

平成 28 年 8 月豪雨に伴う北海道上川町（層雲峡）の土石流と降雨との関係に関する考察

日本工営株式会社 ○早川智也

国土交通省北海道開発局旭川開発建設部 吉川契太郎・村上泰啓

(一財) 砂防・地すべり技術センター 栢木敏仁

中日本航空株式会社 皆木美宣・水野洋平

北海道大学 小山内信智・林真一郎・古市剛久

1. はじめに

平成 28 年 8 月、北海道上川町層雲峡に位置する石狩川水系黒岳沢川では、数日の間隔で連続して接近した 3 つの台風の豪雨で土砂流出が頻発し、インターバルカメラで土砂流出の発生時刻を、流域内の黒岳雨量観測所（国土交通省）で 10 分雨量を欠測なく取得することができたことを平成 29 年 5 月の砂防学会奈良大会で報告した¹⁾。一方、土石流と降雨との関係としては、平成 26 年 7 月梨子沢では約 3 時間、平成 26 年 9 月柿平沢では約 2 時間の降雨継続時間であり、土石流の流出に寄与する降雨が従来の技術基準等で示されている 24 時間雨量より短いと推察された。また、工藤ら 2017²⁾では、7 地域 23 溪流において渓床土砂移動型の土石流に限っては、土砂濃度の推定から土石流に寄与した降雨は 60 分以下程度である可能性を指摘している。そこで、欠測なくデータ取得できている黒岳沢川の土石流を対象に、その流出に寄与した降雨継続時間について推定することとした。なお、本稿は砂防学会北海道支部で結成した「平成 28 年 8 月北海道上川町（層雲峡）で発生した土石流に関する調査団」（団長：小山内信智北海道大学特任教授）による調査結果に基づいている³⁾。

2. 黒岳沢川

黒岳沢川は層雲峡温泉の直上流に黒岳沢川第 1 号えん堤（堤高 22m、貯砂容量 117,000m³、除石対応）が整備されており、その流域面積は 4.5km²である。土砂流出時にはえん堤に土砂が堆積し、それを計測することで流出した土砂量を把握できる（表 1）。近年の土砂流出は大小 5 回観測されており、えん堤に堆積した土砂量はいずれも貯砂容量を超えていない。発生時刻については、カメラで把握できなかったものは、水位観測値がある場合は水位のピーク時、水位観測値がない場合は 10 分雨量のピーク時としている（図 1）。また、対象範囲では、平成 21 年 9 月～10 月と平成 29 年 7 月に LP 計測を実施しており、その差分図を図 2 に示した。上流域で土砂の侵食が連続的にみられ、中流域で流走と堆積を繰り返し、黒岳沢川第 1 号えん堤で顕著な堆積がみられる。写真①及び写真②に平成 28 年 8 月出水前後の現地写真を示した（写真位置は図 2 の○番号）。写真①に示したように出水前に比べ河床が低下している箇所が多くみ

られ、差分値で侵食（マイナス値）とでている範囲に概ね一致している。一方、写真②に示したように斜面には顕著な変化がみられない。

表 1 黒岳沢川における近年の土砂流出

日付	発生時刻	土砂量 (m ³)	発生時刻の推定方法
H28. 8. 17	19:20	1,742	水位ピーク時
H28. 8. 21	21:20	4,900	水位ピーク時
H28. 8. 23	7:00	65,348	インターバルカメラ
H22. 8. 24	0:10	20,791	雨量ピーク時
H22. 9. 6	13:50	8,718	雨量ピーク時

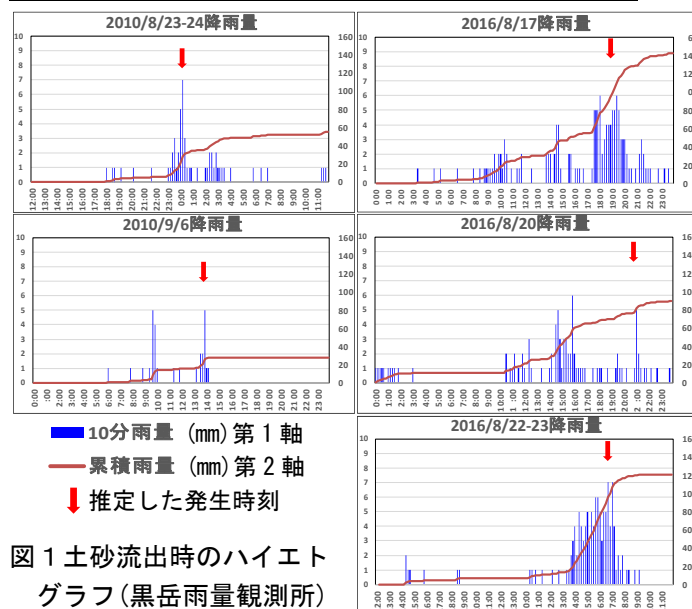


図 1 土砂流出時のハイトグラフ（黒岳雨量観測所）



写真① 顕著な河床低下がみられる。



写真② 斜面に大きな変化がみられない。

差分値で斜面部にマイナス値がみられるものがあるが比較的影響が小さく、溪床土砂移動の方が連続的に土砂を生産しており、溪床土砂移動型の土砂流出が優勢であると考えられる。

3. 土砂流出に寄与した降雨の継続時間の推定方法

えん堤の堆積から把握した土砂量と、溪床勾配から理論的に導き出される土砂濃度との関係から、その土砂流出に寄与した流出水量を推定する。なお、これは工藤ら 2017²⁾ に準じた手法である。土石流の土砂濃度を $(C_c + C_f)$ とし、 C_c 、 C_f はそれぞれ土石流中の粗礫、細砂の濃度である。 $(V_c + V_f)$ をえん堤に堆積した土砂量(m^3)、 V_w を土石流として流出した総流出水量(m^3)とし、えん堤で捕捉されなかった浮遊土砂はあるものの、次式がなりたつと仮定する。

$$C_c + C_f = \frac{(V_c + V_f)}{V_w + (V_c + V_f)} \cdots (式1)$$

ここで V_w (総流出水量) は集水面積に降雨量と流出率を乗じて求めた。その際、比較的集水面積が大きい場合洪水到達時間 20 分を考慮した。

$$V_w = (A_{upper} \cdot R_{n-20min} + A_{lower} \cdot R_n) \cdot kf \cdots (式2)$$

ここで A_{lower} : 下流域集水面積(m^2)、 R_n : 土石流に寄与する降雨(m)、 A_{upper} : 上流域集水面積(m^2)、 $R_{n-20min}$: R_n の 20 分前の降雨(m)、 kf は流出率 (1.0) である。土石流に寄与する降雨は推定した土石流発生時刻からさかのぼった累積値とし、その時間を 10 分間、30 分間、1 時間、3 時間、12 時間、24 時間の 6 ケースとした。一方、理論値の土砂濃度は土石流の平衡濃度式 (高橋の式) を用いた。

$$C_c = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho) \cdot (\tan \phi - \tan \theta)} \cdots (式3)$$

ここで、 ρ : 間隙流体の密度(kg/m^3)、 σ : 砂礫の密度(kg/m^3)、 θ : 溪床勾配($3^\circ \sim 5^\circ$)、 ϕ : 内部摩擦角(35°)である。理論値の土砂濃度の算出における C_f は工藤ら 2017²⁾ に準じ、 $C_f=0, 0.13, 0.38$ の 3 ケースとし、それぞれ $\rho=1.0, 1.2, 1.6$ に相当する。

4. 結果

式 1 及び式 2 で算出した各土砂流出の土砂濃度 (実地値) を図 3 に折れ線グラフで示し、式 3 に基づく土砂濃度について $\rho=1.0, 1.2, 1.6$ のそれぞれの理論値の土砂濃度を赤い横帯で示した。その関係

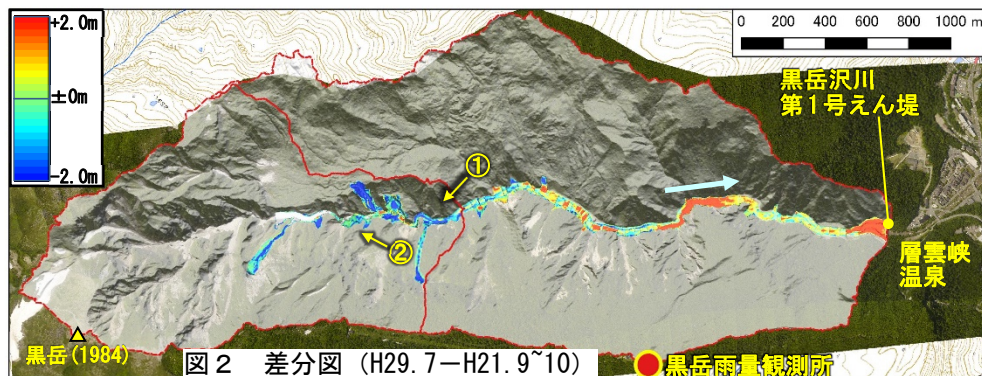


図 2 差分図 (H29.7-H21.9~10)

から、実地値と理論値が交差する付近が実地値に対して寄与した降雨であると考えられる。

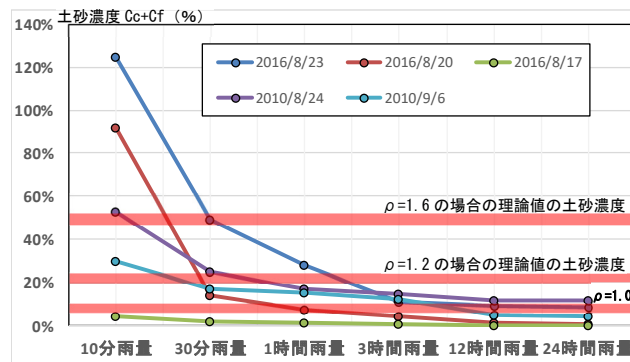


図 3 降雨継続時間ケースごとの土砂濃度

その結果、H28 (2016) /8/23 の土砂流出は $\rho=1.6$ の場合で 30 分雨量、 $\rho=1.2$ の場合で 1 時間雨量程度が土砂流出に寄与していると考えられる。H22 (2010) /8/24 の土砂流出は $\rho=1.6, 1.2$ でそれぞれ 10 分雨量、30 分雨量、H22 (2010) /9/6 の土砂流出では $\rho=1.2$ で 30 分雨量程度と見受けられる。間隙流体 $\rho=1.0$ で 12 時間雨量~24 時間雨量による土砂濃度に近づいてくる。その場合、間隙流体に細砂が含まれていない状態を示す。

5. おわりに

間隙流体中の細砂が含まれる状態の場合、土砂流出に寄与している降雨は 10 分雨量~1 時間雨量であると考えられ、既往事例や既往検討と整合する。浮遊土砂を含む細砂の量・濃度については不明点が依然として残るものであり今後の課題である。

参考文献 1) 早川ら (2017) : 平成 28 年 8 月北海道上川町 (層雲峡) における複数の豪雨に伴う土砂流出特性, 平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集
2) 工藤ら (2017) : LP 差分データとレーダー雨量データを用いた土石流の流出土砂量を規定する降雨指標に関する考察, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 3, p. 3-12.
3) 小山内ら (2017) : 平成 28 年 8 月北海道上川町 (層雲峡) で発生した土石流の実態, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 5, p. 47-57.