(昭和 38 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

水中翼の非定常理論

(その 4 Flap が付いている場合)

正員 西山哲男*

Unsteady Hydrofoil Theory

Part 4 Lift and moment of flapped hydrofoil moving at constant forward speed under sinusoidal waves while performing pitch.

By Tetsuo Nishiyama, *Member*

Summary

The present paper is aimed to clarify the effect of flap on the unsteady lift and moment of the hydrofoil in still water and regular waves.

A method for obtaining the additive bound vortex distribution due to flap is shown, from which the lift and hinge moment can be easily calculated. And, as a concrete example, the coefficient of the effect of the free water surface on the lift and hinge moment is shown.

By superposing linearly the four basic types of the unsteady condition of hydrofoil, the lift is obtained and discussed for the several conditions of practical interests.

1 緒 言

全没水平型式の水中翼では、船体の浮揚沈下を制禦し且つ安定を確保するために、翼の一部として Flap を持つのが一般である。従つて、Flap の規則波中における効きや非定常特性に及ぼす影響を知ることは、船体の動安定のみならず、Flutter 特性の見地からも、実用上極めて重要である。Flap の定常特性に及ぼす影響に関しては、すでにこれを明かにした⁽¹⁾が、非定常特性に及ぼす影響に関しては、知見する限りまだ解明されていない。

一方、無限遠流体中において調和動揺をする二次元翼の非定常特性に及ぼす Flap の影響は、Küssner-Schwartz に依り詳細に解析されており⁽²⁾、非定常理論の重要課題の一つでもある。

水中翼に関する非定常理論も、かような問題にも解決を与え、実用に役立つべきものでなければならないのももちろんである。以下、本文では静水中及び規則波中で調和動揺をする Flap を持つ水中翼を対象にして、その非定常特性を明らかにしたものである。すなわち、線型化された境界条件から基本的な四型式を導き、これらを適宜線型結合により、実用上有意義な非定常状態の揚力およびモーメントが求められることを示してある。

2 境界条件

主翼および副翼の迎角をそれぞれ α_1 , $\alpha_1 + \beta_1$ とし、それぞれ hinge $x = x_f$ のまわりに次式

$$\alpha_2 e^{i\omega t}, \quad \beta_2 e^{i\omega t} \quad (1)$$

の pitching をするものとする。従つて、翼面上任意点の垂直変位 ζ は次式

$$\zeta = -\alpha_1 x + \alpha_2 e^{i\omega t}(x - x_f) \quad \cdots x \leq x_f \quad (2)$$

$$\zeta = -\alpha_1 x - \beta_1(x - x_f) + \beta_2 e^{i\omega t}(x - x_f) \quad \cdots x \geq x_f \quad (3)$$

で与えられる。

一方、翼面上任意点の垂直方向の速度は次式

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + c \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (4)$$

で与えられる。

したがって、規則波中を hinge の周りに pitching をしつつ進む Flap を持つ水中翼の境界条件としては次のごとくなる。

2.1 規則波中での境界条件

(2) (3) および (4) より次式

$$\begin{aligned}\frac{d\zeta}{dx} &= -\alpha_1 \quad \cdots \quad x \leq x_f \\ &= -\alpha_1 - \beta_1 \quad \cdots \quad x \geq x_f\end{aligned}\quad (5)$$

を得る。従つて、境界条件としては次の二つに分けて考えてよい。

$$(i) \quad \frac{d\zeta}{dx} = -\alpha_1 \quad \cdots \quad -l/2 \leq x \leq l/2 \quad (6)$$

$$(ii) \quad \frac{d\zeta}{dx} = 0 \quad \cdots \quad -l/2 \leq x \leq x_f \\ = -\beta_1 \quad \cdots \quad x_f \leq x \leq l/2 \quad (7)$$

2.2 静水中での境界条件

(2) (3) および (4) より次式

$$\begin{aligned}w &= \alpha_2 e^{i\omega t} \{c + i\omega(x - x_f)\} \quad \cdots \quad x \leq x_f \\ &= \beta_2 e^{i\omega t} \{c + i\omega(x - x_f)\} \quad \cdots \quad x \geq x_f\end{aligned}\quad (8)$$

を得る。あらためて、 $\beta_2 = \alpha_2 + \beta_2$ と置く時、境界条件としては次の二つに分けて考えてよい。

$$(iii) \quad w = \alpha_2 e^{i\omega t} \{c + i\omega(x - x_f)\} \quad \cdots \quad -l/2 \leq x \leq l/2 \quad (9)$$

$$(iv) \quad w = 0 \quad \cdots \quad -l/2 \leq x \leq x_f \\ w = \beta_2 e^{i\omega t} \{c + i\omega(x - x_f)\} \quad \cdots \quad x_f \leq x \leq l/2 \quad (10)$$

(i) は規則波中を一定姿勢（迎角 α_1 ）で進行する場合、(iii) は静水中を hinge のまわりに pitching（縦揺角 α_2 ）しつつ進行する場合の境界条件で、これらの場合の特性はすでにその一⁽³⁾、二⁽⁴⁾で取り扱われてある。

以上より明らかな如く、規則波中を hinge のまわりに pitching しつつ進む Flap を持つ水中翼の非定常特性は、(i) より (iv)迄の個々の境界条件より出発して得られる非定常特性の線型結合に依り得られることになる。

境界条件 (i) より (iv) に応じて、非定常基本型式を第1図に示し、さらに第2図にはこれらの組み合わせを示す。いずれも本解法で取り扱うことのできる場合であるが、実用上特に重要なのは次の三つの場合

A. $\alpha_2 \neq \beta_2 - (iii) + (iv_1)$ 又は $(iii) + (iv_2)$

主翼及び副翼が hinge のまわりに pitching をする場合である。特に $\alpha_2 = \beta_2$ の時は平板翼の pitching となる。

B. $\alpha_2 = 0, \beta_2 = \beta_2 - (i) + (iv_1)$

主翼が一定の迎角 α_1 を保つたまま、副翼が hinge のまわりに pitching をする後部 Flap の場合である。

C. $\alpha_2 = \alpha_2, \beta_2 = 0 - (i) + (iv_2)$

副翼が一定の迎角 β_1 を保つたまま、主翼が hinge のまわりに pitching をする前部 Flap の場合である。

第1図 基本型非定常状態

第2図 基本型の組合せによる各種非定常状態

であるから、もつぱらこの三つの場合の静水中及び規則波中における特性を検討することにする。

3 Flap による非定常渦分布の決定

Flap による渦分布を次式

$$\bar{\gamma}_\beta = w_0 \bar{\gamma}_0 + w_1 \bar{\gamma}_1 + w_2 \bar{\gamma}_2 + w_3 \bar{\gamma}_3 + w_4 \bar{\gamma}_4 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし} \quad \bar{\gamma}_0 &= 2S \cot \frac{\tau}{2} + 2i \frac{\omega l}{2c} \sin \tau \\ \bar{\gamma}_1 &= -2 \sin \tau + \cot \frac{\tau}{2} + i \frac{\omega l}{2c} \left(\sin \tau + \frac{1}{2} \sin 2\tau \right) \\ &\vdots \\ \bar{\gamma}_n &= -2 \sin n\tau + i \frac{\omega l}{2c} \left\{ \frac{\sin(n+1)\tau}{n+1} - \frac{\sin(n-1)\tau}{n-1} \right\}, \quad n=2, 3, 4 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{かつ} \quad x = -\frac{l}{2} \cos \tau$$

と置くと、翼弦上誘導速度は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} w &= w_0 + \frac{1}{2} w_1 + \frac{1}{2} c_0 (b_{10} + b_{30} + b_{50}) + \frac{1}{4} \sum c_\beta (b_{1\beta} + b_{3\beta} + b_{5\beta}) \\ &\quad + \left\{ w_1 + c_0 (b_{20} + b_{40}) + \frac{1}{2} \sum c_\beta (b_{2\beta} + b_{4\beta}) \right\} \cos \tau \\ &\quad + \left\{ w_2 + c_0 (b_{30} + b_{50}) + \frac{1}{2} \sum c_\beta (b_{3\beta} + b_{5\beta}) \right\} \cos 2\tau \\ &\quad + \left\{ w_3 + c_0 b_{40} + \frac{1}{2} \sum c_\beta b_{4\beta} \right\} \cos 3\tau \\ &\quad + \left\{ w_4 + c_0 b_{50} + \frac{1}{2} \sum c_\beta b_{5\beta} \right\} \cos 4\tau \end{aligned} \quad (13)$$

3.1 静水中における Flap

(13) に、例えば $\cos 4\tau$ を乗じ、 τ に関する積分

$$-\frac{\pi}{2} \left\{ w_4 + c_0 b_{50} + \frac{1}{2} \sum c_\beta b_{5\beta} \right\} = \int_0^\pi w \cos 4\tau d\tau \quad (14)$$

に、条件 (10) を用いると、次の関係を得る。

$$-\frac{\pi}{2} \left\{ w_4 + c_0 b_{50} + \frac{1}{2} \sum c_\beta b_{5\beta} \right\} = -\beta_2 \left\{ \frac{1}{4} \sin 4\phi - i \frac{\omega l}{2c} \left(\frac{1}{24} \sin 3\phi - \frac{1}{40} \sin 5\phi \right) \right\} \quad (14')$$

全く同様に、次の関係を得る

$$-\frac{\pi}{2} \left\{ w_3 + c_0 b_{40} + \frac{1}{2} \sum c_\beta b_{4\beta} \right\} = -\beta_2 \left\{ \frac{1}{3} \sin 3\phi - i \frac{\omega l}{2c} \left(\frac{1}{12} \sin 2\phi - \frac{1}{24} \sin 4\phi \right) \right\} \quad (15)$$

$$-\frac{\pi}{2} \left\{ w_2 + c_0 (b_{30} + b_{50}) + \frac{1}{2} \sum c_\beta (b_{3\beta} + b_{5\beta}) \right\} = -\beta_2 \left\{ \frac{1}{2} \sin 2\phi - i \frac{\omega l}{2c} \left(\frac{1}{4} \sin \phi - \frac{1}{12} \sin 3\phi \right) \right\} \quad (16)$$

$$-\frac{\pi}{2} \left\{ w_1 + c_0 (b_{20} + b_{40}) + \frac{1}{2} \sum c_\beta (b_{2\beta} + b_{4\beta}) \right\} = -\beta_2 \left\{ \sin \phi - i \frac{\omega l}{2c} \left(\frac{\phi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\phi - \frac{\pi}{2} \right) \right\} \quad (17)$$

$$\pi \left\{ w_0 + \frac{1}{2} w_1 + c_0 (b_{10} + b_{30} + b_{50}) + \frac{1}{2} \sum c_\beta (b_{1\beta} + b_{3\beta} + b_{5\beta}) \right\} = \beta_2 \left\{ \pi - \phi + i \frac{\omega l}{2c} \{ \sin \phi + (\pi - \phi) \cos \phi \} \right\} \quad (18)$$

$$\text{ただし} \quad x_f = -\frac{l}{2} \cos \phi$$

上記五元連立一次方程式より未知常数 w_0, w_1, w_2, w_3, w_4 を決定することができる。

特殊な場合として、没水深度を十分大きく取れば $b_{\mu\nu} = 0$ となり、(14') より (18) までの諸式は完全に Jones の結果⁽⁵⁾と一致している。

なお、上式は後部 Flap が pitching をする場合 **B** に対するものであるが、前部 Flap が pitching をする場合 **C** に対するものは、上式中右辺の π を引いたものの符号を変えれば、そのまま使用できる。

3.2 規則波中における Flap

波動による翼弦上垂直誘導速度は次式で与えられる

$$VKhe^{-Kf} \left(\cos Kx + \frac{dg}{dx} \sin Kx \right) = \frac{1}{\sin \tau} \sum_{n=1}^5 G_n \sin n\tau \quad (19)$$

(19) に, 例えば, $\cos 4\tau$ を乗じ, τ に関する積分

$$\pi G_5 = VKhe^{-K\tau} \int_0^\pi \left(\cos Kx + \frac{dg}{dx} \sin Kx \right) \cos 4\tau d\tau \quad (20)$$

に, 条件(7)を用いると, 次の関係を得る。

$$G_5 = VKhe^{-K\tau} \left[J_4 \left(\frac{Kl}{2} \right) + \frac{\beta_1}{\pi} \left\{ J_1 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\frac{1}{3} \sin 3\phi + \frac{1}{5} \sin 5\phi \right) - J_3 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\sin \phi + \frac{1}{7} \sin 7\phi \right) \right\} \right] \quad (20')$$

全く同様にして, 次の関係を得る。

$$G_4 = VKhe^{-K\tau} \left[\frac{\beta_1}{\pi} \left\{ J_1 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \sin 2\phi + \frac{1}{4} \sin 4\phi \right) + J_3 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left\{ (\pi - \phi) - \frac{1}{6} \sin 6\phi \right\} \right\} \right] \quad (21)$$

$$G_3 = VKhe^{-K\tau} \left[-J_2 \left(\frac{Kl}{2} \right) - J_4 \left(\frac{Kl}{2} \right) + \frac{\beta_1}{\pi} \left\{ J_1 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\sin \phi - \frac{1}{5} \sin 5\phi \right) - J_3 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\frac{1}{5} \sin 5\phi - \frac{1}{7} \sin 7\phi \right) \right\} \right] \quad (22)$$

$$G_2 = VKhe^{-K\tau} \left[\frac{\beta_1}{\pi} \left\{ J_1 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left\{ -(\pi - \phi) - \frac{1}{4} \sin 4\phi \right\} - J_3 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left\{ (\pi - \phi) + \frac{1}{2} \sin 2\phi + \frac{1}{4} \sin 4\phi - \frac{1}{6} \sin 6\phi \right\} \right\} \right] \quad (23)$$

$$G_1 = VKhe^{-K\tau} \left[J_0 \left(\frac{Kl}{2} \right) + J_2 \left(\frac{Kl}{2} \right) + \frac{\beta_1}{\pi} \left\{ J_1 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\sin \phi - \frac{1}{3} \sin 3\phi \right) + J_3 \left(\frac{Kl}{2} \right) \left(\sin \phi - \frac{2}{3} \sin 3\phi + \frac{1}{5} \sin 5\phi \right) \right\} \right] \quad (24)$$

ただし $J_n \left(\frac{Kl}{2} \right)$ は第一種 Bessel 函数

かくして, G_n が分るから (13) (19) の $\cos \tau$ の係数を比較することにより得られる五元連立一次方程式 (その一 (34) 式と一致する) を解けば未知常数 w_0, w_1, w_2, w_3, w_4 を決定することができる。

4 非定常揚力およびモーメント

以上二者いずれの場合も, 非定常渦分布が決定されれば非定常揚力および弦長点中心並びに hinge のまわりの moment はそれぞれ次式で与えられる。

$$C_l = \pi \left\{ 2w_0 \left(S + \frac{i}{2} \frac{\omega l}{2c} \right) + \frac{i}{2} \frac{\omega l}{2c} (w_1 - w_2) \right\} \quad (25)$$

$$C_m = -\frac{\pi}{4} \left\{ 2Sw_0 + w_1 - w_2 + \frac{i}{4} \frac{\omega l}{2c} (w_1 - w_3) \right\} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} C_{mh} = & -\frac{1}{2} \left[w_0 \left\{ 2S \left(\frac{\pi}{2} - \sin \phi - \frac{\phi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\phi \right) + \frac{i}{2} \frac{\omega l}{2c} \left(-\sin \phi + \frac{1}{3} \sin 3\phi \right) \right\} \right. \\ & + w_1 \left\{ -\frac{1}{2} \left(\sin \phi - \frac{1}{3} \sin 3\phi \right) + \frac{1}{2} (\pi - \phi) - \sin \phi - \frac{1}{4} \sin 2\phi \right. \\ & + i \frac{\omega l}{2c} \left(-\frac{1}{4} \sin \phi + \frac{1}{12} \sin 3\phi + \frac{1}{8} (\pi - \phi) + \frac{1}{32} \sin 4\phi \right) \left. \right\} \\ & + w_2 \left\{ -\frac{1}{2} (\pi - \phi) - \frac{1}{8} \sin 8\phi + i \frac{\omega l}{2c} \left(\frac{1}{6} \sin \phi - \frac{1}{12} \sin 3\phi + \frac{1}{60} \sin 5\phi \right) \right\} \\ & + w_3 \left\{ \frac{1}{2} \sin \phi - \frac{1}{10} \sin 5\phi + i \frac{\omega l}{2c} \left(-\frac{1}{32} \sin 2\phi - \frac{1}{32} \sin 4\phi + \frac{1}{96} \sin 6\phi - \frac{1}{8} (\pi - \phi) \right) \right\} \left. \right] \\ & + w_4 \left\{ \frac{1}{4} \sin 2\phi - \frac{1}{12} \sin 6\phi + i \frac{\omega l}{2c} \left(\frac{1}{12} \sin \phi - \frac{1}{60} \sin 3\phi - \frac{1}{60} \sin 5\phi + \frac{1}{140} \sin 7\phi \right) \right\} \left. \right] \\ & + \frac{1}{2} \cos \phi \left[w_0 \left\{ 2S (\pi - \phi - \sin \phi) + i \frac{\omega l}{2c} \left(\pi - \phi + \frac{1}{2} \sin 2\phi \right) \right\} \right. \\ & + w_1 \left\{ -\sin \phi - \frac{1}{2} \sin 2\phi + i \frac{\omega l}{2c} \left(-\frac{1}{4} \sin \phi + \frac{1}{4} \sin 2\phi + \frac{1}{12} \sin 3\phi + \frac{1}{2} (\pi - \phi) \right) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +w_2\left\{\sin\phi-\frac{1}{3}\sin 3\phi+i\frac{\omega l}{2c}\left(-\frac{1}{3}\sin 2\phi+\frac{1}{24}\sin 4\phi-\frac{1}{2}(\pi-\phi)\right)\right\} \\
& +w_3\left\{\frac{1}{2}\sin 2\phi-\frac{1}{4}\sin 4\phi+i\frac{\omega l}{2c}\left(\frac{1}{4}\sin\phi-\frac{1}{8}\sin 3\phi+\frac{1}{40}\sin 5\phi\right)\right\} \\
& +w_4\left\{\frac{1}{3}\sin 3\phi-\frac{1}{5}\sin 5\phi+i\frac{\omega l}{2c}\left(\frac{1}{12}\sin 2\phi-\frac{1}{15}\sin 4\phi+\frac{1}{60}\sin 6\phi\right)\right\}\} \quad (27)
\end{aligned}$$

hinge moment (27) は、後部 Flap が pitching をする場合 B に対するものであるが、前部 Flap が pitching をする場合 C に対するものは、右辺の π を除いて符号を変えればそのまま使用できる。

5 数 値 計 算 例

数値計算状態としては、次の如くである。

迎波の振幅 $h/f=1/2$, 縦揺角 $\alpha_2=\beta_2=5^\circ$

水中翼の迎角 $\alpha_1=5^\circ$, Flap の迎角 $\beta_1=10^\circ$

没水深度 $f/l=1.25$

第3図には、静水中における Flap による揚力に及ぼす hinge 位置の影響を示してある。点線は水面の影響の無い場合の対応量であるから、Reduced Frequency の増加と共にまた後部 Flap hinge の位置が後縁に接近すると共に水面の影響量は減少する。

第3図 Flap による揚力の大きさ
実線…水面の影響を考慮した場合
点線…水面の影響を無視した場合

限の位相を持ち、水面の影響により位相はいずれの場合も進んでいる。

第8図には、hinge moment に及ぼす水面の影響係数

$$k_{mh} = \left(\frac{dC_{mh}}{d\beta} \right)_{f=f} / \left(\frac{dC_{mh}}{d\beta} \right)_{f=\infty}$$

を示してある。 k_l とほぼ同様の傾向を持っていることが分る。

以上の結果に基づいて、実用上興味のある数種の非定常状態について、Flap がある場合の揚力や hinge moment を検討してみる。

第9図には、後部 Flap が pitching をする場合 (第2図の(iii)+(iv₁) に相当) の揚力を示してある。Flap がつく事により揚力の大きさは増すが、位相は遅れることになる。なお α 軸は縦揺角の位相を表わしている。

第4図には、後部 Flap による揚力の位相の変化を示してある。前部 Flap、後部 Flap いずれの場合も水面の影響により位相は一般に進む。

第5図には、揚力の大きさに及ぼす水面の影響係数

$$k_l = \left(\frac{dC_l}{d\beta} \right)_{f=f} / \left(\frac{dC_l}{d\beta} \right)_{f=\infty}$$

を示してある。前部 Flap の方が後部 Flap より水面の影響が大きく、Reduced Frequency の増加と共に、水面の影響は減少する。

第6図には、Flap による Hinge moment の絶対値の変化を示してある。水面の影響量は前部 Flap の場合は

はかなり大きい、後部 Flap の場合は極めて小さい。

第7図には、Hinge moment の位相を示してある。pitching の位相に比し後部 Flap では第一象限、前部 Flap では第二象

第4図 Flap による揚力の位相

第5図 Flap による揚力に及ぼす水面の影響係数

第6図 Flap による Hinge Moment の大きさ

第7図 Flap による Hinge Moment の位相

実線…水面の影響を考慮した場合
点線…水面の影響を無視した場合

10 図には、第一定迎角を有する後部 Flap を持つ水中翼（第2図の (i)+(iii) に相当）の規則波中における揚力を示してある。規則波中では Flap による揚力増加はかなり大きい、Flap による位相の変化は極めて小さい。なお η 軸は波動の位相を示してある。

第11図には、規則波中で主翼の迎角一定で、副翼のみが pitching をする場合（第2図の (i)+(iv) に相当）の揚力を示してある。ただし波との出合周波数と pitching の周波数を等しくし、かつ両者間の位相差 δ を4種とつてある。Flap の影響は位相差により著しく変化し、 $\delta=0$ のときは Flap により揚力は増加するが $\delta=\pi$ の時は逆に減少している。

第8図 Flap による Hinge Moment
に及ぼす水面の影響係数

第9図 静水中で後部 Flap が Pitching する場合
の揚力 ($\alpha_1=5^\circ$, $\beta_1=5^\circ$, $\alpha_2=\beta_2=5^\circ$)

第10図 規則波中における Flap 付き水
中翼の揚力 ($\alpha_1=5^\circ$, $\beta_1=5^\circ$)

第12図 規則波中で後部 Flap が Pitching する時の Hinge Moment ($\alpha_1=\alpha_2=0$, $\beta_1=5^\circ$, $\beta_2=5^\circ$)

第 11 図 規則波中で後部 Flap が Pitching する時の揚力
 $(\alpha_1=5^\circ, \alpha_2=0, \beta_1=5^\circ, \beta_2=5^\circ)$

第 12 図には、規則波中で主翼の迎角は零で、副翼のみが、pitching をする場合の hinge moment を示してある。ただし、出合い周波数と pitching の周波数を等しくかつ両者間の位相遅れ δ を 4 種とつてある。静水中での pitching による hinge moment C_{mhs} に比し波動による hinge moment C_{mhw} はかなり小さいので位相差 δ による変化はわずかであることが分る。

6 結 言

本文ではもつぱら Flap を持つ場合を対象にして考察を進めた。この結果、基本型式の線型結合により実用上興味のある非定常状態が取り扱われ、水中翼に関する非定常理論の実用面の一部を示すことができた。

最後に、数値計算の遂行に当つては、本学職員村上節子君の努力による所が大きい。ここに記して謝意を表する。

なお、本文は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- (1) 西山哲男 “フラップを持つ水中翼の揚力及送波抵抗” 応用力学講演会講演 昭和 38 年 9 月
- (2) Küssner-Schwarz “Der schwingende Flügel mit aerodynamisch ausgeglichenem Ruder” Luftfahrt-Forschung Bd. 17 1940.
- (3) 西山哲男 “水中翼の非定常理論 其の一、規則波中を一定姿勢で進む場合” 造船協会論文集, 第 112 号 昭和 37 年 11 月
- (4) 西山哲男 “水中翼の非定常理論 其の二、静水中を heaving あるいは pitching しつつ進行する場合” 造船協会論文集, 第 112 号, 昭和 37 年 11 月
- (5) Jones “Aerodynamic Forces on an Oscillating Aerofoil-Aileron-Tab Combination” Rep. and Mem. No. 1948, 1941.