

崩壊生産土砂量に関するLP差分解析と現地調査結果の比較

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○山田 友
 国土交通省国土技術政策総合研究所 坂井 佑介
 国土交通省国土技術政策総合研究所 山越 隆雄

1. はじめに

土砂災害に関する分析を実施するにあたり、崩壊に伴い生産される土砂量(本論では、崩壊域の体積を「崩壊生産土砂量」とする)を精度良く把握することは、災害規模の評価や土砂収支の作成、河床変動計算等における境界条件設定を適切に実施する上で極めて重要である。また、気候変動により降雨量が2℃上昇で約1.1倍、4℃上昇で約1.3倍になると評価される中で(国土交通省, 2021)、降雨量の変化に対する生産土砂量の応答を適切に評価する上でも、精度の良い崩壊生産土砂量の把握が望まれる。

近年では、生産土砂量ならびに豪雨時の土砂収支を把握する手法として、2時期の航空レーザ計測データ(LPデータ)を用いた、標高値差分解析(以下、差分解析とする)が採用されることが多い。差分解析は、松岡ほか(2009)により、一定の精度が確認されており、広範囲にわたって迅速に生産土砂量や土砂収支を把握することが可能であることから、災害対応として大変有効な手法である。一方で、差分解析結果と現地調査結果を比較・分析したところ、以下に示す課題があった。筆者らは、課題解決によりさらなる精度向上の余地があると考えて検討を行った。

課題①

崩壊域内部に残存した土砂(以下、崩壊残土とする)を推定する方法が確立されていない。これまで崩壊残土量を考慮せず、崩壊生産土砂量を過小に評価してきた可能性があるが、LPデータを用いた崩壊残土量の分析事例は少ない(例えば平川ら, 2018)。

課題②

航空写真判読や差分解析図判読する際の、崩壊域の判読誤差が崩壊生産土砂量に誤差が生じる要因となる。崩壊域の判読については、日光や植生等の条件による判読困難や、崩壊残土による崩壊地末端部の推定困難等の問題がある。

課題③

LPデータの精度による侵食量の算出誤差がある。LPデータの精度については、Wheaton(2008)などにより、平坦地の好条件下で、10~数10cmの誤差が指摘され、佐藤ほか(2004)により、植生

のある傾斜地(20°以下)では40~60cmの誤差が指摘されている。さらに山間部では、より大きな誤差が生じる可能性が指摘されている。

45

2. 研究対象地の概要

2.1 地形・地質概要

研究対象は、令和元年に台風19号による土砂災害が発生した、宮城県伊具郡丸森町の五福谷川上流域および新川上流域とした。対象地は、宮城県の南部に位置する丸森町の阿武隈川水系内川に合流する流域である。五福谷川流域は、流域面積23.8km²、河川延長2.700kmであり、新川流域は、流域面積16.93km²、河川延長2.155kmである。基盤岩は、主に花崗岩からなり、一部に白亜紀の付加帯堆積物が分布し、これらを部分的に段丘堆積物が覆って段丘面を形成している。令和元年台風19号で発生した表層崩壊は、風化によりマサ化した花崗岩斜面で多く見られたほか、段丘堆積物や崖錐堆積物でも散見された。

50

55

2.2 被災状況

令和元年台風19号は、10月6日に南鳥島近海で発生し、12日に伊豆半島に上陸した後、関東地方を通過して、13日に温帯低気圧に変わった。宮城県伊具郡丸森町では、10月11日~13日にかけて、累積雨量607.5mm(アメダス観測地点:筆甫)をもたらした。本災害の被害状況は、家屋被害1,073件、死者・行方不明者11名(丸森町HP)となり、道路や河川等の公共土木施設、農林業施設等にも多大な被害が生じ、現在も復旧・復興工事が施工されている。

60

65

3. 調査手法

3.1 概要

本研究では、研究対象地における10箇所の崩壊地について、崩壊生産土砂量を算出した。ここで、崩壊生産土砂量とは、図1における崩壊域内に元地形よりも過剰に堆積した土砂量は含まない崩壊域の体積(差分侵食量(A)+崩壊残土(B))であり、現地調査ではこの差分侵食量(A)+崩壊残土(B)を算出した。一方で、差分解析で算出できる崩壊域の体積は差分侵食量(A)のみである。具体的な算出手法についてはそれぞれ後述する。

70

75

80

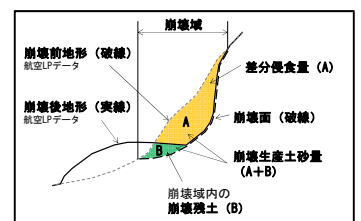


図1 崩壊生産土砂量概念図

表1 航空レーザ計測データ諸元

測量年度	計測グリッド	座標系	目的
令和元年10月	1.0m	XY10	緊急災害対応
平成24年	1.0m	XY9	森林域の地形データ取得
平成21年	2.0m	XY10	流域地盤標高データ取得

表2 平成21年レーザ計測データの東日本大震災に伴う補正結果

震災前JGD2000		震災後JGD2011		震災前JGD2000	震災後JGD2011	移動量		
数学X	数学Y	数学X	数学Y	標高H	標高H	数学X	数学Y	標高較差h
-8482.000m	-234668.000m	-8479.296m	-234668.566m	100.000m	99.828m	2.704m	-0.566m	-0.172m

3. 2 差分解析

差分解析は、被災前の平成21年および平成24年に取得されたLPデータと、被災直後の令和元年10月23~28日に取得されたLPデータを用いた(表1)。平成21年のLP

表3 差分解析・現地調査 結果一覧表

崩壊地No.	現地調査結果				差分解析結果				現地調査結果と差分解析結果の比較		位相角配(°)
	①崩壊生産土砂量	②崩壊域面積	③崩壊残土量	④差分侵食量	⑤差分侵食量	⑥崩壊域面積	⑦差分侵食量の比較(実/推)	⑧崩壊域面積の比較(実/推)	⑨	⑩	
No.1	689.99	439.71	86.95	603.04	616.67	347.50	1.02	0.79	42		
No.2	416.82	360.07	79.38	337.44	338.86	266.30	1.00	0.74	28		
No.3	166.41	201.52	39.52	126.89	134.05	165.20	1.06	0.82	34		
No.4	507.50	551.41	0.00	507.50	524.27	422.96	1.03	0.77	34		
No.5	225.67	568.27	75.20	150.47	144.36	315.30	0.96	0.55	39		
No.6	265.61	436.60	86.88	178.73	168.90	322.70	0.95	0.74	30		
No.7	253.96	174.31	37.87	216.09	253.55	135.50	1.17	0.78	37		
No.8	246.93	299.71	58.12	188.81	230.29	266.30	1.22	0.89	33		
No.9	1,814.02	1,276.45	543.65	1,270.37	1,030.34	673.00	0.81	0.53	33		
No.10	752.89	517.84	151.54	601.35	570.58	459.60	0.95	0.89	43		
合計	6,888.17	5,757.11	1,543.87	5,344.30	5,724.04	4,394.96	1.07	0.76	-		

5 データは、平成23年3月に発生した東日本大震災による地殻変動前であるため、国土地理院の「測量計算サイト」のPatchJGDおよびPatchJGD(標高版)を用いて、X軸で+2.70m(東へ2.70m)、Y軸で-0.57m(南へ0.57m)、Z軸で-0.17m(0.17m沈降)の移動補正を行った(表2)。

10 補正した結果、測点密度が高い場所では、誤差が概ね20cm以内に収まることを確認した。ただし、崩壊地周辺では、局所的に1.0m以上のズレが見られた。この計測誤差は、生産土砂量を高精度に算出するための今後の課題の一つであるが、本研究では誤差を踏まえて分析を行った。

15 差分解析による差分侵食量は、崩壊域を災害前後の空中写真と差分解析による侵食部の判読により設定し、崩壊域における災害前後の標高差のマイナス値を集計した。

表4 差分解析と算出式の比較結果

崩壊域の判読方法	パターン①		パターン②		パターン③		パターン④		比率A(②/①)	比率B(④/③)	比率C(③/①)	比率D(④/②)
	現地調査	算出式	現地調査	算出式	現地調査	算出式	現地調査	算出式				
差分侵食量の算出方法	差分解析	算出式	差分解析	算出式	差分解析	算出式	差分解析	算出式	0.89	0.91	0.85	0.87
合計差分侵食量(m)	4715.13	4180.69	4011.87	3640.30								

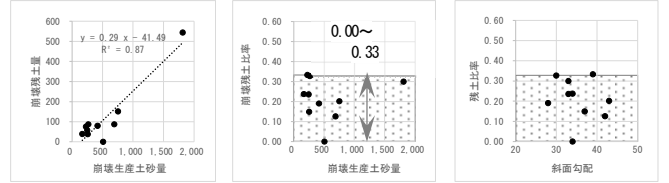


図2 崩壊残土と各要素の相関図

3. 3 現地調査

20 現地調査は、令和元年12月と令和3年7月に実施した。調査に使用した地形図は、被災後のLPデータから作成した。現地調査では、簡易貫入試験結果により崩壊残土に覆われた崩壊面の推定を行うとともに、崩壊域形状等を把握した。なお、簡易貫入試験から推定した各地質のNd値は、

25 崩壊残土が2.5未満、表土が2.5~5.0、地盤(風化花崗岩)が5.0以上であり、崩壊残土と地盤の境界を崩壊残土に覆われた崩壊面と推定した。この現地調査結果とLPデータから、推定平面図・断面図を作成し「崩壊面積×平均崩壊深」に準じて、崩壊生産土砂量および崩壊残土量を算出した(以下、算出式とする)。算出には、できる限り地形の影響を排除するため、5m毎に測線を配置して、以下の式で算出した。

$$V = \sum V_n = \sum \{ \Delta D(L_{r1}) + \Delta D(L_n) \} / 2 \times S_n \quad (式1)$$

$$\Delta D(L_n) = S_{dn} / L_n \quad (式2)$$

35 ※V: 崩壊生産土砂量、D(L_n): 測線上の平均崩壊深、S_n: 測線間の崩壊域面積、S_{dn}: 崩壊断面面積、L_n: 断面上の水平崩壊長

4. 調査結果

40 差分解析結果と現地調査結果は、崩壊域面積が最大で2倍程度異なるのに対して、崩壊生産土砂量と差分侵食量は概ね整合していた(表3)。また、差分解析と算出式では、約1割の誤差があり、設定した崩壊域の違いにより約1.5割の誤差があった(表4)。算出式の方が小さく見積もられたのは、差分解析で崩壊域の縁辺部を垂直に区切るのに対して、算出式では収束するように計算していること等が考えられる。このことは、崩壊域周辺の被災前LPデータが全体に比高差が大きくなっていったことや、崩壊域面積をより大きく推定した際に、比例して差分侵食量が大きく算出されていることと整合し、LPデータの精度の影響によるものと考えられる。

50 一方で、算出式と差分解析の誤差が1割程度であることから、筆者らは算出式が概ね妥当であると判断し、算出式で求めた崩壊残土量について分析を進めた。分析の結果、崩壊残土量は崩壊生産土砂量と相関性があり、崩壊規模や斜面勾配に関わらず、崩壊生産土砂量の0.0~3.3割の範

囲に収まった(図2)。このことから崩壊生産土砂量を、崩壊残土の平均の比率0.21および差分解析と算出式の比率0.89を用いて、差分侵食量から推定した。推定結果は、現地調査結果と概ね整合する結果が得られた(表5)。

表5 崩壊生産土砂量の推定結果

崩壊地No.	現地調査結果	推定結果	比率
No.1	689.99	789.57	1.14
No.2	416.82	425.98	1.02
No.3	166.41	167.47	1.01
No.4	507.50	700.01	1.38
No.5	225.67	191.90	0.85
No.6	265.61	219.31	0.83
No.7	253.96	299.73	1.18
No.8	246.93	264.22	1.07
No.9	1814.02	1517.50	0.84
No.10	752.89	736.30	0.98
総量	5339.8	5311.98	0.99

5. 結論

65 本研究では、差分解析の各課題について、以下の結果が得られた。

課題①: 崩壊残土率が0~3.3割の範囲に収まった。

課題②: 崩壊域の判読誤差により、差分侵食量が1.5割程度過小に見積もられた。

70 課題③: LPデータの精度誤差により、差分侵食量が1.0割程度過大に見積もられた。

本研究により、現地調査から課題②を適正に判断し、課題①と③を統計的に補正することで、差分侵食量から崩壊生産土砂量を推定することができた。ただし、本研究対象が10箇所と限定的であるため、今後は分析箇所数を増やして検証する必要がある。

(参考文献)

- 国土交通省(2021): 気候変動を踏まえた治水計画のあり方(改定)
- 80 松岡暁ほか(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
- 平川泰之ほか(2018): 土砂災害後の迅速なる崩壊残土量算出の試み, 砂防学会誌, Vol. 71
- J.M Wheaton(2008): Uncertainty in Morphological Sediment Budgeting of Rivers, University of Southampton
- 85 佐藤浩ほか(2004): 現地測量の成果を用いた航空レーザ測量DTMの高さ方向の精度検証, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 43
- 90 丸森町HP, 令和元年台風第19号災害の概要及び被害状況, https://www.town.marumori.miyagi.jp/common/img/content/content_20211203_160618.pdf