

氾濫原における洪水挙動の実時間予測について

京都大学工学部 正 員 高 棹 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 京都大学大学院 学生員 岩 崎 福久
 京都大学大学院 学生員 森田健太郎

1. はじめに

今日、我々が豪雨洪水災害対策を考えると、従来の連続堤防の整備や洪水調節用ダムの建設、貯水池・遊水池の設置などのようなハードな治水対策のみに頼って対処することは大変困難となってきた。そこで、たとえ河川堤防が破堤し洪水が氾濫域に流入したとしても、その被害を最小限にとどめるために、建築物の耐水化や土地開発の規制、予警報、避難システムの構築、洪水保険といったいわゆるソフトな治水対策を確立することが急務となる。このソフトな治水対策の一環として、氾濫原における洪水の挙動を予測しておくことは、適切かつ迅速な避難行動や水防活動をとる上で極めて重要である。

本研究では、適切かつ迅速な避難・水防を行うために、氾濫原における洪水の挙動（水深・流速）を実時間で予測する手法を構築し提案することを目的とする。

2. 予測手法の概要

洪水氾濫水（氾濫原に流入した洪水）の挙動を予測するためには、破堤点からの流入量及び氾濫域への降雨量を正確に把握することが重要である。しかし実際には、破堤点・越流点での水深・流速を正確に観測することが難しいことや破堤の形状自体が時々刻々と変化するであろうことなどの理由から、破堤時の流入量を直接正確に得ることは困難である。本研究では、外部システムから破堤点での流入量及び氾濫域への降雨量の平均値ベクトルと共分散行列が得られるとし、逐次得られる観測水深を用いて流入量・降雨量時系列をフィルタリングによって推定した後、洪水氾濫水的水深・流速を推定・予測することを考える。予測手法の手順を簡単に示すと次のようである。

まず、外部システムから破堤点での流入量及び氾濫域への降雨量の平均値ベクトルと共分散行列を獲得する。次に、氾濫域内での観測水深を用いてカルマンのフィルタリング理論を適用し流入量・降雨量時系列を推定することを念頭において、流入量・降雨量時系列と水深の間に線形式を構成する。線形式の係数は次のようにして決定する。流入量・降雨量時系列ベクトルが多次元正規分布に従うと仮定し、外部システムから得られる流入量・降雨量時系列の平均値ベクトルと共分散行列に従うベクトルを多数発生させて、二次元一層モデルによって水深を求める。次に水深と流入量・降雨量時系列との間に最小二乗法を適用し線形式の係数を決定する。線形式が構成されたならば、時々刻々得られる観測水深を用いてカルマンフィルターを適用し、流入量・降雨量時系列を推定する。そして、推定した流入量・降雨量時系列を二次元平面流れの基礎方程式（二次元一層モデル）¹⁾への入力として、氾濫原における洪水挙動（水深・流速）を推定する。最後に、推定した現在時刻における水深を初期条件として、現在時刻に得られる将来時刻の流入量・降雨量の予測値を二次元一層モデルへの入力として、氾濫原における洪水挙動（水深・流速）を予測する。時間が経過し次の観測水深が得られたならば、現在時刻を更新して次の予測計算にはいる。

3. シミュレーション結果と考察

対象氾濫域としては、広さが2.75km四方、破堤点が1カ所の仮想氾濫域を設定した。また流入量は外水位から越流公式（本間公式）²⁾を用いて算出した。各時刻の外水位の真値と予測値は、表1のように設定した。外水位は12.0mを境として越流するようにした。各時刻における予測誤差分散は対角成分が2.0の対称行列を設定した。

本研究では、現在時刻における水深と30分前・60分前・90分前の各時刻における外水位・降雨量との間に線形式を構成した。また30分前・60分前における各水深と30分前・60分前・90分前の各時刻における外水位・降雨量との間にも線形式を構成した。従って、現在時刻において現在時刻・30分前・60分前の水深

Takuma TAKASAO, Michiharu SHIIBA, Yasuto TACHIKAWA, Fukuhisa IWASAKI, Kentaro MORITA

の観測値が得られると、フィルタリングにより30分前・60分前・90分前の各時刻における外水位・降雨量の推定値が得られる。それらを用いて現在時刻・30分前・60分前の各時刻における水深・流速の推定値が算定される。

現在時刻での水深の推定値が得られたならば、その値を初期条件として水深・流速の予測計算を行う。一例として、時刻180分における30分後と60分後の洪水氾濫水の挙動の予測結果を図1に示す。矢印は流速ベクトルを示し、直線及び点線は等水深線を示す。この予測計算の精度を向上させるために、予測計算の初期条件となっている水深の推定値について考察を行った。

各時刻における水深の推定値と真値の誤差分散を表2に示す。表2のFiltering.1、Filtering.2、Filtering.3は、それぞれ一回の観測更新、二回の観測更新、三回の観測更新によって得られた外水位・降雨量の推定値をもとに算定した水深の推定値と真値の誤差分散を示す。一般的には、フィルタリングを繰り返すほど推定値は真値に近づくと考えられるが、表2の結果からは、むしろフィルタリングを繰り返すほど推定値は真値から離れていくということが分かった。

この結果は、洪水氾濫水の流速と氾濫域の広さの関係に起因すると考えられる。今回の洪水氾濫水の流速は最大約7-8m/s程度であり、氾濫域の広さは2.75km四方であったため、現在時刻の30分前の時刻に流入した洪水氾濫水は、現在時刻までの間に全氾濫域へ到達してしまう。つまり、30分前の時刻での外水位（つまり流入量）の推定値が、氾濫域内の全ての点における洪水氾濫水の挙動に影響することになる。これは、この仮想氾濫域において現在時刻での観測水深を用いて過去の外水位を推定したときに、現在時刻の水深にほとんど関係しないはずの過去の外水位の推定値が、現在時刻の観測水深に大きく左右されることを意味する。即ち洪水時においては洪水氾濫水の挙動も外水位の値も激変しているので、現在時刻の洪水氾濫水の挙動が、過去の外水位の時系列に関係すると考えると、過去の時刻での推定の精度は悪くなるのである。この考察は、表2の結果と良く一致する。

4. 今後の課題

本研究では、氾濫原における洪水の挙動の実時間予測手法を提案し、電子計算機プログラムを構築してシミュレーションを行い、その結果の出力と考察を試みた。計算時間については一回分の推定計算を行うために、京都大学の大型計算機センターで約一時間、ワークステーション（AS4330）で約二時間という莫大な時間が費やされた。今後、数多くのシミュレーションによって実用性のある線形式を構成し、計算時間の短縮改善を図ることが重要課題である。

表1 各時刻の外水位の真値と予測値

時刻	真値	予測値
t=0min	11.957	11.59
t=30min	12.319	15.31
t=60min	15.401	16.43
t=90min	16.203	15.69
t=120min	14.630	14.53
t=150min	14.717	13.59
t=180min	12.933	12.86
t=210min	13.348	12.28
t=240min	11.976	11.55
t=270min	11.975	11.07

表2 各時刻における水深の推定値と真値の誤差分散（平方メートル）

時刻	Filtering.1	Filtering.2	Filtering.3
t=90min	0.038	0.021	0.127
t=120min	0.028	0.261	0.270
t=150min	0.004	0.895	0.950
t=180min	0.100	0.067	0.033
t=210min	0.035	0.017	0.240
t=240min	0.102	0.127	0.131

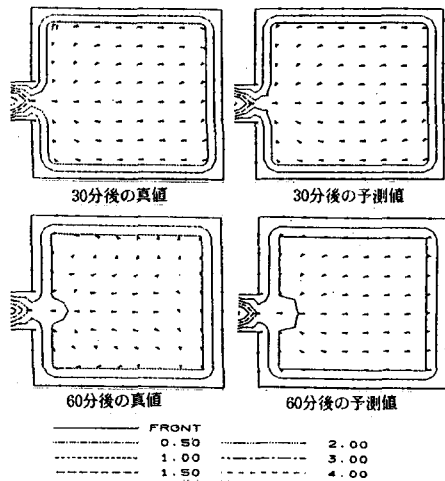


図1 時刻t=180minにおける予測結果

- 参考文献 1) 岩佐義朗・井上和也・水島雅文：氾濫水の水利に関する数値解析，防災研究所年報，第23号B-2，1980，pp.305-317
2) 土木学会編：水理公式集，1985