

流域全体の土壌水分量を考慮した斜面災害の発生要因

Research on Occurrence Factor of Slope Disaster Considering Amount of Soil Moisture in an Entire Watershed

室蘭工業大学 ○学生員 深澤 巧 (Takumi Fukazawa)
 室蘭工業大学 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 (一財)日本気象協会 正 員 臼谷 友秀 (Tomohide Usutani)
 (一財)日本気象協会 松岡 直基 (Naoki Matsuoka)

1. はじめに

札幌市と道南方面を結ぶ国道 230 号中山峠では、2012 年 5 月 4 日に土砂崩れや地すべり、2013 年 4 月 7 日に盛土崩壊と 2 年連続で土砂災害が発生した。図-1 に示すように、災害発生時は共に記録的な大雨に見舞われていた。また、図-2 に示すように、中山峠では過去の融雪期における土砂災害が何度も発生している¹⁾。中でも、2000 年と 2012 年の災害は大規模な地すべりであり、深刻度が大きいものと考えられる。災害の原因として、地形条件と降雨に加え融雪が挙げられているものの、融雪量やそれを含む災害発生危険度に関しては定量的な評価には至っていない。

土砂災害の危険度を評価する手法に関しては多くの報告例²⁾³⁾⁴⁾があり、実効雨量による手法や土壌水分量をタンクモデルによって考慮した土壌雨量指数を用いる手法が提案されている。土壌雨量指数は、気象庁と都道府県が共同で発表する「土砂災害警戒情報」⁵⁾として運用されているものの、対象とする土砂災害は大雨によるものであり、融雪を含む災害は含まれない。また、融雪を伴う土砂災害の危険度評価に関しては報告例が少なく⁶⁾融雪を考慮した評価方法の確立が課題となっている。

そこで本研究では、融雪を含む場合の土壌水分の推定を通し、災害発生危険度の定量的な評価を試みた。

2. 災害事例の概要と気象状況の特徴

(1) 災害事例の概要

札幌市と道南方面を結ぶ国道 230 号中山峠では、2012 年の災害により、1969 年に開通して以来初めてとなる全面通行止めに至った(図-3)。写真-1 は被災現場の写真であるが、この災害において、KP40.6 地点では、道路幅約 10m、道路延長約 86mの範囲で地すべりが発生し、KP40.8 地点においては、盛土法面が幅(道路延長)約 40 m、横断幅約 110mの範囲で、約 13,000m³の土砂が崩壊した。災害発生後、片側交互通行が再開されるまでに 20 日間を要した。

2013 年の災害の KP34.4 地点においては、道路幅(道路延長)約 50m、法面 40~50mの範囲で、約 11,000m³の土砂が崩壊した。災害発生後、片側交互通行が再開されるまでに 6 日間を要した。

(2) 気象状況

分析のため、図-3 に示すように災害発生場所に近い

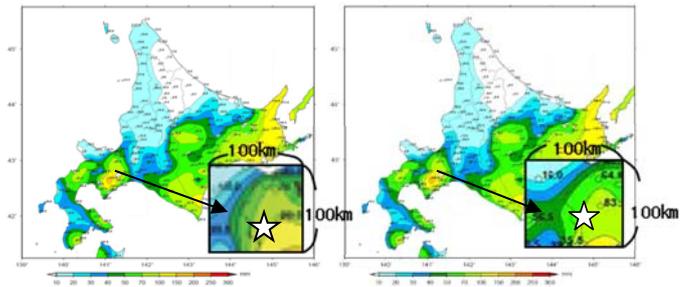


図-1 雨量分布図(☆：災害発生現場)
 (左：2012 年 5 月 3 日～6 日、右：2013 年 4 月 6 日～7 日)
 出典：(一財)気象協会

発生日時	災害形態
1998.4/9	崩壊
2000.5/15	地すべり
2006.5/29	落石
2009.5/5	崩壊
2012.5/2	崩壊
2012.5/4	崩壊
2012.5/4	地すべり
2012.5/4	盛土崩壊
2012.5/4	盛土崩壊
2012.5/30	盛土崩壊
2012.6/1	盛土変状
2012.6/1	盛土変状
2013.4/7	盛土崩壊



図-2 災害履歴¹⁾

図-3 災害発生場所と周辺の気象観測所⁷⁾



写真-1 国道 230 号線中山峠の被災状況
 (左：2012 年 5 月 4 日 右：2013 年 4 月 7 日)
 出典：北海道開発局

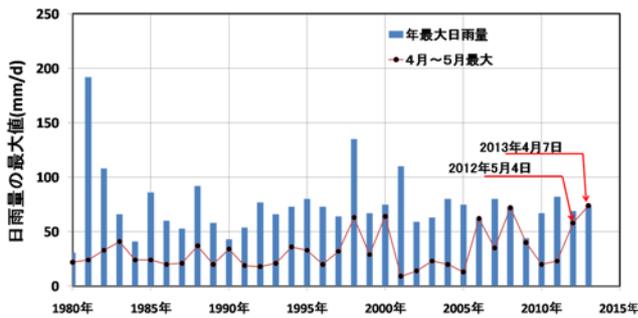


図-4 最大日雨量の推移(豊平峡ダム管理所)

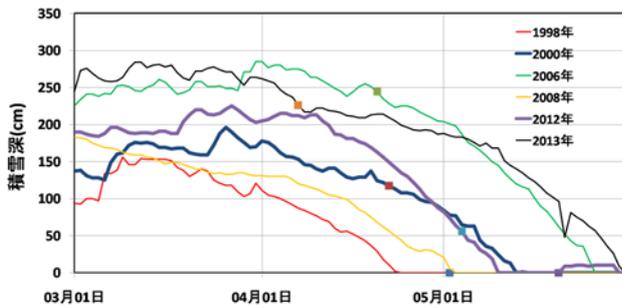


図-5 積雪深の経過(大二股地点, ■は大雨発生日を表す)

個所のデータを収集した。そのうち、気温、降水量、ダム流入量データは豊平峡ダム管理所、積雪深は、大二股のデータを用いた。

図-4 は豊平峡ダム管理所における日雨量の年最大値の推移である。図中の水色の棒グラフは年最大日雨量、●印は融雪期にあたる4月～5月の最大日雨量である。この図によると、年最大日雨量の既往最大は1981年であり、災害の発生した2012年5月4日・2013年4月7日の日雨量を超える大雨は幾度も発生していたことがわかる。しかし、融雪期に限定すると2013年の災害時は既往最大であった。

4月～5月において土壌に供給される水としては融雪水も考慮する必要がある。そこで、融雪水の発生源となる積雪状況を整理した。ここでは、図-4において4月～5月の降雨規模の大きい6年(1998年、2000年、2006年、2008年、2012年、2013年)を比較した。この6年の積雪深が図-5である。図中の■印は、4月～5月の最大日雨量の発生日を表している。

この図によると、2000年・2006年・2012年・2013年の大雨時には積雪があり、1998年・2008年は大雨が発生する前に既に消雪していたことが分かる。よって、1998年・2008年は大雨発生時に融雪水は供給されていなかったといえる。一方、2000年・2006年は、大雨発生日においても積雪があり、積雪状況は2012年・2013年と同様である。これら4年の大雨事例について、大雨発生までの7日間の日平均気温を示したものが図-6である。この図によると2012年の事例は大雨発生日の4日前から日平均気温が10℃を超えていた。2012年は、連日の高い気温により融雪が進み、土壌が融雪水で満たされ、このような中で大雨に見舞われていたことがうかがえる。2013年に関しては、6日前までは日平均気温がマイナスを記録しており、融雪による影響は少なかったと考えられる。

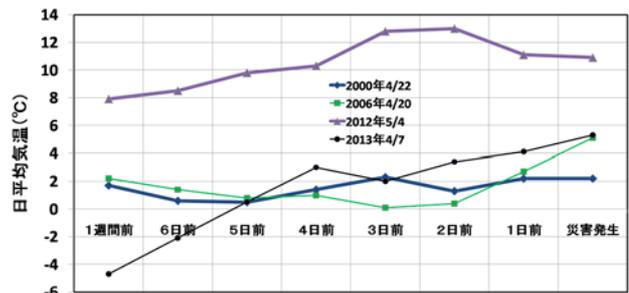


図-6 大雨発生までの気温の経過

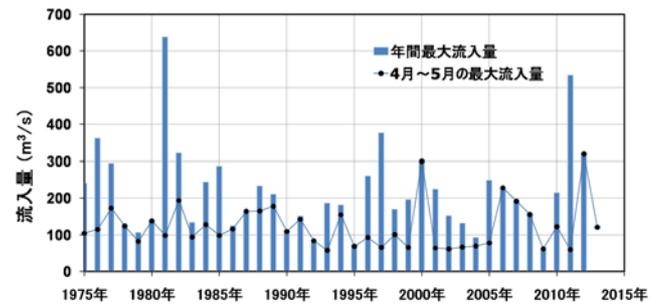


図-7 豊平峡ダムの年間および4月～5月の最大流入量

融雪や降雨は、土壌を通り河川に到達する。すなわち、土壌に供給された水量の多さは河川流量に現れる。そこで、災害現場を流域内に包含する豊平峡ダムにおける流出状況を調べた。図-7は1時間毎の流入量データから、1年間の最大値と4月～5月の最大値を抽出し図化したものである。図中、水色の棒グラフは1年間の最大値、●印は4月～5月の最大値である。図によると、流入量の最大は、日雨量の最大が観測された1981年、次いで2011年の順である。2012年5月4日は、出水規模としては上位にランクされるものの最大の洪水ではなかった。

以上から、2012年5月4日の災害は融雪量が大きく関与していたと考えられるが、観測データからは明瞭な特徴は見られなかった。一方、2013年4月7日の災害は融雪量よりも降雨などの影響が大きかったと考えられる。

3. 貯留量の推定手法

(1) 推定手法

本研究では、過去の気象状況のデータに基づき、融雪を含む場合の土壌水分の推定を通し、災害発生危険度の定量的な評価を試みる。そこで、融雪量と土壌が貯留していた水量(以下、貯留量と呼ぶ)を定量化し、貯留量に注目して過去の大雨時における状況を比較する。

貯留量は、土壌水分計等によって観測されるが、観測データの無い状況においては、推定した貯留量の妥当性を評価することが難しい。そこで、貯留量を流域水循環の一つの過程として捉え、流域水循環を構成する水文諸量(雨量・融雪量・蒸発散量・流出量)を包括的に推定し、河川流量をもって貯留量の妥当性を検証することにした。

貯留量の推定に当たっては、白谷ら⁸⁾が構築した流域水循環モデルを使用した。計算においては、まず、積雪や融雪、蒸発散量といった水文諸量を、中津川らが提

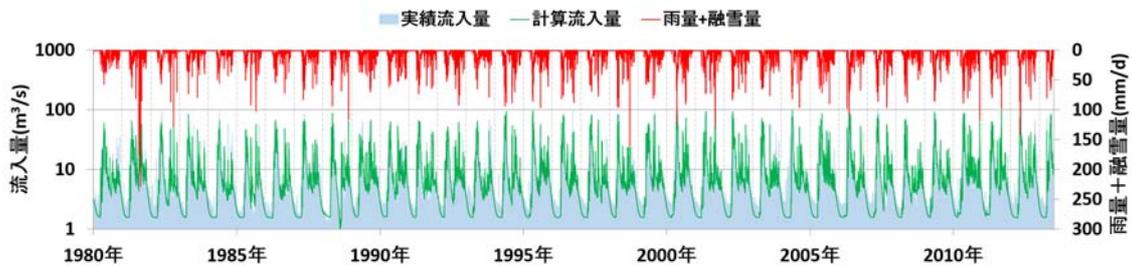


図-8 流入量の再現結果. 豊平峡ダム(1980年～2012年)

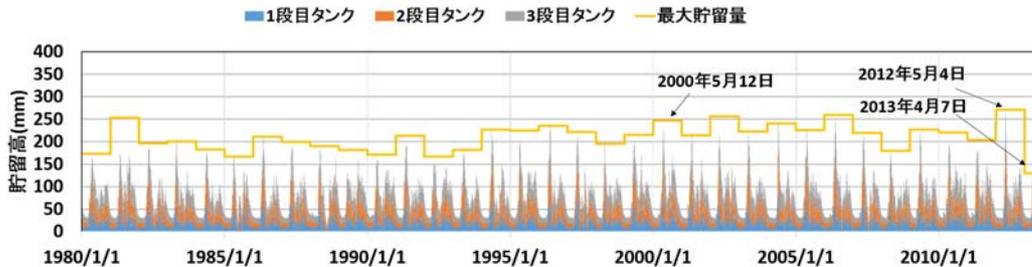


図-9 災害現場の土壌貯留量の推定結果(1980年～2013年)

案する手法⁹⁾¹⁰⁾を用いて、メッシュ単位で推定した。この手法は、近藤ら¹¹⁾の提案する2層モデルを基本に積雪・融雪過程を考慮したモデルである。これによって地上気象データ(日単位)から約1km四方のメッシュ毎に水文諸量(降雨、降雪、積雪、融雪、蒸発散量)を推定した。ここでは、基礎データとしてダム管理用に取得されているルーチンデータ(気温、湿度、降水量、風速、積雪深、日射量、気圧)を使用した。また地形や地被に関するデータは、石狩川ランドスケープ情報¹²⁾を用いた。

以上で算出された雨量、融雪量、蒸発散量をタンクモデルで構成した流出モデル¹¹⁾に入力し、流出量を算出した。メッシュの斜面流出量はタンクモデルで算出し、kinematic wave式を用いてダム地点までの河道追跡を行った。以上の計算によって得られる各タンクの貯留高を貯留量とみなした。タンクモデルの係数は、臼谷ら⁸⁾が使用した値を用いた。なお、流出量の再現性をもって貯留量の妥当性を検討した。

(2) 検証結果

前節で述べた手法により、災害地点を包含する豊平峡ダムにおける日単位の流入量を再現し、実績流入量と比較した。対象期間は、最大の日雨量が観測された1981年を含むように、1980～2013年とした。

流入量の再現結果を図-8に示す。図中、水色の面は実績流入量、緑色の実線は計算流入量、赤色の棒グラフは雨量と融雪量の合計値である。この図によると、計算流入量は季節・年々な流量変動を概ね再現しており、このことからモデルにおいて流域の水収支および貯留量の変動も妥当に表現されているものと推察される。

4. 災害現場における貯留量の推定結果

図-9は災害現場における貯留量を推定した結果である。なお、災害現場は4つのメッシュを含む位置で発生していることから、4メッシュの平均貯留量を当該地点

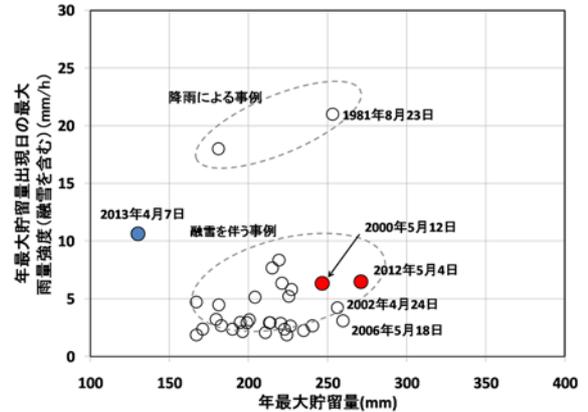


図-10 年最大貯留量と雨量強度(融雪を含む)の関係。

の貯留量とした。図中の青色・オレンジ色・灰色はそれぞれ、1段・2段・3段目タンクの貯留高を表す。また黄色の実線は、それぞれの年における最大貯留量(2013年は災害発生時の貯留量)を表している。

この図によると、災害現場の年最大貯留は150mm～250mmで推移しているが、1981年・2002年・2006年・2012年は250mmを超えている。貯留量の最大は2012年5月4日の271mmであり、災害の発生したこの事例が、1980年以降の最大と推算された。

次に、本手法で算出された貯留量と融雪を含む雨量強度から、災害の特徴を調べた。図-10は図の横軸に年最大貯留量、縦軸に最大貯留量出現日の最大雨量強度(融雪を含む)をとったものである。時間雨量には、長期データが入手できる豊平峡ダム管理所のデータを用いた。時間融雪量は、豊平峡ダム管理所の気温を災害現場とダム管理所の標高差で補正し、それを基に積算暖度法によって算出した¹³⁾。この図によると、2012年5月4日の貯留量は既往最大となっている一方、雨量強度(融雪を含む)は、降雨による事例が極端に大きいなど、本事例を超える例が多く見られる。よって、2012年に発生した災害は、短時間の雨量強度より、長期的な貯留量が大きく関与していたものと考えられる。一方、2013年の

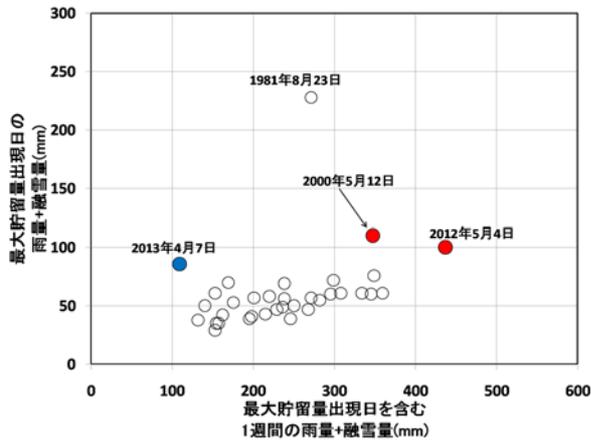


図-11 年最大貯留量までの1週間、および、当日の雨量、融雪量

災害時の貯留量は小さいが、短時間の降雨や融雪に関しては、融雪期の中では他の年に比べ強度が大きく、そのような影響が大きかったと考えられる。

図-11は、横軸に貯留量が最大となった日までの1週間の雨量・融雪量、縦軸に最大貯留量出現日の雨量+融雪量を整理したものである。2012年5月4日の事例は、最大貯留量が出現するまでの1週間の雨量と融雪量の合計は400mmを超え、1980年以降で最大となる推定結果となった。また、この図より2000年の地すべりが発生する3日前には、1週間の雨量と融雪量は400mmを超えていないものの、既往最大級の雨量と融雪量が2000年の最大貯留量出現日に土壌に影響を与えていることが分かる。これより、過去に発生した土砂災害のうち2000年と2012年の地すべりは貯留量が最大の時に大雨や融雪の影響を伴い発生した可能性が強い。

5. まとめ

本報告において得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 中山峠における2012年5月4日・2013年4月7日の土砂災害の特異性を気象水文データから考察した。2012年の災害は日平均気温が高く融雪が影響していると考えられた。2013年の災害は、降雨規模は大きいですが、日平均気温が低く融雪はあまり影響していないと考えられた。
- 2) 流域の水循環に着目した長期の水文諸量の推定と流出計算に基づき、土壌水分を定量的に評価する方法を提案した。また、その妥当性は、災害発生地点を含むダム流域の流入量をもって確認した。
- 3) 災害発生地点の貯留量を推定した。その結果、2000年と2012年の地すべりは貯留量が最大の時に雨量と融雪による影響を伴い発生したといえる。一方、2013年の様な盛土崩壊や斜面崩壊に関しては、短時間での降雨の影響も関与していたと考えられる。

以上、流域水循環の視点から推定した貯留量は、土砂災害に関連する土壌水分を定量的に評価する上で有効な情報と考えられ、貯留量の評価は、地すべりのような大規

模な災害に有効的であると考えられた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、学術研究助成基金助成基盤研究(C)(課題番号 23560602)と平成25年度河川整備基金(助成番号 25-1151-001)の助成を受けた。また、(独)土木研究所寒地土木研究所より各種資料を提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 伊東佳彦, 大日向昭彦, 倉橋稔幸, 日下部祐基, 穴戸政仁: 融雪量の道路斜面災害についての考察, http://www.jseg.or.jp/hokkaido/H25_kenkyu2.pdf
- 2) 寺田秀樹, 中谷洋明: 土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法, 国土技術総合研究所資料, 第5号, <http://w.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0005.htm>
- 3) 道上正規, 小島英司: 集中豪雨による崖崩れの発生予測に関する研究, 鳥取大学工学部研究報告 12(1), pp.167-178, 1981.
- 4) 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斎藤清: 土壌雨量指数, 天気 48(5), pp.349-356, 2001.
- 5) 気象庁; 土壌雨量指数: <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/dojoshisu.html>
- 6) 松浦純生: 積算暖度法を用いた土砂災害危険度評価手法の開発, 近畿建設協会研究所助成発表会発表論文, 2012.
- 7) 北海道開発局; 一般国道230号中山峠「H25年4月融雪期災害」について: http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/area/03_consul/pdf/nakayamatouge25.pdf
- 8) 白谷友秀, 中津川誠, 松岡直基: 融雪期の土砂災害に関連する土壌水分の定量評価, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, No.4, pp.403-408, 2013.
- 9) 田澤寿, 中津川誠: 熱・水収支を考慮した流域スケールの積雪と蒸発散量の推定, 北海道開発土木研究所月報, No.588, pp.19-38, 2002.
- 10) 白谷友秀, 工藤啓介, 中津川誠: 石狩川流域における水循環の定量化について, 水工学論文集, 第49巻, pp.229-234, 2005.
- 11) 近藤純生: 水循環の気象学, 朝倉書店, 337p, 1994.
- 12) (財)北海道河川防災研究センター: 石狩川流域ランドスケープ情報, 1998.
- 13) (財)北海道河川防災研究センター: 水文情報の総合化による融雪期ダム流入量の推算, 研究所紀要, XVII, pp.299-323, 2006.