

異形ブロックの粗度係数について*

(その2)

渡 利 友 雄**

1. ま え が き

河川護岸工法として多く使用されている異形ブロックの水制効果を、マンニングの平均流速公式における粗度係数 n で表現しようと考え、異形ブロック中、テトラポッド、六脚ブロック、中空三角ブロック、の整層積み（一層積み、二層積み）については既に発表したとおりである⁽¹⁾。

今回は前記異形ブロックに加えて、ホロースケヤーの整層積み（一層積み、二層積み）と、テトラポッド、中空三角ブロックの乱積みにおける粗度係数 n を、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求め、総合的に各異形ブロックの水制効果を比較検討することにした。

2. 実験の概要

(1) ホロースケヤーの整層積みについて

ホロースケヤーは図-1に示すような中空正方形版の四隅に鉛直な脚をそれぞれ取りつけた、いわゆる中空四脚ブロックで、これを種々組合わせることにより立体的にも、平面的にも目的に応じた安定性と屈撓性をあたえようとしたものである。

実験には前回同様長さ11m、幅0.4m、鋼製（両側面ガラス）可変こう配水路を用い、ホロースケヤーは1t型の1/10模型（自作、型枠会社提供）を一層積み、二層積みとし、それぞれ図-2、図-3のように水路の底に敷きならべ、その長さは流れ方向に一層積みでは

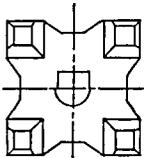


図1 ホロースケヤー

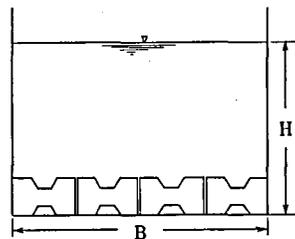
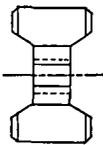


図2 ホロースケヤー1層積み

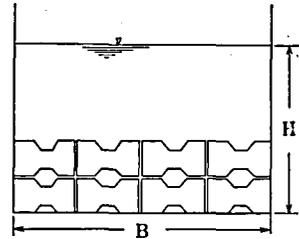


図3 ホロースケヤー2層積み

* 昭和51年1月 土木学会中部支部研究発表会において発表

** 土木工学科助教授

原稿受付 昭和51年9月30日

2.5m, 二層積みでは1.5mとした. また流速の測定には, トランジスター式流速計を用い流速の測定箇所は, 二次元流として流心部の水路底からブロックの天端までは2mm間隔, それより水面までは5mm間隔の各点を測定した. なお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⁽²⁾を用いたことは既述と同様であり, それがために必要な基準面決定に際しては流量, こう配をそれぞれ 10ℓ/s, 20ℓ/s, 30ℓ/s, 40ℓ/s, 1/200, 1/500, 1/1000の等流を採用した.

(2) テトラポッド, 中空三角ブロックの乱積みについて

異形ブロックを河川工事に用いる場合, その積み方には大別して整層積み, 乱積み, の二工法がある. この積み方により水流の減勢効果を左右する要因とも考えられる空隙率が変わる筈であるから当然粗度係数にも影響があると思われる. 整層積みについては既述のとおり実験により粗度係数が求められているので, 乱積みについても整層積みと同様の実験により粗度係数を求めることを試みた. ただ乱積みは投げ込み方式による場合が多いのであくまでも積み方に一定の形がなく厳密に言えばそれぞれの場合で多少相違あることは認めざるを得ないが, 本実験では方向性のあるブロックでも写真-1, 2に示すように全くの乱積みとした.

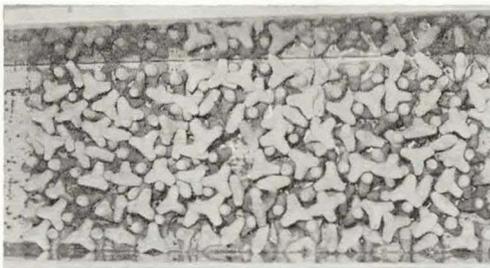


写真 1



写真 2

3. 実験結果の解析

3-1 基準面の決定

基準面の決定は, 抵抗則による流速分布式からこれを決定することにした. すなわち u/u_* を縦軸普通目盛, Ψ を横軸対数目盛 (片対数グラフ用紙使用) にとって描かれた分布図のうち, 直線もしくは直線に近いときの Ψ の値をもって基準面とした. このようにして求められた基準面の位置は, 表-1 のようで実験に用いた各流量, こう配によりその位置は一致しなかったが, その差異は少なかったのでこう配を一定とし流量についての平均値で表わすことにした.

さてこれら基準面を求めた結果, 同種ブロックでは整層積みと乱積みとはほとんど同程度の基準面位置をあたえたことであった. もともと基準面は対数則にもとづく流速分布式における Ψ の値を決定する基準の面であり本来水路底がこれに相当するものであるが, ブロックを敷きならべたためこのブロックの影響をうけて水路底が求められた基準面の位置まで上がったことを意味し, この度合は空隙率あるいは透過度に左右されるものと考えられる.

表1 水深と基準面

流量	種類 水深・基準面 こう配	ホロースケヤー				テトラポッド		中空三角ブロック	
		一層積		二層積		乱積		乱積	
		水深	基準面	水深	基準面	水深	基準面	水深	基準面
10ℓ/s	1/1000	16.0	5.1	24.1	12.4	12.8	6.7	14.8	6.3
	1/500	15.8	5.3	22.8	12.4	11.2	6.7	12.8	6.9
	1/200	14.05	5.7	20.5	12.6	10.2	6.9	11.6	6.7
20ℓ/s	1/1000	21.75	5.1	30.6	12.6	15.9	5.9	17.8	6.9
	1/500	20.9	5.1	29.2	12.4	15.3	6.3	16.3	6.5
	1/200	18.5	5.5	26.2	12.6	13.4	6.1	14.6	7.1
30ℓ/s	1/1000	20.05	4.9	31.2	12.6	18.8	5.1	21.0	7.1
	1/500	22.7	5.9	31.8	12.6	18.4	5.7	19.6	7.1
	1/200	21.1	5.5	30.0	12.6	15.5	5.5	17.8	6.9
40ℓ/s	1/1000	29.3	5.1	30.4	12.4	22.4	5.3	23.2	6.7
	1/500	26.9	5.9	32.3	12.4	19.8	5.3	22.8	6.9
	1/200	23.5	5.9	31.0	12.4	17.8	5.3	19.9	6.7

したがって基準面におよぼす透過度の影響は、整層積みも乱積みも同じ程度であったといえる。なおブロック底部付近におけるレイノルズ数 $Re(=uR/\nu)$ は 2000~3000 で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ったことは前回同様であった。

なお流速分布図に平均基準面を記入したものを図-4~図-8に示した。

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としては、既述と同様マンニングの平均流速公式における n 式⁽³⁾ で表わすことにした。しかし実際の水路においては、水路断面形状や潤辺粗度の構成が抵抗特性に重要な影響をもつ場合が少なくない。厳密にはそれら3次元速度分布の問題であるが、流れの内部機構を3次元乱流として解析することはきわめて困難であるから、実用的には断面形状あるいは潤辺粗度の変化に応じて流水断面積を分割し、各部分ごとに粗度係数を吟味する方法がとられる。

潤辺粗度が一樣で、比較的単純な断面形状の水路では、2次元流解析で実用上十分とされている。本研究は実験条件からみて2次元流解析で十分であり、その結果は表-2のようである。この

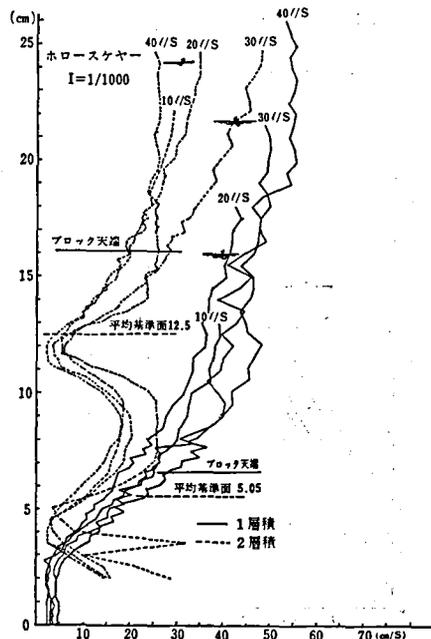


図 4

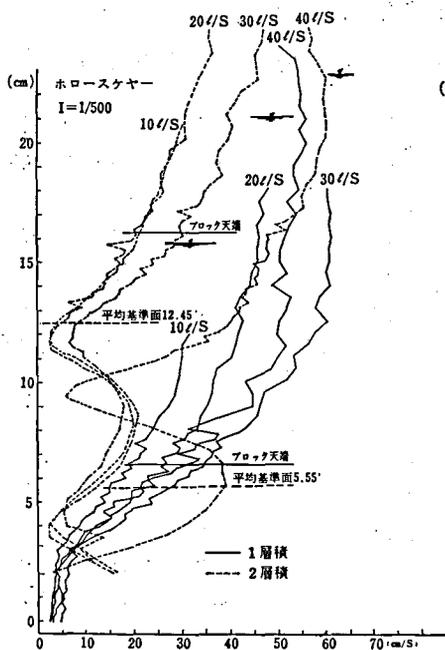


図 5

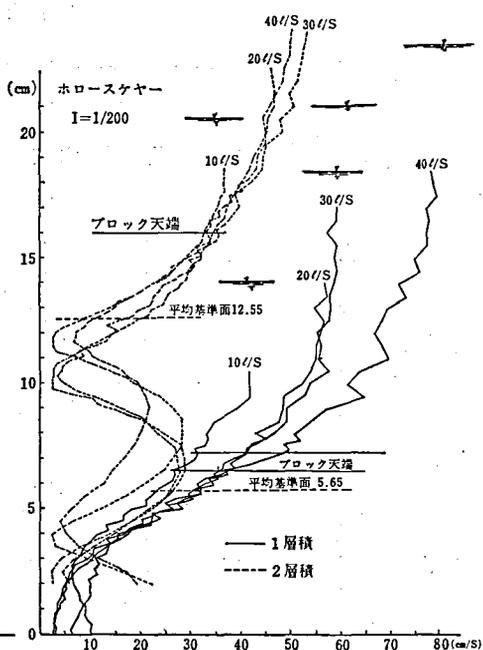


図 6

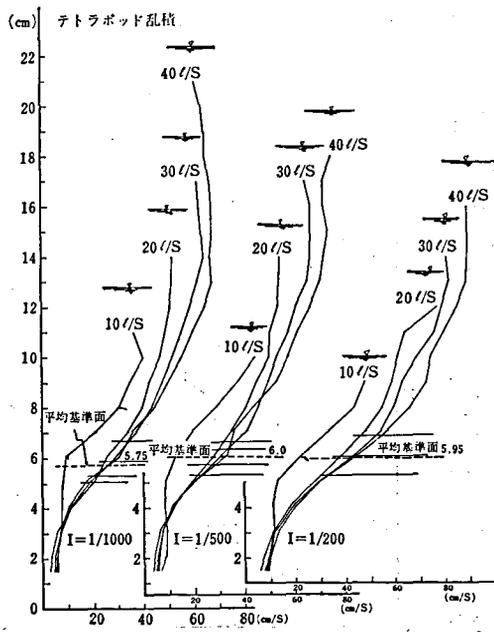


図 7

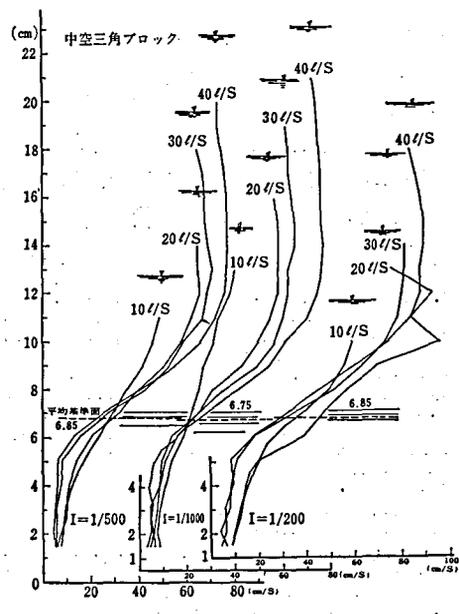


図 8

表からみられるように整層積みに対して乱積みの粗度係数は一般に小さな値であった。
これはブロックが有する固有の脚相互間隔や方向性が全く乱れるために完全干渉流が孤立

表2 各ブロックの粗度係数

流量	種類 配置 こう配	ホロースケヤー		テトラポッド	中空三角ブ ック
		1. 層 積	2 層 石	乱 積	乱 積
		10ℓ/s	1/1000	0.022	0.030
	1/500	0.037	0.038	0.016	0.015
	1/200	0.038	0.036	0.016	0.017
20ℓ/s	1/1000	0.025	0.029	0.013	0.012
	1/500	0.025	0.039	0.014	0.014
	1/200	0.037	0.042	0.018	0.013
30ℓ/s	1/1000	0.019	0.029	0.017	0.011
	1/500	0.019	0.044	0.020	0.014
	1/200	0.031	0.013	0.020	0.018
40ℓ/s	1/1000	0.018	0.041	0.013	0.011
	1/500	0.023	0.020	0.017	0.014
	1/200	0.024	0.028	0.020	0.019
平均 値		0.027	0.033	0.016	0.015

表3 各ブロックの k , k_s 値

流量	種類 配置 こう配	k				k_s			
		ホロースケヤー		テトラポ ッド	中空三角 ブロック	ホロースケヤー		テトラポ ッド	中空三角 ブロック
		一層積	二層積	乱 積	乱 積	一層積	二層積	乱 積	乱 積
10ℓ/s	1/1000	0.263	0.381	0.276	0.521	3.19	7.47	4.66	8.75
	1/500	0.472	0.480	0.272	0.511	5.70	8.38	8.85	3.79
	1/200	0.596	0.583	0.557	0.519	6.29	9.10	3.37	4.80
20ℓ/s	1/1000	0.280	0.377	0.352	0.244	5.82	9.98	3.02	3.40
	1/500	0.403	0.504	0.499	0.271	6.05	10.50	4.85	7.87
	1/200	0.604	0.567	0.490	0.314	9.98	11.17	9.40	4.05
30ℓ/s	1/1000	0.272	0.300	0.232	0.325	3.11	5.91	8.09	3.90
	1/500	0.329	0.458	0.337	0.206	3.28	10.92	9.21	8.40
	1/200	0.460	0.541	0.487	0.436	3.91	11.20	10.76	9.21
40ℓ/s	1/1000	0.370	0.620	0.239	0.203	3.01	12.10	9.46	6.05
	1/500	0.523	0.547	0.297	0.294	4.43	12.79	10.64	8.17
	1/200	0.427	0.950	0.402	0.349	4.91	13.89	11.21	10.89
平均 値		0.417	0.492	0.372	0.349	4.97	9.94	7.79	6.61

粗度流,あるいは不完全干渉流に変化し十分に流勢の減殺効果をあげ得ないものと思われる。しかし実用的には投げ込み法として乱積みが多いので,流勢減殺効果を主目的とする場合は注意を要する。また整層積みにおいては一層積みより二層積みの粗度係数が大きい値を示したことは各ブロック共通した特性である。

3-3 カルマン定数 k , 相当粗度 k_s について

カルマン定数 k の値は前回使用した式(4)を, また相当粗度 k_s は式(5)を用いて求めた。その値は表-3に示す。これらの値はどれも n 値を求めるのに適合した値であった。

4. ま と め

異形ブロックの水制効果を定量的解析するため,これを粗度係数で表わそうと考え既発表のものを含め,現在わが国で比較的多く使用されていると思われる四種の異形ブロックについてまとめてみたのが図-9, 図-10である。もともと異形ブロックが要求される性質には(1)消波効果が大きいこと,(2)安定性が大きいこと,(3)経済的であること,(4)施工が容易であること,(5)強度が大きいこと などである。今回の研究はこれら性質のうち(1)に該当するものであり,この観点から次のことがいえる。

(1) こう配 I と n 値との関連

水量が一定であるとき I (=水路こう配) の増大ともなつて n 値も増加する傾向がある。またこの傾向が顕著に表われるブロックと,そうでないブロックがあるので河川施工箇所(上流,中流,下流)によりブロック選定の指針になりそうである。

(2) ブロックの積み方と n 値との関連

整層積みにおいては一層積みより二層積みの粗度係数が大きい。

整層積と乱積みにおいては整層積みの粗度係数が大きい。

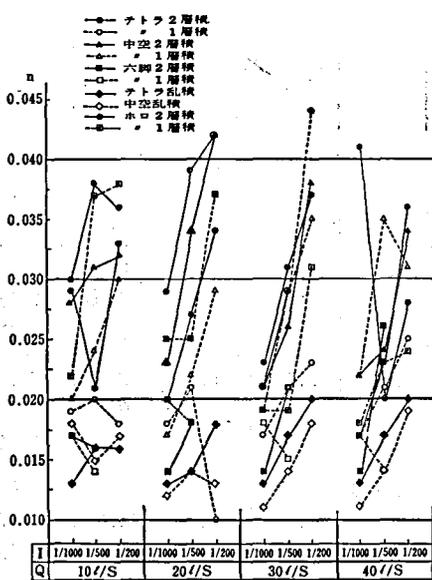


図 9

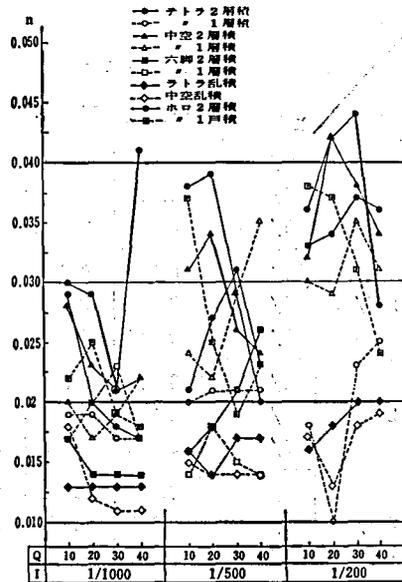


図 10

(3) 異形ブロック相互間の比較

各異形ブロックの水制効果については大同小異であって優劣はつけ難い。したがって異形ブロックの選定については要求される性質の(2)以降の条件で決まりそうである。

(4) 流量Qとn値との関連

とくに顕著な関連は見うけられない。

なお参考のためカルマン定数のまとめたものを図-11, 図-12に示す。

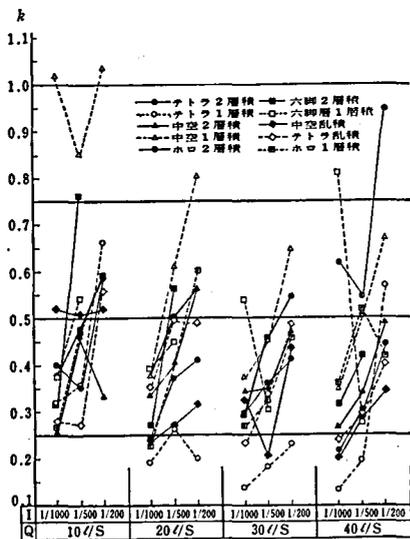


図 11

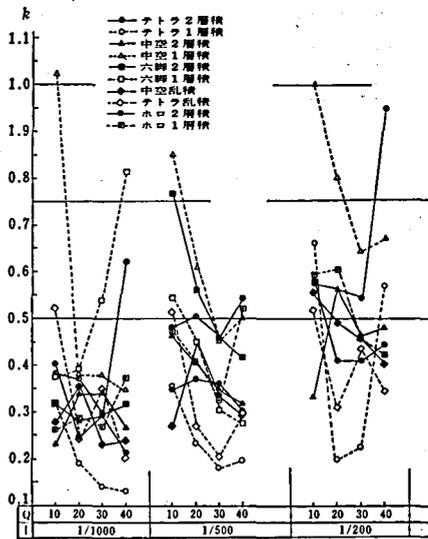


図 12

公 式

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

$$\frac{u}{u_*} = Ar - \frac{1}{k} + \frac{2.3}{k} \log_{10} \frac{H}{k_s} \quad \dots\dots\dots(2)$$

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

$$k = \frac{2.3(NC - B^2)}{N \cdot D - A \cdot B} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\log_{10} k_s = \frac{k}{2.3} \left(Ar - \frac{1}{k} + \frac{2.3}{k} \log_{10} H - \frac{u_m}{u_*} \right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

u = 水深 y における流速 u_* = 摩擦速度 = $\sqrt{g R I_e}$ A = 定数, k = カルマン定数

u_m = 平均流速 A_r = 定数(8.5) H = 水深 k_s = 相当粗度 I_e = エネルギーこう配
 R = 径深 n = 粗度係数 N = 資料数 $A = \sum u/u_*$ (4)式 $B = \sum \log_{10} y$ $C = \sum$
 $(\log_{10} y)^2$ $D = \sum u/u_* \log_{10} y$

参 考 文 献

- (1) 渡利：長野高専紀要第5号
- (2) 土木学会：第25回年次学術講演会講演集（第2部）
- (3) 山崎・鳥居：異形消波ブロックの設計と施工
- (4) 吉川：河川工学
- (5) 石原：水工水理学