

湖内輸送に用いる逆転ポンプの輸送能力

独立行政法人土木研究所 正会員 ○宮脇 千晴

独立行政法人土木研究所 正会員 箱石 憲昭

1. 目的

近年、ダム下流の河川環境保全やダム貯水池の持続的な利用の観点から、ダム下流河道に貯水池堆積土砂を還元する試みがなされてきている。これを踏まえて、ダムから放流する土砂量および質の高精度制御を実現するために、貯水池上流域に堆砂している土砂をダム直上流に湖内輸送し、洪水時に下流河川へ供給することが考えられている。常時に実施する湖内輸送システムには、比較的大きな粒径を対象とする掘削（浚渫）輸送システムと小さな粒径を対象とする流送システムに分けられるが、本論文では、このうち、比較的小さな粒径を対象とした流送システムにおいて、動力源として考えている逆転ポンプの基礎的な検討結果を取りまとめたものである。

2. 実験方法

ここで述べている逆転ポンプは、常時使用する利水放流設備の水流をポンプユニットの水車に引き込み、その水車の回転力を湖内輸送管に設置した水車に伝達させて、小さい粒径の低濃度の土砂の湖内輸送を行うものである。実験に用いた逆転ポンプは、図 - 1 に示すように汎用の陸上ポンプの電動機部分を撤去したポンプユニット 2 基をチェーンカップリングで連結させたものである。実験装置は、高水槽内の貯水位を給水側のポンプに配管して、同じ軸の排水ポンプを回転させるものである。実験は、高水槽の水位を一定にして、土砂を含まない水のみで給水量と排水量およびポンプ前後の圧力を、逆転ポンプ未使用時、逆転ポンプ通水時及び逆転ポンプ運用時の 3 ケースについて調査した。実験ケースを表 - 1 に示す。なお、予備検討において、この結合方法で排水流量が最大となる配管パターンを検討し、排水ポンプでの水の流れが通常のポンプ使用時と同じになるように接続したものである。

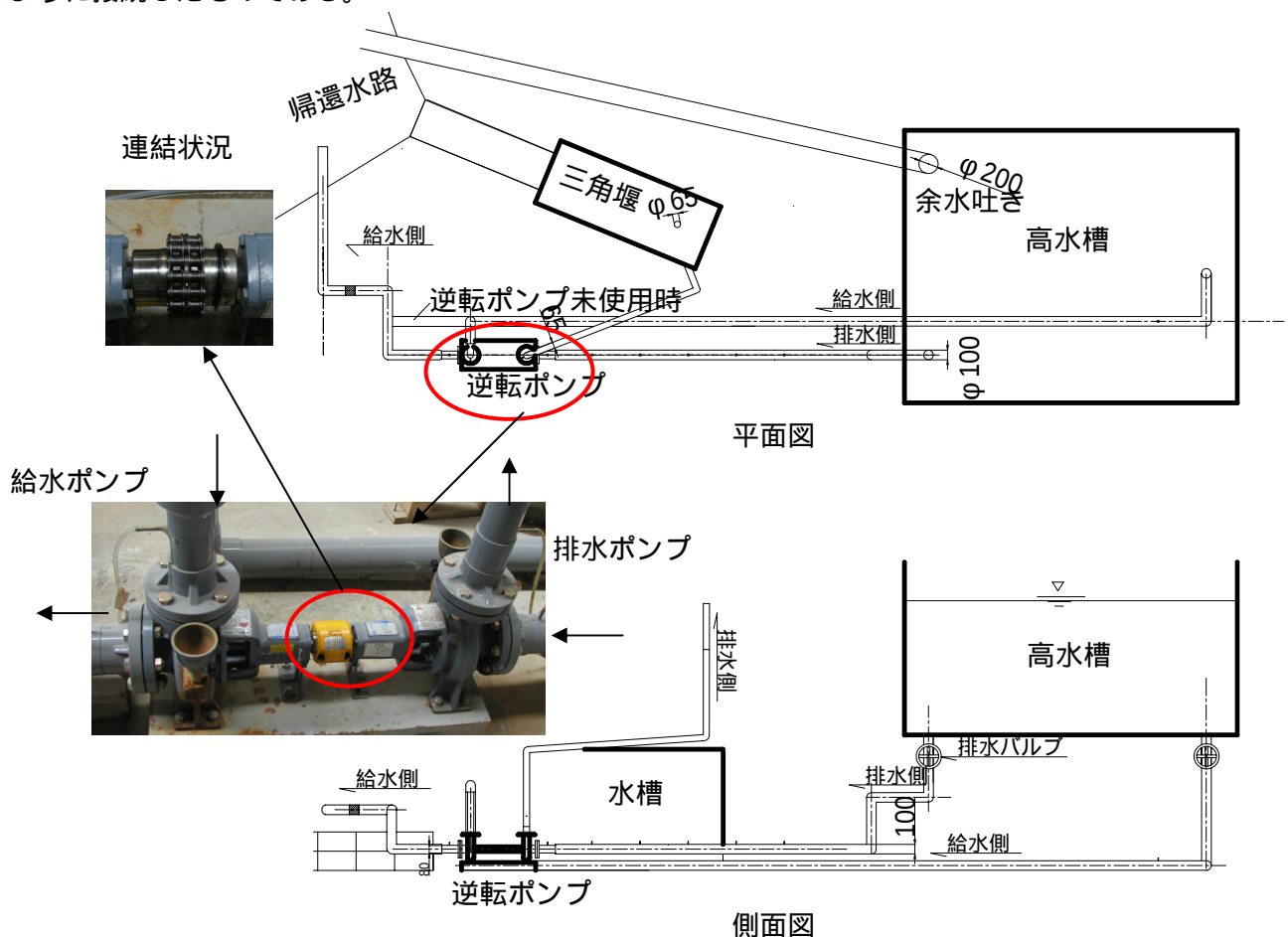


図 - 1 実験装置と逆転ポンプ

表—1 実験ケースと実験結果

	Case	貯水位	給水量	排水量	流量係数C	α	排水バルブ	逆転ポンプ
		H(m)	Qi (L/s)	Qo(L/s)	Qi / (A(2gH) ^{0.5})	1/C ² -1		
逆転ポンプ未使用時	1-1	1.90	23.0	0.0	0.48	3.3	-	×
	1-2	1.66	19.8	0.0	0.44	4.1		
	1-3	1.15	15.1	0.0	0.41	5.1		
逆転ポンプ通水時	2-1	1.87	6.3	0.0	0.13	56.1	全閉	○
	2-2	1.60	5.8	0.0	0.13	57.0		
	2-3	1.36	5.3	0.0	0.13	58.5		
逆転ポンプ運用時	3-1	1.85	6.3	5.2	0.13	55.5	全開	○
	3-2	1.59	5.7	4.8	0.13	58.1		
	3-3	1.35	4.9	4.5	0.12	67.0		

$$A = 0.007854 \text{ m}^2$$

3. 実験結果

次に管路流における放流量 Q 算定式を示す。

$$Q = Ag \cdot \sqrt{\frac{2gH}{fe \cdot \left(\frac{Ag}{Ae}\right) + \sum \left(\frac{2gn^2}{Ri^{1/3}} \cdot \frac{Li}{Ri}\right) \cdot \left(\frac{Ag}{Ai}\right)^2 + \sum (fb_1 i \cdot fb_2 i) \cdot \left(\frac{Ag}{Ai}\right)^2 + fg + 1}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、Q:流量(m³/s), Ag:出口面積(0.007845m²=Ae=Ai), g:重力加速度(9.8m/s²), H:作用水頭(m),

fe: 呑口損失係数, n: 粗度係数, Ri: 径深(=D/4, D=0.1m), Li: 管長(m), fb1, fb2: 曲がりの損失係数

式(1)のルート内の分母は、配管の損失を表すもので、これを $\alpha+1$ とし、利水放流設備の放流量 Q を $Q=CAg(2gH)^{0.5}$ とすれば、 $\alpha=1/C^2-1$ で計算され、出口の損失を除く配管の損失を表したものである。ここで、逆転ポンプ未使用時の α を試算すると、呑口損失 fe は、fe=0.5 (角端)、管内損失 f_L は管長 L=12.2m、管径 $\phi=0.1$ m、塩ビ管の粗度係数 n=0.01 であるから $f_L=2gn^2/Ri^{1/3} \cdot L/R$ (R=D/4, D=0.1m)=3.3 となる。90°エルボの4個の損失 0.4 を加えると、 $\alpha=4.2$ 程度となり、概ね逆転ポンプ未使用時実験結果と同じオーダーとなる。また、逆転ポンプ通水時から逆転ポンプ未使用時を差し引くと、この逆転ポンプの α が得られ、 $\alpha=53$ となる。次に、逆転ポンプ運用時から逆転ポンプ通水時を差し引くと、ややばらつきがあるが、平均的に 3.0 程度となり、これは、排水側配管の α とほぼ等しくなっている。なお、逆転ポンプ運用時の排水量は給水量の平均的に 0.85 倍程度となっている。上記の関係を用いて、湖内輸送量を試算する。今、仮に A ダムの利水放流設備の作用水頭 H=62m、利水放流管径 D=0.3m (A=0.07m²)、流量 0.8m³/s を逆転ポンプに配管して、湖内輸送管 ($\phi 0.3$ m、長さ L=1km) で粒径 d=0.5mm、濃度 0.5% の場合を試算する。利水放流設備の α は、 $C=Q/(A(2gH)^{0.5})=0.32$, $\alpha=8.5$ また、輸送管の水のみの損失は、呑口損失 fe は、fe=0.5 (角端)、管内損失 f_L は管長 L=1000m、管径 $\phi=0.3$ m、鋼管の粗度係数 n=0.012 から $f_L=2gn^2/Ri^{1/3} \cdot L/R$ (R=D/4, D=0.3m)=89.2 となり、粒径 d=0.5mm の 0.5% 濃度の付加損失は、式(2)¹⁾を用いて計算すると、 $\alpha=39.2$ となる。これらから、 $C=1/(\sum \alpha+1)^{0.5}=0.074$ となり、給水側の流量 Qi は $Qi=CA(2gH)^{0.5}=0.18$ m³/s となる。このため、輸送管への流量 Qo は $Qo=0.85Qi=0.155$ m³/s となる。年間の土砂輸送量は、この 0.5% となり、約 24,000 m³/s となる。このように、汎用陸上ポンプユニットを用いた逆転ポンプの水理模型実験結果を用いることである程度の湖内輸送の可能性が提案できた。今後は、さらなる検討を実施していきたい。

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s \quad \Delta P_w = \lambda_w \cdot V^2/2g \cdot (L/D) \gamma_w, \quad \Delta P_s = \lambda_s \cdot V^2/2g \cdot (L/D) \gamma_w \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\lambda_s = 10^{-1.844} \cdot C^{0.2644} \cdot Fr^{-0.3097} \cdot (d/D)^{0.22222}$$

ここに、 ΔP_w : 水による圧力損失, λ_w : 水による損失係数, ΔP_s : 砂による圧力損失, λ_s : 砂による損失係数

λ_w : 水の水みの損失係数, V: 管内流速(m/s), L: 管路長(m), D: 管径, g: 重力加速度(=9.8m/s²),

γ_s : 砂の比重(=2.6), C: 体積濃度(%), γ_w : 水の水の比重(=1), Fr: フルード数, d: 粒径(mm)

1) 砂スラリー輸送管における管径と損失係数 宮脇他 第 64 回年次学術講演会講演概要集 pp55, 56

キーワード 逆転ポンプ, 湖内輸送、水理模型実験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所水工研究グループ TEL029-879-0867 miyawaki@pwri.go.jp