

第25回シンポジウム

地すべりと地形形成

1997. 5. 9

主 催 地 す べ り 学 会 新 潟 支 部
共 催 地 盤 工 学 会 北 陸 支 部
後 援 新 潟 県
新 潟 県 地 質 調 査 業 協 会
地 す べ り 対 策 技 術 協 会 新 潟 支 部

目次	
I 地すべり地と地形形成	1
II 姫川流域の地質と斜面災害	13
III 大所地すべりの対策の経緯と効果について	19
<特別講演>	
IV スロヴァキアの地すべり	31

I 地すべり地と地形形成

—姫川流域の地形を例として—

千葉大理学部 古 谷 尊 彦

1. はじめに

地すべりの発生している地域に調査に入り、最初に目にするのは地表に現れた変位・変形・破壊の状況である。これらの状況を構成するのは地質と植生相で、そのまとまりとして見られるのが地表形態である。そしてその植生相を除いた形態が地すべり地形となる。場合によってはこれが雪や氷に被覆されていたりする。

地すべり災害はこの地すべり地形を形成する地表の変位・変形の過程でおこる。地すべり災害が起こると、よく地質が原因と取りざたされるが、地質は本来地すべり現象を起こした場をつくっていた物質の性質であって、真の原因は地表の形態を変える地すべり現象が原因である。従って、私達が現地に入り、地すべり現象に関する調査を実施する際、まず第一に地すべりの結果として造り出された地形・地質構造・植生等の破壊による変化・変質・変位などの地表に現れた形態変化の情報収集を行うことになる。そしてそれらの情報から、対象とした地すべり地の地すべり現象の性格や全体像の把握が行われ、調査の最終目標である対策工策定のための資料となる地下内部地質の調査や滑動状況調査が行われる。この地表踏査で得られた基礎資料は、さらに地下の地質調査や活動状況調査から得られた資料と対照され、検討され、再び対策工策定のための総合的判断資料とされる。

ここでは、結果的に地表に現れた地すべり現象が、地表に全体像として表現された地すべりによる地形と、地形学上における地すべり現象の重要性について述べてみたい。

2. 地すべり地形を取り扱う地学的視点

ひとくちに地形と言っても、地形は多種多様であり、それらのどの地形を対象にするかによって、取り上げ方も大きく異なってくる。ここで対象としているのは地すべりであるから、地すべり現象を地学的に理解ないし解釈するのに必要な

地形学的事象のいくつかについて述べてみたい。

ところで地すべりとはどのような現象であるのか？ また、その地学的位置づけはどの様になっているのであろうか？ という問題がある。この間に対する答はそれほど簡単ではない。このことは地すべりの定義一つを取ってみても明きらかで、多種多様な考え方があり〈古谷、1996参照〉、地学的学問領域における位置づけについても、地質学では応用の学問領域として取り上げられ、地形学上では山地丘陵地など、起伏地の地形を変化させる基本的侵食営力として取り上げられる。最近の東北地方をはじめ、各地で作成された地すべり分布図（図1）を見れば、一層明白で、わが国の山地の大部分に地すべりが分布し、湿潤温帯地域の基本的侵食営力であることが理解できる。即ち、地すべり現象は地質を背景とした地形学上の基本的課題であり、地質学と地形学とでは、学術的に目指す目的が異なり、視点の違いになる。従って、地すべりの本質を極め、その災害対策を考える為には、地形学的視点は欠かせないものになる。

従来の地質学は地球を構成する地殻物質の性質や主に化石を指標とした地球進化の歴史を明らかにすることに大きな目標があり、地形学は地表の形態とその形態がどのようにして形成されるか、明らかにすることに目標がある。前者は岩石や鉱物を扱う物質科学の側面と、化石を基礎に地球の歴史を考える側面から成り立つ。そして一般的に地殻は固定された動かないもののようにならざるに扱われる傾向がある。一方、後者の地形学は地表の形態がどのようにして形成されていくかが重要な問題である。従って、地形学では、地表形態を構成している物質の動きも思考の基本的枠組みの中に取り入れ、十分な注意が払われてきた。前者と後者の違いはこの動的視点を伴っているかいないかに大きな違いがある。しかし、近年は地球観に大きな変革がもたらされ、地質学も地形学も地球科学の中に包括され、旧来の地質学においても動的扱いをするように変わってきた。

地すべり現象は地表構成物質が塊状となって滑動し、それに伴った塊状の物質の形態や、構成物質の変化、変質が生ずる。この一連の現象は滑動という動きから始まり、時としてこの過程の構成物質の変化に伴い流動化する。そして地層の中に埋没された地すべりの痕跡を除き、地すべりは化石のように死滅したものではないし、動かざること山の如し、と言った固定されたものでもない。たとえ調査の際、動いていなかったとしても、動くもの、動いているものとして扱うべき

で、この視点が基本になる。ところが旧来の地質学では、死滅し地層に封じ込まれた生物としての化石や、その地層の物質としての性質に重きがおかれてきた。その結果、地すべりが動いているものと言うことに関しては、観念的には理解しているけれども、地質学的調査結果にはそれが反映されていることがあまりない。例えば、地すべり地の地層中に、スメクタイト系粘土鉱物が多く含まれているという報告がある。スメクタイト系粘土鉱物は膨潤することが特徴である。多くの報告はここで終わっている。地すべりの動きを封じ込めることを考えるとき、それでは何の役にも立たない。スメクタイト系粘土鉱物がどれだけ含まれ、水と反応してどれだけ膨潤し、どれだけ地層の変位、変形をもたらし、地すべりしたか、何の解答も与えられていないからである。このように視点によって目指した問題の解決の方向が曖昧になってしまうことが多い。まずここに視点の重要性が上げられる。何れにしても、これからの地学的な地すべり調査においては動的視点が不可欠な要件である。

3. 地すべり地形の認定

わが国では、地すべり現象を地すべりと山崩れ（崩壊）とに分けて扱うのが通例である。しかし諸外国では一括してランドスライドとして扱われている。そして、一般に規模の大小を問わなければ、この地形は半円形あるいは馬蹄形の急崖斜面（滑落崖）と、その前面に広がる凹凸や地割れを伴った緩斜面からなると考えられている。しかし、一方では急崖斜面（滑落崖）が三角末端面状や楔状をなしている場合もある、と言う指摘もある。また、地すべりの発生が山地・丘陵地の斜面に限らず、しばしば尾根を切断して発生していることが報告されている。こうして見ると、地すべり地形が半円形の滑落崖とその前面に広がる凹凸を伴った緩斜面からなる、と言う定形化されたイメージではすまされない問題がある。

図2は大八木（1982）が示し、解説した地すべり地形である。多かれ少なかれ地すべり地形は図2に類似したモデルとして描かれている。例えばバーンズ（1958）も同様であり、谷口（1958）の図もバーンズ（1958）の援用と考えられ、ほとんど類似である。これらの図は一般化されたモデルであり、仕方がないことではあるが、地すべり地形の最も特徴的な地形の滑落崖は半円形（馬蹄形に近い？）で描かれており、このイメージが定着している。筆者が描い

た地すべり地形のモデルも上記とほぼ類似である。

これらのモデルは暗黙のうちに、風化した岩層あるいは風化生成物の様な均質な物性を想定して描いているようである。しかし地すべりは均質ないし均質に近い風化岩や風化生成物のみに起こっているわけではない。砂岩・泥岩互層、砂岩・凝灰岩互層、火砕岩・泥岩互層など不均質な、あるいはまったく硬質な破壊の起きそうもない岩層地帯にも地すべりが認められ、それらの滑落面は岩層の境界であったり、岩層内の割れ目系に沿ったものであることがほとんどである。岩層面や割れ目は多くの場合直線的な平面をなし、これを破壊面とした滑落崖は当然直線状の面になる。従って、三角末端面状や楔状などの直線的滑落崖を形成する。

ところで、滑落崖はすべり面の直接反映された地形であり、すべり面は構成物質の性質を反映したもので、すべり面の起源に直接結びつく。すべり面の起源については、高野（1971）の整理したものがある。それによると、

I. 純粋なすべり面

① 重力に基づく破断面

II. 先地すべり不連続面（層）

① 岩層組織に基づくもの（層理、流理、片理、古い不整合面など）

② 旧地表面（新しい不整合面である埋没面）

③ 造構運動に基づくもの（断層、節理など）

④ シーティングおよび未風化基岩の境界など

⑤ 残積土、表土層、風化基岩と未風化基岩の境界など

⑥ 人為的影響（切り取り、盛り土などによる斜面のバランスの破壊、盛り土による新しい埋没面の形成など）

が挙げられている。

I のすべり面はおそらく均質な物質またはそれに近い物質中に生じ、円形に近い破壊面（すべり面）を形成すると考えられる。これは前述した地すべり地形のモデルを背景として、地形計測をした値が土質と深い関係にある（Crozier, 1973）ことと関係がある。従って、このタイプのすべり面を起源とする地すべりは、地すべり地形計測によって、地すべりの型をはじめ、かなりの現象が説明可能であると考えられる。

一方、II のすべり面を起源とする地すべりについては、地すべり滑動が地質構

造に直接依存しているため、地形計測による地すべりの形状や深さの判定や、土質工学的なすべり運動の解釈は今のところ困難であるとかんがえる。このすべり面を起源とする地すべりの解釈は、まず地質構造との関係を明らかにしてからになる。通常、地すべり防止工事を実施する際、斜面の安定計算が行われるのが常である。そしてこの安定計算は平面形のすべり面やくさび形のすべり面を想定して計算している例はまず希である。地質構成が地すべりに大きく関係していると考えられているにも関わらず、現状は何の解決も与えられていない。今後の大きな課題となっている。

4. 地すべり地の広域的な扱い

山地・丘陵地の地形形成過程で、一般に構成物質の性質が反映していることが知られている。岩石制約の考えである。地形研究上、この分野は組織地形と呼ばれ、ケスタ・ホッグバック・層崖地形・ダイクリッチ・カテナ地形などがよく知られている。そして、これらの地形の形成は構成層の侵食に対する抵抗性の差違に依存していると考えられている。一方、地すべりは湿潤温帯地域の基本的侵食営力であるから、上記の地形を含む山地・丘陵地を構成している物質（地質構造）と地すべりの関係がどうなっているかを知ることが、大変重要である。これは広域的地すべり調査の対象となる重要な事項である。

従来の調査結果では、地質的には第三紀層の泥岩、火山活動等熱水による変質地帯、地殻歪の集中した破碎帯が上げられている（中村, 1934; 小出, 1955、ほか）。さらに地形との関わりでは、山地・丘陵地のある一定高度に地すべり地形が集中していること（中村, 1956、など）、ケスタやホッグバックの地形（黒田, 1964; 中村, 1956、など）、キャップロックによって形成された地形（中村, 1974）などが判明している。これらの地形と地すべりが関係する場合、一定高度に地すべりが集中する問題とその他の地形との関わりでは若干性格が異なる。前者は直接本来の地質構成と関係しているのではなく、山地・丘陵地の地形の発達過程で、長期にわたる地殻変動の安定期に起伏量が減少または停止し、侵食力が低下したことによって、風化作用が相対的に卓越し、それによる風化生成物の集積と現在までその残存が続いてきた地域である（須貝, 1993）。これはいわゆる侵食面、準平原と呼ばれる地形現象に関係している。また、

風化は気候変化と深い関係があるので、過去の気候の影響も受けている。須貝（1993）は高山地域の緩斜面や山頂平坦面が、寒冷期に生成された機械的な風化生成物によって被覆され、その堆積物が残存していると指摘している。

このような風化生成物は、侵食され易い物質が準備されていると言うことで重要であり、地形現象としての侵食面・準平原は、地殻変動の再開による増起伏による侵食の復活によって、周辺から活発な侵食が進行する。この際、増起伏量に即応して急激な侵食が進行するため、地形的不整合（Thornbury, 1960）〈傾斜変換部〉を生じ、侵食前線（羽田野、1974）を形成する。このようなことを背景に、地形的な広域的調査は、侵食面・準平原の遺物と地形的不整合の抽出にある。この抽出方法に仮想の平面を想定する接峰面図がある（後述）。このような風化生成物と地すべりとの広域的な関わりについては、どうしても地形学的手法に頼らざるを得ない部分である。

一方、ケスタ、ホッグバックあるいは層崖地形の特殊な形態としてのキャップロックの地形などに関しては、これらの地形の知識を必要とすると同時に、この地形に反映している地質構造の十分な理解が必要となる。この種の問題では、地形が侵食によって形づくられた結果であるので、侵食された構成物質の分布様式（地質構造）が問題となる。それはケスタ・層崖地形など、上記の地形が地質構造そのものを反映した地形であるという理由による。そして地質現象が地形に反映する際、地すべりがどのように関わっているかが問題となる。従って、この調査の基本は地形の正確な把握と地質図作成のための地質調査にある。地形の把握は、地形学の知識があれば、地形図や空中写真である程度の把握が可能である。問題となるのは、地すべり地帯で、地すべり堆積物で被覆され、あるいは岩体の変位した地層をどう識別し、地質図を作成するかに関わる。地すべり堆積物で被覆され、露頭の不足した地帯で、現地踏査により、いかに正確に地質図を作るかは至難の技である。その際には、地すべり堆積物の分布や地すべりによる岩体の変位が地形として残されているから、地すべり地形判読によって識別することになる。地形学の知識の援用の必要と言うことになる。また、地すべり滑動は、基本的には谷底や沖積低地面など局地的侵食基準面に対応しているから、山地・丘陵地の骨格となっている地質・地質構造の調査は谷底を中心とした、即ち沢歩きによる地質調査が原則となる。しかし、それでも地すべりは川越え現象で知ら

れるように、谷底で確認した地層でも、変位した地すべり土塊・岩体である可能性があり、地すべり地形の理解は欠くことの出来ない要注意事項である。

5. 北部フォッサマグナ地域姫川中流域の地すべり地形

北部フォッサマグナ地域の西の境界付近に位置する姫川中流域の地すべりは、西日本と東日本を分断する大規模な地質構造に支配され、その形成も複雑なものになっている。図3は2万分の1航空写真を使用して、姫川中流域姫川温泉付近の本川と、支川の大所川の一部を含む地域の山地地形の分類図である。図3で明かなことは、地すべり地形の骨格になる滑落崖の多くが半円形でなく、くさび状ないし直線状を示す。その顕著な例は、真那坂山の西の姫川に直接する斜面の地すべり地形である。ここでは真那坂山から西に延びる尾根をくさび状に切断して、滑落崖を形成し、滑落した岩盤は破碎され、対岸に段丘面状の平坦面を形成して堆積している。恐らく発生当時姫川を堰止し、天然ダムを形成し、後に決壊して下流に大洪水をもたらしたと推測される。実際に、この崩壊堆積物と接続して、下流に厚い土石流性の堆積物があり、扇形に広がったと思われるその断片が、小規模な段丘として分布している。崩壊堆積物の上流側では、蒲原沢と姫川との合流点左岸に段丘があって、この面を構成する砂礫層からなる堆積物の構造が、底置層・前置層・頂置層を有する堆積構造を示し、この堆積物が蒲原沢から供給され、静水中に堆積した堆積物であることは明かである。当時、姫川は満々と水をたたえた堰止湖が出現していたと考えられる。また、静水中の堆積物の西側山よりの基底付近に崩壊堆積物があって、この中より得られた木材の ^{14}C 年代は、小嶋ほか(1996)によると、 $510 \pm 90 \text{ }^{14}\text{C y.B.P.}$ であるという。

真那坂山のこの岩盤すべりに隣接して上流側に、上部を切断され、滑落面となっている尾根があって、これと上流側で接している崩壊堆積物がある。図3中に示した地点番号の位置周辺がその堆積物で、ここでも崩壊堆積物中に木材が含まれている。この堆積物は、規模は真那坂山の例より大きくないが、それでも姫川を堰止めた痕跡がある。堆積物そのものは兩岸にあって、左岸側では崩壊堆積物が下位にあって、上位に円磨された砂礫からなる段丘堆積物が覆っている。この堆積物中で得られた ^{14}C 年代は、 $900 \pm 100 \text{ }^{14}\text{C y.B.P.}$ (NU-869、日本大学年代測定室、測定者小元久仁夫)、段丘堆積物の下底付近の試料の ^{14}C

年代は、 $1,110 \pm 9014$ C y.B.P. (NU-868、日本大学年代測定室、測定者小元久仁夫)であった。この結果から見ると、真那板山の西斜面およびこの上流側の岩盤内からのすべりは、何れも歴史時代の出来事だったと考えられる。

硬質岩からなるこの地域の上記岩盤すべりの原因は、恐らく地震であろうと考えられる。そこで参考として、宇佐美(1994)がまとめた「わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図」から、姫川流域に関係有りそうな地震についてリストアップして表1を作成した。その中から14C年代で示された年代に近い地震を取り上げて見ると、841年(承和8年)信濃の地震のみで、強いて上げれば、かなり年代がずれるが、863年7月10日(貞観5年6月17日)越中・越後の地震である。

何れにしても、この地域の地すべりはいわゆる半円形を示す滑落崖、その前面に広がるハンモック状の凹凸ある緩斜面など、一般に言われる地すべり地形を示す例は少ない傾向にある。そして堆積物からは、明らかに岩盤を起源とし、しかも歴史時代といった比較的新しい時代に発生した地すべりの可能性が高い。それにも関わらず、極めて研究例の少ない地域になっている。恐らく前記の様に典型的な地すべり地形を示さないが故のことであろう。

6. おわりに

地すべりの知識も日進月歩である。それらの中から、地すべり地形の基本となるいくつかの事項を取り上げて、解説を試みた。ともすると地すべり学は応用の学問とのみ考えられがちである。解説したように、地球科学の一分科としての地形学的観点に立てば、純粋に学術的である。それらの意味を理解し、理学的思考の上に立った調査・研究、地すべり対策の立案も欠かせない事項である。この分野の多くの研鑽が望まれる点である。

参考文献

- 1) Crozier, E.M.J. (1973): Techniques for the morphometric analysis of landslides. *Zeitish. Geomorph.*, Vol. 17, No. 1, pp. 78-101.
- 2) 古谷尊彦 (1980) : 地すべり地形—特に単位地すべり地形の取り方に

ついて一．西村先生退官記念地理学論文集，pp.165-169．

- 3) 古谷尊彦(1966):ランドスライダー地すべり災害の諸相一,古今書院,
213頁
- 4) 黒田和男(1964):能登半島基部地すべり地帯の地形発達について.地す
べり,Vol.1,No.2,pp.9-18.
- 5) 小出 博(1955):日本の地すべり,東洋経済新報社,257頁.
- 6) 中村慶三郎(1934)山崩,岩波書店,254頁.
- 7) 中村三郎(1956):長野県犀川・土尻川流域の山崩れ、地すべりにつ
いて 一地質地形とその特徴一, 東北地理, Vol.9,pp.53-59.
- 8) Oyagi, N.(1977):Disaster of Landslides and their Related Phenomena,
J.I.C.A., Textbook,pp.159-177.
- 9) 大八木規夫(1979):斜面崩壊及び地盤災害の研究.「1978年伊豆大
島近海地震」に関する特別研究、科学技術庁研究調整局, pp.70-95.
- 10) 大八木規夫(1982):地すべりの構造, Urban Kubota, No.20,pp.42-46.
- 11) 大八木規夫・ほか2名(1982):東北地方の地すべりと地質,地すべり,
Vol.18,No.4,pp.34-38.
- 12) Sharpe, C.F.S.(1938):Landslides and related phenomena, A study of
massmovements of soil and rock. Pagaent Books Inc., 137p.
- 13) 須貝俊彦(1993):木曽山脈・美濃三河高原北部における山頂小起伏面
の起源, 東京大学教養学部人文科学紀要,
- 14) 高野秀夫(1971):続地すべりと防止法.地球出版,135頁.
- 15) 谷口敏雄(1968):地すべり調査と対策.山海堂,230頁.
- 16) Thornbury,W.D.(1960):Principle of Geomorphology, John wily & Sons
Inc.,518p.
- 17) 宇佐美龍夫(1994):わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図.(社)
日本電気協会,647頁.
- 18) Varnes, D.J.(1958):Landslides types and processes. Landslides and
Engineering practice, H.R.B., Spec. Rep., N o.29, pp.20-47.

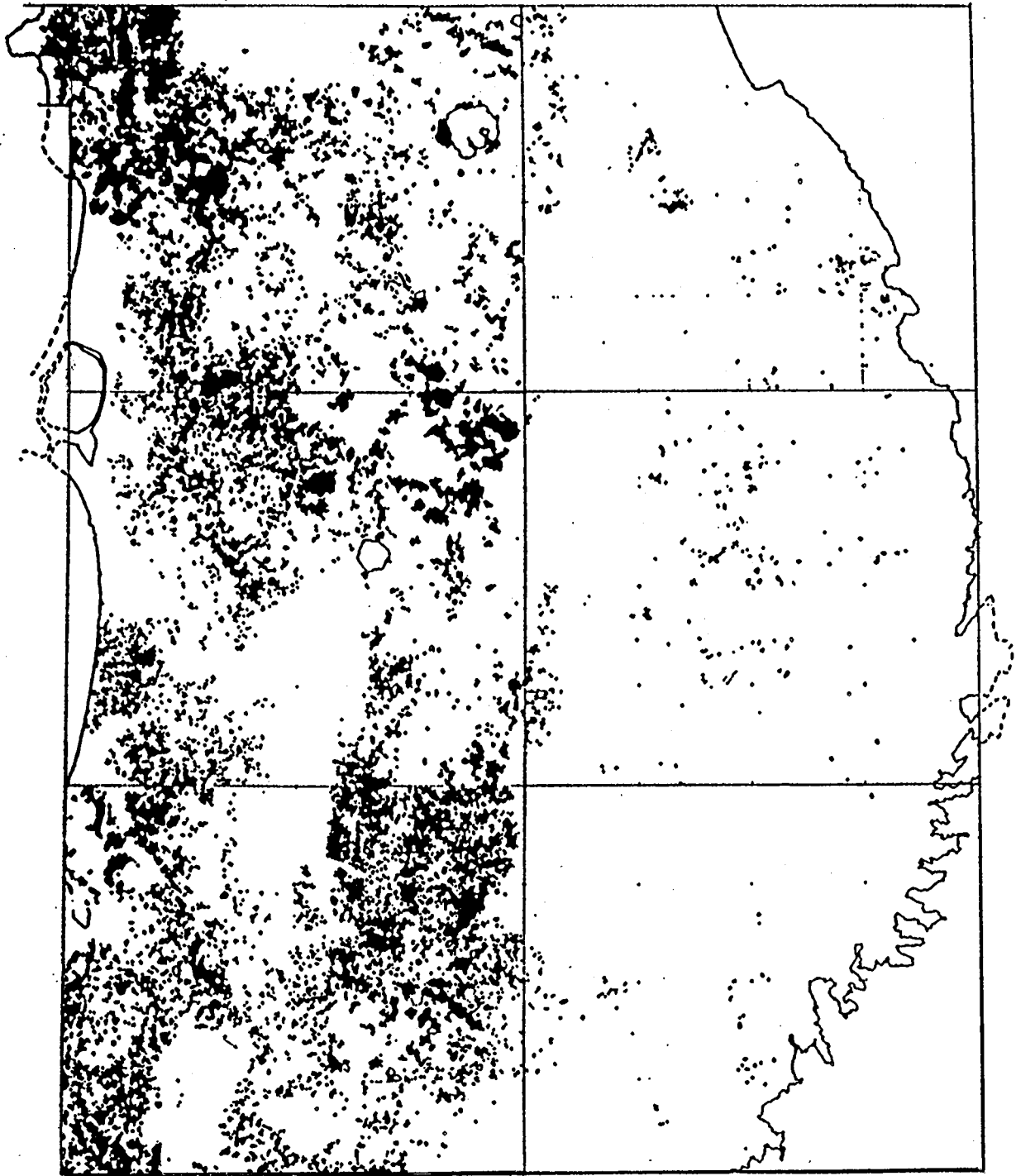


図1 東北地方の地すべり地形分布図（清水ほか，1988）

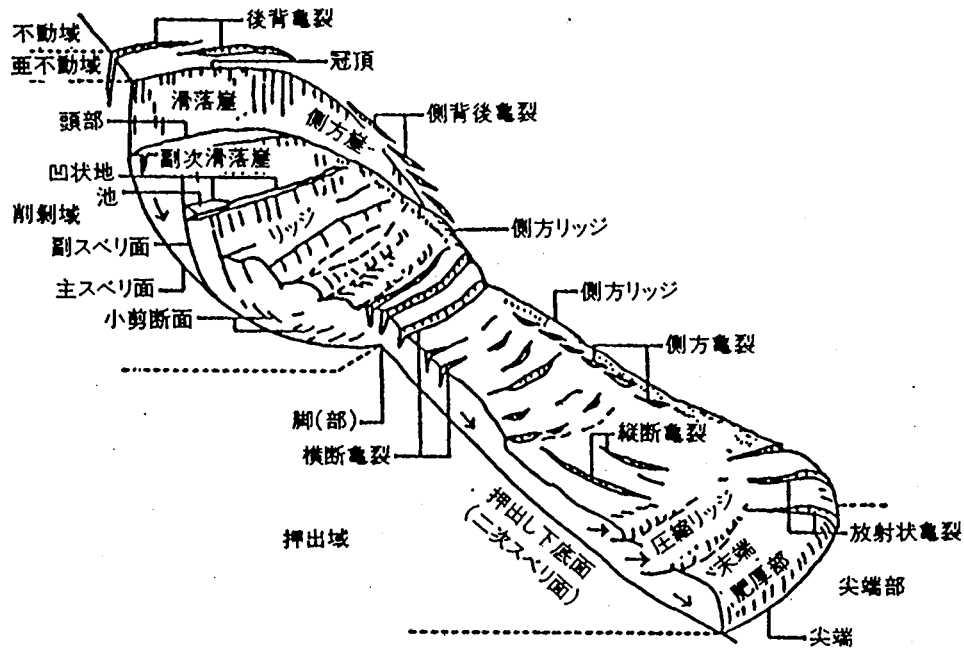


図 2 地すべりによる変形構造の模式図 (大八木, 1982 による)



図 3. 姫川中流姫川温泉付近の地形学図

イ：滑落崖、ロ：リニアメント、ハ：崖錐堆積物、ニ：河系、ホ：山ひだ
1, 2...：試料採取位置.

表1 姫川流域に関係ありそうな歴史地震（宇佐美，1994より作成）

西暦 年 月 日	年号	地震名
782. 6. 9	天平宝字6年5月9日	美濃・飛驒・信濃の地震
841.	承和8年	信濃の地震
863. 7. 10	貞観5年6月17日	越中・越後の地震
1502. 1. 28	文亀元年12月10日	越後南西部の地震
1517. 7. 18	永正14年6月20日	越後の地震
1614. 11. 26	慶長19年10月25日	越後高田の地震
1627. 10. 22	寛永13年11月6日	越後中魚沼郡の地震
1666. 2. 1	寛文8年5月5日	越中の地震
1670. 6. 22	寛文10年5月5日	越後の地震
1714. 4. 28	正徳4年3月15日	信濃小谷村の地震
1725. 8. 14	享保10年7月7日	伊那・高遠・諏訪の地震
1729. 8. 1	享保14年7月7日	能登・佐渡の地震
1738. 1. 3	元文2年閏11月13日	中魚沼郡の地震
1751. 5. 21	宝暦元年4月26日	越後・越中の地震
1762. 3. 29	宝暦12年3月4日	越後の地震
1762. 10. 31	宝暦12年9月15日	佐渡の地震
1826. 8. 28	文政9年7月25日	飛驒大野郡の地震
1828. 12. 18	文政11年11月12日	越後の地震
1841. 12. 9	天保12年10月27日	信濃の地震
1847. 2. 15	弘化4年1月1日	越後高田の地震
1847. 5. 8	弘化4年3月24日	善光寺地震
1847. 5. 13	弘化4年3月29日	越後頸城郡の地震
1848. 4. 1	嘉永元年2月28日	長野の地震
1853. 1. 26	嘉永5年12月17日	信濃北部の地震
1858. 4. 23	安政5年3月10日	信濃大町の地震
1858. 5. 17	安政5年4月5日	信濃諏訪の地震

Ⅱ 姫川流域の地質と斜面災害

白 石 秀 一（株式会社日さく長野支店）

1 はじめに

姫川流域は西南日本とフォッサマグナの境界にあたり、地質が複雑なことに加え地形が急峻なため、いたるところで斜面災害が発生している。

今回の蒲原沢土石流の前には、1995年7月の梅雨前線豪雨により各所で崩壊・地すべりが発生し多大な被害が発生した。そのほか、浦川流域の土石流、流域各所（主として第三紀層分布地域）で発生している地すべりなど、斜面災害の宝庫といってもよい。

ここでは土石流災害が発生した蒲原沢周辺の地質について述べるとともに、姫川流域の斜面災害の概要についても若干報告する。

2 姫川流域の地質

姫川溪谷は糸魚川・静岡構造線が通っていることで知られている。しかし、糸魚川・静岡構造線が姫川溪谷のなかにある部分はごく一部である。新潟県の根知より北では姫川の西に、根知から南では長野県の北小谷まで姫川の東側を糸魚川・静岡構造線が通っている。北小谷の深原から石坂にかけてのあいだで姫川を横切り、それより南では姫川の東側を白馬方面にのびていく。いずれにしてもこの地域が西南日本とフォッサマグナの境界にあたっていることにはちがいが無い。糸魚川・静岡構造線の西側には飛騨外縁構造帯・中国帯北帯に属する岩石が分布する。

今回の災害が発生した蒲原沢周辺は糸魚川・静岡構造線が姫川の東側を通り、姫川とその左岸には飛騨外縁構造帯の地層が分布している。飛騨外縁構造帯に属する岩石は、青海・蓮華結晶片岩、青海石灰岩、ジュラ系来馬層群、白亜系赤禿山砂岩層など多種多様なものであるがその中でも重要な構成岩石であるのは蛇紋岩である。青海・蓮華結晶片岩・青海石灰岩等の古生層が蛇紋岩とともに蛇紋岩メランジェを構成している。蛇紋岩メランジェは西から東に向けて衝上しているため各地層はNNW-SSE方向ののびを示す帯状に分布している。来馬層群は蛇紋岩メランジェを基盤として堆積しているが、NNW-SSE方向の断層で断たれている。

この地域のなかで姫川左岸支流の中谷川流域および南小谷より南の姫川沿いは第三紀泥岩層の分布域となっているため、地すべりが多く発生している。地すべり防止区域も地域には多い。姫川溪谷の兩岸の斜面には巨大な崩壊跡がいくつかみとめられる。その代表例が、立山の西麓・北小谷の阿原・湯原の対岸・白馬温泉の対岸などにみとめられる。また、蒲原沢左支流の上流にも地すべり地形がある。

そのほかの斜面災害としては、有名な稗田山（浦川）大崩壊（1739・1841・1911）がある。また、風吹岳の山頂部には山体崩壊の形跡がみとめられる。

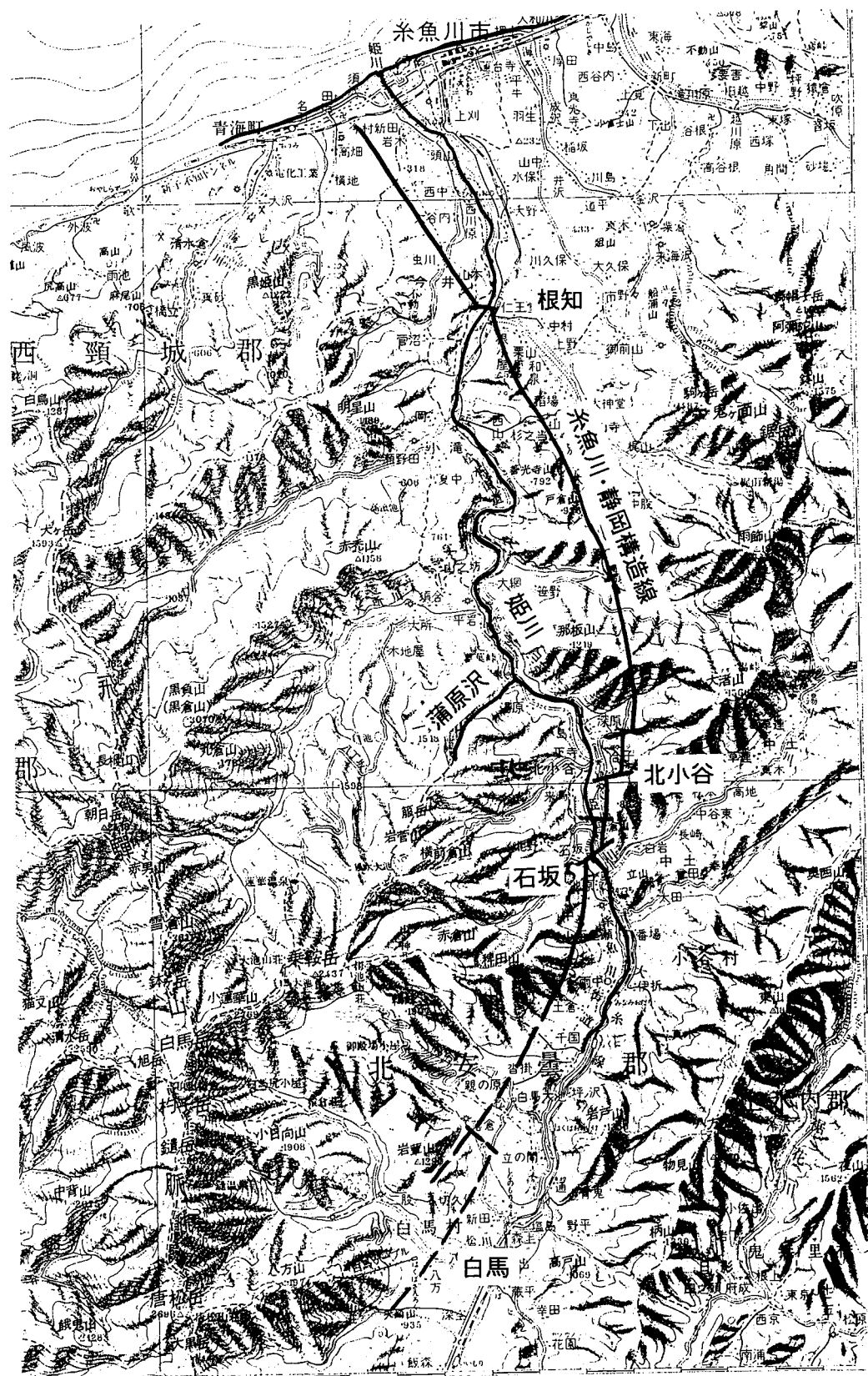


図.1 姫川流域の糸魚川・静岡構造線

3 蒲原沢流域の地質

すでに述べたように蒲原沢流域には”古生層”・蛇紋岩・来馬層群・風吹火山噴出物及びそれらの崖錐堆積物が分布している。

”古生層”は最初の屈曲部より下流側に分布している。この部分の”古生層”は、下部（国界橋より下流側）の暗灰色の塊状砂岩層と上部（国界橋より上流側）の層状頁岩層に区分される。いずれの地層も硬質であるため浸食にたえ深いゴルジュを形成している。地層の走行はほぼ東西（N70～80°W）で、南に60°傾斜している。

蛇紋岩は最初の屈曲部から左支流の合流点の上流250mあたりにまで分布している。”古生層”との境界はN76°W 60°Sの面で接し、境界面には石英脈が形成されている。境界付近は珪化をうけている。蛇紋岩は硬質の礫状部を葉片状部がとりかこんでいる。場所によってはかなりの粘土化を受けている部分もある。蛇紋岩体には珪化した灰色砂岩・緑色片岩・黒色片岩の巨大な岩塊がとりこまれている。蛇紋岩分布域にはイオウ臭のする箇所があり、鉱泉も確認された。

来馬層群は2本目の左支流合流点より上流に分布している。蛇紋岩との境界は直接に観察することはできないが、低角度の境界で接しているものと推定される（おそらく断層で、不整合ではない）。流域の来馬層群は最も下位の蒲原沢層に相当し、比較的厚い砂岩層と砂岩頁岩の互層がくり返して分布している。砂岩層の厚さは3～5mの場合が多く、たての節理がよく発達する。頁岩層は厚さ1mを越えることはすくない。頁岩層中にスリップ面が形成されている場合も多い。また、しばしば炭質となることがある。地層の走行はN50～60°Eで、南に50°傾斜している。

風吹火山噴出物は溪床には分布していない。兩岸の尾根頂部にのみ来馬層群をおおって分布するものとおもわれる。岩質・層厚などの詳細は不明である。火砕流堆積物・泥流堆積物が中心になっているものと思われる。

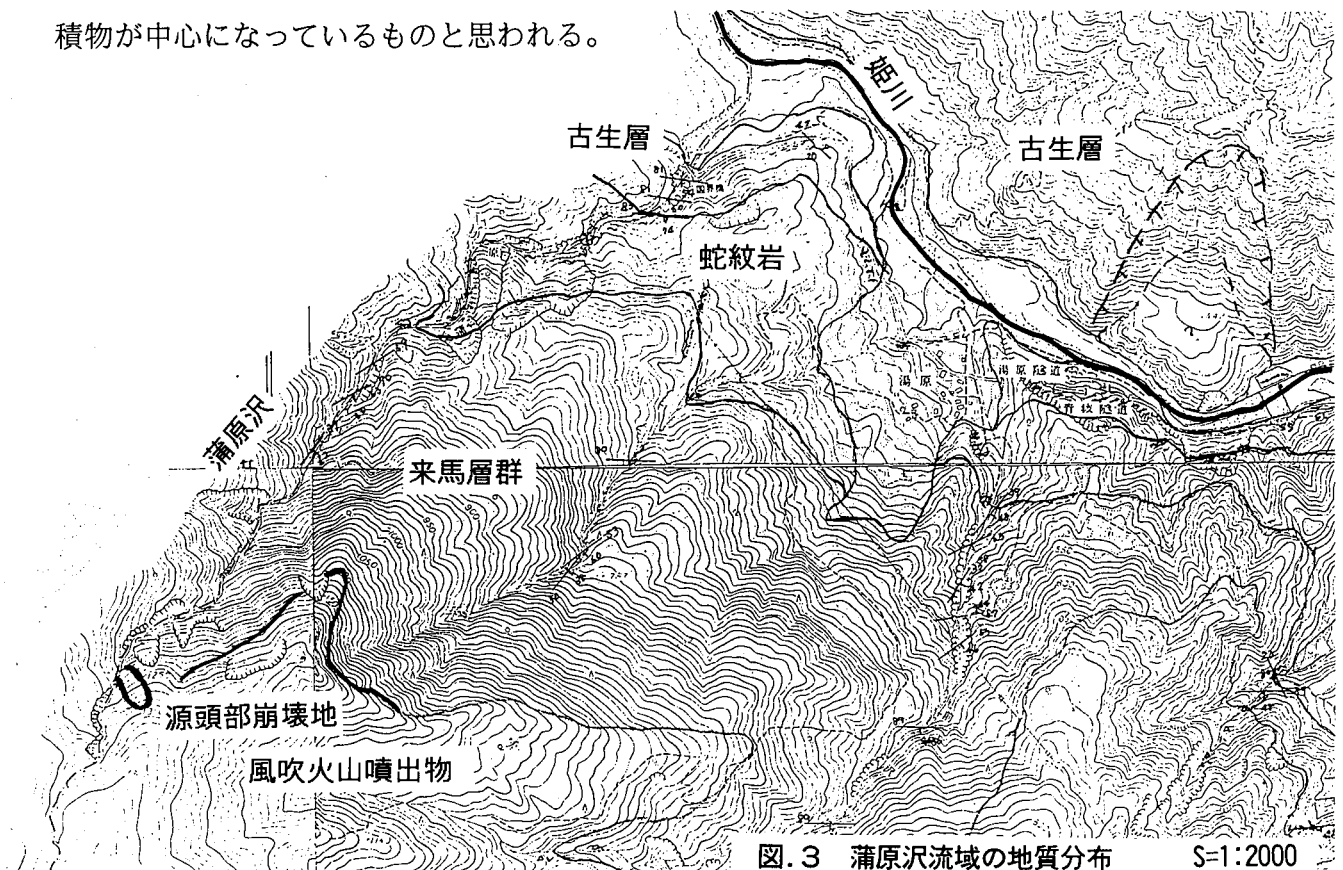


図. 3 蒲原沢流域の地質分布 S=1:2000

4 1995年7月の豪雨災害

1995年7月11～12日にかけて長野県北部をおそった集中豪雨では、小谷温泉で357mm/24h、南小谷では362mm/24hの降雨があった。このため姫川流域では無数の土砂崩れが発生した。

姫川・中谷川ぞいの崩壊発生箇所を直後に撮影した航空写真から読みとり地形図にプロットしたものを図に示す。これをみると両岸のいたところで崩壊が発生したことがわかる。特に崖錐堆積物が分布している急斜面での発生している例が多い。崩壊のタイプは以下のタイプに区分できるようである。

A 平滑な山腹斜面で発生しているもの

樹木のない平滑な山腹斜面が表流水により線状に浸食されそれが崩壊に拡大

B 溪流谷頭部で発生しているもの

溪流の谷頭部が流水の浸食をうけ崩壊に発展

C 急斜面の地すべりの崩壊

急斜面に堆積していた崖錐堆積物・風化岩盤などがスランプ的な崩壊をおこしたもの

D 河川沿いの崩壊

河川沿いの堆積物が流水の増加により浸食され、崩壊をおこしたもの、姫川沿いでは大規模地すべりの堆積土が崩壊をおこしている。

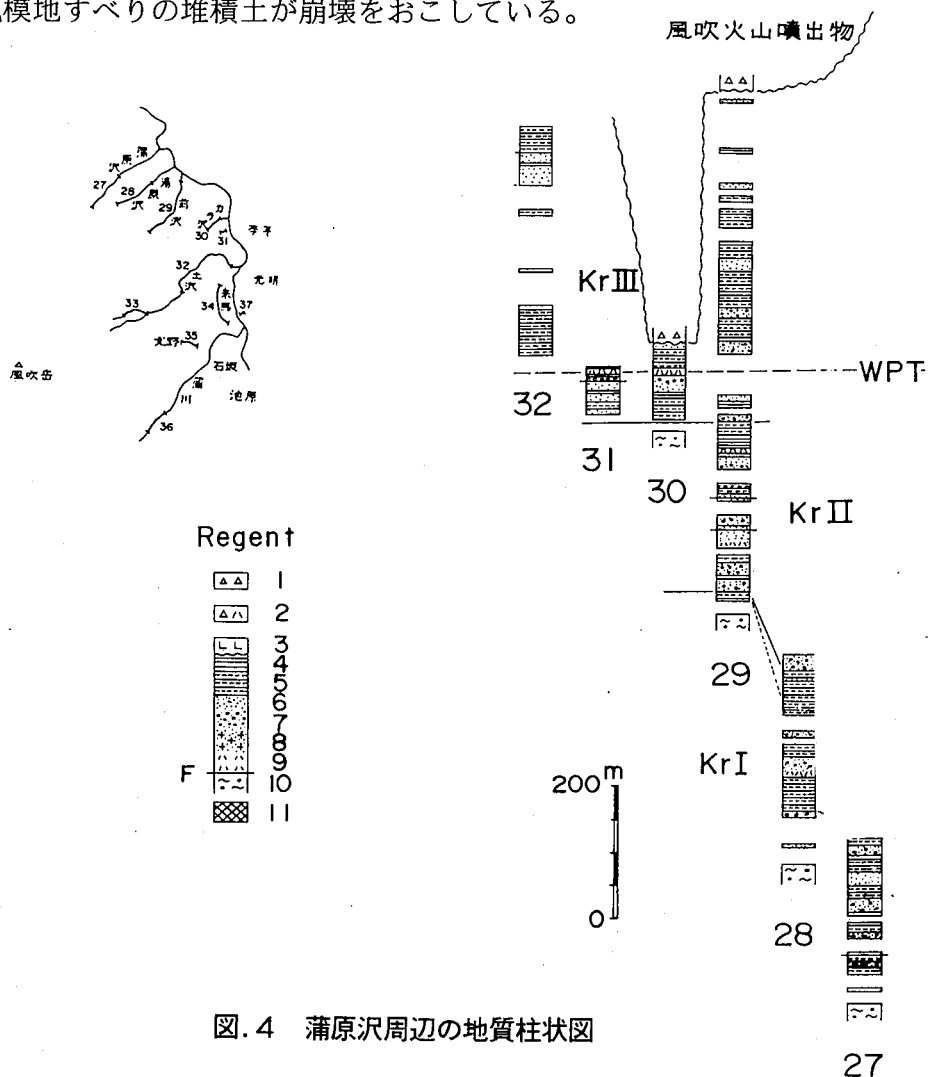




図.5 1995年7月の災害発生箇所 S=1:50000

Ⅲ 大所地すべりの対策の経緯と効果について

新潟県糸魚川土木事務所 生 田 理 弘

1. はじめに

大規模地すべりや大規模崩壊は、ひとたび発生すると、流域の広範囲に、また長期にわたり、甚大な被害が発生する。

効果対費用の便益の面からは、大規模な変動に至らない初期の段階で対策に着手するのが最も望ましい。

大所地すべりの下流、姫川本流には、国道、鉄道、多くの集落や発電施設などの重要な保全対象がある。

大所地すべりは平成6年融雪期に活発化したために、同年の災害関連緊急地すべり対策事業（以下災関事業と呼ぶ）に採択された。

この間、複雑な発生機構を有する地すべりのため、学識経験者を加えた地すべり技術検討会が数回にわたって開かれた。

この基本方針に従って災関事業の計画は排水トンネル工を主とする排水工法に決定した。

施工の途中、平成7年7月11日の上越、北信地方を襲った集中豪雨⁽¹⁾によって、約2.5ヶ月にわたって工事が中断したが、平成8年3月末をもって災関事業は完了した。

災関事業では、小規模な二次すべりも対象となったが、ここでは深い地すべりブロック（0-1、0-2）について調査対策の経緯と、工事効果を述べる。

2. 大所地すべりの概要

2-1. 位置

大所地すべりは、新潟県糸魚川市と長野県の県境付近に位置し、飛騨山脈の東麓部にあたる。

この地すべりは、一級河川姫川左支流の大所川河口付近の右岸斜面に分布する。

付近には、多くの地すべりや崩壊地があり、小滝地すべりや、稗田山崩壊等の巨大なものが散在する。⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

2-2. 地形

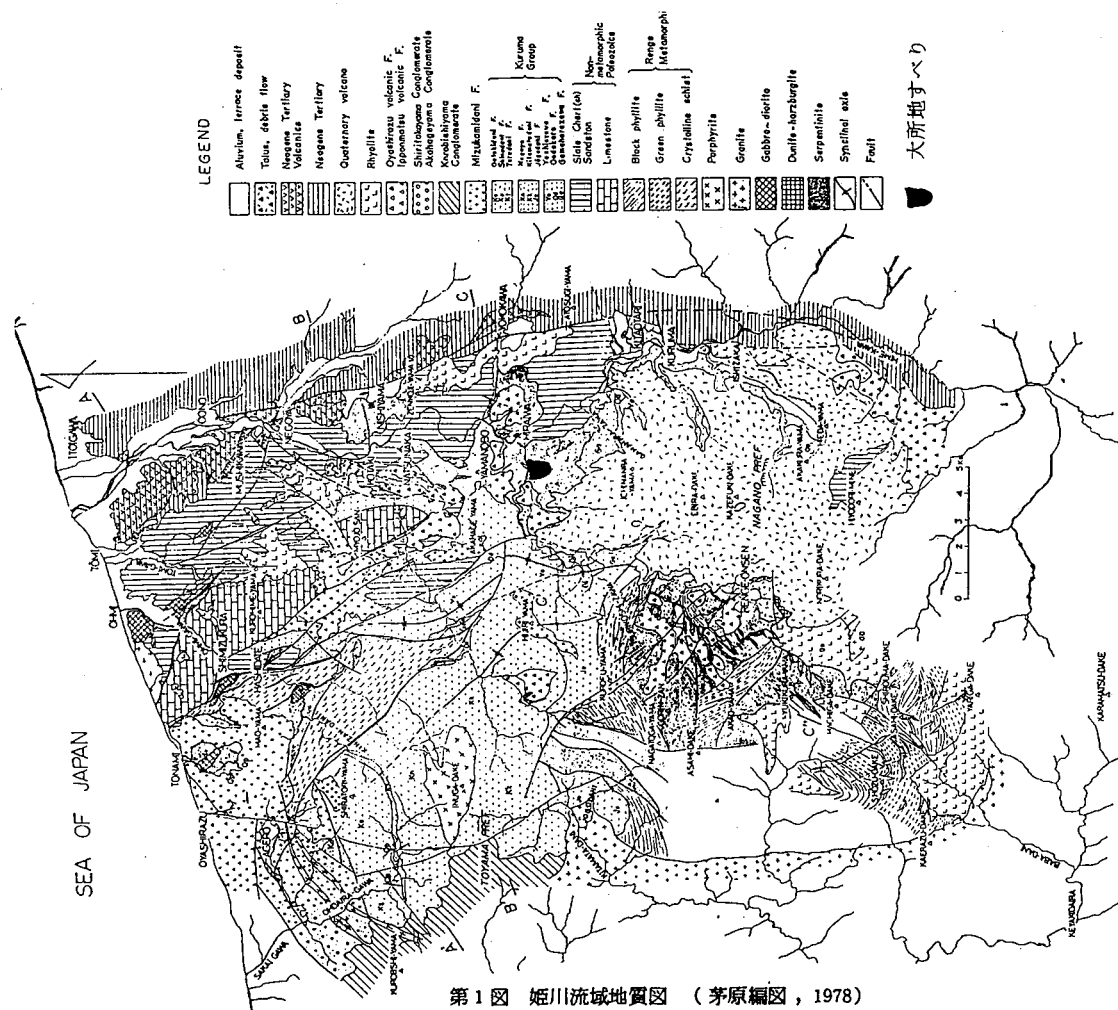
大所川流域は基盤隆起量が大きく、大所川源流部には、飛騨山脈の後立山連峰に属する標高2800m～2500mの小蓮華山や乗鞍岳がある。大所川はV字谷を呈するが、山腹には第四紀の火砕流堆積面や旧期の浸食平坦面からなる山腹緩斜面が分布し、複雑な地形を呈する。

2-3. 地質

大所地すべりは、フォッサマグナ西縁を通る糸魚川－静岡構造線の西側に位置し、地質構造的には飛騨外縁帯の青海蓮華帯に属する。

この構造帯は、中、古生層からなる構造岩塊を多量に伴う蛇紋岩メランジ帯を構成する。⁽⁵⁾（図2-1）

大所地すべりは姫川メランジに位置し、基盤は蛇紋岩で、移動塊は蛇紋岩と構造岩塊として取り込まれた中生代来馬層群の砂泥岩及びこれらの崖錐からなる。



2-4. 地すべりの概要

大所地すべりは、三つの大きな地すべりブロックからなるが、対策工の対象としたブロックは通称、天池と呼ばれる平坦地を頭部とする地すべりである。⁽⁸⁾

この地すべりは、長さ1km、巾0.4~0.8km、面積60ha、すべり面の平均傾斜約12°、移動動塊量は約 $4 \times 10^7 \text{ m}^3$ の規模である。(図2-2)

2-5. 大所地すべりの経緯

①長期にわたって地すべり活動は続いていたと考えられるが、古い記録や伝承はない。

②大所地すべりブロックの大所川上流端に、電気化学工業(株)の大所川発電所木地屋川サイホン管(通称、水管橋)があり、これの1968年10月以降の修理記録がある。

この記録によると、地すべりによる圧縮を受け、鉄管の切り詰めが行われていたが、その量は平均で140mm/年であった。尚この水管橋は、平成7年7月11日豪雨の際に流出した。

③昭和42年(1967)5月4日に起きた「赤禿山(1158.0m)の大崩壊」は、大所川を堰止めて、一時的な堰止め湖を形成した。

この自然ダムが昭和44(1967)年8月12日に決壊したため、鉄砲水により大所地すべり末端にあたる大所川右岸谷壁が削り取られ、市道が流出した。

その後、現在の県道入の平・白馬線が設けられた。

④大所地すべりから下流では建設省直轄の砂防ダムにより、河床安定が計られているが、地すべり活動は継続しており、地すべりブロック内の新設の県道入の平・白馬線は、路面、擁壁に亀裂が数多く発生している。また、ブロック内全域にわたり多くの開口亀裂段差、陥没地形が分布している。平成6年の融雪時に路面や擁壁の亀裂が拡大した。

⑤平成6年度から災関事業が開始されたが、平成7年(1995)7月11日上越、北信地方を襲った集中豪雨により、姫川流域では大規模な土石流が頻発し、激甚な被害が発生した。

大所地すべりでも、末端溪岸部が崩壊し、県道などに大きな亀裂が発生し、また、施工中の水路工排水トンネル坑外施設に大きな被害が発生した。

⑥災関事業は平成8年3月末に完了した。

3. 地すべり調査の方法及び結果

3-1. 調査計画の基本方針

①最短の期間で調査を行うこと。

②主測線の地質断面図を作成し、安定計算を行うこと。

③排水トンネルなど対策工の設計が可能な資料収集を行うこと。

④観測を設計、施工と併行して行い、すべり面の確定など、調査精度の向上を計り、施工管理面に反映させること。

⑤すべり面の確定にあたっては、精度の向上を期するため構造の異なる2種以上の計器を併設すること。⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾
等である。

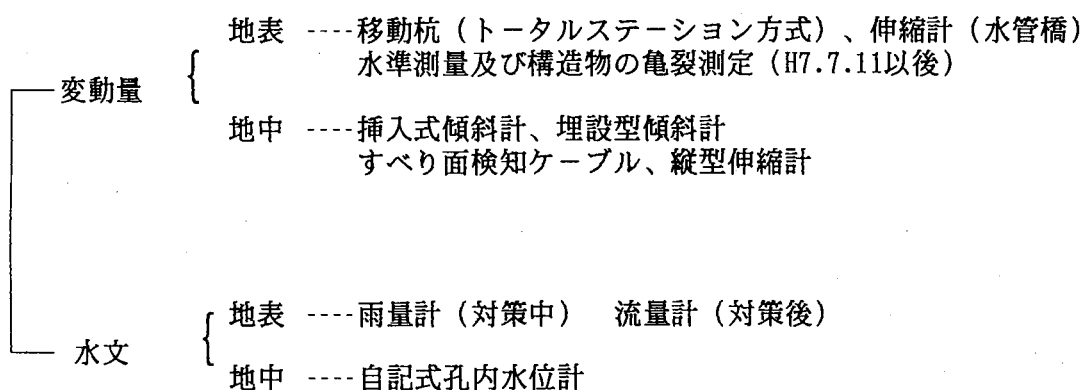
3-2. 調査ボーリングの工法

予想すべり面が100mに達し、地質は径20m以上の巨礫を含む「巨礫混じり砂礫～粘土状」を呈し、礫は一軸圧縮強度で1900～2700kgf/cm²であり、ボーリングでは、最も掘削の難しい地質であった。さらに工期の短縮を計らねばならないことから

- ①コアの採取はすべり面付近など必要最低限にし、他の区間はノンコアボーリングとした。⁽⁷⁾
- ②すべり面下までケーシングの挿入が可能な工法を用いるとの考えで、ウェルマン工法及びワイヤライン工法併用のロングフィード工法を主として用いた。

3-3. 観測工

観測工の機械は下記の通りである。



地中変動量の調査にあたっては1孔に2種以上の計測器を設置した。又、これらの設置の際の充填材は、モルタルが望ましいが、漏水部や帯水層があったため、玉砂利を用いた。又、水位計を併設した。

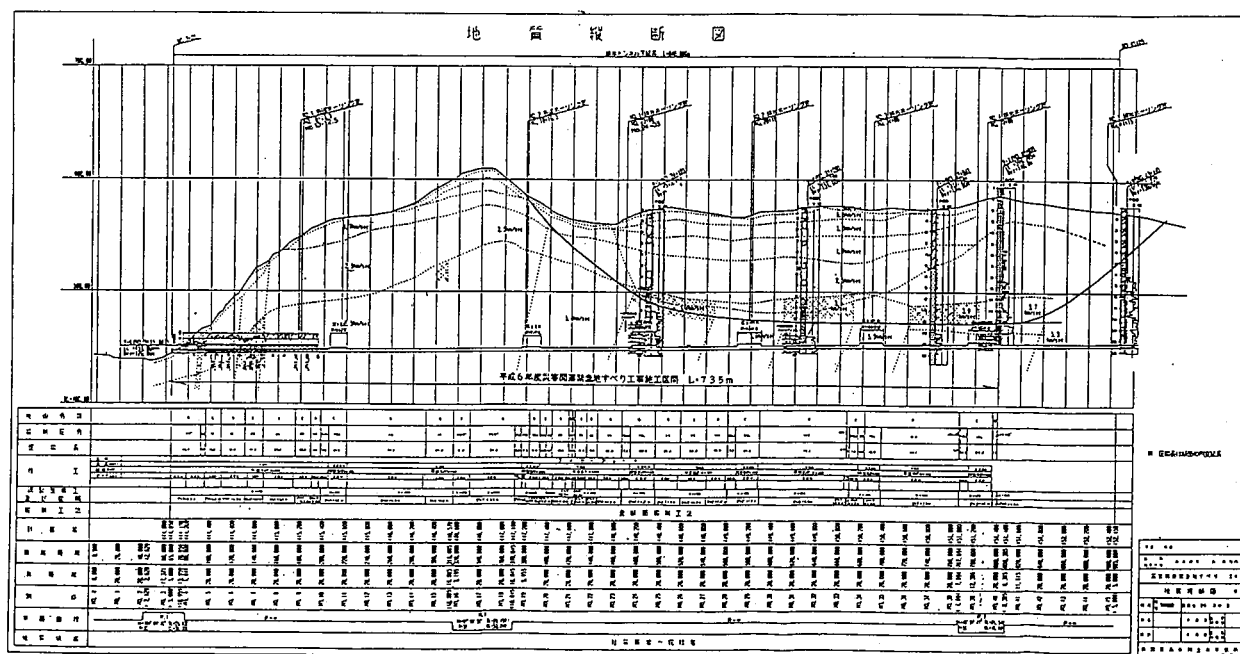


図3-1. 排水トンネル縦断地質図

3-4. 調査結果

調査ボーリング及び観測結果より、主測線及びトンネル縦断図を作成した。(図3-1)(図4-2)

地すべりは天池を頭部とする0-1すべりと天池の下流側斜面に形成されている滑落崖を頭部とする0-2すべりからなる。移動塊は地すべり頭部で破碎岩の形態を呈するが、末端部では崖錐状となる。

0-1～0-2すべり頭部に大量の地下水が賦存していることが判明した。

観測では、すべり面検知ケーブルは平成7年12月までで、6孔で切断し、4孔でスケールオーバーした。挿入型傾斜計は0-1、0-2すべり内では1孔を除き、コアで想定されたすべり面位置で変位が現れ、すべり面以深は挿入不能となった。

これらより、活発な地すべりであることが計測によっても裏付けられた。

4. 安定計算

安定計算は移動杭や縦型伸縮計のデータより、0-2ブロックは年間を通じて不安定であり、0-1ブロックは、0-2ブロックより、やや安定側にあるが、二つのすべり共、最高水位、HWLで $F_s=0.98$ として逆算法により安全率を求めた。(表4-1)(図4-1)(図4-2)

表4-1. 安定計算一覧表

すべり面	条件	ZT	Z(N-Un)	Zl	C'	$\tan \phi$	ϕ'	F_s
0-1	HWL	33,547t	120,998t	1034m	2.0t	0.255	14.3°	0.98
//	LWL	//	125,403t	//	//	//	//	1.01
0-2	HWL	23,465t	83,556t	742m	2.0	0.257	14.4°	0.98
//	LWL	//	83,641t	//	//	//	//	0.98

尚、すべり強度定数の決定にあたっては、土木研究所新潟試験所の未公表資料、大所地区蛇紋岩起源の粘土の力学試験値、 $C_r'=0.08\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi_r'=14.0^\circ$ 、 $C_{sf}'=0.14\text{kgf/cm}^2$ 、 $\phi_{sf}'=16.0^\circ$ を参考とした。

又、計画安全率 $F_s=1.20$ の時の計画水位低下量(ΔH)は、0-1で $\Delta H=29.21\text{m}$ 、0-2で $\Delta H=27.22\text{m}$ である。(表4-2)

表4-2. 計画水位低下量表

すべり面 水位低下量 計画安全率	0-1	0-2
	ΔH	ΔH
$F_s=1.05$	9.29m	8.76m
$F_s=1.10$	15.93m	14.91m
$F_s=1.15$	22.57m	21.07m
$F_s=1.20$	29.21m	27.22m

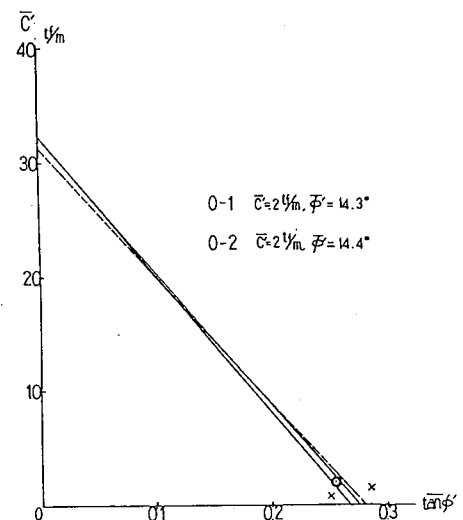


図4-1. $\bar{c}' - \tan \phi'$ 図

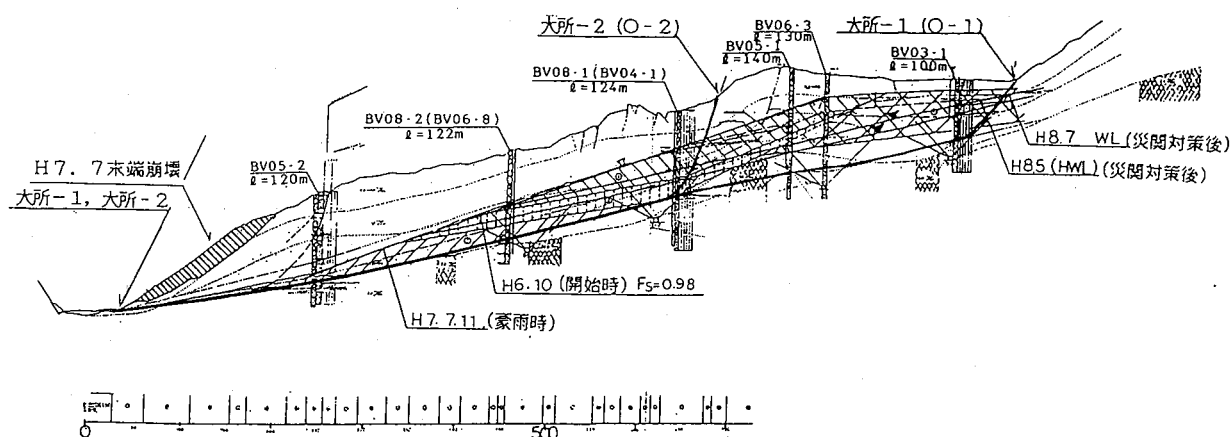


図4-2. 安定計算図

5. 地すべり発生機構

- ①地質構造的には蛇紋岩メランジ帯に位置する。蛇紋岩体は強い変成作用と構造破碎を受けている。
又、来馬層からなる構造岩塊を伴う。移動塊は、未変成の蛇紋岩と構造岩塊であり、変蛇紋岩が基盤を構成し、構造規制が明瞭である。
- ②地形的には頭部に平坦地（天池）があり、後背地の山腹斜面（流域面積 $A=0.6\text{km}^2$ ）の渓流水がすべて、地すべりブロック内に浸透している。
- ③地すべりブロックの頭部には、大規模な地下水貯留域があり、年間を通じて高い間隙水圧が発生している。
- ④地すべり末端部では、溪岸崩壊が継続しており、受働土塊の減少が続いている。
- ⑤継続的な地すべりのため、すべり面の強度は大巾に低下している。土木研究所新潟試験所の資料と⁽¹⁾の比較では、逆算すべり面強度定数は、完全軟化強度と残留強度のほぼ中間にあり、残留係数(R_s)は $R_s=(\tau_{sf}-\bar{\tau})/(\tau_{sf}-\tau_r)=0.63$ である。

6. 対策工法の立案と施工

6-1. 対策工の立案

- ①地すべり推力が、0-1すべりで33,500t/1m巾、0-2すべりで23,500t/1m巾と大規模なため抑制工を採用することとした。
- ②計画水位低下高(ΔH)が $F_{sp}=1.20$ で、 $\Delta H=29\text{m}\sim 27\text{m}$ と高く、又すべり面深度が最深で100mを越えることから排水トンネル工法を主体とし、集水井工を組み合わせた立体排水計画とした。
トンネル位置は、最大の地下水貯留域となっている部分であること。相対的に地すべり活動が小さく、すべり面で集水管が切断されにくいと考えられる部分であること。工期が短いことから坑口取付けが容易であること。施工ヤードを確保できること。工事に際して、第三者に危険を及ぼさないことから決定した。
トンネル工法は蛇紋岩中に多くの断層破碎部があり、大量の地下水の湧水が予想されたため、従来工法とした。
湧水の排除及び地質確認のため先進ボーリングを実施した。

表6-1. 災関事業0-1,0-2ブロック対策工計画一覧表(H6.10)

工 種	仕 様	数 量	備 考
排水トンネル	従来工法、ライナープレート	840m (735m)	
トンネル内集水ボーリング	BC-1 (+45° 70~60m/孔)	500m (500m)	
	BC-2 (+45°~15° 70~50m/孔)	2,950m (1,163m)	
	BC-3 (+45°~15° 70~50m/孔)	2,950m (1,034m)	
	BC-4 (+45°~15° 70~50m/孔)	2,950m (1,293m)	
	計	10,860m (3,990m)	
集水井	φ 4.0m $Q=35m$ (35.5m)	1基 (1基)	
	集水ボーリング	1,200m (1,200m)	
	排水ボーリング(-90° 200A)	77m (81m)	
	φ 4.0m $Q=40m$ (36.9m)	1基 (1基)	H7.7.11 豪雨で変形
	集水ボーリング	1,200m (1,200m)	
地上集水ボーリング	排水ボーリング(-90° 200A) (-30° 90A)	77m (100m)	
	φ 3.5m $Q=25m$	1基 (1基)	H7.7.11 豪雨で変形
	集水ボーリング	1,500m (1,250m)	
	排水ボーリング (90A)	77m (175m)	
	50m/孔	1,350m (2,250m)	
水路工	A, B, Cルート	2,650m (2,876.7m)	
床固工	H=5.0m L=27	1基 (1基)	

下段 () 内数字は実施数量 (H8.3月末 現在)

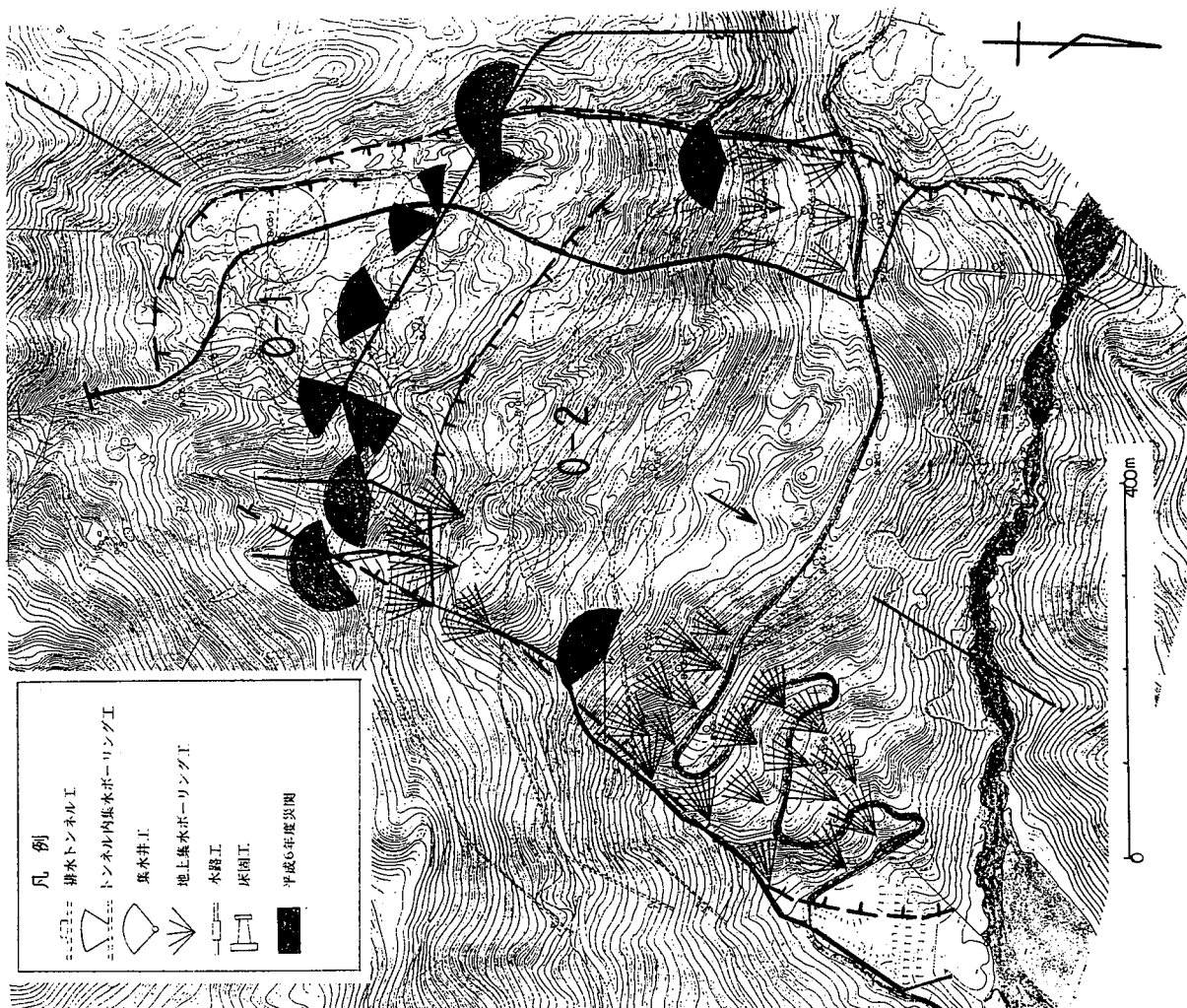


図6-2. 平成6年度災関地すべり対策施工図

又、施工方法は、工期が短いことから、掘削は機械掘とした。トンネル断面(図6-1)

はズリ運搬車や、試錐機などから決定した。

③地すべりブロック内全量が地下水浸透している渓流水を排除するため3本の水路工を計画した。

④0-2すべりの末端の二次すべりに対しては、地上集水ボーリングと集水井を計画した。

6-2. 施工状況

施工状況を図表にとりまとめた。尚、二次すべりの平成7年7月11日の集中豪雨により施工中の水路工や排水トンネル坑外施設に大きな被害が発生し、又地すべりも活発化したため当初計画を一部変更して施工した。(表6-1)(図6-2)(図6-3)

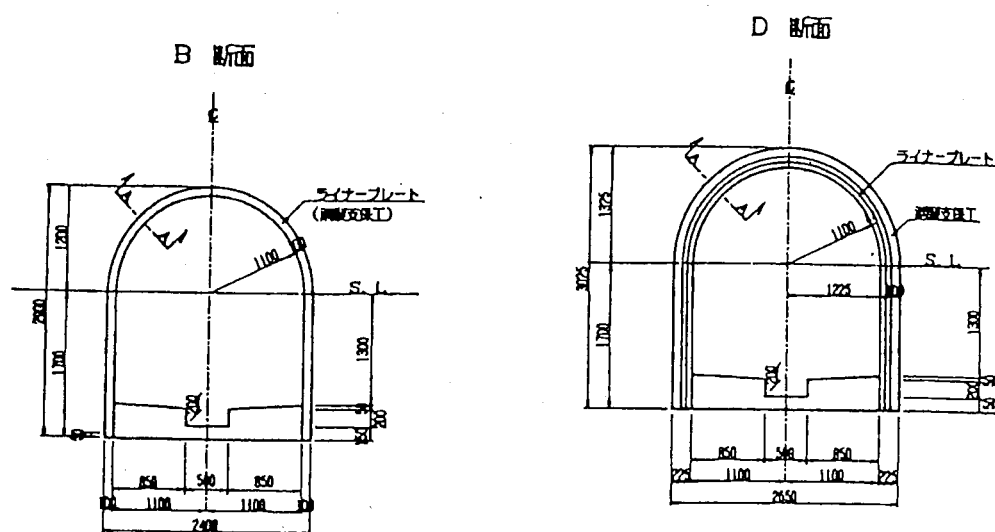


図6-1. 排水トンネル標準断面図

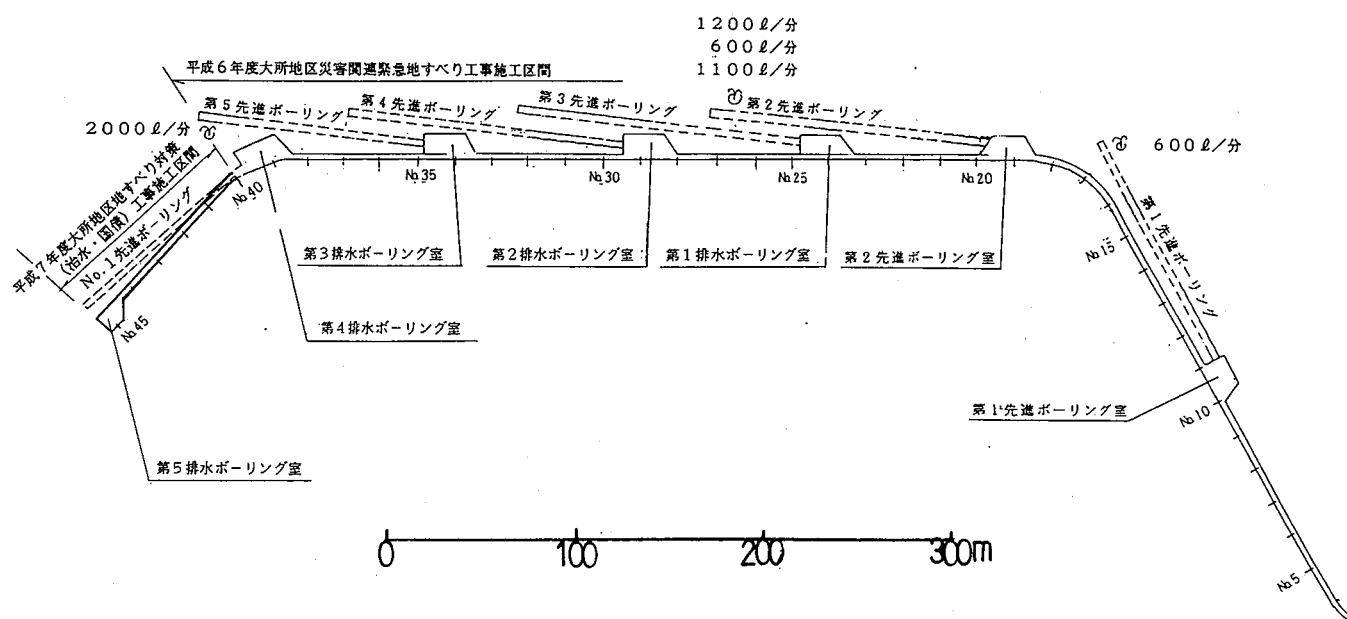


図6-3. 先進ボーリング施工図

注) 湧水量は削孔時の湧水量

7. 工事効果

7-1. 地下水位低下状況

①集水井、排水トンネル、地上集水ボーリング共、排水効果が大きく、特に集水井、排水トンネルからは大量の湧水がある。

②排水トンネル周辺の観測孔を中心に、下表の通り最大で63mの大幅な水位低下があった。

(表7-1)(図7-1)

表7-1. 排水トンネルによる地下水低下状況

水位	①H8.1月以前	②H8.5月	②-①	③H8.7月	③-①
BV03-1	12m	27m	15m	43m	31m
BV05-1	44m	87m	43m	107m	63m
BV04-1	40m	(66m)	(26m)	76m	36m
BV06-8	61m	(61m)	(0m)	72m	11m

7-2. 排水量

平成8年融雪後半のH8.5.11現在の排水トンネルの排水量(Q)は $Q=9.5\text{m}^3/\text{分}$ 、地下水浸透防止及び集水井の流末処理を目的とした水路の合計排水量は $Q=18.6\text{m}^3/\text{分}$ であった。

トンネル及び水路の排水量の合計は $Q=28.1\text{m}^3/\text{分}$ であった。

7-3. 安定計算

①0-1すべりは、H6災関事業の目標安全率 $F_s=1.05$ に対しH7.7の末端崩壊による安全率の減少(-2%)を考慮にいれても、H8.5~7月で $F_s=1.06\sim 1.12$ で工事効果は非常に大きく現れた。

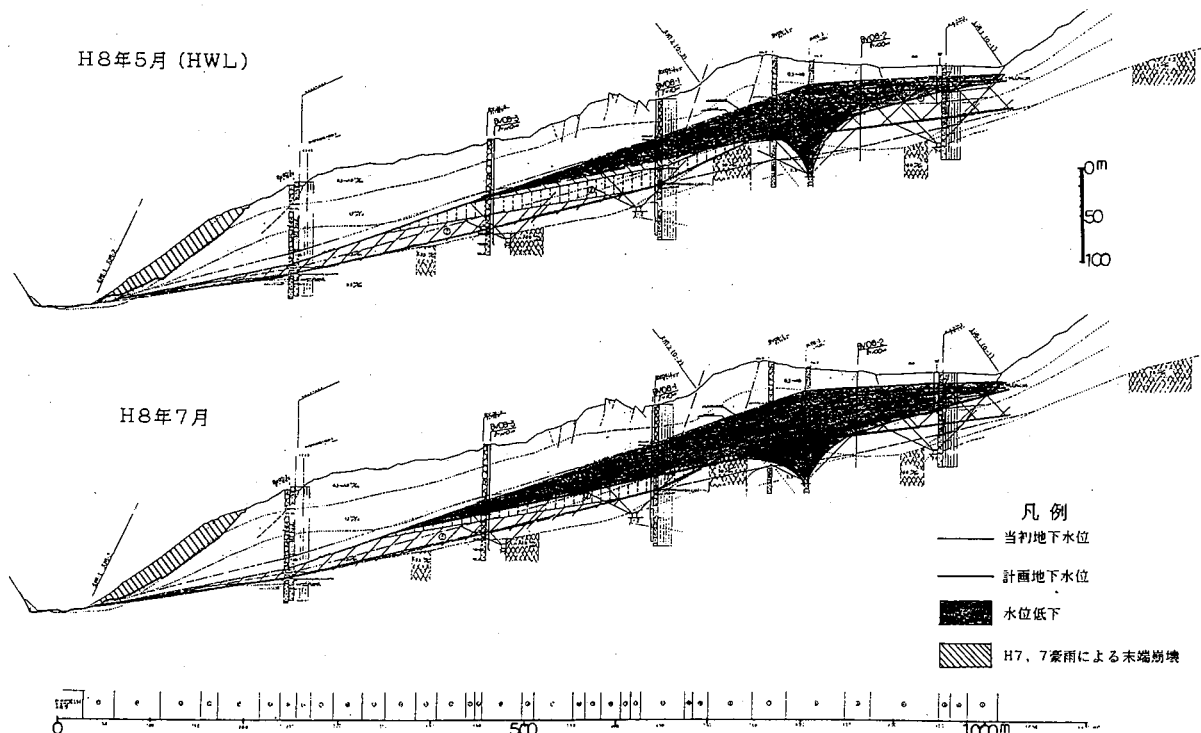


図7-1. 排水トンネル施工後の水位低下図

②0-2すべりは、目標安全率 $F_s=1.02$ に対し、H8.5～7月で $F_s=0.98\sim1.01$ で未達である。変動量の観測結果で、地下水位が低下した平成8年6月以後も県道などで微少な変動があるのも、このような安定計算結果に対応するものと考えられる。

尚、末端崩壊がなかったとして計算すると、0-2すべりは $F_s=1.01\sim1.04$ となり、目標安全率を達成していたと考えられる。

表7-1. 0-1,0-2ブロック安全率推移表

条 件 \ 地すべりブロック	0-1	0-2	備 考
現状安全率（開始時）	0.98	0.98	
H6 災関事業の目標安全率	1.05	1.02	
H7, 7, 11 豪雨時	0.96	0.95	末端崩壊発生
H8 融雪時（H8, 5）	1.06	0.98	（H7, 7）末端崩壊有り
H8, 7月現在	1.12	1.01	〃
（参考）H8融雪時（H8, 5）	1.08	1.01	末端崩壊が無いと仮定
（参考）H8, 7月現在	1.14	1.04	〃

7-4. 変動量

すべり面検知ケーブルや挿入型傾斜計などボーリング孔に設置した計測器は、地すべりによる変形が激しく、対策工が完了する以前に計測不能になっていたものが多い。

このうち縦型伸縮計については、大部分のものが圧縮変動を起し、その解釈が難しかったが、対策工後、地すべりが安定化した地点では、圧縮変動が消失するなど圧縮、引張の違いを無視すると地すべりの安定度を示す指標にできる可能性がある。

地表面の変動を把握するための移動杭測量及び水準測量では、地すべり対策後、変動量が大幅に減少した。しかし、0-2ブロック右翼末端部では移動杭で15cm/6ヶ月、水準測量で-10mm/月の変動が対策後もある。

8. まとめ及び課題

排水トンネルによる水位低下は当初の予想を越える大きなものであり、地すべりの移動量も大幅に減少した。

又短い工期内で施工が完了したことも、成果の一つであろう。今後の課題や問題を列挙する。

①調査期間の短縮の問題

緊急地すべりの場合はいかに早く工事に着手するかが、重要となる。

大所地すべりの場合事前に4本の調査ボーリング資料と弾性波探査資料があったため、災関対策の調査計画がスムーズに立案できたこと。

調査目的が達成できれば良いとの考えで必ずしも調査要領に把われなかったこと。の2点が調査期間短縮の大きな要因であったと考えられる。

②工事期間短縮の問題

地すべり地の排水トンネル工法は大部分が従来工法で施工されていたが、平成6年度あたりからは、NATM工法も採用されつつある。

今後排水トンネルを計画する場合、従前の実績にとらわれることなく、最大限の機械施工が可能な断面や工法の検討が必要となろう。

③大規模地すべりの工事効果判定の際、地すべりが停止したかどうかの判断は非常に難しい。

地すべりによる変動と地盤の局所的な変動、及び観測計器の精度等に起因する変動の区別や、地すべり変動以外の変動を除去する技術の確率が重要となろう。

④大所地すべりの今後の課題として

- イ．平成6年度災関の最終的な効果判定のために、平成9年度融雪期の水位、排水量、変動量の把握が必要である。
- ロ．県道が通っており重要な保全対象地点である0-2ブロック末端の右翼側の変動の原因を、平成7年7月豪雨の際の末端崩壊や、地下水位動向、あるいは地下構造の関連で究明し、早急に対策を構ずる必要がある。
- ハ．末端部の崩壊地が、県道付近の地盤や、あるいは地すべりブロック全体に及ぼす影響を具体的に観測で把握し、これに基づいて、将来的な対策の方向を決定する必要がある。
- ニ．最終的な地すべり停止に向けて観測計器のスケールアウトや破損などの悪条件下での観測網の維持や、必要な対策工の種類と数量の決定、及び施工など総合的な視点に立脚した効率的な事業展開が必要となろう。

謝辞 この小文の作成にあたっては利根コンサルタント（株）佐々木慶三氏のご協力を得た。

ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- (1)小合澤(1996)平成7年姫川の土砂流出 第28回砂防学会シンポジウム講演集PP63～86
- (2)茅原(1978)姫川流域の崩災－特に蛇紋岩地帯の地すべり、フォッサマグナ北部地域における崩災の発生機構と予測に関する研究PP37～46
- (3)吉住(1993)新潟県の地すべり、砂防課（建設省所管）における地すべり
地すべりVol30 No3 PP15～22
- (4)青木(1978)稗田山崩壊について、地形Vol15 No3 PP205～214
- (5)茅原、(1987)ヒスイの科学、茅原一也教授退官記念会

- (6)佐々木、吉住、赤堀、高峰(1995)大所地すべりの頭部平坦面の地形の特徴とその意義 第34回地すべり学会研究発表講演集PP89～92
- (7)難波、高峰、松本、佐々木(1994)ウェルマン工法による大規模地すべり地の地質調査 第33回地すべり学会研究発表講演集PP135～138
- (8)吉住、宮沢、高峰、佐々木(1996)大規模地すべりにおけるすべり面の決定について—大所地すべりを例にして—第35回地すべり学会研究発表講演集PP159～162
- (9)SASAKI, OZAKI, MARUI(1996)On slip surface depth estimation O'dokoro, area, Niigata, Japan, 8th, I.C.F.L. PP269～283
- (10)丸井(1994)地すべり面の特性の把握と計測に関する問題点、地すべり学会シンポジウム「地すべりの計測に関する諸問題」論文集PP149～153
- (11)宜保、武居、小波蔵(1984)、平均地すべり面強度定数の算定法について
地すべり Vol20 No4 PP1～6
- (12)大浦、丸山(1996)大所地すべりの動態観測結果について、第35回地すべり学会研究発表講演集PP163～164

<特別講演>

スロヴァキアの地すべり

スロヴァキア工科大学 Jozef SATINA

新潟大学 丸 井 英 明

1. はじめに

スロヴァキア共和国は北西に隣接するチェコ共和国と一つの国を構成していたが、1993年に両国は分離独立した。スロヴァキアとチェコにはさまざまなタイプの地すべりが多数分布しており、両国では古くから地すべりに関する調査・研究が盛んに行われてきた。特に、スロヴァキアのハンドローヴァ(Handlova)で1960年に大規模な地すべりが発生したことを契機として、その後国家的要請に基づき、広範な地すべり調査・研究が推進されてきた。なお、ザルバ(Zaruba)およびメンツル(Mencl)教授はかれらの著書「地すべりとその対策」で諸外国の事例も含めて両国の地すべりについて記述している。ここでは、必要に応じてチェコの状況にも触れながら、スロヴァキアの地すべりについて紹介する。

2. スロヴァキアの概要

スロヴァキアは北緯48°から50°、東経17°から22°の範囲にあり、チェコ、ポーランド、ウクライナ、ハンガリー、オーストリアと国境を接している。スロヴァキアの国土は、東西方向の長さが428km、南北方向の幅が195kmあり、その面積は49,025km²で、九州の大きさにほぼ等しい。なおチェコの面積は78,864km²であり、北海道にほぼ等しい。スロヴァキアはその地質構造と地理的位置からアルプス・ヒマラヤ山系に属し、カルパチア山脈が地形上の単位と成っている。スロヴァキアの国土の大半は山稜と谷が交互に現れる山地の特性を示している。北部は高タトラ山脈を中心とする2,000m級の険しい山岳地帯をなしている。最高峰はゲルラホフスキー山で、その標高は2,665mである。一方、チェコは丘陵と平原とからなる。

スロヴァキアの気候は穏やかな大陸性気候を示し、寒冷期間が長く、夏期の平均気温は15°から16°C程度であるが、気温の変動は非常に激しい。年平均降水量は450mm～2000mmの幅がある。スロヴァキアの首都はブラチスラヴァでその人口は44.5万人である。スロヴァキア全体の人口は約530万人で、南部には58万人のハンガリー人が、東部には5万5千人のウクライナ人、ロシア人および7万人のポーランド人が居住している。なお、チェコの人口は約1,030万人である。

チェコが第二次世界大戦以前から工業国であったのに対し、スロヴァキアは基本的には農業国である。近年酸性雨による森林の破壊が深刻で、スロヴァキアの森林の14%が枯死しているといわれている。

3. 西カルパチアの土地地質条件

スロヴァキアの位置する西カルパチア山脈の地質構造は概略以下の4つの地域に区分される。

- コア山地地域（花崗岩、閃緑岩、片麻岩および中生代堆積層、石灰岩、ドロマイト）
- カルパチア・フリッシュ地域（砂岩、泥岩）
- 新第三紀火山岩（安山岩、流紋岩および凝灰岩）
- 内陸盆地および低地

スロヴァキアはカルパチアン・マッシフと呼ばれる地塊から構成されており、バルカン半島へと連なっている。カルパチアン・マッシフは古い基盤であるが、東西に連なる急峻なカルパチア山脈が、アルプス造山運動を受けて、第三紀ごろに形成された。先カンブリア時代の変成岩が中核をなし、その周辺を古生代の火山岩類が取り巻いて高山地帯を形成している。その北側の中山性の山地は古第三紀の厚い砂岩・泥岩の互層からなるフリッシュで構成されており、南側は新第三紀の火山岩類で覆われている。図1はスロヴァキアとチェコの地質構造の概略を示している。

3. 地すべりの概要

スロヴァキアとチェコには数多くの地すべりが分布している。ザルバおよびメンツルの著書によれば、1961年から1962年に発生した地すべりの集計結果は以下のようにになっている。

	地すべり数	面積(ha)
スロヴァキア	4,372	29,136
ボヘミアおよびモラビア	4,792	30,264
計	9,164	59,400

地すべり地面積の内、35,000ha(59%)は農地であり、13,500ha(23%)は森林であるとされている。

スロヴァキアについては最近の調査によると、1962年に地すべり台帳作成を開始して以来、1619km²の範囲をカバーしており、13,000箇所の地すべり斜面が報告されている。

地質的に見た地すべりの発生しやすい地域は以下のようなものである。カルパチア山脈はボヘミア地域と比較して地質的に新しいために、剝削によってあまり平準化されておらず、また開析が進み起伏が大きい。従ってカルパチア地域では地形条件が急峻であるためにボヘミア地域よりも頻繁に斜面移動が生じている。特に、フリッシュ地帯、第三紀火山岩類の縁辺部、カルパチア前陸沈降盆地の新第三紀層、カルパチア内部の沈降盆地の古第三紀層および新第三紀層で地すべりが多発するとされている。図2はスロヴァキアとチェコの地すべり地の概略を示している。

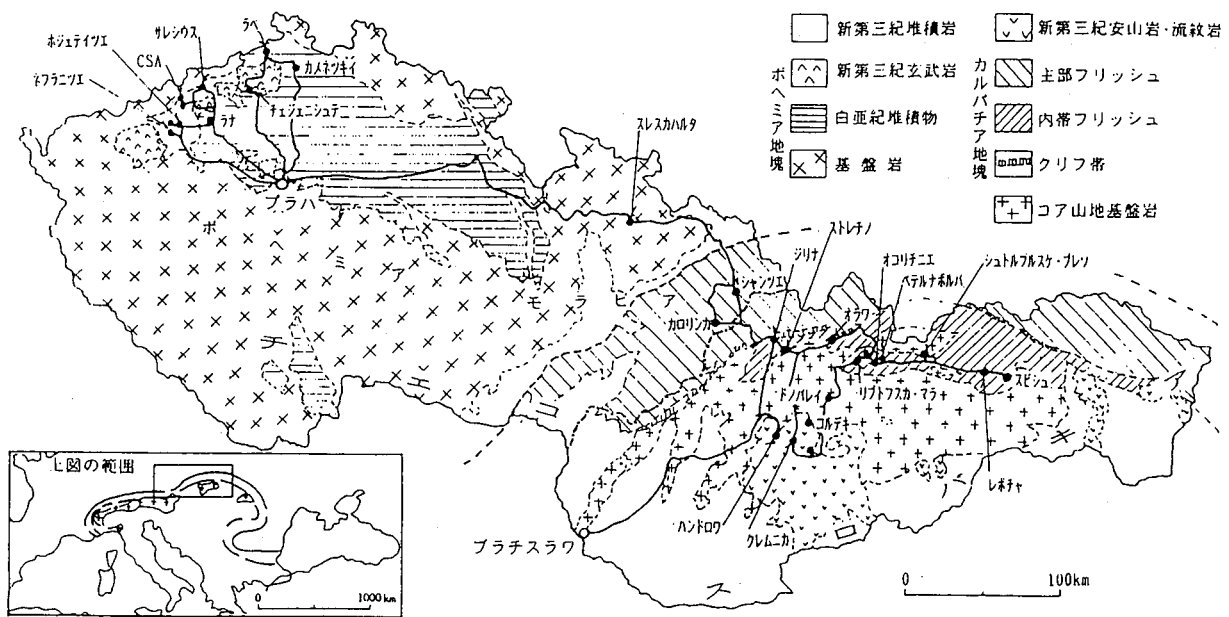
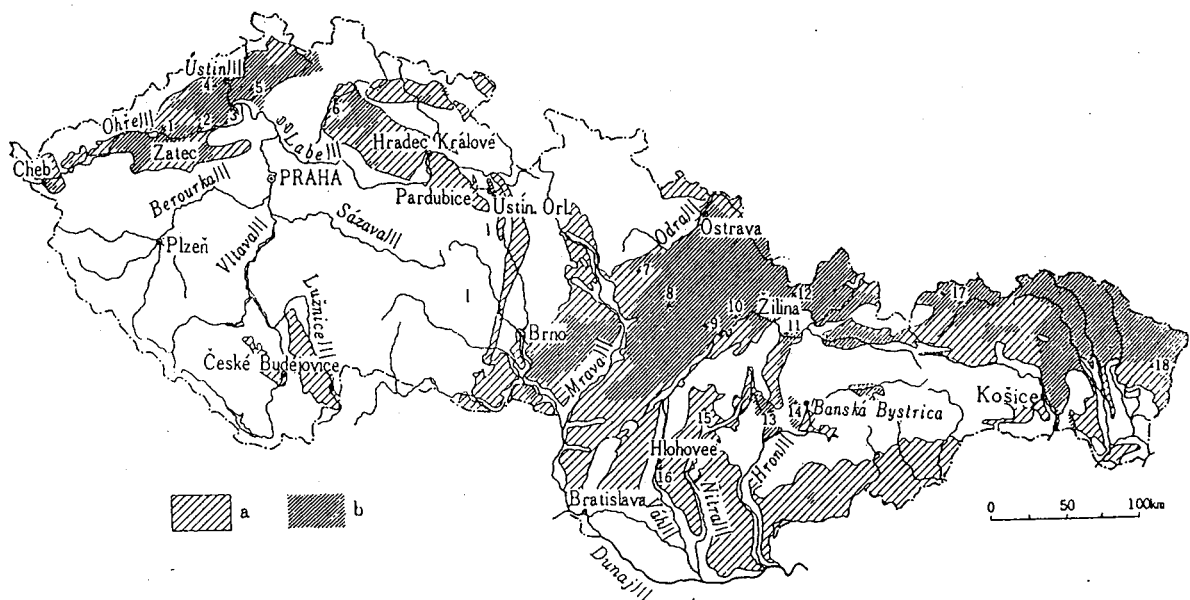


図1 チェコ及びスロヴァキアの地質(大八木規夫作成:「第7回国際地すべり会議」に参加して, 1993より引用)



a-ほとんど圧密を受けていなくて地すべりを起し易い泥質岩からなる地域, b-多くの地すべりによって乱されている地域
本文中で記述した地すべりを数字で示す。

1-Stranné, 2-Březno, 3-Hazmburk, 4-Stadice, 5-Týnec, 6-Dneboh, 7-Maliník, 8-Hošťálková, 9-Dubková, 10-Mikšová, 11-Sučany, 12-Riečnica, 13-Handlová, 14-Kordíky, 15-Bánovce, 16-Hlohovec, 17-Ružbachy, 18-Vihorlat.

図2 チェコ及びスロヴァキアの地すべり地の概略図(ザルバ及びメンツル:地すべりとその対策, 1969より引用)

4. 地域毎の地すべりの特徴

4つに区分された各地域毎の斜面変形に関する研究は、Nemcok, Pasek, Rybar(1974)等によって行われている。それによると重力による斜面の移動形態は、地球力学的特性および移動速度に基づいて4つの基本型式に分類されている。

－クリープ：明瞭なすべり面をもたず、速度増加を伴わない、地質学的に長期に亘る移動。岩盤のクリープ、崖錐のクリープ、土のクリープなどがある。

－すべり：一つあるいは多数の明瞭な剪断面に沿った粘着性の土塊の斜面移動。この型式がいわゆる地すべりである。

－流動：液体のすべりに類似した岩盤および土層斜面の移動。泥流、土石流、岩屑流などがある。

－落下：急な斜面移動で、移動土塊が粘着性を失い、短時間下層岩盤との接触がなくなるもの。岩盤の落下や落石などがある。

以上の四つの基本型式はさらに、地形、地質、気象条件によって規定されるいくつかの異なった型式に細分されている。

各地域において卓越する斜面変形の型式は4.1から4.4のようにまとめられている。スロヴァキア全域における斜面変形地域の分布は図3の中で黒くマーキングした箇所として示されている。

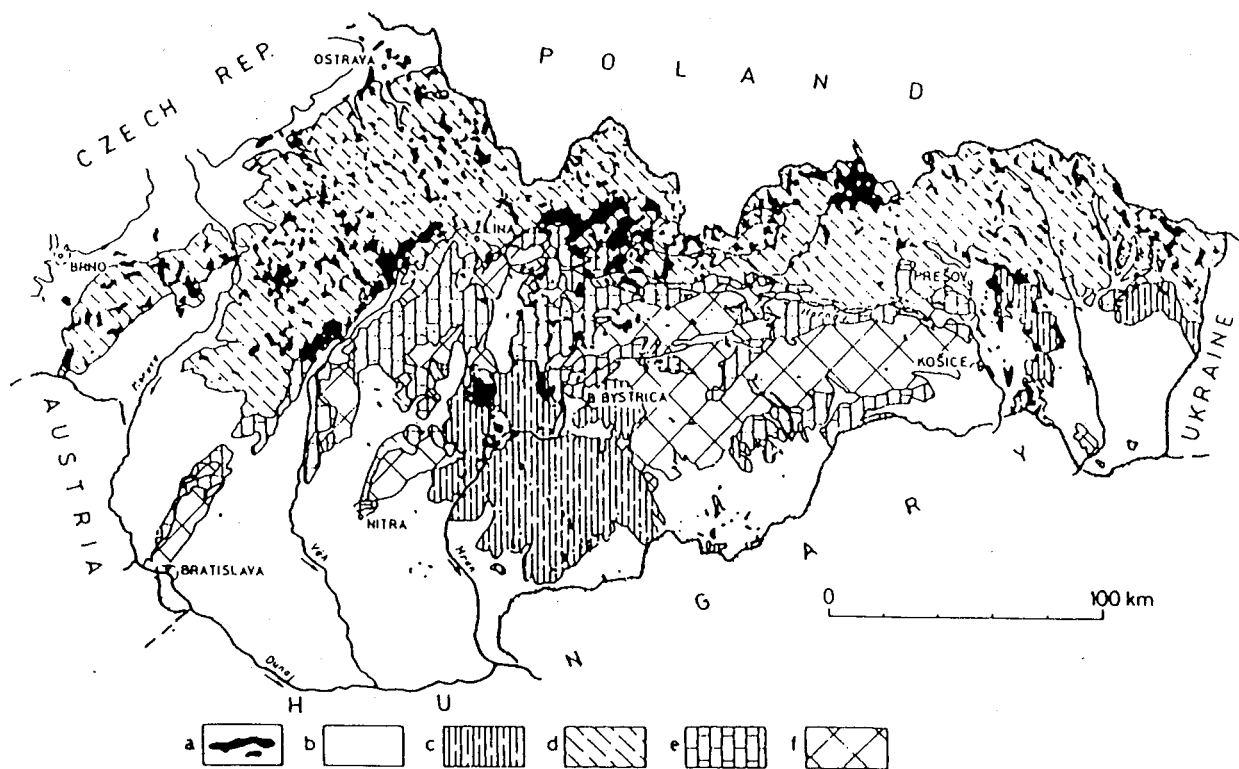


図3 カルパチア地域における斜面の変形

- a- 斜面の変形 b- 非圧密或いは僅かに圧密された第四紀及び第三紀堆積物
- c- 新期火山岩 d- 僅かに圧密された或いは圧密された白亜紀から古第三紀のフリッシュ堆積物 e- 圧密された中生代から古第三紀の堆積物及び火山岩、原生代及び古生代の火山岩

4.1 中核山地の地すべり

この地域は原生代から中生代に亘る最も古い岩石から構成されている。高山地の地形は更新世に山岳氷河により形成されたものであり、鋭く尖った尾根、カール、地溝状の谷などによって特徴づけられている。この地域における主要な斜面変形としては、泥岩などの柔らかい層の上にある、安山岩や凝灰岩などの硬い岩塊がブロック状に割れ、クリープ的なあるいは沈下的な動きを示すものや、重力による褶曲や、山稜の分離などがあげられる。高山地域で 691 箇所 of 大きな崩壊が発見されている。

4.2 カルパチア・フリッシュ地域の地すべり

この地域は斜面崩壊の発生頻度が非常に高いことで特徴づけられている。最近の調査によれば、この地域で 5000 箇所の斜面崩壊が記録されており、その範囲は 900km²におよんでいる。大多数の規模の大きい地すべりは、泥岩と礫岩の互層から成るフリッシュ層内で発生している。地すべりの形状には長さと同幅がほぼ等しいものと、幅に対し長さの大きい流動型の形状のものがあり、すべり土塊の厚さは 15m を越えることは稀である。最も重要な地すべり誘因は、多量の降雨と、フリッシュ山地の最近の隆起に伴う下刻浸食である。この地域はまた特異な水文地質学的特徴を示している。すなわち、雨水の浸透が限定され表面流出が卓越している。湧水量は少ないが、激しく変化している。その値は厚い礫岩や砂岩層内で 1l/s から 10l/s の範囲である。鉱水中には残存する海洋性の塩水や大陸性の炭酸水が豊富である。

4.3 新第三紀火山岩地域の地すべり

新第三紀の火山作用はカルパチア山脈の円弧の内側に見られ、中新世後期に最も活発であった。安山岩や安山岩質凝灰岩が優勢で、スロヴァキア中部および東部の高山地を形成している。地すべりが発生している斜面の大部分では、斜面の下部は古第三紀の頁岩あるいは新第三紀の泥岩 - シルト岩 - 砂岩からなり、上部は硬い安山岩や流紋岩からなっている。火山岩の緩んだブロックは柔らかい下層に沈み込むとともに斜面下方に移動し、広い範囲に亘っていわゆるブロック状に割れた岩塊のクリープ的な動きの特徴を示す。岩塊ブロックの移動速度は年間 2cm 程度と観測されている。このような移動の生じる場所では多くの場合ブロックの周辺の土塊のすべりを誘発し、地表面には新たに形成されたクラックが認められる。この種の地すべりに関する調査・研究は、中部スロヴァキアの新期火山岩地域に属するハンドローヴァ(Handlova)とコルディキイ(Kordiky)付近において最も集中的に行われた。この地域は全体として比較的温暖な気候で年間雨量は 600mm~700mm 程度である。

4.4 内陸盆地および低地地域の地すべり

内陸盆地は深く沈み込み、断層によって境界づけられた沈降帯の特徴を示し、第三紀のフリッシュ層やモラッセ層(砂岩泥岩の互層、礫層など)で満たされている。このような軟かい岩層の所では概して起伏量が小さいが、30m~200m 程度の幅を

持っている。広く平坦で穏やかに傾斜した隆起帯と広い谷とが交互に現れ、谷は河川により運搬された砂や礫およびシルト質、砂質ロームによって満たされている。この地域における最も一般的な斜面変形の型式は、比較的柔らかいフリッシュの層の上に被さった段丘礫によって形成された斜面上で、河川による側方浸食によって引き起こされる地すべりである。この盆地の気候は温暖からやや冷涼で、年間雨量は 600mm～900mm の範囲である。

5. スロヴァキアにおける将来の地すべり研究と従来の課題

スロヴァキア共和国では環境省が地質学上の研究と調査に関する基本方針および長期計画の作成を管轄する組織である。長期的な優先度という観点から、良好な環境の創造と保護のために天然資源を合理的に使用するという基本方針と、そのために 2005 年までにスロヴァキアの国土の調査を行うという計画が、地すべり問題を解決するための鍵となっている。この計画に基づいて土木地質学的研究のため、対策費用を含めて約 1300 万ドルの金額が 1970 年～1995 年の間に使用された。

政府による地すべり研究の基本方針の一環として解決されるべき主要な課題は以下のように要約される。

ーマスマーブメントが進行しやすい地質的環境の解析、およびマスマーブメントの地球動力学的な形成過程に影響を及ぼす地質構造的要因の把握。それには、剪断面の深さ、形状、性質に関するデータの収集や、特に不安定となっている地域の岩と土の鉱物学的研究が含まれる。

ー滞水層の状態や地下水位変動に関する、水文地質学的、水文化学的基礎データの集積。それには、斜面不安定化の主要因となる水および土の組成の化学的相違の影響に関するデータも含まれる。

ー同時発生的な斜面崩壊の活動状態や、人為による環境への影響や気象条件の極端な変化の結果として予想される斜面崩壊の活動状態の変化の確認。対策工の投入後の斜面安定度の評価。

ー斜面の変形に関する土木地質図の作成と、変形の型式によって区分された地すべり地分類図の作成。

将来のステップとしては、周辺景観の利用や都市の発展に関する地域の要請に基づいて、斜面の変形により生じる問題の解決をはかることが不可避となる。スロヴァキアの地すべり台帳の整備に対しより一層の努力がなされるべきであり、また必要度の高い地域では、地すべり対策工の有効性に関して長期に亘るモニタリングが行われるべきである。

さらに以下の事項に関して力を注ぐ必要がある。

ーフィールドでの新たな発見に基づいた斜面変形台帳の再評価。地すべり活動の活発な領域における地球物理学的計測。人間活動全般に及ぼす危険度を明示した危険区域図の作成。

ーハンドローヴァ川における斜面安定対策工の終了とハンドローヴァ地域の環境

の保護。

ースロヴァキアの斜面変形図集（縮尺 1:50000）の出版に必要なデータの処理。

6. おわりに

これまでの研究から得られたデータを全般的に理解することによって、スロヴァキアの数多くの地すべり現場において用いるべき、適切な対策工の設計が可能となった。また、長年に亘る研究を通じて、自然の法則を過小評価することから生じるトラブルが熟知されるようになってきた。地すべり防止という課題においては、早い時期での予防的処置の方が、後からの遅きに失した処置よりも、常により良い方法であるといえる。スロヴァキアにおいて、マスマーブメントによる被害を受けている地域では、地すべりの安定化と作用応力のモニタリングに関する比較的新しい方法が用いられている。例えば、地すべり安定化の過程における新しい手法として、電気浸透法用いた方法が間隙の多い土塊中の水位低下に重要な役割を果たしている。

スロヴァキアの自然条件並びに社会経済条件は日本と比較して相当異なっている。したがって、スロヴァキアの地すべりの発生状況や、主な地すべり対策法に関しても日本の場合と異なる点が多い。しかしながら、同国では国土の全域に亘る土木地質的調査が精力的に進められており、精度の良い土木地質図や地すべり地分類図などがよく整備されている。日本の地すべりを考える上で参考となる点が多いと考えられる。

参考文献

（和文）

Q. ザルバ、V. メンツル. 1971：地すべりとその対策、鹿島出版会。

大八木規夫. 1993：「第七回国際地すべり研究会議」に参加して、深田地質研究所
ニュース、No. 12.

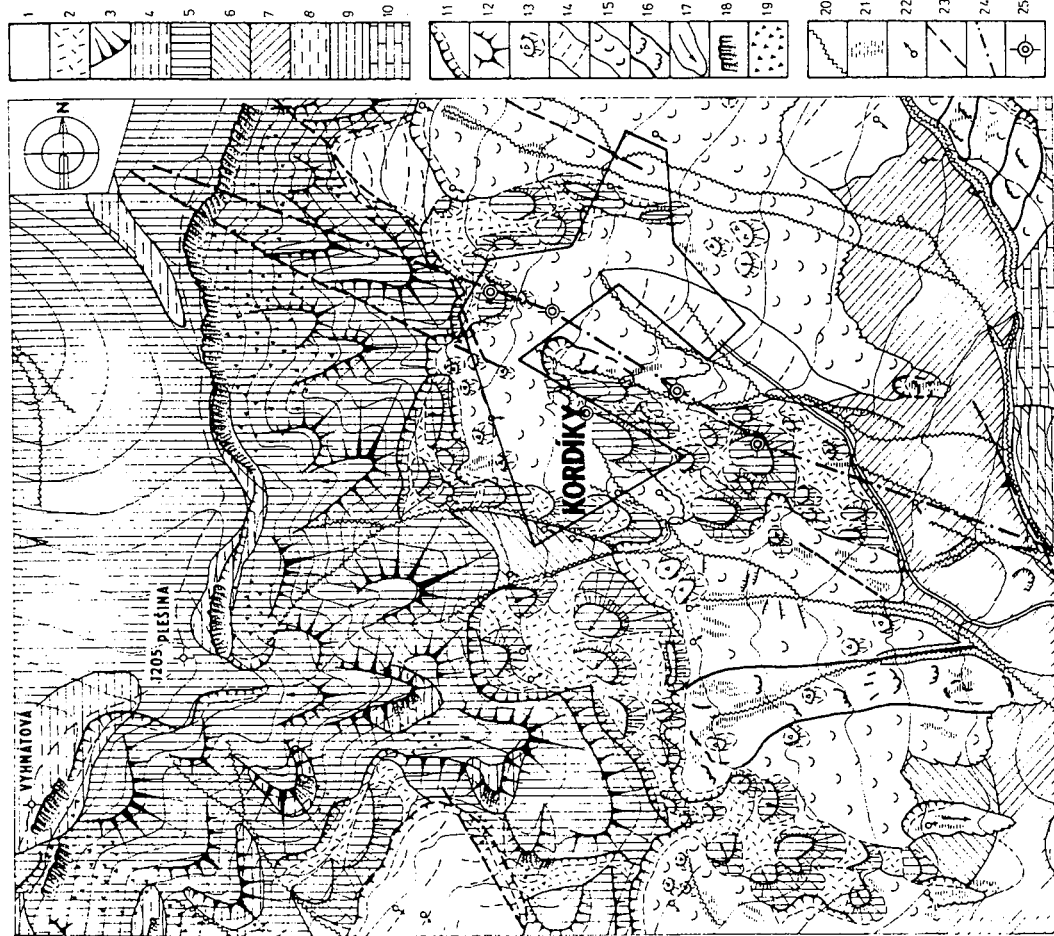
（欧文）

References

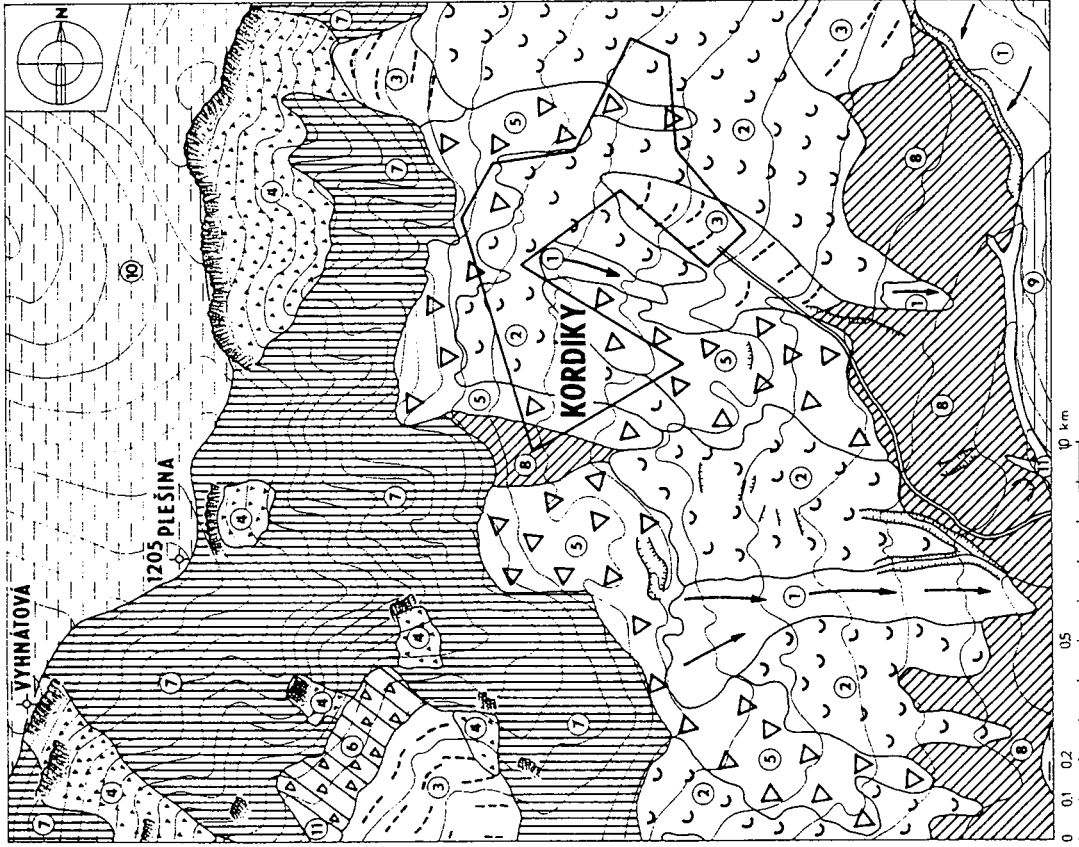
Andor, P., Spusta, P. 1996. The direction of geological investigation of landslides and its realization in The Slovak Republic. Proceedings from the conference on investigation and stabilization of the landslides in Slovakia. Nitrianske Rudno.

Malgot, J., Baliak, F., Andor, L. 1994. Slope deformations' research in Slovakia. Proceedings of the 7th International Congress, International Association of Engineering Geology, Lisboa, 2195-2204.

Matula, M., Mahr, T., Malgot, J. 1977. Landslides and other mass movements in the Carpathian region. Symposium of the International Association of Engineering Geology, Prague.



付図 1 An example of the map of engineering geological conditions. 1 - alluvium, 2 - stone - loamy material of the block fields, 3 - alluvial cones /Quaternary/, 4 - andesites, 5 - agglomeratic tuffs, 6 - tuffitic clays /Neogene/, 7 - claystones with sandstone intercalations, 8 - conglomerates, sandstones /7-8 Paleogene/, 9 - limestones, 10 - dolomites, /9-10 Mesozoic/, 11 - scar walls, 12 - blocks in the rift field, 13 - blocks in the block field, 14 - potential landslides, 15 - landslides quietened, 16 - active landslides, 17 - earth flows, 18 - scar walls of rock falls, 19 - talus of rock falls, 20 - brooks, 21 - wet areas, 22 - springs, 23 - tectonic lines, 24 - profile lines, 25 - boreholes.



付図 2 A zoning map example. 1 - district of recent active landslides, 2 - district of quietened landslides, 3 - district of older potential landslides, 4 - areas threatened by rock fall, 5 - district of strongly articulate block fields, 6 - district of block fields, 7 - district of block rifts, 8 - slopes susceptible to landsliding, 9 - district of steeper slopes of articulate relief, 10 - district of flat slopes, 11 - district of alluvions and alluvial cones.

付図 1 KORDÍKY 周辺の土木地質条件図

付図 2 KORDÍKY 周辺の地すべり地分類図