レーダ雨量計を用いた洪水位の短時間予測

Short-Term Forecasting for Water Level of a Flood by Radar Hyetometer

九州大学工学部 森 山 聡 之 Toshiyuki MORIYAMA

九州大学工学部 平 野 宗 夫 Munei HIRANO

(株)建設技術研究所 中 山 比佐雄 Hisao NAKAYAMA

(株)建設技術研究所 松 尾 景 治 keiji MATSUO

九州大学大学院 鐵 谷 浩 之 Hiroyuki TETSUYA

Recently, weather radar has been fully utilized and detailed real-time information over a wide range of area has become obtainable with high time-space resolution. But the accuracy of the radar hyetometer is not always high enough to use for flood forecasting.

In this paper, a forecasting method by using radar data is proposed, in which, a radar constant is included in the system parameters and identified together by Kalman filtering. The application of this method to the Onga river basin shows that the forecasting of water stages by using radar data is possible with the same accuracy of that by rainfall data on the ground.

Keywords: flood prediction, radar hyetometer, Kalman filter, kinematic wave theory

1. はじめに

わが国においては、雨量-流量変換系を用いた流出解析や流出予測は盛んに行われさまざまな手法が開発されてきた。しかし雨量データそのものには誤差が多く、そのうえ降雨-流出の変換を行う際には更に多くの誤差が含まれる。これに対して、水位データは降雨-流出変換後の量であるから、雨量に比しはるかに上質のデータであり、洪水予測に際しては、極力水位データを利用すべきであると考えられる。このような考えのもとに、前論¹⁾では地上雨量計のデータを単位図法に適用し、流出データは流水断面積として特性曲線法を適用し、それぞれのパラメタをカルマンフィルターで同定することによって水位を予測する手法を提案し、良好な結果を得た。一方、近年建設省のレーダ雨量計が全国各地に建設され、広い範囲の雨量データを瞬時に高解像度で求めることが出来るという特徴から、その活用に大きな期待が寄せられている。しかしレーダ雨量計は、レーダ定数の評価に問題があり、誤差が大きいという問題がある。そこで本論文ではレーダ反射因子を入力とし、レーダ常数を流出パラメータに加えてカルマンフィルターで同時に同定することより、洪水予測を行い、地上雨量計を用いた場合と比較した。

2. 予測式の誘導

河道における連続の式、運動の式は、流量を Q 、流水断面積を A 、横流入量を q^* とすると、それぞれ次のように表すことができる。

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

ここに、 t は時刻、 x は下流方向に測った距離、 K と P は定数である。式(1)および(2)を変形して特性曲線法で解くと次式が得られる。

$$A_2(t) - A_1(t - \tau_{2,1}) = \int_{t-\tau_{2,1}}^t q^* dt - \int_{t-\tau_{2,1}}^t A \frac{P \partial K}{\partial x} dt \quad (3)$$

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

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

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

また、 q^* の算定に単位図法を適用すると

$$q^* = \int_0^{t-\tau_s} \ell u(\tau) f r(t-\tau_s-\tau) d\tau \quad (5)$$

ここに、 ℓ は斜面長、 f は流出係数、 $u(\tau)$ は瞬間単位図および τ_s は斜面における遅れ時間である。

式(5)より式(3)の右辺第1項は次のように変形される。

$$\begin{aligned} \int_{t-\tau_{21}}^t q^* dt &= \ell \int_{t-\tau_{21}}^t \int_0^{t-\tau_{21}} u(\tau) f r(y-\tau_s-\tau) d\tau dy \\ &= \ell \sum_{i=t-\tau_{21}}^t \sum_{j=0}^{i-\tau_s} f u(j) r(i-\tau_s-j) \end{aligned} \quad (6)$$

式(3)に式(4)および式(6)を代入すると、 t 時間後の下流側断面積は次式で与えられる。

$$A_2(t+I) - A_2(t) = k \{ A_1(t+I-\tau_{21}) - A_1(t-\tau_{21}) \} + \sum_{i=0}^{t-\tau_s} U(i) R(i) \quad (7)$$

ここで、

$$k = \frac{1-C_1}{1+C_2}, \quad U(i) = \frac{f\ell}{1+C_2} u(i), \quad R(i) = \sum_{j=0}^{\tau_{21}} \{ r(t+I-\tau_{21}+\tau_s-i+j) - r(t-\tau_{21}+\tau_s-i+j) \}$$

その際、時刻 $t+I-\tau_{21}$ までの上流側断面積データと $t+I-\tau_s$ までの降雨データが必要となる。よって洪水到達時間が $\tau_{21} \geq I$ の場合には上流側断面積の予測が不要であり、斜面の遅れ時間を $\tau_s = -I$ とおくと降雨の予測が不要となる。

3. レーダ雨量計データの適用

レーダ雨量計を使用する場合には、その精度が問題であり、何らかの補正をすることが望ましい。図1は遠賀川秋松橋流域 ($C.A. = 113 \text{ km}^2$) における地上雨量計とレーダ雨量計による1時間雨量の相関を示したものである。地上雨量データはレーダ雨量データの1.8倍程度になっており、レーダ定数 B および β のうち B を補正することが有効であると思われる。そこでここでは β 値を固定し、 B の補正を考える。すなわち(7)式にレーダ雨量計のデータを適用する場合、レーダの反射因子 $z(\text{mm}/\text{m}^3)$ と雨量強度 $r(\text{mm}/\text{hour})$ との式 $z = B r^\beta$ を代入すると(7)式右辺第2項は次のようになる。

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{t-\tau_s} U(i) Z(i) \\ U(i) = m f \ell B^{\frac{1}{\beta}} u(i), \quad m = \frac{1}{1+C_2} \end{aligned} \quad (8)$$

図1. 内野(秋松橋上流)における地上雨量とレーダ雨量の比較

$$Z(i) = \sum_{j=0}^{\tau_{2,1}} \left[\left\{ Z(t+1-\tau_{2,1}+\tau_s-i+j) \right\}^{\frac{1}{\beta}} - \left\{ Z(t-\tau_{2,1}+\tau_s-i+j) \right\}^{\frac{1}{\beta}} \right]$$

上式はレーダ定数 B が単位図 U 中に含まれることを示す。

4. 現地への適用とその結果

4. 1 適用流域およびデータ

本予測モデルを福岡県の遠賀川流域に適用し、その実用性を検証する。図2に示すように、水位観測所は、伊田、春日橋、大隈、秋松橋、川島、日ノ出橋、宮田橋、中間の8ヶ所を対象とし、降雨データとして、地上雨量に関しては流域内に設置された13ヶ所の雨量観測所の時間雨量記録を、レーダ雨量に関しては、釈迦岳に設置されている建設省九州北部レーダを用いる。レーダの降雨データは、磁気テープに記録された5分毎の生データを使用するが、水位データが1時間毎であるため、各残流域毎に降雨データの1時間累計を面積平均した値を使用するものとする。なお、予測の対象は流水断面積であり、予測された断面積を水位に変換して予測水位とする。

図2. 遠賀川流域分割図

4. 2 レーダ雨量計と地上雨量計による流出予測精度の比較

まず、レーダ雨量計を用いた場合の精度を地上雨量計を用いた場合のそれと比較するために、最上流域の秋松橋水位観測所を対象とし予測計算を行った。計算水位と予測水位の比較を図3および図4に示す。予測時間は1時間である。またそれぞれの計算で得られた最終的な単位図を図5に示す。前述のように、レーダ雨量計と地上雨量計の観測にはかなりの雨量の差があるにもかかわらず、水位予測の精度はほとんど同程度になっている事に注目したい。これは図5の単位図により示されるように、カルマンフィルタが同定時に雨量の足りない分を補っている事を示している。従って、レーダ定数のうちBは線形であるからある程度フィルタリングによって調整することが可能であると考えられる。

図3 地上雨量および水位の計算値と実測値

図4 レーダ雨量および水位の計算値と実測値

図5. 同定単位図

次に実際の洪水予測と同じように現時点までの降雨を使い、地上雨量計あるいはレーダー雨量計のデータを用いる場合について計算してみた。その一例を図6及び図7に示す。図6は地上雨量計を、図7はレーダー雨量計を用いた場合で、どちらも3時間予測である。予測を比較したのは最下流の、中間水位観測所（C. A. = 925 km²）である。この程度の流域面積に対しては、どちらの予測結果も良好な精度である事がわかる。

5. 結論

レーダー雨量計を用いた本手法による洪水位予測は、レーダー定数Bを単位図に含めることにより、雨量データの精度が悪くともかかわらず地上雨量計の場合に比べて、遜色ない結果を得る事ができた。今後はBだけでなくβの補正を必要とする場合について検討する必要があるだろう。

謝辞

本論文を作成するにあたって資料収集について多大の御協力を頂いた建設省九州地方建設局遠賀川工事事務所調査課長小林正典氏にこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 平野・森山・山下・中山；洪水位の短時間予測に関する研究，土木学会第31回水理講演会論文集 1988.2
- 2) Hirano, M., Moriyama, T., Matsuki, M., Nakayama, H. and Matsuo, K. (1986), "Real-Time Forecasting for Water Stages of a Flash Flood", Proceedings, 5th Int'l Cong. APD of IAHR, Seoul, Vol. 4, pp. 269-282

図6. 地上雨量および水位の3時間予測値と実測値

図7. レーダ雨量および水位の3時間予測値と実測値