

大規模出水後の土砂流出速度に関する検討事例

熊本県土木部河川港湾局砂防課 木山和彦, 永野謙一, 芥川崇
八千代エンジニアリング株式会社 ○山田創太, 宮原海, 横尾公博

1. はじめに

球磨川右支川の万江川流域では、令和2年7月豪雨により流域内で複数の斜面崩壊が生じ、河道内に多量の不安定土砂が堆積している。「大規模土砂生産後に生じる活発な土砂流出に関する対策の基本的考え方(案)」¹⁾では、大規模な土砂生産をもたらした一連の降雨が終了した後も活発な土砂流出が継続し、土砂災害リスクが高い状態が続くことから、当該期間では、既設砂防堰堤の除石等の緊急的な対策が必要になるとされている。この対策は、土砂流出が大規模土砂生産イベント前程度まで低減した際に不要と判断されるため、大規模土砂生産イベント前の定常状態の土砂流出を把握することが重要となる。

しかしながら、定常状態の土砂流出速度の検討が実施されている事例は少なく、当該流域では発災前の監視・観測等が実施されていなかった。大規模出水前の定常状態の土砂流出速度の設定は今後の中期土砂流出対策で重要となる指標であり、土砂流出速度を精度よく把握するためには、経年的なLP差分解析が有効であるが、測量に要する費用がかかるため、密に実施されていない。そこで、筆者らは、過年度の空中写真に着目し、空中写真のSFM解析を実施することで、万江川流域の経年的な土砂流出速度の変化を調査し、降雨・崩壊状況を踏まえて定常状態となる土砂流出速度について検討を実施した。本報告では、その結果について報告する。

2. 令和2年7月豪雨の概要

令和2年7月3日～8日にかけて、停滞した梅雨前線の活動が活発となり、西日本から東日本の広い範囲で大雨となった令和2年7月豪雨では、万江川流域(図



図1 万江川流域

1)においては、4日未明から朝にかけて、1時間に50mm以上の非常に激しい降雨となり、万江川流域の位置する山江村においても7月3日から4日までの24時間の総降水量が453mm、48時間の総降水量が468.5mmの記録的な大雨となった。なお、24時間雨量は50～80年超過確率に、3時間雨量では100年超過確率雨量に相当する出水であった。

本流域内では、砂防計画基準点上流域(約66km²)に対し、新規および拡大崩壊を含め合計約15haもの斜面崩壊が生じた。発災前後のLP差分解析(R2LP-H21LP)では、約147万m³の土砂生産が生じ、約100万m³の土砂が流出したとされ、約47万m³の土砂が本流域内に堆積していることが推定される。

3. 過年度の堆砂・降雨・崩壊状況

定常状態の土砂流出速度を推定するため、土砂流出に関する堆砂・降雨・崩壊の各状況について整理した。万江川流域のうち、砂防計画基準点の上流部は主に万江川本川と支川の宇那川で構成され、合流点には既設砂防堰堤の万江川砂防堰堤2が位置する。当該堰堤は1959年に竣工したの堤高14.5mの不透過型砂防堰堤であり、空中写真から堆砂状況を確認できることから、堆砂敷を土砂流出速度の推定するための検討対象とした。

なお、万江川流域における航空レーザ測量は令和2年7月豪雨以前には平成21年時の1時期のみ実施されているため、空中写真を用いたSFM解析により、過年度堆砂状況を把握した。

また、過年度の災害履歴から大規模土砂災害は生じていなかったことから、令和2年7月豪雨以前に流域一体で斜面崩壊が生じるような大規模土砂生産イベントは生じていなかったものと考えられる。

3.1 堆砂状況

万江川砂防堰堤2の堆砂敷(図2)を対象に、堆砂敷の状況が明瞭に確認できる1968年、1973年、1976年、

表1 万江川砂防堰堤2の諸元
(貯砂量・扞止量はLPからの推定値)

名称	堤高	堤長	貯砂量	扞止量
万江川砂防堰堤2	14.5m	49.7m	約150千m ³	約23.5千m ³

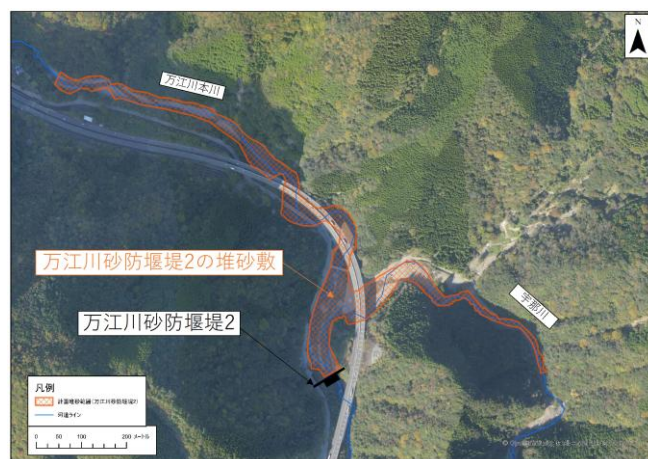


図2 万江川砂防堰堤2平面図

1983年、1988年、1995年、2003年、2005年の8時期を選定した。各時期3～6枚の空中写真を用いてSfM解析を実施し、各時期の堆砂形状を3次元化し、連続する時期の差分から各時期における土砂流出速度を推定した。しかし、空中写真を用いたSfM解析による3次元地形データを確認したところ、例えば橋梁天端などの不動点と考えられる地点で標高値のズレが認められた。これは、3次元データの精度不良による影響と考えられる。このため、不動点を基準面として、基準面に整合するように解析結果を補正したが、精度の課題があったため、1973年、1995年、2003年の結果は除外し、5時期で比較を行った。

この結果から、各時期間で概ね $-7.5 \text{ km}^3 \sim +15 \text{ km}^3$ /年の堆砂数における堆砂状況が推定され、万江川砂防堰堤2では、土砂の流出・堆積が繰り返し生じていることが確認される。

3.2 降雨状況

万江川砂防堰堤2の竣工から2005年（堆砂状況の把握に用いた空中写真の撮影年）までの降雨状況を流域近傍の観測所である人吉観測所の日雨量データを収集・整理した。降雨状況の傾向把握のため、日最大、2日間最大、年平均雨量を整理した。これらの指標をみると、1968～1973年、1976～1983年、1988～1995年において特に最大2日間雨量が比較的大きな値を示しており、この期間において土砂の移動が活発であった可能性が示唆される。

3.3 崩壊状況

万江川流域を撮影した空中写真により、万江川砂防堰堤2の上流域の崩壊地発生状況を調査した。対象とする空中写真は、1959年～2005年の間で国土地理院の空中写真閲覧サービスで閲覧可能な12時期全てを対象とした。

各時期の空中写真から連続2時期の空中写真を比較し、新規崩壊地の箇所数のみを抽出・集計したうえで、令和2年7月豪雨時の平均崩壊面積および平均崩壊深から崩壊生産土砂量を推定した。この結果から1968年～1983年の期間で比較的多くの土砂生産が生じ、一方で、1983年から2005年での土砂生産量は少量であったと推定される。

4. 土砂流出速度の検討

過年度の堆砂状況から土砂流出速度を検討し、その検討の妥当性を評価するため、過年度の降雨状況および崩壊状況を用いて検証を行った。結果を表2に示す。

期間最大2日間雨量の大きい1968年～1973年、1976年～1983年では、崩壊生産土砂量が $27 \text{ km}^3 \sim 32 \text{ km}^3$ と他の期間と比べて多いことが確認される。また、この期間の堆砂状況においても、約 $10 \text{ km}^3/\text{年} \sim 15 \text{ km}^3/\text{年}$ の堆砂が生じていることから、この関係性は整合していると考えられる。

一方で、1988年～1995年では、期間最大2日間雨量は 530 mm と多い値となっているが、崩壊生産土砂量は 11 km^3 と少ない。

1973年～1976年、1983年～1988年、2000年～2003年、2003年～2005年は期間最大2日間雨量が 300 mm 程度と比較的多く、崩壊生産土砂量は $1 \sim 18 \text{ km}^3$ と比較的少ない値となっている。また、堆砂状況においても、1968年～1976年、1983年～1988年、1988年～2005年の年間の流出・堆積土砂量は、 $-7.5 \text{ km}^3/\text{年} \sim -0.4 \text{ km}^3/\text{年}$ と流出傾向を示していることが確認され、降雨・崩壊・堆砂状況の関係性は概ね整合していると考えられる。

表2 降雨・崩壊・堆砂状況の経年変化
(堆砂状況は正值が堆砂、負値が流出)

比較期間	年間 間 隔	降雨状況(人吉観測所)			崩壊状況	堆砂状況
		期間最大 日雨量 mm	期間最大 2日間雨量 mm	期間 年平均雨量 mm	推定 崩壊生産土砂量 m ³	年間 流出・堆積土砂量 m ³ /年
1959		万江川砂防堰堤2竣工				
1959 ~ 1964	5	236.9	285.1	2,261	39,214	-
1964 ~ 1965	1	141.5	212.5	2,286	17,825	
1965 ~ 1968	3	140.9	231	1,958	11,883	
1968 ~ 1973	5	283	482	2,648	27,331	-7,515
1973 ~ 1976	3	129.5	230.5	2,232	17,825	
1976 ~ 1983	7	263.5	453.5	2,333	32,084	14,919
1983 ~ 1988	5	286.5	311	2,296	17,825	-4,176
1988 ~ 1995	7	331.5	529.5	2,494	10,695	
1995 ~ 2000	5	264	402.5	2,341	16,636	-366
2000 ~ 2003	3	169.5	283.5	2,206	4,753	
2003 ~ 2005	2	164.5	254	2,467	1,188	
2020		大規模土砂生産イベント：令和2年7月豪雨				

表3 年平均土砂流出・堆積量
(正值が堆砂、負値が流出)

比較期間	年間隔	年平均土砂流出・堆積量		
		全期間	3期間	2期間
1968 ~ 1976	8	-7,515	-7,515	-7,515
1976 ~ 1983	7	14,919	14,919	14,919
1983 ~ 1988	5	-4,176	-4,176	-
1988 ~ 2005	17	-366	-	-
1年間あたりの平均値		716	1,076	3,702

以上より、降雨・崩壊・堆砂状況に一定の関連性が認められたことから、推定された堆砂状況の経年変化は概ね妥当な値であると判断し、この数値から定常状態の土砂流出速度を設定した。

1968年～2005年の5時期の堆砂形状の差分から年間の土砂流出・堆積速度を算定した(表3)。この結果より、万江川砂防堰堤2の堆砂数における土砂堆積速度は1968年～2005年の平均値で $0.7 \text{ km}^3/\text{年}$ 、1968年～1988年の平均値で約 $1 \text{ km}^3/\text{年}$ 、1968年～1983年の平均値で約 4 km^3 となる。本検討は簡易的な推定条件の上で検討を行っていることから、堆砂状況の推定には精度には一定のズレが生じる可能性を考慮し、これらの土砂堆積速度の幅で土砂移動が生じていたと判断し、1968年～2005年の万江川砂防堰堤2の堆砂数での平均的な土砂流出速度を定常状態の土砂流出速度とした場合、1年間あたりの土砂流出速度は平均で約 $1 \text{ km}^3 \sim 4 \text{ km}^3/\text{年}$ (堆積傾向)であったと推定される。

5. おわりに

本検討では、空中写真を用いたSfM解析による堆砂状況および過去の降雨状況、崩壊状況を踏まえて万江川砂防堰堤2の堆砂数における定常状態の土砂流出速度について検討し、概ね $1 \text{ km}^3 \sim 4 \text{ km}^3/\text{年}$ (堆積傾向)であったことが推定された。

今回の検討手法は、LP測定の範囲外もしくはLP測量整備前の年代においても流域内の土砂動態把握に適していると考えられるが、数枚の空中写真からSfM解析を行い、堆砂状況を把握する手法では、今回の検討のように、その解析精度に課題が生じる場合があり、結果として使用できない時期が確認されたため、SfM解析時の適正なパラメータの設定や降雨や崩壊等の外力条件を踏まえて適正な土砂流出速度を判断することが重要であると考えられる。

【参考引用文献】1) 国総研資料 第1115号 大規模土砂生産後に生じる活発な土砂流出に関する対策の基本的考え方(案)