

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

神戸大学大学院

学生会員

○南條雅志

(株)アップリフォームジャパン

非会員

花谷清明

1. はじめに

自然環境への負のインパクトを軽減する横断構造物として著者ら¹⁾は自然石を用いて構築する「捨石堰」の環境水理機能を検討してきた。このような透過性構造物は古くから経験に基づいて建設され供用されているが、水理特性に基づいた構造物設計がなされているわけではなく、またほとんど研究事例がないため流量・水位制御機能、曝気効果、水生生物の疎通性などに関する知見は得られていない。特に、曝気機能や疎通性を検証するためには堰体内の流れや乱れの特性を検証する必要がある。本報告では、捨石堰内の流れと乱れの特性を明らかにするために、シリコンゴム製透明球体を用いて液相－固相間の屈折率の差を無くした可視化実験を実施し、多孔体内の流れや乱れを計測した。

2. 実験方法

実験は、図-1に示すように近畿大学理工学部水理実験棟に設置された透明アクリル樹脂製の水路（長さ 40.0cm × 幅 5.0cm × 高さ 6.0cm, 水路勾配 0）を用いて行われた。水路内にシリコンゴム製透明球体（球径 1.0cm）を用いて組み上げた多孔質体（長さ 10.0cm × 幅 5.0cm × 高さ 5.0cm）を設置する。また、作業流体としては、多孔質堰内部の流れが可視化されるように、ヨウ化ナトリウム水溶液を用い、液相－固相間の屈折率を整合させる技術^{2), 3)}を適用した。写真-1に示すように、トレーサー粒子（ポリ塩化ビニル）が混入された流れが安定した時点（流量 $Q=47.57 \text{ cm}^3/\text{s}$, 上流端水深 $h=3.2\text{cm}$ ）でダブルパルス YAG レーザーが水平方向から照射され、CCD カメラで鉛直下方から流れが撮影される。ダブルパルス YAG レーザーのレーザー 1, レーザー 2 の照射間隔は 0.8msec であり、1 回の撮影で 600 枚の画像が得られる。なお、鉛直方向については 7 断面 ($z=0.0025\text{m}, 0.005\text{m}, 0.01\text{m}, 0.015\text{m}, 0.02\text{m}, 0.025\text{m}, 0.03\text{m}$) を撮影する。但し、今回は紙面の都合上、図-2, 3では $z=0.015\text{m}$, 図-4～7では $z=0.01\text{m}, 0.015\text{m}$ について示す。

3. 実験結果および考察

瞬間流速 $U=(u, v)$ は実験の撮影画像を元に PTV 解析を行うことにより得られた値を格子点上に補完することにより求める。

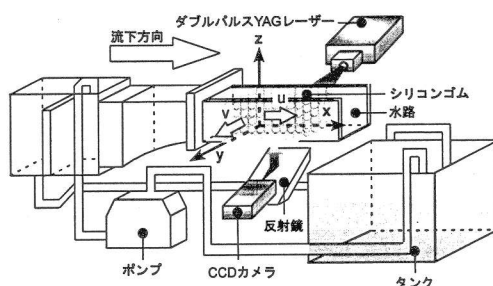


図-1 実験装置概略図

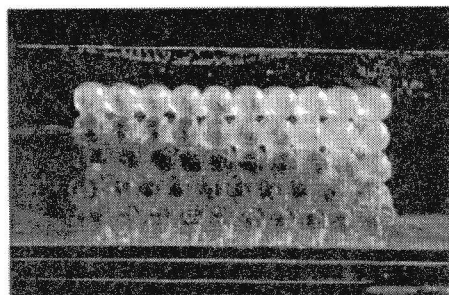


写真-1 流れが安定したときの水面形

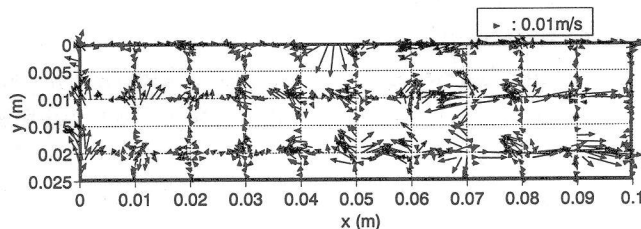


図-2 平均流速ベクトル ($z=0.015\text{m}$)

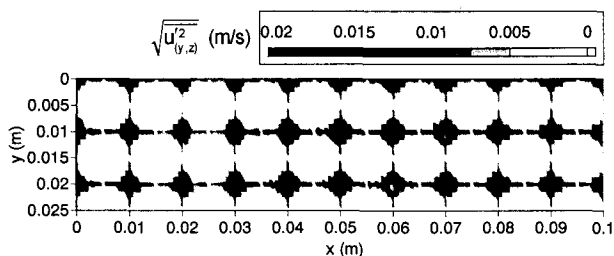


図-3 乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ ($z=0.015$ m)

水路床から 1.5cm($z=0.015$ m)断面の平均流速 $\bar{U}$ ベクトルを図-2に、また流速の変動値 $u', v' (=u - \bar{u}, v - \bar{v})$ より得られた乱れ強度分布を図-3に示す。流速ベクトルは間隙が小さく流れが球体によって妨げられているために絶対値が小さく、方向は不規則となっているのが見られる。乱れ強度は横断方向への変化は見られず、 $x=0, 0.04$ m付近で大きな値となることが見られる。しかし、等値線だけでは確認しにくい。

ここで、左岸側から 1cm($y=0.01$ m)、水路床から 1.0cm, 1.5cm($z=0.01$ m, 0.015m)の平均流速の流下方向変化を図-4、乱れ強度およびレイノルズ応力の流下方向変化を図-5~7にそれぞれ示す。流速は、間隙大の断面($z=0.01$ m)では、始め増大し、 $x=0.006$ m付近で極大値となり減少していく。そして、 $x=0.011$ m付近で再度増大を始める。このように、多孔体の材料粒径と同じ 0.01m 間隔で周期的に変動している様子が見られる。これは、間隙の変化に伴い流速が変化しているためであると考えられる。間隙小の断面($z=0.015$ m)でも、絶対値は小さいが間隙の変化に伴う変動は見られる。また、流下方向の水位の低下に伴い流下方向の流速 $\bar{u}$ は増大する傾向が確認できる。

乱れ強度およびレイノルズ応力は、流速の値が増大傾向にある $x=0.03 \sim 0.07$ m 付近で卓越している。また、間隙大と間隙小の断面を比較すると、後者の方が不規則な流れであるため、レイノルズ応力の分布がより分散している。

参考文献

- 1) 道奥康治・前野詩朗・古澤孝明・羽根田正則：捨石堰の「水位・流量」特性を規定する水理量，水工学論文集，第 46 巻，2002
- 2) 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ー比重量・屈折率整合・多波長計測ー，土木学会論文集，533/II-34 号，pp.87-106，1996
- 3) 田中健司：水と屈折率の等しい真球透明体の製作と水理実験への適用，近畿大学大学院修士論文，2003

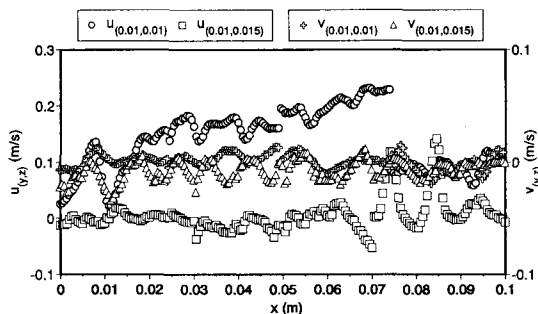


図-4 平均流速 $\bar{u}, \bar{v}$ の流下方向分布

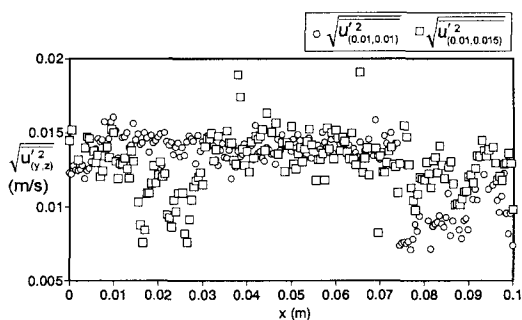


図-5 乱れ強度 $\sqrt{u'^2}$ の流下方向分布

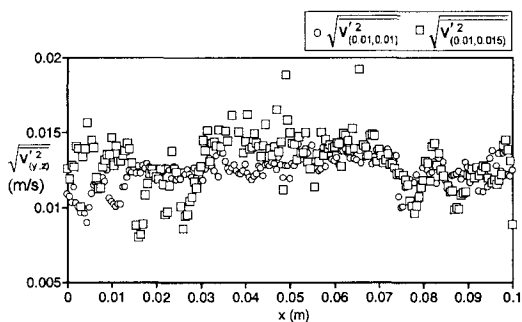


図-6 乱れ強度 $\sqrt{v'^2}$ の流下方向分布

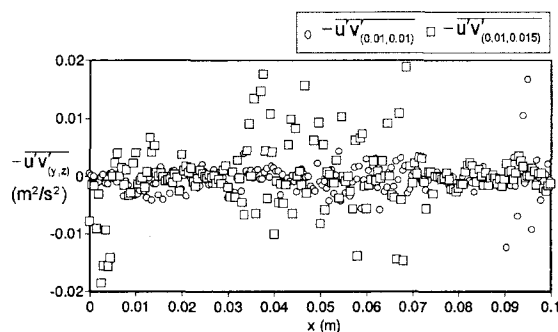


図-7 レイノルズ応力 $\bar{u}'v'$ の流下方向分布