

三次元河川流・氾濫流一体解析による球磨川水害における家屋被災リスクの分析

東京理科大学 正会員 ○柏田 仁, 尾形 勇紀, 二瓶 泰雄
 京都大学防災研究所 正会員 山田真史, 佐山敬洋

1. 序論

水害の多発化は世界の共通課題であり、我が国でも既往最大規模もしくはそれ以上の洪水災害が毎年各地で発生している。例えば、R2年7月豪雨による球磨川の水害では、多数の建物流失被害が発生し、流失に伴う人的被害も発生した。このような洪水による人的・物的被害を適切に評価するためには、今後の気候変動影響の顕在化を見据えて、モデルに内在する不確実性が少なく高精度な河道・氾濫モデルの構築が必要となる。一般的な数値モデル構成としては、河道では一次元(1D)不定流モデル、氾濫域では平面二次元(2D)モデルを用い、堤防での越流量を与えて、両者を接続している¹⁾。このようなモデルでは、計算結果が河道の粗度係数に大きく依存することに加えて、河道と氾濫域間の流量のやり取りは考慮できるが、運動量交換を考慮できていない。そのため、R2年球磨川水害のような、堤防高を大きく超過する流下型氾濫に対して、既往モデルの適用には問題が多い。以上より、河川流と氾濫流を一体とした解析が可能で、河道の蛇行・湾曲による二次流発生も考慮可能な三次元モデルの活用が、今後は必須となる。このため、既に、福岡らの研究グループは、非静水圧準三次元解析法(Q3D-FEBS²⁾)と河床変動解析法に基づく球磨川の河道・氾濫流一体解析を実施し、その有効性・重要性を示した³⁾。Q3D-FEBS²⁾は計算効率性と精度を兼ね添えた優れたモデルであるが、様々な三次元流動モデル開発が進むことは水工学分野の発展を考えると望ましい。本研究では、3D計算と2D計算を併用するモードスプリット法⁴⁾を用いた河道・氾濫流一体解析可能な三次元流動モデルを構築する。本モデルと従来の1D・2D結合モデルを球磨川水害に適用し、家屋被災に係わる水理量を比較・分析する。

2. 計算方法

三次元モデルは、一般に計算コストが多額であり、適用する空間・時間の範囲は限定的である。それに対して、モードスプリット法⁴⁾では、相対的に計算コストの小さい平面二次元計算を全ての時間ステップで実行し(External mode)、三次元計算を数十～数百ステップに一度計算(Internal mode)する(図-1)。これにより、計算負荷を大きく低減し、広域・長時間の計算が可能となる。Internal mode時に各メッシュにおける三次元計算と平面二次元計算における移流項と拡散項の差を補正項として求め、External mode時の平面二次元計算に導入することで三次元流動の効果が反映される。なお、本手

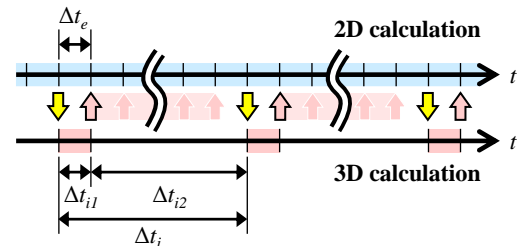


図-1 本モードスプリット法の概要

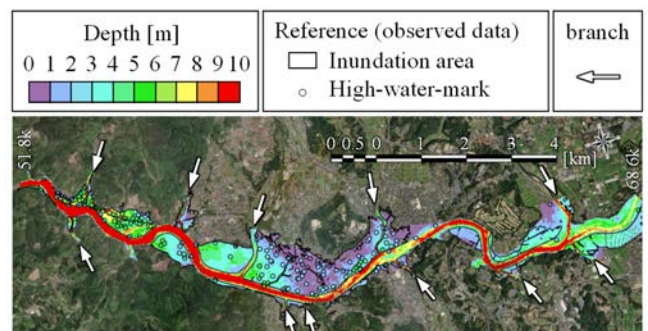


図-2 本手法による浸水深コンター図および観測浸水深

法では、「流速等の鉛直分布の時間変化は水深平均流速の時間変化と比べて小さい」と仮定して、External modeにおいては流速鉛直分布構造と補正項を一定に与える。計算時間間隔は、三次元計算で0.01sec、平面二次元計算では最大クーラン数が0.2を下回るように可変で与えた。モードスプリット間隔は1,000とし、10.0secに一度だけ三次元計算を行い、流速鉛直分布と補正項を更新する。

3. 計算対象

計算対象区間は、球磨川の51.8k～68.6kとし、その間の主要な11の支川の流入を考慮する(図-2)。水平方向には直交曲線座標系を用い、格子間隔は縦断、横断方向にそれぞれ約20m、10mとした。河道内には定期横断測量データを縦断方向に内挿、氾濫原にはDEMデータを与えた。鉛直方向には σ 座標系を用い、水深を10等分した。河道内の粗度係数は全計算区間で $0.030\text{m}^{-1/3}\text{s}$ とし、氾濫原では油屋・今村⁵⁾を参考にメッシュ内の家屋占有率に基づいて設定した。計算期間は2020/7/4 1:00～17:00とし、解析雨量とRRIモデル⁶⁾による流出計算と、MIKE11による不定流計算により、上流端流量と下流端水位を設定した。本手法の計算精度は、河道の水位ハイドロ、氾濫域の痕跡水位、浸水範囲を検証データとして妥当性を確認した(図-2)。比較対象となる従来手法については、河道は一次元不定流モデル(MIKE11,

キーワード 三次元モデル, 河川流・氾濫流一体解析, モードスプリット法, 球磨川, 家屋倒壊

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL: 04-7124-1501 (4072) FAX: 04-7123-9766

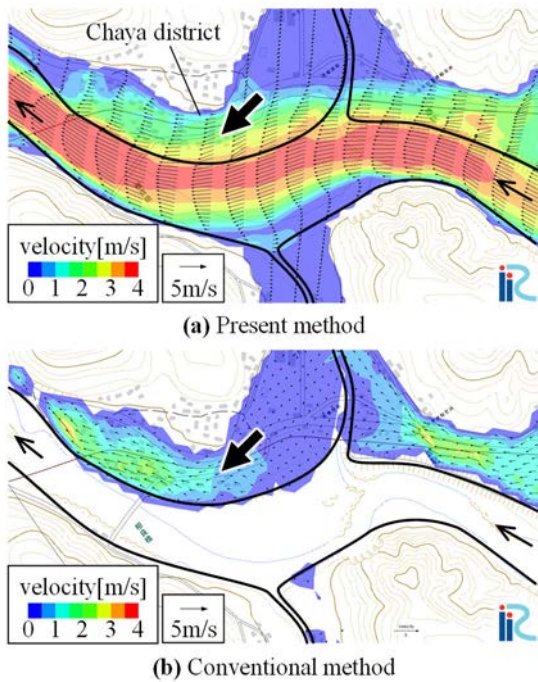


図-3 茶屋地区の水深平均流速分布 (2020/7/4 10:30)

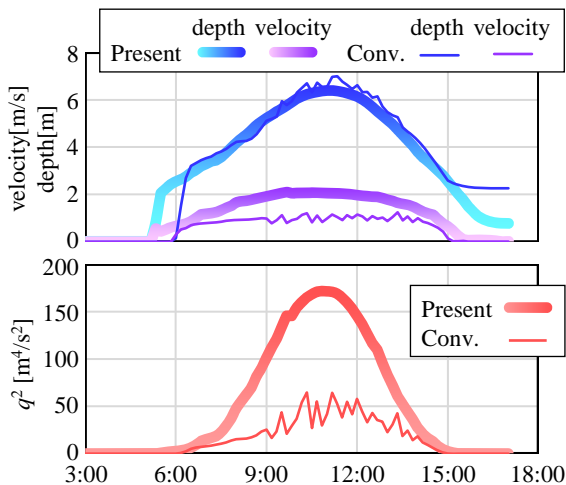


図-4 茶屋地区における各水理量の時系列データ

DHI), 越流量計算に本間の越流公式, 平面二次元氾濫計算に MIKE21 を用いた. 氾濫計算の格子幅は 25m, 粗度は $0.050\text{m}^{-1/3}\text{s}$ を一様に与え, 河道の粗度は水位観測値および痕跡水位を再現可能となるように $0.025\sim 0.080\text{m}^{-1/3}\text{s}$ の範囲で時間的・空間的に変化させて与えた.

4. 結果と考察

計算区間内の代表的な流失家屋群とその近辺の浸水家屋群における水理量を抽出したところ, 両計算法の浸水深は概ね良好に一致したが, 従来法の流速は本手法に対して過小評価であった. 特に, 流速過小評価は河道湾曲部の内岸側に位置する茶屋集落(図-3)で顕著であった. 同図(a)に示されるように河道内では湾曲内岸側に高流速域が形成され, 河道内の運動量が輸送されることで氾濫域でも一体的な高速流が発生し, 多数の家屋流失が発生した. 一方, 従来法では河川流計算と氾濫流計算は越流量で接続されるものの運動量輸送は接

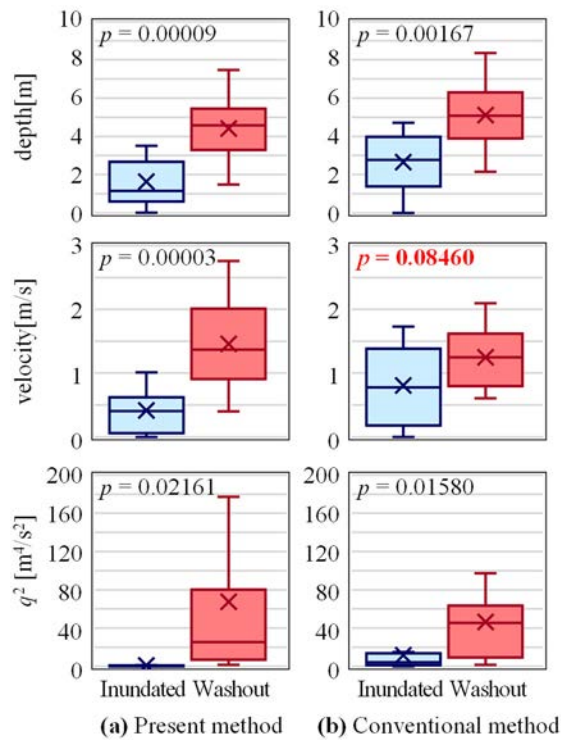


図-5 家屋流失・浸水地点の水理量の箱ひげ図

続されないため, 高流速の発生は限定的である. さらに, 茶屋集落中央に位置する図-3の矢印箇所の水深 h ・水深平均流速 v およびモーメント指標 $q^2 (=v^2h^2)$ の時系列データを図-4に示す. 水深は概ね一致するが, 従来法の流速はピーク時では本手法の半分程度となり, ピーク時の q^2 も本手法の $1/4$ 程度となった. さらに, 家屋流失リスクと水理量の関係をより定量的に分析するために図-5に計算手法・水理量毎の箱ひげ図を示し, 図中には t 検定による p 値を合わせて示している. 同図より, 従来手法では家屋流失地点と浸水地点の流速に有意差が認められず. それに伴い, q^2 の流失・浸水地点間の差も緩慢である. 一方で, 本手法ではいずれの水理量についても有意差が認められた.

このように, 三次元河川流・氾濫流一体解析では, 浸水・流失家屋の水理量に有意な差が認められ, 家屋被災リスク評価への適用性が示唆された. なお, 本研究では一部の代表点の抽出による簡易分析を行っており, 全ての流失・浸水家屋を基にした家屋被害関数の分析を今後行う. また, 本研究では最大外力に着目したが, 外力の時間積分効果を考慮する必要がある.

謝辞: 本研究の一部は JSPS 科研費 JP21K20451 および JP21H04577 の助成を受けたものです. ここに記して謝意を表します.

参考文献 1) 国土交通省: 洪水浸水想定区域図作成マニュアル (第4版) 2) 竹村・福岡: 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019. 3) 田端ら: 河川技術論文集 Vol.27, pp.597-602, 2021. 4) 二瓶ら: 土木学会論文集, No.803, II-73, 2005. 5) 油屋・今村: 海岸工学論文集, Vol.49, 2002. 6) Sayama et al., Hydrological Science Journal, Vol.57, 2012.