

GISを用いた氾濫解析データの作成と 飯塚市を中心とした都市域の氾濫解析

MESH GENERATION FOR INUNDATION FLOW ANALYSIS USING GIS AND DYNAMIC FLOOD SIMULATION OF THE URBAN AREA IN THE ONGA RIVER BASIN

秋山壽一郎¹・重枝未玲²・田邊 武司³

Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA and Takeshi TANABE

¹フェロー会員 Ph. D. 九州工業大学大学院教授 工学研究院建設社会工学研究系
(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

²正会員 博士(工) 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系 (同上)

³学生会員 九州工業大学大学院 工学研究科建設社会工学専攻 (同上)

A method of mesh generation for inundation flow analysis based on geographic information system (GIS) was examined and a dynamic flood simulation in the Iiduka-city area, which suffered the greatest damage in the Onga basin, was conducted. The data such as digital elevation and surface model, which are the data of the surface of ground, density and arrangement of buildings and houses, streets etc., was adjusted on a flood simulation using GIS. In the flood simulation, the dynamic flood simulation model was used. The computed results compared with the flood process examined in the field study and observed floodmarks. It shows that the model is a useful tool for examining the behavior of the inundation flows.

Key Words : *inundation flow, Geographic Information System (GIS), Digital Surface/Elevation Model (DSM/DEM), dynamic flood simulation, urban areas*

1. はじめに

近年、豪雨による洪水氾濫が頻発し、甚大な被害が生じている。近年の豪雨は、観測史上最大規模の豪雨やそれに近い規模の豪雨が発生するなど想定範囲を超えたものとなっている。そのため、洪水氾濫対策は、従来の「防災」から、超過洪水を前提とした「減災」へと転換する方向にある¹⁾。

「減災」を目的とした洪水氾濫対策には、避難体制等の危機管理対策や水害防備林等を用いた氾濫流制御等の被害軽減対策などが挙げられる。これらを講じるには、氾濫流の挙動を高い精度で予測することが不可欠であり、そのためには、(1) 氾濫解析モデルの予測精度が高いこと、(2) 解析に用いられるデータ、例えば、河床高、氾濫原の地盤高、市街地構造、土地利用などのデータの精度が高いことが求められる。

氾濫解析モデルの予測精度については、直交格子^{2),3)}や一般曲線座標に基づく構造格子⁴⁾さらには非構造格子を用いたモデル^{5),6),7),8),9)}が構築されており、実氾濫現象

での痕跡水位^{2),3),5),8)}や実験結果に基づく検証^{4),7),9)}などにより、その予測精度が明らかになりつつある。

解析に用いられるデータについては、近年のコンピュータ技術の発展により、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)上で高精度な地盤高や市街構造に関するデータが整理されつつある。例えば、これまでの地盤高データに用いられていた数値地図標高(50m)では最大で10m程度の誤差があったが、航空機搭載のレーザープロファイラーにより作成された地盤高データ(数値地図標高(5m))では0.3m程度の誤差になっている。また、地上分解度1mの人工衛星画像も入手可能となっている。このような高解像度の空間データを、GISにより整理・加工することで、精度の高い氾濫解析データを容易に作成できると考えられる。

著者ら¹⁰⁾は、空間データの一つであるレーザープロファイラーデータの妥当性の検証やデータを用いた都市域での地形特性を把握、さらに、GISを用いた地表面流の挙動の検討を行い、都市部での地形特性を考える上でレーザープロファイラーデータの有用性を示した。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、GISにより整

理された河道・氾濫原に関するデータに基づき、精度が高くかつ計算効率の高い氾濫解析データの作成方法の構築を最終的な目的としたものである。ここでは、2003年7月の遠賀川豪雨災害で甚大な被害を受けた飯塚市を対象に、GISを用いた氾濫解析データの作成法の検討と作成されたデータの精度の検証、さらに著者らが開発したダイナミック氾濫解析モデル^{7),8),9)}により、作成された氾濫解析データを用いた氾濫解析を行うとともに、痕跡水位に基づきその精度の検証を行った。

2. 遠賀川流域と2003年7月豪雨災害の概要

遠賀川は、その源を福岡県嘉麻市馬見山に発し、幹川流路延長61km、流域面積1,026km²の一級河川である。

遠賀川流域は、流域内の人口密度が650人/km²と比較的高いことが特徴である。流域は三方を福智山地、英彦山地、三郡山地といった山々に囲まれている。図-1に遠賀川流域の航空写真を示す。

遠賀川では度々洪水が発生し、特に明治22年7月、明治38年7月、昭和10年6月、昭和16年6月、昭和26年6月に大洪水が発生している。最近では平成15年7月19日に、集中豪雨による内水氾濫が生じ甚大な被害が生じている。特に、遠賀川の中下流域では低地部に住宅地が発達しており、頻繁に内水氾濫が生じている。

図-1は、2003年九州豪雨災害時の遠賀川流域の湛水域を示したものである。湛水域は遠賀川と穂波川沿いに広がっており、家屋湛水域の大部分が飯塚市周辺に集中していることがわかる。飯塚市の旧飯塚地区では最大で約1.5mの浸水深となり、歴史ある劇場や中心商店街、文化施設をはじめとして周辺一体が大きな被害を受け、床上浸水1,569棟、床下浸水724棟をはじめ電気・水道・ガスなどのライフラインにも大きな被害が生じた。被害総額は約180億円余と推計されている。家屋被災率は、飯塚市で6.93%、穂波町で7.91%となっており、これらの数字が両地域での浸水被害の深刻さを物語っている。

3. GISを用いた氾濫解析データの作成

ここでは、2003年7月の遠賀川豪雨災害で甚大な被害を受けた飯塚市を対象に、GISを用いた氾濫解析データの作成法の検討と作成されたデータの精度の検証を行う。

(1) GISの概要

GISは、地上にある様々な物体の地理的位置を表す図形情報と、地名や道路、建物等の特性を表す文字、数値、写真などの属性情報を結び付けてコンピュータ上に保管し、道路や建物の属性の検索や属性情報からの物体の特定、様々な情報の統合あるいは分析ができ、それらをわ

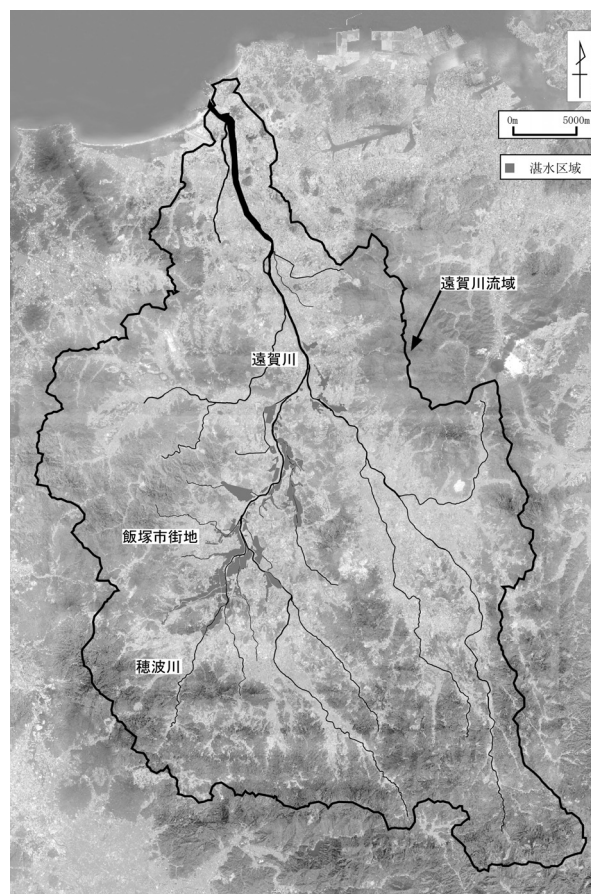


図-1 遠賀川流域と2003年九州豪雨災害時の遠賀川流域の湛水域

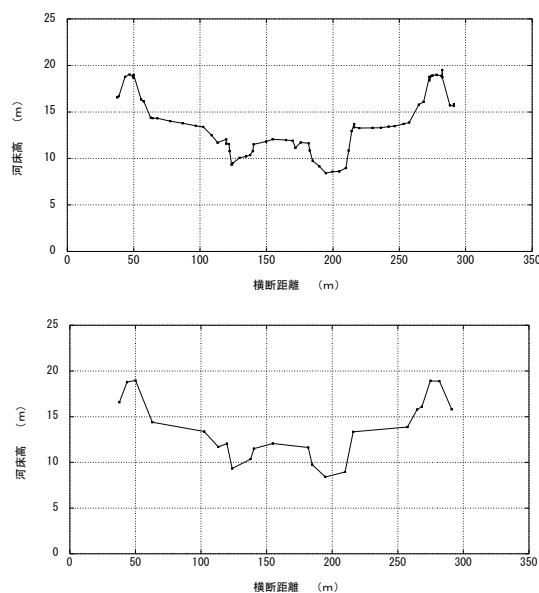


図-2 横断面図(上)と線形補完した(下)横断面図

かりやすく表示できるシステムである。本研究ではGISソフトとして、ラスタ・ベクタデータのいずれの処理機能を有するTNTmips¹¹⁾を用いた。

(2) GISを用いたデータの整理

氾濫解析データの作成には、氾濫原の街区などの市街

地構造、標高データ、土地利用などのデータに加え、河道の堤防や低水路線形、河床高、粗度係数のデータが必要となる。ここでは、氾濫原と河道のいずれのデータについても解像度0.25mの航空写真（オルソ画像）を基図としてGISにより整理した。

氾濫原の市街地構造については、先述の航空写真から街区などトレースし求めた。標高データについてはレーザープロファイラーデータを用いた。レーザープロファイラーによる標高データには、構造物などの高さ情報までも含んだDSM(Digital Surface Model)データと、DSMデータから構造物などの高さ情報を取り除いたDEM(Digital Elevation Model)データがある。通常、氾濫解析ではDEMデータが標高データとして用いられるが、都市部では構造物等が氾濫流の挙動に影響を及ぼすことから、街区などでは構造物等の高さを含んだDSMデータの方が適していると考えられる。そこで、ここでは街区についてはDSMデータを、街路についてはDEMデータの標高データを用いた。土地利用については航空写真より判別した。

本川などの河道横断面図が存在する河道については、各距離標での河道横断面図から、左岸右岸の距離標の座標を基準として、距離標間の各点での平面座標と河床高を求めた。ただし、横断面図の全ての座標を用いるとデータ数が莫大な数となるので、図-2に示すように変曲点となる点を抽出し他の区間については線形補間を行った。次に、得られた平面座標を航空写真上にプロットし、湾曲部など距離標では河道線形を適切に表現できない区間については新たな横断面を設け、高水敷の河床高についてはDSMデータから、レーザープロファイラーデータが存在しない低水路の河床高については距離標間の低水路の河床高を線形補間することで求めた。堤防と低水路線形については、各横断面図の堤防、高水敷、低水路間を線形補完することで求めた。支川などの河道横断面図が存在しない河道については航空写真より河道線形をトレースし、河床高にはDSMデータを与えた。粗度係数については、計画でも用いられた平均値0.035を与えた。

図-3に整理したデータの一例である街区と河道の堤防・低水路線形を示す。

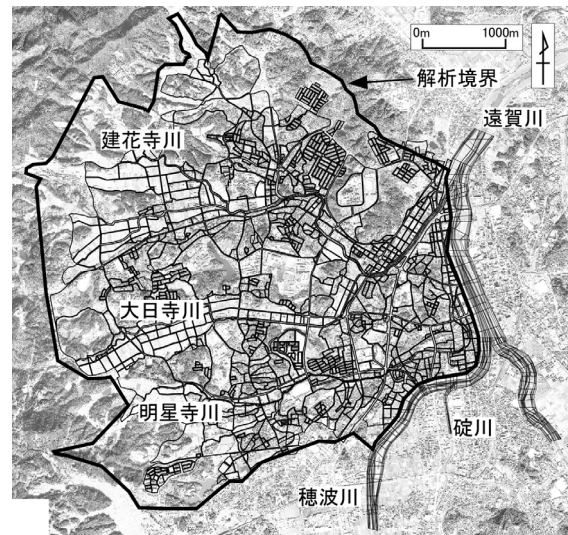


図-3 街区と河道の堤防・低水路線形

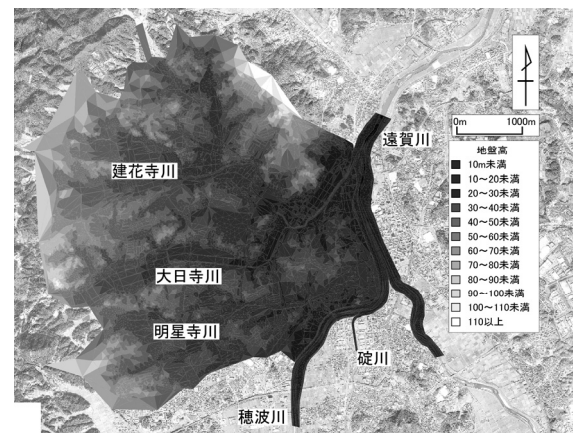


図-4 解析データ（地盤高コンター）

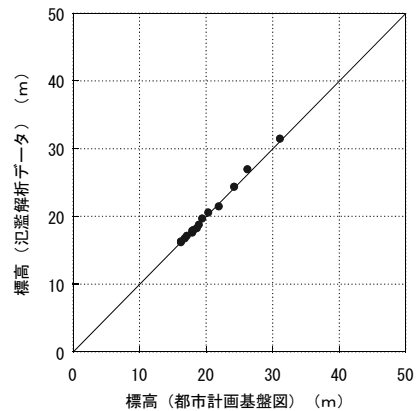


図-5 標高の比較

(3) 氾濫解析データの作成

a) 解析対象領域の決定

GISでは標高データから傾斜方位を求め、その傾斜方位から地表面水が移動する方向を求めることができる。このような解析は通常、流水解析¹¹⁾と呼ばれる。流水解析から地表面水の移動方向や分水界を求めることができる。ここでは、TNTmips¹¹⁾により行った流水解析から分水界を求め、飯塚市街地を含む分水界の最小の範囲を解析対象領域とした。解析対象領域は図-3に示す通りであり、対象領域の河川は、遠賀川、穂波川・碓川・明星寺川・建花寺川・大日寺川の6河川を考慮した。

b) 非構造格子の生成と氾濫解析データの作成

計算格子には三角形の非構造格子を用いた。非構造格子では境界ごとに、例えば図-3の街区の境界や河道の境界などにメッシュの分割数を設定することになる。

計算領域の境界は約200mを基準に、氾濫原については街路幅を基準に、河道については横断方向に約11~17個、縦断方向は200m間隔に約3~8個の格子を配置した。

街路については、標高データとして街区にDSMデータ

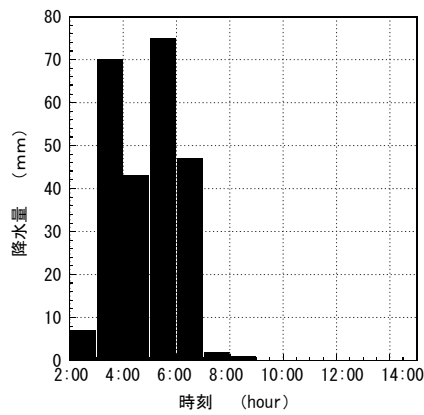
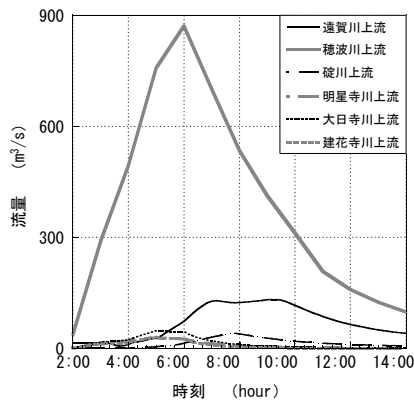
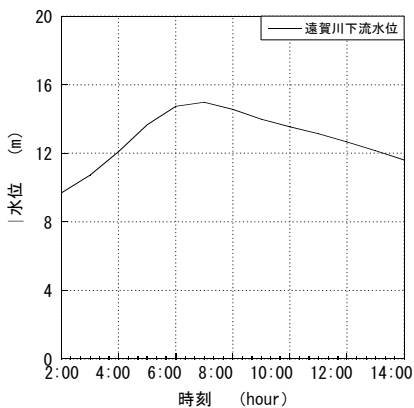


図-6 解析に用いたハイトグラフ



(a) 流量



(b) 水位

図-7 上・下流端の境界条件

を街路にDEMデータを用いた流水解析から、構造物の影響を考慮した雨水あるいは氾濫水などの地表面流の移動方向を把握し、そのような街路については計算格子が細くなるように分割数を設定した。

各境界で分割数を設定した後、メッシュジェネレータを用いて解析対象領域を三角形の計算メッシュに分割した。総メッシュ数は45,260個であった。

氾濫原の計算メッシュの標高データは、各セル内に含まれるLPデータの標高を平均化したものを与えた。河道の標高データについてはGISで整理した断面データで三角ポリゴンを作成し、各ポリゴン内の河床高は線形補間した。粗度係数については、土地利用形態より、田畑 (0.025) ・ 山林 (0.06) ・ 宅地 (0.04) ²⁾、河道

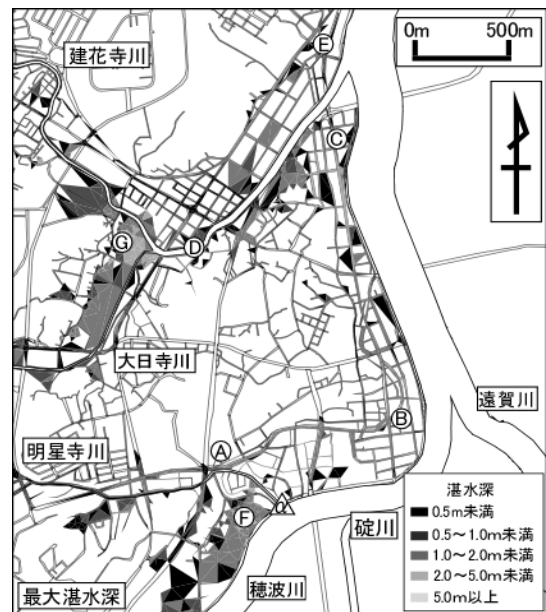


図-8 湛水域の比較

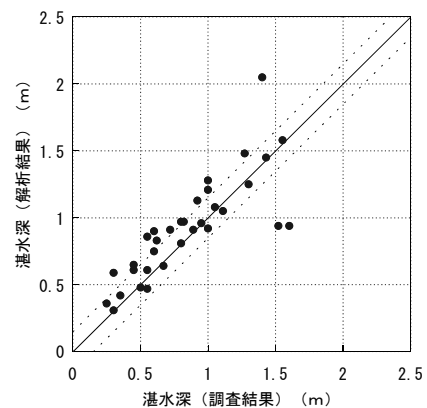


図-9 湛水深の比較

(0.035) をそれぞれ与えた。作成した氾濫解析データの一例として、標高と河床高コンターを図-4に示す。これより、本データが本川・支川の河道線形や市街地構造などを的確に捉えていることが確認できる。

c) 氾濫解析データの精度の検証

図-5は、上記の方法で作成された氾濫解析データの標高データと都市基盤図から任意に読み取った標高データとの比較を示したものである。これより、平均化による若干の誤差が認められるものの、解析データは標高データをよく反映していることが分かる。このように、本解析データは十分な精度をしていることが確認された。

4. 飯塚市を対象とした都市域の氾濫解析

(1) ダイナミック氾濫解析モデルの概要

本研究で用いた包括型ダイナミック氾濫解析モデルは、非構造格子を用いた有限体積法と流束差分法に基づくSA-FUF-2DF (Spatial Averaged Finite-volume method

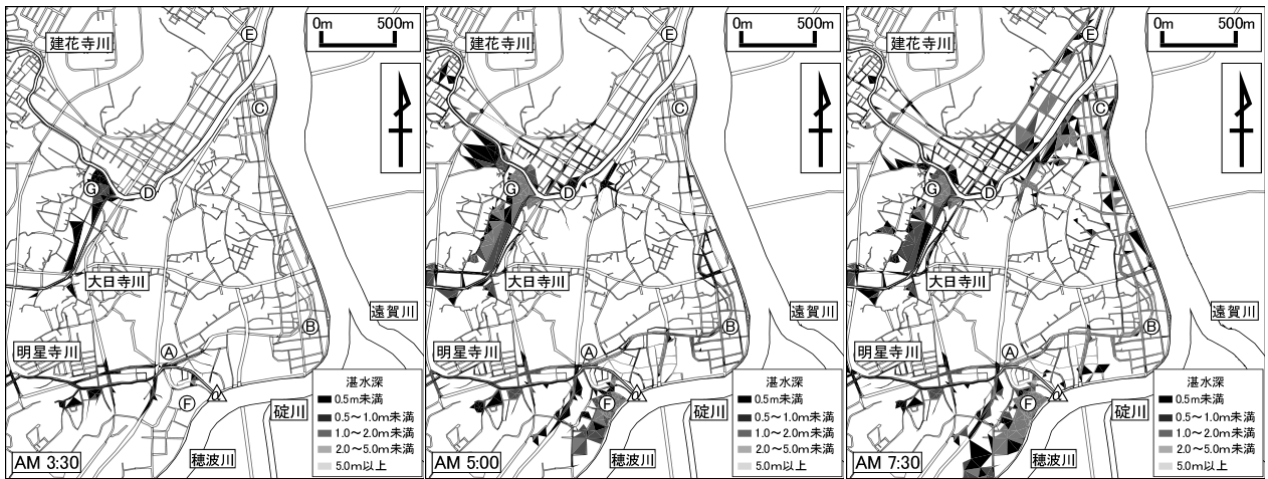


図-10 氾濫プロセス (AM3:30 (左), AM5:00 (中), AM7:30 (右))

on Unstructured grid using Flux-difference splitting technique for 2D Free surface flows) モデルに、氾濫の主因となる河川と氾濫流に固有の種々の要素の取扱いを組み込んだものである^{7), 8), 9)}。その基本性能としては、河川と市街地を含む都市域での本川や支川の破堤を含む外水氾濫と内水氾濫を解析可能なモデルである^{8), 9)}。特徴としては、河道と氾濫原を区別せず一体的に取り扱うため、例えば、破堤氾濫、越流公式等で曖昧に取扱われていた河川から氾濫原への越水や溢水プロセス、あるいはその逆のプロセスなどを含む、対象領域全体での雨水のダイナミックな評価が可能である。氾濫流量^{9), 13)}や河道内流れ¹²⁾の再現性については、室内実験結果や実洪水の痕跡水位との比較を通じ十分に検証されている。

(2) 解析条件

解析開始時刻は、実時刻7月19日午前2時とした。河道の境界条件としては穂波川上流端では秋松橋水位観測所での流量ハイドログラフを、遠賀川下流端には川島水位観測所での水位のハイドログラフを、碓川と遠賀川上流端には図-6に示すハイトグラフを用いた貯留関数法により流出解析された流量ハイドログラフを、支川については貯留関数法に基づいたハイドログラフを内部境界条件として支川の各セル内に一様に与えた。境界条件の一例を図-7に示す。明星寺川下流端の徳前排水機場についてはポンプ場操業記録に基づき単位面積当たりの排水流量を与えて明星寺川下流端より穂波川堤外地へと排水させた。なお、市街地では雨水下水道網が整備されているが、本解析では下水道による雨水排水を考慮していない。

(3) 予測精度の検討

図-8は、最大湛水深の解析結果と7月豪雨災害での湛水域の調査結果との比較である。これより解析結果が実際の湛水域とよく一致していることが分かる。図-9は解析結果の湛水深と7月豪雨災害時に実際に測定された湛

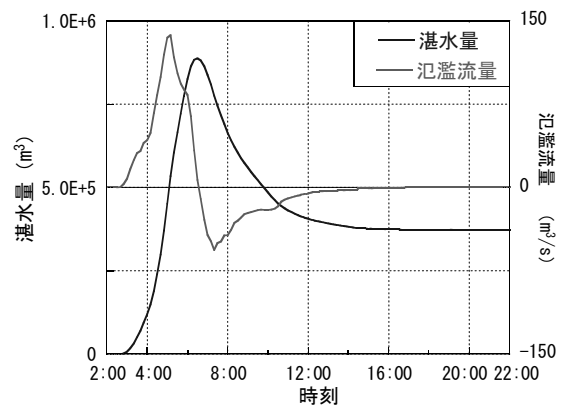


図-11 湛水量・氾濫流量の経時変化

水深との比較である。なお、図中の破線はDEMおよびDSMデータの一般的な誤差である $\pm 0.15\text{m}$ を表している。この図より、下水道による雨水排水を考慮していないために、解析結果の方が若干高いものの、調査結果を概ね再現していることがわかる。このように、ダイナミック氾濫解析モデルにより、湛水深や湛水域などを十分な精度で予測可能であることが確認された。

(4) 氾濫プロセスと遊水効果の検討

以下では、解析結果に基づき、支川からの氾濫により大きな被害を受けた飯塚市街地を対象に、その氾濫プロセスを考察する。図-10は本解析で得られた浸水プロセスを示したものである。これより氾濫プロセスは、以下のものであったと考えられる。(1) 明星寺川では、AM3:20よりA地点より氾濫が開始し、氾濫水が幹線道路を通りAM4:20にはB地点周辺が浸水した。B地点の周辺には商店街があり、そこではAM4:00より浸水が始まり30分後には水量が増したとの報告¹⁴⁾があり、解析結果はこの報告とよく一致している。その後、遠賀川左岸側堤内地を国道沿いに北側へ進み、AM5:20にはC地点付近に到達し、C地点は標高が高いためそこを迂回するように西側へと広がった。(2) 建花寺川と大日寺川の合流部の

左岸側であるG地点ではAM3:00より氾濫が生じ、大日寺川左岸側上流側へと浸水が広がった。さらに、合流部ではAM4:30より建花寺川左岸側でもD地点より氾濫が生じE地点へと広がった。(3) 徳前排水機場(α地点)の南西側であるF地点にはAM3:40より浸水が始まりその後、穂波川左岸側上流側の堤内地へと広がった。このようなプロセスは、著者らが行った現地調査に基づく氾濫プロセス⁸⁾や流水解析より検討した氾濫プロセス¹⁰⁾とよく一致している。このように本解析結果の氾濫プロセスの妥当性が確認できる。

図-11は、湛水量および氾濫流量の時系列変化の解析結果を示したものである。氾濫のピークはAM6:30であり、同時刻の湛水量は約888,000m³である。正午あたりには、自然排水が完了し、ピーク時の湛水量の約58%が排水された。排水のプロセスは、図-8のH地域はA地点付近より明星寺川へ、I地域ではD地点付近より建花寺川へ自然排水がなされた。飯塚市街地について、地盤高の低いJ地域、K地域は湛水深に大きな変化が見られなかったため、7月豪雨災害時は雨水下水道により排水されたと考えられる。また、F地点およびG地点では、湛水量が顕著に減少していたことから、この地域では遊水地の役割を果たしていたものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、まず、2003年7月の遠賀川豪雨災害で甚大な被害を受けた飯塚市を対象にGISを用いた氾濫解析データの作成法を示すとともに、本研究で提案した氾濫解析データの作成方法は精度が高いことを示した。さらに、本研究の方法により作成された氾濫解析データを用いて、ダイナミック氾濫解析モデルによる氾濫解析を行うことで、十分な精度で湛水深や湛水域を予測できること、また、氾濫発生箇所、氾濫水の広がる経路、湛水箇所・湛水量・排水プロセスなどの詳細な氾濫プロセスを予測できることがわかった。今後は、同モデルに下水道モデル等を組み込むことで、より精度の高いモデルを構築する予定である。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金基盤研究B(課題番号：17360237、研究代表者：秋山壽一郎)の助成を受けるとともに、河川懇談会の活動の一環として、国土交通省遠賀川河川事務所と共同で研究を行ったものである。本研究を実施するに当たり、遠賀川河川事務所の関係各位には現地調査の実施やデータの提供など、(株)東京建設コンサルタントには流出解析等のデータの提供など多大な協力を得た。また、本研究を遂行するに当たり、当時本学学部4年生の一丸正行君には、データ整理等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 豪雨災害対策総合政策委員会：総合的な豪雨災害対策の推進について、社会資本整備審議会河川分科会、2005。
- 2) 栗城 稔、末次忠司、海野 仁、田中義人、小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル(案)ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証ー、土研資料第3400号、1996。
- 3) 末次忠司、栗城稔：改良した氾濫モデルによる氾濫流の再現と防災への応用に関する研究、土木学会論文集、No. 593/II-44, pp. 41-50, 1998。
- 4) 福岡捷二、川島幹雄、横山洋、水口雅教：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究、土木学会論文集、No. 600/II-44, pp. 23-36, 1998。
- 5) 川池健司、井上和也、戸田圭一、野口正人：低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析、土木学会論文集、No. 761/II-67, pp. 57-68, 2004。
- 6) 椿 涼太、藤田 一郎、岡部 健士：航空レーザー測量を用いた高解像度非構造格子の自動生成と氾濫解析、土木学会論文集B, Vol. 62, No. 1, pp. 41-52, 2006。
- 7) 重枝未玲、秋山壽一郎：市街地構造を考慮した氾濫解析モデルの総合的な検証、水工学論文集、第 48 巻, pp. 577-582, 2004。
- 8) 秋山壽一郎、重枝未玲：飯塚市を中心とした都市域のダイナミック氾濫解 -2003年7月遠賀川豪雨災害を対象として-、水工学論文集、第49巻, pp. 619-624, 2005。
- 9) 秋山壽一郎、重枝未玲：河道・氾濫原包括解析による氾濫流量の評価と市街地破堤氾濫解析、土木学会論文集 B, Vol. 63, No. 3, pp. 224-237, 2007。
- 10) 重枝 未玲、寺町 賢一、碓 正敬、高崎 秀一、松木 洋忠、秋山 壽一郎、中山 比佐雄、田邊武司：GIS を用いた飯塚市街地の地形特性に基づく地表面流の挙動解析、水工学論文集、第 52 巻, pp. 829-834, 2008。
- 11) オープン GIS : TNT 入門 日本語 テキスト, <http://www.opengis.co.jp/hm/getstart/getstart.html>。
- 12) 重枝未玲、朝位孝二、坂本 洋、長太茂樹、秋山壽一郎、樋口直樹、重岡広美、徳永智宏：大野川とその派川の乙津川を包括した平面2次元洪水流解析と河道内樹木が乙津川への分流量に及ぼす影響、河川技術論文集、第 12 巻, pp. 85-90, 2006。
- 13) 秋山壽一郎、重枝未玲、津崎周平：蛇行河川での溢水・越水氾濫流量とその予測に関する研究、水工学論文集、第 52 巻, pp. 823-828, 2008。
- 14) 横田尚俊：豪雨災害と地域社会 -2003年7月九州北部豪雨災害における飯塚市と福岡市の事例から-、平成 15 年度科学研究費補助金(特別研究促進費(1))研究成果報告書, pp. 115-125, 2004。