

排砂管における土砂閉塞の水理学的条件とその解除法に関する研究

立命館大学理工学部 正員 大同 淳之

立命館大学大学院 学生員 〇橋本 健

1. はしがき ダム堆砂の排除は貯水池機能を維持し、上・下流への影響を軽減するうえに重要である。貯水池における対策としては既設の排砂門の利用が考えられるが、ゲートを開けたときの土砂閉塞や排出範囲がダム近傍に限られているという短所がある。

本論文では、排砂門に排砂管を取付けたときの問題点を実験により確認し、その対策として、管内閉塞に対しバイパス管法を、排砂範囲拡大のためサイフォン式排砂法を、それぞれ提案した。

2. 排砂管法における問題点 (4)実験方法 図1に示すような管径 $D=5\text{cm}$ 、長さ $L_p=188\text{cm}$ の管を用い、種々の堆砂高 H_s で有効水頭 $h_e=34\text{cm}$ のもとで流動状況を観察し、管内圧力分布、堆砂形状の変化を測定した。

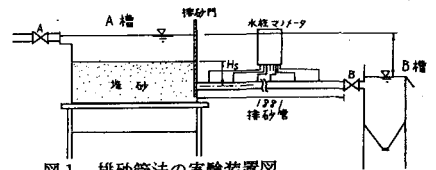


図1. 排砂管法の実験装置図

(2)土砂閉塞の状況と条件. (i) $d=0.1, 0.35, 0.76, 1.2\text{cm}$ ($\phi_b=0.02, 0.07, 0.15, 0.24$) の粒径の場合、砂れきが砂水混合柱となって栓流状態で流入し管にある長さの堆積ができるが、閉塞しないときは上部から各個流動の形で最終的には流出してしまう。一方、閉塞するときは栓流の下部からしだいに流速が遅くなり、それが上部に及んで閉塞に至る。この場合の閉塞条件は、管内流速 U 、砂れき濃度 C 、 H_s に影響される。 C からの限界としては、図3の損失水頭は一般に $dh/dx = (dh/dx)_0(1+C\phi)$ 、 $\phi = mF_0^2$ と表される。個々の砂れきが流送されるのに必要な限界有効水頭は限界掃流力より、 $\Delta h_e/\Delta x > (Kd/g)(S'/A)$ と表わされる。 S' 、 A' は流水部分の潤辺、断面積である。全水頭が与えられたときは限界損失水頭が決定し、閉塞しない限界濃度 C_0 が決まる。限界の C_0 は $C_0 = f(H_s/d, U_e/\omega_s)$ と表わされる。 C_0 を (H_s/d) で表わし、 $U_e = \sqrt{2g h_e}$ とし、両者の関係を実験的に調べると図3のように閉塞限界の (H_s/d) が示された。

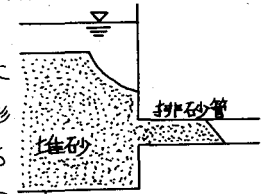


図2. 管内閉塞の状況

(ii) $d=1.8, 3.2\text{cm}$ ($\phi_b=0.36, 0.64$) の場合は H_s が多くなると図4のように全く管内に流入せず閉塞することが確認された。この場合の閉塞条件は入口における落差によって決まると考えられる。それは管入口までの堆積による損失水頭で評価でき、ダルシー則より、

$$h_f = \beta \frac{U_e}{\omega_s} H_s = \beta \frac{\sqrt{2g h_e}}{\omega_s} H_s \quad (1)$$

と表わせる。 β ；透水係数、 β ；堆積層中の浸透水の抜がりについての補正係数である。一方、砂れきが抜け出す限界は、図4のモデルにおいて砂れき P に作用する抗力と a ・ b 点に作用する摩擦力のつりあいから、

$$\frac{a}{2} C_0 U_e^2 K_d^2 = \alpha \{ (\alpha + 1) K_d^3 (1 - P) g \tan \theta \} \quad (2)$$

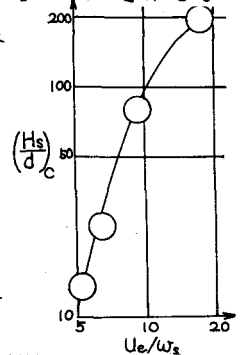
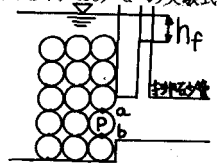
図3. 限界堆砂高 H_s/d の実験式

図4. 入口閉塞の状況

と表わせる。ここに、 ρ ；砂れきと水の比重、 C_0 ；抗力係数、 U_b ；限界流速、 K_1 、 K_2 ；面積、体積係数、 α ； P の上に載っている砂れきの個数、 θ ；内部摩擦角、 g ；重力加速度、 α ；れきの充填状態に関する補正係数である。れきに作用する力を表面で評価することは難しいのでれき背後の流速で表わすことにし、かつ、管の入口である管の平均流速で表現すると、 $U_m = U_b (K_1 + K_2 \frac{U_b}{gD})$ または、 $U_m = \sqrt{2gh_e}$ となる。そして、 $C_0, \alpha, \tan \theta = 1$ として(2)で求めた U_b を(1)式に代入して h_c を求め実測値 h_p と比較すると表1のようになり、実験で入口で閉塞したものは $h_c > h_p$ となっている。以上より、閉塞条件は砂れきが管内で流動するのに必要な有効落差の確保にあるといえる。

表1. 入口閉塞の条件の実験値との比較

$d_{(cm)}$	$h_{c(m)}$	$H_{c(m)}$	β	$h_{p(m)}$	$H_{p(m)}$
1.8	28	13.5	0.48	55.8	26.3
3.2	39	22.5	0.46	85.4	30.5

3. バイパス管によって管内閉塞を解除するのに必要な圧力 図2のような閉塞を貯水池側から解除することは難しいため、横からのバイパス管によって解除することを試みた。閉塞時の抵抗は砂れきによる管摩擦が主であると考えられるので管摩擦係数の測定を行った。実験では管内全断面にわたって種々の長さの堆積を作り、バイパス管により上流側圧力を増し、流動しはじめたときの圧力差を調べた。

全面閉塞時の壁面せん断力は図5のように円周の下半分に作用していると考えられ、 $\tau = 2\mu C \int_0^{\pi} \int_0^R \cos^2 \theta d\theta dl (r-p) g L = \mu C \frac{\pi D^2}{4} (r-p) g L$ で表わされる。ここに、 μ ；静止摩擦係数、 L ；堆積長である。よって、水平管における閉塞解除時のつりあい式は、断面に作用する圧力差が壁面せん断力 τ に等しいとして、

$$\frac{\pi D^2}{4} \Delta P = \mu C \frac{\pi D^2}{4} (r-p) g L \quad (3)$$

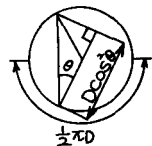


図5. 全面閉塞時の τ

と表わされる。この式から実験値 ΔP を用いて μ を求めると種々の L について μ はほぼ一定であり、その平均値 $\bar{\mu}$ は表2のようになる。参考のため、一個のれきの静止摩擦係数も示す。したがって、バイパス管の所要圧力は、この μ を求いて計算された(3)式に局所抵抗を加えたものであるといえる。ただし、 $d=0.35cm$ の場合は上層部から徐々に流動するため ΔP が全断面に対するものでなく μ の値が低くなっている。

表2. 全面閉塞解除時の μ

$d_{(cm)}$	$\bar{\mu}$	μ_k
0.35	0.38	0.61
0.76	0.77	0.66
1.2	0.60	0.55

4. 排砂範囲を増加させるためのサイフォン式排砂法の提案

排砂範囲を増加させるための方法として、図6に示すようなサイフォン作用による排砂法を提案する。実験では、落差 $dh=118cm$ の場合は $d=0.35, 1.2, 1.8cm$ ($\phi=0.07, 0.24, 0.36$) の砂れきを連続的に流入させ水槽内の堆砂をすくって排出することができたが、 $dh=30cm$ の場合は図7に示すように鉛直部を通過しても、ベンド入口で粒子流速が減じて後からの砂れきが追いつき損失水頭が増大するために閉塞に至った。このように損失水頭が増加する場合も考慮に入れて適切な落差を決定することが必要である。

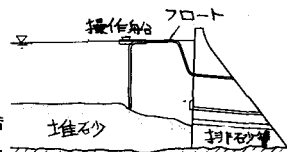


図6. サイフォン式排砂法の適用例

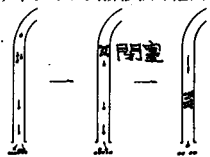


図7. ベンド部での閉塞状況

5. むすび (1)排砂法における土砂閉塞の状況を実験から説明し、その水理学的条件を示した。(2)バイパス管を用いて図2のような管内閉塞を解除するのに必要な圧力を提案した。(3)サイフォン式排砂法を提案し、その有効性と問題点について述べた。