

融雪地すべりの到達距離と発生箇所の特徴

丸山清輝・木村 誇・桂 真也・石田孝司

1. はじめに

地すべりの発生誘因の一つに、融雪水の斜面浸透がある。このため、積雪の多い日本海側を中心に、融雪地すべりが数多く発生している。その中には地すべり土塊が長距離移動するものがあり、被害が広範囲に及ぶ可能性が高いことから行政も高い関心を持っている。このような融雪地すべりの被害を軽減するためには、予め融雪地すべりが発生する箇所及び地すべり土塊の到達範囲を予測し、その危険性を把握しておく必要がある。そこで、融雪地すべりの事例を収集し、地すべり土塊の到達距離と発生した箇所の地形的特徴との関係等について検討したので、その結果を報告する。

2. 収集した事例

収集した事例は1947～2012年までの66年間にわたるものであり、主に災害申請及び災害関連緊急地すべり対策事業として申請された融雪地すべりである。なお、この中で地すべり斜面の規模や土塊の到達距離が記載されていないものは除いた。この他、検討に用いた各事例の発生日時、発生位置、地すべりの発生域と地すべり土塊の移送堆積域の範囲、発生域の水平斜面長および土塊の到達距離は、災害関連事業の報告書および国内学術誌に掲載された論文をもとに調べた。

図-1は、収集された地すべり地の所在地と道県別の事例数の割合を示したものである。収集された事例数は77件である。事例を道県別に整理した結果、新潟県が34件で全体の44%を占め、次いで山形県が11件、長野県9件でそれぞれ全体の14%、12%を占めた。

図-2には、地すべり発生源斜面長の頻度分布を示した。なお、図-3は、地すべり発生源斜面長(L1)と地すべり土塊の到達距離(L2)の計測方法を示したものである。地すべり発生源斜面長の

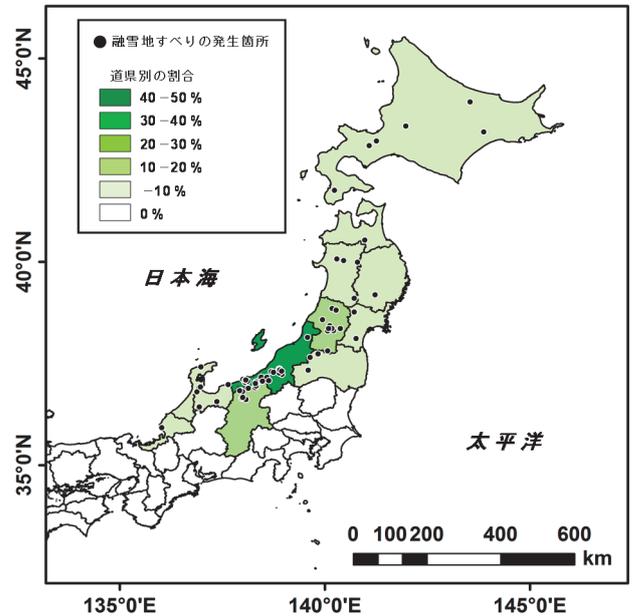


図-1 収集事例の所在地

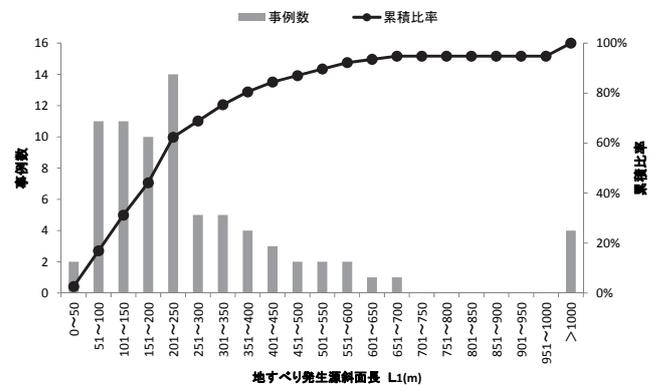


図-2 地すべり発生源斜面長の頻度分布

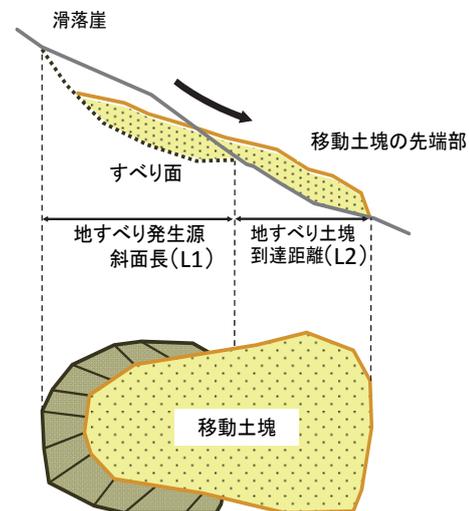


図-3 地すべり形状の計測方法

範囲は、30～3,600mである。また、地すべり発生源斜面長が500mを超える事例数は10件、1,000mを超える事例数は4件であり、それぞれ全体の13%、5%を占める。

図-4は、地すべり土塊到達距離の頻度を示したものである。地すべり土塊到達距離の範囲は0～6,500mであり、50m以下の事例数が48件で全体の62%を占めた。また、地すべり土塊到達距離が100mを超える事例数は21件、1,000mを超える事例数が4件であり、それぞれ全体の27%、5%を占める。

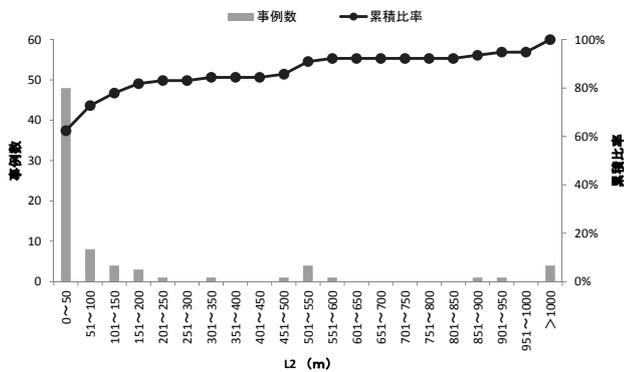


図-4 地すべり土塊到達距離の頻度

表-1には、地すべり発生源斜面の滑動履歴を移動係数別に示した。地すべり発生源斜面の滑動履歴は、国立研究開発法人防災科学技術研究所が公開している地すべり地形分布図を用い、検討対象である地すべり発生源斜面の全体または一部が、「移動体」の範囲に含まれる場合は「再滑動」とし、それ以外は「初生」とした。また、移動係数 Tr は、地すべり土塊の到達距離/地すべり発生源斜面長で求めた値である¹⁾。

$Tr \leq 1$ (到達距離が地すべり発生源斜面長以下) の63事例の中で49事例 (77.8%) が「再滑動」に区分され、14事例 (22.2%) が「初生」に区分された。また、 $Tr > 1$ (到達距離が地すべり発生源斜面長を超える) の14事例の中で13事例 (92.9%) が「再滑動」に区分され、1事例 (7.1%) が「初生」に区分された。

表-1 地すべり発生源斜面の滑動履歴

移動係数	滑動履歴	
	初生	再滑動
$Tr \leq 1$ (63事例)	14事例 (22.2%)	49事例 (77.8%)
$Tr > 1$ (14事例)	1事例 (7.1%)	13事例 (92.9%)
合計 77事例	15事例 (19.5%)	62事例 (80.5%)

%) が「初生」に区分された。また、全体の77事例の中では、62事例 (80.5%) が「再滑動」に区分され、15事例 (19.5%) が「初生」に区分された。これらのことから、今回調査した融雪地すべり事例の発生箇所は多くが既存の地すべり地形内であり、 $Tr > 1$ の地すべりのほとんどが既存の地すべり地形内で発生していることが分かった。

3. 地すべり土塊の移送堆積域の分類

収集された事例を整理する中で、地すべり土塊の到達距離は、地すべり土塊の移送経路 (地すべり発生域末端から移送堆積域までの区間) の違いにより異なる傾向が認められた。また、移送経路としては、大別すると「谷」、「沖積平野」、「斜面」に分類できると考えた²⁾。

図-5には、地すべり土塊の移送堆積域の地形分類のイメージ図を示した。地すべりが斜面上部で発生し、その斜面の下方が谷に接している事例をケース「谷」、地すべりが斜面上部で発生し地すべり土塊が斜面下部を移動した事例をケース「斜面」とした。この他、地すべりが斜面中腹部で発生し、地すべり土塊が斜面下部の沖積平野を移動した事例をケース「沖積平野」とした。

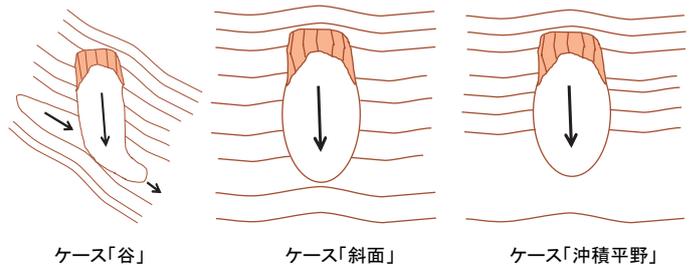


図-5 地すべり土塊移送堆積域の地形分類イメージ図

写真-1～3は、地すべり土塊の移送堆積域を「谷」、「沖積平野」、「斜面」に分類した場合の各事例を示したものである。写真-1には、ケース「谷」の事例として、地すべりが斜面上部で発生し、地すべり土塊が谷を移動した下倉地すべり (新潟県糸魚川市、2005年4月発生) の斜め写真を示した。写真-2には、ケース「沖積平野」の事例として、地すべりが斜面中腹部で発生し、斜面下の沖積平野を移動した国川地すべり (新潟県上越市、2012年3月発生) の斜め写真を示した。写真-3には、ケース「斜面」の事例として、地すべりが斜面上部で発生し、斜面下部を移動した蓬平

地すべり（新潟県長岡市、1984年5月発生）の斜め写真を示した。

ここでは、移送堆積域を「谷」、「沖積平野」、「斜面」に分類し、地すべり土塊の到達距離と発生した箇所の地形的特徴との関係等について検討した。



写真-1 ケース「谷」の事例（下倉地すべり）



写真-2 ケース「沖積平野」の事例（国川地すべり）

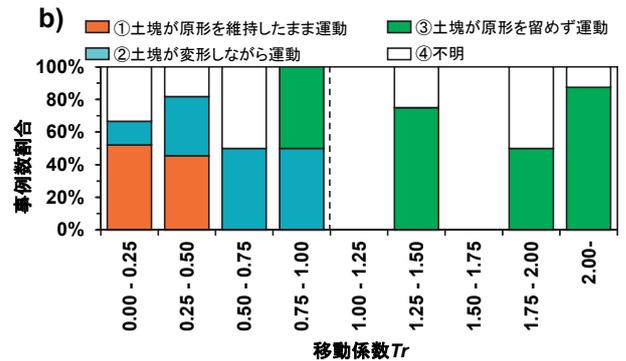
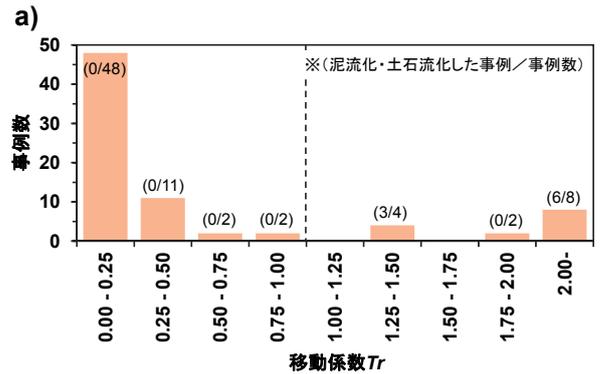


写真-3 ケース「斜面」の事例（蓬平地すべり）

4. 地すべり土塊の到達距離

4.1 地すべり土塊の到達距離と運動形態、移送堆積域の地形

図-6 (a) は、地すべり土塊の到達距離を移動係数 Tr に換算した値の頻度分布を示したものである。 Tr 値 $0\sim 0.25$ の事例数が最も多い48件であり、全体の62%を占めている。また、 $Tr\leq 1$ （到達距離が地すべり発生源斜面長以下）の事例数は63件、 $Tr > 1$ （到達距離が地すべり発生源斜面長を超える）の事例数は14事例であり、それぞれ全体の82%、18%を占めている。



(a)移動係数の頻度分布
(b)地すべり土塊の運動形態の区分
図-6 地すべり土塊の運動形態

図-6 (b) には、移動係数の階級毎に地すべり土塊の運動形態の事例数の割合を示した。運動形態を文献等で調査した結果、55件について運動形態の区分ができた。その結果、運動形態は①「土塊が原形を維持したまま運動」した事例数30件、②「土塊が変形しながら運動」した事例数13件、③「土塊が原形を留めず運動」した事例数12件に、それぞれ大別された。①「土塊が原形を維持したまま運動」した地すべりの Tr は0.4未満、②「土塊が変形しながら運動」した地すべりの Tr は0.1~0.8未満であり、③「土塊が原形を留めず運動」した地すべりの Tr は0.9~3.0以上である。なお、③「土塊が原形を留めず運動」した事例の中で「土塊が泥ねい化または土石流化しながら運動」した地すべりの事例数は9件であり、その Tr は1.3~3.0以上であった。

図-7(a)、(b)は、地すべり発生源斜面長 ($L1$) と地すべり土塊到達距離 ($L2$) との関係を示したものである。なお、図-7(b)は図-7(a)の原点付近を拡大したものである。また、 $L2$ が $L1$ 以下かつ250m以下の範囲は網掛けで示した。 $L2$ が全て $L1$ 以下かつ250m以下となっているケースは、「沖積平野」と「斜面」である。一方、 $L2$ が $L1$ 以

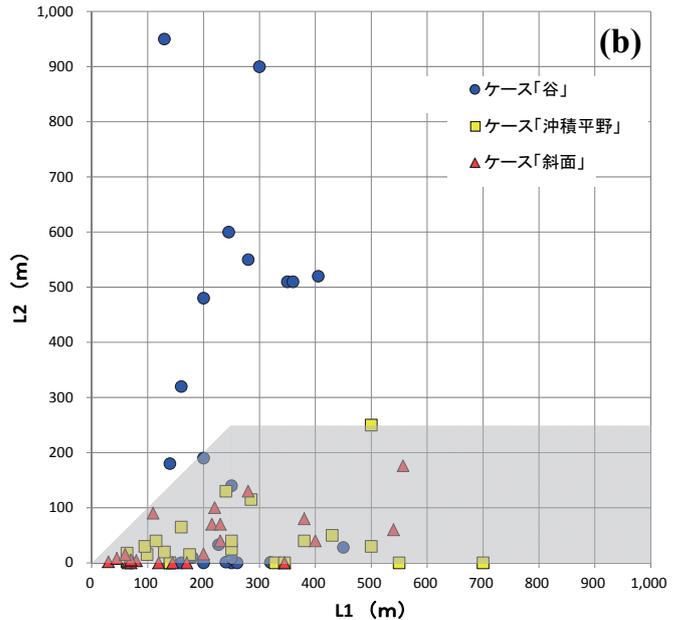
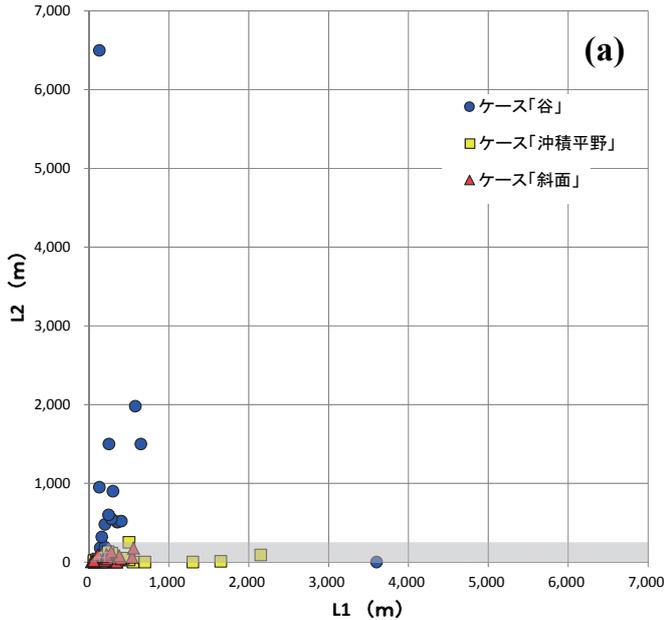


図-7 地すべり発生源斜面長 (L1) と地すべり土塊到達距離 (L2) との関係 (網掛け部は、L2がL1以下かつ250m以下の範囲を示す)

上または250m以上となっているケースは「谷」である。

これらのことから、地すべり土塊の到達距離は、地すべり土塊の運動形態に関係していることが確認された²⁾。また、今回収集した事例では、L2がL1以上または250m以上となっているものは全てケース「谷」であり、ケース「沖積平野」とケース「斜面」の事例は全て土砂災害警戒区域の指定基準における地すべり土塊の最大到達距離であるL2がL1以下かつ250m以下となっていることが分かった²⁾。

4.2 地すべり土塊の移送堆積域における谷地形と到達距離

図-8には、地すべり発生域と地すべり土塊の移送堆積域となった谷地形における谷勾配、地すべり土塊流入角度、発生域下端から谷地形の流心部までの距離の各々の求め方を示した。谷勾配は、地すべり発生域またはその延長との接点を中点とする水平長200mの区間を設定し、この区間の上端と下端との標高差から求めた。また、地すべり土塊流入角度は、谷勾配を求めた区間における谷の流下方向を求め、地すべり発生域における斜面の最大傾斜方向との成す角度から求めた。その他、発生域下端から谷地形の流心部までの距離は、地すべり発生域の下端から谷地形の流心部までの距離により求めた。

図-9は、発生域下端から谷地形の流心部までの

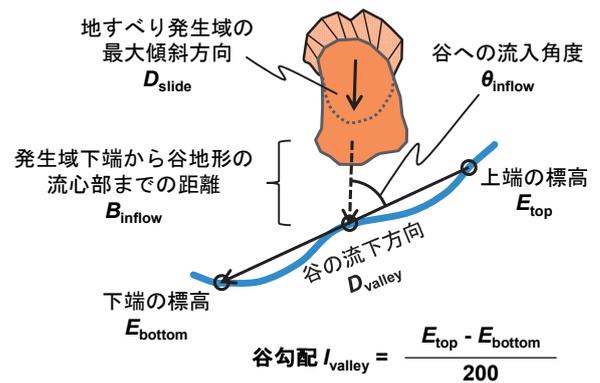


図-8 谷勾配、地すべり土塊流入角度、発生域下端から谷地形の流心部までの距離の求め方

距離と地すべり土塊の到達距離 (L2) との関係を示したものである。Tr>1の14事例の中で、発生域下端が谷地形に接していたもの (Binflow=0) は13件であり、谷から離れていたもの (Binflow>L2) は1件 (山形県 濁沢池ノ台) である。また、Tr<=1の26事例の中で、発生域下端が谷地形と接していたもの (Binflow=0) は14件であり、谷地形から離れていたもの (Binflow>L2) は12件である。

以上のことから、Tr>1の地すべり発生域下端はほとんどの場合谷地形に接し (Binflow=0)、Tr<=1の地すべり発生域下端は谷地形に接している (Binflow=0) 場合と接していない (Binflow>L2) 場合があることが分かった。また、これらのことは、谷地形沿いに発生した地すべりの地すべり土塊の移動距離を予測する上で参考になると考える。

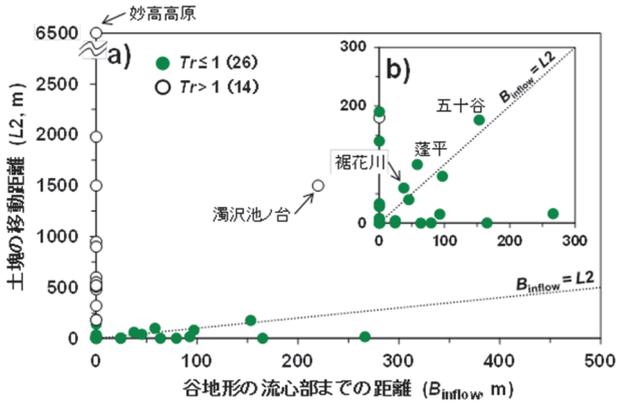


図-9 発生域下端から谷地形の流心部までの距離と地すべり土塊の到達距離との関係

図-10には、地すべり土塊の谷への流入角度と谷勾配との関係を示した。Tr > 1の事例数14件は、流入角度68°を上限とし、谷勾配0.15mm⁻¹ (9°)を下限とする範囲に分布している。この範囲は、「崩土が土石流化する可能性が高い地形条件である、崩壊部下流にある谷への流入角度が70°以下で谷勾配が9°以上⁴⁾」とほぼ一致している²⁾。一方、Tr ≤ 1の事例数26件は流入角度が0~121°、谷勾配が0.03~0.34mm⁻¹の各範囲に分布しており、Tr > 1が分布する範囲に入る事例数は12件(発生域下端が谷地形と接するものは5件)である。このことから、Tr ≤ 1の地すべりでは、明確な地形条件を見出すことはできない。

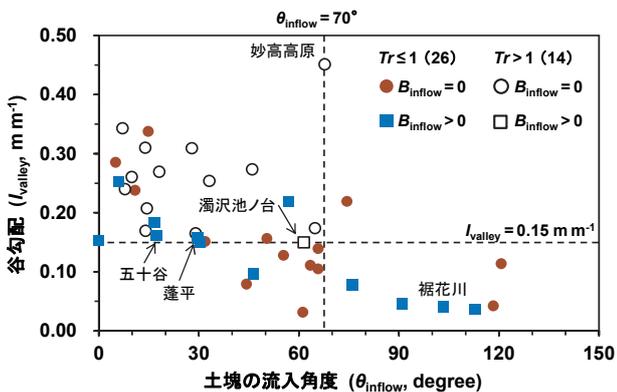


図-10 地すべり土塊の谷への流入角度と谷勾配との関係

図-11は、ケース「谷」における地すべり土塊の運動形態と地すべり土塊到達地点の斜面勾配との関係を示したものである。事例は、地すべり土塊の到達距離が地すべり発生源斜面長以上 (Tr > 1) または250m以上の14事例である。また、斜面勾配は、地すべり土塊到達地点の上流200m区間における標高差から求めた値である。なお、地すべり土塊の運動形態は、③土塊が原形を留めず運動したもの、④運動形態が不明のものであり、

①土塊が原形を維持したまま運動したものと②土塊が変形しながら運動したものはなかった。また、④不明の事例についてはTr > 1であることから、運動形態は③であると推定される。③の運動形態における地すべり土塊到達地点の斜面勾配は2~8°の範囲にあり、最小値は2°であった。

これらのことから、ケース「谷」の場合、地すべり土塊の到達距離は、最大で土砂災害警戒区域の指定基準である土地の勾配2°までの地点となることが確認された。

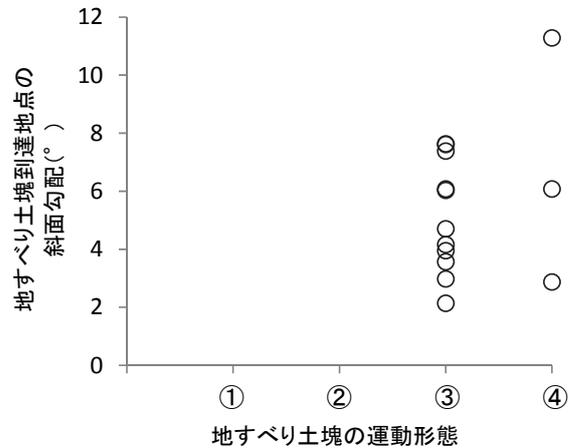


図-11 ケース「谷」の地すべり土塊の運動形態と地すべり土塊到達地点の斜面勾配との関係

5. まとめ

融雪地すべりの事例を収集し、地すべり土塊の到達距離と発生した箇所の地形的特徴との関係を、「谷」、「沖積平野」、「斜面」の各ケースに分類して検討した。以下に、その結果を示す。

- (1) 今回収集した事例では、地すべり土塊到達距離(L2)が地すべり発生源斜面長(L1)以上または250m以上となっているものは全てケース「谷」であり、ケース「沖積平野」とケース「斜面」の事例は全て土砂災害警戒区域の指定基準における地すべり土塊の最大到達距離であるL2がL1以下かつ250m以下となっていることが分かった。
- (2) 地すべり土塊の運動形態は「土塊が原形を維持したまま運動」したもの、「土塊が変形しながら運動」したもの、「土塊が原形を留めず運動」したものに大別され、地すべり土塊の到達距離は地すべり土塊の運動

形態に関係していることが確認された。

- (3) $Tr > 1$ (到達距離が地すべり発生源斜面長を超える) の地すべりが発生する箇所の地形的特徴として、以下に示すことがあげられる。

1) 地すべり発生域下端が、勾配 $0.15\text{mm}\cdot 1$ (9°) 以上の谷地形に接している。

2) 地すべり土塊の谷への流入角度が 70° 以下である。

- (4) ケース「谷」の場合、地すべり土塊の到達距離は、最大で土地の勾配 2° までの地点となることが確認された。

今回の検討結果は、 $Tr \leq 1$ の事例数 63 件、 $Tr > 1$ の事例数 14 件をもとにしたものであり、事例数が十分であるとは言えない。今後は、さらに事例を増やし、検討結果の精度を高める必要がある。

参考文献

- 1) 白杵伸浩、田中義成、水山高久：移動距離の長い地すべりの実態、砂防学会誌、Vol.57、No.5、pp.47-52、2005.
- 2) 桂 真也、木村 誇、丸山清輝、秋山一弥、畠田和弘：到達距離の長い融雪地すべりの発生箇所の地形的特徴、平成26年度砂防学会研究発表会概要集B、pp.6-7、2014.
- 3) 木村 誇、桂 真也、丸山清輝、石田孝司：土塊が長距離移動した融雪地すべりの発生域・移送堆積域の地形特性、地すべり学会誌、Vol.53、No.2、pp.1-12、2015.
- 4) 石川芳治：地震による土石流の発生に係わる地形、地質条件、砂防学会誌、Vol.51、No.5、pp.35-42、1999.

丸山清輝



土木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 特任研究員、博士(学術)
Dr.Kiyoteru MARUYAMA

木村 誇



研究当時 土木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専門研究員、現 国立研究開発法人防災科学技術研究所、博士(農学)
Dr.Takashi KIMURA

桂 真也



研究当時 土木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研究員 現 北海道大学大学院農学研究院、博士(農学)
Dr.Shinya KATSURA

石田孝司



土木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 上席研究員
Koji ISHIDA