

大規模崩壊地での断層に伴う粘土層と水質

LARGE SCALE LANDSLIDE WITH CLAY LAYERS AND WATER COMPOSITION IN FAULTS

高谷精二¹・鈴木恵三¹・川添雅晴²

Seiji TAKAYA, Keizo SUZUKI and Masaharu KAWAZOE

¹南九州大学(〒884-0004 宮崎県高鍋町ヒバリヶ丘)

²(財)宮崎県環境科学協会(〒880-0911 宮崎市大字田吉 6258)

Key Words: Large Scale landslide, Fault, Clay mineral, Water analysis

1. はじめに

大規模崩壊の誘因は、豪雨、地震、火山噴火などがあげられているが、素因については明確になっていない。2005年宮崎県では、台風14号による1013mmの豪雨時に鱒塚山山系において大規模な崩壊があり、朝陣野(標高839m:宮崎市)と天神山(標高900m:三股町)で推定崩壊土量が各々500万 m^3 、400万 m^3 の崩壊が発生し、これが土石流となった¹⁾。

その後の調査から、これらの崩壊地には断層が発見された。これらの断層には粘土層が付随していることから、崩壊原因としては粘土層が「地下水の遮断層」となり、地下水を貯留したため、豪雨によって急激に上昇した水圧が弱部を破り崩壊が発生したのではないかと考えた²⁾。さらに天神山崩壊地では、崩壊地中央部付近において、湧水が見いだされ、この水質はこの地域の河渓流水と比較すると、電気導伝率(以後 E.C.値と略記)が約2倍あったことから、地下水として長期間滞留したものではなかろうかと考えた。

このため大規模崩壊地を構成する断層とそこに狭在する礫混りの粘土層の礫の粒度と形状および粘土鉱物を調べ、さらに調査地周辺の沢水と湧水の水質について分析し、崩壊との関連性について述べる。

2. 実験方法

粘土試料は崩壊の現地調査により採取した。粘土鉱物のX線回折用試料は、懸濁試料を30分振盪

し、8時間静置後、2 μm 以下の粘土粒子を回収した。粘土鉱物の同定はX線回折により行った。X線回折の実験条件は下記の通りである。

機器: リント2000(リガク), X線: Cu-K α , 管球電圧: 30KV, 管電流: 10mA, スキャンスピード: 2°/min, 走査範囲: 3~30°

水の分析用試水は、現地から採水した。試水はNo.5濾紙によって濾過後、カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウムをICP分析により分析した。塩素、硫酸はイオンクロマト法によりおこなった。

3. 調査場所の地質と地形の概要

調査対象地は、2005年の台風14号によって大規模な崩壊をおこした天神山崩壊地と朝陣野崩壊地である(図-1)。

調査地位置図



図-1 調査地位置図

(1) 天神山崩壊地

天神山崩壊地は宮崎県三股町と山之口町の境界に位置し、朝陣野より西側約7kmにある。崩壊地は、境川の上流に東向きに長さ約2kmの天神支沢（仮称）が流れているが、崩壊はこの支沢の源流部で発生した。崩壊の規模は、長さ400m、幅250m、推定崩壊深度40m、推定土量400万 m^3 である³⁾。この崩壊は土石流となり約700m東向きに流下し境川に流入、さらに約2.5km流下し天神ダム（農業用貯水ダム）に流入した。この時、境川流域には二つの大規模な崩壊が発生したが、今回の調査は上流側（写真左側）の崩壊である（写真-1）。

崩壊前の地形は東向き斜面で、土地利用は尾根に近い標高800m以上は天然林で、下部（800m以下）は5~6年生（推定）のスギの植林地で、標高750m付近には林道が横切っている。崩壊は標高800m付近の天然林区域から発生した。

地質は四万十累層群の日向層群に属し、標高650m付近までは砂岩頁岩の互層で、明瞭な受け盤である。砂岩層は層厚1~2m程度の層厚であった。標高650m以上は頁岩優勢層となり、土石流発生後の沢筋には頁岩の連続する廊下状の露頭が出現した。

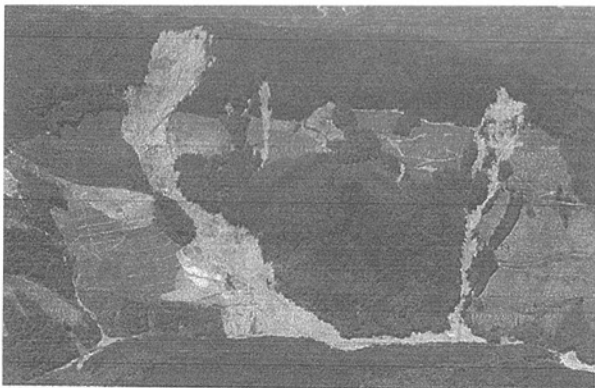


写真-1 天神山崩壊地（撮影：2008年5月）



写真-2 朝陣野崩壊地（2009年4月撮影：野尻正太氏）

(2) 朝陣野崩壊地

朝陣野崩壊地は別府田野川の右岸支谷に位置する。崩壊の発生は朝陣野の8合目付近（標高約700m）で、この崩壊土砂が土石流化し西側にむかい、約1.5km流下して、別府田野川にあった旧田野町のレクリエーション施設「いこいの広場」に流入した。土石流跡は幅80~120m、深さは最大約80mの谷となった（写真-2）。

土石流の流下によって沢は深く浸食され、沢筋の80%は流下した風化砂岩、頁岩の岩塊を含む崩壊土で覆われている。このため露頭はほとんど見られず、沢の出口付近にあたる別府田野川との合流地点の一部に、風化した砂岩層の露頭が確認される。

周辺の林相は、災害前の空中写真によれば、谷沿いは天然性二次林で、周辺はスギの植林地である、その比率は天然林：人工林（スギ）=55：45であった。

崩壊発生直後にみられた特異な現象としては、崩壊地の最上部直下約30m付近（標高700m付近）に湧水があり、この湧水は流下するに伴って周辺の粘土分を取り込み小規模な土石流となる現象が見られた。この現象は崩壊後2ヶ月間継続した。

天神山崩壊地概要図

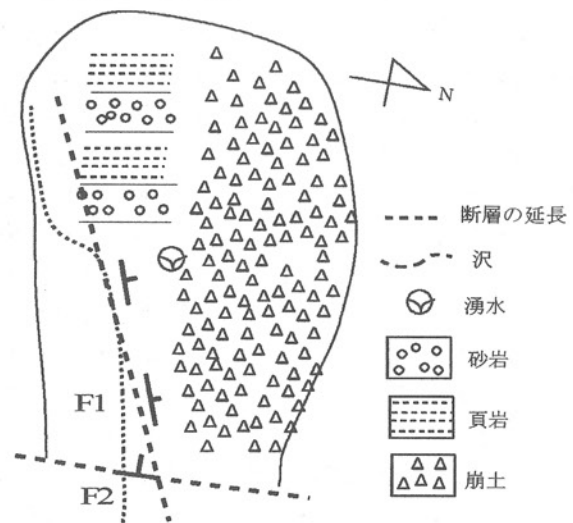


図-2 天神山崩壊地

4. 断層と粘土化帯について

(1) 天神山断層

断層は地層中では、岩体の不連続部のため透水部分となる一方、粘土層が形成された場合、水に対しては地下水の遮水部となる。これは大規模な崩壊に大きな影響を与えていると考えられる。

天神山の断層は、天神沢中の標高 650m 付近に 2 本認められた。これらはほぼ直交しているため、断層の走向が東西方向のものを F1、南北方向のものを F2 と仮称した(図-2)。

F1は走向N70° Eで、これは沢の方向とほぼ一致し、傾斜は 70° N である。断層面には 5~10cm 粘土層が挟在しているが、砂岩が破碎され一部粘土化している部分も見られた。この断層は沢沿いに上流側へ約 200m 断続して延伸しているものが観察された。

F2は走向N15° E、70~80° N である。F2断層の露頭では走向 30~50cm の白色~黒色粘土を挟み、この粘土には砂岩と頁岩の礫が混入している。断層粘土の走向は沢を横切る方向のため、崩壊地を堰き止めるような形で存在する。

(2) 朝陣野粘土化帯

朝陣野崩壊地には、頂上に近い西側斜面、標高約 650m 付近に、黒色の粘土層が分布する。粘土層は、西側へ幅約 200m の帯状に分布し、その走向方向は地形から N15° E と推定された。この方向は、地形分析によれば、倉谷から朝陣野を経て大戸野越に至る、幅約 200m 前後の粘土化帯と一致する。またこの走向の重要な点は、崩壊地に対しほぼ直角で、崩壊地を堰き止めるような方向である。粘土層の源岩は、色調が黒色であることと、含有されている礫が頁岩であることから頁岩である。

このような粘土に富み礫を含有する層は、一般に破碎帯と呼ばれるが、この調査地の場合、粘土は固結し破碎帯からイメージされる、もまれた様相は見られない。このため粘土化帯と称した。

5. 断層粘土中に含有される礫の形状

断層中の礫の形状は、断層の動きによって変化し、動いた履歴の少ない場合は角礫で、複数回動くと、断層内の破碎物質同士の摩擦により円礫化が進むと考えられる。このため、断層中に含有される礫を回収した後、実体顕微鏡と走査型顕微鏡で観察した。方法は、礫を含む粘土を振盪器によって懸濁状にして、フルイにかけ回収した礫を、試料として観察した。

濁状にして、フルイにかけ回収した礫を、試料として観察した。

朝陣野の粘土層中に含有される礫の形状は、礫の形により異なる傾向が見られフルイに残った礫を観察すると、細粒のものほど円礫化が進んでいる傾向が見られた。朝陣野の試料では 0.5mm 以上の場合は亜円礫となり、0.25mm 以下の場合には円礫~円礫であった(写真-3)。50%粒径(平均粒径)は、天神山では 0.58mm、朝陣野では 0.36mm であった。均等係数は両試料ともに大きく、粒度分布幅が広いといえる(図-3)断層粘土の粒度分析結果は表-1に示した。

表-1 断層礫の粒度分析結果

	天神山	朝陣野
90%粒径	3.6	1.7
50%粒径	0.58	0.36
10%粒径	0.016	0.014
Uc	50	36
礫種	砂岩>頁岩	砂岩>頁岩
粘土鉱物種	It.>St.	It.>St.

(粒径: mm It: イライト St: スメクタイト)

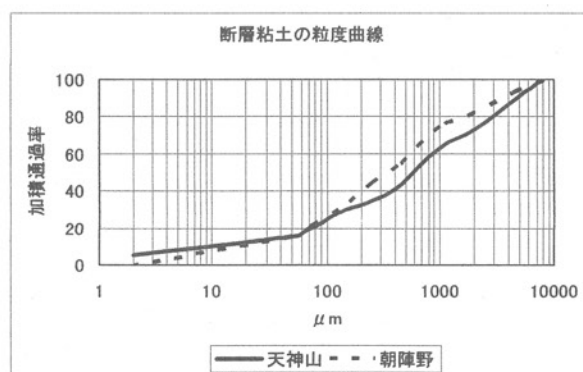


図-3 断層粘土の粒度曲線

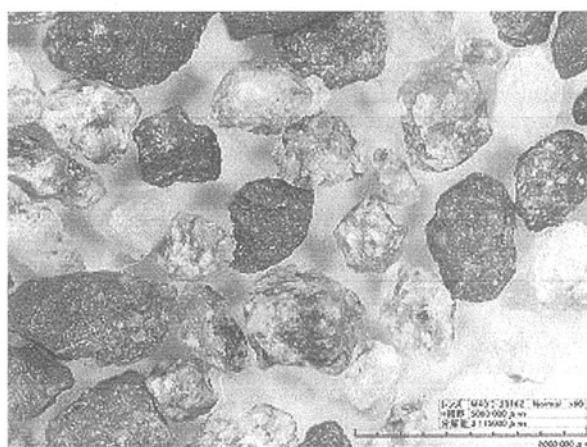


写真-3 断層中の亜円礫・円礫

6. 粘土中の粘土鉱物

天神山 F1、F2 断層中の礫混り粘土から、粘土粒子 (2 μm 以下) を回収して粘土鉱物の同定を行った。F2 断層は幅が 5~50cm で、幅の広いところは黒色で、幅の狭い所では灰白色~白色を示した。黒色の部分は頁岩が破砕されたもので、頁岩の細片が観察できる。粘土はこのような細粒化した頁岩が地下水によって溶出作用を受け、白色化したと考えられる。

したがって頁岩の風化系列は、物理的な風化によって細粒化が進んだ後、溶出作用によって、色調では黒色、灰色、白色に進行しているといえる。その過程で、粘土鉱物はイライトとスメクタイトの 2 種類の粘土鉱物が生成されている。スメクタイトは、自然乾燥、定方位法では 14.1 \AA で、エチレングリコール理では 15.6 \AA に膨潤した。通常のスメクタイトが 17 \AA 程度に膨潤することに比較すると膨潤量小さく、ピーク形もブロードであることから、結晶はよくないと考えられる (図-4)。

宮崎県内の四万十累層に発生する地すべりにおける粘土鉱物は、イライトを主とし、微少なスメクタイトのピークが存在することが報告⁴⁾されていることから、四万十累層中に生成するスメクタイトの形態として、考慮すべきものと考えられる。

朝陣野の粘土化帯を構成する礫混り粘土層は黒色で、粘土の色調が黒色であることから判断すると、溶出による風化は進行していないと推定される。

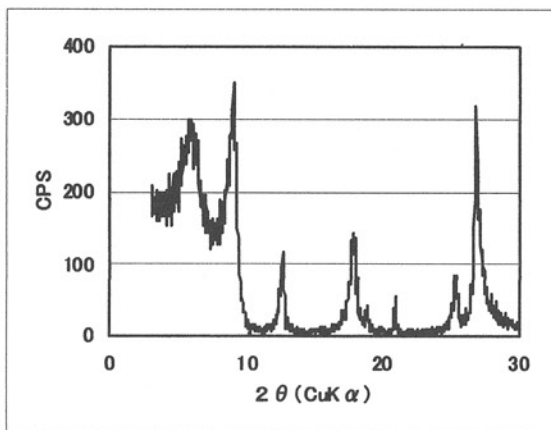


図-4 断層粘土の X 線回析図
(St : スメクタイト It : イライト)

7. 湧水の水質

崩壊と湧水との関連性については、地すべりとの関係が飯島によって報告されている。また一宮地すべり (兵庫県) においてもその関連性を指摘され^{5,6)}、六甲山 (兵庫県) の崩壊地調査によっても「重炭酸濃度が高いという特徴」が認められている。

大規模な崩壊後に見られる湧水は、宮崎県内でも数例あり、1998 年の堀切峠の崩壊では、崩壊後 2 週間の湧水があった。また 2005 年の災害では鱈塚山山系の朝陣野において、崩壊後 2 ヶ月間湧水が継続した例がある。また美郷町の野々尾崩壊地に隣接する島戸崩壊地では、崩壊後 1 年 5 ヶ月後 (2007 年年 5 月) でも 180L/分 (推定) の湧水があった。調査地の天神山においても、崩壊地の中に湧水が見られたために、pH と E.C. 値を測定した。この値は、鱈塚山周辺の溪流の値が 70~100 $\mu\text{S/cm}$ であることから約 2 倍を示し、通常の沢水とは異なる水質であると考え水質分析を行った。(表-2)。

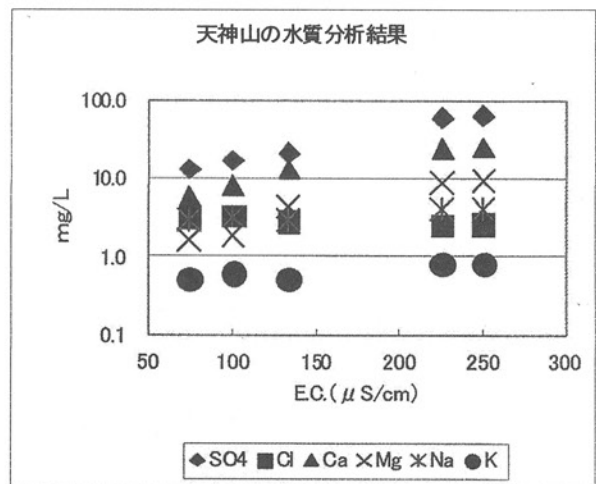


図-5 天神山崩壊地の水質分析結果

表-2 天神山崩壊地の水質分析結果
(元素 : mg/L E. C. 値 : $\mu\text{S/cm}$)

	I	II	III	IV	V	VI
Na	2.9	3.2	2.9	3.4	4.1	3.9
K	0.5	0.6	0.5	0.8	0.8	0.8
Ca	5.7	8.1	13.0	17.0	25.0	24.0
Mg	1.6	1.9	4.4	5.9	9.4	8.8
SO ₄	13.0	17.0	21.0	39.0	64.0	60.0
CL	3.0	3.3	2.8	2.9	2.6	2.5
E.C.	74	100	133	166	250	226
Group	A	A	A	A	B	B

P : 採水場所 I : 境川本流 II : 片井野 III : 左支沢 IV : 本流 R V : 湧水 T VI : 湧水 G

この結果,天神山崩壊地の水質は E.C.値によってA,Bの二グループに分けることができた.Aグループは天神支沢で,Bグループは崩壊地内の湧水である.E.C.値は各々70~170 μ S/cm,200~250 μ S/cmであった.

天神山の調査では,カルシウムは境川本流と湧水Tと比較すると,約5倍含有しているが,ナトリウム,マグネシウム,カリウムには大きな変化は認められなかった(図-5).

地下水が地中で一定期間滞留した場合,E.C.値が高くなる原因は,地下水が山体中で滞留し,このことにより溶出が進むと考えられる.このような現象は泥岩の溶出実験において,溶出を中断した後に溶出を再開すると,溶出濃度が高くなる現象がある⁷⁾ことから推定できる.

また E.C.値と硫酸イオン濃度には高い相関が認められ,その関係式は下記に示した(図-6).

$$y = 0.3158x - 14.282 \quad R^2 = 0.9717 \quad (1)$$

ここで, x : E.C.値 y : 硫酸イオン濃度

このことは電気導電率の測定という簡易な方法によって,詳細分析で得られる硫酸イオン濃度を推定できることを意味している.

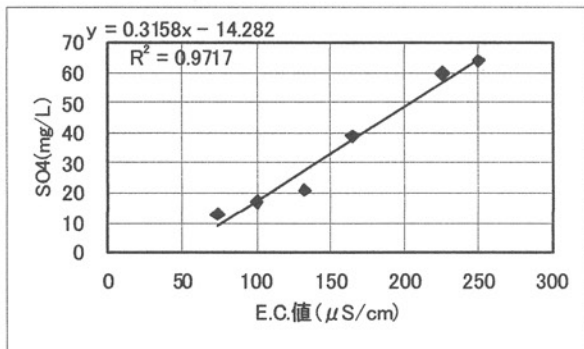


図-6 E.C.値と硫酸イオン濃度の関係

8. 大規模崩壊の発生メカニズム

天神山崩壊地では F1,F2 の直交する二方向の断層が存在するが,このうち F2 断層は NS 方向で,崩壊の方向と直交している.これは沢の流れを堰き止めるような方向である.また F1 断層は南側への流下をせき止める方向に延長している.このため地下水は二つの断層によって堰き止められ,山体が地下水で飽和し,その重量及び水圧の上昇によって強度が低下し,地層の弱部が崩壊,全体の崩壊に至ったというメカニズムが考えられる.朝陣野

崩壊地でも,天神山と同じように北西方向に粘土化帯が認められた,これも今回の崩壊を遮るような方向であることから,地下水が粘土層によって堰き止められたため,その重量と水圧の上昇によって崩壊に至ったものと考えられる(図-7).

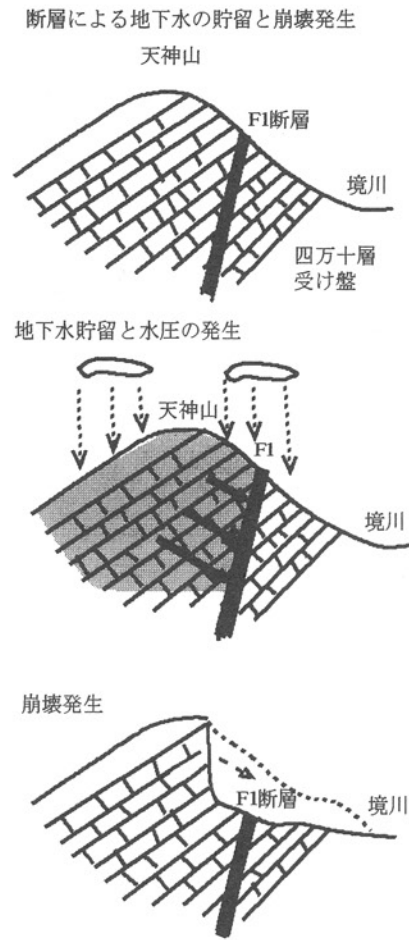


図-7 断層と地下水の貯留による崩壊発生

9. まとめ

天神山崩壊地と朝陣野崩壊地において,断層と断層に付随する礫と粘土,および崩壊地内の湧水について調査した結果,下記のようにまとめられる.

- 1) 天神崩壊地には崩壊地に対し直交する二方向の断層が見られ,朝陣野崩壊地でも天神山と同じように,北西方向の断層が存在した.
- 2) 断層中には礫と粘土が混在し,礫の平均粒径は朝陣野では 0.58mm,天神山では 0.36mm であった.また均等係数は前者は 50,後者は 36 であった.
- 3) 頁岩起源の粘土は黒色,灰色,白色のものが見られ,白色化が進行するほど風化が進行していると見られる.

- 4) 断層に付随する粘土層の層厚は場所によって異なり,数センチから約 1m の幅がある.
- 5) 天神山崩壊地 F1 の断層粘土の粘土鉱物はイライトであった.F2 の断層粘土はイライトが主でスメクタイトが含有されていた.
- 6) 断層中の礫の形状は,断層の動きによって、角礫から亜円礫を経て円礫になると考えられ,このような変化は断層の動きによる破碎と研磨作用によると考えられる.
- 7) 天神山崩壊地の湧水の E.C.値は,周辺溪流水の約 2 倍の濃度であった.このため,四万十帯において,崩壊可能性場所を探す場合,E.C.値の高い場所を探し,一つの目安とすることが考えられる.
- 8) 天神山の湧水に含有される元素の濃度は,カルシウムと硫酸イオンが高い傾向が見られた.

参考文献

- 1) 宮崎県土木部(2006):宮崎県における災害文化の伝承,宮崎県 p.1-72
- 2) 高谷精二,鈴木恵三(2007):大規模崩壊の発生に関する断層と粘土層,平成 19 年度研究発表会講演論文集,日本応用地質学会、p.3-4
- 3) 高谷精二,鈴木恵三:(2007)2005 年台風 14 号による宮崎県内に発生した巨大崩壊,日本地すべり学会,Vol.44、No.2 p.20-26
- 4) 高谷精二(2002):日南市山之口地すべりの粘土鉱物について,第 41 回日本地すべり学会研究発表会講演集,日本地すべり学会, p. 9-10
- 5) 吉岡龍馬,高谷精二(1978):兵庫県一宮町崩壊地の水質と粘土鉱物,京都大学防災研究所年報 No.21-B p.313-322
- 6) 北野康(1955):水の科学,日本放送出版,1-254
- 7) 高谷精二(2000):水による泥岩の溶出実験,平成 12 年度研究発表会講演論文集,日本応用地質学会.,p.29-32

(2010. 5. 14 受付)