

スラリー輸送における土砂濃度計測の自動化の試みと潜行吸引式排砂管の排砂特性

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○宮川仁、岩田幸治、本山健士、宮脇千晴、石神孝之

1. はじめに

土木研究所では、ダム貯水池の水位差エネルギーを活用したフレキシブル管を用いた排砂手法(通称:潜行吸引式排砂管(以下、排砂管))の開発を行っており、巨石、塵芥を含まない砂礫は小規模落差でも土砂を吸引、下流へ供給可能であることを確認している¹⁾。現場適用を考えた場合、吸引口から吐口までの確実な輸送やダム下流の流砂環境への影響や効果検証等のためにリアルタイムで土砂輸送量が計測できることが望ましい。そこで、本検討では既往の知見を基に、土砂濃度の自動計測化に向けた装置を試作し、その有効性を確認するとともに、潜行吸引式排砂管の排砂特性を整理したので報告する。

2. 流量・土砂濃度計測装置

図-1 に管径 100mm で試作した流量・土砂濃度計測装置(以下、装置)を示す。装置はスラリー・カプセル輸送便覧に掲載の重量法²⁾に着目して試作した。具体的には、管路の一部区間(1m)をアクリル管として土砂の流下状況が把握できるようにし、両端部はフレキシブル管を配置する。また、アクリル管両端下部にロードセルを配置し、アクリル管とフレキシブル管のフレキシブル部(以下、濃度計測区間(合計 1,875mm))内の重量を秒単位で計測し、清水のみの重量との差分から管内土砂濃度を換算するものである。電磁流量計も設置し、秒単位で流量の時間変化も計測できるものとした。

3. 実験条件

実験では長さ 7.5m、幅 7.5m、高さ 3.5m の水槽(余水吐きが附属)、水槽内に厚さ 2.5m の整形した土砂、土砂の上に管径 100mm のダクトホース排砂管と水槽の下流に図-1 の装置等(管長 13.8m)を用いた。土砂材料は図-2 に示す粒度分布で 0.1mm~2mm で構成される 60%粒径が 0.46mm の混合粒径砂を用いた。手順は一定流量を水槽へ給水し、余水吐きの越流によって一定の水位を保ち、水位差概ね 2.6m により下流端の止水バルブを開けて実施した。実験中、表-1 に示す項目等を計測した。また、吐口部の土砂を直接採取した結果と装置の結果を比較できるよう、(1)、(2)式により、それぞれ土砂濃

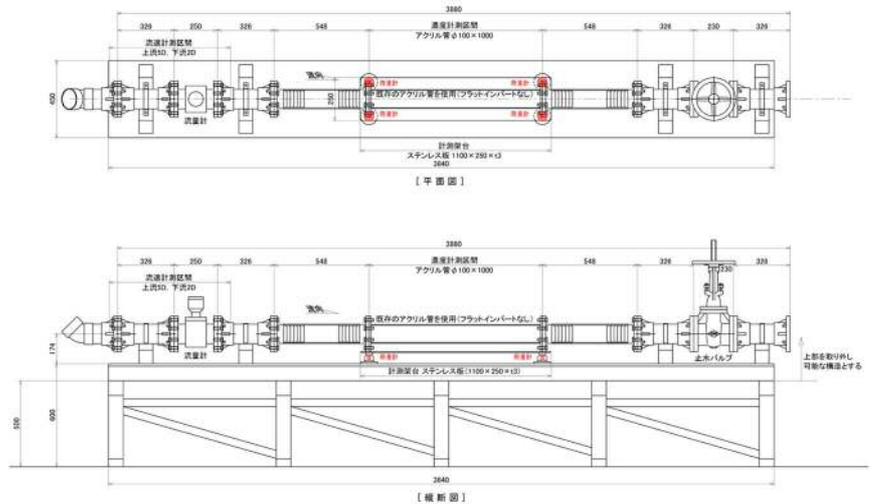


図-1 流量・土砂濃度計測装置(止水バルブ除く)

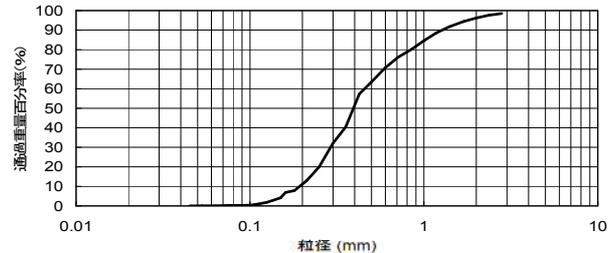


図-2 実験に用いた土砂の粒度分布

表-1 計測項目、計測方法および計測間隔

調査項目	計測方法	計測間隔
吸引部深さ	ダイバー式水位計	1秒間隔
管内流量	電磁流量計	1秒間隔
流砂量	吐口部で直接採取((バケツ) 2秒~5秒程度/回)	実験開始時 計5回
流況	濃度計測区間の重量を荷重計で計測	1秒間隔
	吐口部で直接採取((バケツまたは採砂ネット) 2秒~5秒程度/回)	実験中 計44回
	アクリル管内の土砂移動・堆積状況をビデオ撮影	連続

度換算した。なお、水平のスラリー輸送では土砂濃度が大きいと底部に堆積層が生じる。このため、既往の知見³⁾を参考に、アクリル管内のビデオ解析から堆積量を控除し、吐口での結果と装置の結果を比較する。

(吐口部での直接採取による流出土砂濃度)

$$C_1 = (W_{(s+w)p} - W_{wp}) / \gamma / T / Q * 100 \tag{1}$$

(装置における流出土砂濃度)

$$C_2 = \left(\frac{W - W_w}{\gamma} - r^2 \left(\frac{\arccos\left(\frac{r-a}{r}\right)}{2} - (r-a)^2 \sqrt{1 - (r-a)^2} \right) L(1 - \epsilon) \right) / V_w * 100 \tag{2}$$

ここに C_1 : 吐口土砂濃度(%), $W_{(s+w)p}$: 土砂と水の採取重量(t), W_{wp} : 清水時重量(t), γ : 土砂水中比重(1.65t/m³), T : 採取時間(s), Q : 流量(m³/s), C_2 : 装置土砂濃度(%), W : 荷重計値(kg), W_w : 清水満管重量(kg), V_w : 清水満管体積(m³), r : 管半径(m), a : 堆積厚(m), L : 濃度計測区間(1.875m), ϵ : 空隙率(0.4)を表す。

キーワード ダム貯水池、堆砂、吸引工法、潜行吸引式排砂管、土砂濃度計測、スラリー輸送

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 TEL:029-879-6783 E-mail: m-miyakawa@pwri.go.jp

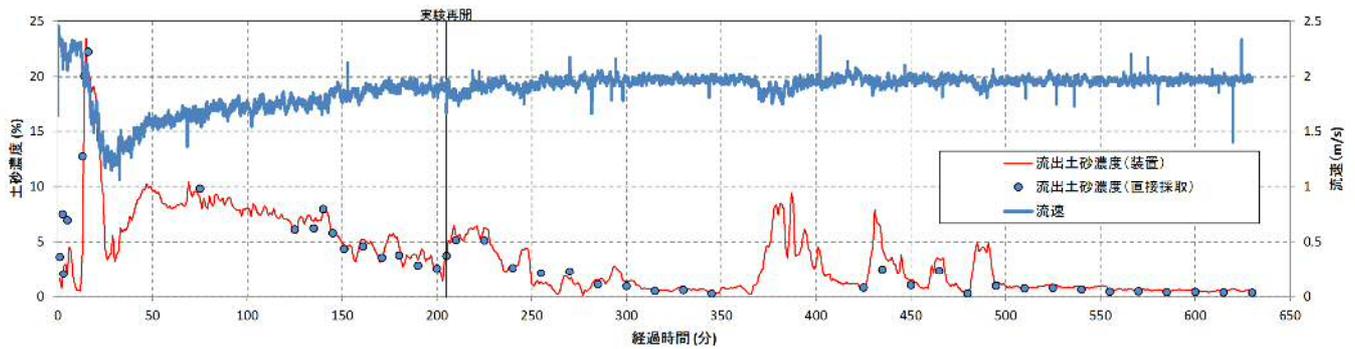


図-3 装置の流出土砂濃度（1分毎に平均化）と吐口部の直接採取での流出土砂濃度および管内流速の時系列比較

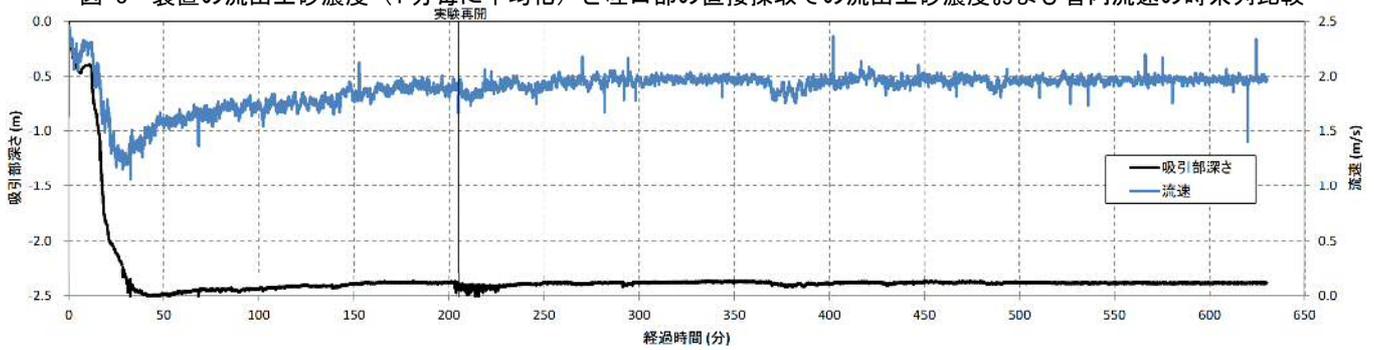


図-4 吸引部の深さと管内流速の時系列関係

4. 実験結果

実験は630分間実施した。なお、200分を超えた際、日没となり、バルブを全閉し、翌朝、全開にして実験を再開した。図-3に装置の流出土砂濃度（1分毎に平均化）と吐口部の直接採取での流出土砂濃度および管内流速の時系列比較図を示す。吐口部の流出土砂濃度と装置の流出土砂濃度の値が概ね合致し、装置の仕組みによって流出土砂濃度が推定可能となることが判った。

また、図-4に排砂管の吸引部の深さと管内流速の時系列関係を示す。最初の13分程度は、吸引部が土砂に埋没しないように操作したが、以後、操作しなかったため、吸引部は30分で一気に堆砂面から水槽底部の-2.5mまで潜行した。他方、図-3を見ると、実験開始から13分程度までは管内は比較的速い流速で低い濃度の土砂が排出されていたが、概ね15分には吸引土砂量が急激に多くなり、土砂濃度がピークの23.5%にまで達した。これは、吸引部が堆砂内に潜ったため、土砂濃度が高くなったと考えられる。その後、流速および土砂濃度は急激に低下し、30分には装置の土砂堆積厚が3.5cmとピークに達する一方、管内流速が1.1m/s程度まで低下し、流出土砂濃度は5%程度まで低下した。その後の50分程度までは、管内流速の低下に伴う、吸引部の吸引性能の低下により、土砂管内の堆積層が少しずつフラッシュされ、管内流速が回復し、流出土砂濃度も10%まで上昇した。50分以降は吸引部が底面に着いたため、流速が回復するが、土砂濃度は低下傾向となった。なお、以降、間欠的に5%から9%の濃度の場面も生じているが、

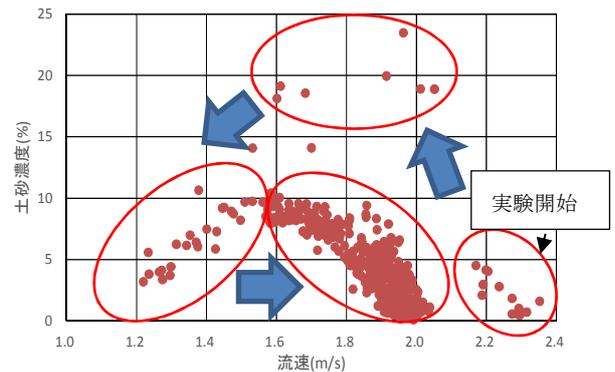


図-5 管内流速と土砂濃度の関係

土砂の崩壊で濃度が大きくなったと考えられる。

図-5に図-3を基に管内流速と土砂濃度の関係を整理した。排砂管の潜行時には、矢印に示すとおり流速および土砂濃度が変動するが、潜行が停止すると流速1.6m/s程度で土砂濃度10%程度、流速2.0m/s程度で土砂濃度数%程度に変動する排砂性能が明らかとなった。

5. まとめと今後の課題

本検討では土砂濃度の自動計測に向けた装置について仕組みとしての有効性を確認し、排砂管の排砂特性を明らかにした。今後は管内堆積厚の自動計測方法等が必要と考える。

参考文献

- 1) 宮川仁、宮脇千晴、櫻井寿之、石神孝之、箱石憲昭：潜行吸引式排砂管の現地排砂実験による実用化に向けた検討、河川技術論文集、Vol. 21、pp. 189～194、2015。
- 2) スラリー輸送研究会：スラリー・カプセル輸送便覧、1984。
- 3) 高橋弘、松井啓朗、益山忠：ビデオ画像の処理による固液二相流の管内固体濃度分布の推定に関する基礎的研究、資源と素材、106巻13号、pp. 793-797、1990。