

可撓性粗度の抵抗係数

東北大学工学部 学生員 ○ 高橋 満
 東北大学工学部 正会員 後藤智明
 東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1. はじめに

アシのような植物が群生する水路の抵抗係数を推定する第一歩として、管路内に可撓性の金属板群を設置し、その流れによるwavingなどの現象を観察するとともに、抵抗係数を測定した。

2. 実験方法

実験水路は長さ3.5m、15×15cmの正方形断面を有する管路を用いた(図1)。水路中央36cmの区間に入り青銅板(幅5mm、ヤング率 $E = 1.25 \times 10^9 \text{ g/cm}^2$)を千鳥状に挿入つけた。この配置を図2に示す。

実験は表1に示すように、粗度高さ h と曲げ剛性 EI をそれぞれ変えた9ケースについて行い、各ケースごとに流量を変え、損失水頭、粗度区間の上流と下流における流速分布を測定した。また、粗度材先端位置の変化を写真から求めた。

3. 粗度材の変形と流速分布

粗度材がほとんど撓まないCase 2-1の場合、上流側ではほぼ一定であった流速分布は、粗度群を通過したのち、下方の一樣分布と、上方の大流速分布とに明らかに分かれる。上の大流量部分は粗度上端より空隙高の2倍程下った地点(A点とする)で、下方の流速に減少する。こののち、一時多少の減少・増加を経て下方の一樣流速へ接続する。この点をB点と呼ぶ(図2-a)。

粗度材が撓む場合、A点は粗度材頂部の空隙高が大きく増加しても、それ程大きく変化しない。B点の存在はあまり明確ではない(図2-b)。

流量条件のほとんど同じCase 1-1のno.1とCase 2-1のno.1を比較すると、撓み量の大きいCase 1-1の上方流速が大きく、その流れている厚さも大きい。その代り、下方一樣部の流速が減少する。

粗度材先端の水平方向撓み量 δ を、粗度材の高さ h と断面平均流速 \bar{U} を用いた Re 数

$$Re = \frac{\bar{U} \cdot l}{\nu} \quad (1)$$

の関数として示すと図5のようになる。

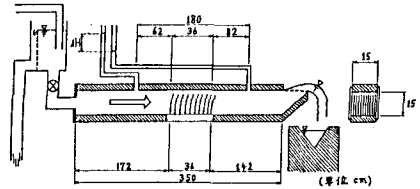


図1 実験装置

CASE	d	l	EI (g/cm ⁴)
1-1	0.02	14.0	4.16×10 ⁴
1-2	0.02	10.5	4.16×10 ⁴
1-3	0.02	7.0	4.16×10 ⁴
2-1	0.15	14.0	1.76×10 ⁴
2-2	0.15	10.5	1.76×10 ⁴
2-3	0.15	7.0	1.76×10 ⁴
3-1	0.05	14.0	6.51×10 ³
3-2	0.05	10.5	6.51×10 ³
3-3	0.05	7.0	6.51×10 ³

表1 実験条件

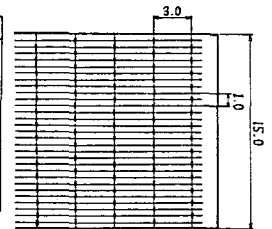


図2 粗度材の配置

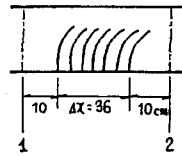


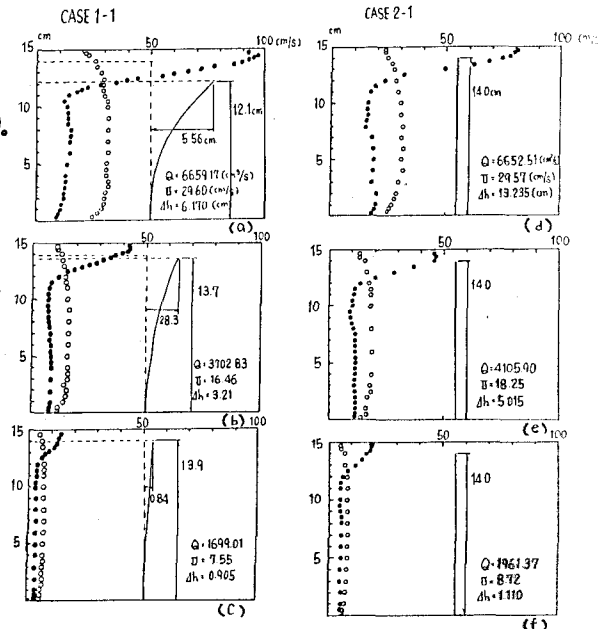
図3: 流速分布測定位置

図4 (下図):

粗度材の変形と流速分布

○ 上流側で測定

● 下流側で測定



4. 形状抵抗係数

粗度群の存在は通水断面を減少させるとともに、水流への抵抗となって、激しいエネルギー損失を生じさせる。この効果を形状抵抗係数の形で評価することにする。速度水頭の評価にあたっては、流速分布形状が上流と下流で著しく異なっていることを考慮しなければならない。この補正係数を β とすると、 β は次式によって計算できる。

$$\beta = \frac{\int v^2 dA}{\bar{U}^2 A} \quad (2)$$

ここで v は各点での流速、 \bar{U} は断面平均流速である。(2)式で計算した β を(1)式で定義したRe数の関数として示したのが図6である。粗度群の上流側の β はほとんどのケースについて1.03となり、図中の点線で示した。これに対し下流側の β は1.5~2.5の値となっており、流速分布形状の変化を考慮しなければならないことがわかる。この β を用いて、粗度群の抵抗係数 C_D を次式によって求める。

$$C_D = \frac{g \cdot \Delta H - \frac{1}{2} \bar{U}^2 (\beta_2 - \beta_1)}{\frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 \Delta x} \quad (3)$$

添字1, 2はそれぞれ上流、下流を意味し、 Δx は粗度群の流れに沿った長さ、 ΔH は損失水頭である。 C_D をRe数の関数として図7に示す。長さ14cmと長い粗度材の場合、剛性の大きな場合の抵抗が大きいという結果となる。これは粗度がほとんど変形せず、通水断面が小さいことと関係がある。撓みやすい粗度になると、変形の結果として通水断面が大きくなり、次第に低い粗度の抵抗係数に近づいて行くことがわかる。このような変化は、管水路であるための効果かも知れず、開水路に対しての実験を行う必要がある。

5. おわりに

今回の実験では変形量の小さなものについて抵抗係数を定性的に把握することができた。しかし、変形量の大きな場合についてはさらに詳細な実験、解析が必要である。粗度群上面に働くせん断力、粗度材の振動、揺動および歪エネルギー等が抵抗係数に及ぼす効果についての評価が今後の課題となる。

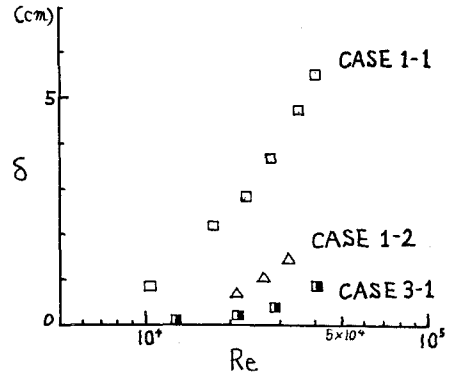


図5 Re- δ 関係

粗度高さ	剛性	小	中	大
$h = 14.0$		□	■	■
		1-1	3-1	2-1
$h = 10.5$		△	△	△
		1-2	3-2	2-2
$h = 7.0$		○	○	○
		1-3	3-3	2-3

表2: 図6, 7中の記号説明

(記号の下の番号は各実験ケース番号)

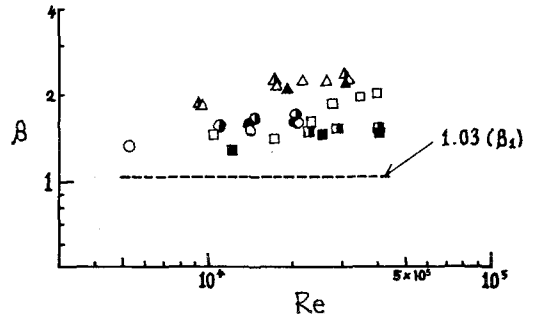


図6 Re数と補正係数 β

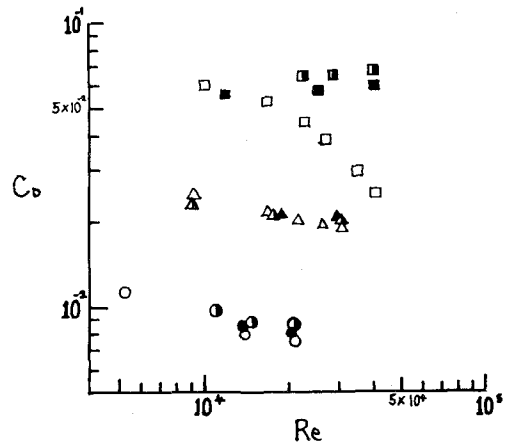


図7 Re数と形状抵抗係数 C_D