

京都大学工学部 正員 中川博次

1. はしがき ダムの破壊にともなう発生する段波が初期の上下流水深の大きさによって4種の変形特性を示すことならびに各領域での段波の波速、波高、安定限界について二次元段波に因する実験によってすでに明らかにした^(1,2)。本報告では段波発生初期における鉛直加速度の効果を示すための数値計算を行ない、その結果を若干の測定値と比較検討したものである。

2. 数値計算法 計算はA) 抵抗項を含む非線型浅水方程式と特性差分法によって解く方法およびB) Navier-Stokesの式を有限差分法により解く方法³⁾によった。A)ではマニングの抵抗則にしたがうものとして、 $n=0, 0.01, 0.005$ の3通り、 $\Delta t=0.002 \text{ sec}$, $\Delta x=2.0 \text{ cm}$ として計算した。B)では計算領域を $4x=20 \text{ cm}$, $4y=5.16 \text{ cm}$ を基本単位とする長方形格子で構成し、また流体素子の軌跡を求めるためのMarker粒子の座標系を設定し、粒子の移動量は隣接した4つの格子の内挿値として与えた。初期条件としては、流速を0、ダム面での圧力は破壊の瞬間には静水圧が残面されるものとした。現象表現の正確さは明らかに格子の細かさに依存し、計算の安定性は計算時間サイクルに左右されるが、ここでは $\Delta t=0.02 \text{ sec}$ とした。ダム破壊前の水位条件としてはA), B)ともに実験条件に合わせて、上流側水位 $h_0=40 \text{ cm}$, 下流側水位 $h_1=0, 10, 20, 30 \text{ cm}$ の4種とし、京都大学電子計算機KDC-IIで数値計算した。

3. 初期段波の内部機構 B)の計算法では各格子の流速と圧力を第一変数としているから、直接段波内部の水理量の変化を知ることができる。図-1はダム破壊後0.1 sec後の粒子の運動をベクトル表示したものである。

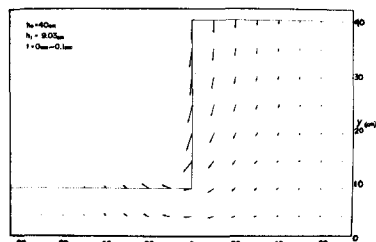


図-1

(1) 圧力変化 図2aおよびbはそれぞれ $h_1/h_0=0.25, 0.75$ の場合の $x=-45, -5, 15 \text{ cm}$ (x :ダムより下流方向に正)での底面から2.58 cmの奥の圧力の時間的変化を示したものである。図中実線はB)による $\rho/\rho_0 h$ の計算曲線、破線はA)による h/h_0 の変化曲線、●は水面から測長までの実測水深、○はB)による計算水深を示す。 $h_1/h_0=0.25$ では計算結果に解の不安定性に起因するみだりの変動がみられるが、B)による計算水深と実測水深とが良好な一致を示していることから、図によって平均的な圧力変化の傾向を考察することができる。すなわち、 h_1/h_0 が小さいほど静水圧分布からのずれは顕著であり、 $h_1/h_0=0.75$ では水面と圧力の変化曲線がどの奥でもよく一致することから、静水圧分布を示すものとみなしてよい。場所的には明らかにダム直上

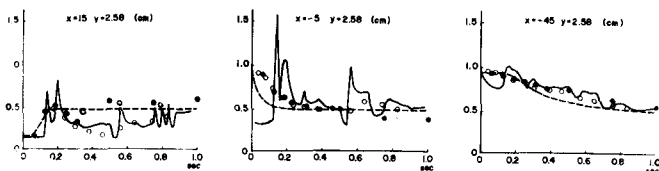


図-2 a

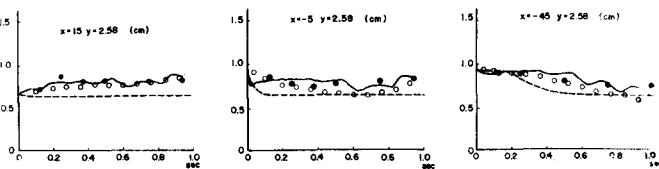


図-2 b

流の非静水圧効果が顕著であり、ダム破壊後の0.5~0.7secで静水圧にもとどることが認められた。 $x=15\text{ cm}$ で $h_1/h_0=0.25$ のとき、顕著なundulationが現われるために複雑な圧力変動を示すが、その変化は実測水面の変動に比較的良好に追随している。

(2) 加速度項の変化 いま実験で求められた波速 c_{exp} と鉛直加速度を無視した浅水波理論から計算された波速 c_{stoker} との比を x/h_0 に対して図示したのが図-3である。実験値と1.0との差が鉛直加速度の効果を表わすものと考えてよい。図より h_1/h_0 が小さいほど浅水波理論からのずれは大きくなり、その影響範囲も広がることが認められる。一方、 h_1/h_0 が1に近い場合には鉛直加速度をまったく無視しうる。

緩波内部の流速成分 u および v の計算結果から、 $h_1/h_0=0.25$ 、 $x=-5\text{ cm}$ 、 $y=2.58$ 、 7.74 、 12.90 cm の3点での加速度項の時間的変化を示したのが図-4である。加速度成分の変動を考察して次の特性が認められた。

1) u はダム破壊直後からほぼ一定値を示し、その大きさも他項に比べて最も大きい。2) u は $t=0.2\text{ sec}$ で最大値を示し、その後次第に減少する。他の項に比較して2番目に大きい項である。3) v および v は他項に比べ $10^1\sim 10^2$ オーダーであり、無視できる。4) u および u は水面で最大で水深方向に減少する。 $t=0.2\text{ sec}$ で最大値を示し、それ以後は減少するが、 $t=0.7\text{ sec}$ までは u と同程度またはそれより大きい値をとる。 x 上の事実から $h_1/h_0 < 0.8$ の範囲ではダム破壊後の0.7secまでは静水圧分布を仮定することができず、鉛直加速度を考慮した水面形解析を行なう必要がある。 $t > 0.7\text{ sec}$ では非線型浅水波理論の適用が可能となる。

図-5に $h_1/h_0=0.25$ で $t=0.74$ 、 0.98 sec の計算水面と実測水面とを示す。B)による計算水面と実測水面の間には格子の大きさおよび計算時間間隔に基づく位相・波高の差が認められるが、 $t=0.74\text{ sec}$ で波頭が砕けはじめ、 $t=0.98\text{ sec}$ で移動跳水型緩波に移行していく状態が明確に示されている。

4. おわりに ダム破壊に伴う進行波の発達機構を論じる上で重要な初期波の性状を考察したが、その一般特性も明確にするにはなお計算精度その他に問題が残されており、現在より綿密な解析を行なっている。

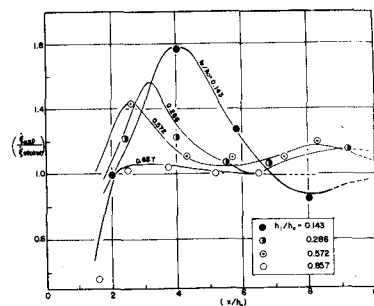


図-3

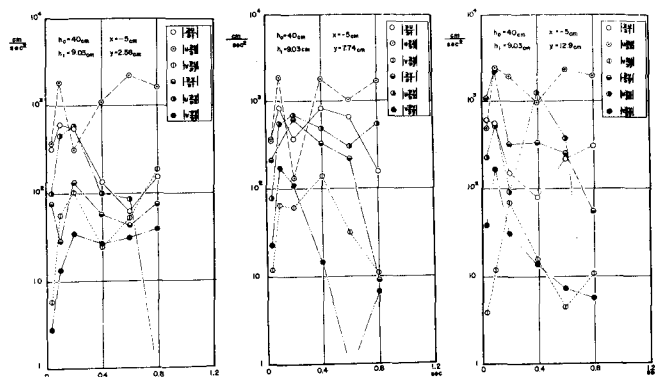


図-4

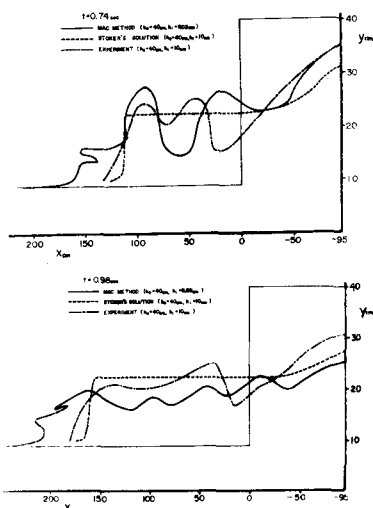


図-5

参考文献

- 1) 中川・中村・市橋: 緩波の発生とその発達に関する研究, 京大防災研年報, 123B, 昭. 44. 3.
- 2) 中川・中村・市橋: 洪水破壊に伴う緩波に関する研究, 関西支部年次学術講演会, 昭. 44. 5.
- 3) Welch et al.: The MAC method - A computing technique for solving viscous, incompressible, transient fluid-flow problems involving free-surfaces, Univ. of California, 1965.