

異形グロツクの水利効果について

長野高寿 正員 渡利友雄

1. はじめに

異形グロツクが有効利用に使用される例は多いが、また河川の護岸水利用として多く用いられていることは衆知のとおりである。またその種類も多く現在50種余といわれている。そこで本研究は河川に用いられる異形グロツクのうち、テトラポッド、六脚グロツク、中空三角グロツク、ホロースケーについて、水流に及ぼす水利効果(エネルギー減耗効果)を実験を中心に抵抗則に基づいて程度係数で表わし、その積み方(整一積み、整二積み、乱積み)、水路こう配、流量との関係を求め、各異形グロツクを比較検討してみた。

2 実験の概要

実験に用いた異形グロツクはテトラポッド、中空三角グロツクはスズ型の $1/25$ 、六脚グロツクは A 0.5×0.5 型(スズ)の $1/25$ 、ホロースケーはノコ型 $1/10$ の模型を用いることとした。(会社提供および自作)水路は長さ $11m$ 、中 $0.4m$ 、鋼製(両側面ガラス)、可変こう配水路、異形グロツクの配置は各グロツクとも水路の底に一層積み、二層積み(いつれも整一積み)、乱積みとし、その敷きなすべた長さは流水方向に $1.5m \sim 2.0m$ とした。流速の測定は、六脚グロツク、ホロースケー、乱積みについてはトランジスター式流速計(流速カウンター併用)を用い、テトラポッド、中空三角グロツクについてはピトー管(垂直マノメーター、ベンゼン使用)を使用して測定した。また流速の測定箇所は2次元流として、流心部の水路底からグロツクの天端まで $2mm$ 間隔、それより水面までは $5mm$ 間隔の各点と測定した。また異形グロツクの凹凸の高さと程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。

$$\frac{u}{u_*} = A + \frac{2.3}{k} \log_{10} y \quad \text{----- (1)} \quad \frac{u_m}{u_*} = A_n - \frac{1}{k} + \frac{2.3}{k} \log_{10} \frac{H}{k_s} \quad \text{----- (2)}$$

ここに u = 水深 y における流速 u_* = 摩擦速度 = $\sqrt{gRI}$ A_n = 定数 k = カルマン定数
 u_m = 平均流速 A = 定数 H = 水深 k_s = 相当粗度 I = エネルギーこう配
(0.5使用)

そこで上式を解析していくために問題となるのは、 u_* と左右する基準面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 10% 、 20% 、 30% 、 40% (直角三角おきにて測定)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した。有名な抵抗則による流速分布は(1)式により示されるが異形グロツクによつて移動した基準面は u/u_* と普遍図盤、 y と対数図盤にとつて描かれた分布図が直線となつたときを基準面と決定した。決定された基準面は流量、こう配により必ずしもその値は一致しなかったが、その差異は少なかつたのでこれらの平均値を基準面の位置と決定したが一般に予想より高くグロツクの天端に近い値であった。これはグロツク間の空隙が比較的小さいことに起因するものであつた。なおグロツク底部付近におけるレイノルズ数 $Re (= u_* R_D)$ を求めてみたら $2000 \sim 3000$ 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かわめて複雑な流れであつた。

3 程度係数化について

本実験の目標は各種グロツクの比較を中心に考えたものであるので異形グロツクが流勢におよぼす

影響の表現法のうち、平均流速公式として比較的簡単な形をもちたマンニングの公式を用い、異形プロットの水利効果を粗度係数 n であらわしてやることにした。すなわちマンニング式を変形して次式を得る。

$$u_m = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{R I} = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{n \sqrt{g}} \sqrt{g R I} = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{n \sqrt{g}} u_* \quad \text{----- (3)} \quad n = \frac{R^{\frac{4}{3}}}{\sqrt{g}} \cdot \frac{1}{u_m / u_*} \quad (u_* = \sqrt{g R I}) \quad \text{----- (4)}$$

一般に流勢が激殺される原因は、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、そのために失われれる水頭は、カルシーおよびワイス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 n 、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が前記(3)式がこれにある。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が重要なことである。本実験では前記したように底面鋼製(ペンキ塗装平滑)両面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 n の値はプロットそのものの粗度係数としてよい。

表 各プロットの粗度係数(n)

流量 プロット	種類 配	テトラポッド			中空三角プロット			六角プロット		ホロースケール	
		一戸積み	二戸積み	乱積み	一戸積み	二戸積み	乱積み	一戸積み	二戸積み	一戸積み	二戸積み
10 2/5	1/1000	0.019	0.029	0.013	0.020	0.028	0.018	0.017	0.017	0.022	0.030
	1/500	0.020	0.021	0.016	0.024	0.031	0.015	0.014	0.016	0.037	0.038
	1/200	0.018	0.033	0.016	0.030	0.032	0.017	—	—	0.038	0.036
20 2/5	1/1000	0.018	0.020	0.013	0.017	0.023	0.012	0.020	0.014	0.025	0.029
	1/500	0.021	0.027	0.014	0.022	0.034	0.014	0.018	0.018	0.025	0.039
	1/200	0.010	0.034	0.018	0.029	0.042	0.013	—	—	0.037	0.042
30 2/5	1/1000	0.017	0.023	0.013	0.019	0.021	0.011	0.018	0.014	0.019	0.021
	1/500	0.021	0.031	0.017	0.029	0.026	0.014	0.015	0.021	0.019	0.029
	1/200	0.023	0.037	0.020	0.035	0.038	0.018	—	—	0.031	0.044
40 2/5	1/1000	0.017	0.017	0.013	0.022	0.022	0.011	0.017	0.014	0.018	0.041
	1/500	0.021	0.023	0.017	0.035	0.024	0.014	0.014	0.026	0.023	0.020
	1/200	0.025	0.036	0.020	0.031	0.034	0.019	—	—	0.024	0.028
平均		0.019	0.028	0.016	0.026	0.030	0.015	0.017	0.018	0.027	0.033

4 まとめ

表の n 値から概略的には各種プロットの水利効果と比較することができ、また内容的には流量と一定としたとき、こう配変化に付加する水利効果は急こう配になるほど増大していく傾向をもち、特に実験使用水量30²/分のとき各プロットとそれとの性能を顕著に表わした。またプロットの積み方では乱積みについては一戸積みより二戸積みがよく、乱積みは余りよくないことが分った。これは乱積みがあるために却って空隙を随分したものである。また面体の数でテトラ、中空三角は5面体、六角、ホロースケールは6面体)は必ずしも多いことが水利効果を向上させる要素にはならないことが分った。しかし流速測定の際プロット中は極めて急速でしかも複雑な流れであるためこの測定には更に工夫を要することと痛感した。最後に決定された基準面を用い(1)式から最小目録法で求めたカルマン数は、テトラポッド0.26、六角プロット0.44、中空三角プロット0.5、ホロースケール0.45、乱積みではテトラポッド0.37、中空三角プロット0.35であったことを付記しておく。

- 参考文献 (1) 土木学会：第25回年次学術講演会講演集(水2部)「テトラポッドの粗度に関する実験」吉川、他
(2) 吉川：河川工学
(3) 山崎、島居：異形消波プロットの設計と施工