The Society of Naval Architects of Japan

斜め追波中の船体に働く横力と回頭モーメントの分析

正員 浜 本 剛 実* 正員 司 恭 彦**

An Analysis of Side Force and Yaw Moment on a Ship in Quartering Waves

by Masami Hamamoto, *Member* Yasuhiko Tsukasa, *Member*

Summary

An analytical and experimental study of the side force and yaw moment on a ship model towed in severe quartering waves has been conducted. In order to investgate the side force on the ship with heave and pitch motions in a very low encounter frequency, extensive model tests have been carried out. The side force is divided into Froude-Krylov force, diffraction force and lift, and discussed in detail. The effects of heave and pitch motions to side force on the ship are investigated by taking into account the change of submerged sectional area. Comparisons of the experimentally determined force on the model and a theoretical prediction are presented.

1. まえがき

斜め追波中を航行している船に働く流体力の成分は，船の3軸方向の力とその軸まわりのモーメントの6方向になるので，耐航性と操縦性に関わる流体力を同時に計測しなければならない。この両者の間で整合性のある流体力の分析を試みるために，上下及び縦揺している船体没水部に働く前後力，横力，横傾斜モーメント及び回頭モーメントを計測する水槽試験を実施し，特に船の上下及び縦揺が横力と回頭モーメントにどのような影響を与えるかに着目した分析を行った。船体に働く横力はよく知られているように，変位に基づくフルードクリロフ力，速度に基づく減衰力，加速度に基づく付加質量力に分けて分析的に取り扱うことができる。この場合，波長が船長とほぼ等しいかその1.5倍程度で，波高も比較的大きいときには波と船との出会い周波数が極めて低く，船は上下及び縦揺しながら没水部の形状が波と船との相対位置に関係して時々刻々大幅に変動する。この没水部形状の変動が横力及び回頭モーメントにどのような影響を及ぼすかは従来の微小動揺理論で取り扱うことはできない。

* 大阪大学
** 大阪大学大学院工学研究科

原稿受理 平成4年1月10日
春季講演会において講演 平成4年5月12，13日

そこで，本研究ではこのような状態で曳航されている模型船に働く横力と回頭モーメントを求めて，前述のフルードクリロフ力，減衰力，付加質量力に及ぼす没水部形状の影響を分析的に検討したので，その結果を報告する。

2. 運動方程式とその流体力

波浪中での周期的な船体運動を記述する運動方程式は空間固定座標系，また船の横揺及び回頭の準定常的運動を記述する運動方程式は船体固定座標系が一般に慣用されている。しかし，船体が追波中で上下及び縦揺しながら，横流れ及び回頭運動しているとき，船体没水部に働く横力及びその回頭モーメントを分析的に取り扱う場合には，この両者の運動方程式を力学的に整合性のある形に記述しなければならない。この問題について著者の一人は前に報告[9]したような Fig. 1 に示す Horizontal Body Axes と呼ばれる座標系に従って運動方程式を記述する方法を示した。今，その結果を示すと次式のようになる。

並進運動

$$m(\dot{U}-V\dot{\psi})=X\cos\theta+(Y\sin\phi+Z\cos\phi)\sin\theta$$
$$m(\dot{V}+U\dot{\psi})=Y\cos\phi-Z\sin\phi$$
$$m\ddot{\zeta}_G=(Y\sin\phi+Z\cos\phi)\cos\theta-X\sin\theta+mg \tag{1}$$

回転運動

$$\frac{d}{dt}[H_x\cos\theta+(H_y\sin\phi+H_z\cos\phi)\sin\theta]$$

The Society of Naval Architects of Japan

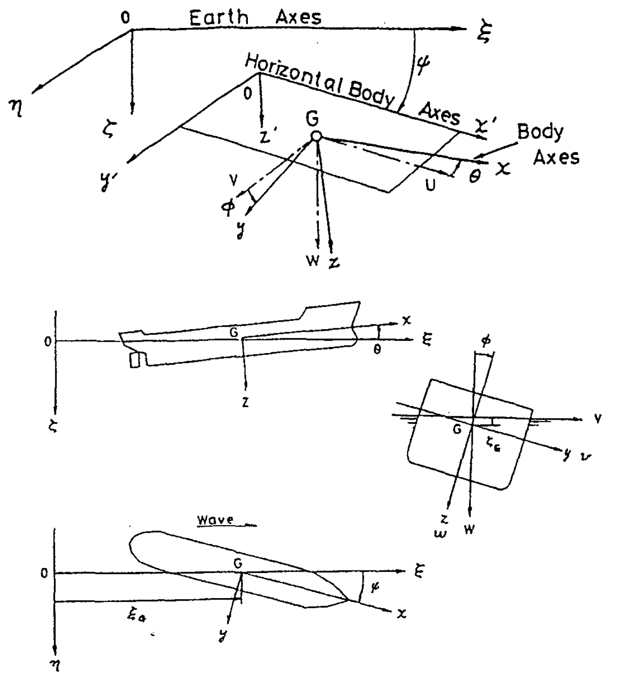


Fig. 1 Coordinate systems

$$
\begin{aligned}
&+(H_z \sin\phi - H_y \cos\phi)\dot{\psi} \\
&=K\cos\theta + (M\sin\phi + N\cos\phi)\sin\theta \\
&\frac{d}{dt}(H_y\cos\phi + H_z\sin\phi) + [H_x\cos\theta \\
&\quad +(H_y\sin\phi - H_z\cos\phi)\sin\theta]\dot{\psi} \\
&=M\cos\phi - N\sin\phi \\
&\frac{d}{dt}[(H_z\cos\phi + H_y\sin\phi)\cos\theta - H_x\sin\theta] \\
&=-K\sin\theta + (M\sin\phi + N\cos\phi)\cos\theta
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

ここで，m は船体の質量，$U, V, \dot{\zeta}_G$ は，Horizontal Body Axes の各軸方向の速度，ϕ, θ, ψ は船体固定座標系と空間固定座標系との間のオイラー角，X, Y, Z は船体固定座標系の各軸方向に働く力，K, M, N は船体固定座標系の各軸まわりに働くモーメントである。また H_x, H_y, H_z は船体固定座標系の各軸まわりの角運動量で次式のように表せる。

$$
\begin{aligned}
H_x &= I_{xx}p - I_{xy}q - I_{zx}r \\
H_y &= I_{yy}q - I_{yz}r - I_{xy}p \\
H_z &= I_{zz}r - I_{zx}p - I_{yz}q
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

ここで p, q, r は

$$
\begin{aligned}
p &= \dot{\phi} - \dot{\psi}\sin\theta \\
q &= \dot{\theta}\cos\phi + \dot{\psi}\cos\theta\sin\phi \\
r &= \dot{\psi}\cos\theta\cos\phi - \dot{\theta}\sin\phi
\end{aligned}
\qquad (4)
$$

となる。

この運動方程式において，船が直立 ($\phi=0, \theta=0$) して，上下及び縦揺しながら，横揺及び回頭運動している状態を想定すると，

並進運動

$$
\begin{aligned}
m(\dot{U} - V\dot{\psi}) &= X \\
m(\dot{V} + U\dot{\psi}) &= Y \\
m\ddot{\zeta}_G &= Z + mg
\end{aligned}
\qquad (5)
$$

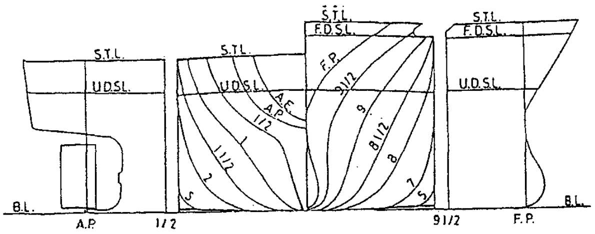
回転運動

$$
\begin{aligned}
\frac{d}{dt}H_x - H_y\dot{\psi} &= K \\
\frac{d}{dt}H_y + H_x\dot{\psi} &= M \\
\frac{d}{dt}H_z &= N
\end{aligned}
\qquad (6)
$$

のように表される。Horizontal Body Axes による運動方程式は従来から耐航性及び操縦性の分野で慣用されている運動方程式の Hybrid Type になっているので，フルードクリロフ力，減衰力及び付加質量力の分析もそれぞれの分野で発展してきた成果を用いて推定することができる。船が斜め追波中を航行しているとき，その運動は周期運動のほかに定常的な漂流や，非周期的な横流れ及び回頭運動が大きく発達して非常に複雑なものとなる。このような運動をしている船体に働く流体力のうち船体運動の変位に基づくフルードクリロフ力は時々刻々変動する船体没水部の形状より理論的に推定できるが，減衰力及び付加質量力については現在のところ合理的に推定する方法がないので，近似的に船が直立している状態での値を Strip Method で推定する方法が用いられている。しかし追波中で船が波と偏角 χ をもって直進しているとき，船体没水部に働く横力及び回頭モーメントについては従来から指摘されているようにその推定が極めて困難である。そこで本研究では上下及び縦揺している船体没水部に働く横力と回頭モーメントを分析することを目的として模型試験を実施し，その結果と理論計算とを比較検討する。

3. 模型実験とその結果の理論的分析

斜め追波中を上下及び縦揺しながら定常的に直進している船に働く横力と回頭モーメントを求めるために，模型船に横流れ角がつかないように，波と偏角 χ をもって曳航する。このような状態では，船体の3軸とその軸まわりの力とモーメントが船体没水部に働くので，Fig. 2 に示す模型船の上下揺変位 ζ_G 及び縦揺角 θ を自由にして，時々刻々に変動する船体没水部に働く前後力 X，横力 Y，横傾斜モーメント K 及び回頭モーメント N を Fig. 3 に示すように模型船を曳航して計測した。その結果を Fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9 にそれぞれ示す。



$L = 2.5\ (m)$ $B = 0.413\ (m)$ $d = 0.139\ (m)$ $\Delta = 101\ (kg)$

Fig. 2 Dimensions of ship model

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

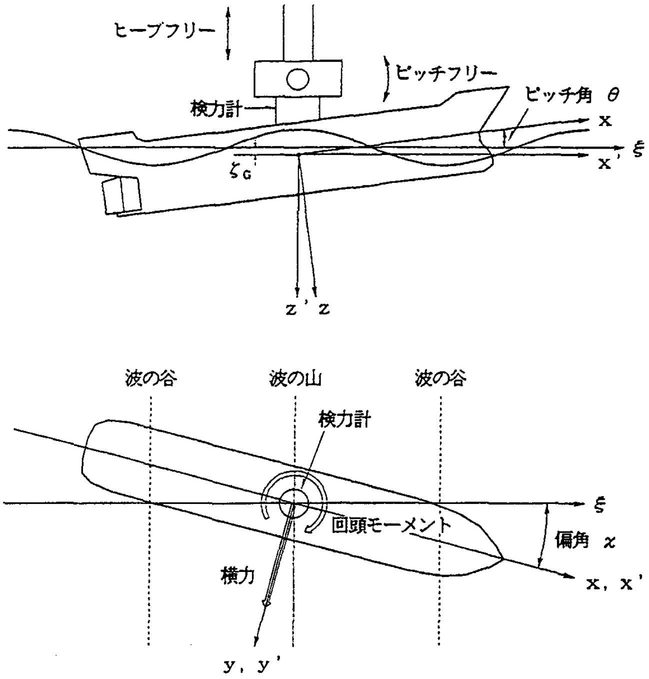


Fig. 3 Arrangement of experiment

模型試験結果

まず，Fig. 4 及び 5 は波長船長比 $\lambda/L=1$ 及び 1.5 での波高波長比 $H/\lambda=1/20$，偏角 $\chi=10$ 度の斜め追波中で模型船が上下及び縦揺しているときの変位 ζ_G 及び θ を船と波との相対位置 ξ_G/λ について○印で示したもので，波と船との出会い周波数 ω_e を 4 種変えて実施した実験結果である。ここで時々刻々変化する波と船との相対位置 ξ_G/λ は船体重 G が波の谷にあるとき $\xi_G/\lambda=0$，波の上り波面にあるとき $\xi_G/\lambda=0.25$，波の頂にあるとき $\xi_G/\lambda=0.5$，下り波面にあるとき $\xi_G/\lambda=0.75$，再び波の谷にきたとき $\xi_G/\lambda=1.0$ となるように定義してある。尚，波と船との出合い周波数は模型船の曳航速度 U を 0.8 m/s，1.0 m/s，1.2 m/s 及び 1.5 m/s の 4 種変えた場合の周波数で，各曳航速度での静的な沈下量及びトリム角は静水中で模型船を曳航して求めた。また，Fig. 6 及び 7 は前後力 X と横傾斜モーメント K，Fig. 8 及び 9 は横力 Y と回頭モーメント N を同時に計測した結果を波長船長比 $\lambda/L=1$ と 1.5 の場合について Fig. 4 及び 5 と同様に示したものである。尚，図中の実線は後で述べる理論的分析結果を示したものである。

実験結果の理論的分析

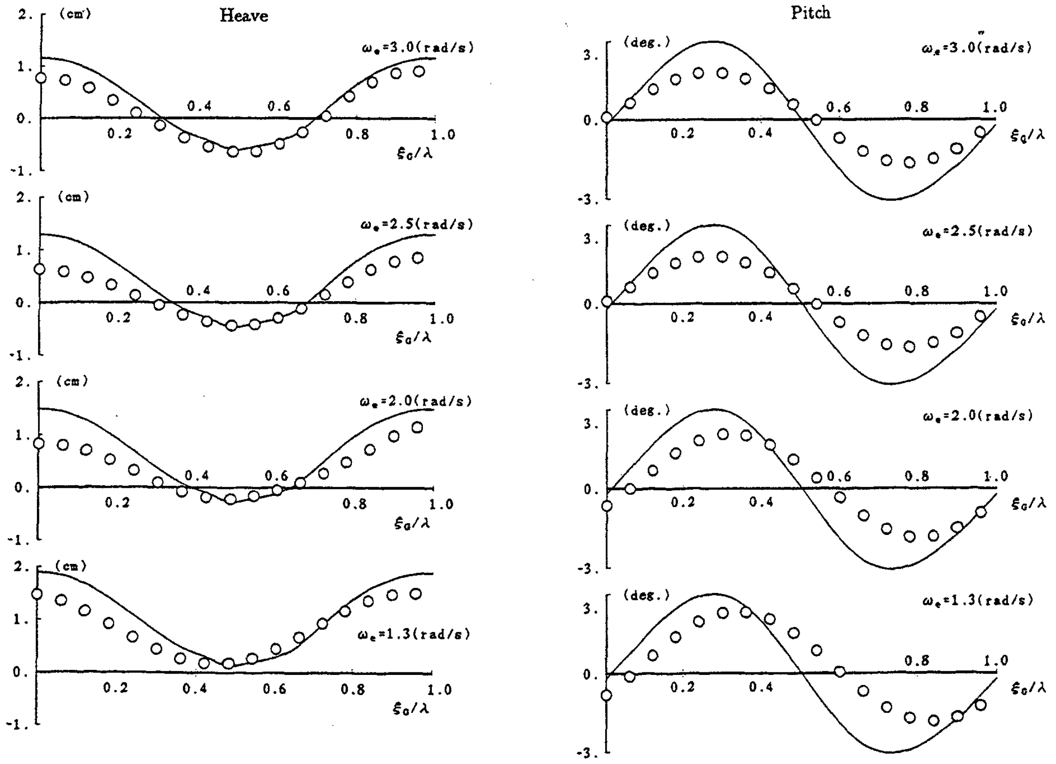
Fig. 1 に示す空間固定座標系の ξ 方向に進行している規則波中を偏角 χ をもって定常的に直進している船の重心 G が ξ_G 点にあるとき，規則波の振幅を a，波数を k，位相速度を c とすれば，t における x, y 点の波形 ζ_w は一般に

$$\zeta_w=-a\cos k(\xi_G+x\cos\chi-y\sin\chi-ct) \quad (7)$$

またこの波の速度ポテンシャル ϕ は

$$\phi=-ace^{-k(\zeta_G-x\theta+z)}\sin k(\xi_G+x\cos\chi-y\sin\chi-ct) \quad (8)$$

であるから，船体重心の波面での沈下量を ζ_G，及びトリム

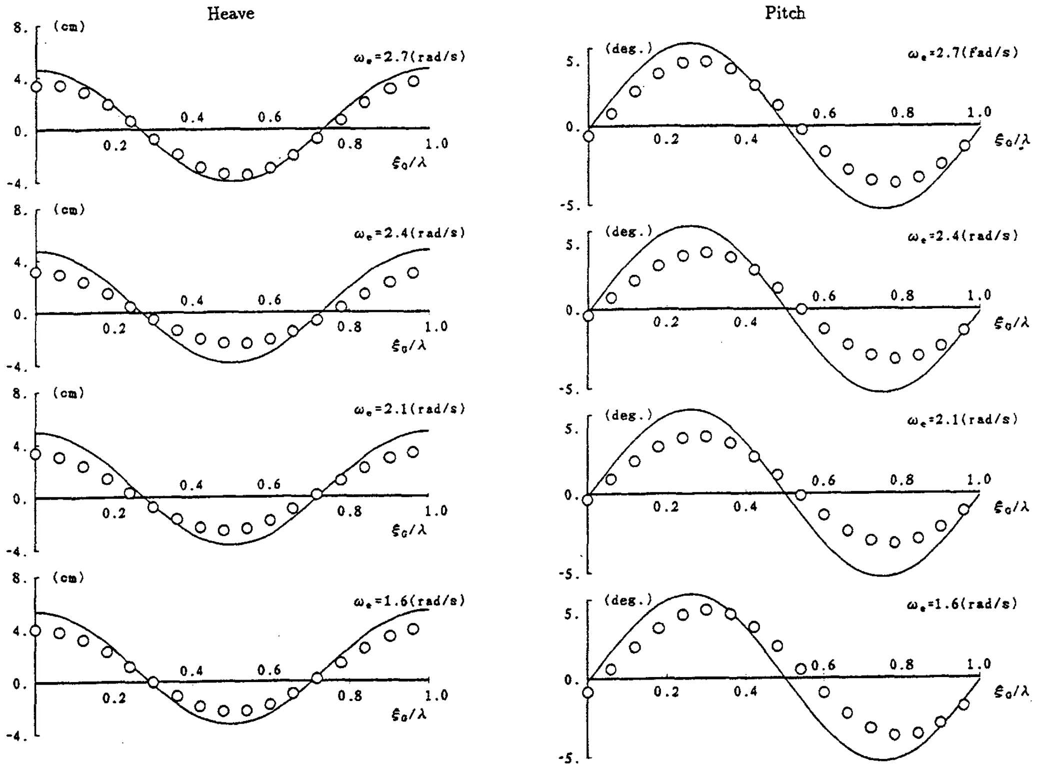


$\lambda/L=1.0$, $H/\lambda=1/20$

Fig. 4 Responses of heave and pitch with respect to the relative position of ship to wave

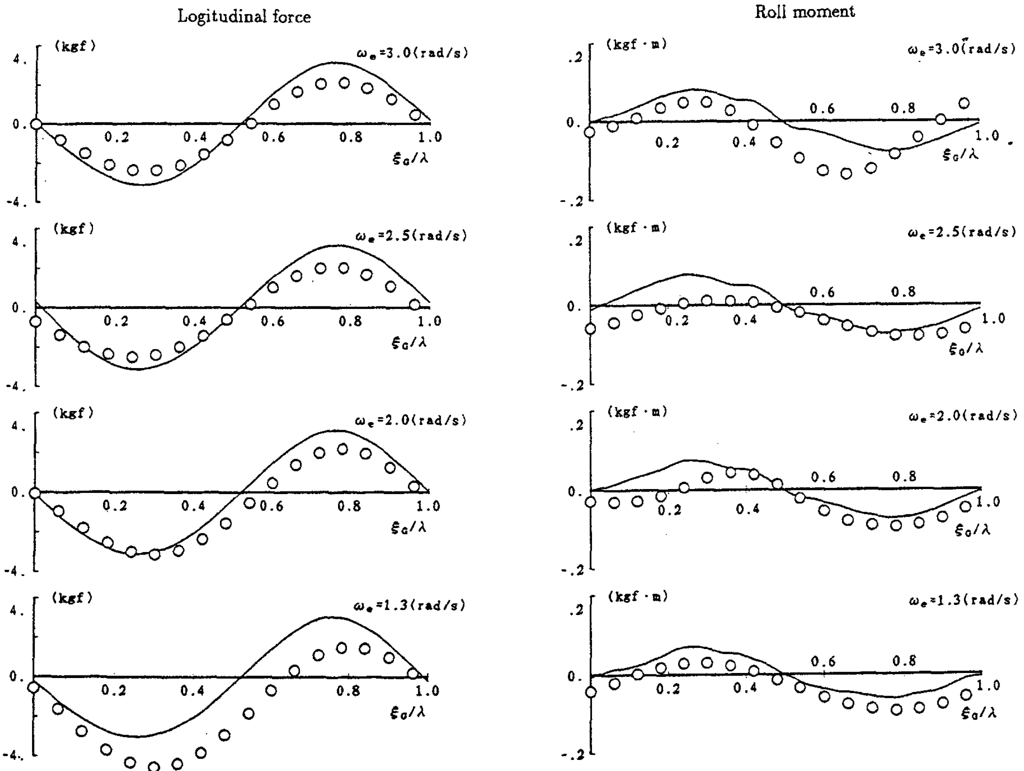
NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan



$\lambda/L=1.5$, $H/\lambda=1/20$

Fig. 5 Responses of heave and pitch with respect to the relative position of ship to wave

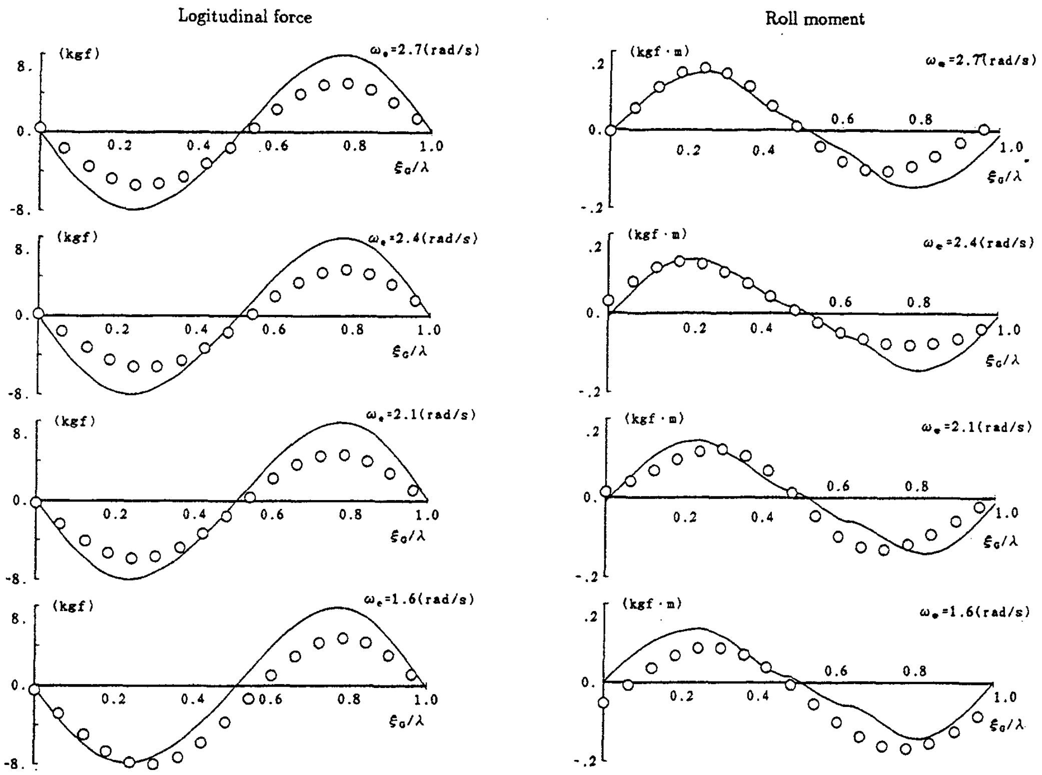


$\lambda/L=1.0$, $H/\lambda=1/20$

Fig. 6 Longitudinal force and roll moment with respect to the relative position of ship to wave

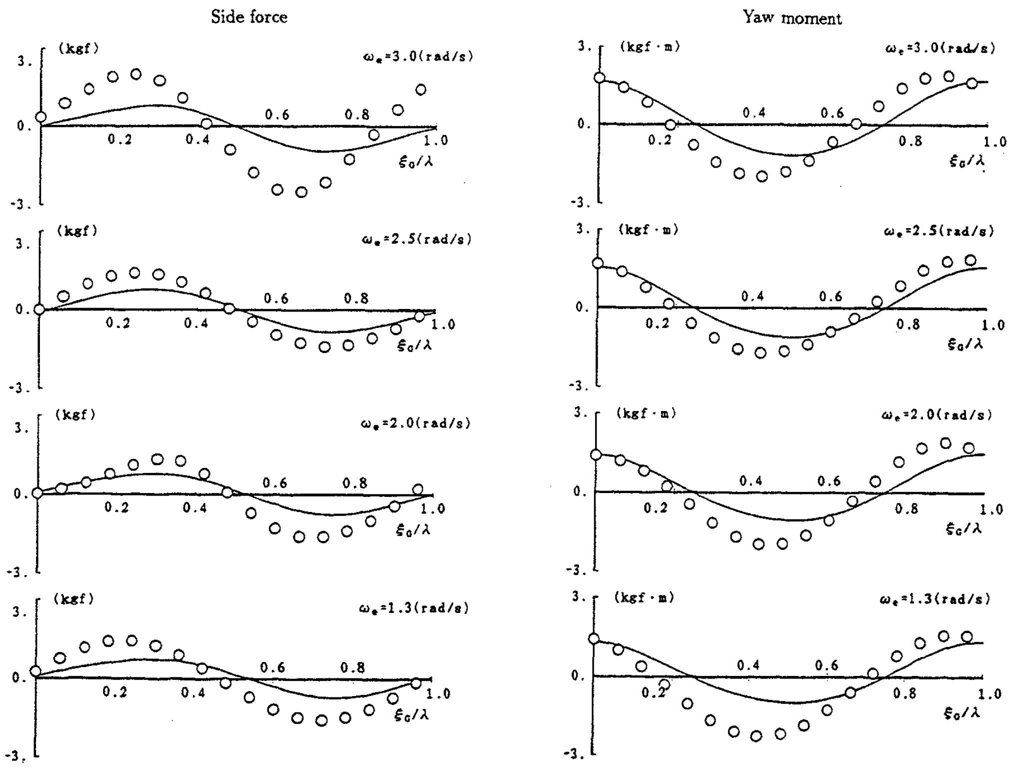
NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan



$\lambda/L=1.5$, $H/\lambda=1/20$

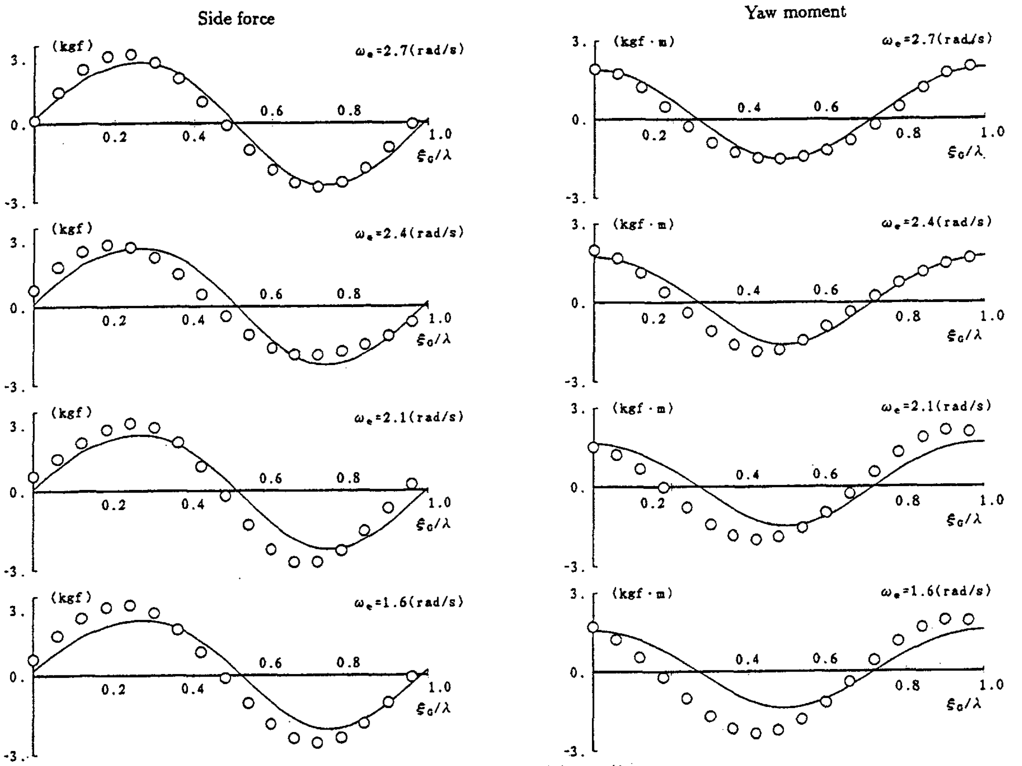
Fig. 7 Longitudinal force and roll moment with respect to the relative position of ship to wave



$\lambda/L=1.0$, $H/\lambda=1/20$

Fig. 8 Side force and yaw moment with respect to the relative position of ship to wave

NII-Electronic Library Service



$\lambda/L=1.5$　,　$H/\lambda=1/20$

Fig. 9　Side force and yaw moment with respect to the relative position of ship to wave

角をθとすれば船体没水部表面に働く圧力pを次のように表すことができる。

$$p=\rho g(\zeta_G-x\theta+z)$$
$$=-\rho gae^{-k(\zeta_G-x\theta+z)}\cos k(\xi_G+x\cos\chi-y\sin\chi-ct) \quad (9)$$

ここで，この圧力pを船体没水部表面について積分すれば，前に報告[9]したようにフルードクリロフの前後力$X^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$，横力$Y^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$，上下力$Z^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$，横傾斜モーメント$K^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$，トリムモーメント$M^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$及び回頭モーメント$N^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$を次のように求めることができる。

$$X^{(F\cdot K)}(\zeta_G,\theta,\chi)$$
$$=\rho g\theta\int_L A(x)dx-\rho gak\cos\chi\int_L\frac{\sin\left(k\frac{B}{2}\sin\chi\right)}{k\frac{B}{2}\sin\chi}$$
$$\times e^{-k(\zeta_G-x\theta+\bar{d}(x))}A(x)\sin k(\xi_G+x\cos\chi-ct)dx \quad (10)$$

$$Y^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$$
$$=\rho gak\sin\chi\int_L\frac{\sin\left(k\frac{B}{2}\sin\chi\right)}{k\frac{B}{2}\sin\chi}$$
$$\times e^{-k(\zeta_G-x\theta+\bar{d}(x))}A(x)\sin k(\xi_G+x\cos\chi-ct)dx \quad (11)$$

$$Z^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$$
$$=-\rho g\int_L A(x)dx-\rho gak\int_L\frac{\sin\left(k\frac{B}{2}\sin\chi\right)}{k\frac{B}{2}\sin\chi}$$
$$\times e^{-k(\zeta_G-x\theta+\bar{d}(x))}A(x)\cos k(\xi_G+x\cos\chi-ct)dx \quad (12)$$

$$K^{(F\cdot K)}(\zeta_G,\theta,\chi)$$
$$=-\rho g\int_L y'_B A(x)dx-\rho gak\sin\chi\int_L\frac{\sin\left(k\frac{B}{2}\sin\chi\right)}{k\frac{B}{2}\sin\chi}$$
$$\times e^{-k(\zeta_G-x\theta+\bar{d}(x))}z'_B A(x)\sin k(\xi_G+x\cos\chi-ct)dx \quad (13)$$

$$M^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$$
$$=\rho g\int_L xA(x)dx+\rho gak\int_L\frac{\sin\left(k\frac{B}{2}\sin\chi\right)}{k\frac{B}{2}\sin\chi}$$
$$\times e^{-k(\zeta_G-x\theta+\bar{d}(x))}xA(x)\cos k(\xi_G+x\cos\chi-ct)dx \quad (14)$$

$$N^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)$$
$$=\rho gak\int_L\sin\chi\frac{\sin\left(k\frac{B}{2}\sin\chi\right)}{k\frac{B}{2}\sin\chi}$$
$$\times e^{-k(\zeta_G-x\theta+\bar{d}(x))}xA(x)\sin k(\xi_G+x\cos\chi-ct)dx \quad (15)$$

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

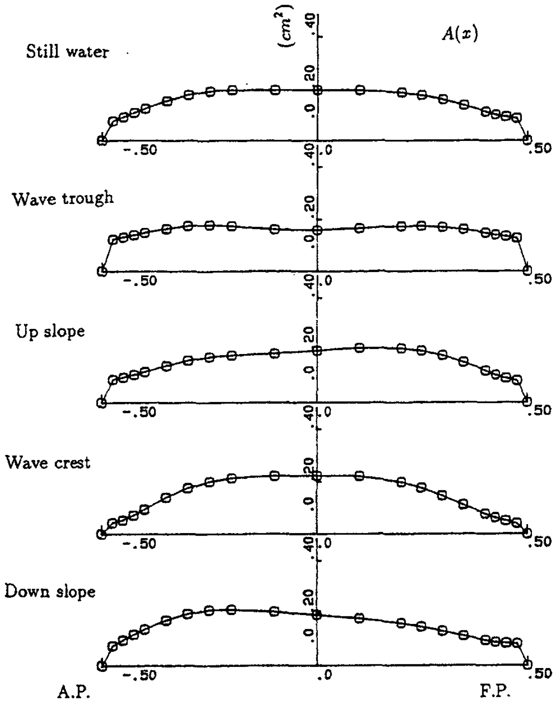


Fig. 10　Distribusion of submerged sectional area in a still water and waves

ここで，Lは船長，Bはx断面の船幅，$A(x)$は波と船との相対位置ξ_G/λによって変化するx断面の没水部断面積，$\bar{d}(x)$は有効喫水である。$A(x)$は前に報告[9]した方法によって定めることができる。本模型船が，波と偏角χをもって直進しているときのξ_G/λによる$A(x)$の変化をFig. 10に示す。

さて，模型船が波と偏角χをもって追波中を上下及び縦揺しながら一定速度Uで直進しているとき，船体没水部には一般にフルードクリロフ力，Radiation force, Diffraction forceが働くので，この縦運動に関する運動方程式は(5)，(6)式より

$$m\ddot{\zeta}_G=Z^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)+Z(Radiation)+Z(Diffraction)+mg$$
$$I_{yy}\ddot{\theta}=M^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)+M(Radiation)+M(Diffration) \tag{16}$$

のように記述できる。これを解いて上下揺変位ζ_G，及び縦揺角θを求めるべきであるが，本実験では波と船との出合い周波数ω_eが極めて低く，Strip methodでRadiation及びDiffraction forceの推定が困難であるため，ここでは剛体と流体の慣性力及び減衰力を近似的に省略して静的釣合の条件

$$Z^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)+mg=0$$
$$M^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)=0 \tag{17}$$

より上下揺変位ζ_G及び縦揺角θを求めて，実験結果と比較してFig. 4及び5に実線で示した。この図より実験値と静的釣合条件から推定した値とが比較的よく一致していることがわかる。このことは以前からpaulling[6]によっても指摘されていることで，追波及び斜め追波中での船体運動のシミュレーション計算に従来から用いられている。また前後力Xと横傾斜モーメントKはFig. 6, 7に示すようにフルードクリロフ力及びモーメントでその大略を推定することができるが，横力やその回頭モーメントについては従来から言われているようにフルードクリロフ力だけでは推定が困難であった。

そこでこのように上下及び縦揺して直進している船体没水部に働く横力Yとその回頭モーメントNは，模型船が左右揺しないのでRadiation forceは働かないが，船が波と偏角χを持つために，フルードクリロフ力と流体粒子の円運動の水平方向速度によるDiffraction force及びHydrodynamic liftの成分に分析され，概念的に次式のように与えられる。

$$Y=Y^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)+Y(Diffraction)+Y(Lift)$$
$$N=N^{F\cdot K}(\zeta_G,\theta,\chi)+N(Diffraction)+Y(Lift) \tag{18}$$

ここで，$Y^{F\cdot k}(\zeta_G,\theta,\chi)$, $N^{F\cdot k}(\zeta_G,\theta,\chi)$は(11)，(15)式で与えられるが，他の2項については，現在のところ波と船との出会い周波数が極めて低いことに着目した近似的アプローチが試みられた。まずDiffraction forceについては船と波との出会い周波数ω_eのlimitting caseとして$\omega_e\to 0$を仮定すれば，Lewis Form Sectionの係数C_1及びC_3を用いて船体断面の横方向の付加質量m_yは

$$m_y=\frac{\pi}{2}\rho d^2C(x)$$
$$C(x)=\frac{(1-C_1)^2+3C_3^2}{(1-C_1+C_3)^2} \tag{19}$$

のように与えられる。また減衰係数N_yは出会い周波数ω_eが極めて小さいときの$\bar{A}$に関するGrim[1]の近似式

$$N_y=\frac{\rho g^2}{\omega_e^3}\bar{A}^2$$
$$\bar{A}=\frac{\pi(1-C_1)}{(1-C_1+C_3)^2}\left(\frac{\omega_e^2 d}{g}\right)^2 \tag{20}$$

を用いて推定する。この場合，流体粒子の横方向の速度$\dot{\eta}_w$及び加速度$\ddot{\eta}_w$は(8)式より，それぞれ

$$\dot{\eta}_w=\left(\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)_{y=0}$$
$$=acke^{-k(\zeta_G-x\theta+z)}\sin\chi\cos k(\xi_G+x\cos\chi-ct) \tag{21}$$

$$\ddot{\eta}_w=a(kc)^2e^{-k(\zeta_G-x\theta+z)}\sin\chi\sin k\{\xi_G+x\cos\chi-ct\}$$

のように与えられる。また，Hydrodynamic Liftについては Jonesの横方向の運動量の時間的変化によるDifferential Liftと呼ばれる揚力によって評価できるものとすれば，次の関係

$$\frac{d}{dt}[m_y(x)\dot{\eta}_w]=m_y\ddot{\eta}_w+\frac{dx}{dt}\left(\frac{\partial m_y}{\partial x}\right)\dot{\eta}_w \tag{22}$$

より与えられる。この場合，x方向の流速dx/dtは船の前進速度Uと流体粒子の円運動のx方向の速度$(\partial\phi/\partial x)_{y=0}$を考慮すると，$Y(Diffraction)$, $Y(Lift)$は次式のように表す

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

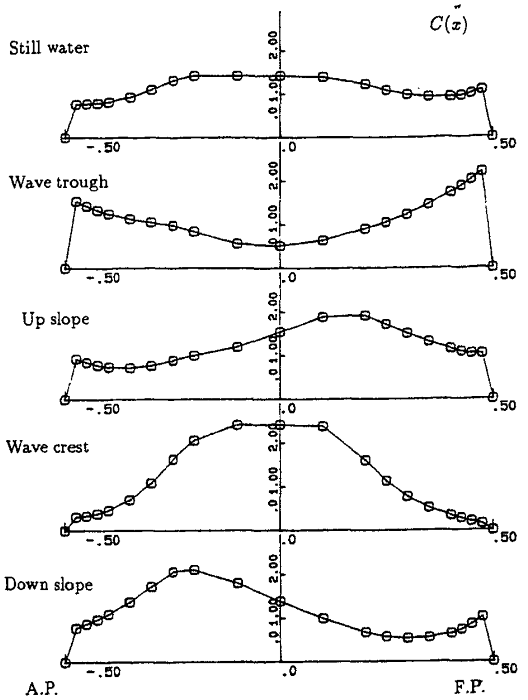
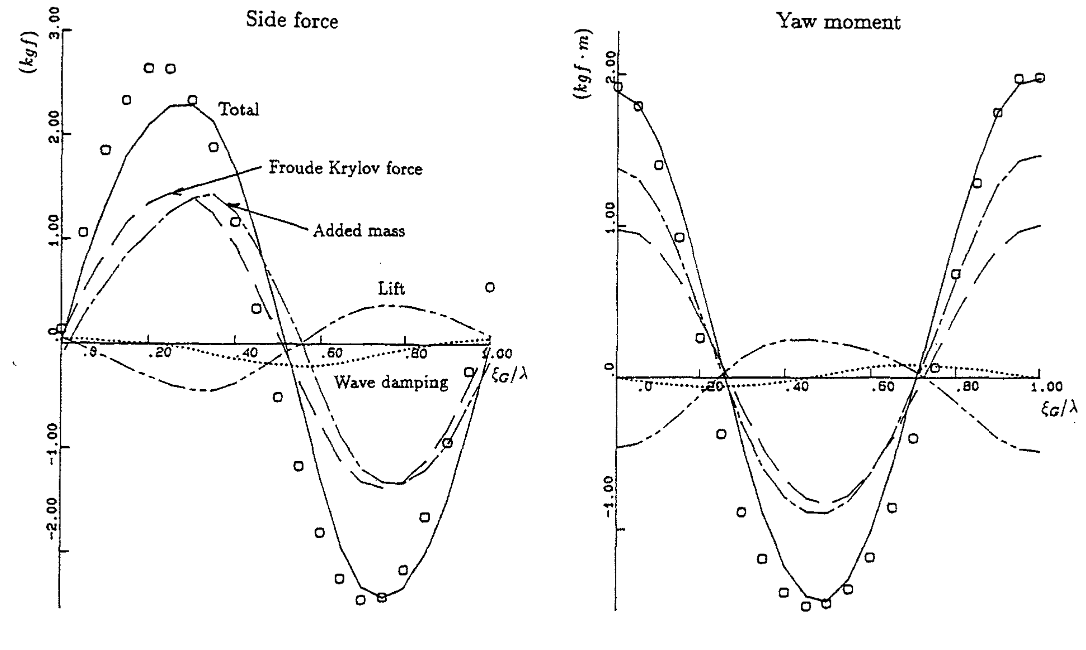


Fig. 11 Distribusion of inertia coefficient of submerged sectional area in a still water and waves

ことができる。

$$Y(Diffraction)+Y(Lift)$$
$$=\int_L m_y(x)\,\ddot{\eta}_w dx+\int_L N_y(x)\,\dot{\eta}_w dx$$
$$+\int_L\left[-U+\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)\right]\left(\frac{\partial m_y}{\partial x}\right)\dot{\eta}'_w dx \qquad (23)$$

また，回頭モーメント $N(Diffraction)+N(Lift)$ は(23)式の各項に船体重心 G からの距離 x をかけて積分して求めることができる。以上の考え方に従って，斜め追波中を定常的に直進している模型船に働く横力 Y と回頭モーメント N を理論計算した。まず，模型船の上下及び縦揺と波面の時々刻々の変動にともなって横方向の付加質量が大幅に変化するので，$C(x)$ の計算結果を Fig. 11 に示した。ここで $C(x)$ は波長船長比 $\lambda/L=1.5$，波高波長比 $H/\lambda=1/20$ の場合の結果で，図の上から平水中，波の谷，上り波面，波の頂及び下り波面にそれぞれ船体重心 G があるときの $C(x)$ の船長方向の分布である。このように波と船の相対位置によって変化する $C(x)$ を用いて模型船に働く横力と回頭モーメントの内訳を実験結果と比較して Fig. 12 に示す。ここで，右舷側に波との偏角 χ を持って直進している模型船に働く横力は波の谷に船体重心があるときに零，上り波面で右舷側に働く横力が最大，波の頂で再び零，下り波面で左舷側に働く横力が最大となる傾向を示している。この横力のうちフルードクリロフ力と付加質量力が同程度の大きさで同じ傾向，揚力成分はやや小さく逆の傾向，減衰力はもっとも小さく 90 度位相がずれる傾向をそれぞれ示している。また回頭モーメントは波の谷に船体重心があるとき，右舷側に模型船を回頭させるモーメントが最大，上り波面近傍では零，波の山で左舷側に模型船を回頭させるモーメントが最大，下り波面で零となる傾向を示している。内訳は横力と同様にフルードクリロフ力と付加質量力によモーメントの寄与が大きい。このような内訳を持つ横力と回頭モーメントの計算結果を実験結果と比較して示したものが Fig. 8 と Fig. 9 である。Fig. 8 は模型船が波長船長比 $\lambda/L=1$，波高波長比 $H/\lambda=1/20$ の斜め追波中を直進し



$\lambda/L=1.5$, $H/\lambda=1/20$, $U=0.8\ (m/s)$, $\omega_e=2.7\ (rad/s)$

Fig. 12 Components of side force and yaw moment on a ship

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

ているときの横力と回頭モーメントを波と船との出会い周波数 ω_e を変えてその影響を示したもので，ω_e が小さくなるに従って実験と理論値とが一致する傾向がある。また，Fig. 9 は模型船が波長船長比 $\lambda/L=1.5$，波高波長比 $H/\lambda=1/20$ の斜め追波中を直進しているときの横力と回頭モーメントを同様に示したもので，Fig. 8 と同様な傾向がみられる。

4. 結　　語

斜め追波中を定常的に直進する船体に働く横力と回頭モーメントを推定する実用式を求めるために，模型実験とその結果の理論的な分析を行い，次のような結論を得た。

（1） 大きな斜め追波中を直進している船は波との周波数が極めて低いために，上下及び縦揺は静的な釣合の条件よりほぼ推定できる。

（2） このような状態で船体没水部に働く横力の内訳をフルードクリロフ力，付加質量力，減衰力と揚力の成分に分けて推定する場合，波と船との相対位置に関係して変動する船体没水部形状を考慮することにより横力と回頭モーメントを分析的に推定できることを示した。

（3） 波と船との出会い周波数が小さくなる程，実験結果と理論的推定とはよく一致する傾向にあるが，ω_e が少し大きいときには両者の差は大きくなるので今後の検討が必要である。

参 考 文 献

1) Grim, O., Die Hydrodynamischen Kräfte beim Rollversuch, Schiffstechinik, Bd. 3, (1955/56).

2) 田才福造，船の上下動揺並びに縦動揺に於ける減衰力及び付加質量について，造船協会論文集，第 105 号，(1959)

3) 田才福造，水面に浮かんだ柱状体の左右揺れによって生ずる HydrodynamicForce および Moment，造船協会論文集，第 110 号，(1961)

4) Eda, H. and Lincoln Crame, C., Steering Characteristics of Ships in Calm Water and Waves, S. N. A. M. E., (1965).

5) 耐航性に関するシンポジウム，日本造船学会，(1969)

6) Paulling, J. R., Oakley, and Wood, P. A., Ship Capsizing in Heavy Seas: The Correlation of theory and Experiments, International Conferece on Stability of Ships and Ocean Vehicles. University of Strathclyde, (1975).

7) Ohkusu, M., Prediction of Wave Forces on a Ship Running in Following Waves with Very Low Encounter Frequency, J. Soc. Naval Arch. Vol. 159, (1986).

8) A. R. J. M. Lloid, Seakeeping, Published by Ellis Horwood Limited, (1989).

9) Hamamoto, M., Kim, Y. and Uwatoko, K., Study on Ship Motions and Capsizing in Following Seas (Final Report), J. of Soc. of Naval Arch. Vol. 170, (1991).

NII-Electronic Library Service