

立命館大学理工学部 正会員 大同 淳之

立命館大学大学院 学生員 橋本 健

1. はしがき

貯水池の堆砂を排除する方法について種々の提案がなされているが、漏動管等の方法は、ダム築造前に設備しておく必要があり、既設でかつすでに埋没が進んでいるダムについては適用できない。既設のダムでは、設けられていながら、あまり利用されていない排砂門を活用する以外はない。排砂門が活用されない理由として、排砂門前面の堆砂がすでに固結している、排砂中のゲートに土砂が流入してゲートがしまらない心配、あるいは、排砂しても下流側の貯水池に土砂が入るなどの理由で十分に生かされていないようである。

排砂門が操作中、砂の流入でしまらなくなることに對しては、副ゲートを取り付け、主ゲートとの間に水を注水して土砂を排除する方法が考えられる。一方、排砂門から排除した土砂は排砂管によって適当な場所に土砂をみちびくことが要求される。排砂管による問題は、土砂の流動による管の摩耗と閉塞防止である。閉塞条件については種々の研究があるが、貯水池から自由に土砂が流入してくる場合は、土砂量の制御は困難で、閉塞することもあり得るとして対策を講じる必要がある。本研究は、模型実験によって、貯水池排砂口より上部に土砂が堆積している場合について、排砂口より自然に土砂を流入させ、それを水平管で排出するとき、貯水池内の土砂の排出範囲、管の閉塞条件および閉塞を回復させるに必要な圧力について考察した。

2. 実験の方法

実験は、1)ダムを想定したAの水槽に砂を詰める。このとき、管内、両水槽内は水で満たしておく。2)ゲートをあけ、砂が管内に流入し、堆積する状況を観察し、圧力分布を調べた。3)管内で閉塞した砂に対して、槽からの水の流入により圧力を加え、閉塞解除に対する効果を調べる。という順序で行なった。(図1)

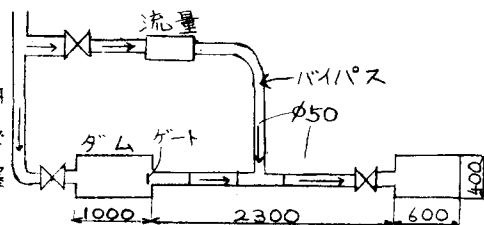


図1, 実験装置の概要

3. 点排出による可能な排出範囲

排砂管が正常に作動したとき、排出可能な範囲は、排出管の管径に比して管径までの水深が大きいとき、排砂管からはかって堆積土砂の水中安息角より急なこう配の範囲、水深が小さく流れが生じているときには、斜面におかれた水が流れを受けてなお安定なこう配である。

4. 閉塞された管を再流動させるために必要な圧力

4-1. ゲートをあけると砂が管内にくさび状に押込むように流入し、その下層部は徐々に堆積する。一方、上層部は流動層として下層部の堆積長の下流側まで移動し、そこで堆積する。このようにして堆積長が長くなるとくにつれて損失水頭が増加するため上層部の流動層厚が減少し、最終的には、ダムからある長さまで管内全面閉塞が起こる。

4-2. 閉塞時における力の釣合い

土砂によって管が全面的に閉塞したとき、閉塞区間の単位距離あたりの力の釣合いは次のようになる。

$$\text{全面閉塞のとき: } \frac{\pi D^2}{4} (p_1 - p_2) = -C_v \sigma_g \sin \frac{\pi D^2}{4} - (1 - C_v) p_g \sin \frac{\pi D^2}{4} + \tau_c \pi D - p_g h_f \quad \text{--- (1)}$$

$$\begin{aligned} \text{部分閉塞のとき: } \frac{\pi D^2}{4} (P_1 - P_2) = & [-C_v \sigma g \sin \theta \frac{\pi D^2}{4} - (1 - C_v) \rho g \sin \theta \frac{\pi D^2}{4} + \tau_0 \pi D \alpha - \rho g h_f] \beta \\ & + \tau_s \pi D (1 - \beta) + \tau_s \cdot D \sin \end{aligned} \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 h_f : 浸透圧による損失水頭

(1) 式の $P_1 - P_2$ を P_c とする。砂を動かすためには $P_c + \Delta P$ の値を与える必要がある。

4-3. h_k および τ_0 の値

管を鉛直におき、管内の砂の堆積長さが長くはないとき (1) 式は、土砂による壁面摩擦が無視されて、

$$P_c = [-\{0C + (1 - C)\rho\}g - \rho g h_f] \quad \text{--- (3)}$$

となり、 P_c の測定より h_f を求めることができる。 h_k は透水係数で表現できる。透水係数は予割に必ずしも良いパラメーターではないので、ここでは、浸透水頭を Fanning 式の形で表わす。

$$h_f = 4 f_k \frac{L}{4Re} \frac{Ue^2}{2g}, \quad h_f = f \frac{L}{4Re} \frac{Ue^2}{2g}, \quad \frac{f}{4} = f_k \quad \text{--- (4)}$$

ここに、動水半径 Re は次式で定義する。 $Re = \text{粒子層中の空隙体積} / \text{粒子層中の粒子表面積} = \frac{v\varepsilon / (1 - \varepsilon)}{S}$

ここに、 v , S は 1 個の体積および表面積である。 Ue は、粒子層中の流速で、 $Ue = U/\varepsilon$, ε は空隙率である。至 5 cm の管を用いて測定した f_k の値は、層流の領域に属し、 $f_k = 64 / (Re \cdot Ue/\nu)$ の関係に示された。

一方、 τ_0 を知るためには、管を水平におき、 h_f を測定すると、

$$P_c = [\tau_0 \pi D - \rho g h_f] \frac{4}{\pi D^2} \quad \text{--- (5)}$$

となり、さきの h_f を用いると、 τ_0 が測定できる。閉塞時においては、粒子は下方に堆積し、その重さは重力方向にのみ作用していると考え、 τ_0 は内周の下半分のみ作用すると考えられる。

水平管で自然に閉塞された場合は、全断面が均等に砂れきで満たされず、(2) 式に示した状態となる。従って (5) 式のように未知の項のみに表現することはできない。そのような場合、損失水頭 h は、頭部の堆積が、疎な頭部の部分を流れる水流による損失水頭 h_s 、浸透水頭 h_k 、および底面に堆積する砂れきによる抗力水頭 h_o の和であるとし、

$$h_f = h_s + h_k + h_o = f \frac{L}{D} \frac{Q_f^2}{2gA_f^2} + f_k \frac{L}{Re} \frac{Q_k^2}{2gA_k^2} + \tau_0 \cdot \frac{1}{2} \pi D \quad \text{--- (6)}$$

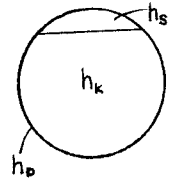


図2, 損失水頭の分類

として、流量 Q は、 $Q = Q_f + Q_k$ を満たすように配分することにした。ここに、 Q_k は浸透によって流下する流量で、(4) 式で定めた f_k を用いて、 $U_k = (2/f_k) U_{*k}$, $U_{*k}^2 = g \cdot Re \cdot I$, また、 h_s は通常のまさつ係数 f を用いて求めることにした。

4-4. 再流動化させるための圧力 $P_c + \Delta P$

一度閉塞した堆積を再流動化させるために必要な圧力 P_c は、

$$P_c = P_c + \Delta P \quad \text{--- (7)}$$

として表わすことができる。 ΔP は、 τ_0 については、4-3 で示した τ_0 はある程度ばらばらな値の平均値であろうから、少なくともその最大値をこえるまで効かないと予想され、 τ_0 とその最大値との差に相等するものが必要であり、浸透圧については、堆積している粒子を再配列しなおし、流れの中に分散させるものでなければならぬ。

閉塞した部分を開放するために、本実験では、バイパス水路より閉塞部分の上流側に圧力を付加することを試みた。この効果については、報告時に述べることにする。

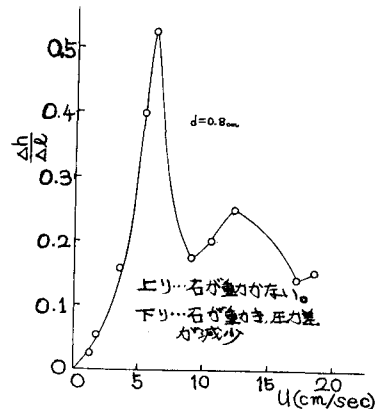


図3, 再流動化時の流速と圧力の関係