

# 自動車専用運搬船の波浪中における 推進性能に関する模型試験

門井 弘行\*・武井 幸雄\*・岡本三千朗\*  
堀 利文\*・牧野 雅彦\*・足達 宏之\*\*

## Model Tests on the Propulsive Performance of a Pure Car Carrier in Waves

By

Hiroyuki KADOI, Yukio TAKEI, Michio OKAMOTO,  
Toshifumi HORI, Masahiko MAKINO and Hiroyuki ADACHI

### Summary

In order to investigate the propulsive performance of a pure car carrier, propeller open water tests under various conditions, wake surveys in still water, resistance tests and propeller load varying tests in still water as well as in regular head waves were carried out.

As the results of the tests, following conclusions were obtained.

1) Propeller performance in regular head waves as well as at forced surge oscillations, concerning not only the mean values but also the time histories, can be expressed by using the results of propeller open water test.

2) Effects of the position of measuring plane, ship speed and rudder on the wake distributions were clarified.

3) Thrust deduction fraction defined by resistance under towing condition in waves did not agree with that in still water.

4) Propeller interaction factor  $B_o$  for hull of ship as well as  $\bar{C}_o$  for wake in waves were identical with those in still water.

### 目 次

目 次	頁	記 号
1. まえがき	16	$A_p$ プロペラ全円面積
2. 供試模型および試験状態等	17	$a_E$ プロペラ展開面積比
3. プロペラ単独試験	17	$a_0$ 多項式の係数
3.1 平水中プロペラ単独試験	17	$a_1$ 同 上
3.2 正面規則波中プロペラ単独試験	17	$a_2$ 同 上
3.3 強制前後揺状態下のプロペラ単独試験	18	$B$ 船の型幅
4. 伴流計測	23	$\bar{B}_0$ 船体とプロペラの干渉係数
5. 平水中抵抗およびプロペラ荷重度変更試験	23	$C_B$ 方形係数
6. 波浪中抵抗およびプロペラ荷重度変更試験	25	$C_{FOM}$ 相等平板の摩擦抵抗係数： $R_{FO}/(\frac{1}{2}\rho SV^2)$
7. むすび	32	$C_G$ 船体とプロペラの干渉に基づく抵抗増加係数
8. 参考文献	35	$\bar{C}_o$ 伴流とプロペラの干渉係数
		$C_{Rd}$ 抵抗差係数： $(R_c - R_0)/(\frac{1}{2}\rho A_p V^2)$
		$C_T$ スラストを基準にしたプロペラ荷重度；

\* 推進性能部, \*\* 海洋開発工学部

原稿受付：昭和61年3月4日

	$T / (\frac{1}{2} \rho A_p V^2)$
$C_{TM}$	全抵抗係数: $R_T / (\frac{1}{2} \rho S V^2)$
$C_{VM}$	粘性抵抗係数: $R_V / (\frac{1}{2} \rho S V^2)$
$D$	船の型深さ又はプロペラ直径
$D_P$	プロペラ直径
$F_n$	フルード数: $V / \sqrt{L_{DWL} g}$
$F_{RX}$	舵の抵抗
$f$	振動周波数
$f_o$	波周波数
$f_s$	前後揺周波数
$G(T)$	船体とプロペラの干渉に基づく抵抗増加量
$g$	重力加速度
$H_W$	波高
$J$	プロペラ前進係数: $V_A / (n D_P)$
$J(t)$	時間 $t$ における前進係数
$K_T$	スラスト係数: $T / (\rho n^2 D_P^4)$
$K_T(t)$	時間 $t$ におけるスラスト係数
$K_Q$	トルク係数: $Q / (\rho n^2 D_P^5)$
$K_Q(t)$	時間 $t$ におけるトルク係数
$L$	船長
$L_{DWL}$	計画満載喫水線上長さ
$L_{PP}$	垂線間長さ
$n$	プロペラ回転数
$N_{AW}$	波浪中回転数増加量
$P_{0.7}$	半径比0.7におけるピッチ比
$Q$	トルク
$Q_{AW}$	波浪中トルク増加量
$R$	船体抵抗
$R_{AWC}$	プロペラ荷重度変更試験時の波浪中抵抗増加量
$R_{AWO}$	抵抗試験時の波浪中抵抗増加量
$R_C$	プロペラ荷重度変更試験時の抵抗
$Rn$	レイノルズ数
$R_o$	曳航状態の抵抗
$r_w$	造波抵抗係数: $R_w / (\rho \nabla^{2/3} V^2)$
$S$	浸水表面積
$T$	スラスト
$T_{AW}$	波浪中スラスト増加量
$T_E$	出合周期
$T_S$	前後揺周期
$t_R$	推力減少率; $(R - R_o) / T$
$t_T$	推力減少率; $(R - R_C) / T$
$\bar{U}_{ao}$	$C_T = 0$ における $(1 - w)$
$V$	船速
$V_A$	プロペラ前進速度
$V_R$	半径方向速度成分

$V_T$	周方向速度成分
$V_X$	軸方向速度成分
$w$	伴流率: $1 - (V_A / V)$
$X_a$	前後揺量 (半振幅)
$x_B$	ボス比
$Z$	プロペラ翼数
$Z_a$	上下揺量 (半振幅)
$\Delta J$	前進係数変動量
$\Delta K_T$	スラスト係数変動量
$\Delta K_Q$	トルク係数変動量
$\epsilon_X$	前後揺の位相
$\epsilon_Z$	上下揺の位相
$\epsilon_\theta$	縦揺の位相
$\zeta_a$	波の片振幅
$\eta_o$	プロペラ単独効率
$\eta_R$	プロペラ効率比
$\theta$	プロペラの回転角
$\theta_a$	縦揺角 (半振幅)
$\lambda$	波長
$\rho$	流体の密度
$\nabla$	排水量

## 1. ま え が き

近年、自動車専用運搬船を代表とする高速船に装備されたプロペラの翼損傷事故例がいくつか報告<sup>1)</sup>されている。損傷解析<sup>1)</sup>の結果によれば、これらの事故は極端な力が突発的に翼に加わったために生じたものではなく、波動、船体運動、船尾伴流分布等に基づく繰り返し荷重がプロペラ翼に加わったために生じた疲労破壊と推測されている。

従って、高速船のプロペラに対しては、プロペラ翼の強度設計基準に波浪中を航行するさいにプロペラ翼に加わる変動高荷重を考慮する必要があると考えられる。このためには、波浪中におけるプロペラ荷重度増加の推定、プロペラ負荷変動の推定等が重要な課題となる。

このような問題を検討する場合、広い範囲の荷重条件下での推進性能を求める必要がある。そこで、推進性能部においてプロペラ荷重度変更試験法<sup>2)</sup>を基礎として波浪中船型試験システムを開発した<sup>3)</sup>。そして、この船型試験システムにより、三鷹第2船舶試験水槽において大型模型船を用いて平水中および正面規則波中の抵抗試験、自航試験、船尾伴流分布計測および各種状態下でのプロペラ単独試験を実施し、高速船の波浪中における推進性能について検討を行った。

## 2. 供試模型および試験状態等

試験に使用した模型は、垂線間長さ6mの自動車専用運搬船の木製模型船で、その主要目、試験状態等をTable 2.1に、試験項目をTable 2.2に示す。

**Table 2.1** Principal particulars of P. C. C. and test condition

1 Principal particulars of P.C.C.		
	Model	Ship
Length : $L_{PP}$ (m)	6.0000	174.000
Length : $L_{DWL}$ (m)	6.1552	178.500
Breadth : $B$ (m)	1.1034	32.000
Draft : $d$ (m)	0.3103	9.000
Block coefficient : $C_B$	0.5144	
Prop. diameter : $D_P$ (m)	0.2014	5.840
Boss ratio : $x_B$	0.180	
Pitch ratio (0.7R) : $P_{0.7}$	0.977	
Exp. area ratio : $a_E$	0.690	
Number of blades : $z$	5	
Blade section	MAU-M	
2 Test condition		
Fully loaded condition		
Draft (m)	0.3103	9.000
Trim (m)	0	0
Displacement ( $m_3$ )	1.0585	25816.5
Wetted surface area ( $m_2$ )	6.9366	5833.7

## 3. プロペラ単独試験

波およびプロペラの運動がプロペラ特性に及ぼす影響を調べるために、平水中、正面規則波中(運動固定)および平水中強制前後揺状態下でのプロペラ単独試験を実施した。

### 3.1 平水中プロペラ単独試験

常用の小型プロペラ単独試験動力計を使用し、プロペラ回転数  $n$  を毎秒18回転に保ち、プロペラ前進速度  $V_A$  を変化させてスリップ比が0~100%に対応した前進係数  $J$  の範囲についてプロペラのスラスト  $T$  およびトルク  $Q$  の計測を行った。試験結果を通常の無次元表示にして Fig. 3.1 に示す。このプロペラ特性曲線図は本船の推進性能解析の基本的資料となるものである。

### 3.2 正面規則波中プロペラ単独試験

波形計測用プロペラ曳航装置を使用して正面規則波中で、プロペラ前進速度を一定とし、プロペラ回転数

**Table 2.2** Kind of tests

### 1. Propeller open water tests

Kind of tests	$f$ (Hz)	$J$	$V_A$ (m/s)	$n$ (rps)
POT* in still water		0 } 1.05	0 } 3.8	18.0 const.
POT in regular head waves	0.72 0.59 0.51	0.3 0.4 0.5	1.24 const.	20.5 15.4 12.3
Hw = 6cm	0.46	0.6		10.3
9cm	0.42			
12cm	0.39			
POT at forced surge oscillation	0.72 0.51 0.46 0.42	0.3 0.4 0.5 0.6	1.21 const. 0.72 } 1.45	20 } 10 12.0 const.
2 xa = 9 cm 12 cm				

### 2. Wake surveys

Prop. position (P.P.)	$V$ (m/s)	Rudder
P.P.	1.215	without
P.P.	1.735	without
P.P.	1.735	with
0.2D fore P.P.	1.735	without

### 3. Resistance & propeller load varying tests

	Kind of tests	$F_n$	Hw/L	$\Delta/L$
in still water	Resistance test	0.05 } 0.27		
	Propeller load varying test	0.16 } 0.26		
in regular head waves	Resistance test	0.18 0.223	1/100 1/66.7 1/50	0.83 } 1.75
	Propeller load varying test	0.18 0.223	1/66.7 1/50	0.83 } 1.75

\* Propeller open water test

を変化させて前進係数を設定し、その時のプロペラのスラストおよびトルクの時間的変動値を計測した。

計測は、波高  $H_w$  が6 cm, 9 cmおよび12cmの3状態、波長  $\lambda$  が3m, 4.5m, 6m, 7.5m, 9mおよび10.5mの6状態、前進係数が0.3, 0.4, 0.5および0.6の4状態で、合計72状態について行った。

試験結果の数例を以下に示す。

Fig. 3.2に前進係数  $J$  にたいするスラスト係数  $K_T$  およびトルク係数  $K_Q$  の時間的平均値を、Fig. 3.3に波長  $\lambda$  にたいするスラスト、トルクの時間的平均値を、Fig. 3.4に波高比 ( $H_w/D_P$ ) にたいするスラスト、トルクの時間的平均値を示す。これらの図より、正面規則波中のプロペラ単独特性の時間的平均値は平水中のプロペラ単独特性とほとんど変わらないこと、また、波長、波高の変化の影響はきわめて小さいこと等が判る。

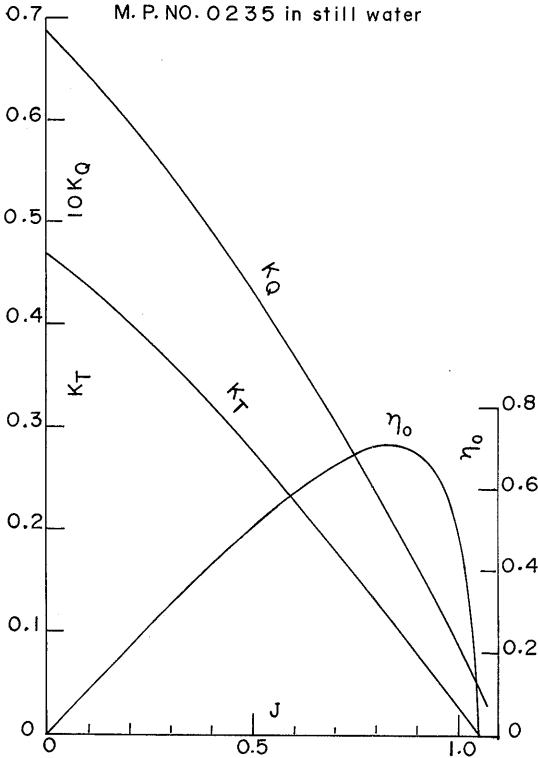


Fig. 3.1 Results of POT in still water

Fig. 3.5 に波高比 ( $H_w/D_p$ ) にたいする, また, Fig. 3.6 に波とプロペラの出合周期  $T_E$  にたいするスラスト係数およびトルク係数の変動値(複振幅):  $\Delta K_T, \Delta K_Q$  を示す。これらの図より, スラストおよびトルクの変動値は, 波高に比例してほぼ直線的に増加すること, 波とプロペラの出合周期(または波長)による変化はかなり小さいこと等が判る。

次に, プロペラ特性の時々刻々の変化を調べた。まず, 平水中のプロペラ単独試験結果からプロペラ前進係数  $J$  とスラスト係数  $K_T$  の関係を下式のように 2 次式で表しておく。

$$J = a_0 + a_1 K_T + a_2 K_T^2 \quad (3.1)$$

正面規則波中で作動するプロペラの時々刻々のスラストおよびトルクを計測し,  $K_T(t)$  および  $K_Q(t)$  を求める。そして, スラスト一致法により (3.1) 式から時々刻々のプロペラ前進係数  $J(t)$  を計算する。計算結果の 1 例を Fig. 3.7 に示す。また, この  $J(t)$  を横軸に  $K_T(t), K_Q(t)$  を置点し, 平水中のプロペラ単独特性曲線と比較して Fig. 3.8 に示す。この図より, 正面規則波中のプロペラ特性は, 時間的平均値だけでなく, 時々刻々の値も, スラスト一致法により平水中のプロペラ単独特性を用いて表現することができることが判る。

### 3.3 強制前後揺状態下のプロペラ単独試験

平水中で, プロペラポートと強制動揺試験機を用い,

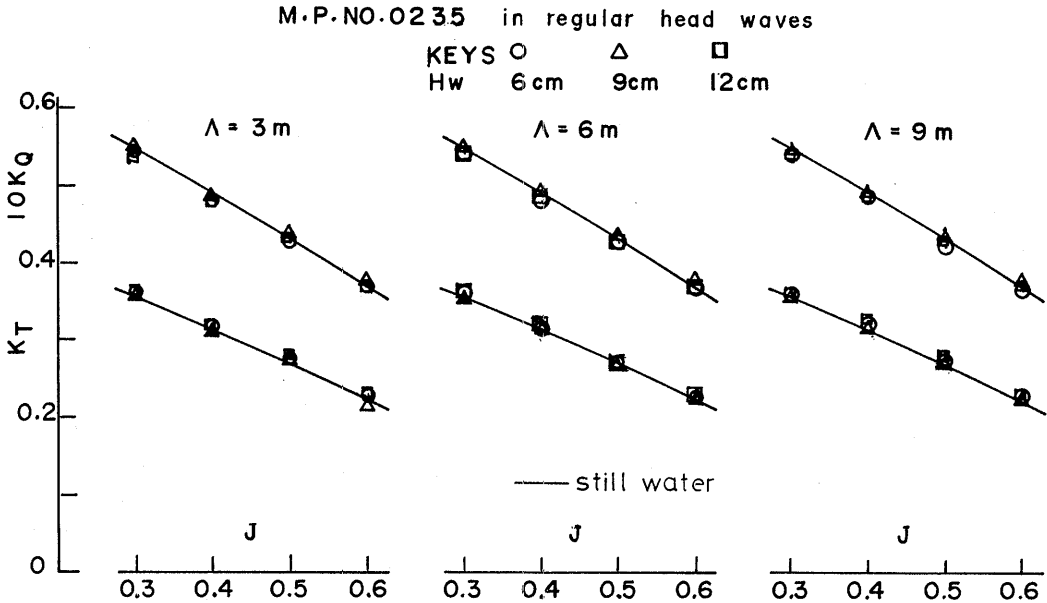


Fig. 3.2 Results of POT in regular head waves

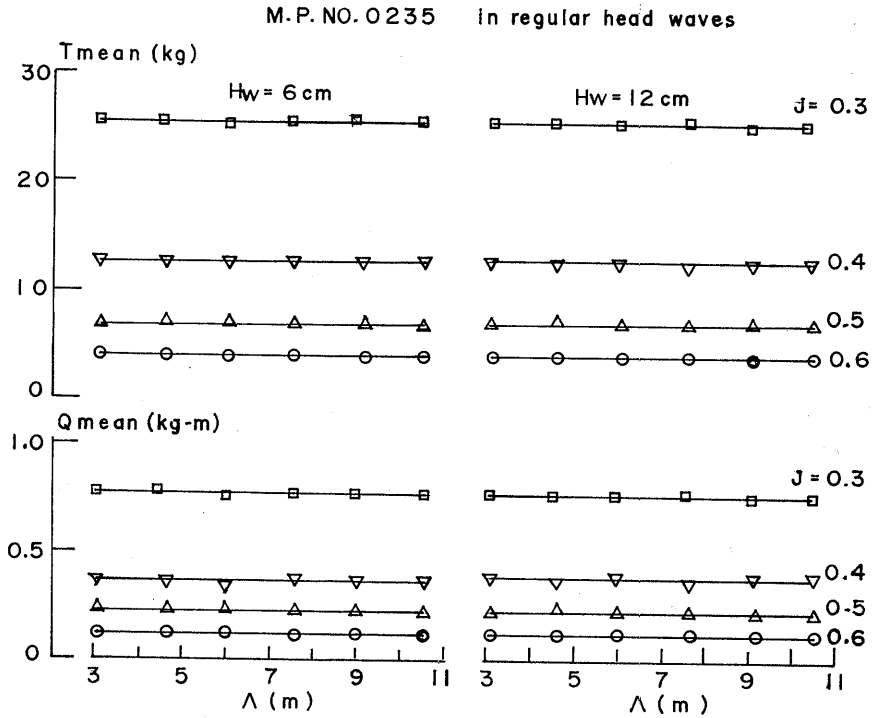


Fig. 3.3 Mean values of T & Q versus  $\Lambda$  in regular head waves

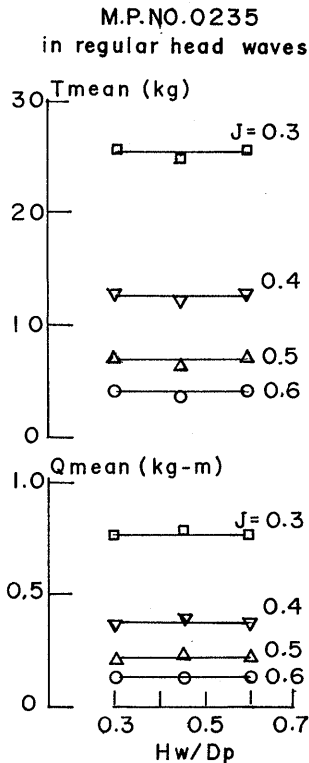


Fig. 3.4 Mean values of T & Q versus  $H_w$  in regular head waves

プロペラを強制的に前後揺れさせた状態でプロペラ単独試験を実施した。試験装置の概略図を Fig. 3.9 に示す。

強制動揺周波数： $f_s$ は、波長が3m, 6m, 7.5mおよび9mの正面規則波の波周波数： $f_0$ と同じ値、すなわち  $f_s = 0.72\text{Hz}$ ,  $0.51\text{Hz}$ ,  $0.46\text{Hz}$ および  $0.42\text{Hz}$ とし、強制前後揺量（複振幅）： $2X_a$ を9cmおよび12cmとした。

試験はプロペラ前進速度を毎秒1.21m一定とし、プロペラ回転数を変化させてプロペラ前進係数を設定した場合と、プロペラ回転数を毎秒12回転一定とし、プロペラ前進速度を変化させて前進係数を設定した場合について行った。

試験結果として、 $2X_a = 9\text{cm}$ で、プロペラ前進速度一定の場合を Fig. 3.10 に、プロペラ回転数一定の場合を Fig. 3.11 に示す。

プロペラ前進速度一定の場合は、スラスト変動  $\Delta K_T$ 、トルク変動  $\Delta K_Q$ ともに、前進係数が増加するに従って増加するのについて、プロペラ回転数一定の場合は  $J$  にたいして  $\Delta K_T$ ,  $\Delta K_Q$  はほとんど一定の傾向を示している。前進速度一定の場合は前進速度変動  $\Delta V_A$

M.P. NO. 0235 in regular head waves

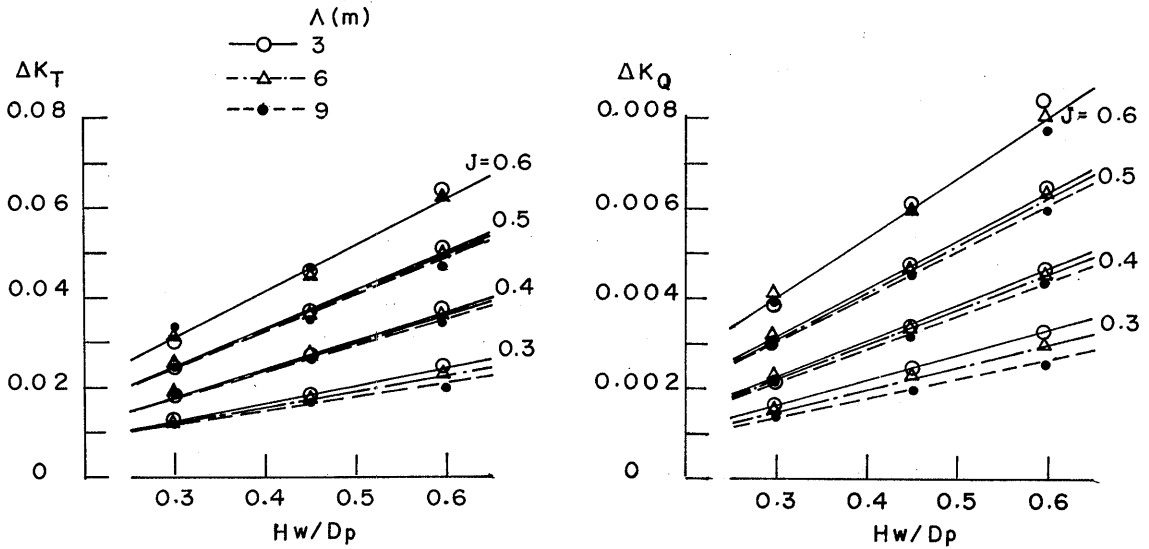


Fig. 3.5 Fluctuations of T & Q versus  $H_w$  in regular head waves

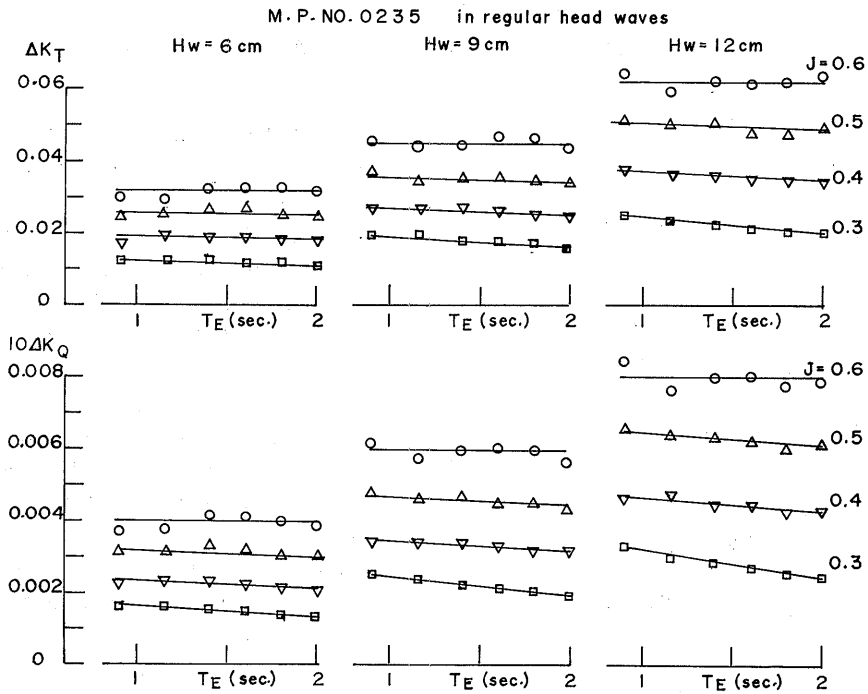


Fig. 3.6 Fluctuations of T & Q versus  $T_E$  in regular head waves

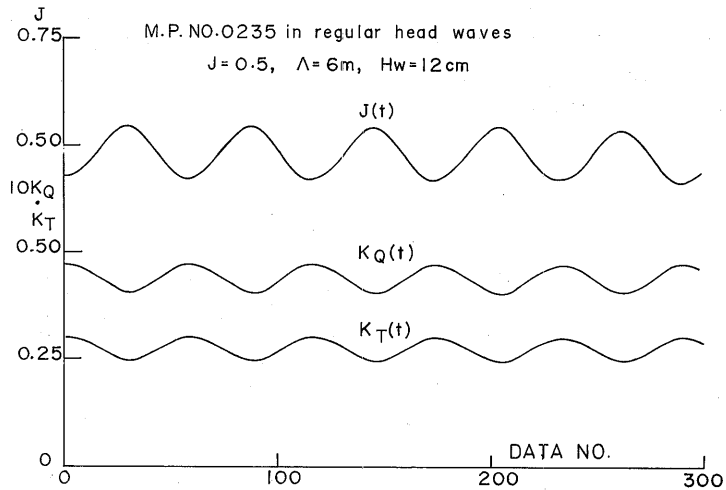


Fig. 3.7 Fluctuations of T, Q & J in regular head waves

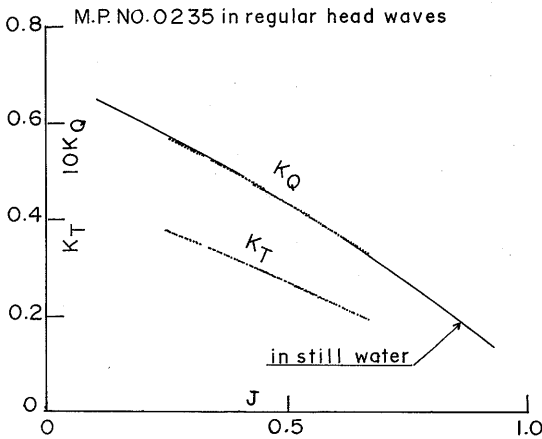


Fig. 3.8 Results of POT in regular head waves

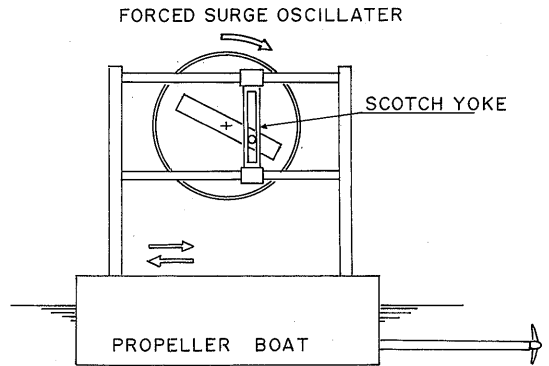


Fig. 3.9 Testing apparatus at forced surge oscillation

は一定であり、回転数が大、すなわち前進係数の小さい場合には前進係数変動が  $\Delta J$  は小さく、したがって  $\Delta K_T$ ,  $\Delta K_Q$  は小さくなる、一方、回転数が小（前進係数が大）の場合は  $\Delta J$  は大きく、 $\Delta K_T$ ,  $\Delta K_Q$  も大きくなる。回転数一定の場合は、プロペラの前進速度が変化しても前進速度変動の絶対値はほとんど変わらず、したがって  $\Delta J$  がほぼ一定であり、前進係数が変わっても  $\Delta K_T$ ,  $\Delta K_Q$  はあまり大きく変化しないと考えられる。

また、前進速度一定の場合も、プロペラ回転数一定の場合も、前進係数が一定の時にプロペラの運動の周

期が小さくなる（運動の周波数が高い）に従ってスラスト変動  $\Delta K_T$ 、トルク変動  $\Delta K_Q$  は大きくなる。

次にプロペラが運動（前後揺）している場合の時々刻々のプロペラ特性の変化を調べた。計算方法は、正面規則波中のプロペラ単独試験結果の解析に用いた手法と同一である。計算結果の1例を Fig. 3.12 および Fig. 3.13 に示す。この図より、プロペラが運動（前後揺）している場合に、プロペラ特性の時間的平均値も時々刻々の値も平水中のプロペラ単独特性によって表現できることが判る。

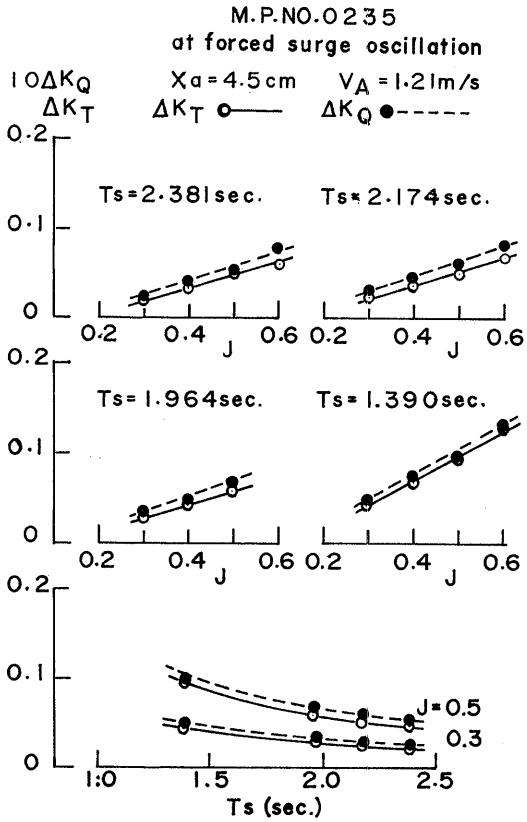


Fig. 3.10 Fluctuations of T & Q at forced surge oscillation

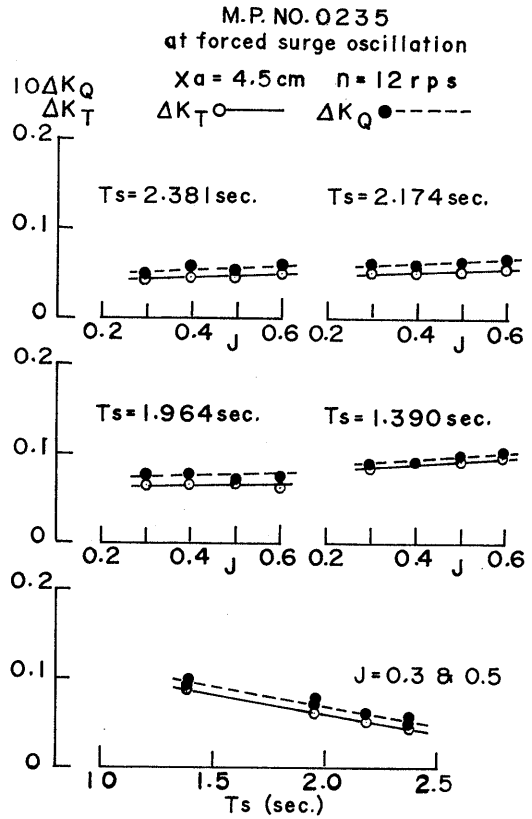


Fig. 3.11 Fluctuations of T & Q at forced surge oscillation

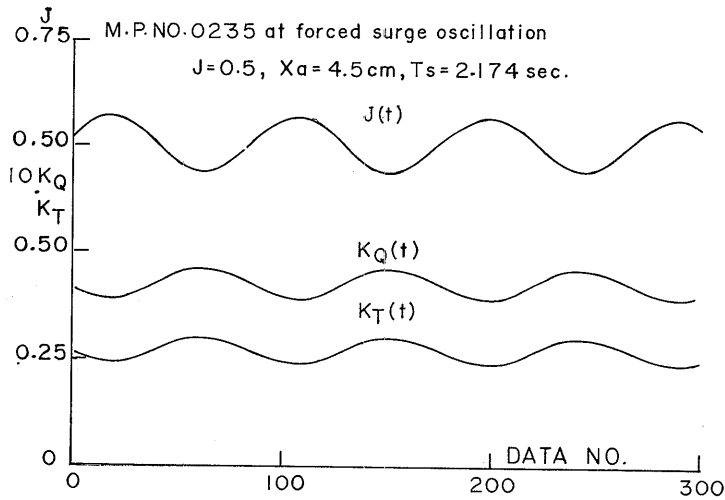


Fig. 3.12 Fluctuations of T, Q & J at forced surge oscillation



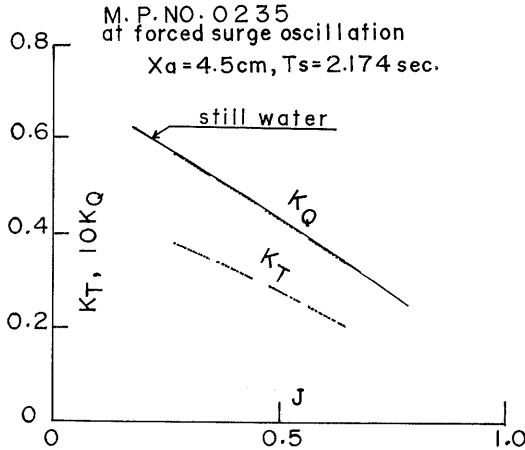


Fig. 3.13 Results of POT at forced surge oscillation

なお、プロペラを強制動揺させた場合、動力計も一諸に動揺するため、動力計の機構から生ずる見掛けの負荷変動量が実験値に含まれてしまう。そこでプロペラの代りに等価重量のグミーボスを装着した状態で強制動揺試験を行い、その結果から修正量を求め実験値を補正した。

4. 伴流計測

平水中において、球型5孔管を使用して模型船船尾の伴流分布計測を行った。

計測は、(1)船速  $V=1.215m/s$  および  $1.735m/s$  で舵無、プロペラ位置、(2)船速  $V=1.735m/s$  で舵無、プロペラよりプロペラ直径の20% ( $0.2D_p$ ) 前方位置、(3)船速  $V=1.735m/s$ 、舵付、プロペラ位置の4状態について行い、伴流分布にたいする船速の影響、計測面位置の影響、舵の有無の影響を検討した。伴流分布と  $0.7R$  における各流速成分をFig. 4.1に示す。この図より、

i 船速を変化させた場合、半径方向の流速成分  $V_r/V$  はあまり変わらないが、軸方向流速成分  $V_x/V$  は、船速の大きい場合に大きな値を示し、レイノルズ数の影響が多少現われている。

ii 計測面をプロペラ位置およびプロペラ位置より  $0.2D_p$  前方にとった場合、この程度の位置の変化が伴流分布に及ぼす影響はきわめて少ない。

iii 舵付の場合は、舵の排除効果により舵無しの場合に比べて top ( $\theta=0^\circ$ ) 付近および bottom ( $\theta=180^\circ$ ) 付近で伴流分布および軸方向流速成分に違いがみられ、流速が小となっている。

5. 平水中抵抗およびプロペラ荷重度変更試験

変動抵抗動力計を使用し、平水中抵抗試験を実施した。試験結果として全抵抗係数  $C_{TM}$  を Fig. 5.1に、造波抵抗係数  $r_w$  を Fig. 5.2に示す。摩擦抵抗算式は Schoenherr の式を用い、低速抵抗試験結果より求めた形状影響係数  $K=0.20$  を用いて3次元解析を行った。

また、変動抵抗動力計と高馬力自航試験動力計を使用して、平水中のプロペラ荷重度変更試験を実施した。模型船は船速一定で抵抗動力計で曳引され、プロペラ回転数を変化させてプロペラ荷重度を変更し、その時の模型船曳引力  $R_M$ 、プロペラのスラスト  $T$ 、トルク  $Q$  および回転数  $n$  を計測した。試験結果を Fig. 5.3および Fig. 5.4に示す。

今、船が一定速度  $V$  で航走している時、(船+プロペラ)系の全抵抗  $R$  はスラスト  $T$  と曳引力  $R_M$  の和である。

$$R = T + R_M \tag{5.1}$$

$T = 0$  のときの全抵抗を  $R_c$  とすると、船体とプロペラの干渉に基づく抵抗増加量  $G(T)$  は、

$$G(T) = R - R_c \tag{5.2}$$

によって求められる。実験値より求めた  $G(T)$  を  $C_G = G(T) / (\frac{1}{2} \rho A_p V^2)$  のように無次元化して Fig. 5.5に示す。ここに  $\rho$  = 流体の密度、 $A_p$  = プロペラ全円面積。

理論的考察<sup>2)</sup>に基づく、 $C_G$  は  $C_T$  の関数として次式のように与えられる。

$$C_G = \bar{E}_0 (-\bar{U}_{a0} + \sqrt{C_T + \bar{U}_{a0}^2}) \tag{5.3}$$

$\bar{E}_0$  = 船体とプロペラの干渉を表わす係数

$\bar{U}_{a0} = C_T = 0$  における伴流係数 (Fig. 5.6)

また、伴流係数:  $(1-w)$  は、次式で与えられる。

$$1-w = \bar{U}_{a0} + \bar{C}_0 (-\bar{U}_{a0} + \sqrt{C_T + \bar{U}_{a0}^2}) \tag{5.4}$$

$\bar{C}_0$  = 伴流にたいするプロペラの干渉を表わす係数

Fig. 5.7にスラスト一致法により求めた伴流係数の実験値を示す。図中の実線は fitting 法により求めた  $\bar{C}_0 = 0.080$  の値および Fig. 5.6により与えられる  $\bar{U}_{a0}$  の値を用い、(5.4) 式により計算した値を示したものである。

プロペラ無しの状態で、一定速度で曳航されるとき船の抵抗を  $R_0$  とすると、通常、推力減少率は次のように定義される。

(256)

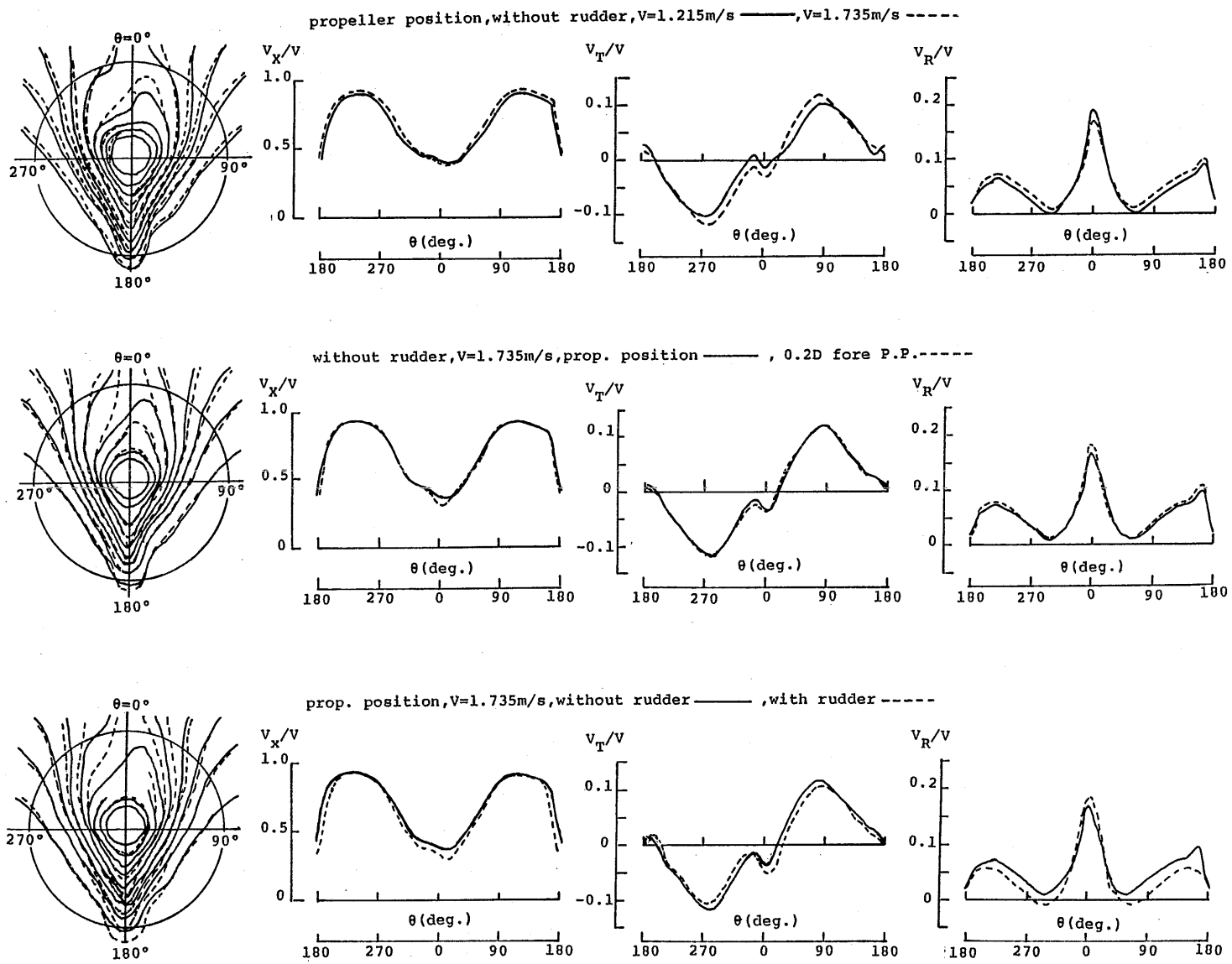


Fig. 4.1 Wake contours and velocity components at  $0.7R$  of the propeller

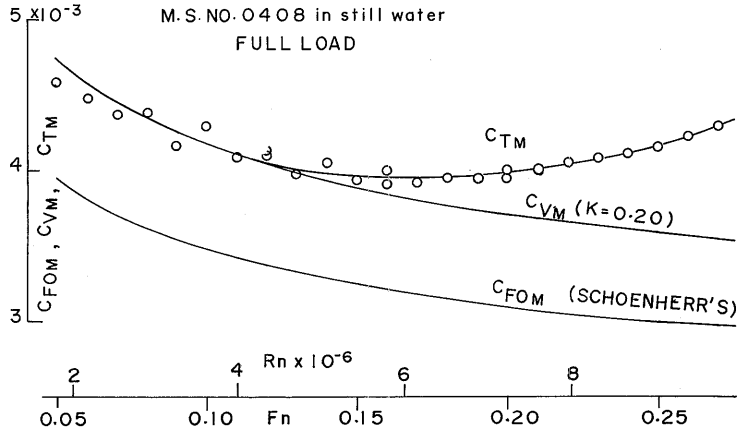


Fig. 5.1 Results of the resistance tests

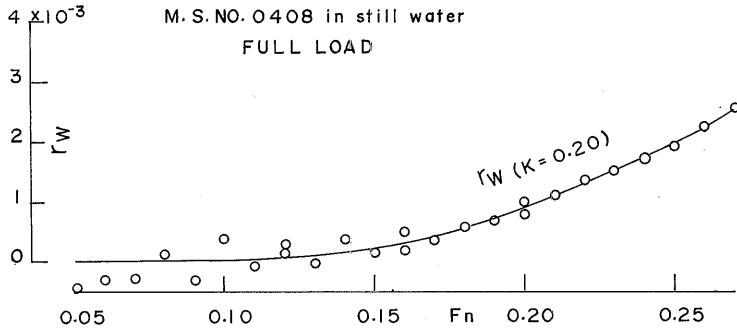


Fig. 5.2 Wavemaking resistance coefficient

$$t_r = (R - R_0) / T \tag{5.5}$$

また、プロペラ荷重度変更試験より、船体とプロペラの干渉に基づく抵抗増加量は (5.3) 式により求まるから、これを用いて、次のように推力減少率を定義することもできる。

$$t_r = (R - R_c) / T = C_G / C_T \tag{5.6}$$

(5.5) 式および (5.6) 式の定義による推力減少係数の実験値を Fig. 5.8 に示す。図中の実線は、Fig. 5.6 により与えられる  $\bar{U}_{a0}$  と fitting 法により求めた  $\bar{R}_0 = 0.278$  の値を用い、(5.3) 式および (5.6) 式より計算した推力減少率であり、破線は実験点を結んだ fairing line である。

Fig. 5.9 にプロペラ効率比  $\eta_R$  を、Fig. 5.10 に実船の自航点における自航要素を示す。

なお、今回は (舵 + プロペラ) 系を推進器と考え、舵付模型船で試験を行い、上記の諸式を適用したのて上述 (後述の波浪中の試験も同様の手法で実施した) の諸係数は舵の影響を含んだものとなっている。

### 6. 波浪中抵抗およびプロペラ荷重度変更試験

正面規則波中において、Fig. 6.1 に示す曳航装置を使用して抵抗試験を、また、曳航装置と高馬力自航動力計を使用してプロペラ荷重度変更試験を実施した。

船体運動の計測結果を Fig. 6.2(a), (b) に示す。この計測結果より、船体運動量はほぼ波高に比例すること、抵抗試験時とプロペラ荷重度変更試験時で船体運動はほとんど変わらないこと、船体運動にたいするプロペラ荷重度の影響は無いこと等が判る。

プロペラ荷重度変更試験結果の 1 例として、 $F_n =$   
(257)

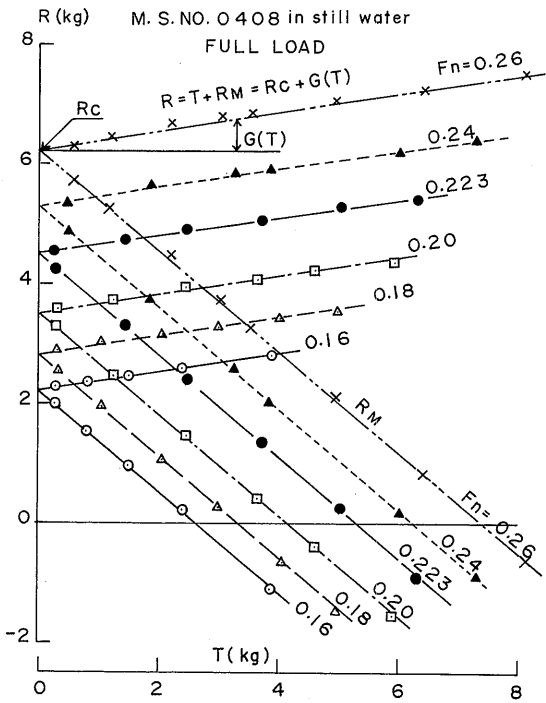


Fig. 5.3 Results of the propeller load varying tests ( $R$  vs  $T$ )

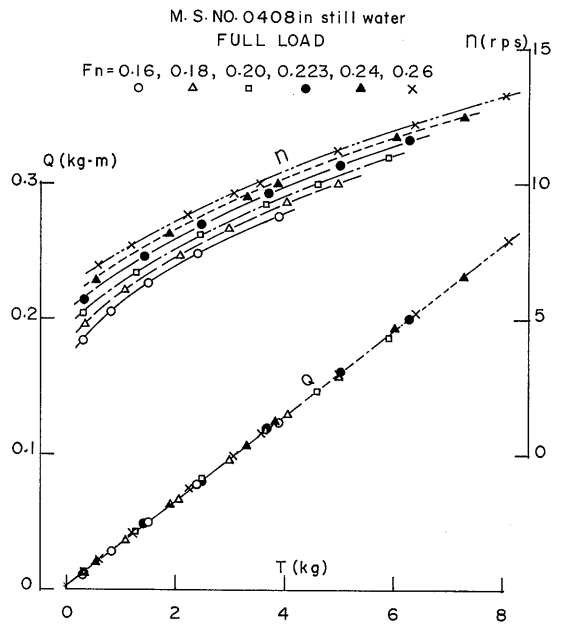


Fig. 5.4 Results of the propeller load varying tests ( $Q, n$  vs  $T$ )

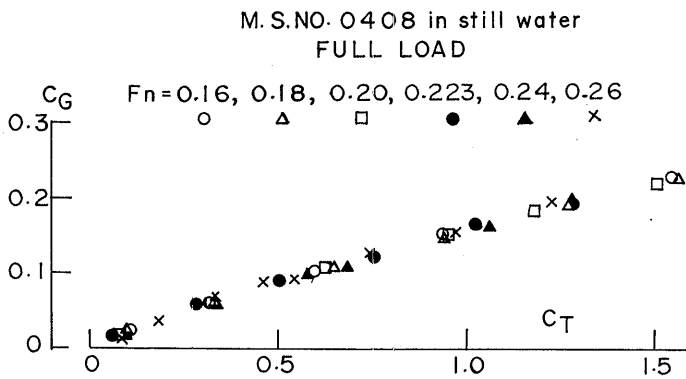


Fig. 5.5  $C_G$  versus  $C_T$

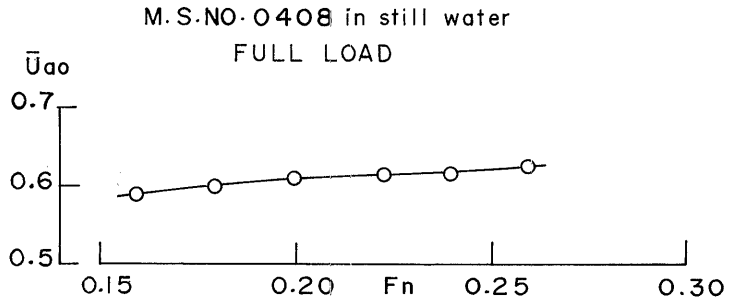


Fig. 5.6  $(1-w)$  at  $C_T=0$

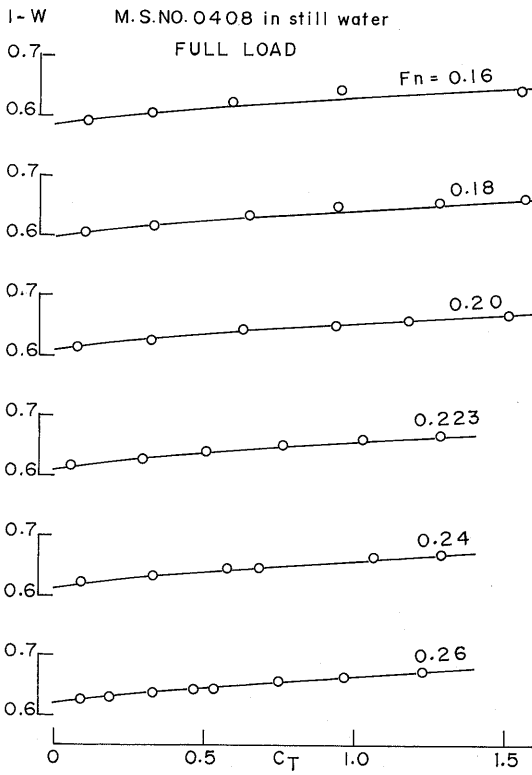


Fig. 5.7  $(1-w)$  versus  $C_T$

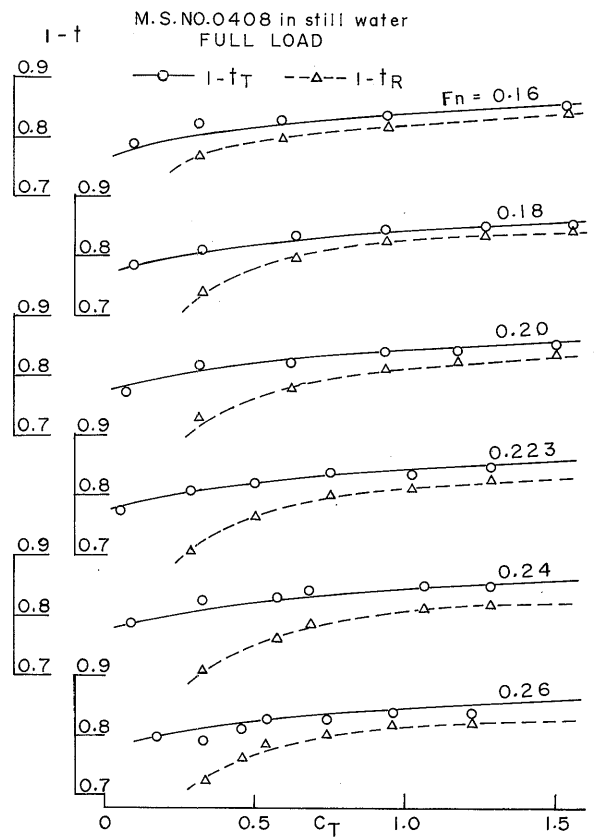


Fig. 5.8 Thrust deduction fraction

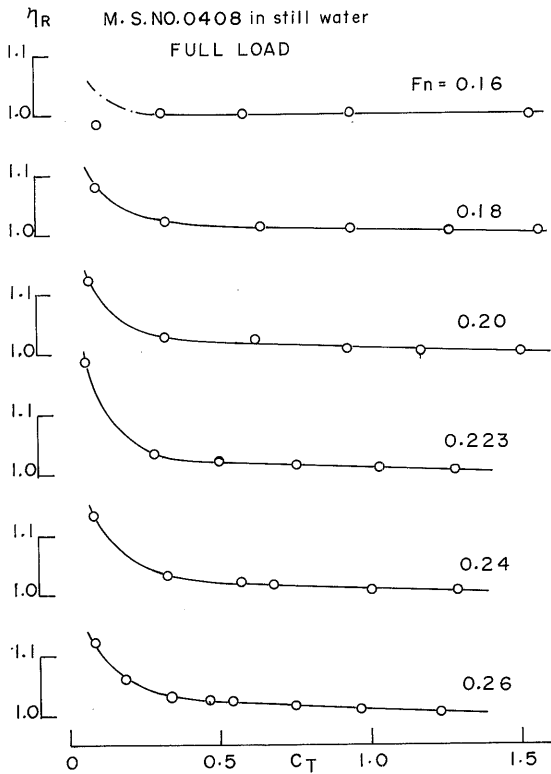


Fig. 5.9 Relative rotative efficiency

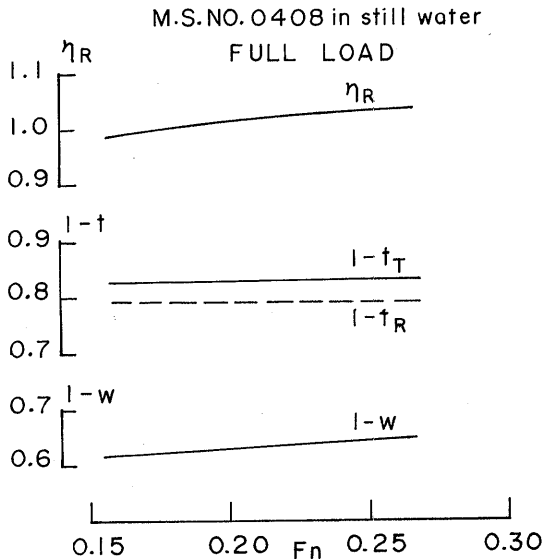


Fig. 5.10 Self-propulsion factors at "ship point"

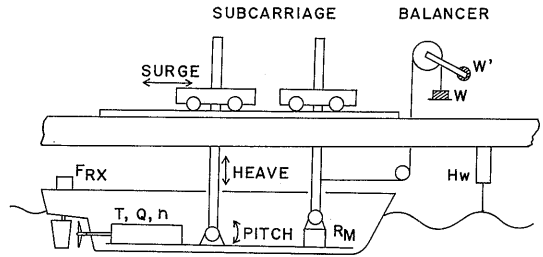


Fig. 6.1 Testing apparatus in waves

0.223,  $H_w/L=1/50$ の場合を Fig. 6.3に示す。正面規則波中の  $R-T$  曲線は、平水中の  $R-T$  曲線にほぼ平行になり、また、トルクおよびプロペラの回転数はスラストにたいしてそれぞれ平水中と同じ曲線上に分布している。この関係は、平水中の試験結果が与えられ、何らかの方法で波浪中抵抗増加を求めて波浪中の自航特性を推定しようとする場合に、大変都合の良い関係にあるといえる。

抵抗試験時の抵抗増加量  $R_{AW0}$  の無次元値とプロペラ荷重度変更試験時の抵抗増加量  $R_{AWc}$  の無次元値を比較して Fig. 6.4に示す。抵抗増加量は必ずしも波高の2乗に比例していない。また、プロペラ荷重度変更試験時の抵抗増加量が抵抗試験時の抵抗増加量よりも低い値を示しているが、これについては後に詳しく検討することにする。Fig. 6.5にプロペラ荷重度変更試験時のスラスト、トルクおよびプロペラ回転数の増加量  $T_{AW}$ 、 $Q_{AW}$  および  $n_{AW}$  の無次元値を示す。

Fig. 6.6に伴流係数  $(1-w)$  の試験結果を示す。図中点線は Fig. 5.7に示した (5.4) 式により計算した平水中の値、実線は Fig. 6.7に示す  $\bar{U}_{a0}$  の値と平水中と同じ  $\bar{C}_0=0.080$  の値を用い (5.4) 式により計算した値である。計算結果と実験結果の一致度はきわめて良い。また、正面規則波中の  $\bar{U}_{a0}$  は波および船体の運動により平水中より増加するが、プロペラ荷重度が伴流に与える干渉の影響は平水中とあまり変わらないといえる。

Fig. 6.8に船体とプロペラの干渉に基づく抵抗増加量  $G(T)$  の無次元値  $C_G$  の試験結果を示す。図中の実線は Fig. 5.5に示した平水中の  $C_G$  の平均線であり、正面規則波中の  $C_G$  は平水中の平均線の周りにばらついており、平均的にみれば平水中とほとんど同じとみなして良いであろう。

Fig. 6.9にプロペラ荷重度変更試験時の抵抗値  $R_c$  と曳航状態の抵抗値  $R_0$  の差、 $(R_c - R_0)$  の無次元値  $C_{Rcd} = (R_c - R_0) / (\frac{1}{2} \rho A_P V^2)$  を示す。 $(R_c - R_0)$  はブ

M.S.NO.0408, FULL LOAD  
in regular head waves

$F_n=0.18$ ,  $H_w/L=1/66.7$ ,  $1/50$

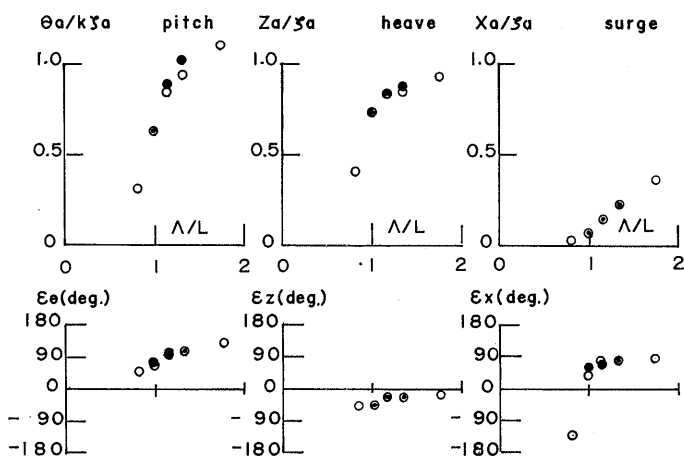


Fig. 6.2a Ship motions in regular head waves ( $F_n=0.180$ )

M.S.NO.0408, FULL LOAD  
in regular head waves

$F_n=0.223$ ,  $H_w/L=1/66.7$ ,  $1/50$

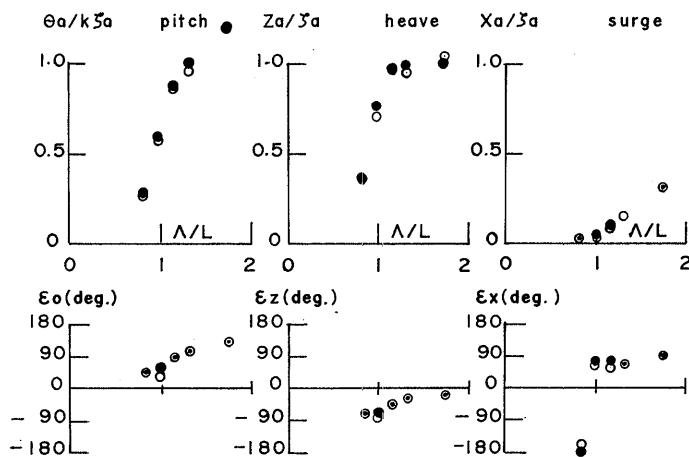


Fig. 6.2b Ship motions in regular head waves ( $F_n=0.223$ )

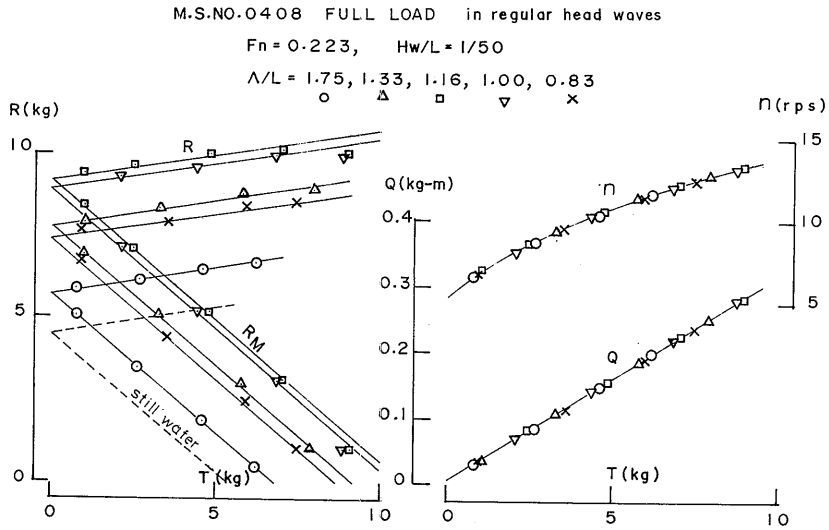


Fig. 6.3 Results of the propeller load varying tests in regular head waves

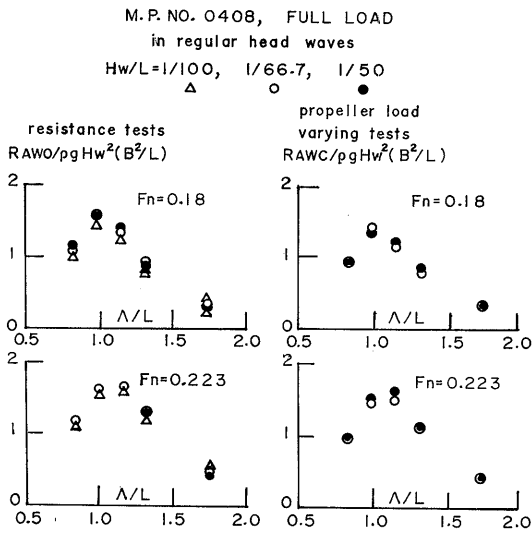


Fig. 6.4 Added resistance in regular head waves

ロペラの作用による船体抵抗の増加を示すものであり、平水中では通常正の値を示すが、今回は  $\lambda/L$  が 1 の近傍で  $C_{Ra}$  が負の値を示しており、波浪中ではプロペラの作用により船体抵抗が減少したかにみられる結果が得られた。この事は溝口ら<sup>4)</sup>によっても報告されている。この原因は今のところはっきりと判かっているが、正面規則波中における船尾流場の可視化実験<sup>5)</sup>の結果より、プロペラの有無が船尾流場に与える影響は、波浪中の方が平水中の場合より大きいことが観測されている。すなわち、船尾のプロペラ前方の流場の変動は、平水中ではプロペラの作動の有無によりあまり差がない。しかし、波浪中では曳航状態の場合の船尾流場の変動がかなり大きいのに比べ、プロペラ荷重度変更試験時の場合にはプロペラの整流作用によって船尾流場の変動は平水中の場合とあまり変わっていない。これらの事から波浪中では  $C_{Ra}$  が負の値を示すこともあり得るものと推測される。

Fig. 6.10に (5.5) 式の定義による推力減少率の試験結果を、Fig. 6.11に (5.6) 式の定義による推力減少率の試験結果を示す。Fig. 6.10中の実線は Fig. 5.8に示した平水中の fairing line であり、点線および一点鎖線は正面規則波中の実験点を結んだものである。また、Fig. 6.11中の実線は Fig. 5.8に示した (5.3) 式および (5.6) 式による平水中の推力減少率の計算値を示したものである。Fig. 6.10にみられるように、(5.5) 式の定義による推力減少率の実験値は、ばらつきがかなり



M.P. NO. 0408, FULL LOAD  
 in regular head waves  
 $Hw/L = 1/66.7, 1/50$

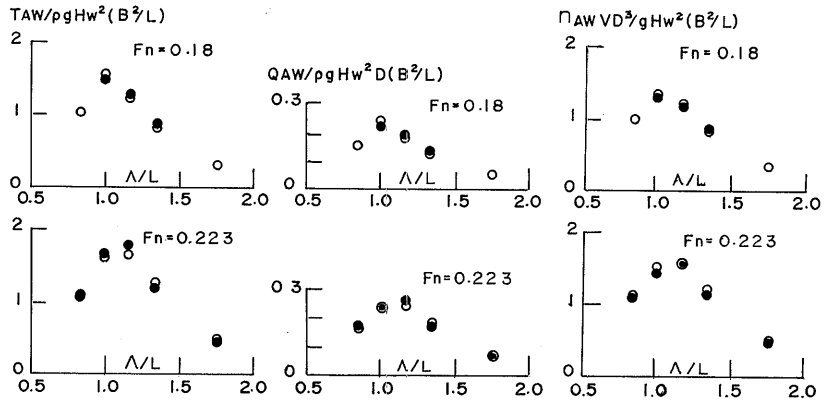


Fig. 6.5 Added thrust, torque and number of revolutions in regular head waves

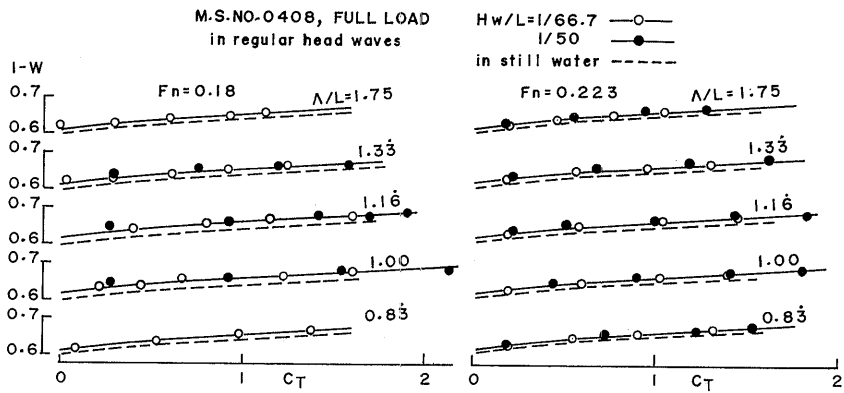


Fig. 6.6  $(1-w)$  versus  $C_T$  in regular head waves

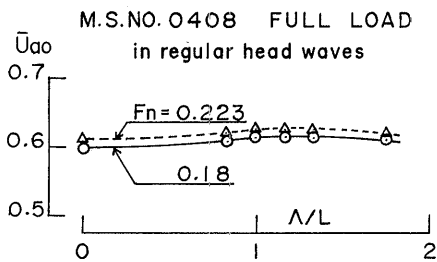


Fig. 6.7  $(1-w)$  at  $C_T = 0$  in regular head waves

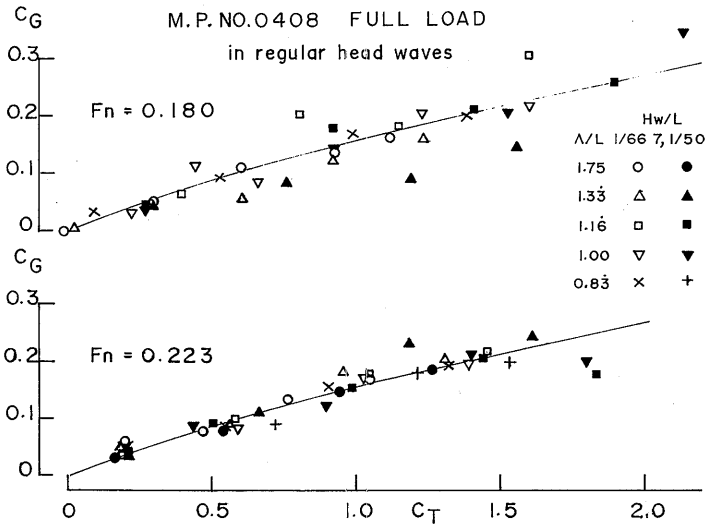


Fig. 6.8  $C_G$  versus  $C_T$  in regular head waves

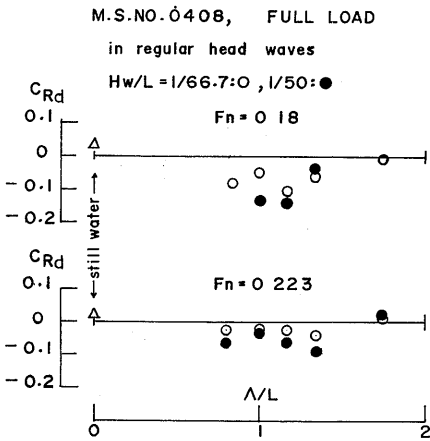


Fig. 6.9  $(R_c - R_o)$  in regular head waves

大きい。また平水中の値より小さな値を示しており、特にプロペラ荷重度の低いところで負の値を示しているが、これは前述の  $C_{Rd}$  が負の値となることに起因している。一方、Fig. 6.11にみられるように、(5.6) 式の定義による推力減少率の実験値は、ばらつきがほとんど無い。また平水中の値とほとんど同じ値を示している。このことは、プロペラ荷重度変更試験に基づく自航時性の評価法がより合理的なものであることを示しているといえよう。

Fig. 6.12にプロペラ効率比の試験結果を示す。図中の実線は Fig. 5.9に示した平水中の fairing lineであり、正面規則波中のプロペラ効率比は平水中の場合とほとんど同じ値を示している。

参考のために、実船の自航点における自航要素を Fig. 6.13に示す。

また、3.2章に述べた手法により、正面規則波中の船後プロペラ特性の時々刻々の変化の計算結果の1例を Fig. 6.14に、さらにこれを平水中のプロペラ単独試験結果と比較したものを Fig. 6.15に示す。この図より、正面規則波中の船後プロペラ特性の時間的平均値および時々刻々の値も、スラスト一致法およびプロペラ効率比を導入することにより、平水中のプロペラ単独特性によって表現できることが判る。

### 7.むすび

今回、各種状態下的プロペラ単独試験、船尾伴流分布計測およびプロペラ荷重度変更法を基礎とした船型試験システムによる平水中および正面規則波中の抵抗、自航試験を行い、高速船の波浪中推進性能等を検討した。その結果、得られた主な結論を以下に述べる。

1) 正面規則波中のプロペラ特性の時間的平均値および時々刻々の変動値も、スラスト一致法により平水中のプロペラ単独試験結果を用いて表現することができる。

2) 強制前後揺状態下的プロペラ単独試験結果より、プロペラの運動(前後揺)の周期が短くなるに

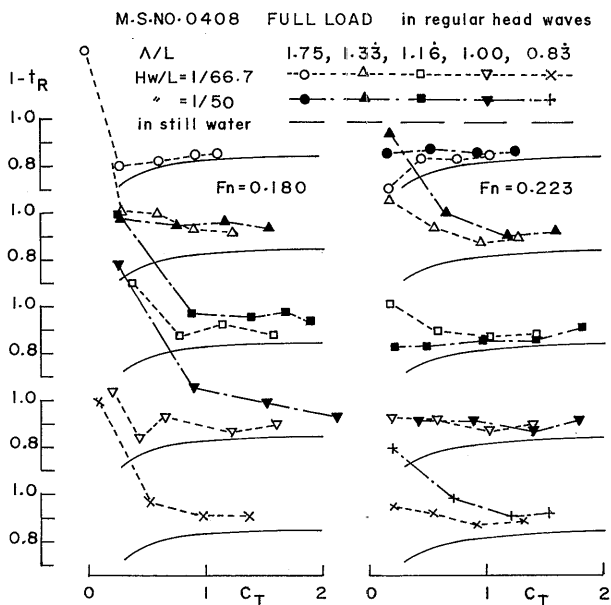


Fig. 6.10 Thrust deduction fraction in regular head waves

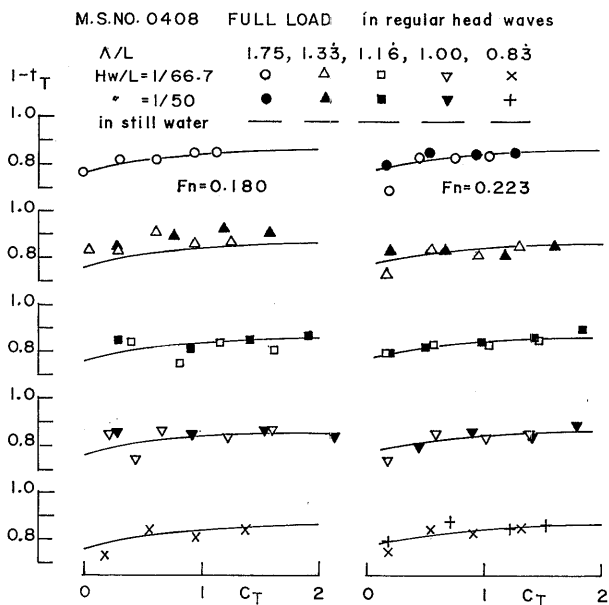


Fig. 6.11 Thrust deduction fraction in regular head waves

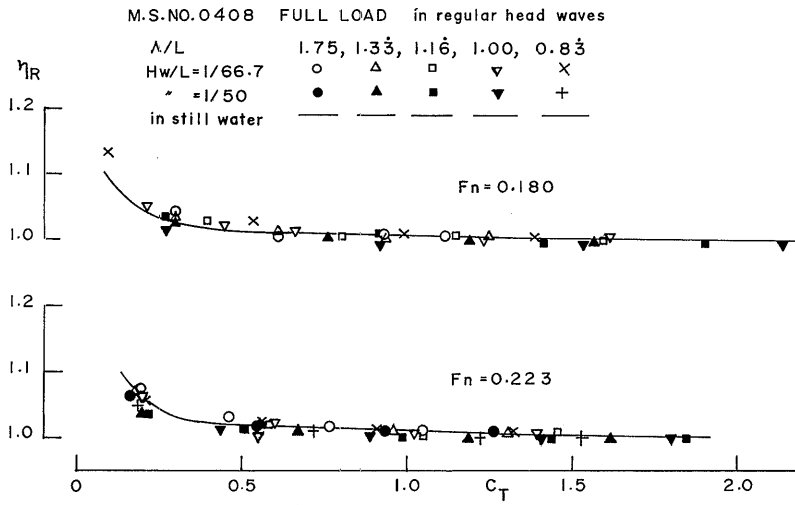


Fig. 6.12 Relative rotative efficiency

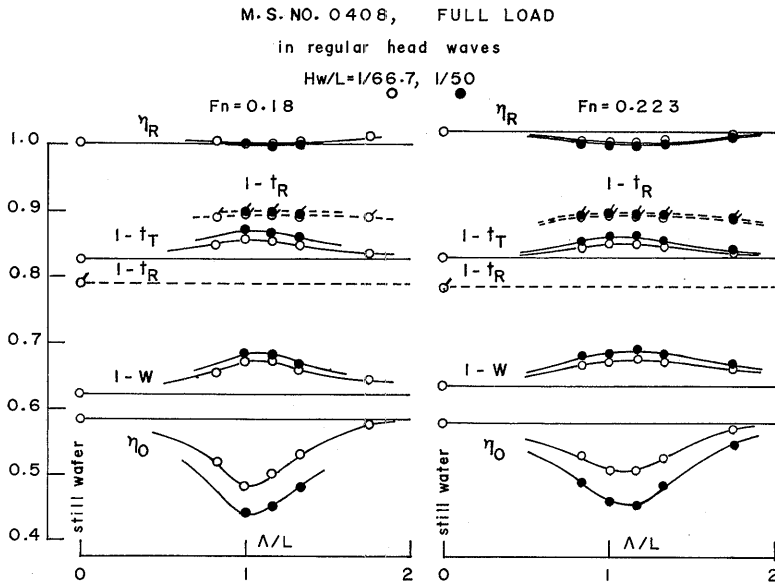


Fig. 6.13 Self-propulsion factors at "ship point" in regular head waves

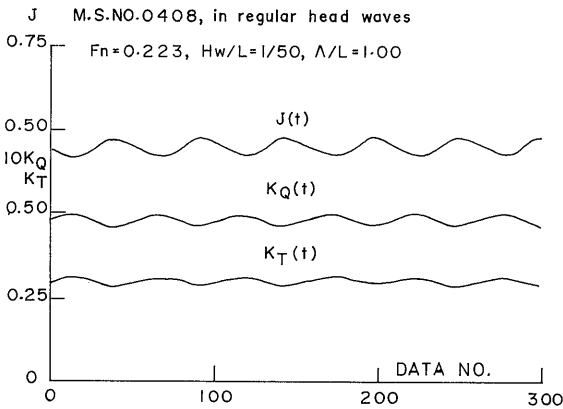


Fig. 6.14 Fluctuations of T, Q & J in regular head waves

従ってプロペラのスラスト変動，トルク変動の振幅は大きくなることが判る。また，運動しているプロペラ特性の時間的平均値および時々刻々の変動値もスラスト一致法により平水中のプロペラ単独試験結果を用いて表現することができる。

3) 平水中において船尾伴流分布計測面位置，船速および舵の有無が伴流分布に与える影響を求めた。

4) プロペラ荷重度変更試験時の抵抗値  $R_c$  と曳航試験時の抵抗値  $R_0$  の差は，プロペラ作動の影響による船体抵抗の増加量と考えられ，平水中では一般に正の値となる。しかし，今回の波浪中試験では  $\lambda/L$  が 1 の近傍で  $(R_c - R_0)$  が負の値を示しており，波浪中でプロペラの作動により船体抵抗が減少したかにみられる結果が得られたが，平水中および波浪中の船尾流場の可視化実験結果から，波浪中では  $R_c$  と  $R_0$  の差が負の値を示すことがあり得ることが推測される。

5) 曳航時の抵抗値を基準として定義された波浪中の推力減少率はばらつきも大きく，平水中の値とは，特にプロペラ荷重度の低いところでかなり異なる。

6) プロペラ荷重度変更試験時の抵抗値を基準として定義された波浪中の推力減少率は平水中の値ときわめて良く一致する。また，波浪中の伴流にたいするプロペラ荷重度の影響も平水中と同様な傾向を示してい

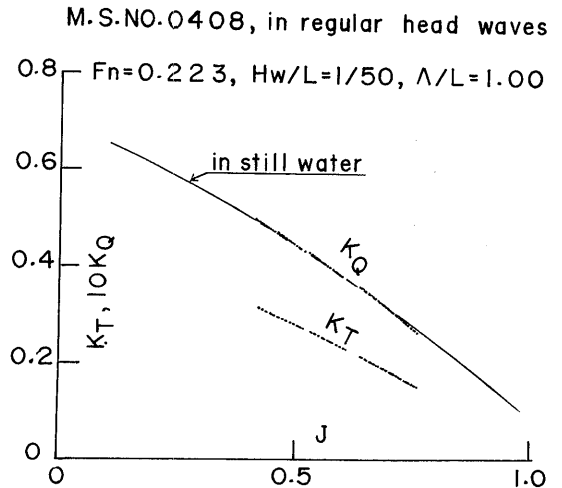


Fig. 6.15 Results of the propeller load varying tests

る。

本報告は(財)日本海事協会技術研究所との共同研究として実施した試験を含むものである。日本海事協会の星野次郎常務理事，田代新吉技術研究所長，佐々木康夫室長および関係者の方々のご協力に厚くお礼を申し上げます。

## 8. 参考文献

- 1) 井野幸雄他：“プロペラ翼損傷解析”，昭和58年度研究発表会前刷集，(財)日本海事協会技術研究所(1983)
- 2) 足達宏之：“荷重度変更法の基礎とその応用について”，造船学会論文集，第154号(1983)
- 3) 堀 利文他：“プロペラ荷重度変更法による波浪中船型試験システム”，等44回船研研究発表会講演集(1983)
- 4) 溝口純敏他：“荷重度変更法による波浪中推進性能の研究”，関西造船協会誌第190号(1983)
- 5) 武井幸雄他：“波浪中における船尾伴流の実験的研究”，第46回船研研究発表会講演集(1985)