

高速滑走艇の発進加速性能について

正員 片 山 徹* 正員 池 田 良 穂*

Acceleration Performance of High-Speed Planing Craft from Rest

by Toru Katayama, *Member* Yoshiho Ikeda, *Member*

Summary

In this study, the performance of a high-speed planing craft during rapid acceleration from rest is investigated, following series studies on the performances in steady running condition including ship motions due to instability in calm water.

Measurement of running attitude of a model of planing craft during acceleration from rest is carried out to compare with that in running at constant speed. The results show the force component which is proportional to acceleration is important as well as a conventional displacement ship. Measurements of hydrodynamic forces acting on it during acceleration suggest, however, that the added mass component does not play an important role because it is much smaller than the inertia force and the steady drag components which are proportional to square of advanced speed.

A computer simulation program to predict this performance is developed using a motion equation with experimental and theoretical hydrodynamic coefficients. The results of the simulation are in fairly good agreement with the experimental ones. It is shown that the procedure can simulate unsteady motions like porpoising in accelerating condition as well as in steady running condition.

1. 緒 言

近年、レジャーやパトロールによく用いられるようになっているPWC (Personal Water Craft の略) と呼ばれる小型滑走艇は、非常に小さな船体に大きな推進機を搭載し、その速力は100km/hを超え、フルード数で6.0以上にまで達している。

筆者らは、このような高速域で使用する滑走艇の性能分析法として、抵抗特性については系統的に姿勢を変化させた完全拘束模型試験によって船体に働く流体力を計測し、そのデータを用いたシミュレーションにより、定常航走時の姿勢や抵抗が精度よく推定できることを示した³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。さらに、この定常流体力の計測値と、船体運動理論における定常振動時の流体力の計算値を援用することにより、ポーポイジングなどの動的不安定に

基づく運動についても推定可能であることを報告した⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

これらはいずれも一定速度で直進航走しているときの性能であるが、この種の滑走艇は、発進からフルード数6.0という超高速域まで一気に加速する性能を備えており、設計の段階において、発進加速時の抵抗特性、航走姿勢、不安定運動発生の有無等を予測することが重要となっている。そこで筆者らは、これまでの提案してきた定常状態での性能分析手法とほぼ同様の方法で、停止から一気に加速する場合の過渡的状態における抵抗、姿勢、運動を推定することを試み、ほぼ満足する結果が得られたので以下に報告する。

2. 流体力成分の影響

発進加速時の抵抗特性を考える場合に、定常航走時と大きく違うところは、船体質量に働く慣性力および流体から受ける付加慣性力(付加質量力)があることである。排水量型の船舶の場合には、これらの力が非常に重要な役割を演じることは、元良による研究¹⁾や仲渡らの研究²⁾などでも明らかにされている通りである。しかしなが

* 大阪府立大学工学部

原稿受理 平成11年1月11日

春季講演会において講演 平成11年5月12, 13日

ら、小型滑走艇のように質量が小さく、また加速中に航走姿勢が大きく変化する場合には、これらの力が船の発進加速性能にどのような寄与をするのかについては、研究例もほとんどなく判っていない。そこで、まずこれらの力の寄与についての検討を行った。

2.1 加速時の姿勢変化の計測

まず、模型試験により、発進加速時の姿勢変化および抵抗の計測を行った。

供試模型は、レジャー用小型滑走艇をモデルにしたハードチャイン型滑走艇の4分の1模型であり、船体後半がデッドライズアングル一定のモノヘドロン型である。また、船長船幅比は $L_{OA}/B=2.825$ と幅広の船型をしており、その結果船首部分は尖っておらずかなりの丸みを帯びている。その正面線図および主要目を Fig.1 に示す。

同模型を上下揺れおよび縦揺れを自由とした状態で、無人高速台車³⁾により曳航した。発進後加速度を 5m/s^2 の一定値に保ち、速度 12m/s まで達した時点で定常速度とした。このときの姿勢の計測値を Fig.2 に示す。同図中には、定常航走状態での流体力データベースを用いて、3 分力の釣り合い姿勢を算出した結果⁴⁾⁵⁾⁶⁾も示す。この結果は、発進加速時の姿勢の計測結果と同シミュレーション結果には大きな違いがあることを示しており、この原因の主なものとは加速度に伴う慣性力および付加質量力であると考えられる。

2.2 前進加速度による付加質量力の計測

つぎに付加質量力の中では、もっとも重要と考えられる前進加速度による成分を実験的に調べた。

実験は、完全拘束した模型船を加速度一定の状態でも曳航し、そのときに模型に働く抵抗、揚力、トリムモーメントを3分力計を用いて計測した。なお実験にあたっては、模型船のトリム角 τ (deg.)、浮上量 H (mm)、前進加速度 $\ddot{x}$ (m/s^2) を系統的に変化させた。また、停止時に各流体力の零点をとり、航走時に働く動的流体力のみを計測した。実験状態図を Fig.3 に示す。

計測データの一部を Fig.4~6 に示す。この計測結果から各方向の付加質量力を求めるために、流体力が加速度に比例する成分と速度の2乗に比例する成分（以下定常成分と呼ぶ）の和として、次式で表されると仮定する。

$$\text{抵抗: } F_{x\ddot{x}} = (a_{11} + m)\ddot{x} + \frac{1}{2}\rho S C_D \dot{x}^2 \quad (1)$$

$$\text{揚力: } F_{y\ddot{x}} = a_{31}\ddot{x} + \frac{1}{2}\rho S C_L \dot{x}^2 \quad (2)$$

$$\text{トリムモーメント: } M_{G\ddot{x}} = (a_{51} + m z_G)\ddot{x} + \frac{1}{2}\rho S L_{OA} C_M \dot{x}^2 \quad (3)$$

ここで m は船体質量（取り付け治具などを含む）、 z_G は船体重心から検力点までの距離、 S は浸水表面積、 L_{OA} は全長を表す。また、定常成分中の抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、トリムモーメント係数 C_M は、一定速度での曳航

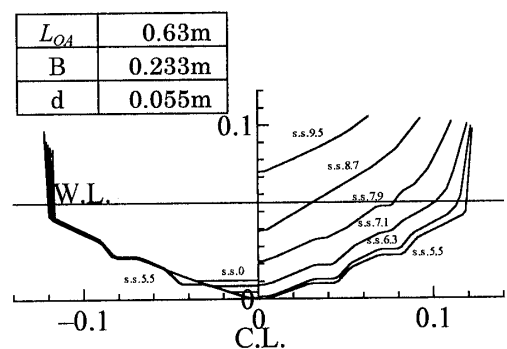


Fig.1 Body plan of model.

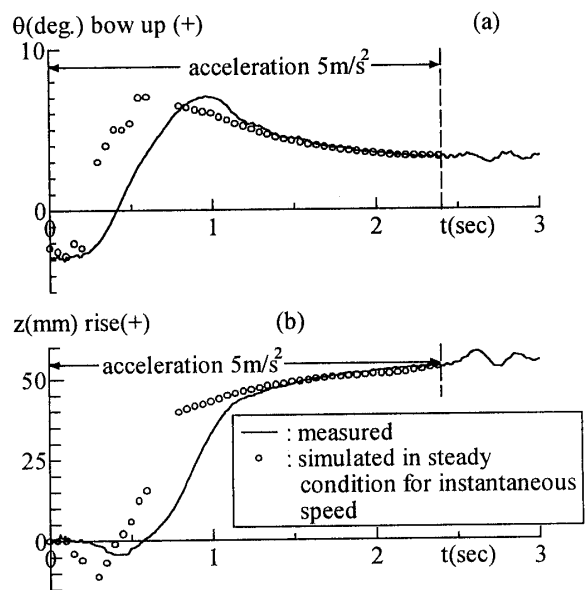
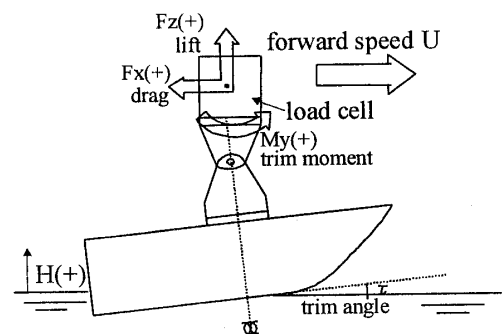


Fig.2 Comparisons of running attitude during acceleration with those in steady advance speeds.



the center of load cell:
midship and 0.322m height from baseline
the center of trim:
midship and 0.11m height from baseline

Fig.3 Schematic view of experiment.

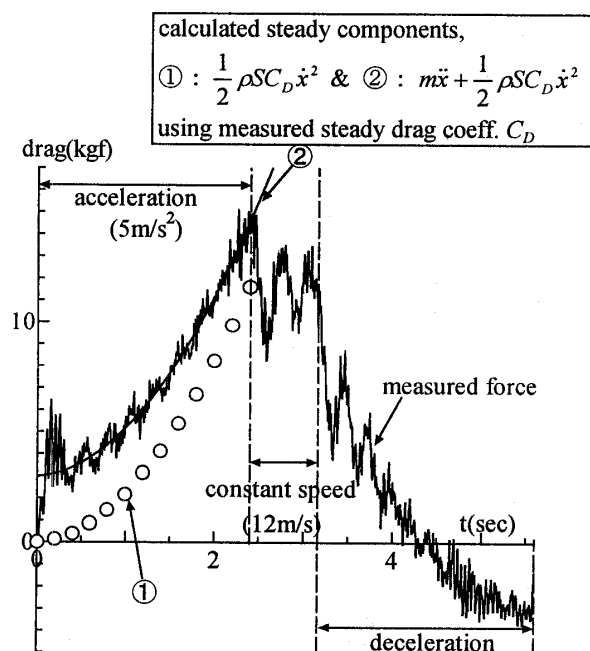


Fig.4 Time history of measured hydrodynamic drag at 3deg. in trim and 20mm in rise.

試験によって得られた値を使うこととする。船体の慣性力および定常成分の計算値を Fig.4~6 にプロットすると(図中の②), 実験値の平均値とほぼ一致することがわかる。計測値との微小な差から, 各付加質量係数(a_{11} , a_{31} , a_{51})を求めた結果を Fig.7~9 に示す。なお, 表示にあたっては以下のような無次元化を行っている。

$$\text{抵抗成分: } \hat{a}_{11} = \frac{a_{11}}{\rho \nabla} \quad (4)$$

$$\text{揚力成分: } \hat{a}_{31} = \frac{a_{31}}{\rho \nabla} \quad (5)$$

$$\begin{array}{l} \text{トリム} \\ \text{モーメント成分: } \hat{a}_{51} = \frac{a_{51}}{\rho \nabla L_{OA}} \end{array} \quad (6)$$

また, 上式中の ∇ は各姿勢での水面下体積(平水中)であり, Table 1 に示す。

付加質量係数 a_{11} の前進加速度に対する依存性を Fig.7 に示す。同図から付加質量係数は前進加速度の大きさに関係なくほぼ一定となることがわかる。また, 同図中に元良チャート¹⁾から得られた値も同時に示す。なお, 喫水船幅比および船長船幅比がチャート外となるものに対しては補外して求めた。計測値は元良チャートによる推定値と同程度の大きさであることがわかる。

付加質量係数の揚力成分 a_{31} およびトリムモーメント成分 a_{51} の前進加速度に対する依存性を Fig.8 および Fig.9 に示す。同図より, これらの係数 a_{31} , a_{51} もまた前述の a_{11} と同様に前進加速度に依存せずほぼ一定値となることがわかる。

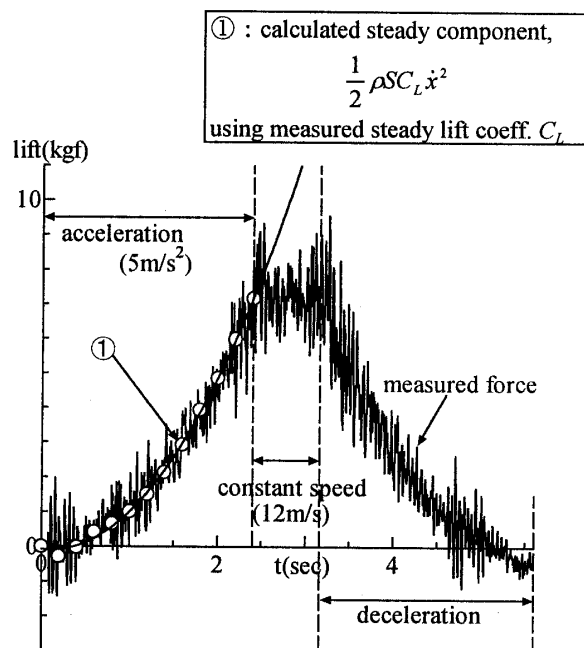


Fig.5 Time history of measured hydrodynamic lift at 3deg. in trim and 20mm in rise.

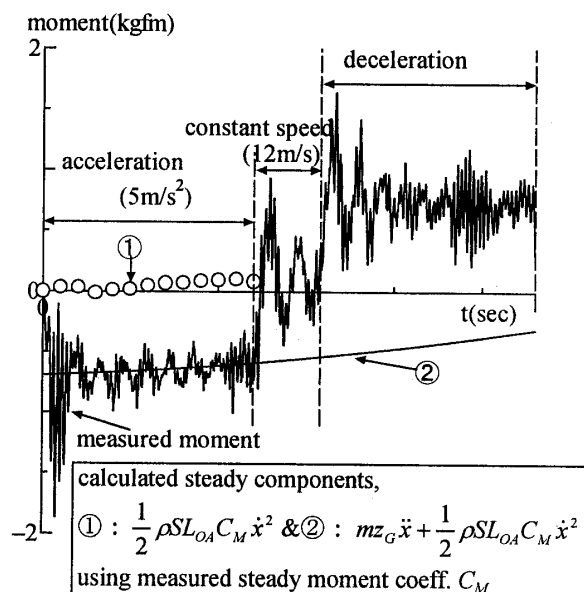


Fig.6 Time history of measured hydrodynamic trim moment at 3deg. in trim and 20mm in rise.

Table 1 Under water volume of model for each measurement.

		unit: $\times 10^{-3} \text{m}^3$			
trim	rise	0°	3°	5°	7°
	0mm	4.003	4.259	4.534	4.827
	10mm	2.841	3.132	3.442	3.760
	20mm	1.824	2.121	2.443	2.775
	30mm	0.999	1.261	1.573	1.912

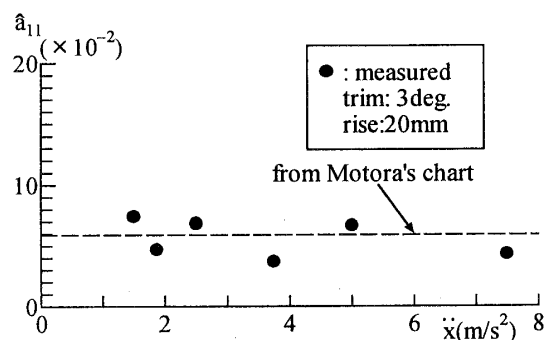


Fig.7 Measured non-dimensional added mass coefficient a_{11} for various accelerations.

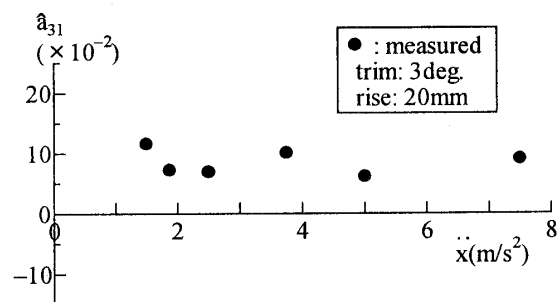


Fig.8 Measured non-dimensional added lift coefficient a_{31} for various accelerations.

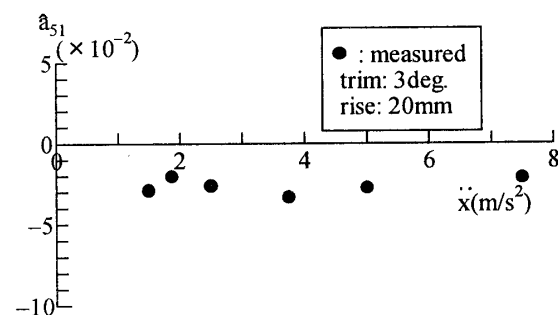


Fig.9 Measured non-dimensional added moment of inertia coefficient a_{51} for various accelerations.

2.3 各成分の構成比

発進加速運動時に船体に働く定常流体力（動的流体力成分および浮力成分を含む）、付加質量力、質量力の構成比を求めたものを、Fig.10～12に示す。ただし、各力の絶対値をとっている。横軸には、瞬時瞬時の前進速度をフルード数で示した。Fig.10およびFig.12から、発進直後のフルード数の小さな領域では付加質量力の占める割合が1割程度となる場合があるが、前進速度が高くなるにしたがってその割合は低くなり、フルード数が2以上ではおおむね無視できるほど小さいことがわかる。

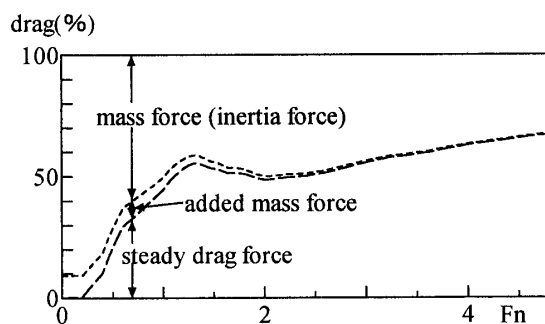


Fig.10 Contribution of each force component to total drag force.

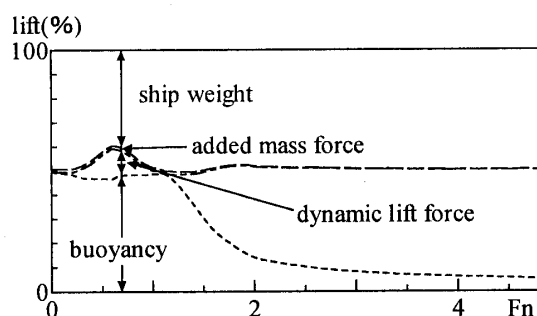


Fig.11 Contribution of each force component to total lift force.

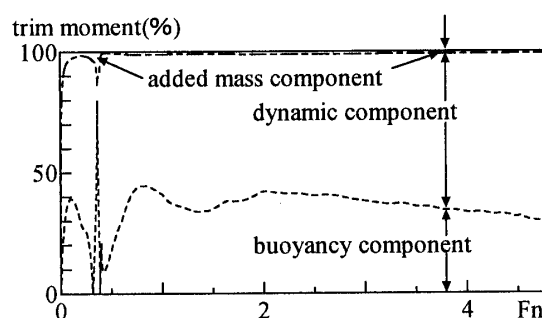


Fig.12 Contribution of each moment component to total trim moment.

3. 発進加速時のシミュレーションモデル

高速滑走艇の発進加速状態での抵抗、姿勢および不安定運動発生の有無を求めるためのシミュレーション・プログラムの開発を行った。用いた手法は、耐航性能分野における船体運動理論をベースとしており、運動方程式中の各流体力係数には実験値もしくは理論計算値を適宜用いることとした。

3.1 運動方程式

運動方程式としては、上下変位とトリム角の変化を考慮に入れて、3自由度の運動方程式を用いることとした。座標系としては、発進地点（前進速度零の地点）においての船体の重心位置を原点とした空間固定座標系での、

船体の水平および鉛直方向変位 x, z (前進方向および鉛直下方が正) を, また縦揺れ角 θ (船首上げ正) については各瞬間における平均的な重心位置を原点とした船体固定座標系を考える.

$$[I]\ddot{\vec{x}} + [B]\dot{\vec{x}} + [C]\vec{x} = \vec{F} \quad (7)$$

$$[I] = \begin{bmatrix} a_{11} + m & a_{13} & a_{15} \\ a_{31} & a_{33} + m & a_{35} \\ a_{51} & a_{53} & a_{55} + I_{55} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{13} & B_{15} \\ B_{31} & B_{33} & B_{35} \\ B_{51} & B_{53} & B_{55} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{13} & C_{15} \\ C_{31} & C_{33} & C_{35} \\ C_{51} & C_{53} & C_{55} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\vec{x} = \begin{Bmatrix} x \\ z \\ \theta \end{Bmatrix}, \quad \vec{F} = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_z \\ M_t \end{Bmatrix} \quad (11)$$

ここで, (7)式中の $[I]$ は慣性力係数行列, $[B]$ は減衰力係数行列, $[C]$ は復原力係数行列を示す. なお, 添え字 ij は, j 方向運動時に i 方向に働く流体力係数であることを示し, i および j は 1, 3, 5 (順に, 前後運動, 上下運動, 縦運動) である. m は船体質量, I_{55} は縦揺れの慣性モーメントを示す. 右辺の外力項は, 推力によって生じる力 (前後力, 上下力, モーメント) を示している.

3.2 流体力の決定方法

運動方程式(7)中の流体力を, 定常航走時に船体に働く定常流体力, 前進加速度に伴って生じる付加質量力, 上下揺れおよび縦揺れの運動によって船体に生じる非定常流体力の3つに分けて考える.

定常流体力には, 平水中における定常速度での完全拘束曳航試験³⁾⁴⁾⁸⁾の結果を用いる. 同試験では, 船体の姿勢 (沈下量, トリム角) および前進速度を系統的に変化させて抵抗 F_{xx} , 揚力 F_{xz} , トリムモーメント M_{Gx} の3分力を計測している. これらの実験データおよび排水量計算による浮力 F_{zB} と浮力によるトリムモーメント M_{GB} をくわえて運動方程式(7)中の次式に相当する流体力が得られる.

$$B_{11}\dot{x} + C_{13}z + C_{15}\theta = F_{xx} \quad (12)$$

$$B_{31}\dot{x} + C_{33}z + C_{35}\theta = F_{xz} + F_{zB} \quad (13)$$

$$B_{51}\dot{x} + C_{53}z + C_{55}\theta = M_{Gx} + M_{GB} \quad (14)$$

付加質量力は, 2.2 節に述べた平水中定常加速度完全

拘束曳航試験によって得られる流体力係数 a_{11}, a_{31}, a_{51} を用いて推定する.

運動に基づく非定常流体力については, 理論計算法を用いて上下運動と縦運動の付加質量係数および減衰力係数を算出する. 計算手法は, ポテンシャル理論に基づく時々刻々と変化する水面下断面形状を考慮した非線形流体力計算法¹¹⁾¹²⁾である. また, ポテンシャル理論では考慮されていない鉛直方向の動的揚力によって生じる減衰力についても, 著者らが提案している簡易推定式¹⁰⁾を用いて考慮する. 以上で, (8)~(9)式中の流体力係数 $a_{33}, a_{35}, a_{53}, a_{55}, B_{33}, B_{35}, B_{53}, B_{55}$ が求められることになる.

C_{11}, C_{31}, C_{51} は前進方向の変位に伴う流体力を意味するが, 存在しないので流体力係数はゼロである. また $a_{13}, a_{15}, B_{13}, B_{15}$ は, 上下揺れおよび縦揺れの速度および加速度によって生じる前後方向の流体力を意味するが, 微小であると仮定して, 無視することとした.

3.3 数値計算手法

計算にあたっては4次のルンゲ・クッタ法を用いることとした. また, 計算ステップは $\Delta t = 0.50 \text{ msec}$ とし, 計算時間は発達加速時間の2倍までとした. なお, 流体力の計算において, 非定常流体力中のポテンシャル理論に基づく成分には周波数応答関数を用いているため, 4分の1周期ごとに繰り返し計算を行うことによって, シミュレーションによって得られる運動の周波数と流体力の周波数を一致させた.

4. 加速発達時航走姿勢シミュレーション

4.1 シミュレーション結果と実験値の比較

シミュレーション結果の精度を調べるために, 模型船による実験値との比較を行った. 実験では, Fig.13(d)に示すように静止状態から加速度一定の状態に加速し, 定常状態に至るように模型船を曳航しているので, シミュレーションにおいてもこれと同じ加速度を与えて航走姿勢の変化および曳航力を計算した. また, 付加質量力の航走姿勢に及ぼす影響を調べるために, 付加質量力を考慮した場合 (図中 cal.2) と考慮しない場合 (図中 cal.1) についての計算を行った.

姿勢の結果を Fig.13(a)(b)に, 曳航力の結果を Fig.13(c)に示す. 姿勢のシミュレーション結果は, 付加質量力の考慮の有無にかかわらず, 実験値と定性的にも定量的にもほぼ満足できる一致を示していることがわかる. 付加質量力の影響は発達後1秒までの, 図中の cal.1 と cal.2 の結果を比べると, 航走姿勢が大きく変化するときのみわずかに現れており, 2.2 節で述べた流体力の構成比からの考察結果とよく符合していることがわかる. この結果から, 実用上付加質量力を無視しても問題ないが, 発達直後の上下運動まで精度良く推定するためには前進加速度に基づく付加質量力3成分 (抵抗, 揚

力, トリムモーメント)を考慮するほうが望ましいと言える。

Fig.13(a)(b)に示す姿勢のシミュレーション結果を詳細に見ると, 発進後の航走姿勢が急変するときに, とくにトリム角の変化にハンプ・ホローが確認でき, 縦揺れの運動が発生していることがわかるが, この運動は実験値には見られない。この運動の発生原因は, 低速における定常状態での流体力の計測結果の精度が悪く, 得られた流体力係数に大きなばらつきがあることによるものであり, 同様の原因に基づく計算値の問題点が Fig.2 に示す定常航走姿勢のシミュレーションの結果(図中丸印 $t=0.5$ 秒付近)にも現れている。また, Fig.13(a)(b)のシミュレーション結果には, 加速終了後の定常航走に移った瞬間から始まる上下揺れと縦揺れの連成運動がみられない。実験値に現れているこの運動は, 加速終了時に質量力(慣性力)が突然ゼロとなることに起因する振動であり, 時間の経過とともに減少していく減衰振動であるが, シミュレーションではこの運動が一瞬で減衰しており, シミュレーション中で用いた縦揺れおよび上下揺れの減衰力の推定値が過大になっているものと考えられる。

Fig.13(c)に示す曳航力のシミュレーション結果は, 実験値とよく一致していることがわかる。

4.2 発進加速度の影響

発進加速度を系統的に変えた場合のシミュレーション結果を Fig.14 に示す。加速度が大きくなると初期の沈下量が減少し, 一気にトリム角の最大値に到達することがわかる。また, 加速度が大きい 5m/s^2 の場合には, 加速中のトリム角および浮上量がピークを迎えた後に, 周期の短い運動が生じており, これは発進ポーポイズングの一種と考えられる。この周期の短い運動は次第に減衰しており, 振動学的には減衰振動であると考えられる。この加速時の運動のメカニズムは, 前進速度の増加により定常流体力の釣り合い姿勢が急激に変化することにより起因する過渡振動と考えられ, 著者らが先に示した連成振動系の自励振動である定常航走時のポーポイズング⁷⁸⁾⁹⁾とは性質の異なるものである。

4.3 重心位置および船体重量の影響

発進加速時の姿勢変化および不安定運動の発生に及ぼす船体重量および重心位置(高さおよび前後位置)の影響をシミュレーションによって調査した。シミュレーションでは Fig.15 に示すような推力軸が水平な航走モデルを用いた。なお, シミュレーションを行った状態は, Table 2 に示す状態 A~H であり, 発進からの加速度は 5m/s^2 の一定値で, 12m/s に達した時点で一定速度へと移行させた。

Fig.16 に船体重量の異なる状態 A と B との航走姿勢の違いを示す。状態 A のほうが状態 B よりも 7% 船体重量が重く, 喫水が 3mm だけ深い。静止時のトリム角は同じである。シミュレーション結果から, 加速時の

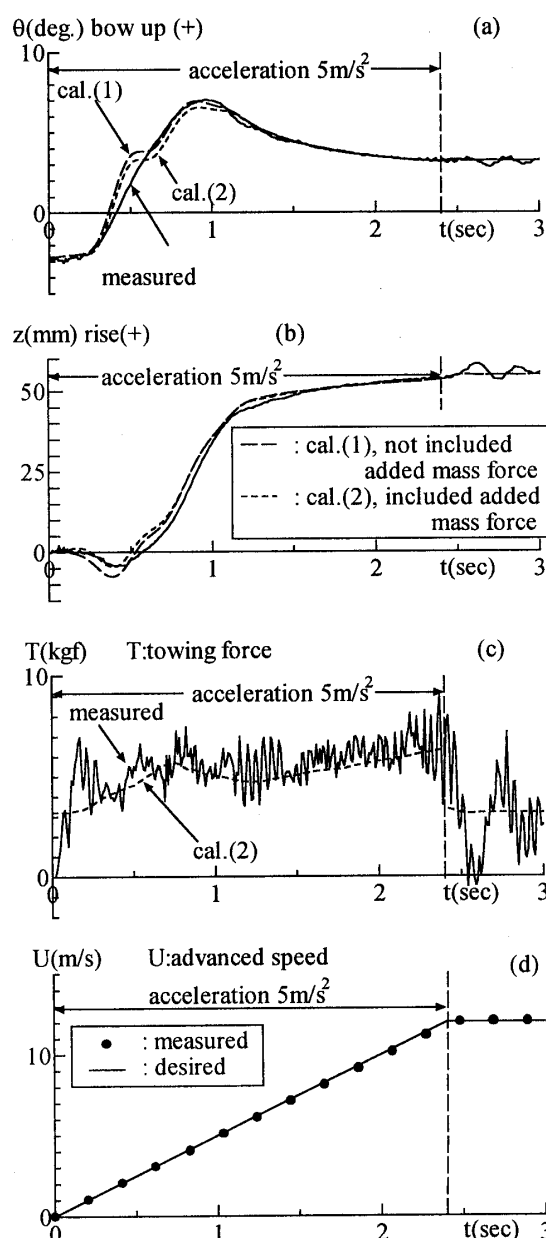


Fig.13 Comparison between simulated and measured running trim angle, rise during and towing force accelerating motion from rest at condition A in Table 2.

トリム角は $t=1$ 秒前後に現れるピーク付近において, 船体重量の小さい状態 B のほうが若干小さくなっていること, 浮上量については加速後半から状態 B のほうが若干小さくなり, この差が定常航走になっても残ることがわかる。

Fig. 17 には, 重心高さの航走姿勢および曳航力(推力)に及ぼす影響を調べた結果を示す。状態 D, C, A と重心位置を順次高くしても, 当然のことながら静止時および定常航走時の姿勢には変化が見られない。しかし, 発進加速中はトリム角, 浮上量ともに重心が高いほど大きくなっている。これは, 重心が高いほど推力による重心

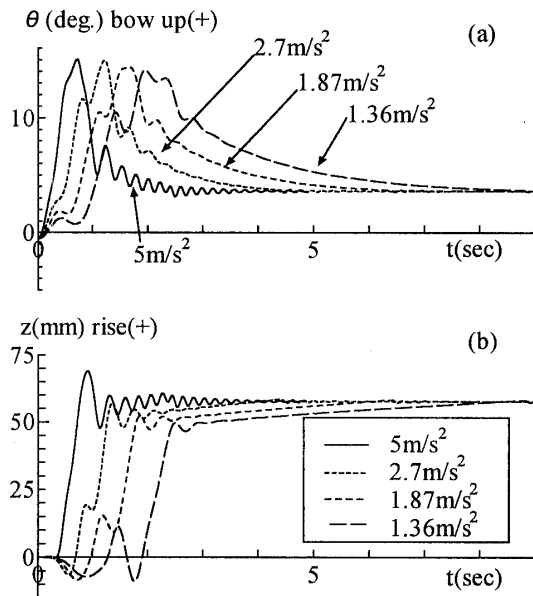


Fig.14 Comparison of the results of simulated running trim angle and rise for different accelerations at condition H in Table 2.

Table 2 Ship conditions for simulations.

condition	KG (m)	LCG (m)	W (kgf)	KT (m)	LCT (m)
A	0.09	0.275	5.75	0.094	0.504
B	0.09	0.275	5.37	0.094	0.504
C	0.06	0.275	5.75	0.094	0.504
D	0.044	0.275	5.75	0.094	0.504
E	0.09	0.255	5.75	0.094	0.504
F	0.09	0.235	5.75	0.094	0.504
G	0.09	0.215	5.75	0.094	0.504
H	0.09	0.255	5.75	0.034	0.255

KG: height of the center of gravity

LCG: longitudinal distance of the center of gravity from transom

W: ship weight

KT: height of towing point from base line

LCT: longitudinal distance of towing point from transom

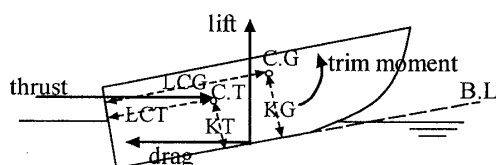


Fig.15 Forces acting on a model in simulation.

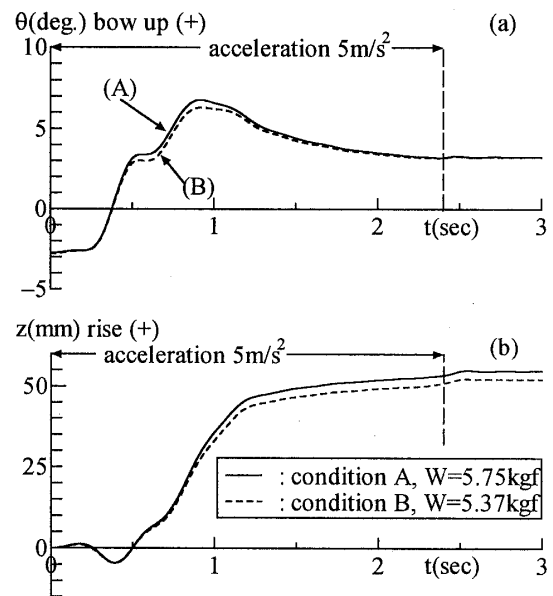


Fig.16 Effect of ship weight on running trim angle and rise.

まわりのモーメントが増加して、トリム角が大きくなり、それに伴う揚力の増加により船体が浮上するためと考えられる。また、重心位置が低い場合に、発進直後の船体沈下が増加し、またトリム角が減少する現象が見られる。推力の結果からは、姿勢が大きく変化する $t=0.5 \sim 1$ 秒においてピークを持ち、このピーク値は重心位置が高い程低くなっている。これは重心位置が高い程、航走トリム角が大きく、浮上量も大きいため、排水容積および浸水表面積が減少したため抵抗が小さくなることによるものと思われる。

Fig.18 には、重心の前後位置、すなわちインシャルトリムが航走姿勢および推力に及ぼす影響を調べた結果を示す。状態 D, E, F, G と重心を船体後方へ移動させるに伴い、発進後のトリム角のピークが大きくなり、それに伴い浮上量も増加する。その結果推力は、重心が船体後方にあるほうが低い値となる。しかし、もっとも重心位置が後方の状態 G では、加速中に Fig.14 に見られる運動と同様の減衰振動(過渡振動)が見られ、さらに定常状態においてもポーポイジング⁷⁸⁾⁹⁾が発生する。

5. 結 言

前進加速時に船体に働く流体力の特性について実験的に調べ、さらに加速発進時航走姿勢シミュレーション法を開発し、滑走艇の加速性能について考察を行った結果、以下の結論が得られた。

- 1) 前進加速に伴う付加質量力は、発進直後の低速域において上下運動に若干の影響を与えるが、その他の力に比べて小さく、おおむね無視できる。
- 2) 本論文で提案する流体力モデルを用いたシミュレ

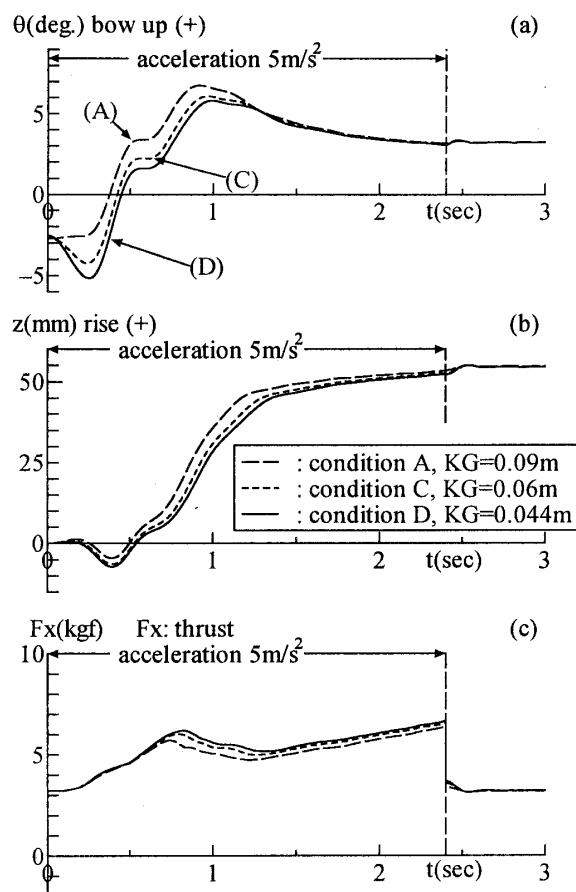


Fig.17 Effect of KG on simulated running trim angle, rise and thrust.

ーション法は、加速発進時の船体姿勢変化を十分な精度で推定できることが模型実験結果との比較により確認された。

- 3) 本シミュレーション法により、定常航走時のポーポイジングや発進ポーポイジングといった滑走艇特有の不安定現象の発生を大略予測することができる。

謝 辞

最後に、本研究を行うにあたり貴重なご意見を賜りました川崎重工業(株)池淵哲朗氏ならびに梶正和氏に心から感謝の意を表します。なお本研究には、文部省科学研究費補助金(08555248)を受けたことを付記し関係各位に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 元良誠三：船体運動に対する付加質量及び付加慣性モーメントについて—その2前後動に対する付加質量—, 日本造船学会論文集, 第106号, 1960, pp.59—62.
- 2) 仲渡道夫, 小瀬邦治, 寺本定美, 島宗誠一：船の加

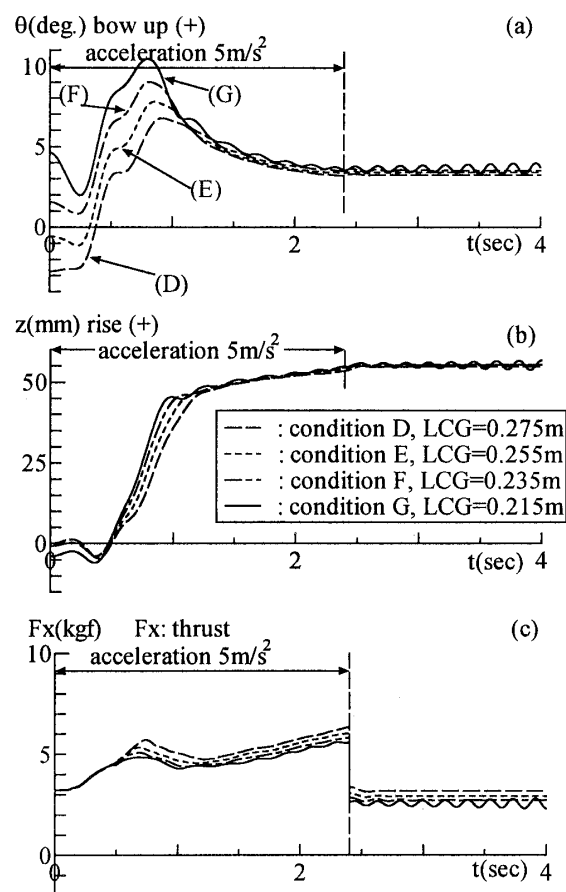


Fig.18 Effect of LCG on simulated running trim angle, rise and thrust.

減速運動に関する実験的研究(第1報), 日本造船学会論文集, 第140号, 1976, pp.77—88.

- 3) 池田良穂, 石部達也, 梅田直哉, 浜崎準一：小型高速艇に働く流体力に関する研究, 関西造船協会誌, 第218号, 1992, pp.111—120.
- 4) 横溝幸治, 池田良穂：流体力データベースを使用した高速艇の航走姿勢シミュレーション, 関西造船協会誌, 第218号, 1992, pp.101—110.
- 5) 池田良穂, 片山徹, 山下保己, 大塚耕司, 前田孝雄：高速艇の性能試験に関する研究(第一報)—高速曳航試験システムの開発—, 関西造船協会誌, 第223号, 1995, pp.43—48.
- 6) 池田良穂, 西田玄, 片山徹, 山口義則, 新名二郎, 大島健：高速艇の性能試験に関する研究(第2報)—超高速滑走艇シリーズ模型に働く流体力の計測—, 関西造船協会誌, 第226号, 1996, pp.77—84.
- 7) 片山徹, 池田良穂：高速滑走艇の縦不安定現象に関する基礎的研究(第1報), 関西造船協会誌, 第226号, 1996, pp.127—134.
- 8) 片山徹, 池田良穂, 大塚耕司：高速滑走艇の縦不安定現象に関する基礎的研究(第2報), 関西造船協会誌, 第227号, 1997, pp.71—78.

- 9) 片山 徹, 池田良穂: 高速滑走艇の縦不安定現象に関する基礎的研究 (第3報), 関西造船協会誌, 第228号, 1997, pp.149—156.
 - 10) 池田良穂, 片山徹, 田嶋慎一郎: 高速滑走艇の横揺れおよび上下揺れ減衰力の揚力成分の一推定法, 関西造船協会誌, 第229号, 1998, 105—110.
 - 11) 山本善之, 藤野正隆, 深沢塔一: 非線形性を考慮した波浪中の船体縦運動および縦強度, 日本造船学会論文集, 第143号, 1978, pp.179—187.
 - 12) M.Takaki, X..Lin and M.Ideguchi: A Practical Prediction Method of Ship Motions with Large Amplitude, Proceedings of Third Korea-Japan Joint Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics, 1996, pp.141—148.
-