

4. 高速艇の波浪中運動性能の研究 (第2報)

STUDY OF MOTIONS OF HIGH SPEED BOATS IN A SEAWAY

(2nd Report)

高速艇研究委員会*

Research Committee of the High Speed Boat

The heaving forced oscillation tests were carried out to examine the hydrodynamic force and moment acting on a high speed boat models. One of the test models is a scale model of a high speed boat and the another is a two dimensional model of which section is nearly similar to midship section of the scale model.

The results obtained by the present tests are as follows,

- 1) The damping coefficients and added mass coefficients of the scale model calculated by strip method give good agreement with the experimental data obtained by forced oscillation tests at lower Froude number.
- 2) The damping coefficients of scale model at higher Froude number become larger compared with the coefficients by strip method.
- 3) High frequency components and stationary components appear in both two dimensional model and scale model and they increase gradually with the frequency of oscillation.

まえがき

高速艇の規則波中運動はストリップ法でも定性的には説明できるが、定量的には問題がある^{1),2)}。この原因として考えられるのは、高速艇船型の場合、前進速度が高いことおよび喫水に比較して幅が大きいため波浪中で浸水面が変化し易いことではないかと思われる。

波浪中の船体運動を知るためには、船体に働く流体力を知る必要があるが、強制動揺試験はこの目的のためにしばしば行われる試験法であり、排水量型船型については既に数多くの報告がある^{3),4),5),6)}。

本研究では供試模型を、第1報に用いたのと全く同型の縮尺模型および断面が縮尺模型の中央断面に近い形状をした2次元楔状模型とし、それぞれの模型に正弦的な上下揺れの変位を与えて、この運動を起こすのに必要な力およびモーメントを測定し次のような検討を行った。

(1) 2次元模型については大振幅でしかもできるだけ周波数の高い場合の流体力を計測し、それらと喫水の浅い船の理論^{6),7)}による計算値とを比較した。

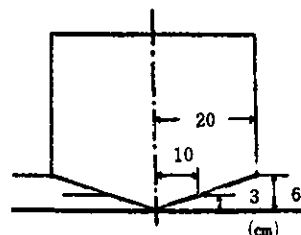
(2) 縮尺模型については実験より得られた流体力の特徴を調査し、それらとストリップ法による計算値とを比較した。

1. 2次元楔状模型の強制動揺試験

1.1 実験の概要

実験は防衛庁技術研究本部第1研究所中水槽で実施した。供試模型は第1報に用いられた高速艇模型の船体中央断面に近い断面を持った2次元模型である。模型を強制動揺させた際、流体の挙動を出来るだけ2次元的に保つため中水槽内に模型の長さと同じ幅の水路 ($L \times B = 15.0 \text{ m} \times 1.166 \text{ m}$) を設けた。Fig. 1に模型の断面形状および主要寸法を示す。

計測項目は上下動変位および力であり、一部について



$L = 1.160 \text{ (m)}$
 $b_m = 0.200 \text{ (m)}$
 $\Delta = 8.73 \text{ (kg)}$

Fig. 1 Lines of model

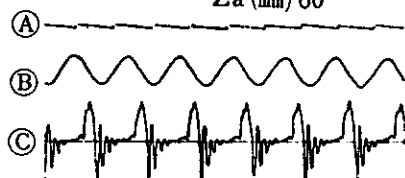
* 別所正利 BESSHO Masatoshi
防衛大学校 Defense Academy

* 小松正彦 KOMATSU Masahiko
防衛庁第1研究所 Meguro Towing Tank, Defense Agency

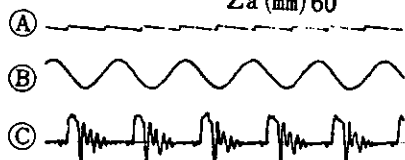
Table 1 Nomenclature (twodimensional model)

$A = 2 \cdot b_m \cdot L$	waterplane area
b_m	half-breadth of model
d_m	draft of model
F	heaving force
$F_{w0}(F'_{w0})$	stationary force
g	acceleration of gravity
L	length of model
M	mass of model
$m(m)$	added mass and its nondimensional form
$n(n)$	damping coefficient and its nondimensional form
$Z(Z_a)$	amplitude of model displacement and its amplitude
ρ	mass density of fresh water
ω	circular frequency of forced oscillation
$\xi_s = \omega^2/g \cdot b_m$	nondimensional circular frequency factor

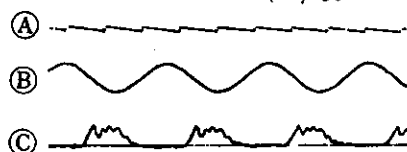
Exp. No. 18 b_m (cm) 10 ξ_s 0.856
 Z_a (mm) 60



Exp. No. 5 b_m (cm) 10 ξ_s 0.507
 Z_a (mm) 60



Exp. No. 8 b_m (cm) 10 ξ_s 0.192
 Z_a (mm) 60



Exp. No. 10 b_m (cm) 10 ξ_s 0.147
 Z_a (mm) 60

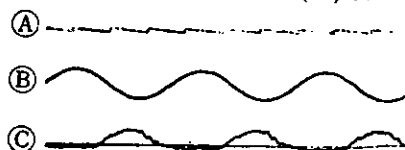


Fig. 2 実験記録 ($b_m = 10$)
 An illustration of records

は発散波も計測した。

実験状態は、平均喫水、上下動振幅および周波数をそれぞれ変化させた。Table 2 に実験状態を示す。

1.2 解析および結果

記号の意味は Table 1 に示すとおりである。

Fig. 2 に実験記録の一例を、Fig. 3 に発散波の一例を示す。

鉛直上向きに Z 軸をとり、上下動変位を

$$Z = Z_a \sin \omega t \quad (1.1)$$

とおく。このとき模型に働く力は、次式で表わされる。

$$F = M\ddot{Z} + F_w \quad (1.2)$$

ただし、 M は模型の質量、 F_w は流体力である。

今回は、 F をフーリエ解析し、 F_w を求めた。さらに F_w を

$$F_w = -F_{wn} = \sum (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) \quad (1.3)$$

とおいた。 n は $n = 0 \sim 6$ とし、それ以上の成分は無視して以下の項目について検討した。

1.2.1 基本周波数成分

(1.3) 式において $n = 1$ の成分については

Table 2 Configuration

d_m (cm)	3.0	6.0
b_m (cm)	10.0	20.0
ξ_s	0~1.2	0~2.2
Z_a (cm)	1, 3, 4, 5, 6	
$\epsilon = Z_a/b_m$	0.1~0.6	0.05~0.3

Exp. No. 2
 ξ_s 0.86
 Z_a (mm) 60
 b_m (cm) 10



Exp. No. 3
 ξ_s 0.73
 Z_a (mm) 60
 b_m (cm) 10



Exp. No. 4
 ξ_s 0.64
 Z_a (mm) 60
 b_m (cm) 10

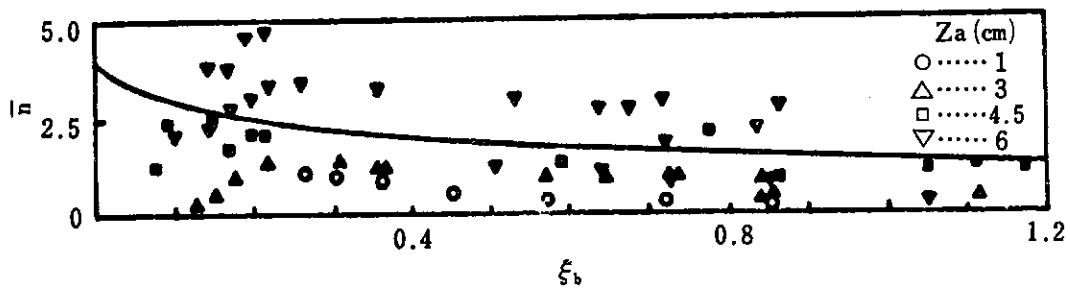
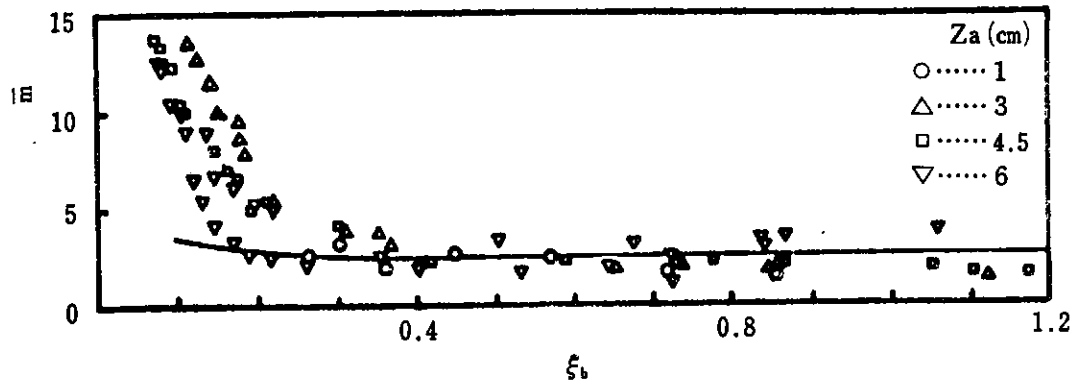


Exp. No. 5
 ξ_s 0.51
 Z_a (mm) 60
 b_m (cm) 10



Fig. 3 発散波 ($b_m = 10$)
 An illustration of progressive waves

$bm=10$



▼発散波より求めた計算値

$bm=20$

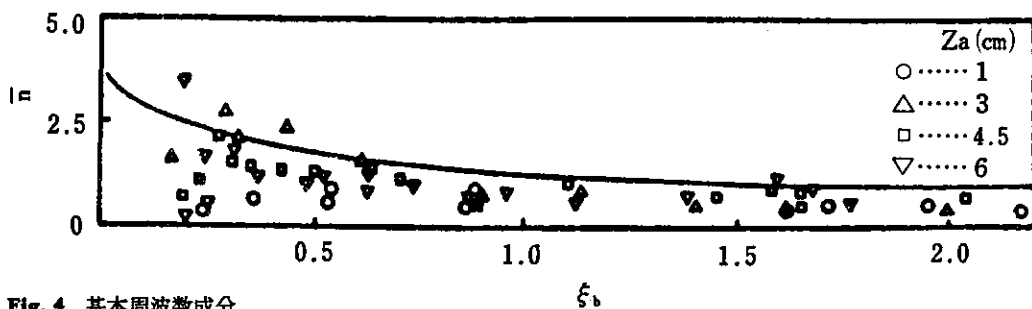
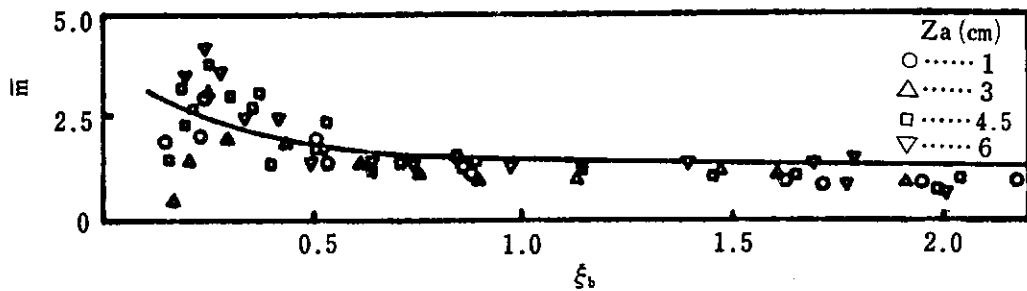


Fig. 4 基本周波数成分

Damping coefficient and added mass of tow dimensional model

$$F_{w1} = mz + nz + \rho g A_w z$$

として、 m 、 n を次のように無次元化した。

$$m = m/(\rho g Z_a b_m L) \cdot \xi,$$

$$n = n/(\rho g Z_a b_m L) \cdot \xi,$$

ただし、 m は付加質量、 n は減衰係数、 $A_w = 2b_m L$ である。

Fig. 4に $b_m = 10$ cm および $b_m = 20$ cm の場合について、 m 、 n を示す。図中の実線は2次元平板が水面で上下動するときの付加質量と減衰係数の計算値⁷⁾である。

静止時に水面がチェーンよりも下にある $b_m = 10$ cm の場合、 m は平均して計算値よりも ξ の小さい部分で極端に大きく、 ξ の大きい部分ではほぼ計算値と一致している。また ξ の大きい部分では m は振幅が大きくなるに従い大きい値となっている。 n も m と同様に振幅が大きくなると大きな値となる傾向があり、 $Z_a = 4.5$ cm のときはほぼ計算値と一致している。

$Z_a = 6$ cm の場合については、計測された発散波の波形をフーリエ解析し、基本周波数成分より n を計算したが、力より求めた値よりもかなり低目となっている。発散波は、周波数、振幅ともに大きい場合には crest がかなり steep となっていて trough ではゆるやかな形状をしていた。

静止時の水面とチェーンが丁度一致している $b_m = 20$ cm の場合は、 m 、 n はともに計算値よりも幾分低目であり、また振幅に対する影響は $b_m = 10$ cm の場合ほど顕著ではない。これは $b_m = 10$ cm の場合ほど浸水面の変化が大きいからと思われる。

m 、 n の振幅に対する影響は、 $b_m = 20$ cm の場合、 m 、 n ともに振幅にほぼ比例しているようであるが、 $b_m = 10$ cm の場合には m 、 n ともに振幅に比例していない。

1.2.2 高周波数成分および定常成分

次に流体力にどの程度高次の周波数成分が含まれているかを見るために、 F_{w2} を

$$F_{w2} = |F_{w2}| \sin(n\omega t + \epsilon_2)$$

として、 $|F_{w2}|/|F_{w1}|$ および $|F_{w3}|/|F_{w1}|$ をそれぞれ $b_m = 10$ cm、 $b_m = 20$ cm について示したのが Fig. 5 である。図中の実線は文献7)より計算した $|F_{w2}|/|F_{w1}|$ の値である。

$b_m = 10$ cm の場合、周波数が大きくなるにつれて、基本周波数成分に対する倍周波数成分、3倍周波数成分の割合は増加する傾向があり、しかも倍周波数成分の方が3倍周波数成分よりも大きくなっている。 $|F_{w2}|/|F_{w1}|$ の計算値は全般的に実験値を良く説明しているが、振幅が大きくなるに従い実験値よりも幾分過大になっていくようである。

$b_m = 20$ cm の場合についても高周波数成分の周波数に対する影響は $b_m = 10$ cm の場合と同様であるが、値

そのものは $b_m = 10$ cm のものよりも小さくなっている。文献8)による円柱の実験値とほぼ同じ程度の値である。 $|F_{w2}|/|F_{w1}|$ の計算値は、計算の仮定が異なるため $b_m = 10$ cm の場合ほど実験値を良く説明していない。

以上のように周波数の増加とともに高周波数成分の力が増加していくという結果は規則波中船体運動の波形に高周波数成分が波長船長比が小さくなるほど多く含まれていたという事実を説明しているようである。

F_{w0} は模型に働く定常力を示しており、次のように無次元化して Fig. 6 に示した。

$$F'_{w0} = F_{w0}/(\rho g Z_a^2 L)$$

定常力は鉛直上方に向いていて、値は周波数が高くなるにつれて大きくなっている。このことは、今の場合前進速度がないので直接の比較は妥当ではないが、規則波中船体運動の場合、波長船長比の小さいところで上下揺れの平均位置が定常航走時の浮上量よりも大きくなっていたことと一致するようである。また定常力の方向は円柱の場合とは逆である。図中の実線は文献7)により計算した定常力の値である。 $b_m = 10$ cm の場合も、 $b_m = 20$ cm の場合も、 $Z_a = 1.0$ cm を除き、計算値は実験値より全体に高目であるが、周波数に対する傾向は良く一致している。定常力の振幅に対する影響を見ると $Z_a = 1.0$ cm の場合を除いて、定常力はほぼ振幅の2乗に比例しているように思われる。

1.2.3 浸水面の変化

浸水面の変化の様子は、 $b_m = 20$ cm の場合、没水時と浮上時とではほぼ対称となっている。 $b_m = 10$ cm の場合には没水時に変化が激しく、浮上時には変化がゆるやかになっている。このようにチェーンが水面上にあるかないかは今迄に述べたように流体力に大きく影響している。また、浸水面の変化の割合を見るために船体表面の水位変化を静的な吃水変化で除した値 R を計算した。 R は周波数が小さくなると1に近づき、周波数が大きくなると1より小さくなり、さらに周波数が大きくなると逆に1より大きくなっていく。

2. 縮尺模型の強制動揺試験

2.1 実験の概要

供試模型は魚雷艇の縮尺模型で第1報で用いられた模型と同型である。その要目を Table 3 に正面線図を Fig. 7 に示す。

実験は防衛庁技術研究本部第1研究所高速水槽で実施し、解析はアナログデータをデジタル化してFFTで処理した。

模型は曳引車台上の動力計に重心位置で取り付け、所定の速度で曳引しながら、上下に動揺させた。

計測項目は、曳引速度 V 、上下動変位 Z_a 、上下動の周

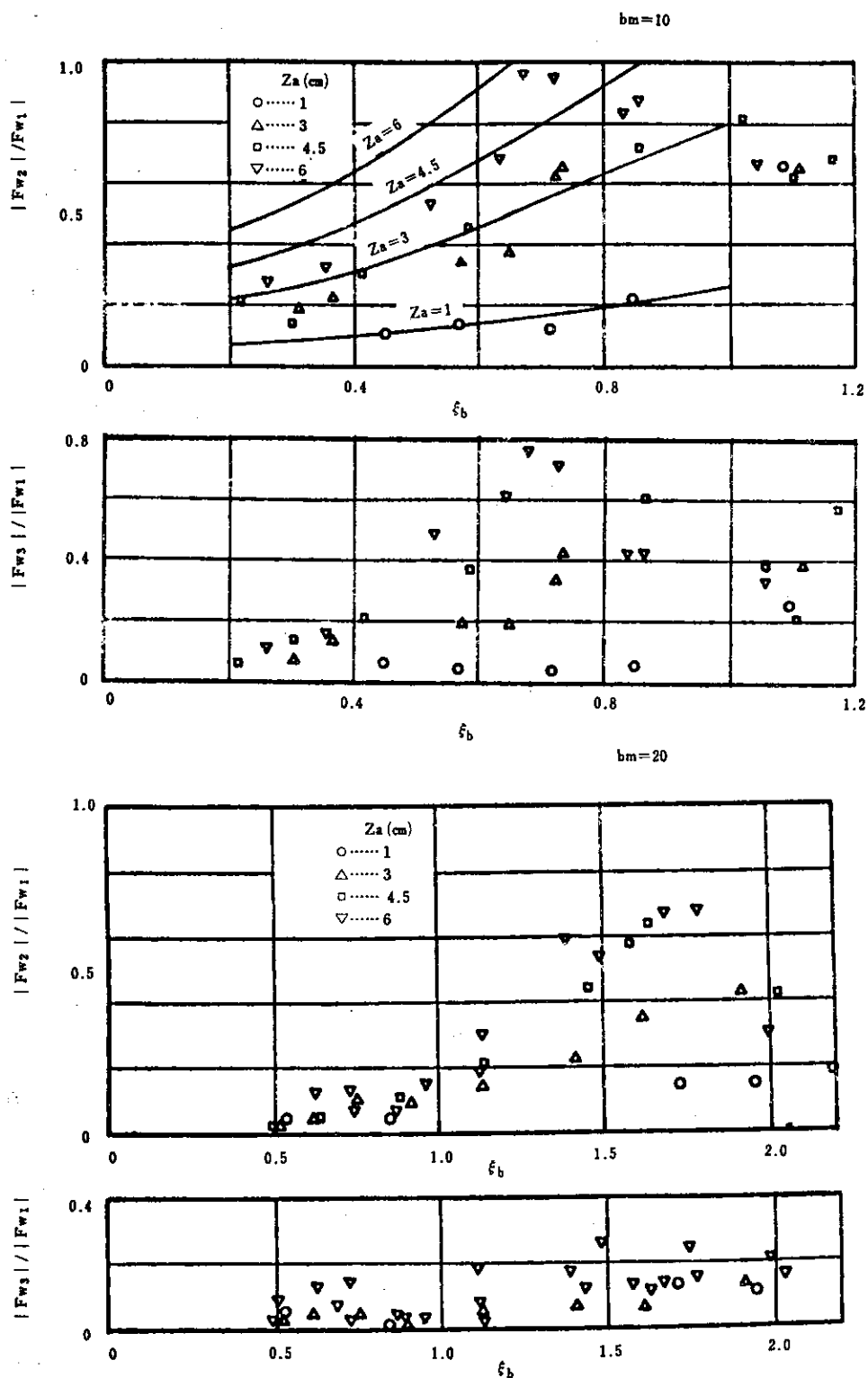


Fig. 5 高周波数成分
High frequency component of two dimensional model

波数 ω ，上下動の際模型に働く力 F および重心まわりのモーメント M である。

実験状態は Table 4 に示すとおりである。ただし、トリムが“without”とあるのは模型の曳引時の姿勢が

速度に関係なくトリムを0とした状態であり、またトリムが“with”とあるのは平水中抵抗試験の際計測したトリム角および船体浮上量を模型の姿勢に与えた状態を示している。

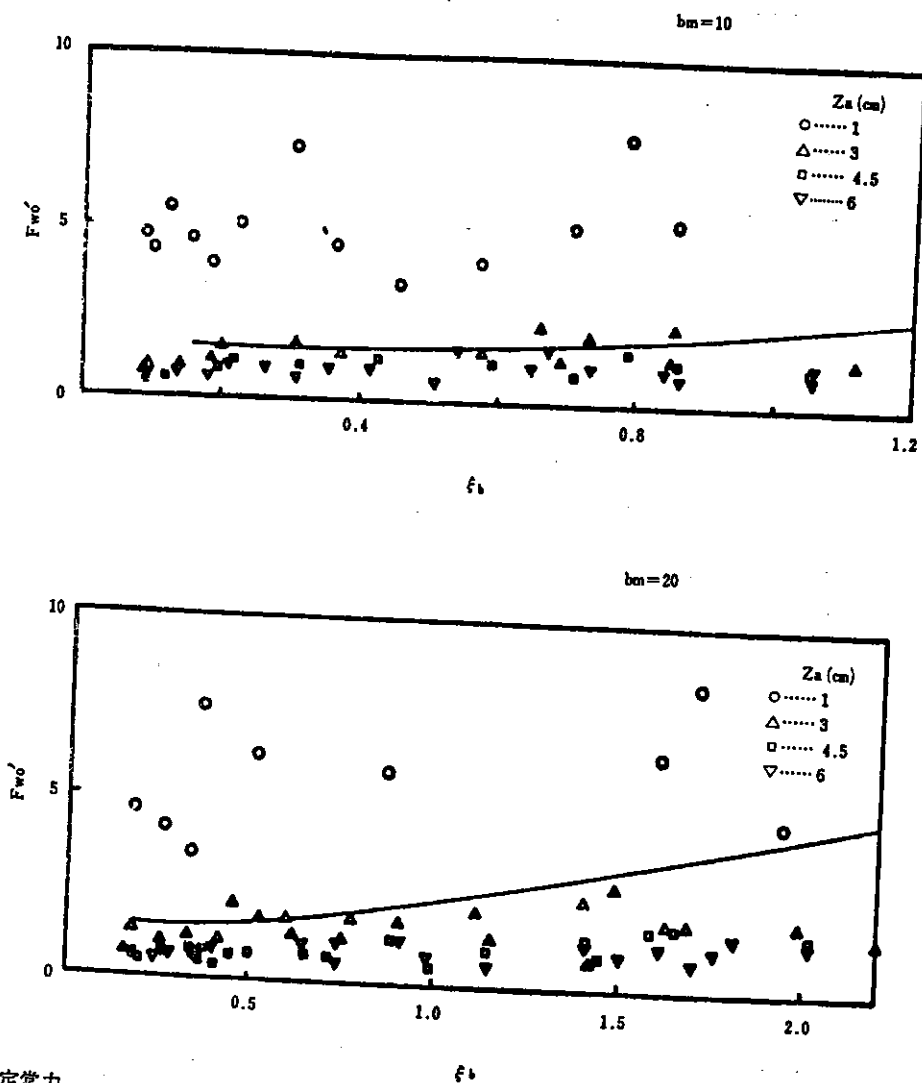


Fig. 6 定常力
Stationary component of two dimensional model

Table 3 模型船主要目
Principal dimension of model

Length	1.603 m
half-breadth	0.206 m
draft	0.061 m
displacement	17.38 kg

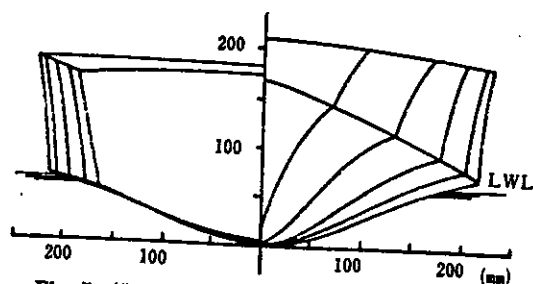


Fig. 7 模型船主正面線図
Lines of model

Table 4 Configuration

Conf.	Z_0 (mm)	F_n	$\xi_n = \omega^2/g \cdot b_m$	trim
A	5, 10, 14, 18	0~1.2	1.74, 2.91	with out
B	10	0, 0.2, 1.0	0~3.5	with out
C	10	1.0	0~3.5	with. with out
D	5, 10, 14, 18	1.0	0~3.5	with

2.2 解析および結果

記号の意味は Table 5 に示すとおりである。

Fig. 8 に実験波形の一例を示す。

模型を周波数 ω で強制的に上下動させたときに模型に働く垂直方向の力および重心まわりのモーメントを慣性力に関する項も含めて、それぞれ F , M として、これをフーリエ解析し、次のように表わす。

Table 5 Nomenclature (scale model)

a (a')	virtual mass (nondimensional added mass coefficient) waterplane area
b (b')	damping coefficient and its nondimensional form
b_m	half beam of planing surface
$c = \rho \cdot g \cdot A_m$	buoyancy coefficient
D (D')	coefficient of moment term due to heaving acceleration and its nondimensional form
E (E')	coefficient of moment term due to heaving velocity and its nondimensional form
F	heaving force
$F_n = V/\sqrt{g \cdot L}$	Froude number
g	acceleration of gravity
$G = l \cdot \rho \cdot g \cdot A_m$	coefficient of moment term due to heaving displacement
l	distance of center of gravity from center of floatation
L	length on load water line
M	pitching moment
m	mass of model
V	model velocity
W	weight displacement of model
Z (Z_0)	model displacement and its amplitude
ρ	mass density of fresh water
ω	circular frequency of forced oscillation
α (δ)	phase angle by which moment (force) lags oscillator displacement
λ/L	wave length hull length ratio
$\xi_n = \omega^2/g \cdot b_m$	nondimensional circular frequency factor

$$\left. \begin{aligned} F &= \sum F_n = \sum (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \\ M &= \sum M_n = \sum (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t) \end{aligned} \right\} (2.1)$$

n は $n=0 \sim 6$ としてそれ以上の成分は無視し、以下の項目について検討した。

2.2.1 基本周波数成分

(2.1) 式において $n=1$ は力およびモーメントの基本周波数成分を示している。線型理論によるこの場合の運動方程式は上下動の変位を $Z = Z_0 e^{i\omega t}$ とおくと、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} aZ + bZ + cZ &= |F_1| e^{i(\omega t - \alpha)} \\ DZ + EZ + GZ &= |M_1| e^{i(\omega t - \beta)} \end{aligned} \right\} (2.2)$$

ただし、 $C = \rho g A_m$, $G = l \rho g A_m$ である。

(2.2) 式の各係数を求め、さらにこれらの係数を次のように無次元化した。

$$\left. \begin{aligned} a' &= ag/W - 1, \quad b' = b \sqrt{gL}/W \\ D' &= Dg/WL, \quad E' = E \sqrt{gL}/WL \end{aligned} \right\} (2.3)$$

トリム 0 の状態で動揺周波数を一定 ($\xi_n = 1.74, 2.91$) として、これらの無次元値の速度に対する影響を示したのが Fig. 9 である。図中の実線は、いわゆるストリップ法により、船体を水線幅に等しい平板とみなして、平板の付加質量、減衰係数を船長方向に積分して求めた計算値で、速度に対する影響は考慮されていない。

付加質量に関する係数 a' , D' は速度による影響は顕著でなく、また、ストリップ法による計算値と比較して a' はやや小さ目に、 D' はやや大き目の値となる。

減衰力に関する係数 b' , E' はフルード数が 0.5 付近までは、速度による影響は顕著ではなくストリップ法による計算値に近い値となっているが、それ以上のフルード数では計算値と離れて行きほぼ単調に増加している。以上のことは波浪中運動の実験値とストリップ法による計算値とがフルード数 0.5 程度まではかなり良く一致し、それ以上のフルード数では実験値と計算値とがかなりの融たりを示していたことを裏付けているものと思われる^{1), 2)}。特に減衰係数は運動に与える影響が大きいと思われるが、フルード数 1.0 付近で b' の実験値は計算値よりも極端に大きくなっており、このことは波浪中運動でフルード数 1.0 波長船長比 2.5 付近で計算値が実験値よりもかなり大きくなっていったということを説明しているようである。

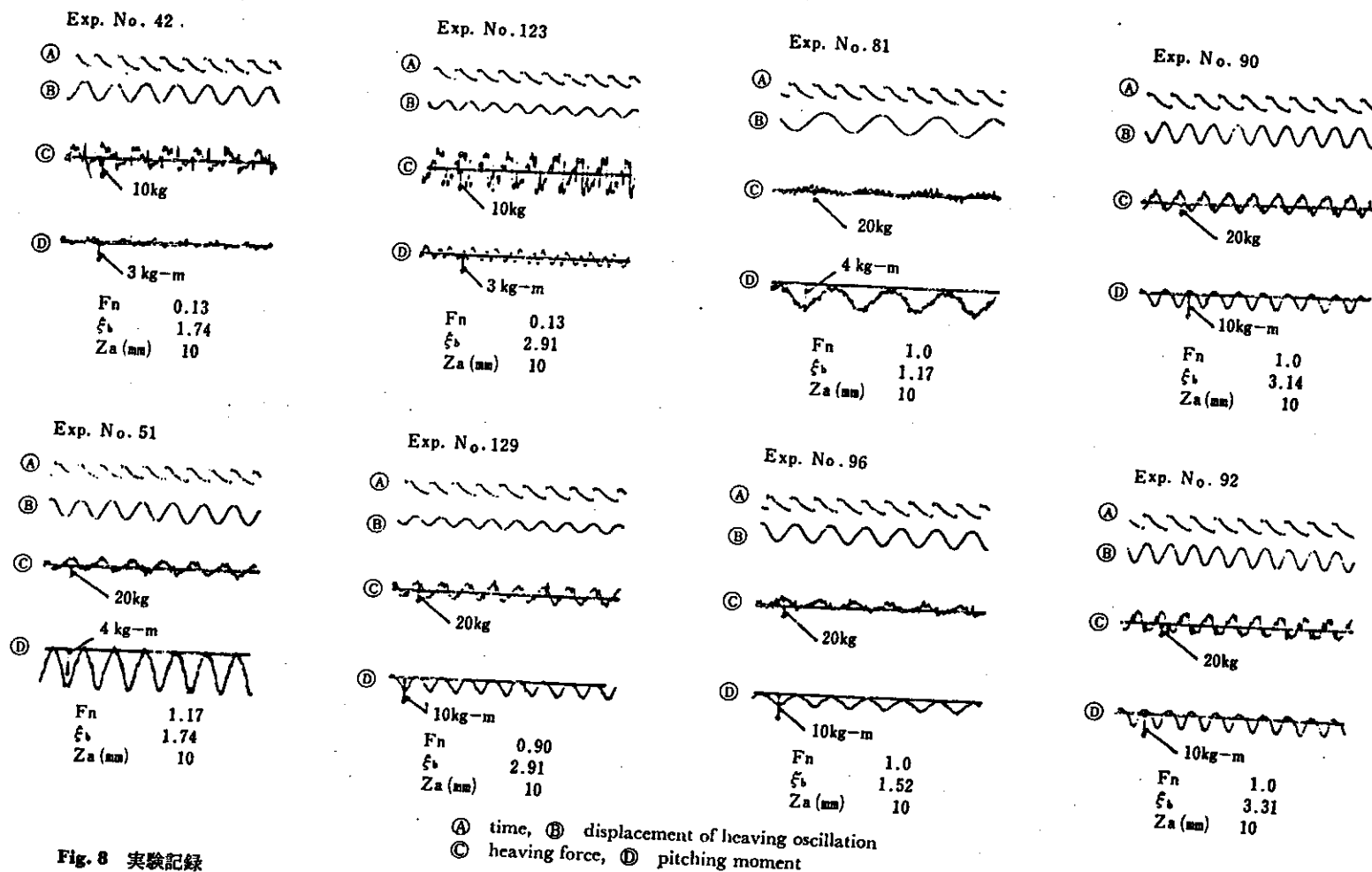


Fig. 8 実験記録

An illustration of records

D, E, G は船体まわりの圧力分布が前後に対称であるならば0となる筈であるが、高速艇船型の場合前後形状の非対称性が強く、前進速度も高いのでかなり大きな値となっている。

各係数は上下動振幅にほぼ比例している。このことは波浪中運動の運動振幅が波高にほぼ比例していた事実と

つじつまが合うようである。

次にトリム0の状態でフルード数を一定 $F_n=0, 0.2, 1.0$ とした場合について各係数の動揺周波数に対する影響を示したのが Fig. 10 である。

a' は各フルード数の実験値とも周波数の増加に伴い様に値が小さくなっている。 b' の実験値は周波数の増加

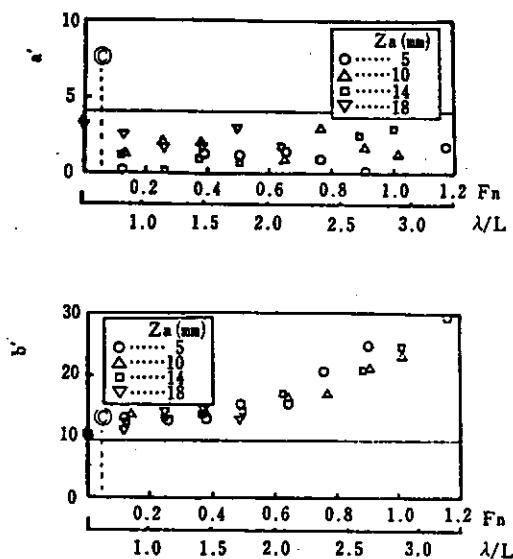


Fig. 9-1 基本周波数成分 (without trim, $\xi_s = 1.74$)

$$\text{critical speed : } \frac{\omega V}{g} = \frac{1}{4}$$

Coefficients of equation of motion of scale model with F_n .

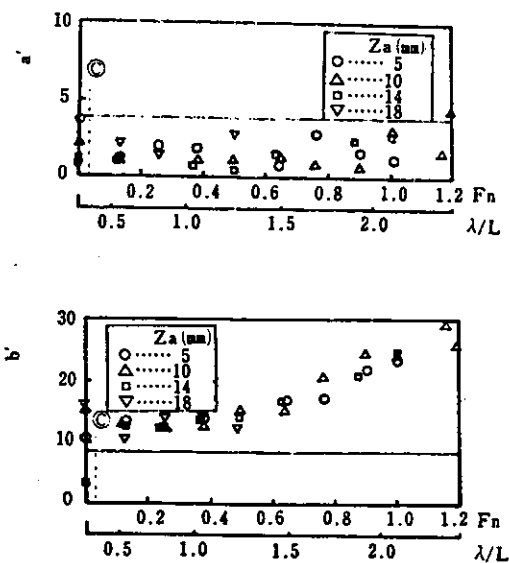
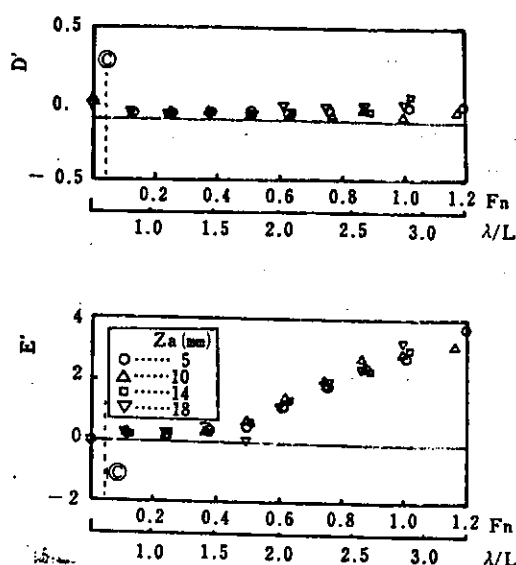
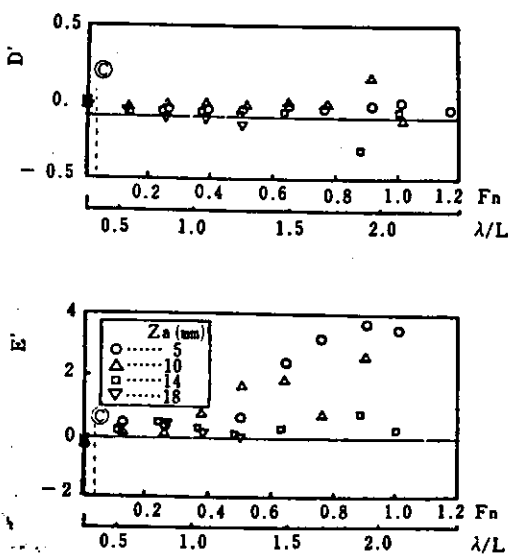


Fig. 9-2 基本周波数成分 (without trim, $\xi_s = 2.91$)

$$\text{critical speed : } \frac{\omega V}{g} = \frac{1}{4}$$

Coefficients of equation of motion of scale model with F_n .



とともに一様に増加しているが、フルード数0, 0.2の場合には計算値にほぼ近い値をとっている。フルード数が1.0の場合は周波数の大きい範囲では実験値は計算値よりもかなり大きくなっている。波浪中の運動でフルード数が1.0の場合波長船長比が1.0付近では計算値は実験値よりもかなり小さくなっているが、この付近は、今回の実験の範囲をはるかに越えているため今のところ説明できない。

D' , E' は周波数に対して大きな変化をしていない。

また、基本周波数成分の力そのものは、船体の固有周波数付近で最小値をとる筈であり実際 Gerritsma³⁾, Golovato⁴⁾, 田中・北川⁵⁾ が行った排水量型船型の実験では明瞭にこの点が計測されているが高速艇の場合には、力が最小となる周波数が明確ではないようである。

Fig. 10 の破線は 2 次元楔状模型の強制動揺試験より得られた流体力をストリップ法で求めた計算値であり、これによれば a' は実験値に近づいているようであるが、 b' は依然実験値と離れている。この計算は船長方向の deadrise angle の変化は無視されているので計算値は高目に出てくる筈である。それにも拘らず計算値が実験値に近づく方向に行かないのは、減衰係数に関しては、速度影響がやはり無視できないものであることを示唆しているようである。

フルード数 1.0 振幅 10 mm の場合の動揺周波数の変化によるトリムの影響について示したのが Fig. 11 であ

る。トリムのある場合には、トリムがない場合に比較して、 a' , D' が大き目となり、 b' , E' は小さ目となっている。G. Fridsma⁶⁾ の実験結果によれば高速艇の波浪中運動はトリム角の大きい方が運動も大きくなっているが、このことは今回の結果と照らし合せて見ると、減衰係数がトリムの増加とともに減少するためと思われる。

フルード数 1.0 でトリムのある状態での上下動振幅による影響を Fig. 12 に示す。トリムのある状態においても、トリム 0 の状態と同様各係数は上下動振幅にほぼ比例する。

2.2.2 高周波数成分および定常成分

力およびモーメントの波形に含まれる高周波数成分は、2 次元模型の場合と同様、基本周波数成分との比で求めた。高周波数成分の中では倍周波数成分が支配的で、倍周波数成分は 3 倍周波数成分の約倍となっている。トリム 0 の場合の倍周波数成分と基本周波数成分との比の速度に対する影響を Fig. 13 に示す。倍周波数成分および 3 倍周波数成分と基本周波数成分との比はフルード数が 0.5 付近でピークをなすようである。

トリム 0 のときの倍周波数成分の動揺周波数による影響を Fig. 14 に示す。倍周波数成分が動揺周波数の増加に従って大きくなることは、波浪中の運動で出会う周波数の大きい部分で上下揺れ波形の倍周波数成分が大きくなっていることに対応している。図中の実線は浅吃水船の 2 次元理論⁷⁾ より求めた計算値であり、振幅の小さな範

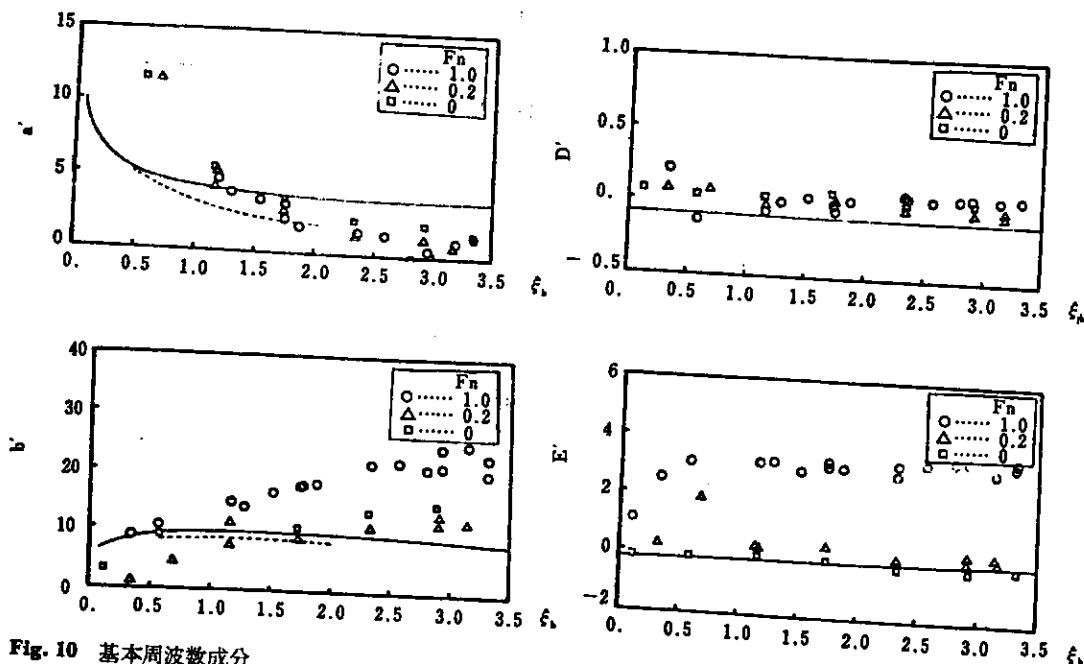


Fig. 10 基本周波数成分
(without trim, $Z_c = 10$ mm)
Coefficients of equation of motion of scale model with ξ .

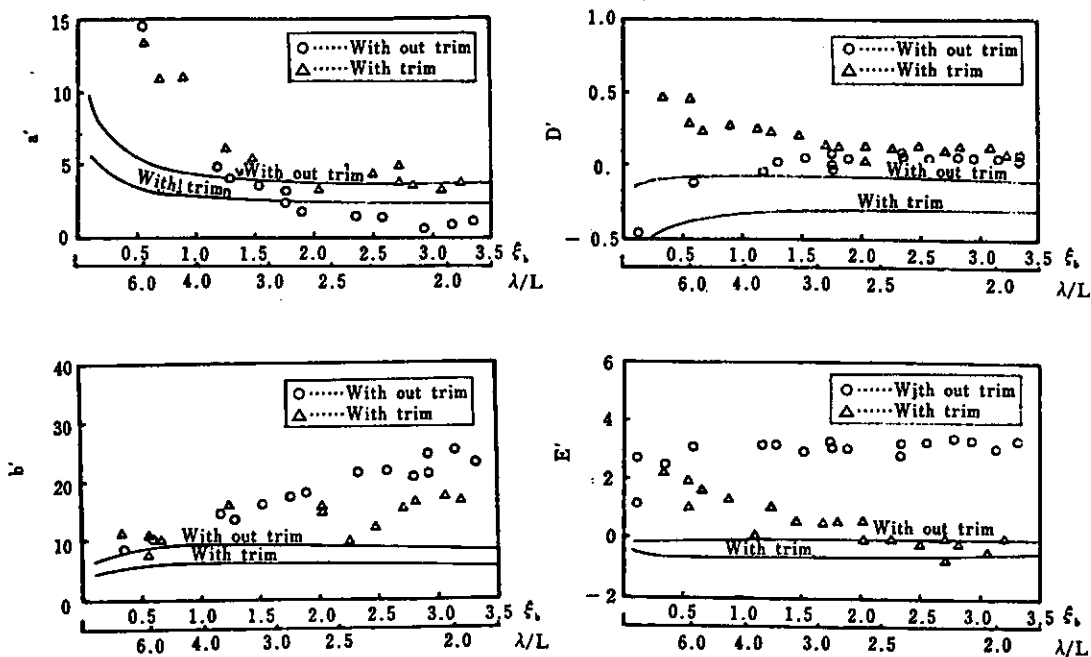


Fig. 11 基本周波数成分
($F_n = 1.0$, $Z_n = 10$ mm)
Coefficients of equation of motion of scale model with ξ_s

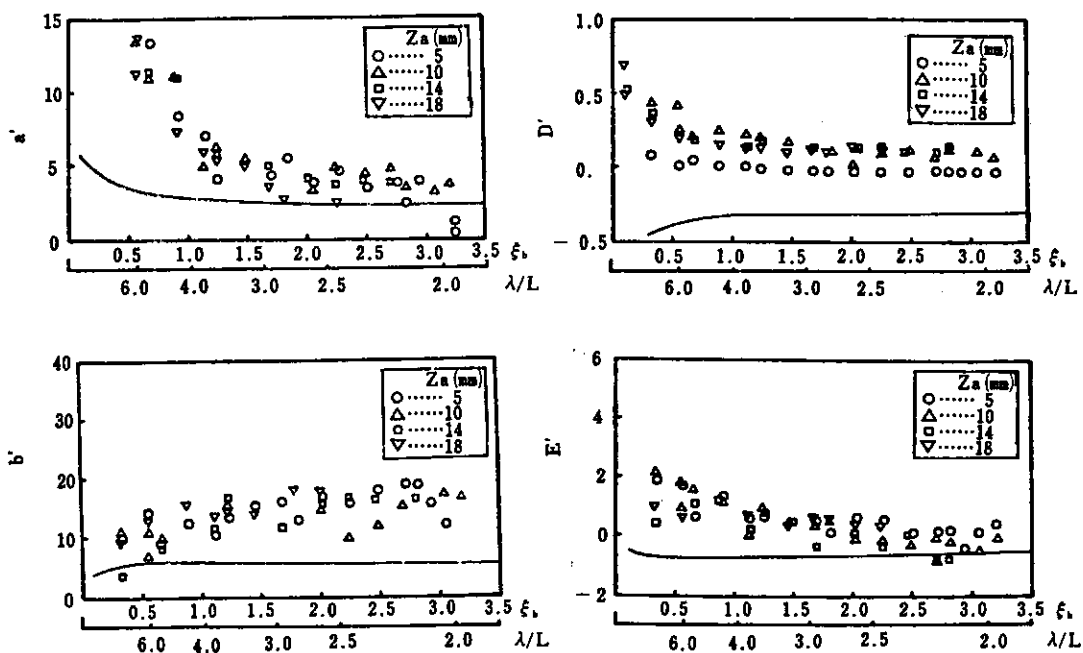


Fig. 12 基本周波数成分
(with trim $F_n = 1.0$)
Coefficients of equation of motion of scale model with ξ_s

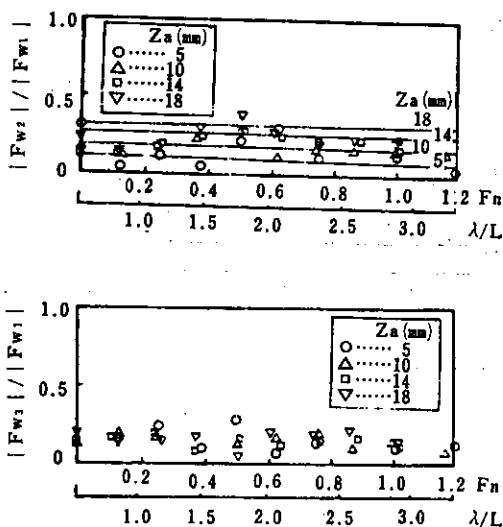


Fig. 13 高周波数成分
(without trim $\xi_0 = 1.74$)
High frequency components of scale model

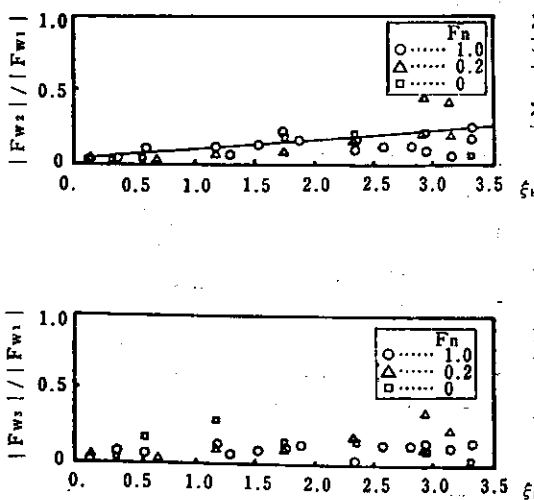
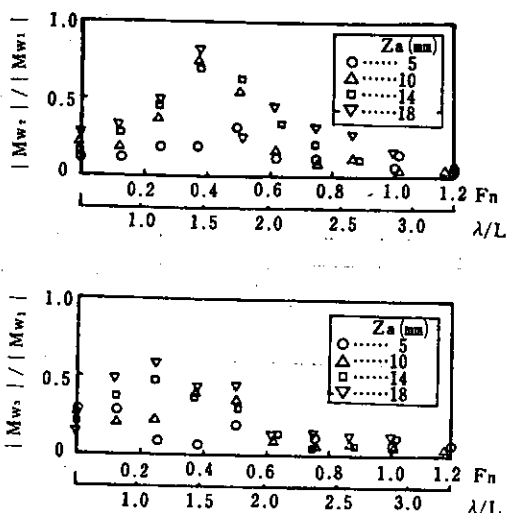
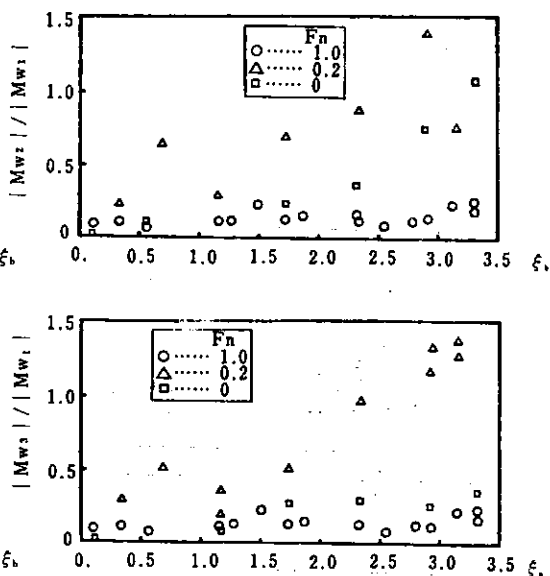


Fig. 14 高周波数成分
(without trim $Z_a = 10$ mm)
High frequency components of scale model



図では実験値を良く説明している。

モーメントの倍周波数成分は動揺周波数に対してはあまり変化しないようである。

(2.1) 式において $n = 0$ は定常成分すなわち定常力、定常モーメントを示している。定常力、定常モーメントは定常航走時に働く力およびモーメントを差し引いて、それぞれ新たに F_{w0} 、 M_{w0} として次のように無次元化し

た。

$$\left. \begin{aligned} F'_{w0} &= F_{w0}/W \\ M'_{w0} &= M_{w0}/WL \end{aligned} \right\}$$

トリム 0 のときのこれらの値を Fig. 15 に示す。定常力は動揺周波数およびフルード数によって顕著な変化はしないようである。定常モーメントはフルード数の増加に従い船首を上げる傾向がある。

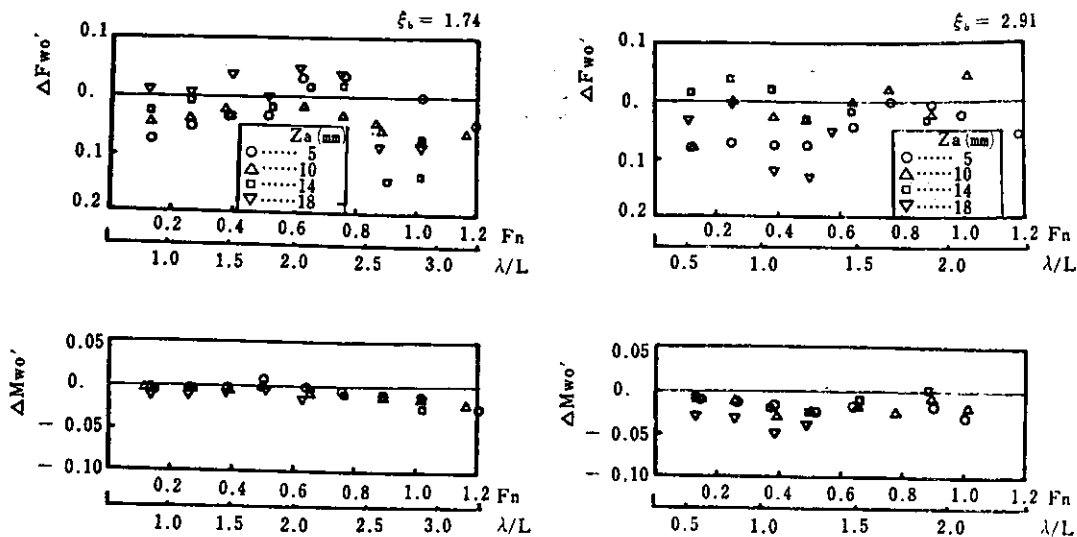


Fig. 15 定常成分
(without trim: ξ_s)
Stationary components of scale model

結 論

高速艇の規則波中運動を解明するために第1報に用いたのと同型の縮尺模型および断面が縮尺模型の中央断面に近い形状をした2次元楔状模型について上下動強制揺動試験を実施し以下の結論を得た。

2次元模型については

- (1) 流体力の各成分は平均喫水がチェーン以下のときとチェーンのところにあるときではその様子が異なる。
- (2) 基本周波数成分のほかに倍周波数以上の成分が存在し、倍周波数成分は喫水の浅い船の理論値と傾向が一致する。
- (3) 定常力が存在し、その方向は鉛直上向きである。
- (4) 浸水面の変化は周波数が高いときと低いときとは異なり、周波数の高いときには没水時急いで浮上時はゆるやかである。

縮尺模型については

- (5) フルード数がおよそ0.5以下では流体力をストリップ法により近似できる。それ以上のフルード数では減衰力に関する項はフルード数の増加とともにストリップ法による値よりも大きくなり、速度影響が大きいことが分かった。
- (6) 前進速度のない2次元模型による試験結果からフルード数の高い範囲の流体力を推定するのは困難のようである。

(7) かなりの高周波数成分および定常成分が存在する。

(8) 強制揺動試験の結果は波浪中運動の実験値とストリップ法による計算値の差を説明しているものと思われる。

以上の結果から、さらに強制揺動試験による研究を推進すれば高速艇の波浪中船体運動を予測しうる可能性が明らかとなってきた。

参 考 文 献

- 1) 別所, 小松: 高速艇の波浪中運動性能の研究 (第1報), 船舶用軽金属委員会第14回報告書。
- 2) 別所, 小松, 安生: 高速艇の規則波中縦運動の研究, 造船学会論文集第135号, 昭和49年6月。
- 3) J. Gerritsma: Experimental Determination of Damping, Added Mass and Added Mass Moment of Inertia of a Ship Model, ISP, '75.
- 4) P. Golvato: The Force and Moments on Heaving Surface Ship, J.S.R., '57.
- 5) 田中, 北川: “強制揺動法による船体動揺特性の研究” (第1報) 造船協会論文集第111号, 昭和37年5月。
- 6) 別所正利: 浅吃水船の2次元動揺問題について, 昭和49年5月。
- 7) 別所, 小松: 水面で動揺する2次元平板に働く流体力について, 関西造船協会誌第154号, 昭和49年9月。
- 8) 田才, 小寺山: 上下揺する半没円柱に働く非線型流体力について, 西部造船会会報第46号, 昭和48年8月。
- 9) G. Fridsma: A Systematic Study of the Rough Water Performance of Planing Boats, Davidson Laboratory Report 1275, '69.