縦運動する高速船の流体力係数について

正員 邱　逢 琛* 　洪　憲 忠**
　汪　群 従*

On the Hydrodynamic Coefficients of High Speed Vessels with Vertical Motions

by Forng-Chen Chiu, *Member* 　Shiann-Jorng Horng
Chun-Tsung Wang

Summary

In this paper, a method to calculate the vertical hydrodynamic forces acting on a high speed vessel with vertical motions is described. It is basically based on the Chapman's formulations. The radiation condition is treated by following the same method of Yamasaki & Fujino. In which, a more relaxed Sommerfeld's radiation condition is imposed on an artificial open boundary.

As an application of the method, the diagonal and cross-coupling added mass and damping of heave and pitch for a high-speed boat as well as fishing boat are calculated and compared with the experimental results prepared by the technical committee on "Study on Seakeeping Qualities of High Speed Vessel" (SSH). Besides, calculations following a nonlinear O. S. M. are also conducted for comparison. As the result of comparison, it was shown that the vertical hydrodynamic coefficients of high speed vessels can be evaluated by the method presented with relatively better accuracy in general.

1. 緒　　言

船舶の動揺性能を少なくとも線形理論の範囲で合理的に推定するには，3次元船体形状の影響と前進速度の影響をどの程度反映するかにかかっていると知られている。一方，ストリップ法は前進速度および3次元影響の取り入れ方は不十分とされながら，現在でも実用計算法として広く利用されていることも事実である。しかしながら，近年大型計算機の高速大容量化とともに，3次元船体形状および前進速度の影響をより合理的に反映できる計算法は精力的に開発され，ここ10数年より厳密な理論計算法が著しい進歩を遂げたことも明らかである。これまでに，Chang[1]，Inglis & Price[2]，小林[3]，岩下と大楠[4]，井上と牧野[5] らが3次元特異点分布法を用いた研究を行っている。安川[6]，Nakos & Sclavounos[7]，高木[8)9] らが Rankin Source 法の有効性を示している。なお，林，高木と岩下[10] が Rankin Source 法と特異点分布法それぞれの長所を結合した CBIEM 法を提案している。これらの理論は基本的に定常的なグリーン関数を用いて周波数領域内で問題を解く方法である。一方，過渡的なグリーン関数を用いて時間領域内で問題を解く方法[11] も提案され，有限振幅問題への適用[12~14] まで研究されている。これらの研究は主に船尾が緩やかに変化する船型に適用して，理論の有効性を立証したものである。ところが，漁船や高速艇のようなトランサムスターン船型に適用するためにはなお工夫が必要であろう。一方，Chapman[15] から始まり，Yeung ら[16]，山崎ら[17]，柏木ら[18] がつづき，高速前進を念頭に置いて発展してきたいわゆる High Speed Strip Theory 又は "$2\frac{1}{2}$D" Theory は船体のある断面の周りの流れがそれより前方で起こっている流れのみに影響されるとするため，船尾形状にかまわず取り扱うことができる。この理論については，近年高速船の積極的な開発とともに，いくつか重要な研究成果[19),20] があげられている。

本論文では，基本的に Chapman の定式化に従い，なお遠方での放射条件は山崎と藤野[17] のと同様に緩めた Som-

* 台湾大学工学部
** 台湾大学大学院造船及海洋工程学研究科

原稿受理　平成7年1月10日
春季講演会において講演　平成7年5月17，18日

merfeldの放射条件を開境界上で適用して，前進しながら縦運動をする船体のラディエィション問題を境界要素法で解いたものである。この計算法を高速船の耐航性能研究専門委員会が行った比較計算[21]の供試船とした高速艇ならびに高速漁船に適用して，流体力係数の比較計算を行った。なお，変動揚力をとり入れた非線形O.S.M.による計算結果も比較に入れて，計算法の妥当性を検討した。有限振幅問題への拡張が比較的にしやすいと思われるこのような“$2\frac{1}{2}$D”計算法は比較的に顕著な非線形性を有する高速船の運動問題に対し，今後の研究によって実用計算法となることが期待できるであろう。

2. 定　式　化

2.1 座標系

以下の定式化には，Fig. 1に示す座標系を用いる。座標系$O_1-x_1y_1z_1$は船体の前進速度Uと同じ速度で直進し，原点O_1は船首(F.P)にあり，x_1軸は船体の後方に向かって正，y_1軸は右舷側に正，z_1軸は鉛直上向きを正とする。$O_2-x_2y_2z_2$は船首に原点を持つ船体固定座標系であり，平水中定常前進するとき，$O_1-x_1y_1z_1$と一致する。

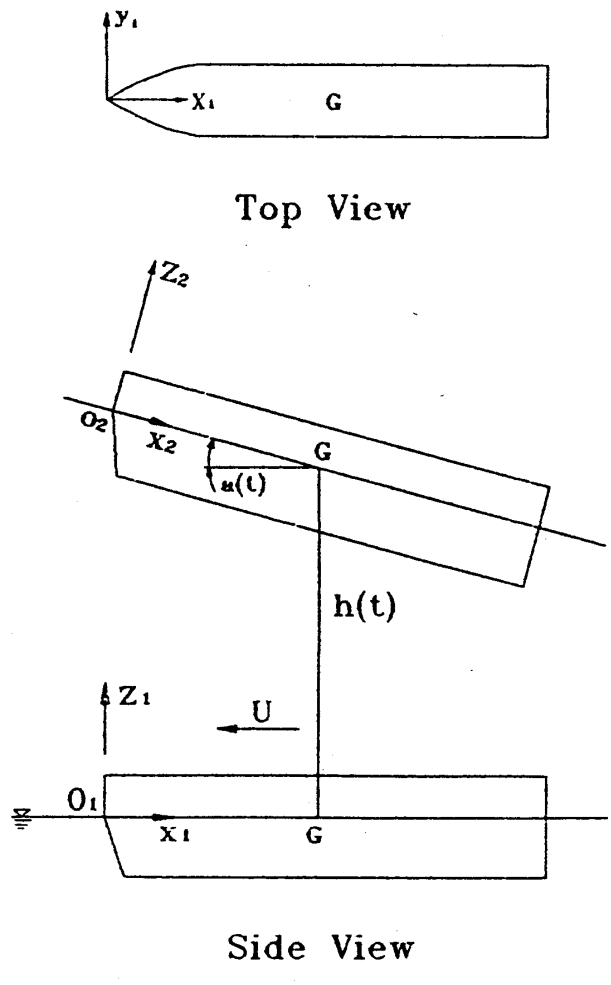

Fig. 1 Coordinate systems

2.2 支配方程式

流体は理想流体で，非粘性，非回転，非圧縮とし，船体は平水中に一定速度で十分小さい振幅の上下揺と縦揺をしながら進むこととする。座標系$O_1-x_1y_1z_1$で，ポテンシャルΦは

$$\Phi(x_1, y_1, z_1, t)=Ux_1+\varphi(x_1, y_1, z_1, t) \tag{1}$$

と表わせる。ポテンシャルφは船体の直進によって生じる定常な成分φ_uと，縦運動によって生じる成分φ_hが含まれている。すなわち

$$\varphi=\varphi_u+\varphi_h \tag{2}$$

で表わせる。ラプラスの式，自由表面の運動学的条件式，動力学的条件式は次式で与えられる。

$$[L] \quad \frac{\partial^2\varphi}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial y_1^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z_1^2}=0 \quad \text{in fluid} \tag{3}$$

$$[K] \quad \frac{\partial\zeta}{\partial t}+\left(U+\frac{\partial\varphi}{\partial x_1}\right)\frac{\partial\zeta}{\partial x_1}+\frac{\partial\varphi}{\partial y_1}\frac{\partial\zeta}{\partial y_1}=\frac{\partial\varphi}{\partial z_1} \quad \text{on } z_1=\zeta \tag{4}$$

$$[D] \quad \frac{\partial\varphi}{\partial t}+U\frac{\partial\varphi}{\partial x_1}+\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y_1}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z_1}\right)^2\right\}+g\zeta=0 \quad \text{on } z_1=\zeta \tag{5}$$

ここに，ζは自由表面の変位，gは重力加速度である。

船型に対して，細長体の仮定を用い，流体に対する擾乱が微小とすると，(3)〜(5)式は線形化され，次式と書き直せる。

$$[L] \quad \frac{\partial^2\varphi}{\partial y_1^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z_1^2}=0 \tag{6}$$

$$[K] \quad \left(\frac{\partial}{\partial t}+U\frac{\partial}{\partial x_1}\right)\zeta=\frac{\partial\varphi}{\partial z_1} \quad \text{on } z_1=0 \tag{7}$$

$$[D] \quad \left(\frac{\partial}{\partial t}+U\frac{\partial}{\partial x_1}\right)\varphi+g\zeta=0 \quad \text{on } z_1=0 \tag{8}$$

(7)と(8)式は次の変数変換を行うことによって

$$\bar{s}=\frac{1}{2}\left(t+\frac{x_1}{U}\right) \tag{9}$$

$$\bar{q}=\frac{1}{2}\left(t-\frac{x_1}{U}\right) \tag{10}$$

次式で表わせる。

$$\frac{\partial\zeta}{\partial\bar{s}}=\frac{\partial\varphi}{\partial z_1} \quad \text{on } z_1=0,\ \bar{q}=\text{const} \tag{11}$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\bar{s}}+g\zeta=0 \quad \text{on } z_1=0,\ \bar{q}=\text{const} \tag{12}$$

ここに，$\bar{s}=$constと$\bar{q}=$constの線はFig. 2に示すように，characteristic linesとも定義される。

放射条件については，山崎ら[17]に従い，無限遠方のかわり，Fig. 3に示す開境界に次の緩めたSommerfeldの放射条件式を採用することにした。

$$[R] \quad \frac{\partial\varphi}{\partial\bar{s}}+C\frac{\partial\varphi}{\partial l}=E \quad \text{on the open boundary} \tag{13}$$

ここに，Cは擾乱の位相速度，lは開境界の外向き法線を表わしている。Eは生じる波が乱されず開境界を完全に透過

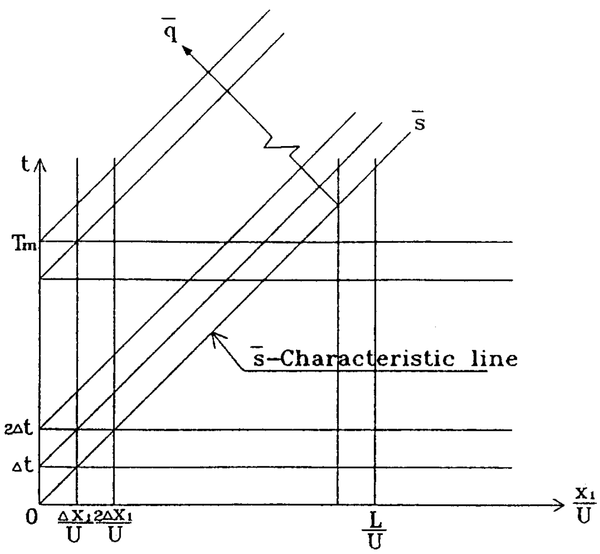

Fig. 2　Characteristic lines for calculation.

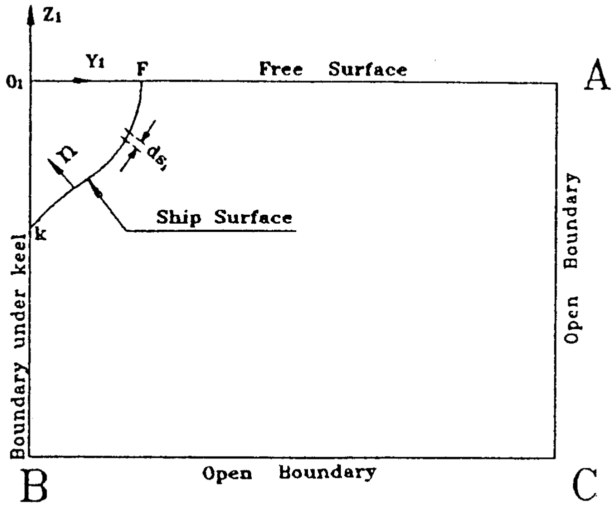

Fig. 3　Computational domain

できるため導入した変数である。

船型は船体固定座標系で

$$H(x_2, y_2, z_2)=0 \tag{14}$$

と書くことにする。また，上向きを正とする上下揺を $h(t)$ とし，重心まわりの縦揺れ角 $a(t)$ は船首上りを正とする。$h(t)$ と $a(t)$ が十分小さいことを考慮すれば，$O_1-x_1y_1z_1$ と $O_2-x_2y_2z_2$ の両座標系の間に次の関係が成り立つ。

$$\left.\begin{aligned} x_2&=x_1-z_1a(t)\\ y_2&=y_1\\ z_2&=z_1-h(t)-(x_G-x_1)a(t)\end{aligned}\right\} \tag{15}$$

ただし，x_G は重心 G の位置を示す。

船体表面条件は

$$[H]\quad \frac{DH}{Dt}=\dot{x}_2\frac{\partial H}{\partial x_2}+\dot{y}_2\frac{\partial H}{\partial y_2}+\dot{z}_2\frac{\partial H}{\partial z_2}=0$$

$$\text{on } H(x_2, y_2, z_2)=0 \tag{16}$$

と書ける。さらに，(1)と(15)式を(16)式に代入し，船体表面の平均位置で船体表面条件式を満すことにし，微小項も除けば，

$$\frac{\partial H}{\partial t}+U\frac{\partial H}{\partial x_1}+\frac{\partial \varphi}{\partial y_1}\frac{\partial H}{\partial y_1}+\frac{\partial \varphi}{\partial z_1}\frac{\partial H}{\partial z_1}$$

$$=[\dot{h}(t)-Ua(t)+(x_G-x_1)\dot{a}(t)]\frac{\partial H}{\partial z_1}$$

$$\text{on } H(x_1, y_1, z_1)=0 \tag{17}$$

となる。(17)式に対し，同様に(9)式と(10)式に示す変数変換を行うと，次のとおりになる。

$$[H]\quad \frac{\partial \varphi}{\partial y_1}\frac{\partial H}{\partial y_1}+\frac{\partial \varphi}{\partial z_1}\frac{\partial H}{\partial z_1}=-\frac{\partial H}{\partial \bar{s}}$$

$$+\{\dot{h}(\bar{s}+\bar{q})-Ua(\bar{s}+\bar{q})$$

$$+[x_G-U\cdot(\bar{s}-\bar{q})]\dot{a}(\bar{s}+\bar{q})\}\frac{\partial H}{\partial z_1}$$

$$\text{on } H(\bar{s}, \bar{q}, y_1, z_1)=0 \tag{18}$$

また，(2)式によると，(18)式は直進速度による成分 φ_u と縦運動による成分 φ_h をそれぞれ支配する次の2式で表わせる。

$$[H_u]\quad \frac{\partial \varphi_u}{\partial y_1}\frac{\partial H}{\partial y_1}+\frac{\partial \varphi_u}{\partial z_1}\frac{\partial H}{\partial z_1}=-\frac{\partial H}{\partial \bar{s}} \tag{19}$$

$$[H_h]\quad \frac{\partial \varphi_h}{\partial y_1}\frac{\partial H}{\partial y_1}+\frac{\partial \varphi_h}{\partial z_1}\frac{\partial H}{\partial z_1}=\{\dot{h}(\bar{s}+\bar{q})-Ua(\bar{s}+\bar{q})$$

$$+[x_G-U\cdot(\bar{s}-\bar{q})]\dot{a}(\bar{s}+\bar{q})\}\frac{\partial H}{\partial z_1} \tag{20}$$

なお，キール以下，$y_1=0$ の対称面に左右対称の条件が満されるとすると，次式が成り立つ。

$$[S]\quad \frac{\partial \varphi}{\partial y_1}=0 \tag{21}$$

以上のことをまとめると，φ_u と φ_h を求めるのは，それぞれ(19)式と(20)式のほかに，(6)，(11)，(12)，(13)，(21)式を船体長手方向に複数個の y_1-z_1 平面内で $\bar{s}$ に沿って解くことになる。ただし，$\bar{s}<0$ のとき，x_1 にある y_1-z_1 平面内の流れが静止しているとする。

2.3　流体力

時刻 t のとき，x_1 にある船体断面に働く上下方向の力は

$$f(x_1, t)=f(\bar{s}, \bar{q})=-2\rho\int_K^F\frac{\partial \varphi_h}{\partial \bar{s}}n_z ds \tag{22}$$

で与えられる。ただし，ρ は流体の密度である。点 K は船体のキール，点 F は船体と平水面との交点を示し，積分は船体表面に沿う線積分を示す。また，n_z は船体内向き単位法線の z 成分を示している。(22)式が示すように，$\bar{s}$ に沿って求めておいた x_1～L（船長）に位置する複数個の y_1-z_1 平面内にある船体断面に働く流体力を同じ時刻 t のときの値を選び出し，船長方向に積分すれば，上下方向の力 $Z(t)$, G 点回りの縦揺モーメント $M(t)$ が得られる。すなわち，

$$Z(t)=\int_0^L f(x_1, t)dx_1 \tag{23}$$

$$M(t)=x_GZ(t)-\int_0^L f(x_1, t)x_1dx_1 \tag{24}$$

ただし，$Z(t)$ は上向きを正とし，$M(t)$ は船首上りを正とする。

2.4 数値計算の概略

開境界の放射条件の取り扱いについては，山崎ら[17]の手法に従い，(13)式を次の差分の形で離散化をする。

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{2}\{\varphi(\bar{s}+\Delta\bar{s},1)-\varphi(\bar{s},1)+\varphi(\bar{s},2)-\varphi(\bar{s}-\Delta\bar{s},2)\}\\&\quad+\alpha\{\varphi(\bar{s},1)-\varphi(\bar{s},2)\}=\varepsilon\\&\alpha=C\frac{\Delta\bar{s}}{\Delta l},\ \varepsilon=E\Delta\bar{s}\end{aligned}\right\} \tag{25}$$

ただし，Δl は開境界に垂直する方向の格子間隔とする。$\Delta\bar{s}$ は $\bar{s}$ に沿って計算するステップの間隔とし，(9)式により，$\Delta\bar{s}=(\Delta t+\Delta x_1/U)/2$ となる。$\varphi(\bar{s},1)$ は開境界上にあるポテンシャルを，$\varphi(\bar{s},2)$ はその近傍にある内部点のポテンシャルを表わしている。α と ε を決定する方法は山崎ら[17]に従っている。ここに，その説明を省略することにする。

自由表面の運動学的条件(11)式，動力学的条件(12)式を差分形式を用いて書き直すと，それぞれ

$$\begin{aligned}&\zeta\left(\bar{s}+\frac{\Delta\bar{s}}{2},\bar{q},y_1+\frac{\Delta y_1}{2}\right)=\zeta\left(\bar{s}-\frac{\Delta\bar{s}}{2},\bar{q},y_1-\frac{\Delta y_1}{2}\right)\\&\quad+\Delta\bar{s}\frac{\partial}{\partial z_1}\varphi(\bar{s},\bar{q},y_1,0)\end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}&\varphi(\bar{s}+\Delta\bar{s},\bar{q},y_1+\Delta y_1,0)=\varphi(\bar{s},\bar{q},y_1,0)\\&\quad-g\Delta\bar{s}\zeta\left(\bar{s}+\frac{\Delta\bar{s}}{2},\bar{q},y_1+\frac{\Delta y_1}{2}\right)\end{aligned} \tag{27}$$

となる。ここに，

$$\Delta y_1=\Delta\bar{s}\frac{\partial}{\partial y_1}\varphi_u(\bar{s},\bar{q},y_1,0) \tag{28}$$

を用いる。直進時，$z_1=0$ に生じる φ_u を求めるためには，厳密にいえば，支配方程式(6)，(11)，(12)，(13)，(19)，(21)式を解かなければならないが，ここに，自由表面の条件として剛壁の条件を用いて得られる流線に沿って縦運動問題の自由表面条件を満足させることにした。したがって，φ_u に関する自由表面条件式は

$$\frac{\partial\varphi_u}{\partial z_1}=0 \qquad \text{on } z_1=0 \tag{29}$$

を用いることにした。直進時の $z_1=0$ における流線が決定されると，(6)，(20)，(21)，(25)，(26)，(27)式から船体が縦運動をするときのポテンシャル φ_h を求めることができる。計算は $\bar{q}$ が一定値の条件で，$\bar{s}$ に沿って計算ステップを進むことである。したがって，(10)式により，$\Delta t=\Delta x_1/U$ となる必要がある。すなわち，$\Delta t=T_m/N_t$, $\Delta x_1=L/N_x$, 無次元周波数 $\omega'=\omega\sqrt{L/g}$, フルード数 $F_n=U/\sqrt{gL}$ とすれば，$N_x=\omega' N_t/2\pi F_n$ を満さなければならない。ただし，T_m は縦運動の周期，N_t は時間ステップ数，N_x は船長の分割数を表わしている。実際の計算に際し，与えられる F_n に対し，妥当な整数 N_x と N_t を選び，計算する ω' が決められる。数値計算法として，Fig. 3 に示す計算領域に，一定要素を用いた境界要素法を採用して計算を行った。その基本解として，2次元の吹き出しを使った。なお，(25)式の α と ε を決定するため，開境界の内側に必要なだけの格子点を設けた。

3. 流体力係数の計算と実験値の比較

3.1 供試模型

供試船型として，高速船の耐航性能研究専門委員会が行った比較計算の対象船である高速艇と高速漁船の2船型[21]を選び，計算を行った。高速艇模型の主要目を Table 1 に，正面線図を Fig. 4 に示す。漁船模型の主要目を Table 2 に，正面線図を Fig. 5 に示す。本論の流体力係数計算との比較に供える実験値は，高速艇模型について，船速 F_n＝0.308 と 0.616 の2状態，漁船模型について，船速 F_n＝0.4 と 0.6 の2状態における強制動揺試験の結果である。強制動揺試験時の模型姿勢は，漁船模型について，平水中航走姿勢を無視して，Table 2 に示す状態である。一方，高速艇模型については，平水中の航走姿勢を参考にして，Table 1 に示す状態となる。実験によって得られた流体力係数の内，慣性項 A_{ij} は変位項の成分を含んだものを改めて A_{ij} としている。さらに，A_{33} と A_{55} の項には静水圧による復原力の成分が差し引かれている。これらの流体力係数の無次元化した係数は次の通りで定義されている。

$$\left.\begin{aligned}&\bar{A}_{33}=A_{33}/\rho\nabla,\ \bar{B}_{33}=B_{33}/\rho\nabla\omega\\&\bar{A}_{55}=A_{55}/\rho\nabla L^2,\ \bar{B}_{55}=B_{55}/\rho\nabla\omega L\\&\bar{A}_{35}=A_{35}/\rho\nabla L,\ \bar{B}_{35}=B_{35}/\rho\nabla\omega L\\&\bar{A}_{53}=A_{53}/\rho\nabla L,\ \bar{B}_{53}=B_{53}/\rho\nabla\omega L\end{aligned}\right\} \tag{30}$$

ただし，ω は強制動揺の周波数である。∇ は排水体積である。

3.2 計算方法

理論計算は本論の2節で述べた定式化による計算のほかに，藤野，邱[22]が示した変動揚力を考慮に入れた非線形 O. S. M. による方法も合わせて比較計算を行った。

（1） 本論による方法（図中には Present method と記す）

本論において，供試船に対する実際の計算に際し，Fig. 3 に示す計算領域に，横方向と鉛直下方向ともに喫水の8倍 ($O_1A=O_1B=8d$) を取り，全境界に200要素を用いる。N_x は40とし，N_t は ω' によって，10から69の間を取る。$\bar{s}$ に沿って計算する際，$\Delta\bar{s}$ の中点を介して計算を進める。船体を80等分する81個の船体断面形状は与えられたオフセットにより，スプライン補間を用いて推定する。強制上下揺の振幅は 0.025 m とし，強制縦揺の振幅は 3° として計算を行った。計算によって得られた流体力とモーメントの時系列のフーリエ解析によって，流体力係数を求め，(30)式のように無次元化した。

Table 1 Principal particulars of high-speed boat model [21]

Length between perpendiculars	2.036 m
Breadth	0.450 m
Draft	0.084 m
Volume of displacement	0.0317 m^3
Longitudinal position of C. G.	0.154 m (aft ⊗)

(where, d_M = 0.083m, trim = 0.0m)

Table 2 Principal particulars of fishing boat model [21]

Length between perpendiculars	1.84 m
Breadth	0.428 m
Draft at A. P.	0.118 m
Draft at midship	0.0883 m
Draft at F. P.	0.0586 m
Displacement	52.3 kg
Longitudinal position of C. G.	0.163 m (aft ⊗)

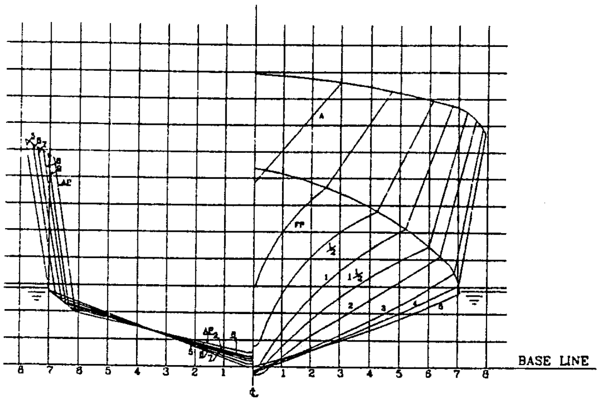

Fig. 4 Body plan of high-speed boat [21]

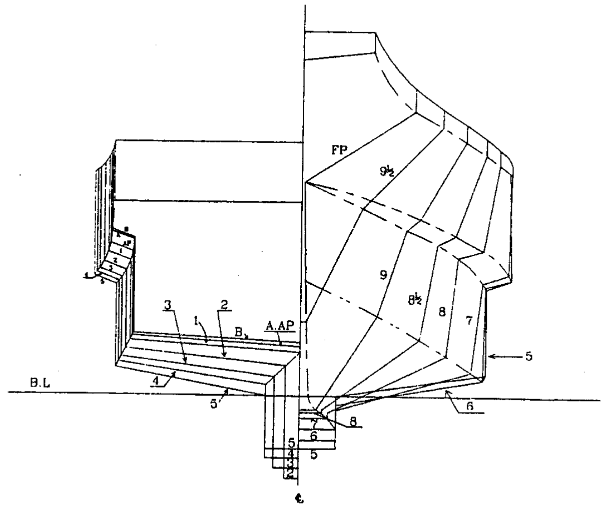

Fig. 5 Body plan of fishing boat [21]

（2） 変動揚力を考慮に入れた非線形 O. S. M.[22] による方法（図中には Nonlinear O. S. M. と記す）

3.1 節に述べた流体力係数の定義に従い，文献[22]の定式化によって構成されたプログラムに，船体を強制動揺させ，それによって生じる流体力とモーメントの時系列を計算した。(1)と同様に，強制上下揺の振幅を 0.025 m とし，強制動揺の振幅を 3° として計算を行った。得られた時系列のフーリエ解析により，流体力係数を求めた。この方法は基本的に O. S. M による定式化であり，端部影響は考慮に入れてある。2 次元流体力係数は close-fit 法によって，時間毎に断面の没水形状を追って計算される。変動揚力による影響は A_{35} と A_{55} が含む縦揺れ変位項の成分に現れている。

また，高速船の耐航性能研究専門委員会（SSH）が行った比較計算の中に，ストリップ法の一般的傾向をよく反映していると思われる “K” と “C” による計算結果を引用して比較に加えることにした。それらの計算結果は図中にそれぞれ SSH(K) と SSH(C) と記す。両計算法とも N. S. M による定式化であり，端部影響も考慮に入れてある。ただし，2 次元流体力係数については，SSH(K) が close-fit 法を用い，SSH(C) が Lewis Form を用いて計算する。

3.3 計算と実験[21]との比較

高速艇，$F_n=0.308$ の縦運動流体力係数の主要項は Fig. 6 に，連成項は Fig. 7 に示す。$\bar{A}_{33}$ と $\bar{B}_{55}$ とも “Present method” による計算結果は実験値よりやや大きいが，$\bar{B}_{33}$ と $\bar{A}_{55}$ については，“Present method” と実験値とよく一致している。しかし，$\bar{B}_{55}$ については，4 計算とも過大評価していることがわかる。なお，$\bar{A}_{55}$ については，Nonlinear O. S. M” と “SSH(C)” による計算とともやや大きい。連成項の $\bar{A}_{53}$, $\bar{A}_{35}$ と $\bar{B}_{53}$ とも 4 計算法による結果は実験値とよく一致しているが，$\bar{B}_{35}$ についてやや過大評価する傾向が見られる。高速艇，$F_n=0.308$ の場合に対し，全般的に言うと，“SSH(C)” と実験値との差がやや大きいが，ほかの 3 計算法による推定精度はほぼ同程度なものと言える。“Present method” による推定精度の改善は顕著に見られない。

高速艇，$F_n=0.616$ の場合の主要項は Fig. 8 に，連成項は Fig. 9 に示す。$\bar{B}_{33}$ と $\bar{B}_{55}$ を見ると，“Present method” と “Nonlinear O. S. M” とも実験値に近付く傾向が顕著になることがわかる。“Nonlinear O. S. M” のこの傾向について以下で簡略に説明する。高速艇のような船型の 2 次元断面の造波減衰力係数は水面がちょうど chine にあるとき，最大値となることが知られている[23]。chine が平水面付近にある高速艇に対し，喫水を追いながら流体力係数を評価する “Nonlinear O. S. M” によって計算した減衰項は線形ストリップ法で計算したものより小さいと考えられる。また，2 次元断面付加質量も水面が下側から chine を越えると，喫水の増加にともなう付加質量の増加は緩やかになることも知られている[23]。そこで，船尾断面の chine が平水面付近にある場合，減衰項に対する端部影響も “Nonlinear O. S. M” の方がより小さい値を与えると考えられる。$\bar{A}_{35}$

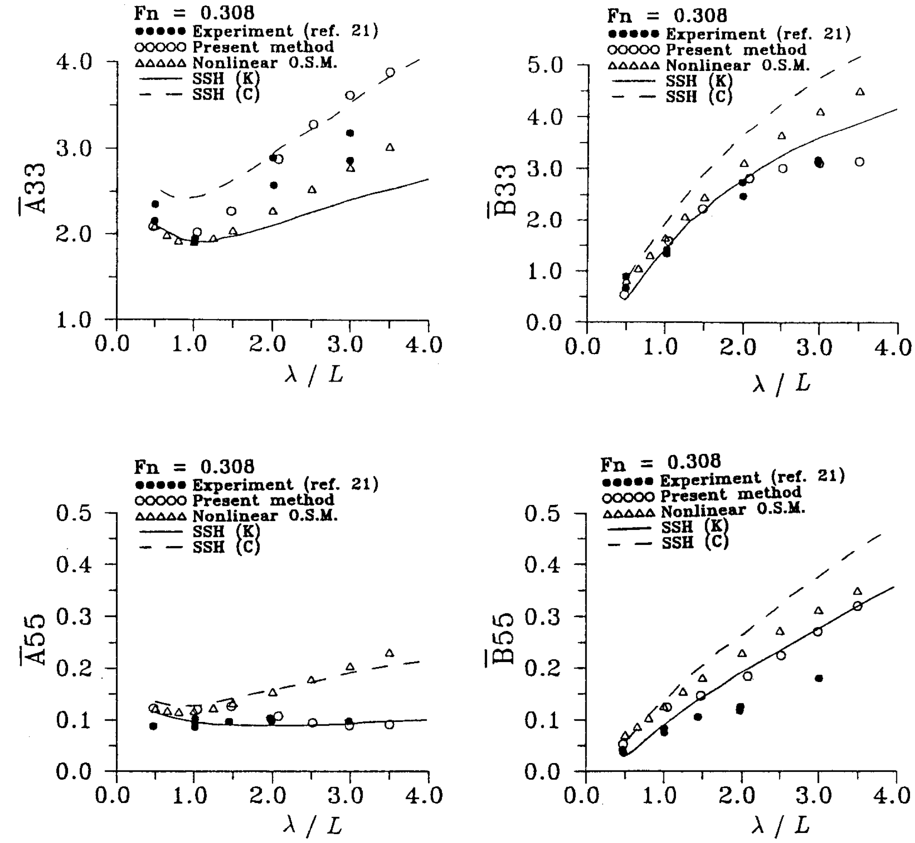

Fig. 6 Heave and pitch added mass and damping
(High-speed boat, $Fn=0.308$)

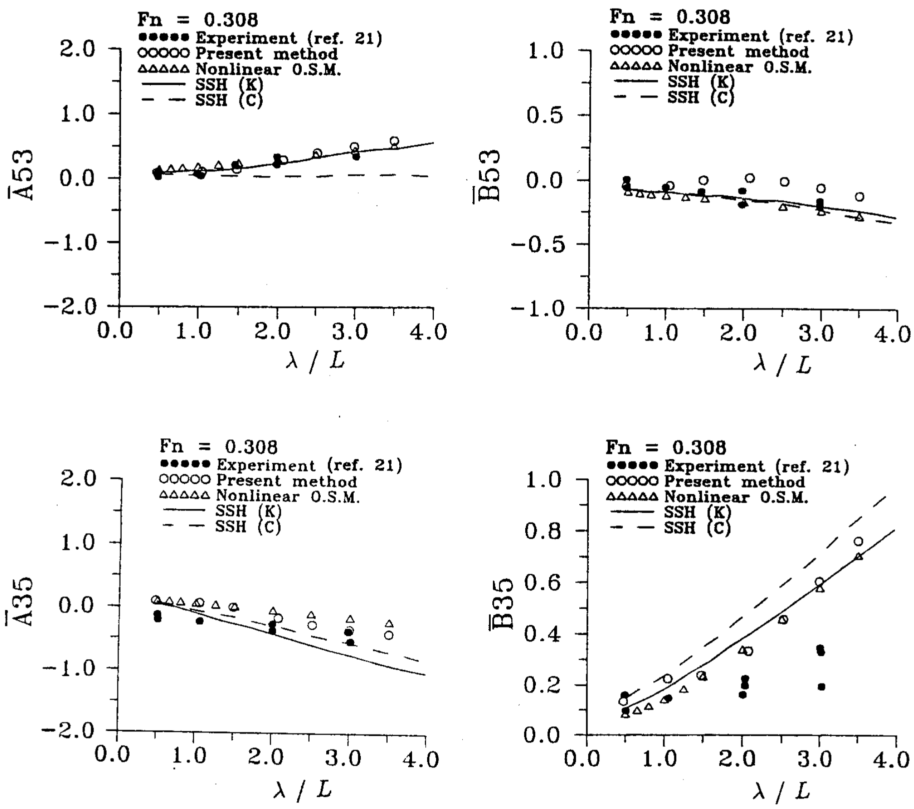

Fig. 7 Cross-coupling added mass and damping
(High-speed boat, $Fn=0.308$)

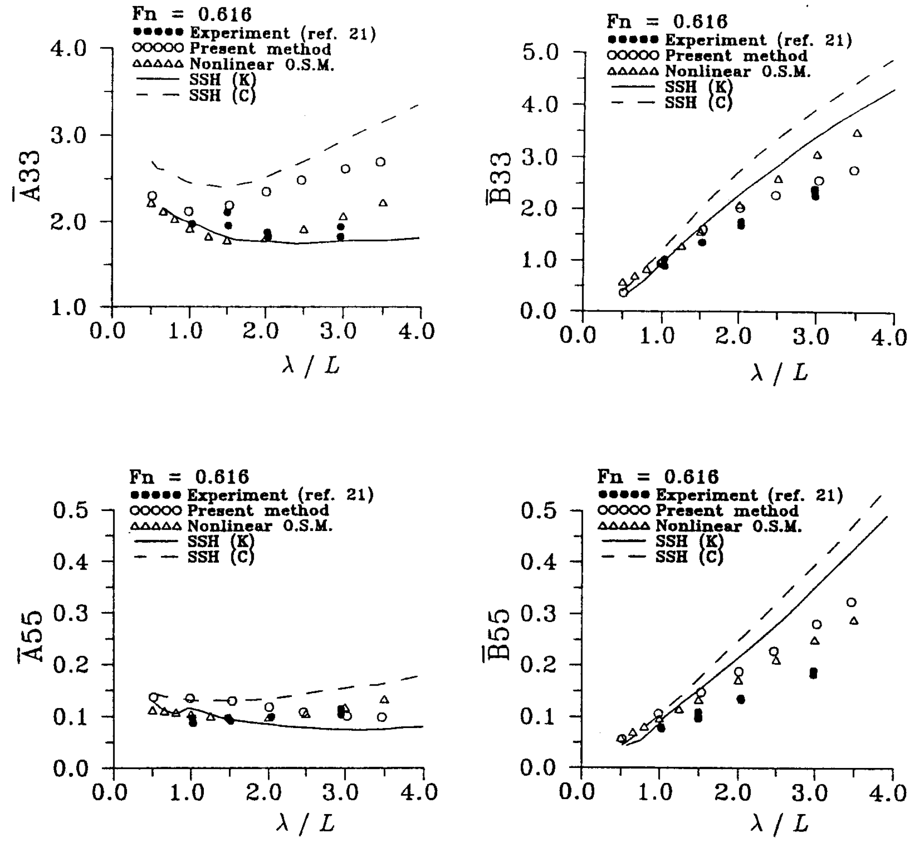

Fig. 8　Heave and pitch added mass and damping
(High-speed boat, $Fn=0.616$)

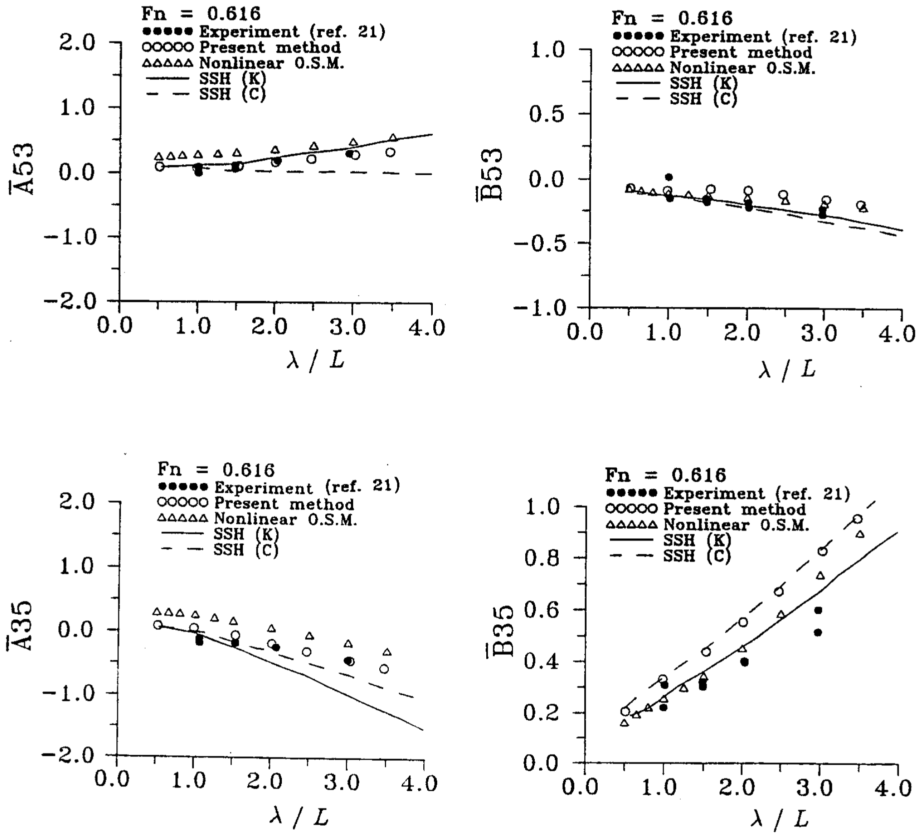

Fig. 9　Cross-coupling added mass and damping
(High-speed boat, $Fn=0.616$)

と $\bar{A}_{55}$ についても同様に，“Present method” と “Nonlinear O. S. M” とも実験値に若干近付く傾向が見られる。前節にすでに述べた通り，“Nonlinear O. S. M” によって計算した $\bar{A}_{35}$ と $\bar{A}_{55}$ には変動揚力の影響が変位項として入っていることがその理由と考えられる。高速艇，F_n＝0.616 の場合に対し，全般的に言うと，”Present method” および “Nonlinear O. S. M” による推定の精度は若干よくなる傾向があると言えるであろう。

漁船，F_n＝0.4 の縦運動流体力係数の主要項は Fig. 10 に，連成項は Fig. 11 に示す。”Present method” による計算が周波数の低い場合，$\bar{B}_{35}$ は実験値よりやや大きく，$\bar{A}_{55}$ はやや小さいものの，全般的に実験値とよく一致していることがわかる。特に，$\bar{B}_{55}$ はよく一致する。なお，3つのストリップ法による推定精度はほぼ同程度なものと言える。$\bar{B}_{55}$ についても，高速艇の場合と同様に過大評価する傾向が見られる。

漁船，F_n＝0.6 の場合の主要項は Fig. 12 に，連成項は Fig. 13 に示す。”Present method” による計算は $\bar{A}_{55}$ について，実験値と若干のずれが残るものの，全般的に精度よく流体力係数を推定できるとわかる。“Nonlinear O. S. M” は $\bar{A}_{55}$ について，線形ストリップ法よりやや実験値に近付いているが，$\bar{B}_{33}$ $\bar{B}_{55}$ の推定精度については，高速艇の場合のような改善傾向は見られない。これは漁船の chine がそれほど平水面に近付いていないため，“Nonlinear O. S. M” と線形ストリップ法による減衰項の計算はさほど差がないと考えられる。

なお，“Nonlinear O. S. M” と ”Present method” の間の比較について，次のことが言える。即ち，船体形状による非線形性が比較的に顕著でない場合に対し，前進速度の影響をより厳密に考慮する ”Present method” の方がよい結果が得られる。一方，chine が平水面付近にある船型に対し，船体形状による非線形性を考慮に入れた “Nonlinear O. S. M” は ”Present method” と比較しても劣らない程度の結果が得られる。

4. 結 言

縦運動する高速船の流体力係数の推定に着目し，基本的に Chapman の定式化に従い，山崎と藤野が提案した開境界放射条件を用いた計算法および藤野と邱が提案した変動揚力を考慮に入れた非線形ストリップ法を用いて，高速艇と漁船に対し比較計算を行った。その結果，以下の結論が得られた。

（1） Chapman の定式化によって，前方で起っている流れの影響を考慮できる理論計算は高速艇船型や漁船船型のような高速船の縦運動に関する流体力係数を推定するには，船速の増加とともに，ストリップ法より精度のよい結果が得られることを確認した。

（2） chine が通常平水面付近にある高速艇に働く減衰力係数の推定に対し，船体形状による非線形性を考慮することによって改善されることを非線形 O. S. M の計算によって示した。

（3） 変位項の成分を含んだ付加質量項 $\bar{A}_{35}$ と $\bar{A}_{55}$ には船速影響が顕著と思われ，とくに周波数の低い場合，線形ストリップ法による推定は不十分であり，船速影響を考慮することによって改善されたことが示された。

また，本論の“$2\frac{1}{2}D$”理論計算では，前進速度によるポテンシャルに対する自由表面影響は便宜上無視されているが，それの縦運動する船体に働く流体力に対する影響は今後の課題として，さらに検討する必要がある。

終りに臨み，本研究を実施するにあたり，ご激励いただいた広島大学高木幹雄教授に厚くお礼申し上げます。なお，本研究は中華民国行政院国家科学委員会 NSC 83-0403-E-002-003 および NSC 82-0209-E-124-006 の援助のもとになされ，計算には台湾大学造船及び海洋工程学科計算機室の HP-9000/730 を使用させていただいたことを付記する。

参 考 文 献

1) Chang, M. S.: Computation of Three Dimensional Ship Motions with Forward Speed, Proc. 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Berkeley, 1977
2) Inglis, R. B., W. G. Price: A Three Dimensional Ship Motion Theory—Comparison between Theoretical Prediction and Experimental Data of the Hydrodynamic Coefficients with Forward Speed, Trans. of the Royal Institution of Naval Architects 124, 1981
3) 小林正典：前進速度を有する任意形状の3次元物体に働く流体力について，日本造船学会論文集 150 号, 1981
4) 岩下英嗣, 大楠 丹：特異点による波浪中を航走する船に作用する流体力の研究, 日本造船学会論文集 166 号, 1989
5) 井上義行, 牧野有紀：3次元特異点分布法による流体力の前進速度影響, 日本造船学会論文集 166 号, 1989
6) Yasukawa H.: A Rankin Panel Method to Calculate Unsteady Ship Hydrodynamic Forces, 日本造船学会論文集 168 号, 1990
7) Nakos, D., P. Sclavounos: Ship Motions by Three-Dimensional Rankin Panel Method, 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, Michigan, 1990
8) 高木 健：Rankin Source 法による非定常波動問題の計算について, 関西造船協会誌 213 号, 1990
9) 高木 健：Rankin Source 法による波浪変動圧力の計算, 関西造船協会誌 219 号, 1993
10) Lin X., Takaki M., Iwashita H.: Effect of the Steady Disturbance on the Unsteady Flow around a Ship in Waves, 日本造船学会論文集 174

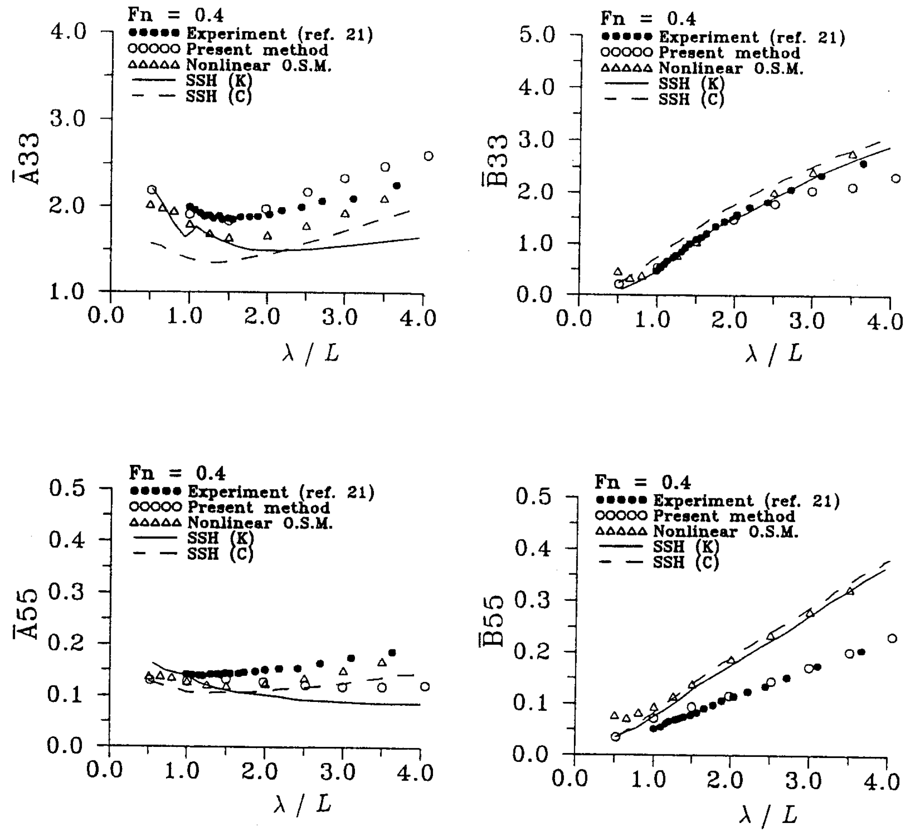

Fig. 10 Heave and pitch added mass and damping
(Fishing boat, $Fn=0.4$)

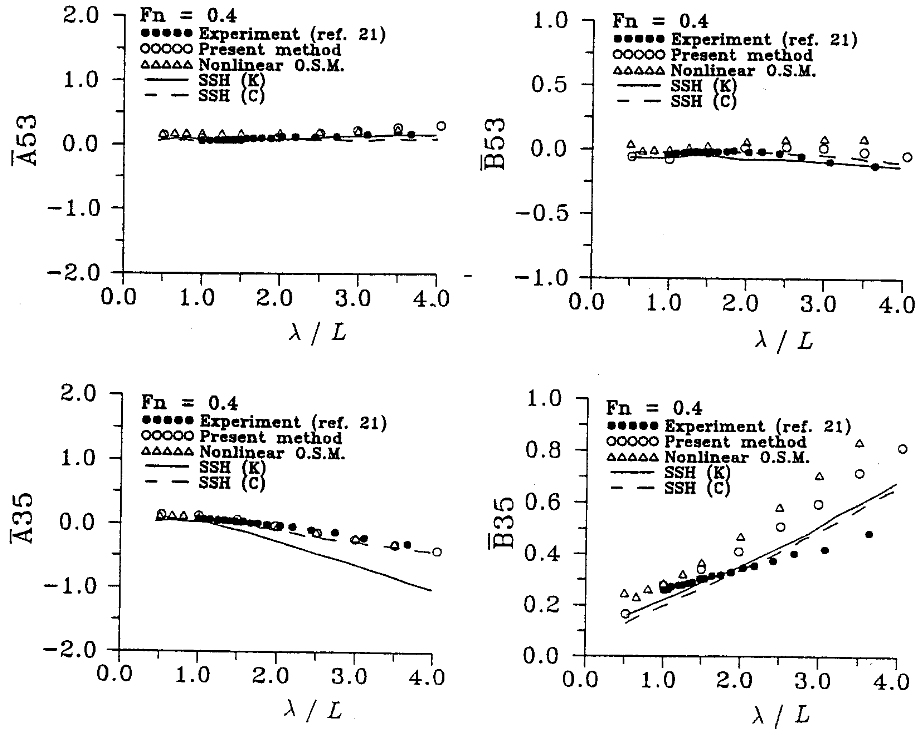

Fig. 11 Cross-coupling added mass and damping
(Fishing boat, $Fn=0.4$)

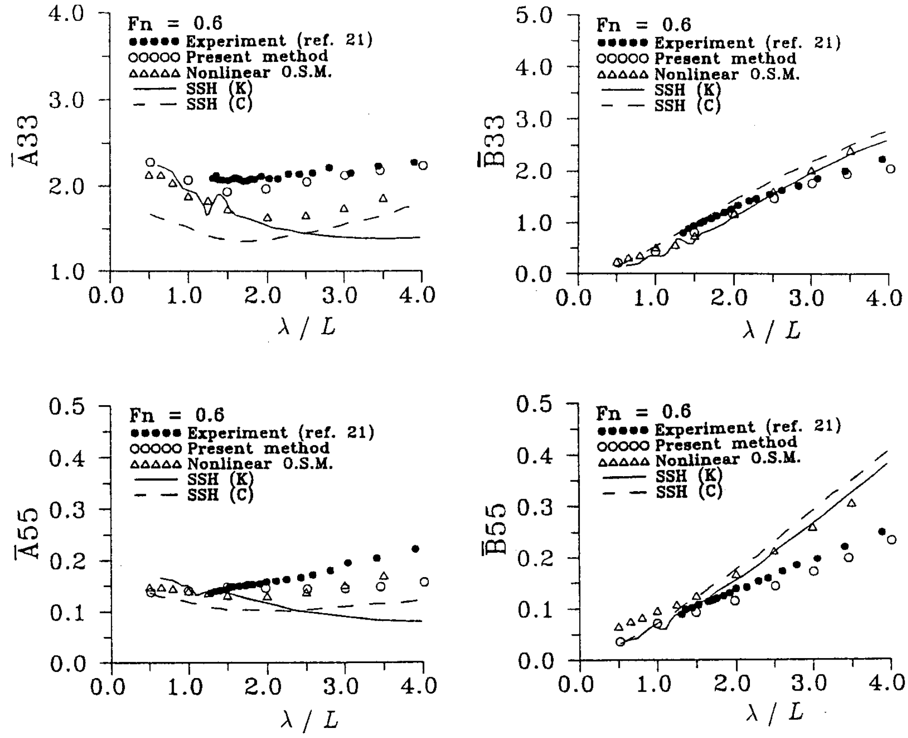

Fig. 12 Heave and pitch added mass and damping (Fishing boat, $Fn=0.6$)

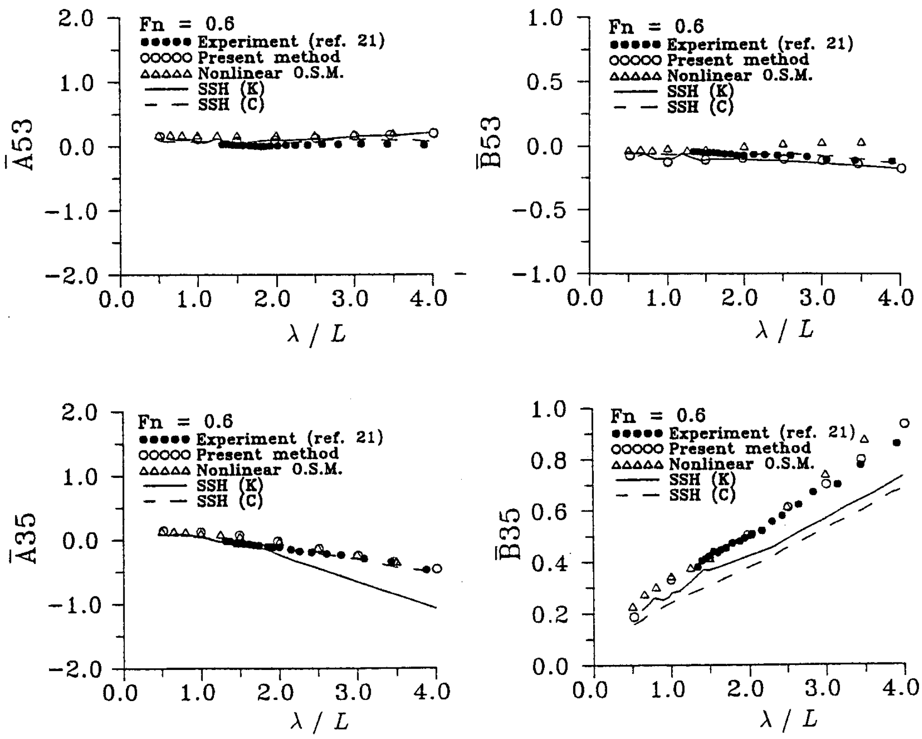

Fig. 13 Cross-coupling added mass and damping (Fishing boat, $Fn=0.6$)

号, 1993
11) Liapis, S. J., R. F. Beck: Seakeeping Computations Using Time-domain Analysis, Procd. of the 4th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Washington DC, 1985
12) Beck, R. F., A. R. Magee: Time Domain Analysis for Predicting Ship Motions, Procd. of the IUTAM Symposium on Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, Uxbridge, 1990
13) Lin, W.-M., D. K. P. Yue: Numerical Solutions for Large Amplitude Ship Motions in the Time-domain. Procd. of the 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, Michigan, 1990
14) Magee, A.: Seakeeping Applications Using a Time Domain Method, Procd. of the 20th Symposium on Naval Hydrodynamics, Santa Barbara, 1994
15) Chapman, R. B.: Numerical Solution for Hydrodynamic Forces on a Surface Piercing Plate Oscillating in Yaw and Sway, Procd. of 1st International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, 1975
16) Yeung, R. W., Kim, S. H.: Radiation Forces on a Ship with Forward Speed, Procd. of 3rd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Paris, 1981
17) 山崎啓市, 藤野正隆：自由表面上を航走する三次元物体に働く流体力について（第1～3報）, 日本造船学会論文集 154, 156, 157 号, 1983～1985
18) 柏木 正, 八田和也：高速航走する船に働く反対称流体力について, 関西造船協会誌 194 号, 195 号, 1984
19) 大楠 丹, O. M. Faltinsen, 安永 誠, 稲田 勝：高速双胴船の耐航性能の推定法に関する研究, 日本造船学会論文集 170 号, 1991
20) Faltinsen, O. M., Zhao, R.: Numerical Predictions of Ship Motions at High Forward Speed, Philosophical Trans. of the Royal Society, Series A, 1991
21) 高木幹雄, 岩下英嗣：高速艇の耐航性能推定法に関する現状, 日本造船学会運動性能研究委員会第 11 回シンポジウム, 第 4 編, 第 2 章, 1994
22) 藤野正隆, 邱 逢琛：向波中を航走する高速艇の縦運動および波浪荷重, 日本造船学会論文集 154 号, 1983
23) 藤野正隆, 邱 逢琛：中型高速艇の縦波浪荷重に関する一考察, 日本造船学会論文集 155 号, 1984