

シート排砂方式に関する排砂現象の把握

石川島播磨重工業(株)	正会員	○久保 康夫
石川島播磨重工業(株)		西村 敬一
独立行政法人土木研究所	正会員	櫻井 寿之
独立行政法人土木研究所	正会員	柏井 条介

1. はじめに： 近年様々な貯水池で堆砂対策が計画され実施されている．対象土砂量が数十万 m^3 /年といった大きな場合は，土砂フラッシングや土砂バイパスといった設備が採用されているが，数万 m^3 /年程度の場合は，貯水池運用や経済性などの問題から適用は難しいと考えられる．本報告では，これらの年堆砂量は比較的小さいが，既に堆砂が進行した既設ダムにおける堆砂対策の新しい手法として考案したシート排砂方式について，水理模型実験により得られた基礎的現象の知見を報告する．本方式は水底部の堆砂面上に設置することが特徴であり，①貯水池運用の変更が不要，②放流量に対する供給土砂量の制御精度が高い，③設備規模が小さく経済的であることを条件として開発を実施している．

2. 実験概要： 実験設備の全体図を図-1 に，排砂路の模型形状を図-2 に示す．ダム堆砂を想定して水槽内に高さ 800mm となるまで一様粒径の珪砂（平均粒径 0.3mm）を水中下で沈降させ整地した．実験水槽へは給水管より一定量を給水し，刃形堰より横越流させながら水槽内水位を連続的に計測した．排砂路内の流量は水槽内水位の変化量より間接的に把握することとした．また調節ゲートの開度を変更することにより排砂路内の流量を調節可能とし，実験開始時は開閉ゲートを瞬時に全開することにより所定の開度を得ている．流砂量は定期的の下流にて網で直接捕捉することにより計測し，総排砂量は沈砂池堆積量で概略を把握した．排砂路模型は塩化ビニル管（内径 101.6mm）の下部に 120° の切欠きを設け（図-2 の網かけ範囲），流入口を上向きとするため同様に切り欠いたエルボ管を先端に設置した．また上流と下流（間隔約 1.0m）の上部と側部にピエゾを設置し（図-2 左下），排砂中の圧力勾配を把握した．側部シートは当初長方形の単純形状にて実験したが，排砂進行時に堆砂面への追従がスムーズとなるように，図-2 のような台形状を採用した．シート形状についてはシート下部の動水勾配などを考慮し最適形状を検討中である．また水槽内でのシートの安定を図るため周囲にチェーン等を設置している．

3. 実験結果：

3.1 シート下部のパイピング

側部シートの水密効果を確認するため，シート長と内外水位差の影響を抽出模型実験にて確認したところ，動水勾配が 0.7 程度となるときシート下部に大きな水流が発生しパイピングが確認された．排砂路側部でパイピングが生じると先端からの安定した排砂が不可能となるため，流水によるおおよその圧力低下を考慮しシート規模を設定しパイピングを避けることとした．実験ケースは現状の実験設備にて安定した排砂状態を得るため流速 1.0m/s 近傍の 4 ケースとした．

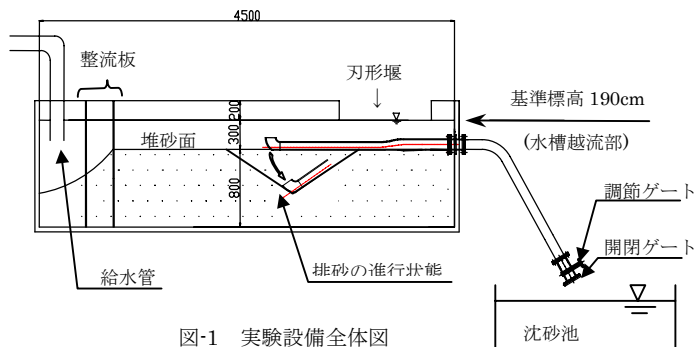


図-1 実験設備全体図

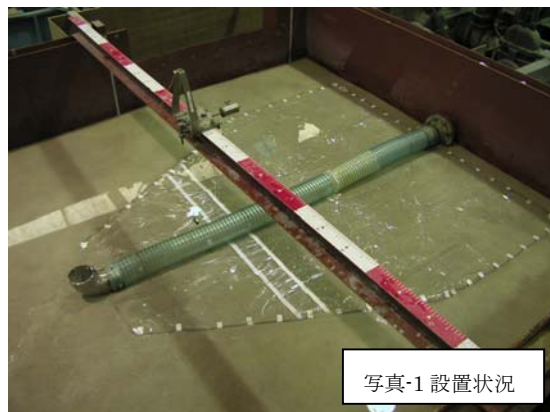


写真-1 設置状況

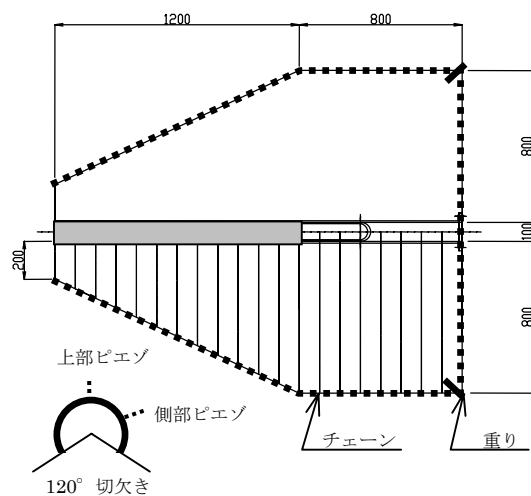


図-2 排砂路全体図

キーワード：貯水池，堆砂，シート排砂方式，土砂輸送，パイピング

連絡先〒135-8731 東京都江東区豊洲 2-1-1 石川島播磨重工業(株) 鉄構事業部鉄構設計部 TEL03-3534-3177

表-1 実験結果の概要

ケース	ゲート 開度 (%)	平均流量 (L/sec)	平均流速 (m/sec)	平均流砂量 (L/min)	体積濃度 (%)	実験時間 (min)	総排砂量 (m ³)
Case1	17.5	4.26	0.65	1.19	0.47	170	0.72
Case2	20.0	5.36	0.82	4.56	1.43	45	0.54
Case3	24.0	6.16	0.95	16.60	4.50	30	0.77
Case4	30.0	8.38	1.29	50.70	9.90	7	0.59

3.2 流量・流砂量・ピエゾ水頭の時間変化と堆砂形状

各ケースの実験結果について実験中の平均値を表-1 に示す。また実験結果として図-3 に Case2(開度 20%) の例を示す。Case4 を除いて各ケースとも計測中に大きな流量変化は見られなかった。流砂量は流速の遅い Case1, 2 が計測中に増加傾向にあり、同時に上下流のピエゾ水頭に差が生じるようであった。Case3 の流砂量は比較的安定しており、ピエゾ水頭も大きな変化はみられなかった。最も流速の大きい Case4 は計測途中に流量が増大しピエゾ水頭が大きく変化した後、流量が激減するなど不安定な状態であった。

排砂後の堆砂形状は、流速の遅い Case1, 2 が先端呑口部分に大きなすり鉢が形成され良好な結果となった。Case3 は排砂路切欠き部が全体的に水平に沈下しながら周辺にすり鉢が形成された。Case4 は先端よりも切欠き末端の接続部に大きなすり鉢が形成され、先端のすり鉢は小さなものとなり排砂効果に劣る結果となった。

Case3 は接続部の堆砂面の沈降が大きく、管の変形が多量となったため放流状態が不安定となったと考えられる。これはパイピングの影響が回避されなかったためと考えられる。

4. 排砂路の土砂輸送力：

流砂が存在する場合の流砂量と排砂路内部の抵抗の関係を図-4 に示す。無次元流砂量 q_{B*} は次式で求めた。

$$q_{B*} = \frac{Q_B}{B\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3}}$$

ここに、 Q_B ：流砂量、 B ：水路幅(切欠き幅)、 σ ：砂の密度、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 d ：砂の粒径を示す。流砂が存在する場合の壁面せん断抵抗力 τ が流水のせん断抵抗力 τ_w と砂礫の摩擦抵抗力 τ_e の和で表されるものとして、砂礫の無次元摩擦抵抗力 τ_{e*} を次式で求めた。

$$\tau_{e*} = \tau_e / \{(\sigma/\rho-1)\rho g d\}, \quad \tau_e = \tau - \tau_w$$

$$\tau = \rho g R I = \rho g R \frac{\Delta h}{L}, \quad \tau_w = \rho g R I_w = \rho g R \frac{\Delta h_w}{L}$$

ここに、 R ：水路の径深、 L ：上下流のピエゾ間隔、 Δh , Δh_w ：それぞれ排砂時および固定床にして通水した場合の上下流のピエゾ

水頭差を示す。図-4 より多少のばらつきはあるものの高い相関がみとめられ、今回開発したシート排砂方式において砂質土の排砂に関しては所要の流砂量を満足する水理設計が可能と考えられる。

5. おわりに： 平均粒径 0.3mm の細砂について排砂現象の把握を実施した結果、条件によっては不安定な排砂状況となる場合もあるが、基本的に排砂可能であることが確認され、流砂量と排砂路内部の抵抗に相関が認められることが分かった。現在、他の粒径での現象把握を実施中であり、適用範囲拡大へ向けて検討中である。

参考文献

- 1) 柏井条介：堆砂対策によるダム貯水池の持続的利用, 土木技術資料 47-1(2005), pp. 46-51
- 2) 柏井条介, 井上清敬：長方形開水路の掃流砂輸送特性, ダム工学, Vol. 12, No. 4(2002), pp. 256-267

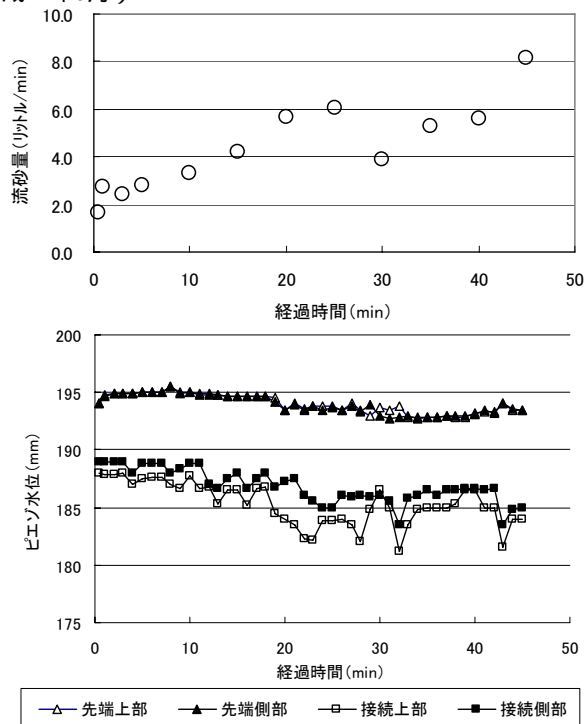


図-3 実験結果 Case2(開度 20%)

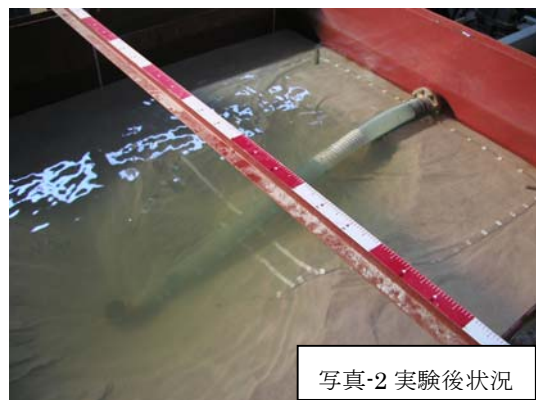


写真-2 実験後状況

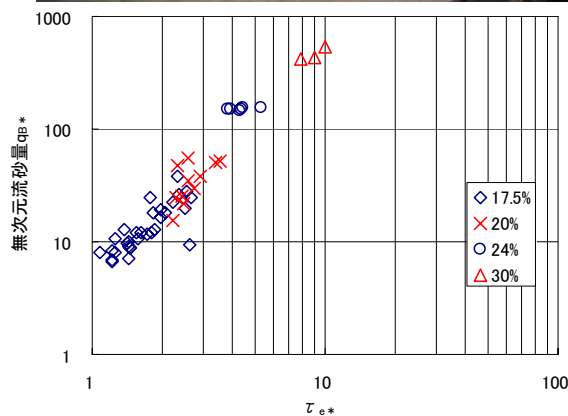


図-4 排砂量と排砂路内部の抵抗の関係