

異形ブロックの粗度係数について

渡 利 友 雄

1. ま え が き

近年海岸における消波用に、また河川の護岸水制用に使用されている異形ブロックは、1949年仏のネールピック社で開発されたテトラポッドがその起元とされている。1955年わが国に導入されて以来その開発も盛んで、現在約50種類の異形ブロックがあると言われている。しかしこれら異形ブロックの効果については、定性的には明らかであっても定量的には明確でない場合が多い。ただ異形ブロックに望まれる主なる条件として、(1)適当な空隙率があること (40%~60%が効果的) (2)表面粗度が大きいこと、であり現在この2つの観点から定量的解析がなされている。

そこで筆者は異形ブロック中本県河川に護岸水制用として、比較的多く使用されていると思われる、テトラポッド、六脚ブロック、中空三角ブロック、の3種を取り上げ、異形ブロックの具備条件のうち(2)の観点から流水のエネルギー減殺効果の基本的要因である抵抗則について、実験を中心に考察を加えてみた。

2. 実験の概要

実験に用いた異形ブロックと水路は次のようである。

水路	長さ11m, 幅0.4m, 鋼製 (両側面ガラス) 可変こう配水路
異形ブロック	六脚ブロック A0.5×0.5形 (2t) の1/25模型 (自作) 2t型テトラポッドの1/25模型 (会社提供) 2t型中空三角ブロック1/25模型 (会社提供)
異形ブロックの配置	図-1 (六脚ブロック一層積, 二層積の例), 図-2 (中空三角ブロック一層積の例) に示すように各ブロックとも水路の底に一層積, 二層積 (いづれも整層積) とし, その敷きならべた長さは流れ方向に1.5m~2.0mとした。
流速の側定	六脚ブロック トランジスター式流速計 (流速計カウンター併用) テトラポッド, 中空三角ブロック ピトー管 (垂直マンメーター, ベンゼン使用)
流速の測定箇所	2次元流として, 流心部の水路底からブロックの天端まで2mm間隔, それより水面までは5mm間隔の各点を測定

さて異形ブロックの凹凸の高さと粗度との関連をつけるために、流速の対数分布則を水深方向に積分して求めた平均流速の対数公式である次式を使用する。

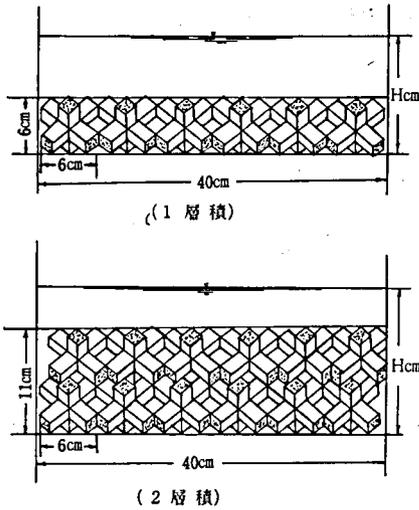


図1 六角ブロックの配置

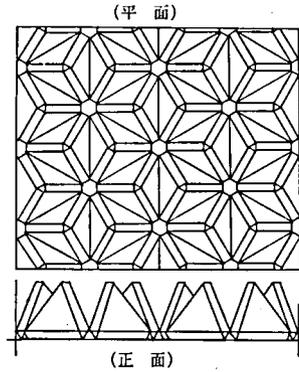


図2 中空三角ブロック一層積

$$\frac{u}{u_{**}} = A + \frac{2.3}{\kappa} \log_{10} y \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{u}{u_{**}} = A_r - \frac{1}{\kappa} + \frac{2.3}{\kappa} \log_{10} \frac{H}{\kappa_s} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに u = 水深 y における流速 u_{**} = 摩擦速度 = $\sqrt{gRi_e}$ A = 定数
 κ = カルマン定数 u_m = 平均流速 A_r = 定数 (8.5を使用)
 H = 水深 κ_s = 相当粗度 I_e = エネルギーこう配

そこで上式を解析していくために問題となるのは、 u_{**} を左右する基準面（ブロックがなければ当然水路底が基準面となる）の決定ということである。それがために本実験では流量を、10l/s, 20l/s, 130l/s, 40l/s, (直角三角ぜきにて測定), 水面こう配を、1/200, 1/500, 1/1000, (等流状態を水路末端の調節板使用により, 水面こう配を水路こう配に一致させた)の各種の測定をおこない、その結果を整理することとした。

3. 実験結果の解析

3-1 基準面の決定

抵抗則による流速分布は(1)により示されるから、異形ブロックによって移動した基準面は、 u/u_{**} を普通目盛、 y を対数目盛にとって描かれた分布図が直線となったときである。(たとえば図-3)

この基準面決定に必要な各点の流速測定結果については、当然のことながら各ブロック頂点付近を境界として、上下に大なる差異のあることが明確となった。すなわちブロック内の流速は比較的小さく(本実験では測定不可能な範囲, すなわち流速なしとみなした部分), また水深方向に一定の流速範囲がありその分布は不規則であったので、全体的に基準面の位

置は予想より高くブロック頂点付近となり、流量、こう配により必ずしもその値は一致しなかったが、その差異は少なかったのでこれらの平均値で基準面の位置を決定した。これに反してブロック頂点上部は一般に2次曲線分布（片対数グラフにおける直線部分）と見なすことができた。

このことはまたブロック積みを透過構造物と考えたとき、その透過度（空隙率）によりその基準面の位置も大きく左右されるということであり、本実験で用いた整層積みは乱積みに対してその空隙率は一般に小さいことに起因するものと考えられる。

なおブロック底部付近におけるレイノルズ数 $Re (=uR/\nu)$ を求めてみると、2000~3000の範囲の値であり、この部分の流れは層流・乱流いづれにも属するきわめて複雑な流れであ

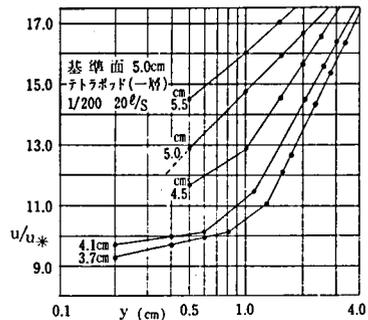


図 3

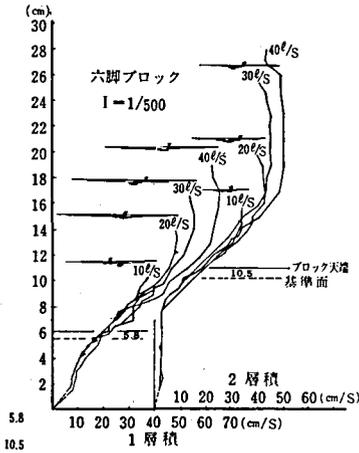


図 4

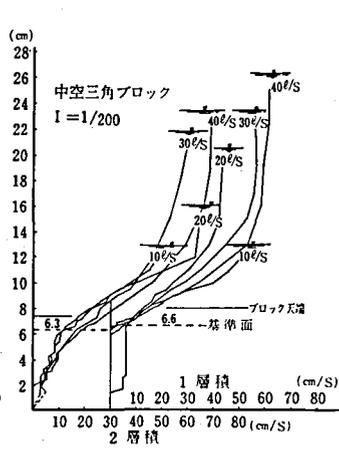


図 6

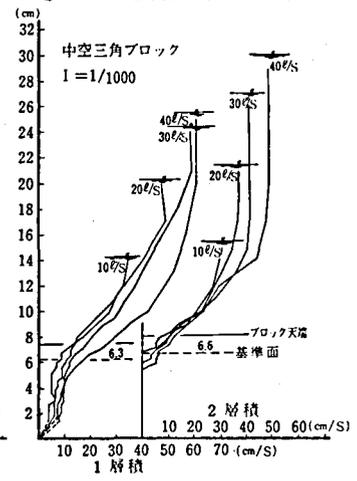


図 8

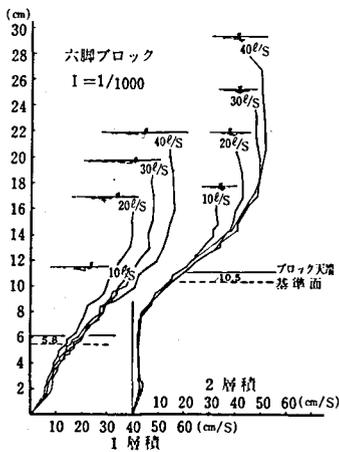


図 5

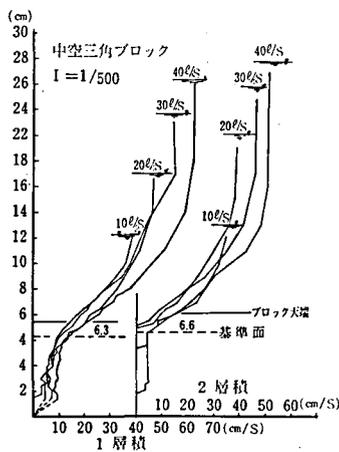


図 7

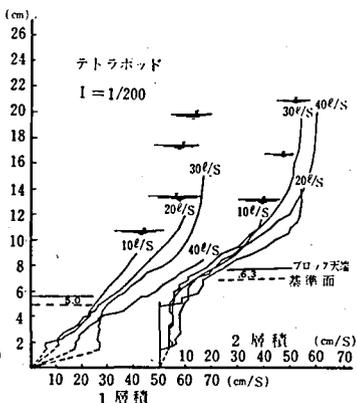


図 9

た。

各測定結果を片対数グラフ用紙で整理して求められた基準面の位置を、流速分布図に記入したものが図-4~図-11である。

3-2 粗度係数 n について

異形ブロックが流勢におよぼす影響の表現法にはいろいろあるが、筆者は平均流速公式として最近比較的簡単な形をもったマンニングの公式が

一般に用いられているので、異形ブロックの水制効果を粗度係数 n であらわしてみることにした。 n はマンニングの平均流速公式より次式(4)のようにあらわすことができるので、これより n を求めたのが表-1である。

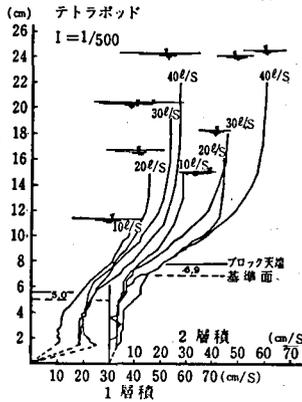


図 10

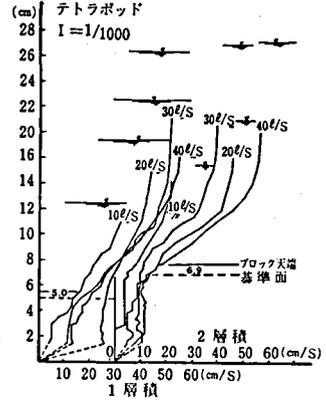


図 11

表1 各ブロックの粗度係数

種類 配置 流量 こう配	六脚ブロック		テトラポッド		中空三角ブロック		
	1層積	2層積	1層積	2層積	1層積	2層積	
10l/s	1/1000	0.0167	0.0166	0.019	0.029	0.020	0.028
	1/500	0.0141	0.0160	0.020	0.021	0.024	0.031
	1/200	—	—	0.018	0.033	0.030	0.032
20l/s	1/1000	0.0201	0.0136	0.018	0.020	0.017	0.023
	1/500	0.0176	0.0177	0.021	0.027	0.022	0.034
	1/200	—	—	0.010	0.034	0.029	0.042
30l/s	1/1000	0.0180	0.0138	0.017	0.023	0.019	0.021
	1/500	0.0151	0.0214	0.021	0.031	0.029	0.026
	1/200	—	—	0.023	0.037	0.035	0.038
40l/s	1/1000	0.0167	0.0144	0.017	0.017	0.022	0.022
	1/500	0.0137	0.0263	0.021	0.023	0.035	0.024
	1/200	—	—	0.025	0.036	0.031	0.034
平均値	0.017	0.018	0.019	0.028	0.026	0.030	

(注) 六脚ブロックについて、1/200は実験しない。

$$u_m = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{3}} I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \sqrt{RI} = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n\sqrt{g}} \sqrt{gRI} = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n\sqrt{g}} u_{**} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}} \frac{1}{\frac{u_m}{u_{**}}} \quad (u_{**} = \sqrt{gRI}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

一般に流勢が減殺される原因は、流水と接触面との間に生ずる摩擦抵抗がその主なるものであり、そのために失なわれる水頭は、ダルシーおよびワイズバッハの式から求められる。マンニング式はこの式中の摩擦損失係数を、主として河川などの開水路の流れに適合させて n (マンニングの粗度係数) で表わし平均流速公式としたもので、前記(3)式がこれである。したがって n 値によって流速は大きく左右されるから、これを正確に知ることは重要なことである。本実験では前記したように底面鋼製 (ペンキ塗装平滑)、両側壁ガラス張りであるのでこれらの抵抗は考えられないので、表-1の値はブロックそのものの粗度係数であるとしてよい。さてこれら実験により得られた値は、流量、こう配との関係についてとくに目立った事象はないので平均値で示すと、各ブロックとも1層積みより2層積みの n 値が大きく、また各ブロック相互間では中空三角ブロックが大きな値を示した。なおこれらの n 値は既に流速計算などに使用されている n 値と比較した場合最大値で自然河川の礫床、草岸の n

表2 各ブロックの n 値

種類 配置 流量 こう配	六脚ブロック		ラトラポッド		中空三角ブロック			
	1層積	2層積	1層積	2層積	1層積	2層積		
10l/s	1/1000	0.375	0.317	0.320	0.400	1.024	0.229	
	1/500	0.542	0.767	0.357	0.353	0.850	0.464	
	1/200	—	—	0.664	0.586	1.037	0.332	
20l/s	1/1000	0.390	0.278	0.190	0.247	0.378	0.337	
	1/500	0.450	0.560	0.235	0.374	0.608	0.403	
	1/200	—	—	0.200	0.411	0.804	0.564	
30l/s	1/1000	0.539	0.292	0.137	0.297	0.376	0.339	
	1/500	0.303	0.456	0.180	0.360	0.454	0.350	
	1/200	—	—	0.230	0.411	0.645	0.469	
40l/s	1/1000	0.813	0.317	0.132	0.214	0.347	0.267	
	1/500	0.277	0.418	0.195	0.301	0.501	0.326	
	1/200	—	—	0.570	0.447	0.670	0.488	
平均値	0.461		0.426		0.283		0.367	
	0.444		0.325		0.641		0.381	

値 (0.030~0.040) におよぼす n 値としての期待は、それほどでもないことがわかった。

しかし本実験では整層積み (空隙率が小さい) を採用したため、前述のように基準値が一般に高くなったので、かえって実用的には乱積みとして用いるか、整層積みでも空隙が充分得られて、しかも安定性のある積み方の研究が必要と思われる。

3-3 カルマン定数 κ について

本実験は各種ブロックの1層, 2層整層積みにおける粗度係数を得ることが目的であった。

粗度係数については、既に3-2で述べたとおりであるがこれら n 値算出に必要なカルマン常数 κ は、3-1において決定された基準面を用い(1)式から最小二乗法で処理することとし次式を用いた。

$$\kappa = \frac{2.3(nc - B^2)}{nD - A \cdot B} \dots\dots\dots(5)$$

ここに $\sum u/u_* = A, \quad \sum \log_{10} y = B, \quad \sum (\log_{10} y)^2 = C, \quad \sum u/u_* \log_{10} y = D$

結果は表-2に示した。また測定結果を図示して得られる直線のこう配から κ を求めることもできるので図-12に例を示した。さて κ 値は土砂を含まない (清水本実験の条件と一致) の場合には、 $\kappa=0.4$ であるとされているが、個々には問題の数値はあったが平均値において0.4~0.5であったのでこのまゝ粗度係数を求める資料とした。

3-4 相当粗度 κ_s について

粗度係数 n を求めるのに必要な κ_s 値は既に求められているカルマン常数 κ 値と、平均流速 u_m (流速分布図の囲む面積を台形公式より求め、これを水深で除して得られる) とを用いて、次式により求めた。

$$\log_{10} \kappa_s = \frac{\kappa}{2.3} \left(A_r - \frac{1}{\kappa} + \frac{2.3}{\kappa} \log_{10} H - \frac{u_m}{u_*} \right) \dots(6)$$

その結果は、表-3のようである。

一般に河床砂礫が移動しない場合には、相当粗度 κ_s は河床砂礫の平均粒径程度の大きさであるといわれている。また、実際には砂礫の置かれている状態や、粒径などによって変化し、従来の実験結果を整理すると、

$$\kappa_s = (0.5 \sim 4.0) d_m$$

ここに d_m = 平均粒径
の範囲とされている。

本実験ではブロックの高さを、平均粒径と考えると、表-3の κ_s 値は大体上式の範囲に入るので、これを粗度係数算出の資料とした。

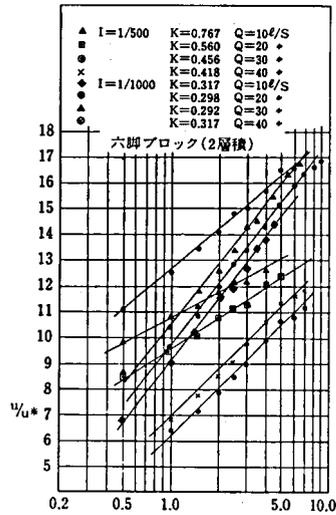


図 12

表3 各ブロックのKs値

流量	種類 配置 こう配	六脚ブロック		テトラポッド		中空三角ブロック	
		1層積	2層積	1層積	2層積	1層積	2層積
10l/s	1/1000	0.327	0.994	3.503	3.420	2.574	4.571
	1/500	0.416	0.205	3.574	3.051	3.342	6.376
	1/200	—	—	3.625	4.243	5.149	6.185
20l/s	1/1000	1.297	0.189	2.495	3.729	3.294	4.159
	1/500	1.560	0.647	3.177	5.534	2.692	8.830
	1/200	—	—	3.301	7.954	5.900	8.320
30l/s	1/1000	0.301	0.689	4.309	5.144	3.399	4.121
	1/500	1.679	2.835	4.217	5.245	7.610	8.185
	1/200	—	—	3.954	6.285	8.800	8.040
40l/s	1/1000	0.200	1.054	3.873	4.767	5.549	6.012
	1/500	1.607	2.685	4.732	4.878	8.230	9.420
	1/200	—	—	5.445	6.297	7.420	8.280
平均値		0.923	1.162	3.851	5.046	5.330	6.625

4. ま と め

本実験は、異形ブロックを護岸の水制用として用いたときに生ずる水制効果を、マンニング公式における粗度係数で表わし、各ブロックを比較検討し、その形状と関連づけをし、新しい異形ブロックの考案を意図した基礎実験であった。

現在までの実験結果から

- (1) 面体の数（テトラポッド、中空三角ブロックは5面体、六脚ブロックは6面体）は必ずしも多いことが、水制効果を向上させる要素にならないこと。
- (2) 空隙率すなわちブロックの積み方により、粗度係数は左右されること。
- (3) 1層積みより2層積みの粗度係数が大きいこと。（水制効果が大きい）
などが定量的に明確となった。

なお実験中ブロック内の微流速測定には困難があったので、水素気泡発生装置により、さらに正確を期したい計画である。

最後に本実験に終始協力して下さった、昭46. 47年度の卒研学生諸君に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 土木学会：第25回年次学術講演会講演集（第2部）
- (2) 吉 川：河川工学
- (3) 山崎・鳥居：異形消波ブロックの設計と施工