

ADCP と RTK-GPS の計測データに基づく掃流砂量の推定と掃流砂量式との比較

神戸大学大学院 学生会員 ○和泉征良

日水コン 正会員 竹内慈永 高知高専 正会員 岡田将治

1. 序論

近年、土砂移動を把握するためのモニタリング技術として、ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler：超音波ドップラー流速計)のボトムトラッキング機能(BT 機能)を用いた対地速度(掃流砂速度(bed-load velocity))の計測による掃流砂量計測手法の検討が進められている。この掃流砂量計測技術への展開は、Rennie ら¹⁾によって早くから検討が行われてきた。また、萬矢ら²⁾は利根川において ADCP および RTK-GPS を搭載した橋上操作艇による定点観測と採砂器による掃流砂量の同時計測を行い、手法の有効性を検証している。実河川における洪水時の土砂動態について、さらに理解を深めるためには、異なる河川や水理条件においてこれらのデータを蓄積するとともに、従来から用いられている掃流砂式や河床変動解析手法との関係についても明らかにすることが重要となる。そこで、本研究では ADCP と RTK-GPS を搭載した橋上操作艇により、2011 年 7 月四万十川および 2012 年 9 月仁淀川において洪水中に実測したピーク流量 3000m³/s、3800m³/s を対象に、一般的に用いられている二次元河床変動解析手法を用いて現地観測時の四万十川および仁淀川の洪水流を再現し、解析モデルにより得られる摩擦速度、無次元掃流力、掃流砂量を実測値、あるいは実測値から推定した値と比較することにより、両者の関係について考察する。

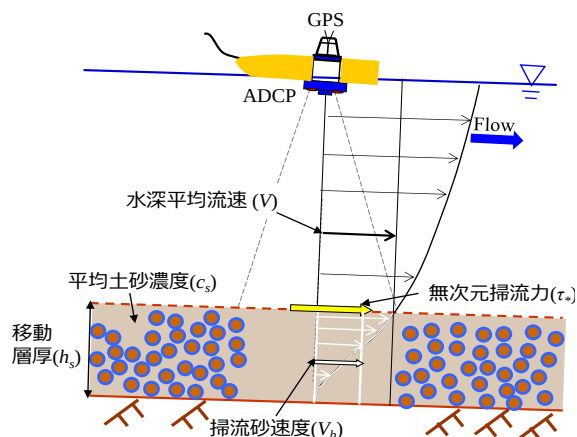


図-1 本研究の掃流砂量推定手法

2. 既往の掃流砂量式と観測データに基づく掃流砂量推定手法

萬矢ら²⁾は、利根川の ADCP 観測により計測した結果から掃流砂量を算出している。その際、掃流砂量の推定手法の 1 つである Bagnold 型の算定式から求めている。Bagnold 型の算定式を示す。

$$q_b = \int_0^{h_s} c \cdot u \cdot dz \cong v_s \cdot h_s \cdot c_s \quad (1)$$

ここで、 c ：土砂濃度、 u ：土砂移動速度、 v_s ：平均土砂移動速度、 h_s ：移動層厚、 c_s ：平均土砂濃度である。平均土砂移動速度(v_s)を ADCP と RTK-GPS により計測した掃流砂速度(v_b)としている。移動層厚(h_s)は江頭らの推定手法により算出している。

$$\frac{h_s}{d} = \frac{1}{C_s \cdot \cos \theta \cdot \{\tan \phi_s / (1 + \alpha) - \tan \theta\}} \tau^* \quad (2)$$

ここで、 c_s ：土砂濃度(=0.6)、 θ ：河床勾配、 ϕ_s ：砂粒子間の内部摩擦角(=38.5°)、 α ：動的水圧と静的水圧の比(=0.25)である。移動層厚とは、水と砂粒子の混合物の流れの層のことである。図-1に本研究で用いる掃流砂量推定手法を示す。掃流砂速度は、時間 t から時間 $t + \Delta t$ 秒間に移動したときの RTK-GPS で計測した移動方向ベクトルと ADCP の BT 機能により計測した移動方向ベクトルとの差によって算出することができる。また、上記の手法により実測データから推定した掃流砂量と比較するために、掃流砂量式として従来から多く用いられている芦田・道上の式により算出する。

$$q_{B*} = 17 \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*} \right) \quad (3)$$

ここで、 $q_{B*} = q_B / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}$ 、 q_B ：掃流砂量、 τ_* ：無次元掃流力、 τ_{*c} ：無次元限界掃流力、 σ ：砂粒子の密度、 g ：重力加速度、 d ：河床粒径である。なお、 τ_* を求める際の摩擦速度 u_* は、各地点の水深と観測時の水面勾配から $u_* = \sqrt{ghI}$ により算出している。本研究で用いた解析手法では、無次元有効掃流力 τ_{*e} の項を τ_* としている。

3. 二次元河床変動解析を用いた洪水流の再現と摩擦速度、無次元掃流力および掃流砂量の考察

図-2 に仁淀川(3800m³/s)において ADCP で計測した水深平均流速を示す。全体的に見て流速が 3.0m/s 程度であることが分かる。図-3 に示す水深平均流速の横断分布は、Fig.2 の実測値と解析結果を比較したものである。左岸側に若干違いがみられるものの、河道中央部において同様な値となっており、流況をほぼ再現できている。四万十川においても水深平均流速を比較したところ、同様に概ね一致した。

図-4 に示す摩擦速度の横断分布をみると、実測した結果から算出した摩擦速度は、水面勾配から算出した摩擦速度に比べ仁淀川では 2～3 倍になった。無次元掃流力も同様に大きい値となった。一方、四万十川では実測値と解析値に大きな差は見られなかった。これは、河床移動が生じていると考えられる地点で摩擦速度が大きくなり、無次元掃流力も大きくなったと考えられる。図-5 に掃流砂量の横断分布を算出したものを示す。四万十川、仁淀川の両河川においても解析上で芦田・道上式から求めた結果と著者らが提案する手法で求めた結果は同様な傾向を示した。特に、仁淀川では無次元掃流力が大きく異なっていたにも関わらず、掃流砂量としては同程度となった。これは、式(3)において本解析手法では無次元掃流力により計算していることが原と因として考えられたため、無次元有効掃流力についてもプロットした。その結果、実測結果から求めた掃流砂量が無次元有効掃流力から求めた値に比べて 2～4 倍程度大きくなった。本研究で提案する手法について、洪水中の掃流砂量の実測結果も踏まえてさらに検証する必要がある。

4. 結言

実測した流量、複数地点の水位計データに基づいて二次元河床変動解析を行って洪水流を再現し、実測値と解析値を比較した。その結果、土砂移動が顕著なほど実測値は、解析から算出される摩擦速度よりも大きく評価されており、その結果無次元掃流力も同様に大きいことがわかった。解析上の無次元掃流力から得られた掃流砂量と萬矢らの提案する手法によって算出した掃流砂量が同程度となった。萬矢らの手法により求めた掃流砂量は無次元有効掃流力から求めた掃流砂量に比べ、2～4 倍程度大きくなった。今後、採砂器を用いた洪水中の掃流砂量計測を実施し、本手法の妥当性について定量的な検証を行う予定である。

参考文献

- 1) Collin D. Rennie, Robert G. Millar and Michael A. Church : Measurement of Bed Load Velocity using an Acoustic Doppler Current Profiler, *Journal of Hydraulic Engineering*, MAY 2002, pp.473-483, 2002.
- 2) Atsuhiko Yorozyua, Yuya kanno, Kazuhiko Fukami and Shoji Okada : Bed-load discharge measurement by ADCP in actual rivers, *River Flow 2010*, pp1687-1692, 2010.

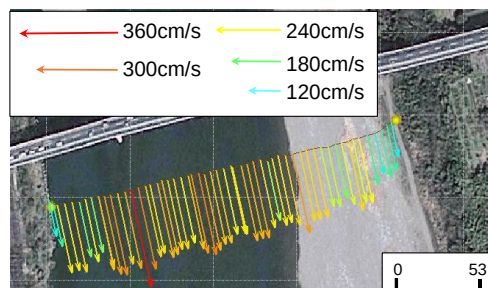


図-2 ADCP で計測した水深平均流速(仁淀川, 3800m³/s)

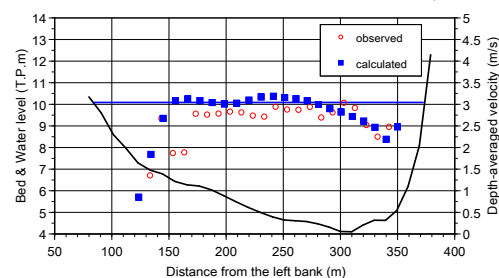


図-3 ADCP の計測断面における水深平均流速の実測値と解析値の比較(仁淀川, 3800m³/s)

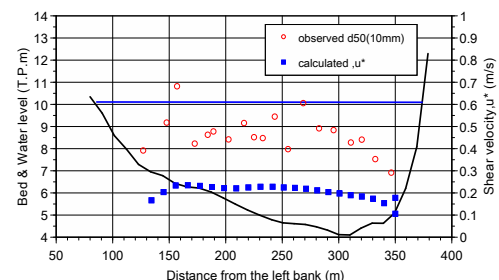


図-4 ADCP の計測断面における摩擦速度の実測値と解析値の比較(仁淀川, 3800m³/s)

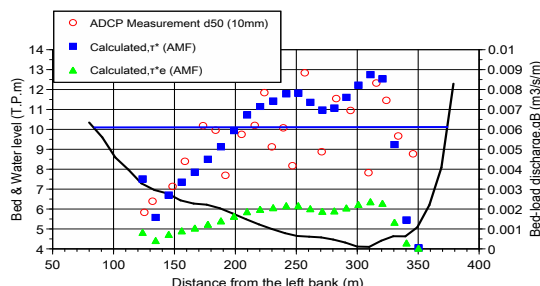


図-5 ADCP の計測断面における掃流砂量の実測値と解析値の比較(仁淀川, 3800m³/s)