

J= 5					J= 6				
***HISTOGRAM***					***HISTOGRAM***				
KAGEN	JOGEN	KOSU	0	40	KAGEN	JOGEN	KOSU	0	40
50,00*	52,00	0		I	50,00*	52,00	0		I
52,00*	54,00	0		I	52,00*	54,00	0		I
54,00*	56,00	0		I	54,00*	56,00	0		I
56,00*	58,00	0		I	56,00*	58,00	0		I
58,00*	60,00	0		I	58,00*	60,00	0		I
60,00*	62,00	0		I	60,00*	62,00	0		I
62,00*	64,00	0		I	62,00*	64,00	0		I
64,00*	66,00	0		I	64,00*	66,00	0		I
66,00*	68,00	0		I	66,00*	68,00	0		I
68,00*	70,00	0		I	68,00*	70,00	0		I
70,00*	72,00	0		I	70,00*	72,00	0		I
72,00*	74,00	0		I	72,00*	74,00	0		I
74,00*	76,00	0		I	74,00*	76,00	0		I
76,00*	78,00	0		I	76,00*	78,00	0		I
78,00*	80,00	0		I	78,00*	80,00	0		I
80,00*	82,00	0		I	80,00*	82,00	0		I
82,00*	84,00	0		I	82,00*	84,00	0		I
84,00*	86,00	0		I	84,00*	86,00	0		I
86,00*	88,00	1		I	86,00*	88,00	0		I
88,00*	90,00	0		I	88,00*	90,00	0		I
90,00*	92,00	1		I	90,00*	92,00	1		I
92,00*	94,00	13	*	I	92,00*	94,00	5		I
94,00*	96,00	57	****	I	94,00*	96,00	55	****	I
96,00*	98,00	195	*****	I	96,00*	98,00	206	*****	I
98,00*	100,00	334	*****	I	98,00*	100,00	348	*****	I
100,00*	102,00	324	*****	I	100,00*	102,00	305	*****	I
102,00*	104,00	187	*****	I	102,00*	104,00	189	*****	I
104,00*	106,00	73	*****	I	104,00*	106,00	70	*****	I
106,00*	108,00	14	*	I	106,00*	108,00	17	*	I
108,00*	110,00	4		I	108,00*	110,00	3		I
110,00*	112,00	1		I	110,00*	112,00	0		I
112,00*	114,00	1		I	112,00*	114,00	0		I
114,00*	116,00	0		I	114,00*	116,00	0		I
116,00*	118,00	0		I	116,00*	118,00	0		I
118,00*	120,00	0		I	118,00*	120,00	0		I
120,00*	122,00	0		I	120,00*	122,00	0		I
122,00*	124,00	0		I	122,00*	124,00	0		I
124,00*	126,00	0		I	124,00*	126,00	0		I
126,00*	128,00	0		I	126,00*	128,00	0		I
128,00*	130,00	0		I	128,00*	130,00	0		I
130,00*	132,00	0		I	130,00*	132,00	0		I
132,00*	134,00	0		I	132,00*	134,00	0		I
134,00*	136,00	0		I	134,00*	136,00	0		I
136,00*	138,00	0		I	136,00*	138,00	0		I
138,00*	140,00	0		I	138,00*	140,00	0		I
140,00*	142,00	0		I	140,00*	142,00	0		I
142,00*	144,00	0		I	142,00*	144,00	0		I
144,00*	146,00	0		I	144,00*	146,00	0		I
146,00*	148,00	0		I	146,00*	148,00	0		I
148,00*	150,00	0		I	148,00*	150,00	0		I
				JAN. 25					JAN. 25
				PORT TORQUE					STARBOARD TORQUE
				141.0 ton-m					151.2 ton-m

Fig. 20 a Histogram of Torque at Moderate Sea

J# 7						J# 8					
***HISTOGRAM***						***HISTOGRAM***					
KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20	40	KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20	40
50,00	52,00	0	I	I	I	50,00	52,00	0	I	I	I
52,00	54,00	0	I	I	I	52,00	54,00	0	I	I	I
54,00	56,00	0	I	I	I	54,00	56,00	0	I	I	I
56,00	58,00	0	I	I	I	56,00	58,00	0	I	I	I
58,00	60,00	0	I	I	I	58,00	60,00	0	I	I	I
60,00	62,00	0	I	I	I	60,00	62,00	0	I	I	I
62,00	64,00	0	I	I	I	62,00	64,00	0	I	I	I
64,00	66,00	0	I	I	I	64,00	66,00	0	I	I	I
66,00	68,00	0	I	I	I	66,00	68,00	0	I	I	I
68,00	70,00	0	I	I	I	68,00	70,00	0	I	I	I
70,00	72,00	0	I	I	I	70,00	72,00	0	I	I	I
72,00	74,00	0	I	I	I	72,00	74,00	0	I	I	I
74,00	76,00	0	I	I	I	74,00	76,00	0	I	I	I
76,00	78,00	0	I	I	I	76,00	78,00	0	I	I	I
78,00	80,00	0	I	I	I	78,00	80,00	0	I	I	I
80,00	82,00	0	I	I	I	80,00	82,00	0	I	I	I
82,00	84,00	0	I	I	I	82,00	84,00	0	I	I	I
84,00	86,00	0	I	I	I	84,00	86,00	0	I	I	I
86,00	88,00	0	I	I	I	86,00	88,00	0	I	I	I
88,00	90,00	0	I	I	I	88,00	90,00	0	I	I	I
90,00	92,00	0	I	I	I	90,00	92,00	0	I	I	I
92,00	94,00	0	I	I	I	92,00	94,00	0	I	I	I
94,00	96,00	0	I	I	I	94,00	96,00	0	I	I	I
96,00	98,00	0	I	I	I	96,00	98,00	0	I	I	I
98,00	100,00	549	*****	*****	*****	98,00	100,00	540	*****	*****	*****
100,00	102,00	640	*****	*****	*****	100,00	102,00	650	*****	*****	*****
102,00	104,00	7	I	I	I	102,00	104,00	9	I	I	I
104,00	106,00	3	I	I	I	104,00	106,00	0	I	I	I
106,00	108,00	0	I	I	I	106,00	108,00	0	I	I	I
108,00	110,00	0	I	I	I	108,00	110,00	0	I	I	I
110,00	112,00	0	I	I	I	110,00	112,00	0	I	I	I
112,00	114,00	0	I	I	I	112,00	114,00	0	I	I	I
114,00	116,00	0	I	I	I	114,00	116,00	0	I	I	I
116,00	118,00	0	I	I	I	116,00	118,00	0	I	I	I
118,00	120,00	0	I	I	I	118,00	120,00	0	I	I	I
120,00	122,00	0	I	I	I	120,00	122,00	0	I	I	I
122,00	124,00	0	I	I	I	122,00	124,00	0	I	I	I
124,00	126,00	0	I	I	I	124,00	126,00	0	I	I	I
126,00	128,00	0	I	JAN. 25	I	126,00	128,00	0	I	JAN. 25	I
128,00	130,00	0	I	I	I	128,00	130,00	0	I	I	I
130,00	132,00	0	I	I	I	130,00	132,00	0	I	I	I
132,00	134,00	0	I	PORT N	I	132,00	134,00	0	I	STARBOARD N	I
134,00	136,00	0	I	I	I	134,00	136,00	0	I	I	I
136,00	138,00	0	I	117.0 r.p.m	I	136,00	138,00	0	I	117.5 r.p.m	I
138,00	140,00	0	I	I	I	138,00	140,00	0	I	I	I
140,00	142,00	0	I	I	I	140,00	142,00	0	I	I	I
142,00	144,00	0	I	I	I	142,00	144,00	0	I	I	I
144,00	146,00	0	I	I	I	144,00	146,00	0	I	I	I
146,00	148,00	0	I	I	I	146,00	148,00	0	I	I	I
148,00	150,00	0	I	I	I	148,00	150,00	0	I	I	I

Fig. 20 b Histogram of Revolution at Moderate Sea

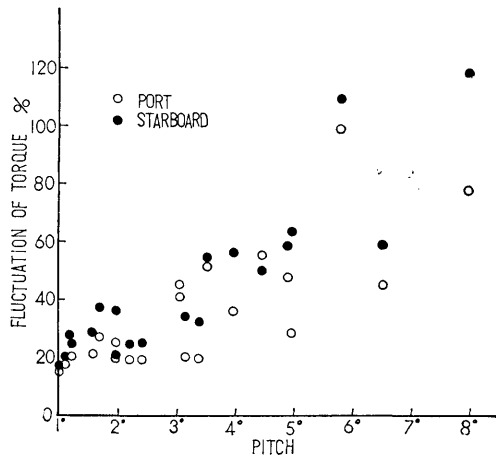


Fig. 21 Fluctuation of Torque for the Pitch Angle

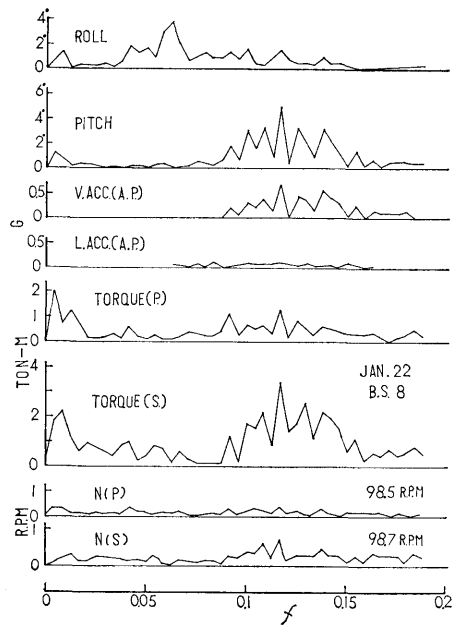


Fig. 22 Frequency Analysis

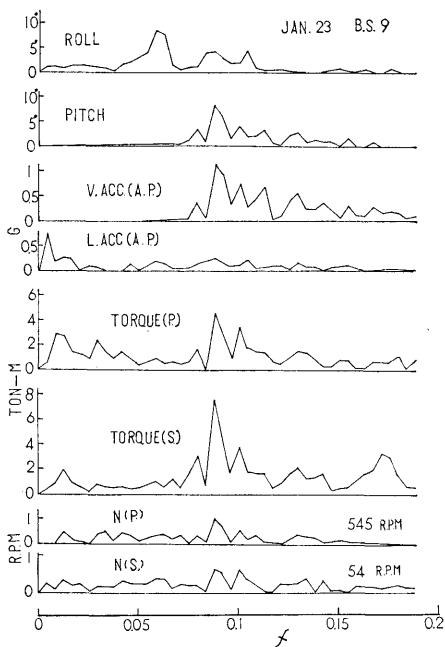


Fig. 23 Frequency Analysis

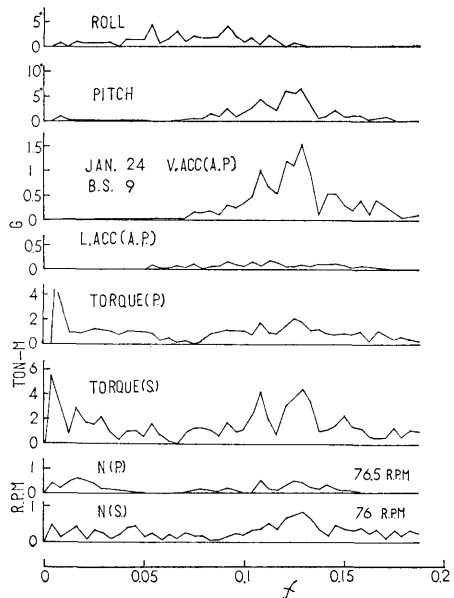


Fig. 24 Frequency Analysis

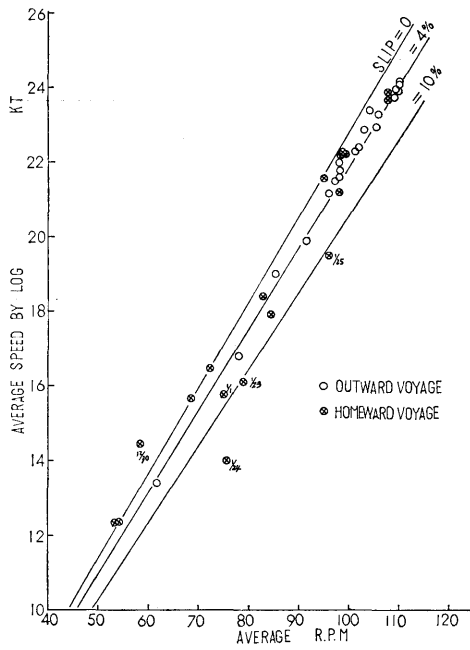


Fig. 25 Apparent Slip

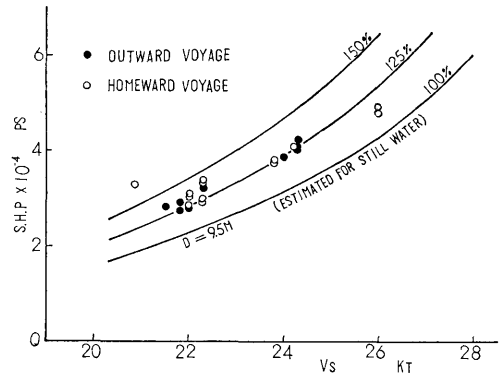


Fig. 26 S.H.P. Curve

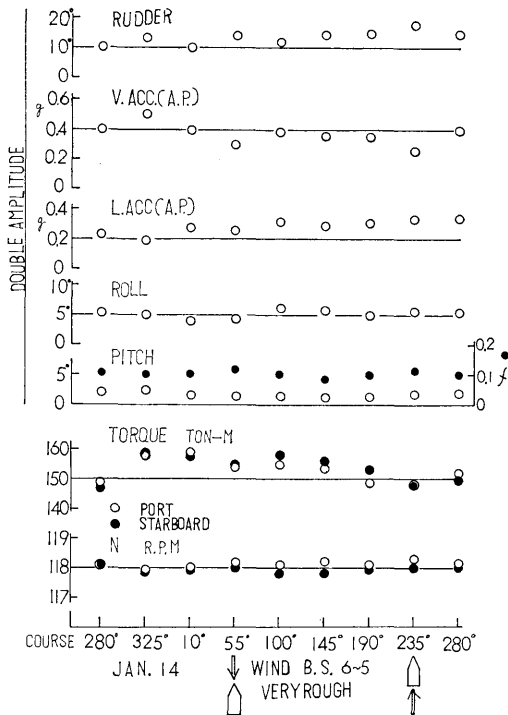


Fig. 27 a Oscillation, etc. at the Special Measurements

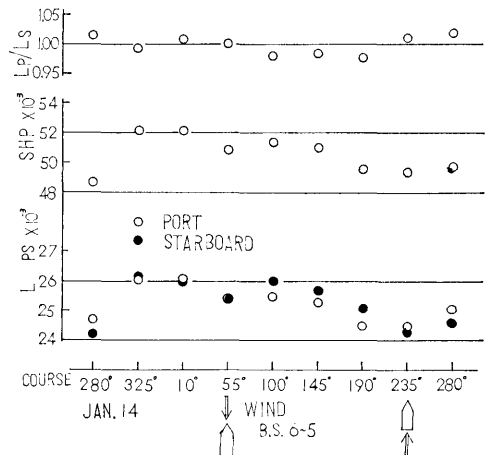


Fig. 27 b Shaft Powers at the Special Measurements

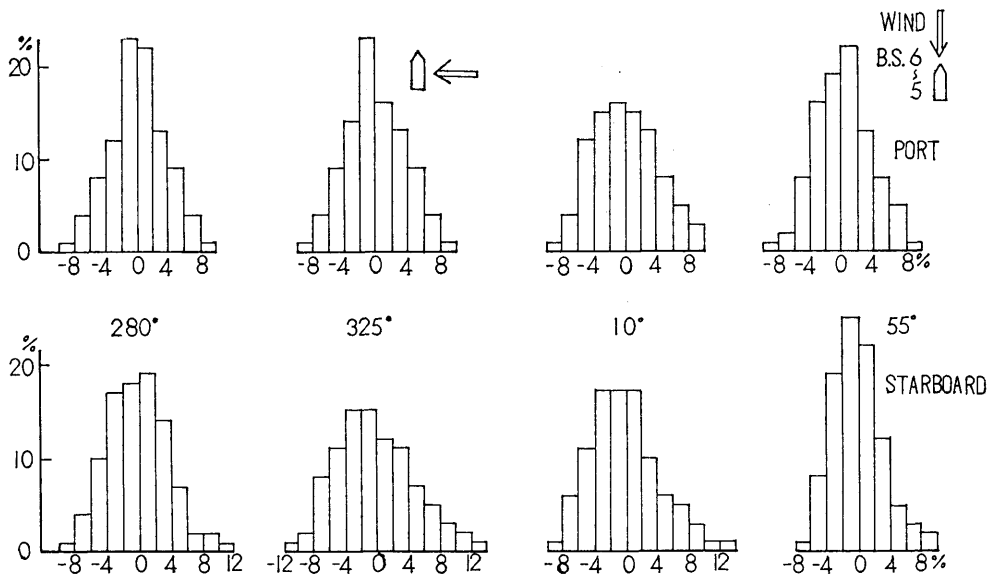


Fig. 28 a Histogram of Torque at the Special Measurements

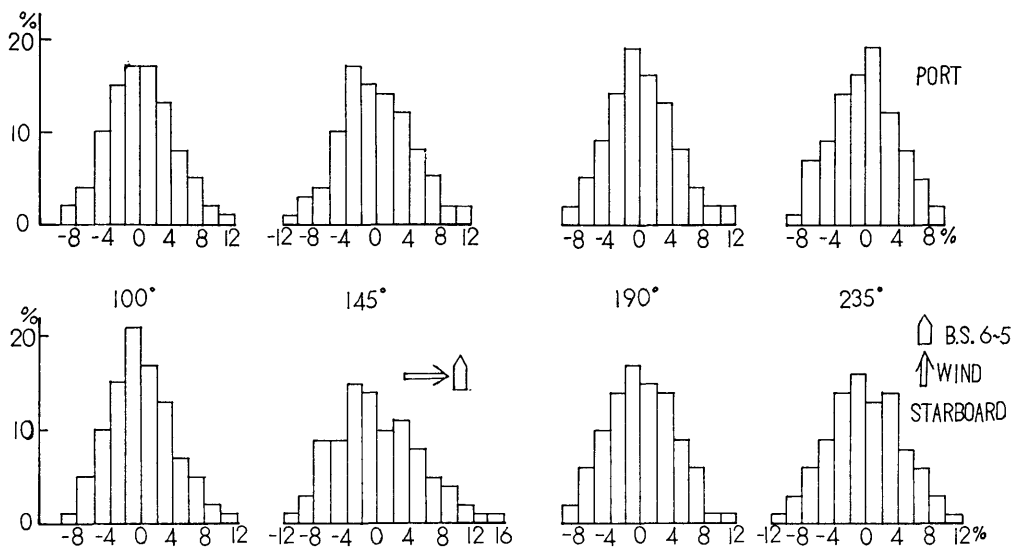


Fig. 28 b Histogram of Torque at the Special Measurements

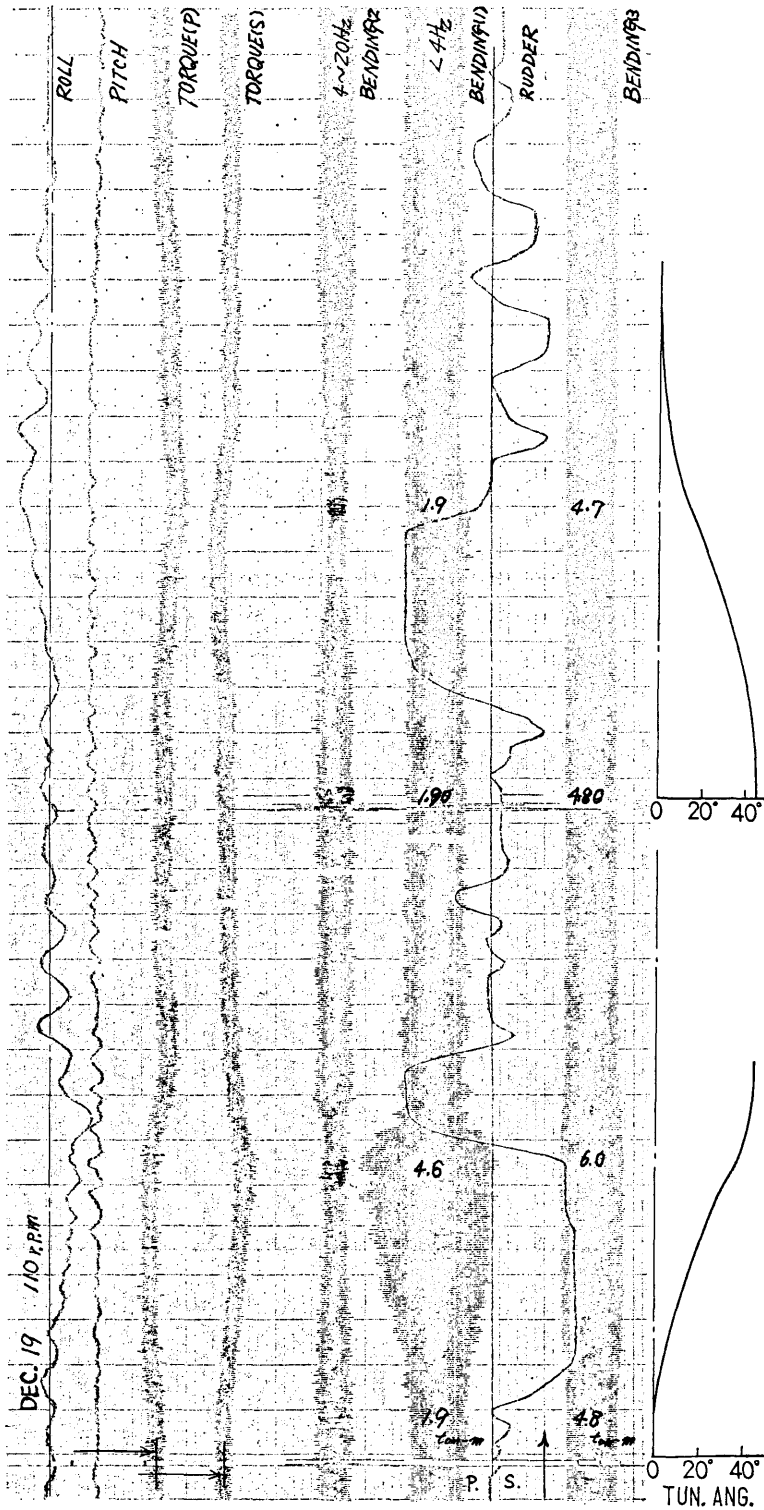


Fig. 29 Deviation of Torque and Bending Moment for the Turning

のバンドフィルターを通した値である。軸曲げモーメントの変動をみると、回頭側に当る軸の回転数と同次数の軸曲げモーメントは  $B_1$  または  $B_2$  については直進時の 1.9 ton-m より 4.6 ton-m に増大し Bending 3 ( $B_3$ ) も 4.8 ton-m から 6.0 ton-m に増大している。その値はターニング時の値に近い値になっている。回頭側に相当するときの曲げモーメントの値は直進時とほとんど変わっていない。一方、外力変動分に相当する高次 (4~10 次) の曲げモーメント成分は旋回に入ると直進時よりも小さくなっている。

Fig. 30 の左図は Fig. 29 のトルク変化を同座標上に表示したものである。軸トルクの変動をみると、回頭側にある軸トルクは増大し、回頭反対側の軸トルクは減少している。その増減率は前者が後者の約 2 倍ほど大きくなっている。また、左旋回時に比べ右旋回時のトルク変動が大きくなっているが、これは舵角  $15^\circ$  保持時間が約 10 sec 長いこととそれに伴い抵舵を大きくとっているためと考えられる。Fig. 30 の右図は 1 万トンクラスの 2 軸船カーフェリーの旋回時におけるトルク特性を参考までに示した。本船の軸回転方向は外回り方式であるのに対しカーフェリーは内回り方式である。回転方向が異なると旋回時のトルク特性は異った傾向を示している。

#### 4.4 船尾軸系の曲げモーメント分布

本船のプロペラ軸系はスロープアライメントに設計

され船尾管軸受の片当りの軽減、中間軸受反力の均一化が図られている。このように設計されたアライメントも運航中は、波浪条件、載荷条件、軸回転数、操船時など諸条件に対応してなんらかの変化をするものと思われる。そこで、右舷中間軸の船尾より軸方向 3ヶ所にひずみゲージを貼り付け、それぞれの曲げひずみを計測し、軸の曲げモーメント分布及び変動の実態を調べた。

Fig. 4 は軸方向計測位置と本船アライメントの設計値である。Table 3 は本船尾軸系の静的アライメントについて、連続梁として求めた曲げモーメント分布及び反力の計算値を示す。例えば、プロペラに一定の曲げモーメントが加えられたとしても、 $B_1$  点で受ける値は 1% 以下に減衰されてしまう。

軸の曲げモーメント  $M$  及び曲げ応力  $\sigma_b$  と軸面の曲げひずみ  $\epsilon$  の関係は次のようになる。

$$\sigma_b = \epsilon E = M/Z \quad (1)$$

$Z$ : 断面係数

$E$ : 縦弾性係数

$$\left( \begin{aligned} 1/Z &= 4.60 \times 10^{-8} \text{ mm}^{-3} \\ E &= 2.1 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2 \end{aligned} \right)$$

プロペラ及び軸の自重に基づく曲げひずみは軸回転に同期した正弦波形を描く。本計測においては、ひずみゲージ 4 枚 1 組としているので計測値 (全振幅値) は  $\epsilon$  の 8 倍である。また  $B_1$  と  $B_2$  は  $90^\circ$  位相をず

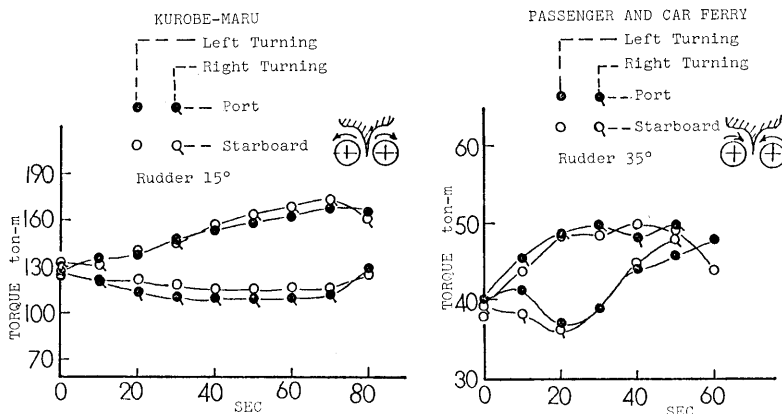


Fig. 30 Deviation of Torque for the Turning

Table 3 Influence Value of Statistical Bending Moment

BENDING MOMENT ton-m			REACTION ton			
		-10.0				
	$M_0$	$M$	$M_0 - M$	$R_0$	$R$	$R_0 - R$
A/A	49.884	39.884	10.000	43.757	37.261	6.496
A/F	45.432	46.866	1.434	19.260	26.115	-6.855
F/C	-0.985	-1.359	0.374	8.069	7.618	0.451
B1	-5.773	-5.865	0.088			
NO7	6.451	6.518	0.067	16.066	16.176	-0.109
B3	-3.735	-3.697	-0.038			
NO6	8.255	8.227	0.032	15.771	15.737	0.034
B4	-5.417	-5.423	0.006			
NO5	9.196	9.201	0.005	15.683	15.701	-0.014

らして同一軸断面上で計測しているので  $xy$  方向の動的曲げモーメントを計測できる<sup>6)</sup>。この動的曲げモーメントはプロペラ外力に基づく曲げモーメントである。(高次の曲げモーメントと仮に呼ぶ)

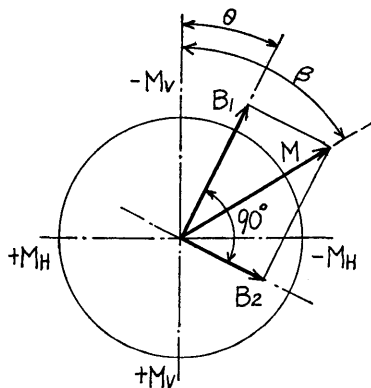
$B_1$  及び  $B_2$  で計測された動的成分を  $\Delta\epsilon_1$  及び  $\Delta\epsilon_2$  とすると

$$\begin{aligned} M_V &= Z(\Delta\sigma_1 \cos \theta - \Delta\sigma_2 \sin \theta) \\ &= ZE(\Delta\epsilon_1 \cos \theta - \Delta\epsilon_2 \sin \theta) \\ M_H &= Z(\Delta\sigma_1 \sin \theta + \Delta\sigma_2 \cos \theta) \\ &= ZE(\Delta\epsilon_1 \sin \theta + \Delta\epsilon_2 \cos \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

$M_V$ : 垂直方向に作用する曲げモーメント

$M_H$ : 水平方向に作用する曲げモーメント

$\theta$ : プロペラのある羽根の先端の垂直真上方向からの回転角度



$$\left. \begin{aligned} M &= \sqrt{M_V^2 + M_H^2} \\ \beta &= \tan^{-1} \frac{M_H}{M_V} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$\beta$ :  $M$  の作用する方向を表わす角度

となる。

Table 4 は高次の曲げモーメントの成分を除いた。一次の曲げモーメントの計測値を示す。往航時,  $B_4$  のゲージが故障したため計測値がない。停船時, または, ターニング時の計測値をみると, 軸方向3箇所ともほぼ同程度の値となっている。 $B_3$  点の値は設計値より少しくずれているが  $B_1$  及び  $B_4$  点の値は設計値に近い。 $B_1$  の絶対値は回転数が上昇すると小さくなる。また, 縦揺れが激しくなると, ピッチング周期に同期してかなり変動している (Fig. 10 参照)。さらに  $B_3$  及び  $B_4$  の値もピッチング周期にはほぼ同期して中間軸受圧力が大きくなる方向に変動しているのは慣性力が働いているためと思われる。

Fig. 31 は軸回転数 117.5 rpm 時の  $B_1 \sim B_4$  の波形例である。 $B_2$  は高次の成分のみを示している。 $B_1$  は計測のままの波形であり, 一次波形に高次波形が重畳している。なお  $B_1 \sim B_4$  の出力尺度は異っている。

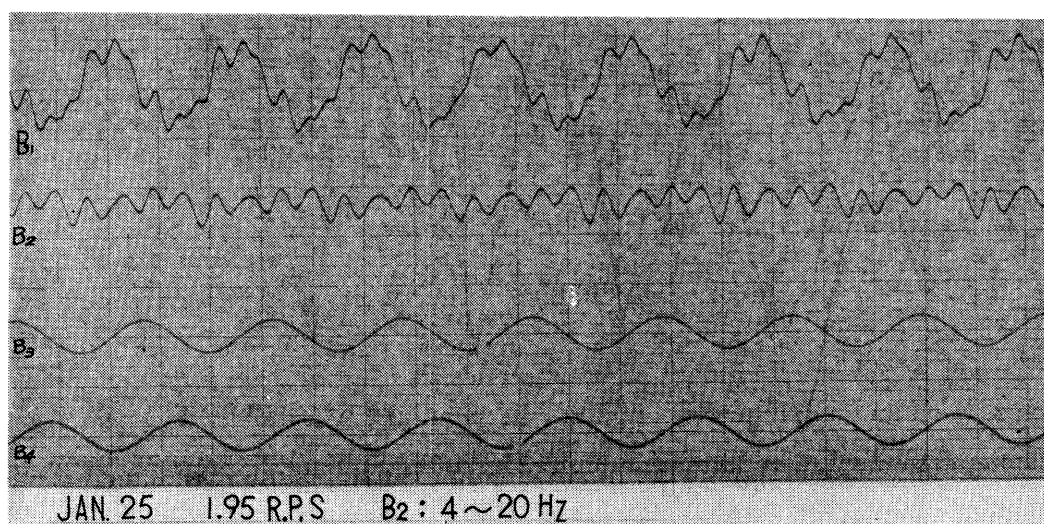
$B_1$  及び  $B_2$  の高次成分について式 (2), (3) により解析した例を Figs. 32 a, 32 b に示す。 $M_H$  成分は羽根数の波形となっていて  $-0.5 \sim -2$  ton-m の範囲で変動している。 $M$  の作用する方向は  $\beta = 135^\circ \sim 190^\circ$  にあり, 1 回転に 5 回の周期で変動している。 $M$  の



**Table 4** Bending Moments (Starboard Shafts)

DATE	Ns rpm	-0.5 (M1+M2) ton-m	-M3 ton-m	-M4 ton-m	BEAU. SCALE	WAVE SCALE	DRAFT m	
75-12- 5	20	5.6	5.8		2	2	10.0	
12-9b	98.9	1.6—2.0	4.9—5.1		4	4		
12-10	75.8	1.9—4.2	5.1—6.2		7	7		
12-18	15	5.6	5.8		2	2		
12-19	110.0	1.9→4.6	4.8→6.0		5	5	9.4	RUD. S15°
12-19	110.0	1.9→1.9	4.8→4.7		5	5	9.4	RUD. P15°
12-23	108.6	1.4—2.6	4.7—5.6	4.8—5.2	2	2		
12-24	100.0	2.0—2.8	5.1—5.5	5.4—5.6	4	4		
12-25	53	3.8	6.0	6.4			9.2	
12-28	77	2.6—2.8	5.8					
76- 1- 7	108.0	1.4—1.8	4.9—5.1	5.2—5.4				
1-14	117.5	1.0—2.4	4.7—5.5	4.7—5.7	6	6		
1-15	99.0	1.4—2.2	5.6—6.0	5.4—5.8	5	5		
1-16	99.0	1.2—2.4	5.1—5.6	5.4—5.8	6	8		
1-17	99.4	0.8—3.0	5.1—6.0	5.0—5.8	5	5		
1-19	98.6	0.9—3.1	5.3—6.2	5.4—5.8	4	4		
1-21	98.7	0.4—3.4	4.9—6.0	5.0—6.2	5	5		
1-22	98.5	0.7—4.4	5.1—6.4	5.0—6.4	8	8		
1-23	54.5	1.6—6.9	6.0—7.3	5.8—6.6	9	9		
1-23	76.5	1.2—5.3	5.6—6.6	5.4—6.6	9	8		
1-24	77.0	1.6—7.1	5.6—7.7	5.8—6.6	9	9		
1-25	117.5	1.6—2.2	5.1—5.8	5.4—5.8	4	4		
1-25	0.2	5.5	5.2	5.8			9.0	

LOW PASS FILTER (2—3)Ns/60 Hz

**Fig. 31** Example of Bending Moment Waves

平均値は約 2.2ton-m である。

本船の軸回転数 118rpm 状態において、プロペラに加えらるるリベアリングモーメントを同型のコンテナ船の計算値<sup>8,9)</sup>を参考にして約 80 ton-m と仮定すると、静的アライメントにおける  $B_1$  点の値は約 0.7 ton-m になる。計測された動的曲げモーメントはこの値の約 3 倍と大きくなっているが、その理由としては、本船のように、プロペラが外回り回転である場合、回転の上昇に伴いベアリング力及びベアリングモーメントが軸に対して上向きに働きプロペラ軸は持ち上げられることが示されている<sup>7,8)</sup>。また、船尾軸受においても回転上昇に伴い油膜厚さが増加し、軸受中心に向かって軸は持ち上げられる。そのため船尾管軸受面上の支点は船首側に移動する結果、計測点を受けるベアリング力及びベアリングモーメントの影響度が大きくなる。その他、伴流などの影響によるボッシングの変形により船尾軸系アライメントが変化するための影響と思われる。一方、 $B_2$  点においては Fig. 31 に示すように 1 次の曲げモーメントの波形であり、高次の曲

げ成分は計測されていない。したがって軸系のプロペラ形力に影響されやすい部分は最後部中間軸受より船尾側であるといえる。

#### 4.5 軸—軸受間の電位計測

(船尾管軸受の低速時油膜破断時期の推定)

船尾管軸受はプロペラがオーバーハングしている軸部分を支持していることと、プロペラより発生する変動を受けるため推進軸系支持軸受のなかではもっとも苛酷な状態にあるといえる。プロペラからの変動力は軸回転数の増加に伴って増大するが軸受油膜厚さも増大するので片当りは緩和される。しかし、低速時には油膜構成が悪くなるので油膜破断をきたし、片当りになり易く、また、軸とメタルの接触が生じ易い。

メタル接触時期は 20~30 rpm にあるとされているが<sup>9,10)</sup>、実船において接触時期を計測した例は少ない。

一方、プロペラ軸、中間軸、スラスト軸よりなるプロペラ駆動軸連は船尾管軸受、中間軸受、スラスト軸受に支持されており、軸回転数がある程度以上においては各軸受内は流体潤滑状態となり、完全に油膜を介

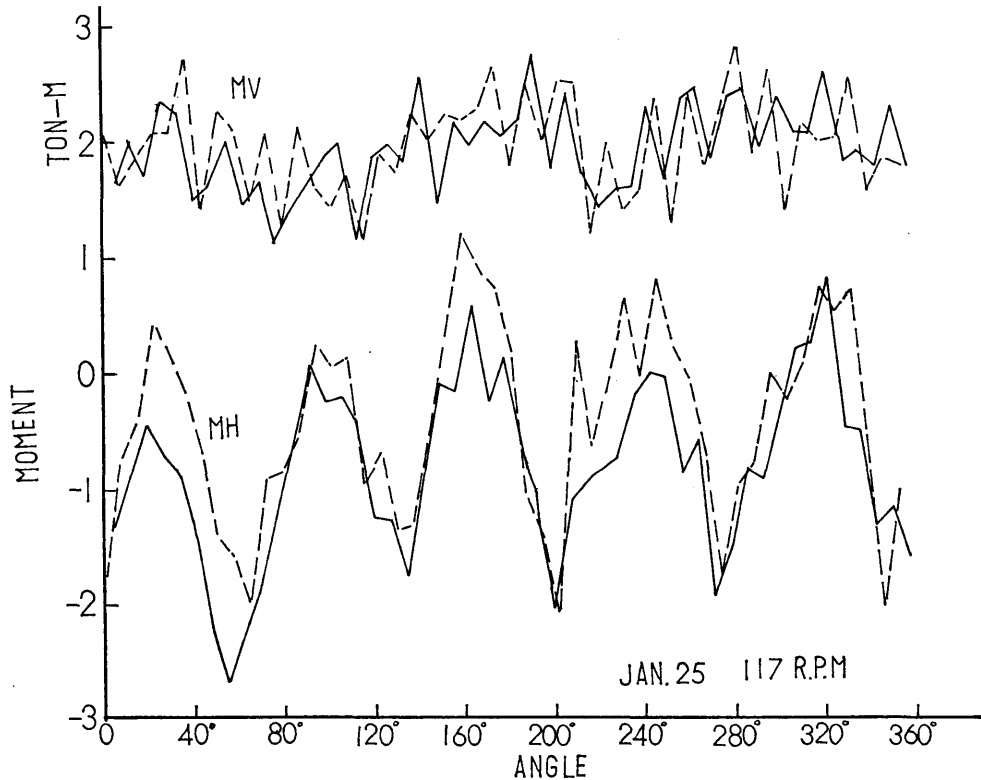


Fig. 32 a Dynamical Moment

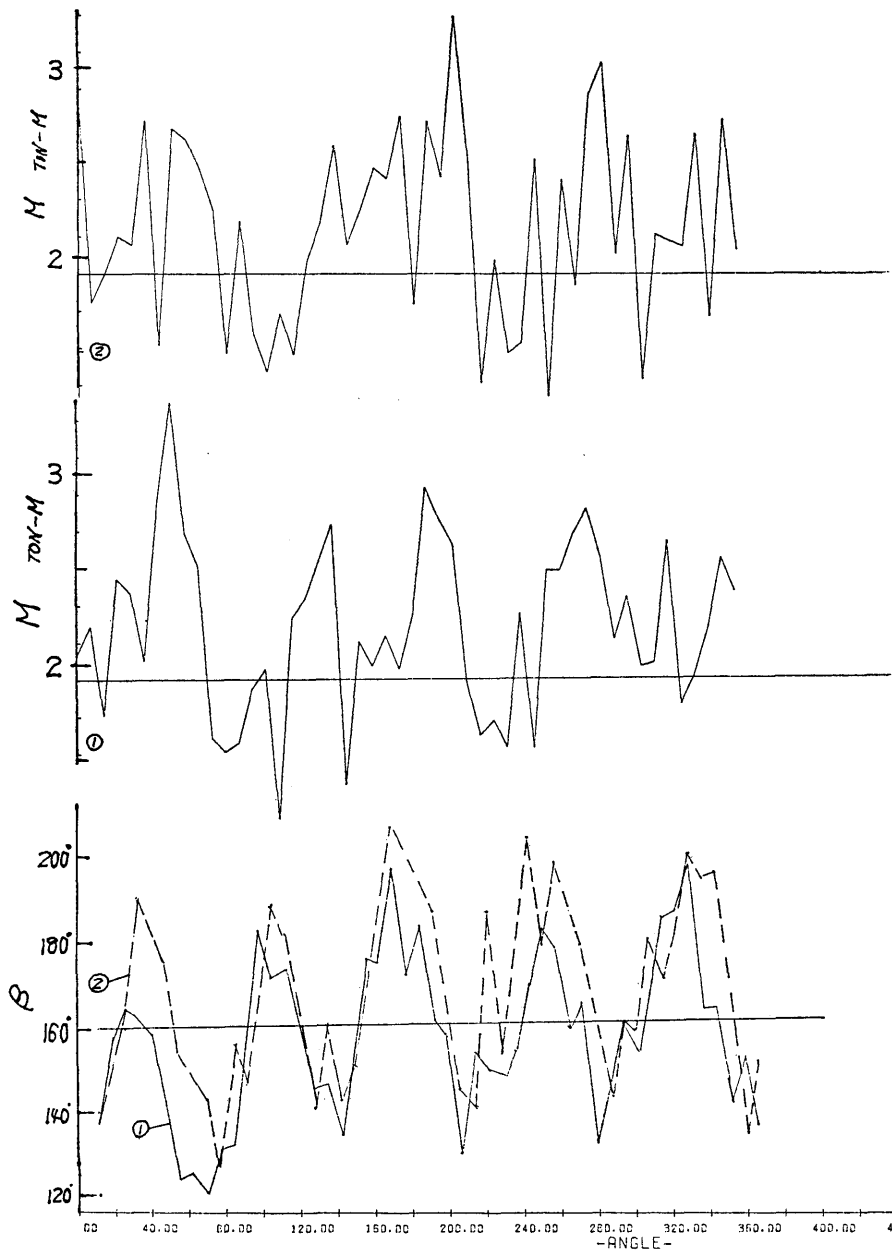


Fig. 32 b Dynamical Moment

して軸は保持されている。また中間軸の一部には回転数を取り出す歯車がついているが、これもグリース等粘性の高い油膜を介してかみ合っているので、これもほとんど金属接触していないと考えられる。そこで、プロペラ及び軸と船体間に発生する電位差により生ずる電食を防止するために、軸に接地地金具を付けてア

ースしたり、逆に外部電源方式により、そこから電位を与える方法が多く船で採用されている。

プロペラ駆動軸の回転が低下していくと最初に油膜破断を起こすのは船尾管軸受と考えられる。そこで本船は外部電源方式を採っているので、これを切り、その接地金具に計測用ブラッシュを取り付けて軸に電位を