

池の沢における危険溪岸斜面の抽出と 土砂動態の把握に関する一考察

A CONSIDERATION ON A RISKY RIVERSIDE SLOPE EXTRACTION

AND OBSERVATION OF SEDIMENT DYNAMICS IN IKENOSAWA WATERSHED

荒木 功平¹

Kohei ARAKI

¹山梨大学大学院総合研究部工学域 (〒400-0016 甲府市武田 4-3-11-B-1-124)

E-mail: karaki@yamanashi.ac.jp

Key Words: failure probability, avalanche, field survey, GIS

1. はじめに

2014年2月, 山梨県早川町では豪雪・雪崩等により全域が孤立した。2011年9月台風12号(連続雨量1228mm)では早川下流部右岸の春木川流域の池の沢溪流内から土砂が大量に流出し, 宿泊施設(観光客等約300名)が孤立した¹⁾。

富士川水系早川は, 大断層である糸魚川-静岡構造線沿いに流れており, 極めて脆い地質となっている。また, 上流には多数の崩壊地があり土砂生産源となっている。特に春木川流域は, 上流の左岸側に七面山崩壊地を擁し, 本川・各支川に多量の不安定土砂が存在しており, 土砂生産が非常に著しい流域として知られる¹⁾。

このような脆い地質からなる斜面では激しい降水(豪雨や豪雪)に伴い, しばしば表層すべり型の崩壊を生じる。表層すべり型斜面崩壊のすべり厚さは数十cmから1m程度である。表層すべり型斜面崩壊の原因として, 降雨による土塊自重, 含水比の増加, および, 含水比の増加に伴うサクシオン低下に起因する粘着応力度の低下などが挙げられる。表層すべり型斜面崩壊を想定する場合, 拘束圧は極めて低く(すべり厚さが1mの時10kPa程度), そのような圧力条件でのせん断試験の精度は低く, 得られたせん断強度パラメータの不確定性は増大する。さらに, 拘束圧が低い状況下では斜面の安定性評価に粘着応力度は極めて大きく影響する²⁾。

本研究では, 粘着応力度 c を確率変数とみなし, 平面すべり(無限斜面法)に対する崩壊確率を誘導している。また, 池の沢流域を対象に, GISを用いて斜面の安定性評価を行い, 観測対象斜面を抽出する。そして, 現地観測, 現地調査, 気象データ収集により, 土砂動態等の把握を試み, 考察を述べている。

2. 池の沢流域の概況把握(文献・GIS等による地形・勾配把握)

写真-1¹⁾は2011年の池の沢における土砂災害被害状況である。写真-1から自家用車を流下させる規模の危険溪流であることがわかる。



写真-1 池の沢被害状況¹⁾

図-1 は国土地理院の数値地図³⁾を基に GIS により地形図を作成した。池の沢の位置を赤枠、流下方向を矢印で示す。末端部には住宅や宿泊施設等の保全対象があり、対策が必要である。

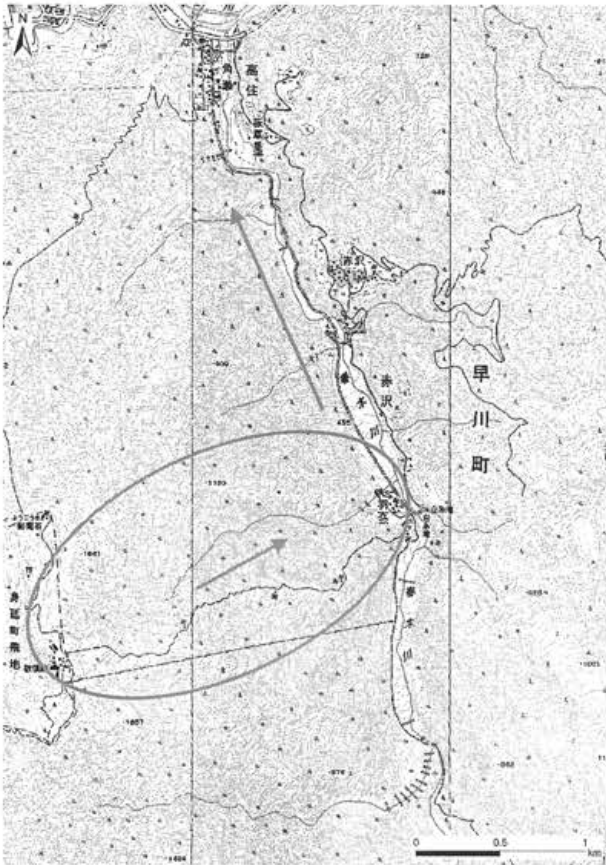


図-1 池の沢位置図

図-2 は国土地理院の基盤地図情報・数値標高モデル 10m メッシュデータ⁴⁾を基に GIS を用いて作成した池の沢の流域界における勾配区分図を示す。斜面勾配 30 度以下のメッシュがほとんど無く、全体的に急な地域であることがわかる。要対策箇所を抽出するのに勾配区分図だけでは難しいといえる。

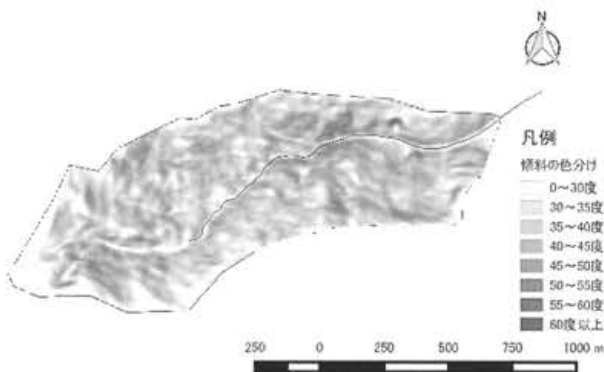


図-2 池の沢流域の勾配区分図

3. GIS を用いた池の沢流域の斜面安定性と危険斜面の抽出

無限斜面法はすべり面の形を斜面表面に平行な直線(平面)と仮定した安定計算法で、滑動長さがすべり深さに対して、十分大きい斜面の安定計算に用いる。安全率は、すべり面の単位幅に働く垂直応力の下で、土が発揮し得るせん断抵抗力 S と滑動を抑えるのに必要なせん断抵抗力 T の比 F 、すなわち $F = S / T$ で定義される。

なお、一般に、雪崩においてもすべり面が想定された崩壊発生機構が考えられている。特に、すべり面が積雪内部にある場合が表層雪崩、すべり面が地面にある場合が全層雪崩と呼ばれる(図-3 参照)⁵⁾。

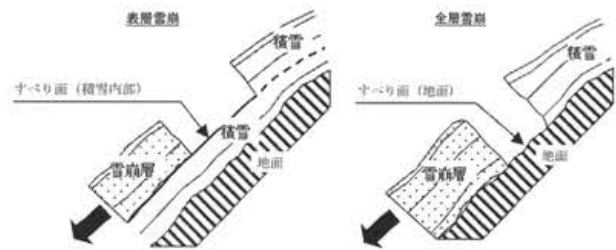


図-3 表層雪崩と全層雪崩の概要⁵⁾

図-4 のような地表面とすべり面が平行で、降水が地表から浸透し、浸透し切れなかった水は表流水となって流れていく表層すべり型の斜面モデルを想定する。

斜面勾配 θ ・単位表土厚 H_t ・単位斜面長 l ・単位奥行き d (それぞれ 1m とする)の土塊自重 W (間隙率 n , 湿潤密度 ρ_t , 重力加速度 g , 水の密度 ρ_w)の斜面安定性を考える。本研究では、斜面安定解析(無限斜面法)に不飽和土の浮力 P_v , 浸透力 J を新たに導入する。次に降水量 h_q のもとで表面流 h_w を生じ、土を飽和させつつ浸透したときの深さ h_{sat} を導入する。そして、安全率 F が 1 となる表土層のすべり面での粘着応力度 c_f を求め、正規分布 $f(c)$ (粘着応力度 c , 標準偏差 σ_c)の c_f 以下となる確率を崩壊確率 P_f とすることにより斜面の安定性を評価するものとした⁶⁾。

$$W = \left\{ \begin{array}{l} \rho_w \cdot h_w \\ + \rho_t \cdot (H_t - h_{sat}) \\ + (\rho_d + n \cdot \rho_w) \cdot h_{sat} \end{array} \right\} \cdot g \cdot l \cdot \cos \theta \cdot d \quad (1)$$

$$P_v = \rho_w g h_w + \rho_w g \cdot S_r \cdot H_t \cdot l \cdot \cos \theta \cdot d \quad (2)$$

$$J = P_v \sin \theta \quad (3)$$

$$h_{sat} = \frac{h_q - h_w}{(1 - S_r) \cdot n} \quad (4)$$

$$F = \frac{c \cdot l \cdot d + W \cos \theta \tan \phi - P_v \cos \theta \cdot \tan \phi}{W \sin \theta + J} \quad (5)$$

$$P_f = \int_0^{c_f} f(c) dc \quad (6)$$

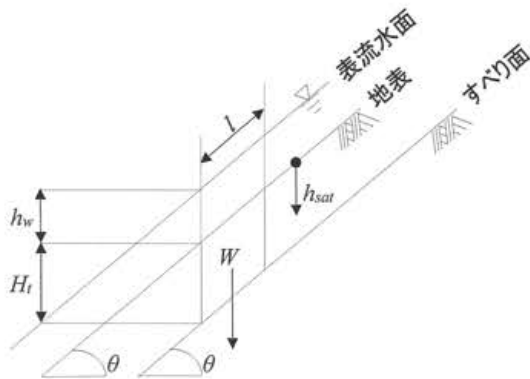


図-4 想定した斜面モデル

表-1 (a), (b)に想定した斜面モデルにおける土質パラメータを表-1 に示す. ただし, 表-1 (a)は現地採取して求めた値, 表-1 (b)はせん断強度パラメータ(粘着応力度 c , 内部摩擦角 ϕ)の想定値 (c, ϕ は今後実験で求めていきたい. c の標準偏差は c の 0.1 倍とした²⁾)である.

表-1 入力パラメータ

(a) 実測値

土粒子の密度	飽和度	間隙比	間隙率	乾燥密度	湿潤密度
ρ_s	S_r	e	n	ρ_d	ρ_t
g/cm^3	%			g/cm^3	g/cm^3
2.63	32	1.09	0.522	1.258	1.425

(b) 想定値

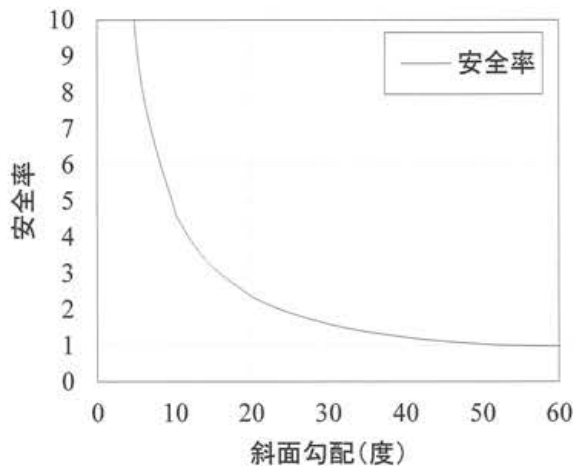
内部摩擦角	見かけの粘着成分	c の標準偏差
ϕ	c	σ_c
deg.	kN/m^2	kN/m^2
40	5	0.5

図-5(a), (b)に計算した安全率～斜面勾配, 崩壊確率～斜面勾配関係を示す.

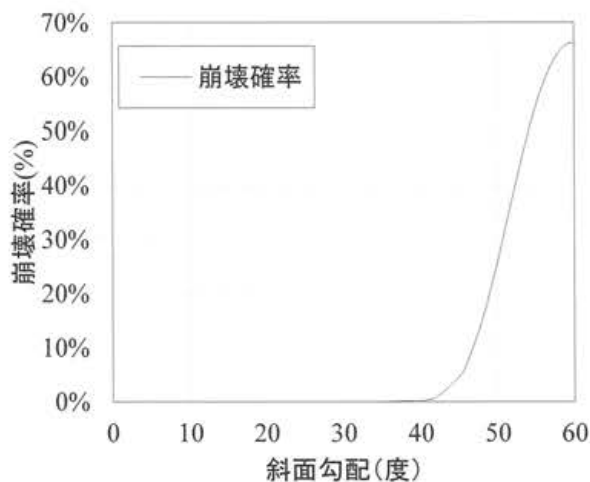
図-5(a)をみると, 安全率が 1 に近づくにつれて斜面勾配に対する安全率の変化量が小さくなっていくことがわかる. 特に斜面勾配 40 度以上で変化量が小さい.

一方, 図-5(b)をみると, 斜面勾配が 0~40 度の範囲ではほとんど 0%であり, 変化が小さいことがわかる. しかし, 斜面勾配が 40 度以上になると急に崩壊確率が上昇し始めることがわかる.

安全率が 1 に近づいて斜面の危険性が増してきた場合, 危険度を評価する際には, 変化量の小さい安全率より崩壊確率の方が適しているといえる. 言い換えれば, 安全率は安全性を示すための指標であり, 崩壊確率が崩壊危険性を示すための指標であるといえる.



(a) 安全率～斜面勾配関係



(b) 崩壊確率～斜面勾配関係

図-5 安全率と崩壊確率の比較

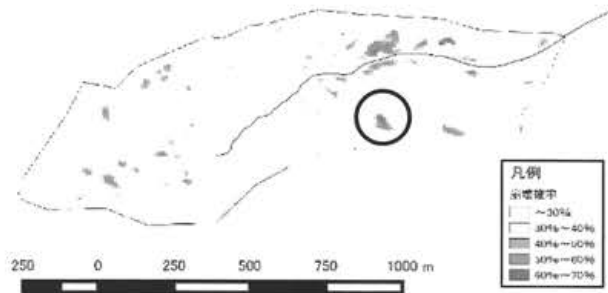
図-6(a)~(c)に表面流と降水量を変えて計算した結果を示す. (a)が表面流・降水量を考慮しない場合 ($h_w = 0mm, h_q = 0mm$), (b)が $h_w = 5mm, h_q = 30mm$, (c)が $h_w = 25mm, h_q = 50mm$ である.

図-6(a)をみると, 斜面勾配をそのまま表示した図-2 と図示の結果が大きく異なることがわかる. これは, 図-6(a)が危険性の高いメッシュ(危険性の高い斜面勾配)だけをより強調して図示するためである. このことは, 図-2 より図-6(a)の方が危険渓岸斜面の抽出に向いていることを示している. 斜面勾配ではなく, 崩壊確率を用いる利点である.

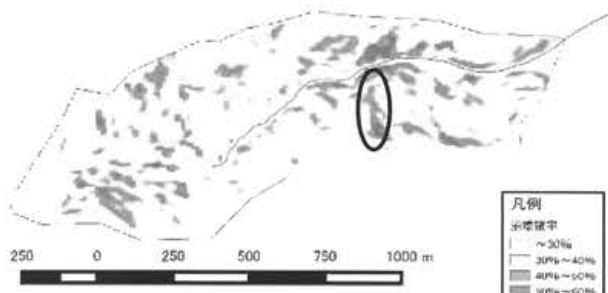
図-6(a), (b), (c)を比較すると(a)と(b)で変化が大きく,

(b)と(c)では変化が小さいことがわかる。この降水量変化に伴う危険性評価の妥当性は今後検討の必要がある。

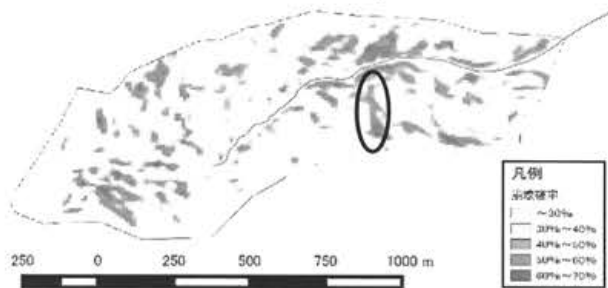
ここで、図-6(a)～(c)の○で囲んだ崩壊確率の大きい領域が降水量とともに池の沢に伸びていくことがわかる。斜面崩壊が土石流に発展する恐れがある。この池の沢と危険領域の増加の傾向が結びつくこの斜面を現地観測対象として抽出した。



(a) 表面流 $h_w = 0\text{mm}$, 降水量 $h_q = 0\text{mm}$



(b) $h_w = 5\text{mm}$, $h_q = 30\text{mm}$



(c) $h_w = 25\text{mm}$, $h_q = 50\text{mm}$

図-6 崩壊確率分布と観測斜面の抽出

4. 危険溪岸斜面における無人カメラによる観測

写真-3(a)～(d)に、抽出した危険溪岸斜面の対岸に無人カメラを設置し、危険斜面を撮影した結果を示す。

写真-3(a)が2016年1月17日12時28分の晴天時の斜面状況であり、岩や流木等がある様子がわかる。なお、晴天時であっても岩が崩れる音が終始聞こえた。軽微な土砂移動は天候に関係なく起こっていると考えている。土砂生産が極めて多い地域の特徴といえる。



(a) 2016/1/17 12:28



(b) 2016/1/18 12:28



(c) 2016/1/29 11:28



(d) 2016/1/29 12:28

写真-3 無人カメラによる撮影結果

写真-3(b)が翌日(24時間後)の2016年1月18日12時28分であり、積雪により斜面が覆われたことがわかる。

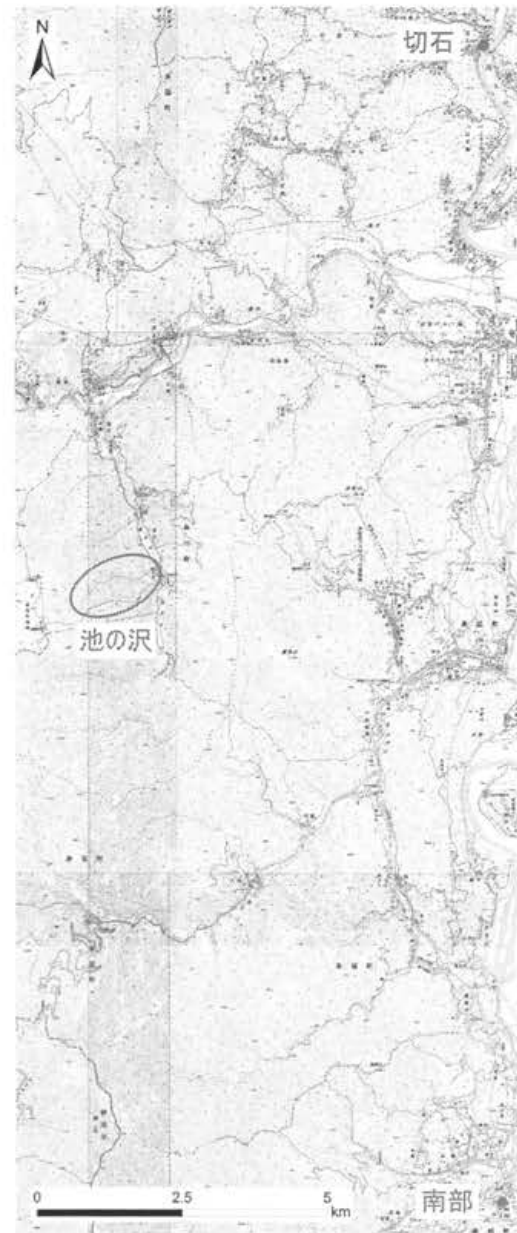
写真-3(c)が約11日後の2016年1月29日11時28分の積雪状況で、雪解けが進んでいる。しかし、まだ1月であり、地下水位を大きく上昇させているとは考えていない。雪解けに伴う浸透は、地表面から地中に向かって飽和度を上昇させていると考える。

写真-3(d)は写真-3(c)の1時間後に雪崩が発生したことを示している。これにより、発生時刻が1月29日12時(誤差±30分)と特定できた。抽出斜面が雪崩等の斜面崩壊の危険性を有する斜面であることがわかった。

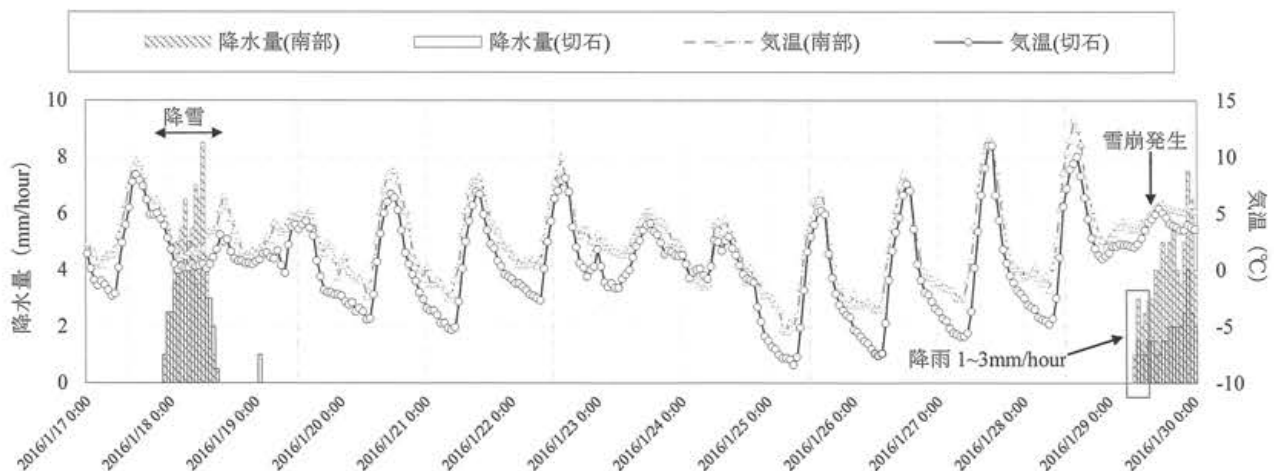
なお、2016年2月5日に本観測対象斜面周辺で現地調査を行ったが、他に雪崩を起こした地点を視認することは出来なかった。このことから、抽出斜面は、より雪崩等が発生させやすい斜面であったと考えている。

5. 積雪から雪崩発生までの気温と降水量の時系列変化

図-7(a), (b)に最寄のアメダス(南部及び切石)⁷⁾の位置関係と2016年1月17日から29日までの気温・降水量を示す。18日午後までの降雪後、29日6時まで降水は無い。28日の14時頃が気温が最も高い。また、29日に比べて28日の方が気温変化が激しい。これは29日は雨天の影響で気温が上がりにくかったと考えられる。29日の雪崩までの間に融雪は進んでいるが、気温変化の小さい29日に雪崩が起こっていることから雪崩の直接的な誘因は29日朝6時~12時にかけての1~3mm/hour程度の降水が主として寄与したと考える。すなわち、弱い雨でも雪崩は発生するといえる。警戒する必要があり、広く周知する必要があると考える。



(a) 池の沢とアメダス(切石・南部)の位置関係



(b) 2016年1月17日から2016年1月29日までの気温と降水量

図-7 アメダスとの位置関係と気温・降水量の時系列変化

6. 現地調査による池の沢溪岸斜面形状の時系列的変化の把握

抽出した危険溪岸斜面は崩壊する可能性が高かったことから、雪崩前から斜面形状を継続的に観測していた。

写真-2 に斜面形状の計測状況を示す。池の沢と斜面との合流点を開始点(基点)とした。計測日は①2015年11月5日、②11月23日、③12月7日、④2016年1月8日、⑤1月15日、⑥2月5日である(雪崩の際(1月29日)も現場近くにはいた(下流側宿泊施設で待機していた)が、雨が降っており、危険性が高かったため、この日は現地調査を行っていない)。

図-8 に計測結果を示す。図-8 から①、②、⑤の斜面形状が近く、平常状態と判断すると、③、④が堆積状態、⑥が侵食状態と判断される。

このことは継続的な現地調査により斜面状態を評価できることを示している。また、侵食状態⑥は雪崩後である。

29日の雪崩は平常状態⑤(15日)から約2週間後に発生している。18日の降雪から29日までは地表面が雪で覆われており、少なくとも斜面上方からの土砂の供給・堆積は無かったと考えられる。

侵食状態を示したのは①～⑥のうち⑥のみであることから、侵食状態をもたらした主因は雪崩の影響と考えている。また、写真-3(d)から雪崩を生じた雪は土を含んで



写真-2 ポール横断状況

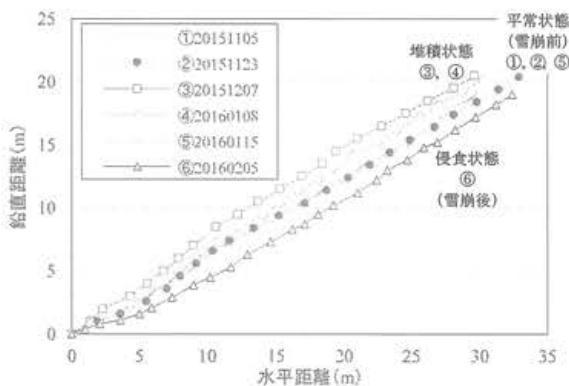


図-8 現地調査による斜面形状の時系列変化

いることがわかる。表層の雪だけでなく土を侵食した雪崩(全層雪崩)である。ただし、図-7 に示すように29日の雪崩後においても降水が続いている。この雪崩後の降水に伴う斜面形状変化の可能性は否定出来ない。

7. おわりに

本研究では、早川町春木川流域右支溪池の沢を対象とし、GISを用いて危険斜面を抽出し、無人カメラを設置した。その結果、雪崩(2016年1月29日)の撮影に成功した。加えて気象の考察を行い、弱い雨でも雪崩が発生することを示した。また、継続的に現地調査(ポール横断)を行うことで現在の斜面状態が平常、堆積、侵食状態の何れであるかを判断できることを示した。この結果、29日の雪崩は平常状態から発生し、表層の雪だけでなく土を侵食した雪崩(全層雪崩)であることを示した。今後、29日の降水に伴う崩壊確率分布と比較し当該斜面における特性を示す必要がある。

謝辞: 国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(砂防)(研究代表者:荒木功平)の援助を受けた。また、国土交通省関東地方整備局富士川砂防事務所や株式会社早野組の関係者各位、石井篤志氏(日本工営株式会社(前 山梨大学工学部))を始めとする荒木研究室 OB・現役学生など多くの方に多大なご支援・ご協力をいただいた。ここに深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省:平成 27 年度富士川砂防事務所の事業内容, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000621888.pdf (2016年1月13日閲覧)
- 2) 荒木功平, 石野孝樹, 北村良介, 斜面崩壊確率の変動に関する一考察, 第2回土砂災害に関するシンポジウム発表論文集, pp.161-164, 2004.
- 3) 国土地理院:数値地図 25000(地図画像)『甲府』, 平成 22 年 5 月 1 日発行
- 4) 国土地理院:基盤地図情報ダウンロードサービス, <http://fgd.gsi.go.jp/download/> (2016年1月13日閲覧)
- 5) 独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所 土砂管理研究グループ 雪崩・地すべり研究センター 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム:土木研究所資料 豪雪時における雪崩斜面の点検と応急対策事例, p.2-2, 2010.
- 6) 荒木功平, 奥村謙一郎, 安福規之, 大嶺聖, ハザリカヘマント:降雨に伴う表流水と浸透力に着目した緩勾配斜面の安定解析と土砂量評価, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演論文集, pp.727-728, 2012.
- 7) 国土交通省気象庁:過去のデータ検索 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2016年4月2日閲覧)

(2016.5.31 受付)