

4. 地すべり地における緑泥石の風化と粘土鉱物組成

石黒 靖彦、磯野陽子、諏訪陽子(株)エイトコンサルタント)

1. はじめに

対象となる地すべり地は島根県西部地方にある標高 110m 程度の定高性のある丘陵地の斜面で、その丘陵地の周辺ではしばしば地すべりが発生している。地質構成は、基盤岩の三郡変成岩(泥質片岩主体)が分布し玄武岩にて覆われ¹⁾、玄武岩は台地の頂部付近に分布し、キャップロック構造となっている。こうした地質構成が地すべりの素因のひとつとなっている。

検討を行った地すべりでは、すべり面付近を境界として粘土鉱物組成に明確な違いが認められた。また、平面的な分布でも地すべりブロックと背後斜面において粘土鉱物組成の違いが生じている可能性があることがわかった。粘土鉱物組成の違いを生じた主な要因として、地すべり変動による亀裂や間隙の発生と、それに起因する緑泥石の風化が絡んでいると考えられる。

2. 地すべり概要

今回発生した地すべりは、谷底(標高 35m)～台地頂部(標高 100m)の斜面のうち、概ね標高 45～75m の範囲であり、平面的には延長 70m 幅 50m である。地すべりブロック内は幅 5～10m の平坦部と落差 2～3m の急崖(石積み)とを繰り返して平坦部は畑地として利用されている。この石積みは恐らくかつて地すべりによって形成された滑落部に、斜面上部に分布する玄武岩を小割して石積みを施したものと考えられ、今回発生した地すべりブロックの背後にも連続している。また、冠頭部と台地頂部の間には、玄武岩の大きなブロック状の未風化岩塊が緩急を伴い急崖を形成し、大きく変位した形跡も認められる。以上より、この斜面一帯は地すべり地

であり、今回発生した地すべりはその一部と考えられる。地元の古老によると少なくとも 100 年くらい前から現在のような土地の利用状況だったらしい。(図-1.平面図参照)

地質は三郡変成岩の泥質片岩が主体で部分的に砂質片岩が認められるが、周辺に良好な状態の露頭は見当たらない。また、地すべりブロック内外を含む斜面全体から、その起源の特定は行っていないが表層の土壌より少量ながら火山ガラスが確認された。恐らく、アカホヤ火山灰ではないかと考えられる。

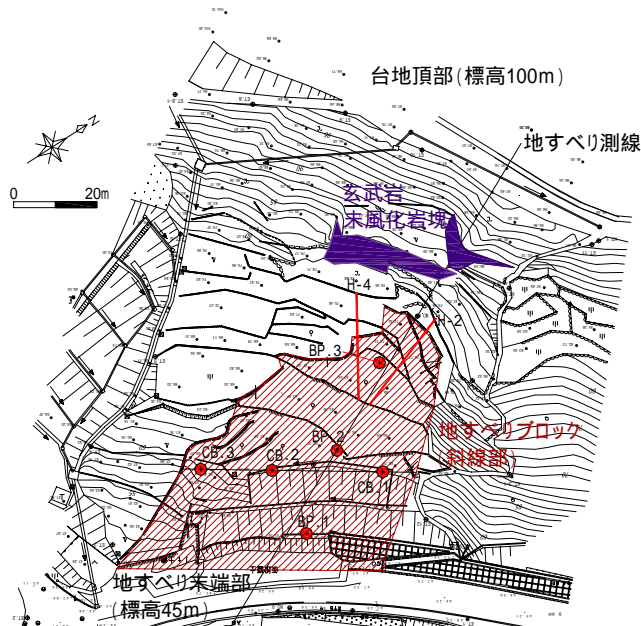


図-1.平面図

斜面末端部では 10～15 年前に地形の改変により切土が行われているようであるが、施工中から今回の地すべり発生まで地すべり変位があったという記録はない。

すべり面の深さは地すべり測線では 10m 程度、側方では 4～7m とやや浅くなる。すべり面深度は、BP.1 はパイプ歪計の変位、CB.2 は N 値、その他はコア状態により判定し、全体的には規模や断面形状などを考慮して設定した。これは、BP.2 BP.3 はボーリング完了直後に地すべりブロックが 40cm 程度変位したため、応急対策の施工などで動きが止まり、変位の観測を行うことができなかつたことによる。また、CB.1 CB.3 ではもともと変位の観測を行っていない。

3、地すべり斜面での粘土鉱物組成

地すべりブロックにて実施した調査ボーリング(計6本)と背後斜面へ向かって実施した横ボーリング(計2本)にて得られた試料を用いて、X線回折により粘土鉱物の判定を行った。調査ボーリングではほぼ 1m 間隔で、横ボーリングではほぼ 5m 間隔で、各々試料を採取しX線回折を行った。

また、同じ試料で pH と酸化還元電位 (Eh) の測定を行った。移動層や不動層の化学的性質を把握することで、風化・変質度合いや緩み領域を推定する。一般に、地盤内に亀裂や間隙が多く空気や地下水の循環が盛んであると、pH 値は小さく(酸性)酸化還元電位は大きな値(酸化)を示す。従って地すべり移動層など乱され緩みの生じている部分の pH は小さく、酸化還元電位は大きいと予想できる。その一方で、風化は地表で最も進行しているので、深部から地表に向かって pH は小さく酸化還元電位は大きくなるような連続的な変化傾向を示す。しかし、途中に何らかの不連続な面が存在すると、pH・酸化還元電位の値もその付近を境界に不連続に変化すると考えられる。

それらの結果を表-1～3.X線回折結果にまとめ、図-2.地すべり測線断面図および図-3.杭工縦断面図(斜面中部～下部)に示す。検出された緑泥石に着目すると、今回発生した地すべりブロック内では、表層付近で全く認められず代わりに風化によって生成されるパーミキュライトやカオリン鉱物が全体的に認められる。ここでは、緑泥石、パーミキュライト及びカオリン鉱物の3つの粘土鉱物を基に粘土鉱物帯を区分した。その結果から次のような内容を読み取ることができる。

- 1、地すべりブロック内での粘土鉱物帯は、垂直方向の変化として深い方から緑泥石(Ch)帯、緑泥石-パーミキュライト(Ch-Ver)帯、パーミキュライト(Ver)帯、パーミキュライト-カオリン鉱物(Ver-Ka)帯及びカオリン鉱物(Ka)帯に区分される。各粘土鉱物帯は、ボーリング地点によって欠如することもあるが、その順序が逆転することはない。
- 2、pH 値は深部から地表に向かい小さくなる傾向が伺え、逆に酸化還元電位(Eh)は大きくなっていて連続的に変化している場合が多いが、不連続に変化していることもあり、BP.1 の 3.6～3.8m BP.2 の 10～12m 13.3～15m 及び CB.2 の 7.5～8.7m がそれに相当する。その変化部では、粘土鉱物帯は BP.2 の 13.3～15m を除いて、緑泥石帯からパーミキュライト-カオリン鉱物帯へ移行していて、すべり面深度に隣接している。

表-1.X線回折結果-1(地すべり測線)

BP.1

深度 (m)	標高 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果								
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Ch	Hu	Cal
1.0	50.9	片岩 風化土	赤褐色	7.20	303	Ver -Ka 帯									
2.0	49.9			7.23	274										
3.0	48.9			7.85	270										
3.6	48.3			7.92	272										
3.8	48.1	破碎質 泥質片岩 (粘土質)		8.88	160	Ch帯	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.6	47.3			9.05	160		-	-	-	-	-	-			
5.4	46.5			9.27	158		-	-	-	-	-	-			
6.0	45.9	破碎質 泥質片岩	黒灰色	8.58	168		-	-	-	-	-	-	-		
8.0	43.9			8.54	176		-	-	-	-	-	-			
10.0	41.9			8.44	157		-	-	-	-	-	-			
13.0	38.9			7.78	169		-	-	-	-	-	-			
17.0	34.9			7.81	162		-	-	-	-	-	-			

BP.2

深度 (m)	標高 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果								
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Ch	Hu	Cal
2.0	60.8	崩積土	暗褐色	6.61	273	Ka帯		-	-	-	-	-	-	-	
3.0	59.8			6.94	261			-	-	-	-	-	-		
4.0	58.8	片岩 風化土	赤褐色	6.67	266	Ver -Ka 帯		-	-	-	-	-	-	-	
5.0	57.8			6.69	266			-	-	-	-	-			
6.0	56.8			6.55	289			-	-	-	-	-			
7.0	55.8			6.35	296			-	-	-	-	-			
8.0	54.8			5.97	323			-	-	-	-	-			
8.6	54.2			5.52	317			-	-	-	-	-			
9.0	53.8	破碎質 風化片岩	黄褐色	5.76	334	Ch帯		-	-	-	-	-	-		
10.0	52.8			5.20	327			-	-	-	-	-			
11.0	51.8			6.47	284			-	-	-	-	-			
12.0	50.8	破碎質 泥質片岩	黒灰色 ~ 淡緑色	7.52	190	Ch帯		-	-	-	-	-	-		
13.3	49.5			7.12	201			-	-	-	-	-			
15.0	47.8			9.09	139			-	-	-	-	-			
17.0	45.8			8.53	168			-	-	-	-	-			
18.0	44.8	破碎質 泥・砂質片		8.94	162		-	-	-	-	-	-			

BP.3

深度 (m)	標高 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果								
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Ch	Hu	Cal
2.0	67.4	強風化 片岩	赤褐色	6.22	311	Ver -Ka 帯			-	-	-	-	-	-	
3.0	66.4			6.28	305			-	-	-	-	-			
4.0	65.4			6.18	305			-	-	-	-	-			
5.0	64.4			5.98	304			-	-	-	-	-			
6.0	63.4			6.62	289			-	-	-	-	-			
7.0	62.4			6.43	318		-	-	-	-	-				
8.0	61.4			6.03	316		-	-	-	-	-				
9.0	60.4			6.26	310		-	-	-	-	-				
10.0	59.4			6.32	310		-	-	-	-	-				
11.0	58.4			6.68	287		-	-	-	-	-				
12.0	57.4	破碎質風化 泥・砂質片 岩	黄褐色	6.38	290	Ch帯		-	-	-	-	-	-		
13.0	56.4			6.33	288			-	-	-	-	-			
14.0	55.4			7.07	257			-	-	-	-	-			
15.0	54.4			6.46	296			-	-	-	-	-			
16.0	53.4			6.57	290			-	-	-	-	-			
17.5	51.9	破碎質 泥質片岩	黒灰色	8.33	179		-	-	-	-	-	-			

凡例(表-1~3)共通

Eh:酸化還元電位

:回折線長さが10cm以上 :回折線長さが2~10cm :回折線長さが2cm未満

K:カオリン鉱物 V:パーミキュライト M:スメクタイト V/M:パーミキュライト/スメクタイト混合層鉱物

Se/M:セリサイト/スメクタイト混合層鉱物 Se:セリサイト Ch:緑泥石 Hu:輝沸石 La:濁沸石 Cal:方解石

表-2.X線回折結果-2(杭工箇所-地すべり斜面中～下部)

CB.1

深度 (m)	標高 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果								
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Chl	Hu	La
1.0	61.4	移動層 片岩 風化土	褐色	6.02	323	Ka帯	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	60.4			6.21	300		-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.0	59.4			6.29	285	Ver -Ka 帯	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	58.4			6.21	297		-	-	-	-	-	-	-	-	
5.0	57.4			6.49	272		-	-	-	-	-	-	-	-	
6.0	56.4			6.25	283		-	-	-	-	-	-	-	-	
6.4	56.0			6.41	290		-	-	-	-	-	-	-	-	
7.4	55.0	6.75	261	Ver帯	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8.0	54.4	6.52	296		-	-	-	-	-	-	-	-			
9.0	53.4	6.52	319		-	-	-	-	-	-	-	-			
10.0	52.4	6.55	328		-	-	-	-	-	-	-	-			
11.0	51.4	5.86	317		-	-	-	-	-	-	-	-			
12.0	50.4	6.44	307		-	-	-	-	-	-	-	-			
13.0	49.4	6.14	334		-	-	-	-	-	-	-	-			

CB.2

深度 (m)	標高 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果								
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Chl	Hu	La
1.0	60.0	移動層 片岩 風化土	暗褐色	5.81	279	Ver -Ka 帯	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	59.0			5.60	286		-	-	-	-	-	-	-		
3.0	58.0			5.89	282		-	-	-	-	-	-	-		
4.0	57.0			5.91	269		-	-	-	-	-	-	-		
5.0	56.0			6.23	285		-	-	-	-	-	-	-		
6.0	55.0			6.49	268		-	-	-	-	-	-	-		
7.0	54.0			6.13	266		-	-	-	-	-	-	-		
7.5	53.48	5.91	274	Ch帯	-	-	-	-	-	-	-	-			
7.5	53.47	5.94	281		-	-	-	-	-	-	-				
8.7	52.3	8.19	182		-	-	-	-	-	-	-				
9.0	52.0	8.96	127		-	-	-	-	-	-	-				
9.8	51.2	9.01	142		-	-	-	-	-	-	-				
11.0	50.0	8.52	143		-	-	-	-	-	-	-				
13.0	48.0	8.67	125		-	-	-	-	-	-	-				
15.0	46.0	8.97	142	-	-	-	-	-	-	-					

CB.3

深度 (m)	標高 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果							
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Chl	Hu
1.0	57.1	移動層 片岩 風化土	暗褐色	5.95	263	Ka帯	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	56.1			6.03	265		-	-	-	-	-	-	-	
3.0	55.1			6.54	282	Ch帯	-	-	-	-	-	-	-	
3.6	54.5			6.43	270		-	-	-	-	-	-		
4.0	54.1	5.90	275	-	-		-	-	-	-				
5.0	53.1	6.65	261	-	-		-	-	-	-				
6.0	52.1	6.35	259	-	-		-	-	-	-				
7.0	51.1	6.39	245	-	-		-	-	-	-				
8.0	50.1	不動層 破碎質 泥質片岩	黒色	6.26	247	Ch帯	-	-	-	-	-	-		
8.9	49.2			6.49	226		-	-	-	-	-	-		

表-3.X線回折結果-3(地すべり斜面頭部～背後斜面)

横ボーリング工(孔口標高:65.7m 掘削勾配:上向き5度)

NO	深度 (m)	試料	色調	pH	Eh (mV)	粘土 鉱物帯	X線回折結果							
							K	V	M	V/M	Se/M	Se	Chl	Hu
H-2	15.1	移動層 片岩 風化土	黄褐色	5.42	300	Ver -Ka 帯	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.9			5.26	286		-	-	-	-	-			
	20.1			5.21	319		-	-	-	-	-			
	22.1			6.39	295		-	-	-	-	-			
	25.2	背後 風化 砂質片岩	淡黄色	5.73	302	Ch帯	-	-	-	-	-	-		
25.6	5.64	296	-	-	-		-	-						
H-4	10.1	背後 片岩 風化土 風化 泥質片岩	黄褐色	6.12	280	Ver帯	-	-	-	-	-	-	-	
	15.1			5.54	288		-	-	-	-	-			
	20.2			5.85	296		-	-	-	-	-			
	25.2			6.63	283		-	-	-	-	-			
	25.6			5.97	290		-	-	-	-	-			

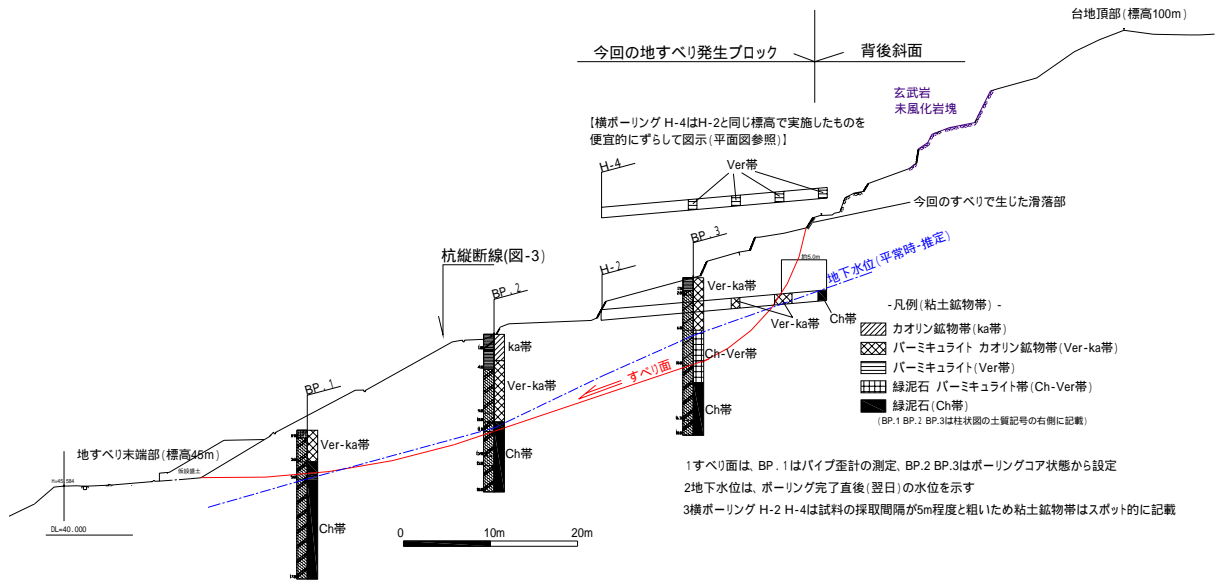


図-2.地すべり測線断面図

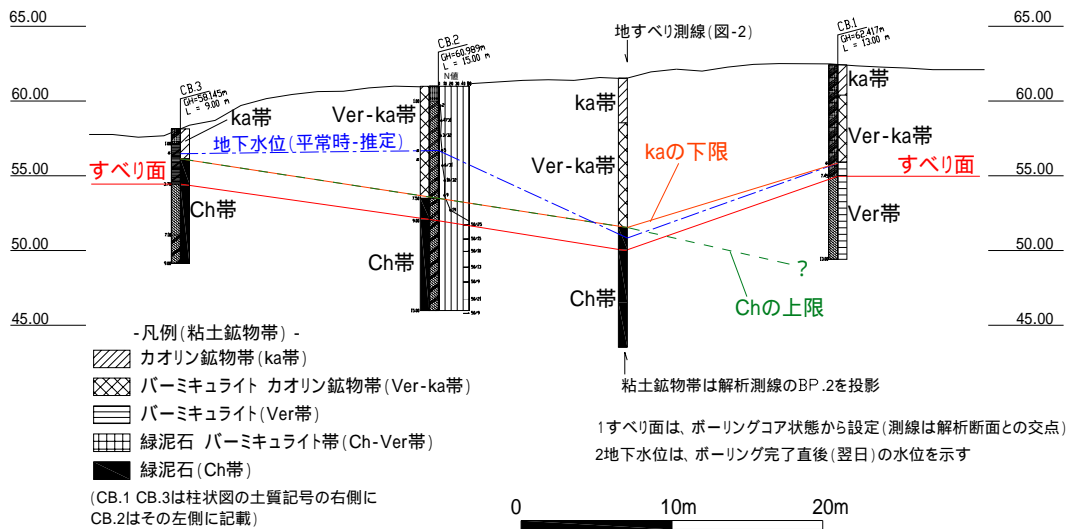


図-3.杭工縦断面図(斜面中部～下部)

- 3、地すべりブロックの中部～下部では、カオリン鉱物の出現深度は設定しているすべり面よりやや上方(1～2m)となる(図-3)
- 4、標準貫入試験を実施したCB.2では、N値の変化と粘土鉱物帯の変化は良く対応しており、パーミキュライト-カオリン鉱物帯ではN値=10以下であるが、緑泥石帯では、N値=19を示す箇所は緑泥石の回折線長さが2～10cmで、N値=50以上を示す場合は回折線長さが10cm以上となっている。
- 5、微地形から判断すると今回発生した地すべりブロックとその背後斜面も含めて一連の地すべり斜面と考えられる。試料の点数は少ないが、今回の地すべりブロック内とその背後斜面で粘土鉱物組成は明確に異なっている。浅部において地すべりブロック内の粘土鉱物帯

はパーミキュライト-カオリン鉱物帯やカオリン鉱物帯となる【例えば、H-2 の 15.1～22.1m と BP.3 の 6m 以浅】が、背後斜面では緑泥石帯やパーミキュライト帯となりカオリン鉱物は検出されない【H-2 の 25.2 と 25.6m、H-4 のすべての試料】(図-2)。

緑泥石は風化によりパーミキュライトを経てカオリン鉱物に変質することが知られている²⁾。当地においてすべてそうした過程を経て変質しているとは限らないが、3つの粘土鉱物によって粘土鉱物帯を区分することができ、そうした風化過程を反映している可能性が高い。

4、考察

以上のような、緑泥石の風化に伴う粘土鉱物組成の違いを生じた要因についてまとめる。

- 1、地すべりブロック内での粘土鉱物帯の特徴は、風化段階に応じた粘土鉱物の組み合わせを示していると考えられる。地すべりにより移動層に亀裂・間隙が生じより風化を促進しやすい環境を形成し、不動層との粘土鉱物組成の違いの要因になったと考えられる。
- 2、不動層と移動層での粘土鉱物組成の違いは地すべり運動の有無によるが、今回発生した地すべりブロックと背後斜面との粘土鉱物帯の違いは、これまでの地すべり運動の履歴の違いを示している可能性がある。地すべりブロックではより風化程度の強いカオリン鉱物を生成しているが、背後斜面では認められない。今回発生した地すべりブロックの方が背後斜面より運動が活発であったためより風化を受けやすい環境を形成した。

5、おわりに

地すべりと風化は互いに密接に絡む現象であり、ここでは緑泥石を指標として検討を行ったが、地すべりと風化に関して模式図(図-4)に示すようにまとめてみた。また、各粘土鉱物帯は不連続に区分でき、その鉛直方向での分布が風化過程での変質順序と一致しているのは、風化が長い年月をかけて進むのであれば、地すべり地であっても長期間安定した環境下にあったのかもしれない。

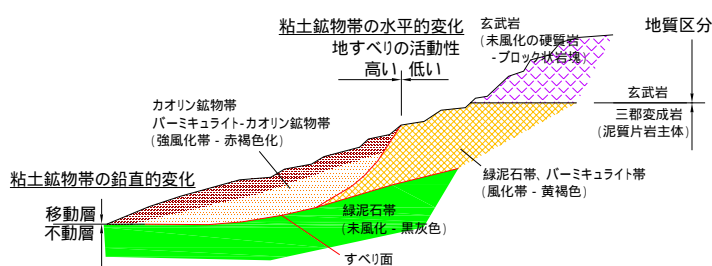


図-4.地すべりと風化に関する模式図

参考文献

- 1) 島根県地質図編集委員会(1982): 島根県地質図(1:200000)
- 2) 三浦清(1976): 鳥取花崗岩に見られる黒雲母の特殊変質とその応用地質学的意義, 応用地質, Vol17, No.4, P16-23

地すべりと風化についてひとつの考えをまとめることができた。しかし、すべり面の深度(変位の観測)、背後斜面の地質や全体的な地下水状況など基礎的なデータが十分でない面もあり、他の地すべりも含め検証を行いたい。