

II-171 堤防決壊による土砂および洪水氾濫に関する基礎的研究

京都大学防災研究所 正会員 高橋 保
 京都大学防災研究所 正会員 中川 一
 大阪ガス 正会員 西崎丈能

1. はじめに 最近、破堤に伴う洪水氾濫に関する研究が活発に行われ、氾濫水の挙動が数値計算によって十分再現できるようになってきた。しかし、実際の破堤氾濫時には氾濫水による冠水、家屋の流失被害のほかに堤内地地盤の侵食による土砂や堤体土砂の氾濫堆積などの土砂被害も同時に発生する。本報では堤防決壊による総合的な被災危険度分布を予測することを目的として、洪水氾濫時の土砂氾濫に関する数値計算と堤内地の構造物の影響を評価した洪水氾濫計算を行い、それぞれの妥当性を実験によって検証した。

2. 土砂氾濫に関する実験および計算 実験装置は図1に示す厚さ5cmに砂を敷いた1.84m四方の移動床氾濫台と固定床水路から成っている。水路から一定流量の給水を行い、定常状態の氾濫になった時点で5秒間給砂し土砂氾濫を起こし、給砂開始後20秒で給水を停止する。なお、給砂開始直前まで破堤口前の地盤に網をかぶせて侵食を防止し、給砂開始と同時に網をはずした。氾濫台の三辺は段落ちになっている。測定項目は給水停止後の堆積および侵食厚さで、ポイントゲージで測定した。実験条件は表1に示す通りである。なお、給砂および氾濫台に敷いた砂は共に0.463mmの一樣砂である。数値計算に用いた基礎式は、水の氾濫に関しては、以下に示す水深方向に積分した二次元の流体運動を表す運動量保存式と連続式である。

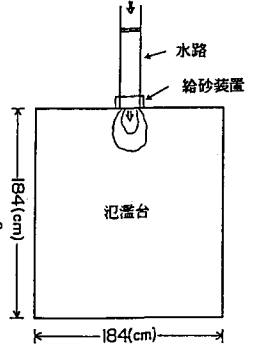


図1

表1

破堤口幅 :	20cm
破堤口水深 :	1.69cm
流量 :	2.13ℓ/sec
平均粒径 :	0.463mm
RUN	給砂量 (cm ³ /sec)
1	0.0
2	95.9

表2

ΔX :	4cm
ΔY :	4cm
Δt :	0.001sec
マンニング係数 :	0.025
粗度係数 s :	1.65
λ :	0.4

$$\frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} + v \frac{\partial M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \tau_{bx} / \rho \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + u \frac{\partial N}{\partial x} + v \frac{\partial N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \tau_{by} / \rho \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここにM, NはそれぞれX, Y方向の流量フラックスでM = u h, N = v hと定義される。h; 水深, H; 水位 (H = h + Z_b, Z_b; 基準面高さ), ρ; 水の密度, τ_{bx}, τ_{by}; それぞれX, Y方向の底面せん断力で、Manningの抵抗則を用いると

$$\tau_{bx} = \rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad \tau_{by} = \rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3}$$

流砂に関する基礎式は以下に示す流砂の連続式と芦田・道上の掃流砂量式である。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0 \quad (4)$$

$$q_b = 17 \frac{u_* e^3}{sg} \left(1 - \frac{u_* c}{u_*} \right) \left(1 - \left(\frac{u_* c}{u_*} \right)^2 \right) \quad (5)$$

ここに、λ; 堆積土砂の空隙率, s; 砂粒の水中比重, u* ; 摩擦速度で u* = √(g n √(M² + N²) / h^{7/6}), u*_e; 有効摩擦速度で $\frac{u}{u_{*e}} = 6.0 + 5.75 \log \left(\frac{h}{d_m (1 + 2u_* / sgd_m)} \right)$ u*_c; 移動限界摩擦速度で平均的に u*_c = √(0.05sgd_m) とした。d_mは平均粒径である。以上の(1)~(5)式を用いて有限差分法による数値解析を行った。計算条件は表2に示す通りで、計算領域は45×45メッシュである。

3. 実験結果と計算結果の比較 図2はRUN1、図3はRUN2の実験結果と計算結果の比較である。RUN1では計算の方が

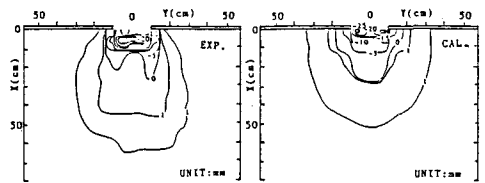


図3

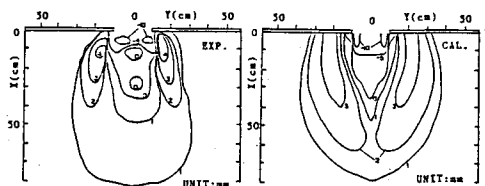


図2

堆積域がY方向に拡がり過ぎている事などの違いはあるが、最大洗掘深さや全体的な堆積、侵食範囲はある程度再現されている。一方、RUN2では計算の2mm以上の堆積範囲が拡がり過ぎている事などの違いはあるが堆積厚さの厚い範囲が侵食域の両側にあるなど大体の堆積、侵食傾向を再現できている事がわかる。計算と実験の堆積範囲が異なる理由としては、一次元の場合で提案された芦田・道上式を二次元の場合に適用した事や移動限界摩擦速度の問題などが考えられる。

4. 洪水氾濫に関する実験および計算 実験装置は図4に示した1.84m四方の発泡スチロール製の氾濫台と貯水槽から成る。氾濫台上に縦2.5横2.5高さ3cmのウレタン製のブロックを格子状に配置し、ゲートを瞬時に引上げて市街地での破堤氾濫を模擬した。測定項目は氾濫水の拡がりや破堤口中心線上の0, 0.5, 1.0, 1.5mにおける水深の時間変化である。図5は破堤口における流量および水深の時間変化である。実験条件は表3に示す通りである。数値計算には

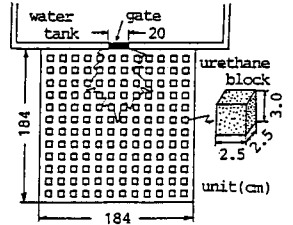


図4

(1),(2),(3)式を用い、ブロックの影響を考慮するために流水の通過率を導入して流量フラックスの補正を行った。補正方法は次式の通りである。

$$\tilde{M}_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} = \beta_{a,j+\frac{1}{2}} M_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} \begin{cases} M_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} \geq 0 : a=i+\frac{1}{2} \\ M_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+2} < 0 : a=i-\frac{1}{2} \end{cases} \quad (6)$$

$$\tilde{N}_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2} = \beta_{i+\frac{1}{2},b} N_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2} \begin{cases} N_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2} \geq 0 : b=j+\frac{1}{2} \\ N_{i+\frac{1}{2},j}^{n+2} < 0 : b=j-\frac{1}{2} \end{cases} \quad (7)$$

メッシュ(i,j)内に面積Akの構造物を考えると、通過率βは $\beta_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} = \sqrt{1 - \Sigma A_k / \Delta X \Delta Y}$ で与えられる。計算条件は表4に示す通りである。

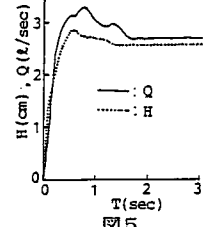


表3

破堤口幅 : 20cm	
CASE	街路幅 (cm)
1	5.5
2	10.5

表4

ΔX	: 5cm
ΔY	: 5cm
Δt	: 0.001sec
発泡スチロールのマニング粗度係数	: 0.01
CASE	街路幅 (cm)
1	5.0
2	10.0

5. 実験結果と計算結果の比較 図6はCASE1、図7はCASE2の1, 2, 3秒後の氾濫形状と破堤口中心線上の水面形の実験結果と計算結果を比較したものである。CASE1では氾濫形状は計算、実験ともに三角形状になっておりほぼ一致している。また、水面形もほぼ一致している事がわかる。一方、CASE2の方は実験の氾濫形状はY方向よりも斜方向のフロントの進行が卓越し、CASE1の三角形状とは異なっている。これは、CASE2の街路幅では斜方向の遮蔽効果が小さく、斜方向に流路が形成されるために斜方向の進行がはやくなるものと考えられる。計算では、斜方向の流路を考慮に入れてないため、Y方向では計算値の方が、斜方向では実験値の方が進行がはやくなっている。水面形はほぼ一致している。

6. おわりに 今回行った土砂氾濫計算によって、実験の堆積、侵食結果をある程度再現する事ができた。また、洪水氾濫計算に流水の通過率を導入する事によって、堤内地の構造物の影響をある程度考慮できた。なお、本研究の一部は文部省科学研究費(奨励研究(A) 課題番号60750483)の補助を受けたものである。関係各位に深謝する次第である。

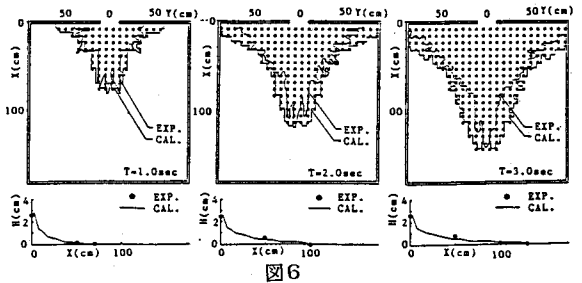


図6

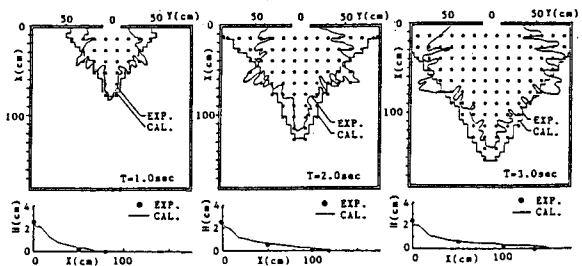


図7

(参) 1) 芦田和男 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第206号, 1972