II-59 格子面による導流と拡散効果について

明星大学 理工学部 正員 村 幸雄
〃 学生員 伊藤敏行

1. まえがき

洪水による濁水が貯水池により洪水後長期にわたって清浄化しない貯水池濁度の長期化現象が貯水池維持管上の重要な問題点となっている。従来の対策としては、一度濁水を貯水池に受け入れた後、貯水池の流動状態を考慮して最も有効な水深から取放水を行なおうとするものである。しかし考え方として、洪水時の濁水の貯水池流入を最小限に押え、濁水をすみやかに下流に放流する手段があるように思われる。この方法として濁水流を貯水池内に流れ込ませず、分離導流し下流に流してしまう構想が考えられる。この分離効果の基礎的実験として、流れと平行に格子面を用いることにより、その効果がどのようになるかを検討したものである。

2. 実験

使用した水路はコンクリート製(長さ8m,深さ0.3m,幅1.6m)であり、格子網により導流した部分を主流部とし、貯水池部を静水域とした。測定はプロペラ式流速計を、拡散状況を見るために塩水と染料を使って計測した。(図-1)

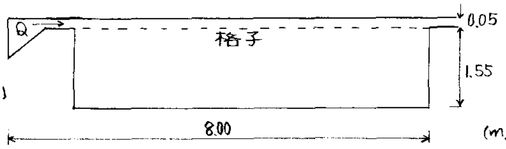


図-1

3. 不連続面の拡散

貯水池に洪水流が流入して拡散する現象を把握する基本的水理問題として、速度の不連続面から自由乱流が静水域にどのように拡散するかを調べる。一定速度U_1の一様な流れが静水域と接触し始めた時の現象について図-2のようにとる。今、流れを定常流と仮定し、拡散現象におけるレイノルズ数はかなり大きいため乱流応力が主体となる。また、流れの場の圧力は一定と考えられるので省略すると、Navier-Stokesの運動方程式は(1)のようになる。

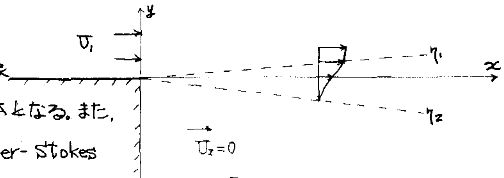


図-2

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau}{\partial y} \qquad (1)$$

ここで、$y/x=\eta$, $u=f(\eta)$として、流れ関数を $\psi=\int u\,dy=x\cdot F(\eta)$ と表わす。y方向の分速度vは

$$v=-\frac{\partial \psi}{\partial x}=-F(\eta)+\eta\cdot F(\eta), \quad u=\frac{\partial \psi}{\partial y}=x\cdot\frac{\partial F}{\partial y}=F'(\eta)$$

また、$\frac{\partial u}{\partial x}=F''(\eta)\cdot(-y/x^2)$, $\frac{\partial u}{\partial y}=F''(\eta)\cdot 1/x$ また、プラントルの混合距離lを用いて

$$\tau=\rho l^2\left|\frac{du}{dy}\right|\frac{du}{dy} \qquad \therefore \frac{\partial \tau}{\partial y}=2\rho l^2\frac{du}{dy}\frac{d^2u}{dy^2}$$

以上の関係を用いると(1)式は次のようになる。 $FF''+2c^2F''F'''=0$. すなわち $F''=0$, $F+2c^2F'''=0$ (2)

この後者の解を求めるためには、その解の満たすべき条件は拡散の行なわれる領域の境界で速度分布の形が、なめらかに変化することである。境界条件として、 $\eta=\eta_1$ $F'(\eta_1)=1$, $F''(\eta_1)=0$,

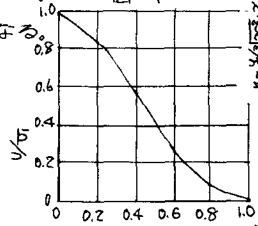
$\eta=\eta_2$ $F'(\eta_2)=0$, $F''(\eta_2)=0$ より(2)式の解を求めると、

$$F=-0.0062e^{-(\xi-\xi_1)}+0.987e^{\frac{\xi-\xi_1}{2}}\cdot\cos\frac{\sqrt{3}}{2}(\xi-\xi_1)+0.577e^{\frac{\xi-\xi_1}{2}}\cdot\sin\frac{\sqrt{3}}{2}(\xi-\xi_1) \qquad (3)$$

を得る。ただし、$\eta=\xi(2c^2)^{1/3}$でξ_1はη_1に相当するξの値である。ここでのcは混合距離から求まるもので実験により求めなければならない。図-3はU_2/U_1に対するη_1,η_2の値の変化図であるが、本実験の場合$U_2=0$であるから$\eta_1=0.98$, $\eta_2=2.00$となる。このη_1,η_2を用いて得られる流速分布が図-4のようになる。

以上、平行流の合流については、"自由乱流"の基本問題として多くの研究が行なわれており下記参考文献のようなW.Tollmien, H.Reibhart, H.Rouse, 藤本武助等及び最近の本間,萩原,福井の実験研究がある。しかし,現時点では大綱を把握することが目的であるから

図-4



拡散域における主流方向流速の分布

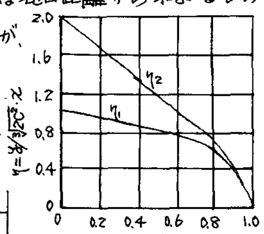
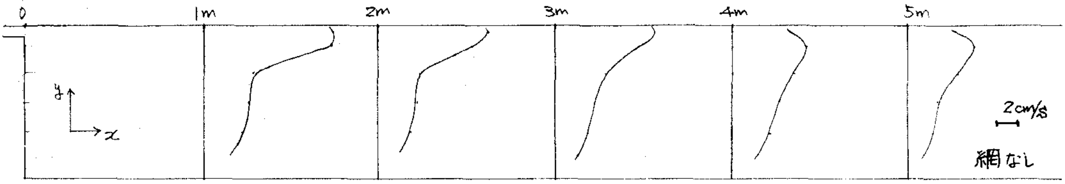


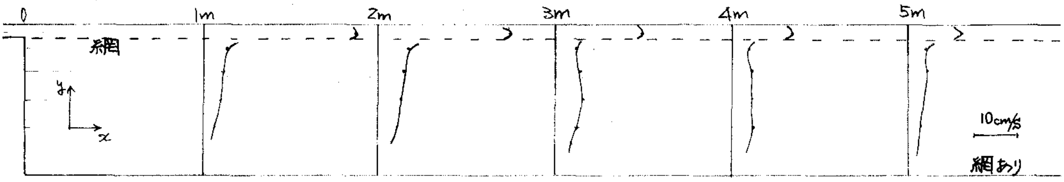
図-3

上記までにとどめた。i)流体工学(H.Rouse著) ii)流体力学(藤本武助著) iii)水理学演習(2)(椿著)

4.水平方向流速分布

ここに示した図は水平方向の変化を網を入れない場合と入れた場合について表わしたものである。



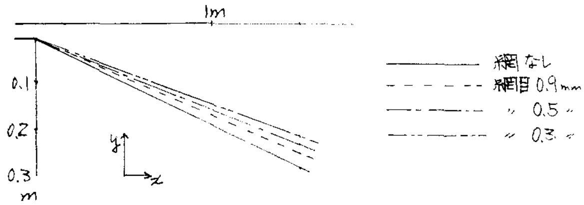


図のように格子網を入れない場合、入れた場合について比べてみると網を入れた場合の方が主流部の流速が著しく速くなっている。このことは、網による分離導水効果が認められると考えられる。

5.拡散図

格子網を入れない場合、入れた場合についてのおおよその流入状態を表わしたものである。網目幅はより細かい方が拡散低減効果が表われている。

拡散幅(b)、混合距離(l)およびCを求めると表のようになった。



	b	c	l
網 なし	$0.291x$	0.0213	$0.0213x$
網目 0.9mm	$0.266x$	0.0186	$0.0186x$
〃 0.5 〃	$0.251x$	0.0171	$0.0171x$
〃 0.3 〃	$0.225x$	0.0145	$0.0145x$

6.対策具体化するための問題点と今後の研究方針

実験の結果を検討して濁水長期化対策として隔膜格子網を採用することはかなりの効果が期待できる。これらの効果には次のことが判明した。(1)流入濁水の分離導水効果(2)拡散低減効果である。今後具体化を進めるに当って夫々の効果に分けて実験研究することが望まれる。この他に格子網の強度耐久性、設置方法等多くの問題があるがここでは水理学的問題に限定することにする。

a)導流効果の解析；隔膜格子を設置した場合の効果を定量的に論ずるには境界面の粗度抵抗に関し実験研究によらなければならないが透過水制の作用に極めて似ており水制に関する研究が参考になる。

b)格子面からの拡散低減効果の解析；現状では乱流現象を十分解明できる段階に達していない。しかし、等方性一様乱流の仮定によればある程度の解析は可能である。著者の知る限りS.Goldsteinの"Modern Development in Fluid Dynamics"が参考となる。i)乱流拡散の基本式；$Q=-\overline{l'v'}\frac{d\bar{u}}{dy}$ (4) ii)格子面後方の乱れの減衰の法則；Mesh間隔Mの格子によって発生される乱れの規模はM、格子棒の直径Dにより決定される。今、Mを代表長としAを常数とすると$\frac{\lambda}{M}=A\sqrt{\frac{\nu}{MU}}$ (5) 一方、格子背後の測定より運動エネルギーの平均損失率は等方性の場合$-\frac{3}{2}\rho U\frac{\partial\overline{u^2}}{\partial x}=15\mu\frac{\overline{u^2}}{\lambda^2}$ (6)。ここで(5)を用い(6)を積分すると$\frac{\overline{U}}{\bar{u}}=\frac{5x}{A^2M}+\mathrm{Const.}$ (7) 故に格子背後の種々の距離で$\bar{u}$が測定されれば$\frac{\overline{U}}{\bar{u}}$は距離に対して直線的に増加する。

iii)結語：(7)式では$\frac{\overline{U}}{\bar{u}}$と$\frac{\lambda}{M}$の比例関係として表現されている。(4)式の($l'\bar{v}$)は$l\bar{v}=l^2\left|\frac{du}{dy}\right|\frac{du}{dy}$によってPrantlの仮設と関係づけられるから格子面から後方のx方向の平均速度$\overline{U}$の分布を知ることにより推定できるであろう。なお本実験ではPrantlの混合距離$l=Cx$として実験よりCが求められているのでこれを代入すればよい。

いずれにしても、今後本研究を進めるには大型の実験による資料が必要となる。