

紀伊山系における気候変動による山間部の局所的な降雨増加を考慮した被害想定計算

DAMAGE ESTIMATION CALCULATION CONSIDERING LOCAL RAINFALL INCREASE DUE TO CLIMATE CHANGE IN THE KII MOUNTAINS

岸本 優輝¹・山本 洋¹・西尾潤太²・松原智生²・日名純也²・村井臣成²

Yuki KISHIMOTO, Hiroshi YAMAMOTO, Junta NISHIO, Tomoyo MATSUBARA, Junya HINA,
Shigemasa MURAI

¹国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 (〒637-0002 奈良県五條市三在町 1681)

E-mail: kishimoto-y272@mlit.go.jp

²株式会社建設技術研究所 (〒541-0045 大阪市中央区道修町 1-6-7)

E-mail: jnt-nishio@ctie.co.jp

Key Words: damage estimation, climate change, d2PDF, SiMHIS

1. はじめに

IPCC 第5次報告書においては、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、21世紀末までにほとんどの地域で極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高くなることが予測されると報告されている。

現行の紀伊山系砂防事務所の中期計画における土砂・洪水氾濫被害の想定計算では、崩壊生産土砂量は経験的手法である打藪式により算出されており、崩壊は、H23の紀伊半島大水害での災害実績を基に、累積雨量が800mmとなるタイミングで発生すると想定している。

その現行計画上の被害想定に対し、本検討では、気候変動による山間部の局所的な降雨増加がもたらす土砂・洪水氾濫被害への影響を明らかにするために、紀伊山系の熊野川流域を対象として、将来予測の降雨データを用いて、一次元河床変動計算および被害想定計算を行った。

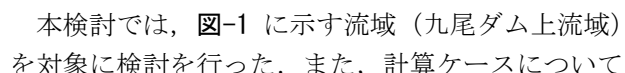
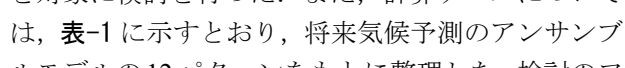
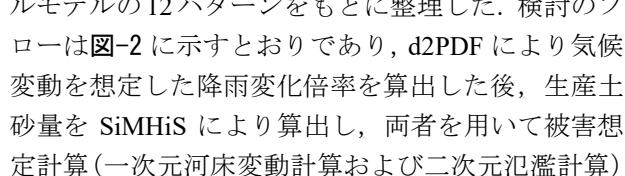
計算モデルについては、現行の土砂・洪水氾濫対策計画の検討に用いられた流出解析モデル、一次元河床変動計算、二次元氾濫計算モデルと同等の計算

モデルを用いた。

降雨データについては、5kmメッシュで2°C上昇シナリオを想定した将来気候モデルであるd2PDF¹⁾を用いて、山間部の局所的な降雨増加による被害想定について検討した。崩壊生産土砂量については、空間的な降雨を入力条件として斜面崩壊の発生を物理的に予測可能なモデル(SiMHIS²⁾)を用いて算出した。

また、本検討では、気候変動が及ぼす土砂・洪水氾濫の被害への影響を確認するため、従来手法と本手法による被害想定結果を比較した。

2. 検討手法

本検討では、に示す流域(九尾ダム上流域)を対象に検討を行った。また、計算ケースについては、に示すとおり、将来気候予測のアンサンブルモデルの12パターンをもとに整理した。検討のフローはに示すとおりであり、d2PDFにより気候変動を想定した降雨変化倍率を算出した後、生産土砂量をSiMHISにより算出し、両者を用いて被害想定計算(一次元河床変動計算および二次元氾濫計算)

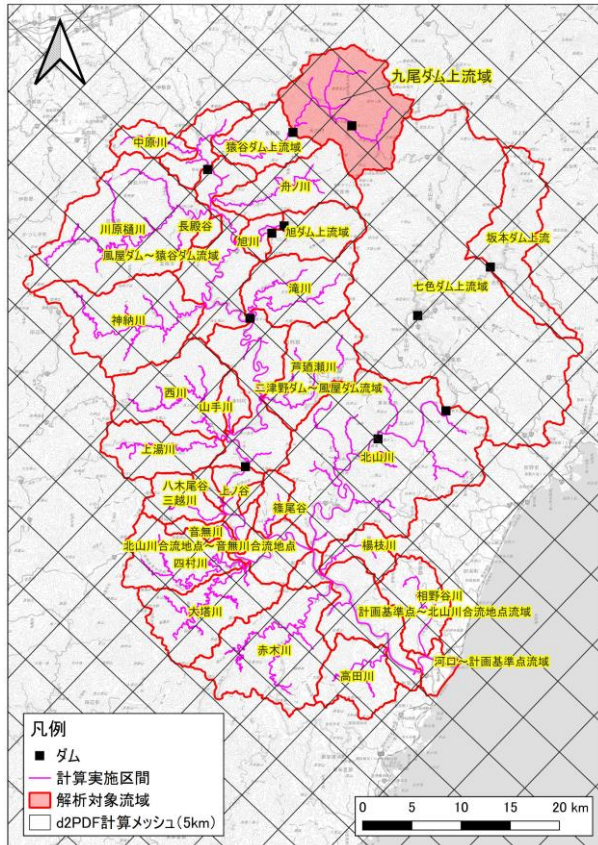


図-1 検討対象流域（九尾ダム上流域）

■①d2PDFを用いた降雨量変化倍率の算出
 ○ 予測降雨量5kmメッシュデータ(2°C上昇シナリオ)の12パターンのデータを収集・整理
 ○ 現在気候の1/100 超過確率規模の降雨量と将来気候(2°C上昇シナリオ)の1/100超過確率規模の降雨量を算出し、その変化倍率を算出
 ○ 変化倍率を用いて、現行計画の降雨波形に対して引き伸ばす

■②生産土砂量の算出(SiMHIS)
 ○ 物理的手法であるSiMHISを用いて、降雨の変化倍率に応じた崩壊生産土砂量の変化倍率を算出
 ○ 解析に用いる降雨波形は、①で設定した降雨波形を用いて、5kmメッシュ毎に入力
 ○ 生産土砂量はSiMHISの安定計算で得られた崩壊箇所数に平成23年災害実績の1箇所あたりの崩壊生産土砂量を乗じて算出

■③被害想定計算の実施
 ○ 一次元河床変動計算で抽出した氾濫開始点に対して、二次元氾濫計算を行い、被害想定計算を実施
 ○ ①・②で設定した降雨量・土砂量を入力条件として12ケースの計算を実施

図-2 検討フロー

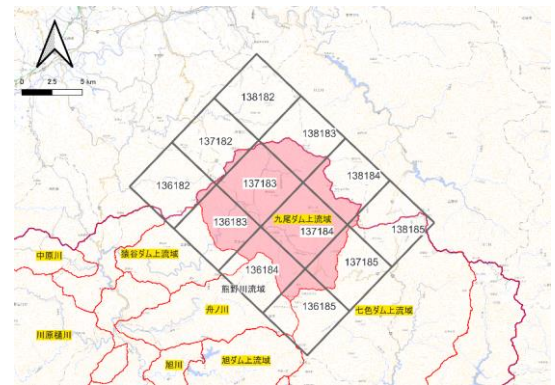


図-3 解析対象メッシュ（九尾ダム上流域）

表-1 計算ケース一覧

No.	生産土砂量設定方法	気候変動シナリオ	将来気候予測モデル
1	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_CC_m101
2	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_CC_m105
3	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_GF_m101
4	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_GF_m105
5	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_HA_m101
6	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_HA_m105
7	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_MI_m101
8	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_MI_m105
9	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_MP_m101
10	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_MP_m105
11	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_MR_m101
12	SiMHIS	2°C上昇	HFB_2K_MR_m105

表-2 降雨変化倍率の算出例（メッシュ：136183）

将来気候モデル	【将来気候】 Gumbel分布 T=1/100 2日雨量(mm) Y	【現在気候】 Gumbel分布 T=1/100 2日雨量(mm) X	変化倍率 =Y/X
	HFB 2K CC m101	385.6	
HFB 2K CC m105	426.3	404.89	1.05
HFB 2K GF m101	482.8	404.89	1.19
HFB 2K GF m105	488.8	404.89	1.21
HFB 2K HA m101	426.5	404.89	1.05
HFB 2K HA m105	362.9	404.89	0.90
HFB 2K MI m101	404.9	404.89	1.00
HFB 2K MI m105	374.5	404.89	0.92
HFB 2K MP m101	412.3	404.89	1.02
HFB 2K MP m105	456.3	404.89	1.13
HFB 2K MR m101	462.8	404.89	1.14
HFB 2K MR m105	381.2	404.89	0.94
平均	422.075	404.89	1.04

を実施した。

3. d2PDF を扱った降雨量変化倍率の算出

降雨量変化倍率は、表-1 の 12 ケースごとに、図-

3 で区分された各メッシュの現在気候の 1/100 超過確率規模の降雨量と将来気候(2°C上昇シナリオ)の 1/100 超過確率規模の降雨量を算出し、その変化倍率を算出した(表-2)。

その結果は、表-3 に示すとおりである。なお、九尾ダム上流域周辺の 12 メッシュ×12 モデルにおける倍率の平均値は 1.06 倍であり、「気候変動を踏ま

表-3 降雨倍率算出結果

将来気候モデル	変化倍率											
	136182	136183	136184	136185	137182	137183	137184	137185	138182	138183	138184	138185
HFB_2K_CC_m101	0.89	0.95	0.98	1.03	0.92	0.93	0.96	0.96	1.02	0.94	0.99	1.00
HFB_2K_CC_m105	1.01	1.05	0.99	0.93	1.09	1.08	0.97	0.97	1.13	1.07	0.95	0.94
HFB_2K_GF_m101	0.91	1.19	1.23	1.22	0.97	1.22	1.30	1.27	1.04	1.24	1.34	1.30
HFB_2K_GF_m105	0.86	1.21	1.42	1.41	0.93	1.11	1.35	1.46	0.87	0.99	1.25	1.42
HFB_2K_HA_m101	1.04	1.05	1.15	1.17	1.04	1.03	1.16	1.24	1.04	1.08	1.24	1.30
HFB_2K_HA_m105	0.86	0.90	0.84	0.78	0.88	0.90	0.82	0.83	0.95	0.87	0.82	0.82
HFB_2K_ML_m101	0.95	1.00	1.19	1.38	1.05	1.11	1.28	1.46	1.13	1.23	1.40	1.44
HFB_2K_ML_m105	0.75	0.92	0.99	0.97	0.80	0.91	1.01	0.97	0.84	0.94	1.06	1.03
HFB_2K_MP_m101	0.90	1.02	1.03	1.08	1.06	1.15	1.11	1.10	1.03	1.17	1.13	1.10
HFB_2K_MP_m105	1.06	1.13	1.16	1.06	1.06	1.15	1.19	1.16	1.05	1.09	1.17	1.16
HFB_2K_MR_m101	1.20	1.14	1.14	1.17	1.20	1.12	1.13	1.19	1.14	1.07	1.10	1.19
HFB_2K_MR_m105	0.86	0.94	0.90	0.85	0.90	0.95	0.90	0.83	0.91	0.93	0.88	0.85
平均	0.94	1.04	1.09	1.09	0.99	1.06	1.10	1.12	1.01	1.05	1.11	1.13

※12メッシュ×12ケースの平均倍率：1.06

えた治水計画に係る技術検討会」³⁾で示された倍率1.1倍と概ね同程度となった。

次に、d2PDFを活用した各気候予測モデルの降雨量変化倍率の算出結果から、メッシュごとに降雨波形の引き延ばしを実施した。基本波形は現行計画における降雨波形（H23年災害の降雨波形を1/100超過確率規模に引き伸ばしたもの）とした。また、現行計画の降雨波形において、9/2 06:00から引き延ばしを開始した場合に最も土砂運搬能力が大きくなるため、本検討でも降雨波形の引き延ばし開始時刻は9/2 06:00からとした。なお、d2PDFを用いた降雨量変化倍率では年最大2日雨量を対象降雨として解析しているため、引き延ばし継続時間は2日間（48時間）とした。当該引き延ばし後の降雨波形（5kmメッシュ）をSiMHISへ入力し、生産土砂量を算出した。

4. 生産土砂量の算出（SiMHIS）

崩壊生産土砂量は、物理モデルであるSiMHISにより算出した。SiMHISは、各斜面要素に降雨波形を与えることで、各斜面の土中水分量を解析し、斜面崩壊の発生を判定可能なモデルである。斜面崩壊は次式(1)により算出した斜面安全率 R_t が1.0を下回った時刻で発生したと判定される。

$$R_t = \gamma \cdot W_{cr} / W_t \quad (1)$$

ここで、 W_t は各斜面の時刻 t における土中水分量、 W_{cr} は斜面長、勾配および降雨強度を変数とした回歸式により得られる限界土中水分量である。また、崩壊補正係数 γ は、流域ごとの崩壊特性の差異を表現するための係数であり、土砂生産に関する再現計算を実施し、設定した。再現対象事例は平成23年の紀伊半島大水害とした。

土砂生産に関する再現計算では、崩壊補正係数 γ

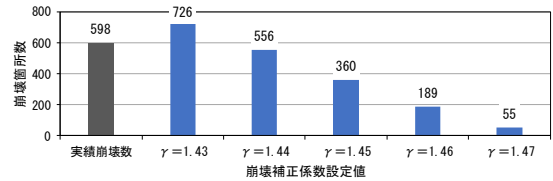


図-4 土砂生産に関する再現計算結果

表-4 SiMHISの設定パラメータ

項目	設定値	設定根拠
斜面初期水位	2.0m	再現計算より設定
間隙率	0.6	既往研究設定値
透水係数	$1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$	砂・礫程度
崩壊補正係数	1.44	再現計算より設定
1崩壊あたりの土砂量	432m^3	H23実績

を1.44とすることで崩壊箇所数を概ね再現できた（図-4）。崩壊1箇所あたりの崩壊生産土砂量は、平成23年災害実績の1箇所あたりの崩壊生産土砂量を設定した。再現計算により設定したパラメータを表-4に示す。

5. 被害想定計算の使用モデルおよび計算条件

(1) 一次元河床変動計算

計算モデルについては、国総研資料第1048号⁵⁾に基づくものを適用している。当該モデルは、流砂の非平衡性を考慮した混合粒径一次元不定流モデルであり、急勾配・緩勾配区間を一連で計算可能という特徴を持つ。流出解析モデルについても、現行計画を踏襲し、貯留関数法を適用している。計算パラメータも同様に、両モデルとも現行計画のものを踏襲している。

また、一次元河床変動計算においては、表-5の条件で、気候変動によるハイドログラフ、供給土砂量および供給タイミングの変化による影響を検討した。なお、気候変動により変化する上記3項目に関する詳細な条件は次項以降で示す。

表-5 河床変動計算における条件

計算条件	項目	内容（熊野川流域）
地形条件	河道形状	LP測量成果または写真測量成果を基にした河道断面および縦断形状を設定（100mピッチ）
	河床条件	露岩区間、砂防堰堤等の横断構造物がある箇所、河床が大粒径の土石で覆われている箇所は固定床に設定
	侵食可能深	H23紀伊半島大水害の実績値を参考に設定
	河床材料の粒度分布	流域近傍の河床材料調査結果を使用
水供給条件	ハイドログラフ	貯留関数法による流出解析結果をもとに設定
土砂供給条件	供給土砂量	気候変動を踏まえて設定した生産土砂量を各支川流域に面積按分で分配
	粒度分布	流域近傍の粒度分布調査結果を使用
	供給タイミング	最終崩壊箇所の半数が崩壊した時刻
	土砂供給濃度	土砂供給地点の勾配等で決まる平衡濃度を設定
その他条件	砂礫の密度	2.65 t/m ³
	水の密度	1.0 t/m ³
	重力加速度	9.81 m/s ²
	堆積土砂容積濃度	0.6
	土砂の内部摩擦角	35度
	粗度係数	0.045
	侵食速度係数	7.0×10 ⁻⁴
	堆積速度係数	5.0×10 ⁻²
	フェーズシフトに関する条件	摩擦速度/沈降速度>3を満たす粒径はフェーズシフトの細粒土砂と想定

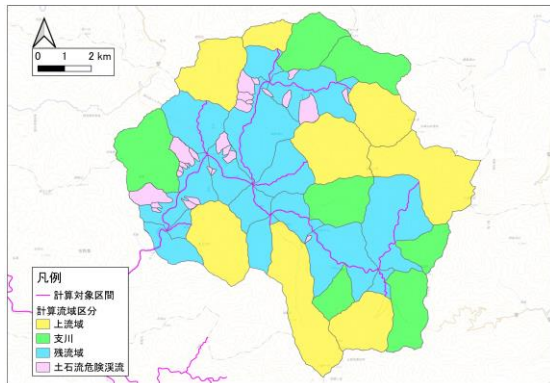


図-5 河床変動計算 計算区域（九尾ダム上流域）

なお、九尾ダム上流域における計算流域区分および計算実施区間については、図-5 のとおりである。各凡例の内容については国総研資料第 1048 号に則り定めており、以下の内容となる。

①計算対象区間

河床変動計算を実施し、流量、通過土砂量、河床変動高を河床変動計算により求める区間

②上流域

河床変動計算実施区間の上流端における集水域

③支川

河床変動計算実施区間の上流端以外から流入する溪流・河川のうち流域面積が大きい流域

④土石流危険溪流

計算実施区間に直接流入する土石流危険溪流または土砂災害警戒区域が指定された溪流

⑤残流域

対象流域のうち、①～④以外の範囲

a) 水供給条件

気候予測モデルごとに平均の降雨量変化倍率を設定し、その変化倍率を用いて降雨波形の引き延ばしを行った。なお、九尾ダム上流域は流出解析（貯留関数法）上、全域が同じモデル分割であるため降雨量変化倍率の平均は、各メッシュ内における九尾ダム上流域の面積率を考慮した加重平均により設定した（図-6）。なお、降雨波形の引き延ばしについては、前項 3.と同様の手法で行った。

b) 土砂供給条件

現行計画の被害想定計算における土砂・洪水氾濫計算上の供給土砂量は、以下の手順により設定している。

- ①：砂防基本計画における生産土砂量から深層崩壊に起因する土砂量を除く
- ②：計算実施区間の河道生産土砂量を整理する

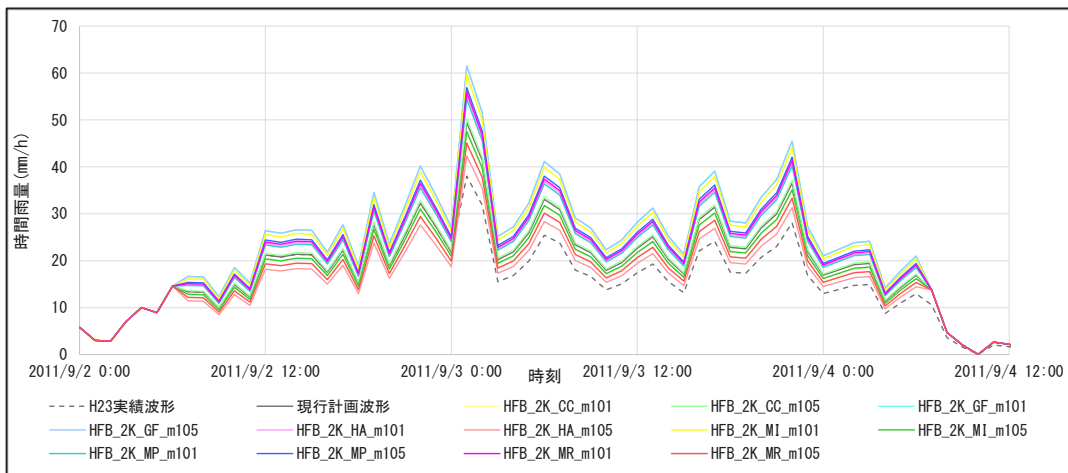


図-6 流出解析に用いる降雨波形（降雨波形の引き伸ばし結果）

表-6 被害想定計算結果 比較表

検討ケース			最大土砂堆積深 (m)		最大氾濫水深 (m)		水のみの最大氾濫水深		氾濫開始時刻		氾濫継続時間		被災形態
ケース	将来気候モデル	平均降雨倍率	堆積深	倍率	水深	増加量	水深	増加量	時刻	時間 (hr)	増加時間		
現行計画	現行計画	—	0.07	—	氾濫なし	—	氾濫なし	—	氾濫なし	氾濫なし	—	氾濫なし	氾濫なし
ケース1	HFB 2K CC m101	0.96	0.43	6.21	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし
ケース2	HFB 2K CC m105	1.02	0.55	7.91	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし
ケース3	HFB 2K GF m101	1.24	0.54	7.69	0.37	0.37	0.37	0.37	1.7hr	4.2hr	4.2hr	被災形態1	
ケース4	HFB 2K GF m105	1.24	0.48	6.89	0.38	0.38	0.37	0.37	2.5hr	3.7hr	3.7hr	被災形態3	
ケース5	HFB 2K HA m101	1.12	0.51	7.27	0.10	0.10	0.06	0.06	2.8hr	1.5hr	1.5hr	被災形態3	
ケース6	HFB 2K HA m105	0.86	0.39	5.56	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし
ケース7	HFB 2K MI m101	1.21	0.51	7.38	0.30	0.30	0.29	0.29	2.5hr	2.7hr	2.7hr	被災形態3	
ケース8	HFB 2K MI m105	0.96	0.40	5.80	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし
ケース9	HFB 2K MP m101	1.10	0.56	7.97	0.14	0.14	0.01	0.01	2.8hr	1.5hr	1.5hr	被災形態3	
ケース10	HFB 2K MP m105	1.15	0.54	7.82	0.18	0.18	0.15	0.15	2.5hr	2.0hr	2.0hr	被災形態3	
ケース11	HFB 2K MR m101	1.13	0.53	7.64	0.15	0.15	0.10	0.10	2.7hr	1.8hr	1.8hr	被災形態3	
ケース12	HFB 2K MR m105	0.91	0.44	6.25	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし	氾濫なし

- ③：①-②により無施設時の計算上の供給土砂量を設定する
- ④：計算実施区間外の事業着手時の既施設効果量を整理する
- ⑤：③-④により事業着手時の計算上の供給土砂量を設定する

ここで、②計算実施区間の生産土砂量は、河床変動計算において侵食に伴い流出する土砂量であることから、計算上の境界条件となる供給土砂量から除いた。また、計算実施区間に位置する施設は河床変動計算に評価されるため、⑤事業着手時の供給土砂量は③無施設時の供給土砂量から④計算実施区間外の事業着手時の施設効果量を除くことで設定した。

なお、気候変動によって供給土砂量の条件は①生産土砂量（のうち新規・拡大崩壊生産土砂量）のみが変化し、②計算実施区間の河道生産土砂量や、④計算実施区間外の事業着手時の既施設効果量は変化しないため、②～⑤の手順における土砂量や施設効果量は現行計画の整理結果を踏襲することとした。

c) 土砂供給タイミング

土砂供給タイミングについては、SiMHiSの崩壊予測結果から、最終的な崩壊箇所の半数が崩壊した時刻から土砂供給を開始した。なお、SiMHiSによる崩壊発生時刻が、河床変動計算における計算開始時刻より前になる場合には、河床変動計算開始直後（計算開始から0時間後）から供給を開始した。

(2) 二次元氾濫計算

一次元河床変動計算で抽出した氾濫開始点に対して、二次元氾濫計算を行い、被害想定計算を実施した。二次元氾濫計算においても、現行計画の計算モデルおよび計算パラメータを踏襲した。なお、現行計画では、水の不定流計算・掃流砂の平衡計算が可能なモデル（J-SAS：泥流モデル）を用いた。

6. 被害想定計算結果

ここまでで算出した降雨量変化倍率および土砂量



図-7 南日裏地区と洞川地区の位置

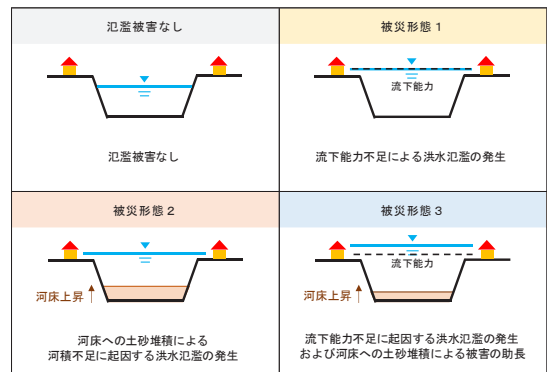


図-8 被災形態

変化倍率を用いて、山間部の局所的な降雨増加を考慮した12モデルの被害想定計算結果を実施した(表-6)。なお、本稿では現行計画における氾濫想定地区(本川：南日裏地区、支川：洞川地区)周辺である洞川地区(3.8km左岸)の検討結果を示す(図-7)。

また、比較のため、事業着手時(計画施設なし)の現行計画における被害想定計算結果を併記している。被災形態については、図-8に示す4タイプに区分している。表-6における最大土砂堆積深は、河床変動計算中における初期河床高から堆積深の最大値を示し、最大氾濫水深は、河床変動計算中における保全対象の地盤高から超過した水位の最大値を示し、どちらも10分間ごとに計算結果を出力して計算中の最大値を整理している。なお、複数モデルで氾濫

被害がなかった（最大氾濫水深＝0.0m）場合は最大土砂堆積深が最小のモデルを最小被害モデルとした。

現行計画では氾濫被害は生じていないが、局所的な降雨増加を考慮した12モデルのうち7モデルで氾濫被害が生じる結果となった。氾濫被害が生じた7モデルで、氾濫水深は0.10m～0.38m、氾濫継続時間は1.5hr～4.2hrとなった。また、現行計画と比較して12モデルの最大土砂堆積深は5.56倍～8.22倍に変化し、いずれのケースでも大幅に増加した。被害が最大となった将来気候予測モデルはケース3（平均降雨倍率1.24）であり、被害最小となった（最大土砂堆積深が最小となった）将来気候予測モデルはケース6（平均降雨倍率0.86）のモデルであった。ケース3とケース4では、両者とも平均降雨倍率が1.24倍であるものの、被災形態や氾濫継続時間、土砂堆積深が異なる。氾濫継続時間については、ケース3が4.2hr、ケース4が3.7hrとなっており、土砂堆積深については、ケース3が7.69mでケース4が6.89mとなっている。

このように同じ降雨規模であっても被災状況が変わってくるのは、供給土砂量および流量、土砂供給タイミング等が複合的に影響しているためであると考えられる。特に、ケース1、6、8、12においては、平均降雨倍率が小さくなっているにもかかわらず最大土砂堆積深が現行計画より増えている。その主な理由は、生産土砂量の差異によるものと考えられる。現行計画では、生産土砂量は打荻式に基づいて算出している。これに対して、ケース1～12では、生産土砂量はSiMHiSの計算結果に基づき設定している。生産土砂量は打荻式よりもSiMHiSの算出結果の方が多くなる傾向にあるため、降雨量が減少しているケースでも、現行計画よりも最大土砂堆積深が大きくなったものと考えられる。

7. まとめと今後の課題

(1) まとめ

今回、d2PDFを用いて気候変動による山間部の局所的な降雨増加を考慮した被害想定計算を実施した。その結果、これまで土砂・洪水氾濫被害が想定されていなかった箇所でも、降雨増加に伴い流量や生産土砂量が増大することで、新規に被害が発生する恐れがあることがわかった。

土砂・洪水氾濫の被害想定計算では、生産土砂量のみならず、土砂の供給タイミングが被害箇所や規模に影響する。そのため、従来の経験的手法（打荻式）では、取得困難だった土砂生産のタイミングと

いった時間的な情報を、SiMHiS等の解析的な手法を用いて算出し、被害想定計算を実施することは非常に有用であると考えられる。

(2) 課題

a) 知見の蓄積

本検討では、九尾ダム上流域を対象に、気候変動による降雨量の増大にともなう、現行計画で計算している土砂・洪水氾濫被害想定への影響を確認した。今後は、今回対象とした九尾ダム上流域とは異なる流域特性（例えば、地質や流域面積、勾配など）を有する流域や、中期事業計画において土砂・洪水氾濫対策施設が計画されている流域などを候補とし、検討対象とするモデル流域を拡充して気候変動による土砂・洪水氾濫対策計画への影響に関する知見を蓄積していくことが課題である。

b) 降雨波形の違いによる災害発生リスクの分析

本検討では、降雨波形については、すべてH23災害の波形をベースに降雨変化倍率に基づいて引き延ばしている。一方で、実際には、同じ降雨量であっても雨の降り方によって土砂災害発生リスクが異なると思われる。どの降雨パターンのリスクが一番高いか、将来予測や過去再現のアンサンブルをうまく活用して分析していくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 文部科学省、気象庁気象研究所、東京大学大気海洋研究所、京都大学防災研究所、国立環境研究所、筑波大学、海洋研究開発機構：地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、d4PDF利用手引き、第1章、2015。
- 2) 山野井一輝、藤田正治：複合土砂災害シミュレータSiMHiSを用いた山間地域における土砂災害の警戒避難情報の提供に関する一考察砂防学会誌、Vol.69, No.6, p.15-23, 2016。
- 3) 国土交通省：「気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言」（令和3年4月改訂）、【概要】気候変動を踏まえた治水計画のあり方（改訂）、2021。
- 4) 西尾潤太、松原智生、日名純也、村井臣成、西口幸希、石川莉紗子、中島秀明、菅原嵩史、岸本優輝、山本洋：紀伊山系における気候変動を踏まえた降雨評価と生産土砂量への影響に関する一考察、砂防学会 研究発表会令和6年度和歌山大会、2024。
- 5) 国土総合技術政策研究所：河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案）（国総研資料 第1048号）、2018。

(2024.5.31 受付)