

(12) 結晶片岩斜面の不安定化に及ぼす地下浸食の影響について

京都大学農学部 ○佐々 恭二
 " 武居 有恒
 " 丸井 英明

まえがき 斜面の不安定化の原因としては 1) 斜面形状の変更 (浸食浸食、斜面末端の人為的切取等) 2) 間ゲキ水圧の上昇 がまず考えられる。そしてより長期的、間接的には岩の風化によるせん断強度の低下が考えられる。風化の問題は通常 地質年代的な長期的問題であるが、三紀の泥岩の場合は乾燥の繰り返しにより、工学的なタイムスケールで軟弱化が進むことが伴野の研究⁸⁾ で明らかにされている。筆者は先に風化 (化学的、湿度的、乾湿的) の他に、砂質斜面 (堆積岩、花崗岩等の粒状岩石を含む) においては、水みちでの地下浸食とその上方からの細粒部脱離によって斜面土層のある部分の間ゲキ比の増大が生じ、これが土層沈下と土塊の流動化を引き起し得ることを指摘した。^{1) 2)} これまで斜面の不安定化の要因としての地下浸食の存在は工学的にはもとより、地学的にもほとんど研究されていなかった。結晶片岩斜面では斜面勾配が約 30° と大きく、岩自体は変成作用による片理と活断層 Tectonic movement により発達した破砕帯により極めて透水性が高く、降水量の多くが地下水となることから地下水量、地下水流速とも大きく、地下浸食は相当大きく考えられる。地下浸食は地盤支持力の低下、せん断抵抗力の低下に寄与し、土層沈下、地すべりの原因となり得ると考えられる。この研究は地下構造、地下水、地盤変動の調査から地下浸食の結晶片岩斜面不安定化に及ぼす影響を調べたものである。

1. 地下水調査から見た地下浸食の影響

図1は調査地の徳島県三好郡西祖谷山村の善徳地すべり谷荒地区の平面図であり、図中の地下谷、破砕帯は弾性波探査により求めた基岩上の凹地形と基岩内に入っている破砕帯である。地盤がかなり破砕されていること、基岩上面に数個の谷があることが認められる。⁴⁾ 図2は弾性波受振器をボーリング孔内に入れてボーリング保孔管の外を流れる水音 (振動) を聞いた (受振した) ものである。この調査は昭和49年の台風8号の直後に行われたものであり、高水位の時の流動状況を示している。図2の時はまだ測定機に受振器出力算定のための電圧校正器をつけていなかったもので出力の正確な値は不明であるが Very strong が 10 mV 前後、Strong が $1\sim 10\text{ mV}$ 程度、Medium が $0.1\sim 1.0\text{ mV}$ 程度と推定される。流速 (U) と受振器出力 (V) の関係は $V = aU^3 + bU$ (V は mV , U は cm/sec , 開水路内 $a = 5.15 \times 10^{-17}$, $b = 2.40 \times 10^{-3}$ ^{5) 6)} レキ層内 $a = 4.39 \times 10^{-6}$, $b = 6.06 \times 10^{-3}$) であるの

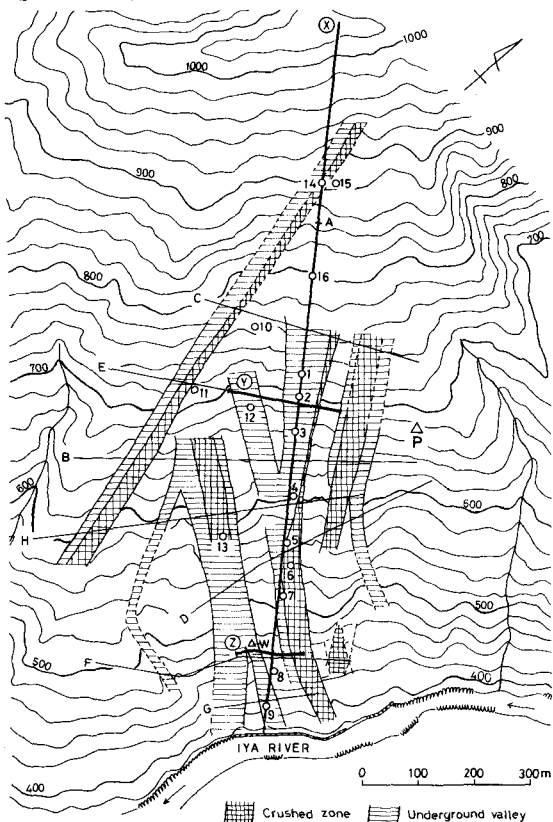


図1 善徳地すべり (谷荒地区)

Ⓚ: セン断変位計 (水平動、上下動) 40 台
 ⓧ: 伸縮計 28 台、1~16; ボーリング孔
 P: 雨量観測所、A~H: 弾性波探査測線

で速い所では毎秒1mのオーダーであったと思われる。また水流の速いボーリング孔ではザーザーと流れる水音を聞くことができた。図2の結果は地下水が何段かステップ状に流れていることを示している。図3は昭和50年の水位変化の教例を示したものであるが、水位の極大、極小値が一定しており、水がステップ状に、ある水みちが一杯になると上の水みちへ移ることを示し、図2からの推定と一致する。NO.10は流速の速いボーリング孔であり、常に水音を聞かえ、図2もm/secオーダーの流速を示すが、水位は数cmしか変動しない。これはこの部分の透水断面が大きい為

に水位のわずかな変化でかなりの流量変化に対応できるためと考えられる。図4は水みちの断面変化すなわち水みち内への土砂の崩落と水位の上昇及び閉塞土砂の流送と水位の低下を示す例としてあげたものである。NO.1の水位は11月末に雨も方いのに急に上昇しており、2月には再び雨量の変化がないのに急激に値下している。そしてNO.1の水位値下とほぼ同じ頃からNO.1の下流にあるNO.2の水位が上昇し始めています。これらの変化は雨量の変化一地下水量の変化がほとんどなりことから水みちの透水断面の変化を示していると考えられ、NO.1付近での水みちの閉塞と閉塞土砂の再粉砕及び物動土砂のNO.2近辺での再開塞を示すものと考えられる。同様なことはこれほど大巾ではないが、図3のNO.9の9-10月の他しばしば認められ、水みち内での詰りや土砂の粉砕を裏付けるものと考えられる。

2. 地盤変動調査から見た地下浸食の影響

地下浸食の地すべりに及ぼす影響を調べるためにセン断変位計を考案、製作し、図1の③測線(約200m)に40台(他に④測線に水平動のみのもの24台)設置し、昭和49年より現在まで毎週一回の観測を行って来た。図5はセン断変位計(水平成分)の模式図である。約5m離れて30cm角のコンクリート杭を設置し、その上に二つの支点とスリットを挟み板を取り付け、二つの支点間を鉄パイプでつなぎ、二本の杭間に水平、上下のセ

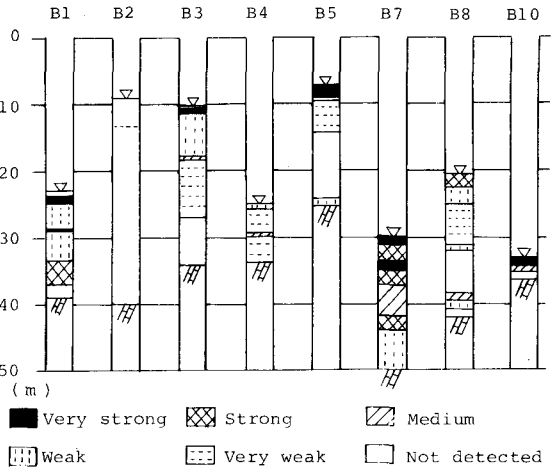


図2 弾性波受振器で検出された地下水流の鉛直分布

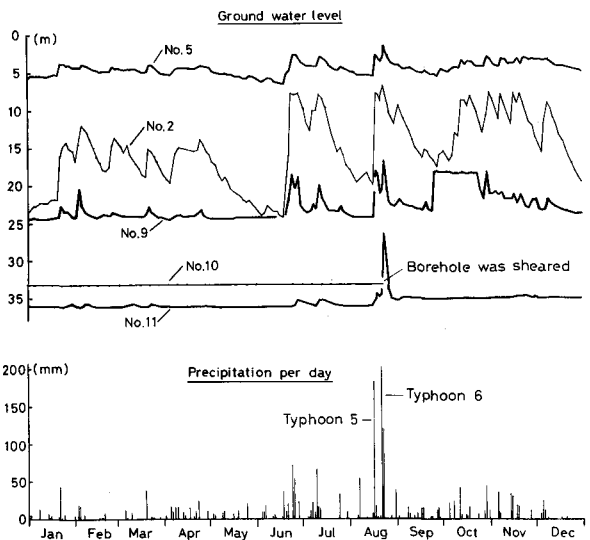


図3 昭和50年の雨量と水位変化の例

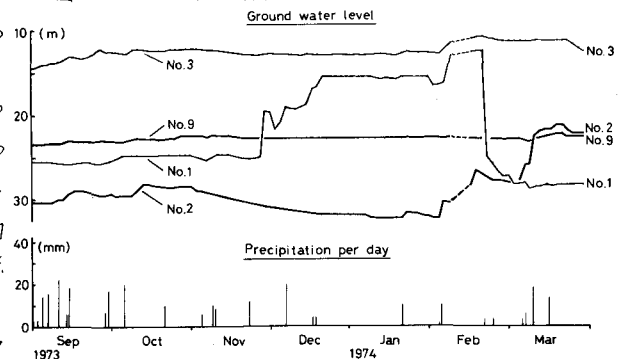


図4 水みちの断面変化にともなう地下水位の変化

ン断変位があれば、Bのゲージがたわんで変位が検出されるようにしたもので、感度は10mmの変位が 1000×10^{-6} になるように調節した。上下杭は用いパイプの先端に水平方向のリン青銅板を取り付け、水平方向のスリットで検出した。図6は昭和50年のセン断変位計

の観測結果を一月毎に示したものであり、昭和49～53年の5年間でもっとも土層沈下の激しかった年である。この図の水平動と上下動を比較すれば 1) 上下動が水平動よりずっと大きいと思われたこと 2) 上下動と水平動の対応がほとんどないことが認められる。このことは上下動が斜面方向のすべりの成分だけでなく、より卓越した独自の上下動(土層沈下)の成分を持っていることを意味する。土層沈下の原因は地盤に変化がわりで地盤支持力の減少を意味し、地盤支持力の減少としては間ゲキ水圧の増大および地下浸食があげられる。方か

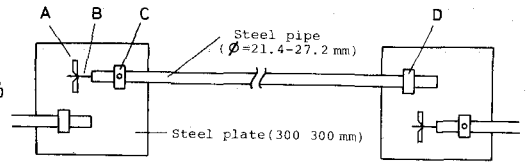


図5 セン断変位計(水平成分)の模式図

A: スリット B: ストレインゲージを貼ったリン青銅板 C: 回転支点、パイプは固定 D: 回転支点、パイプは支点内を移動可

希土質地盤であれば水位低下による反浸流下も考えうるが、過去5年の水位変化は図3のくり返しであり継続的な水位低下は認められず、粘土質地盤でも方り。間ゲキ水圧の増大は如次の方土層沈下の説明にはなるが、土層沈下が地盤支持力を回復させることからくり返し生じる土層沈下の説明には方り得方ない。過去5年の観測は図3の例にも示された如く、水位の最高値はほぼ一定であり、progressive な水位増和は見えず、間ゲキ水圧がくり返し生じる土層沈下の主因には方り得方いと考えられる。一方地下浸食はその地盤支持力減少への影響が progressive に累積されることからくり返し生じて来たる土層沈下の説明としてもっとも妥当であり、他の可能方説明は見方る方り。昭和49-53年の間で水平動以上の上下動が観測されたのが、昭和49年、昭和50年、昭和52年の三年であり、水平動の方が大きかったのが、昭和51年、昭和53年である。昭和51年は前年の大規模方土層沈下のために地下の空隙の回復が著方しく

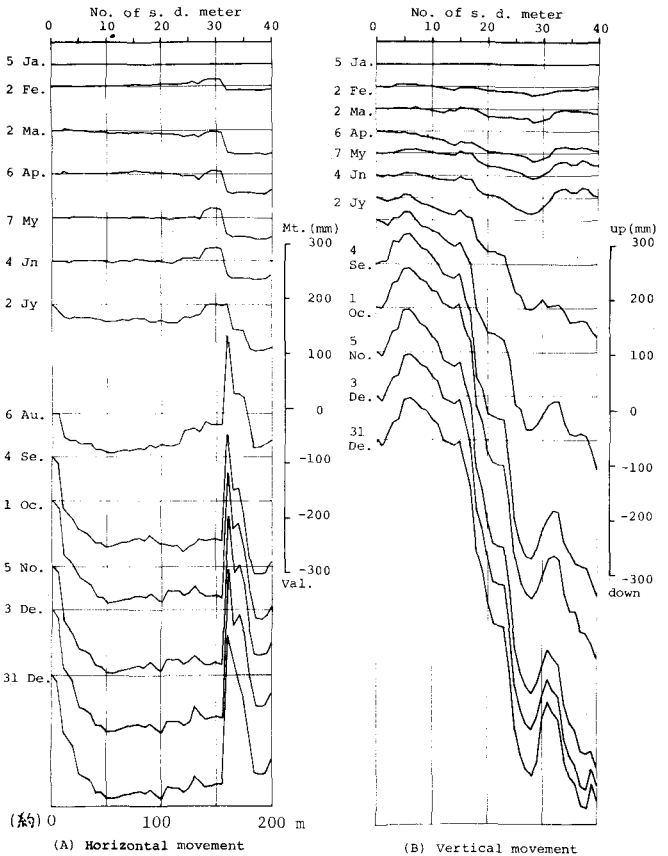


図6 昭和50年のセン断変位計による地すべり横断移動状況

(地下浸食による地盤沈下がもっとも激しかった例)

なく、台風17号(9月8-13日)の際の地すべり移動は(局部的な土層沈下はあったが)ほぼ斜面方向のすべりのみが生じた。図7に昭和51年の観測結果を示す。図7の9/25の大方動きが台風17号の際の動きを示している。水平動と上下動を比較するとセン断変位計No.23-30の間は局部的な土層沈下が見方れた他は、水平動と上下動は互に対応している。試みに台風による動きをさる区間(9/8-25)の観測結果から動きの方向と算定してみると、表1に示す如く17-32°となり、この斜面が基岩の平均勾配28°と対応している。また台風時の動きではセン断変位計測線の左端がほぼ不動であつたと思方れた形方ので、測線内の各点の移動量の絶対値が求め方れるが、伸縮計との交点での移動量は伸縮計(測線内に不動点を含ま)より求めた値と一致した³⁾。

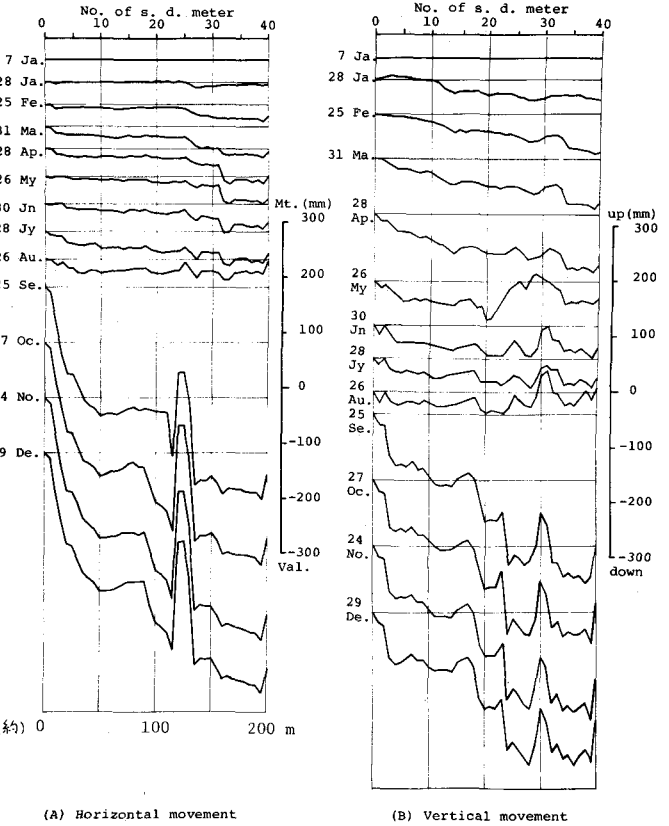
表1 台風17号の際の動きとその方向

測点のNO.	10	20	30	40
水平動H(mm)	205	189	315	315
上下動V(mm)	62	116	145	178
$\tan^{-1}V/H$ (度)	17°	32°	25°	29°

最後に地下で動く土砂につれてみる。
幸い方々に図1の△Wの位置にある集水井が二層あるすべり面のうち浅い方のすべり面でセリ断され(昭和51年)、セリ断面が水みちと一致していたため、セリ断面から地下水が流入、流出しており、運搬土砂が集水井内に堆積した。集水井の底(15m)からセリ断面(12m)まで堆積した後、そこでレベルを保っている。現在(昭54.12)も水みちは開いており、土砂採取時に水みちの上盤を棒でくすすと土砂が泥流状になって集水井に流入して来た。この事から地下浸食も地上と同じく崩落等が生産された土砂は掃流だけでなく、ビンガム流的にも運搬されていると思われる。集水井内に堆積した土砂の粒度分析の結果を図8に示す。まめに50mm以上のものもあるが大部分は50mmまでのものである。

直径3mの集水井内であるが、入口寄りの土砂はやや粗くついている。これは集水井内の勾配がゼロ(ライナープレートで囲われている)である事と水の流入口より集水井内が広いためかも知れない。

引用文献
1) 佐々、武居：鉛直方向側面破壊の検討-I, II, III, 地すべり Vol. 14-2, 3, 4, 1977-8 2) Sassa et al.: Landslides triggered by vertical subsidences (6P), Consideration of vertical subsidences as a factor influencing slope instability (4P), ISL 1980, India 3) Sassa et al.: The movement and the mechanism of a Crystalline schist landslide "Zentoku" in Japan, (20P), Interpraevent 1980, Austria 4) 京大農研防研：善徳地すべり、地すべり学会関西支部現地討議会資料, (49P), 1978 5) 佐々、阪田：弾性波法を用いた岩盤内の地下水流速の測定、オ5岩の力学国内シンポ、P13-17, 1977 6) Sassa & Takei: On the measurement of the ground water velocity by a seismograph, Rock Mechanics in Japan Vol. III, P201-3, 1979. 7) 佐々他：破砕帯地すべりにおける地すべり横断物動形状の測定結果について、京大演習科報告47号, P98-111, 1975 8) 仲野：オミ紀層地すべり母岩の軟弱化と物性の变化について、農業土木試験所報4号, P143-167, 1966



(A) Horizontal movement (B) Vertical movement
図7 昭和51年のセリ断変位計による地すべり横断物動状況 (地盤沈下が少なく、ほぼ斜面方向のすべりのみが生じた例)

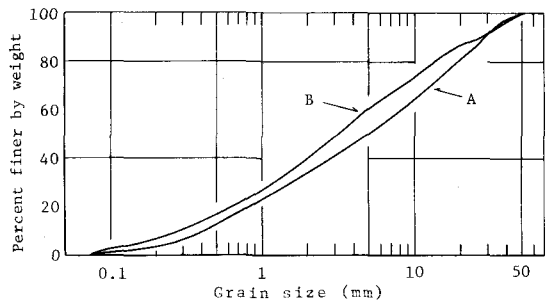


図8 集水井のセリ断箇所(水みち)より流入、堆積した土砂(表層)の粒度相模曲線

A: 流入口寄りの所 B: 流出口寄りの所
4) 京大農研防研：善徳地すべり、地すべり学会関西支部現地討議会資料, (49P), 1978 5) 佐々、阪田：弾性波法を用いた岩盤内の地下水流速の測定、オ5岩の力学国内シンポ、P13-17, 1977 6) Sassa & Takei: On the measurement of the ground water velocity by a seismograph, Rock Mechanics in Japan Vol. III, P201-3, 1979. 7) 佐々他：破砕帯地すべりにおける地すべり横断物動形状の測定結果について、京大演習科報告47号, P98-111, 1975 8) 仲野：オミ紀層地すべり母岩の軟弱化と物性の变化について、農業土木試験所報4号, P143-167, 1966

INFLUENCES OF "UNDERGROUND EROSION" ON INSTABILITY OF
A CRYSTALLINE SCHIST SLOPE

Kyoji SASSA, Aritsune TAKEI, Hideaki MARUI
Faculty of Agriculture, Kyoto University

As the causes of instability of slopes, 1) Change of slope profile (toe erosion, artificial excavation, etc.) 2) Increase of pore pressure are firstly listed. Secondly weathering is mentioned as a factor to decrease the strength of rock in a long term. The authors have reported before that weathering, drop-off of fine particles by infiltrating water and underground erosion by ground water can cause vertical subsidence and the liquefaction of subsided mass in the reference 1) 2). However, "underground erosion" has hardly been studied both in engineering field and geographical field up to now. In a crystalline schist slope, its slope inclination is so great as about 30° , and its rock is much permeable because it is crushed by active tectonic movements and originally has numerous schistosity. Accordingly discharge and velocity of ground water are supposed to be great, then "underground erosion" necessarily should be great there. We have researched "underground erosion" from underground structures, behaviors of ground water and movements of the ground in a crystalline schist landslide "Zentoku" of the Shikoku island in Japan.

The seismic exploration has disclosed that there are some crushed zones and underground valleys in the landslide, and they facilitate the flow of ground water. The measurement of the ground water velocity by a seismograph(reference 5) & 6)) showed that the velocity of ground water is so high as the order of m/sec. after a typhoon, and ground water rather exclusively flows in some water paths. The observation of the ground water levels also demonstrates that ground water flows primarily in water paths at a few levels, and the discharge and the velocity of ground water in such a water path should be rather rapid. Therefore, it would be probable that sometimes failures take place in the water path and sediments deposit there, and sometimes these deposits are retransported in the sililar manner to the sediment trasportation on the surface of the ground. The observation of the ground water levels uncovered the phenomenon of occasional sudden lifts and sudden drops of the ground water level during no change of precipitation which should corresponds to the above-mentioned presumption. This phenomenon strongly suggests the existence of active underground erosion.

Sassa et al.³⁾⁷⁾ have developed "shear displacement meter" which measures horizontal and vertical shear displacement between two points. We set 40 shear displacement meters continually in a crossing line of the Zentoku landslide, and have observed them from 1974 to the present every week. According to the results, vertical movement exceeded horizontal movement in three years during five years of 1974-1978, especially the vertical movement in 1975 was much greater than the horizontal one, and the shape of both movements do not correspond one another. This implies the existence of distinguished vertical subsidence independent from landslide movement parallel to slope. The independent vertical subsidences have been observed repeatedly in these five years. The repeated vertical subsidence can not be interpreted by pore pressure because the virginal subsidence must recover the bearing capacity and pore pressure can not progressively increase. While underground erosion progressively decreases the bearing capacity of the ground. Therefore, the repeated vertical subsidences must be one of the evidences of the active underground erosion.

As regards the moving sediments under the ground, fortunately a drainage well in the landslide was sheared by a sliding surface in 1976 and the sliding surface is formed through a water path there. Then ground water flows in and out the drainage well through the water path like a stream. The transported sediments have deposited there, and the grain size of the deposits is about 0.1-50 mm.

* References are listed in the end of the Japanese text of this paper.