

II-282 パソコンによる河川の流れと河床変動の非定常流れ解析

前橋市立工業短大 ○正会員 元島三明
前橋市立工業短大 正会員 梅津 剛
中央大学理工学部 正会員 川原睦人

1. はじめに

数値流体力学の分野では、様々な流れに対してコンピュータによるシミュレーションがなされ、数多くの報告を見る。この種の計算では一般に膨大な解析時間と記憶容量が要求されるため、大型コンピュータやスーパーコンピュータが使われている。しかしながら現場サイドに普及したパソコンには多くの人が接することが出来、そのパソコンによる流体解析も大いに意義あるものと思われる。この様なことから、本研究では解析時間や記憶容量の比較的小さい方法を用いて、パソコンのみで河川の流れと河床変動の非定常流れ解析を行ってみるものである。

2. 基礎方程式

解析手法として本来流体解析には三次元的な取扱が必要だが、本研究では解析領域を水平二次元平面上にとり、鉛直方向に平均化した流速を用いる浅水長波方程式によって河川の流れを取り扱うことにする。

河床変動を考慮した水流を表す基礎方程式は

水流の運動方程式

$$u_i + u_j u_{j,i} + g(H + \zeta + Z)_{,i} - A_I(u_{i,j} + u_{j,i})_{,j} + \frac{gn^2 \sqrt{u_k u_k}}{(H + \xi)^{4/3}} u_i = 0 \quad (1)$$

水流の連続の式

$$\dot{\xi} + \{(H + \xi) u_i\}_{,i} = 0 \quad (2)$$

流砂の連続の式

$$\dot{\eta} + \frac{1}{1 - \lambda} q s_{i,i} = 0 \quad (3)$$

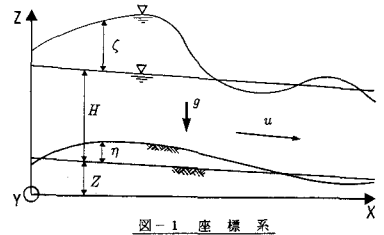


図-1 座標系

座標系は図-1の通りである。ここに平均流速 u_i と水位変動量 ζ および河床変動量 η を変数として表す。

河床変動の考え方としては、掃流砂理論によるものとし、河床構成材料は非粘着性の比較的荒い掃流砂であると仮定する。したがって流れによって生じる掃流力と限界掃流力との関係によって流砂量が決定されると考え、掃流砂量はメイヤー・ピューター・ミュラーの式により決定する。

数値解析としては空間近似には複雑な地形に対しても領域近似に柔軟性のある三角形要素を、時間積分には記憶容量の少なくすむ2段階陽的解法による有限要素法を用いている。さらに流入量の変化に伴う領域の変化には、移動境界手法の導入により予め設定された領域の中に水際線を表現することにより行う。

3. 数値解析例

図-2は解析モデル領域であり、三角形要素によって分割されたメッシュ図である。節点総数1,111、要素総数2,000である。この様に折れ曲がった水路に、A-Bより水が流入し、C-Dより流失する場合の流れと河床変動について本手法を適用する。諸元は以下の通りである。

水路長	10.0 m
水路幅	1.0 m
河床勾配	0.002
砂の平均粒径	0.001 m
マニング粗度	0.02 m ^{1/3} sec

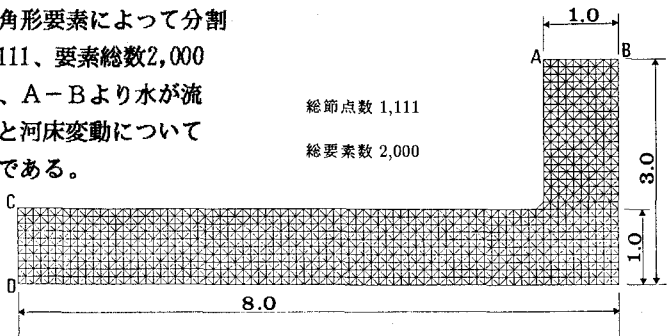


図-2 解析領域図（有限要素分割図）

境界条件としては、上流側流入域で図-3の様な洪水波形の流量を流入させ、下流側流出境界では表面力を与えるものとする。水路壁境界については、流速の外向き方線方向成分をゼロとする、スリップ条件を与える。初期条件は、乾いた河床上を水が流下して行く状態を想定し、水路内の水深はゼロとし、上流境界上のみ水深 0.01mを与えている。

解析結果として、水際線の移動が顕著に見られる解析開始直後の水面の鳥かん図（図4）と、流量がピークに達した時間 $t = 90.0$ 秒の流速図とその時の河床の鳥かん図（図5-a, b）、減水が完了した最後の状態として時間 $t = 300.0$ 秒の流速図とその時の河床の鳥かん図（図6-a, b）をそれぞれ示す。

4. おわりに

河川の流れと河床移動の解析手法として、浅水長波方程式をベースにした2段階陽的有限要素法による手法とその適用例を示した。本解析例に使用した機種は、コプロセッサ付きのパソコン（NEC PC-9801RA）である。本計算に要したCPU時間は約18時間であった。従来までは大型コンピュータを使っている行われてきたこの種の計算が、パソコンによって行うことが出来る様になった。その理由としては、ハード的な進歩にもよるが、本手法が逆行列を解かずに計算を進めていく陽的解法を採用している所にある。どこにでも有るパソコンで、この様な流れ解析が出来ることの有効性は大きい。しかしより規模の大きい実現象等に対する応用には、パソコンレベルでは不可能であり、EWSや大型機によって行われよう。

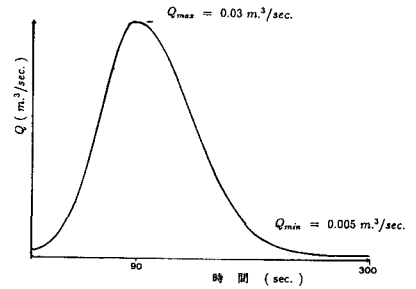


図-3 流入流量ハイドログラフ

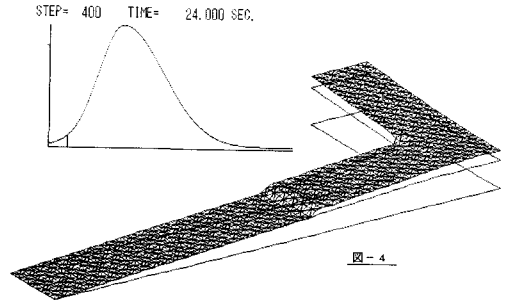


図-4

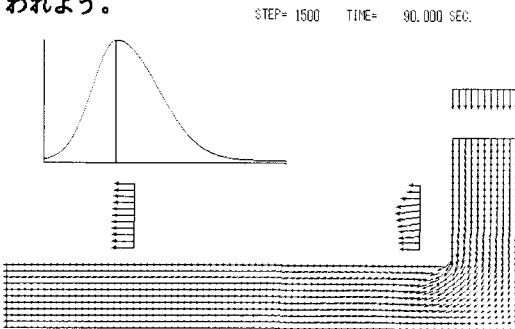


図-5 a 流速図 (T = 90.0 sec.)

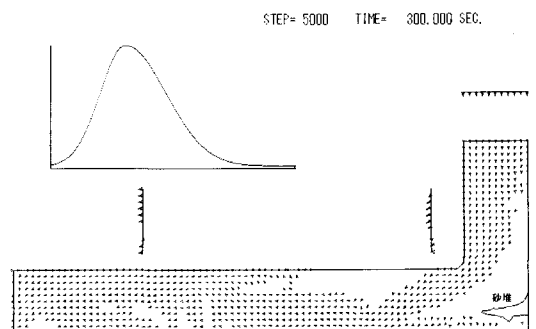


図-6 a 流速図 (T = 300.0 sec.)

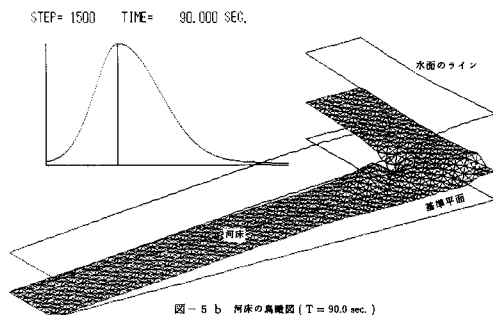


図-5 b 河床の鳥かん図 (T = 90.0 sec.)

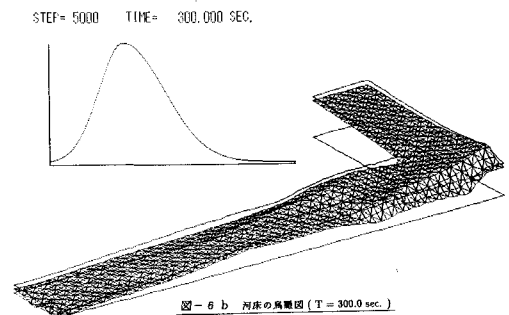


図-6 b 河床の鳥かん図 (T = 300.0 sec.)