

水中翼を有する高速双胴船の波浪中運動に関する研究

(第1報)

正員 清水 健* 正員 高品 純志**
正員 増山 和雄*

A Study on the Motions in Waves
of High-speed Catamarans with Hydrofoils
(1st Report)

by Ken Shimizu, *Member* Junshi Takashina, *Member*
Kazuo Masuyama, *Member*

Summary

The motions in waves of high-speed catamarans with hydrofoils were studied through both non-linear computer simulation and towing tank tests. The category of the ships of our interests is characterized by a set of fully submerged hydrofoils whose dynamic lift support the majority of the ship weight and a set of catamaran hulls whose displacement gives the support for the rest of the ship weight as well as the longitudinal and lateral stability. We describe the longitudinal motions in head and following waves in this first report. The time-domain non-linear computer simulation was based on the strip method for the forces and moments on the hulls. For the dynamic lift of the hydrofoils, the unsteady components stemming from the wave orbital velocity and the ship motions were considered in the quasi-steady way. The simulation results showed good agreements with the towing tank tests in general. Through the simulation runs and the tank tests for the ship Froude number of 1.0 and the wave length to ship length ratios from 1.0 to 4.0, the motions in following waves were found to be significantly larger than those in head waves. In the high following waves ($H_w/L=0.06$), the fore hydrofoil went out of the water in the downward slopes of the waves and the ship showed large non-linear motions. This kind of wild motions in following waves are described to be a natural tendency of the ships of the subject category. In order to suppress the large motions, we tried controlling the angle of attack of the hydrofoils by feeding the pitch angle and the pitch rate back. Both the simulation and the tank tests showed significant effects of the control. The amplitudes of the pitching motions were reduced to about 30% of those under no control both in head waves and in following waves. Finally, we studied the effects of the hydrofoil configuration with the simulation. Although the studied cases do not show good improvements of the wild motions in following waves, the developed simulation program is a good tool for designing this kind of ships considering the motions in waves. In the second report, we intend to survey the motions of six degrees of freedom in the waves from various directions.

1. 結 言

最近、各所で様々な形式の大型高速船あるいは高速艇の

開発が進められているが、その一つのコンセプトとして、水中翼の揚力と船体浮力を利用した複合支持型の高速双胴船がある^{1),2),6)}。高速船の開発では、その推進性能とともに、安全性や稼働率の点から耐航性能をいかに高めるかが重要な課題となり、双胴水中翼船に関しても、波浪中の運動性能、さらに運動制御の観点から、いくつかの研究が行われている^{1)~6)}。水中翼揚力と船体浮力による複合支持型の高速船では、水中翼の支持率を高めれば高めるほど、波浪中の運動特性は水中翼船のそれに近づくことは容易に想像さ

* 三井造船(株)船舶・海洋事業部 技術開発部

** (株)三井造船昭島研究所 制御エンジニアリング事業部

原稿受理 平成4年7月10日

秋季講演会において講演 平成4年11月9,10日

れ、その時、特に注意しなければならない点は、水中翼船と同様、追波中の縦運動や、横・斜波中の横運動にあると思われる^{7)~9)}。しかしながら、従来の研究は、実験の容易な向波中の運動に関するものが大部分で、わずかに斜波中での実験結果²⁾と横・斜波中での実験艇の運動^{3),4)}が報告されているものの、追波中の運動については発表例を見ない。また、理論計算に関しては、向波中の計算例があるのみである^{5),6)}。

このような観点から、著者らは、水中翼揚力と船体浮力による複合支持型高速双胴船の波浪中運動について、理論計算および模型試験の両面から幅広い研究を進めている。本報ではこのうち、向波及び追波中での縦運動について報告する。

理論計算は、縦波中のヒープ・ピッチ連成運動に関し、非線形現象を比較的容易にモデル化できる時間領域のシミュレーションにより行った。模型試験では、このような船型に関してほとんど報告例のない高速航走時の追波中運動計測を含む、波浪中曳航試験を行った。これらのシミュレーションと模型試験の結果から、大波高追波中での翼の空中露出やウェットデッキスラミング等の非線形運動を中心に、波浪中運動特性について考察する。さらに、簡単な制御則に基づく水中翼制御の波浪中運動軽減効果を、シミュレーションと水槽試験の両面から検討したのでその結果を述べる。また、以上を通じてシミュレーション計算の妥当性および検討課題等について論じる。最後に、シミュレーションの設計への応用例として、翼配置が波浪中運動に及ぼす影響を検討する。

2. 波浪中運動シミュレーションプログラム

水中翼を有する高速双胴船は、一般に大波高では翼の空

中露出やウェットデッキスラミング等の強い非線形運動を生じる可能性があり、波浪中の船体運動計算は、これらの非線形要素を比較的容易に取り込める時間領域におけるシミュレーションによった。

まず、Fig. 1 に示すように、停止時船体の重心位置を通る垂線と静止水面の交点に原点を置き、前進水平方向に x_0 軸を、また鉛直下方に z_0 軸をとる等速移動座標系 $O_0-x_0y_0z_0$ と、船体重心に原点を置く船体固定座標 $O-xyz$ を定義する。向い波あるいは追い波中を航走する船について、座標系 $O_0-x_0y_0z_0$ に対する重心位置のヒープを $z_G + \overline{O_0G}$ ($\overline{O_0G}$ は停止時船体の重心と水面との距離を表わし、水面下を正とする)、またピッチを θ とすれば、これらの連成運動方程式は、微小振幅の仮定のもとに次式のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} m\ddot{z}_G &= mg + F_H + F_F \\ I_\theta\ddot{\theta} &= M_H + M_F \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 m は船体の質量、 I_θ はピッチの慣性モーメント、 g は重力加速度を表わす。また、 F, M は上下力及びピッチモーメントを表わし、添字 H, F はそれぞれ胴体、翼に働く成分を表わしている。

また、等速移動座標系から見た時刻 t における円周波数 ω 、半波高 ζ_a の規則波の変位 ζ_w を次のように表わす。ただし、 $\chi=0^\circ, 180^\circ$ はそれぞれ追波、向波に対応する。

$$\begin{aligned} \zeta_w &= \zeta_a \cos(kx_0 \cos \chi - \omega t) \\ k &= \omega^2/g, \quad \omega_e = \omega - kV \cos \chi \end{aligned} \quad (2)$$

シミュレーションプログラムでは、(1)式右辺の船体に働く力を時々刻々求め、ルンゲ・クッタ法などの数値積分法を用いて運動を解いていく訳であるが、汎用性も考慮して任意個数の胴体および翼の組合せで流体力の計算が可能となっている。また、翼による船体浮上に伴って大きく変

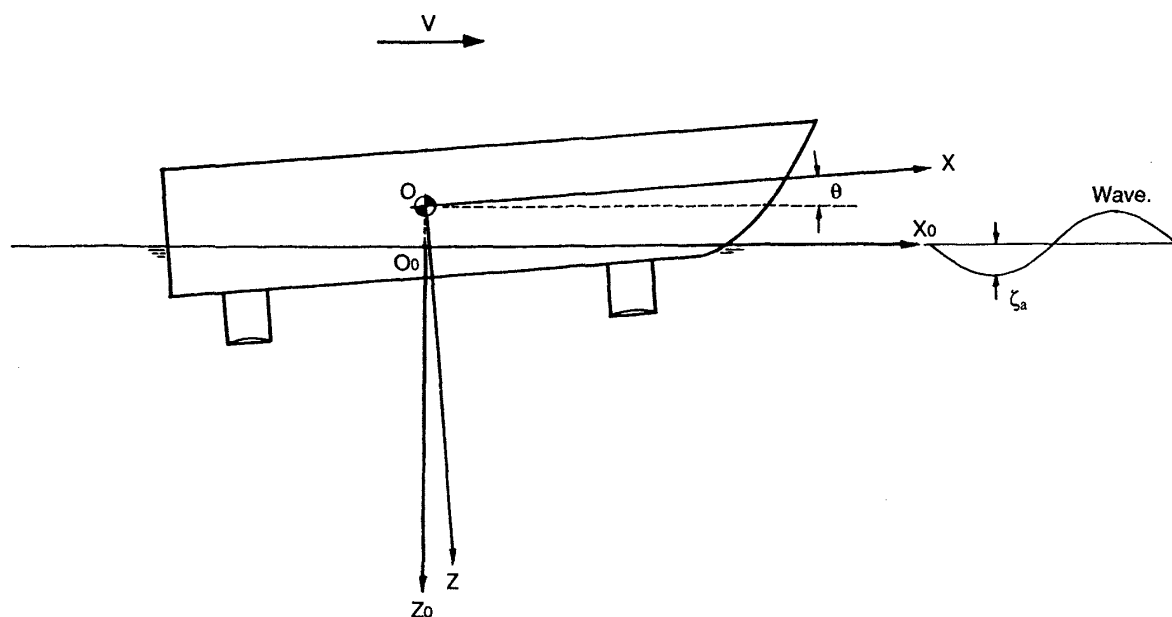


Fig. 1 Coordinate Systems for the Simulation

化する胴体の復元力特性や波浪強制力の計算をある程度厳密に行うため、胴体の形状データはオフセットデータとして与えるようにした。船体に働く力の計算方法は、基本的に大坪等の方法⁵⁾にならっているが、以下にその概要を述べる。

胴体に働く力は、ストリップ法の考え方に従い、各断面に作用する2次元流体力を船長方向に積分することにより求めることとし、ある胴体の $x=x$ における断面に作用する単位幅当りの上下力 dF_H を、静水圧と入射波の圧力(フルード・クリロフ力)による成分 $dF_H^{(1)}$ 、およびラディエーション流体力とディフラクション流体力による成分 $dF_H^{(2)}$ に大きく2つに分け次のように表わす。

$$dF_H = dF_H^{(1)} + dF_H^{(2)} \quad (3)$$

時刻 t における(3)式第1項の力は、次式で与えられる水面下胴体上の点 (x, y, z) における圧力 p に、ヒープに対する方向余弦 n_z を乗じて胴体に沿って積分すれば与えられる。これらの計算は、オフセットデータで与えられる胴体上の連続する2点間の圧力が直線的に変化すると仮定して、逐次直接的に行っている。

$$p(x, z, t) = \rho g \{ z^* - \zeta_a e^{-kz^*} \cos(kx \cos \chi - \omega_e t) \} \\ z^* = z_G - x\theta + z + \overline{OG} \quad (4)$$

一方、(3)式第2項の力は、断面の上下運動に対する付加質量 m_H および造波減衰係数 N_H を用いて次のように表わされる。

$$dF_H^{(2)} = -m_H(\ddot{z}_G - x\ddot{\theta} + 2V\dot{\theta} - \ddot{\xi}_w) \\ + \left(V \frac{dM_H}{dx} - N_H \right) (\dot{z}_G - x\dot{\theta} + V\theta - \dot{\xi}_w) \quad (5)$$

ここに、 $\xi_w, \ddot{\xi}_w$ は断面の平均喫水 T^* ($=$ 断面積/水線幅) 位置における規則波副波面の上下速度および上下加速度を

表わす。 m_H, N_H の計算は、大坪等⁵⁾にしたがって、ある時刻での断面の水線幅、喫水を求め、付加質量については半没水円柱の無限周波数に対する値を、減衰係数については source method による近似値を用いて行っている。

次に翼に働く力を考える。船体固定座標で (x, z) に置かれた水平翼に働く上下方向の力は、翼の面積、付加質量を S, m_F 、また翼の揚力勾配、迎角を $C_{L\alpha}, \alpha$ とすれば、準定常を仮定して近似的に次のように表わされる。

$$F_F = -\frac{1}{2} \rho S V^2 C_{L\alpha} \{ \alpha + \theta + (\dot{z}_G - x\dot{\theta} - \dot{\xi}_w)/V \} \\ - m_F(\ddot{z}_G - x\ddot{\theta} - \ddot{\xi}_w) \quad (6)$$

ここに、 $C_{L\alpha}$ は Wadlin¹¹⁾ による没水深度影響を考慮した値であり、 $\dot{\xi}_w, \ddot{\xi}_w$ は翼位置における副波面の上下速度および上下加速度である。

3. 波浪中運動試験

前章で述べた波浪中運動シミュレーションプログラムの検証のため、三井造船昭島研究所大水槽で、模型船を波浪中で曳航し、船体運動を計測した。

船型は、前後一對の全没型水中翼を有する双胴船型である。模型船の概要を Fig. 2 と Table 1 に示す。前後の水中翼は、ほぼ等分に揚力を分担するよう設計した。

試験状態は Table 2 に示す通りで、正面規則波中(向波および追波)を、フルード数 1.0 で曳航した。この速度では、全重量の約 70% が水中翼の揚力で、残りの約 30% が船体の浮力で、それぞれ支持される。追波中でも波の位相速度より船速の方が大きいので、船が波を追いついて見かけ上は向波となる。なお、横運動は拘束し、サージは緩いバネで拘束した。また、水中翼の取付角については、基準取

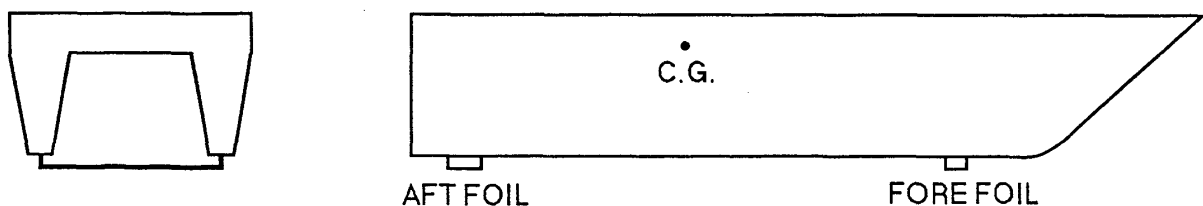


Fig. 2 Configuration of the Model

Table 1 Principal Particulars of the Model

Ship Length	2.4 m
Ship Breadth	0.8 m
Hydrofoil Span	0.6 m
Chord Length of Fore Hydrofoil	0.07 m
Chord Length of Aft Hydrofoil	0.11 m
Long. Position of Fore Hydrofoil	1.8 m from Aft End
Long. Position of Aft Hydrofoil	0.2 m from Aft End
Long. Center of Gravity	0.9 m from Aft End
Displacement	70 kg

Table 2 Conditions for the Experiments and Simulation

Ship Froude Number	1.0
Ship Speed	4.8 m/s
Wave Directions	180 deg.(Head), 0 deg.(Following)
Wave Length to Ship Length Ratios	1.0 ~ 4.0
Wave Height to Ship Length Ratios	0.03, 0.06

付角に固定した状態での試験の他に、ピッチ角およびピッチ角速度に比例したフィードバック制御を加えた試験も行った。

これらの試験結果は、シミュレーション計算結果と合わせて、次章以下で示す。

4. 波浪中運動特性

Fig. 2, Table 1 および Table 2 に示した船型・船速・波状態での船体運動の、シミュレーション計算結果および水槽試験結果を、Fig. 3 から Fig. 10 に示す。

Fig. 3 と Fig. 4 には、向波中でのヒープとピッチについて、ピーク値の無次元振幅を示す。参考文献^{(2), (5), (6)}にあるように、波長が長いほど運動が大きくなることがわかる。また、計算結果と実験結果は、概ね良く一致している。

Fig. 5 と Fig. 6 には、追波中でのヒープとピッチについて、ピーク値の無次元振幅を示す。向波中と同じように波長が長いほど運動が大きい傾向が見られるが、その大きさは全般に向波中よりも大きい。また、計算結果と実験結果は、概ね良く一致している。なお、図には示さないが、乗り心地の上で重要な船首上下加速度は、 $\lambda/L=2$ 付近で最大となり、その値は向波中のものよりはるかに大きかった。

大きな船首上下加速度を生じた追波中の航走条件における、船体運動の時系列を、Fig. 7 に示す。左側の図は、ヒープとピッチの波振幅による無次元値を示す。直感的な分かりやすさのため、ヒープは上向きを正、ピッチは船首上げを正とした。右側の図は、前翼位置での水面と前翼の上下位置を、それぞれ前翼弦長によって無次元化してプロットした。船首上げ状態で前翼が空中に露出して急激に船首下げとなる、激しい非線形運動を起こしていることがわかる。水槽試験では、急激な船首下げが止まりグラフが右上がりに転じる部分で、激しいウェットデッキスラミングを生じた。このような状況が実船で起きれば、損傷・船速低下・船酔などの不具合を生じるであろう。

シミュレーション計算において、当初は、Fig. 7 の中段に示すように、前翼露出の現象をとらえはしたものの、再突入後の急激な船首下げの現象が再現できなかった。前翼が水中に再突入した直後の計算上の揚力係数は 0.5 程度で最大揚力係数より小さいが、式(6)の右辺第 1 項中括弧内に表わされる運動学的な迎角は 20 度程度であり、翼の誘導速

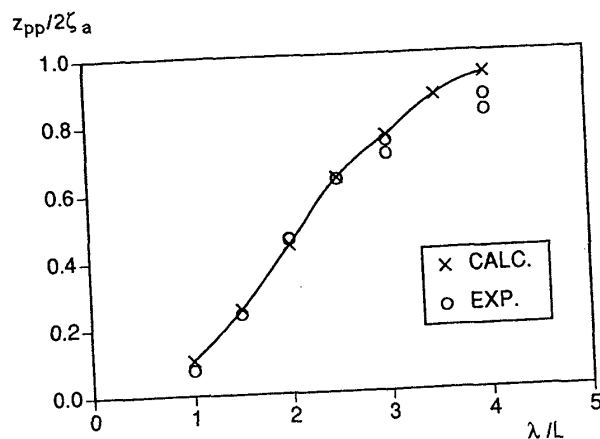


Fig. 3 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Heaving Motions in Head Waves

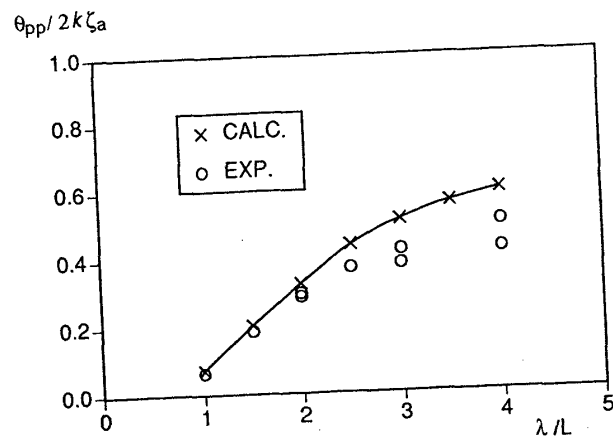


Fig. 4 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Pitching Motions in Head Waves

度による有効迎角の減少がこのような過渡状態では十分生じないとすれば、空気吸い込みや剝離などの現象が起きている可能性が高い。そこで、前翼再突入後、計算上の迎角が通常の航走状態のそれに復するまでの間、前翼の揚力は失速時の値⁽²⁾を用いることにして計算したところ、Fig. 7 下段に示すように、実験とよく似た傾向のシミュレーション結果が得られた。Fig. 5 と Fig. 6 の計算値は、このような前翼再突入後の失速の仮定に基づくものである。このような仮定により、激しい非線形運動であるにも関わらず、シ

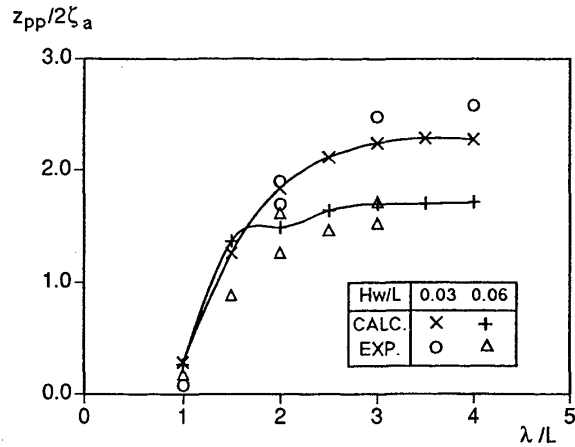


Fig. 5 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Heaving Motions in Following Waves

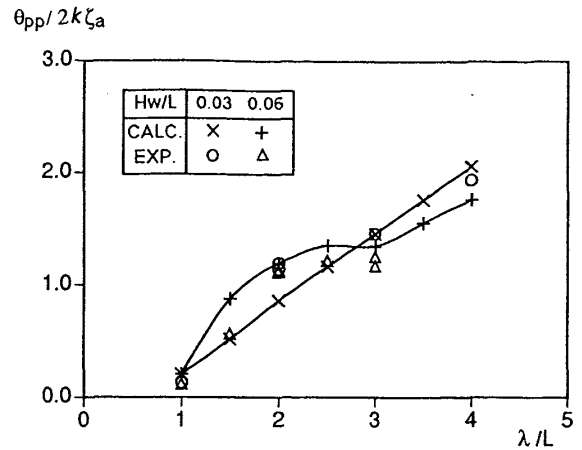


Fig. 6 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Pitching Motions in Following Waves

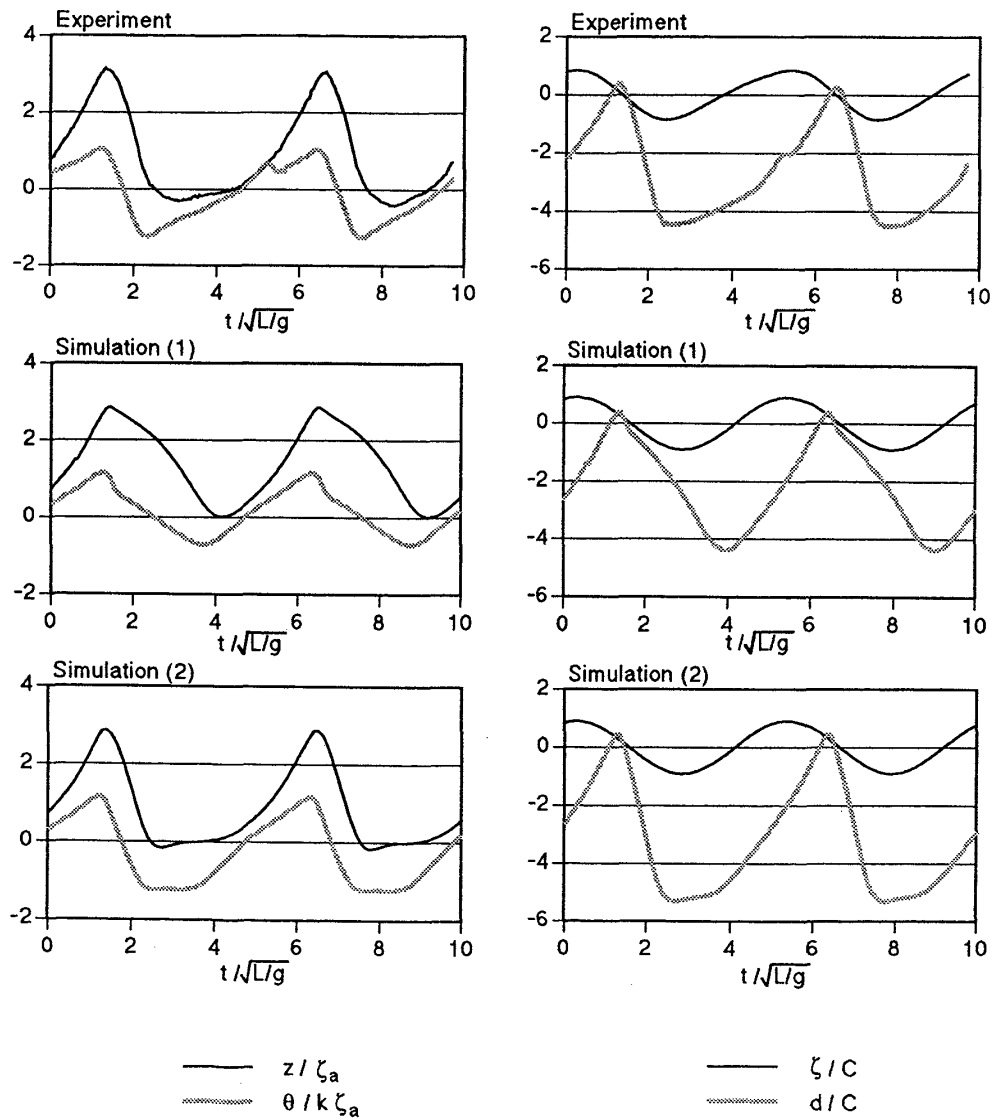


Fig. 7 Time History of the Motions in High Following Waves
($\lambda/L=2$, $Hw/L=0.06$)

ミュレーションで実験結果を定性的・定量的によく説明できることは興味深い。前翼露出時の実際の現象がどのようなものであるかを実験的に解明することは、今後の課題である。

前翼が空中に露出した後、船首が激しく水中に突っ込む現象は、追波中で $\lambda/L=2$ 前後の大波高時にのみ見られた。Fig. 8 には小波高・追波中の時系列を、Fig. 9 には大波高・向波中の時系列を、それぞれ示す。いずれも前翼は空中に露出しておらず、運動はなめらかである。

水面貫通型水中翼船は通常の船舶と比べて、向波中では揺れが小さく追波中では揺れが大きいことが知られているが^{7)~10)}、本研究の供試船型でも同様の傾向がみられた。この理由は、波位相と船体運動の相対関係を示す Fig. 10 を見ると理解しやすい。すなわち、波粒子運動の上下速度成分による水中翼の迎角変化が、向波中では水中翼が波傾斜に沿って運動する方向に働くのに対し、追波中では波の下り斜面で水中翼が空中に飛び出す方向に働く⁸⁾。さらに、向波中では出合周波数が大きいいため、ピッチ角速度に基づく水

中翼の上下速度成分が大きくなり、水中翼によるピッチの減衰が大きい。追波中では逆に出合周波数が小さいため水中翼によるピッチの減衰が小さい。このように、追波中では水中翼が運動を大きくするが、船体による復原力がそれを抑える。Fig. 10 下段で船体が波の山にある状態では、波粒子運動による水中翼迎角変化は船首上げを助長するが、船体浮力による復原力が船首下げ方向に働いていることがわかる。Fig. 10 にプロットしたケースではこのあと前翼が露出し急激に船首下げとなるが (Fig. 7)、波高が小さいケースでは船体による復原力により前翼露出を起こさずなめらかに船首下げに転じる (Fig. 8)。

5. 水中翼迎角制御の効果

前章で述べた追波中での大運動を抑制する方法の一つとして、水中翼の迎角を制御することが考えられる。全没型水中翼船では、自己復原性を持たないため水中翼制御が必須である反面、適切な制御を行えば波浪中でもきわめて揺れが小さいことが知られている^{8),9)}。水面貫通型水中翼船に

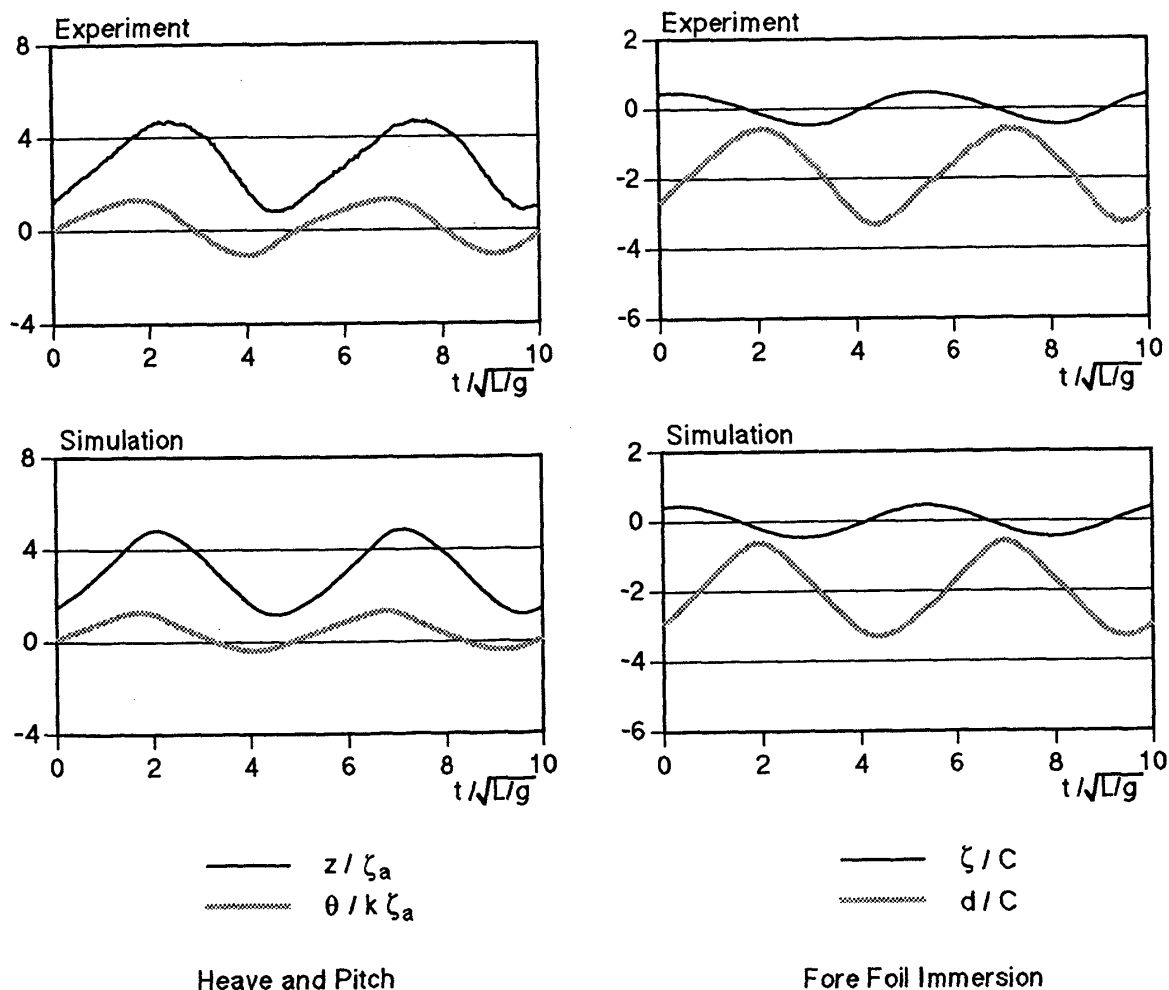


Fig. 8 Time History of the Motions in Low Following Waves
($\lambda/L=2$, $H_w/L=0.03$)

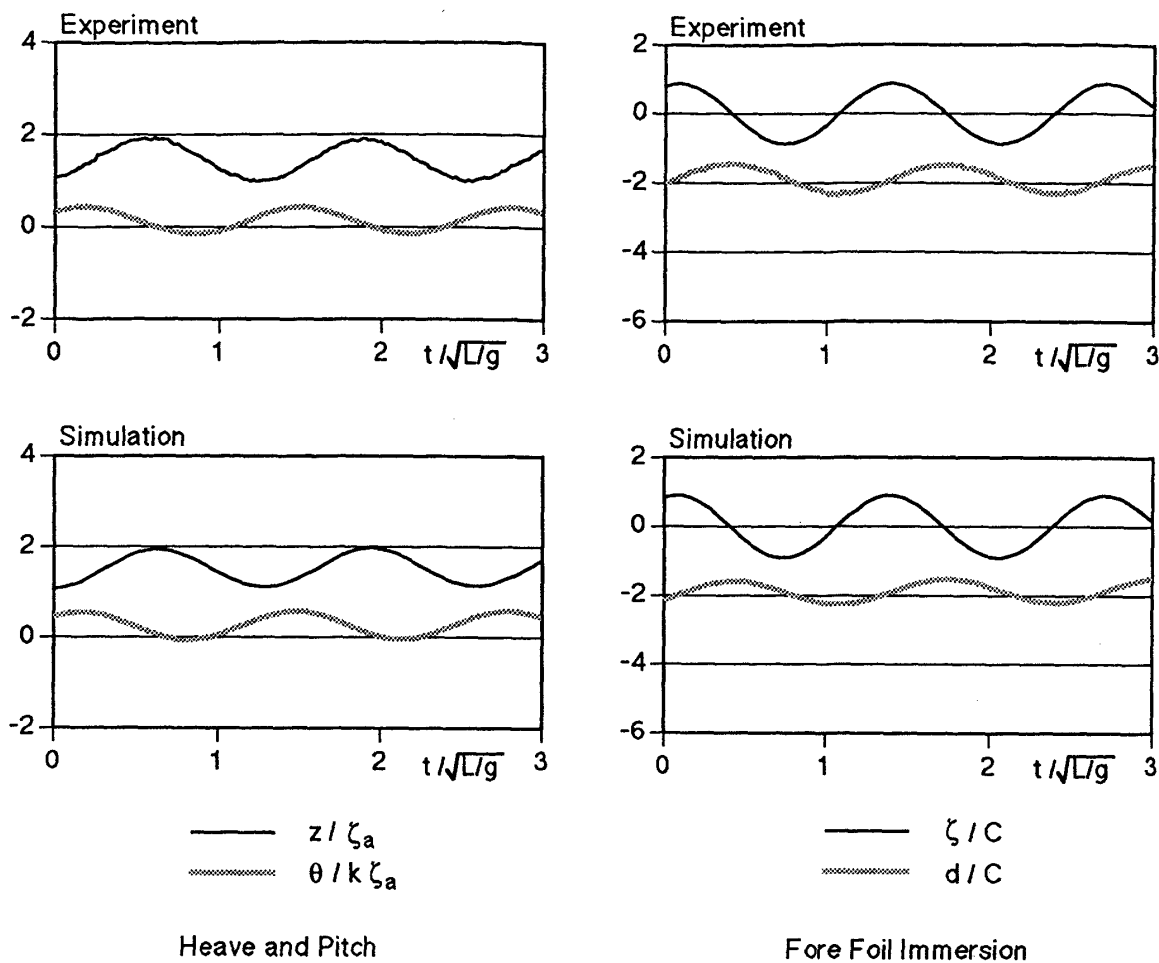


Fig. 9 Time History of the Motions in High Head Waves ($\lambda/L=2$, $H_w/L=0.06$)

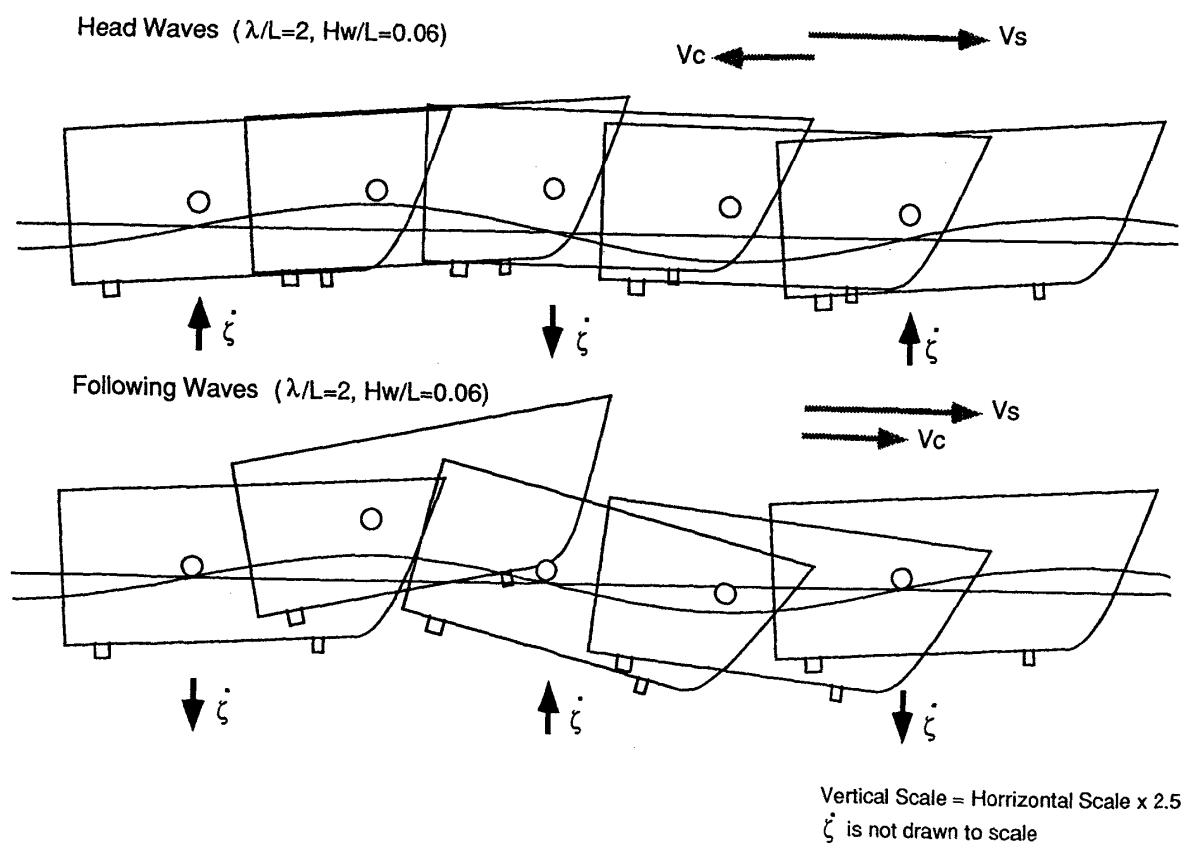


Fig. 10 Motions Relative to the Waves

についても、前翼のフラップ制御により波浪中の縦運動を大幅に抑制できる可能性が計算により示されている¹⁰⁾。水中翼揚力と船体浮力による複合支持型双胴船については、向波中での縦運動制御に関する実験・計算^{2),5),6)}や、横揺れ制御に関する実船試験報告⁴⁾があるが、追波中の運動制御に関するものは見受けられない。本研究では、向波・追波の各状態について、水中翼の迎角制御の効果を、シミュレーション計算と水槽試験の両面から検討した。

制御則は、式(7)に示すように、ピッチ角に対するPD制御である。

$$\Delta\alpha = K_P \cdot \theta + K_D \cdot \dot{\theta} \quad (7)$$

ここで、 $\Delta\alpha$ は迎角制御量、 θ はピッチ角、 $\dot{\theta}$ はピッチ角速度、 K_P は比例ゲイン、 K_D は微分ゲインである。水中翼は前後両方とも制御し、前後各翼のゲインは簡単のため絶対値を等しく符号を逆向きとした。比例ゲインと微分ゲインの割合は、予備シミュレーション及び予備試験の結果より、 $\lambda/L=2$ の追波中でのピッチ角に対する迎角制御量の位相進みが約45度となるように定めた。ゲインの大きさは、試験装置上の制限より、大運動時でも迎角振幅が2度以内に収まることを目安に決定した。

Fig. 11からFig. 14には、Fig. 3からFig. 6に対応する運動応答の無次元振幅を示す。制御の効果は、向波中・追波中とも、ヒープの振幅で2割程度、ピッチの振幅で7割程度、運動が小さくなっている。Fig. 15の時系列プロットからわかるように、大波高追波中でも、迎角制御により前翼は空中に露出しなくなり、運動はなめらかになった。実験では、船首上下加速度が1/10程度に減少した。なお、計算結果と実験結果は、ここでも概ね良く一致している。

以上のように、ピッチ角とピッチ角速度に基づいて水中翼の迎角を制御することは、供試船型に代表される水中翼付高速双胴船の耐航性向上にきわめて有効である。なお、実船では水中翼全体を動かして迎角を変化させるのは困難

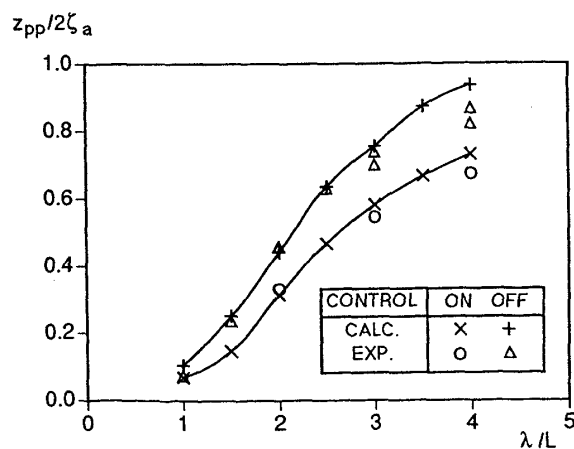


Fig. 11 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Heaving Motions under Hydrofoil Control in Head Waves

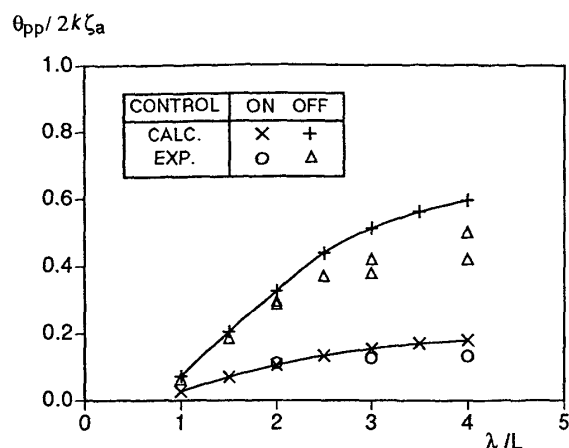


Fig. 12 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Pitching Motions under Hydrofoil Control in Head Waves

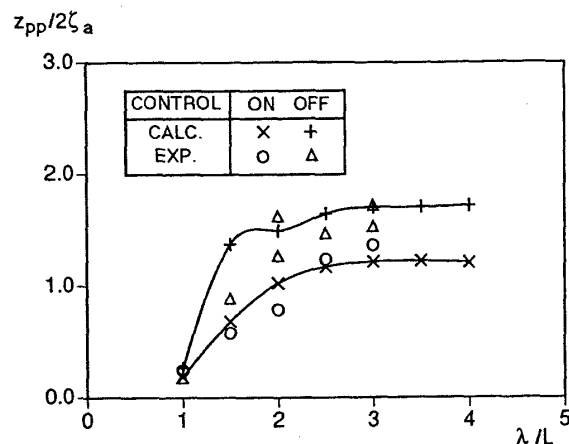


Fig. 13 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Heaving Motions under Hydrofoil Control in Following Waves

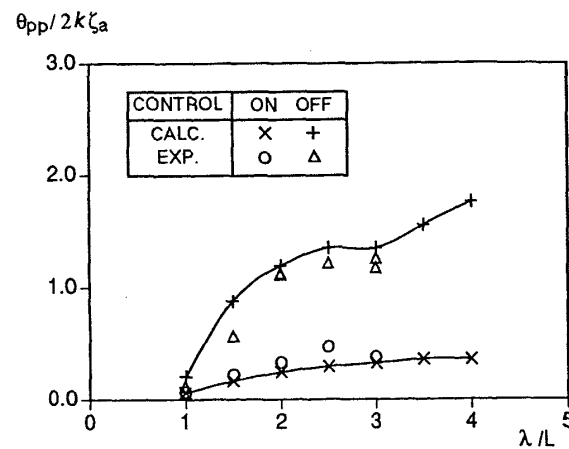
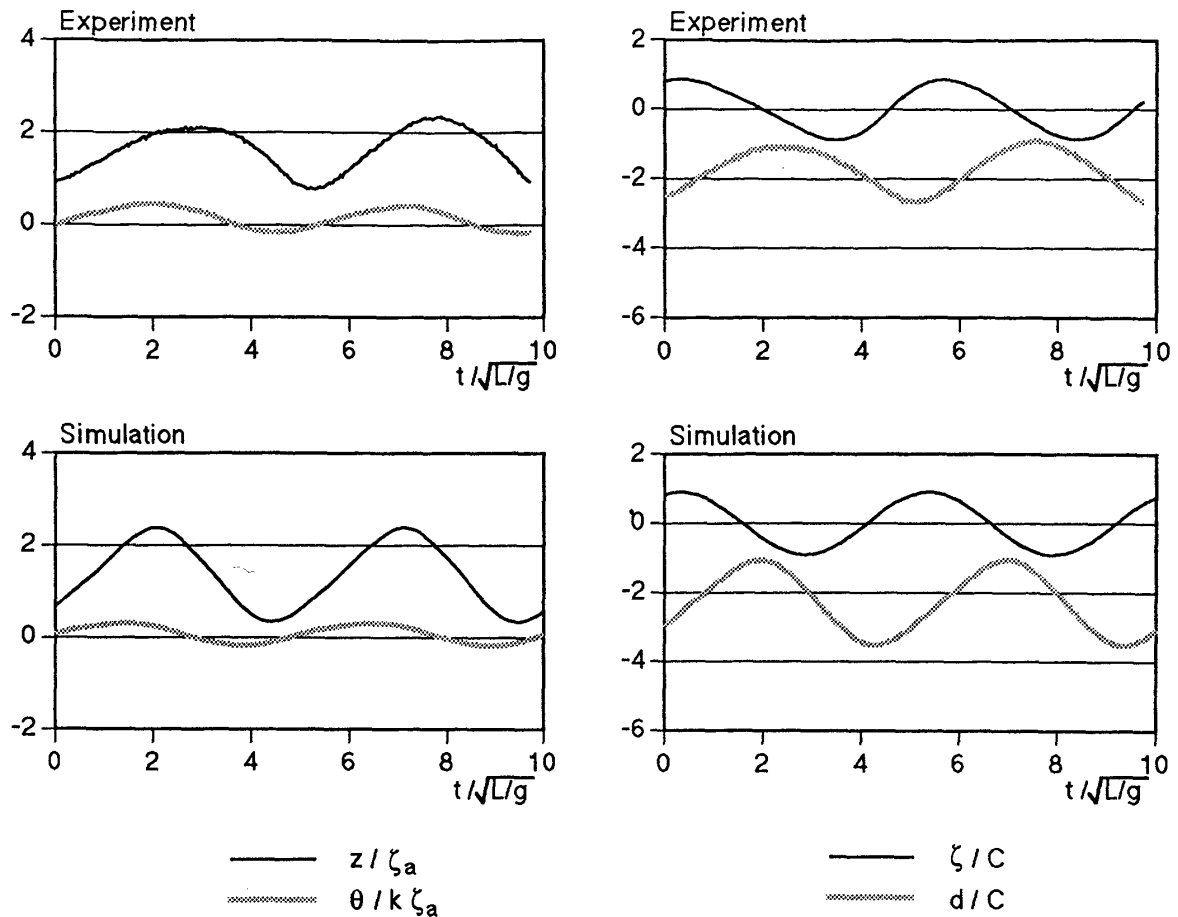


Fig. 14 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Pitching Motions under Hydrofoil Control in Following Waves



Heave and Pitch

Fore Foil Immersion

Fig. 15 Time History of the Motions under Hydrofoil Control in High Following Waves ($\lambda/L=2$, $H_w/L=0.06$)

なので、水中翼の後縁部を可動とするフラップ機構によって同等の制御を行うことになるが、本例での制御による迎角振幅は2度以内であり、1/4弦長程度のフラップの可動範囲内で十分実現することができると考えられる。

6. 翼配置の影響

以上の各検討より、本研究で開発した波浪中運動シミュレーションプログラムは、非線形運動を含む広い範囲で、定性的にも定量的にも妥当な計算結果を与えることが確認された。本章では、シミュレーションの設計への応用の一例として、翼配置の変更が波浪中運動に及ぼす影響を調べる。

検討した翼配置の代替案は Table 3 に示す3種類である。ケース A は、前翼の没水を1翼弦長だけ深くしたもので、追波中での前翼露出を防ぐのがねらいである。ケース B は、前翼を後方に移動して前翼-重心間の距離を半分に縮めたもので、重心までの距離と揚力勾配の積で定まる前翼の不安定モーメントを減らしピッチの安定性を高めるのが

Table 3 Alternative Hydrofoil Configurations

Case	Fore Foil Dimensions		
	Z	X	Span
Original	0.00 m	1.80 m	0.6 m
A	-0.07 m	1.80 m	0.6 m
B	0.00 m	1.35 m	0.6 m
C	0.00 m	1.80 m	0.2 m x 2

ねらいである。ケース C は、前翼を合計面積の等しい2枚の T 字型翼に置き換えたもので、揚力勾配を小さくすることによりケース B と同様に不安定モーメントを減らしピッチの安定性を高めるのがねらいである。これらの各ケースについて、まず平水中のシミュレーションを行い、航走姿勢が原案とほぼ等しくなるように水中翼の取付角を設定した。なお、ケース B では前翼の前後位置が異なるため前翼の支持率が後翼より大きくなっている。

波浪中運動シミュレーションは、 $\lambda/L=2$, $H_w/L=0.06$ の

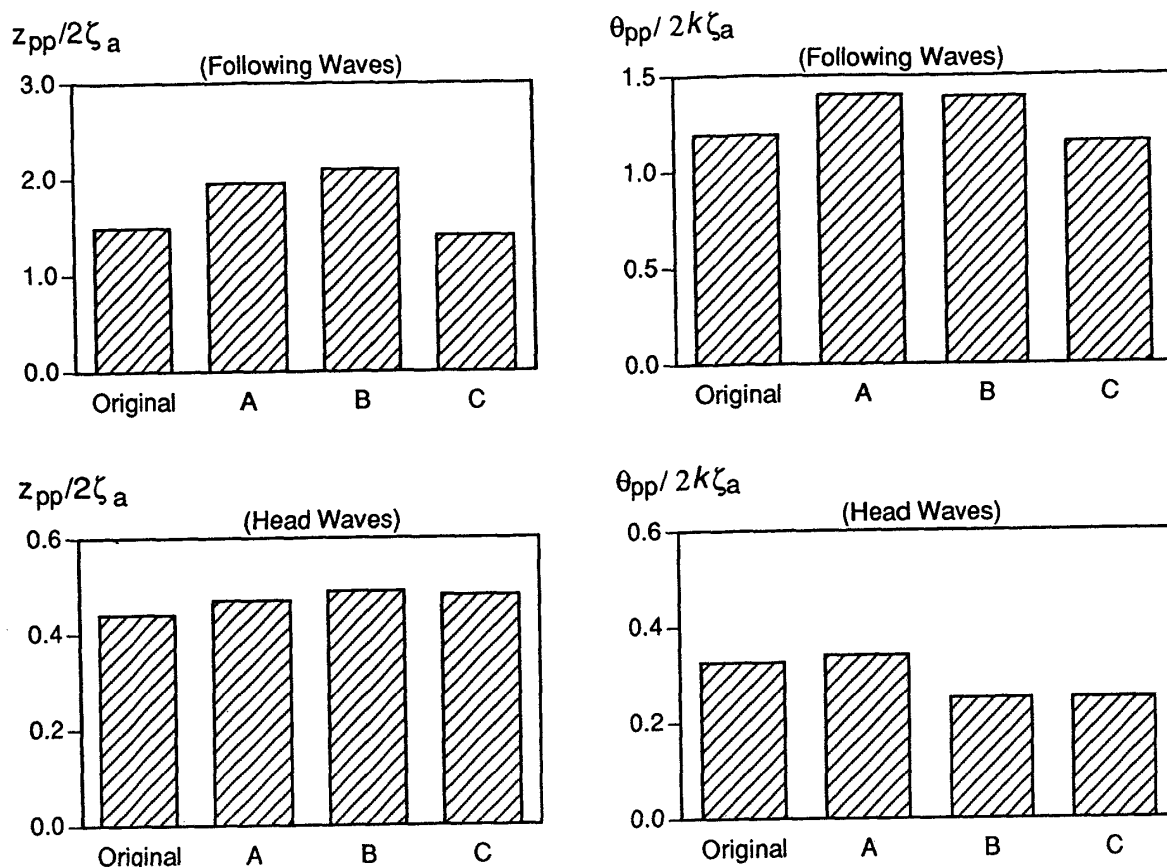


Fig. 16 Non-dimensional Peak-to-peak Amplitudes of Motions under Alternative Foil Configurations ($\lambda/L=2$, $H_w/L=0.06$)

向波および追波中について行った。ヒープとピッチのピーク値の無次元振幅を Fig. 16 に比較して示す。追波中での前翼露出防止をねらったケース A では、ねらいに反して前翼露出が起り、露出までの余裕が大きいぶんだけ、より勢いをつけて船首を水中に突っ込む形になり、運動は原案よりかえって大きかった。ピッチ安定性を高めたケース B とケース C は、向波中ではピッチ振幅が小さくなったものの、追波中ではやはり前翼露出が起り、露出までの余裕が大きいケース B は、ケース A と同様、運動が大きかった。

このように、今回検討した各ケースでは波浪中運動性能の顕著な向上は見られなかったものの、シミュレーションは水中翼を有する高速双胴船を設計するための有効な手段であると考えられる。

7. 結 言

本論文では、水中翼を有する高速双胴船の縦波中運動について、シミュレーション計算および水槽試験によりその特性を明らかにするとともに、両者の比較からシミュレーションの妥当性について検討を行った。また、水中翼制御による運動の抑制に関しても、シミュレーション計算およ

び水槽試験よりその可能性を検証した。本研究で得られた結論を要約すると、およそ以下の通りである。

- (1) 追波中における運動は、向波中の運動に比べて全体に大きい。供試船型では、波長船長比 $\lambda/L=2$ 前後で波高船長比 $H_w/L=0.06$ の大波高追波中において、前翼の空中露出を伴う大きな非線形運動が見られた。このことは、水中翼を有する高速双胴船では、通常の水中翼船と同様、追波中の運動特性に特に注意を払わなければならないことを示す。
- (2) シミュレーション計算結果は、水槽試験結果に見られる波長影響および波高の非線形影響を全体に良く説明しており、計算法の妥当性が確認された。
- (3) ピッチの振幅を水中翼の PD 制御によって抑制することを試みたところ、向波・追波中ともピッチを約 70% 軽減することができ、追波中の激しい非線形運動も回避することができた。また、その制御効果はシミュレーションと水槽試験で良く一致した。
- (4) シミュレーション計算により、翼配置の運動に及ぼす影響について検討した。今回検討した事例ではあまり顕著な影響は見られなかったが、シミュレーションは、翼の空中露出やスラミングの可能性と、翼

配置あるいは船型との関係を, 設計段階で把握するために有効な手段であると考えられる。

本報では, 水中翼を有する高速双胴船の縦波中の運動に焦点を絞り報告を行ったが, 次報においては, 横運動を含む6自由度の運動について考察したいと考える。

謝 辞

三井造船(株)船舶・海洋事業部, マリン事業部, および(株)三井造船昭島研究所の関係各位には, 本研究の機会を与えていただき, 発表をご快諾いただいた。有田義裕氏にはシミュレーションプログラムの作成にご尽力いただいた。八木光氏と石井規夫氏には, 有益なご討論・ご助言をいただいた。都丸裕司氏には原稿作成にご協力いただいた。ここに記して謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) D. E. Calkins: "HYCAT: HYBRID HYDRO-FOIL CATAMARAN CONCEPT", Ocean Engng, Vol. 11, No. 1(1984)
- 2) 宮田秀明他: 「新型双胴水中翼船の開発」(第1報～第3報), 日本造船学会論文集 第162号(1987), 第164号(1988), 第166号(1989)
- 3) 宮田秀明他: 「双胴水中翼実験船の定常直進航走試験」, 日本造船学会論文集 第170号(1991)
- 4) 大和裕幸他: 「双胴水中翼船の制御システム試験」, 日本造船学会論文集 第170号(1991)
- 5) 大坪英臣他: 「水中翼付き大型高速船の縦運動と縦強度」(第1報・第2報), 日本造船学会論文集 第168号(1990), 第170号(1991)
- 6) 梶 正和他: 「水中翼を持つ船体の波浪中運動推定」, 関西造船協会誌 第214号(1990)
- 7) 増山 豊: 「水中翼系の波浪中運動」, 関西造船協会誌 第196号(1985)
- 8) 高木幹雄, 山越康行, 池淵哲朗: 「船型と耐航性(第1章 船型と船体運動)」, 運動性能研究委員会第5回シンポジウム(1988)
- 9) 岡 正志, 斉藤泰夫, 黒井昌明: 「第3章 ハイドロfoil艇の航走安定及びその制御」, 運動性能研究委員会第6回シンポジウム(1989)
- 10) 浜本剛実, 榎本孝史, 真鍋秀一: 「水面貫通型ハイドロfoil艇の縦波中の運動制御について」, 関西造船協会誌 第217号(1992)
- 11) K. L. Wadlin et al.: "A Theoretical and Experimental Investigation of the Lift and Drag Characteristics of Hydrofoils at Subcritical and Supercritical Speeds", NACA Report 1232(1955)
- 12) S. F. Hoerner: "Fluid-dynamic Lift (second edition)", Hoerner Fluid Dynamics (1985)