

六甲山系における TDR を利用した浮遊砂の鉛直濃度分布観測

○内藤秀弥（京大院工）・宮田秀介・藤田正治（京大防災研）
岸本昌之・服部浩二・石塚忠範（国土交通省六甲砂防事務所）
永田葉子・小菅尉多（国土防災技術株式会社）

1. はじめに

大規模な出水イベントが起こると、山地河川では多量の土砂流出によって濁度計の検出部分が埋没することがあり、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。本研究では高濃度の土砂濃度計測に適した TDR を利用し、現地観測による手法の有効性を検討した上で山地河川の土砂濃度鉛直分布の観測を試みた。

2. 方法・観測地の概要

兵庫県の六甲山系に位置する白水谷流域において現地観測を行った。白水谷流域は裸地が流域面積の 39% を占め、六甲山系では突出して土砂流出の多い流域であり、流域末端の砂防堰堤においてハイドロフォンおよび濁度計、水位計、流速計、IP カメラを組み合わせた水文流砂観測が 2006 年より行われている¹⁾。また、出水中に多段式採水器により河床高 2cm から 15cm の濁水サンプルを採取し土砂濃度を計測した。ここに著者らの開発する TDR 計測システムを導入し、河川水の土砂濃度を観測した。計測方法は、宮田・藤田²⁾に詳しい。濃度の鉛直分布を把握するために、堰堤天端の側壁部に河床高 3cm から 23cm に 5cm 間隔で 5 本のコイル型プローブを配置した（写真-1）。土砂濃度観測は 2017 年 4 月に開始した。

3. 結果と考察

(1) TDR による土砂濃度計測の現地への適用性

2017 年 6 月 21 日の降雨イベント（総降雨量：89mm）では、TDR と多段式採水器により土砂濃度を計測することができた。そこで TDR による土砂濃度計測手法の適用性を検証するために、TDR による計測（プローブ P-1、P-2）と出水イベント中の直接採水（多段式採水）による土砂濃度観測結果と比較を行った（図-1）。TDR による計測値は、プローブ P-2（河床高 8cm）は多段式採水による計測結果と近い値をとるものの、河床高 2cm の P-1 では採水による結果よりも濃度が高い傾向を示した。また採水されたサンプルに含まれる土砂はほとんどが 0.5mm 以下であり、採水ではウォッシュロード成分を主として計測したとみられる。一方の TDR は粒径に関わらず計測範囲の土砂濃度を測定する²⁾。したがって、TDR 計測は粒径 0.1mm 以下のウォッシュロード成分だけでなくより粗い粒径も含む浮遊砂全体の濃度を計測したと考えられる。その結果、特に河床近傍において TDR では多段式採水よりも高い土砂濃度が計測されたと考えられる。TDR による土砂濃度は、濁度計や多段式採水では完全にはとらえきれない浮遊砂成分の観測に適している

と考えられる。ただし、TDR は体積土砂濃度 0.02 を超えるような高濃度計測に適しており²⁾、通年の土砂流出量の把握には濁度計などと組み合わせて使用するべきである。

(2) 大規模出水時の土砂濃度鉛直分布

日本列島に上陸した台風 21 号により、白水谷流域でも大規模な出水イベントが起こった。2017 年 10 月 22-23 日の総降雨量、最大降雨強度は、それぞれ 144mm、12mm/h であった（図-2）。本イベントでは河床高 13cm のプローブ P-3 まで土砂濃度を観測することができた。

白水谷流域での観測により、出水中には河床近傍ほど濃度が高い明瞭な鉛直方向の分布を示すことが明らかとなった（図-1、図-3）。そこで、大規模出水イベント中の TDR 計測による鉛直濃度分布を用い、山地河川での



写真-1 TDR 計測システムのプローブ

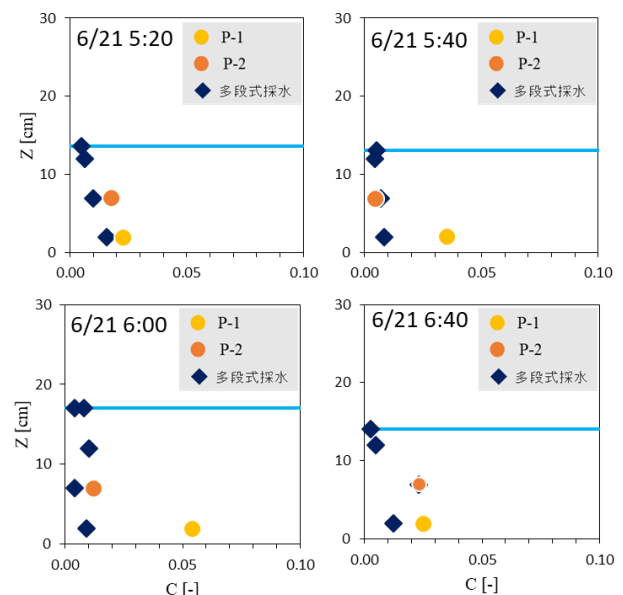


図-1 TDR 計測および多段式採水による濃度鉛直分布

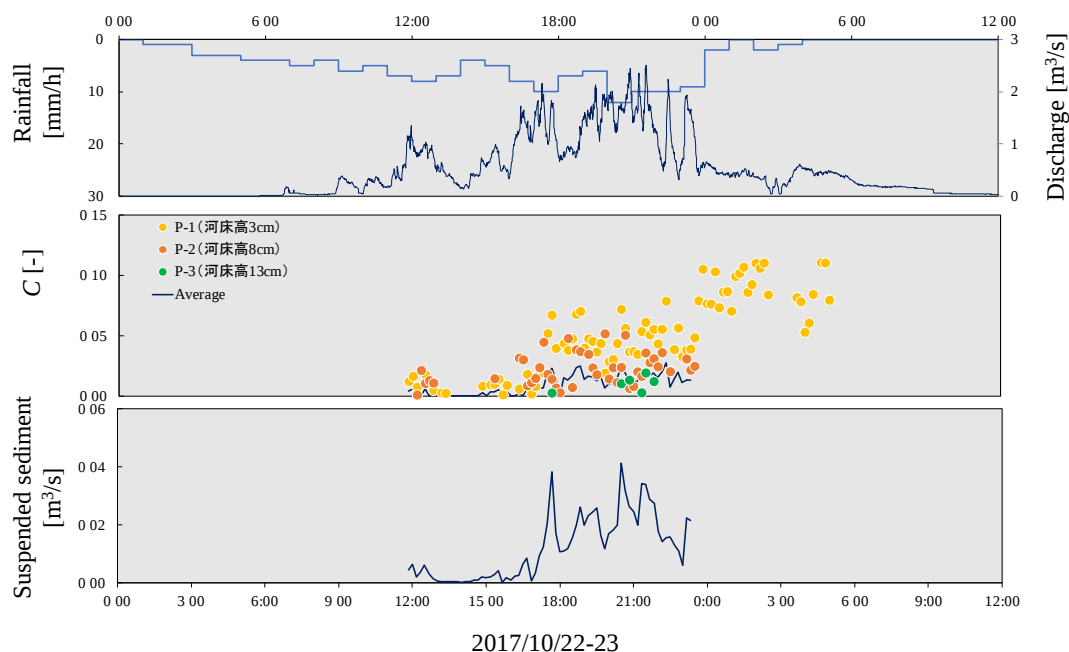


図-2 大規模出水イベントにおける降雨，河川流量，TDR による土砂濃度計測結果と浮遊砂流出量の計算結果

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、移動床を対象とする芦田・道上の式³⁾および Garcia & Parker の式⁴⁾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。各基準面濃度式の計算結果は河床近傍の TDR 計測値の 3 倍程度となった。そのため、基準面濃度式を利用した鉛直分布は TDR で計測された分布よりも濃度の絶対値が過大評価であった（図-3）。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。したがって、基準濃度として、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を実測することが非常に重要であることがわかった。また、これらの結果は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。

プローブ P-1 の土砂濃度が得られた時刻について断面平均濃度から浮遊砂流出量を計算した（図-2）。計算された浮遊砂流出量の最大は $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、P-1 で計測できた時間内での総浮遊砂流出量は 555 m^3 であった。

様々な河川での土砂濃度分布観測データを蓄積することで、濃度分布の規定要因についての理解が進むと期待される。

参考文献

- 1) 田村ら：六甲山系の横断方向の流砂変動とハイドロフォン，砂防学会誌，2016；
- 2) 宮田・藤田：TDR を用いた土砂流出計測手法の開発，平成 30 年砂防学会研究発表会概要集，2018；
- 3) 芦田・道上：浮遊砂に関する研究（1）—河床付近の濃度—，京都大学防災研究所年報，1970；
- 4) Garcia & Parker: Entrainment of bed sediment into suspension, Journal of Hydraulic Engineering, 1991

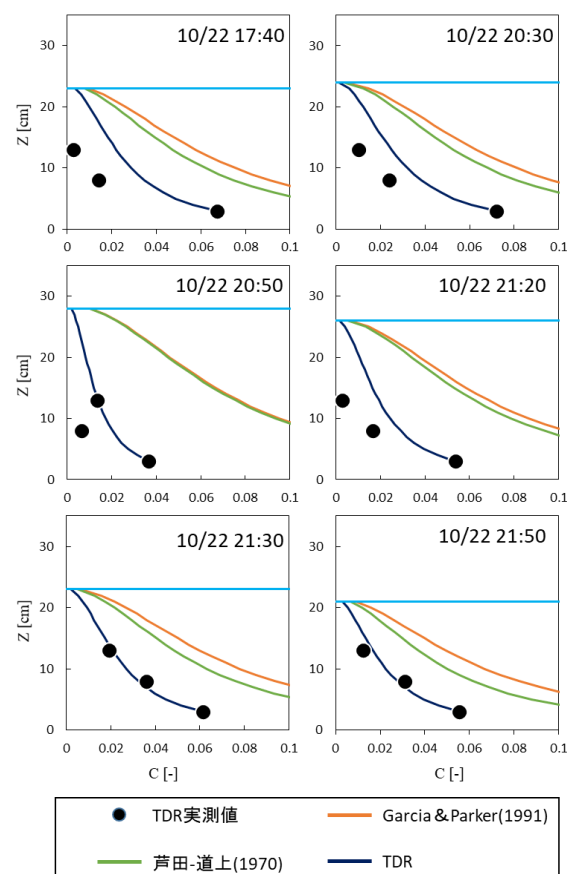


図-3 基準面濃度式³⁾および TDR (P-1) 計測値を基準面濃度として用いたときのラウス分布と TDR 計測値の比較
粒径は 1mm とし、水理量は各時刻の計測結果，その他定数には一般的な値を用いた。