

## 同次元一体解析法の流下型洪水氾濫現象への適用性に関する検討

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員○西家 健宏  
 新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 星野 剛  
 新潟大学災害・復興科学研究所 正員 安田 浩保

### 1. はじめに

平面2次元解析に基づく氾濫解析は、直交座標系の格子構成を出発点として、その後、一般座標や非構造格子を導入した手法が開発されてきた。これらの技術を基盤として、堤防や背後地の重要度から決定される想定破堤点から堤内地への氾濫水の挙動の解析を実現し、一般的な洪水ハザードマップの作成を強力に支援している。

その一方で、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震津波の河川遡上に伴う氾濫、同年7月の新潟福島豪雨における超過洪水、同年秋からの長期にわたるタイ国の洪水氾濫などを通し、必ずしも社会的要請に応じられるだけの技術的水準に達していないことが浮き彫りになってきた。上述した3つの中の1つ、2011年7月に発生した新潟福島豪雨は、総降雨量が1000mmに迫り、これにより信濃川水系上流域の塩谷川では流下型氾濫が発生し河道沿いに甚大な被害が生じた。流下型氾濫の特徴として複数の越流点を有していること、また、上流で越流した氾濫水が下流区間の別の地点から河道へと逆流するという現象の発生が挙げられる。しかし、想定は定点を恣意的に与えるこれまでの解析手法ではこれらの現象の再現は困難である。この問題点は河道と氾濫原を平面2次元で一体的に解析することで解決が図れる問題であるが、単純な直交格子座標では計算領域全体を川幅を十分に解像できる格子サイズを用いるを得ず多大な計算負荷を要してしまう。

そこで本研究では、柔軟かつ効率的な格子構成である四分木構造格子<sup>1)</sup>を導入した河道と氾濫原の一体的な氾濫解析法を提案し、塩谷川の洪水氾濫の被害の再現計算を行うことで本手法の流下型氾濫解析への適用性について検討する。

### 2. 河道内解析

流下型氾濫現象は、山地部などで氾濫領域が制限され、その中を河道内の流れと氾濫原の流れが相互に影響し合いながら進行する氾濫現象である。解析に先立ち、矩形格子による自然河川の解析の妥当性について調べた。

#### (1) 計算条件

塩谷川の0.7km 11kmまでを解析対象とした。初期条件として、解析領域の全体で水深を0mとし、境界条件としては、河道の上流端で流出解析により求められた洪水継続時間を10時間とする $10\text{m}^3/\text{s}$ から最大流量 $650\text{m}^3/\text{s}$ となる洪水ハイドログラフを与え、下流端にはその地点の流量と河床勾配で算出される等流水深を与えた。計算格子には、河道内の全てで辺長5mの格子で構成された格子を用いた。(図-1)河床標高データには、レーザープロファイラにより取得された5mメッシュの標高

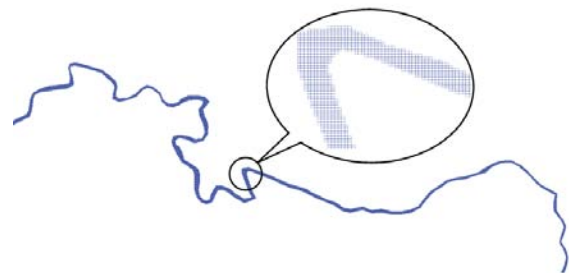


図-1 河道内解析に用いた格子

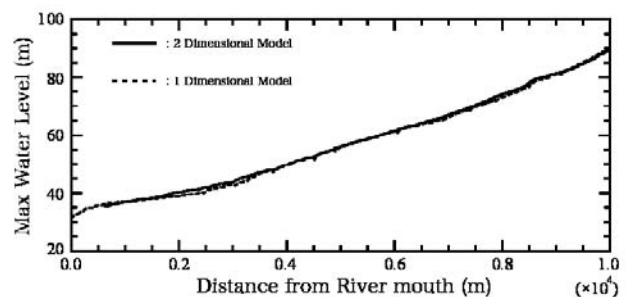


図-2 平面2次元による河道内解析結果と1次元計算結果の比較

地を用いた。ただし、河道内については水面以下の標高値が含まれない。このため、水面以下の標高値を補うために20m間隔で取得された、横断測定の成果を平面展開することで生成された標高値を与えた。

#### (2) 解析結果

2次元解析結果より得られる流心に沿った最大水位の縦断分布を図-2に示す。実線で示した平面2次元解析結果と、横断測量成果を直接反映させ得る1次元解析結果とを比較することで2次元結果の妥当性を検証する。

図からわかるように最大水位の縦断分布は解析区間全域で概ね一致している。中下流域と中上流域で見られる両解析結果の差は、平面2次元解析では反映される大きな湾曲を有する箇所などにおける平面形状に起因する遠心力の効果が1次元解析では反映されないためであると考えられる。これらのことから、川幅を十分に解像することで、矩形格子の平面2次元解析によっても河川水位を取り扱えることがわかる。

### 3. 氾濫解析

次に、四分木構造格子を用い、塩谷川の洪水氾濫を対象とし河道と氾濫原を平面2次元で一体的に解析する。

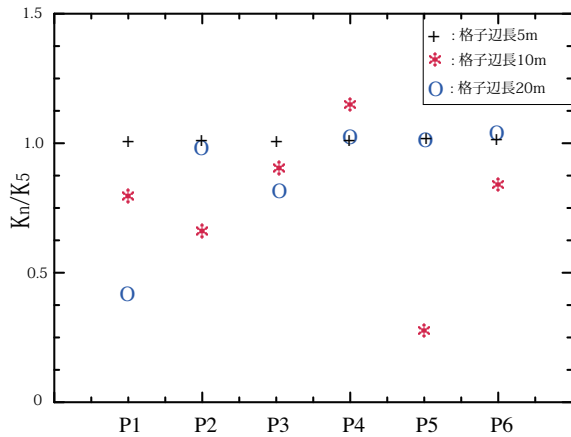


図-3 格子間隔と流下能力の関係

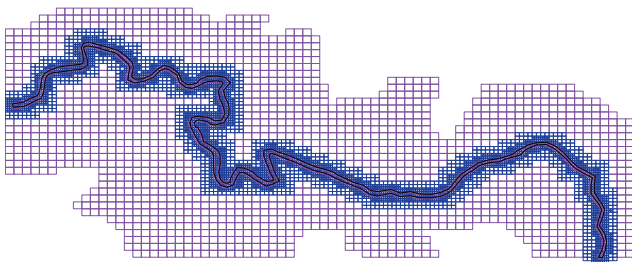


図-4 氾濫内解析に用いた格子図

(1) 計算格子の設定

四分木構造格子を用いた解析を行うにあたり、氾濫原の格子辺長と、河道と堤防周辺の格子辺長を決定する必要がある。そこで、解像度の違いが河道の流下能力に及ぼす影響を格子辺長と通水能の関係から検証する。図-3に示すのは図-5のP1からP6の計6地点に設けた流下能力評価断面における、格子辺長を20m, 10m, 5mとした場合それぞれの通水能を格子辺長を5mとした場合の通水能で除して、通水能の変化率を示した。ここから分かるように、川幅を約10分割できる程度の5mの格子辺長を用いた場合と、20mの格子辺長を用いた場合とでは約60%もの流下能力の違いが見られた。格子辺長によって河道の持つ流下能力の評価は大きく異なり、河道を細密に計算に反映することの重要性が伺える。

本研究では以上のことを踏まえ、図-4に示した河道とその周辺を5m、氾濫原を10m, 20mとする四分木構造格子を構成し計算格子として用いた。図-4では可視化の都合上、実際に用いた格子辺長の4倍の計算格子を掲載した。この領域内の平均的な川幅は45m程度であり、河道内の地形は矩形格子ながら横断方向に9個程度の格子によって適当に解像されていると判断される。

a) 解析結果

解析結果を図-5に水深のコンターで示す。実線で囲まれた浸水実績と解析された浸水域を比較すると上流区間左岸側で浸水面積の再現が良好でないことを除くと、全体に良好な再現性を示していることが分かる。この洪水氾濫では、上流区間での越流による下流区間へのピーク流量到達時間に遅れが生じるという現象、さらに、図-5中の白丸で示すように解析区間に複数存在する霞堤で上流区間の霞堤で流出した下流区間の別の霞堤から

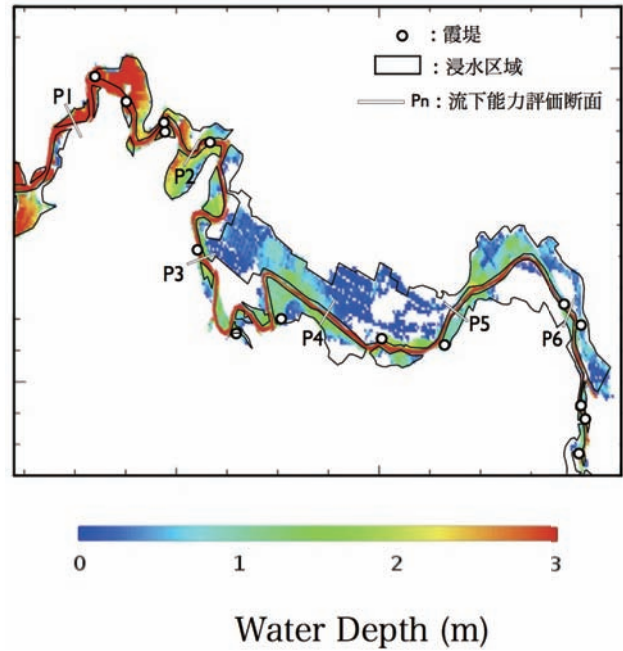


図-5 平面2次元解析と浸水実績との比較

流入するという現象が確認されている。このような現象は既往の氾濫解析により把握することは容易ではない。本研究で提案する四分木構造格子を導入した効率的かつ現象を忠実に再現可能な手法を用いることで的確に評価することができる。

4. おわりに

まず、解像度と河道の持つ流下能力評価の関係性を通水能に着目して検討し、河道の詳細に計算に反映させることの重要性を示した。次に、流下型の氾濫解析に四分木構造格子を導入し、流下型洪水氾濫の再現計算を行い、その妥当性を示した。その結果、本解析手法が良好な再現性を有し、かつ、計算領域を全て細密な格子で解析する場合と比べて5分の1程度の計算負荷に抑制されることもわかった。

氾濫原と河道周辺で異なる格子サイズを設定することが可能な四分木構造格子を用いた本手法は、氾濫原の計算負荷の増大が抑制される格子サイズとすることで計算負荷を抑制しつつ複雑な平面形状を有する自然河川を氾濫原と独立することなく一体的に解析することができるといえる。

とすることで計算負荷の削減率は、解析領域に対して格子サイズ決定の指標となる川幅が小さいほど高くなると考えられる。

参考文献

1) 安田浩保, 星野剛: 四分木構造格子による局所的な高解像度格子を導入した浅水方程式の数値解法, 土木学会論文集, Vol.67, No.2(応用力学論文集 Vol.14), 2011.