

HLLC 法に基づく平面 2 次元数値モデルを用いた彦山川の洪水流解析

九州工業大学工学部 学生会員 大久保剛貴 九州工業大学大学院 正会員 重枝未玲
九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山壽一郎 建設技術研究所 正会員 坂本洋

1. はじめに

近年、観測史上最大を超える豪雨が頻発し、甚大な被害が生じている。任意の降雨外力に対する河道内水位の変化を把握することは、計画を上回る外力に対する減災対策にとって極めて重要である。本研究は、九州北部豪雨災害時の彦山川流域の出水を対象に、ドライ・ウェット状態となる河床の取扱いを組み込んだ HLLC 法¹⁾に基づく平面 2 次元自由表面流モデル(以下、FUHLLCS-2DF モデル)による洪水流解析を行い、その再現精度を検証するとともに、FDS 法²⁾を用いた平面 2 次元自由表面流モデル(以下、PSA-FUF-2DF モデル³⁾)との比較を行ったものである。

2. FUHLLCS-2DF モデルの概要

FUHLLCS-2DF モデルの基礎方程式は、2 次元浅水流方程式を図-1 に示すセルの境界線の法線方向 x_n に回転させることで求められる 1 次元浅水流方程式である。基礎方程式の離散化には、時間積分に Euler の陽解法を、空間積分に有限体積法を用いた。数値流束には、河床勾配の影響を考慮した HLLC 法¹⁾に基づく数値流束を用いるとともに、ドライ・ウェット状態となる河床が存在する場合には水のやり取りが発生しないように、数値流束の補正を行う取扱いを組み込んだ。

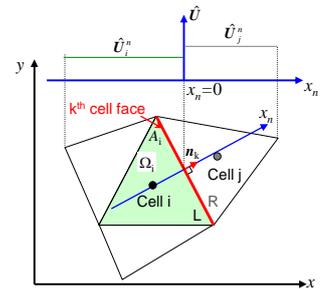


図-1 セルの境界線の法線方向

3. 彦山川流域への適用

(1) 解析対象領域

解析対象領域は彦山川流域であり、同流域で被災が生じた 2012 年 7 月 13 日から 15 日における九州北部豪雨災害時の出水を対象とした。彦山川は、一級河川遠賀川の支川であり、金辺川、中元寺川の支川が合流する。彦山川流域の概要および水位観測所を図-2 に示す。解析対象河川は、図-2 に示す彦山川、金辺川、中元寺川とした。



図-2 彦山川流域の概要

(2) 解析の概要

本解析では、「セル分布型流出解析モデル」で降雨を外力として河道への流入流量を予測した後、その流量を境界あるいは内部境界条件として与え、「平面 2 次元洪水追跡」で任意の地点での水位および流量ハイドログラフの予測を行った。ここでは上述の FUHLLCS-2DF モデルと PSA-FUF-2DF³⁾ モデルを用いた

洪水追跡の解析開始時刻は、2012 年 7 月 13 日午前 10 時とした。河道は 12 区間に分割し、並列計算を行った。河道横断面図は、2010 年のものを用いた。総メッシュ数は 13,939 個であった。粗度係数には計画粗度係数を用いた。上流端の境界条件には分布型流出解析モデルより算出した流量を、下流端には中島観測所の実測水位を境界条件として与えた。クーラン数はいずれも 0.40 とした。

(3) 結果と考察

図-3 は、彦山川の距離標 1.8~18km について、痕跡水位と最大解析水位との比較を行ったものである。これより

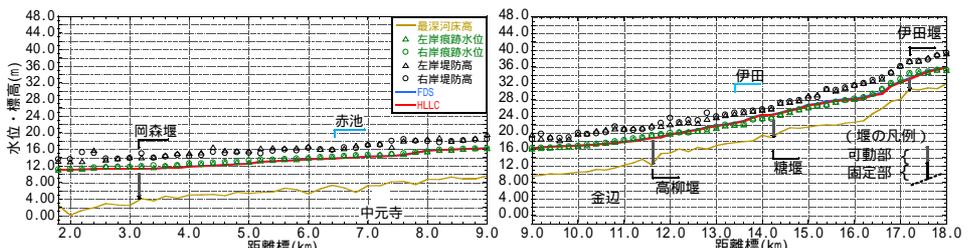


図-3 彦山川での痕跡水位と最大解析水位との比較

(1) いずれのモデルも痕跡水位

を概ね再現できること、(2) 全体的な予測精度は同程度であること、(3) 堰周辺では再現精度が低いこと、

(4) 解析結果を比較すると、いずれも同程度の精度であること、などが確認できる。

図-4は、図-2に示す赤池、伊田観測所での水位と流量ハイドログラフの比較したものである。これらから、(1) いずれのモデルについても、水位および流量ハイドログラフが増減する時間やピークが発生する時間など、水位および流量ハイドログラフ波形を定性的には再現していること、(2) 伊田観測所では、いずれのモデルも水位および流量ハイドログラフを十分な精度で再現していること、(3) 赤池観測所の流量ハイドログラフは十分な精度で再現しているが、(4) 一方で、赤池観測所の水位ハイドログラフでは、伊田観測所に比べ再現精度が低いこと、などが確認できる。

図-5は、赤池・伊田観測所について、解析結果および実測値より求めた水位と流量との関係を示したものである。これより、いずれのモデルも、(1) 伊田観測所では、水位と流量との関係はループを描かず貯留効果が少ないこと、(2) 赤池観測所では本川との合流の影響により、伊田観測所より、水位流量曲線はループを大きく描いていること、などの現象を捉えている。実測と比較すると、(3) いずれのモデルも、同程度の予測精度であることが確認できる。実測値と差が生じた理由としては、赤池観測所では流量をある程度予測していることから、堰の影響を考慮していないためと考えられる。

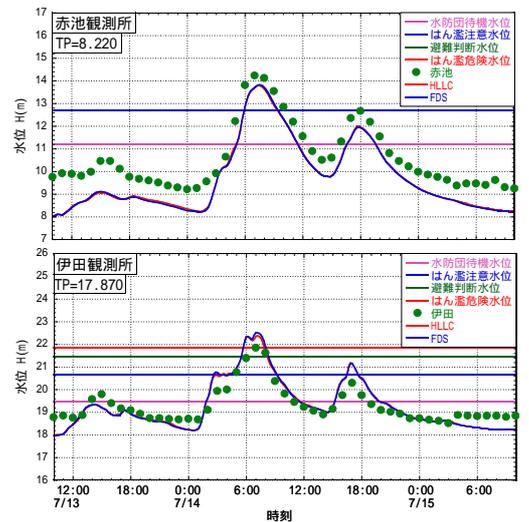
両モデルの計算効率については、同一コンピュータで実施した解析のCPUタイムを比較したところ、FUHLLCS-2DFモデルは、PSA-FUF-2DFモデル³⁾の1.45倍程度の計算速度を有することが確認された。一方、FUHLLCS-2DFモデルの質量誤差は解析全体を通じて0.25%程度、PSA-FUF-2DFモデル³⁾の0.06%に比べ、大きく上回っていた。これは、河床がウェットからドライ状態へと変化する箇所が生じたことから、ドライ・ウェット状態の取扱いについては、質量誤差が発生しないように改善が必要である。

4. おわりに

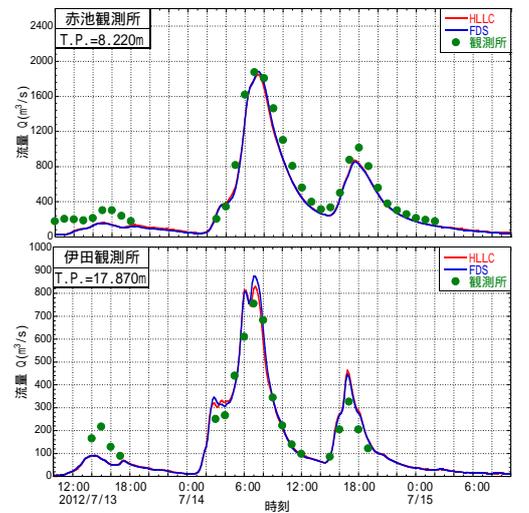
本研究から、FUHLLCS-2DFモデルは、(1) 水位・流量および水位と流量の関係を十分な精度で再現できること、(2) SA-FUF-2DF³⁾モデルに比べ、計算効率が高いこと、(3) 一方、質量誤差が大きく、ドライ・ウェット条件の取扱いについては改善が必要なが確認された。

謝辞：本研究を実施するに当たり、遠賀川河川事務所の関係各位にはデータの提供など多大な協力を得た。また、本研究は、科学研究費補助

金若手研究B(課題番号：25820225、研究代表者：重枝未玲)の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。参考文献) 1)重枝未玲ら：土木学会論文集B1(水工学)、Vol.68、No.4、pp.I_1429-I_1434、2012。2)Roe, P. L.: *Journal of Computational Physics*, Vol.43, pp.357-372, 1981. 3)重枝未玲ら：土木学会論文集B1(水工学)、Vol.69、No.4、I_637-I_642、2013。4)国土交通省：水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/>、2015。5)重枝未玲ら：河川技術論文集、第18巻、pp.459-464、2012。



(a)水位ハイドログラフ



(b)流量ハイドログラフ

図-4 ハイドログラフの比較

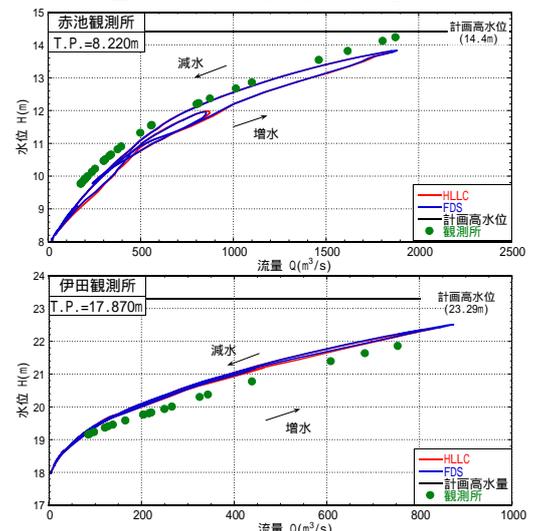


図-5 水位と流量との関係