

TDR を利用した土砂濃度計測手法の開発 Novel approach assessing Sediment concentration in river using TDR

○内藤 秀弥・宮田 秀介・水垣 滋・藤田 正治

○Shuya NAITO, Shusuke MIYATA, Shigeru MIZUGAKI, Masaharu Fujita

Toward novel approach of bedload monitoring in mountainous river, we attempted to establish assessing Sediment concentration by using TDR (Time Domain Reflectometry). A laboratory experiment was conducted to validate accuracies of estimated Sediment concentration using a coil type probe consisted of a PCV pipe and stainless steel wires. Also we conducted Typhoon No.12 event observation in Soushubetu river basin to validate applicability of field observation. This typhoon hit Hidaka region and is causing lot of damage. Our result indicate that our approach using TDR can continuously assess Sediment concentration and raising river bed during a typhoon event accompanied by heavy rain.

1. はじめに

山地河川において大規模出水の際には、高濃度の土砂流出によって濁度計の検出部分が埋没してしまい、通年で安定したデータの取得が難しいという課題がある。本研究では、このような状況が生じやすい大規模出水中に高濃度の土砂流出観測が可能となるように TDR を利用した土砂濃度計測手法を提案し、現地観測により有効性を検討した。

2. TDR 法による土砂濃度計測原理

TDR (Time Domain Reflectometry: 時間領域反射法) は物質の比誘電率を計測するために用いられることが多い手法である。本研究では、計測精度向上のためにプローブ長を長くしたコイル型プローブを自作した。コイル型プローブはセンサー部分が塩ビパイプに巻き付けられている構造のため、塩ビパイプ(比誘電率 ϵ_{pvc} : 約3)の影響を考慮する必要がある。いま河川水が水と土砂粒子のみで構成されていると仮定すれば、河川水の比誘電率 ϵ_{obs} は水(比誘電率: ϵ_w)と土砂粒子(比誘電率: ϵ_s)の体積ミキシングモデルで表される¹⁾。ここで塩ビパイプの影響を考慮した塩ビパイプ影響定数 A を導入すれば、

$$\epsilon_{obs}^{\alpha} = A\epsilon_{pvc}^{\beta} + (1-A)\{C\epsilon_{soil}^{\gamma} + (1-C)\epsilon_w^{\delta}\} \quad (1)$$

と体積ミキシングモデルを用いて表すことができる。また一般的に α , β , γ , δ は0.5の値をとる。水と土砂粒子の比誘電率の値は既知であるため事前にキャリブレーションによって塩ビパイプの影響定数を決めておけば、河川水の比誘電率を計測することで土砂濃度 C を求めることができる。

3. 土砂濃度計測精度の検証実験

TDRによる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。純水に順次、実験砂を投入して土砂濃度を変化させながら TDR 計測を実施した。実験砂にはカオリン(平均粒径: 0.4 μ m)を用い、土砂濃度を0~400,000ppm(=体積土砂濃度0.151)で変化させた。また計測中は円筒容器内の土砂濃度を均一にするために、ハンドミキサーで攪拌し続けた。計測には自作コイル型プローブ(P1~3)と市販の3線式プローブ(CS610)を用いた。同時に直接採取したサンプルを炉乾燥させ土砂濃度を比較した。TDR 計測により求めた土砂濃度と直接採取によって求めた実測値の比較を図-1に示す。体積土砂濃度0.02以下の領域においては誤差が大きくなった。この誤差は円筒容器内の濃度の不均一性と計測誤差によるものと考えられる。一方で体積土砂濃度0.02を超えるような高い土砂濃度領域では、いずれのプローブにおいても比較的高い精度で計測することができた。

4. 土砂堆積実験

TDR を利用し現地観測を行うにあたり、山地河川では大規模出水による高濃度な土砂流出により河床変動が生じプローブが土砂で埋没してしまうことが予想される。堆積している時の土砂濃度は流砂として流れている領域の土砂濃度より1オーダー以上大きい場合、そのような堆積領域において(1)式が適用できるか検証しておく必要がある。したがって(1)式の

適用性の検証および計測精度の向上のため室内実験を行った。純水で満たされた容器にコイル型プローブを縦向きに2本、横向きに2本設置し、実験砂を順次投入しプローブを埋没させた。実験砂には珪砂1号、3号、5号および混合砂(1号と5号を1:1で混合したもの)を用いた。プローブが完全に埋没後、TDR計測を行い求めた土砂濃度と堆積深さを計測することで求めた容器内の平均的な土砂濃度を比較した。各実験砂における縦向きにおいたプローブでTDR計測により求めた土砂濃度と堆積深さから求めた実測値の比較を図-1右上部に示す。珪砂5号を堆積させた場合の土砂濃度は比較的精度良く計測できているが、粒径が大きくなるにつれて実測値より過小な値をとる傾向が見られた。したがって現在使っている体積ミキシングモデルは流砂領域には適用できるが、堆積しているような高濃度の領域ではうまく適用できないことがわかった。そのため(1)式におけるパラメータ γ を実験結果にフィッティングするように最小二乗法(RMSE)で体積ミキシングモデルの補正をおこなった。補正結果を図-2に示す。パラメータ $\gamma=1.0$ とすれば、堆積領域においても実験結果とフィッティングする結果となった。

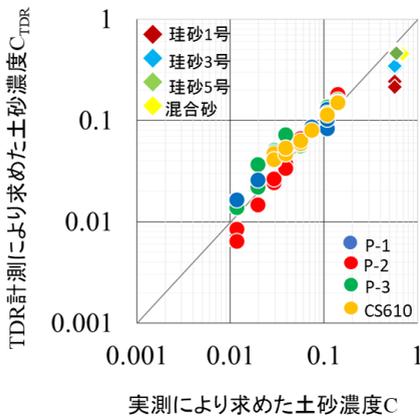


図-1 実測値と計測値の比較 (土砂堆積実験 右上部)

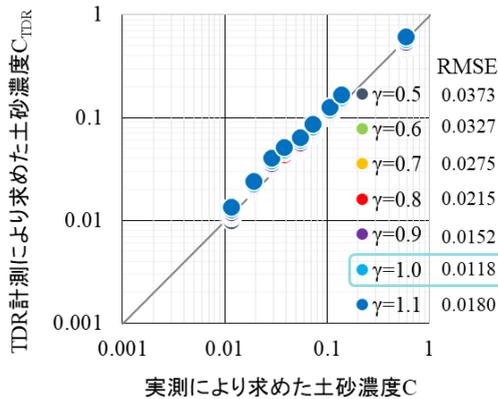


図-2 体積ミキシングモデルの補正

4. 台風イベント観測による現地への適用性の検討

現地観測は北海道南部の総主別川流域を対象とした。TDRプローブを河床から高さ17~37cmに自作したコイル型プローブ(P-A~E)を5cm間隔、高さ42cmの地点に市販の3線式プローブ(CS610)を設置した。図-3に2016年8月21~25日のTDRによる土砂濃度観測結果を示す。プローブP-Cはケーブルテストの設定に誤りがあり、正しく計測できていなかった。また3線式プローブはセンサー部分の金属棒が露出しており、流木やリターなどの浮遊物を捕捉しやすい形状のため計測結果に多くのノイズが含まれた。そのため現地観測には3線式プローブよりコイル型プローブの方が適していると考えられる。流量ピーク後に土砂濃度はほぼ0に低下したが、8/23 16:00頃から急激に上昇し、土砂濃度が約0.4に達した。この急激な土砂濃度の上昇は、新規に堆積した土砂を計測したためと考えられる。またイベント後、堆積した土砂の粒径を調べるためサンプルを採取したが平均粒径は0.1mm程度であった。このように、台風に伴う豪雨イベント中も土砂濃度を連続観測することができ、さらに堆積による土砂濃度上昇と河床上昇を連続的に観測することができた。

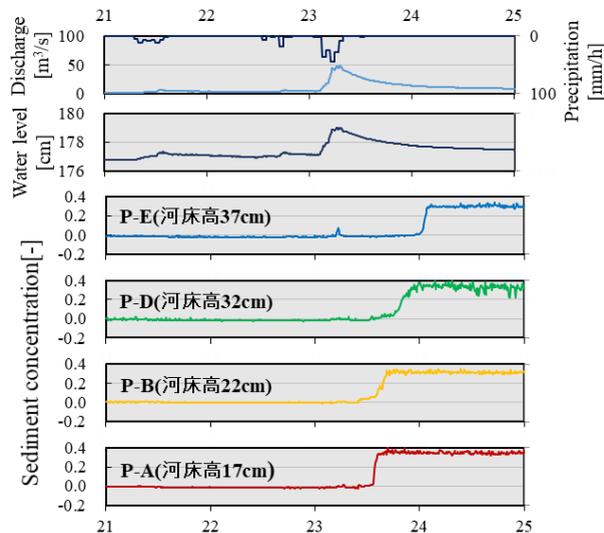


図-3 台風9号イベントの観測結果

参考文献

- 1) Dobson, M.C., Ulaby, F.T., Hallikainen, M.T., El-Rayes, M.A.: Microwave dielectric behavior of wet soil - partII : dielectric mixing models, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, Vol. GE-23 (1) , 35-46, 1985
- 2) Pepin, S., Livingston, N.J., Hook, W.R.: Temperature-dependent measurement errors in time domain reflectometry determinations of soil water, Soil sci. Soc. Am.J., Vol. 59, 38-43, 1995