

砂スラリー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、比較的小さな粒径を対象とした流送システムに関する基礎的な検討結果を取りまとめたものである。

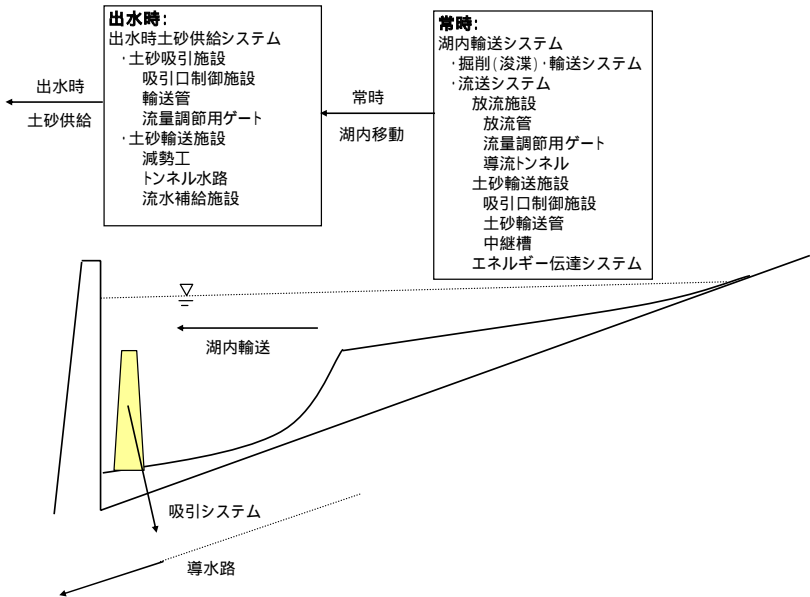
2 . 実験方法

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 V_w (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、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。

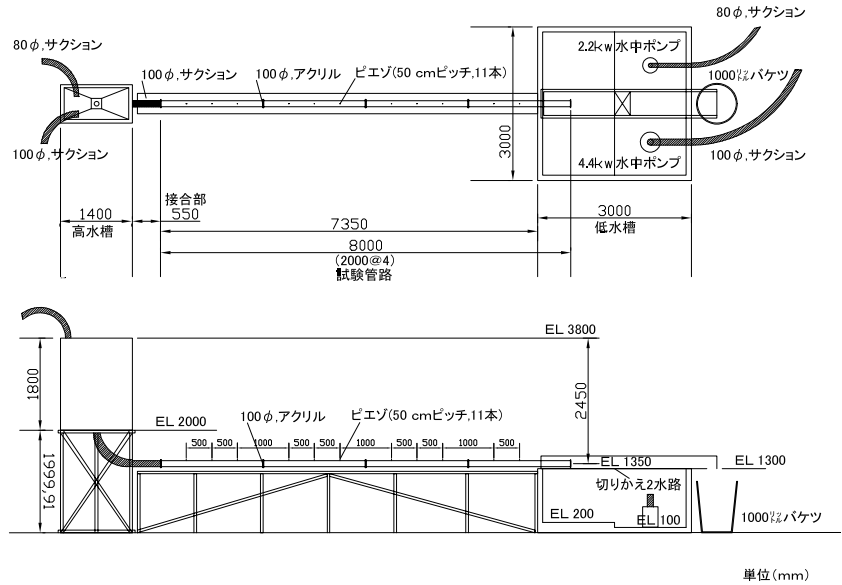
図 - 1 に実験装置（ $d=0.10m$ ）を、表 - 1 に実験ケースを示す。実験は、濁水水槽で表—1 に示すケースの濁水を作成して、循環用のサンドポンプにより上流側水槽に送水して、安定した状態になったら、ピエゾでの圧力を測定した。なお、圧力測定前後と途中の3回採水して、流量と土砂量を測定し、体積土砂濃度 C を算定した。各ケースとも、清水から実験を開始し、土砂を投入して土砂濃度を上げ、繰返し実施した。流速はバルブにより調節した。

3 . 実験結果

3 . 1 管内流況



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)

管内流況は、 $d=0.10\text{m}$ 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。 $d=0.03\text{m}$ の場合明確に流況判断ができていないが概ね流況 A であると思われる。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。



流況 A



流況 B



流況 C

表—1 実験ケース

Case	管径(m)	C(%)	実験珪砂	D50(mm)	$V_w(\text{m/s})$
a	0.03	0~14	4号	1.030	2~3
b		0~4	6号	0.348	3~4
c		0~3	8号	0.090	2~3
d	0.10	0~4	4号	1.030	2~3
e	0.20	0~3	4号	1.030	1~3

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 ΔP 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。

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

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

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_1 :損失係数、 V_w :管内流速(m/s)、 L :管路長(m)、

D :管路径($=0.03\text{m}$)、 g :重力加速度($=9.8\text{m/s}^2$)、

γ_s :砂の比重($=2.6$)、 C :体積濃度(%), γ_w :水の比重($=1$)

まず、図—3に、砂スラリーでよく用いられている式(2)に示す Durand 式を用いた検討結果を示す。

$$\phi = is / (i_w \cdot C) = K \{ (V_w^2 C_0^{0.5}) / g d (s-1) \}^{-n} \quad K=81, n=1.5 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $is=i-i_w$ (is :付加水力勾配、 i :混合体の水力勾配、

i_w :清水時の水力勾配)、 C_0 :抗力係数、 s :砂の比重

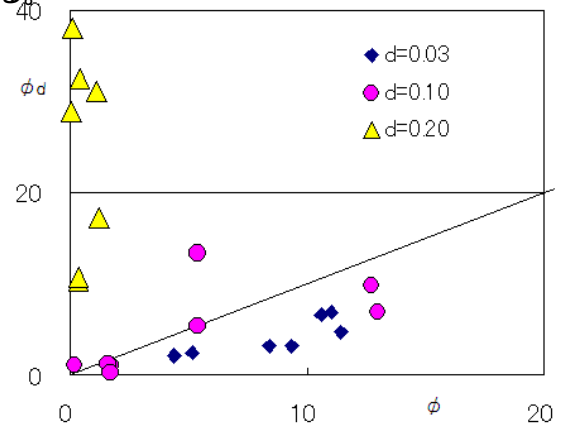
図—3の横軸は実験結果 ϕ を、縦軸は式(2)から算定される ϕ を ϕ_d として示している。図—3より、ばらつきは大きい、管径が大きくなると、 ϕ_d は大きめに推定されることとわかる。

次に、砂による損失水頭 λ_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。

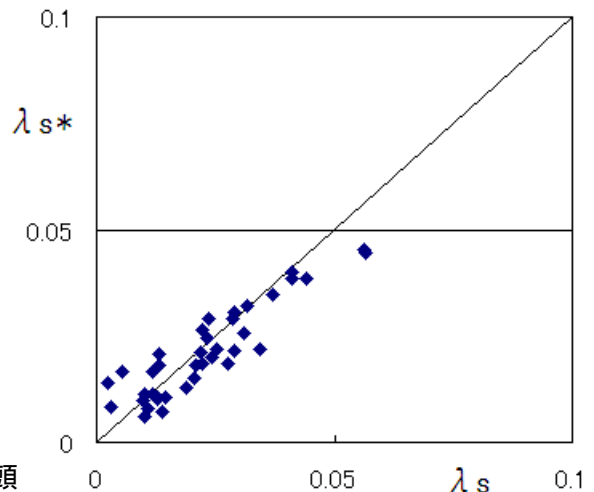
$$\lambda_s^* = 10^{-1.844} \cdot C^{0.2644} \cdot Fr^{-0.3097} \cdot (D_{50}/d)^{0.22222} \dots \dots \dots (3)$$

ややばらつきは大きい、ほぼ管径の違いを考慮した損失水頭を表されていると考えられる。

今回の実験で、管径を大きくすると、流況 B、C の状況が考えられるため、それに対応するための検討及び傾斜管の損失などについて検討する予定である。



図—3 Durand 式での検討結果



図—4 解析結果

キーワード 砂スラリー, 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