

- - AUG. 1976

ARCHIEF

Lab. v. Scheepsbouwkunde  
Prof. Genitsma  
Technische Hogeschool  
Delft  
With Compliments  
print 3

Beam Sea Condition にある船体に働らく変動圧力

田 才 福 造

Pressure Fluctuation on the Ship Hull  
Oscillating in Beam Seas

By Fukuzō TASAI

西 部 造 船 会 会 報  
第 35 号 別 刷  
昭 和 43 年 2 月

Reprinted from  
JOURNAL OF SEIBU ZŌSEN KAI  
(THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS OF WEST JAPAN)  
No. 35 February 1968

## Beam Sea Condition にある船体に働らく変動圧力

正 員 田 才 福 造\*

### Pressure Fluctuation on the Ship Hull Oscillating in Beam Seas

By Fukuzō TASAI

#### Abstract

The calculation method of the pressure fluctuation on the ship hull oscillating in the beam sea condition was given in this paper. And also, a numerical example for the ship model, Todd 60 series  $C_d=0.70$ , was shown.

We have taken into consideration the hydrostatic pressure, hydrodynamic pressure caused by heaving, swaying and rolling motion in still water, pressure in the incident wave and hydrodynamic one due to the reflection of waves from the restrained hull.

The symmetric distribution of the pressure is mainly due to the heaving motion and the large asymmetric distribution is caused by the rolling hydrostatic pressure.

Lastly we discussed on the wave measurements by means of the "Shipborne Wave Recorder".

#### 1. 緒 言

波浪中の船体表面に働らく圧力は、静水面に浮んでいる時、或は一定速度で航走している時に生ずる定常圧力の外に、周期的に変化する圧力が付加される。

船体の横強度の設計を合理的に行うためには、波浪荷重を正しく estimate することが必要となる。郷田〔1〕は、横強度上の波浪荷重を調べるために T2 タンカー模型を規則的な縦波中を向い波状態で自航せしめ、midship 断面の表面上に働らく変動圧力を計測した。更に船底水圧については、strip method で計算した平均圧力と実験値とが良く一致することを示した。

縦波の場合、変動圧力に寄与する運動は主として heave と pitch である。

著者は、縦波中で運動する船の midship 断面に働らく変動圧力を、heaving motion のみを考慮して近似的に計算する方法を示した〔2〕。

その中で取り扱った例では、波に対する heaving motion の位相のおくれを  $60^\circ$  とすれば運動の同調近傍で  $P/\rho gh$  ( $P$ = 変動圧力振幅,  $h$ = 波振幅) は、船底で 0.5, 船側上部で 1.3 位の order になることを示した。このような近似計算法は、郷田〔1〕が行ったような実験結果と比較することによって評価され、又改善されなければならないと思う。

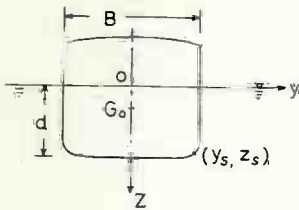
尚又横強度だけでなく、振り強度を調べるためには、heave だけでなく sway, yaw および roll の運動の影響を知る必要があろう。

さて、水面上に浮んでいる物体が動揺する時、物体表面に働らく変動圧力に関しては、2次元物体については、線型理論を用いて厳密に計算されたものがある〔3〕,〔4〕,〔5〕,〔6〕。

本論はこれらの結果を用いて、Beam Sea 状態で主として heave, sway および roll する場合の変動圧力の計算法を示したものである。

\* 九州大学応用力学研究所

II. 水面上に浮んでいる2次元物体が heaving, swaying 或は rolling motion する時に生ずる hydrodynamic pressure



本論で取り扱う2次元物体の断面は、Lewis form [4] であるとする。左図で静水面0-y上に浮んでいる Lewis form cylinder が  $\xi \equiv \xi_0 \cos \omega t$  で heaving motion する場合、表面上の点  $(y_s, z_s)$  に働らく hydrodynamic pressure は論文 [3] に示したように、次式のように表わすことができる。

$$P_H = \rho g \xi_0 (P''_{aH} \cos \omega t + P''_{dH} \sin \omega t) \dots \dots \dots (2.1)$$

但し 
$$P''_{aH} = -\xi_B \left( \frac{P_s B_0 + P_c A_0}{A_0^2 + B_0^2} \right) \quad P''_{dH} = -\xi_B \left( \frac{P_s A_0 - P_c B_0}{A_0^2 + B_0^2} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

又  $\xi_B = \omega^2 B / 2g$

(2.2) の記号は文献 [2] に詳しくのべられている。heaving motion による静水圧の変化量  $\rho g \xi_0 \cos \omega t$  を考慮すれば、静水面上で heaving motion する時に生ずる変動圧力  $P_H'$  は

$$P_H' = \rho g \xi_0 \{ (1 + P''_{aH}) \cos \omega t + P''_{dH} \sin \omega t \} \dots \dots \dots (2.3)$$

或は更に無次元化して

$$\begin{aligned} \bar{P}'_H &= P_H' / \rho g \xi_0 = (1 + P''_{aH}) \cos \omega t + P''_{dH} \sin \omega t \\ &= \sqrt{(1 + P''_{aH})^2 + P''_{dH}^2} \cos(\omega t - \delta_H) \dots \dots \dots (2.4) \end{aligned}$$

Lewis Form section

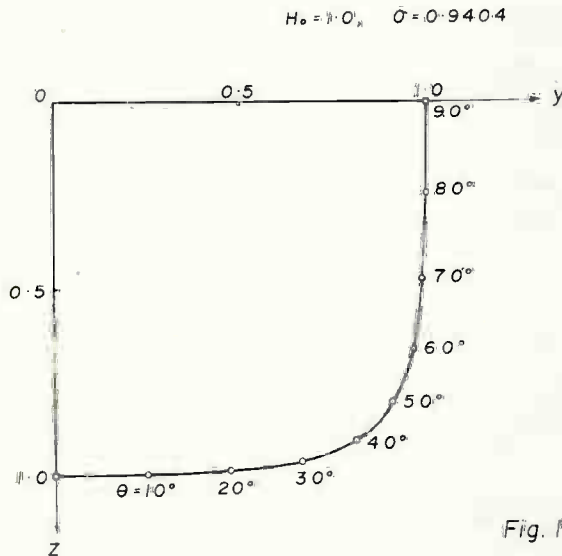


Fig. 1

Fig. 1 は  $H_0 = B/2d = 1.0$ ,  $\sigma$  (断面の面積係数)  $= 0.9404$  の Lewis form 断面である。図中の  $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 90^\circ$  は、単位円周の等分割点に対応する Lewis form section contour 上の位置を示す。

Fig. 1 の section を有する cylinder が heaving する時の  $P''_{aH}$ ,  $P''_{dH}$  を Fig. 2 および Fig. 3 に、 $1 + P''_{aH}$  を Fig. 4 に示す。これらから判るように  $P''_{aH}$  即ち inertia effect は  $\xi_B = 2.0$  で  $\theta = 60^\circ$  の点では負で、 $\theta = 70^\circ$  では正となっている。Fig. 5 に  $|\bar{P}'_H| = \sqrt{(1 + P''_{aH})^2 + P''_{dH}^2}$  を示す。この図から、変動圧力の振幅は、

$\xi_B$  の小さい所では 1.0 に近いが、 $\xi_B$  が増加するにつれて船底部分では小さくなり、船側部で 1.0 より大きくなる事が判る。又 Fig. 1 の断面の場合、 $\theta = 60^\circ$  の位置においては、 $\bar{\xi}_B < 1.0$  で  $|P_H'| \neq 1.0$  となり hydrodynamic pressure の影響は小さい。

次に  $\eta = \eta_0 \cos \omega t$  で swaying motion する時の hydrodynamic pressure を

$$P_s = \rho g \eta_0 (P_{as}'' \cos \omega t + P_{ds}'' \sin \omega t) \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

とおけば

$$P_{as}'' = \xi_B \left( \frac{\bar{\phi}_c P_o + \bar{\phi}_s Q_o}{P_o^2 + Q_o^2} \right), \quad P_{ds}'' = -\xi_B \left( \frac{\bar{\phi}_c Q_o - \bar{\phi}_s P_o}{P_o^2 + Q_o^2} \right) \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

となる。

$\bar{\phi}_c, \bar{\phi}_s$  を論文〔6〕中の記号で表わせば、

$$\left. \begin{aligned} \bar{\phi}_c &= \Phi_c + \sum_{m=1}^{\infty} P_{2m} \cdot f_{2m}(m, \theta, \xi_B) \\ \bar{\phi}_s &= \Phi_s + \sum_{m=1}^{\infty} Q_{2m} \cdot f_{2m}(m, \theta, \xi_B) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

(2.5) から

$$\bar{P}_s' = P_s / \rho g \eta_0 = \sqrt{P_{as}''^2 + P_{ds}''^2} \cos(\omega t - \delta_s) \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

Fig. 1 の断面についての  $P_{as}''$ ,  $P_{ds}''$  を Fig. 6, 7 に、 $|\bar{P}_s'| = \sqrt{P_{as}''^2 + P_{ds}''^2}$  を Fig. 8 に示す。 $|\bar{P}_s'|$  は  $\theta = 0^\circ$  では零であるが  $\theta$  の増加と共に、大きくなり、 $\theta = 90^\circ$  即ち Load water line 上で最大となる。

Heaving motion による変動圧力は、左右両舷対称の位置で同符号であるが swaying motion の場合は逆符号となる。

次に 0 点の周りに  $\varphi = \varphi_0 \cos \omega t$  で rolling motion する時の hydrodynamic pressure を

$$P_R = \rho g B \varphi_0 / 2 (P_{aR}'' \cos \omega t + P_{dR}'' \sin \omega t) \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

とおけば、 $P_{aR}''$ ,  $P_{dR}''$  は〔6〕から次式で与えられる。

$$P_{aR}'' = -\frac{\xi_B}{2} \left( \frac{\bar{\phi}_c P_o + \bar{\phi}_s Q_o}{P_o^2 + Q_o^2} \right), \quad P_{dR}'' = -\frac{\xi_B}{2} \left( \frac{\bar{\phi}_c Q_o - \bar{\phi}_s P_o}{P_o^2 + Q_o^2} \right) \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

又 (2.9) から

$$\bar{P}_R' = P_R / \rho g B \varphi_0 / 2 = \sqrt{P_{aR}''^2 + P_{dR}''^2} \cos(\omega t - \delta_R) \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

Fig. 1 の cylinder ののに対する  $P_{aR}''$ ,  $P_{dR}''$  および  $|\bar{P}_R'|$  を Fig. 9, 10, 11 に示す。

一方、rolling 変位に基く静水圧の変化は、近似的に次式で表わされる。

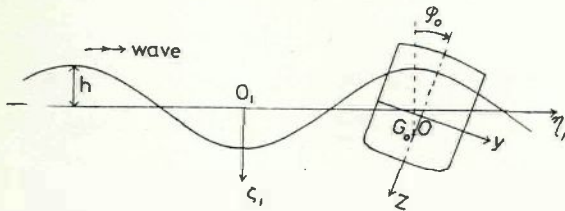
$$\rho g \frac{B}{2} \varphi_0 \bar{y} \cos \omega t \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

但し  $\bar{y} = y_s / B / 2$

重心  $G_o$  の周りの rolling motion の場合は、線型近似によつて sway と 0 点の周りの roll の組み合わせとして計算することができる。

$\overline{OG_o} / B / 2 = a_o$  として、 $a_o = 0.1, 0, -0.1$  (負符号は  $G_o$  が 0 の上方にある場合) の時に、 $|\bar{P}_R'|$  がどの様になるかを示したのが Fig. 12 である。Fig. 1 の断面では、 $\theta > 40^\circ$  の位置では、 $G_o$  が 0 の上方にある場合の方が  $|\bar{P}_R'|$  は大きい。 $\theta > 40^\circ$  の位置では、 $a_o > 0$  の場合は、swaying と 0 の周りの rolling motion の圧力は相殺される傾向にあるが  $a_o < 0$  の場合は相加されるためである。rolling の場合は swaying motion の場合と同様に、左右舷で変動圧力の符号は逆となる。

III. Beam Sea Condition における船体表面の変動圧力



左図で  $O_1 - \eta_1 \zeta_1$  は空間座標で、 $0 - \eta_1$  は静水面とする。 $\eta_1$  方向に進行する規則波の式は

$$\zeta_w = h e^{-Kz} \cos(K\eta_1 - \omega t) \quad \dots (3.1)$$

但し  $h$  = 波振幅,  $K = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  = 波長,  $\omega = 2\pi/T_w$ ,  $T_w$  = 波周期

波がない場合,  $O_1 - \eta_1 \zeta_1$  と船体坐標  $0 - yz$  とは一致するものとする。

Beam Sea Condition では、船体は  $\eta_1$  方向に drift しながら、heaving, swaying および rolling motion を行う。従つて船体表面の位置は、heaving 変位  $\zeta$ , swaying  $\eta$ , rolling  $\varphi$  および drifting velocity  $v_d$  を用いて表わすことができる。しかし、今本論では微小運動的取扱をするから、(3.1) の波の式は、 $\zeta$ ,  $\eta$ ,  $\varphi$  の振幅は小さいとして、その影響を無視して、船体坐標で近似的に表わせば

$$\zeta_w \doteq h e^{-Kz} \cos(Ky - \omega_e t) \quad \dots (3.2)$$

但し  $\omega_e = \omega - K v_d$

Beam Sea の場合  $\omega_e = \omega$  においても大きな誤差はないので、(3.2) は更に次のようかくことができる。

$$\zeta_w \doteq h e^{-Kz} \cos(Ky - \omega t) \quad \dots (3.3)$$

次に水粒子の orbital velocity および acceleration を求めれば、その downward 成分は

$$\left. \begin{aligned} \dot{\zeta}_w &= h \omega e^{-Kz} \sin(Ky - \omega t) \\ \dot{\eta}_w &= -h \omega^2 e^{-Kz} \cos(Ky - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad \dots (3.4)$$

又  $\eta_1$  方向の成分は、

$$\left. \begin{aligned} \dot{\eta}_w &= -h \omega e^{-Kz} \cos(Ky - \omega t) \\ \ddot{\eta}_w &= -h \omega^2 e^{-Kz} \sin(Ky - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad \dots (3.5)$$

さて、横波中の heave, sway および roll の運動によつて生ずる変動圧力は次の各成分から成る。

heave, sway, roll の運動を次の様に表わす、

$$\left. \begin{aligned} \text{heave} : \quad \zeta &= \zeta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_\zeta) \\ \text{sway} : \quad \eta &= \eta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_\eta) \\ \text{roll} : \quad \varphi &= \varphi_0 \cos(\omega t - \varepsilon_\varphi) \end{aligned} \right\} \quad \dots (3.6)$$

1. heave および roll の運動に基く静水圧の変化

a) heaving :  $P_{1H} = \rho g \zeta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_\zeta) \quad \dots (3.7)$

b) rolling :  $P_{1R} = \rho g \frac{B}{2} \varphi_0 \bar{y} \cos(\omega t - \varepsilon_\varphi) \quad \dots (3.8)$

2. 静水面上で heave, sway および roll の運動をする時に生ずる変動圧力

II 節で論じた 2 次元計算が用いられると仮定すれば

$$\left. \begin{aligned} P_{2H} &= \rho g \zeta_0 [P_{aH}'' \cos(\omega t - \varepsilon_\zeta) + P_{dH}'' \sin(\omega t - \varepsilon_\zeta)] \\ P_{2S} &= \rho g \eta_0 [P_{aS}'' \cos(\omega t - \varepsilon_\eta) + P_{dS}'' \sin(\omega t - \varepsilon_\eta)] \\ P_{2R} &= \rho g \frac{B}{2} \varphi_0 [P_{aR}'' \cos(\omega t - \varepsilon_\varphi) + P_{dR}'' \sin(\omega t - \varepsilon_\varphi)] \end{aligned} \right\} \quad \dots (3.9)$$

3. Froude-Krilov 理論に基く圧力

$$P_3 = -\rho g h e^{-Kz} \cos(Ky_s - \omega t) \quad \dots (3.10)$$

正しく計算する為には、 $\zeta$ ,  $\eta$ ,  $\phi$  および  $v_d$  を考慮した項を付加すべきであるが、前に論じた如く、これらの影響は一般に小さいので省略する。

4. 規則波中に拘束された船体から反射される波に基く圧力

この場合は、船体表面において表面に直角方向の流体の速度は零である。従て水粒子の orbital velocity を船体表面で打消すために必要な速度ポテンシアルから求められるものである。2次元物体に働らく sway force, roll moment を此の方法で田村〔7〕が計算している。しかし、圧力分布に関しては、直接求められたものがないので、本論では次のような近似法に依る。

(3.4), (3.5) の orbital velocity, acceleration は、船体表面 ( $y_{sw}, z_s$ ) 上で異なる大きさを有する。近似的に、これらをおある平均値でおきかえる。即ち上下方向成分については

$$d = \frac{S_w}{B} = d \cdot \sigma \tag{3.11}$$

なる平均吃水で  $y = 0$  における速度、加速度を考える。即ち

$$\begin{aligned} \zeta_w &= -h\omega e^{-Kd} \sin \omega t \\ \zeta_w &= -h\omega^2 e^{-Kd} \cos \omega t \end{aligned} \tag{3.12}$$

従つて船体は、相対的に  $-\zeta_w$ ,  $-\zeta_w$  の heaving motion をしていることになり、その時働らく圧力は (2.2) から計算することができる。(論文〔3〕の計算も、この方法に従うのが合理的であろう)。

次に水平成分については  $d/2$  で  $y = 0$  の位置における値

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_w &= -h\omega e^{-Kd/2} \cos \omega t \\ \bar{\eta}_w &= h\omega^2 e^{-Kd/2} \sin \omega t \end{aligned} \tag{3.13}$$

を考え、船体が相対的に  $-\bar{\eta}_w$ ,  $-\bar{\eta}_w$  の swaying motion する時の圧力に等しいと仮定する。この近似法によつて、(2.1) ~ (2.6) を用いて圧力を計算することができる。即ち

$$\begin{aligned} P_4 &= -\rho g h e^{-Kd} (P_{aH}'' \cos \omega t + P_{dH}'' \sin \omega t) \\ &+ \rho g h e^{-Kd/2} (P_{as}'' \sin \omega t - P_{ds}'' \cos \omega t) \end{aligned} \tag{3.14}^*$$

以上の圧力を総合して、全圧力  $P$  は

$P = P_H + P_{1R} + P_{2H} + P_{2S} + P_{2R} + P_3 + P_4$  となるが、これを heave, sway, roll による圧力  $P_\zeta, P_\eta, P_\phi$  および波によるもの  $P_w$  に分けてかけば、

$$P = P_\zeta + P_\eta + P_\phi + P_w \tag{3.15}$$

$$\begin{aligned} P_\zeta &= \rho g h \zeta_0 [A_\zeta \cos \omega t + B_\zeta \sin \omega t] \\ A_\zeta &= (1 + P_{aH}'') \cos \varepsilon_\zeta - P_{dH}'' \sin \varepsilon_\zeta, \\ B_\zeta &= (1 + P_{aH}'') \sin \varepsilon_\zeta + P_{dH}'' \cos \varepsilon_\zeta, \quad \zeta_0 = \zeta_0/h \end{aligned} \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned} P_\eta &= \rho g h \bar{\eta} [A_\eta \cos \omega t + B_\eta \sin \omega t] \\ A_\eta &= (P_{as}'' \cos \varepsilon_\eta - P_{ds}'' \sin \varepsilon_\eta) \\ B_\eta &= (P_{as}'' \sin \varepsilon_\eta + P_{ds}'' \cos \varepsilon_\eta), \quad \bar{\eta}_0 = \eta_0/h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_\phi &= \rho g h \bar{\phi} [A_\phi \cos \omega t + B_\phi \sin \omega t] \\ A_\phi &= (\bar{y} + P_{aR}'') \cos \varepsilon_\phi - P_{dR}'' \sin \varepsilon_\phi \end{aligned}$$

脚註]

\*  $x = x_0 \sin \omega t$  で運動する時の hydrodynamic pressure は  $P = \rho g x_0 (P_a'' \sin \omega t - P_d'' \cos \omega t)$  となる。

$$B_{\varphi} = (\bar{y} + P_{aR}'') \sin \varepsilon_{\varphi} + P_{dR}'' \cos \varepsilon_{\varphi}$$

$$\bar{\varphi}_0 = B_{\varphi_0} / 2h = \xi_B \varphi_0 / \Theta_w, \quad \Theta_w = \text{最大波傾斜角} \quad (3.16)$$

(横揺数  $p = T_{\varphi} \sqrt{g/B}$  と  $\xi_B$  との関係は,  $\xi_B = 2\pi^2/p^2$ )

又  $P_w = \rho g h [A_w \cos \omega t + B_w \sin \omega t]$

$$A_w = -(e^{-KZ_s} \cos Ky_s + e^{-K\bar{d}} P''_{aH} + e^{-Kd/2} P''_{ds})$$

$$B_w = -(e^{-KZ_s} \sin Ky_s + e^{-K\bar{d}} P''_{dH} - e^{-Kd/2} P''_{as})$$

次に  $A_w$  の中で左右舷同符号即ち対称分布の項を  $A_{ws}$ , 非対称分布の項を  $A_{wa}$  とすれば,

$$\left. \begin{aligned} A_{ws} &= -(e^{-KZ_s} \cos Ky_s + e^{-K\bar{d}} P_{aH}'') \\ A_{wa} &= -e^{-Kd/2} P_{as}'' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.17)$$

同様に  $B_w$  についても

$$B_{ws} = -e^{-K\bar{d}} P''_{dH}, \quad B_{wa} = e^{-Kd/2} P_{as}'' - e^{-KZ_s} \sin Ky_s \dots \dots \dots (3.18)$$

ここで, 圧力の無次元値  $P/\rho g h = \bar{P}$   $\dots \dots \dots (3.19)$

とし,  $\bar{P}$  の対称項を  $\bar{P}'_{so}$ , 非対称項を  $\bar{P}'_{ao}$  とする。而る時は, (3.16) ~ (3.18) から  $\bar{P}'_{so}$ ,  $\bar{P}'_{ao}$ ,  $\bar{P}'$  は夫々次式ようになる。

$$\bar{P}'_{so} = A_s \cos \omega t + B_s \sin \omega t = C_s \cos(\omega t - \nu_s)$$

但し  $A_s = A_s \cdot \zeta_0 + A_{ws}$

$B_s = B_s \cdot \zeta_0 + B_{ws}$   $\dots \dots \dots (3.20)$

$$\bar{P}'_{ao} = A_a \cos \omega t + B_a \sin \omega t = C_a \cos(\omega t - \nu_a)$$

但し  $A_a = A_a \cdot \bar{\eta}_0 + A_{\varphi} \cdot \bar{\varphi}_0 + A_{wa}$

$B_a = B_a \cdot \bar{\eta}_0 + B_{\varphi} \bar{\varphi}_0 + B_{wa}$   $\dots \dots \dots (3.21)$

又  $\bar{P}' = C \cos(\omega t - \nu)$   $\dots \dots \dots (3.22)$

とおけば,  $y_s > 0$  に対しては,

$$C = \sqrt{(A_s + A_a)^2 + (B_s + B_a)^2}, \quad \nu = \tan^{-1} \left( \frac{B_s + B_a}{A_s + A_a} \right)$$

$y_s < 0$  に対しては,

$$C = \sqrt{(A_s - A_a)^2 + (B_s - B_a)^2}, \quad \nu = \tan^{-1} \left( \frac{B_s - B_a}{A_s - A_a} \right) \dots \dots \dots (3.23)$$

IV. 数値計算例

Todd 60 series  $C_B = 0.70$  の模型船について Beam Sea Condition で実験を行い, heave, sway, roll などの運動を計測し, 運動に関する理論計算と, 実験結果とが割合よく一致している例がある〔8〕。

この船型の中央部分に,  $H_0 = 1.0$ ,  $\sigma = 0.9$  の断面がある。この断面が, Fig. 1 の  $H_0 = 1.0$ ,  $\sigma = 0.9404$  の断面で近似的に表わされると考え, Fig. 2~12 の値を用いて圧力分布を計算する。

模型船の主要寸法および実験状態は次の通りである。

$$L_{pp} \times B \times D \times d = 3.00_m \times 0.428_m \times 0.261_m \times 0.171_m, \quad L/B = 7.0, \quad C_B = 0.70$$

$$C_p = 0.71, \quad C_{\Sigma} = 0.985, \quad C_w = 0.785, \quad W = 153.7kg$$

環動半径 (pitch) =  $0.24L_{pp}$ , Bilge Keel なし。

実験状態:  $G_0M = 2.78cm$ ,  $KG_0 = 14.66cm$ ,  $OG_0 = 2.44cm$

$$a_0 = \overline{OG_0}/d = 0.142$$

固有周期は, Rolling が 1.61秒, heaving 1.03秒で pitching が 1.00秒である。

圧力の計算は、heave 同調および roll 同調状態について行う。その時の運動状態は次表の通りである。

波周期	$T_w$	1.03秒	1.61秒
	$\xi_d$	0.649	0.266
heave	$\left\{ \begin{array}{l} \xi_o/h \\ \varepsilon_c \end{array} \right.$	1.21	1.07
		74°	6.5°
Sway	$\left\{ \begin{array}{l} \eta_o/h \\ \varepsilon_\eta \end{array} \right.$	0.58	0.82
		264°	269°
roll	$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_o/\Theta_w \\ \varepsilon_\varphi \end{array} \right.$	0.35	7.5
			176°

Sway および 0 の周りの roll の値を用いて、 $a_o=0.142$  に対する  $G_o$  の周りの roll の  $(\bar{y}+P''_{dR})$  および  $P''_{dR}$  を Fig. 13, 14 に示す。これらの図から判るように roll による hydrodynamic pressure は静水圧変化に比べて非常に小さい。

$T_w=1.03$  秒の場合は rolling motion は小さいので省略し、heave, sway の運動による圧力を計算する。Fig. 15 にその結果を示す。断面周りの各位置即ち  $\theta$  によつて位相  $\nu$  が異なるので、heaving 変位が最大となる瞬間、即ち  $\omega t = \varepsilon_c = 74^\circ$  の時の圧力分布を Fig. 16 に示す。対称項  $C_s$  は  $\theta=0^\circ$  で約 0.6、 $\theta=90^\circ$  で約 1.5 となり、〔3〕の縦波の場合と、ほぼ同じ大きさとなる。Steepness  $2h/\lambda = \delta_o$  とおけば、 $h/d = \pi\delta_o/\xi_d$ 、従つて  $T_w = 1.03$  秒、 $\xi_d = 0.649$  で、 $\delta_o = 1/20$  の波の場合  $h/d = 0.242$ 、故に  $\xi_o/d = 0.290$  となる。この波で  $\omega t = 74^\circ$  の時の変動圧力水頭は船底で約  $0.13d$ 、船側上方右舷で  $0.24d$ 、左舷で  $0.48d$  となる。

この圧力の大きさが縦波の同調時の値〔3〕参照より小さいのは、同調時の波長が横波の場合の方が小さいからである。

次に roll 同調 ( $T_w=1.61$  秒) の場合は roll, sway, および heave の 3 つの運動による圧力を計算した。Fig. 17 にその結果を示す。圧力の対称項  $C_s$  は小さく、非対称項  $C_a$  が非常に大きい。

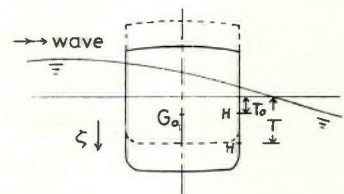
heave 及び sway の影響は小さく、圧力分布を支配するものは、横揺変位に基く静水圧の変化である。

$\delta_o = 1/50$  の波の中で横揺同調する場合  $\omega t = 176^\circ$  の時の全圧力分布状態を Fig. 18 の中の実線で示す。又図中の点線は、静水面上で直立状態で浮んでいる時の静水圧の分布である。

### V. Shipborne Wave Recorder について

M. J. Tucker の Shipborne Wave Recorder〔9〕は、船体表面上の一定点に働く圧力  $P_T$  と船の上下加速度とを計測し、加速度を 2 回積分して heaving 変位  $\xi$  を求め  $P_T$  と  $\xi$  の値とから今船が乗っている波の高さを知らうとするものである。

上図で点線は、静水面に浮んでいる状態を示し、受圧部  $H$  の深さを  $T_o$  とする。実線は、波の中で heave down した時の状態で受圧部の深さを  $T$  とし、その時の計測圧力を  $P_T$  とする。



$$P_T = \rho g \{ T - h e^{-K T} \cos(K y_s - \omega t) \} + P_D \quad (5.1)$$

(5.1) で  $P_D$  は船と波との相対運動に基く hydrodynamic pressure である。 $T = T_o + \xi$  であるから、これを (5.1) に代入すれば

$$P_T = \rho g \{ T_o + \xi_o \cos(\omega t - \varepsilon_c) - h e^{-K T_o} (1 - K \xi) \cos(K y_s - \omega t) \} + P_D$$

1 に比べて  $K \xi$  は一般に小さいので、更に

$$P_T = \rho g \{ T_o + \xi_o \cos(\omega t - \varepsilon_c) - h e^{-K T_o} \cos(K y_s - \omega t) \} + P_D \quad \dots \dots \dots (5.2)$$



とおくことができる。

変動圧力を  $P$  とすれば  $P = P_T - \rho g T_0$  であるから

$$P = \rho g \zeta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_c) - \rho g h e^{-KT_0} \cos(Ky_s - \omega t) + P_D \quad (5.3)$$

ここで  $P_D = 0$  とおけば

$$P/\rho g - \zeta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_c) = -h e^{-KT_0} \cos(Ky_s - \omega t) \quad (5.4)$$

Tucker の波浪計〔9〕は、(5.4) から  $Ky_s$ ,  $KT_0$  が小さい時、従つて  $e^{-KT_0} \neq 1.0$  のような長波長に対しては、各瞬間の水面変化が正しく求められることになる。(5.4) をかきなおせば

$$P/\rho g h = \bar{P}' = \zeta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_c) - e^{-KT_0} \cos(Ky_s - \omega t) \quad (5.5)$$

船の左右揺及び横揺による誤差を除くために、受圧部は左右舷2ヶ所に設け、それらの平均圧力を計測することになれば  $Ky_s$  が小さい時は、(5.5) は(3.20)を用いると次のようになる。

$$C_s \cos(\omega t - \nu_s) = \zeta_0 \cos(\omega t - \varepsilon_c) - e^{-KT_0} \cos \omega t \quad (5.6)$$

従つて(5.6)を常に満足するような位置に受圧部を設ければ  $P_D = 0$  ということになる。(5.6)は、

$$\zeta_0 [P''_{aH} \cos(\omega t - \varepsilon_c) + P''_{dH} \sin(\omega t - \varepsilon_c)] = e^{-KT_0} (P''_{dH} \sin \omega t + P''_{aH} \cos \omega t) \quad (5.7)$$

となり、(5.7)を常に満足せしめるような  $\theta$  の位置は一般的には存在しない。即ち常に  $P_D = 0$  であるような受圧部の位置はない。

$KT_0$ ,  $Ky_s$  も小さい方がよいわけであるから、Shipborne Wave Recorder は、船の heaving 固有周期が小さく、又小型船である程、短波長領域迄  $P_D$  の影響小さく従つて誤差すくなく計測することができる。

## Ⅶ. 結 論

Beam Sea Condition で heaving, swaying および rolling motion する時の変動圧力を線型理論によつて計算する方法を示すと共に、一つの船体運動例によつて圧力の大きさとその分布状態を計算した。その結果得られた結論は次のようなものである。

1. heaving 同調時の変動圧力は、heaving motion による左右舷対称分布圧力の外に、swaying motion による非対称分布圧力を生ずる。対称分布圧力の最大値は、Load Water line 上に生じ、その水頭は、波振幅の1.5倍位の大きさとなる。

2. rolling 同調時には、対称分布は小さく、非対称分布圧力が最も大きい。変動圧力振幅は、主として横傾斜による静水圧変化に支配され、 $\xi_B$  が小さいので hydrodynamic effect は小さい。

3. Shipborne Wave Recorder によつて波浪計測を行う場合、船の heaving 固有周期を出来るだけ小さくして、heaving に基く hydrodynamic pressure  $P_D$  の影響が、出来るだけ小さい波長領域に止るようすべきである。 $P_D = 0$  となるような受圧部の位置は一般的には定まらないが、heaving 同調時に、これが極小になる位置は、本論の計算で推定しようと思われる。

最後に、数値計算に尽力した岡崎陽子嬢に感謝する次第である。

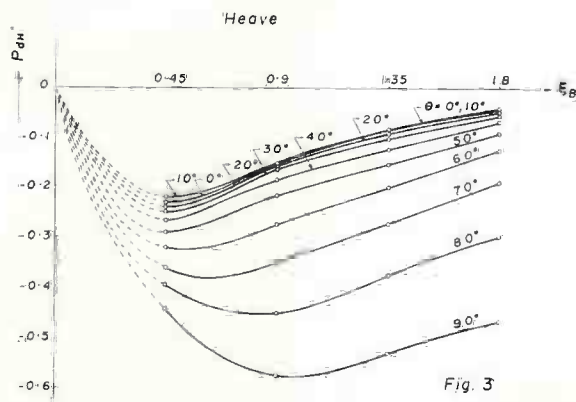
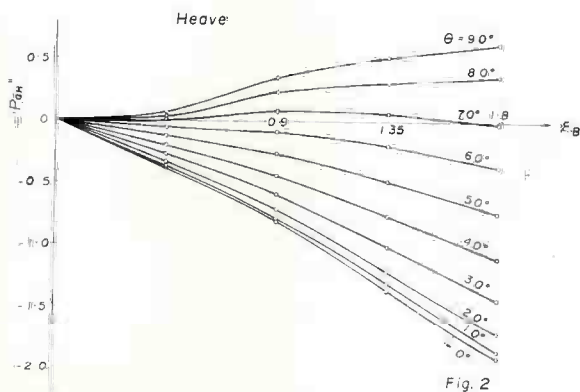
(45. 10. 10)

## 参 考 文 献

- 〔1〕 郷 田 国 夫 : “波浪中の船体に働く横荷重について” 造船協会論文集, 第121号, 昭和42年  
 〔2〕 田 才 福 造 : “An Approximate Calculation of Hydrodynamic Pressure on the Midship Section Contour of a Ship Heaving and Pitching in Regular Head Waves”

九大応用力学研究所。英文報告 Vol. XIV, No. 48, 1966.

- [3] F. Ursell. : "On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid"  
Q. J. M. and A. M., Vol. II, 1949.
- [4] 田才福造 : "On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching"  
九大応用力学研究所英文報告 Vol. VII, No. 26, 1959.
- [5] W. R. Porter : "Pressure distribution, added mass and damping coefficient for cylinder  
oscillating in a free surface" 1960
- [6] 田才福造 : "Hydrodynamic force and moment produced by swaying and rolling oscillation  
of cylinders on the free surface"  
九大応用力学研究所英文報告 Vol. IX, No. 35, 1961.
- [7] 田村欣也 : "The Calculation of Hydrodynamic forces and moments acting on the  
Two-dimensional Body"  
西部造船会々報, No. 26, 1963.
- [8] 田才福造 : "Beam Sea における船体運動" 西部造船会々報, No. 30, 1965.
- [9] M. J. Tucker : "A Shipborne Wave Recorder" T. I. N. A. 1956.



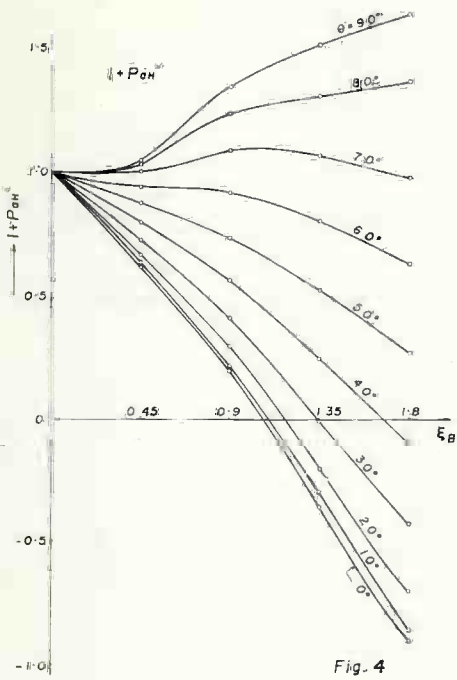


Fig. 4

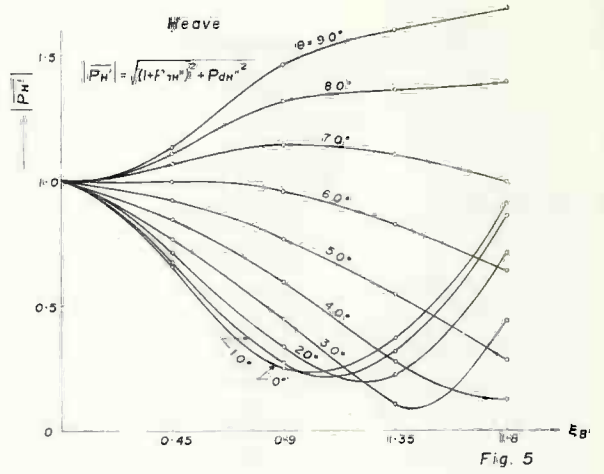


Fig. 5

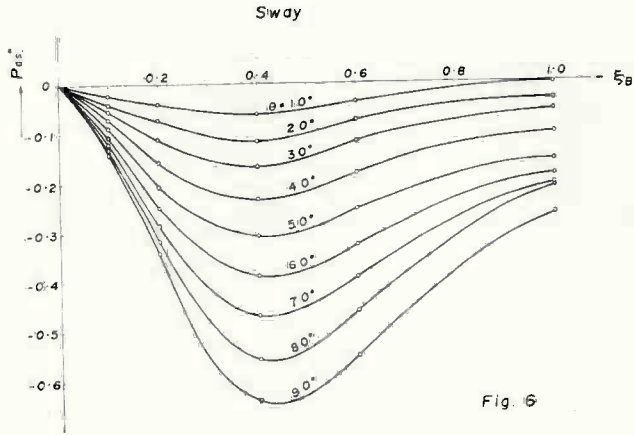


Fig. 6

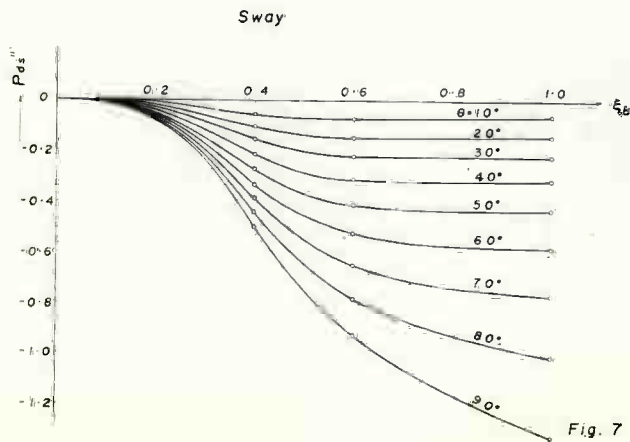
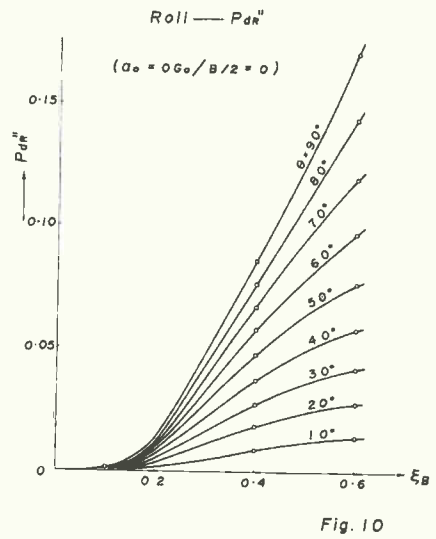
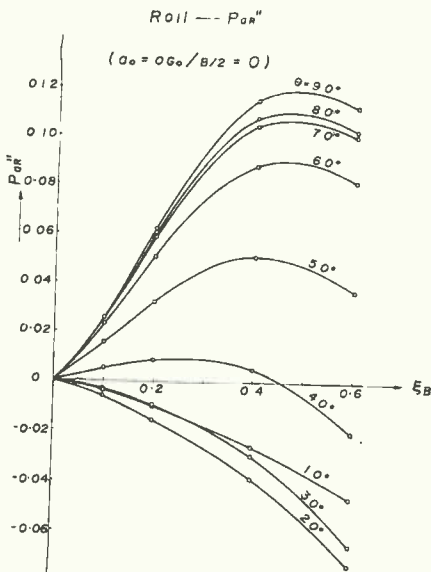
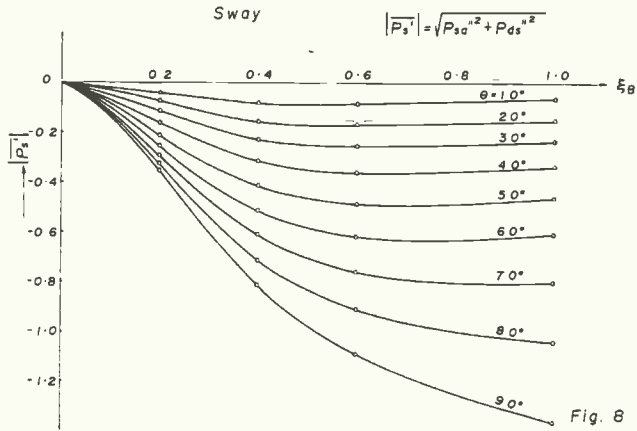


Fig. 7



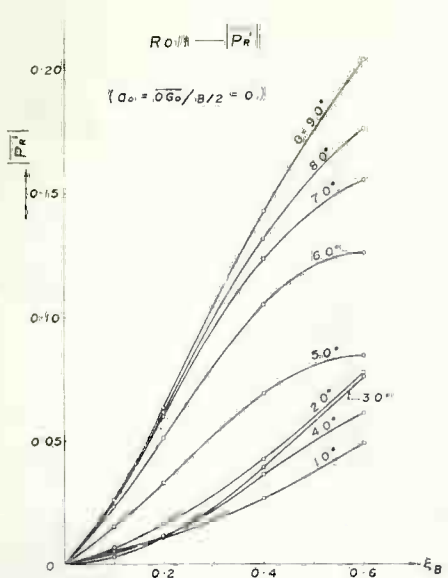


Fig. 11

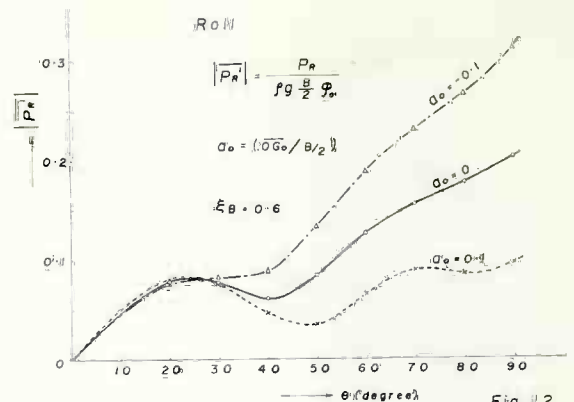


Fig. 12

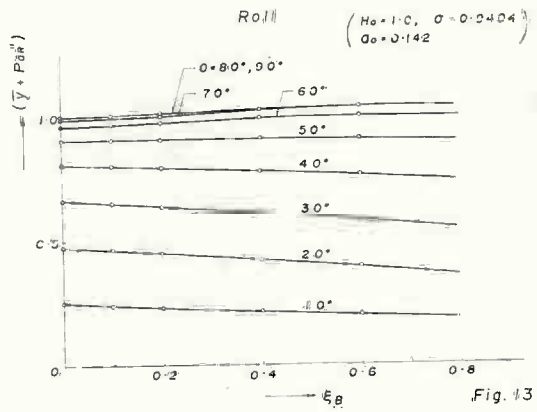


Fig. 13

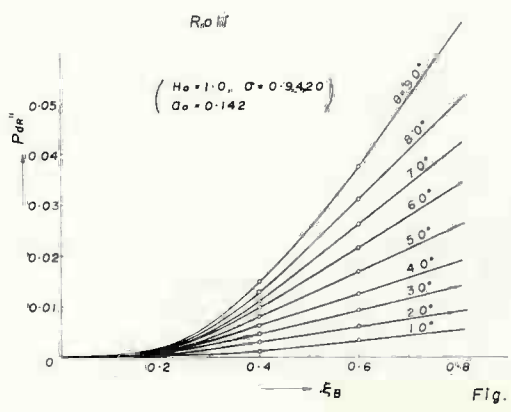
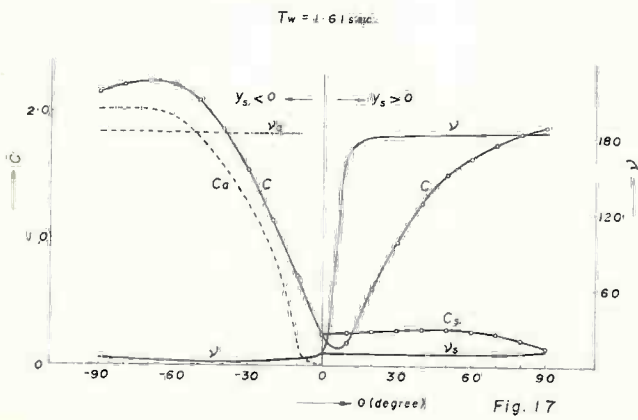
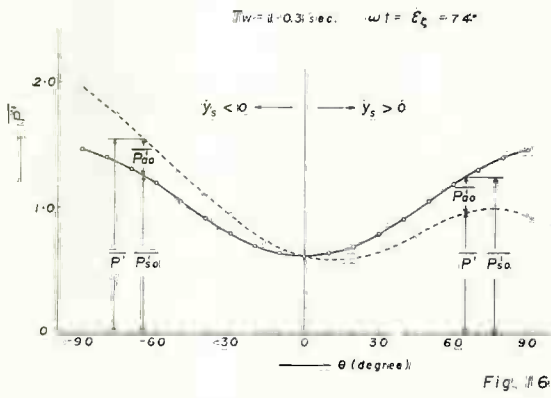
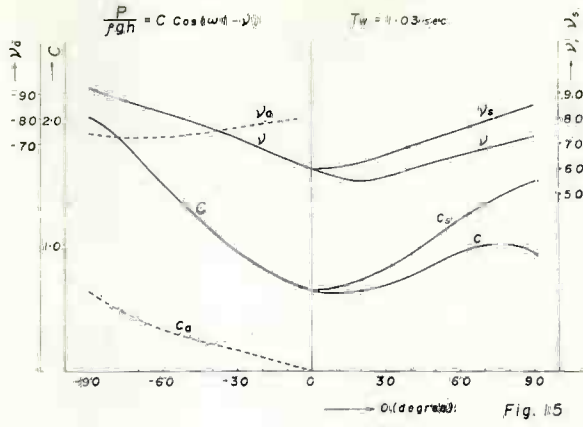


Fig. 14



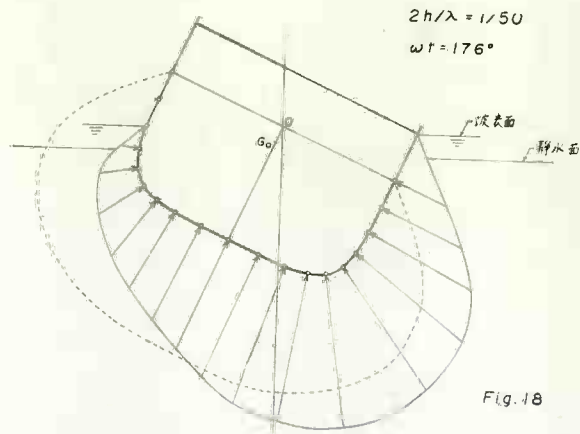


Fig. 18