

# 地すべり粘土の物性から見た新潟県下の 二、三の地すべりについて

The Geotechnical Properties and Slope Stability Analysis  
of Some Landslides in the Niigata Prefecture, Japan

佐藤 亮\*・水野 恵司\*\*・松倉 公憲\*\*\*

Ryo SATO, Keiji MIZUNO and Yukinori MATSUKURA

## I はじめに

新潟県中部より南部にかけて、主に第三系の黒色泥岩を基盤とする地域を中心に多くの地すべり地が密集している。これらの地すべり地を対象に数多くの調査が行なわれている（これらの大部分は新潟県農林水産部治山課（1978~1981）によってまとめられている）が、そのほとんどは安定解析から逆算的に力学的強度定数を求めるのが普通で、三軸圧縮試験やせん断試験が行なわれることは稀である。しかしこのようにして求められた値は経験的な仮定を多く含み客観性に欠けている。そのため実際にすべり面の強度がどの程度であり、それがどのように地すべり粘土の諸性質と関連しているかという問題について追求した例は少ない。

本研究では新潟県内の典型的な地すべり地、5ヶ所を選び、繰り返しによる一面せん断試験を行って地すべり粘土のせん断強度定数を決定し、その値がすべり面の強度を評価し得るかどうかを確認するために分割法による安定解析を行った。またそのせん断強度定数の値が地すべり粘土の他の物性とどのように関連しているかを考案した。

## II 各地すべり地の概要

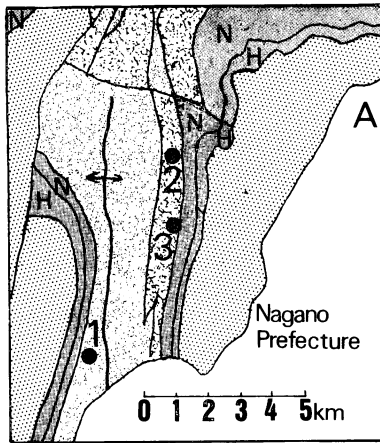
調査対象として、新潟県新井市南方地域と長岡市南方の2つの地域から5つの地すべり地を選んだ。それらの位置と周辺の地質を第1図に示した。








### 1) 新井市南方地域の地すべり

葭尾沢、馬場および寸分道地すべり地は新井市東南部の丘陵地帯に位置している（第1図、A地域）。この丘陵地帯は標高300~500mで、NNE~SSWにのびる富倉背斜の両翼に帯状に広がっている。この褶曲は長さ20km以上にわたり、大規模な過褶曲の状態にあり、周辺に分布する新第三系の基岩類（主に黒色泥岩）は著しく破碎されている。このことが基岩内への地下水の浸透を容易にするため風化を促進させ、これらの地すべりの重要な素因となっている。

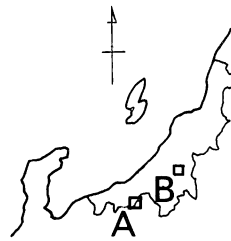
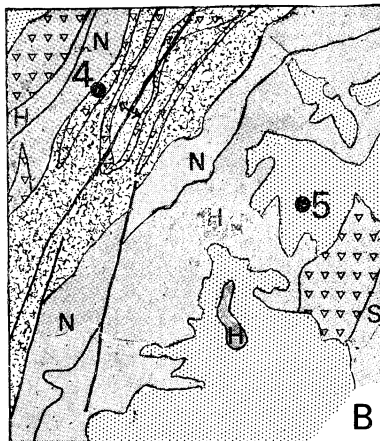
葭尾沢地すべり（第1図、地点No.1）は1978年4月国道292号線に沿って流れる長沢川の右岸斜面上で急激な移動をする「崩壊型」として発生した。地すべり地の平面図および断面図を第2図に示した。これらの図は地すべり報告書を参考に作成した。以下の地すべりの平面図および断面図も同様にして描かれた。これら参考にした報告書は文献の後に資料として挙げた。1978年の地すべ

\* 筑波大学自然学類(現 院・環境科学研究科) \*\* 筑波大学・院・地球科学研究科 \*\*\* 筑波大学地球科学系  
(1985年7月20日受理)



-  Uonuma G.
-  Nanatani F.
-  Haizume F.
-  Nishiyama F.
-  Shiiya F.
-  Teradomari F.
-  Volcanic rocks

- 1 Yoshiozawa
- 2 Baba
- 3 Subundo
- 4 Yomogihira
- 5 Mizusawashinden



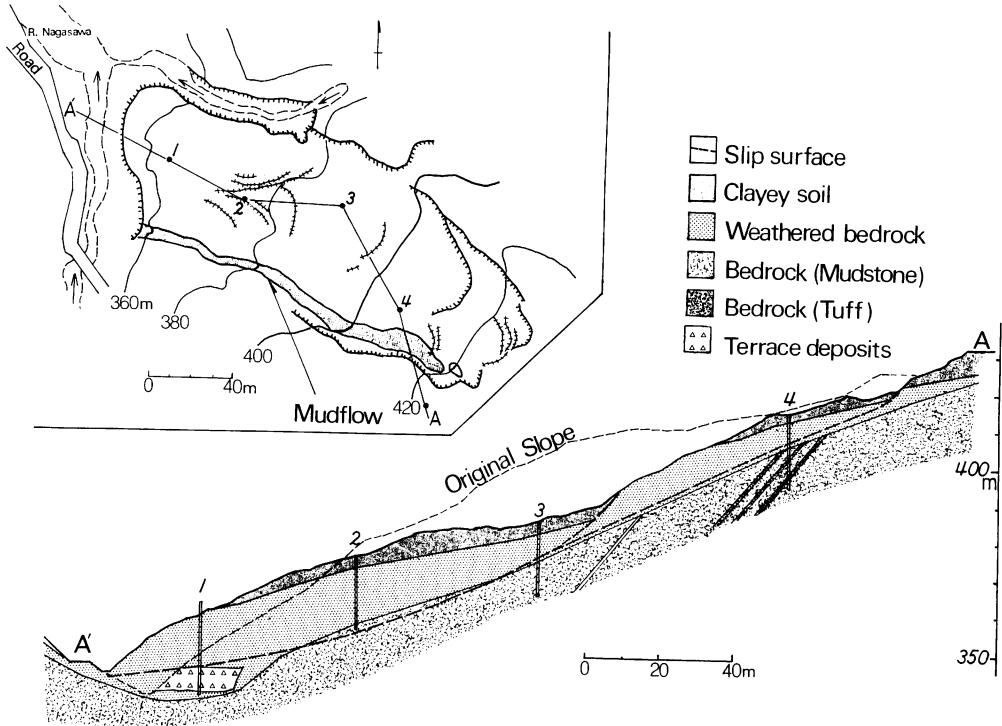
第1図 各地すべり地の位置および周辺の地質の概要

りは最初に斜面の下段が滑落した後、不安定になった上段が従属的に崩れ落ちている。その後も斜面は不安定な状況にあったが、翌1979年12月には同じ斜面上で再び崩壊に近い地すべりが発生した。1978年のものは尾根状斜面上で基岩を切って発生しており初生すべりであると思われる。また融雪期に発生したことから、多量の融雪水の浸潤による間隙水圧の増加が、地すべり発生の誘因となったものと考えられる。地すべり地の基盤は主に新第三系寺泊層の黒色泥岩である。

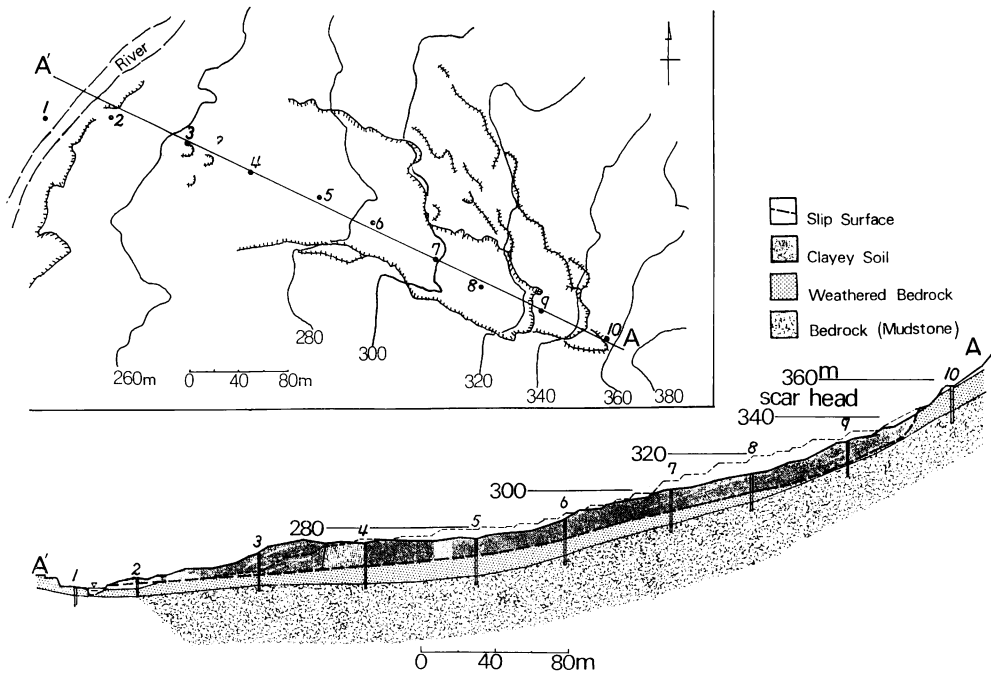
馬場地すべり(第1図、地点 No.2、第3図)は1981年1月、馬場川左岸の北西向き斜面上に発

生し、標高325mの冠頭より長さ約450m、最大幅130mに渡り滑落した。地すべりブロックは地形図から判断すると、より大きな包括的なブロックに包まれると考えられ、過去にも地すべりがあったと思われる。周辺の斜面でも地すべりが発生したり、当斜面上で亀裂が発生した記録が残っている。従ってこの地すべりは間隙水圧の上昇により誘発されたというよりは、むしろすべり面強度の低下等により発生したものである。地すべり地の基盤は新第三系椎谷層の黒色泥岩を主体とし、灰白色凝灰岩、凝灰質砂岩を挟在する。

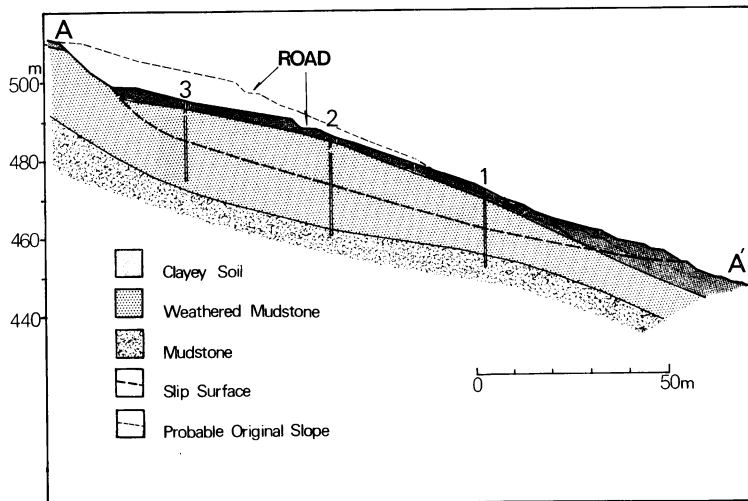
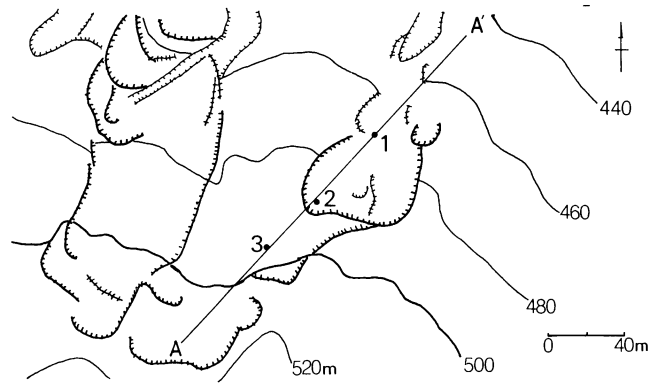
寸分道地すべり(第1図 No.3地点、第4図)



第2図 葭尾沢地すべりの平面図および断面図



第3図 馬場地すべりの平面図および断面図



第4図 寸分道地すべりの平面図および断面図

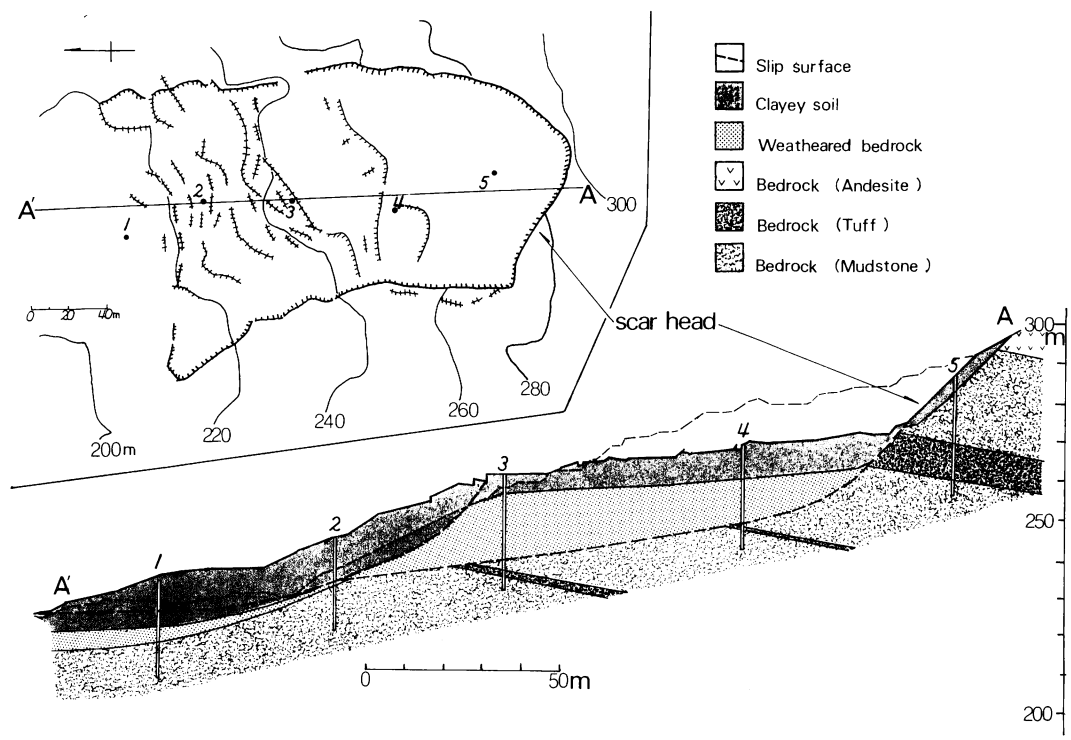
は新井市南東部寸分道部落西方，寸分道川源流付近の左岸の北向き斜面上で発生している。地すべりは1977年以来繰り返して発生しており，特に82年4月には大きく移動して市道等に大きな被害を与えた。この地すべりは1973年に移動した部分が再び活動したものである。椎谷層の暗灰色泥岩を基盤とし，部分的に砂泥互層を挟在する。地すべりの発生が融雪のピークにあたることから，間隙水圧の上昇が誘因と思われる。

## 2) 長岡市南方地域の地すべり

長岡市の東南部には大規模な山中背斜がほぼ南北に走り，その東西には新第三系の各層準が下位

のものより順に帯状に配列し，さらにその東方には第四系の魚沼層群が分布している（第1図，B地域）。

蓬平地すべり（第1図 No.4地点，第5図）は1984年5月長岡市東部，蓬平地内で発生し，猿倉岳の北側斜面上320m付近より長さ250m，幅130mに渡って土砂が流出した。付近一帯の地質は椎谷層の暗灰色泥岩が主体であり，また斜面上方には安山岩類が広く分布しているが，これらは南北に走る荷傾背斜によって著しく破碎され亀裂が多い。そのため基岩類は，風化が促進されるとともに地すべりブロックへ多量の地下水を供給し



第5図 達平地すべりの平面図および断面図

ていたと考えられる。またこの地すべりは地形図から判断して尾根状斜面で発生しているうえ、すべり面が基岩面上に位置していることから、初生的すべりである可能性が大きいものと思われる。

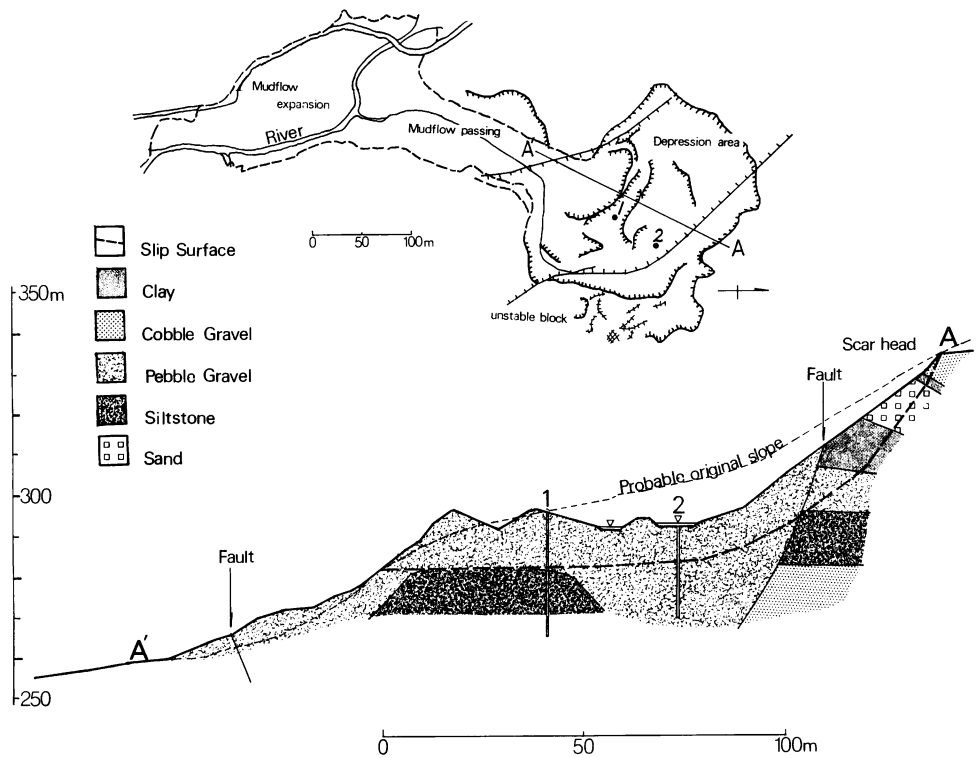
水沢新田地すべり（第1図 No.5 地点、第6図）は1969年4月26日午前7時10分頃、北魚沼郡広神村の水沢上山の頂上付近に突発的に生じ、斜面長450mにわたる土塊が泥流化して麓の小屋柄川と水沢新田部落を埋没させた。地すべり地の基盤は第四系の魚沼層群で砂泥互層を主体とする。第6図の平面図に示すように地すべりブロックは冠頭部の滑落した部分と中央の泥流が通過した部分、そしてその先に泥流がおしよせて堆積した部分からなる。陥没地帯は2つの断層に挟まれて地溝帯を作っている。また泥流堆積物中には多くの炭化した埋木が含まれ、過去にも大規模な移動があったことを示している。ここでは第三系の地すべり地のように基岩、風化岩層、崩積土または粘

性土層というような土層構造はみられず、地質構造と関連した基岩の風化に素因を求めることはできない。地溝帯に二次堆積物の荷重が加わったことから徐々に安定を失ったものと思われる。

またこれまでに述べたような第三系の地すべりでは柱状図中、粘土層を挟在する部分を連ねて容易にすべり面を想定することができたが、水沢新田のような泥流型地すべりではすべり面を特定することは困難とされている。しかしここでは透水性のよい砂礫層の中に透水性の悪いシルト層を挟む部分があり、地すべりの誘因となった融雪水の浸透による間隙水圧はこの部分で発生したと考えられる。このことからこのシルト層部と地形状況をもとに断面図に示すようにすべり面を決定した。

### III 地すべり粘土の諸物性

各地すべり地で採取した地すべり粘土の諸物性



第6図 水沢新田地すべり平面図および断面図

を調べた。地すべり粘土は滑落崖に露出していたものを採取した。

### 1) 鉱物学的性質

各試料の未処理の粉末および水簸により集めた粘土粒子 ( $2\mu\text{m}$  以下) を用いてX線解析を行った。水簸試料は未処理のものとエチレングリコール処理したものを解析した。

回析図より同定した各地すべり粘土の含有粘土鉱物を第1表に示す。また水簸試料によるX線回析曲線を第7図に示す。

第7図では各々の試料によりモンモリロナイトのピーク面積の他の鉱物のそれに対する比率は異なっているように見える。そこで、ここでは竹内・高谷 (1980) と同様の手法<sup>1)</sup> で水沢新田を除く各地すべり粘土のモンモリロナイトの含有量を計算

した。得られた結果は第1表中に  $M_0$  として示されている。

### 2) 物理的・力学的性質

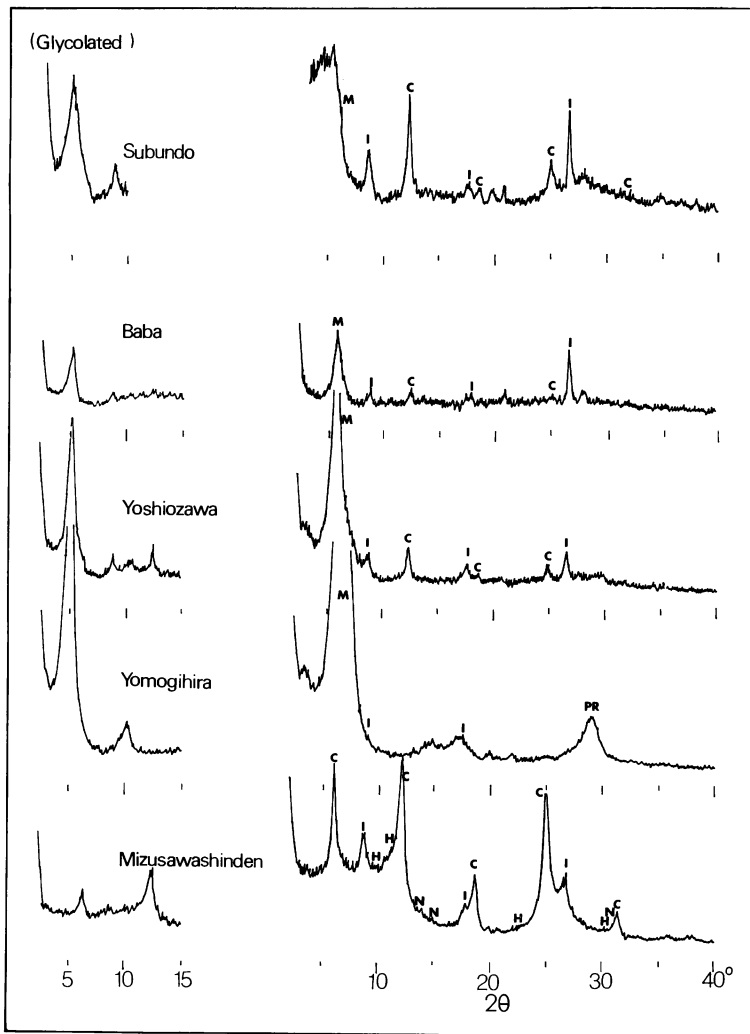
各試料につき行なったコンシステンシー試験の結果を第1表に示した。馬場と蓬平の塑性指数が比較的大きい。

また分散剤としてピロリン酸ナトリウムを用い比重計法による粒度分析を行った。その結果を第1表中に示した。いずれも  $2\mu\text{m}$  以下の粒子含有量は24~40%と大きく、また三角座標による分類でも全て粘土に分類される。しかし馬場、寸分道の2つが細粒成分 (シルト+粘土) に富み粗粒成分 (砂) をほとんど含まないのに対し、葎尾沢、水沢新田はかなりの量の砂を含んでいる。地域的に近い位置にある馬場、寸分道と葎尾沢の粒度組

第1表 地すべりの粘土の諸物性

	sand (%)	silt (%)	clay (%)	$w_L$	$w_p$	$I_p$	Mineral	Mc (%)	$c_p'$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi_p'$ (deg)	$c_r'$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\phi_r'$ (deg)
葭尾沢 寺泊層	32.0	44.0	24.0	51.0	26.5	24.5	M, I, C, Q, Pl, Py	81.5	0.2750	26.5	0.3015	16.4
馬場 椎谷層	1.0	60.5	38.5	65.4	29.9	35.5	M, I, C, Pl, Py	47.9	0.1265	28.6	0.1150	21.4
寸分道 椎谷層	4.5	55.5	40.0	55.0	25.8	29.2	M, I, C, Q, Pl, Py	56.4	0.3080	24.2	0.2830	21.5
蓬平 椎谷層	13.0	53.5	33.5	72.1	34.7	37.4	M, I, P, Pl, Py	90.7	0.1440	31.3	0.2185	11.5
水沢新田 魚沼層群	38.5	35.0	26.5	49.8	24.3	25.5	I, C, P, Q, Z, D	0	0.1475	36.3	0.0555	35.9

M: Montionrillonite, I: Illite, C: Chlorite, P: Pyrophyrite, Q: Quartz, Pl: Plagioclase, Py: Pyrite, Z: Zeolite, D: Dolomite, Mc: モンモリロナイト含有量



第7図 地すべり粘土の水鏡試料による X線回折曲線, **M**: モンモリロナイト, **I**: イライト, **C**: クロライト, **PR**: パイロフィライト, **N**: ソーダ沸石, **H**: 輝沸石

成に大きな違いがあるのは層準の違いによるものと思われ、またこれは新井市内の寺泊層では粒度が粗いという岩永・野崎（1983）の報告と同じ結果を示している。

次に、地すべり粘土の力学的性質としてのせん断強度特性を求めるために、繰り返しによる一面せん断試験を行った。試験方法とピークおよび残留強度の決定については松倉・水野（1984）に準じた。

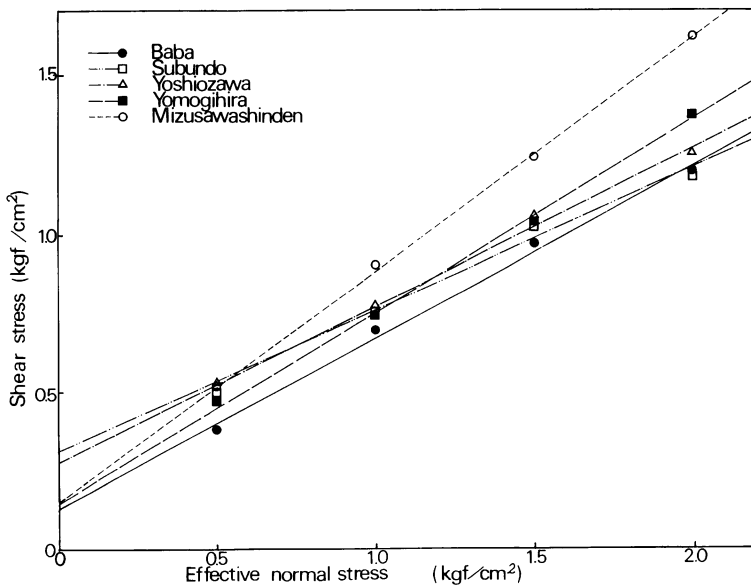
ピークおよび残留強度による各地すべり粘土についての破壊包絡線を第8図および第9図に示す。各試料ともグラフに示すように垂直応力とせん断応力の間には高い相関がみられた。グラフより破壊基準に基づいて得られた各強度定数を第1表に示す。水沢新田の地すべり粘土はせん断抵抗角が他のものに較べて特に大きい。他の4つはピーク強度による包絡線は似かよっているが、残留強度では馬場と寸分道がやや大きい。また粘着力  $c$  の値はピーク、残留とも葎尾沢と寸分道の試料で比較的大きい。

### 3) $\phi_r'$ について

上で述べたせん断強度定数のうち、地すべり斜

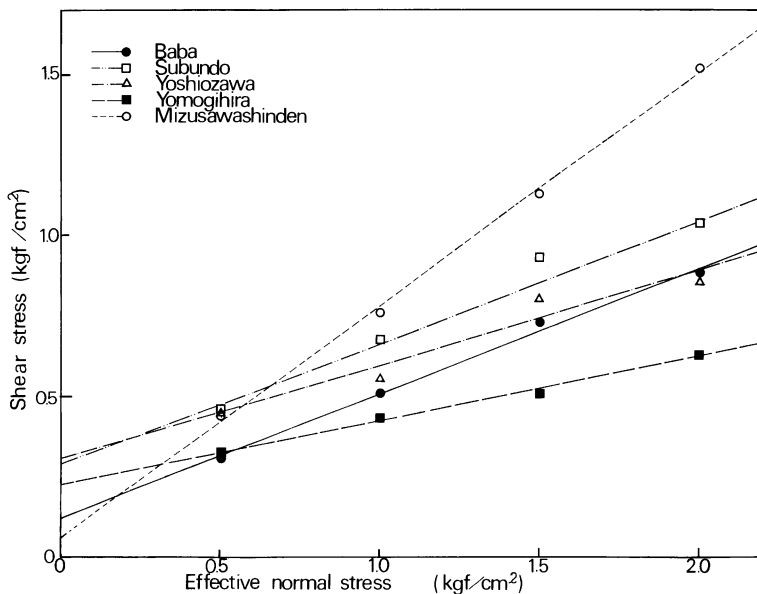
面の安定度の評価という面で最も重要なのは残留強度のせん断抵抗角  $\phi_r'$  であるが、この値と  $2\mu\text{m}$  以下の粘土粒子含有量の間には指数関数的な有意の関係があることがこれまでに何度か報告されている（たとえば中村，1979 他）。しかし本研究によるデータでは2つの値の間には相関性は見いだせない。

また第10図は塑性指数  $I_P$  と  $\phi_r'$  の関係を示したものであるが、これらの値の間にも有意の関係があることが Voight (1973) 等により取り挙げられている。ここに示したグラフは、ばらつきはあるものの明確な右下がりの傾向を見せており、従来の研究例と調和的である。Voight (1973) は残留強度が主に鉱物組成に依存するとした Kenny (1967) の主張を肯定的に引用し、コンシステンシーが鉱物学的因子に影響を受けることから強度と可塑性の間に相関性があるのは当然であると述べている。また玉田 (1984) は人工的に合成された試料を用いた実験により、 $\phi_r'$  に大きく関与するのが試料中のベントナイト含有量比であり粒度組成は特に影響しないという結果を導いている。第11図は  $\phi_r'$  の値とモンモリロナイト含有量比の

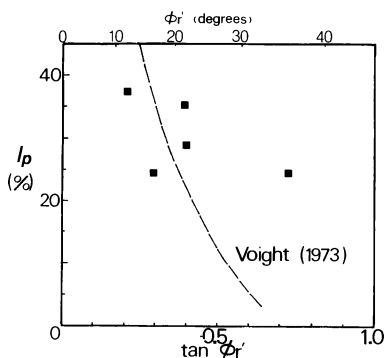


第8図 ピーク強度の破壊包絡線

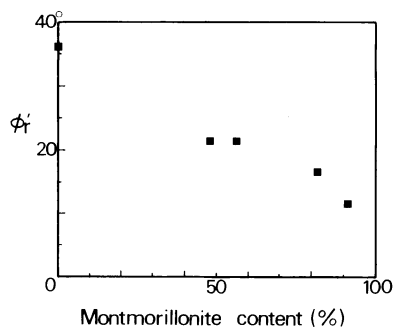




第9図 残留強度の破壊包絡線



第10図 塑性指数  $I_p$  と残留せん断抵抗角  $\phi_r'$  との関係



第11図 粘土分の中に占めるモンモリロナイト含有量と残留せん断抵抗角  $\phi_r'$  との関係

関係を示したものであるが、モンモリロナイトを全く含んでいない水沢新田のものも含めて右下がりの高い相関性を持って並んでいる。このことは残留強度が含有粘土鉱物組成つまりモンモリロナイト含有量比に大きく影響されており、ただ細粒成分がふえただけでは  $\phi_r'$  の値は小さくならないことを示している。先に示した  $I_p$  と  $\phi_r'$  の関係はこのモンモリロナイト含有量と  $\phi_r'$  の値の相関性が可塑性というフィルターを通して表れたもの

と考えられる。

#### IV 安定解析

##### 1) 解析方法

各地すべり地について斜面の安定解析を行った。

ここで取り挙げた各地区では、地すべりの規模が大きいかつ複雑であることから、正確な安全率を求めるためには、Fellenius の分割法によるのが適当であると思われる。この方法の日本の地す

べりに対する適合性は藤原・井戸（1982）により経験的に確かめられている。

これは地すべり土塊全体を  $n$  個の細片に分割し、以下の式により安全率を求めるものである。

$$F_s = [\tan\phi (\sum Ni - \sum Ui) + c \sum li] / \sum Ti$$

ここで  $N_i$  は細片  $i$  の荷重  $W_i$  のすべり面への法線成分すなわち垂直応力を、 $T_i$  は接線成分すなわち水平応力を表す。また  $U_i$  は細片  $i$  内ですべり面に働く間隙水圧、 $l_i$  は細片中を通るすべり面の長さである。ただし間隙水圧は実測するのが困難であるため慣例通り土塊中の地下水による静水圧、つまり地下水位のすべり面からの高さから求めた。

## 2) 解析結果

上の方法で求めた各地すべり地における安全率を第2表に示した。

第2表 安定解析の結果

地すべり地	地下水位	残留強度 による $F_s$	ピーク強度 による $F_s$	
			すべり前	すべり後
葎尾沢	すべり前	推定	0.65	0.93
	一次すべり後	観測水位	1.07	1.49
		最高水位	0.80	1.02
	二次すべり後	観測水位	1.15	1.57
		最高水位	0.91	1.21
	馬場	すべり前	最高水位	0.97
すべり後		観測水位	1.33	1.77
		最高水位	1.21	1.87
寸分道	すべり前	推定	0.90	1.15
	すべり後	観測水位	1.38	1.55
		最高水位	1.19	1.49
蓬平	すべり前	推定	0.65	1.23
		最高水位	0.59	1.09
	すべり後	観測水位	0.93	1.73
		最高水位	0.91	1.65
水沢新田	すべり前	最高水位	0.98	1.14
	すべり後	最高水位	1.16	1.60

### (a) 葎尾沢

葎尾沢地すべり地の1978年に崩壊が発生した部

分で解析を行った。

前述のようにこの地すべり地では最初に下段斜面が滑落した後、不安定となった上段が従属的に崩れ落ちている。表に示した結果はこの下段斜面によるもので、また地下水位のすべり後の斜面における観測結果より推測したものである。残留強度を用いて計算した場合  $F_s$  の値は0.65と小さすぎることから、すべり前のすべり面強度としてはむしろピーク強度を用いたほうが  $F_s=0.93$  となり妥当であるようにみえる。

これに対し一次すべり後の斜面は降雨に伴って緩慢な移動を続け、また1年後に積雪の一時的融解に伴い再び滑落している。この状況は残留強度を用いた安定解析の結果（すべり後の斜面形でも地下水位が上昇すれば  $F_s < 1$  となる）とよくあうものである。

### (b) 馬場地すべり

地すべりブロック中央を通る主測線 A-A' に沿う斜面形による解析を行った。残留強度により計算した安全率はいずれもやや大きすぎるように見えるが、実際にこの斜面は地すべりが起った後では全く移動の徴候を示していないことから、一応斜面の安定状態は残留強度によって評価できるものと考えられる。

### (c) 寸分道地すべり

表に示すように斜面の安定状態は残留強度でよく評価できるものである。地すべり後の斜面は極めて安定していることが示されており、これは現状とよくあうものである。

### (d) 蓬平地すべり

表に示した結果より、地すべり発生時のすべり面強度としては残留強度を用いるのは小さすぎ、ピーク強度ではやや大きすぎるように見える。最も危険な状態である最高水位を仮定しても  $F_s$  は1以下にならないからである。

同じ測線においてすべり後の斜面形と観測水位とを用いた解析によれば、 $F_s$  の値は1以下となり、地すべりが停止中である現状と矛盾することになる。この原因としては、これが初生的すべりの直後の解析であり、またすべり面が比較的長い

ものであることから、すべり面全体に渡って強度が残留強度まで低下していなかった可能性が挙げられる。

#### (e) 水沢新田地すべり

第2表に示すように地すべり後の斜面は極めて安定している。概要で述べたように計算で用いたすべり面の位置や、地すべり前の斜面形は僅かな根拠から推定されたものであり明確なことは言えないが、解析結果を見る限りでは地すべり前後の斜面の安定状態は残留強度で十分評価できるように見える。

### 3) まとめ

以上で述べた解析結果を総括すると、地すべり発生後の斜面の安定状態はいずれも残留強度によってよく評価できるものである。これに対し、地すべり発生時のすべり面強度については初生的すべりではない馬場、寸分道および水沢新田では残留強度まで低下しており、霞尾沢と蓬平ではむしろピーク強度に近くそれよりやや低い値であったと考えるべきであろう。

## V おわりに

本研究で明らかにされたことは以下の2つである。

(1) これまでに述べられているような粒度組成と $\phi_r'$ の間の高い相関性はここでは見られない。むしろ $\phi_r'$ は粘土鉱物組成(モンモリロナイト含有量比)に大きく影響されるものと考えられる。

(2) 各地すべり地の斜面の安定状態は、繰り返し一面せん断試験により求められた $c_r'$ 、 $\phi_r'$ を用いた分割法による安定解析で概ねよく説明できる。ただし、初生的すべりであると思われる霞尾沢と蓬平の、地すべり発生時のすべり面強度としては残留強度では小さすぎ、ピーク強度よりやや低い値を用いて評価すべきものと思われる。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり市村伊佐夫氏はじめ新井市砂防事務所の方々、小野敏氏はじめ長岡土木事務所の方々に現場の案内や地すべり報告書の貸与等の便宜を計

って頂いた。また水理実験センター・小島豊盛技官には一面せん断試験の改良に御協力を頂いた。ここに記して感謝する。

## 注

1) 竹内・高谷(1980)はスライドグラスに試料をほぼ均一に塗付した場合、回析ピーク面積と鉱物含有量比は有意な一次的関係にあることを見だしている。

## 文 献

- 岩永 伸・野崎 保(1983):新潟県下地すべり多発地域の土質について(1), (2). 地すべり, 20-1, 28~36. 20-2, 5~14.
- 竹内篤雄・高谷精二(1980): X線回析による串林地すべり地のB-10'試錐孔の粘土鉱物組成について. 地すべり, 17-1, 17~22.
- 玉田文吾(1984): 地すべり面のせん断強度定数と粘土鉱物の関係. 地すべり, 20-4, 7~14.
- 津田禾粒・岩永 伸・永田 聡(1970): 新潟県下の今春の流動型地すべりについて. 地すべり, 6-3, 26~30.
- 中村浩之(1979): 地すべりとすべり面の残留強度. 土木技術資料, 21-8, 14~19.
- 新潟県農林水産部治山課(1978~1981): 『地すべり調査総括書』, I 地すべりと地質及び地質構造の関係, 80p. II 西頸城 260p. III 中頸城・東頸城(1), (2), 322p. IV 魚沼, 中越 423p. V 中蒲原, 東蒲原, 岩船, 佐渡 279p.
- 藤原明敏・井戸 徹(1982): 積分による安定計算の方法について. 地すべり, 18-3, 49~53.
- 松倉公憲・水野恵司(1984): 柿岡盆地北部, 東山地すべりにおける斜面勾配とその力学的安定について. 地理学評論, 57, 485~494.
- Kenny, T. C. (1967): Influence of mineral composition on the residual strength of natural soils. *Proc. Geotech. Conf., Oslo*, 1, 129~134.
- Voight, B. (1973): Correlation between Atterberg plasticity limits and residual shear strength of natural soils. *Geotechnique*, 23, 265~267.

## 資 料

新井砂防事務所・北日本技術コンサルタント株式会社  
(1978)：地第51—2—91号，霞尾沢地すべり調査  
委託報告書，17 p.

新井砂防事務所・北日本技術コンサルタント株式会社  
(1980)：地第51—96号，霞尾沢地すべり防止調査  
委託報告書，54 p.

新井砂防事務所・株式会社日さく(1981)：地第47—

3—92号，馬場地すべり調査報告書(新井市大字馬  
場地内) 69 p.

新井砂防事務所・株式会社日さく(1983)：地第45—  
95号，馬場地すべり土質調査報告書，42 p.

新井市役所・株式会社日さく(1982)：災測委第1号，  
市道上濁川寸分道線調査業務委託報告書，113 p.

長岡土木事務所(1984)：蓬平地すべり，地形図，ボ  
ーリング柱状図等.

新潟県砂防課(1969)：水沢新田地すべり，26 p.