

ダム破壊にともなう段波に関する研究

京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学防災研究所 , 〇中村重久
 鹿島建設 K.K. , 市橋義臣

1. まえがき ダム破壊時の急変非定常流に関する研究は従来から多方面にわたって行なわれているが、問題の非線型性による理論的接近の限界から、その変化特性を十分満足に表示しうるまどに至っており、また種々の境界条件に対する波形の変化特性にもなお不明な点が多い。一方、堤体やゲートの破壊に伴う災害は測り知れないものがあり、その場合の流の特性を予め把握してその対策を検討しておくことが必要である。このような意味から、本研究では各種の境界条件に対するダム破壊時の2次元段波に関する実験と数値計算とを行ない、とくに従来不明確であったダム破壊直後の非線型効果とある程度明らかにすることができた。

2. 実験装置と方法 実験水路は幅50 cm, 高さ50 cm, 長さ30 mの片面ガラス張りブロック製(防水モルタル仕上げ)である。上流端から5 mの位置に鋼製ゲートをとりつけ、30 kgの錘で瞬時に開けるようにし、この状態をダム破壊に対応させた。上流側水深 h_0 は40~15 cm, 下流側水深 h_1 は0~35 cmの範囲を初期条件とした。ダム破壊後の水面変化は35 mm自動撮像式カメラ, 16 mmシネカメラによって写真測定するとともに、抵抗線式圧力計によって波形を自記記録した。

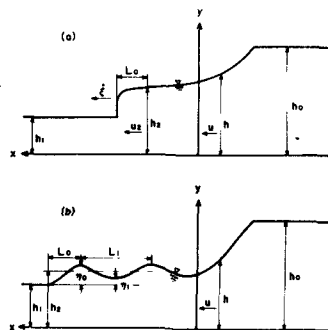


図-1

3. 段波の特性 ダム破壊時に発生する段波の特徴を実験的に分類すると、i) Ritterの解を表わす波面($h_1/h_0=0$), ii) 準定常移動跳水($0 < h_1/h_0 \leq 0.4$) iii) 不安定な波状段波($0.4 < h_1/h_0 < 0.56$) iv) 安定した波状段波($h_1/h_0 > 0.56$)となる。段波の波高と上下流水深比の關係について実験値およびStokerの理論曲線を示したが、図-2であり、ゲート近傍での実測波高が理論値より大きくなり、その差が h_1/h_0 が大きくなるとともに次第に小さくなるのは、 h_1/h_0 が小さいほどゲート近傍で鉛直方向速度成分の効果が顕著なためである。また $0.4 < h_1/h_0 < 0.6$ の範囲で測定値がかなりばらつきを示すのは波状段波の発達による不安定性によるもので、 $0.6 < h_1/h_0$ で理論値よりわずかに低

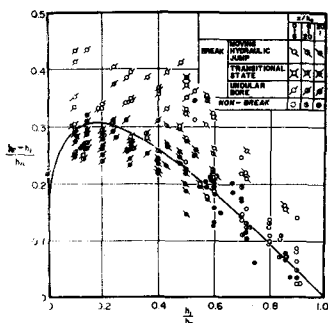


図-2

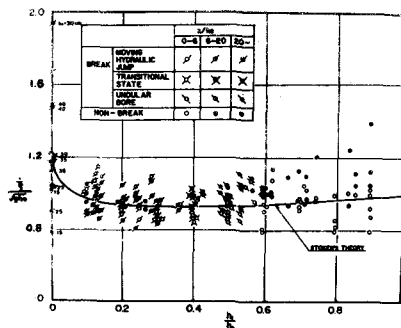


図-3

くなるのは波高が減衰過程にあるためと考えられる。図-3は敗波の先端減速の理論値と実験値とを比較したものであるが、 $h_1/h_0=0$ の点では水深に対する底面摩擦の効果が異なるためのばらつきを示している。

$0 < h_1/h_0 < 0.4$ では Stoker の理論値と実験値はよく一致し、 $h_1/h_0 \geq 0.4$ では敗状敗波の発達に伴う波高増大によって下流での波速が大きくなる。またゲート近傍での波速はとくに h_1/h_0 が小さい場合に理論波速より著しく大きくなり、ダム破壊時の敗波で初期には鉛直加速度成分が重要な働きをしていることを示している。

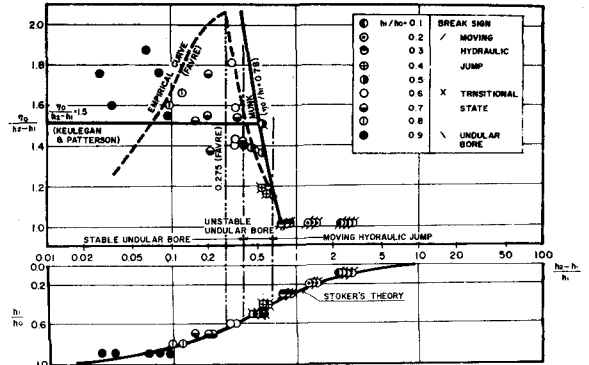


図-5

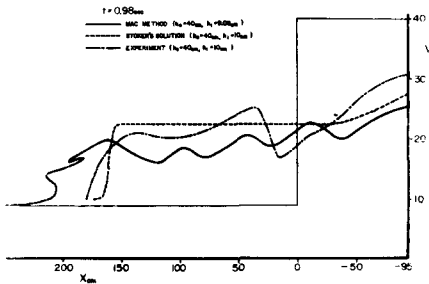


図-4

図-4には実験波面を Stoker の特性差分法による計算波面および Navier-Stokes の方程式を有限差分法によって計算する MAC 法による計算波面と比較検討した一例を示す。

準定常状態とみられる敗波の特性を Stoker などの従来の研究成果と対比すると図-4のようになる。Stoker の理論と実験値とはよく一致している。しかし、Keulegan & Patterson の敗状敗波発生限界 $\eta_0/(h_1-h_0) = 1.5$ 、Munk の碎波限界 $\eta_0/h_1 = 0.78$ 、および Favre

の実験例と対比してみると、かなりよい一致がみられるが、Favre の敗状敗波の安定限界 $h_1/h_0 = 0.635$ は本実験では 0.56 であった。

Stoker の定常敗波理論の波速と実験波速とを比較すると、ゲート付近では差が大きく、下流では小さくなる。これはダム破壊時の敗波で、初期には鉛直加速度成分が重要な働きをしていることを示すもので、流速分布から得られる結果と一致している。また、圧力分布をみても初期には静水圧分布になっていたことが、MAC 法の計算によっても示される。このようなダム破壊時の敗波の問題を解析的に検討する場合に、基礎方程式で重要な項は、実験および数値計算の結果によれば、 $\partial u/\partial t$ および $u \partial u/\partial x$ である。初期においては $\partial v/\partial t$ も重要であるが、これにくらべて $u \partial u/\partial y$ や $u \partial v/\partial x$ は 1 次小さく、さらに $u \partial v/\partial y$ は小さいので無視しても差支えない。水面勾配や底面摩擦の効果も重要であるが、本実験の場合底面摩擦の効果は 2~3 次小さかった。渦度とダム破壊の初期では重要であって、解析にあたって、厳密には Pohle のようにポテンシャル流を仮定することは妥当ではないことがわかった。

4. 結語 ダム破壊時に発生する敗波について、初期波の特性を明らかにし、さらに、準定常敗波としてのダム下流の敗波の特性を実験により明らかにした。従来の理論などとの対比もおこなった。そして、今後の研究の方向をもとめることができた。