

(Ⅱ-19) 棧粗度を用いた開水路の流れに関する実験的研究

東洋大学工学部 学生員 佐久間巧成
東洋大学工学部 正員 福井 吉孝
東洋大学工学部 学生員 田中 広和

1. はじめに

河川の実用計算には主にマンニングの流速公式が用いられており、式中の粗度係数 n が設計計算の上で担う役割は大きい。本研究は開水路の底面に棧粗度を設置した模型実験を行い、棧間隔や粗度高が、粗度係数に与える影響について検討するものである。

2. 実験方法

長さ 9m、幅 30cm のアクリル製の矩形断面開水路の水路床に、図 1 に示すように一辺の長さ k の正方形断面の角柱粗度を本数と相対間隔 L/k を変化させて設置して実験を行った。流量は、 $Q = 1.1 \text{ (l/s)}$ でこの実験条件を表 1 に示す。流速計測にはピトー管及び X 型熱線流速計を用いて測定した。

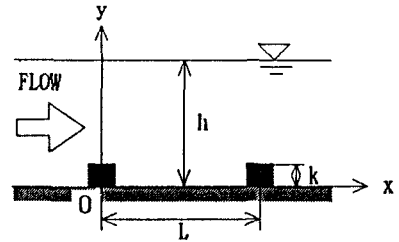


図-1 定義図

表-1 実験条件表

CASE	棧粗度高さ k (cm)	棧粗度 本数	相対棧間隔 L/k	水深 h (cm)	平均流速 U_m (cm/s)	摩擦速度 U^* (cm/s)	Re	Fr	i
A-1	0.5	1	∞	10.72	37.63	1.67	23517	0.37	1/460
A-2	0.5	2	10	10.70	37.29	2.05	23291	0.36	1/460
A-3	0.5	3	10	10.71	39.66	3.05	24781	0.39	1/460
B-1	0.5	1	∞	9.30	43.03	3.28	24703	0.45	1/2000
B-2	0.5	2	10	9.28	42.81	3.41	24547	0.45	1/2000
B-3	0.5	3	10	9.31	43.22	3.58	24831	0.45	1/2000
C-1	1.0	1	∞	9.40	46.51	4.47	26871	0.48	1/2000
C-2	1.0	2	5	9.51	45.31	3.51	26373	0.47	1/2000
C-3	1.0	3	5	9.58	45.51	3.60	26606	0.47	1/2000
D-1	0.0	0	—	10.58	37.14	1.46	23037	0.36	1/460
D-2	0.0	0	—	9.27	42.79	2.12	24519	0.45	1/2000

3. 粗度係数 n と相当粗度 k_s の算出

粗度係数 n は、エネルギーの式を区間長 l に適用して、(1) より求めた。

$$\frac{\alpha v_1^2}{2g} + h_1 + z_1 = \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + f' \frac{l v^2}{R 2g}$$

$$= \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + \frac{n^2 l}{R^{4/3}} v^2 \dots (1)$$

また、相当粗度 k_s は、対数分布則が成り立つ

範囲で実測値を (2) に代入し求めた。

$$\frac{u}{U_*} = 8.5 + 5.75 \log \frac{y}{k_s} \dots (2)$$

算出した計算結果を表 2 に示した。

4. 結果及び考察

(1) n と k_s の関係

開水路の平均流速は、

表-2 実験結果

CASE	損失水頭 h_r (cm)	粗度係数 n	相当粗度 k_s (mm)	抗力 (gf)	抵抗係数 CD
A-1	0.045	0.010	0.162	5.58	0.51
A-2	0.075	0.012	0.751	7.95	0.75
A-3	0.168	0.018	5.405	15.10	1.25
B-1	0.192	0.016	4.442	6.10	0.43
B-2	0.225	0.017	5.121	7.32	0.52
B-3	0.252	0.018	6.053	7.72	0.54
C-1	0.356	0.023	11.658	29.92	1.81
C-2	0.235	0.018	4.665	2.12	0.13
C-3	0.251	0.019	5.792	2.77	0.17
D-1	0.035	0.009	0.052	—	—
D-2	0.080	0.011	0.312	—	—

$$\frac{v}{U_*} = 6.0 + 5.75 \log \frac{h}{k_s} \cdots (3)$$

(3)式にマンニングの公式を代入すると次の式が求まる。

$$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{g^{\frac{1}{2}}} \frac{1}{\left(6.0 + 5.75 \log \frac{h}{k_s}\right)} \cdots (4)$$

式の関係式をグラフに表したのが図2である。

この図では、水深や、 k_s によって n が変化している。本実験においても、同一の水深でも n や k_s が変わった。

(2) 相対栈間隔 L/k と k_s について

栈粗度では $L/k = 8 \sim 10$ で k_s が最大値を示すことが判っている¹⁾。BとCのケースの結果を見てみると、ケースBは $L/k = 10$ 、ケースCでは $L/k = 5$ の場合であり、Bのケースは最大の k_s を示す領域の実験であったので k の値が大きいCのケースでの k_s より大きな k_s を示すこととなった。

(3) 相対粗度高 h/k と k_s について

AとBのケースを比較すると、ケースAは $h/k = 21.4$ 、ケースBは $h/k = 18.6$ である。 k_s を比べると h/k が大きいケースAの方が k_s は小さくなった。

(4) 抗力係数について

(3)の結果の関係を抗力係数でみると、相対栈間隔 $L/k = 10$ であるAとBのケースが、 $L/k = 5$ であるケースCより抗力係数は大きくなった。一方、粗度数が一木のA-1、B-1、C-1においては、 k が最大であるC-1 ($k = 10\text{mm}$) が最も大きくなった。

(5) 剥離域の長さについて

栈の数が異なるC-1、C-3において剥離の長さを決定する要因である粗度付近での流速分布を図3に示した。(尚、C-1は、単一粗度の場合であるのでC-3の場合と異なり最初と最後の粗度は、同一のものである。)最初の栈を通過する前の流速は、C-3が大きい。しかし、C-3の流速は流下するに従い減衰し、最後の栈を通過するときの流速は、C-1が栈を通過するときの流速と比べて底面付近で小さい。したがって、剥離の長さは、C-3の方が短くなる。実際に剥離の長さを計測するとC-3の場合3.5cm、C-1の場合で7cm程度となった。

まとめ

実験結果から(4)式の $n-k_s$ の関係は、成り立つことが判った。また、同じ粗度高でも剥離域の長さは、相対栈間隔 L/k によって変わり、剥離の長さが短いと k_s は小さくなることが確認できた。剥離域の渦による損失が粗度係数、相当粗度に与える影響は大きく、今後、剥離域の長さや相対栈間隔及び粗度高の関係について検討する必要がある。

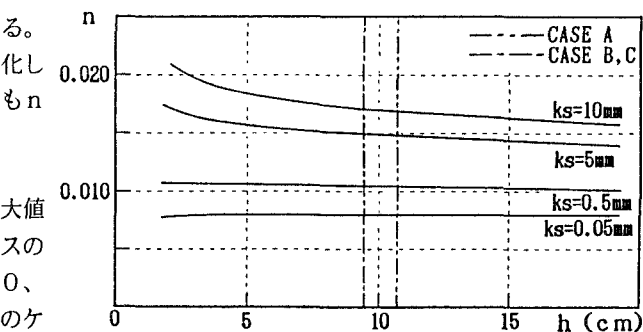


図-2 n と h の関係

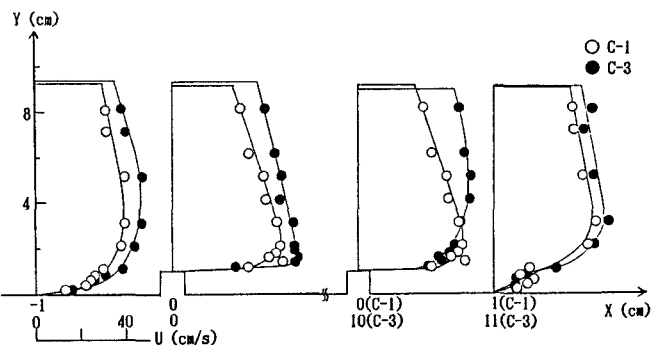


図-3 粗度近傍の流速分布

〔参考文献〕 1) 足立：土木学会論文集 第104号 1964