飛行艇々体の水力的設計*

Hydrodynamic Design of Seaplane Hull

菊 原 静 男**
Shizuo KIKUHARA

この講座は、飛行艇々体の設計に関係のある水力学
的な問題のうちの一部について、主として定性的に
説明したものである。飛行艇がはじめて現われて以来、
艇体の形は多くの変遷を経て、1930年ごろに現在のよ
うな形式に落ち着いた。

その後の約40年間に、多くの人々が、失敗と成功
を繰り返しつつ、研究と改良に努めて、今日ではこの
形式の艇体としては、極く一部分の問題が残っている
だけで、ほぼ限界に近いところまで進んでいる。その
うちで、重要と考えられるいくつかの問題点をとりあ
げて、ここに記述する。

今後の研究の進むべき途は、旧来の殻を打ち破り、
新しい原理に基づく艇体の創造にあると考える。

1. 艇体の標準形と大きさ

飛行艇の艇体は、陸上機の胴体と同じ役目のほかに、
船のように水に浮び、離着水のときには、高速で
水上を走る降着装置の役目をもっている。第1図は現
在の標準形艇体の例であるが、後者の役目のために、
艇体の底部が特殊な形になっている。すなわち一つ

第1図 標準型艇体

は、中心にキール、両側面にチェーンと称する稜線が
あり、横断面がくさび形をしていることと、いま一つ
は、底部のほぼ中央に、ステップと称する横方向の段
がついていることである。これらの機能については後
述する。

飛行艇体の水力的特性は、全備重量 W とチャイ
ンで囲まれる艇底の長さ L 、幅 B とで作られる無次元

係数 $k = W/\gamma BL^2$ (γ は水の重量密度) によって支
配されることが実験的に知られている。すなわち k
の値を一定にしておけば、 B と L の各種の組み合わ
せについて、水抵抗、飛沫等の水力的な性質が、ほ
とんど同程度になる。 k が小さいとこれらの性質はよ
くなり、 k が大きいと劣化する。 $k=0.020$ から 0.025
くらいにとるのが普通である。この値は、1930年代か
ら現代まで、あまり大きな変化はない。ただし、大きな
変化、あるいは進歩と言えるのは、長さとの比 L/B
がが大きくなったことである。

古い時期の艇体は、 $L/B=6\sim7$ が普通であった。
1950年ごろから、この比は次第に大きくなり、現在で
は、 $L/B=10\sim12$ になって来た。上式からわかるよ
うに、 k を一定にして、 L/B を大きくすれば、艇体
は細長い形状になり、滑走面積も減少する。従って、
構造重量、空気抵抗が減少するほかに、水衝撃と波浪
中の跳躍緩和にも役立つのである。昔の艇体は、ずん
ぐりとした形のものが多かったが、いまのものがすら
りとした形になって来たのはこのためである。この種
の艇体を“縦横比の大きな艇体”と呼んでいる。

さて、新しい飛行機を開発する場合に、設計の頭初
に見積った全備重量は、設計が進み、飛行試験が進
み、さらに実用状態に入るにつれて、次第に増加せざる
を得なくなるものである。少ないものでも10%、
多いものでは20%にも及ぶ。これは設計技術が如何
に進歩しても避けられないことである。見方をかえれ
ば、これはその飛行機の発展する姿とも言える。よっ
て基礎設計の時期には、何らかの形で、将来全備重量
を増加し得る余裕をもって進む必要がある。ここで述
べた k の値の選択にあたっては、このことを考えてお
かねばならない。

2. ステップの作用

前進速度が小さいときは、艇底に沿う水の流れは、
船のそれと似ている。造波抵抗と表面摩擦が主な抵抗
で、速度とともに急激に増大する。重量を支えるもの

* 昭和47年3月30日原稿受理

** 新明和工業株式会社

は、主として、水の静浮力である。静止して浮いている時は、艇底の中央のステップ部分の圧力は、この点の吃水による水圧と大気圧の和である。速度の増加とともに、この部分の圧力は次第に低くなり、ある速度で大気圧よりも低くなる。こうなるとステップの後方へ、空気が吸いこまれるので、前方から底面に沿って流れて来た水は、ステップで剥離し、底面を離れる。その結果、水の流れの状態が、低速時とすっかり変わってしまい、底面はスキーの如く、水面をすべることになる。このときに、底面に働らく力は、主として水の動的な力である。全備重量から主翼揚力を引き去った値、すなわち艇体の支えるべき重量を Δ とすれば、水力の垂直分力は Δ に等しく、水平分力 $\Delta \tan \tau$ が抵抗となる。 τ は底面の平均迎え角である。表面摩擦も抵抗に加わる。このような流れの状態が出来上がって後は、速度の増加による水抵抗の増加は鈍くなる。この変化の起こりつつある遷移部分では、第2図にあるよ

第2図 抵抗、姿勢と滑走速度

うに、速度対抵抗、姿勢の曲線は、“こぶ”(hump)のような形になるのでハンプ状態と呼んでいる。

船と同じ流れの状態がつづいたのでは、速度増加につれて起こる抵抗増加が大き過ぎて、離水が出来ないから、ある速度で流れを変化させて、抵抗増加を防止する。これがステップの作用である。ハンプ速度を越えて滑走状態になることを、パイロットは“on step”になると呼んでいる。

離水滑走中の加速度は、推力と空力、水力抵抗の差で表される。この値は、第2図に示すように、ハンプ付近が最小である。ごく初期の飛行艇は、一般に馬力荷重が大きくて、艇体の形もあまりよくなかったために、ハンプを越えられるかどうかが問題になることが多かった。一般にハンプにおける加速度は $0.05g$ が必要であるという人が多い。しかし筆者は、平水で使うもので $0.08 \sim 0.10g$ 、外洋で使うものでは $0.10 \sim 0.15g$ が必要であると考えている。加速がよくて、離水秒時と滑走路離の短いことが使い易さに大きく貢献する。なおまた、離水時の加速を上記のようにすること、空中での高速飛行に必要な推力または馬力をうまく適合させることはさほど難かしくはない。

さてステップは、その形からも容易に分かるように、艇体の空気抵抗増加の原因の一つとなっている。古くから、これを減らせるために、多くの工夫がなされている。第3図¹⁾に示すものはその一例である。しかしステップの作用を害しないで、空気抵抗を大巾に減少させることは、容易な業ではない²⁾。

3. 艇底くさび形の作用

キールとチェーンを持った艇底のくさび形断面は、水の衝撃を緩和するためのものである。くさびの角度としては、水平線と底面との間の角度(β)をとる、第1図 β が大きいほどくさびは鋭くなり、衝撃は減少す

第3図 ステップ整形と空気抵抗

る。

艇底に使われる β は $15^\circ \sim 45^\circ$ 程度である。ステップ付近では β は比較的小さくて、 30° を越える例は少ない。湖水用で 15° 、荒海用で 25° ぐらいがよい。艇首付近は β は $30^\circ \sim 45^\circ$ ぐらい。後部艇体では、 β はステップと同じ程度か、部分によっては少し大きくするのが普通である。

艇底の長さ方向の β の最適分布を数量的に計算する方法は、まだ発見されていない。波のあるときの水面の形が極めて複雑なため、また空気抵抗、構造重量とも関係するため、条件が複雑で、困難である。設計者が質的によく考えて定め、水槽実験等でこれをチェックする方法しかとれないであろう。

β による衝撃緩和の程度 くさびが水にくい込んでゆく場合に、くさびに働く力について、多くの理論³⁾⁴⁾⁵⁾が発表されている。これらは二次元的に問題を取り扱っているものが多い。第4図⁵⁾は、水にくい込みつつあるくさびの表面近くで、水面がどんな形になるかを、理想流体として、理論的に求めた例である。

図4 (a) $\beta = 30^\circ$ 水の表面の形

第4図 (a) $\beta = 30^\circ$ 水の表面の形

まずキールが水面に接触して、これを左右に切り裂く、この部分の水面近くの水は、底面に沿ってチェーンの方へと高速ではい上がる。底面から少し離れた所の水面は大きくは動かない。したがって、はい上がりつつある部分の近くでは、水面は急なカーブで曲がり、この部分の水は動く速度と方向の分布が、第5図⁵⁾に示すように、急激な変化をしている。この速度の急変する部分で、底面の水圧は最大となり、ここからキールの方向へかけては次第に圧力は小さくなってゆく。第6図⁵⁾に β の四つの値に対して計算された圧力分布が示してある。ここで注目すべきことは、 β が 20° の

第4図 (b) $\beta = 50^\circ$ 水の表面の形

第5図 飛沫の根付近の表面の水の速度と方向
(S は飛沫の端から自由表面に沿って計った長さ)

第6図 くさび底面の水圧分布

場合には、 $X/C=1$ の付近にはっきりとした圧力のピークがあるが、 $\beta=40^\circ$ ものでは、圧力が平均化されて、はっきりとしたピークがなくなっていることである。 $X/C=1$ というのは、水面の曲がった部分 (第4図) であって、 β の小さい場合に比較して、 β の大きな場合には、曲がり方が緩徐になるので、圧力のピークが消えてゆくためである。

第6図の圧力を底面について積分すれば、この時刻での水の衝撃力になる。これを P とすれば (くさびの片側)

第7図 くさび角と衝撃荷重 (等速くい込み)

$$\frac{P}{C \rho / 2 V^2} = 5.9 \left(\frac{57.3}{\beta + 30} \right)^{3.75} \dots\dots \text{PIERSON}$$

$$\frac{P}{C \rho / 2 V^2} = 2 \tan \beta \left(\frac{90}{\beta} - 1 \right)^2 \dots\dots \text{WAGNER}$$

という実験式がある。いずれもほとんど同じ値を与える。 V はくさびのくい込み速力で垂直方向、かつ一定速。第7図に上式から求めた P と β の関係が示してある。これによれば、 $\beta=20^\circ$ ぐらいからは、 10° 増すごとに衝撃力は約 $1/2$ ずつ減少することになる。

以上に述べたのは、直線くさびの場合である。この場合には、 β が一定ならばくい込み深さに関係なく水圧の最大値も、平均値も一定である。ただしぬれ面積が増加してゆくから、底面にかかる力の絶対値は大きくなってゆく、実物の艇体では、底面はやや上向きに凹んだ曲線を使うことが多い。したがって有効な β はキール付近に比較して、チェーン付近では小さくな

第8図 キール接水後の衝撃の時間的变化

る。よって水圧そのものも、くい込みの増加につれて、次第に大きくなるのが普通である

ぬれ面積が、チェーンいっぱいになる。つまりチェーンが水没すると、それから外方には底面がなくなるのであるから、第4図のような状態は存在しなくなり、水圧も衝撃力も急速に減少する。その状況は、二次元くさびの模型実験果に、よくあらわれている。第8図⁴⁾。これは模型を自由落下させた実験結果であって、衝撃力最大の付近で、チェーン水没が起こっているのであるが、その時刻は示されていない。 β が大きくなれば衝撃力が減少することや、時間の経過、すなわち、くい込み深さによる衝撃力の変化を代表的に示すものと見てよい。ただし模型と実機の寸度の比、すなわち縮尺比によって、結果の数値の絶対値は変わるから(フルードの法則)、第8図は傾向を示すものとして、見なければならぬ。

二次元くさびと三次元艇体の関係 実際の飛行艇の艇体で起こるのは、三次元の問題である。二次元での現象を三次元にひきなおすには、空気力学の slender body theory と同じ考え方による。まず前後方向の艇体断面形の変化が大きくないこと、水面に対する前後傾斜角も大きくないと仮定する。艇体をいくつかの狭い間隔で輪切りにし、その各断面に起こる現象は、これらが二次元の状態で存在する場合に起こるものと同じであると仮定する。

この時、艇底と水面の接近する速さを、垂直速度と名づける。これは3つの要素からなる。(波に向かって着水する場合とする)

1. 機体の沈下率 W
 2. 波面の傾斜 θ に、艇底が水平速度 v で衝突することによる垂直速度の成分 θv
 3. 波のあることによる水面の盛り上がり速度 W'
- 垂直速度は、くさびのくい込み速度に相当するものであるから、これを V とすれば

$$V = W + \theta v + W'$$

波高 H (m), 波長 λ (m) の波に対しては

$$\theta = \pi H / \lambda \text{ (rad)}$$

$$W' = H \sqrt{\frac{\pi g}{2\lambda}} = \frac{3.92H}{\sqrt{\lambda}} \text{ (m/s)}$$

によって与えられる。

よってききに輪切りにした艇体の各断面に働く水力を、二次元理論で計算し、適当な方法で、長さ方向に全部を寄せ集めれば、その点での三次元的現象が得られるとするのである。この考え方の適否は、水槽実験等との比較によって研究されているが、結果は、完全に成立するとは言えないが、実用し得る程度には十分正確である。この方法を、飛行艇の空力特性と組み合

わせて使うと、飛行艇が波浪中で離着水するときの、衝撃のみならず、飛沫の発生、全機の運動等の研究にも、広く応用されて、良い結果が得られている。10年程前から、日本⁶⁾と米国⁷⁾とで研究されて来たものであるが、それらのうちで、徳田の研究⁶⁾が、最も進んでいて、荒海飛行艇 PS-1 の設計に大きな貢献をした。

4. 飛沫⁸⁾⁹⁾

艇体が滑走中に立てる水の飛沫のうちで、多くの害をひき起こすのは、膜波 (blister spray) といわれるものである。艇体の側方に、蝶が羽をひろげたように、高く、広くひろがる (第9図)。

膜波の発生する場所は、チェーンが水面を切る部分である。第4図で水面が急につよく曲がった部分には、高速の水が集まっている。ここを飛沫の根と称する。チェーンが水没すると、この根は底面の外へほうり出された格好になる。そこで根の部分に集まった高速の水は、空中に飛び出し、ひろがって飛沫となる。その様子は第10図に示されている。

この写真は飛沫水槽と称する二次元水槽 (一種のU字管) で撮影した多重露出写真である。ガラス水路中

第9図 膜波の代表的な形
 $k=0.0322$

第10図 $\beta=25^\circ$ 直線くさび二次元飛沫の重ね写真

を、自由表面をもって上昇する水流の中に、二次元の半巾くさび形模型を固定する。U字管の一方に空気圧をかけると、ガラス水路に上昇流が得られる装置である。第10図に写った5本の水面線とそれに相当する飛沫の形は、下から上へと一定の時間おくれがある。下から2本目の水面線の見えるのが、チェーン水没の起こった瞬間で、飛沫の根の水が、將に拡大飛散しようとしている。これより上方の水線に相当する露出は、さきに飛び出した根の水が、各々の時刻にとっている形を示している。

平滑な水面を、三次元艇体が滑走する速度を v 、底面の平均迎え角を τ とすれば、二次元水路の上昇流速 V は

$$V = v \sin \tau$$

としてよい。第10図の露出時刻の間隔を Δt とすれば、三次元で飛沫の根の位置から後方へ、 $v \times \Delta t$ の間隔で、図中の各露出の飛沫断面を並べると、三次元飛沫の形が得られる。 τ が 12° ぐらいよりも小さい場合には、二次元実験で得られた飛沫を、この考え方で三次元水槽の飛沫と比較すると、よい一致が得られる。

波消し装置 膜波を押えつけて低くしようとして、チェーン部の底面を、きつく下に曲げて猫の爪のような形にした艇体がある。これは役に立たない。膜波の形は乱れたものになるだけで、飛沫の根のもつエネルギーの始末が出来ていないから、低くはならない(第11図)。

チェーンに丸味をつけると、飛沫の根はチェーンを離れる直前にいったん艇側にひき寄せられてから後に飛び散る。このときに、丸味の外方にカバーをつけて、飛沫の根をつかまえてしまえば、もはや外部に飛

び散ることはない。(第12図および第13図) 三次元の実機では、この部分は前後につらなった溝になるので、溝形波消し装置と呼ぶ。PS-1 飛行艇に採用している。飛沫制御には、この他に^{10), 11)} もいろいろの方法があるが、現在はこれが最も効果が顕著である。

一般的に言って、飛行艇の艇体は、水と空気の境目を高速で走る。水にぬれた下の方の部分は、形が複雑で、水の圧力、速度等の分布も複雑な変化をしている。水面の近くに水圧の高い部分が出来ると、この水は空中へと跳躍して飛沫となる。水面に近い空中部分に、凸形の張り出た曲面があると、高速でこれが水に触れたときに、曲面に沿って水が這い上がり、思わぬ

第12図 丸味付チェーンの二次元飛沫の飛びはじめ

第11図 折れ曲げチェーン付の二次元飛沫

第13図 波消し溝付の二次元飛沫
図10, 11 に対応する

第14図 ポーポイジング (いるか飛び)

部分にまで達する。また、水中の高速の部分に、流れを横切る角等があると、その後方へ空気がもぐり込んで、流れの状態を変えてしまう。水の密度が、空気の約800倍であることを併せ考えると、このような現象が起きたときに、機体のうける影響は、よきにつけ、あしきにつけ、予想外に大きいものである。このような性質を、うまく活用できるか否かが、飛行艇のよしあしを左右するきめ手の一つになる。

5. 安定

ハンプ速度に達するまでの低速では、波と同調して、縦動揺ははげしくなる場合はあるが、ここで述べる安定問題は起こらない。ハンプを過ぎて、離水に至るまでの間で、数種類の不安定な運動が起こり得る。そのうち、最も普通のものがポーポイジング (porpoise: いるか飛び) で、これにつぐものがスキップ (skip) である。

ポーポイジング ハンプで滑走姿勢は、最も頭上げとなり、これを越えて、on step になると頭が下がりはじめる。この直後にいるか飛びの起こることが多い。これは、重心の上下動と、ピッチングの連成運動である。第14図に示すように、題上げの姿勢で重心が持ち上がり、頂上で (水面を離れることもある) ほぼ水平となり、落下するときは、頭が下がる。艇体前部から水にくい込み、再び頭上げとなりつつ、重心が持ち上がる。これを繰り返すのがいるか飛びである。

第15図のA線は、この運動の安定限界線の一例である。姿勢 τ がこの線より小さいときに、いるか飛びが起こる。限界線の定義は、ピッチングの半振巾が1度で、拡散しないまま持続する点を結んだものとされている。普通水槽実験で求める。

滑走中の模形に、何らかの方法でかく乱をあたえると、限界線は上方へ移る。すなわち安定範囲は狭くなる。小さな三角波のある水面での安定に相当するものとされている。

どんな艇体にも、不安定領域がある、良い艇体では、限界線が実用する τ よりも揺かに低いところにあるから、問題が起こらない。悪い艇体では、限界線がずっと上方に来て、普通に使う τ では、必ずいるか飛びが起こるようになる。この線の位置、つまり安定範囲が広い否かは、ステップ前方の艇底の形できま

第15図 安定限界

る。特に重要なのは、ステップ前方で艇巾Bの3倍程度までの艇底の形状である。

第15図のB線は、スキップの起こる限界線である。この運動はほとんど艇体の上下動のみで、ピッチングを伴わない。水面をかすめながら、ピョン、ピョンと飛びはねながら滑走する。高速で、高い姿勢で起こる。重心とステップとの関係位置が、この運動に影響が大きいと考えられている。

これら二つの不安定運動が発生し、次第に拡大してゆくときに、操縦によってこれを抑ええることは、よほどの名人でないと出来ない。設計のときに、安定範囲の広い艇体を見つけることと、滑走中に姿勢 τ を、安定範囲に維持し得るだけの昇降舵の効きを与えておくことが重要である。

さて、チェーンとキール、ステップ等を持った現在の標準型艇体の形は、過去数十年の歴史の上に立っている。その間に、多くの人々が、研究し、実験し、実機を作り、失敗と成功を繰り返えし、次第に今日の姿にまとまって来たものである。今日では、平水、あるいは荒海で使うのに適した艇体を、設計に必要な技術資料と経験とが、一通りは揃っている。個々の飛行艇の、用途と空力的な性質に、適合する艇体を設計することが出来るようにはなっている。満点のものとは言えないまでも、大過のないものには出来る。

しかしながら、このように過去の知識と経験の積み重ねの上に立って、設計された艇体は、従来の枠から、大巾に抜け出すことは出来ない。標準型の周辺の僅かな改良が期待されるだけである。過去の経験、知識にこだわり過ると、抜本的な、大巾の進歩は望めな

い。この意味で、まったく違った考え方による新型艇体——水上の降着装置に大きな期待をかけるのは、筆者だけではない。

次に、これらのうち二三のものを新旧とりまぜて、紹介する。

6. ハイドロスキー (Hydroski)

1950年代から60年代にかけて、ハイドロスキーを艇底に取り付けた実験が、米海軍の手で、いくつかの実機によって行なわれた。筆者は1959年に、双発飛行艇 PBM に、スキーをとりつけた実験に立ち会ったことがある。米国東海岸の Patauxent (パトクサン) においてである。ハワイのワイキキ海岸の波のり板のようなスキーが一枚、艇底に出し入れ式に取り付けてある。

最初の実験では、スキーの面積がかなり大きかった。滑走をはじめると、低速で飛行艇は完全にスキーに乗り、艇体は水上に持ち上げられて、一本足となる。しかし速度が低過ぎて、舵が効かない。一度は、尻餅をついて、尾翼がちぎれた。次には、横に傾いて、翼端浮舟が、もぎとられた。スキーに乗る速度を、舵の効く速度まで高めるために、スキーの面積を減らせていった。最後の姿では、スキーに乗る速度と離水速度が、あまり差がなくなった。こうなるとスキーで滑走する時間が短くなるから、あまり効果がない。この実験は、最適のスキー面積を見付けることが目的であった。

数年前に、軍用輸送機 C-130 にスキーを取り付けて、水陸両用にすることが考えられ、動力体の模型実験が行なわれた。その後もこの研究がつづけられているかどうかは、いまのところ分からない。

7. 水中翼 (Hydrofoil)

水上機が現われはじめたころの写真には、浮舟底面に、水中翼を取り付けたものが残っている。水抵抗と衝撃緩和をねらったものである。筆者も1936年頃に、九七式大艇の水槽模型に、水中翼を取り付けた実験をしたことがある。

周知のように、対水速力が40 kt程度になると、水中翼背面に空洞が発生し、抵抗増加とかい食による翼面の破損が起こる。Cavitation である。その後、この種の研究はあまり進んでいなかったが、1960年代になって、超空洞翼型 (supercavitating-foil) の研究が進み、空洞現象が起きて後も有効な翼型や支柱の断面形状が、開発されつつある*。

1967年に、小型飛行艇の底部に、出し入れ式に超空洞水中翼を取り付けた実験¹²⁾が、米国で行なわれた。

対水速40 kt までの実験ではあるが、取り付け支柱の抵抗をも含めて、揚降比 $L/D=6$ 、水衝撃の減少65% が報告されている。

ハイドロスキー、超空洞水中翼の利用方法は、今後の重要な研究課題と考える。

8. ACLS (Air Cushion Landing System)

Hover craft とも ground effect machine とも呼ばれるもので、まず船に使われはじめた。船のような形のものの底部周縁から、空気ジェットをカーテン状に吹き出して、船底の空気圧を高め、船体を水面より上に、少し持ち上げて滑走する装置である。前進速力のないときでも、少し水面を離れていることが出来る。

飛行機の手輪とオレオ、または艇底の代わりに、この原理を利用すれば、水上、陸上、雪上等でも離着が出来るというのが狙いである。米空軍が小型機の実験機を作って研究をはじめ、ACLS と呼んでいる。

船舶用のものと大きな相異点は、胴体底面の空気圧は、船よりも揺かに高いものが必要になること、底面とその下の表面との間隔が、離着のときには、時間とともに、大巾な変化をすること等である。また空中では、空気の吹き出しに関係した装置や構造部分を、折りたたみ、引き込んで、空気抵抗の少ないものにする必要があること等である。現在はまだ研究のごく初期にあって、今後 ACLS がどのような発展をするか予断を許さない。興味のある可能性をもったものと考ええる。

9. 陸上機と飛行艇——大型化の限界

広い土地を求めて、ここに頑丈な長い滑走路を作り、その上を手輪で滑走する陸上機と、天然の広い海を、そのまま滑走路として使う飛行艇とでは、大型化に伴う問題解決の難易が、根本的に異なる。

ジャンボジェットは全備重量350トンで、手輪を18個使っている。この重量を数倍上まわるものを作ろうとすれば、滑走路の強度を大巾に増大するか、手輪の数をさらに増加するかが必要となる。いずれも経済的または技術的に、大きな困難を伴うであろう。

飛行艇の場合には、元来この種の問題はない。重量を支えるものは水の浮力で、これは艇体寸度の3乗に比例して、大きくなってくれる。かつ浮力は艇底の広い面積に作用する分布荷重であるから、構造的な問題が少ない。

飛行艇にとって、離着水時の問題は“波”である。

* 日本における超空洞の研究で、東北大学の高速度力学研究所が世界の超一流に数えられていることは、まことによろこばしいことである。

しかしこれは大型化につれて、その影響が相対的に小さくなってゆく。現在全備 40 トン、長さ 30 m の PS-1 が、波高 3 m で実用出来ることを考えると、1,000 トン、または 2,000 トンの飛行艇にとって、波はあまり問題にならないであろう。

材料と構造法、推進機関等の進歩と並進すれば、超大型飛行艇への途は、技術的には広く開かれている。その際に、原子力エンジンと超大型飛行艇との組み合わせが、大きな魅力をもって来る。

文 献

- 1) SMITH, A. G.: Water and Air Performance of Seaplane Hulls. R & M, No. 2896 Aug. 1950.
- 2) SMITH, A. G.: Water Performance of a Four Engined Flying Boat with Step Fairings. R and M No. 2868 Apr. 1941.
- 3) WAGNER, H.: Über Stötz und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten. ZAMM. Aug. 1932.
- 4) BISPLINGHOFF, R. L.: A Two-Dimensional Study of the Impact of Wedges on a Water Surface. M.

- I. T. Rept. Mar. 1950.
- 5) PIERSON, J. D.: The Penetration of a Fluid Surface by a Wedge. July, 1950, S. M. F. Fund Paper No. FF-3 I. A. S.
- 6) TOKUDA, K.: Study of the Method of Predicting the Utilization of Seaplanes on the Open Ocean. (未発表) 1971.
- 7) HOPKINS, R. H.: Additional Simulation Studies of Seaplane Responses in Regular and Random Waves. General Dynamics, Elect. Boat Div. U 419-68-001, Jan. 1968.
- 8) KIKUHARA, S.: A Study of Spray Generated by Seaplane Hulls. J. Aero/Space Sciences. June, 1960.
- 9) RIDLAND, D.: Investigation of High Length/Beam Ratio Hulls. A. R. C. Tech. Rept. C. P. No. 203, 204, 236.
- 10) FERGUSON, J.: Flight Test of the Hydodynamic Characteristics of a Japanese "Emily" Flying Boat. NACA TN 1948.
- 11) STOUT, E.: Development of High Speed Water-Based Aircraft. J. A. S. Aug. 1950.
- 12) THURSTON, D. B.: Flight Test of the Hydro Research Vehicle HRV-1. Rept. Thurston Aircraft Corp. Feb. 1967.

ソニック・ブームに関する最近の研究概況*

Recent Trends of Sonic Boom Research

河村 龍馬**・牧野 光雄***

Ryuma KAWAMURA and Mitsuo MAKINO

1. ま え が き

SST の開発と運航は初期の予想に反して、公害問題および開発国の経済事情等の理由により大幅に後退したことは周知のとおりである。特に世界最大の経済国であり、かつ最大の航空機工業をもつ米国が突如としてその開発と生産を見合わせたことは、われわれ航空関係者を少なからず失望させた。主たる理由が公害にあるか、経済にあるかの議論は別としても、とにかくソニック・ブームがその原因の一端をなしていることは否めない事実であるから、SST 実現のためにはまずこの障害を取り除く努力がなされなければならない。この講座はソニック・ブームに関する研究の現状を紹介するものである。

ソニック・ブームに関する講座は5年ほど前に著者の一人が書いた¹⁾。その後、理論および実験的研究で

大筋が変わるほどの変化はなかったが、その間により明確な、より詳細な理論的、実験的發展がなされた。研究はほとんど SST の開発を目標にしたものであるが、その内容は多岐にわたり、論文数も相当な数にのぼるので、ここで研究成果のすべてに触れることはできない。以下、通読に必要な予備知識を除いては前の講座との重複を避けた。詳しくは前講座を参照されたい。

2. ソニック・ブームの伝播と圧力波形

SUTTON は1949年出版の著書²⁾の中で、今日ソニック・ブームと呼ばれる現象の本質をほぼ正しく予見している。ただ、彼が将来ソニック・ブームは日常茶飯事の音として社会に受け入れられるであろうと予想していることは、現状と考え合わせると興味深いことである。

ソニック・ブーム (sonic boom) という名称は主として米国で用いられ、英国では一般にソニック・パンク (sonic bang) を多く用いる。現象上の多少の違い

* 昭和46年10月26日第21回応用力学連合講演会において講演。昭和47年3月30日原稿受理

** 東京大学宇宙航空研究所

*** 日本大学理工学部