

航空レーザ測量によって算出した流出土砂量とダム堆砂量の比較の試み

国土技術政策総合研究所 ○西脇彩人 坂井佑介* 山越隆雄

国際航業株式会社 澤村朱美 山下久美子 久保毅 佐藤匠

*現 九州地方整備局阿蘇砂防事務所

1 背景

近年、航空レーザ測量成果を用いた災害前後の差分解析結果から、土砂収支計算が実施され、砂防計画を立案するうえで必要な流出土砂量の算出が実施されている。しかしながら、差分解析結果によって算出された流出土砂量が実際の流出土砂量をどの程度精度良く計測できているかを検証した事例は少ない。数少ない事例として松岡ら（2009）は差分解析結果による流出土砂量と天然ダムによって形成された湛水地の深浅測量結果による堆砂量を比較している。一方で、差分解析結果による流出土砂量と深浅測量結果による堆砂量を比較する上では、それぞれの結果に様々な不整合要因があり、それらを考慮した比較が十分なされているとは言い難い。

西脇ら（2021）は、正確な土砂移動現象を把握するために、差分解析結果から土砂収支計算を行う際に実際には流出土砂量として集計できない不整合要因の補正を行うことによる影響の把握を試み、不整合要因の補正を実施すると、流出土砂量は約1割減少することを報告している。このように、流出土砂量とダム堆砂量を比較する際は、西脇ら（2021）で指摘された差分解析結果による流出土砂量〔①〕のほか、深浅測量結果による堆砂量〔②〕、流出土砂量と堆砂量を比較する上での性質の違い〔③〕、といった①・②・③のそれぞれに不整合要因が存在すると考えられる。

本研究では、①・②・③の算出・比較過程で生じる不整合要因を限りなく考慮した、より正確な流出土砂量と堆砂量の比較を試みた。

2 検討対象

本研究では、福岡県朝倉市に位置する筑後川水系佐田川流域（約50 km²）を検討対象とした。この流域の出口部分には独立行政法人水資源機構が管理する寺内ダムがあり、年に一度、ダム堆砂測量が実施されている。この流域では、2017年7月に発生した九州北部豪雨によって多数の斜面崩壊や土石流が発生しており、それによって寺内ダムには大量の流木と土砂が流入した²⁾。

3 検討手法

本研究における①・②・③の算出・比較過程の不整合要因とその控除方法は以下のとおりである。

- ① 災害前後のレーザ差分解析結果を用いて、流出土砂量を算出する。流出土砂量の算出にあたっては、西脇ら2021における土砂収支計算上の不整合要因の補正（1）に加えて、既存の調査結果から判明した流域内に残存している流木量（2）と、災害前後の空中写真から判読した流域内における人為的な作業による変化（3）による不整合を控除する。（2）は既往文献を用いて算出を行い、（3）は、航空レーザ測量時に撮影されたオルソ画像の比較および差分結果から算出した。
- ② 九州地方整備局ダム管理フォローアップ委員会資料（水資源機構筑後川局、2020）より、災害期間を含む寺内ダムの利水容量内の年間堆砂量（以下、ダム堆砂量という）を採用する。また、堆砂計測期間内に撤去した土砂量（4）による不整合を、同じ資料を基に控除する。
- ③ ①および②より算出した土砂量の比較を行うにあたり、航空レーザ測量と深浅測量の計測期間の違い（5）、地山・河床堆積土砂・ダム堆砂の間隙率の違い（6）、といった不整合要因が考えられる。

（5）について、流出土砂量と堆砂量の計測期間は表-1のとおりである。この表に基づき、まず、レーザ計測期間外に該当する、2017年8月～12月のダム堆砂量を、2017年を含む2年分のダム堆砂量と寺内ダムの流入流量から流砂量の関係式を作成し、算出した。そのうえで、算出した値を2017年の利水容量内の年間堆砂量から差し引くことによりレーザ計測期間内のダム堆砂量を算出した。なお、2016年12月分のダム堆砂量については、災害前の堆砂実績と実際の寺内ダムの流入流量から土砂流入がほぼないと仮定した。

（6）について、間隙率を表-2に基づいて設

表-1 流出土砂量およびダム堆砂量の計測期間

項目	計測期間
流出土砂量（レーザ計測）	2017年1月～2017年7月
ダム堆砂量（深浅測量）	2016年12月～2017年12月

表-2 間隙率の設定方法

間隙率の区分	設定方法	設定値
地山	石澤・檀上（2017）で報告された間隙比をもとに設定	35.0～50.0%
崩壊土砂	一般的に数値解析の際に用いられることが多い値を設定	35.0～40.0%
河道内堆積土砂	今回の検討では考慮しない	
ダム堆砂	櫻井ら（2003）および九州地整の公表資料 ^{1）} から設定	50.0～65.0%

表-4 （6）を考慮した流出土砂量（m³） 表-5 （6）を考慮したダム堆砂量（m³）

間隙率	堆積土砂		間隙率	堆砂量
	35%	40%		
地山	35%	576,442	50%	576,395
	40%	512,193	55%	518,756
	45%	448,662	60%	461,116
	50%	385,881	65%	403,477

定し、間隙を除いた正味の土砂量を算出することで、間隙率の違いによる流出土砂量とダム堆砂量を比較する上での不整合を控除した。

4 結果

①・②の算出過程における不整合要因を考慮して算出した流出土砂量および堆砂量を算出した結果を、表-3に示す。

まず、①について、不整合要因を考慮しなかった場合、流出土砂量は 955,840 m³となった。そのうえで（1）を考慮した場合、流出土砂量は 864,880 m³となった。さらに、（2）は 9,010 m³、（3）は、3,567 m³となったことから、（1）～（3）を考慮した流出土砂量は 877,457 m³と分かった。

次に、②について、不整合要因を考慮しなかった場合、ダム堆砂量は約 111.3 万 m³とわかった。これに（4）を考慮すると約 115.4 万 m³となった。

最後に、③の比較過程における不整合要因を控除した結果を示す。（5）を考慮すると、レーザ計測期間外のダム堆砂量が差し引かれるため、ダム堆砂量は 1,152,790 m³となる（表-3）。さらに（6）を考慮して、流出土砂量およびダム堆砂量を比較すると、表-4および5となった。この表から、①・②・③の算出・比較過程で考えられた不整合要因を考慮した流出土砂量は 385,881 m³～599,490 m³、ダム堆砂量は 403,477 m³～576,395 m³となることがわかった。

5 考察とまとめ

不整合要因を考慮しない場合の流出土砂量は 955,840 m³、ダム堆砂量は 1,113,000 m³であり、約 2 割程度異なる。一方で、流出土砂量とダム堆砂量はそれぞれに不整合要因が含まれるため、不整合要因を考慮していない上記の値には一定程度の幅があると考えられる。表-4 および 5 に示した結果から、航空レーザ測量によって算出される正味の土砂量（385,881 m³～599,490 m³：約 5.5 割）や深淺測量によって算出される正味のダム堆砂量（403,477 m³～576,395 m³：約 4.3 割）は 4～6 割程度、取りうる値

表-3 不整合要因を考慮して算出した流出土砂量およびダム堆砂量

補正方法	流出土砂量（m ³ ）
補正無	955,840
（1）のみ考慮	864,880
（1）～（3）を考慮	877,457
補正方法	ダム堆砂量（m ³ ）
補正無	1,113,000
（4）のみ考慮	1,154,000
（4）、（5）を考慮	1,152,790

の範囲が存在することが明らかとなった。一方で、不整合要因を考慮しても、範囲の上限値と下限値は流出土砂量とダム堆砂量でほぼ一致している。すなわち、実際の流出土砂量をより直接的に示すダム堆砂量と概ね一致することから、レーザ計測の差分解析結果によって算出した流出土砂量は実際の流出土砂量を一定の精度で算出できていることが確認できた。

本検討事例では災害前後の航空レーザ測量の期間が約半年と短く、かつその期間内に顕著な降雨イベントが 2017 年 7 月九州北部豪雨のみであること、不整合要因を導出するために必要な情報が多い流域で検討を行うことができたことから、良好な結果が得られたと考えられる。このことから、他の流域でも同様の検証を行うことで、計測期間や情報量の違いによる流出土砂量の精度を分析する必要があると考える。

6 参考・引用文献

- 九州地方整備局筑後川河川事務所（2011）：第 5 回筑後川土砂動態調査に関する WG 資料 3 筑後川流域全体の土砂収支の推定について
- 独立行政法人水資源機構筑後川局（2020）：令和元年度九州地方ダム等管理フォローアップ委員会寺内ダム定期報告書【概要版】
- 石澤友浩・檀上徹（2017）：平成 29 年 7 月九州北部豪雨に伴う地盤災害調査 ～災害発生から 2 週間後の災害調査によるヒアリング調査や現地採取試料分析および簡易な要因分析の速報～
- 松岡暁・山越隆雄他（2009）：LiDAR データの差分処理による流域土砂動態把握の試み 砂防学会誌 vol.62 No.1 p60-65
- 西脇彩人・坂井佑介他（2021）：豪雨時における土砂移動の実態把握のための高精度な土砂収支図作成の試み、令和 3 年度砂防学会研究発表会オンライン大会概要集、p.495-496
- 櫻井寿之・柏井条介・大黒真希：ダム貯水池の堆砂形態、土木技術資料 45-3、2003