トップサイド タンク及びボットムタンク	① 内構骨部材の切口, コーナー	u	+	甲板下 1.5 m はタールエポ塗装, 他は電気防食
	② トランスウェブのスロット, ドレンホールの切口, とその周辺	u	+	
	③ 内構部材, 隔壁のブロック継手の周辺	u	+	
	④ 防撓材のスニップエンド	u	+	
	⑤ 内構骨部材の裏面	u	+	
	⑥ 繕装バルブのロッド	u	+	
船倉及び隔壁	⑦ 隔壁又はホッパタンク下端と内底板との取合 い部	g	+	ホールドペイント, タールエポ(ホッパ上部), 内底板及びホッパ上面は無塗装
	⑧ バラスト兼用タンク全面	u	+	
	⑨ 内底板及びホッパタンク上面	u	+	
	⑩ 繕装パイプ類の取付バンド	u	+	
	⑪ 1番艤船側縦通桁	u	+	

概 略 図	メンテナンスフリー対策
	<p>バラストタンク内の塗装 鉱石運搬船のウイングタンクに準ずる。</p> <p>船 倉 内</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 倉内の肋骨下端までは HOLD PAINT 又は重塗装(例. タールエボ)が有効である。 (2) 桁, 防撓材等水平部材は傾斜して取付る事が望ましい。 (3) ホッパタンクの下部, 隔壁下部の 150 ~ 200 mm間は増厚する事が望ましい。 (4) パイプ等儀装品の取付バンドは傾斜をもたせるか丸味をもたせて, 物がたまらないようになる。 (5) 梯子及びステップ等も丸棒又は角棒(◇)を用い, 物がたまらないようにする。 (6) バラストタンク兼用船倉の上部, 及びボイドスペース部分は重塗装にする事が望ましい。 (7) 二重底及びホッパータンクの斜板は増厚を考える。 (8) 石炭を搭載する船は, その種類に注意すること。 (9) 石炭船では, 大型バルブプレートの使用を考える。 (10) グレーン及び鋼材を積む船はホールドペイントを塗装すること。

6.3.4 油槽船の各タンク等の腐食の傾向と防食対策

表 6.3.4-1 油槽船の腐食の傾向とメンテナンスフリー対策

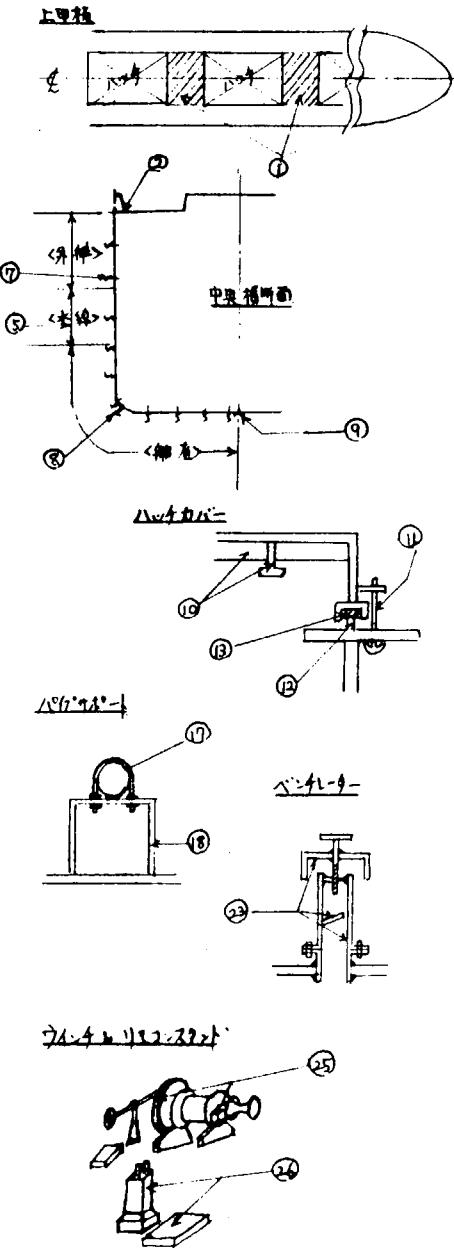
区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
専用バラストタンク	① 縦通隔壁上部(無塗装部) ② 縦通隔壁上部のロンジスティフナー直上(無塗装部) ③ 横置隔壁上部(無塗装部) ④ 横置隔壁のホリゾンタルガーダー直上 ⑤ トランスリング上部 ⑥ ホリゾンタルガーダー上面 ⑦ ホリゾンタルガーダーのスロット及び軽自孔の縁部 ⑧ 横置隔壁付バーチカルスティフナーのホリゾンタルガーダー直上 ⑨ バラスト管	u g u g u u g g p	++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ +	甲板下デッキトランス下面迄無機ジンクペイント(75μ)又はタールエボキシペイント(200μ)を塗装。上記以外の個所は無塗装で電気防食。 亜鉛メッキ鋼管
クリーンバラストタンク	⑩ ホリゾンタルガーダー上面 ⑪ 外板付ロンジ上面 ⑫ 船尾外板 ⑬ ポットムロンジ／ポットムガーダーのフランジ上面 ⑭ 縦通隔壁付ロンジスティフナーのリブ ⑮ ポットムトランスフランジ上面 ⑯ 梯子 ⑰ 貨油管外面頂部 ⑱ 貨油管内面底部 ⑲ 弁遠隔操作用油圧管外面(タンク頂部附近) ⑳ ドレッサーカップリングのガイド用ロッド	p p p p p g p u p g p g	++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ +	甲板下1.5m迄無機ジンクペイント(75μ)又はタールエボキシペイント(200μ)を塗装。 上記以外の個所は無塗装で電気防食。 鋼管 鋼管 アルミプラス管 鋼管
スロップタンク	㉑ 現場熔接ビード部 ㉒ タンク加熱管 ㉓ パイプ ㉔ 梯子	g p p u	++ + ++ ++	全面重塗装 アルミプラス管 鋼管 無塗装
カーゴータンク	㉕ 他のタンクに比べ鋼材の腐食度、耗度は全般に少い。然しタンク内殻の上部々材(原油積載時にベーパースペースになる所)の腐食が他の個所に比べ大。 ㉖ アクセスハッチ／カバー内面	u	-	無塗装 無塗装
甲板上舾装品	㉗ 貨油管内面 ㉘ ベント管／ベントポスト内面	g p	++ ++	鋼管 鋼製

概略図	メンテナンスフリー対策
	<p>専用バラストタンク</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 全面重塗装（例えばタールエポキシの場合 $200\ \mu$）が望ましい。 (2) 全面重塗装の場合でも軽度の電気防食と設備するのが望ましい。 (3) 電気防食の場合、アノード取付位置はアノードの有効範囲を考慮し位置決めのこと。又新替の場合元の位置にできるだけ近づける。 (4) バイプは銅鋼管、銅鉄管又は重塗装鋼管とするのが望ましい。
	<p>クリーンバラストタンク</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 全面重塗装するのが望ましい。 (2) 強力なタンククリーニングマシン設備の場合、タンク内塗装ペイントはジェット温水流に十分耐えること。 (3) 全面重塗装の場合でも軽度の電気防食でピッティングコロージョンを防止するのが望ましい。 (4) バイプは銅鋼管、銅鉄管又は重塗装鋼管とするのが望ましい。 (5) タンク内水平部材のピッティングコロージョンを防止する見地から原油洗浄を強く推奨する。 (6) イナートガス内の硫化水素濃度を今より減らすようイナートガス装置を改善する。 (7) ドレッサーカッブリングのガイド用ロッドをステンレス鋼製とするのが望ましい。
	<p>スロップタンク</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 全面重塗装と軽度の電気防食の併用が望ましい。 (2) 手縫接部の下地処理は入念に行い、塗装厚みも十分に確保する。 (3) 鋼製舾装品（パイプ、梯子等）はすべてタンク内殻面と同様重塗装とするか、又はそれに代る耐食性材料等とするのが望ましい。 <p>カーゴタンク</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 上甲板下デッキロンジ下面迄重塗装するのが望ましい。 (2) アクセスハッチ／カバー内面は重塗装するのが望ましい。
	<p>甲板上 装品</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 貨油管内面を重塗装するか、又は厚肉管の使用が望ましい。 ② ベント管／ベントポスト内面は重塗装するか、又は厚さの厚いパイプ又は鋼板製とするのが望ましい。

6.3.5 甲板・外板及び 装品(船首尾を除く)の腐食の傾向と防食対策

表 6.3.5-1 甲板・外板及び 装品(船首尾を除く)の腐食の傾向とメンテナンスフリー対策

区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
〔1〕 甲板	① 艩口間甲板	u	+	普通塗装
	② ブルワーク基部の甲板	u	+	"
	③ 空気抜管、測深管の貫通部甲板	u	+	"
	④ 甲板機械直下の甲板	u	+	"
〔2〕 外板	⑤ 水線部の船側外板	u + g	+	普通塗装
	⑥ 乾舷・吃水マークと周辺の船側外板	u	+	"
	⑦ 船側外板の溶接線	u	+	"
	⑧ ピルジキール周辺の船側外板	u	+	"
	⑨ 船底外板の盤木跡	u	+	"
〔3〕 装品	⑩ ハッチカバー内面のスティフナー	u	+	普通塗装
	⑪ ハッチカバーの開閉装置(ホイール、クリート etc.)	u	+	"
	⑫ ハッチカバーのタイトニングバー	u	+	"
	⑬ ハッチカバーのパッキン溝	u	+	"
	⑭ 手入れしにくいパイプ	u	+	普通塗装又は亜鉛メッキ
	⑮ 蒸排気パイプ	u	+	" "
	⑯ リモコン用油圧パイプ	u	+	" "
	⑰ パイプバンド	u	+	普通塗装
	⑱ パイプサポート	u	+	"
	⑲ パイプカバー	u	+	"
	⑳ ステイワイヤー	u	+	無塗装又は亜鉛メッキ
	㉑ フォールワイヤー(舷梯、救命艇)	u	+	" "
	㉒ ハンドレール及びスタンション	u	+	亜鉛メッキ+普通塗装
	㉓ 通風筒の内面及びダンパー	u	+	普通塗装
	㉔ 空気抜管、測深管の基部	u	+	"
	㉕ 甲板機械、揚貨機械のカバー	u	+	"
	㉖ 甲板機械、揚貨機械のリモコンスタンドとステージ	u	+	"
	㉗ ウインチプラットホーム	u	+	"

概略図	メンテナンスフリー対策
 <p>The technical drawings illustrate various ship components and their maintenance-free measures:</p> <ul style="list-style-type: none"> Top Drawing: Shows a cross-section of a hull structure with numbered callouts (1-27). Callouts include: 1 (Deck plate), 2 (Hatch cover), 3 (Bulwark), 4 (Deck plate), 5 (Bulwark), 6 (Deck plate), 7 (Bulwark), 8 (Bulwark), 9 (Bulwark), 10 (Hatch cover), 11 (Hatch cover), 12 (Hatch cover), 13 (Hatch cover), 14 (Hatch cover), 15 (Hatch cover), 16 (Hatch cover), 17 (Hatch cover), 18 (Hatch cover), 19 (Hatch cover), 20 (Hatch cover), 21 (Hatch cover), 22 (Hatch cover), 23 (Hatch cover), 24 (Hatch cover), 25 (Hatch cover). Middle Drawing: Shows a detailed view of a hatch cover mechanism. Bottom Left Drawing: Shows a detailed view of a pipe fitting. Bottom Right Drawing: Shows a detailed view of a wire assembly. 	<ol style="list-style-type: none"> ① 甲板上面を面一に工作し、塗装又は塗料のグレードアップ ② 増塗又は塗料のグレードアップ ③ // ④ 機械台をエンクローズドタイプとし、内面を重塗装、外面を増塗 ⑤ 増塗又は重塗装 ⑥ 乾舷・吃水マークをステンレスに材質変更。周辺部を増塗又は重塗装 ⑦ 溶接部の下地二次表面処置の徹底と増塗又は重塗装 ⑧ 増塗又は重塗装 ⑨ キールプレートに重塗装。入渠時計画的に盤木位置をずらす。 ⑩ 端面の増塗又はシャープエッジをラウンド加工 ⑪ 増塗又は塗料のグレードアップ ⑫ タイトニングバーにステンレスの丸棒を溶接 ⑬ 重塗装 ⑭ 増塗又は重塗装 ⑮ パイプをアルミメッキ加工 ⑯ 重塗装又は銅管に材質変更 ⑰ 手入れ出来ない裏面を増塗又は塗料のグレードアップ ⑱ 手入れしにくい裏面を増塗又は塗料のグレードアップ ⑲ // ⑳ 出来ればワイヤーをステンレスとするのが望ましい。 ㉑ ワイヤーをステンレスに材質変更 ㉒ 増塗又は塗料のグレードアップ ㉓ // ㉔ // ㉕ // ㉖ // ㉗ //

6.3.6 船首尾タンク、船首尾外板及び甲板、機関室、儀装品の腐食の傾向と防食対策

表 6.3.6-1 船首尾部、機関室、儀装品の腐食の傾向とメンテナンスフリー対策

区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
船首尾外板	① 船首船側外板の鷲曲部	u	+	普通塗装
	② 船首ビルジ外板のアンカー擦れ	u	++	"
	③ 船底外板盤木跡	u	++	"
	④ 船外吐出管の外板面	u	+	"
	⑤ シューピース周辺	p	++	"
	⑥ 吃水マーク周辺	u	+	"
船首尾甲板	⑦ 甲板機器台の直下	u	++	タールエボ塗装
	⑧ ブルワーク基部	u	+	普通塗装
	⑨ ビルジハット	u	++	"
	⑩ ストアー内甲板	u	+	"
船首尾深水槽	⑪ 内構部材・隔壁の開口部、切口周囲	u	++	甲板下横桁の深さまではタールエボ塗装。 他は電気防食
	⑫ ブロック継手周辺(含工事穴)	u	+	"
	⑬ パンティングストリンガー等水平構造部材の上面	u	++	"
	⑭ タンク上部デッキ裏	u	+	"
	⑮ 内構骨部材のフリーエッジ	u	+	"
	⑯ 内構部材の外板及び隔壁との隅肉溶接部	u, g	+	"
	⑰ 内構骨部材の裏面	u	+	"
	⑱ 内構部材の溶接裏面熱影響部	u	+	"
機関室	⑲ 清・海水ポンプ下部甲板	u	++	普通塗装
	⑳ ボイラー、造水器、圧力タンク、クーラー類の下部甲板	u	++	"
	㉑ ビルジプラケット	u	++	"
	㉒ F.O 或いは D.O 置タンク近傍の船首隔壁	u	+	機関室内は普通塗装。船首側タンク内は甲板下 1.5 m を除き他は電気防食。

概略図	メンテナンスフリー対策
	<p>船首尾外板</p> <ul style="list-style-type: none"> ①② 湾曲外板は全面重塗装が望ましい。 アンカー擦れによる塗膜の損傷は電気防食の併用が有効である。
	<ul style="list-style-type: none"> ③ "K"板については、新造時ブロック塔載前に重塗装を行ない、更に盤木によるキズがつかないよう処置すること。 ④ 吐出管は水切りの良い端部構造として下方の外板面は重塗装が望ましい。 ⑤ シューピース周辺は、サンドブラストの上、FRPコーティングが望ましい。 ⑥ 吃水マークは、ステンレスに材質変更とする。
	<p>船首尾甲板</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑦ 機器台はエンクローズド構造が望ましい。 ⑧⑨⑩ 溜水部は部分的にでも重塗装としたい。
	<p>船首尾深水槽</p> <ul style="list-style-type: none"> 全面重塗装とし(例えは、タールエポの場合膜厚を200μ以上とする)。更に電気防食の併用が望ましい。(5~10mA/M²) ⑪⑫ 部材の切口及びフリーエッジはR加工を行ない、増塗をするのが望ましい。 ⑬⑭ 現場溶接部及び焼損箇所は下地処理を入念に行なう。(St 3程度のグレードとする) ⑮⑯ 隅肉溶接部、特に水平部材の溜水箇所は増塗としたい。 ⑰⑱ 内構部材の裏面等は、先行塗装が必要。 ⑲ 溶接部周辺の下地処理と先行塗装。
	<p>機関室</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑲~⑳ 高温多湿部及び手入れ困難な場所は重塗装が必要。 裏面がタンクの場合は、同様に重塗装が必要。

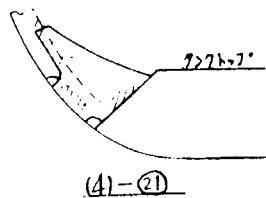
区画	腐食しやすい部材	腐食状態		現在の防食
		種類	程度	
装 品	㉙ ベンチレーターのルーバー及びダンパー ㉚ 保護カバー、踏板、操作台 ㉛ 鋼製水密扉、蓋類 ㉜ タンク内パイプ、バルブロッド及びパイプバンド ㉝ 暴露甲板上金網、ワイヤー類 ㉞ スイッチ、スピーカー等市販電装品 ㉟ 架台の水平桁 ㉟ 舷梯裏板等手入困難な部材	u u u u u u u u	卅 卅 廿 廿 廿 + + +	普通塗装 "/ "/ 電気防食 亜鉛メッキ 普通塗装 "/ "/

概

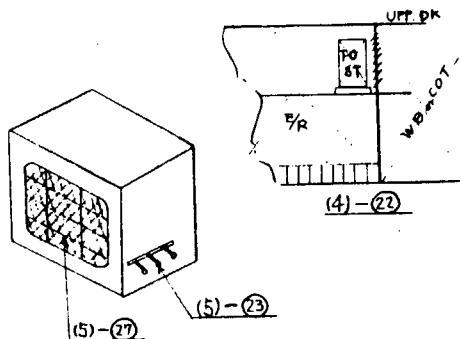
略

図

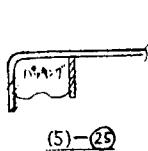
メンテナンスフリー対策



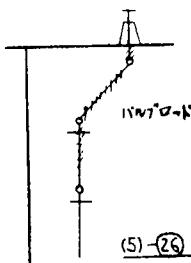
(4)-②1



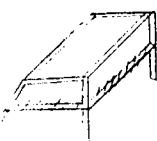
(5)-②3



(5)-②5



(5)-②6



(5)-②7

機 装 品

㉓ ベンチレーターのダンパー羽根は重塗装又はステンレスとし、軸はステンレスに材質変更が望ましい。

内部は重塗装が必要。

㉔ 保護カバー、踏板はグレーチングとするか、或いは取外し手入れが可能なようにステンレスのボルトで取付とする。

㉕ 水密扉のパッキング構は重塗装しておくのが望ましい。

㉖ タンク内機 装品は全て重塗装とし、特に摺動部はステンレスが望ましい。

㉗ 金網はステンレス、枠は亜鉛メッキとする。

㉘ 市販品の塗装品質を向上させるよう指導を行なう。メッキの場合は重メッキとする。

㉙ 発錆すると、補塗装のための下地処理が困難な部位については、新造時より重塗装としておくことが望ましい。

㉚ 舢 梯 の裏板等手入れ困難な物はアルミ、合 金製とすることが望ましい。

鋼製の場合は、裏板が省略可能な構造とする。

又、舷梯格納装置の裏面は、手入れ可能な構造とし、重塗装が望ましい。

6.4 船体構造の防食対策の問題点

6.4.1 重塗装と品質管理

船体構造の内部構造に徹底した防食を行うことはメインテナンス上きわめて有効である。この防食にはタルエボキシ樹脂系の塗料や亜鉛系の塗料が一般に用いられているが、下地処理の不完全や塗膜の厚さが薄いと塗膜がはがれたり赤錆を生じたりして補修塗装が必要となり、効果が少ない。したがって、これらの塗装を行う場合には下地処理から塗装、乾燥にいたるまで一貫した作業標準の確立と品質管理の徹底が必要となる。

メインテナンスフリー船の建造には重塗装は不可欠であり、その範囲は従来よりはるかに広いことが必要となってくるので、塗装作業とその管理方法の見直しを行い、マニュアル化をはかるべきと考えられる。

6.4.2 フリーエッヂ、角部の塗装

船体内部材のフリーエッヂ（面材の端面、開口部の端面）や形鋼の角部は塗膜の厚さが充分でなく、4～5年目でかなり赤錆を生じている。このような箇所へ一様な厚さの塗膜をつけることはかなり困難であるが、かどの部分を丸く仕上げることによって塗膜厚さの不均一をかなり減少させることができるとなる。角を丸める作業は現在グラインダ仕上げが行なわれているが、騒音や労働条件の点で問題があり、何らかの解決法が必要と考えられる。

現在、形鋼や平鋼の圧延作業時にロールの形状配置によってある程度の丸味をつけることは検討されているが、実用化のためには価格や工作（溶接）になお検討を要する問題を含んでいる。

6.4.3 溶接と熱影響をうけた箇所の塗装

溶接部や熱加工をうけた箇所の重塗装は完全ではなく、はがれや赤錆を生じている箇所がかなりある。溶接部は余盛りやすみ肉によって形状の不連続がある上、表面の状況も母材のように滑らかではない。さらに溶接部は水圧試験完了後まで塗装が許されないため、母材におくれて塗装が行われ、乾燥のための充分な期間がとれないことも、塗膜の効果を悪くしていると考えられる。

熱加工をうけた箇所の塗装の効果が充分でないことは、下地処理の点にあるのかも知れないが、今後検討を要すべき事項である。

溶接部や熱加工をうけた箇所に対する下地処理及び塗装法は一応対策が立てられているが、実際問題として塗装の不完全さが目立っており、作業方法と管理方法の見直しと改善された方法のマニュアル化が必要と考えられる。

7. 結 言

メインテナンスフリー船の建造に際し問題となる有害な工作欠陥の排除、構造欠陥に起因する損傷の実態、今後問題となる振動疲労、船体構造の腐食と対策について調査研究を行った。その結果大要次のとおりの結論を得た。

- (1) 現段階で考えられる船体構造のメンテナンスフリーとして次の条件を満足することを目標とする。
 - ① 構造設計に起因する損傷は就航後8年間は殆んどなく、工作欠陥に起因する損傷は船一生の間殆んどないこと。
 - ② 就航後8年間は水線部それ以下を除き塗装補修の要はない、船一生を通じ腐食耗による部材の取替えがないこと。
- (2) メンテナンスフリーに対する上において支障となる工作欠陥は目違い、変形、部材の間隙、溶込不足、アンダカット、脚長不足、ガスノッチ、溶接忘れ、部材の取付忘れ、誤作であり、いずれもJSQSの許容限界を逸脱するものにかぎられている。これらの工作欠陥を防ぐ品質管理と検査のかんどころに関し、28の造船所についてアンケート調査を行い、現実性のある資料を提供した。
- (3) 50 Kg/m^2 高張力鋼の突合せ継手に溶接欠陥のあるものについて疲労試験を行い、軟鋼の場合と同様ブローホールは余盛継手では無害であること、溶込不足による疲れ強度の低下は高張力鋼継手の場合の方がいちぢるしいことが分かった。また、軟鋼の継手で溶込不足のある場合の信頼性評価を行い、溶込不足の深さが板厚の10%以下程度では縦強度部材で疲れ強度には殆んど影響を与えないが、10%以上となるとかなり疲れ強度に関する信頼性が低下することが予想された。
- (4) 船令8~10年までの就航船舶で構造設計に起因する損傷がどのような部材にどの程度に起っているかについて、貨物船、ばら積み船、油槽船について調査を行った。その結果、一般貨物船やばら積み船では油槽船にくらべて損傷はきわめて少ないが、倉内肋骨や梁と肘板との付根、特設肋骨とその下端に損傷が多いことがわかった。一方油槽船については各タンクともスロット周りの損傷、桁のウェブや隔壁板の損傷が目立って多いが、いずれも類型的なもので、総合的に対策の立てやすいものであることがわかった。
- (5) 大型船の内部材で振動疲労による損傷は今後メンテナンスフリー船建造にあたり問題となるものであるが、タンク内部材の振動特性の解明予測が必要となるため、実船について振動計測を行った。その結果、タンク内部材では大骨の面内振動を除き、振動に関しては各部材の相互関係は少なく、それぞれ単独に振動しており、必要な部材の振動特性はそれだけ取出して計算しても予測できることが分かった。
- (6) 船体構造のメンテナンス上もっとも影響するところの大きい構造部材の腐食とその対策については、貨物船、ばら積み船及び油槽船についてそれぞれ従来の経験と今回行った実船調査の結果からメンテナンスフリー船のための防食対策を立案した。本対策実施上特に解決を要すべき点はタンク内部材のフリーエッジ、余盛り溶接部、熱加工等を多くうけた箇所の塗装で、8年間は塗装の補修をなしでませるにはなお検討すべき問題点を残している。