

岐阜大学工学部 正会員 河村 三郎
岐阜大学大学院 学生会員 〇亀田 茂男

1. はじめに

ダム堆砂に起因する問題には、(1)ダム上流部における河床上昇(バックサンド)(2)ダム下流部における河床低下等がある。このような問題に対して、多くの研究が行われ、掃流砂による堆砂機構はかなり明確にされてきた。しかしながら、浮遊砂による堆砂機構に関しては、従来あまり研究が行われていない。本研究は、ダムにおける浮遊砂の挙動を、差分法を利用して、数値計算を行うことにより解析を行ったものである。

2. 理論的考察

(1)浮遊砂の濃度分布式は、(座標図-1 参照)

$$\partial C / \partial t + u \partial C / \partial x + v \partial C / \partial y + w \partial C / \partial z = \partial (\varepsilon x \partial C / \partial x) / \partial x + \partial (\varepsilon y \partial C / \partial y) / \partial y + \partial (\varepsilon z \partial C / \partial z) / \partial z + W_0 \partial C / \partial z \quad \cdots (0)$$

$$\text{定常状態を考へ、かつ微小量を無視して、} u \partial C / \partial x = \partial (\varepsilon \partial C / \partial z) / \partial z + W_0 \partial C / \partial z \quad \cdots (1)$$

C : 濃度, u : 流速, ε : 拡散係数, W_0 : 沈降速度

$$u \text{ と } \varepsilon \text{ は断面平均値を用いて } x \text{ のみの関数として、} v \partial C / \partial x = \varepsilon \partial^2 C / \partial z^2 + W_0 \partial C / \partial z \quad \cdots (2)$$

$$\text{ここに、} V \text{ : 断面平均流速、} \varepsilon = K U_* h / 6 \quad \cdots (3)$$

K : カルマン定数, U_* : 摩擦速度, h : 水深

$$\text{境界条件式として、} x = 0; \quad C = C_0 (W_0 / U_{*0}) e^{-W_0 z / \varepsilon} \quad \cdots (4)$$

W_0 , U_{*0} , ε_0 は、 $x = 0$ 地点でのそれぞれの値。 C_0 は W_0 / U_{*0} の値に対応する平衡状態における底面濃度で、芦田・道上によって得られている。(図-2)¹⁾ 底面で、 $z = 0$; $\partial C / \partial z = -W_0 C_0 (W_0 / U_{*0}) / \varepsilon \quad \cdots (5)$

$$\text{また水面で、} z = h; \quad \partial C / \partial z = -W_0 C / \varepsilon \quad \cdots (6)$$

(2)貯水池形状の仮定

以上の式を解くために貯水池形状を以下のように仮定した。

$$h_x = h_0 \{ 1 + b(x/l)^n \} \quad \cdots (7) \quad h_x, h_0 \text{ は } x = x, x = 0 \text{ での水深}$$

$$A_x = A_0 \{ 1 + a(x/l)^m \} \quad \cdots (8) \quad A_x, A_0 \text{ は } x = x, x = 0 \text{ での断面}$$

$$\text{積、} n; m; \text{指数、} a; b; \text{係数、流速係数 } \psi \text{ は、} \psi = U / U_* \quad \cdots (9)$$

(3)無次元化と差分化

以上の式を無次元化し、差分式として次式を使用して整理すると、

$$\partial C / \partial x = (C_{i+1,j} - C_{i,j}) / \Delta x \quad \cdots (10) \quad \partial C / \partial z = (C_{i,j+1} - C_{i,j-1}) / 2 \Delta z \quad \cdots (11)$$

$$\partial^2 C / \partial x^2 = (C_{i+1,j+1} + C_{i,j-1} - 2C_{i,j}) / \Delta x^2 \quad \cdots (12) \quad \Delta x, \Delta z; x, z \text{ 方向の}$$

差分間隔, i, j ; x, z 方向の差分格子点

$$C_{i+1,j} = h/A \{ D (C_{i,j+1} + C_{i,j-1} - 2C_{i,j}) / \Delta z^2 + O (C_{i,j+1} - C_{i,j-1}) / \Delta z \} + C_{i,j} \quad \cdots (13)$$

$$A = 1 / (1 + a x^m), D = K / 6 g \cdot 1 / (1 + a x^m) \cdot b / i (1 + b x^n), O = W_0 \cdot b / i (1 + b x^n) \quad i; \text{河床勾配}$$

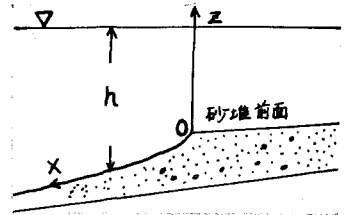


図-1 定義図

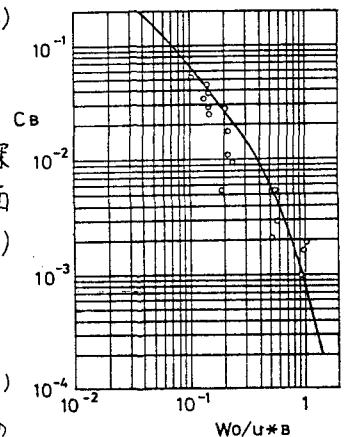


図-2 底面濃度(芦田・道上)¹⁾

水面では, $C_{i,j+1} = k[-6\varphi W_0(1 + aX^m)C_{i,j}/K] + C_{i,j} \dots\dots(14)$

底面では, $C_{i,j} = -k(6\varphi W_0/K)^2 \cdot (1 + aX^m) \cdot C_0(W_0/U_*)/[C_0(W_0/U_*) \cdot (1 - e^{-6\varphi W_0/K})] + C_{i,j+1} \dots\dots(15)$

計算法を説明するためにこれを図化したものが、図-3である。すなわち、境界を除く点は(13)式で、境界上の点は(14)、(15)式で計算し、この手法をX方向にくり返し利用することにより、貯水池全域にわたる濃度を計算しようとするものである。各格子点における濃度が求められたので、次に各断面における浮遊砂量を求める。浮遊砂量 Q_s は、平均流速 V を利用して、 $Q_s = V \int C dz \dots\dots(16)$ C の断面全域にわたる積分の値は台形公式により近似する。なお、差分間隔は、安定な解が得られるように、Von Neumannの条件により決定した。

(4)定数の決定と数値解

粒径及び沈降速度 W_0 の関係は Rubey の方法によって与えられる。(図-4)。浮遊砂の問題となるのは、砂、シルト等と考えられるので、粒径 $d = 200\mu, 100\mu, 50\mu, 30\mu$ 、について調べた。断面、水深係数、 a, b として、(i)断面、水深変化が比較的大きい場合 $a=20, b=5$ (ii)断面、水深変化が比較的小さい場合について、数値解を求めた。他の定数の値として、 $m=2, n=1, i=1/100, K=0.4, \varphi=25$ を与えた。

3. 解析結果と考察

濃度変化、浮遊砂量の解析結果の一例を図-5に示す。これらの図より

(i)断面、水深変化のいずれの場合も、濃度の流下方向の減少は、水面付近、中央、底面へと進む。

(ii)断面変化の小さい場合か、大きい場合に比較して、堆砂開始点、終了点が長くなる傾向をもつ。

(iii)この浮遊砂量の図を用いて、流入土砂量に対して、ダム内に堆積する割合がわかる。

参考文献 1) 芦田・道上 浮遊砂に関する研究 京大防災研年報 13号
2) 芦田 貯水池堆砂捕撈率に関する研究 昭51 防災研究協会

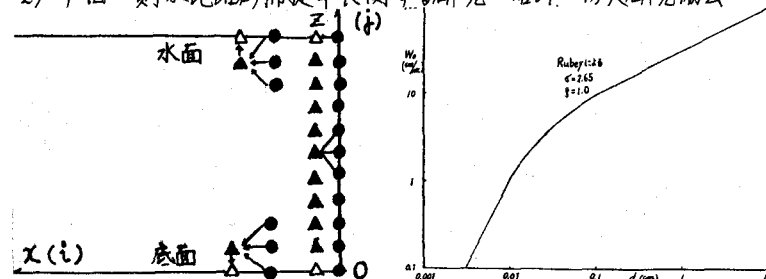


図-3 計算法の説明

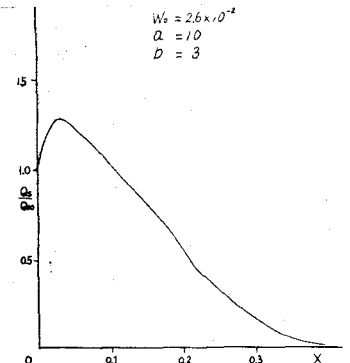
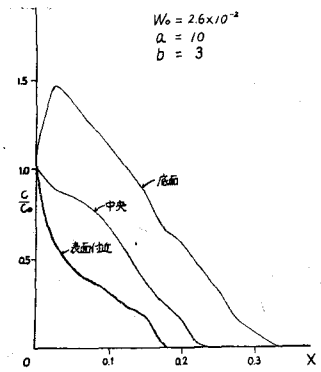
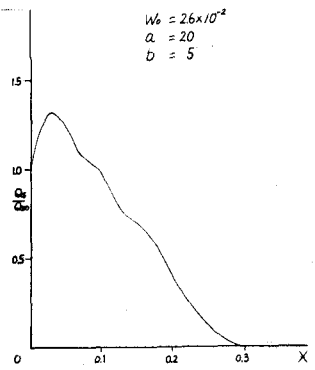
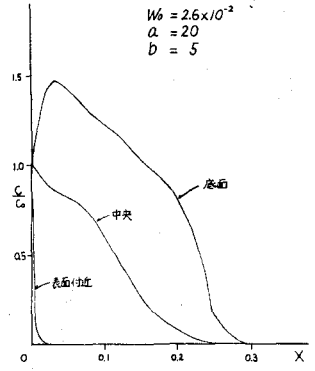


図-4 粒径と沈降速度

図-5 濃度変化と浮遊砂量