

# 同次元一体解析法の越流を伴う河川津波氾濫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○小関 博司  
 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 正会員 安田 浩保  
 寒地土木研究所 正会員 吉川 泰弘

## 1. はじめに

既往の氾濫解析は、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を解析することにより行われている。近年では河道内を1次元解析、氾濫原を平面2次元解析し、両者を越流公式によって結合する解析手法も開発され<sup>1)</sup>、河道流と氾濫流を一体的に扱うことが可能となっている。その一方で、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に発生した河川津波に伴う氾濫は、洪水氾濫とは異なる氾濫形態を有していることが明らかとなった。

まず、想定破堤点を恣意的に与える解析手法では河川津波に伴う氾濫での縦断的な越流現象に対応することは難しく、(1)河道に沿った縦断的な越流点の取り扱いが困難である。1次元解析と2次元解析を組み合わせる手法では複数の越流点に対応できるものの、平面的な河道形状を考慮しない1次元解析であるため(2)河道形状が越流量にもたらす影響の考慮が困難である。また、両者に共通していることは越流量の推定に本間の越流公式<sup>2)</sup>を用いていることである。漸変流への対応を出発点としているため(3)河川津波のような非定常性が強い現象への適応には疑義が残る。秋山ら<sup>3)</sup>は室内実験では湾曲部で越流公式をそのまま適用できないことを示唆している。ここに挙げた(1)～(3)の課題は河道と氾濫原を両者とも平面2次元解析によって扱うことで解決が図れる問題である。

平面2次元解析による越流量の妥当性の検証のひとつとして、矢野ら<sup>4)</sup>による横越流型の河川津波による越流に関する水路実験の再現計算を行う。河川津波のような非定常性の強い越流現象を扱った事例は少なく、吉川ら<sup>5)</sup>によれば、津波遡上時に越流量を本間の越流公式によって導出する場合には河床勾配によって越流係数を補正するよりも水面勾配に応じた補正を行うほうが再現精度が向上することを示している。しかしながら、津波による越流現象での適用事例が少なく、適用可能な水利条件やその精度には疑義が残る。本研究では、この実験の再現計算を河道と氾濫原の接続に越流公式が不要となる平面2次元解析および1次元解析とともに実施する。これにより、非定常流れにおける適用性および本間の横越流公式との精度を比較して、その妥当性を検証する。

## 2. 越流量の再現計算

モデルの妥当性を検証するために、実験と計算値の水位と越流量の比較を行った。対象とした実験は津波遡上時に遊水地がもたらす影響を把握することを目的に直線水路下流で津波を想定した波を発生させ、水路側壁に設置した越流堤からの越流量および水路内の波高を測定している。

### (1) 1次元解析

本間の越流公式と水面勾配によって補正された越流係数から求められる越流量の比較を行い、その妥当性を検証するために、実験の再現計算を1次元解析により行った。

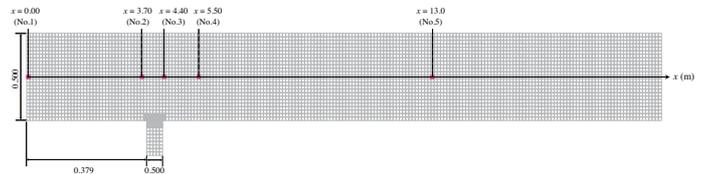


図-1 水路形状

### a) 計算条件

実験で用いられた水路の平面形状を図-1に示す。横断面形状は単断面である。空間格子間隔は0.10m、時間格子間隔は0.01秒とした。境界条件は図-1の左端を下流端とし、実験より得られた波高計の水位をもとに、図-1のx=0.00で観測された波形を入射波形とした。また、初期条件は実験と同様とした。

### (2) 2次元解析

本間の越流公式の有無による越流量の比較を行うために、実験の再現計算を平面2次元解析により行った。

### a) 計算条件

計算に用いた計算格子を図-1に示す。平面二次元解析の水路の縦断方向の空間格子間隔は0.10m、横断方向の空間格子間隔は0.02mとし、越流部は水面勾配の急変部となることから四分木構造格子を用いた格子構成法によって越流堤を表現した。境界条件、初期条件は1次元解析と同様とした。

### (3) 解析結果

一次元解析、平面二次元解析、及び実験結果の各波高計での水位と越流量の時間推移を図-2、図-3に示す。波高はどの地点でも実験結果に近い値を示した。また、越流量は単断面では平面二次元解析の結果が実験に最も近い値を示している一方で、水面勾配によって補正された越流量は過小評価となっている。水面勾配を用いて越流係数を補正する方法は、河床勾配を用いて越流係数を補正する計算式をもとにしている。そのため河床勾配を用いて補正する方法は、非定常性が強い津波と対称的な漸変流への適用を目的としている。ここで対象としている実験では、その適用範囲を超えていると考えられる。以上のことから、非定常性の強い現象における越流量の推定は水面勾配を用いて補正した場合よりも、越流係数を内在する平面二次元解析を用いた方がより適切に評価できることが明らかとなった。

## 3. 河道平面形状が越流現象に及ぼす影響の把握

河道内の1次元解析は滑らかに連続した河道形状を有する河川においては計算負荷の観点から非常に有利な手法であるといえる。しかしながら、あらかじめ決定された単一の流下方向軸に沿った流れのみを解析対象としているため、港や遊水地などの人工地形により流下方向軸が一意に決定しない場合には解析が困難となる。また、河道の平面形状を考慮せず、横断面の形状のみを用いる簡略化した解析手法であるため、堤防と河川の隣接関係は適切に反映することが難しい。氾濫現象を扱う際には堤防と河川の隣接関係や両者の幾何形状が氾濫現象に影響を及ぼすことから複雑な地形を有する河道での1次元解析による越流現象の再現は困難であると考えられる。本章では港と支川を有する複雑な解析領域での越流現象

Key Words: 河川津波、氾濫解析

〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050 TEL 025-262-7053

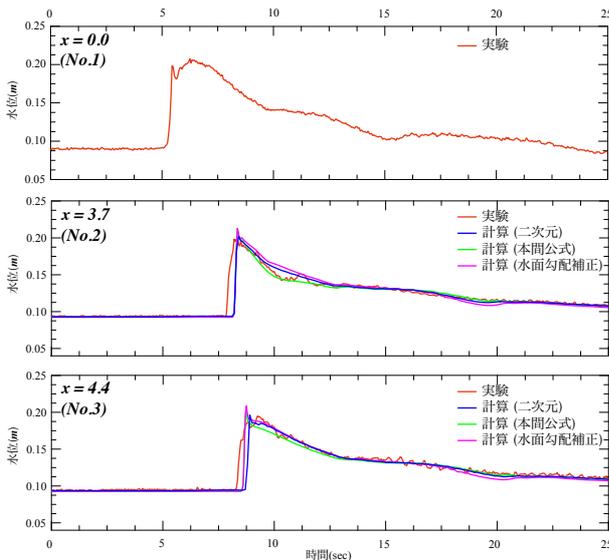


図-2 水位記録(単断面)

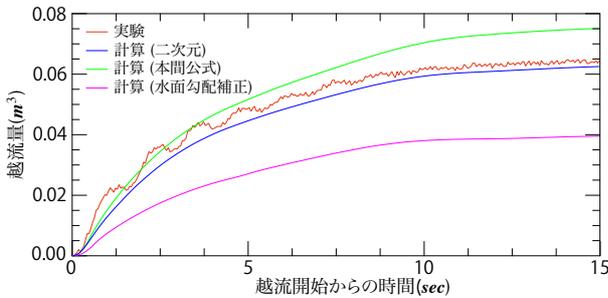


図-3 累積越流量(単断面)

を平面2次元解析し、河道と氾濫原の接続部の幾何情報が氾濫現象に及ぼす影響を検討した。

(1) 対象領域

解析対象とした領域は河口部で港と支川を有しており複雑な河道形状を形成している信濃川下流部とした。複雑な地形形状が越流現象に及ぼす影響を把握するために実地形に忠実な平面形状、港湾を便宜的に埋め立てた簡略地形の両者で解析を行った。水際線の長さは実地形の右岸では11168m、簡略化した地形の右岸では4063mとなり、およそ3倍程度の違いとなる。ただし、ここでは、水域の平面形状の影響のみに着目するため地形標高は水域では-10m、氾濫原では1mを一様に与えた。

(2) 計算条件および計算格子

下流端には津波を模擬した最大波高1.5m、周期30分の波形を境界条件として与え、津波の遡上に伴う氾濫解析を行った。この際、信濃川の上流端や支川からの流入は考慮せず、上流端には特性曲線法に基づく透過境界条件を与えた。

計算格子は四分木構造格子で水際線を一辺5mの正方形格子で表現し、水際から離れるにつれ、一辺10m、20mの正方形格子となるように設定した。支川の最小川幅がおよそ50mであることから川幅を5分割以上で解像している計算格子となっている。図中の計算格子は掲載の都合上、実際に用いた格子辺長を4倍したものを示している。

(3) 計算結果

解析結果の氾濫原での水量はおよそ実地形の方が2~3倍多くなることが確認され、また越流量がピークとなる時間は実地形の方が200~300秒遅くなることが確認された。これは水域側の地形形状が氾濫原への越流量に

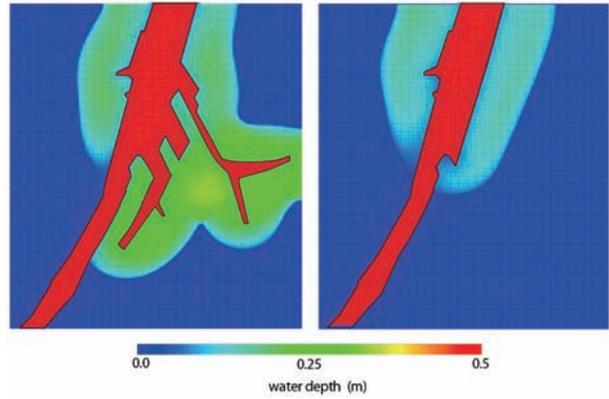


図-4 浸水域(左:実地形, 右:港湾なし)

大きく依存することを示している。また、河道内水量と計算領域内の全水量の比の時間推移から、水域形状が複雑になるほど河道内の水を氾濫原側に供給しやすくしていることが明らかとなった。これらの結果は河道の平面形状を考慮しない1次元解析においては地形の影響を忠実に反映した越流量の推定が困難であり、複雑な河道形状を有する河川における氾濫現象には河道の平面形状を忠実に取り込めることが可能な解析手法が要求されることを示唆するものである。氾濫原の水量が最大の時点での平面的な水深分布を図-4に示す。この水深分布を見ると河道の横断方向に氾濫水が広がり、右岸側の港湾付近ではそれらが干渉あつて水深が増加していることがわかる。このことから河道形状の忠実な反映が浸水域や浸水深の算定に対し重要な指標であることがわかる。

4. おわりに

平面2次元解析による水路実験の再現計算では、非定常性が強い越流現象を越流公式を用いずとも良好に推定が可能であることを示した。つぎに、信濃川河口部を例にした氾濫解析により、越流量の推定には1次元解析では取り扱いが困難な河道の平面形状を忠実に反映することが重要である知見を見出した。このことは、氾濫解析においては河道形状を忠実に反映可能な平面2次元解析が求められることを示唆している。

謝辞: 本研究は、寒地土木研究所から提供していただいた実験データをもとに実施されている。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) <http://www.ric.or.jp/profile/works/kiyou/h231202.pdf>, 木村一郎, 竹林洋史, 安田浩保, 川村里実, 河川解析の多様化に向けたマルチスケールiRICエンジンの共同開発, 北海道河川財団, 研究所紀要(XX 号), 2011.12
- 2) 本間仁, 安芸峻一: 物部水理学, 岩波書店, 1962
- 3) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 大庭康平, 山尾匡人, 門田竜祐: 直線・蛇行河道における破堤氾濫流の特性とその予測, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.68, No.4, 1021-1026, 2012
- 4) 矢野雅昭, 吉川泰弘, 平井康幸, 田中茂信: 遊水地による津波の河川遡上低減効果に関する水理実験, 河川技術論文集, 第17巻, 2011.
- 5) 吉川泰弘, 阿部孝章, 平井康幸: 越流を考慮した河川津波の一般断面1次元不定流計算, 土木学会北海道支部論文報告集, 第68号, 2011.
- 6) 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.