

LES による実河川河床掃流力の予測

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○柴田 良一
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 中山 昭彦

1. 緒言

近年河川計画には環境、植生などへの影響を評価、予測することが求められている。実河川流の 3 次元的な解析はさまざまな要因が複雑に作用するため困難とされているが、本研究では中山ら¹⁾によって開発され自由水面乱流計算への適用されている LES(Large Eddy Simulation)法を実河川流へ適用する。LES は大規模乱流運動を直接計算するため、時間変動する 3 次元局所流を再現できる可能性があり、こういった評価、予測に有用な手法になりえる。通常の計算機で許容できる計算では粘性スケールを解像することはできないため、この計算法では底面抵抗を精度よく算定することはできないものの、大規模さらにはそれよりやや小さいスケールの 3 次元的な局所運動を捉えることは可能であり、実河川流に適用してみる価値は十分ある。そこで本研究では大スケールに通常用いられる渦粘性サブグリッドモデルを適用した場合どの程度の精度で底面抵抗が予測できるかを試算する。

2. 数値解析手法

基礎式は非圧縮性流体の空間平均された質量保存式(連続の式)と運動方程式である。乱流モデルは標準 Smagorinsky モデルを用い、座標系には直交座標系、計算格子はスタッガード格子、移流項の差分には 3 次精度風上差分、時間進行には Adams-Bashforth 法、数値解法は水面計算を組み込んだ HSMAC 法¹⁾を用いている。また、境界条件には流入面流速分布に発達した滑面開水路等流の対数則分布を仮定する。河床形状には凹凸があり計算が進めば乱れは自然と発生するので流入変動は導入していない。下流端では自由流出条件を設定している。下流端での水深は固定せず、初期条件の仮定と水路勾配および流入流量の調節により決まる。壁面条件には粘性条件を用いている。従って、初期に与えた水深と流量で実際に観測されている水位流量関係に落ち着けば全体の抵抗は再現されたと考えられる。本計算ではほぼ定常になった段階の結果を示す。

上記の河床掃流力は計算結果から直接出るが、ここでは底面近傍の流速より次に示す方法で河床に働く掃流力を計算する。1 つ目の方法は、開水路粗面上における乱流の流速分布式(対数則)を用いる方法であり、式(1)により河床に働くせん断力 τ_w を求めることで河床掃流力を求めている。

$$\tau_w = \frac{\rho}{\left(\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z_1}{k_0} \right) + A \right)^2} U_1^2 \quad (1)$$

ここで、 U_1 は底面最近傍格子における速度の主流方向、奥行き方向、鉛直方向の合成成分、 u_* は摩擦速度、 z_1 は底面最近傍格子における鉛直方向距離、 κ はカルマン定数、 k_0 は粗度高さ、 A は積分定数(=5.2)である。

もう一方は Manning の式を用いる方法であり、この式を底面最近傍の計算セルに適用し、動水勾配に河床勾配 $\tau_w / \rho g$ 径深に径深で流れ断面積と摩擦のかかる辺の比を導入することにより導出される式(2)により河床掃流力を求めている。

$$\tau_w = \rho g n^2 R^{-1/3} U_1^2 \quad (2)$$

ここで、 n は Manning の粗度係数、 g は重力加速度である。

計算対象とする領域は兵庫県の一級河川である揖保川(兵庫県宍粟市山崎町)でありこの河川蛇行部の河原には希少な植生が生育していることが確認されている。図-1 には解析に用いられる座標系(南北方向に x 、東西方向に y 、鉛直上方向に z)と格子数を示している。 x, y, z 方向流速成分は u, v, w で表す。格子間隔は $\Delta x = 1.0\text{m}$ 、 $\Delta y = 1.0\text{m}$ 、 $\Delta z = 0.2\text{m}$ である。

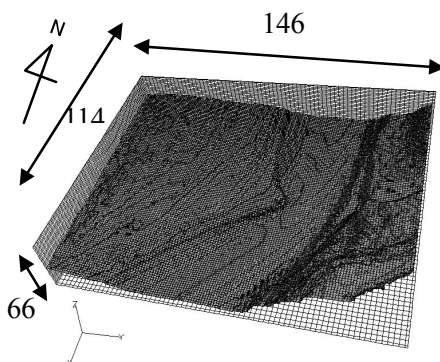


図-1 計算格子と格子数

キーワード LES, 実河川, 河床掃流力, 数値計算

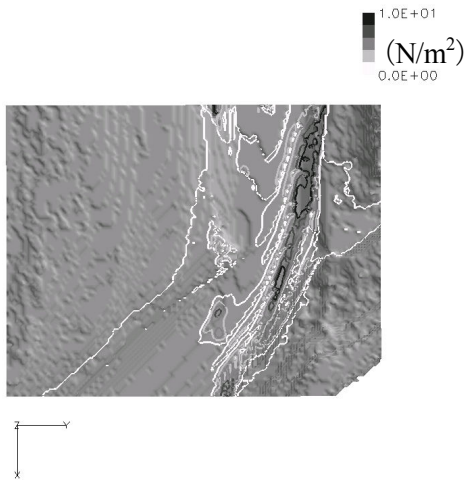
連絡先 〒665-0034 兵庫県宝塚市小林 1-13-19 TEL 0797-72-9877

3. 結果と考察

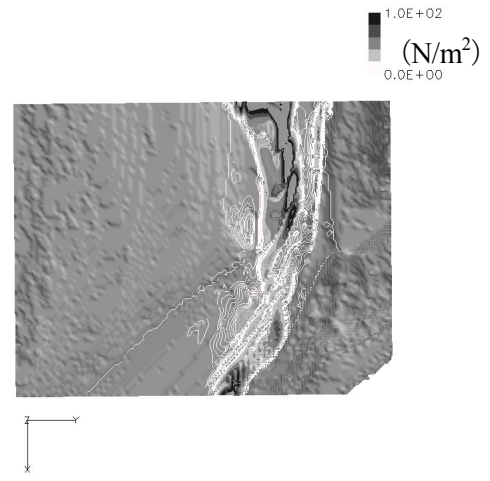
本研究では河川流が植生の生育地である河原の浸水する出水時 (Case-1)と浸水しない平常時(Case-2)の 2 通りの流れを想定して解析を行った. ここでは Case-1 の対数則によって求めた河床掃流力分布図, Case-2 の対数則によって求めた河床掃流力分布図, $x=57\text{m}$ の断面における流速コンターと断面 2 次流流速分布, Case-1 の Manning 則によって求めた河床掃流力分布図を示し, それぞれ図一 2, 3, 4, 5, 6 とする. なお, 図一 4, 5 は図を見やすくするために鉛直方向に 4 倍に拡大している.

表一 1 計算ケース

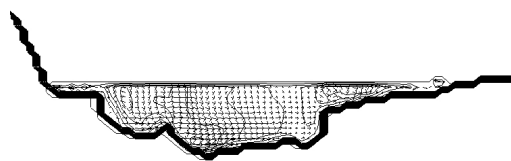
計算ケース	Case-1	Case-2
流入面の基準点からの最大水位 $h_m(\text{m})$	0.14	-1.96
流入面の平均流量 $Q_m(\text{m}^3/\text{sec})$	65.4	70.0
流入面の平均流速 $v_m(\text{m}/\text{sec})$	1.33	2.34
河原の状態	浸水	非浸水



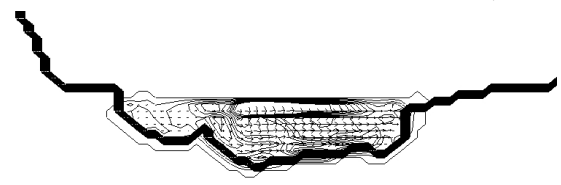
図一 2 対数則を用いた河床掃流力分布図, Case-1



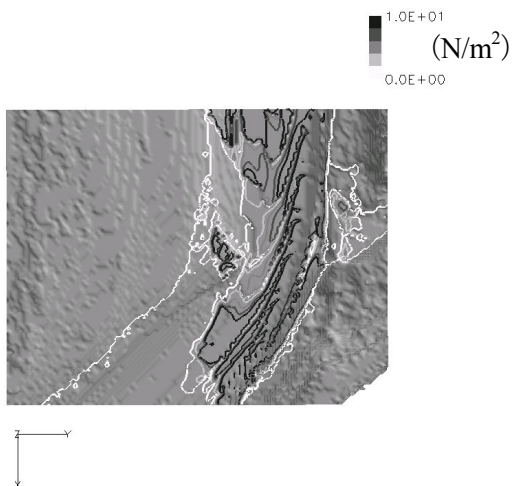
図一 3 対数則を用いた河床掃流力分布図, Case-3



図一 4 $x=57\text{m}$ 地点の流速コンターと断面 2 次流流速ベクトル, Case-1, コンター間隔は $0.2\text{m}/\text{sec}$



図一 5 $x=57\text{m}$ 地点の流速コンターと断面 2 次流流速ベクトル, Case-3, コンター間隔は $0.2\text{m}/\text{sec}$



図一 2 Manning 則を用いた河床掃流力分布図, Case-1

図一 2, 図一 3 を見ると, Case-2 では比較的河道の中央付近に掃流力が働いているのに対し, Case-1 では比較的蛇行部外岸側に河床掃流力が働いている. また Case-1 では, 植生の生育地の周辺にも掃流力が働いていることが分かる. 断面 2 次流速ベクトル図を見ると, Case-2 では河道の中心付近の流速が大きく, 比較的河川形状に沿って流速が分布しているが, Case-1 では兩岸に流速の大きな位置がみられる. また, Manning 則と対数則によって求めた掃流力では得られた絶対値に大きな差異が生まれ, 今後手法の改良と検証の必要性がある. LES 法では粘性底層を解像せずには境界摩擦抵抗をうまく再現することは困難とされているが, 全体の抵抗を実際と合わせ, 底面近傍に局所の抵抗則, 壁面則を適用することにより少なくともその相対的分布は予測できたといえる.

参考文献

- 1)中山昭彦, 江田智行, 松村友宏: 修正 HSMAC 法による開水路乱流の LES, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.661-666, 2005