

## 地形・森林・水文のカップリングモデルを用いた将来降雨条件下における生産土砂量の変化予測

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○蔭山 星、花田 良太、飛岡 啓之、菊池 美帆、吉武 央気  
 近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 山田 啄也、青野 友哉  
 近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 高原 晃宙  
 京都大学防災研究所 松四 雄騎

### 1. はじめに

従来の砂防計画では、過去の降雨事例での実績に基づき生産土砂量が推定されてきた。一方で、気候変動に伴い未経験の降雨による土砂生産の増大が懸念されており、国土交通省が設置した「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」にて、未経験の降雨による生産土砂量について推定精度向上の必要性が議論されている。そこで本研究では、将来発生し得る計画規模超過降雨を対象に、降雨規模・降雨波形に対する生産土砂量の増加量を定量評価することを目的とした。本稿では d4PDF に基づき設定した将来発生し得る計画規模超過降雨を入力条件とし、生産土砂量の降雨応答特性解析を実施した結果を記す。予測計算の実施にあたっては、地形に応じた土層の蓄積・除去を評価するサイクルシミュレーション<sup>1),2)</sup>、森林根系による粘着力の増加<sup>1)</sup>、降雨発生に伴う圧力水頭の応答<sup>3)</sup>をカップリングしたモデル<sup>4)</sup>を構築し、d4PDF に基づく複数の降雨波形を入力条件として解析を行うことで、計画規模を超過する降雨における波形パターンが生産土砂量に及ぼす影響を評価した。

### 2. 斜面水文プロセスのモニタリング及びモデル化

奈良県山辺郡山添村に位置する笠間川毛原地区(花崗岩地帯)の土石流危険溪流( $A=0.19\text{ km}^2$ )において、5箇所でテンシオメータを用いて土層内の短期的な圧力水頭の応答を5分間隔で観測した<sup>4)</sup>。観測期間は2024年6月24日～12月18日及び2025年5月20日～10月23日である。また、テンシオメータは表層崩壊のすべり面となることが想定される土層と風化岩の境界に設置した。解析上の短期的な圧力水頭の上昇は Iverson の一次元線形圧力拡散モデル<sup>3)</sup>で評価した。圧力水頭の観測結果に整合するように、モデルの圧力拡散係数と透水係数を同定した<sup>4)</sup>。5箇所の調査地点において圧力拡散係数・透水係数を同定した結果、両パラメータの最尤値間の相関係数は 0.89 となり、高い相関性が確認された(図1)。

### 3. 生産土砂量の降雨応答特性解析の計算条件

生産土砂量の降雨応答特性解析を実施する上で、①降雨・崩壊の規模が大きいイベント、②降雨・崩壊の規模が

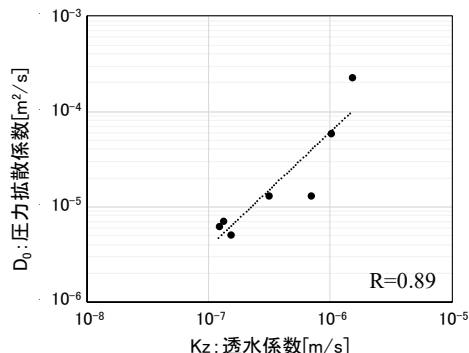


図1 圧力拡散係数・透水係数の相関

小さいイベントを再現可能な水文パラメータ(圧力拡散係数・透水係数)を同定する。毛原地区では、過去に生じた崩壊規模が大きいイベントの記録が確認できないため、毛原地区と同様の花崗岩地帯で崩壊規模が大きいイベントが過去に生じた室生ダム上流に位置する菟田野地区(花崗岩地帯)の土石流危険溪流( $A=0.36\text{ km}^2$ )を対象として選定した。対象とする降雨・崩壊イベントは昭和34年伊勢湾台風時のものとした。降雨特性に関して、毛原地区では最大時間雨量43mm・累加雨量346mm、菟田野地区は最大時間雨量93mm・累加雨量633mmの記録がある。水文パラメータに関して、図1の相関関係を満たす組合せを用いて、伊勢湾台風イベントを対象に同定した結果を表1に示す。菟田野地区の崩壊面積率を再現できる case2 の水文パラメータで毛原地区の再現計算を実施した結果、実績と同様に崩壊が発生しない結果となることを確認できたため、case2 のパラメータを採用した。なお、危険度評価における土層厚の空間分布は菊池ら<sup>2)</sup>を、森林根系による粘着力増加は松四ら<sup>1)</sup>の考え方をを用いた。

次に、危険度評価に用いる降雨について述べる。全国版 d4PDF ダウンスケーリングデータ(バイアス補正済みの日雨量)が国土技術政策総合研究所により109水系の観測所で公開されている<sup>5)</sup>。d4PDF データより流域近傍の名張観

表1 透水係数・圧力拡散係数の同定結果

ケース名	水文パラメータ		菟田野地区
	透水係数 [m/s]	圧力拡散係数 [m²/s]	崩壊面積率[%]
case1	$1.0 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-1}$	11.6%
case2	$6.0 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^0$	1.1%
case3	$1.0 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^0$	0.5%
昭和34年 伊勢湾 台風実績			1.2%

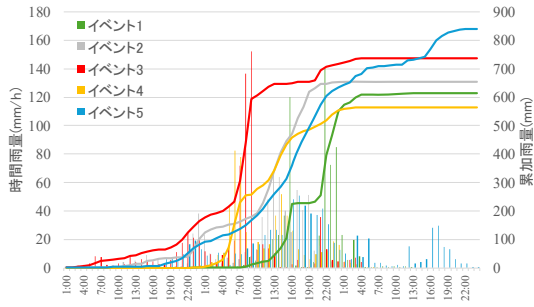


図2 500年確率規模の降雨波形

測所のデータを用い、4度上昇シナリオの将来降雨として予想されている100年・200年・500年確率規模程度の降雨を抽出した。降雨波形はバイアス補正前のオリジナルデータを用い、日雨量の比率で倍率補正した。その結果、合計15パターンの降雨波形(3つの確率規模×5種類の降雨波形)を作成した。5イベント分の500年確率規模の降雨波形を図2に示す。

#### 4. 計算結果

降雨イベント毎の生産土砂量を整理した(図3)。ここで、降雨プロキシとして、生産土砂量と最も強く相関する降雨継続時間6時間を採用した。最大24時間雨量が確率規模毎に同一となる設定であっても、降雨波形(短時間集中型, 長時間継続型など)に応じて生産土砂量は異なる。例えば、イベント3では、他イベントと比較して崩壊生産土砂量が多い。イベント3の降雨波形に注目すると(図2)、短時間雨量の最大値が他イベントよりも大きく、時間的に限局している。また、6時間雨量が300mm以上となる領域において生産土砂量が急増する傾向が認められる(図3)。増大した生産土砂量が上限域に達しているか検証するために、斜面が最も不安定となる水理条件すなわち全層飽和状態での安定解析を実施した。不安定領域の分布比較を図4に示す。崩壊面積率はイベント3(500年確率規模)の条件で3.3%、全層飽和条件で17.0%となった。イベント3は最大時間雨量152mm、累加雨量738mmの大規模な降雨イベントであるが、崩壊発生ポテンシャルが高いとされる0次谷で不安定と判定されない場所が多く残存しているため、生産土砂量は上限に達していないと考えられる。

#### 5. まとめと今後の展望

土層の発達・除去を繰り返すサイクルシミュレーションにより、空間的な土層厚分布を設定し、計算土層厚に対応

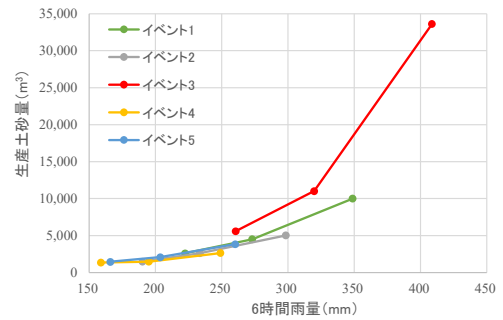


図3 降雨指標と生産土砂量の関係

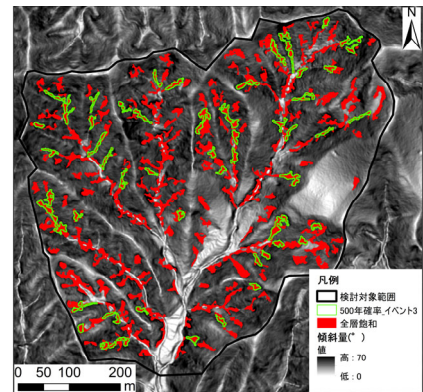


図4 不安定領域の分布

した根系粘着力を考慮した上で、d4PDFに基づく計画規模超過降雨を入力条件とした土砂生産量の降雨応答特性解析を行った。結果として、同じ確率規模でも生産土砂量は降雨波形に依存し、特定降雨量以上となる場合に生産土砂量の増加率が急上昇する傾向が明瞭に認められるモデル出力を得た。本研究により、砂防計画において将来発生し得る計画規模超過降雨を入力条件とする上で、単一の降雨波形だけではなく、複数の降雨波形を考慮した確率論的な検討の必要性が示唆された。参考文献 1)松四ら(2016): 土層の生成および輸送速度の決定と土層発達シミュレーションに基づく表層崩壊の発生場および崩土量の予測, 地形第37巻第4号, p.427-453 2)菊池ら(2025): 土層の時空間変化シミュレーションに基づく土砂生産ポテンシャルの評価, 令和7年度砂防学会研究発表会, p.107-108 3)Iverson(2000): Landslide triggering by rain infiltration, Water-Resources Research, Vol36, No7, p.1897-1910 4)蔭山ら(2025): 地形・森林・水文のカップリングモデルを用いた生産土砂量の降雨応答特性解析, 令和7年度砂防学会研究発表会, p.363-364 5)国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室(2026年3月時点): 全国版d4PDF ダウンスケージングデータ, <https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/html/kisya20250219.htm>