

水位データ同化型洪水予報モデル (DIEX-Flood) に基づく鬼怒川大洪水の現況再現・将来予測

株式会社大林組 (元東京理科大学) 非会員 原山 和
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○柏田 仁
 東京理科大学 正会員 二瓶 泰雄

1. 序論

平成 27 年 9 月の関東・東北豪雨により鬼怒川では多くの箇所の溢水や堤防決壊が発生し、茨城県常総市の 1/3 が浸水した。この結果、多くの住民が孤立し、約 4300 名が自衛隊などにより救助された。このような逃げ遅れによる被害を防ぐためには、正確な水位把握と洪水予測は必須である。しかしながら、水位観測は、10~20km 間隔の離散的な「点」観測所データに限定され、河川全体の水位把握は困難である。また、このような水位の「点」観測データに基づいて、水位の「点」予測がなされるが、その精度は十分に担保されておらず、鬼怒川・水海道地点の水位予測値は 3 時間後で約 80cm の過小評価をしていた。このような課題に対して、国土交通省は、低廉・メンテナンスフリーの危機管理型水位計の開発推進によって、多地点・高密度の水位観測網の構築を目指しているが、水位観測解像度向上の限界や維持管理の負荷を考慮すると、多数の「点」水位データを取り込みつつ、「線」水位データの現況再現・将来予測が可能な数値解析手法の確立が急務である。これに必要なデータ同化手法を用いた洪水予測技術としては、粒子フィルタや Adjoint 法等が挙げられるが、全般に計算負荷が大きく同化地点が多くなると計算困難な可能性が高い。一方、著者らは、目的変数特化型のデータ同化手法による洪水予測手法として、洪水予測用力学的内外挿法 (Dynamic Interpolation and EXtrapolation method for Flood prediction, DIEX-Flood) を開発し、江戸川の水位縦断分布の高精度な現況再現に成功している¹⁾。本研究では、この研究を進展させ、H27 年の鬼怒川大洪水の洪水予測に対して DIEX-Flood を適用し、水位縦断分布の現況再現・将来予測を実施し、本手法の再現・予測精度を検証する。

2. 研究方法

(1) 本手法の概要

本手法では、河川流量算定用の力学的内外挿法 (DIEX 法)²⁾ の考え方を水位データ同化手法に拡張している。すなわち、水位観測値を流体の運動方程式と連続式を満足する形で縦断方向に内外挿する。本手法は、①事前計算、②Nowcast (現況再現計算)、③Forecast (将来予測計算) から構成される (図-1)。基礎方程式系は、①では一次元不等流解析、②・③では一次元不定流解析である。まず、①事前計算では、過去の洪水痕跡水位データを用いて、粗度係数 n を算出し、痕跡水位の観測精度を考慮して、移動平均によるスムージングを施す。②Nowcast では、①の n を用い、水位観測値から F_a を算出し、この F_a を縦断

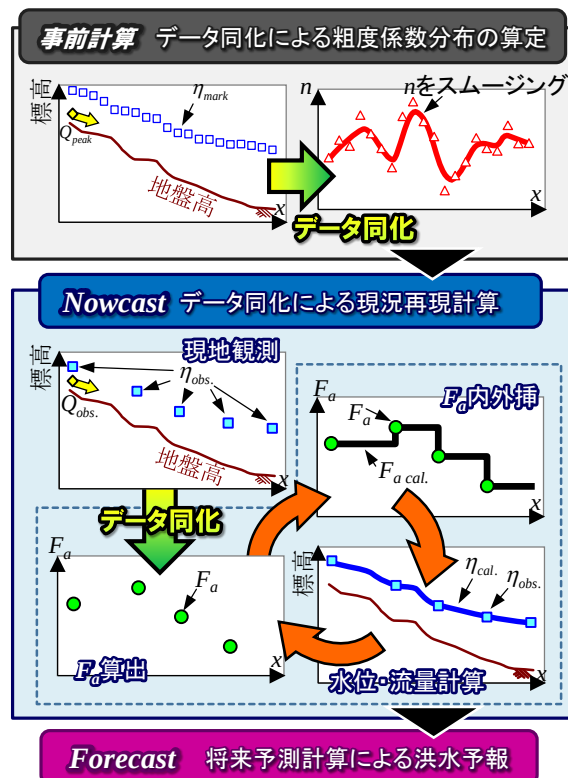


図-1 DIEX-Flood における計算手法の概要

方向に内外挿し、一次元不定流計算により水位と流量の縦断分布を求める、という手続きを解が収束するまで繰り返す。③Forecastでは、②で得られた水位・流量・ F_a を初期条件とし、上流端流量・下流端水位・ F_a の予測値を与えて一次元不定流計算により水位縦断分布の時間変化を予測する。ここで、付加項 F_a とは水位観測値を数値計算に合理的に取り込むために一次元不定流計算の運動方程式に新たに加えた項である。本手法の最大の特徴は、①多地点での水位観測値を精度良くデータ同化できる、②任意で設定する計算パラメータが無い、③将来予測の精度が上下流端の境界条件や付加項 F_a の設定に集約される、の3点である。

(2) 計算条件

計算対象洪水はH27年関東・東北豪雨が生じた2015/9/9 0時~9/11 12時の60時間であり、計算区間は川島 (利根川合流点から45.7km) から水海道 (同11.0km) までの34.7km区間とした。この区間内の水位観測所は川島、平方 (37.3km)、鎌庭 (27.4km)、水海道の4か所である。事前計算では、平成27年関東・東北豪雨 (Case1) のみならず、平成14年台風6号 (Case2)、平成10年台風5号 (case3) の3ケースの痕跡水位を対象に粗度係数 n を求

キーワード：洪水予測、データ同化、DIEX-Flood、一次元不定流計算、水位

連絡先：〒300-4204 茨城県つくば市作谷 TEL：029-869-1041 FAX：029-869-0269

めた。現況再現計算では、3 ケースの粗度係数を用いて実施した。将来予測計算では、現時刻の F_a を一定とし、上流端流量・下流端水位は観測値を与えて計算した。

3. 結果と考察

(1) 現況再現計算の精度検証

現況再現計算により得られた H27 年関東・東北豪雨時における鬼怒川の水位縦断分布を図-2 に示す(事前計算は Case1 を採用)。ここでは、本手法における計算結果(実線)と 4 か所の水位観測所のデータ(マーク)に関しては、出水前(9/9 12 時)、増水期(9/10 0 時)、ピーク期(9/10 12 時)、減水期(9/11 0, 12 時)を表示している。この図を見ると、水位縦断分布の計算結果は、観測値と良好に一致すると共に、観測所間の水位観測値を滑らかに内外挿している。これより、本手法は、流量算定用の DIEX 法と同じく、データ同化を確実かつスムーズに行えていることが分かる。

(2) 様々な洪水時の痕跡水位による水位再現精度

このような DIEX-Flood の高い計算精度に対して事前計算で得られる粗度係数 n の影響を調べるために、3 つの過去洪水(Case1~3)に対する粗度係数 n とピーク水位・痕跡水位の縦断分布を図-3 に示す。これより、粗度係数 n に関しては、Case2 と 3 では近いが、Case1 とは大きく異なっている。これは、洪水規模の違いによる痕跡水位の差を反映している。一方、ピーク水位に関しては、3 ケース共に同じような分布となっており、いずれのケースも痕跡水位と概ね一致している。また、計算水位と痕跡水位の差の RMS 値を求めた結果、Case1, 2, 3 においてそれぞれ 0.42m, 0.63m, 0.55m であり、痕跡水位の計測誤差が最大 1m 程度であることを考慮すると、いずれも計算精度は良好である。これより、いずれの洪水における痕跡水位から得られた粗度係数によらず本手法は高い計算精度を有しており、過去の洪水痕跡だけでも将来予想される大洪水時の水位の再現計算に支障はない。

(3) 将来予測

将来予測計算に基づく 6 時間後までの水位予測結果を図-4 に示す。ここでは、水位観測データがある川島、平方、鎌庭における観測値及び、水位予測値として予測開始時刻から 6 時間後までの水位を表示している。これより、3 地点共に概ね水位変化を捉えられているが、増水期の鎌庭のみ水位予測値は大きな誤差がある。これは、将来における F_a の時間変化を適切に与えられていないためであり、今後の課題である。6 時間後予測値と観測値の誤差の RMS 値は川島、平方、鎌庭地点で 0.49m, 0.47m, 0.70m となり、本手法の基本的な有効性が検証された。

4. 結論

洪水予測手法 DIEX-Flood を H27 鬼怒川大洪水に適用した。複数の過去の洪水痕跡水位データから算定した n を用いた現況再現計算を行ったところ、いずれの n でも高い計算精度が示され、既往最大を超える洪水への適用性が確認された。将来予測では、 F_a の時間変化の取扱いが課題となったが、基本的な有効性が確認された。

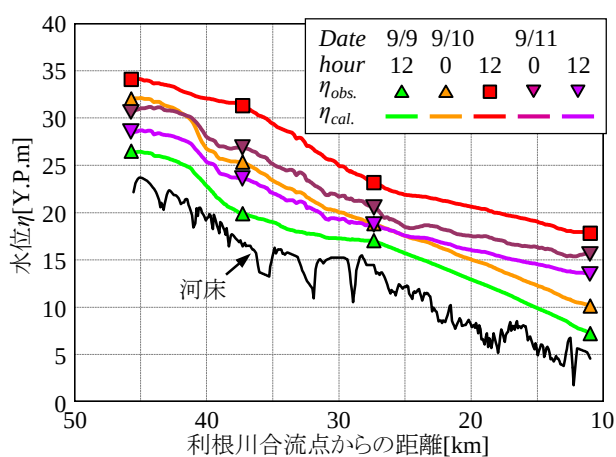


図-2 水位縦断分布の計算値と観測値の比較 (Case1)

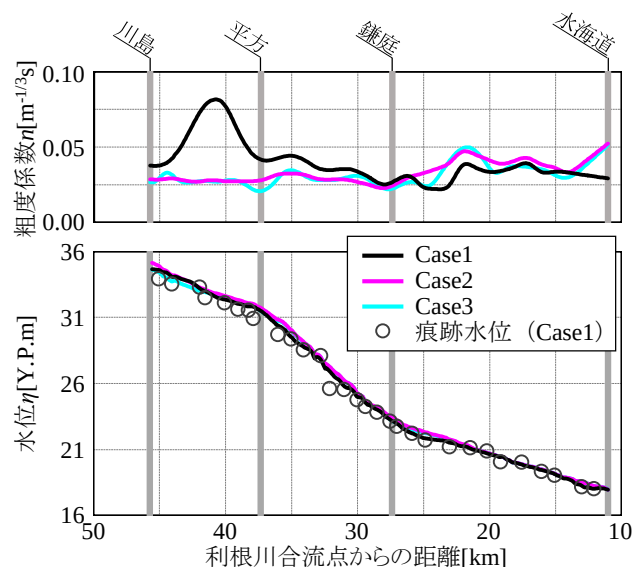


図-3 Case1~3 における粗度係数とピーク水位、痕跡水位の縦断分布

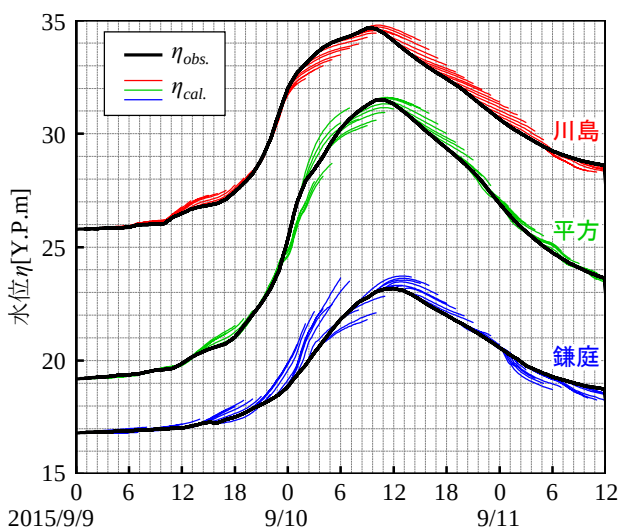


図-4 洪水予測計算による 6 時間後までの水位予測結果

参考文献

- 1) 柏田・二瓶, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, 2018.
- 2) 二瓶・木水, 土木学会論文集 B, Vol.64, 2008.