

中国・黄土高原地すべり土の鉱物学的性質とせん断強度特性

Mineralogical Properties and Shear Strength Characteristics of Soil Samples from the Loess Landslides

山下友美*, 宜保清一**, 中村真也**

Tomomi YAMASHITA, Seiichi GIBO, Shinya NAKAMURA

1. はじめに

黄土高原で発生する地すべりはすべり面の位置に基づいて類別化されており(孫ら,2004), その発生機構はすべりのタイプにより異なることが考えられる。地すべりの発生機構解明にはすべり面土のせん断強度特性を把握することが不可欠である(宜保ら,1984)が, 黄土高原の地すべり土に関して, 黄土や基盤土岩の鉱物学的性質およびせん断強度を求めた研究は少ない。

本研究では, 黄土高原で発生した地すべりからの採取土について, 鉱物分析およびリングせん断試験を行い, その鉱物学的性質およびせん断強度特性を明らかにした。

2. 試料と試験方法

廟湾地すべりより馬蘭黄土, 二次黄土および赤色砂質土, 二道岔地すべりより馬蘭黄土および頁岩を試料とした。試料は風乾後 420 μm フルイを通過させ各試験に供した。鉱物は, 沈定法で分離した各画分を用いて X 線回折法(和田,1966)により同定した。粘土画分(<2 μm)では, Mg 飽和, グリセロール処理試料(定方位試料)のピーク強度を, シルト・細砂・粗砂画分では, 乱方位試料のピーク強度を基に各鉱物の相対含量を計算した。試料全体の鉱物組成は, 各画分の含量とその鉱物組成から計算した。スラリーに調整した試料を所定の垂直応力 ($\sigma_v = 50, 100, 200, 300 \text{ kN/m}^2$) の下で正規圧密後, リングせん断試験(定応力, 変位速度 0.01 mm/min)を行い, 完全軟化強度定数 σ_{sf} および残留強度定数 σ_r を求めた。

3. 粒度組成と鉱物組成

表 1 に<420 μm 試料全体の粒度組成および鉱物組成を, 表 2 に<2 μm 粘土画分中の鉱物組成を示した。馬蘭黄土試料では, 粘土画分が 25%前後で, 細・粗砂分が主である。一方, 頁岩試料では, 低い残留強度低下に寄与する 2 μm 以下粘土含有量が 79.7%と高く馬蘭黄土試料の約 3 倍で, シルト分が 17.9%である。二次黄土試料および赤色砂質土試料

表 1 試料 (<420 μm) の物理的・鉱物学的性質
Table 1 Grain size distribution and mineralogical composition of <420 μm soil samples

試料	粒度組成 (%)				鉱物組成 (%)						
	粘土 < 2 μm	シルト 2-20 μm	細砂 20-200 μm	粗砂 200-420 μm	St	Vt	Ch	Mc	Qr	Fd	Others
					配向性粘土鉱物				非配向性鉱物		
廟湾地すべり											
馬蘭黄土	26.5	24.7	48.8	0.1	0	0	4	11	55	24	6
二次黄土	47.7	38.3	13.9	0.2	0	0	26	14	46	10	4
赤色砂質土	54.6	24.1	20.3	0.9	0	0	9	25	35	23	8
二道岔地すべり											
馬蘭黄土	24.6	32.8	42.5	0.1	0	0	4	12	60	20	4
頁岩	79.7	17.9	2.3	0.1	0	0	13	41	36	5	4

(St: スメクタイト, Vt: パーミキュライト, Ch: 緑泥石, Mc: 雲母, Qr: 石英, Fd: 長石, Others: カオリナイト等)

*琉球大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, University of the Ryukyus

**琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

キーワード: 土の静力学的性質, リングせん断, 鉱物学的特性

については、CF が 50% 前後で、前者ではシルトが 38% と次に多く、後者ではシルト 24%、細砂 20% となっている。

廟湾地すべりの馬蘭黄土試料では、石英 55%、長石 24% の非配向性鉱物を主とし、次いで雲母および緑泥石を含有する。<2 μ m 粘土画分中では、長石 34% に続いて雲母が 32% 含まれている。一方、頁岩試料では、<2 μ m 粘土画分中では、雲母が 50% と半数を占め、次に石英が多く含まれている。試料全体では雲母 41% に次いで石英が 36% 含まれているが、配向性粘土鉱物を 54% 含有する。緑泥石および雲母は層状ケイ酸塩鉱物であり、板状ないし薄板状を呈し、残留強度低下に大きく関与していることが示唆される。

4. せん断強度特性

試料の完全軟化強度定数 s_f および残留強度定数 r を表 3 に示す(粘着力 $c=0\text{kN}/\text{m}^2$)。石英を主とし、配向性粘土鉱物が少ない馬蘭黄土試料では、 $s_f=36.1^\circ$ (廟湾)、 $s_f=36.1^\circ$ (二道岔) と高い値となった。石英粒子が先に反応しせん断抵抗を増大させるため摩擦係数の増大傾向が著しい。一方、配向性粘土鉱物を主に含有する頁岩試料では、 $s_f=28.2^\circ$ となった。ピーク後の強度低下に寄与する雲母の影響により、ピーク後に強度が急速に低下した。中間的な二次黄土試料および赤色砂質土試料については、前者では $s_f=31.4^\circ$ 、後者では $s_f=32.9^\circ$ となり、両試料とも強度低下が緩慢であった。

馬蘭黄土試料では、高い砂分と非配向性鉱物の石英等の影響により粒子配向が起こらず、 $r=33.0^\circ$ (廟湾) および $r=31.9^\circ$ (二道岔) と大きくなった。それに対し、頁岩試料では、粘土画分が約 80% を占めていることおよび配向性粘土鉱物の緑泥石および雲母を多く含有しているため、残留せん断面の粘土粒子配向が良好で強度の低下が著しく、 $r=10.8^\circ$ と小さくなったと考える。残留せん断面は鏡肌を呈するほどに発達した。<2 μ m 粘土画分中の配向性粘土鉱物が 68% 含まれている二次黄土試料および 58% 含まれている赤色砂質土試料では、粘土画分およびシルト・細砂分が同程度含有されていることおよび試料全体において配向性粘土鉱物が少なく、非配向性鉱物含有量が 60% 近くあることにより、前者で $r=25.2^\circ$ 、後者で $r=28.1^\circ$ と比較的高い値となった。黄土高原地すべり土の強度特性には幅があり、黄土高原で発生する地すべりにはさまざまなタイプの地すべりが存在すると考えられる。

参考文献 1) 孫ら(2004):中国・寧夏南部の黄土地すべりの特徴とすべり面の位置による分類,自然災害科学,23(1),pp.79-92. 2) 宜保ら(1984):平均すべり面強度定数の算定方法について,地すべり,20(4),pp.1-6. 3) 宜保ら(2003):地すべり土のリングせん断挙動に及ぼす鉱物組成の影響,日本地すべり学会誌,40(4),pp.259-265. 4) 和田光史(1996):粘土鉱物の同定および定量法,日本土壤肥科学雑誌,37(1),pp.9-17. 5) 江頭ら(2002):台湾九二一集集地震で発生した九份二山地すべりの粘土鉱物学的特徴,地すべり,39(3),pp.47-51. 6) 周ら(1997):中国,岷江および雑谷脳河流域地すべり土の物理的・鉱物学的性質とせん断強度特性,農業土木学会論文集,No.187,pp.23-29.

表 2 <2 μ m 粘土画分の鉱物組成 (%)
Table 2 Mineralogical composition in the <2 μ m clay fraction of samples

試料	St	Vt	Ch	Mc	Qr	Fd	Others
廟湾地すべり							
馬蘭黄土	0	0	13	32	12	34	9
二次黄土	0	0	47	21	24	0	8
赤色砂質土	0	0	16	42	13	0	29
二道岔地すべり							
馬蘭黄土	0	0	9	42	25	14	9
頁岩	0	0	17	50	28	0	5

表 3 試料(<420 μ m)のせん断強度
Table 3 Shear strength parameters of <420 μ m soil samples

試料	完全軟化強度定数 s_f	残留強度定数 r
廟湾地すべり		
馬蘭黄土	36.1°	33.0°
二次黄土	31.4°	25.2°
赤色砂質土	32.9°	28.1°
二道岔地すべり		
馬蘭黄土	36.1°	31.9°
頁岩	28.2°	10.8°