

砂スラリー輸送管における損失係数

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 佐々木 崇憲

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の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、洪水時にダムの下流河川へ土砂還元することが考えられている。本論文では、このダム直上流への湖内輸送管設計に必要な砂スラリーでの損失係数等について水理模型実験により調査したものである。

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、 $d=0.03\text{m}$ ,  $0.10\text{m}$  の 2 種類の実験を実施した。図-1 に実験装置 ( $d=0.10\text{m}$ ) 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、圧力測定用管 (管径  $d=0.03\text{m}$ ) 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。

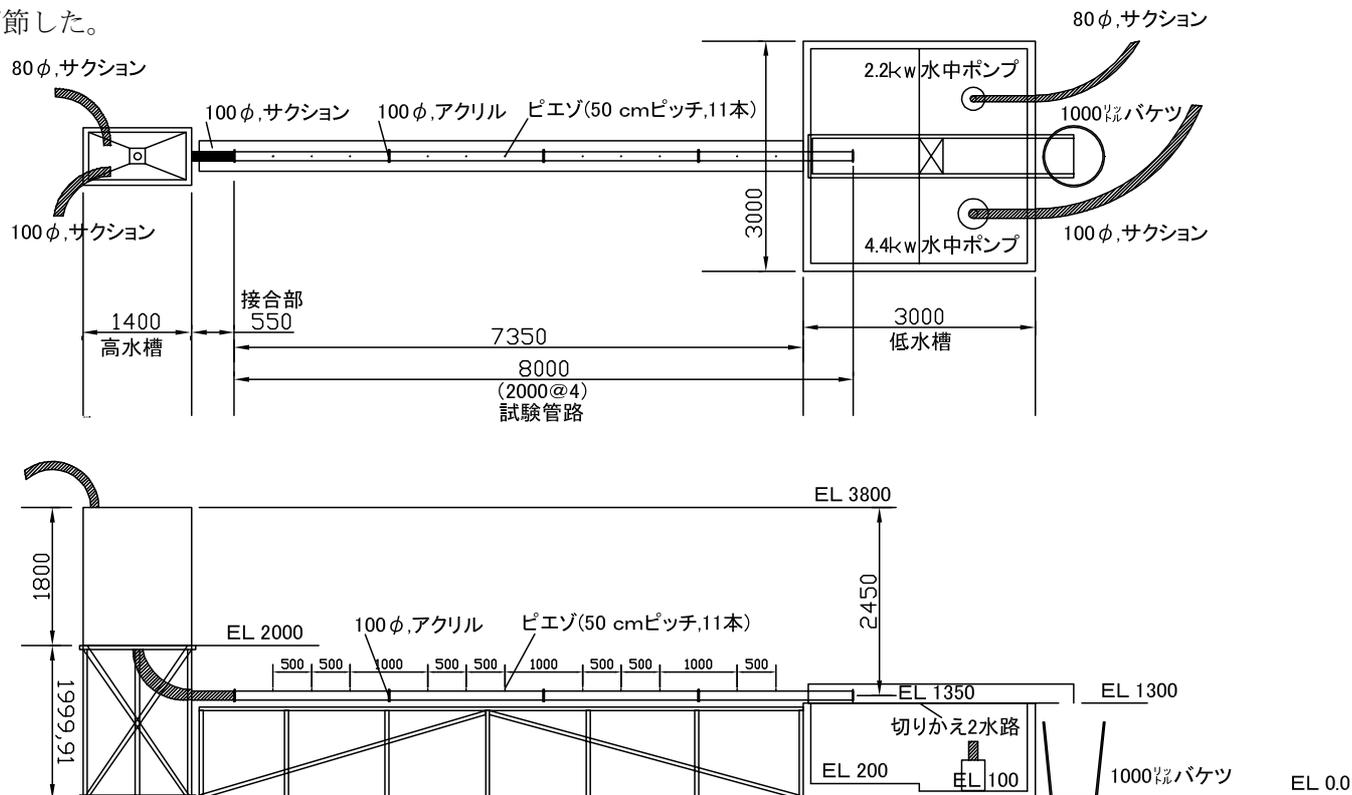


図-1 模型概要図 (輸送管径  $d=0.10\text{m}$ )

単位(mm)

3. 実験結果

表-1 実験ケース

Case	管径 (m)	C (%)	実験珪砂	D50 (mm)	$V_w$ (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	0~14	4号	1.030	2~3

### 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。 $d=0.03m$  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  $D50$  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。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

砂スラリーによる圧力損失  $\Delta P$  は①単一流体と考えた場合と②二相流とした場合次式で表される。

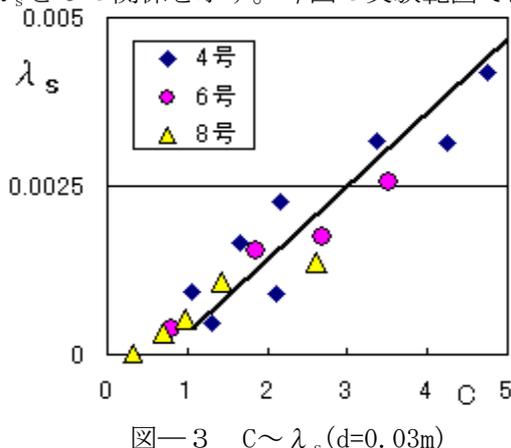
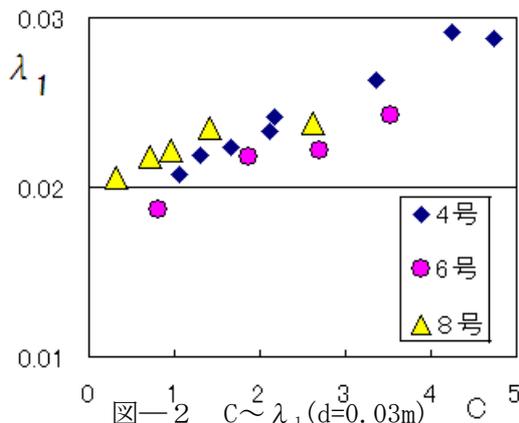
$$\text{① } \Delta P = \lambda_1 \cdot V^2 / 2g \cdot (L/D) \gamma_m \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $\lambda_1$ :損失係数,  $V$ :管内流速(m/s),  $L$ :管路長(m),  $D$ :管径(=0.03m),  $g$ :重力加速度(=9.8m/s<sup>2</sup>),  $\gamma_m$ :混合体の比重(=  $\gamma_s \cdot C + (1-C) \cdot \gamma_w$ ),  $\gamma_s$ :砂の比重(=2.6),  $C$ :体積濃度(%),  $\gamma_w$ :水の比重(=1)

$$\text{② } \Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s \dots \dots \dots (2)$$

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

ここに、 $\Delta P_w$ :水による圧力損失,  $\lambda_w$ :水による損失係数,  $\Delta P_s$ :砂による圧力損失,  $\lambda_s$ :砂による損失係数  
 図—2, 3に  $d=0.03m$  の実験での①で得られた  $\lambda_1$  と  $C$ ,  $\lambda_s$  と  $C$  の関係を示す。今回の実験範囲では、各

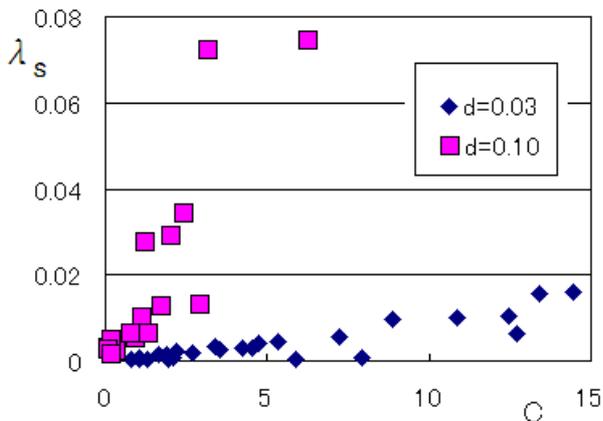


ケースとも濃度の増加に伴い損失係数は大きくなり、その傾向は粒度が大きいものの方がより大きくなっている。図—3の方が単一流体としたものより、全体的に  $C$  と  $\lambda_s$  の相関が高くなっており、この関係は次式で表せる。

$$\lambda_s = 0.0011C - 0.0007 (2 \leq V_w \leq 4, 1 \leq C \leq 5) \dots \dots \dots (3)$$

次に、管径の違いによる損失水頭の影響をみるために case a, d について  $\lambda_s$  と  $C$  の関係を図—4に示す。

図—4より、管径  $d$  を大きくすると  $\lambda_s$  がかなり大きくなっている。 $\lambda_s$  は濃度  $C$  や管径  $d$  により大きな影響があると考えられるが、平均粒径  $D50$  や管内流速  $V_w$  によっても変動しているようである。今後さらに管径を大きくして、管内流況と損失係数の関係を調査する予定である。



図—4 C ~  $\lambda_s$  (4号珪砂)

キーワード 砂スラリー, 輸送管, 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](mailto:miyawaki@pwri.go.jp)