

# 琉球大学学術リポジトリ

## 沖縄北部国頭マージ地帯における崩壊

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 国頭マージ, 崩壊, 地質弱面, ピーク強度, 残留強度 キーワード (En): Kunigami-Maaji soil, slope failure, geological weak plane, peak strength, residual strength 作成者: 宜保, 清一, 趙, 廷寧, 辛島, 光彦, 佐々木, 慶三, 吉沢, 光三, Gibo, Seiichi, Zhao, Tingning, Karashima, Mitsuhiko, Sasaki, Keizo, Yoshizawa, Mitsuzo メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/3689">http://hdl.handle.net/20.500.12000/3689</a>

## 沖縄北部国頭マージ地帯における崩壊

宜保清一\*・趙 廷寧\*\*・辛島光彦\*\*\*・佐々木慶三\*\*\*\*  
吉沢光三\*\*\*\*\*

Seiichi GIBO, Tingning ZHAO, Mitsuhiro KARASHIMA, Keizo SASAKI and Mitsuzo YOSHIZAWA : Slope failures in the Kunigami-Maaji (red) soil area in Okinawa

キーワード : 国頭マージ、崩壊、地質弱面、ピーク強度、残留強度  
Key words : Kunigami-Maaji soil, slope failure, geological weak plane, peak strength, residual strength

### Summary

In the Kunigami-Maaji (red) soil area in Okinawa, slope failures are one of the rise of soil loss which pollutes rivers. Most of slope failures occur controlled by the strike of geological weak planes. The shear strength along weak planes is lowered to the value close to residual strength. The peak strength is mobilized in shear zones where weak plane does not exist. Peak strength parameters for strongly weathered rock from Makiya and for weathered soil from Ue-arakawa were  $c_f = 16.1 \text{ kPa}$ ,  $\phi_f = 43.5^\circ$ , and  $c_f = 12.0 \text{ kPa}$ ,  $\phi_f = 28.5^\circ$ , respectively. Residual strength parameters were  $c_r = 0 \text{ kPa}$ ,  $\phi_r = 26.0 \sim 33.3^\circ$  for Makiya, and  $c_r = 0 \text{ kPa}$ ,  $\phi_r = 27.0^\circ$  for Ue-arakawa, both higher than those for landslide soils.

### 緒 言

沖縄北部の国頭マージ(赤土)地帯における土砂流出は自然環境、観光および漁業に多大な被害を与えており、大きな社会問題となっている。土砂流失の問題は、現在、農地や工事現場からの流出が主であるとの立場から防止策が検討されている。翁長<sup>1, 2)</sup>は、国頭マージが受食性の高い土壌で、沖縄地方が多雨地域に属することから、主に雨水による侵食について検討し、成果を得ている。また、吉永<sup>3)</sup>は、圃場に設けられた沈砂マスの効果について検討している。渡嘉敷ら<sup>4)</sup>は、水分散性土粒子に注目し、研

---

\* 琉球大学農学部  
\*\* 北京林業大学(琉球大学客員研究員)  
\*\*\* 大分県中津下毛地方振興局  
\*\*\*\* 利根コンサルタント(株)  
\*\*\*\*\* (株)清光研究所  
琉球大学農学部学術報告 45 : 157~166 (1998)

究を行っている。これらは、侵食と国頭マージの物理化学的性質の関係を明確にして流出防止を図ろうとするものである。流出土砂の発生源としては、圃場の侵食のほかに、切・盛土斜面および法面の崩壊がある。これは国頭マージ地帯における農地開発等の対象地のほとんどが傾斜地形をなしているために、切・盛土工が多いばかりでなく、地質的にも問題が多いためである。国頭マージの一般的な工学的特性については宮城ら<sup>5)</sup>の研究がある。松隈ら<sup>6)</sup>は、ダム建設に伴って発生した崩壊と地質、法面の勾配、法面保護との関係について検討している。上原ら<sup>7)</sup>は土砂流出と法面安定に関して研究を行っている。崩壊は、ほとんどの場合切土後の豪雨が誘因となって発生する。素因的には、層理の発達した地質弱面の存在および土質強度が重要である<sup>8)</sup>。崩壊のすべり面領域における弱面部および非弱面部の強度として、それぞれ残留強度とピーク強度が想定される。本研究では、切土法面崩壊の実態調査を基に崩壊の特徴・形態について検討した。

### 崩壊の実態<sup>9)</sup>

法面崩壊事例を表-1に示す。写真-1は名護市多野岳で発生した切土法面の崩壊(A)である。道路建設に伴い切土された500mにわたる強風化岩法面で、豪雨の際に8カ所が崩壊した。崩壊は、斜長50m、幅60m、最大深度7mの中規模のものから斜長30m、幅20m、最大深度3mのものまでであった。すべり面は、写真-2に示すように、すべり方向の地質弱面が転化したもので、強風化岩はスレート状に2~3cm厚さで剥離された。断面図は図-1に示す通りであり、崩壊は典型的な流れ盤性の層すべりである。崩壊土砂の一部は直接的に溪流に流出した。写真-3は名護市真喜屋の農地開発地区で発生した切土法面崩壊(A)である。農道の切土法面が豪雨によって斜長15m、幅12m、最大深度3mにわたり崩壊した。写真-4のように、すべり面はれき層内にあり、やはり地質弱面が転化したものである。断面図は図-2に示す通りである。崩壊土砂は道路側溝を閉塞し、一部が流出した。写真-5に示す真喜屋の切土法面崩壊(B)は、斜長30m、幅44m、最大深度2.5mの浅層すべりである(図-3)。崩壊は、切土に伴う応力解放によってれき層内の亀裂が拡大・開離し、雨水が浸透して誘発されたものである。すべり面付近の亀裂面は黒褐色に変色しており、写真-6のようなせん断破壊に伴う軟弱なシルト薄層の形成が認められた。写真-7は、宜野座村前山圃場整備地区の細粒シルト層の崩壊(B)で、復

表-1 法面崩壊事例

事例	開発の種類	斜長 (m)	幅 (m)	最大深度 (m)	すべり面の状況	
名護市多野岳崩壊(A)	道路建設	50	60	7.0	強風化岩	流れ盤性弱面
多野岳崩壊(B)	道路建設	45	50	5.0	強風化岩	流れ盤性弱面
多野岳崩壊(C)	道路建設	43	35	5.5	強風化岩	流れ盤性弱面
名護市真喜屋崩壊(A)	農地開発	15	12	3.0	れき層	流れ盤性弱面
真喜屋崩壊(B)	農地開発	30	44	2.5	れき層	開口亀裂面
真喜屋崩壊(C)	農地開発	50	44	8.0	れき層	流れ盤性弱面
宜野座村前山崩壊(A)	農地整備	14	15	2.0	細粒シルト層	開口亀裂面
前山崩壊(B)	農地整備	14	25	2.0	細粒シルト層	開口亀裂面
前山崩壊(C)	農地整備	12	20	1.2	細粒シルト層	開口亀裂面
東 村上新川崩壊(A)	道路建設	8	20	1.5	細粒シルト層	開口亀裂面
上新川崩壊(B)	道路建設	12	15	1.5	細粒シルト層	開口亀裂面
上新川崩壊(C)	道路建設	10	20	1.5	細粒シルト層	開口亀裂面

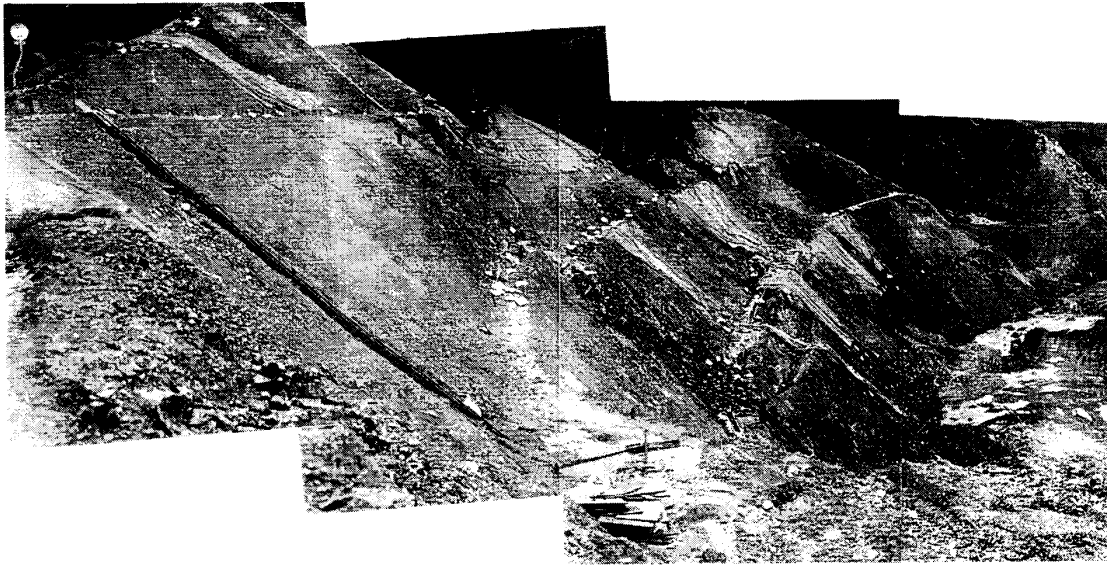


写真-1 名護市多野岳崩壊 (A)



写真-2 多野岳崩壊 (A) のすべり面付近にみられる地層弱面

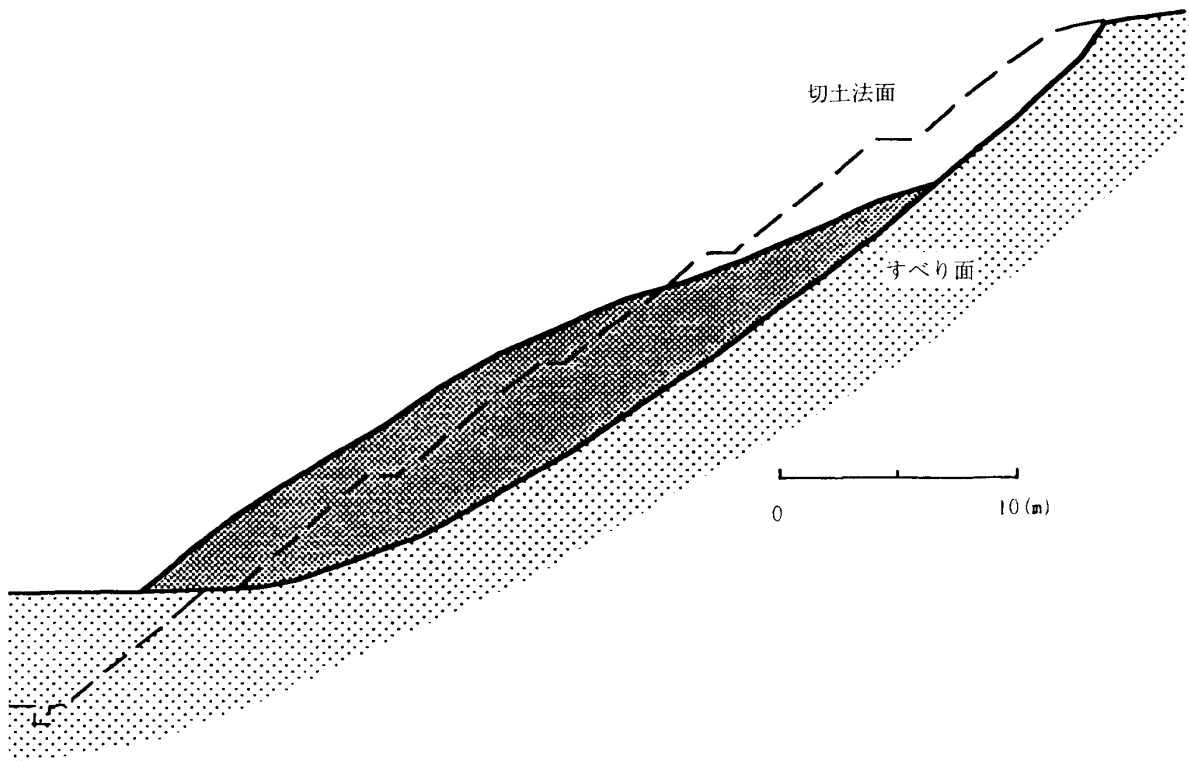


図-1 多野岳崩壊 (A) の断面図



写真-3 名護市真喜屋崩壊 (A)

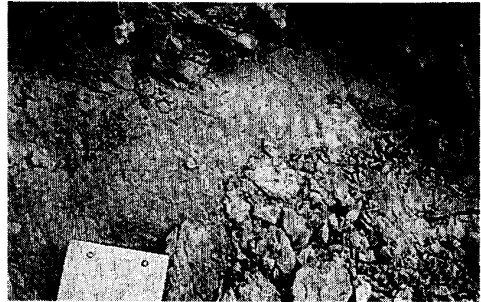


写真-4 真喜屋崩壊 (A) のすべり面の状況

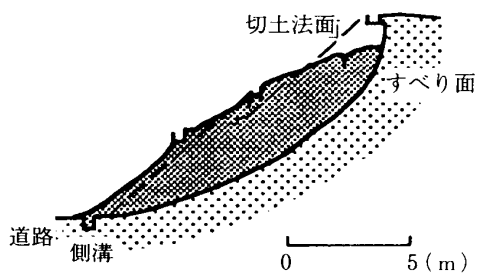


図-2 真喜屋崩壊 (A) の断面図



写真-5 真喜屋崩壊 (B)

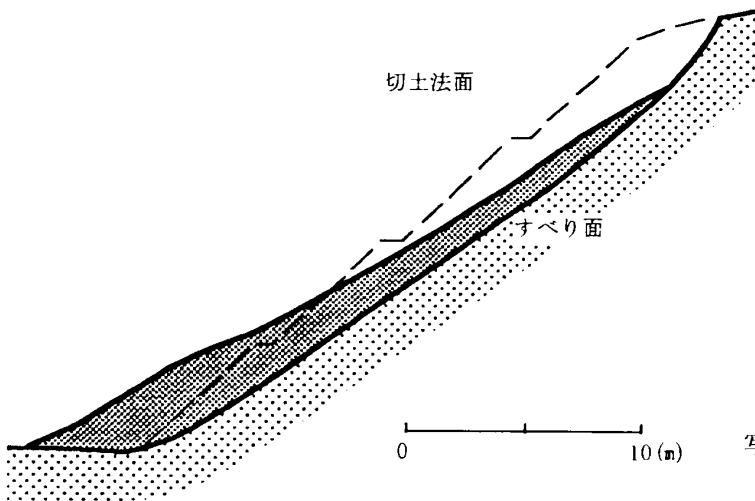


図-3 真喜屋崩壊 (B) の断面図



写真-6 真喜屋崩壊 (B) のすべり面付近れき層の破壊面にみられる軟らかいシルト薄層

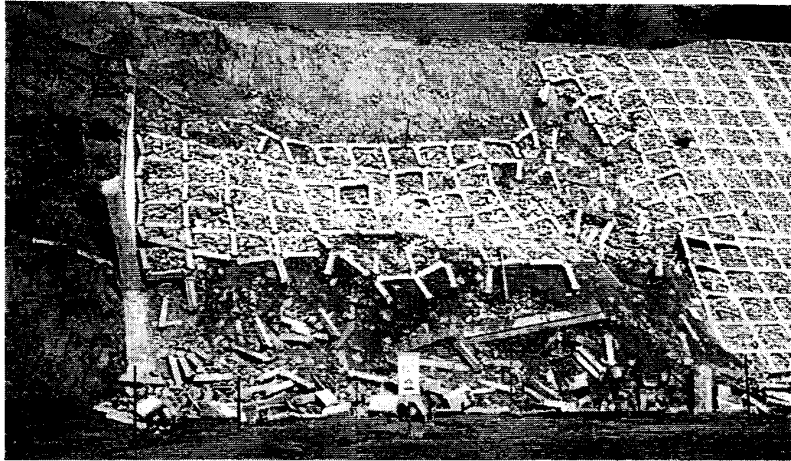


写真-7 宜野座村前山崩壊 (B)

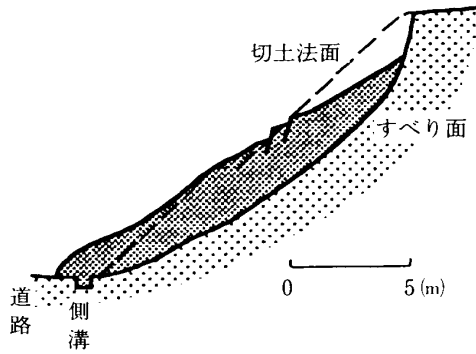


図-4 前山崩壊 (B) の断面図



写真-8 宜野座村前山崩壊 (B) のすべり面付近の細粒シルト

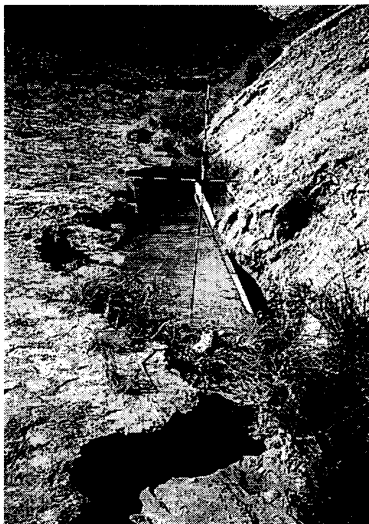


写真-9 前山崩壊 (B) の側溝付近の洗掘状況



写真-10 前山崩壊 (B) の前面の畑面に形成されたガリ侵食の状況

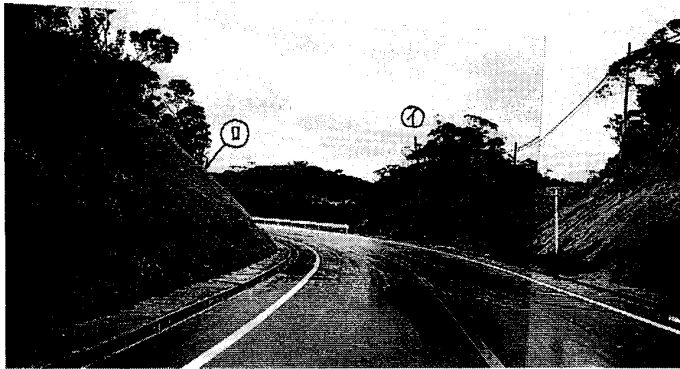


写真-11 東村上新川の切土法面と面積

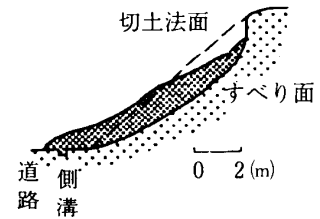


図-5 上新川崩壊(C)の断面図

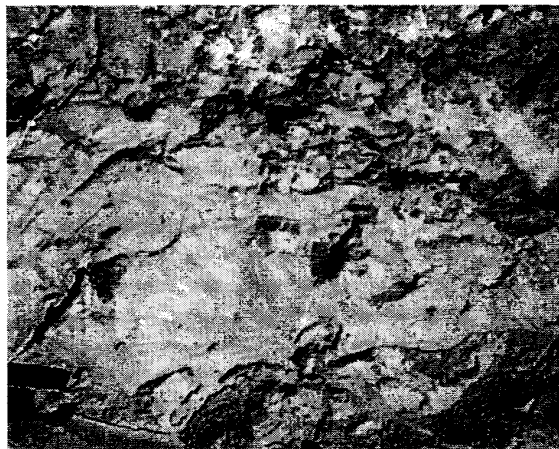


写真-12 すべり面に転化した細粒シルト層と固結シルト層の境界面

旧対策後に再発した状況を示す(図-4)。小規模な崩壊が切土の全域で発生した。写真-8に示すように、すべり面は細粒シルト層内にみられた。法面の頭部の引張り亀裂は、切土に伴う横圧の解放により形成されたものである。写真-9は側溝周辺と畑面に形成されたガリの状況を示す。これは、崩壊土砂による側溝閉塞が原因で、流出水が畑面で集中流となりガリ侵食を引き起こしたものである(写真-10)。写真-11は東村上新川の県道沿い切土法面で多発した崩壊の代表的なもの(C)で、規模的には斜長10m、幅20m、深度1.5mで、小さい(図-5)。写真-12に示したすべり面の状況からわかるように、切土による応力解放に対して敏感に反応する細粒シルト層と固結シルト層の境界面がすべり面に転化している。特定の方向の切土法面で崩壊が起こっており、道路を隔てた切土法面には変状が全く認められない(写真-11)。このような崩壊では、土砂は側溝を経由して、溪流に流出する。

#### 崩壊による土砂流出の形態<sup>9)</sup>

崩壊は流出土砂の生産源となる。表-2は崩壊土砂の流出形態を①~③に分類し整理したもので、模式的には図-6~8のように示される。①の形態は、谷地形において道路の法面工事中に崩壊が発生し、崩壊土砂の一部または全部が直接的に溪流に流出する。②では、整備後の切土法面における崩壊土砂は側溝を介して流出する。しかし、農地に面した切土法面崩壊では、③のように、側溝が崩落土砂によって閉塞されると、豪雨の際の流出水は畑面を拡散し、二次的な流出土砂を生産する。すなわち、畑地は流出水による面状侵食を受け、集中流となるところではガリ侵食となって大量の土砂が地区外に流出する。

表-2 崩壊土砂の流出経路

	土砂流出経路
流出形態①	溪流
②	側溝閉塞（道路・畑面）→側溝→溪流
③	畑面側溝閉塞→畑面集中流→畑面ガリ形成→溪流

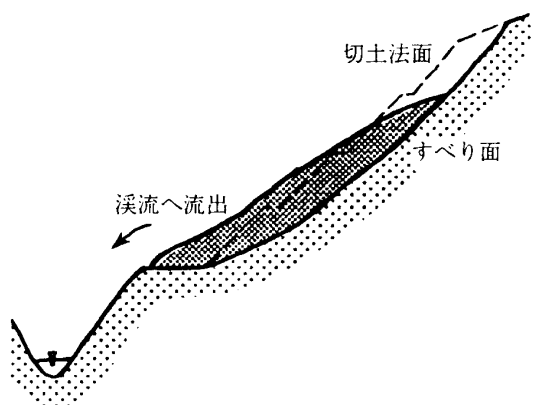


図-6 崩壊土砂の流出形態①

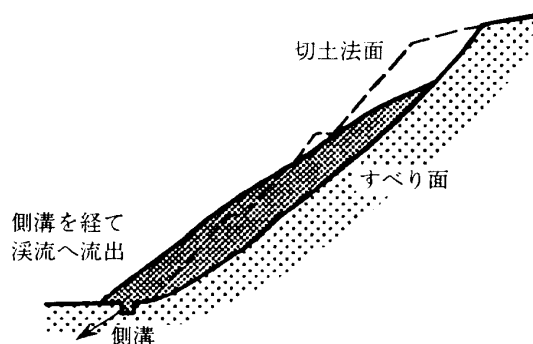


図-7 崩壊土砂の流出形態②

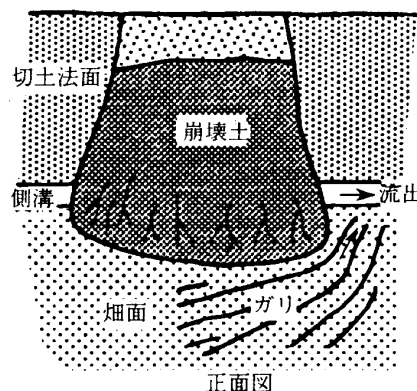
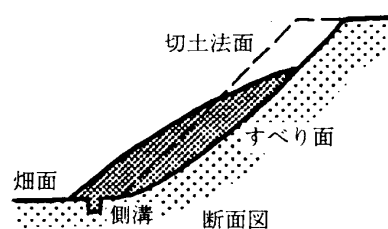


図-8 崩壊土砂の流出形態③

### 崩壊の特徴とその強度的背景<sup>10)</sup>

#### 1. 崩壊の特徴

調査結果を基に国頭マージ地帯の切土法面崩壊の特徴を整理すると、以下ようになる。切土および豪雨が崩壊発生の誘因である。素因は、層理等の地質弱面、れき層内亀裂、応力解放によって形成された亀裂である。法面全体の不安定化は、応力解放に伴う弱面の開離や亀裂の拡大によってすべり面領域の弱化が進行し、雨水が土体内へ容易に浸入するためである<sup>2, 3)</sup>。強風化岩およびれき層の崩壊は、斜長50m、幅60m、最大深度7mの比較的大きなものから斜長10m、幅10m、最大深度2m程度の規模のものまでである。すべり面は、弱面が潜在すべり面となる場合と、弱化したれき層内に形成される場合がある。すべり面勾配は35°~45°の範囲にあり、弱面の走向と弱面強度、および亀裂を有する強風化岩やれき層の強度により規制されたものである。細粒シルトでは、斜長10m以下、幅15m以下、深度2m程度の小規模な崩壊が多く、ほとんどが細粒シルト層内ですべてている。すべり面勾配が30°~35°の範囲にあることは、細粒シルトのピーク強度と応力解放により形成された亀裂の関与を示唆する。

崩壊と切土法面の勾配の関係に関しては、ダムの付け替え道路等の法面についての松隈<sup>6)</sup>の研究がある。1:1.0~1:1.2の勾配にて設計・施工され、施工中または完成後に崩壊した事例に対して①~③の



結果を得ている。すなわち、①細粒シルト層については、1:1.0より急な法面で崩壊が発生し、1:1.5では崩壊が発生しないため、法高 $\leq 7$  mに対して1:1.0、法高 $\geq 7$  mに対して1:1.5の勾配が適切であるとした。②れき層に対しては1:1.0を最急勾配とした。強風化岩層に対しては、弱面の影響を受けない場合に1:0.7を最急勾配とし、流れ盤に対しては保護・補強が必要であるとした。このように、国頭マージ地帯の切土法面では、細粒シルトは土質強度に依存し最急勾配が決まるが、③強風化岩層においては弱面の存在や岩塊の弱化の影響が大きいいため、勾配の決定が困難である。

## 2. 崩壊の強度的背景

表-3に、真喜屋崩壊(B)のれき層試料と上新川崩壊(C)の細粒シルト試料のピークおよび残留強度を示す。ピーク強度は、れき層試料では $c_r=16.1\text{kPa}$ ・ $\phi_r=43.5^\circ$ となり、細粒シルトでは $c_r=12.0\text{kPa}$ ・ $\phi_r=28.5^\circ$ となった。れき層のピーク強度は、細粒シルトに比べてかなり高く、島尻層群の小亀裂を有する泥岩<sup>11)</sup>と類似している。両試料において粘着力が比較的小さい。これは亀裂の影響や細粒シルトの性質に因るものである。残留強度は、れき層試料において著しいバラツキを示したが、経験的に粘着力をゼロ( $c_r=0\text{kPa}$ )として $\phi_r=26.0^\circ\sim 33.3^\circ$ を得た。細粒シルトでは $c_r=0\text{kPa}$ ・ $\phi_r=27.3^\circ$ となった。 $\phi_r$ 値が両試料において高めとなったことは、主に含有粘土粒子の非配向性に起因したものと思われるが、れき層においてはさらに小礫の影響も考えられる。ピークと残留との強度差については、細粒シルトで粘着力が12.0kPa、摩擦角が1.2°であるに対し、れき層では粘着力が16.1kPa、摩擦角が10°~17.5°もあった。表-3には多野岳崩壊(A)、真喜屋崩壊(A)および前山崩壊(B)の正規圧密状態試料の残留強度および完全軟化強度も示してある。

表-3 崩壊土の土質強度

試料とその状態	ピーク強度		完全軟化強度	残留強度
	$c_r(\text{kPa})$	$\phi_r(^\circ)$	$\phi_{s,r}(^\circ)(c_{s,r}=0)$	$\phi_{r,r}(^\circ)(c_r=0)$
名護市多野岳崩壊(A)				
正規圧密試料	—	—	36.0	16.5
名護市真喜屋崩壊(A)				
正規圧密試料	—	—	35.0	28.5
名護市真喜屋崩壊(B)				
不攪乱試料	16.1	43.5	—	26.0~33.3
攪乱試料	7.9	40.0	—	19.8~33.0
宜野座村前山崩壊(B)				
正規圧密試料	—	—	35.0	31.0
東村上新川崩壊(C)				
不攪乱試料	12.0	28.5	—	27.3
正規圧密試料	—	—	—	26.5

## 土質強度を基にした崩壊形態の分類

崩壊の最大要因は土質強度である。得られた土質強度を基に切土法面・斜面の崩壊を3形態に分類した。図-9の模式図は弱面に規制される強風化岩崩壊である。弱面は流れ盤性で、走向傾斜角が35°以上である。切土に伴う応力解放により弱面領域が弱体化・拡大し、雨水浸透によって崩壊が誘発される。強風化岩は高強度(>>れき層の強度)であるので、崩壊発生の危険度は、切土勾配の大小よりも、す

べり面に対する弱面領域の占める割合に左右される。事例としては、中規模なものが多野岳（A）、小規模なものが真喜屋（A）である。図-10はれき層の崩壊である。れき層は、強度的に小さな衝撃で容易に分離破壊するほどに脆くなっている。層には縦横に開口亀裂が存在するので、横圧解放に反応して切土面に平行な層厚部分が緩み、切土勾配が1:1.0より急な場合に浅層すべりを引き起こす。真喜屋（B）がその崩壊事例であり、長大な法面ほど崩壊の危険性が高いようである。図-11は細粒シルトの崩壊である。応力解放に対して敏感に反応する細粒シルト層と固結シルト層との境界面がすべり面に転化する。細粒シルトは強度的に弱く、切土によって法面頭部に引っ張り亀裂が形成されるので、雨水が弱面に侵入して不安定化する。前山（B）および上新川（C）のような小規模崩壊はこの形態に相当する。真喜屋（C）の地すべり性崩壊は、れき層中に地質弱面が存在する場合で、強風化岩崩壊とれき層の崩壊との中間的な形態といえる。切土による応力解放によって頭部の亀裂面が開口して弱面に雨水が侵入し、すべり面が形成される。崩壊土は一体となって移動する。

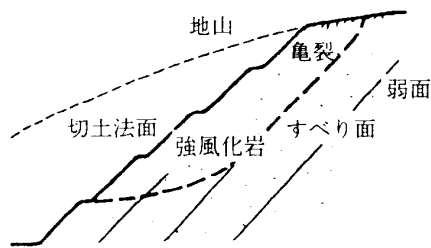


図-9 流れ盤性の強風化岩の崩壊



図-10 れき層の崩壊

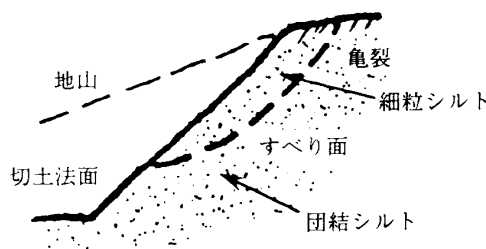


図-11 低強度の細粒シルトの小崩壊

## 結 言

国頭マージ地帯の崩壊は流出土砂の生産源となっている。崩壊土砂の流出には、谷地形における法面工事中に崩壊が発生し直接的に溪流に流出するもの、整備後に側溝を介し流出するもの、側溝閉塞が原因で起こる畑面ガリ侵食がもたらす二次的な土砂流出がある。崩壊には、流れ盤性のすべり、開口亀裂からなる弱化したれき層のすべり、細粒シルト層のすべりがある。崩壊の多くは層理や節理のような弱面とその走向に規制されている。弱面の強度は残留強度近くまで低下し、非弱面部ではピーク強度が発揮される。真喜屋の強風化岩および上新川の細粒シルトで示されたピーク強度定数はそれぞれ  $c_f = 16.1\text{kPa} \cdot c_f = 43.5^\circ$ ,  $c_f = 12.0\text{kPa} \cdot c_f = 28.5^\circ$  であり、残留強度定数はそれぞれ  $c_r = 0\text{kPa} \cdot \phi_r = 26.0 \sim 33.3^\circ$ ,  $c_r = 0\text{kPa} \cdot \phi_r = 27.0^\circ$  で、地すべり土に比べて高値である。

## 引用文献

1. 翁長謙良 1986 沖縄島北部地方における土壤侵食の実証的研究, 琉球大学農学部学術報告, 33 : pp. 111-209
2. 翁長謙良・兼次孝彰 1994 国頭マージ地帯の土砂流出防止対策について, 島嶼環境下における赤土流出および汚濁防止に関する研究, 平成2～5年度科学研究費研究成果報告書 : pp. 1～19
3. 吉永安俊 1994 微細土粒子に対する沈砂マスの堆砂機能について, 島しょ環境下における赤土流出および汚濁防止に関する研究, 平成2～5年度科学研究費研究成果報告書 : pp.56～64
4. 渡嘉敷義浩・山田隆弘・志茂守孝 1994 造成土壌の表土とその流出土における理化学性, 鉱物性および水分散土粒子の挙動特性, 島しょ環境下における赤土流出および汚濁防止に関する研究, 平成2～5年度科学研究費研究成果報告書 : pp. 65～74
5. 宮城調勝・近藤武 1990 国頭マージの物理的性質について—国頭マージの理工学的性質に関する研究一, 農業土木学会論文集, 149 : pp. 39-44
6. 松隈宣明 1990 国頭マージにおける切土法面勾配について, 第三回沖縄土質工学研究発表会講演概要集, 宜野湾市
7. 上原方成・原久夫・黒島安之・仲松照隆・金城勝 1994 法面表層(浅層)安定処理に関する実験的研究, 第一回地盤改良シンポジウム発表論文集 : pp. 59-64
8. 宜保清一 1993 沖縄県北部赤土地帯の崩壊に対する弱面の寄与, 農業土木学会九州支部講演集 : pp. 175-178
9. 宜保清一・辛島光彦 1994 沖縄県北部赤土地帯における崩壊の特徴と形態, 平成6年度地すべり学会研究発表講演集 : pp. 209-212
10. 宜保清一・辛島光彦・吉沢光三 1995 赤土砂地帯における崩壊の土質強度について—名護市真喜屋地すべり性崩壊を事例として—, 平成7年度農業土木学会大会講演集 : pp. 110-111
11. 周亜明・宜保清一・江頭和彦・翁長謙良・丸山謙吉 1996 沖縄, 島尻層群泥岩地帯の地すべりにおける破碎泥岩と軟化泥岩の強度特性, 地すべり, 33(4) : pp. 26-33