局地集中型豪雨時の都市河川における水深の予測

PREDICTION OF WATER DEPTH IN URBAN RIVER DURING LOCAL CONCENTRATED HEAVY RAIN

野々村善民 — * 1 藤田一郎 — * 2

Yoshitami NONOMURA — * 1 Ichiro FUJITA — * 2

キーワード：

iRIC, 都市洪水, 内水氾濫, 局地集中豪雨, 六甲山地

Keywords:

iRIC, Urban flood, Inundation inside the levee, Local concentrated heavy rain, Rokko Mountains

The current study was conducted as a response to the need for clarifies the influence that Rokko Mountains give to the water depth of the Toga River using information from the iRIC program and rainfall observation results during the local concentrated heavy rain.

The water depth using information from the iRIC program for only an urban area in Kobe city is the almost same as the rainfall observation results.

Our information results from iRIC program showed that rainwater infiltrated the ground of Rokko Mountains during the local torrential rain.

1. はじめに

日本国内において、台風などによる豪雨が発生する度に、都市における河川洪水の危険性が高まっている。河川洪水が発生した地域の多くは、山地を背景にした市街地である。このような市街地における河川洪水を予測することは、安全・安心を実現するための都市計画の策定に必要となる。

現在、単独河川における水の流れは、iRIC (International River Interface Cooperative) を用いて予測できる¹⁾。一方、山地と市街地に流れる河川を対象とした豪雨時の水の流れに関する研究例は少ない。そのため、河川管理者は、比較的大きな一級河川を対象として、監視カメラの設置に加えて、水深の計測システムを設置している。

そこで、國田らは、河川の表面流の画像解析を用いて河川の水深を計測するためのシステム開発を行っている。神戸市灘区の都賀川を対象として、平成20年7月28日に発生した局地集中型豪雨時の水深などを計測した²⁾。この時、図1に示すように、都賀川上流に位置する鶴甲雨量計により、降雨量が詳細に記録されていた。

一時間程度の局地集中型豪雨時では、山地に降った雨水の流れ方に対して、2つの考え方がある。1つ目の考え方については、雨水の大部分は地面に浸み込む。2つ目については、雨水は地表面を流れ、そのまま河川に流れ込む。

このように、山地に降った雨水の流れを知ることは、河川氾濫シミュレーションを行う上で、予測精度が向上し、作業の省力化に繋がる。これにより、実用上の有益なノウハウが得られ、床上浸水などの被害の低減を目的とした都市計画などの分野に広く活用できるものと考えられる。そこで、本報告は、iRICによる解析結果と文献²⁾の観測結果を用いて、六甲山地の有無が都賀川の水深に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 解析条件

解析に用いた河川氾濫シミュレーションソフトは、iRIC (Nays2DFlood) である。空間メッシュのサイズは、5m×5m以下とした。

図1 局地集中型豪雨時の降雨量モデル
(鶴甲雨量計の測定値, 平成20年7月28日午後2時40分頃)

表1 iRICの解析条件

No.	事項	内容
1	使用したソフト	iRIC(Nays2DFlood)
2	解析の対象地域	神戸市灘区の都賀川周辺
3	地形データ	国土地理院 基盤地図情報— 数値標高モデル 5m メッシュ
4	流移項の差分方法	CIP 法
5	マニングの粗度係数	0.035
6	解析領域側方の 境界条件	自然流出
7	初期水面	水深ゼロ
8	降雨条件	局地集中型豪雨時の降雨量モデル。 文献 ²⁾ の鶴甲雨量計の実測値、 図1を参照。

¹⁾ 福井工業高等専門学校環境都市工学科 教授・博士(工学)
(〒916-8507 鯖江市下司町)

²⁾ 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 教授・学博

¹⁾ Prof., National Institute of Technology, Fukui College, Dr. Eng.

²⁾ Prof., Dept. of Civil Engineering, Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Ph.D.

本報では、以下に示す2つのケースについて解析した。

①ケース1：解析領域は都賀川流域の市街地とした。

以下、狭域モデル。

②ケース2：解析領域は都賀川上流域の六甲山地の一部を含めた。

以下、広域モデル。

上記のケース1とケース2に共通するiRICの解析条件は、表1に示す。なお、土地の被覆材料は、アスファルトおよびコンクリートとしたため、雨水の地下浸透率は0とした。また、下水および側溝などの人工的な水の流れは未配慮とした。降雨の空間的分布は、均一である。

図2に、基盤地図情報を用いて作成した都賀川流域の3Dモデルを示す。図2のb1、b2およびb3は都賀川にかかる道路橋である。iRICのプリデータ上では、上記の3つの道路橋は堰の形状となっていたため、これらの標高を修正した。具体的には、橋の標高は川上側と川下側における川底の標高の平均値とした。

都賀川の長さは約6kmであり、川上側に六甲山地がある。神戸市の市街地は、扇状地と埋立地から構成される。なお、図中の六甲山地は、標高を強調して描画している。

写真1に、都賀川の様を示す。(1)は、予測点の北側であり、2つの河川の合流地点である。(2)は、図2のb1に示す道路橋の上部から上流の六甲山地を見た状況である。

2-1 ケース1（狭域モデル）の解析条件について

図3に、ケース1の解析領域を示す。図中の予測点は解析結果と観測結果を比較するために設定した。なお、予測点は観測点と概ね同じ位置である。

図2 iRICで再現した都賀川流域の3Dモデル

(1)合流地点の様子
(阪急神戸線から下流方向)

(2)六甲山地の様子
(灘警察署の東側 b1 から上流方向)

写真1 都賀川の様

表2に、ケース1のiRICの解析条件を示す。ケース1の解析領域の規模は、3500m×3000mであり、都賀川流域の市街地を概ねカバーしている。空間メッシュの数は、421301個である。

2-2 ケース2（広域モデル）の解析条件について

図4に、ケース2の解析領域を示す。表3に、ケース2のiRICの解析条件を示す。

図3 ケース1の解析領域(狭域モデル)

表2 ケース1の解析条件(狭域モデル)

No.	事項	内容
1	解析領域	3500m×3000m
2	空間メッシュ数	421301 [個] = 701 × 601
3	格子サイズ	5×5 [m]
4	タイムステップ	0.01 [sec]

図4 ケース2の解析領域(広域モデル)

表3 ケース2の解析条件(広域モデル)

No.	事項	内容
1	解析領域	4900m×3000m
2	空間メッシュ数	589581 [個] = 981 × 601
3	格子サイズ	5×5 [m]
4	タイムステップ	0.01 [sec]

図5 予測点における水深の経時変化

図6 予測点における流速の経時変化

ケース 2 の解析領域の規模は、4900m×3000m であり、ケース 1 の解析領域に加えて、上流の六甲山地の一部が含まれている。空間メッシュのサイズは、ケース 1 の場合と同じ、5m×5m である。また、空間メッシュの数は、589581 個である。

3 解析結果

3-1 都賀川の最大水深について

図 5 に、予測点におけるケース 1 とケース 2 の水深の経時変化を示す。ケース 1 の最大水深は、1.19[m] となる。観測結果の水深は 1.20[m] である²⁾。ケース 1 と観測結果の最大水深は、概ね同じ水深となることがわかる。ケース 2 の最大水深は、1.99[m] となり、観測結果と比べて、かなり大きくなっている。

ケース 1 の解析領域は、都賀川流域の市街地のみであり、ケース 2 の解析領域は、都賀川流域の市街地に加えてと六甲山地が含まれている。従って、ケース 2 の最大水深が大きくなった理由として、上流の降雨量の全てが都賀川に流れ込んでいることがわかる。

また、ケース 1 の水深の経時変化が、観測結果と比べて概ね同じである。雨が降り始めて、7200sec（3 時間後）のケース 1 の水深は、約 0.4m となり、観測結果と比べて概ね同じとなる。以上から、iRIC を用いた水深の解析結果は、都賀川の水深の変化を忠実に再現していることがわかる。

解析領域の規模が異なるケース 1 とケース 2 の解析結果から、局地的集中豪雨時の都賀川上流における六甲山地においては、降雨は一時的に貯留され、地表面に流れる水量が抑制されることがわかる。つまり、上流域に六甲山地がある神戸市内の扇状地においては、局地的集中豪雨時の河川の水深を予測する場合、iRIC で再現する解析領域は市街地のみでも良いことがわかる。

(1) ケース1の解析領域全体

(2) 国道 43 号線から南側

図7 ケース1の最大水深の分布

なお、最大水深が発生する時間は、ケース 1 と観測結果は同じであり、局地的集中豪雨が降り始めてから、1800[sec] 後となる。従って、iRIC を用いた水深の解析結果から、河川氾濫の発生時刻などが予測できることがわかる。

3-2 都賀川の最大流速について

図 6 に、予測点におけるケース 1 とケース 2 の流速の経時変化を示す。文献²⁾によると、都賀川の川幅は約 15m である。その中心付近の 5m の範囲で観測された最大流速は、5～6m/s であった。なお、川岸付近の最大流速は 3.5m/s であった。図中には、参考として上記の観測結果の最大流速を示す。

ケース 1 の最大流速は、4.9m/s であり、観測結果による最大流速の範囲と概ね一致することがわかる。ケース 2 の最大流速は、6.3m/s であり、ケース 1 の場合に比べて大きくなることがわかる。

予測点は都賀川の中流域であり、扇状地に位置する。そのため、iRIC の解析結果から、川の流れは速くなり、雨水が河口に向かってスムーズに流れる状況が再現されていることがわかる。

3-3 ケース 1 の最大水深の分布について

図 7 に、最大水深の分布を示す。図 7 (1) は、ケース 1 の解析領域全体の最大水深の分布である。局地的集中豪雨時には、都賀川および市街地の南北方向の道路などにおいて、水深が大きくなることがわかる。また、都賀川と JR 神戸線の交点の西側の領域などの領域については、iRIC のプリデータ上の標高は未修正であり、側溝などの人工的な水の流れは未配慮である。そのため、最大水深が 1m を超える箇所がある。

図8 兵庫県 CG ハザードマップ(神戸市灘区周辺)

図9 都賀川下流域の最大流速の分布(ケース1)

図7(2)は、ケース1の国道43号線から南側における最大水深の分布である。都賀川の東側における市街地の最大水深は0.7mを超えている。もし、局地的集中豪雨が生じ、小さな河川および側溝などの都市インフラが土砂などで埋まり、排水機能が停止となった場合には、国道43号線から南側の領域については、内水氾濫が生じる恐れがあるものと思われる。

図8に、兵庫県の洪水ハザードマップ³⁾を示す。神戸市灘区の市街地においては、洪水が発生しないことが示されている。この時の氾濫条件は、概ね100年に1回程度起こる大雨である。雨量条件は、12時間総雨量が0.32[m]である。

住宅の床下の高さは一般的に0.5[m]である。そのため、もし、下水道および側溝などの都市インフラが機能しない場合には、床上浸水の被害が生じることも考えられる。

今後、局地的集中豪雨に対応した都市計画を策定するためには、iRICなどの河川氾濫シミュレーションソフトが有効な予測ツールとして利用できることがわかる。

3-4 ケース1の最大流速の分布について

図9に、ケース1の国道43号線の南側における最大流速の分布を示す。都賀川を除くほとんどの領域における最大流速は0.5m/s未満となっている。

4. まとめ

日本国内において、台風などによる豪雨が発生する度に、都市における河川洪水の危険性が高まっている。河川洪水による水害が発生した地域の多くは、山地を背景にした市街地である。

一時間程度の局地集中豪雨時では、山地に降った雨の流れ方に対する考え方が2分される。1つ目の考え方については、雨の大部分は地面に浸み込む。2つ目については、水は地表面を流れ、河川に流れ込む。

そこで、本報告は、iRICによる解析結果と既往の観測結果を用いて、六甲山地の有無が都賀川の水深に与える影響を明らかにすることを目的とする。以下に本報告で得られた知見を記す。

- ① 本報では、2つの解析領域について、局地的集中豪雨時の都賀川の水深を予測した。その結果、都賀川流域の市街地のみを解析領域としたケース1の予測点における最大水深は1.19[m]であり、観測結果の最大水深は1.20[m]である。両者の最大水深は、概ね同じとなることがわかった。このように、上流域に六甲山地がある神戸市内の扇状地においては、局地的集中豪雨時の河川の水深を予測する場合、iRICで再現する解析領域は市街地のみでも良いことがわかった。
- ② iRICの解析結果と観測結果を比較することで、局地的集中豪雨時の六甲山地は、降雨を貯留し、地表面に流れる水量を抑制する効果があることがわかった。
- ③ 都賀川中流の予測点において、ケース1の最大流速は、5.3[m/s]であった。また、観測結果の流速は、5~6[m/s]に達することが報告されている。以上から、iRICで予測した都賀川の流速は、概ね再現されていることがわかった。
- ④ ケース1の都賀川下流域の最大水深の分布を予測した結果、国道43号線から南側の市街地において、一部の領域の最大水深が0.7[m]を超えることがわかった。以上から、iRICの解析結果を用いることによって、局地的集中豪雨が生じ、小さな河川および側溝などの都市インフラが土砂などで埋まり、排水機能が停止となった状態において、市街地における内水氾濫が詳細に予測できることがわかった。

4. あとがき

国内では、局地集中豪雨が生じやすくなっているため、住宅の床上浸水の被害も増加している。これまで、床下換気の観点で床下が設計されていたが、今後、市街地における内水氾濫を予測することで、住宅の床下の高さは、適正な寸法を採用することができる。これにより、安全・安心を実現できる都市計画が策定できるものと思われる。

謝辞

本研究は、全国トース技術研究組合(国官技第二三六号)、株式会社シーマコンサルタント、株式会社三共建設および株式会社尋木組などから多大な支援を得ている。iRICの解析に当たっては、福井工業高等専門学校 環境都市工学科本科生である関本大晟君から多大な協力を頂いた。本報の作成に当たって、多大な協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

参考文献

- 1) iRIC Project : <http://i-ric.org/ja/software/18/> 2016.11
- 2) 國田洋平, 藤田一郎, 安藤敬済: 局地的集中豪雨による都賀川水難事故時の流量・流況の推定, 河川技術論文集, pp.61-66, 第15巻, 2009.6
- 3) 兵庫県: CGハザードマップ, <http://www.hazardmap.pref.hyogo.jp/hazmapap/top/select.asp?dtp=1#>, 2017年1月14日
- 4) 藤田一郎, 小林健一郎, 奥山貴也, 熊野元気: グリラ豪雨に対する都賀川の流出モデル開発と河川監視カメラを活用した水位流量ハイドロの検証, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I_151-I_156, 2016.
- 5) Fujita, I., Kunita, Y. and Tsubaki, R.: Image analysis and reconstruction of the 2008 Toga River Flash Flood in an urbanised area, Australian Journal of Water Resources, 16(2), pp.151-162, 2013.

[2017年1月28日原稿受理 2017年6月14日採用決定]