

第II部門

浅水礫床開水路における水面変動と乱流場に関する画像・数値解析

神戸大学大学院 学生員 ○小田 崇裕 神戸大学大学院 正会員 藤田 一郎  
 神戸大学大学院 学生員 岡西 健史 神戸大学大学院 学生員 本田 将人  
 神戸大学大学院 学生員 小阪 純史

1. はじめに

自然河川の流れや水面は河床の影響などを受けて、不規則に変動している。水面変動についてはこれまで、開水路滑面乱流場に対する研究は多く行われているが<sup>1)</sup>、自然河川のような開水路粗面乱流場に対する研究は十分ではない。特に、河床面の粒径が直接水面変動に影響を及ぼすような乱流場に関して詳細に検討された研究はほとんどなく、乱流場が水面変動に及ぼす影響については未解明な部分が多い。そこで本研究では、開水路粗面乱流場における水面変動と内部流速場の関係を明らかにするため、底面に礫を敷いた実験水路において内部流速場と水面変動の相互作用について調べた。また、数値解析的手法の1つであるLES (Large-Eddy Simulation) を用いて数値解析を行い、実験値との比較を行った。

2. 実験概要

本研究では、水路全長約6m、水路幅30cmの可変勾配型循環式直線水路を用いて実験を行った。礫は水路上流端から約1.5m下流の位置より約4mの区間に敷き詰めている。また、撮影は礫の効果による乱流場が十分に発達したと思われる上流端から約4.5mの位置で行っている。図-1に実験装置の概略を示す。シリコンチューブ内部から上流方向へ照射されたレーザー光膜により水路中央部の縦断面内の可視化を行い、2台の同期をとったハイスピードカメラを用いて内部流速場と水面変動の同時計測を行う。内部流速場計測の対象は水路中央の縦断面とする。水面変動計測については、内部流速場撮影領域上部に設置した鏡にレーザー光膜と水面の交わる箇所を写し出し計測する。

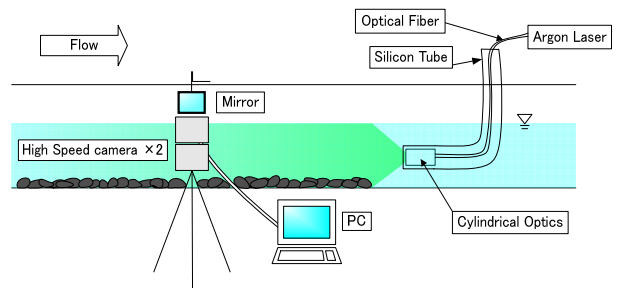


図-1 実験装置概略図

表-1 水理条件

Case	D (cm)	h (cm)	Q (l/min)	I	Um (cm/s)	Fr	Re	h <sub>rms</sub> (mm)
R10-3	1.0	5.0	250	0.0025	28.30	0.40	14150	0.690
R10-4	1.0	5.0	378	0.0056	41.23	0.60	20615	0.899
R15-3	1.5	5.0	250	0.0025	26.27	0.40	13135	0.808
R15-4	1.5	5.0	378	0.0056	39.21	0.60	19605	0.929

図-1に実験装置の概略を示す。シリコンチューブ内部から上流方向へ照射されたレーザー光膜により水路中央部の縦断面内の可視化を行い、2台の同期をとったハイスピードカメラを用いて内部流速場と水面変動の同時計測を行う。内部流速場計測の対象は水路中央の縦断面とする。水面変動計測については、内部流速場撮影領域上部に設置した鏡にレーザー光膜と水面の交わる箇所を写し出し計測する。表-1に水理条件を示す。本研究では、粒径が1.0cm、1.5cmの礫床2パターン及び滑面の合計3パターンについて水深hを一定に固定し、Fr数を段階的に変化させながら実験を行ったが、ここでは水面変動が顕著に現れた4つの実験ケース(R10-3, R10-4, R15-3, R15-4)について示す。また、水深hは礫の頂点を原点とした水深である。内部流速場の解析には三枚連続画像による時空間微分法を用いたPIVを使用した。

ここに、D: 礫の粒径, h: 水深, Q: 流量, I: 水路勾配, Um: 断面平均主流速, Fr: フルード数, Re: レイノルズ数, h<sub>rms</sub>: 水面変動 h' (=h-h<sub>m</sub>) のRMS値。

3. 実験結果及び考察

図-2にR10-4のケースにおける水面変動の時系列と瞬間の鉛直流速場を示す。水面変動の時系列については、鉛直流速場の図中に×で示す固定点における水面変動の時系列を表示する。瞬間の鉛直流速場については、水面変動の時系列図中の矢印が指す点における鉛直方向流速成分のコンター図を示しており、図中のベクトルは鉛直流速場の構造を明確にするため、平均主流速の80%を差し引いたものである。底面近傍より発生した多数の上昇流

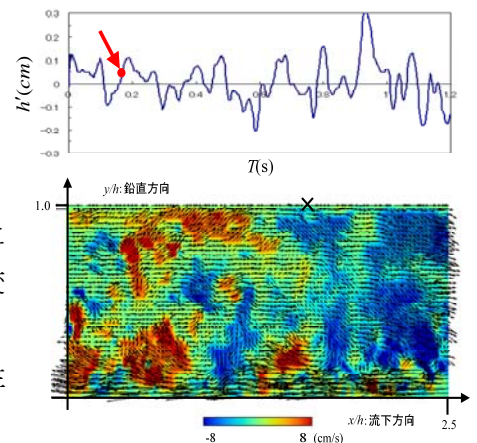


図-2 鉛直流速場と水面変動

キーワード 浅水礫床開水路 水面変動 同時計測 数値解析

連絡先 〒657-0013 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学 藤田研究室 [fujita@kobe-u.ac.jp](mailto:fujita@kobe-u.ac.jp)

が水面へ到達し水面近傍で1つの大きな上昇流となり水面変動に影響を及ぼしていることが多く確認できた。また、水面変動は固定点直下よりも上流側の鉛直方向流速成分の影響を受けていることがわかる。図-3はR10-4, R15-4のケースについて図中の×で示す固定点における水面変動  $h'_i$  と各点における鉛直方向速度変動  $v'_i(x, y)$  との相互相関係数  $R_{hv}(x, y)$  を計算し、コンタープロットしたものである。

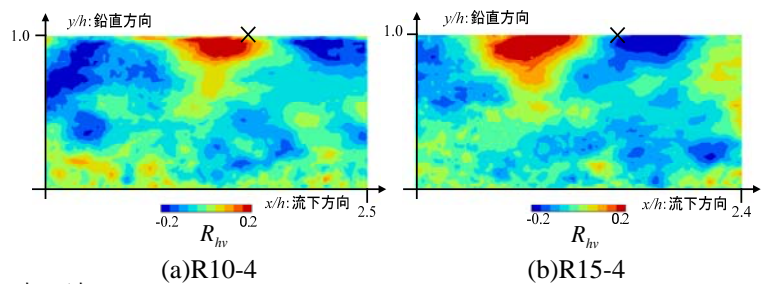


図-3 相関係数  $R_{hv}(x, y)$  の空間分布(実験)

双方のケースにおいて固定点直下から上流側にかけての水面近傍において相関係数が高い値を示し、固定点直下から下流側にかけての水面近傍において相関係数が低い値を示していることが確認できる。また、底面近傍では相関が小さく、同じフルード数の場合粒径が大きいケース、つまり内部流速場の乱れが大きいケースの方がより広く、深い範囲まで高い相関値を維持していることが確認できる。また、瀬津・中山りは滑面において  $h'$  と  $v'$  の相関解析をおこなっているが、フルード数 0.6 程度のケースにおける相互相関係数は最大でも 0.04 程度と非常に小さく、今回の礫床のケースのように 0.2 以上となる点は興味深い。

4. 実験結果と数値解析結果の比較

本研究では自由水面の表現を行った LES を用いて、実験と同様の水理条件で数値解析を行った。図-4はR10-4, R15-4のケースについて相互相関係数  $R_{hv}(x, y)$  を数値解析により求め、コンタープロットしたものである。図-3と比較すると鉛直方向の相関値の広がりなどに多少の違いはみられるものの、全体の分布傾向としては良好に再現できているといえる。また、図-5には摩擦速度の2乗で無次元化したレイノルズ応力分布について、実験結果と数値解析結果を示す。水面近傍で値が0に近づく直線状の分布になっている点や、底面近傍での値の減少、礫の粒径の違いによるピーク位置の変化などの点において実験ケースと同様の傾向を示していることが確認でき、分布傾向を概ね良好に再現できているといえる。

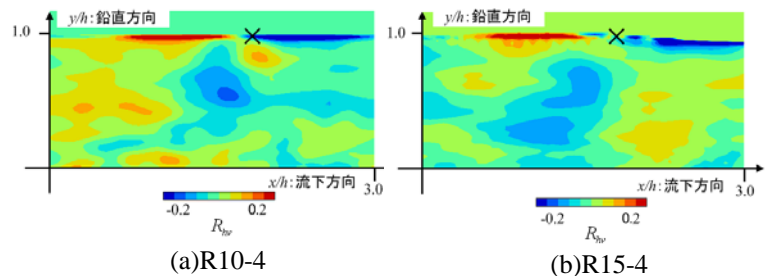


図-4 相関係数  $R_{hv}(x, y)$  の空間分布(LES)

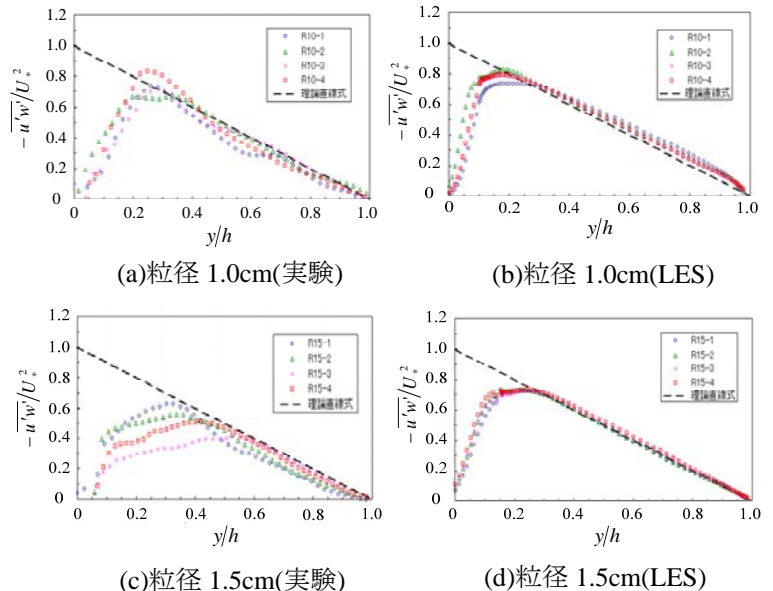


図-5 レイノルズ応力分布

4. おわりに

本研究において、水面変動と内部流速場の同時計測システムの構築を行った。礫床ケースに関して水面近傍の鉛直方向速度変動と水面変動の間には非常に強い相関があり、礫の存在が水面変動に大きく影響していることを明らかにした。また、実験値と LES を用いた数値解析の比較については実験結果の傾向を概ね再現できたといえる。

参考文献

1) 瀬津家久, 中山忠暢: 自由水面近傍における組織渦の時空間相関構造に関する研究, 土木学会論文集, 第 586 号/II-42, pp.51-60, 1998.