

環境保全護岸ブロックの粗度係数に関する実験的研究

岡山大学大学院 学生会員 ○浦上 清彦
 岡山大学 正会員 前野 詩朗
 岡山大学 正会員 里本 公明
 株式会社ランデス 正会員 野村 修治

1. はじめに

1997年(平成9年)河川法の改正により、河川環境の整備と保全が河川整備の目的に加わり、河川の生態系を配慮した多自然川づくりが進められることとなった。柳枝工や石積み工など自然の素材を生かした工法や、環境に配慮し空隙を有する環境保全護岸ブロックが今後、ますます必要になると予想される。また、護岸は生態系への影響もさることながら、川の流れへの影響も大きい。護岸の粗度が過大な場合は、洪水時における越水の危険性が増大し、逆に過小な場合は、流体力が大きくなり、周辺施設、護岸自体の破壊に至る危険性がある。したがって、護岸には適切な粗度を持たせる必要があり、護岸の粗度の把握は河川工学上重要な課題である。

本研究は環境保全護岸ブロックの粗度を評価することを目的として、環境保全護岸ブロックの模型を側壁に設置し、Manningの粗度係数を実験的に明らかにする。

2. 粗度係数の評価方法

本研究では、二通りのアプローチにより、環境保全護岸ブロックの粗度係数の評価を行った。以下にその概略を示す。

2.1 合成粗度係数

水路断面は図-1に示すような長方形断面である。実験によって得られた等流水深の値から水路全体の粗度係数(合成粗度係数)を推定し、式(1)の関係より、模型の粗度係数を求める。

$$N = \left(\frac{n_1^{3/2} S_1 + n_2^{3/2} S_2 + n_3^{3/2} S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \right)^{2/3} \quad (1)$$

ここに、 N : 合成粗度係数 ($m^{-1/3}s$)、 n : 粗度係数 ($m^{-1/3}s$)、 S : 潤辺長 (m) である。本実験において、環境保全護岸ブロックの模型を図-1の添え字1で示す左側面に設置しているので、環境保全護岸ブロックの粗度係数は、

$$n_1 = \left\{ \frac{N^{3/2} (S_1 + S_2 + S_3) - n_2^{3/2} S_2 - n_3^{3/2} S_3}{S_1} \right\}^{2/3} \quad (2)$$

である。ここで、各潤辺長と N 、 n_2 、 n_3 の値が必要と

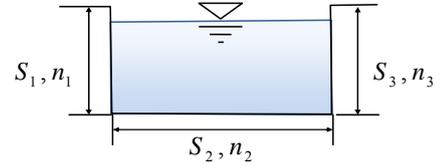


図-1 水路断面

なるが、各潤辺長については実測から得られる。合成粗度係数 N については後述する計算によって得られた等流水深と実験によって得られた等流水深の値が一致したときの値とした。長方形断面水路の等流水深は Manning の式を用いると式(3)の形で表わされる。その第一近似 h_1 を式(4)、第二近似 h_2 を式(5)、第三近似 h_3 を式(6)として近似を行っていき、 $h_n - h_{n-1}$ が許容誤差に収まったときのある水深 h_n を等流水深 h_0 とみなした。

$$h = \left(\frac{NQ}{BI^{1/2}} \right)^{3/5} \left(1 + \frac{2h}{B} \right)^{2/5} \quad (3)$$

$$h_1 = \left(\frac{NQ}{BI^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (4)$$

$$h_2 = h_1 \left(1 + \frac{2h_1}{B} \right)^{2/5} \quad (5)$$

$$h_3 = h_1 \left(1 + \frac{2h_2}{B} \right)^{2/5} \quad (6)$$

ここに、 Q : 流量 (m^3/s)、 B : 水路幅 (m)、 I : エネルギー勾配である。本実験において、流れは等流状態であるのでエネルギー勾配を水路勾配とみなした。さらに n_2 、 n_3 については予備実験によって、 $n_2 = 0.012 (m^{-1/3}s)$ 、 $n_3 = 0.009 (m^{-1/3}s)$ を得ており、これらの値を用いた。

2.2 Manning-Strickler の式

Manning-Strickler の式(7)を用いて、各粗度要素の粗度係数の値を求める。

$$n = \frac{k_s^{1/6}}{7.66\sqrt{g}} \quad (7)$$

ここに、 k_s : 相当粗度 (m) である。 k_s の値が必要となるが、粗度要素近傍の流速分布が Nikuradse の対数則の式(8)に従っているととして k_s を求めることとした。

$$\frac{u}{u_*} = 5.75 \log_{10} \frac{y}{k_s} + 8.5 \quad (8)$$

ここに、 u : 流下方向流速 (m/s), u_* : 摩擦速度 (m/s), y : 粗度要素からの距離 (m) である. 本実験に用いた環境保全護岸ブロックの表面には、石を模した突起がついており、 y はその突起の平均高を基準にして横断方向距離とした.

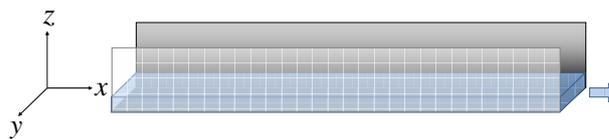


図-2 実験水路

3. 実験概要

実験に用いた水路は図-2 に示すような全長 5.0m, 幅 0.40m, 高さ 0.60m, 勾配 1/200 の循環水路である. 水路表面の状態は右側面が亚克力, 水路底面と左側面はペンキ塗装した金属面である. x 軸は上流端から下流端への流下方向に, y 軸は左側面から右側面への横断方向に, z 軸は底面から鉛直方向にとる. その水路に写真-1, 2 に示す縮尺 1/10 の模型を図-3 のように設置した(写真-3, 4). ビオトーン I 型は長さ 20cm, 幅 5.0cm, 高さ 5.0cm で, 全面に突起があり, 最大突起高は 3mm, 平均突起高は 1.8mm である. ビオトーン II 型は長さ 20cm, 幅 1.0cm, 高さ 5.0cm で, ビオトーン I 型と同様, 全面に突起がある. なお, 各模型の材質はポリイソシアネート (比重 1.04) である. ビオトーン I 型はボックス型となっており, 本実験では中詰材として玉石を充填したケースと半分充填したケースで行った(写真-5). また, 模型との比較のためにベニヤ板を設置したケースについても実験を行った.

実験条件は, ベニヤ板とビオトーン I 型に中詰材を充填したものについては, 流量が 30, 45, 60l/s の 3 ケース. ビオトーン I 型に中詰材を半分充填したものとビオトーン II 型については, 30~75l/s で 5l/s ごとの 10 ケースである. 計測区間 ($2.5 \leq x \leq 4.5$) で等流状態となるように, 実験水路の下流端に設置されているフラップゲート进行操作し, 水路断面中央の水深をポイントゲージによって計測した. また, 各粗度要素について 30, 45, 60l/s の 3 ケースで, $x=3.5$ 付近の断面の粗度要素側半分において流速の計測を行った. 計測には 2 次元電磁流速計 (KENEK 社製: VM-802H) を使用した. 流速計の計測精度は $\pm 2\%$ であり, 計測条件は 20Hz で 2 分間, サンプルング数は 2400 である.

4. 実験結果

実験によって得られた結果を図-4~7, 表-1 に示す. 表-1 中の①は合成粗度係数, ②は Manning-Strickler の式から評価したことを表し, ①'と②'は①と②それぞれの値を原寸の縮尺にした値である. ここで原寸の縮尺にする際に, フルードの相似律を用いた. ①の方法よりも, ②の方法によって得られた粗度係数の値の方が小さいケースが多い. これは側壁において, 水面と底面付近では相当粗度が大きくなることが知られており,



平面図



正面図



横断面図

写真-1 ビオトーン I 型の模型



平面図

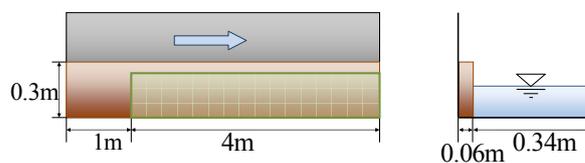


正面図



横断面図

写真-2 ビオトーン II 型の模型



正面図

横断面図

図-3 模型の設置状況



写真-3 ビオトーン I 型の設置状況



写真-4 ビオトーン II 型の設置状況



玉石



玉石を充填



玉石を半分充填

写真-5 玉石を充填したビオトーン I 型の模型

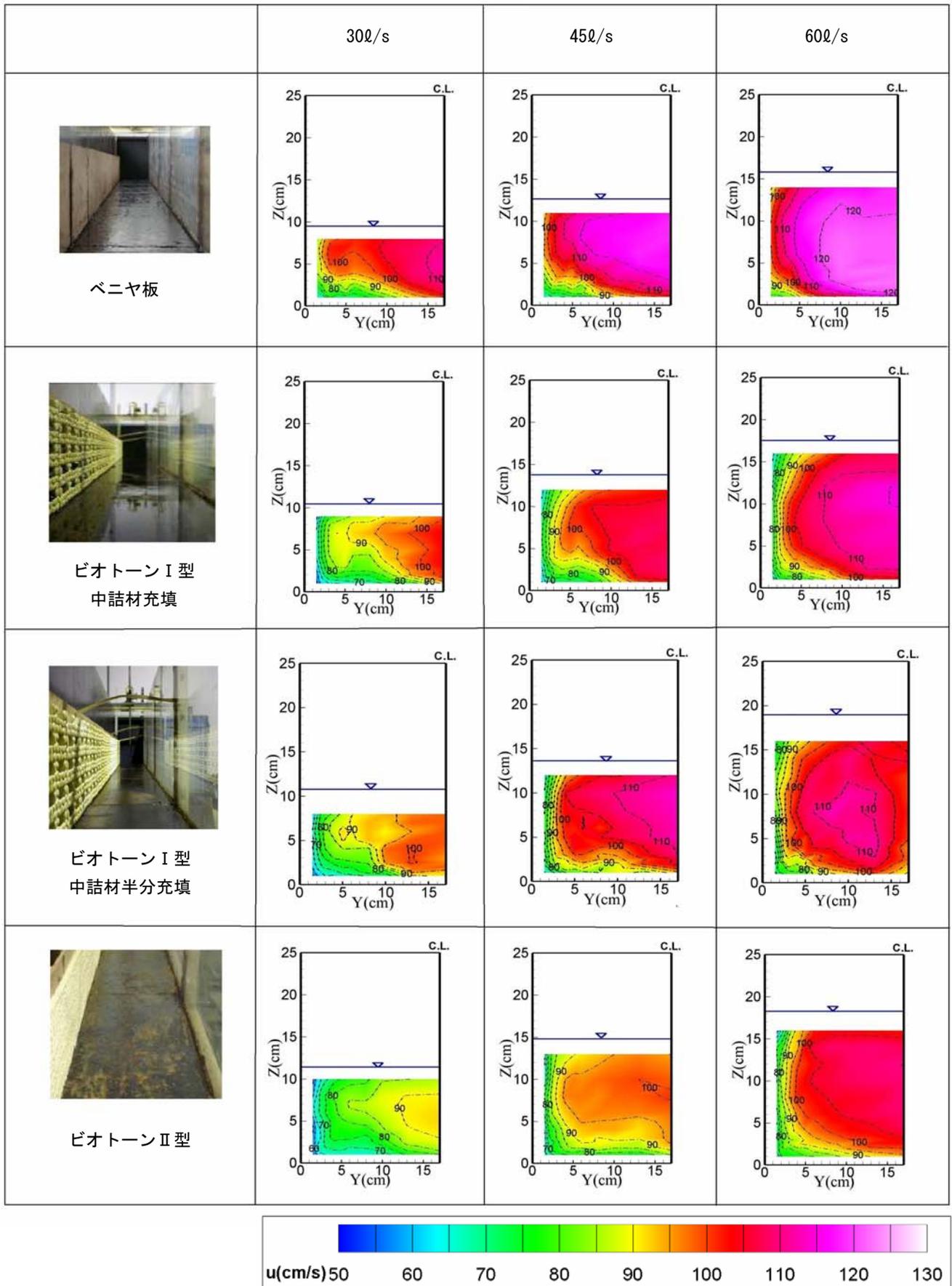


図-4 流下方向流速分布

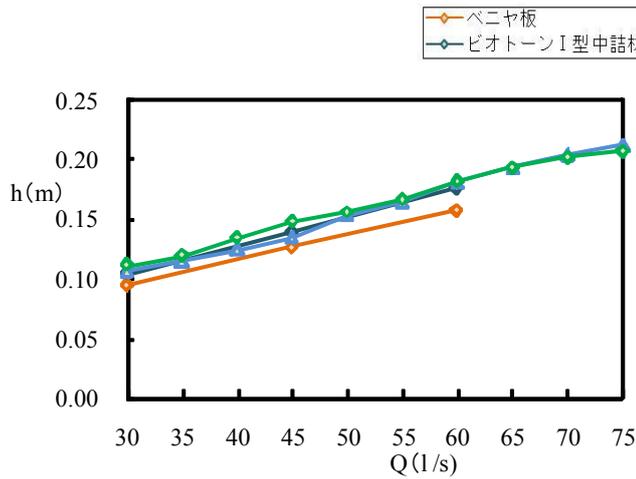


図-5 各ケースにおける等流水深

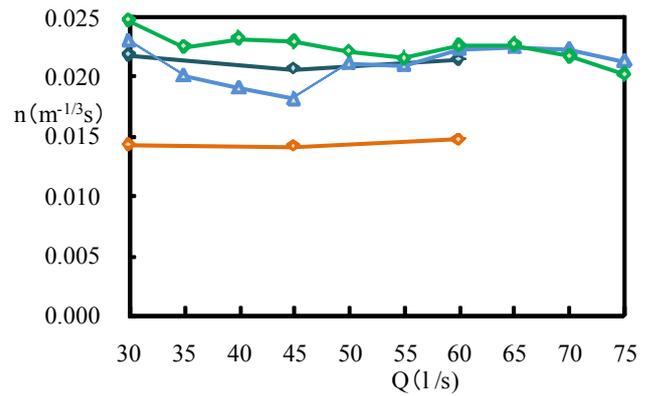


図-6 合成粗度係数から評価した粗度係数

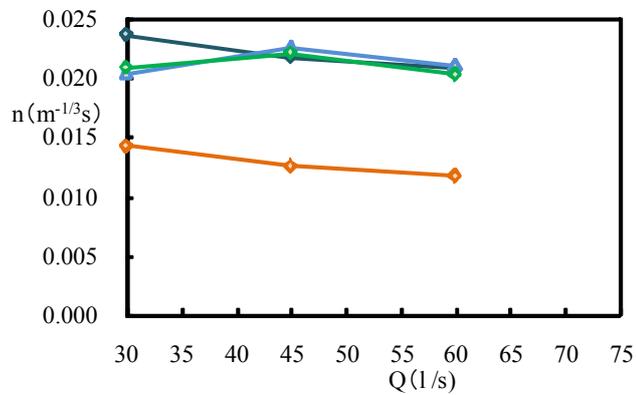


図-7 Manning-Strickler の式から評価した粗度係数

表-1 粗度係数

	①	①'	②	②'
ベニヤ板	0.014	—	0.012	—
ビオトーン I 型 中詰材充填	0.022	0.031	0.022	0.032
ビオトーン I 型 中詰材半分充填	0.021	0.031	0.021	0.031
ビオトーン II 型	0.023	0.033	0.021	0.032

本実験では流速計の性能上、その部分を十分に考慮することができず、②の方法では実際よりも粗度を過小評価したものと考えられる。図-4 の流速分布から、ベニヤ板に比べてビオトーン I 型・II 型の模型近傍では流速の低減が確認された。これは表面に突起によるものと考えられる。護岸近傍の流速が低減は、負の水圧による護岸吸い出しの危険性の低減につながる。また、厳密には護岸ブロック内部のボックスにも水は入りこみ、有効な流水断面としてその部分も考慮しなければならないが、明確な基準が存在しないので護岸ブロックの平均突起高までを有効断面とした。さらに、本研究では模型を鉛直に設置したが、実際の護岸の勾配は鉛直ではないので、勾配の変化による粗度係数の変化特性についても、今後検討する予定である。

5. おわりに

1) 環境保全護岸ブロックであるビオトーン I・II 型の模型近傍において、表面の突起による流速の低減が確認された。

- 2) ビオトーン I・II 型の粗度係数は原寸の縮尺で $0.031 \sim 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 程度である。
- 3) 有効な流水断面の基準を定める必要がある。
- 4) 護岸法面の勾配の違いによる粗度係数に関して検討する必要がある。

参考文献

- 1) 中小河川計画の手引き (案), 1999.
- 2) 美しい山河を守る災害復旧基本方針, 2007.
- 3) 足立昭平: 人工粗度の実験的研究—棧型粗度と溝型粗度—, 京大防災研究所年報, 第 4 号, 1971.
- 4) 足立昭平: 人工粗度の実験的研究—Iボ型粗度—, 京大防災研究所年報, 第 5 号A, 1972.
- 5) 中村俊六, 中村勝男, 田中昌治: 3次元人工粗度の粗度特性に関する実験的研究, 第 27 回水理講演会論文集, pp807-812, 1983.