

複数の巨石による流れの相互作用について

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○市川 亜也佳
 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 富永 晃宏

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可能となる。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巨石背後の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。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。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、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。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、非越流時には4断面(z=5~25mm)、越流時には11断面(z=5~55mm)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=0~150mm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、残りを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-1に水深h=25mm, z=15mm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=60mmでも同様に見られる。このように形成される低速域の特性を調べるため、水深h=25mm, z=15mmにおける16s間平均流速の面積占有率のヒス

表-1 実験条件

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

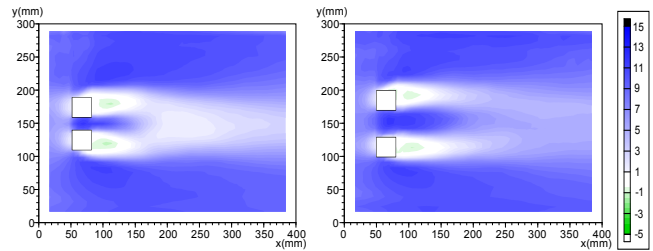


図-1 平均流速コンター(左:case2, 右:case4)

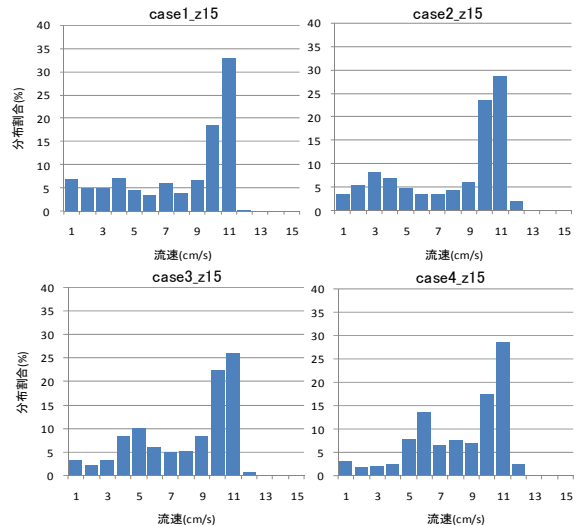


図-2 z=15mm断面における流速の面積占有率

トグラムを図-2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=80mm以降のデータを採用している。図-2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。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-3に水深h=25mm, 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

キーワード: PIV, 巨石, 乱れ, 後流

連絡先: 名古屋工業大学 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 TEL 052-735-5490

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、case1を除いてほぼ同じ最大流速に達している。下流では、case1が最も減速が大きく、case2, 3, 4の順に減速割合が小さくなっている。乱れ強度 u' は、巨石モデルの60cm後方から下流で最大値をとり、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-4に示し、最大減速率 γ を次の式で表す。

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

U_{min} は水路中央干渉部の最小流速、 U_0 は巨石モデルから水路中央までの距離と同距離側壁側へ離れた地点の流速である。図-4より、配置間隔 10mm ではやや越流の値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。次に、巨石モデル後流域はカルマン渦の干渉により周期的な変動特性を示すことから自己相関関数について検討した。自己相関関数は不規則変量 $x(t)$ 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。case2, 3ともに低速域となっている $x=186\text{mm}$, $y=150\text{mm}$ においてセカンドピークにより周期を求めると、case2では V に 2.4s, case4では U に 1.9s の周期が認められた。これは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。そこで図-5に水深 $h=25\text{mm}$, $z=15\text{mm}$ の case2 と case4 の 0.5s 平均ベクトルを示す。case2では巨石モデル後方からもう一方の巨石モデル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いることが確認できる。

4. おわりに

巨石の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

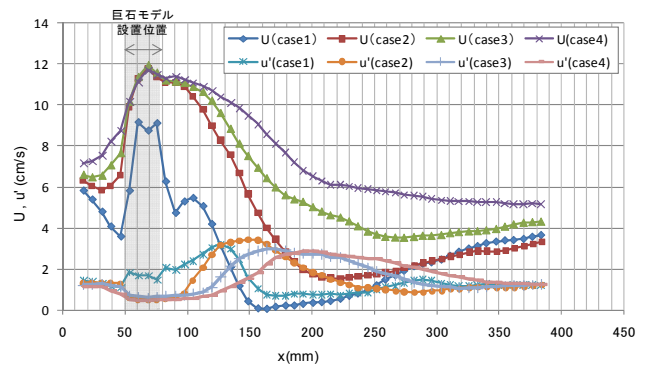


図-3 干渉部（水路中央）の U, u'

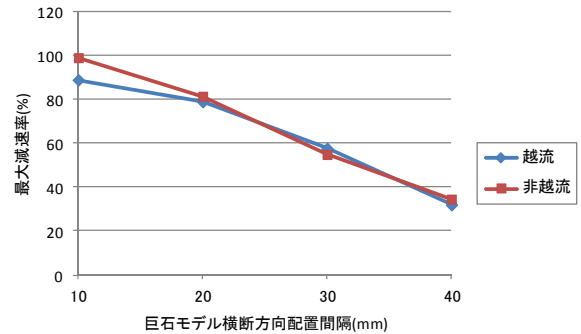


図-4 主流からの最大減速率

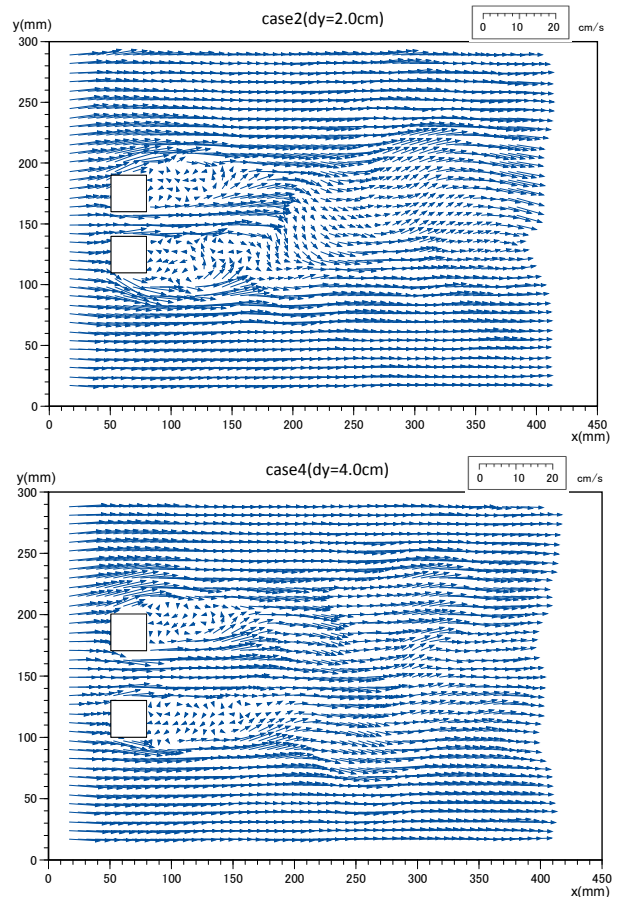


図-5 0.5s 平均ベクトル

巨石の配置方法を評価していきたい。

参考文献：富永晃宏，鄭載勳，伊藤佑介，PIVによる巨石まわりの流れ構造の解析，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.199-200，2010