

II-70 幅と勾配の変化する水路における洪水追跡

東京大学工学部 正員 玉井 信行
 東京大学大学院 学生員 ○河面 基
 “ “ 寺川 陽

1. はじめに

近年、流域の開発や都市化の進展並びに河川管理技術の向上に伴い、河道における洪水波の変遷過程が河川計画を撰てる上で重要視されつつある。

本論文においては、地形特性が洪水の変化に及ぼす影響、特に狭窄部の存在が洪水波形に及ぼす効果を定量的に考察することを目的としており、不定流の基礎方程式において水路幅及び勾配の変化を考慮し、通常用いられている特性曲線法によって洪水追跡を行なった結果を報告する。

2. 理 論

長方形断面水路において幅の変化を考慮することにより、連続の方程式(式(1))並びに運動量方程式(式(2))がそれぞれ次のように導き出される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \gamma V \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{a}{B} h V + \gamma h \frac{\partial V}{\partial x} = i - f + \frac{q_L}{B} \quad \text{----- (1)}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \gamma V \frac{\partial V}{\partial x} + \gamma g \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} = -\left(i - f + \frac{q_L}{B}\right) \frac{V}{h} - \frac{\tau_0}{\rho R} + g (\sin \theta - \cos \theta \frac{a \cdot h^2}{2Bh'}) \quad \text{-- (2)}$$

ここに、 h : 水深、 V : 平均流速、 x : 距離、 t : 時間、 B : 距離 x における水路幅、 a : コントロール・ボリューム区間における水路幅の変化率、 i : 降雨強度、 f : 浸透能、 q_L : 水路単位長さ当りの面横から流入量、 g : 重力の加速度、 θ : 水路の傾斜角、 τ_0 : 底面摩擦応力、 ρ : 水の密度、 R : 径深、 γ : コントロールボリューム中央断面における数値を意味、 $\gamma = (B/B')$ 、である。

本論文においては、上式を特性曲線法によって解析する。すなわち、式(1)、(2)から導き出される特性方程式を連立常微分方程式として、2つの特性曲線が交差するところで差分化することにより図式的に数値計算を行なうことができる。ただし、特性曲線法による図解法を進めるにあたり、あらかじめ構成された規則的な特性曲線網の計算格子点が求められるような計算スキームを採用している。これらの計算スキームに関しては前報¹⁾などで既に概観しているので、それらを参照されたい。

3. 計算例と結果の考察

本論文における数値解析を進めるにあたり、著者らは、計算スキームの精度を確認するために、電力中央研究所が行なった一様水路における不定流の実験結果²⁾に関してこの数値解析を適用し、良好な結果を得ている。

さて、幅と勾配の変化した河道における解析例としては、鬼怒川の鬼怒橋から豊水橋までの区間を図-1のようにモデル化したものを対象とした。この図からもよくわかるように、上流から38km付近(平方)で急に川幅が狭くなってその下流側に狭窄部

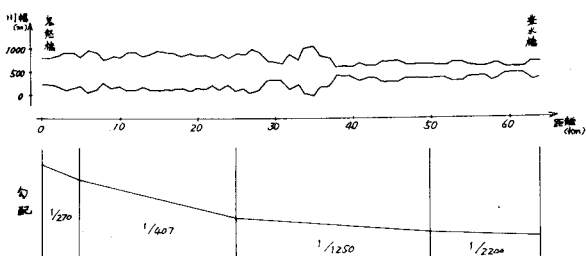


図-1 計算モデル河道(鬼怒川)

が続いている。一方、河床勾配は25km付近で大きく変化していると考えられることができる。

数値計算を実行する上での諸条件は次のようになっている。水路は長方形断面としており、基礎式(1)及び(2)における降雨・浸透・横流入の項を本論文においては考慮していない。粗度係数は0.03としており、初期条件は初期流量を1000 m³/secとして不等流計算により水面形を与えた。一方、上流端境界条件は上流端での流量の経時変化が与えられるとし、図-2に示す3ケースのモデル洪水で計算を行なった。下流端境界条件は、下流端の1距離ステップ前の地点での同時刻における水深が下流端におけるものと等しいと仮定した。計算ステップは次のような数値を採用している。

距離ステップ: 不等流計算(初期)
(ΔX) 特性曲線法
時間ステップ: 各時刻での $\min\left(\frac{\Delta X}{v_i + \sqrt{g h_i}}\right)$
を可変の ΔT とした。

以上の諸条件のもとに計算を実行した結果から、各地点の距離と流量のピーク生起時刻との関係を図-3に、またピーク流量の減衰過程を図-4に示した。図-1の地形条件とを考慮合わせると、以下のような特性をみることができる。

まず図-3より、洪水ピークの伝播速度は、川幅の変化にはほとんど影響されないが、河床勾配の変化によってかなり影響を受ける。また、上流においては波形の影響が大きく、下流側に伝播して扁平化するに伴ってピーク流量の大きさの影響が強くなる傾向に変化している。

一方図-4では、洪水波が狭窄部へ突入することによりピーク流量が急激に小さくなっていることがわかり、狭窄部の上流側における貯留効果が示されていると考えられる。さらに、ピーク流量の減衰過程については、ピーク流量の大きさよりも洪水波形の方が大きな要因になっている傾向がわかる。

以上をまとめると、ピーク生起時刻には勾配の影響が大きいものに対して、ピーク流量の減衰には水路幅の変化の影響が大きく起因するということと、狭窄部による貯留効果との2点が示され、定量的な議論が可能となった。

4. おまけ

本論文では、洪水流をより水理学的に解析する第一段階として、計算手法を確立すると共に、洪水伝播速度の変化並びに河道の貯留効果に関する若干の結果を得た。現在、実際の横断形状を考慮し、既往の洪水を対象とした解析を進めているところである。最後に、計算スキーム等の御教示を頂いた山梨大学工学部の萩原能男教授に心からの謝意を表します。

〈参考文献〉1) 萩原能男、河西基:「単位図の非線型特性について」、水31回年講、1976。2) 電力中央研究所:技術研究所報告No.68001。

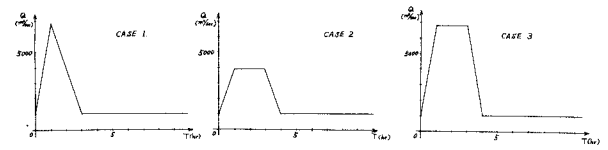


図-2 モデル洪水(上流端)

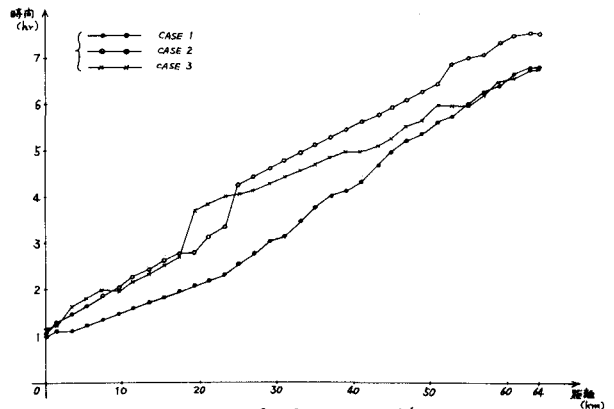


図-3 流量ピークの伝播

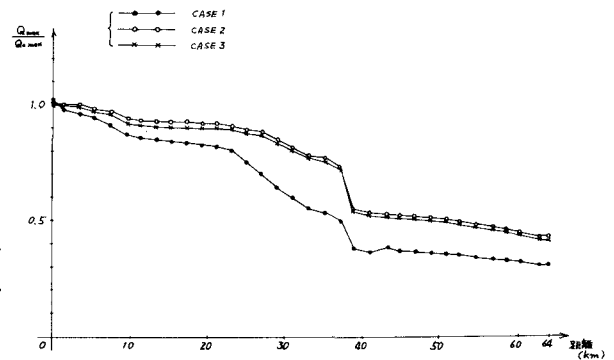


図-4 洪水の伝播に伴うピーク流量の減衰