

名古屋工業大学 正員 喜岡 秀
和歌山県庁 正員 東 照久
名古屋工業大学 正員 細井正延

1. はじめに 海岸堤防が荒廃あるいは高潮時の越水などによって破堤に至った場合、それにより生じる氾濫区域や氾濫水の挙動を正確に推定することは、避難システムを検討する上で重要な基礎資料となる。氾濫水の挙動特性については、主として河川の破堤氾濫についてすでに、三の解析例が報告されているが、本研究では、堤内地条件として初期状態において浸水区域が存在する場合に対して破堤による氾濫水の挙動解析を行ない、計算結果からその特性を知ろうとするものである。

2. 解析方法 解析にあたっては破堤幅は十分に長い

とし、二次元流れの特性をSUMMAC法を用いて解析した。基礎式としてはNavier-Stokesの運動方程式と連続式を用いたが、解析手法の定式化については文献(2)に述べられているので、ここでは計算領域(図-1)について得られる差分式のみを示す。すなわち、流速 u 、 v および圧力 ϕ (ただし $\phi = P/\rho$)の三変数を図-2に示すように配置し、空間に関しては中央差分、時間に関しては前進差分により近似できるとすれば、

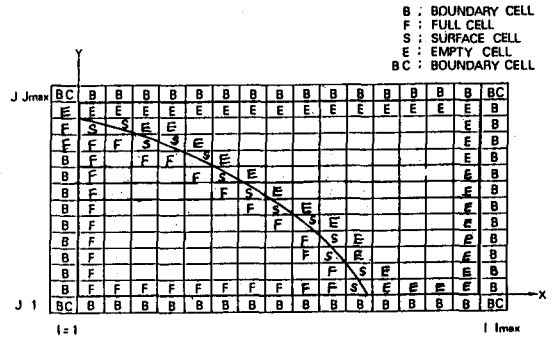


図-1 セルの配置

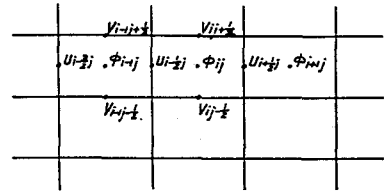


図-2 変数の配置

$$u_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1} = u_{i+\frac{1}{2},j}^n + \delta t \left\{ \frac{u_{i,j}^2 - u_{i+1,j}^2}{\delta x^2} + \frac{(uv)_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}} - (uv)_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}}{\delta y} \right. \\ \left. + F_x + \frac{\phi_{i,j} - \phi_{i+1,j}}{\delta x} + \nu \left(\frac{u_{i+\frac{1}{2},j} + u_{i-\frac{1}{2},j} - 2u_{i,j}}{\delta x^2} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{u_{i+\frac{1}{2},j+1} + u_{i+\frac{1}{2},j-1} - 2u_{i+\frac{1}{2},j}}{\delta y^2} \right) \right\} \quad (1)$$

$$v_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1} = v_{i,j+\frac{1}{2}}^n + \delta t \left\{ \frac{v_{i,j}^2 - v_{i,j+1}^2}{\delta y^2} + \frac{(uv)_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} - (uv)_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}}{\delta x} + F_y + \frac{\phi_{i,j} - \phi_{i,j+1}}{\delta y} \right. \\ \left. + \nu \left(\frac{v_{i,j+\frac{1}{2}} + v_{i,j-\frac{1}{2}} - 2v_{i,j+\frac{1}{2}}}{\delta y^2} + \frac{v_{i+1,j+\frac{1}{2}} + v_{i-1,j+\frac{1}{2}} - 2v_{i,j+\frac{1}{2}}}{\delta x^2} \right) \right\} \quad (2)$$

$$\phi_{i,j} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j}}{\delta x^2} + \frac{\phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1}}{\delta y^2} + R_{i,j} \right) \quad (3)$$

こゝで、

$$R_{i,j} \equiv \frac{(u_{i+1,j})^2 + (u_{i-1,j})^2 - 2(u_{i,j})^2}{\delta x^2} + \frac{(v_{i,j+1})^2 + (v_{i,j-1})^2 - 2(v_{i,j})^2}{\delta y^2} + \frac{2}{\delta x \delta y} \left\{ (uv)_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} + (uv)_{i-\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}} \right. \\ \left. + (uv)_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}} - (uv)_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} \right\} - \frac{D_{i,j}}{\delta t} - \nu \left(\frac{D_{i+1,j} + D_{i-1,j} - 2D_{i,j}}{\delta x^2} + \frac{D_{i,j+1} + D_{i,j-1} - 2D_{i,j}}{\delta y^2} \right) \quad (4)$$

$$D_{i,j} \equiv \frac{u_{i+\frac{1}{2},j} - u_{i-\frac{1}{2},j}}{\delta x} + \frac{v_{i,j+\frac{1}{2}} - v_{i,j-\frac{1}{2}}}{\delta y}, \quad \alpha \equiv 2 \left(\frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} \right)$$

以上の差分式において、 $n+1$ と記してある変数は $(n+1)$ 回目time stepを、記号のないものは n 回目のtime stepでの値を表わす。また、流速の場合において直接定義されていない変数 $u_{i,j}$ 、 $v_{i,j}$ は中央内挿公式に

よって求め、流速の最大または最小付近に粒子がある場合には格子上の点について Taylor 級数展開による式により求める。式(1)~(4)から自由表面付近の流速を算出するときや Marker 粒子を移動させるときには、流体外部領域の流速を Gregory-Newton 内挿公式により求め、自由表面付近の圧力 ϕ_{ij} の算定には点 (i, j) に関して Taylor 級数展開することにより自由表面境界上で $\phi = \phi_a$ (ϕ_a : 自由表面境界上で与えられた圧力) となるように決定する。ただし、数値計算にあたっては以上の Taylor 展開における 3 次以上の高次項は省略し、 ϕ_{ij} の反復計算には反復係数を 1.8 として SOR 法を用いた。

3. 計算結果および考察 堤防の天端付近のみが天端から H_0 だけ決壊した場合を想定して、氾濫水の水面形状の時間的変化を計算した。堤体(直立式、高さ 1.9 m)上および仮想的に設定された下流端の固定壁での境界条件としては Free-Slip 条件を用い、氾濫水先端が下流端の仮想境界に達したとき計算を打ち切った。初期条件としては破堤地点で $u = 1 \text{ m/sec}$ とする静水圧分布を仮定した。また粘性項は無視し、氾濫水の先端条件は $u + \frac{1}{2} \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$, $v + \frac{1}{2} \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$ および $\phi + \frac{1}{2} \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$ として与えた。図-3 (a), (b) は水平な堤内地のすべての点において水深 $h = 0$ としたときの計算結果で、横軸は堤体からの距離、縦軸は水位を示す。それぞれのケースに対応する $h = 0.5 \text{ m}$ の場合の計算結果は図-3 (c), (d) に示してある。 $h = 0$ の場合には氾濫水の水面形状はほぼ 2 次放物線とみなせ、計算結果は妥当なものといえよう。また、初期条件において堤内地に浸水域がある場合には破堤口近傍では $h = 0$ のケースと比較して大きな差異はないものの、水面形状はきれいな波形状を呈しており伝播速度もより大きいことがわかる。

最後に、数値計算の遂行にあたり本学卒業生佐藤孝夫氏(現、運輸省)のプログラムを参考にした。同氏ならびに助言をいただいた本学石田 昭助教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えび, 有賀世治: 有堤河川の破堤による氾濫区域の推定に関する実証的研究(第1報), 東海大学要報, 1977.
- 2) 和田 明: 沿岸海洋現象における 2, 3 のシミュレーション手法, 海洋科学, Vol. 5, No. 1, pp. 56~64, 1973.

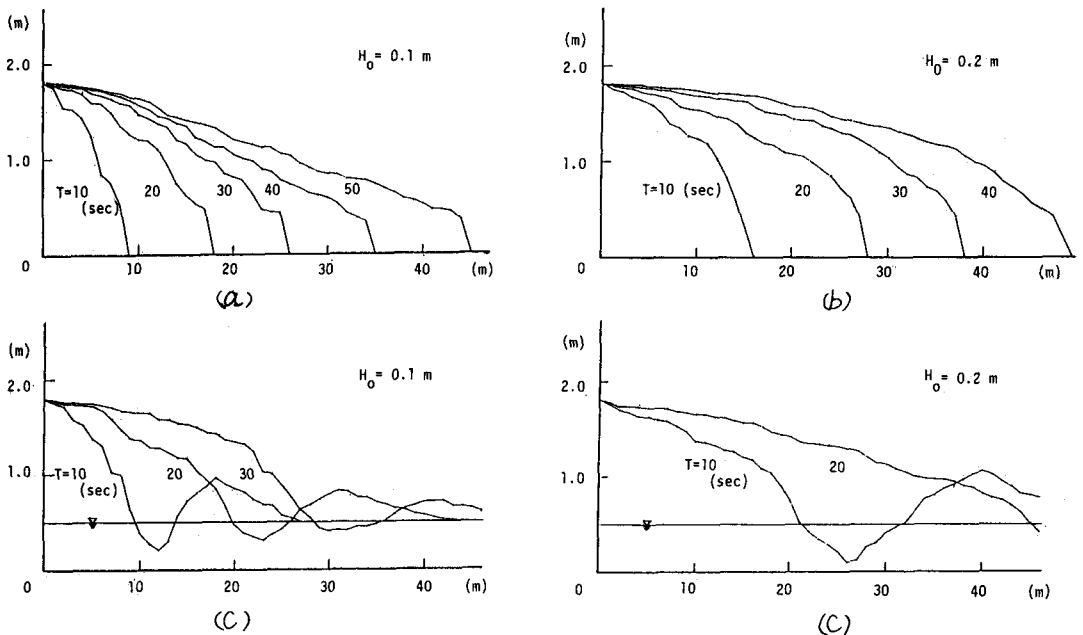


図-3 氾濫水の水位変化