

# 1次元河道ネットワークモデルを用いた 分布型流出・洪水流解析と彦山川流域への適用

重枝 未玲<sup>1</sup>・秋山 壽一郎<sup>2</sup>・Adelaida Castillo DURAN<sup>3</sup>・  
中木 翔也<sup>4</sup>・西山 晋平<sup>4</sup>・勝原亮介<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 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

(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

E-mail: mirei@civil.kyutech.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 九州工業大学教授 (同上)

E-mail: akiyama@civil.kyutech.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻博士後期課程 (同上)

E-mail: o595301d@mail.kyutech.jp

<sup>4</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻博士前期課程 (同上)

E-mail: q345315s@mail.kyutech.jp, m105055s@mail.kyutech.jp

<sup>5</sup>学生会員 九州工業大学 工学部建設社会工学科 (同上)

E-mail: o105020r@mail.kyutech.jp

本研究は、1次元洪水流モデルと分合流部の取り扱いを組み込んだ「1次元河道ネットワークモデル」と、同モデルと分布型流出解析モデルとを組み合わせた「分布型流出・1次元河道ネットワークモデル」を新たに構築するとともに、彦山川を対象に雨量を入力条件とした分布型流出・洪水流解析を実施し、同モデルの水位・流量ハイドログラフの再現性を検討したものである。本研究から、(1)「分布型流出・1次元河道ネットワークモデル」は、複数の支川が合流する河川での水位・流量ハイドログラフ、痕跡水位を十分な精度で予測できること、(2) その精度は平面2次元解析と同程度であること、(3) その計算効率は平面2次元解析の1,500倍程度、準平面2次元解析の3倍程度であること、などが確認された。

**Key Words:** *distributed rainfall-runoff model, One-dimensional river network model, flood flow, plural tributaries, flux-difference splitting, Hikosan river*

## 1. はじめに

近年、わが国では局所的な集中豪雨による水害が頻発している。平成29年7月九州北部豪雨では、福岡県朝倉市を中心とした豪雨により、筑後川の支川である桂川、赤谷川などの中小河川で甚大な被害が生じた<sup>1)</sup>。

このような河川では、洪水到達時間が短く、降雨量が水害リスクを判断する情報となり、雨の降り方と水害リスクとを関係付けることが重要である。そのためには、複数の豪雨シナリオに対して、流域に降った雨水が、流域特性や河道特性の影響を受けながら、洪水として河道を伝播するプロセスを的確に予測し、雨の降り方と河道の水位や氾濫の発生する可能性の高い区間などの災害リスク情報との関係を事前に把握することが重要となる。

降雨から河道の洪水流を再現するには、降雨を入力条件として、流域から河道への流出流量を予測する流出解析と河道の洪水追跡を行う洪水流解析が用いられる<sup>2)</sup>。流出解析では、分布型流出解析を対象に、LM(Levenberg-

Marquardt)法<sup>3)</sup>や群知能最適化手法<sup>4)</sup>等の土地利用に応じたパラメータの最適化法が開発されている。洪水流解析では、水面形の経時変化に基づき、樹木群透過係数や粗度係数のパラメータを適切に設定し、洪水の再現を行う数値モデル<sup>5)</sup>や降雨を入力条件として流量や粗度係数を補正し洪水の予測を行う数値モデル<sup>6)</sup>が構築されている。著者らは、遺伝的アルゴリズムや粒子群最適化法を用いた分布型流出解析のパラメータ最適化法<sup>7)</sup>を提案し、その有用性を示すと同時に、水面形の経時変化を与条件とした流量・粗度係数の時空間変化の同時推定法<sup>8)</sup>を提案し、実験水路<sup>8)</sup>や実河道<sup>9)</sup>の粗度係数の推定が可能であることを示した。現状の最適化は、各降雨イベントに対するものであるが、流域に関する最適パラメータと河道の粗度係数が流域特性や河道特性とを結びつけることができれば、降雨に対する河道内水位の応答の信頼性が高くなり、未経験の洪水に対しても信頼性の高い予測に繋がると考えられる。

本研究では、以上の背景を踏まえ、降雨から河道内水

位の再現にとどまらず予測が可能な解析法の開発を最終的な目的としている。ここでは、その第一段階として、著者らの開発した流量・粗度係数の時空間変化の同時推定法<sup>89)</sup>と同様な数値解析手法に基づく1次元洪水流モデルに、分合流部の取り扱いを組み込んだ1次元河道ネットワークモデルを新たに構築し、彦山川流域を対象に、同モデルを用いた分布型流出・洪水流解析の再現性を検討した。さらに、著者らが開発した準平面2次元モデル<sup>7)</sup>と平面2次元モデル<sup>11)</sup>との予測精度の比較を行った。

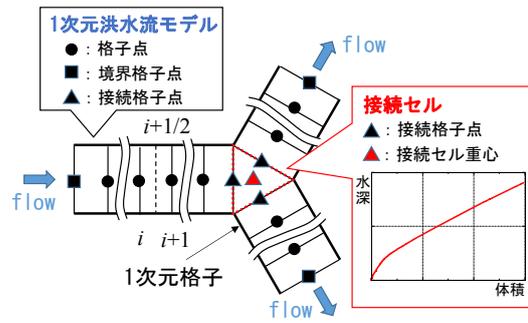


図-1 1次元河道ネットワークモデルの概要

## 2. 1次元河道ネットワークモデルを用いた分布型流出・洪水流解析の概要

### (1) 1次元河道ネットワークモデルを用いた分布型流出・洪水流解析モデルの概要

1次元河道ネットワークモデルを用いた分布型流出・洪水流解析モデルは、降雨を入力条件として河道での水位ハイドログラフ等を予測するモデルである。同モデルは、①セル分布型流出解析モデル<sup>12)</sup>と②1次元河道ネットワークモデルで構成され、①では標高や土地利用などの流域特性を考慮し流域の雨水の挙動の予測を、②では河道幅変化などの河道特性を考慮し洪水追跡を行う。両モデルは、①より求まる河道への流出流量を②の境界あるいは内部境界条件として与えることで接続される。

### (2) セル分布型流出解析モデルの概要

セル分布型流出解析モデル<sup>12)</sup>では、1次元河道ネットワークモデルで対象とする洪水流を除き、斜面流と河道の洪水流の挙動解析をkinematic wave法で行う。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、 $\beta$ =重力水部と不飽和水部との飽和透水係数の比である。

### (3) 1次元河道ネットワークモデルの概要

1次元河道ネットワークモデルは、図-1に示すように、1次元洪水流モデルと接続セルで構成される。1次元洪水流モデルで各河道の洪水流解析を実施し、接続セルで各洪水流モデルに接続条件を与え、河道網の洪水流解析を行う。以下ではその概要について述べる。

#### a) 1次元洪水流モデルの基礎方程式

1次元洪水流モデルの基礎方程式は、式(1)の任意の水路形状に適用可能な1次元浅水流方程式<sup>13)</sup>である。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + dE/dx = S \quad (1)$$

$$U = (A \ Q)^T; E = (Q \ Q^2/A + gI_1)^T;$$

ここに、 $t$ : 時間、 $x$ : 流下方向、 $U$ : 保存量ベクトル、 $E$ : 流束ベクトル、 $S$ : 発生項・消滅項ベクトル、 $A$ : 流積、 $Q$ : 流量、 $g$ : 重力加速度、 $S_0$ : 河床勾配、 $S_f$ : 摩擦勾配、 $I_1$ : 静水圧項、 $I_2$ : 河道幅の変化による静水圧項である。流束ベクトル $E$ は、独立変数 $x$ 、 $U$ の関数であるので、式(1)の空間微分は全微分 $d/dx$ で表している。

水路床勾配 $S_0$ と摩擦勾配 $S_f$ は、式(2)で計算される。

$$S_0 = -\partial z_b / \partial x; S_f = n^2 u |u| / R^{4/3} \quad (2)$$

ここに、 $h$ : 水深、 $z_b$ : 河床高、 $\eta$ : 底面からの位置、 $\alpha(x, \eta)$ :  $\eta$ での河道幅、 $n$ : マニングの粗度係数、 $u$ : 流速(= $Q/A$ )、 $R$ : 径深である。

式(1)中の $I_1$ や $I_2$ は、水深方向への積分が必要となり解析手法が複雑となるため、この項を消去するように、式(1)中の $I_1$ を含む項を、式(3)のように変形する<sup>8)</sup>。

$$dI_1/dx = I_2 + A \cdot \partial h / \partial x + A/B \cdot \partial A / \partial x = I_2 + A \cdot dh/dx \quad (3)$$

式(3)から、式(1)の運動方程式は式(4)のように表される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + c^2 \frac{dA}{dx} = gA \left( S_0 - S_f - \frac{dh}{dx} + \frac{1}{B} \frac{dA}{dx} \right) \quad (4)$$

ここに、 $B$ : 水面幅、 $c$ : 波速(= $gAB$ )<sup>0.5</sup>)である。

以上から、式(1)の基礎方程式は、式(5)のように表すことができ、以下ではこの方程式を離散化する。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + J \cdot dU/dx = H \quad (5)$$

$$U = (A \ Q)^T; H = (0 \ gA(S_0 - S_f - dh/dx + 1/B \cdot dA/dx))^T$$

ここに、 $J$ は式(6)で表される流束ヤコビアンであり、対角化可能であることから、固有値 $\Lambda$ 、右固有行列 $R$ 、左固有行列 $R^1$ を得ることができる。

$$J = \partial E / \partial U = R \Lambda R^{-1} \quad (6)$$

#### b) 離散化の概要

基礎方程式の離散化には、流束差分法<sup>14)</sup>を用いた。発生・消滅ベクトルについても特性速度で風上化を行った<sup>15)</sup>。式(7)に式(5)の離散化式を示す。各諸量は図-1に示す格子点で定義した。

$$U_i^{t+\Delta t} = U_i^t - \Delta t / \Delta x \left[ \delta E_{i+1/2}^- + \delta E_{i-1/2}^+ \right] \quad (7)$$

$$\delta E_{i+1/2}^\pm = \sum_{j=1}^2 \left[ \left( \frac{1 \pm \text{sgn}(\tilde{\lambda}^j)}{2} \right) (\tilde{\lambda}^j \tilde{\alpha}^j - \tilde{\beta}^j) \pm \tilde{\nu}^j \tilde{\alpha}^j \right] \tilde{e}^j$$

$$\tilde{\lambda}^1 = \tilde{u} - \tilde{c}; \tilde{\lambda}^2 = \tilde{u} + \tilde{c}; \tilde{e}^1 = (1, \tilde{\lambda}^1)^T; \tilde{e}^2 = (1, \tilde{\lambda}^2)^T;$$

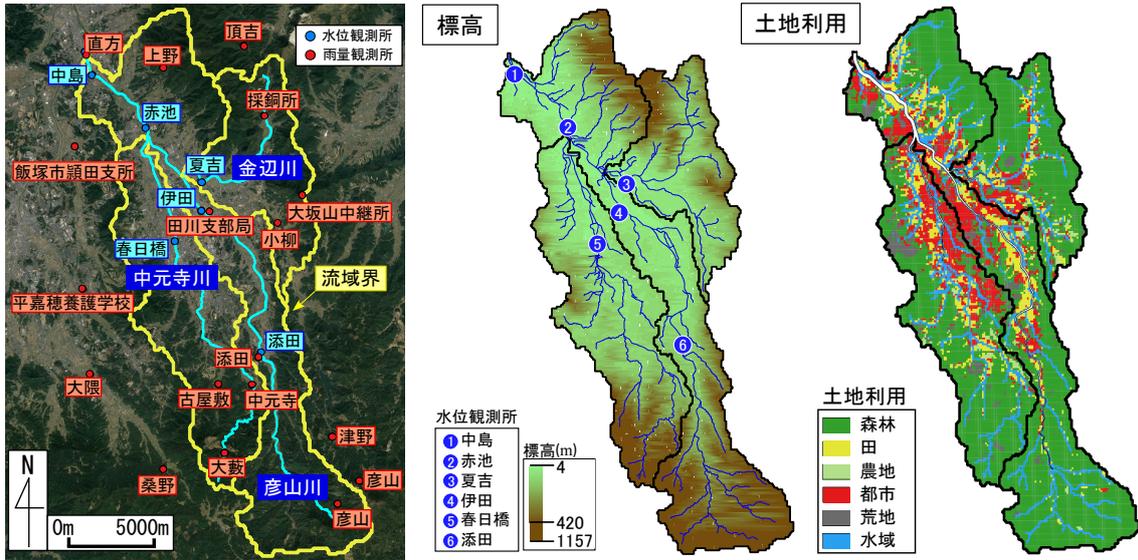


図-2 彦山川流域の概要

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha}^1 &= (\tilde{\lambda}^2 \Delta A - \Delta Q) / 2\tilde{c}; & \tilde{\alpha}^2 &= -(\tilde{\lambda}^1 \Delta A - \Delta Q) / 2\tilde{c}; \\ \tilde{\beta}^1 &= -\tilde{S}_2 / 2\tilde{c}; & \tilde{\beta}^2 &= -\beta^1; \\ \Delta A_{i+1/2} &= A_{i+1} - A_i; & \Delta Q_{i+1/2} &= Q_{i+1} - Q_i; \\ \tilde{u} &= (u_{i+1} \sqrt{A_{i+1}} + u_i \sqrt{A_i}) / (\sqrt{A_{i+1}} + \sqrt{A_i}); & \tilde{c} &= \sqrt{g(A_{i+1} + A_i) / (B_{i+1} + B_i)} \end{aligned}$$

ここに、 $\Delta t$ 、 $\Delta x$ は時間、空間の刻幅、 $i$ は空間に対する添字である。 $\tilde{v}^j$ は、エントロピー補正であり、次式で表される。

$$\tilde{v}_{i+1/2}^j = \begin{cases} |\lambda_{i+1}^j - \lambda_i^j| / 4 & \text{if } \lambda_{i+1}^j \lambda_i^j < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

式(7)中の発生消滅項 $\tilde{S}_2$ は、河道形状に関する項 $\tilde{S}_g$ と底面摩擦項 $\tilde{S}_\tau$ とに分け、式(8)のように取り扱う。

$$\begin{aligned} \tilde{S}_2 &= \tilde{S}_g - \tilde{S}_\tau; \\ \tilde{S}_\tau &= g\tilde{A} \cdot n^2 \tilde{Q} |\tilde{Q}| / \tilde{\lambda}^2 \tilde{R}^{4/3} \Delta x; \\ \tilde{S}_g &= -g\tilde{A} \Delta z_b - g\tilde{A} \Delta h + \tilde{c}^2 \Delta A \end{aligned} \quad (8)$$

### c) 境界条件

式(5)のヤコビアン  $J$  を近似ヤコビアン  $\tilde{J}$  とし、式(9)のような式変形を行うと、最終的に式(10)と(11)が得られる。近似ヤコビアン  $\tilde{J}$  は、 $\Delta t$ 、 $\Delta x$  間で一定と仮定する。

$$\begin{aligned} \partial U / \partial t + \tilde{J} \cdot dU / dx &= H \\ \tilde{R}^{-1} \partial U / \partial t + \tilde{R}^{-1} \tilde{R} \tilde{\Lambda} \tilde{R}^{-1} \cdot dU / dx &= \tilde{R}^{-1} H \\ \partial \tilde{R}^{-1} U / \partial t + \tilde{\Lambda} \cdot d\tilde{R}^{-1} U / dx &= \tilde{R}^{-1} H \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ Q / 2\tilde{c} - (1 + \tilde{u} / \tilde{c}) A / 2 \right\} + (\tilde{u} - \tilde{c}) \frac{\partial}{\partial x} \left\{ Q / 2\tilde{c} - (1 + \tilde{u} / \tilde{c}) A / 2 \right\} \quad (10)$$

$$= g\tilde{A} (S_0 - S_f - dh/dx + 1/\tilde{B} \cdot dA/dx) / 2\tilde{c}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ Q / 2\tilde{c} + (1 - \tilde{u} / \tilde{c}) A / 2 \right\} + (\tilde{u} + \tilde{c}) \frac{\partial}{\partial x} \left\{ Q / 2\tilde{c} + (1 - \tilde{u} / \tilde{c}) A / 2 \right\} \quad (11)$$

$$= g\tilde{A} (S_0 - S_f - dh/dx + 1/\tilde{B} \cdot dA/dx) / 2\tilde{c}$$

式(10)は、特性速度  $u+c$  に沿って左辺第1項の  $\{ \}$  内の  $Q/2c + (1+u/c)A/2$  が、式(11)は、 $u+c$  に沿って左辺第1項の  $\{ \}$  内の  $Q/2c + (1-u/c)A/2$  が、それぞれ上流あるいは下流へ伝播することを表している。

流れの状態が常流の場合には、境界条件に流積  $A$  (あるいは水位  $W_L$ ) と流量  $Q$  のいずれかを与え、上流端では式(10)より、下流端では式(11)より残りの諸量を求める。

射流の場合には、上流端境界条件に流積  $A$  (あるいは水位  $W_L$ ) と流量  $Q$  の両方を与え、下流端では上流の諸量のみで、境界の諸量は計算されるので、境界条件は特に与えない。

### d) 接続条件

河道分合流部には接続セルを設け、接続セルで各河道の解析結果を接続する。その接続条件は、質量保存のみを考慮し、式(12)のように与えた。接続セルでの流れの状態は常流とし、図-1 に示すように、接続セルの体積  $V$  と水深  $h$  との関係をあらかじめ設定しておく。

$$V_i^{t+\Delta t} = V_i^t - \Delta t \sum_{k=1}^{N_e} (Q \cdot n_{1D})_k \quad (12)$$

ここに、 $V_i$ : 水の体積、 $k$ : セル  $i$  を構成するセル境界線に対する添字、 $N_e$ : セル境界線の総数、 $n_{1D}$ : 1次元の場合の分合流部を構成するセルの境界線の外向き法線ベクトル(流入の場合:-1, 流出の場合:1), である。

まず、式(12)に基づき、接続セルの体積を求める。次に、式(12)より求めた新しい時間ステップの接続セル内の水の体積  $V^{t+\Delta t}$  から、接続セルの水位  $W_L$  を求め、この水位から、1次元洪水流モデルと接続セルの境界での水深  $h^{t+\Delta t} (=W_L - z_b)$  を求める。

最後に、この水深から河道境界での流積  $A^{t+\Delta t}$  を求め、「c) 境界条件」で示した境界条件式で流量  $Q^{t+\Delta t}$  を求め、河道の境界条件として与える。

## 3. 彦山川流域への適用

平成 24 年の九州北部豪雨で被災した彦山川を対象に 1 次元河道ネットワークモデルを用いた分布型流出・洪

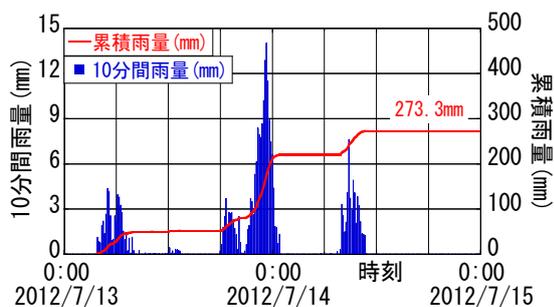


図-3 流域平均降雨ハイトグラフ

水流解析を行い、その再現精度の検証と準平面 2 次元モデル<sup>7)</sup>、平面 2 次元モデル<sup>10)</sup>で得られた既存の解析結果との比較を行った。本モデルでは式(8)で河道形状の縦断変化が、準平面 2 次元モデルでは一つの計算メッシュを、平面 2 次元モデルでは複数の計算メッシュを河道線形に沿って配置することで、河道形状の縦断変化および河道平面形状が考慮される。ただし、準平面 2 次元モデルは一つの計算メッシュで川幅の縦断変化を考慮するため、水深方向による川幅の変化を考慮できない。

### (1) 解析対象領域について

彦山川は、一級河川遠賀川の一次支川である。その流域面積は 327.6km<sup>2</sup>、幹線流路延長は 43.8km であり、支川の中元寺川や金辺川が合流する。彦山川流域の概要、雨量・水位観測所、土地利用、標高を図-2 に示す。

### (2) 解析条件

解析対象区間は、彦山川、中元寺川、金辺川であり、解析は 2012 年 7 月 13 日 9時から 15 日 0時の出水を対象とした。降雨外力には、ダイナミックウィンドウ法<sup>16)</sup>に基づき、地上雨量観測所の実績降雨量と気象庁全国合成レーダ GPV<sup>17)</sup>とを合成した合成雨量を用いた。図-3 に流域平均降雨ハイトグラフを示す。流出解析より得られた流量を河道の上流端あるいは内部境界条件として与えた。下流端条件には、中島水位観測所の実測水位を与えた。側岸は壁立とした。河道の粗度係数には、彦山川は同出水の痕跡水位より求められた逆算粗度係数を用い、支川の中元寺川と金辺川は計画粗度係数を用いた。なお、彦山川では 35 の堰があるが、参考文献<sup>9)</sup>の手法で得られた堰周辺の逆算粗度係数値を用いることで簡易的に取り扱った。河道の計算格子間隔は 50m とした。

パラメータの最適化は、2012 年 7 月 14 日 0時から 14 日 14 時までの添田水位観測所、春日橋水位観測所、夏吉水位観測所の水位ハイドログラフに基づき行った。最適化の対象にしたパラメータは各流域の森林の  $N$ 、 $\beta$ 、 $k_a$ 、 $d_s$ 、 $d_c$  と水域の  $N$  とした。他の土地利用の  $N$  は標準的な値<sup>18)</sup>を用いた。表-1 に、最適化に用いたパラメータ範囲を、表-2 に解析に用いた最適パラメータを示す。なお、河道の粗度係数についての最適化は実施していな

表-1 最適化に用いたパラメータ範囲

	$N(m^{-1/3}\cdot s)$	$d_s(m)$	$d_c(m)$	$k_a(m/s)$	$\beta$
森林	0.40~0.80	0.0~3.0	0.0~3.0	$10^{-7}$ ~0.10	2.0~6.0
水域	0.01~0.055				

表-2 最適パラメータ

	森林					水域
	$N(m^{-1/3}\cdot s)$	$d_s(m)$	$d_c(m)$	$k_a(m/s)$	$\beta$	$N(m^{-1/3}\cdot s)$
彦山川	0.71	0.28	0.211	0.0419	2.33	0.022
中元寺川	0.76	0.29	0.23	0.0247	2.55	0.012
金辺川	0.50	0.11	0.011	0.090	3.55	0.013

い。最適化は、平面 2 次元解析との比較を踏まえ、参考文献<sup>19)</sup>の手法で実施した。これは、準平面 2 次元解析の最適化法<sup>7)</sup>の第一世代と対応している。

### (3) 解析結果と考察

図-4 は、彦山川沿いの赤池、添田観測所、中元寺川沿いの春日橋観測所、金辺川沿いの夏吉観測所における水位・流量ハイドログラフの解析結果と実測値との比較を、図-5 は、赤池水位観測所と添田水位観測所周辺の彦山川における解析最大水位と痕跡水位との比較を行ったものである。図中には、本解析結果に加え、平面 2 次元解析<sup>10)</sup>と準平面 2 次元解析<sup>7)</sup>の結果を示している。

図-4 から、本解析結果は、(1) いずれの観測所においても二山や三山の波形を持つ複雑な水位・流量ハイドログラフを再現できること、(2) 中元寺川沿いの春日橋観測所ではピーク水位・流量を低く評価しており、予測精度が最も低く、その相対誤差は最大で 13%程度であること、(3) 金辺川沿いの夏吉観測所では、ピーク水位・流量のいずれも最大で相対誤差 8%程度の精度で再現していること、(4) 彦山川沿いの添田観測所では、ピーク水位・流量のいずれも最大で 2.3%程度の誤差で再現していること、(5) 赤池観測所では、支川の中元寺川からの流量を過小に評価したため、ピーク水位・流量ともに小さく評価し、最大で 9%程度の誤差であること、などが確認できる。図-5 から、本解析結果は、(1) 添田水位観測所の周辺の 23~27km では、全区間の痕跡水位を相対誤差 8%の精度で再現していること、(2) 赤池水位観測所の周辺の 5km~11km では、中元寺川と金辺川の合流点である 7.2km、10.6km 地点では、痕跡水位をそれぞれ 1.5%、7.1%の精度で再現しており、本解析の合流部の取り扱いが妥当であること、などが確認できる。

本解析と平面 2 次元解析、準平面 2 次元解析を比較すると、水位・流量ハイドログラフの比較、解析最大水位と痕跡水位との比較のいずれについても、準平面 2 次元解析結果の予測精度が最も低く、本解析と平面 2 次元解析結果は同程度の精度であった。これは、本研究で対象とした彦山川は急流河川であり、河道の平面的な形状に比べ、河道幅や河床位の縦断変化が流れに及ぼす影響が大きく、本解析法はそれらが流れに及ぼす影響を的確に

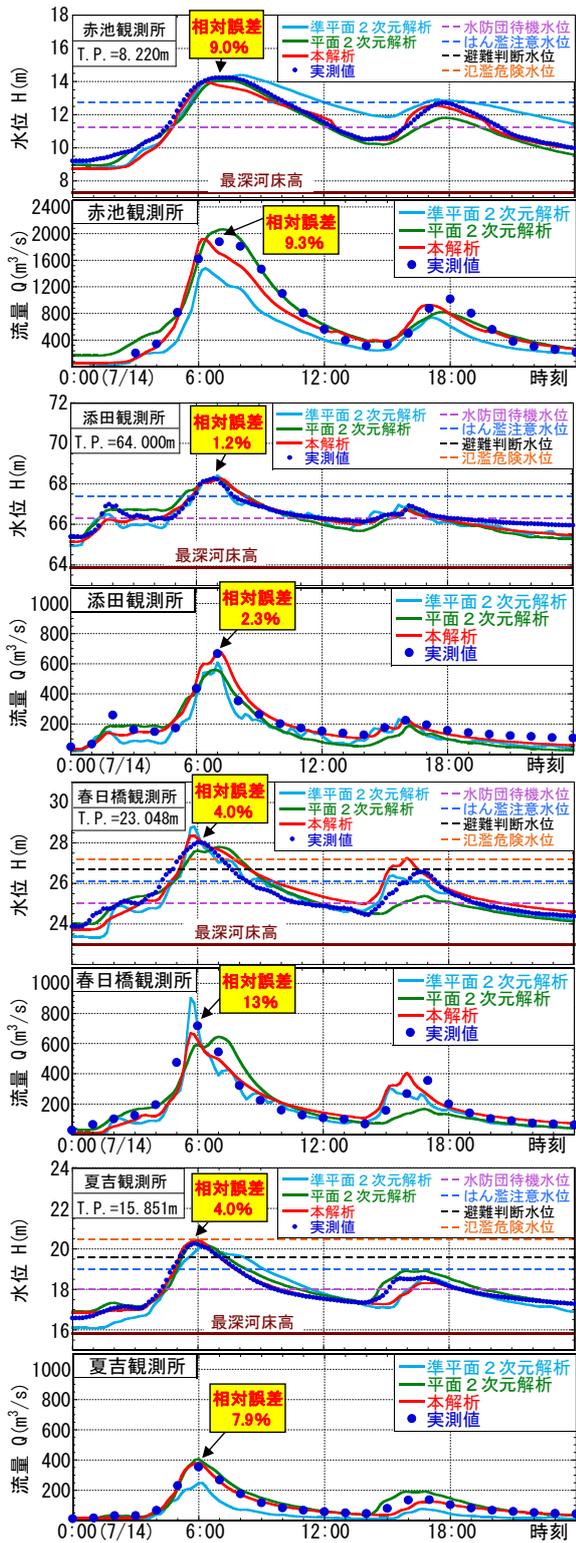


図4 水位・流量ハイドログラフの解析結果と実測値との比較

捉えているためと考えられる。一方で、準平面2次元解析では河道幅の縦断変化がメッシュで規定されるため、水深の違いによる河道幅変化を捉えることができないため、1次元解析に比べて再現性が低くなったと考えられる。なお、複断面河道等や樹木群が存在し平面2次元流の影響が強くなるような河道への適用性については、本解析の準2次元化を含め今後検討したいと考えている。また、本解析法の計算効率、準平面2次元解析

の3倍程度、平面2次元解析の1,500倍程度であった。

このように、本解析法は、本川だけでなく、支川の水位・流量を十分な精度で再現でき、その計算効率も高いことが確認された。

#### 4. おわりに

本研究では、著者らの開発した推定法と同じフレームワークの1次元洪水流モデルに、分合流部の取り扱いを組み込んだ1次元河道ネットワークモデルを新たに構築するとともに、同モデルと分布型流出解析モデルとを組み合わせた、分布型流出・洪水流解析モデルを構築し、その再現性を検討した。その結果、(1) 本解析法の再現精度は平面2次元解析と同程度であり、(2) 計算効率は準平面2次元解析の3倍程度、平面2次元解析の1,500倍程度であること、などが確認された。

今後は、複数の出水イベントや他の流域に対して本モデルを適用し、降雨から複数の支川を持つ河川での水位ハイドログラフの再現性を検討したいと考えている。

謝辞：本研究を実施するに当たり、遠賀川河川事務所の関係者各位にはデータの提供など多大な協力を得た。本研究では、科学研究費基盤研究(C)(課題番号：16K06515, 研究代表者：重枝未玲)の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省 九州地方整備局：平成29年7月九州北部豪雨災害に関する情報，[http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai\\_joho/H29hokubugouu.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/H29hokubugouu.html)，2017。
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防基準 調査編，2014。
- 3) 小林健一郎，寶 馨，立川康人：最適手法による分布型降雨流出モデルのパラメータ推定，水工学論文集，第51巻，pp.409-414，2007。
- 4) 小槻峻司，田中賢治，小尻利治，浜口俊雄：群知能最適化手法を用いた分布型流出モデルのパラメータ同定，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68，No.4，I\_523-I\_528，2012。
- 5) 福岡捷二，佐藤宏明，藤澤寛，大沼史佳：洪水流と河道の樹木繁茂形態に基づく樹木透過係数と粗度係数の算定法，水工学論文集，第51巻，pp.607-612，2007。
- 6) 立川康人，須藤純一，椎葉亮晴，萬和明，キムスミン：粒子フィルタを用いた河川水位の実時間予測手法の開発，水工学論文集，第55巻，pp.S511-S516，2011。
- 7) 重枝未玲，秋山壽一郎，Adelaida Castillo DURAN，中木翔也，藤田輝：レーダ雨量を外力とした本・支川複数流域

の分布型流出・洪水追跡と各流域パラメータの推定, 河川技術論文集, 第23巻, pp.19-24, 2017.

- 8) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 阿部琢哉, 田口英司: 漸拡長方形断面水路での上下流端水位に基づく水位・流量の予測と水面形に基づく流量・粗度係数の推定, 土木学会論文集, 土木学会論文集(水工学), Vol.73, No.4, I\_643-I\_648, 2017.
- 9) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 阿部琢哉, 田口英司, 武久晋太郎, 西山晋平: 洪水痕跡によるピーク水位時の流量と粗度係数の推定, 河川技術論文集, 第23巻, pp.73-78, 2017.
- 10) 重枝未玲, 秋山壽一郎, Adelaida Castillo DURAN, 中木翔也, 大久保剛貴: 河道特性を考慮した高計算効率な洪水流数值モデルの構築と彦山川への適用, 河川技術論文集, 第22巻, p.127-132, 2016.
- 11) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 大久保剛貴, 中木翔也: 河川横断構造物の簡易的な取り扱いを組み込んだ平面2次元洪水流モデルの構築, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, No.4, I\_1423-I\_1428, 2017.
- 12) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 草野浩之, 野村心平: 高解像度風上解法を用いた遠賀川流域の分布型流出・平面2次元洪水追跡と改修効果の評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.68, No.4, I\_1429-I\_1434, 2012.
- 13) Burguette, J. and Garcia-Navarro, P.: Efficient construction of high-resolution TVD conservative schemes for equations with source terms: application to shallow water flows, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol.37, pp.209-248, 2001.
- 14) Roe, P. L.: Approximate Riemann solvers, parameter vectors and difference schemes, *Journal of Computational Physics*, Vol.43, pp.357-372, 1981.
- 15) Bermudez, A. and Vazquez, M.: Upwind methods for hyperbolic conservation laws with source terms, *Computers & Fluids*, Vol.8, No.8, pp.1049-1071, 1994.
- 16) 山口高志, 北川明, 小野寺直, 高水克哉, 幸弘美: レーダ雨量計の精度向上について, 河川情報研究, No.1,

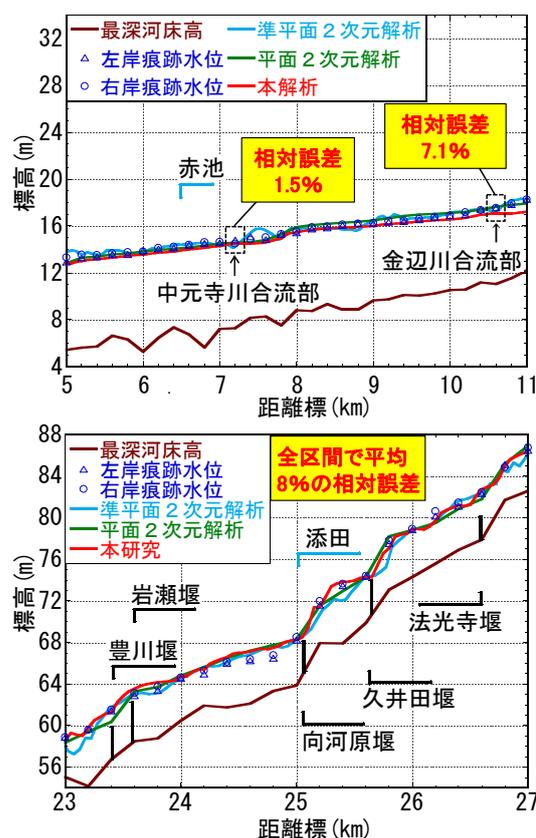


図-5 解析最大水位と痕跡水位との比較

- pp.91-104, 1993.
- 17) 気象庁: 配信資料に関する技術情報(気象編)第162号, 気象庁観測部, 2004.
- 18) 国土技術研究センター: 中小河川計画の手引き(案), p.180, 1994.
- 19) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 大久保剛貴, 中木翔也, 松本拓磨: レーダ雨量を外力とした山国川流域の分布型流出・洪水氾濫解析と洪水・氾濫プロセスの検討~平成24年7月豪雨を対象にして~, 河川技術論文集, 第22巻, pp.13-18, 2016.

(2017. 9. 29 受付)

## DISTRIBUTED RAINFALL-RUNOFF AND FLOOD FLOWS ANALYSIS USING ONE-DIMENSIONAL RIVER NETWORK MODEL IN THE HIKOSAN RIVER BASIN

Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA, Adelaida Castillo DURAN, Syouya NAKAKI, Shinpei NISHIYAMA and Ryousuke KATSUHARA

A distributed rainfall-runoff and flood flow simulation using one-dimensional river network model in the Hikosan river basin was performed. The one-dimensional river network model consists of one-dimensional unsteady flow model and connecting cells, which give a boundary condition for each river. The simulation results was verified against flood event in the Hikosan river basin. It showed that the proposed model could reproduce the behavior of flood flows in the Hikosan River with reasonable accuracy. The simulation results was also compared with numerical results by quasi-2D or 2D flood flow model. It showed that proposed model has equivalent the accuracy of 2D flood flow model and higher computational efficiency than quasi-2D or 2D flood flow model.