

II-30

洪水位のオンライン予測に関する研究

九州大学工学部	正員	平野宗夫
九州大学工学部	正員	森山聡之
九州電力(株)	正員	河原田寿紀
九州大学大学院	○学生員	山下三平

1. はじめに

洪水による災害を軽減防止するためには洪水予報が必要である。本研究では、運動の式および連続の式を特性曲線法により解き、上、下流の断面積および降雨を用いて、下流地点の水位を予測するシステムを作成した。本システムにおいては、残流域の流出量はカルマンフィルターにより同定した単位図により求めた。また、降雨の遅れ時間を考慮しているため、これと等しいかあるいは短い遅れ時間に対しては降雨予測を行わずに下流地点の洪水位を予測できる。なお、本システムの適用性を確認するために、川内川を対象として解析を行なった。

2. 解析手法

河道における流量を Q 、断面積を A 、河道への流入量を q_* とすると、連続の式と運動の式はそれぞれ次のように表わせる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_* \quad (1) \qquad Q = KA^P \quad (2)$$

(2) 式中の P は断面形状から決まる定数で一定としてよい。 K は $K \propto \sqrt{I}/n$ であり、一般には x と t によって変化する (I : 流路床勾配、 n : マニグの粗度係数)。 (1)、(2) 式を特性曲線法により解くと次式が得られる。

$$A_2(t) - A_1(t-\tau) = \int_{t-\tau}^t q_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t \frac{Q \partial K}{K \partial x} dt \quad (3)$$

ここに、 τ は河道の到達時間、添字 1、2 はそれぞれ上、下流地点を意味する。(3) 式を予測時間 i ($i \leq \tau$) を考慮して表わすと次のようになる。

$$A_2(t+i) - A_1(t+i-\tau) = \int_{t+i-\tau}^{t+i} q_*(t) dt - \int_{t+i-\tau}^{t+i} \frac{Q \partial K}{K \partial x} dt \quad (4)$$

(4) 式から(3) 式を引くと、

$$A_2(t+i) - A_2(t) = A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) + \int_{t+i-\tau}^{t+i} q_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t q_*(t) dt - \int_{t+i-\tau}^{t+i} \frac{Q \partial K}{K \partial x} dt + \int_{t-\tau}^t \frac{Q \partial K}{K \partial x} dt \quad (5)$$

ここで K を一定として取り扱おうと次のように表わせる。

$$A_2(t+i) - A_2(t) = A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) + \int_{t+i-\tau}^{t+i} q_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t q_*(t) dt \quad (6)$$

次に q_* に関する項を単位図法で表わし、

$$\int_{t-\tau}^t q_*(t) dt = l \tau q_0(t-k) \quad (7) \qquad q_0(t) = \int_0^t u(s) f r(t-s) ds \quad (8)$$

とおく。ここに、 q_0 は単位面積当たりの流出高で $q_0 = q_* / l$ 、 l は斜面長、 u は単位図、 K は降雨の遅れ時間、 f は流出係数、 r は降雨強度である。(7)、(8) 式を考慮し(6) 式の右辺第 3、第 4 項を表わすと次のようになる。

$$\int_{t+i-\tau}^{t+i} q_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t q_*(t) dt = f l \tau \left\{ \int_0^{t+i+k} u(s) r(t+i-k-s) ds - \int_0^{t-k} u(s) r(t-k-s) ds \right\} \quad (9)$$

(9) 式を(6) 式に代入すると次のようになる。

$$A_2(t+i) - A_2(t) = A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) + \tau \int_0^{t+i-\tau} U(s) r(t+i-k-s) ds - \tau \int_0^{t-\tau} U(s) r(t-k-s) ds \quad (10)$$

ここに、 $U(s) = f l u(s)$ である。

(10)式の $\tau U(s)$ を状態推定量として、カルマンフィルターにより同定する。

$$\text{システム方程式 } X(k+1) = \Phi \cdot X(k) + \delta(k+1) \quad (11) \quad \text{観測方程式 } Y(k+1) = M(k+1) \cdot X(k+1) + \varepsilon(k+1) \quad (12)$$

ここに、 X は状態量ベクトル、 Φ は時間ステップ k から $k+1$ への遷移行列、 Y は観測量ベクトル、 M は状態量の変化を表わす観測行列、 δ 、 ε は誤差ベクトルである。(10)式を観測方程式として、カルマンフィルターを適用すると、(12)式の各項は次のように表わせる。

$$M = \begin{bmatrix} r(t+i-k) - r(t-k) \\ r(t+i-k-1) - y(t-k-1) \\ \vdots \end{bmatrix} t \quad \begin{cases} X = \tau [U(0) \ U(1) \ U(2) \ \dots] t \\ Y = A_2(t+i) - A_2(t) - \{ A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) \} \end{cases} \quad (13)$$

3. 適用結果とその考察

川内川での観測データを用い、上流地点を湯田重水所、下流地点を川内重水所として予測計算を行なった。川内、湯田間は 29.8km である。予測時間は 3時間とした。図 1は川内、湯田の断面積の時間的变化を表わしたものであるが、ピーク時についてみると、洪水到達時間 $\tau = 3$ 時間である。他の洪水の平均をとっても約 3時間であるため、予測計算には $\tau = 3$ 時間を使用した。図 2、および図 3は残流域の遅れ

時間をそれぞれ $k = 2$ および 3 として予測計算を行なったものである。予測時間 $i = 3$ であるから $k = 2$ 時間の場合は降雨については 1時間先の予測値が必要であり、ここでは実測値を用いている $k = i$ の場合は降雨予測は不要であり、現時点までの降雨と水位のデータのみで i 時間後の予測が

可能である。図 4と図 5はそれぞれの予測に使用した状態量ベクトル X の値である。なお、図 4、図 5に示した初期値は、解析した 8個の洪水データから得られた収束値の平均的な値である。図 6は雨量記録を用いず、水位記録のみを用いて ((10)式の右辺第 3、第 4項を除いて) 3 時間予測を行なったものである。図 3と図 6を比較すると、図 6の方が予測の遅れが目立つ。従って残流域の流出量を単位図法によって評価した図 3の方法の方が降雨を無視した図 6の方法より精度が向上することがわかる。

4. おわりに

本研究では、下流地点での水位を予測するために降雨の遅れ時間が予測時間以下の場合、降雨予測の必要がないシステムを提案した。結果として洪水到達時間および降雨の遅れ時間を一定として取り扱ったにも拘らず比較的良好な予測結果が得られたが、今後はこれらの変化を考慮することが課題であろう。

謝辞 計算に用いた資料は、九地建川内川工事事務所の清水調査課長より快く提供していただいた。終わりに際して深く感謝の意を表する次第である。

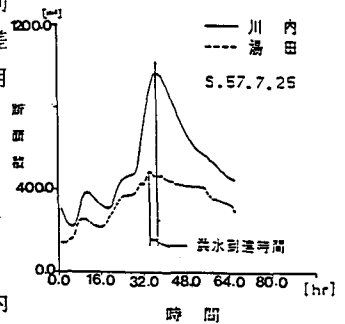


図1 洪水到達時間の定義

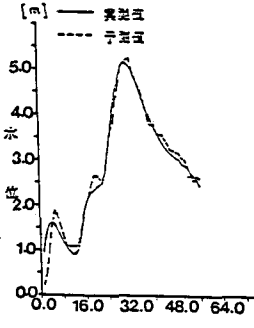


図2 5時間予測 ($k=2$)

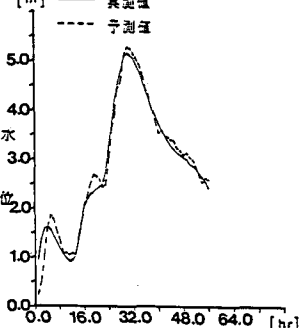


図3 3時間予測 ($k=3$)

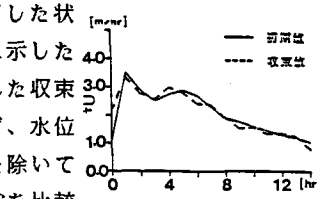


図4 τU の値 ($k=2$)

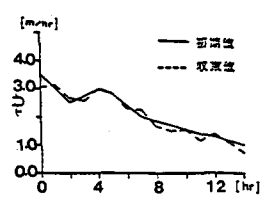


図5 τU の値 ($k=3$)

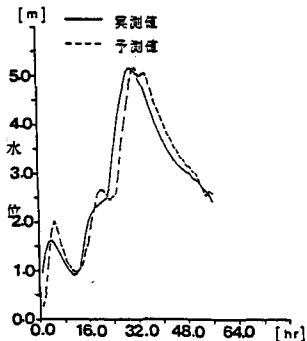


図6 5時間予測 (降雨無視)