

II-24

平面河床変動計算における水制の取り扱いについて

ハイドロリサーチ 正会員 ○穴瀬康雄
徳島大学大学院 フェロー 岡部健士

1. はじめに 計算機能力の向上によって大規模かつ詳細な平面流計算や平面河床変動計算ができるようになり、水制等の構造物を含む河道への適用事例も増えている。一般に詳細な計算とは空間解像度の高い(メッシュの細かい)ものをいい、時間ステップが CFL 条件から相当制約を受けることから、実際河川の計算には入念な予備検討が必要である。水制・橋脚等の構造物を特別な河床高や透過係数を有する幾つかのメッシュで表現するならば、少なくとも横断方向に 5m 未満のメッシュサイズが必要となり、水制長の検討までと欲張ると 1m となる。ちなみに、固定砂州の発達が著しい大河川において水衝部の問題を考えるとき、上流からの流向等を精度良く再現するためには例えば 10km の解析延長が必要となる。ここでは、実河道スケールのモデル河道において、同一諸元の水制を表現の異なる 3 つの方法でモデル化して試行計算を実施した。計算結果に基づき流れ特性および河床変動特性を比較・検討した。

2. 計算モデル²⁾ 流れの基礎式は直交座標系の浅水流方程式である。河床変動は土砂の連続式(一様砂)と平衡掃流砂量式(芦田・道上式)および横断方向流砂量式(長谷川の式)である。離散化は有限体積法で行った。数値計算法として、移流項は一次風上差分、圧力項や拡散項は中央差分、時間積分には leap-frog 法を用いた。流れ解析においては Vasiliev の不安定を防止するために抵抗項を陰的に取り扱っている。

図 1 にモデル河道の諸元を示す。河床勾配は 1/1,000、川幅 200m の中規模河川を想定したもので、水制を 2 基設置している。水制の影響範囲等を考慮して解析延長は 250m とした。ここに流量 $Q=1,150\text{m}^3/\text{s}$ を通水するとき、粗度係数 $n=0.035$ として等流水深は概ね 3m となる。水制は長さ 20m 高さ 1.5m の越流形式で水制間隔を 50m とした。ここでは、水制のモデル化手法の違いが計算結果に与える影響に関心があるため、計算メッシュサイズは流れ方向・横断方向ともに 1m とした。安定解の得られる時間ステップは 0.01 秒となった。ちなみに、実務計算において流れ方向 1m の採用は相当難しいと思われる。

この 2 基の水制について表現の異なる 3 種類のモデル化を試みた(表 1 参照)。CASE F1 は極力詳細な形状、すなわち図 2 左のように上流側 1 割勾配、下流側 3 割勾配を反映したもので、実物に近い形状をしている。

CASE R1 は、形状をラフに表現したもので、流れ方向には 1 メッシュだけを水制天端高まで持ち上げている。CASE L1 は、氾濫計算で道路等の連続盛土構造物をメッシュ境界部に設定する方法を援用したものである。

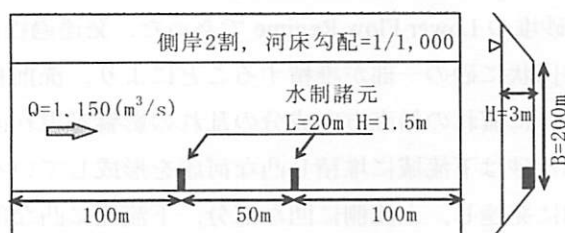


図1 モデル河道

表1 検討ケース

CASE	幾何条件
F1	形状詳細
F2	F1を上向き
R1	形状ラフ
R2	R1を上向き
L1	線状表現
L2	L1を上向き

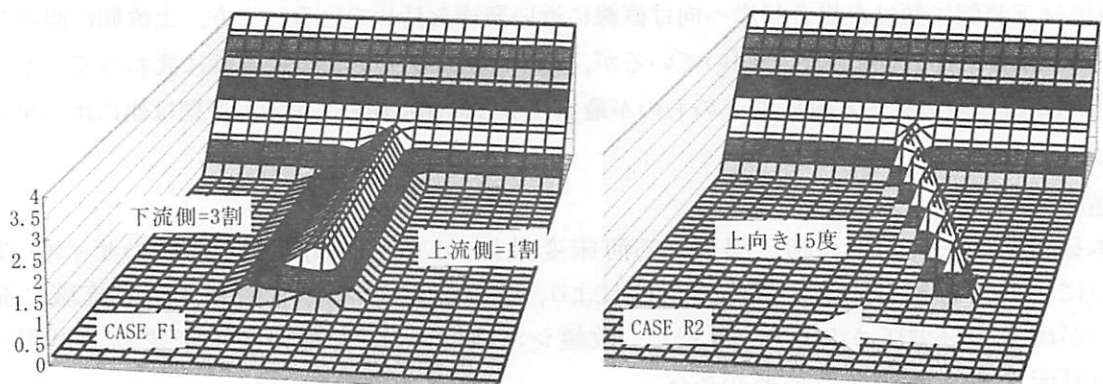


図2 水制のモデル化

メッシュ河床高とは別に境界部に水制高を定義しておき、流れ計算の際には運動方程式を解くかわりに越流公式等で運動量を算定する。CASE F2・R2・L2 は図 2 右のように上向き 15 度に設置したケースである。

3. 平面流計算 各検討ケースの平面流計算を実施して流れ場を比較した。図 3 に流速コンターを示す。全体的に水制先端部で加速し、水制直下流が減速しており、周知の特性に合致する。ケース毎に加速域の範囲や流速値は類似しているが、減速域は個々の特徴が見られる。CASE F1 では上流側水制の中央付近に高速流が発生しており下流死水域に大きく影響している。それ以外のケースでは概ね死水域となっている。メッシュ境界に水制を表現した CASE L1・L2 では、上の 2 方法と比べて加速・減速の差が若干小さくなっており、これを解消するためには水制面が受ける流体効力の反力を運動量算定時に考慮する等の補正が必要である。なお、当該方法はメッシュ境界で表現することから、流れ方向のメッシュサイズとは独立して設定できる点に大きなメリットを感じる。地盤高で水制を表現する場合には例えばメッシュサイズが 20m ならば水制も 20m とせざるを得ない。また、水制を表現するためにメッシュを縮めると CFL 条件から時間ステップはさらに厳しいものとなる。

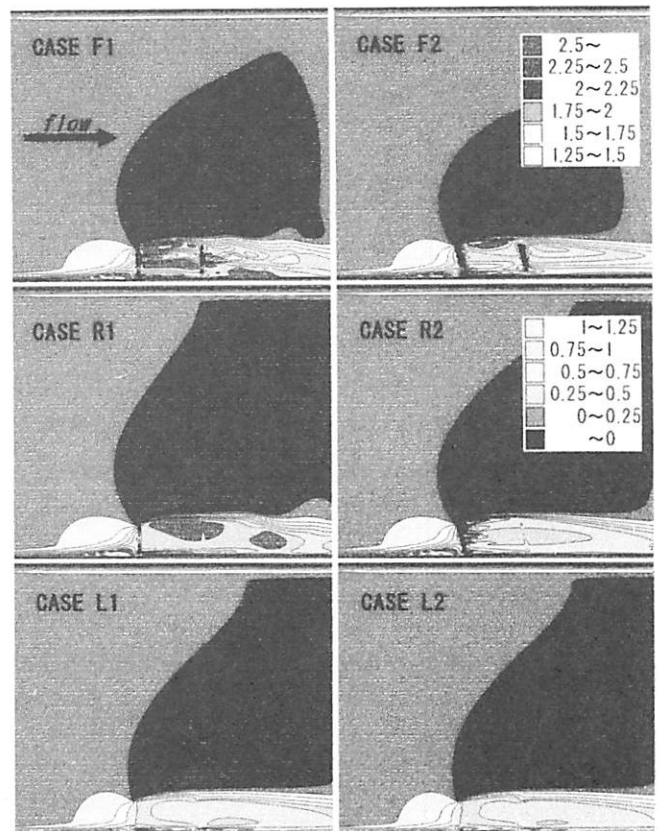


図3 流速コンター 単位 (m/s)

4. 河床変動計算 水制先端の加速域以外では概ね移動限界程度となる粒径を設定して($d=25\text{mm}$)、河床変動計算を実施した。水理条件は平面流計算と同じとして静的平衡まで計算した。図 4 に河床変動量を示す(紙面の都合上 CASE F1・L1 を選び水制付近を拡大図化している)。両者とも水制先端の加速域で洗掘される状況は同じであるが、洗掘の形状や堆積具合など相違点も多い。河床と流れが相互干渉しつつ変化が進むので、平面流結果よりも差異は大きい。メッシュで水制を表現するケースでは、水制を固定床とし河床低下させない(堆積は認める)処理をしている。さらに横断方向流砂量式中の斜面勾配算定時には、水制部(固定床)と隣接移動床とで定義される河床勾配を無効とする等の工夫をしている。一方、メッシュ境界を利用したケースでは河床全体を通常の移動床として取り扱っており、特別な処理はしていない。今回の試算は非常にシンプルな河道モデルに定常流量を通水するといった単純な条件であったため安定した計算結果が得られたが、実問題への適用を念頭

においた更なる検討が必要と考えており、系統的な数値実験を積み重ねたいと考えている。

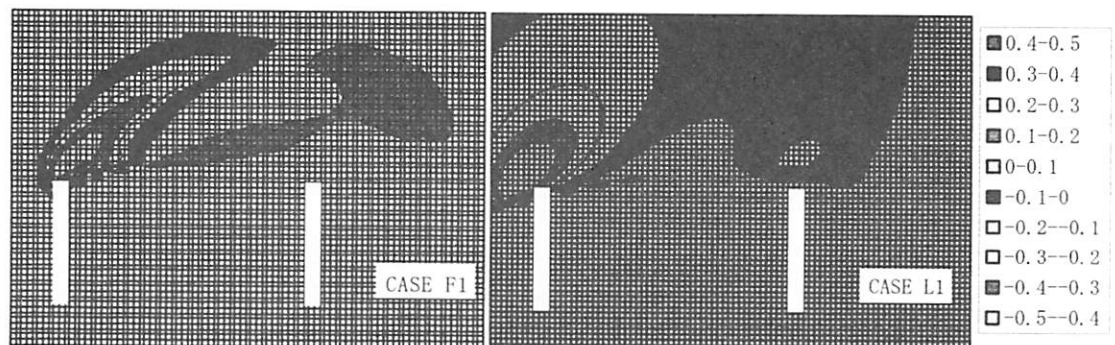


図4 河床変動量 単位 (m)

1) 大槻・芦田・阿部・和田・藤田：水制による流れ制御と護岸・護床機能の予測方法，土論集，No. 663，II-53，2000。
2) 穴瀬・岡部：平面河床変動計算の数値安定性に関する検討，四国支部第 12 回技術研究発表会，H18。