

# TDR を用いた土砂流出計測手法の開発

(株) 建設技術研究所 大阪本社 河川部 内藤秀弥

## 1. はじめに

現在, 山地河川における土砂流出観測はハイドロフォン, 濁度計, 水位計を組み合わせで行われている. しかし大規模出水時には多量の土砂流出により, 観測機器の検出部分が埋没してしまい通年で安定したデータの習得が難しいことや高濃度な流砂から河床変動(堆積および洗掘)までの現象を連続的に観測する手法がないという課題が存在する(図-1). 本研究では TDR(Time Domain Reflectometry)を用いて高濃度な土砂濃度を対象に土砂流出計測手法を開発し大規模出水時における現地観測を試みた.

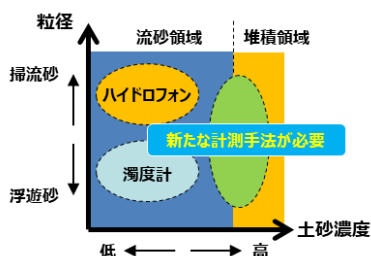


図-1 土砂流出観測の概念図

## 2. 土砂流出計測手法の開発

鉛直方向に複数本のセンサープローブを配置しており(写真-1), 洪水時には鉛直方向の土砂濃度分布が計測可能であり, 河床変動が生じた際は, 土砂堆積による濃度上昇を追うことで河床の変動を連続的に計測できる土砂流出計測手法を開発した.



写真-1 TDR 計測システム

## 3. 土砂濃度計測手法の検討

### 3.1 TDR を利用した土砂濃度計測原理

TDR 法は一般的に物質の電気の通しやすさを示す比誘電率を計測する際に多く用いられる. 河川水が水と土砂のみで構成されていると仮定すれば, 式(1)のように河川水の比誘電率  $\epsilon_{obs}$  の平方根は水(比誘電率:  $\epsilon_w$ )と土砂粒子(比誘電率:  $\epsilon_s$ )の体積ミキシングモデルで表される.

$$\sqrt{\epsilon_{obs}} = C\sqrt{\epsilon_s} + (1 - C)\sqrt{\epsilon_w} \quad (1)$$

ここで  $C$  は体積土砂濃度であり, 土粒子の比誘電率  $\epsilon_s$  と水の比誘電率  $\epsilon_w$  は既知の値である. したがって河川

水の比誘電率  $\epsilon_{obs}$  を計測することで, 体積土砂濃度  $C$  を求めることができる. 計測手法および計測原理における詳述は内藤・宮田・藤田ら<sup>1)</sup>を参考にされたい.

### 3.2 計測精度の検証実験

TDR を利用した土砂濃度計測の精度を検証するために室内実験を行った. 円筒容器に入れた純水に順次, 実験砂( $D_{50}$ : 0.2mm および 0.0004mm)を投入し土砂濃度を変化( $C$ :0.0038-0.154)させながら TDR 計測を実施した. TDR による土砂濃度計測値と直接採水によって得られた実測の土砂濃度の値を比較した(図-2). 円筒容器内での濃度の不均一性による変動を考慮するために計測値を平均すれば, 非常に精度よく計測でき様子が確認できた.

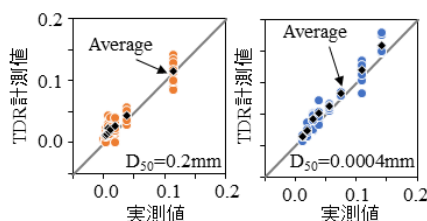


図-2 TDR 計測値と実測値との比較

### 3.3 鉛直濃度分布を考慮した浮遊砂流出量の算出

多量の土砂流出で知られる六甲山系白水谷流域において現地観測を行った. 大規模出水中の TDR 計測結果(図-4)により得られた鉛直濃度分布を用い, 浮遊砂濃度分布へのラウス分布の適用性について検討した. ラウス分布の計算に必要な基準面濃度の与え方として, 既往の式を用いる方法と河床近傍での TDR 計測値を与える方法を比較した(図-3 は流量ピーク付近). 河床近傍の TDR 計測値を基準面濃度として与えると, 実測値とよく適合する結果が得られた(図-3). したがって基準面濃度として, 河床近傍の計測値を用いることで浮遊砂の濃度分布をより正確に評価できると考えられ, 河床近傍の土砂濃度が計測できれば, 濃度分布および断面平均濃度が計算できることを示唆する.

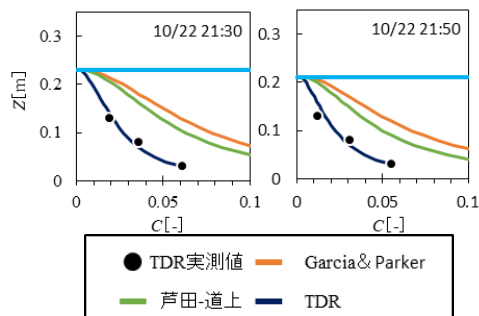


図-3 基準面濃度の与え方の違いによるラウス分布の比較

また 23:20 頃から河床近傍に設置したプローブにて継続的に約 0.1 に近い土砂濃度が観測された。これは河床近傍に設置したプローブの一部に土砂が堆積したことによるものと考えられる。河床近傍のプローブに土砂が堆積し始めたと考えられる時刻までについて断面平均濃度から浮遊砂流出量を計算した(図-4 下)。計測時間内での総浮遊砂流出量は 555 m<sup>3</sup>であった<sup>1)</sup>。

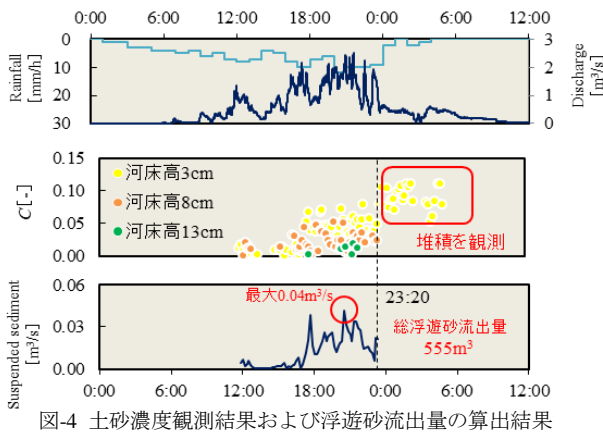


図-4 土砂濃度観測結果および浮遊砂流出量の算出結果

#### 4. 河床変動量計測手法の検討

##### 4.1 TDR を利用した河床変動量計測原理

一般に河床変動解析を行う際には、空隙率約 0.4(=土砂濃度 0.6)で堆積するとされている。堆積している時の土砂濃度は流砂として流れている時の土砂濃度と比較して1オーダー以上大きいため明瞭な差が生じる。したがって横向きのプローブを鉛直方向に複数本設置し、連続的に土砂濃度を観測することで、プローブが土砂堆積で埋没すると計測される土砂濃度は急激に上昇することになる。土砂で埋没後は洗掘が生じない限り、計測される土砂濃度の値は大きく変動しない。したがって、土砂濃度が急激に上昇した時間を追うことで、その時間に埋没したプローブ高さまで堆積深さが達したことがわかる(図-5)。なお洗掘はその逆の原理である。

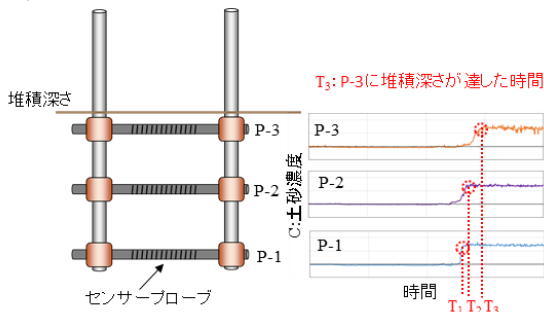


図-5 TDR を利用した河床変動量計測の概念図

##### 4.2 大規模な台風における河床変動観測

北海道南部の沙流川水系総主別川流域において現地観測を行った。北海道南部に大きな被害をもたらした2106年9号台風における土砂濃度観測結果を図-6に

示す。流量ピーク後の8/23 16:00頃から土砂濃度の急激な上昇が観測され、いずれの高さに設置したプローブにおいても観測された土砂濃度は約 0.35 に達した(図-7)。本出水後、観測地点の河床は降雨前に比べて約 80cm 程度上昇しており(写真-2)、新規に堆積した土砂のサンプリングを実施した。サンプリングした土砂の平均粒径は約 0.1mm であり、観測された急激な土砂濃度の上昇は洪水水中に粘性土がゆるく堆積していく様子を観測したと考えられる。したがって、河床高は8/23 16:00頃に高さ 17cm に達し、8/24 2:00頃に高さ 37cm まで上昇したと考えられる<sup>2)</sup>。

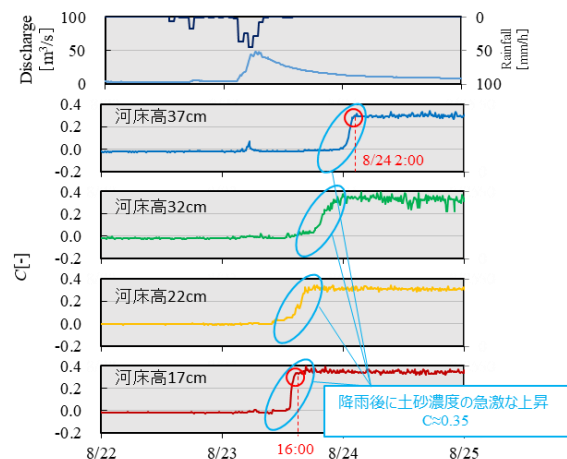


図-6 大規模台風イベントにおける観測結果

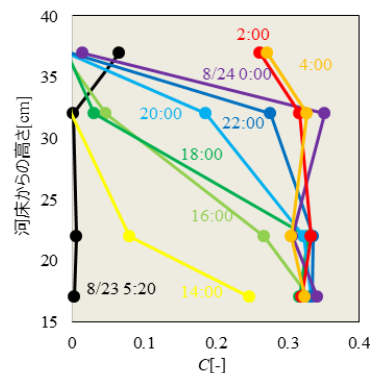


図-7 設置高さ と C の時間変化



写真-2 観測地点の様子

#### 5. 結論

TDR を用い河川水の比誘電率を鉛直方向に複数箇所計測することで高濃度な土砂濃度領域を正確に評価できることが示唆された。今後も様々な河川で観測データを蓄積することで土砂流出特性についての理解が進むと期待される。

#### 謝辞

研究指導でお世話になった京都大学防災研究所・藤田正治先生、竹林洋史先生、堤大三先生、宮田秀介先生に謝意を表す。

参考文献 1)内藤、宮田、藤田ら：砂防学会誌 2018

2)内藤、宮田、水垣、藤田：京都大学防災研究所年報 2018