

砂スラリー傾斜輸送管における管径と損失係数

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
 独立行政法人土木研究所 正会員 櫻井 寿之

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、洪水時にダムに流入する土砂と同等なものを下流河川へ土砂還元することが考えられている(図-1参照)。図-1に示すように、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、比較的小さい粒径を対象とした流送システムにおいて輸送管を傾斜管(1/100,1/200)とした場合について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

実験では、砂スラリーでの流動特性を把握するために、砂の粒径 D50(mm)、砂の体積濃度 C(%)及び管内流速 Vw(m/s)の違いと圧力損失の関係について調査するとともに、管内流況を把握した。また、傾斜管における管径 d の損失係数等への影響を調査するために、d=0.03m, 0.10m, 0.20m の3種類の実験を実施した。図-1に実験装置(d=0.10m)を、表-1に実験ケースを示す。実験は、濁水水槽で表-1に示すケースの濁水を作成して、循環用のサンドポンプにより上流側水槽に送水して、安定した状態になったら、ピエゾでの圧力を測定した。なお、圧力測定前後と途中の3回採水して、流量と土砂量を測定し、体積土砂濃度 C を算定した。各ケースとも、清水から実験を開始し、土砂を投入して土砂濃度を上げ、繰り返し実施した。流速はバルブにより調節した。

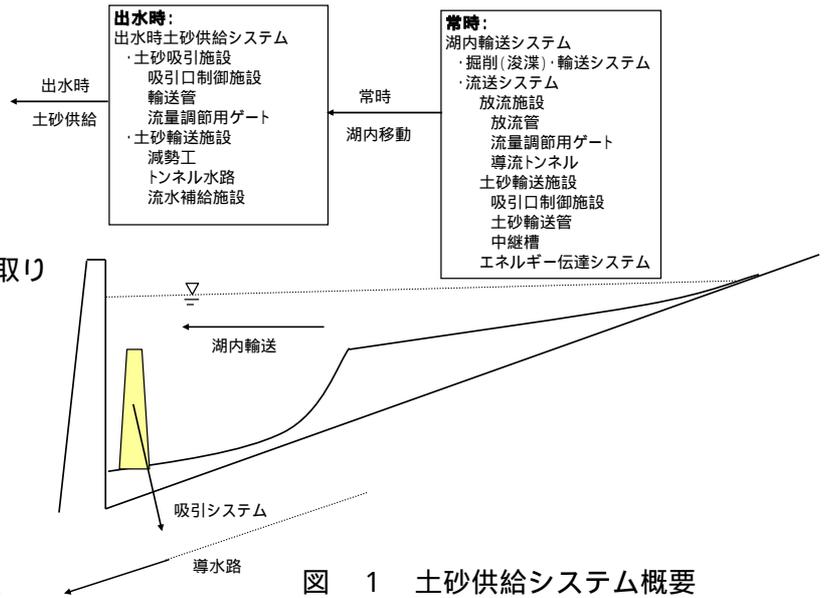


図 1 土砂供給システム概要

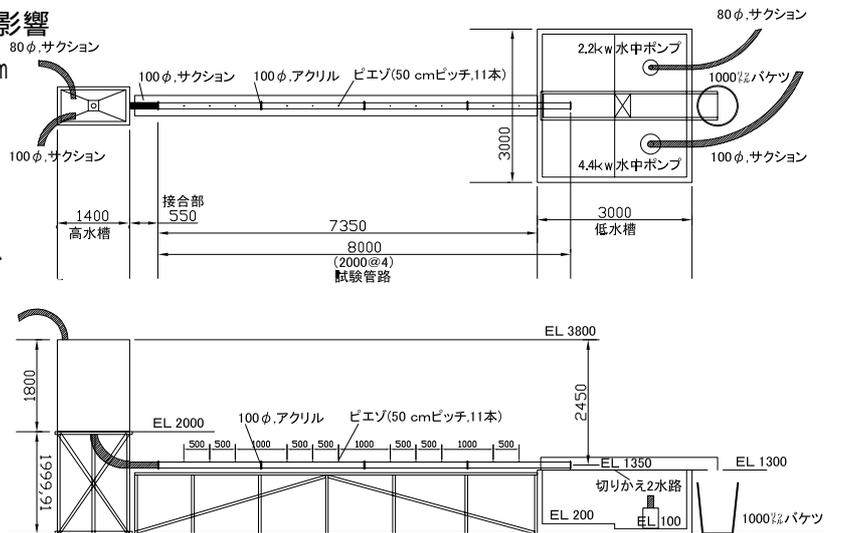


図 2 実験装置概要(管径 d=0.10m)

単位(mm)

表 1 実験ケース

Case	管径(m)	C(%)	実験珪砂	D50(mm)	Vw(m/s)
a	0.03	0~0.34	4号	1.03	1~3
b		0~0.08	6号	0.348	1~3
c	0.1	0~0.70	4号	1.03	1~3
d		0~1.32	6号	0.348	1~3
e	0.2	0~0.20	4号	1.03	1~3
f		0~0.57	6号	0.348	1~3

3. 実験結果

3.1 管内流況

管内流況は、d=0.10m では写真 1 に示すように流況 A (土粒子が均一に動く) 流況 B (底層付近の土粒子の一部が周期的に停止する) 流況 C (明確な堆積層の上に土粒子が動いている) の3つが観測された。また、流況 C の条件は管内平均流

速 V_w よりも D_{50} から計算される沈降速度が大きくなる場合に観測されている。また、管径が大きくなるに従って、土砂濃度が同じでも、流況 B、C の範囲が大きくなっている。以下では、流況 A となったケースについて整理した。



3.2 損失係数

写真 1 管内流況

砂スラリーによる圧力損失 P は 単一流体と考えた場合と 二相流とした場合が考えられているが、砂スラリーでよく用いられている次式に示す二相流について整理する。

$$P = P_w + P_s \dots \dots \dots (1)$$

$$P_w = \lambda_w \cdot V_w^2 / 2g \cdot (L/D) \quad P_s = \lambda_s \cdot V_w^2 / 2g \cdot (L/d) \quad w$$

ここに、 P_w :水による圧力損失, λ_w :水による損失係数,
 P_s :砂による圧力損失, λ_s :砂による損失係数
 λ :損失係数, V_w :管内流速(m/s), L :管路長(m),
 D :管径(=0.03m), g :重力加速度(=9.8m/s²),
 s :砂の比重(=2.6), C :体積濃度(%), w :水の比重(=1)

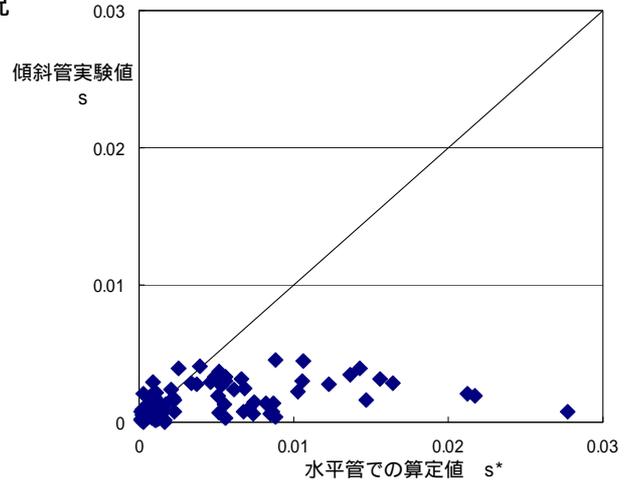


図 3 水平管との比較

また、水平管における砂による損失係数算定式¹⁾は、式(2)で表される。

$$s^* = 10^{-1.844} \cdot C^{0.2644} \cdot Fr^{-0.3097} \cdot (D_{50} / d)^{0.22222} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、横軸に(2)式で得られた算定値 s^* と傾斜管実験値 s の関係を図 3 に示した。傾斜管での実験値は、水平管での算定値より、かなり小さめになっているのがわかる。

次に、各傾斜毎に、砂による損失水頭 s を、無次元量 $Fr, C, (D_{50}/d)$ を用いて、多変数解析結果を図 4 に示す。また、その関係を式(3)に示す。

$$1/100 \quad s^* = 10^{-0.97} \cdot C^{0.29} \cdot Fr^{-1.73} \cdot (D_{50} / d)^{0.52} \dots \dots \dots (3)$$

$$1/200 \quad s^* = 10^{-1.35} \cdot C^{0.094} \cdot Fr^{-0.99} \cdot (D_{50} / d)^{0.54}$$

ややばらつきは大きいですが、上式から各傾斜管毎の砂による損失係数 s の算定が可能となる。

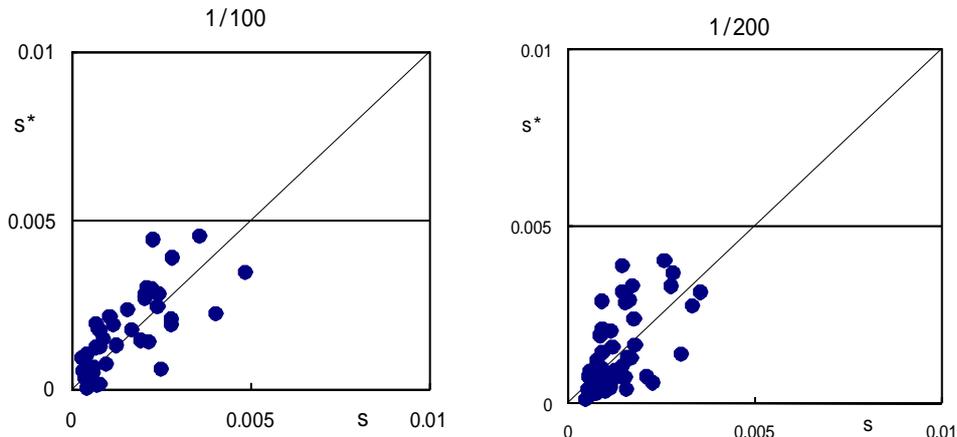


図 4 解析結果

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 砂スラリー, 傾斜輸送管, 管径, 損失係数, 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