

京都大学工学部 正員 高埴琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
京都大学工学部 正員 立川康人 通産省 正員 ○森田健太郎

1 はじめに これまで、実時間の流出予測理論は主として山地流域を対象とし、ダム湖流入量など河川流量の予測に主眼がおかれてきた。しかし、都市域における避難予警報の発令、樋門などのゲート操作のためには、河川流量よりも河川水位の予測情報が重要となることが多い。したがって都市域での洪水災害による被害を防止・軽減する上で、河川水位を実時間で予測する意義は非常に大きいと言える。

本研究では、緩勾配かつ背水の影響を考慮せねばならない都市域の河道の特定区間での河川水位を実時間で予測するシステムを構築した。

2 予測手法の概要 本研究の予測手法は、カルマンのフィルタリング・予測理論を用いた流量予測システムと、不定流の基礎方程式を4点陰形式差分スキームで解く不定流追跡システムから構築されている。

流量予測システムでは、流出モデルを木村の貯留関数法を用いた状態空間型モデルとしてとらえ、これにカルマンのフィルタリング・予測理論を適用して、降雨や流量の観測値から流域の状態量を逐次推定・予測した^[1, 2]。但し、流量の観測値を直接入手することは困難なので、流域下端での水位の観測値を水位～流量曲線を用いて流量に変換し、流量の観測値として使用した。その際に生じるあてはめ誤差については、合理的に観測誤差に反映させる手法を提案した^[3]。また木村の貯留関数法のパラメータは、降雨波形によって変化するはずであるが、そのパラメータの一つである遅滞時間を、水深の観測値を用いて、時々刻々推定し直す方法を採用した。

不定流追跡システムでは、不定流の基礎方程式を有限差分法（4点陰形式差分スキーム）によって解いた^[4]。対象とする河道区間の境界条件については、流量予測システムによって得られる流入量を上流端の境界条件に、下流端での水位～流量曲線を下流端の境界条件に、それぞれ用いた。下流端の境界条件としては、水位～流量曲線以外でも計算することができ、下流端の状態によって決まる背水の影響がある場合

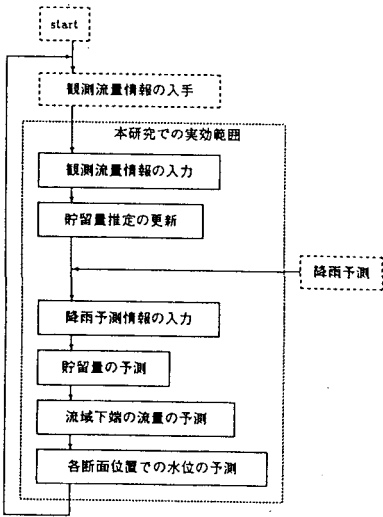


図1：フローチャート

にも適用が可能である。予測手法のフローチャートを図1に示す。

3 実流域への適用と考察 実流域には、木津川上流の上野遊水地を選び、その樋門の操作へ適用した。実績洪水としては、平成2年洪水を選定した。流出モデルの貯留関数法パラメータについては、既往洪水である平成61年洪水の降雨と流量の観測データより同定した。システムノイズは、 $5(mm/hr)^2$ として確定的に与えた。

まず本予測手法では、流量予測システムの精度を向上させるために観測誤差を合理的に設定し、更に遅滞時間を時々刻々推定し直すという方法を提案している。この手法を用いずに観測誤差を $10(mm/hr)^2$ 、遅滞時間を1 hourとして固定した時とこの手法によって観測誤差と遅滞時間を逐次的に計算した時の佐那具地点のハイドログラフを図2, 3に示す。図中のobservedは観測水位から変換した観測流量ハイドログラフを、estimatedは現在時刻の推定流量ハイドログラフを、1 hour aheadは1時間先の予測流量ハイドログラフを表す。2 hour aheadは2時間先の予測

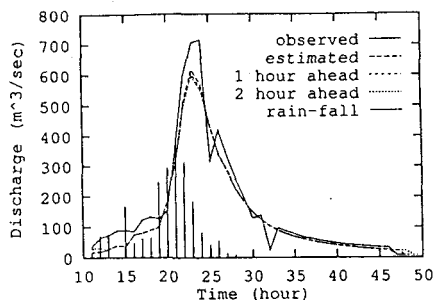


図 2：観測誤差と遅滞時間を固定した時の佐那具地点でのハイドログラフ

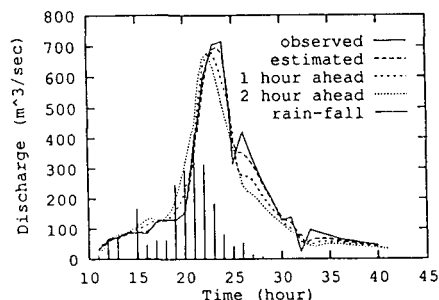


図 3：観測誤差と遅滞時間を計算した時の佐那具地点でのハイドログラフ

流量ハイドログラフを表す。図中の棒グラフは観測降雨 ($10 \times \text{mm/hr}$)²をそれぞれ表す。この結果から、流量予測システムの精度が向上したことがわかる。次に本予測手法を上野遊水地の樋門操作に適用した結果を示す。平成 2 年洪水時の既設樋門の実際の操作記録と、本研究の河川水位の実時間予測手法から予測した樋門の操作時刻を表 1 に示す。— は樋門の操作実態が不明であることを示す。() 中の数字はその予測情報を計算したときの時刻を表す。既設樋門の実際の操作記録と予測結果を比較すると、岩倉排水樋門や平野川排水樋門の予測結果が、良い精度で得られている。これらは下流端に近い樋門であり、背水の影響が十分に反映されていることを示している。また岩根川排水樋門や八幡排水樋門等の予測結果も、良い精度で得られている。しかしその他の樋門については、予測結果が既設樋門の実際の操作時刻よりも遅れていたり、予測結果に樋門の操作時刻が現れていない。この理由としては、横断面に計画断面を用いているために現況の横断面よりも流積が広くなり、また潤辺が小さくなることから、実際よりも水位が低くなっていることや、内水河川からの流

表 1：上野遊水地の樋門操作記録と予測結果

樋門番号	樋門名称	操作記録	予測操作時刻	計算時刻
1	岩倉排水樋門	22:40	22:27	(19.5hour)
4	平野川排水樋門	22:00	22:26	(20.0hour)
5	市場排水樋門	—	23:7	(21.0hour)
6	朝屋排水樋門	22:00		
7	岩根川排水樋門	22:00	21:3	(19.0hour)
1 2	木興排水樋門	22:00		
1 3	八幡排水樋門	22:00	19:57	(18.0hour)
1 4	小田排水樋門	—	20:56	(19.0hour)
2 0	清水排水樋門	19:40	21:32	(19.5hour)
2 4	大坪排水樋門	21:30		
4 4	三田排水樋門	—	23:0	(21.0hour)

入量を考慮していなかったことが考えられる。更に実際の樋門操作は、地元消防団等の地域住民の協力により行なわれているため、操作水位に達しなくても樋門を閉鎖したことも考えられる。

4 今後の課題 今後の課題としては、まず流量予測システムでは、多くのデータを用いて慎重に貯留関数法パラメータを決定し、土湿不足量(SMD)や先行降雨指標(API)を導入して、流量予測の精度を向上させることが不可欠である。

次に不定流追跡システムでは、今回は、水位の推定値・予測値のみしか得られなかったが、その誤差分散を獲得することも重要な意味を持つ。また将来的に新たな水位の観測値が得られた場合、それを用いて河道全体の水位をフィルタリングする手法も構築する必要がある。そのために、Square Root Information Filter [5]の応用が考えられる。

参考文献

- [1] 高棟琢馬・椎葉充晴・宝肇：貯留モデルによる実時間流出予測に関する基礎的研究，京都大学防災研究所年報，第 25 号 B-2, pp.245-267, 昭和 57 年 4 月
- [2] 高棟琢馬・椎葉充晴・宝肇：リアルタイム洪水予測のモデルと手法，水資源研究センター研究報告，pp.19-21, 1985.1
- [3] 中津川誠・星清：水位-流量関係から推定される流量の精度について，開発土木研究所月報，No.443, pp.2-8, 1990.4
- [4] 神田徹・辻貴之：低平地河川網における洪水流の特性とその制御，建設工学研究所報告，第 21 号 抜刷，pp.105-132, 昭和 54 年 11 月
- [5] Gerald J. Bierman：Factorization Methods for Discrete Sequential Estimation, Academic Press, 1977