すべり面粘土の帯磁率異方性と微細組織 Microfabric and anisotropy of magnetic susceptibility of slip surface clay

川村喜一郎^{a)}*・大八木規夫^{a)}・北原哲郎^{b)}

Kiichiro KAWAMURA, Norio OYAGI and Tetsuro KITAHARA

Abstract

Particles in slip surface clay is thought to align along slip surface. As the alignment direction can detect quickly, it gives us an important information to estimate the slip surface. Present study disclosed anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and microfabric of slip surface clay. The AMS is quick method to measure grain arrangement of slip surface clay.

Key words : slip surface clay, anisotropy of magnetic susceptibility, microfabric, Jinnosuke-dani Landslide

和文要旨

すべり面粘土は、すべり面方向に粒子が配列していると考えられ、その配列方向が迅速にわかれば、すべり面を推定するための有用な情報となる。本論では、帯磁率異方性測定と微細組織観察を行い、帯磁率異方性がすべり面粘土の粒子配列の迅速な測定方法であることを報告する。

キーワード：すべり面粘土、帯磁率異方性、微細組織、甚之助谷地すべり

1. はじめに

地すべり調査において、すべり面は、孔内傾斜計などによる変動域の地表面から非変動域と推定される地下深部までの長期的な観測によって特定することができる¹⁾。移動体直下の試錐コアを観察すると、すべり面粘土によってすべり面を知ることができることがある。しかし、試錐コアにはすべり面粘土のほかに流入粘土や風化粘土、さらに熱水変質粘土などのさまざまな粘性土が観察されるので、すべり面粘土の特定は、必ずしも簡単ではない¹⁾。すべり面粘土には、剪断変形によって形成された粒子配列が観察されることがあり、それによってすべり面粘土と認定することが可能ではある^{2),3)}。しかし、試錐コアでは、観察面が小さいことから、そのような剪断変形の痕跡を発見することは難しい場合がある。試錐コアから、迅速にすべり面を特定することができれば、孔内原位試験深度や動態観測機器設置深度などの検討を行うための重要な情報になる。

本研究では、現在でも年間10–15cm⁴⁾移動を続けている甚之助谷地すべり(図-1)におけるすべり面粘土(図2)の帯磁率異方性測定結果から、帯磁率異方性がすべり面粘土の特定に有効であることを示す。さらに、すべり面粘土の微細組織を詳細に観察し、帯磁率異方性との関係について議論する。

2. 試料

試料は別当谷左岸側(図-1)に露出する白色粘土層中の白色粘土を用いた(図-2)。この粘土層の走向は

図-1 甚之助谷地すべりの空中写真(国土地理院撮影C B-77-7, C 8-21)と試料採取地点(矢印)

Fig.1 Air photo around Jinnosuke-dani landslide and sampling point (arrow)

N60°W, 傾斜45°Sで、厚さはおよそ50cmである(図-2)。白色粘土層の直下には、層状の黒色粘土層がある。白色粘土層は、主に石英粒子と白色の粘土粒子からなり、黒色の粘土やシルトサイズの金属光沢をもつ粒子を数%含む。黒色粘土層は、主に黒色粘土粒子からなり、多量の金属光沢をもつ粒子を含む。2ミクロン以下の粒子に水ひした白色粘土は、X線回折で7 Åに明瞭なピークが

* 連絡著者/corresponding author

a) 財団法人深田地質研究所
Fukada Geological Institute
〒113-0021 東京都文京区本駒込2-13-12
Honkomagome, 2-13-12 Bunkyo-ku, 113-0021, Japan
b) 応用地質株式会社
OYO Corporation

図-2 試料採取地点の写真。矢印が採取地点
Fig. 2 Close-up photo of sampling point (arrow)

検出される。このことから、白色粘土は主にカオリナイトからなると考えられる。

上盤・下盤ともに手取層群の砂岩頁岩互層で、年代は産出化石から白亜紀後期とされる。上盤の移動体中には、別当谷の下流方向に衝上する断層やそれに伴って形成された座屈構造が観察されるが、砂岩頁岩互層の層状構造はあまり破壊されていない(図-2)。しかし、すべり面粘土直上では、砂岩および頁岩は数十cm間隔で割れ目が観察され、著しく破碎されている。それに対し、下盤側の砂岩には割れ目が少なく、比較的硬質である。

3. 方法

3.1 帯磁率と帯磁率異方性

白色すべり面粘土は、約30ccの試料を定方位で採取し、プラスチックケースに現場で封入した。それを研究室に持ち帰り、帯磁率異方性測定用の7ccのプラスチックキューブに入れ替え、帯磁率と帯磁率異方性を海洋科学技術センター所有のKappa Bridge KLY-3 Magnetic susceptometerで測定した。測定時間は1試料で2分程度と比較的短時間である。

帯磁率は、磁化/磁場で表される数値である。その値は、磁性鉱物の種類や含有量によって変化する。例えば、強磁性鉱物(磁鉄鉱や赤鉄鉱など)が多く含有される堆積物は、帯磁率が大きくなる。一方、常磁性鉱物(雲母や角閃石、粘土鉱物など)や反磁性鉱物(石英や方解石など)が多く含有される堆積物では、帯磁率が比較的小さくなる⁵⁾。

帯磁率異方性は、最大・中間・最小帯磁率(K_{max} , K_{int} , K_{min})の3軸によって作られる楕円体として表すことができる(図-3)。一般的に、帯磁率異方性は、堆積物中の磁性鉱物の長軸、中間軸と短軸の向きを表しているとされる⁵⁾が、複数の磁性鉱物の並んでいる方向を指し示すことも指摘されている^{6),7)}。このような問題があるため、本研究では、すべり面粘土の帯磁率異方性

図-3 帯磁率異方性の K_{max} , K_{int} , K_{min}
Fig. 3 K_{max} , K_{int} and K_{min} of magnetic susceptibility anisotropy

を測定するだけでなく、微細組織も観察することによって、総合的に粘土のファブリックを推定する。

帯磁率異方性は、以下のパラメータを用いた。

$$P = K_{max}/K_{min}$$

$$F = K_{int}/K_{min}$$

$$L = K_{max}/K_{int}$$

Pは、帯磁率異方性の程度を表し、この値が大きいと楕円体の異方性が強くなる。Fは、楕円体の扁平度を表し、この値が大きいと楕円体が円盤状になる。Lは、長楕円度を表し、この値が大きいと楕円体が伸張し、ラグビーボール状になる。

3.2 微細組織観察

微細組織は、走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。細粒堆積物は、一般的に乾燥させると、体積が収縮し、微細組織が変化することが知られる⁸⁾。このため、本研究では、以下に示す凍結乾燥処理⁹⁾した試料をSEMによって観察した。

- 1 試料を数ヶ月エタノールに浸し、間隙水をエタノールに置換する。
- 2 エタノール置換後、試料を数週間ブチルアルコールに浸し、エタノールを置換する。
- 3 置換された試料を瞬間凍結させる。
- 4 真空デシケータでブチルアルコールを昇華させる。

しかし、この処理には数ヶ月を要するために、事前に、オーブンで乾燥させた試料を観察した。このとき、試料の体積収縮量を地盤工学会の方法¹⁰⁾に従って測定し、組織の収縮による変形の程度を評価した。

4. 結果

4.1 帯磁率と帯磁率異方性

白色すべり面粘土の体積あたりの帯磁率は、 3.17×10^{-5} (SI)と非常に小さい。帯磁率異方性のパラメータであるP, F, L値はそれぞれ、1.006, 1.003, 1.002と、非常に小さい値を示す(表-1)。 K_{max} の偏角の方位は南西方向で、その伏角はすべり面粘土の傾斜方向に約15°で傾斜していた。 K_{min} の方位は北西方向(露頭壁面

表-1 白色粘土の帯磁率(Sus.)とP, F, LとKmax・Kminの偏角, 伏角。偏角は0が北で時計回りに+, 伏角は水平が0で下向きが+

Table 1 Magnetic susceptibility (Sus.), its anisotropy parameters (P, F, L) and declination and inclination Kmax and Kmin of white clay. Declination 0° is north and clockwise is +. Inclination 0° is horizontal, an downward is +

Sus (10^{-6} SI)	31.7
P (Kmax/Kmin)	1.006
F (Kint/Kmin)	1.003
L (Kmax/Kint)	1.002
dKmax	281.1°
iKmax	15.5°
dKmin	20.9°
iKmin	31.5°

図-4 白色すべり面粘土の帯磁率異方性のKmaxとKmin。ステレオネットは下半球投影

Fig. 4 Kmax and Kmin directions of anisotropy of magnetic susceptibility of white slip surface clay. Stereodiagram is in lowerhemisphere

方向の手前方向)で, その伏角は約30°であった(図-4)。

4.2 微細組織

乾燥した時の白色すべり面粘土の収縮は, 線長収縮で約1~3%, 体積収縮で約2~5%であった。このことから, 白色すべり面粘土を乾燥させたとしても, 微細組織に変化はさほどないと予想される。しかし, オープン乾燥では, 板状の粘土粒子が, 面と面を接着させた組織が支配的であったのに対し, 凍結乾燥試料では, それらが面と端を接着させている組織が多かった。このことから, オープン乾燥による脱水時に, 粘土粒子が表面張力によって互いに引き寄せられたと推定される。このように, オープン乾燥試料は, 粘土粒子の組織が変形した。しかし, 下記の組織区分はどちらの試料でも観察されることから, すべり面組織などの主要な組織の形状を観察

するにはオープン乾燥試料でも差し支えないと考える。

凍結乾燥試料の微細組織をSEMで観察すると, 板状の粘土粒子が面と端を接しており, 以下のように組織を区分することができる。それは, 粘土粒子が集合した凝集体がみられる部分(図-5 A白抜三角で示す付近)と, 粘土粒子の定向配列が顕著な部分である(図-5 A白抜円で示す付近と図-5 B)。前者は, 粘土粒子からなる50 μ m程度の凝集体が多く観察される。凝集体の内部は,

図-5 凍結乾燥させた白色すべり面粘土の電子顕微鏡写真(BはAの白枠の拡大)

Fig. 5 Photomicrographs of white slip surface clay by freeze-drying method. (B is enlargement photo of A)

全体的に粘土粒子がランダム配列しており, 定向配列の傾向は明瞭でない (図-5A) が, 部分的に数枚の板状粘土粒子が曲がりくねって配列している (図-5C)。それに対し, 後者は, 板状の粘土粒子が数 μm 以上の幅で定向配列している。その配列方向は, 帯磁率異方性のKmax方向に向いていることが多い (図-5B)。

5. 議論

甚之助谷地すべりの白色すべり面粘土の帯磁率異方性は非常に弱く, また, 帯磁率も小さかった。この帯磁率のオーダーは, 強磁性鉱物が粘土中にほとんど含有されず, 粘土鉱物のような常磁性鉱物が主に帯磁率を担っていることを示す⁵⁾。試料中にみられる板状の粘土粒子 (おそらく粘土鉱物粒子) は, 明瞭な形状異方性が認められる。Tarling and Hrouda (1993)⁵⁾によると, 粘土鉱物は, 長軸方向が最大帯磁率となるとされることから, 今回測定したKmax方向は, 板状粘土鉱物粒子の長軸方向, Kmin方向は, 短軸方向を表していることになる。

Kmax方向は, 傾斜がやや緩いものの, すべり面方向とはほぼ平行方向であった。さらに, その方向に平行に, 粘土粒子が帯状に配列していた。このような帯状の粘土粒子の配列が, 帯磁率異方性のKmax方向を担っていると考えられる (図-6)。

Kmin方向, すなわち板状の粘土鉱物の面に垂直な方

図-6 すべり面粘土の微細組織と帯磁率異方性のKmaxとKminとの関係の概念図。上は, 図1の北東-南西方向の断面で, 下はそれに直交する方向の断面を表す

Fig. 6 Schematic model of microfabric and AMS (Kmax and Kmin) of slip surface clay. Up represents NE-SW section in Fig. 1, and down represents NW-SE section

向は, 北西 (露頭の手前) 方向にかなりの角度で傾斜し, 粘土鉱物粒子が白色粘土層内で, 全体的に図-6のように配列していることを表している。

以上のように, 帯磁率異方性でも特にKmaxは, すべり面粘土中の粒子配列を探るためのよいツールであることが本研究で明らかになった。今後は, 試料の測定数を増やし, 帯磁率異方性を用いて, すべり面粘土を特定できるようにしたい。

謝辞

国土交通省北陸地方整備局金沢工事事務所 (流域対策課・白峰砂防出張所) には, 工事用道路通行許可と入渓許可の手続きでお世話になった。筑波大学小川勇二郎教授にはSEM観察を, 海洋科学技術センター金松敏也博士には帯磁率異方性測定をさせていただいた。財団法人深田地質研究所の佐藤 正理事長には, 初稿から原稿を校閲していただいた。これらの方々に感謝申し上げる。

引用文献

- 1) 大八木規夫 (2001): 地すべりのそとみとなかみ, Fukadaken Library14, 財団法人深田地質研究所, 90p.
- 2) 岸本良次郎・向井田善朗 (1998): 土の剪断の進行にともなう剪断面の表面構造の変化, 地すべり, Vol.35, No.1, pp.30-36.
- 3) 井上 基・山田琢哉・田中 元・北川隆司 (2001): 岡山県の三疊紀層に発達する野田地すべりのすべり面の起源について, 応用地質, Vol.42, pp.88-100.
- 4) 磯部 章 (1996): 甚之助谷地すべり対策の現状, 基礎工6月号, Vol.24, No.6, pp.88-94.
- 5) Tarling and Hrouda (1993): The magnetic anisotropy of rocks, Chapman & Hall, London, 217p.
- 6) Gregoire, V., Darrozes, J., Gaillot, P. and Nedelec, A. (1998): Magnetite grains shape fabric and distribution anisotropy vs rock magnetic fabric: a three-dimensional case study, Journal of Structural Geology, Vol.20, pp.937-944.
- 7) 川村喜一郎・池原 研・金松敏也・藤岡換太郎 (2002): パレスペラ海盆から採取されたタービダイトの帯磁率異方性による古流向解析, 地質学雑誌, Vol.108, No.4, pp.207-218.
- 8) 川村喜一郎・池原 研・金松敏也・藤岡換太郎 (2002) 海成自然堆積土の圧密による微細構造と物性の変化-フィリピン海の遠洋性粘土の例-, 粘土地盤における最新の研究と実際-微視的構造の観察から超軟弱埋め立て地盤対策技術まで-シンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.123-130.
- 9) 滝沢 茂・川田多加美・大野良樹 (1995): 含水未固結堆積物の固化および凍結乾燥法, 地質学雑誌, Vol.101, No.11, pp.941-944.
- 10) 社団法人地盤工学会 (2000): 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-, 社団法人地盤工学会, 901p.

(原稿受付2003年2月10日, 原稿受理2003年10月3日)