

## 横傾斜時の操縦流体力微係数の近似計算に関する一検討

正会員 湯室彰規 (埼玉大学工学部)

## 1. 緒言

高速貨物船のように比較的やせた船型が高速で航行するとき、操縦性能に及ぼす横傾斜の影響は無視できない程度の大きさになると言われている<sup>1)</sup>。横傾斜によって生じる操縦流体力の変化の要因として、船型の非対称性による影響と斜航との干渉影響が挙げられている<sup>2), 3)</sup>。本報告では、これらの影響のうちで、より基本的な要素と考えられる傾斜そのものに起因する流体力変化について近似的な計算を行なう。この取扱いは、非対称影響がほとんど無視できる程度に十分に薄い船型を考えることに相当している。

ここでは、このような要素の特性について考察を行なうと共に、一般の船型における横傾斜影響の特性などの程度関与しているかについて検討している。なお、基本的な場合として斜航状態について考える。

## 2. 計算上の仮定

船体を矩形平板翼で置き換え、自由表面は剛体壁として取り扱う。Fig.1(a)に示すごとく、船体が横傾斜しながら斜航する状態は、上反角をもつ低縦横比翼がある迎角で一様流中に置かれている状態に相当する。図中、実在翼および鏡像翼が、それぞれ右側翼、左側翼に対応しているものとする。

揚力面を表わすための渦の取扱いについては、基本的にはBollayの理論に従うものとする。従って、束縛渦の強さは翼幅方向に一定とし、Fig.1(b)のように自由渦は翼端における垂直平面内にあるものとする。また、自由渦は翼弦に対し迎角の1/2の角度で直線状に流れ去るとする。翼の厚みは揚力面上に置かれた既知の吹出しによって表わす。吹出し強さは近似的に、流入速度の翼弦方向成分に翼厚勾配を乗じて得られる値を用いる。

翼厚は左右翼の一方が他方に法線方向速度を誘起する意味で考慮したものであり、流体力そのものは平板翼として算定する。一般に翼のモーメントは厚み分布の影響を強く受ける。従って、本報告では直圧力のみを検討の対象とする。

## 3. 計算の要領

Fig.1に示す座標系に従う。船の長さLを翼弦長cに、吃水dを片側翼幅b/2に対応させ、一様流速度(船速)

をV、迎角(斜航角)を $\beta$ 、上反角(横傾斜角)を $\psi$ とする。また束縛渦強さを $\gamma$ 、自由渦の流出角を $\theta$ 、吹出し強さをmで表わす。Fig.1(b)における変数sは左右翼の交叉点から測った翼幅方向の位置を表わす。

以下では、変数xはc/2により、yおよびsはb/2により無次元化を行ない、それらを改めて同一の記号で表わす。また、束縛渦強さおよび誘導速度はVで無次元化した値を意味するものとする。

束縛渦による実在翼面上の点(x, s)における翼面と直角方向の誘導速度は次式のように表わされる。ただし、Fig.1(c)の座標系による。

$$w_b = (w_b)_1 + (w_b)_2 \quad (1)$$

ここに

$$(w_b)_1 = -\frac{\Lambda}{4\pi} \int_{-1}^1 \frac{\gamma(x_1)}{x-x_1} \left[ \frac{1-s}{\sqrt{(x-x_1)^2 + \Lambda^2(1-s)^2}} + \frac{s}{\sqrt{(x-x_1)^2 + \Lambda^2 s^2}} \right] dx_1$$

$$(w_b)_2 = -\frac{\Lambda \cos 2\psi}{4\pi} \int_{-1}^1 \frac{\gamma(x_1)}{(x-x_1)^2 + t^2} \left[ \frac{1-\bar{s}}{\sqrt{(x-x_1)^2 + \Lambda^2(1-\bar{s})^2 + \bar{t}^2}} + \frac{\bar{s}}{\sqrt{(x-x_1)^2 + \Lambda^2 \bar{s}^2 + \bar{t}^2}} \right] dx_1$$

ただし

$$\bar{s} = -s \cos 2\psi, \quad \bar{t} = \Lambda s \sin 2\psi \quad (0 < s < 1)$$

式中、 $\Lambda = b/c$ であり、添字1は実在翼からの寄与、添字2は鏡像翼からのそれを表わす。また、自由渦による実在翼のs=sの位置における誘導速度は次式のように表わされる。ただし、Fig.1(b)の座標系による。

$$w_f = (w_f)_1 + (w_f)_2 \quad (2)$$

ここに

$$(w_f)_1 = -\frac{1}{4\pi} \int_{-1}^1 \gamma(x_1) \frac{\{(x-x_1)\sin\theta - z\cos\theta\} \sin\psi + \{\Lambda(\cos\psi - y)\cos\theta\} \cos\psi}{\{(x-x_1)\sin\theta - z\cos\theta\}^2 + \Lambda^2(\cos\psi - y)^2} \times \left[ \frac{(x-x_1)\cos\theta + z\sin\theta}{\sqrt{(x-x_1)^2 + \Lambda^2(\cos\psi - y)^2 + z^2}} + 1 \right] dx_1$$

$$(w_f)_2 = -\frac{1}{4\pi} \int_{-1}^1 \gamma(x_1) \frac{\{\Lambda(\cos\psi - \bar{y})\cos\theta\} \cos\psi - \{(x-x_1)\sin\theta - \bar{z}\cos\theta\} \sin\psi}{\{(x-x_1)\sin\theta - \bar{z}\cos\theta\}^2 + \Lambda^2(\cos\psi - \bar{y})^2} \times \left[ \frac{(x-x_1)\cos\theta + \bar{z}\sin\theta}{\sqrt{(x-x_1)^2 + \Lambda^2(\cos\psi - \bar{y})^2 + \bar{z}^2}} + 1 \right] dx_1$$

ただし

$$y = \Lambda s \cos\psi, \quad z = -\Lambda(1-s)\sin\psi$$

$$\bar{y} = -\Lambda s \cos\psi, \quad \bar{z} = -\Lambda(1-s)\sin\psi$$

一方、吹出しによる実在翼上の点(x, s)における誘導速度は次式のように表わされる。ただし、Fig.1(c)の

座標系による。

$$w_t = \frac{\Lambda}{4\pi} \int_{-1}^1 \int_0^1 m(x_1) \frac{\Lambda(\bar{s}-s_1)\sin 2\psi + \bar{t}\cos 2\psi}{\{(x-x_1)^2 + \Lambda^2(\bar{s}-s_1)^2 + \bar{t}^2\}^{3/2}} ds_1 dx_1 \quad (3)$$

ただし

$$\bar{s} = -s \cos 2\psi, \quad \bar{t} = \Lambda \cdot s \sin 2\psi$$

原船型と横切面積曲線および吃水の等しい側面垂直な船型を考え、吹出し強さは吃水方向に一定とする。

以上の誘導速度の表示を用いると、翼面上の  $s=s_1$  における境界条件は

$$w_t + w_f + \sin\beta \cdot \cos\psi = 0 \quad (4)$$

あるいは

$$w_t = -\sin\beta \cdot \cos\psi - w_f \quad (4')$$

のように表わせる。ここで、 $w_t$  は  $w_b$  と  $w_f$  の和を示すものとする。積分方程式における渦強さ  $\gamma(x)$  の表示については、 $a(x)$  を未知関数として

$$\gamma(x) = a(x) \sqrt{\frac{1-x}{1+x}} \quad (5)$$

の形を仮定する。積分方程式の数値解法については文献4)に譲る。 $\gamma(x)$  が得られると翼に働く直圧力およびモーメント(翼弦中心まわり)の各係数は近似的に次式により求められる。

$$\left. \begin{aligned} Y &= \cos\beta \int_{-1}^1 \gamma(x_1) dx \\ N &= \frac{1}{2} \cos\beta \int_{-1}^1 \gamma(x) x dx \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし、無次元化は次式によるものとする。

$$Y' = \frac{Y}{\sqrt{2\rho V^2 L d}}, \quad N' = \frac{N}{\sqrt{2\rho V^2 L^2 d}} \quad (7)$$

#### 4. 計算結果例および考察

##### 4.1 計算に用いた船型

実測データについては文献3)の結果を引用する。計算はその供試船型について行なっている。船型はコンテナ船型であり、その模型船の要目はTable 1のとおりである。実験はプロペラ、舵を取り付けた状態で行なわれているが、その結果は舵に基づく影響を取り除いた形で示されている。

##### 4.2 計算値と実測結果との対比

文献3)の直圧力係数  $Y'$  の実測結果をFig.2に示す。図中、 $\phi$  は横傾斜角、 $\beta$  は斜航角を表わす。 $\phi$  は右舷側傾斜の場合が正、 $\beta$  は右旋回状態が正である。前章の計算式中の上反角  $\psi$  とは、 $\phi = -\psi$  の関係にある。なお、原論文では  $Y'$  については  $1/2 \rho V^2 L^2$  を用いた係数が示されているが、Fig.2では便宜上、(6)式による係数に直して示してある。

$\phi$  および  $\beta$  を系統的に変化させた場合の  $Y'$  の計算結果をFig.3に示す。図中の  $s_0$  は  $s=s_0$  を意味し、境界条件を満足させる位置を表わす。 $s_0=0.3$  は  $0.3d$  の深さを表わし、ほぼ直圧力中心で境界条件を満足させることを意味する。 $s_0=0.5$  は一つの代表的位置として吃水の  $1/2$  の深さで満足させることを意味する。また、 $w_a$ : mean と表わしているのは、要求される誘導速度  $w_a$  として、翼幅にわたる平均値を用いた場合を意味する。計算は、 $\beta$  の変化の影響をより明確に把握すること、また  $\beta$  の非線形影響も併せて知ることができることから、 $\beta = 20^\circ$  までの広い範囲で行なっている。

平板翼に基づく計算のため、 $Y'$  の値そのものについては計算の方が大きい値を与えるが、 $\phi$  が大きくなるに従い概して増加すること、増加の程度は  $\beta$  が大きほど著しいという傾向については、計算値と実測結果は対応している。この特性は、上述した境界条件の取扱いによって大きくは変わらない。

Fig.4は実測データを  $\phi = 0$  における値と  $\phi = \phi$  における値との比  $Y'/(Y')_0$  の形で表示したものである。Fig.5には、その計算値を示している。これらの図から、比の大きさそのものには差が見られるが、 $\phi$  および  $\beta$  の影響の特性については計算値と実測結果は大略対応していると言える。境界条件の取扱いについては、 $s_0=0.3$  とした場合が概して実測結果により近くなる。

Fig.6は境界条件の取扱いの影響を見るために、Fig.5の結果を書き改めたものである。境界条件を満足させる位置が水面に近いほど、 $Y'/(Y')_0$  の  $\phi$  による変化量は大きく現われることが分かる。

以上では、例として  $\beta > 0$  の範囲の結果を示しているが、 $\beta < 0$  の場合も傾向としては同様の結果が得られている。

#### 5. 結 言

横傾斜による操縦流体力変化の要因のうち、傾斜そのものに基づく影響について、船型が十分に薄いという条件の下で近似的計算を行なった。さらに、厚みをもつ一般の船型の直圧力係数について実測結果との対比した。本報告で述べた要領の計算によっても、傾斜角の影響の定性的傾向が説明できることを示した。ここで対象とした成分が傾斜影響の比較的大きな要因となり得ることがうかがえる。

#### 参 考 文 献

- 1) M.Hirano and J.Takashina: A Calculation of Ship Turning Motion Taking Effect Due to Heel into Consideration, 西部造船会会報, 第59号, 1980

- 2) H. Eda: Maneuvering Performance of High-Speed Ships with Effect of Roll Motion, Ocean Engng., Vol. 7, 1980
- 3) 孫 景浩, 野本謙作: 高速コンテナ船の操縦運動と横揺れとの連成挙動について, 日本造船学会論文集, 第150号, 1981
- 4) 湯室彰規: 操縦流体力における2船間干渉に関する近似計算, 関西造船協会誌, 第212号, 1989

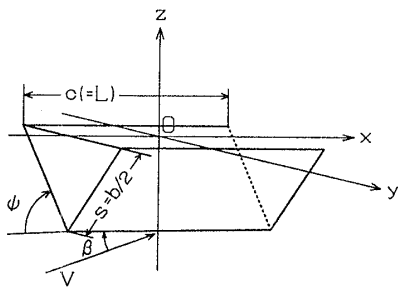


Fig. 1(a) Coordinate system (1)

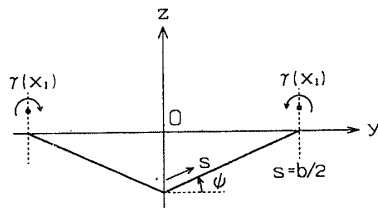


Fig. 1(b) Coordinate system (2)

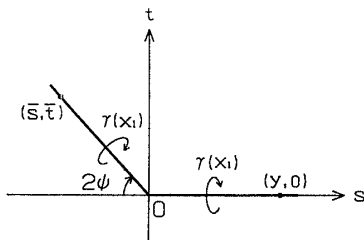


Fig. 1(c) Coordinate system (3)

Table 1 Principal dimension of ship model in calculation of hydrodynamic forces

L <sub>pp</sub> (m)	3.000
B (m)	0.435
d (Mean) (m)	0.1457
C <sub>b</sub>	0.559
L. C. B. from F. P.	0.518L <sub>pp</sub>
L/B	6.90
2d/L	0.0971

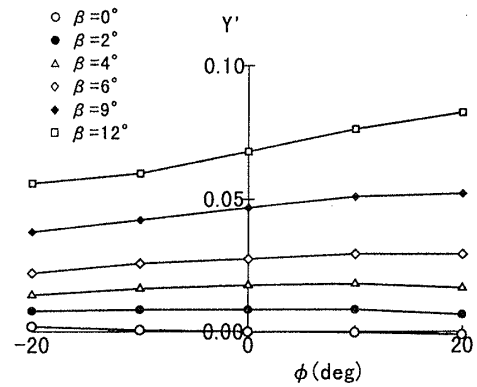


Fig. 2 Lateral force coefficient due to heel angle (Experimental values from ref. 3)

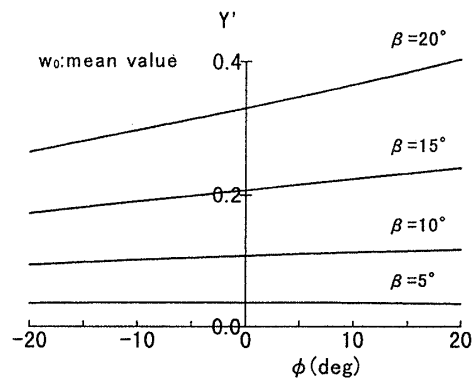
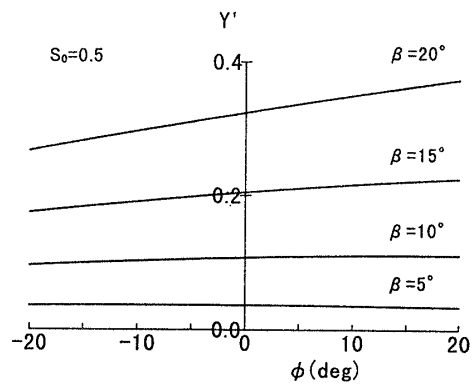
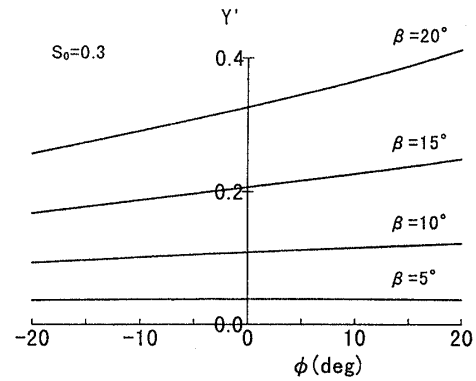


Fig. 3 Lateral force coefficient due to heel angle (Calculated)

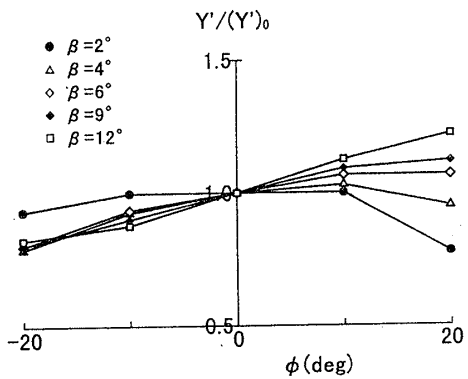


Fig. 4 Values of  $Y'/(Y')_0$  as function of heel angle (Experimental values from ref. 3)

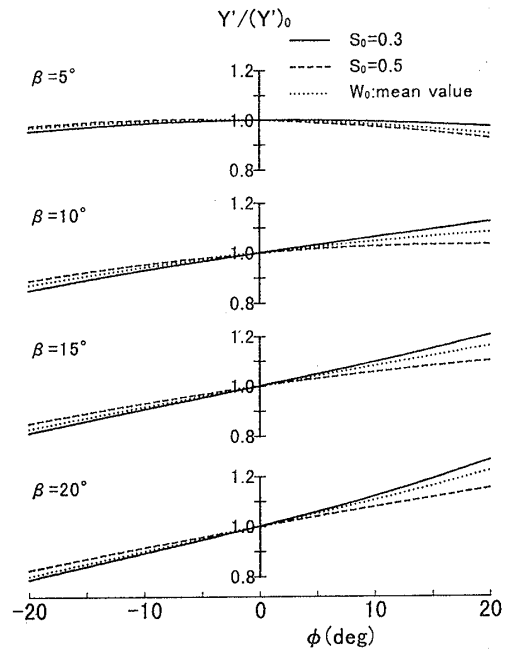


Fig. 6 Variation in values of  $Y'/(Y')_0$  when boundary condition is changed

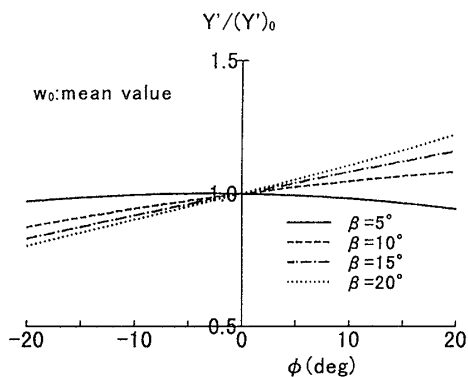
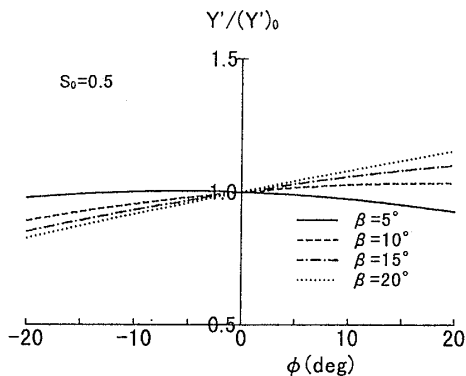
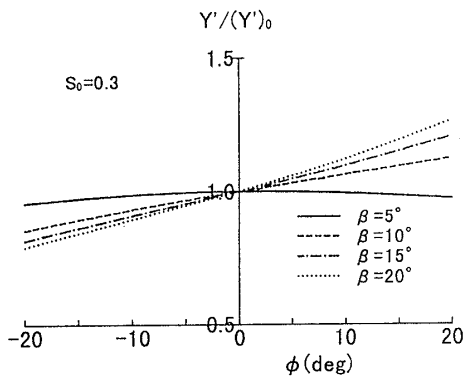


Fig. 5 Values of  $Y'/(Y')_0$  as function of heel angle (Calculated)