

時間領域反射測定法を利用した流砂計測に関する実験的研究 A Flume Experiment on Utilizing Time Domain Reflectometry for Bedload Monitoring

○宮田秀介・藤田正治

○Shusuke MIYATA, Masaharu FUJITA

Methodology of monitoring bedload in mountainous streams is still under developed, despite the importance of sediment monitoring in mountainous streams for watershed management. Toward developing a novel approach of monitoring bedload with low cost, we applied Time Domain Reflectometry (TDR) on estimating river bed sediment volume by obtaining thickness below water surface. In a flume experiment, a pool of torrent was modeled. Eight TDR probes were distributed at even intervals and measured waveforms every 1 minute. The model pool was weighed and volume of inflow sediment was calculated. Comparisons of measured and estimated sediment volume in the pool showed good agreement. The experimental results showed applicability of TDR system for bedload monitoring.

1. はじめに

近年、流砂系一貫した土砂管理の必要性が認識されており、豪雨災害対策だけでなく、河川生物生息場変動や長期的なダム容量変動の把握においても河川の流砂に関する情報の重要度は高まっている。流砂系の最上流域である山地河川における流砂量は河川流量と必ずしも対応せず、斜面での土砂生産量もしくは河床の移動可能土砂量およびその粒径などに依存することが知られる。そのため、山地河川における流砂量情報の把握には詳細な観測が不可欠である。

これまで国内外の多くの研究により、山地河川の掃流砂モニタリング手法が提案されているが、そのほとんどはある河川断面の流砂の通過量を測定するものである。一方、ある範囲の河床堆積土砂の差分より流砂量を求める方法が考えられる。山地河川では、未満砂状態の砂防堰堤や堆砂池、流れの穏やかな河道などが、このような河床位観測に適切と考えられる。河床位を観測するためには、水面で反射するレーザー距離計など手法は不適であり、水面下にて堆砂面の高さを測定できる手法を開発する必要がある。

筆者らは、これまでの研究において、TDRを利用して水面下での堆砂面高さを測定する手法を開発した(宮田・藤田, 2015)。本手法は、堆砂面測量に加えて堆砂層の固相率を求めることができるため、より正確に河床堆積土砂の経時変化を求めることができる。これまでの研究は一次元的な鉛

直カラムでの実験によるものであり、流れによる測定精度への影響や複数個所での同時計測についてはさらなる検討が必要である。そこで、山地河川および堆砂池を模した水路実験を行うことで、複数 TDR プロブによる流砂量観測手法の確立と流れの中での測定精度への影響の評価を目的として研究を行った。

2. TDR を利用した堆積土砂測定法の概要

TDR 測定システムは、同軸ケーブルで接続されたケーブルテスタ(測定部)およびプローブ(受感部)から構成される。ケーブルテスタは電磁波パルスを送信し、パルスが金属プローブの根端-先端間の往復に要した時間を測定し、横軸を時間、縦軸を反射強度とする波形が得られる。得られた TDR 波形を解析し、プローブ周辺の物質の比誘電率を求めることができる。

異なる誘電率を持つ2種類の物質が隣接するとき、誘電率の不連続点において生じるマイクロ波の反射を利用して境界面を検知することができる(Thomsen et al., 2000)。境界面を貫くようにプローブを設置し TDR の測定を行うと、物質境界面に相当する箇所で TDR 波形の変換点が現れる。この波形の変化点を読み取り境界面を検知する。そのため、水および堆積土砂層の境界位置、すなわち堆積土砂の高さを計測することができる。TDR 波形の解析方法は、宮田・藤田(2015)になった。

3. 実験方法

本研究では、現地での流砂観測への適用を目指して山地河川と堆砂池を模した水路において実験を行った。実験水路は流路部と堆砂池部で構成される(図-1)。流路部は幅 8cm, 勾配 1/10 であり, 堆砂池部は幅 45cm, 奥行き 42cm, 高さ 35cm である。水路部上流端より水および土砂を供給し, 堆砂池部に流入・堆積した土砂について計測し, 土砂量の実測値を求めた。

堆砂池部に等間隔で TDR プローブ(プローブ長 27cm) 8 本を設置した。8 本のプローブはマルチプレクサを介して 1 台のケーブルテストで測定することができる。各プローブの TDR 波形は 60 秒間隔で行い, 堆砂面高さを求め, 土砂量を計算した。同時に堆積池部の重量 W_{w+s} をロードセルで計測し, 流入土砂量の体積 V_{obs} を以下の式より求めた。

$$V_{obs} = \frac{W_{w+s} - W_w}{(1 - \theta)\sigma \left(\frac{\sigma - \rho}{\rho} \right)}$$

ここで, W_w : 土砂流入前(水のみ)のコンテナ重量, θ : 空隙率(0.4), σ : 砂の密度, ρ : 水の密度である。

水の流量は 0.11 L/s であり, 1 kg/min で土砂を供給した。本実験では, 珪砂 3 号(平均粒径 1.4mm)を用いた。土砂は合計 30 kg 供給した, 10 kg 供給ごとに堆砂池内の堆砂面位を定規で測定した。

4. 結果と考察

TDR による堆砂面高さは, 実測値と非常によく一致した。次に, 図-2 にロードセルおよび TDR による計測結果を示す。全供給土砂が流入した後, ロードセルで計測された土砂量 V_{obs} が $1.94 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ であるのに対し, TDR により求めた土砂量は $2.02 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ と, 河川における土砂量計測としては十分な精度が得られることが確認された。TDR 測定は流水中で行ったが, いずれも精度よく土砂量を求めることができた。連続観測の確立に向け, TDR 波形の波形変化点自動抽出法の開発および濁度や粒径分布などの様々な条件下での測定事例の蓄積が必要である。

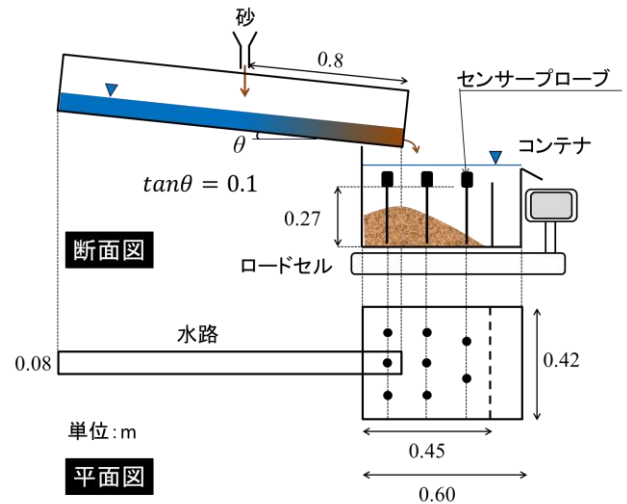


図-1 実験水路の概要

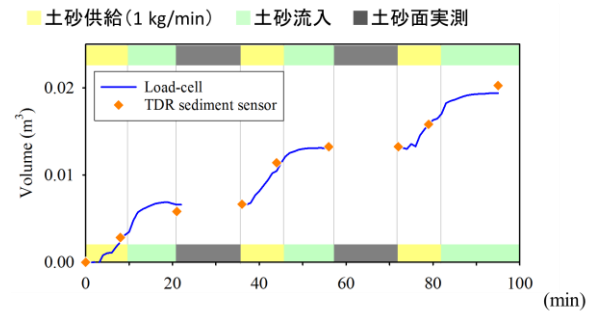


図-2 土砂量の実測値と TDR による計測値の比較

参考文献

- 宮田秀介, 藤田正治 (2015): TDR (時間領域反射測定法) を利用した堆積土砂面位および空隙率測定, 砂防学会誌 (印刷中)
- Thomsen, A., Hansen, B. and Schelde, K. (2000): Application of TDR to water level measurement, Journal of Hydrology, Vol. 236, p. 252-258