

開水路底面における巨石まわりの流れ構造

名古屋工業大学大学院 学生会員 榎 卓也  
 名古屋工業大学大学院 伊藤 佑介  
 名古屋工業大学大学院 正会員 富永 晃宏

1. はじめに

河川に巨石を投入することで、流れに多様性を持たせ、水生生物の生息環境を創出しようという試みがある。これは単調な流れを有する河川の流れを複雑化させることで、魚類を始めとして、藻類などの水生生物にとっての環境改善を期待したものである。その一方で、出水の度に巨石が流されたり埋もれたり、施行方法が不適当な場合は効果のない巨石工が長期にわたって存在するおそれがある。そこで本研究では、開水路底面に置かれた巨石周辺の詳細な流れ構造を明らかにすることを目的として PIV により検討した。

2. 実験方法および条件

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。勾配は  $I=1/2000$  とした。今回の実験では巨石の形状に着目し、モデルとして球、円柱、立方体の 3 つを使用した。サイズは図 1 に示すとおりである。巨石モデルは水路上流端より 4m の地点の中央に設置した。水理条件は表 1 に示す通り 3 ケースである。

PIV 計測の流れの可視化には、直径 50 ミクロン、比重 1.02 のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ約 2mm のシート状にした半導体レーザー光および厚さ約 3mm のシート状にしたアルゴンレーザー光を開水路断面に照射した。レーザーシートの照射位置は水平断面に  $z=5\text{mm}$  から 5mm 間隔で case1 では 3 断面、case2 では 7 断面、case3 では 11 断面を設定した。鉛直断面には巨石モデルの中央より 10mm 間隔で 11 断面を設定した。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。画像計測には VISIFLOW（AEA Technology）PIV を用い、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. 実験結果および考察

(1)流速に関する考察 PIV によって得られた流速ベクトルの中から、円柱の水深  $h=60\text{mm}$ 、水平断面の  $z=15\text{mm}$  における結果を図 2 に、鉛直断面のうち巨石モデル中央断面について図 3 に示し、これを例に説明する。巨石モデルの側方では流速が大きくなっており、後方ではふたつの左右対称な渦が見られる。これはカルマン渦の生成によるものであり、瞬間構造を観察すると、左右交互に渦が発生していることがわかる。これを長時間平均した結果、対象な渦構造となったものである。渦の後流では、カルマ

表 1 実験条件

ケース名	case1	case2	case3
水深 $h(\text{cm})$	2.0	4.0	6.0
流量 $Q(\text{l/s})$	0.34	1.02	2.43
水路勾配 $I$	1/2000		
断面平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	5.6	8.6	13.5
フルード数 $Fr$	0.13	0.14	0.18
レイノルズ数 $Re$	1472	2261	3550

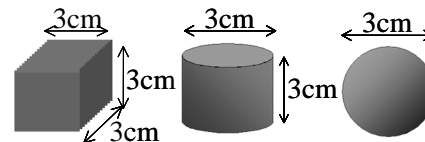


図 1 実験模型

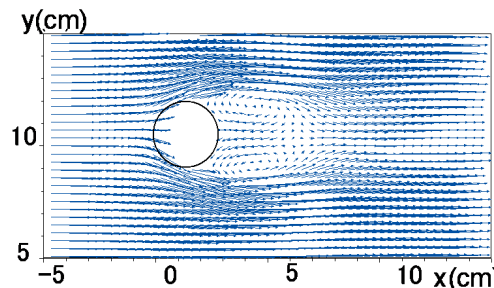


図 2 流速ベクトル図（水平断面）

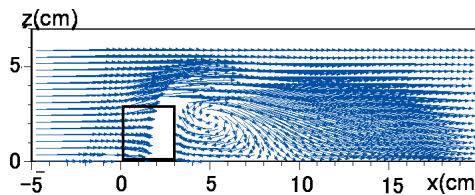


図 3 流速ベクトル（鉛直断面）

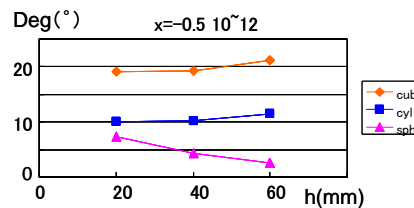


図 4 偏流角度

キーワード：PIV, 巨石, 大粗度, 開水路流, 流れ構造, 後流, 乱れ

連絡先：名古屋工業大学 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 TEL 052-732-2111

ン渦の発散による中心に向かう流れがある。図3の鉛直断面では、巨石モデル前方の上端で上向きの偏流が起きている。また巨石モデルの後方では、横断方向に軸を持つ渦が見られる。これは、カルマン渦と異なり、ほとんどこの位置を動かさず、定常的に発生している。渦の後方では強い下降流が発生している。巨石モデル前方では流れの方向を変える偏流が見られる。各形状、水深における偏流角度を図4に示す。偏流角度は  $y=0.5\text{cm}$ ,  $x=10\text{cm}$  より  $12\text{cm}$  の位置での平均角度である。図4より、偏流は立方体で最も大きく、続いて円柱、球の順であることがわかる。また、立方体と円柱では水深による変化が小さいが、球では水深の増大に伴い減少している。

(2) 底面せん断応力に関する

検討 無次元化した底面せん断応力 ( $=\tau_b/\tau_0$ ) の分布図を

図5に示す。立方体では巨石モデル前部の角から側面にかけて大きくなっている。また、円柱と球では側面から後流にかけて分布しているが、円柱の方が広い範囲で大きな値となっている。この結果より砂の洗掘される領域が予想されるが、実際には鉛直成分の影響により、巨石モデル前面でも洗掘が起これると考えられる。

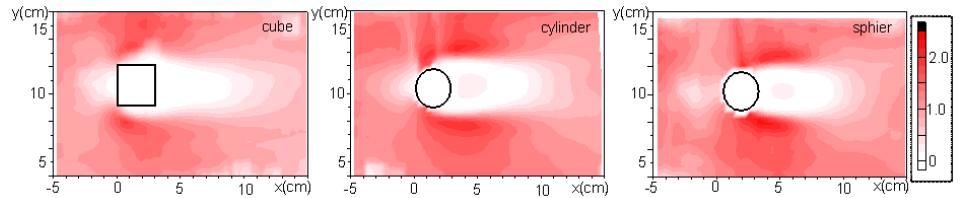


図5 底面せん断応力

(3) 渦度, 乱れ強度に関する考察

立方体の水深  $h=40\text{mm}$ , 断面高さ  $z=15\text{mm}$  の渦度 ( $=\partial v/\partial x - \partial u/\partial y$ ), 乱れ強度  $u'$  および  $v'$  をそれぞれ図6に示す。渦度は巨石モデルの側方から後流にかけて大きな値が分布している。立方体においては巨石モデル前部から囲うように分布しているが、円柱・球では巨石モデル側方から後流にかけて分布しており、球が最も値が小さい。これは、立方体において、主流が巨石モデルにぶつかることで起こる空間的変化が大きい

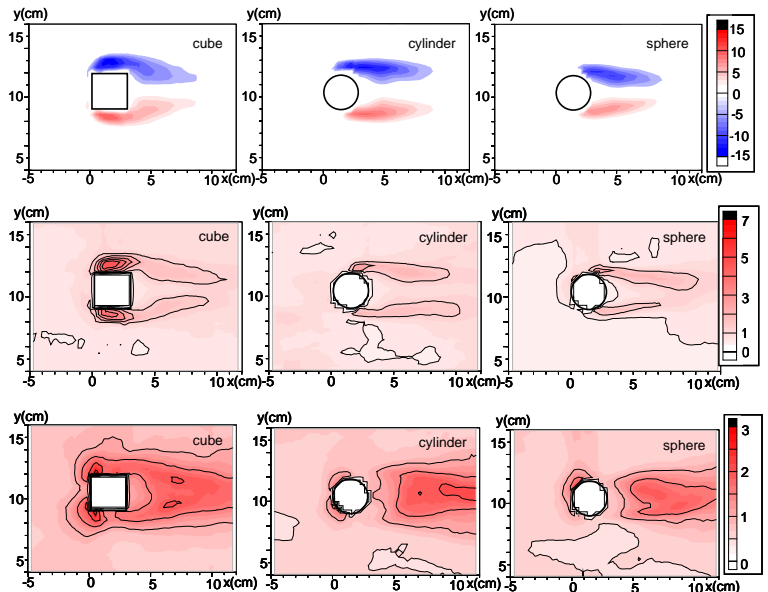


図6 渦度(上), 乱れ強度  $u'$  (中), 乱れ強度  $v'$  (下)

ためである。流下方向の乱れ強度  $u'$  も渦度の分布形状と似ており、巨石モデル側方から後方にかけて発達している。これは巨石モデル側面における境界層により、流速の勾配が大きく、乱れの発生率が高くなるため、渦度と乱れ強度  $u'$  の分布が類似すると考えられる。立方体で他の形状に比べ巨石モデル側方で大きな値を示し、また分布範囲も広がっていることも特徴である。横断方向の乱れ強度  $v'$  は巨石モデルの前部および後方に大きな値が分布しており、ピークが巨石モデルから離れたところに現れる。これは、偏流が定常でないこと、カルマン渦の発散領域において、横断方向流速が変動することを示している。以上の結果より、立方体では前部の角からの剥離の影響が強く、流れを大きく変化させることがわかる。また、これらの特徴は他の水深でも見られ、水深が大きくなるほど渦度、乱れ強度  $u'$  および  $v'$  は全体に大きくなる傾向がある。

4. まとめ

巨石モデルまわりの基本的流れの構造について知ることができた。今後は、多自然工法としての巨石投入を考える上では、複数の巨石の配置を変化させた実験により流れ構造を把握し、移動床実験により、乱れや渦が河床変動にどのような効果をもたらすのかも検討していく必要がある。そして、河川生物にとってどのような工法が効果的なのかを考えていきたい。

参考文献：木村一郎・細田尚:乱れ強さ非負条件を考慮した非線形  $k-\epsilon$  モデルによる立方体周辺の流れの三次元解析, 水工学論文集, VOL.44, 599-604, 2000.