

広島大学理学部

○ 北川隆司

中電技術コンサルタント(株)

門藤正幸

復建調査設計(株)

井上 基

1. はじめに

花崗岩中には、しばしば巾1ミリから数十センチメートルの割れ目(節理、断層を含む)を粘土鉱物がうめたり、母岩の組織を残しながら脈状に粘土鉱物化したものが観察される。これらは粘土細脈あるいは粘土シームと呼ばれ、著しく変質した花崗岩中に特に多く認められる傾向にある(北川、1985 1); Kitagawa,1986) 2)。粘土細脈の分布は場所により疎密はあるが、花崗岩中を網目のように走っている(北川ら、1981 3); 北川・奥野、1983) 4)。粘土細脈は花崗岩生成末期の熱水活動により形成されたものであり、その走向・傾斜から花崗岩生成後間もない時期の応力場を推定することも可能である(Kitagawa,1986 2); kitagawa & Nishido,1994) 5)。さらに西日本に分布する花崗岩や流紋岩中に胚胎している熱水性粘土鉱床の形成とも密接に関わっており、粘土細脈の存在は、母岩に熱水作用による影響が強くあったことを示唆するものとなっている(北川・柿谷、1979 6); 北川・亀岡、1986) 7)。その結果、花崗岩のマサ化の著しい場所の多くは、風化以前に花崗岩生成後間もない時期の破壊や熱水変質を強く受けている可能性が考えられている(Kitagawa,1986) 2)。

花崗岩の斜面崩壊跡を詳しく観察すると、そこにはしばしば粘土細脈が認められ、それらの走向が崩壊斜面の走向とほぼ平行かあるいは鋭角で交差しているのが観察される。そこで広島県下の花崗岩分布地域において、かつて多くの斜面崩壊を引き起こした呉、大野町、加計町の3カ所で、崩壊斜面の走向・傾斜とその斜面を含む周辺花崗岩中に見られる粘土細脈の走向・傾斜とを比較した。粘土細脈はほぼ垂直に近い高角度であるため崩壊斜面と脈の走向のみをローズダイアグラムに示す(図1)。この図から明らかなように、両者は非常に類似している。このことは前述したように粘土細脈が自然斜面において崩壊を引き起こすにあたり、何らかの重要な要因となっていることが考えられる。粘土細脈がかかっていると考えられる崩壊の大まかなメカニズムに関しては次の様に

推定できる。上述の3地域の斜面は図2にその模式断面図を示す様に、表層から数十センチメートルの深さの比較的薄いマサ化の進んだ風化層があり、その下の岩盤は比較的風化が進んでおらず、風化状態が両者で明確に異なっている。このような状態の斜面の走向方向に粘土細脈が存在すると、マサ状になっている部分では粘土細脈を境として非常にはがれやすい状態となっている。このような地質状態の自然斜面では、豪雨時に表層から浸透した雨水の多くは、マサ化の進んだ層とその下の比較的風化の弱い岩盤との境界を水路として、流れ下るのであろう。その結果、表層のマサ化した層は、粘土細脈の境界と、岩盤との境界部から容易に剥離し、迂り落ちるのであろう。このように花崗岩の破壊、変質に大きくかかわっている粘土細脈は、斜面崩壊の引き金になる可能性が極めて高いと筆者らは考えている。

自然斜面においては、実際に粘土細脈が崩壊にどのようにかかわり、どのような挙動を示すか直接観察することはできない。しかし、切り取り土斜面(法面)では脈の存在、脈と斜面との走向関係、脈の変位を直接観察することができる。今回、広島県下の花崗岩分布地

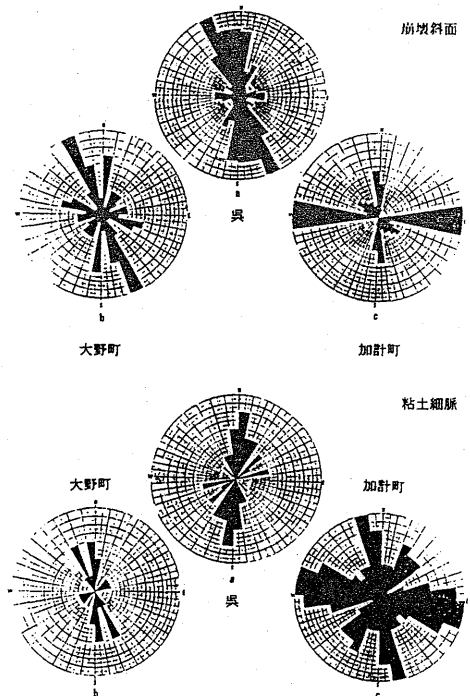


図1. 斜面崩壊と粘土細脈の走向を示すローズダイアグラム

域での2ヶ所の切取り斜面（法面）で、粘土細脈の存在が斜面変動に大きくかかわった2つの事例を報告し、粘土細脈の応用地質学的重要性について論じる。

2. 地質状況

この報告では2ヶ所の露頭に関してA地点、B地点としておく。

A地点

この切取り斜面は道路建設のために切り取り中の勾配1割、4段（高さ約30m）、道路縦断面方向約120mの法面である。この法面は著しく変質した

中粒黒雲母花崗岩からなり、地表面から3-5m付近まで赤色風化作用を受けており、下部にゆくほど変質は次第に弱くなっているが、全体にいわゆるマサ土状態となっている。最上部付近では斜長石のみならずカリ長石もほとんど粘土鉱物化しており、最下部ではカリ長石は粘土鉱物化していないが、斜長石は完全に粘土鉱物に変わっている。このような変質状態の花崗岩中に図3に示すように巾1mmから20cm程度の薄い黄緑から白色の粘土細脈が非常に多く認められる。これら粘土細脈の傾斜は高角度から垂直である。また、走向方向を示すローズダイアグラムを図4に示した。斜面はN50°Wの方向であり、ほとんどの粘土細脈の走向とは鈍角で交差している（図4）。

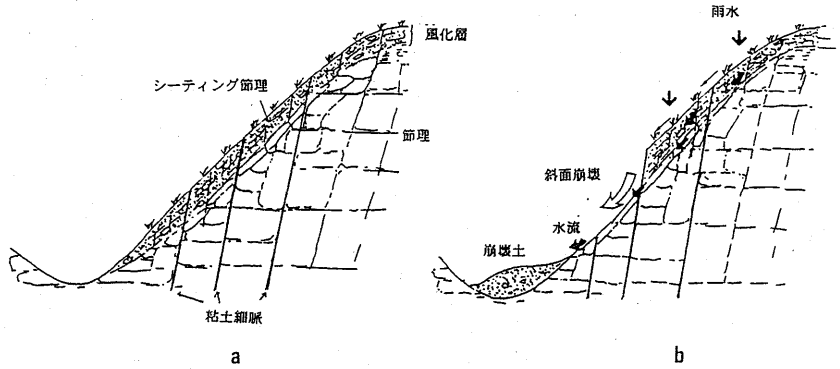


図2. 斜面崩壊と粘土細脈の関係を示す推定模式断面図

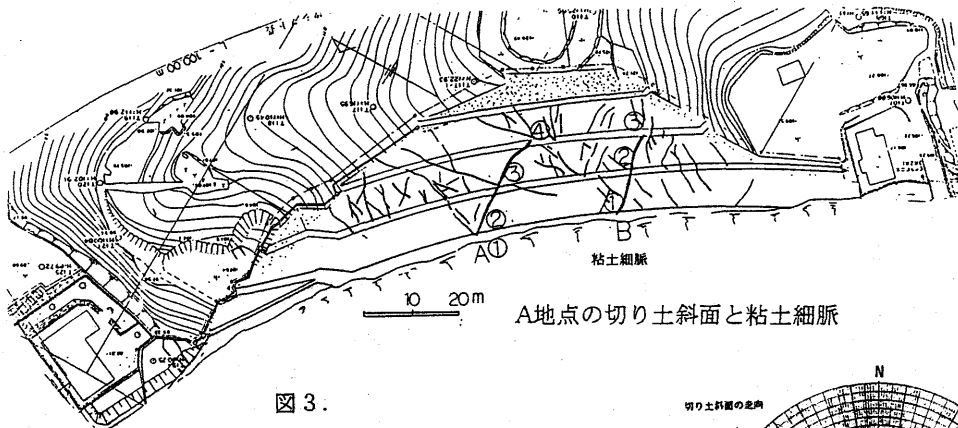


図3.

主な粘土細脈のX線回折図を図5に示す。それによると粘土細脈の構成粘土鉱物はスメクタイト、雲母/スメクタイト混合層鉱物、雲母粘土鉱物、ハロイサイトである。脈の下部から上部にかけて主とした構成粘土鉱物はスメクタイト、雲母/スメクタイト混合層鉱物、ハロイサイトと変化している（図5）。このような構成鉱物の変化は柿谷・北川（1977）8）、北川・柿谷（1978a,b）9）10）北川ら（1981）3）の結果と一致している。北川ら（1981）3）はこのような変化の要因を初生の熱水性雲母粘土鉱物から風化作用により変化したものと考えていたが、その後、熱水の物理化学的条件の変化によって引き起こされているものと考えを改めている（Kitagawa, 1986）2）。

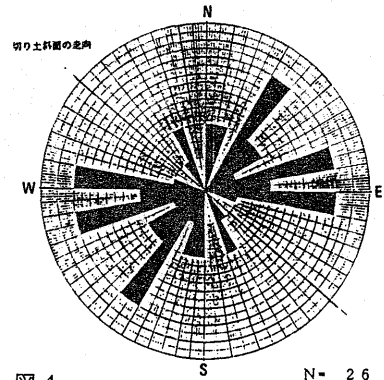


図4.

A地点の粘土細脈と切り土斜面の走向を示すローズダイアグラム

上述のような斜面の中間から下部法面（粘土細脈の中部から下部に相当する）で粘土細脈（主としてスメクタイト）を境界として切り土後まもなく斜面に亀裂が発生し、片面が浮き上がる現象が認められた（写真1）。この浮き上がり変位量は2週間程度で数cmあった。一ヶ月後に経過を観察したところ、一部に数mm程度の変化があったが、その後それ以上の大きな変位は認められなかった。

B地点

この切り土斜面は工業団地造成中の斜面である。斜面は中粒から粗粒の黒雲母花崗岩からなり、ハンマーでくずせる程度の風化状態で、斜長石の一部が変質しているがカリ長石はほとんど変質していない。表層付近でやや風化変質状態が下部より進んでいるが、全体としてはほぼ同じ風化程度とみなせる。切り土斜面は高さ約40m、巾120mである。この切り土斜面には巾1-数mmの粘土細脈が網目のように走っており、斜面の東の端には変質帯を含めて巾1m程度の緑色から青緑色の粘土脈が認められる。この脈は断層に沿って形成されたものと考えられる。断層にそう脈の走向・傾斜はN50°E、70°Sで切り土斜面の走向はN35°Eである。そのためこの脈は斜面に対して比較的鋭角で交差している。その他の脈の走向のローズダイアグラムを図6に示す。

断層ぞいの粘土脈の構成粘土鉱物は場所により異なるが、主としてスメクタイトあるいは、雲母/スメクタイト混合層鉱物である（図7）。

このような地質状況下で斜面を切り土した後2-3週間後、上述の断層と推定される部分の著しい粘土化帯と母岩の組織を残した変質帯との上側境界部から割れ目が生じ（写真2）、それが次第に開き始め、ついに崩壊した（写真3）。

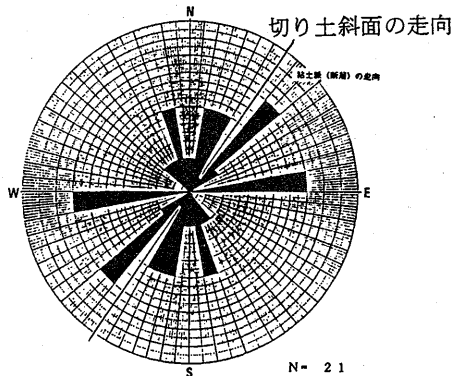


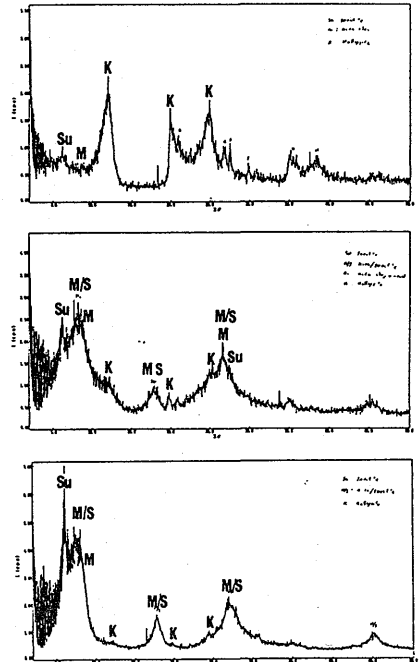
図6. B地点の粘土細脈と切り土斜面の走向を示すローズダイアグラム

3. 考察

上述した2例の切り土斜面の変位やそれに引き続く崩壊は、いずれも粘土細脈がかかわっており、脈と母岩との境界部で発生している。また、いずれの場合も粘土鉱物はスメクタイトが主な構成粘土鉱物となっている。

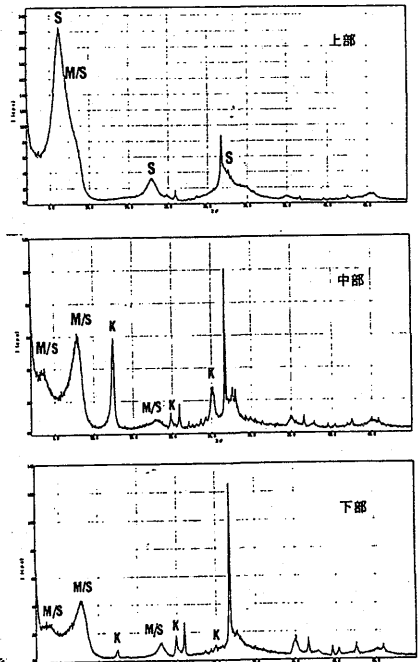
A地点では切り土前の自然斜面において、粘土細脈中のスメ

図5.



A地点の粘土細脈のX線粉末回折図

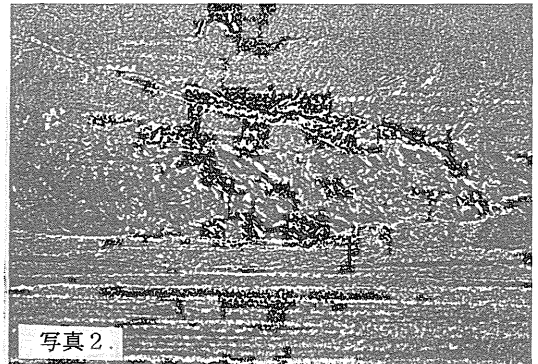
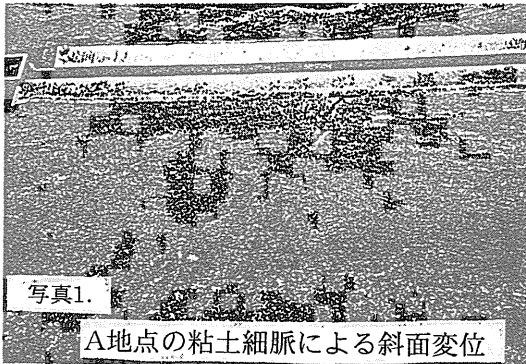
Su:スメクタイト、 M/S: 雲母/スメクタイト混合層鉱物
M: 雲母粘土鉱物、 K: カオリナイト



B地点の崩壊に関与した粘土脈（断層）のX線粉末回折図

S: スメクタイト、 M/S: 雲母/スメクタイト混合層鉱物
K: カオリナイト

図7.



クタイトの膨潤は、上位の荷重と側方からの土圧により押さえつけられている。しかし、切り土による応力開放と雨水の直接浸透により、スメクタイトは法面近くで膨潤した。その結果、母岩と粘土細脈を境界とする法面に変位を生じさせたものと推定される。

B地点では、脈巾が厚く、脈中の粘土鉱物の粘着性が花崗岩のマサより著しく大きい(図8)。

図8は主としてスメクタイトから構成されている粘土細脈、変質帯、とマサの3カ所から試料を採取し、一軸剪断試験を行った結果である。これによると脈のスメクタイトはC(粘着性)がかなり高いことを示している。そのため崩壊の始まりは脈の内部からではなく、写真3に示しているように、脈と母岩との境界からであったと考えられる。

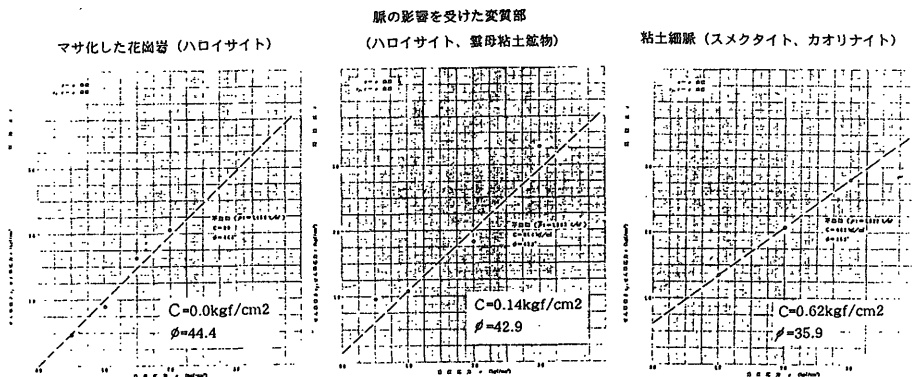
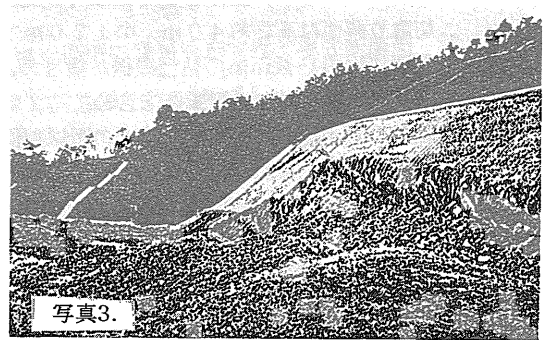


図8. 一面剪断試験

花崗岩の自然斜面に発生する斜面崩壊は、表層付近の風化層が崩壊しており、崩壊跡の多くの斜面に粘土細脈が存在している。自然斜面の表層付近のマサ化部分は、変質のため節理の様な割れ目はなくなっており、脈の部分のみに割れ目が存在している状況である。このようなマサ化花崗岩の斜面崩壊のきっかけとして、粘土細脈の存在は無視できないものであろう。特に脈の構成粘土鉱物としてスメクタイトの存在は、他の粘土鉱物に比較してその膨潤性と膨潤圧 (Young & Warkentin, 1975) 11) が著しく高いことから、崩壊のきっかけとなる可能性も高い。さらに切り土斜面でも、B地点の法面で見られるように、斜面の走向に対して鋭角に交わる走向を持つ粘土細脈の存在は、脈と母岩との境界部から崩壊する可能性がある。また、B地点の法面での例のように、法面の走向と粘土細脈の走向が鈍角に交差する場合には、斜

面の崩壊には至らないが、わずかな変位は起こる可能性が高い。

このような事から自然斜面や切り土斜面の崩壊を予知、予防するためには、粘土細脈の存在を事前に十分注意を払っておく必要があるであろう。

参考文献

- 1) 北川隆司 (1985) : 花こう岩中に見られる粘土細脈と花こう岩の変質について、吉田博直先生退官記念論文集、93-117.
- 2) Kitagawa, R. (1986): Clay veins and clay minerals in the granitic rocks in Hiroshima and Shimane Prefecture, southwest Japan -Effect of the hydrothermal activities on the decomposition of the granitic rocks-, Jour. Hiroshima Univ. Ser.C, Vol.8,
- 3) 北川隆司・柿谷 悟・湊 秀雄 (1981) : 花崗岩中の粘土細脈を構成する雲母粘土鉱物・モンモリロナイト鉱物・雲母-膨潤層鉱物、粘土科学、21、 141-152. 47-80.
- 4) 北川隆司・奥野隆史 (1983) : 東広島付近に分布する花崗岩中の粘土細脈の形成機構、粘土科学、23、 45-60.
- 5) Kitagawa, R. and Nishido, H.(1994): Orientation analysis and formation ages of fractures filled with clay minerals (clay veins) in Hiroshima and Shimane Prefectures, southwest Japan, Eng. Geol., Vol.35, 60-68.
- 6) 北川隆司・柿谷 悟 (1979) : 甲立カオリン鉱床とその周辺の粘土細脈、鉱山地質、29、 217-226.
- 7) 北川隆司・亀岡秀人 (1986) : 小馬木ハロイサイト鉱床とその周辺花崗岩の変質について、粘土科学、26、 78-89.
- 8) 柿谷 悟・北川隆司 (1977) : 広島県下の花崗岩中に細脈として産する粘土鉱物、鉱物学雑誌、13、 特別号、187-196.
- 9) 北川隆司・柿谷 悟 (1978a) : 広島県安芸郡音戸町の花崗岩中にある青緑色粘土細脈、粘土科学、18、 1-10.
- 10) 北川隆司・柿谷 悟 (1978) : 花崗岩中に見られる粘土細脈の産状と成因、鉱物学雑誌、13、 357-379.
- 11) Young, R.N. and Warkentin, B.P.: Soil properties and behavior, Elsevier Pub.