

複数の巨石による流れの相互作用に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

市川亜也佳

1. はじめに

近年多自然川づくりは全国的に進められるようになり、年々その施工箇所は増加している。その多自然川づくりの方法のひとつに、河道に巨石を設置することで流れに多様性を持たせ水生生物の生息環境を確保しようという試みがある。そうすることで、魚類の採餌場や休息場、また洪水時の避難場所を確保することが期待される。しかし実際に巨石を設置する際は経験的に行われることが多く、明確な設置方法は定まっていない。そこで本研究では、巨石を複数配置する場合の基礎的知見を得るために横断方向配置間隔が流れに与える影響について PIV 計測により検討した。

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。側面はガラス張りで、レーザー光の反射を防ぐために、全水路底に黒塗装を施した塩化ビニル板を敷いている。水路勾配は水路下流 6m 地点にある自動昇降装置により調節し、 $I=1/2000$ とした。流量はインバータモーターにより調節している。水深は非越流時が 2.5cm、越流時が 6.0cm となるよう流量および下流の堰で調節した。これらの実験条件を表-1 に示す。また巨石モデルとして一辺 3.0cm の立方体を図-1 のように、横断方向配置間隔 dy がそれぞれ 1.0cm, 2.0cm, 3.0cm, 4.0cm となるよう設置した。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、水平断面は非越流時には 5mm 間隔で 4 断面 ($z=5\sim 25\text{mm}$)、越流時には 5mm 間隔で 11 断面 ($z=5\sim 55\text{mm}$) 設定した。鉛直縦断面は巨石モデルの配置の対称性より $y=0\sim 150\text{mm}$ を計測区間とし、水路中央、モデル端、モデル中央、モデル端から 10mm 間隔で 3 断面、残りは 20mm 間隔で 3 断面の計 10 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。相互相関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。

3. 実験結果

図-2 に水深 $h=25\text{mm}$ 、 $z=15\text{mm}$ の case2, case4 の 16s 間平均流速コンターを示す。配置間隔が大きくなるにつれ、巨石モデル間の加速域が流下方向に長くなり、2つの後流の影響が混合した低速域が現れている。この傾向は水深 $h=60\text{mm}$ でも同様に見られる。このように巨石モデルによって形成される低速域の特性を調べるため、水深 $h=25\text{mm}$ 、 $z=15\text{mm}$ における 16s 間平均流速分布のヒ

表-1 実験条件

case	1	2	3	4	5	6	7	8
モデル間隔 $dy(\text{cm})$	1.0	2.0	3.0	4.0	1.0	2.0	3.0	4.0
水深 $h(\text{cm})$	2.5				6.0			
流量 $Q(\text{l/s})$	0.505				2.873			
断面平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	6.713				15.959			
フルード数 Fr	0.136				0.208			
勾配 I	1/2000							

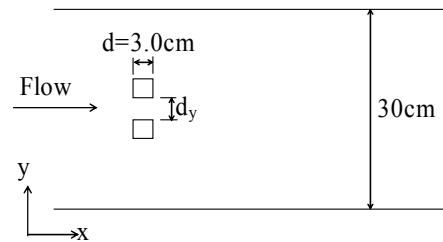


図-1 巨石モデル配置図

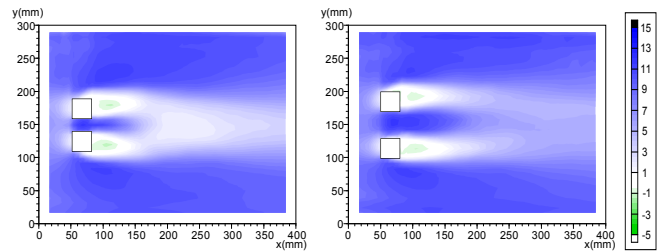


図-2 平均流速コンター (左: case2, 右: case4)

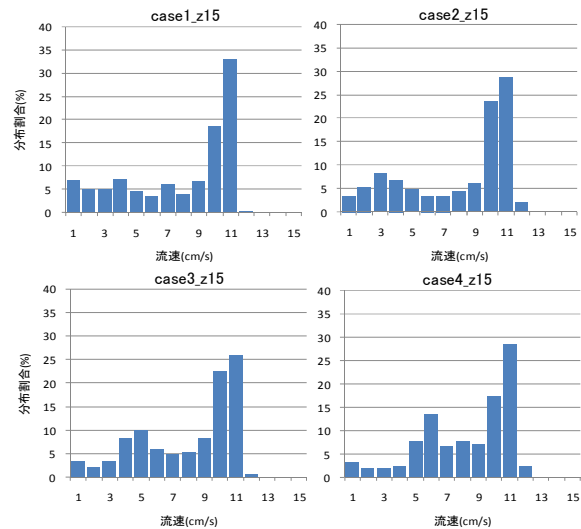


図-3 $z=15\text{mm}$ 断面における流速分布割合

ストグラムを図-3 に示す。ヒストグラムに用いた平均流速データは、2つの後流の干渉に注目するため巨石モデル後方 $x=80\text{mm}$ 以降のデータを採用している。図-3 より全体的にグラフは二山型となっており、2つの分布が混在していることがわかる。その2つの分布のうち低速域の分布のピークは、case1 では 1.0cm/s、case2 では 3.0cm/s、

case3 では 5.0cm/s, case4 では 6.0cm/s 付近で確認でき、巨石モデルの配置間隔が大きくなるにつれて高速域寄りへと移動している。一方、高速域の分布については流速、分布割合ともに大きな違いは見られない。また標準偏差はそれぞれ表-2に示すように、巨石モデルの配置間隔が小さく水面に近い断面ほど大きくなっており、流速分布のばらつきが大きいといえる。次に巨石モデルの2つの後流の干渉による影響に注目する。図-4に水深 $h=25\text{mm}$ 水路中央の平均流速 U と乱れ強度 u' の流下方向変化を示す。平均流速コンター図でも確認できたように、巨石モデル間は加速域となっており急激に流速 U が増加している。case1 を除いてほぼ同じ最大流速に達し、その後 case2, 3, 4 の順に大きく減速している。乱れ強度 u' は、巨石モデル後方で最大値をとり、case1, 2, 3, 4 の順に最大値の位置が下流側へ移動している。これは巨石モデルの配置間隔が大きくなることで、後流の干渉位置が下流側へ移動したため、乱れ強度 u' の最大値も移動したものと考えられる。このことから、配置間隔が小さいほど水路中央での干渉による減速が大きいといえる。そこで干渉の影響による主流からの最大減速率を図-5に示す。最大減速率 γ は、主流速を U_0 、各 case の最小流速を U_{min} として次の式で表す。

$$\gamma = \frac{U_0 - U_{min}}{U_0} \times 100 \quad (1)$$

図-5より、配置間隔 10mm ではやや越流時が小さくなっているが、20-40mm は越流、非越流ともにほぼ同じ減速率となっている。したがって、水深の変化に関係なく減速率は巨石モデルの配置間隔に影響を受けることがわかる。これまでは時間平均したデータについて考察してきたが、ここで水深 $h=25\text{mm}$ 、 $z=15\text{mm}$ の水路中央（干渉部）における自己相関関数に注目する。自己相関関数は不規則変数 $x(t)$ の周期を調べるために用いられ、以下のように定義される。

$$C(t, \tau) = E[x(t)x(t+\tau)] \quad (2)$$

τ は遅れ時間、 E はアンサンブル平均である。図-6に case2 と case4 の自己相関関数の分布を示す。計測点は、case2, 3 とともに低速域となっている $x=186\text{mm}$ 、 $y=150\text{mm}$ とする。図-6より、case2 では V に 2.4s、case4 では U に 1.9s の周期をもっていることが確認できる。これは、干渉の影響を受けて case2 では巨石モデル後方からもう一方の巨石モデルの後方へ向かう流れがあり、case4 ではそれぞれの巨石モデル後方で帯状の流れとなっており、この巨石モデル後方の流れの違いがそれぞれ周期性に影響を与えたものと考えられる。

4. おわりに

巨石の配置間隔は、主流に比べて速い流速域にはあまり影響しないが、遅い流速域は配置間隔が狭いほど巨石下流域が減速される傾向が見られた。巨石の配置間隔の狭いほうが低速域が確保されやすいといえる。今回は巨

表-2 標準偏差

z断面(mm)	case1	case2	case3	case4
5	3.210	3.018	2.518	2.282
10	3.417	3.320	2.817	2.717
15	3.443	3.329	3.000	2.824
20	3.745	3.358	3.125	2.803

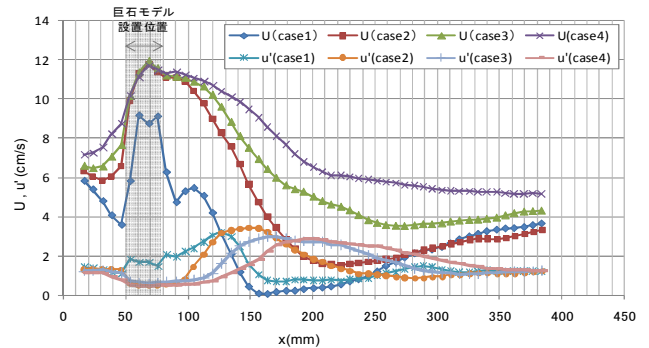


図-4 干渉部（水路中央）の U, u'

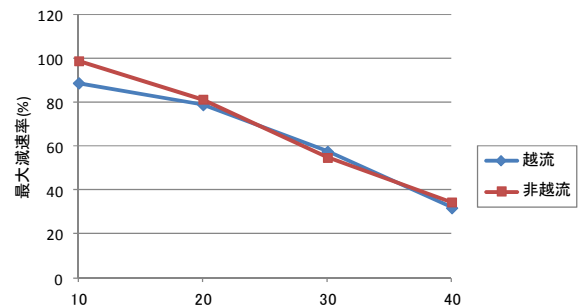


図-5 主流からの最大減速率

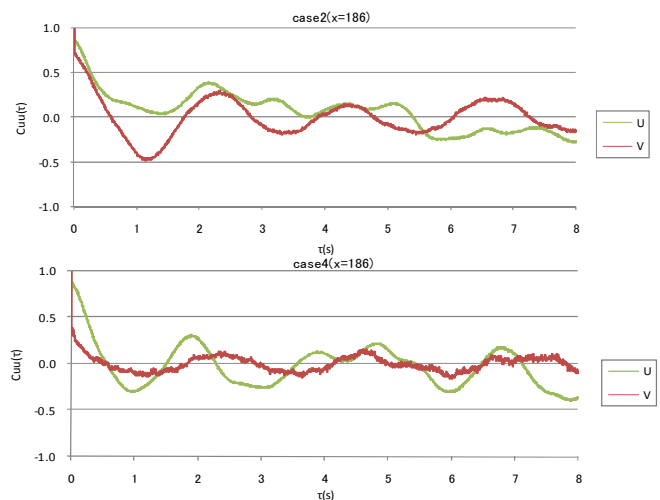


図-6 自己相関関数分布

石を配置する際に基本となる横断方向間隔について検討したが、今後は縦断方向間隔や巨石の個数を増やした場合の配置についても同様に検討し、流れの多様性創出に効果的な巨石の配置方法を評価していきたい。

参考文献

開水路底面における巨石まわりの流れ構造

伊藤佑介 名古屋工業大学卒業論文