

1. はしがき 開水路の不定流解析には種々の方法があり、最近では電子計算機の利用とあいまつて数値解法の開発が盛んに行なわれている。

しかし自然河川の複雑な断面形状を用いて洪水解析を行なう場合に次のような問題が残されている。

(1) 計算上の安定性、不定流を計算する場合に $\Delta x, \Delta t$ のとり方や、条件の与え方によつて計算が不安定となることがある。(2)合理的な水面形状の算定、自然河川では複雑な断面形状、勾配をしているため、境界条件によつて水面形状が発散することがあるがこの水面形の計算方法 (3)演算時間の短縮、洪水計算の場合、洪水時間が長く河川水路も長いから演算時間がかゝり経費も多くなる。

不定流の計算方法について著者は、特性曲線法による計算方法を提案し、多くの計算を試みたが良い結果を得ている。しかし洪水解析や、洪水時のゲート操作の検討等を行なう場合に特に(3)の演算時間の短縮が問題となつた。現在の方法では演算時間がかゝりすぎる。また演算時間の短縮をはかると計算が安定しないと云うこともある。そこでこれらの問題点を考慮して、こゝに新しい洪水波解析の方法を提案した。

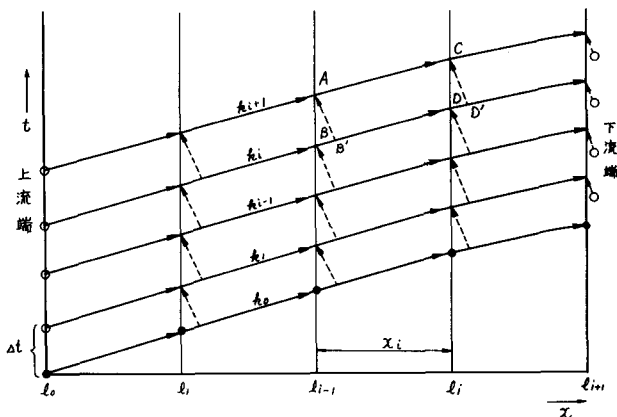
## 2. 洪水波計算の方法

河川断面を長方形断面と仮定して、不定流の連続方程式および運動方程式から特性曲線方程式を導びくと、

$$\begin{cases} dx/dt = U \pm V \dots\dots\dots(1) \text{の曲線上で} \\ d(U \pm 2V) = g \left( i - \frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} \right) dt \dots\dots\dots(2) \end{cases}$$

となる。こゝに $U$ :流速,  $V=\sqrt{gh}$ :波速,  $h$ :水深,  $i$ :河床勾配,  $n$ :粗度係数,  $R$ :経深

図一 1 (X-t) 平面



特性曲線上で波速の変化を求めると(1)

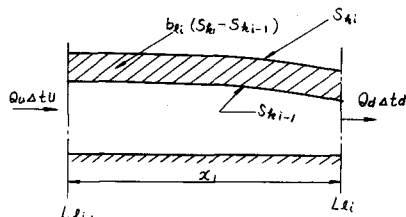
(2)式から、

$$dV = \frac{-V}{2(U^2 - V^2)} g \left( i - \frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} \right) dx \dots\dots\dots(3)$$

となり、(3)式を書替えて、

$$dx = \frac{2(V^2 U^2)}{gV \left( i - \frac{n^2 U^2}{R^{4/3}} \right)} dv \dots\dots\dots(4)$$

図一 2 計 算 手 法



(4)式は図-1に示す(x-t)平面上で特性曲線上の波の水面形状を表わす。

ところで図-1で上流から下流に向う特性曲線に $k_i$ の記号をつけ、また計算点に $\ell_i$ の記号をつける。従つて $k_i \ell_i$ の点の流速、波速、流量はそれぞれ添字をつけて、 $U_{k_i \ell_i}$ ,  $V_{k_i \ell_i}$ ,  $Q_{k_i \ell_i}$ と表わす。いま図-1のA B' C D'に囲まれた特性曲線上での計算を考えると洪水が時間的流量変化が少ないことからA B' C D'においてA B'から流入する流量とC D'からの流出する流量の差がA B' C D'内に貯留する量に等しいと仮定する。(ただし、こゝではA B' C D'は近似的にA B C Dとする)連続方程式は次のようになる。(図-2)

$$Q_u \Delta t_u - Q_d \Delta t_d = b_{k_i} (S_{k_{i+1}} - S_{k_i}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\Delta t_u = \frac{Q_{k_{i+1}, \ell_{i-1}} + Q_{k_i \ell_{i-1}}}{2}$$

$$Q_d = \frac{Q_{k_{i+1} \ell_i} + Q_{k_i \ell_i}}{2}$$

$$\Delta t_u = T_{k_{i+1} \ell_{i-1}} - T_{k_i \ell_{i-1}}, \quad \Delta t_d = T_{k_{i+1} \ell_i} - T_{k_i \ell_i}$$

$b_{k_i}$ :河道巾  $S_{k_i}$ :河道区間の貯留量

特性曲線の伝播速度は(1)式から次のようになる。

$$T_{k_i \ell_i} = T_{k_i \ell_{i-1}} + \int_{L_{\ell_{i-1}}}^{L_{\ell_i}} \frac{dx}{U_{k_i} + V_{k_i}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

また、特性曲線  $k_i$ 上の河道区間の貯留量は、

$$S_{k_i} = \sum_{L_{\ell_{i-1}}}^{L_{\ell_i}} \frac{V_{k_i}^2}{g} dx \quad \dots\dots\dots(7)$$

こゝに  $V_{k_i}$ は $Q_{k_i}$ が一定の条件のもとに(4)式を数値積分して求める。

一方、C点のU, Vは下流から伝播する特性曲線上のD'のU, Vから(2)式を使つて次のように導かれる。(ただしD'点のU, VはD点のU, Vの値とする)。

$$\begin{cases} V_{k_{i+1} \ell_i} = V_{k_i \ell_i} + \frac{U_{k_i \ell_i} - U_{k_{i+1} \ell_i}}{2} \\ U_{k_{i+1} \ell_i} = \frac{g Q_{k_{i+1} \ell_i}}{b_{\ell_i} V_{k_{i+1} \ell_i}^2} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(8)$$

これらの式を使つて一様断面水路の洪水波の計算を説明する。図-1のA, B, Cの各点のU, V, Qの値は既知数である。これらの値と(5)式, (8)式を使つてC点のU, V, Qを計算する。はじめにC点の流量 $Q_{k_{i+1} \ell_i}$ を仮定し, (8)式に代入して,  $V_{k_{i+1} \ell_i}$ ,  $U_{k_{i+1} \ell_i}$ を求め、この値を(4)式の初期条件として(4)式および(7)式を数値積分して $S_{k_{i+1}}$ を計算する。この $S_{k_{i+1}}$ を(5)式に代入して $Q_{k_{i+1} \ell_i}$ を求める。そして、はじめ仮定した $Q_{k_{i+1} \ell_i}$ と等しくなるよう試算を行なつてC点のU, V, Qの値を決定する。この様につぎつぎと下流点の値を特性曲線上に従つて計算を進めて、下流端に行くと、また上流端にもどつて次の特性曲線上を計算する。

ところで特性曲線上の $k_0$ における各計算点(図-1の・点)の値は初期条件として、はじめに与えられる。また上下流端で特性曲線との交点(図-1の○点)は境界条件として上流端で流量を与え、また下流端では流量または水深を与える。上流端で与える流量の $\Delta t$ は急激な流量変化にならないよう

な時間ならば任意に選べる。

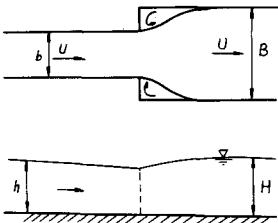
### 3. 水路断面変化部の計算

一般の河川形状は不規則であるため水路の流れは断面形状によつて大きく影響を受ける。

したがつて不定流計算には河川形状を河道にそつて細かく分割し、各々の河川断面を忠実に計算に折込む方法をとられている。しかしこの方法は、水面形状が不安定になりやすく正しい水面形も得にくい。

そこでもう一つの方法として、河川断面形状が一樣と思われる部分で大きく分割し、その間の河道を勾配、粗度、水路巾が一樣な水路と仮定してこのような水路が連続して河道を形成していると考えて不定流を計算する方法がある。この方法を使つて調整池内の波動を計算をして満足する結果が得られた。この方法を使う場合に水路と水路が接合し、水路巾が変化する部分の計算を考慮する必要がある。水路巾が変化する部分の運動量方程式および流量方程式は次のようになる。(図-3)

図-3 水路巾変化部

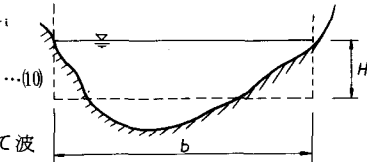


$$\begin{cases} \frac{\rho B}{2} (h^2 - H^2) = BHU^2 - bhu^2 \\ b u h = B U H + q \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

$h, H$ : 水深,  $u, U$ : 流速,  $b, B$ : 水路巾 小文字は上流側, 大文字は下流側水路の値を示す。  $q$ : 横からの流入量, 図-1 の  $\ell_i$  で水路断面が変る場合を考える。

$$\begin{cases} b_{\ell_i+1} (V_{k_i+1,\ell_i}^4 - V_{k_i,\ell_i}^4) = b_{\ell_i+1} V_{k_i,\ell_i}^2 U_{k_i,\ell_i}^2 - b_{\ell_i} V_{k_i+1,\ell_i}^2 U_{k_i+1,\ell_i}^2 \\ b_{\ell_i} V_{k_i+1,\ell_i}^2 U_{k_i+1,\ell_i} = b_{\ell_i+1} V_{k_i,\ell_i}^2 U_{k_i,\ell_i} + \rho q \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

図-4 断面形状



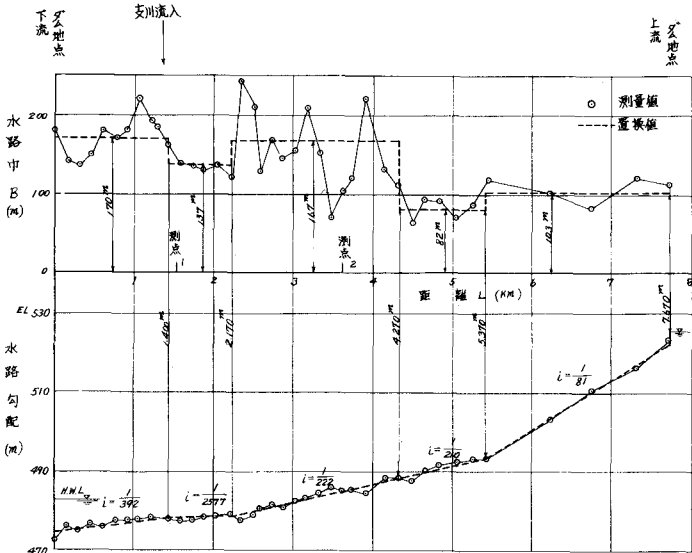
(10)式を解いて  $V_{k_i+1,\ell_i}^2 U_{k_i+1,\ell_i}^2$  を求める。これが断面変化部において流速, 流速の変化した値である。

図-5 水路置換図

この  $V_{k_i+1,\ell_i}^2 U_{k_i+1,\ell_i}^2$  の値を(8)式の  $V_{k_i,\ell_i}^2 U_{k_i,\ell_i}^2$  として、計算をする。あと一樣断面水路の場合と同様に計算を進める。

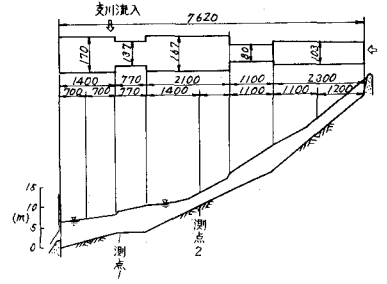
### 4. 計算例

K川水系上流のY調整池において洪水時における調整池内の挙動を調べる目的で水位測定を行なつた。こゝに提案した計算方法によつて洪水波を解析し、実測結果と比較検討を行なつた。河川の横断形状は約150m間隔に測定されているから、この値を使つて横断形状を図-4に示すような水面巾を水路巾とし、断面積



が等しくなるような長方形断面の水路で河川形状を置換し、水深を基準高よりの高さとして求めて図-5に示すと測点(a)のようになった。これを一様な水路巾と河床勾配になると思われる部分に分割してそれぞれの値を求めると図-5の点線に示すようになる。この置換した水路形状を示すと図-6のようになる。この図に計算区間を示し、また、洪水最大量  $2,400 \text{ m}^3/\text{s}$  のときの水面形状も合せて示した。実測した水位は、上流のダムと下流のダムおよび河川内の測点2ヶ所で測定した。

図-6 計算水路



上流ダムで測定した水位は、ダムの越流水深で、これより流量を換算し、上流側の境界条件とした。また下流ダムの水深はダムゲートにより操作されたがこの水深を下流側の境界条件とした。下流ダム地点より上流約  $1380 \text{ m}$  の点に流域  $47.2 \text{ km}^2$  ある支川が流れ込んでいる。この流入量をその地点での雨量から換算してきめた。上流端の流入量を図-7に示し、支川の流入量も合せて示した。下流端の水位を図-8に示す。計算はIBM-360/50を使い約20時間の洪水に対して演算時間は3分であった。計算結果と洪水時に測定した2地点の水位を比較すると図-9のようになった。図-9(a)は、計算値と実測値がよく一致しているが図-9(b)は、測点が調整池内の湛水領域内であるため調整池内に生じた波動があつて、変動がはげしいが、計算値はその平均値を示している。

こゝに提案した洪水波解析法は、特性曲線にもとづいた解析方法であり、洪水波は時間的な変化が少ないことから、特性曲線に囲まれた領域内の連続式を考え、また特性曲線上の水面形状を流量一定とした場合の運動方程式から導びいている。この特性曲線に囲まれた領域を大きくとることで  $\Delta x, \Delta t$  は任意の大きさにとることができる。そのため計算時間は短縮することができた。この方法は洪水時のダムゲート操作の検討、洪水伝播の予測の解析に利用することができるので、現在この方法を用いて研究を進めている。

図-7 上流端流入量

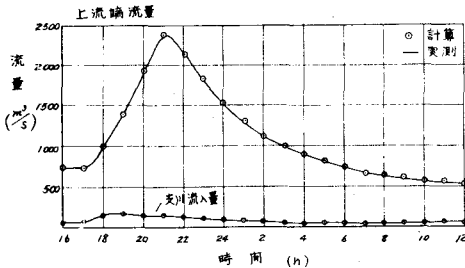


図-8 下流端水位

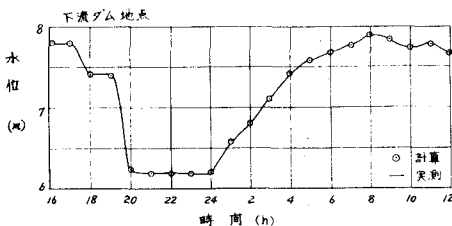
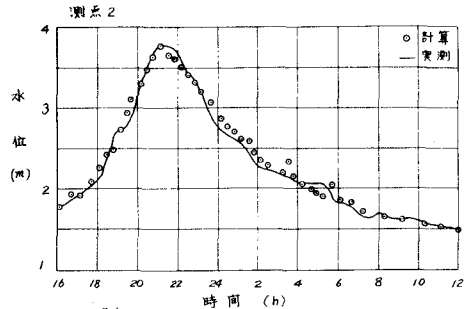


図-9(a) 実測値と計算値の比較



(b)

