

数値計算における粗度係数が砂州の形状に与える影響

Effects of Roughness Coefficient on Numerical Calculation of Sandbars

北海道大学大学院工学研究科 ○学生会員 松山 洋平 (Yohei MATSUYAMA)
 北海道大学大学院工学研究科 学生会員 中西 哲 (Satoru NAKANISHI)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 黒木 幹男 (Mikio KUROKI)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 板倉 忠興 (Tadaoki ITAKURA)

1. はじめに

著者らはこれまで、主に二次元流れと河床変動の数値計算を行い、基礎的なデータを得てきた。これらの計算を行っていく過程で、計算条件やパラメーターの値を適切に与えないと、砂州の形状が変化した経験がある。そこで、本論文では同一条件の水路において、Manning の粗度係数 n および河床材料の粒径 d に着目し、それらを独立に変化させて河床変動計算を行い、砂州の形状がどのように変化するかを比較する。

2. 数値計算方法

流れの数値計算には、二次元 Navier-Stokes 方程式および流れの連続式からなる浅水流モデルを用いる。河床変動の計算は、掃流砂のみを対象に、流砂の連続式および流砂量式として Meyer-Peter-Müller 式を用いる。これらの方程式を基礎式として、差分法により計算を行う。数値計算の具体的な方法は、清水ら¹⁾と同様である。

3. 計算条件

計算に用いる流れには、実験水路スケールと、実河川スケールの二種類の水路を想定する。水路条件は表-1に示すとおりである。黒木・岸の領域区分図²⁾によれば、単列砂州が発生する条件である。また、上下流端は周期境界条件を与える。

これらの条件では、河床に単列砂州が形成される。それぞれの水路において、砂州の形状がほぼ安定するまで計算を行う。まず、実験水路スケールのケースにおいて、河床材料の粒径 $d=0.25\text{mm}$ 、 0.5mm 、 0.75mm 、 1.0mm について計算する。このときの Manning の粗度係数 n は、河床が平坦であると仮定して、次式で与える³⁾。

$$n = \frac{d^{1/6}}{6.9\sqrt{g}} \quad (1)$$

ただし、 g は重力加速度である。

次に、小規模河床形態の抵抗則には関係なく、河床材

料の粒径 d を固定し、粗度係数 n を変化させる。それぞれの粒径のケースについて $n=0.015$ 、 0.02 、 0.03 、 0.04 を与え、計算する。

実河川スケールの水路においては、 $d=1.0\text{mm}$ とし、式(1)より求めた n と、これとは別に $n=0.02$ 、 0.03 、 0.04 を与えたものを計算する。

本来、 d と n が式(1)以外により評価できる、あるいは d と n が独立して与えられるのは、河床に小規模河床波が存在し、さらに洪水等により流量が変化した場合等である。

すなわち、 d と n をそれぞれ独立して与えることは、人工的に河床波の存在を仮定して計算することであり、式(1)より求めたものとは異なる n を与えることは、特に実験スケールの水路では、実現象としては考え難い。しかし、本研究においては、 d と n を個別に与えることによる砂州形状への影響を評価するため、実験水路スケールの計算例においても、あえてそれらを独立して与える。

小規模河床波は砂堆河床、態毎に無次元掃流力 τ_* と無次元有効掃流力 τ_{*c} の関係およびそれらの掃流力と Manning の n の関係が定式化されている³⁾。しかし、本解析では河床は平坦であると仮定し、すべてのケースについて $\tau_* = \tau_{*c}$ とした。

これらのことを前提として、流量を一定とし、 d と n を独立して与えることとした。

4. 計算結果および考察

これらのケースについて計算した結果、砂州の波高、砂州がほぼ定常に達するまでの時間、砂州の波速などに違いが見られた。ここでは紙面の都合上、主に砂州の波高、形状についての違いを示す。

図-1 および図-2 に砂州波高の定義および実験水路スケールにおける n と砂州の波高 Z_B の関係を示す。いずれのケースにも共通して、 n が大きくなると Z_B も大きくなる傾向が見られる。しかし、 $d=0.25\text{mm}$ 、 $n=0.04$ の

図-1 砂州波高 Z_B の定義図

表-1 計算水路の条件

スケール	実験水路	実河川
計算区間長(m)	7.5	1500
水路幅(m)	1	200
河床勾配	1/500	1/500
流量(m ³ /sec)	0.0112	3000

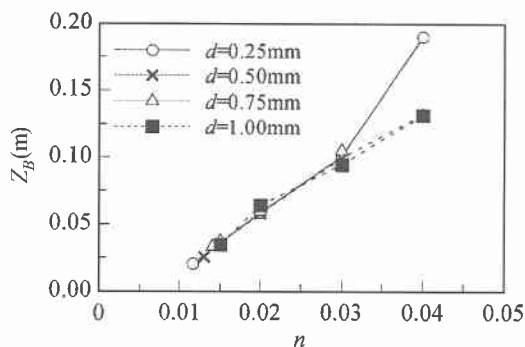


図-2 n と Z_B の関係 (実験水路スケール)

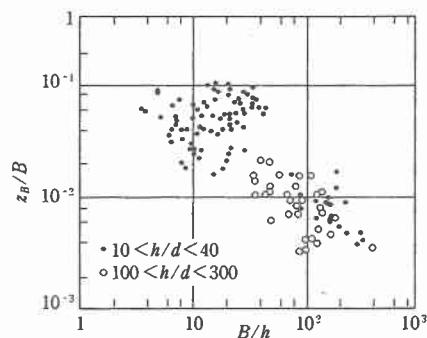


図-3 砂州波高と水深の関係

ケースを除いて、 d による波高の変化は見られない。図-3 に示す砂州波高と水深の関係⁴⁾によれば、水深/水路幅が大きくなれば砂州波高 Z_B が低くなる。すなわち、 n が大きくなれば水深が増加し、砂州波高が低くなる。また、本解析ではほとんどのケースで $h/d > 100$ であり、砂州波高が h/d にはあまり左右されないこともわかる。

実験水路スケールの計算例における、河床形態の違いが比較的明確な、 $d=0.25\text{mm}$ の場合の、 $n=0.0116$ および $n=0.03$ のケースの河床コンター図を図-4 に示す。 $n=0.0116$ は式(1)より得られる値である。これらから、砂州形態の違いは明らかである。砂州の波高もかなり異なる。

図-5 に実河川スケールのケースの計算結果における n と Z_B の関係を示す。この条件の下における n から、小規模河床形態を分類すると、ほぼ Antidune の領域であった。ただし、全てのケースにおいて $n=n'$ と仮定しており、 n もある程度任意に決定したため、人工的に Antidune を仮定して抵抗を評価していることになるが、本解析では河床波によって正確に掃流力を評価していない等の理由から、必ずしも Antidune の特性を表現しているわけではない。これらのことをさらに詳しく考察するには、洪水流などを与え、さらに河床波の区分により掃流力の評価を行うこと等が必要である。



(b) $d=0.25\text{mm}$ 、 $n=0.03$ のケース



(a) $d=0.25\text{mm}$ 、 $n=0.0116$ のケース

図-4 砂州形態が異なる例

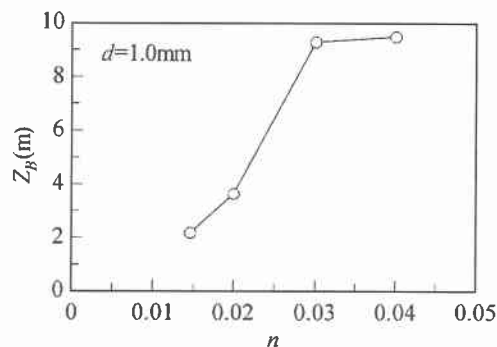


図-5 n と Z_B の関係 (実河川スケール)

5. おわりに

本論文では二次元浅水流モデルによってこれらの計算を行ったが、これらの結果のように、抵抗の評価方法によっては、 n 等のパラメーターの値が不適切な場合、砂州の波高ばかりではなく、図-4 で示されたように砂州形態までもが全く異なる場合があることが確かめられた。したがって、抵抗等のパラメーターを正確に評価しないと、正確な流れや河床変動の予測は困難であるといえる。

また、実現象においては、洪水など流れの状態が変化しても、 n が変化しない場合もあり、河床波の区分を仮定して掃流力の評価を行うことが適当であるとは、一概にはいえない。今後は、小規模河床波と抵抗の関係を評価して計算を行い、さらに詳しくこれらのことを調べるのが課題である。

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) 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.
- 3) 岸力, 黒木幹男: 移動床流における河床形状と流体抵抗(I), 北海道大学工学部研究報告第67号, 1973.
- 4) 土木学会水理委員会: 水理公式集平成11年度版河川編, p.185, 2000.