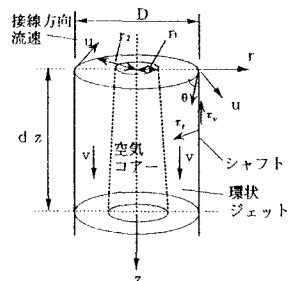


京都大学 学生員○府川 新
 京都大学防災研究所 正 員 戸田圭一
 京都大学防災研究所 正 員 井上和也

1. はじめに: 地下河川の流入立坑部に用いられる渦流式立坑は、欧米などでは以前から採用されており、きわめて実用性に富んだ立坑形状の一つと考えられる。ここでは、渦流式立坑の立坑内の流れをモデル化して解析し、減勢効果の指標となると考えられる運動エネルギーや鉛直運動量をもとに、減勢効果に及ぼす立坑形状の影響を調べてみた。

2. 流れのモデル化: Jain¹⁾ は立坑内の流れをモデル化し、解を導いている。彼は、(a) 流れは軸対象である、(b) 鉛直軸方向の流速はそれに垂直な断面にわたって一様である、(c) 流速の半径方向の成分は 0 である、との仮定のもとに、現象を以下に示す 3 式でモデル化した。(図-1 参照) 図-1 コントロールボリューム概念図



$$Q = Av \quad (1)$$

運動量方程式

$$\frac{d}{dz} \int_{r_1}^{r_2} \left(2\pi r v^2 + 2\pi r \frac{p}{\rho} \right) dr = gA - \frac{\pi D \tau_v}{\rho} \quad (2)$$

角運動量方程式

$$\frac{d}{dz} \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r v u r dr = -\frac{\pi D^2 \tau_t}{2\rho} \quad (3)$$

ここに、 Q :流量、 A :流水断面積、 v :鉛直軸方向の平均流速、 u :鉛直軸に垂直な断面の接線方向流速、 z :鉛直軸方向距離、 p : z 軸に垂直な断面にかかる圧力、 ρ :流水の密度、 g :重力加速度、 D :立坑の直径、 τ_v 、 τ_t :それぞれ壁面のせん断応力の鉛直成分、水平成分である。また、 r :半径方向距離、 r_1 、 r_2 :それぞれ渦流の内径、外径であり、 $r_2 = D/2$ である。Jain はここで (d) 接線方向の流速の成分は、 $ur = \Omega(\text{const})$ で与えられる (Ω :循環)、の仮定をもうけ、上記基礎式の (2)、(3) を以下のように表した。

$$\frac{d}{dz} \left(Qv + \frac{P}{\rho} \right) = gA - \frac{\pi D \tau_v}{\rho} \quad (4)$$

$$\frac{d}{dz} (Q\Omega) = -\frac{\pi D^2 \tau_t}{2\rho} \quad (5)$$

ここに P は、 z 軸に垂直な断面にかかる全圧力である。さらに Jain は摩擦力を Darcy-Weisbach の式形で評価し、(4) 式の圧力項が運動量フラックスの項より十分小さいと仮定し、(1)、(4)、(5) 式を無次元化した後、解を得ている。Jain の解においては、(d) の仮定を用いているが、実際には渦流に付着する流れの厚みは薄いので、断面内の接線方向流速が一様分布であるとみなして得られた解を図-2(1)、(2) に示している。図より、接線方向流速が一様の場合でも、Jain の解とほぼ一致する解が得られることがわかった。

3. 立坑径の大きさと減勢効果との関係: ここでは、立坑径と流量の関係に着目し、それらが減勢効果に

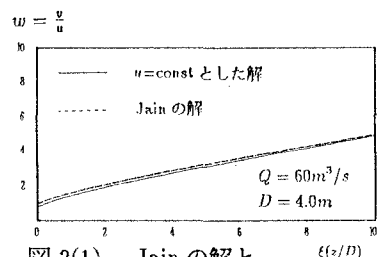


図-2(1) Jain の解と $u=\text{const}$ とした解の比較

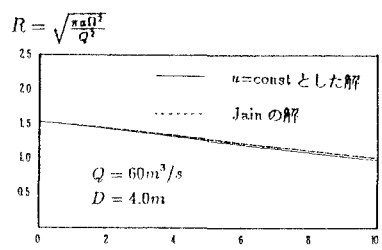


図-2(2) Jain の解と $u=\text{const}$ とした解の比較

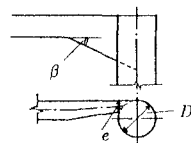


図-3 接線型呑み口部

及ぼす影響を調べてみた。減勢効果を評価するにあたり、横軸に落差、縦軸に流量をとって等エネルギー線と等鉛直運動量線を描くこととし、計算には前述のJainの解を用いた。流量と立坑径の関係についてはJainらが彼らの実験²⁾で扱った値を中心に

$$D/\sqrt[3]{Q^2/g} = 1.0, 1.16, 1.25 \quad (6)$$

の3ケースをとりあげた。呑み口部の形状はJainら²⁾が実験から求めた形状を採用し、呑み口部の流速(初期値)はJain³⁾の式を用いている。図-4より、等エネルギー線、等鉛直運動量線とも $D/\sqrt[3]{Q^2/g}$ の値が大きい方が、上方にきている。これは $D/\sqrt[3]{Q^2/g}$ が大きいほど、すなわち同一流量に対して立坑径が大きいほど減勢効果が優れていることを示している。

4. 立坑数と減勢効果との関係: ここでは、1つの減勢池の中に、単一の立坑が設置される場合と複数個の立坑が設置される場合の減勢効果の比較を行った。一例として図中の3ケースを考え、鉛直落下距離と運動エネルギー(図-5)の関係を表した。図-5より、立坑を2個に分けたケースの方が運動エネルギーは小さくなる。したがって、スペースや形状の問題等でやむを得ず立坑を分割する場合、減勢効果の面ではむしろ有利であるとの知見が得られた。

5. 立坑径の鉛直方向変化と減勢効果との関係: ここでは、立坑の径が、鉛直方向に線形に変化する場合を想定し、それが減勢効果にどのような影響を及ぼすかを調べてみた。接線方向流速が一樣の場合の解を求める方法で、減勢効果についての解析を行った。 $r_2 = 1/2(1 + \alpha z)$ として、 $\alpha = -0.05, 0, 0.05$ の3ケースの比較を行った。図-6より3ケース間で、鉛直方向速度 v にほとんど差はなく、鉛直方向に径を変化させること(漸縮あるいは漸拡)は減勢効果の面から、さしたる効果は得られないとの結論が得られた。

6. おわりに: 立坑内の流れをモデル化して解析し、減勢効果に及ぼす立坑形状の影響を評価した。その結果以下の知見が得られた。

(a) 渦流式立坑に関して、安定した渦流が形成される範囲において、同一流量に対して立坑径が大きい方が減勢効果が高い。(b) 同一流量に対して複数個の立坑を設置した場合、単一の場合よりも減勢効果は向上する。(c) 立坑の径を鉛直方向に変化(漸縮あるいは漸拡)させても、減勢効果はほとんど変化しない。なお、本研究を実施するにあたり河川環境管理財団の補助を受けた。関係各位に謝意を表します。

7. 参考文献:

(1)Jain,S.C.:Free-surface swirling flows in vertical dropshaft, J.Hydr.Eng.ASCE 113, 1987. (2)Jain,S.C.and Kennedy,J.F.:Vortex flow dropstructures for the Milwaukee Metropolitan Sewerage District inline storage system, Rep.264, IIHR, 1983. (3)Jain,S.C.:Tangential vortex-inlet, J.Hydr.Eng.ASCE 110, 1984.

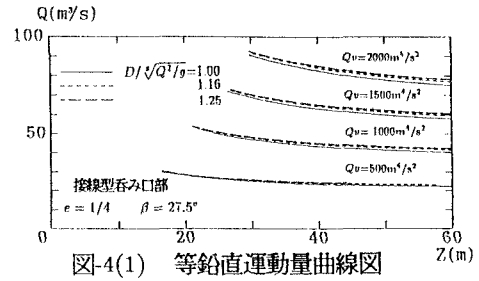


図-4(1) 等鉛直運動量曲線図

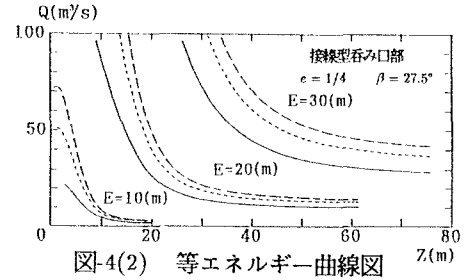


図-4(2) 等エネルギー曲線図

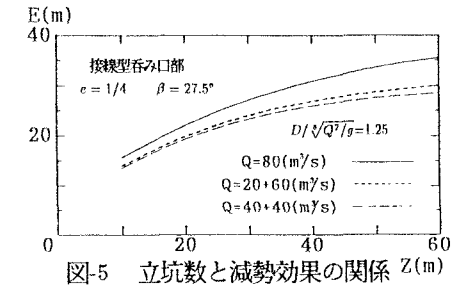


図-5 立坑数と減勢効果の関係

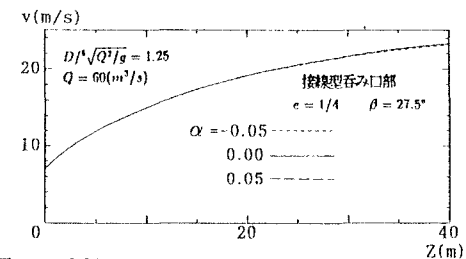


図-6 立坑径の鉛直方向変化と減勢効果との関係