

特性曲線法によるオンライン洪水予測(2)

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 山下 三平
 九州大学工学部 学生員 ○奥 彰次

1. まえがき

洪水のオンライン予測に関しては従来から多くの手法が提案されているが、物理的意義が不明確であったり、降雨のみからの予測の精度に問題があるため、適用性に検討の余地が多い。本研究では、上記の点に鑑み、水位データを優先し、雨量は補助的なものとして取り扱い、流量は使用せず、予測対象の水理量は流水断面積とし、予測した流積を水位に換算することとする。以上により作製した洪水水位の予測手法を実河川に適用してモデルの検証を行う。

2. 予測式の誘導

河道における不定流の連続の式と運動の式は流量を Q 、断面積を A 、河道への流入量を q_* として、それぞれ次のように表わすことが出来る。

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

ここに、 t は時刻、 x は流下方向に測った距離である。式(1)、(2)を変形して特性曲線法で解くと、式(3)がえられる。

$$A_2(t) - A_1(t - \tau_{21}) = \int_{t-\tau_{21}}^t q_* dt - \int_{t-\tau_{21}}^t KA^P \frac{\partial K}{\partial x} dt \quad (3)$$

ここに、添字1、2は、上流及び下流の水位観測点を示し、 τ_{21} は2地点間の洪水の到達時間である。式(3)右辺第2項は、次式のように近似できる。

$$\int_{t-\tau_{21}}^t KA^P \frac{\partial K}{\partial x} dt = \int_0^{L_{21}} \frac{A}{P} \frac{\partial K}{\partial x} dx = \frac{L_{21}}{2} \left\{ \frac{A_2}{P_2} \frac{\partial K_2}{\partial x} + \frac{A_1}{P_1} \frac{\partial K_1}{\partial x} \right\} = C_1 A_1(t - \tau_{21}) + C_2 A_2(t) \quad (4)$$

ここに、 L_{21} は水位観測点1、2間の距離、 $C = (L/2P)(\partial K/\partial x)$ である。

次に斜面からの流入量 q_* については次のように取り扱う。

$$\int_{t-\tau_s}^t q_* dt = \tau_s q_*(t - \tau_s) \quad (5) \qquad q_*(t - \tau_s) = \int_0^{t-\tau_s} l \cdot f \cdot u(\tau) r(t - \tau_s - \tau) d\tau \quad (6)$$

ここに、 l は斜面長、 f は流出係数、 $u(\tau)$ は瞬間単位図である。式(5)は中間値の定理に相当する。式(6)は q_* に単位図法を適用したものである。式(5)、(6)における τ_s の導入は、現象を忠実に表わすためというより、「このような仮定が許されると τ_s 時間の降雨予測が不必要となる」という理由によるものである。以下、本論文ではこの τ_s のことを斜面における遅れ時間と呼ぶことにする。

次に、複数の水位観測点がある場合について考えてみよう。上流から下流へ順に水位観測点 $j=1, 2, \dots, n$ があるものとし、各観測点における断面積を A_j 、各地点間の流入量を $q_{j+1, j}$ 、各地点間の到達時間を上流から順に $\tau_{2,1}, \tau_{3,2}, \tau_{4,3}, \dots, \tau_{n,n-1}$ とする。式(5)に式(6)を、式(3)に式(4)、(5)を代入し、予測時間 I を用いると、最終的に次式が得られる。

$$\begin{aligned}
A_n(t+I) = & A_n(t) + \sum_{j=2}^{n-1} K_j \left\{ A_j(t) - A_j(t - \tau_{j+1,j}) \right\} + K_1 \left\{ A_1(t+I - \tau_{n,1}) - A_1(t - \tau_{2,1}) \right\} \\
& + \sum_{j=1}^{n-1} \int_0^{t+I - \tau_{n,j+1} - \tau_{s_{j+1,j}}} U_j(s) r_j(t+I - \tau_{n,j+1} - \tau_{s_{j+1,j}} - s) ds \\
& - \sum_{j=1}^{n-1} \int_0^{t - \tau_{s_{j+1,j}}} U_j(s) r_j(t - \tau_{s_{j+1,j}} - s) ds
\end{aligned} \tag{7}$$

ここに、 $K_j = k_{n-1} k_{n-2} \cdots k_j$, $M_j = k_{j+1} m_j$, $\tau_{n,j} = \tau_{n,n-1} + \tau_{n-1,n-2} + \cdots + \tau_{j+1,j}$,
 $k_j = (1 - C_j) / (1 + C_{j+1})$, $m_j = 1 / (1 + C_{j+1})$, $U_j(\tau) = m_j \tau_{j+1,j} f u_j(\tau)$ である。

3. 予測モデルの適用とその検討

上述の予測モデルの実用性を検証するために、川内川下流部に適用する。川内川は中・下流部に5ヶ所の水位観測点があり最上流の湯田から最下流の川内までの到達時間は3時間程度と見積もられている。そこで、これらの水位観測点における水位データおよび周辺の雨量観測所10ヶ所の時間雨量記録を用いて3時間洪水予測を行って検討することにする。

まず式(7)を湯田と川内間に適用し($n=2$)、川内における水位の予測値を求め、実測値と比較した例を図1に、5ヶ所の水位観測点のデータおよび各水位観測点間の残流域の平均降雨強度を式(7)に適用し($n=5$)、予測値と実測値を比較した例を図2に示す。モデルのパラメタは k および $u(\tau)$ で、カルマンフィルターにより同定した。

図1は斜面における遅れ時間 $\tau_{2,1}=3$ 時間、図2では $\tau_{5,4}=3$, $\tau_{5,3}=2.5$, $\tau_{5,2}=1.5$, $\tau_{5,1}=0.5$ 時間($\tau_{5,4}=0.5$, $\tau_{5,3}=1.5$, $\tau_{5,2}=2.5$)としているので、いずれも現時点までのデータのみを使用したことになる。両者を比較すると図2の方が精度が向上されていることがわかる。この傾向は川内川の他の洪水に適用した場合も同様であった。

図3は図2と同様、5地点のデータを用いたものであるが、 $\tau_{s_{j+1,j}}=0$ 時間とし、3時間先までの降雨の実測データを使用しており、降雨予測が完璧に行われた場合に相当する。しかし降雨予測を行った場合(図3)は、予測降雨として実績降雨を用いたにもかかわらず降雨の予測値を用いなかった場合(図2)より精度が良いとは言いがたい。これは、残流域からの流入量を見積もる際に式(5)の仮定を用いたことによるものと思われる。

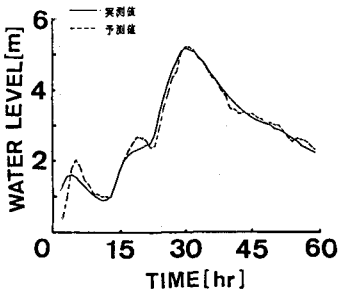


図1. 予測値と実測値の比較 (2地点)

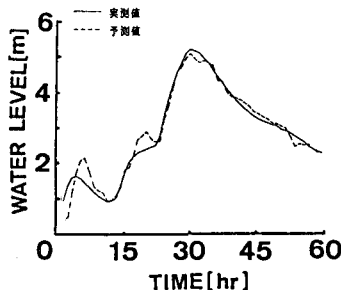


図2. 予測値と実測値の比較 (5地点)

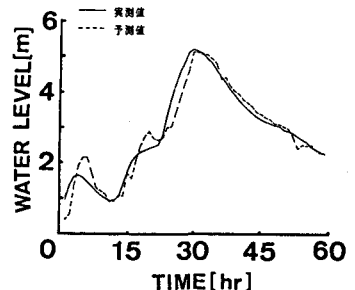


図3. 予測値と実測値の比較 ($\tau_{s_{j+1,j}}=0, 5$ 地点)

4. 結論

河道に特性曲線法を、残流域斜面に単位図法をそれぞれ適用してモデルを作成した。またモデルパラメタをカルマンフィルターで同定して川内川の洪水予測計算を行い、モデルを検証した。

本モデルの特徴は予測時間と斜面における遅れ時間を河道の到達時間との関係で適当に選べば、降雨予測を行わずに洪水位を予測することができるという点であり、また、水位観測点間の残流域から河道への流入量を適確に評価できるように雨量観測所が配置されている場合、精度よく洪水位を予測することができる点である。予測の精度は、流域の大きさや水位計の配置によっても変わってくるが、数100km²程度の河川で3時間程度の予測は可能であるように思われる。

参考文献

- 1) 平野・森山・河原田・山下; 洪水位のオンライン予測に関する研究, 土木学会年講要集, 第41回, 昭61. 11