

1 緒言 平板を軸の周りに自由に回転できるようにして流れの中に置くと、平板は安定位置になろうとして回転し、ある角度をなして安定する。これには軸が水平と鉛直の2つに分れるが本研究では鉛直軸の場合を対象としている。一方、この種の構造を水中に航行させると螺旋流が生ずることから河川の砂堆の排除、取水口の堆砂防止および河床の浚渫などに応用できる。本研究はこれらの基礎的資料を得るために鉛直軸を有する平板の軸位置と平板の安定角度について次の条件において実験的に調べた。(1) 鉛直軸が水路中央にある場合 (2) 鉛直軸を側壁に近ずけ平板の一方の流れを阻止する場合 (3) 軸の偏心の影響 (4) 軸が平板の下流にある場合 (5) 軸が平板の上流にある場合である。

2 平板の安定角度の理論的考察(平板の角度と合力の作用点について)

鉛直軸のまわりに回転できる平板は鉛直軸が平板のどこに位置するかによって安定角度が異なる。平板に作用する動水圧の合力は鉛直軸が受け持つから流体中に任意の角度 θ で置れた平板に作用する動水圧の合力の作用点を求めれば原理的には鉛直軸の位置と平板の安定角度の相互関係を明らかにできる。いま図-1に示すような無限に広い流体中に任意の角度 θ で置れた平板に作用する動水圧の合力の作用点Cを等角写像法におけるSchwarz-Christoffelの方法で計算する。

イルヌーイの定理から圧力 P は

$$-P/\rho = \frac{c}{2} (V^2 - 1) \quad \text{---(1)}$$

(ただし無限遠で $V=1$, $p=0$ とする)

平板に作用する全動水圧 P は

$$P = \int_A^B \frac{P}{2} (1 - V^2) dx \quad \text{---(2)}$$

流れの平面を $z = x + iy$ なる z 平面、速度ポテンシャル ϕ を z 中、流れの関数を ψ 、複素速度ポテンシャルを w とすると

$$\left. \begin{aligned} w &= \phi + i\psi, \quad V_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y} \\ \frac{dw}{dz} &= V_x - iV_y, \quad V_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \\ \zeta &= \frac{dz}{dw} = \frac{1}{V} (\cos \theta + i \sin \theta) \end{aligned} \right\} \quad \text{(3)}$$

z 平面(流れの平面)と w 平面(複素速度ポテンシャル平面)の間の写像関係式は(4)式で表される。

$$\left. \begin{aligned} z &= x + iy \\ \zeta &= \frac{dz}{dw} = \frac{1}{V} (\cos \theta + i \sin \theta) \end{aligned} \right\} \quad \text{(4)}$$

$$\left. \begin{aligned} * \quad z &= \cos \theta (\log \zeta + \pi i) = \frac{1}{2} \left(\zeta + \frac{1}{\zeta} \right) \\ w &= \frac{1}{\zeta - \cos^2 \theta} = \phi + i\psi \end{aligned} \right\} \quad \text{(4)}$$

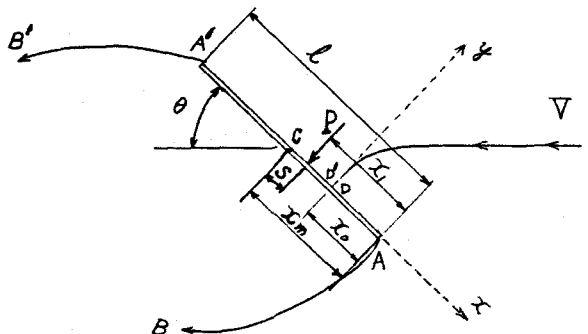
これより(2)式の全動水圧 P は次式で求まる。

$$P = \frac{\rho}{2} \int \left(1 - \frac{1}{\zeta^2} \right) d\zeta = -\rho \int \frac{2\sqrt{\zeta^2 - 1}}{(\zeta - \cos^2 \theta)^3} d\zeta$$

$$= \rho \pi / \sin^2 \theta \quad \text{---(5)}$$

(ただし $\zeta = -\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}$)

図-1 流水中の平板



板の中心Cの先端からの距離 x_m は(6)式で示される。

$$x_m = \frac{1}{\sin^2 \theta} \left(\frac{1}{2} \cos \theta - \frac{\pi}{2} \sin \theta \right) \dots (6)$$

図-2 鉛直軸を有する平板

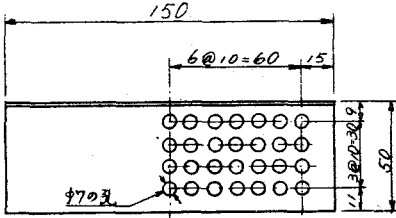
平板にあたる流れの分岐点Cの板の端からの長さ $\overline{AD}$ および $\overline{AD}$ は(7), (8)式で求まる。

$$\overline{AD} = \frac{1}{\sin^2 \theta} \left\{ 1 + \frac{\pi - \theta}{2} \sin \theta + \cos \theta (1 + \sin^2 \theta) \right\} \dots (7)$$

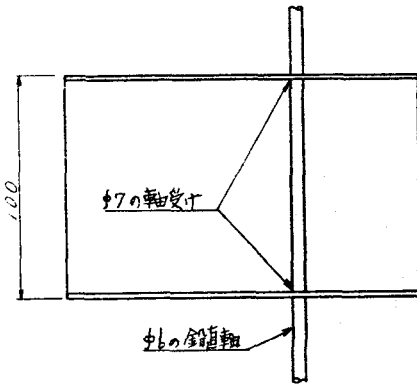
$$\overline{AD} = \frac{1}{\sin^2 \theta} \left\{ 1 + \frac{\theta}{2} \sin \theta - \cos \theta (1 + \sin^2 \theta) \right\} \dots (8)$$

板の全長 $\overline{AA'} = l$ は(9)式で求まる。

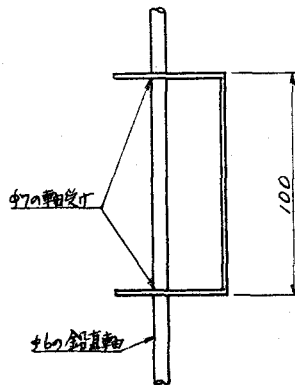
$$\overline{AA'} = l = \overline{AD} + \overline{AD} = \frac{4 + \pi \sin \theta}{\sin^2 \theta} \dots (9)$$



平面図



正面図



側面図

板の中心Cのまわりに作用するモーメント M は(10)式で求まる。

$$M = \int_{A'}^A p(x - x_m) dx = \frac{3}{4} \cdot \frac{P \pi \cos \theta}{\sin^2 \theta} \dots (10)$$

合力 P が板の中心Cより S だけ離れたところに作用するとすれば

$$S = \frac{M}{P} = \frac{3 \cos \theta}{4 \sin^2 \theta} \dots (11)$$

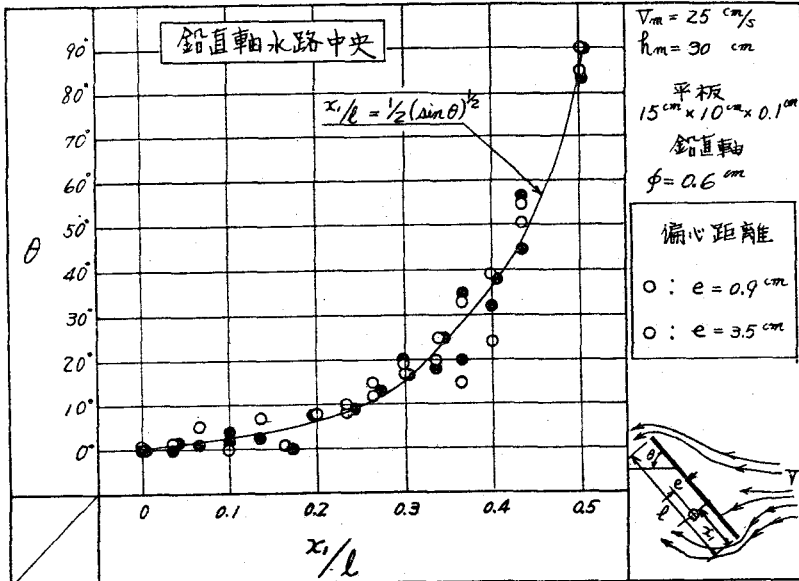


図-3 (a) 安定角度と軸位置の関係

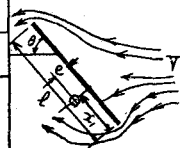
$$\therefore \frac{S}{l} = \frac{3 \cos \theta}{4(4 + \pi \sin \theta)} \dots (12)$$

$$\therefore \frac{x_1}{l} = 0.5 - \frac{S}{l} \dots (13)$$

これを図-4に示す。

3 実験装置と実験方法

実験水路は幅0.40m, 高さ0.50m, 長さ10m, 水路勾配 $1/100$ のフックリット水路である。実験範囲は流量 $Q = 15 \sim 90 \text{ l/sec}$, 平均流速



$V=12.7\sim167\text{ cm/sec}$, 水深 $h=13\sim30\text{ cm}$, フルード数 $F_r=0.11\sim0.98$ とし、模型は水路の底に鉛直軸の固定装置をとりつけ $\phi=6\text{ mm}$ の滑らかな真鍮棒を立てて平板を設置した。平板の大きさは図-2に示すように高さ 10 cm , 長さ 15 cm , 厚さ 0.1 cm のブリキ製で、孔の中心から平板までの偏心距離を $e=0.9, 1.5, 2.5$ および 3.5 cm の4種として $\phi=7\text{ mm}$ の孔を28個あけた。

平板を水路に設置するとき次の二つに分れる。(1) 鉛直軸が水路の中央にあって平板の流れを左右に分ける場合 (2) 鉛直軸が側壁に近ずけて置かれ、平板によって側壁側り流れを阻止する場合である。なお、いずれに対しても鉛直軸が平板の下流側にある場合と中央にある場合および上流側にある場合とに分れる。本実験はこれらの順序にしたがい安定角度を調べた。

4 実験結果とその考察

(1) 安定角度 θ と軸位置 x/l および偏心距離 e の関係

実験の結果は図-3(a)(b)に示される。図-3(a)は鉛直軸が水路中央にある場合、図-3(b)は鉛直軸を側壁に近ずけて側壁の流れを阻止した場合である。いずれも偏心距離 $e=0.9\text{ cm}$ と 3.5 cm の2種類について軸位置と安定角度を調べたものであるが、図より明らかなごとくこの程度の偏心の変化の影響はほとんど認められない。安定角度の平均値は次式でほぼ近似できると分かった。

$$x/l = \frac{1}{2}(\sin \theta)^2 \text{ ----- (14)}$$

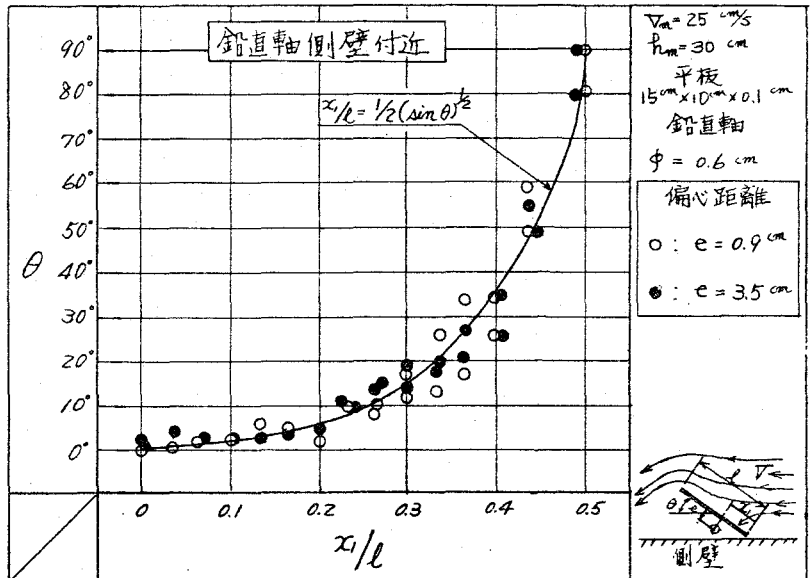


図-3(b) 安定角度と軸位置の関係

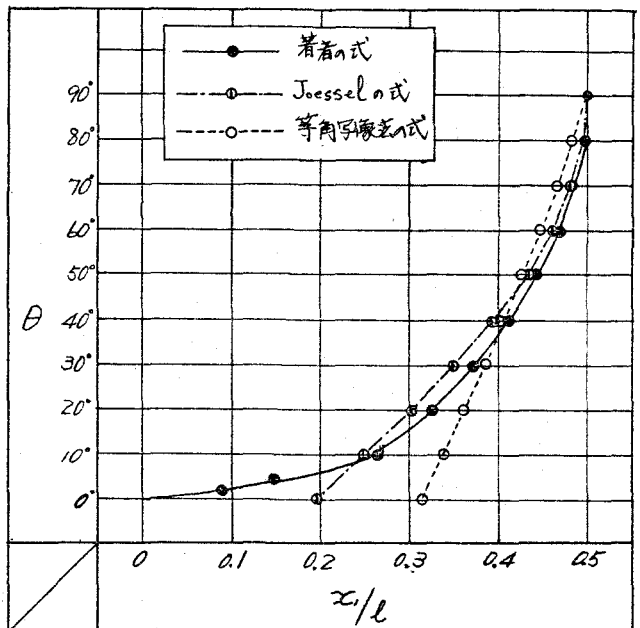


図-4 実験式と理論式の比較

一方 Joessel の操舵
の実験によれば次式で
示される。

$$\frac{x}{l} = 0.195 + 0.305 \sin \theta \dots (15)$$

また二次元流のポテンシャル流として等角写像法における Schwarz-Christoffel の方法で求めた計算式は(13)式で示される。これらと比較すれば図-4に示される。安定角度の大きい場合にはかなり相似しているが小さい部分では差異が認められる。しかし平板のアスペクト比によってかなり変化することを赤崎博士が示しているので更に検討したい。

(2) 水路に対する鉛直軸の位置の影響

実験の結果は図-5に示されるが水路に対する鉛直軸の影響はほとんど認められない。

(3) 平板に対する鉛直軸の位置の影響

実験の結果は図-6に示されるが、一般に軸

が平板の上流側にある場合が下流側にある場合より安定角度がやや小さくなることがある。

5 結 語 (1) 平板の安定角度 θ と鉛直軸の位置 x/l の関係を理論と実験で明らかにした。 θ が大きい場合に理論値と実験値とは近接している。(2) 水路に対する軸位置の影響はほとんど認められない。(3) 軸位置が平板の上流側にある場合の方が下流側にある場合より安定角度 θ はやや小さい。

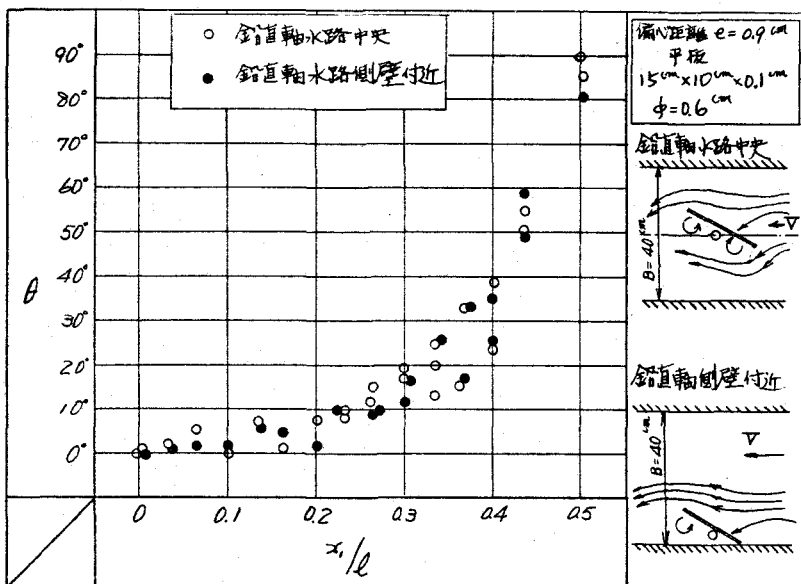


図-5 水路に対する軸位置の影響

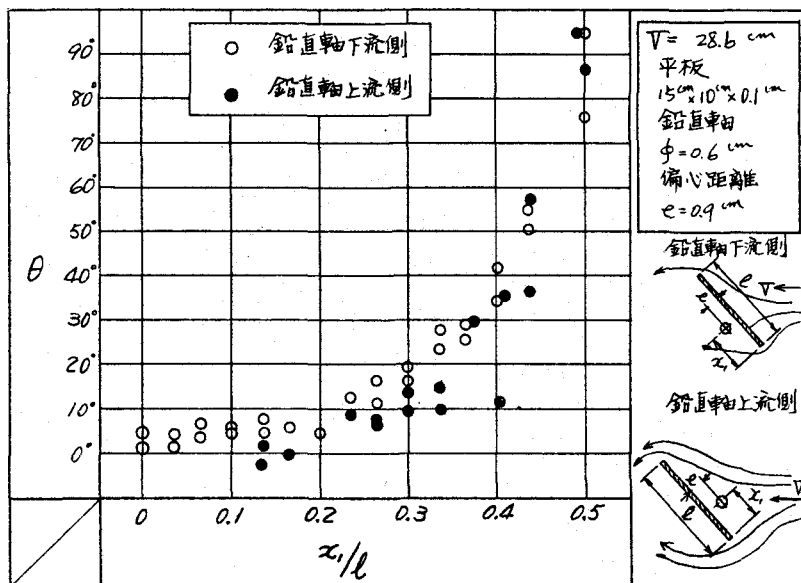


図-6 平板に対する軸位(上流側、下流側)の影響