

波浪中に於ける船の船首揺れに就て<sup>1)</sup>

元 良 誠 三<sup>2)</sup>

On the Yawing of the Ship among Waves.

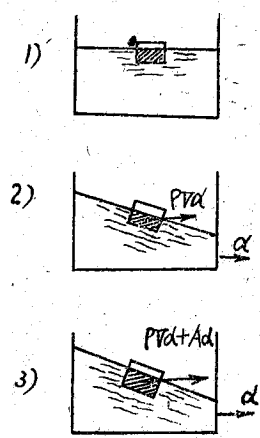
by Seizo Motora

§1 波が船體に及ぼす力 波面に浮んだ微小な物體に加わる力は波面に垂直方向に向き、物體の重力及び慣性力と釣合つて、水の粒子と同じ圓軌道を畫く。物體が波長に對して有限の大きさを有する場合にも、その重心は略々其の位置に於ける水の粒子と同一の軌道を畫き、水からの力はやはり波面に略々垂直を向くことが實驗的に知られている。

處が物體が波の粒子と一緒に運動をせぬ場合、例えば船が波頂線を斜めに横切する場合などには波のorbital motion が毀される。この場合にどのような力が物體に加わるかを少しく考察して見たい。

波の粒子と共に運動する物體に對して波面に垂直な動的浮力を及ぼすが物體が波に對して止つていると物體に對し水は加速度を有する。一般に物體が水中を加速度を以て運動すると水より加速度に比例し壓力を受ける。これは見掛上物體の質量が増加したような効果を生ずるので見掛質量効果と言われるが、逆に物體が靜止し水が加速度運動を爲してもこのことが言える。そしてこの力は水平加速度最大の位置即ち最大波傾斜の位置で起る。一方動的浮力の水平成分もやはり最大波傾斜の所で起り、その向きは共に波の谷の方を向く。

没水圓壩についてこの力を計算すると動的浮力の水平成分と、水の加速度運動による力とは同じ大いさ



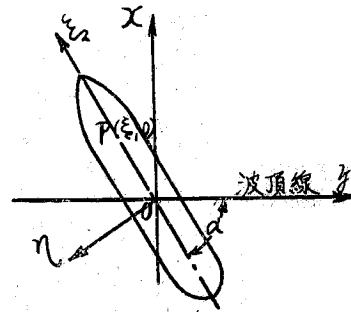
第 1 圖

なる。數學的には前者は波の速度ポテンシアルより導かれる壓力で後者は波に對し物體が靜止するように加えた速度ポテンシアルより導かれる壓力である。このことは次のような模型によつても考えられる。(第1圖)に於て1)のように水を入れた容器に物體を浮かす。2)之を $\alpha$ なる加

速度で水平に動かすと水面は  $\tan^{-1} a/g$  だけ傾き、合浮力は水平に直角に働き物體は容器と共に  $a$ なる加速度を得る。

3)次に物體を引止め容器を動かすと浮力は水面に直角に働き更に物體と水との相對加速度による見掛質量効果を生じて水平力は2)の場合の約倍となる。一方水が物體に對して相對速度を持つ爲の抵抗は、その水平速度の最も大きな波の山又は谷で最大であるが、前二者に比べて一桁小さいものと例えられる。

§2. 波頂線に斜めに進行する船體に加わる力 第2圖の如く波頂線  $Oy$ に對し  $\alpha$ なる角度を以て進む船があるとす。この船に加わる波の力を次の假定の下に求めて見る。

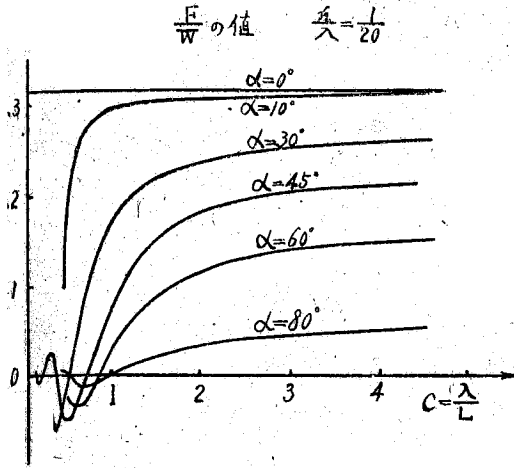


第 2 圖

- 1) 波は正弦波とする
- 2) 船體の位置の一點  $P(\xi, 0)$ を通る横断面に働く力は其部分の浮力と波との相對加速度に比例する力で同者を等しいと考える。また波傾斜は點  $P(\xi, 0)$ に於ける波傾斜を以て、その斷面の波傾斜と考える。斯くして船體に加わる水平力  $F\eta$  と旋回偶力  $N_z$  とを求めて見ると

$$F\eta = 29gaAL \cot \alpha \sin \frac{2\pi L \sin \alpha}{2\lambda} \sin nt$$

$$N_z = 29gaAL^2 \cot \alpha \left( \frac{\lambda}{\pi L \sin \alpha} \sin \frac{\pi \sin \alpha L}{\lambda} - \cot \frac{\pi L \sin \alpha}{\lambda} \right) \cos nt$$



第 3 圖

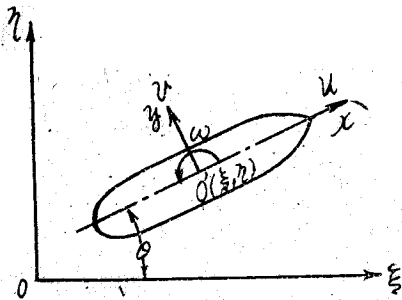
但し  $L$ ……船長  $A$ ……船の断面積(没水部)  
 $\lambda$ ……波長  $P$ ……水の密度  
 $n$ ……波の振動率  $2a$ ……波高

波長對波高  $1/20$  として計算すると(第 3 圖)(第 4 圖)の如くなる。

第 3 圖, 第 4 圖を見ると, 船長が波長より長くなると著しく波の力は小さくなることが判る。

また水平力  $F\eta$  と旋回偶力  $N_z$  とは位相が  $90^\circ$  ずれている。

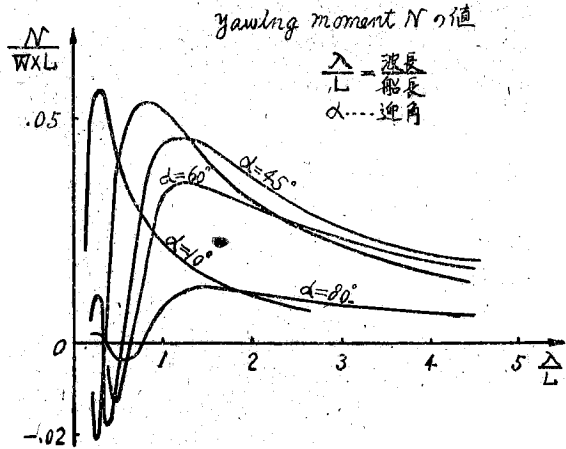
§3. 船首揺れの運動方程式及び解 (第 5 圖)に於て空間に固定せる座標  $\xi-\eta$  を取る. 或任意の時刻  $t$  に



第 5 圖

於ける船の重心位置を  $o'$  とし船體中心を  $o$  其  $\eta$  直角に  $o'-y$  軸を取る。

$o'$  と  $o\xi$  の交角を  $\theta$ , 船の前進速度  $u$ , 横進速度  $v$ ,  $z$  軸の回りの回轉速度  $\omega$  とすれば任意時刻  $t$  に於ける船の位置は



第 4 圖

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \int_0^t (v \cos \theta - v \sin \theta) dt \\ \eta &= \int_0^t (v \cos \theta + v \sin \theta) dt \\ \theta &= \int_0^t \omega dt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

で與えられる. 今船に  $T$  なる週期を有する強制外力が働くものとし, その  $y$  方向の成分を回轉偶力を  $N$  と

した  $\frac{2\pi}{T} = p$  とすると運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{du'}{dt'} &= \frac{B+m}{A+m} u' \cdot \omega + X \\ \frac{dv'}{dt'} &= k_1 u' v' + k_2 \omega' \omega' - \frac{F}{B+m} \sin pt' \\ \frac{d\omega'}{dt'} &= f_1 u' v' + f_2 \omega' \omega' + \frac{N}{I+J} \cos pt' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

但し  $v' = v/\sqrt{L}$   $t' = t\sqrt{L}$   
 $\omega' = \omega/\sqrt{L}$   $\omega' = \omega\sqrt{L}$

$m$ ……船の質量  
 $A$ ……船の前進の見掛質量  
 $B$ ……船の横進の "  
 $k_1 k_2 f_1 f_2$ ……式に常數 (船型により定まる)

今  $\frac{F}{B+m} = f$   $\frac{N}{I+J} = n$  として

(2) 式を解くと

$$v' = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \sin(pt' - \delta_2) \tan \delta_2 = \frac{A_2}{A_1} \dots (3)$$

$$\omega' = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} \sin(pt' - \delta_1) \tan \delta_1 = \frac{B_2}{B_1} \dots (4)$$

$$\theta = \int_0^t \omega' dt' = -\frac{\sqrt{B_1^2 + B_2^2}}{p} \cos(pt - \delta_1) \dots (5)$$

$A_1 A_2 B_1 B_2$  は  $p, k_1 k_2 f_1 f_2 n$  などの函数で  $p$  が大きい時即ち週期が小さい時には次のような値を取る。

$$A_1 = \frac{f}{p_3} \quad A_2 = \frac{f}{p_2} \quad B_1 = -\frac{n}{p^2} \quad B_2 = \frac{n}{p_3} \dots (6)$$

故にこの場合は角振幅は  $\frac{n}{p^2}$  に、重心の横振巾は  $f/p^2$  に大體等しくなる。

(3)(4)(5)(6) 式より次の事が言える。

(1) 船の大小と振巾の関係

船長の波長の比を  $\frac{L}{\lambda} = c$  とすると §2 の結果より船首揺れのモーメントは : 波長 1/20 の波で

$$N_s = 0.05 c W L \cot \alpha \sqrt{\left(\frac{c^2}{\pi \sin \alpha}\right) + 1} \sin\left(\frac{\pi \sin \alpha}{c} - \tan^{-1} \frac{\pi \sin \alpha}{c}\right) = f(c) \dots (7)$$

$$(6) \text{ 式より } \theta = \frac{N_s}{p^2} \dots (8)$$

$$p = \frac{2\pi}{T} \text{ であるから } (T \dots \text{波の週期})$$

$$(7)(8) \text{ 式より } \theta \propto f(c) L/T^2$$

波の週期と波長の間には  $T^2 \propto \lambda$  なる関係があるから

$$\theta \propto f(c) \frac{L}{\lambda} = c: f(c)$$

船が波に對して小さくなると、即ち  $c$  が大きくなると、 $\theta$  は増加し、 $\lim_{c \rightarrow \infty} c \cdot f(c) = \infty$  となる。即ち波に對して小さい船程大きな船首揺れをすることが分る。

船長が波長より、大きくなると著しく揺れは減ずる。

(2) 波の週期と振幅の関係

(8) 式に示すように週期の短い従つて  $p$  の大きな處では振幅は略々相當週期  $T/\sqrt{L}$  の二乗に比例する。週期が大きくなつて來ると抵抗其他船型の影響が入つて來る。

第6圖に週期と振幅の關係を示す。

$T/\sqrt{L}$  は  $\sec/\sqrt{m}$  を取つてあるから  $T/\sqrt{L} = 1$  なら  $L=100m$  の船で  $T=10 \text{ sec}$  と言うことになる。

(3) 追波と迎え波の時の振幅の差異

今  $u$  なる速度で前進する船に對して  $\alpha$  なる角度の波頂線を有する波が速度  $V$  で當つた場合を考えると波頂線は  $V/\sin \alpha$  なる速度で船體中心線を通過し中心線上の波長は  $\lambda/\sin \alpha$  であるから見掛の波週期は

$$T' = \frac{\lambda/\sin \alpha}{u \pm \frac{V}{\sin \alpha}}$$

復號は +……迎え波

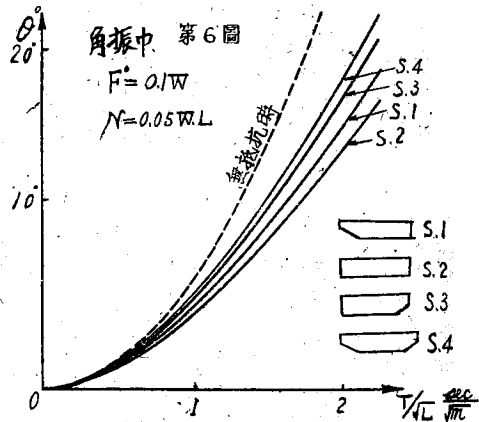
-……追波

振幅は相當週期  $T/\sqrt{L}$  に略々比例すると考えられるから追波は見掛の週期が長く甚しく船首揺れを起させるわけである。

今一例として船長 50m 船速 10 kts

波長 30m 波の速度 13.28 kts

$\alpha = 45^\circ$



第6圖

として振幅を求めると、

	$T' \cdot ec$	$T'/\sqrt{L}$	$\theta$	$n$
迎え波	2.86	.389	10	.002L
追波	9.51	1.297	7.80	.03L

註: 1) 昭和23年12月18日日本應用力學會第9回講演會にて講演、昭和23年12月4日、原稿受理。  
2) 正會員 東京大學第2工學部

<b>ABSTRACT.</b>
------------------

**A Study on the Manoeuvrability of Vessels.** by Yasuyoshi Nakajima.

The course stability or the manoeuvring ability of a vessel subjected to permanent disturbances (waves, winds, etc.) is one of the most important problems for seaman.

The author studied this subject and obtained an analytical method. He calculated the wind effect on the manoeuvrability of some train ferries as an example and shows that the results agree with actual experiences.

**Unsteady Motion of a Submerged Cylinder.** by Seizo Motora.

It has been well known that, when a solid is moving in an infinitely spread fluid, the whole effect of the fluid may be represented by an additional or virtual mass, and its magnitude does not vary with the speed of the solid.

In this paper the author calculated the effect of the free surface under an expectation that the additional mass of this case must vary with the speed or the Froude number of the solid.

**On the Yawing of the Ship among Waves.** by Seizo Motora.

The author calculated in this paper the lateral force and turning moment acting on a ship among waves, and then calculated a forced yawing of a ship among waves.

**Wave-Making Resistance for the Rolling of a Flat Plate** by Tosio Hsida.

In order to estimate the wave-making resistance for the rolling of ship, the wave-making resistance for a flat plate on the free surface of water is here calculated as a limiting case and compared with that for the vertical flat plate which has been treated by T.H. Havelock.

**On Buckling of a Composite Beam.** by Fumiki Kito

A beam composed of two plates mutually fixed at their both ends receives a transverse load, and acts as a cantilever. One of the plates being under compressive stress, the state of stable equilibrium is only possible if the load is under certain critical value. This critical value of transverse load has been obtained in a simple formula.

**On the Corrugated Adjustable**

**Washer.** by Yosio Nagamori and Katuo Yano.

A corrugated washer can be used as an adjustable washer in the free wheel of the bicycle (instead of the usual ring plates). A study is made with an application of the theory of the orthogonal aeolotropic plate. From experiments the following result was obtained: the corrugated washer which has 20 waves, wave height 0.7mm and thickness 0.4mm, can adjust a 0.12 mm clearance continuously.

**On the Loss of Heat through the Flange Surface of Thermostats.** by Shinya Takatsu

In this paper the author considered the fact that, in the case of steady flow, if the thermostat is equipped with an uncovered flange, the loss of heat through the flange surface is considerable, and reached the conclusion that a rather large proportion of heat transfer is carried out through conduction.