

巨礫を有する河川における水位と粗度の变化に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 福永和馬  
 名古屋工業大学 正会員 富永晃宏  
 名古屋工業大学 笹井綾乃

1.はじめに：近年，都市河川において，流れに多様性を持たせ，生物にとって住みよい環境をつくる，多自然川づくりが盛んに行われている．その一つに，河道に巨礫を配置することで流れに変化を持たせる方法がある．多くの場合で巨礫はランダムに配置されているが，その配置パターンによって出水時の水位増大をもたらす危険性が懸念される．そこで本研究では，山崎川の巨石設置区間をイメージした水路実験によって，巨礫の配置による水位変化，粗度の違いについて水理学的検討を行った．

2.実験装置および方法：水理実験は，現地観測によって得られた山崎川の河床断面形状をもとに，山崎川の 1/35 縮尺模型を想定して行った．長さ 7.5m，幅 0.3m，勾配 1/500 の水路を用いた．水路の上流端から 1.5m から 6.5m を計測区間とし，2.5m から 5.5m の区間に，巨礫に見立てた鉄製の角柱 (3cm×3cm×3cm) を 80 個配置した．これは水平面積割合は 8% である．実際の山崎川における巨礫の大きさについて，サンプル 10 個の平均面積は 1.08 m<sup>2</sup> であった．また，観測区間 (12.6m×150.0m) に巨礫は 135 個あり，河道における巨礫の水平面積割合は約 7.7% であった．水路に水を循環させ，一断面について流れ方向にポイントゲージを用いて水面形を測定した．計測位置は，水路の壁から 0.15m (水路中央) とした．

3.実験ケース：実験は面積密度を同じにしているその配置を変化させた．図 1 に各ケースにおける角柱の配置を示す．多様な流れが生じるように，各配置は千鳥格子型をとった．まず，水路断面に占める障害物の面積による水位と粗度係数の違いを調べるために，横断方向の角柱の個数を変化させた case1, case2, case3 を行った．次に，角柱間の間隔のバランスによる水位と粗度係数の違いを調べるために，case1 の比較実験として，case4 を行った．それぞれのケースについて，5 パターン【(a)14.32 l/s ,(b)10.62 l/s ,(c)9.25 l/s ,(d)6.77 l/s ,(e)4.00 l/s】の流量について実験を行った．全実験ケースは 4×5=20 ケースである．

4.実験結果と考察：図 2 に粗度上流における水深 (最大水深) と流量の関係を表す．図 2 より流量が大きいほど最大水深は高くなるが，case1, case4 がほぼ同じで小さく，case2 と case3 が同程度で大きな値を示す．また，図 3 にポイントゲージによって測定した水面形を示す．粗度区間の上流端から 1m 上流を x=0 とした．グラフから，横断方向の石の個数が増えるほど，水深が大きくなり，水面が大きく波立っていることがわかる．

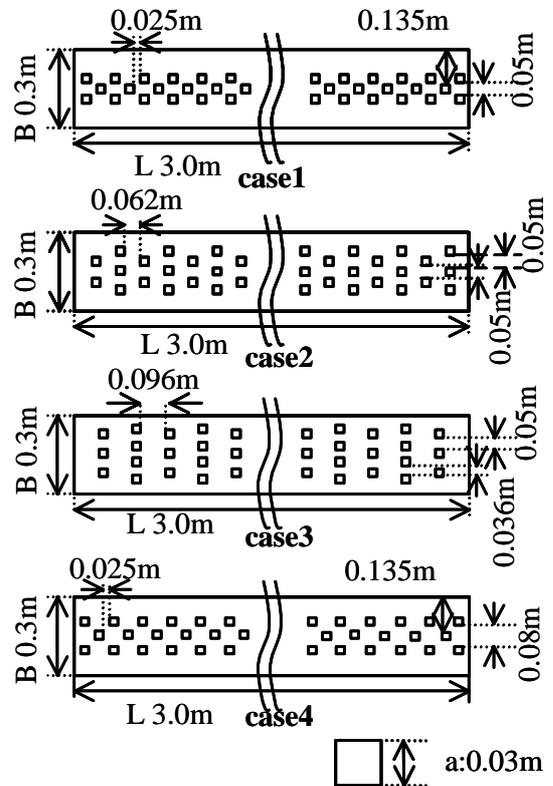


図 1 実験ケース

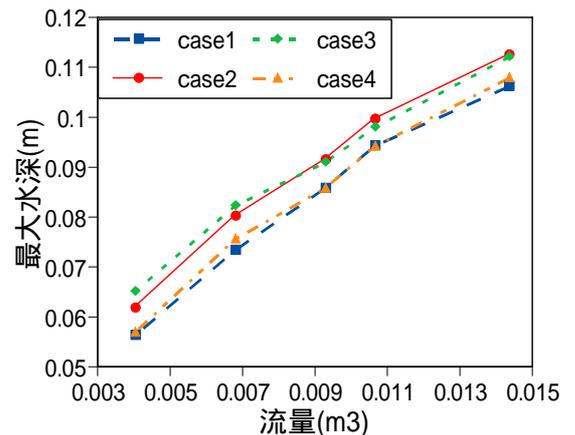


図 2 水位流量曲線

これは、密度を一定にしているため、横断方向に石を増やすと、流れ方向の間隔が大きくなるので、局所的な粗度の違いが大きくなり、波が大きくなったと考えられる。水深と流量は比例関係にあるといえる。以上の結果から、河道の巨礫の配置によって、水面形と水深が変化することがわかった。流れ方向の粗度間の距離が小さいほど波は小さく、水面は穏やかであり、距離が大きいほど大きく波うつ。また、水深について、粗度区間に入る直前に最も大きくなり、粗度区間では緩やかに下降し、粗度区間の終了とともに限界水深近くまで一気に落ちる。その後の区間では角柱の配置に関係無く水面が大きく波を打っている。また、case1 とcase4 について比較すると、case4 のほうが全体的に水深が高くなっており、横断方向の角柱間距離による影響があることがわかった。次に、不等流計算によって、それぞれのケースにおける粗度係数を求めた。計算開始点を限界水深発生地点とし、計算結果が、実験のグラフと一致するように粗度係数を設定した。その際、一樣な粗度係数では一致しなかったため、粗度区間の途中で粗度係数が変化すると仮定し、上流側の粗度を $n_1$ 、下流側の粗度を $n_2$ として水路全体の平均粗度 $n_3$ とした。平均粗度 $n_3$ は、図6及び、式(1)で定義する。

$$n_3 = \frac{n_1 x_1 + n_2 x_2}{x} \tag{1}$$

各ケースの結果をまとめて図5に示す。グラフより、流量 $Q$ と粗度係数 $n_3$ は相関があり、流量の増大とともに $n_3$ が減少する。これは水深と粗度高さの比が関係しているとも考えられる。最も流量の小さな流量(e)以外では、case2 が一番大きな粗度係数を示している。このことから、横断方向の角柱の数以外に水路の粗度係数に影響を与える要素があることがわかる。また、case1 とcase4 において、全ての流量でcase4 のほうが粗度係数が大きくなっている。以上の結果から、石の横断方向の間隔と粗度係数に関係があることが推測される。

5. あとがき：今回の実験では、同じような配置であっても、横断方向の間隔を変化させると抵抗特性が異なる傾向が見られた。しかし、横断方向の角柱の個数と粗度係数は必ずしも比例せず、角柱間の距離のバランスが影響を与えることが推測される。今後は、流れの多様性を保ちつつ、出水の際の水位上昇に及ぼす巨礫群の効果を明らかにするために、水路に占める角柱の密度や角柱間の間隔を変化させて、実験を行う必要がある。

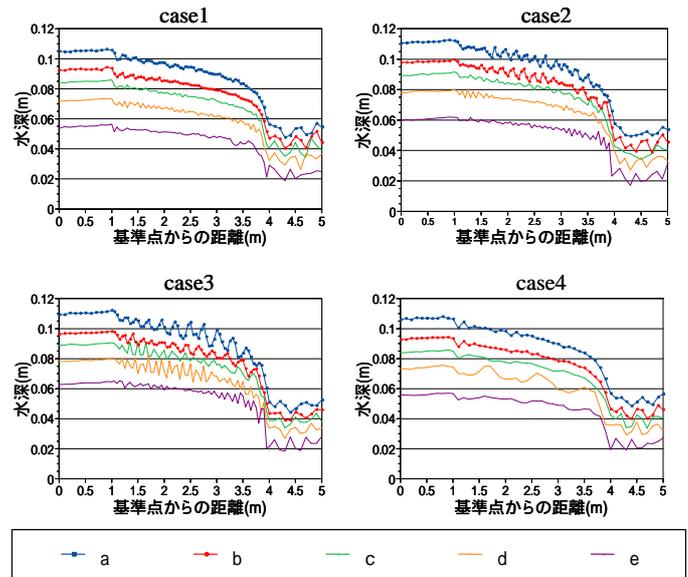


図3 水面形

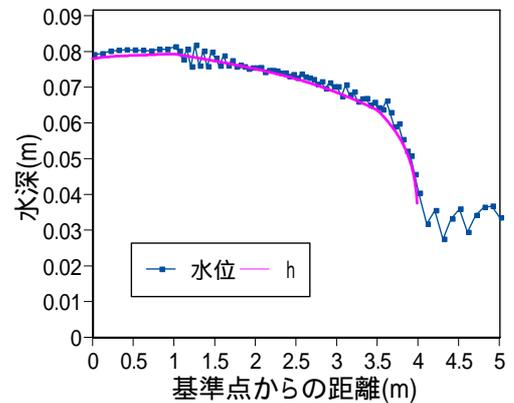


図4 不等流計算例

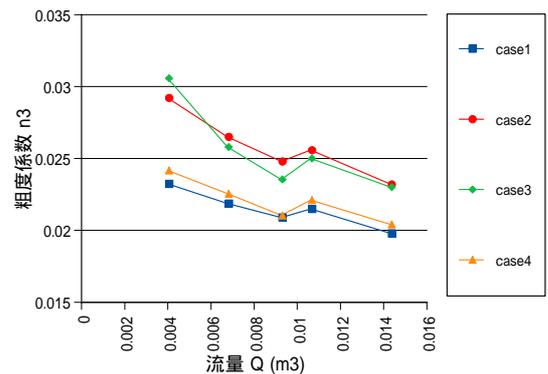


図5 粗度係数( $n_3$ )

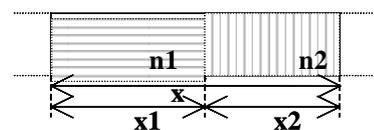


図6  $n_3$ の定義