四万十川における洪水中の河床移動速度の計測とその考察

高知工業高等専門学校　学生会員　○竹内慈永　広島大学　学生会員　地曳海渡
高知工業高等専門学校　正会員　岡田将治

１．目的

平成 10 年に公表された建設省(現国土交通省)河川局砂防部の総合土砂管理小委員会報告[1)]によれば，流出土砂による災害を最小限に抑え，河道の安定的な維持や施設の機能確保，生態系への影響の緩和，海岸の保全等を図るためには，流域の源頭部から海岸までを一貫とした土砂の運動領域を「流砂系」という概念でとらえ，それに基づいた土砂管理の必要性を指摘している．流砂系における総合的な土砂管理を推進する上で，洪水中の土砂移動の実態やその特性の把握，予測手法の精度向上を図ることが重要であり，高精度のモニタリング技術の確立が急務となっている．近年，ADCP(超音波ドップラー流速計)を用いた河川の洪水流観測技術はほぼ確立されてきており，萬矢・岡田ら[2)]は，移動床実験水路において ADCP を用いた流況と河床移動速度の同時計測手法と実測した鉛直流速分布から河床面の摩擦速度および流砂量の算出手法を提案している．本研究では，この手法を 2011 年 7 月四万十川および 2012 年 9 月仁淀川の洪水流観測に適用し，ADCP と RTK-GPS を搭載した橋上操作艇による横断観測によって得られた流況と河床移動速度との関係について考察を行った．本稿では四万十川の観測結果について示す．

２．四万十川における 2011 年 7 月洪水流観測

本研究で用いる ADCP にはボトムトラック機能（以下，BT 機能と記す）というナビゲーション目的のために ADCP 本体の移動速度と方向を計測する機能が備わっている．この機能では，河床(動かないものと仮定)に向けて超音波を発射し，その超音波が反射して戻ってきた際の周波数の変化を計測することによって算出されている．そのため，洪水時のように流れの激しい場合にはその流れに伴い河床変動が生じるため，BT 機能による出力される流況の計測精度が低下する．そこで，本手法ではリアルタイムに位置座標が精度よく計測可能な RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS)を ADCP に設置し本体の移動速度を BT 機能とは別に計測することで，BT 機能により誤差を含んだ本体の移動速度から，RTK-GPS の座標値より求めたボートの移動速度を取り除くことにより河床面の移動速度が計測できる．四万十川の河口から 8.4km に位置する不破地区渡川大橋を観測対象地点とし，2011 年 7 月に洪水流観測を実施した．**図-1** に四万十川の観測地点の横断河床形状と観測を行った期間の水位ハイドログラフを示す．

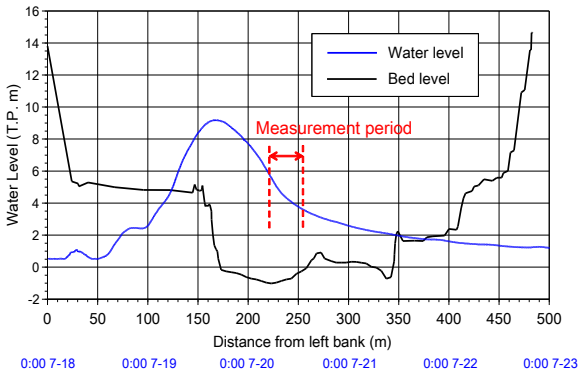


図-1 渡川大橋の横断図と2011 年 7 月洪水時の水位ハイドログラフ

３．ADCP のボトムトラック機能と RTK-GPS による河床移動速度の観測結果

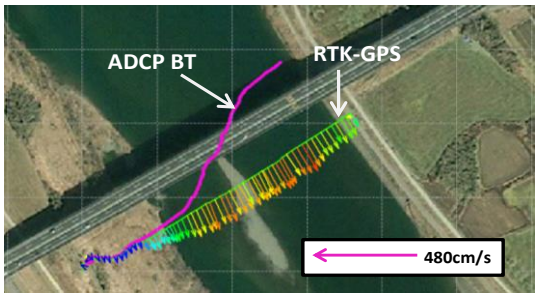
四万十川洪水観測では計 8 回の横断観測のデータが得られており，そのうちほぼ同じ時間帯に同じ航跡で観測を行っている CaseM1(5:00)，CaseM2(5:40)および CaseM3(6:00)の結果を以下に示す．**図-2** に CaseM1 における ADCP の BT 機能および RTK-GPS により求めた橋上操作艇の航跡図と水深平均流速ベクトルを示す．河川の主流部では水深平均流速が約 3.2m/s で横断方向にほぼ一様となっており，主流部に入る部分で航跡に大きな差が生じている，すなわち河床変動が生じていることがわかる．**図-3** に本手法を用いて求めた CaseM1，M2 および M3 における河床移動速度の横断分布図を示す．1 アンサンブル(1～2 秒)毎のデータではバラツキが大きくなるため，ここでは 30 秒間で平均した値を示している．CaseM1 では低水路中央部の水深平均流速が約 2.5m/s を超える区間で 0.1m/s を超えており，特に中洲で 0.2m/s，澪筋部で 0.15m/s であった．CaseM2 および M3 では断面全体で河床移動速度が小さくなっ

ている．つぎに，実測された河床移動速度と摩擦速度との関係を考察するために，**図−4** に河床移動速度と水面勾配および水深から Eq.(1)で簡易的に得られる摩擦速度 $u_{*waterslope}$，ADCP で実測した鉛直流速分布を対数分布則 Eq.(2)が成り立つと仮定して得られる摩擦速度 $u_{*log\text{-}law}$ および萬矢ら [2)]が提案する手法により得られ摩擦速度 $u_{*yorozuya}$ 計 3 種類の摩擦速度との関係を示す． なお，粒度試験から得られた代表粒径 20mm に対して，岩垣の式から限界摩擦速度 u_{*c} を算出した結果，12.72cm/s であった．

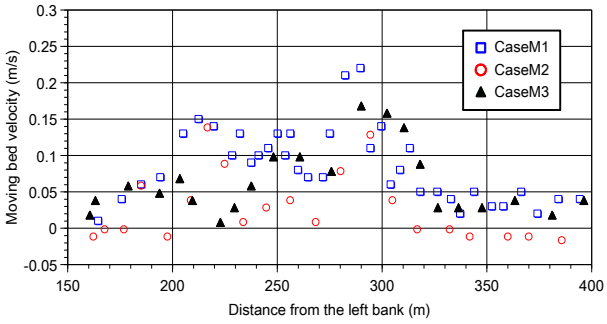
$$u_{*water-slope} = \sqrt{ghI} \qquad (1)$$

$$\frac{u(y)}{u_{*log-law}} = \frac{1}{\kappa}\ln\frac{y}{k_s} + A_r \qquad (2)$$

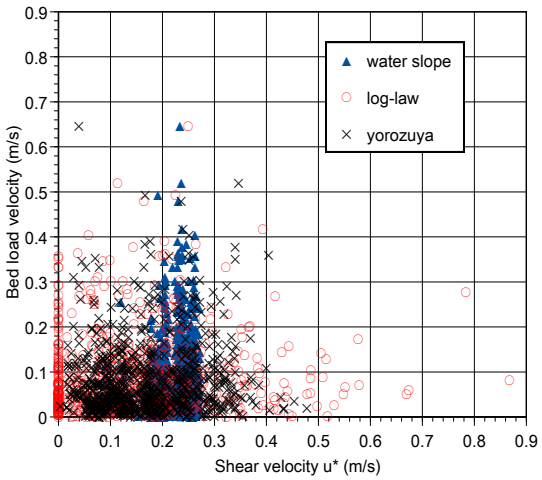
図より，水面勾配から算出した摩擦速度▲は，0.2～0.25m/s 付近でほぼ一定の値を示しており，河床移動速度との相関が低い．つぎに対数分布則から得られる摩擦速度〇と萬矢の手法により得られる摩擦速度×を比較すると，前者は 0m/s となる，あるいは 0.4m/s を超える範囲において分布していることから，3 種類の算出手法の中では，萬矢らの手法 [2)]により得られる摩擦速度が河床移動速度とより相関が高いといえる．しかしながら，この萬矢の手法は実験水路において有効性が確認されているものの，洪水時の実河川での適用事例はほとんどないため，河床移動速度と摩擦速度の関係について詳細に考察していく必要がある．



図−2 CaseM1 における ADCP の BT 機能および RTK-GPS により求めた橋上操作艇の航跡図と水深平均流速ベクトル



図−3 CaseM1，M2，M3 おける流下軸方向の河床移動速度の横断分布



図−4 CaseM1，M2，M3 の鉛直流速分布から 3 つの手法により求めた摩擦速度と河床移動速度の関係

4．結言

四万十川渡川大橋において，2011 年 7 月出水時に ADCP および RTK-GPS を搭載した橋上操作艇により洪水中の流況と河床移動速度の横断分布の同時計測を行った．さらに，実測した河床移動速度と 3 種類の方法で算出された摩擦速度の関係について考察した結果，簡易法として一般的に使用されている水面勾配と水深にいる方法は実測の河床移動速度との相関が最も低く，萬矢らが行った移動床実験水路における検討結果と同様に，対数分布則を仮定する手法よりも萬矢らが提案する手法が有効であることを確認した．仁淀川で 2012 年 9 月に実施した洪水流観測データも含め，実河川における洪水中の河床移動速度と摩擦速度との関係について今後さらにデータを蓄積して明らかにしていく予定である．

4．参考文献

1) 建設省河川局砂防部砂防課：「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」(総合土砂管理小委員会報告)，平成10年7月

2) 萬矢敦啓，岡田将治，江島敬三，菅野裕也，深見和彦：ADCP を用いた摩擦速度と掃流砂量の算定方法，水工学論文集，第 54 巻，pp.1063-1098，2010