

II-295

堆砂前面付近の流れと河床変動計算の安定性

神戸市立工業高等専門学校 正会員 日下部 重 幸
鳥取大学 工学部 正会員 道上 正 規
京都大学 農学部 正会員 藤 田 正 治
鳥取大学 工学部 正会員 檜 谷 治
鳥取大学地域共同研究センター 正会員 宮 本 邦 明

1. はじめに

常射流が混在するような急勾配水路における堆砂計算ではマッコーマック法が便利であるが、堆砂が発達してくると計算が不安定になることがある。¹⁾ 本研究はその原因を詳細に検討するとともにその改善策を提示するものである。

2. 堆砂計算の不安定性の要因

急勾配水路で跳水を含むような流れにおいて堆砂計算をマッコーマック法を用いて行くと、ある程度の時間までは精度よく計算することはできるが、デルタの高さが高くなるとデルタ前面付近で急に計算が不安定になる。そこでデルタ先端付近における水位と下流端水位の関係に着目して不安定性の要因を探る。計算はデルタの先端付近で緩勾配になるCaseT-1と急勾配になるCaseT-2の2種類について行った。

計算条件は、長さ $L=1100\text{cm}$ 、単位幅流量 $q=93.8\text{cm}^2/\text{s}$ 、砂の粒径 $d_m=0.1\text{cm}$ 、粗度係数 $n=0.016$ で、初期河床勾配 i 、単位幅給砂量 q_b 、下流端水深 H_d はCaseT-1で $1/500$ 、 $0.5\text{cm}^2/\text{s}$ 、 16cm 、CaseT-2で $1/50$ 、 $2.0\text{cm}^2/\text{s}$ 、 28cm である。給砂量は上流端における平衡流砂量としている。差分間隔 Δx を 22.5cm 、流れと河床変動に対する人工粘性係数 k_v 、 k_z を 5.0 として河床変動を計算するとそれぞれ通水時間 $t_0=60.5$ 分と 5.5 分で計算が発散した。発散に至るまでの下流側水深の変化を $H_{d1}/(\Delta z_1+E_1)$ と t/t_0 の関係で表すと図-2のようになる。またCaseT-1に対する実験値も示した。ここで H_{d1} および (Δz_1+E_1) は、図-1のようにデルタ先端脚部を基準高さとしたときの下流端の水深およびデルタ先端から1つ上流側の全エネルギーの高さである。 t は通水時間を、 t_0 は計算値では発散までの時間を実験値では満砂までの時間を示している。 $H_{d1}/(\Delta z_1+E_1)$ の値を見ると、通水初期には実験値と計算値が近似している。しかし堆砂の進行に伴って、実験値は若干増加するのに対し、計算値は次第に低下し両Caseとも 0.7 付近で計算が発散している。したがって、デルタが時間の経過とともに高くなりすぎて、段落ち部の越流のような流れの状態になり、不安定性が生じているものと考えられる。そこで次章で段落ち部の水面形について検討する。

3. 段落ち部の水面形

図-3、4のような段落ち流れCaseS-1、CaseS-2について計算を行った。計算条件は $L=540\text{cm}$ 、 $q=98.5\text{cm}^2/\text{s}$ 、段落ち高さ $\Delta z=4\text{cm}$ 、下流部勾配 0 、 $n=0.0097$ 、 $\Delta x=22.5\text{cm}$ 、 $k_v=6$ とした。上流部の勾配は堆砂デルタ先端で緩勾配および急勾配になる場合に対応させCaseS-1で $1/500$ 、CaseS-2で $1/50$ とした。下流端の水深 H_d は、CaseS-1

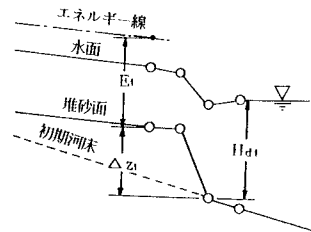


図-1 デルタ前面付近の河床高と水位

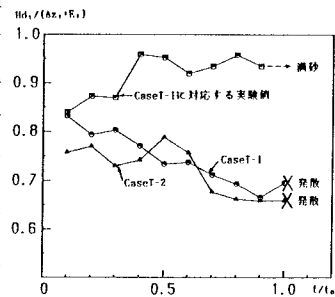


図-2 発散までの $H_{d1}/(\Delta z_1+E_1)$

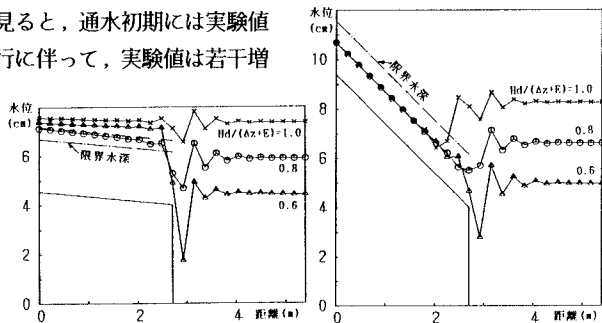


図-3 CaseS-1の段落ち流れ

図-4 CaseS-2の段落ち流れ

の場合のもぐりせき、不完全越流および完全越流に相当するよう $H_d/(\Delta z+E)$ の値を1.0, 0.8および0.6とした。段落ち上流が緩勾配の図-3を見ると、完全越流の場合段落ち先端部で水深が限界水深以下になり、段落ち上流部で低下背水になるべき水面形がせき上げ背水になっている。段落ち上流部が急勾配の図-4についても下流端水深が下がるに段落ち先端部で水深が等流水深以下となり一つ上流側の水深が大きな値を示している。これらはいずれも下流側の水深が下がるに段落ち先端部で水深が小さくなり一つ上流側の水深が大きくなることを示している。このように下流側の水深が低くなると段落ち先端部の水深が過小に評価され段落ち部が緩勾配のときは限界水深以下に急勾配のときは等流水深以下となる。そこでCaseS-1, S-2に対し段落ち高さ Δz および下流端の水深 H_d を種々変化させ $\Delta z/h_0$ と $H_d/(\Delta z+E)$ をパラメータとして段落ち先端部の Fr を示すと図-5, 6のようになる。図をみると $H_d/(\Delta z+E)$ の値が0.7~0.8以下で段落ち先端部の Fr が発生し得ない値を示し、この値がさらに低下して0.6付近になると上流側の水面形が前述のような形状になることが分かる。

4. デルタ先端付近の河床変動
前述の考察から推測すると $H_d/(\Delta z+E)$ が0.7~0.8以下さらに0.6位まで低下するとデルタ前面付近の計算による水面形が図-7のような状況になると考えられる。この水面形ではA断面で水深が小さく、一つ上流側のB断面で水深が大きくなる。そのためB断面で流速が遅くなり掃流力が低下してB断面より上流で砂が堆積する。砂が堆積するとますます $H_d/(\Delta z+E)$ が小さくなりA断面の水深は過小に、B断面の水深は過大に評価され不安定性が強くなる。これが堆砂計算時の大きな不安定要因の一つと考えられる。

4. デルタ先端付近の河床変動

前述の考察から推測すると $H_d/(\Delta z+E)$ が0.7~0.8以下さらに0.6位まで低下するとデルタ前面付近の計算による水面形が図-7のような状況になると考えられる。

この水面形ではA断面で水深が小さく、一つ上流側のB断面で水深が大きくなる。そのためB断面で流速が遅くなり掃流力が低下してB断面より上流で砂が堆積する。砂が堆積するとますます $H_d/(\Delta z+E)$ が小さくなりA断面の水深は過小に、B断面の水深は過大に評価され不安定性が強くなる。これが堆砂計算時の大きな不安定要因の一つと考えられる。

そこで図-2についてももう一度考察してみると、最初 $H_d/(\Delta z+E)$ の値が

0.8付近にあり問題なく計算できている。堆砂の進行とともに Δz が大きくなり $H_d/(\Delta z+E)$ が次第に小さくなっていくが0.7~0.8付近の値ではまだ計算できている。しかし0.7を切るとデルタ前面に砂が堆積してやがて発散する。これは図-3からも分かるように $H_d/(\Delta z+E)$ が0.8では上流部の水面形が低下背水であるのに対し0.6に近付くとせき上げ背水となりデルタ先端付近に砂が堆積し始めるために起こると考えられる。もしこれらの状況が、デルタ先端部での水深が緩勾配の場合限界水深 h_0 以下、あるいは急勾配の場合等流水深 h_0 以下になることが原因とすれば、計算時にデルタ先端部の水深を h_0 あるいは h_0 に置き換えるようにすればいままでのことは起こらないはずである。

5. おわりに

デルタ前面が緩勾配および急勾配の場合について、堆砂計算の不安定性の要因を見だし、その改善策について考察した。今後これらの結果に基づいて、計算法も検討するつもりである。

参考文献

- 1) 日下部・道上・藤田・檜谷・宮本：マッコーマック法を用いた砂防ダム上流の堆砂計算法に関する研究，水工論文集第40巻，pp977-982，1996.2

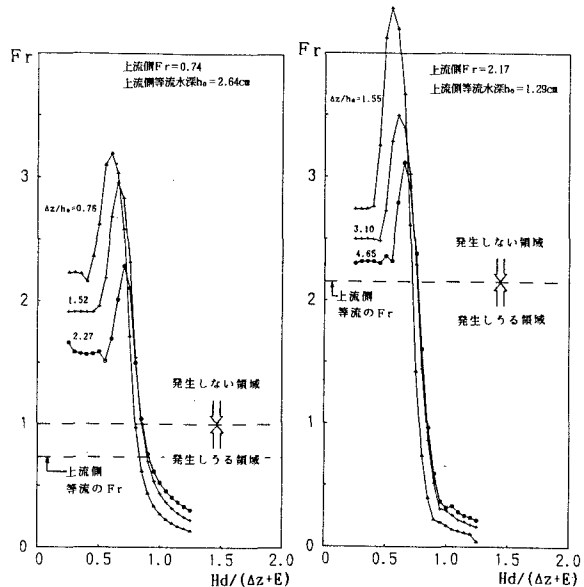


図-5 段落ち先端部の Fr (CaseS-1)

図-6 段落ち先端部の Fr (CaseS-2)

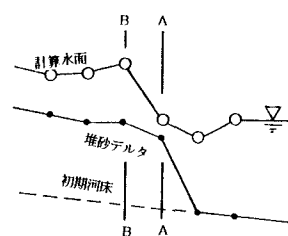


図-7 デルタ前面付近の河床