

大型高速コンテナ船黒部丸による実船実験

— 2軸船の負荷変動と軸系挙動について —

前橋正雄*・加藤 寛*・高井元弘*

An Actual Ship Test of the Twin-Screw Container Ship “Kurobe-Maru”

By

Masao MAEBASHI, Hiroshi KATO and Motohiro TAKAI

Abstract

An actual ship test of the container ship “Kurobe-Maru (D.W. abt. 32,000 tons)” of N.Y.K. Lines, was carried out under the voyage between Tokyo and New York, from Dec. 5, 1975 to Jan. 25, 1976.

The main object of the test was to collect data about the characteristics of load acting on the propulsive shafting of the twin-screw container ship.

Torque of shafts, number of revolution of shafts, bending moment of shaft, pitch, roll, vertical and lateral accelerations at the aft position and the instruments room, rudder angle, were measured and recorded.

After analyses of the data following results are obtained.

(1) The variations of the torque and bending moment of shaft are influenced by pitch rather than roll. When the ship navigates in heavy pitch condition, the torque and bending moment of shaft fluctuate at the same period of the pitch frequency.

(2) According to shaft-bearing insulation test, it is considered that shaft contact on the stern-tube bearing occurs at shaft speed below about 24rpm.

目 次

1. ま え が き.....	1	4.5 軸—軸受間の電位計測	30
2. 対象船及び航路.....	2	4.6 軸の振り振動成分	32
3. 計測項目及び計測方法.....	2	4.7 船尾管及び船尾管シール装置の潤滑油の作 動状況	38
4. 計測結果及び考察.....	5	5. ま と め.....	38
4.1 航海全般	5	謝 辞.....	38
4.2 八方向航走試験時の負荷変動	14	参 考 文 献.....	39
4.3 旋回時における船尾軸系挙動と負荷変動	14		
4.4 船尾軸系の曲げモーメント分布	27		

1. ま え が き

船舶技術研究所においては、昭和47年度より大型

* 機関性能部

原稿受付：昭和54年12月27日

超高速コンテナ船の船型及びプロペラ軸系についての研究開発が実施されてきた。研究開発目標である大型超高速コンテナ船は3000個のコンテナを積載し、35Ktで航行する計画である。したがって、このような大型で高速で航行するためには、主機関出力としては

25 万馬力で、プロペラ 1 軸あたり最大出力約 6 万馬力という制限から商船としては余り例をみない 4 軸推進方式が考えられている。

このような 4 軸コンテナ船の研究開発にあたっては、実験室的研究のほか、現在運航されている 2 軸あるいは 3 軸船について、その航行実態の調査を行ない、多軸船の実態を把握し、4 軸船設計のための資料の集積が必要とされている。

また、船舶技術研究所においては、46 年度よりコンテナ船を採り上げ、3 年計画でコンテナ船についてのディーゼル機関の性能とその特性¹⁾、コンテナの挙動²⁾及びボッシングの挙動³⁾などの計測を主体として実船実験が行われた。一方、日本造船研究協会においても 45 年度よりコンテナ船の実船試験が実施された⁴⁾。しかし、その大部分は 1 軸船についてであり 2 軸、3 軸のコンテナ船の実態調査の数は少なく、そのうえ、船体運動の計測を主体としたものであり、プロペラ軸系の負荷変動の計測データは少ない。

そこで、当研究所では当所大型超高速コンテナ船の研究開発と歩調を合せ、昭和 49 年度から 3 年計画で多軸コンテナ船の数多くの航海時における軸トルクを計測しそれらの変動及び配分などの解析結果を資料としてまとめることを目的として実船実験が実施された。

本報告はその第 2 年目として、負荷変動と軸系挙動の実態調査を主目的として、機関関係の担当者が、ニューヨーク航路に就航中の日本郵船株式会社所属のコンテナ船「黒部丸」(以後本船と呼ぶ)に乗船し、実施された実船試験の結果である。なお、初年度においても、本船に船体関係の担当者が乗船し、船体運動とトルク変動などについての実船試験を行っている⁵⁾。

2. 対象船及び航路

本船は主機関として、静圧過給方式採用の大形ディーゼル機関を搭載した、船尾軸支持がボッシングタイプの二軸コンテナ船である。また、プロペラの回転方向は外回りである。その主要目を Table 1 に示す。

本船第 21 次航においては、ニューヨーク着がクリスマス後という関係から 1 往復 8 週間の日程であった。因に第 20 次航及び第 22 次航は 1 往復 7 週間の日程で運航されていた。本船の航路図を Fig. 1 に示す。丸印は毎日の正午位置を示す。

Table 1 Principal Dimensions

LENGTH (O.A.)	260.457 m
LENGTH (B.P.)	242.000 m
BREADTH (MLD)	32.20 m
DEPTH (MLD)	19.60 m
DRAFT (MLD)	11.50 m
DEAD WEIGHT	32,343 t
GROSS TONNAGE	37,845.77 t
NET TONNAGE	22,336.52 t
SPEED (SERVICE)	25.65 Kts
MAIN ENGINE	MITSUBISHI SULZER
	12 RND, 2 SETS
M.R. (B.H.P.)	34,800 Ps 122 RPM
SHAFTING	2 SETS
INT. SHAFT DIA. 605 mm LENG. 13.000 m	
DIA. 605 mm LENG. 6.663 m	
DIA. 605 mm LENG. 12.800 m	
DIA. 605 mm LENG. 11.000 m	
PRO. SHAFT DIA. 740 mm LENG. 12.027 m	
STERN TUBE	WHITE METAL WJ2
SEAL	MARK 2 800#
PROPELLER	KALBC3 2 SETS
DIAMETER	6.700 m
BOSS RATIO	0.2015
PITCH (CONST)	7.030 m
PITCH RATIO	1.0493
EXP. AREA RATIO	0.68
MEAN BLADE WIDTH RATIO	0.2676
BLADE THICKNESS RATIO	0.0499
ANGLE OF RAKE	8°
NUMBER OF BLADES	5
BLADE SECTION	AEROFOIL

3. 計測項目及び方法

Fig. 2 に本船の一般配置図と計測位置を示す。計測及び観測の項目と方法は次のとおりである。

(1) 軸トルク

左右軸の中間軸にひずみゲージを軸中心線に対して 45° 方向に 4 枚 1 組として貼り付け、スリップリング方式により回転体よりトルクの信号を取り出し、計測室に導き直流増幅器を通し磁気テープに記録する。Fig. 3 は右舷軸トルク測定部と検出用スリップリングである。

(2) 軸回転速度

左右両軸の中間軸に 4 個の鉄片を取り付けパルス方式で電氣的に取り出し計測室にて記録する。

(3) 船尾軸の曲げモーメント

右舷船尾側の中間軸の軸方向 3 箇所に、円周方向 180° を隔ててひずみゲージを 2 枚ずつ 4 枚 1 組と

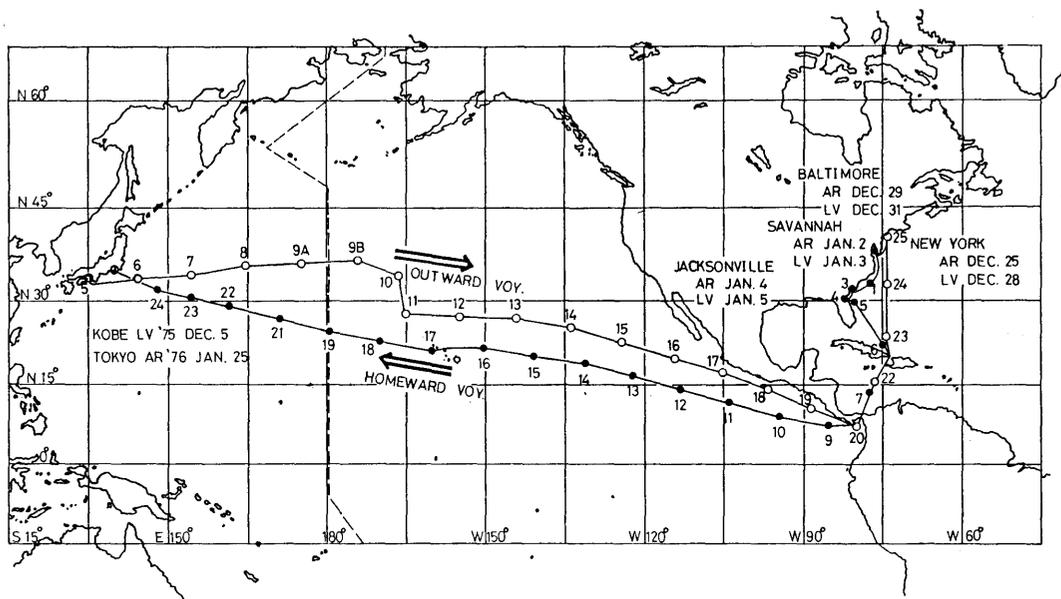


Fig. 1 Course or Noon Position of Ship

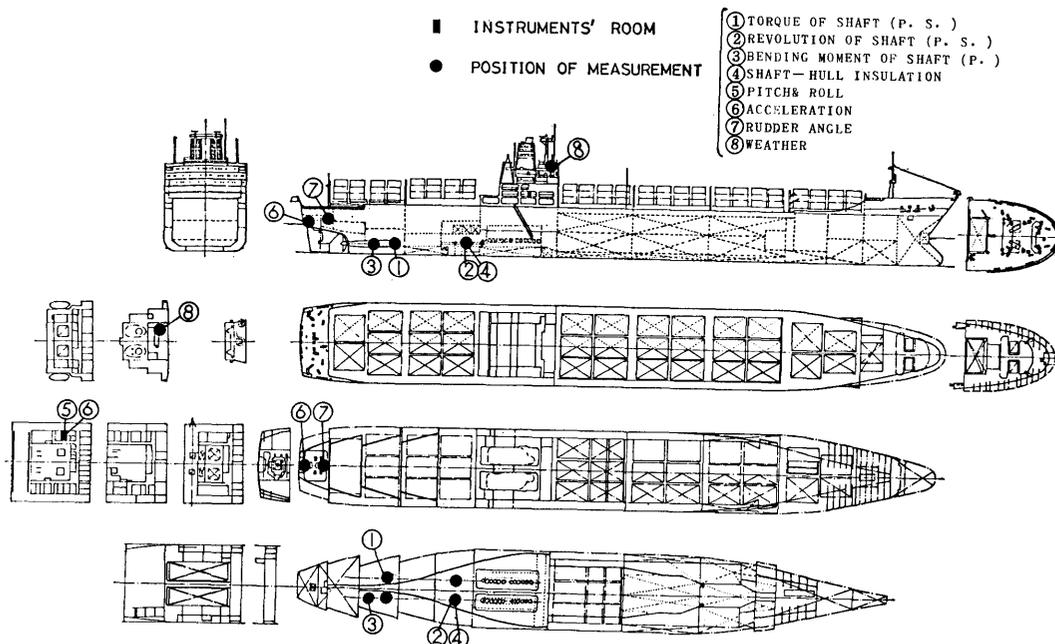


Fig. 2 General Arrangement and Position of Measurements

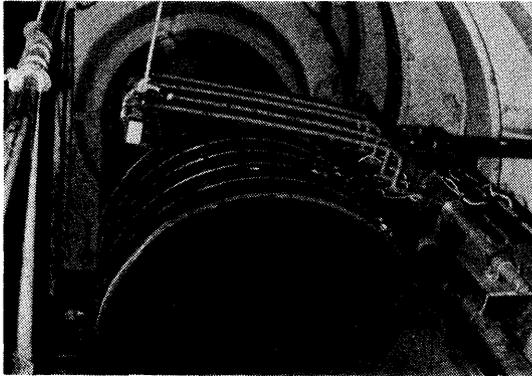


Fig. 3 Torque Measurement

して貼付ける。なお、プロペラ軸寄りの位置にはプロペラからの動的曲げ外力を解析するために、円周方向に 90° 位相をずらして 2 組のひずみゲージを貼り付け、計 4 点の曲げひずみをスリップリング方式により取り出し計測室に導いて記録する。Fig. 4 に曲げモーメントの測定位置を示す。

(4) 縦揺れ (Roll) と横揺れ (Pitch)

左舷の船員室を計測室として、その部屋の卓上に直流ジャイロ式動揺計を設置し船体の Pitch 及び Roll を計測する。

(5) 加速度

船尾舵機室の中央後部と計測記録室において、上下方向及び左右方向の加速度を計測する。

(6) 舵角

操舵機のピストン移動量をポテンショメータにより舵角として検出し計測室で記録する。

(7) 軸—軸受間の電位差

既設の接地金具の一部を利用し、軸と船体間に電気回路を作り一定電圧を与え電圧変化を計測する。

(8) 軸路外壁温度、船尾管系の潤滑油圧力及び温度

ボッシング側壁内面の温度、船尾管及びシール部の潤滑油圧力及び出入口温度を定時計測時に計測記録する。

(9) 気象及び海象

船橋より目視と航海日誌による。

定時計測は 1 日 1 回行うこととし、荒天時には追加計測を行った。また、船長の特別の好意により舵 15° 保持にての旋回時の計測、軸—船体間の電位計測及び八方向計測も行った。(8) 及 (9) を除く計測値はビジュグラフでモニターしながら 14 ch. のデータレコーダに収録した。計測項目のブロック線図を Fig. 5 に示す。

記録時間は 1 回 20~25 分間とした。なおデータについて、解析のために AD 変換を行った時のサンプリングタイムは、トルクの振り振動の場合 0.005 sec, 軸の曲げモーメントの場合 0.01 sec, その他は 0.4 sec である。

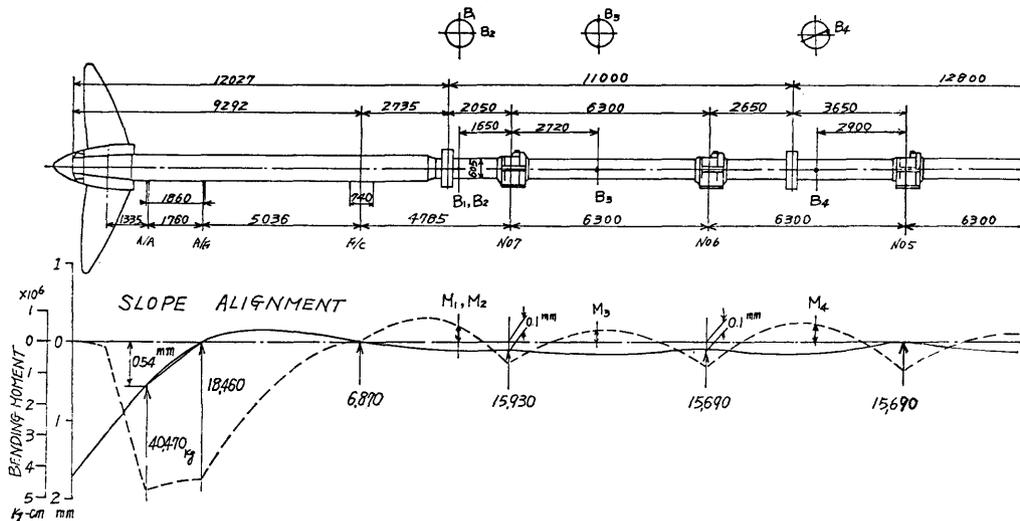


Fig. 4 Measurement Positions of Bending Moment and Shaft Alignment

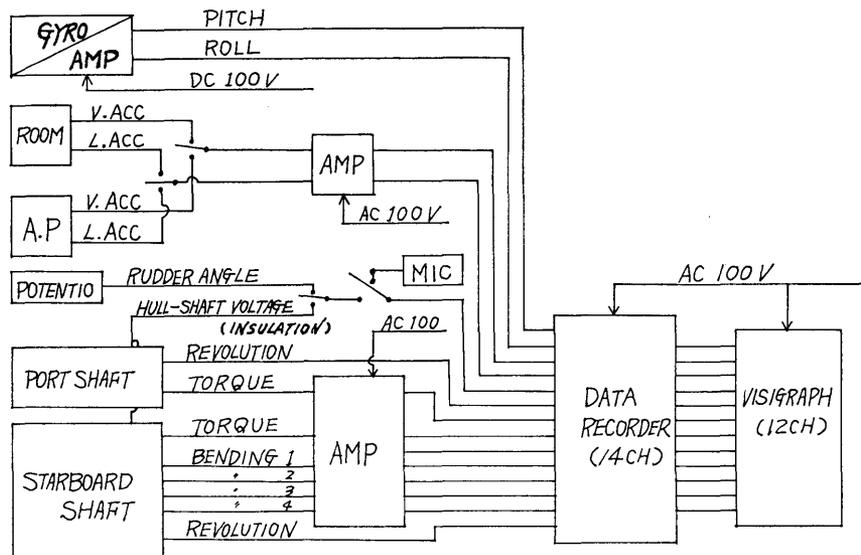


Fig. 5 Block Diagram of Measurements

4. 計測結果及び考察

4.1 航海全般

実船実験実施時期は荒れ易い冬期を選び、昭和50年12月5日より昭和51年1月25日までの本船第21次航であり筆者の内2名が乗船し計測にあたった。

12月5日11時神戸港を出帆以来、低気圧に乗った状態で9日Aまで進んだが、9日B日には前線を脱して穏やかな航行となった。しかし、日付変更線を通過するところに、進路前方に発生した広範囲の低気圧に進路をさえぎられた状態になり、低気圧の通過を待つために主機回転数は今までの98.5rpm(22Kt)から76rpm(16Kt)に減速された。しかしながら、この低気圧が停滞したため、その影響を受け始め、10日の21時ごろより横揺れが激しくなり、夜半過ぎ、やむなくコースを南に大きく変えた以後も横揺れはしばらく続いた。船内に設置されているクリノメータによると、左舷に18°、右舷に14°の最大横揺れが表示されていた。Figs. 6~8は12月7日、8日、及び11日の本船航行付近の気象状態を示す。なお丸印は本船の位置を示す。12月10日は緯度にして約10°南下し、11日以降はN27°のコースを航行することになり、船速も24Kt(主機回数110rpm)に増速された。以後ニューヨークまでは比較的平穏な航行が続いた。Table 2に本船第21次航の寄港先、接離岸時、喫水、運航距離、及びスリップを示す。

12月16日カリホルニア沖を南下中、左舷主機制御入力用回転計の発電機系統に故障が発生し、以後ニューヨークまで左舷主機はマニュアル操作となった。12月18日、回転計用発電機系の修理のため、しばらく洋上停止することになり、この機会を利用して軸—軸受間の電位変化を計測した。

また、12月19日には左右に舵を15°にとり旋回時における負荷変動、船尾軸系挙動の変化などを計測した。

12月20日パナマ運河を通過、12月25日15時、小雪の舞うなかをニューヨーク・エリザベス埠頭に接岸した。

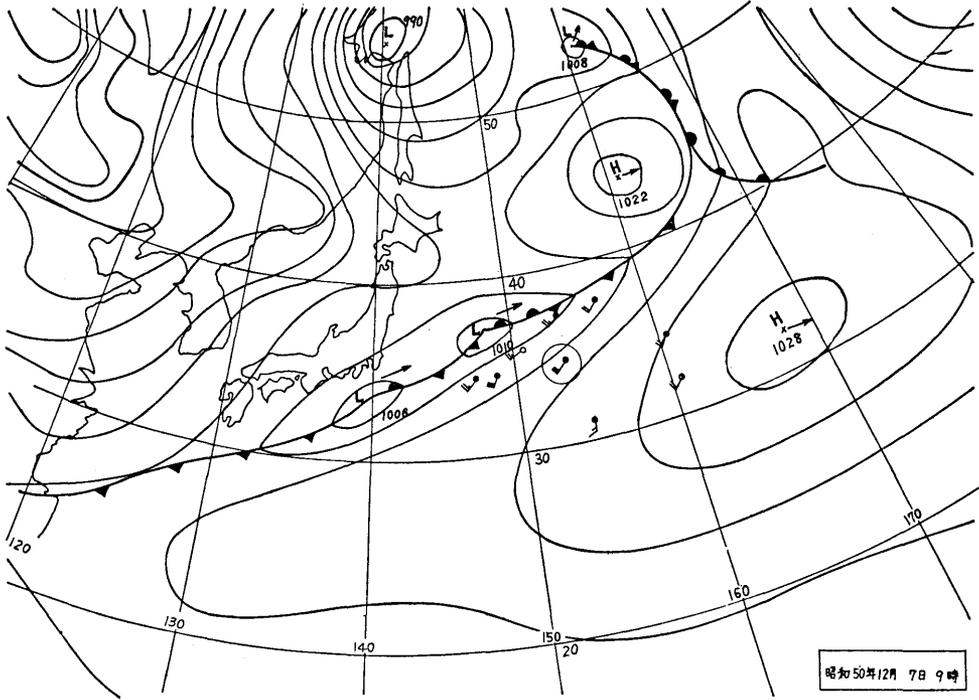
12月28日12時エリザベスを出帆、翌9日霧のなかチエサビーク湾を北上ボルチモアに16時40分に接岸した。

明けて1月2日にはサバンナ、4日にはジャクソンビルに寄港し8日の早朝クリストバルよりパナマ運河に入った。

復路の太平洋は前年度の実船実験時(第14次航)と同一コースをとった。1月14日8方向航走試験を行った。

1月16日ハワイ諸島に近いところで前方右舷35°方向より波高6~7mの波長の長いうねりに遭遇した程度で、1月21日までは比較的穏やかな航海であった。

22日、E165°を通過したあたりより風浪が強くな



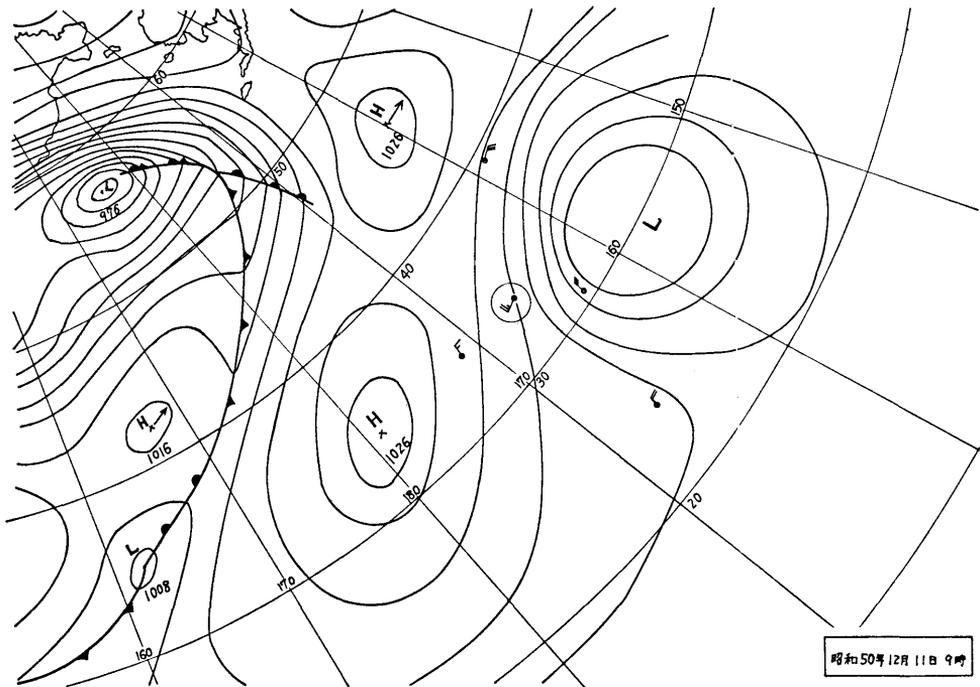


Fig. 8 Weather Chart (Dec. 11)

Table 2 Distance of Running, etc.

NEW YORK CONTAINER LINE KUROBE-MARU NO. 21 VOY.						
PORT	DATE & TIME		MEAN DRAFT m		DIST. RUN SM	SLIP %
	ARRIVAL	DEPARTURE	ARRIVAL	DEPARTURE		
KOBE		12- 5-1100		10.0		
BALBOA	12-20-1700	12-21-0520	9.5	9.5	8,574	3.6
NEW YORK	12-25-1500	12-28-1210	9.5	9.3	2,029	2.7
BALTIMORE	12-29-1640	12-31-0730	9.3	9.2	441	-0.8
SAVANNAH	1- 2-0920	1- 3-0900	9.5	9.7	662	3.0
JACKSONVILL	1- 4-0830	1- 5-0750	9.6	9.4	155	1.0
BALBOA	1- 8-1520	1- 8-1520	9.4	9.4	1,585	3.2
TOKYO	1-25-1450		9.0		8,212	3.4
			OUT WARD		10,603	3.4
			HOME WARD		11,055	3.2
			ONE WARD		21,658	3.3

り、23日には左舷前方 20° よりの強風にあおられ、縦揺れが激しくなり 20Kt (99 rpm) から 15Kt (76 rpm), 更に 11Kt (55 rpm) と減速された。一時、風力 10 が記録された。このときピッチングの全振幅 8°, 船尾部上下加速度全振幅 1.68g が記録された。また、このときの海面は全体が泡で白くなっている、大きな泡となった波がしらが白いすじを引いて風下に吹き流されていき、その間に青黒い水面が見える状況であった。

Fig. 9 は 20Kt から 15Kt に減速される直前の状

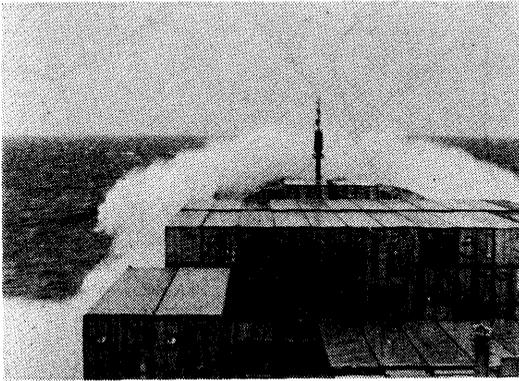


Fig. 9 Fresh Gale (Jan. 23)

態を示す。Fig. 10a, Fig. 10b は大時化のときの計測波形例を示す。ピッチングが激しくなると、加速度、軸トルク、軸曲げモーメントはピッチング周期とほぼ同じ周期で変動している。船尾の上下加速度には、周波数約 1sec の振動が重量している。

24日も強風が続き、21時までほとんど 13~15Kt (76 rpm) で航行され、25日着岸の予定は26日に変更された。

しかし、23時には風がおさまりに、23Kt (110 rpm) に増速され、翌4時から 26Kt (117 rpm) で航行し、ほぼ最初の予定に近い 14時 50分東京大井コンテナ埠頭に着岸出来た。Fig. 11, Fig. 12 は 23日及び 24日の 15時における本船航行近海の気象図である。一見平凡な気圧配置のようにみえるが、それでもこのような状態になっている。なお、第20次航(前次航)の帰航時には、日本近海において小型台風に遭遇し、エンジン操作室の 300Kg ほどもある機が反対側すみまで移動するほどの大時化に会っている。このときのブリッジのクリノメータは P 31°, S 28° の横揺れの最大値を示していた。

Fig. 13 a, Fig. 13 b は往航時における Roll, Pitch, 加速度, 船速, 進路, 風向, 平均軸回転数, 両軸トルク変動値及び両軸間の出力比を示す。Roll, Pitch 及

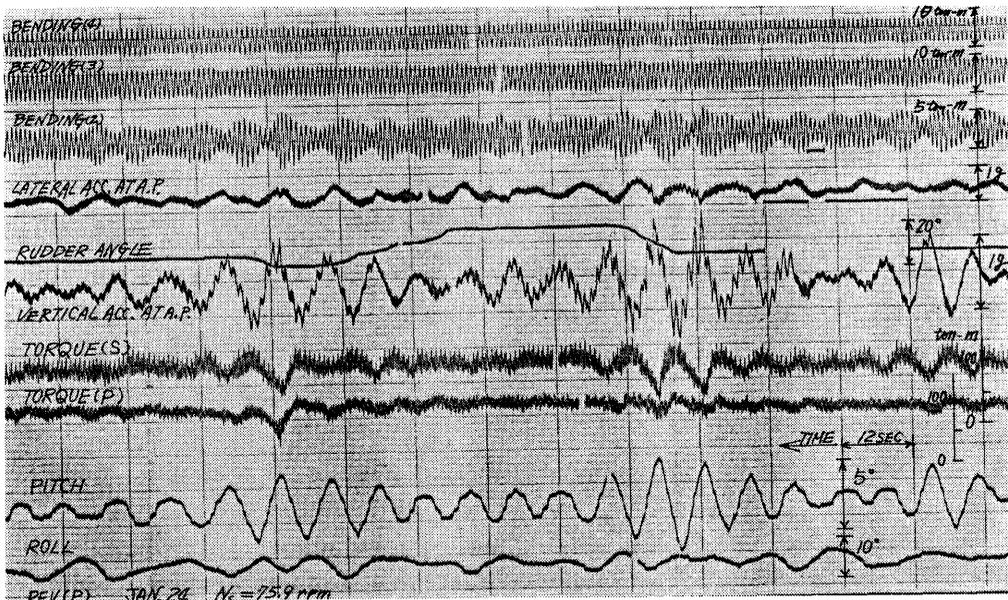


Fig. 10 a Example Record at Heavy Pitching (A)

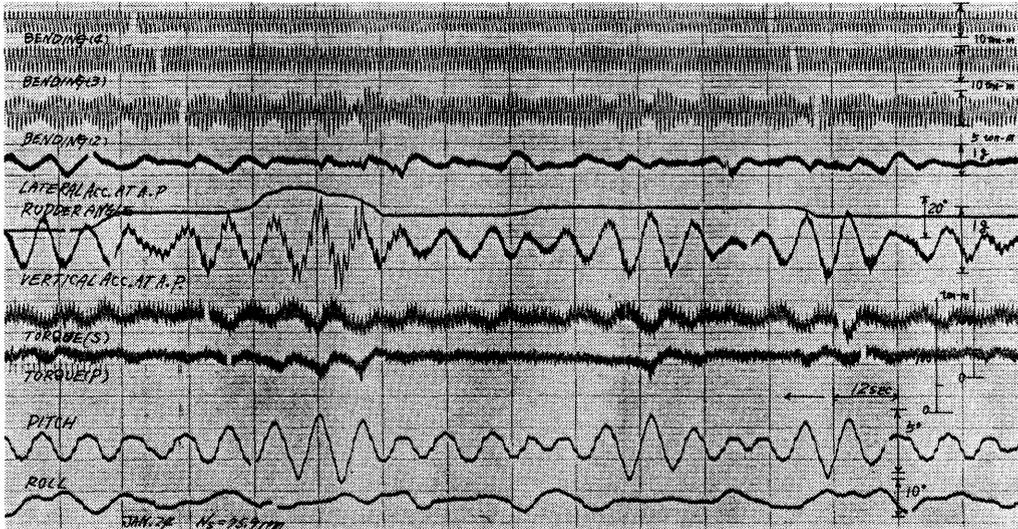


Fig. 10 a Example Record at Heavy Pitching (B)

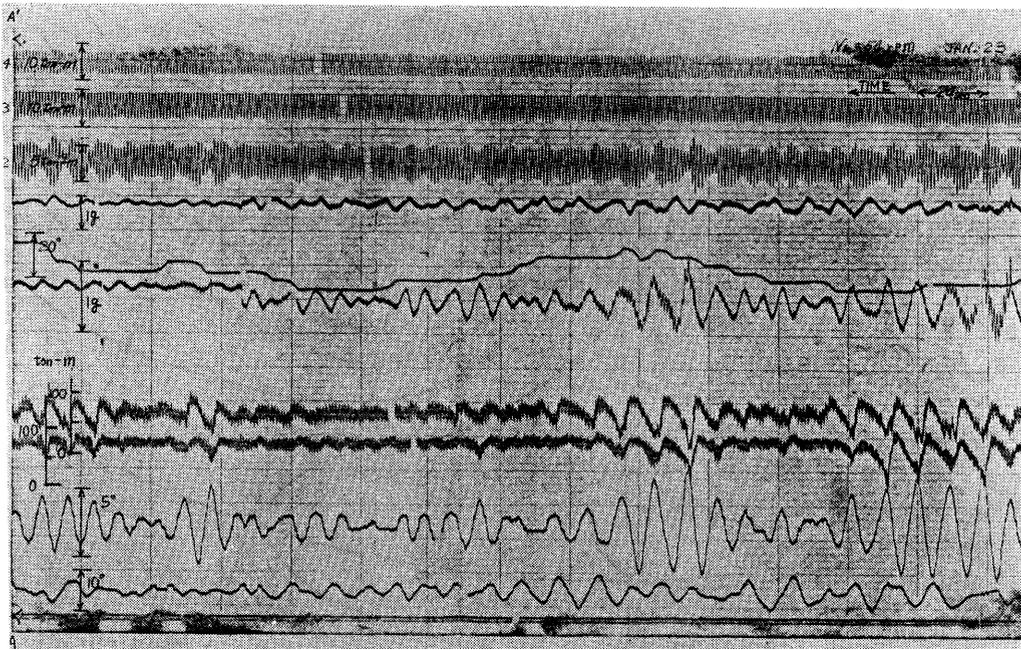


Fig. 10 b Example Record at Heavy Pitching (A)

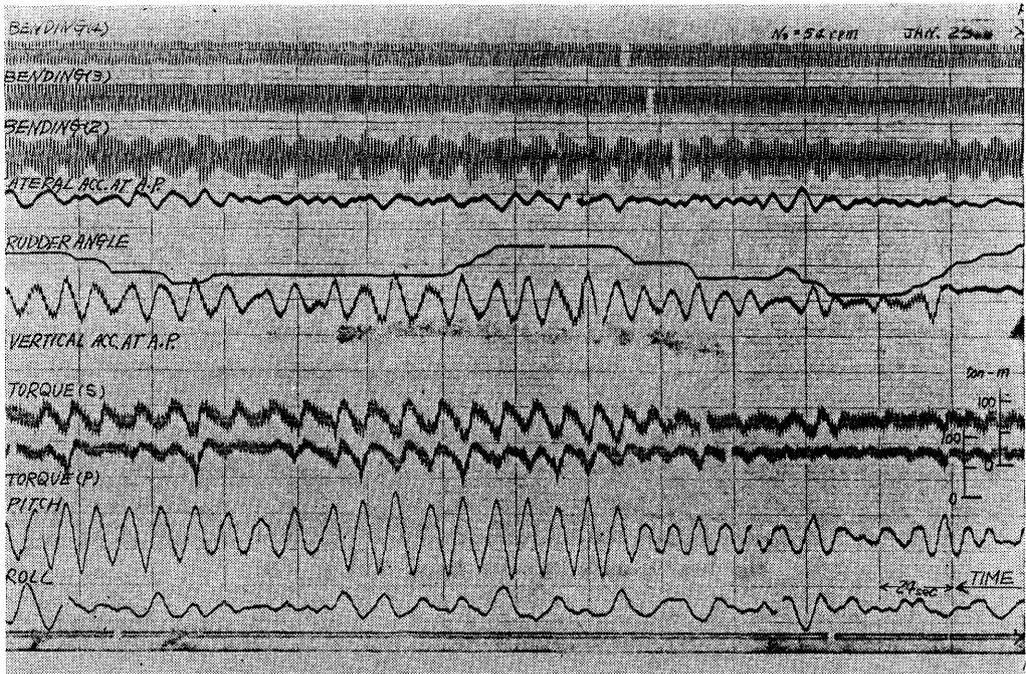


Fig. 10 b Example Record at Heavy Pitching (B)

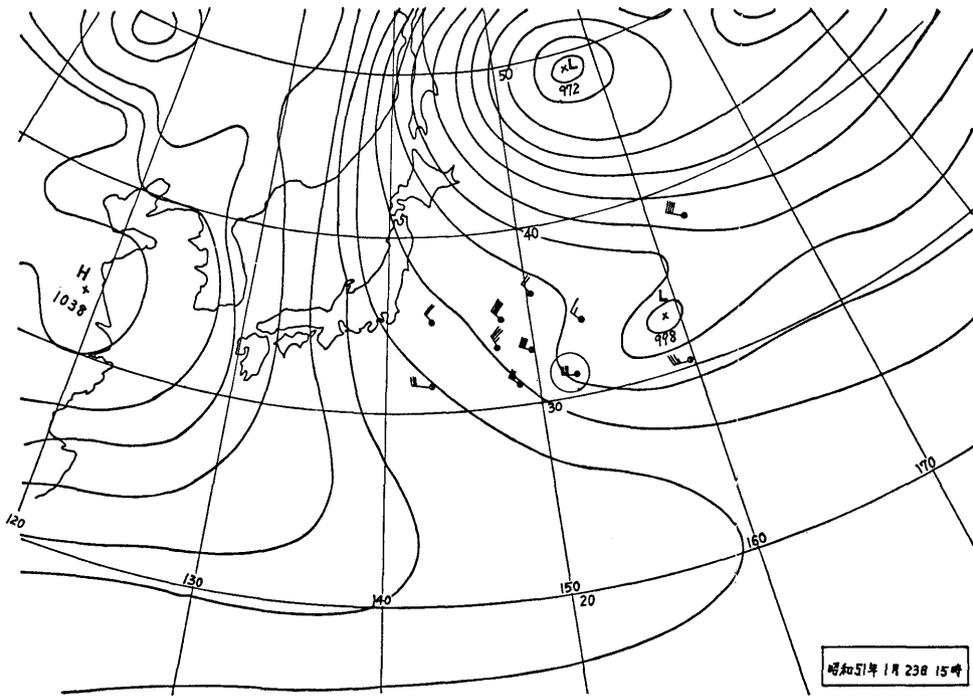


Fig. 11 Weather Chart (Jan. 23)

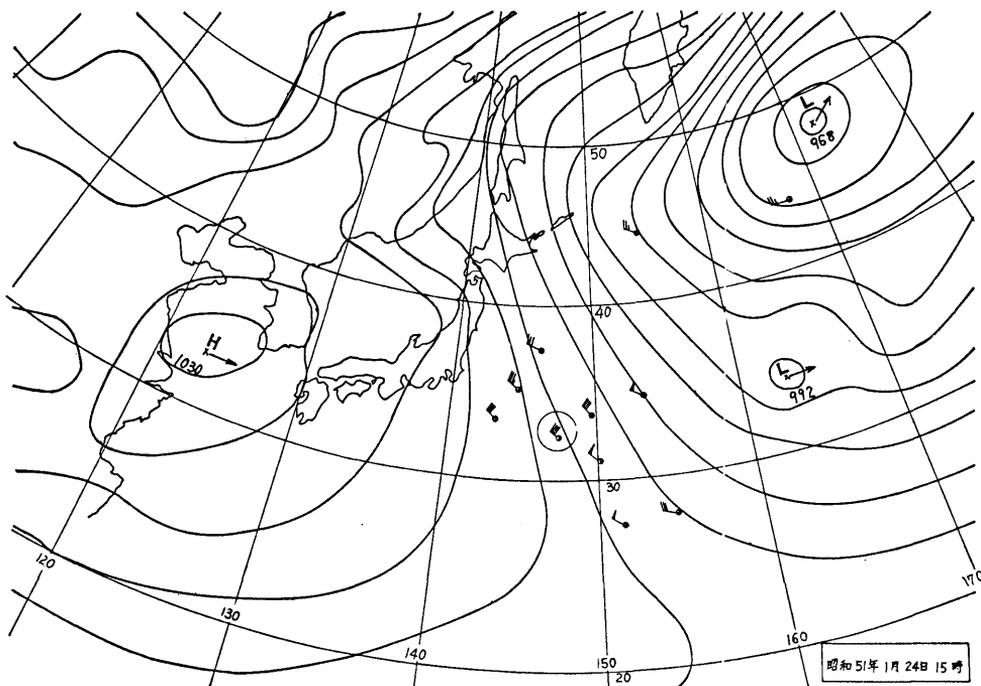


Fig. 12 Weather Chart (Jan. 24)

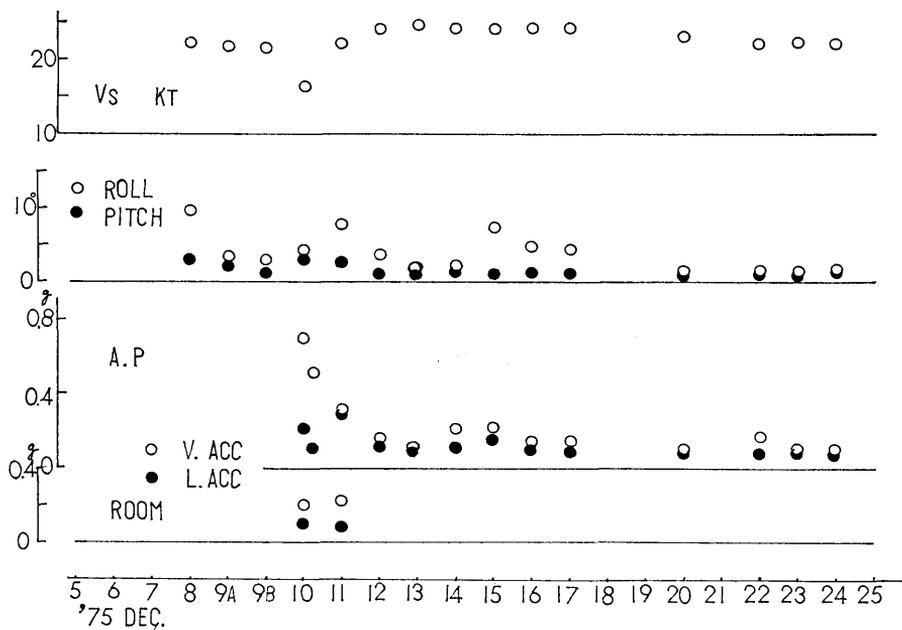


Fig. 13 a Oscillation, Acceleration and Ship Speed at Outward Voyage

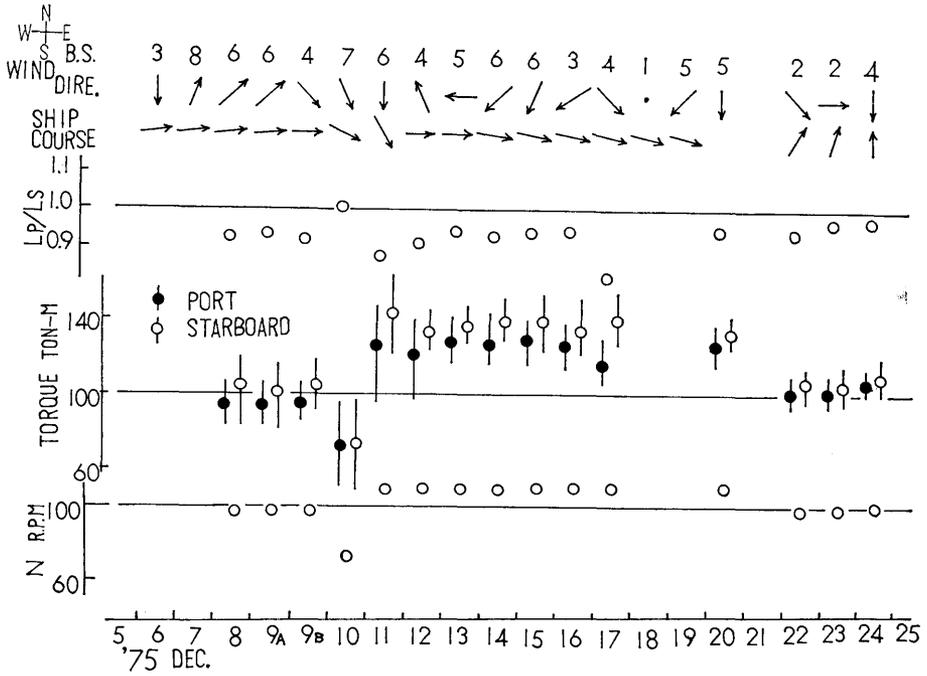


Fig. 13 b Torque Fluctuation, etc. at Outward Voyage

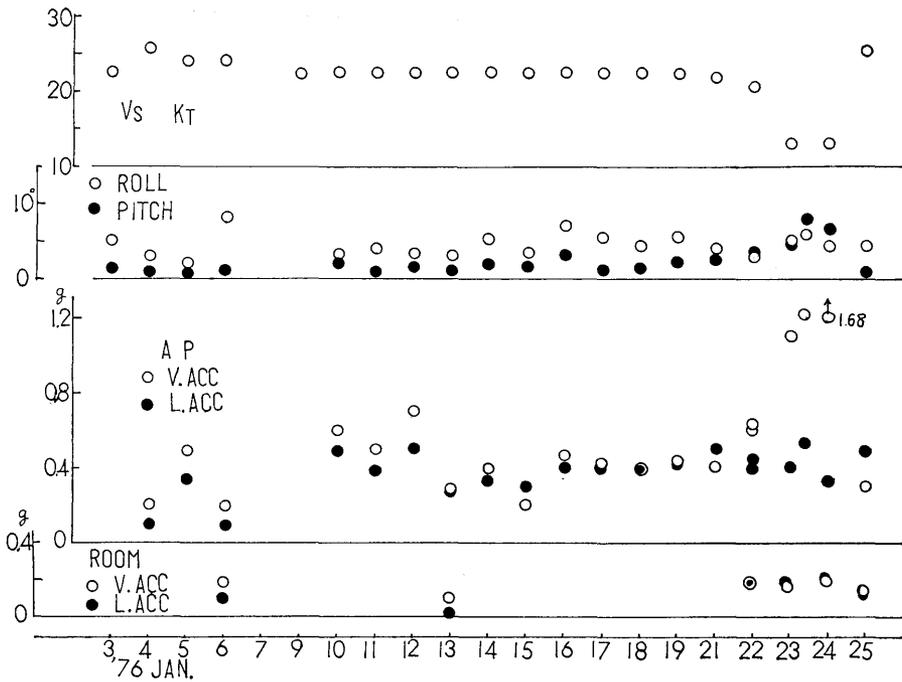


Fig. 14 a Oscillation, Acceleration and Ship Speed at Homeward Voyage

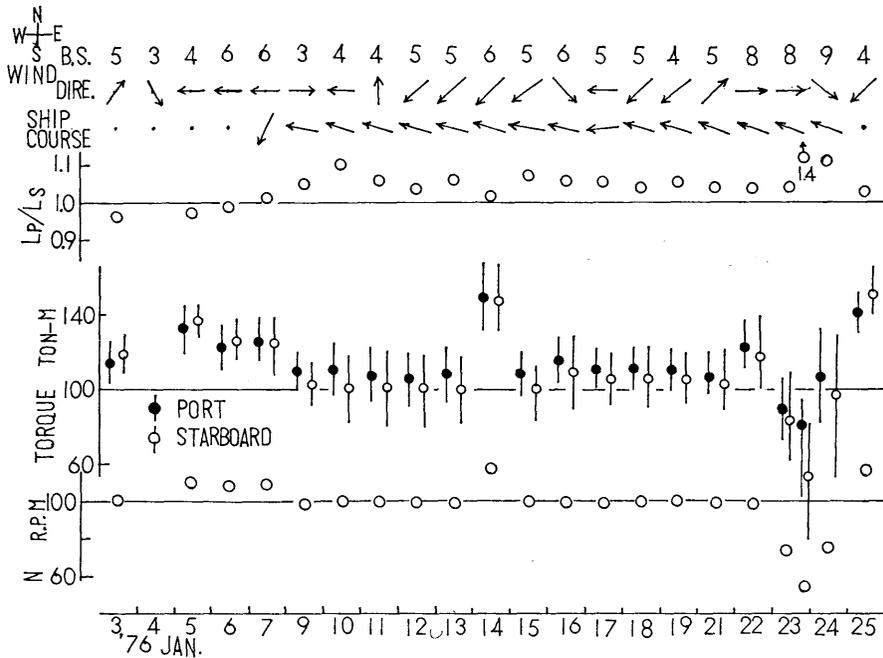


Fig. 14 b Torque Fluctuation, etc. at Homeward Voyage

び加速度は計測時における最大全振幅値である。

Fig. 14 a, Fig. 14 b は同じく復航時の値である。

Fig. 15 は加速度及びトルク変動を風力階級との関係で示した。

往航時計測した最大値は Roll 10°, Pitch 3° 船尾上下加速度 0.75g, 左右加速度 0.35g であった。なお 12 月 10 日夜半 Roll 30° 程度の揺れに遭遇したが記録データはない。

復航時は Roll 9°, Pitch 8° 船尾部上下加速度 1.68 g, 同左右加速度 0.55g を計測した。

トルク変動について——両軸のトルク平均値を比較すると、往航時は右舷軸トルクが大きく太平洋航行時には約 8% 大きい。両軸回転数にはほとんど差がないので軸馬力もその割合で差が生じている。復航時の太平洋上においては左舷軸トルクが若干大きくなっている。変動率は右舷軸が左舷軸に比べ大きくなっている。なお Fig. 14 b の 1 月 14 日の計測値は特別試験時（八方向試験）の値であり、当試験終了後は前日と同じ 22 Kt (98.5 rpm) で運航されていた。1 月 23 日及び 24 日の荒天による減速運航時（風力階級 8~9）の左右出力差は 10~40% とかなり大きくなっている。

Fig. 16 は 12 月 8 日のトルク変動状況をヒストグラムで示す、右舷軸の変動が大きい。Fig. 17 は 1 月 11

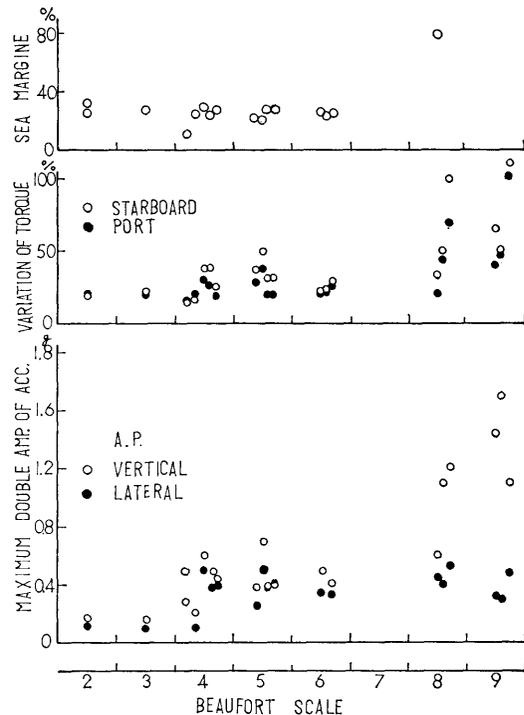


Fig. 15 Sea Margine, Torque Variations and Maximum Double Amp. Acc.

日、風力4で穏やかなときのものである。Fig. 18 a, Fig. 18 b は1月23日、縦揺れの激しい荒天時に11 Kt (54 rpm) で航行中の軸トルク及び軸回転数の変動を示す。なお、Fig. 10 b の計測波形はこのときのものである。Fig. 19 a, Fig. 19 b は1月24日、同様な状況下において15 Kt (定格の約1/4出力, 76 rpm) で航行時の変動を示す。また、Fig. 10 a にこのときの計測波形を示す。軸トルク変動の最大幅をみると、軸回転数76 rpmの場合、左舷軸は約45 ton-m、右舷軸は約65 ton-mである。軸回転数54 rpmの場合には両軸とも約70 ton-mとなる。Fig. 20 a, Fig. 20 b は穏やかな海上を26 Kt (117 rpm) で航行中の軸トルク及び軸回転数の変動を示す。

本航においては、Rollは小さく、 6° 以上の振幅で4周期以上連続している計測例はほとんど見あたらない。Rollが大きくなったときでも、2~3周期で減衰している。

Pitchは6~8周期連続して大きな振幅が続く例もみられる。軸トルク変動、上下加速度はPitchの影響を受けやすい。Fig. 21はトルク変動をPitchに関して示す。

Figs. 22~24は1月22日、23日、24日の計測値について周波数分析した結果を示す。軸回転数98.6 rpmではPitchの周期は8.5 secでRollは16 secである。76.3 rpmではPitch 8 sec, 54.3 rpmでは11 sec, Roll 16.5 secに山がありトルク、加速度、軸回転数はPitchの周期にほぼ同期している。なおPitchの周波数は風速力、風向、波浪などにより影響され、船速によっても異なるわけであるが、本試験においてはPitchは7.5~12 sec, Rollは15~26 secに納まりPitch 8 sec, Roll 18 sec付近の値が多い。

本航における毎日の見掛けスリップをFig. 25に示す。本航における平均スリップは3.3%であり復航時、かなりはずれているものが多い。12月30日の場合は河川を通っているときのもので、1月1日は横風をかなり強く受けた荒天時、1月22日~1月25日は日本近海での荒天時のものである。

本航における軸馬力と船速の関係をFig. 26に示す。前年度乗船者の使用した基準曲線⁵⁾に基づいて、sea margineを求めた結果を風力との関係において示すとFig. 15となる。風力6までは20~30%に計測点が集中している。

しかし、風力8になると急激に悪化している。

4.2 八方向航走試験時の負荷変動

本試験は1月14日主機回転数99 rpm (22.3 Kt) で針路 285° で 180° N, 131° W 近辺の太平洋上を航行中、試験のために主機回転数を117 rpmにあげるとともに風向に対して 45° 方向になるように船を 280° に向け10時20分より計測を始めた。Fig. 27 a, Fig. 27 b に計測結果を示す。試験は 45° 転針時間を含めて8~9分間隔で行った。最初の計測位置にもどるまでに1時間以上を要しているが、この間、風の方向はほぼ一定で風力は5~6であり海象はroughであった。

整理には各計測値の後側より4分間の値を使用した。

トルクの大きさは左舷方向より風を受けるときは、右舷軸より左舷軸が大きい傾向にある。トルクの平均値の方向による変化は8%以内である。左右の比は2.5%以内である。Fig. 28 a, 28 b にトルク変動をヒストグラムで示した。トルク変動は、左舷軸についてみると、左舷方向より風を受けるときは右舷方向より風を受ける場合より大きい。しかし右舷軸は、正面より風を受けるときが小さく、側面方向より受けるときの差はない。軸回転数は左右ほとんど差がなく、また、方向による変化もない。従って、トルク変動がほとんどそのまま軸出力の変動差となる。船尾における上下方向加速度の振幅は向い風、追風のとき比較的小さい。Roll, Pitchは風の方向による差は出ていない。Pitchの周期は10秒前後である。舵は左右 $5\sim6^\circ$ の間で操作されている。

4.3 旋回時における負荷変動と船尾軸系挙動

船が旋回をはじめると左右のプロペラの伴流分布は異ってくるため、当然軸トルクが変化する。また左右の船尾軸系も異った挙動をすると考えられる。そこで軸回転数110 rpm 船速24 Ktで直進航行中、軸回転数を一定に保ちながら、舵を 15° に切って、そのまま約40~50 sec保持しその後舵角を 0° に戻し、抵舵をして直進にもどす試験を左、右旋回について行った。一般に船が旋回を始めると旋回に伴い船体が傾斜し、その方向は旋回反対方向へ横傾斜する。本試験では右旋回時 4.5° 左旋回時 4° 横傾斜している。Fig. 29はその時のトルク変動及び軸曲げモーメントの変動などの記録波形である。計測日は12月19日、海象状況は風力5でroughであった。軸曲げモーメントの計測位置をFig. 4に示す。Fig. 4のBending 1 (B_1)は4 Hzのローパスフィルターを、Bending 2 (B_2)は4

J= 5					J= 6				
HISTOGRAM					***HISTOGRAM***				
KAGEN	JÖGEN	KÖSU	0	20	KAGEN	JÖGEN	KÖSU	0	20
75,00*	76,00	0		I	75,00*	76,00	0		I
76,00*	77,00	0		I	76,00*	77,00	0		I
77,00*	78,00	0		I	77,00*	78,00	3		I
78,00*	79,00	0		I	78,00*	79,00	0		I
79,00*	80,00	0		I	79,00*	80,00	1		I
80,00*	81,00	0		I	80,00*	81,00	0		I
81,00*	82,00	0		I	81,00*	82,00	1		I
82,00*	83,00	0		I	82,00*	83,00	1		I
83,00*	84,00	0		I	83,00*	84,00	1		I
84,00*	85,00	2		I	84,00*	85,00	2		I
85,00*	86,00	2		I	85,00*	86,00	3		I
86,00*	87,00	0		I	86,00*	87,00	7	*	I
87,00*	88,00	0		I	87,00*	88,00	9	*	I
88,00*	89,00	5		I	88,00*	89,00	14	**	I
89,00*	90,00	3		I	89,00*	90,00	14	**	I
90,00*	91,00	3		I	90,00*	91,00	11	*	I
91,00*	92,00	12	**	I	91,00*	92,00	16	**	I
92,00*	93,00	20	***	I	92,00*	93,00	24	****	I
93,00*	94,00	16	**	I	93,00*	94,00	22	***	I
94,00*	95,00	34	*****	I	94,00*	95,00	18	***	I
95,00*	96,00	39	*****	I	95,00*	96,00	23	***	I
96,00*	97,00	34	*****	I	96,00*	97,00	23	***	I
97,00*	98,00	44	*****	I	97,00*	98,00	28	****	I
98,00*	99,00	41	*****	I	98,00*	99,00	30	****	I
99,00*	100,00	45	*****	I	99,00*	100,00	34	****	I
100,00*	101,00	50	*****	I	100,00*	101,00	29	****	I
101,00*	102,00	36	*****	I	101,00*	102,00	41	*****	I
102,00*	103,00	53	*****	I	102,00*	103,00	44	*****	I
103,00*	104,00	34	****	I	103,00*	104,00	35	****	I
104,00*	105,00	26	****	I	104,00*	105,00	28	****	I
105,00*	106,00	34	****	I	105,00*	106,00	29	****	I
106,00*	107,00	22	***	I	106,00*	107,00	28	****	I
107,00*	108,00	13	**	I	107,00*	108,00	15	**	I
108,00*	109,00	13	**	I	108,00*	109,00	9	*	I
109,00*	110,00	6	*	I	109,00*	110,00	9	*	I
110,00*	111,00	3		I	110,00*	111,00	12	**	I
111,00*	112,00	6	*	I	111,00*	112,00	6	*	I
112,00*	113,00	1		I	112,00*	113,00	8	*	I
113,00*	114,00	0		I	113,00*	114,00	5		I
114,00*	115,00	2		I	114,00*	115,00	4		I
115,00*	116,00	0		I	115,00*	116,00	3		I
116,00*	117,00	0		I	116,00*	117,00	0		I
117,00*	118,00	0	DEC. 8	I	117,00*	118,00	2	DEC. 8	I
118,00*	119,00	1		I	118,00*	119,00	2		I
119,00*	120,00	0	TORQUE PORT	I	119,00*	120,00	2	TORQUE STARBOARD	I
120,00*	121,00	0		I	120,00*	121,00	1		I
121,00*	122,00	0		I	121,00*	122,00	3		I
122,00*	123,00	0	9 6 ton-m	I	122,00*	123,00	0	1 0 4 . 5 ton-m	I
123,00*	124,00	0		I	123,00*	124,00	0		I
124,00*	125,00	0		I	124,00*	125,00	0		I

Fig. 16 Histogram of Torque at Rough Sea

J= 5

HISTOGRAM

KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20
50.00*	52.00	0		I
52.00*	54.00	0		I
54.00*	56.00	0		I
56.00*	58.00	0		I
58.00*	60.00	0		I
60.00*	62.00	0		I
62.00*	64.00	0		I
64.00*	66.00	0		I
66.00*	68.00	0		I
68.00*	70.00	0		I
70.00*	72.00	0		I
72.00*	74.00	0		I
74.00*	76.00	0		I
76.00*	78.00	0		I
78.00*	80.00	0		I
80.00*	82.00	0		I
82.00*	84.00	0		I
84.00*	86.00	0		I
86.00*	88.00	5		I
88.00*	90.00	9	*	I
90.00*	92.00	27	****	I
92.00*	94.00	48	*****	I
94.00*	96.00	60	*****	I
96.00*	98.00	65	*****	I
98.00*	100.00	85	*****	I
100.00*	102.00	85	*****	I
102.00*	104.00	71	*****	I
104.00*	106.00	61	*****	I
106.00*	108.00	44	*****	I
108.00*	110.00	16	**	I
110.00*	112.00	19	***	I
112.00*	114.00	5		I
114.00*	116.00	0		I
116.00*	118.00	0		I
118.00*	120.00	0		I
120.00*	122.00	0		I
122.00*	124.00	0		I
124.00*	126.00	0	JAN. 11	I
126.00*	128.00	0	TORQUE PORT	I
128.00*	130.00	0	1073 ton-m	I
130.00*	132.00	0		I
132.00*	134.00	0		I
134.00*	136.00	0		I
136.00*	138.00	0		I
138.00*	140.00	0		I
140.00*	142.00	0		I
142.00*	144.00	0		I
144.00*	146.00	0		I
146.00*	148.00	0		I
148.00*	150.00	0		I

J= 6

HISTOGRAM

KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20
50.00*	52.00	0		I
52.00*	54.00	0		I
54.00*	56.00	0		I
56.00*	58.00	0		I
58.00*	60.00	0		I
60.00*	62.00	0		I
62.00*	64.00	0		I
64.00*	66.00	0		I
66.00*	68.00	0		I
68.00*	70.00	0		I
70.00*	72.00	0		I
72.00*	74.00	0		I
74.00*	76.00	0		I
76.00*	78.00	0		I
78.00*	80.00	1		I
80.00*	82.00	4		I
82.00*	84.00	3		I
84.00*	86.00	6	*	I
86.00*	88.00	13	**	I
88.00*	90.00	11	*	I
90.00*	92.00	29	****	I
92.00*	94.00	39	*****	I
94.00*	96.00	58	*****	I
96.00*	98.00	76	*****	I
98.00*	100.00	52	*****	I
100.00*	102.00	76	*****	I
102.00*	104.00	78	*****	I
104.00*	106.00	45	*****	I
106.00*	108.00	35	*****	I
108.00*	110.00	32	*****	I
110.00*	112.00	18	***	I
112.00*	114.00	11	*	I
114.00*	116.00	6	*	I
116.00*	118.00	6	*	I
118.00*	120.00	0		I
120.00*	122.00	0		I
122.00*	124.00	0		I
124.00*	126.00	0	JAN. 11	I
126.00*	128.00	0	TORQUE STARBOARD	I
128.00*	130.00	0	1013 ton-m	I
130.00*	132.00	0		I
132.00*	134.00	0		I
134.00*	136.00	0		I
136.00*	138.00	0		I
138.00*	140.00	0		I
140.00*	142.00	0		I
142.00*	144.00	0		I
144.00*	146.00	0		I
146.00*	148.00	0		I
148.00*	150.00	0		I

Fig. 17 Histogram of Torque at Moderate Sea

J= 5

HISTOGRAM

KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20
50,00*	52,00	0	.	.
52,00*	54,00	0	.	I
54,00*	56,00	1	.	I
56,00*	58,00	2	.	I
58,00*	60,00	0	.	I
60,00*	62,00	6	*	I
62,00*	64,00	3	.	I
64,00*	66,00	3	.	I
66,00*	68,00	4	.	I
68,00*	70,00	5	.	I
70,00*	72,00	6	*	I
72,00*	74,00	3	.	I
74,00*	76,00	7	*	I
76,00*	78,00	10	*	I
78,00*	80,00	2	.	I
80,00*	82,00	11	*	I
82,00*	84,00	14	**	I
84,00*	86,00	8	*	I
86,00*	88,00	17	**	I
88,00*	90,00	14	**	I
90,00*	92,00	15	**	I
92,00*	94,00	14	**	I
94,00*	96,00	17	**	I
96,00*	98,00	27	****	I
98,00*	100,00	28	****	I
100,00*	102,00	34	*****	I
102,00*	104,00	31	****	I
104,00*	106,00	41	*****	I
106,00*	108,00	38	****	I
108,00*	110,00	43	*****	I
110,00*	112,00	43	*****	I
112,00*	114,00	42	*****	I
114,00*	116,00	27	****	I
116,00*	118,00	17	**	I
118,00*	120,00	25	****	I
120,00*	122,00	13	**	I
122,00*	124,00	7	*	I
124,00*	126,00	5	.	I
126,00*	128,00	1	.	I
128,00*	130,00	2	.	I
130,00*	132,00	0	.	I
132,00*	134,00	0	.	I
134,00*	136,00	0	.	I
136,00*	138,00	0	.	I
138,00*	140,00	0	.	I
140,00*	142,00	0	.	I
142,00*	144,00	0	.	I
144,00*	146,00	0	JAN. 23	I
146,00*	148,00	0	.	I
148,00*	150,00	0	TORQUE PORT	I

725 ton-m

J= 6

HISTOGRAM

KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20
50,00*	52,00	3	.	I
52,00*	54,00	2	.	I
54,00*	56,00	3	.	I
56,00*	58,00	2	.	I
58,00*	60,00	4	.	I
60,00*	62,00	8	*	I
62,00*	64,00	6	*	I
64,00*	66,00	8	*	I
66,00*	68,00	6	*	I
68,00*	70,00	8	*	I
70,00*	72,00	8	*	I
72,00*	74,00	11	*	I
74,00*	76,00	10	*	I
76,00*	78,00	11	*	I
78,00*	80,00	8	*	I
80,00*	82,00	8	*	I
82,00*	84,00	10	*	I
84,00*	86,00	7	*	I
86,00*	88,00	19	***	I
88,00*	90,00	22	***	I
90,00*	92,00	12	**	I
92,00*	94,00	23	***	I
94,00*	96,00	22	***	I
96,00*	98,00	14	**	I
98,00*	100,00	19	***	I
100,00*	102,00	25	****	I
102,00*	104,00	20	***	I
104,00*	106,00	18	***	I
106,00*	108,00	17	**	I
108,00*	110,00	14	**	I
110,00*	112,00	21	***	I
112,00*	114,00	18	***	I
114,00*	116,00	16	**	I
116,00*	118,00	19	***	I
118,00*	120,00	19	***	I
120,00*	122,00	15	**	I
122,00*	124,00	17	**	I
124,00*	126,00	16	**	I
126,00*	128,00	23	***	I
128,00*	130,00	6	*	I
130,00*	132,00	4	.	I
132,00*	134,00	10	*	I
134,00*	136,00	6	*	I
136,00*	138,00	10	*	I
138,00*	140,00	6	*	I
140,00*	142,00	4	.	I
142,00*	144,00	5	.	I
144,00*	146,00	3	JAN. 23	I
146,00*	148,00	3	.	I
148,00*	150,00	2	TORQUESTARBOARD	I

532 ton-m

Fig. 18 a Histogram of Torque at Very Rough Sea

J= 7

HISTOGRAM

KAGEN	JÖGEN	KOSU	0	20
50,00*	52,00	0	.	I
52,00*	54,00	0	.	I
54,00*	56,00	0	.	I
56,00*	58,00	0	.	I
58,00*	60,00	0	.	I
60,00*	62,00	0	.	I
62,00*	64,00	0	.	I
64,00*	66,00	0	.	I
66,00*	68,00	0	.	I
68,00*	70,00	0	.	I
70,00*	72,00	0	.	I
72,00*	74,00	0	.	I
74,00*	76,00	0	.	I
76,00*	78,00	0	.	I
78,00*	80,00	0	.	I
80,00*	82,00	0	.	I
82,00*	84,00	0	.	I
84,00*	86,00	6	*	I
86,00*	88,00	20	***	I
88,00*	90,00	19	***	I
90,00*	92,00	18	***	I
92,00*	94,00	30	****	I
94,00*	96,00	29	****	I
96,00*	98,00	46	*****	I
98,00*	100,00	96	*****	I
100,00*	102,00	144	*****	I
102,00*	104,00	93	*****	I
104,00*	106,00	32	****	I
106,00*	108,00	25	****	I
108,00*	110,00	12	**	I
110,00*	112,00	7	*	I
112,00*	114,00	10	*	I
114,00*	116,00	4	.	I
116,00*	118,00	4	.	I
118,00*	120,00	3	.	I
120,00*	122,00	0	.	I
122,00*	124,00	1	.	I
124,00*	126,00	0	.	I
126,00*	128,00	1	.	I
128,00*	130,00	0	.	I
130,00*	132,00	0	.	I
132,00*	134,00	0	JAN. 23	I
134,00*	136,00	0	.	I
136,00*	138,00	0	PORT r. p. m	I
138,00*	140,00	0	.	I
140,00*	142,00	0	54.5 r. p. m	I
142,00*	144,00	0	.	I
144,00*	146,00	0	.	I
146,00*	148,00	0	.	I
148,00*	150,00	0	.	I

J= 8

HISTOGRAM

KAGEN	JÖGEN	KOSU	0	20
50,00*	52,00	0	.	I
52,00*	54,00	0	.	I
54,00*	56,00	0	.	I
56,00*	58,00	0	.	I
58,00*	60,00	0	.	I
60,00*	62,00	0	.	I
62,00*	64,00	0	.	I
64,00*	66,00	0	.	I
66,00*	68,00	0	.	I
68,00*	70,00	0	.	I
70,00*	72,00	0	.	I
72,00*	74,00	0	.	I
74,00*	76,00	0	.	I
76,00*	78,00	0	.	I
78,00*	80,00	0	.	I
80,00*	82,00	0	.	I
82,00*	84,00	0	.	I
84,00*	86,00	0	.	I
86,00*	88,00	0	.	I
88,00*	90,00	3	.	I
90,00*	92,00	10	*	I
92,00*	94,00	42	*****	I
94,00*	96,00	80	*****	I
96,00*	98,00	129	*****	I
98,00*	100,00	143	*****	I
100,00*	102,00	77	*****	I
102,00*	104,00	41	*****	I
104,00*	106,00	15	**	I
106,00*	108,00	8	*	I
108,00*	110,00	4	.	I
110,00*	112,00	7	*	I
112,00*	114,00	6	*	I
114,00*	116,00	1	.	I
116,00*	118,00	8	*	I
118,00*	120,00	4	.	I
120,00*	122,00	5	.	I
122,00*	124,00	5	.	I
124,00*	126,00	0	.	I
126,00*	128,00	1	.	I
128,00*	130,00	3	.	I
130,00*	132,00	1	.	I
132,00*	134,00	1	JAN. 23	I
134,00*	136,00	1	.	I
136,00*	138,00	3	STARBOARD r. p. m	I
138,00*	140,00	0	.	I
140,00*	142,00	1	54.0 r. p. m	I
142,00*	144,00	1	.	I
144,00*	146,00	0	.	I
146,00*	148,00	0	.	I
148,00*	150,00	0	.	I

Fig. 18 b Histogram of Revolution at Very Rough Sea

J= 5						J= 6					
HISTOGRAM						***HISTOGRAM***					
KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20		KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20	
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	2		I	.
56,00*	58,00	0		I	.	56,00*	58,00	1		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	1		I	.
66,00*	68,00	0		I	.	66,00*	68,00	3		I	.
68,00*	70,00	1		I	.	68,00*	70,00	1		I	.
70,00*	72,00	0		I	.	70,00*	72,00	2		I	.
72,00*	74,00	1		I	.	72,00*	74,00	1		I	.
74,00*	76,00	0		I	.	74,00*	76,00	3		I	.
76,00*	78,00	0		I	.	76,00*	78,00	3		I	.
78,00*	80,00	1		I	.	78,00*	80,00	6	*	I	.
80,00*	82,00	2		I	.	80,00*	82,00	10	*	I	.
82,00*	84,00	1		I	.	82,00*	84,00	13	**	I	.
84,00*	86,00	3		I	.	84,00*	86,00	15	**	I	.
86,00*	88,00	5		I	.	86,00*	88,00	19	***	I	.
88,00*	90,00	17	**	I	.	88,00*	90,00	33	****	I	.
90,00*	92,00	31	****	I	.	90,00*	92,00	34	****	I	.
92,00*	94,00	50	*****	I	.	92,00*	94,00	38	*****	I	.
94,00*	96,00	65	*****	I	.	94,00*	96,00	34	*****	I	.
96,00*	98,00	87	*****	I	.	96,00*	98,00	48	*****	I	.
98,00*	100,00	73	*****	I	.	98,00*	100,00	40	*****	I	.
100,00*	102,00	53	*****	I	.	100,00*	102,00	38	*****	I	.
102,00*	104,00	44	*****	I	.	102,00*	104,00	43	*****	I	.
104,00*	106,00	45	*****	I	.	104,00*	106,00	39	*****	I	.
106,00*	108,00	31	*****	I	.	106,00*	108,00	32	*****	I	.
108,00*	110,00	27	****	I	.	108,00*	110,00	22	***	I	.
110,00*	112,00	25	****	I	.	110,00*	112,00	24	****	I	.
112,00*	114,00	13	**	I	.	112,00*	114,00	19	***	I	.
114,00*	116,00	18	***	I	.	114,00*	116,00	16	**	I	.
116,00*	118,00	3		I	.	116,00*	118,00	20	***	I	.
118,00*	120,00	3		I	.	118,00*	120,00	9	*	I	.
120,00*	122,00	0		I	.	120,00*	122,00	10	*	I	.
122,00*	124,00	0		I	.	122,00*	124,00	7	*	I	.
124,00*	126,00	1		I	.	124,00*	126,00	5		I	.
126,00*	128,00	0		I	.	126,00*	128,00	3		I	.
128,00*	130,00	0		I	.	128,00*	130,00	2		I	.
130,00*	132,00	0		I	.	130,00*	132,00	1		I	.
132,00*	134,00	0	JAN. 24	I	.	132,00*	134,00	3	JAN. 24	I	.
134,00*	136,00	0		I	.	134,00*	136,00	0		I	.
136,00*	138,00	0	PORT TORQUE	I	.	136,00*	138,00	0	STARBOARD TORQUE	I	.
138,00*	140,00	0		I	.	138,00*	140,00	0		I	.
140,00*	142,00	0	107.1 ton-m	I	.	140,00*	142,00	0	96.9 ton-m	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	.

Fig. 19 a Histogram of Torque at Very Rough Sea

J= 5						J= 6					
HISTOGRAM						***HISTOGRAM***					
KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20	40	KAGEN	JOGEN	KOSU	0	20	40
50,00*	52,00	0		I	I	50,00*	52,00	0		I	I
52,00*	54,00	0		I	I	52,00*	54,00	0		I	I
54,00*	56,00	0		I	I	54,00*	56,00	0		I	I
56,00*	58,00	0		I	I	56,00*	58,00	0		I	I
58,00*	60,00	0		I	I	58,00*	60,00	0		I	I
60,00*	62,00	0		I	I	60,00*	62,00	0		I	I
62,00*	64,00	0		I	I	62,00*	64,00	0		I	I
64,00*	66,00	0		I	I	64,00*	66,00	0		I	I
66,00*	68,00	0		I	I	66,00*	68,00	0		I	I
68,00*	70,00	0		I	I	68,00*	70,00	0		I	I
70,00*	72,00	0		I	I	70,00*	72,00	0		I	I
72,00*	74,00	0		I	I	72,00*	74,00	0		I	I
74,00*	76,00	0		I	I	74,00*	76,00	0		I	I
76,00*	78,00	0		I	I	76,00*	78,00	0		I	I
78,00*	80,00	0		I	I	78,00*	80,00	0		I	I
80,00*	82,00	0		I	I	80,00*	82,00	0		I	I
82,00*	84,00	0		I	I	82,00*	84,00	0		I	I
84,00*	86,00	0		I	I	84,00*	86,00	0		I	I
86,00*	88,00	1		I	I	86,00*	88,00	0		I	I
88,00*	90,00	0		I	I	88,00*	90,00	0		I	I
90,00*	92,00	1		I	I	90,00*	92,00	1		I	I
92,00*	94,00	13	*	I	I	92,00*	94,00	5		I	I
94,00*	96,00	57	****	I	I	94,00*	96,00	55	****	I	I
96,00*	98,00	195	*****	I	I	96,00*	98,00	206	*****	I	I
98,00*	100,00	334	*****	I	I	98,00*	100,00	348	*****	I	I
100,00*	102,00	324	*****	I	I	100,00*	102,00	305	*****	I	I
102,00*	104,00	187	*****	I	I	102,00*	104,00	189	*****	I	I
104,00*	106,00	73	*****	I	I	104,00*	106,00	70	*****	I	I
106,00*	108,00	14	*	I	I	106,00*	108,00	17	*	I	I
108,00*	110,00	4		I	I	108,00*	110,00	3		I	I
110,00*	112,00	1		I	I	110,00*	112,00	0		I	I
112,00*	114,00	1		I	I	112,00*	114,00	0		I	I
114,00*	116,00	0		I	I	114,00*	116,00	0		I	I
116,00*	118,00	0		I	I	116,00*	118,00	0		I	I
118,00*	120,00	0		I	I	118,00*	120,00	0		I	I
120,00*	122,00	0		I	I	120,00*	122,00	0		I	I
122,00*	124,00	0		I	I	122,00*	124,00	0		I	I
124,00*	126,00	0		I	I	124,00*	126,00	0		I	I
126,00*	128,00	0		I	I	126,00*	128,00	0		I	I
128,00*	130,00	0		I	I	128,00*	130,00	0		I	I
130,00*	132,00	0		I	I	130,00*	132,00	0		I	I
132,00*	134,00	0		I	I	132,00*	134,00	0		I	I
134,00*	136,00	0		I	I	134,00*	136,00	0		I	I
136,00*	138,00	0		I	I	136,00*	138,00	0		I	I
138,00*	140,00	0		I	I	138,00*	140,00	0		I	I
140,00*	142,00	0		I	I	140,00*	142,00	0		I	I
142,00*	144,00	0		I	I	142,00*	144,00	0		I	I
144,00*	146,00	0		I	I	144,00*	146,00	0		I	I
146,00*	148,00	0		I	I	146,00*	148,00	0		I	I
148,00*	150,00	0		I	I	148,00*	150,00	0		I	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

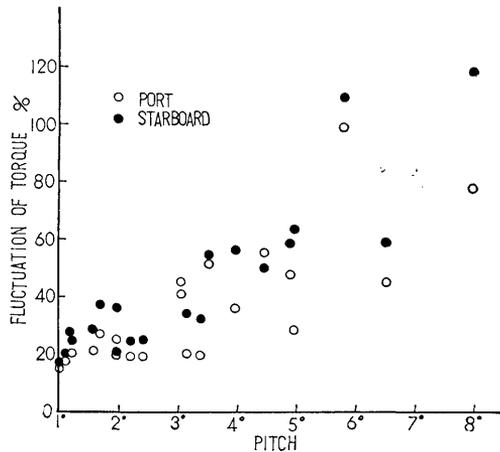


Fig. 21 Fluctuation of Torque for the Pitch Angle

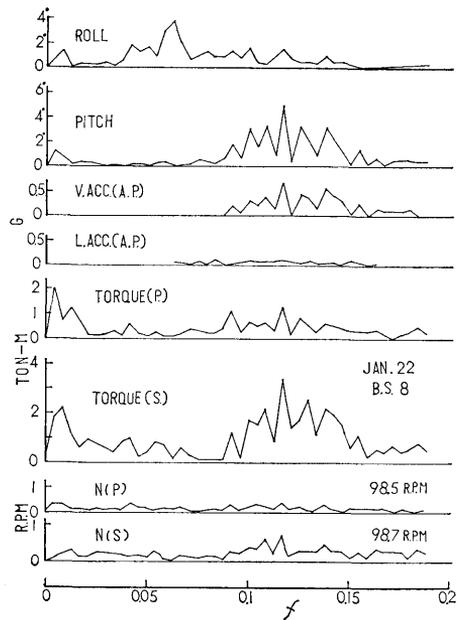


Fig. 22 Frequency Analysis

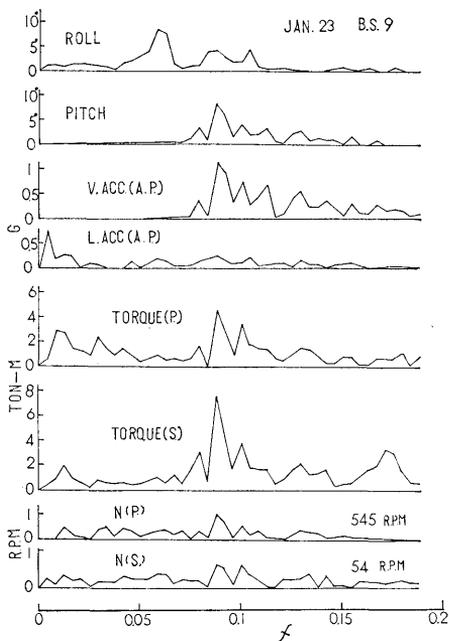


Fig. 23 Frequency Analysis

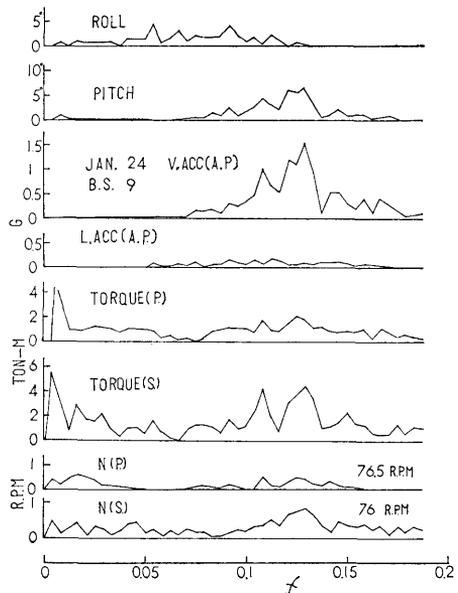


Fig. 24 Frequency Analysis

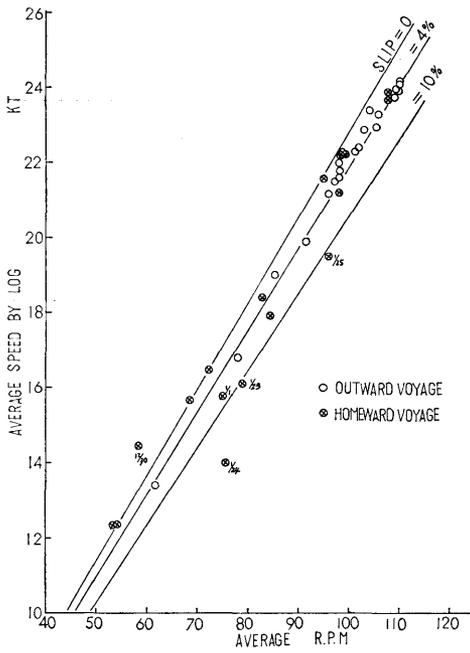


Fig. 25 Apparent Slip

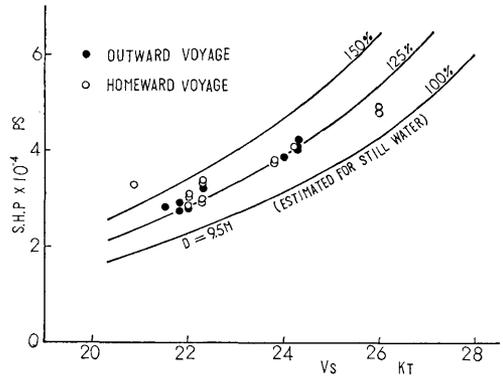


Fig. 26 S.H.P. Curve

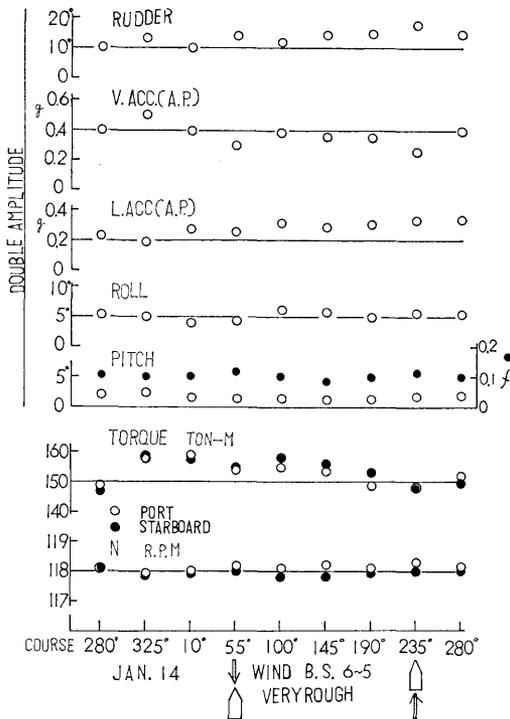


Fig. 27 a Oscillation, etc. at the Special Measurements

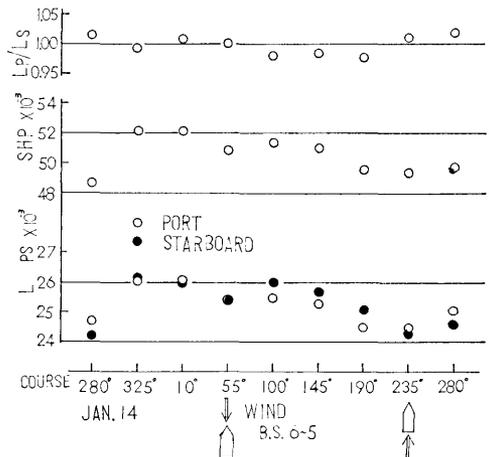


Fig. 27 b Shaft Powers at the Special Measurements

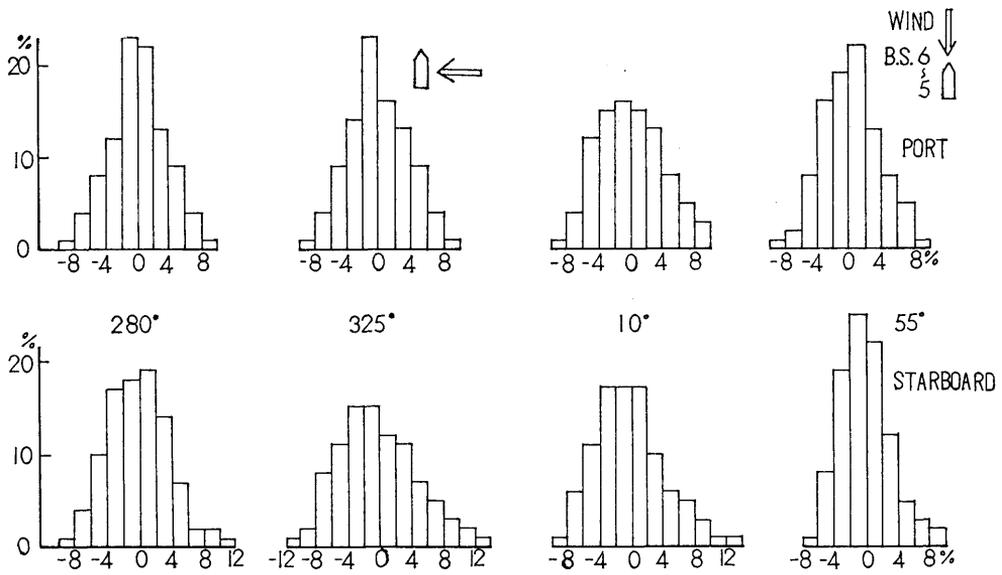


Fig. 28 a Histogram of Torque at the Special Measurements

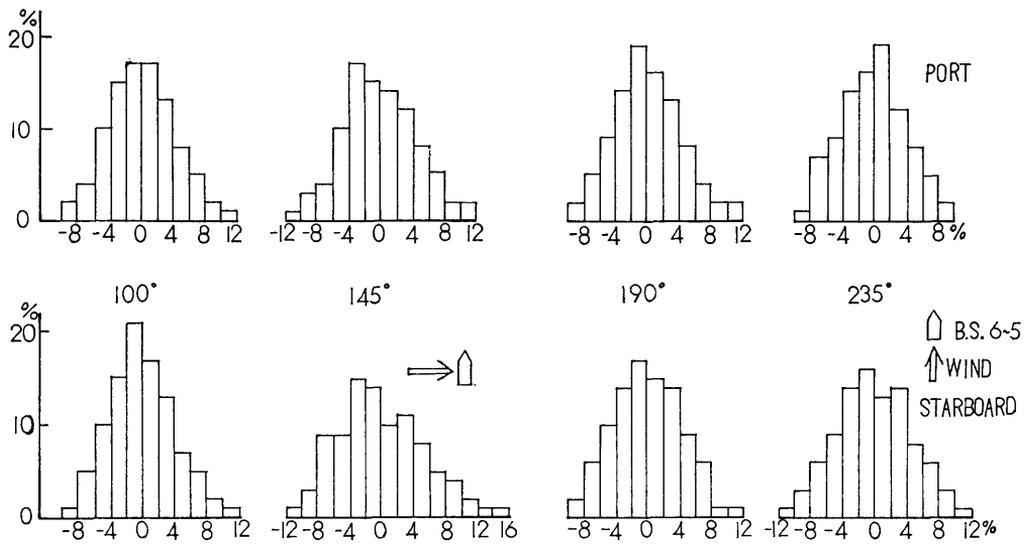


Fig. 28 b Histogram of Torque at the Special Measurements

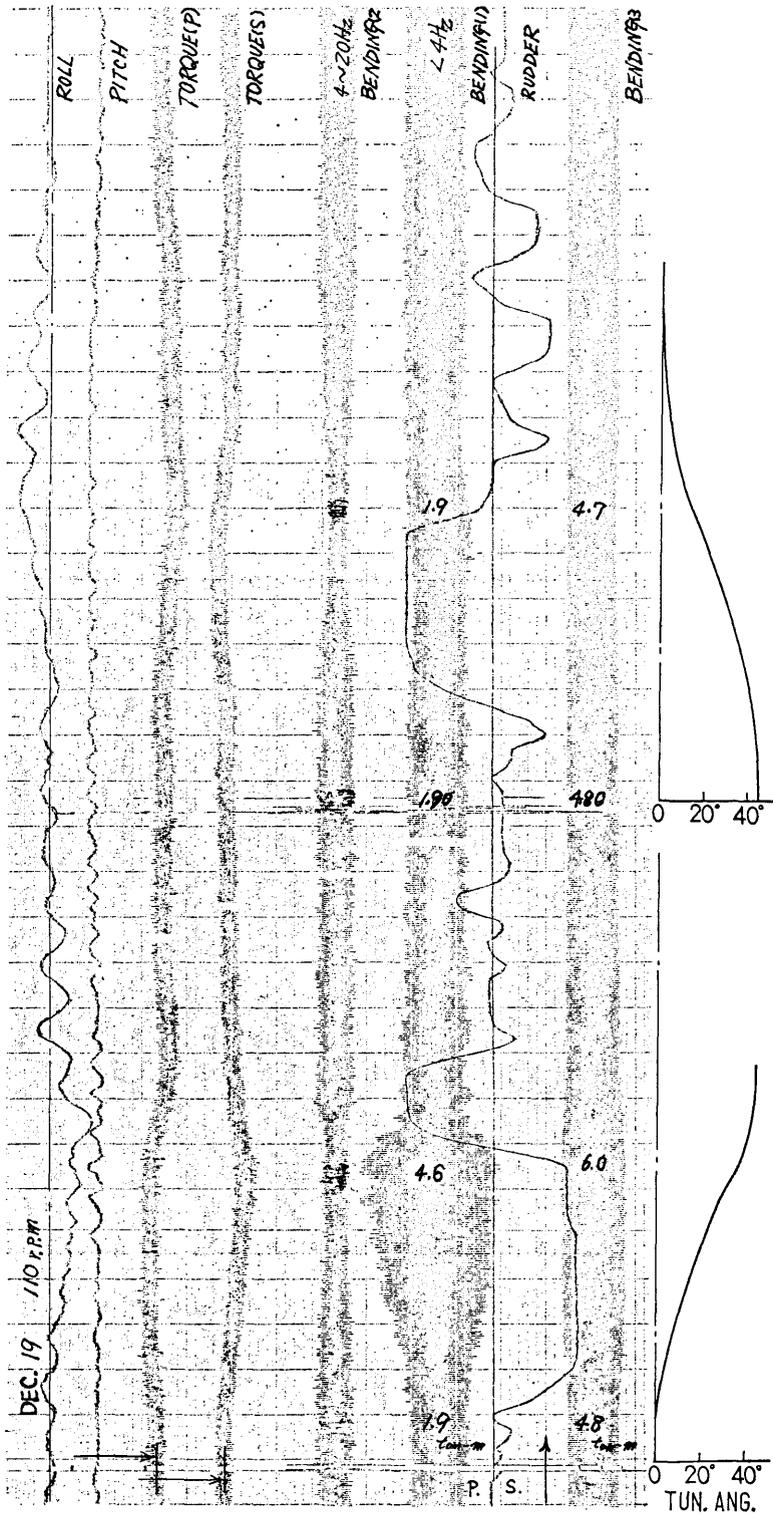


Fig. 29 Deviation of Torque and Bending Moment for the Turning

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° 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 σ_b と軸面の曲げひずみ ϵ 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 ϵ の 8 倍である。また B_1 と B_2 は 90° 位相をず

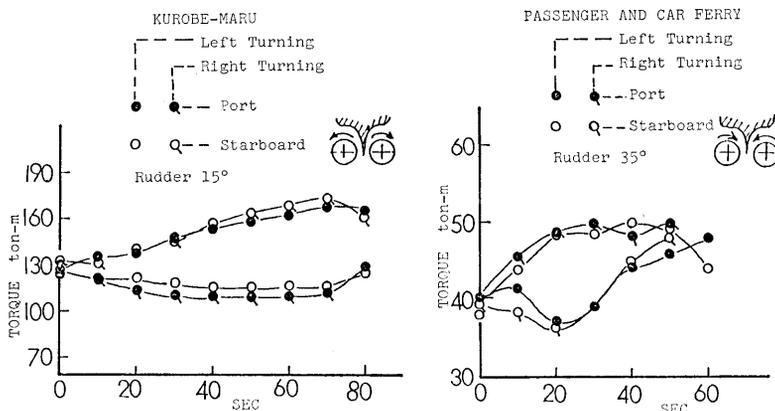


Fig. 30 Deviation of Torque for the Turning

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⁶⁾。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)

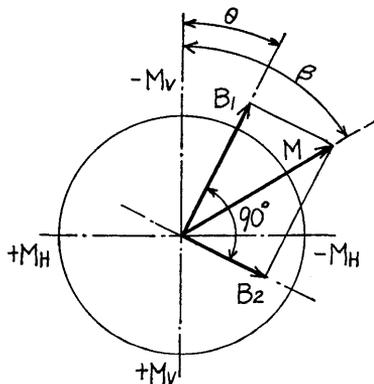
B_1 及び B_2 で計測された動的成分を $\Delta \varepsilon_1$ 及び $\Delta \varepsilon_2$ とすると

$$\begin{aligned} M_V &= Z(\Delta \sigma_1 \cos \theta - \Delta \sigma_2 \sin \theta) \\ &= ZE(\Delta \varepsilon_1 \cos \theta - \Delta \varepsilon_2 \sin \theta) \\ M_H &= Z(\Delta \sigma_1 \sin \theta + \Delta \sigma_2 \cos \theta) \\ &= ZE(\Delta \varepsilon_1 \sin \theta + \Delta \varepsilon_2 \cos \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

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

θ : 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



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

β : 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。

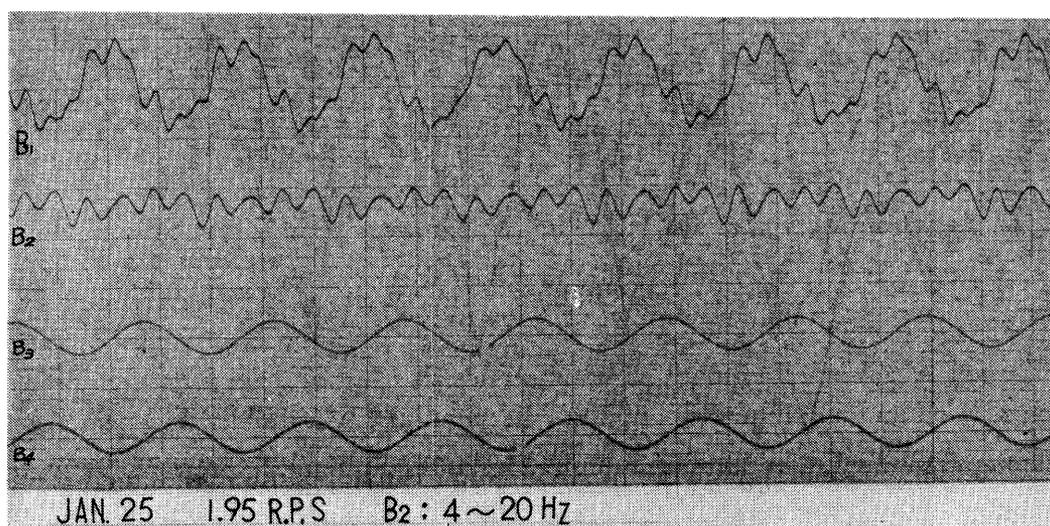
Fig. 31 は軸回転数 117.5 rpm 時の $B_1 \sim B_4$ の波形例である B_2 は高次の成分のみを示している。 B_1 は計測のままの波形であり, 一次波形に高次波形が重畳している。なお $B_1 \sim B_4$ の出力尺度は異っている。

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 2.2 ton-m である。

本船の軸回転数 118 rpm 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^{8,9)}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^{7,8)}。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、計測点が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^{9,10)}、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

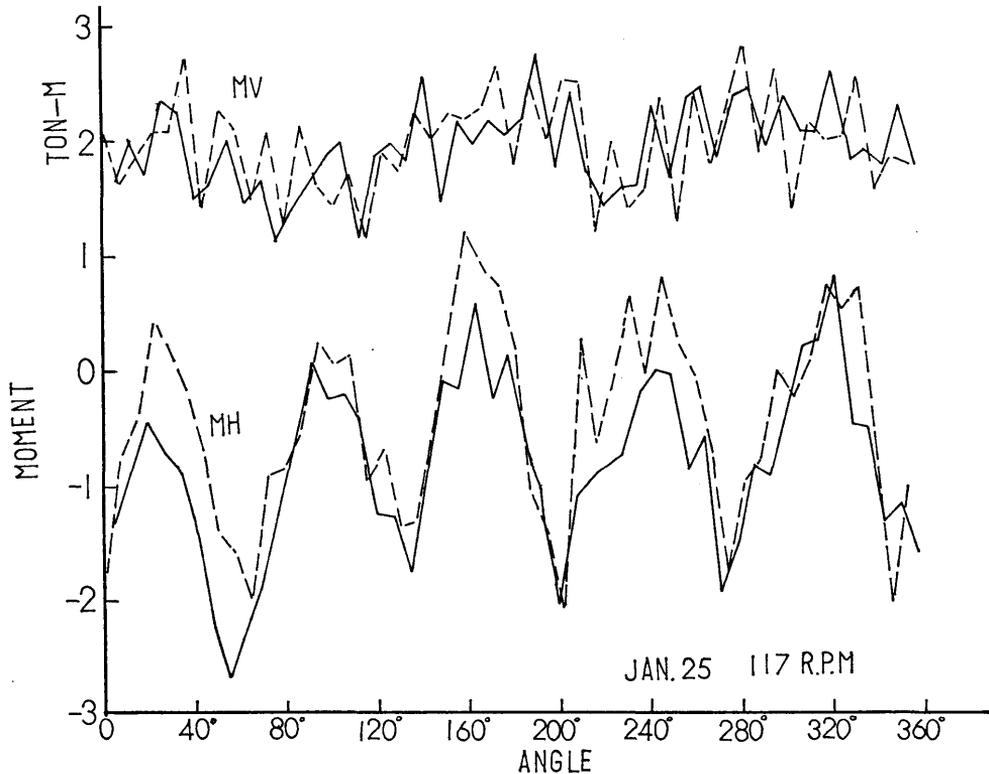


Fig. 32 a Dynamical Moment

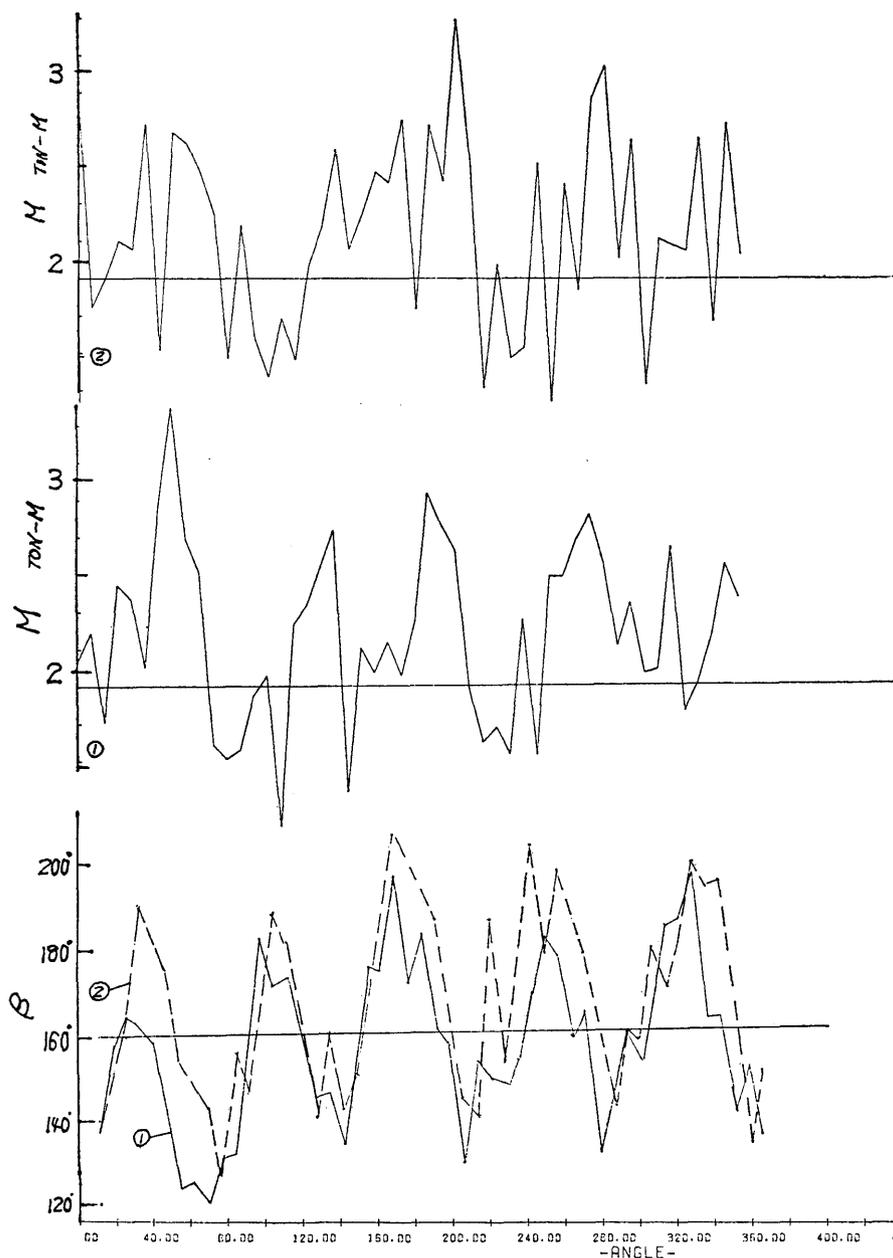


Fig. 32 b Dynamical Moment

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

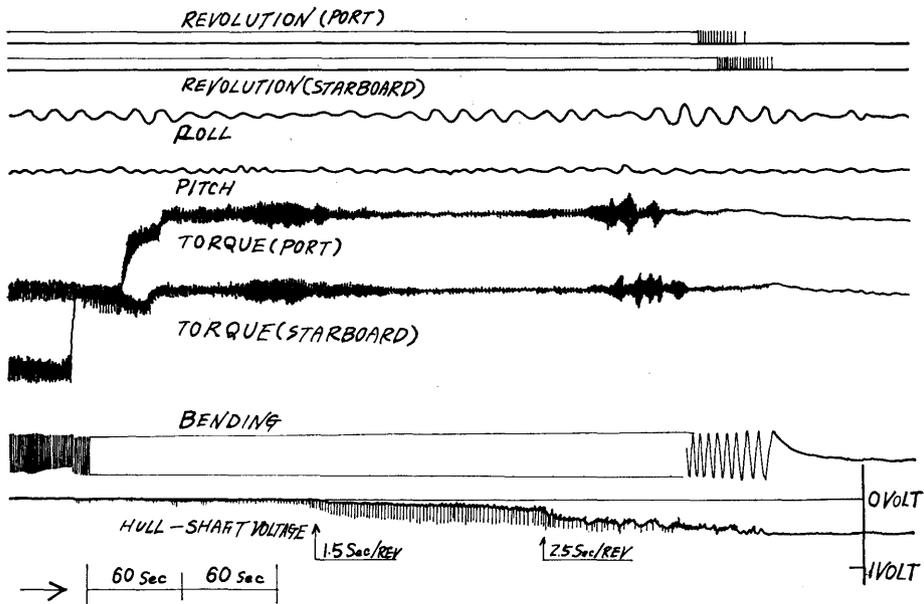


Fig. 33 Shaft-Bearing Insulation

与え船体（軸受）との回路を作り電位変化を計測した。計測は軸回転数約 75 rpm より主機関を停止させ、軸を遊転させて軸が停止するまでの間で行われた。Fig. 33 に計測結果を示す。右舷軸についてみると、1.5 sec/rev. より僅か導通が起き始め、2.5 sec/rev. (24 rpm) を境に電位が大きくなっている。軸回転数 24 rpm 以下においては油膜破断による金属接触が生じていると考えられる。なお左舷軸については高回転時より導通があり油膜破断による電位変化を計測できなかった。導通の原因としては、計測の数日前に発生した左舷軸の回転計の故障に伴う歯車伝達関係の点検作業においてグリースを除くなどの導通になり易い条件が加えられたことがあげられるが定かでない。

4.6 軸の振り振動成分

軸系の振り振動については、その固有振動数、共振点及び付加応力の大きさなどが相当高い精度で計算されている。従って、常用回転数及び港内操船時の回転数などは共振点を十分に避けた設計となっている。

本船主機の軸系振り振動推定付加応力線図は Fig. 34 のようになっている。これによると 83 rpm 付近に 2 節 9 次の共振点があり、81 rpm~91 rpm での連続使用が禁止されている。21 次航において連続使用された主機関の回転数は 50 rpm, 76 rpm, 99 rpm, 及び 110 rpm であり、航行時の多くは 1/2 出力の 99 rpm であった。軸系に振り振動が生じている場合は、中間軸で

計測しているトルク波形に入ってくる。そこでトルク計測値について周波数分析を試みた。その結果を以下に示す。Figs. 35 a, 35 b は回転数 98.5 rpm の結果である。この回転数付近には、2 節 8 次及び 9 次の振り振動の共振点があるためこの成分が出ている。しかし、その値は 2 節 8 次で 0.32~0.36 Kg/mm², 9 次で 0.15~0.17 Kg/mm² である。Figs. 36 a, 36 b 及び Figs. 37 a, 37 b は軸回転数 76 rpm 及び 117.5 rpm の計測結果である。76 rpm においては 1 節 3 次及び 2 節 9 次の成分が出ている、右舷軸の 1 節 3 次の値は 0.5 Kg/mm² となる。なお、航行時機関等から伝ってくる居室付近における振動状態は、軸回転数 110~117 rpm での運航時よりも軸回転数 98.5 rpm 運行時の方が幾分強いように感じられた。

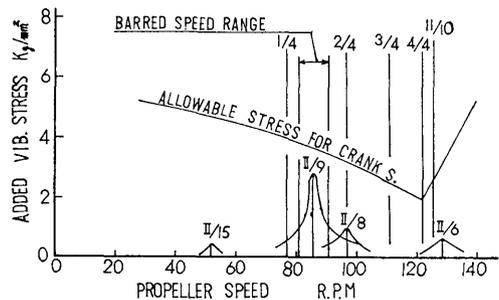


Fig. 34 Torsional Vibration of Engine Shafting

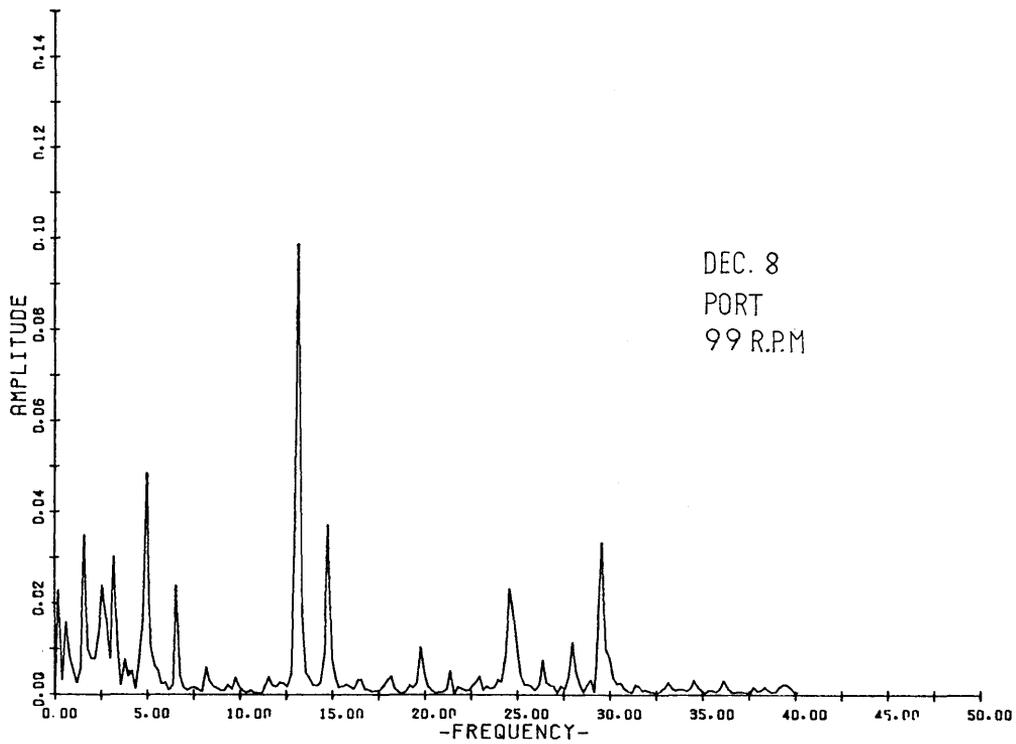


Fig. 35 a Distribution of Torque Frequency

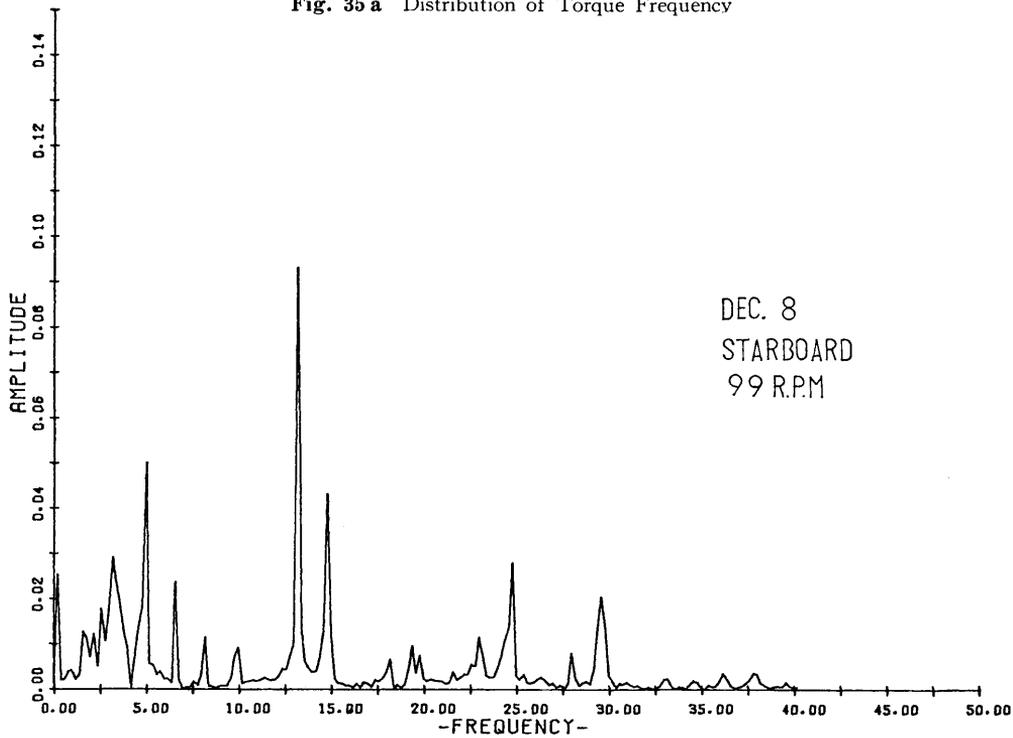


Fig. 35 b Distribution of Torque Frequency

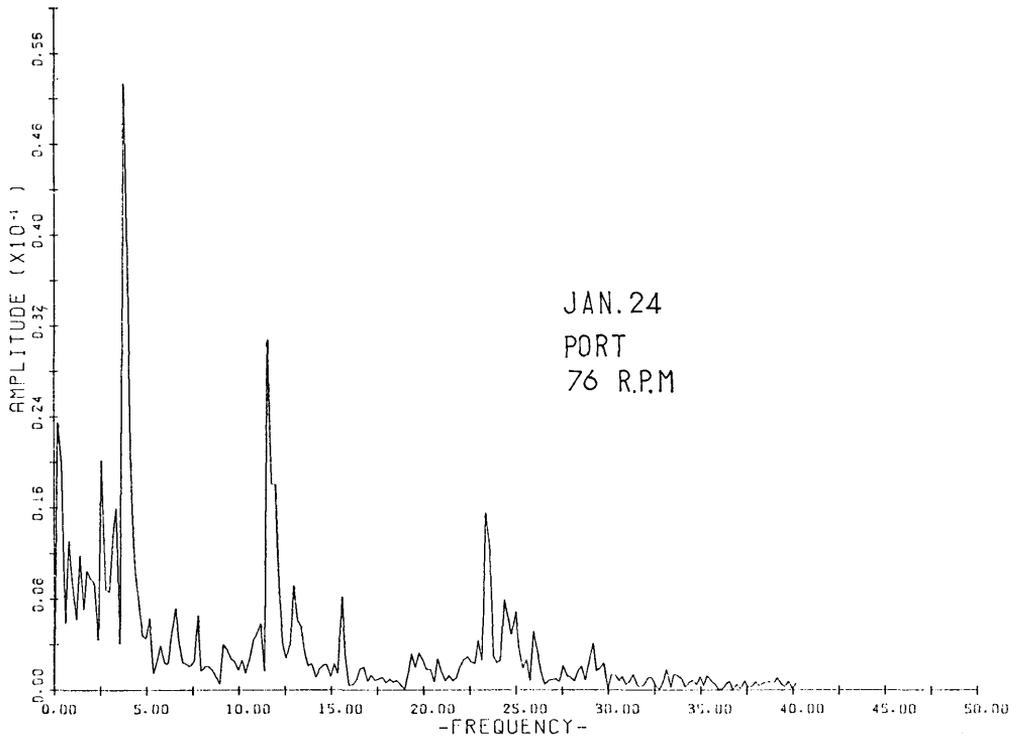


Fig. 36 a Distribution of Torque Frequency

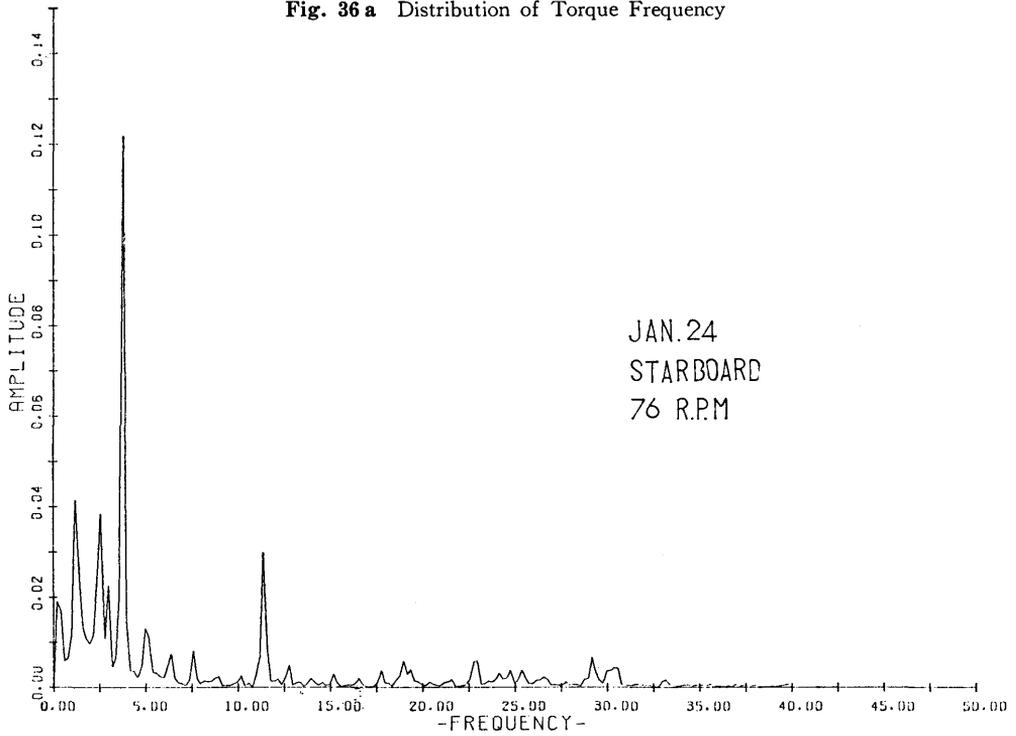


Fig. 36 b Distribution of Torque Frequency

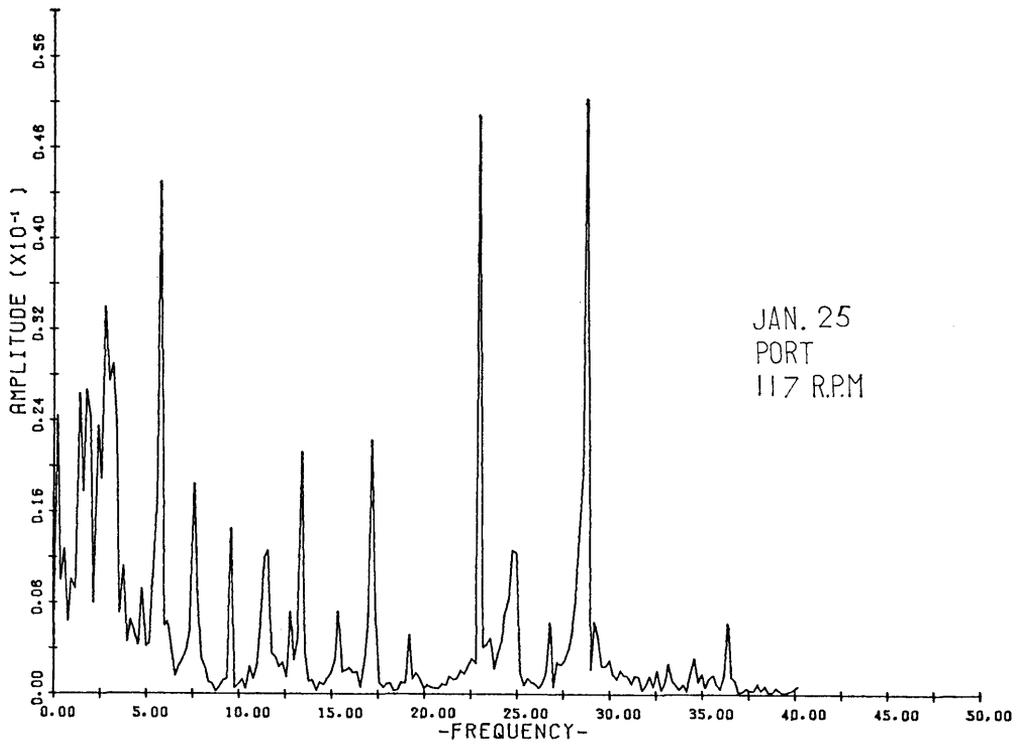


Fig. 37 a Distribution of Torque Frequency

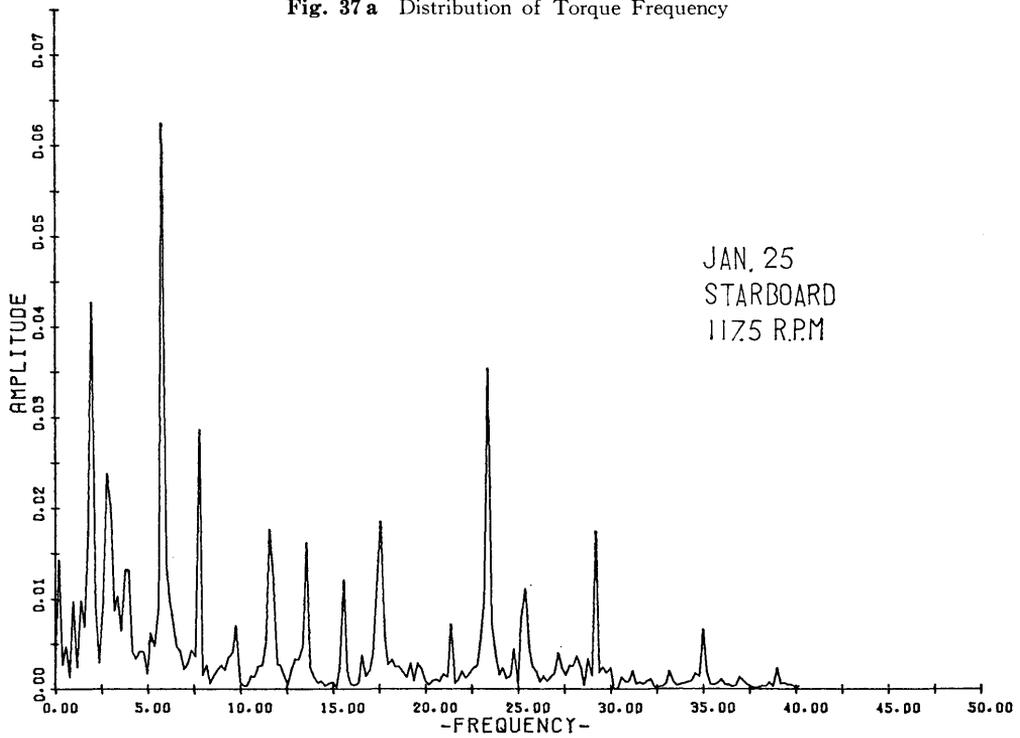


Fig. 37 b Distribution of Torque Frequency

Table 5 Temperature and Pressure of L.O. in Stern Tube Sealings

	PORT							STARBOARD							SHAFT TUN- NEL SIDE PLATE	SEA WA- TER
	AFT SEAL O. IN	STERN TUBE L.O.	AFT SEAL O. OUT	OIL BATH IN	AFT SEAL OUT	OIL BATH OUT	FORE SEAL OUT	AFT SEAL O. IN	STERN TUBE L.O.	AFT SEAL O. OUT	OIL BATH IN	AFT SEAL OUT	OIL BATH OUT	FORE SEAL OUT		
	PRESSURE Kg/cm ²			TEMPERATURE °C				PRESSURE Kg/cm ²			TEMPERATURE °C					
1975 DEC. 5	0.94	0.48	0.53	27.5	29.5	31.5	39.0	0.86	0.40	0.55	28.0	30.0	30.0	47.5		
6	0.88	0.48	0.53	32.5	37.5	38.0	49.0	1.03	0.43	0.60	33.0	37.0	35.0	53.0	21.0	22.0
7	0.91	0.47	0.53	32.5	37.0	38.5	49.5	0.76	0.43	0.55	32.5	36.0	34.0	53.0	18.0	21.0
8	0.92	0.48	0.52	32.5	36.0	37.5	49.0	0.86	0.43	0.55	32.0	35.5	52.0	52.0	19.0	20.0
9A	0.92	0.50	0.54	32.0	35.0	36.0	46.0	0.90	0.43	0.55	32.0	34.0	32.5	51.5	17.5	19.0
9B	0.92	0.48	0.53	31.0	34.0	35.0	45.0	0.87	0.43	0.55	31.0	33.0	32.0	50.0	16.0	17.0
10	0.88	0.48	0.50	30.5	30.5	33.0	42.0	0.86	0.44	0.56	30.0	30.5	30.0	46.5	18.0	19.0
11	0.85	0.48	0.52	31.5	37.5	38.0	49.0	0.78	0.43	0.56	33.0	37.0	36.0	52.5	23.0	24.0
12	0.94	0.48	0.53	33.0	42.5	41.0	52.0	0.92	0.43	0.56	34.5	40.5	38.0	56.5	23.5	24.0
13	0.84	0.48	0.53	33.0	40.0	40.0	50.0	0.91	0.43	0.56	34.0	39.5	37.0	55.0	22.0	22.0
14	0.92	0.48	0.53	32.0	38.0	38.0	48.0	0.80	0.42	0.56	33.0	38.0	36.5	54.0	20.0	21.0
15	0.88	0.48	0.53	32.0	37.0	37.5	47.0	0.77	0.42	0.57	32.5	37.0	36.0	53.0	20.0	20.0
16	0.83	0.48	0.52	33.0	39.0	39.0	50.0	0.89	0.42	0.56	34.0	39.5	37.0	55.0	23.0	25.0
17	0.80	0.48	0.52	34.0	41.5	41.0	52.0	0.82	0.42	0.56	35.0	42.0	38.0	57.0	27.0	28.0
19	0.95	0.48	0.53	35.0	43.0	41.5	54.0	0.92	0.43	0.57	36.0	43.0	39.0	58.0	25.0	24.0
20	0.90	0.48	0.52	35.0	44.0	42.0	42.0	0.94	0.43	0.57	37.0	44.0	40.0	60.0	27.0	27.0
21	(Panama Canal Passing)															27.0
22	0.94	0.48	0.52	35.0	42.5	41.0	53.5	0.93	0.43	0.57	36.0	43.0	39.0	57.0	27.0	27.0
23	0.86	0.48	0.52	34.5	42.0	41.0	52.5	0.84	0.43	0.57	36.0	42.0	38.0	56.0	25.0	25.0
24	1.00	0.48	0.54	33.0	40.0	39.0	47.5	0.93	0.43	0.57	34.0	39.0	35.0	53.0	22.0	23.0
25	0.90	0.50	0.54	28.5	25.5	29.0	35.0	0.87	0.45	0.57	27.5	27.0	24.5	39.0	9.0	12.0
28	0.82	0.40	0.54	20.0	16.0	13.5	12.0	0.86	0.33	0.57	14.0	19.0	6.0	27.5	6.5	4.0
29	0.88	0.49	0.54	25.5	22.0	27.0	14.0	0.86	0.42	0.58	22.0	25.0	23.5	37.5	5.0	4.0
31	0.89	0.49	0.54	24.0	19.0	24.0	14.0	0.86	0.38	0.58	12.0	23.0	21.5	3.50	5.0	5.0

1976																	
JAN.	3	0.92	0.46	5.53	25.0	26.0	29.0	32.5	0.79	0.40	0.57	22.5	29.0	29.0	42.0	15.0	13.0
	5	0.83	0.56	0.52	27.5	27.0	30.0	34.0	0.85	0.42	0.59	26.0	30.0	30.0	41.0	18.0	23.0
	6	0.87	0.48	0.52	34.0	40.5	39.5	50.0	0.90	0.42	0.58	32.0	44.0	42.0	51.0	24.5	26.0
	7	0.87	0.48	0.52	36.0	42.0	41.0	55.0	0.80	0.42	0.57	36.0	44.0	40.0	58.0	26.0	27.0
	8	(Panama Canal Passing)															
	9	0.94	0.49	0.53	36.0	43.0	41.0	54.0	0.95	0.43	0.58	36.0	43.0	39.0	56.0	27.0	27.0
	10	0.90	0.50	0.53	36.0	42.0	40.0	53.0	0.84	0.43	0.58	36.0	41.0	37.0	56.0	26.5	27.0
	11	0.90	0.48	0.55	36.0	42.0	40.5	54.0	0.75	0.42	0.58	36.0	42.0	38.0	56.0	27.0	27.0
	12	0.88	0.48	0.53	36.0	42.0	41.0	54.0	0.75	0.42	0.58	36.0	42.0	38.0	55.0	26.0	26.0
	13	0.94	0.48	0.54	36.0	41.0	40.0	53.0	0.80	0.42	0.58	35.0	41.0	37.0	56.0	24.0	24.0
	14	0.92	0.48	0.54	35.0	39.0	40.0	54.0	0.80	0.43	0.58	35.0	40.0	36.5	55.0	22.0	22.0
	15	0.92	0.48	0.54	34.5	37.0	38.0	51.0	0.84	0.44	0.59	34.0	38.0	35.0	54.0	22.0	22.0
	16	0.90	0.50	0.53	34.5	38.0	38.0	51.0	0.68	0.43	0.58	34.0	39.0	35.0	54.0	23.0	23.0
	17	0.90	0.49	0.53	35.0	39.0	39.0	52.0	0.69	0.43	0.57	35.0	39.0	36.0	55.0	24.0	24.0
	18	0.90	0.48	0.53	35.0	39.0	40.0	53.0	0.85	0.43	0.57	35.0	40.0	36.0	55.0	24.0	24.0
	19	0.90	0.48	0.53	35.0	39.0	39.5	52.5	0.90	0.43	0.58	35.0	40.0	36.0	55.0	24.5	24.0
	21	0.90	0.48	0.53	35.0	38.0	38.0	51.0	0.89	0.43	0.58	34.0	39.0	35.0	54.0	22.5	23.0
	22	0.90	0.50	0.53	33.0	36.0	37.0	49.0	0.75	0.43	0.57	33.0	37.0	34.0	53.5	21.0	21.0
	23	0.82	0.48	0.53	31.0	31.0	34.0	43.0	0.73	0.44	0.58	31.0	33.0	29.0	46.0	18.0	18.0
	24	0.90	0.48	0.54	31.0	32.0	34.0	45.0	0.77	0.43	0.58	30.0	33.0	30.0	46.0	18.0	19.0
	25	0.90	0.48	0.54	32.0	35.6	37.0	48.0	0.76	0.43	0.58	32.0	36.0	35.0	48.0	17.5	13.0

4.7 船尾管及び船尾管シール装置の潤滑油の作動状況

本船の船尾管は鋼板溶接構造であり、軸受はホワイトメタルで、受圧面はスロープアライメントに加工されている。船尾管シール装置はリップ形で強制循環式である。航海中の軸受及びシール部の潤滑が正常に行われているかどうかは、潤滑油の圧力及び温度状態をみれば、ある程度推定することが出来る。そこで、トルクなどの定時計測時に軸路内に設置されている計器より圧力及び温度の計測を行った。同時に軸路船側外板に温度計をそう着させて、海水温度を計測した。Table 5 にその結果を示す。オイルパス出入口温度差は左舷が $5^{\circ}\sim 7^{\circ}\text{C}$ 、右舷が 3°C であった。潤滑油の圧力は航海中大体一定に保たれ、潤滑状態は良好であった。

5. ま と め

本実船実験は大型超高速コンテナ船の研究開発に関連して、就航中の2軸コンテナ船の負荷変動と船尾軸系挙動の実態を知ることを主目的として実施されたものである。

幸い、供試船は前年度において実施した実船試験船と同一船であったため、前年度乗船者の貴重な経験を参考にすることが出来た。

計測は実験者が船に対して特別に注文をせず、平常のままの運航状態において行うことになっていたが、船長の御好意により旋回時の負荷変動計測、軸—軸受間の電位計測及び前年度に続いての八方向航走試験を加えることが出来た。

荒れる冬期を計測時期に選んだにしては穏やかな日が多かったと思われる。しかし、復航時には、かなり激しい縦揺れに遭遇し、貴重なデータを得ることができた。

試験結果をまとめると下記のようになる。

- (1) 太平洋航行時の軸出力をみると往航時は右舷軸が大きく、復航時には反対に左舷軸が大きくなっている。この原因のひとつとして、太平洋航行中の本船は北側より風を受ける場合が多い点があげられる。
- (2) 荒天による減速運航及び変針の行われた状態は、風力階級8以上であった。
- (3) 縦揺れの激しい荒天時、軸回転数 76 rpm (定格の約1/4出力)で航行中の軸トルク最大変動幅は、左舷軸が約 45 ton-m、右舷軸は約 65 ton-m であり、軸回転数 54 rpm のときは両軸とも約 70 ton-m であっ

た。

また、同状況下において Pitch 全振幅 8° 船尾部上下加速度全振幅 1.68 g を計測した。

(4) 負荷変動の要因としては、Roll よりも Pitch が大きく影響し、Pitch が大きくなると軸トルク、船尾部上下加速度、軸曲げモーメントは Pitch に同期して変動する。

(5) Roll の周期は 15~26 sec、Pitch の周期は 7.5~12 sec の範囲におさまっている。

(6) 風力階級 5~6、海象 rough の条件で定格出力に近い状態での八方向航走試験の結果、トルクの平均値の方向による変動は8%以内であり、両軸間のトルク平均値の比は2.5%以内であるが、左舷方明より風を受けるときは右舷軸より左舷軸が小さく、右舷方向より風を受けるときは右舷軸より左舷軸が大きい傾向を示す。

なお、回転数の変動は 0.5% 以内である。

(7) 軸回転数を一定に保持しながら、直進より舵角を 15° に切り、旋回を行った時、回頭側の軸トルクは直進時よりも増大し、反回頭側の軸トルクは直進時よりも減少する。また、船尾側軸の曲げモーメントは回頭側はかなり増加するが、反回頭側はほとんど変化しない。

(8) 軸—軸受間の電位差試験によると、船尾管軸受のメタルタッチは軸回転数約 24 rpm 以下において生じている。

(9) 軸系アライメントでプロペラ外力に影響される範囲は最後部中間軸受より船尾側と考えられる。

(10) 軸回転数 76 rpm、98.5 rpm の計測トルクには振り振動成分が重畳している。しかし、その値は材料強度的な面から問題になるような値ではない。

なお、本報告の解析の一部は当所計算センター TOSBAC-5600 を使用した。

謝 辞

本実船実験に協力していただいた日本船主協会と実船実験の準備から計測機器撤去までお世話になった日本郵船株式会社並びに黒部丸第21次航の大森信船長、松井弘機関長、戸上泰弘一等航海士をはじめとして船員の方々に厚く感謝の意を表します。

実験計画にあたっては、三菱神戸の鷲見倫一主務(当時)より貴重な御意見と資料をいただき、実験準備にあたっては三井造船株式会社由良工場の関係の方々にお世話になり、さらに、御助言、御協力をいただい

た当研究所，野中健美主任研究官，山口真裕主任研究官をはじめ機関性能部の方々及び関係した方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 井ノ内一雄他：北太平洋実船試験（高造コンテナ船主機関の変動）報告，第19回船舶技術研究所研究発表会講演概要，昭和47年5月。
- 2) 翁長一彦他：コンテナ船穂高丸による北太平洋実船試験について，船舶技術研究所報告，第12巻，第5号，昭和50年9月。
- 3) 上田隆康他：大型超高速船えるべ丸の実船試験，第24回船舶技術研究所研究発表講演集，昭和50年9月。
- 4) 日本造船研究協会：研究資料 No. 125 (昭和46年3月)，No. 157 (昭和47年3月)，No. 171 (昭和49年3月)，No. 188 (昭和49年3月)，No. 211 (昭和50年3月)。
- 5) 山口真裕他：大型高速コンテナ船黒部丸による実船試験——負荷変動について——，船舶技術研究所報告，第14巻，第3号，昭和52年5月。
- 6) 久米 広：船の軸系の曲げモーメントおよび曲げ応力の大きさと変動の様相。
- 7) 日本造船研究協会 第143研究部会：軸系アライメントの設定基準に関する研究，研究資料 No. 225，昭和50年3月。
- 8) 日本造船研究協会 第167研究部会：多軸船の軸系設計，工作基準に関する研究，研究資料 No. 281，昭和52年3月。
- 9) 日本造船研究協会 第114研究部会：推進軸系内設計条件に関する研究，研究資料 No. 131，昭和46年3月，研究資料 No. 149，昭和47年3月。
- 10) 百武次郎他：21万DWtタンカー船尾管軸受と軸の相対変位計測，三菱重工技報 Vol. 8, No. 6.
- 11) 矢崎敦生他：ニューヨーク定期貨物船大島丸による北太平洋航海性能実船試験について，船舶技術研究所報告，第1巻，第3・4号，昭和39年7月。
- 12) 小川陽弘他：コンテナ船あめりか丸による北太平洋航海性能試験，船舶技術研究所報告，第8巻，第2号，昭和46年3月。
- 13) 上記12) 第2報：船舶技術研究所報告，第8巻，第2号，昭和41年3月。
- 14) 上記12) 第3報：船舶技術研究所報告，第9巻，第3号，昭和47年5月。
- 15) 日本造船研究協会 第142研究部会：船尾構造の剛性・変形量・船尾形状に関する研究，研究資料 No. 203，昭和49年3月。
- 16) 日本造船研究協会報告 第61号，昭和42年3月。
- 17) 鷲見倫一：軸系に対するプロペラの水力作用，日本船舶用機関学会誌 第13巻，第9号，昭和53年9月。
- 18) 吉野泰平他：高速コンテナ船の斜め波中におけるスラスト・トルクに関する模型実験—— $L/B=8$ の1軸および2軸船について，船舶技術研究所，第11巻，第4号，昭和49年7月。
- 19) 赤崎 繁：船体旋回学，海文堂。
- 20) 関東造船研究会 軸系小委員会編：推進軸系標準，成文堂書店。
- 21) 関西造船協会 造船研究委員会編：商船機関部軸系，海文堂。