

徳島大学工学部 正会員 ○梅岡 秀博
 日本興業(株) 非会員 河田 弘
 日本興業(株) 正会員 亀山 剛史
 徳島大学工学部 正会員 岡部 健士

1. はじめに 多自然型護床ブロックは、傾斜型落差工の護床素材や魚道の材料として開発された。ブロックの縮尺 1/20 模型について、粗度特性やブロック間隙の流れの構造、ブロック単体に作用する流体力など水理特性を実験により調べた。

2. 実験水路・模型 実験には幅 0.6m、深さ 0.4m、長さ 14.0m の可変勾配水路を用いた。水路の勾配を 1/200 とし、図-1 に示すような勾配 1/10 の斜路部を中間部に設けた。斜路部の上流側水路床面に直径 12mm のガラス球を、下流側に粒径 20~40mm の礫を敷き、粗度を付けた。模型は、図-2 に示すように平面形状が同じで、高さがそれぞれ 40mm(タイプ A)、32.5mm(タイプ B)、25mm(タイプ C)の 3 種を対象とした。これを斜路部に流れ方向 12 列、横断方向 6 列、無連結・拘束の状態で配置した。

3. 越流する流れに関する実験

3.1 実験方法 通水流量を 5.0、10.0、15.0、20.0、25.0 および 30.0 l/s(Aのみ)に設定し、タイプ A、B、C について以下の実験を行った。(1)設定流量を通水し、ブロックの安定性を確認したのち、水路中心線に沿って水位計測を行った。計測箇所はブロック設置区間では、1 ブロック当たり 1 点を標準とし、その上下流区間では、水面形の特徴を把握するに適した箇所とした。(2)設定流量が 5.0、10.0 および 20.0 l/s について、図-1 に示す①、②および③のブロック間隙に着目し、流下・横断方向の流速成分を 2 成分電磁流速計(東京計測(株)製)により計測した。図-3 にはブロック間隙での計測位置を示した。図中の'◎'印では、2 方向の流速成分を鉛直方向に 5mm 間隔で計測した。'○'印は平面流側分布を把握するため設定した位置であり、ブロック頂面の高さ、中位および、路床近傍(タイプ A、C では路床上 10mm、タイプ B では 7.5mm)の 3 点で計測を行った。

3.2 実験結果

(1)水面形と粗度 タイプ A の水面形を図-4 に示す。粗度を評価するために、マンギの粗度係数 n と相当粗度 k_s をそれぞれ(1)、(2)式により求め、表-1 に示した。計算では、ブロック模型の頂面上流端を結ぶ面を理論河床面とした。マンギの粗度係数 n は 5.0 l/s を除くと 0.062~0.067 の範囲である。いずれの係数もブロック高の違いによる差異は見られない。

$$v_m = \frac{1}{n} h^{2/3} i_e^{1/2} \dots (1) \quad \frac{v}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{h}{k_s} \dots (2)$$

ここに、 v_m = 断面平均流速、 h = 水深、 i_e = エネルギー勾配、

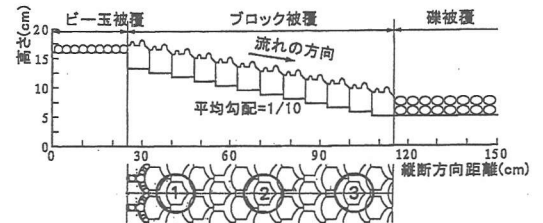


図-1 模型設置斜路部の概略図

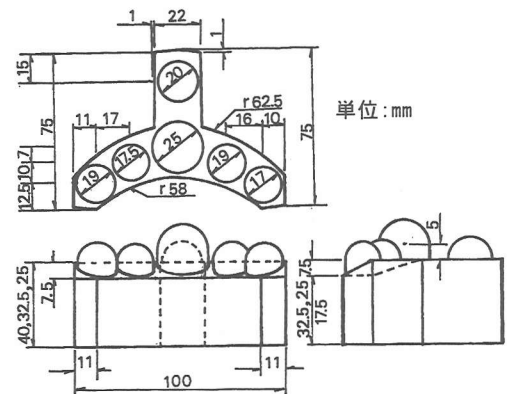


図-2 1/20 模型の概要図

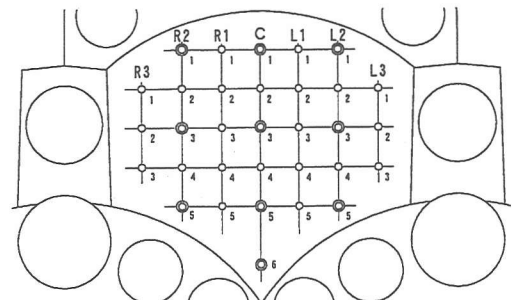


図-3 ブロック間隙での流速計測位置

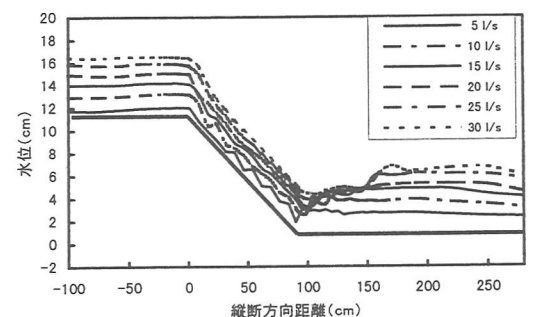


図-4 水面形の一例(タイプ A)

表-1 粗度係数 n と相当粗度 k_s

流量 (l/s)	粗度係数 n			相当粗度 k_s (cm)		
	A	B	C	A	B	C
5	0.091	0.085	0.088	14.00	12.71	13.41
10	0.062	0.065	0.065	11.31	11.99	12.16
15	0.063	0.063	0.064	13.68	13.93	14.05
20	0.064	0.064	0.064	16.06	15.90	16.09
25	0.066	0.065	0.067	18.63	18.19	19.05

u_s = 摩擦速度 ($=\sqrt{gh\tau_c}$) である。

(2)流速分布 タイプAに 20.0 l/s 通水した時の流下方向の流速 u 、横断方向の流速 v (右岸から左岸向きを正)の分布を図-5 に示す。図-6 には平面の流速ベクトル分布を示す。ブロック間隙内の流れは、ブロックの中位 ($Z=-2.0\text{cm}$) より下層では逆流している。ブロック間隙内にハク離渦が発生していることが平面流速ベクトル図からもわかる。

4. 流体力に関する実験

4.1 計測法と計測装置 実験は基本的に「護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル」(財)土木研究センター)に従って行った。模型の支持は図-7 に示すように上方から吊り下げる形式とした。抗力、揚力および負荷モーメントを3成分力計(日章電機製 LMC-3501)により計測した。

4.2 実験方法 通水流量として、5.0、10.0、15.0、20.0 および 25.0 l/s を設定した。模型は上流から 10 列目、中央の位置に吊り下げ、これに作用する流体力の3分力を以下の要領で計測した。(1)通水前に校正用の計測を行なう。(2)水路に静水を湛水して、出力のゼロ調整をする。(3)サンプリング周波数を 50Hz として2分間計測する。

4.3 実験結果 計測された抗力 D 、揚力 L および負荷モーメントから、それぞれ合力 F およびブロック下流端を支点とする回転半径 L_F を時間平均値および最大値についてそれぞれ求め、表-2 に示す。また、(3)式、(4)式のように定義された抗力係数 C_D と揚力係数 C_L を抗力 D 、揚力 L の平均値と最大値についてそれぞれ求めた。これらとレイノルズ数の関係を図-8 に示す。

$$C_D = \frac{2D}{\rho A_d V_d^2} \cdots (3) \quad C_L = \frac{2L}{\rho A_b V_d^2} \cdots (4)$$

ここに、 A_d :抗力作用面積、 A_b :揚力作用面積、 V_d :ブロック近傍の流速(ここでは断面平均流速を用いた)および ρ :流体の密度である。

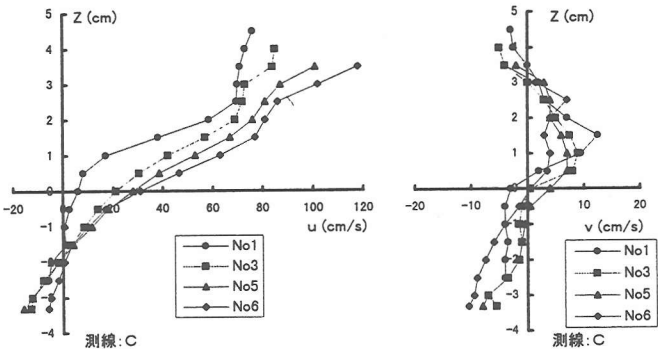


図-5 流速 u 、 v の分布 (タイプ A、位置①)

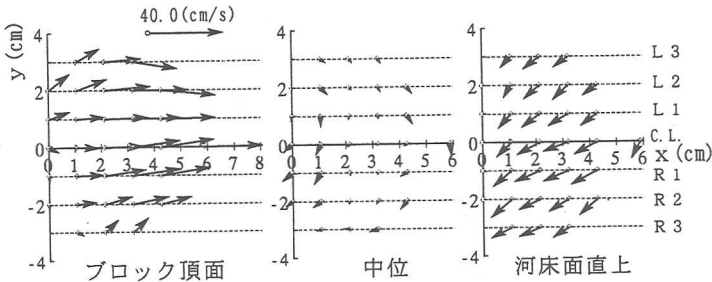


図-6 平面流速ベクトルの分布 (タイプ A、位置①)

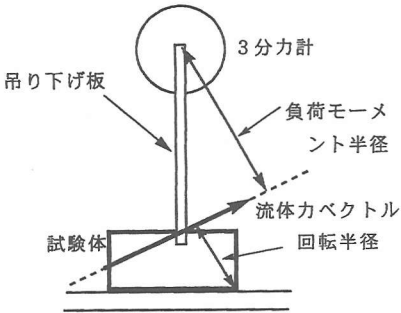


図-7 流体力計測原理

表-2 抗力 D 、揚力 L 、合力 F および回転半径

流量 (l/s)	5.0		10.0		15.0		20.0		25.0	
	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値
D (g)	A 38.71	53.49	54.34	79.09	55.86	92.24	58.20	100.20	60.05	106.43
	B 36.18	52.31	44.38	68.97	48.04	81.12	51.15	97.44	53.61	102.65
	C 28.91	44.51	40.14	67.36	43.09	76.71	45.15	87.45	46.87	100.61
L (g)	A 2.60	12.65	8.63	25.66	10.84	34.45	11.90	48.52	13.16	61.88
	B 2.24	11.76	8.92	23.72	11.00	29.70	12.21	37.79	12.80	43.07
	C 1.46	10.60	5.68	21.17	6.98	32.79	8.07	34.90	8.17	44.41
F (g)	A 38.79	54.96	55.02	83.15	56.91	98.47	59.41	111.33	61.47	123.12
	B 36.25	53.61	45.27	72.93	49.28	86.39	52.58	104.51	55.12	111.32
	C 28.95	45.75	40.54	70.61	43.66	83.43	45.86	94.16	47.58	109.98
L_F (cm)	A 3.836	3.559	4.105	4.025	4.314	4.254	4.382	4.407	4.456	4.202
	B 3.341	3.468	3.811	4.127	3.951	3.867	4.021	4.042	4.053	4.813
	C 2.741	3.029	3.180	3.645	3.291	3.044	3.356	4.396	3.364	3.296

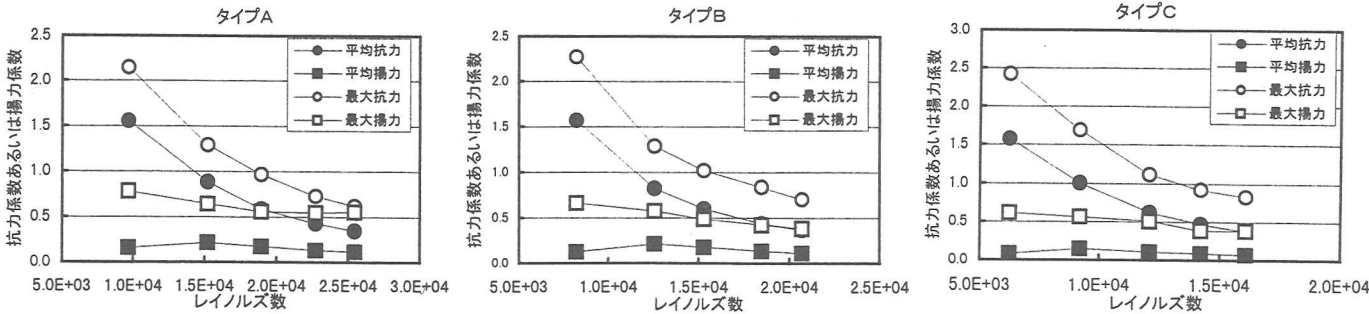


図-8 レイノルズ数と抗力係数 C_D 揚力係数 C_L の関係