

II-217

弯曲河道における流れの集中度と河岸侵食に関する研究

立命館大学大学院	学生員	守田克成*
立命館大学理工学部	正会員	江頭進治*
立命館大学理工学部	正会員	金 海生*
京 都 府	正会員	青木章浩*
(財)河川環境管理財団	正会員	大槻英樹**

1. はじめに 近年、人々の生態系を含めた自然環境への関心が強まり、周辺環境への配慮から自然石や人工材料を用いた緩傾斜護岸を有する多自然型川づくりが進められている。しかし、どのような河道条件の下でいかなる護岸工法が適用でき、どの程度安全であるのか必ずしも明らかではない。そこで、本稿においては護岸本来の目的である河岸保護や河道安定といった治水目的を損なわない多自然型護岸工の土砂水理学的な基礎資料づくりを行うために、一様弯曲台形断面移動床水路において、護岸の有無を考慮し、河床変動および河岸侵食に関する数値解析を行う。さらに、同様の水路実験から得られる結果とシミュレーション結果を比較し、数値シミュレーション法の有効性について検討する。

2. 支配方程式 計算においては、境界適合型直交曲線座標系の二次元平面流モデルを使用し、上下流直線区間に助走区間を設け、流下方向（ ξ_1 方向）に252分割、横断方向（ ξ_2 方向）に51分割する。流速 u_i および u_2 、水位 ζ を互いにずらして配置したスタッガード格子を用いる。支配方程式を以下に示す。

・流れの連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{g_{11}g_{22}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} (g_{22}hu_1) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} (g_{11}hu_2) \right] = 0 \quad (1)$$

・河床位方程式（流砂の連続式）

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{1}{g_{11}g_{22}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} (g_{22}q_{b\xi_1}) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} (g_{11}q_{b\xi_2}) \right] = 0 \quad (3)$$

・流砂量式（芦田・道上式）

$$q_b = 17 \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) g d^3 \tau_{*c}^{1.5}} \left(1 - K_c \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{K_c \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (4)$$

ここに、 h :水深、 g_{ii} :座標変換係数、 g :重力加速度、 τ :せん断力、 τ_b :河床せん断力、 ρ :水の密度、 ρ_s :砂粒子の密度、 Z_b :河床位、 d :河床材料の粒径、 λ :砂粒子の空隙率、 $q_{b\xi_i}$: ξ_i 方向の単位幅流砂量、 τ_{*c} :無次元限界掃流力、 τ_* :無次元有効掃流力、 K_c :流向と河床勾配を考慮する係数

3. 実験条件と計算条件 実験水路は、直線と円曲線を組み合わせた一様弯曲水路である。水路幅50cm、低水路幅30cm、弯曲部中心角180°、低水路中心線上での曲率半径95cm、高水敷高5cm、法面勾配1:2である。河床材料は、平均粒径2.16mmの砂を用い、法覆い工には4.05mmの寒水石を用いた。底面流速の算定には、主流方向に対数則分布が成立すると仮定して相当粗度高さの流速を用い、二次流は流線に直交する向きにとる。計算では法肩部分の横断勾配が水中安息角を越えたならば、河岸部の土砂が崩壊し、水中安息角で安定を保つとした。計算に用いる水理条件は、表1に示すように、法覆い工のないケース22NNと弯曲部(No.0～No.18)の外岸部に護岸工のあるケース22ANである。

・運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_i}{\partial \xi_1} + u_2 \frac{\partial u_i}{\partial \xi_2} + \frac{u_1 u_2}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{ii}}{\partial \xi_j} - \frac{u_j^2}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{jj}}{\partial \xi_i} \\ = - \frac{g}{g_{ii}} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_i} + \frac{1}{g_{11}g_{22}h} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} (hg_{22}\tau_{ii}) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} (hg_{11}\tau_{ii}) \right] \\ + \frac{\tau_{ij}}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{ii}}{\partial \xi_j} - \frac{\tau_{jj}}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{jj}}{\partial \xi_i} - \frac{\tau_{ii}}{\rho h} \quad \left(\begin{matrix} i=1,2 \\ j=2,1 \end{matrix} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

表1 水理条件

ケース名	河床勾配	流量 l/s	法覆い工の粒径 mm
22NN	1/200	3.45	なし
22AN	1/200	3.45	4.05

Key words: curved channel, bed variation, bank erosion

* 〒525-77 草津市野路町東1-1-1

TEL 0775-61-2732

FAX 0775-61-2667

** 〒540 大阪市中央区大手前1-6-4

TEL 06-942-2310

FAX 06-942-2118

4. 計算結果と考察 図1は、通水 4.0hr 後における鉛直平均流速の分布に関する実験値と計算値を表したものである。実験では、外岸部で流速が大きく、護岸近傍で流れが集中していることがわかる。一方、計算においては、流速分布が実験値ほど外岸に集中していない。

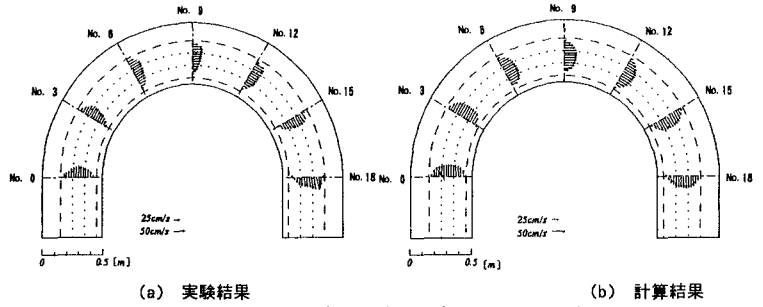


図1 鉛直平均流速分布（ケース 22AN）

図2はケース 22AN における鉛直平均流速の横断分布を表したものである。横軸 B は水面幅、 u_m は No. 0 から No. 18 までの弯曲部の平均流速である。また、 $(u/u_m)^2$ は流れの集中度を表す。実験では、No. 6 および No. 9 で流れが顕著に外岸へ集中していることがわかる。しかし、計算では実験ほど著しくはなく No. 12 付近でわずかながら外岸への流れの集中が見受けられる。このように異なった傾向が現れた原因として、計算において、外岸部に敷設されている法覆い工の粗度が大きく影響していると考えられる。

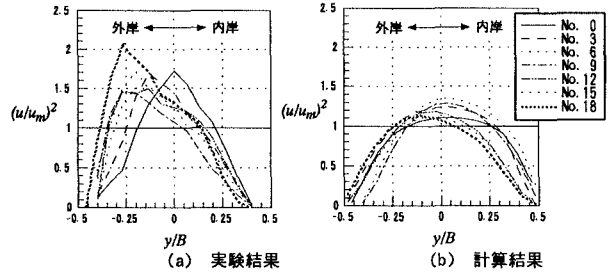


図2 流れの集中度（ケース 22AN）

図3(a)、(b)は、それぞれケース 22NN に対する弯曲角 60° 断面における河床の横断形状を表したものである。両者を比較すると、実験による方が河岸侵食は大きい。この相違は、計算における河岸崩壊の手法に起因するものと考えられる。また、計算結果の内岸部での堆積が多いのは、河岸の侵食速度が遅いため外岸部の法尻付近の侵食が進み内岸部に多く堆積したと考える。

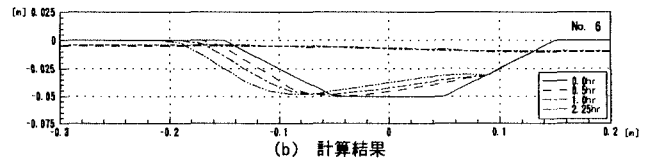
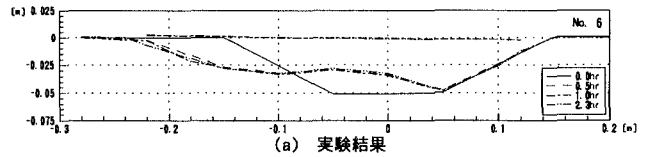


図3 河床位・水位横断形状（ケース 22NN）

図4(a)、(b)は、外岸部法面に法覆い工を敷設したケース 22AN に関する実験および計算結果である。実験では外岸部法尻付近の侵食が見られないのに対して、計算では若干の侵食が見られる。また、法覆い工の敷設によって、河岸の侵食は見られなかった。

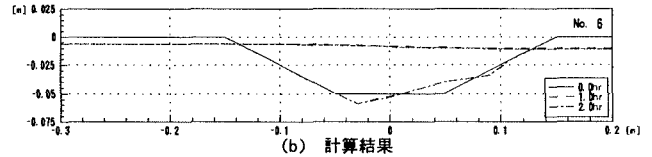
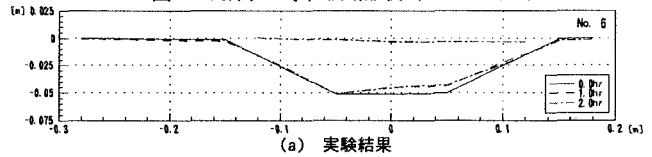


図4 河床位・水位横断形状（ケース 22AN）

5. おわりに 今後、さらに河岸侵食および法覆い工の粗度を評価した上で、本モデルの改良を行い、様々な河道条件の下で、シミュレーションを系統的に展開し、多自然型川づくりの基礎資料を提供して行きたい。

参考文献 1) S. Egashira, H. S. Jin, and F. Nakanishi: Characteristics of Flow and Bed Deformation in Meandering Reach of Brantas River, Indonesia, Proc. WDFGM, Yogyakarta, Indonesia, Aug. 21-23, 1996.