

信大工 正員 荒木正夫・富所五郎 学生員 ○高木茂知

1. はじめに 貯水池が決壊したときなどに起こる段波が、合流部に到達したときの流れの数値シミュレーションを行なった。手法は領域の形状を表現しやすい有限要素法を用い、合流部での2次元的ななまりを表わそうとした。また、模型実験も行なったのでその実験値と比較し若干の考察を行なった。

2. 基礎方程式 2次元非定常流の方程式は

$$\partial h / \partial t + \partial(u \cdot h) / \partial x + \partial(v \cdot h) / \partial y = 0, \quad (1)$$

$$\partial u / \partial t + u \cdot \partial u / \partial x + v \cdot \partial u / \partial y + g \cdot \partial h / \partial x + g(S_x - I_x) - D_x \partial^2 u / \partial x^2 - D_y \partial^2 u / \partial y^2 = 0, \quad (2)$$

$$\partial v / \partial t + u \cdot \partial v / \partial x + v \cdot \partial v / \partial y + g \cdot \partial h / \partial y + g(S_y - I_y) - D_x \partial^2 v / \partial x^2 - D_y \partial^2 v / \partial y^2 = 0 \quad (3)$$

である。ここで $S_x = m^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / h^3$, $S_y = m^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / h^3$, m はマンニングの粗度係数, h は水路床からの水深, I_x , I_y は x 方向, y 方向の水路床勾配, D_x , D_y は渦動粘性係数である。

3. 有限要素法による定式化 空間的には Galerkin 有限要素法により離散化を行なった。試験断面を $u = N_i u_i$, $v = N_i v_i$, $\eta = N_i \eta_i$ などとすると、(1)(2)(3)式は

$$M_{ij} \dot{\eta}_j + K_{1ijk} h_k u_j + K_{2ijk} h_k v_j = 0, \quad (4)$$

$$M_{ij} \dot{u}_j + R_{ijk} u_k u_j + Q_{ijk} v_k u_j + E_{1ij} h_j + F_{1ij} - T_{1i} + G_{ij} u_j - H_{ij} u_j = 0, \quad (5)$$

$$M_{ij} \dot{v}_j + R_{ijk} u_k v_j + Q_{ijk} v_k v_j + E_{2ij} h_j + F_{2ij} - T_{2i} + G_{ij} v_j - H_{ij} v_j = 0 \quad (6)$$

となる。ただし、 η は初期水深から水面までの高さを示し、 $\dot{}$ は時間微分を意味する。また時間の離散化法としては 2-step Lax-Wendroff 法を用いた。今回の解析においては計算時間短縮のため、運動が一方方向に卓越している領域では1次元解析を行ない、合流部付近での

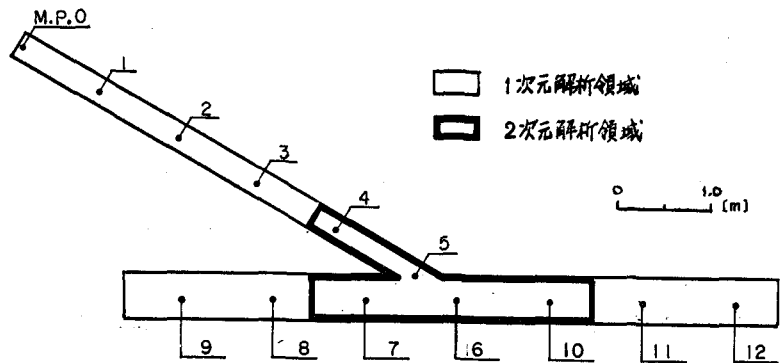


図1 解析領域と測定地点

のみ2次元解析を行なった(図1)。また、式(4)(5)(6)の行列 M_{ij} は対角行列に集中化させた集中行列を用いた。

4. 解析結果と実験値との比較、及び考察

実験水路は、合流角 30° 、主水路の水路勾配 $1/200$ 、支水路 $1/200$ 、粗度係数は両水路とも 0.025 である。初期条件は、M.P.1 の水深 5 cm で両水路共、静水状態とし、境界条件として実験で得られた M.P.0 の水位変化のデータを与えた。また、渦動粘性係数の値は段波到達直後、 $D_x = D_y = 10.0 U_* h$ (U_* は摩擦速度) とし時間と共に減少するようにした。

本解析法により、合流部での段波挙動がかなり精度よく表わされていることがわかる(図2)。

段波が合流部にほいり、上下流へ伝播していく波の波高や伝播速度は実験値とほぼ一致し、合流部の影響とみられる M.P.4 の波高の減少もよく表わされている。しかし M.P.1 から M.P.4 まで伝播していく際、実験ではかなり波高の減衰があるのに対し、数値計算では減衰の割合が小さい。この計算例の段波は相対波高 η/h がほぼ 0.5 で plunging 型砕波といわれ波先が時間と共に崩れていく段波である。しかし今回の数値計算では砕波条件がはいつていなく、減衰は底面陥坑によるものしか現われていないためと思われる。また本解析法では定式化する際、保存則形にしていけないので計算過程において質量の保存則を満たしているか疑問である。そこで

$$MC(t_0) = \frac{\int_{t_0}^{t_0} Q dt - \int_S M ds|_{t=t_0}}{\int_{t_0}^{t_0} Q dt} \left(\begin{array}{l} \int_{t_0}^{t_0} Q dt ; \text{解析領域内に流} \\ \text{出入する流量。} \\ \int_S M ds|_{t=t_0} ; t_0 \text{ 時間のときの} \\ \text{領域内での質量増分} \end{array} \right)$$

とし $MC(t)$ の時間による変化を調べた。図 3 によると 3.5 秒程で一旦 0 に落ちつくのだが、丁度段波が合流部に到達する 4.5 秒程で増大していってしまう。これは合流部の隅の点が特異点となり、そこで流量の出入があるためと思われる。このことに関しては現在検討中である。

5. 終りに 本来、段波、特に局所流と組み合わせた解析では当然 3 方向の流速成分を考慮しなくてはならないので 2 次元で取り扱うべきものであるが、今回は運動量拡散の項を導入することによりある程度考慮した。今後は滑動粘性係数をどの程度の値にしたらよいか、また砕波条件をどう取り入れるかなど検討していかなくてはならない。なお本計算に際しては、信大データステーションを経由して東大計算機センターの HITAC 8800/8700 を利用した。

- 参考文献 ① 水島・岩佐・井上「ゲート急開時における数値解析について」、第 32 回年講 (1977)
 ② Christopher G. Koutitas ; Finite Element Approach to Waves Due to Landslide, ASCE, HY 9 (1977)
 ③ 室田・岩田「段波の変形に関する研究」、土木学会論文報告集、160号 (1968)

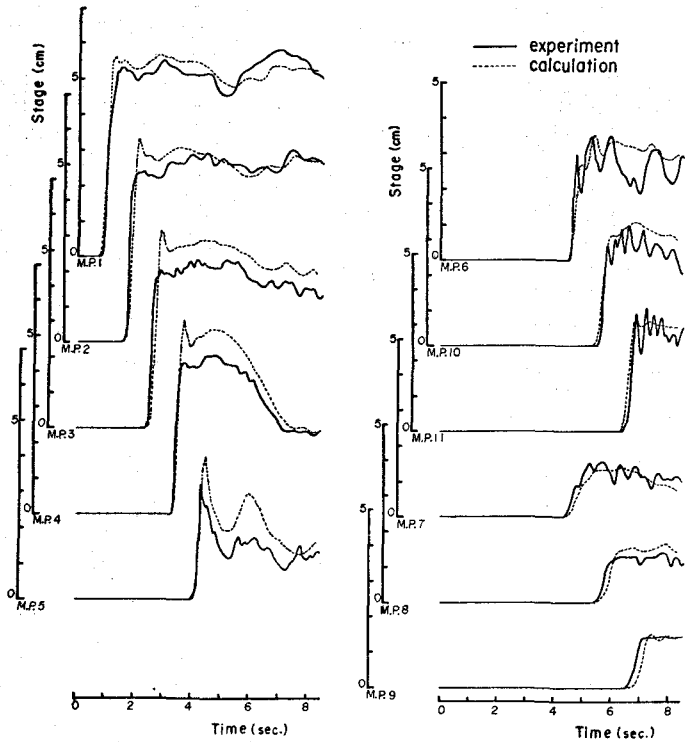


図2 解析結果と実験値との比較

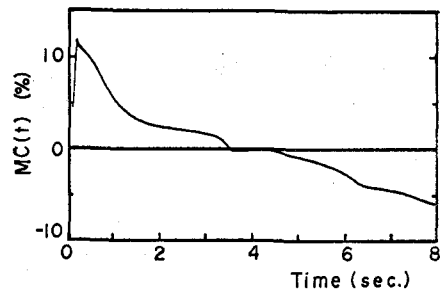


図3 保存則の検証