

1 次元数値解析モデルによる浮遊砂濃度分布の計算

The calculation of concentration distribution of suspended sediment by one dimensional analysis model

北海道大学工学部 学生員 ○守屋 敦志 (Atsushi Moriya)
 北海道大学工学部 学生員 松山 洋平 (Youhei Matsuyama)
 北海道大学工学部 フェロー 黒木 幹男 (Mikio Kuroki)
 北海道大学工学部 フェロー 板倉 忠興 (Tadaoki Itakura)

1. はじめに

日本最大の湿原である釧路湿原は、今日乾燥化が進行し、その面積が減少しているといわれている。乾燥化に伴う面積の減少と、その影響に伴う植生分布の変化により、湿原に生息する特別天然記念物タンチョウやキタサンショウウオ等の貴重な生物を含む生態形の破壊が危惧されている。本研究では、釧路湿原の乾燥と湿原に流入した土砂の堆積の関連を考えるため、流入する土砂の堆積を予測することが目的であるが、本研究ではその基礎として、湿原に流入する浮遊砂の挙動を一次元数値解析により調べる。

2. 基礎理論

本研究では一次元数値計算により水理条件が与えられた場における断面平均濃度 C の変化を求める。この場合断面平均濃度 C の変化は、Fick タイプの拡散方程式を全断面にわたって積分した次式から求められる(矩形断面の場合)。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{C}h) + \frac{1}{B} \cdot \frac{\partial}{\partial X}(Q\bar{C}) = \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial X} \left(\varepsilon_X B h \frac{\partial \bar{C}}{\partial X} \right) + w(C_E - C_B) \quad (1)$$

ただし、 C :断面平均濃度[ppm/h], h :水深[m], B :水路幅[m], Q :流量[m³/s], ε_X :縦方向の拡散係数, w :沈降速度[m/s], x :縦方向の距離[m], t :時間[s]。ところで、底面濃度を求める計算において、式(1)の左辺第1項(時間変化の項)と右辺第1項(縦拡散の項)は無視されることがある。流れ場を対象とする場合、前者の近似はあまり問題がないようである²⁾。ここでは、まず後者の近似妥当性の検討を簡単なモデルを用いて行った。

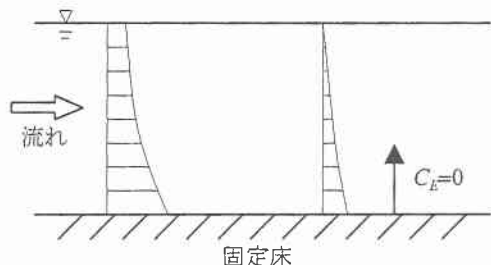


図 水路概略図

図に示すように、固定床である幅一様な水路を考える。流れは等流であり、全ての部分で河床砂の Pick-Up はな

い($C_E=0$)ものとする。また、拡散係数は $\varepsilon_X = \gamma u_* h$ (u_* :河床摩擦速度), γ :定数と表せるものとする。このような単純化を行うと(1)式は次式のように書き直すことができる。

$$u \frac{\partial \bar{C}}{\partial \xi} = \gamma \cdot u_* \cdot \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial \xi^2} - w \cdot C_B \quad (2)$$

ただし、 u_* :摩擦速度[m/s], $\xi = x/h$:無次元距離。

(1)式と非平衡浮遊砂の濃度分布式

$$C(\xi) = C_B \cdot \exp(-R\xi) + R(C_B - C_E) \cdot \xi \cdot \exp[-(R+1)\xi] \quad (3)$$

$\xi (= \gamma/h)$ を 0 から 1 まで積分したものと(2)を C について解くと簡単に解析解が求まる。またこのときの境界条件は Lane-Kalinske の浮遊砂量式、から C_0 :河床($y=0$)における浮遊砂濃度(ppm)

$$C_0 = 5.55 \Delta F(W_0) \left\{ \frac{u_*}{2w_0} \exp \left\{ - \left(\frac{w_0}{u_*} \right)^2 \right\} \right\}^{1.61} \quad (4)$$

ここに、 $\Delta F(w_0)$:沈降速度が w_0 の粒子が河床砂礫中に占める割合(%)である。本研究では、浮遊砂の粒径は均一粒径であるから $\Delta F=100$ とする。もう1つの境界条件は $x=+\infty$ において $C(\xi)=0$ である。

3. 対象流域データ

対象とする粒砂は浮遊砂のみとし、平均粒径を用いた均一粒径とする。計算は釧路川スケールの流域を仮定して行う。計算に用いるデータは平成7年観測の釧路川の流域データを参考にした。表.1の数値を用いて計算する。

表.1

潤辺[m]	河積[m ²]	平均粒径[m]	摩擦速度[m/s]
31.894	71.16	0.0028	1.40E-01
径深[m]	流速[m/s]	流量[m ³ /s]	エネルギー勾配
2.231	46.67	0.653	9.10E-05

4. 計算結果

4-1. 数値計算による結果

(1),(3)式から浮遊砂の濃度分布 C を求める。観測点を起点とし、起点から下流 10km までの区間の水深を不等流計算で求め、(1)式を差分化したものと(3)式から C を求

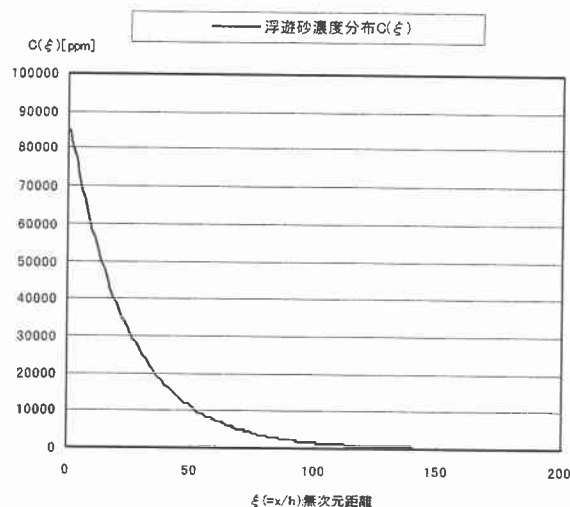


図.1 計算による浮遊砂濃度分布

める。 $\angle k=10\text{m}$ ，マンニングの粗度係数 $n=0.014$ とし，横軸を $\xi=x/h$ 縦軸を $C(\xi)$ とした浮遊砂の濃度分布の計算結果をグラフに示す。このときの境界値 $C(0)=C_0$ の数値を(4)式から求めると $C_0=85,150[\text{ppm}]$ となる。 $C(\xi)$ は ξ の増加とともに減少し， ξ が 150 付近で 0 に収束する。

4.2. 解析的方法

等流を仮定して各条件を与え微分方程式(2)式を C について解くと簡単に解析解が求まる。このときの $C(0)=C_0$ の数値を(4)式から求めると $C_0=87,666[\text{ppm}]$ となる。 $C(\xi)$ は ξ の増加とともに減少し， $\xi=0$ 付近で 0 に収束する。

5. 考察

この 2 つのグラフから $C(\xi)$ の挙動を比較すると，どちらも起点から，無次元距離 ξ が増加するに伴いしだいに 0 に収束していくようすが見てうかがえる。数値計算による結果に比べ，解析による結果の方が緩く収束する原因は，数値計算による結果は，水深を不等流計算で求めているため，起点から 10km 下流付近で水深が若干減少し，それに伴い無次元距離 $\xi = (x/h)$ の数値が増加するためであり，このため $C(\xi)$ が 0 に収束する ξ の数値も増加する。これに対し，解析的方法では水深 h を等流で計算しているためこのような挙動は示さない。

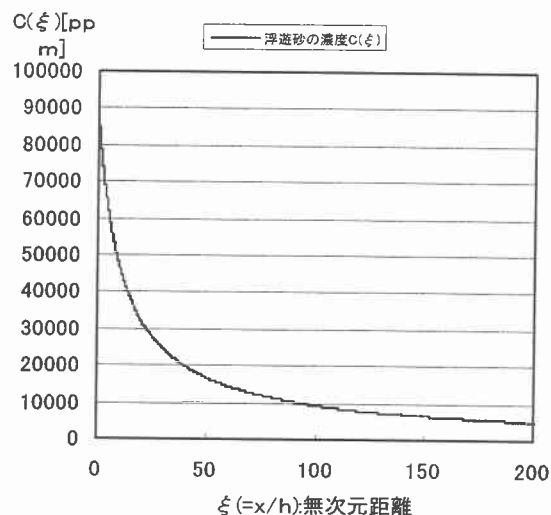


図. 2 数値解析による方法

6. 結論

今回用いたモデルは，釧路湿原に流入した粒砂の拡散モデルとしては，掃流砂を考慮しておらず，加えて流砂の粒径も混合粒径ではなく均一粒径であるので，一番基礎的な条件を考慮したにすぎない。また今回用いたデータだけでは，湿原に流入する釧路川以外の河川のデータ，夏期，冬期での土砂生産量の違い，そして年間での総土砂生産量等が不明であるので，より多くの詳細なデータも必要である。湿原の乾燥との関連を調べるためには，流砂の堆積，掃流砂の考慮，そして二次元数値解析モデルへの発展，さらには河川と湖沼の結合部のような急激に河川断面の形状が変化するような部分に与える境界条件の考慮が課題である。

参考文献

- 1)「水理公式集(平成 11 年度版)」：土木学会
- 2)「非平衡浮遊砂理論とその応用」：黒木幹男，史亜傑，岸力 第 32 回水理講演会論文集 1988.2 pp.407-411
- 3)「河床変動学特論」：環境資源工学専攻 水圏工学講座 河川・水資源工学分野