

1/15

No.

Date 59.8.12

高速艇の水波理論的研究について

別所

夏

0-102

概要

1. 波勢について

1.1 2次元

1.2 3次元

/

/

8

2. 船型と抵抗について

10-15

文献

- 1) 別所 Proc. 6th ONR Symp. 1966
- 2) " M. D. A. vol. 10 1970
- 3) " 西部造船報 vol. 59 (No. 52)
- 4) " M. D. A. vol. 6 1967
- 5) " 「2次元滑走艇の基的理論」 昭44.9
- 6) " 「3次元滑走艇の基的理論」 昭49.12
- 7) " 「2次元滑走艇の非対称水波」 昭49.12
(工造部刊誌)
- 8) 高平 幸福 昭49.9.

概要

高フルード数では氷は理論の精度は良く存ると考えられている。例として、ツツエルの造波抵抗公式は低フルード数では実験値より遙かに大きいためフルード数0.5付近では10~30%の誤差で合ってくる。

また一方高速では翼理論に相似になって来るので、その方法もなつて丸尾の研究がある。しかし実際の所謂高速艇（今は内題を以てフルード数0.5~1の範囲を考える）では排水量型と滑走艇型の中間にあり、理論的研究が強どみられたい。

また最適船型についても全く不明で専ら経験とアイデアに頼つており、その結果としてかなり類型的なものとなつて来る。

排水量型船で成功した最小造波抵抗理論による船型の決定も、この範囲では例として $C_p > 1$ のような結論となつていて

それかどのような船型を意味するのか不明である。

また何よりも船の姿勢、沈下とトリム、の変化の抵抗に關係して来る点について明確にしなければ、問題の性質すらよくわからぬ。

それ故研究の筋道としては先ず^{船体の}沈下とトリムを定める方法を確立し、船の姿勢と浸水面積が定まった所で圧力分布を計算して、抵抗を求める手法を確立する。

この方法によつて現用船型を解明し、実験値と比較する。

一方最適船型については、最適と思はれる圧力分布を与えて船体形状(水面変位)を計算して見て実用的であるかどうかを検討する。

理論としては水面圧力分布による線型理論を用い、後に必要あれば非線型修正を加えるものとする。

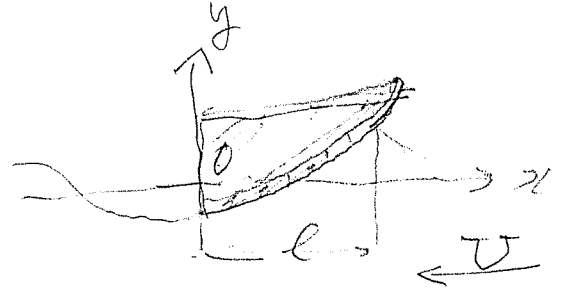
1. 姿勢について.

1.1 2次元問題 [3) 5) 7)]

図のように座標軸をとり,

排水量 W , 重心位置を

A.P. から l_b , 浸水長を l とする。



すると圧力 p と

$$W = \int_0^l p dx, \quad (1.1.1)$$

$$W l_b = \int_0^l p x dx, \quad (1.1.2)$$

可逆定理により

$$W = \int_0^l \bar{P}_1 \frac{d\eta}{dx} dx, \quad (1.1.3)$$

$$W l_b = \int_0^l \bar{P}_2 \frac{d\eta}{dx} dx, \quad (1.1.4)$$

2.12 \bar{P}_1, \bar{P}_2 は逆流の圧力でその境界条件は

$$\left. \begin{array}{l} \bar{P}_1 \text{ により } U \frac{d\eta}{dx} = 0.1 \quad \text{for } 0 < x < l \\ \bar{P}_2 \text{ により } U \frac{d\eta}{dx} = 0 \quad \text{for } 0 < x < l \end{array} \right\} (1.1.5)$$

(符号等?)

また η は水面変位, 今仮に船体オフセットがある,

よって A.P. の沈下量を s_A , トリムを τ とすると

$$\eta(x) = -s_A + \tau x + f(x), \quad (1.1.6)$$

のように表わされ、船型は $f(x)$ で示される。

これを (1.1.3), (1.1.4) に代入すると

$$\left. \begin{aligned} W &= \int_0^L \rho_1 \frac{df}{dx} dx + \tau \int_0^L \rho_1 dx, \\ W L_b &= \int_0^L \rho_2 \frac{df}{dx} dx + \tau \int_0^L \rho_2 dx, \end{aligned} \right\} (1.1.7)$$

ρ_1 は逆流中の平板, ρ_2 は同じく Camber 付板の解であるから, それを求めておけば右辺の寄与量は皆与えられた船型に對して決まるが, この場合は

Overdetermined であるので d を変化させればなりだ, それを考える前に静水時の事を考えてみよう。

船尾の吃水を d とすると $[f(0) = -d, f(L) = 0]$

$$\left. \begin{aligned} W &= -\rho g \int_0^L f dx = + \rho g \int_0^L x \frac{df}{dx} dx, \\ W L_b &= -\rho g \int_0^L f x dx = \frac{\rho g}{2} \int_0^L x^2 \frac{df}{dx} dx, \end{aligned} \right\} (1.1.8)$$

さて浸水長の変化については 3) 9) のように考えてもよいが実際の数値計算はいつも逐次計算を繰り返すような方法が実際的であろう。

つまり、逆流れに於いて浮水長 l の時の P_1, P_2 を求め、それより僅かに (約 5~10%) 大きい l' についての解 P_1', P_2' を求めておく。

$$\begin{aligned} L_f &= \int_0^l P_1 \frac{df}{dx} dx, & L_f' &= \int_0^{l'} P_1' \frac{df}{dx} dx, \\ L_T &= \int_0^l P_2 dx, & L_T' &= \int_0^{l'} P_2' dx, \\ M_f &= \int_0^l P_1 \frac{df}{dx} dx, & M_f' &= \int_0^{l'} P_1' \frac{df}{dx} dx, \\ M_T &= \int_0^l P_2 dx, & M_T' &= \int_0^{l'} P_2' dx. \end{aligned} \quad (1.1.9)$$

$l' - l = \Delta l, \quad \tau' - \tau = \Delta \tau$ (τ' は l' の時のトリム) とし $\Delta l, \Delta \tau$ は小さいとしよう。

それとて近似的に

$$\begin{aligned} L_f' &\approx \Delta l \left[\frac{L_f' - L_f}{l' - l} \right] \\ L_T' &= \Delta l \left[\frac{L_T' - L_T}{l' - l} \right] \\ M_f' &= \Delta l \left[\frac{M_f' - M_f}{l' - l} \right] \\ M_T' &= \Delta l \left[\frac{M_T' - M_T}{l' - l} \right] \end{aligned} \quad (1.1.10)$$

これは浮水長が Δl だけ伸び、トリムが $\Delta \tau$ だけ変ると揚力とモーメントの増減量は上記の式で定数にて

$$\Delta L = \Delta l \left[\frac{L_f' - L_f}{l' - l} \right] + \Delta T L_T$$

$$\Delta M = \Delta l \left[\frac{M_f' - M_f}{l' - l} \right] + \Delta T M_T$$

} (1.1.11)

となる。

計算としては見ず"適当な浸水^{とりの}量(例えは"静止時の量)について L, M を計算し, W と W₀ との差 _{$\Delta L, \Delta M$} を求めそれを上式に代入して $\Delta l, \Delta T$ をおめて新しい等密を決める。

これを繰返して正しい等密を求めます。

この際この操作が収束しない事か考えられるが, その時はこの船型では安定な滑走状態_{この速度で}がない事と意味すると考えられ, その判別は

比較

$$\begin{pmatrix} \left[\frac{L_f' - L_f}{l' - l} \right] & L_T \\ \left[\frac{M_f' - M_f}{l' - l} \right] & M_T \end{pmatrix} \longrightarrow 0, \quad (1.1.12)$$

である。

境界が与えられた境界値問題を解いて圧力を決める。この時2つに分けてもよい。

つまり
$$p = p_f + \tau p_i \quad (1.1.13)$$

ここで境界条件は

$$\begin{array}{l} p_f \text{ には } \tau \left(U \frac{df}{dx} \right) \\ p_i \text{ には } Uv \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} p_f \\ p_i \end{array}} \right\} \quad (1.1.14)$$

抵抗力は

$$D = \int_0^l p \frac{df}{dx} dx \quad (1.1.15)$$

(1.1.13) を代入すると

$$D = \int_0^l p \frac{df}{dx} dx + \tau \int_0^l p dx,$$

つまり (1.1.1) より

$$D = \tau W + \int_0^l p \frac{df}{dx} dx \quad (1.1.16)$$

閉型に直線するのはこの右辺が2つに分けてあるからである

(1.1.13) を代入すると

$$\int_0^l p \frac{df}{dx} dx = \tau \int_0^l p_i \frac{df}{dx} dx + \int_0^l p_f \frac{df}{dx} dx \quad (1.1.17)$$

また

$$\bar{D} = \tau \left[W + \int_0^l p_i \frac{df}{dx} dx \right] + \int_0^l p_f \frac{df}{dx} dx \quad (1.1.18)$$

よって

$$\int_0^l p_i \frac{df}{dx} dx = \int_0^l p_f \frac{df}{dx} dx \quad (1.1.19)$$

よって中括弧の中は $\tau - 1$ になる

これらの式は トルクの取扱いを助ける影響を端的に示している。

$$\int_0^l \rho \frac{df}{dx} dx = \tau_f W, \quad (1.1.19)$$

同様に τ_f を定義するならば (1.1.16) は単純に

$$D = (\tau + \tau_f) W, \quad (1.1.20)$$

と書ける。

これらの抵抗を減らすには 先ず τ_f を小さくし、又 τ を小さくすればよい。

ここで 層間板のバトックラインは略直線で、先ず端のみ傾斜がきつ、板厚が薄いと、平板に近くと考えられ

$$\tau_f \doteq 0, \quad \int_0^l \rho \frac{df}{dx} dx \doteq 0 \quad \text{とすると} \quad (1.1.19) \text{より}$$

$$\tau \doteq W/L_c$$

$$D \doteq W^2/L_c \quad (1.1.21)$$

となる。

だが、2次元では 逆は抵抗も非線形抵抗も 0にするのは容易であるが、それ以外の次元での性能は、検討しなくてはならない。

なおこれらの境界値問題を解くに当って、

垂直変位 w を与えて解く方法を使う考が簡潔のように見えるが、その時も水面変位 ζ によって沈下量を計算しておくべきである。

水面変位の積分方程式を使う時はクツタの条件を指定出来るので注意すべきである。

しかし数値計算でクツタの条件を指定するのは必ずしも簡潔ではないので、後の方法で斉次解 ($\eta = \text{const.}$ の解) をおめて後端で圧力が 0 のように決める事にすれば (これは少くも工夫がいりか) 沈下量もおまるので便利かも知れない。

1.2 3次元 [6) 1)

3次元の場合も殆ど同様であるが、境界値問題が少し複雑であり、また浸水面の変化も複雑である。

先ず境界値問題については垂直速度を w とし、船舳表面の offset を(1.1.6)に準じて、

$$\zeta(x, y) = -s_A(y) + \tau x + f(x, y), \quad (1.2.1)$$

とすると

$$\frac{\partial w(x, y)}{\partial x} = -1 \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\tau + \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \quad (1.2.2)$$

となる。

それ故 w を与えて圧力を求めると、それに対応する

ζ は y の関数だけ不定となる。

つまり、Rise of Floor は定まらない。

それ故境界積分方程式は水面変位のものを使うべきで、そうするとクツクの条件は満たせない。

それ故仮定は ζ から A.P. における ζ の式を差引いておいて流出条件を満たさせるなどの工夫が必要である。

次に浸水面の變化は 2次元のよう単純ではないから
許すことによって変るであらうから 簡單ではない。

この為には 逐次 近似的に 變化させて 繰返
せばよいと考えられるが、その時の Criterion が
よく判らない。恐らく 圧力が境界で負に
ならないと云う事ではないのだから。

そこで 近似的には 静止時の 氷線面の
變化に等しいとしてみてもどうか。

いつかにして 今のよう 5 個をすれば 等分の
限定等はすべて 2次元と同様となる。

2. 船型と抵抗 について

以上の考察から 高速艇の抵抗は トリムに殆ど
 支配され、また現用の 高速艇では トリムは 船底
 面(水線面)を持つ 平板滑走面の揚力性能に依
 賴して ほぼ 結局 抵抗は 近似的に 排水量の
 自乗の 比例し、平板滑走面の揚力に 反比例して
 いる。

細い船型の変化の抵抗への寄与は 結局 トリム
 の変化に 還元して 高いように 見える。

そこで 船型の 僅かな変化による 抵抗の 差分
 を 求めて 見よう。(水線面は 変わらないと 仮定して)

$$\iint f(x,y) dx dy = \frac{\delta W}{\rho g} \quad f(x,y) = \rho g z, \quad (2.1)$$

(1.1.16) の δz による π の 差分は
 (1.1.17)

$$\delta D = \tau \delta W \left(1 - \frac{\partial \rho}{\rho \partial x} \right) + \delta T \left(W + \iint \rho \frac{\partial f}{\partial x} dx dy \right) - \frac{\delta W}{\rho g} \frac{\partial (\rho_f + \rho_r)}{\partial x}$$

$$\therefore \delta \iint \rho \frac{\partial f}{\partial x} dx dy = \delta T \iint \rho \frac{\partial f}{\partial x} dx dy + \tau \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\delta W}{\rho g} \quad (2.2)$$

$$= \frac{\delta W}{\rho g} \frac{\partial (\rho_f + \rho_r)}{\partial x}, \quad (2.3)$$

一方 (1.1.17) から

$$\delta W = \delta T L_T = \frac{\delta W}{\rho g} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_f + \rho_r), \quad \dots (2.4)$$

おさ. 112

$$\delta T = \frac{\delta W}{L_T} \left[1 + \frac{1}{\rho g} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_1 + \rho_2) \right], \quad \text{--- (2.4)}$$

(2.2) に代入して

$$\begin{aligned} \frac{\delta D}{\delta W} = & \tau \left(1 - \frac{1}{\rho g} \frac{\partial}{\partial x} \right) - \frac{1}{\rho g} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_1 + \rho_2) \\ & + \frac{1}{L_T} \left(W + \int \rho \frac{\partial z}{\partial x} dx dy \right), \quad \text{(2.5)} \end{aligned}$$

$\delta D = 0$ の最小 相持 の条件となる。
(角部が一点不備, 特には可逆定域未検証)

浸水面が変化する場合は ρ_1, L_T 等は決まっておくから
これは ρ を定める方程式になる。[[τ は ρ の関数と仮定する]]

これか解けるかどうかはよくわからない。

そこでもう一度 (1.1.2) のより大高的立場に戻って
考えて見よう。

$$L_T = \frac{\rho}{2} V^2 A_w C_L', \quad C_L' = \frac{\partial C_L}{\partial \alpha}, \quad \text{(2.6)}$$

2つあるから 同式 1x

$$\frac{D}{W} \doteq \frac{2\theta \nabla}{V^2 A_w C_L'} = \frac{2 \left(\frac{\nabla^{\frac{2}{3}}}{A_w} \right)}{F_v^2} \frac{1}{F_v}, \quad \text{(2.7)}$$

と置ける。但し $W = \rho g \nabla$, $F_v = V / \sqrt{g \nabla^{\frac{1}{3}}}$,

一方摩擦抵抗は

$$D_F = \frac{\rho}{2} V^2 S C_F$$

$$D_F/W = \frac{V^2}{2g} \frac{S}{V} C_F = \frac{F_v^2}{2} C_F \frac{S}{V^3} \quad \left. \vphantom{\frac{D_F}{W}} \right\} (2.8)$$

与えられた排水量と速度について全折力能の最小になるのは $D = D_F$ の時であるから、両者を等置すれば

$$F_v^4 = \frac{4}{C_F} \left(\frac{V^3}{A_w S} \right) \quad (2.9)$$


は最適速度を与える。

これらの式から $F_{vL} \gg 1$ ではアスペクト比の大きい滑走面が良ければ明らかであるが、今考えている速度範囲 ($F_v < 1$) では排水量型船と湯舟型船との甲冑で何れもよくわからぬので前節にのべておいたような計算と実験を比較して資料を集める必要がある。

さて細長船の最小造波抵抗理論によれば
この速度の速度では排水量の長さ方向分布は断面的
に $\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ ($L=2$ と仮定) のように表わされる。

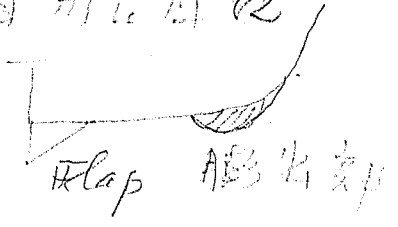
これはもうと正確には圧力分布と考える方が「良い」か
このような圧力分布を与える船型か」と「どのようなか」
あるか見当がつかない。

たゞスラップレス無し形状で ^(下図) *Camber* を持つもの⁽⁴⁾
がそれに近いように思われるが、實際上底面が
凹型の滑走面は考え難く、また先端部分
の処理をどうすべきがよくわからない。

一つの方法としては  とすれば
可能性がある⁽⁴⁾ ようにも見える。

この型では前部凸出面で速度が大きくなり、
従って圧力が低くなってトリムを抑え
また後部の大傾斜の部分で圧力が上昇して
やはりトリムを抑える効果があるように見える
が、これは計算をして見ると、
よくなる

しかしもしこのようなメカニズムにより好性能を得ら
しうるものとすれば、図のように船首甲板底の
膨出部分を削かし、船尾にフラップ
を装着する事で同じ性能を
期待しうるわけである。



そしてまたこの方法は前述の組長船理論
の結果の方向に近づく方向である。

現在一例として組長船理論にて造舟抵抗を
比較計算した結果が水槽試験と大小が
逆になると言う事実がある。

排水量型船ではこのような事は滅多にないので
これは恐らく姿勢つまりトリムによる抵抗の差
であろうと考えられる。

つまり(1.1.18)のように抵抗を表わせば見れば
船型の固有抵抗(トリムに関係しない部分)と
トリムによる部分に分ける事が出来る。これは
勿論トリムもまた船型に関係している事で

あるが、トリムは (1.1.7) に見られるように船型に線型的に属しているのに対し、固有抵抗は二次的 (自乗的) に属しているのだから、性格が異なるであろう。

(例えば、トリムは負の値をとるから固有分は常に正である。また、船型は予懸が正ければ、 σ が小さい抵抗を最小にするには (2.5) の変分方程式を解くとき、 σ になるから、当面トリムが小さくなるようにするのは抵抗減少の早道であろう。

さてトリムは (1.1.7) に見られるように平極滑走面の解が得られれば、計算上、来るわけであるから、 σ を小さくする船型を定めるのは容易である。上の考察から、最小抵抗船型ではトリムは負のように見えるので、この検討は大変興味深い。