

Point

降雨を外力とする山地の土砂生産量について各支川流域別に算出する手法を開発しました。大規模豪雨時には斜面安全率に崩壊発生確率の指標を組み入れた表層崩壊モデル、平常年には裸地侵食モデルを組み合わせることで、再現性の向上を図りました。

山地域における面的な土砂生産特性の分析

大阪支社 河川部 笠井 賢治、森 友佑

はじめに

流域からの土砂流出量が多い貯水ダムでは、過度な土砂堆砂によって本来の治水や利水機能に深刻な支障をきたす状況が発生しています。

本開発で対象とした長安口ダム上流域は、急峻で地質が脆い四国山地であることから豪雨時に土石流による土砂流出が発生しやすく、ダム機能の維持に向けた対策が必要となっています。

既往モデルの課題

これまでも、貯水池内の堆砂除去のみならず、ダム上流域全体で土砂流出抑制対策が可能となるように、面的（各支川流域）に土砂生産量を算出する方法について検討してきました。既往検討では斜面安全率(F_s)※1解析を基本に $F_s < 1.0$ を表層崩壊発生基準として土砂生産量を算

出していました。斜面安全率解析結果(図1)の値のパラツキをY軸で把握できるように、計算メッシュ番号をX軸にとり並び替えたものが図2です。実際の崩壊発生箇所においては、崩壊地の約40%において $F_s \geq 1.0$ となっています。実績崩壊地の再現精度に課題があった斜面安全率のみで崩壊発生の判断を行うことは実現象に合致していないことから、新たな検討手法の開発が求められていました。

※1 斜面安全率(F_s): 安定性を示す指標。すべりをおこさせる力と抵抗する力の比で表わしたもの。 $F_s=1$ はまさにすべりだそうという状態を表わしている。

土砂生産モデルの開発

実績のダム堆砂量より、H16年洪水のように斜面崩壊が多発した大規模豪雨時はもとより、それ以降の崩壊非発生年においても恒常的な土砂の生産が確認できました。そのため、斜面崩壊を伴う大規模豪雨時、崩壊非発生年それぞれの土砂の生産実態に見合ったモデルの開発を行いました。

(1)大規模豪雨時の表層崩壊のモデル化

山地域全体の表層崩壊による土砂生産量については、各計算メッシュで崩壊領域の土量を算定したものを面的に積算することで推定しました(図3)。

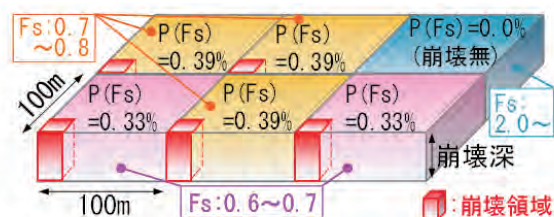


図3 崩壊発生確率による計算メッシュ内の崩壊領域

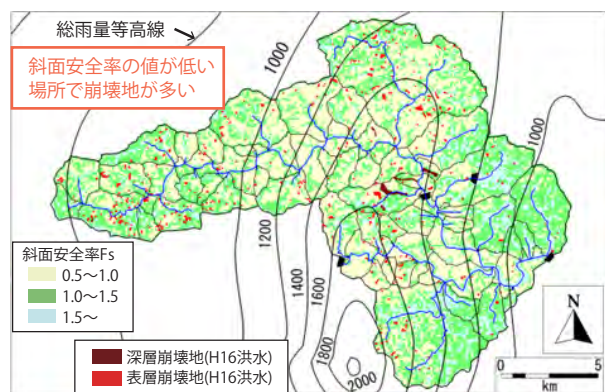


図1 斜面安全率解析結果分布と崩壊発生箇所(H16洪水)

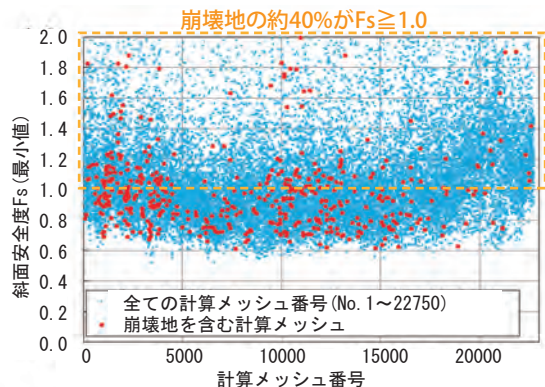


図2 各計算メッシュの斜面安全率(洪水期間の最小値)

表層崩壊による土砂生産量 V_1 の算定式を数式(1)に示します。ここで、崩壊発生確率については、斜面安全率の結果(図1)をもとに、斜面安全率を0.1間隔でランク分けして設定しました(表1)。このように、崩壊発生確率と平均崩壊深を与えて算出することで、 $F_s \geq 1.0$ の場合にも低確率ではあるものの崩壊が発生している状況を反映し、崩壊現象の再現精度の向上を図りました。

表1 斜面安全率ランクに応じた崩壊発生確率

Fsランク ①	Fsランク別の 計算メッシュ面積 (km ²) ②	実績の表層 崩壊面積 (km ²) ③	崩壊発生 確率 P (Fs) ③/②
0.0 ≤ Fs ≤ 0.5	0.0	0.000	0.00%
0.5 < Fs ≤ 0.6	0.6	0.000	0.00%
0.6 < Fs ≤ 0.7	7.7	0.025	0.33%
0.7 < Fs ≤ 0.8	23.0	0.090	0.39%
0.8 < Fs ≤ 0.9	34.5	0.074	0.21%
0.9 < Fs ≤ 1.0	37.7	0.087	0.23%
1.0 < Fs ≤ 1.1	31.3	0.066	0.21%
1.1 < Fs ≤ 1.2	22.8	0.026	0.12%
1.2 < Fs ≤ 1.3	16.3	0.012	0.07%
1.3 < Fs ≤ 1.4	11.3	0.006	0.05%
合計	227.5	0.408	0.18%

$$V1 = \sum (P(Fs) \times a \times h) \quad (1)$$

V1: 土砂生産量(表層崩壊)

a: 計算メッシュ面積(100m×100m)

h: 平均崩壊深(レーザ測量結果から斜面勾配に応じて設定)

P(Fs): 斜面安全率に応じた崩壊発生確率 $\sum Ac(Fs) / \sum a(Fs)$

Ac: 平成16年8月洪水時の実績崩壊地面積

Fs: 流出解析で得られる降雨期間中の最小斜面安全率

$\sum Ac(Fs)$: 各斜面安全率ランクに含まれる実績の表層崩壊地面積の合計

$\sum a(Fs)$: 各斜面安全率ランクの計算メッシュ面積合計

(2)崩壊非発生年(平常年)の裸地侵食のモデル化

表層崩壊が発生しない平常年においては、ダム上流域の表土が露出した裸地の土砂が侵食されて貯水池まで土砂移動していると想定し、モデル化しました。任意の降雨量に応じた土砂生産量を算出可能とするため、各年のダム堆砂量と相関がある降雨量を分析し近似式を作成しました。次に、ダム堆砂量を裸地面積で除して年あたりの平均侵食深を算出し、年ダム堆砂量から年平均侵食深に置き換えた相関図を作成しました(図4)。この相関図をもとに近似式を算出し、任意の降雨量に対応した平常年の土砂生産量V2の算定式に組み込みました(数式(2))。

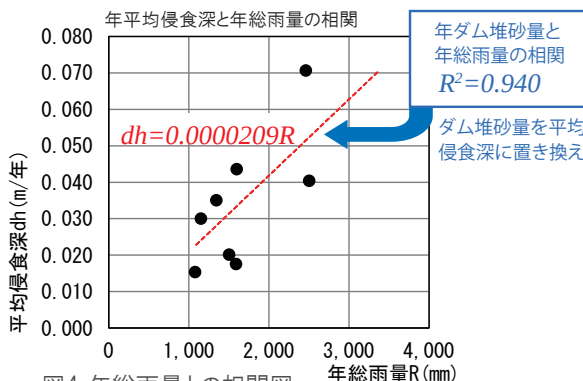


図4 年総雨量との相関図

$$V2 = dh \times Ab \quad (2)$$

V2: 土砂生産量(裸地侵食)

Ab: 各年の裸地面積

dh: 年あたりの平均侵食深

(図4の相関式 $dh = 0.0000209 \times R$ より設定)

(3)モデルの検証

H16～R4年の19年間の再現計算を行い、モデルの検証を行った結果、ダム貯水池内の堆砂量、粒径割合がおおむね再現されました(図5)。各支川流域からの土砂流出量を算出できることから、面的な把握ができる手法として有効であることも確認しました(図6)。

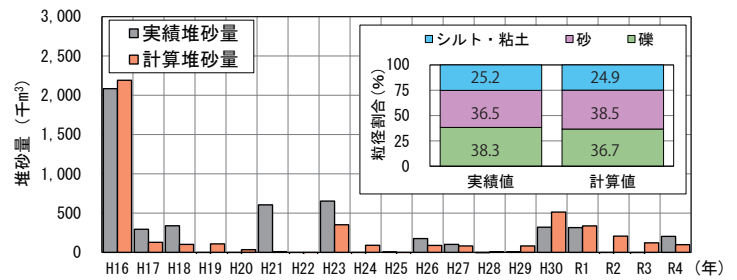


図5 ダム貯水池までの土砂移動を考慮した検証結果

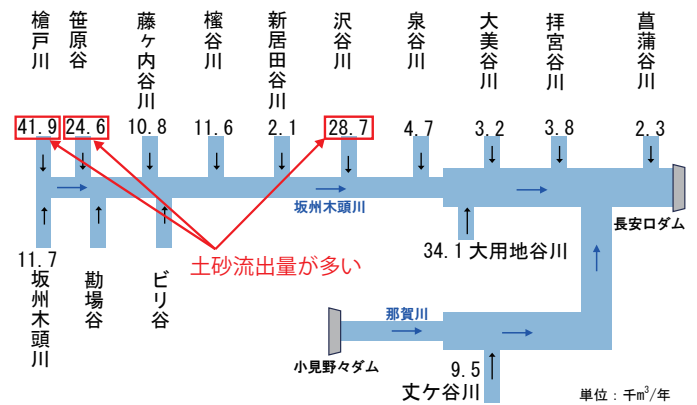


図6 各支川流域からの土砂流出量(H16～R4の年平均)

おわりに

気候変動による異常気象や自然災害が頻発するなかで、既存施設の有効利用は喫緊の課題となっています。ダムを有効利用するためには堆砂量を精度よく予測することが求められます。

本モデルでは山地域からの土砂生産量を面的に算出でき、土砂生産が多い支川流域の特定等の分析にも適用できます。また、降雨量のほか、土壌や裸地等の与条件をメッシュごとに任意に設定し、土砂量の発生規模(上限～下限)を把握することができることから、ダム堆砂対策に柔軟に対応することができます。

今後もさまざまな流域への活用を進めていくことでモデルの精度向上を図り、土砂管理に関する課題解決に貢献していきたいと考えています。

本稿は、第12回土砂災害に関するシンポジウム論文集「山地域における面的な土砂生産特性の分析」(pp.131-136, 2024, 国土交通省 四国地方整備局 那賀川河川事務所との共著)を再編集した内容となっています。