

平成29年7月九州北部豪雨時の赤谷川流域を 対象にした表面流・地中流解析と 斜面崩壊危険度評価

SURFACE AND SUBSURFACE FLOW ANALYSIS AND EVALUATION OF
SLOPE FAILURE RISK IN THE AKATANI RIVER BASIN DURING HEAVY
RAIN IN NORTHERN KYUSHU IN JULY 2017

重枝未玲¹・秋山壽一郎²・王 少博³・稲垣 理菜⁴
Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA, Shaobo WANG and Rina INAGAKI

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非会員 元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)

⁴非会員 元九州工業大学 工学部建設社会工学科 (同上)

Numerical simulations of surface and subsurface flows and evaluation of slope failure risk in the Akatani river basin during Kyushu-hokubu heavy rain in 2017 were performed. The numerical model of surface and subsurface flow is based on two-dimensional shallow water equations and the free-surface groundwater equations with water exchanges due to infiltration processes. The new treatment of friction slope is also incorporated. The model was also verified against the observed flood marker and maximum inundation area. It showed that the proposed model can reproduce it with reasonable accuracy. The slope failure risk was estimated by slope stability analysis. The effects of infiltration and terrain change due to sediment on the flood-inundation process were also examined based on the numerical results.

Key Words : Numerical model, dynamic overland and flood inundation flow model, infiltration, slope stability analysis, the Akatani river, Kyushu-hokubu heavy rain in 2017

1. はじめに

近年, 想定を超えた豪雨による水害が頻発している¹⁾²⁾³⁾. 中山間地を貫流する中小河川流域では, 土砂・流木・洪水氾濫による複合災害が頻発しており, 甚大な被害が生じている¹⁾²⁾³⁾. 中小河川における危機管理対策の策定は喫緊の課題である⁴⁾.

中山間地の中小河川では, 一般に国が管理する大河川に比べ治水安全度が低く, 近年では危機管理のための水位計の設置が緊急に進められている⁴⁾ものの, 現状では大河川と比較して水文観測(河川水位, 河川流量)に関するデータは少ない. また, 洪水時には, その到達時間は短いために急激な増水が生じる. そのため, 同流域ではレーダ雨量や地上雨量計による降雨量に基づく危機管理が不可欠と考えられる.

降雨量に基づく危機管理対策を講じる上で, 豪雨時に起こりうる斜面崩壊・土石流・洪水氾濫の現象をあらかじめ把握し, 流域レベルでの複合災害リスクの評価・分析することが重要となる. そのため, 近年では降雨量から斜面崩壊・土石流・洪水氾濫の一連の現象を予測すること目的として, 降雨量を入力条件として水・土砂・流木を伴う洪水氾濫現象を予測する技術開発⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾が積極的に行われており, 各現象を対象にした予測やそれらを統合した技術の開発が試みられている. 著者ら¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾も, 降雨量から, 斜面崩壊, 土石流や泥流, 流木, 河道・河床変動を伴う洪水氾濫の一連の現象を予測できるツールの開発を目的に, 降雨を外力として, 流域レベルでの地中流と表面流の挙動を平面2次元モデルで取り扱う, 降雨流出・洪水氾濫ダイナミック解析モデルを構築し, 同モデルが赤谷川流域の痕跡水位, 最大浸水域を再現すること¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾, 地中流の流動水深の大きな領域と土砂崩

落地が概ね一致することを示した¹²⁾。

本研究は、以上を踏まえ、降雨外力から、水・土砂・流木の挙動を予測し、危機管理対策の策定に供する数値モデルの開発を最終的な目的としている。ここでは、著者らが開発した地中流を考慮した地表面流・洪水氾濫ダイナミックモデル¹²⁾に、解析の安定性を維持できる底面摩擦の取り扱いと斜面崩壊危険度評価を新たに組み込み、平成29年7月九州北部豪雨時の赤谷川流域を対象に、同モデルによる降雨流出・洪水氾濫解析と斜面崩壊危険度評価を実施し、その妥当性を検証した。

2. 降雨流出・洪水氾濫ダイナミック解析モデルの改良と斜面崩壊危険度評価の概要

本研究では、著者らの地中流を考慮した地表面流・洪水氾濫ダイナミックモデル¹²⁾に、解析の安定性を維持できる底面摩擦の取り扱いと斜面崩壊危険度評価を新たに組み込んだ。以下では、その概要を述べる。

(1) 地中流を考慮した降雨流出・洪水氾濫ダイナミックモデルの概要

地中流を考慮した降雨流出・洪水氾濫ダイナミックモデル¹²⁾は、dynamic waveモデル¹⁰⁾で地表面流・洪水氾濫流を、diffusion waveモデルで地中流¹²⁾を取り扱い、地表面から土壌の浸透流量と土壌からの地表面の滲出流量¹²⁾で水のやりとりを考慮したモデルである。

表面流の基礎方程式は、式(1)の2次元浅水流方程式であり、連続の式には降雨による流域への流入流量、土壌への雨水の浸透流量、土壌からの滲出流量が考慮されている。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial y} = \mathbf{S}_1 + \mathbf{S}_2 \quad (1)$$

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

$$\mathbf{F} = (vh, uvh, v^2h + 1/2 gh^2)^T; \mathbf{S}_2 = (q_r + q_s - f_i, 0, 0);$$

$$\mathbf{S}_1 = (0, gh(S_{ox} - S_{Lx} - S_{fx}) - F_x, gh(S_{oy} - S_{Ly} - S_{fy}) - F_y)$$

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、 $\mathbf{S}_1$: 河床・エネルギー損失・摩擦勾配ベクトル、 $\mathbf{S}_2$: 発生項ベクトル、 h : 水深、 u , v : x , y 方向の流速、 g : 重力加速度、 q_r : 単位面積当りの流入流量、 q_s : 土壌からの単位面積当たりの滲出流量、 f_i : 土壌への単位面積当たりの浸透流量、 S_{ox} , S_{oy} : x , y 方向の河床勾配 ($=-\partial z_b/\partial x$, $-\partial z_b/\partial y$)、 S_{Lx} , S_{Ly} : x , y 方向のエネルギー損失勾配、 S_{fx} , S_{fy} : x , y 方向の摩擦勾配、 F_x , F_y : 計算メッシュ内に樹木などの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、 z_b : 河床位である。

地中流の基礎方程式は、式(2)の自由水面地中流の連続の式と式(3)のダルシー則から導かれた運動の式である。

$$\lambda_e \cdot \partial h_G / \partial t + \partial q_{Gx} / \partial x + \partial q_{Gy} / \partial y = f_i - q_s \quad (2)$$

$$q_{Gx} = -K \cdot h_G \cdot \partial H / \partial x; q_{Gy} = -K \cdot h_G \cdot \partial H / \partial y \quad (3)$$

ここに、 q_{Gx} , q_{Gy} : x , y 方向の単位幅流量、 λ_e : 有効空隙

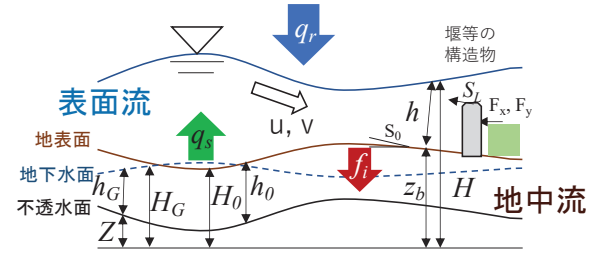


図-1 モデルの定義図

率、 K : 透水係数、 h_G : 地下水の流動水深、 H : 水位 ($=H_G=h_G+Z$ (地中流の場合)、 $h+h_0+Z$ (地表面流の場合))、 Z : 土壌底面の標高($=z_b-h_0$)、 h_0 : 表層土層厚である。

地表面と土壌での水のやりとりは、地表面から土壌については浸透流量で、土壌からの地表面については滲出流量で取り扱われる¹²⁾。単位面積当りの流入流量 q_r 、土壌からの単位面積当りの滲出流量 q_s 、土壌への単位面積当りの浸透流量 f_i は、それぞれ式(4)、(5)、(6)で算定した。

$$q_r = f \cdot R / 3.6 \times 10^{-6} \quad (4)$$

$$q_s = \begin{cases} \lambda_e \frac{\partial (H_G - H_0)}{\partial t} & \text{if } H_G > H_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$f_i = \begin{cases} 0 & \text{if } H_G > H_0 \\ \begin{cases} q_r(t) & \text{if } q_r(t) \leq f_p(t) \\ f_p(t) & \text{if } q_r(t) > f_p(t) \end{cases} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

ここに、 f : 流出係数、 R : 降雨強度、 $H_0=Z+h_0=z_b$ 、 f_p : 浸透能である。流出係数 f は、土壌の浸透を考慮しない場合には、土地利用に応じた値を、土壌への浸透を考慮する場合には、 $f=1.0$ を与えた。浸透能 f_p は、①Green-Ampt式¹³⁾を用いた方法^{11),12)}と②雨水の全て直接土壌に浸透させる方法($f_p=\infty$)を用いた。図-1にモデルの定義図を示す。

(2) 数値解析法と摩擦勾配の取り扱い

表面流の数値解析手法には、有限体積法と流束差分法を用いた。摩擦勾配と流速については、水深が非常に浅い場合に非物理的な値となることを防ぐ目的で、閾値 h_l と h_v を設定し、摩擦勾配については式(7)のように取り扱い、流速については $h < h_v$ で流速を0とした。なお、本研究では、 h_v には0.0001mを、 h_l には0.01mを用いることで安定した計算が可能であった。

$$\tilde{S}_f = \begin{cases} \tilde{n}^2 \tilde{u}_n |\tilde{u}_n| / \tilde{h}^{4/3} & \tilde{h} \geq h_l \\ \tilde{n}^2 u_{n,min} |\tilde{u}_n| / \tilde{h}^{4/3} & \tilde{h} < h_l \end{cases} \quad (7)$$

$$u_{n,min} = \begin{cases} u_{n,i} & |u_{n,i}| \leq |u_{n,j}| \\ u_{n,j} & |u_{n,i}| > |u_{n,j}| \end{cases}$$

ここに、 $\tilde{S}_f$: 計算セル i , j の境界線における法線方向の摩擦勾配、 u_n : セル境界線法線方向の流速であり、 $u_n = u_{nx} + v_{ny}$ で表される。ここに、 $\mathbf{n} = (n_x, n_y)$: 単位法線ベクトルである。また、 $\tilde{u}_n$: 平均流速、 $\tilde{h}$: 平均水深、 $\tilde{n}$: 平均粗度係数は、それぞれ式(8)で表される。

$$\tilde{u}_n = (u_{n,i} \sqrt{h_i} + u_{n,j} \sqrt{h_j}) / (\sqrt{h_i} + \sqrt{h_j}); \quad (8)$$

$$\tilde{h} = (h_i + h_j) / 2; \tilde{n} = (n_i + n_j) / 2$$

また、水のあるwet状態から水の無いdry状態あるいはそ

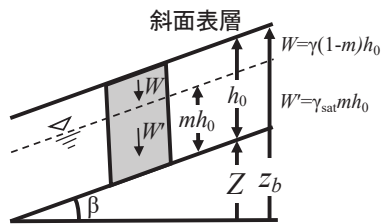


図-2 斜面の安定条件式の定義図



図-3 赤谷川流域の概要

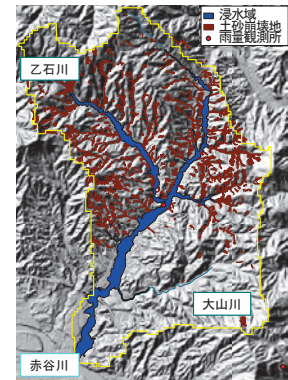


図-4 赤谷川流域の浸水域と土砂崩壊地

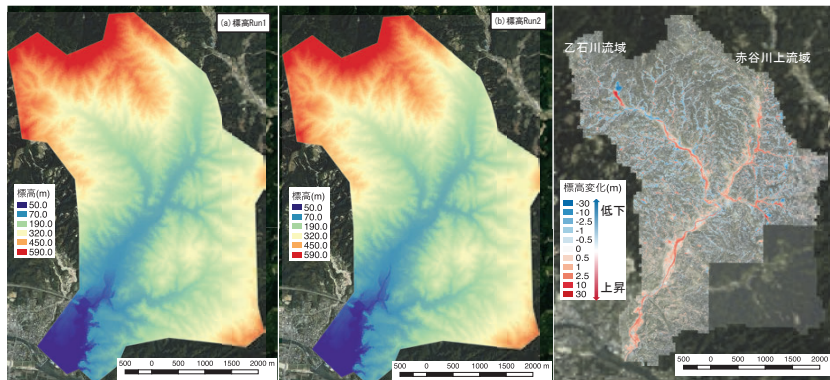


図-5 平成29年7月豪雨災害前後の標高(左, 中)および標高差(右)

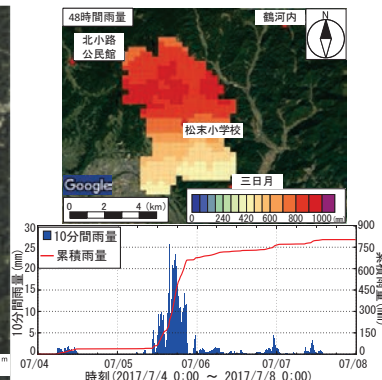


図-6 48時間と流域平均雨量

の逆となるような斜面で、負の水深が発生し計算が発散しないように、河床・エネルギー損失勾配・摩擦勾配ベクトルを補正する処理¹⁰⁾が施されている。地中流の数値解析手法には、有限体積法と中心差分を用いた。数値解析法の詳細については参考文献^{10),12)}を参照されたい。

(3) 斜面崩壊危険度評価

斜面崩壊の判定には、式(9)の無限延長斜面の安定条件式¹⁴⁾を用い、計算格子毎に安全率 F_s を算出した。

$$F_s = \frac{c_m + \{(1-m)\gamma + m\gamma'\} h_0 \cos^2 \beta \tan \phi_m}{\{(1-m)\gamma + m\gamma_{sat}\} h_0 \sin \beta \cos \beta} \quad (9)$$

ここに、 c_m ：すべり面の粘着力、 γ ：湿潤単位体積重量、 β ：分割面のすべり面傾斜角、 ϕ_m ：すべり面の内部摩擦角、 γ' ：水中単位体積重量($=\gamma_{sat}-\gamma_w$)、 γ_{sat} ：土の飽和単位体積重量、 m ：土層厚に対する地中流水深の割合である。表土層厚に対する飽和土層厚の割合 m を地中流の水深 h_G を用いて $m = h_G / h_0$ で求めた。 F_s が1を下回る場合に斜面は崩壊するとした。図-2に、無限延長斜面の安定条件式に用いた記号の定義を示す。

3. 赤谷川流域への適用

(1) 赤谷川流域と平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害での被害の概要

図-3に、本研究で対象とする赤谷川流域の概要を示す。赤谷川は、延長15.0kmの筑後川の支川である。その流域面積は20.1km²、その土地利用は山林88%、畑・丘陵・

放牧地・公園7%、水田4%、宅地1%である¹⁵⁾。水位観測はなされておらず、図中の雨量観測所で雨量観測が行われている。なお、同図および以降の結果の背景図には、いずれも国土地理院の地理院タイル¹⁶⁾を用いた。

平成29年7月九州北部豪雨時の赤谷川流域では、斜面崩壊、斜面崩壊による土砂や流木の流出、これらによる河道埋塞に伴う浸水被害が生じた¹⁵⁾。図-4に、同流域での浸水域および土砂崩壊地¹⁷⁾を示す。

図-5に、平成29年7月豪雨災害前後の標高および標高差を示す。被災後に標高が低くなった場合には負の値、高くなった場合には正の値となる。標高データには、1mメッシュのLPデータを用いた。なお、大山川周辺の標高については、被災後のデータしか入手できなかったため、同一のデータを使用している。これより、(1)乙石川流域、(2)次に赤谷川流域上流域で標高が低くなっており、斜面崩壊や侵食が発生していること、(3)乙石川・赤谷川に沿って標高が高くなっていることから、流域から生じた土砂は、河道に沿って堆積したこと、特に、乙石川との合流点より下流の赤谷川で土砂堆積が顕著であること、などが確認できる。また、(4)被災後、標高が低下した領域での最大低下量は乙石川上流域での-20.3m、平均低下量は-0.206mであった。

(2) 解析の概要

災害前の標高を用いた解析をRun1、被災後の標高を用いた解析をRun2とし、浸透能 f_p をGreen-Ampt式で算定したRun1-1、2-1、 $f_p=\infty$ としたRun1-2、2-2の4ケースを実施した。解析対象時刻は、平成29年7月5日7時から6日

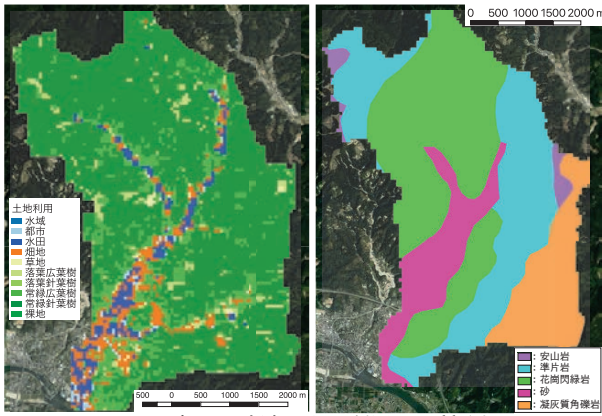


図-7 赤谷川流域の土地利用と地質分類

表-1 赤谷川流域の概要地表面の粗度係数

土地利用分類	水域	都市	水田	畑地	草地	森林	裸地
粗度係数 n	0.03	0.04	0.025	0.025	0.03	0.06	0.03

表-2 土壌パラメータ

地質分類	粘着力 C_m (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ_m (°)	湿潤単位 体積重量 γ (kN/m^3)	飽和単位 体積重量 γ_{sat} (kN/m^3)	水中単位 体積重量 γ' (kN/m^3)	透水係数 $K(\text{m/s})$	空隙率 λ_e
安山岩	4.0	37	18	19.44	9.63	5.08E-11	0.1
準片岩	6.5	22.8	19.04	22.5	12.69	6.63E-04	0.26
花崗閃緑岩	4.5	35	13.426	16.758	6.95	6.63E-04	0.26
砂	4.5	33.9	13.426	16.758	6.95	1.0E-04	0.4
凝灰質角礫岩	6.8	25	13.217	14.9	5.09	9.58E-10	0.33

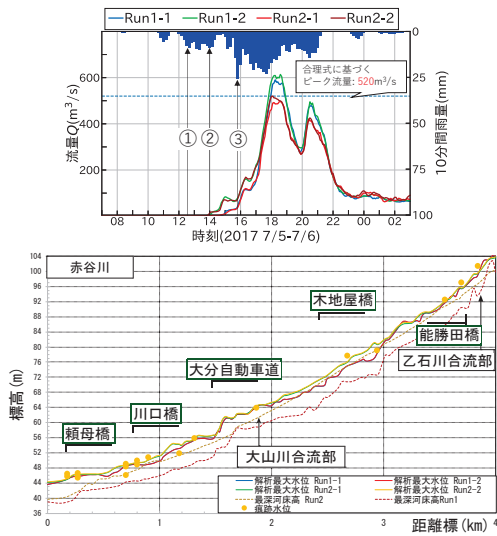


図-8 流量ハイドログラフ、痕跡水位との比較

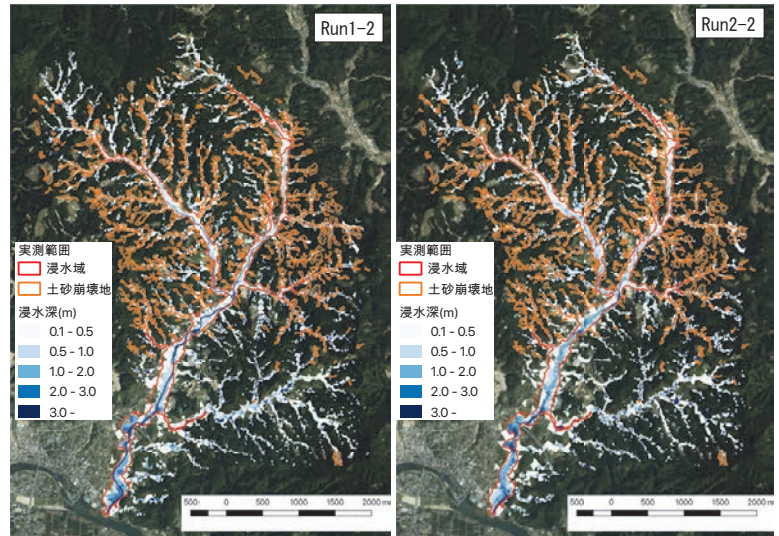


図-9 最大浸水深と実測浸水域との比較

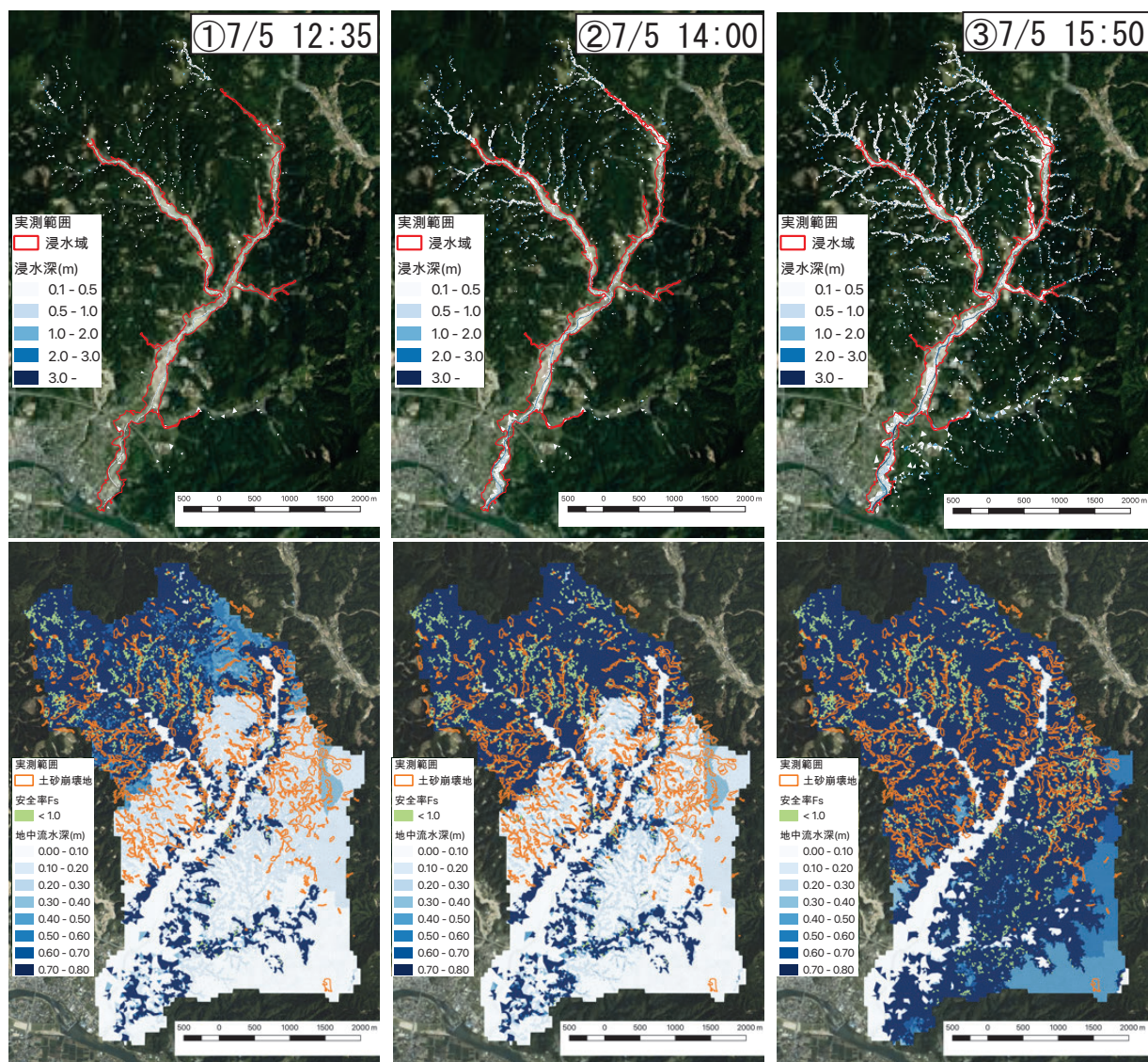
6時とした。降雨外力には、図-6に示すような国土交通省が運用・管理するXRAIN¹⁸⁾をダイナミックウィンドウ法¹⁹⁾により流域内の雨量観測所の実績降雨に基づき補正したレーダ雨量を用いた¹¹⁾。Run1では47,616個、Run2では48,616個の非構造三角形メッシュで計算領域を分割した。標高には図-5の平成29年7月豪雨災害前後に計測された1mメッシュのLPデータを計算格子内で平均したものを、土地利用データと地質分類には計算格子の重心位置に対応するALOS2²⁰⁾と国土交通省の土地分類基本調査の地質分類図²¹⁾を用いた。図-7に同流域の土地利用と地質分類を示す。地表面の粗度係数には土地利用に応じた表-1²²⁾を、土壌パラメータには地質分類に応じた表-2²³⁾を与えた。表層土層厚 h_0 は0.8mとした。この値は、後述する流量ハイドログラフの解析結果に基づき設定した。解析の初期条件はドライ条件(水深・流速0)とした。下流端水位については、1次元河道ネットワークモデルによる分布型流出・1次元洪水流解析より得られた筑後川本川との合流点での水位ハイドログラフ²⁴⁾を与えた。

(3) 結果と考察

図-8に、流量ハイドログラフの解析結果と被災前後の標高を用いたRun1と2の痕跡水位と解析ピーク水位との

比較を示す。図中には赤谷川流域の流域平均雨量もあわせて示している。

浸透能 f_p をGreen-Ampt式¹³⁾で評価したRun1, 2-1と $f_p=\infty$ としたRun1, 2-2の流量ハイドログラフを比較すると、顕著な差は7/5の14:00~17:00とピーク周辺で生じており、浸透能 $f_p=\infty$ としたRun1-2, 2-2の解析結果では、14時ごろから増水し、14時50分に一度ピークを迎え、15時30分に減水すること、その一方で、浸透能 f_p をGreen-Ampt式¹³⁾で評価したRun1-1, 2-1は上記のような流量変化は生じていないことが確認できる。赤谷川では7月5日14時25分頃に越水が発生した通報があったこと、15時30分ごろに一度水が引いたことなどの報道²⁵⁾がされたが、Run1-2, 2-2の解析結果はこれと一致する。また、筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書¹⁵⁾では、同豪雨での赤谷川のピーク流量は520 m^3/s と推定されているが、Run2-2の解析結果はピーク流量は同流量と一致しており、また、17時から急に増水し、18時にピークを迎えており、17時には赤谷川に近づけなかった²⁵⁾との報道とも一致する。被災前の標高を用いたRun1と被災後の標高を用いたRun2の痕跡水位と解析ピーク水位との比較から、Run2の解析ピーク水位が、Run1に比べ高い精度で痕跡水位を再現できることが確認できる。図-9に、Run1, 2-



底面摩擦の取り扱いと斜面崩壊危険度評価を新たに組み込み、平成29年7月九州北部豪雨時の赤谷川流域を対象に、同モデルによる降雨流出・洪水氾濫解析と斜面崩壊危険度評価を実施した。その結果、(1)本モデルが、痕跡水位、実測浸水域を再現できること、(2)ピーク雨量時に全流域で斜面崩落危険度が高くなり、ピーク流量時よりも早いこと、(3)被災後の標高を用いた解析は、被災前の標高を用いた解析に比べ、痕跡水位の再現精度が高いこと、(4)これらから、赤谷川流域ではピーク雨量直後の16時頃に全流域で土砂崩落が発生し、崩落土砂が下流に流化した後、その土砂はピーク流量が発生する18時までに河道を埋塞させたこと、などが確認された。より詳細なプロセスの把握には、源頭部の崩壊で発生する土石流や土砂流送を考慮する必要があると考えられる。

謝辞：本研究を実施するに当たり、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。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：梅雨前線に伴う平成29年7月5日出水について(第3報), http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_kasen03.pdf, 2017(参照 2019/03/19).
- 2) 国土交通省：平成30年7月豪雨における被害等の概要, http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkai/shouuinkai/daikibokouikigouu/1/pdf/daikibokouikigouu_01_s2.pdf, 2018(参照 2019/03/19).
- 3) 国土交通省：台風19号による被災状況と今後の対応について, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001317859.pdf>, 2019(参照 2020/01/29).
- 4) 国土交通省：中小河川緊急治水対策プロジェクト, http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000933.html, 2017(参照 2019/03/19).
- 5) 佐山敬洋：九州北部豪雨被災域の降雨流出特性と観測情報のない中小河川流域における洪水予測, 平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書, pp.59-pp.67, 2018.
- 6) 山崎 祐介, 江頭 進治, 南雲 直子：豪雨時における土砂流出量の推定法, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_931-I_936, 2018.
- 7) 江頭進治, 原田大輔, 南雲直子, 山崎祐介, 萬矢敦啓：崩壊・土石流による堆積土砂に着目した微細砂の流出予測法-2017年7月九州北部豪雨災害時の赤谷川を対象として-, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_925-I_930, 2018.
- 8) 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.I_937-I_942, 2018.
- 9) 鈴木拓郎, 内田太郎, 岡本 敦：土砂移動シミュレーション手法における輸送形態の遷移に伴う不連続性の解消に関する研究, 砂防学会誌, 第66巻, 2号, pp.21-30, 2013.
- 10) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 王少博, 勝原亮介：赤谷川流域を対象にしたダイナミック降雨流出・洪水氾濫解析, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, pp.I_697-I_702, 2018.
- 11) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 王 少博, 平井大己, 平成29年九州北部豪雨を外力とした赤谷川流域の地表面流と洪水氾濫流のダイナミック解析, 河川技術論文集, 第25巻, pp.315-320, 2019.
- 12) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 王 少博, 勝原亮介：地中流を考慮した地表面流・洪水氾濫ダイナミック解析モデルの構築, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.2, pp.I_1303-I_1308, 2019.
- 13) Green, W. H. and Ampt, G. A.: Studies on soil physics: 1. Flow of air and water through soils, *Journal of Agricultural Science*, Vol.4, pp.1-24, 1911.
- 14) 丸谷知己：砂防学, 朝倉書店, p.239, 2019.
- 15) 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.
- 16) 国土地理院：地理院タイル一覧, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>, 2019(参照 2020/03/16).
- 17) 国土地理院：https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html, 2017(参照 2020/03/16).
- 18) DIAS：<http://www.diasjp.net/service/xrain/>, 2017(参照 2020/03/16).
- 19) 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.
- 20) 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(参照 2020/03/16).
- 21) 国土交通省：国土調査(土地分類基本調査・水基本調査等)ホームページ, <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>, 2007(参照 2020/03/17).
- 22) 国土交通省 水管理・国土保全局:河川砂防基準 調査編, 2014.
- 23) 例えば, 地圏環境テクノロジー：九州北部豪雨災害へのGETFLOWSによるアプローチその1 斜面表層崩壊, <https://www.getc.co.jp/achievement/northern-kyushu-landslides-1/>, 2018(参照 2019/01/19).
- 24) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 中木翔也, 勝原亮介, 大久保剛貴：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, 河川技術論文集, 第24巻, pp.445-450, 2018.
- 25) 毎日新聞：<https://mainichi.jp/>, 2017.

(2020. 4. 2受付)