

II-61 ゲートにおける空気吸込に関する一考察

日立造船(株)技術研究所

工博 中島康吉

正員

○巻棚敏秋

要旨：放水路ずい道も有するゲートにおける空気吸込現象は従来流れの跳水現象による空気吸込が考えられ、空気吸込に関する実験式が示されている。しかしながら著者らが実験した模型実験および入手し得た実物実験の結果など十分の一致が認められなかったため、本研究はずい道内の流水面に発達する空気の境界層にもとづく空気吸込現象を考へ理論的な考察を加え実験値との比較も行なった。

1. 理論的考察：空気の入口と空気の出口（ゲート室）とにおける圧力降下がわずかでゲート室の気圧がほぼ大気圧に等しいと考えられる場合には放水路ずい道内の空気は非圧縮性流体、すなわち大気と同様に取り扱いができるので大気の運動方程式が成立する。

大気の運動方程式を放水路ずい道内の空気流の現象に適用するため、2次元を考へる。流水面からあまり大きく離れていない距離のところでは空気の乱れは統計的に等方性になっていることがG.I. Taylorによって見い出されている。

この場合の運動方程式は次式に示しているように2次元のNavier-Stokesの方程式、すなわち層流境界層内における運動方程式と同形になる。したがって得られる解は形式的には層流境界層の解とまったく一致する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + K \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + K \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

ここに u, w は x, z 軸方向の分速度、 ρ は空気の密度、 K はうず(渦動粘性係数で $K = K_x = K_y$)である。なお簡便にするため地球の自転によって流体に働くCoriolisの力は省略している。

流水面を x 、その鉛直方向を z としてずい道内の流水表面と U なる理論流速で動いている平板と考えると流水面の空気は粘性のために流水面の流速と同一になろうとする現象(運動量の拡散)が起こり流水面上の空気は U の速度で運ば去られることになる。またこの現象と同時に流水面は固体の平板でなく相当量の水の保まつ(沫)が流水面上の空気流に拡散されている。この拡散が空気の拡散に支配されているものとすれば空気の流速分布と同様に水の保まつ濃度分布に境界層理論の解を適用することができる。この拡散において空気による水の拡散と水による空気の拡散とが同程度であると考えると運ば去られる理論空気量 Q_a は次式によって与えられる。

$$Q_a = B \left\{ \int_0^{\delta} (1-\epsilon) U dz + \int_0^{\delta} \epsilon U dz \right\} \quad (3)$$

ここに B は放水路の幅、 δ は $x=L$ すなわちずい道の出口における境界層の厚さ、 ϵ は単位体積中に含まれる水の保まつ濃度で、単位体積中に含まれる空気は $1-\epsilon$ になる。

ところが境界層理論から求められる δ よりもずい道高さが小さい場合は

$$Q_a = B \left\{ \int_0^{\phi} (1-\epsilon) U dz + \int_0^{\phi} \epsilon U dz \right\} \quad (\delta > \phi) \quad (4)$$

と近似的に空気量が与えられるものとする。ここに $\phi = S_1 - S_2$ で S_0 はずい道の高さである。

層流境界層内の流速分布 u は一般に $u = U_f(\eta) = U(2\eta - \eta^2)$ なる値が採用されている。ただし $\eta = \frac{y}{\delta}$ である。この場合は逆に静止流体中を平板が運動する場合も考えられているから $u' = U - u$ となる。また水の拡散も同じ式で表わされるから u' の代りに δ は次式となる。

$$u' = U(1 - 2\eta + \eta^2), \quad \delta = 1 - 2\eta + \eta^2 \quad (5)$$

次に理論流量は $Q_w = U \cdot S \cdot B$ とし示される関係から理論空気比 β は次式となる。

$$(3) \text{式から} \quad \beta = \frac{Q_a}{Q_w} = \frac{1}{SU} \int_0^{\delta} u' dz \quad (6)$$

(6)式に(5)式を代入して η の関係に置き換えると

$$\beta = \frac{\delta}{S} \int_0^1 (1 - 2\eta + \eta^2) d\eta = A \frac{1}{S} R_K^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

(4)式からは同様に

$$\beta = \frac{\delta}{S} \int_0^1 (1 - 2\eta + \eta^2) d\eta = A' \frac{1}{S} R_K^{-\frac{1}{2}} \quad (8)$$

となる。ここに S は放水路すい道の長さ、 R_K はうず動粘性係数を用いたレイノルズ数、 $R_K = \frac{UL}{K}$ 、 A, A' は層流境界層内流速分布を積分することによって得られる係数で $A = 1.83$ となる。

2 実験値との比較; (7)式を用いて実験値を整理し K を求めてみると模型では $6.44 \sim 9.07 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、実物では $9.45 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ が得られる。Richardson は多くの測定値と整理した結果大抵のうず動粘性係数 K と現象の大きさ D との間に $K = 0.2 \sim 0.6 D^{\frac{2}{3}} \text{ cm}^2/\text{s}$ なる関係を見い出している。また Sutton は $K \propto t^{\frac{3}{4}}$ なる関係を半実験的に求めている。ただし t は拡散現象が行なわれる時間であり、 t と物体の大きさとは比例すると考えられるので Richardson の式も Sutton の式も互いに相通った関係を示すものと言えよう。本研究で得られた K 値は Sutton が導き出している関係にあった。Sutton の式を $K = \alpha D^{\frac{2}{3}}$ と置き換えて実験結果から α を求めてみると $\alpha \approx 8$ が得られる。故に放水路すい道内における空気のうず動粘性係数 K は一応模型、実物に対して $K = 8 D^{\frac{2}{3}}$ の式で推定できると考えられる。

実物実験および模型実験について

(7)(8)式から理論空気比 β を計算し実験値の空気比 β^* と比較したのが図1である。 β と β^* との関係は(6)式から明らかなように $\beta^* = \frac{\beta}{C_d}$ と表わされる。図中より計算値と実験値との相違は $\frac{1}{C_d}$ の差となり、渦流係数 C_d の小さいような流れとなるゲートではその差が大きく現われている。

図1からわかるように理論式の近似度を考慮すれば本研究で試みた考察が妥当であることが認められる。

しかしながら大抵のうず動粘性係数

と正確に推定するには今後更に検討する余地を多分に残しているものと考えられる。

参考文献

5). 6) 中島, 登橋; 水門の下部形状に関する実験的研究, 7) 坂田, 赤井; 長崎県重瀬ダムコンジットコースゲート模型実験, 水門設計 1962.3

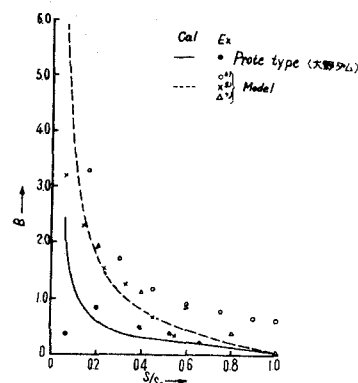


図1 $\beta - y/S_a$ の関係