

(株) サンイン技術コンサルタント 正員 ○宮本徹己
 鳥取大学 工学部 正員 道上正規
 鳥取大学 工学部 正員 小田明道

1. はじめに 本研究は、貯水池の堆砂防止策のひとつとして、渦動管を用いた排砂工の水理特性を検討したものである。すなわち、渦動管形状として、一様型スリット管¹⁾と離散型スリット管の2種を用い渦動管内の圧力分布・管内流速・排砂速度・流砂濃度などの測定から、有効渦動管長や排砂効率などの検討を試みる。また渦動管の流れの理論値と実験値の比較も言及する。

2. 実験の概要 図1に示すように、本装置は水槽底に渦動管を有する透明アクリル製の三角形水槽（全長200cm、幅40cm、両側壁の角度90°）と排砂管（全長60cm）で構成されている。スリット部は図2(a)と(b)に示すように、一様スリット板と離散型スリット板が取り換え可能にしてあり、それぞれスリット幅が3段階に調節できるようにしてある。実験に用いた砂は、平均粒径 $d = 0.5\text{mm}$ である。渦動管内平均流速の測定は、比重=1の中立粒子を渦動管内に投入して、その流れの状況をビデオで撮影して、その流れの流速を解析した。排砂速度の測定は、砂堆の先端が、目盛のつてある渦動管のどの位置にあるかを、目視とビデオで、砂堆の先端の位置を記録することよりなされた。これと同時に、その時刻をも計測して排砂速度を求めた。流砂濃度は、排砂管より流出してくる流砂を、ビーカーである時間ごと採取して求められた。

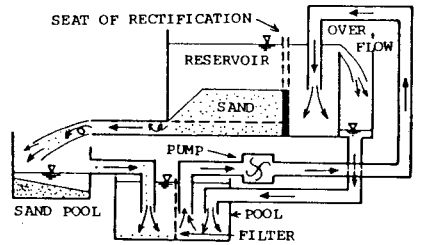


図1 実験装置の概要

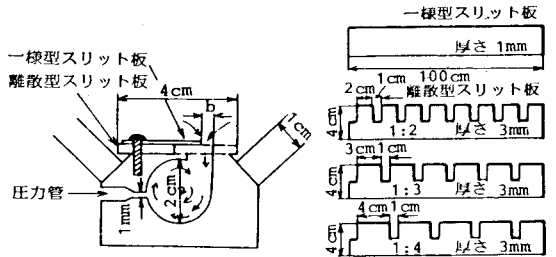


図2(a) 渦動管断面形

図2(b) スリット板

3. 理論式 一様スリット管の定常流の連続方程式は、(1)式で表わされる。一方、エネルギー方程式は、(2)式で表わされる。また、スリット流入速度は、流量係数 c を用いた(3)式で表わされるものとする。

$$\frac{dQ}{dx} = q \cdots (1),$$

$$\frac{Q^2}{2gA^3} + \left(\frac{P}{W} + z\right) = H \cdots (2),$$

$$v = \frac{q}{b} = c \sqrt{2g \left\{ H - \left(\frac{P}{W} + z \right) \right\}} \cdots (3)$$

ただし、(2)式において、渦動管内の摩擦損失項は無視している。以上の(1)・(2)・(3)式より渦動管内流量 Q に関して2階の次の微分方程式が得られる。

$$\frac{d^2 Q}{dx^2} - KQ = 0 \cdots (4),$$

$$K = \frac{bc}{A}$$

境界条件 $\{x = 0; Q = 0, x = L_1; Q = Q_1\}$ を(4)式に適用して、近似解を求めると、以下のようになる。

$$Q = \frac{\sinh(Kx)}{\sinh(KL_1)} Q_1 \cdots (5),$$

$$v = \frac{\sinh(Kx)}{\sinh(KL_1)} V \cdots (6),$$

$$\left(\frac{P}{W} + z\right) = H - \frac{Q_1^2}{2gA^3} \left\{ \frac{\cosh(Kx)}{\sinh(KL_1)} \right\}^2 \cdots (7)$$

ここに、 x : 管軸に沿ったスリット流入地点から下流方向への距離、 Q_1 : 渦動管内流量、 V : 渦動管内平均流速、 q : 単位長さ当りのスリットから渦動管へ流入する流量、 H : 貯水池の水深、 A : 渦動管断面積、 b : スリット幅、 L_1 : スリット流入領域、 Q : 渦動管出口の流量、 v : 渦動管出口の流速

4. 実験結果と考察 一様スリット管の圧力分布の実験値は、図3(a)に、示されるように、渦動管

下流端に向かい急激に下降している。圧力分布の理論式(7)式より求まる理論値と実験値を比較すると、理論値は実験値とよい一致を示している。また離散型スリット管の圧力分布の実験値は、図3(b)に示すように、有効渦動管長は、一様スリット管のそれより伸びている。離散型スリット管の圧力の理論値は、(7)式の一様スリット管の圧力の理論曲線を、閉鎖区間は一定として拡張して求められたものである。これと実験値を比較すると、実験値の圧力が、わずかに高く表われている。このことは、離

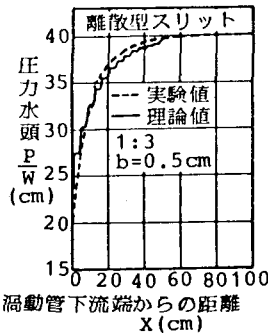


図3(a) 圧力分布

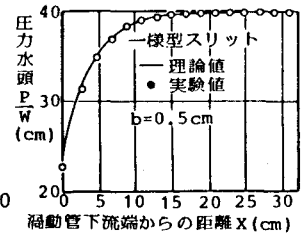


図3(b) 圧力分布

散型スリット管の流量係数と一様スリット管のそれとが、異なっているものと予想される。しかし、実験値と理論値は巨視的に見れば、ほぼ一致していると言える。図4に示される一様スリット管の渦動管内平均流速の実験値は、渦動管下流端に向かい急激に増加している。渦動管内の流れは、ラセン流を伴った流れのため、大きく変動している。(6)式より求まる理論値と比較すると

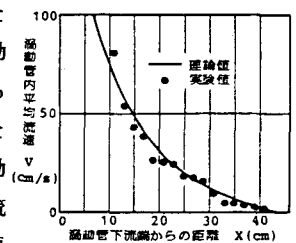


図4 渦動管内平均流速

実験値は、ほぼ理論値と一致している。図5に各スリットにおける有効渦動管長を示している。これらの有効渦動管長は、渦動管下流端から中立粒子が流れ出す地点までの距離を示したものである。この図によると、各有効渦動管長は、スリット形状指標(A/b)と線形関係にある。一様型スリットの場合、有効渦動管長は、スリット形状(A/b)の約4倍になっている。したがって、スリット幅を渦動管断面積に対して、相対的に小さく設計した方が、各有効渦動管長は長くなり有利になる。しかし、スリット幅は、砂の最大粒径により、制限を受けるのは当然である。

前述の計算で使用した一様スリット管の流量係数cは、(3)式を以下のように変形して求めた。

$$c = \frac{Q_1}{b \int_0^{L_e} \sqrt{2g \left\{ H - \left(\frac{P}{W} + z \right) \right\}} dx} \quad \dots (8)$$

ここに L_e は、圧力分布から求まる有効渦動管長である。流量係数cは、スリット幅や貯水池の水深にかかわらず0.8~0.9の範囲にある。図6に各スリットにおける排砂距離と濃度の関係を示している。この図によると、一様スリット管の場合、スリット幅が狭いほど排砂効率が良く、また離散型スリット管の場合、開口比が、小さくなるほど、排砂効率が良くなる。

以上の実験結果より、離散型スリット管は、一様スリット管より有効渦動管長・排砂速度・流砂濃度などの観点から判断して、排砂に有利である。また、渦動管内の圧力や流速の理論値は実験値とほぼ一致を示したが、離散型スリット管の流量係数など、今後の研究に待たねばならない点も残されている。

(参考文献)

- 1) 吉良 八郎; 神大農学部研究報告 第6集, 1977.
- 2) 荒木 正夫; 九大工学部紀要, 20(4), 1961.

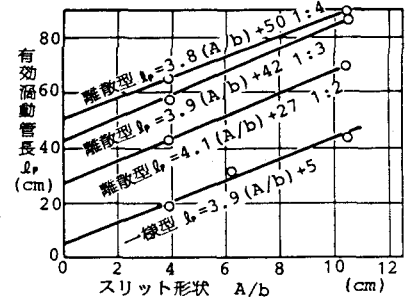


図5 有効渦動管長

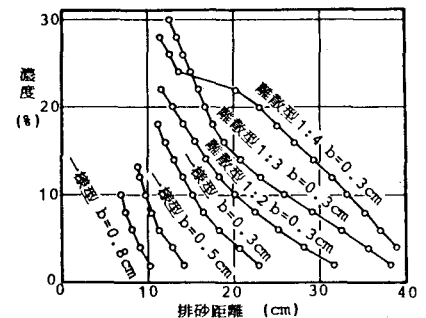


図6 排砂地点の濃度と排砂距離