新潟県における積雪期の地すべりについて

Landslides in Niigata Prefecture in Snow Season

丸 山 清 輝* 近 藤 政 司**
Kiyoteru MARUYAMA Masasi KONDOU

Abstract

Field observation of snow cover related to landslides in the snow season is extremely difficult to perform. Because of this, the mechanism of outbreak of landslides in the snow season has been explained inferentially and has not been clarified based on field observation data. Therefore, the purpose of this report is to clarify the influence of snow cover and snowmelt upon landslides based upon field observation data. The author reviewed the results of snowmelt observation in Arai city, Niigata prefecture, where the Niigata Experiment Station was located, and also calculated the rate of occurrence of landslides in the Jouetsu District in Niigata based on the results. Moreover, the author reviewed the mechanism of outbreak of landslides in the snow season by using field observation data obtained at two landslide zones in Niigata Prefecture.

まえがき

北陸地方は、わが国で地すべりが最も多く発生する地域である。これは、新第三紀層の泥岩・凝灰岩が広く分布していることやこの地域が豪雪地帯であることに関係すると考えられる。積雪と地すべりの因果関係については、新潟県の神谷地すべりにおいて、長期間の観測を行い融雪水量と地すべり移動量との関係を検討した高野¹⁾や、同じく新潟県の地すべり地において、積雪期(積雪のある期間)に間隙水圧、地下水位等の連続観測を行い、その諸特性について検討した小川等²⁾の研究等^{3), 4), 5)}がある。筆者等も、新潟県砂防課の月別地すべり発生状況に関する資料と地すべり多発地帯の積雪深をもとに、積雪深の変化と積雪期後半の本格的に雪が解け始めるいわゆる融雪期の地すべり発生との関連性について、新潟県でも特に融雪期に地すべりが多発する上越地方を取り上げ検討を行っている⁶⁾。

積雪期の地すべりについては、積雪のため現場観測が非常に困難なことから、推論的に発生機構等が述べられているのが現状であり、現場観測データ等により解明されているわけではない。このため、本報文では、現場観測データから積雪、融雪が地すべりに与える影響を明らかにすることを目的として、新潟試験所の所在地である新潟県新井市において融雪観測を実施した結果について考察し、その結果をもとにして新潟県上越地方における積雪期の地すべり発生率の算出を試みた。また、積雪期

の地すべりの発生機構について、新潟県下の二ヵ所の地すべり地における現場観測データを用いて考察を行った。

1. 新潟県下の地すべり発生状況

新潟県は、日本における地すべり多発県であると同時に最も積雪の多い県である。新潟県での積雪と地すべりの関連性については、新潟県砂防課の月別地すべり発生状況に関する資料⁷⁾を昭和24~62年の39年間についてまとめた図-1に良く現れている。この期間の地すべり発生件数は3,134件であった。月別地すべり発生件数は、4月が883件(28%)と一番多く、ついで7月の336件(11%)、3月の323件(10%)、5月の257件(8%)の順になっている。また、積雪期である12月から4月については、3月および4月の積雪が減少する融雪期が圧倒的に多くなっているものの、積雪が増加する12月から2月に掛けても地すべりが発生している。この積雪が増加する期間に発生した地すべりとしては、昭和55年から56年に

図-1 地すべり発生件数

* 建設省土木研究所
** 利根コンサルタント(株)

掛けてのいわゆる56豪雪時に発生した新潟県長岡市の濁沢地すべり（昭和55年12月30日発生）と新潟県新井市の上馬場地すべり（昭和56年1月25日発生）等がある⁸⁾。

以上のことから、積雪期である12月から4月の地すべり発生件数の合計は1,705件に達し、全体の54%を占めるという結果となった。したがって、新潟県に発生している地すべりは、積雪、融雪の影響を強く受けているといえる。

2. 融雪観測

図-1に示したように、積雪期の地すべり発生件数は3月から4月の融雪期に多い。このことから、まず、融雪に関する基礎的な資料を得るために、新潟試験所構内（新潟県新井市）において融雪水量の観測を行った。

2.1 観測方法

融雪水量は、図-2に示すコンクリート製のライシメーター(4m×4m)を、図-3に示すように勾配20度のモデル斜面上の(a)とその斜面下の(b)およびモデル斜面から21m離れた(c)の三カ所で製作し、バケット式流量計により観測した。気象観測については、パンザーマストに気温、雨雪量、湿度、風向、風速の計測器を地上4～6mの位置に取り付け観測した。また、地温は、地表面下10cmのところに温度計を埋設し観測している。以

図-2 ライシメーター

図-3 モデル斜面

上の観測項目については、観測間隔を30分としデータロガーに記録した。この他、積雪深は標柱を立て目視により、また、雪の密度および積雪重量は、スノーサンプラーによりそれぞれ毎日午前9時に手観測した。

2.2 観測結果

図-4には、観測結果の中から平均地温、積算気温(図-5に示すように0℃以上の気温を積算したもの)、最高気温、最低気温、図-3の(c)ライシメーターでの融雪水量、積雪深、雪の密度、積雪重量について示した。ここで、積雪深、雪の密度、積雪重量は、午前9時の観測値を、その他の観測値については、0時～0時まで30分間隔で

図-4 融雪観測結果

図-5 積算気温

図-6 融雪水量の対比

観測した値により求めたものである。

図-6 は、図-4 に示した融雪水量が正確に観測された値であるか否かをチェックしたものである。つまり、1 日毎にスノーサンプラーで積雪深全層の雪を採取して積雪重量を測定し、前日の値との差をとって日融雪水量を求めたものと、ライシメーターによって観測した値とを比較したものである。⊙印以外は45度の線付近に位置している。この⊙印は、いずれも降雨があった日の値である。これらの値は、図-8に示すように融雪水が積雪層内の境界面に規制されながら流下するため（詳細は後述する）、ライシメーター鉛直上の融雪水がライシメーター内に一部が入らなかったり、他の部分から流入したりする場合であると考えられる。そして、このようなことは、降雨があった場合に助長されるように思われる。以上のような問題は残るが、今回の大きさが4m×4mのライシメーターで観測した融雪水量は、ほぼ妥当な値と考える。

観測結果では、日融雪水量は3月20日の61.0mmを

図-7 融雪観測結果の対比

最高に、1月や2月においても積算気温の高い日が継続すると50mmに近いものがみられる。この他、融雪が始まった3月中旬からの日融雪水量は、20~30mm前後となっており、3月9日から3月21日までの13日間の累積では、その値が343.8mmにも達している。また、積雪期間の平均地温（地表面下10cm）は、ほぼ2~3℃であり、地温による融雪は非常に少ないものと考えられる。この他、積雪重量の変化は、最大値が積雪深の減少し始める融雪期初期に現れている。また、雪の密度は積雪重量の最大値が現れた以後ほぼ一定となり、その平均値は0.45 t/m³となっている。

図-7 には、図-3に示した(a), (b), (c)の位置での融雪水量の観測結果をまとめて示した。これは、融雪水量が斜面と斜面の勾配変換点付近および平地とでは、どの位違うかを比較したものである。各融雪水量の変化は、傾向としては似たものとなっているが、日単位で比較すると値がかなり異なったものとなっている。すなわち、平地での最大値が3月20日の61.0mmであるのに対して勾配20度の斜面では1月17日の91.4mmであり、その斜面下の平地では1月24日の105.1mmとなっており、最大値が出現する日も値も異なっている。また、積雪期間中である1月12日から3月21日までの融雪水量の累積値は、勾配20度の斜面では892.3mm、その斜面下の平地では1156.5mmとなり、平地の834.2mmに対して、前者が1.07倍であり後者が1.39倍にもなる。この違いは、図-8に示した積雪層内の融雪水の流下浸透状況の調査に現れている。この調査は、粉末の試薬（クリスタルバイオレット）を図-8に示す散布位置に直線状に散布

図-8 積雪層内の融雪水量の流れ

図-9 積雪断面

し、試薬で着色された融雪水が積雪層中を流下浸透する状況を、積雪層の断面をカットし観測したものである。なお、この時の積雪層の断面は、図-9に示すような状況となっていた。雪質は、積雪深28～70cmの間にしまりの層が三層みられ、他はざらめ層となっている。また、積雪深49cmの積雪層境界面には、氷板の層がみられた。融雪水は、図-8に示すように単純に鉛直方向に流下浸透するのではなく、積雪の層構造（氷板等）に規制されながら層の境界面上を傾斜方向に流下しており、流下範囲は斜面から3～4m離れた地点まで及んでいる。また、融雪水が地表面に達したところは、局部的に集中している。このようなことから、斜面および斜面の勾配交換点付近での融雪水は、積雪の層構造に規制されながら流下浸透するために、積雪層にキレットのあるところには斜面上流部の融雪水も流入することになる。この結果、図-7に示したように斜面および斜面の勾配交換点付近では、地表面に達する融雪水量が局部的に多くなり易いことになる。

以上の観測結果から、地すべり斜面における積雪層内の融雪水の流下状況を推測すると、斜面勾配の急な部分での融雪水は、勾配の緩い部分に集まり易いと考えられる。また、このような部分が水の浸透しやすいテンションゾーン等と一致した場合には、地すべりの発生が一層促進させられるものと思われる。したがって、地すべり防止工事では、特に滑落崖および地すべりブロック頭部付近に地表水排除工等を施工し融雪水の浸透を防止することが重要となる。

なお、図-1の新潟県砂防課の資料によれば4月に地すべり発生件数が多くなっている。しかし、今回の融雪観測は、地すべりの発生する山間地に比較すると標高が低いところに位置する新潟試験所構内であったため、1月から3月までの期間にとどまった。したがって、今後は地すべりが多発する山間地で融雪観測を実施し、地すべりとの関連性について更に検討する予定である。

3. 積算気温の変化と地すべりの発生

今回の融雪観測の結果では、融雪水は積算気温の高い日が継続するとその量が増加する傾向がみられた。この点に着目して、新潟県上越地方（図-11に範囲を示す）の積雪期における積算気温の変化と地すべり発生について、判別分析（線形判別関数）⁹⁾により検討を行った。つまり、ある日から何日前までの積算気温を説明変数として、その日に地すべりの発生する確率がどの位かを求めようというものである。資料としては、昭和46～62年の間の新潟県砂防課による地すべり災害発生報告⁷⁾と位置が上越地方のほぼ中心となる高田測候所（図-11に位置を示す）の気温¹⁰⁾を用いた。ただし、極端に少雪であった昭和47、48、54年は除いている。この結果、判別分析には14年間に互る2～5月の地すべり発生および非発生の各々266データを用いることにした。なお、積算気温は、最高気温と最低気温を用いた（1）、（2）式による三角形近似により求めた¹¹⁾。

$$D = 12(T_{\max} + T_{\min}) \quad (T_{\min} \geq 0^{\circ}\text{C}) \quad \cdots \cdots (1)$$

$$D = 12 \frac{T_{\max}^2}{T_{\max} + |T_{\min}|} \quad (T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}) \quad \cdots \cdots (2)$$

D : 積算気温

$T_{\max}$: 最高気温

$T_{\min}$: 最低気温

判別分析は、説明変数として当日から7日前までの積算気温を用いて実施し、その中で線形判別関数の係数の検定を行い、有意水準1%で有意なものを説明変数とした。その結果から得られた線形判別関数は、（3）式となった。

$$Z = 0.00902X_1 + 0.00742X_2 + 0.00730X_3 + 0.00658X_4 - 4.98238 \quad \cdots \cdots (3)$$

Z : 半別得点

X_1 : 当日の積算気温

X_2 : 1日前の積算気温

X_3 : 2日前の積算気温

X_4 : 5日前の積算気温

また、（3）式は確率で表すと（4）式となる¹²⁾。

$$E = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad \cdots \cdots (4)$$

E : 地すべり発生率

Z : 判別得点

図-10には、融雪期に比較的地すべり発生件数が多かった（35件）昭和57年の2月から4月に掛けての計算結果を示した。地すべりは、2月下旬および3月上旬の積算気温の低い時期にも、その発生件数は少ないがみられる。しかし、多発するようになる時期は、積算気温が上昇傾向を示す3月中旬からである。積算気温から計算された地すべり発生率は、2月から3月上旬に掛けては

図-10 積算気温による地すべり発生率

50%以下であるが、3月中旬を過ぎた頃から50%を超える値を示している。その後、3月下旬の積算気温の低い時期には20%以下まで低下し、4月からはまた50%を超える値を示している。このような変化は、地すべり発生件数と対比させると概ね一致していると思われる。したがって、融雪期の地すべり発生危険度は、気温データを用いた判別分析により概略的に知ることができるものとする。

4. 積雪期における地すべりの発生機構

新潟試験所では、地すべり斜面に移動計、間隙水圧計等を設置し、地すべりの動態観測を実施している。本報文では、その中から図-11に示す位置にある新潟県中頸城郡板倉町の猿供養寺地すべりと新潟県東蒲原郡鹿瀬町の赤崎地すべりでの積雪期間の観測データを用いて、積雪期における地すべり発生機構について検討を行った。

4.1 猿供養寺地すべりの概要¹³⁾

猿供養寺地すべりは、新潟県地方に分布している新第三紀中新世の第三層にあたる黒色泥岩地帯の地すべりである。地すべりの形態としては、頭部では壮年型の弧状すべりであり、中～下部は老年型の流動状すべりと考えられている¹⁴⁾。

4.2 猿供養寺地すべりにおける積雪期の移動と間隙水圧の変化¹⁵⁾

図-12には猿供養寺地すべりの観測斜面の平面図を、図-13にはその縦断面図をそれぞれ示した。

図-14の観測結果によると、移動は11月から3月上旬にかけてみられ、3月中旬から4月にかけての融雪期にはみられない。すべり面付近の間隙水圧の変化は、P-11では、11月から12月と2月下旬から4月にかけて高くなっている。一方、P-2では、積雪期間とはほぼ同じ12月下旬から4

図-11 位置図

図-12 猿供養寺地すべり観測斜面平面図

月上旬まで高くなっており、その変化は、積雪深のピークより遅れるものの似た形状を示している。これは、2. 融雪観測の項で述べた積雪重量と積雪深との関係と一致し、P-2の変化が積雪重量の変化に対応しているこ

図-13 猿供養寺地すべり観測斜面断面図

図-14 猿供養寺地すべり観測結果

(a)

(b)

図-15 鉛直方向の間隙水圧分布

とを示したものと思われる。

図-15には、間隙水圧計P-11とP-2が設置されている地点での鉛直方向の間隙水圧分布を、昭和52年3月1日について示した。P-11が設置されている地点の移動層中の間隙水圧は、図-15(a)に示すようにP-9(4.0m)～P-13(8.5m)までいずれも静水圧線と一致していることから静水圧分布をしていることが分かる。この地点での移動層の状況は、すべり面が深度6.5mに位置し、それ以浅の崩壊土である礫混じり粘性土は、地表面から深度4.0m付近まで赤褐色を呈している。一方、P-2が設置されている地点の移動層中の間隙水圧は、図-15(b)に

示すようにP-4(1.6m)が静水圧線と一致しているもののP-3(2.7m)、P-2(4.2m)については、いずれも静水圧線より右側に位置していることから過剰間隙水圧となっているのが分かる。P-2地点での地盤の状況は、すべり面が深度5.2mにあり、すべり面以浅の崩壊土である礫混じり粘性土は、地表面から深度2.0m付近までは赤褐色を呈し、それ以深は青灰色となっている。このことから、猿供養寺地すべりにおける積雪期の間隙水圧は、赤褐色土層内ではその透水性が良かったために静水圧となり、青灰色土層内では逆に透水性が悪いため積雪により過剰間隙水圧となっていることが分かる。

融雪観測および前述した現場観測結果から地すべりの発生機構を考察すると、以下になると考えられる。表-1は、図-13に示す間隙水圧計が埋設してあるスライスについて、積雪期前の11月12日と融雪期前の2月20日および融雪期の4月7日の安全率を計算した結果である。なお、地すべりブロック全体の安全率の計算は、間隙水圧計の埋設箇所が二ヵ所と少ないためここでは行っていない。安全率の計算は簡便法を用い、間隙水圧はすべり面に等分布に作用するものとし、積雪は斜面に平均的に分布しているものとした。また、単位体積重量は現場計測結果から判断して $\gamma_t=1.8\text{ t/m}^3$ を用い、土質強度定数はすべり面のリングせん断試験結果である $\phi_r'=16.7^\circ$ 、 $c_r'=0\text{ tf/m}^2$ を用いた¹⁶⁾。その他、雪の密度は図-4に示した融雪観測結果から判断し、2月20日については $\gamma_s=0.30\text{ t/m}^3$ 、4月7日については $\gamma_s=0.45\text{ t/m}^3$ をそれぞれ用いた。安全率は、P-11スライスでは11月12日に $F_s=2.30$ 、2月20日に $F_s=2.39$ 、4月7日に $F_s=2.26$ となり、相対的には積雪期前と融雪期に低く融雪期前では高くなっている。一方、P-2スライスでの安全率は11月12日に $F_s=1.04$ 、2月20日に $F_s=0.96$ 、4月7日に $F_s=1.20$ となり、相対的にはP-11スライスとは逆に積雪期前と融雪期に高く融雪期前では低くなっている。このような安全率の変化による移動は、中村等³⁾の考え方を参考にし、つぎのように考えることができと思われる。すなわち、11月から12月の移動は、積雪前の長雨あるいは初雪等によりP-11が上昇し、すべり面のせん断強さが低下したことにより地すべりブロック全体の安全率が低下

表-1 スライスの安全率の変化

	P-11スライス	P-2スライス
11月12日	$F_s = 2.30$	$F_s = 1.04$
2月20日	$F_s = 2.39$	$F_s = 0.96$
4月7日	$F_s = 2.26$	$F_s = 1.20$

したためと考えられる。1月から2月に掛けては、P-11が積雪により雨水の浸透がなくなったため下降しているが、逆にP-2が上昇している。このP-2の上昇は、地すべりブロック中・下部の移動層の透水性が悪いため、積雪荷重の増加に移動層の圧密が間に合わなくなり、過剰間隙水圧が発生したためと考えられる。このことから、移動は表-1によればP-11スライスの安全率が積雪期前の11月12日より上昇しているものの、P-2スライスでは逆に低下していることから、P-2スライスではすべり面のせん断強さがあまり増加せず、積雪の上昇による地すべり推力だけが増加する状況になったことにより地すべりブロック全体の安全率が低下したためと思われる。3月から4月については、P-11が融雪により上昇しているにも関わらず、移動は減少している。これは、つぎのように考えられる。つまり、表-1の安全率の変化をみると、P-2スライスの安全率は融雪期前の2月20日より融雪期の4月7日の方が上昇していることから、P-2の積雪による過剰間隙水圧が、移動層の圧密が徐々に進行することと、融雪による積雪荷重の減少のため時間とともに消散するものと考えれば、すべり面のせん断強さは、この移動層の圧密により1月から2月の間のものより増してきたものと思われる。一方、地すべりブロック全体では、積雪が減少しているために地すべり推力も減少している。この結果、テンションゾーンのP-11が上昇しこのスライスの安全率は低下しているが、P-2の位置するコンプレッションゾーンでの安全率が上昇していることから、この部分でのすべり面のせん断強さが増してきたため、地すべりブロック全体の安全率は上昇し移動が減少したというものである。以上の考え方によれば、地すべり移動層の厚さに対する積雪深の割合がある程度大きく且つ移動層の透水性が悪い場合は、積雪が安全率を低下させ地すべりを発生させる場合があると思われる。また、このような場合の地すべり防止工事としては、地すべりブロック頭部においては融雪水の浸透を防止するために地表水排除工等を施工し、中・下部においてはすべり面付近に過剰間隙水圧が発生しないようにするために、すべり面深度に応じて、暗きょ工、横ボーリング工、集水井工等を施工することが考えられる。

4.3 赤崎地すべりの概要¹⁷⁾

図-16には、赤崎地すべりの平面図を示す。赤崎地すべり一帯には、新第三紀津川層の最下部層とされているアルコーズ砂岩と中・上部層の凝灰岩が分布している。また、地すべり斜面の北側に接する赤崎山は、これらを貫く流紋岩から成っている。地すべり地形の特徴としては、斜面長約1,000m、幅は地すべり末端部の阿賀野川河岸部

で約500mを有し、地すべり末端部を底辺とする二等辺三角形を呈している。また、面積は約40ha(主動域約25ha)に達する。地すべり斜面は、標高130m付近で上部および下部ブロックに分けられ、地表面勾配は全体的には約8度とんだらかである。なお、地すべり末端部においては、すべり面が阿賀野川の河床面下に達している。

4.4 赤崎地すべりにおける積雪期の移動と間隙水圧の変化

図-17には、赤崎地すべりの主観線縦断面図を示した。間隙水圧計は、地すべり斜面頭部(BV-59-A-18)と中腹部(BV-59-B-12)の二ヵ所のすべり面付近に埋設し、移動計(BV-56-6)は中腹部に設置したものである。図-18の観測結果によると、移動は、12月から1月上旬と2月から4月上旬にみられ、1月にはみられない。間隙水圧の変化は、地すべり斜面上部のBV-59-A-18と中腹部のBV-59-B-12では、前者の上下が激しく後者のそれは少ない。しかし、全体の変化の傾向は似たものである。間隙水圧の高い時期は、12月と2月以降であり、1月は低くなっている。

図-19には、間隙水圧計の埋設した近傍のボーリング柱状図を示した。図-19(a)に示す間隙水圧計BV-59-A-

図-16 赤崎地すべり平面図

図-17 赤崎地すべり主観線断面図

図-18 赤崎地すべり観測結果

18 付近の BV-56-7 は、地表面から間隙水圧計の埋設深度 18.0m を含む 20.7m まで礫混じり粘性土となっており、色調は黄褐色を呈している。また、掘削時には孔内崩壊が激しかったことからガラ場を形成する地層となっており、透水性が良い土層構成であると思われる。一方、図-19(b)に示す間隙水圧計 BV-59-B-12 付近の BV-56-6 については、前者と同様に地表面から間隙水圧計の埋設深度 12.0m を含む 12.9m まで礫混じり粘性土であり、色調も黄褐色を呈している。しかし、深度 8.8~12.9m

までは、強風化凝灰岩および砂岩転石を含有する粘土となっており、間隙水圧計 BV-59-A-18 の地点より透水性が悪いと思われる。このことは、間隙水圧計 BV-59-A-18 の変化が激しいのに対して、BV-59-B-12 の変化が緩慢であると言う違いとなって現れているものと考え

る。

この地すべりについても、観測結果から地すべり発生機構を考察すると、つぎのようになると思われる。すなわち、12月の移動については、積雪前の長雨あるいは初雪等により地すべり斜面全体の間隙水圧が上昇し、すべり面のせん断強さが低下したためと考えられる。また、1月の移動の減少については、積雪により雨水の浸透がなくなり地すべり斜面全体の間隙水圧が低下し、すべり面のせん断強さが増したためと思われる。2月から4月については、融雪が始まり地すべり斜面全体の間隙水圧が上昇し、すべり面のせん断強さが低下し移動したと考えられる。なお、赤崎地すべりでは前述した移動層の地盤状況のため、猿供養寺地すべりにみられた積雪による過剰間隙水圧の発生と移動はみられない。

おわりに

本論文では、現場観測データをもとに積雪、融雪が地すべりに与える影響を明らかにするために、融雪観測を実施し、その結果をもとにして新潟県上越地方における積雪期の地すべり発生率の算出を試みた。また、積雪期の地すべり発生機構について、新潟県下の二ヵ所の地す

図-19 間隙水圧観測地点近傍の地盤状況

べり地における現場観測データを用いて考察を行った。

その結果を要約すると以下のとおりである。

① 新潟県に発生している地すべりは、新潟県砂防課の月別地すべり発生状況に関する資料を昭和24～62年の39年間についてまとめた結果によると、積雪期である12月から4月の地すべり発生件数は、全体の54%を占め、積雪、融雪の影響を強く受けている。

② 融雪水量の観測結果では、1月や2月においても積算気温の高い日が継続すると50mmに近いものが見られた。

③ モデル斜面の融雪観測結果によれば、融雪水は斜面および斜面の勾配交換点付近では、積雪層の境界面に規制されながら流下浸透するために、地表面に達する水量が局部的に多くなり易いことが分かった。

④ 新潟県上越地方における積算気温の変化と地すべり発生について判別分析（線形判別関数）により検討した結果では、気温データを用いて（3）、（4）式により地すべり発生危険度を概略的に知ることができた。

⑤ 雪が地すべり斜面に与える影響として、積雪荷重によるすべり面の間隙水圧の上昇と融雪によるすべり面の間隙水圧の上昇の二つによるものがあげられているが、現場観測結果から前者については猿供養寺地すべりで追認し、後者については赤崎地すべりで確認した。

最後に、本調査をまとめるにあたり、多くの御助言をいただいた建設省土木研究所新潟試験所下村所長ならびに急傾斜地崩壊研究室吉松室長（元 新潟試験所長）に厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 高野秀夫：地すべりと防止法，地球出版，1961.
- 2) 小川正二，亀井健史，和田 正，橋本正樹：融雪期における地すべり地の間隙水圧・地下水位・地温の変動特性，地すべり，Vol. 23, No. 3, pp. 21～27, 1986.
- 3) 中村浩之，白石吉信：雪の地すべりに与える影響について，地すべり，Vol. 10, No. 1, pp. 6～16, 1973.
- 4) 青山清道，中俣三郎，小川正二：新潟県に於ける地すべりと雪との相関性に関する検討，地すべり，Vol. 21, No. 3, pp. 11～16, 1984.
- 5) 江口正紀：融雪に伴う土砂災害（最近の地すべり災害を中心として），第14回砂防学会シンポジウム概要集，pp. 61～71, 1981.
- 6) 山内 修，近藤政司，丸山清輝：新潟県上越地方の融雪地すべり特性，土木技術資料，Vol. 26, No. 9, pp. 29～34, 1981.
- 7) 新潟県砂防課資料.
- 8) 松山 完：新潟県・長岡市濁沢，新井市上馬場の地すべり災害について，地すべり，Vol. 18, No. 2, pp. 38～41, 1981.
- 9) 田中 豊，垂水共之，脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編，共立出版株式会社.
- 10) 新潟気象台：新潟県気象月報.
- 11) 加藤 徹，佐藤晃三：融雪量算定に用いる積算気温を求める簡便式について，第17回自然災害シンポジウム，1980.
- 12) 柳井晴夫，高根芳雄：多変量解析法，朝倉書店
- 13) 新潟試験所：猿供養寺地すべり調査報告書(Ⅱ)，土木研究所資料，第2614号，昭和63年3月.
- 14) 山田剛二，渡 正亮，小橋澄治：地すべり・斜面崩壊の実態と対策，山海堂，1971.
- 15) 新潟試験所：猿供養寺地すべり調査報告書一資料編（その2）一，土木研究所資料，第2393号，昭和61年8月.
- 16) 新潟試験所：猿供養寺地すべり調査報告書，土木研究所資料，第1770号，昭和57年3月.
- 17) 新潟試験所：赤崎地すべり調査報告書，土木研究所資料，第2499号，昭和62年5月.

（原稿受理日 昭和63年7月27日）