

## 速報

桜島火山における治山堰堤に及ぼす堆砂の影響についての数値解析的検討<sup>\*1</sup>浅野志穂<sup>\*2</sup> ・ 落合博貴<sup>\*3</sup>

キーワード：治山堰堤，堆砂，有限要素法

## I. はじめに

山地地域で発生する土石流災害の防止のため，山地の溪流には治山堰堤が多数設置されている。特に桜島などの活発な活動をする火山では，豪雨に伴って土石流が頻繁に発生するため，多数の堰堤を高密度に配置することが多い。堰堤は一般的に，強固な岩盤の上に設置するように設計されるが，火山地域においては固結度の低い地層が厚く堆積しているため，堰堤設置時の基礎として強固な岩盤に設置できない場合も少なくない。このため堰堤が安定してその機能を発揮するためには，土石流が到達した時に堰堤本体や上流側の堆砂域などに生じる力の変化の特性を理解することがより重要となっている。堰堤に作用する土圧については，シラス分布域に設置された堰堤に土圧計を設置して野外観測を行った例（春山ほか，1975）や，実験水路を用いて堰堤背面への土砂の衝突実験を行い，堰堤に作用する加重を検討した例（山本ほか，1998；内田ほか，2006）などがある。しかし実際には堰堤本体や

上流側の堆砂の形状は三次元的であり，堰堤本体や堆砂域や周辺斜面等に働く力を，三次元的な空間分布として考えることが必要である。

そこで本研究では，土石流が流下した時の，治山堰堤本体や堰堤上流側の堆砂域，周辺斜面の挙動を動的に検討するための前段として，治山堰堤の上流側の堆砂状況の違いが，堰堤本体や周辺斜面に生じる応力に及ぼす影響について三次元的に明らかにするために，応力-ひずみ解析による数値実験的手法により検討を行ったので報告する。

## II. 研究手法

本研究では，鹿児島市桜島町の古河良川中流域にある治山堰堤を対象事例として検討を行った。古河良川は桜島の北西斜面にあたる溪流で，土石流災害防止のために堰堤が多数設置されている。対象とした治山堰堤は標高約 490 m 付近にあり，上下流の隣接

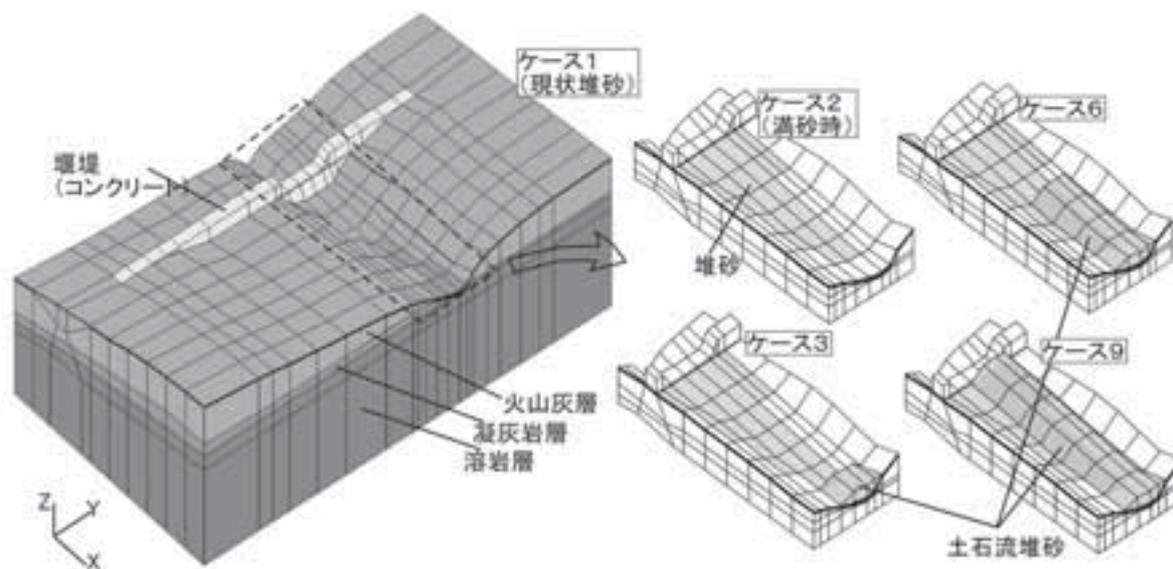


図-1. 解析モデルと各ケースの設定

<sup>\*1</sup> Asano, S. and Ochiai, H. : Stress-strain analysis of sediment control dam by sedimentation in Sakurajima volcano.

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

<sup>\*3</sup> 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Tsukuba 305-8687

表-1. 解析時の物性値

	弾性係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 φ (度)	粘着力 C (kN/m <sup>2</sup> )
堆砂域堆積物	6.23 × 10 <sup>4</sup>	0.29	16.0	25.0	1.00 × 10 <sup>0</sup>
火山灰	6.23 × 10 <sup>4</sup>	0.29	16.0	25.0	1.00 × 10 <sup>0</sup>
凝灰岩	1.48 × 10 <sup>5</sup>	0.45	18.0	20.0	1.50 × 10 <sup>3</sup>
溶岩	4.14 × 10 <sup>5</sup>	0.20	19.0	34.0	1.10 × 10 <sup>3</sup>
コンクリート	2.50 × 10 <sup>5</sup>	0.15	22.5	45.0	5.00 × 10 <sup>3</sup>

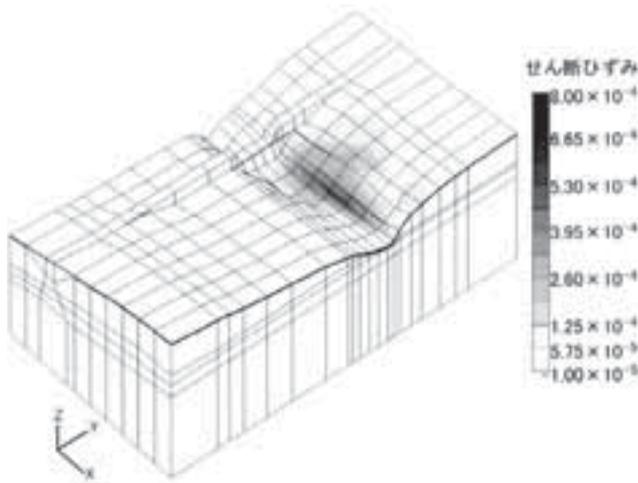


図-2. せん断ひずみの減少量

する堰堤とは連結せず、単独で設置された堰堤である。堰堤建設時の床堀の記録などから、当地点の地盤は上位から火山灰層、凝灰岩層、溶岩層が積層することが分かっている。また堰堤上流側の堆砂は現在、堤高の半分程度の高さまでとなっている。

堰堤およびその周辺斜面に及ぼす応力分布を解析するために、三次元解析モデルを作成した(図-1左)。解析モデルは溪床の縦断水平方向をX方向、横断水平方向をY方向とし、堰堤を挟んでX方向40m、Y方向を72m、底面標高を470mの範囲とした。地形図からモデル表面を作成し、堰堤の床堀の記録から地層境界の高さを推定してモデルに組み込んだ。地盤の応力解析を有限要素法により行うため、地形面や堰堤形状、地層境界などを考慮しながら、モデルを8節点6面体と6節点5面体のアイソパラメトリック要素で要素分割した。これにより要素数1,222、節点数1,655の解析モデルを作成した。解析のための境界条件としてモデルの4つの側面と底面の全節点について、面の法線方向の変位が無いものとした。また荷重条件として全要素に重力を与えた。各地層および堰堤の物性値については、対象地における現地試験データが無かったため、対象地から西北西に約1.5km離れた松浦川上流で実施した標準貫入試験の結果を参考にして決定した。松浦川では火山灰に加えて軽石も多く含まれるため、対象地の物性とはやや異なる可能性もあるが、本調査では堆砂条件を変えた場合の相対的な違いを主に考えるため、物性値の若干の違いは許容できると考えた。モデルの各層に与えた物性パラメータを表-1に示す。堆砂部分については表層の火山灰層と同じものとした。解析は弾-完全塑性モデルによる有限要素法により行い、全応力解析として地下水の影響は考慮していない。

本研究では堰堤上流側の堆砂条件の違いによる応力分布の差を検討するために、堆砂条件について図-1の各ケースを設定した。

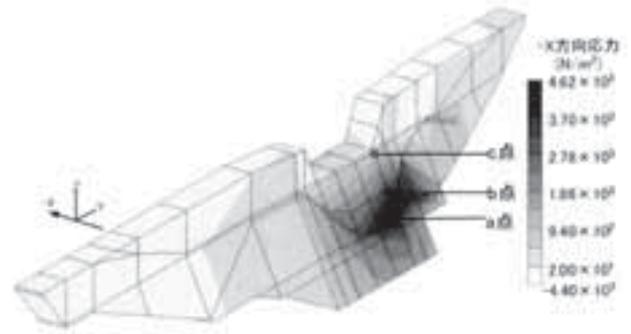


図-3. 堰堤の応力増分量

ケース1と2は上流側堆砂の違いとした。土石流堆砂ケース(ケース3~9)は、満砂した堆砂域の上に土石流などにより上流側から到達した土砂が堆積し静止した状態を簡略的にモデルで表したものである。紙幅の関係で表示していないケース4と5はケース3と6の中間状態、ケース7と8はケース6と9の中間状態である。本解析は静的条件で行い、土石流流下による衝撃力などは考慮していない。

### Ⅲ. 結果と考察

初めに堰堤上流側の堆砂域が現状の場合(ケース1)と満砂した場合(ケース2)のせん断ひずみの分布について比較した。堰堤上流側堆砂域の右岸側の溪岸斜面では勾配が大きい。このためケース1では、右岸側溪岸斜面の中央付近で約 $9 \times 10^{-4}$ のひずみが表れるなど重力によるせん断ひずみが大きく表れ、不安定度合いが高い場所であった。ケース2とケース1のせん断ひずみの差分を求めると、図-2に示すように、せん断ひずみの大きい堆砂域右岸の溪岸斜面で発生するせん断ひずみは、満砂することにより最大 $6 \times 10^{-4}$ 程度減少することが示された。これはいわゆる治山堰堤設置による山脚固定効果をせん断ひずみの低下として表したものである。また堰堤本体への影響として、満砂することによる下流向きX方向に生じる応力の増分量を示した(図-3)。これによると堆砂が満砂することにより堰堤本体に発生する応力は増加し、その増加量は堰堤の左右両岸で不均等であり、堰堤の右岸側底部付近で特に大きく、約 $4 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の増加が生じるとの結果が得られた。このような左右両岸で不均等になったのは、溪岸や溪床の地形の影響によるものと考えられた。

次に土石流堆砂ケースについて、堆砂域が満砂状態(ケース2)の結果と比較したときの、右岸側の溪岸斜面に生じるせん断ひずみの増加量を示した(図-4)。土石流堆砂は、溪床中央付近に高さ2mのかまぼこ状に堆砂したと仮定した。このような土石流堆砂の状態では満砂時の堆砂域の表面が沈下することになり、周囲の溪岸斜面ではせん断ひずみ量が増加して、溪岸斜面の不安定化が進むことが分かった。また土石流堆砂の範囲が広がるにつれて、溪岸斜面のひずみが増加する範囲は大きくなり、また深さ方向については、溪床にある元の堆砂の中で特にひずみが増加することがわかった。

またそれぞれの土石流堆砂ケースについて、図-3に示す堰堤本体の下流側向き(-X方向)に生じる応力の増加量をそれぞれ

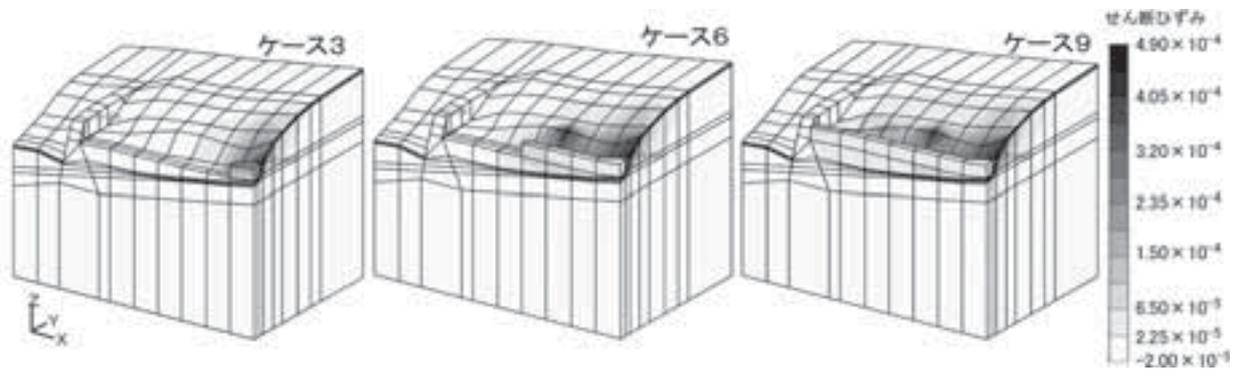


図-4. 斜面のせん断ひずみ増分量

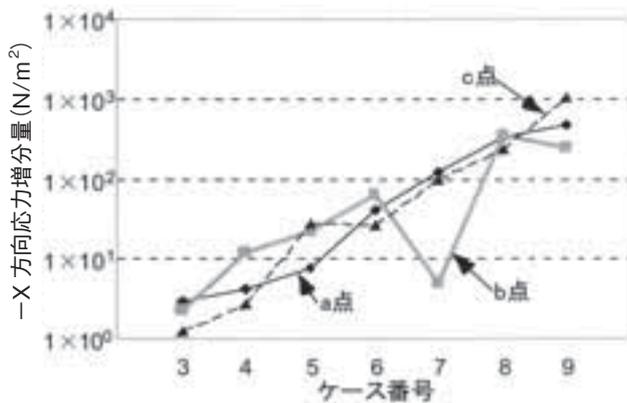


図-5. ケース別の応力増分量

比較した。ここでは図-3に示す堰堤上流側の節点 (a, b, c の各点) について、満砂時 (ケース2) の応力に対するそれぞれのケースの応力増分量を図-5に示す。a は堆砂底面, b は現状の堆砂面上面, c は満砂時の堆砂面上面に相当する。堰堤から離れた位置に土石流堆砂があったケース3では堰堤に作用する応力は殆ど変化せず影響が小さい。土石流堆砂が堰堤に近づくにつれて、堰堤におよぼす応力の影響は各深度で大きくなり、堰堤に最も接近したケース9で最も応力が増加した。途中のケース7について

は、b地点の応力の増加が一時的に小さくなったがこれは溪岸斜面の地形の影響と思われる。堰堤に生じる応力について深度毎に比較すると、土石流堆砂が堰堤付近に達したケース9では浅層のc地点で応力の増加幅が大きい、堰堤から離れた場所の堆砂では、cに比べて深層のb点やa点で応力が増加しやすいことが分かった。このことは堰堤に作用する土石流堆砂の影響が、土石流堆砂が堰堤近傍では、堰堤の応力増加を直接的に引き起こすが、堰堤から離れた場所での土石流堆砂は、堆砂域全体の変形により、間接的に堰堤に生じる応力の増加に影響を与えることを示していると考えられる。

## 謝 辞

現地の地盤調査資料などは、九州森林管理局および鹿児島森林管理署より提供いただきました。記して謝意を申し上げます。

## 引用文献

- 春山元寿ほか (1975) 新砂防 95 : 14-21 .  
 内田太郎ほか (2006) 砂防学会誌 59 (1) : 3-12 .  
 山本彰ほか (1998) 砂防学会誌 51 (2) : 22-30 .  
 (2010年10月23日受付 ; 2011年1月23日受理)