

蛇紋岩地帯の地すべりの発達に及ぼす 粘土鉱物とせん断強度の影響

横田公忠¹・矢田部龍一²・八木則男³

¹正会員 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科 (〒790 松山市文京町3)

²正会員 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科

³正会員 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科

本論文は、蛇紋岩地帯で発生している比較的緩傾斜の4箇所の地すべり地を対象として発生機構に対して鉱物学的・土質力学的検討を行ったものである。その結果、蛇紋岩地帯の地すべり土塊は蛇紋岩の鉱物構成に起因し、破砕作用を受けた場合は崩壊しやすく不安定土塊として形成される。また、蛇紋岩地すべりでもすべり面の粘性土はクロライト、タルク、モンモリロナイト等の比較的せん断抵抗角の小さな粘土鉱物が主成分であることを明らかにし蛇紋岩地帯の地すべりの発生機構に検討を加えた。

Key Words : *serpentine, landslide, clay mineral, X-ray analysis, shear test*

1. まえがき

蛇紋岩は蛇紋石を主成分鉱物とする岩石で、かんらん岩や輝石等の超塩基性岩から蛇紋岩化作用で生成されたものである。蛇紋岩化作用とは加水反応であり、当然蛇紋岩は破砕しやすい性質を持つ。また、断層破砕帯に沿って貫入している場合が多く、地質的に脆弱な地質構造帯や断層に沿って分布していることから、様々な問題を引き起こしている。

日本各地に分布している蛇紋岩地帯では多くの地すべりが発生している。野地¹⁾は北海道の神居古潭帯における地すべり地の地形、地質特性ならびに風化蛇紋岩の強度特性を調べている。低引ら²⁾は日本各地の蛇紋岩地すべりの一般的特性を文献調査に基づいて明らかにしている。その他、蛇紋岩地すべりの事例に関しては多くの報告がなされているが、蛇紋岩地すべりの機構に関する鉱物学的・土質力学的解明は十分にはなされていない。

筆者らは蛇紋岩の風化した粘性土を対象に、粘性土を構成する鉱物と、それらのせん断抵抗角(ϕ' 、 ϕ_r)の関係から蛇紋石はせん断抵抗角は大きく、その他の蛇紋岩帯にある粘土化した鉱物のせん断抵抗角は小さいことを明らかにした³⁾。

本報告では比較的緩傾斜の4カ所の蛇紋岩地すべり地を対象にして崩積土や基盤岩のX線回折による鉱物分析と三軸試験ならびにリングせん断試験によ

り強度特性を調べた結果に基づいて各鉱物の生成と分布や蛇紋岩地すべりの発生機構に関する検討を行った結果を述べる。

2. 蛇紋岩地すべりの特性

蛇紋岩地帯では多くの地すべりが発生している。著者らは日本各地の30箇所を越える地すべり地の文献調査に基づいて蛇紋岩地すべりの特性をまとめている²⁾。主な特性を列記すると次のようである。

- ①主に地質構造線に沿って分布し、周辺は複雑な地質構造を示す。
- ②地すべり地の勾配は $10^\circ \sim 20^\circ$ と比較的緩傾斜である。
- ③軟弱なクリープ性運動を続けているものが多い。

これらの特性の内、①は蛇紋岩が断層破砕帯等の地質的弱部への貫入岩体であることから当然の現象であり、②と③の特性に関しては、すべり面粘土の力学特性の影響が大きいと思われる。勾配が $10 \sim 20^\circ$ と緩く、クリープ性の運動を続けているものが多いということから蛇紋岩の風化した粘性土のせん断強度は小さいと推定される。

図-1に日本各地で採取した蛇紋岩の風化した粘性土のピークおよび残留状態におけるせん断抵抗角 ϕ' 、 ϕ_r と主成分鉱物の関係を示す。詳細は参考文献に示すが³⁾、 ϕ' は三軸試験により、 ϕ_r はリング

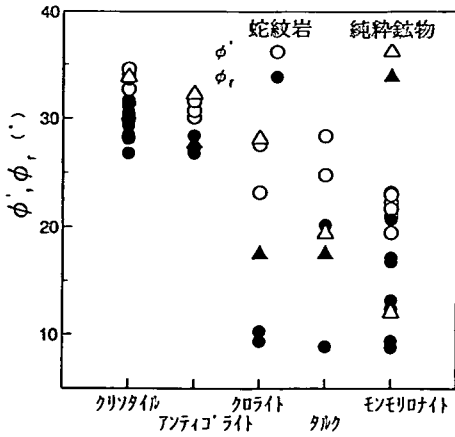


図-1 主要構成鉱物と ϕ' 、 ϕ_r の関係

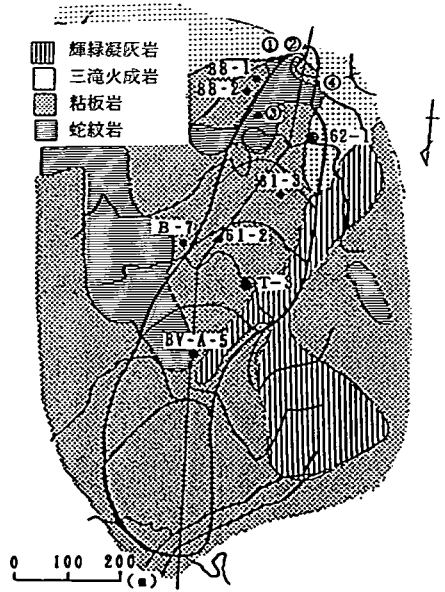


図-2 長者地すべり地の地質平面図

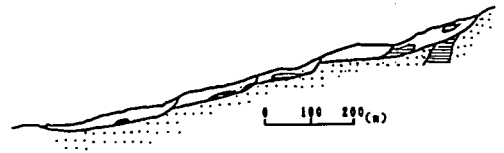


図-3 長者地すべり地の地質断面図

せん断試験により求めた。また、鉱物分析はX線回折により行った。これから蛇紋岩の風化した粘性土の強度特性には次の特徴がある。

①蛇紋石 ($Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$) の主要な鉱物はアンティゴライトとクリソタイルそれとリザーザイトである。今回調べた中にはリザーザイトが主成分のものはみられなかったが、代表的蛇紋石鉱物であるクリソタイルとアンティゴライトが主成分の場合、 ϕ' および ϕ_r とも 30° 前後である。このせん断抵抗角は破碎帯地すべり地や第三紀層地すべり地のすべり面の粘性土のそれと比べるとかなり大きい。

②タルクが主成分の場合、 ϕ' および ϕ_r はともに 20° 前後である。 ϕ' は他の粘性土と比べるとかなり小さいが、 ϕ_r への低下は小さい。

③クロライト、モンモリロナイトが主成分となっている試料のせん断抵抗角は、クリソタイル、アンティゴライトが主成分となっているものより ϕ' 、 ϕ_r とも 10° 以上小さく、また、残留強度への低下も大きい。

以上のことから考えると、アンティゴライトやクリソタイルといったいわゆる蛇紋石鉱物が主成分であれば、 $10 \sim 20^\circ$ といった緩い勾配での地すべりは発生しにくいと思われる。実際、野地は北海道の蛇紋岩地すべり地の規模や運動形態等を調べ、また、粘土状蛇紋岩に対するせん断試験を行い、せん断抵抗角と地すべり地の勾配の比較を行っている。そして、地すべり地の勾配は平均的に $10 \sim 20^\circ$ 程度であるのに対して、粘土状蛇紋岩のせん断抵抗角 ϕ_r は 30° を越えており、蛇紋岩地すべりの挙動を説明できないとしている。しかし、すべり面の土の強度特性は地すべり地の勾配を決める主要因の一つである。蛇紋岩地すべり地の機構の解明のためにはすべ

り面の土の鉱物・土質特性に対する詳細な検討が必要である。そこで、比較的緩傾斜の4箇所蛇紋岩地すべりを対象として蛇紋岩地すべりの発生機構に関して検討を行った。

3. 比較的緩傾斜の蛇紋岩地すべりの発生機構に対する検討

対象とした地すべり地は長者地すべり、田口地すべり、夏日地すべりならびに夏中地すべりの4箇所である。個々の地すべり地の発生機構に関する検討を行ったので地すべりの概要とともに以下に示す。

なお、発生機構の検討のためにX線回折による鉱物分析と繰り返し再圧密試料に対する三軸試験ならびにリングせん断試験による強度試験を行った。X線回折は、まず無処理の試料に対して行い、必要に応じて加熱処理、エチレングリコール処理ならびに塩酸処理した試料に対して行った。三軸試験ならびにリングせん断試験に用いた試料は何れも 420μ 篩を通過したものを用い、供試体は繰り返し $80kPa$ で再圧密して作成している。三軸試験は圧密非排水条

表-1 X線解析による長者地すべり地の粘土鉱物

表-2 地すべり粘土の強度特性

試料	深度(m)	Anti	Chry	Chlo	Tr	Mi	Fel	O	Tal	Cal	Mon	Ver	Kao	岩質
Outoroo①	Top		+	+										蛇紋岩
Outoroo②	Top		+	+										蛇紋岩
Outoroo③	0.5		+	+										蛇紋岩
Outoroo④	Top					+	+	+						頁岩(白)
Bor.No.-7	17.5-18.0			+	+									頁岩(黄)
	18.7-19.0			+	+									蛇紋岩
	19.5-20.0			+	+									蛇紋岩
	20.5-21.0			+	+									蛇紋岩
	21.0-22.0			+	+									頁岩
	22.0-22.3			+	+									頁岩
	24.5-25.0			+	+									蛇紋岩
	25.0-26.0			+	+									蛇紋岩
	26.5-27.0			+	+									蛇紋岩
	27.0-27.1			+	+									蛇紋岩
	27.8-28.0			+	+									蛇紋岩
	28.0-29.0			+	+									蛇紋岩
	29.8-30.0			+	+									蛇紋岩
	30.0-30.5			+	+									蛇紋岩
	32.2-32.8			+	+									蛇紋岩
	35.0-38.0			+	+									蛇紋岩
	44.0-45.0			+	+									頁岩
88-1	0.0-0.2			○										蛇紋岩
88-2	0.0-0.2			○										頁岩
62-1	31.15-31.20			○	○									蛇紋岩
	37.48-37.58			○										頁岩
	37.70-37.72			○										蛇紋岩
	37.72-37.98			○										頁岩
	37.98-38.00			○										蛇紋岩
	38.02-38.10			○										蛇紋岩
	38.10-38.14			○										頁岩
	38.14-38.16			○										蛇紋岩
	38.16-38.20			○										蛇紋岩
	38.20-38.64			○										蛇紋岩
	38.65-38.68			○										蛇紋岩
	38.68-38.70			○										頁岩
61-3	0.0-1.0			○	○									頁岩
	1.0-1.5			○	○									蛇紋岩
	1.5-2.2			○	○									蛇紋岩
BV-A-5	20-25			○										蛇紋岩
BV-7-3	8.5					+	+							輝綠岩
	9.5					+	+							輝綠岩
	10.5					+	+							輝綠岩

+:すべり面 *:主成分 ○:副成分 △:微量成分
 Anti:アンチクロライト, Chry:クロライト, Chlo:クロイト, Tr:トルモリロナイト, Mi:マイクロナイト, Fel:フェルシナイト, O:オーストライト, Tal:タルク, Cal:カルセドニア, Mon:モンモリロナイト, Ver:ベリリナイト, Kao:カオリナイト

件で行い、供試体の大きさは直径35mm、高さ80mm、変位速度は0.044mm/minである。リングせん断試験機のせん断リングは内径50mm、外径80mmである。

(1)長者地すべり⁴⁾

高知県高岡郡仁淀村長者に位置している。規模は長さ900m、幅200m、平均の勾配は15°程度である。地質的には秩父帯に属し、近くを黒瀬川構造帯が走っている。基盤岩は準片岩化の進んだ粘板岩、砂岩、輝綠凝灰岩および蛇紋岩と三滝火成岩である。平面図ならびに縦断面図を図-2,3に示す。これらには地質の概要も示してある。すべり面は深度20~30mで、蛇紋岩や粘板岩の崩積土中を通過している。

表-1にボーリングコアのすべり面位置より採取した試料ならびに地すべり地内および付近の露頭より採取した試料のX線回折による分析結果を示す。これには参考文献⁵⁾より引用したデータ(表中の○)も併せて示してある。これから次のことが分かる。

- ① Bor.No.-7の粘板岩中のすべり面を除くと深度28-29mのすべり面を形成している粘土化した蛇紋状の試料には蛇紋岩とモンモリロナイトが含まれている。なお、前後の粘土状蛇紋岩にはモンモリロナイトは全く含まれていない。
- ②明らかに蛇紋岩が風化したと判定される粘土状の試料には主に蛇紋岩鉱物が含まれており、クロライトやモンモリロナイトはあまり含まれていない。

試料	深度(m)	φ' (°)	φr (°)
長者 No.7	28-29	21.7	17.2
	36-38	27.4	27.3
	44-45	23.0	16.8
田口 H-2	27-28	18.5	12.9
	28-29	29.3	28.7
	29-30	32.4	32.6
夏日 F1-1	20-22	19.5	16.8
	F1-2	26.0-26.5	20.0
夏中 BV6-1	8.9-9.0	12.5	8.4
	13.5-14.0	28.8	24.9

→:すべり面

表-3 X線解析による田口地すべり地の粘土鉱物

試料	深度(m)	Anti	Chry	Sp	Chlo	Tr	Sm	Mx	Tal	Cal	岩質
Bor.B-5	8.80				*					+	蛇紋岩
	15.50				+	*					蛇紋岩
	18.50				+	*					蛇紋岩
	20.20				+	*					蛇紋岩
	20.70				+	*					蛇紋岩
	21.50				+	*					蛇紋岩
	22.75				+	*					蛇紋岩
	23.50				+	*					蛇紋岩
	23.50				+	*					蛇紋岩
	23.50				+	*					蛇紋岩
D-4-2	8.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	8.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	10.15			*		+	+	-	*	+	蛇紋岩
	12.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	13.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	15.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	16.80			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	18.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	18.50			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	20.80			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
A-0	28.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
	27.15			*		+	-	-	*	+	蛇紋岩
F-2	27.15			*	+				*	-	蛇紋岩
	28.15			*		+	+	+	*	+	蛇紋岩
	29.80			*		+	+	+	*	+	蛇紋岩
H-2	27.70			*					+	+	蛇紋岩
	29.20			+					*	+	蛇紋岩
	30.80			*					+	+	蛇紋岩
	32.50			*					+	-	蛇紋岩
H-3	16.15			*		+	+	+	*	+	蛇紋岩

→:すべり面 *:主成分 ○:副成分 △:微量成分
 Anti:アンチクロライト, Chry:クロライト, Sp:スピノライト, Chlo:クロイト, Tr:トルモリロナイト, Sm:スマイト, Mx:マクロナイト, Tal:タルク, Cal:カルセドニア

③粘板岩の風化粘土にはモンモリロナイト、クロライト、タルクが含まれているものが多い。

④ Bor. 62-1の結果から判断すれば、すべり面を形成している粘土化した蛇紋状の試料には粘板岩と蛇紋岩の風化試料が混合していることが推定される。それは次の理由による。地質構造を詳細にみると厚さ数cmから数十cmの粘板岩に数cm厚さで蛇紋岩が貫入している。蛇紋岩層は非常に薄いにも拘わらず、鉱物の主成分は何れもクリソタイルである。また、粘板岩ではモンモリロナイト、クロライト、タルクが検出されるが、蛇紋石鉱物は当然のことながら検出されない。しかし、すべり面の土にはクロライトやモンモリロナイト以外に蛇紋石鉱物も含まれている。これから非常に薄い互層をなしている蛇紋岩と粘板岩が崩壊時あるいは移動時に混合した可能性は充分考えられる。

せん断試験結果を他の地すべり地の結果も含めて表-2に示す。長者地すべり地ではピーク強度に対応するせん断抵抗角φ'は21.7°、残留強度に対応するせん断抵抗角φrは17.2°であった。蛇紋岩鉱物が

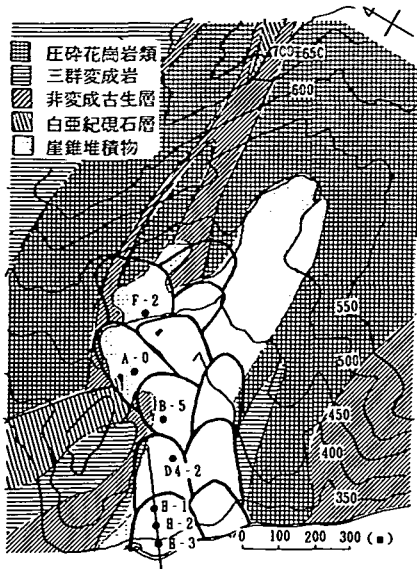


図-4 田口地すべり地の地質平面図

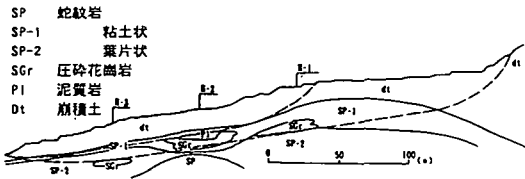


図-5 田口地すべり地の地質断面図

主なる深度 36 ~ 38 m の試料のせん断抵抗角よりかなり小さいが、これはモンモリロナイト含有の影響であると思われる。なお、深度 44-45 m の試料のせん断抵抗角も小さいが、これは粘板岩を母岩としておりモンモリロナイト等が含まれているからである。

(2) 田口地すべり⁶⁾

岡山県真庭郡美甘村に位置している。初生地すべりの規模は長さ 2km、幅 0.8km で、平均勾配は 11° であるが、勾配 5° ~ 7° の台地状平坦面と 20° 前後の急斜面を繰り返す 6 段の多丘状地形がある。現在地すべり指定地として対策が進められている地域の平面図ならびに縦断面図を図-4, 5 に示す。平面図には地質概要を併記してある。基盤地質は三郡変成岩類および古生代末期に貫入した超塩基性岩類が主体であり、他に蛇紋岩とほぼ同時期に貫入した圧砕花崗岩類、それと古生層泥質岩である。すべり面は深度 16 ~ 20 m の崩積土下面付近と深度 25 ~ 35 m 付近の蛇紋岩層中にあると思われる。年間の移動量は 1 ~ 2cm である。

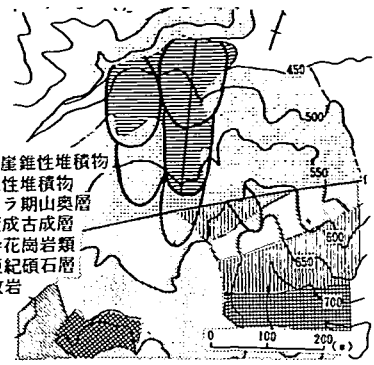


図-6 夏日地すべり地の地質平面図

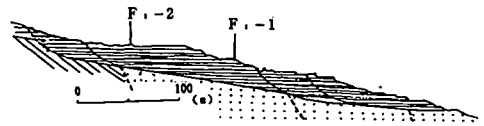


図-7 夏日地すべり地の地質断面図

表-4 X線解析による夏日地すべり地の粘土鉱物

試料	深度(m)	Anti	Chry	Chlo	Mi	Fel	Q	Tal	Cal	母岩
Bor.F1-1	5.70			*						蛇紋岩
	6.10	+		*						蛇紋岩
	6.40			*						蛇紋岩
	10.70		+			*	*			頁岩
	10.25			*						頁岩
	13.70			*						蛇紋岩
	14.50			-						蛇紋岩
	17.90		+	+				+		蛇紋岩
	19.95			*					-	蛇紋岩
	26.00		-	*					+	蛇紋岩
Bor.F1-2	26.10			*	+					蛇紋岩
	26.50			*		-	+			頁岩
	26.70		-		+		*			頁岩
	27.30				-		*	+		頁岩
	27.90			*			+	-		蛇紋岩
	28.30			*			+	+		蛇紋岩
	28.70			-			*	+		蛇紋岩
	29.00		+				+	*		蛇紋岩
	29.70			-			*	+		蛇紋岩
	20.00		-	+	*					蛇紋岩

一: すべり面 * : 主成分 + : 副成分 - : 微量成分
 Anti: アンチロライト, Chry: クリソタリド, Chlo: クロロイト, Fel: フェルシナイト
 Q: クォーツ, Tal: タルク, Cal: カルサイト

表-3に各ボーリングコアより採取した試料のX線回折による鉱物分析結果を示す。なお、参考文献⁷⁾のデータに Bor. B-5 を加筆し併記してある。すべり面の土の鉱物にはタルクが主成分として含まれている。本地すべり地ではすべり面を挟んで上と下とで鉱物がかなり異なる。すべり面より上の崩積土にはクロロイトやタルクが多く含まれているのに対して、すべり面より深くなると殆どが蛇紋石鉱物であり、タルクが微量含まれている程度である。せん断試験結果は表-2に示されているが、すべり面のφ'は 18.5°、φは 12.9°とすべり面以外のそれと比べてかなり小さい。

表-5 X線解析による夏中地すべり地の粘土鉱物

試料	深度(m)	Anti	Chry	Chlo	Tal	母岩
Bor.B6-1	1.50	—	—	+	*	蛇紋岩
	2.80	*	—	+	—	蛇紋岩
	3.80	*	—	+	+	蛇紋岩
	4.40	*	—	+	+	蛇紋岩
	4.90	+	—	—	*	蛇紋岩
	5.60	*	—	—	—	蛇紋岩
	→ 8.70	—	—	+	*	蛇紋岩
	→ 9.70	—	+	*	—	蛇紋岩
	13.50	+	—	*	—	蛇紋岩
	14.00	+	—	—	*	蛇紋岩
	14.80	*	—	—	+	蛇紋岩

→:すべり面

*:主成分, +:副成分, -:微少成分

Anti:アンテゴライト, Chry:クリソタイル, Chlo:クロライト, Tal:タルク

表-6 X線解析による蛇紋岩の構成鉱物

試料	Anti	Chry	Chlo	Fel	Tal	Cal	Tr
八幡浜	+	—	*	—	+	—	—
富郷	+	*	—	—	—	—	—
野村	*	+	—	—	—	—	—
下津	*	+	—	—	—	—	—
川原	—	—	—	—	+	+	—
橋原	*	+	+	—	—	—	—
長者	*	—	+	—	—	—	—
円行寺	—	—	—	—	—	—	—
逢坂山	—	—	—	*	—	—	—
油石	*	*	+	—	—	—	—
山口	*	—	—	—	—	*	—
田口	*	*	+	—	—	—	—
夏日	*	—	—	—	—	—	—
下栗	—	—	+	—	—	—	*
福岡	*	+	—	—	—	—	—
占冠	—	*	—	—	—	—	—
布部	—	*	—	—	—	—	—
福山	*	*	—	—	—	—	—
清風山	*	+	+	—	—	—	—
中の峰	*	+	—	—	—	—	—

*:主成分 +:副成分 -:微少成分

Anti:アンテゴライト, Chry:クリソタイル, Chlo:クロライト

Fel:フェルスパール, Tal:タルク, Cal:カルサイト, Tr:トレモライ

り面のφ', φ_rとも20°を下回っておりせん断抵抗角はかなり小さい。これはクロライトやタルクを含有しているからである。

(4)夏中地すべり⁹⁾

新潟県糸魚川夏中に位置している。地すべりの規模は長さ150m,幅50~70mで,平均勾配は10°である。本地区は糸魚川・静岡構造線の北西部に位置しており,中~古生層が分布している。基盤岩は蛇紋岩であるが,断層運動により破碎されている。平面図ならびに縦断面図を図-8,9に示す。すべり面の深度は10~15m程度であり,地すべり崩積土層および大規模な土石流堆積物層中にあると思われる。

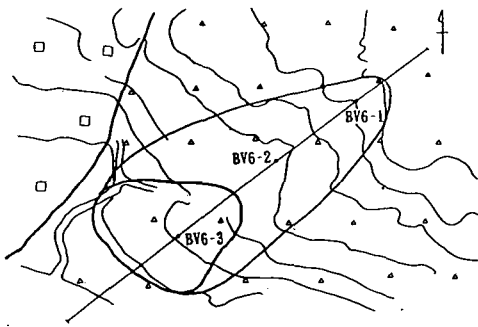


図-8 夏中地すべり地の地質平面図

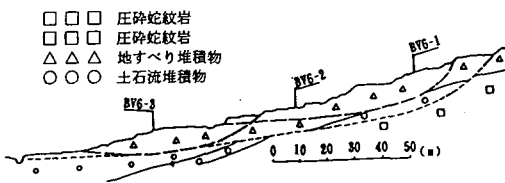


図-9 夏中地すべり地の地質断面図

(3)夏日地すべり⁷⁾

岡山県阿哲郡大佐町に位置している。地すべりの規模は長さ500m,幅150mで,平均勾配は12°である。基盤地質はジュラ紀の山奥層(頁岩・砂岩・礫岩)であるが,すぐ南の山側は断層で接し,蛇紋岩,圧砕花崗岩類,古生層およびこれらを不整合に覆う硯石層が分布している。平面図ならびに縦断面図を図-6,7に示す。何れも地質概要を併記してある。地すべり土塊は古生代の泥質岩と塩基性岩の岩塊を含む粘土状蛇紋岩体の崩落移動層と礫質土状の崩積土層から形成されている。蛇紋岩層は当地区南側の小規模な蛇紋岩レンズから供給されたものと思われるすべり面は深度20~26mの崩積土中にある。

図-4にボーリングコアより採取した試料のX線回折による鉱物分析結果を示す。深度26mのすべり面の粘性土はクロライトを主成分としてタルクそれとクリソタイルが含まれている。同じ深度の蛇紋岩の礫にもすべり面の粘性土と同様な鉱物が含まれていることから,すべり面の粘性土に含まれているクロライトは蛇紋岩を含む塩基性岩起源であると思われる。すべり面以浅は蛇紋岩起源の粘性土を多く含む崩積土であるが,クロライトやタルクが多く含まれている。26.7m以深の垂基盤岩の岩石(ジュラ紀山奥層の砂岩,頁岩)には,石英,長石,雲母,クロライト等が含まれている。

なお,表-2に示したように本地すべり地でもすべ

地すべり崩積土は蛇紋岩礫を含む粘性土が主体である。また、大規模土石流堆積物は蛇紋岩質の砂礫を主体としている。

表-5にボーリングコアより採取した試料のX線回折による鉱物分析結果を示す。鉱物の主成分はタルク、アンティゴライト、クロライトである。基本的にこれら3種の鉱物が認められるが、含有鉱物に関して深度方向に際だった傾向はない。

すべり面は深度8.7mと13.5mに推定されている。すべり面の粘土鉱物としてはタルク、クロライトが卓越しており、アンティゴライトが主成分の所ではすべりは認められない。せん断試験結果は表-2に示されているが、タルクとクロライトが主成分である深度8.7-9.0mのすべり面の土の ϕ' は 12.5° 、 ϕ_c は 8.4° であり、クロライトとアンティゴライトが主成分である13.5~14.0mの粘土の ϕ' は 28.8° 、 ϕ_c は 24.9° である。アンティゴライトが含まれるとせん断抵抗角は若干大きくなる。

以上の4地区のすべり面の土には何れもタルク、クロライト、モンモリロナイトといったせん断抵抗角の小さい鉱物が組み合わせられ相対的に多量に含まれており、蛇紋石鉱物だけの場合の ϕ' 、 ϕ_c と比べてかなり小さい。これが比較的緩傾斜の地すべりを発生させている第一要因である。

ここで、すべり面の土に含まれるタルク、クロライト、モンモリロナイトの出所について考える。これらの鉱物の形成に関しては次のケースが考えられる。

1) 蛇紋岩化作用時に形成

タルクとクロライトは蛇紋岩化作用時にも形成される。しかし、蛇紋岩の中でタルクやクロライトを多く含むものの割合は低いと思われる。実際、表-6に風化していない蛇紋岩の鉱物分析結果を示すが、クロライト、タルクが主成分のものは少ない。

これから、蛇紋岩地すべりは蛇紋岩地帯全体で発生するのではなく、クロライトやタルクが多く含まれている比較的特殊な地帯で発生しやすいと結論できる。今回の対象地では田口地区が主にタルクに起因した地すべり地であり、夏日と夏中地区はクロライトに起因した地すべり地である。なお、モンモリロナイトは蛇紋岩化作用時に形成されることはない。

タルクやクロライトを多く含む蛇紋岩は凍石化作用(SiO_2 や CO_2 との反応)により蛇紋岩体の周辺部、即ち他の岩体との境界部付近にできやすい。これは先に述べた蛇紋岩地すべりの特性の中で他の岩体との境界部にすべり面が発生していることが多いということの理由の一つである。

2) 熱水変質により形成

蛇紋岩は断層破砕帯に沿って分布しているので熱水変質を受けることも考えられる。熱水作用により蛇紋岩と接触部の岩石の相互作用によりクロライトやタルクの生成は起こり得る。また、熱水そのものの成分によるクロライトの生成も充分考えられる。

実際、田口地区では花崗岩に接した部分の蛇紋岩が高熱再結晶しかんらん岩化しているが、花崗岩体より離れた部分ではそれより低温の熱水による脈状の変質を受けタルクなどが生成した可能性がある。

③断層運動に伴う熱と圧力による変質

蛇紋岩は地質構造帯に沿って分布しているので断層運動を受けることは多い⁹⁾。断層運動に伴って発生する熱と圧力により変質してクロライトなどが形成されることは考えられるが、その場合には分布が断層の近辺に限られる。

④蛇紋岩とその近辺のクロライトやモンモリロナイトを含む岩体が崩壊し、混合することによりクロライト、モンモリロナイト等と蛇紋石鉱物を含むすべり面粘土を形成すると考えられる。クロライトやモンモリロナイトの出所は蛇紋岩体ではなく、蛇紋岩体に近接した他の岩体の風化によるということも考えられる。特に、長者地すべり地では典型的であり、粘板岩に多量のモンモリロナイトやクロライトが含まれている。それに接する蛇紋岩にはモンモリロナイトやクロライトが含まれていないことと考へ併せると、すべり面の土は蛇紋岩と粘板岩が混合して形成されたと考えるのが最も合理的である。

以上の検討結果を元に蛇紋岩地すべりの発生機構を検討すると以下の通りである。

①崩壊による不安定土塊の形成

蛇紋岩は加水作用により形成されていることから元々の強度が弱い上に、小割作用により亀の甲羅状に入っている蛇紋石の面で破碎しやすい。更に、蛇紋岩が地質構造帯や断層に沿って分布していることから破碎作用を受け脆弱化している。したがって、崩壊が起こりやすく、不安定土塊が形成されることが多い。

②豊富な地下水による風化の促進と高い間隙水圧

田口-地下水位が高く、被圧地下水の水位はおおよそGL+0.3mで、その8基の集水井により100t~300t/dayが排出されている。

長者-豪雨による移動が大きく排水トンネル等の抑制工が実施されている。このトンネルで豪雨時に5t/minの排水が観測されている。

夏日-地下水位は降雨に対して概ね良い相関を示しており、排水ボーリングの施工時に1本あたり最大20~100リットル/minの排水が認められる。

断層破砕帯に沿って分布していることが多いことから、一般的に地下水が豊富であり、化学的風化作用を受けやすく、また、地下水位が高いので地すべりが発生しやすい。

③タルク、クロライト、モンモリロナイトなどの小さなせん断抵抗角を持つ鉱物の存在

崩積土塊中に蛇紋石鉱物以外にタルク、クロライト、モンモリロナイトなどのせん断抵抗角の小さな鉱物が含まれていれば、あるいは生成されれば、比較的緩傾斜の地すべりが発生する可能性がある。なお、すべり面中にタルク、クロライト、モンモリロナイト等の小さなせん断抵抗角を持つ鉱物が存在する理由に関しては、既に検討したような種々の理由が考えられる。

前述したように野地は蛇紋岩地すべり地の勾配をすべり面から採取した土のせん断抵抗角ではなく、他の露頭から採取した粘土状蛇紋岩のそれと比較し勾配とせん断抵抗角が大きく異なることから蛇紋岩地すべりの機構を説明できないとしている。しかし、今回調べたことから考えれば、すべり面の粘性土の残留強度の小さい鉱物のせん断抵抗角と比較すればもう少し整合性のある結論が得られる可能性がある。

4. あとがき

日本全国の蛇紋岩地すべりの一般的特性を資料により調べ、また、4箇所の蛇紋岩地すべり地を対象として鉱物分析ならびにせん断試験を行い、蛇紋岩地すべりの発生機構の検討を行った。得られた結論は次のようである。

- 1) 蛇紋岩地すべり地の勾配は $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ のものが多くに対して、主に蛇紋石鉱物からなる粘土状蛇紋岩の ϕ_r は 30° 程度と勾配を大きく上回る。
- 2) すべり面を形成している土には蛇紋石鉱物以外にタルク、クロライト、モンモリロナイトなどの粘土鉱物が含まれている。蛇紋岩のせん断抵抗角は大きい、その他の粘土鉱物のせん断抵抗角は比較的小さく、 ϕ_r は地すべり地の勾配より若干大きい程度であり、緩傾斜の地すべりが充分発生し得る。
- 3) 蛇紋岩地すべり地の発生機構を検討した結果、田口地区では主にタルクに起因した地すべり地であり、夏日と夏中はクロライトに起因した地すべり地

であることが分かった。これらタルクとクロライトは蛇紋岩形成時に生成された鉱物であると思われる。また、長者地区のすべり面にはモンモリロナイトが含まれるが、これは粘板岩起源である可能性が高いことがわかった。

本研究を行うに当たり試料採取では土質工学(株)の大倉昇氏、(株)日さくの白石秀一氏、高知県庁夕部雅丈氏にお世話になった。また、京都大学防災研究所佐々恭二教授と(株)復建調査設計の低引洋隆氏には有益なご議論を戴いた。実験の多くは愛媛大学工学部土木海洋工学科土質工学研究室の4回生諸氏による。なお、本研究は一部(財)砂防・地すべり技術センターの研究開発助成金の援助を受けた。関係諸機関、諸氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 野地正保：蛇紋岩の調査と評価，地質と調査，No.2，1988。
- 2) 低引洋隆，横田公忠，山田琢哉，田中元：日本における蛇紋岩地すべりの事例と特性，第33回地すべり学会研究発表講演集，pp.78～81,1994。
- 3) 横田公忠，矢田部龍一，八木則男：風化蛇紋岩の強度特性，土木学会論文集，No.529/Ⅲ-33，pp.155～163，1995。
- 4) 高知県越知土木事務所：平成3年度長者地すべり調査委託業務報告書，1992。
- 5) 高尾和彦：蛇紋岩及び粘板岩風化物の粘土鉱物とそのコロイド化学的特性，高知大学大学院農学研究所修士論文，1991。
- 6) 大倉昇，永守克好：田口地区地すべりについて，平成5年度地すべり学会関西支部現地討論会論文集，pp.30～57，1993。
- 7) 低引洋隆：蛇紋岩地帯における地すべりについて，平成5年度地すべり学会関西支部現地討論会論文集，pp.30～57，1993。
- 8) 新潟県糸魚川土木事務所：平成6年度夏中地すべり調査報告書，1995。
- 9) Gates, A.E.: Domainal failure of serpentinite in shear zones, State-Line mafic complex, Pennsylvania, U.S.A., *Journal of structural geology*, Vol.14, No.1, pp.19-28, 1992。

(1995.11.29 受付)

MINERALOGICAL AND SOIL MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LANDSLIDES AT SERPENTINITE BELT

Kinutada YOKOTA, Ryuichi YATABE and Norio YAGI

Many landslides have happened at serpentinite belts in Japan. The mineralogical and mechanical characteristics of landslides at serpentinite belts were investigated, Clay minerals were analyzed by X-ray diffraction and the angle of shear resistance ϕ' was obtained by the triaxial test. The angle of landslides at serpentinite belt was relatively gentle, about 10-20°. The ϕ' of serpentinite clay, chrysotile and antigorite, was about 30°. But the ϕ' of soils of the slip surface was about 20°. It was cleared that the soil of slip surface involved talc, chlorite and montmorillonite which had a small ϕ' .