

(昭和 34 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

船体運動に対する附加質量および附加慣性 モーメントについて

—その 3 左右動に対する附加質量—

正員 元 良 誠 三*

On the measurement of added mass and added moment of inertia for ship motions.

(Part 3. Added mass for the transverse motions.)

By Seizo Motora, Member

The Author describes in this paper the results of measurement of added mass for the transverse motions.

The Author employed an "athwartship accelerating method" which is grounded on the fact that, when a slender body like a ship is accelerated by a force making an angle α to the center plane of the ship, the direction of acceleration does not coincide to that of the force, and let the angle of acceleration to the center plane β , there is a relation as follows ;

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{m + m_{y1}}{m + m_{x1}}$$

The results obtained by this method were satisfactory ones. It was found that m_{y1}/m decreases when C_b value of a ship increases, that m_{y1}/m increases when a ship becomes more slender.

左右動に対し、船は自己周期を有しないから第 1 報で述べたごとく、非定常運動に対する附加質量 m_{y1} が最も必要である。

本論文では前に述べた系統模型船につき m_{y1} を求め、 C_b , L/B および d/B との関連を調べて見た。

§ 1 測定方法

測定方法としては前後動に対する附加質量 m_{x1} を測定したときと同じ振動法、加速法、衝撃法を検討したが減衰が大きいため、加速法が少々良好な結果を示したのみで他は用いられなかつた。

そこで方法を変え細長い物体を水中で加速するとき、力と加速の方向が一致しない現象を利用することにした。すなわち、Fig. 1 において船の重心（詳しくは見掛重心）に船体中心線と α をなす方向 F に力を加えると x 方向の加速度は

$$\ddot{x} = \frac{F \cos \alpha}{m + m_{x1}} \quad (1)$$

y 方向の加速度は

$$\ddot{y} = \frac{F \sin \alpha}{m + m_{y1}} \quad (2)$$

となるから、加速度 A の船体中心線とたす角を β とすると

$$\tan \beta = \frac{\ddot{y}}{\ddot{x}} = \frac{m + m_{x1}}{m + m_{y1}} \tan \alpha \quad (3)$$

となり、加速度は力の方向より船体中心線の方に偏る。

(3) 式より $\tan \alpha$ と $\tan \beta$ の比を測定すれば $m + m_{x1}$ と $m + m_{y1}$ の比が求められ、 m_{x1} が判つていれば m_{y1} が求められる。

原稿受付 昭和 34 年 7 月 10 日

* 東京大学工学部

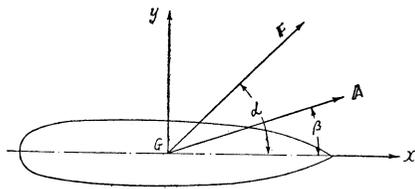


Fig. 1

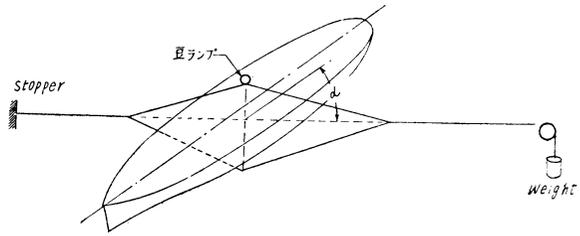


Fig. 2

この関係を用いて m_y を測定するため、Fig. 2 のごとき方法を用いた。すなわち船の重心を通る鉛直線内で船の甲板上と船底下に紐をつけ rolling しないように平行四辺形に左右に張つた後一方は滑車を経て weight で引張り、一方は stopper で止めて重心直上に豆ランプをつけ、船体中心線および紐が明瞭に写真に写るように白く塗つて置く。静止時に真上から写真を撮り、ついで stopper を外すと同時に同じ画面に豆ランプの動きを重ねて写す。

その結果は Fig. 3 a) b) のごとくなり、これより $\tan \alpha$ と $\tan \beta$ の比をかなり正確に読み取る事が出来る。Table 1 は (3) 式が実際成立するかどうかを試みるために力の方向 α を大幅に数種変化させて実験した結果で、これより α のいかに拘らず (3) 式の関係が成立つ事が判る。Fig. 3 a) は Table 1 の $\alpha=16.4^\circ$ の場合、b) は $\alpha=57.6^\circ$ の場合の記録の例である。

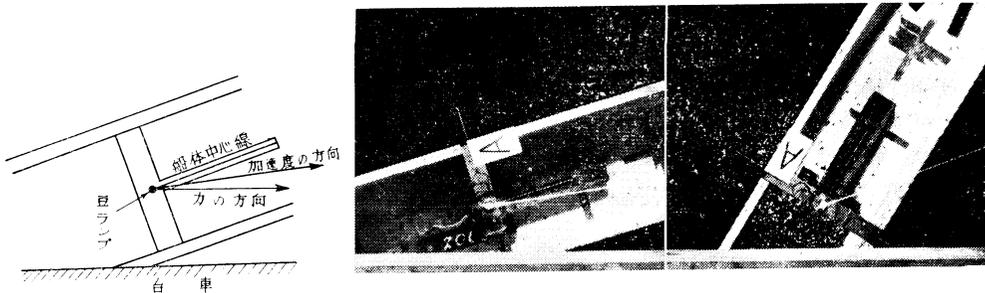


Fig. 3

Table 1 B₀ 模 型

α	$\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{m+m_{y1}}{m+m_{x1}}$	$\frac{m+m_{x1}}{m}$	$\frac{m+m_{y1}}{m}$	m_{y1}/m
16.4°	1.880			
22.2°	1.890			
36.2°	1.885			
43.5°	1.898			
57.6°	1.888			
82.5°	1.910			
平均	1.891	1.040	1.967	0.967

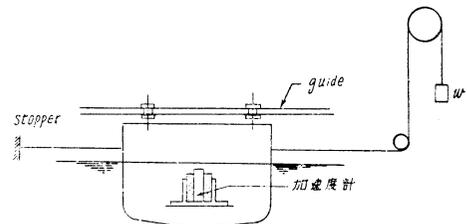


Fig. 4

実際の測定では、 α が余り小さくても大きくても $\tan \alpha / \tan \beta$ が測定し難いので大体 $\alpha=37^\circ$ 近辺を狙つて数回実験を行ない、平均を取つた。

得られた m_{y1} がもう少し直接的な方法と一致するかどうかを調べるために加速法による測定も行なつて見た。その方法は Fig. 4 のごとく船に加速度計を固定し、rolling を止めるために摩擦の少いガイドをつけ船体に固着した紐を左右に水平に伸ばして、一方は stopper につけ、一方は滑車を経て weight w で引張つてある。

stopper を外す瞬間の加速度の変化を oscillograph で記録し、最大加速度を y_0 とすると

$$\left(m + m_y + \frac{w}{g} + \delta m \right) y_0 = w \tag{4}$$

より $m + m_y$ が求められる。ただし δm は滑車の慣性による質量の増加である。

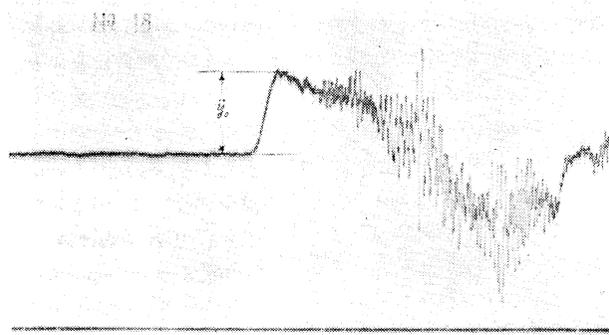


Fig. 5

oscillogram の一例が Fig. 5 に示してあるが、ガイドの振動等が入つて来てあまり高い精度は望めない。測定結果は、その平均は大体前述の方法による測定結果と一致するが $\pm 5\%$ 程度のバラツキがあり精度から考えて前の方法の方が信頼出来よう。

§ 9 測定結果

2.1 測定値

測定の精度を調べるため、 B_0 模型につき数回実験を行なつた結果は大体 $\pm 2\%$ 程度の精度であつた。

Table 2

模 型	$\tan \alpha / \tan \beta$	$(m+m_{z1})/m$	$(m+m_{y1})/m$	m_{y1}/m
A_0	1.782	1.0503	1.873	0.873
A_I	2.092	1.0448	2.186	1.186
A_{II}	1.524	1.0643	1.622	0.622
B_0	1.896	1.0400	1.972	0.972
B_I	2.250	1.0356	2.330	1.330
B_{II}	1.610	1.0526	1.695	0.695
C_0	1.975	1.0324	2.404	1.040
D_0	2.092	1.0234	2.141	1.141
D_I	2.543	1.0315	2.623	1.623
D_{II}	1.757	1.0297	1.810	0.810

各模型について行なつた測定結果を平均値だけ示すと Table 2 のごとくなる。

2.2 L/B との関連

Fig. 6 は Table 2 を L/B base に Plot したもので L/B が増加し、船が細長くなると m_y/m は急激に増加することが判る。図中破線は回転楕円体に対する自由表面のない時の計算値であるが、傾向が著しく異なるのは回転楕

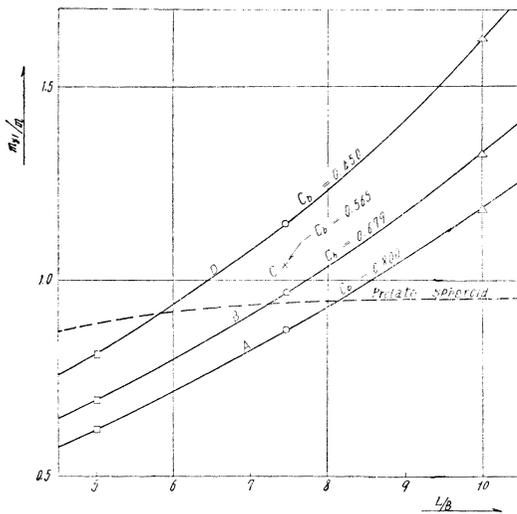


Fig. 6

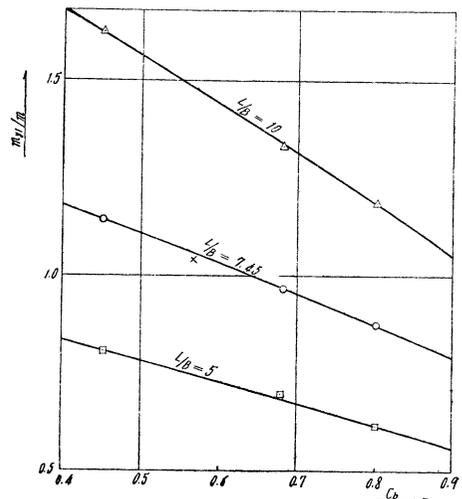


Fig. 7

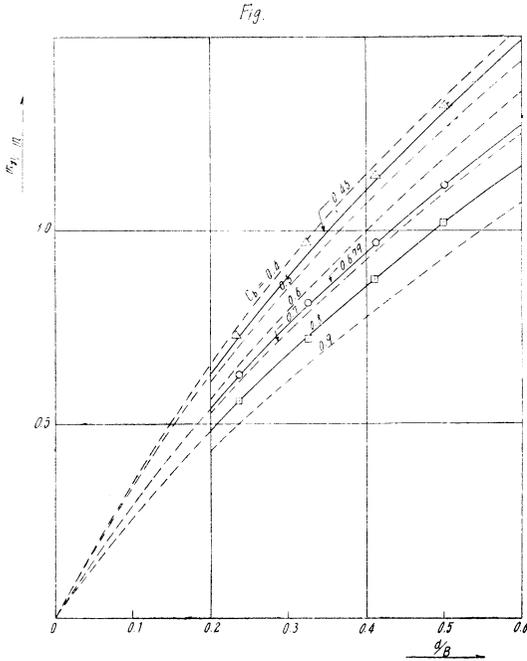


Fig. 8

$L/B=7.45$ (標準喫水)の点を通り Fig. 8 の関係により d/B による変化分を修正したのが図中の破線、 $d/B=const$ の曲線である。

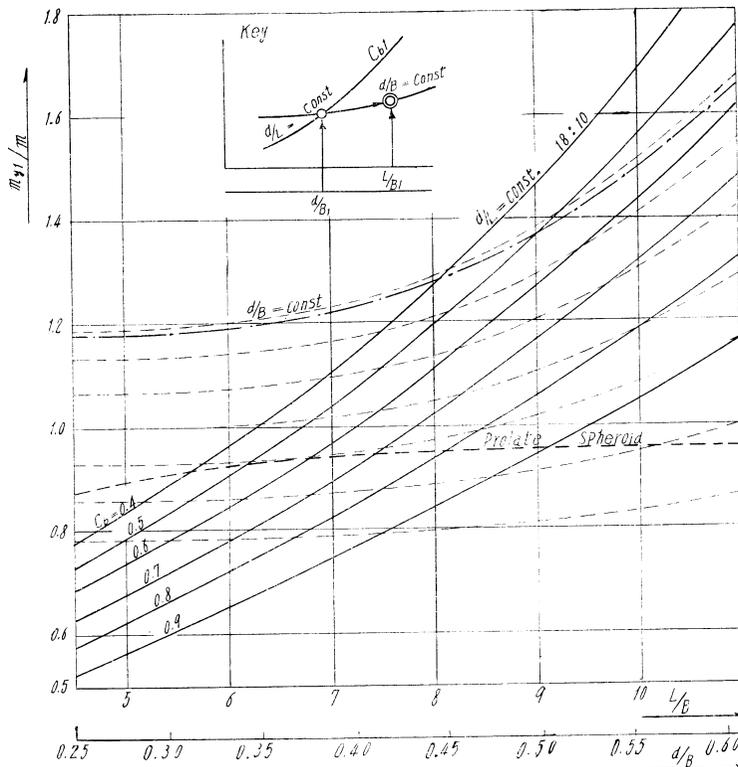


Fig. 9

円体が d/B 一定で L/B が変化しているのに対し実験値は、 d/L 一定で行なっているためである。その相異については後に述べる。

2.3 C_b との関連

Fig. 7 は C_b との関連を示したもので、 C_b が増加すると m_{y1}/m は減少するがこれは尖つた部分が減少するためと考えられる。

2.4 d/B との関連

Fig. 6 は d 一定で実験した結果であるから、 L/B が変化すると同時に d/B も変化していて、純粹の L/B だけ、または d/B だけの变化の影響ではない。そのため、 d/B だけの影響を見るため、 A_0, B_0, D_0 の船型で喫水を変化させて測定を行なつた。

その結果が Fig. 8 で m_{y1} のときと異なり、 d/B に完全には比例しないが d/B が増加すれば m_{y1}/m は一定の傾向で増加する。そこで Fig. 8 の関係を用いて、Fig. 6 の d 一定の曲線を近似的に d/B 一定の線に修正することが出来る。

Fig. 9 はその結果を示したもので、Fig. 7 より $C_b=0.4\sim 0.9$ に相当する値を読んで Plot したのが Fig. 9 中の $d/L=const$ の曲線であり、各曲線の

Fig. 9 より任意の $L/B, C_b, d/B$ に対する m_{y1}/m の値を求めることが出来る。すなわち、求めようとする船の d/B を base 上に取り、その直上で与えられた C_b に相当する $d/L = \text{const}$ の線との交点を求め、その交点を通り最寄りの $d/B = \text{const}$ の線に平行に線を引き、与えられた L/B の直上の値を読み取ればよい。

2.5 回転楕円体の理論値との比較

Fig. 9 には回転楕円体 $d/B = \text{const} = 0.5$ の計算値が plot してあるが、 m_{y1} のときと異なり、実験値を $d/B = \text{const}$ の場合に修正してもなお傾向が一致しない。特に船の場合は $d/B = \text{const}$ でも L/B が大きくなると、 m_{y1}/m は増加の傾向を示しているが、これは L/B が大きくなると船首、船尾の尖りが鋭くなつて来るためと考えられる。また回転楕円体の $C_b = 0.514, d/B = 0.5$ に相当する $d/B = \text{const}$ 曲線を Fig. 9 で求めて見ると図中の一番上の $d/B = \text{const}$ 曲線のわずかに下、図中の鎖線になるから、回転楕円体に対するものより遙かに大きくなる。この相異はやはり船首、船尾の尖りのためと考えられ、 m_{y1} に関する限り回転楕円体の理論値は船には適用できないことが判る。

2.6 側面積と m_{y1} の関係

dead Wood の面積をかえて側面積を変化させた場合の m_{y1} の変化を調べるために、 E_0 模型に 4 種類のヒレをつけて実験を行なつた結果は Fig. 10 のごとくなる。

ヒレは前後対称につけられている。Fig. 10 中の破線は、 m_{y1} が側面積に比例すると考えたときの線で、実測値はそれよりやや大き目に出ている。これは dead wood が薄い板で出来ていることから当然予想されることであるが、近似的には側面積の増加による m_{y1} の増加は面積に比例すると考えて差支えない。すなわち

$$\frac{\delta m_{y1}}{\delta A} = \frac{m_{y1}}{A} \tag{5}$$

ただし δm_{y1} は m_{y1} の増加分

δA は側面積の増加分である。

2.7 横の附加質量 m_{y1} の中心

附加質量は普通の質量の重心に相当する中心を有する。船体の重心を G 。附加質量の中心を 0 とすると、見掛上全体の重心は、 G と 0 とを船体の質量と附加質量の逆比に内分したところにあることが知られている*。

今の場合、重心も附加質量の中心も船体中心面上にあることは明かであるから、問題になるのは、その前後方向の位置である。

見掛の重心位置を G' とすると

$$GG' = \frac{m_{y1} \times OG}{m + m_{y1}} \tag{6}$$

となるわけである。

実験により GG' が求められれば OG が求められる。 OG を求めるため E_0 模型を用いて次の如き実験を行なう。

1) dead wood が無い場合

$0, G, G'$ ともに \otimes にあり、斜航法により、 $mg = 22.00 \text{ kg}$ $m_{y1} = 0.797 \text{ m}$ が求められる。

2) dead wood を船尾だけにつけた場合 (Fig. 11 参照)。

dead wood の面積 $\delta A = 172.2 \text{ cm}^2$ dead wood の面積の中心の \otimes よりの距離 $\otimes C = 70.84 \text{ cm}$

E_0 の側面積 $A = 1262 \text{ cm}^2$ $mg = 22.00 \text{ kg}$ 。

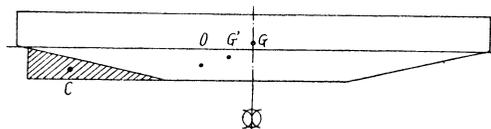


Fig. 11

* 元良誠三 見掛質量について造船協会々報 87 号

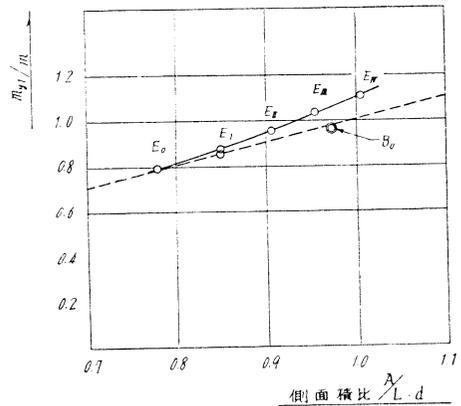


Fig. 10

附加質量の増加 $\delta m_{y1} = 0.160m$

$\overline{GG'}$ を求めるため、回転中心を前後にずらせ乍ら衝撃実験を行なつて、見掛の慣性モーメント $I_Z + J_{Z1}$ を求めて見ると、Fig. 12のごとくなる。

Fig. 12 より $I_Z + J_{Z1}$ が極小となる点が G' の筈であるから $\overline{GG'} = 6.00 \text{ cm}$ を得る。

これより、(6)式を用いて附加質量の中心位置 \overline{OG} を求めて見ると

$$\overline{GG'} = 6.00 = \frac{\overline{OG} \times m_{y1} + \delta m_{y1}}{m + m_{y1} + \delta m_{y1}}$$

より $\overline{OG} = 12.26 \text{ cm}$ となる。

a) 今簡単のため、附加質量の増加は側面積の増加に比例し、増加分の中心は面積の増加分 (dead wood) の面積中心 C にあると仮定すると

$$\frac{\delta m_{y1}}{\delta A} = \frac{m_{y1}}{A}$$

$$\overline{OG} = \frac{\overline{OC} \times \delta A}{A + \delta A} = 8.50 \text{ cm}$$

$$\overline{OG} (\text{実測}) = 12.26 \text{ cm}$$

となり、実際の方が後に偏る。

b) つぎに附加質量の増加は実測値を取り、その中心は dead wood の面積中心 C にあるとすると

$$\overline{OG} = \frac{\overline{OC} \times \delta m_{y1}}{m_{y1} + \delta m_{y1}} = 11.85 \text{ cm}$$

$$\overline{OG} (\text{実測}) = 12.26 \text{ cm}$$

したがつて、b) の仮定は大体成立すると考えてよい。実測値の方がなお後に偏っているのは、附加質量の増加分の中心が dead wood の中心より後へ偏るためであり、dead wood の後端が薄く尖つていることから当然であろう。

終りに臨み、本研究は文部省科学試験研究の一部として行われたものであることを附記し、終始御指導と助言を賜つた加藤教授、乾教授、および解析に尽力された東京大学工学部船舶工学科安定性能研究室の職員諸氏に厚く御礼申上げる。

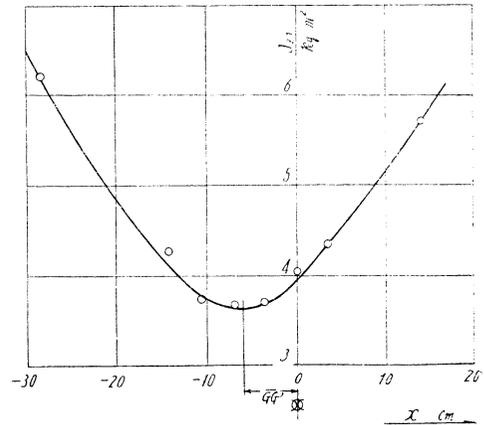


Fig. 12