

伝統的河川工法・木工沈床群により創出された流れ構造

指導教官 富永晃宏 教授

佐藤理佳子

1. はじめに 近年多自然川づくりが全国的に進められる中で、伝統的河川工法の存在が再び注目されてきている。伝統的河川工法とは自然素材と植生を組み合わせで作られた多孔質で屈撓性をもつ柔構造である。自然素材を用いているため河川景観に馴染み易く、また多孔質であるため水生生物の生息場所としての機能も期待される。しかし、伝統的河川工法は経験的に発展してきたものであるため、その水理的機能は明確にわかっていない。そこで本研究では、伝統的河川工法の中でも特に木工沈床に着目し、木工沈床周りの流れ構造をPIV計測によって検討した。

2. 実験方法 実験水路は、長さ 7.5m、全幅 0.3m の勾配可変開水路を用いた。側面はガラス張り、レーザー光の反射を防ぐために、全水路底に黒く塗った塩化ビニル板を敷いている。木工沈床のモデルとして、図-1のような長さ10cm、幅10cm、高さ3.6cmの木枠の中にふるい分けした玉石を入れたものを10個作製し、それを粗度間隔 dx_2 がそれぞれ10cm、20cm、30cm、40cm となるよう設置した。また、モデルを2つ並べて粗度幅 $dx_1=20\text{cm}$ としたケースも行った。PIV計測は、粗度幅10cmのケースでは6、7個目のモデル、粗度幅20cmのケースでは3、4個目のモデルについて行い、モデルを設置する際にこれらのモデルがPIV計測領域である上流端から350~450cmの区間にくるよう調節した。実験条件は表-1に示すように木工沈床モデルが水没しないケース(a)と水没するケース(b)を設定した。木工沈床の中詰石は3通り設定し、細石を5mmおきにふるい分けし、10~15mm(case 1)と20~25mm(case 2)および不透過であるスチロール樹脂板の直方体(case f)を用い、case 1 と case 2 の中詰石は間隙率が46.7%になるように量を調節した。各実験ケースを表-2に示す。PIV計測の流れの可視化には、直径80ミクロン、比重1.02のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ約3mmのシート状にしたアルゴンレーザー光を開水路水平断面および鉛直縦断面に照射した。レーザーシートの照射位置は、水平断面は5mm間隔で11断面 ($z=5\sim 55\text{mm}$) 設定した。鉛直縦断面は木工沈床を設置した水路壁から5mm、50mm、95mm、200mmの計4断面設定した。この可視化画像は高速度カメラ(ライブラリー)を用いて1/200sで撮影した。FlowExpert(カトウ光研)PIV解析ソフトを用いて直接相互関係法により画像解析し、3200データ16秒間平均値を流速ベクトルデータとした。

表-1 実験条件

| | 水深 h [cm] | 流量 Q [l/s] | 断面平均流速 U_m [cm/s] | 勾配 I |
|---|-------------|--------------|---------------------|--------|
| a | 3.0 | 0.68 | 7.56 | 1/2500 |
| b | 6.0 | 2.51 | 13.9 | |

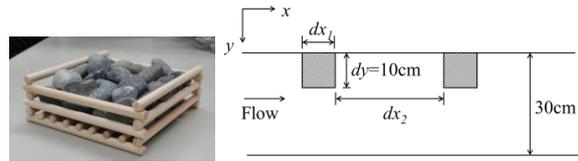


図-1 模型配置図

表-2 実験ケース

| case | 粒径 [cm] | 水深 h [cm] | 粗度幅 dx_1 [cm] | 粗度間隔 dx_2 [cm] | | |
|--------|---------|-------------|-----------------|------------------|----|----|
| 1a-1-1 | 1.0~1.5 | a | 1 | 10 | 1 | 10 |
| 1a-1-2 | | | | | 2 | 20 |
| 1a-1-3 | | | 3 | 30 | | |
| 1a-1-4 | | | 4 | 40 | | |
| 1a-2-1 | | 2 | 20 | 1 | 10 | |
| 1a-2-2 | | | | 2 | 20 | |
| 1a-2-3 | | 3 | 30 | | | |
| 1a-2-4 | | 4 | 40 | | | |
| 1b-1-1 | 1.0~1.5 | b | 1 | 10 | 1 | 10 |
| 1b-1-2 | | | | | 2 | 20 |
| 1b-1-3 | | | 3 | 30 | | |
| 1b-1-4 | | | 4 | 40 | | |
| 1b-2-1 | | 2 | 20 | 1 | 10 | |
| 1b-2-2 | | | | 2 | 20 | |
| 1b-2-3 | | 3 | 30 | | | |
| 1b-2-4 | | 4 | 40 | | | |
| 2b-1-1 | 2.0~2.5 | b | 1 | 10 | 1 | 10 |
| 2b-1-2 | | | | | 2 | 20 |
| 2b-1-3 | | | | | 3 | 30 |
| 2b-1-4 | | | | | 4 | 40 |
| fb-1-1 | f 不透過 | b | 1 | 10 | 1 | 10 |
| fb-1-2 | | | | | 2 | 20 |
| fb-1-3 | | | | | 3 | 30 |
| fb-1-4 | | | | | 4 | 40 |

3. 実験結果と考察 ここでは特に、越流条件で粗度幅10cmの場合の結果を中心に検討する。図-2に水平断面 $z=15\text{mm}$ の case1b-1-2, 1b-1-3 の粗度間の凹部領域における時間平均流速ベクトル図を示す。越流型不透過水制周辺の流れ構造においては、上面及び側面とも下流側から流入、上流側から流出し、水平面及び鉛直面ともに再循環渦が形成される¹⁾。木工沈床周りの流れにおいては、木工沈床を透過する流れにより、凹部全体に及ぶ再循環渦の形成は見られず、凹部奥において上流部で渦構造が見られるのみである。凹部の境界付近では主流の入り込みが大きく、ほぼ直線的な流れになっている。木工沈床間の下流部に加速域があり、主流域側へ方向を変えながら下流の木工沈床内へ流入し、やや下流側から流出する傾向があるものの、側面からはほとんど流れの出入りがないことがわかる。case1b-1-2 と case1b-1-3 を比較してみると、粗度間隔 dx_2 が広くな

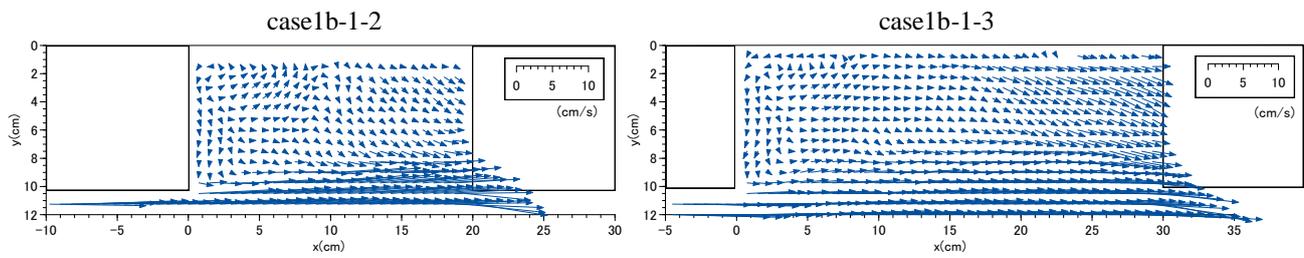


図-2 横断面における時間平均流速ベクトル

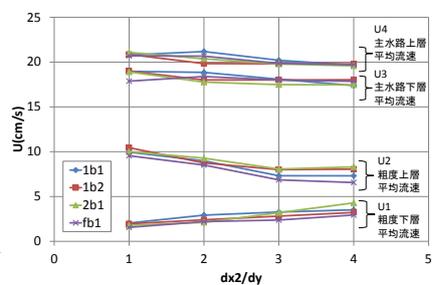
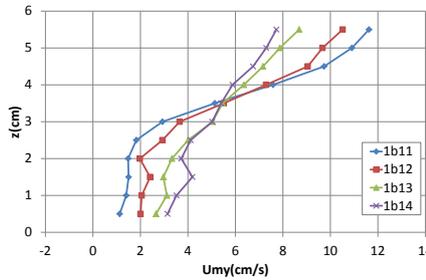
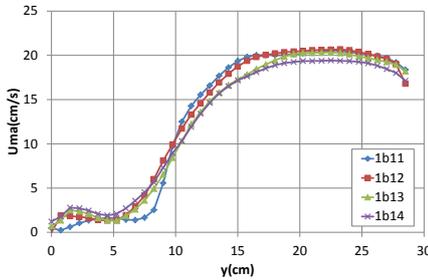


図-3 平均流速 U の横断方向分布, 鉛直方向分布 (case1b1)

図-4 体積平均流速

るほど下部の加速域が広くなり, 上流部の渦構造が形成されにくくなるが, 上記の流れ構造の傾向自体は粗度間隔 dx_2 によらず確認された. 木工沈床高さを k , 木工沈床の奥行長さを d とすると, 木工沈床高さ以下の水深平均流速 U_{ma} と木工沈床域内における y 方向平均流速 U_{my} は以下の式で定義される.

$$U_{ma} = \frac{1}{k} \int_0^k U dz, \quad U_{my} = \frac{1}{d} \int_0^d U dy \quad (1)$$

図-3 に case1b1 の, 粗度間隔 dx_2 を二等分する鉛直断面における U_{ma} の横断方向分布と, $y=50\text{mm}$ における平均流速 U_{my} の鉛直方向分布を示す. まず U_{ma} の横断方向分布に注目すると, 間隔が広がるほど低速域における減速が緩やかになり, 木工沈床を設置した側壁側で再び加速する傾向があることがわかる. これは間隔が広がることで流れが木工沈床間に入り込む割合が増大することによる. また, 主水路の流速は間隔が広がるにつれて小さくなっている. 鉛直方向分布については, 間隔が広がるほど木工

沈床の上層流速の減速がより顕著となっており, 流速差が小さくなっている. 区分体積平均流速として, 粗度下層平均流速 U_1 , 粗度上層平均流速 U_2 , 主水路下層平均流速 U_3 , 主路上層平均流速 U_4 の粗度間隔に対する変化を図-4 に示す. 間隔が広がるほど粗度下層の流速は速くなり, また低速域と主流域の流速差が小さくなっている. これらは粒径に関わらず同じ傾向を示している. 主水路における流速は, 粗度幅や中詰石の粒径による傾向は得られなかったが, 粗度域においては, 粗度幅が広がるほど平均流速が小さくなるという傾向が得られた. また, 間隔が広がるにつれて粒径が大きいほど流速が速くなるという傾向が得られた. 図-5 に水平断面 $z=15\text{mm}$ における case1b-1-1, 1b-1-3, fb-1-3 の乱流エネルギーコンター図を示す. ここから, 間隔が広がるほど水路全体に乱れが発達し, 不透過においては乱れが局部的に発達することがわかる.

4. おわりに 今回の実験から, 低速域を確保するためには, 設置する木工沈床の間隔を狭く, また粗度幅を広く, 中詰石を密なものにすることが有効であることがわかった. 一方, 間隔を狭くすると乱流エネルギーによる物質輸送がされにくくなり, また不透過にすると乱れが集中してしまうので, 上記の条件が一概に良いとは言えず, 実際に木工沈床を設置する際には様々な観点からパラメータを評価する必要がある. 今回は, 木工沈床周りの流れ構造の評価を行ったが, 今後は, 実際に設置することを踏まえて, 他の工法と比べて木工沈床がどのように優れているのかを定量的に考える必要がある.

参考文献

- 1) 富永晃宏, 井嶋康二, 越流型水制周辺の流れ構造に及ぼす水制間隔の効果, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.475-480, 2002

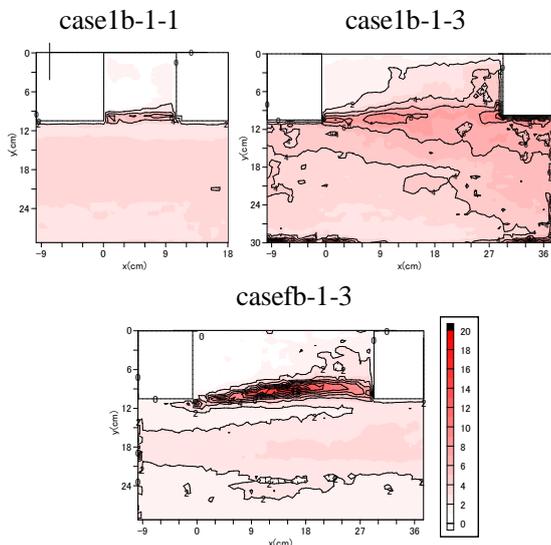


図-5 乱流エネルギーコンター