

2. スリランカの地形・地質

スリランカの地形は 1500m を越える山岳地域、500-1500m の中高度地域と 0-500m の低高度地域に大きく分けられる。1500m を越える山岳地域は国土の南半分の地域で、北部は 500m 以下も低地が広がっている。また、気候的には乾燥地域、多雨地域とそれらの中間地域に大きく分けることができる。南部、特に南西部の山岳地域は年間平均降雨量が 4000-6000mm を越えている（図 2）。その結果、この地域ではしばしば地すべりや斜面崩壊が過去多く発生している。

地質は北部の海岸沿いに第三紀、第四紀の堆積岩が分布しているが、その他はほとんどが先カンブリア紀の片麻岩類から構成され、チャーノックイトが代表的岩石となっている。岩石の風化変質は著しいが、特に南部の降雨量の多い地域でその傾向は顕著である。このように南部山岳地域では表層の著しい変質土砂が移動し、地すべりや斜面崩壊をしばしば引き起こしている。今回発生した災害も以前より土砂災害がしばしば発生している地域にあたる。

3. 災害調査地

今回ここに報告する災害地、Deniyaya, Ralwadia, Palawela, Potupitiya, を図 1 に示す。

3-1. Deniyaya (写真 1)

Deniyaya 地域では今回数カ所で大きな斜面崩壊が発生している。住民によると発生時刻は 5 月 17 日午後 5 時半ころとのこと（ただし、住民はほとんど時計を持っていないので、正確ではない）。ここで報告する斜面崩壊による被害は死者 14 名（住民によっては 21 名）、遺体が発見されたのは 4 名で、残りは行方不明のままである。



写真 1 Deniyaya における崩壊地（手前が今回の調査地。前方の崩壊地でも大きな被害が発生した）

崩壊が発生した斜面は平均約 40 度の傾斜で、崩壊の源頭部から土砂が移動した末端まで約 400m 以上におよぶ。崩壊が発生した斜面は源頭部から下約 130m の斜面である。岩石は片麻状構造が明確に発達した片麻岩で、片麻状構造 (N30-50E) が斜面 (走向 N30E) にほぼ平行に発達している。またペグマタイト脈の走向も片麻状構造にほぼ一致している。さらに、節理も斜面にほぼ平行に近く発達しており、所々に新鮮な岩石の節理面が流れ盤的に認められる。その上に著しく変質し土壌化した土砂が堆積していたようである。さらに特質すべきはその節理面に数 mm から 1cm 程度の薄い粘土層が残されており、崩壊以前にはこれら節理面に粘土層が全体に覆っていたと推定される。

3-2. *Ralwadia* (写真 2)

この崩壊地は Ratnapura 近郊に位置している。崩壊した斜面は巾約 30~50m、長さ約 80m で、土砂移動距離は約 400m である。崩壊斜面の傾斜は約 40 度、走向は E-W である。崩壊斜面の源頭部は V 字形を呈し、特に東側斜面には明確な節理面 (走向: N45° W, 傾斜: 30° S) が発達している。一方西側は不規則な斜面となっている。東側に見られる節理面は西側の斜面の下にも繰り込むように発達している。この節理面全てにわたり巾数 cm の褐色から灰色粘土が形成されていたようである。西側斜面にも南北方向に発達する節理面があり、その面にも巾約 20cm の灰色粘土がうめている。



写真 2 *Ralwadia* の崩壊地

3-3. *Palawela* (写真 3)

現地を管轄している政府の役人によると、崩壊地周辺の人口は 525 名、斜面崩壊が発生した場所には 92 名の住民が生活していた。崩壊土砂により 36 家屋が全壊し、19

世帯が全滅、全体では 56 名の死者を記録した。そのうち 30 名は行方不明のままである。災害が発生したのは 5 月 17 日の午後 3 時 40 分頃と記録されている。

崩壊斜面の源頭部は巾約 90m、高さ約 70m の片麻状構造の発達している片麻岩の節理面が崩壊面と同じ方向に発達している。その走向は $N40^{\circ} W$ 、傾斜 $50\sim 60^{\circ} N$ である。片麻状構造は節理面にほぼ平行である。崩壊はまさにこの節理面の上部にのっていた著しく変質している風化土壌が、この節理面を境にして滑り落ちたことがわかる。崩壊した源頭部から流出土砂の最先端部までは約 500m に達している。

節理面と風化土壌の境界には巾数 cm \sim 10cm 程度の褐色粘土が形成されている。

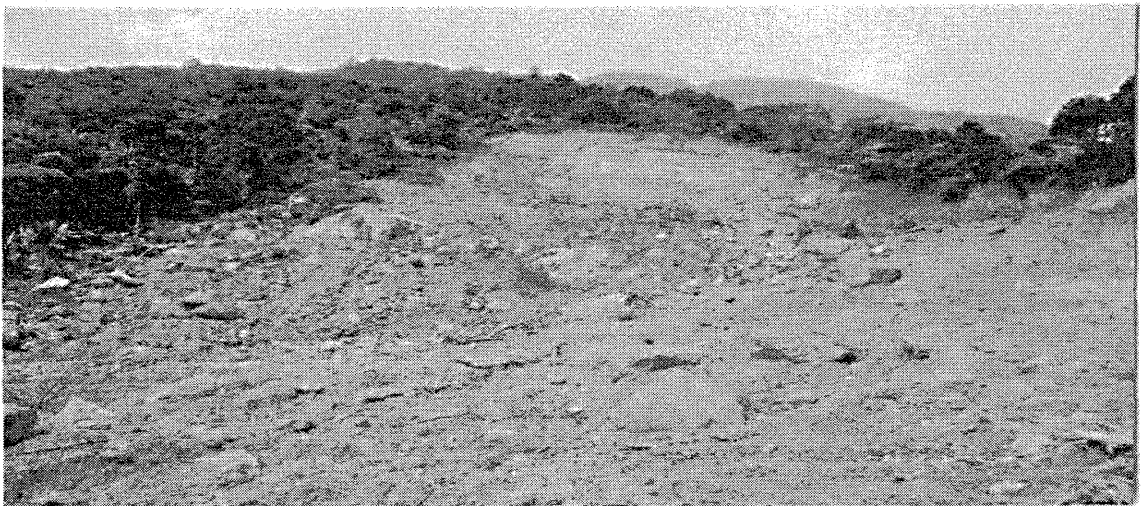


写真 3 Parawala 崩壊地

3-4 Potupitiya (写真 4)

この現場では崩壊斜面からの土砂移動距離は 1.5km 以上ある。土砂が流れ下った場所はおもともと小さな谷地形であったと考えられ、調査時においても多量の水が流れていた。この崩壊地では崩壊した斜面付近にあった家屋が斜面崩壊により一瞬にして飲み込まれ、17 名の死者を記録した。住民の証言によると 5 月 17 日の午後 6 時頃斜面崩壊が発生し、土石流となって流れ下ったものである。この場所では古くより度重なって崩壊が発生していたようで、谷の両側には数層の土石堆積物が厚さ 10m 以上確認できる。河床堆積物にもかつての土石流堆積物である半固結したれき層が露出している。また、そのれき層には木片も多く含まれていた。

崩壊した斜面は 4 カ所確認でき、それらの斜面は片麻岩である。もっとも大きな崩壊が発生した斜面の走向傾斜は $N30^{\circ} \sim 45^{\circ} E$ 、 $60^{\circ} N$ で、小さい崩壊は $E-W$ 、 $60^{\circ} N$ であった。片麻状構造は $N60^{\circ} E$ で大きな崩壊斜面の走向にほぼ一致している。

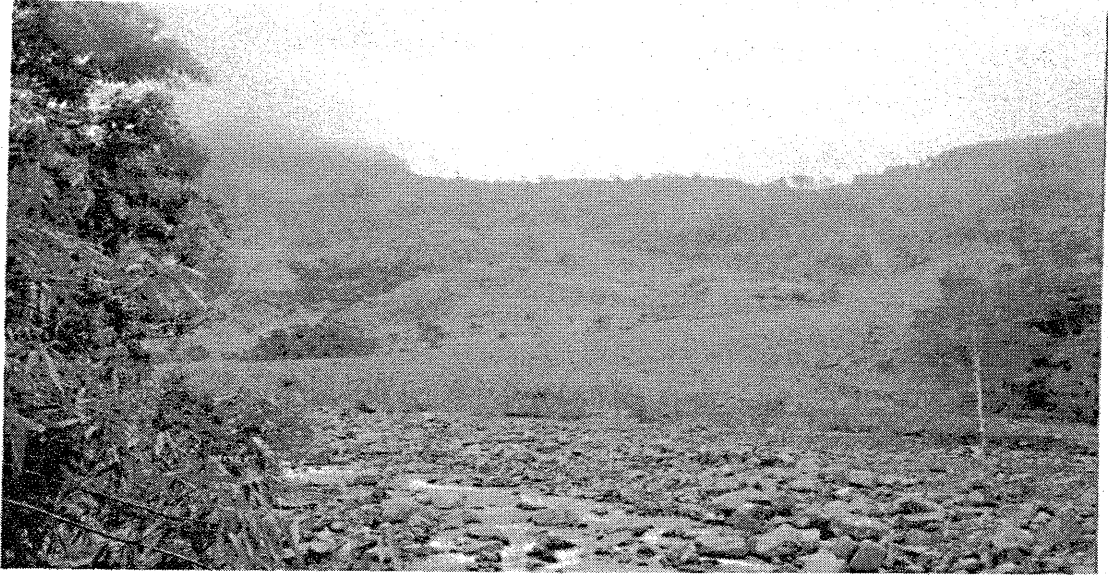


写真4 Potupitiyaの崩壊地

4. 粘土鉱物

4-1. X線粉末回折

それぞれの崩壊地から粘土試料を採取し、X線粉末回折により構成粘土鉱物を同定した。それによると、ほとんどの粘土鉱物はハロイサイトで、僅かにカオリナイトとスメクタイト、イライト/スメクタイト混合層鉱物が認められる。それぞれの崩壊地での粘土物質の産状と構成粘土鉱物を表1にまとめた。特徴的なのはいずれの崩壊地においても表層部の土壌や割れ目に形成されている粘土にはギブサイトの生成が認められる。また、産状は異なっても全ての粘土鉱物はほとんどがハロイサイトである。

表1 崩壊地の粘土物質の構成粘土鉱物

		ハロイサイト	カオリナイト	ギブサイト	イライト	スメクタイト	混合層
Dombaya	ペグマタイト	○○○	○				
	砂礫層					○○○○○	
	粘岩の砂礫	○○	○○	○			
	粘岩の褐色物質	○○○	○	△			
	崩壊体崩壊部	○○○	○				
	崩壊土中のれき層辺	○○	○○	○	○		
	崩壊れきのマトリックス	○○○	○				
	片礫層	○○○	○				
	片礫層I	○○○	○				
	ペグマタイト	○○○	○	○			
Rahradia	崩壊土・白色	○○○○	△	△			
	青色底質層	○○○	○				
	崩壊粘土・青色	○○○○○	○				
	土壌	○	○○				
	滑り面の粘土・褐色	○○	○○	○○			○
	滑り面粘土	○○○	○	△			
	崩壊粘土	○○○○	○	○			
	滑り面の白色粘土	○○○	○	○			
	炭質岩石	○○○	○				
	崩壊付近崩壊部 褐色	○○	○○	△			
Potupitiya	崩壊部 白色粘土	○○○	○				
	崩壊土 白色底質	○○○	○				
	古い崩壊物質	○○	○	○			
Palawala	褐色粘土	○○	○○	○			
	褐色粘土	○○○○○	○				
	白色底質	○○○○	△				
	ラテライト	○○	○○	○○			

4.2. 透過電子顕微鏡観察

前述したように、X線回折分析によりほとんどの試料はハロイサイトである。しかし透過電子顕微鏡観察によると、その結晶形態はチューブ状であるが、崩壊地の場所によりそのチューブの形態に違いが認められる。例えば、Ralwadia ではチューブの中も太くまた長い結晶である（写真5）。しかし、Patupitiya では一般的にハロイサイトのチューブは短く、細い。また、それぞれの崩壊地での産状の違いによっても形態は異なっている。



写真5 透過電子顕微鏡写真

5. まとめ

今回調査した4ヶ所の斜面崩壊地である Deniyaya, Ralwadia, Parawela, Potapitiyaの斜面崩壊地は、いずれも比較的弱い風化した片麻状構造の発達している片麻岩で、崩壊斜面は大きな節理面となっている。また、節理面の傾斜方向は斜面の傾斜方向とも一致し、流れ盤的になっている。崩壊した土砂はこれらの節理面（傾斜40-60°）の上に堆積していたと考えられる。また、いずれの崩壊地でもその節理面には灰色から褐色（地下水面下では灰色、表層では褐色）を呈する厚さ数cm~10cm程度の粘土が覆っている。そのため豪雨時には雨水は節理面より下部にはほとんど浸透できず、非常に短時間で土壤中を表層水は飽和したことが容易に推定される。

土壌や粘土物質中に生成しているハロイサイトは、熱帯多雨地域に分類されている崩壊発生地域では、風化作用により岩石がハロイサイト化したものと推定され、熱水作用の証拠の一つである、熱水性粘土細脈などは全く認められなかった。

いずれの崩壊地でも、その崩壊土のほとんどはかつて崩壊した土壌が下部に残されており、それが再び移動している。特に Potupitiya では数回の崩壊が発生し、土石流堆積物として厚く残されている。このように2003年5月17日に発生した斜面崩壊地では、かつて何度も崩壊を繰り返していた。