

堰直下流の流れに関する3次元流解析

鳥取大学大学院 学生員 ○梶川 勇樹 鳥取大学工学部 正会員 檜谷 治
鳥取大学大学院 学生員 中村 真郷

1. はじめに 段落ち下流部や堰直下流部では、局所的な流れの発生により局所洗掘が生じる。特に、その最大洗掘深は堰上を剥離した主流が河床付近を流下する潜り噴流時に発生することが知られている。このような局所洗掘現象は、その構造物の安定性に直接関わってくるため、防災上非常に重要な問題である。そのため、従来よりこの問題に関して様々な研究が行われており、岡山県を流れる旭川の放水路である百間川においても、ニノ荒手下流部の局所洗掘について大型模型実験による検討が行われている¹⁾。それによると、計画分流量 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ に対し、それより小さい $500\text{m}^3/\text{s}$ 時に最大洗掘深が発生することが確認されている。これは、流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ の時にはニノ荒手下流部の流況が潜り噴流状態であるのに対し、それ以上の流量では波状跳水状態となり洗掘が進行しないためとされている。しかし、この結果は模型実験によるものであるため実河川においても適用できるとは限らない。そこで、本研究では著者ら²⁾により提案されている3次元流れの数値解析法を用い、実河川を対象とした流況計算を行い、ニノ荒手下流部における流況について検討を行なったものである。

2. 3次元流数値解析法の概要 本解析法²⁾では、実用性を考慮し、レイノルズ応力の評価に渦動粘性係数の概念を取り入れた0-方程式モデルを採用している。また、座標系には長方形等間隔メッシュのデカルト座標系を採用し、基礎式には複雑境界形状でも滑らかに境界条件を課すことのできるFAVOR法を導入している。FAVOR法では複雑境界上の流れにおいて、格子中に流体部分と境界部分が混在すると考え、任意の格子で流体の占める体積率を $V_{(j)}$ 、 i 方向に垂直な断面で流体の占める面積率を $A_{(i)}$ と定義する。基礎式として(1)に連続式、(2)に運動方程式、および(3)に平面2次元連続式を示す。ここに、 u_i は i 方向の速度成分、 $\varepsilon_{(j)}$ は渦動粘性係数、 p は圧力、 h は水深を表しており、上付横線は断面平均量を示している。これらの式を、従来より常射流混在場で比較的良好に用いられているMacCormack法により離散化し計算を行なう。

3. 計算条件 図-1に計算で使用した百間川ニノ荒手周辺の河床位コンター図を、また表-1に計算条件を示す。下流端水位については模型実験結果による値¹⁾を使用し、また、マンニングの粗度係数については前野³⁾と同様 $n=0.025$ とした。離散間隔は、 $\Delta t=0.002\text{sec}$ 、 $\Delta x=\Delta y=1.5\text{m}$ 、 $\Delta z=0.375\text{m}$ とし、初期条件として下流端を堰上げた状態における平面2次元解析による結果(水深、流速)を与えた。また、上流端の境界条件として、 5m メッシュの平面2次元解析により得られた各方向(x , y 方向)の単位幅流量を与えた。

4. 計算結果と考察 Case-1 の計算結果として、図-2に図-1に示す①～④断面の縦断流速ベクトルを、また図

【連続式】…(1)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} A_{(i)} u_i = 0$$

【運動方程式】…(2)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ A_{(j)} u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right\} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial x_j} \left(A_{(j)} \varepsilon_{(j)} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right\}$$
$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \frac{1}{6} \kappa u_* h, \quad \varepsilon_z = \kappa u_* z \left(1 - \frac{z}{h} \right)$$

【平面2次元連続式】…(3)

$$\frac{\partial}{\partial t} (Sh) + \frac{\partial}{\partial x} (L_x \bar{u} h) + \frac{\partial}{\partial y} (L_y \bar{v} h) = 0$$

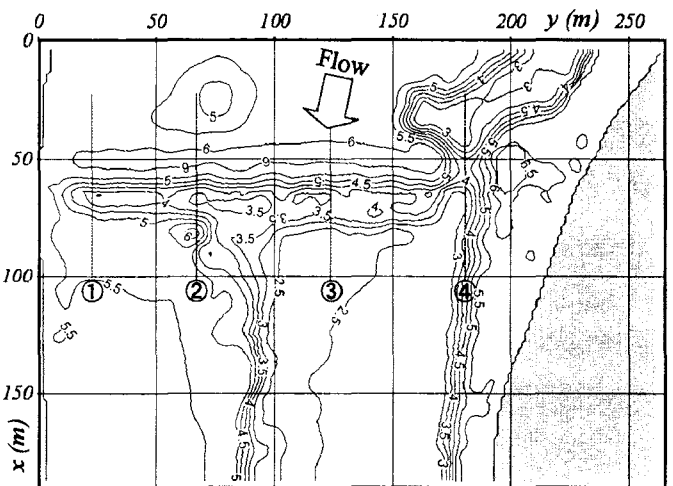


図-1 ニノ荒手周辺の河床位コンター図

表-1 計算条件

	流量 (m^3/s)	下流端水位 (m)
Case-1	1,000	7.275
Case-2	500	6.035

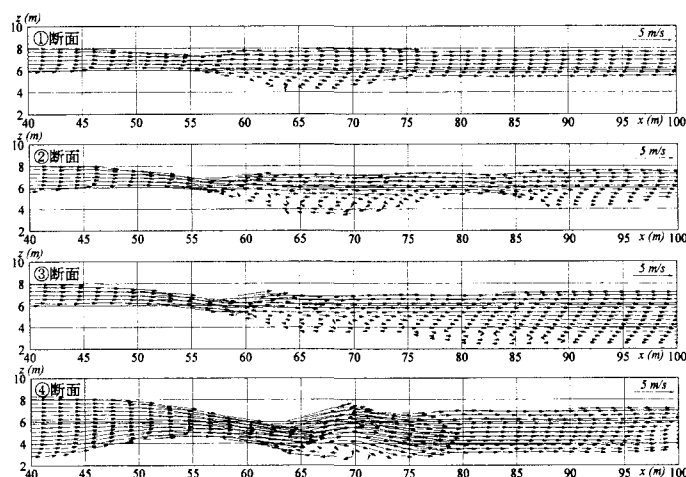


図-2 縦断流速ベクトル図 (Case-1)

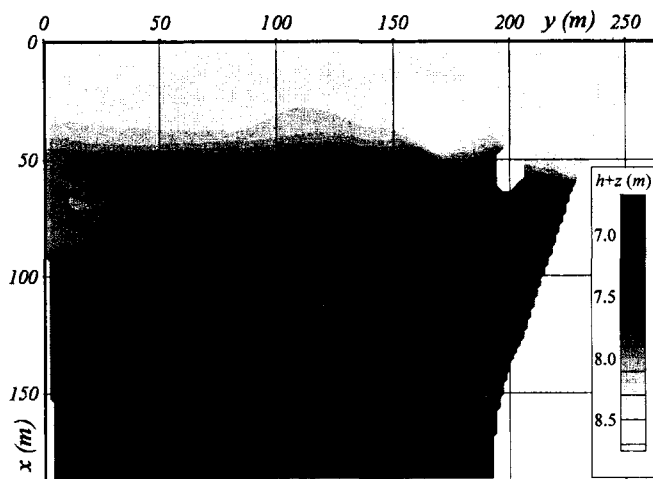


図-3 水面形コンター図 (Case-1)

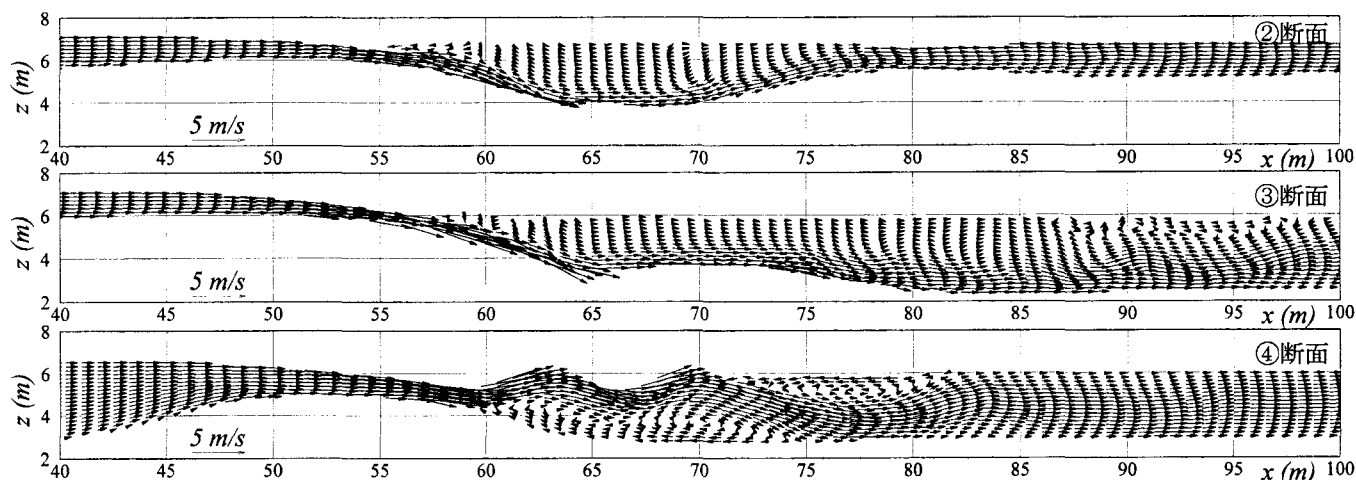


図-4 縦断流速ベクトル図 (Case-2)

図-3に水面形コンター図を示す。図-2より、流量 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ では堰上を剥離した主流は水面付近を流下する波状跳水状態となっており、実験結果同様に、堰下流部で大きな洗掘は発生しないものと考えられる。一方、図には示していないが、横断方向流速については堰下流部において右岸から左岸方向へと底面付近へ潜り込む流れが発生していた。しかし、その流速値は小さく、主として流下方向流速が卓越していた。また、図-3より左岸導流堤下流部では水面形が乱れていることが分かるが、これは導流堤先端部から発生する強いカルマン渦による影響であり、導流堤の左右側面部では大きな水位変動が常に発生していることが確認された。

次に Case-2 についてであるが、初期に設定した離散間隔では堰上での水深が非常に薄いため、堰直下流部で潜り噴流が発生した瞬間に計算が発散した。そこで、ここでは離散間隔をより小さくした ($\Delta t=0.0005\text{sec}$, $\Delta x=1.5\text{m}$, $\Delta z=0.0625\text{m}$) 鉛直 2 次元流解析による結果を図-4 に示す。上流端流量については、計算発散直前での単位幅流量を与えている。図より、②、③断面では潜り噴流状態となっているが、荒手切下げ部にあたる④断面では波状跳水状態となっている。そのため、切下げ部付近では両者が混在する複雑な流れ場になっていることが考えられ、また②断面では他断面に比べて下流側の水位が高いことから、堰下流部では右岸高水敷側から左岸方向への流れが存在するものと考えられる。

5. おわりに 本研究では百間川ニノ荒手下流部の流況に関し、3 次元および鉛直 2 次元流解析による検討を行った。それにより、流量 $1000\text{m}^3/\text{s}$ では模型実験同様に主流は水面付近を流下する波状跳水状態を呈していたが、流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 時には荒手切下げ部付近で潜り噴流および波状跳水の両流況が混在している可能性が指摘された。

【参考文献】1)(財)土木研究センター：旭川分流域水理検討業務報告書，2001。2)梶川ら：段落ち部における常射流混在流れの数値解析，水工学論文集第 47 巻，pp.823-828，2003。3)前野詩朗：百間川の洪水流解析による二ノ荒手の保存の検討，水工学論文集第 44 巻，pp.353-358，2000。