

京都大学大学院 学生員 水島 雅文
京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
京都大学工学部 正 員 井上 和也

1.はじめに：ゲート急開時に発生する非定常流は、貯水池が決壊したときの流れのモデルとして従来より研究されており、その解析的な結果はdam-break wave としてまとめられている¹⁾。しかし、それらの解析的な研究ではかなりの近似化が行なわれていて、たとえばゲート下流側に水が存在するときには摩擦項は考えられていないし、またゲート上流の貯水槽が有限である場合は取扱われていないので、現実のゲート急開時の流れには適用されにくい結果となっている。本報はこのような流れを基礎式の直接的な数値計算によってシミュレーションすることを目的とし、その結果といくつかの実験結果とを比較・検討するとともに、計算結果より基礎式における各項の大きさの程度について若干の考察を加えるものである。

2.基礎式および計算方法：本報で扱う流れには段波の発生が考えられるので、開水路非定常流に関する解析法のうち、つぎの運動量解析法を適用する。その基礎式はつぎのとおりである（図-1）。

連続式： $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$ (1), 運動量式： $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\rho v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\chi \cos \theta}{A} \frac{\partial}{\partial x} (f_q A) = S_o - S_f$ (2)

比力 $M = \beta Q^2 / gA + \chi f_q A \cos \theta$ を導入すると(2)は、つぎのように変形される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial M}{\partial x} = gA(S_o - S_f) \quad (3)$$

(1), (3) 式の特性曲線表示はつぎのように求められる。

$$\frac{dx}{dt} = \beta v \pm C, \quad \text{ただし } C = \sqrt{\beta(\beta-1)v^2 + \frac{\chi g A \cos \theta}{B}}$$

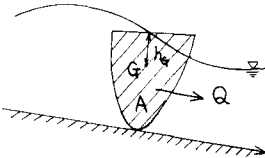


図-1

に沿って $(-\beta v \pm C) \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial M}{\partial x} - gA(S_o - S_f) \right) = 0$ (4)

数値計算は2-step Lax-Wendroff法および(4)式を固定格子点に関して差分化した特性曲線法を用いた。

ここで計算との比較に用いた実験の条件はつぎのとおりである(図-2)。

Case 1 - 水平な水路途中にゲートが存在し、下流水路に水がある場合。

Case 2 - 同様の水路において、下流端にゲートがあり、ゲート開放後下流端が、(i)全幅堰となる場合と、(ii)三角堰になる場合の2種類。

そこで数値計算における境界条件としては、上流端においては固定の直立壁であることから $Q = 0$ 、下流端においてはCase 1およびCase 2(i)

の場合には限界水深が現われるとして $h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB}}$ 、Case 2(ii)については、この場合の三角堰の流量公式として、 $Q = 0.421 / H^2 \sqrt{2gH}$ と与えた (H : 越流水深)。

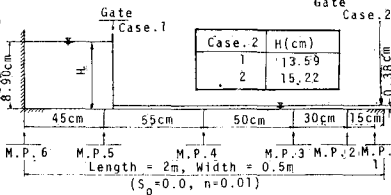


図-2

3.計算結果と実験値との比較：図-3のハイドログラフはCase 1における実験値とLax-Wendroff法および特性曲線法による計算値の比較を示したものである。これより貯水槽内(M.P.5および6)において水位が階段状に減少してゆく過程はどちらの計算法ともよく再現している。しかし、下流水路に現われる段波についてはLax-Wendroff法が特性曲線法よりもどちらかといえば適合度がよいようである。計算結果から求められる水量の連続性はLax-Wendroff法の方が特性曲線法よりよく保たれていることはすでに確められており³⁾、今回の計算でも同様の結果となっている。これらからLax-Wendroff法の方が精度の高い解を与えることが分るが、Lax-Wendroff法においても

計算値が振動するという問題点が残されており、解も実験値と必ずしも十分に適合しているとはいえない。ゲートより下流に水の存在するときの流れについては、今後鉛直方向の加速度の影響をも加味した研究が必要とされよう。

図-4はCase2における貯水槽内の水面形を計算結果と比較したものである。(i)全幅堰の場合、水槽の上流側では計算値は実測値とほぼ一致しているとみられるが、下流端においては水位の実測値は計算値よりつねに小さくなっている。その理由として、流出口近くの流れでは流線の曲率が大きく、下流端においては限界水深より小さい水深がふつう現われることが挙げられよう。(ii)三角堰の場合、水面はX方向に振動しながら低下している。これは水槽内に発生した静振によるものである。計算値はこのような水位の低下の過程を水槽の全長にわたってよく再現している。とくに下流端においても、計算値と実測値がよく一致しているのは、三角堰の堰板によって水槽内の流れが堰上げられ、水面の曲率が比較的小さかったためと予想される。しかしこの場合には堰板によって2次元的な表面波が発生しているの、それらの影響の検討が今後必要とされる。

4.基礎式の各項の大きさについて：基礎式のすべての項を省略せずに計算することは必ずしも適切でない。しかし有効な近似手法を考えるにはまず基礎式の各項の大きさの程度を知る必要がある。本報ではその一例として、前述のCase2(i)の計算結果より各項の程度を比較した。図-5はその結果で、問題となる運動量式(3)について、貯水槽内の下流端付近(M.P.1)および中央地点(M.P.4)において各項の絶対値を比較したものである。この図より中央付近では $\frac{\partial Q}{\partial t} \sim \frac{\partial M}{\partial x}$ であり、これに比べ $gA(S_0 - S_f)$ は小さいが、下流端付近ではすべての項がほとんど同程度となっている。これは、摩擦項が水深の大きいとき相対的に小さくなるので、水深の大きい中央地点では小さく、水深の小さい下流端で大きくなったものである。

本報ではゲート急開時の急変非定常流の数値解析について述べてきた。今後はゲート前での水位の存在しない場合や上流側が斜面のときの流れに伴う汀線の後退する場合などのdry bed

の取扱についても検討する必要がある。

なお、本研究は文部省科研費、自然災害特別研究「貯水池の決壊による洪水流出」(代表・村本嘉雄教授)の補助を受けたことを記し、謝意を表します。

<参考文献> 1) Stoker J.J., "Water Waves"

2) 岩佐 壯一・片山, 京大工学部報19号B-2

3) 片山 岩佐, 水防学会誌 11-151

