

特性曲線法によるオンライン洪水予測

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
 九州大学大学院 学生員 河原田 寿紀
 九州大学工学部 学生員 小林 正俊

1. まえがき

洪水による災害を軽減防止するためには、洪水予測が必要であり、種々の方法が提案されているが、理論的にも実用上にも問題があり、改善の余地が多い。本報では、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る予測システムを作成し、残流域の流出量をカルマンフィルターにより同定した単位図または合理式によって求めることにより、下流地点の断面積を予測する手法を開発した。また川内川を対象としてその適用性を確かめた。なお、本システムは降雨の遅れ時間を考慮しており、それと等しい短い予測時間に対しては降雨の予測を行う必要がない。

2. 基礎式

河川における、流量 Q 、断面積 A 、降雨による流入量 g_* とすると、連続の式と運動の式はそれぞれ

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = g_* \quad (1) \quad Q = f(A) \quad (2)$$

(1),(2)式を特性曲線により解くと次式が得られる。

$$A_2(t) - A_1(t-\tau) = \int_{t-\tau}^t g_*(t) dt \quad (3)$$

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

$$A_2(t+i) - A_1(t+i-\tau) = \int_{t+i-\tau}^{t+i} g_*(t) dt \quad (4)$$

(4)式より(3)式を引くと
$$A_2(t+i) - A_2(t) = A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) + \int_{t+i-\tau}^{t+i} g_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t g_*(t) dt \quad (5)$$

次に、 g_* の評価法として、合理式を用いる場合と単位図法を用いる場合について検討する。

3. 合理式を用いた予測式

$$\frac{g_*}{l} = \frac{1}{T} \int_{t-k}^{t-k+l} r_e(t) dt \quad r_e = f \cdot r \quad (6)$$

ここに、 T は残流域の到達時間、 l は遅れ時間、 r_e は有効降雨強度、 f は流出係数、 r は降雨強度、 l は河道長である。(6)式を差分式にすると、

$$g_*(t) = \frac{f \cdot l}{T} \int_{t-k}^{t-k+l} r(t) dt = \frac{f \cdot l}{T} [r(t-k) + r(t-k-1) + \dots + r(t-k-T)] \cdot \Delta t \quad (7)$$

また、 $i \leq \tau$ より、(5)式右辺の第3・第4項は

$$\int_{t+i-\tau}^{t+i} g_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t g_*(t) dt = \int_t^{t+i} g_*(t) dt - \int_t^{t+i} g_*(t-\tau) dt \quad (8)$$

また、(7)式より
$$\int_t^{t+i} g_*(t) dt = \sum_{j=0}^{i-1} g_*(t+j) \cdot \Delta t = K \cdot R(t, i) \quad , \quad K = \frac{f \cdot l \cdot \Delta t}{T} \quad (9)$$

ここに、 $R(t, i) = \{r(t-k+i) + r(t-k-T)\} + 2\{r(t-k+i-1) + r(t-k-T+1)\} + 3\{r(t-k+i-2) + r(t-k-T+2)\} + \dots$

(9)式を(5)式に代入すると
$$A_2(t+i) - A_2(t) = A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) + K \cdot \{R(t, i) - R(t-\tau, i)\} \quad (10)$$

(10)式の K 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。

4. 単位図法を用いた予測式

$$\int_{t+i-\tau}^{t+i} g_*(t) dt \doteq g_*(t) \cdot l \cdot \Delta t \quad (11)$$

$$g_*(t) = \int_0^{t-R} u(x) \cdot r(t-R-x) dx \quad (12)$$

ここに、 u は単位図である。(11)・(12)式を考慮して(5)式の第3・第4項を表わすと次の様になる

$$\int_{t+i-\tau}^{t+i} g_*(t) dt - \int_{t-\tau}^t g_*(t) dt = l \cdot \Delta t \left\{ \int_0^{t-R} u(x) \cdot r(t-R-x) dx - \int_0^{t-R-i} u(x) \cdot r(t-R-i-x) dx \right\} \quad (13)$$

(13)式を(5)式に代入すると次の様になる。

$$A_2(t+i) - A_2(t) = A_1(t+i-\tau) - A_1(t-\tau) + l \cdot \Delta t \left\{ \int_0^{t-R} u(x) \cdot r(t-R-x) dx - \int_0^{t-R-i} u(x) \cdot r(t-R-i-x) dx \right\} \quad (14)$$

(14)式の $u(x)$ すなわち単位図の値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。

5. 計算結果

川内川での観測データを用い、下流地点を川内量水所、上流地点を湯田量水所として予測計算を行う。川内・湯田間は、29.8 kmである。予測時間は、2時間および3時間について行った。図1・図4は、雨量記録を用いず水位記録のみを用いて(5)式の第3・第4項を除いて2、3時間予測を行ったもの、図2・図5は g_* を合理式で評価して予測を行ったもの、図3・図6は、 g_* の評価として単位図法を用いたものである。なお河道における到達時間は $\tau = 3$ 時間、残流域における遅れ時間は $R = 3$ 時間、合理式による到達時間は $T = 4$ 時間を用いている。したがって、3時間先を予測する場合は現時点までの雨量記録を、2時間予測の場合は現時点より1時間前までの雨量記録を使用しており、降雨予測の必要はない。図1・図4は、降雨を無視しているために予測の遅れが目立つ。また、合理式と単位図法を比べると、単位図法の方が予測の遅れがなく、結果が良好である。合理式を用いたものは同定するパラメータが1つであるために、システムを簡略化することが出来、パソコンでオンライン予測を行うのに適していると考えられる。

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に心よく提供して頂いた。深く感謝する次第である。

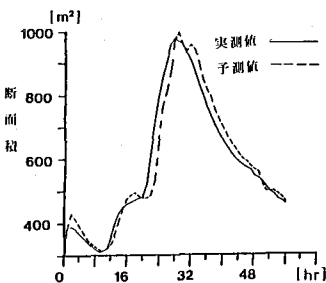


図1 2時間予測 (降雨無視)

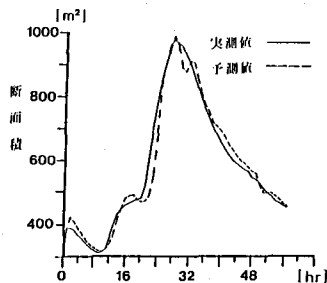


図2 2時間予測 (合理式)

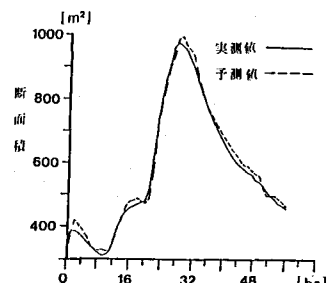


図3 2時間予測 (単位図法)

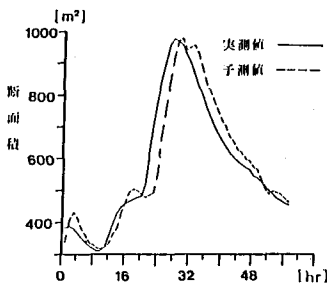


図4 3時間予測 (降雨無視)

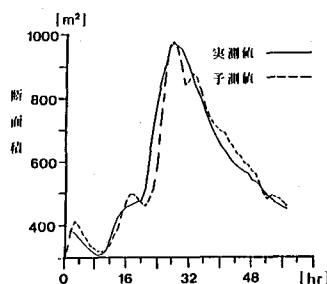


図5 3時間予測 (合理式)

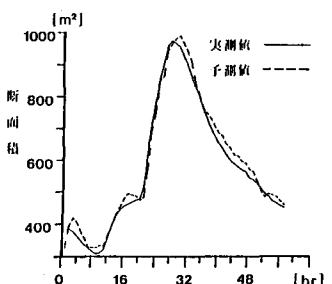


図6 3時間予測 (単位図法)