

日本船舶振興会昭和 45 年度補助事業

“船体の構造計算方法の精密化に関する開発”

研究資料 No.140

第 124 研 究 部 会

大型鉋石運搬船の船首部波浪荷重 および鉋石圧に関する実船試験

報 告 書

昭和 46 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

は し が き

本報告書は日本船舶振興会の昭和45年度補助事業「船体の構造計算方法の精密化に関する開発」の一部として、日本造船研究協会が第124研究部会においてとりまとめたものである。

第124研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	高橋幸伯（東京大学）		
幹事	安藤文隆（船舶技術研究所）	尾花皓（運輸省）	
	川上益男（広島大学）	郷田国夫（船舶技術研究所）	
	土井進一（大阪商船三井船舶）	長沢準（船舶技術研究所）	
	藤田純夫（三菱重工業）	前田久明（東京大学）	
	元良誠三（東京大学）	山口勇男（日本海事協会）	
	山本善之（東京大学）		
委員	明田弘一郎（飯野海運）	井上博之（舞鶴重工業）	
	梅根弘毅（三光汽船）	岡田正次郎（日立造船）	
	岡田高（沖電気工業）	緒方洋二（新和海運）	
	上藤道雄（大阪造船所）	桑山則男（住友金属工業）	
	小坂正夫（協立電波）	小林実（北辰電機製作所）	
	佐伯庄吾（三井造船）	滋野正明（佐野安船渠）	
	高城清（川崎汽船）	高屋鋪尙史（出光タンカー）	
	田中磯一（光電製作所）	田辺正雄（かもめプロペラ）	
	縄田卓生（三菱重工業）	難波篤直（川崎重工業）	
	福田淳一（九州大学）	藤野淳（昭和海運）	
	松山辰郎（富士通）	三沢敏夫（住友重機械工業）	
	三島尙三（名村造船所）	望月勇（臼杵鉄工所）	
	森川卓（日本船主協会）	米谷満哉（日本郵船）	
	渡辺次郎（函館ドック）	綿屋悟郎（佐世保重工業）	

乗船計測員名簿（敬称略、順不同）

縄田卓生（三菱重工業）	真崎鉄如（三菱重工業）
-------------	-------------

目 次

1.	ま え が き	1
2.	試 験 の 概 要	2
2. 1	試 験 船 主 要 要 目	2
2. 2	試 験 期 間、航 路 お よ び 計 測 員	2
2. 3	計 測 項 目 お よ び 計 測 位 置	2
2. 4	計 測 お よ び 記 録 装 置	3
2. 5	計 測 方 法	8
3.	計 測 結 果	2 0
3. 1	海 象・気 象	2 0
3. 2	波 浪 荷 重	2 0
3. 3	船 体 応 力	2 0
3. 4	波 浪 計 測	2 0
4.	理 論 計 算	4 3
4. 1	鉾 石 運 搬 船 の 横 強 度 計 算	4 3
5.	考 察	4 6

1. ま え が き

最近の大型鉾石運搬船はその船殻構造、一般配置、積荷状況等が従来の小型鉾石運搬船や一般貨物船とは著しく異なるため、船体の構造、強度に関して特異な問題があると思われる。本研究はこれら特異な問題点を取りあげて検討するため、波浪中航走時における波浪荷重および鉾石圧、荷役時における鉾石圧を実船において計測し、その時の外界状況、本船状態などを考慮して、その実態をあきらかにしようとするものである。

1 昨年および昨年と2度にわたり、大型鉾石運搬船の痛ましい海難事故が発生した。これらの事故原因を究明し、その見地的防止策をたてることも急務ではあるが、本研究は直接それを目的としたものではなく、大型鉾石運搬船の就航時における船体各部の外力に対する応答の実情、問題点の摘出に努め基礎的資料を求めることに重点をおいた。

本会は3ヶ年計画で第124 研究部会を設置し、日本船舶振興会の補助金を得て本研究を実施した。

本年度は日本船主協会の御好意により、大阪商船三井船舶㈱“笠木山丸”について1航海の計測を行なった。今回の計測には新たに製作した計器を搭載したため、それらの作動テストに主眼をおいた。

計測項目は波浪荷重、鉾石圧、船体応力、船体運動、波浪の5種類で、その他に気象、海象を目視あるいは本船装備の計器で観測すると共に本船状態を調査した。

計測後間もなく、また、来年度も引き続き同船において同様の実験を続行するために、データ整理、解析も緒についたばかりで結論を述べる段階には至っていないが、一応以下に結果の概要を報告する。

本研究に御協力をいただいた日本船舶振興会、日本船主協会、大阪商船三井船舶㈱、三菱重工業㈱および笠木山丸の関係者各位に心から謝意を表する次第である。

2. 試験の概要

2.1 試験船

大型鉱石運搬船、笠木山丸について試験を行なった。笠木山丸の概略図を図2.1に示す。主要要目は次のとおりである。

船主	大阪商船三井船舶株式会社
建造所	三菱重工業(株)広島造船所
竣工	昭和45年11月30日
長さ(垂線間)	247.00m
幅	40.60m
深さ	23.00m
満載吃水	16.00m
満載航海速力	14.80kt
載貨重量	117,571t
機関出力	22,400HP

2.2 試験期間、航路および計測員

(1) 計測期間

第1回計測 昭和46年1月26日より昭和46年3月26日

(2) 計測航路

福山からチリのガヤカン間の南米航路で第1回の計測を行なった。往復航の航路図を図2.2に示した。

(3) 計測要員

本部会委員の縄田卓生(三菱重工広島造船所)および真崎鉄如(三菱重工広島研究所)の2名が乗船して計測を行つた。

2.3 計測項目および計測位置

(1) 波浪荷重

荒天時に船体に働く衝撃波圧力の計測を中心として、航海中に船体に働く波浪荷重を計測するために、FPの水線より上部の船側外板に1点、フォアピークタンク内Fr.881/2 左右舷の船側外板に合計8点、右舷側船底外板に1点、No.1バラストタンク内Fr.841/2 左右舷の船側外板に合計10点、左舷側船底外板に1点およびNo.3バラストタンク内Fr.641/2 左舷側船側外板に2点船底外板に1点、総計24点、外板に34mm ϕ の開孔を設け水圧計をとりつけた。

これらの水圧計とは別に、サイドロンジのフェイスの応力を計測することにより船体に働く波浪荷重を求めた。そのために、フォアピークタンク内 $F_r \cdot 88 \frac{1}{2}$ 左右舷のサイドロンジのフェイスに合計 6 点、No.1 バラストタンク内 $F_r \cdot 84 \frac{1}{2}$ 左右舷のサイドロンジのフェイスに合計 12 点および $F_r \cdot 80 \frac{1}{2}$ 左舷側サイドロンジのフェイスに 6 点、総計 24 点抵抗線歪ゲージをとりつけた。これらの水圧計および抵抗線歪ゲージのとりつけ位置を図 2.3～図 2.8 に示した。

(2) 鉤石圧力

積荷時および積卸時の鉤石圧力および航海中の鉤石圧力の変動量を計測するために、No.1 バラストタンク内 $F_r \cdot 80 \frac{1}{2}$ および $F_r \cdot 84 \frac{1}{2}$ 左舷側の縦通隔壁付ロンジのフェイスに合計 10 点、抵抗線歪ゲージをとりつけた。これらの抵抗線歪ゲージのとりつけ位置を図 2.4 および図 2.5 に示した。

(3) 船体応力

船体の波浪による縦曲げ応力を計測するために、 $F_r \cdot 64 \frac{1}{2}$ (船体中央部) 左右舷の上甲板に 2 点、 $F_r \cdot 80 \frac{1}{2}$ 左舷側の上甲板に 1 点、 $F_r \cdot 84 \frac{1}{2}$ 左右舷の上甲板に 2 点、および $F_r \cdot 88 \frac{1}{2}$ 左右舷の上甲板に 2 点、合計 7 点抵抗線歪ゲージをとりつけた。

(4) 船体運動

船体運動を計測するために、居住区に船体運動計測装置をとりつけた。

(5) 波 浪

船首近傍の立体的波浪分布を計測するために、コンパスデッキにステレオカメラをとりつけた。衝撃波圧力が船体に働くような荒天時の波高頻度分布を計測するために、投込み式波高計を用いた。

(6) 気象、海象、本船状態

風力、風速、風浪、うねり、その他気象、海象はすべて本船側の記録を用いた。船速は船の速度計により記録した。

2.4 計測および記録装置

(1) 概 要

計測項目と記録装置との関係を一覧表にして表 2.1 に示す。

表 2.1 計測項目および記録装置

計測項目	ピックアップ	計測装置	記 録 器
波 浪 荷 重	水 圧 計	多点切換ボックス	電磁オツシログラフ デジタル・データレコーダ アナログ・データレコーダ
	抵抗線歪ゲージ	動 歪 計	
鉍石圧力	抵抗線歪ゲージ	低域濾波器	電磁オツシログラフ
船体応力	抵抗線歪ゲージ		
船体運動	船 体 運 動 計 測 装 置		デジタル・データレコーダ
波 浪	投込式波高計	波高計受信器	記 録 計
	ステレオカメラ		

(2) 水圧計

水圧計の仕様を表 2.2 に構造図を図 2.9 に示す。

表 2.2 水圧計仕様

定 格 容 量	5 Kg/cm ²
最大許容負荷	定格負荷の 150%
定 格 出 力	$2000 \pm 10\% \times 10^{-6}$ strain (1mv/v)
入出力抵抗	350Ω ± 1%
最大ブリッジ電圧	6 V
直 線 性	± 1% F・S
使用温度範囲	0℃ ～ 60℃
温 度 特 性	定格出力の ± 0.005% /℃

(3) ひずみゲージ

水中でのひずみ計測を行なう点が多く、ひずみゲージの防水処理を十分に行なう必要があるが、入渠中の短期間に多数点の計測準備を行なうにはいろいろ難点があるので、今回の試験では図 2.10 に示すような防水ゲージをあらかじめ用意しておき、現場に取付けたゲージプロテクター（図 2.11）によつてゲージ貼付けと、防水処理、機械的保護を同時に行なう方式をとつた（図 2.12）。この方式を採用することによつて、

- i) ゲージの防水処理が地上において入念に施工できること
- ii) 現場の貼付け、圧着、コーティング、機械的保護などの作業が連続してできるので工期を短縮できること
- iii) ゲージ貼付作業と導線キャブタイヤの配線工事が独立して進行できること
- iv) 圧着端子接続を利用することによつて、ハンダ付け作業が不要となり、作業用電源も不要で、接続部の信頼性も高めることができること

などの利点があり、大幅にゲージ関係の労力節減、工期短縮を達成することができた。

(4) 船体運動計測装置

船体運動計測装置の仕様を表 2.3 にブロック図を図 2.13 に示す。

表 2.3 船体運動計測装置仕様

最大出力	角度、速度、変化	D C 1K Ω , ± 10 V D C 30 Ω , ± 10 mA
	加速度	D C 1K Ω , ± 2 V D C 30 Ω , ± 10 mA
出力特性	角 度	1.5 %
	加速度	1 %
	速 度	1 %
	変 位	1 %
出力感度	角 度	± 10 V / $\pm 10^\circ$
	加速度	± 0.4 V / $\pm 100 \times 10^{-6}$
	速度、変位	± 10 V
周波数応答	5 cps 以上までフラット (加速度を除く)	

(5) 投込式波高計

投込式波高計の仕様を表 2.4 に構造図を図 2.14 に示す。

表 2.4 投込式波高計仕様

無 線 周 波 数	40.68 MHz
無 線 方 式	FM-FM
送 信 出 力	1 W
通 達 距 離	10 Km
送 信 部 動 作 時 間	1 時間
電 源	D C 24 V
測 定 可 能 波 高	1 m ~ 15 m 誤差 5 %
測定可能うねり周期	2 秒 ~ 20 秒

(6) ステレオカメラ

船首方向の波浪分布をステレオカメラにより撮影し、これを写真図化機で図化測定する。ステレオカメラの外観図を図 2.15 に示す。

(7) 多点切換ボックス

多点切換ボックスの仕様を表 2.5 に示す。

表 2.5 多点切換ボックス仕様

計 測 点	6 チャンネル、総測定点数 30
測定 範 囲	動歪計の測定範囲に同じ
使用ゲージ	標準 120 Ω , 60 Ω ~ 1000 Ω 測定可能
平衡調整器	抵抗 $\pm 0.6 \Omega$ 容量 2000 PF
安 定 度	安定度零点移動はスイッチイン 20 分後より 1 時間毎に 5×10^{-6}

(8) 動歪計仕様

動歪計の仕様を表 2.6 に示す。

表 2.6 動 歪 計 仕 様

測 定 点 数	8 点
静的歪測定	0 ~ 1 % 精度 3 % 以内
動的歪測定	低インピーダンス 標準感度 3mA/100$\times 10^{-6}$ 直 線 性 $\pm 18 \text{ mA}$ 1% 現象周波数 0 ~ 1000 % 高インピーダンス 1.2V/100$\times 10^{-6}$ 歪 $\pm 8 \text{ V}$ 2% 0 ~ 1000 %
使用ゲージ	60 ~ 1000 Ω
平衡調整器	歪ゲージの抵抗値の偏差 1% 容量 2000 PF
標準歪設定器	$\pm 100, 300, 1000, 3000 \times 10^{-6}$
感 度 調 整	1, 1/3, 1/10, 1/30, 1/100, 0
ブリッジ電圧	5000% $\pm 5\%$ 約 2 V
使用温度範囲	-20 $^{\circ}\text{C}$ ~ +50 $^{\circ}\text{C}$

(9) 低域濾波器

低域濾波器の仕様を表 2.7 に示す。

表 2.7 低域濾波器仕様

周 波 数 範 囲	0.2 ~ 2 KHz
最 小 帯 域 幅	1/6 OCT
入力インピーダンス	1 M Ω
最大入力電圧	5 V
出 力 電 圧	BO 1V 10 K Ω 負荷時
出力インピーダンス	BO 600 Ω MO 10 Ω
切 断 特 性	40 dB/OCT
チャネル数	6 チャンネル
電 源	AC/100 V

(10) 電磁オシログラフ

電磁オシログラフの仕様を表 2.8 に示す。

表 2.8 電磁オシログラフ仕様

記録紙送り速度	0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100 m/sec
光 学 長	330mm
光 源	超高圧水銀灯
刻 時	1, 0.1, 0.01 sec
電 源	AC100V $\pm$ 10V
ガルバノメータ	型式 M-400-23B M-1K-22B

(11) アナログ磁気テープデータレコーダ

アナログ磁気テープデータレコーダの仕様を表 2.9 に示す。

表 2.9 アナログ磁気テープデータレコーダ仕様

記録再生方式	周波数変復調
チャンネル数	7
テープ速度	7.62, 38.1, 15.24, 7.62 cm/sec
連続記録時間	15分, 30分, 1時間15分, 2時間30分

(12) 高速データ集録装置 (DATAC 1500)

高速データ集録装置の仕様を表 2.10 に示す。

表 2.10 高速データ集録装置仕様

マルチプレクサ	入力インピーダンス	10K Ω 不平衡
	最大入力電圧	$\pm 10.24V$
	精 度	$\pm 0.1\%$ フルスケール
	チャンネル数	30チャンネル
AD/DA変換器	入力インピーダンス	10K Ω /10V
	入 力 電 圧	+10.23V $\sim$ -10.24V
	変 換 時 間	80 μ s 以下
	変 換 精 度	$\pm 0.1\%$ フルスケール
磁気テープ装置	テープスピード	32m/s, 1.6m/s, 0.8m/s, 64, 32, 16mm/sec
	テ ー プ 幅	1/2 "
電 源		AC100V $\pm$ 5V
使用温度範囲		15 $^{\circ}$ C $\sim$ 35 $^{\circ}$ C
使用湿度範囲		75%以内

2.5 計 測 方 法

(1) 非衝撃的波浪荷重の計測

船体に働く波浪荷重の短期分布および長期分布の計測を目的として、往航時は $Fr = 6.41/2$,
 $Fr = 8.41/2$, $Fr = 8.81/2$ の船底の水圧計により、復航時は $Fr = 6.41/2$, $Fr = 8.41/2$
 $Fr = 8.81/2$ の水線下の水圧計および歪ゲージにより毎日定時に 10～20 分間計測した。

(2) 非衝撃的波浪荷重随時計測

各断面毎に水圧、鉋石圧および船体応力の同時分布を計測することを目的として、復航時に各波浪階級ごとに 2～3 回随時計測を行つた。

(3) 荒天時の衝撃的波浪荷重の計測

荒天時に衝撃波圧力の出ている水圧計および歪ゲージを選出し、衝撃波圧力の波形、継続時間および最大値の頻度分布を計測した。次いで、荒天時の水圧および鉋石圧の同時分布を各断面ごとに計測した。

(4) 積荷時および積卸時の鉋石圧力計測

積荷時および積卸時に鉋石圧力およびストラットの軸力を積荷或は積卸前後に計測した。

(5) 船体応力計測

船体縦曲げ応力の短期分布および長期分布の計測を目的として、 $Fr = 6.41/2$, $Fr = 8.01/2$, $Fr = 8.41/2$, $Fr = 8.81/2$ の Upper Deck の応力を毎日定時に 10～20 分間計測した。

(6) 船体運動の計測

船体運動の計測は波浪荷重および鉋石圧の全計測時に、ピッチ角、ロール角、横方向の加速度および変位、上下方向の加速度および変位を計測した。

(7) 波浪計測

衝撃的波浪荷重の計測時に投込式波高計により 30 分程度連続的に波高計測を行つた。

波浪荷重および鉋石圧力の全計測時に船首近傍の波浪分布をステレオカメラにより計測した。

計測の主要目を一覧表にして表 2.11 に、計測のブロックダイアグラムを図 2.16 に示す。

表 2・1 1 波浪荷重計測主要目

計 測 対 象				測 方 法						解 析 方 法		
計測種類	荷重種類	計測項目	①	②	③	④	⑤	⑥	計測種類		使用計器	
波 浪 荷 重	衝 撃 荷 重	圧 力 波 形	○	○	○				○	電磁オシシロ (FM式テープレコーダ)	衝撃圧力の波形及び継続時間を読む。 1回の計測の衝撃圧力最大値頻度分布を求める。 水圧計と歪計の比較 ある瞬間の圧力分布及び断面毎の同時分布 断面毎の同時分布 長期分布及び短期分布 圧 力 分 布 圧 力 分 布 鉱石の変動圧力を求める 長期分布及び短期分布を求める	
		圧力同時発生領域	○	○	○	○				○		D A T A C 電磁オシシロ
	非 衝 撃 荷 重	同 時 分 布	○	○	○	○				○		D A T A C 電磁オシシロ
		頻 度 分 布	○	○	○				○			D A T A C
鉱 石 圧 力	静 荷 重	積 載 時				○	○			D A T A C	圧 力 分 布 圧 力 分 布 鉱石の変動圧力を求める 長期分布及び短期分布を求める	
		陸 揚 時				○	○			D A T A C		
	動 荷 重					○	○		○	D A T A C		
船体応力		頻 度 分 布						○		D A T A C	長期分布及び短期分布を求める	
波 浪 計 測									○	ロポント波高計 ステレオカメラ		
船体運動計測									○	動 揺 計		

(注) ① 船側部水圧計

② 船底部水圧計

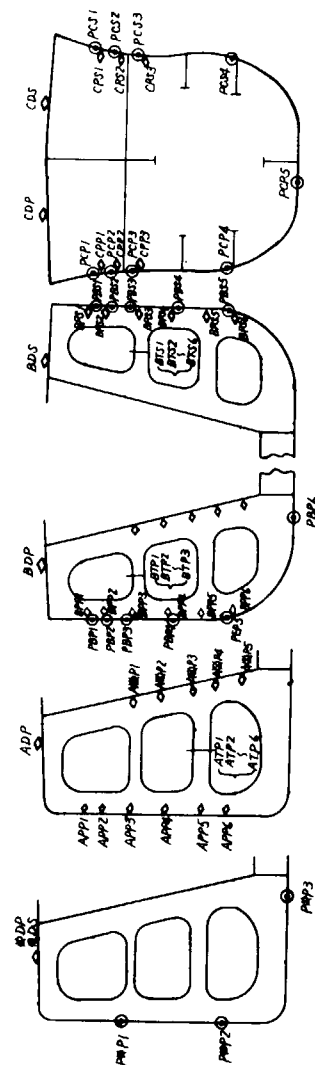
③ 船側外板付 Long 歪計

④ 縦通隔壁付 Long 歪計

⑤ Strut 歪計

⑥ Upper Ring 歪計

Trans Ring Corner 歪計



⑤ - SEC (P-Side)

F80 1/2 - SEC (P-Side)

F84 1/2 - SEC (S-Side)

F88 1/2 - SEC

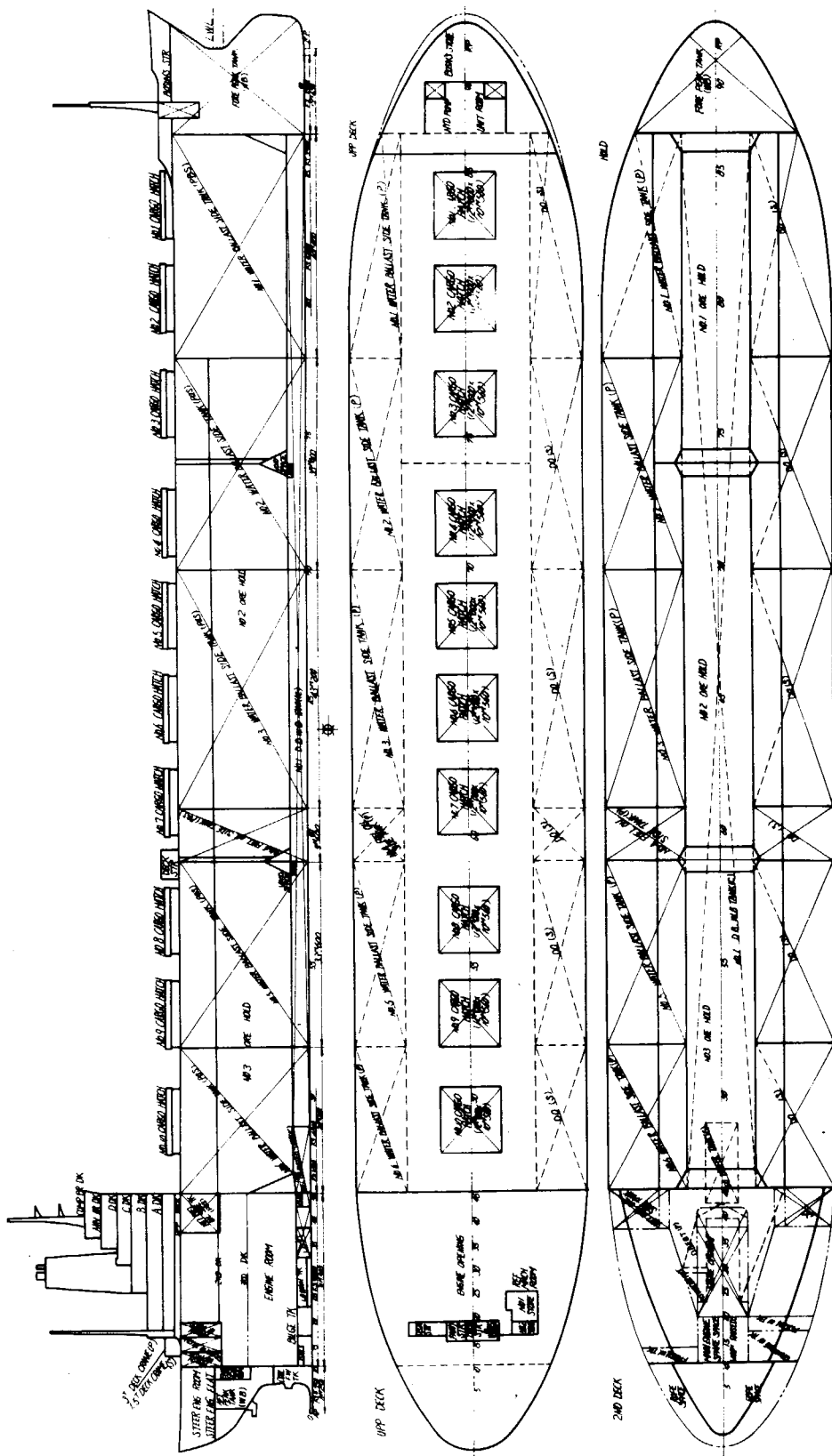


图2.1 笠木山丸概略图

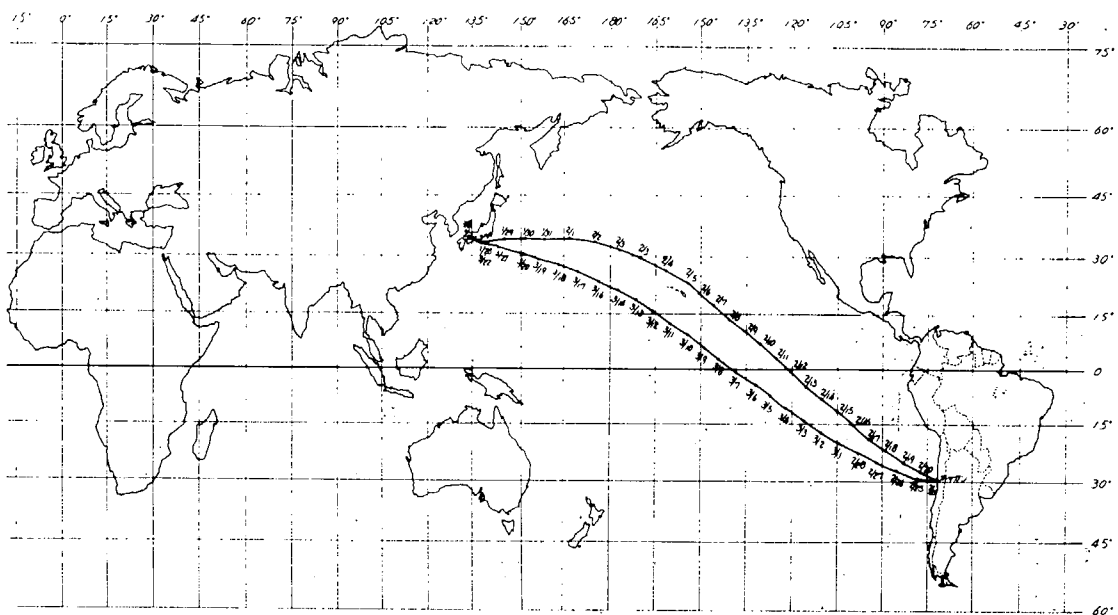


図2.2 笠木山丸航路図

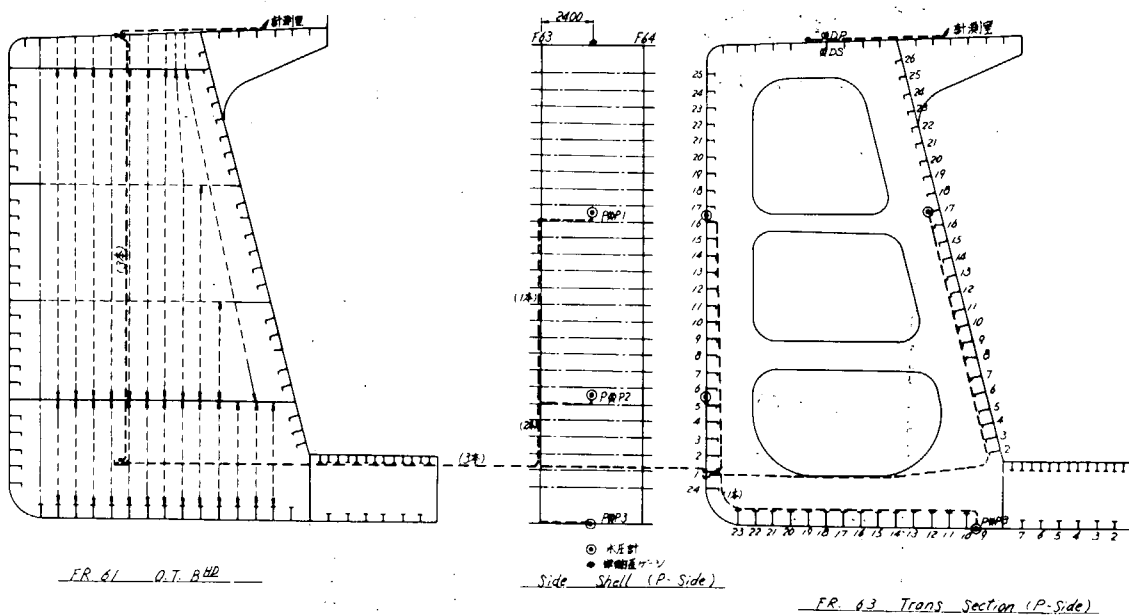


図2.3 6 3 1/2 SECTION 水圧計配置図 (P-Side)

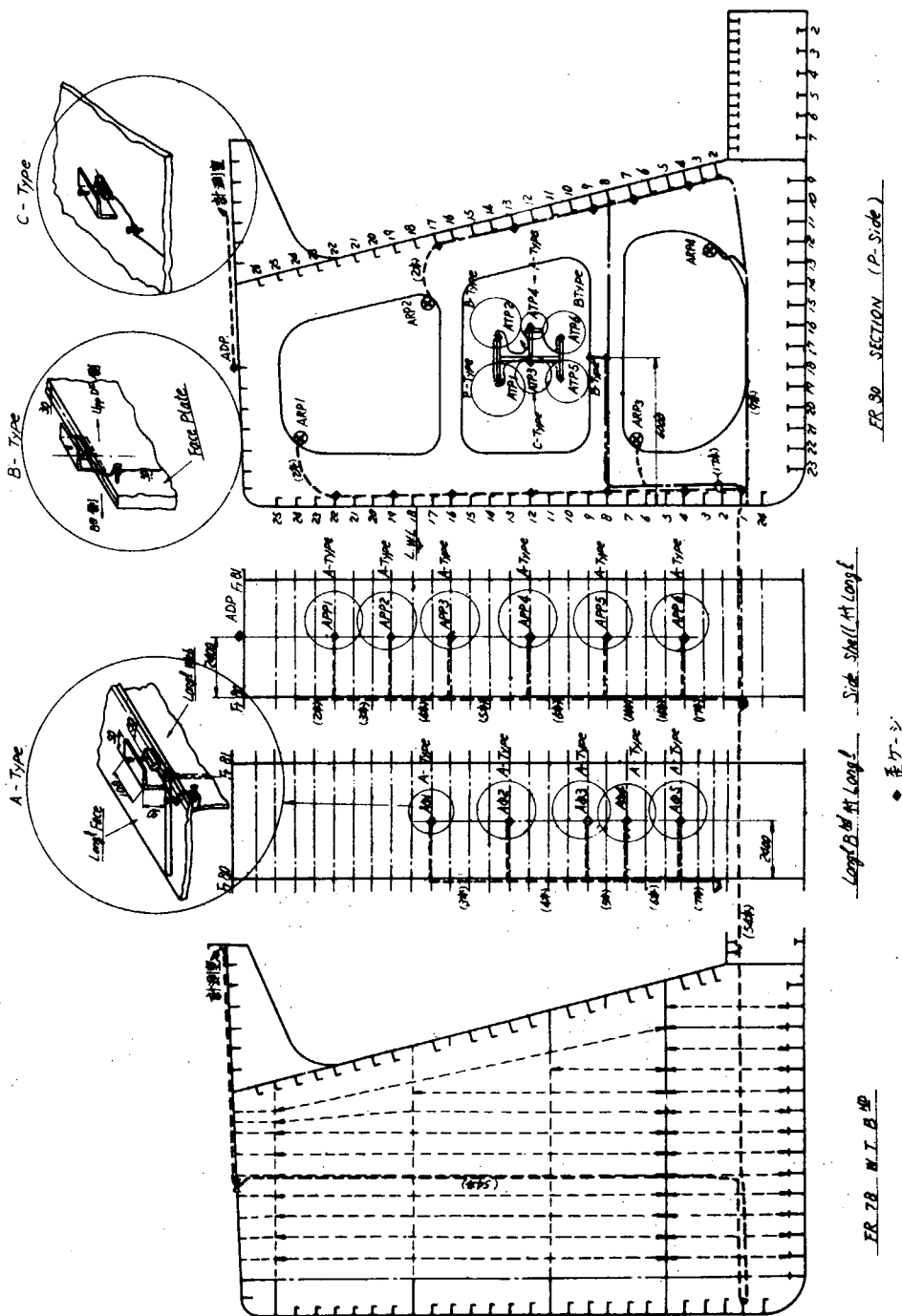


図2.4 歪ゲージ配置 (P-Side)

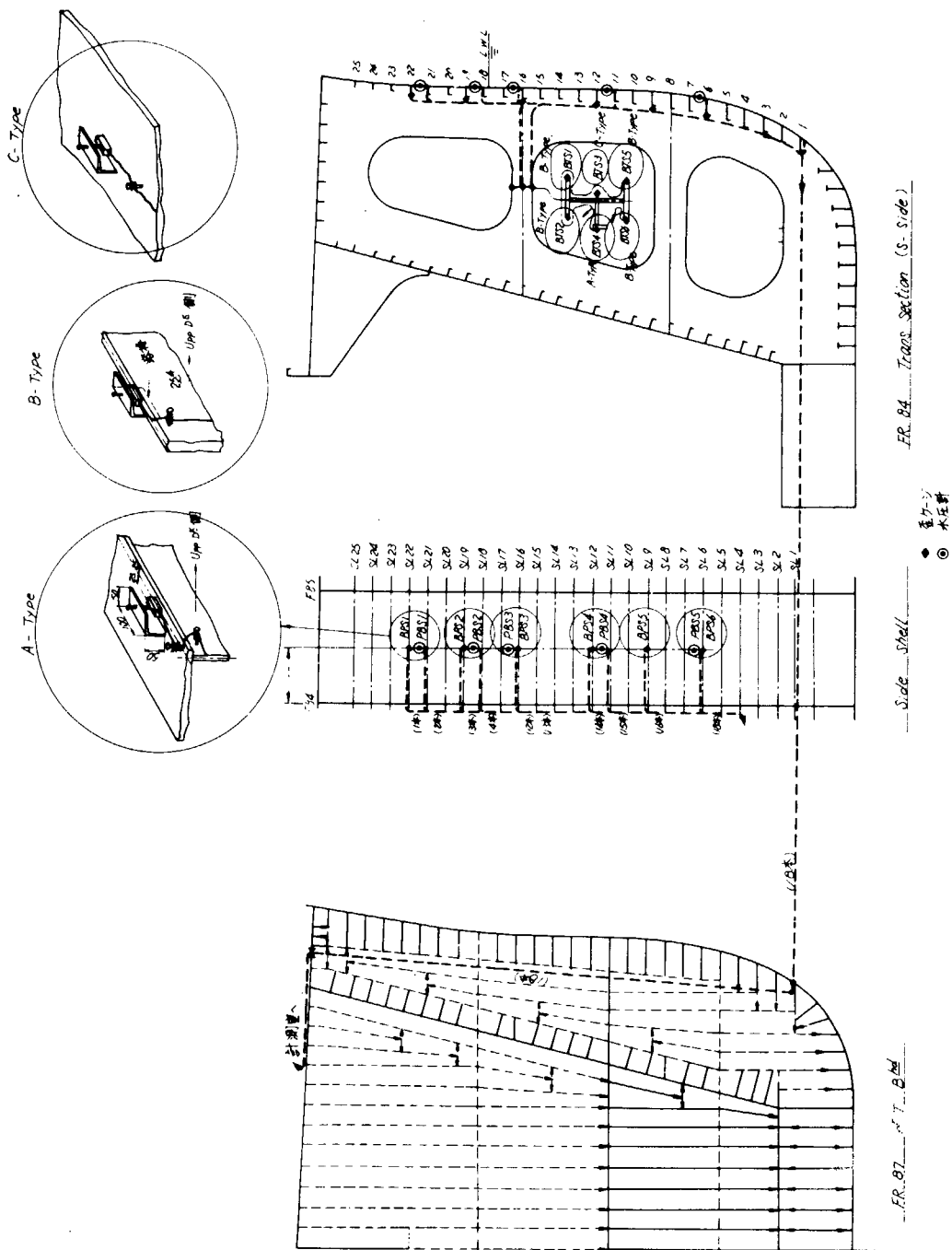


図2.5 水圧計及び歪ゲージ配置 (P-Side)

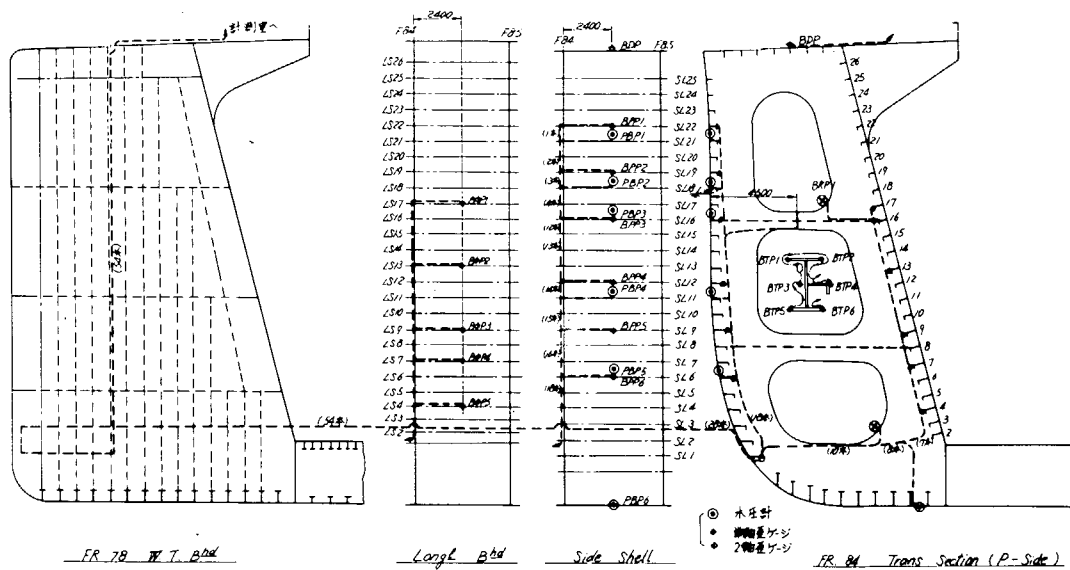


図2.6 水圧計及び歪ゲージ配置 (P-Side)

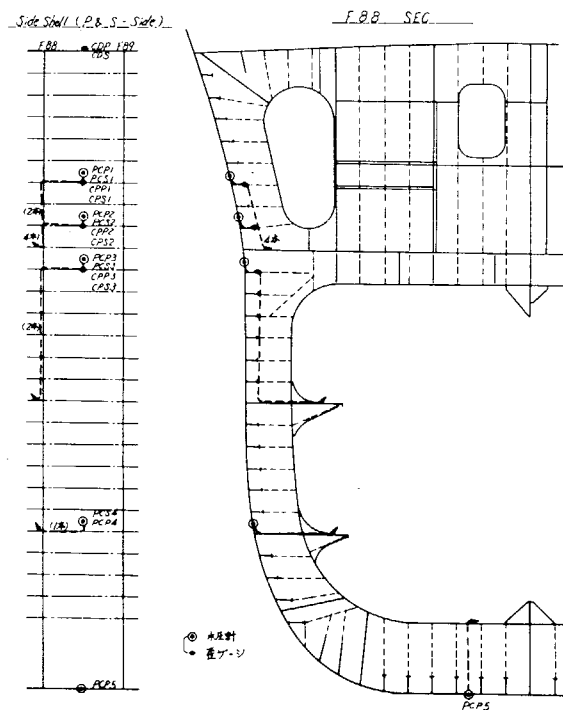


図2.7 水圧計及び歪ゲージ配置

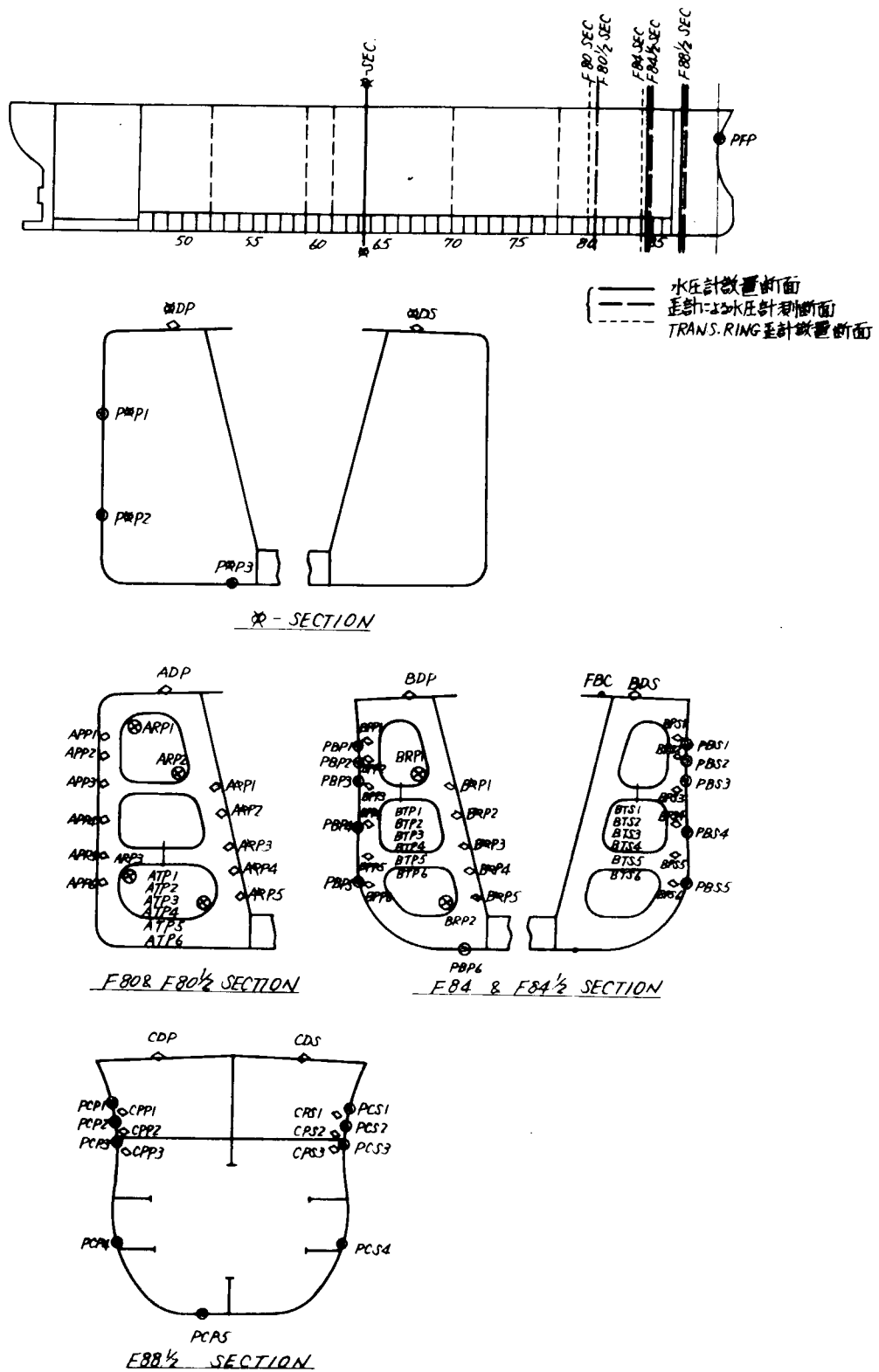
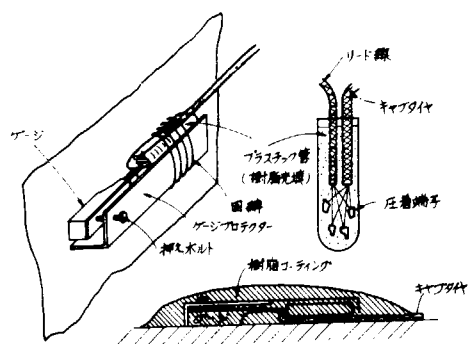
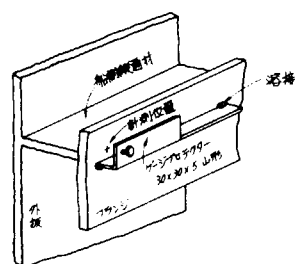
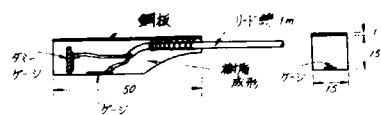
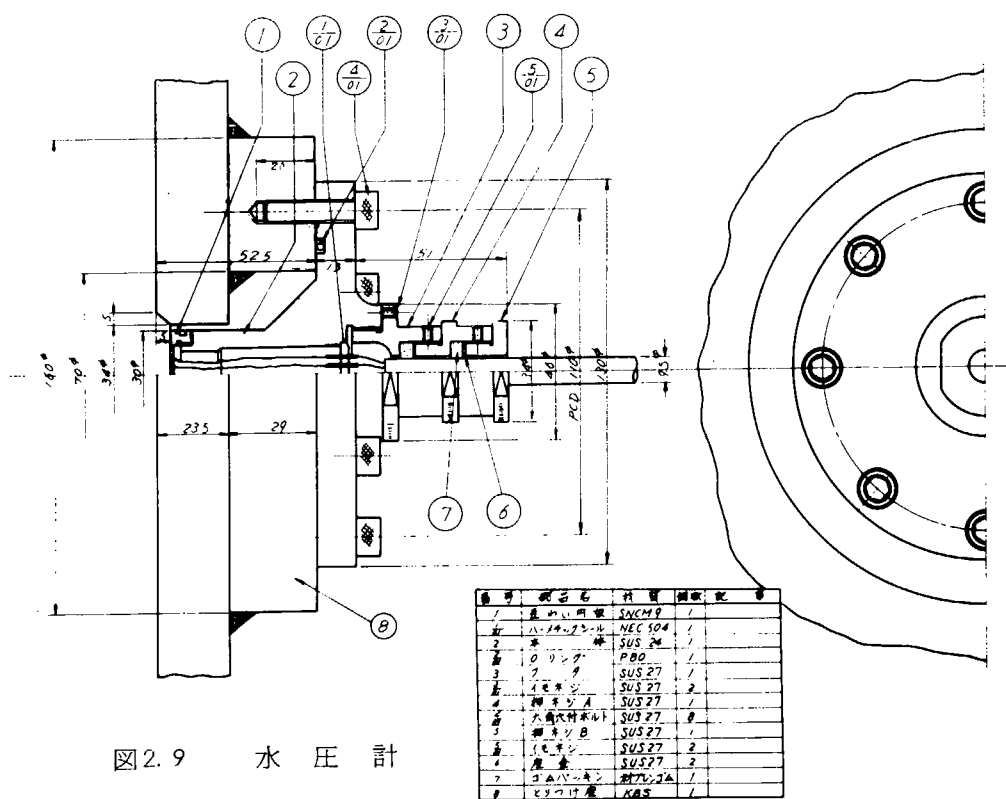


図2.8 水圧計および歪ゲージ配置図



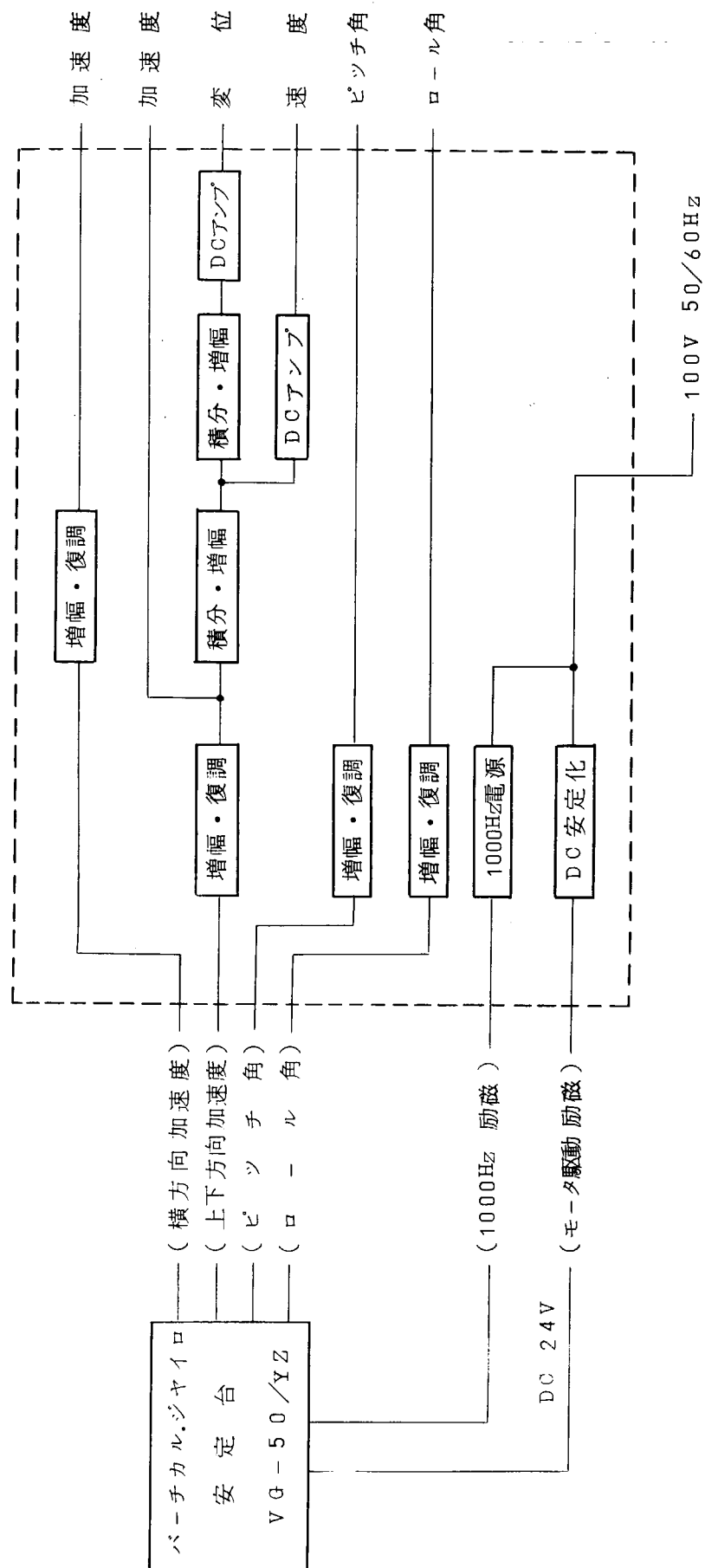


図 2.13 船体運動計測装置ブロック図

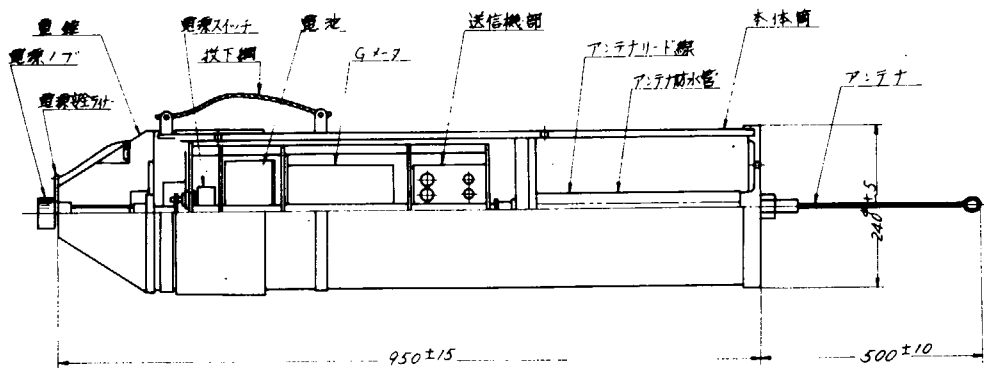


図2.14 投込式波高計

重量 22.5kg ± 2kg

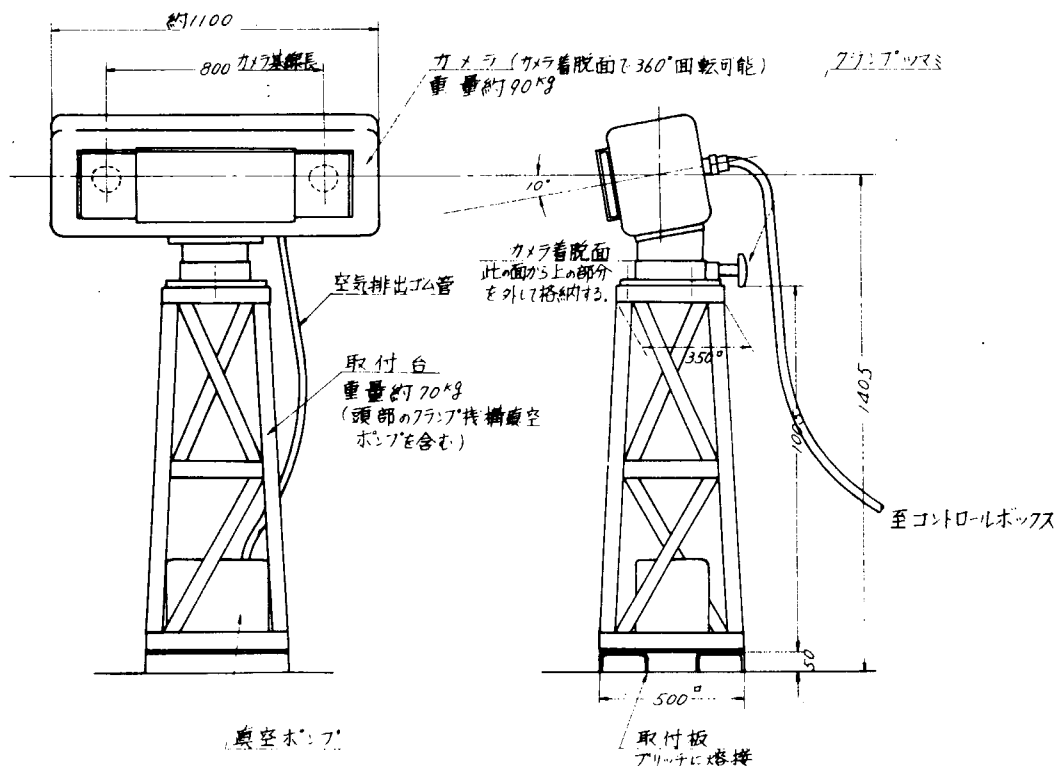


図2.15 ステレオカメラ

3. 計測結果

3.1 海象・気象

福山ーカヤカン間の航海中の海象・気象記録結果を表 3.1 (a)～表 3.1 (c)に示す。

これから判るように、往航時の 1 月 31 日～2 月 3 日の 5 日間風浪階級 6～7 の荒天に遭遇したが、本試験の主計測対象としている復航時には荒天に遭遇せず荒天時計測を実施する機会がなかった。
なお、計測時の本船状態を表 3.2 に示す。

3.2 波浪荷重

図 3.1 ～図 3.4 に船首部衝撃水圧の波形例を示す。

図 3.1 は往航時の荒天時に於ける計測値で、吃水線下の水圧計で計測されたものである。

図 3.2 ～図 3.4 は復航時に風浪階級 4、風力階級 4 と比較的穏やかな海面状態で計測されたものであるが、F.P. 水圧計で最大 10 ton/m^2 、FPT^K 船側水圧計で最大 8 ton/m^2 の圧力が計測された。

波および風向きによつては荒天時でなくとも、この程度の衝撃水圧は船体に働くことが判る。

図 3.5 に FPT^K の船側外板の横断面の衝撃水圧の同時分布を示す。今回の計測結果から衝撃水圧の発生領域を推定することは、衝撃水圧計測データの数が少く不可能である。

図 3.6 ～図 3.23 に船側変動水圧および船底変動水圧の短期分布例を示す。

3.3 船体・応力

図 3.24 ～図 3.30 に船体中央部甲板の縦曲げ応力の短期分布例を示す。

3.4 波浪計測

図 3.31 に投込式波高計による波浪計測結果を示す。

計測結果は表 3.1 (c)から判るように、ほぼ良好な結果が得られていると思われる。

写真 3.1 にステレオカメラによる海面撮影例を示す。

表3.1 (a) 海象・気象観測記録

計測日	天候	波 浪						風 力			船 速 (knots)	ブ ロ ベ ラ 回転数
		う ね り				風 浪		階級	絶対風 速(m/s)	対船方向		
		階級	波高	波長	対船方向	階級	対船方向					
1月28日	晴	3	3	30		5		5	10		16.0	114.8
1月29日	本曇	3	2	30		5		6	12		15.9	114.5
1月30日	曇	3	2	30		3		3	5		15.2	114.4
1月31日	天気 險悪	6	3	50		7		9	21		15.0	115.2
2月 1日	快晴	5	3	40		7		7	15		16.2	114.6
2月 2日	晴	4	3	20		5		5	10		16.2	114.5
2月 3日	雨	4	4	30		6		7	15		16.3	114.6
日付変更線通過												
2月 3日	晴	4	3	30		6		6	12		16.6	115.0
2月 4日	快晴	3	2	50		2		3	5		16.1	115.0
2月 5日	曇	3	2	50	同上	3	同上	4	6	同上	16.0	115.7
2月 6日	晴	2	2	30	同上	0	—	0	—	—	16.5	115.8
2月 7日	晴	1	1	50		3		4	7		15.5	115.3
2月 8日	快晴	3	2	30		4		5	10		15.6	115.2
2月 9日	快晴	2	2	30		4		4	6		15.5	114.8
2月10日	晴	1	1	30		4		5	10		16.6	115.4
2月11日	晴	2	1	70		3		4	6		15.5	115.3
2月12日	本曇	1	1	50		2		3	5		15.5	115.3
2月13日	曇	2	2	30		4		4	7		15.7	115.2
2月14日	曇	3	2	30		4		5	10		15.4	115.1
2月15日	快晴	2	2	30		3		4	7		15.8	115.4
2月16日	晴	2	2	30		4		4	8		15.9	115.1

表 3.1 (b) 海象・気象観測記録

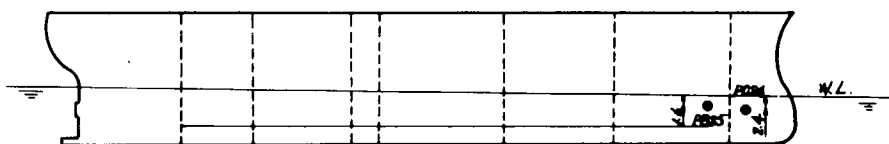
計測日	天候	波 浪						風 力			船 速 (Knots)	ブ ロ ベ ラ 回 転 数
		う ね り				風 浪		階級	絶対風 速(m/s)	対船方向		
		階級	波高	波長	対船方向	階級	対船方向					
2月17日	晴	2	1	20		2		3	4		15.9	114.9
2月18日	曇	2	1.5	30		4		4	8		15.7	115.2
2月19日	曇	2	1.5	20		4		4	8		15.4	115.7
2月20日	晴	3	2.5	50		4		4	9.5		15.5	115.7
2月25日	曇	2	2	30		2		2	3		15.0	115.3
2月26日	曇	1	0.5	30		3		3	5		15.2	115.4
2月27日	曇	2	2	100		3		4	6		15.3	115.4
2月28日	晴	2	2	100		4		4	8		15.6	115.2
3月 1日	晴	2	2	150		2		3	4		15.4	115.9
3月 2日	晴	3	3	100		3		3	4		15.7	115.9
3月 3日	曇	1	1	100		4		5	9		15.6	115.9
3月 4日	晴	1	1	50		4		5	9		15.6	115.9
3月 5日	晴	1	1	100		4		4	7		15.9	115.6
3月 6日	晴	1	1.5	100		4		4	7		15.5	115.6
3月 7日	晴	2	2	100		3		4	7		15.7	115.4
3月 8日	本曇	2	2	50		1		2	3		15.7	115.1
3月 9日	本曇	2	1.5	50		5		5	9		15.4	115.2
3月10日	曇	2	2	50		5		6	12		15.3	115.3
3月11日	快晴	2	1.5	50		5		6	12		15.7	115.3
3月12日	晴	3	2.5	50		6		6	12		15.3	115.4
3月13日	晴	2	1.5	50		4		5	10		15.3	115.4
3月14日	晴	2	1.5	50		5		6	12		15.2	115.3

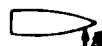
表 3.1 (c) 海象・気象観測記録

計測日	天候	波				浪		風 力			船 速 (Knots)	ブ ロ ベ ラ 回転数
		う ね り				風 浪		階級	絶対風速(m/s)	対船方向		
		階級	波高	波長	対船方向	階級	対船方向					
3月16日	晴	2	1.5	20		2		3	4		15.0	92.3
3月17日	曇	2	1.5	50		4		4	7		15.5	114.3
3月18日	晴	1	1	50		4		4	7		14.6	113.2
3月19日	快晴	2	2.5	100		3		3	4		14.6	113.2
3月20日	晴	1	1	50		2		2	3		14.9	113.2
3月21日	快晴	1	1	20		2		3	4		15.6	113.4
3月22日	晴	1	1	30		3		4	7		13.8	113.5

表 3.2 計測時の本船状態

		往 船	復 航
吃 水	船 首	8.60 m	14.51 m
	船 尾	10.40 m	15.43 m
バ ラ ス ト 重 量	No.1 W.B.T.	18,550 (KT)	0
	No.3 W.B.T.	22,294 (KT)	0
	No.6 W.B.T.	11,108 (KT)	0
載 貨 重 量	No.1 HOLD	—	32,210 (LT)
	No.2 HOLD	—	38,209 (LT)
	No.3 HOLD	—	30,210 (LT)



年月日	昭和46年2月3日
時刻	14'00' - 14'30'
速度	16.3 kt
風浪階級	6
うねり階級	4
出合角	

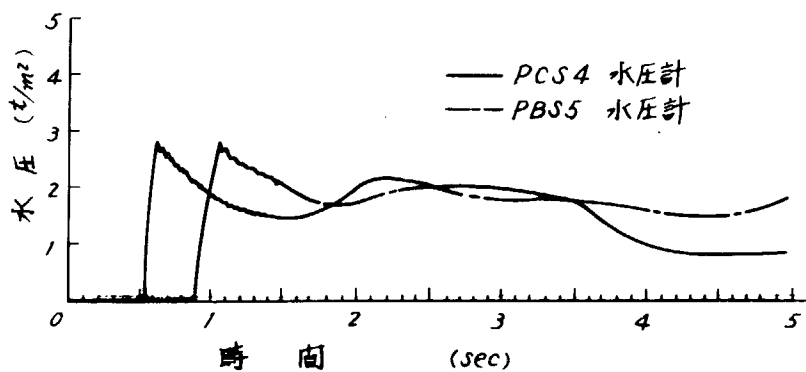
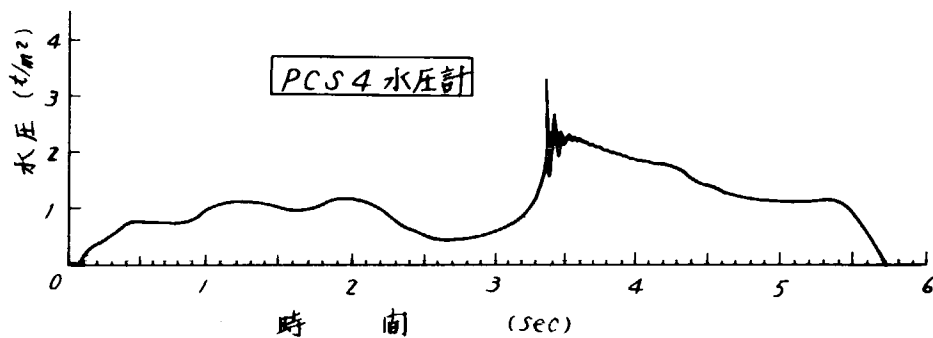
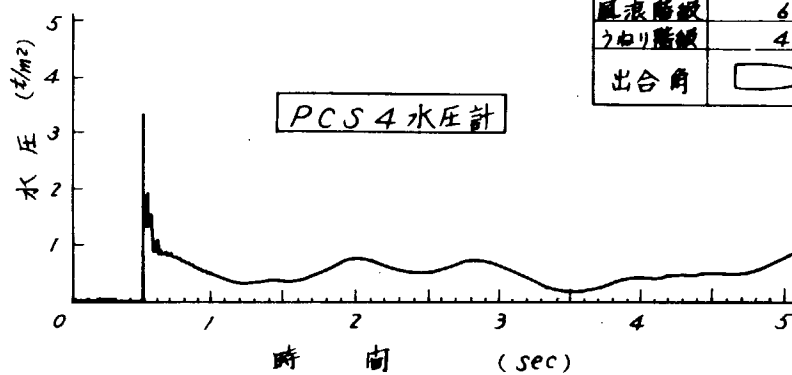


図3.1 船首部衝撃水压波形－往航時脚荷状態

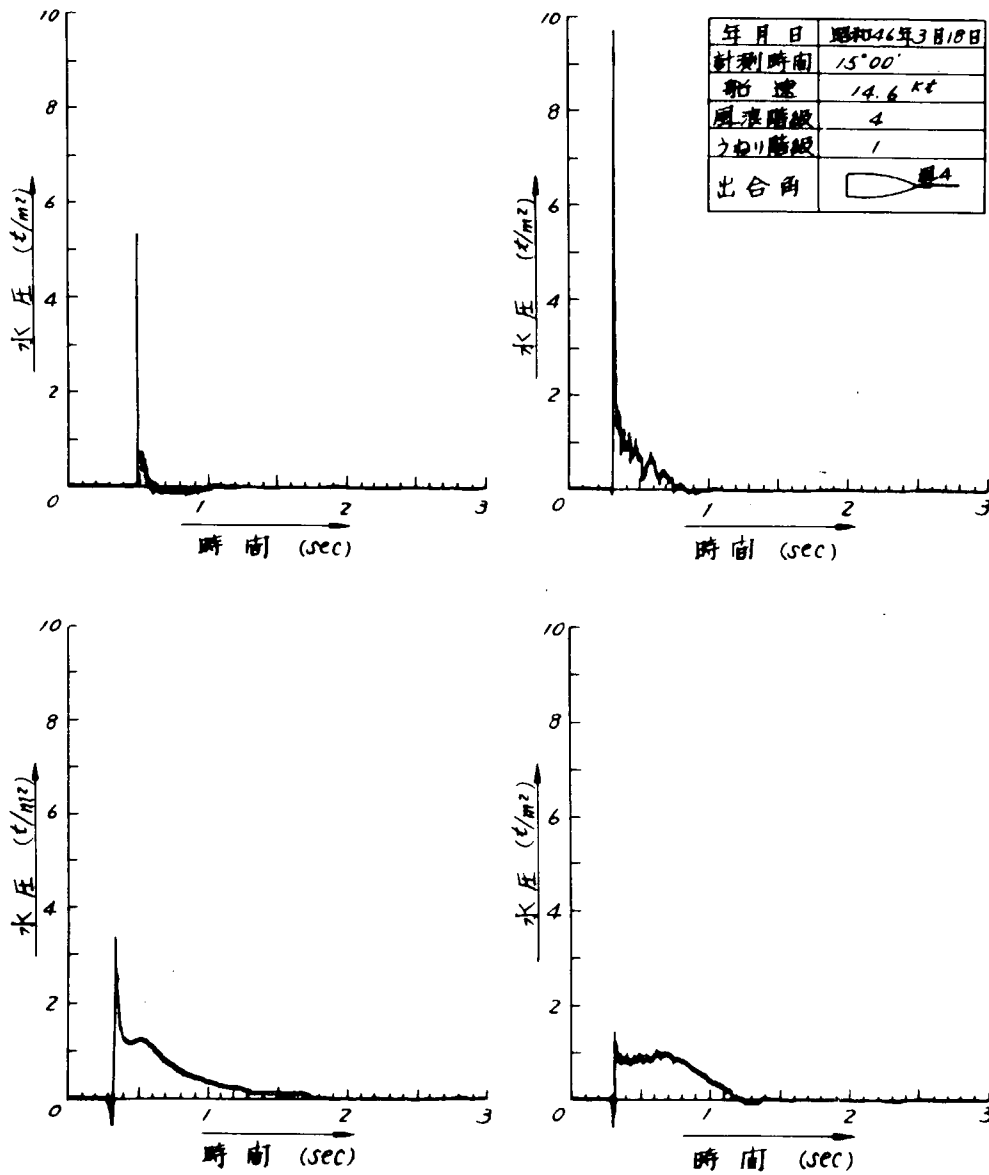
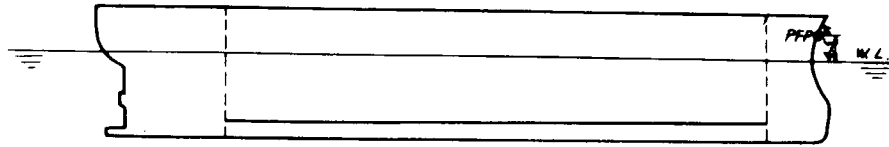


図3.2 船首先端部衝撃水压波形—復航時満載状態
(PFP水压計)

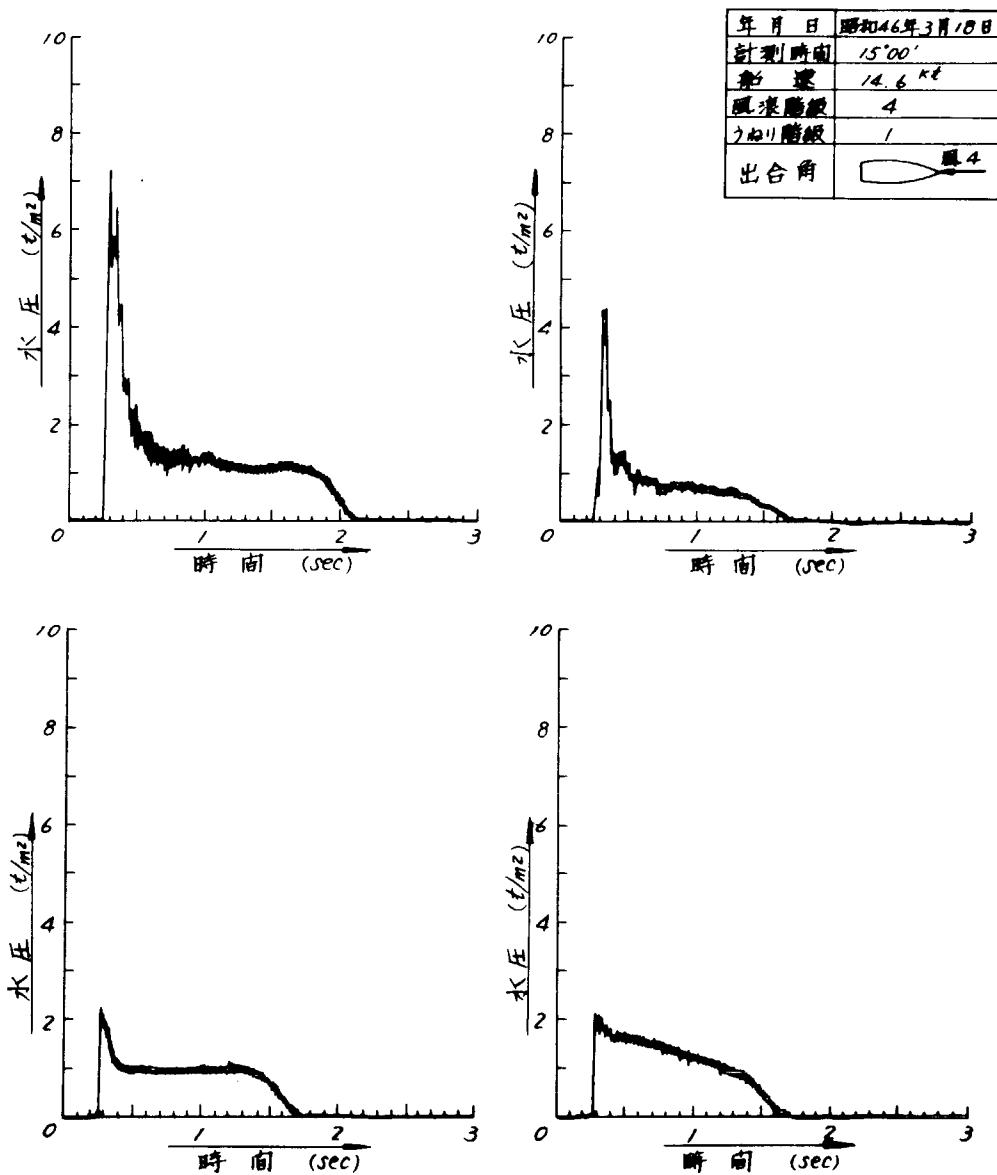
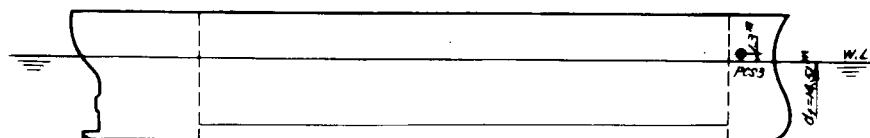
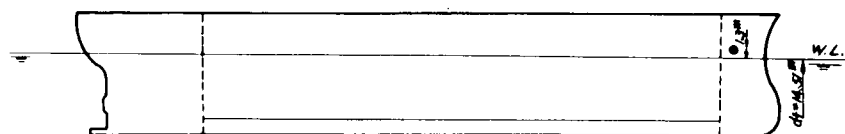


図3.3 船首部衝撃水压波形－復航時満載状態
(PCS3 水压計)



年月日	昭和46年3月18日
針測時間	18'00"
船速	14.6 kt
風浪階級	5
うねり階級	2
出合角	

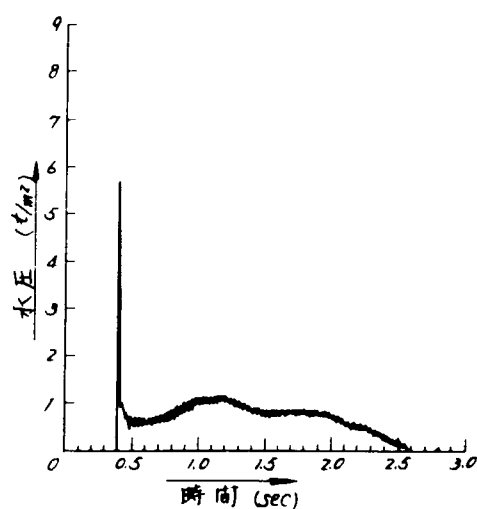
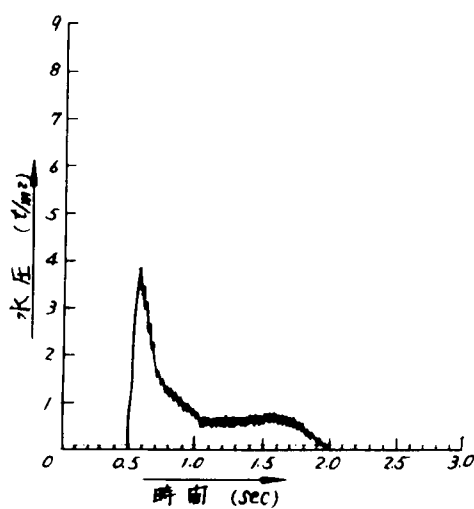
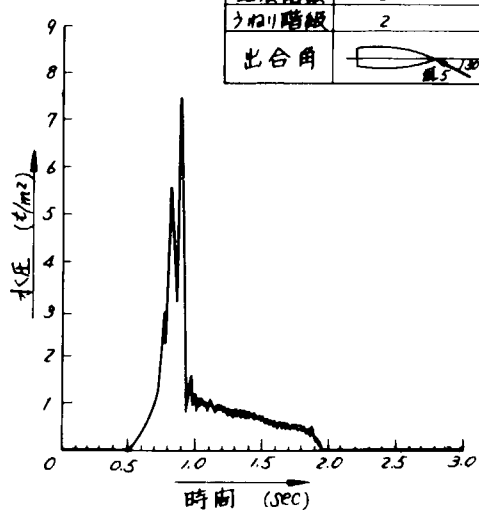
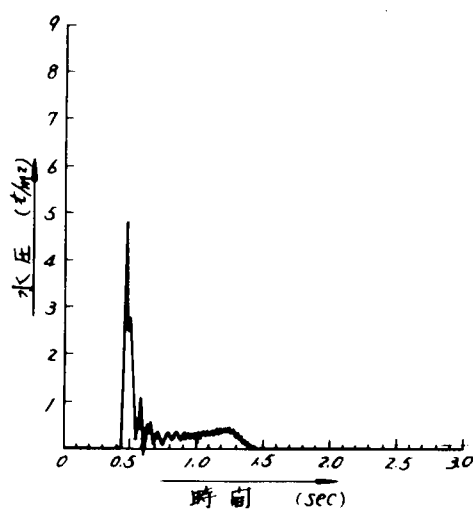


図 3. 4 船首部衝撃水压波形—復航時満載状態
(P U S 3 水压計)

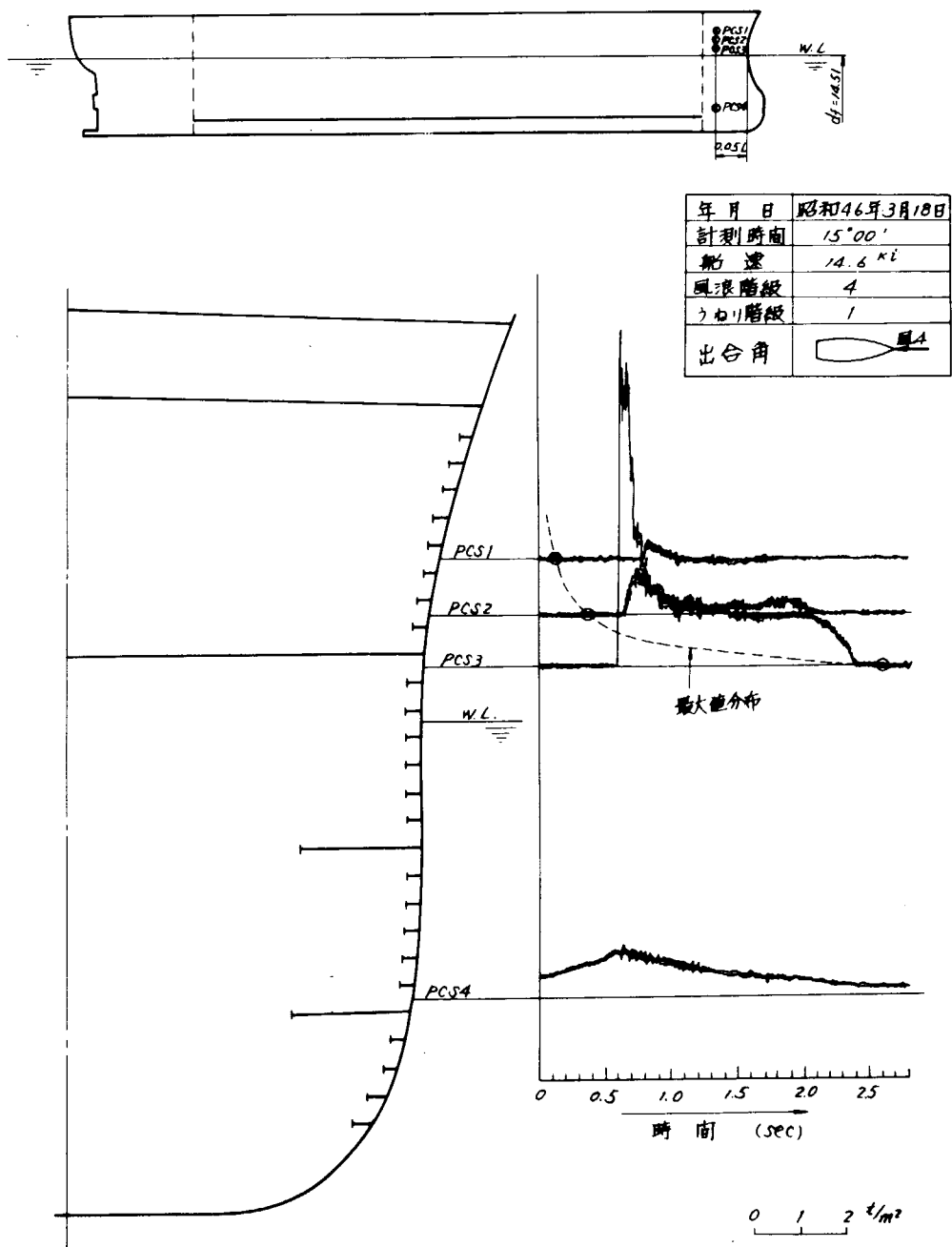
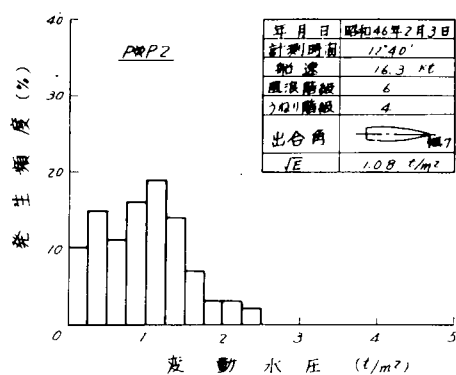
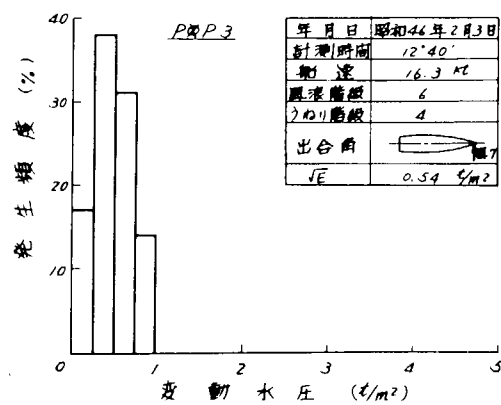


図 3. 5 船首部衝撃圧力同時分布—復航時満載状態

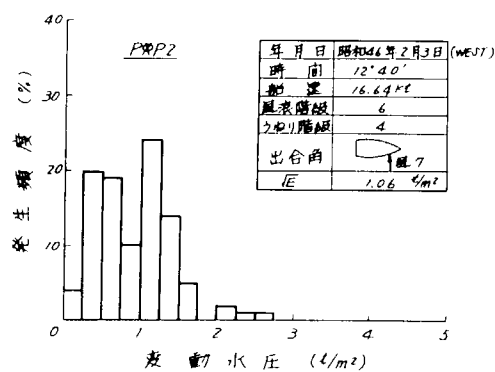


a. 船側

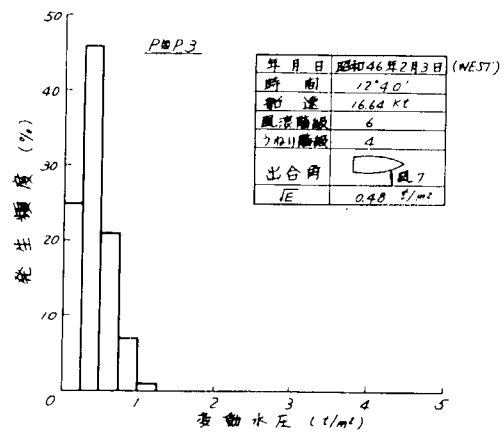


b. 船底

図3.6 船体中央部船側ノ船底変動水圧(複振幅)の短期分布-往航時脚荷状態

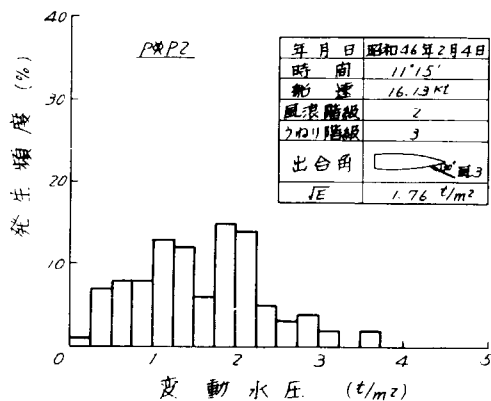


a. 船側

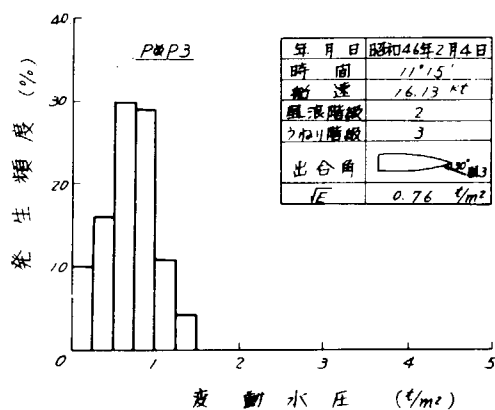


b. 船底

図3.7 船体中央部船側、船底変動水圧(複振幅)の短期分布-往航時脚荷状態

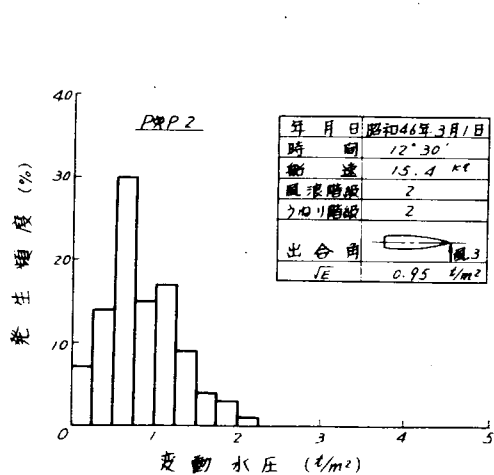


a. 船側

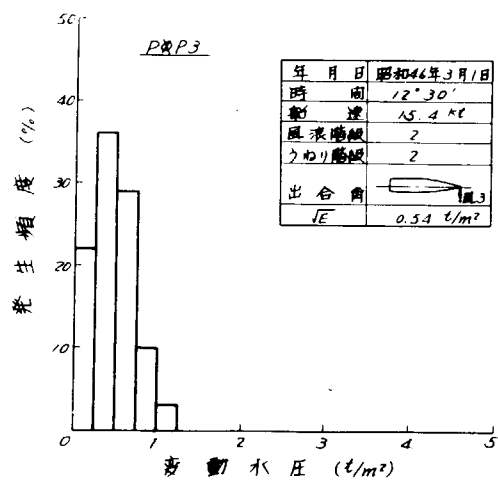


b. 船底

図3.8 船体中央部船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—往航時脚荷状態



a. 船側



b. 船底

図3.9 船体中央部船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—復航時満載状態

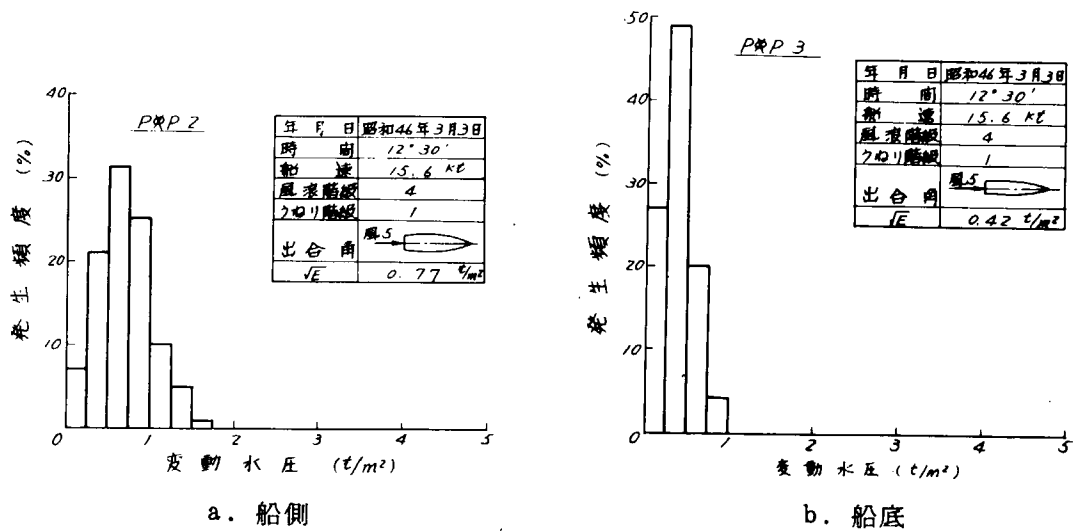


図 3.10 船体中央部船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—復航時満載状態

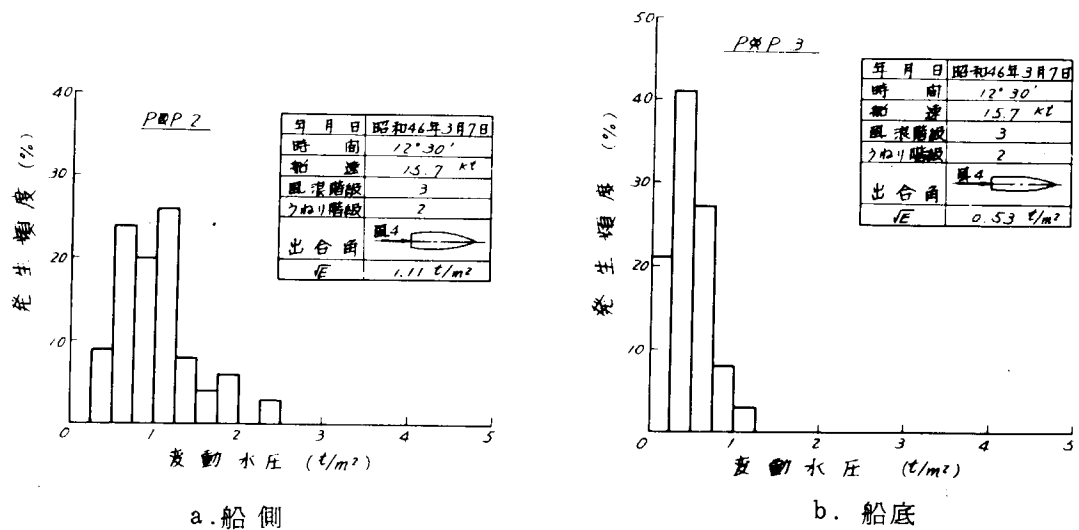
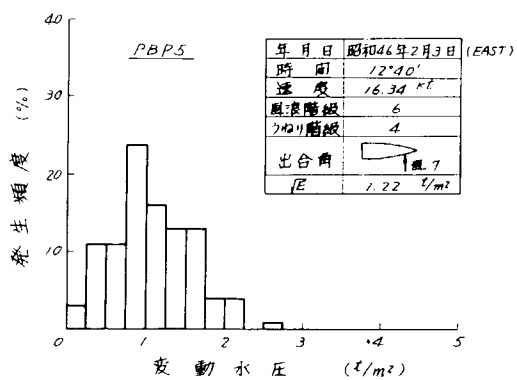
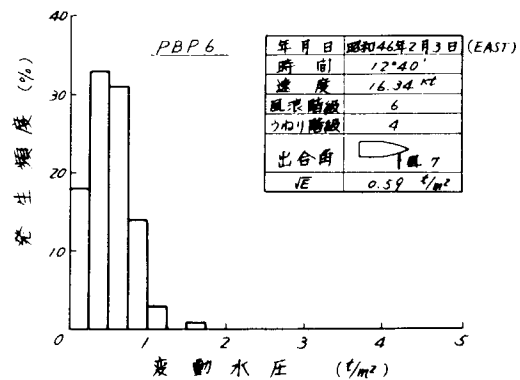


図 3.11 船体中央部船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—復航時満載状態

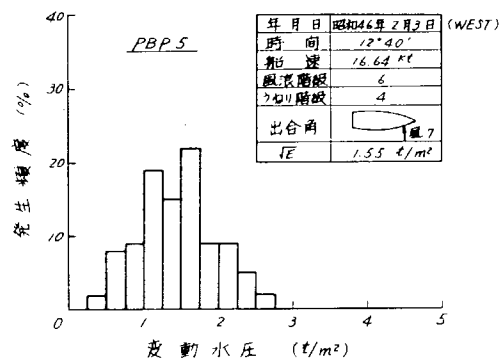


a. 船側



b. 船底

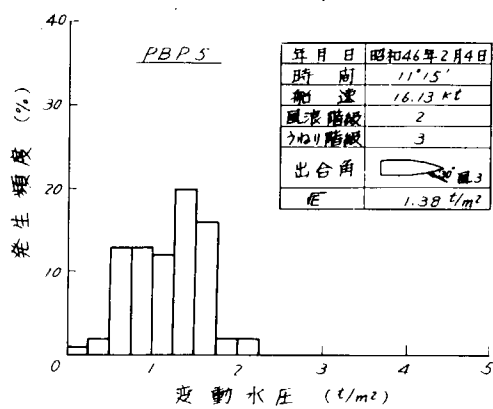
図3.12 F P から0.1 Lの位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—往航時脚荷状態



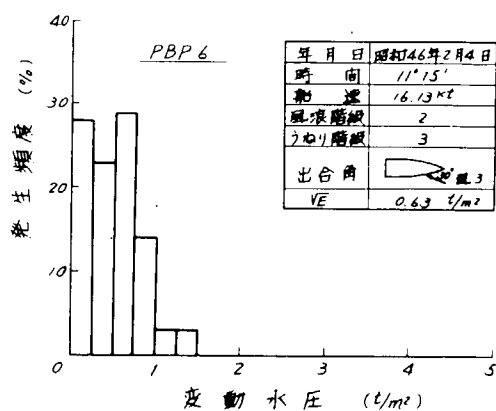
a. 船側

船底水圧計不良

図3.13 F P から0.1 Lの位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—往航時脚荷状態

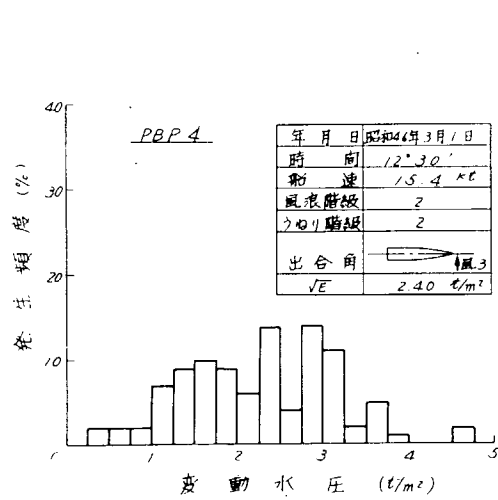


a. 船側

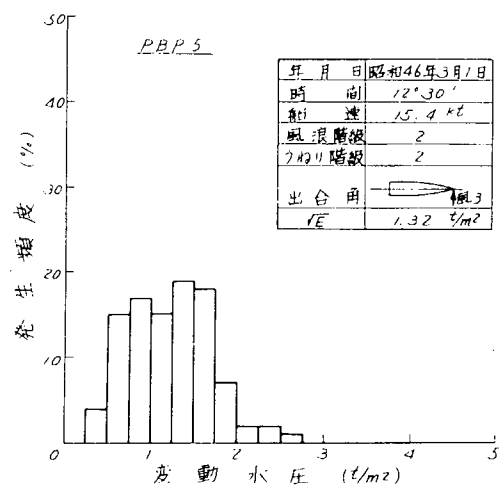


b. 船底

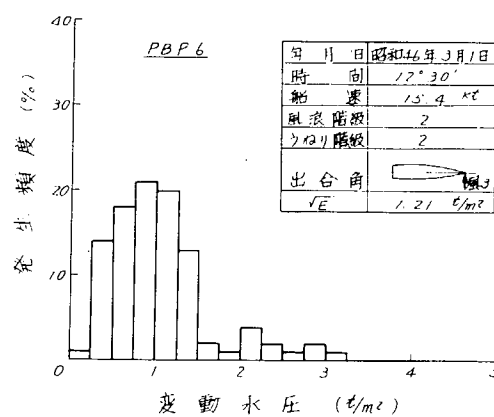
図3.14 F P から0.1 L の位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—往航時脚荷状態



a. 船側

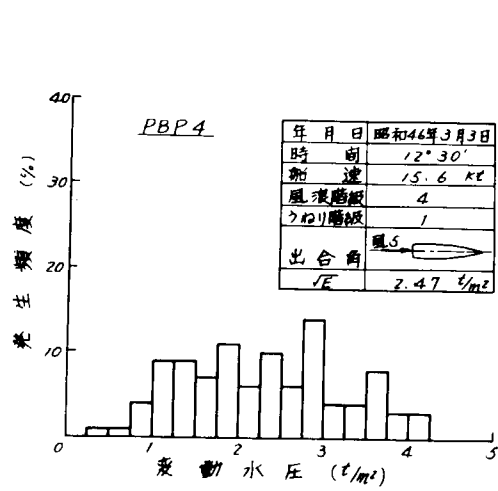


b. 船側

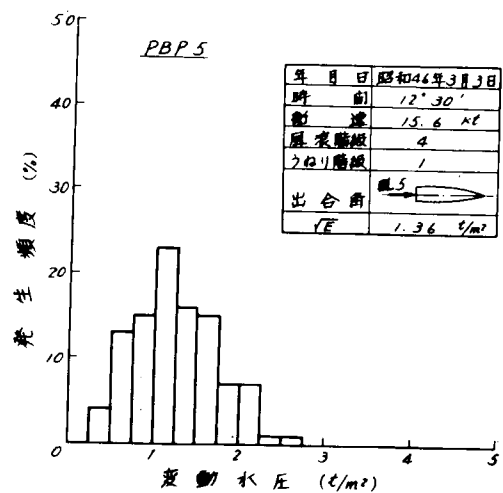


c. 船底

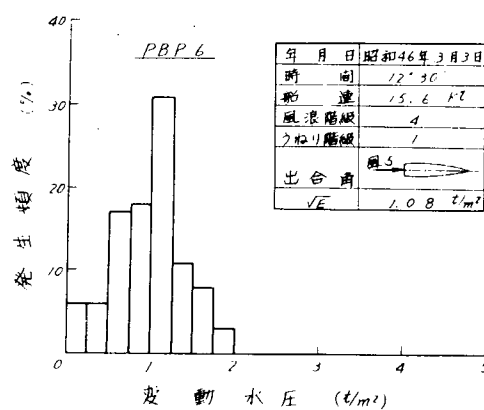
図 3.15 F P から 0.1 L の位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—復航時満載状態



a. 船側

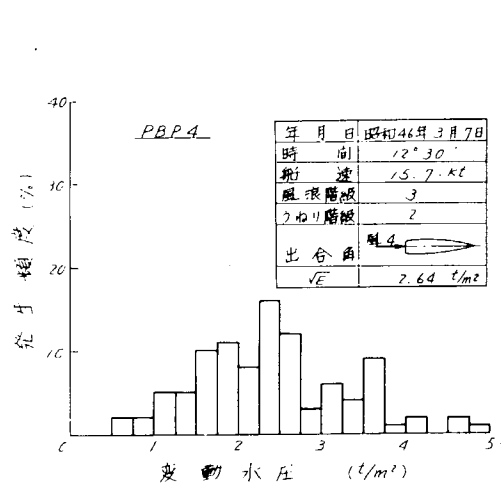


b. 船側

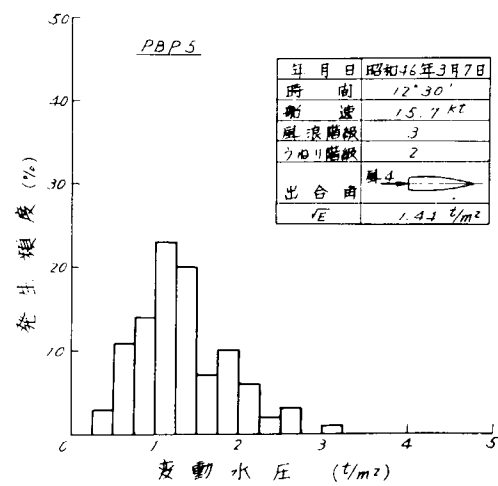


c. 船底

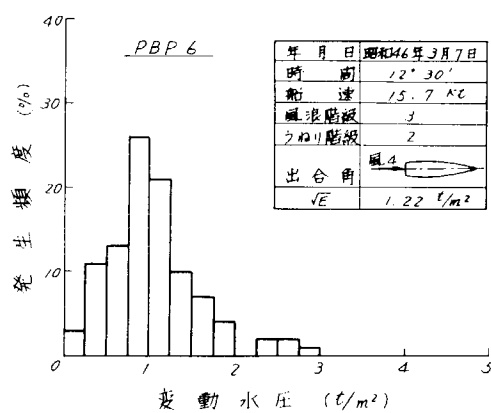
図3.16 F P から 0.1 L の位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—復航時満載状態



a. 船側

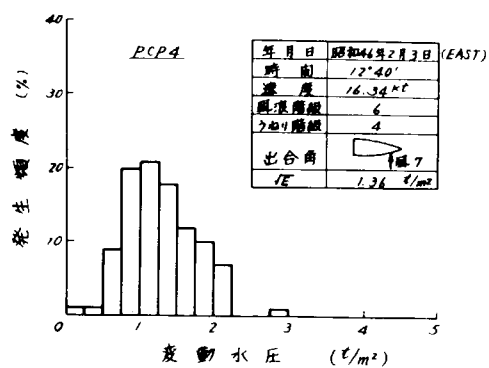


b. 船側

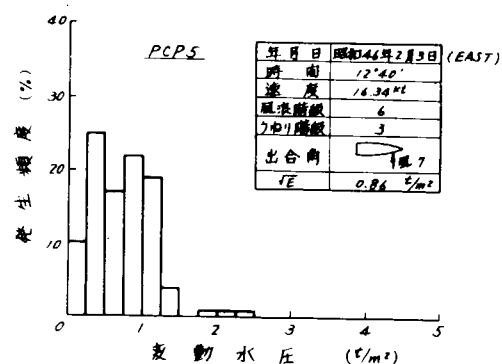


c. 船底

図3.17 F P から 0.1 L の位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布—復航時満載状態

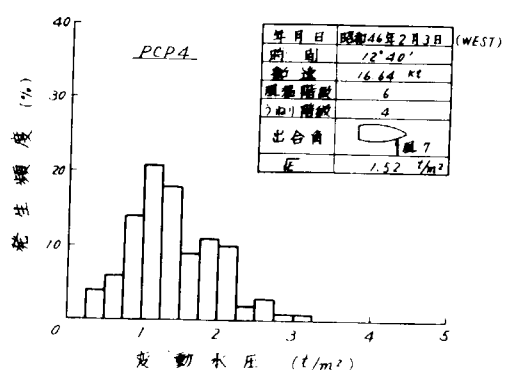


a. 船側

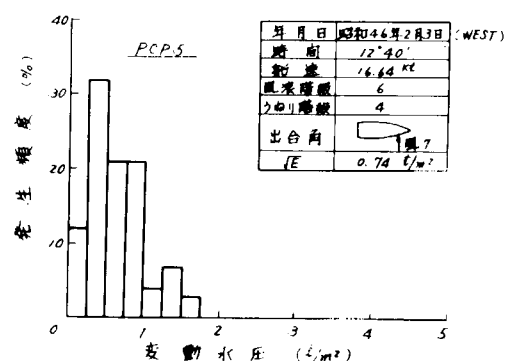


b. 船底

図3.18 FPから0.05Lの位置の船側、船底変動水圧(複振幅)の短期分布—往航時脚荷状態

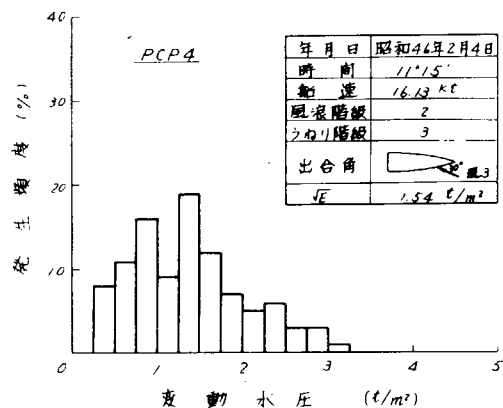


a. 船側

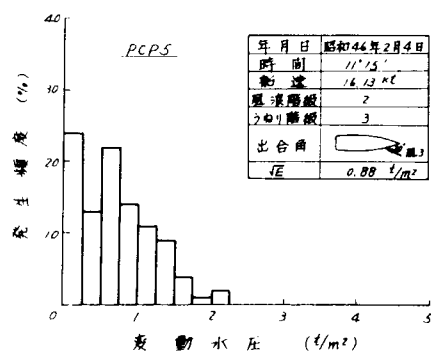


b. 船底

図3.19 FPから0.05Lの位置の船側、船底変動水圧(複振幅)の短期分布—往航時脚荷状態

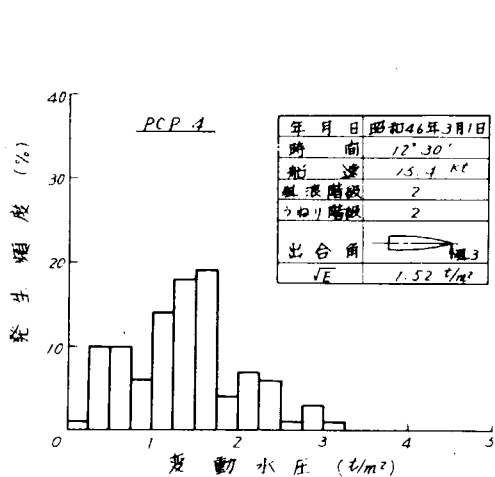


a. 船側

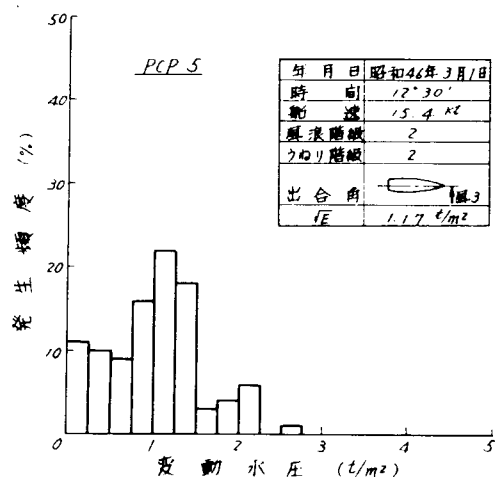


b. 船底

図3.20 F Pから0.05 Lの位置の船側、船底変動水圧(複振幅)の短期分布-往航時脚荷状態

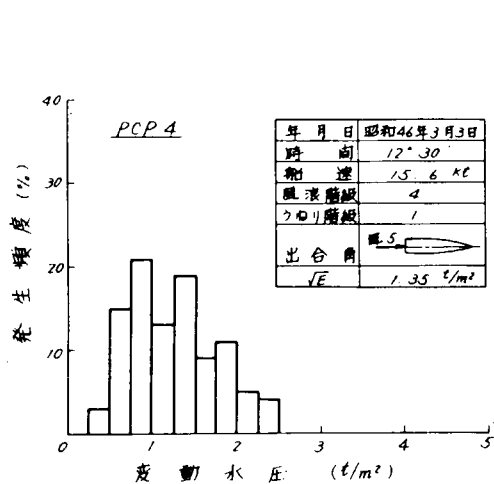


a. 船側

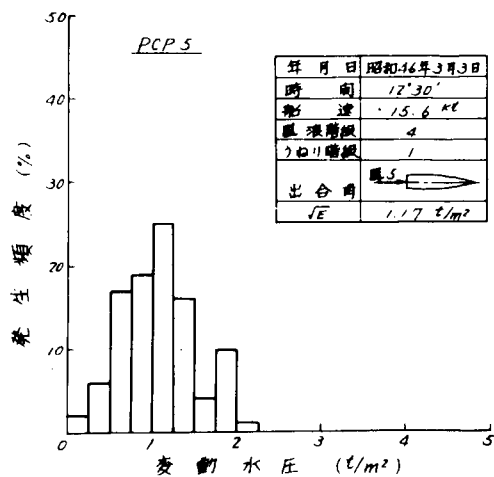


b. 船底

図3.21 F Pから0.05 Lの位置の船側、船底変動水圧(複振幅)の短期分布-復航時満載状態

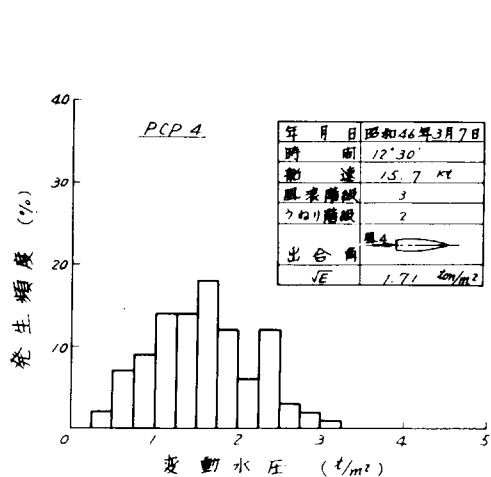


a. 船側

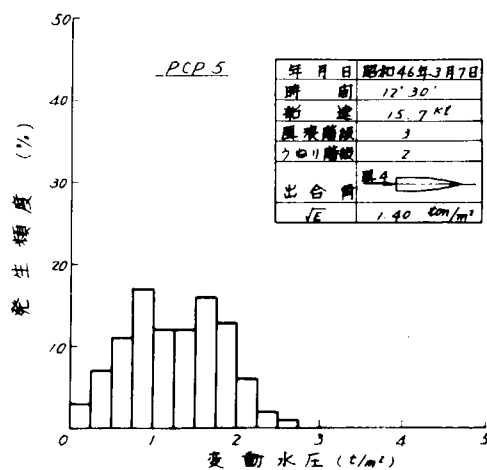


b. 船底

図3.22 F P から 0.05 L の位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布－復航時満載状態



a. 船側



b. 船底

図3.23 F P から 0.05 L の位置の船側、船底変動水圧（複振幅）の短期分布－復航時満載状態

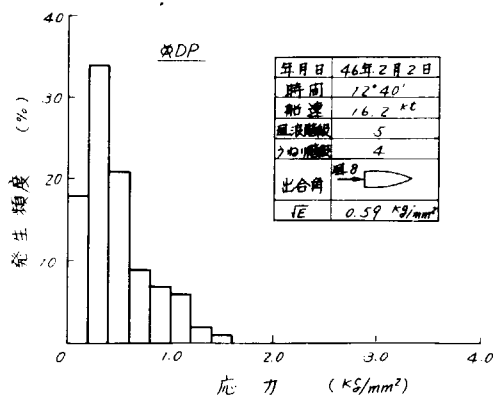


図3.24 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布（往航時脚荷状態）

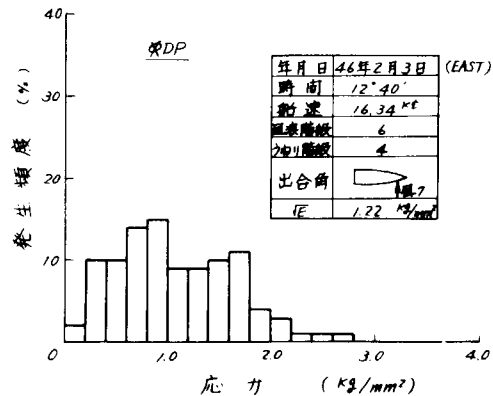


図3.25 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布（往航時脚荷状態）

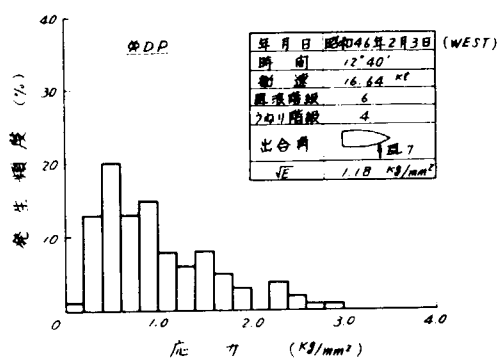


図3.26 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布—往航時脚荷状態

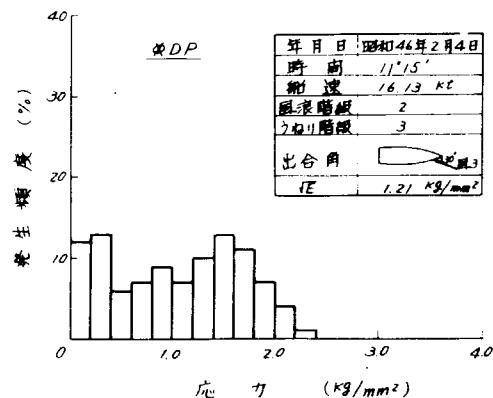


図3.27 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布—往航時脚荷状態

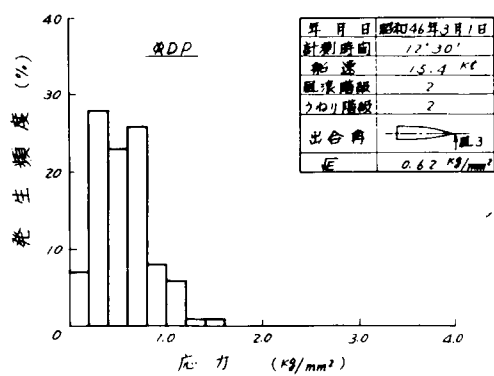


図3.28 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布－復航時満載状態

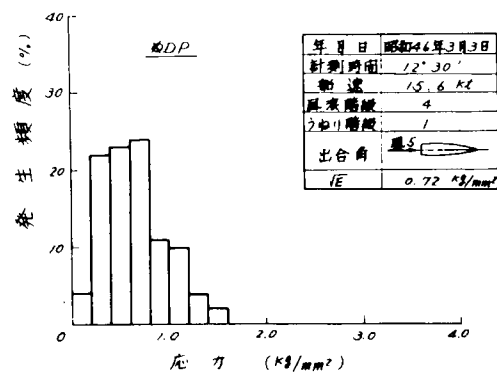


図3.29 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布－復航時満載状態

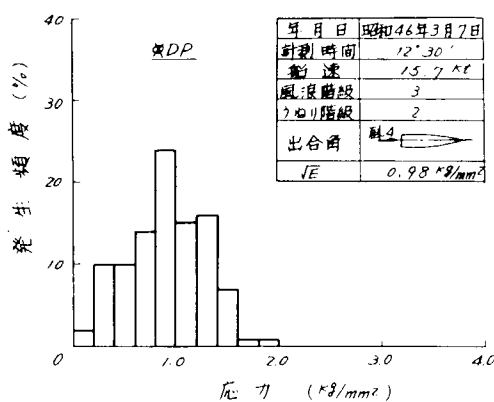


図3.30 船体中央甲板応力（複振幅）
の短期分布－復航時満載状態

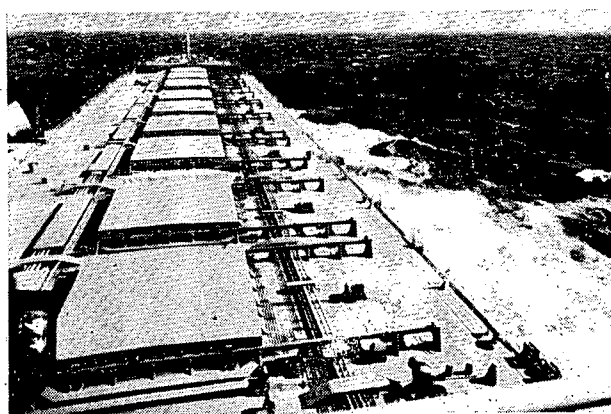


写真3.1 ステレオカメラによる海面撮影例

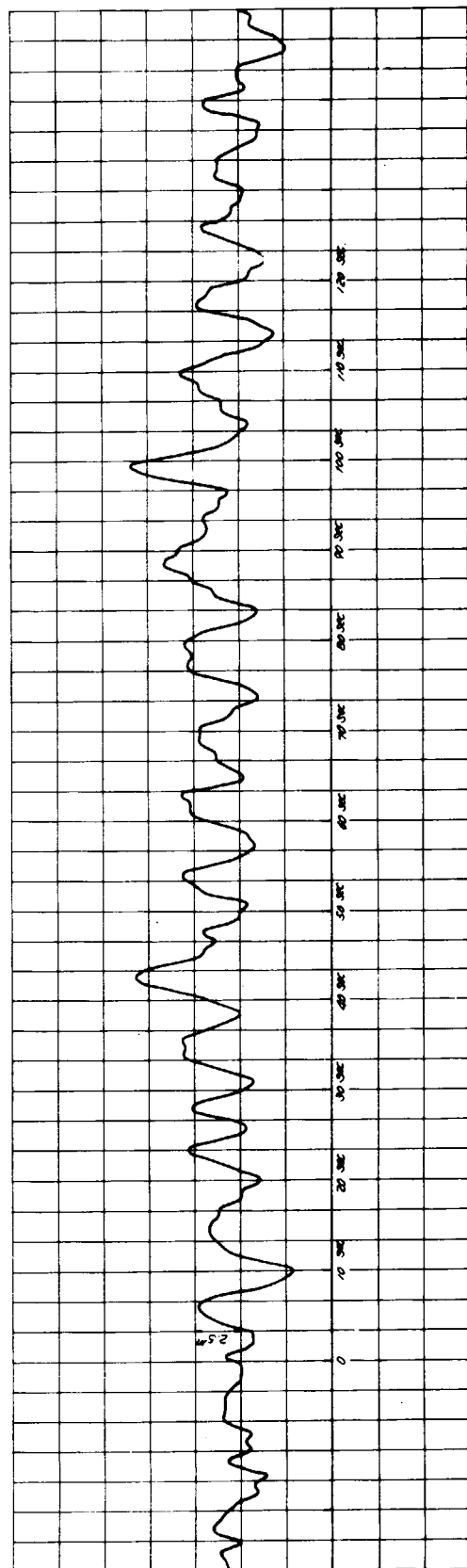


図3.31 投込式波高計による波浪計測結果（計測日3月19日）

4. 理 論 計 算

4.1 鉱石運搬船の横強度計算

鉱石運搬船三隻に対し各荷重状態、支持条件について電算機を用いてその横強度計算を行なった。

以下にその概要を述べる。

(1) 供 試 船

計算を行なった三隻の供試船の横断面の概略は図4.1のとおりで、いずれも横桁支材は1条であり、縦隔壁はA丸およびB丸は垂直型、C丸は傾斜型である。

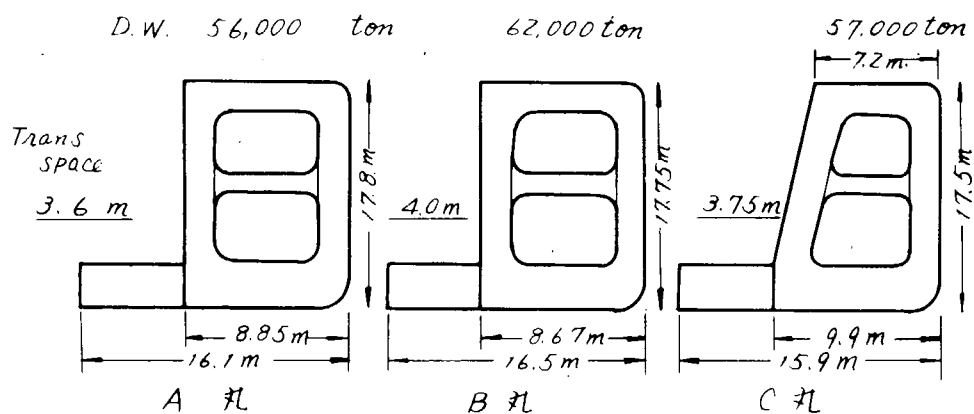


図 4. 1

(2) 計算条件

計算はいずれも種々の支持条件の下で単一部材にのみ種々の荷重を作用せしめ、最終的にはこれらを組合せて任意の支持条件、荷重状態に対する計算結果が得られるようにした。

最も一般的な荷重状態と支持条件の組合せを図4.2および図4.3に示す。

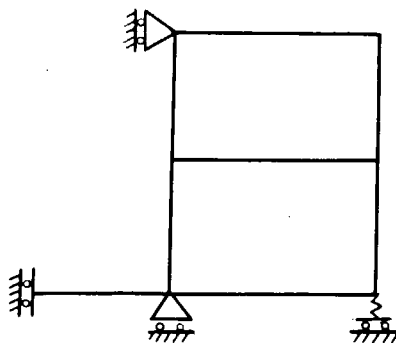


図 4.2 支持条件

表 4.1

	(I) (Load; 1.35d)						(II) (Load; 1.35d/4)						(III)-(I) (stress Amp)					
	A.Ship			B.Ship			C.Ship			A.Ship			B.Ship			A.Ship		
	σ	τ		σ	τ		σ	τ		σ	τ		σ	τ		σ	τ	
A	11.09	-0.67		11.59	-0.34		8.6	-1.2		15.02	-2.32		16.61	-2.11		13.3	-3.3	
B	-8.14	-5.56		-8.58	-7.25		-5.3	-7.0		-12.65	-7.21		-14.32	-9.04		-10.4	-9.0	
C	-13.6	1.02		0.13	2.91		-2.7	1.8		-6.57	3.58		-5.89	5.55		-9.9	8.3	
D	-8.78	-5.15		-7.21	-7.09		-2.8	-2.7		-4.47	-2.59		-2.57	-4.45		0.5	2.6	
E	-4.30	2.41		-6.25	3.07		1.9	5.7		-5.97	0.97		-8.64	2.01		0.5	2.9	
F	-3.08	-0.72		-4.04	-0.95		2.5	0.5		-6.86	-2.17		-8.64	-2.00		0.1	-3.0	
G	6.80	0.41		9.03	-0.55		5.8	1.6		3.79	3.29		6.78	3.77		4.2	4.1	
H	-2.07	-5.58		-6.08	-8.22		0.0	-6.8		0.38	-5.26		-2.94	-9.68		4.1	-6.8	
I	2.66	1.16		-0.54	2.46		4.3	1.2		6.01	2.96		2.91	4.57		9.0	4.9	
J	-5.47	-3.30		-4.57	-3.26		-5.1	-4.6		-4.42	-5.93		-3.86	-6.39		-2.8	-7.4	
K	-15.21	2.69		-15.01	2.90		-8.8	7.9		-24.50	4.38		-25.84	5.52		-16.4	13.7	
L	3.38	2.69		-0.01	2.90		-1.7	8.6		6.08	4.38		2.95	5.52		-4.0	11.0	

(Kg/mm²)

5. 考 察

前述のとおり、今回の計測では新たに採用した計器類が多いため、ダブルチェックの意味で電磁オンロ、デジタルデータレコーダ、アナログデータレコーダ等に極力データ集録をはかつた。計測後まだ日も浅く、電磁オンロのデータについて解析を開始したばかりの段階であるので、ここでは概略的な考察にとどめる。

本計測では船首部に青波をかぶるような荒天には遭遇せず、衝撃圧力の値としては復航時にF P船側外板の水圧計で 10 ton/m^2 、F P Tの右舷船側外板の吃水線より上の水圧計で 8 ton/m^2 程度とそれほど大きくないが、典型的な衝撃波形が記録された。往航時は吃水が浅く、復航時ほど顕著ではないが、F P TおよびNo. 1 B W Tの右舷船側外板の吃水線より下の水圧計で 4 ton/m^2 程度の衝撃水圧が計測された。

船体に常時働く変動水圧については船底に対しては風浪の影響は小さく、うねりが卓越している場合には船底の変動水圧は水線付近の船側の変動水圧のほゞ50%となつてゐる。

船体運動計測結果および投棄式波高計による波浪の計測結果もほゞ良好な結果が得られた。

このように大型鉱石運搬船の航行中における船首部波浪荷重および鉱石圧、荷役時の鉱石圧を計測し、その時の外界条件として波浪、気象、本船条件を求めることができた。

本計測により、まず船首部における衝撃水圧の波形およびその発生領域の数例を得たが、次年度以降これらの結果を詳細に解析し、さらに引き続いて実施される計測により、衝撃水圧の異常値も含めてそれらが一層明確になれば、船首部構造の合理的設計のための基礎資料として貴重なものとなると思われる。

また変動水圧および鉱石圧についても、次年度以降の詳細な解析および引き続いて実施される計測により、理論と実船との対応が明確なものとなれば、これらの結果は合理的船舶建造の資料になるとともに船体構造計算法の精密化に寄与するところ大と思われる。