Ⅱ－15　スリット付き落差工を通る流れの数値計算法

（株）エコー建設コンサルタント　正会員　穴瀬康雄
徳島大学大学院　学生会員　○岩崎裕司
徳島大学大学院　学生会員　織田恒造
徳島大学工学部　正会員　岡部健士

１．はじめに　渓流砂防施設の一つである落差工は、砂防という観点からは、その効果を発揮しているが、その反面、低水時においては、その落差と低水時における水みちの不連続性などから、生態系に与える影響は大きい。これらの弊害を緩和する一つの対策として、落差工にスリットを設ける工法が注目されてきている。

そこで、本研究ではスリットを付した落差工の上流に形成される浸食流路シミュレーション・モデルのサブシステムとして、流路形状を固定した条件下での２次元浅水流計算モデルを構築した。そして、試行計算により本モデルの有用性を検証した。

２．離散化手法と境界条件　本研究で用いた基礎式は次の連続式と運動方程式である。

[水の連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (uh)}{\partial x}+\frac{\partial (vh)}{\partial y}=0 \qquad (1)$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t}+\frac{\partial (uh\cdot u)}{\partial x}+\frac{\partial (uh\cdot v)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_{0x}}{\rho} \qquad (2)$$

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t}+\frac{\partial (vh\cdot u)}{\partial x}+\frac{\partial (vh\cdot v)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\tau_{0y}}{\rho} \qquad (3)$$

ここに、t：時間、u,v：x,y 方向の水深平均流速、uh,vh：x,y 方向の流量フラックス、g：重力加速度、h：水深、ρ：水の密度、H：基準面からの水位、τ_{0x},τ_{0y}：底面のせん断応力成分としている。

基礎式の離散化ならびに境界条件の取り扱いの概要は、以下のとおりである。まず、未知変数の定義点はスタガードメッシュの形式で配置する。基礎式の離散化ではコントロールボリューム法を基本としている。ただし、各コントロールボリュームの境界を通過する流量あるいは運動量のフラックスの評価は、風上側の量を用いて行われる。また、時間は２次精度の A.B 法で離散化されている。

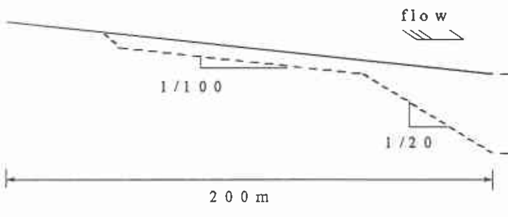
次に、境界条件は上流端、下流端そして水際に対して与えている。まず、上流端断面の水深 h については、等流状態を仮定して、上流端から２番目の断面の水深と等しくおく。そして設定流量を与え、流下方向成分 uh の横断方向分布を、水深に応じてマニング則により与えている。一方、横断方向成分 vh については、$vh=0$ としている。

下流端の境界条件としては u と uh を与える必要がある。下流端では常流・射流の双方が発生することが考えられるので、まず水深の下流端定義点でのフルード数を算出する。$F_r<1.0$ の時は下流端で限界流が発生すると考え、下流端の河床位を基準にした上記の水深定義点の比エネルギーより、下流端における限界水深を求める。そして、これから下流端における流速 u と流量フラックス uh を決定している。一方、$F_r\geq 1.0$ の時は下流端の水理量は上流側の条件のみから求める必要がある。本モデルでは、近似的に非定常項を無視するとともに、uh についても下流端断面とこれより一つ上流側のものとが等しいとみなし、標準逐次計算法と同様な方法で下流端水深を求め、これらより下流端の流速 u を決定することにしている。

最後に水際の境界条件は以下のとおりである。まず、水深の閾値 h_* を設定し、水深が h_* 以下となるメッシュと h_* 以上となるメッシュの境界を、水域・陸域の境界とみなすこととする。このとき、この境界を通過する流量フラックスは運動方程式から計算するのではなく、単に０とする方法が一般的である。しかし、計算条件として与える流量が時間的に変化し、水位が上下に変動する時、すなわち、水域部が時間的に拡大あるいは縮小するような場合、この方法を適用すると水域・陸域を通過する流量フラックスが常に０のままであるので、水域部が計算上では固定されてしまう可能性が考えられる。そこで、水域部の時間的な変化に対応できるように、メッシュ

の境界を挟んでどちらか一方の水深が h_* 以下となった場合には、運動方程式において生成項のみ有効として計算し、流量フラックスを計算することにしている。

３．数値計算結果　上記のような計算モデルを用いて、図－１に示すようなモデル河道内での流れの試行計算を行った。河道は流路長 200m、河幅 26m で、河道中央部には下流端から最大落差 2m の水みちを設けた。河床の縦断勾配は、中央の水みちで 1/20、その他は 1/100 とした。横断方向については両岸から水みちに向かって 1/100 の勾配を与えている。ただし、上流端から 50m は流れの助走区間として横断方向に平坦な河床とした。

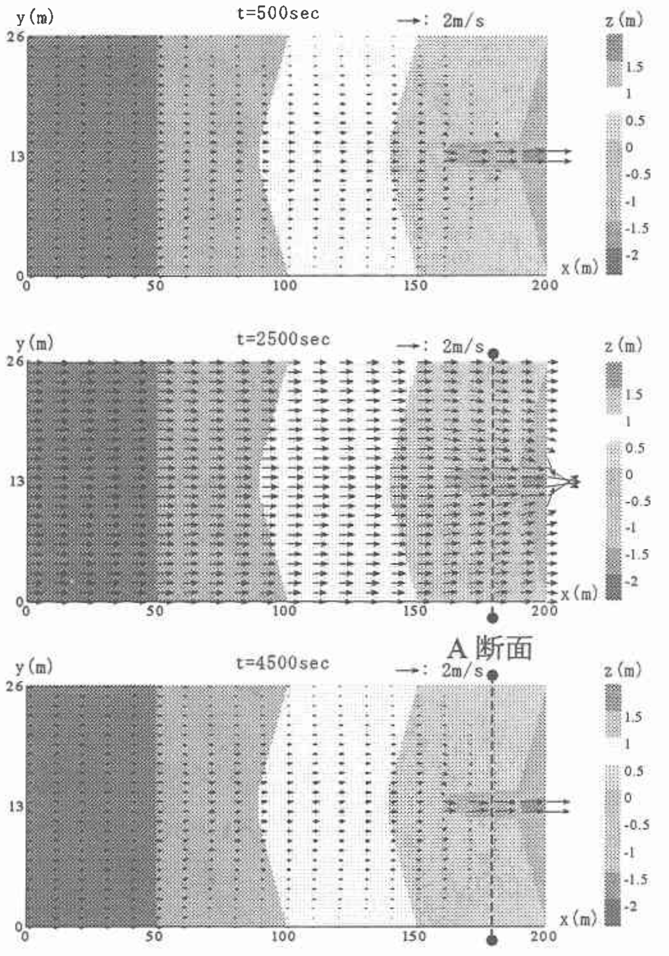


図－１　モデル河道の中心線に沿う流路縦断形状

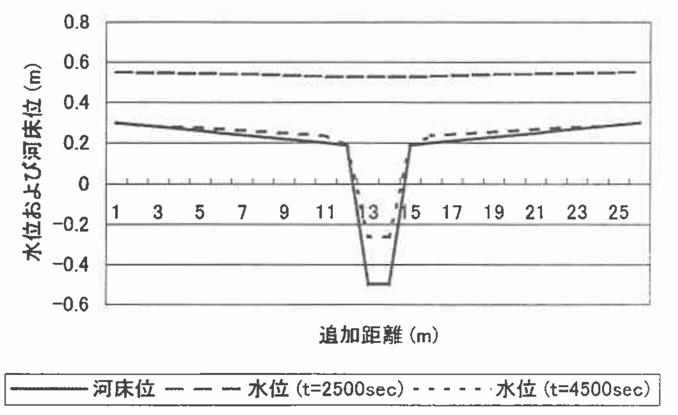
試行計算では初期に $1m^3/s$ であった流量が 1400 秒間で $15m^3/s$ まで一定率で増加し、その後 1400 秒間で元の $1m^3/s$ まで減少する流れが生じることを想定した。また、時間間隔 Δt は 0.01sec 、閾値は 0.01m として計算を実行した。

図－２は流量が $1m^3/s$ 、$15m^3/s$ と $1m^3/s$ における結果である。流量が大きいと水みちだけでなく天端からも越流しており、逆に流量が小さくなると水みちに流れが集中するといった実現象に近い結果を得ることができている。しかしながら、図－３に示すように流量が小さい時には、浸食流路の外縁部分(河床位が急激に下がっている部分）で、実際は水域であるべきところが陸域となってしまう不自然さが見られる。

４．おわりに　以上、スリット付き落差工の上流に浸食流路が形成された場合に対する２次元浅水流モデルを紹介した。試行計算の結果より、本モデルの有用性が概ね示されたが、水域・陸域境界の処理法については、今後とも改良を加えていく必要がある。



図－２　河床位と流速ベクトル図



図－３　A断面の水位と河床位

参考文献　長田信寿：一般座標系を用いた平面２次元非定常流れの数値解析、水工学における計算機利用の講習会講義集、pp61～76、1999