

日本船舶振興会昭和43年度補助事業
『巨大船に関する調査研究』

研究資料No. 96

第99研究部会

航海中の船体応力頻度に関する実船試験

報告書

昭和44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43年度補助事業「巨大船に関する調査研究」の一部として日本造船研究協会
第99研究部会がとりまとめたものである。

第99研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	高橋 幸伯	(東京大學生産技術研究所)
幹事	安藤 文隆	(船舶技術研究所)
	大石 剛	(三井造船㈱)
	大森 秀夫	(三菱重工業㈱)
	金井 一十三	(昭和海運㈱)
	真田 良	(財日本船主協会)
	清水 作造	(石川島播磨重工業㈱)
	寺田 泰治	(財日本海事協会)
	長沢 準	(船舶技術研究所)
	直井 洋	(東京タンカ㈱)
	西牧 興	(日立造船㈱)
委員	仰木 盛綱	(佐世保重工業㈱)
	沖本 幹雄	(財日本海事協会)
	河島 吉彦	(財日本海事協会)
	菅正和	(財日本海事協会)
	北村 茂	(船舶技術研究所)
	久津間 裕良	(運輸省)
	小島 喜七郎	(浦賀重工業㈱)
	鈴木 宏	(日本鋼管㈱)
	中村 昭和	(川崎重工業㈱)
	能勢 義昭	(東京大學生産技術研究所)
	三浦 致和	(石川島播磨重工業㈱)
	宮崎 敬一	(山下新日本汽船㈱)
	毛利 広武	(大阪商船三井船舶㈱)

目 次

1. まえがき	1
2. 計測装置	2
3. 明扇丸による実船試験	3
4. 日興丸による実船試験	7
5. 総合結果および解析	10
6. あとがき	56

附 录

1. まえがき

波浪中を航走する船舶がどのような荷重を受け、それによつてどのような応力を生ずるかを明らかにすること、とくに船体縦強度部材の応力から、波浪曲げモーメントを求めて、その頻度分布を知ること、および最大値を推定することは、船体構造設計合理化のためには必要なことである。

この問題に関連した実船計測は、従来から数多く行なわれており、とくに最近は、各種の計測・記録およびデータ処理用の機器の進歩および統計的解析手法の発達に伴い、各国で系統的な研究が盛んに行なわれるようになつてゐる。

日本造船研究協会では、これまで第44研究部会（昭和34年度）、第49研究部会（昭和35、36年度）および第63研究部会（昭和38～40年度）などの諸部会によつて、波浪中の船体応力頻度の実船計測が行なわれてきた。しかし、これらは主として北太平洋航路における1,200T.DW級の貨物船と対象としたもので、最近非常に増加している大型船および巨大船については、その運航中の荷重や応力、航路の気象海象等について、ほとんど実測資料がなく、各方面からそのデータの集積が渴望されている。

本第99研究部会は、巨大船に関する調査研究の一環として、大型油送船の航海中の船体応力および波浪荷重の頻度計測を目的として、日本船舶振興会の研究補助金の交付を受けて、昭和41年度から3ヶ年の継続研究を計画して発足したものである。以来

昭和41年度	東京丸（東京タンカー株式会社）	3航海
昭和42年度	東京丸（　　）	2航海
	明扇丸（明治海運株式会社）	1航海
昭和43年度	明扇丸（　　）	1航海
	日興丸（東京タンカー株式会社）	3航海

について計測を実施した。

計測は船体中央部上甲板の縦曲げ応力を計つて、波浪曲げモーメントを求めることに重点を置いたが、一部タンク内の横構造部材についても若干の計測を行なつた。

この種の計測は、さらに長年月にわたつて多数の船についての資料を蓄積することが望ましいが、本部会は一応ここで3ヶ年の研究を終了することとなる。全期間にわたる研究解析結果のとりまとめは現在進行中であるが、ここに昭和43年度の分のみについて報告することにする。

本年度の研究に関するも、日本船舶振興会、日本船主協会、明治海運㈱、東京タンカー㈱、本協会第102研究部会の各位、および明扇丸、日興丸乗組の方方に絶大なご協力を戴いた。ここに深勘の謝意を表する。

2. 計測装置

2.1 電気式応力頻度計

この頻度計は、ピックアップとして抵抗線ひずみゲージを使用し、増巾器を組み入れた計数器に直結して *peak-to-peak* の応力変動を計数するものである。応力変動のレベルは任意に 7 段階に設定できる。

2.2 データ・レコーダー

磁気テープを用いるアナログ式データレコーダーを使用した。テープ幅は $\frac{1}{4}$ インチ、3 チャンネルのパルス幅変調方式のレコーダーで、1 チャンネルは音声記録用として使用した。

2.3 R.M.S コンピュータ

小型軽量な可搬型のアナログ単能演算器で、入力信号の実効値（自乗平均値の平方根 *root mean square*, R.M.S.）すなわち *E* を演算する装置である。

原理の概略はハイパスフィルターで直流分を *cut* し、変動分を積分して自乗平均値を求め、その平方根を求めるものである。

演算時定数は 0, 1, 10, 100, 1000 sec に切換える可能であるが主として 1000 sec (15 分間) を使用した。

図 2.1 にそのブロックダイヤグラムを示す。

図 2.1 R.M.S. コンピュータ

2.4 応力頻度解析機

電子管式の頻度解析装置で、最大最小頻度、振幅頻度、経過時間率等各種の計数方式で頻度解析を行なうことのできる汎用機である。データレコーダーの記録を陸上で再生して本機によつて各種解析法の比較を試みた。

3. 明扇丸による実船試験

3.1 試験船主要要目

船	主	明治海運
建造造船所		三井造船・千葉造船所
長さ (垂線間長)		304 m
幅		4.4 m
深さ		2.42 m
満載吃水		1.653 m
航海速力		16.5 kt
載貨重量		15,285.2 t
機関出力		28,000 HP

3.2 試験経過

試験日程は下記の通りである。

1968年7月31日	千葉出港
8月2日	五島沖にて速力試験
8月3日	
8月19日	ラスタスラ入港
8月20日	出港
9月6日	下津入港

図3.1に本試験航海時の航路の概要を示す。計測は日本からの往航時のみについて行なつたものである。本試験には能勢義昭(東大生研)が乗船して計測を行なつた。

3.3 計測項目

(a) 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。波高、波の周期等は目視観測によつて記録したが、昼間のみで夜間は全く観測できないので、本船側の記録の参考として使用した。船速は船の速度計により記録した。

(b) 応力

(i) 上甲板縦応力

船体の波浪による縦曲げ応力を計測するため、船体の中央部上甲板に抵抗線歪ゲージを3点とりつけた。これらの3点は、それぞれ応力頻度計、データ・レコーダーおよび自動平衡記録計で別別に記録をとつた。これらのゲージのとりつけ位置を図3.2に示す。

ゲージは防水と防爆をかねて、鋼製の保護管におさめた。

(ii) パラストタンク内横応力

船体中央部のタンク内横応力を計測するため、図3.3に示すように、#6.3パラストタンク内のFr. 8.1左舷側のボトムトランクのフランジにそつて7点、ウェブ上で2点(2方向および3方向両面)において抵抗線歪ゲージをとりつけた。

(iii) 船底縦応力

上記の横応力の計測と同じタンク内において、Fr. 81とFr. 82間の船底縦肋骨上において2点縦方向の応力を計測した。これらタンク内の応力計測用のゲージはいずれも防水用の保護箱におさめて完全な水密工事を行なつた。

以上の応力計測は動的歪計およびビシグラフ、R.M.Sコンピュータおよび応力頻度計を用いて毎日一定時間に15～20分間継続して行なつた。

また、荒天時には隨時数回にわたり特別計測を行なつた。

3.4 計測結果

(a) 海象、気象等

本実験において遭遇した海象、気象の一覧表を表3.1に示した。この表に対応して毎日の正午における気象、海象、気温、水温等をグラフに示した結果が図3.4および図3.5である。

図3.6～図3.10はこれらの波浪、風力等のヒマトグラムならびに風力と海象との関係を示したものである。この図から明らかなように、風力の最大はBeaufort Scaleで10(24.5～28.5 m/sec)を示し、波浪階級の最大は8(波高9～14m)を示しており、東京丸等でこれまでに観測した同航路における観測値と大体同じ程度の荒天を記録した。風力と風浪の波高、波長との関係を図3.9に、風力とうねりの波高、波長との関係を図3.10に示したが、これらはいづれもある幅で風力の増大とともに波高、波長が大きくなつてゐる傾向を示す。

(b) 甲板縦応力(その1)

上甲板の縦方向応力のオシログラムの一例を図3.11に示す。波浪曲げモーメントによるいわゆる船体の曲げ応力の上に、相当大きい振動応力が重畠していることがわかる。振動計測は行なわなかつたので、振幅・加速度等は不明であるが、とくに人体に感ずるほどの振動ではなく、乗組員からも振動に対する意見が出ていない。ただし、前年度の本船の処女航海における計測ではこのような振動応力はほとんど表われていないので、この差がなにに起因するか検討中である。

この振動数はあとで示す。表3.3のように、大体37～38 c.p.mとなつてゐる。公試運転時の振動計測によると、本船の2節上下振動の固有振動数はパラスト状態で33～41 c.p.m、満載状態で34～36 c.p.mとなつてゐるので、今回記録された振動はこの2節上下振動であることは確かのようである。公試時の記録ではこの振動はプロペラ起振力と同調したときでも10 gal以下であつたと報告されている。

今回の計測に使用した電子管式の応力頻度計は振巾計数方式のもので、図3.12の(A-1)図に示すように、peak-to-peakの複振巾 X_i を数段階に分類して計数するようになつてゐる。変動に重畠した小さいリップル波は、ある程度以下の振幅のものは図に示すように計数しないように調整してあるが、リップル波の振幅がある程度以上になると(A-2)図に示すように、この高周波の変動 X_i を計数して、逆に破線で示したような低周波の変動に関する情報は全部カットされてしまうといふ欠点がある。

今回の計測では、さきに図3.11で示したように、この(A-2)図に相当する場合が多かつた。

この計測結果から振動と波浪曲げモーメントによる応力を分離することはできないので、比較検討することはできないが、一方のR.M.S.コンピュータの方でモニター用として応力変動のオシログラムをとつてあつたので、これによつて手動解析によつて若干の比較を行なつてみた。

まず、0.2 kg/mm²ごとに区切つた応力段階を設定して、(A-2)図と同じ方式で複振巾 X_i の短期分布のヒストグラムを求めたものを例示すると図3.13のようになる。計測時間はいずれも15分間である。図中に注記した海象は出合角度と波高(目視観測によるもの)とによつて表3.2のように分類したものである。

表 3.2 海象の分類

波高 出合角 (m)	1.5以下	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~5.5	5.5以上
向 波	Head-1	Head-2	Head-3	Head-4	Head-5
斜 前 波	Bow-1	Bow-2	Bow-3	Bow-4	Bow-5
横 波	Beam-1	Beam-2	Beam-3	Beam-4	Beam-5
斜 後 波	Q.F-1	Q.F-2	Q.F-3	Q.F-4	Q.F-5
追 波	Foll-1	Foll-2	Foll-3	Foll-4	Foll-5

また、 E は各複振巾値 X_i の 2乗平均

$$E = \frac{\sum x_i^2}{n}$$

で、図 3.1.2 (B-2) の E_x に相当するもので、ここでは \sqrt{E} を記載しておいた。

つぎに、振動分と除去した波浪曲げモーメントによる応力変動のみを検討するため、図 3.1.2 (A-2) 図のように各振動波の平均値 (○印) を連ねた破線のような変動波形を描いて、これについて同様のヒストグラムを求めたものが図 3.1.4 である。この場合の E を E_w と書くことにする。

振動波を計数したもの (図 3.1.3) とこれをフィルターしたもの (図 3.1.4) との各短期分布の \sqrt{E} の比較を表 3.3 に示す。

なお、表中にはそれぞれ平均周波数 (c p m) も入れておいた。

この表に見るとおり、 \sqrt{E} はほとんどの場合 $\sqrt{E_w}$ よりも大きくなっている。すなわち、波浪曲げ応力よりも振動応力が卓越している傾向を示す。とくに波高の低い平静な海面の場合にその傾向が著しい。今回の航海では比較的荒天が少なかつたのでいつそう目立つようである。

R.M.S. コンピュータによる R.M.S. の値 R も表 3.3 に表示した。これは図 3.1.2 (B-3) 図の方式で計算したものに相当するもので、統計学における X_i の標準偏差が R に、分散が R^2 に相当する。

この変動曲線が Rayleigh 分布に適合する場合 (エネルギースペクトルが狭帯域の場合) には、(B-1) 図のような各ピーク値の振幅 (片振巾) σ_i の自乗平均 E_σ と R^2 の間に

$$E_\sigma = 2 R^2$$

の関係が成立つ。米国の諸報告の例にからつて、(B-2) 図のような複振巾 X_i の自乗平均 E_x をとつて

$$E_x = 4 E_\sigma$$

と仮定すれば (表 3.3) の \sqrt{E} , $\sqrt{E_w}$ は $\sqrt{E_x}$, $\sqrt{E_{x,w}}$ である

$$E_x = 8 R^2 , \sqrt{E} = 2 \sqrt{2} R = 2.83 R$$

となるので、表中に $2 \sqrt{2} R$ の値も記入しておいた。

これらと \sqrt{E} または $\sqrt{E_w}$ はまづまづという程度で、優れた一致を示しているとはいえない。これは、頻度計数というものは、計数方式や使用機器によつて同じ現象を処理しても相当異なる結果に到達するという事実を端的に示すものである。また、今回のような卓越しに振動波の重畠している場合には、これを Rayleigh 分布に適合すると仮定することにも若干の無理があるのではないかとも思われる。

図 3.1.2 (A-2) 図の振動波形について、振巾だけでなく平均応力と応力振巾 (複振巾) のそれについてレベルを設定して分類する 2 次元式計数方式をとつて各平均応力レベルにおける各ヒストグラムを \sqrt{E}

を求めて比較してみると、図3.15のようになり、平均応力値による差はほとんど認められず、大体において定常的な振動波が重畠していることがわかる。

(b) 甲板縦応力(その2)

上甲板上で計測した船体縦応力のうち、応力頻度計によつて計測した結果を表にして、表3.4に示した。

これは毎日の定時観測時から20分間ごとの計測値4回、4時間ごとの計測値3回と24時間ごとの計測値をそれぞれ示したものである。

応力の段階は最小範囲0.36～0.54kg/mm²で、それ以上を0.54kg/mm²ごとに7段階に分けて計測した。

ヒストグラムの一例を図3.16～3.19に示す。

図3.16は20分ごとの記録、図3.17は4時間ごとの記録、図3.18は24時間ごとの記録から求めたヒストグラムである。

なお、図3.18には24時間の途中での計測値も参考として示した。図3.19は往航18日間の長期分布である。

これらの図にはいづれも計測時の海象、気象条件、船速等を記入し、また、全計測値のヒストグラムについて応力の自乗平均の平方根 \sqrt{E} の計算結果を記入してある。

図3.20は各海象における \sqrt{E} の値を整理して波高との関係を求めてみたものである。

これらの図をみると、同じ波浪階級でも応力の大きさにかなりのバラツキがあるが、応力の最大値は波浪階級が大になるにともなつて、急に大きくなる傾向にある。

これらの応力の量的な解析については、さらに検討を加える必要がある。

(c) 横応力

バラストタンク内で計測した応力のうち、bottom trans の face 上で計測した応力の記録のうち、代表的な海象においての応力分布計測例を図3.21に示した。

これらは、いづれも同じ海象での数回の最大応力の平均を示したものである。応力の大きさは最大で1.5kg/mm²程度(複振巾)であり、かなり小さい応力であるといえる。

これらの全応力計測値について計測点ごとに応力の \sqrt{E} を計算した値を表3.5に示した。

また、これらの \sqrt{E} を波高と対応させて示したのが図3.22～3.24である。 \sqrt{E} の絶対値は小であるが、風力、波浪階級の増大とともに応力の最大値は急に大きくなる傾向を示している。

なお、これらの横応力の動的な変動は静的な載荷時の応力に付加されるため、静的な応力を無視しては考えられないが、この載荷時の応力についてはなお検討を加える必要がある。

(d) 船底の縦応力

バラストタンク内の bottom longl のフランジ上で計測した応力の自乗平均の平方根 \sqrt{E} の値を表3.5(16.17)に示し、その波高との関係を図3.24に示した。

16.17の位置においては比較的高い応力を示し、大きさではB.W.T内の計測点のうちで最も大きい値を示した。

4. 日興丸による実船試験

4.1 試験船主要要目

船主	東京タンカー㈱
垂線間長	192.32m
型幅	26.82m
型深	13.72m
満載航海速力	16.0 knot
載貨重量	3,527.8 D.W.T

4.2 試験経過

試験日程は次の通りである。

第1次航 1968年3月15日～1968年3月30日(16日間)

第2次航 1968年4月1日～1968年4月23日(23日間)

第3次航 1968年12月2日～1969年1月8日(38日間)

試験航路は第1次航では長崎-バリクバパン(ボルネオ)-横浜間、第2次航では横浜-室蘭-ドウマイ(スマトラ)-横浜間のいずれも東南アジア航路の計測を行ない、第3次航では新潟-バーレン(ペルシヤ湾)-新潟間の中近東航路での計測を行なつた。

第1次航は日本造船研究協会第102研究部会の実験の時に、同部会委員によつて計測され、第2次航および第3次航はそれぞれ本部会委員、菅正和および沖本幹雄(日本海事協会)の各1名が乗船して計測を行なつた。

4.3 計測項目

(a) 気象、海象等

風力、風速、気温、水温等の気象と波長、波高および船と波との出会い角等の海象は本船側の記録を用いた。

海象のうちとくに波長、波高の観測は目視観測では誤差が大きいため、I.S.S.Cの資料を用いて風力から求めた。すなわち、本船側のlog bookの船速、相対風速および相対風向からベクトル計算によつて絶対風速を求め、この絶対風速とBeaufort風力階級の関連から、波長、波高を求めたものである。ただし、第3次計測については波高、波長を目視観測によつて得たデータを使用している。

(b) 応力

船体の波浪による縦曲げ応力を計測するため、電気式応力頻度計のピックアップとして抵抗線型歪ゲージを船体中央部上甲板上のほぼ中心線に近い位置にとりつけた。

この歪ゲージの貼付位置を図4.1に示す。

この歪計には防水と防爆を兼ねて鋼製の保護ケースをとりつけ、中にはワセリン等を充填した。

甲板の縦曲げ応力の計測方法は連続作動する応力頻度計の計数を毎日一定時刻(午前8時、12時、午後4時、8時)に記録し、4時間ごと、および24時間ごとの応力頻度数を求めた。その他に、毎日一定時間に20分ごとの短期応力頻度分布も求めた。

本実験に使用した頻度計は2章で述べられている電気式応力頻度計である。

4.4 計測結果

(a) 気象、海象等

第1次航と第2次航の2航海分を集計したBeaufort風力階級、風浪階級、およびうねり階級をそれぞれ図4.2～図4.4にヒストグラムで示す。第1次および第2次航は航海が連続しており、季節も航路も同じであるので2航海分をまとめて集計した。

また、第3次航のBeaufort風力階級、風浪階級、およびうねり階級をそれぞれ図4.5～図4.7にヒストグラムで示す。縦軸に示した度数は風力、風浪、うねり階級とも4時間おきに観測した回数である。なお、第1、2次航のヒストグラムは昼間の計測の1日3回分について集計したものであり、第3次航の風力階級は4時間ごとの1日6回、風浪とうねりは昼間の計測1日4回分について集計したものである。

第1、2次航における風浪階級の最大値は9、うねり階級は7、Beaufort風力階級は9であった。また、第3次航における風浪階級の最大値は8、うねり階級は8、Beaufort風力階級は9であった。

第1、2次航の航海中における気温、水温、気圧の記録を図4.8に第3次航のそれを図4.9に示す。記録はすべて本船の正午のlog book記録をもとにした。

(b) 甲板縦応力

表4.1に第1次および第2次航における4時間と24時間の船体縦応力の頻度数の記録を示す。表中の計測時間は上欄から順に8:00～12:00, 12:00～16:00, 16:00～20:00の各4時間の記録を示し、24時間としてあるのは当日の8:00から翌日の8:00までの頻度数を示している。

また、短期分布として表4.2に第1次および第2次航における20分間ごとの頻度数を示す。計測時間は上欄から順に8:00, 12:00, 16:00, 20:00の各時間より20分後までである。表中の \sqrt{E} とはその計測時間内の応力の自乗平均の平方根であり、風浪階級はその時間内の最大値を示している。

第3次航における4時間と24時間の頻度数の記録を表4.3に、20分間の短期分布を表4.4に示す。ただし頻度計の最低レベルの設定範囲が第1次および第2次航に比べ小さくなっているのは、電圧変化によるミスカウントを防ぐために最下段のピットを取り除いて計測しているためである。

ヒストグラムの一例として20分間の記録を図4.10に、4時間の記録を図4.11に示す。

第1次航と第2次航の各応力範囲の累計をヒストグラムで表わしたのが図4.12である。ただし、ここで応力の高いところで応力範囲が大きくなっているのは頻度計のATT.を最も荒天であった4月23日に1から4に切り換えて計測を行なつてある。

第3次航における各応力範囲の累計を図4.13に示す。このグラフでは最大応力が4.0kg/mm²となつてはいるが、実際はこれより少し大きい応力が生じていたが、頻度計のscale outのために計測されていないものと思われる。しかし、いずれにしてもその頻度は極めて少ないものと思われる。

つぎに、本航海中で比較的荒天であったときの、上甲板上の縦応力の短期分布を求めてみた。N.H. Jasper等の研究によれば海洋波およびそれに伴う船体運動、船体縦曲げ応力等の分布は長期にわたる測定では対数正規分布にしたがい、短時間のそれではRayleigh分布をするとされている。Rayleigh分布の確率分布函数は次の式で表わされるもので、この分布はただ一つのパラメーターEによって決定される。

$$P(x) = \frac{2x}{E} e^{-x^2/E}$$

ここで $P(x)$: 確率密度 x : 確率変数(縦応力)

E : x の自乗平均

本計測で行なつた4時間と20分間の定時計測による甲板縦曲げ応力の頻度分布は、一応Rayleigh分布をするものと見なし、比較的荒天であった3月16日(第1次航)と1月6日(第3次航)のそれぞれ4時間

と20分間について各々のパラメーターEを計算してRayleigh分布の理論値ならびにその累積確率分布を求め実測値と比較したものを図4.1.4～図4.1.7に示す。これより荒天の場合、縦応力の実測値は理論曲線と大体一致することが分かる。

つぎに、計測した応力から船体縦曲げモーメントを求め、これを無次元化したものを波高別に示すと図4.1.8のようになる。横軸には波高とビューフォート風力階級をとり、縦軸には無次元曲げモーメントをとつた。無次元曲げモーメント \bar{M} は次式で与えられる。

$$\bar{M} = \frac{M}{\rho g L^3 B}$$

ここでMは曲げモーメント、 ρ は海水の密度、gは重力の加速度、Lは船の長さ、Bは船の幅である。また、波高はI.S.S.Cの資料を用いて風力階級を波高に換算したものである。このグラフで第3次航の \bar{M} が第1次および第2次航のそれと比較して大きめに出ているのは、頻度計の応力範囲の設定で第3次航では最小の0.168～0.336Kg/m²の応力の計測を行なつていないので応力の自乗平均の平方根 \sqrt{E} の値が大きくなつた影響と波高を目視観測のデータをそのまま用いたために幾分誤差があるためと思われる。

5. 総合結果および解析

5.1 海象と甲板応力および波浪荷重

船体にかかる波浪荷重の大きさおよびその頻度分布に影響する因子としては、波高、波長、波周期、風向、風速、船速、出合角波、載貨状態などが考えられるが、ここでは簡単のために波高（目視観測による波高）のみをとつて、これを各短期分布の \sqrt{E} の関係をプロットすると図5.1が得られる。15万トン級の東京丸と明扇丸は大体同じ傾向を示し、日興丸は荒天時には応力上昇率が甚しいようである。

周知の通り、Rayleigh分布は唯一のパラメータ \sqrt{E} によって一義的に決まるので、ある波高の海面における曲げ応力の短期分布を（他の各種の外界条件は一応無視して平均的に考えると）推定することができる。また、その短時間における

$$\text{平均値} = 0.866 \sqrt{E}$$

$$\text{有義平均値} = 1.415 \sqrt{E}$$

$$1000\text{回に1回の最大期待値} = 2.74 \sqrt{E}$$

$$N\text{回に1回の最大期待値} = \sqrt{\ln N} \cdot \sqrt{E}$$

なども推定することができる。

この曲げ応力から波浪曲げモーメントと計算し、寸法の異なる船の比較のためにこれを無次元化したものが図5.2である。

無次元化モーメント \bar{M} は

$$\bar{M} = \frac{M}{\rho g L^3 B} = c \cdot X$$

として、表5.1に示す数字から計算した。ここで M は波浪曲げモーメント複振巾 ($t - m$)、 L は船の長さ(m)、 B は船の幅(m)、 ρg は海水の比重量 (t/m^3)、 X は応力複振巾 (Kg/mm^2)、 c は無次元化係数 (Kg/mm^2)¹ である。なお、同図には参考のためにさきに第63研究部会が行なつた12,000トン級の貨物船の計測結果も併記した。

5.2 短期分布の最大応力

短期分布(15分間)の最大応力複振巾を1個ずつ選びだして、波高別に分類プロットすると図5.3が得られる。相当ばらつきがはげしいが、その最上限の包絡線をとつてみても予想外に小さい値を示している。これは、この資料が振幅計数方式の頻度計からとつたもので、とくに今回は振動波の重畠が甚しかったため、さきに図3.1.2について述べた理由によつて、高周波の振動にかくれて、低周波の波浪曲げをミスしたものが多かつたためかと考えられる。

この最大値の確率分布状況を示したもののが図5.4で、同じ頻度計による15分間の最大値とやや長い4時間の最大値をそれぞれとつた。横軸 $P(x)$ は累積分布函数

$$P(x) = \exp(-\theta^{-y})$$

$$y = a(X - u), a, n \text{ は定数}$$

でこの図で最大値が直線状に分布するとは、その最大値 X を抜取つたサンプルの母集団の分布函数が対数型であることを示している。ここで15分間の短期分布も比較的よい直線性を示しているのも、やはり上記のように振動波を計数しているためと思われる。本図では、外界条件は一切無視しているので、この図だけから最大値の傾向を類推することは早計で、あらゆる外界条件に十分多く遭遇するような長期間の大量のサンプルを用いたものでなければならぬことはいうまでもない。

5.3 長期分布の推定

ある波高の海面における波浪荷重または船体応力の短期分布いいかえれば \sqrt{E} が分れば、長期間に航走する海面の全期間にわたる波高の分布を求めれば、荷重または応力の長期分布の推定が可能である。

図5.5(A)はISSC(国際船体構造会議)の波浪委員会の報告書から求めた統計資料によるもので、南支那海(海域4)と印度洋(海域7)の年間平域の波高分布を合計したヒストグラムである。アラビア航路の船が南支那海と印度洋と同一日数ずつ航走するものとし、湾内や海峡などの航行を無視すれば、さわめて長期間に遭遇する波高の分布はほぼこれに等しいものと考えてよい。(B)図はあとの便利のために波高を等間隔に分割して書直したもので、新しく分割した部分の高低差は適当につけたものである。

いま、明扇丸が長期間アラビア航路に就役するとして、その長期間の波浪曲げモーメントおよび波浪荷重を推定してみる。さきに図5.1および5.2で求めた、波高に対する \sqrt{E} および $\sqrt{E_M}$ の平均的な曲線から、図5.5の各波高区分に対応する値を求め、遭遇頻度の重みをかけて累積すると図5.6が得られる。応力複振巾が1kg/mm²を越える確率は1%程度できわめて低い。さらに、これを外挿して、いつそう低い確率の(たとえば、10万回に1回とか)応力値を推定することとは無理である。

5.4 短期分布の計算値との比較

波浪荷重の短期分布を理論近似式を用いた計算で求めようとする動きも活発で、本協会の第9回研究部会では、各種船型について、寸法、船速、海象などを系統的に変えたぼう大な計算を行なつてゐる。この計算の精度が確認されれば、上記のとおり海面状態の長期統計資料を用いて長期分布を推定することは可能である。

実船計測はこの計算の裏付けとするためにも、極めて重要な意味をもつものである。

大型油送船の波浪荷重の計算と実測結果の比較も現在行なつてゐるが、実測終了直後でまだ十分解析を加えていない資料も多いので後日改めて報告することにする。

表 3.1 明扇丸試験における気象・海象 (その1)

計測日	計測時間	船速 knot	プロペラ 回転数 r.p.m.	気象				風浪				波高				波長				備考	
				天候	気圧 mbar	水温 ℃	対船方向	風力 階級	対船方向	風浪 階級	波高 m	うねり 階級	波高 m	うねり 階級	波高 m	波長 m	右	左	前	後	
43.8.1	8:00	17.5	101.0	o	997	25.5	2.85	SE ↗	4	SE ↗	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
	12:00	17.5	101.5	c	997	27.0	2.80	SE ↗	2	SE ↗	2	0.5	5	NE ↗	3	1.0	5				
	20:00	17.5	101.2	b	99.65	26.5	2.85	SW ↗	4	SW ↗	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
43.8.2	8:00	17.5	101.3	b c	100.2	25.0	2.70	NNE ↗	2	NNE ↗	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	12:00	2		b c	100.3	26.0	2.70	NE ↗	3	NE ↗	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	20:00			c	100.4	24.5	2.65	N	3	N	3	0.2	4	SSW ↗	2	0.5	5	5	5	5	
43.8.3	8:00			c	100.75	24.0	2.75	NNE ↗	3	NNE ↗	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	12:00	3		o	100.8	26.5	2.80	NE	1	NE	1	0.1	1	NiL	-	-	-	-	-	-	
	20:00			c	100.9	27.0	2.80	NNE	3	NNE	3	3	3	N	1	1	1	1	1	1	
43.8.4	8:00	16.0	82.6	b c	101.05	26.5	2.70	ESE ↗	2	ESE ↗	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	12:00	4	15.0	90.6	b c	101.05	28.5	2.90	SSE ↗	3	SSE ↗	3	0.5	20	S ↗	2	1.0	20			
	20:00	117.0	101.7	b c	100.85	27.0	2.95	SE ↗	4	SE ↗	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2
43.8.5	8:00	17.0	101.5	b c	100.75	28.0	2.90	SE ↗	4	SE ↗	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	12:00	5	18.0	102.2	b c	100.75	30.0	S ↗	4	S ↗	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	20:00	17.0	101.6	b c	100.70	28.0	30.5	ENE ↗	2	ENE ↗	2	0.5	15	S ↗	1	0.5	10				
43.8.6	8:00	17.0	101.6	b c	100.65	30.0	30.5	ESE ↗	1	ESE ↗	1	0.05	2	WSW ↗	2	1.0	20				
	12:00	6	18.0	102.0	b c	100.65	27.5	30.5	SE ↗	2	SE ↗	2	2	2	WSW ↗	1					
	20:00	17.5	102.1	b c	100.65	28.0	30.0	SSW ↗	4	SSW ↗	4	4	4	4	2	2	2				
43.8.7	8:00	17.5	102.0	c	100.50	28.0	30.0	SSW ↗	5	SSW ↗	5	2.0	15	SW ↗	3	2.0	30				
	12:00	7	17.0	101.8	q	100.55	28.0	30.0	SSW ↗	6	SSW ↗	6	2.0	15	SW ↗	3	3.0	30			
	20:00	8	16.5	101.6	o	100.45	27.5	30.0	S ↗	6	S ↗	6	3.0	30	SW ↗	3	3.0	30			

表 3.1 明扇丸における気象・海象 (その2)

計測日	計測時間	船速 knot	プロペラ 回転数 $r.P.m$	気象				海象				動揺				備考		
				天候	気圧 $mBar$	気温 ℃	水温 ℃	対船方向	風力 階級	対船方向	風浪 階級	波高 m	うねり 階級	波高 m	波長 m	右	左	
4.3.8	8:00	16.0	101.3	b c	100.65	27	29	SW ↗	6	SW ↗	6		SW ↗	4				
	12:00	9	16.5	101.5	c	100.7	29	SW ↗	6	SW ↗	6	4.0	6.0	SW ↗	4	3.0	8.0	
	20:00		17.5	101.7	b c	100.65	27	29	SW ↗	4	SW ↗	4		SW ↗	3		マレー諸島	
4.3.8	8:00	17.0	101.8	b c	100.75	28	30	SSW ↗	3	SSW ↗	3		SW ↗	2			スマトラ沖	
	12:00	10	17.0	102.0	b c	100.70	31	29.5	SSW ↗	4	SSW ↗	4	1.5	10	SW ↗	3	2.0	7.0
	20:00		17.0	101.9	b c	100.55	27.5	29.5	S ↗	4	S ↗	4		S ↗	2			
4.3.8.10	8:00	17.0	99.4	b c	100.70	28.0	30.5	SSW	2	SSW	2		SW ↗	2			マラッカ海峡	
	12:00	11	17.0	99.4	b c	100.70	31.5	30.5	SSW	1	SSW	1	0.05	1	NiL	-	-	
	20:00		17.5	101.7	b c	100.55	28.0	30.5	NW ↗	2	NW ↗	2		NiL	-			
4.3.8.11	8:00	17.0	101.0	b c	100.65	29.0	29.0	W ↗	6	W ↗	6		W ↗	3				
	12:00	12	17.0	102.0	b c	100.75	30.5	29.0	WSW ↗	6	WSW ↗	6		WSW ↗	5	2.0	3.0	
	20:00	13	17.0	102.0	b c	100.75	27.5	29.0	SSW ↗	6	SSW ↗	6	3.0	5.0	SSW ↗	4	2.0	2.5
4.3.8.12	8:00	14	16.0	101.9	c	100.80	28.5	29.0	SSW ↗	7	SSW ↗	7	4.0	5.0	SW ↗	6	5.0	4.0
	12:00	15	16.0	102.0	b c	100.85	29.0	29.0	SSW ↗	7	SSW ↗	7	5.0	8.0	SSW ↗	6	5.0	5.0
	20:00		16.0	101.9	b c	100.70	27.0	29.0	SSW ↗	8	SSW ↗	8		SSW ↗	6			
4.3.8.13	8:00	17.0	101.7	b c	100.80	29.0	28.0	SW ↗	8	SW ↗	8		SW ↗	8				
	12:00	16	17.0	101.8	b c	100.80	28.5	28.0	SW ↗	8	SW ↗	8	6.0	5.0	SW ↗	7	6.0	10.0
	20:00		17.0	101.8	b c	100.85	26.0	27.0	SW ↗	6	SW ↗	6		SW ↗	6		セイロン沖	
4.3.8.14	8:00	16.5	101.5	b c	100.80	27.5	27.0	WSW ↗	7	WSW ↗	7		W ↗	5				
	12:00	17	17.0	102.1	b c	100.80	30.0	26.0	WSW ↗	4	WSW ↗	3	0.5	2.0	W ↗	4	2.0	6.5
	20:00		17.0	102.4	b c	100.72	26.5	27.0	SW ↗	5	SW ↗	5		SW ↗	3			

表 3.1 明扇丸における気象・海象(その3)

計測日	計測時間	船速 knot	計測番号	気象					海象					備考			
				プロペラ回転数 <i>r.p.m</i>	天候	気圧 mBar	気温 ℃	水温 ℃	対船方向	風力 階級	対船方向	風波長 m	波高 m	うねり方向	うねり 波長 m		
43.8.15	8:00	18	16.0	101.8	g	1006	28	28	W ↗	8	5.0	7.5	W ↗	6	3.0	5.0	アラビア海
	12:00	19	15.5	101.6	c	1005	28.5	28	WSW ↗	8	7.0	5.0	W ↗	6	4.0	7.5	
	20:00	20	15.5	101.4	o	1004.5	27.0	28.5	WSW ↗	8	4.0	2.0	WSW ↗	6	3.0	10.0	
43.8.16	8:00	15.0	101.3	o	1003.5	26.5	27.5	SW ↗	8	8	SW ↗	8	6	6	6		
	12:00	21	15.0	101.4	o	1003.0	27.5	27.5	WSW ↗	8	8	SW ↗	8	6.0	10.0		
	20:00	16.5	101.9	bc	1001.5	26.0	27.5	SW ↗	8	8	SW ↗	8	6	6	6		
43.8.17	8:00	16.5	102.4	c	1001	25.0	26.0	SW ↗	8	8	SW ↗	8	6	6	6		
	12:00	22	16.0	102.2	c	999	26.0	26.5	SW ↗	8	8	SW ↗	8	6	6		
	20:00	18.0	101.9	b	997	24.0	25.5	S ↗	5	5	S ↗	5	3	3	3		
43.8.18	8:00	17.5	100.8	b	996.0	32.0	33.0	WNW ↗	3	3	WNW ↗	3	3	3	3	ペルシャ湾	
	12:00	23	17.0	9.8.3	b	996.0	32.0	32.5		3	3	0.5	1.5	NiL	-		
	20:00	16.0	8.9.8	m	994.5	31.0	32.0		2	2		2		NiL	-		
43.8.19	8:00	17.0	101.4	bc	998.0	30.0	32.0	N ↗	2	N ↗	2			NiL	-		
	12:00	17.0	101.3	b	998.0	33.0	32.0	SE ↗	3	SE ↗	2	0.2	1.0	NiL	-		
	20:00	17.0	101.5	b	998.0	31.0	34.0	NW ↗	2	NW ↗	2			NiL	-		
43.8.20	8:00	17.0	102.1	b	998.5	26.0	24.0	SSE ↗	3	SSE ↗	3	SE ↗	2	2	2	アラビア海	
	12:00	17.0	102.7	b	998.5	27.0	26.0	S ↗	3	S ↗	3	0.7	1.0	SE ↗	3		
	20:00	16.0	102.2	b	1002	23.0	25.0	SSW ↗	6	SSW ↗	6	8	8	S ↗	5		
43.8.21	8:00	16.0	102.1	bc	1000.5	24.0	26.5	SW ↗	8	SW ↗	8	SW ↗	7	5.0	10.0		
	12:00	16.5	102.3	bc	1005	27.0	27.0	SW ↗	8	SW ↗	8	SW ↗	7	5.0	10.0		
	20:00	16.5	102.6	bc	1006	26.0	28.0	SW ↗	7	SW ↗	7	SW ↗	7	5.0	10.0		

表3.1 明爾丸における気象・海象 (その4)

計測日	計測時間	計測番号	船速 knot	プロペラ 回転数 r.p.m.	気象						海象						偏 航 考
					天候	気圧 mBar	気温 ℃	水温 ℃	対船方向	風力 階級	対船方向	風浪 階級	波高 m	波長 m	うねり 階級	波高 m	波長 m
43.8.24	8:00	17.0	103.0	c	10.11	2.50	27.5	27.5	WSW	7	WSW	7	2.0	2.0	WSW	6	
	12:00	17.5	103.0	bc	10.09	2.80	28.0	28.0	WSW	6	WSW	6	2.0	2.0	WSW	6	5.0
	20:00	17.5	103.1	o	10.1.5	2.60	28.5	28.5	W	5	W	5	2.0	2.0	WSW	5	
43.8.25	8:00	17.0	103.0	bc	10.10	2.50	28.0	28.0	NW	4	NW	4	2.0	2.0	NNW	4	
	12:00	17.0	103.0	c	10.19	2.80	28.5	28.5	NW	3	NW	3	0.7	1.0	NNW	3	2.0
	20:00	17.0	102.9	bc	10.10	2.40	24.0	24.0	NW	4	NW	4	2.0	2.0	W	3	
43.8.26	8:00	16.5	103.0	bc	10.10	2.40	26.5	26.5	W	5	W	5	2.0	2.0	W	4	
	12:00	16.5	102.9	bc	10.12	2.85	27.5	27.5	WSW	3	WSW	3	3.0	5.0	W	4	3.0
	20:00	18.0	102.8	b	10.10	2.65	28.0	28.0	WNW	4	WNW	4	2.0	2.0	NNW	3	2.0
43.8.27	8:00	17.0	102.7	bc	10.1.5	2.6.5	28.0	28.0	SSW	5	SSW	5	2.0	2.0	SSW	4	
	12:00	17.5	102.4	bc	10.11.5	2.8.0	28.0	28.0	SW	5	SW	5	2.0	6.0	SSW	4	2.5
	20:00	17.0	102.7	bc	10.10	2.6.5	29.0	29.0	SW	4	SW	4	2.0	2.0	SW	4	
43.8.28	8:00	17.0	103.0	c	10.11.5	2.5.0	29.0	29.0	SW	3	SW	3	2.0	2.0	SW	3	
	12:00	17.0	103.1	bc	10.10.5	2.8.0	28.5	28.5	SW	3	SW	3	1.0	2.0	SW	3	3.0
	20:00	17.5	102.7	c	10.09.0	2.7.0	29.5	29.5	SIP	3	SIP	3	2.0	2.0	SIP	3	
43.8.29	8:00	17.0	102.4	o	10.10	2.5.0	29.5	29.5	SSE	2	SSE	2	0.5	2.5	NiL	-	
	12:00	17.0	102.1	c	10.10	2.2.0	30.0	30.0	SE	2	SE	2	2	3.0	NiL	-	
	20:00	17.0	102.0	c	10.08	2.7.0	30.5	30.5	calm		calm		2	2	NiL		
43.8.30	8:00	16.0	9.7.4	c	10.02.5	2.5.5	30.5	30.5	?		?		2	2	NiL		
	12:00	16.5	9.9.2	bc	10.08.5	2.9.0	30.5	30.5	?		?		2	1.0	NiL	-	
	20:00	17.0	9.9.6	b	10.06.5	2.7.0	30.0	30.0	?		?		2	2	NiL		

表3.1 明扇丸における気象・海象(その5)

計測日	計測時間	船速 knot	プロペラ 回転数 r.p.m.	気象				海象				動揺				備考	
				天候	気圧 mBar	気温 ℃	水温 ℃	対船方向	風力 階級	対船方向	風浪 階級	波高 m	波長 m	うねり 階級	波高 m	右	左
43.8.31	8:00	17.0	102.6	b c	100.8	27.0	30	SSE	2	SSE	2			SSE	1		
	12:00	17.0	102.9	b c	100.8	32.5	30	S	3	S	3	1.0	15	S	1	0.5	3.0
	20:00	17.0	103.0	b c	100.7	27.5	30	S	3	S	3			S	1		マレー諸島
	8:00	17.0	102.9	b c	100.8	28.0	29.5	SW	4	SW	4			SW	3		
43.9.1	12:00	17.5	103.0	b c	100.8	35.0	29.0	SW	4	SW	4	1.5	30	SW	3	1.5	5.0
	20:00	17.0	103.0	o	100.6.5	28.0	29.0	WSW	4	WSW	3			WSW	2		
	8:00	17.5	102.9	b c	100.6	26.5	29.5	SW	6	SW	6			SW	4		フィリピン沖
	12:00	17.0	102.8	b c	100.6	30.5	29.5	SW	6	SW	6	3.0	15	SW	5	5.0	7.5
43.9.2	20:00	17.0	102.7	o	100.6	24.0	29.5	SSW	7	SSW	7			SSW	5		
	8:00	16.5	102.7	q	100.6	27.0	29.5	NW	4	NW	4			S SW	3		
	12:00	17.0	102.3	b c	100.4	29.0	29.0	NNE	5	NNE	5	3.0	25	NNE	5	3.0	8.0
	20:00	15.0	101.4	o	100.0.5	27.0	29.5	WNW	8	WNW	8			NE	8		
43.9.3	8:00	15.0	97.4	u	99.7	28.0	29.0	S	8	S	8			W	7		
	12:00	16.0	98.5	b c	99.8.5	26.0	28.5	SE	7	SE	7	3.0	20	W	6	4.0	12.0
	20:00	17.0	102.7	b c	100.4.0	24.0	25.0	NE	7	NE	7			S SW	7		
	8:00	16.0	100.8	b c	100.5.5	26.0	27.5	NE	7	NE	5			E	7		
43.9.5	12:00	16.0	101.6	b	100.4.0	30.5	28.0	NE	7	NE	6	5.0	30	NNW	8	5.0	100
	20:00	15.0	101.7	c	100.8.0	27.0	27.0	NE	7	NE	7			ENE	7		
	8:00	15.0	101.4	b c	101.1.5	24.0	28.0	ENE	8	ENE	8			ENE	7		
	12:00	17.0	102.1	b c	101.0.5	29.0	28.0	E	7	E	7	4.0	30	ENE	7	3.0	5.0
20:00																	下津

表 3.3 各種解析法による甲板曲げ応力の R および \sqrt{E}

海 象	計測開始時刻	RM, Sコンピューターによる		オツシログラムによる(複振幅)			
		片振幅の標準偏差		振動を含む		振動を含まない	
		$R \frac{Kg}{mm^2}$	$2\sqrt{2} R \frac{Kg}{mm^2}$	$\sqrt{E} \frac{Kg}{mm^2}$	$c, p, m.$	$\sqrt{Ew} \frac{Kg}{mm^2}$	$c, p, m.$
Bow 2	8/4 12.00	0.07	0.20	0.11	3.8.5	0.16	3.6.0
Beam 2	8/1 12.00	0.15	0.42			0.42	10.32
	8/10 12.00	0.04	0.11	0.17	3.6.0		
Q.F. 2	8/6 12.00	0.04	0.11	0.20	3.8.2	0.10	
	8/1 20.00	0.18	0.51				
Head 3	8/9 12.00	0.10	0.28	0.49	3.8.5		
	8/9 16.00	0.08	0.23				
	8/5 12.00	0.07	0.20	0.22	3.8.2	0.10	
Beam 3	8/4 21.00	0.05	0.14	0.37	3.8.0	0.13	3.00
	8/14 12.00	0.20	0.57	0.47	3.6.5	0.66	9.00
Q.F. 3	8/1 8.00	0.20	0.57				
	8/17 16.00	0.20	0.57	0.37	3.7.5	0.69	4.50
Head 4	8/7 12.00	0.15	0.42	0.58	3.8.5	0.17	12.00
	8/8 12.00	0.18	0.51	0.71	3.8.2	0.21	14.40
	8/11 8.00	0.15	0.42	0.48	3.8.5	0.16	13.08
	8/11 12.00	0.20	0.57	0.56	3.7.7	0.41	9.00
	8/11 16.00	0.41	1.16	1.02	3.7.7	0.54	7.20
	8/7 20.00	0.30	0.85	0.96	3.8.5	0.25	12.00
Bow 4	8/12 12.00	0.30	0.85	0.79	3.7.0	0.58	7.98
	8/12 16.00	0.35	0.99	1.02	3.7.7	0.58	5.16
	8/14 8.00	0.22	0.62	0.55	3.7.5	0.51	10.26
	8/14 16.00	0.15	0.42	0.51	3.8.0	0.51	9.00
	8/12 8.30	0.35	0.99	0.83	3.7.3	0.53	5.76
Bow 5	8/13 8.00	0.22	0.62	0.66	3.8.2	0.52	4.80
	8/13 12.00	0.21	0.59	0.59	3.8.0	0.56	4.98
	8/15 8.00	0.42	1.19	0.96	3.7.7	0.83	7.98
	8/15 12.00	0.43	1.22	1.00	3.7.5	1.03	8.46
	8/15 16.40	0.49	1.39	1.23	3.7.5	1.08	7.56
	8/16 12.00	0.40	1.13	1.44	3.7.5	0.78	6.84
	8/17 12.00	0.50	1.41	0.75	3.7.5	0.93	5.76

表 3.4 往航時の上甲板上縦応力頻度分布 (その 1)

計測日	計測時間	風浪 階級	応 力 範 囲 (Kg/mm ²)						
			0.36~0.54	0.54~1.08	1.08~1.62	1.62~2.16	2.16~2.70	2.70~3.24	3.24~3.78
43.8.1	20分間	4	229回	2	0	0	0	0	0
	20分間	2	184	3	1	0	0	0	0
	20分間	2	720	0	0	0	0	0	0
	20分間	4	645	0	0	0	0	0	0
	4時間	4	3,000	12	0	2	0	0	0
	4時間	2	5,718	6	1	0	0	0	0
	4時間	4	5,552	1	0	0	0	0	0
	24時間	4							
43.8.2	20分間	2	3	0	0	0	0	0	0
	20分間	2	5	1	0	0	0	0	0
	20分間	4	70	0	0	0	0	0	0
	20分間	3	7	0	0	0	0	0	0
	4時間	2	127	3	1	0	0	0	0
	4時間	4	229	1	0	0	0	0	0
	4時間	4	317	0	0	0	0	0	0
	24時間	3	747	18	6	1	0	0	0
43.8.3	20分間	3	14	1	0	0	0	0	0
	20分間	1	3	0	0	0	0	0	0
	20分間	2	4	0	0	0	0	0	0
	20分間	3	0	0	0	0	0	0	0
	4時間	3	60	4	0	0	0	0	0
	4時間	2	59	2	1	0	0	0	0
	4時間	3	41	3	2	0	0	0	0
	24時間	3	203	14	5	1	0	0	0
43.8.4	20分間	2	2	0	0	0	0	0	0
	20分間	2	13	1	0	0	0	0	0
	20分間	3	120	0	0	0	0	0	0
	20分間	4	172	0	0	0	0	0	0
	4時間	2	246	13	6	0	0	0	0
	4時間	3	586	3	0	1	0	0	0
	4時間	4	1,463	1	0	0	0	0	0
	24時間	4	4,261	19	6	1	0	0	0

表 3.4 (その2)

計測日	計算時間	風浪 階級	応力範囲 (kg/mm ²)						
			0.36~0.54	0.54~0.90	0.90~1.26	1.26~1.62	1.62~1.98	1.98~2.34	2.34~2.70
43.8.5	20分間	4	67回	0回	0回	0回	0回	0回	0回
	20分間	4	15	0	0	0	0	0	0
	20分間	3	223	0	0	0	0	0	0
	20分間	3	41	0	0	0	0	0	0
	4時間	4	1,001	0	1	0	0	0	0
	4時間	4	1,036	2	0	0	0	0	0
	4時間	3	833	3	0	0	0	0	0
	24時間	4	4,457	9	4	1	0	0	0
43.8.6	20分間	2	22	0	0	0	0	0	0
	20分間	1	87	1	0	0	0	0	0
	20分間	3	49	1	0	0	0	0	0
	20分間	2	219	0	0	0	0	0	0
	4時間	2	438	0	3	0	0	0	0
	4時間	3	1,415	6	0	0	0	0	0
	4時間	3	1,644	13	3	1	0	0	0
	24時間	3	10,862	299	8	4	0	0	0
43.8.7	20分間	4	362	44	0	0	0	0	0
	20分間	5	260	572	72	6	0	0	0
	20分間	6	311	159	66	3	0	0	0
	20分間	6	573	215	40	2	0	0	0
	4時間	5	5,177	843	29	6	0	0	0
	4時間	6	4,389	2,270	431	80	4	0	0
	4時間	6	4,373	1,706	306	17	0	0	0
	24時間	6	24,303	12,462	4,402	1,250	302	71	22
43.8.8	20分間	6	363	236	49	4	0	0	0
	20分間	6	350	185	70	28	9	2	0
	20分間	5	373	65	2	0	0	0	0
	20分間	4	423	16	0	0	0	0	0
	4時間	6	4,724	2,277	39	2	0	0	0
	4時間	6	4,586	1,516	524	39	10	2	0
	4時間	5	3,540	509	16	0	0	0	0
	24時間	6	23,683	4,670	585	45	10	2	0
43.8.9	20分間	3	268	1	0	0	0	0	0
	20分間	4	653	1	0	0	0	0	0
	20分間	5							
	20分間	4	163	3	0	0	0	0	0
	4時間	4	4,336	264	1	1	0	0	0
	4時間	5	5,596	578	22	1	0	0	0
	4時間	5	2,427	249	2	0	0	0	0
	24時間	5	12,801	1,111	36	4	1	0	0

表 3.4 (その3)

計測日	計測時間	風浪 階級	応力範囲 (Kg/mm ²)						
			0.36~0.54	0.54~0.90	0.90~1.26	1.26~1.2	1.62~1.98	1.98~2.34	2.34~2.70
43.8.10	20分間	2	4回	0	0	0	0	0	0
	20分間	1	16	3	1	0	0	0	0
	20分間	2	3	0	0	0	0	0	0
	20分間	2	17	0	0	0	0	0	0
	4時間	2	503	40	1	0	0	0	0
	4時間	2	37	3	1	0	0	0	0
	4時間	2	254	39	1	0	0	0	0
	24時間	3	8,699	1,584	84	2	0	0	0
43.8.11	20分間	6	9,068	1,445	86	5	0	0	0
	20分間	5	301	75	2	0	0	0	0
	20分間	6	253	201	85	48	11	1	0
	20分間	6	285	189	46	2	0	0	0
	4時間	6	12,697	2,026	106	5	0	0	0
	4時間	6	4,350	1,336	109	5	0	0	0
	4時間	6	4,126	2,047	517	118	18	1	0
	24時間	6	32,261	12,104	3,125	736	103	8	0
43.8.12	20分間	7	229	224	122	43	9	0	0
	20分間	7	305	141	49	9	4	0	0
	20分間	7	287	196	66	7	0	0	0
	20分間	8	388	144	22	1	0	0	0
	4時間	7	4,056	2,613	831	163	27	4	0
	4時間	7	4,093	2,166	532	85	19	3	0
	4時間	8	3,896	2,368	642	64	6	0	0
	24時間	8	57,017	12,608	2,988	446	83	9	1
43.8.13	20分間	8	365	117	2	0	0	0	0
	20分間	8	331	60	0	0	0	0	0
	20分間	7	330	13	0	0	0	0	0
	20分間	6							
	4時間	8	4,946	1,101	94	3	0	0	0
	4時間	8	3,159	376	5	0	0	0	0
	4時間	7							
	24時間	8	25,276	5,781	494	20	0	0	0
43.8.14	20分間	7	357	19	0	0	0	0	0
	20分間	3	281	44	3	1	0	0	0
	20分間	6	387	0	0	0	0	0	0
	20分間	5							
	4時間	7	4,325	742	55	2	0	0	0
	4時間	6	3,481	606	43	3	0	0	0
	4時間	6							
	24時間	7	22,519	8,874	2,443	663	150	21	4

表3.4 (その4)

計測日	計測時間	風浪 階級	応力範囲 (kg/mm ²)						
			0.36~0.54	0.54~0.90	0.90~1.26	1.26~1.62	1.62~1.98	1.98~2.34	2.34~2.70
43.8.15	20分間	8	217回	288回	114回	20回	3回	0回	0回
	20分間	8	203	270	114	24	1	0	0
	20分間	8	269	173	73	46	19	7	2
	20分間	8	228	200	149	56	20	1	4
	4時間	8	3,491	2,595	1,057	297	97	33	6
	4時間	8	3,172	2,511	983	299	72	20	12
	4時間	8	2,628	2,199	1,116	530	227	56	19
	24時間	8	16,651	14,378	7,234	2,982	1,133	385	195
43.8.16	20分間	8	218	212	116	41	16	4	4
	20分間	8	249	177	95	49	7	3	1
	20分間	8	236	217	51	24	13	2	0
	20分間	8							
	4時間	8	2,955	2,848	1,509	557	194	61	15
	4時間	8	3,019	2,469	1,154	324	108	25	5
	4時間	8							
	24時間	8	20,690	13,149	4,900	1,341	388	95	20
43.8.17	20分間	8	383	68	5	0	0	0	0
	20分間	8	328	123	22	2	1	0	0
	20分間	5	138	25	3	0	0	0	0
	20分間	5	44	0	0	0	0	0	0
	4時間	8	4,254	1,323	409	46	5	0	0
	4時間	8	3,319	702	99	10	1	0	0
	4時間	5	628	130	8	0	0	0	0
	24時間	8	9,409	2,785	521	57	7	0	0
43.8.18	20分間	3	12	3	0	0	0	0	0
	20分間	3	3	0	0	0	0	0	0
	20分間	2	54	6	5	1	0	0	0
	20分間	2							
	4時間	3	147	12	1	0	0	0	0
	4時間	3	192	6	5	1	0	0	0
	4時間	2							
	24時間	4							
合計	384時間	6	273,839	89,795	26,841	7,552	2,176	591	242

- 注.
1. 計測時間は本船時間
 2. 風浪階級はその時間内の最大のもの
 3. 20分間の計測時間 8:00~8:20, 12:00~12:20, 16:00~16:20, 20:00~20:20
 4. 4時間の計測時間 8:00~12:00, 12:00~16:00, 16:00~20:00
 5. 24時間の計測時間 当日の8:00より翌日の8:00まで

表 3.5 横底力復振巾の \sqrt{E} ($1/16$ 3 バラストタンク内)

月 日	測 定 時 間 (分)	風力階級	応 力 計 測 点 №										海 象	備 考
			6	7	9	10	12	13	14	16	17	波高 [m]		
8・1	12:00	15	2	0.149	0.102	0.104	0.365	—	0.084	0.155	—	0.099	0.5	5
8・2	12:00	15	3	0.152	0.078	0.105	0.128	—	—	0.064	—	—	0.2	4
8・3	12:00	10	1	0.161	0.132	—	0.213	—	—	—	—	—	0.1	1
8・4	12:00	10	3	—	—	0.250	0.201	—	—	—	—	0.083	0.198	0.5
8・5	12:00	15	4	—	—	0.083	0.126	—	—	—	—	—	—	2.0
8・6	12:00	10	1	—	—	0.192	0.277	—	—	—	—	—	—	1.5
8・7	12:00	15	6	0.288	0.142	0.263	0.406	—	0.203	0.209	—	0.796	2.0	15
8・7	20:00	10	6	0.260	0.132	0.219	0.193	0.142	0.122	0.166	—	0.711	3.0	3.0
8・8	12:00	15	6	0.304	0.135	0.232	0.490	—	—	—	—	—	0.717	4.0
8・9	12:00	10	4	0.224	0.154	0.188	0.321	—	—	—	—	—	0.711	1.5
8・10	12:00	10	1	—	—	0.055	0.141	0.194	—	—	—	—	—	1.0
8・11	12:00	15	6	0.263	0.206	0.305	0.399	0.109	—	—	—	—	0.642	2.0
8・11	20:00	15	6	0.286	0.243	0.374	0.367	0.135	0.207	—	—	—	0.249	3.0
8・12	8:00	15	7	0.0964	0.208	0.362	0.496	0.125	0.151	0.277	—	0.927	4.0	5.0
8・12	12:00	15	7	0.257	0.152	0.337	0.673	0.126	0.157	0.0536	—	1.005	5.0	5.0
8・13	12:00	15	8	0.282	0.213	0.266	0.427	0.078	0.189	0.364	—	0.701	6.0	5.0
8・14	12:00	10	4	0.234	0.192	0.324	0.597	0.106	0.193	0.382	—	0.631	0.5	2.0
8・15	8:00	15	8	0.374	0.330	0.509	0.823	0.179	0.259	0.517	—	1.480	5.0	7.5
8・15	12:00	15	8	0.111	0.126	0.241	0.910	0.053	0.110	0.272	—	1.620	7.0	5.0
8・15	20:00	15	8	0.438	0.370	0.539	1.053	0.199	0.360	0.360	—	1.365	4.0	2.0
8・16	12:00	15	8	0.518	0.507	0.553	1.016	2.437	0.311	0.572	0.244	1.138	6.0	1.00
8・17	12:00	15	8	0.420	0.437	0.512	0.705	0.189	0.273	0.480	0.3552	0.869	5.0	6.0
8・18	12:00	10	3	—	—	—	—	—	—	—	—	0.093	0.5	1.5

表4.1 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第1次航: 4時間計測) (その1)

日付	時間	風浪 階級	応力レベル (Kg/mm²)						
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020	3.020~3.675
1968年 3. 16	4時間	5	1,637回	354回	43回	5回	1回	回	回
	4 "	5	832	624	230	47	12	4	
	4 "	5	344	378	295	187	89	41	11
	24 "	5	4,413	2,221	952	470	200	79	13
3. 17	4 "	3	661	408	53				
	4 "	3	612	477	96	9			
	4 "	3	831	487	85	12	1		
	24 "	3	5,389	2,979	396	36	1		
3. 18	4 "	2	954	492	31	1			
	4 "	2	938	456	20				
	4 "	2	913	437	14				
	24 "	2	5,661	2,175	73	1			
3. 19	4 "	3	1,090	337	7				
	4 "	3	1,257	201	3				
	4 "	3	1,240	291					
	24 "	3	5,193	1,006	10				
3. 20	4 "	3	130	1					
	4 "	3	107	1					
	4 "	2	71						
	24 "	3	348	3	1				
3. 21	4 "	2	21	1					
	4 "	2	53	12	3	2			
	4 "	2	10	3	2	1			
	24 "	2	93	18	6	3			
3. 22	4 "								
	4 "								
	4 "	(バリクバパン停泊)							
	24 "								
3. 23	4 "	4	16	5	4	4			
	4 "	2	2						
	4 "	2	751	2	3	1			
	24 "	4	7,787	114	11	8	2	1	
3. 24	4 "	3	2,192	129					
	4 "	3	2,286	155					
	4 "	3	3,662	215					
	24 "	4	16,669	1,789	123	1			
3. 25	4 "	4	1,246	843	164	9			
	4 "	4	1,218	837	232	27	2		
	4 "	3	987	971	276	40	3		
	24 "	4	7,365	5,737	1,508	162	9		

表4.1 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第1,2次航:4時間計測) (その2)

日付	時間	風浪 階級	応力ベル (Kg/mm)						
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020	3.020~3.675
1968年 3. 26	4時間	3	926回	903回	224回	21回	回	回	回
	4 "	3	788	964	200	17			
	4 "	3	706	931	307	48	7		
	24 "	3	4,555	5,692	1,704	254	15		
3. 27	4 "	3	658	877	244	23	3	1	
	4 "	3	706	686	175	24	1		
	4 "	3	607	936	327	43	7	1	
	24 "	3	7,814	5,689	1,872	335	41	2	
3. 28	4 "	4	1,740	78	16	2			
	4 "	4	1,780	806	57	1			
	4 "	4	1,939	749	110	5	1	1	
	24 "	4	14,877	4,415	442	23	2	2	
3. 29	4 "	4	2,963	751	65				
	4 "	4	2,640	744	69				
	4 "	4	1,998	1,014	191	22	1		
	24 "	4	12,208	5,243	1,217	210	33	3	
3. 30	4 "	2	2,854						
	4 "								
	4 "		2,854	2,546	927	270	98	45	22
	24 "								
3. 31	4 "		(横浜停泊)						
	4 "								
	4 "								
	24 "								
4. 1	4 "	3	978	667	386	65	6	1	1
	4 "	3	585	495	383	97	18	1	
	4 "	3	2,445	631	257	27	2		
	24 "	3	10,534	3,251	1,308	260	33	5	2
4. 2	4 "								
	4 "								
	4 "		(室蘭停泊)						
	24 "								
4. 3	4 "	2	789	56	3	12	1	1	
	4 "	2	1,603	133	1				
	4 "	2	1,586	3	1				
	24 "	2	10,317	1,860	113	17	1	1	
4. 4	4 "	2	2,198	457	12				
	4 "	1	1,599	283	84	1			
	4 "								
	24 "	2	10,047	2,611	822	162	1	1	

表4.1 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第2次航:4時間計測)(その3)

日付	時間	風浪 階級	応力レベル(kg/mm^2)					
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020
4. 5	4時間	3	2,225回	527回	322回	100回	3回	2回
	4 "	3	2,501	705	690	245	5	10
	4 "							
	24 "	3	10,096	2,323	1,176	429	10	18
4. 6	4 "	3	1,352	350	62	1		
	4 "	3	1,018	273	39			
	4 "	2	1,054	234	23			
	24 "	3	8,457	2,701	2,095	588	10	26
4. 7	4 "	3	2,178	437	202	19		
	4 "	3	2,414	559	208	4		
	4 "	3	2,245	310	12	61		
	24 "	3	12,936	2,046	715	61	1	2
4. 8	4 "	3	2,069	211	71			
	4 "	2	890	246	72			
	4 "	2	617	3				
	24 "	3	9,119	518	143			
4. 9	4 "	2	902	27	1			
	4 "	2	533	1		2		
	4 "	2	479	12				
	24 "	2	4,112	950	745	129		16
4. 10	4 "	3	24	135	93			
	4 "	3	319		2			
	4 "	3	307					
	24 "	3	2,399	139	95		2	
4. 11	4 "	2	441				1	1
	4 "	1	226	1				
	4 "	1	113					
	24 "	2	2,707	4	1		1	1
4. 12	4 "							
	4 "		(HUMAI停泊)					
	4 "							
	24 "							
4. 13	4 "	3	16	1	1	6	1	2
	4 "	3	14	1				
	4 "	3	11					
	24 "	3	1,056	3	2	6	1	2
4. 14	4 "	3	1,671	33				
	4 "	3	2,389	198		1		
	4 "	3	2,642	411	1			
	24 "	3	15,766	3,833	1,083	514	113	14

表4.1 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第2次航:4時間計測)(その4)

日付	時間	風浪 階級	応力レベル (Kg/mm²)					
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020
1968年 4. 15	4時間	4	1,625回	939回	546回	205回	64回	12回
	4 "	4	1,701	838	293	46	2	
	4 "							
	24 "	4	11,974	5,468	1,383	316	67	12
4. 16	4 "	3	1,560	756	35	2		
	4 "	3	1,925	371	3			
	4 "	3	1,616	232				
	24 "	3	12,620	3,728	325	68	5	
4. 17	4 "	4	2,373	1,128	335	73	7	1
	4 "	4	2,330	1,042	478	188	29	3
	4 "							
	24 "	4	10,248	5,870	2,513	940	152	34
4. 18	4 "	1	441	705	352	83	24	5
	4 "	1	2,049	735	199	23	1	
	4 "	2	2236	1,290	654	361	108	53
	24 "	2	11,056	5,893	4,387	2,199	490	216
4. 19	4 "	4	1,794	984	675	507	186	41
	4 "	4	2,428	1,436	926	869	287	145
	4 "	4	2,325	1,276	1,209	695	167	138
	24 "	4	14,911	8,024	6,373	3,175	785	432
4. 20	4 "	3	1,607	914	793	184	17	14
	4 "	3	1,553	1,107	595	165	35	6
	4 "							
	24 "	3	7,565	4,443	2,218	656	134	30
4. 21	4 "							
	4 "		(埠停泊)					
	4 "							
	24 "		5	2	1	3	4	
4. 22	4 "	3	13					
	4 "	3	1,769	133	117			
	4 "		3,492	1,691	888	648	76	102
	24 "	7	8,990	4,218	2,316	1,274	355	221
4. 23	4 "	7	1,558	825	193	36	8	2
	4 "	7	1,214	172				
	4 "	7	291	7		1		
	24 "	7	3,063	1,004	193	37	8	2
840時間			273,104	98,516	37,249	12,607	2,574	1,165
								436

- 注.
1. 計測時間は本船時間
 2. 風浪階級はその時間内の最大のもの
 3. 4時間の計測時間 8:00~12:00 12:00~16:00 16:00~20:00
 4. 24時間の計測時間 当日の8:00より、翌日の8:00まで
 5. 4月23日は、ATT $\frac{1}{3}$ で計測した。

表 4.2 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第1次航: 20分間計測)(その1)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm ²)	応力レベル (Kg/mm ²)						
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020	3.020~3.675
1968 3.16	20分	0.336	38回	回	回	回	回	回	回
	"	0.603	111	69	7		1		
	"	1.248	59	40	37	14	7	11	1
	"	1.571	14	18	12	26	8	6	1
3.17	20分	0.715	30	37	9				
	"	0.480	67	23					
	"	0.801	38	46	14	4			
	"	0.474	87	28					
3.18	20分	0.530	70	27	3				
	"	0.544	75	50					
	"	0.528	74	33	2				
	"	0.503	78	30	1				
3.19	20分	0.477	84	28					
	"	0.404	105	13					
	"	0.454	102	26					
	"	0.462	72	20					
3.20	20分	0.336	18						
	"	0.336	4						
	"	0.336	9						
	"	0.336	2						
3.21	20分	0.477	3	1					
	"	0.536	1						
	"	0.336	7						
	"	0							
3.22	20分								
	"								
	"		(メリクパン停泊)						
	"								
3.23	20分								
	"	0.336	1						
	"	0							
	"	0.336	189						
3.24	20分	0.362	191	8					
	"	0.366	189	9					
	"	0.358	229	8					
	"	0.378	413	29					
3.25	20分	0.612	112	75	12				
	"	0.710	117	110	28	3			
	"	0.765	63	78	23	3			
	"	0.777	73	72	24	4			

表 4.2 上甲板総応力複振巾頻度分布(第1, 2次航: 20分間計測)(その2)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm)	応用レベル (Kg/mm)					
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020
3. 26	20分	0.632	99回	71回	14回	回	回	回
	"	0.663	60	75	4	2		
	"	0.713	64	79	14	2		
	"	0.864	45	87	32	7		
3. 27	20分	0.752	60	82	21	2		1
	"	0.771	70	104	26	4		
	"	0.952	41	79	29	9	3	1
	"	0.708	61	60	13	2		
3. 28	20分	0.627	138	78	16	2		
	"	0.543	119	64	3			
	"	0.623	155	68	25			
	"	0.497	191	54	6			
3. 29	20分	0.476	214	59	3			
	"	0.471	314	79	5			
	"	0.494	189	63	3			
	"	0.653	229	115	25	8	1	
3. 30	20分							
	"							
	"							
	"							
3. 31	20分							
	"							
	"	0.451	48	8	1			
	"	0.823	290	263	78	19	12	3
4. 1	20分	0.660	140	56	21	5		
	"	0.931	56	41	35	11	1	
	"	0.845	53	40	40	1		
	"	0.550	170	42	12	2		
4. 2	20分							
	"							
	"							
	"							
4. 3	20分							
	"	0.457	159	43				
	"	0.352	122	3				
	"	0.391	178	17				
4. 4	20分	0.469	171	44	2			
	"	0.475	140	22	6			
	"	0.502	93	23	2	1		
	"							

表 4.2 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第2次航:20分間計測)(その3)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm)	応力レベル (Kg/mm)					
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020
4. 5	20分	0.469	85回	26回	回	回	回	回
	"	0.504	113	19	1	3		
	"	0.798	156	50	40	16		1
	"							
4. 6	20分	0.449	79	19				
	"	0.443	81	18				
	"	0.459	95	26				
	"	0.439	94	20				
4. 7	20分	0.701	229	65	48	11		
	"	0.449	150	21	4			
	"	0.395	236	21	1			
	"	0.412	241	34				
4. 8	20分	0.476	846	111	43			
	"	0.336	52					
	"	0.336	37					
	"	0.336	94					
4. 9	20分	0.351	85	2				
	"	0.336	58					
	"	0.336	35					
	"	0.336	94					
4. 10	20分	0.336	16					
	"	0.336	56					
	"	0.336	24					
	"	0.336	50					
4. 11	20分	0.336	18					
	"	0.756		1				
	"	0.336	13					
	"	0.336	10					
4. 12	20分							
	"							
	"							
	"							
4. 13	20分	0						
	"	0.516	2	1				
	"	0						
	"	0.587	1	1				
4. 14	20分	0.336	110					
	"	0						
	"	0.378	284	20				
	"	0.484	150	46	2			

表 4.2 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第2次航: 20分間計測)(その4)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm)	応力レベル (Kg/mm)					
			0.168~0.504	0.504~1.008	1.008~1.515	1.515~2.020	2.020~2.520	2.520~3.020
4. 15	20分	0.936	141回	89回	48回	24回	7回	1回
	"	0.706	159	94	38	5		
	"	0.715	206	103	46	10		
	"							
4. 16	20分	0.537	124	63	3			
	"	0.458	193	52				
	"	0.359	112	4				
	"	0.484	106	38				
4. 17	20分	0.787	170	97	48	14	2	
	"	0.824	180	73	50	18	3	1
	"	0.748	144	87	44	7		
	"							
4. 18	20分	0.743	49	66	17	1		
	"	0.952	36	73	39	10	1	
	"	0.604	258	99	34	1		
	"	1.000	142	128	84	42	8	1
4. 19	20分	0.869	210	108	84	25	6	
	"	1.252	156	111	52	54	26	17
	"	1.204	195	109	82	57	25	13
	"							8
4. 20	20分	0.764	174	91	40	11	1	
	"	0.913	118	66	51	22	3	
	"	0.928	62	82	53	14		
	"							
4. 21	20分							
	"							
	"		(埠停泊)					
	"							
4. 22	20分							
	"	0.336	19					
	"	0.559	139	88	4			1
	"	1.165	278	124	96	80	19	14
4. 23	20分	0.776	121	80	27	11		1
	"	0.348	107	2				
	"	0.336	11					

- 注 1. 計測時間は本船時間
 2. \sqrt{E} は計測時間内の応力の自乗平均の平方根
 3. 20分間の計測時間 8.00~8.20 12.00~12.20 16.00~16.20 20.00~20.20
 4. 4月23日はATT 1/3で計測した。

表 4.3 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航:4時間計測)(その1)

日付	時間	風浪階級	応力レベル (Kg/㎟)					
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024
1968年 12.3	4時間	4	270回	回	回	回	回	回
	4 "	4	575	2				
	4 "	4	376	11				
	24 "	4	1,534	15				
12.4	4 "	4	532	31				
	4 "	4	3,864	426	3			
	4 "	5	4,107	454	5			
	24 "	5	13,818	1,137	8			
12.5	4 "	4	871	5				
	4 "	4	873	62				
	4 "	4	803	159				
	24 "	5	4,499	632	21			
12.6	4 "	4	1,331	539	86	6		
	4 "	5	572	559	146	10		
	4 "	5	300	44	2			
	24 "	5	3,074	1,180	234	16		
12.7	4 "	3	23					
	4 "	4	485	23				
	4 "	4	645	37				
	24 "	4	3,150	170				
12.8	4 "	4	175					
	4 "	3	572	10				
	4 "	4	748	148	3			
	24 "	4	2,803	230	3			
12.9	4 "	3	212					
	4 "	3	160	3				
	4 "	3	110					
	24 "	3	1,315	5				
12.10	4 "	2	609					
	4 "	2	60					
	4 "	2	19					
	24 "	2	688					
12.11	4 "	2	2					
	4 "	3	369	3				
	4 "	3	1,573	121	1			
	24 "	3	6,509	1,210	130	17	3	
12.12	4 "	5	4,303	3,233	916	193	34	10
	4 "	5	2,812	881	72	2		
	4 "	5	1,674	253	7			
	24 "	5	11,454	4,524	995	195	34	10
								4

表4.3 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航:4時間計測)(その2)

日付	時間	風浪 階級	応力レベル(Kg/㎟)						
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024	3.024~4.032
1968年 12.13	4時間	4	691回	55回	回	回	回	回	
	4 "	4	773	28					
	4 "	3	564	45					
	24 "	4	7,341	313					
12.14	4 "	2	718	70					
	4 "	2	751	5					
	4 "	3	924	26					
	24 "	3	6,003	159					
12.15	4 "	4	4,678	168					
	4 "	4	99	4					
	4 "	4	266	7					
	24 "	4	7,869	236					
12.16	4 "	4	3,017	296	3				
	4 "	4	121	5	1	1	1		
	4 "	2	9	10					
	24 "	4	3,857	301	4	1	1		
12.17	4 "	2	112						
	4 "	1	25						
	4 "	1	2						
	24 "	2	140						
12.18	4 "	1	94						
	4 "	2	114		1				
	4 "	2	69						
	24 "	2	294		1	(BAHREIN停泊)			
12.19	4 "	2							
	4 "	2							
	4 "	3							
	24 "	3							
12.20	4 "	4	1,119	47					
	4 "	4	16						
	4 "	1	1						
	24 "	4	1,139	4.7					
12.21	4 "	1							
	4 "	1	14	1					
	4 "	1	17						
	24 "	1	1,491	46					
12.22	4 "	4	137	32					
	4 "	4	1,149	43					
	4 "	4	1,289	51					
	24 "	4	6,081	235					

表 4.3 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航: 4時間計測) (その3)

日付	時間	風浪階級	応力レベル (kg/mm ²)					
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024
1968年 12.23	4時間	4	980回	48回	回	回	回	回
	4"	4	709	17				
	4"	4	676	19				
	24"	4	4,409	293	1			
12.24	4"	4	509	31	1			
	4"	4	766	95				
	4"	4	759	97				
	24"	4	3,910	481	4			
12.25	4"	3	868	224	3			
	4"	4	1,441	464	5			
	4"	4	556	101				
	24"	4	4,898	1,009	11			
12.26	4"	2	704	158	4			
	4"	2	920	235	3			
	4"	3	752	95	1			
	24"	3	3,035	602	9			
12.27	4"	3	1,405	103				
	4"	3	537	24				
	4"	3	347	10				
	24"	3	3,932	206				
12.28	4"	2	156	3				
	4"	2	6					
	4"	2						
	24"	2	163	3				
12.29	4"	2						
	4"	2						
	4"	2	1					
	24"	2	437	5				
12.30	4"	3	251					
	4"	3	367					
	4"	3	625	2				
	24"	4	3,259	109				
12.31	4"	4	1,505	130	2			
	4"	4	1,676	212	2			
	4"	4	1,478	135	2			
	24"	4	11,758	630	6			
1969年 1.1	4"	4	1,377	15				
	4"	4	2,046	40				
	4"	4	1,372	50				
	24"	4	8,067	2,569	1,009	342	102	22

表4.3 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航:4時間計測)(その4)

日付	時間	風浪 階級	応力レベル (Kg/mm ²)					
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024
1969年 1. 2	4時間	7	691回	667回	620回	380回	205回	52回
	"	7	985	799	672	433	178	29
	"	7	850	786	619	412	85	6
	"	7	6,118	5,233	3,479	1,875	699	131
1. 3	"	7	1,035	843	568	354	151	79
	"	7	1,046	825	592	363	149	55
	"	6	762	659	578	279	144	49
	"	7	5,567	5,121	3,148	1,691	754	297
1. 4	"	5	736	1,000	325	82	15	
	"	5	855	1,075	309	62	3	
	"	5	979	691	114	8		
	"	5	6,462	3,373	789	152	18	
1. 5	"	4	1,278	195				
	"	5	891	332	38			
	"	5	465	259	31	3		1
	"	5	3,496	2,131	909	277	155	61
1. 6	"	8	301	495	279	324	50	27
	"	8	198	370	423	270	155	64
	"	8	234	543	379	467	201	90
	"	8	1,600	2,281	1,817	1,290	549	249
1. 7	"	4	908	396	46	1		
	"	5	778	443	4	1		
	"	5	615	473	126	52	13	5
	"	5	3,489	2,861	1,342	536	162	46

表 4.4 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航:20分間計測)(その1)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm ²)	応 力 レ ベ ル (Kg/mm ²)					
			0.356~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024
1968 12.3	20分	0.420	3.0	回	回	回	回	回
	"	0.420	57					
	"	0.435	58	2				
	"	0.432	39	1				
12.4	20分	0.420	10					
	"	0.473	95	13				
	"	0.468	493	60				
	"	0.427	141	2				
12.5	20分	0.420	109					
	"	0.420	69					
	"	0.463	56	6				
	"	0.478	86	13				
12.6	20分	0.486	51	9				
	"	0.739	73	60	23	1		
	"	0.463	38	4				
	"	0.420	3					
12.7	20分	0.420	4					
	"							
	"	0.420	7					
	"	0.420	22					
12.8	20分	0.420	23					
	"	0.420	60					
	"	0.509	53	14				
	"	0.471	30	4				
12.9	20分	0.420	36					
	"	0.420	31					
	"	0.420	5					
	"	0.420	9					
12.10	20分	0.420	38					
	"	0.420	6					
	"							
	"							
12.11	20分							
	"							
	"	0.443	58	3				
	"	0.432	233	6				
12.12	20分	0.800	418	323	95	38	7	
	"	0.632	272	183	20	2		
	"	0.520	160	41	2			
	"	0.470	126	16				

表 4.4 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航: 20分間計測)(その2)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm ²)	応力レベル (Kg/mm ²)					
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024
12.13	20分	0.429	102回	2回	回	回	回	回
	"	0.420	6					
	"	0.420	44					
	"	0.431	80	2				
12.14	20分	0.426	84	1				
	"	0.420	27					
	"	0.438	101	4				
	"	0.430	47	1				
12.15	20分	0.431	387	9				
	"	0.420	55					
	"	0.420	230					
	"	0.420	497					
12.16	20分	0.423	155	1				
	"	0.437	107	4				
	"	0.420	5					
	"							
12.17	20分	0.420	19					
	"	0.420	2					
	"							
	"							
12.18	20分							
	"	0.420	16					
	"	0.420	7					
	"	0.420	7					
12.19	20分							
	"		(BAHREIN停泊)					
	"							
	"							
12.20	20分	0.420	70					
	"	0.420	11					
	"							
	"							
12.21	20分							
	"	0.420	10					
	"							
	"							
12.22	20分	0.443	135	7				
	"	0.436	109	4				
	"	0.438	144	6				
	"	0.444	36	2				

表 4.4 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航: 20分間計測)(その3)

日付	時間	\sqrt{E} (Kg/mm ²)	応力レベル						(Kg/mm ²)
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024	
12.23	20分	0.448	140回	9回	1回	回	回	回	回
	"	0.440	66	3					
	"	0.432	73	2					
	"	0.439	68	3					
12.24	20分	0.462	75	4					
	"	0.450	86	6					
	"	0.516	112	33					
	"	0.449	58	4					
12.25	20分	0.456	82	7					
	"	0.505	124	31					
	"	0.521	101	32					
	"	0.464	65	7					
12.26	20分	0.462	67	7					
	"	0.457	133	12					
	"	0.420	54						
	"	0.439	46	2					
12.27	20分	0.424	657	6					
	"	0.461	59	6					
	"	0.429	50	1					
	"	0.420	36						
12.28	20分	0.420	31						
	"	0.420	5						
	"								
	"								
12.29	20分								
	"								
	"								
	"								
12.30	20分	0.420	18						
	"	0.420	4						
	"	0.420	22						
	"	0.420	37						
12.31	20分	0.435	60	2					
	"	0.448	124	8					
	"	0.467	151	18					
	"	0.481	130	21					
1969 1.1	20分	0.432	78	2					
	"	0.420	183						
	"	0.426	146	2					
	"	0.449	116	8					

表 4.4 上甲板縦応力複振巾頻度分布(第3次航: 20分間計測)(その4)

日付	時間	\sqrt{E} (kg/mm)	応力レベル (kg/mm)					
			0.336~0.504	0.504~1.008	1.008~1.512	1.512~2.016	2.016~2.520	2.520~3.024
1.2	20分	1.257	62	101	75	43	24	6
	"	1.120	85	86	63	28	15	3
	"	1.197	103	75	63	45	15	5
	"	1.107	82	71	70	36	10	
1.3	20分	1.236	133	100	71	36	31	13
	"	1.094	216	62	40	35	23	8
	"	1.134	94	71	50	17	12	8
	"	1.272	95	76	24	30	18	5
1.4	20分	0.886	76	78	38	12	1	
	"	0.947	42	74	53	8		
	"	0.801	65	84	25	5		
	"	0.604	96	52	6			
1.5	20分	0.450	112	8				
	"	0.486	107	19				
	"	0.587	70	30	4			
	"	0.584	38	27				
1.6	20分	1.743	12	28	25	63	2	12
	"	1.450	13	36	38	25	14	2
	"	1.727	17	24	23	36	7	13
	"	1.570	13	32	39	32	14	7
1.7	20分	0.553	98	43	1			
	"	0.570	67	30	2			
	"	0.487	72	13				
	"	0.860	68	41	17	13		

表 5.1 計測船の主要寸法および諸定数

	長さ <i>L</i> (m)	幅 <i>B</i> (m)	$\rho g L^3 B$ (t - m)	$\rho g L^2 B$ (t)	断面係数 <i>I/y</i> (m ⁴)	応力 1 kg/cm ² に対するモーメント <i>M</i> (t - m)	無次元係数 <i>C</i> (kg/cm ⁴)
明扇丸	304.00	44.00	1250×10^6	4110×10^8	64.7×10^6	64.7×10^8	0.517×10^{-4}
日興丸	192.32	26.82	193×10^6	1003×10^8	16.0×10^6	16.0×10^8	0.829×10^{-4}
東京丸	290.00	47.50	1170×10^6	4040×10^8	71.7×10^6	71.7×10^8	0.612×10^{-4}

無次元化モーメント

$$\bar{M} = \frac{M}{\rho g L^3 B} = \frac{(I/y)}{\rho g L^3 B} \times X$$

$$= C \cdot X$$

$$C = \frac{(I/y)}{\rho g L^3 B}$$

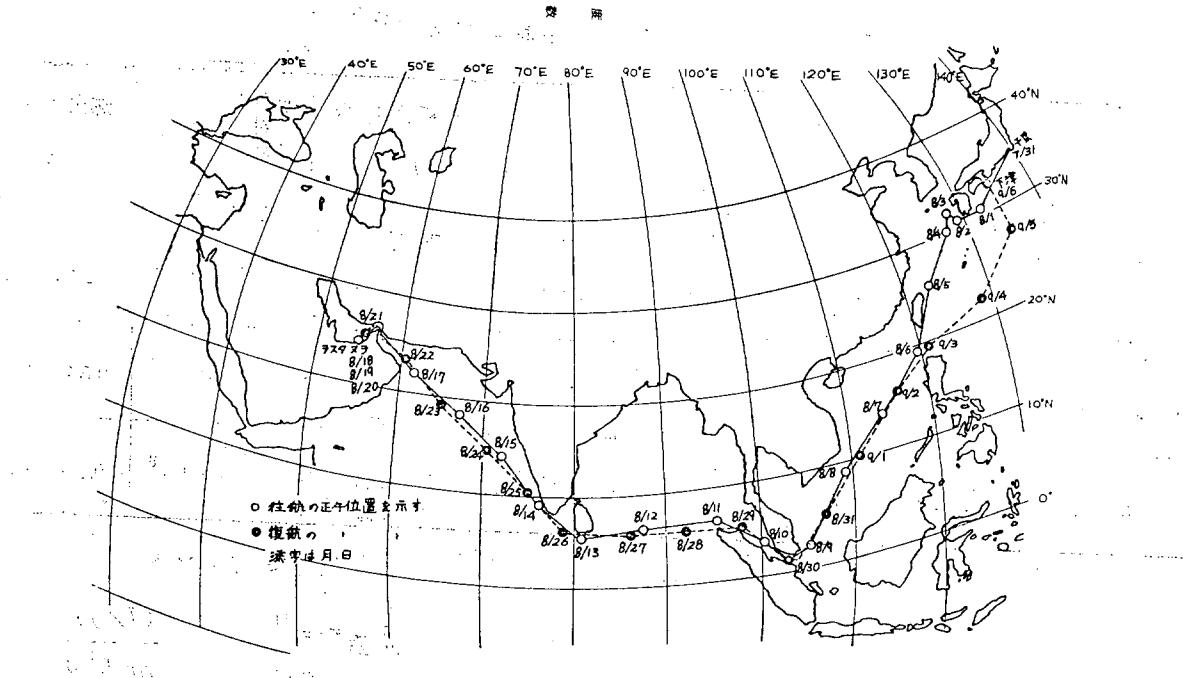


図3.1 明扇丸航路図

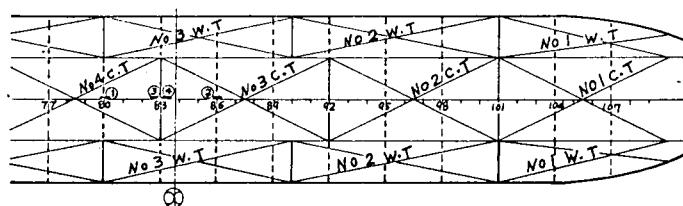


図3.2 甲板縦応力計測位置

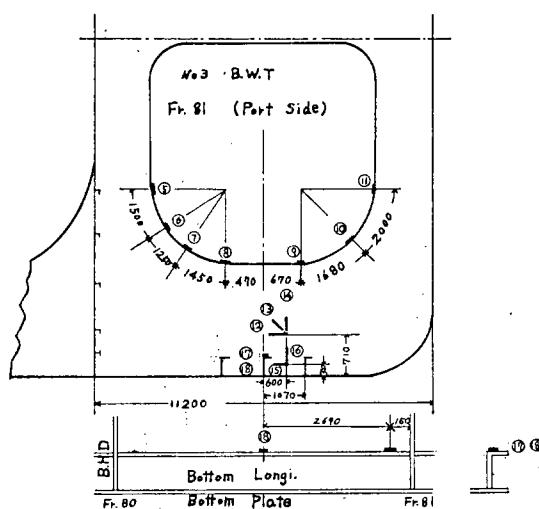


図3.3 バラストタンク内応力計測位置

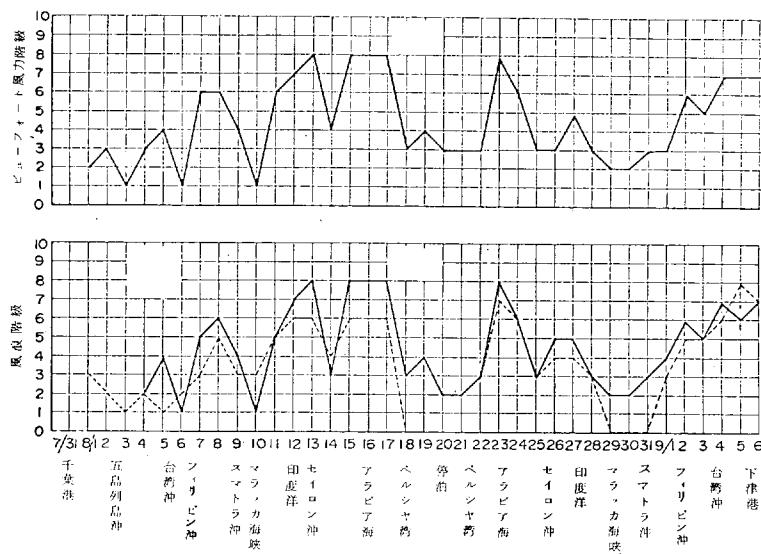


図3.4 明扇丸試験における気象・海象

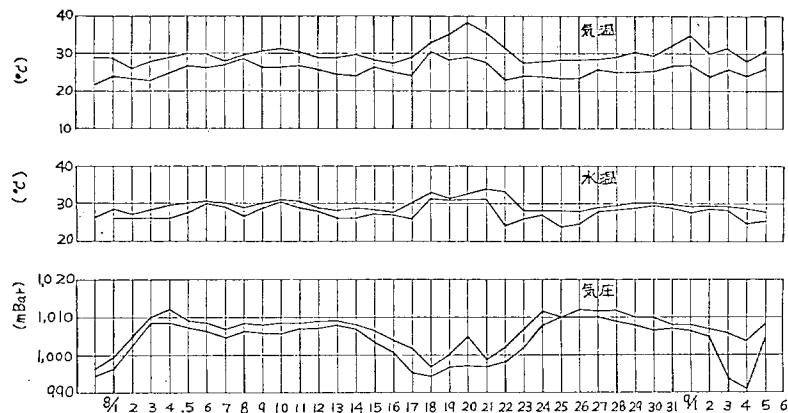


図3.5 明扇丸試験における気温、水温、気压

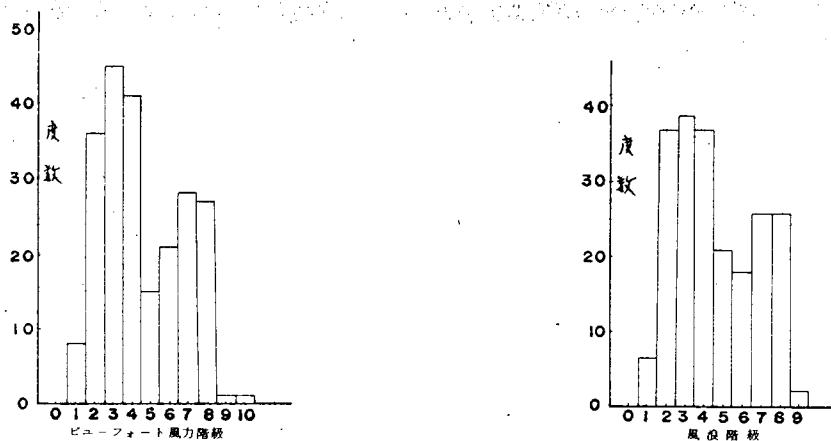
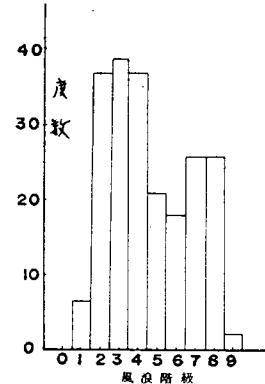


図3.6 明扇丸試験における風力階級頻度



第3.7 明扇丸試験における風力階級頻度

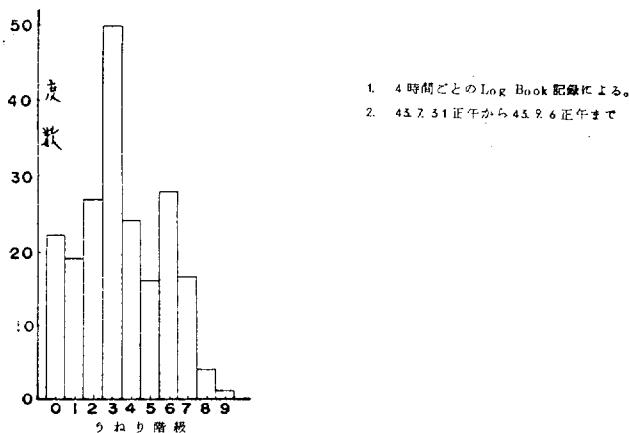


図3.8 明扇丸試験におけるうねり頻度

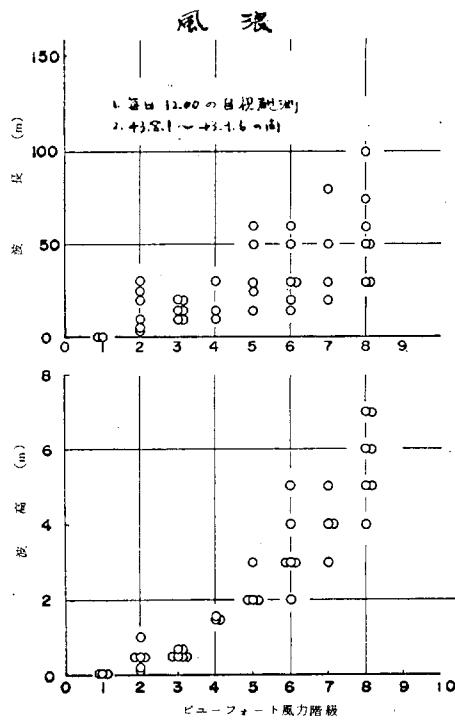


図3.9 風力階級と風浪の波長・波高の関係

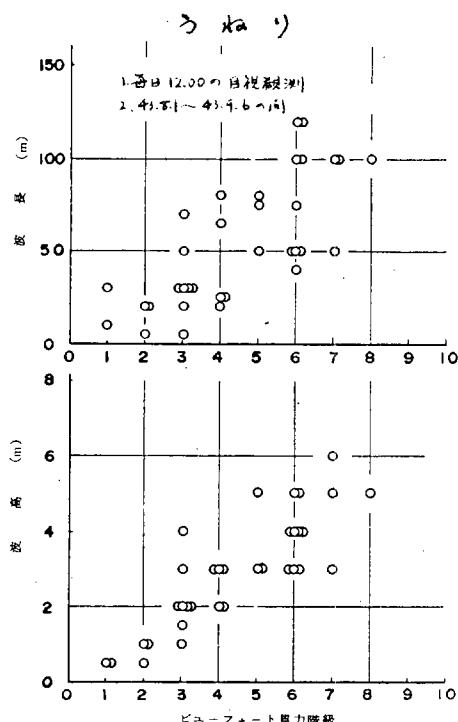


図3.10 風力階級とうねりの波長・波高との関係

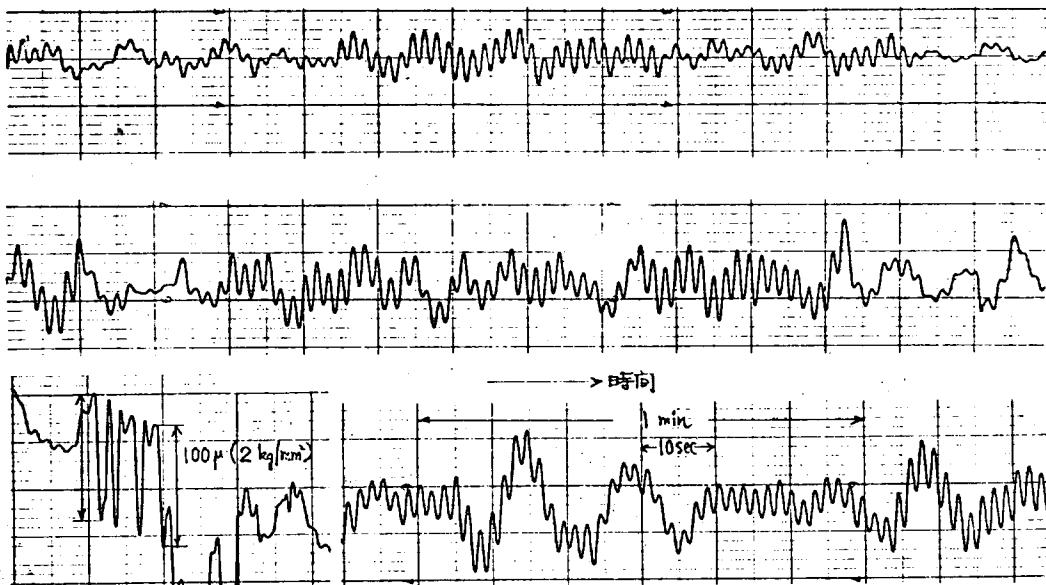
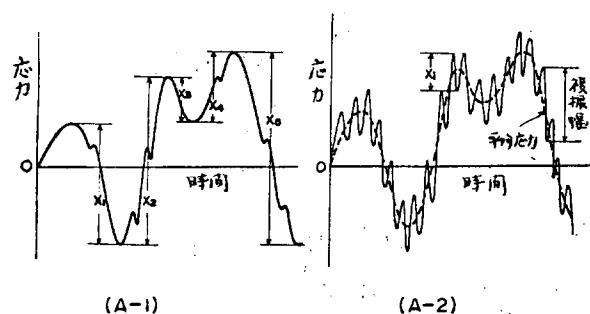
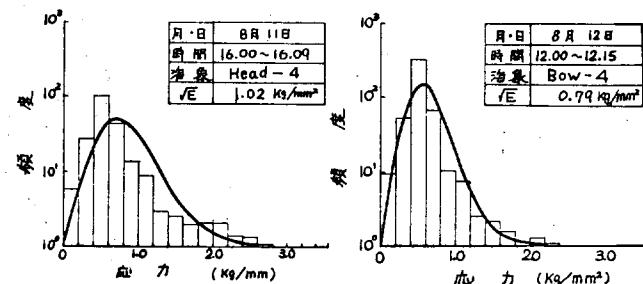


図3.11 甲板応力オシログラム例



(A-2)



月・日	8月 12日
時間	12:00~12:15
海象	Bow -4
σ/E	0.79 kg/mm²

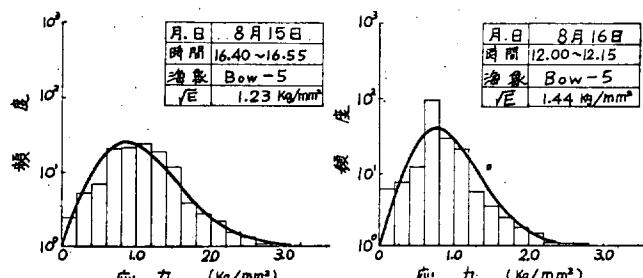
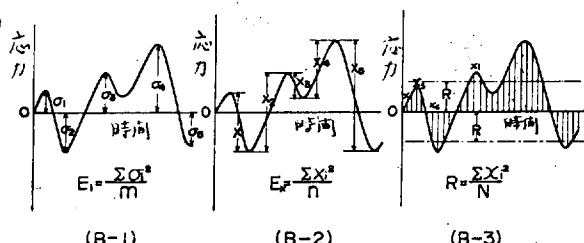


図3.12 頻度計数方式

図3.13 甲板応力の短期分布例(複振巾)

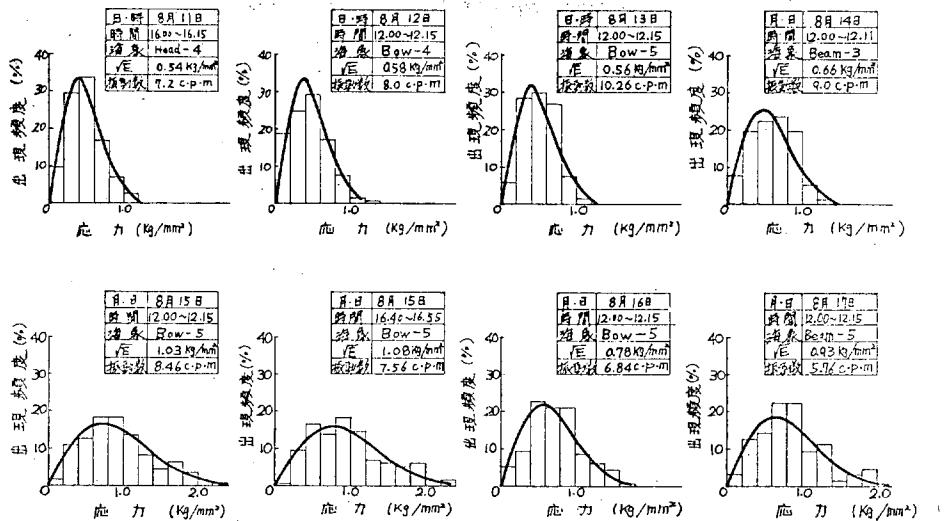


図 3.14 甲板応力(複振巾)の短期分布例(振動応力を除去したもの)

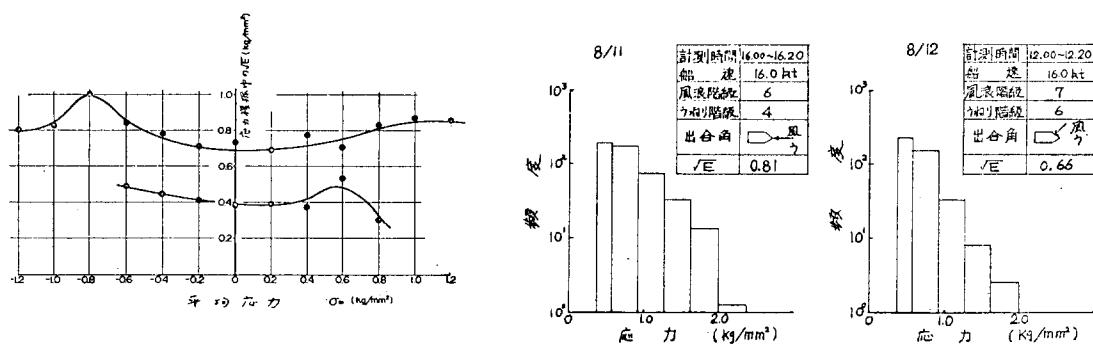


図 3.15 甲板曲げの平均応力と応力複振巾の
√Eとの関係

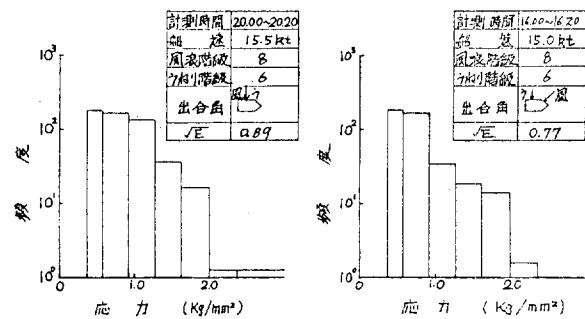


図 3.16 縦曲げ応力(複振巾)のヒストグラム例(20分間)

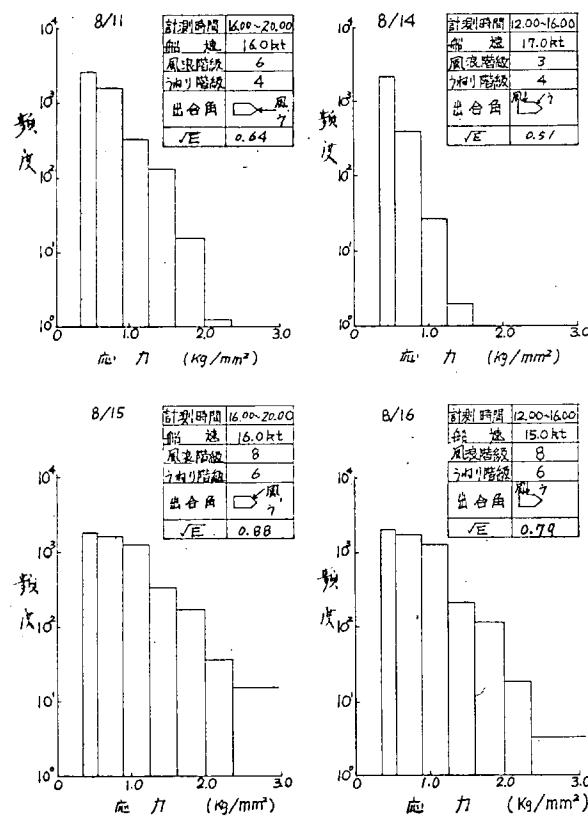


図3.17 縦曲げ応力(複振巾)のヒストグラム例(4時間)

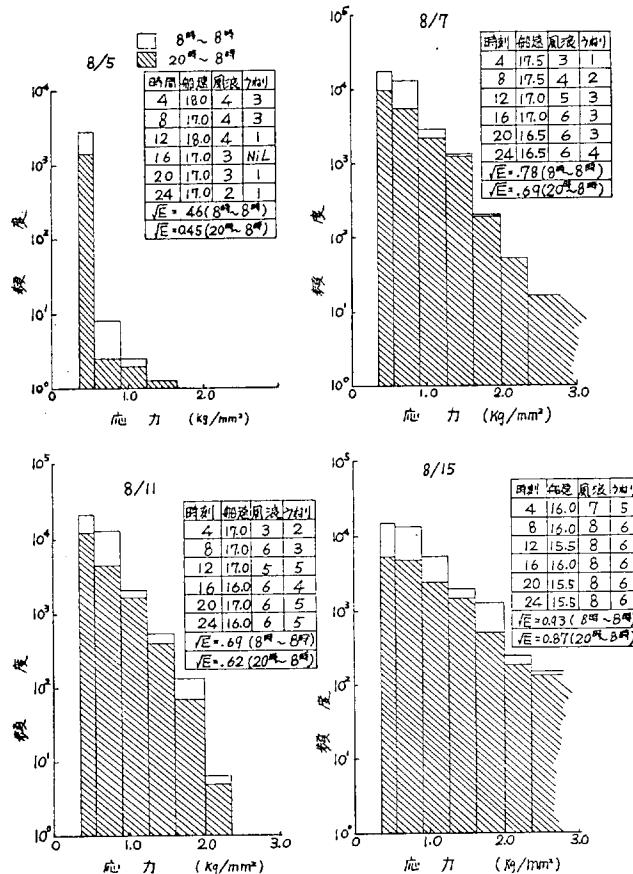


図3.18 縦曲げ応力(複振巾)のヒストグラム例(24時間)

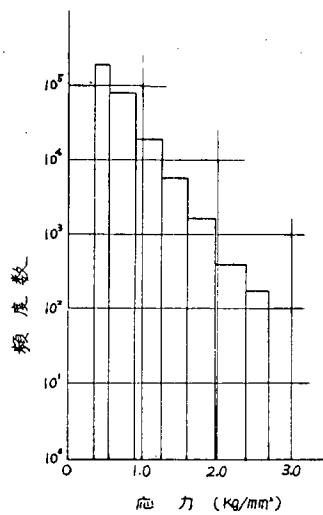


図3.19 甲板応力(複振巾)の頻度分布(往航18日間)

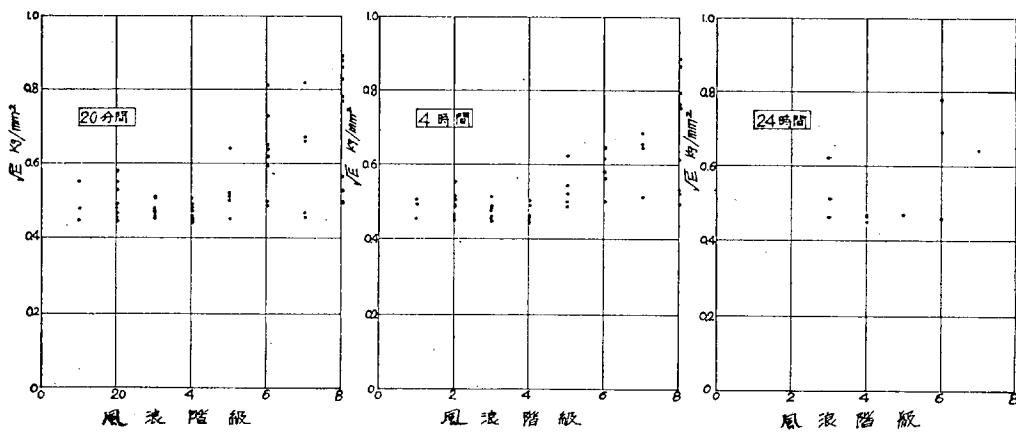


図3.20 海象と甲板曲げ応力(複振巾)の $\sqrt{\sigma}$ との関係

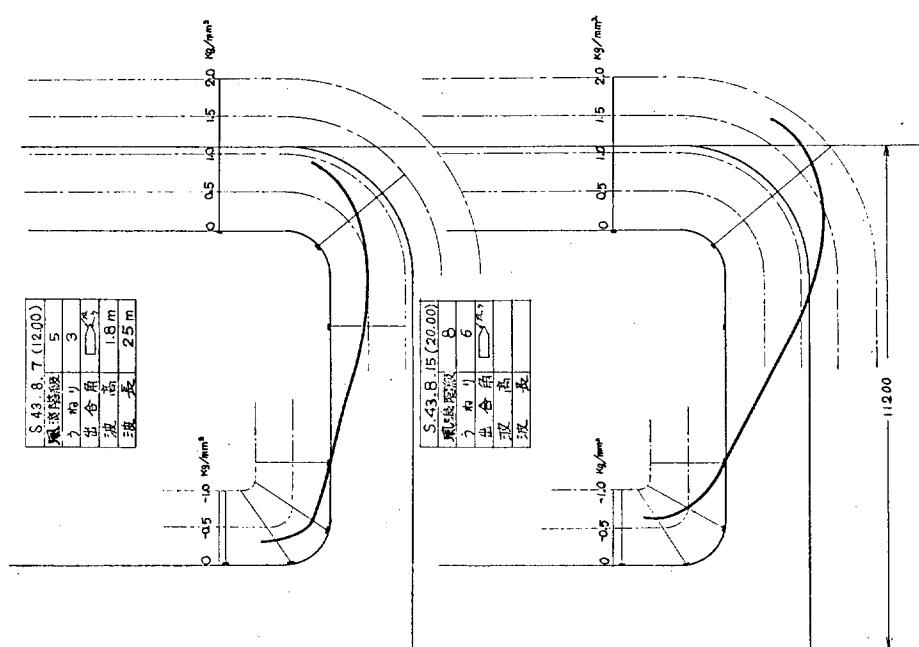


図3.21 Bottom Transverse Face Plateの応力分布
〔15分間計測のうちの最大値(7回)の平均値〕

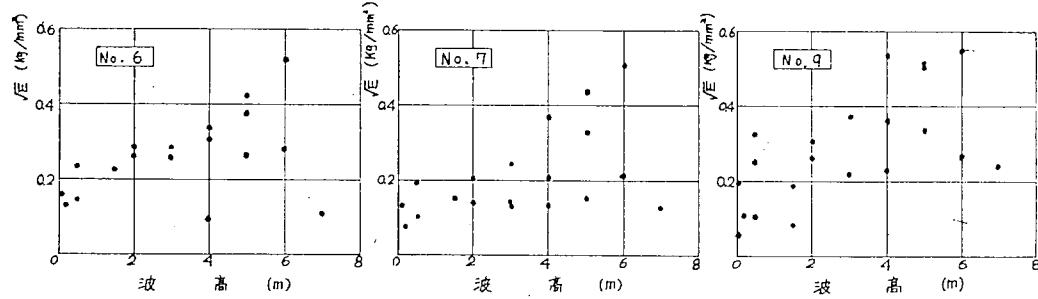


図3.22 横応力複振巾の $\sqrt{\frac{F}{E}}$ と波高の関係(1)

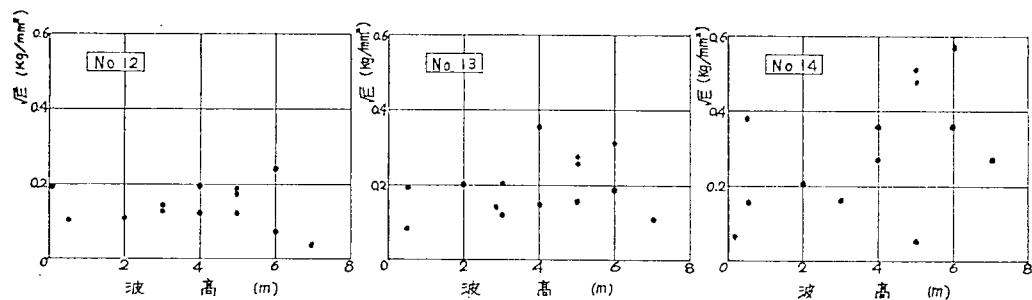


図3.23 横応力複振巾の $\sqrt{\frac{F}{E}}$ と波高の関係(2)

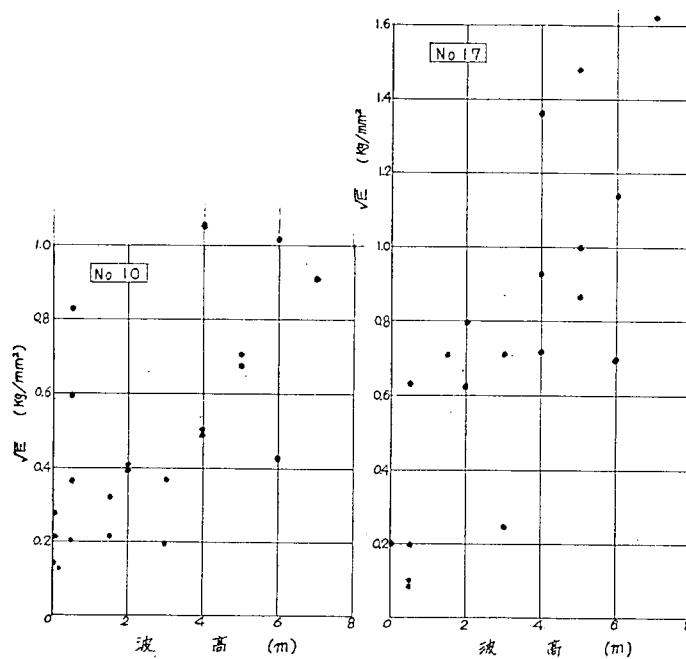


図3.24 横応力複振巾の $\sqrt{\frac{F}{E}}$ と波高の関係および船底縦応力

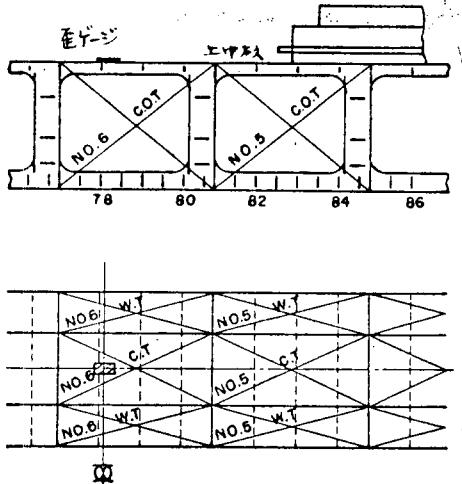


図4.1 日興丸甲板継応力計測位置

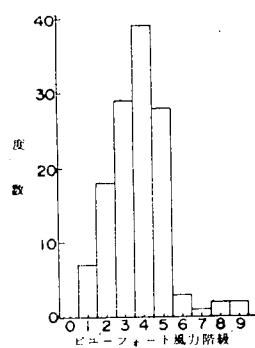


図4.2 日興丸試験における風力階級頻度

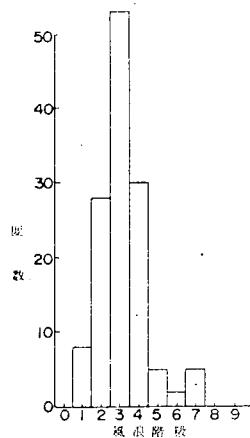


図4.3 日興丸試験における
風浪階級頻度

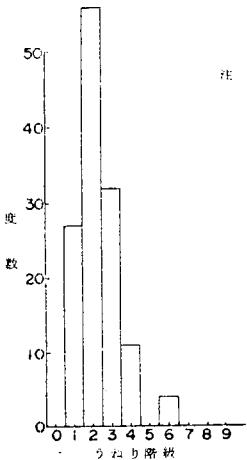


図4.4 うねり階級の頻度

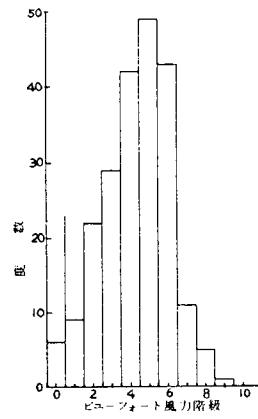


図4.5 風力階級のヒストグラム

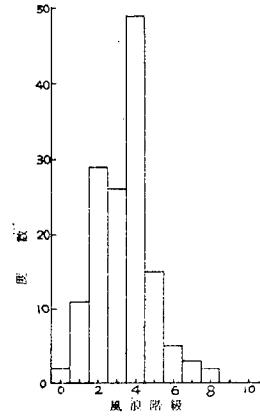


図4.6 風浪階級のヒストグラム

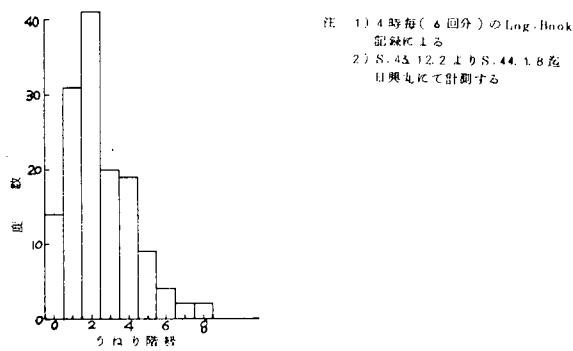


図4.7 うねり階級のヒストグラム

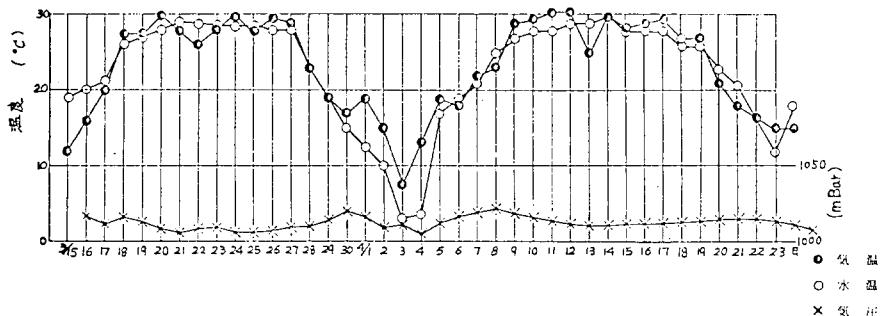


図4.8 日興丸における気温，水温，気压（1，2次航）

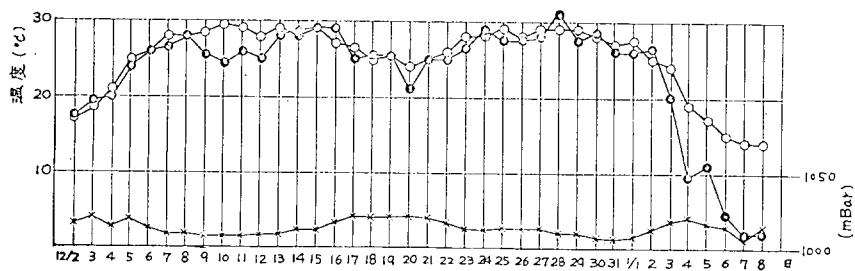


図4.9 日興丸における気温，水温，気压（3次航）

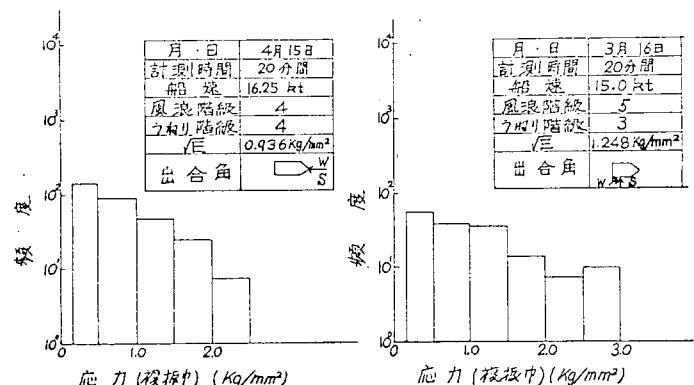
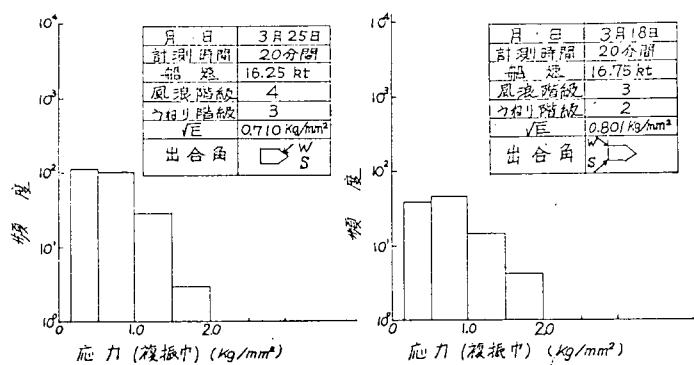


図4.10 縦曲げ応力のヒストグラム例（20分間）

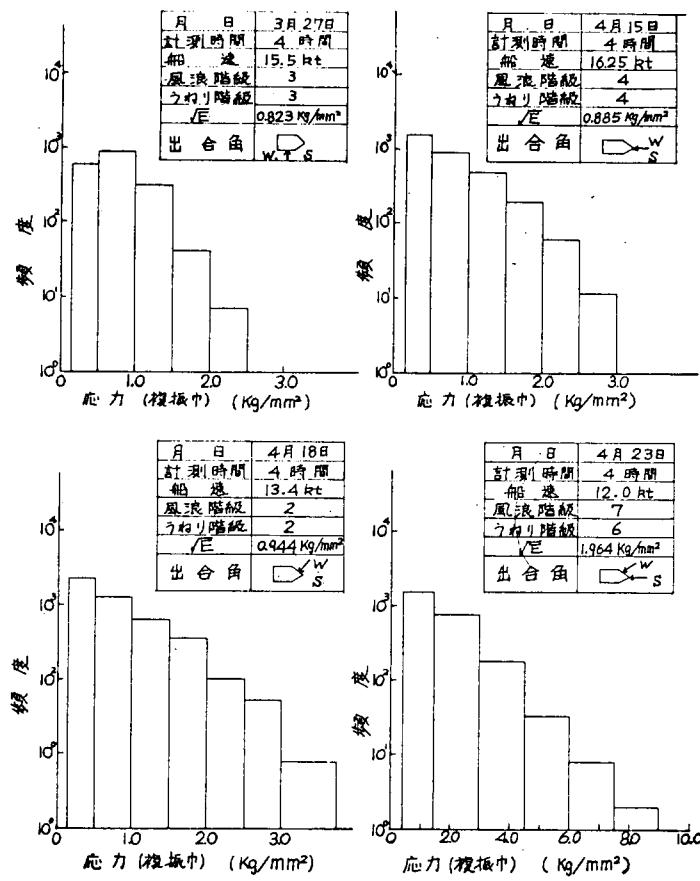


図 4.11 縦曲げ応力のヒストグラム例(4時間)

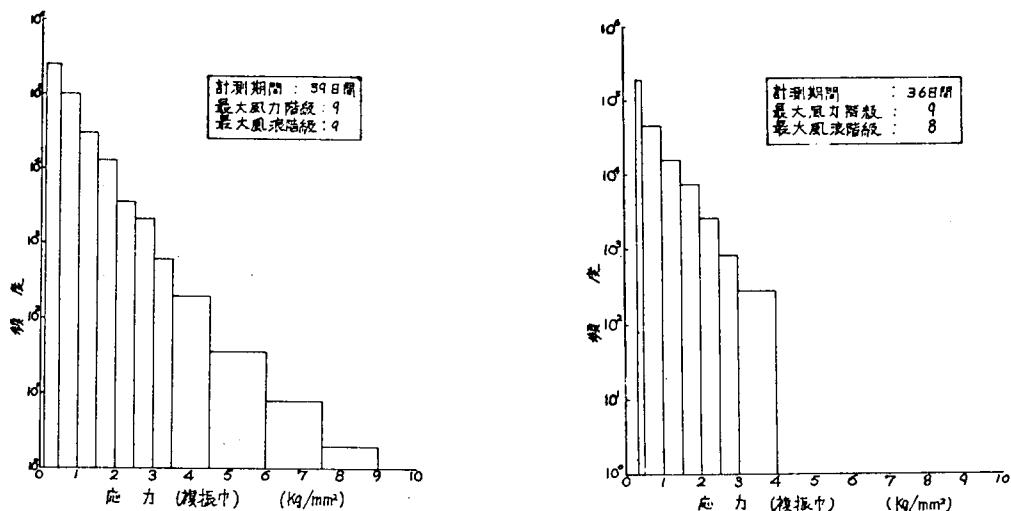


図 4.12 縦曲げ応力の頻度分布(1, 2次航)

図 4.13 縦曲げ応力の頻度分布(3次航)

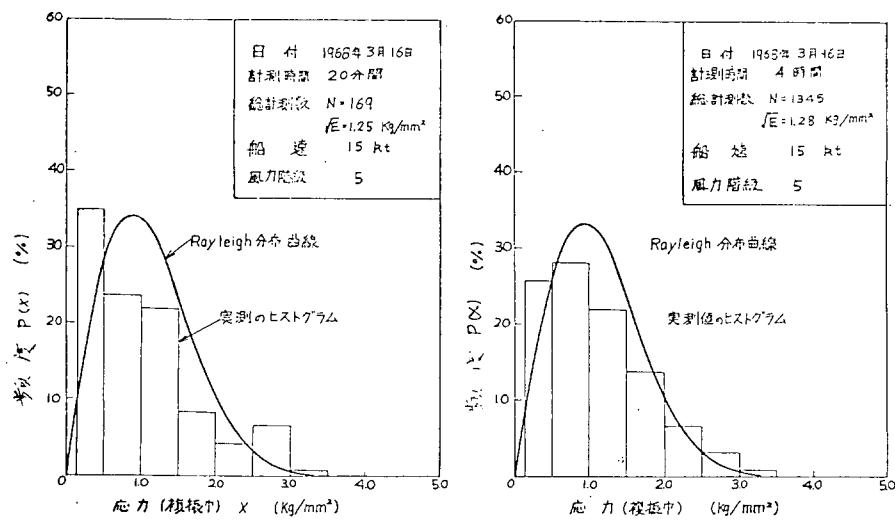


図4.14 甲板縦曲げ応力の短期分布

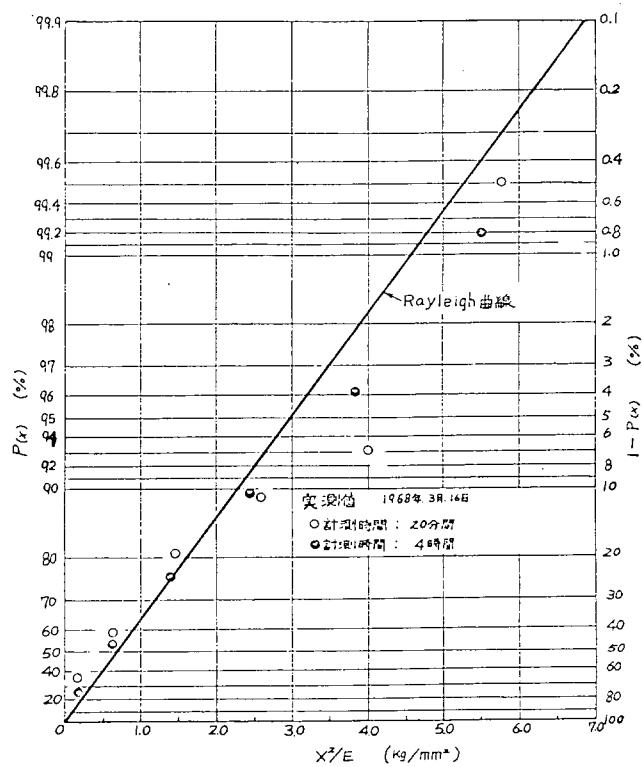


図4.15 甲板縦曲げ応力変動の累積確率分布

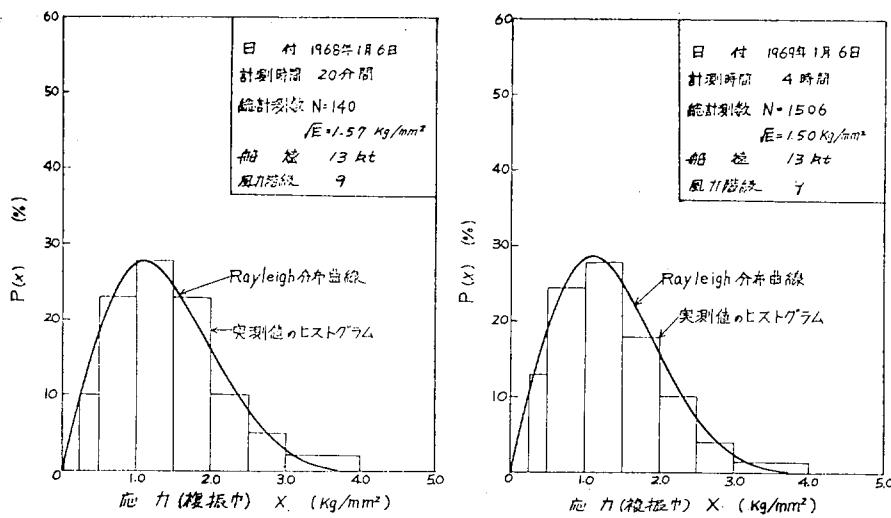


図 4.16 甲板縦曲げ応力の短期分布

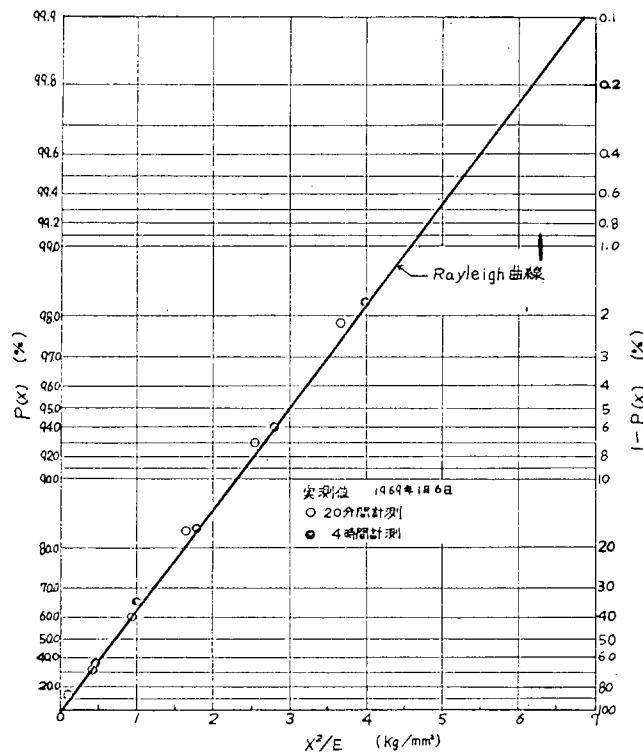


図 4.17 甲板縦曲げ応力変動の累積確率分布

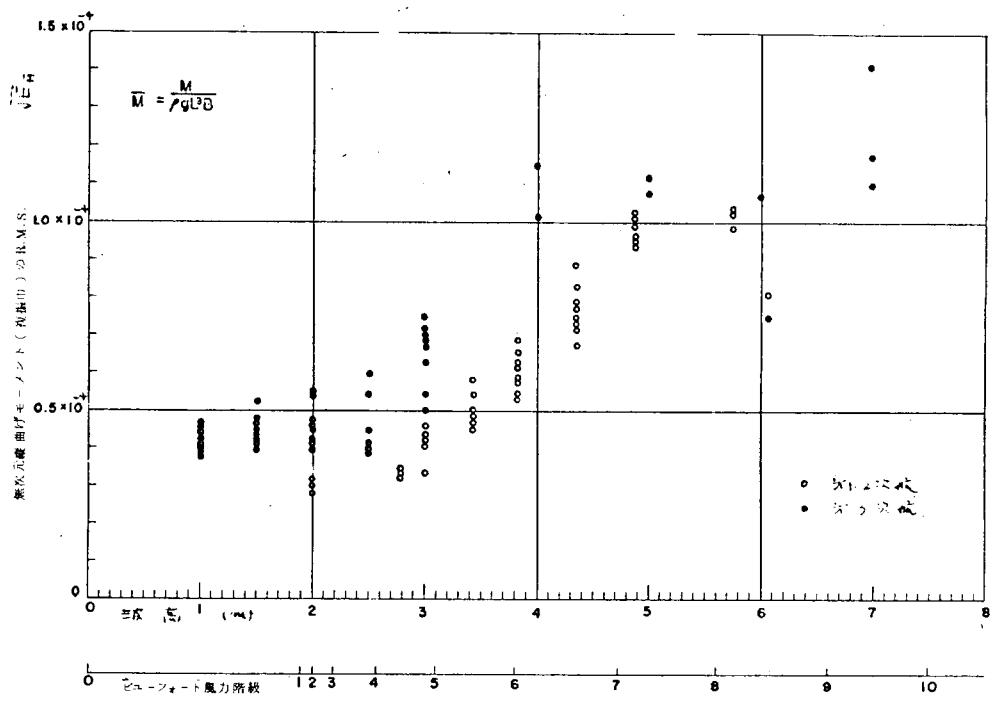


図 4.1.8 日興丸試験における無次元曲げモーメント(複振巾)と波高との関係

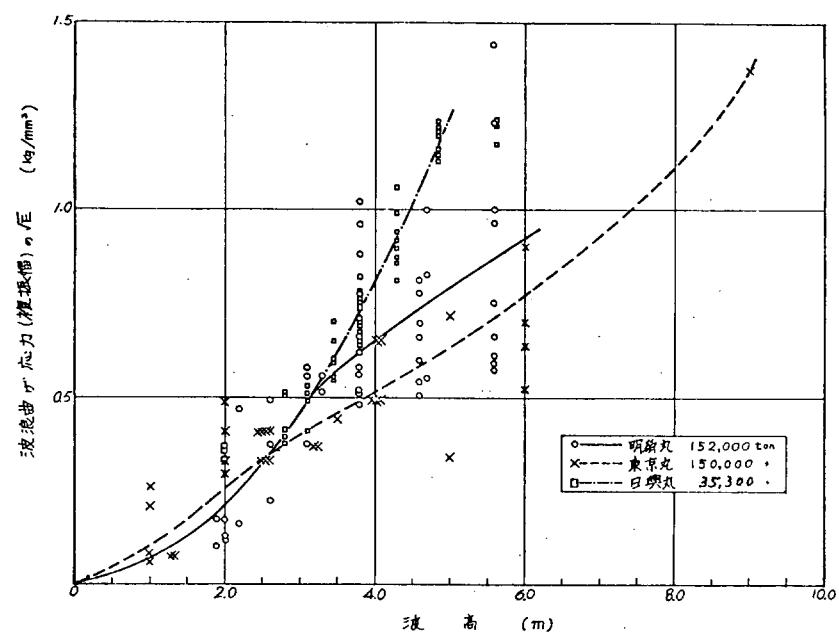


図 5.1 波高と波浪曲げ応力との関係

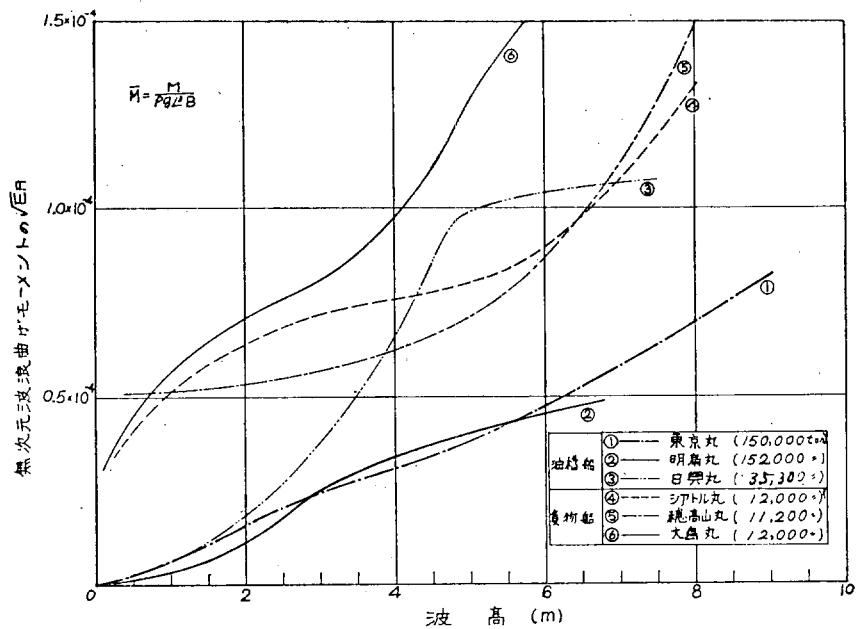


図5.2 波高と波浪曲げモーメントの関係

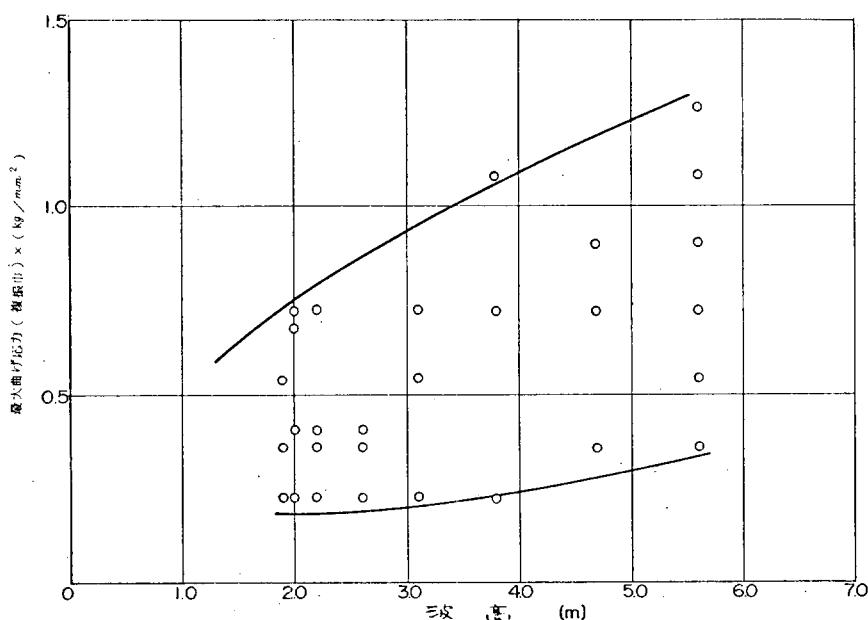


図5.3 短期分布(15分間)の最大応力(明扇丸)

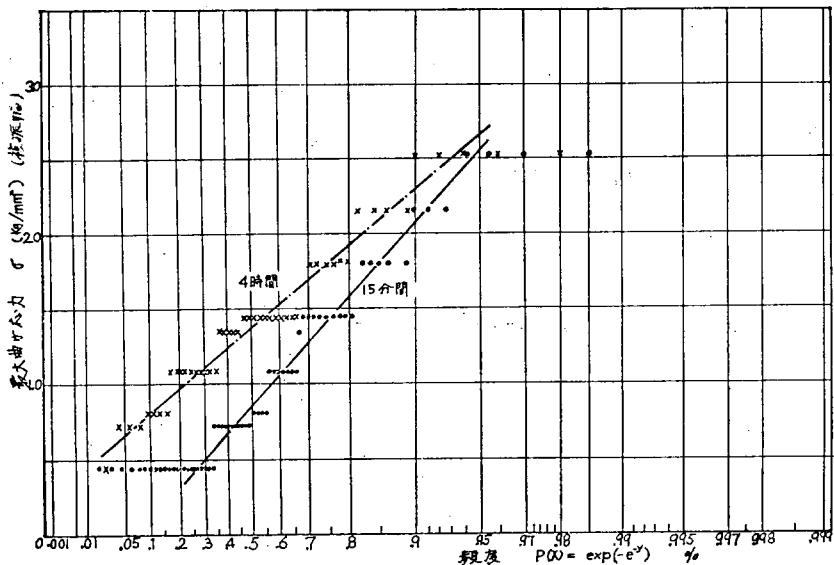


図 5.4 最大曲げ応力の分布（明扇丸）

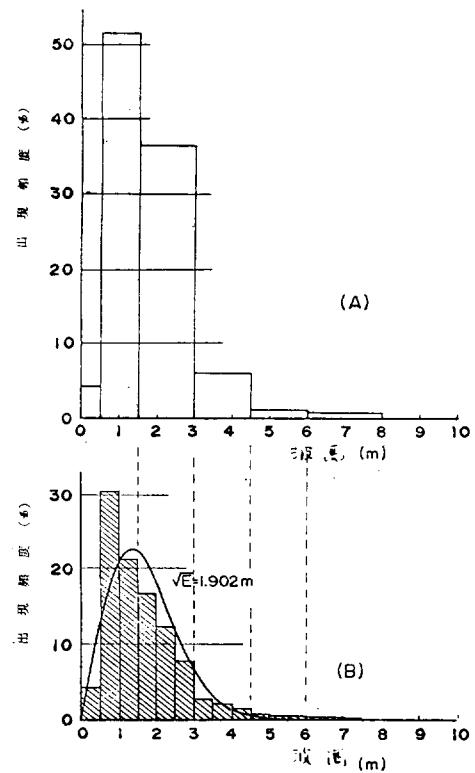


図 5.6 波浪曲げモーメントおよび曲げ応力の長期間の推定累積頻度（明扇丸）

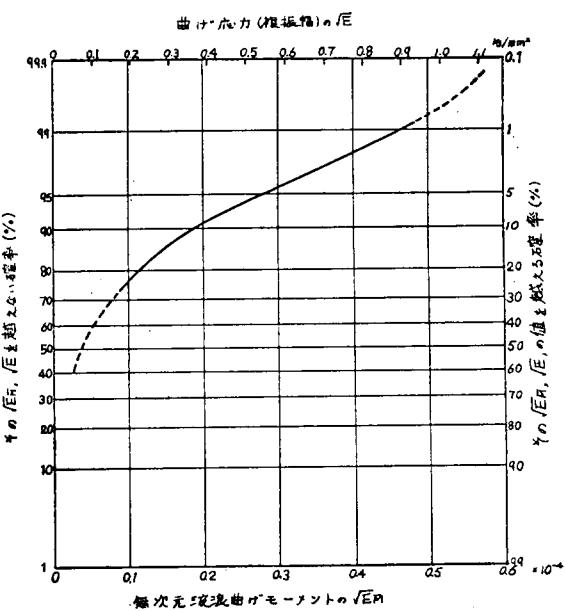


図 5.5 南支那海と印度洋の波高分布（年間平均）
(I S S C 報告から)

6. あとがき

昨年度に引き続いて、大型油送船「明扇丸」(152,000 T.D.W)と「日興丸」(33,000 T.D.W)について甲板曲げ応力頻度、「明扇丸」についてはタンク内横部材応力頻度も加えて計測を行ない、その結果の概要を報告した。

本部会はこれまで3ヶ年継続研究を一応終了するが、まだ計測終了直後で十分解析できていない資料も多く、3ヶ年の総合的な最終報告として結論を下すには、なお、若干の時日を要するので、ここでは主として昭和43年度分の計測結果に重点をおいて報告した。

油送船における実船計測については、労力や経費以外にも安全性その他に対する配慮など問題点が多く、実施の機会を得ることはきわめて困難であったが、幸に各方面のご協力を得て、3隻の船について、延べ10航海の計測ができたことは感謝に耐えない。しかし、資料の蓄積は不十分で、何らかの形で資料蒐集の努力が続けられることが望ましいと考えている。

電子計算機の発達によつて、計算による推定手法も進んできているが、その近似度を確認するためにも、各種船型、船種の船についての就航時の波浪荷重、船体応力の実状を把握することは必要である。