

Ⅲ－10 炭酸溶液が岩石の風化特性に与える影響

愛媛大学大学院 学生 ○水澤史子
愛媛大学工学部 正会員 矢田部龍一
愛媛大学工学部 正会員 横田公忠
高知県 正会員 夕部雅文

1. はじめに

地すべりの発生要因の一つに、すべり面を形成するせん断強度の小さな粘性土層の生成があげられる。この粘性土は、物理的な細粒化と、化学的風化作用により生成されるものであると考えられる。しかし、化学的風化、岩石の風化機構については研究が不十分である。そこで、炭酸溶液により岩石を人工的に風化させ、その風化特性及び風化の進行に伴う岩石試料のせん断強度特性の変化について調べた。

2. 試料及び試験概要

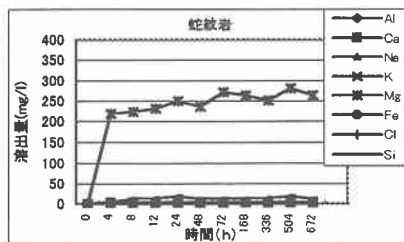
試料には、四国の地滑り地を構成する岩石である、三波川帯（愛媛県臼杵）の黒色片岩、緑色片岩、御荷鉾帯（愛媛県川上）の御荷鉾緑色岩（塊状、片状）、黒瀬川構造体（高知県日高村）の蛇紋岩を用いた。岩石は風化の促進を早めるため、ボールミル型粉砕器により 48 時間粉砕し、 $420\mu\text{m}$ 篩通過分を試料として用いた。せん断試験は、圧密非排水三軸圧縮せん断試験により強度定数 ϕ' を求め、一面せん断型リングせん断試験により、ピーク強度に対する強度定数 ϕ_d 、残留強度に対する強度定数 ϕ_r を求めた。せん断試験は定速度載荷で行い、軸変位速度は三軸試験においては 0.055mm/min 、リングせん断試験においては $0.44^\circ/\text{min}$ で行った。溶出試験は、 3000ml のポリ容器に脱イオン交換水を 1800cc 、岩石粉砕試料を 900g 入れて炭酸ガスを送り込み、試料、溶液中の炭酸ガスは、流量計によりそれぞれ流量が約 50ml/min に各試料とも等しくなるように調整した。また、コルク栓で容器を密閉し、容器内に約 98N/m^2 の圧力をかけた。試料混入前において、脱イオン交換水のみ炭酸ガスを加えたところ、 pH は 5 程度に落ち着くことが確認された。

3. 試験結果

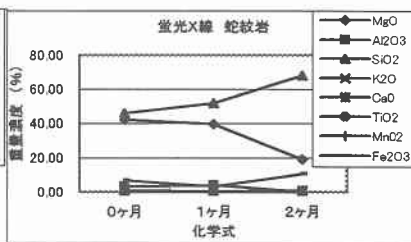
粉砕試料の物性・強度試験結果を表－1 に示す。黒色片岩を母岩とする地すべり地粘性土の強度定数はおよそ $\phi_d=22.8\sim32.8^\circ$ 、 $\phi_r=12.1\sim22.9^\circ$ であるので、粉末試料の ϕ_d 、 ϕ_r はほぼその中にあると言える。緑色片岩、御荷鉾緑色岩の粉末試料については、共にその地すべり地粘性土の強度定数の約 2 倍の値を示している。図－1 に溶出されたイオンの累積を示す。 Mg の溶出が他の元素に比べて大きいことが確認された。これは、蛇紋岩

表－1 物性及び強度試験結果

試料	三軸	リング		WL (%)	WP (%)	Ip	Gs	0 ヶ月 粒度 (%)		
	ϕ' ($^\circ$)	ϕ_d ($^\circ$)	ϕ_r ($^\circ$)					粘土 < $5\mu\text{m}$	シルト $5\sim75\mu\text{m}$	砂 $75\sim420\mu\text{m}$
緑色片岩	42.9	43.4	40.4	20.2	13.7	6.5	3.02	17.4	44	38.7
黒色片岩	32.9	26.7	22.4	23.5	16.3	7.2	2.81	14.3	34.7	51
蛇紋岩	44.8	44.6	40.0	*	*	*	2.65	9.3	37.4	53.3
御荷鉾緑色岩塊状	35.7	41.6	32.8	*	*	*	2.09	10.9	29.1	60.1
御荷鉾緑色岩片状	—	26.1	19.5	34.8	21.5	13.3	2.75	41.9	44.6	13.42



図－1 溶出試験結果



図－2 蛍光 X 線回折試験結果

の主要構成鉱物である蛇紋石（Serp）からの溶出と考えられる。各試料ともに、それらの主要構成鉱物の成分と考えられるイオンが多量に溶け出していることが確認できた。蛍光 X 線解析試験結果（蛇紋岩）を図－2 に示す。 MgO の重量濃度の低下に伴い、 SiO_2 が増加していることが確認できる。これは、水分析結果と同様に主要構成鉱物の蛇紋石（Serp）が化学的風化作用を受け MgO が溶出し、比較的硬質で溶出されにく

いとされる石英分 (SiO_2) が残ったためにこのような傾向を示したと考えられる。炭酸溶出 0、3 ヶ月試料の粒度分布を図-3 に示す。蛇紋岩を除く 4 試料については、0～3 ヶ月において細粒化が進んでいることが確認された。蛇紋岩においては、若干粘土分が増加しているが、他の岩に比べるとほとんど変化がないと言える。

このことより、蛇紋岩以外の試料は、粒子表面からイオン化していき、全体的に細粒化を起しているといえる。蛇紋岩については、粒子内部からイオンが溶脱した為、粒径に顕著な変化が起きなかったと推測できる。図-4 に、炭酸による粉碎試料の強度定数の低下傾向を示す。0 ヶ月、3 ヶ月

後試料のリングせん断試験により強度定数 ϕ_d 、 ϕ_r を求めた。全試料共に強度定数の低下が起きた。これは、粒子の細粒化（蛇紋岩除く）によるものと考えられる。特に緑色片岩においては、全体の約 50～60% もの大きな強度低下が起きており、他の岩石試料に比べ、炭酸による影響を受けやすい岩であると考えられる。蛇紋岩の溶出 3 ヶ月経過試料における、せん断試験前後の粒度分布を図-5 に示す。この図から、せん断試験により細粒化していることが確認できる。イオン溶脱だけでは蛇紋岩の粒径に変化はみられなかったが、岩の粒子内部から各種のイオンが溶脱し、粒子中に微量な空隙ができたと仮定すると、この蛇紋岩の粒子は強度が非常に弱い粒子構造であると考えられ、その強度が弱くなったところにせん断力を受けて、粒子が破碎し、細粒化が起こるものと考えられる。このことが、強度定数の低下要因の 1 つであると考えられる。また、溶出前後の粒度試験結果において若干粘土・シルト分が増加しているということから、試料の粒径によって、風化の進行速度に違いがあるのではないかと考えられる。そこで、試料粒径を 420、75 μm の 2 種で風化傾向を調べた。図-6 に 2 種の蛍光 X 線試験結果を示す。この結果から、粒径が小さいほど回折強度は低く、風化し易いと言える。水分析結果も同様に、粒径が小さいほどイオンの溶出量が多ことが確認できた。従って、蛇紋岩は他の岩に比べ風化しにくい、粒径が小さいものほど早く風化が進行する為、細粒分が増加したと考えられる。すなわち、風化の進行速度は粒子の表面積に比例していると言える。X 線回折試験結果からは、全試料ともに炭酸溶液による新たな粘土鉱物の生成は確認できなかった。従って、今回の炭酸の条件による風化過程においては、新しい粘土鉱物の生成によるせん断強度特性への影響は考えられない。

4. まとめ

岩石は、炭酸によってイオンが溶出することにより細粒化が促進され、強度定数が低下すると考えられる。蛇紋岩については、細粒化、粘土化しにくい性質ではあるが、炭酸による風化の影響によって粒子の形状に変化が起こり、せん断特性に影響を与える。そして、結果的には、強度定数の低下につながるものと考えられる。今後、更に強度定数の低下要因を解明していくには、実験期間を延長していく必要がある。そして、構成鉱物の風化特性についても検討していかなければならない。

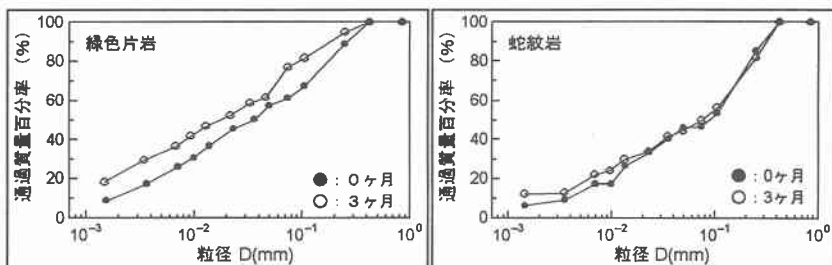


図-3 粒度分布 (緑色片岩、蛇紋岩)

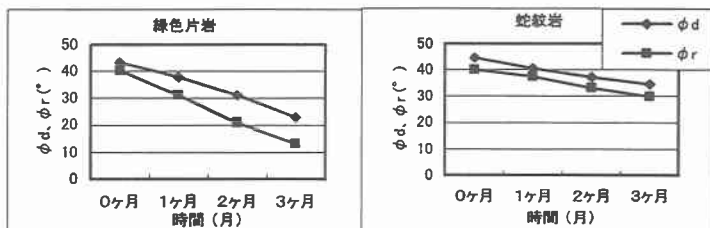


図-4 せん断試験結果 (緑色片岩、蛇紋岩)

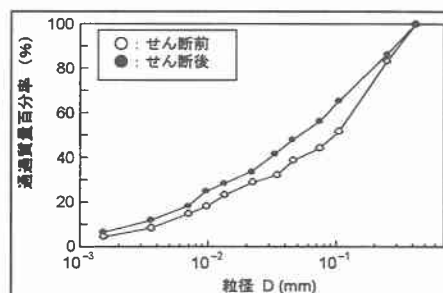


図-5 せん断前後の粒度分布 (蛇紋岩)

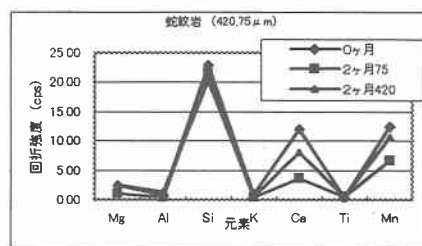


図-6 蛍光 X 線試験 (蛇紋岩 420、75 μm)