V－15　曝気水脈による汚濁物質の拡散防止について

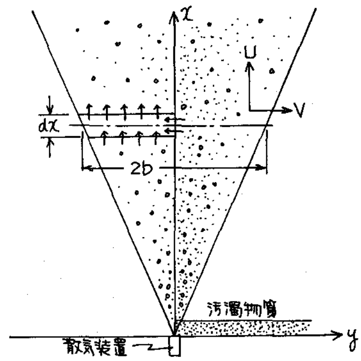
九州産業大学　工学部　正員　杉尾　哲

1．まえがき

水底に設けた散気装置に圧縮空気を送ると、上昇する気泡群に誘起されて、流体の上昇流が生ずる。この現象の消波工への応用は、古くから検討され、我国においては、栗原を中心とする九大応力研水文研究委員会の一連の研究[1]がある。その後，さらに理論上の検討が加えられ[2]，たとえば水質改善等[3]の多方面への応用が種々検討されている。本研究は，その一応用として考えられている遮閉幕としての利用価値について[4]，すなわち、ある水域に沈殿している汚濁物質が，他の水域へ拡がってゆこうとする時に、この曝気水脈によって遮断できないかとの技術的な問題について検討しようとするものであり、その第一段階として，非常に理想的な状態について若干の計算を行なったのでここに報告する。

2．曝気水脈による拡散の理論

図-1の様に、散気装置の片側底面だけに存在する汚濁物質が、曝気水脈によってまき上げられ，水中に拡散している状態を取り扱う。解析的には，気泡がきわめて小さくて上昇流に対する気泡群の相対速度が無視でき、さらに汚濁物質と流体の密度差も無視できるような理想的な場合について検討する。この場合Schmidtによる熱対流の理論および実験結果[5]が利用できる。いま噴流に伴う乱れの拡散係数をK，単位体積中の気泡群の体積（気泡密度）をg，単位体積中の汚濁物質量（濃度）をCとすると，運動量，空気量，流体質量および汚濁物質量の保存則は



図－1

$$U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial y}\left(K\frac{\partial U}{\partial y}\right)+gg \quad —(1) \qquad U\frac{\partial g}{\partial x}+V\frac{\partial g}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial y}\left(K\frac{\partial g}{\partial y}\right) \quad —(2)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}=0 \quad —(3) \qquad U\frac{\partial C}{\partial x}+V\frac{\partial C}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial y}\left(K\frac{\partial C}{\partial y}\right) \quad —(4)$$

また式-1～4の微分方程式を解くに当っての補助条件として

$$\int_{-\infty}^{\infty}U^2dy=\int_0^x\int_{-\infty}^{\infty}gg\,dx\,dy \quad -(5), \qquad \int_{-\infty}^{\infty}gU\,dy=Q \quad （単位長さ当りに放出される空気量） \quad —(6)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}cU\,dy=Q_c \quad （単位長さ当りにまき上げられる汚濁物質の量）-(7), \quad -K\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_{y=0}=\int_0^{\infty}\frac{\partial(cU)}{\partial x}dy-\int_0^{\infty}\frac{\partial}{\partial x}\left(K\frac{\partial c}{\partial x}\right)dy \quad -(8)$$

式-1～4を解くにあたってsimilarityの仮定を用いる。すなわち散気装置から上方に十分離れた断面の噴流域内においては、周囲から噴流域内への流体の吸込みが主要な要素になっていて、全ての断面について相似的な状態が生ずるものと考える。また拡散係数については、Schmidtによれば，運動量と気泡密度についてはPrandtlの混合距離の仮定 $K=\sqrt{\overline{v'^2}}\cdot l=\beta^2U_0b|u'(\eta)|$ を用いているが，濃度については、鉛直軸（x軸）上においても物質の交換が行なわれるものと考え，Prandtlの第2仮説 $K=\kappa bU_0$[6] を用いる。まず式-1～3の解は

$$\psi=1.13982\eta_1-0.377124\eta_1^{5/2}+0.063323\eta_1^4-\cdots \quad -(9), \quad \Theta_2=1-1.0746326\eta_1^{3/2}+0.466487\eta_1^3-0.1154235\eta_1^{9/2}+\cdots \quad -(10)$$

ここに
$$\left.\begin{array}{l} \eta=y/b, \quad b=rx, \quad l=\beta b, \quad g=f(x)\cdot\Theta(\eta), \quad f(x)=\kappa'/b, \quad U=U_0\cdot u(\eta), \quad V=rU_0\cdot v(\eta) \\ \Phi=bU_0\psi(\eta), \quad u(\eta)=\psi', \quad v(\eta)=-\psi+\eta\psi', \quad \Theta_2=(2\beta^2/r)^{2/3}\cdot g\kappa'/rU_0^2\cdot\Theta, \quad \eta_1=(r/2\beta^2)^{1/3}\cdot\eta=\alpha\eta \end{array}\right\} -(11)$$

次に式4についてSchmidtと同手法で解く。$C = S(x)\cdot D(\eta)$ とおくと、補助条件式-7より $S(x) = R'/b$
式-4に式-(11)を代入して整理すると $D'(\eta_1) + (2\beta^2 r^2)^{1/3}/k \cdot \psi_1(\eta_1)\cdot D(\eta_1) = D'(0)$ となり、

$$D(\eta_1) = \left\{ D'(0)\int e^{\int \frac{(2\beta^2r^2)^{1/3}}{k}\psi_1 d\eta_1} d\eta_1 + D(0)\right\} \Big/ e^{\int \frac{(2\beta^2r^2)^{1/3}}{k}\psi_1 d\eta_1} \quad \text{— (12)}$$

また $D'(0)$ については、図-1に示す幅 dx の水平断面で汚濁物質の保存則を考えた式-8において、右辺第2項を第1項に比べて無視できるとすると、式-12を式-8に代入して　　ここに $e^G = e^{\int \frac{(2\beta^2r^2)^{1/3}}{k}\psi_1 d\eta_1}$

$$D'(0) = -D(0)\int_0^\infty \frac{(2\beta^2r^2)^{1/3}}{k}\cdot e^{-G}\cdot\psi_1' d\eta_1 \Big/ \left\{1+\int_0^\infty \frac{(2\beta^2r^2)^{1/3}}{k}\cdot e^{-G}\cdot\psi_1'\left(\int e^{G}d\eta_1\right)d\eta_1\right\} \quad \text{— (13)}$$

3. 算定結果

式-1,2と式-4の拡散係数の値が同程度であると考えて k の値を求めると、$k = \alpha\beta^2|U(\eta_1)|$ である。ここに定数 $\alpha\beta^2$ の値はSchmidtの実験結果より $\alpha\beta^2 = 0.038$ であり、$U(\eta_1)$ は式-9より図-2の様に算出できる。いま水平断面内において、k を一定すなわち拡散係数を一定として式12,13の計算を行なえば、算定結果は図-3,4の様になる。また図-2中の鉛直軸付近に示した水平直線の範囲内だけ一定とし、その外側では混合距離理論に従うとすると、算定結果は図-3,5の様になる。濃度分布(図-4,5)は、両図とも負の濃度があらわれており、この点について、さらに検討を必要とすると考えている。

4. むすび

本研究を進めるにあたって、九大名誉教授・元九産大教授栗原先生より終始親切なる御指導を受けた。ここに記して深く謝意を表する。また本研究は文部省科学研究費(研究代表者山口大・中西教授)の補助を受けた。ここに記して関係各位に感謝する。

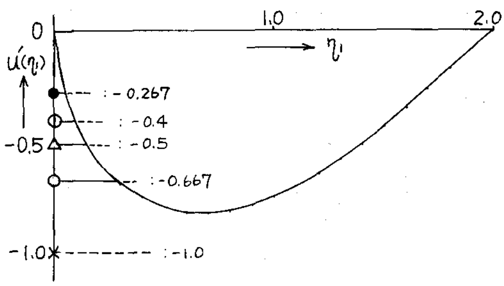


図-2

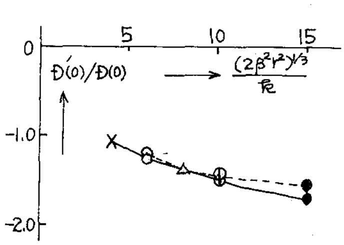


図-3

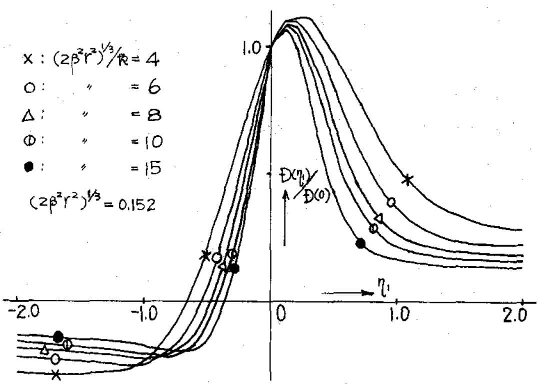


図-4　(k=一定)

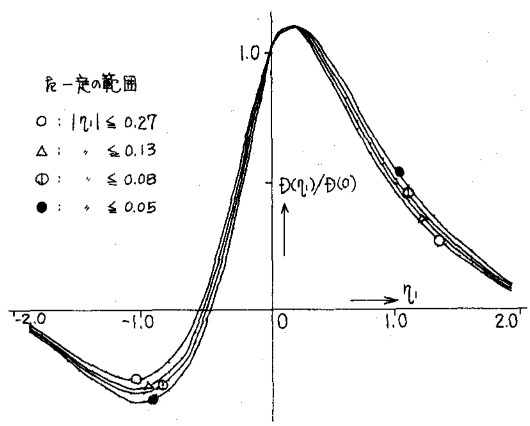


図-5

参考文献
1) 応用力学研究所水文学研究委員会：空気防波堤の研究に就いて I～VII，九州大学応用力学研究所所報，昭和29年～昭和35年．
2) 北野・田中・栗谷：静水中における気泡噴流の性質，土木学会論文報告集，No.253，1976年9月．
3) 中村・乃万・萩野：DO改善を目的としたエアバブルカーテンの設計，第23回海岸工学講演会論文集，昭和51年11月
4) 吉本・武政・谷口・切通：気泡噴流幕の遮断効果に関する実験的研究，昭和49年度西部支部研究発表会講演集，昭和50年2月
5) Schmidt：Turbulente Ausbreitung eines Stromes erhitzter Luft，Z. angew. Math. Mech. Bd.21，Nr.5，Okt. 1941
6) 日野：流体力学，朝倉書店，理工学基礎講座16，昭和49年3月．