

沈砂池の排砂工に関する研究

道上 正規・小田 明道

土木工学科

(1986年9月1日受理)

Studies on Sediment Extractor in a Sand Settling Basin

by

Masanori MICHIE and Terumichi ODA

Department of Civil Engineering

(Received September 1, 1986)

In this study, the flow characteristics of the sediment extractor of a vortex tube with the uniform slit which is laid in parallel with the flow direction have been investigated theoretically and experimentally. The flow velocity and pressure distributions along the tube, which are derived from the energy equation, are in good agreement with experimental data. However, the sediment extractor of the vortex tube with the uniform slit width is not effective to remove the deposited sediment in the sand settling basin. Because the length to remove the deposited sediment in the sand settling basin is short and the region is limited near the outlet.

In order to overcome this shortcoming, the vortex tube with the discrete opening for the slit has been introduced and it has been proved that the effective length to remove the deposited sediment by the vortex tube with the discrete opening for the slit is several times of that with the uniform slit width. The most suitable discrete degree of the opening for the slit has been discussed experimentally.

Key words : Sediment extractor, Vortex tube, Sand settling basin

1. まえがき

わが国の河川は急流でかつ多くの土砂を輸送するので、河川水を取水した場合、沈砂池で土砂を除去しなければならない。取水した水に含まれる土砂を排除する方法としては大別して二つの方法がある。まず第一は、沈砂池に入る前に水路横断方向に設置された渦動管で土砂を排除する方法である。この方法では絶えずその渦動管から土砂と水を除去するため、無効になる水量が多い。また、浮遊砂の除去はあまり効率的ではない。第二の方法は、導水路に設置された沈砂池に一度砂を堆積させ、池内に堆積した土砂を人為的あるいは水学的に排除する方法である。どのような沈砂池にも排砂門が設置されているが、これを開けて土砂を効率的に排除することは困難なようである。吉良ら[1]はこのような方法を点排砂と呼んで、その排砂効率を改善するために、沈砂池の底部に沈砂池の流れ方向に沿って渦動管を設置する方法を提案している。この方法は線排砂と呼ばれ、点排砂よりは効率的に砂を排出することができる。しかし、この方法でも沈砂池の堆積土砂の排除は沈砂池下流部のものに限られるので、本研究では、沈砂池の堆積土砂の排除領域を拡大するために、すなわち有効渦動管長を増すため、線排砂に関する基本的な考察を通して、渦動管のスリット部分の開口部を離散型とし、その開口比を種々変えた実験を行なった。

以上のように、本研究では沈砂池の堆積土砂をいかに効率的に排除するかを理論的及び実験的に検討して、沈砂池の設計法を確立しようとしたものである。

2. 一様型スリット渦動管の流れ

沈砂池の縦断方向に設置された渦動管の流れの研究は、荒木[2]や吉良ら[1]によって行なわれている。また、開水路流れで、水路底の横断方向に設けられた渦動管の流れ及び土砂の動態に関する研究は、Robinson[3]、芦田ら[4]によって行なわれている。これらの研究の基礎は、荒木によって誘導された基礎方程式に依存しているが、その理論は流れの運動量式と横流入のある場合の連続式より構成されている。これらの基礎方程式より、渦動管の流量、圧力分布、平均流速及び渦動管への流入流量を求める式を誘導している。

一方、Sanmuganathan[5]は、開水路流れに設置した渦動管の設計法について、エネルギー方程式より検討を加

えているが、その結果は荒木の結果とほぼ同様である。

本研究では、沈砂池の底部縦断方向に設置された渦動管の流れの基礎方程式を上述の研究を参考にしながら、流れの運動量方程式とエネルギー方程式に基づいて誘導する。

(1) 運動量方程式

一様スリット管の流れの連続式は図-1を参照して次式のように表される。

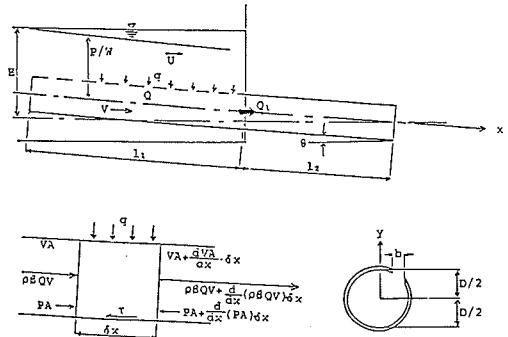


図-1 記号説明図

$$\frac{dQ}{dx} = q \quad \text{or} \quad \frac{d(VA)}{dx} = q \quad (1)$$

ここに、 Q ：渦動管内の流量、 q ：渦動管内への流入する単位長さ当りの流入量、 V ：渦動管内の断面平均流速、 A ：渦動管の断面積、 x ：渦動管軸に沿った流下方向の距離を表す。

また、図-1を参照して、運動量の時間的変化はコントロール・ボリュームに働く外力に等しいという関係より、流れの運動量方程式は次のよう表される。

$$\frac{1}{gA} \frac{d}{dx} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{d}{dx} \left(\frac{p}{w} + z \right) - \frac{U}{gA} \frac{dQ}{dx} + \frac{\lambda Q^2}{2gRA^2} = 0 \quad (2)$$

式(2)で壁面に働く摩擦力の損失勾配として次式が用いられる。

$$\frac{\tau_o}{wR} = \frac{\lambda Q^2}{2gRA^2} \quad (3)$$

ここに、 g ：重力加速度、 p ：渦動管中心軸の圧力、

w : 流体の単位体積重量、 β : 運動量補正係数、 U : 沈砂池内の流速、 R : 渦動管の径深、 λ : 渦動管の摩擦抵抗係数、 z : 基準面から渦動管中心軸までの高さである。

いま、スリットへの流入速度 v は、その地点の渦動管の内側と外側の圧力差に比例すると仮定して次式を用いる。

$$v \equiv \frac{q}{b} = C \sqrt{2g \left\{ H - \left(\frac{p}{w} + z \right) \right\}} \quad (4)$$

ここに、 b : 渦動管のスリット幅 (図-1参照)、 C : 流量係数、 H : 沈砂池の水深である。

式(4)を x で微分して、 x 方向に沈砂池の水深が変わらないことを考慮して、これに式(1)を適用すると、次式の関係が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left(\frac{p}{w} + z \right) &= \frac{1}{C^2 g b^2} \frac{dQ}{dx} \frac{d^2 Q}{dx^2} \\ &+ \frac{1}{C^2 g b^2} \left(\frac{dQ}{dx} \right)^2 \frac{db}{dx} \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)を式(2)に代入して、スリット幅 b 及び渦動管の断面積 A が一定として、渦動管内流量 Q について式を整理すると、次の微分方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{dQ}{dx} \left(\frac{d^2 Q}{dx^2} - \frac{2\beta b^2 C^2}{A^2} + \frac{U b^2 C^2}{A} \right) \\ - \frac{\lambda b^2 Q^2 C^2}{2RA^2} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)が渦動管の断面積が一定で、一様なスリット幅を有する渦動管内の流れの基礎方程式である。ここで、第一近似として、摩擦項を省略し、かつ沈砂池の流れの流速が小さいものと仮定すると、次式の近似式が得られる。

$$\frac{d^2 Q}{dx^2} - K^2 Q = 0 \quad (7)$$

$$\text{ここに、} K = \sqrt{2\beta} \frac{bC}{A} \quad (8)$$

式(7)を境界条件

$$\left. \begin{aligned} x = 0; Q = 0 \\ x = l_1; Q = Q_1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

のもとで解くと、次式の解を得る。

$$Q = \frac{\sinh(Kx)}{\sinh(Kl_1)} Q_1 \quad (10)$$

$$q = \frac{\cosh(Kx)}{\sinh(Kl_1)} KQ_1 \quad (11)$$

$$v = \frac{\cosh(Kx)}{\sinh(Kl_1)} \frac{KQ_1}{b} \quad (12)$$

$$V = \frac{\sinh(Kx)}{\sinh(Kl_1)} \frac{Q_1}{A} \quad (13)$$

$$H - \left(\frac{p}{w} + z \right) = \left\{ \frac{\cosh(Kx)}{\sinh(Kl_1)} \right\}^2 \frac{Q_1^2}{2gA^2} \quad (14)$$

ここに、 l_1 : スリット流入域から渦動管下流端までの距離、 Q_1 : 渦動管下流端の流量である。

(2) エネルギー方程式

渦動管内の流れの運動方程式をエネルギー方程式より誘導する。ここでも渦動管内の摩擦損失は(1)と同様に省略できるものとすれば、そのエネルギー方程式は簡単に次のように書ける。

$$\frac{\alpha Q^2}{2gA^2} + \left(\frac{p}{w} + z \right) = H \quad (15)$$

式(15)を x で微分し、(1)と同様な仮定及び操作をすると、 Q に関する方程式は、

$$\frac{d^2 Q}{dx^2} - K^2 Q = 0 \quad (16)$$

のようになり、スリット幅が一様でかつ渦動管の断面積が一定の場合の流量 Q に関する方程式は運動量方程式より導いた式と同形となる。しかし、式(16)の定数 K は式(8)とは若干異って次式のようなになる。

$$K = \sqrt{\alpha} \frac{bC}{A} \quad (17)$$

ここに、 α : エネルギー補正係数である。

このように、運動量及びエネルギー方程式から誘導される渦動管内の流量に関する式は両者とも一致するが、 $\alpha = \beta$ と仮定すれば、 K の値が運動量方程式から誘導したものと、エネルギー方程式から誘導したものでは $\sqrt{2}$ 倍だけ相違する。これらについてはあとで検討する。

3. 実験装置及び実験方法

(1) 実験装置

実験に用いた装置の全景が写真-1、2 に示されている。この装置の渦動管部分は、全長が200cm で、その直径Dは 2cmであり、また底面のスリット部分は、流れ方向に向かって右側に位置している。スリット幅bは、0.3、0.5、0.8cmの三段階に調節可能になっている。さらに渦動管に長さ60cm、直径 2cmの排砂管が接続されている。実験装置の概要は、図-2に示されており、実験に使用される水は、循環するようになっている。また、沈砂池の水位は後部の可動堰によって調節される。さらに、給水による水面及び水中の乱れはステラシートで除去され、渦動管内の流れに影響しないように工夫した。実験条件は、表-1、2 に示すとおりである。実験は、清水状態で通水する基礎実験と沈砂池に砂を敷きつめて行なう排砂実験の2種類に分かれている。基礎実験は、表-1、2 に示すように、スリット幅及び沈砂池の水位を変えて

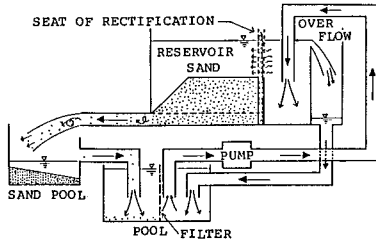
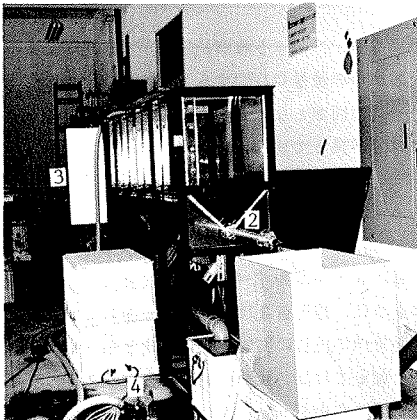


図-2 実験装置の概要

写真-1 実験装置（正面）

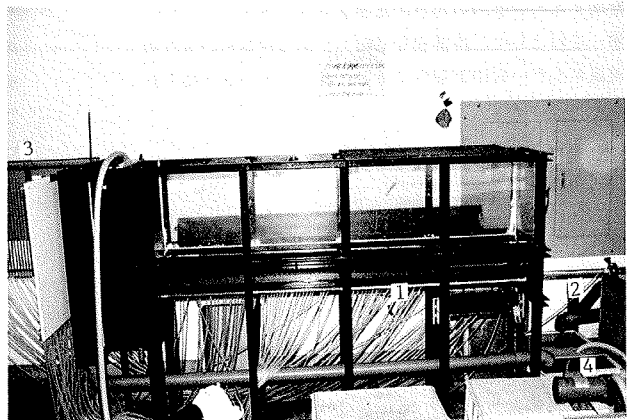


行われており、一方排砂実験は各スリット形状に対して、水深H=40cmの場合に対してのみ行われた。まず、表-1では、一様型スリット渦動管についてスリット幅bを0.3、0.5、0.8cmの三段階に変えた場合の実験条件が示されている。表-2では、離散型スリット渦動管の実験条件が示されており、この場合は、スリット幅b=0.3cm に対して開口比を1:3~1:25まで変化させた実験が実施された(図-3参照)。

(2) 実験方法

基礎実験の場合の測定項目は、流量、圧力分布及び渦動管内の平均流速である。渦動管内の圧力分布は、渦動管側部に 2cm間隔で直径 1.6mmの圧力孔を開け、それにビニール管を接続し水圧メータで測定された。また、渦動管内平均流速は、比重1の中立粒子を流水のスリット流入開始地点から渦動管内に投入し、その状況をビデオカメラで撮影して、単位時間内の管軸方向移動距離の測定より求められた。次に、沈砂池の排砂実験の場合についての実験方法を述べる。図-4に示すように、平均粒径 $d_m = 0.46\text{mm}$ の均一砂をスリット板から23cmの高さまで水平に敷きつめて沈砂池の堆砂形状を人工的に作った。次に、堆砂の下流端部分は、砂の水中安息角(約 30°)になるように整形した。排砂実験中の排砂濃度は排砂管より流出してくる土砂と水を採集することにより測定された。また、排砂実験中には、その排砂状況をビデオカメラで側面から撮影するとともに、沈砂池の水

写真-2 実験装置（側面）



1:渦動管 2:排砂管 3:圧力水頭メータ 4:循環用ポンプ

面から目視で排砂距離（一様型スリット渦動管の場合）やスリット孔の開放状況（離散型スリット渦動管の場合）についての観測を行なった。さらに、基礎実験に用いた水マノメータで実験開始から5分、10分、18分、30分及び最終状態の時刻に対する圧力分布を測定した。最

後に、10時間程度実験を継続して、排砂管から流砂が排出されないことを確認して、最終排砂距離 Δs_1 を測定した。

4. 実験結果とその考察

(1) 一様型スリット渦動管内の流れ

1) 圧力分布：各スリット幅に対する、渦動管内の圧力分布が三種類の沈砂池の水深について図-5に比較されている。例えば、図-5のExp.cの圧力分布を見ると、下流端から約28cmの所で圧力水頭が下降し始めているが、この圧力下降開始点は水深によってほとんど変化しない。しかし、スリット幅が大きくなるに従って、この圧

表-1 一様型スリット渦動管の実験条件

スリット形状	スリット幅		水深		実測流量 Q_1 (cm^3/sec)	流量係数 C_d
	Exp. No.	b (cm)	Exp. No.	H (cm)		
一様型スリット	a	0.8	1	30.0	496.8	0.65
			2	40.0	578.4	0.66
			3	49.7	645.8	0.66
	b	0.5	1	30.1	484.4	0.63
			2	39.9	561.6	0.64
			3	49.3	630.1	0.65
	c	0.3	1	29.8	475.5	0.63
			2	39.7	557.6	0.64
			3	48.6	612.6	0.63

表-2 離散型スリット渦動管の実験条件

離散型スリット形状	スリット幅		水深		実測流量 Q_1 (cm^3/sec)	流量係数 C_d
	Exp. No.	b (cm)	Exp. No.	H (cm)		
一様型スリット	A	0.3	1	29.8	481.1	0.63
			2	40.0	558.4	0.63
			3	49.9	625.9	0.64
			4	60.1	693.4	0.64
1:3	B	0.3	1	29.9	482.9	0.63
			2	40.1	561.8	0.64
			3	50.0	630.9	0.64
			4	60.1	690.8	0.64
1:5	C	0.3	1	30.1	480.0	0.63
			2	40.1	555.0	0.63
			3	50.1	622.0	0.63
			4	59.4	688.0	0.64
1:7	D	0.3	1	29.9	474.2	0.62
			2	40.0	547.8	0.62
			3	50.1	619.7	0.63
			4	59.9	678.1	0.63
1:10	E	0.3	1	30.2	468.0	0.61
			2	40.2	548.5	0.62
			3	49.5	602.0	0.62
			4	60.0	670.0	0.62
1:15	F	0.3	1	30.0	447.0	0.59
			2	40.0	525.7	0.60
			3	50.0	584.0	0.59
			4	59.8	642.0	0.60
1:20	G	0.3	1	30.0	425.0	0.56
			2	40.1	498.1	0.57
			3	50.2	555.0	0.56
			4	60.0	612.0	0.57
1:25	H	0.3	1	30.0	409.0	0.54
			2	40.1	459.6	0.52
			3	49.8	536.0	0.55
			4	59.8	589.0	0.55

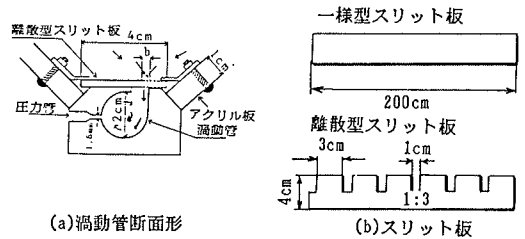


図-3 スリット構造と形状

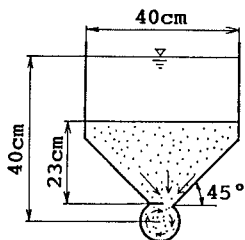
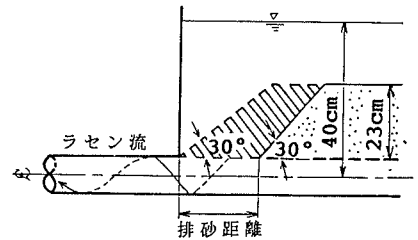


図-4 沈砂池の堆砂状況

力下降開始点は下流側に移っており、渦動管内の流れの領域を拡大するには、スリット幅を狭くする方法が有利であることがわかる。すなわち、スリット幅が狭くなるに従い、渦動管内で流れが生じる領域（有効渦動管長）が長くなる。

2) 流量係数：沈砂池から渦動管へ水が流入するときの式(4)で定義される流量係数Cは、式(4)をxに関して0から $l_{p/w}$ まで積分して、次式のように変形して求めた。

$$C = \frac{Q_1}{b \int_0^{l_{p/w}} \sqrt{2g \left\{ H - \left(\frac{p}{w} + z \right) \right\}} dx} \quad (18)$$

ここに、 $l_{p/w}$ ：圧力分布から求める有効渦動管長である。式(18)に前述した圧力分布の実測値を適用して求めた流量係数Cの値が図-6(A)に示されているが、ほぼ0.8~0.9の間にある。また、図-6(B)は、渦動管下流端の圧力が急下降して、その測定に若干の誤差が含まれているので、排砂管の圧力勾配が一定として、渦動管下流端の圧力補正した値を式(18)に適用した場合の流量係数C'を表している。なお、吉良ら及び荒木のデータも示しているが、CあるいはC'は0.8~0.9の間に

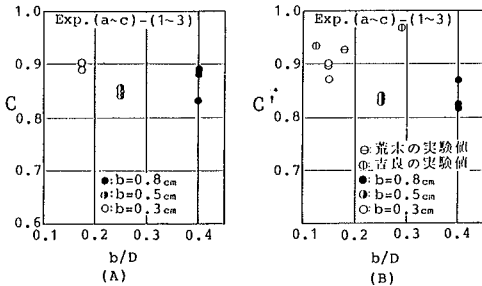


図-6 各スリット形状における流量係数

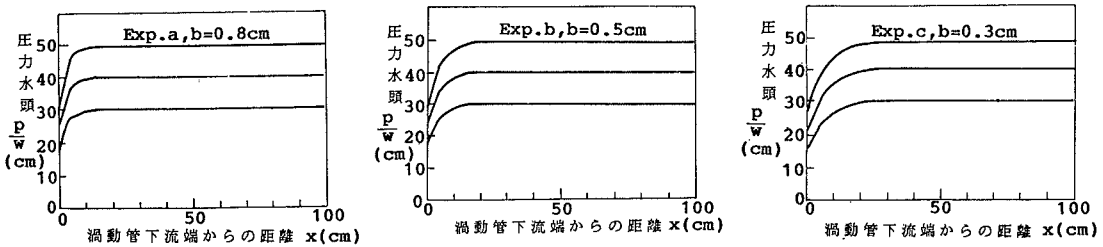


図-5 一様型スリット渦動管流れの圧力分布

あり、スリット幅や水深による変化はほとんど見られない。このように流量係数が決定されると、定数Kの値が決定されるので、前述の理論式の値が計算される。

3) 圧力分布及び平均流速の検討：図-7は式(14)で示される理論値と実験値を示したものである。ただし、 l_1 としては圧力分布より求めた $l_{p/w}$ を用いている。前述したように、定数Kの値は運動量方程式のそれとエネルギー方程式のそれとは $\sqrt{2}$ （ただし $\alpha = \beta = 1$ としている）だけ相違するので、その差が図に反映されているが、この実験では、エネルギー方程式より得られた圧力分布の理論曲線の方が実測値との適合性は良い。図-8は渦動管内の平均流速を中立粒子を投入することにより求めた値と理論曲線（式(13)）を比較したものであるが、エネルギー方程式より求めた理論曲線が実測値とよい対応を示しており、このような流れの解析にはエネルギー方程式の方が有効のように思われる。

4) 堆積土砂の排砂過程：スリット幅0.3cmの排砂実験の様子は、排砂管のバルブを開けると、渦動管内の土砂の流れは一挙に20cm付近まで達する。実験開始30秒後におけるラセン流の発生位置は下流端から約10cmの所である。この時、下流端から10~20cm区間では、渦動管の砂全体が動くのではなく、管内の上層部の砂だけが移動している。ラセン流が発達している領域では、堆砂面の前面から落ちてくる砂とラセン発生領域の上流側から流下してくる砂が入り混じって堆積することなく流下する。なお、沈砂池の底面は砂が自由落下するように、左右45°の傾斜角を有しているので、常時渦動管内には砂が集まるようになっている。また、スリット幅0.1cmの場合の排砂実験も行ったが、この場合には、平均粒径0.46mmの砂では、スリット部分では、ときどき閉塞を起した。

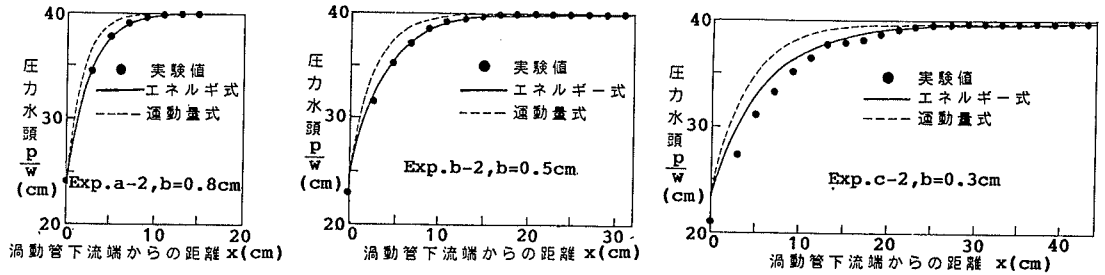


図-7 圧力分布における理論値と実験値の比較

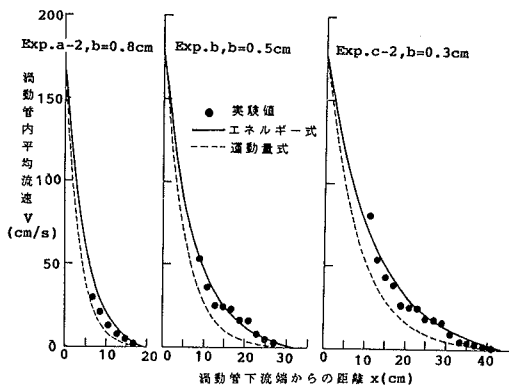


図-8 渦動管内平均流速における理論値と実験値の比較

(2) 離散型スリット渦動管内の流れ

一様型スリット渦動管では、排砂距離がどうしても短いので、渦動管の特性を十分に生かして排砂するにはあまり有効とは言えない。したがって、この欠点を是正するため、スリット部分を一部閉じ、適当な間隔で開口部を設けた離散型スリットを有する渦動管を考案した。スリット幅を 0.3cm にし、開口部分の長さを 1cm にして、閉鎖部分を開口部の何倍かしたスリットを離散型と呼び、例えば開口比 1 : 3 というのは開口部分の長さが 1cm、閉鎖部分の長さが 3cm のシリーズのスリットを意味している。

1) 圧力分布：図-9 は一様型及び離散型スリット渦動管内の圧力分布を示したものであるが、離散型のスリット開口比が小さくなるにつれて圧力降下域の領域は拡大し、広い範囲からスリットへ水が流入することが理解されよう。このことは、開口比が小さくなるにつれて排砂距離が伸びることが期待されることを示している。ただし開口比が 1 : 15 以下になると、2m の渦動管では上流

端の圧力水頭が沈砂池の水深までには到達しない。

以上の圧力分布の測定より、離散型のスリット渦動管は一様型のそれに比べて堆積土砂の排砂距離は長くなり、排砂に関して有利になると予想される。

2) 渦動管内の平均流速：図-10 は渦動管内の流速分布を示したものであり、スリット開口比の減少に伴って渦動管内の流速が現れる地点が上流域に移動することがわかる。しかしスリット開口比が 1 : 15 以下になると、渦動管下流端の流量も減少しており、本実験の渦動管長 2m では若干管長が短かすぎのではないかと思います。ただし、このような開口比における上流端付近の平均流速は非常に小さな値を示しており、土砂を流送しうるかどうかは疑問である。

3) 堆積土砂の排砂過程：図-11 は各スリット形状に対する排水比の時間的変化を示したものであるが、時間の経過と共に沈砂池に堆積した砂がスリットから流入して流送されるため、開口部が拡大され流量は増加する。ただし、図中の Q_t は砂が沈砂池に堆積した場合の時刻 t の排出流量であり、 Q_0 は清水の場合の排出流量を表している。この図から明らかなように、スリット開口比が小さくなるにつれて、流量が定常状態になるためには長時間を必要とし、それだけ堆積した砂が長期間にわたって流送されていることを示している。しかし、スリット開口比が 1 : 15 以下になると 1 時間経過しても定常状態の流量にはならず、それ以上のスリット開口比の流量性状とは異っている。

図-12 は排砂濃度の時間的変化を示しており、これによれば、離散型スリット渦動管は一様型のそれに比べて高濃度で砂を排砂しており、その継続期間も長く続いていることがわかる。さらに、スリット開口比が 1 : 10 までは、開口比の減少に伴って高濃度の排砂が長期間にわたって進む。しかし、スリット開口比が 1 : 15 以下になると、排砂開始初期において、排砂濃度が多少低く、

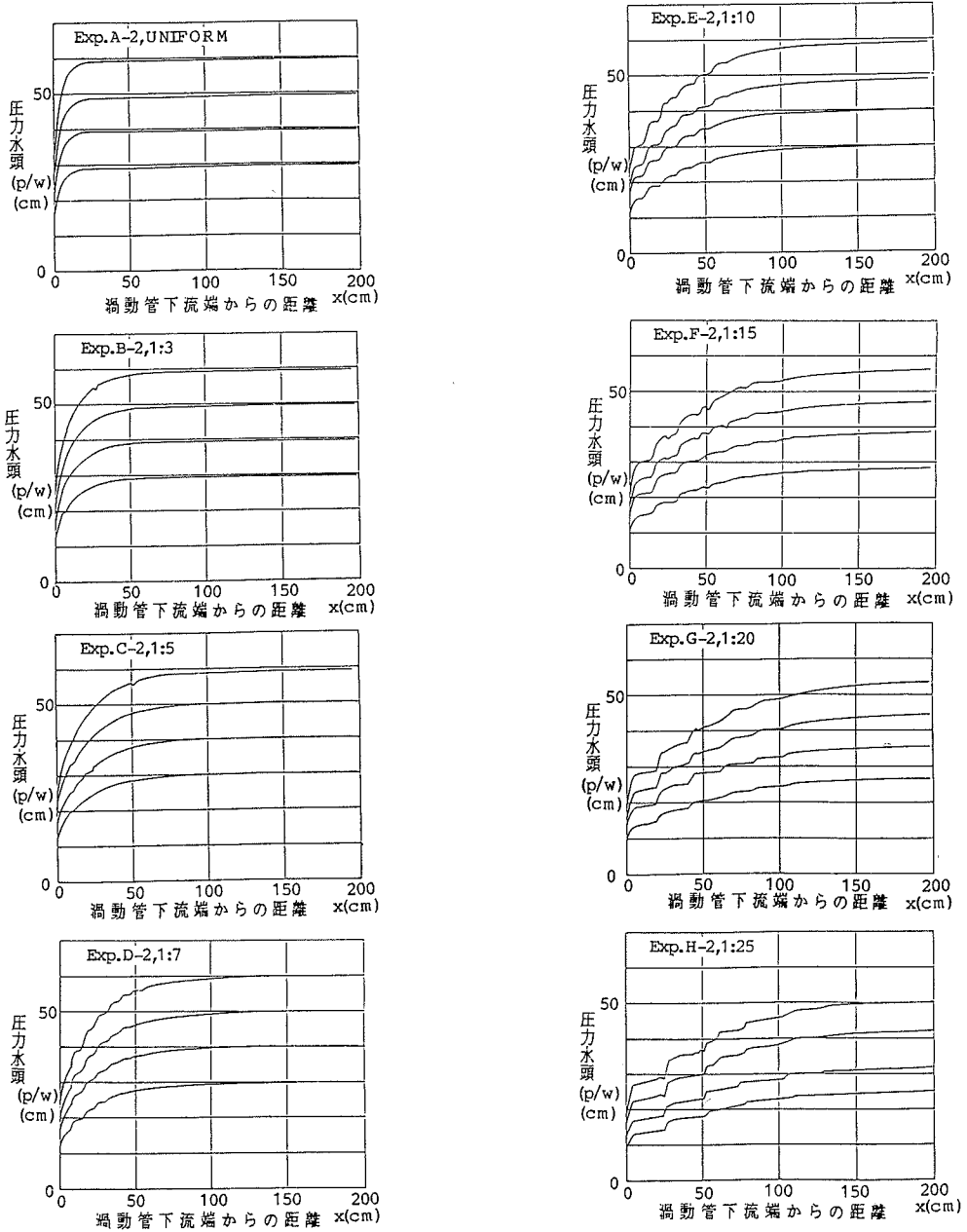


図-9 離散型スリット渦動管流れの圧力分布

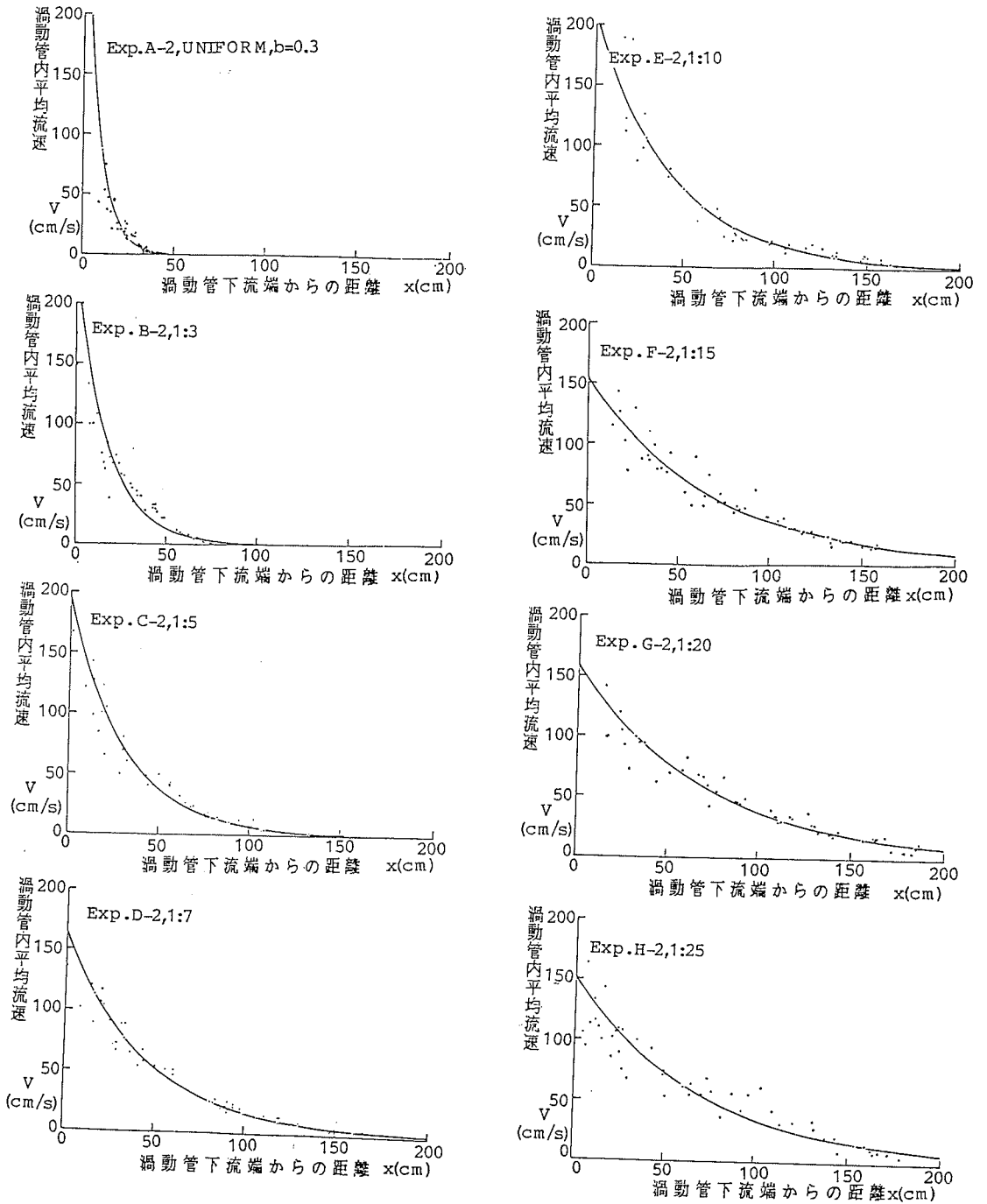


図-10 離散型スリット渦動管内の平均流速

その状態がある程度継続して、それから排砂濃度が低下するといった傾向を示しており、スリット開口比 1 : 10 あるいは 1 : 15 を境にして排砂性状が異っている。

図-13 は累積排砂量比（累積排砂量 ΣS_t と初期堆積量 S_0 の比）の時間的変化を示したものであるが、スリット開口比の減少に伴って、排砂経過時間が 1 時間以上になると、累積排砂量比は大きくなる。すなわち排砂経過時間が 1 時間のとき、スリット開口比が 1 : 10 の場合、一様型のそれに比べて排砂量が約 5 倍、1 : 15 以下の場合で一様型のそれに比べて排砂量が約 6 倍になることが知れる。このように離散型スリット渦動管は一様型のそれに比べて排砂領域が格段と増し、排砂効率がよくなることが理解されよう。

図-14 は排砂濃度と排水比の関係を表したものであり、排水比の増加に伴って排砂濃度は低下する。ま

た、例えば、排砂濃度 10% 時の排水比はスリット開口比が小さくなるにつれて減少し、効率的に堆積土砂を排出するには、スリット開口比を小さくすればよいことがわかる。ただし、スリット開口比が 1 : 20 と 1 : 25 とではあまり顕著な差が見られない。

図-15 は累積排砂量比と排水比の関係を表したものであるが、スリット開口比が減少するにつれて、排水比が一定の場合累積排砂量比は増加する。しかし、スリット開口比が 1 : 20 と 1 : 25 とでは顕著な差が見られないので、スリット開口比が 1 : 15 程度が離散型スリット渦動管の限界であるように思われる。

(3) 考察

一様型スリット渦動管と離散型スリット渦動管の流れ

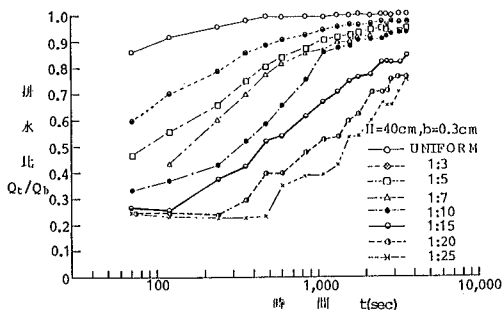


図-11 排水比の時間的変化

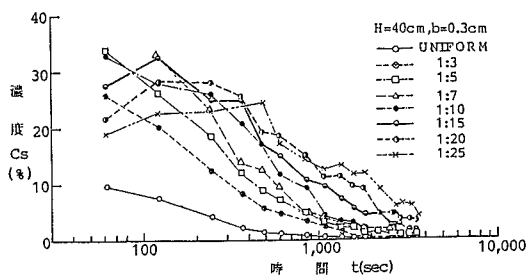


図-12 排砂濃度の時間的変化

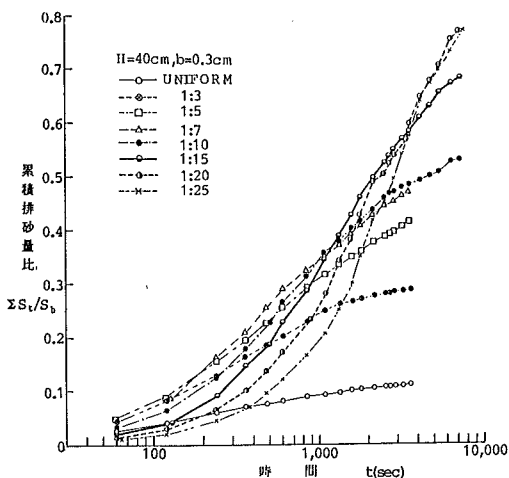


図-13 累積排砂量比の時間的変化

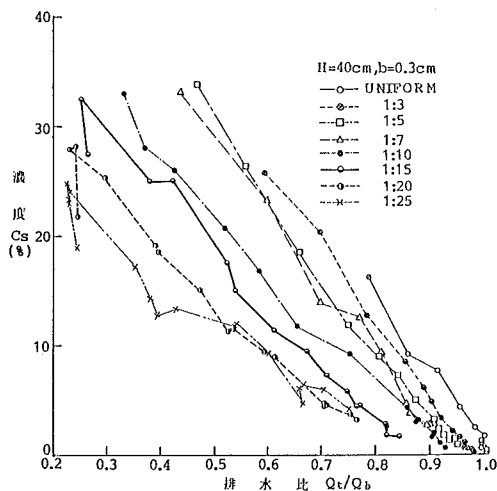


図-14 排砂濃度と排水比の関係

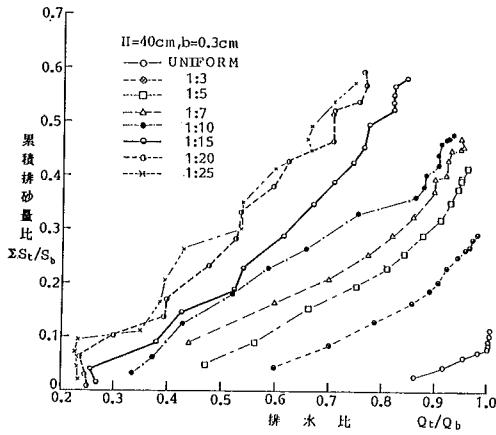


図-15 累積排砂量比と排水比の関係

の性状及び排砂特性について検討してきたが、ここで最も重要な点は、沈砂池の排砂可能範囲を拡張することができるかどうかである。吉良らが提示したように、従来の点排砂よりは線排砂の方が沈砂池の排砂領域は拡大する。しかしこの線排砂でも一様型スリット渦動管を用いる場合には、その排砂領域は沈砂池の下流端付近に限られる。これはスリットから渦動管へ流入した土砂はラセン流によって十分に流送されるが、スリットへ流入する水が渦動管の下流端付近の狭い範囲に限られることによる。したがって、出来るだけ長い区間からスリットへ水が入るように工夫したものが、離散型スリット渦動管である。

表-3は各スリット形状の渦動管の排砂距離（有効渦動

管長）を要約して示したものであり、これは、流れの特性値や排砂実験の結果より求められたものである。まず、一様型スリット渦動管では、スリット幅が大きくなるに伴って排砂距離は減少することがわかる。次にスリット幅を0.3cmにした離散型スリット渦動管の排砂距離を一様型のそれと比較すると、スリット開口比の減少に伴って、それは増加することが理解されよう。この排砂距離の求め方は種々の方法によっているが、排砂実験から得られた最終排砂距離と他の方法を比較すると圧力分布よりもめた排砂距離が実測の排砂距離とよく対応している。このように、スリット形状を工夫することにより、沈砂池排砂領域は格段と拡張され、その度合はスリット開口比の減少に伴って増加する。本実験ではスリット開口比が1:20の場合が最長の排砂距離を示しているが、このようなスリットの渦動管を沈砂池底部に設置すると、スリットの閉鎖部分に砂が多少残るので実際の渦動管の設置には開口比が1:15程度が望ましいように思われる（写真-3）。

4. 結論

沈砂池に堆積した土砂を排除する方法として、沈砂池底部に平行に設置された渦動管による線排砂方式について検討した結果次のことが明らかにされた。

(1) 沈砂池の一様型スリット渦動管流れの特性はエネルギー方程式より求められた近似解で表示されることが明らかにされた。

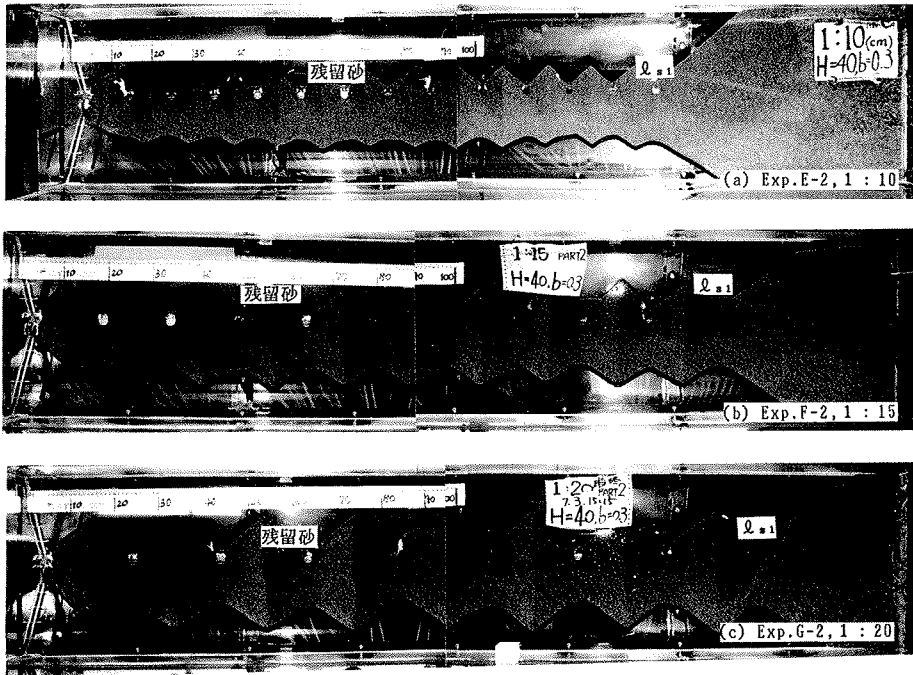
(2) 線排砂方式の排砂距離を長くするため離散型ス

表-3 渦動管の排砂距離（有効渦動管長）

	UNIFORM			DISCRETE						
	b=0.3cm	b=0.5cm	b=0.8cm	1:3	1:5	1:7	1:10	1:15	1:20	1:25
l_{s1}/D	16.3	10.0	7.0	34.5	42.5	52.5	72.0	80.5	84.5	78.5
l_{s2}/D	16.3	10.0	7.0	34.0	41.5	51.5	69.5	77.5	80.0	70.7
$l_p/w/D$	15.0	9.0	6.0	30.0	35.0	52.5	72.5	75.0	75.0	75.0
l_p/D	22.0	16.0	9.0	45.5	75.5	88.5	99.0	96.5	95.0	91.5
$l_{(Fr=0.2)}/D$	8.5	5.3	3.5	15.4	24.4	31.7	35.7	47.1	48.2	45.7
$l_{(Fr=0.1)}/D$	11.1	7.5	4.6	21.4	34.9	47.1	50.6	71.1	72.1	69.2
$l_{(C_s=5\%)/D}$	9.5	6.3	4.3	16.5	22.0	27.4	29.5	37.1	38.8	47.2

l_{s1} : 目視により測定した排砂実験の最終排砂距離 l_{s2} : 目視により測定した排砂実験の最終排砂距離より底部残留部を補正した最終排砂距離 l_p : 中立粒子の移動より測定した排砂距離 $l_{(Fr=0.2)}$: 管内フルード数が0.2になる地点までの渦動管下流端からの距離 $l_{(Fr=0.1)}$: 管内フルード数が0.1になる地点までの渦動管下流端からの距離 $l_{(C_s=5\%)}$: 管内土砂濃度が5%になった時刻の排砂距離 D: 渦動管直径

写真-3 排砂実験における最終状態



リット渦動管が採用され、スリット開口比を減少させることによって排砂距離が増加することを見出した。

(3) 最大の排砂距離はスリット開口比 1 : 20 で現れるようであるが、この場合にはスリット閉鎖区間で多少砂が残るので、実際の設計にあたってはスリット開口比が 1 : 15 程度が望ましい。

最後に本研究を遂行するにあたって、実験及び資料整理に多大の労をわずらわした宮本徹己君（山陰技術コンサルタント（株））及び須田俊幸君（豊国工業（株））に深く感謝します。

参考文献

- [1] 吉良八郎・石田陽博・畑武志；堆砂防除に関する土砂水理学的研究の研究，神戸大学農学部研究報告，12，1977, pp. 247～273.
- [2] 荒木正夫；Study on the hydraulics and function of slit conduit used for drain，九州大学工学部紀要，20(4), 1961, pp. 385-403.
- [3] Robinson, A.R.; Vortex tube sand trap, proc. of ASCE, Dec. 1960, IR4, pp. 1-34.
- [4] 芦田和男・高橋保・千田実；ダム堆砂の排除に関

する研究，1978，京都大学防災研究所年報，21-B2, 1978, pp. 441～453.

[5] Sanmuganathan, K.; Design of vortex tube silt extractors, Hydraulics Research Station wallingford England, 1976.