

II-244

ヒサシ状河岸近傍の流れと河床変動の計算

（株）建設技術研究所 正員 西村 達也
広島大学工学部 正員 福岡 捷二

1. はじめに

一般に自然堆積構造を有する河岸は、異なる土質がいくつかの層を形成している場合が多い。この場合砂質土層などの相対的に侵食されやすい層が侵食を受け、ヒサシ状の河岸を形成しているのがよく見られる¹⁾。福岡ら²⁾は、0方程式モデルを用いてヒサシ状河岸に作用するセン断力を求めたが、ヒサシ近傍で発生する二次流を解明するまでには至らなかった。そこで本研究は、外岸にヒサシ状河岸模型を設置した一様湾曲水路実験結果²⁾を説明することを目的に、ヒサシ状河岸近傍の流れと河床変動について検討を行った。

2. 基礎方程式と解析方法

三次元流れの計算は、(1)～(4)式に示す直交曲線座標系のレイノルズ方程式と連続式を用いる。(1)～(4)式を解くためには、レイノルズ応力のモデル化が必要であり、ここでは、実用性を考え、 $k-\epsilon$ モデルによる2方程式モデルを用いる。 $k-\epsilon$ モデルによる乱れエネルギーの輸送方程式、乱れエネルギー散逸率の輸送方程式、生成項、レイノルズ応力、渦動粘性係数を(5)～(9)式に示す。式中の定数は、表-1に示す値を用いる。計算は、Staggardメッシュで平面及び鉛直方向に差分化する。移流項は風上差分、その他の項は中央差分とする。河床および側壁においては壁法則を用いる。流速、水位、乱れエネルギー、乱れエネルギーの散逸率をすべての計算地点に与え、これを初期値とし、各地点において連続式を満足するまで計算を繰り返す。

河床高の計算は、流砂の連続式を用いる。 $k-\epsilon$ モデルによって得た河床近傍の流速を用いて、河床面に働くセン断力を求め、 Δt 後の河床高を算定する。

境界条件は、上流端で流量および平衡流砂量を与え、下流端で水位および河床高を与える。

3. 実験結果と解析結果との比較

対象とした実験は、福岡ら²⁾の中心曲率半径4.5m、幅1m、全長24mの一様湾曲水路の外岸に、ヒサシ模型を設置した移動床実験を用いる。ヒサシは、初期河床高から約2cm離れた上部に設置し、長さは2cmと3cmの2つの場合について行っている。

図-1は、ヒサシの長さが3cmの場合の水位の

〔レイノルズ方程式〕

$$U \frac{\partial U}{\partial s} + V \frac{\partial U}{\partial n} + W \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{UV}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} (\overline{u^2}) + \frac{\partial}{\partial n} (\overline{uv}) + \frac{\partial}{\partial z} (\overline{uw}) - \frac{2\overline{uv}}{r} \quad (1)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial s} + V \frac{\partial V}{\partial n} + W \frac{\partial V}{\partial z} - \frac{U^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} + \frac{\partial}{\partial s} (\overline{uv}) + \frac{\partial}{\partial n} (\overline{v^2}) + \frac{\partial}{\partial z} (\overline{vw}) - \frac{\overline{v^2}}{r} + \frac{\overline{u^2}}{r} \quad (2)$$

$$U \frac{\partial W}{\partial s} + V \frac{\partial W}{\partial n} + W \frac{\partial W}{\partial z} = -g \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial s} (\overline{uw}) + \frac{\partial}{\partial n} (\overline{vw}) + \frac{\partial}{\partial z} (\overline{w^2}) - \frac{\overline{vw}}{r} \quad (3)$$

〔連続式〕

$$\frac{\partial U}{\partial s} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial n} (rV) + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

〔乱れエネルギー k の輸送方程式〕

$$U \frac{\partial k}{\partial s} + V \frac{\partial k}{\partial n} + W \frac{\partial k}{\partial z} = Pr - \epsilon + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial s} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{r \nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial n} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) \quad (5)$$

〔乱れエネルギー散逸率 ϵ の輸送方程式〕

$$U \frac{\partial \epsilon}{\partial s} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial n} + W \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} Pr - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial s} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{r \nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial n} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right) \quad (6)$$

〔生成項: Pr 〕

$$Pr = -\overline{u^2} \left\{ \frac{\partial U}{\partial s} + \frac{V}{r} \right\} - \overline{uv} \frac{\partial V}{\partial s} - \overline{uw} \frac{\partial W}{\partial s} - \overline{uv} \frac{\partial U}{\partial n} - \overline{v^2} \frac{\partial V}{\partial n} - \overline{vw} \frac{\partial W}{\partial n} - \overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z} - \overline{vw} \frac{\partial V}{\partial z} - \overline{w^2} \frac{\partial W}{\partial z} \quad (7)$$

〔レイノルズ応力〕

$$\left. \begin{aligned} -\overline{u^2} &= 2\nu_t \left\{ \frac{\partial U}{\partial s} + \frac{V}{r} \right\} - \frac{2}{3}k, & -\overline{uv} &= \nu_t \left\{ \frac{\partial U}{\partial n} + \frac{\partial V}{\partial s} - \frac{U}{r} \right\} \\ -\overline{uw} &= \nu_t \left\{ \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial s} \right\}, & -\overline{v^2} &= 2\nu_t \left\{ \frac{\partial V}{\partial n} - \frac{2}{3}k \right\} \\ -\overline{vw} &= \nu_t \left\{ \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial n} \right\}, & -\overline{w^2} &= 2\nu_t \left\{ \frac{\partial W}{\partial z} - \frac{2}{3}k \right\} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

〔渦動粘性係数〕

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (9)$$

表-1 $k-\epsilon$ モデルの定数

C_μ	$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	σ_k	σ_ϵ
0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

横断方向分布、図-2はヒサシ近傍の縦断方向と横断方向流速の水深方向分布を示したものである。図中には、福岡ら²⁾の0方程式モデルによる解析結果も併せて示している。これらの図を見ると、本研究の解析結果は福岡らの解析結果よりも実験結果をよく表わしていることがわかる。また図-3にヒサシ近傍の横断面内の流れを示す。本研究による解析結果は、実験結果で得られたヒサシ下部にもぐり込む流れとヒサシ前面の水面付近において内岸に向かう流れを計算結果はよく表わしていることがわかる。図-4にヒサシの長さが2 cmの場合の河床及び河岸に作用するせん断力分布、図-5に通水8時間後の河床形状を示す。これらの図を見ると、計算結果は実験により得られたせん断力分布および河床形状をほぼ表現することができていることがわかる。

4. おわりに

湾曲部外岸にヒサシ状河岸を有する水路の流れを解くためには、0方程式モデルでは不十分であり、本研究で用いた $k-\epsilon$ モデルのように乱れエネルギーの輸送による流れへの影響を表すことができるモデルが必要であることが明らかになった。

(参考文献)

- 1) 福岡, 木暮, 佐藤, 大東: 自然堆積河岸の侵食過程, 水工学論文集, 第37巻, 1993
- 2) 佐藤, 福岡, 大東: ヒサシ状河岸に作用するせん断力, 第48回年講概要集, 1994

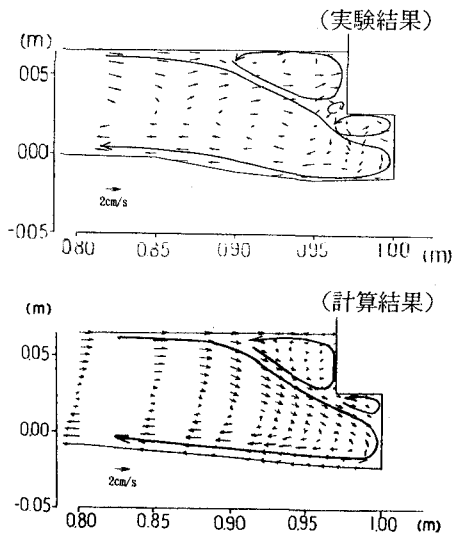


図-3 ヒサシ近傍の横断面内ベクトル図

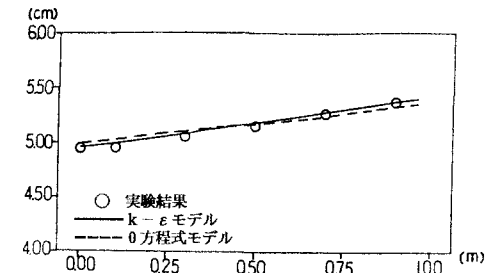


図-1 水位の横断方向分布

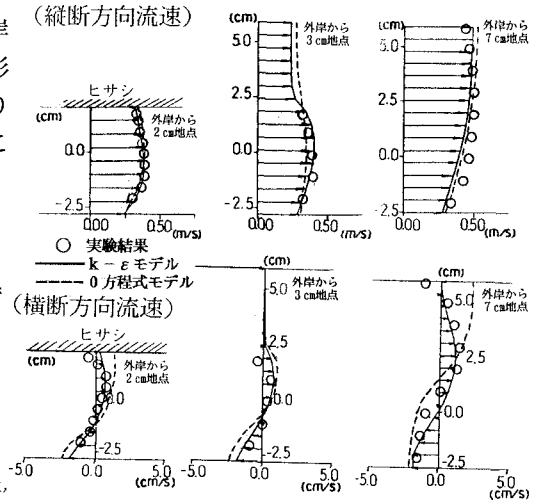


図-2 縦横断方向流速の水深方向分布

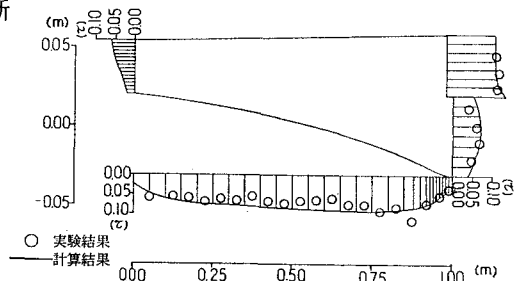


図-4 セン断力分布

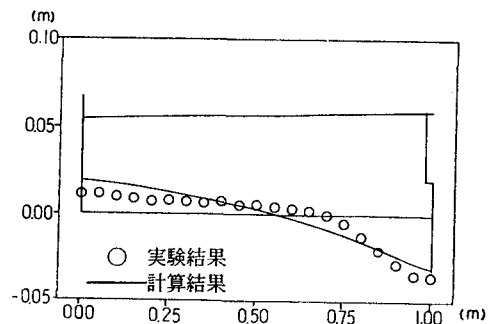


図-5 河床横断形状