

斜め栈粗度による開水路流れの制御に関する数値解析

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生会員 ○石井 亮資

1. 序論

関根 井田 吉川ら¹⁾は、開水路の側壁面上に斜め栈粗度を上端を下流に傾けて設置すると、栈粗度上で上昇流が生じるような螺旋流が生成されることが示すとともに、この二次流を利用することで河道内の局所洗掘を制御することを提案している。本研究では、これまで必ずしも明確に理解されていなかった二次流生成のメカニズムを探ることを目的として、簡単な数値解析を行った。

2. 解析概要

斜め栈粗度により二次流生成のメカニズムを迫るため、次のような前提条件の下で解析を行った。すなわち、(1)流下方向に等間隔に設置されている斜め栈粗度群によって生み出された流れ場の平衡状態を解析の対象とする。(2)図-2に示すような栈粗度の設置間隔 L にわたって基礎方程式を積分した式を基礎式として、この間隔にわたっての平均的な流れ場を評価する。(3)(2)に先立ち、座標系として流下方向に x 軸、栈粗度に沿うように斜め上向きに h 軸を、横断方向に y 軸をとるものとし、座標変換を行い基礎式を書き換えるものとする。(4)連続式を満足するように流れ関数 y を導入する、などである。

基礎方程式を設置された栈粗度の一波長 L にわたって積分する際に、圧力項は以下のように取り扱う。まず、ここでは流れが平衡状態にあるものとしていることから、圧力の流下方向勾配を積分した値は基本的には0となるが、側壁から栈粗度の高さ k までの区域に限ってはこれが0とならず、圧力差 ΔP は斜め栈粗度に作用する抗力との関係から、次のように書き表される。ここに、 a は栈粗度の傾斜角、 h は水深、 $|\vec{F}|$ は抗力ベクトルである。また、式中の C_d は抗力係数であり、これに関して吉川ら²⁾は実験的に、「側壁から栈粗度の1.1倍の位置における水深平均流速を用いると、 C_d は1.6となる」との検討結果を報告している。ここではこれに従うものとする。

$$\frac{\Delta P}{rL} = -\frac{\cos a}{rkhL} |\vec{F}| = -\frac{C_d \cos a}{2L} (\bar{u}^2 + \bar{w}^2) \quad (1)$$

以上の点を考慮し、基礎方程式を整理すると、主流速 $\bar{u}$ ならび横断面内の流れ関数 y に関する式として次の式が導かれる。ただし、 $\bar{X} = g \sin q$ 、 $\bar{Y} = 0$ 、 $\bar{Z} = g \cos q$ であり、 q は水路の縦断方向傾斜角である。

$$\bar{v} = -\frac{\partial y}{\partial h}, \quad \bar{w} = -\cos a \frac{\partial y}{\partial y} \quad (2)$$

$$-\frac{\partial y}{\partial h} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial h} = \bar{X} + \frac{F_x}{rkhL} + n_t \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{1}{\cos a} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial h^2} \right) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial y \partial h} \left[\left(\frac{\partial y}{\partial h} \right)^2 \right] - \cos^2 a \frac{\partial^2}{\partial y \partial h} \left[\left(\frac{\partial y}{\partial y} \right)^2 \right] - \frac{\partial^2}{\partial h^2} \left(\frac{\partial y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial h} \right) + \cos^2 a \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{\partial y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial h} \right) \\ & + n_t \left(\frac{1}{\cos^2 a} \frac{\partial^4 y}{\partial h^4} + 2 \frac{\partial^4 y}{\partial h^2 \partial y^2} + \cos^2 a \frac{\partial^4 y}{\partial y^4} \right) = \frac{\partial \bar{Y}}{\partial h} - \frac{\partial \bar{Z}}{\partial y} \cos a - \frac{\cos a}{rkhL} \frac{\partial F_z}{\partial y} \end{aligned} \quad (4)$$

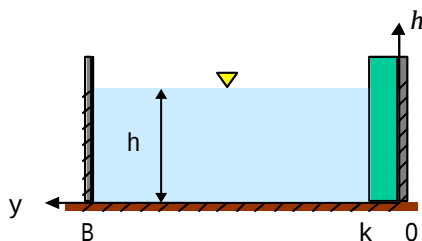


図-1 水路横断面図

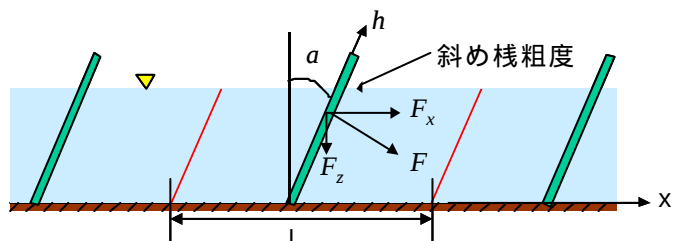


図-2 一波長縦断面図

キーワード：斜め栈粗度，二次流，数値解析，流れの制御

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 TEL. 03-5286-3401 FAX. 03-5272-2915

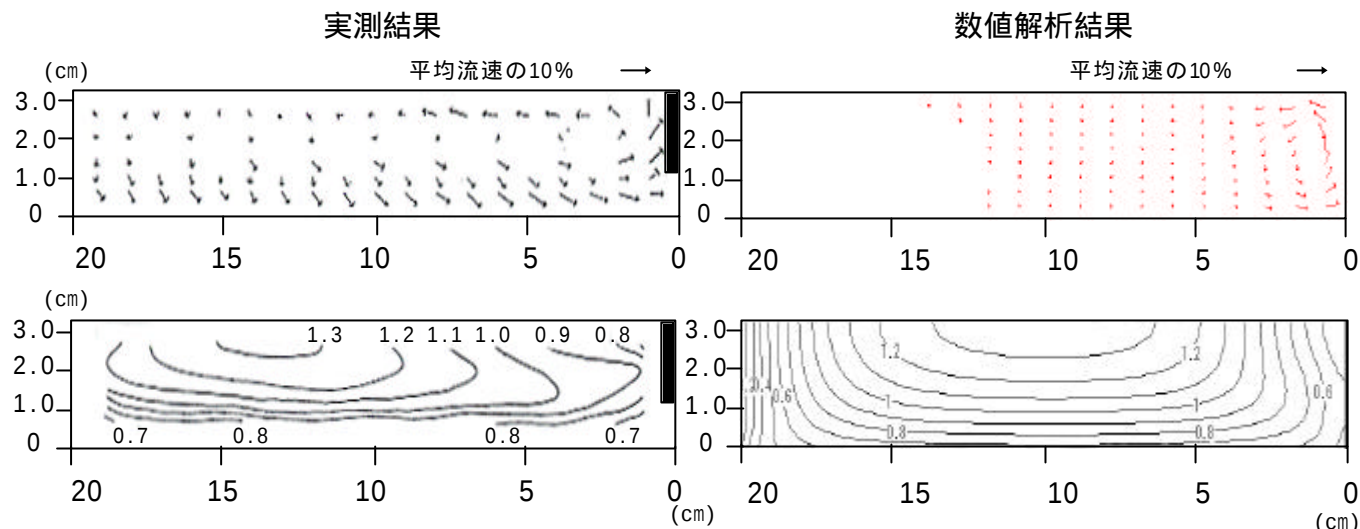
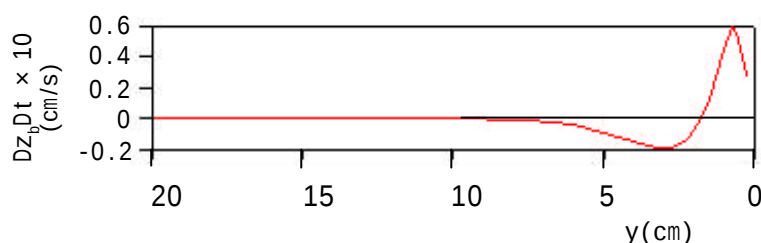


図-3 実験結果と解析結果の比較:

上段が二次流ベクトル図,下段が主流速コンター図 (主流速は断面平均流速で除した無次元量を示している)

図-4 水路床変動パターン: 粒径を0.2cm,空隙率0.3として Dz_bDt (cm/s)の値を示したもの

3. 考察

関根らによる実験結果とここで行った数値解析結果とを比較した結果を図-2に示した。実験ならびに解析の主な条件は以下の通りである。流量 $Q=2500(\text{cm}^3/\text{s})$,水路勾配 $I=0.01$,水深 $h=3.15(\text{cm})$,水路幅 $B=20(\text{cm})$,栈粗度の設置角度 $\alpha=45^\circ$,設置間隔 $\lambda=10.8(\text{cm})$,栈粗度の高さ $k=0.5(\text{cm})$ 。両者の比較において,実験結果は栈粗度が設置されている断面で計測された流速データであるに対して,数値解析結果は栈粗度が設置された一波長にわたっての平均の流速である点に注意する必要がある。実験による二次流の方が解析結果よりも大きいのはひとつにはこれが原因と考える。解析結果を見ると栈粗度付近にほぼ同じ規模の二次流が再現されていることがわかる。これを前出に基礎式において見てみると,このような二次流の生成の直接の原因は,式(4)の右辺第3項にある栈粗度に作用する抗力の流下方向成分の y 方向微分項にあると考えられ,栈粗度の端に当たる $y=k$ においてこの項が大きな値をとる。一方,解析による二次流が顕著に見られる区域が栈粗度近くに限定されているのは, $y \geq k$ において近似的に $\Delta P=0$ としているためと推察される。

図-4には,この二次流によって引き起こされる水路床高 z_b の変動パターンを見たものであり,栈粗度によって生み出された二次流が水路床に向かって潜り込む位置を水路側壁から離すように制御すれば,側岸付近に堆積を起こすことが可能であり,間接的な護岸の役目を果たすことが伺える。

4. 結論

本研究では簡単な数値解析によって直線水路に斜め栈粗度を設置した場合に生じる二次流のパターンを再現することができ,これまで不明であった二次流生成のメカニズムに迫ることができたと考えられる。

参考文献

- 1) 関根正人,井田泰蔵,吉川秀夫:斜め栈粗度による河川湾曲部の二次流制御に関する研究,土木学会論文集 No.558,61-70,1997.
- 2) 仲村 学,高松 諭,福井吉孝,吉川秀夫:河川護岸の設計に関する基礎的研究,水工学論文集,第37巻,569-574,1993.