

## 富士山の雪代に関する基礎的研究

土肥直喜\*・福江正治\*\*・安間 荘\*

### Fundamental Study on Slush Avalanche on the Slope of Mt. Fuji

by

Naoki DOHI, Masaharu FUKUE and So ANMA

(Abstract)

Slush avalanches and debris flows often occur on the slope of Mt. Fuji. It is common that the shear plane exists in the upper thawed soil layer on the frozen soil layer. As the permeability of the frozen soil layer is extremely low in comparison to the upper thawed layer, ground seepage can easily develop during rain fall. Therefore, the instability condition of the slope is obtained mainly due to the seepage force developed in the thawed soil layer.

This report describes the summary and results of a model experiment in relation to the mass flow, using soil samples obtained from the slope of Mt. Fuji. The result show that the slope stability problem of Mt. Fuji can be solved with the conventional analysis being used in geotechnical engineering, if the seepage forces are properly estimated.

For the prediction of slush avalanches, the following factors are at least needed :

- (1) thickness of thawed soil layer and depth of frozen soil layer,
- (2) thickness of snow deposits,
- (3) water level in thawed layer, and
- (4) slope angle.

Key words : Slush avalanche, Mt. Fuji, Seepage force, Thawed soil, Frozen soil, Permeability

キーワード : 雪代 (土・雪混合流), 富士山, 浸透水圧, 融解土, 凍結土, 透水係数

### いまえがき

富士山東斜面 (御殿場側) では, 春先になって毎年のように大雨を起因として雪と土砂が混り合った土石流が発生している。地元ではこの雪-土砂の混合流を雪代 (ゆきしろ) と呼んで恐れている。記録にある大規模な雪代の例は1981年3月15日に発生した宝永山なだれである (福江ほか, 1981; 安間ほか, 1982)。このときは東斜面全般を雪代堆積物が覆った。実際, 東斜面の森林破壊や貧植生は宝永山の最後の噴火に起因しているが, 今もって植生が根づかないのはこのような雪代が頻発していることにもよる。

著者らは以前より, 雪代の発生の条件についていろいろ検討してきたが, その主たる要因として, 地盤斜面の凍結によって難透水性層がある深さに形成され, その凍結斜面上で斜面内浸透流が発達しやすくなると結論した (安間ほか, 1982)。そこで, 富士山東側の砂礫を用いて土砂流発生条件について斜面内浸透流の観点からモデル実験をおこなってみた。さらにモデル実験でえた結果に基づいて雪代 (土

\* 株式会社建設基礎調査設計事務所,

\*\* 東海大学海洋学部

石流)の発生に関わる地下水位と降雨量について推測してみた。また富士山西側斜面(大沢崩れ)において観測した凍土層の形成過程やその透水性についてもものべる。

## II 雪代の発生についての概要

一般に雪代の発生は低気圧性の暖気、暖雨による融雪とそれによる斜面内浸透圧の発達に伴い、斜面が不安定になることによる。過去の例では、斜面勾配が25度程度の所で多く発生している。また、標高では約2,500m程度の箇所である。このような所では春先でも積雪が存在しているので、その下の斜面は凍結していると考えられるが、時期的に融雪期に入っていることもあり、雪温、地温共に摂氏0度に近いと考えられる。したがって降雨後雪代の発生までに数cmから十数cmは融解すると考えてもおかしくない。調査例では十数cmの融解土砂層が雪代として流出している。また、雪代が発生した所で凍結土層が現存していることを考えれば、雪代が凍結層の上で滑ったと考えるべきであろう。すなわち、雪代は雪、凍結土(氷)、土砂(融解土)、および水の4つの物質に関連した斜面災害ともいえ、発生機構は複雑である。したがって、その機構や対策についても種々の側面から検討する必要がある。

今回は、積雪や凍結層を無視した条件ではあるが、その存在を仮定した条件で富士山の斜面安定におけるモデル実験をおこなった。

## III モデル実験装置および実験方法

斜面モデルは、図-1に示すような合板で作製した2次元モデルとし、斜面長さを2.6m、斜面幅を20cmとした。また、斜面上部と下部には60cmの小段を設け、上、下部の可動部分を調整することで斜面の傾斜を設定している。斜面底部には網目が約1cmのメッシュを固定し、砂礫の滑りが底板との間で起こらずに砂礫相互の滑りとして現われるようにした。人工降雨は斜面モデルの上に設けた6本の散水ノズルによった。また斜面モデルの側面には水位観測用の窓を9か所設けている。土石流発生のモデル実験に用いた砂礫は富士山太郎坊付近から採取した火山砂礫で、その物理的特性は表-1に示す通りである。

この砂礫を斜面モデル内に敷き詰め、全体に均一な含水比となるように散水をおこない、その後含水比を測定した。試料の深さは10cmと15cmの2

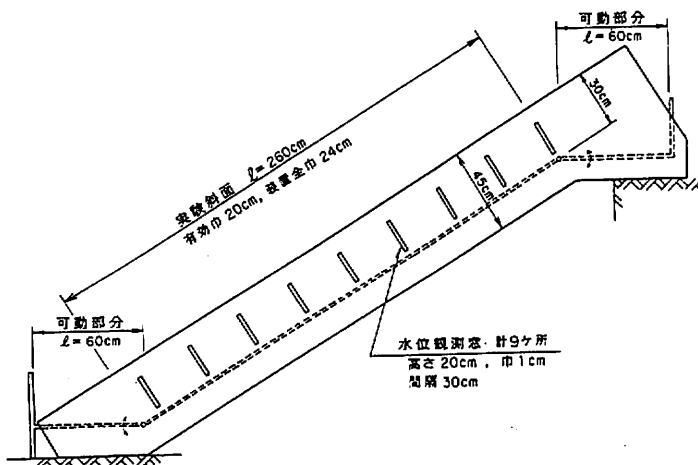


図-1 斜面モデル

Fig. 1 Two-dimensional slope model

表-1 火山砂れきの物理的特性  
Table 1 Physical indices of scoria used in the study

粒度組成	礫分	6%
	砂分	80%
	細粒分	14%
比重	2.749	
間隙比	1.9	
透水係数	$3 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$	

ケースとした。含水比測定後試料にシートをかぶせ、散水量を調整し時間降雨量としての散水量を測定した後、シートを外し実験を開始した。実験開始後は30秒ごとに観測窓から試料内の水位を測定した。斜面内に崩壊が見られたら散水を中止し、崩壊状況を確認し含水比を測定した。なお斜面モデルの傾斜角 $\beta$ は12度から32度の範囲で5度ずつ

変えた5ケースとしている。これは富士山東斜面では25度付近の斜面で雪代の発生が多く見られたことによる。

なお、当斜面モデルでは側面摩擦(試料と合板の摩擦)の影響も含まれるため、砂礫と合板の摩擦角を別途求めた。図-2はその結果を示したもので、砂礫にはモデル実験と同様に水をかけ、荷重を載せた10cm角の合板の引張り抵抗力を測っている。その結果、砂礫と合板の摩擦角は18度となった。

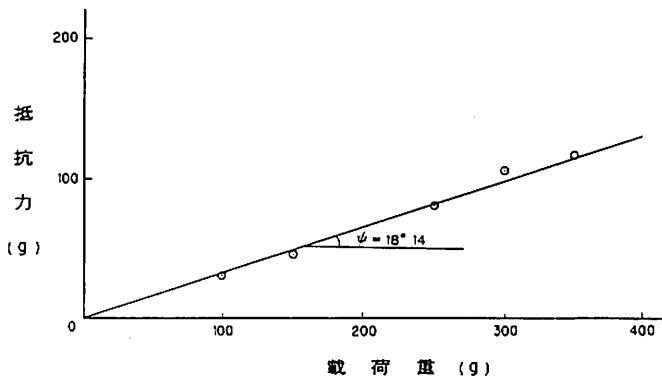


図-2 土と合板の摩擦角の関係  
Fig. 2 Frictional angle between scoria and wooden plate

#### IV モデル実験結果

斜面傾斜角および試料高さを変えて実験をおこなった結果は、表-2に示す通りである。これらの試料は現場密度にあわせて斜面モデル内に敷き詰めたもので、その湿潤密度はほぼ1.24であった。崩壊時の斜面形と、崩壊に至るまでの時間と水位変化をまとめた例を図-3に示す。実験結果では、斜面の傾斜角が22度および17度の場合は表面に水が浮き出てきた直後にすべりが発生し、最も急な32度の場合では、比較的早く崩壊が発生した。また、最もゆるい12度の場合には水位が試料の厚さを上回っても、崩壊は発生せず表層の侵食のみが生じただけであった。結果をまとめると急斜面では、浸透流速が早くなるため斜面崩壊の形となるが、中間的傾斜斜面である17~22度の斜面では、地下水位の断続的な上昇がみられ、これが土石流になるような崩壊に結びつくようである。

表-2 実験データ  
Table 2 Experimental conditions

(単位: cm)

斜面角度 $\beta(^{\circ})$	試料厚 H	崩壊距離 l	崩壊深さ H'	崩壊水深 h
32	10	17	4.0	6.8
32	15	80	3.5	5.5
27	10	60	8.5	7.8
27	10	72	8.5	8.2
27	15	50	3.5	12.2
22	10	47	4.5	9.0
22	15	74	4.5	12.6
22	15	90	4.0	13.5
17	10	84	5.0	9.0
17	15	82	4.5	13.2

#### V 安定計算

斜面の安定は一般に次式で表わされ、滑動する力と抵抗力が平衡であるとき(1)式で安定率 $F_s = 1$ となる。また、モデル実験では抵抗力は粒子間の抵抗力に側面摩擦による抵抗力が合わさったものとなる。

$$F_s = \frac{\text{滑動に抵抗する力}}{\text{滑動を起こそうとする力}} \dots\dots\dots(1)$$

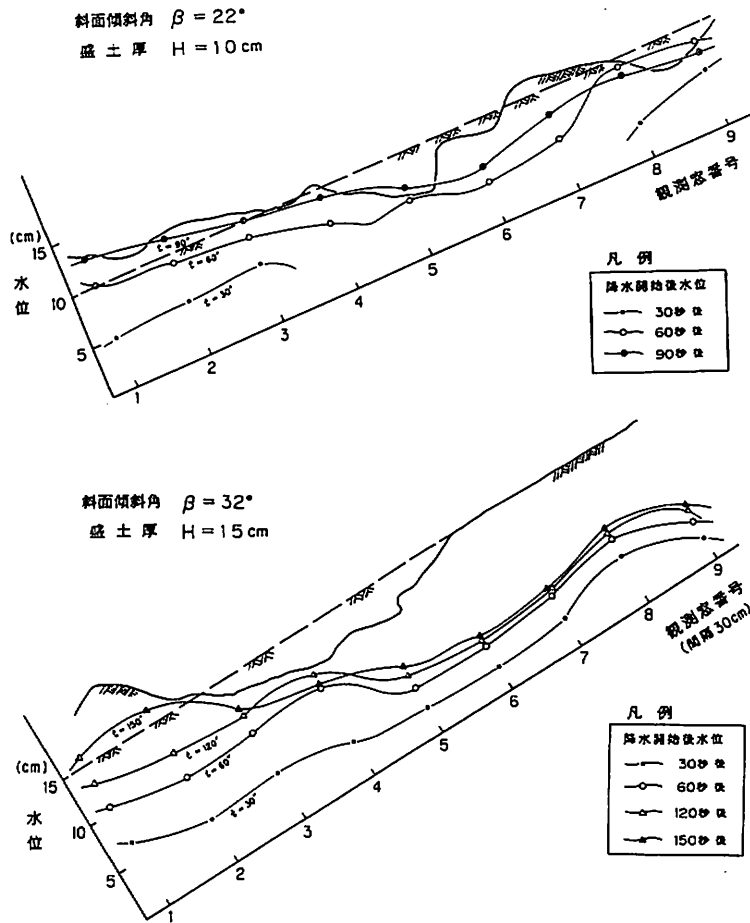


図-3 崩壊斜面形と時間水位変化  
Fig. 3 Type of mass flow and water level with time

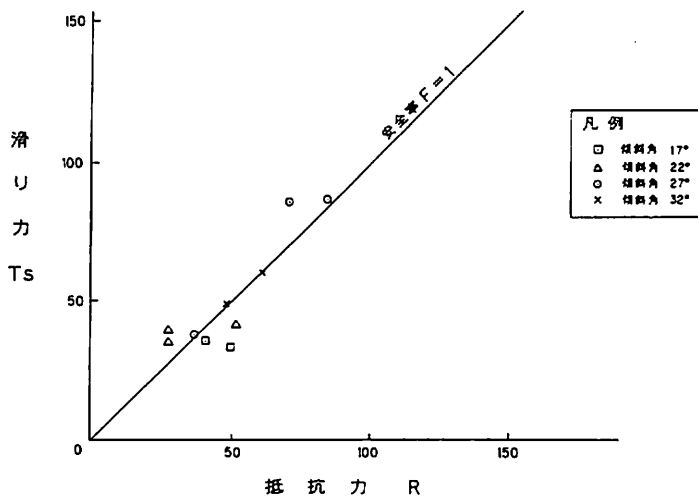


図-4 モデル実験における滑り力と抵抗力の関係  
Fig. 4 Relation between sliding force and resistance obtained from model experiments

モデル実験における崩壊時の浸透水深や崩壊土層厚などの実験データにより抵抗力および滑り力を求めた結果を図-4にまとめている。ここでの抵抗力は側面摩擦を差し引いたものである。モデル実験における崩壊発生時の抵抗力と滑り力はほぼ等しくなり、(1)式で示される安全率は $F_s \cong 1$ となった。したがってモデル実験でえられた値から、浸透流による斜面崩壊の予測が可能であると考えられる。

### VI 富士山における土石流の検討

富士山太郎坊付近の砂礫によるモデル実験でえられた値から透水層の厚さ（融解層の厚さと考えることができる）と崩壊予想地下水位の関係を各傾斜角に対して求めたものを図-5に示す。さらに地下水位を降雨量に換算したものを図-6に示している。この図では自然含水比の分布範囲と考えられる15～

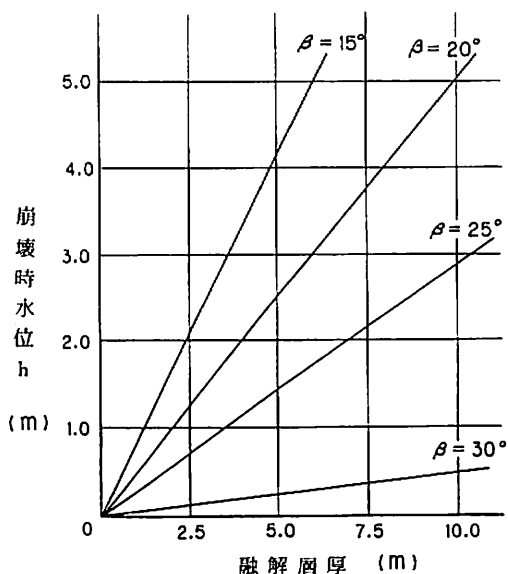


図-5 融解層厚と崩壊時水位の関係  
Fig. 5 Critical water level with thawed soil thickness slope angle for the initiation of mass flow

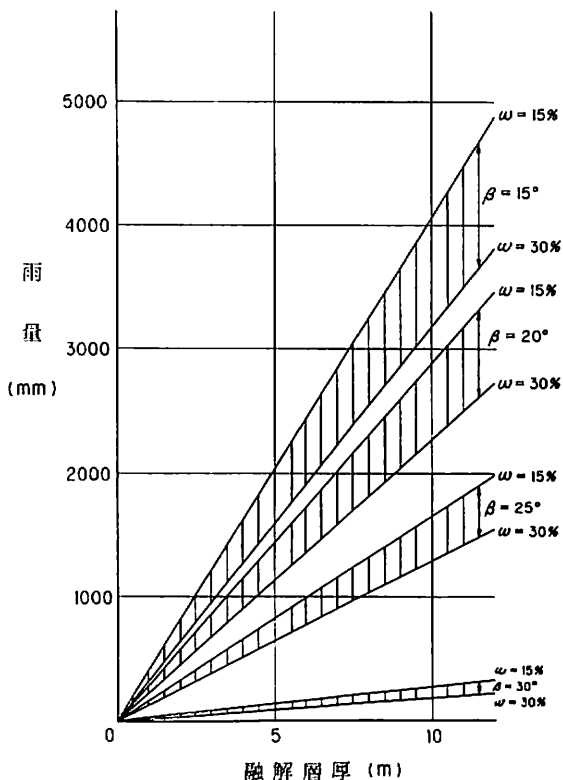


図-6 融解層厚と降雨量の関係  
Fig. 6 Critical precipitation with thawed soil thickness slope angle for the initiation of mass flow

30%の含水比の幅をも考慮している。これらの図は、モデル実験における試料層厚（透水層厚）を融解層とし、融解層の下位の凍結層を不透水層とした数値解析結果で、自然条件を考慮したものではないが、これらの図から融解層が薄い場合にはわずかの降雨によっても崩壊が発生することが予測できる。

### Ⅶ 凍土層の透水性について

富士山西側の大沢崩れから採取した試料によって実施した凍結土の透水試験結果を図-7に示す(岩田ほか, 1989)。この試料は太郎坊付近から採取した試料と異なり細粒分をほとんど含まない火山砂礫である。この試料の未凍結状態における透水係数は $2 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-3}$  cm/secであるが、 $-10^{\circ}\text{C}$ で凍結させケロシンを使用して求めた透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-5}$  cm/secのオーダーであった。なお図中のA, B線は富士山頂の試料について求められた未凍土, 凍土の透水性を示すものである(藤井・樋口, 1972)。この図からわかるように有効間隙率が小さい, 言い換えれば含水(氷)比の高い凍土層はほとんど鉛直浸透を遮断するような不透水層に近くなる。

### Ⅷ 大沢崩れにおける凍土層の形成について

大沢崩れ源頭部の標高2390 m地点に埋設した地中温度計によって測定した昭和62年11月から翌6月までの地中温度の変動状況を図-8に示す。標高2350 mの観測所で積雪が観測され始めた11月末から地表付近の地温は氷点下となり, 一時上昇するが4月中旬まで氷点下となっている。この観測をおこなった期間は比較的暖冬で例年にくらべ積雪も少なかったが, 観測された最大凍結深度は1.3 mであった。

### Ⅸ ま と め

過去の調査例や現在までの研究で, 富士山東側斜面における雪代の発生や土石流の発生には凍土層が大きく関与していると言え, 凍土層と融解層が同時に存在する時期がもっとも土石流の発生の危険性が高いと考えられる。また凍土層はほとんど不透水層となるため, その上位の融解層の厚さが斜面内浸透流の発達を決める大きな要素となるものであろう。土石流発生に対してはこの融解層内の地下水位が大きく作用していると言える。したがって, 斜面内地下水位を観測することで土石

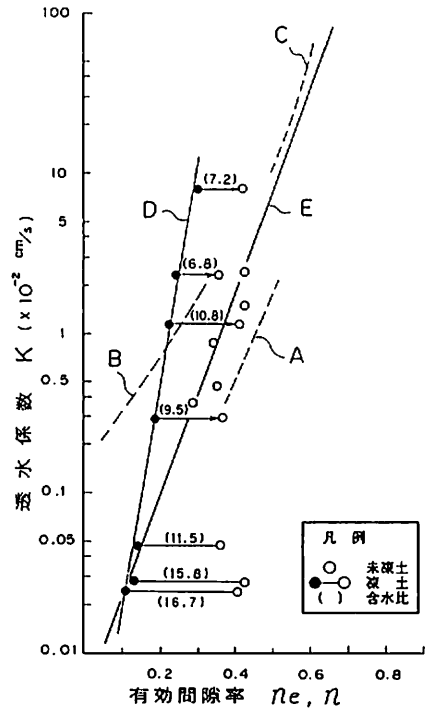


図-7 有効間隙率と透水係数の関係  
Fig. 7 Permeability of scoria with porosity under frozen and thawed condition

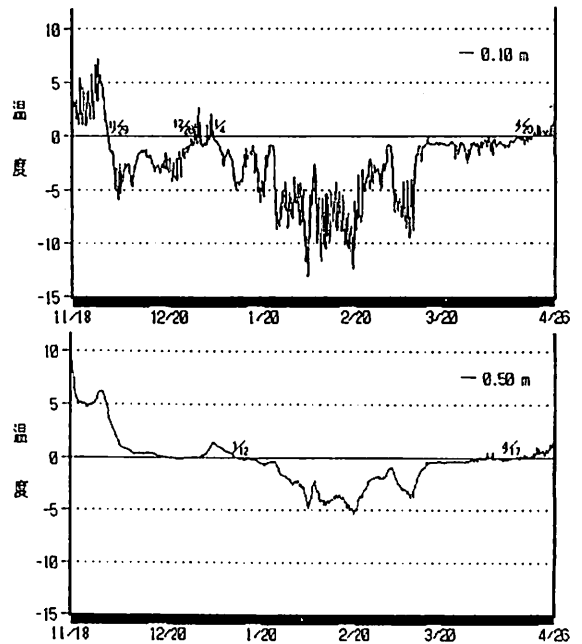


図-8 地中温度測定結果  
Fig. 8 Example of the change in ground temperature in the western slope of Mt. Fuji

流の発生を予測できると考えられるが、実際の観測はかなり困難な点が多い。これに対し観測や予測が比較的簡単な降雨量を土石流発生の予測パラメーターとすることがよいと考える。今回のモデル実験では図-6に示すような関係をえたが、これをより現実的なものにしていくのが今後の課題である。

## 謝 辞

本研究は昭和52年度から続けており、その間故大草重康先生には終始ご教授ならびに励ましをいただいた。ここに深く感謝し、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

またモデル実験は当時学生であった稲田、戸高、西尾君達が実施したものである。ここに記して、謝意を表する。

## 文 献

- 安間 荘・福江正治・大草重康（1982）：土石流発生条件としての凍結と融解．第17回土質工学研究発表会講演集，1129-1132．
- 藤井理行・樋口敬二（1972）：富士山の永久凍土．雪氷，34，9～22．
- 福江正治・山下皓一・恵本克利（1981）：1981年3月15日の宝永山なだれについて．雪氷，43，225-229．
- 岩田幸雄・福江正治・安間 荘・土肥直喜（1989）：凍結作用を受けた地盤の透水性と熱的性質について．第24回土質工学研究発表会講演集，1055-1056．