

流域特性を考慮した都市域氾濫解析モデル と都市域での浸水プロセスの予知

NUMERICAL MODEL FOR RAINFALL-RUNOFF AND FLOOD INUNDATION
PROCESSES AND ITS APPLICATION FOR IIZUKA CITY

秋山 壽一郎¹・重枝 未玲²・小園 裕司³
Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA and Yuji KOZONO

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 工学府建設社会工学専攻 (同上)

A numerical simulation model for rainfall-runoff in watershed and flood inundation process in urban area with rivers and sewer network was developed. The rain-fall runoff was simulated by a distributed hydrological model. The flood flow in rivers as well as inundation flows in the ground were simulated simultaneously by the 2D free-surface flow model based on flux-difference splitting scheme and unstructured finite-volume method. The dynamic network model for free-surface-pressurized flow combined with the Preissmann slot was used for the sewer network. The flooding event in the Iizuka-city area in the Onga river basin, was simulated by the model. The model was testified against the observed flood process, and inundation processes in Iizuka-city under different rainfall patterns was examined.

Key Words :risk control, urban area, rainfall-runoff, inundation flow, dynamic flood simulation, sewer network, free-surface-pressurized flow

1. はじめに

近年, 集中豪雨が顕在化している. 例えば, 2000年9月東海豪雨災害では施設規模を遥かに超える豪雨(1/500~1/600程度), 2003年7月九州豪雨災害では遠賀川流域において観測史上最大の集中豪雨(6時間264mm), 2005年9月大淀川流域では観測史上最大の豪雨(48時間693mm), 2006年7月川内川流域では記録的豪雨(総雨量1100mm以上), 2009年7月中国・九州北部豪雨では福岡県飯塚市において観測史上最大の集中豪雨(1時間101mm)など, 観測史上最大あるいはそれに近い集中豪雨が生起するようになってきた. 「地球温暖化に伴う気象変動について」¹⁾で指摘された兆しが見え始めたようにも思える.

都市域では, 集中豪雨の顕在化に伴い, そこでの中小河川の氾濫や下水道の排水不良による内水被害が急増・激化しており, これが最近の水災の大きな特徴となっている. 例えば, 先述した2005年9月の大淀川の水災では, 大規模な内水被害が発生し, 想定(外水氾濫)とは大きく異なる浸水により甚大な被害となった²⁾.

このように, 都市域での水災ポテンシャルは確実に高

まっており, 想定以上あるいは想定とは異なる豪雨災害に対する水災危機管理(クライシスおよびリスクマネジメント)がこれまで以上に重要になってきている¹⁾.

都市域には, 地形, 市街地, 盛土構造物, 道路網, 鉄道, 樹林帯, 公園, 地下施設, 本川・中小支川, 各所に設けられた水門・樋門や排水機場, 雨水貯留施設, 複雑に張り巡らされ下水道網などの多種多様な氾濫原要素や治水システムが存在し, そこでは計画規模が異なる諸施設が複雑な治水システムを構成している.

都市域を対象とした水災危機管理では, これらの都市域特性や治水システムのみならず, それが位置する流域と本川の両特性も踏まえた上で, 想定あるいは想定以外の降雨外力に対して, 下水道の排水不良による内水氾濫から本川の破堤氾濫までの起こり得る水災状況を可能な限り正確に把握しておく必要がある. これは, 水災の正確な把握があってはじめて, 水災後の災害復旧等のクライシスマネジメントと, 水災への備えや避難行動等のリスクマネジメントを効果的に実施できるからである.

このような観点から, 任意の降雨外力から水災状況を予知する「統合型氾濫解析モデル」の開発³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾が進められている. しかしながら, 既往の「統合型氾濫解析モ

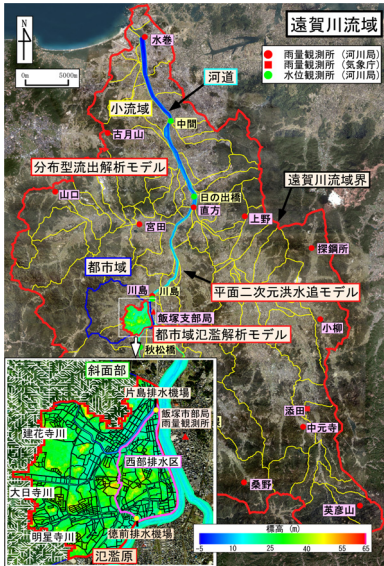


図-1 流域流出・都市域氾濫解析モデルの概要および遠賀川流域の概要

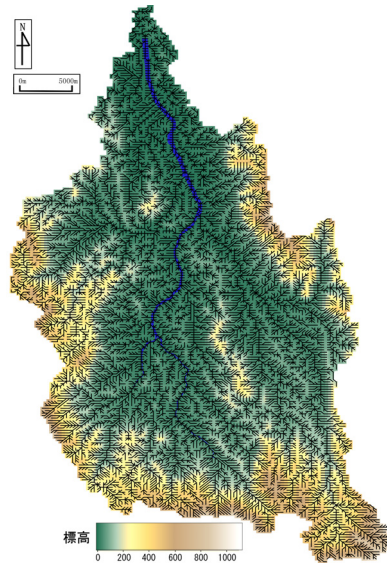


図-2 遠賀川流域の落水線

表-1 分布型流出解析に用いたモデルパラメータ

	$N(m^{-1/3}s)$	$d_s(m)$	$d_c(m)$	$k_a(m/s)$	β
森林	0.6	0.08	0.04	0.015	4.0
荒野	0.3	0.00	0.00		
田	2.0				
農地	0.3				
市街地	0.05				
水域	0.035				

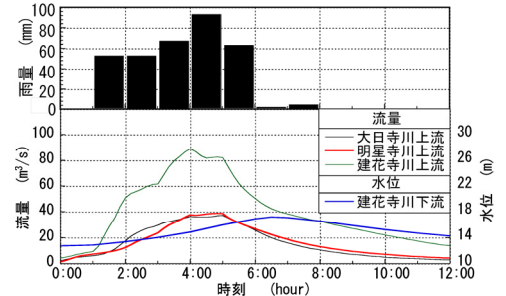


図-3 都市域氾濫解析の境界条件の一例

デル」は、任意の外力を予条件とし、流域(大きな領域)を取り扱えるものの^{3),4),6)}、都市域(小さな領域)での支川の氾濫や内水氾濫による浸水プロセスを予知できる十分な精度と解像度を有しておらず、急増・激化する内水被害に対する水災危機管理に資するには至っていない。

著者らは、これまで市街地や都市域(小さな領域)を対象として、そこでの多種多様な氾濫原要素や治水システムを考慮できる内水・外水氾濫解析モデル、すなわち「都市域氾濫解析モデル」の開発を進めてきた。具体的には、河道・氾濫域包括解析に基づく「洪水流・氾濫流解析モデル」を開発し^{7),8),9)}、同モデルに水際付近での計算の安定化・効率化¹⁰⁾や「下水道流ネットワークスロットモデル」¹¹⁾などの改良を加えると共に、GISやレーザープロファイラデータ等を用いた解析データの高精度化¹²⁾も図り、「地表面洪水流・氾濫流解析モデル」と「下水道網モデル」とが一体化された「都市域氾濫解析モデル」¹³⁾を開発してきた。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、任意の水災シナリオから、都市域での多様な水災の予知、想定被害の把握、効果的で経済的な被害軽減対策のあり方などの評価・検討が可能な「浸水減災シミュレータ」の開発を目的としたものである。ここではその一環として、流域と都市域の特性を踏まえた上で、任意の降雨外力から都市域の浸水プロセスが予知可能な「流域流出・都市域氾濫解析モデル」(以下「本モデル」という)を開発するとともに、2003年7月19日の飯塚市豪雨災害(以下「7・19豪雨災害」という)に対する本モデルの再現性の検証と、仮想外力に対する浸水プロセスについて検討を行った。

2. 流域・都市域氾濫解析モデルの概要

本モデルの概要を図-1に示す。図中には遠賀川流域の

航空写真と雨量・水位観測所も併せて示している。

本モデルの考え方は、任意の降雨外力から、流域での雨水の挙動を把握した上で、精度の高い本川の洪水追跡を介して、都市域での詳細な浸水プロセスを予知するものであり、その概要は次のとおりである。

①流域を小流域(図-1の黄色の線)、河道および都市域(青色の線)に分割する。

②「セル分布型流出解析モデル」により、小流域と都市域に含まれる斜面部の雨水の挙動解析と河川への流出計算を行う。

③河川への流出を考慮して、「平面2次元洪水追跡モデル」(SA-FUF-2DFモデル¹⁰⁾)により、本川の洪水追跡を行う。

④分布型流出解析から得られた斜面部からの流出流量を氾濫原への流入条件、洪水追跡から得られた本川外水位を支川の downstream 境界条件として、「都市域氾濫解析モデル」¹³⁾により、支川の洪水流、氾濫原の氾濫流および下水道流を一体的に解析する。

⑤本川の越水あるいは破堤氾濫が生じた場合や、流域に位置する複数の都市域で内水氾濫が発生した場合は、これを考慮して、②～④を実施する。

セル分布型流出モデルでは、飽和流、不飽和流、表面流を区別できる斜面表層の流量流積関係式¹⁴⁾を用い、各セルでの斜面流および洪水追跡を行う河道を除く洪水流についてはkinematic wave法により追跡した。同モデルのモデルパラメータは、 N =等価粗度係数、 k_a =重力水が卓越するA層内の透水係数、 d_c =マトリックス部の最大保水量を水深で表した値、 d_s =重力水を含めて表層土中に保水しうる最大水深、 β =重力水部と不飽和水部との飽和透水係数の比である。セル分布型流出モデルと洪水追跡モデルとの接続については、流出解析より得られた流量とその位置を河道と対応付け、河道の境界条件あるいは河道低水路の内部境界条件として与える。

SA-FUF-2DF モデルは、河道内樹木群や分流部などを含む実河道での洪水流を的確に予測できることが確認されている¹⁵⁾。

「都市域氾濫解析モデル」¹³⁾は、洪水流と氾濫流の解析を行う「ダイナミック氾濫解析モデル」と下水道内の自由表面あるいは圧力流れの解析を行う「ネットワークスロットモデル」の二つのモデルで構成されている。なお、同モデルは参考文献¹³⁾と同様なモデルであるが、安定条件に式(1)を加えている。

$$\Delta t = \min(\Delta t_1, \Delta t_2), \Delta t_2 = \min\left\{n^2 |u_i| g / h_i^{4/3}\right\}^{-1} \quad (1)$$

ここに、 Δt =時間の刻み幅、 Δt_1 、 Δt_2 =クラン型の安定条件、消滅項を考慮した安定条件より決まる時間の刻み幅、 n =粗度係数、 u_i =流速、 g =重力加速度、 h_i =水深、 i =計算セルの番号である。

3. モデルの適用

本モデルを遠賀川流域の飯塚市街地に適用し、まず7・19豪雨災害に対する再現精度の検証を行い、次に降雨外力からそこでの浸水プロセスを予知する。

(1) 流域の概要

遠賀川は、幹川流路延長61km、流域面積1,026km²の一級河川である。遠賀川の河口付近には河口堰が設けられており、中下流域の低地部に複数の中小都市が発達し、流域人口密度は九州の一級河川では2番目に大きい。流域には大小合わせて73支川が点在しており、いくつかの都市では内水被害が度々生じている。特に、7・19豪雨災害では、支川の氾濫と内水氾濫のため、飯塚市の旧飯塚地区において最大約1.5mの浸水深となり、甚大な被害となった。

(2) 解析データの作成

分布型流出解析、洪水追跡および都市域氾濫解析を行うための解析データの概要は、次のとおりである。なお、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・作成した。

a) 分布型流出解析データ

分布型流出解析の対象領域は、図-1に示した小流域である。分布型流出解析のデータの作成に必要な標高、土地利用、雨量のデータは、国土地理院の数値地図250mメッシュを基にしたセルに与えた。標高データには、国土地理院の数値地図250mメッシュ(標高)を用いた。これをGISによる標高解析¹⁷⁾により窪地処理を行い、図-2に示す落水線方向を求めた。その際、河道と対応するセルの標高には河道横断測量による平均河床高を与えた。土地利用データには、国土数値情報L03-09M (H9年)を基に、森林、荒野、田、農地、都市、水域に分割し用いた。

雨量データには、雨量観測所の実績データを用いティーンセン法に基づき作成したものを用いた。分布型流出解析のモデルパラメータには、表-1に示した値を用いた。

b) 平面2次元洪水追跡データ

洪水追跡で対象とした河川は、図-1に示す本川の遠賀川と支川の穂波川である。洪水追跡のデータの作成に必要な河道の堤防・低水路線形、河床高および粗度係数は次のように設定した。堤防・低水路線形は、各距離標の横断面図から、堤防、高水敷、低水路の座標を世界測地系で整理し、それぞれに対応する点を距離標間で接続することで作成した。河床高は、河道横断面図から堤防、高水敷、低水路など接続された平面座標とその座標に対応する河床高とで三角ポリゴンを作成し設定した。粗度係数は、河道計画で用いられた平均値0.035を与えた。計算格子には三角形の非構造格子を用いた。なお、総メッシュ数は12,514個であった。

c) 都市域氾濫解析データ

都市域氾濫解析の対象領域は、都市域を含む小流域群(面積:27.9km²)とし、明星寺川、建花寺川および大日寺川の3つの支川を考慮した。この小流域群に対して国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を用いて落水線方向を求め、斜面部(面積:21.7km²)と氾濫原(面積:6.2km²)とに分離した。分布型流出解析を行う斜面部と都市域氾濫解析を行う氾濫原は図-1に示す通りである。

都市域氾濫解析データの作成は、参考文献¹²⁾、¹³⁾と同様であるが、①市街地構造データの解像度を高くしたこと、②地表面から下水道への排水先の計算セルを、分布型流出解析モデルと同様な手法で排水区内の落水線から小排水区を設定し、小排水区ごとに排水先となる幹線区間を定め、小排水区内では最短距離にある各幹線の計算セルにしたこと、が異なっている。

斜面部での分布型流出解析の解析データは、数値地図50mメッシュ(標高)を用いた以外は、流域での流出解析と同様である。なお、都市域の流出係数には合理式的一般市街地での値 $f=0.8$ を用いた。

計算格子には三角形非構造格子を用い、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。なお、総メッシュ数は19,126個であった。

d) 解析条件

7・19豪雨災害の再現計算では、調査結果に基づき、流域流出・洪水追跡解析の開始時刻を7月18日PM0時、都市域氾濫解析を7月19日AM1時とした。

本川の洪水追跡では、河道上流端には分布型流出解析から得られた流量を、下流端には河口堰での水位を与えた。都市域氾濫解析では、建花寺川下流端には洪水追跡によって得られた水位ハイドログラフを、明星寺川、建花寺川および大日寺川上流端には分布型流出解析より求めた流量ハイドログラフを与えた。都市域氾濫解析で用いた解析条件を図-3に示す。

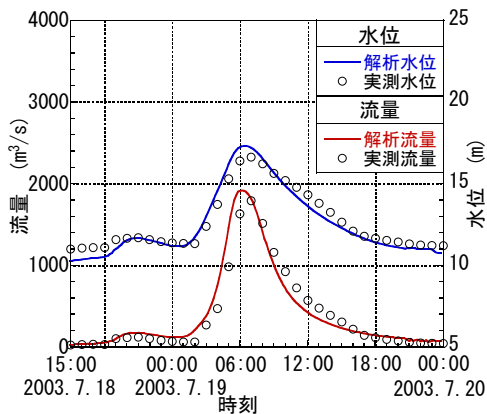


図-4 川島水位観測所での実績水位と流量の比較

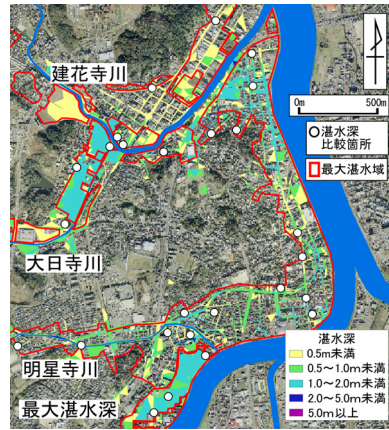


図-5 最大湛水域の比較

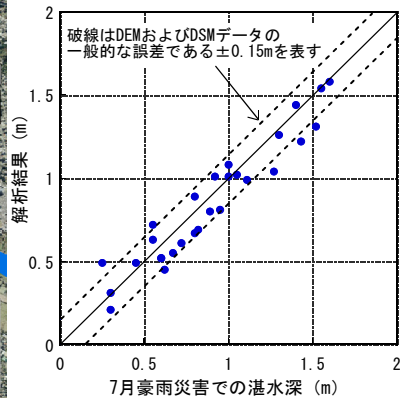


図-6 痕跡湛水深の比較

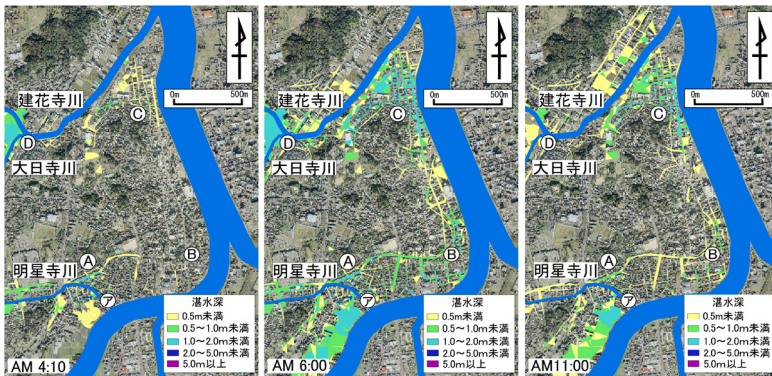


図-7 浸水プロセス

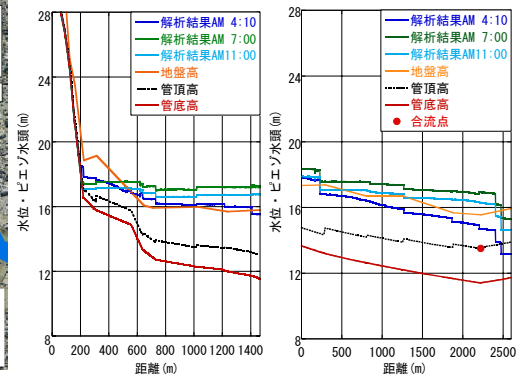


図-8 下水道幹線網の水位・ピエゾ水頭の経時変化 (左: 西1号幹線, 右: 西部幹線)

明星寺川下流端の徳前排水機場については、ポンプ場操作記録に基づき単位面積当たりの排水流量を与え、排水させた。また、西部排水区の雨水下水道網下流端の片島排水機場については、下水道網には排水流量を与え、その流量から単位面積当たりの流量を求めた。

一方、浸水プロセスの予知では、7・19豪雨災害時の実測降雨のピーク雨量、総降雨量および降雨継続時間が等しく、降雨分布を前方、後方集中型とした仮想降雨波形を与えた。その他の条件(水災シナリオ)は再現計算と同様である。

(3) 7・19豪雨災害の再現計算

本モデルの再現精度の検証は、河道水位および流量ハイドログラフ、実測湛水域・最大湛水深、および調査結果¹⁷⁾による浸水プロセスに基づき行った。

図-4は、川島水位観測所の水位ハイドログラフと水位流量曲線に基づく流量ハイドログラフについて、実績と解析結果との比較を行ったものである。このように、いずれについても、若干のずれは認められるものの、解析結果は実測値を十分な精度で再現している。

図-5と図-6は、それぞれ最大湛水域と湛水深の解析結果を調査結果と比較したものである。湛水深の比較箇所は、図-5中の白丸の地点である。いずれについても解析結果は調査結果をほぼ再現していることが確認できる。

図-7と図-8は、それぞれ本解析で得られた浸水プロセス

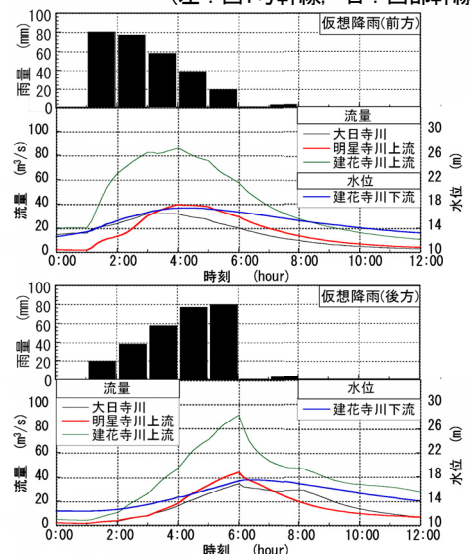
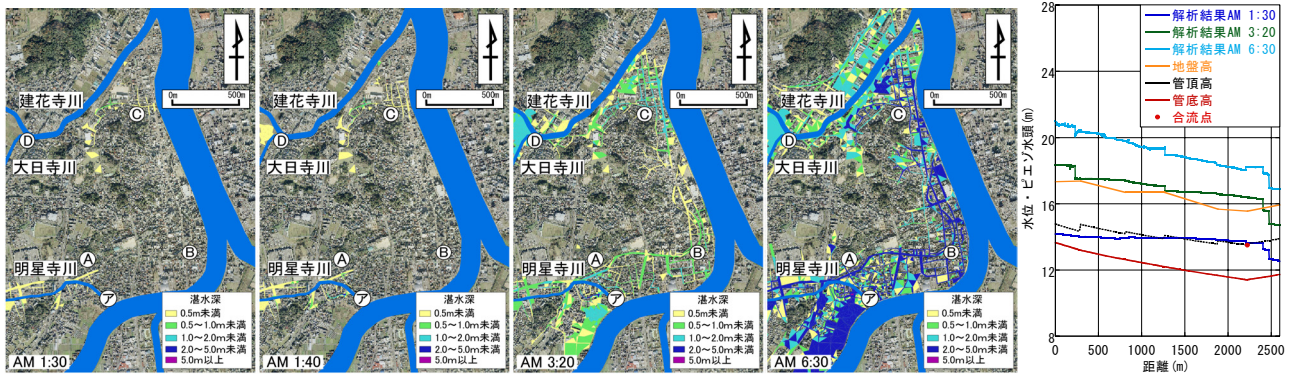


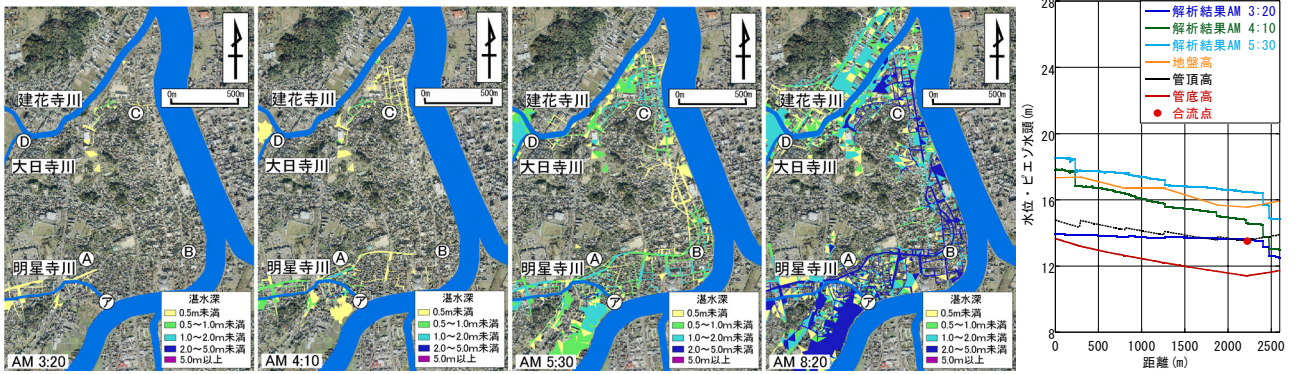
図-9 仮想ハイトグラフ(水災シナリオ)と境界条件の一例

スと雨水下水道の水位・ピエゾ水頭の縦断変化を示したものである。調査結果¹⁷⁾によれば、B地点周辺の商店街では7月19日AM4:00より浸水が始まり、路面から水が噴出しはじめ、30分後には明星寺川からの氾濫水と考えられる濁水が流入し、AM7:00に最大湛水深となり、AM10:00に水が引き始めたと報告されている。

解析結果でも同様に、明星寺川の流量が徳前排水機場⑦の排水能力を超えるAM2:30には地点④から溢水が始まり、その氾濫水は下水道で排水される計画となってい



(a) 前方降雨による浸水プロセスおよび西部幹線の水位・ピエゾ水頭の経時変化



(b) 後方降雨による浸水プロセスおよび西部幹線の水位・ピエゾ水頭の経時変化

図-10 浸水プロセスの検討

るために、地点④付近に湛水する。雨量が50mmを超えるAM4:00~AM4:10に下水道の排水不良による内水氾濫が生じ、明星寺川からの氾濫水も市街地④へ流入し、場所によってはばらつきはあるものの、AM7:00頃に最大湛水深になる。AM10:00には1.0m程度の湛水深であった④地点周辺の水が、AM11:00には引き始める。このように、本解析結果の浸水プロセスは、調査結果と良好に一致している。

以上のように、本モデルは、7・19豪雨災害時の実績降雨から、遠賀川の流量と水位、飯塚市では本川外水位を考慮して、そこでの支川の氾濫と内水氾濫による浸水プロセスを良好に再現できる。

なお、本モデルでは、①分布型流出解析モデルにより、斜面部からの流出流量の高精度化を図ったこと、②都市域の市街地構造データの解像度を高くしたこと、③降雨の下水道への排水先を標高に応じて決めたこと、などの改良を行っており、従前の結果^{12), 13)}に比べて湛水深および湛水域の予測精度が向上している。また、式(1)の安定条件の導入により1.4倍程度、並列化により2.5倍程度の計算効率の改善が図られている。

(4) 浸水プロセスの予知

図-9は、一例として飯塚雨量観測所における仮想降雨ハイトグラフ(水災シナリオ)と、これらの降雨より得られた支川の境界条件を示したものである。このように、いずれについても後方集中型の流量ハイドログラフの方

が、ピーク値が大きく先鋭的となる。図-10は、本解析で得られた浸水プロセスと西部幹線の水位・ピエゾ水頭の縦断変化を示したものである。

図-9で示したように、後方集中型の流量ハイドログラフの方が、ピーク値が大きく先鋭的となるが、シミュレーションから得られた浸水プロセスは、7・19豪雨災害と基本的に同様であった。すなわち、いずれの降雨波形に対しても、降雨強度が40mm以上になると④地点付近から内水氾濫が、50mm以上になると明星寺川の④地点付近で溢水氾濫が、70mm以上になると大日寺・建花寺川の合流部⑥点からの溢水氾濫が発生する。また、下水道網で圧力流れが生じ排水不良となる箇所も7・19豪雨災害と同様であった。

以下、シミュレーションより得られた知見を列挙する。

(1) 遠賀川流域と飯塚市は、降雨のピーク雨量、総降雨量および降雨継続時間が同一の条件下では、降雨波形が変化しても、支川からの溢水箇所や下水道網が排水不良となる箇所は基本的に変化しない流域と都市域特性を有している。

(2) 降雨波形に対して、飯塚市街地での浸水状況は次のように変化し、前方集中型の降雨波形に対して水災リスクの高い都市域特性を有している。

① ④、⑥および⑦地点の氾濫開始時刻は、前方集中型ではAM1:30、AM1:30およびAM1:40、後方集中型ではAM3:20、AM3:10およびAM4:10となり、各地点での氾濫開始時刻は前方集中型の方が約2時間、約1時間半、

約2時間半程度早くなる。

② 降雨強度が40mm/hを超えた時点で◎地点から内水氾濫が生じる。内水氾濫による◎地点と明星寺川からの氾濫水による⑧地点の浸水域が重なる時刻は、◎地点での内水氾濫が生じてから、前方集中型では1時間50分後(AM3:20)、後方集中型では2時間10分後(AM5:30)であり、前方集中型の方が20分程度早くなる。

③ 前方集中型では内水氾濫開始から1時間50分後(AM3:20)に全区間でピエゾ水頭が標高より高くなり排水不良となるが、後方集中型では2時間10分後(AM5:30)でもまだ若干の余裕がある。その結果、浸水域や浸水深は前方集中型の方が若干大きくなる。

④ 一般に後方集中型の降雨波形の方が河川流量のピーク値が大きくなるため、後方集中型の降雨波形が中小河川の計画に用いられている。しかし、飯塚市では前方集中型の場合には、図-9に示したように、支川の流量が急増するとともに、降雨による市街地の排水不良が起こり、支川の氾濫と内水氾濫が同時進行的に発生する。このため、氾濫開始後の市街地への浸水拡大が早く、浸水深も大きくなる。

4. おわりに

本研究では、「流域流出・都市域氾濫解析モデル」の開発を行うとともに、遠賀川流域の飯塚市を対象として、実績洪水氾濫に対する同モデルの検証と仮想外力に対する浸水プロセスについて検討を加えた。今後は、降雨のピーク雨量、総降雨量および降雨継続時間が異なる場合では、異なった浸水プロセスを呈すると予想されることから、これらについて検討したいと考えている。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金基盤研究B(課題名：豪雨災害時の浸水減災シミュレータの開発と樹林帯の減災効果に関する研究，課題番号：21360237，研究代表者：秋山壽一郎)，科学研究費補助金若手研究B(課題名：圧力・自由表面流れの予測を目的とした平面2次元スロットモデルの開発，課題番号：19760344，研究代表者：重枝未玲)の助成を受け実施したものである。本研究を実施するに当たり、国土交通省遠賀川河川事務所から現地調査やデータ提供など多大な協力を得た。また、本研究を遂行するに当り、本学学部4年生の上川謙君、池田知央さん、草野浩之君には、データ整理等で協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気候変動に適応した治水対策検討小委員会：水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について，社会資本整備審議会河川分科会，2008。
- 2) 杉尾 哲：「平成17年台風14号記録的豪雨による災害の調

査と減災対策に関する研究」，河川整備基金助成事業報告書，2005。

- 3) 辻本哲郎，本守真人，安部友則，山田哲夫：氾濫シミュレーション手法の開発と東海豪雨災害の再現，河川技術論文集，第8巻，pp.121-126，2002。
- 4) 戸田圭一，井上和也，村瀬賢，市川 温，横尾英男：豪雨による都市域の洪水氾濫解析，土木学会論文集，No. 633/II-53，pp.1-10，2000。
- 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) Dutta, D., Herath, S. and Musiak, K.: Distributed hydrologic model for flood inundation simulation, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol.43, pp.25-30, 1999。
- 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析～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，秋山壽一郎，重岡広美：ドライ・ウェット状態となる地形起伏がある場での氾濫流の数値シミュレーション，水工学論文集，第51巻，pp.781-786，2007。
- 11) 秋山壽一郎，重枝未玲，田邊武司：自由表面・圧力流れのダイナミックネットワークモデルの構築と都市域下水道網への適用，河川技術論文集，第14巻，pp.241-246，2008。
- 12) 秋山壽一郎，重枝未玲，田邊武司：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，河川技術論文集，第14巻，pp.235-240，2008。
- 13) 秋山壽一郎，重枝未玲，田邊武司：下水道網を考慮した飯塚市街地の氾濫解析，水工学論文集，第53巻，pp.829-834，2009。
- 14) 池淵周一，椎葉充晴，宝 馨，立川康人：エース水文学，朝倉書店，2006。
- 15) 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。
- 16) オープン GIS：TNT 入門日本語テキスト，<http://www.opengis.co.jp/html/getstart/getstart.html>。
- 17) 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。

(2009. 9. 30受付)