

水面翼型艇の研究 : IV

栗原, 道德

富岡, 勝

小森, 利雄

<https://doi.org/10.15017/4743419>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 26, pp.1-33, 1967. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



水面翼型艇の研究 (IV)

栗原道徳
富岡勝
小森利雄

概要 滑走艇の船首底面が平坦となるところに、これを横切つてスリットを設け、これより空気を噴射し、船首波を吸収して抵抗を減少させようとする試みを戦時中に行なつた。その予備実験には素晴らしい成果を納めたが、実験を継続することは出来ぬまま終戦となり、記録も紛失して仕舞つた。

数年前よりその再現に努力し、今日までに3回の研究報告を行つた。未だ完成はしていないが、その物理機構は把握し得たと思われるので、前回までの研究の総括的説明と共に、その後の研究成果が報告されている。

第1章に、前回までの研究の概要が取り纏められている。船首部に於ける現象を探るために、船側に side plates を、船尾に flap を取り付けた side plate 型 (船首部底面を翼型とした side wall hovercraft の1種とも考えられる) に就いて実験を行つた。波もなく抵抗も少なく静かに艇は滑走する。最も重要な結果は、この艇は余り高速を必要としない場合には非常に性能のよいものであること、及び翼型の揚力係数は普通の滑走板に較べて著しく大きいことである。続いて、side plate, flap を取り除いても、むしろ性能は向上することを見出した。

第2章には、その後行われた side plates なしの水面翼型艇に就いての研究の結果が纏められている。艇速が或る限界に達すると美事な blister spray は突然消失し、船底には、船側に沿つて water belts が形成される。

この water belts が side plates の役割を果していることを発見した。この water belts の形成される条件、その性質及び slit の高さ、slit cover の厚みの影響等が考察されている。現象に関係の深い船底の水流及び空気層の流状等に就いて検討され、続いて再び船首底翼の揚力係数の大きいことが示されている。最後に、荷重分布、荷重係数、船尾吃水及び空気量等による抵抗の変化が検べられている。

1. 緒言 水上輸送の高速化に際して当面する最大の問題は、速度と共に急激に増大する流体抵抗である。これを避ける意味で従来の高速艇、滑走艇とは異なつた形式による水中翼船、ホバークラフト等が研究され、実用化されてきている。

然しながら、他方従来の boats に若干の工夫を加えて、その高速領域に於ける性能を高めようとする試みがあつてもよい筈である。吾々は、この様な意味に於て、数年前より水面翼型艇の研究を始めたのである。既に3回にわたつて報告¹⁾がなされているが、今回ようやくその物理機構を探り得たと思われるので、若干の重複の許し、ここに包括して報告するものである。

1) 水面翼型艇の研究 I, II, III, 九州大学応用力学研究所報告 23, 24, 1959.

滑走艇，高速艇の船首より少しく後方の比較的平坦となつた船底に，これを横切つて slit を設け，これより後方に向つて空気を噴射さすならば，その附近の圧力は低下し，前方からの流れは一そうよく吸い込まれ，船首波は減少し，その上空気は船底を沿つて流れるため摩擦抵抗も減少する筈である。従つて流体抵抗は，著しく減少することが期待される。

1945 に著者等（九州帝国大学大学院戦時研究班）は横須賀海軍航空技術廠の高速水槽に於て，吃水長 2 米，最大幅 45 糎，重量 30~35 kg の高速艇モデルを用いテストを行つた。これを戦時テストと呼んでおく。

効果は全く予想以上のものであつた。即ち，総ての波は美事に消え去つて，艇は静水面上を静かに滑走し，微かに 2 条のすじを航跡として残すのみであつたり。

僅かな実験回数であつたが，見かけ上の抵抗は，40 %程度に，噴射によるエネルギーの消費を考慮に入れても，抵抗は，50~60% に減少していた。これは，Froude 数（巾に就いて）=3.4 に対して抵抗重量比がもとの 0.2 であつたものが約 0.1 になつたことを示しているものであり，この結果が，2 米のモデルに就いてのものであることを思えば，素晴らしい性能の向上であつたと言えるであろう。

この戦時テストにて見られた滑走状態を再現し，その物理機構を詳細に探り，設計のための基礎的な資料を求めようと計画したのである。従つて吾々は先づ現象の再現を目指さねばならなかつた。

この目的のために，吾々は，応用力学研究所津屋崎海洋災害実験所に於ける 1.5 m×1.5 m×60 m の実験水槽を使用することにした。走行車の最高速度は，約 3.5 m/sec であり，有効走行距離も短く，実験設備は戦時テストに較ぶべくもなかつたので，戦時テストにみた美事な走航状態は，未だ再現されていないが，その物理機構の概要はこれを探り得たものと思う。

I 今までの研究概要

2. 予備実験 初めに，吃水長 45 糎（1号艇），次いで 70 糎（2号艇）の市販のプラスチックモデルを用いてテストして見た。これ等の実験に於ても，slit からの空気の噴射によつて船首波は急激に消失し²⁾，抵抗の急減するのが認められた。但し，その際に slit に於ける空気圧を負にするとが望ましく，それにより噴流の効果は顕著となることを知つた。

3号艇は使用水槽の大きさに応じて，長さ 70 糎，幅 17 糎とした木製モデルであつた。この場合にも噴流を加えることによつて，船首波は消え，抵抗も減少するが，slit cover の表面と，slit 後方の底面の相当に長い部分が平行であつたため，slit に於ける空気圧が高く充分な効果は得られなかつた。

- 1) ここに若き戦時研究班員（早生君）の手記の一節を紹介しておく：ハンドル握る手も固くなり勝ち。合図と共にハンドルを急転する。空気槽の圧力計は瞬間，+1.1kg となる。ベンチュリーU字管掛りも，必死で新しい息吹きをしている。先生も，椿，北島両君も緊張裡に，一沫をも見逃さじと，睨んでいる。ひよつと，底を見ると，カンガルーの腹袋の如き横向き飛沫は勿論，一切の波など消失し，艇は滑らかに滑る，凄い，すばらしい，と思つた瞬間，ベンチュリーが吹とび，北島が倒れる。あわてて，バルブをしめる。急停車。計測抵抗は見ずとも結果は明か。抵抗半減，嗚呼世紀の実験は終り，新しき仕事の始点は切られた。この感激。先生，水木部員を始め，工具に到るまで喜びを分つ。
- 2) 噴流による負圧によつて船首波が消失するのか，或は船底空気層が適当に形作られ，造波の少ないような姿勢をとるようになるのか，現段階に於てその判別は困難である。

以上のテストでは、用いた船型そのものの性能が悪いので、噴射によつて抵抗が著しく減少することの意味が明確でない。即ち、優れた船型に対して噴射の効果がどの程度に顕われるかを予知することは困難である。そこで、性能がよいとされている**高速実艇モデル**(吃水長 0.903 m, 最大巾 0.216 m, 標準排水量 2.4 kg)を用いてテストを行った。

然しながら、この艇の *deadrise angle* は著しく大きく、その上 *Froude* 数も小さかつたので、噴射された空気は、総て舷側から放出され、船尾には到らなかつた。抵抗も約 20% の減少に止まり、これは適当なモデルではなく失敗であつた。

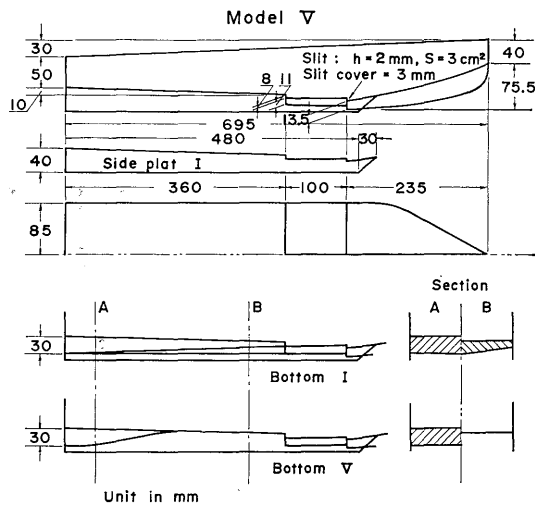
水面翼型艇 吾々が意図している噴流高速艇に於ては、*slit* 附近の圧力を負にすること、或はその周囲の静水圧よりも小さくすることが第 1 条件のように思われる。

この目的に沿う 1 つの方法として、艇首底面の縦断線型を翼型の前部に類似させることが考えられる。そこで、仰角が 3~4° の場合にも *slit* (厚みの最大となるところに選んだ) 附近が負圧となるような最も簡単なものとして *NACA 0015* を採用し、**4 号艇**を製作した。然し、これは *deadrise angle* が極く小さかつたため、前後の動揺が著しく実験を中止した。

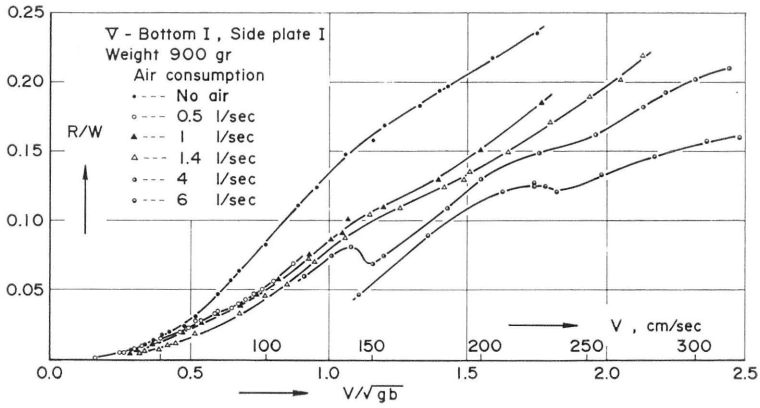
続いて同じように *NACA 0015* を用い、*slit* 面に於ける *deadrise* を 9°13' として**5 号艇**を製作した。これは *slit* 後方 10 cm のところに *step* を設け、後方を切り落し、種々の型の船底を取り付けられるようにした。更に *slit* より放出された空気が舷側から逃げ去らないように、又 *slit* 附近から外気を吸い込まないように、*side plates* を左右両舷側に取り付けた。

Non-step 艇 5 号艇に *step* のない平坦な底面 I を取り付けた場合に就いて実験を行った。概して言えば、次に述べる *step* 艇より性能は悪い。然しながら、この実験に際して次のような興味ある事実が発見された。

低速の領域に於ても、巾に就いての *Froude* 数が或る限界 (0.5~0.75) を越えると、船底の空気流



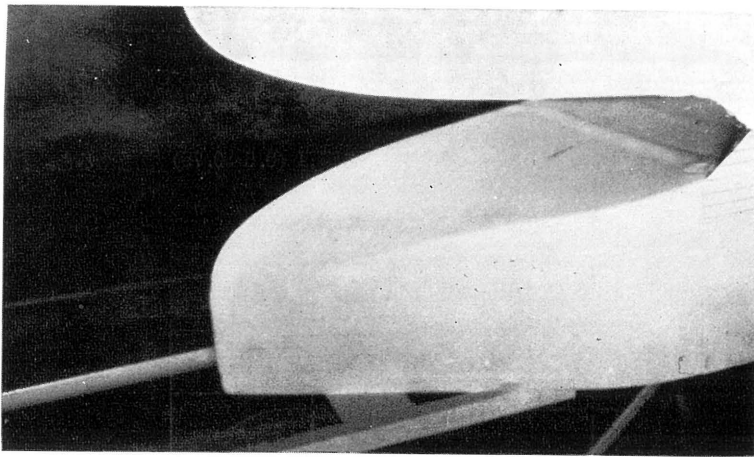
第 1 図 5 号艇



第2図 5号艇（平坦底）の低速領域に於ける抵抗曲線

は安定した層をなし、底面をおおう。それに応じて摩擦抵抗も減少する。

この事は、低速の排水型の船舶に於ても平坦な船底の部分に、適当な間隔をおいて多くの guide plates を列べ、ここに送気して、安定した空気層をつくり、摩擦抵抗を減少させる可能性を示すものとして重要な意義をもつ（報告 I, p. 17）。



写真一 航走中の V₁ 号艇の船首部底面

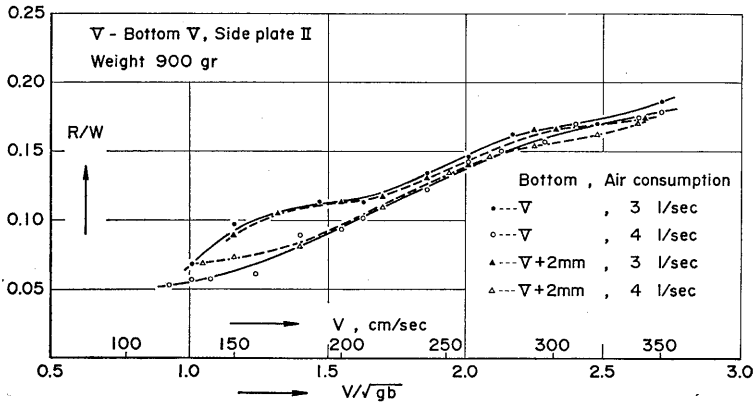
水流が薄膜となって底面に沿い左右に走っているのが、影によく映っている。
重量=1750 gr, 空気量=4 l/sec, 艇速=290 cm/sec.

Step 艇 5号艇に船底 V を取り付けただものに就いて多くの実験を行った。Slit から噴射された空気は、高さ 8 mm の step に至つて船底の大きな空気層に入り、船尾の flap を通つて外気に放出される。従つて、これは、船首部分を水面翼型におきかえた side wall hovercraft の一種である。

Froude 数が大きくなると、航走は実に静かに、ただ水面を滑つてゆく、その様子は V₁ 号艇（後出）

に就いて撮られた写真1によく示されている。

力学的条件が簡単なので、船首底面の揚力係数 C_L を求めるため、及び噴流の状態等を知る上に便利であつた。節3図は抵抗測定の一例を示している。寸法効果を考慮に入れるならば、比較的良好な性能を示していると言えるであろう¹⁾。



第3図 5号艇(船底V)の抵抗曲線

測定されたトリム角等を用いて、wetted areas や船首底面の仰角 α 等を知ることが出来る。これ等を用いて圧力抵抗、摩擦抵抗、従つて全抵抗を求めると、それは測定値と略々一致している。

他方、同様にして求められる船首底面の揚力係数は、従来実験的に求められているものに較べて著しく大きい。即ち

$$C_L = 0.167, \quad \left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0 = 2.1, \quad \alpha = 0.081 \text{ rad.},$$

$$\text{wetted length-beam ratio} = 0.572, \quad \text{deadrise} = 9^\circ.1 \quad (2.1)$$

これに対して planing surfaces に関する W. S. Diel の報告²⁾の第2図を用いて、deadrise=10°, $\alpha=4^\circ.64$, wetted length-beam ratio=0.572 に対する C_{LP} を求めると、約 0.035 を得る。従つて $C_L \div 0.035 \div 0.572 = 0.061$ を得る。(2.1) は、この値の 2.7 倍も大きい。

揚力係数がこのように大きいことは、吾々が wetted area として、静水面が船首底面から切り取つた area を採用したことにより、相当割引きされねばならないが、注目すべき結果である。

Slit 後方の空気の流れの模様を知るために、航走中に slit に於ける空気圧 p_s と船底に於ける空気層の圧力 p_0 を測定した。

船底の空気層は、大きな空隙を形作つているので、他に考慮すべき要因もなく、その圧力は艇の力学的平衡条件から決められる。実際圧力の実測値は、このことを確めている。

Slit からの噴流が安定した流れとなつて船底の空気層に流入する場合には、この流れに対して近似的

1) 例えば、寸法を 10 倍にすると、Froude 数=2.33 に対して $R/W=0.11$ となる。
 2) W. S. Diel, N. A. C. A. Reports No. 694 (1940),

に Bernoulli の定理が成立する。即ち

$$p_s \doteq p_0 - \frac{1}{2} \rho_0 U_s^2. \quad (2.2)$$

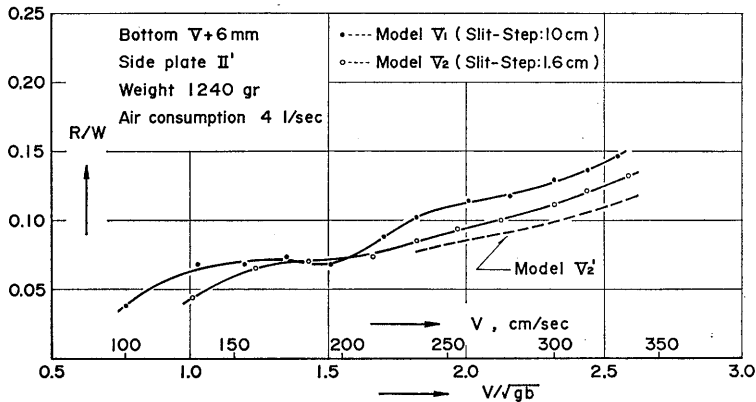
ここに U_s は slit に於ける流速, ρ_0 は空気の密度である。

Slit からの噴流が船底の空気層に達するまでの比較的薄層の流れに於て, energy loss が無視される程小さいことは, 興味深いことである。

3. 船胴を長くして Side-plate 型の性能を向上さすこと 船底の圧力 p_0 を変えずに, 船首部の状態も変えないように, 胴を Δl だけ長くすると, 重量は $\Delta W = p_0 \cdot b \cdot \Delta l$ だけ増加する。抵抗は, side plates が Δl 長くなつたことによる摩擦抵抗が増加するだけである。Side plates の抵抗を R_{f1} とすると, 抵抗増加は, $\Delta R \doteq R_{f1} \frac{\Delta l}{l}$ である (l は side plate の長さ)。

5号艇の場合に, 艇速 300 cm/sec の際の数値¹⁾を用うると $\Delta R/\Delta W \doteq 0.083$ となる。従つて Δl を十分に大きくするならば, R/W は, この値に近づく筈である。

5号改造艇 V_1, V_2 ²⁾ V_1 は, 5号艇の胴を 20 cm 延長したものであり, 更に wetted area を減らすために, slit と step 間を 10 cm だつたものを 1.6 cm に短縮したものが V_2 号艇である。



第 4 図 V号艇の胴を 20 cm 延ばした場合

第 4 図は, 抵抗測定の一例を示している。更に, side plates の高さを 3 mm 削つても航走状態に影響を及ぼすとは考えられないので, そうすることにより無駄な wetted area を減じた仮想的なモデル V_2' の抵抗曲線も同図に示しておいた。胴を長くし, 不必要な wetted area を減らすことに依つて性能は著しく改善される³⁾。

以上では, 艇の標準重量を 1240 gr としたが, これを次第に増加してゆくと, 抵抗重量比は 1750 gr 附

1) 報告 I, 第 4 表から $R_{f1} = 57$ gr であり, 走航の際には $l = 49$ cm である。

2) 報告 II

3) V_2' 号艇の大きさを 10, 30 倍にすると, 噴流の相当抵抗を加算しても, 艇速 (34, 59 km/hour) にて R_t/W (0.078, 0.069) となる。報告 II, 第 1 表。

近にて極小となる。戦時テストの再現と言う目的にはそれがあるが、余り高い Froude 数を要求するのではなければ、side plate をもつ surface foil boats は優れたものと言える。

揚力係数 航行中の VI 号艇の姿勢を写真撮影により計測して、6 種類の状態に就いて揚力係数を求めると

$$\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0 = 1.75 \pm 0.085,$$

$$\text{mean wetted length-beam ratio} = 0.635, \text{ deadrise angle} = 9^\circ.1 \quad (3.1)$$

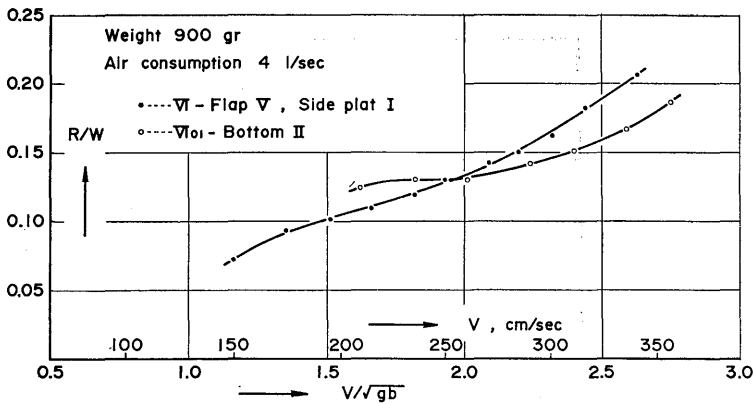
を得る。

V 号艇と同じように、wetted area の推算方法によつて、過大評価されていることを考慮に入れても (3.1) は滑走板に就いての測定値より大きい値を与えている。

VI 号艇 V 号艇より薄い翼型 NACA 0009 を基準とし、基準吃水線に対し、V 号艇では 2° の仰角をつけて取り付けたのに対し、これに平行に取り付けた¹⁾。

先づ V 号艇との比較のために、side plate 及び flap をつけて抵抗測定を行った。その結果、薄翼にすること、及び仰角を小さくすることは、低速に於ける性能をよくするが、高速に対しては好ましくないことを知つた。

VI₀ 号艇 これは、VI 号艇の side plates を取り除き、flap の替りに flat な船底を取り付けたもので、side plates がなくても、噴流の効果が果して現われるかをみるため、即ち戦時テスト再現への踏み出しを行つたものである。



第5図 VI₀号艇。Side plate を取り去つた場合

第5図には VI 号艇と VI₀号艇の比較が示されている。Froude 数が2以上になると side plates のない方が却つて抵抗は減少している。これは吾々が待望していた重要な結果である。

1) Flap の高さを調節して最も都合のものを選ぶと、flap の底面に対し船首底面のこの翼型面は、V 号艇の場合と同じように、基準吃水線に対して約 2° の仰角をもつことになっている。

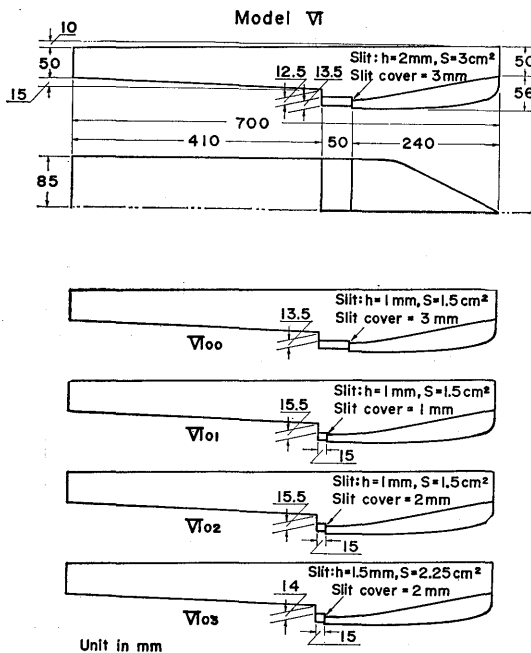
II Side Plates なしの水面翼型艇

4. これまでの研究に依つて、補助的に side plates を用い、slit から放出された空気が舷側から逸散するのを封ずることをせずとも、水面翼型艇はそのままの姿にて、slit からの空気は、適当な条件のもとに船底を流れ船尾より放出され、boat の性能は向上されることを知つた。従つて、吾々は、ここにその物理機構の探究に取りかからねばならない。

この test に用いたモデル艇は VI 号艇を少くし改装した VI₀₀, VI₀₁, VI₀₂ 及び VI₀₃ の 4 種類である。用いた船底は 5 種類あつたが、主に用いたものは船底 II, V である。

船底の後端の高さが 4 cm のときに底面（キールに沿つて）は基準吃水線²⁾に平行になつている。基準重量は 900 gr とした。重心は、特に明記されない限り船尾より 31 cm にあるように調節した。

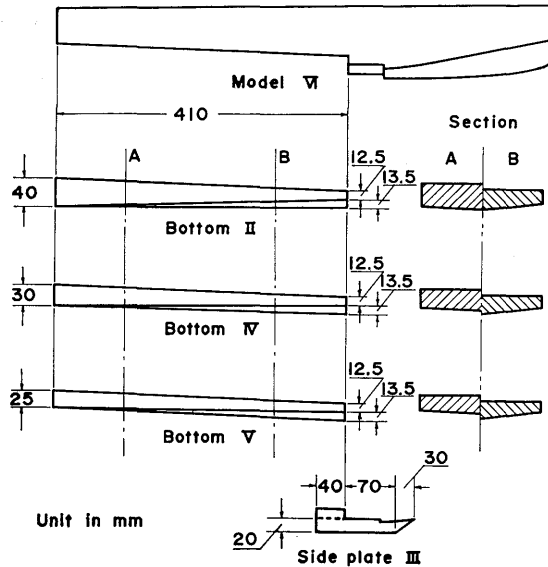
Side plate III は、slit の直後の空気圧の低い部分に、外部から空気の流入するのを防ぐ意味で、試みに用いたものである。



第6図 VI₀号艇の種類

Slit はその高さ 2, 1.5 及び 1 mm, その面積 3, 2.25 及び 1.5 cm² の 3 種類を試みたが、主として後の 2 者を用いた。Slit の cover は slit 面に於ける圧力を支配する要素と思われたので、その厚み 1, 2 及び 3 mm の 3 種類のものを用いたが、slit area との組合せは系統的でない。

- 1) 報告Ⅲに於ける VI₀号艇は VI₀₁ のことである。
- 2) 船首底の翼型断面の slit に於ける切線に平行である。



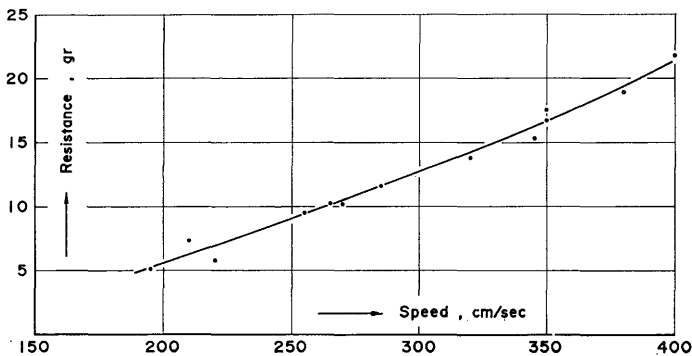
第7図 VI₀号艇船底の種類

Slit 及び船底には空気圧を測るための気孔をあけ、ゴム管にてマンオメーターに連絡した。但し、水滴によつて気孔が塞がることのないように、構造及び使用法には充分の注意を払つた。

Trim は、抵抗測定と同時に測定された。この装置を作用させるためには若干の抵抗が伴う。VI₀₃号艇に就いて、trim を計測した場合と、装置を離れた場合の抵抗曲線を比較して、用いた速度の範囲では trim 計測装置の抵抗=5.8 gr を得た。

モデルには、slit への送気用ゴム管、圧力計測用のゴム管が付けられているので、航走時の抵抗計測には不必要な抵抗が付け加えられている。抵抗計測の状態に船体を維持しておき、実験水槽の水位を下げて空気抵抗を計測した。その結果は、第8図に示されている。

簡単な計算が示すように、船側や船底の空気による摩擦抵抗は極く小さいので、第8図の結果は、航



第8図 VI₀₃号艇の空気抵抗

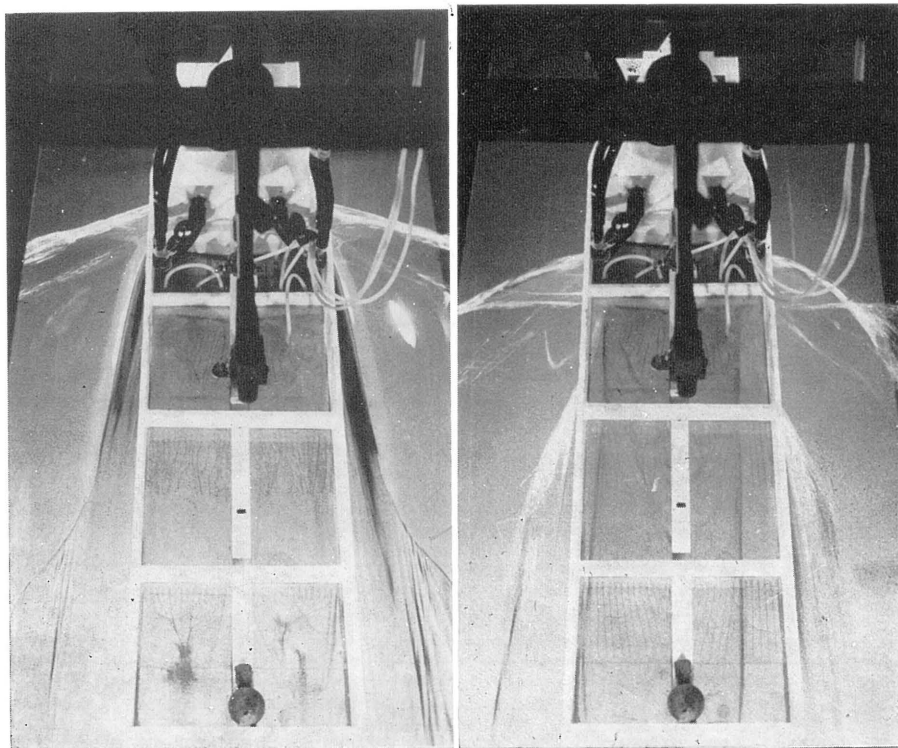
走状態の水面以上の空気抵抗及び実験装置の空気抵抗を示していると考えても大きな誤りはない。

以下示される抵抗曲線には、これ等2種類の抵抗の補正が施されている¹⁾。

5. Spray Type と Planing Type Side plates がなくても、著しい船首波もなく、抵抗も少なく安定した滑走をする。然も空気は、舷側から逸散することなく船尾に到達し、ここから放出されるのは、何かが side plates と同じような役割をしているに違いない。

この機構を探るために、モデル艇の底面に、slit から後方船尾に至るまでを透明な plastic plate を張つて、流れの様がよくわかるようにした。

写真2, 3は航走中のモデルを上方から撮つたものである。特に写真2では、水流をわかり易くするために、細い短い絹糸を数多く底面に付けておいた。



写真—2 a) Type 1

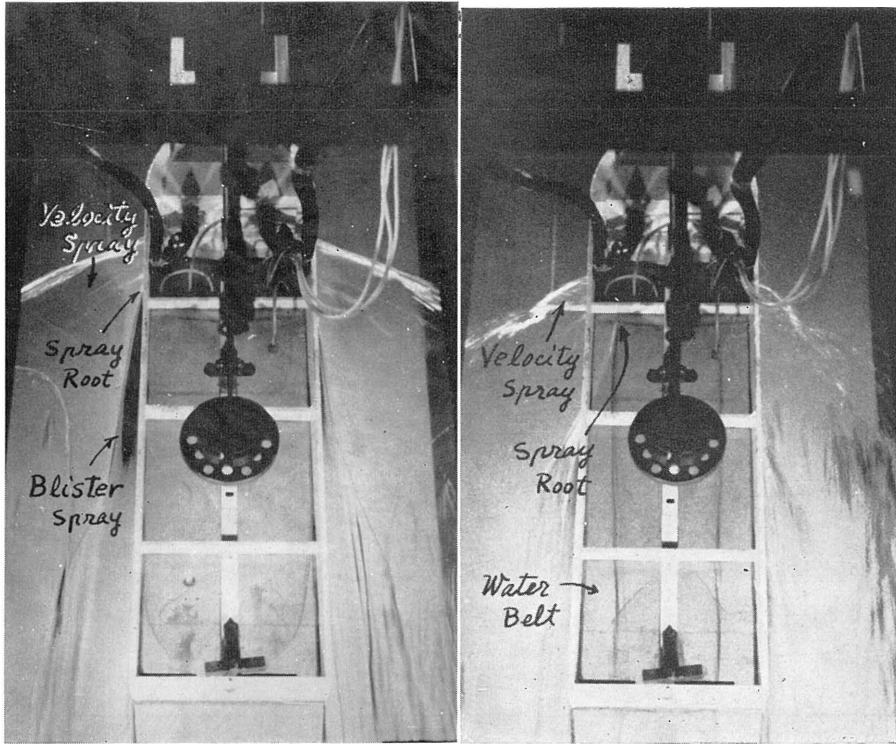
VI₀₃-Bottom V, 重量=900 gr
空気量=4 l/sec, 艇速=280 cm/sec

写真—2 b) Type 2

VI₀₃-Bottom V, 重量=900 gr
空気量=4 l/sec, 艇速=370 cm/sec

滑走艇の場合には、普通は船底部より左右に底面を沿つて走る、velocity spray が出て居り、その後方に chine に root をもつ派手な、そして美事な blister spray が出ている。

1) 前回までに示されている抵抗曲線にはこの補正は加えられていない。



写真—3 a) Type 1

VI₀₃-Bottom V, 重量=815 gr
 空気量=4 l/sec, 艇速=300 cm/sec

写真—3 b) Type 2

VI₀₃-Bottom V, 重量=815 gr
 空気量=4 l/sec, 艇速=355 cm/sec

a) は比較的低速, b) は高速の場合である。何れの場合にも velocity spray は認められるが, blister spray は a) に於てのみ明瞭であつて, b) に於ては, 視野からその美しな姿を消して, 船底にもぐり, water belts を形作つている。

仮りに a) に見られるような spray を type 1 の spray, そのようなときの航走を type 1 の planing と呼び, b) に対するものを type 2 の spray 及び planing と呼ぶことにする。

Type 1 の場合に, 船底空隙が美しく形成されている。この空隙は船尾にて封鎖されているが, 舷側では, これに沿つて slit 後方に, 船尾近くまで伸びている空気放出の1種の slit が形成されている。噴射口から放出された空気は, 一旦この船底空隙に入るが, すぐに舷側のこの空隙から外気に逃げて仕舞う。従つて船底の空気圧は, 外気圧と余り変らない。

Type 2 に現われている water belts は, slit cover が水表面と交わる附近から発する blister spray の変貌したものであることは写真から充分うなづける。

Water belts は, 艇の動揺に伴つて絶えず左右に動揺しているが, その形成は安定していて, 消え去ることはない。

噴射口から放出された空気は、side plates に代つた water belts に依つて形成された船底空隙を通つて船尾に至り、外気に放出される。Water belts が side plates の役割を務めている。従つて船底空気圧も高く、艇体を支えている筈である（9 節を参照）。

艇速を次第に大きくしてゆくと、初めは船首部の chine に沿つて spray root は後方に移動する。その間は blister spray は船側に美しく発達し、type 1 の spray を形成するが、更に艇速が増して spray root が slit cover の外側の端を越える程になると、その移動は直角に向を変えて slit cover の端に沿つて艇の中心に向うようになる。その転移の際に、それまでは船尾に於て袋状となつていた船底空隙は、突然の water belts の出現によつて、船尾より外気に吹き抜かれ、type 1 から type 2 への planing の変化が突然に始まる。

船底の wetted area は、type 1 から type 2 に移り変わる少しく前の type 1 の planing のときに最小になる。そして抵抗もそのときに極小に近い。然し、type 1 から type 2 へ、又はその逆遷移は不連続的な現象なので、この抵抗最小の極限状態にて航走することは好ましくない。むしろ明瞭に type 2 に属する状態を選ぶべきである。

6. Water Belts 航走中の water belts の巾を知るために、測定台車より 8 ミリ撮影を行つた。整理の結果は、第 1 表に示されている。

第 1 表 Water Belts の巾 (cm), VI₀₈ 号艇

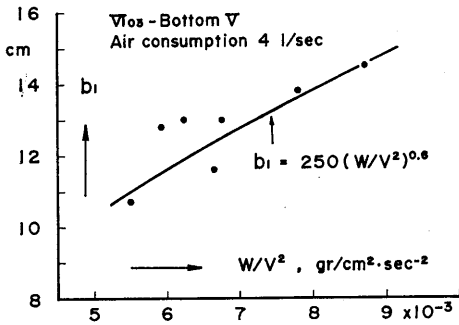
重量 (gr)	速度 (cm/sec)	右				左				空気層の巾			
		B ₁	B ₂	B ₃	\bar{B}	B ₁	B ₂	B ₃	\bar{B}	b ₁	b ₂	b ₃	\bar{b}
815	350	3.0	3.8	4.4	3.7	2.4	2.7	3.5	2.9	11.6	10.5	9.1	10.4
	385	3.4	4.0	4.6	4.0	2.9	3.0	4.3	3.4	10.7	10.0	8.1	9.6
900	340	1.8	2.4	3.0	2.4	1.4	1.2	1.5	1.4	13.8	13.4	12.5	13.2
	365	2.1	2.8	3.8	2.9	1.9	1.5	2.5	2.0	13.0	12.7	10.7	12.1
	380	2.3	3.4	4.0	3.2	1.7	2.1	3.1	2.3	13.0	11.5	9.9	11.5
	390	2.4	3.5	4.2	3.4	1.8	2.2	3.3	2.4	12.8	11.3	9.5	11.2
1130	360	1.6	2.6	3.6	2.6	0.9	0.9	0.9	0.9	14.5	13.5	12.5	13.5

B₁: Slit 後方 1.5 cm (船尾より 41 cm) に於ける巾,
 B₂: 底面の中央断面 (船尾より 20.5 cm) に於ける巾,
 B₃: 船尾に於ける巾 cm, \bar{B} : 平均巾,
 b₁, b₂, b₃, \bar{b} も同じように空気層の巾。

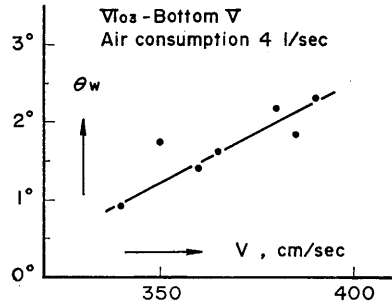
Water belt は blister spray の root から発している。これは船首底の dynamical wetted area の端と考えられるので、water belts 間にある空気層の幅 b_n は、同一モデルに就いては、船の重量 W と速度 V によつて変化する。

第 1 表により、b₁ と W/V² の関係を見ると、第 9 図の如く

$$\frac{b_1}{\bar{b}} = \text{const} \times \left(\frac{W}{V^2} \right)^n \tag{6.1}$$



第9図 空気層の幅と W/V^2 の関係



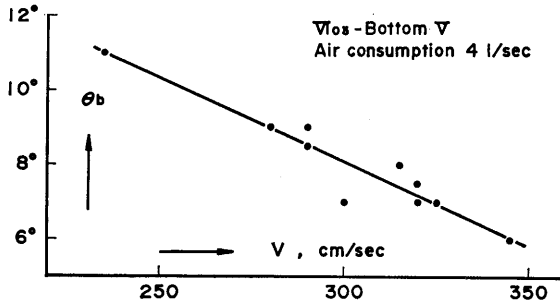
第10図 Water beltの拡り角と速度の関係

の関係が見られる。

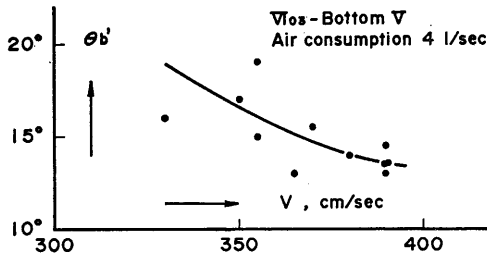
(6.1) は水面翼型艇の研究には重要な役割をもつのである。比例常数がその他の parameters に依つて如何に変わるかを調べなければならない。

Water belt の中は, slit の直後から船尾にゆくに従つて次第に増大している。第1表から water belt の拡り角 $\theta_w = \frac{1}{2} \times \frac{b_2 - b_1}{41}$ と速さの関係を求めると、第10図の如くなる。

第11図 a) は, type 1 の planing に於ける blister spray の拡りの角度と艇速の関係を示している。



第11図a) Type 1 の航走に際しての Blister Spray の拡り角



第11図b) Type 2 の航走に際しての Blister Spray の拡り角

1) $W=815$ gr の測定点がそれているように思われるが、これは重量が軽くて浮き上つている場合に、dynamical wetted area の相似性が変わることによるものと思われる。

第11図 b) は, type 2 の planing に於ける water belt の root から発する外向けの blister spray の root 附近の拡り角と艇速との関依を示している. この spray は a) と同様の blister spray が艇底に接してその crest が平坦化されたものと考えられる. 従つて b) の方が大きい値を示しているのは当然である.

Water belt が内側に向つてせばまつている. 第10図は, その傾向が艇速と共に増大することを示している. 自由表面を V で走る disturbance は, 波数 g/V^2 を以つて後方にその影響を顕わすから, θ_b , θ_b' が艇速が増加するとき減少することは当然であるが, θ_w が速度と共に増加するのは他に有力な原因があるからであろう.

例えば, 最も直接的なものに, 船底空気層の艇速による流状の変化が考えられる. この空気層内の流速は, 艇速と共に増加する. 従つて空気流量が同じならば, 空気層の厚みは, 艇速が増す程減少する. そのため water belt を形成している spray は一そう押えつけられることになり, belt の幅が広げられるようになることが考えられる.

Water belts の幅が艇速と共に増大することは好ましいことではない. 若し上述の理由が当を得ているならば, 噴流に送るべき空気量を速度に応じて増加させるべきである¹⁾.

然し最も重要なことは, 左右の blister sprays の roots 間の間隔が望む速度領域で充分の拡りをもつ様に船首底面を定めることであり, この様な設計が可能となるために, その揚力係数の検討が重要課題となる.

7. Planing の Type を 1 から 2 に変える工夫

1) 最も簡単な方法は, 舷側に船底の延長として鰭を着けることである.

Blister spray の roots が船首部の chine にあつても, この fin の下にあるならば, その下面に沿つて water belts が形成されて, planing は type 1 から type 2 になる.

写真 4 a) は, 写真 3 a) のものに巾 2 cm のひれを両側に附けた場合であつて, type 1 から type 2 になつているのがよくわかる. Water belts の巾が計 4 cm に限定されるため, 安定であるばかりでなく抵抗も減少する.

写真 4 b) は, もともとが type 2 であつたものにひれを附けた場合なので, 結局 water belts の巾が計 4 cm も増したことになる. 抵抗はそれだけ増加する.

この方法は, slit より前部の chine に spray root をもつ場合に有効である.

これと全く同等の方法として, slit 及び slit cover を chine の内側に入れて仕舞うことが考えられる.

2) Slit の両側に小型の side plates をつける方法. 両舷側にこのような side plates を取り付けると走航は大変安定する.

これは side plates をもつた boat の機構を部分的に利用したもので, type 1 の planing に際しては blister spray を 小型 side plates が受けて向を変えさせ, water belts を形作らせる役割をもつ.

1) $(6 \cdot 1)$ の比例常数を増大することにもなる.

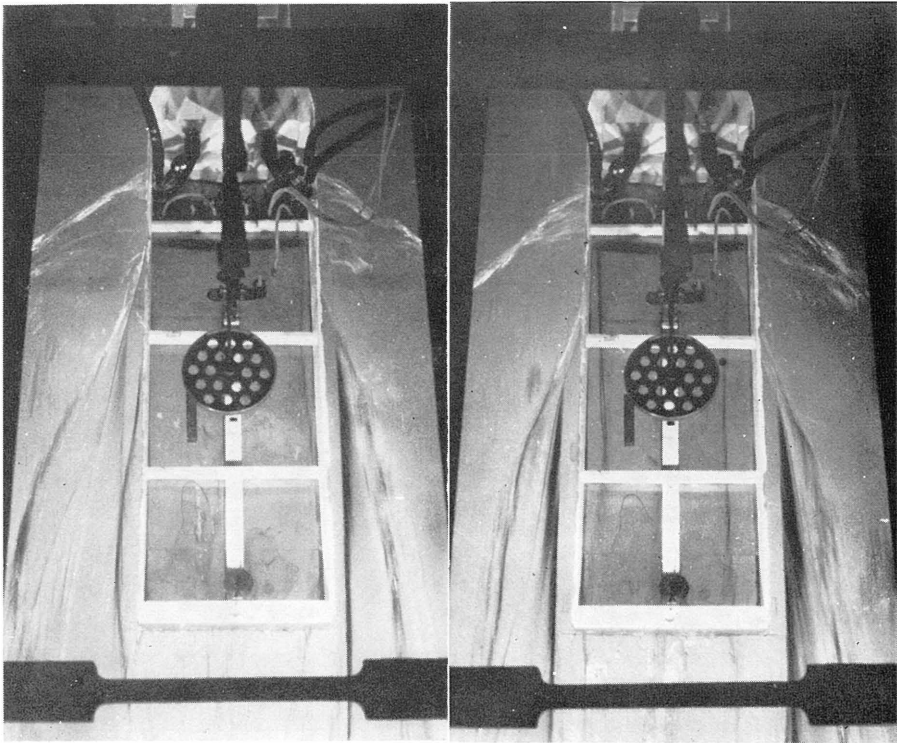
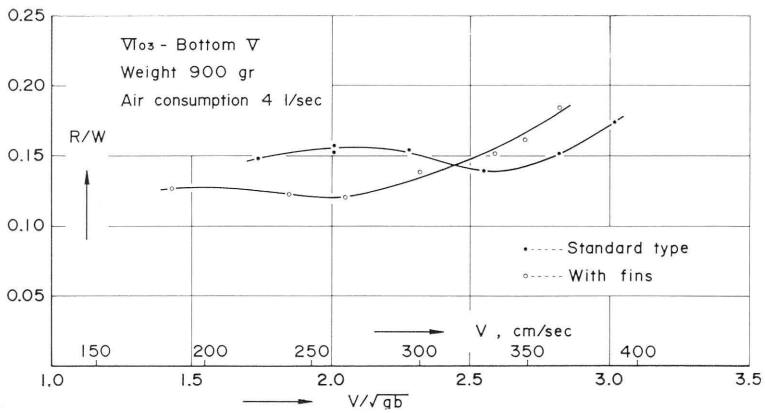


写真-4 a) 両側に幅 2 cm の fin をつけたもの

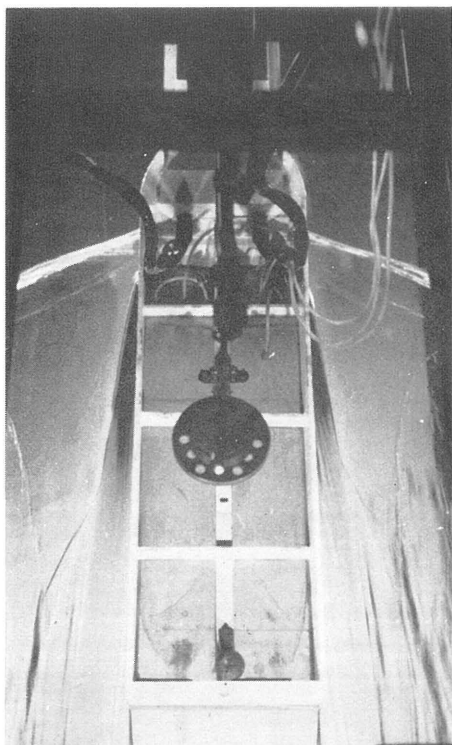
写真-4 b) 両側に幅 2 cm の fin をつけたもの

VI₀₃-Bottom V, 重量=850 gr
空気量=4 l/sec, 艇速=300 cm/sec

VI₀₃-Bottom V, 重量=850 gr
空気量=4 l/sec, 艇速=360 cm/sec

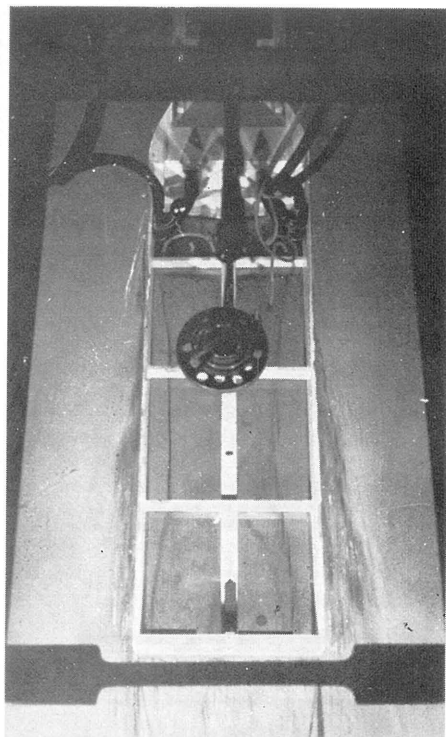


第 12 図 VI₀₃ 号艇にひれをつけた場合の抵抗



写真—5 a 側板のないとき

VI₀₃-Bottom V, 重量=900 gr
空気量=4 l/sec, 艇速=290 cm/sec



写真—5 b 小型側板をつけたとき

VI₀₃-Bottom V, Side plate III, 重量=900 gr
空気量=4 l/sec, 艇速=280 cm/sec

Type 2 の planing に対しては velocity spray を受けて向を変え, slit の両端に小規模の water belts をつくり, 噴流の浪費を防ぐ役割をもつと考えられる。

この方法は, type 1 より type 2 への移り変りの附近に適用すれば有効と思われるが, 吾々の試みに際しては不必要に side plates が大きく, その摩擦抵抗¹⁾が大きくて高速での性能は悪くなっている。

8. 噴流の役割と slit の構造 艇底を横切つて構えられた slit からの噴流の役割は, 水面翼型艇の機構からみて, 1 艇底に空気を送り込むことと, 2 slit 附近の圧力を低下さすことに分けて考えられる。

船首底面及び slit 後方の底面の構造を適当にして, slit 附近の水流の圧力が負になるようにすることは, 水面翼型艇の第 1 条件である。この様なとき slit から空気を送つて走るならば, 或限界速度を越すに至つて, type 1 の planing から type 2 の planing へと遷移は行われることになる。その際に噴流の役割が 1 だけであるならば, 噴流の流速を考慮することなく, 適量の空気さへ送ればよいこと

1) 艇速 350 cm/sec の際に約 28 gr に及んでいる。

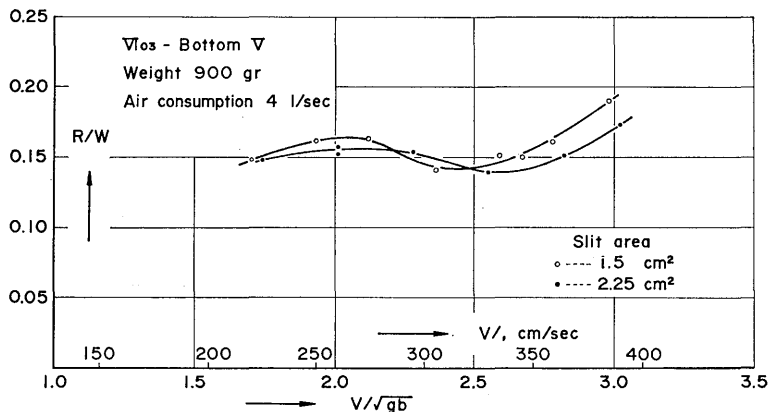
になる。そこで2の効果を知ることが重要な問題となる。

2は圧力の低下に依つて附近の流状を変えることにある。そのために起る現象として、先づ、i) 水面翼型の揚力係数の変化が考えられる。吾々は、これが増大することを期待して居るものであり、前回までの結果はその方向にあるが、詳しくは今後の結果を俟たねばならない。次いで ii) slit の両端外側の水流を吸い込んで、slit より後方の水流の模様を変えることが考えられる。

ii) は water belt の形成や、その完全さに密接な関係があるように思われる。最も極端な場合には a) type 1 の planing をなすべき管の場合にも、負圧が強いため slit の両端附近から外流を吸引し強制的に water belts を形成させ、従つて type 2 の planing に移して仕舞うことが考えられる。type 2 の planing の場合に b) water belt の発端である blister spray と艇の底面との間隙を外流(それは blister spray 自体の一部も含む)を吸い込むことにより、小さくするとか、或はこれを塞ぎ、船底空隙と外気とを遮断することが考えられる。

この問題を系統的に追究することは不可能であつたので、得られた測定結果を用いて出来るだけ検討してみる。

VI₀₃号艇の標準状態のもと、その slit を両側から塞いで面積を 2/3 にしたものの抵抗曲線が第13図に示されている。噴流速度は 3/2 倍に増大しているにも拘らず、両者の間に著しい差違はなく、むしろ後者の方が性能が落ちている。

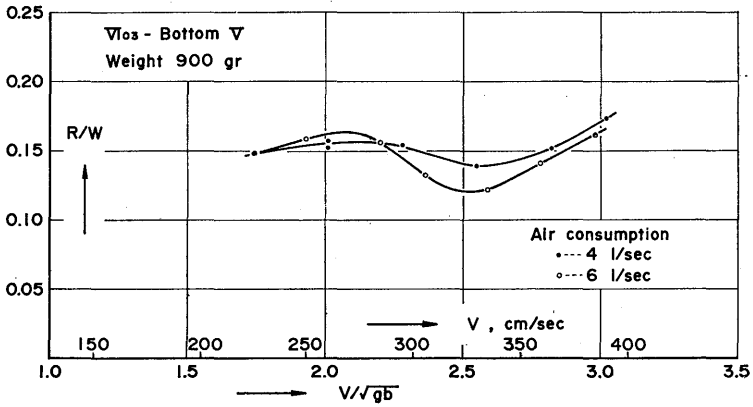


第13図 VI₀₃号艇。スリット面積を変えた場合の比較

この結果から見ると、噴流の ii) の意味はないように思われる。然しこれは、VI₀₃号艇では slit cover 上面から艇底面までの高さは、3.5 mm であり、それより後方 1.5 cm のところに 1.5 mm の step があつて船底に続いていて、water belt の先端をなしている blister spray の crest と底面との間隙が大き過ぎるために、噴流により折角低下した圧力も、徒らに外気を導入し噴流を乱すことに役立つと言う結果に終つたものと思われる。

VI₀₃号艇の標準状態、空気量 4 l/sec、は一応よい性能を示している。ここで空気量を 6 l/sec に増

1) 戦時テストに際して、自分は外流の吸い込まれている状態を観察した。

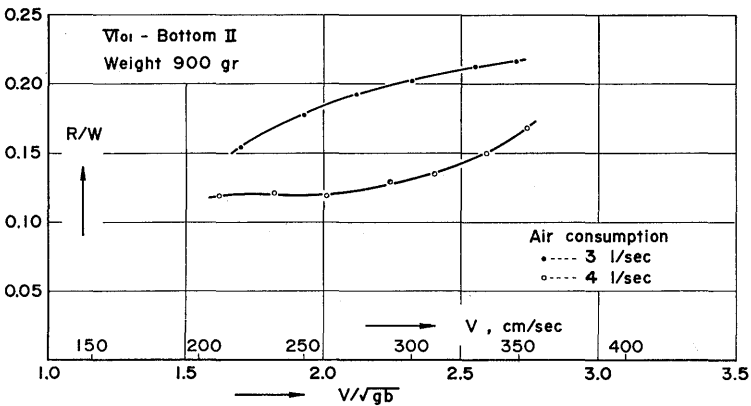


第14図 VI₀₃号艇. 空気量による抵抗変化

すと抵抗は一樣に減少する. この減少は船底の wetted area の減少によるものと考えられる¹⁾. そこには噴流速度が 3/2 倍になったことに起因するような大きな変化は認められない.

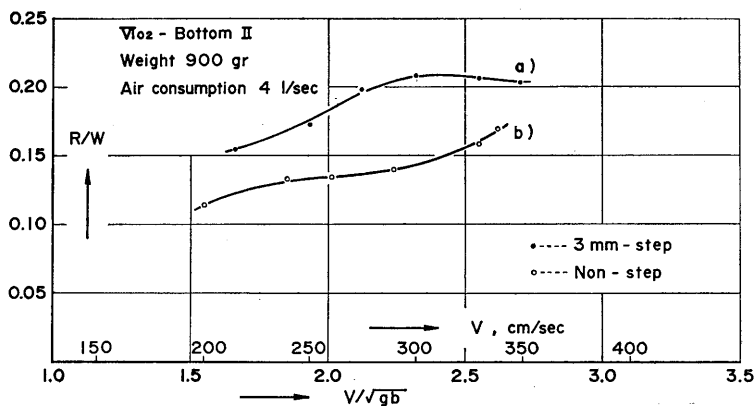
第15図は VI₀₁号艇 (slit の高さ 1 mm, 面積 1.5 cm²; cover の厚み 1 mm; step 3 mm) の抵抗曲線を示している.

空気量 4 l/sec の場合には, side plate をもつた flap 底の VI号艇 (7頁第5図, III 第2図参照) と同型の抵抗曲線を示し, VI₀型では最も優れたものである. これは, slit 直後の blister spray と船底との間隙が小さく, 噴流による圧力降下の効果が有効にきき, water belt が完全に近く形成されて, side plate の役割を果していることを意味しているのではなからうか. このために type 1 の planing の過程がなく, 早期より type 2 の planing となつているものと思われる²⁾.



第15図 VI₀₁号艇. 空気量が著しく影響する場合

- 1) 第6節に述べたように planing type 2 の場合には water belts の中は空気量を増せば減少する, 又 type 1 の場合にも船底空隙は増大する筈である.
- 2) Slit 圧が負とならないので, すぐに改装し, VI₀₁ は余り使用しなかつた. 然しその原因は slit cover が薄かつたことではなく, 船底 II を用いたことにあつたものと思われる. 残念であつた.

第16図 VI₀₂号艇. Stepが著しく影響する場合

空気量を 3 l/sec に減ずると、性能は急に悪くなる。これは噴流による圧力降下の効果が弱まるためではなからうか。

VI₀₂号艇は VI₀₁号艇の slit cover の厚みを 1 mm 増して 2 mm としたもので、厚みが如何なる影響をもたらすかを見たものである。Water belt の先端の間隙が増大して特性は急に悪化し、第16図の a) の如くなるが、ここで slit より 15 mm 後方にあつた 3 mm の step を無くすると抵抗曲線は b) の如く改善され VI₀₁ と同型になる。しかし slit cover を 3 mm にすると、step なしにしても性能は改善されない。

以上の現象は、water belt の先端に生ずるであろう間隙は、これを出来るだけ小さくするようにし、噴流は速くする方が望ましいことを示すものであろう。

VI₀₃号艇に於て、slit の高さを 1.5 mm、slit cover の厚みを 2 mm にしたことは、water belt の先端間隙を大きくし、VI₀₁ ほどには water belt は充分な役割を果させなかつたことになるが、反面その故に planing に 2 つの types のあることを発見出来たものと思う。

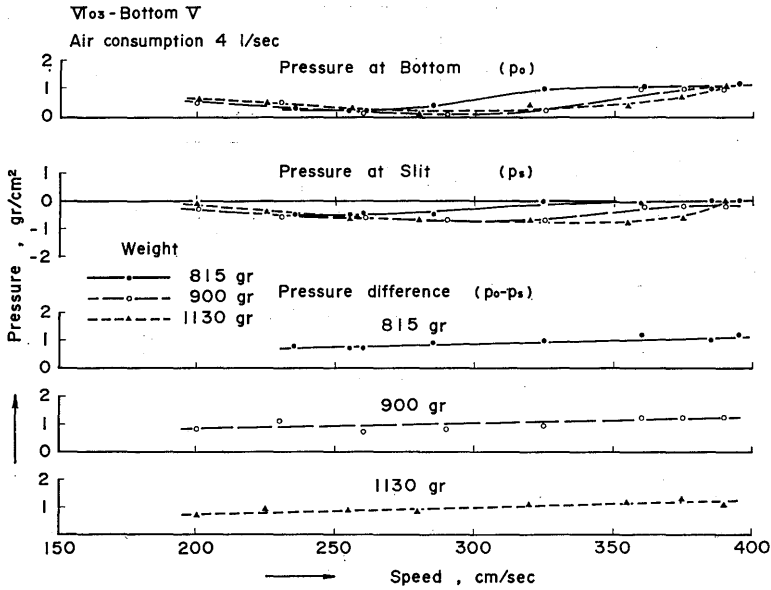
後に述べられるが、噴流が船底に進んで船体を支持すべき安定した空気層を形成するためには、slit 直後に適当な助走路をおいて、或程度の step を作る事が望ましい¹⁾。これ等相反する要求は構造上の多少の工夫により満されるものと思う。

9. 圧力の測定 Side plate 型のときと同じように、slit に於ける空気圧 p_s と船底圧 p_0 を 2, 3 の場合に就いて測定した。結果は第17図に示されている。

船底圧は、side plate 型のときには速度に関係なく、荷重条件から決まる一定圧を示していたが、今回はこれと相違して、type 1 の planing に際しては圧力は低く、type 2 の planing に移つてから、荷重条件から決まる一定圧をとるようになる。

Type 2 の planing に際しては、side plate 型のときの様に、船体は主として船首部底面に働く揚力と胴体部底面の空気圧に依つて支えられているが、type 1 の場合には底面の空気圧は船体支持のた

1) Slit より後方の空気層をも考慮に入れて一つの翼型になつている。



第17図 噴射口及び船底の圧力

めには不充分である。船尾に近い底面の wetted area に作用する水圧がこれに代つているのであろう。

これに反して、slit に於ける圧力変化は side plate 型ときには複雑であつたが、今回は単純で、船底圧に平行している。2つの圧力の差 $p_0 - p_s$ と速度の関係も同じく第17図に図示されている。

U_s , U_0 を slit に於ける流速、及び船底の流速とすると

$$p_0 - p_s = \frac{1}{2} \rho_0 (U_s^2 - U_0^2) - r \tag{9.1}$$

である。ここに r は噴流に沿つての energy loss である。

Slit の高さは 1.5 mm であり、船底の水表面は殆んど水平と考えられるので、空気圧の測定点附近の空気層の厚みは約 5 mm となる。従つて、(9.1) は次の如くなる：

$$p_0 - p_s = \frac{1}{2} \rho_0 U_s^2 (1 - 0.09) - r. \tag{9.2}$$

Energy loss のうち最も大きいのは、高さ 1.5 mm の slit からの噴流がその直後の高さ 3.5 mm の流路に入る場合の、急拡に伴うものである。普通の水理学の実験公式を用うると、これは $\frac{1}{2} \rho_0 U_s^2 \left(1 - \frac{1.5}{3.5}\right)^2 = 0.32 \times \frac{1}{2} \rho_0 U_s^2$ である。従つて (9.2) は

$$p_0 - p_s = \frac{1}{2} \rho_0 U_s^2 \times 0.58 - r' \tag{9.2}'$$

となる。ここに r' はその他の energy loss であるが、主なものは流路に沿つての friction loss である。

空気量が 4 l/sec のとき、 $U_s = 1775$ cm/sec であり、 $\rho_0 = 1.226 \times 10^{-3}$ gr/cm³ とすれば、

$\frac{1}{2} \rho_0 U_s^2 / g = 1.98 \text{ gr/cm}^2$ である。圧力を gr/cm^2 で測るならば (9.2)' は

$$p_0 - p_s = 1.17 \text{ gr/cm}^2 - r' \tag{9.2}''$$

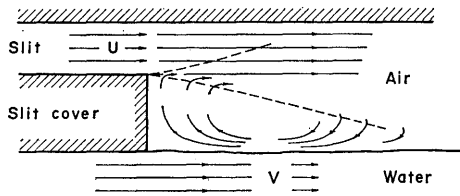
となる。

r' はもともと小さいが、その上艇速の増力に従つて減少することを思えば、(9.2)'' は測定結果第17図をよく説明しているものと言える。

上の方法に従つて、side plate 型の場合の流路の急拡による energy loss を計算すると、slit の高さ 2 mm, cover の厚み 3 mm なので、動圧 $\frac{1}{2} \rho U_s^2$ の 36% 程度の loss がある筈である。然るに測定結果はこれを否定して、(2.2) が示すように energy loss は殆んどなく、噴流に沿つて近似的に Bernoulli の定理が成立つ。

この2つの結果の相違は、何によるものであろうか。VI₀₃号艇では噴流の流路急拡に際しては、水理学公式に与えられる energy loss が伴うのに反して、side plate 型ではこの loss は極く小さく、測定の誤差の中に入つて仕舞う。

扱て、水理学に於ける流路の急拡による energy の loss は、境界層の剝離が原因になつて、急拡の場所に大型の vortex を生じ、これが流れを著しく turbuleut にするために生ずるものである。



第18図 スリットからの噴流

噴流が拡散するためには外側からの吸い込みを必要とする。この役目を果しているのが上述の vortex である。若し、急拡後の下側の壁、即ち水面が相当の速度をもつて流れている場合には、この vortex の生長は阻止される。従つて噴流の急な拡散は行われ難くなる筈である。これが side plate 型の場合に、艇速が速くなると、流路急拡による energy loss の生じない原因ではなからうかと思われる。

VI₀₃号艇の場合にも、2次元的流動として考えれば同じでなければならない。然しこのときには、water belts の先端部に流路に沿つて側面に大きな間隙がある。従つて3次元的に、この急拡部に外部からの流入があり、噴流の拡散を行うに足る空気量の補給が行われているのでなからうか。若しこの推測が当たっているならば、水理学の示す流路急拡に伴う energy loss が説明される。

噴流による energy loss を少なくするためには、side plate 型が望ましい、然しながら、non-side-plate 型の場合にでも、VI₀ 型の様に、或は更に工夫を加えて、water belt の先端に出来るであろう間隙をなくすようにし、更に噴射助走路と船底の間に適當の step をおこならば¹⁾、その間の圧力間には Bernoulli の定理が成立ち、噴流に要する動力は節減されるばかりでなく、抵抗曲線も改善することが出来るのではなからうか。

1) 船側に沿つては適當の中をもつた平坦部をもつ等の工夫が考えられる。

10. 船底の水流 船首底を流れる水は, slit 面に達して slit cover 端を離れ, slit から放出された空気層を隔てて船底下を流れ, 船尾に至つて船を離れる.

船首底面の周りの流れは, Froude 数が十分に大きければ, 重力を無視した薄翼の周りの不連続流に近似される. その翼端即ちslit cover の端からの後流は, 仰角の小さいこともあつて, 殆んど水平と考えられる. 実際 W. Sottorf の滑走板¹⁾の後流の測定は, これを確めている.

少しく離れて線型理論が成立つようになれば, 重力による水位の変化は H. Lamb の text²⁾ に従つて推算することが出来る. 水面翼の影響は, 近似的に $2\pi \times \frac{V^2}{g}$ の周期 (波長) をもつて現われる. type 2 の planing に際しては L を船の代表的長さとする, 波長と L との比は $2\pi \times (\text{Froude数})^2$ となる. 従つて VI₀₃ 号艇の実験範囲では, 後流の山は船底には現われない. 然も振巾は, 艇速の自乗に逆比例する. そして艇速 315 cm/sec の際に約 10 mm 程度なので, 重力による船底水流の水位変化は 2~3 mm の程度にとどまる. 従つて船底空気層の圧力 p_0 が加わっている, 水面の水位低下は, $p_0/\rho g + \alpha^3$ と考えても大きな誤りはない.

第2表 船尾の吃水

重量 (gr)	艇速 (cm/sec)	吃水 (mm)	重量 (gr)	艇速 (cm/sec)	吃水 (mm)
815	330	12	1015	380	12
	365	11		390	11
	385	10			
900	340	11	1130	370	15
	365	11		390	13
	390	9			

第2表は走航中の船尾の吃水である. この結果は第17図に示されている $p_0/\rho g$ と比較して, 上述の推論を裏書きしているものと言えるであろう.

上述のことから type 2 の planing に際して, water belt の上端に於ける水圧 p_w は, その高さを h_w として

$$p_w \doteq p_0 - \rho g h_w \quad (10.1)$$

と考えられる.

11. 船底を沿う空気層の流れ 密度の異つた2つの流体が限られた厚みの層をなして流れるとき, 其の界面は, 2つの流体の速度差が或限度以上になると不安定になる. この不安定性に就いては古くから多くの研究⁴⁾が行われているが, 現在風浪の発生に就いての実測結果と一致するまでには到っていない. 例えば, 空気と水の場合, 空気の流速を U , 水のそれを V とすると, 界面が安定であるためには

- 1) W. Sottorf, Versuche mit Gleitflächen III Teil, Fig. 11., Wert Reederei Hafen, Heft 4. 1933.
- 2) H. Lamb, Hydrodynamics, pp. 404~406. Sixth Edition.
- 3) α は艇速=315 cm/sec のときに 2~3 mm であり, 艇速の自乗に逆比例する. 従つて type 2 の planing に際しては極く小さい.
- 4) 報告Ⅲ, 第11節.

$$U-V < 646 \text{ cm/sec} \quad (11.1)$$

でなければならない。

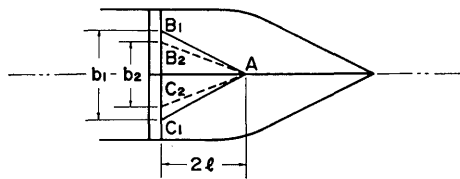
風浪の発生限界は、この値より遙かに小さい。更に、空気層が限られている場合には、理論的にもこの限界は小さくなる。従つて船底の空気層の流速は、艇速より余り大きくはなり得ない。実際上方より撮つた走航中の写真の検討から、空気層の厚み h は、船尾の放出口を除いて、5~10 mm 程度のもので推定される。仮りに $h=5 \text{ mm}$ とすると、空気層 $= 4 \text{ l/sec}$ のとき $U=4000/17 \times 0.5=4.7 \text{ m/sec}$ である。

この数値は上のことと矛盾しない。 $U-V$ が小さいので、空気層と水面との間の剪断応力は極く小さく、この空気層の流れに対する抵抗は、船底に沿う摩擦力だけを考えればよい。従つてその抵抗は、近似的に間隙が $2h$ であるような2平行板間の流れの一方の壁面での剪断応力 τ に等しい。

流れの Reynolds 数は、 4.7×10^3 であるから、turbulent flow として抵抗係数 $\tau = \tau / \frac{1}{2} \rho U^2 \doteq 0.01$ である。従つて $\tau = 1.35 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^2$ であり、船底の長さを 40 cm とすると、その両端に於ける圧力差は $\tau \times 40 / 0.5 = 0.11 \text{ gr/cm}^2$ となる。従つて、船底空気層内の圧力は、到るところ均一であると考えることが出来る。

12. 翼型底の揚力係数 VI₀₃ 号艇の荷重状態を変えて、各種の速度にて走らせる。水面との接点の位置を知るために、予めキール及び chine に沿つて scale mark を記入しておいた。カメラを水面に近く台車に取り付け、走航中の艇の船首部の写真を撮つた。

キール線上の接点の slit からの距離 $2l$ は、これに沿う scale mark から容易に読みとることが出来る。トリム角も測定されているので、静水面と slit 面での底面との2接点の位置を読みとつて、その間隔 b_2 を知ることが出来る(第19図参照)。



第19図 船首底面の Wetted Area

(l, b_2) にて定められる面積 AB_2C_2 は大体 dynamical wetted area と考えられるが、正確でない。そこで、特に接点 B_1, C_1 を直接に測定するために、カメラを更に水面に近づけて撮られた写真(写真6はその一例)から投影法により、その位置を測つた。得られた B_1, C_1 の間隔を b_1 とした。 (l, b_1) にて定められる面積 AB_1C_1 は一そう dynamical wetted area に近いものと考えられる。測定の結果は第3表に示されている。

翼型底の揚力係数を比較する場合には、理論的には面積 (l, b_1) を用うべきであるが、設計の際には面積 (l, b_2) の方が便利である。従つて b_1 と b_2 の関係を知つておくことが望ましい。

(b_1, b_2) の関係は、荷重状態、艇速等によつて異なる筈であるが、現在はそれを知るに十分な資料がない。測定の範囲に於て平均的に

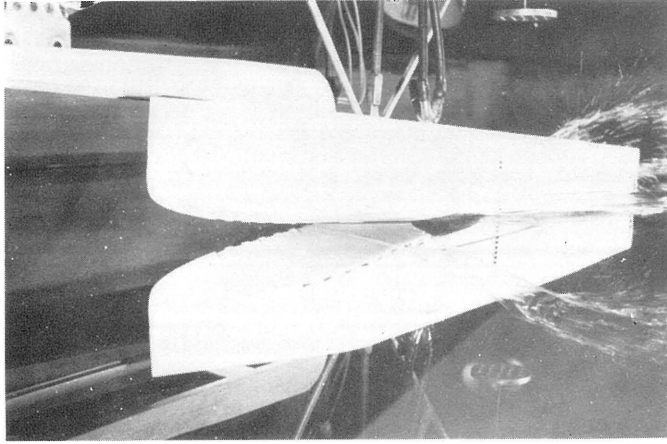


写真-6

VI₀₃-Bottom V, 重量=1130 gr, 空気量=4 l/sec, 艇速=390 cm/sec

第 3 表

W (gr)	V (cm/sec)	l (cm)	b_1 (cm)	b_2 (cm)	b_2/b_1	l/b_1	α	C_{L1}	$\frac{\partial C_{L1}}{\partial \alpha}$
815	330	4.3	10	8	0.80	0.43	0.063	0.122	1.94
	365	4.3	10	7	0.70	0.43	0.064	0.100	1.56
	385	4.3	9	7	0.77	0.47	0.060	0.101	1.68
900	340	4.0	11	7	0.64	0.36	0.063	0.145	2.30
	365	5.0	12	8	0.67	0.42	0.059	0.092	1.56
	390	4.0	10	7	0.70	0.40	0.061	0.121	1.98
1015	380	4.3	11	8	0.73	0.39	0.068	0.142	2.09
	390	3.3	10	7	0.70	0.33	0.067	0.192	2.87
1130	370	4.3	10	9	0.90	0.43	0.071	0.157	2.21
	390	4.0	10	8	0.80	0.40	0.070	0.152	2.17

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{S_2}{S_1} = 0.74 \pm 0.025 \quad (12.1)$$

が成立つ, ここに S_1 , S_2 は夫々面積を表はす.

Slit より後方の船底に作用する揚力は, 空気層の圧力 p_0 と water belts による水圧 p_w によるものである. p_0 と p_w の間には近似的に (10.1) が成立つものとする.

Water belts の巾 (左右の和) を b_w , 空気層の巾を b とする. Slit から中心線に沿つて x 軸をとると圧力の中心 \bar{x} は

$$\bar{x} = \frac{\int_0^l (p_0 b + p_w b_w) x dx}{\int_0^l (p_0 b + p_w b_w) dx} = \frac{\int_0^l (p_0 B - g \rho h_w b_w) x dx}{p_0 B l - \rho g \int_0^l h_w b_w dx} \quad (12.2)$$

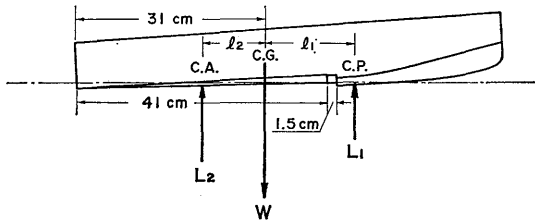
で与えられる. ここに l は slit から船尾までの長さであり, B は船体の幅である.

h_w は減少関数, b_w は増加関数である. 従つて $h_w b_w$ の変化は, 僅小となり, ここに考えているような場合には無視することが出来る¹⁾. 従つて圧力の中心は船底面積の中心と考えて差支えない.

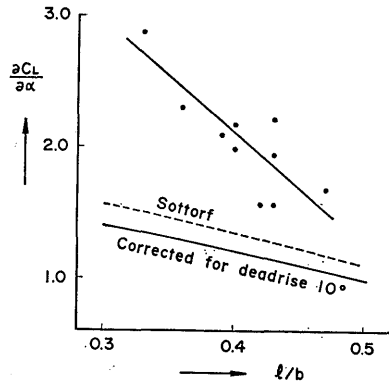
船首底面に働く圧力の中心は, dynamical wetted area の中心に近いが, 仮りに Sottorf の平板に就いての結果を用うるならば²⁾, 後端より平均長の0.75のところにある.

重心は船尾より 31 cm にある. 船底は長さ 41 cm なので, その面積の中心, 即ち揚力 L_2 の中心 C. A. と重心の距離は $l_2=10.5$ cm である. Step と slit 間の空気圧は小さいので, その揚力は無視する.

重心から slit までは 11.5 cm なので, slit から船首底面の揚力 L_1 の中心までの距離には平均値 = $0.75 \times 4.15 = 3.11$ cm を用うると, 重心から C.P. までの距離は, $l_1=14.6$ cm となる.



第 20 図 VI₀₃ 号艇. 力の釣合



第 21 図 船首底翼型の揚力係数

W を艇の重量とすると, L_1, L_2 に就いて次式が成立つ:

$$L_1 = \frac{l_2}{l_1+l_2} W = 0.418 W, \quad L_2 = \frac{l_1}{l_1+l_2} W = 0.582 W. \quad (12.3)$$

この様にして, 船首底翼型の揚力が知れたので, 第 3 表に与えられた翼面積, 仰角を用いて揚力係数 C_L 及び $\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0$ を求めることが出来る. 計算の結果は第 3 表の最後の 2 列に示されている.

W. Sottorf の論文 Teil III の Fig. 8 に於て, $\alpha=4^\circ$, Kielwinkel $\beta=160^\circ$ は略々 VI₀₃ 号艇に対応しているので, 吾々は

$$C_L(\beta=160^\circ) = 0.90 \times C_L(\beta=180^\circ) \quad (12.4)$$

を採用することにする.

W. Sottorf の論文 Teil IV Abb. 7 に示された $F^*=3.5$ に対する曲線の一部と共に第 3 表の結果は, 第 21 図に示されている. 吾々の結果は, 彼のものより大きい値を示している.

薄翼理論によれば $\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0 = 2\pi \frac{b/l}{b/l+2}$ である. Sottorf によれば, その圧力側の揚力は全揚力の 0.39

1) $h_w = h_{w0} - \Delta h_w \frac{x}{l}$, $b_w = b_{w0} + \Delta b_w \frac{x}{l}$ とおくと, (12.2) は $\bar{x} = \frac{l}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{\rho g h_{w0} b_{w0}}{\rho_0 B - \rho g h_{w0} b_{w0}} \left(\frac{\Delta b_w}{b_{w0}} - \frac{\Delta h_w}{h_{w0}} - \frac{\Delta b_w}{b_{w0}} \cdot \frac{\Delta h_w}{h_{w0}} \right) + \dots \right\}$ となる.

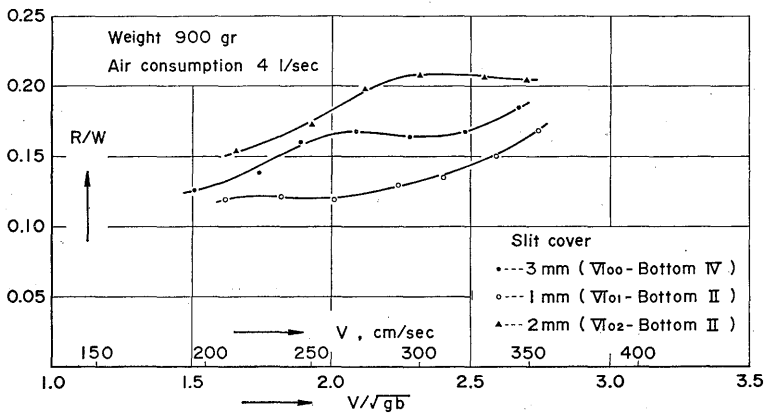
2) W. Sottorf, Versuche mit Gleitflächen, IV Teil, Abb. 10. Werft. Reederei Hafen 1938, Heft 5.

である。従つて, planing に対して $\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0 = 0.78\pi \cdot \frac{b/l}{b/l+2}$ が考えられる。

Froude 数が充分に大きいときには, hydraulic planing の理論は, $\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0 = \pi \cdot \frac{b/l}{b/l+2}$ を与える。Cavitating flow の極限とすれば $\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0 = \frac{\pi}{2} \frac{b/l}{b/l+1}$ である。

吾々の測定値は, b/l が大きいときは, 従来の実測値は勿論であるが, その他の理論値よりも大きい値を与えている。果してこれが噴流の効果であるかを断定するまでには, 今後若干の詳しい研究を必要とするであろう。

13. 抵抗測定値 VI号艇に於ては, side plates を用いないで, 平坦な船底をつけても高速では却つて抵抗が少ないことを見出し, 吾々は, 戦時テストの再現に一步前進したのである。そこで, 引き続いて好都合な条件を見出してゆかねばならないが, 考えられる要素が数多くあること, 特に高速度を出すことが出来ない等のため充分なテストを行うことは出来なかつた。



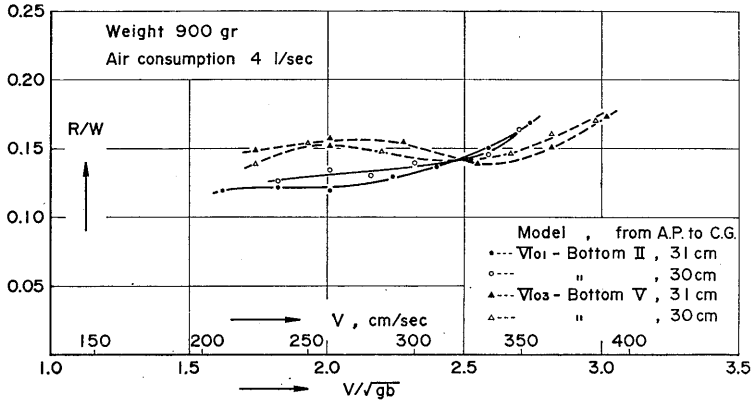
第22図 Slit cover の厚みの影響

VI₀₀艇は, slit の高さは1 mm であるが slit cover の厚みが3 mm もある。VI₀₁, VI₀₂号艇は slit の高さは同じく1 mm であるが, cover の厚みを夫々1 mm, 2 mm にしたものである。

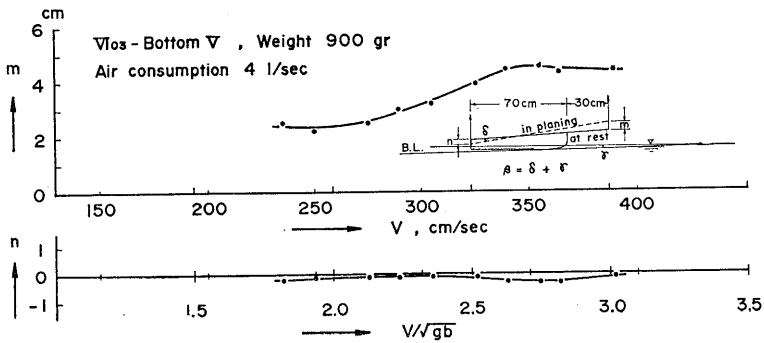
比較のため, 3種の抵抗曲線を第22図に示しておいた。Slit の高さ, cover の厚み等に関する吟味は第8節に行われている。要約すると, water belts の先端部に間隙の余り生じないようにすること及び噴流の流速も成る可く大きいことが望ましい。このような意味で VI₀₁号艇が最も性能がよい。

荷重分布に依つて抵抗の変化することは当然であるが, side plate 型 (V号艇) でもそうであつたように, その影響は低速 (type 1 の planing) の際に顕著であつて, 高速 (type 2 の planing) になると大変に弱まつてくる。第23図は VI₀₁ 及び VI₀₃号艇の場合を示している。第24図はその際の trim と艇速の関係を示している。

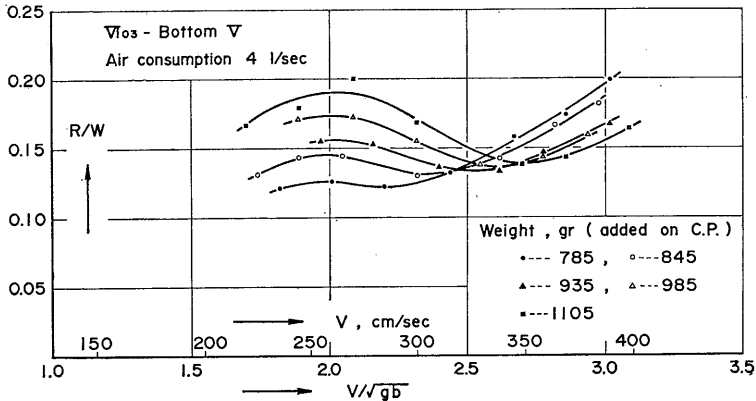
1つの極端な例として, VI₀₃号艇の船首底の wetted area の中心に該当する部分に荷重を加え, 或は減じ, 重量と共に重心の位置をも変えてみた。結果は上述の結論を確めている。船首部の荷重を増してゆくと低速で著しく抵抗が増すが, 高速では却つて性能はよくなる (第25図)。これは, type 2 の航走



第23図 重心の影響



第24図 V_{I03} 号艇, トリムの変化

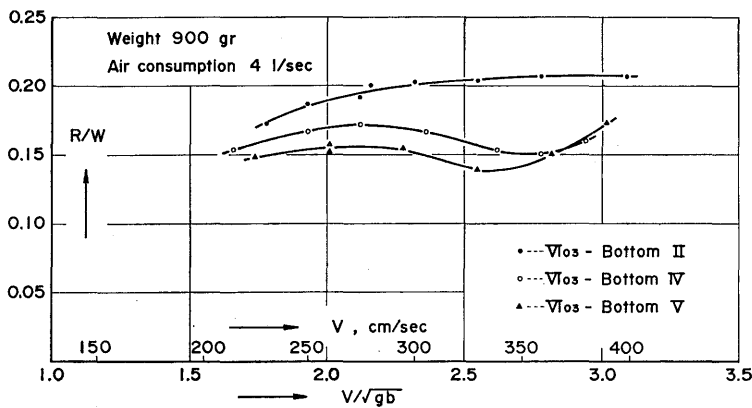


第25図 V_{I03} 号艇, 船首部の荷重を加減した場合

に際して、荷重が重く船首底の wetted area が増大して blister spray の roots が外方に移り、water belts の巾が減少することに起因するものであろう。

Slit の後方の船底は、第7図に示された3種類を用いた。これ等船底の船尾の高さは、船首底翼面の仰角を支配する点、及び船底を沿う空気層の厚みを限定する点で重要な意味をもつ。

船底の空気層は適当の厚みをもつて、噴射口から放出された空気を安定した流れとして船尾まで移さねばならない。この様に船の姿勢を定めたときに、船首底翼面が与えられた荷重を支えるのに充分であつて、而も翼幅を成可く広くして、water belts の幅をせまくすることが望ましい。



第26図 ∇_{03} 号艇. 船尾の高さの影響

第26図は、3種の船底を用いた場合の抵抗曲線を示している。船底IIは論外である。船底IV、Vは高速では同程度のものであるが、低速ではVの方が少々優っている。

船底II(船尾の高さ4cm)を取り付けたときに、船底は基準吃水線に平行である。従つて、船底V(高さ2.5cm)では船底は基準吃水線、従つて船首底翼型に対して $1.5/41 = 0.0366 \text{ rad} = 2^{\circ}1'$ の角をなすことになる。これは丁度V号艇の場合と同じになる。船首底翼型の取り付け角は、 2° 程度が望ましいのではなからうか。

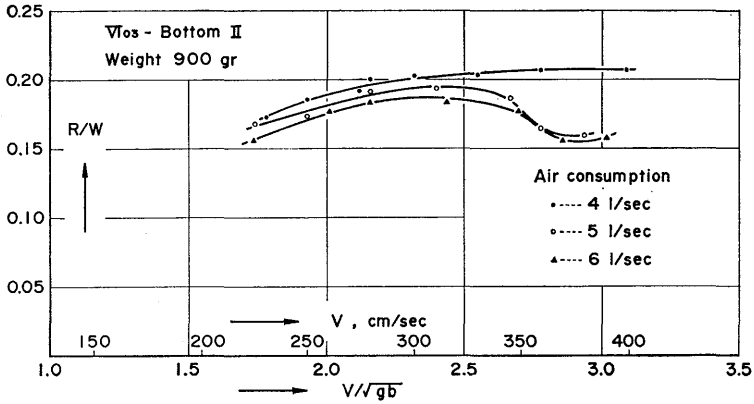
船底IIの性能の悪いのは ∇_{03} 号艇ばかりでなく、 ∇_{02} 、 ∇_{10} 、 ∇_{100} に於てもそうである。これに反し ∇_{101} 号艇に於ては性能がよい。これは第8節にて検討されたように、slit直後の水面と船底面の間隙が小さく、その上噴流の速いことによるものと思われる。

空気量を増すことは、殆んど総ての場合に性能をよくする。例えば ∇_{03} 号艇にて船底IIを用いた場合に、空気量を4l/secから5.6l/secに増すと、第27図が示すように、高速領域では著しく改善され、船底V(空気量6l/sec)のときと同程度になる(第14図参照)。

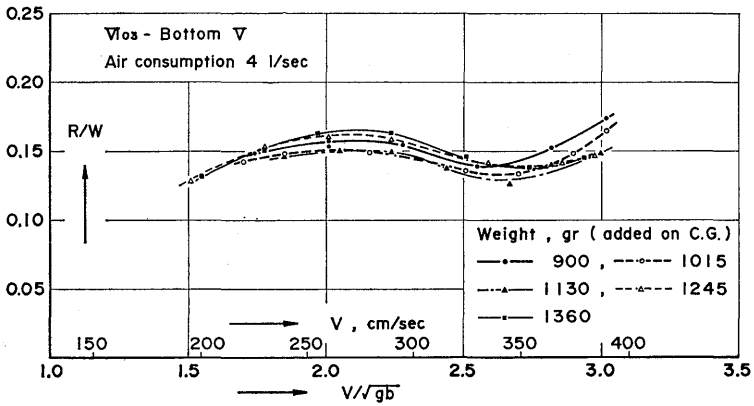
重量を標準(900gr)から増すと、性能は却つてよくなる(抵抗・重量比は減少する)。この傾向は第25図にも既に現われているが、重心を変えないで、重量を1015gr、1130gr……に増した結果は第28図に示されている。

第29図、第30図は、それぞれ、空気量、重量変化による trim の記録を示している。

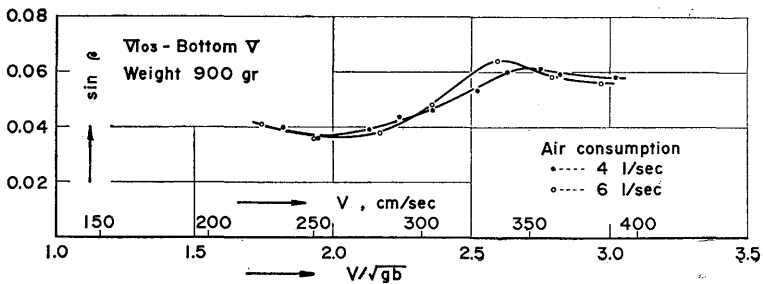
Side plate 型のとくと同じように、艇型と空気量に対して、最も好都合な荷重係数が存在するものと思われる。



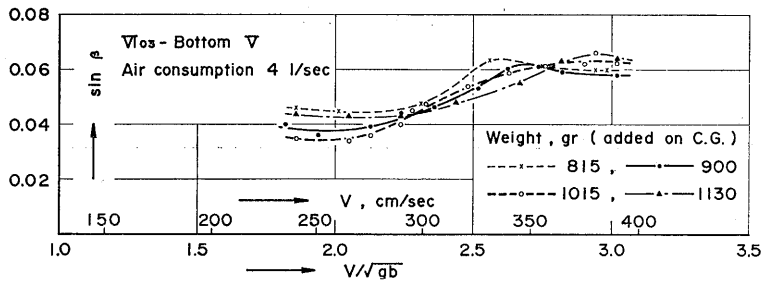
第27図 VI₀₃(船底II). 空気量による抵抗の変化



第28図 VI₀₃号艇. 重量による抵抗の変化



第29図 V₀₃(船底V). 空気量によるトリムの変化

第30図 VI₀₃号艇. 重量によるトリムの変化

総括 1. 船首底面を翼型になぞらえて、流体圧が負となるような断面に空気の噴射口を設け、その後方に適当な長さの助走路において、船底に step をつけ、船尾には適当な高さの flap を取り付ける。噴射された空気が舷側から逸脱しないように、side plates を取り付ける。これがここに言う side plate 型の surface foil boat であつて、その航走中に送気するならば、船首底面と船底空間を満す空気層とが一体となつて、流体力学的に一種の滑走面を構成することになる。上述の slit 面に於ける流体圧も亦この様な滑走面に関するものでなければならない。

このとき、船体は船首底翼面に及ぼす流体圧、即ち揚力と船底空気層の浮揚力とに依つて支えられる。流体抵抗は、i) 船首底翼面に作用する圧力抵抗と摩擦抵抗、ii) 船底に及ぼす圧力抵抗及び iii) side plates に作用する摩擦抵抗がその主なものである。

初めには、噴流によつて slit 附近の圧力が降下し、ために船首波の大部分は吸収され抵抗即ち i) が著しく減少するものと考えられ、モデルの滑走状態もこれを裏付けるように、艇は極めて静かに水面を滑走した(写真1)。

これは side plates の波に及ぼす作用もある筈なので、観察だけからみて、それが推論の妥当性を確かめているとは言い兼ねる。然しその解釈の如何に拘らず測定された船首底翼面の揚力係数は滑走板に就いてのものより著しく大きい。従つて i) は、適正な設計に依つて充分小さくすることが可能である。

ii) は船底の仰角を小さくすることに依つて小さくするが出来る。従つて、最後に問題になるのは iii) である。これを小さくするためには、不必要な wetted area を極力減らす工夫が必要である。特に船胴を長くすることに依り、この型の特長を生かし、著しく性能を高めることが出来る(第4図)。然しながら摩擦抵抗が速度と共に急に増加するので、この型は、比較的低い Froude 数の場合に適している(第3, 4図)。

吾々の目的は、side plates や flap を取り除いても、同じように噴流によつて波を消し、抵抗を減らすことが可能であるかを検べるにある(戦時テストの再現)。VI₀号艇は、そのためのモデルであり、高速に於ては side plate 型よりもよい性能をもつことが知られたのである(第5図)。

この現象の物理機構を探るために、VI₀号艇を基準にして、slit area 及び slit cover の厚みを変えた VI₀₁、VI₀₂ 及び VI₀₃号艇を用い、更に船尾に於ける高さを変えた幾つかの船底を取り付け、実験を行った(第6, 7図)。特に船底に沿う空気及び水の流れを観察するために、船底には透明のプラスチック

ク板を用いた。

2. Water belts の形成 モデルが低速の間は、普通の滑走艇のように、船首部から velocity spray と美事な blister spray とが発生している。抵抗も大きい。艇速を次第に速め Froude 数が 2.5 近くになると航走の様相が変り、抵抗も減少し始め、或艇速に達すると突然に blister spray は消失し、様相は急変する。その後は安定した航走を続ける。抵抗はその間に1つの極小を経て徐々に増加してゆく。

この突然の変化の前の spray 及び planing を type 1 のものと称し、後のものを type 2 のものと称した。Type 2 の planing がそ吾々が探し求めていた航走状態ではなからうか。

Type 1 の planing に際しては、船底に船尾に向つて閉じられている空隙を生じ、slit から放出された空気は、一度ここに溜つて、slit 後方の舷側に開いている間隙から外気に放出される。艇速の増加と共にこの空隙は、後方に伸びてゆき、同時に blister spray の root も chine に沿つて後退してゆく。この blister spray の root が slit 面に達する頃に、上述の突然の変化が起る。即ち船底の空隙は、船尾を抜けて外気と通じ、blister spray は、視界より消失して船底に入り water belt を形成する。この2本の water belts が side plates の役割を務め、slit からの空気を船底に沿つて船尾まで導き、ここから外気に放出させる(写真2, 3)。

Water belts の巾及びその拡り角は、艇速と共に増加する。これ等のことは、船首底翼の dynamical wetted area の両端から発生する blister sprays に依つて water belts が形作られると言う考えから説明される((6.1), 第11図 a, b)。

吾々は、計画の荷重係数及び Froude 数の領域に於て、water belts の巾を出来るだけ狭くすること、及びこれを安定さす工夫をするべきである。

舷側に船底の延長となるように鰭をつけ、或は slit 附近の両舷側に局所的な小型の side plates をつけると、それまでは type 1 の planing をしていたものが type 2 の状態に遷移し、航走は安定すると同時に抵抗も減少する(写真5 a, b)。

3. Side plate 型の場合には、slit と船底の空気圧の間に、近似的に Bernoulli の定理が成りたつのに反し、VI₀₃号艇ではその間に明かに圧力損失があり、Bernoulli の定理は成立しない。

後者では、water belts の先端部に生ずる船底との間隙からの外気の吸入が、slit からの噴流に流路急拡による圧力損失を惹起するのに反して、前者では side plate が spray 等の外流を導き、この間隙を閉塞し、流路急拡による損失を防止する(噴流の下方境界面をなす水流が重要な役割を演じている。第9節, 21頁, 第18図)。従つてこの種の間隙を出来るだけ小さくすべきであろう。更には、その目的のための特別な工夫が望まれる。

Slit からの空気流に就いて、Bernoulli の定理が成立するようにすることは、噴流に要する動力を最小にするために重要なことである。

4. 噴流の役割は、i) water belts 間の船底空間に空気を送り込むことと、ii) slit 附近の圧力を低下さすことに分けて考えることが出来る。

i) について：船底空気層は、先づ船体を支えること、摩擦抵抗を減らすこと、及び船体の姿勢を適当に保つ(6参照)役割をもたねばならない。ii) について：外流を吸引して間隙の少ない有効な water

belt を形成し易くすること、及び船首底翼面の周りの流状を変えて、揚力係数を増大させること等が結果する。

噴流の空気量は、主として i) に依つて決められる。噴流の速度は、更に ii) を考慮して決められなければならない。然し ii) に就いては、未だ充分な研究は行われていない。吾々の実験は普通の滑走板に較べて著しく大きい揚力係数を示しているので、この問題の系統的の研究が望ましい。

噴流速度を余り大きくすることは、噴流及びこれに続く空気層内の摩擦損失を増大させる危険性がある。

5. Type 2 の planing に際しては、船底の水流表面は理論的に殆んど水平であつて、その水位は静水面より略々空気層の圧力だけ低いと考えられる。航走中の船尾の吃水はこれを裏付けしている (第 10 節 第 2 表)。

6. 船底の water belts 間の空気層の流れが安定であるためには、流速は艇速より余り速くなり得ない。実際風浪の発生限界は理論値 $U-V < 646 \text{ cm/sec}$ より遙かに小さい。航走中の写真も上記の推定を裏付けしている。

従つて船底空気層内の摩擦損失は、主として船底面によるものであり、従つて特に層が薄くない限り無視することが出来る。

航走中に船底が適当な仰角 (約 2°) をもつ場合に、船尾附近も適当な厚みの空気層によつて支えられねばならない (但し極く船尾に近い部分は、大気への空気放出の slit をなしているので、別に考慮されねばならない)。

7. 船首底翼面には流体動圧が、船胴底面には空気圧が作用して艇体を支持している (第 12 節)。この力学的条件に従つて、翼面の揚力係数 C_L を求めることが出来る。

翼面の dynamical wetted area として、実際に wett になつている area を測定したもの S_1 と、航走中の艇の姿勢から翼面が静水面によつて切り取られる面積 S_2 の 2 通りのものを測定した。VI03 号艇に就いては、 $S_2/S_1=0.74$ であつた。

Dynamical wetted area は近似的に 2 等辺三角形である。その高さの $1/2$ を mean wetted length として wetted length-beam 比に対して $\left(\frac{\partial C_L}{\partial \alpha}\right)_0$ を図示すると、これは Sottorf の滑走板に対する測定値に較べて著しく大きい (第 21 図)。

8. 荷重分布の抵抗に及ぼす影響は、低速で著しいが、高速になると極く弱くなり、抵抗は次第に 1 つのものに収斂してゆく (高速では重心を前に移した方が性能はよい。第 23, 25 図)。

船底の船尾に於ける基準線からの深さの影響の検討から、船底に対する船首底翼の仰角が約 2° の場合に抵抗は最も小さいことが知られた。

重心を一定にして、重量を増してゆくと抵抗—重量比は却つて減少し、最も好条件の荷重係数が存在する (第 28 図)。

空気量を増すと一般に性能はよくなるが、そのための動力を考慮するならば、そこに或限度のあることが知られる。

以上の事項はいつでも、与えられた荷重、速度等に対して water belts の巾を出来るだけ狭くする状態が最も好ましい状態であるということと密接な関係がある。

9. 最後に, side plate 型の研究に際して得られた1つの結果であるが, 低速船の場合にも, 船底に広い平坦部がある場合には, 適当な間隔をおいて誘導板をおいて, 僅かな空気量で摩擦抵抗を削減させるに足る安定した空気層を形成させることの可能性があることを附記しておく(第2節第2図).

(昭和42年5月13日 受理)