

下水道網を考慮した飯塚市街地の氾濫解析

NUMERICAL SIMULATION OF INUNDATION FLOW WITH SEWER NETWORK 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)

The numerical model for inundation flow in urban area with sewer network was developed. The flood flow in the river as well as inundation flow 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 based on flux-difference splitting scheme combined with the Preissmann slot was used for the sewer network. The flooding event in the Iiduka-city area, which suffered the severe damage in the Onga basin, was simulated by the model. The simulated results compared with the observed flood process. It shows that the model is a useful tool for examining the process of the inundation flows in the Iiduka-city area.

Key Words : *inundation flow, dynamic flood simulation, sewer network, urban area, free-surface-pressurized flow, dynamic network model, Priessmann slot*

1. はじめに

近年、集中豪雨の激化に伴う洪水氾濫が頻発している。近年の豪雨は、観測史上最大規模となるなど想定範囲を超える場合も少なくない。このため、ハザードマップや避難体制等の危機管理対策などの水災時の被害最小化対策¹⁾がこれまで以上に重要になっている。

このようなソフト対策の多くは、外水氾濫を対象とした浸水想定区域²⁾に基づいている。一方、近年の水害の多くは、内水と外水氾濫が複合的に生じる内外水複合氾濫³⁾であり、避難場所、経路、手段を含む避難計画などの危機管理対策を講じる際には、内水氾濫も含めて通行不能になる経路などを十分な精度で事前に検討しておくことが重要となる。そのためには、降雨を外力として、河川の洪水流・堤内地での氾濫流・雨水排除システム・雨水貯留施設などが取り扱え、破堤氾濫を含む外水氾濫と内水氾濫プロセスを高い精度で予測できる雨水管理・浸水対策シミュレータが必要となる。

一般に浸水想定区域の設定は、流出解析⁴⁾や氾濫解析^{3),5),6),7),8)}などにより行われる。流出解析では、降雨を外力として流域全体の雨水の動きが得られるが、市街地での氾濫水の動きを予測できるほどの解像度はない⁴⁾。一方、

氾濫解析では、市街地での氾濫水の挙動を予測できる^{3),5),6),7),8)}が、その予測には流域から得られる境界条件が必要になる。そのため、流出解析と氾濫解析を統合し、降雨を外力として雨水の動きの予測を試みる都市域氾濫解析モデルが開発されている^{3),5),7),9),10)}が、計算対象領域が広範囲なために、市街地での雨水の詳細な挙動を捉えることができる解像度を有する解析には至っていない。

著者らは、これまで市街地での氾濫流の挙動を予測可能な解像度を有するモデルとして、ダイナミック氾濫解析モデルを開発^{11),12),13),14)}し、そのモデルを2003年7月の九州豪雨災害で大きな被害を受けた飯塚市へ適用をしてきた^{12),14)}。しかしながら、下水道網の解析^{3),5),6),7),8),9),10)}は組み込まれておらず、都市域での雨水の動きを十分に再現・予測するには至っていなかった。

一般に、下水道網は、ブランチをノードで接続することで取り扱われる^{3),5),6),7),8),9),10)}。一般的なネットワークスロットモデルでは、各ブランチから流入出する流量と質量保存によりノード部の水深(圧力)と流速が求められる。著者らは、下水道網の合流部特性を踏まえ、質量保存則に加えて運動量保存を考慮したノード部に平面2次元スロットモデルを導入した新たなネットワークスロットモデルを開発した¹⁵⁾。

本研究は、水災時の被害最小化対策の検討を目的とし

た都市域氾濫解析モデルには、対策の検討に必要な十分な解像度と降雨を外力とした流域単位での雨水の挙動の把握が必要なことを踏まえ、精度が高くかつ計算効率の高い雨水管理・浸水対策シミュレータの構築を最終的な目的としたものである。ここでは、著者らが開発したダイナミック氾濫解析モデル^{11),12),13),14)}と、ネットワークスロットモデル¹⁵⁾を統合した都市域氾濫解析モデルを新たに開発するとともに、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下水道網を考慮した氾濫解析を行い、その精度の検証を行った。

2. モデルの概要

(1) 都市域氾濫解析モデル

本研究の都市域氾濫解析モデルは、①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^{11),12),13),14)}と②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¹⁵⁾の二つのモデルで構成される。本研究の都市域氾濫解析モデルの概念図を図-1に示す。

(2) ダイナミック氾濫解析モデル

ダイナミック氾濫解析モデル^{11),12),13),14)}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 on Unstructured grid using Flux-difference splitting technique for 2D Free surface flows) モデル¹¹⁾に氾濫の主因となる河道と氾濫原に固有の種々の要素の取扱いを組み込んだものである。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である^{12),13)}。氾濫流量¹³⁾や河道内流れ¹⁶⁾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。本都市域氾濫モデルでは、地表面と下水道の水のやり取りを発生・消滅項で考慮した。

ダイナミック氾濫解析モデルの基礎方程式は以下に示す通りである。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial y} + \mathbf{S} = \mathbf{0} \quad (1)$$

$$\mathbf{U} = (h, \quad uh, \quad vh)^T; \quad \mathbf{E} = (uh, \quad u^2h + 1/2gh^2, \quad uvh)^T; \\ \mathbf{F} = (vh, \quad uvh, \quad v^2h + 1/2gh^2)^T;$$

$$\mathbf{S} = (q_r + q_d, -gh(S_{ox} - S_{fx}) + F_x, -gh(S_{oy} - S_{fy}) + F_y)^T$$

ここに、 \mathbf{U} =保存量ベクトル、 \mathbf{E} 、 \mathbf{F} = x 、 y 方向の流束ベクトル、 \mathbf{S} =発生項・消滅項ベクトル、 h = 水深、 u 、 v = x 、 y 方向の流速、 g =重力加速度、 q_r =単位面積当りの流出流量= $(-1/3.6 \cdot f \cdot R \cdot 10^{-6})$ 、 f =流出係数、 R =降雨強度、 q_d =下水道へ排水される単位面積当りの流量、 S_{ox} 、 S_{oy} = x 、 y 方向の地盤高勾配、 S_{fx} 、 S_{fy} = x 、 y 方向の摩擦勾配、 F_x 、 F_y = 計算メッシュ内に物体群が含まれる場合に付加される x 、 y 方向の流体力項である。摩擦勾配は、Manning

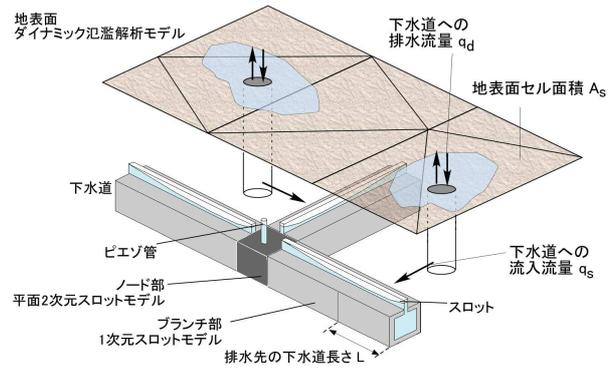


図-1 都市域氾濫解析モデルの概念図

の公式を用いて、流体力項は抵抗係数 C_d を用いた式¹⁶⁾で計算される。

(3) ネットワークスロットモデル

ネットワークスロットモデルでは、下水道をブランチ、下水道の始点と終点をノードとして、各ブランチをノードで接続することで下水道網を取り扱う。本モデルでは対象とする下水道網に合流部が含まれることを踏まえ、ノード部に質量保存則に加えて運動量保存を考慮した平面2次元スロットモデルを導入した。ネットワークスロットモデルの基礎方程式は以下に示す通りである。また、モデルの基本性能は参考文献¹⁵⁾に示す通りである。

a) ブランチ部の基礎方程式

ブランチ部での流れの基礎方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \mathbf{S} = \mathbf{0} \quad (1)$$

ここに、 \mathbf{U} =保存量ベクトル、 \mathbf{E} =流束ベクトル、 \mathbf{S} =発生・消滅項ベクトルである。これらのベクトルは次式によって表される。

$$\mathbf{U} = (A \quad uA)^T; \quad \mathbf{E} = (uA \quad u^2A + gF_h)^T; \\ \mathbf{S} = (q_s, -gA(S_0 - S_f))^T \quad (2)$$

ここに、 A =流積、 u =流速、 g =重力加速度、 S_0 、 S_f =水路床勾配と摩擦勾配、 F_h =静水圧項、 q_s =単位長さ当りの流入出量である。

圧力流れが発生した場合には、図-1に示す幅の非常に狭いスロットにより水深を強制的に上昇させ圧力を上昇させる。水深、静水圧および潤辺は、それぞれ以下のような式で表される。

$$h = h_f + (A - A_f)/b_s; \quad P = P_f; \\ F_h = A_f \left(0.5h_f + \frac{A - A_f}{b_s} \right) + \frac{(A - A_f)^2}{2b_s} \quad (12)$$

ここに、 A =管路の断面積、 A_f =満管時の断面積、 P_f =満管時の潤辺、 h_f =満管時の水深 (断面形状が長方形の場合には水路高、円形の場合には直径 d)、 b_s =スロット幅である。

b) ノード部の基礎方程式

ノード部での流れの基礎方程式は次式で表される。

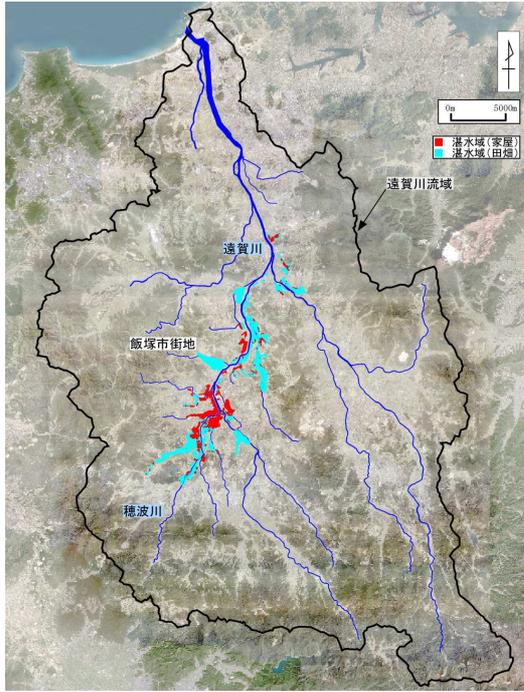


図-2 遠賀川流域と2003年九州豪雨災害時の遠賀川流域の湛水域

$$\frac{\partial U_{node}}{\partial t} + \frac{\partial E_{node}}{\partial x} + \frac{\partial F_{node}}{\partial y} + S = 0 \quad (13)$$

ここに、 U =保存量ベクトル、 E 、 F = x 、 y 方向の流束ベクトル、 S =発生・消滅項ベクトル、下付けのnodeはnode部の諸量を示しており、それぞれ次式によって表される。

$$U_{node} = (h \quad uh \quad vh)^T ; E_{node} = (uh \quad u^2h + 0.5gh^2 \quad uvh)^T$$

$$F_{node} = (vh \quad uvh \quad v^2h + 0.5gh^2)^T$$

$$S_{node} = (q_s' - gh(S_{ox} - S_{fx}) - gh(S_{oy} - S_{fy}))^T \quad (14)$$

ここに、 h =水深、 u 、 v = x 、 y の流速、 g =重力加速度、 S_{ox} 、 S_{oy} 、 S_{fx} 、 S_{fy} = x 、 y 方向の水路床勾配と摩擦勾配、 q_s' =単位面積当りの流入出流量である。

ノード部で圧力流れが生じた場合、図-1に示すようなピエゾ管を設け、次式で水深を強制的に上昇させる。

$$h = h_f + (V - V_f) / A_s \quad (17)$$

ここに、 V =水の体積、 V_f =満管時の水の体積、 A_s =スロットの断面積、 h_f =ノード部の最大高さである。

(4) ダイナミック氾濫解析モデルとネットワークスロットモデルとの接合

地表面から下水道へ排水される単位面積当りの流量 q_d は、以下のような方法で処理した。排水先となる幹線下水道の設計流量を排水する地表面セルの面積で割ることで最大排水流量を求めた。下水道のピエゾ水頭が地盤高よりも小さい場合、地表面セルの氾濫水の体積から求める単位面積当たりの流量と最大排水量のうち小さい方を q_d として与えた。下水道のピエゾ水頭が地盤高より高く、地表面の水位より低い場合には、段落ち式より流量を求めた。下水道のピエゾ水頭が地表面の水位よりも高い場合には、越流公式より噴出し流量を求めた⁷⁾。下水道へ

排水される単位面積当りの流量 q_d と下水道への流入流量 q_s との関係は、流出を正、流入を負の符号とすると、 $q_s = q_d \cdot A_c / L$ で表される(図-1)。ここに、 A_c =地表面セル面積、 L =排水先の下水道の長さである。ただし、この取り扱いでは、雨水ますでの貯留効果等は考慮されていないので、この点については今後改善が必要である。

3. 飯塚市街地を対象にした氾濫解析

(1) 遠賀川流域と2003年7月豪雨災害の概要

遠賀川の中下流域では、低地部に住宅地が発達しているため、支川の氾濫による内水氾濫被害が度々生じている。近年では2003年7月19日の九州豪雨災害で穂波川の氾濫等による内水氾濫が生じ甚大な被害が生じた。

図-2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。浸水区域は遠賀川と穂波川沿いに広がっており、家屋浸水区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。

(2) 都市域氾濫解析データの作成

都市域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、排水区、下水道網、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。いずれのデータも解像度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、航空写真から街区などトレースした。標高データには、レーザープロファイラーデータを用いた。街区には構造物などの高さ情報までも含んだDSM(Digital Surface Model)データを、街路やその他の箇所には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、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。なお、DSMデータの測量は洪水時に行われており、水面と河床との標高には大きな差はないと考えられる。暗渠区間では、上下流の標高を線

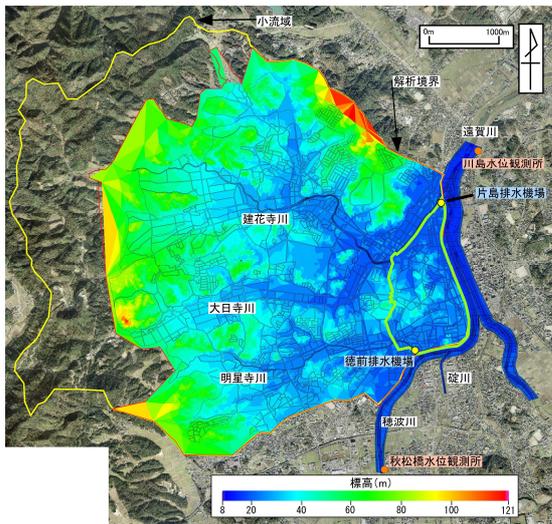


図-3 解析データの一例

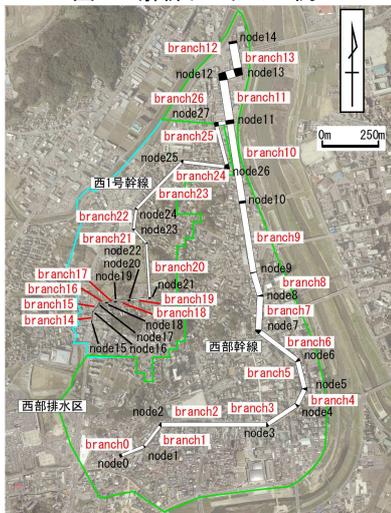


図-4 飯塚市街地の雨水下水道幹線網

形補間することで求めた。粗度係数については、計画で用いられた平均値0.035を与えた。図-3にデータの一例として、街区、河道の堤防・低水路線形、排水区を示す。

下水道については、幹線のみを考慮し、飯塚市公共下水道台帳から、管径、管頂高、管底高などの詳細なデータを読み取った。なお、今回の解析では、他の排水区の詳細なデータが不明であったので、図-4の西部排水区の下水道幹線網のみを考慮した。西部排水区には西部幹線(幅1400~3600mm×高さ1120~2160mm×長さ2633m)と円形断面の西1号幹線(直径250~1650mm×長さ1494m)の二つの幹線がある。

解析データは次のように作成した。まず、解析対象領域を設定した。GISにより標高解析を行い、地表面流の移動方向や分水界を求めた。この分水界は、遠賀川流域を構成する小流域と概ね一致した。飯塚市街地を含む分水界を解析対象領域とした。ただし、山地については解析対象領域から省いた。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。

計算格子には三角形の非構造格子を用いた。計算領域の境界については、そこでの比較的単純であったので約

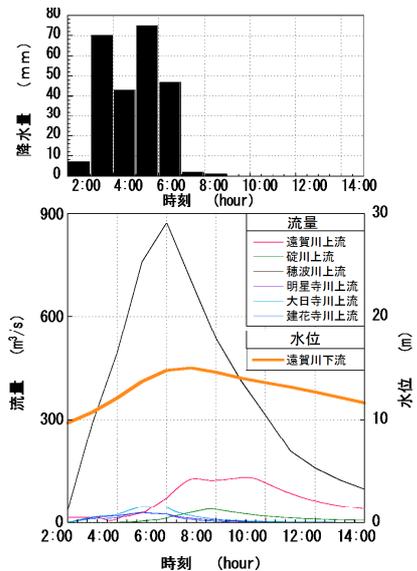


図-5 解析に用いたハイトグラフと流量・水位ハイドログラフ

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個に分割した。街路については、GISの標高解析から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、雨水が集まる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)、河道(0.035)をそれぞれ与えた。図-3に氾濫解析データの一例として、標高と河床高コンターを示す。

下水道網については、管径あるいは管の線形が変化する箇所をノードとし、各ノードのコントロールボリュームを図-4に示すように設定した。なお、今回の解析の簡略化と計算効率を図るために、西1号幹線を断面積の等しい長方形断面に置き換えている。ブランチ部の縦断方向の分割幅は1mとし、スロット幅 b_s は管路内の自由表面・圧力流れの実験結果に基づく検証¹⁵⁾で高い精度が得られた管路直径の10%に設定した。地表面の計算セルの排水先は、GISによる地形解析から図-4に示すように各幹線が排水を担当する流域を決め、最短距離にある各幹線の計算セルとした。

(3) 解析条件

解析開始時刻は、2003年7月19日午前2時とした。降雨は川島雨量観測所の時間雨量を用いた。なお、西部排水区以外の排水区では、詳細が不明であったので、降雨は

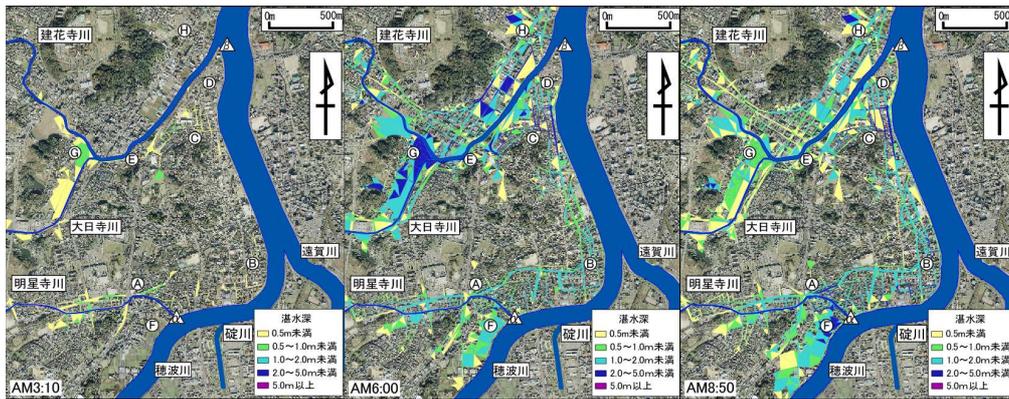


図-6 氾濫プロセス (AM3:10(左), AM6:00(中), AM8:50(右))

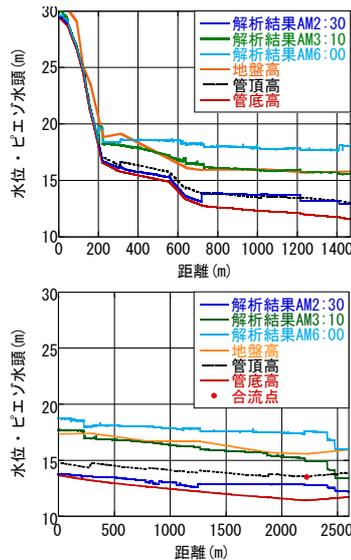


図-7 下水道幹線網の水位・ピエゾ水頭の経時変化
(上：西1号幹線，下：西部幹線)

全て河道へ流出することとした。つまり、流出解析から求めた流量を河道へ与えた。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-5に示すハイドロ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-5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。西部排水区の雨水下水道網下流端の川島排水機場には運転記録に基づく排水流量を与え、排出先の建花寺川と遠賀川の合流部付近には排水流量から求めた単位面積当たりの流量を与えた。

(4) 結果と考察

以下では、解析結果に基づき、飯塚市街地を対象に、下水道による雨水排水を考慮した氾濫プロセスについて考察する。なお、街区内の標高データはDSMデータであるため、建物占有率が8割以上となる飯塚市街地の街区では周辺道路よりも標高が高く、浸水が生じない。

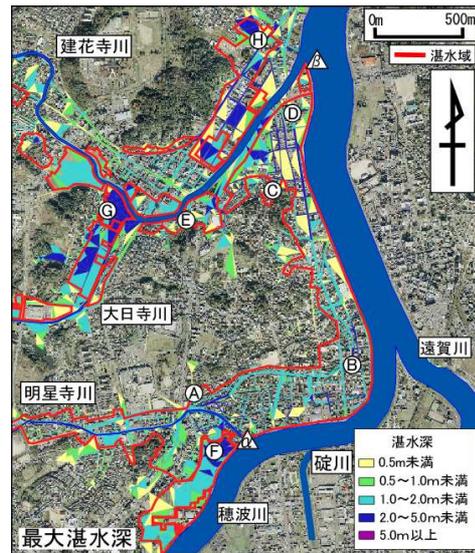


図-8 湛水域の比較

図-6, 7は本解析で得られた浸水プロセ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。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)西部排水区の西1号線は、西部幹線に比べ流積が小さいため、早期に満管状態となる。そのため、時間降雨70mmとなるAM3:00時ごろに、図-4に示す屈折するBranch24, 25付近のC地点近傍で内水氾濫が生じる。(2)明星寺川では、AM3:10ごろにA地点より氾濫が開始する。その氾濫水が下水道である程度排水されるが、そのために西部幹線が満管状態となり排水不良が生じ、地盤高の低いB地点周辺でも浸水が開始する。その後AM5:00には西部幹線では氾濫水が排水できなくなり、市街地へと広がり急激に水量が増加した。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¹⁷⁾があるが、今回の解析結果では、この報告より若干遅い時間に水量が急激に増加した。これは、下水道の排水能力を過大に評価したためだと考えられる。この点については、地表面との水のやり取りの改善など今後の検討が必要である。その後、遠賀川左岸側堤内地を国道沿いに北側へ進み、先に内水氾濫が生じたD地点付近へと広がった。(3) AM6:30ごろには、地盤高が高い川島排水機場(β地点)でも内水氾濫が生じる。本解析結果から得られた氾濫プロセスは、明星寺川か

ら溢水した氾濫水については、調査結果¹²⁾と良く一致しており妥当であると考えられる。一方、C地点付近での内水氾濫プロセスについては、西1号幹線の管径やその平面形状から流下能力が小さくなる箇所が発生しており発生位置については妥当と考えている。しかし、災害時の浸水開始時刻や浸水継続時間等の情報が得られず、その広がりプロセスの妥当性を確認するには至らなかった。

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。

以上から、本モデルでは、従前のモデルでは不可能な下水道からの内水氾濫プロセスを取り扱うことが可能となった。しかし、西部排水区では下水道による排水が困難となる降雨量になってからは、従前のモデルよりも湛水域を若干広く予測する傾向にある。このことから、明星寺川からの氾濫流量を過大に評価している可能性があり、支川への流入流量については、流出解析の係数や解析方法などを含め今後検討したいと考えている。

5. おわりに

本研究では、ダイナミック氾濫解析モデルと、ネットワークスロットモデルを統合した都市域氾濫解析モデルを新たに構築し、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とした氾濫解析を行うとともに、湛水域に基づきその精度の検証を行った。その結果、本都市域氾濫解析モデルが十分な精度で湛水域を予測できること、また、溢水や内水氾濫発生箇所、氾濫水の広がる経路、湛水箇所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。

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)、若手研究B(課題番号：19760344、研究代表者：重枝未玲)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研究を行ったものである。本研究の実施に当たり、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、本研究の遂行に当り、当時本学学部4年生の一丸正行君、山下未貴さん、本学学部4年生の小園裕司君、馬場一平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) 国土交通省河川局治水課：浸水想定区域図作成マニュアル、http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/press/20050

7_12/050705/050705_manual.pdf, 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) 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。
- 5) 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。
- 6) 関根正人, 中村敦, 中村康朋：河川からの越水を伴う都市域の内水・外水氾濫過程に関する数値解析, 水工学論文集, 第52巻, pp.865-870, 2008。
- 7) 川池健司, 中川 一, 市川 温, 丸山寛起：平成18年7月豪雨による松江市内の都市水害に関する数値解析的検討, 水工学論文集, 第51巻, pp.535-540, 2007。
- 8) 武田 誠, 森田 豊, 松尾直規：下水道システムを考慮した氾濫解析の治水対策への適用, 水工学論文集, 第51巻, pp.529-534, 2007。
- 9) 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。
- 10) 相良亮輔, 錦織俊之, 井上和也, 戸田圭一：枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析, 水工学論文集, 第48巻, pp.589-594, 2004。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 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。
- 14) 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, 2007。
- 15) 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。
- 16) 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。
- 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。

(2008. 9. 30受付)