

(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 2 前後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 2. Added mass Abstract for the longitudinal motions.)

By Seizo Motora Member

Abstract

The Author describes in this paper the results of measurements of added mass for longitudinal motions. An impact method described in Part 1 was used for measuring device and the results are compared with the theoretical values for a prolate spheroid after Lamb. It was found that the ratio added mass to the mass of the ship m_{x1}/m increases when C_b of the ship becomes large, as well as when L/B of the ship increases.

本論文では前回に引続き、同じ系統模型船について前後動に対する附加質量を計測した。

x 軸方向の附加質量として必要なのは非定常運動に対するもの、すなわち m_{x1} である。したがってその測定も非定常な過程を用いなければならない。

§ 1. 測 定 方 法

m_{x1} は大体 m の 4~8% 程度と考えられるので、 m_{x1} を $\pm 5\%$ の精度で測るためには見掛質量 $m + m_{x1}$ を 0.2~0.4% の精度で測る必要があり、かなり困難な測定である。

第一報と同じく振動法、加速法、衝撃法の 3 つにつき検討を行なつた末、衝撃法によることにした。

方法は第 1 報に述べたものとほぼ同じで、衝撃を与えるものとしては振子を用い、Fig. 1 のごとく、鉛直より角 α だけ振上げて放し鉛直下で模型中心線を打撃する。

振子の跳返り角 β	船の初速 u_0
" の重さ w_p	船の重量 W
" 支点より重心までの長さ l_G	
" 環動半径 K_P	

とすると、

振子は $\dot{\alpha} = \sqrt{2gl_G(1-\cos\alpha)}/K_P$ なる角速度より $\dot{\beta} = -\sqrt{2gl_G(1-\cos\beta)}/K_P$

なる角速度に変化するから、支点から l_P の点で impact の総量は、

$$\frac{I_P}{g}(\dot{\alpha} + \dot{\beta}) \frac{\cos^2\phi}{l_P} = \frac{w_p}{g} \frac{K_P^2}{l_P} (\dot{\alpha} + \dot{\beta}) \cos^2\phi = w_p \frac{K_P}{l_P} \sqrt{\frac{2l_G}{g}} (\sqrt{1-\cos\alpha} + \sqrt{1-\cos\beta}) \cos^2\phi \quad (1)$$

である。ただし ϕ は Fig. 1 に示す角度である。

一方船はこの衝撃力によつて

$$(m + m_{x1})u_0$$

なる運動量変化を生じるから、これを等置して

$$m + m_{x1} = \frac{w_p}{u_0} \frac{K_P}{l_P} \frac{2l_G}{g} (\sqrt{1-\cos\alpha} + \sqrt{1-\cos\beta}) \cos^2\phi \quad (2)$$

原稿受付 昭和 34 年 7 月 10 日

* 東京大学工学部

として見掛質量が求められる。

はじめ初速 u_0 を求める方法として、一定速度で送っている紙の上に船の動きをペンで書かせて、 $t=0$ のところの tangent より求める方法を採用したが、精度が思わしくなかつたので、次のような方法を採用した。

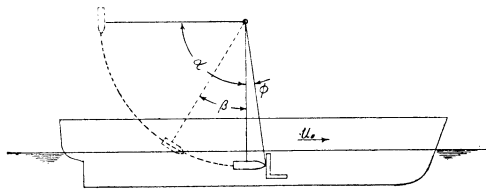


Fig. 1

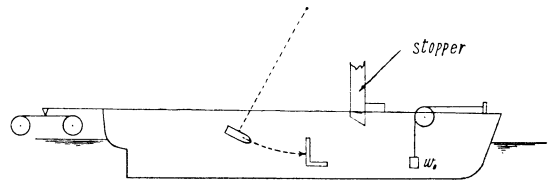


Fig. 2

すなわち、Fig.2 に示すごとく、船首につけた紐を摩擦の極めて少ない滑車に掛けて先に w_0 なる重錘をつけて置く、

船は stopper により定位置より後に退らないように止められている。振子を α なる角度より離すと、船は衝撃を受けて u_0 なる初速で動き始めるが、 w_0 で常に後に引かれるので、初めに持っていた運動エネルギーと w_0 が上に引張り上げられるための位置のエネルギーの増加とが釣合う長さ h だけ動いて元に戻る。

したがって船の動いた距離、すなわち重錘の引張り上げられた高さを h とすれば

$$\frac{1}{2} \left(m + m_{s1} + \frac{w_0}{g} \right) u_0^2 = w_0 h + \delta E \tag{3}$$

ただし δE は船体の摩擦抵抗や滑車の摩擦のなす仕事である。

u_0 は (2) 式より

$$u_0 = \frac{w_P}{m + m_{s1} + w_0/g} \frac{K_P}{L_P} \sqrt{\frac{2l_G}{g}} (\sqrt{1 - \cos \alpha} + \sqrt{1 - \cos \beta}) \cos^2 \phi \tag{4}$$

(3) と (4) より

$$m + m_{s1} = \frac{w_P K_P^2 l_G}{(w_0 h + \delta E) L_P^2 g} (\sqrt{1 - \cos \alpha} + \sqrt{1 - \cos \beta}) \cos^4 \phi - \frac{w_0}{g} \tag{5}$$

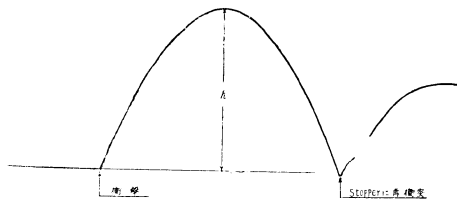


Fig. 3

として見掛質量が求められる。

問題は船体の摩擦抵抗で、これが w_0 に比べて余り大きければ、この方法は用いられない訳であるが検討の結果は w_0 の 0.4% 以下であることが判つたので、一船別に計算して注意して修正すれば問題ないことが判つた。Fig.3 は船の動きの記録例で、これより h を充分の精度で読む事ができる。

§ 2. 空中における予備実験

この方法の精度を調べる意味で、船を2本のワイヤーで空中に吊り、実験に用いた同じ振子で衝撃して質量を測定した。

ワイヤーの長さを l , impact を U 初速を u_0 とすると、

$$\begin{aligned} Ul &= mu_0 l \\ m &= \frac{U}{u_0} \end{aligned} \tag{6}$$

U は振子の振上げ角度および跳返り角度より

u_0 は船の振れ止りの角度より求められる。

約 10 回の実験の結果は測定値と船の質量との比は正確に 1.0000 にならず 1.0031 となつたが、これは衝撃により振動を起し、そのため運動量がわずかに散逸されるためと考えられるので、後の水中の実験値はすべてこの比率だけの修正を加えた。

§ 3. 船体の摩擦抵抗による誤差の修正

船体の摩擦抵抗は仕事をするので重錘 w_0 の仕事 $w_0 h$ が幾分増加したような誤差を生じる。その仕事を δE とし初速 u_0 に対する摩擦抵抗を Rf_0 とすると、

$$\delta E = \frac{1}{2} Rf_0 h$$

となり、Weight w_0 が $\delta w = 1/2 Rf_0$ だけ増加したのと同じ誤差を生じる。

Blasius の公式を用いて C_f を計算して Rf を求めて見ると、 $\delta w/w_0$ は、最大、0.4% となつて無視出来ないので、一船別に計算して修正を行なつた。

§ 4. 測定結果

測定は先ず B_0 船型につき数 10 回行ない、測定値のバラツキ等確かめた上、各船型各々 10 回ずつ行なつて、振子の当り損いと判定されるものを除いて平均値を求めた。

これを L/B base に plot すると Fig. 4 のごとくなり、 m_{21}/m は L/B が大きくなると減少することが判る。図中に Lamb の計算した回転楕円体、別所氏* の計算した乾教授の理論船型 S~201 および S~202 に対する値が Plot してあるが、回転楕円体と L/B の変化に対する傾向がやや異なるのは、回転楕円体が d/B が一定であるのに対し、模型船では、 d 一定で B を変化しているため d/B が変化しているからである。このことは、また後に述べる。

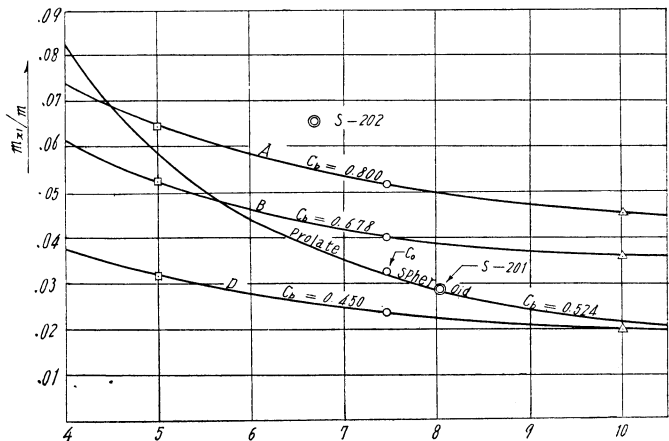


Fig. 4

Fig. 5 は C_b base に Plot したもので、 C_b が大きくなると附加質量は増加する。

Fig. 6 は B_0 船型につき、喫水を変化せしめて、 d/B を変えたときの附加質量の変化で、大体 d/B に比例しており、一方図中の回転楕円体 $d/B=0.5$ と楕円体 $d/B=0.25$ も亦ほとんど d/B に比例していることから、 m_{21} は d/B に略々比例すると考えられる。

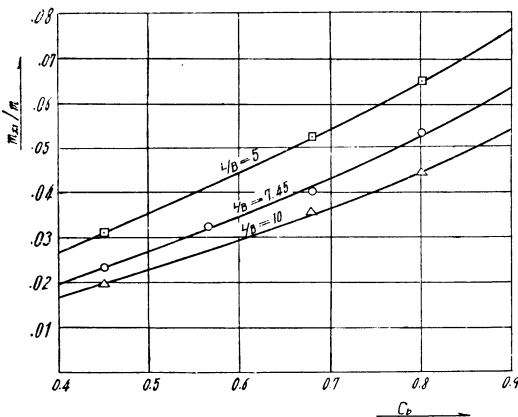


Fig. 5

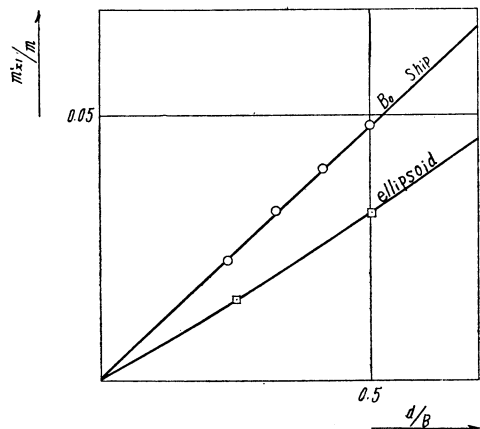


Fig. 6

* 別所正利 “没水体の造波抵抗について” 造船協会論文集 99 号

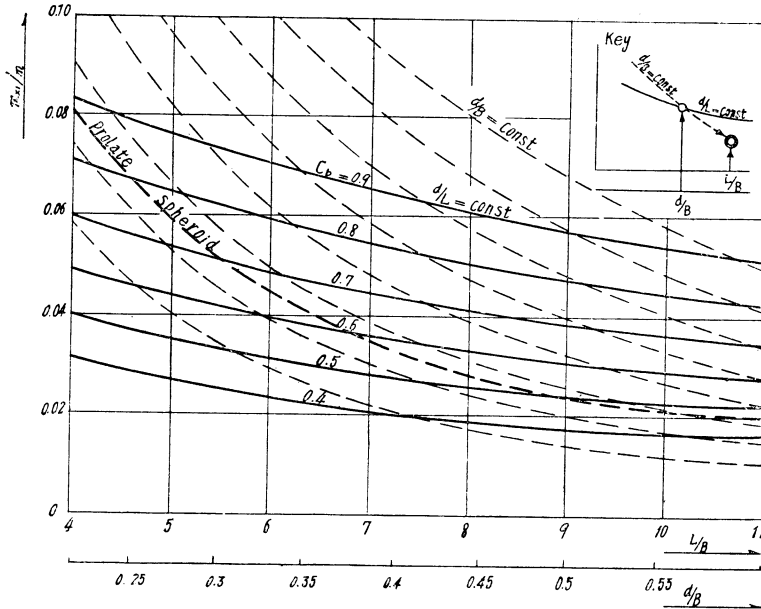


Fig. 7

Fig. 7 はこの関係を用いて、 $d/B = \text{const}$ の場合の m_{e1} の変化を求めたもので、先ず Fig. 5 より、 C_b 0.4, 0.5……0.9 の所の各 L/B に対する値を取つて、 L/B base に Plot すると Fig. 7 の $d = \text{const}$ で C_b を Parameter とする曲線群となる。

つぎに Fig. 6 の関係、 $-m_{e1}$ が d/B に比例する——を用いて、 $d/B = 0.75 = \text{const}$ の曲線群を書いたのが Fig. 7 中の破線である。これは $d/B = \text{const}$ の曲線群であるから、これを用いて任意の L/B で任意の d/B の場合の m_{e1}/m を求めることができる。

すなわち、今求めようとする喫水に対する d/B を base 上に下の目盛で取り、その直上で求めようとする C_b の $d = \text{const}$ の線の値を読み取る。その点を通り、最寄りの $L/B = \text{const}$ の線に平行に曲線を引き、求める L/B の直上でその曲線の値を読みれば求める L/B , C_b , d/B に対する m_{e1}/m が求められる。

なお、図中太い破線で plot してあるのは回転楕円体 ($d/B = 0.5$) で大体船型の $d/B = \text{const}$ 曲線と平行になつており、且、数値も $C_b = 0.5$ (回転楕円体は 0.523) のものに略々等しいから、 m_{e1} については回転楕円体の理論値は同じ程度の C_b の船には適用できる事が判る。しかし C_b の大きな船ではかなり異つた値になる。

終りに本論文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、終始御教示を賜つた加藤教授、乾教授および実験解析に努力を惜まれなかつた東京大学動揺水槽の職員諸氏に厚く御礼申上げる。

なお本論文は同じ目的の下に行われた湯本 秀、吉田昌平両君の卒業論文の経験に負うところが大きいので、ここに感謝の意を表明したい。