

巨礫を有する河川における水位と粗度係数の変化特性

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

1.はじめに：近年，都市河川において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．名古屋市山崎川では写真-1のように巨礫を設置した区間がある．本研究では大粗度を配列した水路実験によって，巨礫の配置方法や密度の違いによる水面形を計測し，粗度係数の変化について検討を行った．

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粗度要素(3cm×3cm×3cm)を配置した．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



写真-1 山崎川の巨礫群

m²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率は約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，水路中央の水深から平均的な水深が得られることができたので水路中央断面とした．下流端での水位調整は行わなかったため，いずれのケースにおいても粗度設置区間の下流端付近で限界水深が発生し，下流に射流区間が発生した．また水面が波状の分布を示す場合があったが，この場合は山と谷を拾うように計測を行った．

3.実験ケース：実験は面積密度と配置を変化させて行った．表1，図1に実験ケースを示す．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．同一水平面積率で水路断面に占める障害物の面積の横断方向遮蔽率を(=mk/B, mは横断方向の粗度数, kは粗度の幅, Bは水路幅), 面積粗度密度を(=NK²/BL, Nは全粗度数, Lは粗度区間長), 縦断方向相対間隔を(=(z+k)/k)とした．

4.粗度係数の算定方法：本実験では水深が流下方向に大きく変化するためマンニングの粗度係数を一義的に定義できない．そこで，次元不等流計算によって水面形が一致するように粗度係数を推定する事とした．次元開水路流の連続式と運動方程式は次のようである．

表1 実験ケース

case no.	N	配列パターン	a	b	c	z			
1	80	2 1	5.0	9.5	13.5	2.5	0.30	1.83	0.080
2	80	2 3	5.0	9.5	5.5	6.2	0.50	3.07	0.080
3	80	3 4	5.0	5.5	3.6	9.6	0.70	4.20	0.080
4	80	2 1	8.0	13.5	-	2.5	0.30	1.83	0.080
5	39	2 1	8.0	13.5	-	8.0	0.30	3.67	0.039
6	65	2 3	8.0	10.5	-	8.0	0.50	3.67	0.065
7	65	2 3	5.0	9.5	5.5	8.0	0.50	3.67	0.065

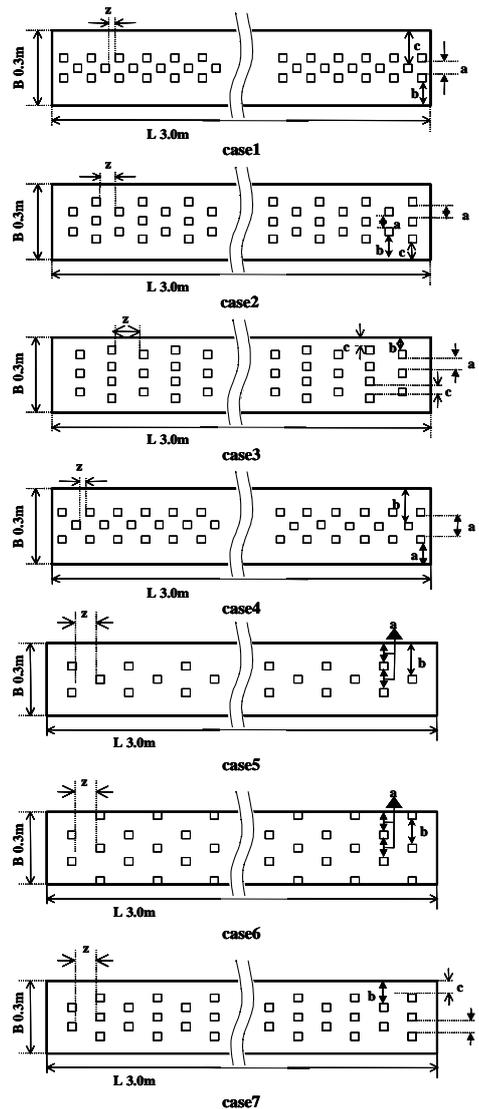


図1 実験ケース

キーワード 水位変化，粗度係数，巨礫，多自然川づくり

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 国立大学法人名古屋工業大学 T E L 052-735-5000

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial uA}{\partial x} = 0 \quad (2) \quad \frac{\partial uA}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot uA}{\partial x} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - gA \frac{n^2 u}{R^{4/3}} \quad (3)$$

u は断面平均流速、 H は水位である。式(3)を有限体積法で離散化し、水深の変化は連続式(2)より圧力方程式を導くSIMPLE法を適用した。計算開始点を粗度域下流端の限界水深発生地点とし、水面形が実験結果と一致するように粗度係数 n の値を求めた。素読間下流では粗度高さに対する相対水深が小さくなるため、粗度区間の計測開始点から 2.5m ~ 3.7mを境に上流域と下流域で粗度係数を変化させた。その結果の一例をcase2について図2に示す。この上流と下流の粗度係数を面積平均した粗度係数 n_3 について検討する。

5. 実験結果と考察：巨礫設置が及ぼす影響指標として、粗度設置区間上流端の水深の粗度非設置のケースからの増加率 $\Delta h/h_0$ と上述の粗度係数 n_3 の変化を検討した。粗度配置を表現するパラメータとしては、表1の指標に水深の影響を加味した体積粗度密度 $\lambda' (= Nk^2/(BLh_m))$ 、 h_m は粗度区間平均水深)と横断面遮蔽率 $\beta' (= mk^2/Bh_m)$ を用いた。図3 ~ 6にこれらのパラメータと水深増加率および粗度係数の関係をそれぞれ示す。体積粗度密度で整理した場合、水深増加率と粗度係数はほぼ同様な分布を示す。いずれの場合でも case1 と 4、および case6 と 7 はほぼ同じで横断方向間隔のみを変化させた影響は小さいことが分かる。case5、6、7 は密度が小さい割には大きな水深増加をもたらすがほぼ1直線上に並び、これらの共通点は縦断方向間隔が等しい点である。case2、3 が同じような分布を示し、case1、4グループと5、6、7グループの中間に位置する。

次に、横断面遮蔽率との関係では水深増加率と粗度係数が若干異なる傾向を示す。いずれの場合も最も遮蔽率の大きいcase3が他と大きくはずれ、小さな値を示す傾向にある。水深増加率ではcase1、4グループ、case2、case5、6、7グループの順で小さくなっているが、粗度係数ではこれらすべてがほぼ1直線上に分布している。水深増加率で見た場合、縦断方向の間隔の影響が見られるが、粗度係数で見た場合は縦断方向間隔はほとんど影響していないといえる。この傾向は棧粗度の結果とは異なる。横断面遮蔽率が大きくなるとcase3のように他の影響が現れるものと考えられるが、この点についてはさらに条件を変化させた実験が必要である。

6. おわりに：河床に相対的に大きな粗度を規則的に配置した実験を行い、水深増加率および粗度係数の変化を調べた。その結果、粗度による横断面遮蔽率が支配的であることが示唆されたが、まだ不明な点が多く、今回のような不等流状態での実験の解析法の検討も含め、さらに実験ケースを追加して検討する必要がある。参考文献：富永晃宏、棧粗度の相対間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響、水工学論文集、36、163-168、1992。

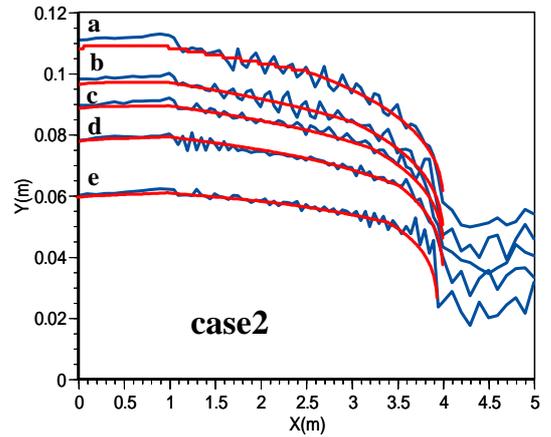


図2 水面形の不等流計算と実験値の比較

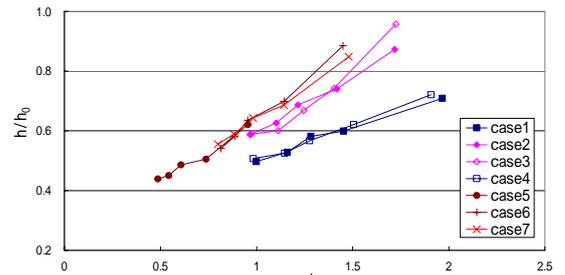


図3 λ' と水深増加率の関係

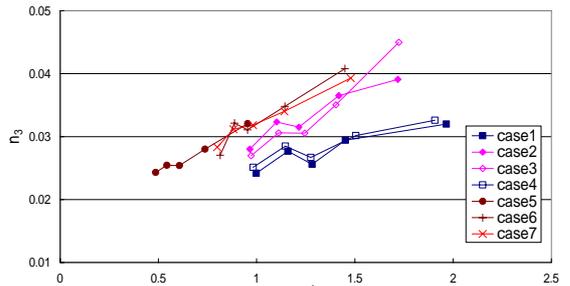


図4 λ' と平均粗度係数の関係

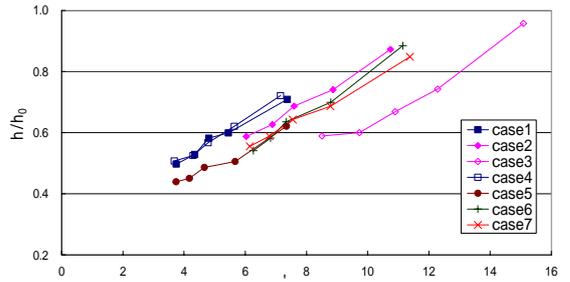


図5 β' と水深増加率の関係

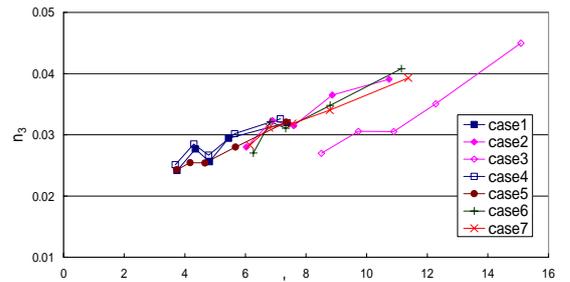


図6 β' と平均粗度係数の関係