断層粘土及び地すべり粘土中に含まれる硬質粒子の形状に関する考察

Shape of hard particles included in fault gouge and landslide clay

北澤秋司 Shuji KITAZAWA / 山地環境防災研究所 Mountain District Environment Disasters Research Institute

キーワード：断層ガウジ，地すべり粘土，岩盤クリープ，中央構造線（MTL），硬質粒子

Key words : fault gouge, landslide clay, bedrock creep, MTL, hard particle

1. 研究の目的

本稿で対象とする断層粘土（以後断層ガウジ）及び地すべり粘土は，風化作用，熱水変質作用のほか長時間圧力（以後，ストレス）を受け岩石や地層が粘土化した自然物である^{1,2)}。

この研究で扱う鉱物は，粘土鉱物³⁾ではない。断層ガウジ，地すべり粘土，地すべり地のボーリングコア及び岩盤クリープの粘土を洗浄機で洗い出すと，残存した鉱物を取り出すことができる。その鉱物を拡大して観察すると美しい鉱物粒子が輝くように見える。この鉱物は長時間ストレスを受けたために淘汰され，硬い鉱物のみが残存（以後，硬質粒子）したと考えられる。試料と硬質粒子との量比は，ストレスによる淘汰の程度を示す指標でもあると考えられる。

また，硬質粒子の拡大写真を用いて円形度を計測した値は，粒子がうけたストレスの大きさや時間を反映している可能性がある。これらの数値を各採取地の粘土で相互に比較することで，断層や地すべりの形成過程を説明できるのではないかと考えた。

2. 従来の研究

断層運動に伴う破碎によって生じた細粒・未固結の断層内物質はいわゆる断層ガウジと呼ばれる。岩盤クリープに関する研究は，福井ら（1989）の実験的研究⁴⁾，岡（2004）らの地表踏査で捉えた研究⁵⁾，大規模岩盤クリープの形態的類型化などの研究⁶⁾，目代（2002）による山体重力変形の地形学的研究⁷⁾などがあるが，クリープ現象から生成される粘土分析についての記載はない。ここで取り上げる岩盤すべりと岩盤クリープについて，千木良（1998）⁸⁾は，既往研究の崩壊，地すべり等の分類を参照して，斜面での物質のマスマーブメントをすべて合わせてslope movement（斜面移動）とし，斜面上の物質が塊状を保ちながらすべる現象を岩盤すべり，連続的なすべり面をもたずに物質が重力によって徐々に変形する現象とクリープとして移動様式による区分している。さ

らに，移動する物質を岩盤と岩屑に分けそれぞれクリープ，崩壊及び崩落の名称を付している⁸⁾。

3. 研究の方法

3.1 試料採取地

断層ガウジ，地すべり地，ボーリングコア及び岩盤クリープから粘土試料を採取した。採取位置は，図-1, 2に二重丸記号で示した。

図-1 長野県内の試料採取位置

図-2 奈良県内の試料採取位置

* 連絡著者 / corresponding author
〒399-4431 長野県伊那市西春近2346-4
Nishiharuchika Ina Nagano 399-4431
山地環境防災研究所

長野県南部における岩盤クリープの粘土採取で、和蔵の岩盤クリープで見られたシアバンドから採取した理由は、千木良（1998）の説明する連続的なすべ面を持たずに物質が重力によって徐々に変形する現象によって形成された生成物であろうと判断したためである。張り付いている薄層を剥がして持ち帰り処理した¹¹⁾。

2011年9月台風12号において紀伊半島で深層崩壊が発生した場所の地質は、白亜紀後期（約1億年前）につもった砂岩や頁岩の地層からなり、チャート、赤色頁岩、酸性凝灰岩、緑色岩類を伴っている。チャートや緑色岩類は、海洋プレートによって遠洋から運ばれ付加されたものと考えられている¹²⁾。深層崩壊地飛養曾、河原樋、宇井及び赤谷から採取した粘土は、頁岩の層すべりと考えられるずれ面に挟まれた黒色の粘土である。

3.2 鉱物の洗い出し方法

採取粘土は試料ビンに密封して保存し、秤量にはエー・アンド・デイ社製防塵・防滴上皿電子天秤（FZ-i/FX-i.1/1000g）を使用した。絶乾重量測定した試料をビーカーに入れて指先で水と混合し、上澄み液を捨てて本多電子製卓上式超音波洗浄機（W-113MKII）を用いて洗浄した。さらに絶乾重量測定の後、磁性鉱物を磁石で抽出秤量、鉱物は実体顕微鏡（OlympusSZ61）で観察した。写真を精査すると、写真の周辺にいわゆるケラレ現象が見られたので、Nikon D500を使用しカメラボディとレンズとの間にベローズを挿入してモニターに取り込むソフトCamera Control Pro 2を使用した。焦点を微調整して映像がぶれないようにマウスでシャッターを切りフォルダーに保存した。この操作はすべてモニターを見ながら行い、これによって先のケラレは解消され鮮明な画像が得られた。

3.3 鉱物の円形度の測定方法

円形度測定の方法には、図形パターン、イメージ図、サンプルプログラムによる実行などが提案されているが、投影画像を多用する本研究には適用困難と判断し、粒子の投影像に関する指数で求めるWadellの方法を採用した¹¹⁾。

粘土を超音波洗浄機で洗い出すと硬質粒子及び硬い岩石片が残存する。本研究では、ボーリングコア、断層ガウジ、地すべり粘土、ボーリングコア及び岩盤クリープからの粘土を採取し処理した。

画像に現れる硬質粒子が重なり合うことのない独立した鉱物粒子の写真を円形度測定の対象とした。円形度の測定は、図-3に示した方法に従った。撮影された写真映像をAdobe Illustratorの作業エリアに取り込み、円形度は鉱物の形が、どれだけ円に近いかを示す指標であるから、円形度測定のための曲率半径パターンを作成した。

図-4に示したIllustratorの作業エリアに取り込んだ写真の中で輪郭が明瞭な鉱物に番号を振り、小さい円から大きい円まで円形パターンを作成し、写真上で可動できるようにした。写真内の円形度測定のための鉱物の大

図-3 円形度の測定方法

図-4 計測円による円形度測定方法

きさは、1/20mm前後であり、粒子数は中央構造線（以後、MTL）断層ガウジで最低14粒子、最大55粒子、地すべり粘土で最低28粒子、最大81粒子、及び岩盤クリープ和蔵で16粒子、河原樋で最低16粒子、最大48粒子である。角や稜にあわせながら合致した円形の番号を記載し、平均値を求めて最大内接円との比を求めるプログラムをエクセル上で計算できるようにした。角や稜の数は鉱物によって相違し、1個の鉱物の角や稜数が最大16個となり、計測時間は長時間となったが正確な計測ができるように慎重に進めた。

4. 研究の結果

4.1 地すべり粘土及び断層ガウジの円形度

小塩地すべり地のボーリングコアから抽出した16試料を図-5に示す。MTL露頭の断層ガウジを図-6に示す。分杭峠地すべり及び小谷地すべりの円形度を図-7に示す。

これを見ると、深さ180mまでの地質ボーリングですべり面と判定された地点の円形度よりも断層ガウジ、分杭峠地すべり及び小谷地すべりの円形度が高い値を示す。断層と地すべり活動に伴う粘土生成の時間差は比較しようがないほど隔たりが大きい。断層ガウジの地質時代を見ると、MTLは白亜紀後期までに左横ずれ断層として形成され、その後幾つかのステージを経ながら活動を続けている¹²⁾。糸魚川-静岡構造線は第三紀中新世から活動を続けている¹³⁾。一方、MTL沿いの分杭、地蔵及び青崩付近の地すべり、糸魚川-静岡構造線沿いの地すべりの発生年代は明らかではないが、稲垣（2007）¹⁴⁾、長谷川（2004）¹⁵⁾らによれば中央構造線活断層系周辺の大規模地すべり地形は、大地震を伴う中央構造線の活動

図－5 小塩沢地すべりにおける洗い出し硬質鉱物の円形度

図－6 小中央構造線の4露頭における洗い出し硬質鉱物の円形度

図－7 地すべり地における洗い出し硬質鉱物の円形度

によって形成された可能性が高いと考えられている。糸魚川-静岡構造線沿いの小土山地すべりは、1971年7月16日約20万 m^3 の土砂が姫川をせき止めた¹⁶⁾¹⁷⁾。2010年12月ここに雪泥流が発生して地すべり土塊が現れ粘土が採取できた。これを小谷地すべり粘土とした。

4.2 地すべり土塊の漸移と円形度

車尾沢地すべりの滑落崖から舌端部まで採取した位置図を図－8に示す。図－9に示した採取地点別円形度をみると地すべりが下方に移動しながら粘土形成が進行しそれが円形度に反映されている。

地すべり活動のようなマスの運動では、内部の破碎が進行して多量の地下水の供給を受け、含有鉱物の挙動は摩耗→細片化→粘土化→淘汰（円形化）→剪断破壊作用が起こる漸移現象と考えられる。

4.3 MTL露頭における円形度とメイン断層

図－10にはMTLの溝口新露頭を示す。図中の丸数字は断層ガウジ採取地点で、円形度は①0.79, ②0.80, ③0.78であり、MTLのメイン断層は円形度の最も高い②地点であると推定される。この新露頭では断層が上部の新しい礫層を貫いているので活断層と思われる。

4.4 岩盤クリープと円形度

五條市大塔村河原樋深層崩壊地で傾斜約 $30^\circ \sim 40^\circ$ の崩土底面から粘土を採取した。崩土底面に接している岩盤には、ずれて生じた擦痕が見られた。斜面上部から下部までの50～80m間隔で3試料を採取し円形度を測定した結果を図－11に示す。これを見ると土塊が移動しながら摩耗し下方に移動しながら円形度が増加している。

図－8 車小沢地すべりの断面図

図－9 粘土採取地点と円形度

図－10 新溝口露頭の粘土採取位置

図－11 河原樋深層崩壊地の岩盤クリープと円形度

4.5 粘土量及び硬質粒子と円形度

粘土分析で測定量の相互関係を見るために全重量、乾燥重量、水分量、鉱物量、粘土量、磁性鉱物量、硬質粒子含有量、計測数を測定した。

断層、地すべり及び岩盤クリープの活動で破碎、細粒化、断片化が進行し粘土生成に至る過程で採取試料中の粘土量や硬質粒子などの含有量が增大するとの仮説を設定した。

先の測定量から粘土量と円形度、硬質粒子含有量と円形度について、推計統計学的に散布図を描き相関係数を求めたが、何れも高い相関は得られなかった。

5. 考察

5.1 構成鉱物の円形度による断層ガウジ、地すべり粘土及び岩盤クリープの識別

円形度はMTL0.72~0.86, 小塩地すべり0.47~0.72 MTL沿い地すべり0.73~0.81, 和歌山岩盤クリープ0.50~0.84, 和蔵岩盤クリープ0.70~0.87の範囲にある。したがって、長期間のストレスが働く断層及び古い地すべりではより丸みを帯びるものと考えられる。

5.2 粘土量及び硬質粒子を規制している要因

断層及び地すべりともに物理的な破碎現象で粘土化することから、長時間のストレスで破碎岩粘土となり、普遍的に構成する岩石や地層の珪質物の含有量も影響するだろう。破碎現象が進行し淘汰され構成される鉱物は最終的に硬質粒子及び岩片であり、その硬質粒子も長時間のストレスを受けることで丸みを帯びるものと考えられる。したがって、地層及び土塊内の弱面に磨耗が起ることで粘土形成に至ると考えられる。

6. まとめ

断層ガウジ、地すべり粘土、ボーリングコアおよび岩盤クリープのすべり面粘土と採取地は広範囲わたるので、試料採取の条件として、採取ヘラ、チャック付きの試料袋を同一にし、採取時期を9月~10月にした。ただし、ボーリングコアについては、地すべり対策事業で依頼された業者が実施するので、掘削直後の新鮮なコアで採取した。

粘土に含まれる鉱物を洗い出すと硬質粒子が得られる。この粒子は粘土形成の時間、ストレスの程度及び粘土化にいたる過程すなわち破碎現象から粘土化における過程を示すものと思われる。

硬質粒子の大きさは1/20mm前後であり計測の技術を高めるためにIllustratorの作業エリアにおいて計測可能な大きさに拡大すると、実寸法の100倍を超える粒子もあった。

Illustratorの作業エリアにおける計測は、円形パターンの半径を数値に置き換えて、の数値をエクセルに入力し平均値を計算した。

硬質粒子の円形度を計測して比較検討すると、断層ガウジ、岩盤クリープで生じた粘土、古い地すべり粘土、新しい地すべり粘土の順で値が小さくなった。

地すべりの滑落崖から舌端部まで採取して、粘土を洗い出した硬質粒子の円形度は、滑落崖から舌端部にかけて円形度が増大していた。

MTLの断面では粘土の帯がいく筋も見られ、これらの粘土を洗い出して硬質粒子の円形度を見た結果、その数値から最も高い値を示す場所が断層運動の最も強く働いた位置だろうと推定される。

試料採取範囲を拡大し、計測事例を積み上げれば円形度は粘土形成におけるストレスの程度、時間および空間の機構を正確に説明できる可能性があると考えている。

謝辞

当時の紀伊山地砂防事務所長桜井亘氏には深層崩壊現場を案内していただいた。当時の国土防災技術株式会社事業本部防災環境事業部長小川内良人氏には、深層崩壊地における粘土採取で試料の提供を頂いた。

ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) (社)全国地質調査業協会連合会編；日本の地形・地質，鹿島出版会，pp.39-45, 2001.
- (2) 千木良雅弘：災害地質学入門，近未来社，pp.69-76, 111, 1998.
- (3) 須藤俊男：粘土の事典，朝倉書店，pp.338-341, 1985.
- (4) 福井勝則・大久保誠介・西松裕一：一軸圧縮荷重下での岩石のクリープ特性，資源・素材学会誌，105, No. 7, pp.521-526, 1989.
- (5) 岡淳一・新宮敦弘：地表踏査でとらえた岩盤クリープの事例紹介，全地連「技術e-フォーラム2004」福岡，2004
- (6) 加藤碩一：地震と活断層の科学，朝倉書店，pp.97-107, 1999.
- (7) 目代邦康：トップリングタイプの岩盤クリープによる山体重力変形の地経学的研究，京都大学学位論文，pp.1-174, 2002.
- (8) 千木良雅弘：結晶片岩の岩盤クリープ（その2）岩盤クリープ性地質構造，応用地質26巻2号，25-37, 1985.
- (9) 千木良雅弘：結晶片岩の大規模岩盤クリープ性地質構造関東山地三波川帯大谷地区を例として，地学雑誌，94巻5号，39-61, 1985.
- (10) 桜井亘・酒井良・奥山悠木・水山高久・池田暁彦・海原壮一・只熊典子・柏原佳明・吉野弘祐・小川内良人・龍見栄臣・島田徹：2014年8月台風11号時に河道埋塞で生じた侵食・土砂流出と対策への影響，砂防学会誌，Vol. 68, No. 6pp. 4-13, 2016.
- (11) H. Waddell: Volume, Shape and Roundness of Rock Particles, Journal of Geology, Vol. 40, pp. 443-451, 1932.
- (12) 新版地学事典編集委員会：新版地学事典pp.826, 1996.
- (13) 新版地学事典編集委員会：新版地学事典，pp84, 1996.
- (14) 稲垣秀輝・小坂英輝・大久保拓郎：四国，中央構造線沿地すべりの発生と安定化，日本地すべり学会誌，44巻4号，245, 2007.
- (15) 長谷川修一：活断層沿いの大規模地すべりの発生機構第48回地すべり学会発表講演集，pp.31-34, 2009.
- (16) 望月巧一：長野県北部犀川，姫川沿川山地の地すべり(3) - 姫川沿川山地の地すべり -，地すべり，Vol. 8, No. 2, pp.29-38, 1971.
- (17) 望月巧一：小土山地すべりについて，地すべり，8巻2号，pp.44-46, 1971.

(原稿受付2019年6月12日，原稿受理2019年7月3日)