

流量急変時の砂州波高変化について

Sand wave height change in discharge is sudden change

北海道大学大学院 ○学生員 中西哲 (Satoru Nakanishi)
北海道大学大学院 フェロー 黒木幹男 (Mikio Kuroki)

1. はじめに

洪水等による急激な流量変化は深ぼれを発生させ、河岸の構造物を崩壊させる危険がある。そのため、砂州の形状およびその挙動を予測することは、わが国の河川の状態を考えると大変重要な問題である。

数値計算で洪水時のハイドログラフをステップ状に変化すると仮定するとき、まずそのひとつのステップが砂州にどのような影響を与えるかを知る必要があると考えられる。

そこで本研究では、同一条件の水路において、流量 Q を非定常的に増加、減少させることにより砂州の形状、特に波高に着目し、それがどのように変化するかを考察する。

2. 計算方法

本研究において流れの計算に関しては清水ら¹⁾と同様に、二次元浅水流モデルを用いる。

河床変動の計算は、河床材料を混合粒径とし掃流砂のみを対象とした。各粒径の流下方向、横断方向の流砂量はそれぞれ粒径別の Meyer・Petter-Muller 式(1)および長谷川の式(2)よりとめる。

$$\frac{q_{Bsi}}{\sqrt{sgd_i}} = 8P_i(\tau_{*i} - \tau_{*ci})^{\frac{2}{3}} \tag{1}$$

$$q_{Bi} = q_{Bsi} \left(\frac{v}{u} - N_* \frac{h}{r} - \sqrt{\frac{\tau_{*ci}}{\mu_s \mu_k \tau_{*i}}} \frac{\partial z}{\partial n} \right) \tag{2}$$

ここで、 P_i は粒径 d_i が交換層中に占める割合を、 τ_{*ci} 、 τ_{*i} はそれぞれ各粒径の無次元限界せん断力、無次元せん断力、 μ_s 、 μ_k はそれぞれ河床材料の静止および動摩擦系数である。各粒径の無次元限界せん断力は浅田の式²⁾をもちいた。各粒径の粒度分布の計算には交換層の概念に

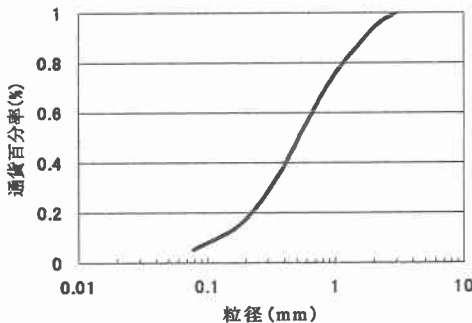


図-1 河床材料の粒径加積曲線

よる平野の方法³⁾をもちいた。なお、交換層の厚さは最大粒径と等しくしている。

以上の式を離散化し、繰り返し計算により、流速、水位および河床変動量をもとめる。

3. 計算条件

計算領域は実験室レベルを想定し、水路長 7.5m、幅 0.9m 河床勾配 1/250 の単矩形直線水路とし、境界条件は周期境界条件を用いた。

混合粒径は平均粒径が 0.9mm であり、図-1 に示す粒度分布を与えた。初期河床において河床全体の粒度分布を上記のもので与えた。

Manning の粗度係数 n は計算領域を実験室レベルとしたため、河床波の影響を考慮しない式(1)であたえ、流下方向、横断方向の河床せん断力は、Manning 型の抵抗則を用いて計算を行った。

$$n = \frac{d_m^{1/6}}{6.9\sqrt{g}} \tag{1}$$

ここで、 g は重力加速度、 d_m は混合粒径河床材料の平均

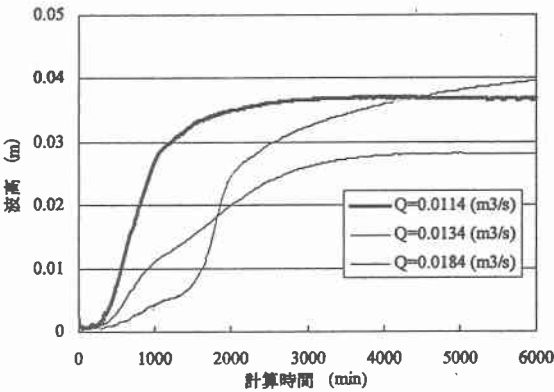


図-2 波高の生成過程

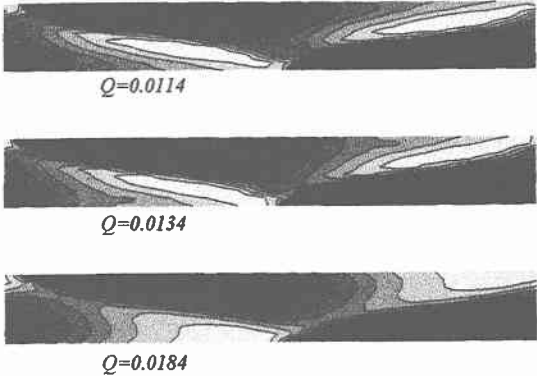


図-3 河床コンター図

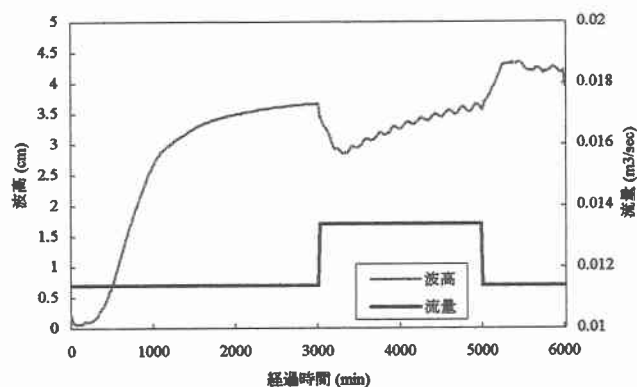


図-4

粒径である。

以上の諸条件を用い流量を変化させ計算を行う。流量に関しては黒木・岸の領域区分図⁴⁾の砂州の発生条件が交互砂州となる流量 $Q_1=0.0114\text{m}^3/\text{s}$ 、 $Q_2=0.0134\text{m}^3/\text{s}$ 、 $Q_3=0.0184\text{m}^3/\text{s}$ の3ケースとし、はじめに比較対象のためそれぞれの流量を一定値とした計算を行い、砂州の形状を調べた。

次に Q_1 を基本の流量とし、 $Q_1 \sim Q_2 \sim Q_1$ へと変化した場合について、また $Q_1 \sim Q_3 \sim Q_1$ へと変化した場合の計2パターンの非定常的な流量を与えた砂州の形状特性を調べた。

4. 計算結果

(i) 流量一定の波高変化

各流量における砂州波高の時間変化を図-2に示す。計算時間6000分の波高は $Q=0.0134\text{m}^3/\text{s}$ のケースが最も卓越した値を示すが、同時に生成時間が遅くなり計算時間内では平衡状態の結果を得ることができなかった。

$Q=0.00184\text{m}^3/\text{s}$ のケースで波高は3ケースの中で低い値を示した。このことは流量 Q の上昇により、領域区分図の砂州非発生区域に近づいたからだと考えられる。

次に、計算時間4000分程度における河床コンター図を図-3に示した。砂州の形状は Q_1 、 Q_2 はさほど変化は感じられないが、 Q_3 については他の2ケースと比較して崩れた形になっていることが見て取れる。

(ii) 流量を変化させた場合

流量の変化は計算時間3000分で増加させ、5000分で減少させた。なお、 Q_3 から Q_1 へと変化させる過程で計算上の安定を図るため、階段状に流量を減少させた。

図-4および図-5は流量変化を考慮した計算時間と波高の発達状況の関係図を示す。

両パターンとも流量増加の際波高が著しく低下し、流量減少の際には上昇していることが見られ、変化の傾向は流量の変化の大きさに依存している。

波高の低下はともに図-2で示した値よりも低い位置へと落ち込み、そこから再度発達している。波高上昇時は逆に図-2よりも高い位置へと上昇している。

両パターンとも同じような曲線を描いているが、流量を多い流量時に図-5ではスムーズな曲線を描いている

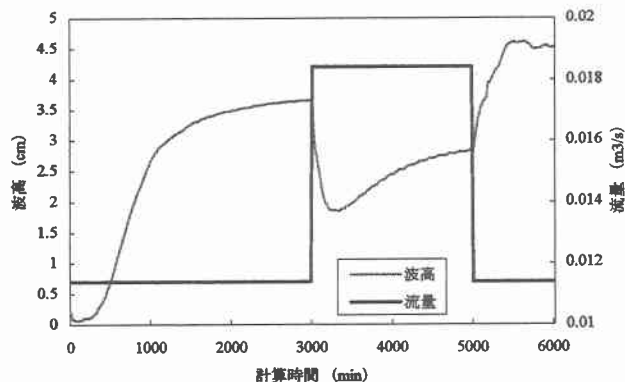


図-5

のに対し、図-4では振動の現象があらわれた。また波高の上昇がピークを過ぎた後にも振動が見られる。

なお、各流量時の砂州の形状は図-3の状況とほぼ同じであり、図-4にみられる波高振動時についても、その位相に関わらず同様の形状であった。

5. 考察



図-7

今回の数値計算では、流量急変時のさまざまな現象を見ることができた。特に流量増加時の波高の低下現象について検討する。図-6に Q_1 から Q_3 へと増加させたケースにおいて、計算時間が3080分つまり波高低下している時間の河床コンター図を示す。形状は Q_1 の状態から崩れ Q_3 における形状へと推移している。また、波高は2.5cmと $Q=Q_3$ の条件でとりうる値である。がしかし、その後も波高は著しく低下していく。その原因として、砂州を形成する他のパラメータ（たとえば砂州の移動速度等）が Q_3 における条件を満たしていないと予想される。また、今回の計算では周期境界を用いたことにより、砂州波長を固定したことも原因のひとつだと考えられる。

今後の課題としては、各種パラメータに関する検討が必要であろう。

参考文献

- 1) 清水康行, 板倉忠興: 河川における2次元流れと河床変動の計算, 北海道開発局土木試験所報告 第85号, 1986.
- 2) 平野宗夫: Armoringをともしう河床低下について, 土木学会論文報告集 第195号, pp.55-65, 1974.
- 3) 浅田: 山地河川の流砂量と貯水池における堆砂の過程に関する研究, 北海道大学博士論文, 1974.
- 4) 黒木幹男, 岸 力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集 第342号, pp.87-96, 1984.