

貯水池決壊段波の流下過程に関する研究

京都大学防災研究所 正員 村本 嘉雄
 京都大学防災研究所 正員 大久保賢治
 日本債券信用銀行 正員○松井 俊文

1. まえがき

貯水池の決壊に伴う段波の河道伝播については、今世紀初頭より数多くの研究が行われており、近年では数値モデルが主流をなしている。しかし、固定床一様水路の単純な条件下でも、路床勾配の影響や初期の変形過程に対する漸変流近似の適用性が明かでなく、また種々の河道条件下での実験的検証も十分に行われていない。本研究では、固定床水路（滑面・粗面）、移動床水路、及び貯水池に流入する段波の挙動を実験的に検討するとともに、漸変非定常流と河床変動に関する数値解析法の適合性について考察する。

2. 実験の概要

実験には、幅10cm、深さ25cm、長さ4mの亚克力製の長方形断面水路を用い、その上流端に同じ断面で長さ1mの貯水槽を設置した。固定床粗面と移動床の材料としては、軽量骨材（比重 $\sigma=1.99$ 、平均粒径 $d=4.06\text{mm}$ ）と一様砂（ $\sigma=2.65$ 、 $d=0.85\text{mm}$ ）の2種類を用い、路床勾配は前者では $So=1/10$, $1/100$, $1/500$ 、後者では $So=1/100$, $1/500$ であって、貯水池初期水深 $h_0=4, 8, 16\text{cm}$ の各条件で瞬間全面決壊実験を行った。一方、貯水池における段波の流下過程の実験では、 $So=1/100$ の水路下流端に高さ5.3cmの堰板を入れ、水路上流端（ゲート地点）の水深 $h_g=0$ 、及び1.3cm（満水状態）の条件を設定した。計測項目は、水位（容量形水位計）、流速（プロベラ流速計：固定床のみ）、移動床実験の河床高と流出土砂量、及び写真撮影である。

3. 数値解析法

流れの基礎式として保存則系の漸変非定常流式を用い、MacCormacの数値解析法¹⁾（2段階陽解法）を適用した。水路上流端の境界条件には、Ritterの解を拡張した近似解²⁾を用い、下流端は限界流条件とした。初期条件は、固定床・移動床（乾燥路床）の場合には微小水深 $h=0.005h_0$ を仮定し、それ以下の水深では流速 $U=0$ として段波の波先を取り扱った。しかし、急勾配で h_0 が大きい条件下では、波先で計算不安定が発生する場合があったので、フルード数 $Fr_c > 4$ の流れでは、Manningの粗度係数 n を2倍する便法を用いた。計算の差分間隔は、安定性（CFL条件）と分散性を検討して $\Delta x=0.1\text{m}$ 、 $\Delta t=0.05\text{sec}$ とした。河床変動解析には、芦田・道上の掃流砂量式を用い、水路上流端で静的平衡勾配、下流端（砂止め堰）で一定河床高を仮定した。河床変動の計算スキームは非定常流のそれと同様であって、差分間隔のみ1/2にした。

4. 固定床及び移動床水路における段波の流下過程

図-1に、4測点における水深の時間的変化の一例として、

$So=1/500$ 、 $h_0=16\text{cm}$ の固定床条件での計算値 ($n=0.01$) と固

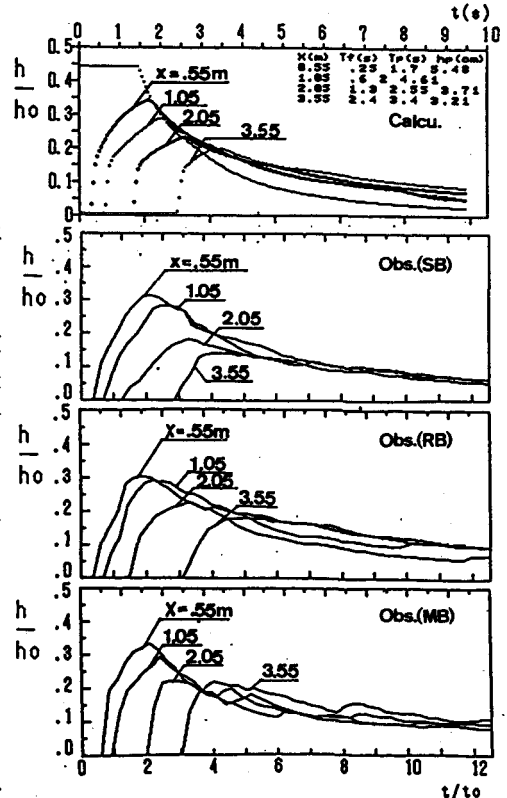


図-1 水深の時間的変化の計算値と実験値の比較

Yoshio MURAMOTO, Kenji OKUBO, Tosifumi MATUI

定床滑面(SB)・粗面(RB)及び移動床(MB)の実験値の比較を示す。また、図-2は、各測点におけるピーク水深 h_p とその発生時間 t_p の関係を検討したものであって、固定床条件で n を変化させた計算値と固定床及び移動床の実験値が比較されている。固定床滑面・粗面の場合は、フロント部の波形変化、及びピーク水深の減衰特性も計算結果とほぼ対応しており、何れの河床条件の実験値も、平均的には計算値に類似した減衰特性を示している。一方、移動床の場合は、フロントの立ち上がりが急激であって、ピーク水深も単調な減衰特性を示さない。とくに、 So が大きく、 h_o が小さい場合には、流下過程で波高が増大したり、一定波高が持続するなど特異な変化を示し、 h_o が小さくなるにつれて、 n の大きい計算値に近づいている。河床変動解析の結果は、河床変動の伝播過程と洗掘形状は実験結果と類似していたが、洗掘範囲と洗掘深は過小評価となった。また、段波の波形変化には、 n の影響が大きく、波高の増幅特性は再現できなかった。

5. 貯水池における段波の流下過程

図-3は、貯水池内3点の水深-時間曲線の一例($h_o=8\text{cm}$ 、 $h_g=1.3\text{cm}$)を示したものであって、初期水深を基準として表してある。段波はほぼ一定波高を保持して流下し、下流端に達すると反射して遡上波が発生し、急激に波高が増大する。遡上波は上流に向かうにつれて急激に波高が減衰し、上流端で再度反射して波高が若干高くなるが、すぐに減衰する。計算値と実験値を比較すると、進行波については最下流の測点に達するまで両者がよく一致している。しかし、遡上波については、最下流測点の波高の増大が実験では急激でなく、波高のピーク値は計算値の2/3程度にとどまっている。こうした遡上波の波高抑制が、その後の伝播速度の差となって現れ、実験では明らかに計算値より伝播速度が小さい。遡上波の挙動が実験と計算で異なる原因として、下流端の境界条件と遡上波の碎波が考えられるが、下流端での越流水深と流速の測定結果では限界流の条件はほぼ満足しており、後者の原因によると言える。なお、 $h_o=4\text{cm}$ の場合には、計算値と実験値は遡上波についても一致する。

6. むすび

固定床・移動床水路及び貯水池における段波の流下過程を実験と数値解析によって考察した。移動床での波高の増大や遡上段波の碎波による減衰過程について、今後究明する必要がある。

1) Bellos, C. V. et al.: Jour. of Hydr. Engg., Vol. 113, No. 12, 1987. 2) 村本: 京大防災研年報, 29号B-2, 1986

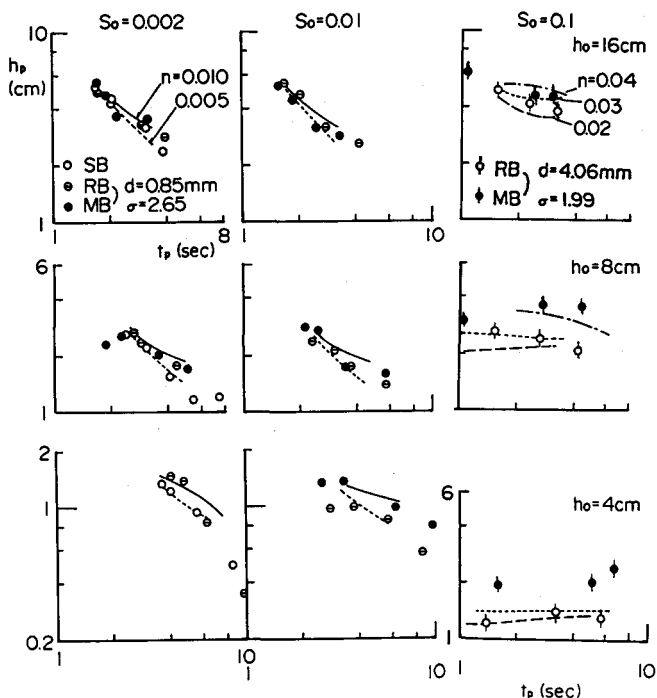


図-2 ピーク水深とその発生時間の関係

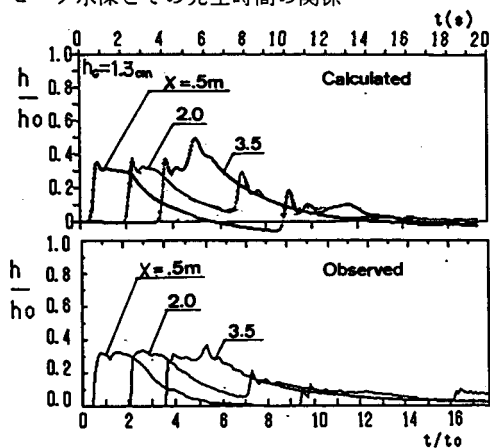


図-3 貯水池における水深変化