# 第 部門 河床波上の浮遊砂を伴う流れにおける粒子・流体の相互作用と乱流変調

京都大学工学部地球工学科	学生員	野口和則
京都大学大学院工学研究科	フェロー会員	禰津家久
京都大学大学院工学研究科	学生員	東良慶

### <u>1.はじめに</u>

実河川において,流れ場は様々な要素から形成されている.その要素の一つである河床形状が流れ場に及ぼす影響は非常 に大きく,従来から注目され,現在までに様々な研究がなされてきた.水理実験的手法による既往の研究では,主に点計測 による流れ場の鉛直断面における2次元時間平均構造に関して詳細に研究がなされ,平均流速,乱れ強度などについての考 察がなされた.しかし,これらの研究は粒子を伴わない清流がほとんどであり,また河床波上の浮遊砂を伴う流れに関して は,浮遊砂のみを計測した研究や,粒子と流体のデータを判別せず,混合体として計測した研究が大半であり,浮遊砂流れ における粒子と流体の相互作用を考察した研究は非常に少ない<sup>1)</sup>.本研究では粒子追跡法 PTV による画像解析を行う際, 画像上の粒子投影面積にしきい値を設けることで粒子と流体データを判別分離し<sup>2)</sup>,それぞれを比較考察することで,河床 波上に形成される組織的な流れと流砂運動との相互作用を実験的に解明する第一歩である.

#### 2.実験方法および水理条件

本実験で使用した水路は全長4m 幅5cmのアクリル製循環式直線水路である.その流路全域にわたって 河床波勾配(1/20)の二次元河床波モデルを連続して設置した.河床波モデルの河床波長と平均水深の比( $l_s/h$ )および河床波勾配( $h_s/l_s$ )は,実河川でよく見られる典型的な値( $l_s/h = 5.0$ ,  $h_s/l_s = 1/20$ )<sup>1)</sup>に設定した.図-1に示すように水層の瞬間構造は PTVを用いて水路中央断面における流れを 1/30 秒コマずつ計測した.なお,PTV による粒子速度と流体速度の計測方法の詳細は,文献2)を参照願いたい.表-1に実験条件を示す.ここで,B は水路幅,h は平均水深, $U_m$ は断面平均流速, $h_s$ は河床波高, $h_x$ は河床波長,Reはレイノルズ数,Frはフルード数, $\overline{C}$ は平均粒子濃度である本研究では一定流量(0.57l/sec)の条件で,清流(sw01),粒子濃度が小さいケース(sw02),大きいケース(sw03)の合計3ケースを行い,浮遊砂流と清流との比較,そして,浮遊砂流における粒子と流体の相互作用についての考察を行った.また,本実験水路はアスペクト比B/hが1.25と小さく,水路中央断面付近まで2次流の影響があると推測されるが,予備実験により,水面付近に2次流の影響が観察されるものの,半水深より下部領域(y/h < 0.5)においては,河床波頂部での剥離渦の発生からコルク・ボイル渦の放出に至る一連の組織構造の移流過程では2次流の影響は極めて小さいことを確認した.

## <u>3.実験結果および考察</u>

以下の実験結果および考察では,清流(clear water),流体 (fluid),粒子(particles)の諸量にそれぞれ添字 cw,f,pを付加して区別する.図-2 は粒子を伴う流れにおける粒子 と流体の相対速度( $U_f - U_p$ ,  $V_f - V_p$ )のコンター図 である.これらは $U_{max}$ で無次元化している.流下方向成分 に関しては,壁面から離れた領域では河床波上の全域で粒

case	Q	В	$h_s$	h	B/h	$l_s/h_s$	l₅⁄h	$U_m$	Re	Fr	水温	С
	(liter/sec)	(cm)	(cm)	(cm)				(cm/s)	$(\times 10^4)$		( )	$(\times 10^{-4})$
sw01												-
sw02	0.57	5	1	4	1.25	20	5	32.1	1.01	0.513	15.2	2.52
sw03												3.49

表 - 1 実験条件表



図-1 画像解析装置(PTV)

Kazunori NOGUCHI, Iehisa NEZU, and Ryoukei AZUMA



図-3 乱流変調のコンター

子速度 $U_p$ と流体速度 $U_f$ の間に顕著な相対速度は生じていない.一方,流体の速度が小さい河床付近では相対速度が顕著 となっている.また,鉛直方向に関しては流下方向成分と同様に,半水深より下部の河床波領域において相対速度が顕著に なり,特に,河床波頂部での剥離渦発生から再付着点に至る領域において,流体の下降速度V<sub>r</sub><0と比較して,粒子の下 降速度 $V_p < 0$ が大きく, $V_f - V_p > 0$ という注目すべき結果なったと推測される.これは,逆流域に形成される渦の小さな 運動量では粒子の巻込みが小さく粒子が流体運動に追随せず、沈降している粒子は再浮上することはほとんどなく、その結 果,粒子の下降速度 $V_p < 0$ が流体の下降速度 $V_f < 0$ よりも大きく, $V_f - V_p > 0$ という結果となったと考えられる.次に, 図-3 は粒子を伴う流れの流体と清流の乱れ強度比 $u'_f/u'_{cw}$ ,  $v'_f/v'_{cw}$ のコンター図である.この乱れ強度比から粒子を伴 うことによる流体の乱流変調を考察することができる.その結果,粒子を伴うことにより,乱れ強度が流下方向および鉛直 方向の両成分に関して,全体的に小さくなっており,特に逆流域と再付着点付近の上部領域で乱れ強度u',,v',が小さく なるという注目すべき結果となった.逆流域では,前述のとおり粒子と流体の相対速度が大きいため,粒子の運動によって 流体の運動量が消費されることから乱れ強度が減衰したものと推測される.また,再付着点付近の上部領域では,河床波頂 部からの剥離流が主流方向上部に移流するものと前方の河床に再付着するものの2種類の流れが存在するが<sup>3)</sup>,この二つの 流れの挙動の差が,粒子を伴うことによって小さくなったためとも推測される.このように,相対速度,乱流変調ともに大 きな変化の観察された領域は、河床波頂部での剥離渦の発生からコルク・ボイル渦の放出に至る一連の組織構造が起こって いる領域であり、粒子を伴うことによる影響は、これらの組織渦の巻込みと浮遊砂の巻き上げと大きな関連性がありそうで ある.

<u>4.おわりに</u>

本研究では投影面積判別 PTV を用いて,河床波上の流れにおける,粒子・流体の相互作用と,粒子を伴うことによる周 囲流体への影響について考察したものである.その結果,粒子・流体の相互作用については,特に逆流域において相対速度 が顕著に現れ,この領域において粒子・流体間の相互作用が大きくなることが示された.また,粒子を伴うことにより,流 体の乱れ強度 $u'_f$ , $v'_f$ が減衰し,特に逆流域および再付着点付近でこれが顕著であった.これらの結果より,河床波頂部 より発生する一連の組織渦<sup>3)</sup>が浮遊砂の巻込みと浮上に大きな影響を及ぼしていると考えられ,今後このメカニズムを解明 したい.

#### (参考文献)

1) Yalin, M.S. (1977) : Sediment Transport, Pergamon Press.

- 2) Nezu, I. and Azuma, R. (2004) : Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, vol.130, pp.988-1001.
- 3) Kadota, A. and Nezu, I. (1999) : Journal of Hydraulic Research, vol.37, pp.59-80.