

熱赤外サーモグラフィを用いた凍結融解発生斜面の推定事例

国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所 城ヶ崎 正人^{*1}、渡邊 剛、小口 貴雄^{*2}
株式会社パスコ ○本多 泰章、堀内 成郎、横田 浩、吉田 圭佐

(^{*1}: 現 奈良県 ^{*2}: 現 千曲川河川事務所)

1. はじめに

一般的に表層崩壊は、山腹斜面の表面を覆っている表土（表面の土壌の層）が豪雨等の誘因により崩れ落ちる現象である。しかし、松川水系左支川北股入沢の杓子岳北東斜面では、北アルプス地域特有の厳しい地形条件や気象条件等から山腹斜面には表土が殆んど見られず露岩しており、恒常的に小規模な落石や崩落が発生する状況にある。これらは、岩盤斜面が凍結融解作用を繰り返していることに起因するものと考えられる。すなわち、繰り返し発生する凍結融解により岩盤斜面で亀裂や風化が発達し、恒常的に落石や崩落が発生しているものと想定される。その一因として、岩盤斜面中の水分量が関係していると仮定した。

一方、物体自体が持つ表面温度を測定する手法として、熱赤外サーモグラフィがあり様々な分野で適応事例がある。

本発表では、水分量を多く含む斜面とそうでない斜面との表面温度の違いに着目して、熱赤外サーモグラフィを用いることで、凍結融解が頻繁に発生し落石や崩落等の土砂生産が発生し易いと推定できる山腹斜面位置の検討事例について報告する。

2. 調査地概要

崩壊斜面内で水分量を多く含む斜面とそうでない斜面との表面温度の違いを把握するため、崩壊斜面内に流水・湧水及び流水痕跡を確認できる斜面と確認できない斜面の温度差に着目した指標設定を行った。この指標を踏まえ、杓子岳の対象斜面（流水のない崩壊斜面）において、水分量を多く含む斜面と推定される斜面の抽出を試みた。

以下に、指標設定斜面、対象斜面の調査地概要を示す。

■指標設定斜面：梓川流域ワラビ沢対岸崩壊斜面（図1）

- ・梓川上流域、ワラビ沢合流点直下の梓川本川右岸崩壊地斜面
- ・標高約 1,250～1,450m（標高差 200m）、勾配約 40～50°
- ・平成 23 年 9 月に土砂崩落発生
- ・崩壊斜面内に流水及び湧水部を確認

■対象斜面：松川流域杓子岳北東斜面（図2）

- ・松川流域左支川の北股入沢上流域、杓子岳北東斜面
- ・標高約 2,100～2,800m（標高差 700m）、勾配約 40～50°
- ・平成 25 年 8 月に土石流発生（恒常的に岩盤斜面で落石・崩落等が発生）
- ・崩壊斜面内に流水及び湧水部は確認できない

3. 調査方法

ワラビ沢対岸崩壊斜面内において、流水・湧水部や流水痕跡部と崖錐部や明らかに流水痕跡のない部分との表面温度の違いを熱赤外サーモグラフィを用いて調査した。

ワラビ沢での指標設定結果を踏まえ、現状で湧水等が確認できない杓子岳北東斜面で熱赤外サーモグラフィ調査を行い、対象斜面において、水分量が多いと想定される斜面を抽出した。なお、熱赤外サーモグラフィの観測条件を表1に、調査に使用した観測機材諸元を表2に示す。

また、本調査で用いた機材の解像度は、水平方向 640 ピクセル、垂直方向 512 ピクセルであり、各斜面内の地表面温度の評価は、各温度抽出地点を中心とした縦横 5 ピクセルの最大値、最小値、中央値で行った。

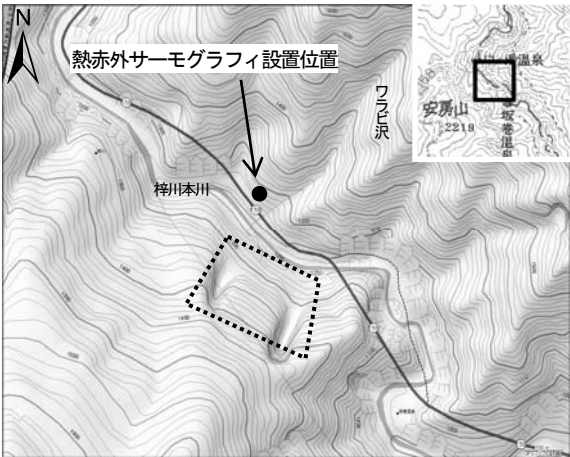


図1 指標設定斜面位置図

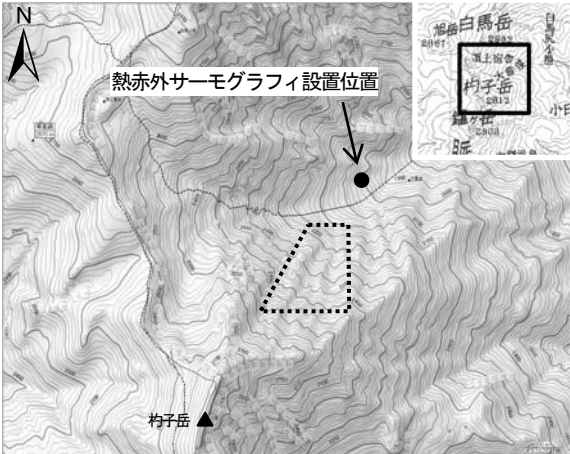


図2 対象斜面位置図

表1 観測条件

	ワラビ沢対岸崩壊斜面	杓子岳北東斜面
日時	2014/11/5（木）14時頃	2014/9/30（火）12時頃
天候	曇り	曇り
気温	18～19℃	16℃

表2 観測機材諸元

名称	FLIR SC6100
形式	冷却型
解像度	640 (H) × 512 (V)
視野角	35.5° (H) × 28.7° (V) (25mm レンズ使用時)
フレームレート	125Hz
検出器	InSb (インジウムアンチモン)
スペクトル波長	3～5μm
温度分解能	0.018℃
シャッタースピード	9μs～
検出精度	±1℃ or ±1%
測定温度範囲	－10℃～＋350℃
使用温度環境	－40℃～＋55℃
サイズ	206mm × 143mm × 159mm
重量	4.5kg

4. 調査結果

4.1. ワラビ沢対岸崩壊斜面（指標設定斜面）

流水・湧水部及び流水痕跡部と崖錐部や明らかに流水痕跡のない部分を各々2地点設定し、水分量の多い斜面と水分量の少ない斜面の表面温度差を確認した。

■流水・湧水部を含む斜面

流水・湧水部の表面温度は、6.4～8.4℃であったのに対し、崖錐部等では 11.2～12.8℃であり、水分量の多い斜面と水分量の少ない斜面の温度較差は、4.6～4.7℃であった（図3、表3）。

■流水痕跡部を含む斜面

流水痕跡部の表面温度は、6.3～8.5℃であったのに対し、崖錐部等では 10.8～12.8℃であり、水分量の多い斜面と水分量の少ない斜面の温度較差は、4.0～4.8℃であった（表3）。

■指標設定斜面での調査結果

- ①流水・湧水部と流水痕跡部との温度差は殆どないことがわかった（表3）。
- ②水分量の多い斜面と水分量の少ない斜面とでは、約 4～5℃の温度差が確認できた（表3）。
- ③水分量の多い斜面は崩壊谷部、水分量の少ない斜面は崩壊尾根部・崖錐部に該当することがわかった。

4.2. 杓子岳北東斜面（対象斜面）

ワラビ沢対岸崩壊斜面における水分量の多い斜面と水分量の少ない斜面との温度較差は 4～5℃であったが、杓子岳北東斜面での観測条件の違いを考慮して、崖錐部等の明らかに流水痕跡のない斜面と 3～6℃の温度較差がある斜面を水分量の多い斜面として抽出した（図4、表4）。その結果、図4に示す崩壊地脚部等の4箇所（崩壊谷部①～④）が水分量の多い斜面として抽出された（表5）。

5. 考察

熱赤外サーモグラフィ調査結果より、杓子岳北東斜面での熱特性を以下のように整理した。

- 崩壊谷部で 4℃以下の低温箇所となる残雪箇所を確認できた。
- 崩壊斜面の尾根部、崖錐部は比較的温度が高い傾向（約 12℃）を確認できた。
- 水分量が多いと想定される斜面（約 8℃）として抽出できた地点の地形的特性は以下の通りである。

- ・崩壊谷部①：崩壊地の脚部
- ・崩壊谷部②：崩壊地の脚部
- ・崩壊谷部③：崩壊谷部の脚部
- ・崩壊谷部④：上流崩壊谷部の脚部

- 現地調査では、水分量が多いと想定される斜面において、周辺斜面と比べ亀裂が発達する岩盤斜面が確認できた。

6. おわりに

熱赤外サーモグラフィを用いることで、表面温度の違いから、杓子岳北東斜面において、水分量が多いと想定される斜面を抽出できた。これらの斜面では、周辺斜面と比べ亀裂の発達が確認できたため、凍結融解が頻繁に繰返され、土砂生産が発生しやすい山腹斜面であると考えられる。

しかし、熱赤外サーモグラフィによる山腹斜面水分状況把握の課題として、季節・天候・時間帯等や地形形状（凹凸等）による各物質温度の変化、観測距離・角度による観測誤差などが挙げられるため、これら条件を変えた調査も必要と考えられる。

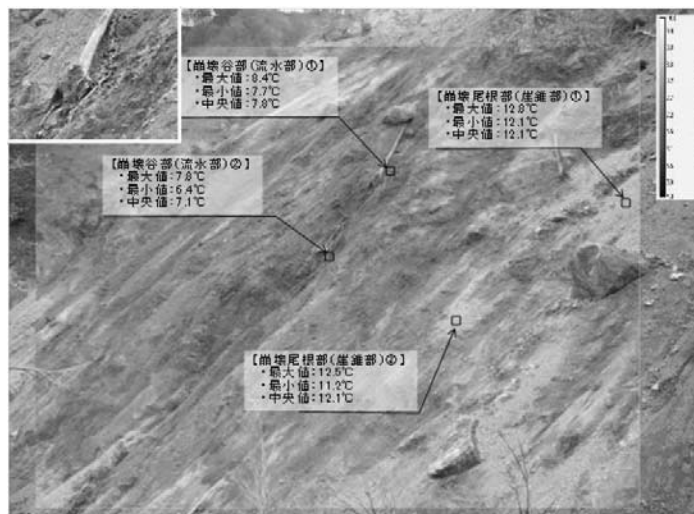


図3 熱赤外サーモグラフィ観測結果事例（流水・湧水部を含む斜面）

表3 熱赤外サーモグラフィによる表面温度一覧（指標設定斜面）

流水部・湧水部を含む斜面		崩壊谷部			崩壊尾根部			谷・尾根部平均較差
		崩壊谷部① (流水部)	崩壊谷部② (流水部)	崩壊谷部 平均	崩壊尾根部① (崖錐部)	崩壊尾根部② (崖錐部)	崩壊尾根部 平均	
斜面温度	最大値℃	8.4	7.8	8.1	12.8	12.5	12.7	4.55
	最小値℃	7.7	6.4	7.1	12.1	11.2	11.7	4.60
	中央値℃	7.8	7.1	7.5	12.1	12.1	12.1	4.65
流水痕跡部を含む斜面		崩壊谷部			崩壊尾根部			谷・尾根部平均較差
		崩壊谷部① (流水部)	崩壊谷部② (流水部)	崩壊谷部 平均	崩壊尾根部① (崖錐部)	崩壊尾根部② (崖錐部)	崩壊尾根部 平均	
斜面温度	最大値℃	7.9	8.5	8.2	12.8	12.2	12.5	4.30
	最小値℃	6.8	6.3	6.6	11.9	10.8	11.4	4.80
	中央値℃	7.6	7.7	7.7	12.4	11.0	11.7	4.05

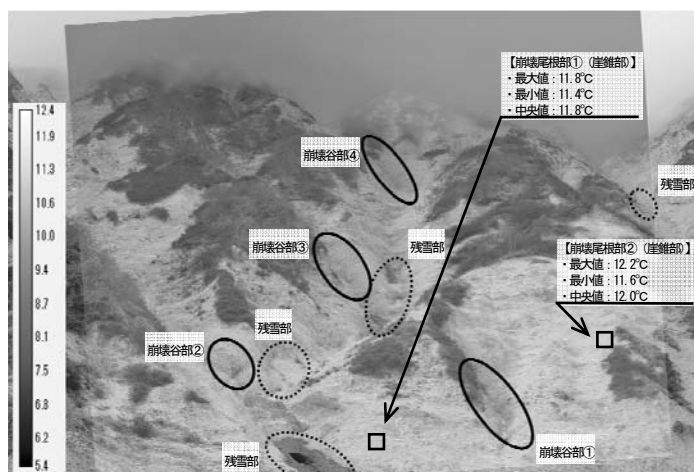


図4 熱赤外サーモグラフィ観測結果事例（杓子岳北東斜面）

表4 杓子岳北東斜面における水分量の少ない斜面の表面温度

杓子岳北東斜面		崩壊尾根部			崩壊尾根部～谷部 温度較差
		崩壊尾根部① (崖錐部)	崩壊尾根部② (崖錐部)	平均	
斜面温度	最大値℃	11.8	12.2	12.0	6.0 ～ 9.0
	最小値℃	11.4	11.6	11.5	5.5 ～ 8.5
	中央値℃	11.8	12.0	11.9	5.9 ～ 8.9

表5 杓子岳北東斜面における水分量が多いと想定される斜面抽出結果

杓子岳北東斜面		崩壊谷部候補				
		崩壊谷部①	崩壊谷部②	崩壊谷部③	崩壊谷部④	崩壊谷部 平均
斜面温度	最大値℃	8.3	9.0	9.0	7.8	8.5
	最小値℃	7.9	8.1	8.0	7.2	7.8
	中央値℃	8.0	8.1	8.0	7.3	7.9