

二次元数値解析結果と融合した一次元河道洪水流計算の高度化

株式会社 LIXIL 学生会員 ○海田 絢斗
広島大学 正会員 内田 龍彦

広島大学 学生会員 清水 里都季
広島大学 フェロー会員 河原 能久

1. 背景と目的

日本全域において梅雨前線や台風などを原因とする豪雨災害が頻発化、甚大化している。台風7号と梅雨前線に起因する平成30年7月豪雨では、西日本を中心に集中豪雨が発生し、これに伴い河川の越流や溢水、破堤などの洪水被害が生じた。

このため、降雨水の流出過程を含む洪水予測を行うことが喫緊の課題である。

多くの流出解析や洪水予測に用いられている一次元洪水流計算は計算負荷が小さいことが利点であるが、河道断面形状や河道内樹木群、粗度分布と流速分布の相関等を考慮することができないため、洪水時の河道水位予測の精度に課題がある。

本研究では、平成30年7月豪雨による沼田川洪水を対象に、河道の二次元性を考慮する事が可能である一次元洪水流解析を開発し、洪水時の水位計算精度を向上させる事を目的とする。

2. 降雨流出解析と二次元解析結果

Fig.1 に示す通り、計算対象区間は沼田川流域の菅川合流部から上流約3.2kmまでとした。舟木大橋付近から下流端までの区間に樹木群が存在する。

また、本研究では平成30年7月豪雨による沼田川洪水を対象とした。

RRI(Rainfall-Runoff-Inundation)モデルを使用して降雨流出解析を行った。これは降雨流出から河道追跡、洪水氾濫を一体的に解析可能なモデルであり、近年では国内の中小河川にも広く適用されている²⁾。計算期間は2018年7月5日0時から8日23時までの96時間とし、降雨データにXRAIN_GISの雨量データを用いた。また、境界条件として上流端流量に上流部に位置する福富ダムと棕梨ダムの放流量、下流端水位に二次元数値解析の計算水位を用いた。

一次元洪水流計算の計算水位との比較材料として、河道の二次元性を考慮する事が可能である二次元数値解析の計算水位を用いる³⁾。計算期間は降雨流出解析と同様に2018年7月5日0時から8日23時までの96時間とした。また、境界条件として上流端流量にRRIモデルによって算出された計算区間上流端の流量ハイドログラフ、下流端水位に船木水位観測所の観測水位を用いた。

Fig.2 に水位ピーク時の二次元数値解析の縦断水面形と洪水後に観測された痕跡水位を示す。河道内

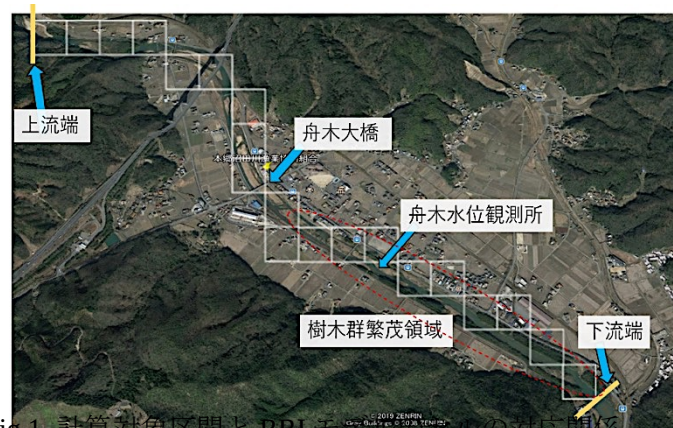


Fig.1 計算対象区間とRRIモデルの対応関係

に樹木群が存在する区間において、二次元数値解析の計算水位は河道内樹木群による水位の堰上げを考慮できている。

Fig.2 に水位ピーク時のRRIモデルの縦断水面形と洪水後に観測された痕跡水位を示す。現行のRRIモデルの河道モデルに用いられている一次元洪水流計算の縦断水面形では、河道内に樹木群が存在する区間における水位の堰上げを考慮できない事が確認できる。また、河道内に樹木群が存在しない区間では上流方向に距離が大きくなるほどRRIモデルの計算水位が痕跡水位と比較し高くなった。以上より、現行の一次元洪水流計算では河道内二次元性を考慮できない事が確認できる。

3. 一次元河道洪水流計算の改良

河道縦断方向の運動方程式は以下で表される。

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(u q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(v q_y)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho_w} \quad (1)$$

一次元の運動方程式は以下で表される。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial(Q_x^2/A)}{\partial x} = \left(-g\bar{h} \frac{\partial H}{\partial x} B\right) + \left(-g \frac{N^2 U |U|}{h^3} B\right) \quad (2)$$

q_x, q_y : x, y 方向の単位幅流量, H : 水位, h : 水深, u, v : x, y 方向流速, U : x 方向流速の横断方向平均, β : 運動量補正係数, g : 重力加速度, B : 水面幅, τ_x : 境界面せん断応力と河道内樹木群抵抗の和である。

キーワード 一次元洪水流解析, RRIモデル, マニングの粗度係数, 河道内樹木群

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学 専攻事務室

TEL: 082-424-7819

式(1)を河道横断方向に積分した式と式(2)より、流速分布と粗度分布を考慮した横断方向平均のマニングの粗度係数は以下のように導出される。

$$N = \left(\frac{\overline{h^{\frac{1}{3}}}}{gBU|U|} \int_B \left(\frac{\tau_x}{\rho_w} \right) dy \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Fig.3 に二次元数値解析の結果を用いて導出した、流速分布と粗度分布を考慮した横断方向平均のマニングの粗度係数と横断方向平均水深のモデル化を示す。河道内に樹木群が存在しない断面では、横断方向平均水深の増加に関わらず横断方向平均のマニングの粗度係数の値はほとんど変化しない。一方河道内に樹木群が存在する断面では、横断方向平均水深が増加すると河道内樹木群に影響される流量が増加するため、横断方向平均のマニングの粗度係数も比例するように増加した。このマニングの粗度係数と水深の関数を直線でモデル化して RRI モデルに導入した。

Fig.2 に水位ピーク時におけるマニングの粗度係数と水深の関数のモデル化を用いた RRI モデルと二次元数値解析の縦断面水面形を示す。RRI モデルで二次元数値解析の縦断面水面形を概ね再現できる事が確認できる。特に河道内に樹木群が存在する区間では、樹木抵抗による水位の堰上げを考慮できている。一方下流端から約 1.6~2.6km の区間には樹木群が存在せず、河道横断平均水深の増加に関わらずマニングの粗度係数を 0.025~0.03 程度にしたが、RRI モデルの計算水位が増加した。これは本研究では速度水頭を考慮して計算していないことが要因であると考えられる。

Fig.4 に舟木水位観測所から下流 0.4km の河道断面における RRI モデルと二次元数値解析の水位ハイドログラフの比較を示す。河道内に樹木群が存在する区間においては、マニングの粗度係数と水深の関数のモデル化を用いることで RRI モデル計算により二次元数値解析の水位ハイドログラフを概ね再現できる事を確認した。

4. 結論と今後の課題

河道内に樹木群が存在する断面において、流速分布と粗度分布を考慮した横断方向平均のマニングの粗度係数は河道横断方向の平均水深の増加に比例するように増加することを示した。また、このマニングの粗度係数と横断方向平均水深の関数のモデル化を RRI モデルに導入することで、河道内の樹木群抵抗に起因する水位の堰上げを概ね考慮できることを示した。

今後は樹木群の繁茂形態と、河道断面平均水深と横断方向平均のマニングの粗度係数の関係をモデル化し、任意の河川において本手法の有用性を検証する必要がある。

参考文献

1) International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM): Rainfall-Runoff-Inundation

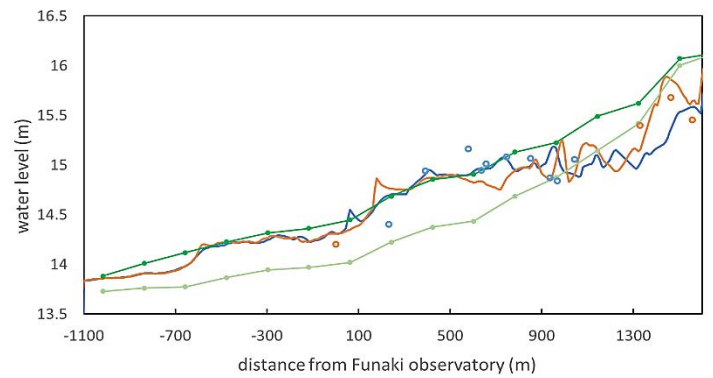


Fig.2 二次元数値解析水位と RRI 計算水位の縦断面水面形と痕跡水位の比較

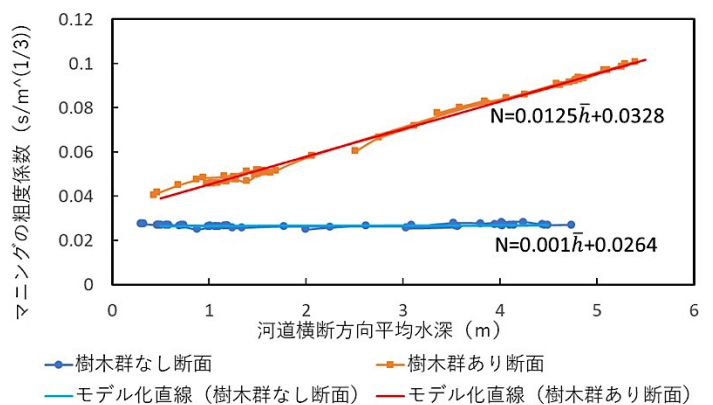


Fig.3 マニングの粗度係数と河道横断平均水深の関係、及びモデル化

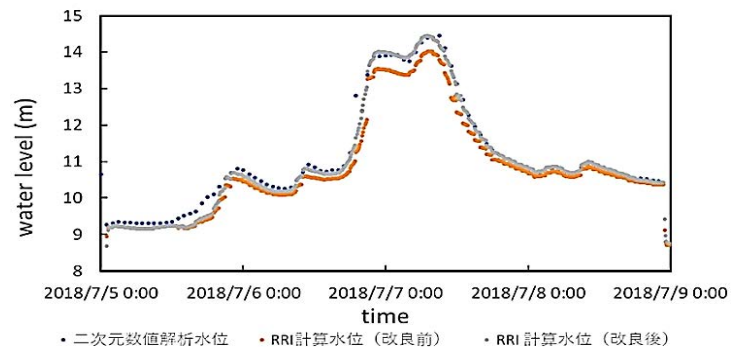


Fig.4 舟木水位観測所から下流 0.4km の断面における RRI モデル計算と二次元数値解析の横断面水面形

(RRI) Model, ver. 1.4.2 Manual.pdf, pp.1-124,

http://www.icharm.pwri.go.jp/research/rri/rri_top.html

2) 山本 浩大, 佐山 敬洋, 近者 敦彦, 中村要介, 三宅 慎太郎, 寶 馨: 千種川流域を対象にした RRI モデルによる降雨流出・洪水氾濫統合型解析, 自然災害科学 J. JSNDS 36 特別号 139-151 (2017)

3) 清水里都季: 平成 30 年 7 月豪雨時の沼田川流域における洪水氾濫解析, 広島大学卒業論文, 2019.