

(昭和 60 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

## 耐航型高速艇新船型の開発研究

正員 木 原 和 之\*

田 沢 勝\*\*

Development of a New Hull Form with Semi-Submerged Bow for High Speed Craft

by Kazuyuki Kihara, *Member*

Masaru Tazawa

## Summary

To improve seakeeping quality some advanced high speed crafts have been developed and in service. However, in view of total performance including building cost, operation and maintenance cost, they are not satisfactory in commercial use. Under this circumstance, a new type of high speed craft having a submerged torpedo-shaped body under the bow bottom of conventional monohull high speed craft was developed. This new type of craft with Semi-Submerged Bow (SSB) has improved seakeeping quality with comparable total performance of conventional monohull type high speed craft. In this present paper, procedure in developing this new type of craft are explained.

First, as a preliminary study, theoretical calculations were made before tank tests to confirm effect of a submerged body for the reduction of ship motion in waves.

Next, preliminary tank tests were carried out in waves with two small models of 1.4 m in length (SSB and Conventional monohull) towing at the same time in parallel position to compare directly the seakeeping quality of SSB and conventional monohull and hull resistance of two models were also measured to evaluate propulsive performance.

Based on this preliminary study, an initial design of a large high speed passenger craft of SSB hull form was made.

Then, applicability of this type of hull form to actual ship was confirmed with some additional experiments by use of small models.

Finally, tank tests were carried out by use of a 3.8 m self-running model to evaluate quantitatively both seakeeping quality and propulsive performance.

It was found from the test results that the bow acceleration in waves was reduced considerably and the effective horse power was almost comparable to conventional monohull in the speed range of conventional use.

## 1 緒 言

近年、交通機関の高速化に伴って、離島航路など外洋においても大型高速艇が導入される気運にあり、一部ではすでに実現している航路もある。しかしながら、外洋における航路においては、特に旅客艇の場合、主として乗心地など耐航性能の面より就航航路が限定されるため、一般的には通常型高速艇では十分に対応できない状況にある。したがって、高速艇の耐航性能を向上せしめるために、従来より種々の新船型や船体運動制御装置などについての開発研究が行われてきており、すでに実用

化されているものもあるが、通常型船型と比較した場合、建造費の増大、維持費や燃料費の増大などを伴うため、特殊な条件を有する航路を除いては、一般化されていない。

すなわち、真に実用に供しうる耐航性能良好な高速艇は、単に耐航性能だけでなく、建造費および維持費が安いこと、推進性能良好で燃料費が安いことなど、その経済性が優れていなければならない。もしこのような船型が開発実用化された場合は、外洋航路における高速旅客艇の就航隻数の急増が期待されるだけでなく、外洋型のパトロールボートなどにも適用される可能性を有することになる。本研究は、このような良好な耐航性と経済性の両立しうる新しい形式の高速艇の開発を目的として実施

\* 三菱重工業(株) 下関造船所

\*\* 三菱重工業(株) 長崎研究所

されたもので、建造費や維持費を通常型高速艇と同程度に保持するため、耐航性能向上用の特別な制御装置などを装備せず、単に船体形状を工夫することによって、達成することとしたもので、同時に良好な推進性能を有する通常型高速艇の特徴を併せ持つこととした。基本的な考え方としては、乗心地の重要な要素である船体縦運動の軽減を図ろうとするものである。すなわち、通常型高速艇の縦運動は船首部が最も大きいため、これを抑制することによって艇全体の運動を軽減しうる可能性があることに着目し、船首船底部に船首部の上下動を抑制すべく、魚雷形の没水体を装着したものである。この新船型（以下 SSB 船型：Semi-Submerged Bow と呼称する）は、船首部のみが通常型高速艇と異なっているだけで、船体中央部および船尾部は、ほぼ通常船型と同じである

ため、推進性能の面においても、通常船型と同程度の性能が期待でき、経済的な船型となる可能性を有している。ただし、船首部の運動を抑制することによって、通常型では少ない船尾部の波浪中縦運動が増大し、全体性能としては通常型に比べてかえって悪化する危険も考えられるため、開発にあたってはその点について十分の配慮を行った。

まずはじめに理論検討によって開発の可能性のあることを確認したあと、小型模型による予備試験を行い、併せて実艇を想定した配置設計の検討をも加えて、実用艇として供しうることを確認した上で大型模型による水槽試験を行うという手順を採った。検討の結果、新型高速艇船型（SSB 船型）は、期待通りの耐航性能を有し、かつ推進性能および建造費、維持費の面においても通常型

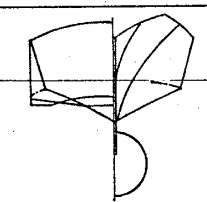
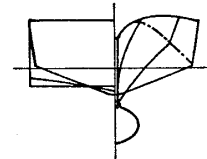
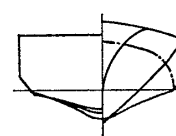
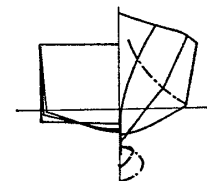
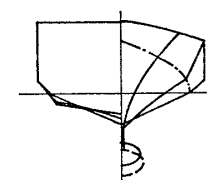
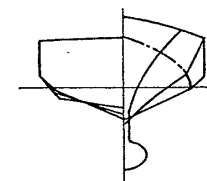
| NO. |     | SUBMERGED BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = \frac{\text{VOL. OF SUB. BODY}}{\Delta \text{ TOTAL VOL.}}$ | HULL FORM                                                                           | PARTICULARS |        |      |              |
|-----|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|------|--------------|
|     |     |                                                                                                               |                                                                                     | LWL(m)      | BWL(m) | d(m) | $\Delta$ (t) |
| A   |     | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>LARGE BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 25 \%$                                 |   | 40.0        | 8.0    | 4.0  | 300          |
| B   |     | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>LARGE BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 20 \%$                                 |  | 35.0        | 9.0    | 4.0  | 200          |
| C   |     | CONVENTIONAL<br>HULL                                                                                          |  | 45.0        | 8.2    | 1.45 | 200          |
| D   | D-1 | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>LARGE BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 16 \%$                                 |  | 43.0        | 8.6    | 4.0  | 200          |
|     | D-2 | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>SMALL BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 6 \%$                                  |                                                                                     |             |        |      |              |
| E   | E-1 | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>LARGE BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 10 \%$                                 |  | 45.0        | 8.2    | 4.0  | 200          |
|     | E-2 | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>SMALL BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 6 \%$                                  |                                                                                     |             |        |      |              |
| F   |     | SSB TYPE HULL<br>WITH<br>LARGE BODY<br>$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 10 \%$                                 |  | 39.5        | 7.2    | 3.5  | 135          |

Fig. 1 Summary of Hull Forms and Particulars on the Development

高速艇と同程度であることが確認され、実用艇としての見通しを得たのでここに報告する。

## 2 新船型開発の手順

新船型開発の手順について、以下に順を追って説明する。また、各検討段階における各船型について、その改良（変更）過程を明確にするために、各船型の特徴・要目などについてまとめたものを Fig. 1 (A～F) に示し、特に大型模型を製作した F 船型については、その全体写真を Fig. 2 に示す。

なお、SSB 船型と通常船型 (Conventional) との比較にあたっては、波浪中運動性能の相違を直接観察して比較すると共に、完全に同一状態で計測データを得、比較可能とするために、広い試験水面を利用して、2 隻が同時曳航されうる大きさの小型模型を用いた。2 隻同時の曳航試験状況の写真を Fig. 3 に示す。

### 2.1 予備検討

STEP 1: 理論計算による予備検討

対象船型: A 船型 大型没水体付き SSB 船型

目的: 模型試験に先き立ち没水体の効果を確認する。

STEP 2: 予備水槽試験 (小型模型)

対象船型: B 船型 大型没水体付き SSB 船型

: C 船型 通常船型 (Conventional)

目的: B, C 船型の波浪中性能 (同時曳航) およ

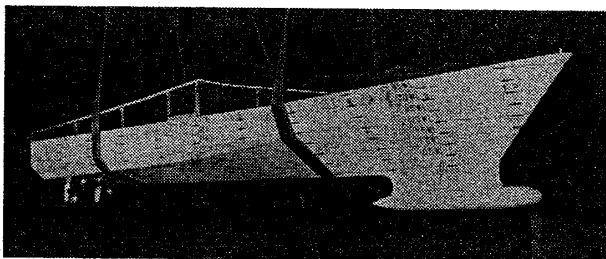


Fig. 2 Photograph of A Large Self Running Model

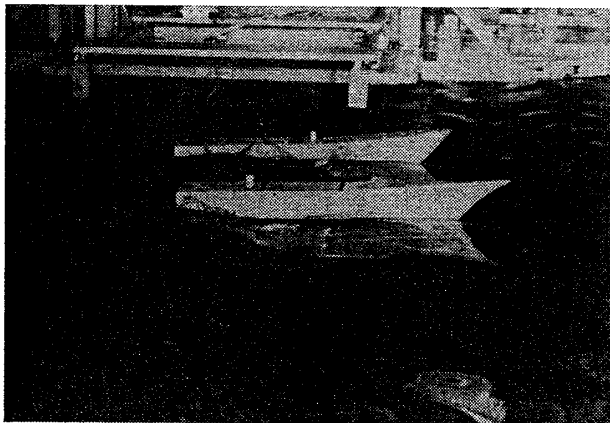


Fig. 3 Photograph of Towing Tank Test in Waves with Two Models in Parallel Position

び平水中抵抗の比較

STEP 3: 改良船型の水槽試験 (小型模型)

対象船型: D 船型 没水体取りはずし式の SSB 船型 (大没水体: D-1, 小没水体: D-2)

: C 船型

目的: D, C 船型の波浪中性能 (同時曳航) および平水中抵抗の比較

### 2.2 実用化に関する検討

STEP 4: 想定実艇の試設計

: D 船型をベースに大型高速客艇の試設計を行い、適合するように改良した SSB 船型を想定する (E 船型)

STEP 5: 想定実艇船型の水槽試験 (小型模型)

対象船型: E 船型 没水体取りはずし式の実艇想定 SSB 船型 (大没水体: E-1, 小没水体: E-2)

: C 船型

目的: E, C 船型の波浪中性能 (同時曳航) および平水中抵抗の比較

STEP 6: 採用船型の水槽試験 (大型自走模型)

対象船型: F 船型 STEP 5 の結果を基に改良した想定実艇採用 SSB 船型

目的: 波浪中自走試験, 平水中抵抗計測 (大型模型による性能の最終確認)

STEP 7: 理論計算と水槽試験結果との比較

対象船型: F 船型

目的: 理論計算法の SSB 船型への適合性の調査

## 3 予備検討

### 3.1 理論計算による予備検討

船体運動方程式を、時間を追って数値積分で解く大振幅船体運動計算法<sup>1)</sup>を基に、没水体付き船体の表現が可能なように前田の方法<sup>2)</sup>に従って特異点分布法による表示を行いうるよう改良した計算法によって、理論計算を行い水槽試験に先き立ち没水体の効果を確認する。

#### 3.1.1 供試船型

計算に用いる船型は、波浪中運動と没水体との関係を明確にするために、船体に比べて相対的に大型の没水体とした。対象船は大型の高速旅客艇とし、主寸法や船型の特徴については Fig. 1 の A に示す。

計算にあたっては、比較のため従来の通常型高速艇船型 (ディープ V 船型: 48M 型大型高速旅客艇) についても実施した。

#### 3.1.2 計算結果

計算結果より求めた通常船型と SSB 船型との pitching および F. P. における Vertical Acceleration とに

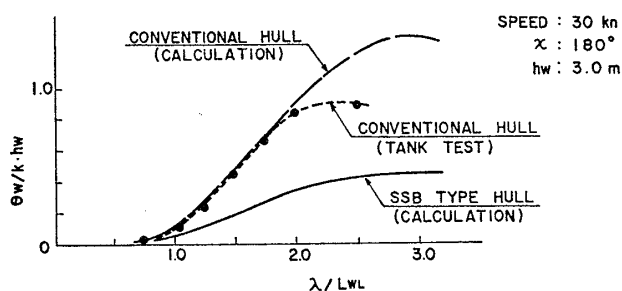


Fig. 4 Comparison of Pitching Angle in Regular Waves by Theoretical Calculations

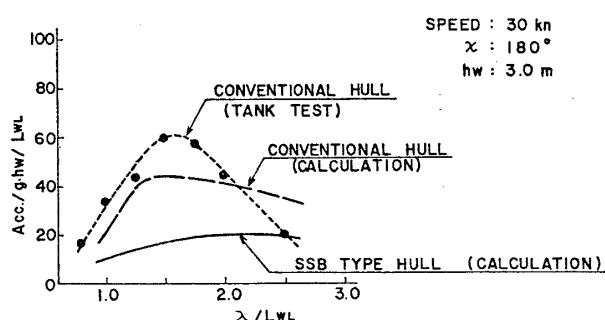


Fig. 5 Comparison of Vertical Acceleration at F.P. in Regular Waves by Theoretical Calculations

についての比較例を Fig. 4, 5 に示す。SSB 船型の方が通常船型に比べていちじるしく小さく、新船型実用化の可能性があることが示された。参考のため通常船型の別途試験計測値も示す。

なお、図中、波高については複振幅を採用しているののでここに注記する。以降同様である。

### 3.2 予備水槽試験

理論計算で得られた波浪中船体運動抑制効果を確認するために、予備試験を行うこととし、1.4m 長さの硬質ウレタン製小型模型を製作した。なお、比較のために、波浪中を同時曳航する通常船型については、既存の模型を流用した。両船型の主寸法や船型の特徴については、Fig. 1 のB, C に示す。

#### 3.2.1 波浪中曳航試験

通常船型との相対比較を明確にするため、試験水槽の広い水面を利用し、2 船型を並列に配置し、同一供試波中の同時曳航を行い、船長上同一点の上下方向加速度を計測した。

試験の結果は理論計算で示されたように、没水体の作用により SSB 船型の波浪中船体運動は通常船型に対していちじるしく減少した。F.P. における Vertical Acceleration の計測値を Fig. 6 に示すが、通常船型に比べほぼ半減している。

#### 3.2.2 平水中抵抗試験

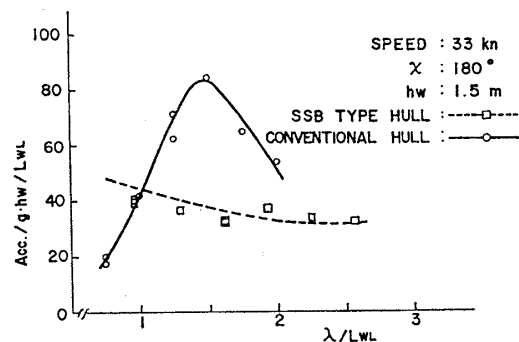


Fig. 6 Comparison of Vertical Acceleration at F.P. in Regular Waves by Tank Tests with Two Small Models at 1st Preliminary Study

SSB, 通常型 2 船型の平水中抵抗計測を行った。試験結果によれば、30knots 相当の速力付近において、SSB 船型は通常船型の約 25% 増の抵抗値となっており、大きな没水体、排水量長比などを考慮すると妥当な値を示していると考えられる。

### 3.3 改良船型の水槽試験

予備試験の船型に比べ  $L/B$  を大きくした改良船型について予備試験と同じ手法で性能を調査した。主寸法や船型の特徴については Fig. 1 のD に示す。

なお、没水体の影響を調査するために、没水体を取りはずし式とし、形状・大きさを変えた 2 種類を製作し、取り換えることによって性能比較を行った。大型没水体については、没水体容積比 (没水体容積/全排水容積) = 16%, 小型没水体については、没水体容積 = 6% である。

#### 3.3.1 大型没水体装着時の性能

##### 1) 波浪中曳航試験

予備試験と同じく、通常船型と並置して、波浪中同時曳航試験を行った結果、船体運動、加速度共通常船型に比較して半減した。規則波中における F.P. 位置の Vertical Acceleration の計測値を Fig. 7 に示す。最も加速度が大きい  $\lambda/L = 1.5$  付近において、SSB 船型の Acceleration は通常船型の約 50% 程度となっているが、

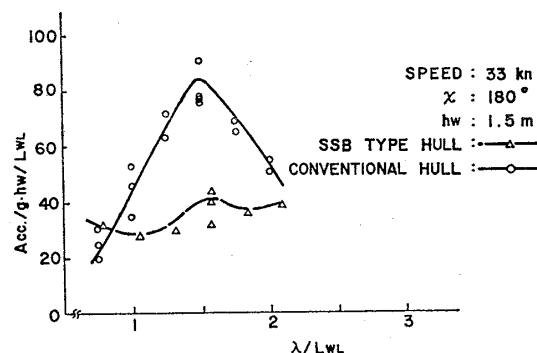


Fig. 7 Comparison of Vertical Acceleration at F.P. in Regular Waves by Tank Tests with Two Small Models at 2nd Preliminary Study

$\lambda/L$  が小さい範囲では、通常船型に比べてかえって高い値を示しており、若干改良の余地があるように考えられた。原因としては、船体前半部水線部付近が極度にフォローとなっているため肩張りの形状となっており、船体運動が抑制される状態において、波長の短い波が肩の部分に衝撃を与えるためであろうと推察された。

## 2) 平水中抵抗試験

予備試験と同様に、平水中抵抗計測を行った。通常船型についても再度計測を行い、計測状態を同一にして、両船型の比較を行った。試験結果によれば、実用的な速力域である 25~30knots 相当の範囲における船体抵抗は、通常船型に比べて、約 15% 増程度であり、予備試験の結果よりも優れた性能を示した。したがって、想定した実艇の就航海域の海象条件が厳しく、耐航性能が第 1 に重要視されるような外洋向け高速艇に対しては、SSB 船型は十分に実用に供しうると考えられる。

### 3.3.2 小型没水体装着時の性能

#### 1) 波浪中曳航試験

小型没水体を装着し、通常船型との波浪中同時曳航試験を行った。没水体が小型のため、大型没水体に比べて相対的に没水深度が浅くなり、波浪中において水面上に突出し、その効果が十分に発揮されないことが予想されたので、航走中船首トリムを生ずるように逆三角形の形状としたが、波浪中試験において大波高の場合、水面上への突出現象が観察された。したがって、没水深度の影響について、より具体的に調査するために、大型没水体の下面の深度と小型没水体の下面の深度とを合致させるべく船首トリムをつけての試験を追加した。その結果、波浪中において没水体が水面上に突出する現象は生じなくなり、没水体の大きさに応じた波浪中性能を示しているように観察された。

#### 2) 平水中抵抗試験

小型没水体を装着して平水中抵抗試験を行った。没水

体が小型であるため、大型没水体と比較して若干の性能向上が期待されたが、計測結果は、大型没水体の場合とほぼ同様の性能に留まった。その原因としては、没水体の深度が浅いため表面波を生じているのではないかと考えられたので、波浪中試験における場合と同様に、船首トリムをつけて没水体の没水深度を変更した場合の試験を追加したが、性能の改善はみられなかった。

## 4 実用化に関する検討

### 4.1 想定実艇の試設計

SSB 船型について、理論検討、水槽試験等によってその性能を調査した結果、実用化の見通しを得たため、想定実艇について概略設計を行い、実用艇として満足すべき船型の条件などについて調査した。すなわち、本船型は没水体を有するために、船体の前半部水線付近がストラット状に細くなること、また浮力中心が通常船型に比較して前方に移動していることなどのために配置設計が困難をきたし、そのために性能的に望ましい船体形状や没水体の大きさ・形状が採用できない場合も考えられる。

したがって、前項までの検討結果を参考として、実際の配置設計並びに重量重心計算を行い、これに基づいて SSB 船型線図を作成し、模型試験を行ってその性能を確認する方法を採ることとした。

想定実艇としては、外洋型大型高速客艇とした。主要目的や船型の特徴については Fig. 1 の E に、また概略一般配置図を Fig. 8 に示す。なお、推進性能の改善を期待して、D 船型に比べて  $L/B$  を大きくした細長型とした。

### 4.2 想定実艇の水槽試験

実艇を想定して概略設計を行った外洋型大型高速客艇について、1.4m ウレタン製小型模型を製作し、波浪中性能および平水中抵抗を確認すべく、水槽試験を行っ

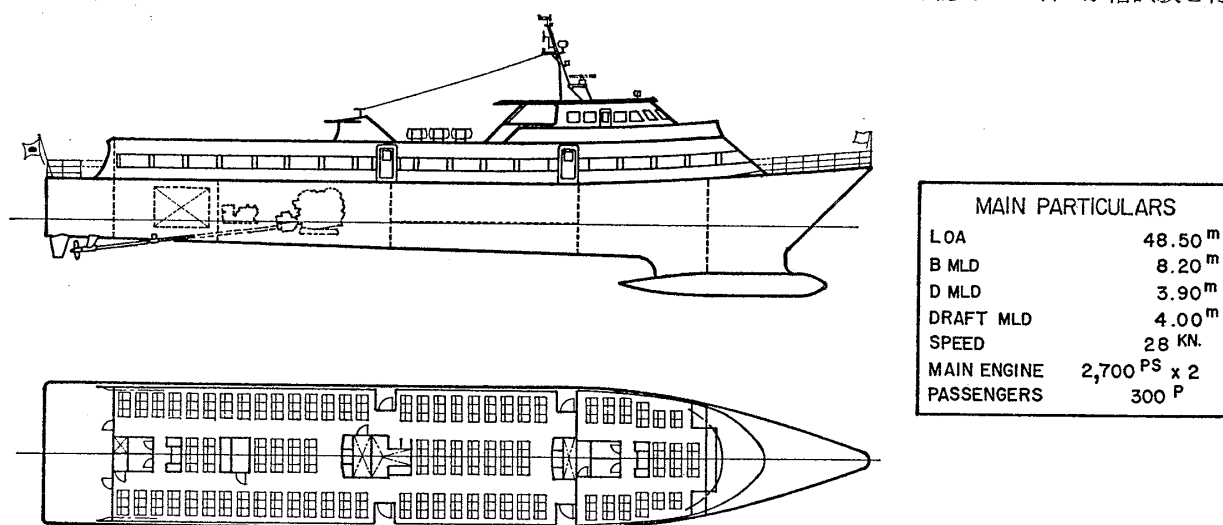


Fig. 8 General Arrangement of A Large High Speed Passenger Craft

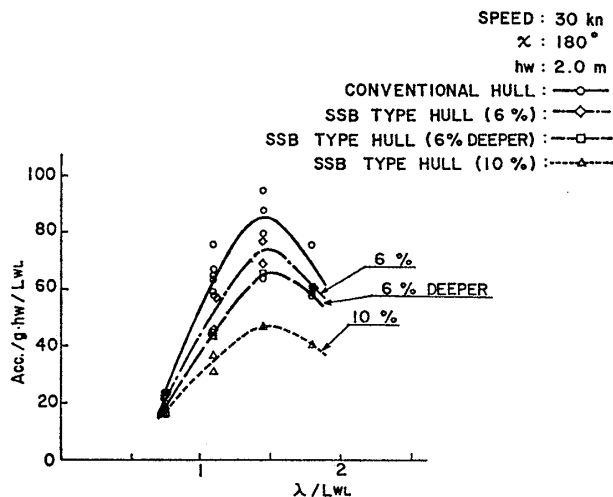


Fig. 9 Comparison of Vertical Acceleration at F.P. in Regular Waves by Tank Test with Two Models at Study for Actual Ship

た。なお、没水体の影響を調査するため、没水体は取りはずしとし、大小2種類を用意した。

概略配置によって決定される浮心位置上の条件により、没水体の大きさが制限されるため、大型没水体の容積比=10%とし、小型のものは容積比6%とした。また、小型没水体については、没水深度を1m増深した場合についても試験を行った。

#### 4.2.1 波浪中曳航試験

没水体を取り換えながら、通常船型との同時曳航の波浪中試験を行った。

規則波中におけるF.P.位置のVertical Accelerationの計測値をFig. 9に示す。没水体の船体運動抑制効果は、当然のことながら、大型没水体、小型没水体1m増深、小型没水体の順に減少している。小型没水体1m増深の場合の没水体底面は、大型没水体の底面よりも下方に位置していることを考えると、運動抑制効果については、没水体の大きさが最も大きな影響力を有すると思われるが、一方、前記改良船型(D-1)の没水体容積比が16%であるのに比べて、大型没水体付き本船型(E-1)の容積比は10%にもかかわらず、両者はほぼ同程度の加速度減少率を示しており、これらのことから、没水体の容積比は主船体とのマッチングがよければ、10%程度が最も適当であるといえそうである。

#### 4.2.2 平水中抵抗試験

没水体を取り換えながら、平水中抵抗計測を行った。通常船型についても再度計測を行った。予想通り小型没水体、小型没水体1m増深、大型没水体の順に抵抗が増加したが、その差は少なく、かつ通常の高速客艇の航走速力範囲において通常船型とほぼ同等であるという良好な結果が得られた。すなわち、没水体の装着により、同

じ排水量の通常船型に比べ、浸水面積が増加しているにもかかわらず、抵抗の絶対値が通常船型に近い値を示す理由としては、船首部の水線付近がストラット状に細くなっているために、主船体そのものの抵抗値が減少したのではないかと考えられる。いずれにしろ、実艇設計が可能な船型について予想以上の好結果を得たので、次の段階として、大型模型による性能の確認を行うことにした。船型としては、没水体容積比10%としたものを基本として、本船型における船型(E-1)に相似なものを最終の採用船型とすることにした。

#### 4.3 採用船型の水槽試験

対象船型は外洋型高速客艇とするが、本開発時点における想定外洋旅客航路の推定旅客数の検討結果により、前記4.1および4.2項における想定実艇(E船型)よりも一まわり小型とした。主寸法や船型の特徴については、Fig. 1のFに示す。没水体容積比は10%とした。模型は長さ3.8mの木製自走模型とし、波浪中試験(正面向い波規則波)、平水中抵抗計測を行った。

##### 4.3.1 波浪中自走試験

模型を自走により、向い波規則波中を航走させて、船体運動および上下加速度の計測を行った。相当速力は30および20knotsの2種類とした。計測結果をFig. 10およびFig. 11に示す。参考のため別途計測の通常船型大型模型による計測値を記入しているが、pitching, F.P.におけるVertical Acceleration共ほぼ予想に近く減少していることがわかる。

##### 4.3.2 平水中抵抗試験

裸殻について平水中抵抗計測を行った。推進性能の直接的な評価に便なるように、計測値を基にEHPを算出し、速力ベースに通常船型と比較したものをFig. 12に

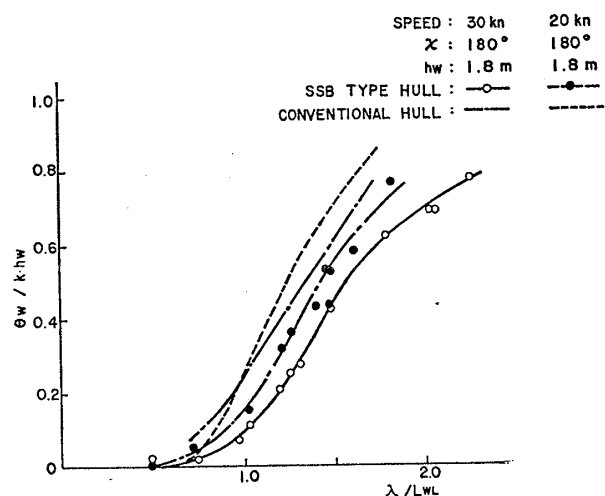


Fig. 10 Comparison of Pitching Angle in Regular Waves by Tank Test with A Large Self Running Model at Final Study

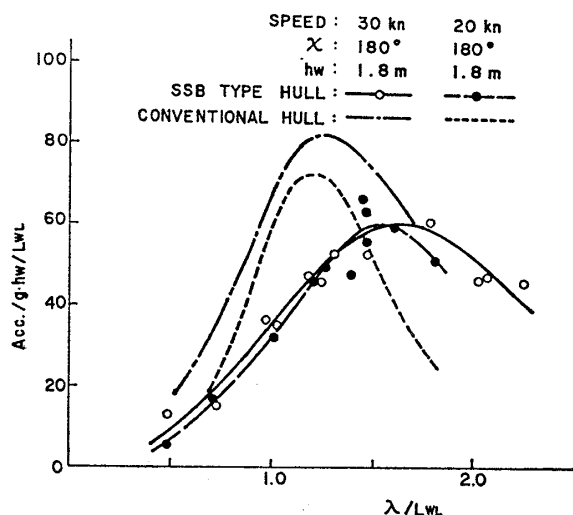


Fig. 11 Comparison of Vertical Acceleration at F.P. in Regular Waves by Tank Tests with A Large Self Running Model at Final Study

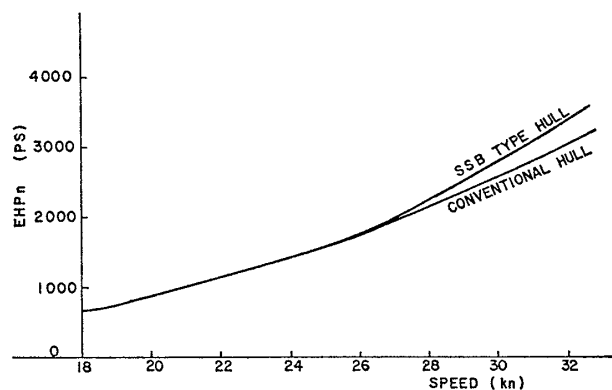


Fig. 12 Comparison of Effective Horse Power

示す。速力 28knots 相当までは、予想通り両者の差異は少ないが、28knots を越えると SSB 船型の方が EHP が大きくなり、推進性能が悪化する。すなわち、この速力域に入ると艇は船首を持ち上げて半滑走状態になるようとするが、SSB 船型においては、没水体のために船首部が抑えられ半滑走状態に入りにくいためであろうと考えられる。しかしながら、この種大型客艇にあっては、航海速力 28knots を越えるケースは少ないと考えられ（軽量型推進機関の出力の限界より）、実用上は SSB 船型と通常船型の推進性能は、ほぼ同程度と考えて差し支えない。

#### 4.4 理論計算と水槽試験結果との比較

想定実艇の船種や大きさ、配置等は個々のケースによって異なるため、これらの設計条件に対して、SSB の最適船型については種々の変化が考えられる。したがって、模型試験等費用と手間を要する手段によって、個々に対応することは不可能であり、もし理論検討によってある程度代用することができれば、非常に効率的である

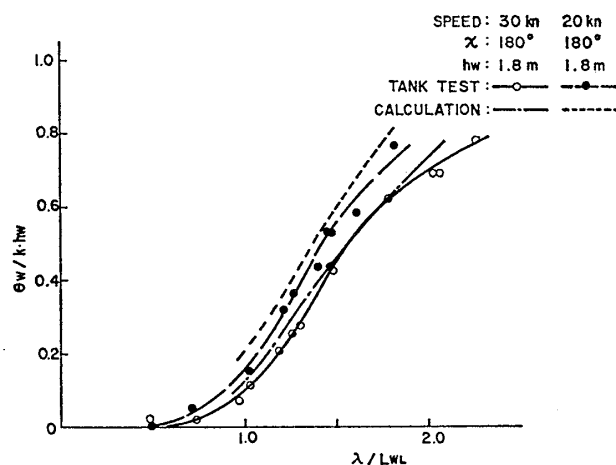


Fig. 13 Comparison of Pitching Angle in Regular Waves by Tank Test and Calculations

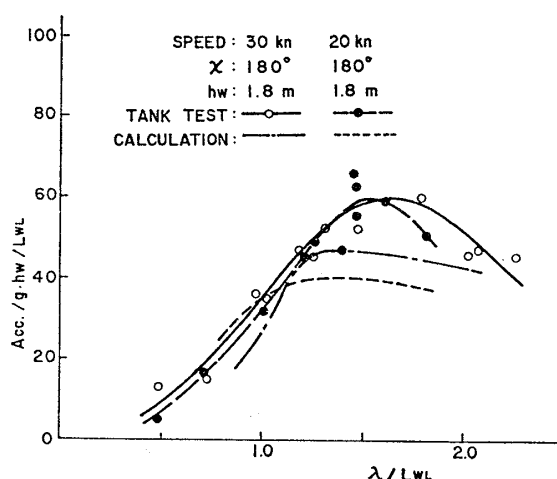


Fig. 14 Comparison of Vertical Acceleration at F.P. in Regular Waves Tank Test and Calculations

と考えられる。しかるに、前述の予備検討において用いた船体運動計算例では、少なくとも通常型高速艇船型については、 $\lambda/L \leq 2$  の実用的な範囲で水槽試験結果と良好な一致度を示しており、SSB 船型についても計算例と計測値との間に同程度の一致が見られれば、この推定計算法は与えられた設計条件に対して、常に最適に近い船型を提供しうる手段として、その有効性が確認できることになる。したがって、前 4.3 項における大型模型の船型に対して理論計算を行い、水槽試験計測値と比較することとした。実船対応速力については、水槽試験に合わせて、30 および 20knots の 2 種類とした。

計算結果については、pitching を Fig. 13 に、F.P. における Vertical Acceleration を Fig. 14 に模型試験結果と比較して示す。両者共、水槽試験結果と推定計算とは良好な一致度を示しているといえる。したがって、本推定計算法により、SSB 船型を採用した実艇の初期

設計段階において生じる船の大きさ、船型などの変更に伴う性能検討に対して、十分実用的に対応可能といえる。

## 5 結 言

高速艇の耐航性能を向上させるために、従来より種々の試みがなされているが、建造費や運航経済なども含めて、総合的に評価しうる機種はまだ実用化されているとはいえない。このような状況にあって、本研究においては、高速艇船型の船首船底部に魚雷形没水体を装着し船体後半部は通常型高速艇船型とほぼ同様とした新船型(SSB 船型)について、理論計算および水槽試験によってその性能を検討し、併せて実艇を想定して概略設計も行い、通常型高速艇船型に比較して、波浪中船体運動を減少し、かつ推進性能は悪化しないという結果を確認

し実用化の見通しを得た。

最後に、本研究を進めるにあたり、多大な助言を頂いた三菱重工業(株)赤津誠章取締役、同下関造船所金子幸雄技師長ならびに同長崎研究所高橋 雄、馬場栄一両氏に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) N. Toki, K. Hatakenaka, T. Takahashi, H. Fujii: "Experimental and Theoretical Approach to the Estimation of Non-Linear Vertical Wave Loads", 造船学会論文集, 第154号(1983年12月).
- 2) 前田久明: "任意船型におよぼす波の強制力について", 造船学会論文集, 第126号(1969年12月).