

石川島播磨重工業(株)

正員 古城一郎

建設省土木研究所

正員 高須修二

1. はじめに 貯水池内の堆砂対策の1つとして排砂設備を設置し、流水のエネルギーを利用してダム堤体下流へ土砂を流下させる方法がある。排砂設備には堤体に内蔵するタイプとバイパストンネルを利用するタイプがあるが、これらの設備の一部である排砂路は砂レキによる摩耗が問題となる。本報は桟を底面に敷並べ、排砂路底面に静止した砂レキを残すことにより、摩耗から保護するという方法を提案するものである。この方法は砂レキ自身により摩耗を防ぐという意味から、セルフライニングと呼ばれている。

2. セルフライニングの機構 セルフライニング排砂路では砂レキを流下させることと、ライニングに必要な砂レキを残留させることの2点を共立させる必要がある。桟が堆砂を促す働きは流量に対し流砂量が少ない時に発揮され、1つは図1に示す桟の後流によるものであり、1つは桟の底面抵抗による流速の低下によるものである。流砂量が少なくなると、やがて底面が露出するが、その限界状態を渴砂限界と呼ぶ。一方、流砂量が多くなると桟と桟の間に砂が堆積していき、河床勾配が変化しない範囲で最大に砂が流れる状態は、桟の全幅にわたって堆砂するかしないかの状態であるが、これを満砂限界と呼ぶ。



図1. 桟の後流

3. 実験方法 実験装置を図2に示す。水路、桟はアクリル製で、桟は正方形断面(高さ $hg=1\text{cm}$ 、 $2\text{cm}$ )及び直角二等辺三角形断面(高さ $2\text{cm}$ )の3種類とし、その取付間隔 $S$ は高さの5、10、20倍と変化させた。使用した砂は $1.0\sim1.5\text{mm}$ で粒径をそろえた $dm=1.1\text{mm}$ 及び $2.0\sim2.5\text{mm}$ で粒径をそろえた $dm=2.2\text{mm}$ の川砂とした。流量は $6$ 、 $10$ 、 $14$ 、 $18\ell/\text{s}$ とした。実験方法は、まず流量を一定に保ち、給砂量をコントロールすることによって渴砂限界、満砂限界の各状態を作り、安定したところで水深、流砂量を測定した。なお水深は、桟真上及び桟と桟の真中の位置で測った。本実験は側壁の影響を除去する方法として、足立が提案する断面分割法を用いた。この方法により、水深から底面に関する摩擦速度 $U_{*1}$ 、径深 $R_1$ が求まり、無次元掃流力 $\tau_{*1}$ は

$$\tau_{*1} = \frac{R_1 I}{(\alpha/\rho - 1)d} = \frac{U_{*1}^2}{(\alpha/\rho - 1)gd} \quad \cdots (1)$$

で計算される。

#### 4. 実験結果

(1)満砂限界時 満砂限界時の流砂量は一般の平滑河床におけるそれとほとんど差異がないと考えられ、無次元量を図3にて芦田・高橋・水山の式と比較した。

$$\Phi = \frac{qB}{\sqrt{(\alpha/\rho - 1)gd^3}} = 12U_{*1}^{1.5} \left(1 - \alpha \frac{T_{*c}}{T_{*e}}\right) \left(1 - \alpha \sqrt{\frac{T_{*c}}{T_{*e}}}\right) \quad \cdots (2)$$

$\tau_{*1}$ が大きい方はよく一致しているが、 $\tau_{*1}$ が小さい方はやや実験値の方が下回っている。桟が完全に隠れた時の移動床時の河床形状は、 $i=1/50$ の時、平滑で、 $i=1/100$ の時、砂堆と平滑の遷移河床であった。 $i=1/100$ の満砂状態は堆砂面に若干の山谷が生じたがこれはその影響であり、その結果、(2)式より流砂量が下回わったものと考えられる。

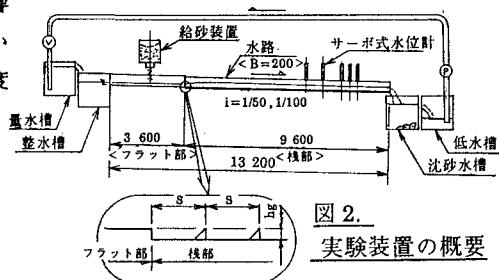


図2. 実験装置の概要

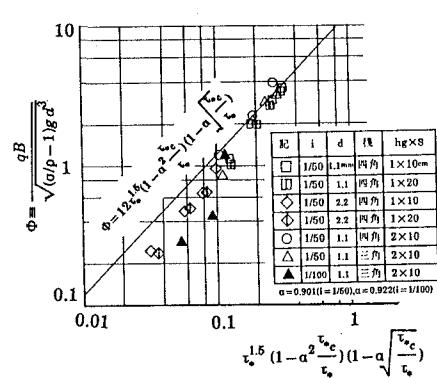


図3. 満砂限界時の流砂量

逆に、移動床時の河床形状が平滑形でない水理条件でも、かなり平滑な底面状態が得られるということもできる。

(2)渴砂限界時 渴砂限界時の流況は図4のパターンに区別でき、流況1、2、3の順に安定性が悪くなり、流況3はセルフライニングできない状況を示す。状況説明を容易にするため、 $hg=2\text{cm}$ の場合に限って説明すると、流況1及び1'は $S=10\text{cm}$ で $i=1/50$ 、 $1/100$ の時、流況2は $S=20\text{cm}$ で $i=1/50$ の時、流況3は $S=40\text{cm}$ の時及び $S=20\text{cm}$ で $i=1/100$ の時であった。流況2は $S/hg=10$ で移動床時の河床形状が平滑形の場合に限り現れるようである。 $S/hg=5$ の時に安定性がよいのは、図5に示す段落ちにおける流線の再付着点までの距離に関連づけて考えられ、本実験のように高レイノルズ数( $5 \sim 8 \times 10^4$ )の領域では、再付着点までの距離はおよそ落差の5倍になると考えられている。流況1と1'の相違点は図6に示すような棧の形状の違いによるもので、 $S/hg=5$ の時に顕著に表われ、四角棧は棧上流側の渦のために流砂量を多くしないとセルフライニングされない。また、三角棧は渴砂限界以下の時も砂の動きが小さく、三角棧の方が優れている。

底面抵抗を、

$$\tau_0 = \tau_0' + \tau_0'' \quad (\text{ここに } \tau_0: \text{底面の全抵抗} = \rho g R_1 I, \tau_0': \text{砂面摩擦抵抗}, \tau_0'': \text{形状抵抗})$$

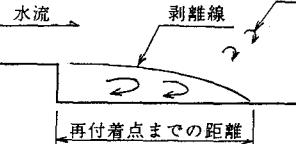


図5. 段落ち部の流況

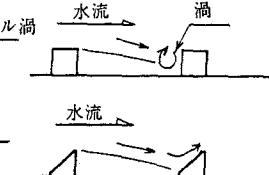


図6. 棚上流側の渦

と分けられるものとすると、 $\tau_0'$ は $\tau_{0e}$ (有効掃流力)と等しいと考えられる。流況3以外のケースについて、平滑形の場合に得られた、芦田・高橋・水山の式を用い、流砂量から無次元有効掃流力 $\tau_{*e}$ を逆算し、縦軸に $\tau_{*e}/\tau_0''$ 、横軸に水深/粒径をとると図7が得られる。これによると、流況1となる三角棧で $S/hg=5$ の時のみ $\tau_{*e}/\tau_0''$ が0.1以下となり、その他の場合は0.5付近である。図8は流砂量を独立変数にとり、 $\tau_0''$ を従属変数にとったものの1例を示したものである。流砂量の変化により、 $\tau_0''$ の中にしめる $\tau_{*e}$ の割合が変化していくのが表わされており、三角棧で $S/hg=5$ の場合は、セルフライニングされる流砂量の範囲が非常に広いことがわかる。

5.まとめ 三角棧で間隔が高さの5倍の時、セルフライニングの排砂路としての実現性が認められた。今回、あまり言及できなかった棧の高さについて、 $S/hg=5 \sim 10$ の中間ケース及び混合砂についての3点は今後の課題である。

参考文献 1)足立:長方形断面水路の側壁効果に関する研究、土木学会論文集 81号、2)足立:人工粗度の実験的研究、土木学会論文集 104号、3)芦田・高橋・水山:山地河川の掃流砂量に関する研究、新砂防 107号、4)祢津・中川・天野:開水路段落ちにおける剥離流の乱流構造に関する研究、水理講演会論文集 30回、5)岸・黒木:移動床流における河床形状と流体抵抗(I)、北大工学部研究報告 1972

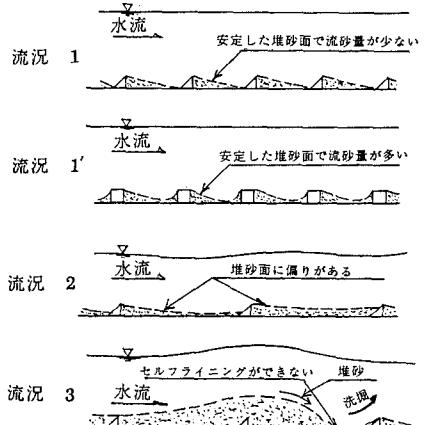


図4. 渴砂限界時の流況

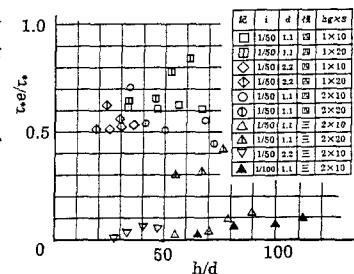
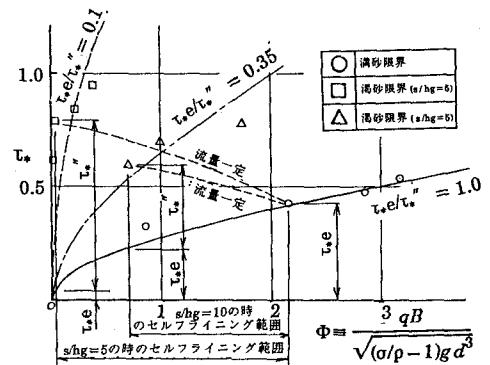


図7. 有効掃流力比

図8. 全抵抗の分割 ( $i=1/50, d=0.11\text{cm}$ )