

標高の違いを考慮した積雪融雪期の地すべり災害発生危険度評価手法

藤平 大・後根裕樹・石井靖雄

1. はじめに

融雪により発生する地すべりの危険度評価を行う上では、山間地の斜面上で発生する融雪量推定など様々な課題がある¹⁾。そのため、一定の範囲内にある複数の地すべりの長期間にわたる発生危険度を評価する手法として現場の実務向けに一般化されたものはない。他方、融雪期に見られる河川水位（以下「水位」という。）やダム入流量（以下「流入量」という。）の増加は、斜面での融雪及び地下への浸透貯留流出を経て現れる水文量の増加を示す端的な指標である。この指標は広大な流域内での一点の情報に過ぎない。しかし、融雪とその後の地下浸透・流出の特徴を反映した指標であることを踏まえれば、ある観測所でのデータは、地すべり災害を引き起こす融雪に対応した水位・流入量の増加を示している可能性がある。すなわち両者に相関性があれば、災害発生の危険性が高まっている時期を特定できる可能性がある。

著者らは、中谷ら²⁾が提案している手法を参考に検討を進めている³⁾。本報文では、上流にダムや導水等の少ない水位観測所等を追加選定し、対象とする水文観測所を従来の4箇所から計16箇所に増やして観測データの正規化された偏差（以下「偏差」という。）を算定し、地すべり災害発生危険度を評価することの有効性を検討した結果を報告する。また、標高の違いによる融雪特性の違いを考慮した地すべり災害発生危険度評価手法の有効性を検討した結果についても報告する。

2. 調査方法

2.1 調査方法の概要及び検討対象地域の概要

本調査での検討対象地域は、積雪地帯である新潟県中越地方を対象地域とした（図-1）。調査は、地すべり災害が発生した時の河川水位、ダム入流量及び降雨量から偏差を算定し、通年(1～12月)及び積雪融雪期(12～5月)に発生する地すべり

災害のそれぞれ70%以上を捕捉できる偏差の閾値を比較した。なお、降水量と水位・流入量は性質が異なること、水位・流入量についてもそれぞれの観測所の集水面積が異なるため観測値の絶対値を比較することは適切ではない。そのため、偏差を用いて評価することとした。70%という値は、既往の研究成果⁴⁾を参考に目安として設定した。

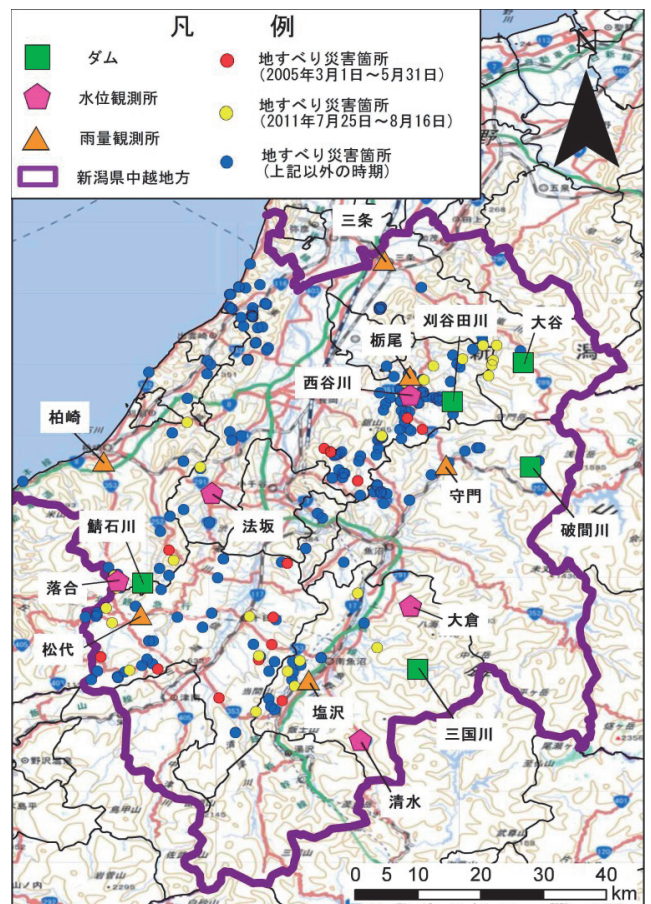


図-1 調査対象地域と水文観測所、地すべり災害発生箇所の位置

また、積雪融雪期(12～5月)については、水位及び流入量の各観測所データが、観測所上流域の最高標高から観測所標高付近までの水文情報であるため、地すべり発生箇所の標高がこの範囲に含まれていることが望ましい。そこで、標高区分を行って地すべり災害の発生危険度を評価する手法の有効性を検討するため、地すべり発生件数の

多いところは50m間隔、少ないところは100m間隔程度で標高区分を行い、各標高区分に該当するすべての観測所のデータから、地すべり災害の70%を捕捉できる偏差の閾値 σ_{70max} を標高区分ごとに求め考察した。調査で対象とした水文観測所の位置は、図-1に示す16箇所であり、ダムでは流入量、河川水位観測所では水位、雨量観測所では雨量の1時間毎のデータを使用した。地すべり災害発生箇所は、2003年12月1日～2013年11月30日に発生した231事例（うち積雪融雪期は80事例）を用いた。なお、同期間の通年データを標本データとして偏差を求めた。地すべり災害発生位置は、図-1に示すとおりで、多発した2時期とそれ以外に区分して表示している。地すべり災害発生位置及び時刻は、国土交通省砂防部が取りまとめたデータを用いた。ただし、本調査では地震を誘因とするものは対象外とした。

2.2 水位、流入量及び降水量の偏差の算定方法

一定の積算時間（N時間）における観測データ（河川水位、ダム流入量、降水量）の偏差を求め、それぞれ、地すべり災害の70%以上を捕捉できる偏差（ σ_{70} ）を算出した。複数の積算時間のうち、観測所ごとに、地すべり災害の70%以上を捕捉する偏差が最大となる偏差（ σ_{70max} ）を求めた。偏差の計算方法は以下のとおりである。

- 1) 観測所の観測データの積算時間（N=1、3、6、12、24、48、72、168、336、672）ごとに

$$E(X_n) = \frac{X_n \cdot \mu}{\sigma} \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

ここで、 $E(X_n)$ は X_n の偏差、 X_n はN時間積算時間における災害発生時の偏差、 μ は X_n の平均値、 σ は X_n の標準偏差である。

- 2) 観測所の観測データの積算時間ごとに、 σ_{70} を算出した。
- 3) 観測所ごとに、10種類の積算時間Nから得られた σ_{70} のうち最大のものを観測所における σ_{70max} とした。

3. 研究結果

3.1 通年と積雪融雪期（12～5月）に発生する地すべり災害の特徴と差異

表-1に、観測所ごとの通年及び積雪融雪期（12～5月）の σ_{70max} と災害捕捉割合を示す。各観測

所の σ_{70max} を比較すると、刈谷田川ダムの流入量より算出した σ_{70max} が1.582と最も大きくなった。また、通年の地すべり災害を対象とした場合には、清水水位観測所を除くすべての観測所データにおいて積雪融雪期の災害捕捉割合が70%未満となり、積雪融雪期の捕捉割合が低い。なお、清水水位は標高576.5mに位置し全観測所の中でもっとも高い標高に位置している。これは、高い標高に位置するため消雪時期が遅く、気温が高く日射量の多い雪解けによる水位上昇のタイミングを他の観測所と比べて長期間にわたり捕捉しているため、積雪融雪期の災害と相関が高いことを示している可能性が考えられるが、詳細な分析が必要な今後の課題である。

表-1 水文観測所及び観測所ごとの σ_{70max}

観測所名	通年の地すべり災害			積雪融雪期の地すべり災害		
	積算時間 (hour)	σ_{70max}	積雪融雪期災害捕捉割合 (%)	積算時間 (hour)	σ_{70max}	積雪融雪期災害捕捉割合 (%)
刈谷田川ダム	48	1.582	53	336	1.158	71
大谷ダム	72	0.567	59	672	0.754	71
鱒石川ダム	72	0.742	55	672	1.247	70
破間川ダム	72	1.521	54	12	0.743	71
三國川ダム	12	1.079	51	24	0.664	70
西谷川水位	6	1.051	48	672	1.066	71
法坂水位	3	0.184	55	672	0.285	70
落合水位	12	0.402	66	672	1.009	72
大倉水位	24	1.417	56	168	1.018	70
清水水位	1	0.649	78	12	1.107	70
栃尾雨量	72	0.181	26	1	-0.262	100 ^{**}
三条雨量	72	0.384	20	1	-0.219	100 ^{**}
柏崎雨量	168	0.153	23	1	-0.244	100 ^{**}
松代雨量	24	-0.096	34	1	-0.292	100 ^{**}
守門雨量	72	0.045	29	1	-0.293	100 ^{**}
塩沢雨量	336	0.000	25	1	-0.253	100 ^{**}

※積雪融雪期の地すべり災害の雨量観測所の σ_{70max} は、1時間雨量0mmの偏差が σ_{70max} に対応するため、捕捉率が100%となった。

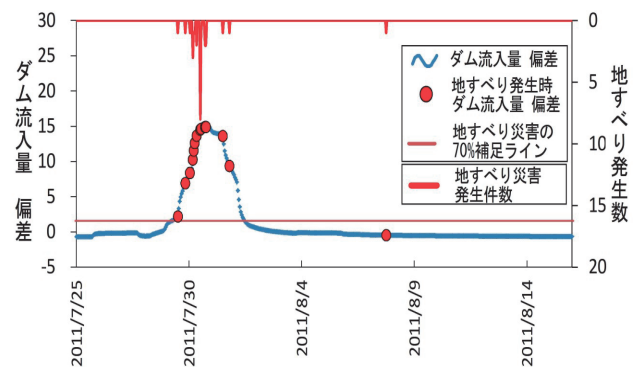


図-2 非積雪融雪期における刈谷田川ダム(積算時間：48時間)の偏差と地すべり地すべり発生数の関係（2011年7月25日～8月16日）

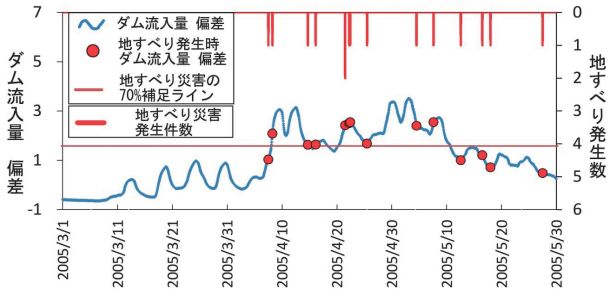


図-3 積雪融雪期における刈谷田川ダム(積算時間：48時間)の偏差と地すべり発生数の関係(2005年3月1日～5月30日)

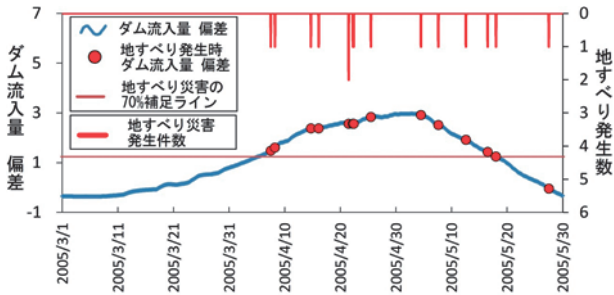


図-4 積雪融雪期における鯖石川ダム(積算時間：672時間)における偏差の経時変化と地すべりの関係(2005年3月1日～5月30日)

図-2、3に、刈谷田川ダムの流入量の時系列偏差の積雪融雪期及び非積雪融雪期の算定例として2011年7月25日～8月16日、2005年3月1日～5月31日の結果を示す。なお、これらの期間は、図-1の地すべり災害の多発した2時期として、それぞれ赤丸、黄丸で表示した期間に対応する。両期間の災害発生時の偏差を比較すると、積雪融雪期の偏差は非積雪融雪期の偏差よりも顕著に低い。積雪融雪期では、鯖石川ダムのダム流入量より算出した σ_{70max} は1.247と最も高く、通年における同偏差0.742よりも大きくなった。図-4に、鯖石川ダムのダム流入量の時系列偏差の積雪融雪期の算定例として、2005年3月1日～5月31日の結果を示す。通年で全観測所のなかで最も大きな偏差を示した観測所は刈谷田川ダムであったが、積雪融雪期は、異なる観測所(鯖石川ダム)の偏差が最も大きな値を示した。また最大値を示した偏差の積算時間は、積雪融雪期では長く、通年では短くなった。観測データの偏差を用いて危険度を評価する場合には、期間別に検討を行う必要があると判断される。

3.2 積雪融雪期地すべり災害発生の標高帯別予測

表-2に、積雪融雪期(12～5月)における標高

表-2 観測所及び標高区分別偏差 σ_{70max}

地すべり災害発生箇所標高(m)	観測所名	観測所上流域の最高標高(m)	観測所標高(m)	積算時間(hour)	σ_{70max}	積雪融雪期災害捕捉割合(%)
601～800m	清水水位	1900	576.5	1	1.841	80%
501～600m	清水水位	1900	576.5	12	3.324	100%
401～500m	破間川ダム	1585	400	72	3.041	71%
351～400m	破間川ダム	1585	400	672	3.070	100%
301～350m	鯖石川ダム	800	129.8	672	2.912	80%
251～300m	鯖石川ダム	800	129.8	336	1.768	71%
201～250m	刈谷田川ダム	1432	235	168	1.767	70%
151～200m	落合水位	624	174	6	1.998	71%
101～150m	西谷川水位	765	70	6	1.343	71%
51～100m	西谷川水位	765	70	168	1.186	71%
1～50m	柏崎雨量	-	7	672	0.678	75%

区分別偏差 σ_{70max} を示す。各標高区分別に得られた σ_{70max} は、標高1～50m及び51～100mを除いて、前節で述べた積雪融雪期に最大の σ_{70max} を上回る値を示した。1～50mにおいては、唯一、雨量データが最大となる偏差を示した。ただし、値は0.678と低い。51～100mにおいては、1.186の値を得た。51～100mの低標高地域は、大半が低平地であり、主に斜面ではなく平野の水文特性や上流の水文特性を反映していると考えられ、このため、得られた σ_{70max} が低い値であったと推定される。また、 σ_{70max} は、51m以上の観測所で1以上の値を、601～800mを除くと、301m以上の観測所で2以上の値を、351m以上の観測所で3以上の値を示した。最大値は501～600mでの3.324であった。なお、601～800mについては災害発生箇所が山間地に位置し、溪流の濁りなどを手掛かりに現地調査を行い、災害発生を覚知した時刻が災害発生時刻となっている可能性など、実際の災害発生時刻との差異が他の標高区分と比べて大きいことが影響していることが考えられる。全般的には、積雪深が厚く融雪量が大きい高標高の観測所において比較的高い偏差が得られ、低標高ほど低い偏差が得られた。以上の結果より、本調査で対象とした新潟県中越地方においては、積雪融雪期に、積雪量の多い101m以上の地域で発生する地すべり災害を対象に、標高区分を行った偏差 σ_{70max} を用いることにより、標高区分を行わない場合よりも高い σ_{70max} を得られることが示された。

4. まとめ

本研究では、標高の違いによる融雪特性の違いを考慮して、積雪融雪期に発生する地すべり災害の発生危険度を、水位・流入量観測結果をもとに評価する手法を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 通年と積雪融雪期の地すべり災害発生時の偏差及び偏差の積算時間は大きく異なり、危険度評価は期間別に検討を行う必要がある。
- 2) 地すべり発生時の偏差の閾値は、高標高帯において比較的高い偏差が得られ、低標高帯ほど低い偏差となった。本調査で対象とした新潟県中越地方では、積雪融雪期に、標高101m以上の地域で発生する地すべり災害を対象に、標高区分を行い求めた偏差を用いて危険度評価を行うことが有効と考えられる。

過去の融雪地の災害発生時刻の中には、地すべり変動の観測データとの時間的な対応に大きなずれが見られる事例⁴⁾なども報告されている。今後は、地すべり災害データの発生時刻の質の向上、あるいは、解析におけるデータの選別も重要な課題と考えている。

謝 辞

本研究を行うにあたり観測データのご提供など、国土交通省北陸地方整備局及び新潟県には多大なご協力を賜りました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松浦純生：積雪地帯における降水の到達過程と地下水及び地すべりの挙動（その3）—地表面到達量と地下水変動の関係（後）、地すべり技術、第30巻、第3号、pp.12～22、2004
- 2) 中谷洋明、ほか：北陸地方における地すべり発生に関する広域水文指標の検討、日本地すべり学会誌、Vol.44、No.5、pp.22～32、2008
- 3) 藤平大、鳥海貴裕、杉本宏之、桂真也、石井靖雄：水位観測結果の地すべり災害警戒指標としての活用、土木技術資料、第58巻、第2号、pp.20～23、2016
- 4) 佐藤壽則ほか：積雪期における新潟県内の第三紀層地すべりの運動特性、日本地すべり学会誌、Vol.41、No.1、pp.37～42、2004

藤平 大



土木研究所土砂管理研究グループ
地すべりチーム 上席研究員
Masaru TOHEI

後根裕樹



土木研究所土砂管理研究グループ
地すべりチーム 交流研究員
Youki USHIRONE

石井靖雄



研究当時 土木研究所土砂管理
研究グループ地すべりチーム
上席研究員、現 土木研究所土
砂管理研究グループ火山・土石
流チーム 上席研究員、博士
(農学)
Dr. Yasuo ISHII