

出水時に河川を流下する微細粒子土砂の粒度分布に関する比較検討

(独) 土木研究所 正会員 ○海野 仁
(独) 土木研究所 正会員 箱石憲昭

1. 概要

従来、貯水池の濁水シミュレーションにおける土粒子の沈降速度については、採水した濁水をレーザー回折・散乱法により粒度分布を分析し、得られた粒径からストークス式を用いて算出する手法が多く用いられてきた。しかしながら、レーザー回折・散乱法（以下、「レーザー回折法」と略す。）による粒度分布は、沈降実験をもとにした粒度分布と異なる場合があり、適切な粒度分布の調査方法、条件設定方法の確立が求められている。

本報告は、出水時に河川を流下する微細粒子土砂を対象に、沈降筒法、遠心沈降法、レーザー回折法を用いて粒度分布の比較検討をした結果を報告するものである。

2. 実験方法

検討に先立ち、利根川水系山口川（茨城県桜川市真壁町）において洪水時に河川水を採水した。採水は、洪水のピーク時から減水時にかけて4回おこなった。各試料の採水時刻および濁度・SSの測定結果を、表-1に示す。これらの試料を用い、沈降筒法、遠心沈降法及びレーザー回折法による粒度分布の比較検討をおこなった。

ここで、沈降筒法は、沈降筒内に濁水を静置し、沈降距離とSSの経時変化から沈降速度別の粒子の割合を求め、ストークス式により粒度分布に換算するものである。粒子形状が球形であることおよび粒子レイノルズ数($Re=dw_s/\nu$)が1よりも小さいという条件が成り立つ場合、粒子の沈降速度と粒径は、ストークスの沈降速度式により相互に換算することができる。

$$w_s = \frac{d^2 g (\rho_s - \rho_w)}{18 \mu} \tag{1}$$

ここに、 w_s ：粒子の沈降速度、 d ：粒径、 g ：重力加速度、 ρ_s ：粒子密度、 ρ_w ：水（媒質）の密度、 μ ：水の粘性係数である。上式を用いた粒径は、ストークス則をベースにしていることから、ストークス径と呼ばれている。

一方、遠心沈降法は、遠心分離機を使って沈降試験の時間を短縮した手法であり、SSの代わりに濁度を観察して沈降速度分布を求めた後、ストークス則を用いて粒径分布を求める方法である。レーザー回折法は、測定装置により直接粒度分布を求めるものである。各手法の概略を表-2に示す。

表-1 試料の採水日時・濁度・SS

試料No.	採水日	採水時刻	分析時 濁度 [NTU]	分析時 SS [mg/L]
1	2010/09/16	10:55	787	944
2	2010/09/16	11:25	432	466
3	2010/09/16	12:35	143	189
4	2010/09/16	13:50	59	93

表-2 粒度分布の分析手法

測定方法	沈降筒法	遠心沈降法	レーザー回折法
測定計測器	沈降筒 φ200mm×L2m (約63%) φ390mm×L2m (約240%)	SKC-2000	SALD-3000S
測定条件	室温一定(20℃)	測定範囲: 0.3 μm～50 μm	測定範囲: 0.05 μm～3000 μm
測定項目	沈降筒水位、SS、水温	粒度分布	粒度分布
測定手順	初期水深を2.0mとし、底面から0.5mの位置に採水用コックを設置し、測定回数毎に1リットルの採水を行う。	採水した試料100mlを測定装置に投入し、測定を行う。	試料濃度に応じた量(50～100ml程度)を測定装置に投入し測定を行う。
測定回数	13回 (充水直後、5分後、15分後、1時間後、3時間後、6時間後、12時間後、24時間後、3日後、7日後、14日後、21日後、42日後)	1回	1回
粒度分布算出方法	粒子の沈降速度を沈降筒水位と採水経過時間より算出する。沈降速度からストークス式により粒径を換算し、濁水の濃度変化から通過率を算出する。	遠心力により強制的に粒子を沈降させ、沈降時間と遠心力付加時間毎に光の通過量を計測し、濃度変化を測定する。濃度の変化より通過率を算出し、その後、沈降速度を用いてストークス式より粒径を換算する。	土粒子にレーザー光を照射し、土粒子からの回折光の光強度を計測する。計測した光強度にMie散乱理論を適用し、粒子径区分毎の粒子量を求める。
汎用性	測定方法の詳細が統一されていない。	測定計器自体が少ない。	一般的によく用いられる。

採取した4検体の試料について、沈降筒法を用いて求めた粒度分布の結果を図-1に示す。試料は洪水のピーク時から減水時にかけて採取したものであり、時間の経過に伴いSSも減少する傾向が見られた。さらに、SSの低下に伴い粒度分布も徐々に細粒化する傾向が見られた。

試料1および試料2について、沈降筒法、遠心沈降法およびレーザー回折法の3手法により求めた粒度分布を図-2～図-3に示す。ここで、遠心沈降法の分析範囲の上限は 50μ であることから、これを上回る粒径範囲についてはふるい分けを併用した。3手法による分析結果は、類似した分布を示すものの、主に濁水の長期化に影響する粒径 30μ 以下の粒径範囲に着目すると、沈降筒法が最も細粒化した分布を示し、遠心沈降法、レーザー回折法の順に粗粒化する結果を示した。

ここで、微細粒子である粒径 10μ 以下の粒径範囲に着目し、分析結果を比較する(表-3)。粒径 10μ は、1日あたり約6.5m沈降する粒子の粒径である(20°C 、 $\gamma_s=2.4$ として計算)。試料1を例にとると、粒径 10μ 以下の占める割合は、沈降筒法では16%であるのに対し、遠心沈降法では13%、レーザー回折法では7%となり、最も普及した手法であるレーザー回折法では微細粒子の占める割合を過小評価する結果となった。表-3には試料3、試料4の結果についても併記したが、細粒分の割合が増大するに従い、3手法による分析結果の差が広がる結果となった。原因としては、土粒子の形状が球形ではなく不均一であること、沈降速度が土粒子の濃度によっても変化することなどが考えられる。沈降筒法は、濁質の沈降現象を把握するには最も適した方法と考えられることから、濁水現象の長期化が想定される貯水池については、多くの労力は要するものの、沈降筒法により沈降速度分布を求めることが望まれる。

4. まとめ

微細粒子土砂の粒度分布の分析手法について、以下にまとめる。

- ・洪水のピーク時から減水時にかけて濁水を採水してSSおよび粒度分布を測定した結果、洪水の減水に伴いSSは減少し、さらに、SSの粒度分布は徐々に細粒化する傾向が見られた。

- ・沈降筒法は、濁質の沈降現象を把握するには最も適した方法と考えられる。濁水現象の長期化が想定される貯水池については、沈降筒法により沈降速度分布を求めることが望まれる。

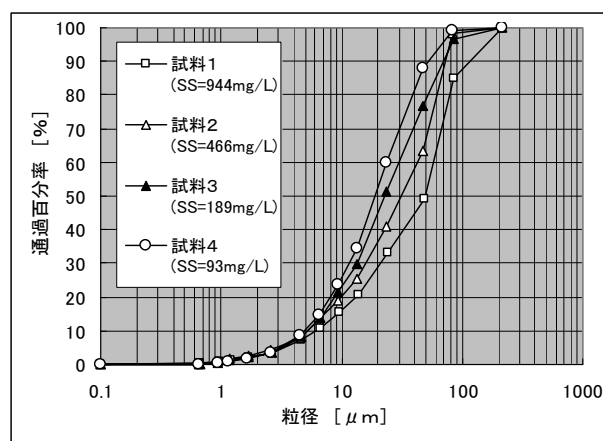


図-1 沈降筒法による粒度分布

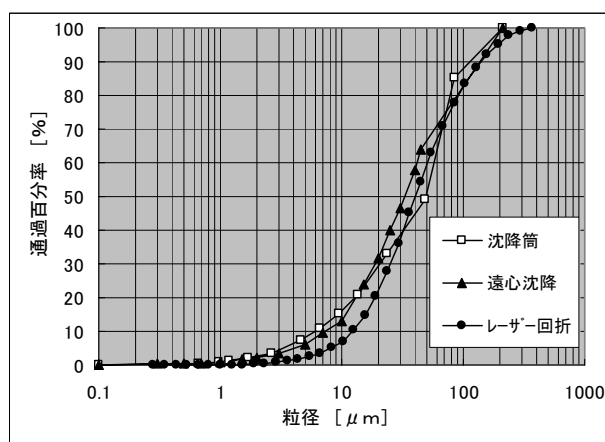


図-2 分析手法と粒度分布(試料1)

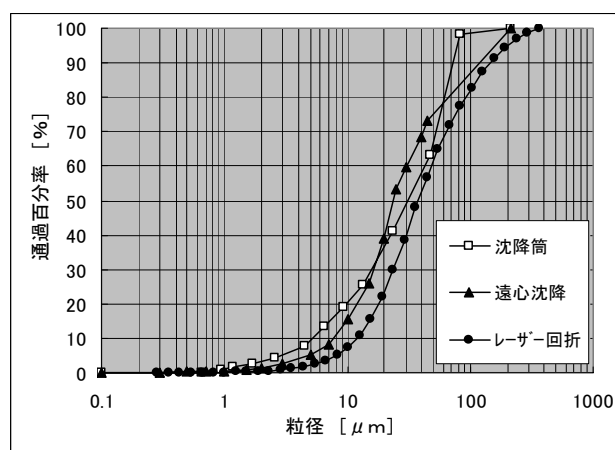


図-3 分析手法と粒度分布(試料2)

表-3 粒径 10μ 以下の粒子の占める割合

試料No.	分析手法		
	沈降筒法	遠心沈降法	レーザー回折法
1	16%	13%	7%
2	20%	15%	7%
3	23%	14%	6%
4	26%	12%	6%