

II-135

洪水氾濫による浮遊砂の堆積

京都大学 大学院 学生員 東山 基
 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

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堆積することによる被害も発生する。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、まず、一次元河道における浮遊砂堆積計算法の適用性を実験により検討し、ついで、この手法をもとに、堤内地を想定した平面二次元の浮遊砂堆積計算法を開発し、その数値計算結果と実験値を比較検討した。

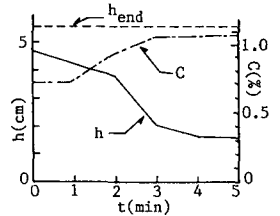


図1

2. 一次元の実験と計算 実験に用いた水路は、長さ7m、幅20cm、深さ20cmの鋼製水路で、水路中央部の長さ5.1mの区間にわたり平均粒径100 μ の砂を河床に敷いて移動床とし、初期河床勾配を1/500に設定した。給水・給砂前に予め水路に湛水させておき、給水量と下流端の堰を調節して、定常給水状態で河床波が生じない程度に堰き上げて掃流力を落とした。その後、河床材料と同じ土砂を五分間供給した。流量は2.03 l/sで、測定項目は給砂地点から1.2m下流における濃度分布、河床の時間変化、初期および5分後の河床位であり、それぞれ光学式濃度計、ビデオカメラ、ポイントゲージで計測した。

表1

Δx	: 10 cm
Δt	: 1/500 sec
n	: 0.024
d_m	: 100 μ
$\tan \theta$	: 1/500

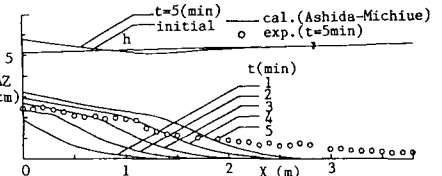


図2

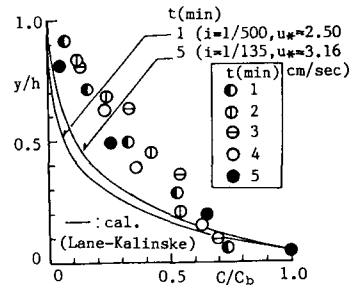


図3

計算に用いた基礎式は以下のようである。

$$\partial(uh)/\partial t + \partial(u^2h)/\partial x = ghsin\theta - gh\cos\theta\partial(h+z_b)/\partial x - \tau_b/\rho \quad \dots(1)$$

$$\partial h/\partial t + \partial(uh)/\partial x = 0 \quad \dots(2) \quad \tau_b/\rho = gn^2u|u|/h^{1/3} \quad \dots(3)$$

$$\partial(ch)/\partial t + \partial(cuh)/\partial x = w_0(c_{be} - c_b) + \partial(hD\partial c/\partial x)/\partial x \quad \dots(4)$$

$$\partial z_b/\partial t + \partial q_b/\partial x + w_0c_{be} - w_0c_b)/(1-\lambda) = 0 \quad \dots(5)$$

ここに、 u, c, h ; それぞれ断面平均流速、濃度、および水深、 θ ; x 軸の傾斜角、 z_b ; x 軸からの河床高、 n ; Manningの粗度係数、 ρ ; 流体の密度、 D ; 分散係数で、ここでは $D=5.86hu_*$ とした。掃流砂量 q_b および $z=z_b$ における平衡濃度 C_{be} には 芦田・道上式を用いた。 $z=z_b$ における濃度 C_b と断面平均濃度 C との関係は、Lane-Kalinske式より、 $C_b = \beta C/[1 - \exp(-\beta)]$ (ただし、 $\beta = 15w_0/u_*$) で評価する。水深および濃度の流入境界条件には図1に示すような実測値を用い、下流端条件には実測水位と、濃度に関しては、 $d(cu)/dx=0$ を用いた。なお、計算条件を表1に示す。

3. 実験および計算結果 図2は1分毎の河床変動量の計算値と5分後の実測値を比較したものである。実験値の方が若干下流部へ長く堆積しているものの、計算結果はある程度実験結果の傾向を示している。両者に違いが生じた原因は、図3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、平衡状態より大きな濃度をもった上方の浮遊砂が移流により輸送され、時間的遅れをもって下流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、下流端のみあるいは下流端と両側壁から氾濫水は越流流出するようになっている。給水条件は、流入境界条件を設

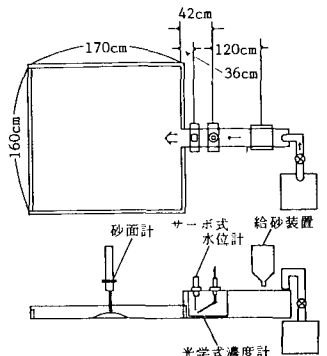


図4

定しやすいように、予め給水を行った氾濫場に5分間給砂をした場合と dry bed上に5分間給砂と給水を同時に行った場合を考えた。流入流量は1.25 l/secであるが、段波の給水方法では初期に非定常流量となるため、全ケースについて、流入境界点でサーボ式水位計とビデオカメラで水深と流速を計測した。濃度分布は一次元の場合と同様に計測した。なお、実験条件を表2に示す。

表2

CASE	排水条件	給水方法
2-1	1方向	段波
2-2	1方向	定常
2-3	3方向	段波
2-4	3方向	定常

表3

$\Delta X, \Delta Y$:	4 cm
Δt :	1/500 sec
n:	0.01 (砂が無い時)
	0.025 (砂が有る時)
d_m :	100 μ

数値計算に用いた基礎式は、水深方向に積分した二次元の流体運動を表わす運動量保存式、連続式、抵抗則および流砂の連続式、河床の連続式で、それぞれ以下のようである。

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} = gh \sin \theta_x - gh \cos \theta_x \frac{\partial(h+z_b)}{\partial x} - \tau_{bx} / \rho \quad \cdots (6)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} = gh \sin \theta_y - gh \cos \theta_y \frac{\partial(h+z_b)}{\partial y} - \tau_{by} / \rho \quad \cdots (7)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad \cdots (8) \quad \tau_{bx} / \rho = gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3}, \tau_{by} / \rho = gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad \cdots (9)$$

$$\frac{\partial(ch)}{\partial t} + \frac{\partial(cuh)}{\partial x} + \frac{\partial(cvh)}{\partial y} = w_0(c_{be} - c_b) + \frac{\partial(hD_x \partial c / \partial x)}{\partial x} + \frac{\partial(hD_y \partial c / \partial y)}{\partial y} \quad \cdots (10)$$

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial(q_{bx})}{\partial x} + \frac{\partial(q_{by})}{\partial y} + w_0 c_{be} - w_0 c_b / (1 - \lambda) = 0 \quad \cdots (11)$$

ここに、 $D_x = D_y = 5.86hu_*$ おいた X, Y 方向の分散係数、 q_{bx}, q_{by} ; X

, Y 方向の掃流砂量で、 $q_{bx} = uq_b / \sqrt{u^2 + v^2}$, $q_{by} = vq_b / \sqrt{u^2 + v^2}$ とし、掃

流砂量式には芦田・道上式を用いた。なお、計算条件を表3に示す。

5. 実験結果と計算結果の比較 図5はCASE 2-2について実験結果を三次元的に示したものである。各ケースの堆積形状および堆積規模は、段波の給水条件では給水初期に三ヶ月状の薄い堆積が生じたが、湛水が進行すると一次元的な堆積形状になり、今回の実験の時間スケールでは実験条件の違いによる有意な差は生じなかった。図7はCASE 2-1に関し、図6の実測の境界条件を用いた計算値と実験値の堆積範囲を比較したものである。破堤口近傍で若干の違いがあるが、三ヶ月状の堆積や5分後の一次元的な堆積形状はほぼ再現できている。

図8はCASE 2-2の計算結果を等高線を用いて表わしたものである。この場合も堆積形状は一次元的になっている。これは、実験では図9に示すような循環流が生じ、横方向への浮遊砂の輸送が阻害されたため、計算でもこれが評価できたからと思われる。堆積厚についてはあまり良好な結果が得られていない。これは、図10に示すような実測濃度分布の非平衡性とともに実験では顕著な河床波が形成され、活発な掃流砂があったと思われるが、流入境界で掃流砂量を実測

しておらず、計算でこれを与えなかったためと考えられる。

6. おわりに 今回行った浮遊砂の堆積に関する二次元の数値計算では、堆積形状についてはある程度実験結果を再現できたが、堆積厚についてはうまく説明できず、拡散係数や平衡濃度分布を仮定した底面濃度の算定方法および境界条件としての掃流砂量の与え方等の問題もあり、今後さらに改良を要する。

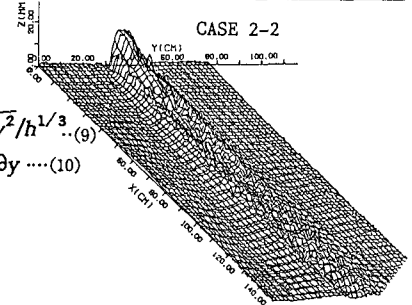


図5

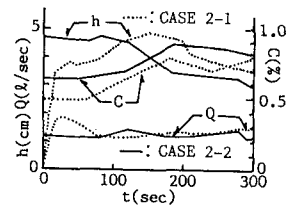


図6

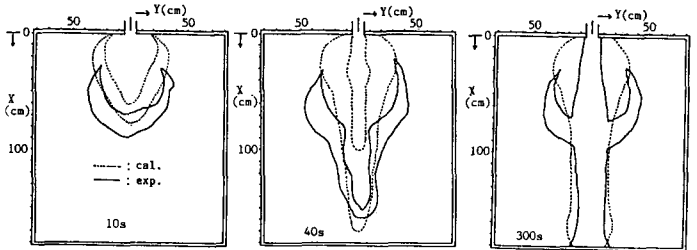


図7

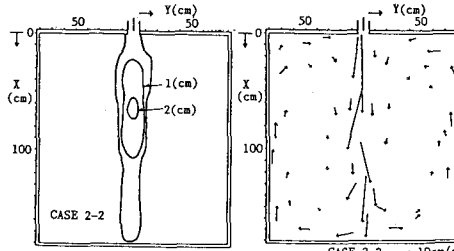


図8

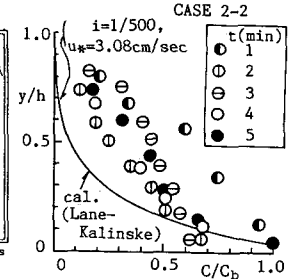


図10