

II-269

親水路付渦動排砂管に関する実験的検討

東北電力（株）電力技術研究所 正員 熊谷 洋

1. まえがき

現在、水力発電所沈砂池において排砂効率向上のため従来から行われてきた排砂門による排砂作業に替わる手法として、排砂作業のために発電停止を必要としない親水路付渦動排砂管を利用した排砂方法を検討している。図2に示すような親水路付渦動排砂管は（今後このような渦動排砂管を親水路付渦動排砂管と呼ぶことにする）、渦動排砂管のスリット始端部上流側に曲がり角を有する親水路を取り付け、曲がり部分で発生するらせん流を利用してスリット管内に堆積している土砂を排除するものである。

本研究ではスリット管径100mm、親水路管径を65mmで現地に仮設置している排砂管に対して、1/2の水理模型を用いて親水路付渦動排砂管の基本的な水理特性についてのデータ収集および排砂試験を行い、そのデータから現地に設置する親水路付渦動排砂管の最適形状を考察する。

2. 基本方程式

今回、親水路付渦動排砂管に関する水理実験を行う前にあたって荒木の変化スリット管の基礎式を用いて親水路付渦動排砂管の形状検討を行った。荒木の変化スリット管の基礎式⁽¹⁾は(1)式で表わされる。

$$\frac{dQ}{dx} \frac{d^2Q}{dx^2} - \frac{1}{b} \frac{db}{dx} \left(\frac{dQ}{dx} \right)^2 - \frac{2\alpha b^2}{\eta A^2} Q \frac{dQ}{dx} - \frac{\lambda b^2}{2\eta R A^2} = 0 \quad \text{---(1)}$$

Q:管内流量 x:管軸下流方向軸 α :管内流速補正係数=1 η :スリット流入流速分布補正係数=2

b:スリット幅 A:管断面積 λ :摩擦抵抗係数 R:径深

今回、親水路直径がスリット部の直径よりも細いため損失水頭が等価となるような一様断面管水路の延長および損失係数を用いるため、損失水頭はフルドの相似則で置換した値を用いた。

この(1)式を解くことにより管内流量Q、単位幅あたりスリットからの流入量q、スリット始端部および親水路出口部分における平均流速が求まる。さらにその値を用いてスリット始端部および親水路出口部分における層流力を求める。層流力の式は(2)、限界層流力の式はシールズの限界層流力の式から(3)式のように表わされる。

$$\tau = \rho g R I \left(I = v^2 n^2 R^{\frac{4}{3}} \right) \quad \text{---(2)} \quad \frac{\tau_{*c}}{(s-r)gd} = \frac{U_*c}{sgd} = \phi \left(\frac{U_*c}{\nu} \right) \quad \text{---(3)}$$

これらの式からスリット始端部における層流力が限界層流力を上回っていれば管全体において土砂排除可能であるといえる。現地砂の比重2.232を用いた土砂粒径ごとの限界層流力および限界摩擦速度は表1のとおりである。

3. 最適形状の仮定

(1)~(3)式からスリット管径100mmに対して親水路管径65mmの場合、スリット長の違いによるスリット始端部の層流力、親水路出口部分の層流力および限界層流力を図1に示す。

このグラフからスリット部分管径に対して親水路管径が細いほど親水路出口部分の層流力は増加するがスリット始端部における層流力は減少する。またスリット長が長くなるほどスリット始端部の層流力および親水路出口部分の層流力は減少する。しかし、スリット始端部における層流力が $d=4\text{mm}$ の場合の限界層流力を下回っている場合でも親水路出口部分の層流力が限界層流力を大きく上回っていれば親水路出口部分からスリット始端部までの土砂を排砂する可能であると思われる、このグラフから最適渦動排砂形状をスリット前部管と後部管の長さの諸元を除いてスリット管径100mm、親水路管径65mmスリット長2m、スリット始端幅

表1 限界層流力と限界摩擦速度

土砂粒径 d (mm)	限界層流力 $\tau_{*c}(\text{kg/ms}^2)$
5	3.41
4	2.55
3	1.82
2	0.99
1	0.40

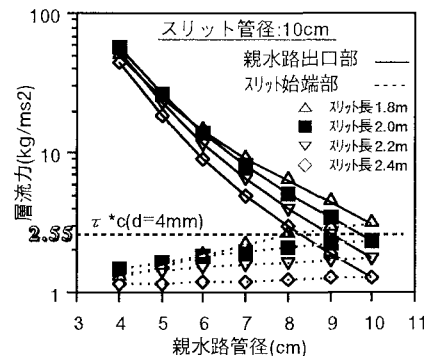


図1 現地スリット管におけるスリット長に対する限界層流力

表2 水理模型実験条件

	測定項目	親水路径(mm)	スリット長さ (m)	水位(m)	スリット上流部長さ (m)	スリット下流部長さ (m)	撮影ポイント	可視化手法
基本水理試験	親水路流量 全流量	23.6, 28.1, 36.1 42.1, 50	1.1, 2	1.25～ 1.35	1.039	0.73, 1.394 2.168, 3.714		
排砂試験	スリット始端部 排砂状況確認	23.6, 28.1, 36.1 42.1, 50	1.0	1.35	1.039	2.168	スリット始端 部親水路出口 部分	染料、パー ティクル
			1.2		0.176	1.709		

10mm, スリット終端幅5mmと仮定した。

4. 水理実験および実験結果

水理模型試験は縮尺1/2の水理模型を用いて表1に示す条件で行った。スリット管概略図を図2, 水理模型を図3に示す。なお, 排砂試験で使用する土砂は2mmふるいを通したものをい用い, 渦動排砂管内部全体が砂でほぼ埋もれた状態で土砂の排砂の可否に関する試験を行い, その様子をビデオカメラを用いて排砂状況を記録した。表2に排砂が完全に行われたかどうかを○△×で示した。

図4には基本水理試験を行った結果で, スリット長1mの場合の全流量に対する親水路流量のグラフである。総流量はほぼ5(l/s)であるが親水路管径によって親水路からの流入量が3%から10%程度と3倍程度開きがある。現地に仮設置した親水路はこのグラフから全流量に対して7%程度の流量比があると思われる。

次に排砂試験を行った結果, スリット長1mの場合にはスリット始端部からは親水路の管径に関わらず排砂可能であったが, 親水路からスリット前部管の排砂はφ28.1mmの場合のみ排砂可能であった。また, スリット長を1.2mとした場合, どの親水路管径に対して完全に土砂を排砂することはできなかった。親水路管径28.1mmの場合, 親水路出口部分の層流力とスリット始端部の層流力のバランスがとれていたため渦動排砂管全体にわたって土砂を排砂できたと思われる。スリット長1.2mの場合, スリット長を長くしたため親水路からの流入量が減少し, スリット始端部手前より上流側で層流力が不足したため渦動排砂管全体にわたり排砂できないと思われる。

5. あとがき

今回は現地に据え付ける渦動排砂管の最適形状検討のため限られた実験ケースであったが, 模型実験からスリット長1m, スリット始端部5mm, スリット終端部2.5mm, 親水路管径28.1mmが最適であるとの結論を得た。したがって現地に仮設置した渦動排砂管は親水路管径が65mmであるため最適親水路管径よりやや太いが渦動排砂管全体で排砂可能であると思われる。親水路付渦動排砂管は管内の流況に関して未解明な部分が多いため今後数値シミュレーションで流況解析を行う予定である。

参考文献

1) 荒木正夫：変化するスリット管の水理と一様スリット管の実験について, 土木学会論文集第38号

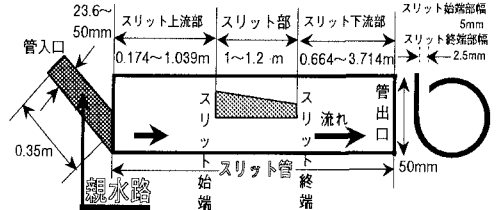


図2 親水路付渦動排砂管概略図（水理模型）

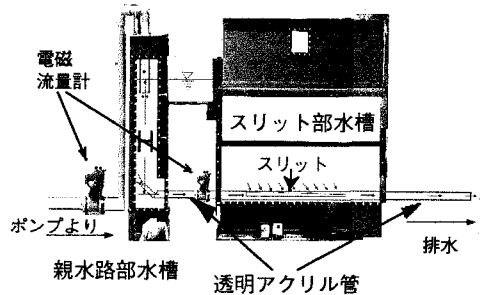


図3 水理模型概略図

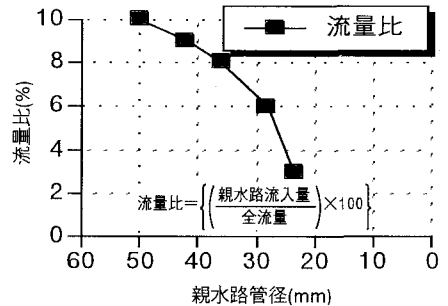


図4 親水路管径に対する流量比

表3 排砂試験結果

スリット長		スリット長1m		スリット1.2m	
排砂状況		スリット始端部	親水路	スリット始端部	親水路
親水路管径 (mm)	23.6	○	×	△(始端部より20cm程砂排砂せず)	×
	28.1	○	○	△(始端部より10cm程砂排砂せず)	×
	36.1	○	△	△(始端部より10cm程砂排砂せず)	×
	42.1	○	△	△(始端部より10cm程砂排砂せず)	×
	50	○	△	△(始端部より10cm程砂排砂せず)	×