

山地溪流における土砂供給に対する河床地形変動の連続観測 Continuous monitoring of river bed change after sand feeding in a mountain channel

○宮田秀介・堤大三・市田児太郎・藤田正治

○Shusuke MIYATA, Daizo TSUTSUMI, Kotaro ICHIDA and Masaharu FUJITA

To examine applicability and accuracy of a new method of monitoring sediment height in a river using TDR (Time Domain Reflectometry), we conducted an *in situ* sediment flushing experiment at a mountain torrent. A TDR probe was vertically installed in a pool of the torrent. Obtained TDR waveforms were analyzed to detect the surface of deposition below the river flow. The height of sediment in the pool was successfully obtained with an interval of 1 min. A comparison of analyzed and manually measured sediment height in the pool showed good agreement on timing of deposition and erosion in the pool. Over-estimation of sediment height by the TDR was probably associated with difficulty of defining the sediment surface below moving bedload layer. (125 words)

1. はじめに

山地溪流は、小滝状の落ち込みと淵が連続する階段状河床形状（ステッププール構造）を呈することが多く、この形状が土砂流出の量及びタイミングに大きな影響を与える（江頭ら，1986；Imaizumi et al., 2009）。一方、土砂流出により、階段状河床形状の変化を引き起こすことがある。このように、土砂流出と河床形状は相互に関係しており、土砂移動過程を明らかにすることは、階段状河床形状を有する溪流における正確な土砂動態予測や溪流環境評価において非常に重要である。

山地溪流は土砂生産源と非常に近く、移動可能土砂量は土砂生産によりコントロールされる。そのため、階段状河床のプール部では、土砂流入により堆積が生じるが、上流からの土砂供給が無くなると、プールに堆積した土砂は流下し、元の状態に回復する。このようなプール部での堆積、侵食過程は、溪流の土砂動態に大きな影響を及ぼすが、長期での堆積変化を計測した事例がみられるのみで（藤田ら，2005）、洪水中に連続的にデータを取得した例は非常に少ない。

著者らはこれまでの研究において、土壌体積含水率計測などに用いられる TDR (Time Domain Reflectometry, 時間領域反射測定法) を利用した堆積土砂面位計測手法を開発してきた（宮田，藤田，2015）。本手法は、水中の堆積土砂高さを連続計測するものであり、流水面下での河床位計測に適用可能と考えられる。そこで、本研究では、実溪流に土砂を供給する現地実験により、河床位連

続観測精度の検証を目的とする。さらに、計測を実施するプールでの土砂動態について考察する。

2. TDR を用いた河床位計測

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。プローブを計測対象に装入し、ケーブルテスタから発射される電磁波パルスの強度が、横軸を時間（もしくは見かけの距離＝時間×真空中の光速）とした波形で計測される。計測波形の解析からプローブ（長さ L ）の見かけ距離 L_a を求め、プローブ周辺物質の比誘電率 ϵ を得ることができる。

水と土砂層を貫くようにプローブを設置すると、計測波形は、水と土砂層の境界面に対応する箇所に波形変換点があられる（宮田・藤田，2015）。本研究では、連続観測を行ったため、多数の計測結果（波形）が記録された。多数の波形を解析するために、本研究では以下の手順をとった。

1. いくつかのサンプル波形で波形変換点を求めておく。

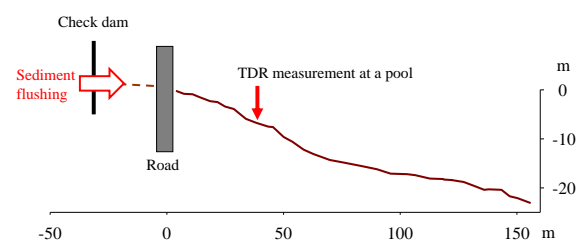


図1 ヒル谷試験流域の縦断形状

- 解析対象波形と各サンプル波形の残差平方和から、解析対象波形をはさむサンプル波形2つを抽出する。
- 2つのサンプル波形の変換点の間で解析対象波形の変換点を探索し、見かけ距離 L_{a2} を求める。
- 以下の式より河床位 D_{sed} を求める。

$$D_{sed} = \frac{L_{a2}}{(s\sqrt{\epsilon_s} + (1-s)\sqrt{\epsilon_w})V_p} \quad (1)$$

ここで、 s : 河床の固相率、 ϵ_s : 砂粒子の比誘電率 (4)、 ϵ_w : 渓流水の比誘電率 (実験前の計測結果より求める) である。本研究では実験前の河床位を0とした。

プローブ部は軸となる塩ビパイプ (長さ 100 cm) およびステンレス棒 (直径 2 mm, 長さ 90 cm) 3本にて作成した。ステンレス棒は1本が電磁波パルス発信用, 2本が受信用である。

3. 現地実験

実験は、京都大学防災研究所穂高砂防観測所ヒル谷試験流域において実施した。ヒル谷流域には、試験堰堤が設置されており、堆砂池には土砂が堆積している。本実験では、試験堰堤より排砂を行い、約 40 m 下流のプール部において河床位の連続観測を実施した (図1)。

実験中の流量変動を避けるため、前日より排砂用ゲートを開放した状態を維持し、堆砂池から堰堤の排砂ゲートより土砂を下流に排出した。排砂は2015年11月25日10:15から14:40の265分間行い、総排砂量は 21.8 m^3 であった。実験終了後に計測した溪流流量は、 $0.0994 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。排砂ゲートは11月26日11時まで開放を維持した。

TDRプローブは、プール最深部近くに垂直に設置した。実験前のプールでは、骨格を形成される粗礫のみで堆積土砂は無く、プール容量は最大と考えられた。プローブ長 90 cm に対し、実験開始前の水深は約 35cm であった。TDR計測は実験開始前の11/25 9:00に開始し、実験終了後、2016年1月7日まで継続した。なお、TDRの計測は、実験開始から1日間は1分間隔、それ以降は10分間隔とした。

4. 結果と考察

排砂開始後、濁水が流下したが、掃流砂はより

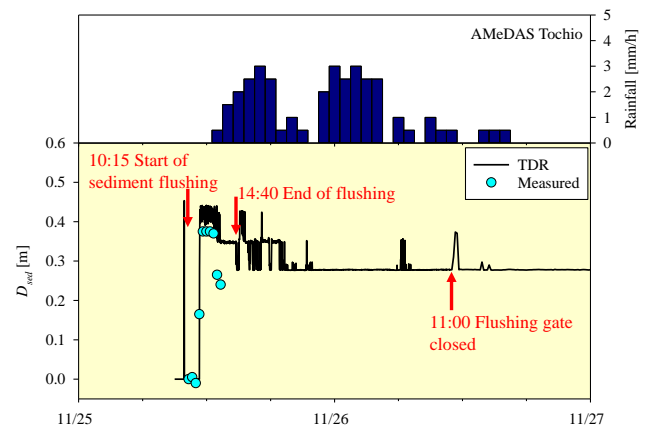


図2 TDR およびレベル測量によるプールの河床位変動計測結果

流下が遅く、計測対象プールに到達したのは11:18~11:19であった。その約20分後にはプールの未堆砂容積がほぼ0となった。

TDRによるプール河床位観測結果を図2に示す。実測値とほぼ同じタイミングである11:20に河床位が急激に上昇した。12:58までは河床位が0.40~0.45 mで変動し、その後、約0.35に減少した。排砂を終了した14:40以降、河床位の解析結果はやや変動したが、21時以降、河床位は0.28 mでほぼ一定となった。解析結果は、実測値と比較して最大約0.1 mの過大評価となったが、変化のタイミングは正確に計測することができた。本研究での実測値は、レベル測量によるものであるが、土砂移動中の河床最上層は掃流砂移動層と隣接し、河床位の特定は困難であった(権田, 私信)。一方、TDRによる計測は掃流砂移動層を含む可能性があり、解析と実測値の絶対値の差はそれぞれの誤差によるものと考えられた。

12月10~11日に総雨量52.5 mmの降雨イベント中にセンサーが破損し、これ以降は正確なデータを得られなかった。2016年1月7日に実測した河床位は0 mであり、対象プールだけでなく、試験堰堤下流ほとんどのプールにおいて容量が実験前の状態に戻っていた。したがって、本イベントは土砂移動を引き起こした出水と考えられる。土砂移動を伴う流水中の正確な計測を維持できる強度のセンサー作成については今後の課題である。

参考文献 江頭ら：第29回水理講演会論文集，1986；藤田ら：砂防学会誌，2005；Imaizumi et al.: *Catena*, 2009；宮田・藤田：砂防学会誌，2015