

ロワーハル型半潜水式海洋構造物の横波中の動揺性能に関する模型実験

荒川, 広行
九州大学応用力学研究所 : 助手

<https://doi.org/10.15017/4743688>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 57, pp.671-688, 1982-10. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :

寄 書

ローハル型半潜水式海洋構造物の横波中の
動揺性能に関する模型実験

荒 川 廣 行*

概 要

双胴型半潜水式海洋構造物が、係留されている時の横波中の運動性能について、船体運動理論にもとづく近似計算と水槽実験結果を比較した。

Key words: Semi-submersible catamaran hull, Mooring chain

1. 緒 言

海底油田掘削用構造物には、固定式、半潜水式、船型式等があり、水深および海域に応じていろいろな型式のものが使用されている。一般に半潜水式海洋構造物は、上部作業デッキをささえるカラムと下部浮力タンクにより構成されている。浮力タンクはローハル型とフーティング型の2つに大別される。

著者等はさきに文献(1)において、ローハル型半潜水式海洋構造物の規則波中の運動の近似的推定法を示した。ほぼ同様な仮定にもとづいて片山他²⁾は、詳細な計算を行い動揺振幅および位相については計算結果と模型実験結果とが良く一致することを示した。

本論においては、ローハル型半潜水式海洋構造物の模型について静水中の強制上下揺試験を実施し、さらに横波中の動揺ならびに甲板の波との相対運動等を計測した。そして、1) 上下揺の波強制力に Orbital velocity に比例する力を考慮し、2) 強制上下揺試験で得られた減衰係数を用いて動揺と相対運動を計算し計算結果と実験結果とを比較した。その結果上下揺、横揺、左右揺の振幅と位相のみならず相対運動の振幅と位相をある程度推定できることが判明した。特に相対運動の推定には、Orbital velocity に比例する上下揺波強制力が重要な寄与をすることがわかった。

2. 模型および水槽実験

使用した模型は、図1に示すような2ケのローハルとカラムを連結し、上部に作業デッキを有するものである。

* 九州大学助手，応用力学研究所，(大楠 丹 紹介)

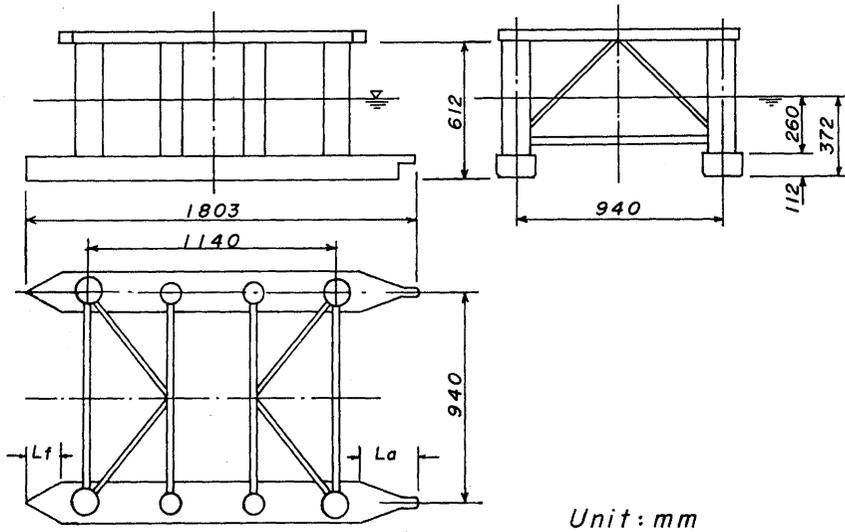


図1 ローハル型半潜式海洋構造物模型

表1 模型の要目

係 留	Without	With
排水量 (kg)	85.6	89.39
吃水 (m)	0.328	0.372
自由上下揺固有周期 (sec)	2.87	2.89
自由横揺 " "	5.08	4.21
自由左右揺 " "		8.14
横メタセンター高さ (m)	0.066	0.085
$f_1 = O_1G$ "	0.124	0.141
$f_m = QG$ "	0.417	0.434

模型の主要目は次の通りである。

ローハルの長さ $L = 1.803$ m	カラムの直径 (大) $d_1 = 0.132$ m
" 幅 $2b_1 = 0.183$ m	" (小) $d_2 = 0.097$ m
" 深さ $l_1 = 0.112$ m	" 水面下長さ $h = 0.260$ m
" 間隔 $2b = 0.940$ m	

係留がある場合と無い場合の模型の状態については表1に示す。図2に模型の横波中の運動計測装置と座標軸を示す。波は規則波で横波状態であり、運動計測装置は模型のデッキ上の中央 Q 点に取付けた。

図3は係留状態図を示す。模型はチェーンで4点係留されている。

強制上下揺実験は無係留とし排水量、吃水等は係留時の模型状態で行った。

実験は波周期と波高を変えて行い上下揺、左右揺、横揺およびウエザーサイドとリーサイドの甲板端

×3.0 m) で行った。

強制上下揺および横波中の動揺実験の計測データは、すべてデータレコーダーおよびペン書きオシログラフに記録した。変動量の振幅と位相差の解析には MELCOM COSMO 900 を使用した。

3. 横波中の動揺

3.1. 横波状態の座標軸および規則波

横波状態の座標軸は図2を参照。\$o_1-\zeta, \eta\$ は空間座標軸で、\$o-z_b, y_b\$ は構造物に固定した座標軸である。図2において、\$-\eta\$ 方向に進む規則波の速度ポテンシャル \$\phi\$ は

$$\phi = \frac{\omega}{k} \zeta_a e^{-k\zeta} \sin(k\eta + \omega t) \quad (3.1)$$

又波の subsurface の式は

$$\zeta_w = \zeta_a e^{-k\zeta} \cos(k\eta + \omega t) \quad (3.2)$$

但し、\$\zeta_a\$=波振幅、\$k=2\pi/\lambda=\omega^2/g\$、\$\lambda\$=波長、\$\omega=2\pi/T_w\$、\$T_w\$=波周期である。

3.2. 上下揺

上下揺変位を \$z\$ とおけば運動方程式は次式で与えられる。

$$(M+a_{zz})\ddot{z} + b_{zz}\dot{z} + (\rho g A_w + k_z)z = F_{zc} \cos \omega t + F_{zs} \sin \omega t \quad (3.3)$$

但し、\$M\$=模型の質量、\$a_{zz}\$=上下揺の付加質量、\$b_{zz}\$=減衰係数、\$A_w\$=水線面積、\$k_z\$=係留チェーンによる復原力係数³⁾、\$F_{zc}\$、\$F_{zs}\$ は波強制力の \$\cos\$ 成分および \$\sin\$ 成分である。

付加質量 \$a_{zz}\$ の計算においては、左右のカラムを結ぶ水平のブレースおよびカラムと甲板を結ぶ斜めブレースの影響は小さいとしてこれを無視し、次の2つの方法で計算した。

- (1) 自由表面の影響を無視し、ローハル断面の2次元付加質量を求めこれにカラムの存在を考慮した有効長さを乗じて \$a_{zz}\$ とする。
- (2) 自由表面の影響を考慮し、ローハル断面の2次元付加質量を特異点分布法 (例えば文献 (4)) で求め、これに前記の有効長さを乗じて \$a_{zz}\$ とする。\$b_{zz}\$ も同様に2次元減衰係数に有効長さを乗じて求める。

(1) の方法は具体的には次のようなものである。ローハル断面の2次元付加質量係数は、断面の下半分を Lewis form で近似し、\$\omega \rightarrow \infty\$ のものを用いる。尚用いた標型の付加質量係数 \$C_0=1.31\$ である。

ローハルとカラムの接続部の影響は次の方法で考慮した。すなわちカラム部の下面の長さを差し引き、付加質量に寄与するローハルの有効長さ \$L_e\$ は次式で与えられる。

$$L_e = \frac{2L_1 - 2(d_1 + d_2)}{2} = L_1 - (d_1 + d_2) \quad (3.4)$$

但し、

$$L_1 = L_0 + L'$$

L_0 = ローハルの一様矩形断面部の長さ

$L' = (L_a + L_f)/2$, L_f , L_a は夫々模型の先端部および後端部の三角形状部の長さ (図1参照).

これより模型の a_{zz} は

$$a_{zz} = 2m_z L_e = 2m_z L_1 (L_e/L_1) \tag{3.5}$$

但し m_z は断面の2次元付加質量である. 尚本模型の有効長さ比 $L_e/L_1 = 0.853$ である.

次に a_{zz} および b_{zz} を無保留の自由上下揺試験より求めると次のようになる. 自由上下揺試験の固有周期には, 減衰力の影響は小さいとすると

$$a_{zz} = \rho g A_w (T_z/2\pi)^2 - M \tag{3.6}$$

また, 自由上下揺試験の減減曲線を $\Delta z \doteq a_z \cdot z_m$ とおき b_{zz} を求めれば次式で与えられる.

$$b_{zz} = 4a_z(M + a_{zz})/T_z \tag{3.7}$$

図4は a_{zz} について前記(1), (2)による計算値と強制上下揺試験結果 および自由上下揺試験結果との比較を示す. (3.5)式の値は, T_z 以下の周期で強制上下揺試験結果と良い一致を示している. 特異点分布法による計算値は, 長周期では強制上下揺試験結果と良く一致しているが, 短周期領域では過大な値を与える.

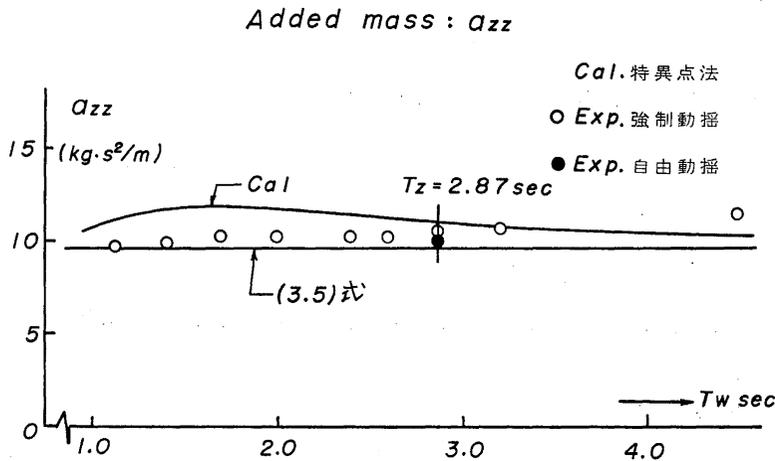


図4 上下揺付加質量係数と実験の比較

図5は, b_{zz} について図4と同様な比較である. 強制上下揺試験結果は全周期領域で計算値より相当大きい値を与える. これは粘性抵抗成分の影響であろう.

次は波強制力であるが, まず Froude-Kriloff 理論にもとづく力を求めると次のようになる.

$$F_z(F.K.) = \rho g \frac{\zeta_a}{k} \left\{ 4L_1 e^{-kh} (e^{-k'l_1} - 1) \sin kb_1 + 4\pi(r_1^2 + r_2^2) k e^{-kh} \right\} \cos kb \cos \omega t \tag{3.8}$$

{ } 中の第1項はローハルに働く力で, 第2項はカラム部分による修正項である.

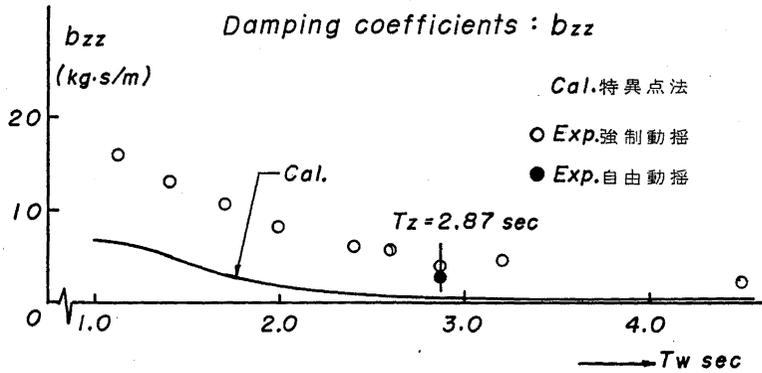


図 5 上下揺減衰係数と実験の比較

波の Orbital velocity および加速度の ζ 方向成分は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \dot{\zeta}_w &= -\zeta_a \omega e^{-k\zeta} \sin(k\eta + \omega t) \\ \ddot{\zeta}_w &= -\zeta_a \omega^2 e^{-k\zeta} \cos(k\eta + \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

変位は b および h に比べて十分小さいと仮定し、 $\dot{\zeta}_w$ および $\ddot{\zeta}_w$ の値としては $\eta = \pm b$, $\zeta = h + \frac{1}{2}$ における値 $\dot{\zeta}_w$, $\ddot{\zeta}_w$ を用いて波強制力を計算する。まず $\dot{\zeta}_w$ に比例する波強制力は、ローハルの 2 次元減衰係数を n_z とおけば

$$\begin{aligned} F_z(\dot{\zeta}_w) &= \left\{ (n_z \dot{\zeta}_w)_{\text{Left}} + (n_z \dot{\zeta}_w)_{\text{Right}} \right\} L_e \\ &= -n_z \zeta_a \omega e^{-k(h+\frac{1}{2})} \{ \sin(kb + \omega t) + \sin(-kb + \omega t) \} L_e \end{aligned} \quad (3.10)$$

$2n_z L_e = b_{zz}$ であるから

$$F_z(\dot{\zeta}_w) = -b_{zz} \zeta_a \omega e^{-k(h+\frac{1}{2})} \cos kb \sin \omega t \quad (3.11)$$

(3.11) 式の b_{zz} については、特異点法、強制上下揺試験および自由上下揺の値を用いて 3 通りの計算をした。

次に $\ddot{\zeta}_w$ に比例する波強制力は

$$\begin{aligned} F_z(\ddot{\zeta}_w) &= \left\{ (m_z \ddot{\zeta}_w)_{\text{Left}} + (m_z \ddot{\zeta}_w)_{\text{Right}} \right\} L_e \\ &= -2m_z L_e \zeta_a \omega^2 e^{-k(h+\frac{1}{2})} \cos kb \cos \omega t \end{aligned} \quad (3.12)$$

(3.12) 式の $2m_z L_e = a_{zz}$ については、ローハルの断面の $\omega \rightarrow \infty$ による前記の (1) の方法と特異点法による (2) の方法を用いた。

以上から

$$F_{zc} = |F_z(\text{F.K.})| + |F_z(\dot{\zeta}_w)|, \quad F_{zs} = |F_z(\ddot{\zeta}_w)| \quad (3.13)$$

この F_{zc} は次の 2 つの方法を用いた。

$$F_{zc} = |F_z(\text{F.K.})| + |F_z(\ddot{\zeta}_w)| \quad (3.14)$$

$$F_{zc} = |F_z(F.K.)| + |F_z(\ddot{\zeta}_w)'| \quad (3.14)'$$

(3.14) 式の $F_z(\ddot{\zeta}_w)$ は前記の (1) によるものであり, (3.14)' 式の $F_z(\ddot{\zeta}_w)'$ は (2) によるものである.

図 6, 7 に波強制力の計算結果を示す.

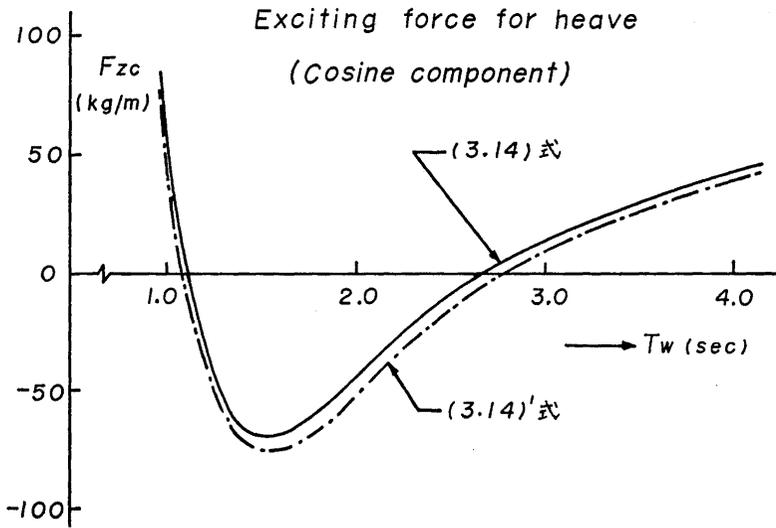


図 6 上下揺に対する波強制力の cos 成分

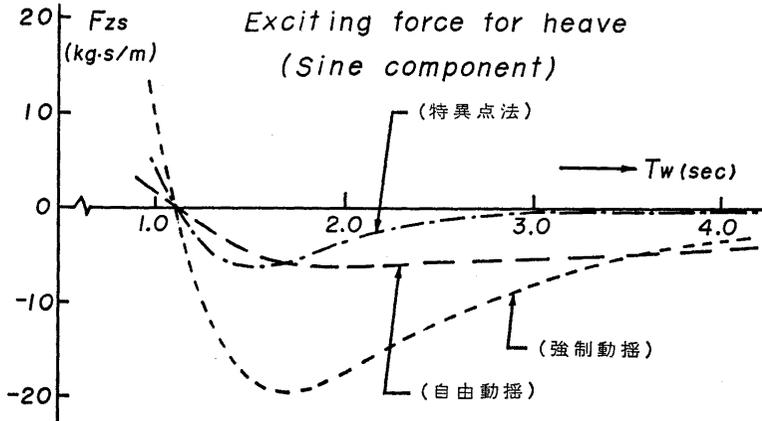


図 7 上下揺に対する波強制力の sin 成分

$$z = z_a \cos(\omega t - \varepsilon_z) \quad (3.15)$$

とおけば z_a/ζ_a , ε_z は次式で与えられる.

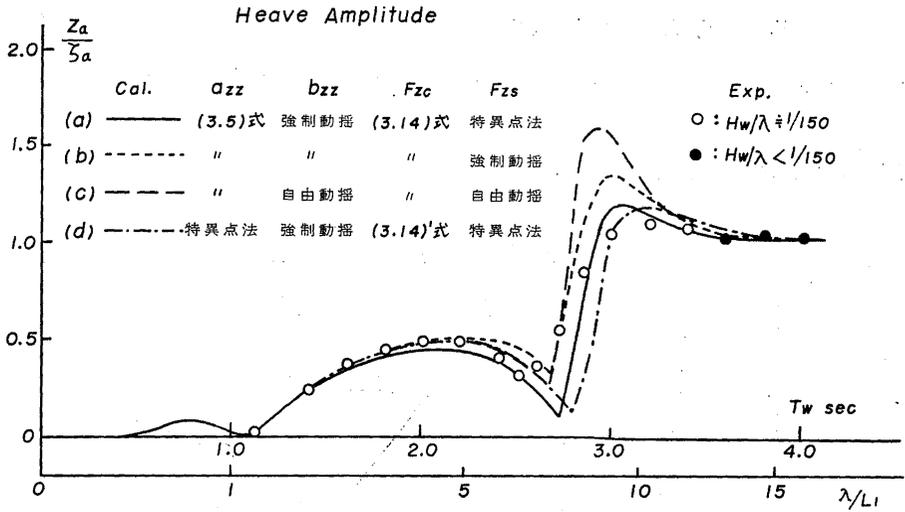


図 8 上下揺振幅の計算と実験の比較

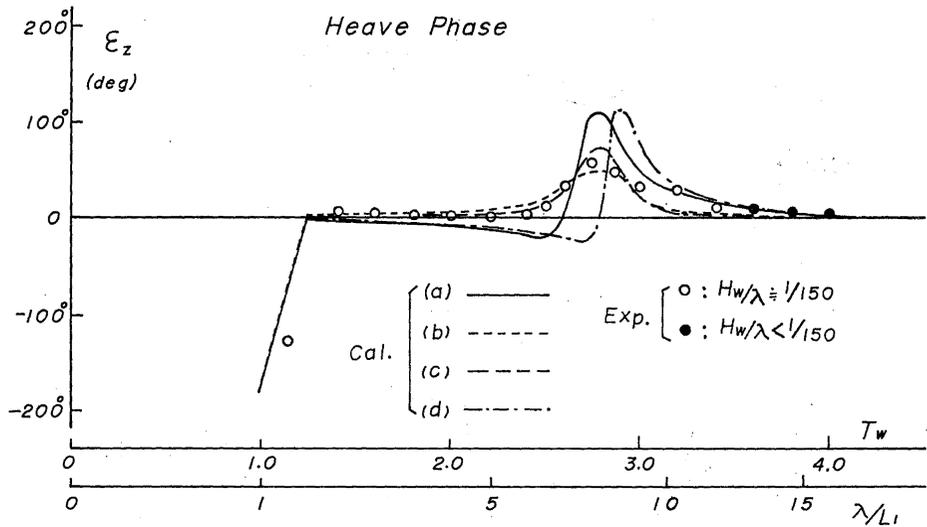


図 9 上下揺位相差の計算と実験の比較

$$\left. \begin{aligned} \frac{z_a}{\zeta_a} &= \sqrt{\frac{(F_{zc}^2 + F_{zs}^2) / \zeta_a^2}{((\rho g A_w + k_z) - (M + a_{zz})\omega^2)^2 + (b_{zz}\omega)^2}} \\ \tan \varepsilon_z &= \frac{(b_{zz}\omega)F_{zc} + ((\rho g A_w + k_z) - (M + a_{zz})\omega^2)F_{zs}}{((\rho g A_w + k_z) - (M + a_{zz})\omega^2)F_{zc} - (b_{zz}\omega)F_{zs}} \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

図 8, 9 に上下揺の振幅と位相差についての計算結果と実験結果の比較を示す。図中の (a)~(d) までの夫々の計算方法は次の通りである。

(a) では a_{zz} として (3.5) 式を用い、 b_{zz} には強制動揺試験結果を、 F_{zs} の b_{zz} には特異点分布

法によるものである。

(b) では a_{zz} は (a) と同様であるが b_{zz}, F_{zs} 共に強制動揺試験結果の値を用いた。

(c) では a_{zz} は (a) と同様である。 b_{zz} には自由上下揺試験結果を用い、 F_{zs} についても自由上下揺試験結果を用いたものである。

(d) では a_{zz}, F_{zs} には特異点分布法の値を用い、 b_{zz} のみ強制動揺試験結果を用いたものである。 図8の計算結果と実験結果を比較すると (a) の方法が大略一致している。 図9の位相差については (b), (c) が良く一致している。 しかし $T_w > 3.0$ 秒になると (a) の方法が良い。

3.3. 左右揺および横揺

左右揺 y と重心 G まわりの横揺 φ の連成運動方程式は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} (M+a_{yy})\ddot{y}+b_{yy}\dot{y}+k_{yy}y-a_{y\varphi}\ddot{\varphi}+k_{y\varphi}\varphi &= F_{yc} \cos \omega t + F_{ys} \sin \omega t \\ (J_{\varphi}+a_{\varphi\varphi})\ddot{\varphi}+b_{\varphi\varphi}\dot{\varphi}+(WGM+k_{\varphi\varphi})\varphi-a_{\varphi y}\ddot{y}+k_{\varphi y}y &= M_{\varphi c} \cos \omega t + M_{\varphi s} \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

但し

- a_{yy} = 左右揺の付加質量, b_{yy} = 左右揺の減衰係数
- J_{φ} = G まわりの横揺の質量慣性能率
- $a_{\varphi\varphi}$ = " " の付加質量慣性能率
- $b_{\varphi\varphi}$ = " " の減衰係数
- W = 排水量, GM = 横メタセンター高さ
- $a_{y\varphi}\ddot{\varphi}$ = 横揺によって生ずる左右揺の連成力
- $a_{\varphi y}\ddot{y}$ = 左右揺によって生ずる横揺の連成モーメント
- k_{yy} = 係留チェーンの左右方向の復原力係数
- $k_{\varphi\varphi}$ = " " の横揺に対する復原力係数
- $k_{y\varphi}$ = " " の横揺による左右方向の復原力係数
- $k_{\varphi y}$ = " " の左右揺による横揺方向の復原力係数

左右揺の a_{yy} は次のようにして求めた。

$$a_{yy} = 4h(m_{yc1} + m_{yc2}) + 2 \int_L m_{yh} dx_b$$

但し

$$\left. \begin{aligned} m_{yc1} &= \rho\pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2, \quad m_{yc2} = \rho\pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \\ m_{yh} &= \frac{1}{2} \rho\pi \left(\frac{l_1}{2}\right)^2 2C'_0 = \rho\pi \left(\frac{l_1}{2}\right)^2 C'_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

ここで

$$\int_L C'_0 dx_b = L_1 C'_{0L} \quad (3.19)$$

とおけば

$$a_{yy} = \rho\pi h(d_1^2 + d_2^2) + 2\pi\rho\left(\frac{l_1}{2}\right)^2 L_1 C_{0L} \quad (3.20)$$

(3.20) 式の第1項はカラムによるものであり、第2項はローワーハルによるものである。\$C_0\$ はローワーハル断面の水平方向の付加質量で、自由表面の影響は考慮していない。

連成力および連成モーメントは次のようにして求める。左右揺によって生ずる横揺連成モーメント \$a_{\phi y} \ddot{y}\$ は

$$a_{\phi y} \ddot{y} = \ddot{y} \left\{ 4 \int_0^h (m_{yc1} + m_{yc2})(z_b - f_1) dz_b + 2 \int_L m_{yh} \left(h + \frac{l_1}{2} - f_1 \right) dx_b \right\} \quad (3.21)$$

であり、したがって

$$a_{\phi y} = \rho\pi \left\{ \frac{1}{2} (d_1^2 + d_2^2) h (h - 2f_1) + \frac{1}{2} l_1^2 \left(h + \frac{l_1}{2} - f_1 \right) L_1 C_{0L} \right\} \quad (3.22)$$

文献(1)より

$$a_{\phi y} = a_{y\phi} \quad (3.23)$$

で与えられる。

静水中の自由横揺および自由左右揺の場合、(3.17) 式の右辺を0とおき減衰項 \$b_{yy}\$ および \$b_{\phi\phi}\$ を無視すれば次式を得る。

$$(J_{\phi} + a_{\phi\phi}) \ddot{\phi} = \frac{WGM + k_{\phi\phi}}{\omega^2} - \frac{(a_{y\phi}\omega^2 + k_{y\phi})^2}{\{k_{yy} - (M + a_{yy})\omega^2\}^2} \quad (3.24)$$

上式の \$\omega\$ は左右揺と横揺が連成した場合の固有円振動数である。(3.24) 式の \$a_{yy}\$, \$a_{y\phi}\$ は(3.20), (3.22) 式を用いて計算した。

自由動揺試験より得られた横揺の固有周期 \$T_{\phi} = 4.21\$ 秒、同じく左右揺の固有周期 \$T_y = 8.14\$ 秒、および減衰曲線と(3.24) 式の \$(J_{\phi} + a_{\phi\phi})\$ を用いて \$b_{\phi\phi}\$, \$b_{yy}\$ を求めた。

Froude-Kriloff 理論にもとづく左右揺の波強制力 \$F_y(F.K.)\$ は、8本のカラムに働く力 \$F_y(F.K.)_1\$ と2ヶのローワーハルに働く力 \$F_y(F.K.)_2\$ に分けられ、夫々次式で与えられる。

$$F_y(F.K.)_1 = -4\pi\rho g \frac{\zeta_a}{k} (1 - e^{-kh}) \{d_1 J_1(kr_1) + d_2 J_1(kr_2)\} \cos kb \sin \omega t \quad (3.25)$$

$$F_y(F.K.)_2 = -4L_1\rho g \frac{\zeta_a}{k} e^{-kh} (1 - e^{-k l_1}) \cos kb \sin kb_1 \sin \omega t \quad (3.26)$$

但し、\$J_1(kr)\$ は第1種のベッセル関数である。

次に波粒子のカラム中心線上 (\$\eta = \pm b\$) における \$\eta\$ 方向の速度および加速度は

$$\left. \begin{aligned} \dot{\eta}_w &= \zeta_a \omega e^{-k\zeta} \cos(\pm kb + \omega t) \\ \ddot{\eta}_w &= -\zeta_a \omega^2 e^{-k\zeta} \sin(\pm kb + \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

まず \$\dot{\eta}_w\$ に比例する波強制力は、一般に小さく無視できるものである¹⁾。しかし左右揺の自由動揺から得られた減衰係数を用い、且つ深さ \$\zeta = h + \frac{l_1}{2}\$ の位置における値を用いれば次式のようになる。

$$F_y(\dot{\eta}_w) = \zeta_a \omega e^{-k(h+\frac{l_1}{2})} b_{yy} \cos kb \cos \omega t \quad (3.28)$$

尚計算は $F_y(\dot{\eta}_w) = 0$ の場合も行った。

次に $\ddot{\eta}_w$ に比例する波強制力 $F_y(\ddot{\eta}_w)$ は、8本のカラムに働く力 $F_y(\ddot{\eta}_w)_1$ と2ヶのローハルに働く力 $F_y(\ddot{\eta}_w)_2$ に分けられ、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} F_y(\ddot{\eta}_w)_1 &= 4 \int_0^h (m_{yc1} + m_{yc2}) \ddot{\eta}_w dz_b \\ &= -\rho g \pi \zeta_a (d_1^2 + d_2^2) (1 - e^{-kh}) \cos kb \sin \omega t \end{aligned} \quad (3.29)$$

$F_y(\ddot{\eta}_w)_2$ は、ローハルの単位長さ断面の η 方向の付加質量 $m_{yh} = \rho \pi \left(\frac{l_1}{2}\right)^2 C'_0$ を用い、 $\ddot{\eta}_w$ としてはローハルの中心で且つ深さ $\zeta = h + \frac{l_1}{2}$ の位置における値を用いれば

$$F_y(\ddot{\eta}_w)_2 = -\frac{1}{2} \pi \rho g k \zeta_a l_1^2 C'_0 L_1 e^{-k(h+\frac{l_1}{2})} \cos kb \sin \omega t \quad (3.30)$$

以上のように左右揺に対する波強制力は、 $F_y(F.K.)$ 、 $F_y(\ddot{\eta}_w)$ の項が \sin 成分であり、 $F_y(\dot{\eta}_w)$ の項が \cos 成分である。計算結果を図10に示す。

次に重心 G まわりの横揺強制モーメントの Froude-Kriloff 理論にもとづくモーメント $M_\phi(F.K.)$ は次のようになる。

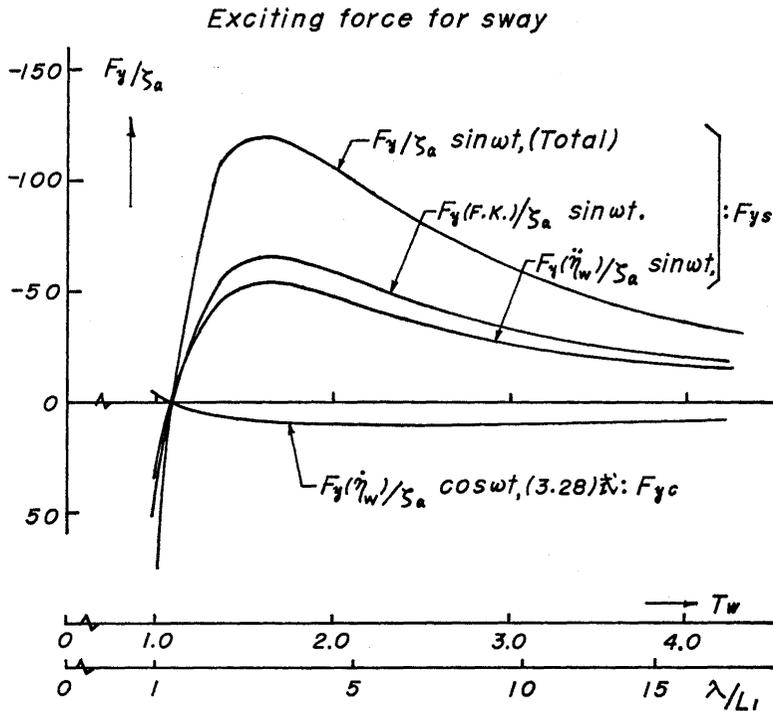


図10 左右揺に対する波強制力

$$M_{\varphi}(\text{F.K.}) = M_{\varphi}(\text{F.K.})_1 + M_{\varphi}(\text{F.K.})_2 + M_{\varphi}(\text{F.K.})_3 \quad (3.31)$$

(3.31) 式の右辺第1項はカラムに、第2項はローワーハルの側面に、また第3項はローワーハルの上下面に、夫々働く圧力によるモーメントである。

すなわち

$$\left. \begin{aligned} M_{\varphi}(\text{F.K.})_1 &= 4\pi\rho g \frac{\zeta_a}{k} \{d_1 J_1(kr_1) + d_2 J_1(kr_2)\} \left\{ -e^{-kh} \left(h - f_1 + \frac{1}{k} \right) + \frac{1}{k} - f_1 \right\} \\ &\quad \times \cos kb \sin \omega t \\ M_{\varphi}(\text{F.K.})_2 &= 4\rho g L_1 \frac{\zeta_a}{k} e^{-kh} \left\{ h - f_1 + \frac{1}{k} - e^{-ki_1} \left(h - f_1 + i_1 + \frac{1}{k} \right) \right\} \\ &\quad \times \cos kb \sin kb_1 \sin \omega t \\ M_{\varphi}(\text{F.K.})_3 &= 4\rho g L_1 \frac{\zeta_a}{k} e^{-kh} (1 - e^{-ki_1}) \left(\frac{1}{k} \cos kb \sin kb_1 \right. \\ &\quad \left. + b \sin kb \sin kb_1 - b_1 \cos kb \cos kb_1 \right) \sin \omega t \\ &\quad - \pi\rho g \frac{\zeta_a}{k} b (d_1^2 + d_2^2) k e^{-kh} \sin kb \cdot \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (3.32)$$

である。

次に $M_{\varphi}(\dot{\eta}_w)$ に比例するモーメントは、小さく無視できるものであるが、左右揺の $F_y(\ddot{\eta}_w)$ に重心位置までの長さ $\left(h + \frac{l_1}{2} - f_1 \right)$ を乗じたものを用いると次式ようになる。

$$M_{\varphi}(\dot{\eta}_w) = -\zeta_a \omega e^{-k\left(h + \frac{l_1}{2}\right)} b_{yy} \left(h + \frac{l_1}{2} - f_1 \right) \cos kb \cos \omega t \quad (3.33)$$

また、自由横揺試験結果から得られた減衰係数 $b_{\varphi\varphi}$ を用い、次のような近似計算も行った。

$$M_{\varphi}(\dot{\eta}_w) = -\zeta_a \omega e^{-k\left(h + \frac{l_1}{2}\right)} b_{\varphi\varphi} \cos kb \cos \omega t \quad (3.34)$$

計算は $M_{\varphi}(\dot{\eta}_w) = 0$ の場合も含めて3通り行った。

次に $M_{\varphi}(\ddot{\eta}_w)$ のモーメントは、カラムに働く力 $F_y(\ddot{\eta}_w)_1$ によるモーメント $M_{\varphi}(\ddot{\eta}_w)_1$ とローワーハルに働く力 $F_y(\ddot{\eta}_w)_2$ によるモーメント $M_{\varphi}(\ddot{\eta}_w)_2$ とから成る。

(3.29) 式より

$$\left. \begin{aligned} M_{\varphi}(\ddot{\eta}_w)_1 &= \pi\rho g \zeta_a (d_1^2 + d_2^2) \left\{ e^{-kh} \left(f_1 - h - \frac{1}{k} \right) + \frac{1}{k} - f_1 \right\} \cos kb \sin \omega t \\ (3.30) \text{ 式より} \\ M_{\varphi}(\ddot{\eta}_w)_2 &= \frac{1}{2} C_{0L} \pi\rho g k \zeta_a l_1^2 L_1 e^{-k\left(h + \frac{l_1}{2}\right)} \left(h + \frac{l_1}{2} - f_1 \right) \cos kb \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (3.35)$$

となる。

$\ddot{\zeta}_w$ に比例するモーメント $M_{\varphi}(\ddot{\zeta}_w)$ は、ローワーハルの断面の2次元付加質量 m_z を用いて計算することができる。

Exciting moment for roll

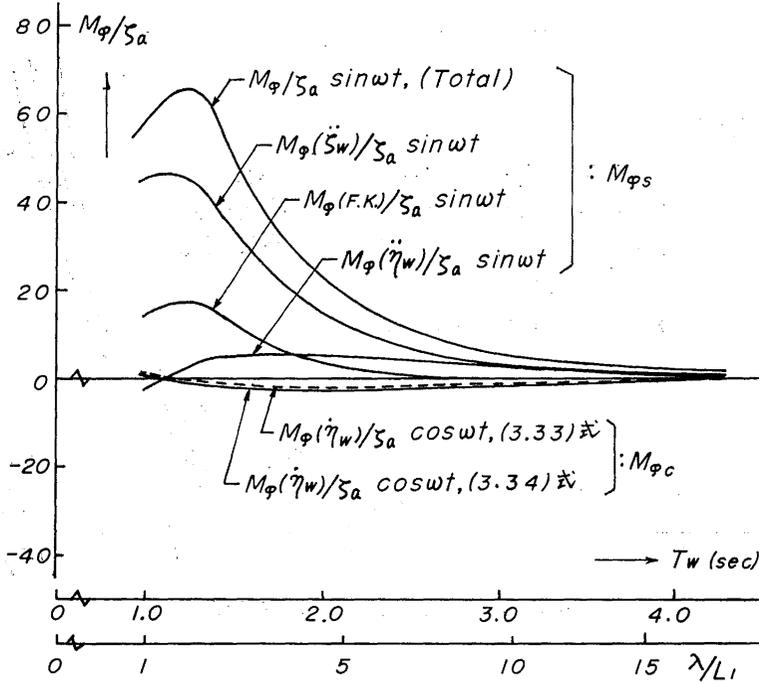


図 11 横揺に対する波強制力

すなわち

$$M_{\phi}(\ddot{\zeta}_w) = 2m_z L_e \zeta_a \omega^2 e^{-k(h+\frac{1}{2})} b \sin kb \sin \omega t$$

$$= 2\pi C_{10} \rho g b^2 b L_e \zeta_a k e^{-k(h+\frac{1}{2})} \sin kb \sin \omega t \quad (3.36)$$

である。以上の計算結果を図 11 に示す。

左右揺と横揺を

$$y = y_a \cos(\omega t - \epsilon_y), \quad \varphi = \varphi_a \cos(\omega t - \epsilon_{\varphi}) \quad (3.37)$$

とおく。左右揺については、計測器取付位置 Q 点における左右揺を y_m とすれば

$$y_m = y + f_m \cdot \varphi = y_{ma} \cos(\omega t - \epsilon_{ym}) \quad (3.38)$$

となり、実験で得られた値と比較することができる。

図 12-a, 図 12-b に横揺振幅の無次元値および位相差を, 図 13-a, 図 13-b に左右揺振幅の無次元値および位相差を示した。図中の (1)~(4) は次の計算方法によるものである。

- (1) は, $F_{yc} = M_{\phi c} = 0$ とした場合である。
- (2) は, 左右揺の F_{yc} には (3.28) 式, 横揺の $M_{\phi c}$ には (3.33) 式を用いた。
- (3) は, F_{yc} には (3.28) 式, $M_{\phi c}$ には (3.34) 式を用いたものである。

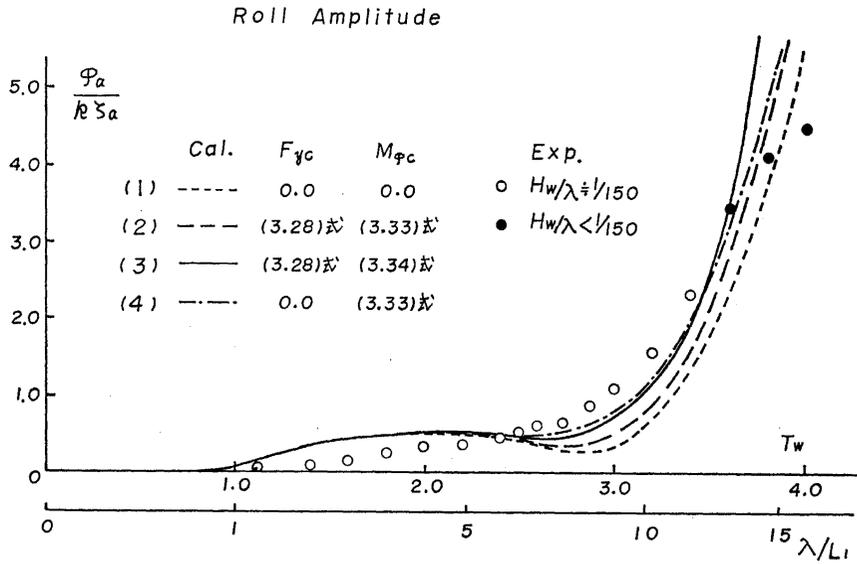


図 12-a 横揺振幅の計算と実験の比較

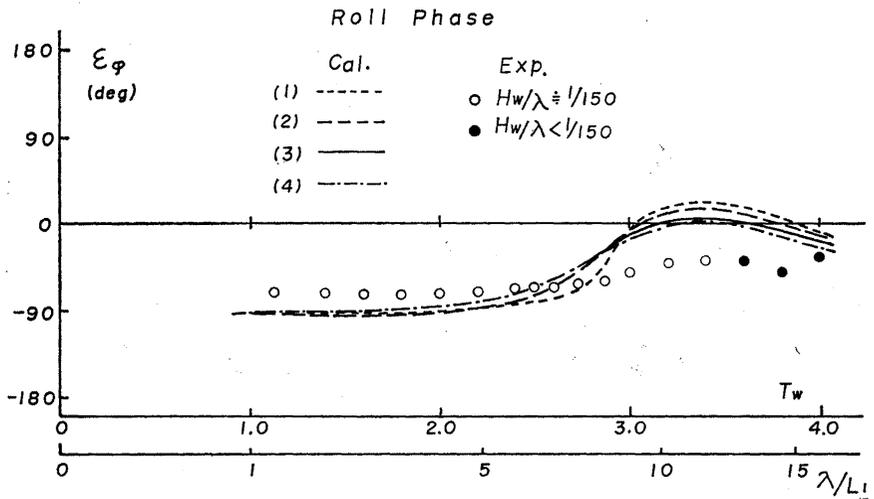


図 12-b 横揺位相差の計算と実験の比較

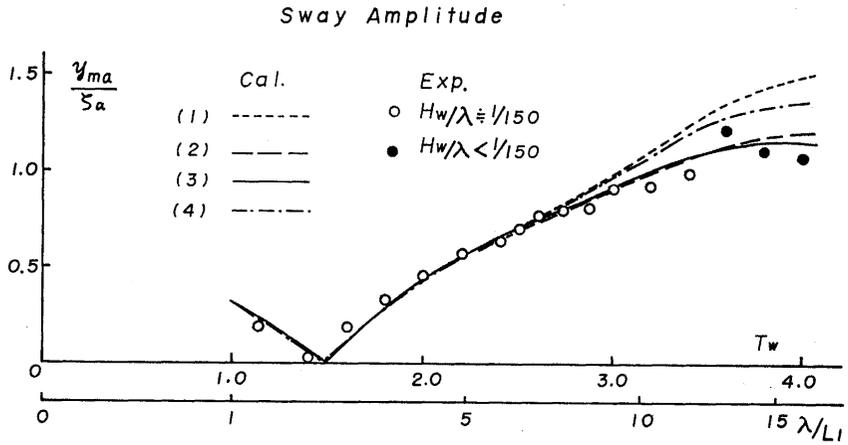


図 13-a 左右揺振幅の計算と実験の比較

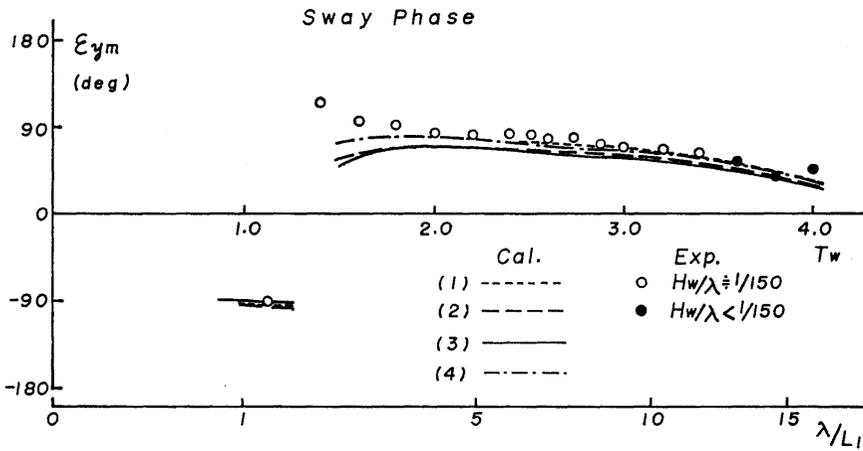


図 13-b 左右揺位相の計算と実験の比較

(4) は、 $F_{yc}=0$, $M_{\phi c}$ には (3.33) 式を用いた。

4. 甲板端の波との相対運動

甲板端の波との相対運動は次式で表わされる。

Weather side は

$$R_W = z + \bar{b}_0 \cdot \varphi - \zeta_{w0W} = R_{W0} \cos(\omega t - \epsilon_W) \quad (4.1)$$

Lee side は

$$R_L = z - \bar{b}_0 \cdot \varphi - \zeta_{w0L} = R_{L0} \cos(\omega t - \epsilon_L) \quad (4.2)$$

但し、 \bar{b}_0 は相対運動計測位置の模型中心からの距離で (図 2 参照) $\bar{b}_0 \doteq b + b_1$ である。また ζ_{w0W} ,

ζ_{w0L} は夫々 Weather side, Lee side の計測位置の波変位で

$$\left. \begin{aligned} \zeta_{w0W} &= \zeta_a \cos(k\bar{b}_0 + \omega t) \\ \zeta_{w0L} &= \zeta_a \cos(-k\bar{b}_0 + \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

相対運動は上下揺と横揺との位相差の影響を強く受ける. したがって相対運動の計算値と実験値とを比較することによって, 上下揺および横揺の振幅と位相差の計算精度を検査することができる.

相対運動の計算には, 上下揺の z_a/ζ_a および ϵ_z は図8, 図9中の(a)の方法を用い, 横揺の $\varphi_a/k\zeta_a$, ϵ_φ は図12-a, 図12-b中の(1), (2), (3), (4)を用いた.

図14-a, 図14-bに Weather side の無次元値 R_{w0}/ζ_a および位相差 ϵ_w を示す. また図15-a, 図15-bに Lee side のものを示す.

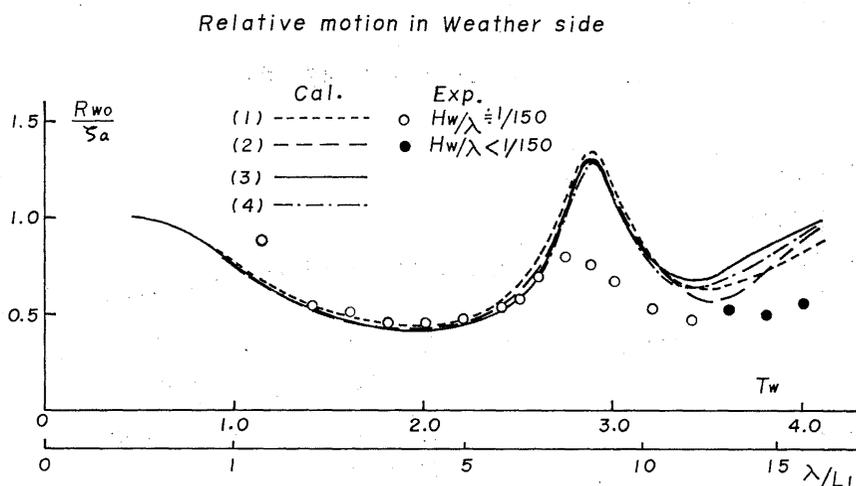


図 14-a Weather side における振幅の計算と実験の比較

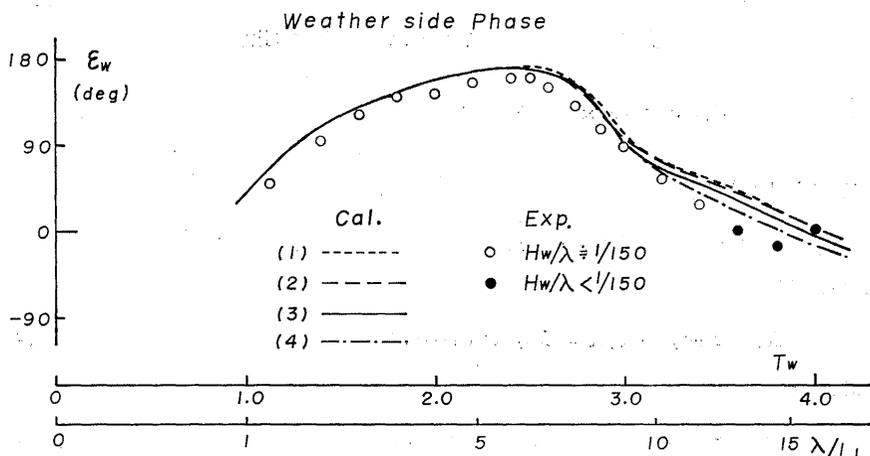


図 14-b Weather side における位相差の計算と実験の比較

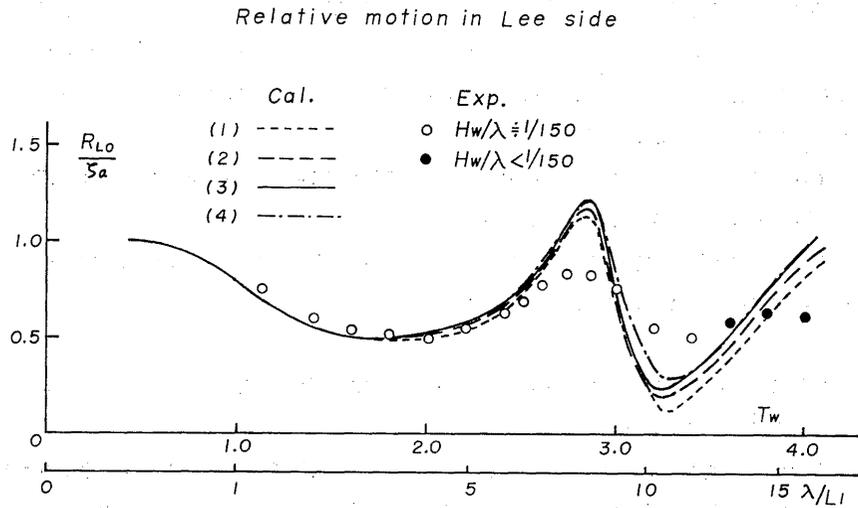


図 15-a Lee side における振幅の計算と実験の比較

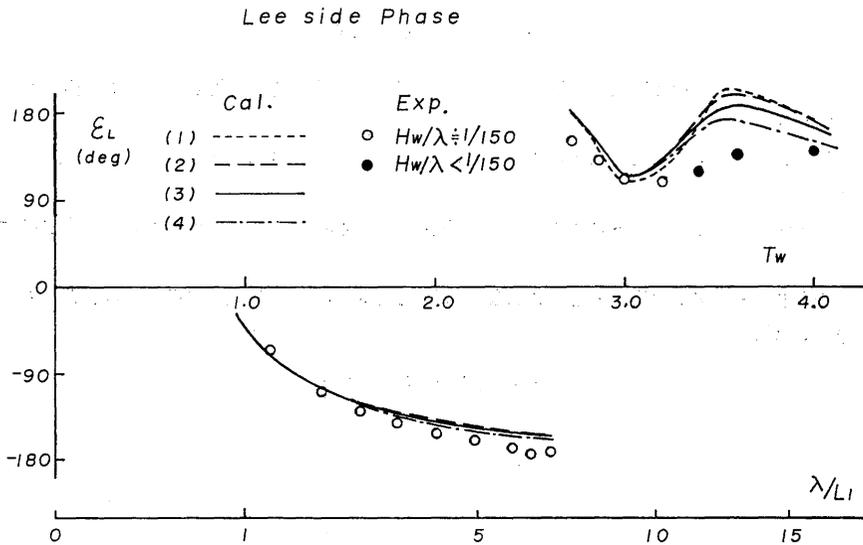


図 15-b Lee side における位相差の計算と実験の比較

5. 結 論

(1) 上下揺付加質量は、ローハル断面の $\omega \rightarrow \infty$ の2次元付加質量に、カラムの影響を考慮した有効長さを乗じた近似値で、十分の精度で推定される。

(2) 同調周期における上下揺の減衰係数は、造波減衰の外に粘性減衰も含まれる強制上下揺試験結果を用いた方がよい。

(3) 上下揺の波強制力は、Froude-Kriloff の力、波の Orbital acceleration と同一位相の力および波の Orbital velocity と同一位相の力の和として求めた。波の Orbital velocity と同一位相の上下方向波強制力を求めるに必要な減衰係数は、特異点法で求めた 2 次元減衰係数に、ローハルの有効長さを乗じて求めたものが最適である。

(4) 横揺、左右揺の波強制力には自由横揺、自由左右揺の試験結果から得られた夫々の減衰係数を用いると、運動を精度良く推定することができる。

(5) 波との相対運動の動揺振幅および位相差は、上下揺と横揺に対して上記のような方法を用いて計算すると実験結果と大略一致する結果が得られる。

最後に本研究は、故田才福造教授の御指導によるものであったことを附記し、深く感謝するとともに、先生の霊前に捧げ御冥福をお祈り致します。

本研究所 大楠 丹 教授には、故田才教授と交わぬ御助言と御指導を終始して頂き感謝の意を表します。また、有益な御助言を頂いた三井造船(株) 昭島研究所小林正典氏に感謝致します。

尚模型実験およびデータ解析は、安永 誠、稲田 勝両技官の協力によるものである。

参 考 文 献

- 1) 田才福造他：Semi-Submersible Catamaran Hull の規則波中の運動について、西部造船会々報，第 40 号，昭和 45 年 7 月。
- 2) 片山正敏他：半潜水式海洋構造物の波浪中構造応答解析，三菱重工業技報，Vol. 15, No. 1, 1978.
- 3) 田才福造：波浪に対する浮遊構造物の動的応答，第 1 回海洋工学シンポジウム，日本造船学会，昭和 49 年 11 月。
- 4) 高木幹雄：浅海域で動揺する柱状体に働く 2 次元流体力について，九大応用力学研究所所報，第 45 号 (1976)。

(昭和 57 年 5 月 31 日 受理)