

## 三郡変成岩切土斜面の複合すべりについて

Complex Slip of a Cut Slope Consisting of Sangun Metamorphic Rock

山本 哲朗 (やまもと てつろう)

山口大学教授 工学部社会建設工学科

鈴木 素之 (すずき もとゆき)

山口大学助手 工学部社会建設工学科

国広 清己 (くにひろ きよみ)

サンヨーコンサルタント(株) 課長

原田 博 (はらだ ひろし)

日特建設(株)山口営業所 所長

## 1. まえがき

1999年6月末の集中豪雨の際には、広島県では斜面崩壊・土石流災害等によって合わせて32名の犠牲者・行方不明者が出た。山口県下では、その規模は小さいものの、総数98件に及ぶ斜面崩壊が発生した。これら斜面崩壊の多くは斜面の地質を問わず、平面すべりで発生していた。特異なものとして、著者等がこれまでに数多く調査してきた三郡変成岩からなる切土斜面の崩壊<sup>1)~4)</sup>にはその事例のない崩壊、すなわち、斜面先部で鋸状すべり、その上方部で円弧すべりからなる複合すべりによって非常に規模の大きな斜面崩壊が発生した(口絵写真—24)。

本文では、この特異な複合すべりの斜面に対して現地調査、サウンディング試験および室内せん断試験を実施し、これらの結果を述べるとともに、複合すべりの発生機構について検討した。

## 2. 地形・地質

当該現場は山口県中南部の山間部にあり、その標高は290 mである。この山腹の南側は谷地形、北側は緩い勾配の傾斜地になっている。今回の崩壊は山腹の鞍部に当たる部分を開削して造られた斜面において発生した。鞍部の東側山腹には、高さ2.0 m程度の滑落崖が合わせて10箇所見られ、またその山腹の勾配は18~30°で東側に緩く傾斜している。このことから当該斜面を含んだ山腹では、過去に度々崩壊が発生したものと判断できる。

当該山腹および周辺部の地質<sup>5)</sup>は、広義には三郡変成岩で、狭義には約2.2億年前の中生代トリアス紀に形成された周防変成岩である。周防変成岩には泥質片岩、砂質片岩、塩基性片岩といった千枚岩あるいは片岩を主として、蛇紋岩などの超苦鉄質岩類を伴うことが多い。以下、広義の意味での三郡変成岩という呼称を用いる。

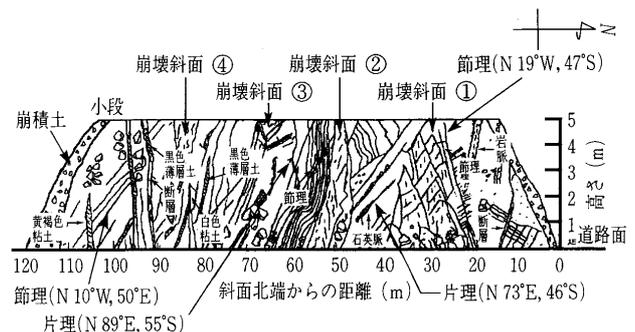
崩壊した斜面は泥質片岩からなるが、その周囲の山腹には花崗岩が分布する。北側には北東~南西向きに2本の断層が走っている。この泥質片岩には部分的に顕著な褶曲構造が発達し(口絵写真—25)、石英脈が貫入しているほか、小さい断層が存在している。さらに、種々の規模の節理が発達している。

## 3. 崩壊斜面の概要

1998年9月、道路敷設工事に伴い、前述したように、山腹の鞍部が開削され、2面の斜面が造られた。切土斜面の下方部には比較的風化度の小さい風化岩(DH級)が露出していたので、両斜面とも勾配45°で高さ28 mまで5段で切り取られた。崩壊の発生した西側斜面では、最下段から4段までは斜面長7 m(高さほぼ5.0 m)、最上段は長さ4.0 m(高さ約3.0 m)で切取られ、各切り取り斜面間には幅1 mの小段が設けられた。

今回崩壊の発生した斜面では、泥質片岩の片理が流れ盤になっており、全長121.1 mにおいて北側から順に斜面崩壊①、②、③、④が発生した。その状況を口絵写真—24および図—1に示す。図—1に植生がついておらず、露頭が明瞭な最下段の斜面において、これら4箇所の斜面崩壊状況のほかに、褶曲構造、特徴的な片理・節理の走向・傾斜を示した。図—1に示すように、泥質片岩の片理は走向N73°E~N89°E、傾斜は46°S~55°Sである。節理は非常に多く見られるが、その長さは3.1 m~8.1 mである。また大局的に見て、節理は走向N19°W、傾斜47°Sと、走向N10°E、傾斜50°Eといった2方向である。

斜面の北端には長さ2.5 mの小さな断層が認められ、それに沿って幅7 cm程度の淡緑黄色の粘土層が存在する。また、口絵写真—26に見られるように、斜面南側の断層に沿って灰白色の粘土層(粘土鉱物はカオリナイト)内に厚さ6 mmの光沢質の黒色薄層土が3枚ほど沈積している。これと同種の黒色薄層土はすべり面となった片理あるいは節理のほかに滑落崖に沈積していた。



図—1 最下段斜面のスケッチ

事例報告

表一 1 斜面崩壊の形態と規模

斜面 No.	崩壊形態	崩壊規模			備考
		長さ (m)	幅 (m)	深さ (m)	
1	複合すべり	32.9	20.5	10.0	鋸状すべりと円弧すべりの組合せ
2	くさび崩壊	14.1	7.1	0.6	—
3	くさび崩壊	3.2	2.3	0.7	片理上に厚さ0.6 mmの黒色薄層土が沈積
4	くさび崩壊	7.0	6.8	0.8	片理上に厚さ2.0 mmの黒色薄層土が沈積

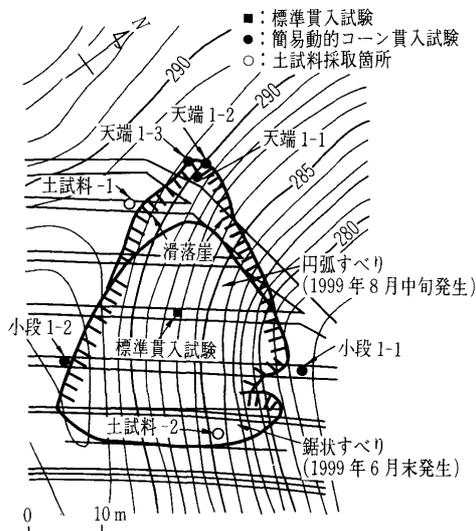
各斜面の崩壊形態および崩壊規模は表一 1 にまとめた。表一 1 中、崩壊斜面②～④では片理あるいは節理に沿って小規模のくさび崩壊が発生した。前述のように、これらすべり面となった片理・節理には、光沢質の黒色薄層土が沈積しており、このことが崩壊の素因になった<sup>6)</sup>。

一方、片理が受け盤になった東側斜面では、土工上、特に支障を来すような斜面崩壊は全く発生していない。当該斜面は山間部で人通りの少ない場所に位置し、崩壊時刻は特定することはできないが、いずれも1999年6月29日の集中豪雨時に崩壊したものと推定される。当該現場から最も近い距離約15 kmにある測候所（新南陽市和田）で観測された当日降雨量は102 mmである。

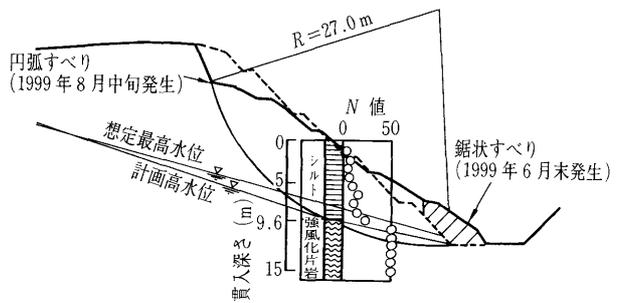
4. 斜面土の諸性質

4.1 動的サウンディング試験の結果

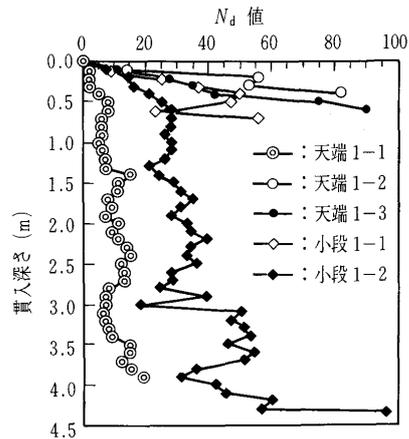
複合すべりが発生した崩壊斜面①の平面図および横断面図をそれぞれ図一 2, 3 に示す。図一 2 に示す1箇所標準貫入試験を実施したほか、天端3箇所、小段2箇所簡易動的コーン貫入試験を実施した。標準貫入試験から得られた  $N$  値の深さ分布と土質区分は図一 3 に示している。深さ5.6 mまでは  $N$  値 < 10 の軟質のシルトからなり、深さ10.2 m 以深で  $N$  値 > 50 の岩組織を有する強風化岩からなる。その間には  $12 \leq N \leq 24$  のシルトが存在する。



図一 2 サウンディング試験実施箇所および土試料採取箇所



図一 3 崩壊斜面①の横断面



図一 4 簡易動的コーン貫入試験の結果

図一 4 には5箇所における  $N_d$  値の深さ分布を示す。天端1-1および小段1-2では深さ4 m程度まで表層部の  $N_d$  値は深さとともにやや増加している。一方、天端1-2, 1-3および小段1-1では深さ0.5 m程度で  $N_d$  値は著しく大きくなっている。口絵写真一 24に見られるように、崩壊斜面①の南側の側方滑落崖の中央部付近には岩塊が露出しており、こういった岩塊の存在によって、 $N_d$  値が著しく増加するのであろう。

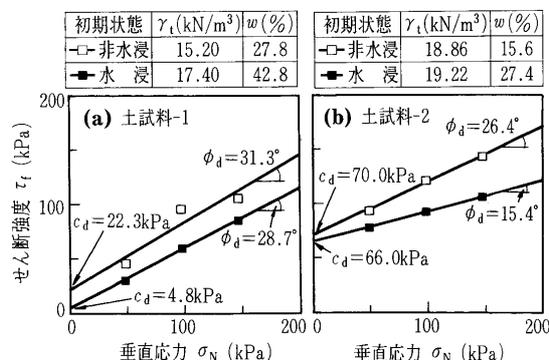
4.2 物理的性質・強度定数

崩壊斜面①において、円弧すべりが発生した土層付近から風化の著しい黄褐色土（以下、土試料-1という）をネイルサンプリングによって採取した。ネイルサンプリングは乱さない試料の採取法の一つであり、地盤に据え付けた円盤とその周縁部に打ち込んだ多数の釘によって土塊を拘束して採取するものである。鋸状すべりを起こした暗緑灰色の風化岩塊から、ブロックサンプリング法で試料（以下、土試料-2という）を採取した。両土試料の採取箇所は図一 2 に示す。両土試料について採取時の自然状態および1日水浸状態のものに対して、圧密・排水条件下で在来型一面せん断試験を行い、図一 5 の結果を得た。供試体（直径60 mm、高さ20 mm）は片理がせん断面に平行になるように作製した。両土試料の物理的性質は表一 2 にまとめた。この表に示すように、土試料-1, 2ともに低液性限界シルトに分類された。粉末 X 線回折試験から土試料-1の主要鉱物は石英、ハロイサイト、土試料-2は石英、ハロイサイトおよび白雲母であることを確認している。

図一 5 から分かるように、土試料-1については非水浸および水浸時における内部摩擦角  $\phi$  および粘着力  $c$  は、

表一 土試料の諸物理的性質

試料	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$U_c$	$D_{max}$ (mm)	$D_{50}$ (mm)	$F_c$ (%)	$F_{clay}$ (%)	$w_L$ (%)	$w_p$ (%)	$I_p$	土質分類
土試料-1	2.642	13.6	13.0	0.045	64.3	12.8	37.2	26.7	10.5	ML
土試料-2	2.706	18.5	11.1	0.061	53.6	8.0	29.8	25.2	4.6	ML



図一 土試料の一面せん断試験結果

これまで豪雨時に崩壊した三郡変成岩からなる斜面土について得られた値 ( $\phi_d=27.8^\circ$ ,  $c_d=0$  kPa)<sup>1)</sup> と大差はないが、土試料-2の非水浸時の粘着力は70.0 kPaで非常に大きい。また土試料-1の方は1日間の水浸によって、粘着力が著しく低下することが示された。

### 5. 複合すべりとその発生機構

崩壊斜面①は三郡変成岩からなる斜面崩壊<sup>1)~4)</sup>で過去にその事例がない特異な複合すべりによって崩壊した。1999年6月末の集中豪雨時に最下段の長さ7.0 mの斜面で鋸状すべり(図絵写真—27)、同年8月中旬の降雨時にその背後で円弧すべりが発生した。鋸状すべり発生時の当日降雨量は上述のとおりであるが、円弧すべり発生時のそれは46 mm(8月18日観測)である。いずれも上述の測候所で観測した値である。全体の崩壊規模は幅20.5 m、長さ32.9 m、最大深さ10.0 mでかなり大きい。図一3に併記したN値の深さ分布から、最下位の小段(ボーリング深さ6.7 m、天端からの深さ23 m)付近では、N値=12~16の風化岩(DL級)からなることが分かっているが、この小段を崩壊面の頂部として、流れ盤になった泥質片岩の片理がすべり面となって鋸状すべりが発生した。鋸状すべり自体は同じ三郡変成岩に属する塩基性片岩からなる斜面で発生した事例はある<sup>2)</sup>。

この斜面先部の鋸状すべりによる崩壊に伴い、それより上方部の斜面の安定性が低下して、非常に風化の進んだ黄褐色ないし青灰色の泥質片岩の風化土層内で円弧すべりが発生した。三郡変成岩斜面で発生した円弧すべりは、非常に軟らかい地盤内で発生することが多いことが分かっている<sup>1)</sup>。この円弧すべりにおける高さ4.2 mのほぼ鉛直な滑落崖は節理の発達した黄褐色~青灰色の風化土からなる。また最大深さ1.6 mの側方の滑落崖には黄褐色の崩積土が見られ、その表面に厚さ1 mm以下の光沢質の黒色薄層土が沈積していた。

前述した円弧すべりが発生した付近の地盤から採取した土試料-1の水浸時の強度定数 ( $\phi_d=28.7^\circ$ ,  $c_d=4.8$  kPa) を用いて、鋸状すべりが発生する前後の斜面全体の安全率  $F_s$  をフェレニウス法で計算した。その結果、鋸状すべり前後で  $F_s$  は1.2から1.0に減少することが明らかになった。片岩からなる斜面ではその片理面に沿って鋸状すべりが生じる場合がある<sup>2)</sup>。今回の事例では、まず片面理が発達した斜面先部で鋸状すべりが発生し、これに続いて背後斜面で円弧すべりが発生した。円弧すべりの発生はすべり面脚部にあたる斜面先部のすべりに対する抵抗力が減少したためと考えられ、上述の安定計算結果からもある程度裏付けられる。したがって、今回の崩壊斜面①では鋸状すべりと円弧すべりが密接に関係した複合的な破壊が発生したと判断した。

### 6. まとめ

三郡変成岩からなる斜面に見られた規模の大きい複合すべりは、泥質片岩の片理が流れ盤になり、さらに節理が非常に発達していたため、集中豪雨時に斜面先部で鋸状すべりを引き起こし、それが引き金となり背後で円弧すべりが発生したものである。フェレニウス法による斜面安定計算によって斜面先部の鋸状すべりが発生して、斜面全体の安全率が1.2から1.0に低下することが示された。

最後に本調査およびデータ整理を手伝ってくれた本学大学院生 植野泰史氏に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 山本哲朗・大原資生・西村祐二郎・瀬原洋一：山口県下の三郡変成岩からなる切土斜面に見られる豪雨崩壊の特徴，地盤工学会論文報告集，Vol. 36, No. 1, pp. 123~132, 1996.
- 2) 山本哲朗・高本直邦・西村祐二郎・瀬原洋一：三郡変成帯における鋸状斜面崩壊，土と基礎，Vol. 44, No. 11, pp. 9~12, 1996.
- 3) Yamamoto, T.: Some geotechnical engineering properties of weathered soils on failed slope in the Sangun metamorphic region, Proceedings of the International Symposium on Problematic Soils, IS-TOHOKU '98, Vol. 1, pp. 537~540, 1998.
- 4) 山本哲朗・鈴木素之・松本直・国広清己：花崗岩の貫入を受けた三郡変成岩からなる切土斜面の崩壊，土と基礎，Vol. 47, No. 4, pp. 27~29, 1999.
- 5) 山口県立博物館編：山口県の地質，pp. 11~25, 1975.
- 6) 山本哲朗・鈴木素之・福岡正人・宮内俊彦・岡林茂生・瀬原洋一：すべり面上の光沢質黒色薄層土に起因した斜面崩壊，土と基礎，Vol. 48, No. 7, pp. 24~27, 2000.

(原稿受理 2000.3.22)