

貯水池における表面波発生の数値解析

鳥取大学工学部 正 員 道上正規

鳥取大学工学部 正 員 藤田正治

鳥取大学工学部 正 員 檜谷 治

鳥取大学大学院 学生員 ○松田信彦

1. はじめに ダム貯水池内において大規模な土砂崩壊が起こると、大量の土砂が貯水池内に流入することにより大規模波が発生し、ダム構造物などに悪影響をおよぼしたり、大量の水がダムを越えて下流に大きな災害をもたらすことがある。近年、ダム下流の都市開発はめざましく、この種の災害に対してダム貯水池及び下流河川の安全性を検討することが必要になってきている。ここでは、急激な河床変動により発生させた波について、清水らによるマッコーマック法(MacCormack's scheme)¹⁾を用いて数値解析を行った。

2. 数値計算 基礎方程式は、St. Venant型の2次元浅水方程式を用い¹⁾、差分式は以下のようにした。

$$\text{予測子段階} \quad \bar{U}_{i,j} = U_{i,j} \frac{\Delta t}{\Delta x} \{ (E_{i,j} - E_{i-1,j}) - (Q_{i,j} - Q_{i-1,j}) \} - \frac{\Delta t}{\Delta y} \{ (F_{i,j} - F_{i,j-1}) - (Q_{i,j} - Q_{i,j-1}) \} + C_{i,j} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{修正子段階} \quad U_{i,j}^{*1} = & \frac{1}{2} (U_{i,j} + \bar{U}_{i,j}) - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \{ (\bar{E}_{i-1,j} - \bar{E}_{i,j}) - (\bar{Q}_{i-1,j} - \bar{Q}_{i,j}) \} \\ & - \frac{\Delta t}{2\Delta y} \{ (\bar{F}_{i,j-1} - \bar{F}_{i,j}) - (\bar{Q}_{i,j-1} - \bar{Q}_{i,j}) \} + \frac{1}{2} C_{i,j} \end{aligned} \quad (2)$$

$$U = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^3 \\ uvh \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + \frac{1}{2}gh^3 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} Q \\ gh(S_{0x} - S_{rx}) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \epsilon_v \frac{\partial (uh)}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \epsilon_v \frac{\partial (uh)}{\partial y} \right\} \\ gh(S_{0y} - S_{ry}) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \epsilon_v \frac{\partial (vh)}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \epsilon_v \frac{\partial (vh)}{\partial y} \right\} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$S_{rx} = \frac{n^2 U \sqrt{(U^2 + V^2)}}{H^{10/3}}, \quad S_{ry} = \frac{n^2 V \sqrt{(U^2 + V^2)}}{H^{10/3}}, \quad S_{0x} = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad S_{0y} = \frac{\partial z}{\partial y} \quad (4)$$

人工粘性項Qは、以下のようにした。

$$Q_{x,i,j} = \frac{k}{8} (U_{i-1,j} - 2U_{i,j} + U_{i+1,j}), \quad Q_{y,i,j} = \frac{k}{8} (U_{i,j-1} - 2U_{i,j} + U_{i,j+1}) \quad (5)$$

しかし、このままでは計算が不安定なため式(5)のUを以下のように改良し計算を行った。

$$U = \begin{pmatrix} h+z \\ uh \\ vh \end{pmatrix} \quad (6)$$

ここで、Z：河床高さ、h：水深、u：x方向の水深平均流速、v：y方向の水深平均流速、g：重力加速度、 S_{0x} ：x方向の水路勾配、 S_{0y} ：y方向の水路勾配、 S_{rx} ：x方向の底面摩擦勾配、 S_{ry} ：y方向の底面摩擦勾配、 ϵ_v ：乱流粘性係数、n：マニングの粗度係数

3. 計算結果 まず、計算の妥当性を検証するために、河西らの実験結果²⁾の数値シミュレーションを行った。実験は、図-1に示す水路で、河床板を0.5秒で上昇させ表面波を発生させるというものである。なお、計算メッシュは5cmで、計算時間間隔は0.01秒である。計算ではダムの境界条件を水がダムを越えないように、ダムを壁に置き換えて波が全反射するよう設定した。図-2は河西らの実験結果および一次元解析結果と、今回の計算結果とを比較したものである。ダム付近において、従来の研究の境界条件と今回の境界条件が異なるために、NO.5で波高が倍になっているが、他の点においては従来の計算より波速・波高ともに良い結果

がえられている。以上の結果より、ある程度再現性が認められたので次に、図-1の水路に土砂が流入してくるモデルについて計算を行った。計算条件としては、土砂流入速度を10m/sec、土砂の高さを10cmとし、土砂の流入で上流から順に河床が上昇すると仮定したものである。図-3は計算結果を示したものであるが、土砂流入による表面波の発生をある程度表現できていると思われる。

4. おわりに 本研究では、土砂流入による表面波発生に関する数値シミュレーションについて検討したが、妥当性を検証する実験が少なく十分に検討できなかった。今後は、実験を行い計算法の精度を検討する予定である。

参考文献

- (1) 村上・中村・清水：「貯水池における表面波伝播シミュレーション」，土木学会第46回年次学術講演会，1991，P466-467
- (2) 河西 基：「地滑りによる貯水池の水位変動」，水理講演会論文集，1984，P819-826

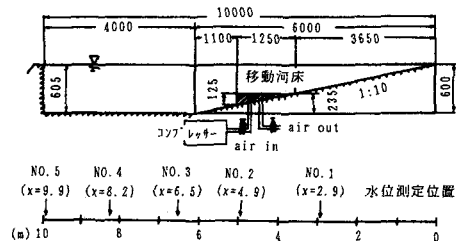


図-1 実験装置

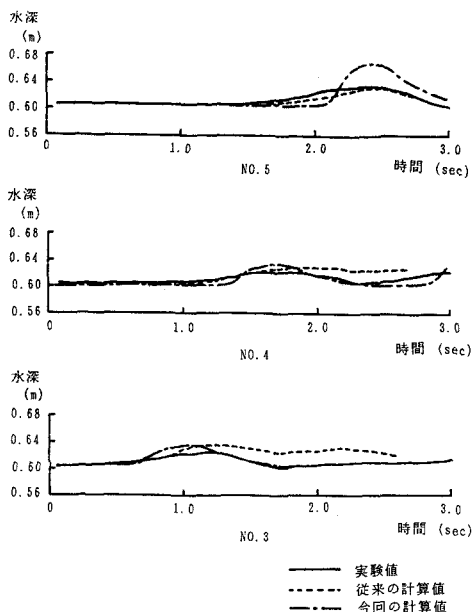


図-2 実験結果と計算値の比較

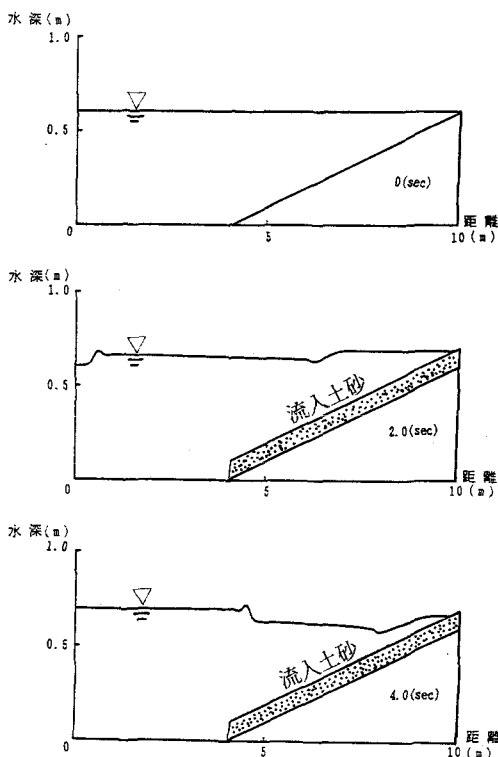


図-3 土砂流入モデルの計算結果