

微細粒子土砂の粒度分布に関する比較実験

独立行政法人土木研究所 海野 仁・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、これによって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、濁水シミュレーションの重要な条件設定の一つである土粒子の沈降速度分布の設定に必要なもの、土粒子の粒度分布の設定手法を提案することを目的とする。具体的には、洪水時に現地から採取した濁水を試料に沈降実験を行い、測定した沈降速度からストークス式を用いて粒度分布を算定する。これを粒度分布の最確値と捉え、簡便的な手法であるレーザー回折法ならびに透過式遠心沈降法（以下「遠心沈降法」という。）を用いて測定した粒度分布との比較検討を行い、濁水シミュレーションの与条件の一つである土粒子の粒度分布の設定手法を提案する。

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、①沈降筒法、②遠心沈降法、③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（表-2）。

濁水中に含まれる濁質粒子の土コロイドは、粒子に作用する外場の影響を受けて運動する。この運動により粒子が衝突を起こし、粒子間に強い引力が作用していれば凝集し、フロックを形成するといわれている。フロックが形成されたまま測定を行うと粒度分布が粗粒化傾向に見積もられ、沈降速度が過大に評価されることも考えられることから、②遠心沈降法、③レーザー回折法を用いた一部のケースのケースに分散処理を導入した。表-3に濁水土粒子の分散方法を示す。

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 φ 200mm × L2m (約63%) φ 390mm × 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、蒸 発残留物、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。

表-3 濁水土粒子の分散

測定方法	分散方法	
	分散なし	分散あり
遠心沈降法	分散材: 無添加 分散方法: 手攪拌	分散材: 無添加 分散方法: 超音波振動10分間(60w)
レーザー回折法	分散材: 無添加 分散方法: 手攪拌	分散材: 無添加 分散方法: 超音波振動10分間(60w)

3. 実験結果

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を対象に、沈降筒法・遠心沈降法（分散なし／分散10分）・レーザー回折法（分散なし／分散10分）の5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（分散なし／分散10分）による測定範囲の上限は50μmであることから、これを上回る粒径範囲については、45μmのふるいを通さない試料と通した試料とのSSの差分を求めて、粒度分布を補間した。5手法による分析結果は、類似した分布を示すものの、粒径30μm以下の粒径範囲に着目すると、例えば試料1では沈降筒法および遠心沈降法（分散なし）が中間的な分布を示す一方、試料2では沈降筒法およびレーザー回折法（分散10分）が中間的な分布を示し、両試料ともレーザー回折法（分散なし）は沈降筒法に比べ粗粒化する結果となった。

ここで、微細粒子である粒径10μm以下の粒径範囲に着目し、分析結果を比較する（表-4）。試料1を例にとると、粒径10μm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（分散なし）では13%、レーザー回折法（分散なし）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-4には試料2～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。

4. まとめ

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、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。しかしながら、十分な量の試料が確保できない場合には、遠心沈降法（分散なし）あるいはレーザー回折法（分散10分）によって粒度分布を求め、沈降速度分布を設定することも代替法として考えられる。

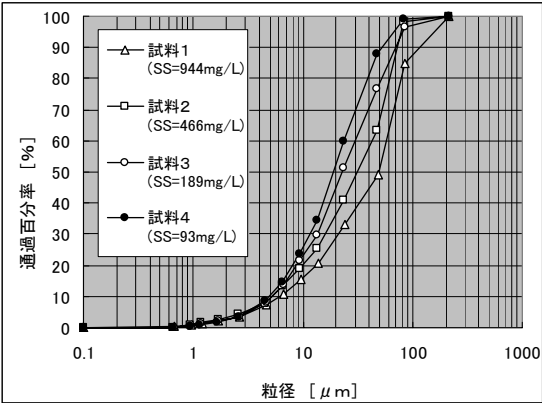


図-1 沈降筒法による粒度分布

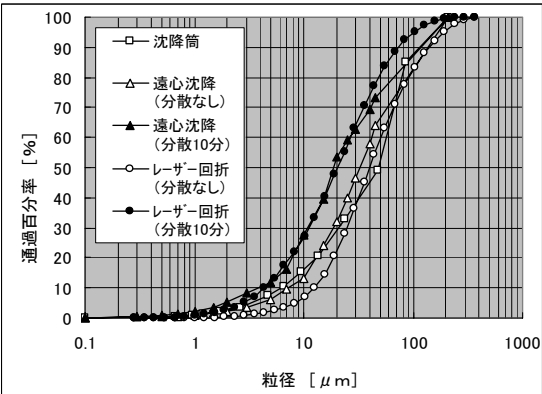


図-2 分析手法と粒度分布（試料1）

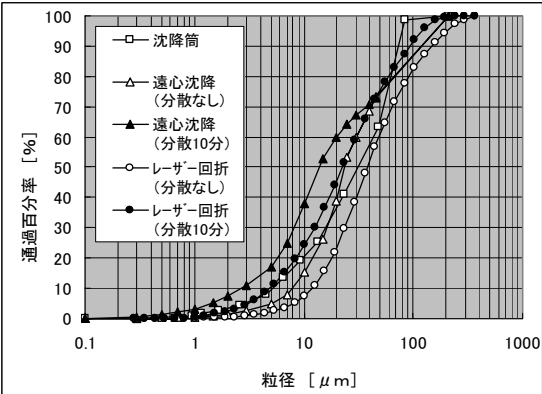


図-3 分析手法と粒度分布（試料2）

表-4 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 (分散なし)	レーザー回折法 (分散なし)
1	16%	13%	7%
2	20%	15%	7%
3	23%	14%	6%
4	26%	12%	6%