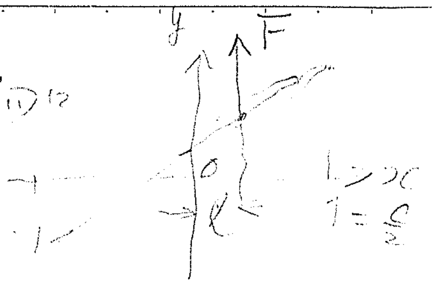
"2次元振動翼による推力の発生"

No. 1
Date 5?.10.3
12.19

1. 運動方程式とその解



翼弦中央より前方 l の所で上下方向に強制動揺させ
F の力をかけて, 縦揺れはバネ
定数 k のバネで拘束されている。

運動方程式は,

$$
\left.\begin{aligned}
M\ddot{h}_0 &= L + F \\
I\ddot{\theta} + k\theta &= \mathcal{M} + lF
\end{aligned}\right\} \quad (1.1)
$$

h_0 ; 翼弦中央の上下変位

θ : 縦揺れ角

M : 翼の質量

I ; O点周りの慣性モーメント

L ; 揚力 , $\mathcal{M}$; モーメント

$$
\left.\begin{aligned}
L &= \pi\rho U A_f \left[A_0^0 \dot{h}_0 + A_0^1 \frac{c}{2} \dot{\theta} \right] \\
\mathcal{M} &= \frac{\pi}{4} \rho c U A_f \left[A_1^0 \dot{h}_0 + A_1^1 \frac{c}{2} \dot{\theta} \right]
\end{aligned}\right\} \quad (1.2)
$$

ρ ; 水密度

U ; 流速

A_f ; 翼面積　$A_f = Bc$

c ; 翼弦長 , B 翼幅

(1)式を次のように書こう。

$$Z_{00}\dot{h}_0 + Z_{10}\dot{\theta} = \bar{F}, \quad Z_{01}\dot{h}_0 + Z_{11}\dot{\theta} = l\bar{F}, \qquad (1.3)$$

$$\begin{aligned} Z_{00} &= i\omega M - \pi\rho U A_f A_0^0, \\ Z_{10} &= -\frac{\pi}{2}\rho U c A_f A_0^1, \\ Z_{01} &= -\frac{\pi}{4}\rho U c A_f A_1^0, \\ Z_{11} &= i\left(\omega I - \frac{k}{\omega}\right) - \frac{\pi}{8}\rho c^2 U A_f A_1^1, \end{aligned} \qquad (1.4)$$

(3)を解くと

$$\dot{h}_0 = \frac{\bar{F}(Z_{11} - l Z_{10})}{Z_{00}Z_{11} - Z_{10}Z_{01}}, \quad \dot{\theta} = \frac{\bar{F}(l Z_{00} - Z_{01})}{〃}, \qquad (1.5)$$

一方l点の上下動振巾をhとすると

$$h = h_0 + l\theta, \qquad (1.6)$$

これに(5)を代入すると

$$\dot{h} = \frac{\bar{F}\left[Z_{11} + l^2 Z_{00} - l(Z_{10} + Z_{01})\right]}{Z_{00}Z_{11} - Z_{10}Z_{01}}, \qquad (1.7)$$

今

$$\bar{F} = -\dot{h} Z_L, \qquad (1.8)$$

とかく事にすると

$$Z_L = -\frac{Z_{00}Z_{11} - Z_{10}Z_{01}}{Z_{11} + l^2 Z_{00} - l(Z_{01} + Z_{10})}, \qquad (1.9)$$

Fのなす仕事（単位時間当り）Wは

$$W = \frac{1}{4}\left(F\bar{\dot{h}} + \bar{F}\dot{h}\right) \quad , \cdots \quad (1.10)$$

(3)から

$$4W = 2R_{00}|\dot{h}_0|^2 + 2R_{11}|\dot{\theta}|^2 + Z_{10}\dot{\theta}\bar{\dot{h}}_0 + \bar{Z}_{10}\bar{\dot{\theta}}\dot{h}_0 + Z_{01}\dot{h}_0\bar{\dot{\theta}} + \bar{Z}_{01}\overline{\bar{\dot{\theta}}\dot{h}_0}$$

$$W = \frac{1}{2}R_{00}|\dot{h}_0|^2 + \frac{R_{11}}{2}|\dot{\theta}|^2 + \frac{1}{4}(Z_{10}+\bar{Z}_{01})\dot{\theta}\bar{\dot{h}}_0 + \frac{1}{4}(\bar{Z}_{10}+Z_{01})\bar{\dot{\theta}}\dot{h}_0 \quad , \quad (1.11)$$

$$R_{00} = \mathrm{Re}[Z_{00}] , \quad R_{11} = \mathrm{Re}[Z_{11}] \quad , \cdots \quad (1.12)$$

(8)からは

$$W = -\frac{R_L}{2}|\dot{h}|^2 = \frac{F\bar{F}}{4}\left(\frac{1}{Z_L} + \frac{1}{\bar{Z}_L}\right), \quad (1.13)$$

ここに $R_L = \mathrm{Re}[Z_L]$ (1.14)

で強制動揺させる時は $R_L < 0$ で一様流からエネルギーを抽出する時は $R_L > 0$ である。

R_Lは(9)のReal partから計算出来、これは(11)と一致しなければならない。

推力Tは

$$T = \frac{\rho}{8}\omega U B\left(\frac{c}{2}\right)^2\Big[\overbrace{(a\bar{A}+\bar{a}A)}^{-a\bar{a}}\left|\frac{2}{c}h_0\right|^2 + \overbrace{(b\bar{B}+\bar{b}B)}^{-b\bar{b}}|\theta|^2 + (a\bar{B}-\bar{a}B)\frac{2}{c}h_0\bar{\theta} + (\bar{a}B-\bar{a}b)\frac{2}{c}\overline{h_0\theta}\Big], \quad (1.15)$$

$$\eta = \frac{TU}{W} \quad , \quad (1.16)$$

タービンの時は $(\eta_T = \frac{W}{\cdots}$

実際の計算は無次元しておいた方がよいだろう。

以下 無次元化量には原則として肩符(')をつけるものとする。

$$M' = \frac{M}{\frac{\pi}{2}\rho c A_f}, \quad A_f = BC,$$

$$I' = \frac{I}{\frac{\pi}{8}\rho c^3 A_f}, \quad k' = \frac{k}{\frac{\pi}{2}\rho c U^2 A_f} \xrightarrow{?} \frac{k}{2\pi\rho U^2 B}$$

$$Z'_{00} = \frac{Z_{00}}{\pi\rho U A_f} = -A_0^0 + i\alpha M', \quad \alpha = \frac{\omega c}{2U},$$

$$Z'_{10} = \frac{Z_{10}}{\frac{\pi}{2}\rho U c A_f} = -A_0^1, \quad Z'_{01} = \frac{Z_{01}}{\frac{\pi}{2}\rho c U A_f} = -\frac{1}{2}A_1^0$$

$$Z'_{11} = i\left(\alpha I' - \frac{k'}{\alpha}\right) - \frac{1}{2}A_1^1 = \frac{Z_{11}}{\frac{\pi}{4}\rho c^2 U A_f}$$

$$F' = \frac{F}{\frac{\pi}{2}\rho\omega c U A_f},$$

$$h_0' = \frac{2}{c}h_0, \quad h' = \frac{2}{c}h, \quad l' = \frac{2}{c}l,$$

$$W' = \frac{W}{\frac{\pi}{4}\rho\omega^2 c^2 U A_f},$$

(3)は

$$\left.\begin{aligned} Z'_{00}\dot{h}_0' + Z'_{10}\dot{\theta} &= \omega F' \\ Z'_{01}\dot{h}_0' + Z'_{11}\dot{\theta} &= \omega l F' \end{aligned}\right\}.$$

(10)は

$$W' = \frac{1}{4}\left(F'\bar{\dot{h}}' + \bar{F}'\dot{h}'\right),$$

2. 最適状態の ℓ とバネ定数

最適状態では理論により、

$$\frac{2}{c}\dot{h}_0 = \dot{\theta} X(\alpha, \mu), \quad \alpha = \frac{\omega c}{2U}, \quad (2.1)$$

で無ければならない。

$$X(\alpha) = |X(\alpha)| e^{i\varepsilon}, \quad (2.1')$$

(1.3)から P を消去すると

$$-(\ell Z_{00} - Z_{01})\dot{h}_0 + (Z_{11} - \ell Z_{10})\dot{\theta} = 0, \quad (2.2)$$

$$\therefore \quad X = \frac{2\dot{h}_0}{c\dot{\theta}} = \frac{2}{c}\frac{Z_{11} - \ell Z_{10}}{\ell Z_{00} - Z_{01}}, \quad (2.3)$$

それ故

$$\ell\left(X Z_{00} + \frac{2}{c} Z_{10}\right) = \frac{2}{c} Z_{11} + X Z_{01}$$

$$\ell = \frac{\frac{2}{c} Z_{11} + X Z_{01}}{X Z_{00} + \frac{2}{c} Z_{10}}, \quad \ldots \quad (2.4)$$

あるいは

$$Z_{11}^{*} = Z_{11} - i\left(\omega I_\theta - \frac{k_\theta}{\omega}\right), \quad (2.5)$$

とおいて

$$\ell = \frac{\frac{2}{c} Z_{11}^{*} + X Z_{01} + \frac{2}{c} i\left(\omega I_\theta - \frac{k_\theta}{\omega}\right)}{X Z_{00} + \frac{2}{c} Z_{10}} \quad (2.4')$$

とおくと右辺は一般には複素数となり、実数とはならないから最適状態は存在しないが、k_θとI_θを次のように選べば ℓ を実数とする事が出来る。

その前に無次元化すると

$$\ell' = \frac{Z_{11}^{*\prime} + X Z_{01}' + i\left(\alpha I' - \frac{\beta'}{\alpha}\right)}{X Z_{00}' + Z_{10}'} = \frac{-\frac{X}{2}A_1^0 - \frac{1}{2}A_1' + i\left(\alpha I' - \frac{\beta'}{\alpha}\right)}{X(i\alpha M' - A_0^0) - A_0'} \qquad (2.4')$$

これを

$$\ell' = \frac{C + i\left(D + \alpha I' - \frac{\beta'}{\alpha}\right)}{A + iB}, \qquad \cdots\ (2.6)$$

のように書くと ℓ' が実であるためには

$$\frac{C}{A} = \frac{D + \alpha I' - \frac{\beta'}{\alpha}}{B}, \quad \frac{\beta'}{\alpha} - \alpha I' = D - \frac{BC}{A}, \qquad (2.7)$$

であればよい。

この時

$$\ell' = \frac{C}{A} = \frac{+\frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[XA_1^0 + A_1'\right]}{\mathrm{Re}\left[X(A_0^0 - i\alpha M') + A_0'\right]}, \qquad (2.8)$$

なお (2.7) において決まるのは $\left(\frac{\beta'}{\alpha} - \alpha I'\right)$ であるから

β' と I' を組合せは任意である。

(2.1)のXはαの他にμを与えないと決まらない。

μを与えると効率を与えた意味になる。

与えられたX(α, μ)に対して以上のようにして ℓ h_c が決まると振巾は(1.5)で与えられる。

一方与えられたμに対して K_T, K_Q は決定するから

$$\frac{T}{\frac{\rho}{8}\omega U H B} = K_T(\alpha, \mu)$$

$$\frac{T}{\frac{\rho}{8}\frac{U}{\omega}B} = K_T \frac{[illegible]\,|Z_{11}-\ell Z_{10}|^2}{|Z_{00}Z_{11}-Z_{10}Z_{01}|^2}$$

(1.8)を代入すれば

$$\frac{T}{\frac{\rho}{8}\frac{U}{\omega}B} = K_T \frac{|\dot{h}|^2\,|Z_L|^2\,|Z_{11}-\ell Z_{10}|^2}{|Z_{00}Z_{11}-Z_{10}Z_{01}|^2}$$

$$\fallingdotseq K_T \frac{|\dot{h}|^2\,|Z_{11}-\ell Z_{10}|^2}{|Z_{11}+\ell^2 Z_{00}-\ell(Z_{10}+Z_{10})|^2}$$

$$= \frac{K_T|\dot{h}|^2}{\left|1+\frac{\ell}{X}\right|^2} \quad ,(これは当然)$$

この時ストローク h_c が決まれば推力Tも決まる。

3. 波による発生推力

水中翼が規則波中を動揺しながら前進する時に発生する推力について考えよう。

系外にはエネルギーをとり出さないものとする。

i) 波の強制力

翼の没水深度は充分深く、翼の圧力分布におよぼす水面の影響は無視し得るものとすると波による強制力とモーメントは花岡の定理により、

$$L \approx \frac{i}{\omega}\int \tilde{P}_0\,\phi_y\,dx = 2\rho U \sum \tilde{A}_n^0 \int_0^{\pi} \phi_y \cos n\theta\, d\theta \qquad (3.1)$$

$$M \approx \frac{i}{\omega}\int \left(\tilde{P}_1 - \frac{i}{\alpha}\tilde{P}_0\right)\phi_y\,dx = 2\rho U \sum \left(\tilde{A}_n^1 - \frac{i}{\alpha}\tilde{A}_n^0\right)\int_0^{\pi} \phi_y \cos n\theta\, d\theta$$

波の水面変位を (Rule surface ...) [f : 翼の深度]

$$\eta = a\,e^{iKx-Kf} \qquad (3.2)$$

とおくと

$$\phi_y = -i\omega_0 a\, e^{iKx-Kf} \qquad \left(\begin{aligned} K &= \frac{2\pi}{\lambda} = \omega_0^2/g \\ \omega_0 &= \omega - KU \end{aligned}\right)$$

$$\int_0^{\pi} e^{iK\cos\theta} \cos n\theta\, d\theta = \pi i^n J_n(K), \quad \tilde{A}_n = (-)^{n+1} A_n$$

故

$$L = +2\pi\rho U \omega_0 a \sum_{n=0}^{2} (-i)^{n-1} A_n^0 J_n(K)\, e^{-Kf},$$

$$M = 2\pi\rho U \omega_0 a \sum_{n=0}^{3} (-i)^{n-1} \left(A_n^1 - \frac{i}{\alpha} A_n^0\right) J_n(K)\, e^{-Kf} \qquad (3.3)$$

のように求める事が出来る。

一方でこれから後の議論では波長が弦長に比して充分大きいと仮定して翼と水との相対運動に対し翼理論を適用して推力等を求めようとするので(3.2)から波の翼に対する速度と迎角を求めておかねばならない。

(3.2)第1式を展開すれば

$$\eta \fallingdotseq a\left[J_0(K) + 2iJ_1(K)x + \cdots\right]e^{-Kf}, \quad (3.5)$$

となるから上下縦ゆれに相当するとして

$$\left.\begin{aligned} &\eta = h_w + x\theta_w \\ &h_w = aJ_0(K)e^{-Kf}, \quad \theta_w = 2iaJ_1(K)e^{-Kf} \end{aligned}\right\} \quad (3.6)$$

一方(3.2)第2式からは

$$\phi_y = -i w_0 a e^{iKx - Kf} \fallingdotseq -i w_0 a\, e^{-Kf}\left[J_0(K) + 2ixJ_1(K) \cdots\right]$$

$$\phi_y = -\left(i\omega + U\frac{\partial}{\partial x}\right)(h_w + x\theta_w)$$

$$= -i\omega h_w + (-i\omega x + U)\theta_w$$

故

$$\left.\begin{aligned} &h_w = \frac{w_0}{\omega}a\left[J_0(K) + \frac{2U}{\omega}J_1(K)\right]e^{-Kf} \\ &\theta_w = 2\frac{i w_0 a}{\omega}J_1(K)e^{-Kf}. \end{aligned}\right\} \quad (3.7)$$

となって(3.6)と異なって来るが(3.7)は(3.6)の ω を ω_0 と考えられる。簡単な(3.6)を使うすればよう。(注意)

(注意)

$\dot{h}_w = i\omega h_w$

翼の運動をこのように簡単化すれば それに対する翼の力とモーメントは

$$L_E = -\int p\,dx = -2\pi\rho U[A_0^0 \dot{h}_w + A_0^1 \dot{\theta}_w] \times \frac{A_f}{2}$$

$$M_E = -\int px\,dx = \pi\rho U[A_1^0 \dot{h}_w + A_1^1 \dot{\theta}_w] \frac{cA_f}{4}$$

$\dot{h}_w = i\omega h_w$

$$V_1 \equiv L_E = Z_{00}^* \dot{h}_w + Z_{10} \dot{\theta}_w$$

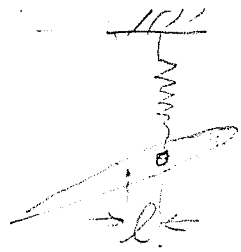
$$V_2 \equiv M_E = Z_{01} \dot{h}_w + Z_{11}^* \dot{\theta}_w \qquad (3.8)$$

$\dot{\theta}_w = i\omega\theta_w$

(3.3)と比較すれば (3.7)を使えば 少くとも第1項は合っている。

しかし前輪の後に h_w, θ_w は (3.6)を使うものとする。

ii) 運動と推力



運動方程式は

$$\left.\begin{aligned}(Z_{00}+Z_L)\dot{h}_0 + (Z_{10}+lZ_L)\dot{\theta} &= V_1\\ (Z_{01}+lZ_L)\dot{h}_0 + (Z_{11}+l^2Z_L)\dot{\theta} &= V_2\end{aligned}\right\} \quad (3.9)$$

$Z_{00} = Z_{00}^* + i\omega M$, M: finのmass,
$Z_{11} = Z_{11}^* + i\left(\omega I - \frac{k_\theta}{\omega}\right)$, Iはfinの慣性, k_θ: バネ定数
$Z_L = i\left(\omega m - \frac{k_h}{\omega}\right)$, m: 外系の質量, k_h: バネ定数
(*印は流体力のみを意味している, Z_{10}, Z_{01}は流体力のみ)

V_1, V_2は(3.8)により与えられるから

$$\left.\begin{aligned}(Z_{00}+Z_L)\dot{h}_0 + (Z_{10}+lZ_L)\dot{\theta} &= Z_{00}^*\dot{h}_w + Z_{10}\dot{\theta}_w\\ (Z_{01}+lZ_L)\dot{h}_0 + (Z_{11}+l^2Z_L)\dot{\theta} &= Z_{01}\dot{h}_w + Z_{11}^*\dot{\theta}_w\end{aligned}\right\} \quad (3.10)$$

今
$$\left.\begin{aligned}h_r &= h_0 - h_w\\ \theta_r &= \theta - \theta_w\end{aligned}\right\} \quad (3.11)$$
のように相対変位を導入すると、

$$\left.\begin{aligned}(Z_{00}+Z_L)\dot{h}_r + (Z_{10}+lZ_L)\dot{\theta}_r &= -(i\omega M+Z_L)\dot{h}_w - lZ_L\dot{\theta}_w\\ (Z_{01}+lZ_L)\dot{h}_r + (Z_{11}+l^2Z_L)\dot{\theta}_r &= -lZ_L\dot{h}_w - \left(l^2Z_L + i\omega I - \frac{k_\theta}{\omega}\right)\dot{\theta}_w\end{aligned}\right\} \quad (3.12)$$

のように相対運動の方程式がえられる。

今
$$\left.\begin{aligned}i\omega M + Z_L &= Z_{LH}\\ l^2Z_L + i\omega I - \frac{1}{\omega}k_\theta &= Z_{L\theta}\end{aligned}\right\} \quad (3.13)$$

とおいて書き直すと

$$(Z_{00}^{*}+Z_{LH})\dot{h}_{r}+(Z_{10}+\ell Z_{L})\dot{\theta}_{r}=-Z_{LH}\dot{h}_{w}-\ell Z_{L}\dot{\theta}_{w}$$
$$(Z_{01}+\ell Z_{L})\dot{h}_{r}+(Z_{11}^{*}+Z_{L\theta})\dot{\theta}_{r}=-\ell Z_{L}\dot{h}_{w}-Z_{L\theta}\dot{\theta}_{w} \qquad (3.13')$$

これを解けば

$$\dot{h}_{r}=\frac{1}{\Delta}\Big[(Z_{10}+\ell Z_{L})(\ell Z_{L}\dot{h}_{w}+Z_{L\theta}\dot{\theta}_{w})-(Z_{11}^{*}+Z_{L\theta})(Z_{LH}\dot{h}_{w}+\ell Z_{L}\dot{\theta}_{w})\Big],$$

$$\dot{\theta}_{r}=\frac{1}{\Delta}\Big[(Z_{01}+\ell Z_{L})(Z_{LH}\dot{h}_{w}+\ell Z_{L}\dot{\theta}_{w})-(Z_{00}^{*}+Z_{LH})(\ell Z_{L}\dot{h}_{w}+Z_{L\theta}\dot{\theta}_{w})\Big], \qquad (3.14)$$

$$\begin{aligned}\Delta &=(Z_{00}^{*}+Z_{LH})(Z_{11}^{*}+Z_{L\theta})-(Z_{01}+\ell Z_{L})(Z_{10}+\ell Z_{L})\\ &=Z_{00}^{*}Z_{11}^{*}-Z_{01}Z_{10}+Z_{LH}Z_{L\theta}-\ell^{2}Z_{L}^{2}\\ &\quad +Z_{LH}Z_{11}^{*}+Z_{L\theta}Z_{00}^{*}-\ell Z_{L}(Z_{10}+Z_{01}),\\ &=Z_{00}^{*}Z_{11}^{*}-Z_{01}Z_{10}+i\omega M Z_{11}^{*}+i\left(\omega I-\frac{k_{\theta}}{\omega}\right)Z_{00}^{*}\\ &\quad +Z_{L}\left\{i\omega M\ell^{2}+i\left(\omega I-\frac{k_{\theta}}{\omega}\right)+Z_{11}^{*}+\ell^{2}Z_{00}^{*}-\ell(Z_{10}+Z_{01})\right\}\end{aligned}$$

あるいは整理して

$$\dot{h}_{r}=\frac{1}{\Delta}\Big[\{(Z_{10}+\ell Z_{L})\ell Z_{L}-(Z_{11}^{*}+Z_{L\theta})Z_{LH}\}\dot{h}_{w}+\{(Z_{10}+\ell Z_{L})Z_{L\theta}-(Z_{11}^{*}+Z_{L\theta})\ell Z_{L}\}\dot{\theta}_{w}\Big],$$

$$\dot{\theta}_{r}=\frac{1}{\Delta}\Big[\{(Z_{01}+\ell Z_{L})Z_{LH}-(Z_{00}^{*}+Z_{LH})\ell Z_{L}\}\dot{h}_{w}+\{(Z_{01}+\ell Z_{L})\ell Z_{L}-(Z_{00}^{*}+Z_{LH})Z_{L\theta}\}\dot{\theta}_{w}\Big]. \qquad (3.14')$$

(3.11)から $\dot{h}_0, \dot{\theta}_0$ は

$$\dot{h} = \dot{h}_0 + l\dot{\theta} = \frac{1}{\Delta}\Big[\dot{h}_W\{Z^*_{00}(Z^*_{11}+Z_{L\theta}) - Z_{10}Z_{01} + Z_{01}l(Z_{LH}-Z_L)\} + \dot{\theta}_W\{l(Z^*_{00}+Z_{LH}-Z_L)Z^*_{11} - Z_{10}Z_{01} + Z_{10}Z_{L\theta}\}\Big],$$

$$\dot{h}_0 = \frac{1}{\Delta}\Big[\{Z^*_{00}(Z^*_{11}+Z_{L\theta}) - Z_{01}(Z_{10}+lZ_L)\}\dot{h}_W + \{Z_{10}Z_{L\theta} - Z^*_{11}lZ_L\}\dot{\theta}_W\Big],$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{\Delta}\Big[\{Z_{01}Z_{LH} - Z^*_{00}lZ_L\}\dot{h}_W + \{(Z^*_{00}+Z_{LH})Z^*_{11} - (Z_{01}+lZ_L)Z_{10}\}\dot{\theta}_W\Big], \qquad (3.15)$$

これは (3.10) を解いたものに等しい。

次に (3.10) において $\dot{h}_0$ が平板になす単位時間の仕事 W は

$$W = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\Big[(Z^*_{00}\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W)\bar{\dot{h}}_0 + (Z_{01}\dot{h}_W + Z^*_{11}\dot{\theta}_W)\bar{\dot{\theta}}\Big] \qquad (3.16)$$

これは平板が水にたいしてなす仕事に等しくて

$$W = \Big[\frac{R_{00}}{2}|\dot{h}_0|^2 + \frac{R_{11}}{2}|\dot{\theta}|^2 + \frac{1}{4}\{Z_{10}\dot{\theta}\bar{\dot{h}}_0 + \bar{Z}_{10}\bar{\dot{\theta}}\dot{h}_0 + Z_{01}\dot{h}_0\bar{\dot{\theta}} + \bar{Z}_{01}\dot{\theta}\bar{\dot{h}}_0\}\Big] \qquad (3.17)$$

一方相対運動によって平板のなす仕事 W_R は (3.12) より

$$W_R = \Big[\frac{R_{00}}{2}|\dot{h}_r|^2 + \frac{R_{11}}{2}|\dot{\theta}_r|^2 + \frac{1}{4}\{(Z_{10}+\bar{Z}_{01})\dot{\theta}_r\bar{\dot{h}}_r + (Z_{01}+\bar{Z}_{10})\bar{\dot{\theta}}_r\dot{h}_r\}\Big] \qquad (3.18)$$

(3.12′) の右辺からは

$$W_R = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\Big[(Z_{LH}\dot{h}_W + lZ_L\dot{\theta}_W)\bar{\dot{h}}_r + (lZ_L\dot{h}_W + Z_{L\theta}\dot{\theta}_W)\bar{\dot{\theta}}_r\Big], \qquad (3.19)$$

Z_L, Z_{LH}, $Z_{L\theta}$, $\dot{h}_W$ は純虚数, $\dot{\theta}_W$ は実であるから

(3.11) によって (3.19) は

$$W_R = -\frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[Z_{LH} h_W \bar{h}_0 + Z_{L\theta}\theta_W\bar{\theta} + lZ_L(\theta_W\bar{h}_0 + h_W\bar{\theta})\right], \quad (3.19')$$

そてWuは運動方程式は考えなりで(3.17)と(3.16)
与えられた推力に対し
の差を最小にするような極値問題を解りて
いるが，一色の示すように今考えてる場合は30%差は
0であって，(一色は別の極値条件を導入しているが)
こう考えて来ると
具合が悪い。また推力を与える式にも疑問がある。

この近似では入射波の影響は対水相対運動
を考える事であらわせるとしたのであるから，やはり
相対運動による仕事(3.18)を採るのが適当で
あろう。

こうする事によって翼が動揺しない時も(3.18)
のWRは0でなく推力(又は抗力)を発生し得る事が
わかる。

さて推力Tは散逸エネルギーをE_Rとして

$$T = \frac{W_R - E_R}{U}, \qquad (3.20)$$

$$E_R = \frac{\rho \omega U^2}{8} A\bar{A}, \quad A = a h_r + b \theta_r, \qquad (3.21)\ ?$$

このa, bは $a = \dfrac{4}{H_1^{(2)}(\alpha) + i H_0^{(2)}(\alpha)}$, $b = \left(\dfrac{2}{\alpha} - \dfrac{1}{2}\right) a$,

翼が動揺していなければ (3.18), (3.21) において

$h_r = -h_w$, $\theta_r = -\theta_w$ とすればよい。

最後に効率について考えよう。

まず入射波の運んで来る単位時間当りのエネルギー

W_Eは

$$W_E = \frac{\rho g a^2}{2}\left(U + \frac{c_w}{2}\right) l, \quad c_w = \frac{g}{\omega_0}, \qquad (3.22)$$

波が翼~~に~~になす仕事率又は翼がなす仕事率は(3.16)

又は(3.17)で与えられるから,

$$\eta_{ab} = \frac{W}{W_E}, \qquad (3.23)$$

は翼が波からエネルギーを吸収する効率、エネルギー吸収効率である。

このWの内実際推力を出すのに使われる仕事はW_R

であるから

$$\eta_R = \frac{W_R}{W} \quad , \quad \cdots \qquad (3.24)$$

は相対効率とも呼ぶべきもので上の考察から入射波の散乱ポテンシャルによる影響を表わしている。
最後に推力を出す翼としての効率は

$$\eta = \frac{TU}{W_R} \quad , \quad \cdots \qquad (3.25)$$

となり、全体を総合して入射波の全エネルギー（理想推力）あるいは運動量の時間的変化に対する効率は

$$\eta_T = \frac{TU}{W_E} = \frac{TU}{W_R} \cdot \frac{W_R}{W} \cdot \frac{W}{W_E} = \eta \cdot \eta_R \cdot \eta_{ab} \, , \qquad (3.26)$$

によって与えられる。

iii) 上下ゆれのみの場合

(3.10)から運動方程式は

$$(Z_{00}+Z_L)\dot{h}_0 = Z_{00}^* \dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W , \qquad (3.27)$$

or $$(Z_{00}+Z_L)\dot{h}_r = -Z_{LH}\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W$$

但し $\dot{\theta}_r = -\dot{\theta}_W$

$$\dot{h}_r = \frac{1}{Z_{00}^*+Z_{LH}}\left[-Z_{LH}\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W\right],$$

$$\dot{h}_0 = \frac{1}{Z_{00}^*+Z_{LH}}\left[Z_{00}^*\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W\right], \qquad (3.28)$$

$$W = \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[(Z_{00}^*\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W)\overline{\dot{h}_0}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\mathrm{Re}\left[\frac{|Z_{00}^*\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W|^2}{\overline{Z_{00}^*} + \overline{Z_{LH}}}\right] = \frac{R_{00}}{2}\left|\frac{Z_{00}^*\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W}{Z_{00}+Z_L}\right|^2, \qquad (3.29)$$

それ故 $$\mathrm{Max.}\, W = \frac{|Z_{00}^*\dot{h}_W + Z_{10}\dot{\theta}_W|^2}{2R_{00}}, \qquad (3.30)$$

$$\text{at } \mathrm{Im}\{Z_{00}+Z_L\} = \mathrm{Im}\{Z_{00}^*+Z_{LH}\} = 0 \qquad (3.31)$$

この条件は上下ゆれが同調している事を示す。

W_R, E_R は (3.18), (3.21) で $\theta_r = -\theta_W$ とおいて計算する。

iv) 翼は動揺しない場合

この時 $W=0$ であるから (3.26) において

$$\left.\begin{aligned} \eta_T &= \frac{TU}{W_E} = \frac{TU}{W_R}\frac{W_R}{W_E} = \eta\cdot\eta_{abR} \\ \eta_{abR} &= \frac{W_R}{W_E}\,, \end{aligned}\right\} \quad (3.32)$$

とし

$$W_R = R_e\Big[\frac{R_{00}}{2}|\dot{h}_{w0}|^2 + \frac{R_{11}}{2}|\dot{\theta}_{w0}|^2 + \frac{1}{4}\left\{(Z_{10}+\bar{Z}_{01})\dot{\theta}_w\bar{\dot{h}}_{w0} + (\bar{Z}_{10}+Z_{01})\bar{\dot{\theta}}_{w0}\dot{h}_w\right\}\Big], \quad (3.33)$$

$$E_R = \frac{\rho}{8}\frac{U}{\omega}\Big[a\bar{a}|\dot{h}_w|^2 + b\bar{b}\,\dot{\theta}_w\bar{\dot{\theta}}_w + a\bar{b}\,\dot{h}_w\bar{\dot{\theta}}_w + \bar{a}b\,\bar{\dot{h}}_w\dot{\theta}_w\Big], \quad (3.34)$$

v) 最適状態

最適状態では

$$\dot{h}_w = \dot{\theta}_r X(\alpha, \mu),$$

であればよいと考えられる。

(3.12')に代入して辺々相割れば

$$\frac{(Z_{00}^* + Z_{LH})X + (Z_{10} + \ell Z_L)}{(Z_{01} + \ell Z_L)X + (Z_{11}^* + Z_{L\theta})} = \frac{Z_{LH}\dot{h}_w + \ell Z_L \dot{\theta}_w}{\ell Z_L \dot{h}_w + Z_{L\theta}\dot{\theta}_w}, \quad (3.35)$$

これを整理すると

$$(Z_{00}^* X + Z_{10}) Z_{L\theta}\dot{\theta}_w = (Z_{01}X + Z_{11}^*) Z_{LH}\dot{h}_w + (Z_{L\theta}Z_{LH} - \ell^2 Z_L^2)(\dot{h}_w - X\dot{\theta}_w) + \ell Z_L\{(Z_{01}X + Z_{11}^*)\dot{\theta}_w - (Z_{00}^* X + Z_{10})\dot{h}_w\}, \quad (3.35')$$

ここで簡単の為に

$$\left.\begin{aligned} Z_{LH} &= Z_L \quad \text{for } \mu = 0 \\ Z_{L\theta} &= Z_{L\theta}^* + \ell^2 Z_L, \\ Z_{L\theta}^* &= i\omega\left(I - \frac{k_\theta}{\omega}\right) \\ Z_{L\theta}Z_{LH} - \ell^2 Z_L^2 &= Z_{L\theta}^* Z_L \end{aligned}\right\} \quad (3.36)$$

つまり $\mu=0$ とおくと

$$\frac{Z_{L\theta}^*}{Z_L} + \ell^2 = \frac{\{Z_{01}X + Z_{11}^* - \ell(Z_{00}^* X + Z_{10})\}\dot{h}_w + \ell(Z_{01}X + Z_{11}^*)\dot{\theta}_w + Z_{L\theta}^*(\dot{h}_w - X\dot{\theta}_w)}{(Z_{00}^* X + Z_{10})\dot{\theta}_w} \quad (3.37)^*$$

この左辺は実数であるから右辺も実数でなければならない。

右辺をあらためて

$$\frac{Z_{L\theta}^*}{Z_L} + \ell^2 = \frac{A + iB + Z_{L\theta}^*(C + iD)}{E + iF}, \quad (3.38)$$

のように書く事とすると右辺が実数であるためには

---

* 分母, 分子共 $\dot{h}_w$, $\dot{\theta}_w$ は h_w, θ_w とおきかえてよい。

$$\frac{A+iDZ^*_{L0}}{E}=\frac{B-iCZ^*_{L0}}{F}, \quad \cdots \qquad (3.39)$$

あるいは
$$Z^*_{L0}=\frac{BE-AF}{i(FD+CE)}, \qquad (3.39')$$
のようにZ^*_{L0}は定まる。

これを(3.38)に代入すると
$$Z_L=Z^*_{L0}\Big/\left[\frac{A+iDZ^*_{L0}}{E}-\ell^2\right], \qquad (3.40)$$
となる。

それ故ℓを与えると(3.39')でZ^*_{L0}が(3.40)でZ_Lが定まる。

これで係数が定まったから$h_r, \theta_r; h_0, \theta_0, \theta$を(3.14'), (3.15)によってもとめ$W, W_R, T$を(3.17), (3.18), (3.20)(3.21)からもとめる。

ℓをかえて最大の推力Tをもとめる。(これは恐らく(3.14)のΔの虚部が0となる値であろう)。

次にμ([illegible])をかえて計算をくりかえし、最大の推力を与えるμの値を探す。

vi) 無次元化

インピーダンスの無次元化は P.4の通りとする。

$$Z_L' = \frac{Z_L}{\pi\rho U A_f} = i\frac{(\omega m - \frac{k_H}{\omega})}{\pi\rho U A_f} = i\left(\alpha m' - \frac{k_H'}{\alpha}\right)$$

$$m' = \frac{m}{\frac{\pi}{2}\rho c A_f}, \quad k_H' = \frac{k_H}{2\pi\rho U^2 B}, \quad A_f = cB$$

$$Z_{L\theta}^{*\prime} = \frac{Z_{L\theta}^{*}}{\frac{\pi}{4}\rho c^2 A_f U} = \frac{i(\omega I - \frac{k_\theta}{\omega})}{\frac{\pi}{4}\rho c^2 U A_f} = i\left(\alpha I' - \frac{k_\theta'}{\alpha}\right)$$

$$I' = \frac{I}{\frac{\pi}{8}\rho c^3 A_f}, \quad k_\theta' = \frac{k_\theta}{\frac{\pi}{4}\rho c U^2 A_f}$$

波数 $K \longrightarrow K' = \frac{c}{2}K = \pi\frac{c}{\lambda}$

[K は K' の意味で使われているので注意。例えば $J_0(K), J_1(K)$]

$$K = \frac{\omega_0^2}{g}, \quad \omega_0 = \sqrt{gK}, \quad C_W = \frac{g}{\omega_0} = \sqrt{\frac{g}{K}}$$

$$C_W/U = \frac{1}{F_n\sqrt{2K'}} \ //, \quad F_n = U/\sqrt{gc} \ //$$ フルード数

上下ゆれ、縦ゆれは 今度は 波振幅 a で無次元化する

$$h_0' = \frac{h_0}{a}, \quad \theta' = \frac{\theta}{Ka}, \quad h_r' = \frac{h_r}{a}, \quad \theta_r' = \frac{\theta_r}{Ka}.$$

$$h' = \frac{h_0 + l\theta}{a} = h_0' + Kl\theta' = h_0' + K'l'\theta'$$

$$h_w' = \frac{h_w}{a} = J_0(K')e^{-Kf}, \quad Kf = K'f', \quad f' = \frac{2f}{c}$$

$$\theta_w' = \frac{\theta_w}{Ka} = \frac{2ia}{Ka}J_1(K)e^{-Kf} = \frac{2i}{K'}J_1(K')e^{-Kf}$$

(3.10)等の変数

運動方程式においては $h, \dot{\theta}$ 等はすべて時間微分となっているから、これを全部とっても良い。

(3.10), (3.12′)は

$$(Z_{00}'+Z_L')h_0' + K'(Z_{10}'+l'Z_L')\theta' = Z_{00}^{*\prime} h_w' + K'Z_{10}'\theta_w'$$
$$(Z_{01}'+l'Z_L')h_0' + K'(Z_{11}'+l'^2 Z_L')\theta' = Z_{01}'h_w' + K'Z_{11}^{*\prime}\theta_w' \quad (3.10')$$

$$(Z_{00}^{*\prime}+Z_{LH}')h_r' + K'(Z_{10}'+l'Z_L')\theta_r' = -Z_{LH}'h_w' - K'l'Z_L'\theta_w'$$
$$(Z_{01}'+l'Z_L')h_r' + K'(Z_{11}^{*\prime}+Z_{L\theta}')\theta_r' = -l'Z_L'h_w' - K'Z_{L\theta}'\theta_w' \quad (3.12'')$$

そういうわけで (3.10) ~ (3.15) 迄の式は上のように無次元化すると $\theta \rightarrow K'\theta'$ のおきかえが異なるだけで他は同じになる。

次に W については (3.23) の形で無次元化しよう。(略,T)

(3.17), (3.18)は

$$\eta_{aR} = \frac{W}{W_E} = \frac{2\pi\alpha^2 F_r^2}{\left(1+\frac{1}{2F_r\sqrt{2K'}}\right)}\left[R_{00}'|h_0'|^2 + K'^2 R_{11}'|\theta'|^2 + \frac{K'}{2}\{(Z_{01}'+\bar{Z}_{10}')\theta'\bar{h}_0' + (\bar{Z}_{01}'+Z_{10}')\bar{\theta}'h_0'\}\right] \quad (3.17')$$

$$\eta_{aBR} = \frac{W_R}{W_E} = [\text{上式で } h_0' \rightarrow h_r',\ \theta' \rightarrow \theta_r' \text{ とおいたもの}] \quad (3.18')$$

$$2\pi F_r^2\alpha^2 = \frac{\pi\rho U \omega^2 \cdot a^2}{\rho g a^2 \cdot UB}, \quad 1+\frac{1}{2F_r\sqrt{2K'}} = 1+\frac{C_W}{2U},$$

分母 h, θ 等は複素でない点に注意!

$$\frac{E_R}{W_E} = \frac{\alpha F_r^2\, F'\bar{F}'}{2\left(1+\frac{1}{2F_r\sqrt{2K'}}\right)}, \quad F' = a h_r' + K' b \theta_r', \quad (3.21')$$

$$\eta_T = \frac{TU}{W_E} = \frac{W_R - E_R}{W_E} = \eta_{aBR} - \frac{E_R}{W_E},$$

最適状態では

$$\therefore \overline{H}' = h_r'\left(A - \frac{a}{c}B\right)\mu$$

$$C_{E} = \frac{UE_R}{\frac{\rho}{8}\omega U^2} = \frac{a_w^2}{\mu}|\overline{H}'|^2$$

$$C_W = \frac{W_R}{\frac{\rho}{8}\omega U^2} = a_w^2 |\overline{H}'|^2 \left\{ \frac{2}{\mu} + \frac{B}{c} + \frac{\overline{B}}{\overline{c}} \right\},$$

$$C_T = \frac{TU}{\frac{\rho}{8}\omega U^2} = a_w^2 |\overline{H}'|^2 \left\{ \frac{2}{\mu} - 1 + \frac{B}{c} + \frac{\overline{B}}{\overline{c}} \right\},$$

$$\therefore \eta_T = \frac{\alpha \overline{F}r^2}{2\left(1 + \frac{C_W}{2U}\right)} |\overline{H}'|^2 \left(\frac{2}{\mu} - 1 + \frac{B}{c} + \frac{\overline{B}}{\overline{c}} \right)$$

$$\eta_{abR} = \frac{\alpha \overline{F}r^2}{2\left(1 + \frac{C_W}{2U}\right)} |\overline{H}'|^2 \left(\frac{2}{\mu} + \frac{B}{c} + \frac{\overline{B}}{\overline{c}} \right)$$

or $$\eta_T = \frac{\alpha \overline{F}r^2\, |h_r'|^2}{2\left(1 + \frac{C_W}{2U}\right)} \left|A - \frac{a}{c}B\right|^2 \mu \left\{ 2 + \left(\frac{B}{c} + \frac{\overline{B}}{\overline{c}} - 1 \right)\mu \right\}.$$

(μが与えられている時は
これらの式は前頁の式のcheckに使う)

vii) 翼の抗力

翼が一定速度で進む時の抵抗Dは

$$D = \frac{\rho}{2} A_f U^2 C_D$$

これを W_E で割ると

$$\eta_D = \frac{DU}{W_E} = \frac{\frac{\rho}{2} A_f U^3 C_D}{\frac{\rho}{2} g a_w^2 U \left(1 + \frac{cw}{2U}\right) B} = \frac{\left(\frac{c}{a}\right)^2 F_r^2 C_D}{\left(1 + \frac{cw}{2U}\right)},$$

$\eta_D = \eta_T$ が自航状態となる。

それ故、その時のフルード数は

$$F_r^2 = \frac{\left(\frac{a_w}{c}\right)^2}{C_D} \left(1 + \frac{cw}{2U}\right) \eta_T.$$

即ち、 $$\frac{U}{\sqrt{gc}} = \left(\frac{a_w}{c}\right) \sqrt{\frac{\eta_T}{C_D}\left(1 + \frac{cw}{2U}\right)}$$

前頁の η_T と等置すると

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{2U}{\omega c} = \frac{\left(\frac{a_w}{c}\right)^2}{C_D} |H_r'|^2 \left|A - \frac{a}{b} B\right|^2 \mu \left[2 + \left(\frac{B}{a} + \frac{B}{b} - 1\right)\mu\right]$$

viii) 前進速度のない場合

水平舵板の上下動の附加質量を M_W
〃 縦ゆれの 〃 慣性を I_W } とおこう

$$M_W = \frac{\pi}{4}\rho C^2 B$$

$$I_W = \kappa^2 M_W, \quad \left(\kappa = \frac{C}{4} \ ?\right)$$

減衰制力とモーメントは近似的に

$$V_1 = i\omega M_W \dot{h}_W$$

$$V_2 = i\omega I_W \dot{\theta}_W$$

(3.9)の運動方程式で

$$Z_{10} = Z_{01} = 0.$$

$$Z_{00} = Z_{00}^* + i\omega M, \quad Z_{11} = Z_{11}^* + Z_{L\theta}$$

$$Z_{00}^* = R_{00} + i\omega M_W$$

$$Z_{11}^* = R_{11} + i\omega I_W$$

ハスキントの関係によりコッチン関数 H_1, H_2 は

$$V_1 = \rho g a_W H_1, \quad H_1 = \frac{i\omega M_W}{\rho g}\left(\frac{\dot{h}_W}{a_W}\right)$$

$$V_2 = \rho g a_W H_2, \quad H_2 = \frac{i\omega I_W}{\rho g}\left(\frac{\dot{\theta}_W}{a_W}\right)$$

$$R_{00} = \rho\omega|H_1|^2, \quad R_{11} = \rho\omega|H_2|^2$$

(3.9)は

$$(Z_{00}^* + Z_{LH})\dot{h}_0 + l Z_L \dot{\theta} = \rho g a_W H_1$$

$$l Z_L \dot{h}_0 + (Z_{11}^* + Z_{L\theta})\dot{\theta} = \rho g a_W H_2$$

$$(Z_{00}^* + Z_{LH})\dot{h}_r + l Z_L \dot{\theta}_r = -Z_{LH}\dot{h}_W - l Z_L \dot{\theta}_W$$

$$l Z_L \dot{h}_r + (Z_{11}^* + Z_{L\theta})\dot{\theta}_r = -l Z_L \dot{h}_W - Z_{L\theta}\dot{\theta}_W$$

反射波の振幅 A_R は.

$$A_R = \frac{2\omega_0}{g}\left[\dot{h}_r H_1 + \dot{\theta}_r H_2 \right]$$

漂流力 R は

$$R = \frac{\rho g}{2} A_R^2$$

$$\dot{h}_r = \frac{1}{\Delta}\left[\ell Z_L (\ell Z_L \dot{h}_w + Z_{L\theta} \dot{\theta}_w) - (Z_{11}^* + Z_{L\theta})(Z_{LH} \dot{h}_w + \ell Z_L \dot{\theta}_w) \right]$$

$$\dot{\theta}_r = \frac{1}{\Delta}\left[\ell Z_L (Z_{LH} \dot{h}_w + \ell Z_L \dot{\theta}_w) - (Z_{00}^* + Z_{LH})(\ell Z_L \dot{h}_w + Z_{L\theta} \dot{\theta}_w) \right],$$

$$\Delta = (Z_{00}^* + Z_{LH})(Z_{11}^* + Z_{L\theta}) - \ell^2 Z_L^2$$

附録 力とモーメントの次元

1. 弦長Cの半分を単位長さにとってある。(翼幅B)

2. 振動振幅　上下動h，縦ゆれθ

$$C_0 = \frac{2h}{c}, \quad C_1 = \theta$$

3. 揚力 L

$$L = \int_{-1}^{1} p\,dx = 2i\rho\omega U \int_0^{\pi} \sum C_n A_n \cos n\theta\, d\theta = 2\pi i\rho\omega U(A_0^0 C_0 + C_1 A_0^1)$$

次元を調整すると（幅Bとして、$A_f = BC$ 翼面積）

$$L = 2\pi i\rho\omega U\left(\frac{c}{2}\right)^2 B\left(A_0^0 \frac{2}{c} h + \theta A_0^1\right)$$

$$= \pi i\rho\omega U A_f\left[A_0^0 h + \frac{c}{2}\theta A_0^1\right]$$

4. モーメント M

$$M = \int_{-1}^{1} p x\,dx = \pi i\rho\omega U(C_0 A_1^0 + C_1 A_1^1)$$

$$= \pi i\rho\omega U\left(\frac{c}{2}\right)^3 B(C_0 A_1^0 + C_1 A_1^1)$$

$$= \frac{\pi}{4} i\rho\omega c U A_f\left(h A_1^0 + \frac{c}{2}\theta A_1^1\right)$$

5. 推力 T

$$K_T = \frac{T}{\frac{\rho}{8}\omega U C_0^2} = \frac{T}{\frac{\rho}{8}\omega U\left(\frac{c}{2}\right)^2 B\left(\frac{2h}{c}\right)^2} = \frac{T}{\frac{\rho}{8}\omega U h^2 B}$$

$$K_W = \frac{W}{\frac{\rho}{8}\omega U^2 C_0^2} = \frac{W}{\frac{\rho}{8}\omega U^2 h^2 B}$$

$\alpha \to 0$ の極限値

$\alpha \to 0$ では

$$
\left.
\begin{aligned}
&J_0(\alpha) \doteqdot 1 - \frac{\alpha^2}{4} \\
&J_1(\alpha) \doteqdot \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha^3}{16} \\
&Y_0(\alpha) \doteqdot \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{\alpha^2}{4}\right) l_g\left(\frac{\gamma\alpha}{2}\right), \\
&Y_1(\alpha) \doteqdot -\frac{2}{\pi\alpha} + \frac{\alpha}{\pi} l_g \frac{\gamma\alpha}{2}, \\
&l_g \gamma = .5772\cdots \quad \text{オイラーの定数}
\end{aligned}
\right\}
$$

$$
C(\alpha) = \frac{H_1^{(2)}(\alpha)}{H_1^{(2)}(\alpha) + i H_0^{(2)}(\alpha)} \doteqdot \frac{\left(1 + \frac{\pi}{2}\alpha\right) + i\alpha\, l_g \frac{\gamma\alpha}{2}}{\left(1 + \frac{\pi\alpha}{2}\right)^2},
$$

$$
\left.
\begin{aligned}
A_0^0 &= -\frac{i\alpha}{2} - C(\alpha) \doteqdot -\left(1 - \frac{\pi}{2}\alpha\right) - i\alpha\, l_g \frac{\gamma\alpha}{2} \\
A_1^0 &= -C(\alpha) \doteqdot -\left(1 - \frac{\pi}{2}\alpha\right) - i\alpha\, l_g \frac{\gamma\alpha}{2} \doteqdot A_0^0 \\
A_0^1 &= \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{2} - \frac{i}{\alpha}\right)C \doteqdot -\frac{i}{\alpha}\left[1 - \frac{\pi}{2}\alpha + i\alpha\, l_g \frac{\gamma\alpha}{2}\right] + 1 \\
&\doteqdot l_g \frac{\gamma\alpha}{2} + 1 - \frac{i}{\alpha}\left(1 - \frac{\pi}{2}\alpha\right) + \cdots \\
A_1^1 &= A_0^1 - 1 - \frac{i\alpha}{8} \doteqdot l_g \frac{\gamma\alpha}{2} - \frac{i}{\alpha}
\end{aligned}
\right\}
$$

$$
a = \frac{4}{H_1^{(2)} + i H_0^{(2)}} \doteqdot \frac{4}{-iY_1} \doteqdot -2\pi i \alpha,
$$

$$
b = \left(\frac{i}{\alpha} - \frac{1}{2}\right) a \doteqdot 2\pi,
$$

$$
A = \pi\alpha H_1^{(1)} \doteqdot -2i, \quad B = \frac{\pi i \alpha}{2} H_0^{(1)} \doteqdot -\alpha\, l_g \frac{\gamma\alpha}{2},
$$

$$
A - \frac{B}{b}a \doteqdot 2i\left(1 - \alpha^2 l_g \frac{\gamma\alpha}{2}\right), \quad \frac{A}{a} - \frac{B}{b} \doteqdot \frac{-1}{\pi\alpha}\left(1 - \alpha^2 l_g \frac{\gamma\alpha}{2}\right),
$$

$$
\frac{B}{b} + \frac{\overline{B}}{\overline{b}} \doteqdot -\frac{\alpha}{\pi} l_g \frac{\gamma\alpha}{2},
$$

$$
\mathrm{Max}\begin{Bmatrix} K_T \\ K_W \end{Bmatrix} = \left|A - \frac{a}{b}B\right|^2 \mu\left[2 + \mu\left(\frac{B}{b} + \frac{\overline{B}}{\overline{b}} \times 1\right)\right]
$$

$$
\doteqdot 4\mu\left(2 - \left(\frac{\mu}{2}\right)\right)^{K_T}, \quad K_W \doteqdot 8\mu
$$

$C_1 \doteqdot \frac{\mu}{\pi} C_0 \qquad X \doteqdot \frac{\pi}{\ }$

heaving oscill. の漸近形

$$K_W = A\bar{a} + a\bar{A} = 8\pi\alpha\, C_r(\alpha) \xrightarrow[\alpha\to 0]{} 8\pi\alpha$$

$$\xrightarrow[\alpha \gg 1]{} 4\pi\alpha$$

$$K_T = A\bar{a} + a\bar{A} - a\bar{a} \xrightarrow[\alpha\to 0]{} 8\pi\alpha$$

$$\xrightarrow[\alpha\gg 1]{} 2\pi\alpha$$

$$\eta \xrightarrow[\alpha\to 0]{} 1$$

$$\xrightarrow[\alpha\gg 1]{} \frac{1}{2}$$

pitching oscillation

$$\frac{C_W}{\rho U} = K_W'' = b\bar{B} + \bar{b}B \xrightarrow[\alpha\to 0]{} -4\pi\alpha \log\frac{\gamma\alpha}{2}$$

$$\xrightarrow[\alpha\gg 1]{} \pi\alpha$$

$$\frac{C_T}{\rho U} = K_T' = b\bar{B} + \bar{b}B - b\bar{b} \xrightarrow[\alpha\to 0]{} -4\pi^2 - 4\pi\alpha\log\frac{\gamma\alpha}{2} < 0$$

$$\xrightarrow[\alpha\gg 1]{} \frac{\pi}{2}\alpha.$$

$$\eta \xrightarrow[\alpha\to 0]{} -\frac{\alpha}{\pi}\log\frac{\gamma\alpha}{2}$$

$$\xrightarrow[\alpha\gg 1]{} \frac{1}{2},$$

WE 1-9

No.

Date 57.12.19

2次元振動翼による推力の発生

内容