

3D 都市モデルを利用した洪水氾濫解析計算の高度化

鳥取大学	学生会員	○松尾 侑次郎
鳥取大学	正会員	福井 信気
豊橋技術科学大学	正会員	豊田 将也
鳥取大学	正会員	太田 隆夫
鳥取大学	正会員	江本 久雄

1. 序論

都市域における水害を最小限に抑えるには、より高精度の洪水情報やハザードマップの作成が必要であり、都市域の氾濫状況を数値シミュレーションにて予測することが重要である。建物が浸水解析へ与える影響も検討されつつある^{1),2)}が、計算の負荷から10m~250m程度の建物幅より大きい計算格子間隔を用い、建物情報は建物占有率や粗度係数といったグリッド平均値が用いられることが多い。一方で測地技術の向上による建物データの高度化に伴い、詳細な建物形状を入手可能になりつつある。例えば2020年から3D都市モデルPLATEAU³⁾が公開され、建物形状を地形データに反映することが可能になった。そこで本研究では、降雨流出氾濫モデルRRI⁴⁾及び河川氾濫モデルiRIC⁵⁾を基に、3D都市モデルを用いた氾濫解析手法を開発する。その上で、防災・減災上重要な浸水範囲、浸水深などの氾濫特性と建物まわりの詳細な流れを検討する。本研究では、鳥取県の千代川を対象に降雨流出氾濫モデルと河川氾濫モデルを用いて計算を行い、氾濫状況を検討する。

2. 数値計算手法

本研究における数値計算手法の概略を図-1に示す。流域全体の河川流量計算をRRI、下流周辺の市街地における洪水氾濫解析をiRICによって行う。iRICの計算上では3D都市モデルより計算された建物高さを数値標高モデルDEMに入力することで建物形状を考慮した氾濫解析を実施する。本研究では、千代川下流にある鳥取市中心部を対象に2018年西日本豪雨による流量再現計算と当該外力をもとにした氾濫計算を行う。RRI、iRICについて順次詳説する。

(1) RRIの概要

RRIは、降雨を入力することで河川流量から氾濫までを流域スケールで解析する2次元モデルである。計算

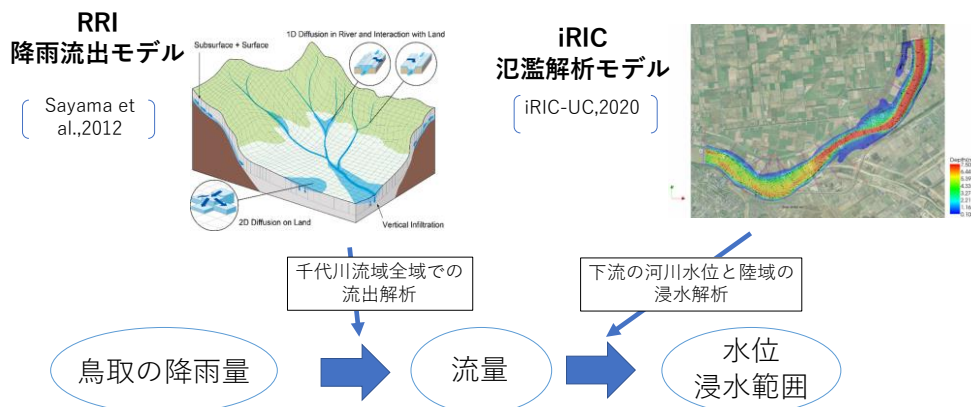


図-1 数値計算手法の概略

キーワード 河川氾濫, RRI, iRIC, 建物, 3D 都市モデル

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部社会システム土木系学科 福井信気

T E L 0857-31-5334

期間は、助走計算期間も含めた2018年7月5日0時～7月7日12時までの60時間とした。RRIのパラメータ設定は、流量の計算値と観測値を比較しながら決定する。本研究では、千代川下流（鳥取市中心部）に流量計が設置されている行徳観測点において精度検証を比較することで、最も高精度な設定を選定した。入力した降水量は解析雨量（1kmメッシュ）における2018年西日本豪雨の30分間隔降水量を使用する。また、RRIの地形データとして必要不可欠となる補正標高、表面流向および上流集水グリッド数は、J-FlwDirを用い、本川支流共に3sメッシュを利用する。標高や土地利用、土壌のデータは国土数値情報によるデータを利用する。

(2) iRICの概要

RRIでは2次元拡散波近似を用いた浅水方程式を流域全体に適用するため、複雑な市街地スケールの氾濫解析への適用は難しい。このため鳥取市中心部での氾濫解析にはiRICのNays2D_Floodソルバーを用いる。RRIによって得た千代川・新袋川・大路川の流量をiRICにおける上流境界に入力し氾濫解析を行う。堤防越流による氾濫を発生させるため、氾濫計算では入力流量を2.5倍とした。計算範囲は、千代川河口から約4kmさかのぼった地点から上流側へ約2.5kmまでの範囲で行う。計算期間は西日本豪雨が鳥取市を通過する2018年7月6日19時～7月7日9時までの14時間である。標高は国土地理院基盤地図情報、河道は航空レーザー測深による水深データを使用する。領域内の樋門は全閉条件で計算を行う。

(3) 氾濫計算時のiRIC上における建物の取り扱い

氾濫計算では、3D都市モデルから作成した建物高さのデータと国土地図基盤情報によるDEMにより作成したDSMによって、建物を地盤高として考慮するケース(Case1)をメインケースとする。比較対象として、一般的に用いられる手法の建物情報は入力せずに国土地図基盤情報によるDEMと一様な粗度係数および建物占有率によって建物を間接的に考慮するケース(Case2)、建物情報として3D都市モデルから作成した外周データをもとに建物占有率を入力するケース(Case3)を検討する。各ケースにおける建物の取扱いの比較を表-1に示す。

表-1 建物の取扱いの比較

	水平解像度	粗度係数	建物占有率	建物形状の考慮
再現計算	2m	0.03	-	-
Case1	2m	0.03	-	建物幅・高さを考慮
Case2	5m	0.03	0.5（一様）	非考慮
Case3	5m	0.03	0.9（建物内のみ）	建物幅を考慮

3. 西日本豪雨の再現計算

RRIによる流量の計算精度の検証は、行徳観測点における流量時系列データ（1時間ごと）を用いて行う。比較した流量時系列を図-2に示す。赤い線は計算値、黒い点は観測値（水文水質データベース⁹⁾）を表している。観測値と計算値において大きな差はなく全体としてその傾向を表現できていることがわかる。なお、二乗平均平方根誤差(RMSE)と相関係数、Nash-Sutcliffe係数はそれぞれ270m³/s、0.917、0.827である。続いてiRICによる水位時系列の再現性を確認するために、行徳観測点での水位を比較する。図-3に水位時系列（1時間ごと）の比較の図を示す。青線はiRICの計算結果、黒い点は観測値⁹⁾を示している。計算値、観測値ともに類似した水位の波形を示している。二乗平均平方根誤差(RMSE)と相関係数はそれぞれ0.381m、0.917であり、計算精度は良好であることが確認できた。

4. 氾濫計算の結果および考察

各ケースの最大浸水深を検討する。図-4は各ケースにおける最大浸水深を示している。Case1がほかのケースと比べて高いことが分かる。赤破線で囲った北部での浸水深の平均はCase1とCase2は71%、Case1とCase3は73%差があった。Case1では氾濫した水が建物によって遮蔽される影響と詳細な地形データが反映され、道幅が狭くなった箇所水が集中し、水位が上昇したためとみられる。続いて北部の浸水範囲を比較する。図-

5, 図-6 はそれぞれ浸水範囲と浸水面積の時系列を示している. Case3>Case1>Case2 の順で浸水到達時間が短くなり, 浸水面積は Case2>Case3>Case1 の順で大きく, 浸水到達時間, 浸水面積は建物の取扱いに鋭敏であることがわかる. 最後に流速と流れの向きを検討する. 図-7 は浸水開始2時間45分後の流速の大きさと向きを

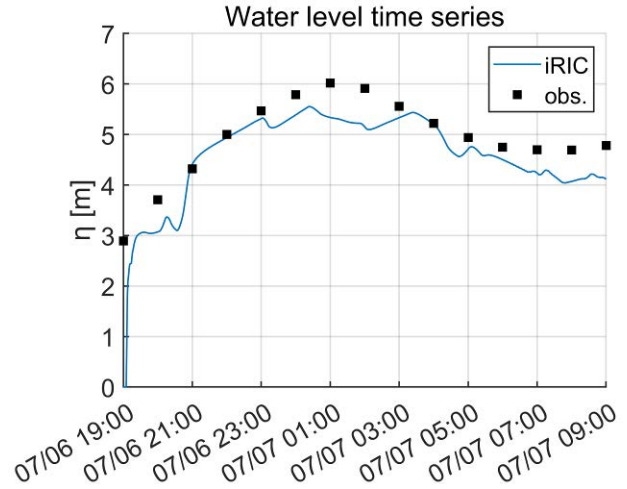
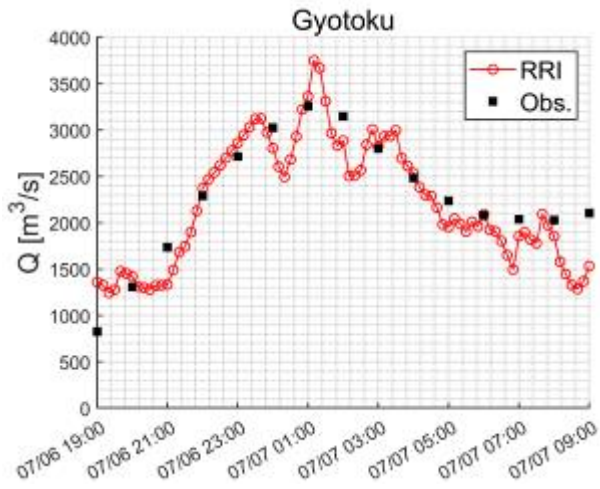


図-2 行徳観測点における流量時系列 (赤線: RRI による計算値, ■: 観測値)

図-3 行徳観測点における水位時系列 (青線: iRIC による計算値, ■: 観測値)

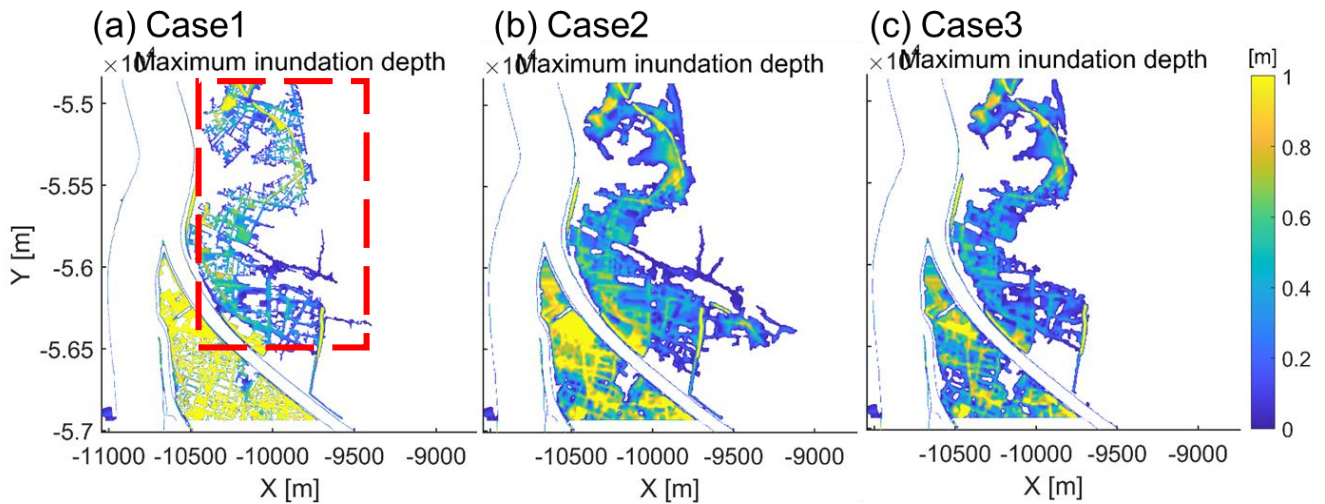


図-4 氾濫計算における最大浸水深の空間分布

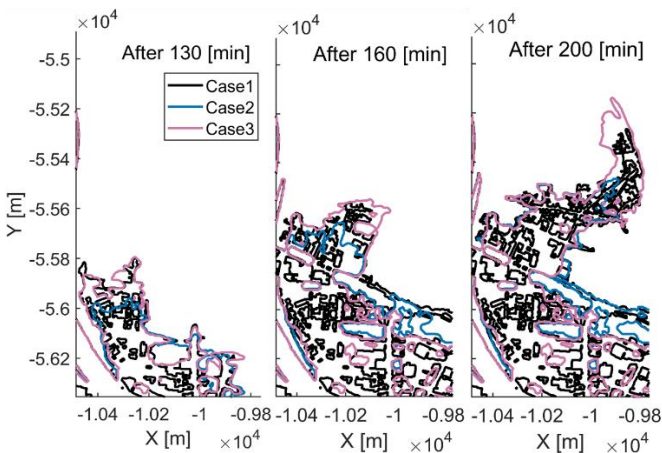


図-5 氾濫開始から 130, 160, 200 分後の浸水範囲

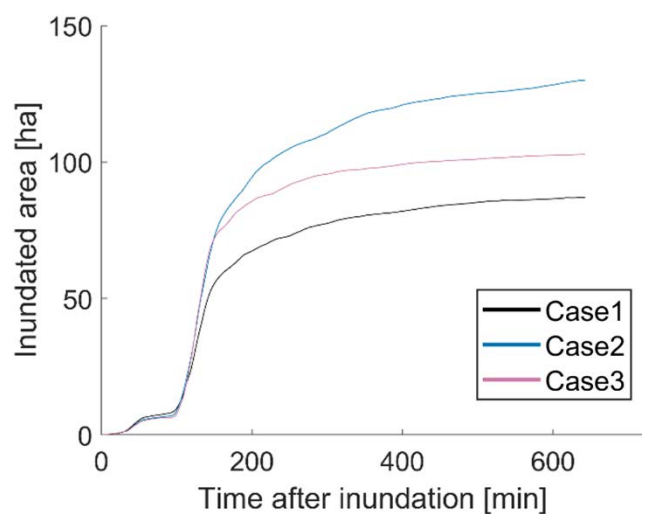


図-6 浸水面積 (単位: ha) の時系列変化

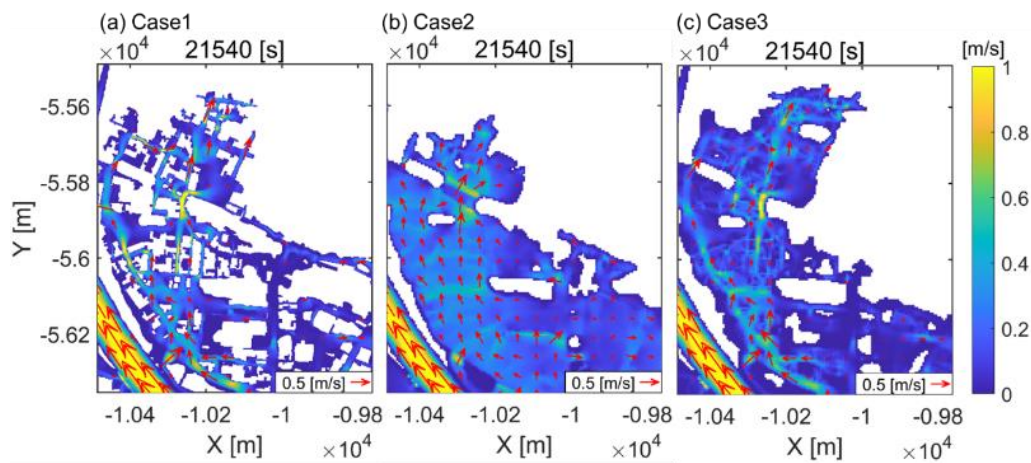


図-7 浸水開始 2 時間 45 分後における流速の大きさ (カラー) 及び向き (矢印)

比較した図である。Case1 と Case3 では、道路や建物の周りで流速が上昇していることが分かる。また、水が建物に当たることで浸水方向の変化も表現できることが分かる。Case2 では流速の大きさが一様に広がっており、詳細な流れは確認できない。

5. 結論

本研究では、河川氾濫モデルにおける建物の取り扱いの高度化を目的とし、3D 都市モデル PLATEAU から作成した建物形状を標高とし取り扱う計算を行い、氾濫特性を検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 建物の取り扱いの違いによって浸水深、浸水到達時間、浸水の面積が異なる
- (2) 建物高さ、または幅が入力された氾濫計算では道路の流れが明確になり、建物間における局所的な流速の上昇、浸水方向の変化の表現が可能
- (3) 一定の粗度係数や占有率のみの氾濫計算では流速が一様に広がり、詳細な水の流れは表現できない

本研究では、建物内への浸水はしないこととして氾濫計算を行ったが、実際にはドアや窓が破壊され建物内への浸水が起こることが考えられ、これを考慮した計算が今後の課題である。また、本研究での水平解像度は 2m と 5m に設定した。しかし、より広範囲の氾濫を解析するためには水平解像度を大きくする必要がある。その際の浸水影響の変化を今後、検討する必要がある。

参考文献

- 1) 阿部将也, 武田誠, 中島勇介, 村瀬将隆, 松尾直規: 建物への流入・流出を考慮したデカルト座標系の氾濫解析モデルの検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No. 2, I_1255—I_1260, 2019.
- 2) 三浦心, 川村育男, 木村一郎, 三浦敦禎: 扇状地に発達した密集市街地における氾濫解析手法に関する検討, 土木学会論文集 B1(水工学), vol67, No4, I_979-I_984, 2011.
- 3) 国土交通省: PLATEAU [プラトー] 国土交通省が主導する, 日本全国の 3D 都市モデルの整備・オープンデータ化プロジェクト, <https://www.mlit.go.jp/plateau>,
- 4) 土木研究センター: 降雨流出氾濫 (RRI) モデルの開発と応用, https://www.pwrc.or.jp/thesis_shouroku/thesis_pdf/1406-P018-021_sayama.pdf,
- 5) International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM), Public Works Research Institute (PWRI), Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University Takahiro SAYAMA: Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model ver. 1.4.2, 124p, 2017.
- 6) 国土交通省: 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp>