

神戸大学工学部建設学科

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

実河川において流域の植生環境保全を考える上で河川流の流況を知ることは重要である。礫原には多様な植物が生育し、近年減少する種があることが問題視されている。河原の植生は出水による攪乱を受けることで維持されており、その保全については洪水時の流れとの関係で捉える事が必要と考えられる。流れの大規模構造を解析するためには近年発展している LES(Large-Eddy-Simulation)が有効な手法だといえる。本研究では LES により実河川流の解析を行い、得られた流況データから河床に働く掃流力の予測を行い、その妥当性を検討する。

2. 数値解析手法

支配方程式は、非圧縮性流体における質量保存式である連続の式の物理量と運動方程式である Navier-Stokes 方程式の物理量をそれぞれ空間平均したものである。乱流モデルは標準 Smagorinsky モデルを用い、変数の計算格子にはスタッガード格子、座標系には直交座標系、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、圧力および水面位置の計算には中山ら¹⁾により開発・検証されている水面計算を組み込んだ修正 HSMAC 法を用いている。また、流入条件には初期水位を仮定し対数則で初期流速を与える。流出条件は自由流出条件、底面・壁面境界条件には No-slip 条件を適用している。

底面掃流力は LES では壁面せん断力として組み込まれているが河原砂礫や植生に作用する力として以下の2つの方法を用いる。1つ目の方法は、開水路粗面における流速分布式(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 を求めることで掃流力を求めている。

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

ここで、 U_1 は壁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、 z は壁面最近傍格子における鉛直方向距離である。 κ はカルマン定数、 k_0 は粗度高さ、 A は積分定数、 ρ は密度である。

もう一方は Manning の式を用いる方法であり、式(2)により掃流力を求めている。

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

ここで、 n は Manning の粗度係数、 R は径深、 g は重力加速度である。

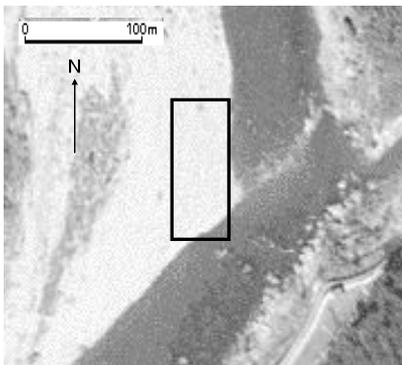


図-1 解析領域

解析に使用する地形(図-1)は希少な植生の生育する揖保川の蛇行部(兵庫県宍粟市山崎町)である。図-1において実線で示した位置にそれらの生育地があることが観察されている。水面上の地形データはレーザープロファイラにより測定し、水面下は河川の横断測量を行いその結果から内挿して求めている。計算領域は、(南北方向長さ、東西方向長さ、鉛直方向長さ)=(113(m), 145(m), 13(m))、格子数は(南北方向、東西方向、鉛直方向)=(114, 146, 66)である。河川流は主に北から南方向に流下している。

3. 結果と考察

本研究では河川流が出水時の流れと平常時の流れの2通りを想定して解析を行った。ここでは出水時の対数則によって求めた掃流力分布図，平常時の対数則によって求めた掃流力分布図，南北方向に x ， $x_{\max} = L$ としたときの $x/L = 1/2$ の断面における出水時と平常時の流速分布，出水時のManning則によって求めた掃流力分布図を示し，それぞれ図-2, 3, 4, 5, 6とする。なお，図-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。

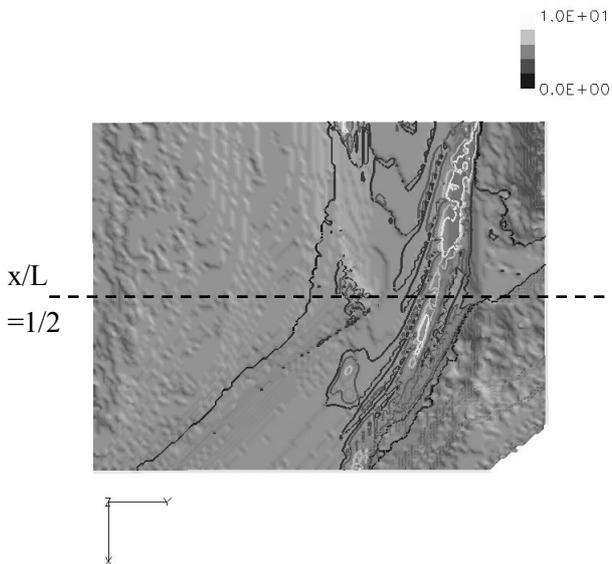


図-2 掃流力分布図 (対数則) ・ 出水時

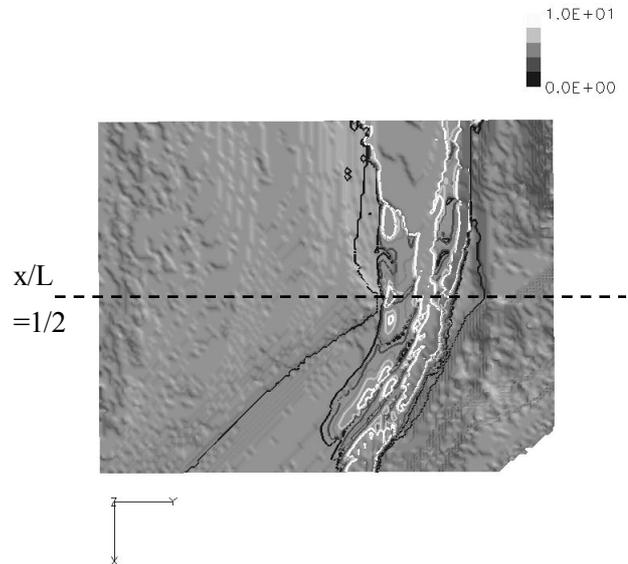


図-3 掃流力分布図 (対数則) ・ 平常時

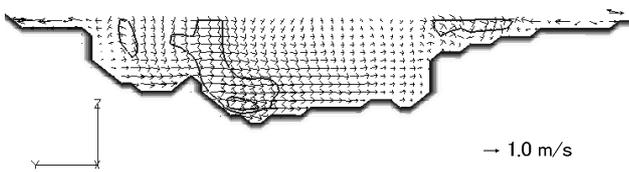


図-4 断面流速ベクトル($x/L=1/2$) ・ 出水時

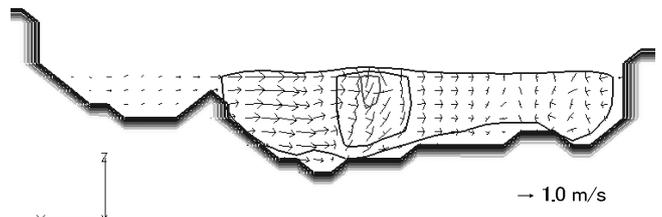


図-5 断面流速ベクトル($x/L=1/2$) ・ 平常時

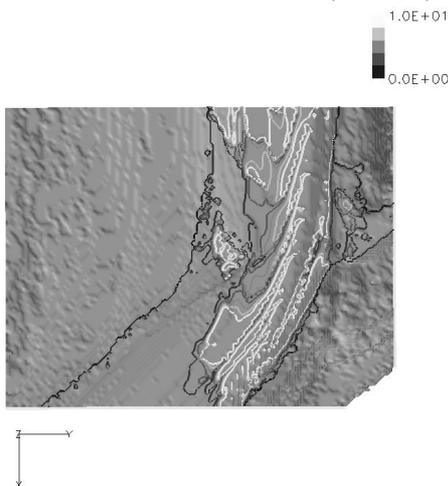


図-6 掃流力分布図 (Manning 則) ・ 出水時

対数則で求めた掃流力分布図を見ると，平常時に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，出水時には比較的左岸側に掃流力が働いている。また，出水時には，植生の生育地の周辺にも掃流力が働いており，この値を精度良く得ることが必要となる。断面流速ベクトル図を見ると，平常時に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，出水時には兩岸に流速の大きな位置が遷移している。特に，植生の生育地付近にも流下方向へ大きな流速が分布しており，植生，および河床砂礫を流す掃流力が作用していることが分かる。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ており，今後手法の改良と検証の必要性がある。

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