

中小河川における氾濫解析モデルの適用

エンジニアリング本部 国土防災情報部 水圏解析ユニット

濱 和義

1. はじめに

近年、全国各地で発生する河川氾濫は甚大な被害をもたらしている。水防法において洪水予報河川および水位周知河川に指定されている河川は、河川氾濫における被害を軽減させるために洪水浸水想定区域を指定し、水害リスク情報を住民へ提供している。一方、水防法で指定されていない中小河川は、住民への水害リスク情報の提供が不十分であった。中小河川においても、新たにハザードマップ等を通じて住民に水害リスク情報を周知するため、「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き(令和2年 6 月)」（以降、手引きという）が公表された。

本稿では、中小河川を対象とした各種氾濫解析手法のうち、一般的に多く用いられる流下型氾濫および拡散型氾濫から、1次元不等流モデル、平面2次元不定流モデル、iRIC¹(Nays2D Flood)、土研 RRI²の4手法で解析を実施し、それぞれの特徴および適応性について検討した。

2. 氾濫解析の特徴

2.1 氾濫形態の分類

地形条件などを考慮すると氾濫形態は以下の3タイプに分類できる(図 1)。

- ・**流下型氾濫**：氾濫原が狭く氾濫水が河川と一水圏解析体となって流下する氾濫。山合の地域が対象となる。
- ・**貯留型氾濫**：氾濫水が一定の閉鎖型水域に貯留される氾濫。河川水の上昇とともに浸水深も上昇する。堤防や盛土などに囲まれた範囲が対象となる。
- ・**拡散型氾濫**：氾濫水が地形に応じて四方に広がる氾濫。氾濫原が広い場合、拡散型となることが多い。

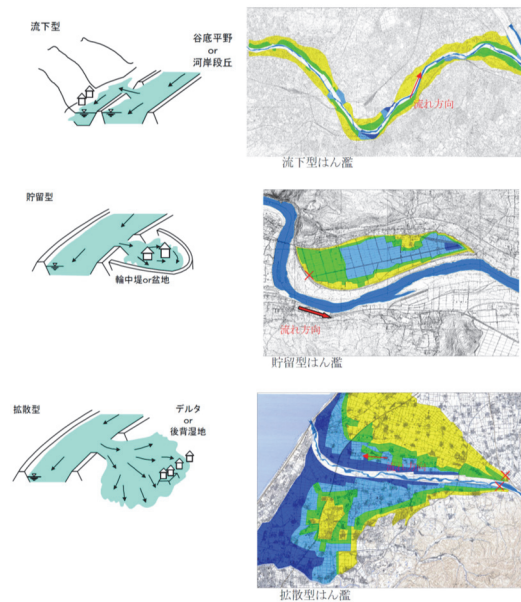


図 1 氾濫形態と氾濫例

¹ International River Interface Cooperative
<https://i-ric.org/ja/>

² 「降雨流出氾濫モデル(RRI モデル)」
https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html

2.2 氾濫解析手法

氾濫解析を実行する際には、2.1に示した氾濫形態を考慮し、最適な氾濫解析手法を選択する必要がある。表1に解析手法を整理した。

表1 氾濫解析手法

解析手法	形態	特徴
1次元不等流モデル	流下型	氾濫原も河道の一部として扱う。計算時間小
池モデル	貯留型	河道から氾濫原へ流入した氾濫水量と氾濫原のH-A-Vの関係から浸水深を算定。計算時間小
平面2次元不定流モデル	流下型 貯留型 拡散型	河道から氾濫原へ流入した氾濫水量を流体運動として解析する。計算時間大
iRIC (Nays2DFlood)	拡散型	iRICのソルバー。上流端および左右側方の任意複数箇所から非定常流量を流入させることが可能。計算時間大
土研RRI	流下型 貯留型 拡散型	山地・平野を問わず、流域全体をメッシュ分割し、流出解析から氾濫解析まで一体に解析する。計算時間大

3. 解析条件の整理

3.1 対象流域

本稿では熊本県球磨川流域を対象とし、氾濫解析を行った。

球磨川は、その源を熊本県球磨郡銚子笠に発し、人吉市が位置する上流域は盆地地形で球磨川水系最大支流の川辺川が流入している。中流域は約43kmにわたって山間狭窄部を河川が流下し、河口部の八代市周辺は平野地形となっている。

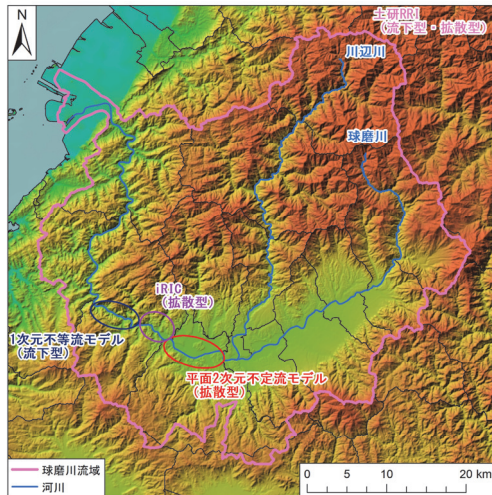


図2 検討範囲

地形の特徴上、上流域で降った雨は人吉市付近で集積し、集積した氾濫水は狭窄部の影響で水の逃げ道がなくなる。また川辺川からの流入もあり、甚大な被害が発生する。

1次元不等流モデルは、流下型氾濫を対象とするため、解析範囲は氾濫原が狭い山間の地域を選定した。平面2次元不定流モデルおよびiRIC (Nays2DFlood)は、拡散型氾濫を対象とし、地形に応じた氾濫水の広がりが想定できる範囲を選定した。土研RRIは、氾濫形態によらず全流域を対象にできる手法であるため、球磨川流域全域とした。(図2)

3.2 解析手法の整理

本稿では、基盤地図情報、国土数値情報および降雨データを用い、解析条件を整理した。氾濫解析に必要な条件を表2に示した。

表2 解析条件一覧

種別	項目	内容
降雨	ハイト	時間ごとの降雨量を整理 本解析では令和2年7月3日～4日の実績降雨データを使用した。
	ハイドロ	流出解析により各地点のハイドロを算出
地形	地盤高	基盤地図情報の標高データを使用 (5mDEM、10mDEM)
	土地利用	国土数値情報の土地利用データを使用
	粗度係数	土地利用の種類ごとに粗度係数を設定
	空隙率	メッシュ内の建物を除いた面積の割合
	透過率	メッシュ間の境界における建物を除いた氾濫水が通過できる割合
	道路	空隙率と透過率を100%とし、連続した道路空間を表現する
河川	盛土・BOX	地盤高以外で、流れに影響がある条件(盛土・BOXなど)を整理
	横断	横断間隔は200m間隔とし、基盤地図情報の5mDEMより形状を作成
	河床粗度	河床素材別に粗度係数を整理
	河道諸元	堤防高、堤内地盤高、破堤高などを整理

ハイトについては、球磨川流域の雨量観測データより領域をティーセン分割し設定した(図3)。検討

に用いたハイトデータは、多大な被害が発生した令和2年7月豪雨を対象とした。

7月3日明け方から降り始めた雨は、7月4日午前0時頃より急激に降水量が増加し、24時間雨量では50年確率降水量を超過した。人吉地点では時間当たりの最大雨量が68.5mm、24時間雨量は410mmとなった。

球磨川のハイドロは、流出解析により算出し、各手法の検討に使用する。人吉地点のハイトデータおよびハイドロデータを図4に示した。

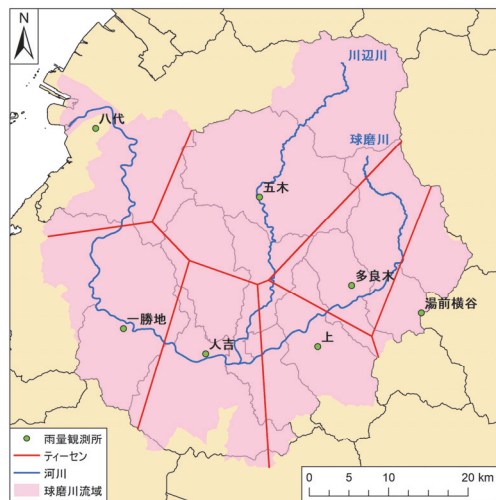


図3 ティーセン分割図

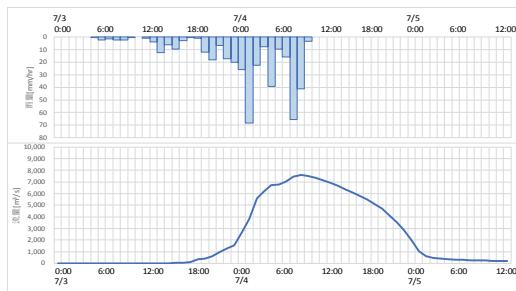


図4 ハイト・ハイドログラフ(人吉地点)

3.3 氾濫解析手法のデータ整理

表3に手法ごとの入力条件と出力結果を整理した。各手法に必要な入力条件および出力結果は異なる。

表3 手法別データ一覧

		1次元 不等流 モデル	池モデ ル	平面2 次元不 定流モ デル	iRIC(N ays2D Flood)	土研 RRI
入力 条件	ハイト					○
	ハイドロ	○	○	○	○	
	地盤高		○	○	○	○
	土地利用			○	○	
	粗度係数			○	○	
	空隙率			○	○	
	透過率			○		
	道路			○		
	盛土・BOX			○	○	
	横断	○		○		△
出力 結果	河床粗度	○		○	○	
	河道諸元	○		○		
	ハイドロ					●
	浸水深	●	●	●	●	●
	流速	●		●	●	
継続時間	▲	▲	●			
氾濫流	▲		●			

○：必要なデータ

△：設定可能なデータ

●：出力可能なデータ

▲：手法によっては出力可能なデータ

4. 氾濫解析

4.1 1次元不等流モデル

流下型氾濫を対象に1次元不等流モデルによる氾濫解析を実施した。

解析手順は手引きに従い、氾濫原を含んだ横断毎の水位を算出した。(図5)

流下型氾濫の場合、河川と一体となって氾濫水が

流下するため、1次元不等流モデルを適応することが可能となる。解析手法は簡易手法ではあるが、浸水深の把握には十分な解析手法であると考えられる。

ただし、簡易手法であるため、以下の事象を評価することはできない。

- ・横断間の水位は上下流水位の補間値を用いるため、盛土等の障害物を表現することができない。
- ・定常計算であること、および排水条件が考慮できないことから、浸水継続時間を評価することができない。

流下型氾濫における浸水深の評価は、1次元不等流モデルの適応が可能であるが、浸水継続時間や盛土等を表現する必要がある場合は、平面2次元不定流モデルを採用する必要がある。

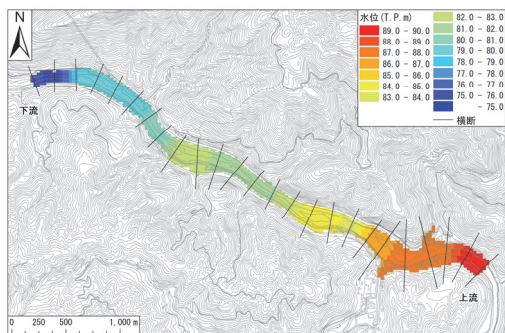


図 5 水位分布図(1次元不等流モデル)

4.2 平面2次元不定流モデル

拡散型氾濫を対象に平面2次元不定流モデルによる氾濫解析を実施した。

解析手順については、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル第4版(平成27年7月)」に準拠した。越水計算結果を図6に示した。

平面2次元不定流モデルは、氾濫原をメッシュモデルで表現しており、氾濫原の地形に応じて氾濫水が広がる現象を表現できる。

図6の支川合流地点の様に、河川堤防等による氾濫水の障害効果により浸水深が高くなる現象が再現できている。また、本解析では取り扱っていないが、盛土等の構造物による障害も考慮することができる。さらに、堤防の破堤計算を考慮した最大浸水深の検討が可能である。

本稿では拡散型氾濫による解析を実施したが、メッシュサイズ等の工夫次第では、流下型氾濫や貯留型氾濫に対しても適応可能な手法である。

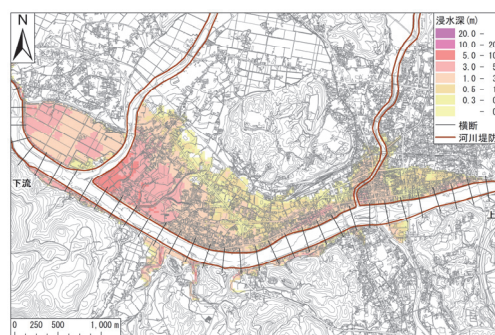


図 6 浸水深図(平面2次元不定流モデル)

4.3 iRIC(Nays2D Flood)

iRICのソルバーであるNays2D Floodを用いて拡散型氾濫の解析を実施した。

平面2次元不定流モデルは、河道内を1次元不定流で解析しているのに対し、iRICは、河道内および氾濫原を平面2次元で解析する手法である。

支川の合流や越水計算は可能であるが、破堤計算や浸水継続時間などは対象外となる。また、河道の水位検討に、H-Q式を用いることが多く、平面2次元不定流モデルは考慮可能であるが、iRICは河道内水位の計算にH-Q式を考慮できない。

解析結果を図7に示した。河道内を2次元で解析しているため、流心位置が確認することができる。

ピーク時の流況図では、河道内の流速が最大で10m/s 近くになり、どの位置で流速が出やすくなっているか確認することができる。また、ピーク時の上流右岸側で、河道から堤内地に水が流れ込んでいることがわかり、氾濫箇所を把握することができる。

本稿では設定していないが、河道内に橋脚を設定することで、より詳細な河道内流況を平面的に解析することが可能である。また、流木解析のソルバーと組み合わせる事で、洪水時に発生する流木の影響を検討することができる。

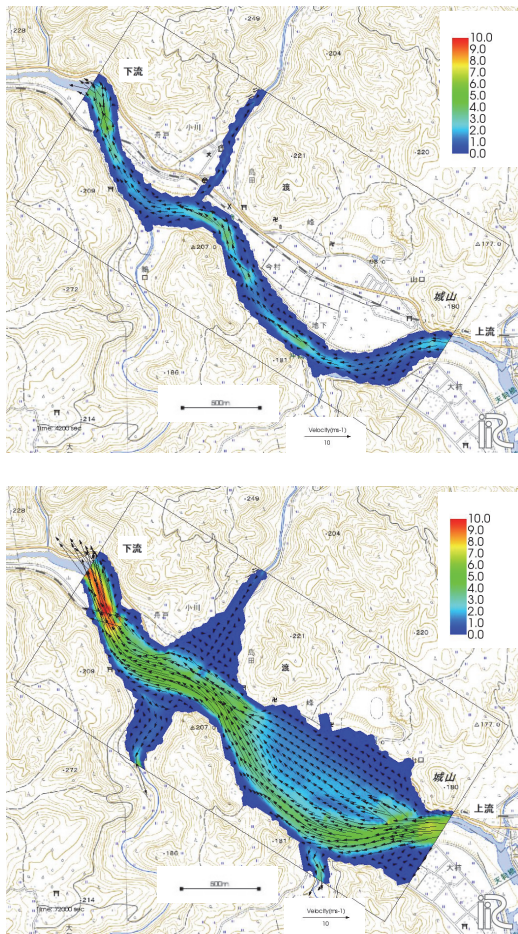


図 7 流況図(上:氾濫前、下:ピーク時)

4.4 土研 RRI

土研 RRI は流域全体を対象とした手法であり、氾濫形態によらずに適応可能である。

球磨川流域を対象とした氾濫解析結果を図 8 に示した。

人吉地点付近の平野部で氾濫が発生した。これは、人吉地点上流で球磨川水系最大となる川辺川が合流することから雨水が集積しやすく、人吉地点下流の山合区間狭窄部の影響で大量の雨水が流下しにくくなったためである。

土研 RRI の特徴は、破堤や盛土構造物など細かい設定はできない簡易手法ではあるが、流域全体の大まかな氾濫傾向を把握するには、十分な精度を有していると考えられる。

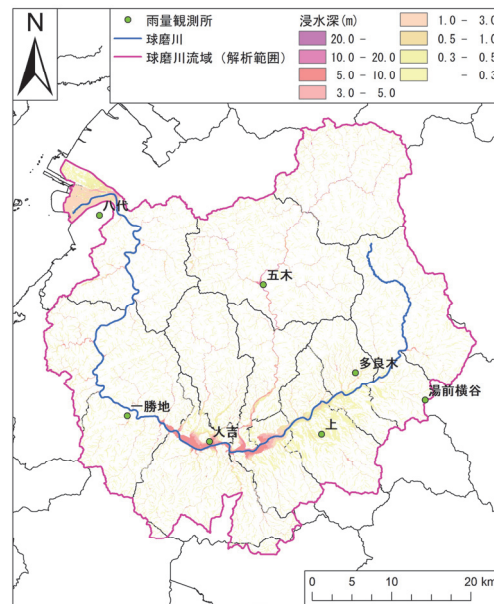


図 8 浸水深図(土研 RRI)

5. おわりに

本稿では、2章で氾濫解析の特徴、3章で各手法の入出力条件、4章で各手法の特徴および適応範囲を整理した。

氾濫解析では、事案によって検討項目に違いがあり、求められる結果が異なる。例として、モデル選定の検討項目を以下に整理した。

- ・検討範囲(流域全体、局所的)
- ・氾濫形態(流下型、貯留型、拡散型)
- ・破堤氾濫の検討
- ・浸水継続時間の検討
- ・家屋倒壊(氾濫流)の検討
- ・河道内と氾濫原を一体で検討

各解析手法にはメリットおよびデメリットがそれぞれある。

1次元不等流モデルは設定項目が少なく、容易に解析を実施できるが、氾濫原が狭い区間でしか適用できない。

平面2次元不定流モデルは洪水浸水想定区域図作成に広く用いられている手法であり、詳細な解析が可能であるが、条件設定やモデルが煩雑であり、解析に多くの時間を要する。

iRIC(Nays2D Flood)は無料で公開されているソフトウェアであり、ダウンロードすることで解析が可能であるが、平面2次元不定流モデルに比べ検討可能な項目は少ない。

土研 RRI は流域全体を解析するモデルであり、解析対象河川が多い場合に適している。

氾濫解析を実施するにあたり、氾濫解析手法の特徴を十分に把握し、最適な手法を選定することが重要である。

<参考文献>

- 1) 「小規模河川の氾濫推定図作成の手引き」(出典, 令和2年6月, 国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課水防企画室, 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室)
- 2) 「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」(出典, 平成27年7月, 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室, 国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室)
- 3) 「中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き(第2版)」(出典, 平成28年3月, 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室)
- 4) 「国立研究開発法人防災科学技術研究所」
HP:https://www.bosai.go.jp/info/saigai/2020/20200714_01.html
- 5) 「基盤地図情報(国土地理院)」
HP:<https://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 6) 「国土数値情報(国土交通省)」
HP:<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 7) 「気象庁」
HP:<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>