

石炭粉を用いた河床変動模型実験に対する数値シミュレーション

鳥取大学 工学部 正員 道上正規

鳥取大学 工学部 正員 櫛谷 治

(株)奥村組 正員○西沢武司

1.はじめに 近年、河道弯曲部などの平面二次元河床変動に関する数値シミュレーション法が数多く提案されており、実験結果を再現するという形でその妥当性が検討されている。本研究は道上、櫛谷ら¹⁾が用いた二次元河床変動シミュレーションモデルを石炭粉を用いた模型実験へ適用し、比重が小さい河床材料でのシミュレーションモデルの適用性を検討したものである。

2.基礎方程式 本数値シミュレーション法は流れを三次元的に解き、その結果に基づいて二次元河床変動を計算するというもので、基礎式は式(1)から(5)に示すとおりであるが、計算法の詳細は省略する(文献1)参照)。

<流れ>

$$\text{連続式} : \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{1}{r} \frac{\partial rv}{\partial n} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\text{運動方程式} : \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{uv}{r} + g \frac{\partial \xi}{\partial s} - \frac{\partial}{\partial s} \left(2\epsilon_h \frac{\partial u}{\partial s} \right) - \frac{\partial}{\partial n} \left(\epsilon_h \frac{\partial u}{\partial n} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{uv}{r} + g \frac{\partial \xi}{\partial s} - \frac{\partial}{\partial s} \left(\epsilon_h \frac{\partial v}{\partial s} \right) - \frac{\partial}{\partial n} \left(2\epsilon_h \frac{\partial v}{\partial n} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0 \quad (3)$$

ここに、 u, v, w は流速の s, n, z 方向成分、 r は曲率半径、 ξ は水位変動量、 g は重力加速度、 ϵ_h, ϵ_v は水平および鉛直渦動粘性係数($\epsilon_v = \kappa u_* z(1-z/h_0)$ 、 $\epsilon_h = \kappa u_* h_0/6$)、 κ はカルマン定数($=0.4$)、 u_* は摩擦速度、 h_0 は平均水深である。

<河床変動>

$$\text{流砂連続式} : \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bs}}{\partial s} + \frac{1}{r} \frac{\partial r q_{Bn}}{\partial n} \right) = 0 \quad (4)$$

$$\text{流砂量式} : \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 17\tau_*^{0.8/2} \left(1 - \frac{\tau_* c}{\tau_*} \right) \left(1 - \frac{u_* c}{u_*} \right) \quad (5)$$

ここに、 q_B は単位幅当たりの流砂量、 q_{Bs}, q_{Bn} は流下方向、横断方向の流砂量、 s は河床材料の水中比重、 d は河床材料の粒径、 τ_* は無次元掃流力、 u_* は摩擦速度である。

3. 模型実験の概要と計算条件 シミュレーションの対象とした実験は、建設省土木研究所により行われた、鳥根県の東部を流れる斐伊川の放水路となる神戸川の河口から2.2km-5.4kmの低水路部を抽出した移動床の歪み模型実験²⁾であり、実験水路を図-1に示す。流量は計画高水流量に対応する水深(13.2cm)が得られるように調節して与えられている。計算条件を表-1に示す。シミュレーションは河口から1km-6kmの河道について、流下方向に50分割、横断方向に10分割、鉛直方向に12分割し、各要素について流速、水位変動量、河床変動量を計算するというものである。

4. 結果 平衡状態(5.6時間後)のシミュレーション結果を図-3と図-4に示す。なお、流速、河床変動量など計算諸量の値は現地における値に換算したものである。実験の弯曲部にお

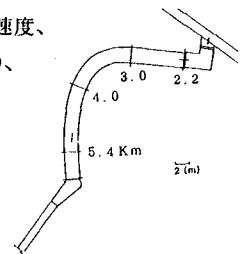


図-1 模型実験水路

表-1 数値シミュレーションの計算条件

対象区間	1.0 km ~ 6.0 km
流量条件	0.113 m ³ /s
平均勾配	1/920
河床材料の平均粒径	1.0 mm
河床材料の比重	0.5
粗度係数	0.0189
流下方向のメッシュ長	1 m
横断方向のメッシュ分割数	10

る河床変動状況は図-2であり、外岸側で洗掘、内岸側で堆積の様相を呈している。図-3のシミュレーション結果と比較すると洗掘深、堆積高とその発生の範囲はほぼ一致している。しかし、実験結果の深掘れが3箇所形成されているのに対し、計算結果は深掘れが流下方向にひろがった形になっており、若干の不一致は見られる。これは、実験の場合、洗掘箇所が分離して洗掘穴が発達した状態と考えられるが、シミュレーションではこの砂堆の発生に密接に関係するとされている洗掘穴の分離現象を再現できなかったものと思われる。

また、図-4は彎曲部での鉛直流速分布を示したものであるが、初期状態と比較して、流れが彎曲の外岸側の深掘れ域へ集中しており、深掘れ域で二次流が発達している。

つぎに、図-5は実河川において計画高水流量が流れる場合の数値シミュレーション結果である。模型実験に対するシミュレーション結果と比較すると、実河川の計算では高水敷を考慮した結果であるが、高水敷上の流れが緩やかであるため、主流方向成分については大きな相違はみられない。しかしながら、二次流成分については模型実験に対するシミュレーションの方が大きくなっている。これは模型実験が水深方向に歪んでおり、水深 h と川幅 B との比 h/B が大きくなっているためと考えられ、また、このことにより河床変動状況も異なった様相を呈している。

5. おわりに 本シミュレーションモデルの河床変動結果と実験結果はほぼ一致しており、本シミュレーションモデルは比重の小さい河床材料の河道に対しても適用性があることが認められた。また、実河川での計算結果と歪模型実験に対する計算結果との比較から、河床変動に関する歪模型実験の問題点が明かとなった。なお本研究は、文部省科学研究補助金、一般研究(B)、課題番号03452213から一部援助を受けたものである。

参考文献 1) 道上正規、檜谷 治；連続湾曲部の二次元河床変動に関する数値シミュレーション、第45回年次学術講演会講演概要集、pp. 418-419、1990。 2) 建設省土木研究所河川研究室；斐伊川放水路低水路模型実験報告書、1988。

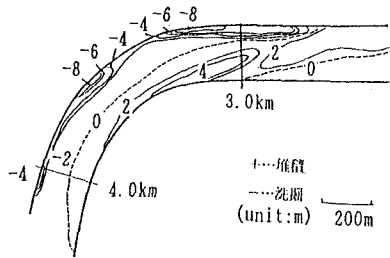


図-2 彎曲部における河床変動量(実験結果)

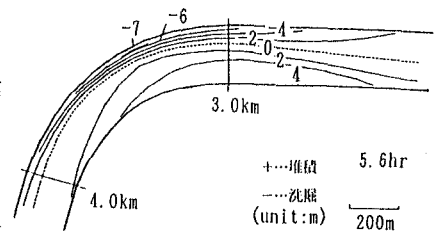


図-3 彎曲部における河床変動量(計算結果)

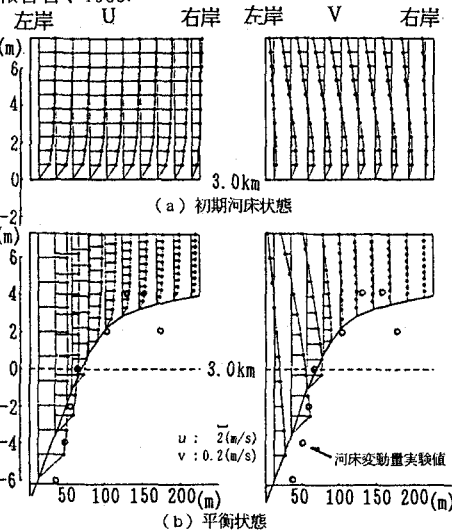


図-4 流速の鉛直分布(計算結果)

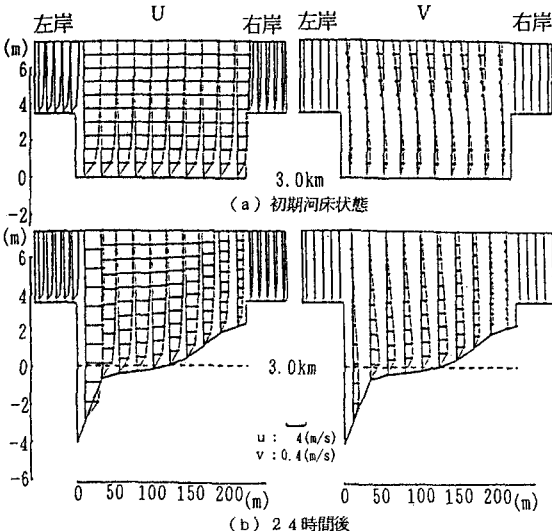


図-5 流速の鉛直分布(実河川に対するシミュレーション)