

粗度群下流部の流況改善と流れ場の解析

広島大学大学院 学生会員 ○内田龍彦 広島大学工学部 フェロー会員 福岡捷二
広島大学大学院 学生会員 福島琢二 広島大学大学院 学生会員 木村健太郎

1. 序論

河川において、堰や床止めなどの水叩き部に設置される粗度群は、流速を低減し、河床に作用する掃流力を減らす機能をもつ。しかし、粗度群下流部において河床洗掘が生じ、水面勾配が大きくなるため、最下端に位置する粗度要素は他の位置の粗度要素に比べてはるかに大きな抗力が作用する。本研究では、粗度群下流部において、粗度要素の抗力と河床洗掘を低減できるような流況改善法を検討する。さらに、このような流れ場と抗力の解析手法を検討する。

2. 実験方法

粗度群下流部に生じる河床洗掘は粗度による減速から加速へと変化する流れによって生じる水理現象のため、これを完全に防ぐことが困難である。そこで、粗度群下流では、最下流端粗度要素の安定性が失われない程度の河床の洗掘をあらかじめ見込んだ河床形状を設定し、そこに粗度要素を配置することによって流況を改善する方法を検討する。図-1 は水路模型及び粗度配置である。Case1 は、粗度群下流に生じる河床洗掘をある程度見込んだ河床形状を想定している。Case2 は、河床洗掘を想定した水路床に粗度要素を配置した場合である。両 Case とも、粗度要素は千鳥状に配置している。ここで、図の白抜きの粗度要素 A, B, C は、作用する抗力を直接計測している。写真-1 は Case2 における流れである。

3. 実験結果

図-2 は、Case1 と Case2 の水面形の比較である。Case1 は、粗度群下流において水路床の勾配が相対的に大きいため、上流の粗度群によって遅くなった流れはそこで加速され、下流の水深の大きな流れと激しく混合する。このため、粗度群下流では河床洗掘がさらに進行し、粗度要素が侵食被害を受ける危険性が高いと考えられる。Case2 は、このような河床に粗度要素を配置したことによって、水位が堰き上げられ、洗掘部の流速が小さくなり、下流側の水位に比較的滑らかに接続する。このため、Case2 は、Case1 に比べて河床洗掘が進行しにくく、流況が改善されていると考えられる。図-3 は、Case2 の粗度 A, B, C に作用する抗力である。Case1 と比較するため、縦軸は Case2 の各粗度に作用する抗力を Case1

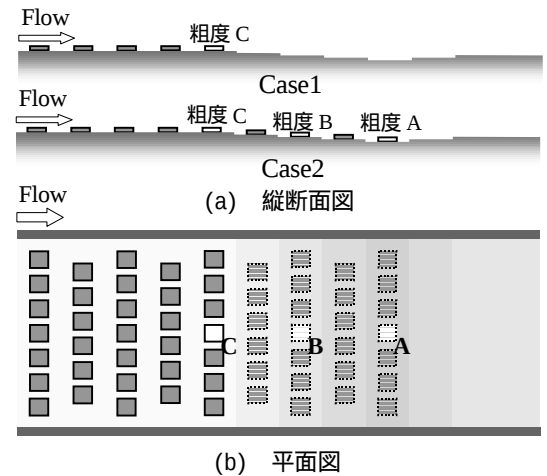


図-1 実験水路と粗度配置



写真-1 実験状況(Case2)

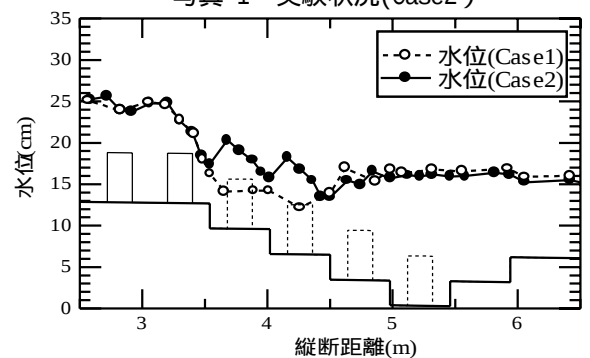


図-2 縦断水面形

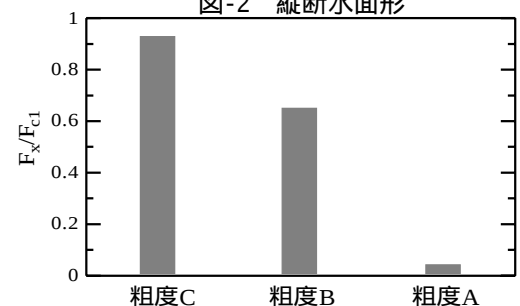


図-3 各粗度要素に作用する抗力

キーワード：最下端粗度要素，河床洗掘，抗力，流況改善，数値解析

連絡先：広島大学工学部第四類

〒739 広島県東広島市鏡山 1-4-1

Tel 0824(24)7821

の粗度 C に作用する抗力 $F_{Ci}(=838.8\text{gf})$ に対する比で表している．Case2 の粗度 C は，下流に配置された粗度要素によって水位が堰き上げられるため，Case1 の場合に比べて作用する抗力が軽減される．粗度 B は，水位の堰き上げに寄与しているため，作用する抗力はやや大きい，粗度 C の抗力より小さい．粗度 A には，抗力がほとんど作用しない．このため，粗度 A より下流に粗度要素を配置する必要はないと考えられる．

以上より，粗度群下流部の河床洗掘をあらかじめ想定し，ここに粗度要素を配置することによって，粗度要素に作用する抗力と河床洗掘は軽減されることが考えられる．次に，このような流れ場と粗度要素に作用する抗力の解析手法を検討する．

4. 流れと抗力の計算

基礎式は，式(1)～(3)の二次元浅水方程式である．水没粗度要素は，河床高の底上げと抵抗によって計算に取り込む．水没粗度要素の抵抗は，基礎式に流体力項を付加して評価する．流体力項は，粗度前面の局所的な接近流速 U と，それに対する粗度前面の投影幅 $b'\sin\theta$ 及び抗力係数 C_D を用いて式(4)で表す．境界条件は，上流端で実験流量，下流端で実験水深，壁面では Slip 条件を与えている．下流端流出量が実験流量に漸近し安定するまで計算を進め，最終的な値を計算結果として出力している．また，本解析モデルにおいて，粗度要素に作用する抗力は粗度要素天端のせん断力，前後の圧力差，及び流体力項で評価される．このため，これらの項を各粗度要素で積分することによって，粗度要素に作用する抗力を算出することができる．二次元解析における最終的な計算結果を用いて粗度要素の抗力値を算出し，分力計により直接計測した値と比較する．

図-4 は，Case2 における計算結果と実験結果の縦断水面形の比較である．計算値は実験値と概ね一致している．図-5 は分力計により直接計測した実測抗力値と，二次元解析において，水面形の計算と同時に求めた抗力値の比較である．計算抗力値は，実測抗力値よりも若干小さくなっているが，抗力の変動幅を考慮に入れると，全体的には，実測抗力値を概ね表現している．このことから，本解析モデルは，粗度群下流部の縦断的な流れ場と抵抗特性の変化をほぼ評価できていると考えられる．

5. 結論

粗度群下流部の河床洗掘をあらかじめ想定した水路床に粗度を配置することによって，水面形は改善される．これによって，想定した河床洗掘以上には洗掘が進行せず，流況は改善される．また，解析モデルは，粗度群下流部の水面形，抗力分布をほぼ再現するものであることが明らかとなった．

連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

X方向

$$\frac{\partial uh}{\partial t} + \frac{\partial u^2 h}{\partial x} + \frac{\partial uvh}{\partial y} = -\frac{g}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - ghi_x - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 uh}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 uh}{\partial y^2} \right) + \frac{F_x'}{\rho} \quad (2)$$

Y方向

$$\frac{\partial vh}{\partial t} + \frac{\partial uvh}{\partial x} + \frac{\partial v^2 h}{\partial y} = -\frac{g}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} - ghi_y - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 vh}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 vh}{\partial y^2} \right) + \frac{F_y'}{\rho} \quad (3)$$

u, v : X, Y 方向流速成分, h : 水深, g : 重力加速度, n : マニングの粗度係数, ε : 渦動粘性係数($=1/6 \kappa u_* h$), F_x, F_y : X, Y 方向の流体力項

$$\frac{F_x'}{\rho} = -\frac{1}{2} C_D u \sqrt{u^2 + v^2} \frac{b' \sin \theta}{A'} d$$

$$\frac{F_y'}{\rho} = -\frac{1}{2} C_D v \sqrt{u^2 + v^2} \frac{b' \sin \theta}{A'} d \quad (4)$$

C_D : 抗力係数, $b' \sin \theta$: 粗度前面の主流方向に対する投影幅, A' : メッシュの面積, d : 粗度高さ

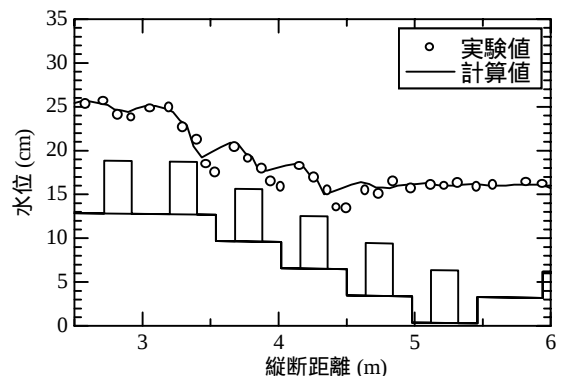


図-4 実験値と計算値の縦断水面形の比較

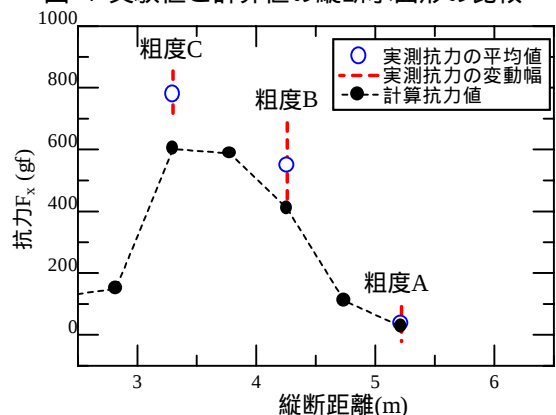


図-5 実験値と計算値の抗力の比較