

(昭和 43 年 11 月日本造船学会秋季講演会において講演)

# フラップつき舵の研究

(第 1 報 : 単独試験の結果)

正員 加 藤 洋 治\*

正員 元 良 誠 三\*

Studies on Rudders with Flap  
(1st Report : Results of Open Tests)

By Hiroharu KATO, *Member*  
Seizo MOTORA, *Member*

## Summary

This paper deals with experimental results of three types of rudders with flap i.e. flap ratio=0.5, 0.25 & 0.165. Their dimensions are 200mm in chord, 40mm in thickness and the aspect ratio is unity. They were tested at a speed of 0.69m/s with a recirculating water channel whose dimensions at the test section are 1.2m×0.8m.

The results are as follows ;

- (1) Increment in lift coefficient is almost linear with respect to flap angles.
- (2) Separation depends only on the angle of the main part and is independent from the flap angle.
- (3) Change of the centre of pressure is a function of the ratio between main part and flap angles.
- (4) The twisting moment of the rudder stock of a main part can be decreased by selecting the position of a rudder stock suitably.
- (5) The moment of the rudder stock of the flap becomes larger according to the area of the flap.
- (6) Best performance is shown by a rudder of flap ratio=0.25 and of rudder angle ratio (=flap angle/main part angle)=2, which is twice as good as that of an ordinary rudder without flap.

## 1 緒 論

舵の性能を向上させる一方法として、Fig.1 に示すような舵の後部を可動にした、いわゆるフラップ付きの舵が考えられる。このような形式の舵には、すでにフレットナー舵、エルツ舵などがあるが、本論文の結果から考察すると、これらの舵ではフラップを有することの利点が十分生かされていないようである。このことについては後にさらにのべることにする。一方、このような翼形は航空機にはすでに古くから採用されており、研究結果も数多く発表されている<sup>1)</sup>。しかし、その結果を船舶の舵に直接応用することには、2, 3 の問題がある。

第1は、従来の研究の対象はアスペクト比が5~6 というようになりに大きいのにに対し、舵の場合は1~2 と小さいことである。第2は航空機では翼の仰角は15°程度までであり、その揚

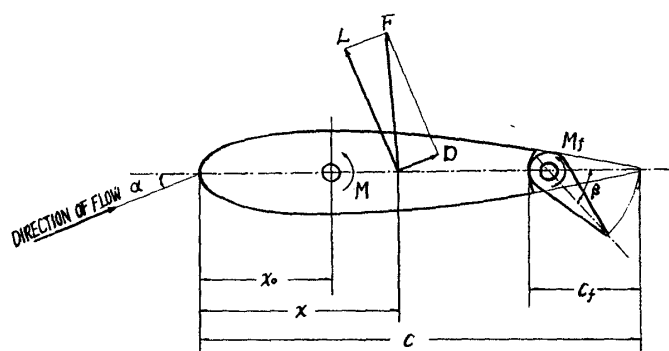


Fig.1 A Rudder with Flap

\* 東京大学工学部

抗比が最も大きな問題である。これに対し、船舶の舵では舵角は  $35^\circ$  まで取り、最大揚力の大きさの他に、揚力の着点の移動が操舵装置の容量の点から問題である。

フラップのついた舵は次のような利点が考えられる。

- (i) 揚力係数を大きくすることができる。
- (ii) 主舵とフラップの舵角を適当に取ることにより、主舵を回すためのモーメントを小さくすることができる。

(iii) たとえば、大洋を自動操舵で航行するときのように小さな舵力ですむときには、フラップのみ作動させればよく、必要な操舵装置の容量を小さくすることができる。

本報では、まず回流水槽を使用して行なつた3種のフラップつき舵の単独実験について述べ、その特性について検討する。さらにその結果を利用して、各操舵条件について単独舵での最適の条件を調べる。

このような舵を実際に適用する場合には、本報の単独舵での結果は必ずしも直接使えないであろうが、フラップをつけることにより操舵条件に対する自由度が増すことになり、その利点は大きいと思われる。船後状態での特性に対する影響などについては第2報以下で述べることにする。

## 2 記 号

|              |                                                                                   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $c$          | 舵コード全長 (mm)                                                                       |
| $c_f$        | フラップ長さ (mm)                                                                       |
| $C_L$        | 揚力係数 $C_L = L / \left( \frac{1}{2} \rho A V^2 \right)$ $\rho$ : 水の密度, $A$ : 舵の全面積 |
| $\Delta C_L$ | フラップによる揚力係数の増加                                                                    |
| $C_M$        | 主舵舵軸にかかるトルクモーメント係数 $C_M = M / \left( \frac{1}{2} \rho c A V^2 \right)$            |
| $C_{Mf}$     | フラップ軸にかかるトルクモーメント係数 $C_{Mf} = M_f / \left( \frac{1}{2} \rho c_f A V^2 \right)$    |
| $D$          | 舵の抗力 (g)                                                                          |
| $F$          | 舵にかかる力 (g)                                                                        |
| $G$          | 主舵とフラップの間のギャップ (mm)                                                               |
| $k_1$        | Eq. (2) に示す係数 (Fig. 6)                                                            |
| $k_2$        | Eq. (3) に示す係数                                                                     |
| $k_3$        | Eq. (5) に示す係数 (Fig. 6)                                                            |
| $k_4$        | Eq. (6) に示す係数 (Fig. 8)                                                            |
| $L$          | 揚力 (g)                                                                            |
| $M$          | モーメント (g-mm)                                                                      |
| $N$          | 舵の直圧力 (g)                                                                         |
| $V$          | 流速 (m/s)                                                                          |
| $x$          | 舵の先端から着力点までの距離 (mm)                                                               |
| $x_0$        | 舵の先端から主舵軸までの距離 (mm)                                                               |
| $\Delta x$   | フラップによる着力点の距動 (mm)                                                                |
| $\alpha$     | 主舵の仰角 (degree)                                                                    |
| $\beta$      | フラップと主舵の偏角 (degree)                                                               |
| $A$          | アスペクト比 $A = A/c^2$                                                                |
| 添 字          |                                                                                   |
| $f$          | フラップ                                                                              |
| max          | 最大値                                                                               |

## 3 フラップつき舵の単独試験

フラップつき舵の特性を知るため、東大・船舶工学科に設置された回流水槽を使用して実験を行なつた。以下

回流水槽, 供試舵, 3分力測定装置につきその概略を述べる。

### (1) 回流水槽

回流水槽は水平形で測定部のみ自由表面を有し, 他はダクトになっている。測定断面の寸法は幅 1.2m, 深さ 0.8m で最大流速は約 1.2m/s である。測定断面の流速分布は, 測定部の上流にメッシュの異なる金網を置くことにより調節し, 舵をセットする部分の深さ方向, 幅方向各 10cm おきの 5 位置, 計 25 ケ所の速度が, すべて  $\pm 3\%$  以内におさまるようにした。流速測定にはあらかじめ検定した回転羽根式の流速計を用いた。

### (2) 供試舵

実験に使用した 3 種の舵の要目を Table 1 に示す。これらの舵の断面形状は同一で NACA 0020 の翼形を採用している。また舵の全長を基準にとつたアスペクト比もすべて 1.0 である。3 種の舵は主舵とフラップ部の面積比が異なり, それぞれ  $c_f/c=0.5, 0.25, 0.165$  である。Fig. 1 に示したものは  $c_f/c=0.25$  の供試舵である。この舵を Fig. 2 に示すように回流水槽にセットして, 主舵とフラップにかかる揚力および着力点をそれぞれ 2 組の 3 分力測定装置で測定した。

### (3) 3 分力測定装置

力の検出部は平行に置かれた 2 枚の鋼板で, その間を 4 本の直径 2mm, 長さ 50mm の鋼棒でつないでいる。鋼棒は 1 辺が 50mm の正方形の 4 隅に置かれているので, その断面積は小さいが断面 2 次モーメントは大きい。

すなわち, この部分は曲げに対しては剛で, せん断力に対しては柔な構造になっている。もし 4 本の鋼棒がせん断力に対してのみ, 大きく変形するとすれば, この装置から着力点までの距離が変化しても, 両端の板の相対変位は変わらない。このことは舵の取り付けにあたって, その上下位置に注意を払わずにすみ, また, 何らか

Table 1 Dimensions of Rudders with Flap

|     | Chord Length | Thickness | Aspect ratio | Flap ratio |
|-----|--------------|-----------|--------------|------------|
| I   | 200mm        | 40mm      | 1.0          | 0.50       |
| II  | "            | "         | "            | 0.25       |
| III | "            | "         | "            | 0.165      |

Ordinates of Master Section (NACA 0020)

| Distance from Leading Edge | Thickness |
|----------------------------|-----------|
| 0                          | 0         |
| 0.025                      | 0.0872    |
| 0.05                       | 0.1186    |
| 0.075                      | 0.1400    |
| 0.10                       | 0.1562    |
| 0.15                       | 0.1782    |
| 0.20                       | 0.1912    |
| 0.25                       | 0.1980    |
| 0.30                       | 0.2000    |
| 0.40                       | 0.1934    |
| 0.50                       | 0.1764    |
| 0.60                       | 0.1522    |
| 0.70                       | 0.1222    |
| 0.80                       | 0.0874    |
| 0.90                       | 0.0482    |
| 1.00                       | 0.0042    |

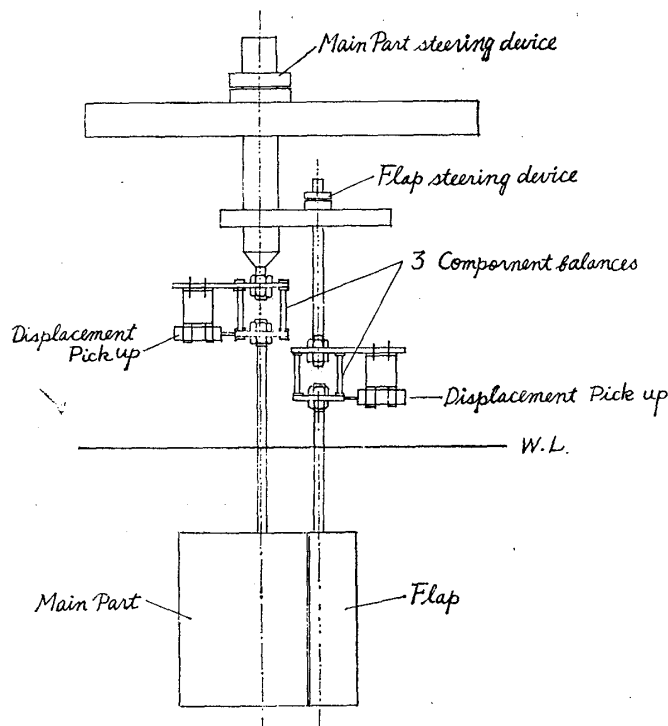


Fig. 2 Experimental Apparatus

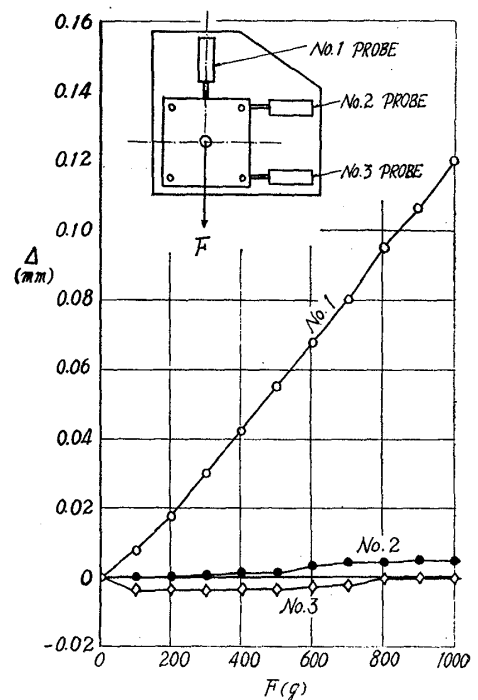


Fig. 3 Calibration of Three Component Balance

の原因で舵の着力点が上下方向にずれていても、測定の見みは変化せず便利である。さらに Fig.3 に示すような位置で、2枚の板の相対変位を測定すれば、その変位が小さい内は3分力（直角2方向の力とモーメント）は容易に分離でき、次のように書ける。

$$\left. \begin{aligned} D &= (\text{係数}) \times (\text{No.1 の読み}) \\ N &= (\text{係数}) \times \{(\text{No.2 の読み}) + (\text{No.3 の読み})\} \\ M &= (\text{係数}) \times \{(\text{No.2 の読み}) - (\text{No.3 の読み})\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

キャリブレーションの結果 (Fig.3) によれば、上述の点は実用上さしつかえない程度で満足され、変位と力の大きさも、ほぼ linear になった。

また上下の板の相対変位は 1kg の力に対し 0.1mm 程度で、実験での最大力はこの程度なので、4本棒の変位は舵に対しては無視してよい。なお変位の測定には差動トランス式の変位計を使用した。

#### (4) 実験条件

実験条件については岡田の論文<sup>2)</sup>を参考にし、次のように選んだ。

実験流速は  $V=0.69\text{ m/s}$ 、1点のみで行なった。回流水槽ではレイノルズ数が  $10^5$  程度であつても、妥当な計測値が得られるとされ、また本実験の目的がフラップ付きの舵と普通の舵の性能を比較するという事なので、前述の1点のみで行なつたわけである。

また没入深度も舵の上端から水面までの距離が舵高さの  $1/2$  (100mm) になるようにして水面の影響を無視できるようにした。

舵の上方からささえる  $12\text{ mm}\phi$  の鋼棒が水流中で抵抗を受けるが、その大きさは  $V=0.69\text{ m/s}$  では 25g 程度になることが、計算および鋼棒のみの抵抗を計つた実験により確かめられた。この値は揚力係数 ( $C_L$ ) には影響を及ぼさず、抗力係数、着力点 ( $x/c$ ) に影響を及ぼすが、 $x/c$  に対する影響はほぼ 1% 程度である。またフラップを回頭させたときの着力点の移動量を求めるというような相対的な場合には、その影響はさらに小さくなる。

### 4 フラップ付き舵の特性

#### (1) フラップ舵角 $0^\circ$ の実験

Fig.4 にアスペクト比 1.0 での従来の研究の結果と本実験でフラップ舵角  $0^\circ$  (フラップのない舵と同じ状態)

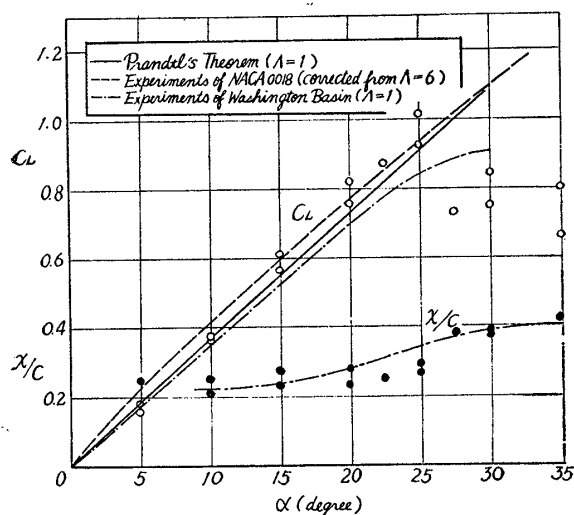


Fig.4 Rudder Characteristics at Zero Flap Angle

としたときの結果を比較してかかげる。実線は Prandtl の有限翼の理論値、破線および一点鎖線はそれぞれ NACA 0018 翼のアスペクト比 6.0 における値を 1.0 の場合に補正したもの<sup>3)</sup>および Washington 水槽におけるアスペクト比 1.0 の実験結果である<sup>4)</sup>。これらは断面形状が若干異なるので、必ずしも直接の比較はできないが、 $C_L$ 、 $x/c$  とも妥当な値を示していると思われる。また舵角が  $25^\circ$  を越えると  $C_L$  のばらつきは大きくなるが、剥離後の状態であるので当然であろう。

(2) フラップ付き舵の特性

まずフラップ付き舵の特性の概略を知るために、主舵角 ( $\alpha$ ) を  $0 \sim 40^\circ$  まで  $5^\circ$  おきに変化させ、そのおのについてフラップ舵角 ( $\beta$ ) を  $-10^\circ \sim 50^\circ$  まで  $5^\circ$  おきに変化させて実験を行ない、 $C_L$ 、 $x/c$  の変化を示すチャートを作製した。Fig.5 にフラップ比  $c_f/c = 0.25$  の場合の結果を示す。図中の点は実験値のクロスカーブから求めた点である。

これらの図より次のことが知れる。

- (i) 剥離点は主として主舵舵角 ( $\alpha$ ) によつて決まりフラップ角 ( $\beta$ ) にはほとんどよらない。
- (ii) 剥離する角度より小さい舵角では  $C_L$  は  $\alpha$  および  $\beta$  にそれぞれ比例して増加する。すなわち  $C_L$  に対し  $\alpha$  および  $\beta$  が独立でありそれぞれによる値を加えてやればよいことになる。

(iii) (i)(ii)から大きな  $C_L$  を得るには  $\alpha < 25^\circ$  で  $\beta$  を大きくしてやるのがよい。しかし  $\alpha + \beta$  が  $90^\circ$  を越すようなことは不適当であろう。

(iv) 等着力点曲線 ( $x/c$ ) は、 $\alpha = \beta = 0^\circ$  から剥離点付近まで直線状にのびている。このことにより  $x/c$  は近似的には2つの舵角の比  $\beta/\alpha$  で表わせる。

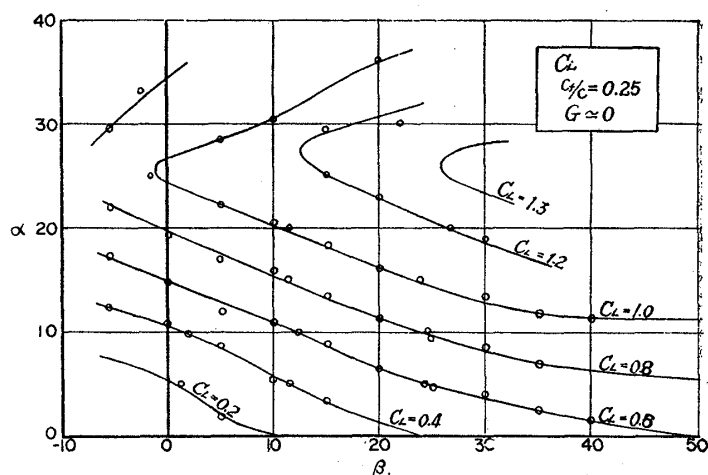
(v)  $\alpha$  を増さずに  $\beta$  のみ増すと  $x/c$  は大きくなり、 $\alpha = 0^\circ$  ではほぼ一定で  $x/c = 0.61$  程度になる。この状態では着力点は舵の中央より後になる訳である。

これらの考察から、もしある等着力点曲線にそうように主舵とフラップを操作してやると、舵全体を回頭させるに要するモーメントを0にすることが可能である。このような曲線はほぼ  $\beta/\alpha$  に比例するから、主舵舵角に比例してフラップ舵角を取るといつた機構上比較的簡単な方法でも主舵軸まわりのモーメントを小さくすることができる。さらに  $C_L$  に対する前述の (iii) の条件をも満たすことができ、好都合である。

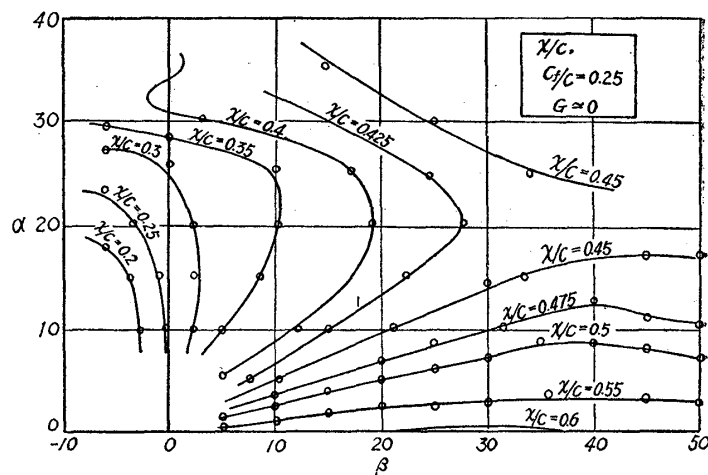
これらの事柄はフラップの大きさが異なる  $c_f/c = 0.5, 0.165$  の舵の場合にも同様にあてはまる。

ところでフラップつきの舵は舵全体を回頭させることの他にフラップをも回頭させなければならない。フラップの舵軸はその機構上位置を動かすことはできない。すなわちフラップが大きくなると、フラップを回頭させるのに要するモーメント  $C_{Mf}$  は急激に大きくなることが予想され、実験結果も後に Fig.12(a) に示すように  $c_f/c = 0.5$  の舵では  $C_L$  も大きい、 $C_{Mf}$  も大きくなってしまうことを示している。

以下  $C_L$ ,  $x/c$  などについてさらに考察を進める。



(a) Lift Coefficients



(b) Center of Pressure

Fig. (a)(b) Lift Coefficients and Center of Pressure of a Rudder with a Flap.

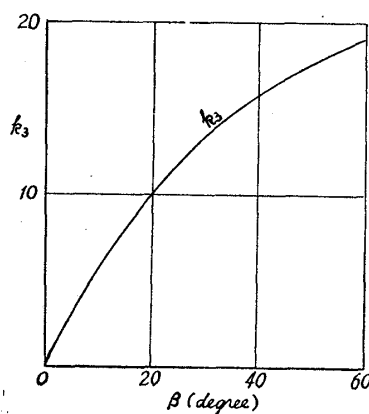
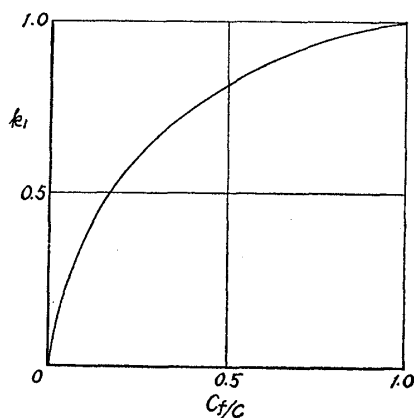


Fig.6 The Function of  $k_1(c_f/c)$  and  $k_2(\beta)$

### (3) 揚力係数 ( $C_L$ )

先に述べたように  $C_L$  に対する  $\alpha$  と  $\beta$  の影響は第一近似としてはそれぞれ独立で、フラップによる  $C_L$  の増加はフラップのない通常の舵の値に増加分  $\Delta C_L$  を加えてやればよい。

2次元の平板翼について深津が等角写像を用いて計算した結果<sup>5)</sup>によれば近似的に

$$C_L = 2\pi \cdot \frac{\pi}{180} \{ \alpha + k_1(c_f/c)\beta \}$$

$$\alpha, \beta : \text{degree} \quad (2)$$

と表わせる。ここで  $k_1$  は  $c_f/c$  によ

り定まる定数でその値は Fig.6 に示される。 $k_1$  の様子をみると  $c_f/c$  が小さい内は  $k_1$  は急激に上昇するが、 $c_f/c=0.5$  で 0.8 程度になり以後はゆつくり上昇している。アスペクト比の補正については Fig.4 に示した通常の舵の実験結果を参照し Prandtl の有限翼の理論を使うことにする。

$$k_2 = \frac{1}{1 + \frac{2(1+\tau)}{A}} \quad (3)$$

ここで  $A$  はアスペクト比、 $\tau$  は長方形翼に対する修正で  $A=1$  では  $\tau=0.04$  程度の値である<sup>6)</sup>。

したがって

$$\Delta C_L = 2\pi \cdot \frac{\pi}{180} k_1(c_f/c) \cdot k_2(A) \beta \quad \beta : \text{degree} \quad (4)$$

を得る。

また NACA, ARC などで行なわれたアスペクト比の比較的大きい場合の実験結果も同様の傾向である。A. D. Young はこれらの実験結果を整理してフラップによる増加分  $\Delta C_L$  を次式で与えている<sup>1)</sup>。

$$\Delta C_L = 2\pi \cdot \frac{\pi}{180} k_1(c_f/c) \cdot k_2(A) \cdot k_3(\beta) \quad \beta : \text{degree} \quad (5)$$

ここで  $k_1, k_2$  は Eq.(4) と同じものであり、 $k_3$  は  $\beta$  の関数でその値は Fig.6 に示される。Eqs.(4),(5) を比較してみると、Fig.7 に示すように Young による実験式の値は理論式の値の半分程度で両者は一致しない。

Fig.7 に  $\Delta C_L$  の実験値と Eqs.(4),(5) から得た結果を示す。(a),(b),(c) はそれぞれ  $c_f/c=0.5, 0.25, 0.165$  の場合である。 $\Delta C_L$  は主舵とフラップとの間のギャップの大きさにより大きく変化することがわかる。図の(b)に示すようにギャップを0にすると実験点(●印)は理論値 Eq.(4)によく一致することは興味深い。この実験の際には主舵の後面にフェルトを張りつけ、フラップが主舵に当るようにして流速が0のときと、所定の流速のときとの検力計の読みの差を舵にかかる流体力としている。

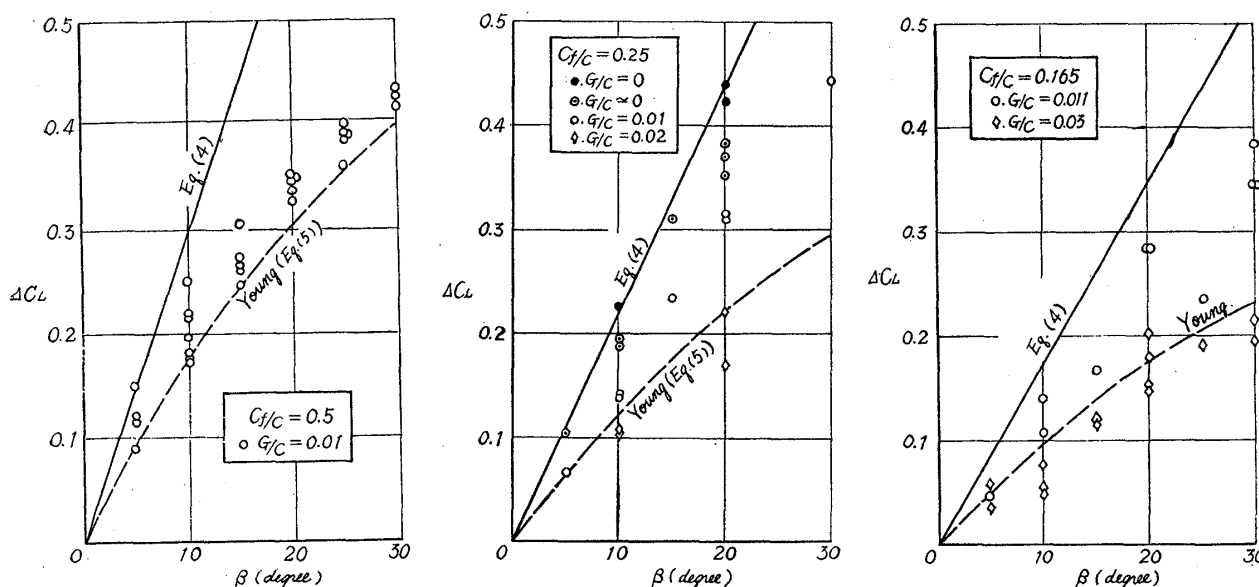


Fig.7 (a)(b)(c) Increments in  $C_L$  due to a Flap

わずかでもギャップがあると  $\Delta C_L$  は大きく減少し 1~2%  $c$  のギャップがあれば A. D. Young の実験式(Eq.(5)) にほぼ一致する。ギャップにより  $\Delta C_L$  がどれほど減少するかを知るため、 $\beta=20^\circ$  で理論値と実験との比( $k_4$ )を取ってみると Fig.8 のようである。減少率はこの実験の範囲内ではギャップの大きさに比例する。

またフラップが大きいとギャップの影響が大きく出るとは興味深い。

ここで  $k_4$  の実験式として次式を得る。

$$k_4 = \left(1 - 100 \frac{c_f}{c} \cdot \frac{G}{c}\right) \quad (6)$$

この式は、物理的意味のはつきりしない実験式なので実験範囲から、外挿して使うことはできない。たとえば

ギャップが十分大きくなれば、主舵とフラップのお互いの干渉はなくなり、2つの舵が別々に存在していることになり  $k_4$  は0より大きい一定値に、近づかずである。

#### (4) 着力点 ( $x/c$ )

フラップの動きによる着力点の移動量を  $\Delta x/c$  とすると、それはつぎのような考察で求めることができる。まず主舵  $\alpha$  が  $0^\circ$  でフラップを回頭させたとき、着力点の位置は先に Fig. 5 に示したようにはば一定の値をとる。 $(c_f/c=0.25$  なら  $x/c=0.61)$  一方  $\beta=0$  で  $\alpha$  をある角度取つたときには剥離点より小さい舵角では  $x/c$  は0.25程度になる。 $\alpha$  と  $\beta$  の影響は互いに独立としてよいとすると

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x}{c} &= \frac{(x/c_{\alpha=0} - x/c_{\beta=0}) \cdot 2\pi \frac{\pi}{180} k_2 k_1 k_4 \beta}{2\pi \frac{\pi}{180} k_2 (\alpha + k_1 k_4 \beta)} \\ &= \frac{(x/c_{\alpha=0} - x/c_{\beta=0}) k_1 k_4 \beta / \alpha}{1 + k_1 k_4 \beta / \alpha} \end{aligned} \quad (7)$$

Eq. (7) で  $\beta/\alpha$  以外の諸数値は剥離点から離れたところでは一定であるから、 $\Delta x/c$  は  $\beta/\alpha$  のみの関数になる。このことは先に述べた実験結果と一致する。

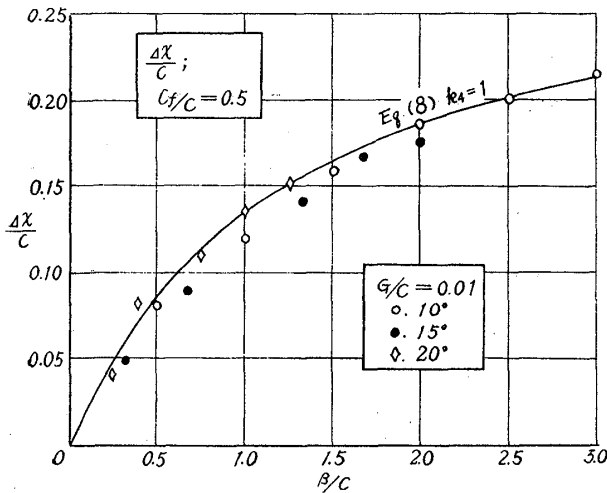
Table 2 Constants of Equation (7)

| $c_f/c$ | $x/c_{\alpha=0}$ | $k_1$ |
|---------|------------------|-------|
| 0.50    | 0.55             | 0.82  |
| 0.25    | 0.61             | 0.61  |
| 0.165   | 0.67             | 0.50  |

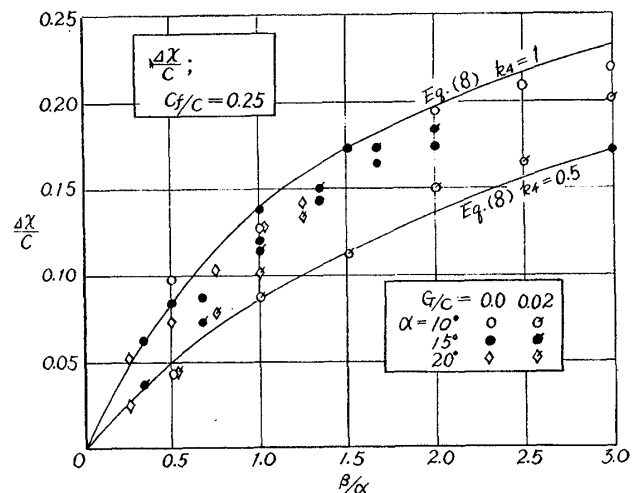
それぞれのフラップに対し諸数値は Table 2 のようになるから Eq. (7) は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{c_f}{c} = 0.5 \quad \frac{\Delta x}{c} &= \frac{0.246 k_4 \beta / \alpha}{1 + 0.82 k_4 \beta / \alpha} \\ \frac{c_f}{c} = 0.25 \quad \frac{\Delta x}{c} &= \frac{0.220 k_4 \beta / \alpha}{1 + 0.61 k_4 \beta / \alpha} \\ \frac{c_f}{c} = 0.165 \quad \frac{\Delta x}{c} &= \frac{0.213 k_4 \beta / \alpha}{1 + 0.50 k_4 \beta / \alpha} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$\Delta x/c$  の実験値と Eqs. (8) で  $k_4=1$  および 0.5 とした場合を比較して Fig. 9 (a)(b)(c) に掲げる。実験値は Eqs. (8) とよく一致し、またギャップがあれば  $k_4$  は1より小さくなるため  $\Delta x/c$  は若干小さくなりその傾向は上の考察と一致する。



(a)



(b)

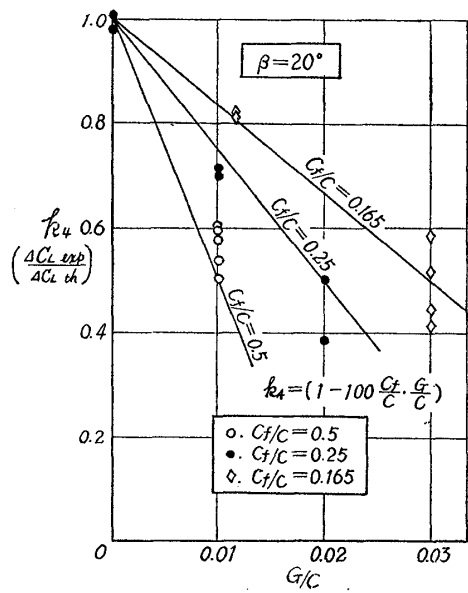
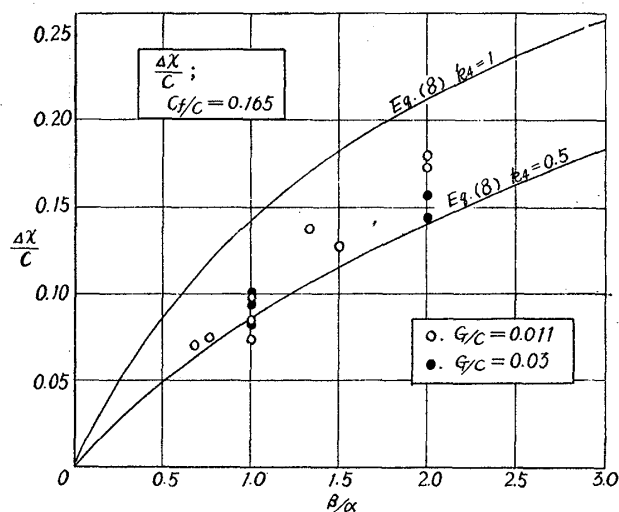


Fig. 8 Effect of Gap on  $\Delta C_L$



(c)

Fig. 9 Change of Center of Pressure due to a Flap

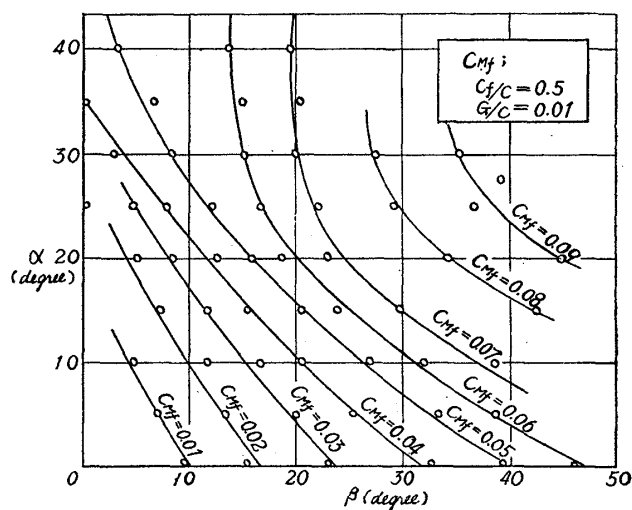


Fig. 10 Torque Moment of Stock of a Flap

### (5) フラップ舵軸まわりのモーメント ( $C_{Mf}$ )

$C_{Mf}$  の様子を概観するために、 $C_{Mf}$  が最も大きくなる  $c_f/c=0.5$  について Fig. 5 と同様なチャートを描ける (Fig. 10)。  $C_{Mf}$  も  $C_L$  と同様、粗い近似式として

$$\left. \begin{aligned} C_{Mf} &= 0.0011\alpha + 0.0014\beta \quad \alpha, \beta : \text{degree} \\ &\quad \text{for } c_f/c = 0.5 \\ C_{Mf} &= 0.00035\alpha + 0.00045\beta \\ &\quad \text{for } c_f/c = 0.25 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

という形で表わせる。ただ  $C_{Mf}=0.165$  の舵についてはフラップの舵軸と着力点がきわめて近くなり、フラップにかかる力そのものも小さいので、後に Fig. 12 に一例を示すように、上述のような一般的傾向は出ず  $C_{Mf} = \pm 0.01$  の間を変動している。

### (6) フレットナー舵、エルツ舵について

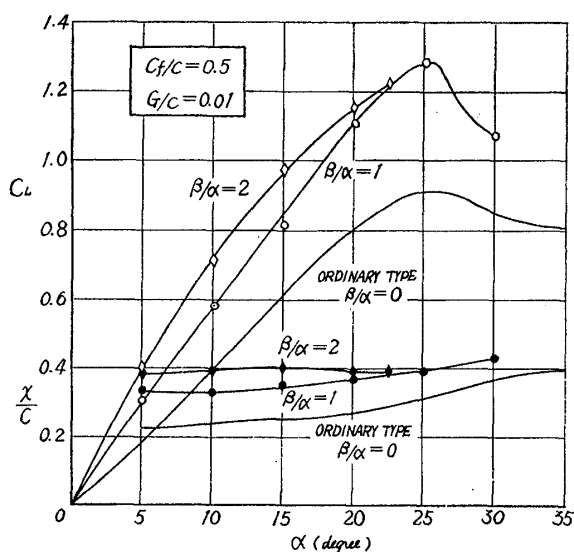
これらの形式の舵は本報で述べているフラップつき舵の一形式であるが、これについて考察する。

フレットナー舵は主舵を自由にしておいてフラップのみ操舵装置で回頭させ、その際に発生した舵力により主舵を回頭させようとするものである。そのため Eq. (2) における  $\alpha$  と  $\beta$  の符号が必ず逆になってしまう。すなわち主舵とフラップの舵力は互いに相殺されてしまう。例えば  $c_f/c=0.165$  で  $\alpha=10^\circ$ ,  $\beta=-20^\circ$  であると  $C_L$  は計算上は 0 になってしまう。

エルツ舵は小さな固定舵とその後部につけられた大きなフラップより成っているが、フラップが大きいことにより、 $C_L$  は舵全体を回頭させたときとほぼ同じになるが、フラップの舵軸の位置が前に寄っているため  $C_{Mf}$  がきわめて大きくなり不利になる。

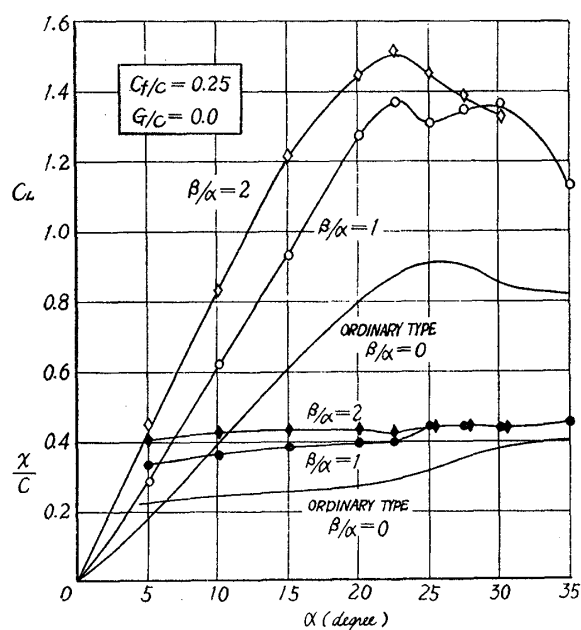
## 5 最適なフラップの大きさおよび操舵条件

われわれが興味あるのはできるだけ小さい操舵装置でできるだけ大きい舵力を発生させることであるから  $C_L$ ,  $C_M$ ,  $C_{Mf}$  が重要である。ここで  $C_M$  は主舵の舵軸を適当な位置におき  $\alpha$ ,  $\beta$  を適当に与えれば、 $x/c$  を常に舵軸の位置に来るようにできるから常に  $C_M=0$  とすることが可能である。ところで  $x/c$  が一定の線は Fig. 5 に

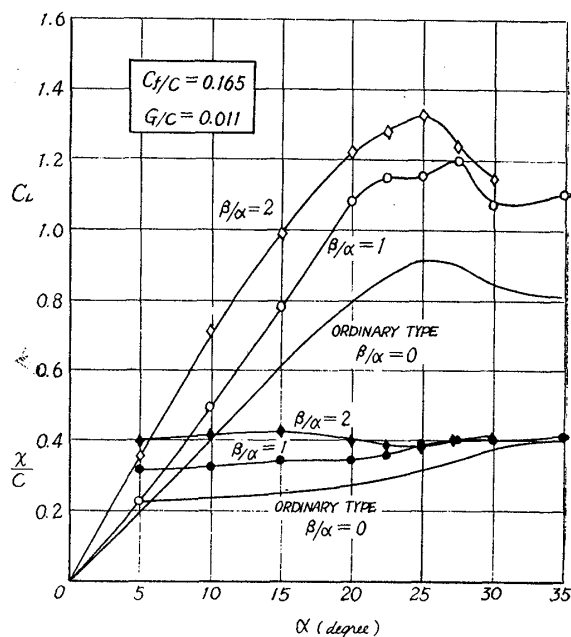


(a)





(b)



(c)

Fig.11 Characteristics of a Rudder with a Flap

示したように直線よりややずれているので、着力点がまったく移動しないように、 $\alpha$ ,  $\beta$  を与えることは困難であり、現実的でない。そこでここでは操舵条件として  $\beta/\alpha=1$  および 2 の場合を選んで考察することにする。

上述の操舵を行なったときの  $C_L$ ,  $x/c$  の変化の様子を Fig.11 に示す。(a), (b), (c) はそれぞれ  $c_f/c = 0.5$ , 0.25, 0.165 の場合である。 $\beta/\alpha=0$  で示した通常の舵の場合と比較すると  $C_L$  はいずれも大きくなり、また  $x/c$  の変化はゆるくなり、フラップつき舵の利点がよく知れる。ここで興味あるのはフラップ舵では剥離に伴う着力点の移動がわずかなことでありこれはフラップつき舵の大きな利点の 1 つであろう。

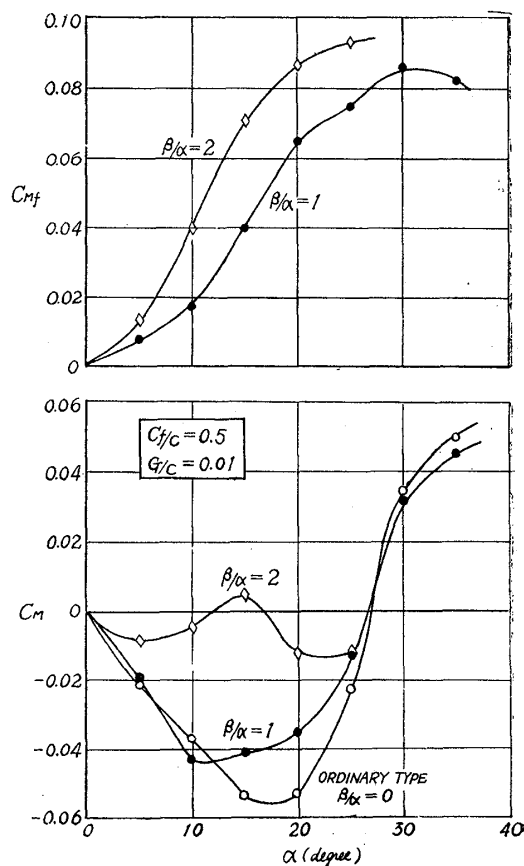
つぎにこれらの操舵を行なったときの  $C_M$ ,  $C_{Mf}$  の変化の様子を Fig.12 に示す。図中の各状態は Fig.11 の各状態に対応している。主舵軸の位置については  $C_M$  の最大値と、負の最大値がほぼ一致するような位置を選んで計算した。 $C_M$  の計算は  $x/c$  の移動量から求めるので、実験誤差が拡大され点のばらつきが大きい、いずれも同様な傾向を持っていることが知れる。 $C_M$  の最大値は  $\beta/\alpha=0, 1, 2$  の順で小さくなり、 $\beta/\alpha=2$  のときの  $C_M$  の変化はいずれも極大、極小値を 2 つずつ持つような変化をしている。

一方、 $C_{Mf}$  は先に述べたようにフラップの大きさが大きくなると急激に増加し、例えば  $c_f/c=0.5$  の場合には  $C_M$  と  $C_{Mf}$  の最大値を単純に加え合わせると  $\beta/\alpha=0$  の場合の 2 倍程度になってしまう。

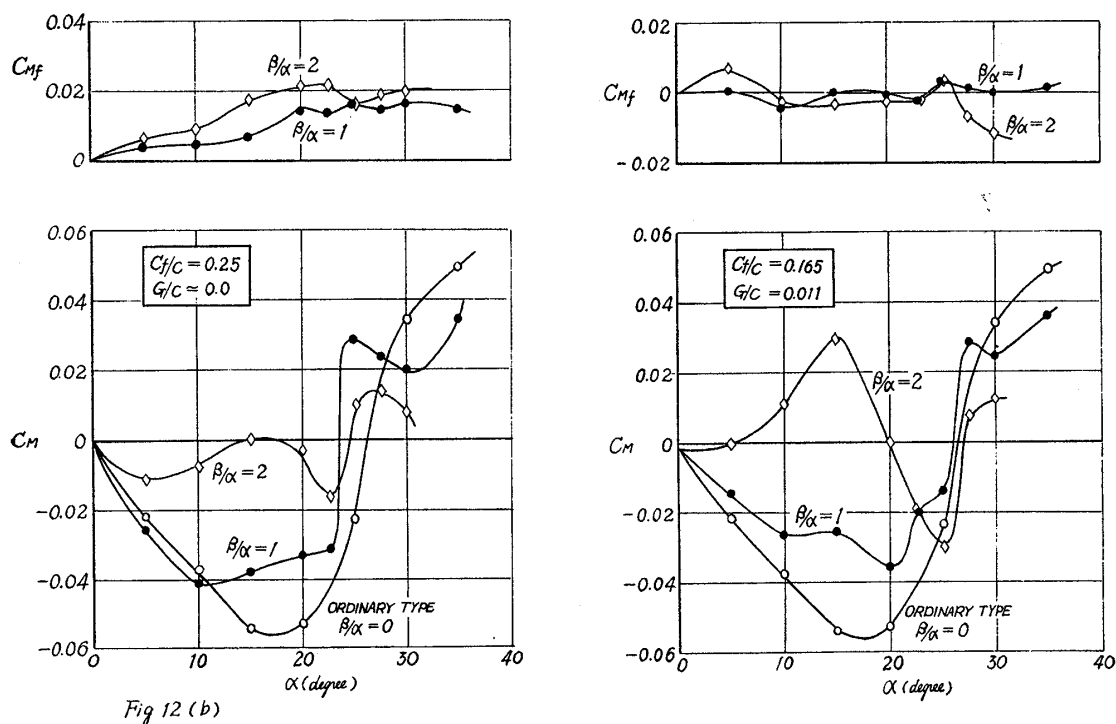
ここでこれらの舵および操舵条件の評価基準として次のような値を考える。

$$\mu = \frac{C_{L\max}}{C_{M\max} + C_{Mf\max}} \quad (10)$$

Eq. (10) の分子は得られる舵力、分母は必要な操舵装置の大きさを表わしているから、 $\mu$  が大きいほど優秀な舵だとい



(a)



(b)

(c)

Fig.12  $C_M$  of a Rudder with a Flap

うことができる。

Fig.11, 12 に示した各場合での  $\mu$  の値を Table 3 に掲げる。表中の  $\mu/\mu_{ord.}$  の値は通常の舵の  $\mu$  との比を示している。フラップの大きさについては  $0.25c$ ,  $0.165c$  の順で有利であり,  $0.5c$  のものは通常の舵より不利になる。また同じ大きさのフラップでは  $\beta/\alpha=2$  の方が  $\beta/\alpha=1$  より有利である。 $0.5c$ ,  $0.165c$  のフラップのものは, ギャップが1%程度ある場合の結果である。それゆえギャップが0の場合には  $\mu$  はさらに増加することが予想される。ことに  $0.5c$  の舵はフラップが大きいため特にその影響を受けやすく,  $C_{Mfmax.}$  が大きいこともあつて  $\mu$  は小さな値になつてゐる。

また主舵とフラップを一組の操舵装置で回頭させるような機構にしたり, またリンクなどによつて主舵の動きに連結してフラップを回頭させるような機構であれば, 全体としての操舵モーメントは  $C_{max} + C_{Mfmax}$  より小さくてすむことが考えられる。これらの機構の2, 3の例について付録で述べる。

本実験で得られた最良のフラップつき舵は,  $c_f/c=0.25$  のもので,  $\beta/\alpha=2$  で回頭させれば, 同面積, 同アスペクト比の舵にくらべ,  $C_L$  は1.65倍,  $C_{Mmax} + C_{Mfmax}$  は1/1.4になり, 総合的な性能は2.3倍になる。

一方, このような舵の後進時の性能を調べるため  $c_f/c=0.25$  の舵について, 操舵条件を  $\beta/\alpha=1, 2$  として実験を行なつた。その結果をⅧ, Ⅸに示す。もし後進速度が前進速度の40%であるとすると

Table 3 Characteristics of Rudders with Flap ( $\beta/\alpha=\text{constant}$ )

|        | $c_f/c$       | $G/c$ | $x_0/c$ | $\beta/\alpha$ | $C_{Lmax}$ | $C_{Mmax} + C_{Mfmax}$  | $\mu$    | $\mu/\mu_{ord}$ |
|--------|---------------|-------|---------|----------------|------------|-------------------------|----------|-----------------|
| I      | Ordinary type |       | 0.34    | —              | 0.92       | $0.054 + 0.0 = 0.054$   | 17.0     | 1.0             |
| II     | 0.50          | 0.01  | 0.40    | 1.0            | 1.29       | $0.045 + 0.086 = 0.131$ | 9.9      | 0.58            |
| III    | 0.50          | 0.01  | 0.40    | 2.0            | 1.22       | $0.013 + 0.093 = 0.106$ | 11.5     | 0.68            |
| IV     | 0.25          | 0     | 0.42    | 1.0            | 1.34       | $0.038 + 0.016 = 0.054$ | 24.8     | 1.46            |
| V      | 0.25          | 0     | 0.43    | 2.0            | 1.52       | $0.017 + 0.022 = 0.039$ | 39.0     | 2.29            |
| VI     | 0.165         | 0.011 | 0.38    | 1.0            | 1.20       | $0.037 + 0.005 = 0.042$ | 28.6     | 1.68            |
| VII    | 0.165         | 0.011 | 0.40    | 2.0            | 1.33       | $0.030 + 0.012 = 0.042$ | 31.7     | 1.86            |
| astern |               |       |         |                |            |                         |          |                 |
| VIII   | 0.25          | 0     | 0.42    | 1.0            | 0.80       | $0.213 + 0.041 = 0.254$ | (cf. IV) |                 |
| IX     | 0.25          | 0     | 0.43    | 2.0            | 0.53       | $0.156 + 0.047 = 0.203$ | (cf. V)  |                 |

$$\beta/\alpha=1; (C_{M_{\max}}+C_{M_{f_{\max}}})\times 0.4^2=0.041$$

$$\beta/\alpha=2; (C_{M_{\max}}+C_{M_{f_{\max}}})\times 0.4^2=0.033$$

となつて、前進時の舵軸の最大トルクモーメントより小さくなる。

## 6 結 論

フラップつき舵の単独試験を回流水槽を使用しておこない次の結果を得た。

(i) フラップによる揚力係数の増加  $\Delta C_L$  は主舵の舵角によらず  $\Delta C_L = \text{constant} \times \beta$  (Eq. (4) 参照) で表わせるが、主舵とフラップの間にギャップがあると  $\Delta C_L$  は大きく減少する。

(ii) フラップによる着力点の移動  $\Delta x/c$  は主舵とフラップの舵角比  $\beta/\alpha$  で表わされ、 $\beta/\alpha$  が大きいと着力点は後方へ下がる (Eqs. (8) 参照)。

(iii) フラップ舵軸の回頭モーメント  $C_{M_f}$  は  $\alpha$  および  $\beta$  にそれぞれほぼ比例する。そしてフラップが大きくなると  $C_{M_f}$  は急激に増加する。

(iv) 舵の性能の評価基準として  $\mu = C_{L_{\max}} / (C_{M_{\max}} + C_{M_{f_{\max}}})$  を取ると  $c_f/c = 0.25, 0.165$  のフラップつき舵は従来の普通の舵より性能がよく、 $c_f/c = 0.25, \beta/\alpha = 2$  としたものは従来の舵の 2.3 倍になる。

これらの結論は実際の船の舵に直接すぐには応用できないであろうが、舵にフラップをつけることにより、舵の設計に際し自由度が増し、性能向上に有利である。

終わりに実験、計算に際し助力いただいた次の諸君にお礼申し上げる。

42 年度船舶工学科卒業生 今福 稔君 坂井賢吉君

43 年度船舶工学科卒業生 鬼塚和明君 小林偉男君

船舶高速力学講座職員 小村隆士君 小玉 豊君 三根山貞夫君

## 参 考 文 献

- 1) A. D. Young : The Aerodynamic Characteristics of Flaps ARC R & M 2622 (1953) pp.1~54
- 2) 岡田正次郎：単独に置かれた舵の性能に関する実験結果について，造船協会論文集，103 号（昭 33）
- 3) E. N. Jacobs & R. E. Anderson : Large Scale Characteristics of Aerofoils as Tested in the Variable Density Wind Tunnel NACA Rep. 352 (1930)
- 4) R. C. Darnell : Hydrodynamic Characteristics of Twelve Symmetrical Hydrofoils, U.S. Experimental Model Basin Rep. 341
- 5) 深津了蔵：「フラップ」のある翼の理論，航空研究所集報，55 号（昭 4）pp.47~64
- 6) 守屋富次郎：空気力学序論，培風館（昭 36）

## 附 録

主舵とフラップを結合し 1 組の操舵装置で操舵する機構の例を Fig. 13 に掲げる。リンクの寸法を図中に示すように選ぶと、 $\alpha$  と  $\beta$  の関係は Fig. 14 に示すようになる。以下それぞれについて若干説明する。

Fig. 13 (a)

リンク  $l_3$  の一端は船体に固定している。リンクの端部に白丸印のある所は回転できる。

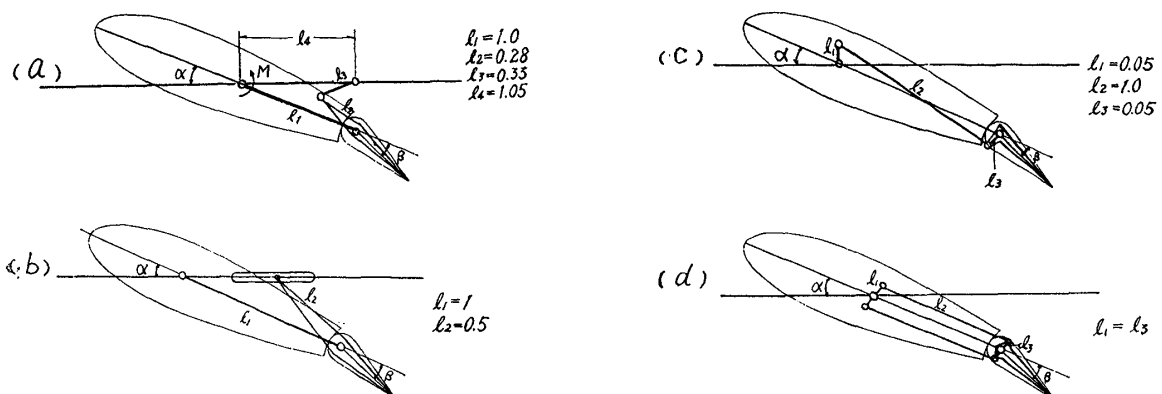


Fig. 13 Devices of Flap Movement with Links

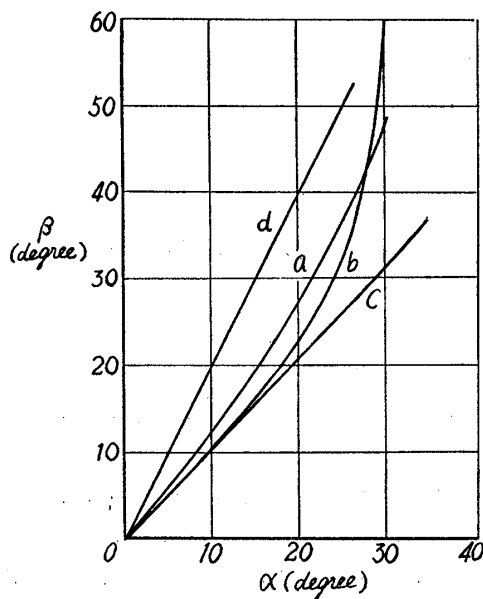


Fig. 14 Angle of a Flap due to Links

車機構により同方向に同時に回転させる。もし内軸の角速度を外軸の2倍に取れば  $\beta/\alpha=1$  の回頭が、3倍に取れば  $\beta/\alpha=2$  の回頭が実現される。これは  $C_M$ ,  $C_{Mf}$  に対しては主舵とフラップを別々に回頭させてやるのと同じであるが、操舵装置の容量は  $(C_{Mmax} + C_{Mfmax})$  より小さくてよい。

上述の4種の舵について  $c_f/c=0.25$  とし、 $\alpha$ ,  $\beta$  を Fig. 14 のように与え、3分力を測定し、 $C_{Mmax}$ ,  $\mu$  等を求めた。その結果を Table 4 に示す。 $C_{Mmax}$  は実験結果から最適の舵軸位置を求めて計算したものであり、また実験誤差も拡大されて現われているので、必ずしも定量的な議論はできないがフラップつき舵が従来の舵より有利であることは知れる。また表中の range of angle の項は、その機構の都合でその舵角を超えて使用することが不可能であつたり、適当でなかつたりすることを表わしている。

Table 4 Characteristics of Rudders with Flap (with links)

 $c_f/c=0.25$   $G/c \approx 0.01$ 

|   | Rudder stock<br>$x_0/c$ | Range of angle         | $C_{Lmax}$ | $C_{Mmax}$ | $\mu$ | $\mu/\mu_{ord}$ |           |
|---|-------------------------|------------------------|------------|------------|-------|-----------------|-----------|
| a | 0.42                    | $\alpha \leq 30^\circ$ | 1.25       | 0.023      | 54    | 3.2             | (G/c=0.0) |
| b | 0.40                    | $\alpha \leq 25^\circ$ | 1.25       | 0.015      | 85    | 5.0             |           |
| c | 0.44                    | $\alpha \leq 35^\circ$ | 1.33       | 0.053      | 25    | 1.5             |           |
| d | 0.44                    | $\alpha \leq 30^\circ$ | 1.52       | 0.025      | 61    | 3.6             |           |

Fig. 13 (b)

(a)と似ているがリンクの数が1つ少ないかわりにスライドする部分が生じる。この機構は船体の方にスライド部がついているが逆にすることも考えられる。(a)(b)の機構はリンクが舵の外に出ているので製作は簡単であろうが、反面可動部が海水につかる欠点がある。

Fig. 13 (c)

主舵々軸を2重の同心軸にして、内側の軸は船体に固定させる。主舵が回頭すると固定軸にとりつけられたリンクが、その分だけフラップにとりつけたヨークを押し、フラップを回頭させる。この機構は簡単で主舵中に内臓できるが、左右の操舵方向によつて  $\beta/\alpha$  が異なることが欠点である。しかし  $l_1=l_3=0.05l_2$  程度にとれば  $\alpha=\pm 35^\circ$  に対し  $\beta=37.3 \sim -32.7^\circ$  程度になり実用上問題ない。

Fig. 13 (d)

(c)と同様、主舵々軸を同心軸にして、外側の軸は主舵に、内側の軸はリンクを通じてフラップにとりつける。同心軸は歯