

管径 300mm における土砂スラリーの土砂濃度の計測について

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○宮川仁、高田翔也、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きている^{1), 2)}。運用にあたっては吸引口から吐口までの確実な土砂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排砂管内の土砂の輸送特性が把握できることが望ましく、管内の土砂濃度を自動計測する手法を検討している。本稿では開発した管径 300mm における土砂濃度の計測方法の有効性を確認した結果を報告する。

2. 流量・土砂濃度計測装置

図-1 に管径 300mm の流量・土砂濃度計測装置(以下、装置)を示す。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(図-1 の赤で示す合計 2461mm))内の重量を秒単位で計測し、清水のみの重量との比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、秒単位で流量も計測し、管内の状態によって排出土砂濃度を推定する装置である。

3. 実験条件

実験は図-2 に示す水槽で実施した。土砂を水槽内に床板から約 2.5m の高さまで投入した後、排砂管を図-3 に示すように土砂の表面上に設置し、この高さを初期河床高(吸引部深度 0m)とする。排砂管と水槽外の管径 300mm の塩化ビニル管を接続し、さらに下流に装置、管終端部にスルースバルブを設置した。水をポンプで水槽内に一定流量で給水し、余水吐からの越流により実験中は貯水位をほぼ一定とし、管終端部との水位差を約 2.3m 程度確保する。土砂は、図-4 に示す粒度分布で粒径 0.053mm～3.35mm で構成される平均粒径で 0.55mm の混合粒径砂を用いた。なお、ここで言う土砂濃度とは、土砂の土粒子の実質部分の体積と土砂混じりの水の体積から求まる空隙なしの(1)式で示す体積土砂濃度を指す。

$$C = V_s / V \quad (1)$$

ここに C:空隙無体積土砂濃度, V_s :土粒子の実質部分

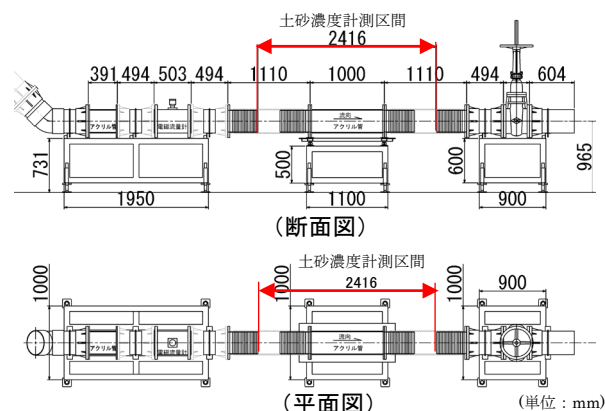


図-1 流量・土砂濃度計測装置と止水バルブ

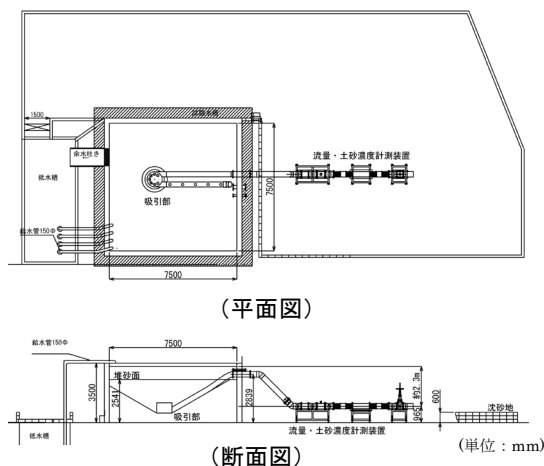


図-2 実験施設概要図



図-3 潜行吸引式排砂管(φ300mm)の設置状況

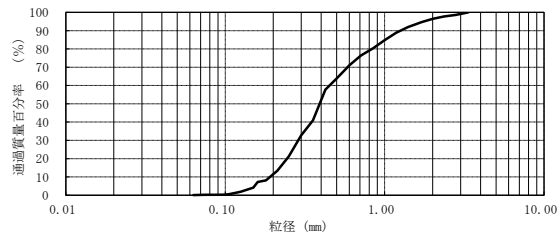


図-4 実験土砂の粒度分布

の体積(m^3), V :土砂混じりの水の体積(m^3)を表す。

実験は、バルブを全開にして開始し、吸引部での土砂吸引と自重で潜行する条件で実験中は表-1 の項目を計測した。実験終了は吸引部の深度が概ね床板に到達し、吐口から排出される土砂濃度が概ね 1%未満となる条件とした。

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

4. 実験結果

土砂濃度は、(2)式により管内土砂濃度に換算、電磁流量計も併設して管内流量を計測し、長さ 1m のアクリル管内の土砂の堆積状態など流況を目視観察し、堆積した場合に (3) 式～(6) 式で管内土砂濃度を補正し排出土砂濃度を推定した。なお、取得したデータは概ね 5 秒で流体が通過することを踏まえ分析にあたっては 5 秒平均値を用いた。

C1 = (W / (Ww - 1)) / (γs - 1) (2)

S = R^2 cos^-1((R-a)/R) - (R-a) * sqrt(R^2 - (R-a)^2) (3)

Ra = 1 - (S / (R^2 * π)) (4)

Ra = 0.37882v - 0.13646 (5)

C2 = (1 / Ra) * ((W / (Ww - 1)) / (γs - 1)) - (1 - Ra) * (1 - ε) (6)

ここにC1:管内土砂濃度または排出土砂濃度, W:土砂混合時の流体荷重(g), Ww:水のみ荷重(g), γs:土粒子比重, S:堆積断面積(cm²), R:管半径(cm), a:堆積厚(cm), Ra:流積比, ε:空隙率(0.4), v:管内流速(cm/s), C2:堆積層が生じた際の排出土砂濃度を表す。

図-5 に実験中のアクリル管内の流れの様子を示す。土砂の堆積状態等を確認したところ、概ね流速 3m/s を超えると管の下層で土砂が不均質流となったため流速 3m/s 未満を流況観察から堆積厚を計測して(3)式により堆積厚に相当する土砂の断面積を計算し、(4)式により堆積土の体積を考慮した土砂の断面積の比率を控除した流積比(管断面積を1とした値)を求めた。流積比と管内流速との関係を図-6 に示す。図-6 に示す関係から近似式(5)式を算出して(6)式で補正し堆積層が存在した場合の排出土砂濃度を求めた。なお、流速 3m/s を流積比 1 とした。

精度の検証は、実験前後の水槽内の土砂の測量から総排砂量を計算し、土砂濃度計測装置から計算された総土砂量と比較し行った。図-7 に実験後の水槽内の状況と縦横断測量結果から得た河床高を示す。等高線法により求めた総排砂量は 48.96m³ となった。また図-8 に示すとおり装置による計測から得られた合計総排砂量は 50.19m³ となった。2%程度の差はあるが管径 300mm の装置においても精度の高い排出土砂濃度が計測できたと考えられた。

5. まとめと今後の課題

管径 300mm の装置の有効性を確認した。今後、粒径の違いによっても精度の高い排出土砂濃度が計測できる

表-1 実験計測項目

計測項目	計測方法	計測間隔
水槽内水位	水位計	1秒間隔
吸引部深度	水位計	1秒間隔
管内流量	電磁流量計	1秒間隔
流砂量	計測区間の荷重を荷重計で計測	1秒間隔
流況	アクリル管内の土砂移動・堆積状況をビデオ撮影・観察	連続
管内圧力	圧力計	1秒間隔
総排砂量	レベル測量(実験前後の貯水池内形状から算定)	実験前後

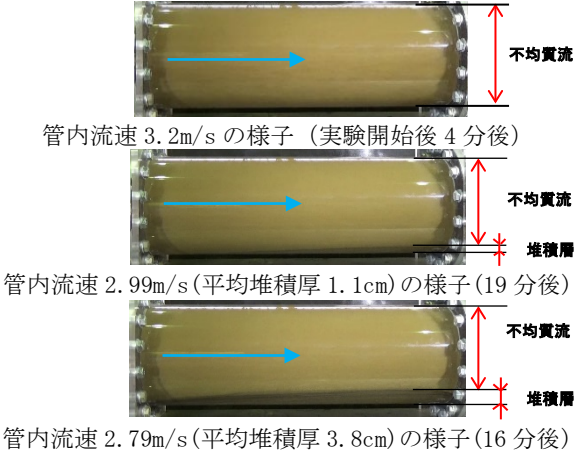


図-5 実験中のアクリル管内の流れの様子

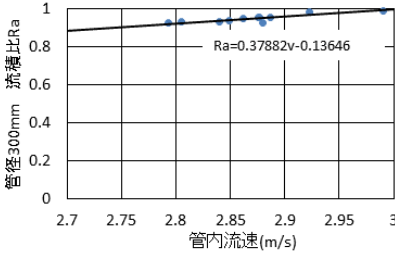


図-6 流積比と管内流速の関係

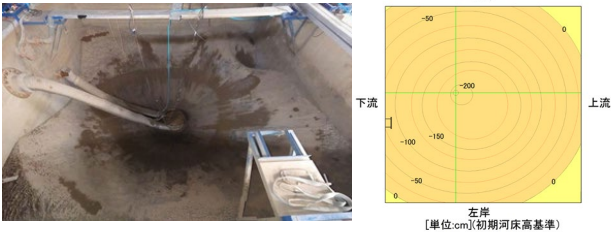


図-7 実験後の水槽内の状況と河床高

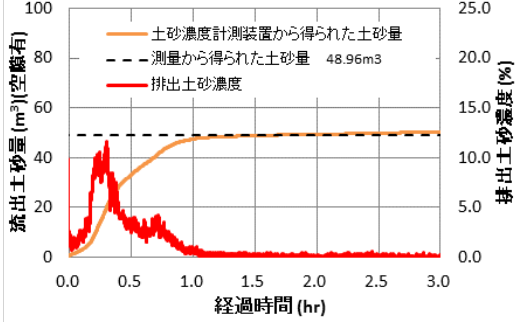


図-8 排出土砂濃度と排砂土砂総量との関係

方法について検討していく。

参考文献

1) 宮川仁, 岩田幸治, 石神孝之: 管径100mm潜行吸引式排砂管における土砂濃度計測と吸引排砂特性, 河川技術論文集, 第25巻, pp. 753-758, 2019.
2) 宮川仁, 宮脇千晴, 石神孝之: 潜行吸引式排砂管の排砂パフォーマンスと今後の展開, 土木学会第74回年次学術概要集, II, pp. 121-122, 2019.