

(50) 断層破碎帯における風化蛇紋岩の強度特性

愛媛大学工学部 正会員○横田公忠・矢田部龍一・八木則男
愛媛大学大学院 学会員 青山 健

Strength Characteristics of Weathered Serpentine in Fractured Zone

Kinutada YOKOTA, Ryuichi YATABE, Norio YAGI and Tatsuru AOYAMA, Ehime Univ.

Abstract

There are Serpentine blocks at fractured zone in Japan. In these areas, frequent landslides have occurred. Difficult problems were also encountered during the construction of roads and tunnels. However, not enough information on the shearing characteristics of the weathered Serpentine is known. Therefore publicworks tend to avoid these areas. The authors have taken samples of the rocks and clays from the Serpentine, and carried out a series of shear tests and X-ray analyses on the samples. From the tests and analyses it was obvious that the mineral composition in the weathered Serpentine influence the peak and residual strength of the weathered Serpentine. The weathered Serpentine which contain a large amount of Antigorite and Chrysotile have a higher angle of shearing friction than those that contain a large amount of Talc and Chlorite.

1. はじめに

蛇紋岩地帯における土木工事は、大量の湧水、大きな偏圧、細粒化した部分のすべり等により難工事になるとが多い。そのため蛇紋岩地帯を避けることが賢明であるとされてきた。しかし、国土開発の進展に伴い蛇紋岩地帯を避けては通れなくなっており、蛇紋岩を対象とした土木工事が数多く行われるようになってきている。

蛇紋岩の風化過程や力学的特性は十分に解明されておらず、設計・施工に蛇紋岩の特性を十分反映させてはいない。そこで本研究では、日本各地の蛇紋岩に対して各種せん断試験と鉱物分析を行い、風化蛇紋岩の強度特性を調べた結果を報告する。

2. 試料

蛇紋岩の試料採取地を図-1に示す。塊状蛇紋岩試料は、図に示す近畿、四国地方の三波川帯から4ヶ所、四国地方の黒瀬川帯から4ヶ所、中国地方の三郡変成帯から3ヶ所、北海道の神居古潭帯から3ヶ所のものを用いた。粘土状蛇紋岩試料は、三波川帯から3ヶ所、黒瀬川帯から4ヶ所、三郡変成帯から3ヶ所、神居古潭帯から5ヶ所のものを用いた。

試料の物性・粒度を表-1に示す。風化土の粒度は、シルト以下の細粒分が40%を越えるものが殆どであり、風化による細粒化が進んでいる。また、塑性指数 I_p は、大半が15~30%であり、

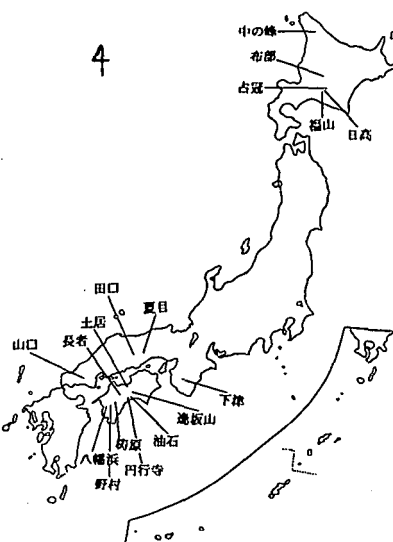


図-1 試料採取地

低塑性である。

ここで、各試料の採取方法を示しておく。八幡浜の試料は、トンネルの盤ぶくれ現場から採取したものである。土居の試料は、川岸に転石している風化岩である。野村、下津、橋原、円行寺、油石、山口、占冠、布部および福山の各試料は、切土のり面から採取したものである。長者、田口および夏目は地すべり地であり、各試料はボーリングコアから採取した。逢坂山の試料は、トンネル掘削時の露頭から採取した。

表-1 風化土の物性値

Sample	WL(%)	WP(%)	Ip	GS	grain size distribution (%)			
					Clay	Silt	Sand	Gravel
八幡浜	53.5	30.6	22.9	2.85	28.6	16.3	35.0	20.1
下津S2-1	28.4	9.4	19.0	2.64	13.3	37.8	32.1	16.8
下津S2-2	32.6	15.9	16.7	2.67	13.6	40.7	28.2	17.5
下津No.2-1	39.6	16.9	22.7	2.81	8.5	35.4	37.8	18.3
橋原	36.9	16.8	20.1	2.71	18.6	48.8	27.5	5.1
長者No.7	41.2	18.6	22.6	2.53	31.1	26.9	34.4	7.6
円行寺	49.5	17.7	31.8	2.56	8.6	46.9	31.3	13.2
逢坂山	48.3	19.1	29.2	2.63	11.1	3.8	43.7	41.1
山口	40.5	25.7	14.8	2.72	29.3	39.3	25.0	6.4
田口	49.5	17.7	31.8	2.72	16.8	21.2	40.6	21.4
夏目	34.1	12.2	21.9	2.72	28.0	26.9	39.4	5.7
占冠-1	84.1	31.5	52.6	2.51	21.1	16.3	43.1	19.5
占冠-3	62.9	25.7	37.2	2.57	15.5	10.6	34.4	39.5
布部-1	55.5	29.5	26.0	2.60	13.0	36.9	38.7	11.4
布部-2	55.4	24.9	30.5	2.59	15.5	16.9	54.4	13.2
福山-1	38.4	30.3	8.1	2.60	18.6	23.2	58.2	0.0
福山-2	34.6	14.7	19.8	2.57	14.9	12.5	46.2	26.4

3. 風化蛇紋岩の強度特性

3. 1 各種せん断試験と試験方法

岩石のせん断試験と試験方法

一軸圧縮試験

供試体は、直径30mm、高さ60mmの円柱状のものを用いた。上下の端面は、滑らかにするために研磨した。荷重は、1秒間に10~20kgf増加するように加えていき、1~15分間で破壊を行う。

引張圧裂試験

供試体は、直径30mm、高さは高さ直径の比が0.5~1.0とした。加圧板に接触する面は、滑らかで0.1mm以上の直径差がなく、端面は側面に垂直な円柱状のものを用いた。加圧は、1秒間に1~3kgf増加するように加えていき、1~15分間で破壊するようにした。

風化土のせん断試験と試験方法

側圧一定圧密非排水三軸試験

供試体は、液性限界の2倍以上の含水比で練り返し、0.8kgf/cm²の圧密圧力で予圧密をした直径35mm、高さ80mmのものを用いた。試験は側圧を1,2,3kgf/cm²と変化させ、2kgf/cm²のバックプレッシャーをかけて飽和を高め、間隙水圧係数B値は0.95以上のものを用いた。軸圧縮は0.0625mm/minでせん断を行いピーク強度を求めた。

一面型リングせん断試験

供試体は、三軸試験と同様に練り返し試料を用いた。内径10cm、外形16cmとし高さ0.5cmの位置でせん断される。上載加重は1,2,3kgf/cm²と変化させた。せん断は、下部のリングを0.446mm/°の速度で回転させてせん断を行った。

3. 2 実験結果と考察

岩石のせん断試験結果を表-2に示す。圧縮強度は500~1300kgf/cm²と他の岩石と比べてかなり小さい。圧裂引張試験は80~200kgf/cm²と他の岩石と比べて小さい。風化されると弱面ができそこから破壊されるので引張強度を重要視する必要がある。今回用いた岩石は、かなり風化され強度が低下していることがことが分かる。図-2に弾性波(P波)速度と圧縮・圧裂強度の関係のグラフを示す。これより他の岩石と比べて弾性波速度C_pに比して圧縮強度S_c・引張強度S_tが小さい。また、図から弾性波(P波)速度から強度の推定が困難であることが分かる

表-2 岩石のせん断試験結果

試料	弾性波速度 (km/sec)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)
三 波 川	八幡浜	5.15	444.5
		5.39	1142.6
		5	
		4.99	138.6
		6.32	195.9
黒 湖 川	土居	6.39	457.9
		6.39	1346.8
		5.44	91.8
		6.44	300.1
	下津	5.85	697.9
二 郎 占		9.14	136.7
		5.44	183.7
	舊原	5.78	1250.3
		5.55	437.2
		5.68	142.9
神 居 古 潭		5.68	378.8
	長者	4.75	505.2
		4.74	655.9
		4.97	81.7
		4.97	125.5
布 部 山	逢坂山	5.24	1164.5
		5.76	536.8
		5.53	947.3
		5.82	223.7
		4.89	95.3

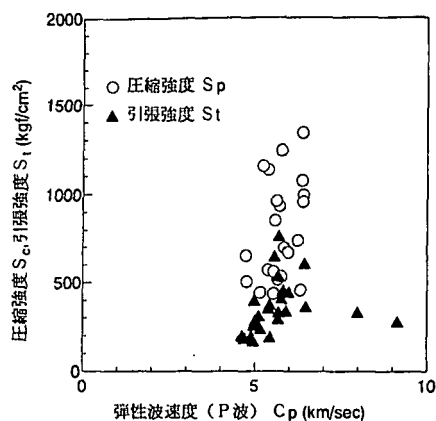


図-2 弾性波速度と圧縮・圧裂強度の関係

風化土に対するせん断試験結果を表-3 に示す。これから、ピーク強度に関するせん断抵抗角 ϕ' は $18 \sim 35^\circ$ 、残留強度に関するせん断抵抗角 ϕ_r は $10 \sim 30^\circ$ の範囲にあり、かなりばらついていることがわかる。

地質帯別にみると、神居古潭帯は抵抗角 30° 以上のピーク強度を示しているが、他の地質帯のピーク強度はほとんど 30° 以下である。残留強度においても神居古潭帯が他の地質帯と比べて大きな値となっている。

従来、せん断抵抗角 ϕ' 、 ϕ_r は塑性指数 I_p および粘土分含有量 CF と相関があることが指摘されている。そこで、今回求めた蛇紋岩の風化試料に対してこれらの関係を調べた。図-3、図-4 に塑性指数 I_p および粘土分含有量 $CF \sim$ せん断抵抗角 ϕ' 、 ϕ_r の関係を示す。図から従来指摘されているような相関は明確には認められない。

Sample	ϕ' ($^\circ$)	ϕ_r ($^\circ$)
二 波 川		
八幡浜	27.6	10.3
下津S2-1	23.4	20.7
下津S2-2	20.6	12.4
下津No. 2-1	27.3	13.2
黒 湖 川		
舊原	27.9	26.8
長者No. 7	23.0	16.8
門行寺	29.8	30.6
逢坂山	31.6	28.4
二 郎 占		
山口	24.8	20.2
田口	18.5	12.9
夏目	19.5	16.8
占冠-1	30.3	28.2
占冠-3	31.2	29.6
神 居 古 潭		
布部-1	32.7	29.3
布部-2	34.1	30.1
福山-1	34.6	33.6
福山-2	32.7	-

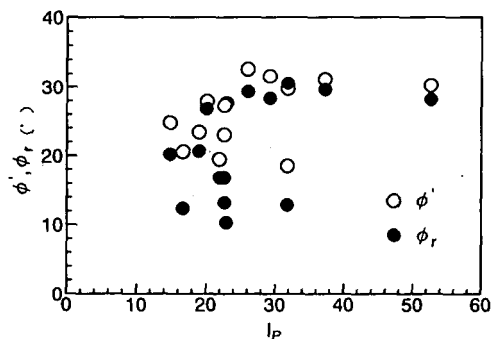


図-3 $I_p \sim \phi', \phi_r$ の関係

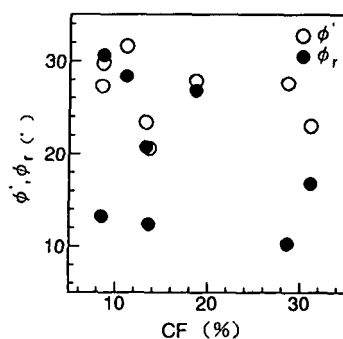


図-4 $CF \sim \phi', \phi_r$ の関係

4. 風化蛇紋岩の構成鉱物

風化土の物理試験結果と強度定数の関係を調べてあまり相関性がないことがわかった。強度定数に影響を

与えるものとして、蛇紋岩の構成鉱物によるものと考え、X線回折により含有鉱物の種類と量を調べ強度定数との関連性を検討した。また、岩石の含有鉱物の種類と量を強度の関係調べた。

4. 1 風化蛇紋岩の構成鉱物分析

蛇紋岩の構成鉱物の分析は、粉末法によるX線回折で行った。X線の発生条件は、30KV・15mAとし、ゴニオメーターの速度は、10mm/minで、X線の反射強度の測定を行った。X線発生管のターゲットはCuである。ブラックの条件 $2d\sin\theta = n\lambda$ を用いて原子面間隔 d を求め含有鉱物の同定を行う。また、破碎帯粘土については、1次・2次鉱物の同定と、風化による粘土鉱物の生成を確かめるためE.G法、酸処理法による反射強度とピーク位置の変化を見た¹⁾。

表-4に岩石および風化土の回折結果を示す。ここで、鉱物含有量としては、主成分を*、副成分を+、微量を-の3段階で示している。鉱物含有量の定量的評価は、図-5に示すようにX線回折の

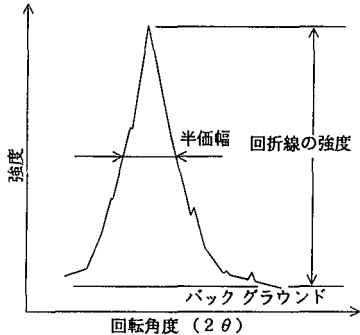


図-5 面積強度の算定

ピーク強度の半価幅を求め、面積強度を算定する事により行った²⁾。

これらの結果から今回の蛇紋岩試料の構成鉱物としては、クリソタイルとアンティゴライトが大半の試料に検出され、他にクロライト、タルク、モンモリロナイトが検出された試料もある。この結果は、従来行われている蛇紋岩の鉱物分析の結果とほぼ同様である。

4. 2 蛇紋岩の含有鉱物と強度定数の関係

主なる含有鉱物と岩石は圧縮・引張強度、風化土は強度定数の関係を図-6、図-7に示す。岩石では、

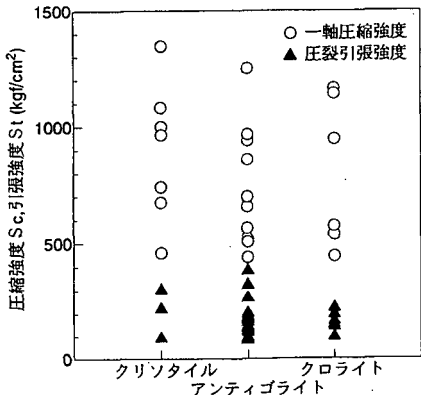


図-6 主なる含有鉱物と圧縮・圧裂強度

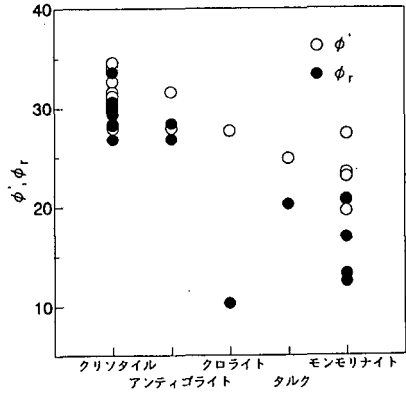


図-7 主なる含有鉱物と強度定数の関係

表-4 X線回折結果

Sample	Chry	Anti	Chlo	Talc	Mont	備考
三			*	-		岩 黒色
八幡浜						岩 白色
波		+	*			細粒部
土居	*	+	-			岩
野村	+	*				岩
川	*	+				細粒部
下津	+	*	-			岩 白色
	+	*				岩 All
	+	-		*		細粒部
橋原	+	*	+			岩
黒	*	*	+			細粒部
長者	-	*	+			岩
瀬	-	+			*	細粒部
田行寺	*	+				細粒部
川			-			岩 白色
達坂山	*	*	+			細粒部
涌石	*	*				岩
三	+	-		*		岩
山口	-	+		*		細粒部-1
	-	-		*		細粒部-2白
	-	-				細粒部-2茶
田口	*	*	+			岩
夏目	+	+		+		細粒部
	-	*	-			岩
	+	+	-		*	細粒部
	*	*	-			岩
占冠	*	-	-	-		細粒部-1
	*	-	-	-		細粒部-3
神	*	-	-	-		岩
居	*	-	-	-		細粒部-1
布部	*	+	-	-		細粒部石綿
古	*	-	-	-		岩
福山	*	-	-	-		細粒部-1
	*	*	-	-		細粒部-2
日高	*	+	+			細粒部-1
	*	*	-	-		細粒部-2
中の峰	*	+	-	-		細粒部

* : 主成分 + : 副成分 - : 微量
Chry:クリソタイル Anti:アンティゴライト Chlo:クロライト
Talc:タルク Mont:モンモリロナイト Quar:石英
Pyro:葉蠟石 Musc:白雲母

相関性がみられなかった。風化土の ϕ' および ϕ_r は、主なる構成鉱物であるクリソタイル、アンティゴライト、クロライト、タルク、モンモリロナイトと良い相関を示す。これから蛇紋岩の風化土のせん断抵抗角の特性として次のことがあげられる。

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° 前後であり、山の土の中でも決して小さいものではない。これまで蛇紋岩といえば弱い、扱いにくいといったイメージがあるが、クリソタイル、アンティゴライトが主成分であれば比較的問題は起こりにくい。

タルクが主成分の場合、 ϕ' と ϕ_r はともに 20° 前後である。 ϕ' は小さいが、残留強度への強度低下は殆どない。タルクが主成分である山口の試料は道路拡幅に伴い崩壊を起こした現場から採取したものであるが、 20° 強という小さいせん断抵抗角を当初予想できなかったための崩壊である。

クロライトや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、アンティゴライト蛇紋石が主成分となっているものより ϕ' 、 ϕ_r とも 10° 程度小さく、また、残留強度への強度低下も大きい。クロライトやモンモリロナイトを含んでいる場合、問題となる場合が多いと思われる。実際、クロライトが主成分である八幡浜の試料は、トンネルの盤ぶくれ現場を起こしている。また、モンモリロナイトが主成分となっているのは下津、長者、夏目であるが、下津は道路拡幅時にのり面崩壊を起こしており、長者と夏目は非常に緩い勾配の大規模な地すべり地である。

なお、クロライトとモンモリロナイトは蛇紋石にもともと含まれる鉱物ではなく、蛇紋岩が貫入時に取り込んだ鉱物およびその風化による2次的鉱物である。

以上のことから、蛇紋岩の風化した粘性土はタルク、クロライト、モンモリロナイトが主成分の場合には、せん断抵抗角が小さく、各種の問題を引き起こすが、クリソタイル、アンティゴライトが主成分のものはあまり問題がないと思われる。

5. あとがき

蛇紋岩の強度特性を求めるために岩石とその風化した粘性土のせん断試験を行った。また強度定数と構成鉱物の関係を求めるためX線回折による鉱物分析を行った。その結果、今回試験した風化した粘性土の ϕ' は、 $20^\circ \sim 35^\circ$ 、 ϕ_r は $10^\circ \sim 30^\circ$ 程度であること、この ϕ' 、 ϕ_r には鉱物が大きく影響していることが明らかになった。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、試料を提供していただいた関係諸機関、諸氏に感謝いたします。また、実験は愛媛大学工学部土木海洋工学科4回生長谷川氏に協力いただいた。なお、本研究の経費は一部、(財)砂防・地すべり技術センターならびに(社)土木学会中国四国支部の研究助成金を使用した。記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 理学電気：X線の手引き，pp.22-77，理学電気，1969.
- 2) 土木学会岩盤力学委員会：軟岩の調査・試験の指針（案），pp.81-84，土木学会，1991.