

# 船体運動に対する附加質量及び附加慣性 モーメントについて

—其の 1. 旋回に対する附加慣性モーメント—

正員 元良誠三\*

On the Measurement of Added Mass and Added Moment of Inertia for Ship Motions.

By Seizo Motora, Member

## Abstract

The Author has been conducting experiments to measure the added mass and added moment of inertia of ship forms for the motions through six kinds of freedom, *i. e.*, translations to  $x$ ,  $y$ , and  $z$  direction, and rotations about  $x$ ,  $y$ , and  $z$  axis.

In this paper the Author states about the results of measurement of added moment of inertia about  $z$  axis, which were obtained by an impact method properly devised for this purpose.

Effect of the free surface upon the added mass and difference between added masses for translation to one direction and for oscillatory motion were also discussed in this paper.

## 緒 言

船の様に、ある物体が流体の浮力で重力と平衡しつつ運動する際には、見掛質量効果が大きく働いて、空気中の物体の運動とかなり異つた性質をもつ事はよく知られている。

著者は前論文 [1] で見掛質量効果を考慮した一般運動方程式を求めたが、その基礎となる船体に対する見掛質量の値を実際に測定した例は案外少く、船型の影響等は殆ど知られていないと云つても過言ではない。

著者は見掛質量効果の重要性を考へて、系統的模型船について 6 個の自由度に対する附加質量の値を測定することを企圖し、本論文では先ず旋回、即ち  $z$  軸の周回りの回転に対する附加質量の値を求めて見た。なお本論文では物体の質量を含めたものを見掛質量、増加分だけを附加質量と呼ぶことにする。

### § 1. 附加質量の定義及び自由表面の影響

船の運動に対する運動方程式を作るに当つては、その 6 つの自由度に対する附加慣性の値と性質を知らねばならない。

著者は先に論文 [1] において附加質量には種々の定義があつて、例えば

空気中\* の慣性力  $m\dot{v}$  と水中の慣性力  $(m+m_1)\dot{v}$  の相異より定義される附加質量  $m_1$ 。

” の振動周期  $2\pi\sqrt{m/k}$  と水中の振動周期  $2\pi\sqrt{(m+m')/k}$  の相異より定義される附加質量  $m'$ 。

” の運動量  $mv$  と水中の運動量  $(m+m'')v$  の相異より定義される附加質量  $m''$ 。

” の運動エネルギー  $\frac{1}{2}mv^2$  と水中の運動エネルギー  $\frac{1}{2}(m+m''')v^2$  の相異より定義される附加質量  $m'''$ 。

等から夫々附加質量が定義されるが、これらは粘性及び自由表面がある時は必ずしも等しくないこと、及び非常運動に対する運動方程式の質量の項には慣性力より定義された附加質量  $m_1$  を用うべきであることを述べた。

今回船型に対する附加質量を測定するに当つて、その方法等に関連してもう一度この定義を検討して見る必要がある。論文 [1] でも述べた様に、これらの定義を異にする附加質量は、自由表面の無い理想流体ではすべて一致する筈であるから、先ず最も影響の大きい自由表面の影響から考へて見る。

1-2

水中にある物体を一方向に加速した時の附加質量に対する自由表面の影響は自由表面に対する物体の逆鏡像の影響に等しいことが知られている。[2], [3] 即ち自由表面の無い時の附加質量を  $m_0$ 、自由表面のある時のを  $m_1$  とすれば

原稿受付 昭和 34 年 1 月 10 日

\* 東京大学工学部

\* 厳密には真空中

$$m_1 - m_0 = \text{逆鏡像効果} = -\text{鏡像効果} \tag{1}$$

であり、物体には  $m_1 \ddot{x}$  なる見掛の慣性抵抗を生じる。

この時の自由表面の条件は、速度ポテンシャル  $\phi$  に対して、

$$t=0 \text{ で } \phi=0 \tag{2}$$

となる。(これは任意の速度に対し、近似的に成立する。)

次に物体を今加速したと同じ方向に定常的に振動させたすると、物体には今の  $m_1 \ddot{x}$  なる慣性抵抗の外に造波の為の抵抗及び自分の作った波とある位相でぶつかる為の抵抗を生じる。この抵抗を物体の速度と同じ位相を有するものと、変位と同じ位相を有するものに分けて

$$R = K_1 \dot{x} + K_2 x \tag{3}$$

とすると、運動方程式は

$$(m + m_1) \ddot{x} + K_1 \dot{x} + (k + K_2)x = f \cos \omega t \tag{4}$$

という形になり見掛上剛性が増加したかのような結果となるが、定常運動であるから  $\ddot{x} = -\omega^2 x$  の関係で、見掛の剛性の変化は又考えようでは見掛の慣性の変化とも考えられ、質量が

$$m + m_1 - \frac{K_2}{\omega^2} \tag{5}$$

となつたと考えても運動が説明出来る。即ちこの場合、物体の周期を計算するのに  $T = 2\pi\sqrt{(m_1 + m)/k}$  としたのでは実験と合わないのであつて

$$T = 2\pi\sqrt{(m + m_1 - K_2/\omega^2)/k} \tag{6}$$

としなければならない。

しかし乍ら、この物体を定常状態から更に非定常的に加速する時の慣性抵抗はやはり  $(m + m_1) \ddot{x}$  であつて  $(m + m_1 - K_2/\omega^2) \ddot{x}$  ではない点は注意を要する。

いま 
$$m_1 - K_2/\omega^2 = m' \tag{7}$$

として、 $m_1$  と  $m'$  との関連を調べて見る。

定常的に振動する物体による速度ポテンシャルの自由表面における条件は、周波数を  $\omega$ 、鉛直上方を  $z$  として

$$\phi = \frac{g}{\omega^2} \frac{\partial \phi}{\partial z} \tag{8}$$

であるから、

(1) 周波数が重力の加速度に比して極めて大きい時は

$$\phi = 0 \tag{9}$$

となり(2)式の非定常加速の場合の自由表面条件と等しい。[2], [3], [4], [5]。従つてこの時の自由表面の影響は逆鏡像効果となる。即ち

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} m' = m_1 = m_0 + \text{逆鏡像効果} \tag{10}$$

(2) 周波数が  $g$  に較べて極めて小さい場合、即ち極めてゆるやかな振動の場合には、(8)式の左辺は右辺に較べて省略出来るから

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \tag{11}$$

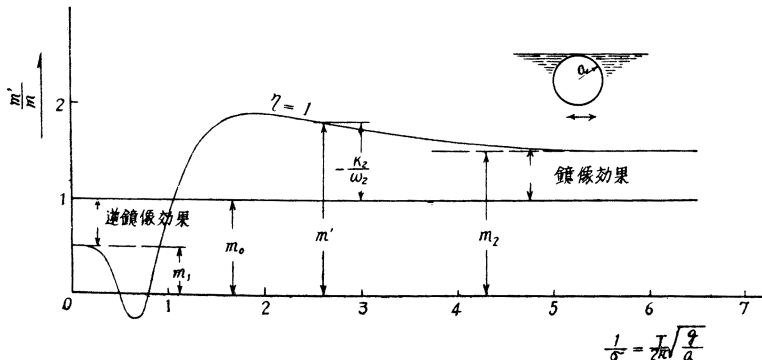


Fig. 1 円盤の周期運動に対する見掛質量

が自由表面条件となる。即ちこの場合は、自由表面は固体壁の作用をなし、その影響は鏡像効果となる。

[6]

即ち

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} m' = m_2 = m_0 + \text{鏡像効果} = m_1 + 2 \times \text{鏡像効果}$$

となる。

(3) この間の有限の  $\omega$  に対しては、自由表面の影

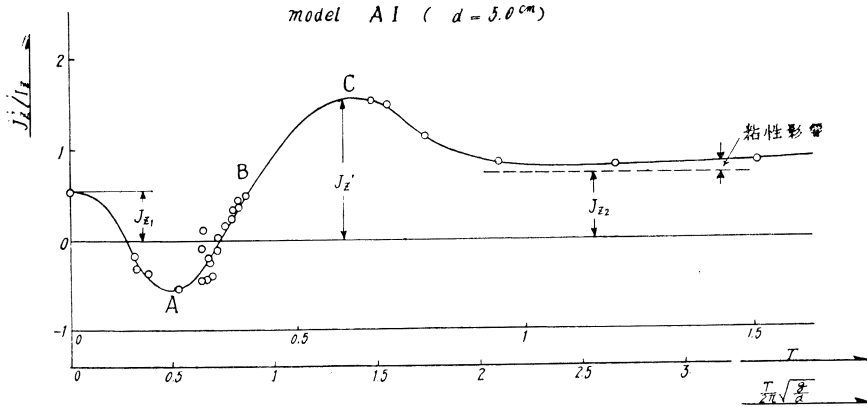


Fig. 2 yawing に対する附加慣性モーメント  $J_z'$  の実測値

響は極めて複雑であることが、山本助教授 [3] が没水円壺及び球について行つた計算によつて示されている。g. 1F は同氏の円壺に対する計算結果で、種々の周期に対する  $m'$  の値を示す。base は周期を無次元化したものである。 $T=0$  では逆鏡像効果により自由表面の無い時の値より小さく、周期が大きくなるに従つて見掛質量は一旦  $m_1$  より減じ、次に増加して  $m_0$  より大きくなり、最後に周期が無限に大きくなると  $m_2$  に一致する。

Fig. 2 は船の垂直軸の周りの見掛の慣性モーメントを船に固着した鋼棒の振り振動の周期より求めたものであるが、Fig. 1 と同じような傾向を示している。base は周期を無次元化したもので  $d$  は吃水である。

$J_z'$  はこの様に周期によつて変化するが、非定常な加速に対する慣性力には  $J_{z1}$  のみしか効かないことが、この実験の記録によく現われている。即ち Fig. 2 の C に相当する部分、即ち  $J_z' > J_{z1}$  の部分では、Fig. 3 (a) の如く振動の最初の半揺れは未だ波の立つていない静水中を動くので船は  $J_{z1}$  に相当する周期で揺れるが、次から波の影響を受けて見掛の慣性は  $J_z'$  となり、周期は著しく延長するのが認められる。これに反し、Fig. 2 の A に当る部分では  $J_z' < J_{z1}$  であるため、Fig. 3 (b) の如く前と全く逆になっている。

$J_z'$  が Fig. 2 の如く周期によつて変化する結果、バネの剛性を変えた時の yawing の周期は Fig. 4 の如く複雑な変化をし、ある所では同じバネで 2 つの周期が存在する様になり Fig. 4 の (1) が Fig. 2 の A~B に相当し、(2) が B~C に相当する。然し (2) は不安定で (1) の方が現われ易い。

## § 2. 各自由度の船体運動に対して取るべき附加質量の値

Fig. 5 は base に無次元の周期を取り、前述の円壺に対する附加質量の計算値、Fig. 2 の  $z$  軸の周りの附加慣性モーメントの実測値、及びが Gerritsma [7] が heaving 及び pitching について求めた見掛質量の値を plot したもので、山、谷の位置に多少のずれはあるが、傾向は大体一致している。図中船体の rolling に対す

$$J_z' > J_{z1}$$

$$J_z' < J_{z1} \text{ の場合}$$

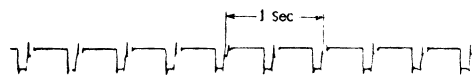
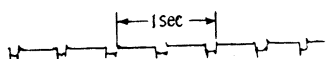
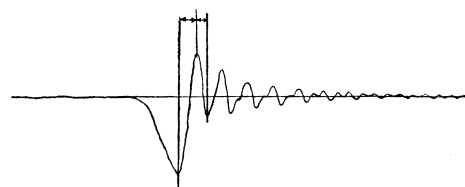
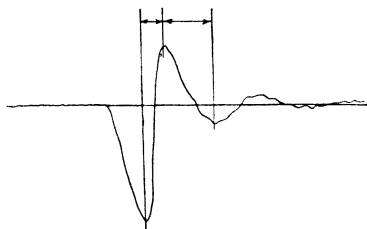


Fig. 3 (a)  $J_z' > J_{z1}$  の場合の振動記録

Fig. 3 (b)  $J_z' < J_{z1}$  の場合の振動記録

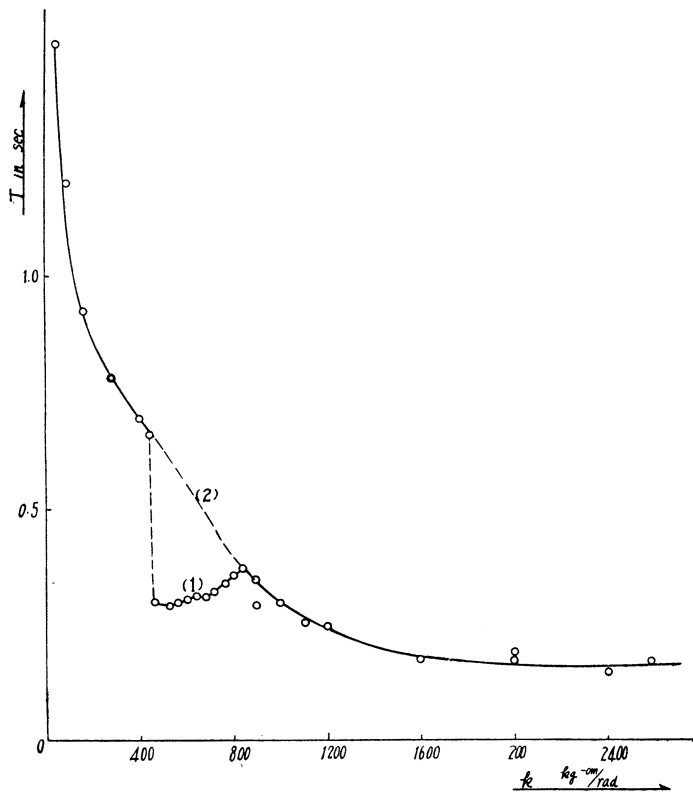


Fig. 4 バネの剛性を変えた場合の yawing の周期の変化  
す意味を持たせて Table 1 の如く記号をつける。

いずれの自由度に対しても厳密に云えば、運動方程式の慣性項に入れるのは  $m_1$  又は  $J_1$  であつて  $m'$  又は  $J'$  ではない筈であるが、rolling の様に自己周期附近の運動が顕著に現われるものでは、初めから慣性項に  $J_2$  を入れておいた方が便利なものもある。又 heaving, pitching 等の様に自己周期を有するが減衰が大きいので rolling 程自己周期の周りの運動は顕著でないものでは自己周期に相当する  $m'$  及至  $J'$  を用いるのも一方法であるが、また不規則な波による動揺は衝撃の連続であるという観点からは  $m_1$  及び  $J_1$  を用いた方が合理的だとも考えられる。

る自己周期, pitching 及び heaving に対する自己周期, 及び船体の撓み振動に対する大体の周期の範囲を記入すると、図のハッチの分のようになる。

先ず船体の撓み振動は2節でも3節でも極めて周期が短いから、自由表面の影響は逆鏡像効果と考えてよく、附加質量として  $m_1$  及至  $J_1$  を用いる事が出来る。論文[8],[9],[10]等はすべてこの見地から取扱われている。

ところが剛体運動に対しては図に示す如く周期はかなりの範囲に亘り、 $m'$  及至  $J'$  を用いるのと  $m_1$  及至  $J_1$  を用いるのとでは非常に大きな差を生じる。rolling に至つては周期の長いものはむしろ  $J_2$  の方に近いものすらある。そこで各自由度につき、どの附加質量を取つたら最も運動を表現するのに便利であるかを考えて見る必要がある。先ず船に固定した座標を Fig. 6 の如く取り、夫々の軸に対する附加質量及び慣性モーメントを夫々 Fig. 1 に示

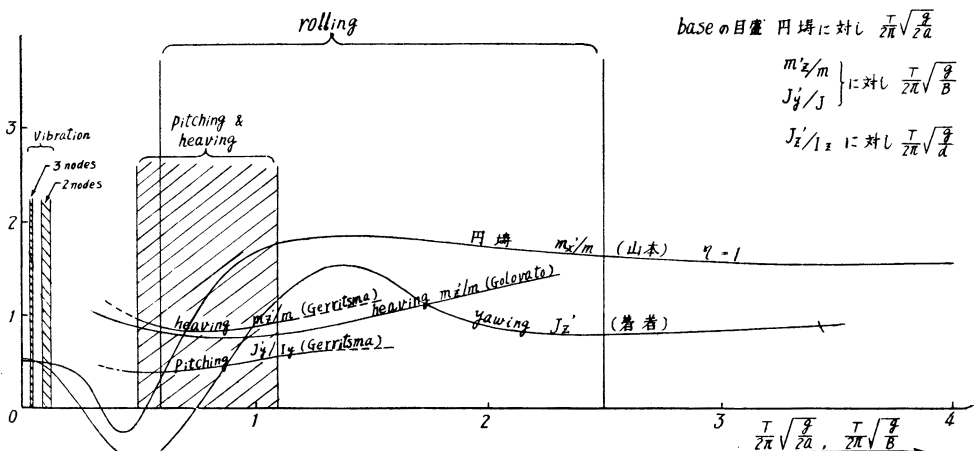


Fig. 5 周期による見掛質量の変化と船体運動の周期範囲

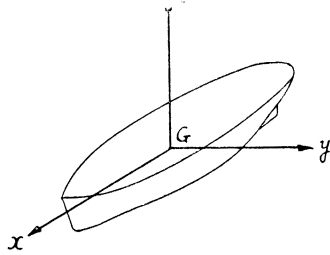


Fig. 6

Table 1 附加質量

	自由表面の無い時	慣性より定義されるもの	任意周期に対するもの	周期無限大に対するもの
x 軸	$m_{x0}$	$m_{x1}$	$m_{x'}$	$m_{x2}$
y 軸	$m_{y0}$	$m_{y1}$	$m_{y'}$	$m_{y2}$
z 軸	$m_{z0}$	$m_{z1}$	$m_{z'}$	$m_{z2}$
附加慣性モーメント				
x 軸	$J_{x0}$	$J_{x1}$	$J_{x'}$	$J_{x2}$
y 軸	$J_{y0}$	$J_{y1}$	$J_{y'}$	$J_{y2}$
z 軸	$J_{z0}$	$J_{z1}$	$J_{z'}$	$J_{z2}$

Table 2

		復原力	減衰	附加慣性/船の慣性	自己周期	運動方程式に採用すべき附加質量の種類	衝撃及び不規則波の場合
x 軸	移行	無	小	小	無	$m_{x1}$	
	回転	小	小	小	有(長)	$J_{x'}$	$(J_{x1})$
y 軸	移行	無	大	大	無	$m_{y1}$	
	回転	大	大	大	有(短)	$J_{y'}$	$J_{y1}$
z 軸	移行	大	大	大	有(短)	$m_{z'}$	$m_{z1}$
	回転	無	大	大	無	$J_{z1}$	

以上を考えて採用すべき見掛質量の種類として Table 2 の如く定める。

rolling の場合は  $I_x \gg J_{x1}$ ,  $J_{x'}$  であるため、 $J_{x'}$  を  $J_{x1}$  の代りに用いても大過ないが pitching 及び heaving では  $J_{x'}$  を用いるのと  $J_{x1}$  を用いるのでかなりの相異を生じるから注意すべきである。

### § 3. 附加質量の測定法

本論文の目的である z 軸の回転に対する附加質量の測定には次の方法が考えられる。

(1) 振動法、適当な剛性の棒で船の重心を固定し、棒の振りにより yawing を起さしめ、その周期  $T_w$  を測り、同様のことを空気中で行つて周期  $T_a$  を測れば、

$$I_z + J_{z'} / I_z = (T_w / T_a)^2$$

が求められ、一方 2 本吊等の方法で船の慣性モーメント  $I_z$  を求めれば  $J_{z'}$  が求められる。

棒の径を変えれば任意の周期に対する  $J_{z'}$  が求められるが極めて長い周期に対する  $J_{z'}$ 、即ち  $J_{z2}$  は測定容易であるが極めて短い周期に対する  $J_{z'}$ 、即ち  $J_{z1}$  を求めようとすると、減衰及び固着等の問題で困難を生じる。結局振動法は  $J_{z1}$  を求める方法としては適当でない。

(2) 加速法

Fig. 7 の如く、船に滑車を固定し紐を介して重錘をかけてモーメントを与え、船体を stopper で止めて置く。船内に磁歪等、高感度、高周波数の加速度計を装備しておき、stopper を外した瞬間の加速度をオシログラフで記録する。滑車の半径を  $r$ 、weight の重さ  $w$ 、加速度を  $\ddot{\theta}_0$  とすると、

$$(I_z + J_{z1} + 2r^2 \frac{w}{g}) \ddot{\theta}_0 = 2wr$$

より  $I_z + J_{z1}$  が求められる。

最初この方法を主力にするつもりであつたが、test の結果は記録に磁歪管をバネとする振動系の振動が大きく混入して  $\ddot{\theta}_0$  を充分な精度で測ることが出来なかつた。然しこの方法は、充分減衰の効いた抵抗線歪計型の加速度計等を用いれば成功の可能性はありそうである。

(3) 衝撃法

最後に考えた方法は衝撃によつて生ずる船の初速を測つて、運動量保存の法則を用いて  $J_{z1}$  を求める方法である。

Fig. 8(a) の如く振子を  $\alpha$  の角度迄振上げて放し、鉛直下で

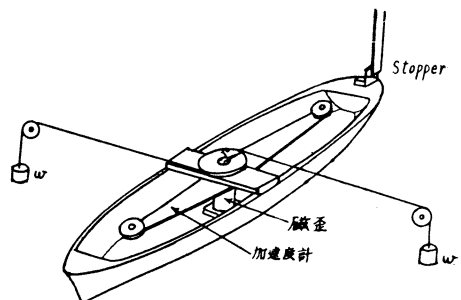


Fig. 7

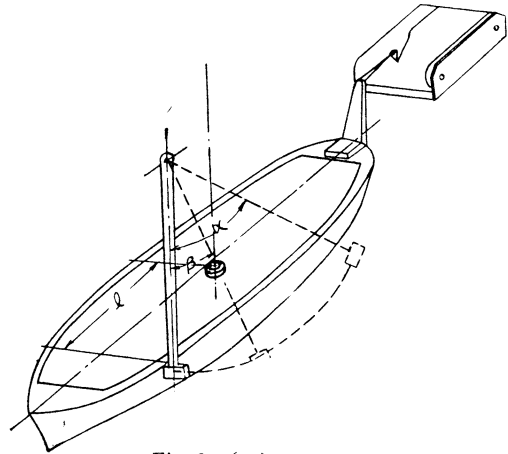
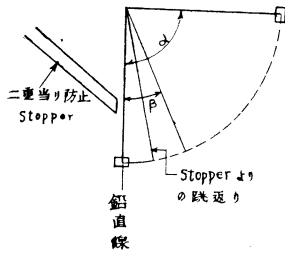
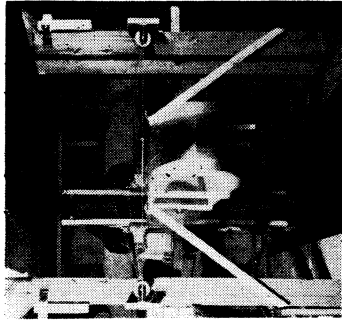


Fig.8 (a)

Fig.8 (b)

船の重心より  $l$  だけ距つた所の側面を衝撃するものとする。

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 振子の跳返り角 $\beta$ , | 船の初速 $\dot{\theta}_0$ |
| 振子の重さ $w$         | 船の重量 $W$              |
| 支点より重心迄の長さ $l_G$  | 慣性モーメント $I_z$         |
| 慣動半径 $\kappa_p$   | 重心より打撃位置迄の距離 $l$      |

とすると、振子は  $\dot{\alpha} = \sqrt{2gl_G(1-\cos\alpha)}/\kappa_p$  なる角速度より  $\dot{\beta} = -\sqrt{2gl_G(1-\cos\beta)}/\kappa_p$  なる角速度に変化するから支点から  $l_p$  の点での impact の総量は

$$\frac{I_p}{g}(\dot{\alpha}-\dot{\beta})\frac{l}{l_p} = \frac{w}{g}\kappa_p^2\frac{l}{l_p}(\dot{\alpha}-\dot{\beta})$$

である。一方船はこの衝撃モーメントによつて

$$\dot{\theta}_0(I_z+J_{z1})/g$$

なる運動量変化を生じるからこれを等置して

$$I_z+J_{z1} = w\kappa_p^2 l(\dot{\alpha}-\dot{\beta})/l_p \cdot \dot{\theta}_0$$

として  $I_z+J_{z1}$  が求められる。問題は  $\alpha, \beta$  及び  $\dot{\theta}_0$  の測定

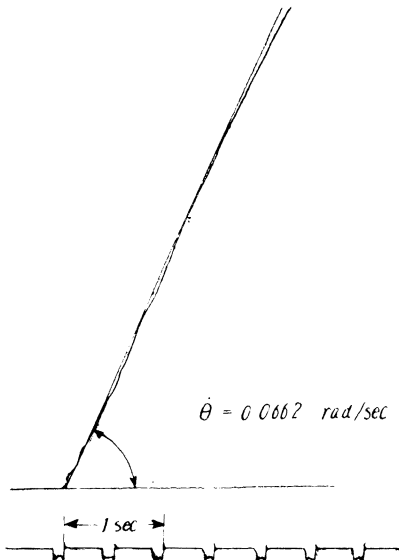


Fig.9 (a) 衝撃法による速度記録 (空气中)

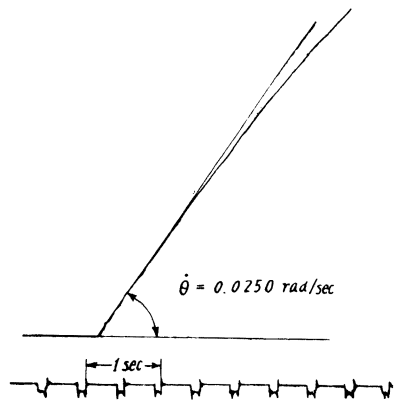


Fig.9 (b) 衝撃法による速度記録 (水中)

であるが、 $\alpha$  及び  $\beta$  は Fig. 8 (b) の如く長露出の写真によつて求められ、 $\theta_0$  は船尾に附したペンによつて記録することが出来る。

$\theta_0$  の記録の例が Fig. 9 に示してあるが、懸念された速度の減衰も初速を測るのに邪魔になる程でなく、かなりの精度で  $\dot{\theta}_0$  を求めることが出来る。

なおこの方法の精度を確かめるため、後述の  $B_0$  船型について、振子の振上げ高さを種々変えて空気中で衝撃によつて求めた  $I_z$  と、振動法により求めた  $I_z$  とを比較すると Table 3 の如くなる。

衝撃法の方がいつも少々大き目に出ているのは、振動等に多少運動量が散逸されるためであろう。然し今の目的には満足すべき精度であるので、今回はこの方法を採用した。

Table 3

l cm		40				
$\alpha$ deg	90.0	90.0	90.2	61.2	61.6	
$\beta$ deg	21.6	23.2	22.7	9.3	10.8	
$\dot{\theta}_0$ rad/sce	0.0576	0.0578	0.0581	0.0355	0.0354	
$I_z$ kg-m <sup>2</sup>	2.79	2.83	2.82	2.84	2.85	
振動法による $I_z$ kg-m <sup>2</sup>		2.770				

§ 4. 計測に用いた模型

模型は国川丸 (145.0m×19.50m×12.20m,  $d_m=8.03$ m,  $\Delta=15,825$ t) を母型とし  $C_b$  を 4 種、 $L/B$  を 3 種変化せるもので、全部垂線間長 1,700m の木製ボディアラック塗装である。要目は Table 4 に、また各 group の母型の正面図を Fig. 10 (a), (b), (c), (d) に示してある。

Table 4 模型要目表

	A			B			C		D		E
$L_m$	1.700										
$d_m$	0.093										
$C_b$	0.800	0.679					0.565	0.450		0.603	
$C_p$	0.807	0.682					0.599	0.555		0.613	
$C_{\Sigma}$	0.992	0.983					0.943	0.811		0.983	
	A <sub>0</sub>	A <sub>I</sub>	A <sub>II</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>I</sub>	B <sub>II</sub>	C <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>I</sub>	D <sub>II</sub>	E <sub>0</sub>
$B_m$	0.2280	0.1700	0.3400	0.2280	0.1700	0.3400	0.2280	0.2280	0.1700	0.3400	0.2280
$L/B$	7.456	10	5	7.456	10	5	7.456	7.456	10	5	7.456
$W$ kg	29.147	21.710	43.420	24.756	18.458	36.916	21.023	16.395	12.224	24.448	22.000
$W/L^3$	5.933	4.419	8.838	5.039	3.757	7.514	4.279	3.337	2.488	4.976	4.478
$I_z$ kg-m <sup>2</sup>	3.32	2.45	4.65	2.65	2.06	3.38	2.30	2.07	1.43	2.35	2.17
$\epsilon_z/L$	.198	.197	.193	.192	.196	.178	.187	.209	.201	.183	.184

各船型間の  $C_b, C_p, C_{\Sigma}$  等の関係は山根博士 [11] の与えた関係 (Fig. 11) によつている。又 E 模型は  $B_0$  を母型とし、極端に Cut-up を大きくしたもので、大きさの異なる dead wood を付すことにより、Cut-up の変化の影響を求める為に作られた模型である。

§ 5.  $J_{z1}$  の測定値

§ 4 の模型につき衝撃法で求めた  $J_{z1}$  の値を Fig. 12 及至 Fig. 16 に示す。

Fig. 12 は  $C_b$  の変化に伴う  $J_{z1}$  の変化で縦軸には  $J_{z1}/I_z$  が取つてある。然し乍ら  $I_z$  は重量の配置で変化する

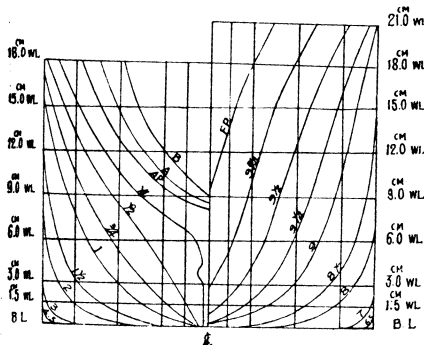


Fig. 10 (a) A<sub>0</sub> 船型

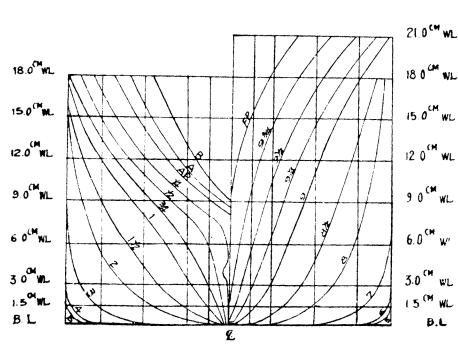


Fig. 10 (b) B<sub>0</sub> 船型

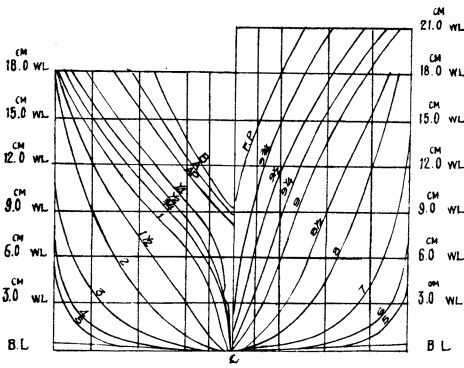


Fig. 10 (c)  $C_0$  船型

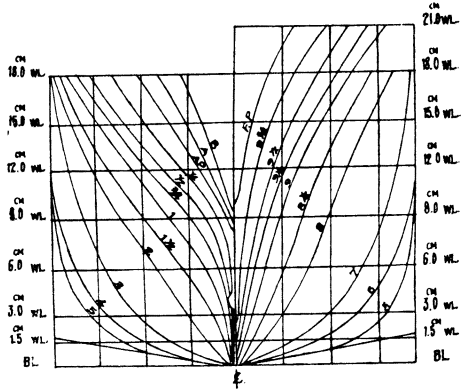


Fig. 10 (d)  $D_0$  船型

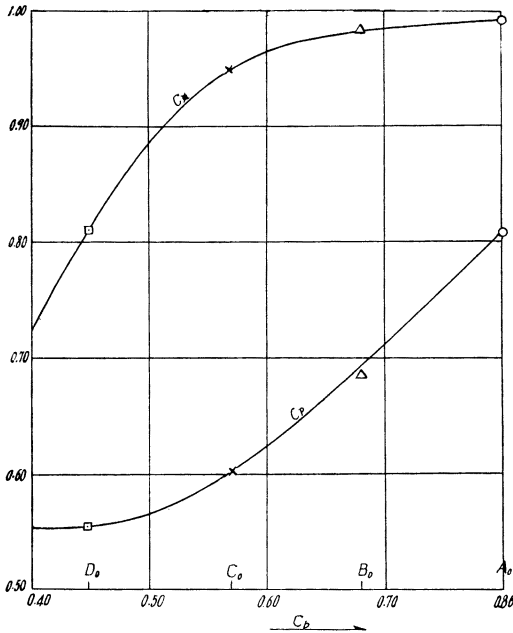


Fig. 11 模型船の  $C_b, C_p, C_x$  の関係

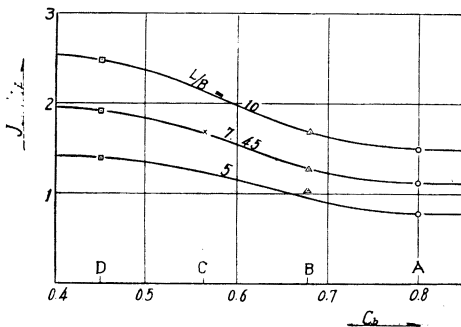


Fig. 12 附加慣性モーメントと船の慣性モーメントの比

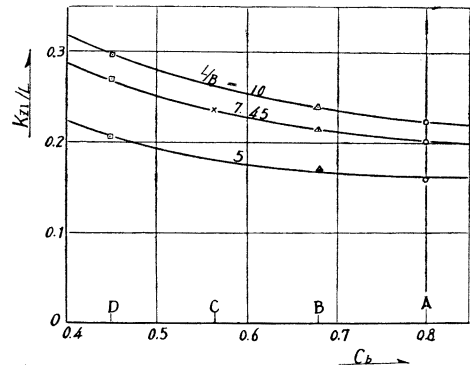


Fig. 13  $C_b$  の変化に伴う附加慣性モーメントの変化

るので  $J_{z1}/I_z$  で附加慣性モーメントを比較するのは余り適当でない。

Fig. 12はその意味で附加慣動半径  $\kappa_{z1} (\kappa_{z1} = \sqrt{J_{z1}/W})$  を取り、船長との比で表わしてある。図により船が稽せて来ると附加慣性が增加することが判る。

$J_{z1}$  は案外に大きい、その理由の一つは、前後の dead wood による加速が大きい為であろう。

Fig. 14 は  $L/B$  の変化に伴う  $\kappa_{z1}/L$  の変化の様様で、 $L/B$  が大きくなると附加慣動半径は増加する。然し  $L/B = \infty$  の極限では船の center plane の形をした平板の  $J_{z1}$  に相当する筈であるから、何れの船型も一定値に収斂する傾向を持つ。また  $L/B = 1$  では  $J_{z1}$  は 0 となる筈で各船型に対する曲線は  $L/B = 1$  で 0 に集まる。

Fig. 15 は吃水を変化させた時の見掛の慣動半径の変化で、吃水が減ると附加慣性は急激に減少する。

今回の系統模型には  $L/d$  を変えた系統が無いが同一船型で吃水を変えた Fig. 15 により、大体の傾向は推察することが出来よう。

Fig. 16 は Cut-up の変化に伴う附加慣性の変化で、 $E_0$  模型に 4 種類の dead wood を着けて実験したも



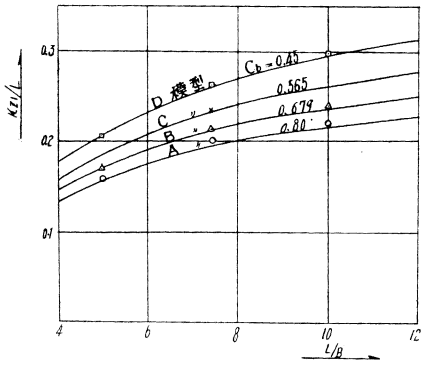


Fig. 14  $L/B$  の変化に伴う附加慣性モーメントの変化

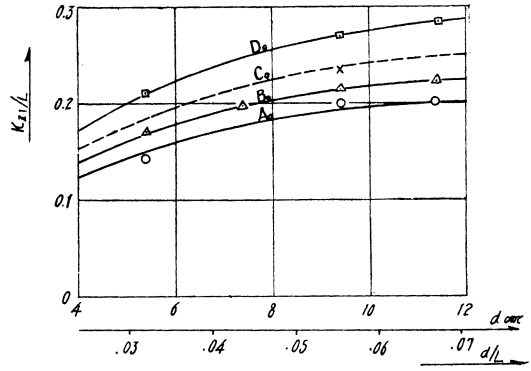


Fig. 15 吃水の変化に伴う附加慣性モーメント

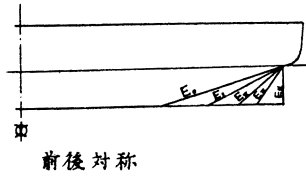
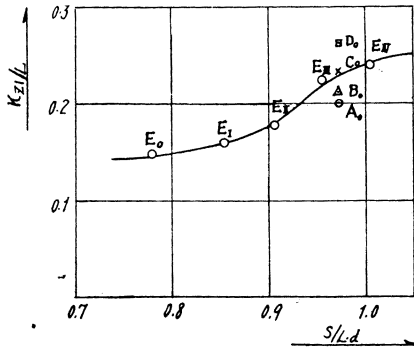


Fig. 16 Cut-up の変化に伴う附加慣性モーメントの変化

のである。Cut-up が少ないもの程附加慣性モーメントが大きくなる程度が Fig. 16 により推察出来る。

### § 6 $J_{22}$ の測定値

周期の長い方の極限值  $J_{22}$  は運動学上は余り重要ではないが、 $J_{21}$  との関連を見る上で多少の興味もあるので

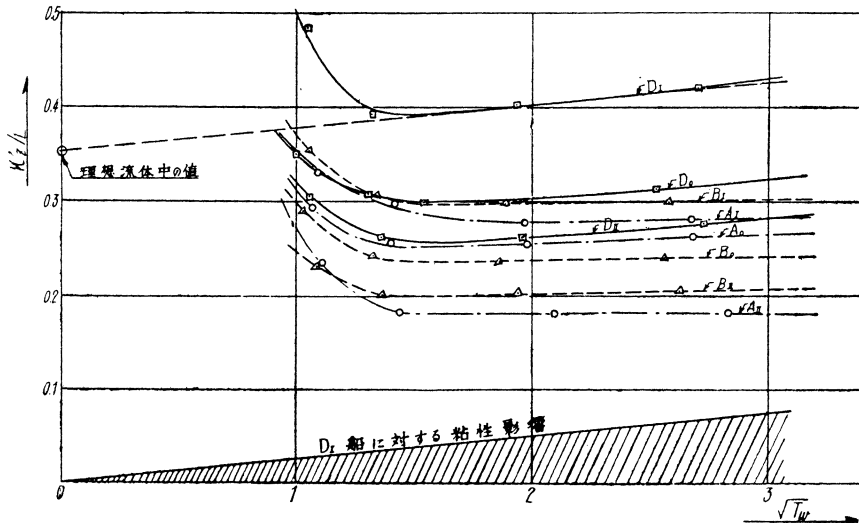


Fig. 17

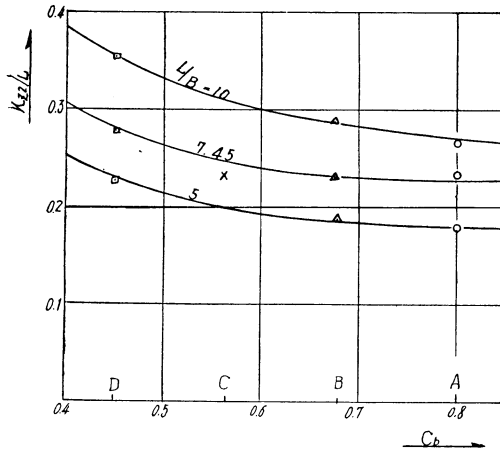


Fig. 18 極めて長周期の振動に対する  
附加慣性モーメント

小さく、その差は鏡像効果×2になる筈であるが、その船型による変化の傾向迄は現在の精度では検討出来ない。

終りに臨み有益な助言を与えられた乾教授、三菱日本重工笠原協之氏並びに実験の遂行に尽力された東京大学動揺水槽の杉田松次氏以下職員諸氏及び水産大学宮崎芳夫氏に対し厚く御礼申上げる。

なお本研究は文部省科学試程研究費による研究の一環として行われたものである。

#### 参考文献

- [1] 元良誠三 「見掛質量について」造船協会会報 第 87 号
- [2] 元良誠三 「見掛質量に対する自由表面の影響について」造船協会々報 第 86 号 (後編)
- [3] 山本善之 「周期運動を行う没水体について」造船協会々報 77 号
- [4] 山本善之 「見掛質量の定義と一般性質」雑纂 285 号
- [5] 磯部 孝 「見掛質量」応用物理 Vol. 17, No. 1~2, 3~4.
- [6] Weinblum G. Schiff und Haven 1951.
- [7] Gerritsma J. "Experimental Determination of Damping, Added Mass and Added Moment of Inertia of a Ship model Int. Ship. Progress. Vol. 4, No. 38.
- [8] Taylor J.L. "Some Hydrodynamical Inertia Coefficient" Philosophical Mag. 1930.
- [9] Lewis F.M. "The Inertia of the Water Surrounding a Vibrating Body" TSNAME 1929.
- [10] 熊井豊二 「船体振動における附加慣性力率について」造船協会論文集 104 号
- [11] 山県昌夫 「船型学」(抵抗編) p. 67 天然社
- [12] Stokes GG. Hydrodynamics (Lamb) p. 944

求めて見た。

Fig. 17 は Fig. 2 の  $C$  より長い周期の部分で各船型について求めたもので、横軸には周期の平方根を取つてある。Stokes [12] が球について行つた近似計算及び磯部教授 [5] の実験では、粘性の影響は周期の平方根に比例することが知られているが実験 Fig. 17 でも周期の長い所では直線となり、 $\sqrt{T_w}=1.3$  即ち 1.7 秒位の周期から短い所で表面波の為に急激に附加慣性が増加している。

従つて粘性の影響を除いた  $J_{z2}$  を求めるには Fig. 17 で  $D_I$  船型で例を示す様に、直線部分を延長して、 $T=0$  の所の値を取ればよいわけである。

Fig. 18 はこうして求めた  $J_{z2}$  より附加慣動半径  $k_{z2}/L$  を求めたもので、Fig. 13 に対応すべきものである。

Fig. 13 と Fig. 18 を較べると確かに Fig. 13 の方が