

氾濫水の水利の数値解析法

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 京都大学工学部 正 員 井上 和也
 電力中央研究所 正 員 〇水鳥 雅文
 京都大学大学院 若林 勝則

1.はじめに：本報は、堤内地氾濫水の挙動に関する水理学的な数値解析法(二次元平面流れに関する水理学的な基礎式にコントロールボリュームの概念を導入したモデル)にさらに堤内地排水路の流れの解析を追加した新しいモデルについて述べるとともに、実際の堤内地に適用した結果について報告するものである。

2.従来の数学モデルの基礎式

$$\text{運動方程式: } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[U M \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{\partial}{\partial y} \left[V M \right]_{y_j}^{y_{j+1}} = -g h \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{T_{xb}}{F} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[U N \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{\partial}{\partial y} \left[V N \right]_{y_j}^{y_{j+1}} = -g h \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{T_{yb}}{F} \quad (2)$$

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[M \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{\partial}{\partial y} \left[N \right]_{y_j}^{y_{j+1}} = 0 \quad (3)$$

ただし、 $h = z - z_b$ で、 z および z_b は考えているコントロールボリュームの平均水位と平均地盤高である。

3.排水路を考慮したモデル：堤内地を格子に分割し

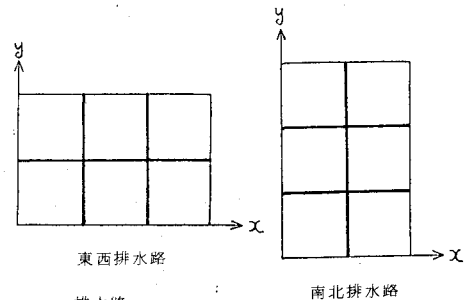


図-1

たとき、この格子を一般格子と呼ぶことにし、排水路は一般格子の周に沿わせる。図-1に示すように排水路にはその向きにより、東西の排水路と南北の排水路がある。計算上では後者は前者を90°回転させたものにすぎない。排水路には次の情報を与える。(i)水深：東西排水路では東端に、南北排水路では北端に与える。(ii)流速：各排水路の中央に与える。(iii)東西排水路の東端あるいは南北排水路の北端における他の排水路との接続状態を示す変数：接する排水路の番号。(iv)東西排水路の西端あるいは南北排水路の南端において水深を与える排水路を示す変数：接する排水路の番号。(v)排水路と一般格子との接続：南北(あるいは東西)に接する一般格子番号。(vi)地盤高：水深を与える地点と同じ地点に与える。(vii)水路幅： b 。(viii)粗度係数。ただし、この変数の与え方によると特殊な場合として、水深が定義されない点が生ずる(例えば、東西排水路と南北排水路がL字型に接続している場合、その屈曲点では水深が定義されない)。そのためその地点では前述の変数のうち(i)(iii)(v)(vi)および(viii)だけが変数として与えられる仮想的な排水路を設定する。

4.排水路の基礎式

排水路の流れ方向の運動方程式：簡単のため、水面こう配を用いたManning式が適用されるとする；

$$-\frac{\partial}{\partial x}(h + z_b) = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} \quad (4)$$

排水路と一般格子との間：非線型項を省略したつぎの運動方程式が成立するとする；

$$\frac{\partial z}{\partial t} = g h \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{T_b}{F} \quad (5)$$

$$\text{連続式: } b \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial z}{\partial x} = q \quad (6)$$

ただし x ：排水路の流れ方向の座標、 s ：排水路に直角な座標、 q ：一般格子から排水路

YOSHIKI IWASA ; KAZUYA INOUE ; MASAFUMI MIZUTORI ; KATSUNORI WAKABAYASHI

へ流入する排水路の流水方向の単位長さ当たりの流量、 Q ：排水路の流れ方向の流量、 h ：排水路の水深

5.排水路の基礎式の差分化：図-2の記号を用いて、(4)式より

$$U_2^{n+2} = \pm \frac{1}{n} \left(\frac{h_2^{n+2} + h_2^{n+1}}{2} + h_1^{n+1} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{(Z_2^{n+1} - Z_3^{n+1})}{\Delta x} \right)^{1/2} \quad (7)$$

図-2の破線の範囲を考えて、(5)式より東西排水路について

$$\frac{g^{n+2} - g^n}{2\Delta t} = g \cdot \bar{h} \cdot \left\{ \frac{Z_1^{n+1} - (Z_2^{n+1} + Z_3^{n+1})/2}{(b + \Delta x)/2} \right\} - g \cdot n^2 \frac{g^{n+2} - g^n}{2h^{4/3}} \sqrt{\left(\frac{g^n}{h} \right)^2 + \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{M_2^n + M_3^n}{2h_1} \right) + U_2^n \right\}^2} \quad (8)$$

ただし $\bar{h} = \frac{1}{2} \left(\frac{h_2^{n+1} + h_2^{n+2}}{2} + h_1^{n+1} \right)$

図-3に示される斜線部分の範囲を考えて、(6)式より

$$\frac{h^{n+3} - h^{n+1}}{2\Delta t} = \frac{1}{A} \left[\sum_{i=1}^4 g_i + \frac{g}{2} \frac{h^{n+1} + h^{n+2}}{2} \cdot b \right] \quad (9)$$

ここで g_i は図示されているように、一般格子から排水路の図の斜線部分に流入する流量であり、 h_i は排水路の h を考えている点と反対側の点の水深である。また A は図-3の斜線部分の面積である。

6.計算結果：実際の堤内地に対して数値計算を行なった結果が図-4および図-5で、破堤後1時間と破堤後5時間の流量フラックスベクトル

図が示されている(図-4および図-5中の太線が排水路である)。これより初期の段階(破堤後1時間)では排水路方向の流れが、他の一般格子の流れより卓越しており、氾濫水が排水路へ流れ込み排水路に比較的に速い流れが生じ、排水路沿いに浸水が伝播するとともに水路に接する一般格子にも浸水が早く

及んでいる結果になっている。しかし、破堤後5時間の氾濫水の状態を見ると一般格子の流量フラックスは極めて小さく水面がほぼ水平になっているにもかかわらず、排水路に沿った流量フラックスは依然として大きく、実際には考えられない結果になっているので、今後さらに検討が必要である。図-6は破堤後1時間の堤内地中央付近の縦断面水位図であり、これより排水路の水面形への影響は全く見られないことがわかる。図-7は堤内地中央付近のある点における水深ハイドログラフで、排水路がない場合と同様に浸水の伝播と湛水の発生という二つの過程を良くとらえている。以上より、排水路を考慮したここでのモデルは、破堤後相当時間が経過してから

の排水路での流れになお検討の余地を残しているが、堤内地全体における挙動として見れば、氾濫水の挙動に関してほぼ妥当な結果をもたらすと結論される。

(参考文献)：1)岩佐・井上・水鳥 昭和54年度年講 II-56

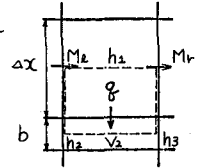


図-2

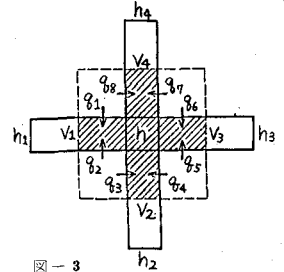


図-3

T = 1 (hr)

図-4

T = 5 (hr)

図-5

T = 1 (hr)

水位 Z (m)

15

10

排水路 A

図-6

h (m)

5

4

3

2

1

0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

T (hr)

図-7