

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 42 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41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	東京大学生産技術研究所	
幹事	安藤文隆	船舶技術研究所	
	大石剛	三井造船(株)	
	大森秀夫	三菱重工業(株)	
	金井一十三	昭和海運(株)	
	嶋田光明	(社)日本船主協会	
	清水作造	石川島播磨重工業(株)	
	寺田泰治	(財)日本海事協会	
	長沢準	船舶技術研究所	
	直井洋	東京タンカー(株)	
	西牧興	日立造船(株)	
	委員	仰木盛綱	佐世保重工業(株)
		久津間裕良	運輸省
		鈴木宏	日本鋼管(株)
		中村昭和	川崎重工業(株)
三浦致和		(株)呉造船所	
三沢敏夫		浦賀重工業(株)	
宮崎敬一		山下新日本汽船(株)	
毛利武広		大阪商船三井船舶(株)	
討議参加者		石井清弘	石川島播磨重工業(株)
		石山一郎	(株)昭和測器研究所
	白井久益	三菱重工業(株)	
	翁長一彦	船舶技術研究所	
	加納弘志	(株)昭和測器研究所	
	川上善郎	船舶技術研究所	
	小島喜七郎	浦賀重工業(株)	
	斉藤和夫	東京タンカー(株)	
	原洋一	日立造船(株)	
	森川卓	(社)日本船主協会	
向山泰	川崎重工業(株)		

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 の 概 要	1
2.1 試 験 船	1
2.2 試 験 航 路	1
2.3 試 験 期 間	1
2.4 計 測 要 員	1
2.5 計 測 項 目	1
(1) 気象、海象および本船状態	1
(2) 応 力	2
2.6 計 測 装 置	2
(1) 光電式応力頻度計	2
(2) 機械式応力頻度計	2
3. 計測結果および考察	2
3.1 気象、海象等	2
3.2 船体縦応力	3
3.3 バラスト・ウオータ・タンク(Ballast Water Tank)内トランス応力	3
3.4 機関室内応力	4
4. む す び	4

1. ま え が き

波浪中を航走する船舶の船体構造部材に生ずる応力の統計的研究は、応力計測機器の発達と統計学の進歩によつて最近は著しく発達をとけている。

本研究協会においては、さきに第44研究部会および第49研究部会等において、実船航走中における縦応力頻度の計測を主として北太平洋航路の定期貨物船において行なつたが、本研究部会では最近の巨大船の実態調査の目的で、巨大タンカにおける航行中の縦応力頻度ならびに横応力頻度の計測を行なつた。

供試船としては東京タンカー所属東京丸を選び、同船の横浜—ラスタヌラ間の航路において昭和41年10月以降の航海中に計測を行なつた。

応力頻度計測としてはとくに新型の光電式応力頻度計および機械式応力頻度計を製作し、船体中央部上甲板上の縦応力頻度を主として計測した。

また横応力の統計的計測としては、Ballast Water Tank内の船底トランスのコーナ部のフランジ上において、毎日一定時間における応力の状態を計測した。

これらの応力頻度計測の結果から船体の長期間にうける応力頻度の長期分布の推定を行ない、さらに船体の構造部材の疲労寿命との関係を求めることを主として試みた。

なお本研究の遂行にあつては、船主協会および東京タンカーから実験船の使用と計測について絶大な協力をうけたことについて厚く感謝の意を表わします。

2. 試 験 の 概 要

2.1 試 験 船

東京丸	東京タンカー(株)所属
長さ	290 m
巾	47.5 m
深さ	24 m
航海速力	16.0 knot
載貨重量	150,000 ton

2.2 試 験 航 路

横浜からペルンヤ湾のラスタヌラ間の中近東航路で、第1回の計測時の航路図を図1に示した。

2.3 試 験 期 間

第1回計測	昭和41年10月 2日より同年11月 6日
第2回 "	" 41年11月 9日 " " 12月13日
第3回 "	" 41年12月16日 " 昭和42年1月24日
第4回 "	" 42年 1月26日 " "42年 3月 4日

2.4 計 測 要 員

第1回計測	船舶技術研究所に依頼して計測
第2回以降計測	東京丸乗組員に依頼して計測

2.5 計 測 項 目

(1) 気象、海象および本船状態

風力、風速等の気象については本船側の記録を用い、船の速度は船の速度計により、また船と波との出合角および波高、波長等の海象、気象状態はすべて目視観測による記録を行なつた。

(2) 応 力

船体の波浪による縦曲げ応力を計測するため、機械式応力頻度計のピックアップおよび光電式応力頻度計のピックアップとして抵抗線型歪計を船体中央部上甲板上のほぼ中心線に近い点にとりつけた。この歪計の位置を図 2(a)に示したが、これらのピックアップは防水と防爆をかねて鋼製の保護ケースをとりつけた。頻度計の計数部は計測室に設置した。

計測の方法は毎日 1 回一定時間に記録をとり、したがって連続作動する応力頻度計の 24 時間ごとの応力分布を求めた。

次に船体中央部のトランスの船底のコーナ部における波浪中における動的応力を計測するため、図 2(b)に示すように No. 2 Ballast Water Tank における Pr. 69 左舷側で抵抗線歪計による計測を行なった。同タンク内における計測点は往航は Ballast Water を積むため、歪計が水中にあるため水密にする必要があり、また同時に防爆の必要からも各歪計は鋼製の保護箱の中に入れて、箱にはワセリン等を充てんした。

このほか、機関室内の左舷側 Pr. 45 の位置において図 2(c)に示すように Web Frame と Floor との接合のコーナ部において応力を抵抗線歪計により計測した。

Ballast Water Tank 内および機関室内の歪計による応力計測は動的歪計およびビシグラフを使用して、毎日一定時間に 10～20 分間継続して行なった。

これらの計測点の写真を実験時の波浪状態の一例とともに 7 ページに示した。

上記応力頻度計測のうち、船体縦応力の計測は第 1 回の計測のほか、続いて第 2 回、第 3 回さらに第 4 回の計測を続けている。

2.6 計 測 装 置

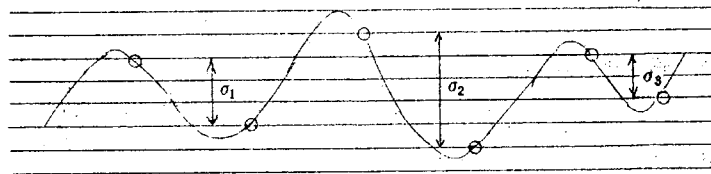
本実験に使用したおもな計測装置は次のとおりである。

(1) 光電式応力頻度計

この頻度計はピックアップとして抵抗線歪計を使用し、増巾器を組み入れた計数器に直結して変動応力を計数するので、本実験に使用するために試作した。製作所は昭和測器研究所である。

応力の変動量はピークからピークまでの振巾の大きさを最小限 0.336 Kg/mm^2 の段階にわけ、合計 7 段階の任意の応力段階に設定し、それぞれの応力段階に達した応力回数を計数できる。

すなわち右図に示したような応力変動の場合頻度計は○印の応力段階を計数することとなる。したがって σ_1 、 σ_2 、 σ_3 …… 等の応力はピークからピークまでの複振巾を記録する。



(2) 機械式応力頻度計

本頻度計は従来から第 44 あるいは第 49 研究部会で使用されてきたものを若干改良して製作したものである。おもな改良点はピックアップのゲージ長さを従来の 50 mm から 20 mm に縮小したもので、その他の機構については研究報告第 49 号を参照されたい。

3. 計 測 結 果 お よ び 考 察

3.1 気象、海象等

第 1 回の計測時における風力階級および波浪階級を図 3 および図 4 に、第 2 回の計測時における波浪階級を図 5 に、第 3 回の計測時における波浪階級を図 6 にそれぞれヒストグラムで示した。

縦軸に示した波浪階級は 4 時間おきに観測した結果で、1 日に 6 回の記録が行なわれた。

第 1 回の計測における波浪階級の最大値は 7 であるのに対し、第 2 回では 6 にとどまり、第 3 回では 8 に達している。

この結果からみて、第2回が最も平穩の航海であり、第3回は冬期の東支那海の低気圧に遭遇し、かなりの荒天を記録している。

3.2 船体縦応力

表1から表3までに応力頻度計による毎日の船体縦応力として、船体中央部上甲板上で計測した応力の値を示した。

表1は昭和41年10月3日から11月5日までの第1回の航海での値を示し、表2は同年11月9日から12月12日までの第2回の航海での値であり、表3は同年12月18日から翌年1月24日に至る第3回の航海時における計測値である。

これらの応力計測結果を各航海ごとに縦軸に応力頻度回数をとつてヒストグラムに示すと、図7～10のごとくなる。

図7および8は同じ第1回の航海での計測結果であるが、図7はとくに荒天時の2日間と、その他の32日間の応力頻度分布を計測の応力段階が異なるために別別に示したものである。

荒天に遭遇したのは台風30号の影響であり、この2日間のみ異常に応力変動量が大きくなっている。

次にこれら3回の航海における計測結果から、本船の1年間において遭遇すると予想される応力頻度回数を推定した。

これは1年間の本船航海数を8航海と仮定し、3航海の応力頻度数を8/3倍して求めてみたものである。(図11)

さらにこの1年間の応力頻度数を20倍して20年間において本船がうけると予想される応力頻度数を求めた。

このような船体縦応力頻度を船体がうけた場合に、船体構造部材の強度を応力疲労の面から考えてみると、材料の疲労に関する実験結果と比較して、応力集中係数を3とすればほぼ材料の疲労寿命に達することが考えられる。

なおこの図に示した材料の疲労寿命曲線は、J. J. W. Nibbering*によるものである。

また第1回の計測の毎日の海象状態、出合角度、船速と縦応力のヒストグラムを参考として海象状態別に図19に示した。

これは毎日の観測した海象状態のうち、波高の大きさの順に最も小さい波高の場合の計測値から比較してならべたものである。

3.3 Ballast Water Tank内トランス応力

第1回の計測における計測値のうち、No.2 Ballast Water Tank内の船底トランスのフランジ上において応力振巾(複振巾)が最大のときの応力の分布を図13に示した。トランスの船底のコーナ部での最大応力は 3.6 Kg/mm^2 程度に達している。海象は波高8mという苛酷な条件にもかかわらず応力の変動量は比較的小さいが、しかしこの部分は載荷状態によつては部分的にかなりの高応力を常時生ずることが計算上あるいは実験上から求められており、変動応力は小であつても平均応力が高いため、容易に材料の疲労限度に達して損傷をおこすか、あるいは挫屈を生ずることが十分考えられる。

航海中における1年間あるいは何年間かの繰返し応力の大きさが正しく推定されれば、疲労寿命の見地から、この部分に許容される載荷状態での応力の限界値をきめることができる。

この船底トランス上で最も大きい応力変動を示す点について、全航海を通じて計測した応力の複振巾を求めた結果を表4に示し、そのヒストグラムを図14に示した。この応力の頻度数は応力変動の半周期を1回としている。またこの計測値を波浪階級別にわけて全測定をそれぞれ10分間の単位時間に換算し、ヒストグラムとして求めた結果を図15に示した。ここでの応力の回数は応力変動の1周期を1回にとつたものである。

さらにこの応力の計測点について航海中の最も荒天時における応力の短期分布を求めた。この結果を図16に示し、さらにこの結果からRayleigh分布を計算して同図に比較して示した。実験値はRayleigh分布に大体一致した傾向を示した。

また、この荒天時の記録から、この部分の応力の累積確率分布を求めてみると図17のごとくなる。

最後に、この短期分布の記録からJasperが異常値の推定について求めた式

* Fatigue of Ship Structures, J. J. W. Nibbering, Netherlands Research Center, T. N. O. Report No. 558, 1963.9

$$x_m = \sqrt{E_m \cdot \log_e \frac{N}{f}}$$

を用いて、本船の20年間にこの部分に生ずる異常応力(最大値) x_m を求めてみる。

上式で E_m は船が最も苛酷な状態にさらされているときの応力変動の自乗平均、 N はそのような海象状態の持続時間中の変動回数、また f は危険率と呼ばれる。

本船の場合には、実船試験の結果から E_m として 1.833 Kg/mm^2 がえられ、また荒海における1分間の応力の変動回数として 10.26 回/分がえられるから、1航海中の荒れた状態の継続時間を48時間と仮定すると N として 29549 回がえられる。さらにこのような海象状態に本船は2航海程度に1回、すなわち年に4回遭遇するとして、20年間の応力回数 N を求めると 2263920 回となる。 $f = 0.001$ とおくと、上の仮定における異常値は $x_m = 6.14 \text{ Kg/mm}^2$ となる。

3.4 機関室内応力

機関室内の Web Frame と Engine Flat の Girder との取付のコーナ部における応力を計測したが、その結果の頻度分布のヒストグラムを図18に示した。この部分の応力はかなり小さくこの結果からみて構造強度上はほとんど問題がないと考えられる。この図に示した応力の大きさは極値頻度を示す。

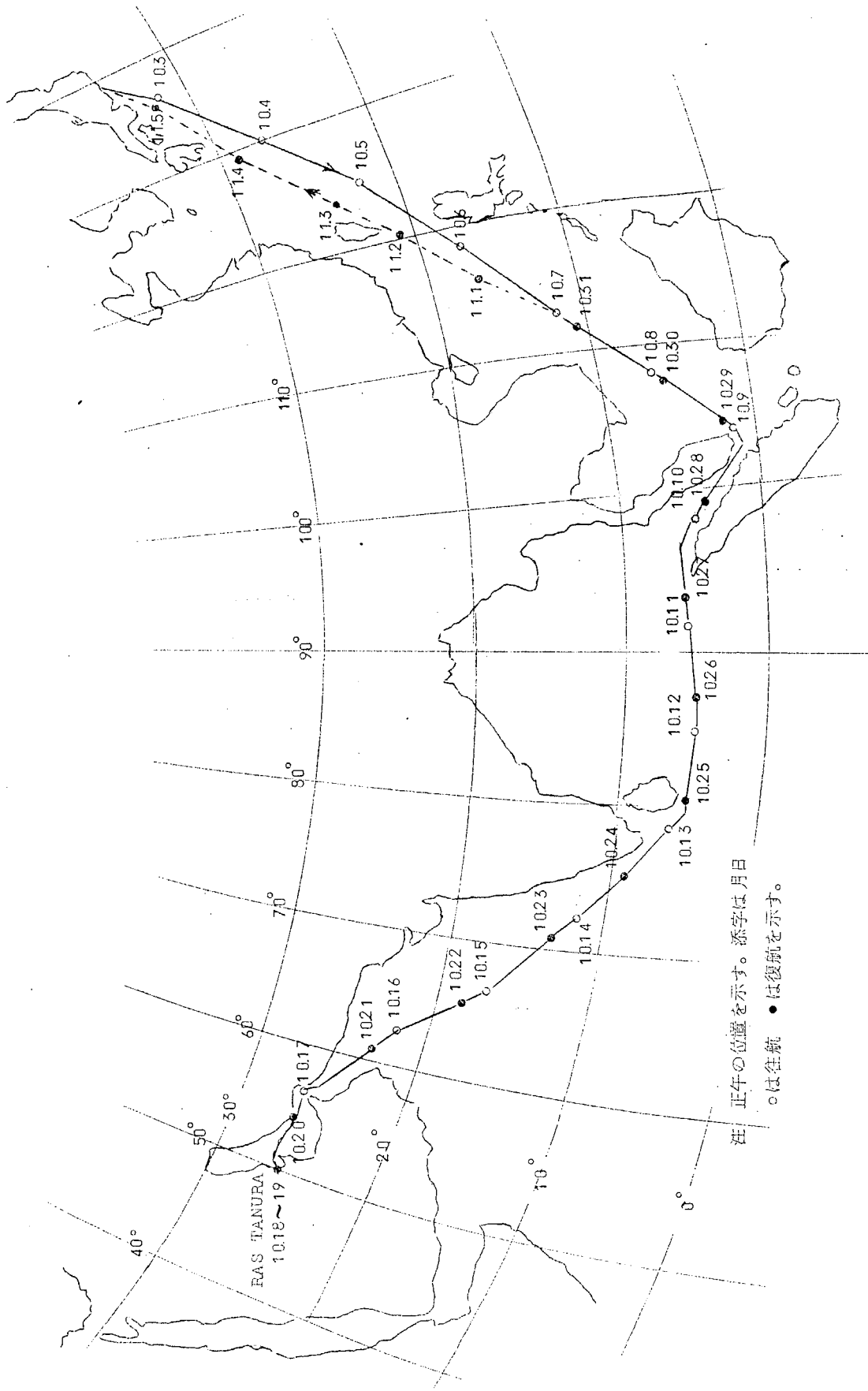
4. む す び

巨大船の航海中における船体応力の計測の第1年目として応力頻度計の試作をはじめ、応力の統計的計測を主とした実験を行なったが、計測器も大体において順調に作動し、縦応力ならびに横強度上の代表的な部材での統計的な応力の計測ができた。

本年度は大型タンカーの実船計測のはじめての試みであつたため、タンカーの防爆上の問題からの計測の制限、高価な工事費など困難な問題に直面したが、船主側の理解ある協力によつて大体において計画した実験を行なうことができた。

ただ中近東航路での海象条件は年間を通じて比較的穏やかで、荒天に遭遇する機会が少ないので、計測はかなり長期間にわたつて行なわないと十分な資料をうることができない。

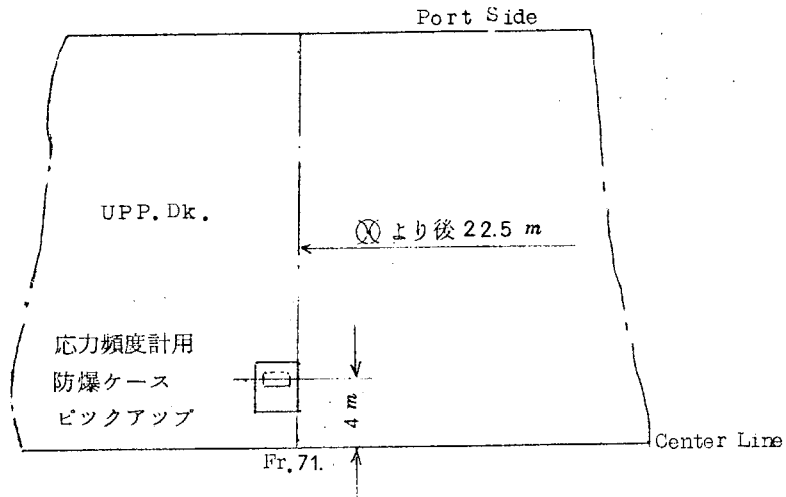
このほか今後の問題としては、横応力の計測点を拡大して、横強度部材に加わる応力のうち、波浪による変動応力をさらに広範囲の部材について求め、平水中で負荷されている载荷による応力を含めて、横強度部材に実際に生ずる応力の実態を調査することが必要であると思われる。



注 正午の位置を示す。添字は月日
○は往航 ●は復航を示す。

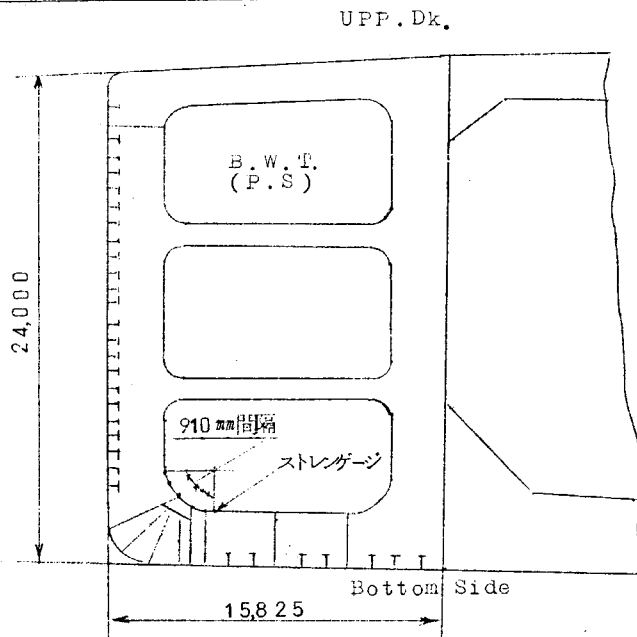
図 1 航 路 図

(a) 上甲板上の応力頻度計の位置



(b) Ballast Water Tank 内のストレングージの位置

Frame No. 69
(No. 2 B.W.T.)



(c) 機関室内のストレングージの位置

Frame No. 45

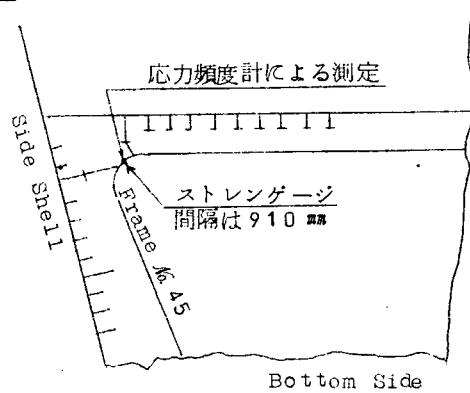


図 2 計測位置



写真1 昭和41年11月1日 14時
台湾附近 波浪階級 7



写真3 No.2 Ballast Water Tank 内計測位置

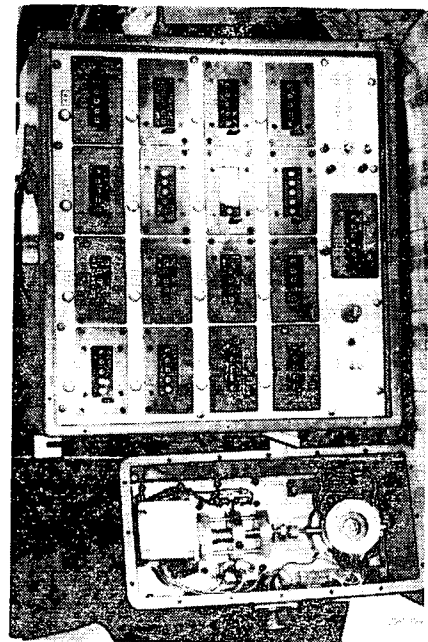


写真2 応力頻度計(機械式)

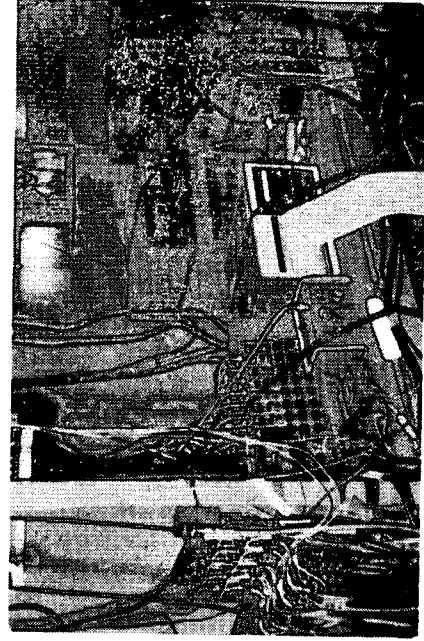


写真4 計測室

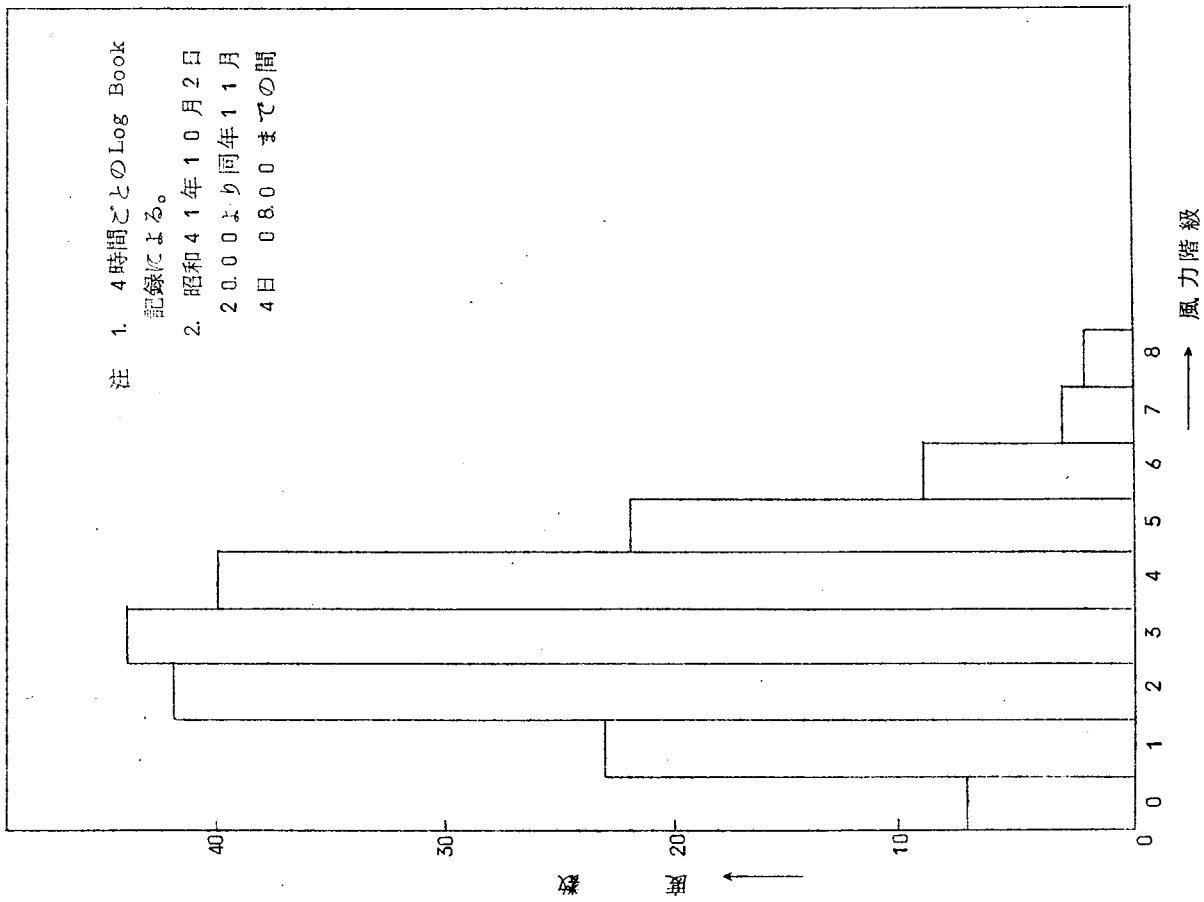


図3 風力のヒストグラム(計画1)

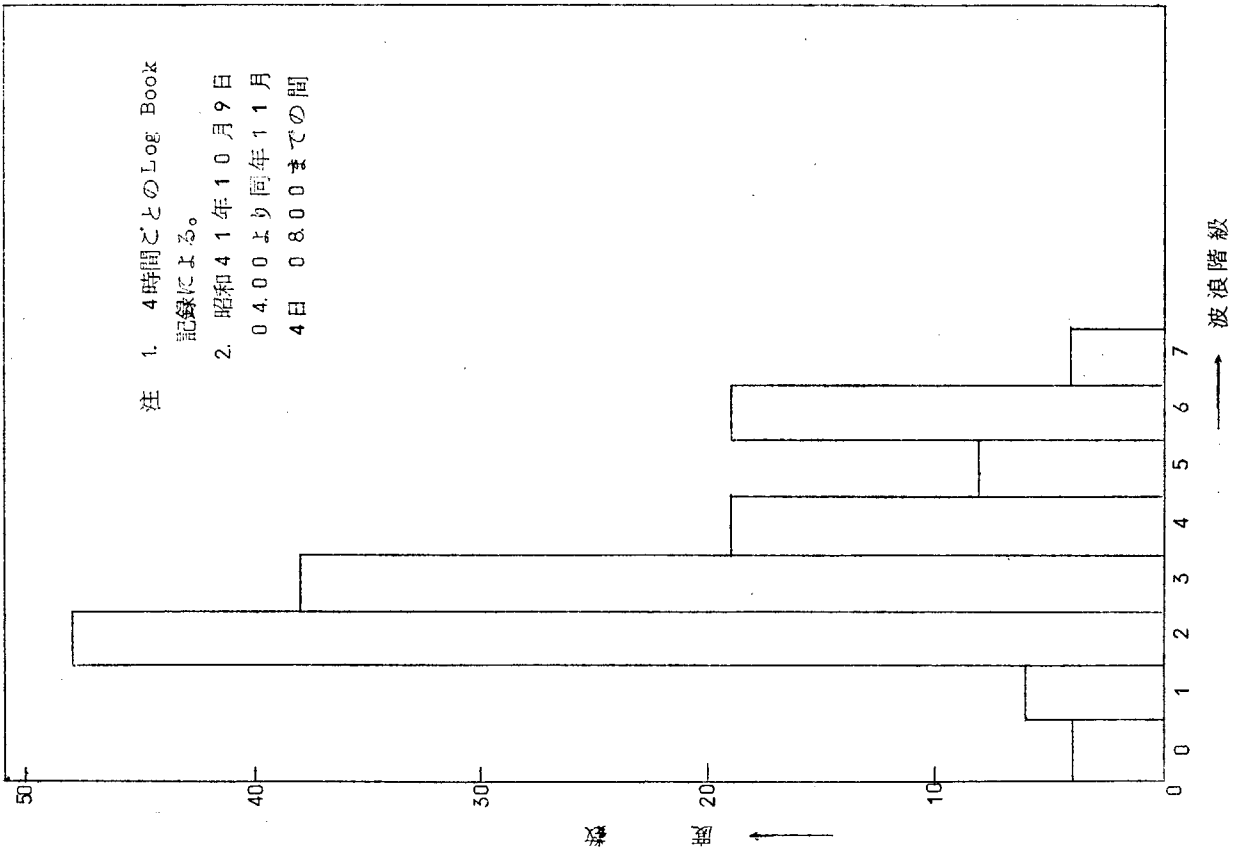


図4 波浪のヒストグラム(計画1)

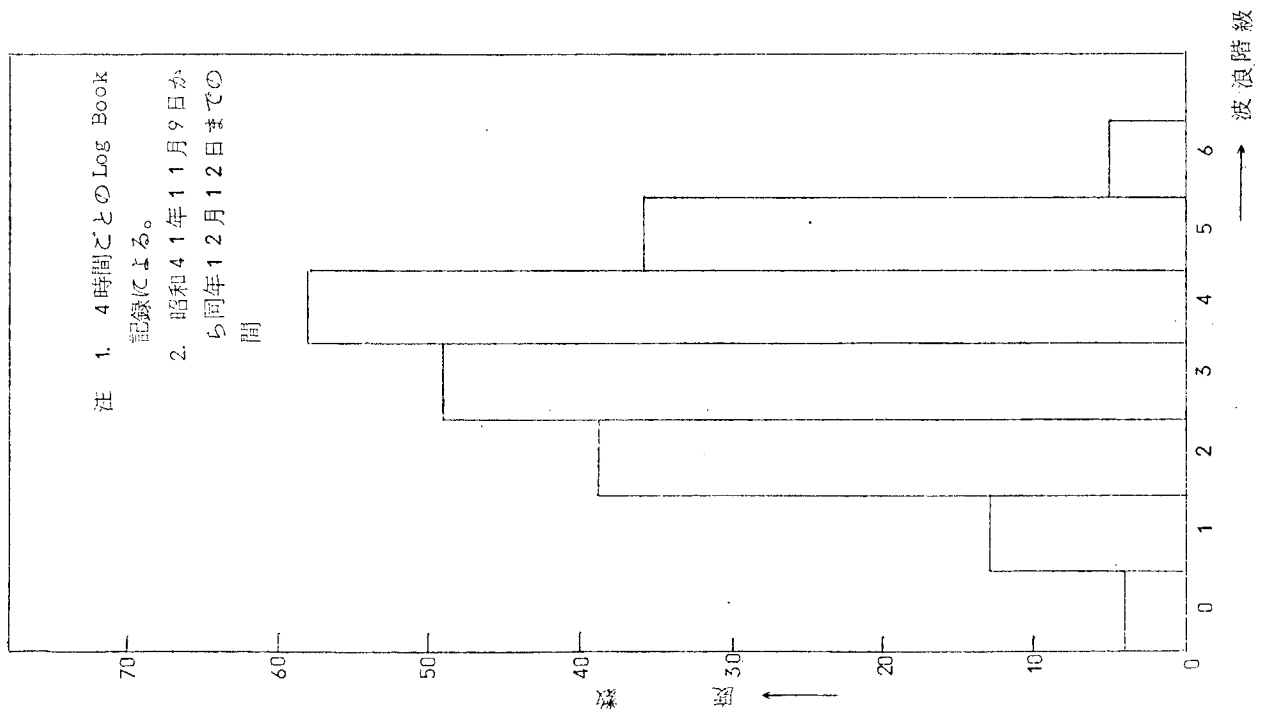


図5 波浪のヒストグラム(計測2)

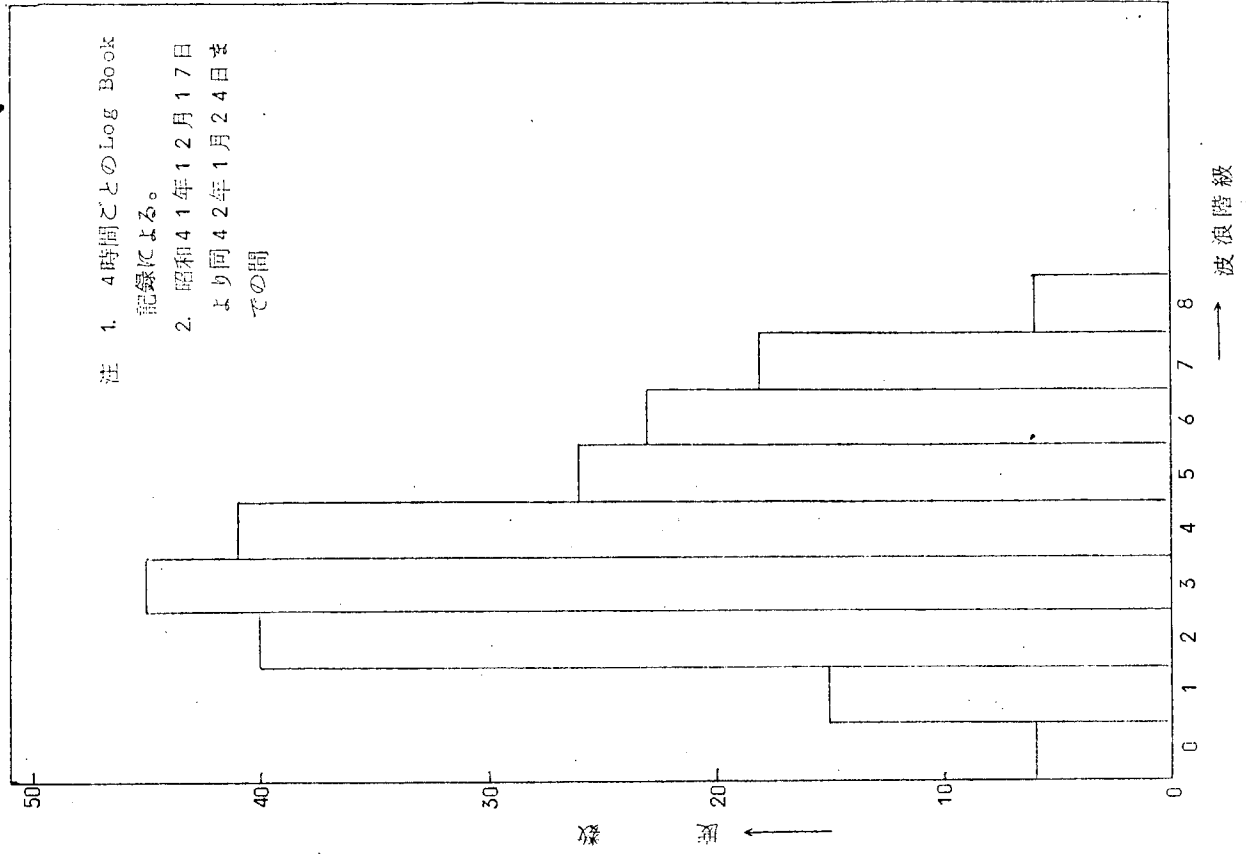


図6 波浪のヒストグラム(計測3)

表 1 上甲板上縦応力頻度分布

計測日	波浪階級	応力範囲 (Kg/mm ²)						
		0.3~0.7	0.7~1.2	1.2~1.7	1.7~2.2	2.2~2.7	2.7~3.2	3.2~4.2
41.10. 3	3	8659						
" 4	3	17,955	1					
" 5	4	9,077						
" 6	4	689	99	5				
" 7	4	2,226	457	3				
" 8	4	4,301	1,215	173	27			
" 9	4	15,940	3,048	191				
" 10	3	1,080	15					
" 11	5	12,418	9,851	2,920	688	102	3	
" 12	4	14,530	22,804	11,883	3,305	722	23	1
" 13	6	16,360	21,574	2,251	327	67	32	
" 14	6	25,765	6,022	635	107	4	1	
" 15	3	21,317	6,166	900	207	5		
" 16	3	13,599	3,217	28				
" 17	3	6,782	1,202	77				
" 18	3	13,021	3,656	666	5			
" 19								
" 20		51						
" 21	2	1,213	5					
" 22	3	2,902	59					
" 23	5	11,072	1,233	5				
" 24	4	3,431	138					
" 25	3	4,456	1,417	171	6			
" 26	3	2,058	2,212	635	121	17	1	
" 27	3	2,489	2,730	613	43	1		
" 28	3	197	173	42	4			
" 29	2	23	3					
" 30	3	1,622						
" 31	7	7,276	1,507	34				
41.11. 1	7	16,362	6,474	776	83	6		
" (14.00 ~23.30)	7	2,517	893	167	55	16	15	25
41.11. 4	4	13,249	2,633	115	7			
" 5	4	1,934	101	1				
合計		218,889	98,904	22,291	4,985	939	75	26
計測日	波浪階級	1.0~2.0	2.0~3.5	3.5~5.0	5.0~6.6	6.6~8.1	8.1~9.6	9.6~12.6
41.11. 2	7	3,113	2,341	491	43	6		
" 3	7	3,133	260	7				
合計		6,246	2,601	498	43	6		

注 度数は計測日前日正午から計測日正午までの値
波浪階級は計測度数該当時間内 4 時間ごとの観測の最大値

表 2 上甲板上縦応力頻度分布

計測日	波浪階級	応 力 範 囲 (Kg/mm ²)						
		1.0~2.0	2.0~3.5	3.5~5.0	5.0~6.6	6.6~8.1	8.1~9.6	9.6~12.6
41.11. 9	3	510						
" 10	5	4,589	1					
" 11	4	3,575	1					
" 12	5	6,755	2					
" 13	5	1,293						
" 14	4	1,097						
" 15	2							
" 16	3	2,902						
" 17	4	3,548	1					
" 18	5	30,716	758					
" 19	5	34,773	1,024					
" 20	5	23,899	149					
" 21	3	8,209	2					
" 22	4	11,398	8					
" 23	6	30,946	191					
" 24	3	1,190						
" 26	4	5						
" 27	5	70						
" 28	4	1,047						
" 29	5	4,402						
" 30	2	2,636	1					
41.12. 1	2	1,759						
" 2	2	1,306						
" 3	5	2,204						
" 4	4	3,314	1					
" 5	4	1,098						
" 6	4	86						
" 7	4	7,133	1					
" 8	5	9,348	13					
" 9	5	10,684						
" 10	4	9,408	21					
" 11	5	7,348	4					
" 12	4	1,531						
合 計		228,783	2,180					

注 度数は計測日前日正午から計測日正午までの値
波浪階級は計測度数該当時間内4時間ごとの観測の最大値

表3 上甲板上縦応力頻度分布

計測日	波浪階級	応力範囲 (Kg/mm ²)						
		0.5~2.0	2.0~3.5	3.5~5.0	5.0~6.6	6.6~8.1	8.1~9.6	9.6~12.1
41.12.18	3	5,765	6					
" 19	4							
" 20	5	25,054	432					
" 21	3							
" 22	5	211						
" 23	4	665						
" 24	4	88						
" 25	3	7,822	3					
" 26	5	7,050	3					
" 27	2	2,049						
" 28	6	3,613	2					
" 29	2	7,894	34					
" 30	3	10,786						
" 31	4	16,122	96					
42. 1. 1	4	5,336						
" 2	4	7,536						
" 5	5	69						
" 6	3	22						
" 7	6	2,800						
" 8	6	3,561						
" 9	6	639						
" 10	2	2,445						
" 11	2	3,986	72					
" 12	4	5,302	97					
" 13	2	3,379	35					
" 14	3	181						
" 15	6	6,274	6					
" 16	8	8,704	1,917	966	540	262	107	62
" 17	8	3,459	1,870	1,750	1,371	868	422	310
" 18	7	5,524	3,262	1,448	629	232	70	24
" 19	6	10,668	4,625	765	90	5	1	
" 20	6	14,981	708	9				
" 21	6	13,831	681	2				
" 23	6	7,962	10					
" 24	5	3,971						
合計		197,759	13,859	4,940	2,630	1,367	600	396

注 度数は計測日前日正午から計測日正午までの値
波浪階級は計測度数該当時間内4時間ごとの観測の最大値

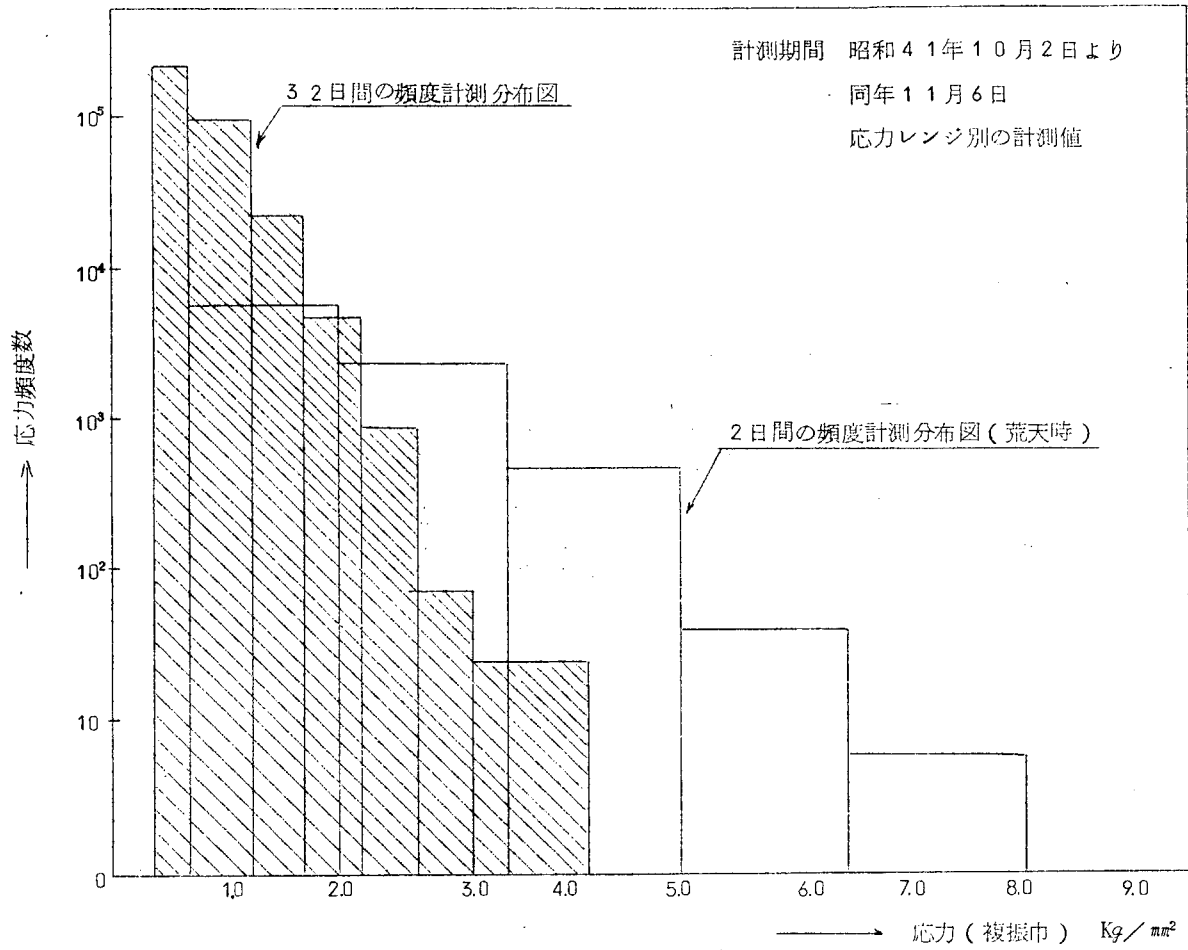
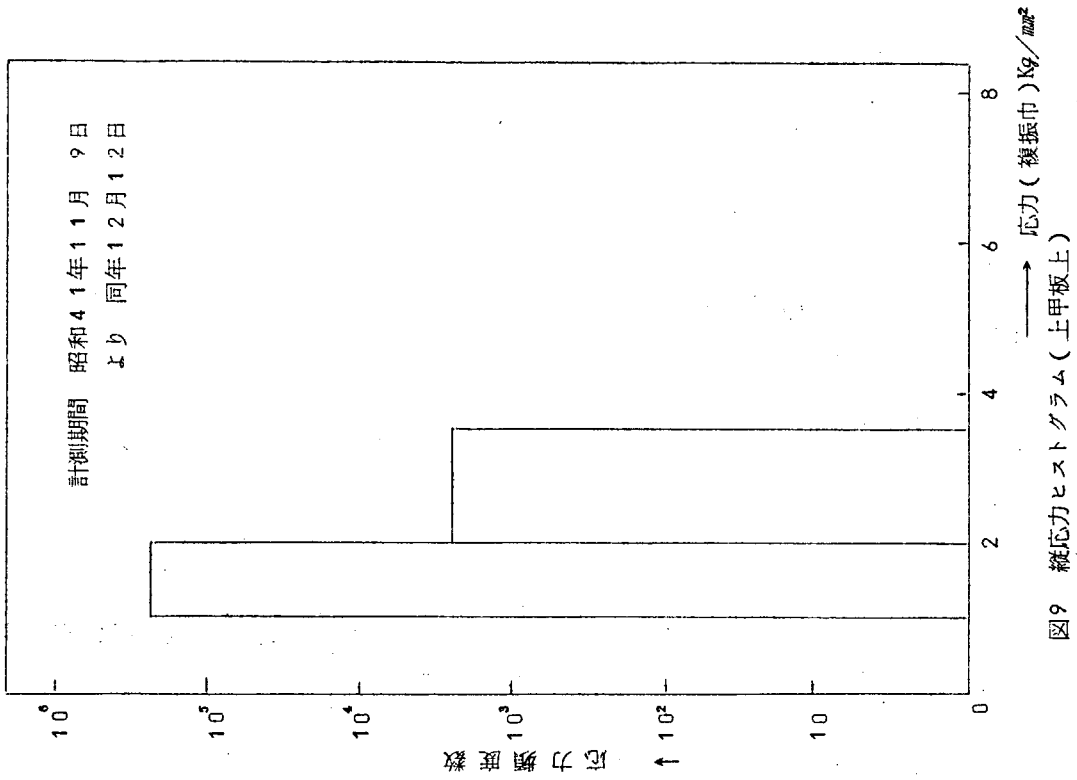
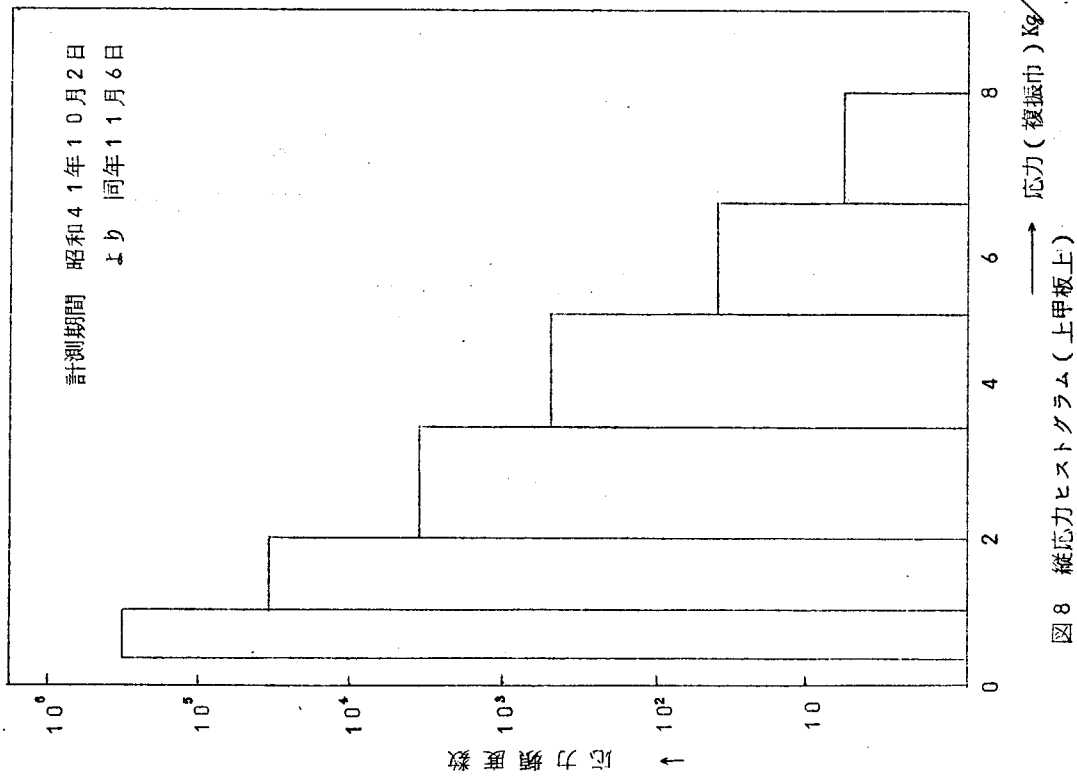


図7 縦応力のヒストグラム(上甲板上)



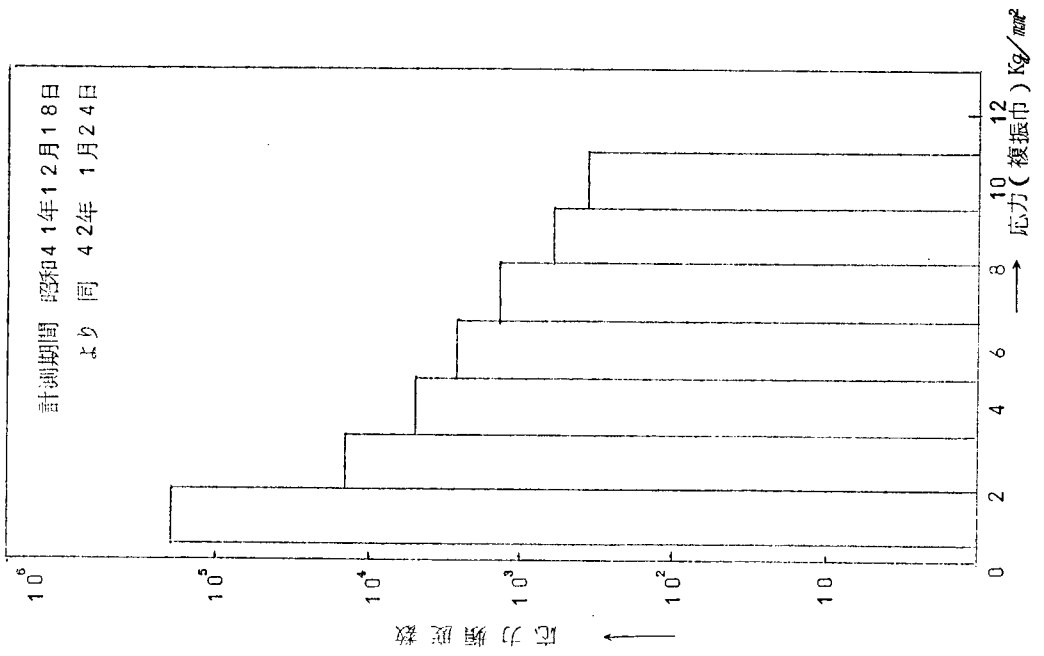


図10 縦応力ヒストグラム(上甲板上)

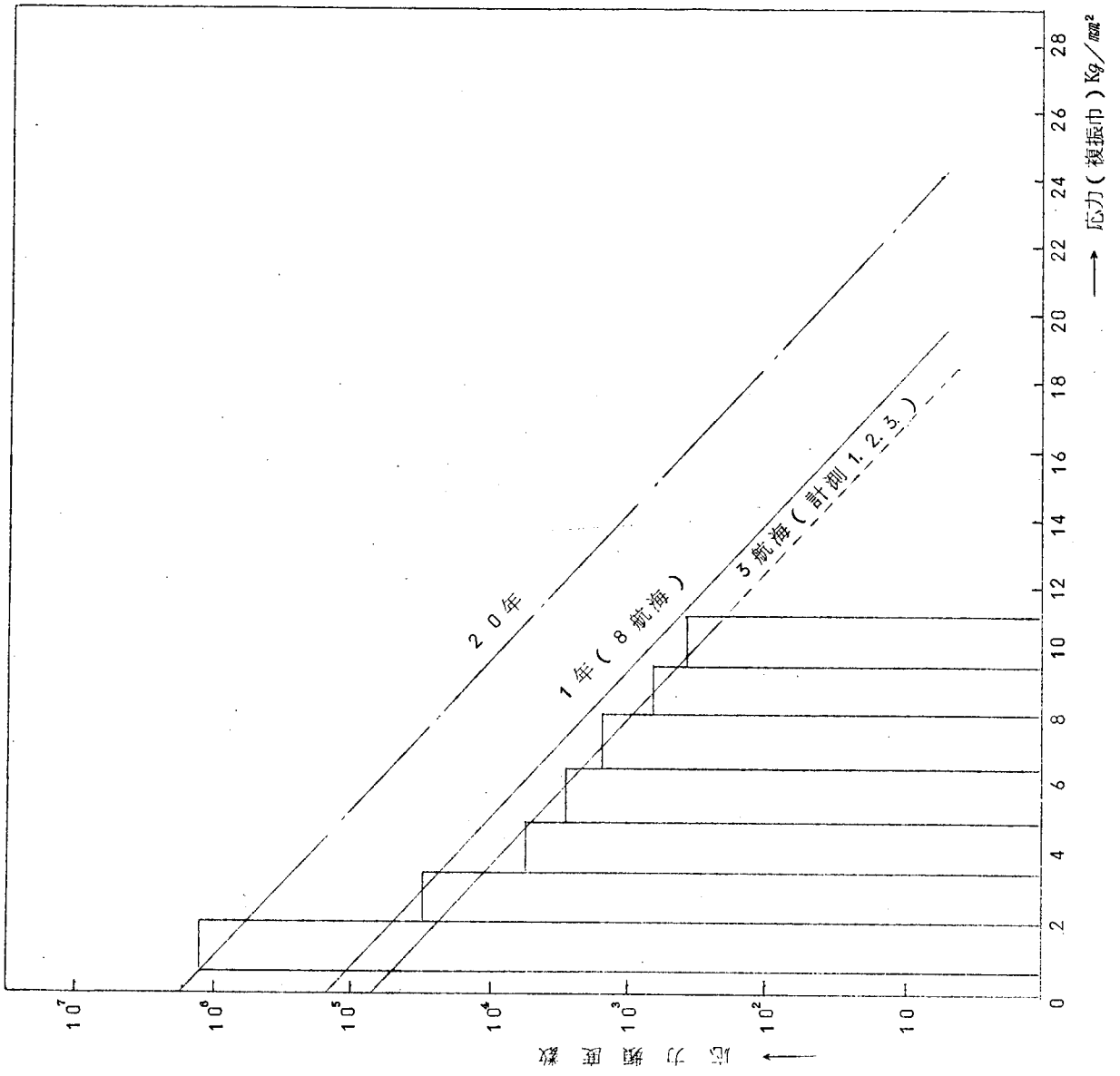


図11 縦応力ヒストグラム

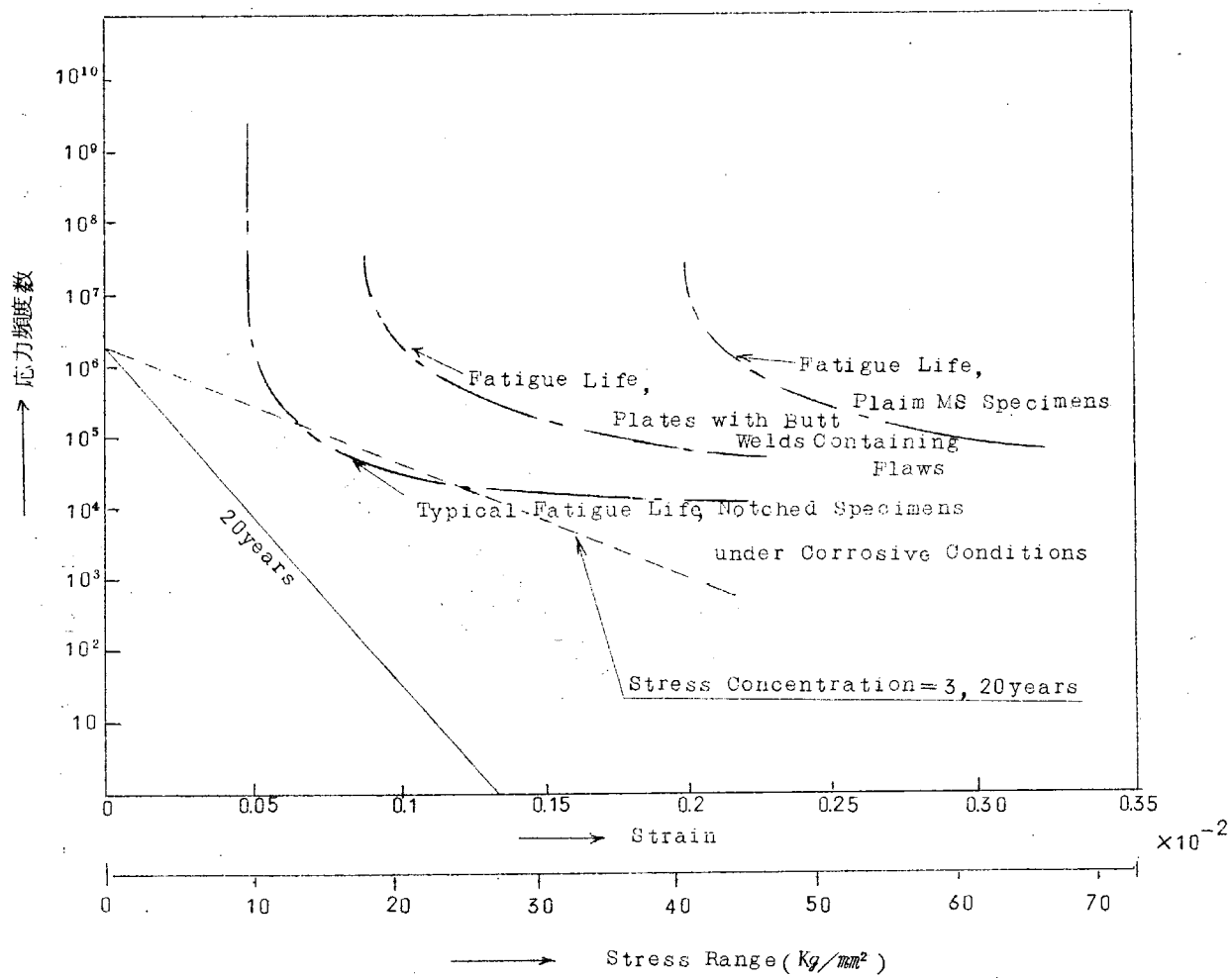


図12 縦応力頻度と疲労寿命

注

船速	14.0 Kt
波高	8 m
波長	80 m
出合角	5風 → ◁ QH
Draught (m)	
df	15.37 da 15.95 dm 15.66

応力は複振巾を示す。

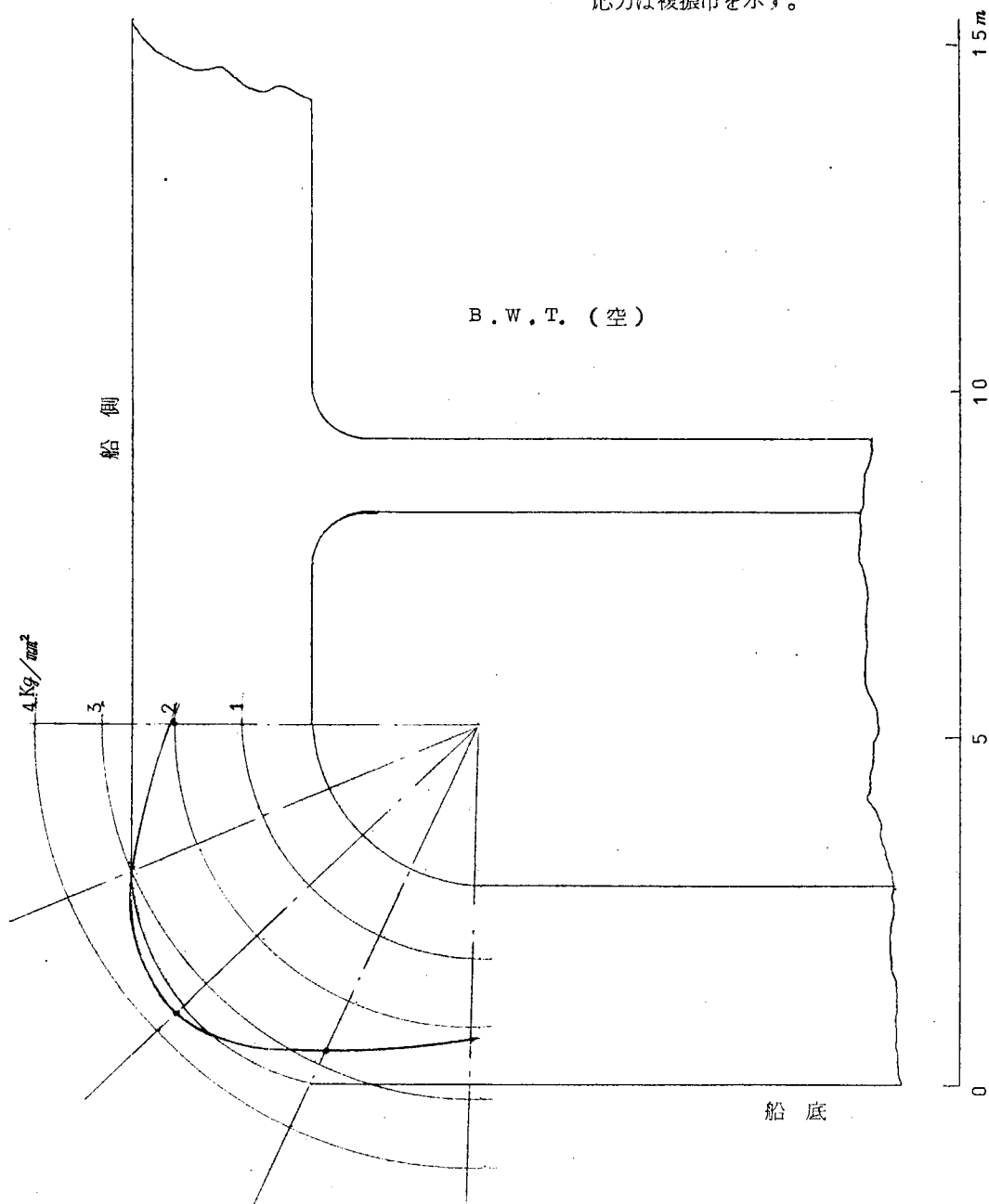


図13 応力分布図 (B.W.T.内横応力)

表4 Ballast Water Tank 内の横応力頻度分布

計測日	計測時間 (Sec)	波浪 階級	応力範囲 (Kg/mm ²) 複振巾、半周期の回数															
			0~02	02~04	04~06	06~08	08~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20	20~22	22~24	24~26	26~28	28~30	32~35
41年 10月 3日	620	2	69	40	13	6												
10. 4	340	3	23	12	1													
10. 5	500	4	6	33	26	6												
10. 6	480	4	35	14														
10. 8	600	4	57	2														
10. 9	460	1	35															
10. 10	500	1	27															
10. 11	630	5	1	21	19	33	25	14	5	3								
⊕ 10. 11	485	5	1	5	11	26	14	12	10	14	4	6	1					
10. 12	450	5	0	4	8	11	5	13	14	20	9	2	1					
10. 14	510	3	13	66	9	0	1	1										
10. 15	450	3	20	52	12	1												
10. 17	300	2	37															
10. 21	480	1	102	17														
10. 22	280	3	36															
10. 23	500	3	38	56	10													
10. 24	360	1	58	13														
10. 25	500	2	12	45	21	1												
10. 26	500	3	28	42	7													
10. 27	450	2	32	30	4													
10. 31	600	5	1	30	83	51	23	15	3	2								
11. 1	650	5	3	29	40	41	53	28	36	11	3	5	0	1				
11. 2	600	7	2	13	13	22	26	25	29	17	13	14	7	3	2		1	
⊕ 11. 2	585	7	8	17	14	17	23	27	27	23	19	13	10	5	6	1		2
11. 3	550	5	29	109	88	32	9	2										
合 計			673	650	379	247	179	137	124	90	38	40	19	9	8	1	1	2

注：⊕は定時計測以外の特別計測

注：計測—1（昭和41年10月3日より昭和41年11月3日まで）のBallast Water Tank内のトランスリング下部コーナの中央部における定時計測の全測定値（変動応力の半サイクルの数を示す）。

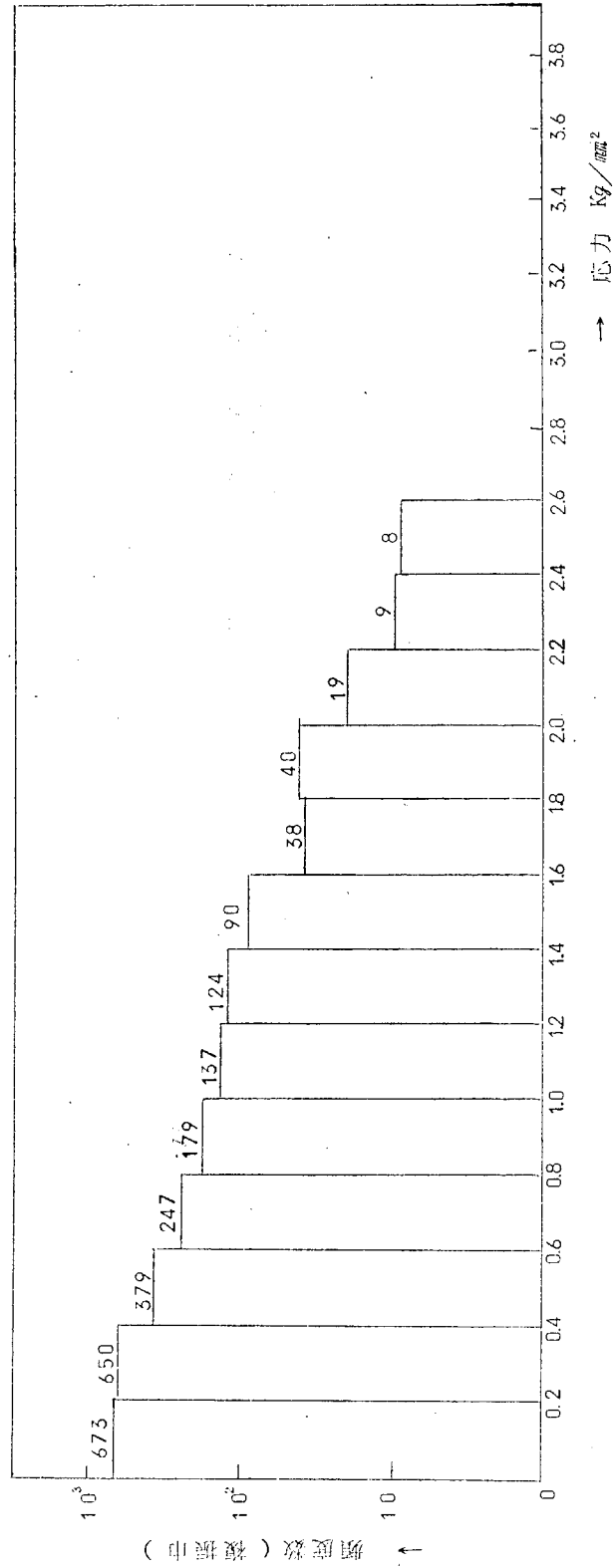


図14 Ballast Water Tank内 横応力分布図

計測 1

注：10分計測(600sec)に換算した頻度数
(変動応力の1サイクルの数を示す)

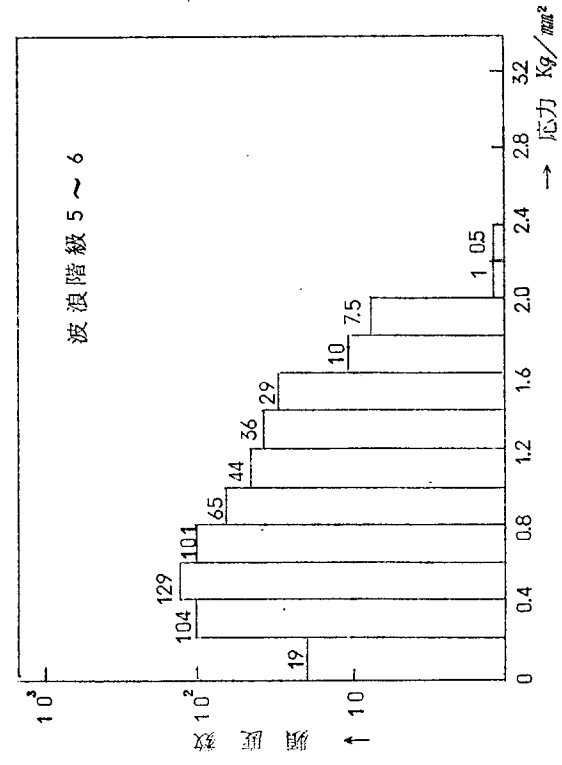
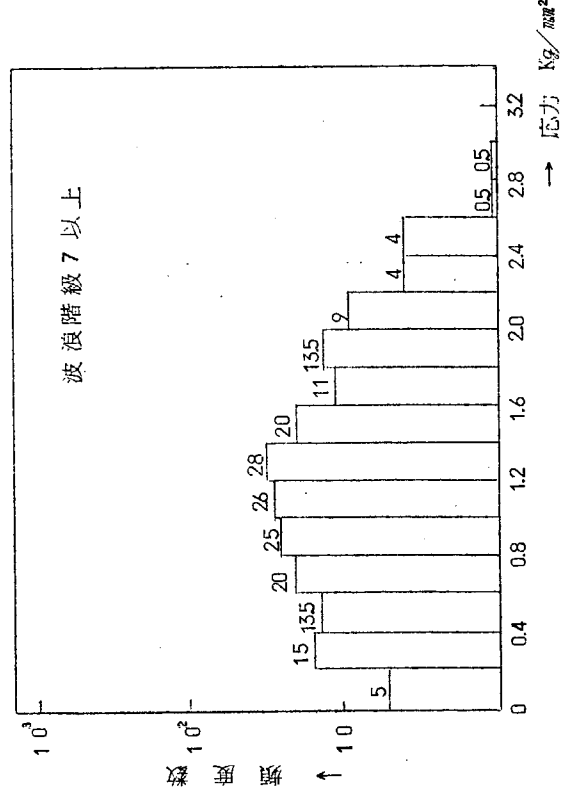
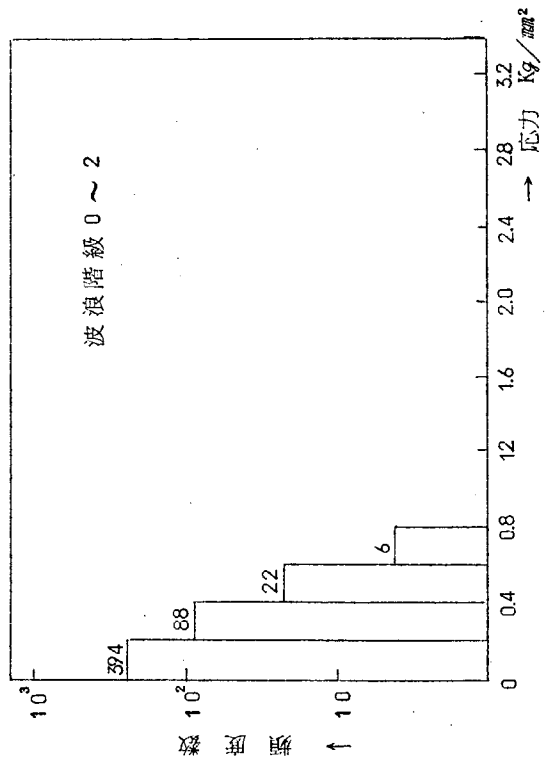
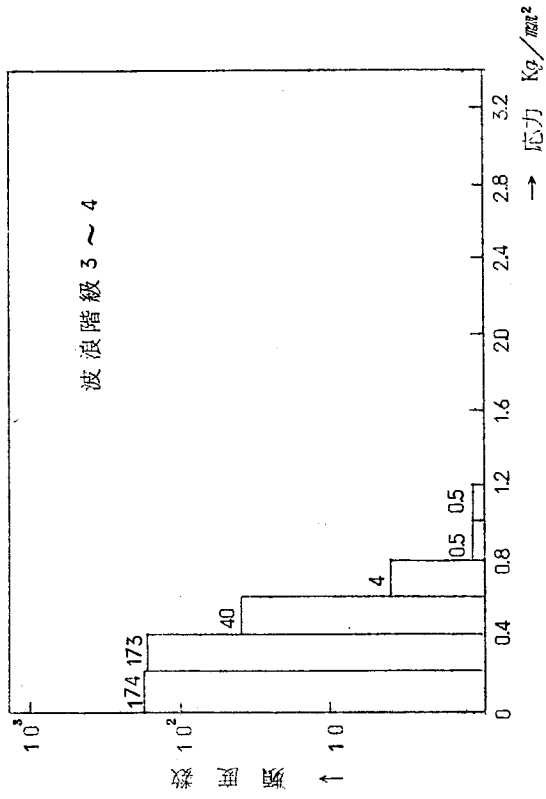


図15 Ballast Water Tank 内横応力頻度分布

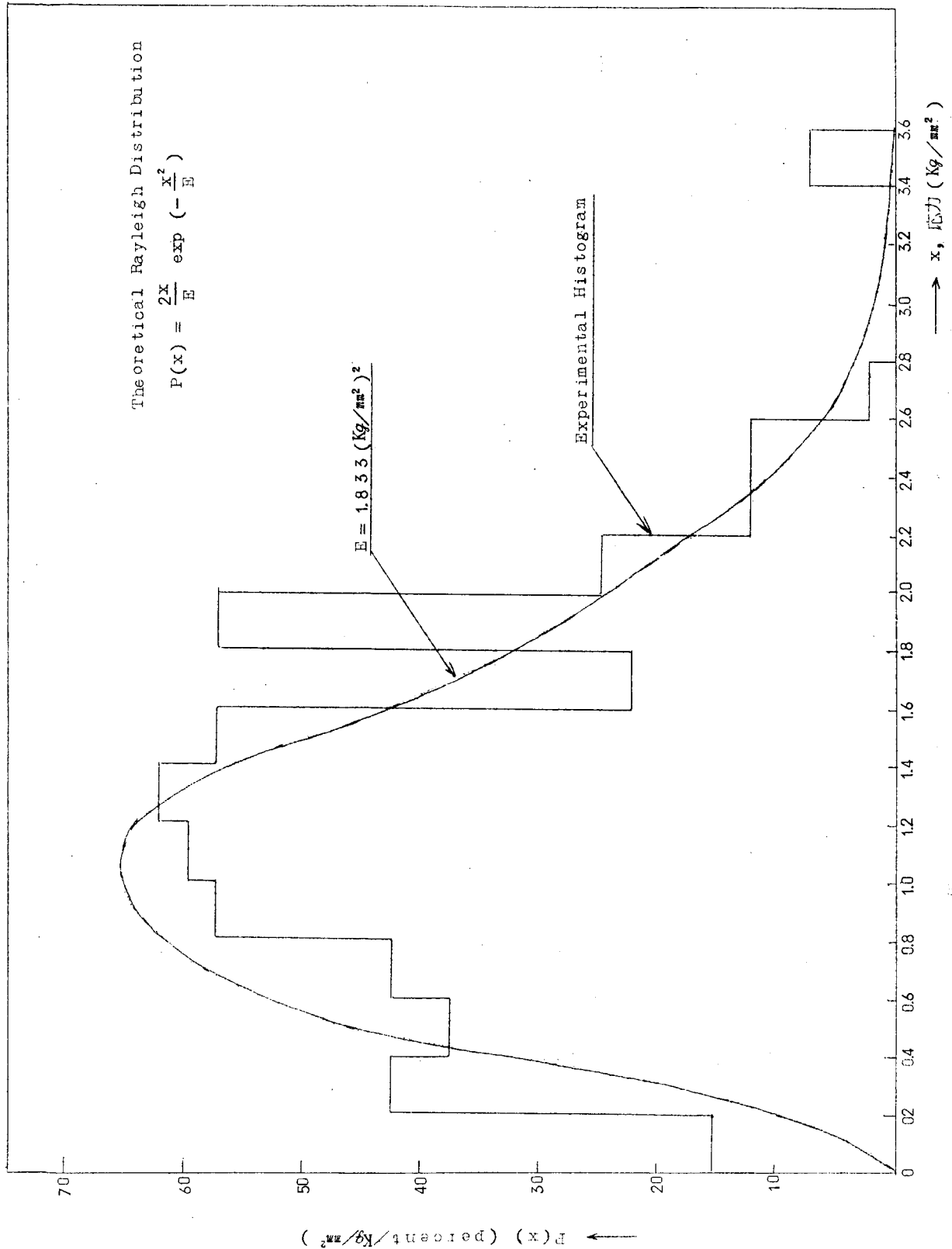


図16 応力の短期分布.....Ballast Water Tank内横応力(複振中)

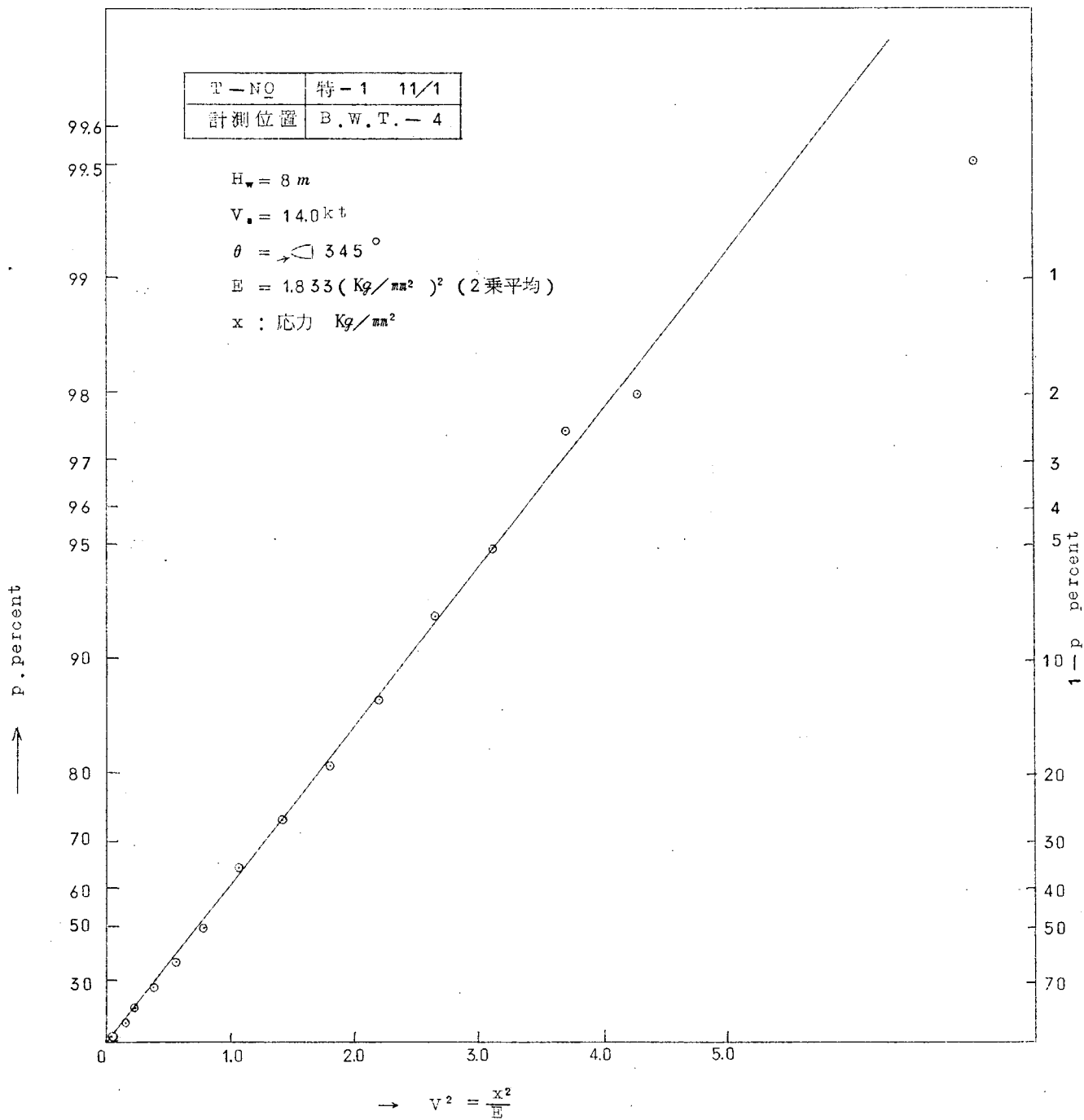


図17 応力の累積確率分布.....Ballast Water Tank内横応力

注 機関室内、横応力、複振巾、
極値頻度を示す。

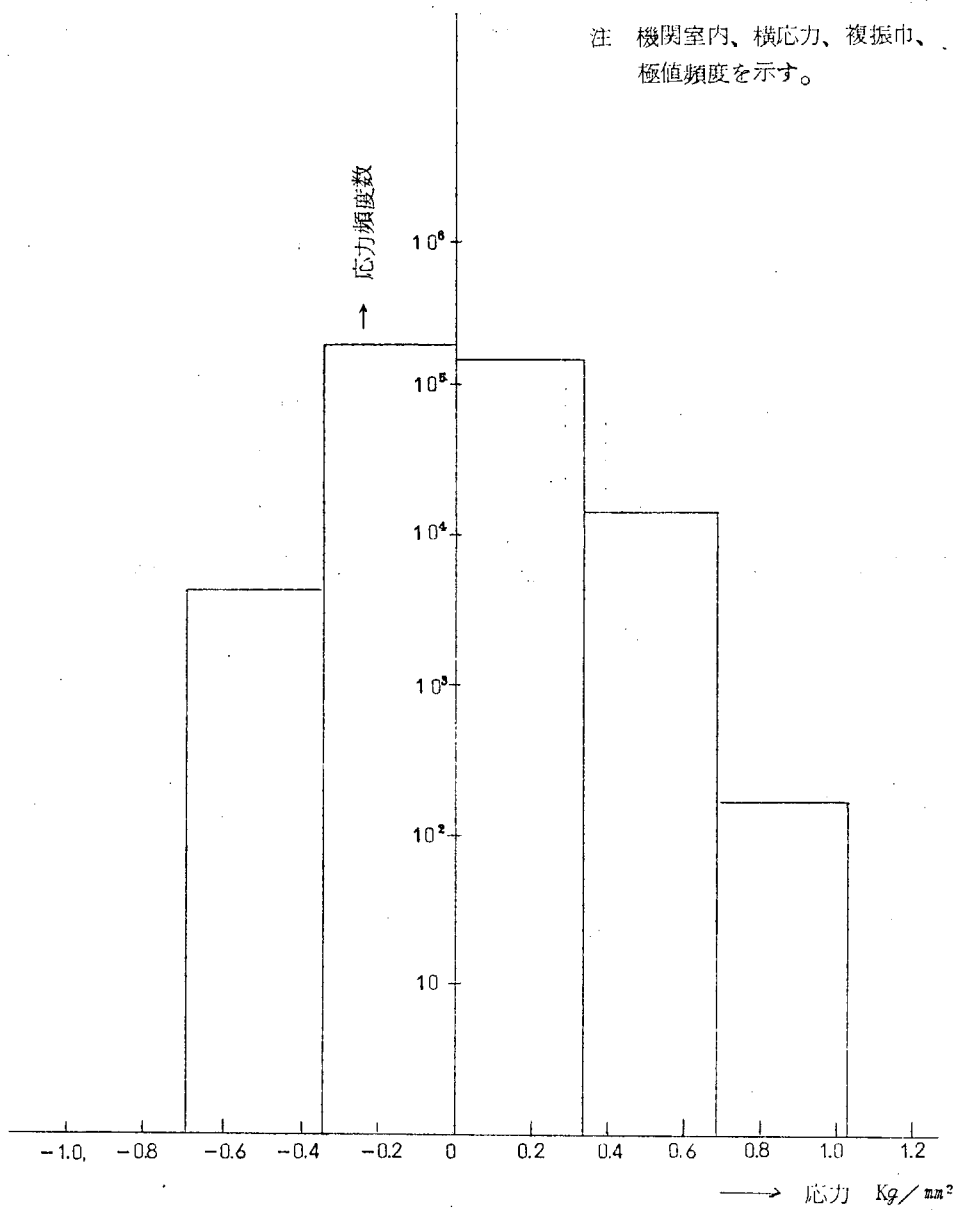
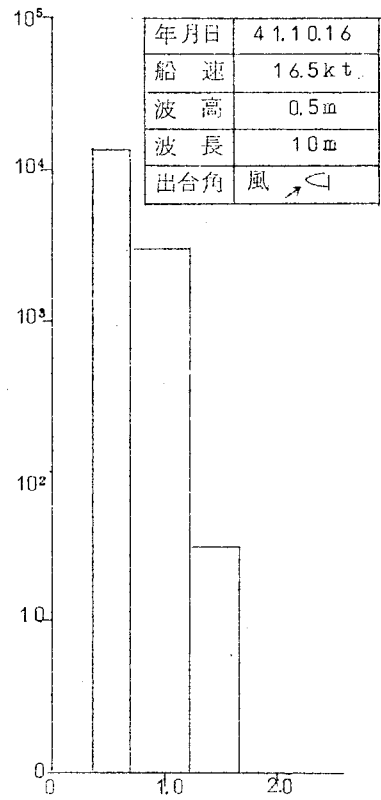
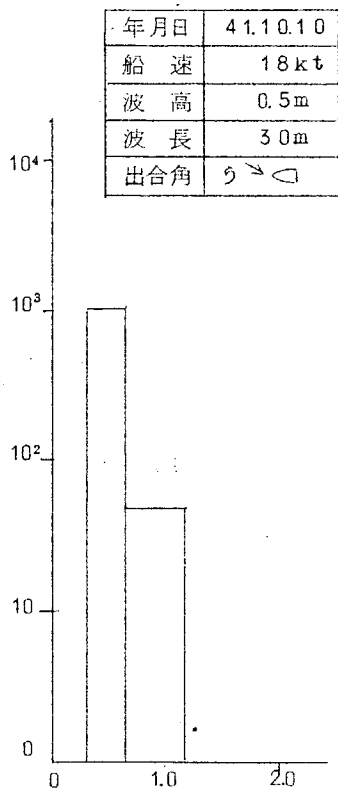
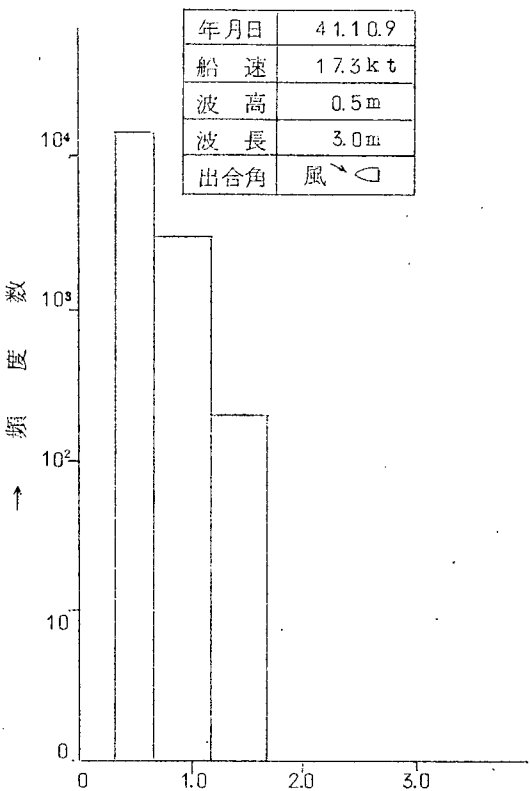
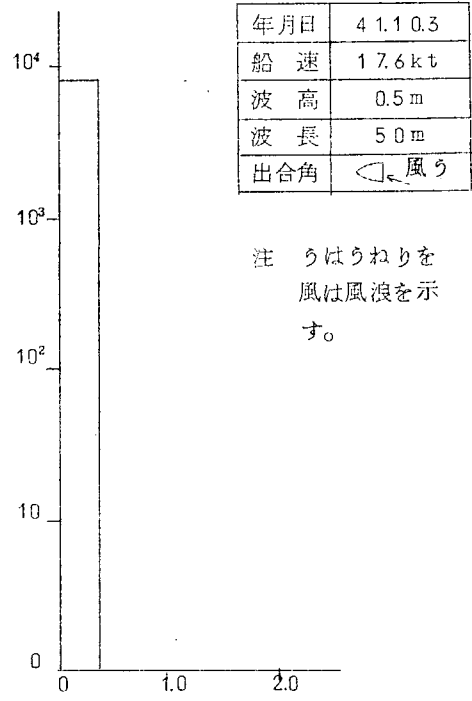
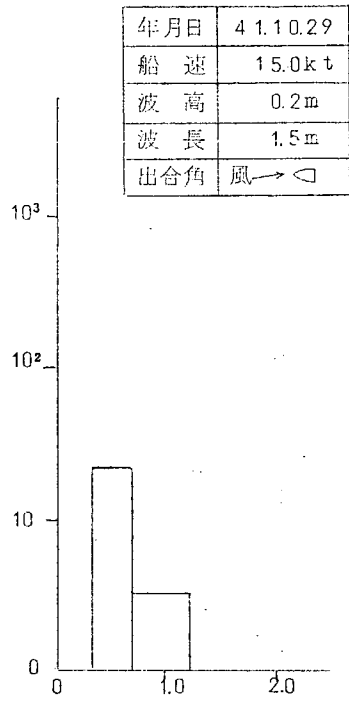
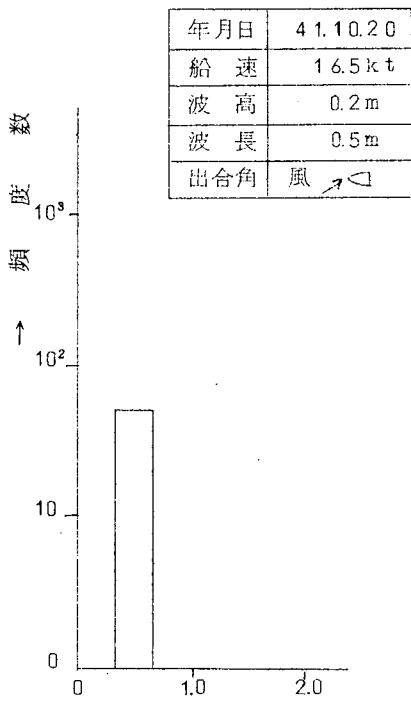


図 1 8 1 航海 (3 4 日間) における応力頻度分布 (計測 1)



→ 応 用 Kg/cm^2

図19-1 縦応力頻度の記録

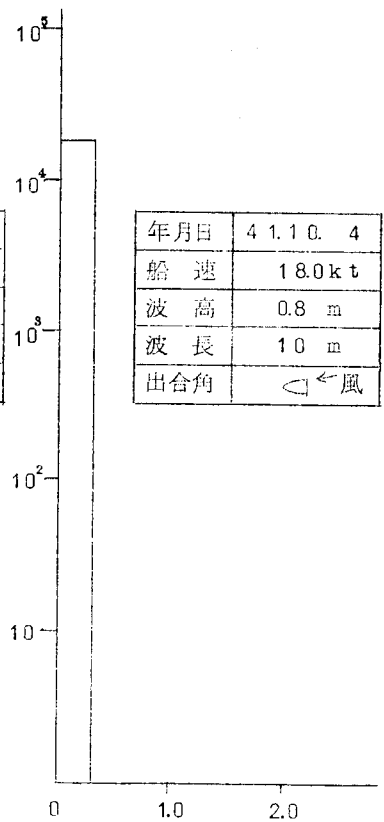
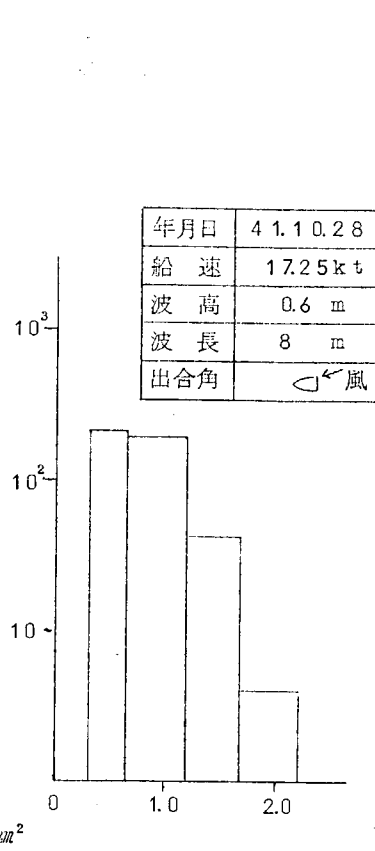
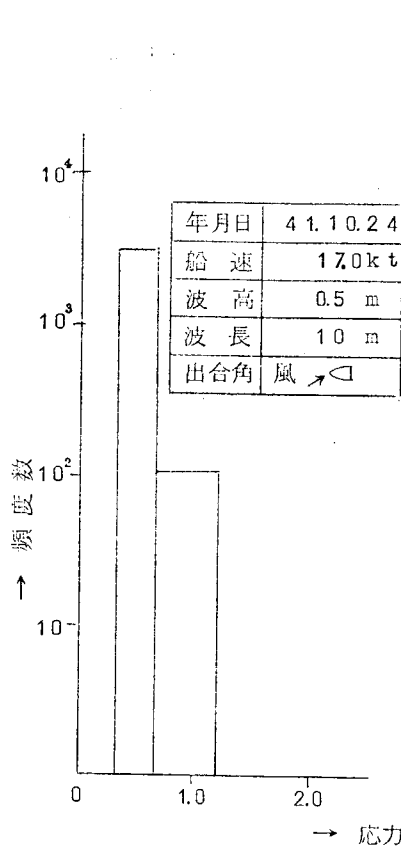
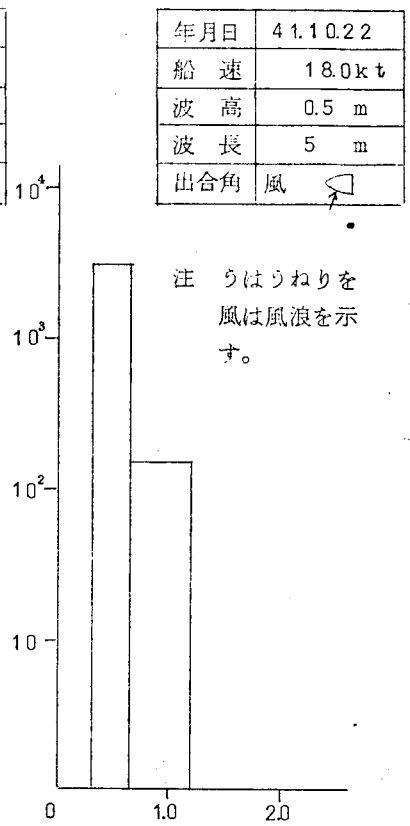
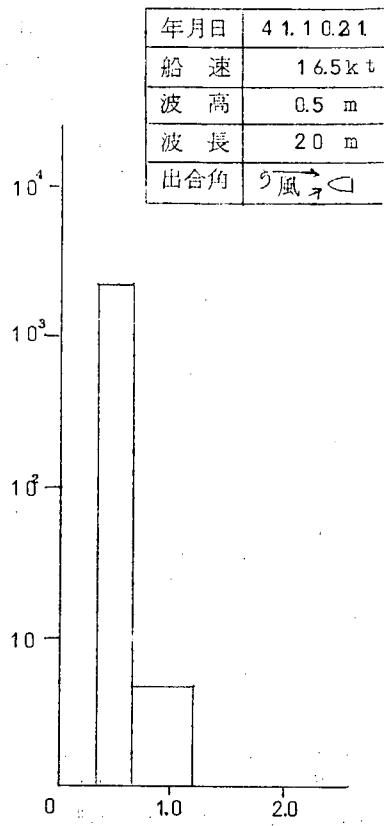
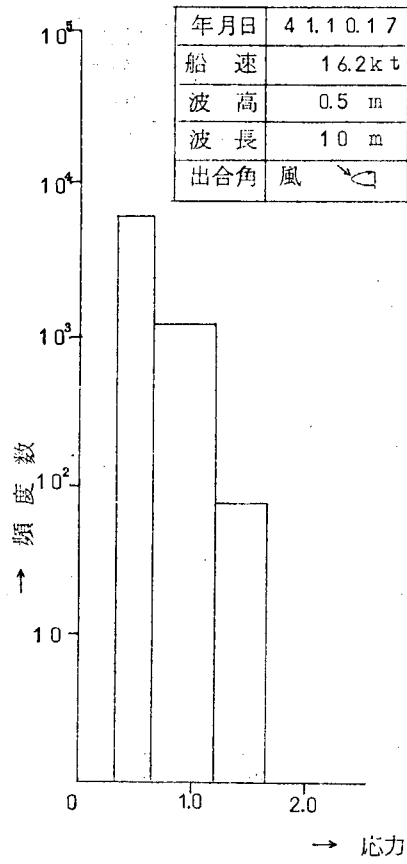


図19-2 縦応力頻度の記録

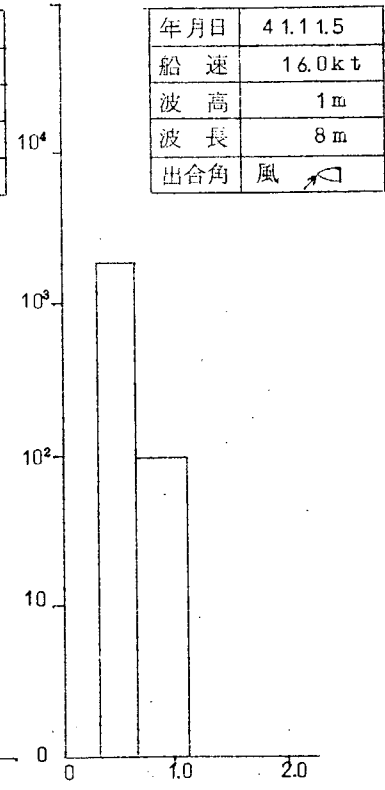
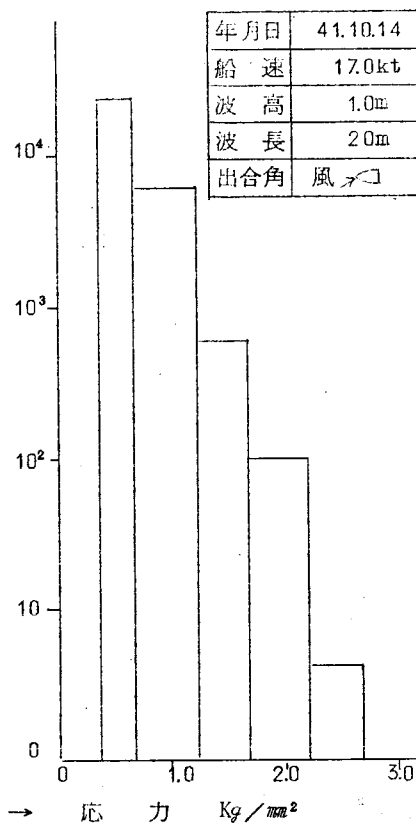
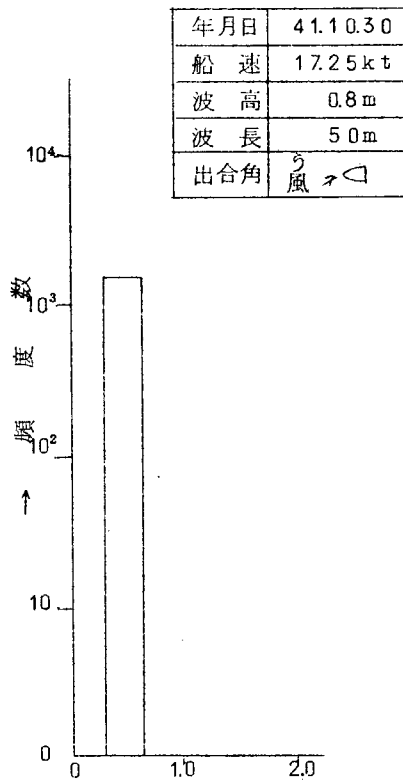
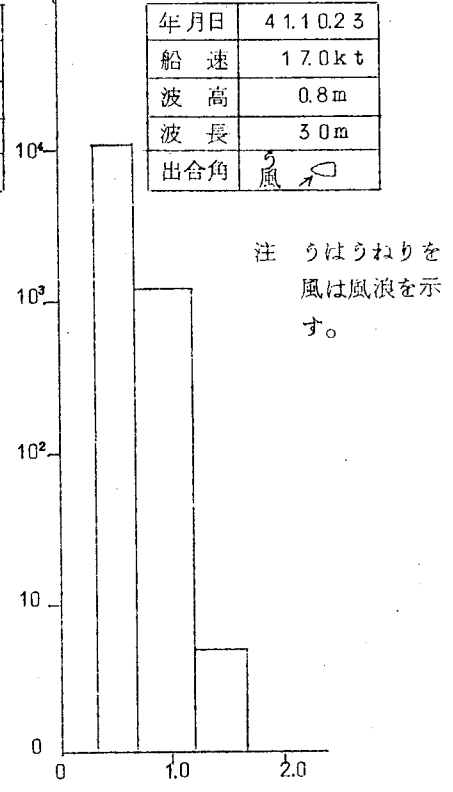
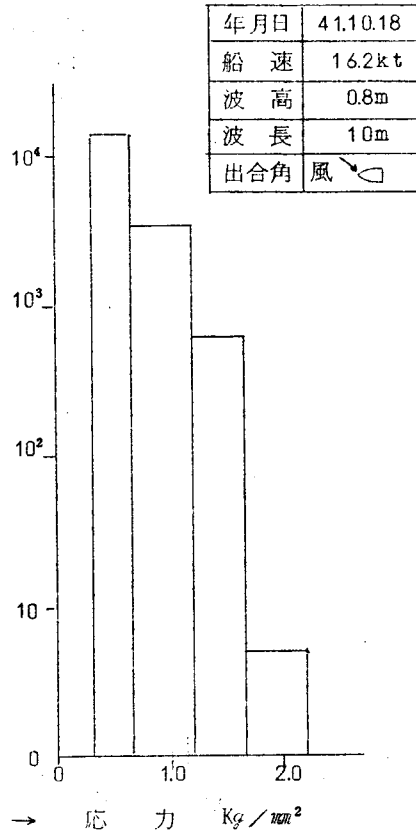
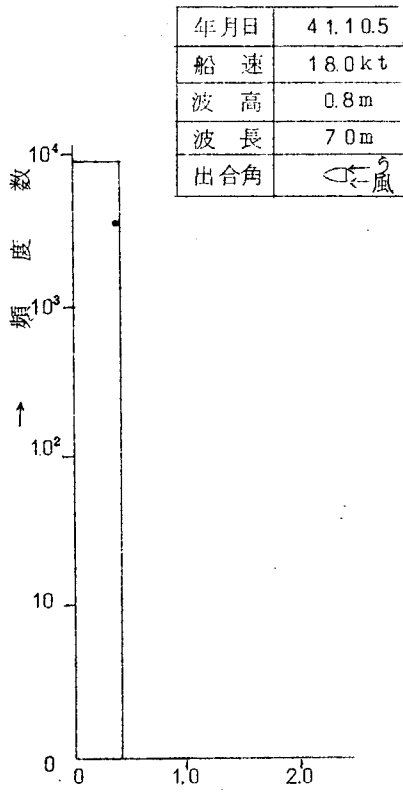


図 19-3 縦応力頻度の記録

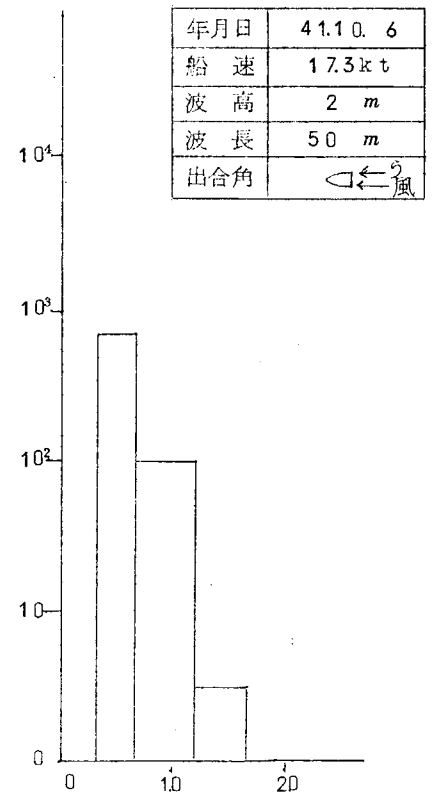
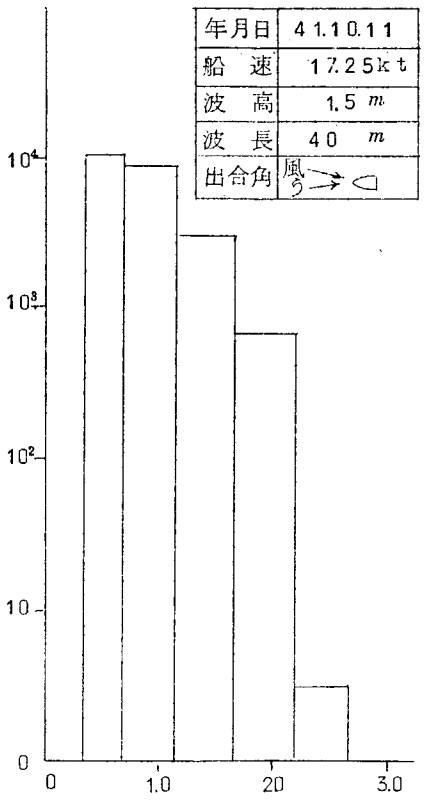
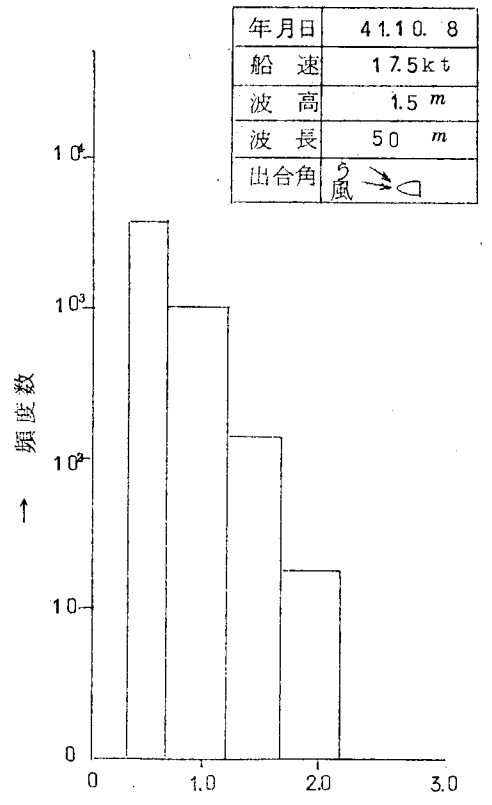
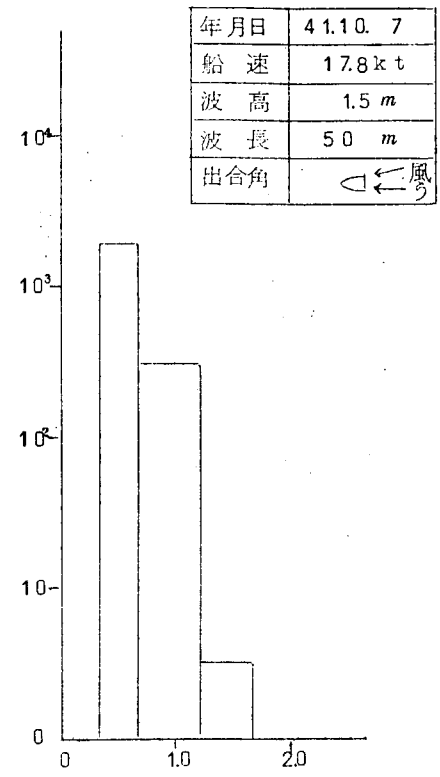
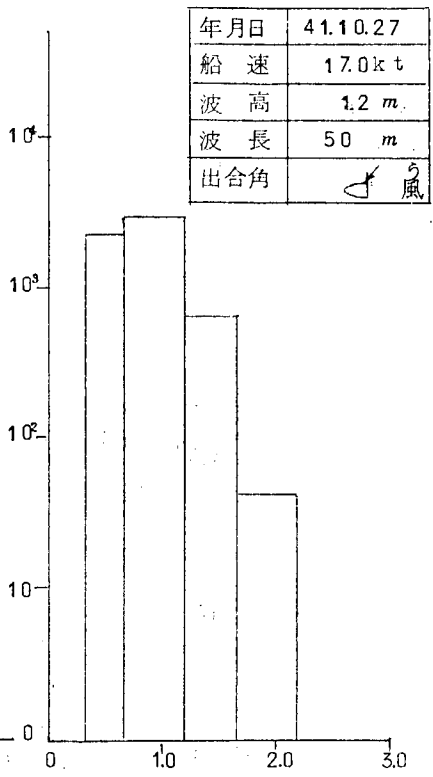
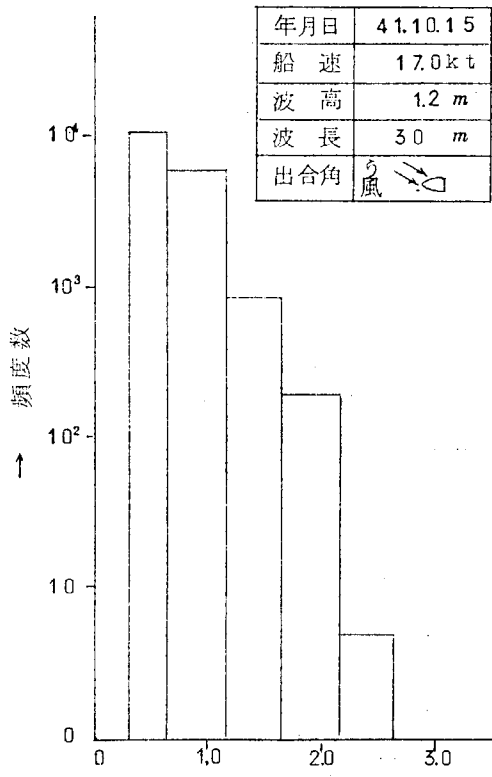


図19-4 縦応力頻度の記録

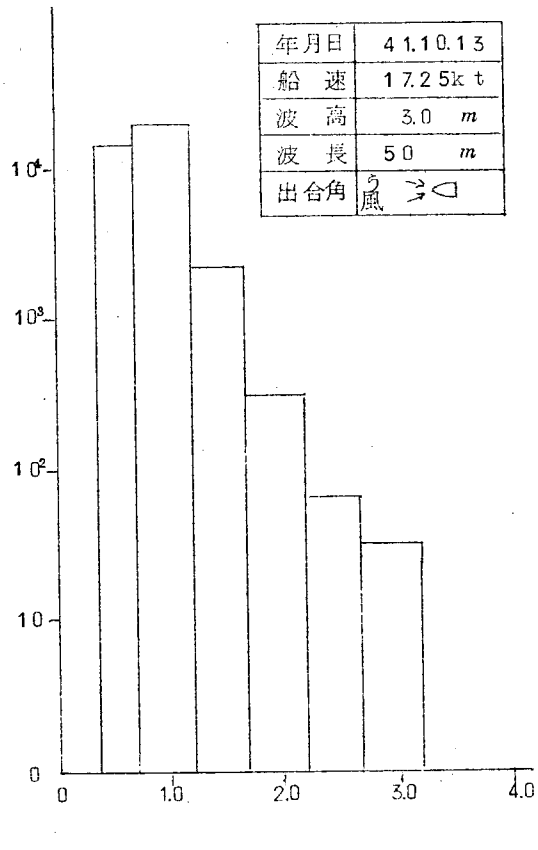
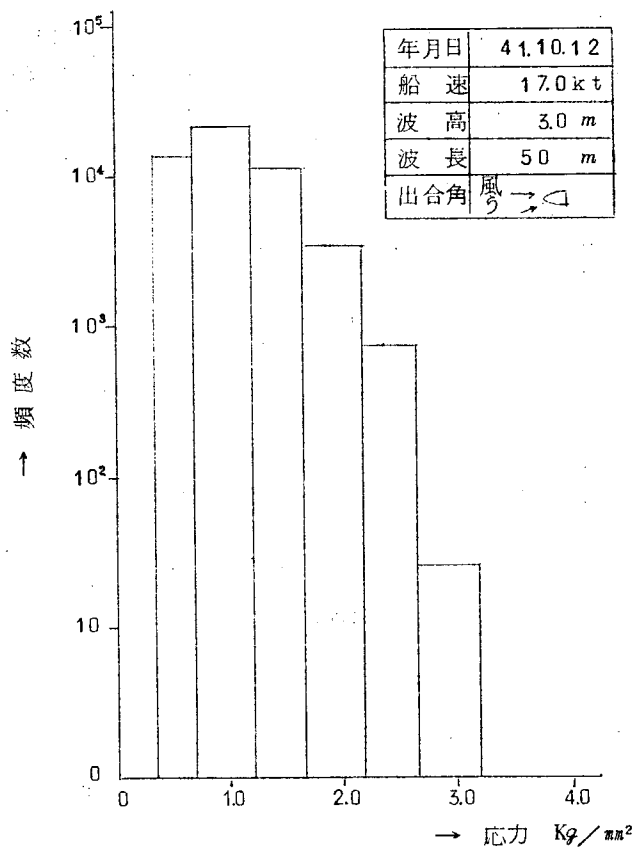
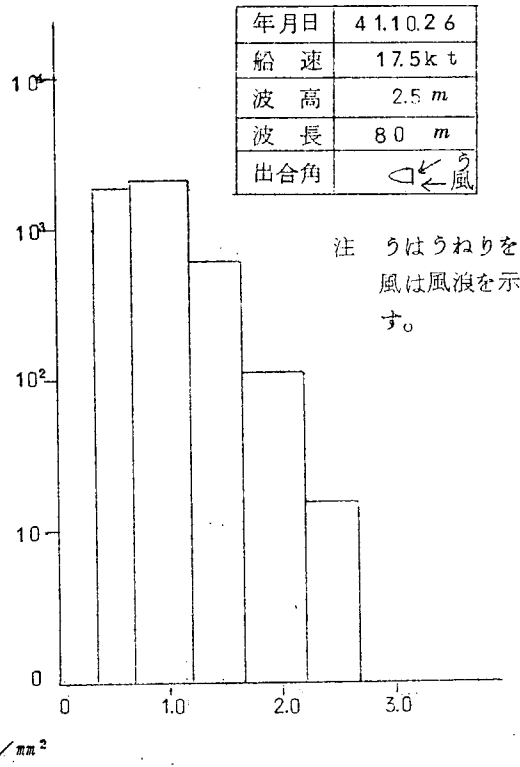
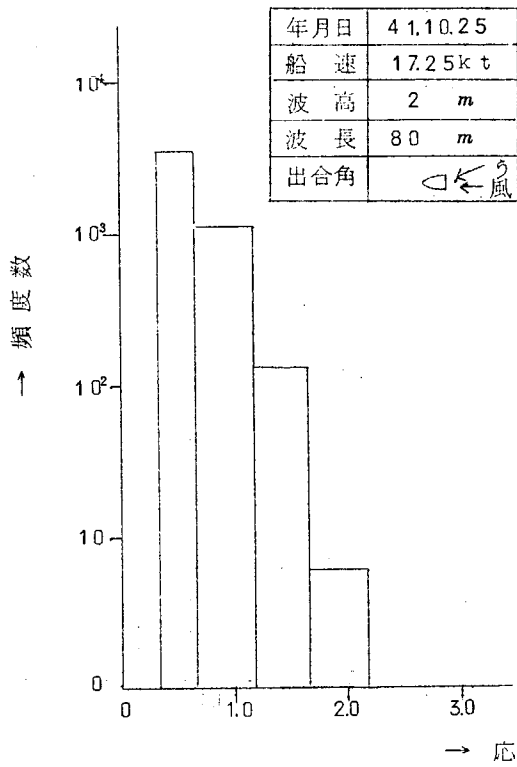


図19-5 縦応力頻度の記録

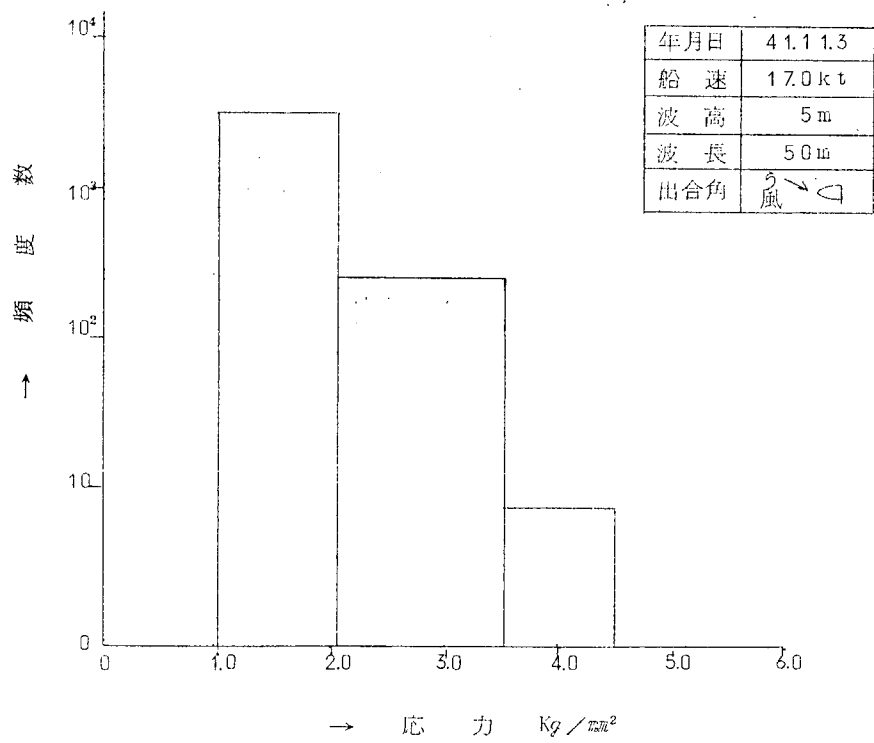
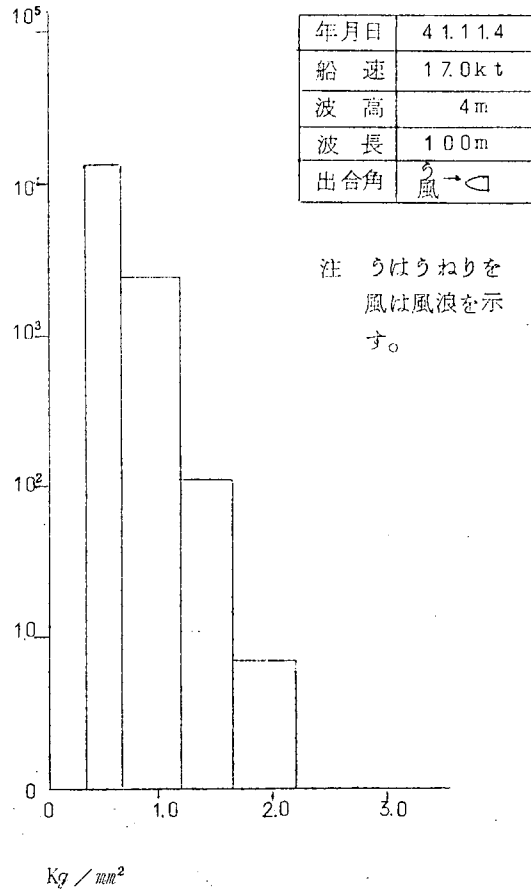
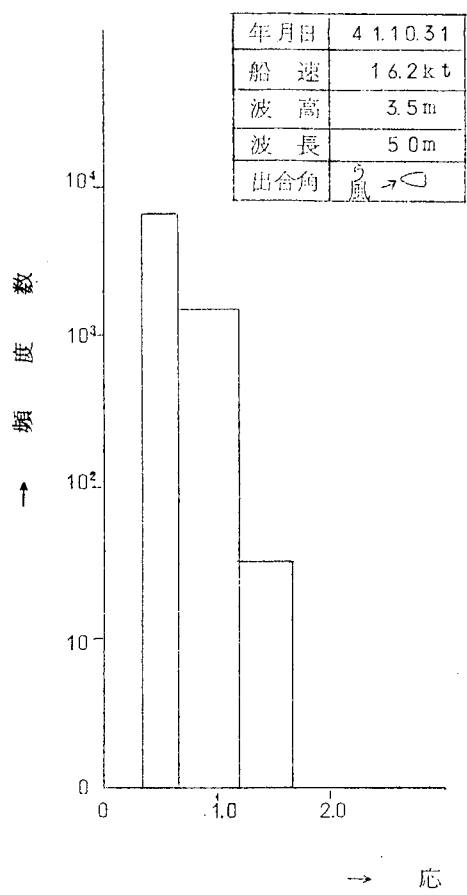


図19-6 縦応力頻度の記録

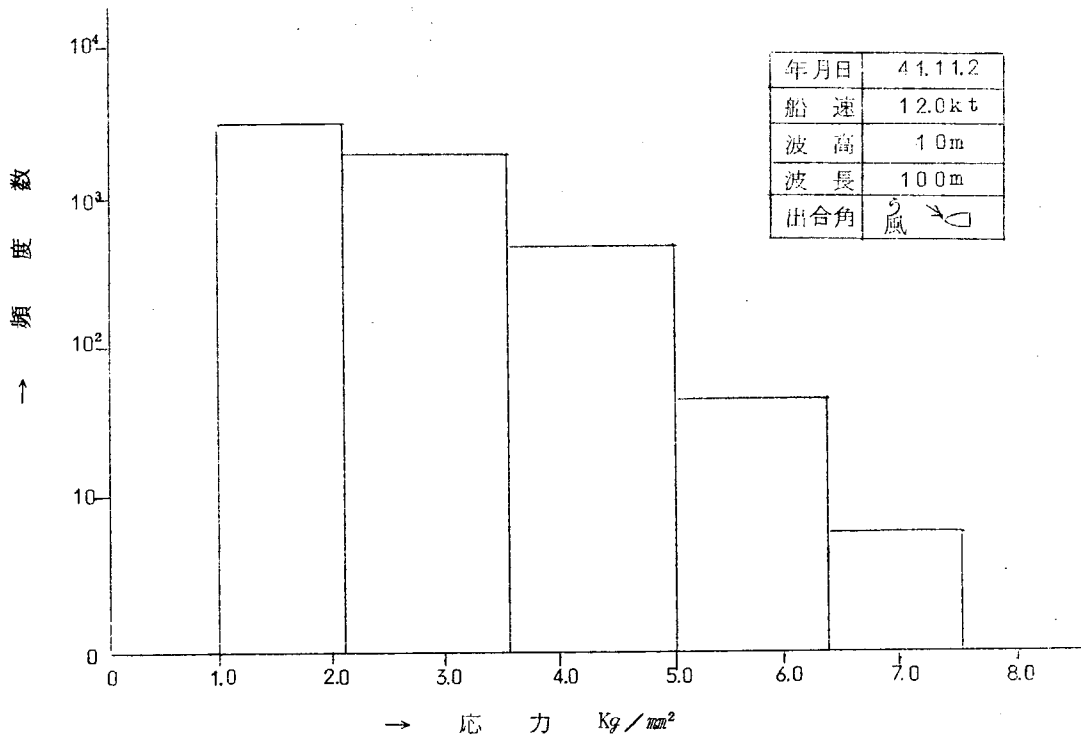
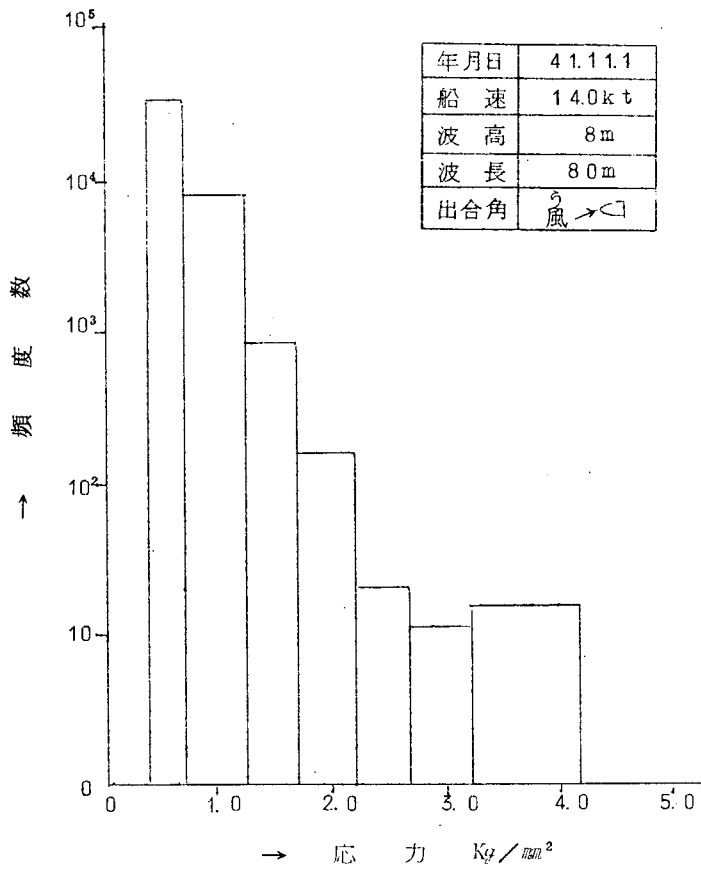


図19-7 縦応力頻度の記録

付表1 風力階級

階級	名	称	風速(m)	参考波高(m)	
0	平	種	Calm	0 ~ 0.3	0
1	至	軽	Light Air	0.3 ~ 1.6	0.1
2	軽	風	Light Breeze	1.6 ~ 3.4	0.2~ 0.3
3	軟	風	Gentle Breeze	3.4 ~ 5.5	0.6~ 1.0
4	和	風	Moderate Breeze	5.5 ~ 8.0	1.0~ 1.5
5	疾	風	Fresh Breeze	8.0 ~ 10.8	2.0~ 2.5
6	雄	風	Strong Breeze	10.8 ~ 13.9	3 ~ 4
7	強	風	Near Gale	13.9 ~ 17.2	4 ~ 5.5
8	疾	強	Gale	17.2 ~ 20.8	5.5~ 7.5
9	大	強	Strong Gale	20.8 ~ 24.5	7 ~ 10
10	全	強	Storm	24.5 ~ 28.5	9 ~ 12.5
11	暴	風	Violent Storm	28.5 ~ 32.7	11.5~ 16
12	颶	風	Hurricane	32.7 以上	16 以上

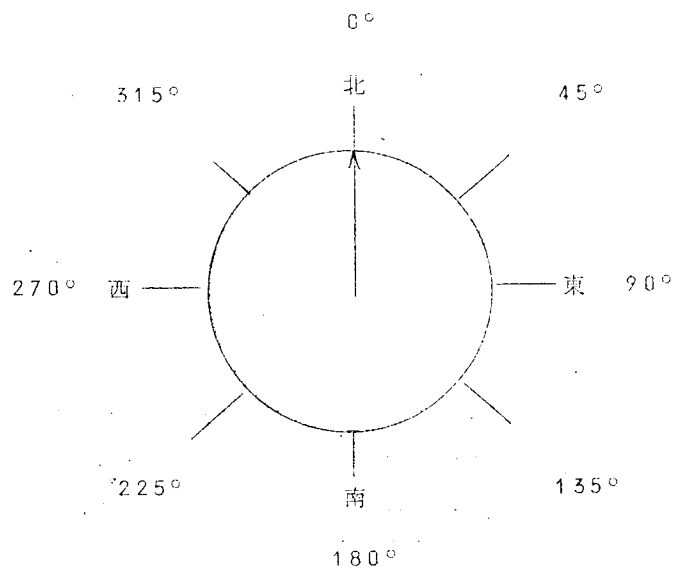
付表2 うねり階級(Swell Scale)

0	うねりなし	No Swell	0
1	うねり軽し	Slight Swell	短く 100m未満で波高2m未満
2	うねりあり	Moderate	長く (弱いうねり)
3	うねり稍大なり	Rather Rough Swell	短く
4	うねり大なり	Rough Swell	中位 } やや高いうねり (波高2~4m)
5	うねり高し	Heavy Swell	長く
6	うねり頗る高し	Very Heary Swell	短く
7	うねり殊に巨大	Abnormal Swell	中位 } 高いうねり (波高4m以上)
8			長く

注 「短く」とは波長100m未満(周期8.0Sec以下程度)
「中位」とは波長100m~200m未満(周期8.1Sec~11.3Secまで)
「長く」とは波長200m以上(周期11.4Sec以上)

付表3 波浪の階級

階級	名	称	波高(m)
0	鏡の如し	Calm	0
1	運僅少	Very Smooth Sea	0 ~ 0.1
2	細運立つ	Smooth Sea	0.1 ~ 0.5
3	白浪わずか	Slight Sea	0.5 ~ 1.25
4	白浪全部	Moderate Sea	1.25 ~ 2.5
5	白浪高し	Rather rough Sea	2.5 ~ 4.0
6	大波とまる	Rough Sea	4 ~ 6
7	大波高し	Hight Sea	6 ~ 9
8	怒濤頗る高し	Very Hight Sea	9 ~ 14
9	怒濤山の如し	Phenomenal	14 をこえる



付図1 船の進路