

洪水氾濫による浮遊砂の堆積に関する研究

京都大学防災研究所 正 員 高橋 保
 京都大学防災研究所 正 員 中川 一
 京都大学大学院 学生員 ○東山 基

1. はじめに 破堤氾濫時には、家屋の浸水、流失等の被害とともに、多量の土砂が堤内地において広範囲に堆積するという問題が発生する。本報では、氾濫水中の浮遊砂の堤内地における堆積範囲・規模の予測手法の開発を目的として、浮遊砂の堆積現象について一次元の堆積計算を行った。ついで、この手法をもとに堤内地を想定した二次元の浮遊砂堆積計算法を開発し、それぞれの数値シミュレーション結果と実験値を比較検討する。

2. 一次元河道における実験および計算 長さ7m、深さ20cm、幅20cmの水路床に5/mの区間にわたり平均粒径100 μ の砂を敷きつ、河床勾配を1/500に設定し、上流から一定流量(2.03 ℓ /sec)の給水をするとともに、河床材料と同じ土砂を5分間給砂した。測定項目は、給砂地点より1.2m下流地点における濃度分布、および5分後の河床位置であり、それぞれ光学式濃度計とポイントゲージで計測した。数値計算で用いた流れ及び流砂の基礎式は次のようである。

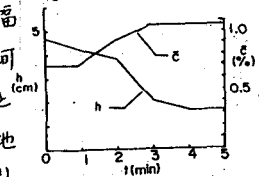


図1. 境界条件
表1. 計算条件

ΔX	:	10 cm
ΔT	:	0.002 sec
n	:	0.0238
d	:	100 μ
$\tan \theta$	:	1/500

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}h)}{\partial x} = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial(\bar{u}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}^2 h)}{\partial x} = gh \sin \theta - gh \cos \theta \frac{\partial(h+Z_b)}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\bar{c}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{c}\bar{u}h)}{\partial x} - w_b(C_{be} - C_b) + \frac{\partial}{\partial x}(hD \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}) \quad (3) \quad \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial \delta_b}{\partial x} + w_b C_{be} - w_b C_b \right) = 0 \quad (4)$$

ここに、 $\bar{u}$, $\bar{c}$, h : 断面平均流速、濃度、水深、 θ : x 軸の傾斜角
 Z_b : x 軸からの河床高、 $D = 5.86 h u_*$ なる分散係数、掃流砂量 δ_b には芦田道上式を、 $Z = Z_b$ における平衡濃度 C_{be} には芦田道上式を用いる。また、 $Z = Z_b$ における濃度 C_b と断面平均濃度 $\bar{c}$ との関係は水深方向の濃度分布をLane-Kalinskeと同様に考えることにより求まり、 $C_b = \beta \bar{c} / (1 - e^{-\beta})$ (ただし、 $\beta = 15 w_b / u_*$)。

計算条件は表1に示す通りであり、境界条件としての水深・濃度は図1に示す実験値を用いた。

3. 実験結果と計算結果 図3は実験結果と計算結果を比較したものである。実験値の方が下流部でも若干堆積しているものの、計算結果はある

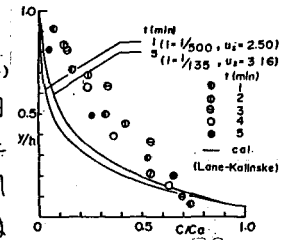


図2. 濃度分布

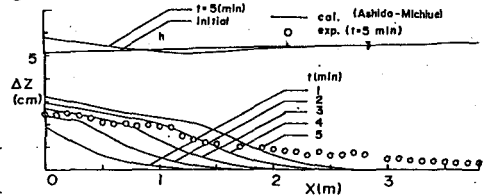


図3. 実験結果と計算結果

程度実験結果の傾向を説明している。両者に違いが生じたのは、図2に示すように実験では濃度分布がやや非平衡な状態であり、平衡状態より過剰な濃度をもった位置の浮遊砂が砂流により輸送され、時間的遅れをもて下流部に堆積したためと思われる。

4. 堤内地における実験および計算 氾濫台は図4に示すように、1.7m $\times$ 1.6mで四方が壁で囲まれており、下流側のみ、あるいは下流側と側方の壁から越流流出する。実験は、

Tamotsu TAKAHASHI, Hajime NAKAGAWA, Motoi HIGASHIYAMA

予め給水を行っておいた場に5分間給砂する場合と、dry bed 上に5分間給水と給砂を行った場合の2通りを行った。なお、実験条件を表2に示す。数値計算で用いた基礎式のうち、二次元の流体運動を表す運動量保存式、連続式ならびに抵抗則は高橋ら³⁾によるものと同様である。また、式(3)・(4)は二次元の場合、それぞれ以下になる。

$$\frac{\partial(\bar{E}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{E}uh)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{E}vh)}{\partial y} = \omega_0(C_{be} - C_b) + \frac{\partial}{\partial x}(hD_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(hD_y \frac{\partial C}{\partial y}) \quad (5)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial b_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial b_{by}}{\partial y} \right) + \omega_0 C_{be} - \omega_0 C_b = 0 \quad (6)$$

ここに、 $D_x = D_y = 5.86 h u_*'$ とし、 $b_{bx} = u b_b / \sqrt{u^2 + v^2}$ 、 $b_{by} = v b_b / \sqrt{u^2 + v^2}$ である。計算条件は表3に示す通りである。境界条件は、破堤口における実測値の水深・流量および濃度を図5のようにして与えた。

5. 実験結果と計算結果の比較

図6はCASE 2-2について実験結果を三次元的に、図7は計算結果を等高線(10mm間隔)を用いて表わしたものである。実験では、図8に示すような循環流が生じたために横方向への浮遊砂の輸送が阻害され、一次元的な堆積形状を形成しているが、計算結果はこの傾向を比較的良く再現している。しかし、堆積厚についてはあまり良好な結果が得られなかった。これは、図9に示すような実験での濃度分布の非平衡性とともに、顕著な河床波の形成からいえるように、実験においてはかなり活発な掃流運動があると思われるが、境界条件としての掃流砂量を与えなかったためと思われる。

6. おわりに

今回行った浮遊砂堆積の数値計算では、一次元・二次元ともに堆積形状については、ある程度再現できたが、堆積厚に関しては若干の差異が見られた。今後は、平衡濃度分布を仮定して $\bar{C}$ から C_b を求めた方法の適用性と、二次元場の堆積計算において、境界条件としての掃流砂量をどのように評価し、これを与えればよいかが問題となり、これらに関して十分検討する必要がある。

《参考文献》 1) 芦田・道上：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集第206号 2) 芦田道上：浮遊砂に関する研究(1)

京大防災研年報 第13号B 3) 高橋・中川・西崎：堤防破壊による洪水危険度評価に関する研究，京大防災研年報 第27号B-2

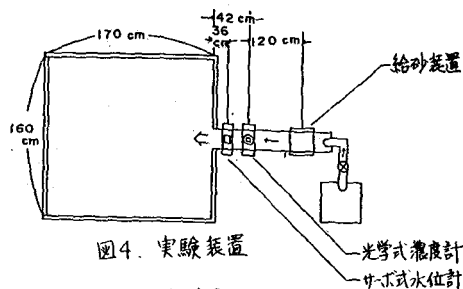


図4. 実験装置

表2. 実験条件

CASE	排水条件	給水方法	給水時間(分)	給砂時間(分)	流量(l/sec)
2-1	1方向	段波	5	5	1.25
2-2	1方向	定常	5	5	1.25
2-3	3方向	段波	5	5	1.25
2-4	3方向	定常	5	5	1.25

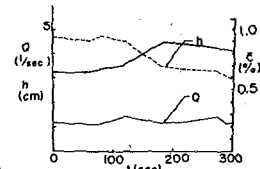


図5. 境界条件

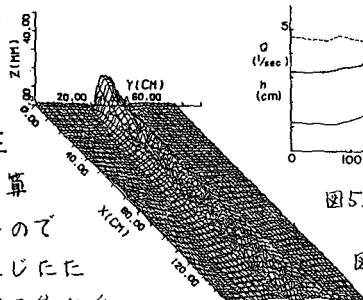


図6. 実験結果

表3. 計算条件

$\Delta X, \Delta Y$	: 4 cm
ΔT	: 0.002 sec
n	: 0.01 (砂がない時)
	: 0.025 (砂がある時)
d	: 100 μ

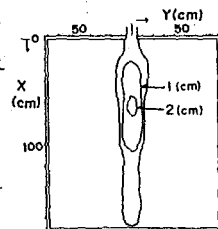


図7. 計算結果

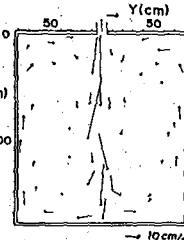


図8. 流速ベクトル

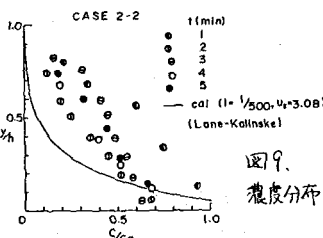


図9. 濃度分布