

## Ⅱ．研 究 活 動

### Ⅱ－１ 研究経過と研究課題

地すべりの研究は、しばしば発生する地すべり災害の事例調査・研究と、調査地域をしばった継続的な地域研究を行ってきた。

災害発生時には、当センターの研究者が、全員同じフィールドで研究するのが常である。

地すべりの発生の機構などをより深く理解するためには、水文・気象・地形・地質・土質などの各方面から詳細な調査、観測を行い、それを総合していく必要がある。

当センターは、多様な専門の研究者からなっており、地すべりの総合的研究には適した体制である。文部省科学研究費特定研究費（1979，1981，1983，1986年度）、文部省科学研究費自然特別研究、融雪期における地すべり発生危険度の研究（1982年度）、文部省科学研究費重点領域(2)（1985年度）などの補助金をえて、虫亀地すべりを中心にするセンター構成員による総合的研究を行ってきた。

研究課題は次の6点である。

#### 1．地すべり災害の事例調査研究

地すべり発生時に構成員が全員で調査にあたる。表層地質・地形・積雪等の調査とともに、移動物質のすべりに注目して、移動ブロックの認定を行う。地下水の水質を調べ、地すべりに関与した地下水を推定する。

#### 2．地すべりの歴史とその成因に関する研究

最近の地すべりはすべて、古い大規模な地すべり地形の一部の再活動であることが認められている。現地踏査、地形図、航空写真等の解析により、大規模地すべりの規模・形状などの解明、とくに、深いボーリングにより、大規模地すべりの深度の解明、および巨大旧地すべり中の部分的再活動した地すべりの分布の規則性の検討、深い位置の泥岩の岩石（土質）力学的性質の解析などを行う。

#### 3．地すべり危険地帯の予測の研究

地すべりの発達史的な研究の成果を基に、地形・表層地質・亀裂の分布・湧水などを調査し、地すべりの危険地帯を予測する。

#### 4．融雪地すべりの発生機構の研究

融雪水量を、積雪深、気温、風速等の気象要素から推定する方法を確立し、融雪による地すべり発生の条件を検討する。融雪水等の供給に伴う地下水位の変動と、水質の変動の解析により、地すべり地地下水の挙動を解析する。

#### 5．地すべり地の自動観測システムの開発と測定

多量の融雪時の融雪機構、地下水の挙動を検討するための基礎資料を得るため、深雪の下で地下水位、移動量等を測定するシステムの開発を行う。

#### 6．外国の地すべりとの比較研究

外国の地すべり災害を調査し、災害の実態を知るとともに、調査・研究方法の知見をうる。それによりこれまでのわが国の地すべり研究を批判的に再検討し、より総合的な研究を行う契機をうる。

## II-2 地すべり災害の事例調査研究

### —地すべりの概要と調査結果の要点—

#### II-2-1 新潟県新井市濁川地すべり災害（昭和48、1973年1月）

山砂利採取現場で発生した地すべりである（図2-1）。地すべりにともなって発生した土砂流によって2名が死亡した（1月18日）。

地すべり土塊は、第四系魚沼層を被う旧期地すべりの移動物質（砂礫質ローム）であり、地すべりは、表土の除去による融雪水浸透量の増加によるものである。現地では、定点からの写真による定時観測により、土塊の動きと、湧水の増加がみとめられたので、現場への立ち入りを禁止し、第2回目（2月22日）の大規模土砂流による被害を防止できた（新潟大地盤研年報、1975、1号、105-111）。

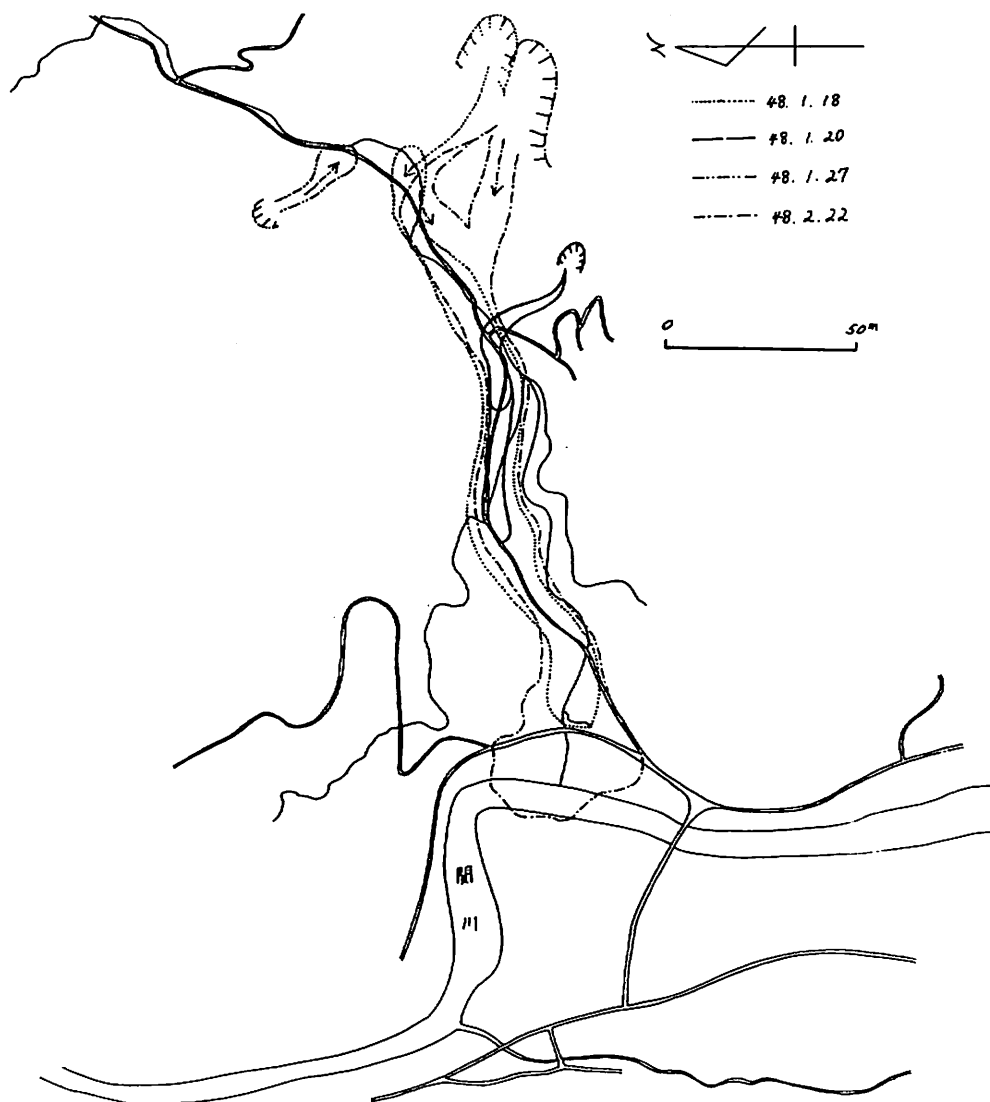


図2-1 新井市濁川地すべりと土砂流出状況

#### II-2-2 新潟県粟島浦村内浦の“海底地すべり”災害（昭和49、1974年3月）

暴風による高波が襲ったとき、図2-2に示したように、海岸が約100mの幅で流出し、村の庁舎（鉄筋コンクリート2階建て）の傾斜破損、保育所の全壊水没、舟小屋30棟の流出のほか、第2、第3防波堤の全壊水没、第1防波堤の先端部の流出などの被害が発生した。当初、高波による侵食災害と考えられたが、海底が以前にくらべて20mも深くなっていること、第3防波堤がほぼもとの位置で水没していること、



この地域では、地すべり発生前と発生後の比較調査を行うことができた。はじめ旧滑落崖の急斜面で(図2-3のA) 大音響とともに崩壊が発生し、3時間後に地すべり(図2-3のB<sub>1</sub>)が発生し、それにもなう土砂流出が起った(図2-3のB<sub>2</sub>)。地すべりは、もっとも新しい過去の地すべり崩積土IIIで発生し、発生前の遷急線に分布していた亀裂が滑落崖に転化した。

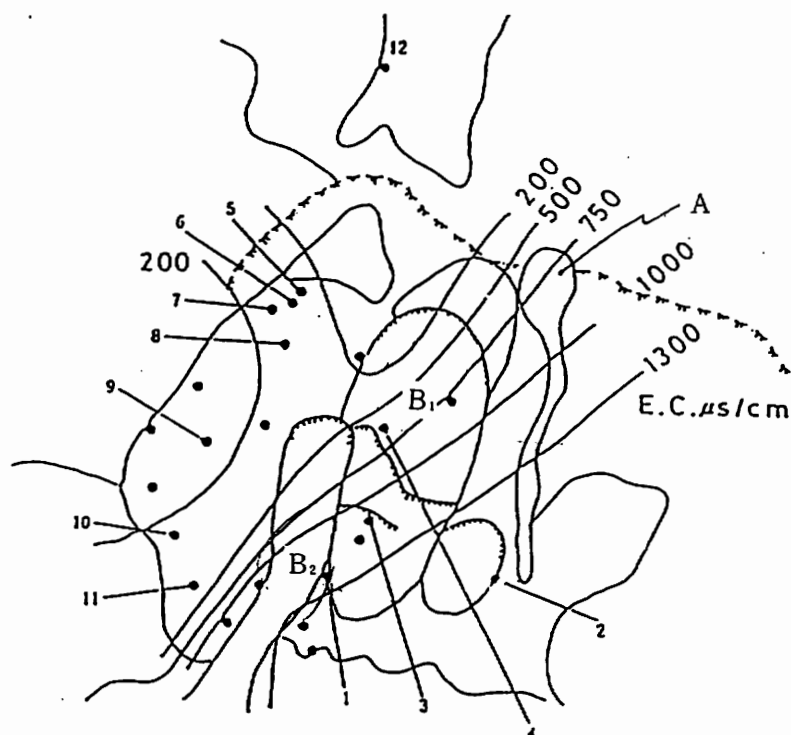


図2-3 電気伝導度の分布 (μs/cm)

黒丸：観測点 数字：試料番号  
(高倉地すべり)

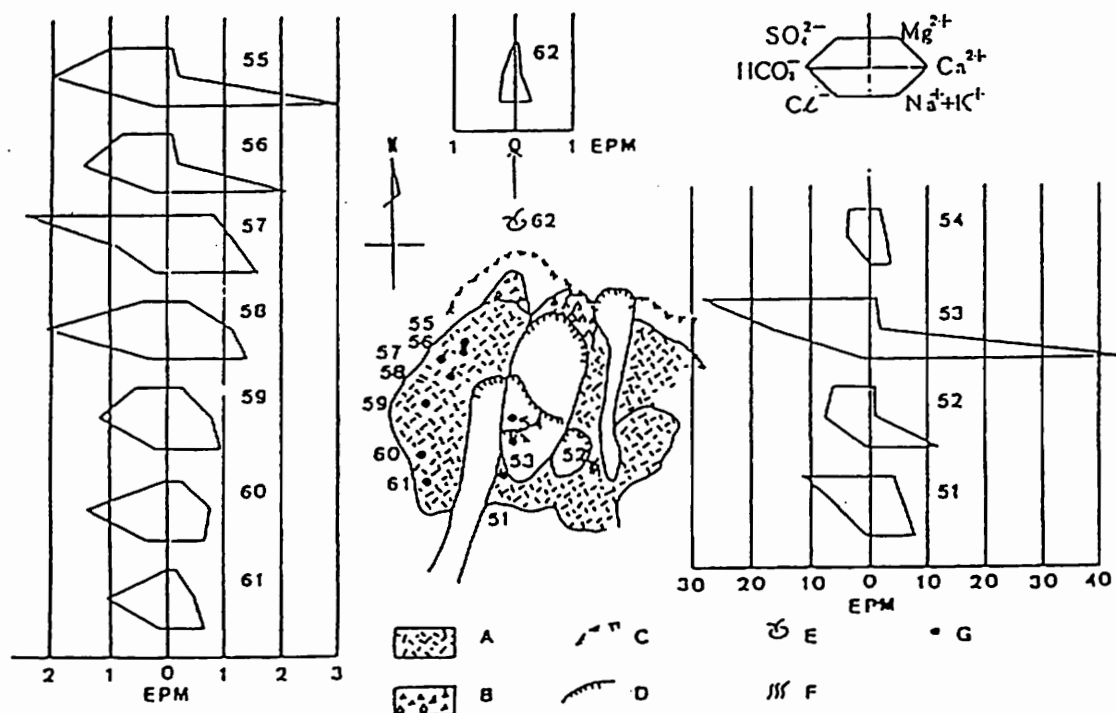


図2-4 高倉地すべり地の採水位置と水質のヘキサダイアグラム

A：旧地すべり崩積地 B：崖錐 C：旧滑落崖 D：新滑落崖 E：湧水 F：表流水 G：ボーリング孔

この頃から、地すべり地内外の湧水とボーリング孔内水（地下水）の水質調査を行うようになり、地すべり地内の水の電解質濃度は高く、炭酸水素イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオンの多いことがわかった。

- 1) 図2-4では試料51~54（地すべり地内）の濃度目盛は、試料55~62（地すべり地外）の目盛の10倍であり、地すべり地内の水の塩酸濃度は極めて高い。
- 2) 地すべり地内の地下水の電気伝導度（図2-3）は、500~1500 $\mu$ S/cmを示すのに対し、地すべり地外のそれは100~500 $\mu$ S/cmで、前者は電解質濃度が高い。

#### II-2-4 新潟県山古志村虫亀地すべり災害（昭和55、1980年4月）（文献17）

比較的規模の大きい地すべり（幅150~200m、長さ1,500m、面積約25万 $m^2$ 、移動土量約120万 $m^3$ ）で、県道の約200m間不通、水田2.5ha、畑0.7ha、山林16.6ha、養鯉池0.75haが被害をうけた。この地区は、昭和20（1945）年5月に地すべりがあり、建設省所管の地すべり防止区域に指定されている。

地すべり地内の地質は、新第三系椎谷層（泥岩）を被って、旧崩積土と新崩積土より成る（図2-5）。旧崩積土は、大小の泥岩片が基質の粘土で結合されており、それほどのもろさはない。新期崩土は、今回移動したもので、泥岩角礫をまじえたやわらかい粘土よりなる。

滑落崖には、基岩に似た泥岩が露出しているが、写真2-1でもわかるように、冠頭部一帯は、“離れ山”状の地形を示し、昔の移動岩体であり、図2-6のように、この附近には多数の亀裂地形が発達している。また、地すべり以前の空中写真にみられる地溝状地形が、滑落崖に転化したことが明らかになった。このことは、本地すべりが、旧地すべりの再活動であることは明瞭である。

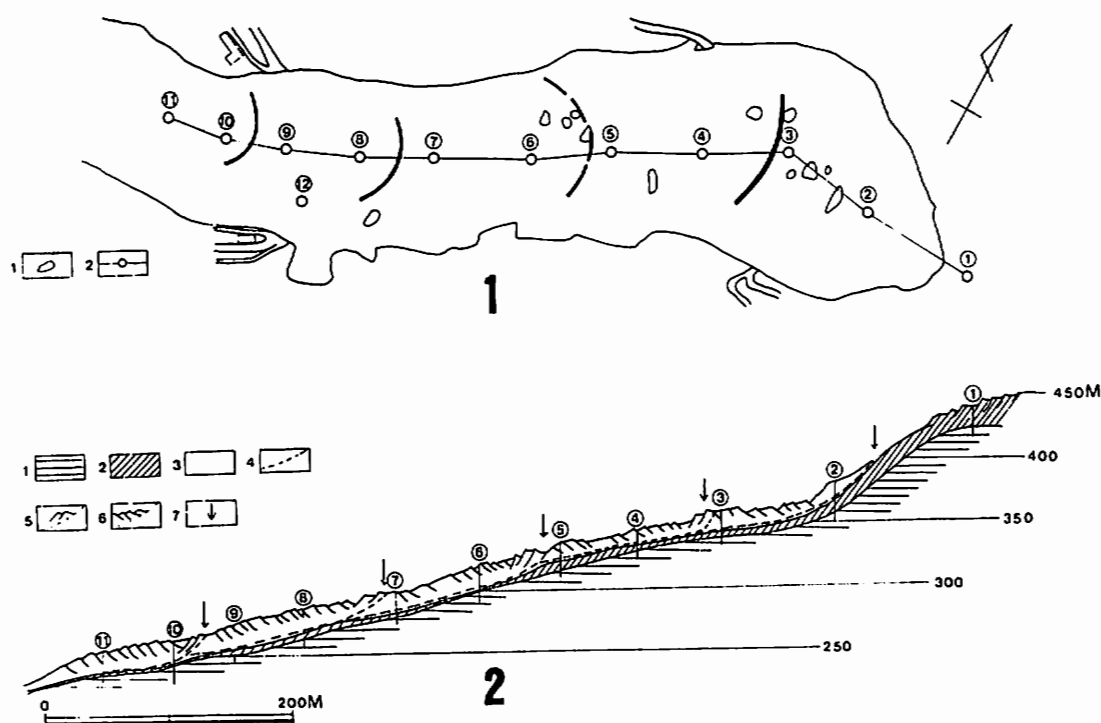


図2-5 中央崩積土部の地質断面図

- ①~⑪：新潟県土木部によるボーリング位置とその試料による地層区分  
 1：椎谷層（上部中新統） 2：風化層 3：中央崩積土 4：二次地すべり面 5：平行正断面に回転したブロック  
 6：逆行正断面により回転したブロック 7：二次地すべり面の上流側の部分

地すべり地の地下水の特徴は次の通りである。

地すべり発生直後の湧水、その後のボーリング調査孔を利用して、地下水の水質調査を行った。地すべり直後の地すべり地内上部には、濃度の高い塩化ナトリウム型の水が分布していた。その後、次第に硫酸ナトリウム型の水に変わった。この地すべり地では、特にボーリング孔内水の垂直変化を経時的に追跡し、地すべり地地下水は、深い層の水が移動することを明らかにし、地すべり発生に降水・融雪水が如何に関与するかを考察する上で、注目すべき結果をえた。地下水の移動と地すべり発生機構との関係は、別項で述べる（文献20）。

- 1) 以上をまとめると、虫亀地すべり地内の水は、電解質濃度の高い、硫酸・重炭酸ナトリウムを主成分とする水が多く、地すべり地外では、成分は若干 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の寄与率が高い硫酸・重炭酸型であるが、電解質濃度の低い水が分布している。
- 2) 虫亀地すべり地中央部のボーリング孔から、 $\text{Cl}^-$ と $\text{Fe}^{2+}$ を多量に含む特異な水が得られた。



写真2-1 虫亀地すべり地付近（ヘリコプターより、昭和56（1981）年3月17日、和泉 薫撮影）



図2-6 冠頭部付近の主な地形と地質の分布図（藤田・茅原ほか、1981）

- 1：滑落崖 2：地すべり時に生じた正断層 3：地すべり以前の正断層 4：地すべり以前の断層陥没地  
5：中央崩積土上野陥没地 6：古い崩積土 7：池  
8：中央崩積土

## II-2-5 長岡市濁沢地すべり災害、新井市上馬場地すべり災害（昭和56，1981年1月）

豪雪下に発生した地すべりである。気象条件と積雪量から判断して、融雪水の浸透により発生した地すべりであるが、春期のいわゆる融雪地すべりではない。

濁沢地すべり：1月1日，2日に発生し，32戸の家屋を破壊した（図2-8）。地すべり発生前の写真によると，深い亀裂をもつ旧地すべり斜面で，ここでも旧地すべりの再活動であることが確かめられた。江戸時代から続く旧家が被災し，地すべりの再活動までの時間は，かなり長かったことがわかった。（文献14）

地すべり直後の湧水には，塩化ナトリウム型の水がみられたが，その後は硫酸ナトリウム型の水が多くなった。

上馬場地すべり：3mの積雪の中で発生し，住宅8戸が破壊された。地すべり直上急斜面の旧滑落崖が存在し，この地すべりも旧地すべり移動物質の再すべりであることが明らかになった（図2-7）。

地すべり地の末端部付近の深部に塩化ナトリウム型の水がみられた。その他の水は硫酸ナトリウム型である（文献26）。

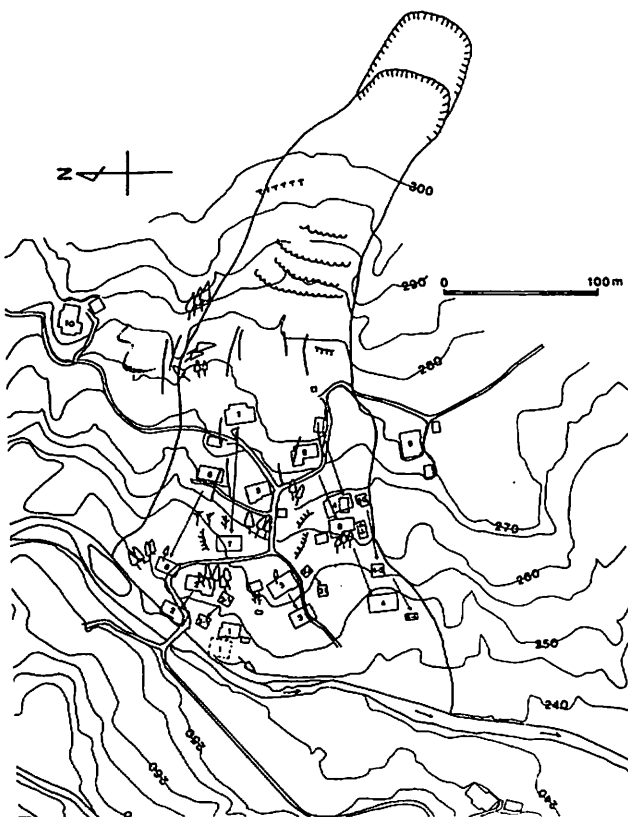


図2-7 上馬場地すべり平面図  
1～8が被災家屋

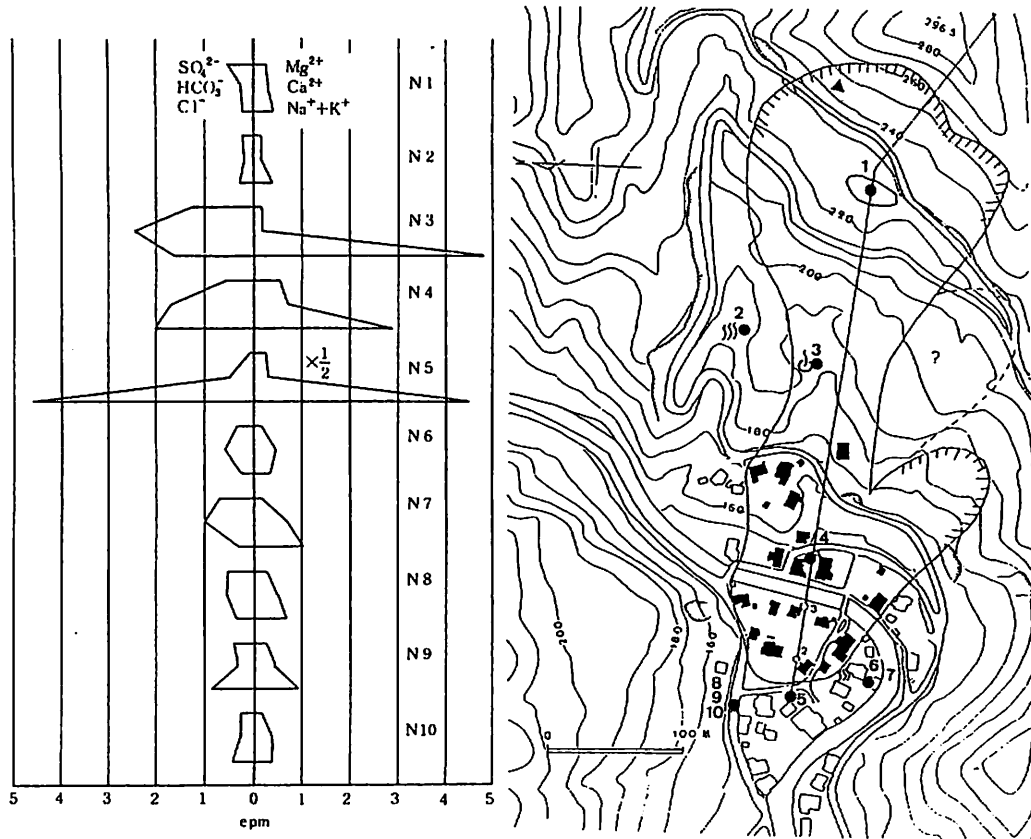


図2-8 濁沢地すべり地（黒い家は被災家屋）と地下水の試料採取点と水質のヘキサダイアグラム

## II-2-6 新潟県青海町玉ノ木地災害（昭和60，1985年2月）

この地すべりは、規模こそ小さかったものの、死者10名、全壊5戸の被害を生じた（図2-9）。

今回すべり落ちた移動物質は、過去に形成された崖錐性堆積物で、ここでも旧移動物質の再すべりである。ここでは、滑落崖の上方に、3段にわたる段差地形が認められ、これは、古い時代に形成された地すべり性の正断層亀裂で、今回の地すべりは、この亀裂から始まった（図2-10）。また、この亀裂が融雪水浸透の集中部であったと推定された（文献47）。

地下水質の調査では、この地は、化学風化の進んだ崖錐性堆積物からなることが予想された。海から運ばれて浅い地下水になる水と、炭酸水素イオンにより岩石が風化してできた比較的深い水とを、区別できた（文献48）。

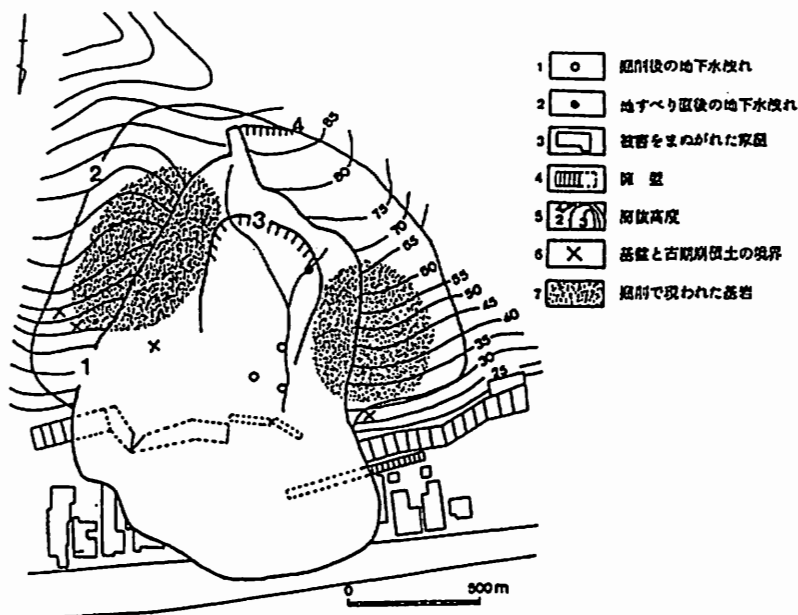


図2-9 (1)玉ノ木地すべり旧崩落崖の輪廓 (2)現地すべり地の輪廓  
(3)地すべり後の小地すべり崩壊部

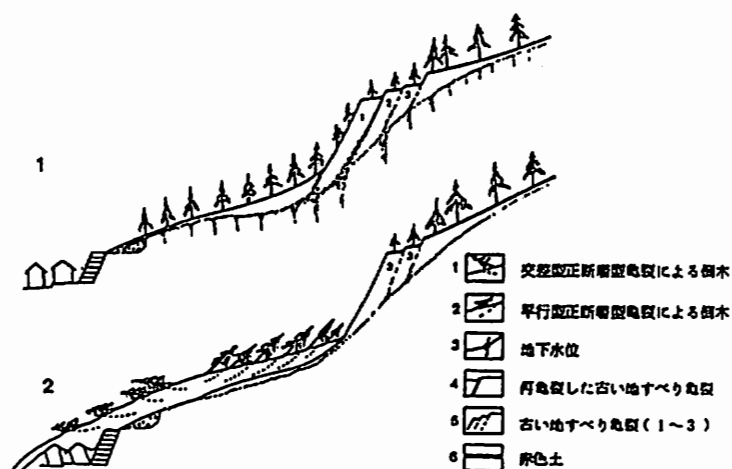


図2-10 地すべり直前(1)と直後(2)の推定断面図



## II-2-7 長野市地附山地すべり災害（昭和60，1985年7月）

信州大学等との共同研究の一環として、主に地形・地質、地下水を調査した。

地附山の斜面一帯には、古い地すべり地形と移動物質が広く分布している（図2-11）。滑落崖上方斜面には、古期地溝性亀裂、地すべり性ドリーネ（穴）が分布している。

滑落崖に露出している地質は、古い地すべりないし山崩れの移動物質である。

今回の地すべりの素因は、地附山の傾斜と、その斜面に生じていた地溝亀裂、地すべり性ドリーネなどにある。

このような古い地形が、今回の地すべり誘因となった降水の浸透を増大させる条件となった（文献57）。

地すべり直後のボーリング孔内水は、濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水であったが、しだいに硫酸ナトリウム型の水にかわった。裾花凝灰岩から熱水変成によってできたスメクタイトが広く分布しており、地下水のナトリウムと結合して、極めて分散・膨潤し易くなっていたことが予想できた。

地すべり地の滑落崖下の、集水井の水とボーリング孔内水などのトリチウム濃度を測定し、集水井からは原水爆の大気圏における実験が盛んであった1960年代に涵養されたと推定できる、高いトリチウム濃度が観測された。この古い水は、集水井の排水孔の方向と距離から滑落崖の深部に滞留していることがわかった（文献57，65）。

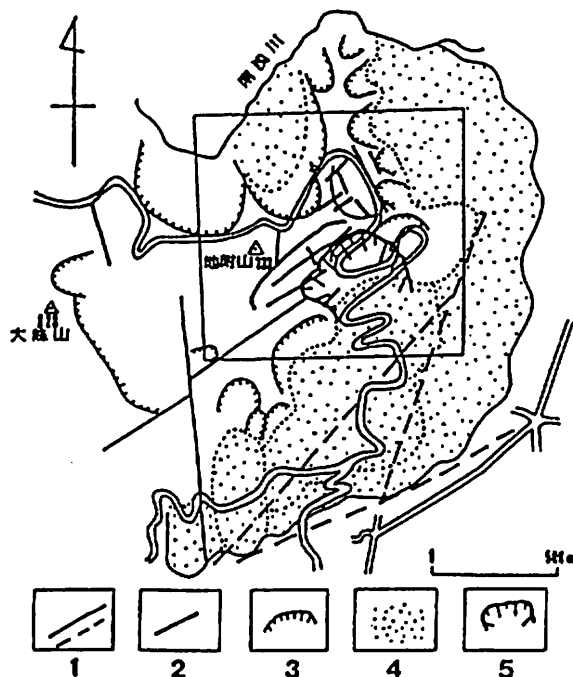


図2-11 地附山周辺の地形図

枠：滑落崖付近の断層 1：実線は地附山断層；破線は推定断層 2：リニアメント 3：古地すべり滑落崖 4：古期地すべり移動物質の分布域 5：1985年地すべり滑落崖

## II-3 地すべり危険地帯の予測の研究

地すべり災害は、地震災害や、台風・豪雪など気象に関係した災害などと比べて、局所的な現象であることが特徴の1つである。地すべり発生ヒキガネ（誘因）として重視されている大量の融雪や豪雨は、一定の地域でほぼ同時におこる現象であるが、これによってひきおこされる地すべりは、ごく一部の地帯に限られる。また、地すべり危険・防止指定地以外で発生するものも少なくはなく、このような場合、住民が地すべりの危険地域であることを意識しないために、人命を含む大きな被害を伴うこともある。昭和60（1985）年の玉ノ木地すべりは、その典型的事例である。

したがって、地すべり災害の予測の問題では、まず第1に、発生の場合・危険地帯の認定が重要な課題となる。当センターでは、このような観点から、災害危険地帯予測図（ハザード・マップ）の作成を目的として次の項目の課題にとりくみ、いくつかの成果をえた。

### II-3-1 地すべり地の表層地質図

現在の地すべりの大部分が古い地すべり物質の再移動であることは、2-1で述べた。したがって、地すべり地において表層地質図を作成し、新旧の地すべり移動物質の区分を行うということは、今後の地すべり危険地域の範囲を明らかにする上での、初歩的な課題である。ただし、従来は、このような観点から地すべり地の表層地質を明らかにした研究は少なかった。当センターでは、西頸城郡能生川流域、北魚沼郡破間川流域などで、この問題ととりくんできた。その過程で能生川右岸の高倉地すべりでは、1978年に危険性を指摘した地点で、1980年4月に移動土量約150万 $\text{m}^3$ の地すべりが発生し、このような調査の有効性が証明された（文献18）。

なお、地すべり移動物質の区分は、防止工事対策にあたって、その物性などの諸特性を正確にとらえるためにも、また、地すべり地の農林業における有効な土地利用のためにも重要な課題である。

### II-3-2 古い地すべり亀裂

古い地すべり地の中から、さらに危険な地帯を絞るにあたって、古い地すべり移動体の構造、とくに、移動体内部の不連続面をなす地すべり亀裂の研究が重要である。

すなわち、これらの亀裂は、古い移動物質内部での力学的な弱面であり、かつ、地表水の流入や地下水の通路として、今後の地すべりの発生に大きな役割をもつのである。

このように、古い地すべり活動によって生じた亀裂が、新しく再開裂して、ここから地すべりが発生した典型的な事例として、昭和55（1980）年に発生した虫亀地すべり（文献17, 24, 25）、昭和56（1981）年の中東地すべり（文献24）、昭和60（1985）年の地附山地すべりなどをあげることができる（文献57）。ここでは、図2-6に虫亀地すべりと図3-1に地附山地すべりの事例を示した。

### II-3-3 古い巨大地すべりと現在の地すべり

地質時代に発生した巨大地すべりの実体の解明は、地すべり危険地帯の予測にあたって重要な課題である（文献63）。すなわち、巨大地すべり自体は現在、停止あるいは休止しているものがほとんどであるが、その内部では、巨大地すべりの子供・孫地すべりが現在も活動をくりかえしているものが大部分であ

る。したがって、巨大地すべり地内のどの部分で子供・孫地すべりの活動が活発におこりやすいか、という点の規則性を見出すことができれば、地すべり災害の予測の問題に大きな発展をもたらすことができる。

当センターでは、この問題に関する規則性の1つとして、古い巨大（親）地すべりの移動にともなって形成された大きな地すべり亀裂にそって、現在の地すべりが発生する傾向が強いことを明らかにした（文献74）。これは、古い地すべり地で無数に分布する新旧、大小の地すべり亀裂の中から、さらに危険な地点について焦点を絞ったことにつながる。親地すべりの古い大きな亀裂は、この部分に地下水が集中することにより、これに沿って水系が形成されることが多い。その侵食作用が、斜面の不安定化をさらに加速することも、この部分で子供・孫地すべりの活動が活発な一因である。

以上のことは、地すべり災害対策にあたっても、現状の“対症療法”対策から“根本的”対策の立案に大きな貢献をなすものと思われる。例えば、地すべりのヒキガネとして大きな役割をもつ地下水の問題は、この巨大地すべりを1つの単位としてとらえることができる。巨大地すべりは、大局的に上部の亀裂の多い移動ブロックを主体とする斜面と、下部のより破砕が進んだ地すべり移動物質が主体の斜面に、2分できる。上部斜面の亀裂ブロック対は、大量の地下水の賦存体であることが多い。現在の地すべり活動は、一般に下部斜面で活発で、これを誘発する地下水は、上部の亀裂・ブロック体斜面から亀裂を通じて供給されている。したがって、上部斜面からの排水は、下部斜面の地すべり活動の抑制と、さらに、下部斜面における水田用水源として利用することも可能である。

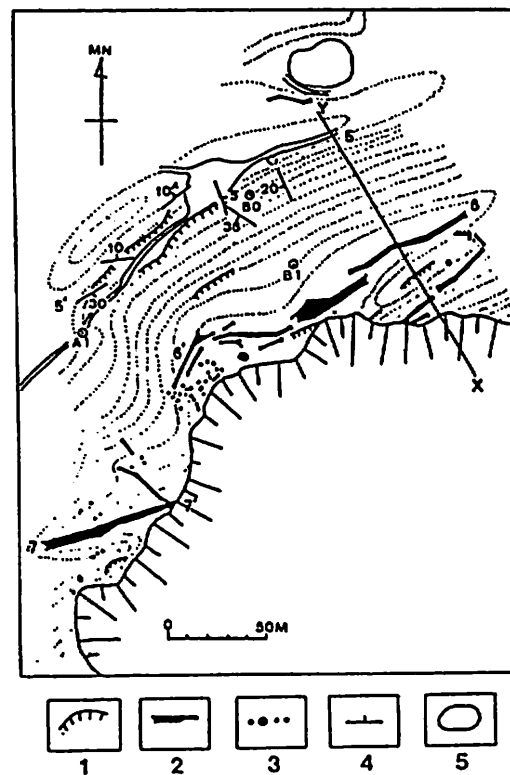


図3-1 地附山地すべり冠頭部の地形と古地形図

破線：見かけの等高線 1：新しい滑落崖 2：古い地溝性亀裂  
3：地すべり性ドリーネ 4：基盤ブロックの走向と傾斜 5：池

## II-4 融雪地すべりの発生機構の研究

新潟県は全国でも最も地すべりの多い県であり、建設省の統計によれば、全国の地すべりの20%は新潟県で発生している（図4-1）。新潟県に地すべりが多いのは、次の素因と誘因がそろっていることによる。

1) 素因：新第三系の軟らかな堆積岩が急速に隆起してでき

た山地に広く分布している。

2) 誘因：年間降水量が多い。ことに山地は豪雪地帯であり、

融雪期に多量の融雪水が供給される。

新潟県砂防課の調査資料に基づいて、昭和24（1949）～昭和60（1986）年に発生した地すべり3,042件の月別発生頻度と、豪雪地帯であり地すべり地帯でもある高田市の昭和25（1941）～昭和45（1970）年の月平均降水量をまとめたのが図4-2である。降水量は梅雨期と秋雨の時期および秋の終わりから始まる北東季節風のもたらす雨と雪の時期に多い。

地すべりの発生はこれに対応して7月、11月、12月に多い。1、2月は降水量が多いにもかかわらず積雪期であるため地下に供給されず、地すべりが最も少ない時期になる。3、4、5月に地すべりの46%が発生しており、融雪期に地すべり発生が集中することがわかる。4月、5月は1年でも最も降雨量の少ない時期にあたる。

このような事実から地すべり地への水の供給が、地すべりの発生に密接な関係があることが予測されてきた。

しかしながら、地すべりが発生するような大雨は常に発生するわけではないため、豪雨時の地下水観測は困難であり、融雪期は時期の推定が可能であるが、多量の積雪のため観測に困難が多く、融雪期の地すべり地の水に関する資料はほとんどなかった。

地すべり発生機構についても、従来は単純に融雪水や降水などが地面に浸透し、土が不安定になって地すべりが発生すると考えられてきた。すでに述べた近年調査した地すべりの多くは、

大雪に見舞われた年に発生したものであり、これらの地すべりの誘因も、融雪水の供給であるとされた。しかしながら、融雪水がいかに地下に浸透し、地すべり発生に関与しているのかはほとんどわかっていない。

このような条件のもとで、地すべり発生機構を融雪水の供給と、地下水の挙動に焦点を当てて調査検討してきた。

当センターでは融雪期の水の挙動を調査する計画をたて、積雪のため現地に行けない地すべり地において、自動的に地下水位、

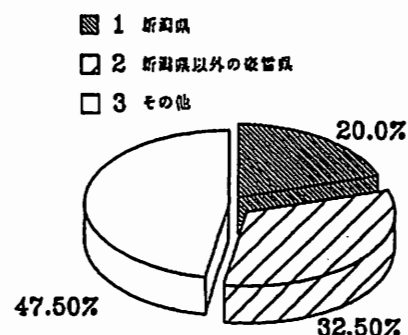


図4-1 全国地すべりに占める新潟県の地すべりの割合

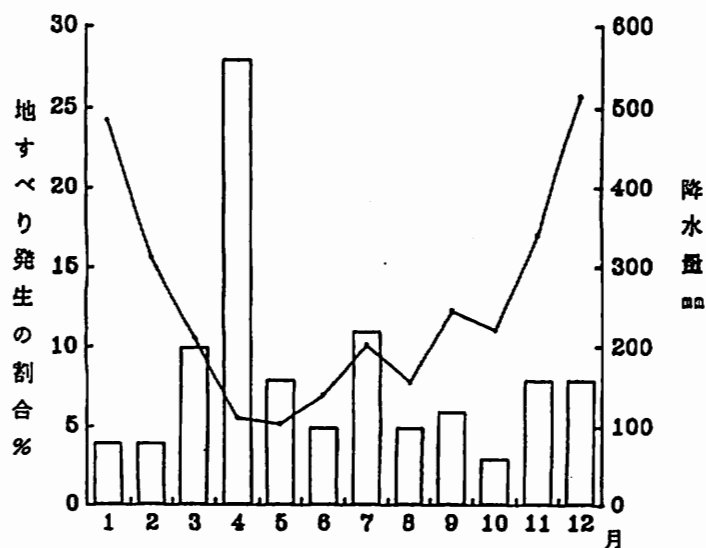


図4-2 新潟県の月別地すべり発生件数（棒グラフ）と降水量（線グラフ）

地下水の電気伝導度、水温等を測定する方法を開発し、観測を行った。あわせて、超音波積雪深計による積雪深の測定、気象観測を行った（文献71）。

また、従来地すべり地の地下水観測、地下水の化学的性質の検討には、地すべり面を貫く深さまで、全層にストレーナをきった井戸が使用されてきた。そのため観測された水位変化が、どの層の変化を示しているか分らない欠点があった。当センターでは観測したい深度にのみストレーナを切って、観測井戸を設けて、深度別の地下水の変動を明らかにすることに成功した（文献70）。

II-4-1 地すべり発生と融雪水の供給

積雪期の雪の状態とその変化の観測が困難なため、地すべり地域の融雪水の供給速度、供給量についてはこれまでほとんどデータがなかった。また、積もった雪がいつ消えるのかも推定できなかった。

融雪速度を求めるために、当センターでは、自動観測した積雪深と同じ地域で、同じ時期に得た雪密度のデータから融雪水量を求める方法と、ライシメータにより融雪水量を測定する方法を用いた。

融雪速度は、気温や風速・風向、斜面の向き等に左右されるため、一般的には結論し難いが、山古志村では3月から4月の融雪期に積雪重量100g/cm<sup>2</sup>の雪が30日程度で消失し、この期間に平均して33mm/日の水が供給されたことになり、きわめて強い長雨が続いたことに相当する（文献73）。

融雪期には、いつも地すべりが発生するわけではないから、地すべり発生前には、平均日融雪水量を越える水の供給があったことが予想される。昭和55（1980）年4月9日の虫亀地すべり（図4-3）、昭和59（1984）年5月15日の蓬平地すべり、昭和60（1985）年2月15日の玉ノ木地すべりの発生前の融雪量の解析を行った。その結果、日融雪水量が50mm以上の時に地すべりが発生したことがわかった（文献58）。

これらの地すべり前の融雪水量の推定は、地すべり発生後の積雪調査と最寄りの気象観測データから得られたものである。これらの結果は、気象条件や積雪条件の情報から、地すべり発生の危険度を推定することが可能となることを示唆している。

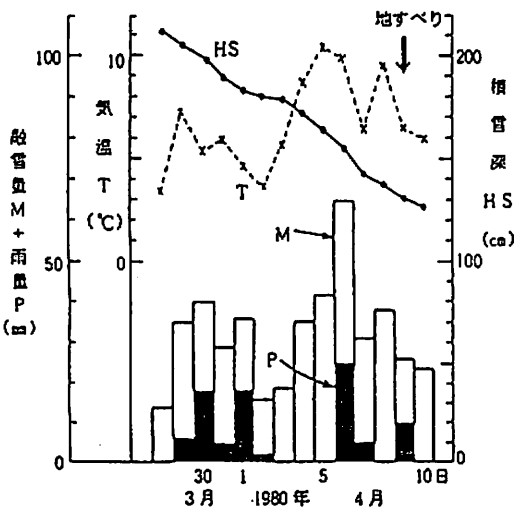


図4-3 虫亀地すべり前の融雪・気象状況  
(気温、雨量は長岡のAMeDASの値、積雪深は山古志村役場のデータ)

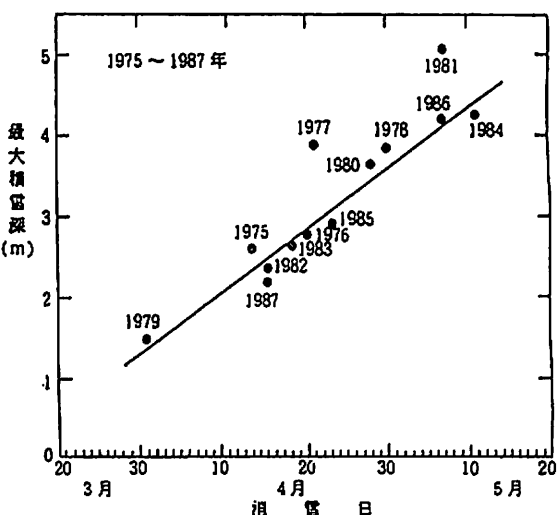


図4-4 最大積雪深と消雪日との関係  
(山古志村柱谷)

多量の残雪があり、気温が上昇する時に大量の融雪水が供給される。したがって、初夏まで雪が残ることとは地すべりの危険が多くなる。積雪深から雪の残っている期間を推定する目的で、山古志村虫亀地区の気温、風速、湿度、日照等の気象要素の観測と積雪深、雪密度の変化等の長期観測を行い、融雪機構を解析した。その結果、積雪深を測定して、最終雪消日を推定することができるようになった（図4-4）（文献73）。

気象要素の中では、気温は比較的各地で観測され、しかも融雪量と相関が高いことが知られている。調査の結果、虫亀地区では平均気温 $T(^{\circ}\text{C})$ と日融雪量 $M(\text{mm})$ との間に $M=4.3T$ の関係があることを明らかにし、気温の観測により融雪水量の推定が可能になった（図4-5）（文献73）。

以上の結果を総合すると、誰もが直感的に感じていたように、暖かい風が吹いて融雪が激しくなって、日融雪量が50mmを越える時、地すべりが発生しやすいことが明らかになった。最大積雪深の大きい年に、地すべりが多い傾向が見られるのは（図4-6）、融雪期間が長く、50mm/日以上で融雪が起るような高温の日に出会う機会が多いことによる。新潟県は地すべり多発地帯に地すべり巡視員をおいて、随時地すべり危険地帯の巡視を行っているが、この研究成果を利用すると、融雪地すべりが最も発生しやすい時期を特定でき、重点的に巡視が行えるようになる。

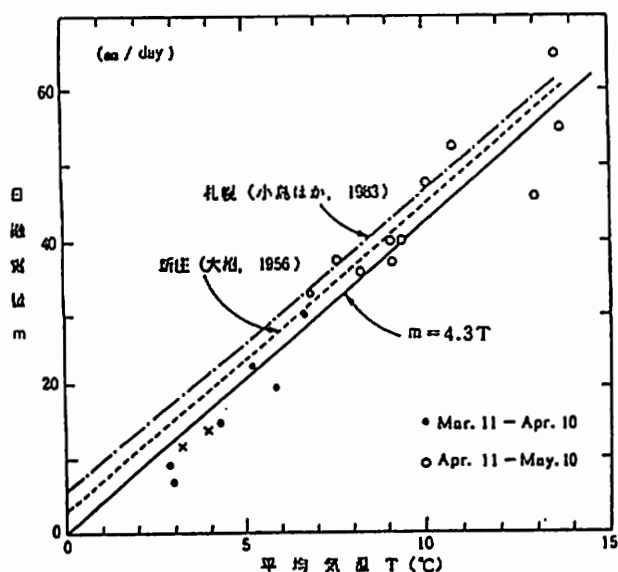


図4-5 日融雪量と平均気温との関係  
(山古志中学校)

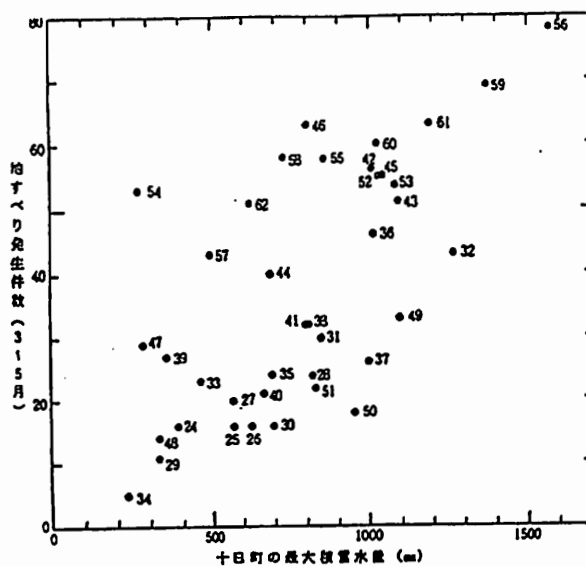


図4-6 十日町における最大積雪水量と3～5月における新潟県下の地すべり発生件数の関係  
(数字は昭和年を示す)

#### II-4-2 地すべり地地下水の挙動と地すべり

多量の融雪水や降水が地すべり発生の誘因になることは明らかになったが、透水性の比較的低い地すべり地で、降水や融雪水がいかにして地下に浸透するかはわかっていない。当センターでは、地すべり発生機構の問題を、融雪水の地下水位に与える影響に注目して解析することとした。

虫亀地すべりの滑落崖の下で、融雪後の地下水質の変化を観察した。深い層にある塩化ナトリウム型の水が、融雪直後の5月には地表近くまで上昇しており、その後、梅雨期から夏期にかけては表層に硫酸アルカリ土類型の水が浸透してくることが認められた。虫亀地すべり地には、表層の硫酸型の水と地すべり

面の下の塩化ナトリウム型の同生水が分布し、融雪後期には、深い部分の塩化ナトリウム型の水が上昇することがわかった（文献78）。

松之山越地すべりにおいて、地表近く、地すべり面の上、地すべり面の下各測定深度にのみストレーナを設けた観測井戸によって、降水量（融雪水量）と地下水位、水質の変化を観測した。地すべり面より下の被圧地下水の水圧が降水により変動するのに対し、移動層の地下水位は、ほとんど降水に影響されないことがわかった。

降水等に影響される被圧地下水は、塩化物イオンを含む炭酸水素ナトリウム型であって、深い層に由来することが確かめられた。これに対して、地すべり面より上のいわゆる移動層では、降水等による水位・水質の変動が極めて小さく、地すべり地では、地すべり面より下の地下水が降水の影響を受け、これが地すべり発生の誘因となっていることを認めた。一方地すべり地の外で同様な観測を行い、浅い層に由来する硫酸型の水が降水時に直ちに増加し、水位を上げ、雨が止むと水位は直ちに低下した。地すべり地外では浸透した水は浅い層をとって排出されることになる（文献41）。

自動観測システムの項で述べる、虫亀地すべりの融雪期の地下水変動を調査した井戸について、融雪期、雨季、乾季に水質の変化を調査した。やはり、地表に多くの水が供給される時には、塩化ナトリウムを含む炭酸水素ナトリウム型の水が、深い方から上昇してくることを認めた。

このような結果から、融雪水は地すべり地内の地表から浸透するのではなく、地すべり移動ブロック以外の亀裂などから深い地下水にまで、急速に浸透することが予想される（図4-7）。

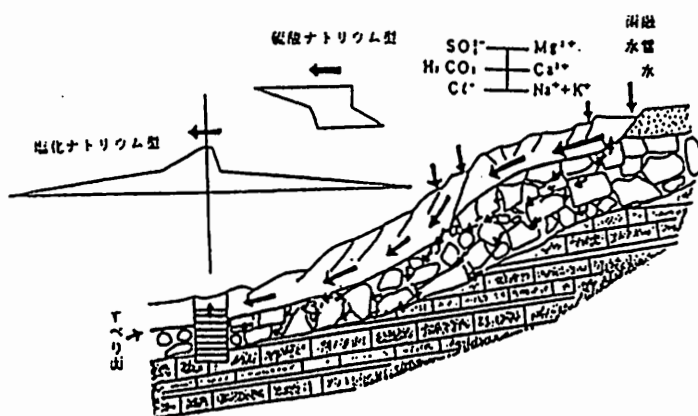


図4-7 地すべり地における融雪水・雨水の地下への浸透と排水のモデル

地すべり地の地表踏査により、地すべりのブロックを認定することは広く行われている。当センターでは、虫亀地すべりにおいて、さらに詳しく、亀裂、土塊の移動回転方向を調査して、各ブロックの移動方向が、すべり面の形状に規制されていることを指摘した（文献24）。その後発生した地すべりをみてもこの方法が不偏性をもつことを確認された。

これらの調査の結果、地すべり地の上部には亀裂がみられることが多く、亀裂への水の浸透が地すべり再活動の要因となることを予測した（文献31）。

地すべり地帯のブロックと亀裂の分布とすべり面の形状の関係については、ベントナイトを使用したモデル実験により、すべり面の形状と亀裂系の発達を再現したところ、現地踏査結果からの予想と調和的な

結果が得られ（図4-8）、地表踏査による亀裂系の調査が、地すべり運動の解明に寄与し得ることをしめた（文献68）。

このようにして判別されたブロックは、地下の構造を反映しているため、調査ボーリング孔内の水質の分布を説明するのにも有効である。すなわち、各ブロックに掘ったボーリング孔内水の水質は異なっており、同一ブロック内のボーリング孔内の水質は類似している。各ブロック毎の固有の水質を持った水は、相互に移動しない。したがって、ボーリング孔内水位をつないで地下水面を推定することは、正しい方法とはいえない。

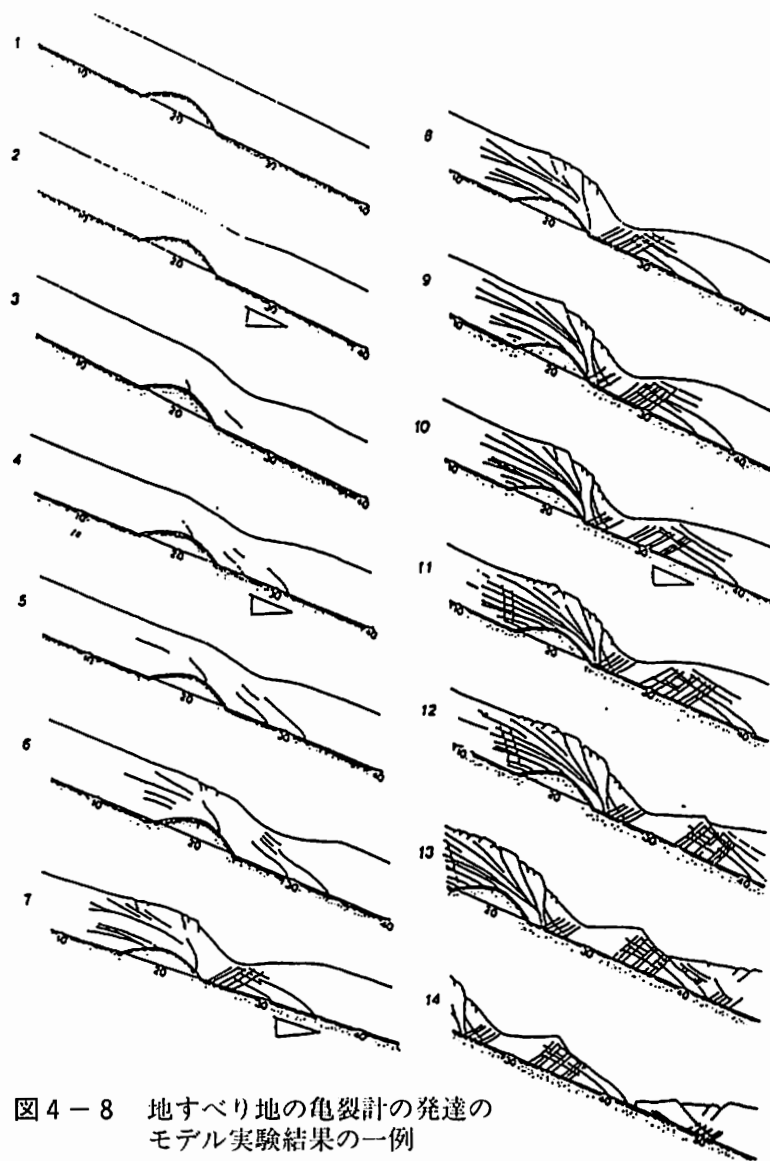


図4-8 地すべり地の亀裂計の発達のモデル実験結果の一例

これらの知見を利用して調査結果を解析すれば、地すべりの抑止・防止工事として最も基本的な工事である排水工の設計に役に立ち、さらに、このような調査によれば、排水工の効果を的確に把握できる。

深さ別にストレーナを切った井戸による水圧・水質の観測結果は、従来の全層ストレーナ方式の井戸から得られる、観測井戸の水位の測定結果の解釈、安定計算にも影響をあたえた。さらに、従来排水工の効果の判定は排水量にのみ基準においてきたが、この研究により、地すべり防止に効果のある排水の効果判定基準があきらかになった。

地すべり地の排水にあたっては、地すべり地内の地表水の処理とともに、地すべり地外の上部の亀裂等からの水の浸透を防ぐ対策工事を提案している。



## II-5 地すべり地の自動観測システムの開発

### II-5-1 観測システムの概要

新潟県の山間地・多雪地帯の地すべり地において、積雪期・融雪期に地下水の調査を行うため、積雪下でも無人で観測できる装置の開発をすすめてきた。開発を始めた段階では、データの収集システム、電源、データの転送等多くの問題があった。それらを逐次解決して、現地使用しているハンドヘルドコンピュータを中心とするシステム（文献70）を開発した（図5-1）。

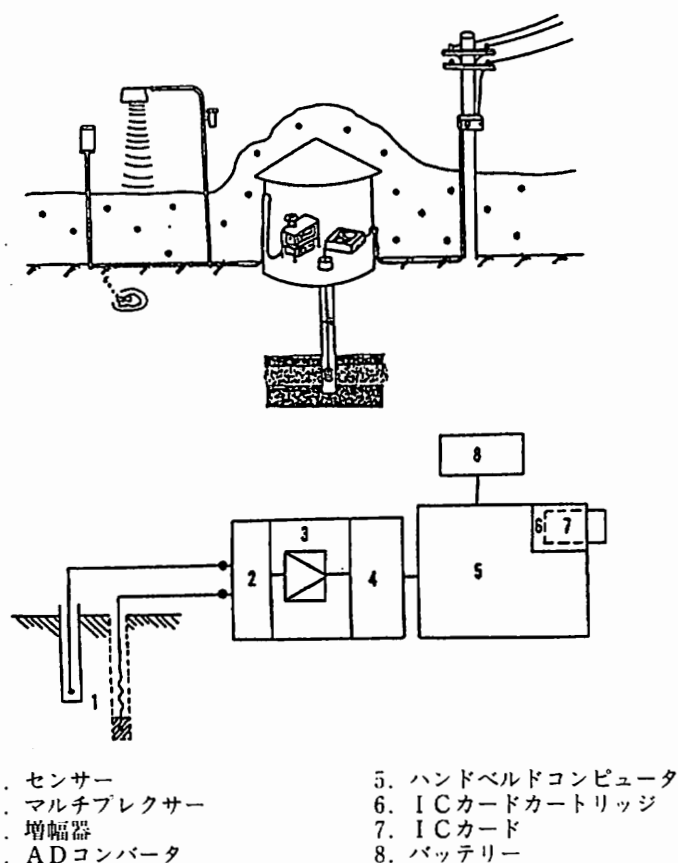


図5-1 自動観測システムの概略

を用いている。得られたデータはデジタル化して、ハンドベルドコンピュータのICカードに記録する。新潟大学構内に設置したホストコンピュータからの要求に応じて、電話回線を通じて現地のコンピュータのICカードの記録を転送する。

松之山町の越地すべり地の内外に、任意の層にストレーナを切った観測井戸を設けて地下水位の観測を行い、データを無線により、松之山町の天水越地区の公民館へ転送している。

冬季の融雪量、地下水挙動のデータが集積され、融雪速度の推定、温度と融雪水量の関係式の決定、融雪期の地下水位の変動と融雪水の供給速度との関係を明らかにすることができた。

### II-5-2 観測結果の例

一例として、山古志村東虫亀地区の観測データから昭和63（1988）年の融雪期の積雪深、気温、降水量、地下水位の変化をグラフとした（図5-2）。

データの転送は電話回線の利用  
できる調査地では、電話回線を使  
うことが、雑音による信号の劣化  
を小さくできるため有利である。  
電話回線の利用できないところ  
では、無線システムをこころみ、  
鉛蓄電池と太陽電池を組み合わせ  
て、冬季5ヵ月の観測が可能にな  
った。現在山古志村虫亀地区の地  
すべり地において、上に述べたシ  
ステムを使用して観測を行ってい  
る。観測項目は積雪深（超音波積  
雪深計）、融雪（ライシメータ法）、  
気温、地すべり移動量（多層移動  
量計）、地下水位（水圧水位計）、  
地下水の水温・電気伝導度などで  
ある。地下水の観測は、この調査  
のために地すべり面の上下にそれ  
ぞれストレーナを切った観測井戸

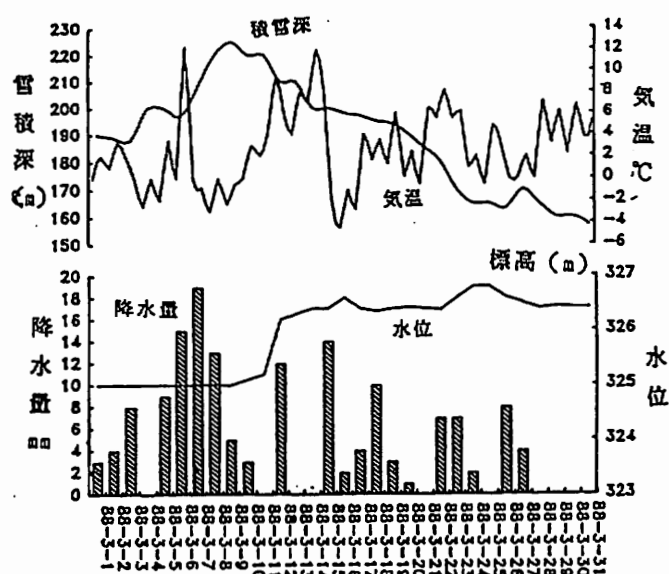


図5-2 虫亀自動観測地の融雪期の降水量，積雪深，気温，地下水位の変動

3月初旬に比較的多量の降雪があって、3月中旬に最大積雪深が220cmをこえた。有効気温と融雪水量の間にはよい相関があり、気温が上昇すると積雪深が低下する関係が読みとれる。3月初旬までは、多少の融雪があっても地下水位はほとんど変化していない。3月10日頃からの気温の上昇による融雪がすすみ、それに対応して3月11日に地下水が急上昇した。3月21日の高温による融雪では若干の地下水位上昇が観測されたが、まへの融雪ほど顕著な水位変動は認められなかった。このようなデータと、降雨期のデータあるいは水質の変動等を相互比較検討して、融雪水が地下水に与える影響、さらには、地すべりに与える影響を考察した。

近年、建設省も自動観測の重要性をみとめ、民間企業に自動観測装置の開発を促している。当センターの開発の基本的考え方は、企業各社の自動観測装置の開発に大きな影響を与えた。また、一部の企業の装置では、当センターの開発したシステムが基本的に採用されている。新潟県では、地すべり調査にあたって、自動観測による観測を採用する方向になりつつある。

## II-6 外国の地すべり研究との比較

### II-6-1 比較研究の意義

当センターの地すべり研究分野では、これまで機会をとらえて海外の地すべりの学術調査、並びに視察を行ってきた。諸外国の地すべりの実態とその研究水準をつぶさに知ることは、直接的には、従来日本では知られていなかった新しい知見や技術を得るという成果をもたらすが、より本質的には、そのような個別的研究業績の背景にある、研究上の視点や方法論の比較を可能にするという重要な意味を持つ。それに依ってこれまでの日本に於ける地すべり研究を批判的に検討し、一面性を排除し、より総合的、国際的な研究を行う契機が生まれる。

### II-6-2 外国における地すべりと比較した日本の地すべりの特色

自然現象としての地すべりは、数多くの要因、地形、地質、土質条件といった素因、並びに降雨、融雪、地震といった誘因が複雑に関連して発生する現象である。諸外国各々において上記の要因群は局地的に多様な変化を示すことから、自然現象としての地すべり自体に数多くのヴァリエーションが存在する。

他方では地すべり現象が災害をもたらすかどうかは、その場所の土地利用や居住条件といった社会、経済条件にかかわっており、これまた諸外国各々において大いに異なる。

日本列島は激しい造山運動を受けており、その地質条件、地質構造が複雑であることから、地すべりの発生並びに運動形態が多様かつ複雑であり、また地すべりによる移動土塊は破壊され、大きく変形するものが多い。このような傾向は、造山運動の盛んであった地域には共通する特徴であり、ヒマラヤ地域では、地すべりの多様性、複雑性は日本以上である。それに対してヨーロッパにおいては、アルプス地域を除いた安定大陸上では、地すべりの発生並びに運動形態も比較的単純であり、また地すべりによる移動土塊ないし岩塊もそれほど破壊されず、大きな変形を受けていないものが多い。

アメリカ大陸では、さまざまなタイプの地すべり現象が発生しているけれども、人口密度が低いことから、地すべりによる災害防止の緊急度は、日本の場合とは大きく異なるという背景がある。

中国も安定大陸であり、日本とは地すべりの様相が異なるが、揚子江・黄河の河畔に生活する人が多く、さらに水利用のためダムの建設が急がれており、地すべりの危険度の判定が社会的な要請となっている。

### II-6-3 外国における地すべり研究の動向

地すべり研究の視点、方法論は当然のことながら、各々の国における地すべり現象の発生形態、とりわけ災害をもたらすかどうかという点に関しての緊急度によって異なる。すなわち、日本のように非常に多くの地すべり地が分布し、かつ人口密度が高いため、地すべり災害の発生頻度の高い国では、地すべり研究の重点は、単なる学問的興味からなされる発生のメカニズムの研究に留まらず、いかにして地すべりによる被害を防止し、軽減するかといった、実戦的課題に答えるための研究が高い必要性をもつ。実際日本ほど広範囲に渡って、強力な地すべり対策工事を行っているところは他にはなく、ハードな対策工に関する研究は諸外国に抜きこんでいる。

他方、欧米諸国・中国においてはハードな対策工の集中的な投入は、投資効果の点から難があり、かなりの程度に土地利用の制限等のソフトな対策が実施されている。その前提条件として地すべり危険地域や

危険度の判定という作業が必要であり、その実用化のための研究は、欧米諸国・中国において進んでおり、危険地域並びに危険度を地形図上に表示したハザード・マップも作成されている。

地すべり研究における重要な側面について、日本と諸外国における研究動向の相違を見てみると次のような事実が指摘される。

#### A 地すべりの分類に関する研究

地すべりの分類は日本においても幾つか試みられているが、包括的で、体系的なものは見られない。また、小出の分類に代表される地質域の差異に基づく分類は、日本においてよく行われているが、欧米では余り見られない。このことは日本の地質構造の複雑さの反映であると考えられる。

ヨーロッパ、特にアルプス周辺諸国では、かなり古くから広義の地すべり現象の分類が行われきており、例えばStinyの崩壊形態と生成原因による分類は、現在でも引用されている。またオーストリアやドイツでは、現在でも分類に関する議論は盛んに行われている。一方アメリカにおいても体系的な分類が試みられている。特にVarnesの分類は、運動の形式と斜面の構成材料による分類であり、現在提案されている分類の中で、最も包括的かつ体系的なものである。現在国際的に分類に関して議論がなされる場合、Varnesの分類がたたき台とされることが多い。

#### B メカニズムの研究

この点に関しては、現時点では日本においても、近年の土質力学の進歩とあいまって重要な貢献がなされているが、歴史的にみれば、地すべり発生のメカニズムや斜面安定に関する理論的な研究は、まず英国や北欧諸国で発展した。

その背景として、日本の地質構造が極めて複雑であり、従ってその土質条件もまた非常に複雑であるという事実が存在し、そのような複雑な条件下では、学問発達の初期の段階で理論が形成させることは困難である。それに対して英国や北欧諸国の地質、並びに土質条件は比較的単純であり、そのような単純な条件下でこそ最初に理論が構築され得たものと考えられる。

#### C 地すべり調査・計測法に関する研究

この分野においては、日本での研究は非常に進んでいると考えられる。例えば伸縮計を用いた地すべり土塊の移動量の測定、パイプ歪計によるすべり面の判定、傾斜計による土塊の微小変位の測定、あるいはボーリング孔における地下水位の観測並びに解析手法の開発等において、日本の研究は高い水準にある。

特殊な場合を除いてヨーロッパ諸国では日本ほど高密度の観測は行われていない。

#### D 地すべりの予知・予測に関する研究

日本では、移動を開始した地すべり土塊の崩落時期の予測に関しては、クリープ理論を応用した斎藤の方法が提案され、実際に予知に効果を発揮して以来、それを踏まえたより一般的な予知方法確立のための研究が進められている。また、地すべりや崩壊の発生場所の予測に関しても、地質並びに地形的条件の調査に基づいた研究がなされている。

しかしながら、危険地域の予測という側面に関しては、欧米諸国・中国において大きな力点がおかれている。特に地すべり発生に係わる諸要因を点数表示し、その合計によって危険度を指数で評価する方法が考案され、その成果は危険地域図としてまとめられ実用に供されている。

危険地域予測の研究に関しては、日本の研究は出来得る限り地すべり現象を物理的に説明し、理論的に取扱うことを基本としているのに対し、欧米では、たとえ経験的な方法であっても、実用上有効であれば、積極的に取り入れられている点が特徴的である。

#### E ハードな地すべり防止工法に関する研究

日本では、地すべり防止事業の社会的重要性を反映し、土木的方法による対策工法に関しては、杭打ち工法、アンカー工法、集水井工法等さまざまな工法が開発され、高い技術的水準と理論的裏付けを持っている。

欧米・中国においても、特殊な場合においては土木的対策工法も用いられるが、一般に社会・経済条件の相違から、日本でみられるような集中的な土木的方法の投入は行われない。

#### F ソフトな地すべり対策法に関する研究

欧米では、先に述べた危険地域図に基づいて、危険地域内における土地利用の制限、居住の禁止等のソフトな対策も実施に移されている。

日本では、近年危険度の高い地すべり地周辺における警報避難体制の確立のための、崩落時期の予測に基づいた、地すべり発生警報システムに関する研究も行われている。新潟県では、地すべり巡視員の制度が設けられており、地元の人々が地すべり危険地を随時巡視して、防災に役立てている。巡視員に的確な地すべり予知の知識を普及させることと、巡視員の経験を研究者に反映させる方法の確立が要請されている。

### II-6-4 災害センターの研究者による海外の地すべりの学術調査並びに視察結果（要約）

#### A インドネシア・ジャワ島（1978年）（文献12）

西部のバンドン周辺と頭部のソロ川周辺の調査を行った。結果を要約すると次のとおりである。

- a バンドン周辺では、上部中新統～鮮新統分布地域の構造帯に地すべりの分布が多い。
- b 初生地すべりとしてジャワ島最大のPangadegen地すべりがみられるが、地すべりの発生は、第四紀初めの山地の隆起にともなうもので、この点も日本と類似している。
- c 日本とは、気候条件の全く異なる熱帯においても、日本と同じような造山帯において、地すべりの発達が見られ、第一義的に地質や構造運動（山地の隆起運動）に支配されていることを示している。
- d ジャワ島において、道路、鉄道、水路等に地すべりによる被害が発生しているが、調査当時、地すべり防止対策は実施されていなかった。また、調査も、地すべり分布の研究が主であった。

#### B 台湾（1984年、1987年）（文献44、76）

台湾島も造山運動の活発な地域で、脊梁山脈の上昇速度は5 cm/年である。

- a 地すべりは、第三紀層分布地域に多く、地すべり地形も日本のそれと類似している。

- b 古期岩類地域では、崖錐が多く分布し、ダム湛水にともなって動いているものがある。また、この崖錐は、日本と同じく、段丘によって新旧に区分できる。
- c 地すべりの被害は各所でみられ、調査・観測・対策工も、農牧省によって行われている。(日本の技術が導入されている。)

#### C 中国 (1987年)

いわゆる安定大陸地域で、主として長江沿いの調査を行った。

- a いわゆる三峡地区の峡谷を除く地域に、地すべりが多数分布している。
- b 古期地すべりは、日本と異なって岩盤すべりによるものが多く、規模も大きい。
- c 現在動いている地すべりは、古期地すべり地内にあり、移動物質のすべりである。
- d 移動物質は、日本と同じく地形から、新旧に区別できる。
- e 現在の地すべり災害としては、一般に小規模で、大規模なものは、崩壊、土石流である。調査では、ダム関連のものが多く、おもに地表踏査で、ダム地点など重要なところでは、横杭調査が行われている。一般にすべり面の深い岩盤すべりという見方が強く、岩石力学的研究が多い。地下水の研究は、ほとんど行われていない。

#### D アメリカ・サンフランシスコ周辺 (1987年) (文献76)

いわゆる安定大陸地域である。

- a 丘陵地には、比較大きな旧地すべり地形が発達している。
- b 災害を起こすものは、斜面上方の凹所にたまった旧移動物質が、降水（主に冬季）によって流下する崩壊、土砂流が多く、規模は小さいが数は多い。
- c 調査としては、州による約2万5千分の1の地すべり分布図の作成、地質調査所による20万分の1のハザードマップの作成、および現地を観測が行われている。対策はほとんど行われていない。

#### E 西ドイツ (1987年) (文献76)

この地域も安定大陸地域で、ライン川沿い、ザール地方の地すべりを視察した。

- a ゆるやかな丘陵地の斜面で、ほぼ同一高度のところに、旧地すべり地が分布している。
- b 最近の地すべりは、すべて、旧地すべり地内で発生し、移動物質のすべりである。
- c 地すべり地の調査は、あまり行われておらず、研究は、粘土、泥岩のせん断破壊に集中している。対策は行われていない。

以上、諸外国における地すべり災害の実態と地すべり研究の動向をみた上で、当研究センターはその立地の点からも、種々のタイプの地すべりが高密度で分布している新潟県に位置しており、地すべりの形態や分類、対策に関する論議を展開する上で、好都合である。