

堤防決壊による被災危険度分布の予測

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 堤防氾濫時には、冠水や家屋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を予測することを目的に、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ない、それぞれの結果と実験値を比較検討した。

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1.04m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ない定常になった時点で5秒間給砂し、給砂開始後20秒に給水を停止した。氾濫台の3辺は段落ちになっている。測定項目は給水停止後の侵食および堆積厚さで、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平均粒径0.463mmの一樣砂である。

数値計算で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わす運動量保存式と連続式である。

$$X \text{ 方向 } \quad \frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} + v \frac{\partial M}{\partial y} = -gH \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad (1)$$

$$Y \text{ 方向 } \quad \frac{\partial N}{\partial t} + u \frac{\partial N}{\partial x} + v \frac{\partial N}{\partial y} = -gH \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (2)$$

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

ここに M, N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックスで $M = uh$, $N = vh$, h : 水深, H : 水位 ($H = z_b + h$, z_b : 基準面高さ), τ_{bx}, τ_{by} はそれぞれ x, y 方向の底面せん断力で Manning の抵抗則を用いると、

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

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。

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

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

ここに摩擦速度 $u_* = \sqrt{g n \sqrt{M^2 + N^2}} / h^2$, u_{*c} は有効摩擦速度で、

$$u_* / u_{*c} = 6.0 + 5.75 \log \left(\frac{h}{d_m (1 + 2 u_{*c}^2 / sg d_m)} \right) \text{ で表わされる。}$$

移動限界摩擦速度は $u_{*c} = \sqrt{0.05 sg d_m}$ とした。

以上の (1)~(5) 式を用いて有限差分法により数値解析を行なった。計算条件は表2に示す通りである。

3. 実験結果と計算結果の比較 図2は RUN1, 図3

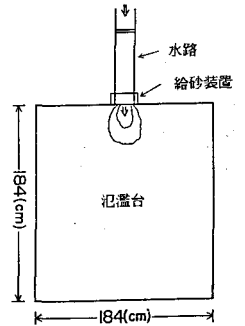


図1

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
砂のマニング :	0.025
粗度係数 :	1.65
λ :	0.4

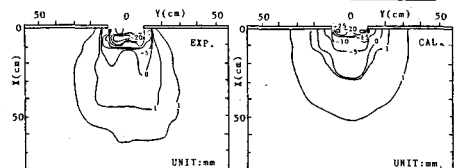


図2

Tamotsu TAKAHASHI, Hajime NAKAGAWA, Takeyoshi NISHIZAKI

はRUN2の実験結果と計算結果を比較したものである。図2では計算の堆積域が破堤口付近でY方向に広がりすぎている事、図3では計算の2mm以上の堆積範囲が広がりすぎている事などの相違点はあるが、全体的な堆積、侵食範囲をある程度再現できている。

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氾濫台と貯水槽から成る。氾濫台上に縦2.5枚2.5高さ3cmのウレタン製のブロックを格子状に配置し、ゲートを瞬時に引き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、破堤口中心線上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。実験条件を表3に示す。数値計算には(1)(2)(3)の基礎式を用い、流水の通過率を導入して流量フラックスの補正を行なった。補正方法は次式の通りである。

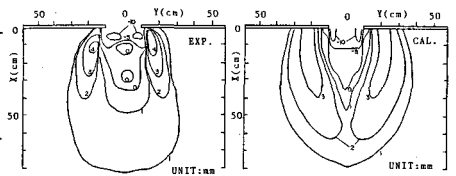


図3

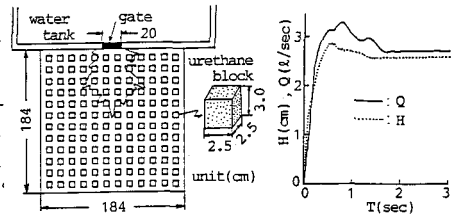


図4

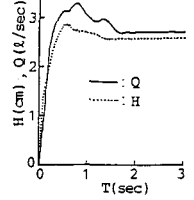


図5

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

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

表3

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

ここに β は通過率で、メッシュ (i,j) 内に面積 A_k の構造物を考えると、 $\beta_{i,j,k} = \sqrt{1 - \sum A_k / \Delta x \Delta y}$ である。計算条件を表4に示す通りである。

5. 実験結果と計算結果の比較 図6はCASE1、図7はCASE2の計算結果と実験結果を比較したものである。図6では氾濫水の拡がり、水面形ともにほぼ一致している。図7ではY方向では計算値、斜方向では実験値の方が大きく広がっている。これは実験では斜方向で遮蔽効果小さく流路が形成され進行が速くなるが、計算では斜方向の流路を考慮しなかったためであると考えられる。

表4

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

6. おわりに 今回行なった土砂氾濫計算によって実験結果がある程度再現できた。また、流水の通過率を導入する事によって構造物の影響をある程度考慮できた。現地への適用例については、発表時に述べる。なお、本研究の一部に文部省科学研究費(奨励研究(A)課題番号60750403)の補助を受けた。関係各位に感謝する。
(参考文献)1) 芦田和男・道上正規: 移動床流水の抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土不学会論文集, 第206号, 1972

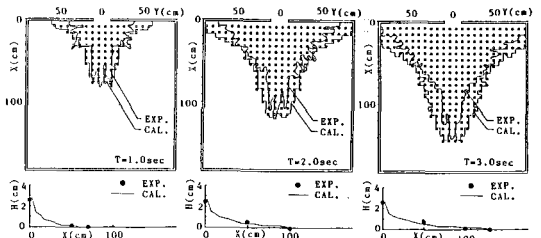


図6

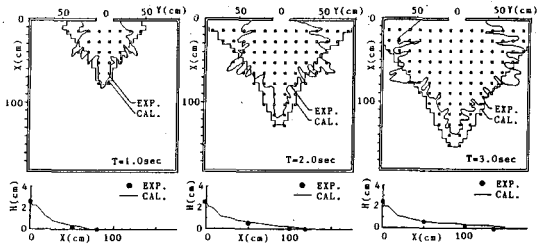


図7