

アルプス諸国における融雪に起因する斜面災害

丸 井 英 明*¹

Slope Movement Disasters Caused by Snow Melting in Alpine Countries

by

Hideaki MARUI*¹

Abstract

This article deals with various types of slope movements caused by snow melting in Alpine countries. Slope movements in summer and autumn season are caused by intensive rainfall and those in winter or early spring season are mainly caused by snow melting. There are effective detailed data on the occurrence process of slope movements caused by intensive rainfall. However, very few data are available on the occurrence process of slope movements caused by snow melting. Also in snowy areas, like Hokuriku Region in Japan, such slope movements caused by snow melting bring considerable human victims and material damages. In Alpine countries the danger degree of occurrence of slope movements caused by snow melting are apparently higher and much more damages are brought by them than those in Japan. Mitigation of such disasters is of considerable importance in Alpine countries. In this report several examples of such slope movements disasters are considered.

It is to be noticed that various types and dimensions of movements such as landslides, slope failures, debris flows and so on are included in the category of "slope movements caused by snow melting". Also in case of such slope movements, snow melting plays significant role for occurrence of them. However, in some cases in parallel with snow melting "intensive rainfall" plays additional important role. The meteorological conditions of certain years in which many slope movements are occurred by triggering of snow melting show similar characteristics.

Keywords : Slope movements, Snow melting, Alpine countries

キーワード : 斜面移動、融雪、アルプス諸国

1. はじめに

斜面災害は斜面上の、あるいは斜面を構成する土塊の下方への移動によって生じ、集落や鉄道、道路など人間の生活空間や交通施設に甚大な被害をもたらす。そのような斜面移動現象を引き起こす直接的な誘因は、夏期あるいは秋期では梅雨や台風などによる豪雨であり、春先には融雪が主要なものである。我が国の北陸地域を始めとする多雪地域では、融雪に起因する斜面移動による災害は看過し得ない災害形態である。積雪寒冷期に斜面移動現象が高い頻度で発生し、またそれが相当の被害をもたらすため、その対策が社会的に重要な意味を持っているという点に関して、ヨーロッパアルプス地域では我が国以上

*¹ 新潟大学積雪地域災害研究センター

にこの種の災害発生の危険性が高く、各国とも適切な対応に迫られているとよい。本報告ではアルプス諸国における融雪に起因する斜面災害の発生状況について記述することとする。積雪寒冷期における斜面移動の形態は、地すべり、崩壊、岩盤崩落あるいは土石流など多岐に亘っており、またその規模も大小様々である。積雪寒冷期の斜面移動においても殆どの場合に地下水の作用の影響が根底にあり、直接的な誘因としては融雪が大きな役割を果たしている。但し、融雪に加えて、同時に強い降雨が作用している場合も多い。過去の災害事例を比較すると、積雪寒冷期に斜面災害が多発している年の気象条件には共通性が見られる。

豪雨による斜面移動の場合と比較して、融雪に起因する斜面移動に関しては過去の災害事例に関する詳細なデータは少ない。アルプス諸国においても融雪に起因する斜面移動が相当の頻度で発生していることは経験的に知られてはいるが、災害事例に関する詳細な報告資料は極めて少ないのが実状である。本報告では、オーストリアにおける近年の融雪による土砂災害の発生状況と、スイスにおいて1999年に多数発生した種々の斜面移動の代表的な事例に基づいて考察結果を記述する。

2. オーストリアにおける事例

アルプス諸国では、積雪寒冷期における融雪に起因する斜面災害の危険性については一般によく認識されているが、やはり具体的な個々の災害事例に関する詳細なデータは少ない。オーストリアの斜面災害については連邦林業試験場の災害記録データバンクがあり、その中からウィーン農科大学名誉教授のワインマイスター氏が積雪寒冷期の土砂災害を抽出整理している(表1)。

表1には1973年から2000年までの28年間に発生した33件の融雪に起因する土砂災害がリストアップされている。各州毎に見ると山岳地域を含む7州に分布しているが、特に件数が多いのは全般的に土砂災

表1 オーストリアで1973年から2000年に発生した融雪による土砂災害事例
(オーストリア林業試験場の災害データバンクよりウィーン農科大学名誉教授ワインマイスター氏が抽出したもの)

流域	州	自治体	流域面積 km ²	発生日	降雨 データ	危険性	堆積土砂量 1000m ³
OBERLEITNERGRABEN	OO	UNTERACH AM ATTERSEE	0.4	1973/03/26,27	無	土石流	1.5
RADMERBACH	ST	RADMER	0.35	1973/05/01,02	無	土石流	
MATSCHNIGBACH	K	KIRCHBACH	0.2	1975/04/22	無	土石流	2
LAHNBACH	K	WINKLERN	0.2	1975/05/29,30	無	土石流	0.7
IRSCHKAGRABEN	S	ZEDERHAUS	0.7	1975/04/23	無	土石流	5
BRUCHWALD(KIENBERG)	T	WENNS		1975/07/11,13	無	土石流	150
HERRENBACH	T	HÖFEN	1.5	1975/05/16	無	土石流	3
GSCHIE ERBACH	K	BALDRAMSDORF	2.5	1979/06/16	無	洪水+土石流	0.3
FASCHENDORFERBACH	K	BALDRAMSDORF		1979/06/16	無	洪水+土石流	0.8
GSCHIE ER MÜHLBACH	K	BALDRAMSDORF	0.3	1979/06/16	無	洪水+土石流	0.2
LENGHOLZERBACH	K	KLEBLACH-LIND	2.5	1979/06/16	有	土石流	0.4
NAVISERBACH	T	NAVIS	2	1979/05/25	無	土石流	4
ANGERERBACH	K	WINKLERN	0.4	1980/10/19	無	洪水+土石流	0.5
SCHROFFENGRÄBEN	S	ZELL AM SEE	0.1	1981/03/31	無	土石流	0.1
RETTENBACH.ROTHOLZ	T	BUCH BEI JENBACH	0.3	1981/03/13	有	洪水+土石流	0.6
LEGUMBACHL	T	ST.ANTON AM ARLBERG	0.2	1982/05/23	無	土石流	8
VORDEREULEBACH	T	STRENGEN	0.1	1982/07/01	無	土石流	1
GÄTTERTOBEL	V	GASCHURN	0.4	1982/05/09,16	無	土石流	15
EGGERBACH	T	KAPPL	1	1983/04/29	無	土石流	1
KOHLSTATTSCROFEN	T	NAUDERS	0.1	1983/05/21	無	土石流	0.03
PROLLINGBACH	NO	YBBSITZ	0.25	1984/03/25,26	無	土石流	0.5
ISEL	T	PRAGRATEN	56.5	1985/05/17	無	洪水+土石流	63
CAMPAPING, GLÄTTERTOBEL	V	ST.GALLENKIRCH	0.4	1985/05/26	無	洪水+土石流	0.7
MURENBACH	T	HÖFEN	0.7	1986/05/03,04,05	無	土石流	60
STEINGRABEN	NO	WALDHOFEN A.D.YBBS-STADT	0.3	1987/04/09,11	無	土石流	1.9
REICHRAMINGBACH	OO	REICHRAMING	4.3	1988/12/25	無	土石流	20
LAIMBACH	T	HÖFEN		1988/05/14	無	洪水+土石流	20
NIGGATOBEL	V	SCHRUNS	0.45	1988/04/18	無	洪水+土石流	0.1
STAMPFTOBEL	V	SILBERTAL	0.4	1988/04/17	無	洪水+土石流	0.2
AUENLATSCHIBACH	V	TSCHAGGUNS	0.6	1988/04/18	無	土石流	1
REICHRAMINGBACH	OO	REICHRAMING	4.3	1989/12/25	無	土石流	20
GRABENBACH	OO	ALTMUNSTER		1993/03/17	無	土石流	0.1
SCHMITTENBACH	S	ZELL AM SEE	0.5	2000/04/25	無	土石流	1

害の多い急峻な山岳地帯からなる州で、チロル州で11件、ケルンテン州で7件となっている。流域面積は中に50km²を超えるものもあるが、大半は1km²以下の小流域である。表に挙げられた全ての事例において、当初流域の上流部で斜面移動が発生し、それが上石流となって流下し下流の扇状地部で堆積して被害をもたらしている。堆積土砂量も、150,000m³の大規模なものから100m³の小規模なものまで様々である。斜面移動は土砂生産源としての重要性をもっているが、詳細な調査は行われていない。発生時期については、3月末頃から発生しているが、4月後半から5月に多い。ヨーロッパアルプス地域は日本よりも高緯度に位置するため、一般に融雪の時期も遅い。

3. スイスにおける事例

1999年はヨーロッパでは豪雪年であり、雪崩災害が多発し大きな被害を出した年である。従って、積雪量が多かったことから融雪に起因する災害もまた多かった。1999年の斜面災害についてはスイス国内の事例について積雪寒冷期の事例を含めて、例外的に詳細な既述がなされている(AGN, 2000)。ここでは、上記報告を参考に斜面災害の発生状況の概要を述べ、さらに幾つかの興味深い事例について考察を加えることとしたい。

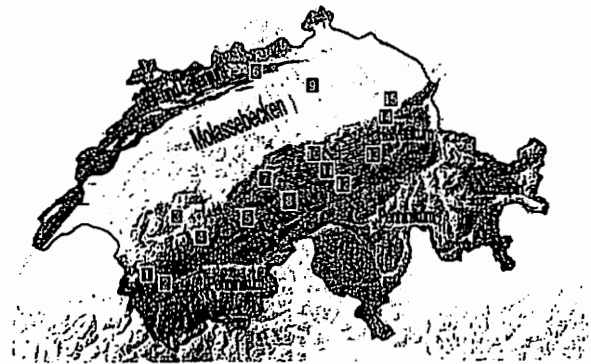


図1 1999年にスイスで発生した代表的斜面崩壊の分布図

3.1 1999年の災害の特徴

数年災害の少ない年が続いた後、1999年にはスイスでは雪崩、洪水、地すべり、上石流等多様な災害が発生している。同年の雪崩による被害額が約6億スイスフラン(約500億円)、洪水による被害が約7億スイスフラン(約600億円)と算定されている。

表2 スイスで1999年に発生した代表的な斜面崩壊の事例 (AGN, 2000による)

	自治体、(州)	場所	原因	発生日	形態	崩壊土量		備考
						発生点 標高(m)	m ³	
1	Bex-Les Plans (VD)	Chenolette	-	3月4日	地すべり	678	50万	州道閉鎖
2	Chamoson (VS)	Itrivoue	-	4月末	地すべり 上石流	1100	20万	地すべりの再活動 環境への影響あり(溪流)
3	Pflaefen (FR)	Hohberg	融雪+降雨	3月~6月	地すべり	1140	3000万	地すべり再活動 住宅4軒被害
4	Adelboden (BE)	Stigelschwand	融雪+降雨	5月6日	地すべり 斜面流動	1800	1000万 3万	地すべり再活動 住居及び道路被害
5	Lauterbrunnen (BE)	Gryfenbach	融雪+降雨	5月	地すべり	1700	1500万	村落、鉄道、州道に影響
6	Küttigen (AG)	Hinter Königstein	降雨+融雪	2月23/24日	地すべり、岩盤崩落 上石流	710	15万	環境への影響あり 集落及び州道の被害
7	Sörenberg (LU)	Nunalpstock	降雨+融雪	5月14日	地すべり 上石流	1700	20万 5万	住居及び道路被害
8	Innertkirchen (BE)	Blattenalp	降雨+融雪	5月	ポテンシャル 岩盤崩落	1600	25万 2万5千	道路及び高压送電線 に影響
9	Stallikon (ZH)	Uetlibergkett e	降雨	5月13日	地すべり 斜面流動	750	多数	道路及び住宅2軒被害
10	Beckenried (NW)	Ischenwald	降雨+融雪	2月22日 6月8日	斜面流動 地すべり	900	多数 100万	州道閉鎖 高速道路A2に影響
11	Attinghausen (UR)	Glöcheret	融雪	5月末	地すべり	1430	50万	地すべり再活動 環境への影響あり
12	Silenen (UR)	Golzern	降雨+融雪	5月22日	斜面流動	1340	5千	死者1名、建物全壊 環境への影響あり
13	Braunwald (GL)	Bätschen	融雪	2月23日 3月~5月	地すべり 上石流	1200	3万	住宅被害
14	Weesen (SG)	Flywald	降雨+融雪	5月23日	地すべり 上石流	1100	10万	住民400人避難 住宅3軒及び道路被害
15	Ebnat Kappel (SG)	Wintersberg	-	5月	地すべり	1080	300万	地すべり再活動 住宅及び道路被害

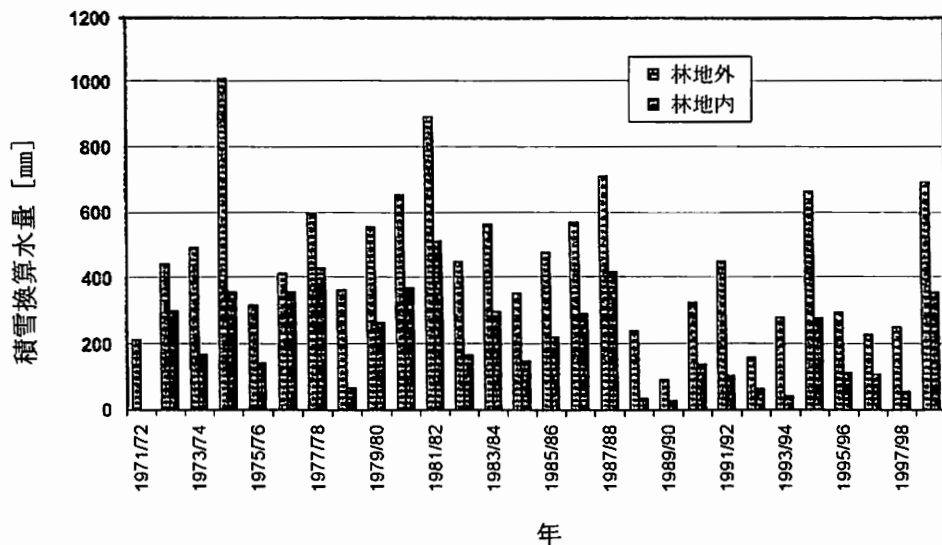


図2 アルプタールのフォーゲンバッハ試験地における各年の最大積雪換算水量(スイス連邦雪・雪崩研究所)

る。災害の直接の誘因としては、2月と5月に強い降雨があったことと、2月以降5月にかけて強度の融雪があったことが指摘される。この期間だけで、350件以上の斜面崩壊が報告されている。表2に代表的な斜面崩壊の発生事例が15件とりまとめられている。その分布は図1に示されるようにほぼスイス全域に亘っている。

1999年の天候は極端な降雪が特徴的であった。特に1月26日から2月24日の間にかけて多数の雪崩が発生している。1月末には相当の降雪があり、さらに2月の5～10日、17～24日に多量の降雪があった。標高1330mでは5mの新雪が観測されている。特に2月20～23日にかけて極端な降雪があり、全部で1200件の、被害をもたらした雪崩の発生があった。アルプス北側斜面では積雪の換算水量が600mmを超えている。図2は比較のためにAlptalのVogelbach試験地における1972年から1999年までの28年間における各年の最大積雪換算水量を示したものである。1999年の積雪換算水量は確かに高い値ではあるが平年と比較して異常に高い値とはいえず、スイス連邦雪・雪崩研究所による各地の観測結果から概ね10年ないし15年程度の再現期間と推定されている。

2月19日～21日にかけては激しい降雨があり、それに融雪水が加わり多くの地域で、特に北西スイスにおいて洪水氾濫が発生すると共に、地すべりや土石流などの斜面崩壊が発生している。融雪と降雨は量的に半々と考えられている。3月は暖かく、標高1500m付近まで融雪が生じ、そのため様々な地域で小規模あるいは大規模な地すべりと土石流が発生している。4月は降雨が多く、最初暖かく、その後寒い時期を経て、4月25日から降水が多く暖かく、4月末から、融雪が強くなり、大小規模の斜面崩壊が発生している。

5月11日から東西方向に伸びた前線がアルプス北側に発生し、北東スイスに集中的な雨をもたらした。5月12日にはZürich湖付近を中心に、100mmをこえる雨があり、5月11～15日までの全降雨期間中、東スイスでは場所により200mmを越える降雨があったが、西部のベルン付近の高地でも100mmを超えている。この降雨が引き続く融雪とあいまって、多くの流域において異常に高い流出水量をもたらした。5日間の合計換算流出水量がBernの高地では150mm、所により200mmを越えている。そのため、事前に土層が十分に湿潤になっていたことが、流出量の増加に寄与し、河川、湖水沿いに多くの箇所では洪水が発生するに至ったと考えられる。また、土層が飽和に近い状態となったため、土層の強度が低下し、多くの地すべり、斜面崩壊、土石流が発生したのと考えられる。約1週間後、5月20～22日にかけて再び強い降雨があり、所により24時間降雨量が最大で200mmの範囲にあった。この2番目の雨も顕著な流出をもたらし、土層をさらに湿潤にし、斜面を不安定化させることになったが、0度限界標高が下がったので融雪が減少し、その影

響は僅かとなった。

夏場の6月, 7月, 8月には激しい雷雨が数回あり, それによって, さらに洪水と斜面移動が発生している。9月は前半は乾燥し, 後半が湿潤で平均以上の雨があり, そのため一部地域では洪水と斜面崩壊による被害があった。

3.2 斜面崩壊の時間的, 空間的分布

スイス連邦雪・雪崩研究所では1972年以降, 体系的に災害記録を収集しており, 洪水及び斜面移動による被害も継続的に解析, 整理されている。毎年の災害記録によって, 主要な被害の誘因が, 雷雨, 長雨及び融雪であることが示されている。

1999年には, 斜面崩壊350件以上が記載されているが, その時間的な分布は2つのピークを示している。最初が2月の20~23日で95件(27%), 次は5月12~17日で112件(37%)となっている。合計して全斜面崩壊の70%が最初の6ヶ月以内に発生している。図3は中部スイスの代表的気象観測ステーションであるAlptalで観測された流量, 降水量, 積雪換算水量及び地下水位の変化と斜面移動発生件数の推移が示されている。最初, 2月20~23日に高い斜面移動発生件数が示されており, この時期は最終の降雪期であり, 積雪層の等価水量が増大しており年最初の洪水をもたらしている。次に5月の12~17日に高い斜面移動発生件数が示されており, この時期は最終の融雪期であり, さらに融雪に強い降雨が加わっている。

空間的な分布を見ると, 2月には主として, 東スイス, 中部スイス, 北西ジュラ地域, 及びジュネーブ地域に見られ, 山岳地域に多い。5月には西スイスの前アルプス地域, アルプス前縁地域等に拡がっている。また, 後半7月から12月には西スイスに限られている。

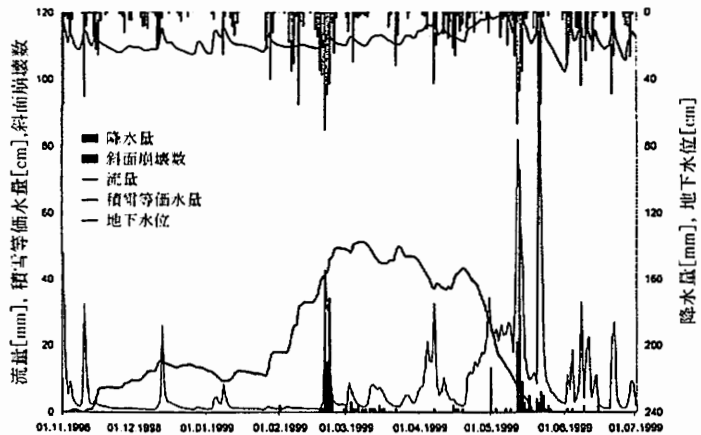


図3 アルプタールで観測された流量, 降水量, 積雪等価水量, 地下水位の変化と1999年にスイスで発生した斜面崩壊数の推移

3.3 積雪期斜面災害の形態

斜面移動の発生からその後推移していく過程は極めて複雑な様相を呈する。発生の際の条件が各事例によって異なる上, それぞれの条件が時間的にも変化するため, 斜面移動の形態は極めて多様である。斜面で発生するか, 流路内で発生するかという地形的条件, 様々な地質条件, あるいは水文条件が相互に関連し, 個々の発生形態も, さらにその後の発展形態も異なる。斜面移動に関わる要因を以下のように捉えることができる(図4)。

- 基本要因: 長期間(数十年あるいは数百年)に亘って基本的に変化しない要因。すなわち斜面構成材料の物性や土層構造など地質的あるいは水文地質的要因や方位や起伏量など地形的要因である。
- 変動要因: 短期間(数日あるいは数ヶ月)で変動する要因。例えば斜面土層内の水収

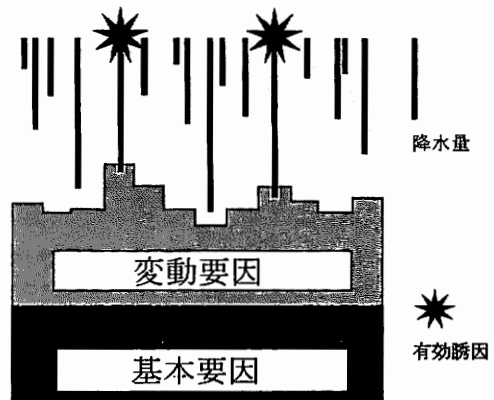


図4 危険な斜面移動現象の発生を規定する種々の要因

(降水量は斜面移動現象の誘因であり得るが, 多くの場合単独ではなく, 例えば斜面土層内の水分含有状態などの変動要因との組み合わせによって有効に作用する。)

支や植生など季節的な変化要因がある。

一誘 因：ある場の要因に作用し直接的に斜面移動を引き起こす要因である。すなわち豪雨や融雪あるいは地震などの誘因の作用により斜面移動が発生する。

1999年の積雪期から融雪期に発生した斜面移動現象には多種多様な形態が見られるが、大別して以下のように分類されている。

I 斜面流動

I a) 斜面内に留まった斜面流動

I b) 土石流に移行し流路を流下した斜面流動

II 表層あるいは浅層地すべり

III 地すべり土塊あるいは沈下土塊の再滑動

III a) 安定化したあるいは準安定化した表層あるいは浅層地すべりの再滑動

III b) 活発でないあるいは周期的に活発化する深層地すべりあるいは沈下土塊の再滑動

IV 岩塊移動

IV a) 明瞭なすべり面上の岩塊移動

IV b) 不明瞭な弱層上の岩塊移動

但し、実際問題としては必ずしも上記分類に該当しない、遷移的な現象や複合的な現象も存在することに留意しなければならない。

3.4 代表的事例に関する既述

1) Blächti-Stigelschwand地すべり及び土石流(事例4)

AdelbodenのStiegelschwand地区のSchwand-fälspttzを山頂とするフリッシュからなる南側斜面で、5月初めに、非常に強度の融雪に降雨が加わり、1~2千万㎡の古い沈下土塊あるいは地すべり土塊が再滑動したものである。当初5月6日に、標高1500~1800m付近のフリッシュ層の古い沈下土塊あるいは地すべり土塊の部分で、表層の斜面流動が発生した。流動土塊が大量の地下水を含み、土石流あるいは泥流状になって下部の草地斜面を最大幅400mで流下し、Allebach川に流入している。さらに、標高1800m付近を上端とし、標高1500m付近Stiegelbachを下端とする、幅450m程度の深層の沈下移動が観測されている。沈下移動域は約20haである。流動的な移動も深層の沈下移動も融雪の終了に伴う湧出水量の減少と共に急激に減少している。図5に表層地すべりと土石流

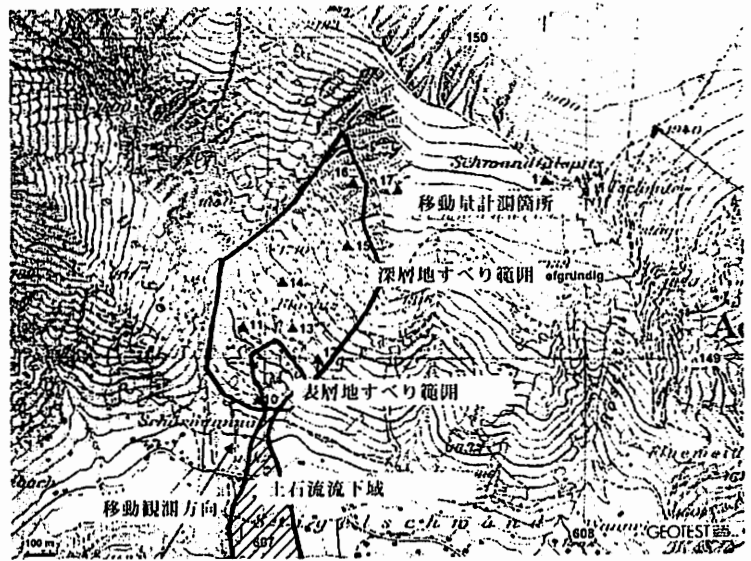


図5 Blächti-Stigelschwand地すべりの範囲と計測箇所

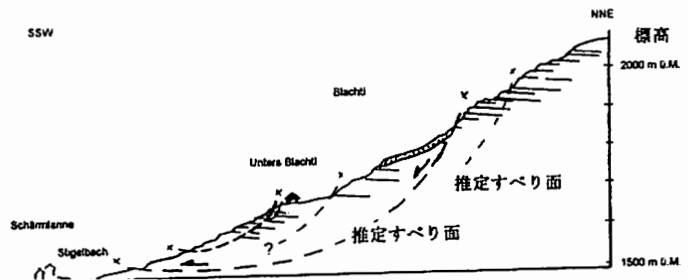


図6 概略地質縦断及び推定すべり面

流下範囲、深層沈下移動の範囲を示す。図6に概略地質縦断及び推定すべり面を示す。

2) Hinter Königsteinの 斜面不安定化 (事例6)

KüttigenのHinter Königstein地区で2月末に15万m³の岩塊が崩落し、水で飽和した状態で下流部の道路まで流下している。周辺の地質構造からさらなる岩盤崩落の発生が危惧されている。崩落の誘因は強度の降雨と融雪の組み合わせであると考えられている。また、冬から春への極端な気温変動期において凍結融解の繰り返しの作用が岩盤の不安定化に寄与したと考えられる。図7はBuchs-Suhr観測ステーションで観測された岩盤崩落前後における降水量、日最高気温、日最低気温、凍結融解日の推移を示している。

この地区の崩落は下流部の住民に対して大きな脅威を与える可能性があるため、岩盤崩落の発生後現地調査に基づきさらなる崩落危険度の評価が行われ、図8に示されるような危険度図が作成された。

3) Bättschen地すべり、Wüchtenrus土石流

(事例13)

Braunwald地区の標高1200mのBättschenで2月28日に地すべりが発生し、多数の小規模な岩塊が、下部のWüchtenrus溪流に供給された。3月になり崩落が増加し、3月11日には2~3万m³の崩落土塊が流入した。そのため、土石流が発生して下流部の扇状地に堆積し、

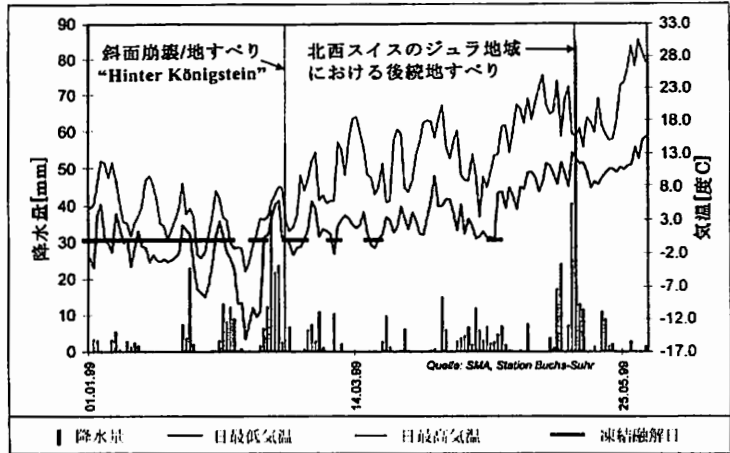


図7 岩盤崩落前後における気象条件の推移

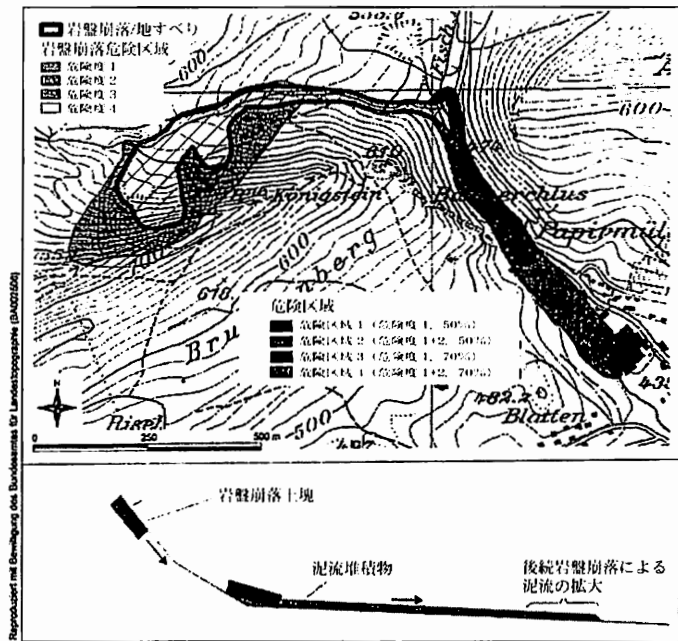


図8 ブルンネンベルク地区の危険度図



図9 “Bättschen”地すべりと下流部Wüchtenrus地区での土石流の状況

Rütiの集落に対し大きな脅威を与えた。5月までに結局約10万m³の土塊が岩盤から崩落し、扇状地部に約6～8万m³が堆積した。図9は地すべり部と土石流堆積部を示している。また、図8は地すべり部の地質縦断面図を示している。Braunwaldのテラス地形は約3～4kmに及ぶ広大な古い地すべり地域となっている。

4) Laui(Sörenberg)地すべり及び土石流(事例7)

Sörenberg村北東のLauい地区において5月14日に数日間降り続いた豪雨と融雪により、山頂に近い南西斜面の標高1650～1700m付近で約20万m³規模の地すべりが発生している。すべり土塊はフリッシュ層のブロック化あるいは風化材料からなり、大量に水を含んだ状態で標高1380m地点まで滑動し、そのうち数万m³は土石流化して集落内へ流入しWaldemmeまで到達している(図10)。多くの人家が土石流に遭遇し、住民は一時的に避難しなければならなかったが、結果的に数件の人家は損壊したが、人的被害はなかった。また、州道も一時的に閉鎖された。最初の土石流は速度が遅く、分速数m程度であったのに対し、その後数週間に亘り流下した土石流の速度は速く、秒速数m程度であった。全部で20回位土石流が流下し、総計で約5万m³の土砂が堆積した。

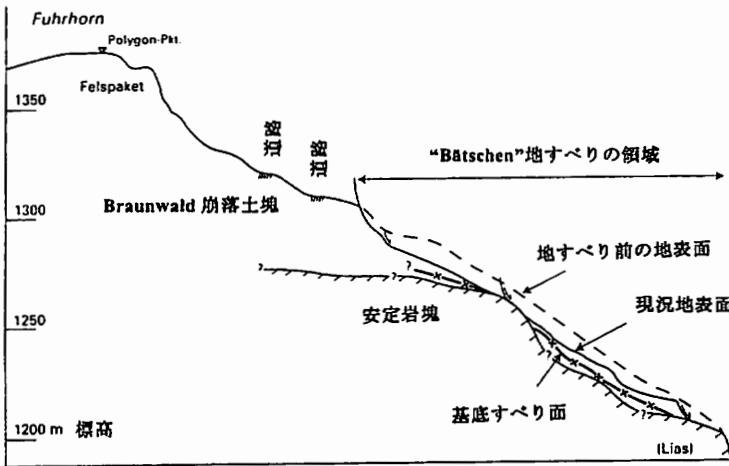


図10 “Bätschen”地すべりの地質縦断面図

5) Beckenried地区

Ischenwaldの斜面移動

(事例10)

Beckenried地区のIschenwaldの斜面の標高750m付近で2月22日に数百m³規模の斜面流動が発生し、下方の州道に堆積した。同様の斜面流動がその後何回も発生し州道に被害をもたらした(図11)。特に7月8日には、平均15～20m、最大45～50mの深さまで、面積約11万m²、土量250万m³の土塊が不安定化するに至った。その結果約7万5千m³の土塊が流下し、一部は土石流状態でErlibach及びKellbach両溪流の流路を経てVierwaldstätter湖へ流入し、一部は粘性の高い土塊状態で草地斜面上を流下した。州道の他に高架構造の高速道路が併行しており、その高架の支柱が流下土塊の衝突の危険性にさらされている。斜面移動の誘因は、既に前年秋から多量の降雨があり、さらに1999年冬期の多量の積雪層からの顕著な融雪のため、斜面土層内の水分含有量が增大し、土層の強度が漸次

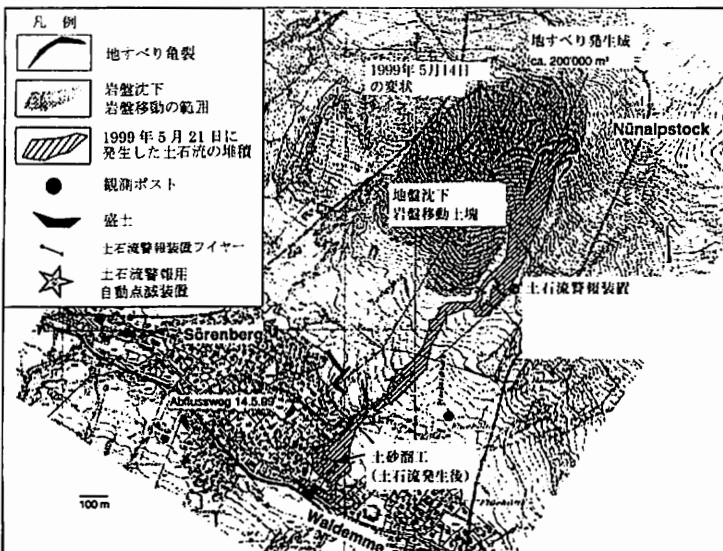


図11 Sörenberg村Lauい地区の地すべり及び土石流の概況

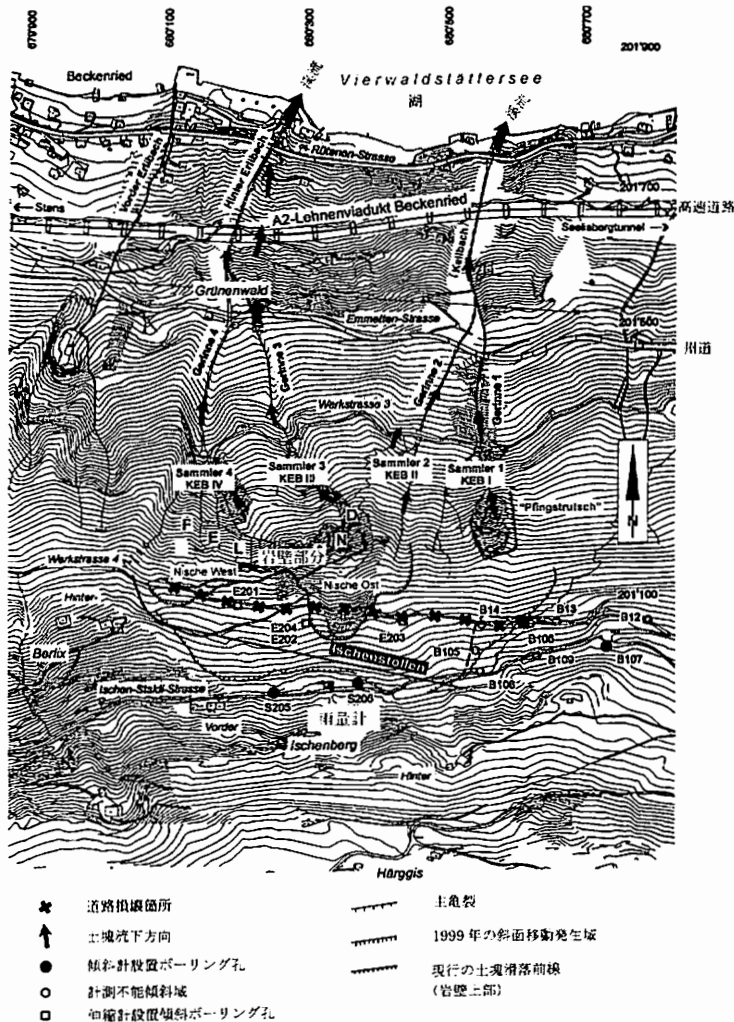


図12 Beckenried地区Ischenwaldの斜面移動状況

減少していたことが指摘されている。さらに70年代に発生した斜面移動に対する既存の排水システムが機能不全に陥っていたことが悪影響を及ぼしたものと考えられている。

4. おわりに

積雪寒冷期における斜面移動の発生形態が極めて多様で複雑であることが、本稿で取り上げた事例でも窺い知れる。なお、スイスでは1889年、1910年、1919年、1951年、1990年にも同様の災害が発生しており、1999年における発生状況だけが特別異常というわけではない。過去にも同様の気象条件の年には斜面移動が多発していることに留意すべきである。

発生条件が専ら気象条件に規定される雪崩災害や洪水災害の場合と較べて、斜面災害の場合には、気象条件に加えて地盤構造的な要因が加わるため発生条件の特定は非常に困難になる。また、場の条件によって、現象形態が大きく異なることはもちろん、個々の事例についても、斜面上部

から下部に向かって空間的に現象が変化すること、発生後の時間の経過に伴い現象が推移する事によって、極めて複雑に様相が変化すること、その変化の程度が積雪寒冷期の斜面移動の場合には特に著しい。今後、多数のケーススタディを集積し現象を整理していく必要があると考えられる。

なお、本稿は日本雪工学会誌Vol. 19, No. 3に掲載した、講座(融雪期の地すべり)の10、「諸外国における積雪寒冷期の斜面崩壊」に加筆修正を加えたものであることを付記する。

参考文献

Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (2000): Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1989, Bulletin für Angewandte Geologie, vol. 5, Nr. 1.
 (本稿掲載図は本文献より引用、一部簡略化。)
 Volkswirtschaftsdirektion/Amt für Wald, Bau-Verkehrs- und Energiedirektion/Tiefbauamt, Justiz-, Gemeinde- und Kirchendirektion/Amt für Gemeinden und Raumordnung (1999): Achtung, Naturgefahr!
 Weinmeister, H. W. (2003): 未発表資料