

(12) 結晶片岩斜面のワリーフとその原因について

京都大学防災研究所 ○(正) 佐々恭二

京都大学農学部 (正) 武居有恒、丸井英明

1. 結晶片岩斜面のワリーフ

結晶片岩斜面では、斜面全体が破砕されて岩の強度が残留強度の状態に近く(すべり)が生じていてもあまりせん断抵抗力が低下しないので、急に崩落することなく、毎年大雨の度に少しずつ動くものが多い。このような毎年少しずつ動くことを総称してワリーフと呼ぶが、詳しく物動観測してみると、その動きは比較的には、よりしたせん断面を持ち、たブロック状の地すべり運動のほかに、斜面全体が圧縮されるような(通常のせん断現象とは異なるような)動きがあるように思える。ここでは後者の動きの有無とその原因について検討してみる。

1-1 ワリーフの計測方法

ワリーフの計測は伸縮計を用いて行ったが、ここでは特に高い精度の計測が必要とされるので、通常の伸縮計設置法と異なった方法を用いた。図1に通常用いられている伸縮計設置法とその際の誤差の原因をあげる。伸縮計測線が道、家他のために切れている場合、1)伸縮計の切れ目に小さな地すべりブロック(よう壁の傾きほど)でも、その上下端があれば大きな誤差になる。2)杭を一方に引、張るとワリーフ的な杭の傾きが生じ易い。筆者等はワリーフを起している結晶片岩斜面の一例である徳島県善徳地すべりにおける初期の観測結果より、上記の点をインバー線オーバーのたわみの保持に悩み、図2の方法によりオーバーをして図3の山頂より果道まで、全ての道、構造物を飛び越して完全に連続につないだ。この場合、杭の傾き及び杭一本を含む地すべりが生じていても区別でき(図4のA型の所)、全体としての移動量の誤差の原因とはならない。

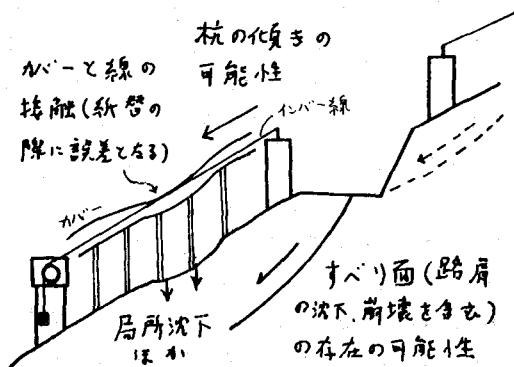


図1 通常の伸縮計設置法とその問題点

1-2 ワリーフの計測結果

図4, 5は各伸縮計の観測値を測線端より累積して

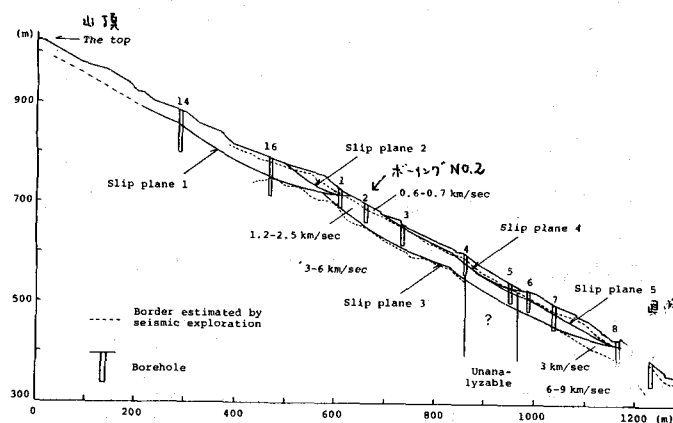


図3 善徳地すべりの伸縮計測線断面図と地すべりブロック

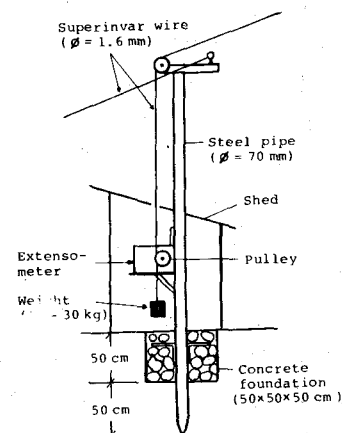


図2 善徳における伸縮計設置法

各年の物動量を示したもので、各年の基準線（観測期間中安定であった渠道の位置の12月末または1月初めを基準としている）からの縦座標が、各地点（図4の下）のその時点（図左端）での物動量を示している。図4のデータとそう入型ヒズミ計によるすべり面深さの決定より、図3に示す地すべりブロックが推定できた。図4の動きは山頂を含む地すべりを示しており、1978年にはすべり面1が、1975、1976年にはすべり面1と3が一緒に動いた事を示している。またすべり面2は1975、1976年に、すべり面4と5は3年とも一緒に動いた事がわかる。以上は地すべりがブロックとして動いている事を示しており、通常考えられている地すべり物動の形態である。一方、図5に示す3年の動きは、地すべりブロックの動き（1980年にすべり面1と3の一体の動き=右端の急圧縮部もあるが）というより、斜面全体（広範囲）の圧縮傾向を示している。最初、1977年にこの種の動きが観測された時は、図1のタイプより、図2のタイプに伴縮計を改修中だったので無視していたが、山頂〜渠道間を完全に連続につないだ後も、1980、1981年のような動きが観測されたことから、斜面全体を圧縮するようなワリープが存在するのはたしかと考えるようになった。その視点は、図4の結果も斜面全体の圧縮ワリープを含えて見ることが可能である。この動きは如何に解釈すべきであろうか？

2. ワリープの原因についての検討

斜面安定解析も過去に観測された物動量と降雨量、地下水位との関係を調べ、斜面全体が圧縮するような可能な原因について検討してみる。

2-1 逆算による斜面安定解析

図1に示した地すべりブロックのうち、すべり面1と3をつないだもの及びすべり面4と5をつないだものに対して、図1に示した各ボーリング孔で観測された各年の最高水位（すべり面での間ゲキ水压と考え）の時に安全率を1.0と仮定して、Janbuの方法を用いて逆算したC-φ図が図6である。この図を用いて、すべり面1+3の深い地すべりブロックにおける地下水変化量と安全率の関係を調べてみる。善後地すべりは年々動いており、すべり面では残留状態に近いと考えられるので、 $C=0$ とすると図6より $\phi \approx 40^\circ$ になる。地下水位と安全率の関係の概算に水位の実測値を用いることは不必要と思われるので、すべり面の各所で間ゲキ水压係数 γ_u を一定として、安全率

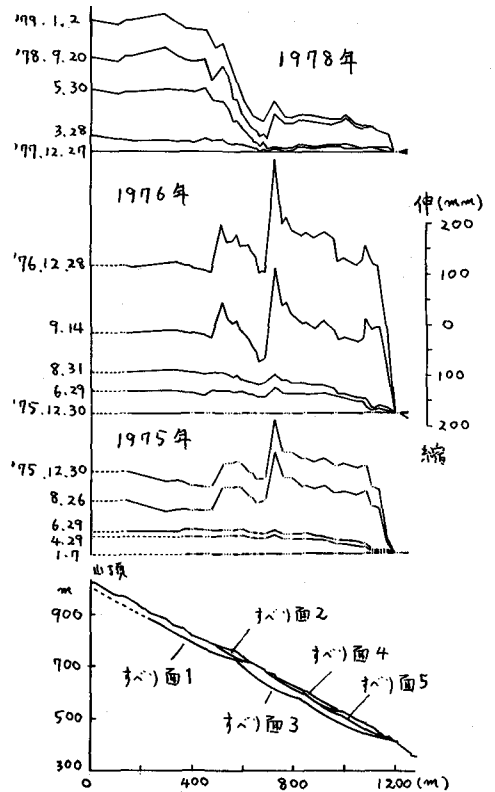


図4 ブロックとしての地すべり物動

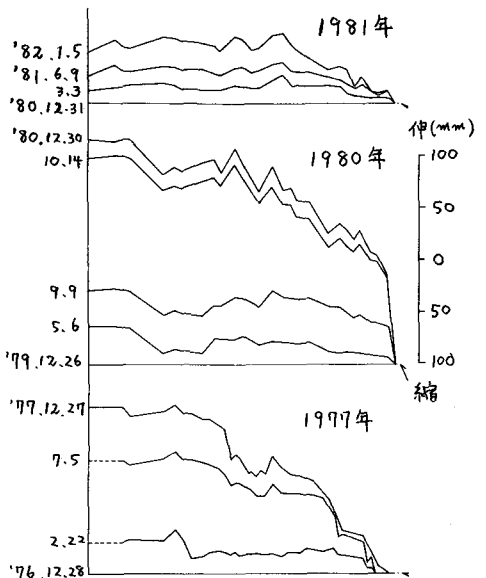


図5 斜面全体（広範囲）の圧縮ワリープ

F_s と間ゲキ水圧係数の関係を求め、次に間ゲキ水圧係数と平均のすべり面深さ $\bar{h}$ を用いて、次式より 平均水位変化量 Δh_w を求めた(表1)。

$$Y_u = \frac{h_w \cdot \gamma_w}{h \cdot \gamma_t}, \quad \Delta h_w = (Y_u(m) - Y_u(n)) \cdot \bar{h} \cdot \frac{\gamma_t}{\gamma_w}$$

但し $Y_u(m)$, $Y_u(n)$ は安全率 m , n の時の間ゲキ水圧係数、 h : すべり面深さ、 h_w : 水面からすべり面までの深さ、 γ_t, γ_w : 土と水の単位体積重量で各々 1.8 gf/cm^3 , 1.0 gf/cm^3 , $\bar{h} = 40 \text{ m}$

表1 安全率と水位変化量の関係

	$F_s = 1.0$	$F_s = 1.1$	$F_s = 1.2$
$C = 0$	$Y_u = 0.338$	$Y_u = 0.291$	$Y_u = 0.244$
$\phi = 40^\circ$		$\Delta h_w = 3.4 \text{ m}$	$\Delta h_w = 6.8 \text{ m}$

(参考のために粘着力成分があると考えると 図6を用いて $C = 0.4 \text{ kgf/cm}^2$, $\phi = 35^\circ$ の場合と試算すると $F_s = 1.1$ の時、 $\Delta h_w = 4.0 \text{ m}$, $F_s = 1.2$ の時 $\Delta h_w = 8.1 \text{ m}$ となり、そう大きな差はない)

2-2 最高水位、降雨量と物動量の関係

図7, 8は深いすべりの動きを検討するために(浅いすべりの物動量は、深いすべりと重なっているのでも分離が困難である)、浅いすべりのなり点 すなわち図3の山頂とボーリング No.2 の地点の各年の物動量を伸縮計の観測結果(図4, 5など)から求めて 各年の最高水位(図3に示す各ボーリングの年最高水位の平均)と年降雨量に対してプロットしたものである。相関関係はかなりバラツキているが、一つの傾向を読み取ることが出来る。水位については 最高の年より 15 m 、平均の年より 10 m ほど水位が低い年でも地すべり物動が生じていること。降雨との関係では 平均的な年(1700~1800 mm/年)の半分近くまで 降雨が減少しても かなりの物動量が残ることである。この観測結果を2-1で試算した結果の 水位低下約7mで安全率が20%上昇することと合わせて考えると この斜面の動きにはすべり面の間ゲキ水圧上昇によって安全率が1.0を割って せん断が生じるという機構だけでは説明しにくい動きが存在し とうである。(1975年等の時に安全率が1.0より大きく低下していたと考えられる。その物動量が大きくないことから考えて 不自然に思われる)

2-3 クリープの原因について

1-2でその存在について述べた斜面全体(広範囲)

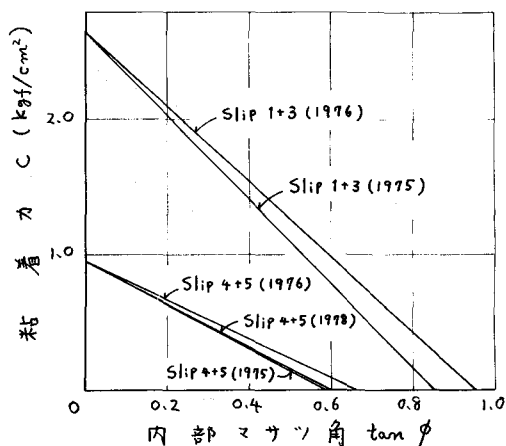


図6 逆算より求めた善徳地すべりの $C-\phi$

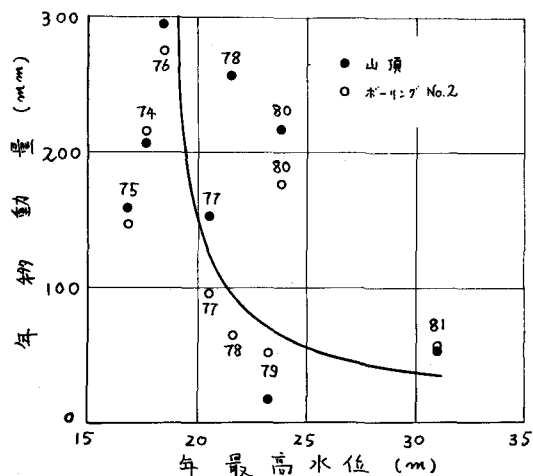


図7 年最高水位と年物動量の関係

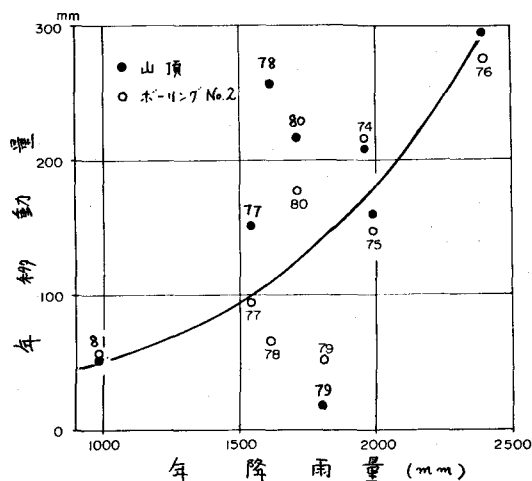


図8 年降雨量と年物動量の関係

の圧縮フリーフは、開ゲキ水圧上昇によってせん断抵抗力が減少し、ある面ですべりが生じるといった機構では説明しにくい。また2-1, 2-2の検討もそれ以外の原因があることを示唆している。

筆者等は引用文献にあげた一連の研宄において、この斜面では降雨のほてしてが地下に浸透し、地下の水みちを早い

流速(数cm/sec~数m/sec)

を持って水が流れ、活発な地下侵食が生じ、その結果として、斜面土層の大半が沈下が生じていること及び水みち内での土砂の崩落、運搬土砂の停止による水位の急上昇、再移動による急低下等を報告してきた。図3のボーリング No.7~8間にある集水井が12mの深さでせん断され、そのせん断面が水みちにあたっていたことから、集水井内を土砂が流入、流出していた。この通過土砂の採取箱の横断面と1980年に採取した土砂の粒度分析結果を図9に示す。土量は1980年が1.3kg, 1981年が1.1kg, そして1982年は23.3kgであった。粒度は土砂量が少い時ほど粗く、1982年の台風時のものは平均粒度が約5mm, 最大粒度が25mmであった。

引用文献での研宄とあわせると斜面全体が圧縮するようなフリーフは、図10に模式的に示す如く、浸透水によって細粒部が脱落して、水みちを運搬され、斜面土層の空ゲキが増大し、それに伴って土層沈下のみでなく、斜面方向にもスキ間を埋める形で圧縮が生じていると解釈できそうである。イメージ的には、斜面上の積雪の一部がとけて、沈下と下方へのフリーフをするのに似ているように思われる。すなわち斜面土層の劣化(風化、地下侵食)が地質年代的な問題ではなく、今現在の斜面の不安定化の原因として作用しており、それが地球物理的な地表変動計測の中に入って来たと考えられる。

この研宄をまとめるにあたり適切なアドバイスをいただいた京都大学防災研究所島田保教授に感謝の意を表します。また調査に協力していただいた建設省吉野川砂防工事事務所、徳島県砂防課の皆様にも感謝致します。

引用文献

- 1) Sassa, Takeji & Kobashi: The movement and the mechanism of a crystalline schist landslide "Zen toku" in Japan, Proc. INTERPRAEVENT 1980, AUSTRIA, Vol. 1, P85~106, 1980
- 2) Sassa, Takeji & Marui: Influences of "underground erosion" on instability on a crystalline schist slope, Weak Rock (ISRM Tokyo Symp.), A.A. Balkema 社, P543-548, 1981
- 3) 佐々、武屋、小橋: 日本の結晶片岩地すべり "善徳" の移動と移動機構, 国際自然災害防止シンポジウム論文集 (INTERPRAEVENT 1980 の一部抜粋翻訳集), 砂防学会出版, P49-66, 1982
- 4) 佐々、武屋、小井: 結晶片岩斜面の不安定化に及ぼす地下侵食の影響について, 沖積岩盤力学シンポジウム, 1980

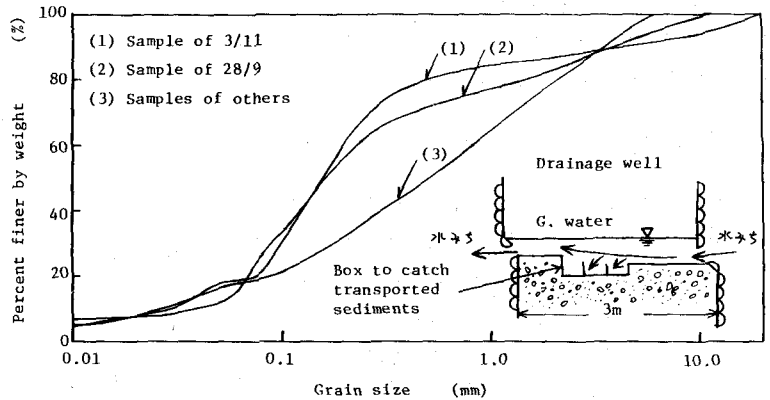
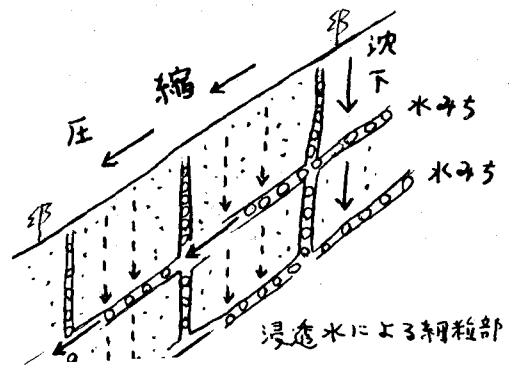


図9 地下侵食土砂採取箱から1980年に採取した土砂の粒度加積曲線



(12) CREEP MOVEMENT OF A CRYSTALLINE SCHIST SLOPE AND ITS CAUSE

Kyoji SASSA : Disaster Prevention Research Institute,
Kyoto University, Uji Kyoto 611

Aritsune TAKEI : Faculty of Agriculture,
Hideaki MARUI : Kyoto University, Kyoto 606

There are many crystalline schist landslides in Japan. Their slopes are well disturbed by tectonic and landslide movement, their rocks are near the residual state, accordingly they move a little at heavy rains every year. Such a small annual movement is generally called as 'creep'. Observing its movement in detail by extensometers, its creep is divided in two categories, one is the usual landslide movement in a form of block surrounded by a comparatively clear shearing surface, another is a compressive creep over the whole slope quite different from the block movement. The authors reported the movement and the mechanism of the former block type movement in the referred papers. Then, this paper discusses the existence of the compressive creep and its probable cause.

The test field is a crystalline schist slope of 25-30 degrees in inclination, 1.2 km in length which is located in Shikoku island. About thirty extensometers are set completely continually from the top of the slope to its toe. The observation of extensometers in these nine years has detected usual block movements of Fig.4 and an unexpected compressive creep of Fig.5. The compressive movement over the whole slope (a long range) is out of the usual idea of landslide.

To examine the cause of its compressive creep, we performed the back analysis of the slope in use of Janbu method and investigated the co-relation between the annual movement and the annual precipitation & the yearly peak ground water level. These examinations have disclosed that a component of creep remains even in the year of almost half value of the average yearly precipitation, and also remains even in the year of the peak ground water level of 15 m below the highest, 10 m below the average of the yearly peak ground water level during 1974 - 1981, though the decrease of 7 m in the peak ground water level increases the safety factor by 20 % according to the back analysis of this slope. These facts suggest the existence of a creep component which can not be explained by the ordinary mechanism that pore pressure decreases the shear resistance and sliding takes place along a surface.

The former researches of references have found that "underground erosion" is very active due to the high permeability and the steepness of slope, and active vertical subsidences take place. Observation of transported sediments in a drainage well which is sheared and a ground water path passes through it, recorded 1.3 kg in 1980, 1.1 kg in 1981 and 23.3 kg in 1982. Hence, we now suppose that the fall-off of fine particles by infiltration and their transportation along the ground water path increases the void in the ground layer, deformation proceeds filling the increasing void, and it appears in forms of subsidence and compressive creep discussed in this paper. It is illustrated in Fig.10, and its image is similar to the snow deposit on a slope which gradually subsides and creeps downward with its melting of snow crystals. So, it would be said that the deterioration (weathering, fall-off of fine particles and underground erosion) of the slope is not of a geological time scale, but it is working at present as the cause of creep which is sensed by the geophysical extensometer measurement of the ground surface.