

神戸大学工学部	正会員	○ 道奥 康治
近畿大学理工学部	正会員	竹原 幸生
近畿大学理工学部	正会員	江藤 剛治
(株)日水コン	正会員	南條 雅志
東京消防庁	非会員	高橋 亮介

1. はじめに

河川構造物には従来の不透過型に代わり透過型のものが採用されることが多くなってきた。捨石を用いた水制の場合、柔な流れの制御、捨石内の通水・曝気にもなう水質浄化など様々な環境機能を期待できる。本研究では捨石水制の水理機能を検証するために水制内部の流れや乱れを計測し、それらの特性を検討した。多孔体内部の固液混相流を計測するために、低屈折率シリコンゴムとヨウ化ナトリウム水溶液の屈折率を整合した技術¹⁾を用いて、水制モデル内を可視化し PIV によって流れや乱れの構造を解析した。

2. 実験方法

近畿大学水理実験棟に設置された図-1に示す透明アクリル製の開水路模型(長さ 40cm×幅 5cm×高さ 6cm, 水路勾配 0)を用いて水理実験を実施した。捨石水制モデルには、図-2に示すような球形 1cm と球形 0.73cm のシリコンゴム透明球体を組み合わせた多孔体(長さ 5cm×幅 3cm×高さ 5cm, 間隙率 0.39)を使用した。作業流体には、堰モデル内を可視化するため

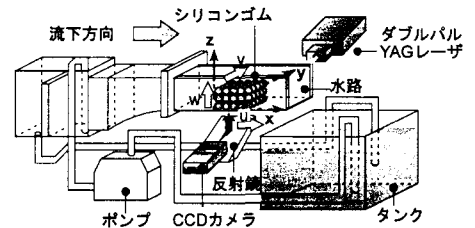


図-1 実験水路の概略

にシリコンゴムと屈折率を合わせたヨウ化ナトリウム水溶液を用いた。流れのトレーサー粒子にはポリ塩化ビニル粒子を用いた。YAG レーザーによって水平面に作成されたレーザー・ライト・シートによって流れの水平断面を可視化し、水平から 45° 傾斜させた反射鏡を CCD カメラで撮影することにより平面二次元の流れの画像情報が得られる。流れが安定した時点で撮影を開始し、鉛直座標の異なる 6 つの水平断面($z=0.005\text{m}$, 0.010m , 0.015m , 0.020m , 0.025m , 0.030m)を計測した(流量 $Q=3.1\times 10^{-4}\text{cm}^3/\text{s}$, 上流端水深 $h_0=0.044\text{m}$)。計測対象は開水路流と多孔体流からなっており、二つの領域におけるトレーサー粒子の移動速度が大きく異なる。この

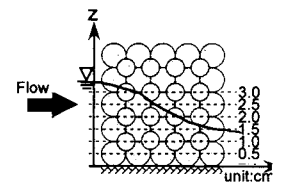


図-2 堰モデル側面図

ために 1 つのレーザー照射間隔で、開水路部・多孔体内を同時に撮影することは困難であった。試行錯誤の後、開水路流の撮影には 0.8msec、多孔体流の撮影には 1.2msec のレーザー照射間隔を採用することとした。次式で定義される二種類の画像データから得られる平均流速の相対誤差 e を算定し、 e が最小となる PIV 速度定義点の座標 y_n を求める。

$$e = \sqrt{\frac{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2}{u_1^2 + v_1^2}}$$

ここで、 (u_1, v_1) : 1.2msec で撮影した画像の平均流速ベクトル[m/s], (u_2, v_2) : 0.8msec で撮影した画像の平均流速ベクトル[m/s]である。 y_n の隣接格子点 y_{n-1} との midpoint ($= (y_n + y_{n-1})/2$) の y 座標を二つの画像データの採用境界とし、境界より開水路側については (u_2, v_2) を、境界より多孔体側については (u_1, v_1) を、それぞれ採用する。

3. 実験結果及び考察

本文では紙面の都合上 $z=0.010\text{m}$ の断面における解析結果のみを示す。図-3には平均流速ベクトルを示す。堰上流端付近における堰内部と開水路

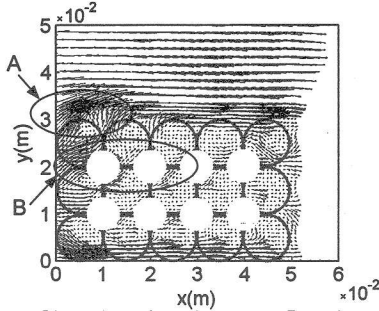


図-3 平均流速ベクトル

路側の境界部(図-3 中の A)に着目すると、堰から開水路に向かう連行流が卓越している。連行流の分布特性は底面からの距離によって異なる。開水路と多孔体の境界面の質量交換特性を見るために、境界面に沿った平均流速の分布を図-4に示す。図中 C のような上流側における平均流速の y 方向成分 v (多孔体から開水路に向かう連行流) が河床から離れるとともに大きくなることが確認された(講演時に報告)。また、堰内部においても開水路へ向かう連行流が確認される(図-3 の B)。一方、多孔体上流側断面($x=0.00\text{m}$)における開水路から多孔体へ流入する流速成分 u に関しては、各水平断面($z=0.005\text{m}$, 0.015m , 0.025m)における球形配置の波長に応じて横断方向に周期的に変化する分布が見られる。球形配置が同じ断面どうしではほぼ同様の分布を呈する。いずれの断面においても連行流が卓越する堰の境界付近では u が卓越する。

このような開水路と多孔体間の流体交換が乱れにおよぼす影響を見るために、レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の分布を図-5に、横断方向の乱れ強度 $\sqrt{v'^2}$ の分布を図-6それぞれに示す。連行流が卓越する堰上流側においてレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ が負の値を示し、連行流が開水路側に加速されながら流入していることが確認される(図中 D)。この近傍では、乱れの横断方向成分 $\sqrt{v'^2}$ が卓越し(図中 E)、横断方向の連行一流体交換が横断方向の乱れを促進していることがわかる。図-7 はレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の縦断分布である。堰境界の上流側付近では断面間の違いはみられず連行によってレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ は負の値を示した。一方、下流側の間隙の大きな断面では乱れが大きく発生せず、球形配置が間隙を小さくする断面($z=0.005\text{m}$, 0.015m , 0.025m)においてレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ が大きな正値をとり、間隙が大きくなる球形配置の断面ではせん断効果が小さく大きなレイノルズ応力を発生することにはなかった。

参考文献

1) 江藤剛治・竹原幸生・横山雄一・井田康夫: 水流の可視化に必要な関連技術の開発—比重整合・屈折率整合・多波長計測—, 土木学会論文集, 533/II-34 号, pp.87-106, 1996.

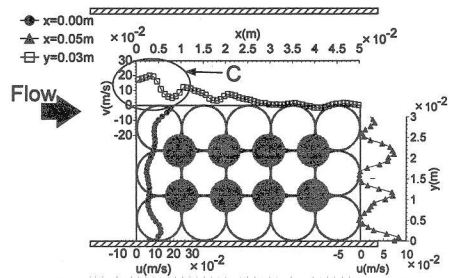


図-4 多孔体境界における流速分布

$$-\overline{u'v'} (\text{m}^2/\text{s}^2)$$

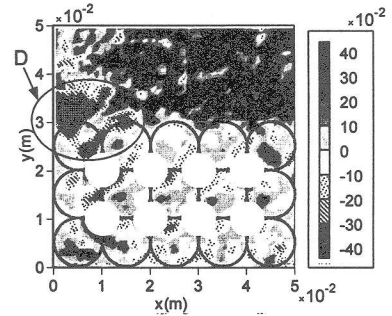


図-5 レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$

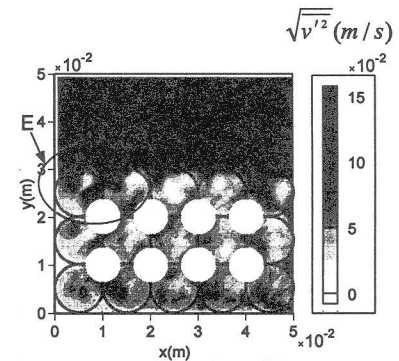


図-6 乱れ強度 $\sqrt{v'^2}$

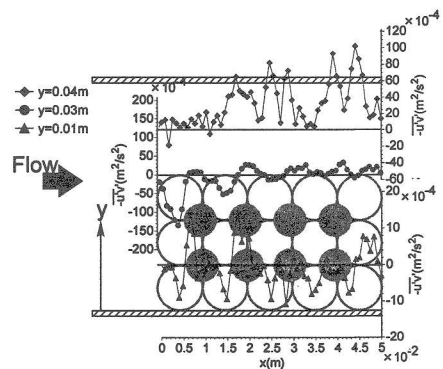


図-7 レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の縦断分布