

## 土砂変動からみた山地溪流の堰堤整備の効果

小杉俊（静岡大学大学院総合科学技術研究科）  
今泉文寿，逢坂興宏，土屋智（静岡大学農学部）

治山堰堤が土砂変動に与える効果の解明は、今後土砂災害に対して有効な堰堤の設計に役立つと考えられる。本研究では解析対象地について、写真測量に基づいて作成した DEM から、河床の横断面の変化や堆積・侵食状況を調べ、治山堰堤が土砂変動へ与える効果を検討した。その結果、堰堤から上流側に離れるほど土砂が堆積しやすい傾向がみられた。降雨と土砂変動の関係をみると連続雨量 100 mm を超えると土砂変動が活発となり、また観測期間中最大の土砂変動量を記録した期間は解析対象地の最上流部において限界掃流力を超える流出があった。また、堰堤整備後は堰堤整備前よりも土砂の堆積効果が大きい傾向にあった。

キーワード：治山堰堤，河床変動，DEM，掃流力

### I はじめに

溪流周辺での土砂災害の防止のための設備として治山堰堤が各地で整備されている。その効果を明らかにするため、水山ら（1, 2）は堰堤周辺における土砂動態把握と流出土砂量の推定を、大久保ら（3）は堰堤の土砂調節効果の研究を行った。しかし、整備した堰堤が実際に流域内の土砂変動にどのような効果をもたらすかの研究事例はいまだ少ない。治山堰堤が土砂変動に与える効果の解明は、今後土砂災害に対して有効な堰堤の設計に役立つと考えられる。そこで本研究では大井川上流域に位置する筑波大学井川演習林内において UAV を用いて行われた定期的な写真測量を行い、治山堰堤周辺における河床の堆積・侵食状況を調べた。また、インターバルカメラで撮影した流路の様子から河川流量の推定を行い、降雨イベント毎の土砂変動量と掃流力の関係を検討した。加えて、本研究の計測結果と過去の堰堤整備以前の測量データと比較し、現在と過去の土砂変動状況の違いを検討した。

### II 方法

#### 1. 調査対象地

静岡県静岡市葵区北部筑波大学農林技術センター井川演習林東河内実験溪流である。地質は中生代四万十層群の頁岩，砂岩それらの互層になっている。

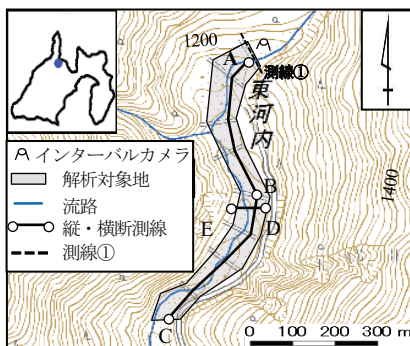


図-1. 調査対象地概要

流域面積は 7.17 km<sup>2</sup>，解析区間の長さは 748 m，平均河床勾配は 5.3 ° である。解析対象地の上空から UAV の撮影を行った。また水位観測のため流域上流にインターバルカメラを設置した。解析対象地には高さ 2~5 m の堰堤が 9 基設置されている。

#### 2. DEM の作成と解析方法

DEM (Digital Elevation Model) の作成と解析を行うため、対象地内の堰堤上 18 点に測量杭を GCP (Ground Control Point) として設置し、各 GCP の座標を GRS-1 GNSS ハンドヘルド受信機 (TOPCON 社製) を用いてスタティック測量を行い計測した。

次に UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いて解析対象地を撮影した。UAV の機種は Phantom3 Professional (Dji 社製) であり、表-1 の 8 時期に撮影を行った。

表-1. 撮影時期と使用データ

期間	日数	連続雨量(mm)	期間雨量(mm)
2016年6月9日~7月14日	35	29.0	135.5
2016年7月14日~8月3日	20	41.0	129.5
2016年8月3日~11月17日	126	120.0	577.5
2016年11月17日~12月9日	22	24.0	162.5
2016年12月9日~2017年4月20日	132	74.0	382.0
2017年4月20日~8月22日	124	333.0	1038.5
2017年8月22日~9月27日	36	115.0	227.0

次に撮影した画像を Photoscan (Agisoft 社製) で処理し、DEM を作成した。撮影密度は  $2.8 \times 10^4$  枚/km<sup>2</sup> である。Photoscan 使用時の設定は画像のアライメント精度を「高」、高密度クラウドの品質を「高」とした。このようにして得られた格子サイズ 0.1m 四方の DEM を 2 時期間で差分し、その期間の土砂変動量を算出した。

最後に堰堤整備前後の土砂変動状況の違いを明らかにするため真板（4）による対象地での堰堤整備前の土砂変動状況と比較を行った。真板（4）では 22 点の横断測線にて計 9 回の出水イベントを対象に測量を実施した結果が記載されている。

KOSUGI Shun\*, IMAIZUMI Fumitoshi, OHSAKA Okihiro, TSUCHIYA Satoshi

The effect of check dams on the channel bed deformation in the mountainous river.

Shukyon1888@gmail.com

### 3. 流量観測

流量を求めるために必要な流速をマンニング式により算出した。マンニング式に必要な流水断面積と潤辺を算出するため、レーザー距離計を用いて測線①を横断測量するとともに、インターバルカメラを用いて堰堤の水通しを撮影し、画像から水位を10cm単位で判読した。撮影間隔は10分間である。このようにして得られた流速と流水断面積の積を流量として算出した。ハイト・ハイドログラフを作成するため必要な雨量データは筑波大学井川演習林の雨量計データを使用した。

### 4. 掃流力・限界掃流力解析

土砂変動と掃流力および限界掃流力の関係性について検討した。測線①の掃流力および限界掃流力をそれぞれ以下の式(1)、(2)で求めた。

$$\tau = \rho g R i \quad (1)$$

$$\tau_c = 0.05(\sigma - \rho) g d \quad (2)$$

$\tau$ : 掃流力 ( $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$ ),  $\rho$ : 水の密度 ( $\text{g/cm}^3$ ),  $R$ : 径深 (m),  $i$ : 河床勾配,  $\sigma$ : 粒子の密度 ( $\text{g/cm}^3$ ),  $d$ : 平均粒径である。径深は測線①の横断測量の結果と水位変化から算出した。勾配は解析対象区間の平均河床勾配 ( $5.3^\circ$ ) を使用した。また解析対象区間において上流から縦断方向に2mごと、100サンプルの砂礫の粒径を計測し、その平均粒径 (7.9 cm) を  $d$  の値として使用した。

## III 結果

### 1. ハイト・ハイドログラフ

2016年と2017年に起きた降雨イベントの中で連続雨量が最大であった2017年8月7～8日のハイト・ハイドログラフを図-2に示す。夜間のためインターバルカメラで水位を判読出来なかった部分は欠測している。黒線は流量、灰色は10分間雨量を示す。連続雨量333mmを記録し、ピーク流量は  $53.39 \text{ m}^3/\text{s}$  であった。2016年と2017年とを比較すると2016年は大きな降雨がみられず、9月20日の連続雨量120mmが最大であった。このときのピーク流量は  $15.65 \text{ m}^3/\text{s}$  だった。

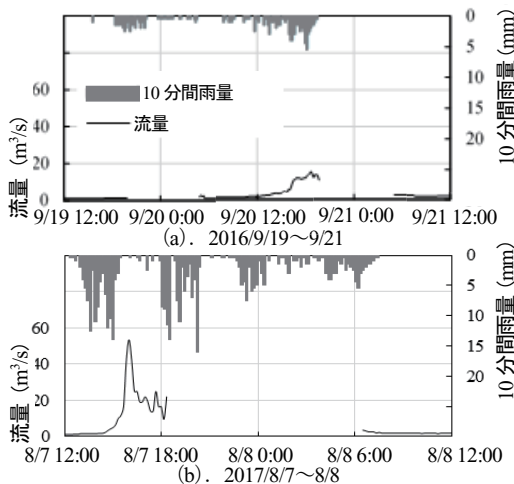


図-2. ハイト・ハイドログラフ

### 2. 土砂変動の状況

2016年8月3日と11月17日のDEM差分図と2017年4月20日と8月22日のDEM差分図を図-3に示す。連続雨量の最大値が120mmであった2016年は河床変動が活発でなく、連続雨量333mmを記録した2017年には3m以上の堆積箇所があるなど、土砂変動が活発であった。特に対象地の中流から下流にかけての堆積が顕著であり、流路の両端を中心に堆積がみられた。

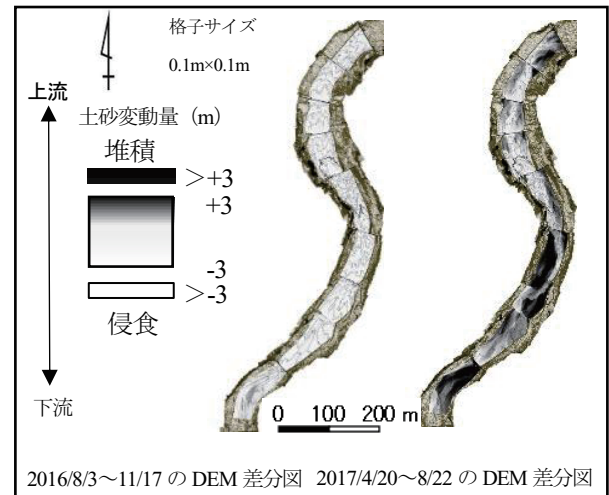


図-3. DEM差分図

### 3. 期間雨量と土砂変動量

次に各時期において土砂変動量を堆積量と侵食量に分けてそれぞれ積算し、期間雨量と対比させた(図-4)。黒は堆積量、白は侵食量、灰は期間雨量を示す。2016年の土砂変動は活発ではなかったが、期間雨量の多い2017/4/20~8/22の期間の堆積量が突出して大きい値を示した。

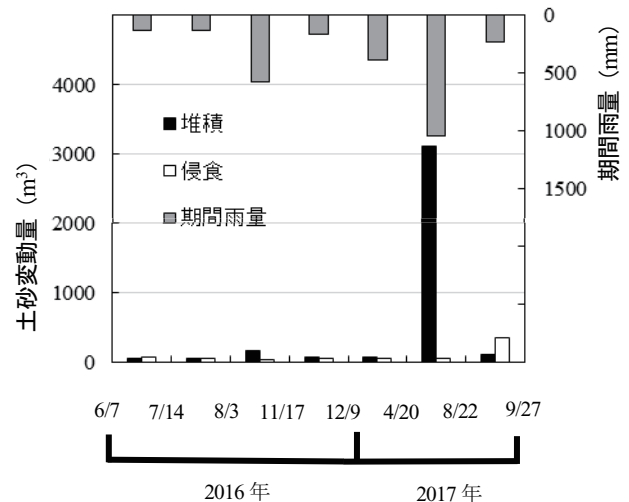


図-4. 期間雨量と土砂変動量

#### 4. 堰堤からの距離と土砂変動量

次に堰堤からの距離と土砂変動量の関係を検討するため、堰堤から上流側へ 20 m ごとに区間を設定し土砂変動量を算出した。ここでの土砂変動量とは堆積量と侵食量の合算値である。土砂変動が活発だった 2017/4/20 から 8/22 における堰堤からの距離と土砂変動量の関係を図-6 に示す。堰堤⑥⑦以外の 6 つの堰堤は堰堤から遠ざかるほど土砂変動量が増加傾向にあった。また、堰堤⑧⑨はその傾向が明確であった。傾向が見られなかった堰堤⑥⑦では、堰堤から遠い位置において後続流による顕著な侵食跡がみられたため、そのことが傾向を不明確にしたと考えられる。

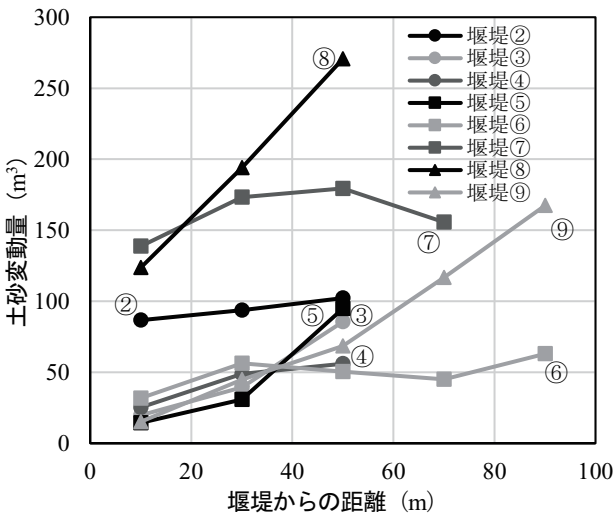


図-6. 堰堤からの距離と土砂変動量の関係

#### 5. 連続雨量・掃流力と土砂変動量の関係

観測した各期間の連続雨量と土砂変動量との関係を図-7 に示す。連続雨量との関係では連続雨量 100mm を超えた点で土砂変動量が増加し始めていた。次に最大掃流力と土砂変動量との関係を図-8 に示す。最も土砂変動量が大きかった時期には限界掃流力である  $0.64 \text{ (kgm}^{-1}\text{s}^{-2})$  を上回る流出があった。それに対し、土砂変動がほとんど確認されなかった他の時期は、掃流力が限界掃流力を下回っていた。

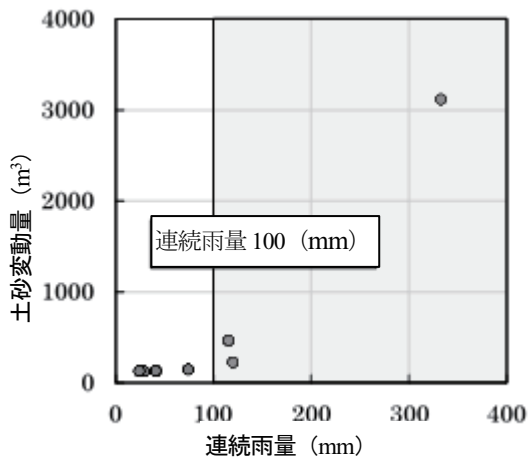


図-7. 連続雨量と土砂変動量の対比

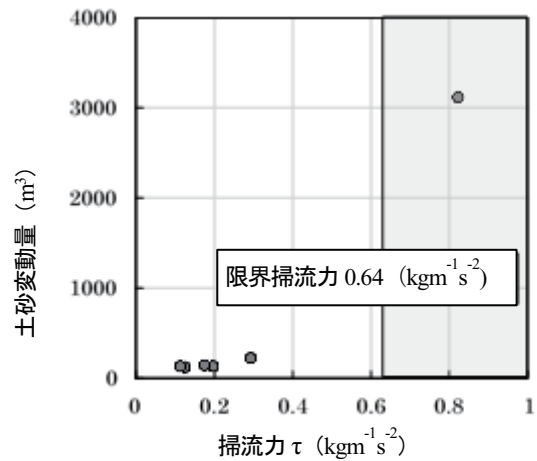


図-8. 掃流力と土砂変動量の対比

#### 6. 堰堤整備前後の縦・横断変化

次に堰堤整備前後で土砂変動にどのような違いがあるか比較した。堰堤整備後最も土砂変動が大きかった 2017 年 4 月 20 日から 8 月 22 日の期間と、堰堤期間前の同程度の連続雨量を観測した期間 (1980 年から 1981 年) とを比較した。図-1 に示す解析対象地の縦断測線 AB, 縦断測線 BD, 横断測線 DE の堰堤整備前後の地形変化を図-9 から図-11 に示す。灰色破線は土砂変動前、黒線は土砂変動後の地形、矢印は堰堤の位置を示す。縦断地形の変化をみると縦断測線 AB では、堰堤整備前は大きな河床変動がなかったが、堰堤整備後に②堰堤の直上と⑥堰堤の上流側に土砂が堆積している様子がみられた (図-9)。縦断測線 BC でも堰堤整備前ではあまり地形変化はないが、堰堤整備後は⑧堰堤の上流側に大きく堆積しており、また⑨堰堤の直下にも土砂が大きく堆積していた (図-10)。

次に横断地形の変化をみると横断測線 DE では、堰堤整備前はあまり変化が大きくないのに対し、堰堤整備後は流路の両端に大きな堆積が見受けられた (図-11)。これらより縦断・横断地形ともに堰堤整備前よりも堰堤整備後のほうは土砂堆積が顕著にみられた。以上より堰堤整備前より堰堤整備後のほうが土砂の堆積効果が高い傾向にあるといえる。

#### IV 結論

解析区間全体では中流から下流にかけて堆積が顕著に見られた。堰堤間の土砂変動を比較すると堰堤から上流側に離れるほど堆積しやすい傾向がみられた。降雨との関係に着目すると、土砂変動は連続雨量 100mm を超えると、土砂変動量が増加し始めていた。また土砂変動量が最も活発だった期間は限界掃流力を超える出水があった。

堰堤整備前後で同程度の降雨イベントを対象に地形変化を比較すると、堰堤整備後は整備以前より堰堤による土砂の堆積効果が高い傾向にあった。

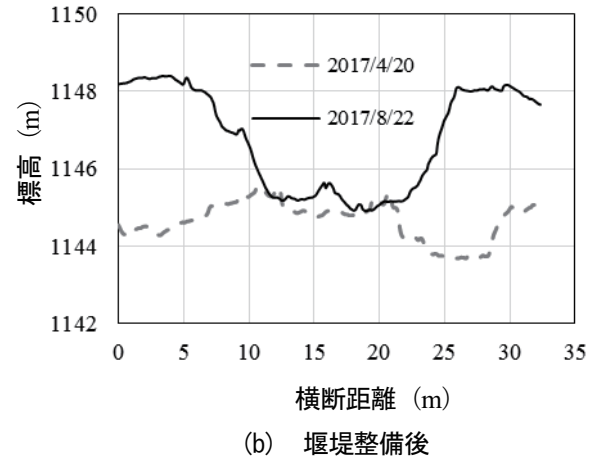
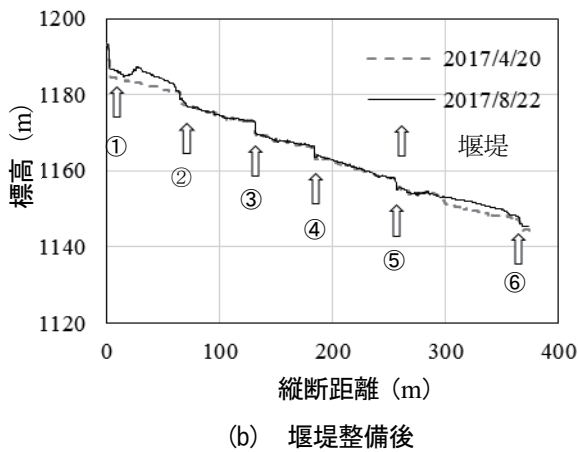
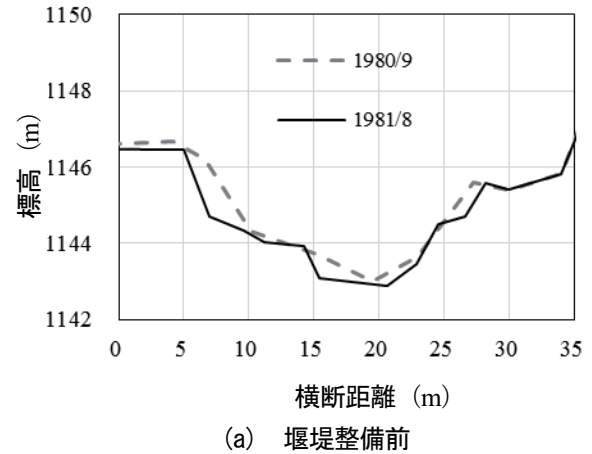
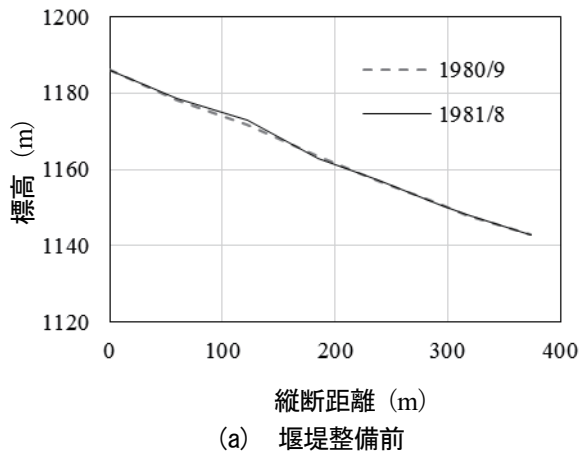


図-9. 縦断測線 AB における地形変化

図-11. 横断測線 DE における地形変化

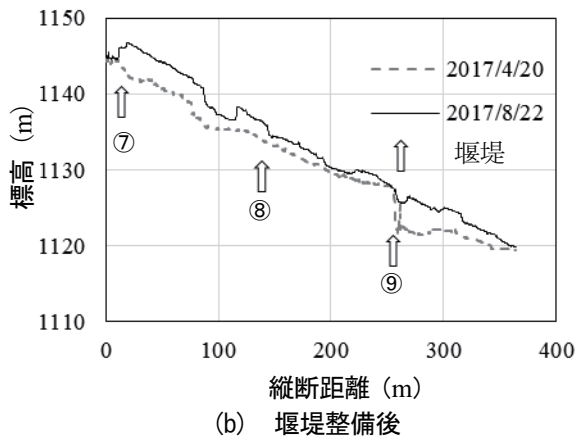
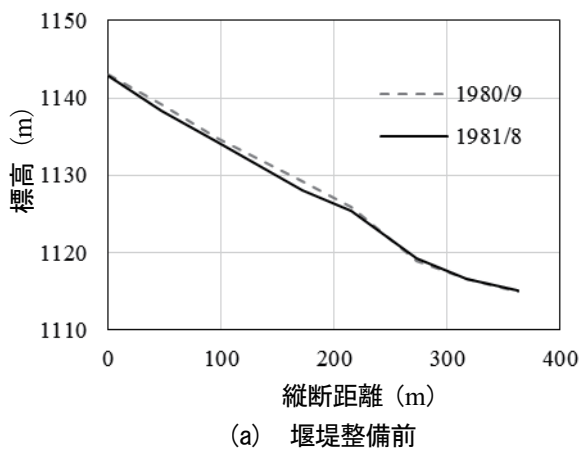


図-10. 縦断測線 BC における地形変化

#### 謝辞

本研究は科研費(17H02029)の助成を受けた。また、筑波大学井川演習林の協力、データ提供を受けた。ここに付記して感謝いたします。

#### 引用文献

- (1) 水山高久 (2004) 流砂系における土砂動態と土砂管理そして砂防, 土木学会論文集 54, II-66 : 1-8
- (2) 水山高久, 野中理伸, 藤田正治 (2002) 常願寺川津之浦下流砂防堰堤におけるハイドロフォンによる流砂観測, 砂防学会誌 55, No.3 : 56-59
- (3) 大久保駿ら (1997) 連続するスリット砂防ダムの土砂調節効果, 砂防学会誌 50, No.2 : 14-19
- (4) 眞板秀二 (1991) 横断変動測定資料 (1979年～1985年), 筑波大学農林技術センター演習林出版 : 1-75