

大型突起粗度上の流れと粗度に働く流体力

広島大学大学院 学生員 ○ 福島 琢二 広島大学工学部 フロー会員 福岡 捷二
三井共同建設コンサルタント 正会員 水口 雅教 広島大学大学院 学生員 内田 龍彦

1. 序論

相対水深が小さい水没大型粗度群を有する流れ場は、三次元性が著しくなるため、厳密に流れ場を解くには、高度な解析手法が必要となる。しかし、床止め下流部等に設置される水叩きや護岸等の水理構造物設計では、粗度配置により流速がどの程度低減されるかを評価できればよく、必ずしも複雑な計算を行う必要はないと考える。本研究では、水没大型粗度群(相対水深 $h^*=h/d \approx 2 \sim 3$)に作用する抗力を実測し、流れの抵抗を相当粗度 k_s で表わすことによって、流れ場を一次的に評価することが可能かを調べる。

2. 実験方法

実験は、流量 $Q=78.51(\ell/s)$ 一定とし、全長 10m、水路幅 2.5m、勾配 1/500 の水路を用い、20cm 四方、高さ $d=3\text{cm}$ の直方体粗度を図-1 に示すように整列・千鳥に配置する。粗度配置と粗度縦横断間隔 L_x, L_y の違いによる粗度群の抵抗の違いを調べるため、粗度に作用する抗力 D を分力計を用いて測定し、図-2 に定義される粗度一個あたりの支配面積 A 内の流速を調べることににより、両者から相当粗度 k_s を求め流れ場を評価する。

3. 相当粗度 k_s による抵抗評価1) 相当粗度 k_s の算出方法

支配面積 A 内の底面せん断断力を分力計で測定した抗力 D で代表させる。図-3 に示す領域 $A_1 \sim A_4$ の流速分布を求め、式①の対数分布則が成立するものとして平均化する。摩擦速度 u_* を式②より実験で測定した抗力 D を用いて算出する。領域 $A_1 \sim A_4$ の平均流速分布 $\bar{u}(y)$ の傾きが、式①の傾き $5.75u_*$ と一致するように原点補正位置 y_0 を決定し、相当粗度 k_s を次式から求める。

$$\bar{u}(y) = 8.5u_* + 5.75u_* \log_{10} \frac{y-y_0}{k_s} \quad \text{--- ①}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{D}{\rho A}} \quad \text{--- ②}$$

y : 河床からの高さ A : 粗度一個の支配面積

ρ : 水の密度

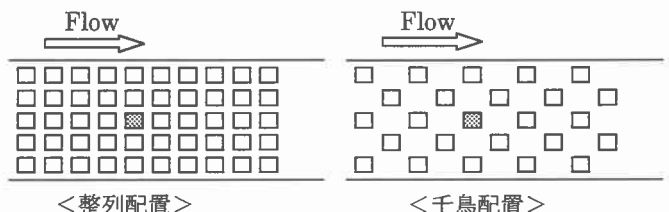


図1 粗度配置図

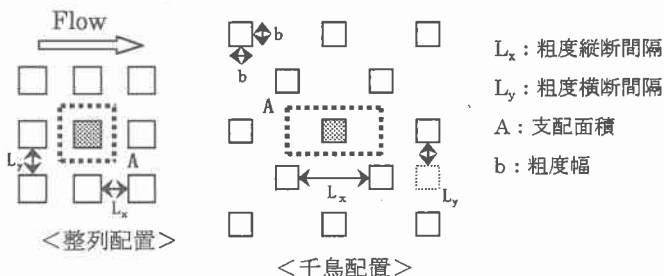


図2 支配面積の取り方

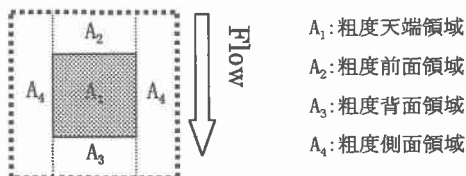


図3 支配面積 A の領域の分け方

2) 粗度に働く流体力の評価

相対距離を粗度群内の各粗度の縦断位置を表す無次元長さとして定義し、図-4 に粗度の縦断位置による抗力 D の変化を示す。粗度群内における粗度に作用する抗力 D は縦断方向にほとんど変化しないため、粗度群内の抵抗を粗度群中央部の粗度に作用する抗力 D で代表させる。粗度群内の抵抗は、この代表抗力を用いて算出

した相当粗度 k_s で評価する。粗度群内の抵抗は、この代表抗力を用いて算出した相当粗度 k_s で評価する

3) 粗度配置の違いによる粗度群の抵抗の変化

図-5 に粗度の横断間隔 L_y と求めた相当粗度 k_s の関係を示す。実験では無次元縦断間隔 $L_x/d=5.3$ より広い条件では、整列・千鳥配置に関係なく、粗度の横断間隔 L_y が狭いほど粗度群の抵抗は大きくなる。これより粗度群の抵抗は横断間隔 L_y によって支配されることが分かる。

4. 相当粗度 k_s を用いた水面形の一次元解析結果

相当粗度 k_s を用いて式③より水面形を求める。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_0 - I_f}{1 - \frac{Q^2}{gB^2h^3}} \quad \text{--- ③}$$

$$I_f = \frac{Q^2}{gB^2h^3} \frac{1}{\left(6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{h}{k_s}\right)^2}$$

h:水深 Q:流量 B:水路幅
g:重力加速度 i_0 :河床勾配

一次元計算のため、粗度の形状は考慮せず河床は平らとしている。また本研究は、床止め下流部等に設置される水叩きや護岸等の粗度配置を対象とし、 $L_y/d \leq 6.0$ 程度の場合の検討を行う。実験水面形と計算水面形の比較を図-6・7に示す。図-6 に示す無次元横断間隔 $L_y/d=1.7$ の条件において、実験値と計算値はほぼ一致する。また図-7 に示す $L_y/d=5.7$ においても、計算値は実験値より若干小さいが概ね一致している。計算水深が実験値より小さくなる理由は、粗度一個あたりの支配面積 A が広くなり、支配面積 A の抵抗を粗度に作用する代表抗力 D だけでは表現できなくなるためであると考えられる。本研究では相対水深 h^* を 3.0 程度の条件で行ったが、 h^* がこれより小さい条件でもこの計算法が適用できるかを検討する必要がある。

5. 結論

- (1) 粗度群の抵抗は、主に粗度横断間隔 L_y に支配される。
- (2) 粗度の無次元横断間隔 L_y/d がおよそ 6.0 より小さい場合は、粗度一個あたりに働く抗力 D を用いて流れの一次元評価が可能である。
- (3) 相当粗度 k_s を用いた一次元解析がどのような相対水深 h^* まで適用可能かを明らかにする。

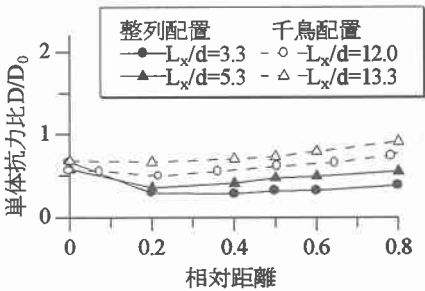


図-4 粗度の縦断位置による抗力の変化

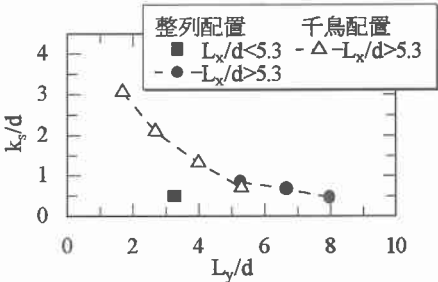


図-5 相当粗度 k_s と粗度横断間隔 L_y の関係

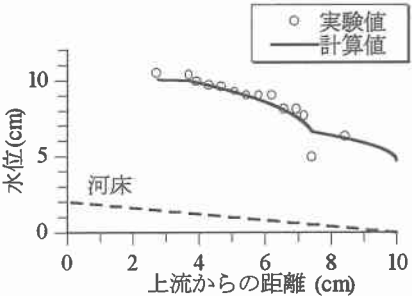


図-6 $L_y/d=1.7$ の実験値と計算値との比較

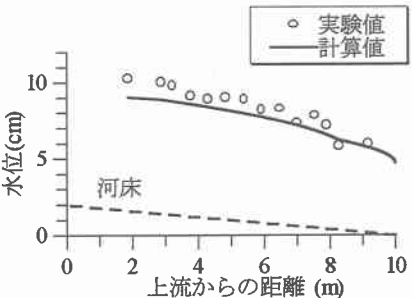


図-7 $L_y/d=5.7$ の実験値と計算値との比較