

## 日本の第三系堆積盆地における地すべりの歴史\*

故大草重康\*\*・高浜信行\*\*\*・藤田至則\*\*

### Landslide History in a Tertiary Sedimentary Basin in the Quaternary in Japan

by

The late Shigeyasu OKUSA, Nobuyuki TAKAHAMA and Yukinori FUJITA

(Abstract)

The present geomorphology of hill areas in the Niigata district, Japan, consisting of Neogene to Pleistocene muddy sediments suggests the occurrence of ancient mass movements on a large scale. The traces of ancient landslide headscarps are represented by the more or less linear arrangement of valleys and geomorphological lineaments. The large ancient headscarps thus restored take the form of an amphitheater and have a dimension of the order of one to several kilometers in diameter. Small scale landslides which occurred in later ages are found in the amphitheaters and around the ancient headscarps.

Most of present active landslides occur in the marginal areas of ancient landslides due to reactivation of the colluvial debris and blocks formed by ancient landslides. It is inferred from the relationship between the ancient headscarps and river terraces, and between the headscarps and the red soils which indicate humid and temperate stages in the Japanese Islands since the Middle Pleistocene that ancient landslides began their activity in the Middle Pleistocene to late Pleistocene. Upheavals and block movements since the Middle Pleistocene which have been repeated several times up to the present age in the Niigata district were a major trigger of old mass movements. A large supply of groundwater during interglacial and postglacial epochs associated with the humid and temperate climate contributed to deep weathering and mass movements.

Two borings were dug down to about 100m and 150m in the central part of an ancient amphitheatric landslide. Back analysis was carried out for the inferred slip surfaces of the primary, secondary and present landslides. Data from the borings and back analysis show the possibility of ancient primary landslides of a retrogressive type under humid and temperate climatic conditions. The virgin failure might have occurred in the mudstone with the intact undrained shear strength and retrogressive failures with a combination of the intact undrained shear strength and residual undrained shear strength. Secondary and present landslides occurred in the previously disturbed mudstone with the residual shear strength.

---

\* 本論は、1989年9月にイギリス・エジンバラで開かれた、イギリス地質学会第四紀土质地質グループ25周年総会に提出した論文を和訳したものである。和訳にあたり、新潟大学農学部吉田昭治教授から原稿に目をとおして頂き、新潟大学災害研研究生の本多典久氏（日本海工機）には、原稿の整理にご援助をうけた。これらの方々に深く謝意を表す。 \*\* 前新潟大学積雪地域災害研究センター， \*\*\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

Old landslides in the Quaternary are closely related to the present activity of landslides. In order to prevent landslide disasters and to plan rational use of those landslide-active hill areas of muddy sediments which experienced intense neotectonic movements under humid and temperate climatic conditions, the analysis of the geologic history of the site and the sequence of landslide occurrences in the Quaternary is indispensable.

Key words : Ancient primary landslide, Present landslide, Mudstone, Neotectonics, Humid climate, Retrogressive failure

キーワードズ : 旧期初生的地すべり, 現在の地すべり, 泥岩, ネオテクトニクス, 湿潤気候, 進行性破壊

### I は じ め に

日本列島は、太平洋から日本海に至る糸魚川-静岡構造線とよばれる大きな断層によって、西南日本と東北日本にわけられる。この構造線の東側は、フォッサマグナとよばれる大地溝帯で、“グリーンタフ地域”の一部として中新世から完新世までの変動帯を形成している。新潟地域は、フォッサマグナの北部に位置し、中新世から更新世にかけて、日本列島の中で最も大きな堆積盆地の一つで、堆積物の層厚は5,000 m以上に達する。日本列島の大陸側の下~中部中新統は海底噴出の緑色火砕岩層によって特徴づけられ、その分布域はグリーンタフ地域とよばれている。新潟堆積盆地では、この火砕岩層の上に重なる中新統と鮮新統は、厚い海成泥岩層からなり、下位から寺泊層・椎谷層・西山層に区分されている

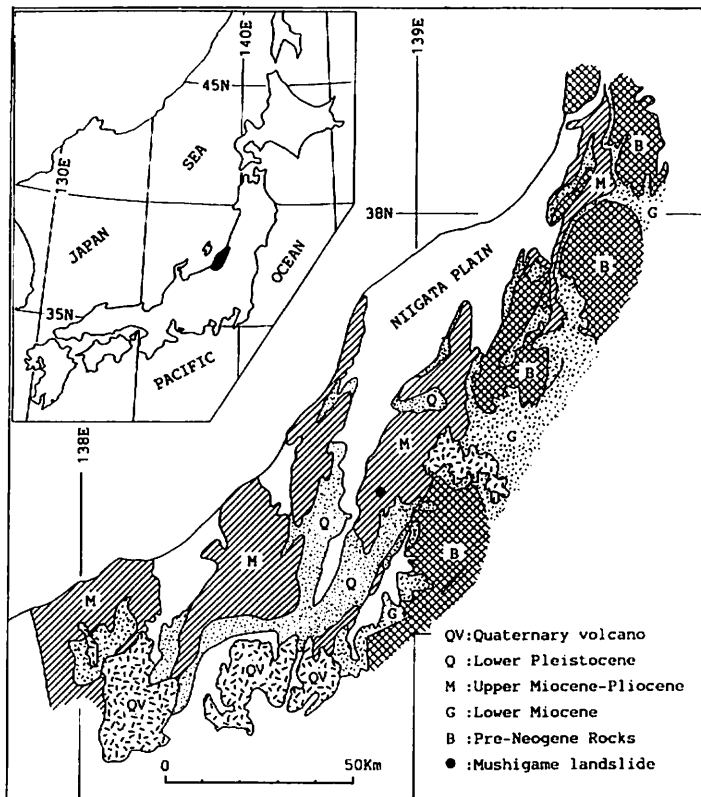


Fig. 1 Simplified geologic map of Niigata district

る (Fig. 2)。中期更新世からの活発な断層・褶曲・ブロック隆起運動によって、第三系分布域に丘陵が形成された。現在の地すべりは、このような隆起、褶曲の場である中新統の寺泊層や椎谷層からなる丘陵部に多数発生している。

新潟地域は、Table 1, 2に示したように、日本列島の、総地すべり数の約15%、総面積では約20%を占め、地すべり対策総予算の18%に達する。

この報告では、日本列島の丘陵部における現在の地すべりと地形形成過程の関連を第四紀におけるマスマーブメントの継続的な活動によるものである、という観点から論じる。その具体例の一つとして、虫亀地すべり地をあげる (Fig. 1)。ここでは、近年も地すべりによって住民がしばしば被害をうけている。

Age	Ma.	Stratigraphy	Remarks			
Quaternary	0.5	Allvium	Uplift of hills			
		Terrace deposits				
		Uonuma G.				
Pliocene	4	Nishiyama F.	Marine mudstone <Landslides>			
		Shiia F.				
		Teradomari F.				
		Nanatani F.				
		Miocene		16	Tsugawa F.	Pyroclastics (Green Tuff)
					Kinpokusan F.	
Masaragawa F.						
Miocene	22	Aikawa F.				
		Pre-Neogene S.				

Fig. 2 Stratigraphy of Cenozoic Niigata sedimentary basin

Table 1 Landslide in Japan designated Central Government (1983)

	Niigata	Japan
Number	1,645 (14.5%)	11,323
Area (ha)	80,292 (20.0%)	402,144

Table 2 Government Subsidy to slope mesures (million yen, 1982)

	Landslide	Erosion Control	Steep Slope Protection
Niigata	3,400 (17.9%)	980 (20.0%)	950 (2.0%)
Japan	19,000	4,900	47,100

## II 虫亀地すべり

虫亀地すべり地は、日本海に面した新潟地域中央部の丘陵に位置し、その基盤は中新統・椎谷層の泥岩からなっている。地すべり地の中央部を北北東から南南西方向の背斜軸がよこぎり、この方向は、新潟堆積盆地の地形・地質構造の最も支配的な方向である。現在の地形は、開析が進んだ数度から20°の勾配をもつ標高200~500mの丘陵である。初生的地すべりの滑落崖の痕跡は、Fig. 3の太線で示したように水系やリニアメントの配列によって表されているが、地すべりの先端部では、地すべりのくり返しや表面侵食のために不明瞭である。これらの滑落崖の痕跡は、半円形状に連続し、その直径は1~2kmである。虫亀集落は、初生的地すべり斜面の下部に位置している。初生的地すべりは、後で述べるように、下から上に破壊が進む進行性タイプであった可能性が高い (Fig. 4)。これらの初生的地すべりによってその内部は直径数百mの大きさの不規則なブロックに破壊された。

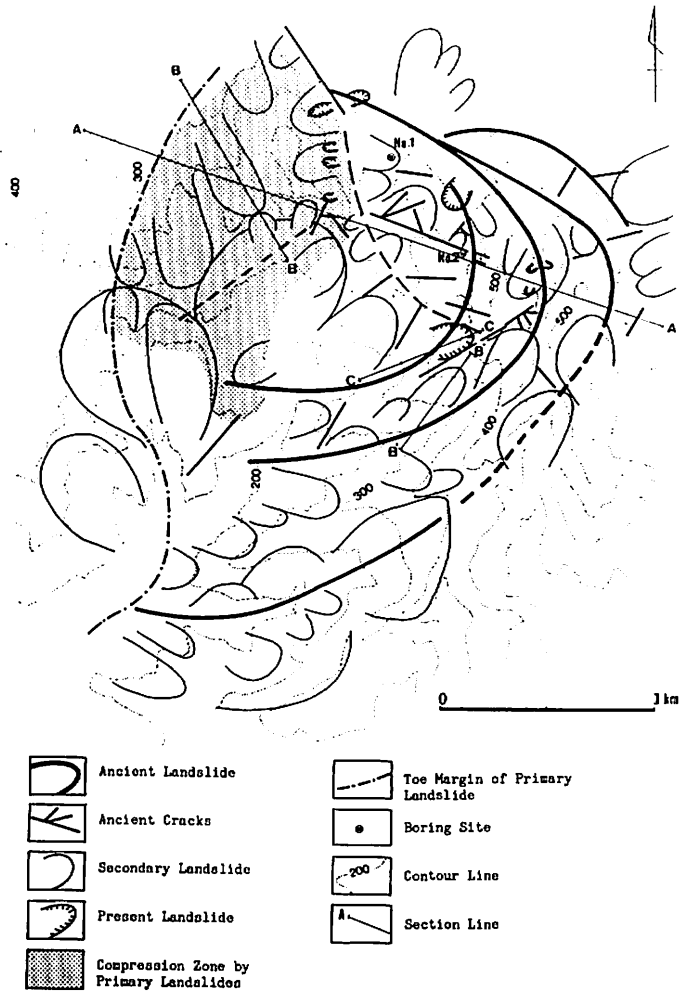


Fig. 3 Primary, secondary and present landslide features in Mushigame, Niigata, Japan

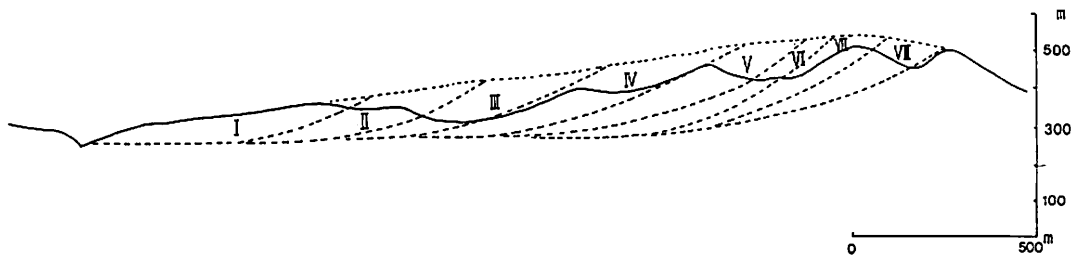


Fig. 4 Section A-A in Fig.3 of retrogressive primary failures and slip surfaces

著者らは、この地すべり地で、1987年に100 m、1988年に150 mの2本のボーリング調査を実施した (Fig. 5)。Fig. 5-1は、100 mより深い部分にもせん断破砕帯の存在を暗示している。Fig. 5-2では、泥岩の破砕は、125 m付近まで認められ、125 mより深い部分は乱されていない。一軸せん断強度は、150 mまで1.89~11.76Mpaの範囲で、せん断破砕帯の強度は、深度125 mにあってもこ

の範囲の最小値にまで低下している。泥岩の単位体積重量は、 $2.0\sim 2.2\text{t/m}^3$ の狭い範囲にある。したがって、深度30 mから125 m付近までの破碎帯は、初生的地すべりによるすべり面とみることができる。もし、初生的地すべり発生から現在までの表面侵食量を評価に加えれば、本来のすべり面は、旧地形の表面から約200 mの深さであったと推測できる。

虫亀初生的地すべりの発生の時期は、明らかではないが、新潟地域では、河岸段丘との関係から、後期更新世から活動をはじめた地すべりが多数確認されている。虫亀初生的地すべりは、背斜軸の西翼部から始まり、順次上方に進み、ついには背斜褶曲軸を切ったものと思われる。この地域の第四紀後期のブロック隆起運動は、この初生的地すべりの発生に重要な役割をになったものと判断できる。すなわち、ブロック隆起運動が起伏量と比高を増大させるとともに丘陵の侵食作用を活発化させたことは疑いない。また、新潟地域では、中期～後期更新世にかけて湿潤温暖な気候を示す古赤色土層が、数層準みとめられる。それらの一部は、旧期地すべりの滑落崖によって切られ、また、旧期地すべりの移動ブロックと崩積土が赤色土化したものも確認できる。間水期における大量の地下水の供給がマスムーブメントの発生を大きく支配したものと判断できる。大規模な隆起と活発な侵食作用が、泥岩を過圧密状態に導いた。このようにいくつかの要因が初生的地すべりを発生させるために必要であったであろう。マグニチュード5～7クラスの浅い地震は、この誘因として十分である。ちなみに、この地域では1887年7月22日にマグニチュード6.1の地震が発生している。しかし、もし、非排水せん断強度の有効荷重に対する比 ( $Cu/p_0$ ) は乱されていない泥岩に対しては0.3と仮定し、残留非排水せん断強度の有効荷重に対する比 ( $Cur/p_0$ ) が乱された泥岩に対しては0.2と仮定し、また、初生的地すべりが発生した時点での地下水面が地表面にあると仮定すると、Fig. 4に示した初生的進行性破壊は、地震のような外力がなくても発生しうる。すなわち、Fig. 4の最初のすべりⅠは、乱されていない非排水せん断強度 ( $Cu/p_0=0.3$ ) で発生し、第2のすべりⅡは、最初のすべり面では残留非排水せん断強度で、まだすべっていないすべり面に対しては乱されていない非排水せん断強度によって発生するように、次々と新しいすべり面に対して、これをくりかえしたものとと思われる。初生的地すべりは、 $10^8\text{m}^3$ の大きさである。

初生的地すべり後のながい休止期間に丘陵部の侵食が進み、地すべりの2次的な活動が始まった。それらは、侵食の進行や、初生的地すべりによって形づくられたブロック間の割れ目や亀裂を通しての降水の浸透によって誘発された。2次地すべりのすべり面は、初生的地すべりによって形成された破碎領

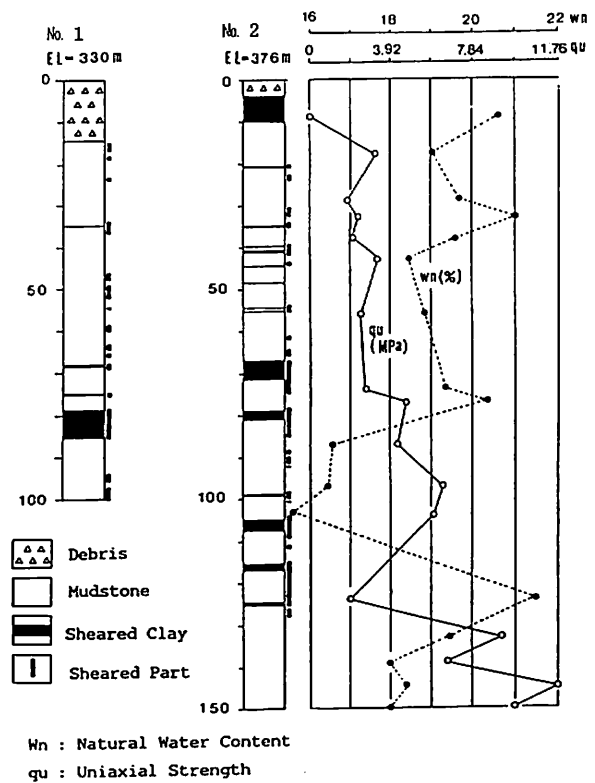


Fig. 5 Boring data in Mushigame landslide site

域内にある。地形的特徴から判断される2次地すべりは、Fig. 3の中に細線で示してある。それらは、おもに初生的地すべりの滑落崖の分布に支配されているようにみえる。Fig. 6は、2次地すべりの地形と推定すべり面を示す。安全率がおおよそ1になるものとして逆解析で求めた残留強度は、Fig. 7に示すように $Cr' = 20 \sim 40 \text{ KPa}$ と $\phi r' = 13^\circ$ となる。これに対し、リングせん断強度は $Cr' = 27 \text{ KPa}$ と $\phi r' = 13^\circ$ となった。この一致は妥当なものである。2次地すべりの体積は、 $10^5 \sim 10^6 \text{ m}^3$ のオーダーである。2次地すべりがいつ発生したかは明かでない。しかし、間氷期と後氷期は、湿潤温暖な気候で、地すべりの発生には好条件であったであろう。

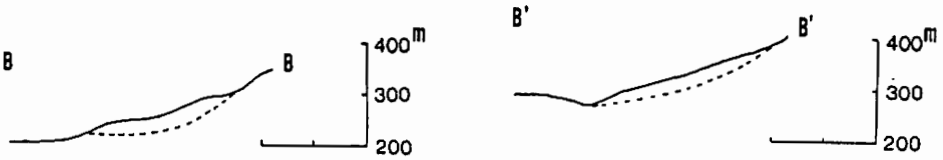


Fig. 6 Section B-B and B'-B' in Fig.3 of secondary landslide and slip surfaces

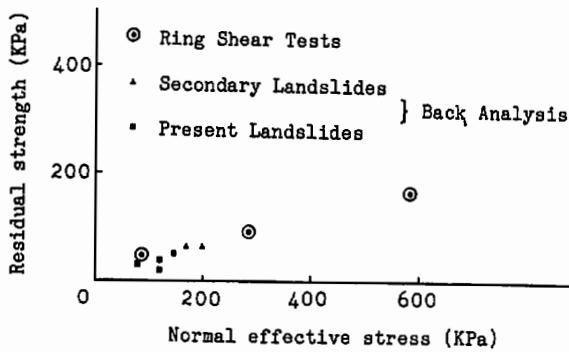


Fig. 7 Residual strength for Niigata landslide mudstone

現在の活動的な地すべりは、初生的地すべりの半円形状の滑落崖沿いやその内部に集中している。時間の経過につれ、古い滑落崖や初生的地すべりの割れ目や亀裂沿いに、谷や川などの水系が発達した。したがって、2次地すべりや現在の地すべりの移動方向は、初生的地すべりと同じではない。しかし、これらが、初生的地すべりの破砕や形態によって大きく支配されていることは明らかである。現在の地すべりは、Fig. 3に小さくハッチングされた馬蹄形で示した。現在の地すべりの

体積は、 $10^3 \sim 10^5 \text{ m}^3$ のオーダーが多い。Fig. 8は、1980年に発生した地すべりの断面である。それぞれのすべり面について逆解析から求めた残留せん断強度は $Cr' = 12 \sim 20 \text{ KPa}$ と $\phi r' = 5 \sim 16^\circ$ である。逆解析とリングせん断試験との値のばらつきと不一致は、未解決の問題である。いずれにせよ、

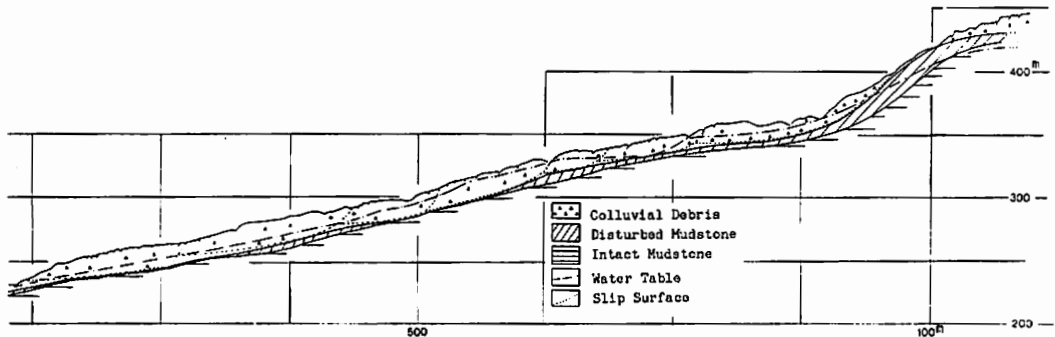


Fig. 8 Present landslide section C-C in Fig.3 Mushigame (After Niigata Prefecture, 1980)

初生的地すべりと2次地すべりの発生や移動の解析は、現在の地すべり活動の解明と地すべり災害の防止に欠くことのできないものである。

筆者の一人高浜は、予備的な調査で第三系泥岩からなる新潟の丘陵部でおよそ100カ所の旧期大規模地すべりを見い出している。

### Ⅲ 新潟地域のマスマーブメントの歴史

新潟新生代堆積盆地は、中期更新世に断層・褶曲・隆起を伴う造山期に変化した。この運動で第三系堆積層は、構造ブロックに分断され、丘陵や山地が形成した。現在も、丘陵部では多くの活断層や活褶曲が確認でき、水準測量で、垂直変位量が最大値で2～3mm/年である。日本海の海岸や平野沿いにはマグニチュード5～7の大きさの過去の地震の記録が多数存在する。ブロック隆起運動の再活動は、断続的におこり、マスマーブメントの発生と深く関係したとみられる。新生代新潟堆積盆地の東縁部では、中期更新世に2回、後期更新世に1回の大量のマスマーブメントの発生を伴う変動期があったことが知られている(Takahama, 1985)。鮮新世以来、日本列島は、異なった構造ブロックの相対的な隆起や陥没によって代表される活動期が5, 6回存在し、それぞれマスマーブメントの発生と密接に関係している(藤田, 1982)。

ここで、日本列島の地形・気候条件とヨーロッパの国々のそれらとは、全く異なっていることに注意しなければならない。とくに、東北日本の大陸側は、世界的な豪雪地帯の一つである。ただし、春の雪融けが急激なため小規模な万年雪の存在を除いては、氷河は存在しない。新潟地域は、北緯37°～38°のモンスーン地帯に位置し、年間降水量は、1,800～2,900mmで、このうち、およそ1,000mmは冬の積雪によるものである。そして、春には、多量の融雪水が地表面を流れ、また、地下に浸透する。これらは、マスマーブメントの発生を促進させる。また、マスマーブメントは、6月から7月の梅雨期にも活発に活動する。

ヨーロッパ大陸や北アメリカ大陸における巨大な大陸氷河とは異なり、日本の更新世氷期における氷河は、スノーライン(標高約2,700m)より上の非常に小規模な山岳氷河であった。新潟地域では、氷河や周氷河地形やそれに関連する現象をみつけることは難しい。これに対し、この地域の更新統には、数層準の古赤色土層が認められる。それは、更新世に湿潤温暖な気候が何度か存在したことを示している。このように、第四紀における気候は、ヨーロッパ、カナダ、北アメリカの気候とは、全く異なるものであった。第四紀における新潟地域のマスマーブメントは、ネオテクトニクスと気候条件に強く支配されていた。マスマーブメントの発生におけるこれらの条件は、ヨーロッパ大陸や北アメリカ大陸におけるもの(Zaruba and Mencl, 1969; Varnes, 1978)とは、大きく異なっていた。

### Ⅳ 結 論

日本列島の第三紀泥岩地帯における現在の活動的な地すべりのほとんどが、旧期地すべりの内部やそれに沿って発生している。これは、旧期地すべりによって形成された崩積土やブロックが再移動したものである。新第三紀堆積盆地のブロック隆起運動は、中期更新世以降、現在まで非常に活発である。間氷期と後氷期の湿潤な気候条件のもとでの多量の降水は、泥岩の風化と、ネオテクトニクスと先行する地すべりによって乱されていた斜面内へ、多量の水の浸透をもたらした。第四紀における日本列島の気候は、ヨーロッパ、カナダ、北アメリカにおけるそれとは、本質的に異なっていたが、降水量が多い現在の日本の気候とは、基本的に同じであったとみなすことができる。

新潟新生代堆積盆地の虫亀初生的地すべりの痕跡は、谷の半円形状の連続や地形的リニアメントに表れている。泥岩層は、初生的地すべりによって100 m以上の深部まで破碎されている。もし、初生的地すべり発生から現在までの侵食量を考慮すれば、初生的地すべり面深度は約200 mに達する。数値解析は、湿潤温暖な気候と激しいネオテクトニクスによる変位のもとで、進行型の初生的地すべり発生の可能性を示している。ひきつづく地すべりの形態、発生地点、大きさなどは、初生的地すべりの形態と構造に強く規制される。初生的地すべりは、泥岩内での処女地すべり面の発生においては、乱されていない非排水せん断強度で、また、すでに破碎された部分では、残留非排水せん断強度で発生した。2次地すべりと現在の地すべりは、先行地すべりによって生じたすべり面や亀裂の残留せん断強度による再活動である。地すべりの体積は、初生的地すべりが $10^8\text{m}^3$ オーダー、2次地すべりが $10^5\sim 10^6\text{m}^3$ オーダー、現在のものが $10^3\sim 10^5\text{m}^3$ オーダーである。地すべりの再活動は、ネオテクトニクスや気候変化の活性化と一致して断続的な可能性が強い。

現在の地すべりは、初生的半円形地すべりの内部や、半円形地すべり亀裂に沿った破壊の著しい場所で発生しやすい。したがって、旧期初生的地すべりの発生と移動の解析は、現在の地すべりの活動を推測するためにも、また、これらに関係した災害を防止するためにも欠くことのできないものである。

## 文 献

- 藤田至則 (1982) : 島弧変動について. 地研専報, 24, 1-32.
- 新潟県 (1980) : 昭和55年緊急地すべり対策工事 (虫亀地すべり防止区域). 83p.
- Takahama, N (1985) : Mass movement in the eastern margin of the Cenozoic Niigata sedimentary basin - Its geohistorical backgrounds. Annual Report of the Research Institute for Hazards in Snowy Areas, Niigata University. 7, 7-67.
- Varnes, D. J. (1978) : Slope movement types and processes. Schuster, R. L. and Krizek, R. J. (ed.), Landslide analysis and control. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report, Washington, 176, 11-33.
- Zaruba, Q and Mencl, V. (1969) : Landslide and their control. Elsevier, Amsterdam, 205p.