

神戸大学大学院 学生員 ○末永清冬
神戸大学工学部 正員 篁源亮

1. まえがき

セキの後流域では、複雑な渦動が起っており、かつその流れは非定常である。写真-1に示すように、数個の大きな渦が存在する例が多く見られる。従って、ここでは完全流体の理論における渦系を用いて流れを計算し後流域について検討した。

2. 解析方法

開水路に図-1に示すようなセキ後流を解析する。物理面 Z と写像面 ζ とを考える。 $Z=X+iY$ と $\zeta=\xi+i\eta$

との間の関係は、次の(1)式のようなになる¹⁾。

$$\begin{aligned} X &= \frac{d}{\pi} \text{Log} \left[\frac{1+A}{1-A} \right] & Y &= \frac{d}{\pi} \text{Arg} \left[\frac{1+A}{1-A} \right] \\ A &= \sqrt{\frac{\zeta^2-1}{a^2-1}} & a &= +\text{cosec} \left[\frac{\pi h}{2d} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

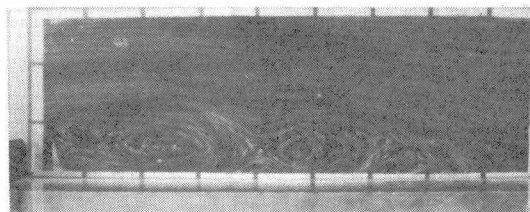


写真-1 $Re=1.5 \times 10^5$

d : 水路幅, h : セキ高

Z -平面における流れは、 ζ -平面において $+a$ にsink, $-a$ にはsourceを置いて求められる。セキの背後に生じる渦領域を表わすのに m 個の渦系を考えて、 ζ -平面における複素ポテンシャル $W(\zeta)$ は次のようになる。

$$W(\zeta) = \phi(\zeta) + \psi(\zeta) = \frac{Ud}{\pi} \text{Log} \left[\frac{\zeta-a}{\zeta+a} \right] + \sum_{i=1}^m \frac{ik_i}{2\pi} \text{Log} \left[\frac{\zeta-\zeta_i}{\zeta+\zeta_i} \right] \quad (2)$$

m : 渦系の個数 k_i : 渦系の強さ ζ_i : 渦系の座標
以下に m の値により、の決定方法を述べる。

a. 渦系の数 $m=1$ のとき

渦系の強さ k_1 は、セキの先端 Z_4 において流速が有限な値となるように、クッタの条件より定め次の(3)式となる。

$$k_1 = -\frac{2Ud}{a\eta_1} (\xi_1^2 + \eta_1^2) \quad (3)$$

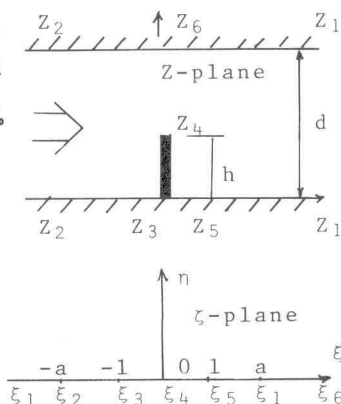


図-1 物理面と写像面

すなわち、渦系の強さは、渦系の座標の関数で与えられる。

b. 渦系の数 $m=3$ のとき

(i) 渦の強さ

セキ後流域に3個の渦があるときは、クッタの条件と次の(5)式により、渦系の強さ k_1, k_2, k_3 を定めた。この(5)式は、写真-1に示すように実際のセキ後流の渦の強さが下流の渦ほど小さいと観察されるからこのような仮定をした。

$$k_1 = -2dU \cdot \prod_{i=1}^3 |\zeta_i|^2 / a (\eta_1^2 |\zeta_2|^2 |\zeta_3|^2 + f_2 \cdot \eta_2^2 \cdot |\zeta_1|^2 |\zeta_2|^2 + f_3 \cdot \eta_3^2 \cdot |\zeta_1|^2 |\zeta_2|^2) \quad (4)$$

$$k_j = k_1 \cdot \exp[-K(X_j + Y_j)] = f_j \cdot k_j \quad (j=2, 3) \quad K: \text{係数} \quad (5)$$

(ii) 渦の配列

写真-1から観測して(6)式のように仮定した

$$y_i = h \cdot \exp(-PX_i) \quad (i=1, 2, 3) \quad P: \text{係数} \quad (6)$$

3. 解析結果と考察

a. 渦糸の数 $m=1$ のとき

渦糸の座標を変化させた場合について、はくり流線を求めた結果、はくり長さ l とはくり最大高さ b との関係は、図-2 に示ようになる。

これより次の事が明らかとなる。

- 1) 渦糸の座標 (X_1, Y_1) において、 Y_1 を固定し、 X_1 を増加していくと、 l 値、 b 値とも増加する。 X_1 を固定し、 Y_1 を増加すると、 l 値は減少するが b 値は余り変化しない。
- 2) l 値と b 値との間には、 $l = J \cdot b$ の比例関係が存在し、係数 J は流速により変化しない。写真-1 から $J=8$ である。ここで用いた $m=1$ では、 $J=2$ となり実際の流れを満足しない。

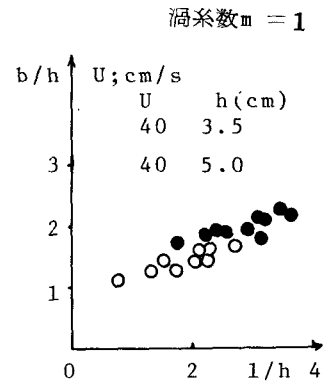


図-2 最大長と最大高さの関係

b. 渦糸の数 $m=3$ のとき

(i) 係数 k, p の影響

(5) 式における係数 k 、(6) 式における係数 p の値を変化したときははくり離流線の変化を図-3 に示す。これより、写真-1 に示すようなはくり離流線の形に最も近似する係数値は、 $k=0.001$ 、 $p=0.1$ である。

(ii) 渦糸の座標の変化によるはくり離流線の変化

第1番目の座標は固定し、第2, 3番目の座標を変化したときの流線は、図-4 のようになる。これより、渦糸の

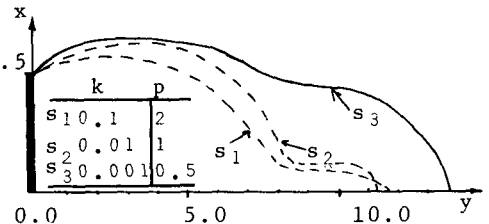


図-3 はくり離流線と係数 k, p の関係

座標を順次変化したときに、生じる個々のはくり離流線の包絡線は、通常観察される定常的なセキのはくり流線に近似しており、はくり離領域は、この計算により求められる。

(iii) はくり離長 l とはくり最大高さ b との関係

図-5 に l 値と b 値との関係を示す。これより、明らかに l と b との間に比例関係はなく、 b 値は l 値に無関係に一定値となる傾向を示す。このことから、実際の流れを満足するようなはくり離領域を求める事が可能である。

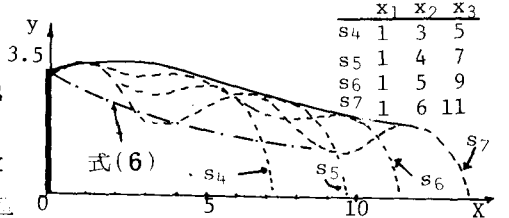


図-4 はくり離流線の変化

4. 結論

本研究において得られた結論は次のとおり。

- 1) はくり離域は、単一渦では再現できない。
- 2) 数個の渦糸を用いるとき、包絡的なはくり離流線を求める事によりセキのはくり離域を求める事が可能である。
- 3) 後流域内の流れを再現するのに、渦糸の強さと座標は、(5)、(6) 式で仮定した事が適当と考える。

今後、実測により流況だけでなく渦の配列、強さ、さらに圧力変動等細部にわたり求め、この理論モデルについて検討する必要がある。

参考文献

- 1) Evans, R.A. and Bloor, M.I.G: The starting mechanism of wave-induced flow through a sharp-edged orifice, Jour. Fluid Mechanics, pp115-128, 1977

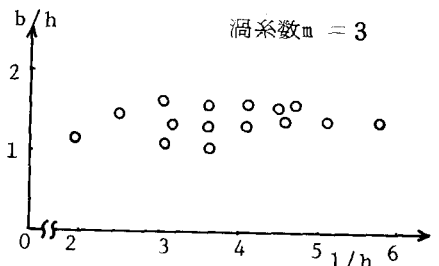


図-5 最大長と最大高さの関係