

足利工大 正員 上岡 充男
正員 岩崎 敏夫

1. はしがき

水草の流れに及ぼす影響については、日野らにより早くから報告がなされ、また近年は室田・福原による広範囲かつ詳細な研究が続けられている。我々も疑似水草を用いた実験を3年間行い、一応の成果をえたのでここに報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験に用いた水路は幅0.6m、長さ21.0m、高さ0.6mの鋼製可変勾配開水路で、幅1.1m、長さ4.1m、高さ0.9mの樋頭水槽に直角三角堰を設け0.07-0.26mの範囲の越流水深で水を流し流量を求めた。水草模型を設置する為に水路底に金網(径3mm)を組んだものを敷き、これに水草模型として幅3cm、長さ20cm、厚さ0.2mmのビニール片を交点に番線にて取り付け、自由に動けるようにした。取り付けの配置種類を種々に変えた。粗度区間は水路上流端より5m下流より始まる10mとし、水面勾配はこの区間の中央6m-8mで3点法による水位差より求めた。

3. 粗度係数

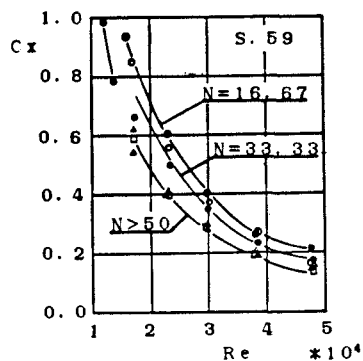
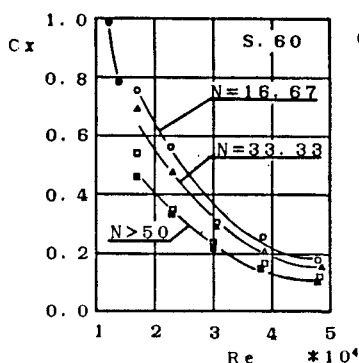
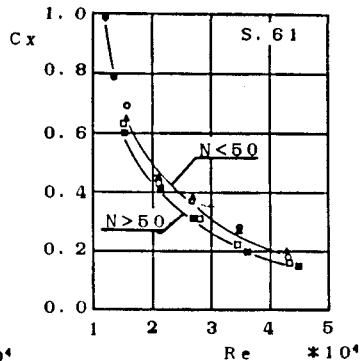
水草のない金網のみの場合対数速度分布を適用して粗度高さ K_s を求めると、3年の実験でいずれも2.37cmを得た。水草模型を用いた場合に粗度係数 n を水面勾配 I より求め、径深 R と上に得た k_s との比との関係を導くと一次式でありかつ、 n は水草の密度の関数として現われる。

水草のある場合には、水路床の単位面積について N 本の紐状体に取りつけてあるものとする。1本あたりの抗力を D_1 とすれば単位面積について全抗力は ND_1 で、これが水草の無い場合の底面剪断力 τ に加わることになる。よって

$$\rho g R I = \tau_0 + ND_1 \quad (1)$$

$$\therefore \frac{1}{2} N C_x A_x = \left(\frac{1}{v} U^* \right)^2 - 1 / (A_r + \ln \frac{1}{x k})^2 \quad (2)$$

ただし $A_r=8.5$ $x=0.4$ $v=1.311 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ とする。この結果を図-1-3に示す。 C_x は Re が大きくなるにつれて、小さくなっている。

図-1 C_x と Re との関係図-2 C_x と Re との関係図-3 C_x と Re との関係

4. 紐状体の運動と抵抗

紐状体は水路底の取り付け地点を軸としてPITCHING, YAWING, ROLLING等の運動をおこなっている。しかもその運動を仔細に観察すると、長さや流速の影響によって固有な揺動がおこなわれていることがうかがわれた。このような水中物体の揺動を生じる原因として直ちに考えられるのはカルマン渦の生成である。そこでこのことが実際におこなっているかについて、ビデオによる撮影をおこなった。ただし現象の単純化をはかる為に揺動が確認しやすい紐状体として6種の材料をためした結果発泡ポリエチレン素材のD型が最も観測に便利であり、これにしては、紐状体は水路中央に一本のみ水路底にガムテープで貼りつけてある。紐状体の位置も上流側4m, 中央, 下流側4mと変えてみて最もきれいに渦の見える地点として上流側を選んだ。又流量の変化については、流速が大きいと渦は発生しているが見え難い。また自由端が水面上にあるか、または水面付近を揺動していなければならないのでその様な条件を満たす流量を選んだ。

水路底には5cm四方の碁盤目を書き込み、あらかじめ5mm平方の紙片を水上に浮かしてこれとその影をビデオに写しこむことによって、視差の検定をおこなった。これより紐状体の揺動の振幅、周期、渦の発生間隔、渦列の間隔、軌跡、渦の流下速度などがよみとられる。揺動は上流側よりも下流側の方が激しくかつ側壁側では内向きへの傾斜は少ない。揺動の周期は流速が大きい程速く、遅いと緩慢であった。

表-1はカルマン渦の性質についての観測結果である。

表-1 カルマン渦の観測データ

	Q	h	V _m	v	a	F	U	b	l	h _z	u	S t
	l/s	cm	m/s	m/s	cm	Hz/s	m/s	cm	cm	cm	m/s	
1	10.0	15.3	.110	.120	3.64	1.010	.101	40.0	10.0	13.1	.019	0.253
2	7.3	7.2	.169	.194	4.36	1.391	.158	23.0	11.0	5.1	.041	0.215
3	5.9	4.8	.205	.240	4.94	1.326	.191	16.0	14.4	2.7	.049	0.166
4	6.8	5.3	.215	.265	5.00	1.436	.214	17.0	14.9	3.2	.051	0.163
5	8.1	5.7	.239	.281	4.39	1.778	.240	15.5	13.5	3.6	.041	0.190

V_m = 平均流速 a = 揺動幅 U = 渦の移動速度 l = 渦の相互間隔 u = v - U 渦の相対速度
h = 水深 v = 表面流速 F = 揺動周波数 b = 渦列間隔 h_z = 紐状体の水深方向長さ
S t = ストローク数

表-1によると渦列間隔 b, 渦間隔 l とした時 $\cosh \pi b/l$ の値は $\sqrt{2}$ より著しく大きい。しかし安定なカルマン渦列発生に伴って、循環 Γ が生じこれが柱状体に抗力Dを加える。ところで Γ は場の循環としてもともと存在することから、安定渦列の抗力が作用するものとしてよいであろう。この値を図1-3に半黒丸で加えた。

理論値はRe数による差違こそあれ、実験曲線群との対応が極めて良い。従って水中における疑似水草の抵抗のメカニズムの一端が説明されたものと考えられる。

5. 結論

疑似水草における抵抗の一端としてカルマン渦の生成に伴う抗力による部分があるといえよう。しかし渦の間隔や渦の速度など実験値を用いないと、この抗力が計算できないし、さらにレイノルズ数への依存度も明らかではなく、今後の問題である。

最後に本実験は足工大大河原 浩, 加藤章泰, 高井正仁(昭59), 河村 聡, 佐々木清治(昭60), 鶴貝久, 上谷地 博(昭60)の諸君の熱心かつ周到な測定に負うところが大きであった。ここに記して謝意を表する。 参考文献 室田, 福原, 村越 (29回水講85)