

平成29年7月九州北部豪雨時の 筑後川右岸流域を対象にした 分布型流出・1次元河道網洪水流解析

DISTRIBUTED RAINFALL-RUNOFF AND FLOOD FLOWS ANALYSIS IN THE
CHIKUGO RIVER BASIN DUE TO KYUSHU-HOKUBU HEAVY RAIN IN 2017

重枝未玲¹・秋山壽一郎²・中木翔也³・勝原亮介⁴・大久保剛貴⁵
Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA, Syoya NAKAKI,
Ryosuke KATSUHARA and Kouta OKUBO

¹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)

²フェロー会員 九州工業大学名誉教授 (同上)

³正会員 建設技術研究所大阪本社 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7)

⁴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
(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

⁵正会員 国土交通省中国地方整備局松江国道事務所 (〒690-0017 島根県松江西市西津田2丁目6-28)

A distributed rainfall-runoff and flood flow simulation using one-dimensional river network model in the right bank basin in Chikugo river midstream due to Kyushu-hokubu heavy rain in 2017 was performed. The one-dimensional river network model consists of one-dimensional unsteady flow model with simple treatment of a river structure and connecting cells, which give a boundary condition for each river. The simulation results were verified against flood event in the Chikugo river basin. It showed that the proposed model could reproduce the behavior of flood flows in the Chikugo River with reasonable accuracy. The discharge and water-level hydrograph in plural tributaries were also examined. It showed that simulated results were matched with survey result and resident's testimony.

Key Words : *distributed rainfall-runoff model, One-dimensional river network model, radar rainfall, Chikugo river basin, Kyushu-hokubu heavy rain in 2017*

1. はじめに

近年、わが国では過去に経験のないような豪雨災害が頻発している。平成29年7月九州北部豪雨では、福岡県朝倉市、大分県日田市を中心に、局所的に猛烈な雨が継続し、筑後川中流の右岸流域(以下、筑後川右岸流域)で甚大な被害が生じた¹⁾。

本豪雨災害の特徴は、同時多発的な斜面崩壊、土石流、泥流、流木の発生、これらを伴った出水に加え、被災した河川の多くが、水位等の水文観測が実施されていない中小河川であった点にある。

今次災害の調査報告については、筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書¹⁾をはじめ、数多くの報告²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾がなされている。これらの報告では、合理

式¹⁾による推定ピーク流量、タンクモデル⁴⁾や降雨流出氾濫(RRI)モデル⁶⁾による推定流量ハイドログラフ³⁾⁴⁾が示されており、ピーク流量だけでも複数の値が存在²⁾する。このように、本豪雨で被災した河川は、水文観測に関する実績データが少ないために、被災状況の把握や数値解析に基づく被災プロセスの検討に必要な情報が不足しているのが実情である。

一方で、筑後川の支川の花月川では、限られた水位観測に基づき、流出解析パラメータを推定し、降雨から洪水予測を行う試みもなされている⁷⁾。著者らも、水位観測結果に基づき流出解析パラメータを推定し、そのパラメータを用いることで、降雨から河道内の水位変化を再現できることを示している⁷⁾⁸⁾。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、著者らが開発した1次元河道ネットワークモデル⁷⁾に改良を加え、堰や

橋梁などの河川構造物の取り扱いを新たに組み込み、レーダ雨量を外力として、同モデルを用いた分布型流出・1次元河道網洪水流解析⁷⁾を、平成29年7月九州北部豪雨時の筑後川右岸流域を対象に実施し、筑後川本川の水位ハイドログラフに基づきモデルパラメータの最適化および再現性を検証するとともに、中小河川の氾濫プロセス等に不可欠な流量ハイドログラフや支川下流端水位ハイドログラフの把握を行ったものである。

2. 筑後川右岸流域と平成29年7月九州北部豪雨災害の概要

(1) 筑後川右岸流域の概要

筑後川は、一級水系筑後川水系の本流であり、その流域面積は2,860km²、幹線流路延長は143kmである。筑後川右岸流域は、筑後川中流の距離標41km~66km区間の右岸に位置する。図-1に、筑後川右岸流域と支川流域、雨量観測所、水位観測所を示す。同流域の流域面積は513.0km²であり、その土地利用は、山地が約74.2%、農地が約19.2%、市街地が約5.4%、水域が約1.2%を占めている。同流域には、本川の筑後川に加え、支川の小石原川、佐田川、桂川、奈良ヶ谷川、北川、寒水川、白木谷川、赤谷川、大肥川、花月川が貫流している。各支川の流域面積、土地利用は表-1に示す通りである。

(2) 平成29年7月九州北部豪雨災害の概要

図-2に、平成29年7月九州北部豪雨時の同流域での3時間および48時間雨量、流域平均雨量を示す。雨量には、国土交通省が運用・管理するXRAIN⁹⁾を、流域内の雨量観測所の実績降雨に基づきダイナミックウィンドウ法¹⁰⁾で補正したレーダ雨量を用いた。ダイナミックウィンドウ法は地上雨量とその地上雨量の観測地点に重なるセルのレーダ雨量との比を計算し、このレーダと地上雨量との比を重み付きで内挿した後、各セルのレーダ雨量に掛け合わせることで、レーダ雨量を補正する方法である。また、レーダ雨量の各セルに対して、最も隣接しているアメダス雨量観測所の月別歴代1位の10分間雨量に+5mmしたものを雨量限界値とし、補正值がこの雨量限界値を超えた場合、雨量限界値に置き換える処理を行なった¹¹⁾。なお、この処理は、豪雨域背後でレーダ減衰が生じた領域で、全セル数(約10万個程度)の8%程度のセルで実施され、補正の有無による図-2の流域平均累加雨量の差は1割程度であった。図-2より、本豪雨は、朝倉、北小路、松末、鶴河内雨量観測所を中心とした豪雨であり、北小路、松末雨量観測所間では、3時間雨量で48時間雨量の半分程度の雨量となっており、局地的な短時間豪雨であったことが確認できる。

この豪雨により、筑後川の片ノ瀬水位観測所と花月川の花月水位観測所で既往最大水位を記録した¹⁾。桂川・花月川では、越水・溢水による外水と内水による広範囲



図-1 筑後川右岸流域の概要

表-1 各支川の流域面積と土地利用

	流域面積 (km ²)	都市 (%)	畑, 原野 (%)	水田 (%)	山地 (%)
小石原川	87.4	5.7	6.8	15.2	71.2
佐田川	72.7	5.1	9.5	9.8	75.7
桂川	45.40	8.7	19.4	35.4	36.2
奈良ヶ谷川	3.80	1.9	6.6	3.9	86.7
北川	7.00	0.9	9.0	1.4	88.7
寒水川	3.70	3.6	6.6	1.4	87.9
白木谷川	3.90	4.6	11.5	3.3	81.4
赤谷川	20.10	0.8	6.8	4.0	88.4
大肥川	77.60	1.0	10.1	2.7	86.2
花月川	130.20	2.7	9.9	2.6	84.5

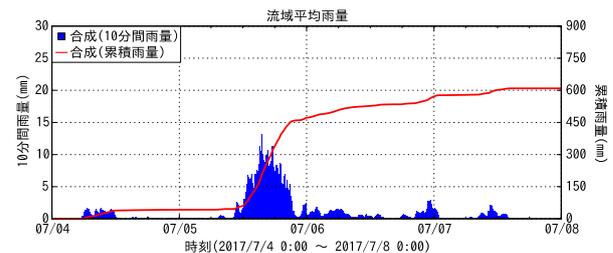
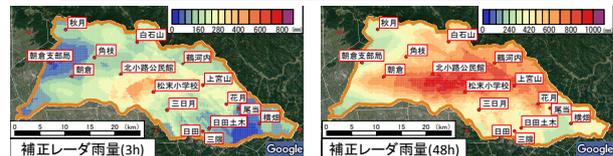


図-2 平成29年7月九州北部豪雨時の同流域での3、48時間雨量と流域平均雨量

な浸水被害が生じた¹⁾。佐田川上流域、桂川上流域、奈良ヶ谷川、北川、寒水川、白木谷川、赤谷川では、山腹崩壊や土石流が同時多発的に発生し、河道の流下能力を超えた洪水が、大量の土砂と流木とともに谷底平野を流下し、河道の埋塞、橋梁部の閉塞を引き起こすとともに氾濫することで家屋・人的被害を拡大させた¹⁾。大肥川では、流木が河道を閉塞することで、洪水氾濫が発生し、浸水被害が生じた¹⁾。この災害によって、福岡・大分の両県で、2017年12月21日時点で死者39名、行方不明者2名、浸水面積1,913ha、床上浸水1,195戸、床下浸水1,378戸、全壊家屋197戸、半壊家屋102戸の被害が生じた¹⁾。

3. 分布型流出・1次元河道網洪水流解析の概要

本研究では、平成29年7月九州北部豪雨で被災した桂川、赤谷川、花月川などが含まれる筑後川右岸流域を解析対象領域とし、レーダ雨量を外力とした分布型流出・1次元河道網洪水流解析を実施した。

(1) 分布型流出・1次元河道網洪水解析モデルの概要

分布型流出・1次元河道網洪水解析モデルは、降雨を入力条件として、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を予測する①セル分布型流出解析モデル¹²⁾と、河道幅変化などの河道特性を考慮した上で河道での流量・水位ハイドログラフを予測する②1次元河道ネットワークモデル⁷⁾で構成される。図-3に、分布型流出・1次元河道網洪水解析モデルの概要を示す。

a) 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¹²⁾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法で行うモデルである。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。

b) 河川構造物の簡易的な取り扱いを組み込んだ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⁷⁾は、図-3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、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モデルである。本研究では、参考文献⁷⁾のモデルをさらに発展させ、河川構造物の取り扱いを、以下のように組み込んでいる。

堰や橋などの河川構造物については、基礎方程式にエネルギー損失項を加えることで簡易的に取り扱った¹³⁾。これは、漸変流近似では運動量・エネルギー補正係数を1とすれば運動方程式とエネルギー保存式が一致することから可能な取り扱いである。1次元洪水流モデルの基礎方程式⁷⁾は、式(1)の任意の水路形状に適用可能な1次元浅水流方程式である。

$$\begin{aligned} \partial U / \partial t + dE / dx &= S \\ U &= (A \quad Q)^T; E = (Q \quad Q^2 / A + gI_1)^T; \\ S &= (0 \quad gI_2 + gA(S_0 - S_f - S_L))^T \end{aligned} \quad (1)$$

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、 S_L : エネルギー損失勾配、 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、 η : 底面からの位置、 $\alpha(x, \eta)$: η 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)を、 I_1 や I_2 を消去するように変形すると、式(3)の

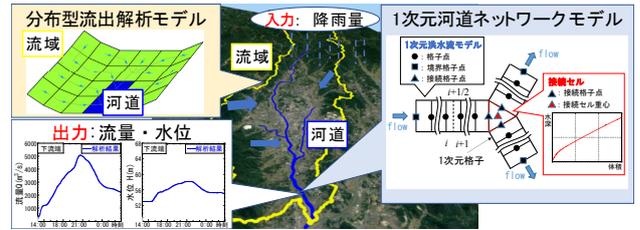


図-3 分布型流出・1次元河道網洪水解析モデルの概要
運動方程式が得られる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + c^2 \frac{dA}{dx} = gA \left(S_0 - S_f - S_L - \frac{dh}{dx} + \frac{1}{B} \frac{dA}{dx} \right) \quad (3)$$

ここに、 B : 水面幅、 c : 波速(=gA/B)^{0.5})である。

最終的には、式(1)の基礎方程式は、式(4)のように表すことができ、この方程式を離散化する。

$$\begin{aligned} \partial U / \partial t + J \cdot dU / dx &= H \\ U &= \left(A \quad Q \right)^T; H = \left(0 \quad gA \left(S_0 - S_f - S_L - dh/dx + 1/B \cdot dA/dx \right) \right)^T \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 J は式(5)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 λ 、右固有行列 R 、左固有行列 R^1 を得ることができる。

$$J = \partial E / \partial U = R \Lambda R^1 \quad (5)$$

基礎方程式の離散化には、流束差分法¹⁴⁾を用い、発生・消滅ベクトルについては特性速度で風上化を行った¹⁵⁾。式(6)に式(4)の離散化式を示す。

$$U_i^{t+\Delta t} = U_i^t - \Delta t / \Delta x \left[\delta E_{i+1/2}^- + \delta E_{i-1/2}^+ \right] \\ \delta E_{i+1/2}^\pm = \sum_{j=1}^2 \left[\left\{ \left(1 \pm \text{sgn}(\tilde{\lambda}^j) \right) / 2 \right\} \left(\tilde{\lambda}^j \tilde{\alpha}^j - \tilde{\beta}^j \right) \pm \tilde{\nu}^j \tilde{\alpha}^j \right] \tilde{e}^j \quad (6)$$

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

$$\tilde{\alpha}^1 = (\tilde{\lambda}^2 \Delta A - \Delta Q) / 2\tilde{c}; \tilde{\alpha}^2 = -(\tilde{\lambda}^1 \Delta A - \Delta Q) / 2\tilde{c};$$

$$\tilde{\beta}^1 = -\tilde{S}_2 / 2\tilde{c}; \tilde{\beta}^2 = -\beta^1;$$

$$\Delta A_{i+1/2} = A_{i+1} - A_i; \Delta Q_{i+1/2} = Q_{i+1} - Q_i;$$

$$\tilde{u} = (u_{i+1} \sqrt{A_{i+1}} + u_i \sqrt{A_i}) / (\sqrt{A_{i+1}} + \sqrt{A_i}); \tilde{c} = \sqrt{g(A_{i+1} + A_i) / (B_{i+1} + B_i)}$$

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

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

式(6)中の発生消滅項 \tilde{S}_2 は、河道形状に関する項 \tilde{S}_g と底面摩擦項とエネルギー損失項を含む \tilde{S}_τ とに分け、式(7)のように取り扱う。

$$\tilde{S}_2 = \tilde{S}_g - \tilde{S}_\tau; \tilde{S}_\tau = \min \left(\left| \tilde{S}_f \Delta x + \tilde{S}_L \Delta x \right|, \frac{\tilde{u}^2}{2g} \right) \frac{\tilde{u}}{|\tilde{u}|}; \quad (7)$$

$$\tilde{S}_g = g \bar{A} \cdot n^2 \bar{Q} \left| \partial \bar{Q} / \partial x \right| / (\bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}); \tilde{S}_L \Delta x = \Delta H_e; \tilde{S}_g = -g \bar{A} \Delta z_b - g \bar{A} \Delta h + \tilde{c}^2 \Delta A$$

堰の場合の ΔH_e は、次式で表される。

$$\begin{aligned} \Delta H_e &= \alpha \left(\xi u_{n1}^2 / 2g + \xi_{sd} u_{n2}^2 / 2g \right) \cdot |u_n| / u_n \\ \xi &= -1 + (h_1 / h')^2 + 2 / Fr_1^2 \cdot (-1 + \Delta z_{b1} / h_1 + h' / h_1); \\ \xi_{sd} &= -1 + (h_2 / h')^2 + 2 / Fr_2^2 \cdot (-1 + \Delta z_{b2} / h_2 + h' / h_2) \end{aligned}$$

ここに、 α =補正係数、 h' は堰上での水深であり、堰下流の水深が堰高 D を超える場合には、 $h' = (h_1 + z_{b1} + h_2 + z_{b2}) / 2 - D$

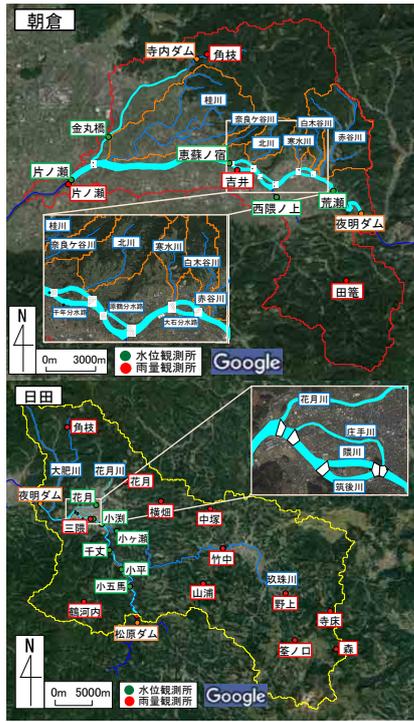


図-4 解析対象流域(上：流域①，下：流域②)

を、超えない場合には、 $h=(h_1+z_{b1})-D$ を与えた。

橋梁の場合の ΔH_e は、次式で表される。

$$\Delta H_e = \phi \frac{\partial \bar{Q}}{\partial \bar{Q}}; \phi = \begin{cases} 1/C^2 - 1 & (\tilde{H} \leq H_p) \\ \frac{C_{DG} \tilde{a}_G + C_{DP} \tilde{a}_P}{\tilde{A}} & (H_p < \tilde{H}) \end{cases}$$

ここに、 H ：水位、 Q ：流量、 g ：重力加速度の大きさ、 C ：縮流係数、 C_{DG} ：橋桁の抵抗係数、 C_{DP} ：橋脚の抵抗係数、 A ：河積、 a ：橋梁の投影面積、 a_G ：橋桁の投影面積、 a_P ：橋脚の投影面積である。

境界条件および河道分合流部の接続セルの取り扱いについては、参考文献⁷⁾を参照されたい。

(2) 解析条件の概要

解析対象流域は、図-4に示す筑後川右岸流域を含む流域である。ここでは、筑後川右岸流域を夜明ダムから片ノ瀬水位観測所までの朝倉市を含む流域①、松原ダムから夜明ダムまでの日田市を含む流域②に分け、それぞれ分布型流出・1次元河道網洪水解析を行い、計算の効率化を図った。流域①では筑後川本川、佐田川、大石分水路、原鶴分水路、千年分水路を、流域②では筑後川本川、花月川、庄手川、隈川を解析対象河川とした。

解析対象時刻は、2017年7月5日12時から6日3時とした。レーダ雨量には、上述の雨量を用いた。分布型流出解析では解析対象領域を100mメッシュで分割し、標高には基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ¹⁶⁾を100mメッシュで平均化したものを、土地利用データにはALOS2¹⁷⁾を用いた。解析に用いた各パラメータの値を表-2に示す。他の土地利用の N は標準的な値を用いた。

河道の横断面には、平成24年の横断測量結果を、粗度係数には推定粗度係数を用いた。筑後川本川の3つの堰

表-2 解析に用いた分布型流出解析のパラメータ

		森林					水域
		$N(m^{-1/3} \cdot s)$	$d_s(m)$	$d_b(m)$	$k_s(m/s)$	β	$N(m^{-1/3} \cdot s)$
流域①	桂川	0.800	0.300	0.010	0.050	4.000	0.038
	赤谷川	0.800	0.160	0.010	0.050	4.000	0.020
	その他	0.640	0.010	0.001	0.053	2.370	0.049
流域②	玖珠川・その他	0.613	0.043	0.008	0.004	3.845	0.017
	小野川	0.600	0.194	0.070	0.045	3.400	0.033
	一ノ瀬川	0.600	0.402	0.167	0.005	2.400	0.033
	花月川・有田川	0.600	0.208	0.056	0.065	4.600	0.033
	大肥川	0.800	0.300	0.010	0.095	2.000	0.015

を、花月川の5つの堰と16つの橋を考慮した。なお、花月川ではこれらを考慮しない場合の解析最大水位は、考慮した場合に比べ最大で1.5m程度、平均で0.13m程度低く計算された。計算格子間隔は50mとした。流域②の筑後川上流端には松原ダムの実測放流流量を、筑後川下流端には予備放流水位と痕跡水位の間の水位を与え、流域①の筑後川上流端には、流域②で算出した下流端流量を、筑後川下流端には片ノ瀬水位観測所の実測水位を、佐田川上流端には寺内ダムの実測放流流量を与えた。側岸は壁立とした。

4. 結果と考察

(1) 筑後川本川における再現性の検証

図-5に、筑後川本川と庄手川について、分布型流出・1次元河道網洪水解析による解析水位の最大値、実測ピーク水位および痕跡水位との比較、小平、小淵、荒瀬観測所の水位ハイドログラフの解析結果と観測値との比較を示す。これらより、(1)小平、小淵、荒瀬観測所の水位ハイドログラフが十分に再現されていること、(2)筑後川本川66~77.4km間の痕跡水位を十分に再現されていること、(3)分派後の筑後川本川、庄手川の痕跡水位を再現されていること、などが確認できる。これらから、本解析より得られた小平・小淵観測所間の玖珠川、小淵・荒瀬観測所間の花月川、大肥川の流入流量、筑後川本川、庄手川、隈川に分派流量の妥当性が窺える。このことは、同解析が河川分合流部を適切に取り扱えていることを示唆している。なお、分派前後の筑後川・隈川・庄手川の流量ハイドログラフの解析結果は、図-6に示す通りであり、分派点上流端でのピーク流量は、筑後川、庄手川、隈川のそれぞれで843m³/s、112m³/s、1,269m³/sであった。

(2) 花月川における再現性の検証

図-7に、花月川の分布型流出・1次元河道網洪水解析による解析水位の最大値、実測ピーク水位および痕跡水位との比較、花月水位観測所の水位ハイドログラフの解析結果と観測値との比較、花月川下流端での水位の解析結果を示す。これらより、(1)本解析結果は、花月観測所の実測水位、痕跡水位を十分に再現できること、(2)花月観測所でのピーク流量が1,400m³/s程度であること、など確認できる。ただし、本解析では河道からの越水を考慮していないため、実際の流量より過大に評価している

と考えられる。花月川の下流端水位の解析結果より、そこでの水位は、7月5日の20時頃にピークを迎え、痕跡水位と概ね一致する72.92mとなり、堤防高付近まで上昇したことが確認できる。なお、花月川の花月水位観測所のピーク水位は19時50分頃に発生したことから、本結果は概ね妥当な結果と考えられる。

(3) 流域①の支川からの流入流量の検討

図-8に、流域①の各中小河川の流量ハイドログラフを示す。なお、図中には地上雨量に基づく合成合理式より求めた流量ハイドログラフも合わせて示している。これらより、(1)流域面積が比較的大きな桂川、赤谷川の分布型流出解析結果は、合成合理式の結果との間に差が生じており、流量が増大する時刻が遅くなること、(2)奈良ヶ谷川、北川を除き、分布型流出解析結果のピーク流量は合成合理式と同程度となること、などが確認できる。図-8から、①～⑤の流量ハイドログラフが増加・ピーク・減少を迎える時刻は、桂川では①13時頃に大雨洪水警報が出された後、増加し、②流域雨量指数が19時頃にピークとなる¹⁸⁾こと、③奈良ヶ谷川の山の神ため池は18~19時の間に流出したこと¹⁹⁾、赤谷川では④7月5日14時25分頃に越水が発生した通報があり、⑤午後5時には赤谷川に近づけなかった¹⁹⁾こと、などの報道と時刻が一致しており、その妥当性が窺える。

今次豪雨では、流域①の桂川や赤谷川等の中小河川で浸水被害が発生しており、分布型流出解析より得られた流量は過大に評価している可能性が高い。また、同流域の中小河川では水位・流量観測も行われていないため、分布型流出解析より得られた流量の妥当性が不明である。そこで、以下では、本川に比べ流量が小さい支川の流量が本川水位に及ぼす影響を検討し、本川水位から流量の妥当性を確認できるかを検討した。解析は、図-8の分布型流出解析の流量を与えたRun1、桂川、赤谷川を対象に別途実施した氾濫解析に基づき求めた流量を与えたRun2、支川からの流量を0としたRun3を実施した。なお、Run2のピーク流量は、Run1の0.5~0.65倍程度であった。図-9に、Run1~3のピーク水位の解析結果と桂川、赤谷川合流点での水位ハイドログラフを示す。Run1とRun3でのピーク水位の差は、上流側の赤谷川で4.50%、下流側の桂川で5.76%となり、本川水位は明らかに支川の流量変化にレスポンスしていることがわかる。これより、本川のより詳細な水位観測結果を用いることで、支川からの流入流量の妥当性を検討できると考えられる。この点については、観測データの蓄積も含めさらなる検討が必要である。

5. おわりに

本研究から、分布型流出・1次元河道網洪水流解析が、

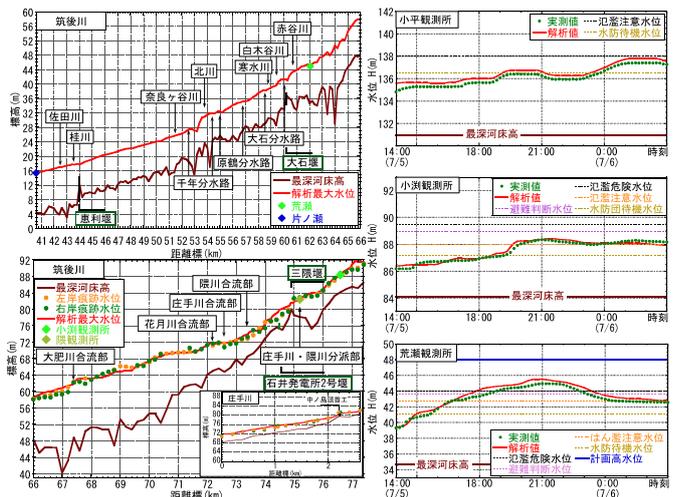


図-5 筑後川・庄手川における解析結果と痕跡水位小平・小瀬・荒瀬観測所の水位ハイドログラフとの比較

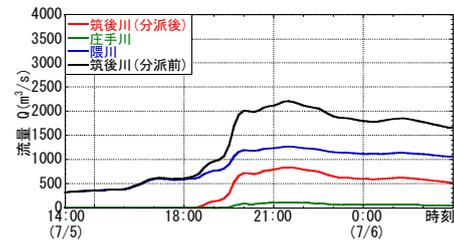


図-6 分派前後の筑後川・隈川・庄手川の流量ハイドログラフ

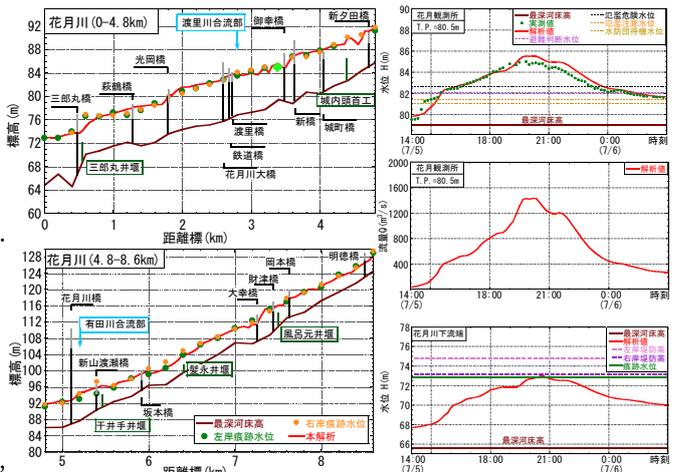


図-7 花月川における解析結果と痕跡水位、花月観測所の水位ハイドログラフとの比較、下流端水位の解析結果

(1)筑後川の水位ハイドログラフおよび痕跡水位を十分な精度で再現できること、(2)分派点についても適切に取り扱うことができること、(3)筑後川右岸流域の支川の流量ハイドログラフと下流端での水位ハイドログラフが把握でき、その結果は調査結果や住民の証言と概ね整合することが確認された。

謝辞：本研究の実施に当たり、国土交通省九州地方整備局河川部、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)からデータの提供を受けた。科学研究費特別研究促進費(課題番号：17K20140, 研究代表者：秋山壽一郎)、基盤研究(C)(課題番号：16K06515, 研究代表者：重枝未玲)の助成を受

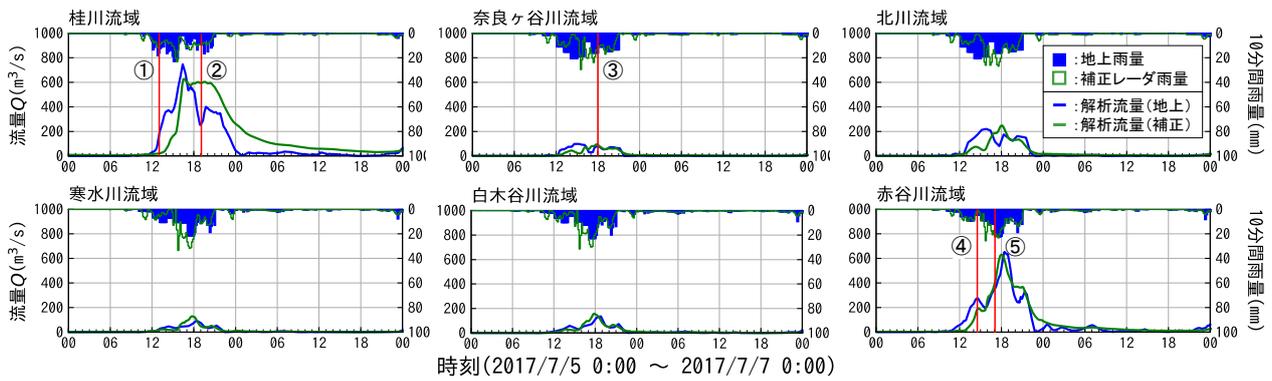


図-8 流域①の中小河川の流量ハイドログラフ

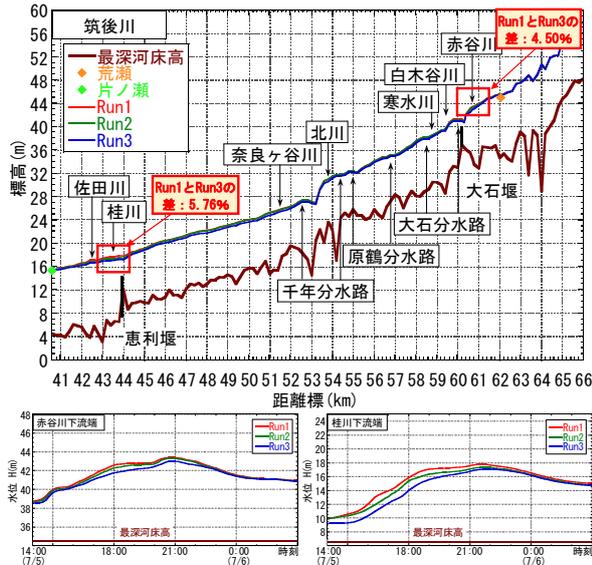


図-9 Run1~3のピーク水位の解析結果と桂川、赤谷川合流点での水位ハイドログラフ

けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会：筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書：http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122houkokusyo11.pdf, 2017.
- 2) 土木学会水工学委員会2017九州北部豪雨災害調査団：平成29年7月九州北部豪雨による河川災害の概要，河川災害に関するシンポジウム，pp.9~25，2018.
- 3) 原田大輔，江頭進治：流砂・流木を伴う洪水流の解析 - 2017年7月九州北部豪雨による赤谷川洪水を対象として -，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74，No.4，pp.1_937-I_942，2018.
- 4) 石田義明，久加朋子，清水康行，田井明：2017年九州北部豪雨における赤谷川の被害状況~2016年北海道豪雨災害との比較~，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74，No.4，pp.1_1435-I_1440，2018.
- 5) 中村要介，池内幸司，阿部紫織，小池俊雄，江頭進治：中山間地河川における洪水予測と予測水位誤差-平成29年7月九州北部豪雨を例として-，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74，No.4，pp.1_1177-I_1182，2018.

- 6) 佐山敬洋，岩見洋一：降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用，土木技術資料，平成26年6月号，pp.18-21，2014.
- 7) 重枝未玲，秋山壽一郎，Adelaida Castillo DURAN，中木翔也，西山晋平，勝原亮介：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，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74，No.4，I_1495-I_1500，2018.
- 8) 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.
- 9) DIAS：<http://www.diasjp.net/service/xrain/>，2017.
- 10) 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，pp.91-104，1993.
- 11) 山田隆徳，宮武真一，小池仁治，安部俊司，小淵孝志，今村英智，柴卓：部外雨量データの収集と利用について-他機関観測データ収集・高度利用装置の概要-，測候時報，第78巻，pp.141-161，2011.
- 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) 重枝未玲，秋山壽一郎，大久保剛貴，中木翔也：橋梁を簡易的に考慮した山国川流域の洪水氾濫解析，河川技術論文集，第23巻，pp.13-18，2017.
- 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) 国土地理院：基盤地図情報，<https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>, 2018.
- 17) JAXA：高解像度土地利用土地被覆図ホームページ，http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc_jpn.htm, 1997.
- 18) 産経ニュース：<http://www.sankei.com/affairs/news>, 2017.
- 19) 毎日新聞：<https://mainichi.jp/>, 2017.