

すべり面の3次元構造の把握と地すべり土塊特性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 23

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：武士俊也、杉本宏之

【要旨】

地すべりのすべり面の3次元構造を把握し、地すべりの特性との関係を明らかにすることで、地すべりの調査手法や対策工への応用が期待できる。本研究では、すべり面の3次元構造や材料特性を基にした地すべり分類方法、すべり面の3次元構造と地すべり特性の関係を抽出することを目的として検討を行い、①樹脂固定法によるすべり面標本の微細構造観察手法の提案、②X線CTによってすべり面の内部構造を立体的に把握する手法の適用性の検証、③すべり面の模式的な三次元構造に基づいた認定手法の提案、④すべり面構造の分類と地すべり活動特性との関係性の検討を行った。

キーワード：地すべり、すべり面、ボーリング、樹脂固定法

1. はじめに

地すべりによってすべり面の形状は様々であり、すべり面の鉛直方向の構造や面的にどのように広がっているかなど不明なことが多い。こうしたすべり面の3次元構造を把握し、特性を捉える事が出来れば、今後の研究分野における発展が期待できるとともに、地すべりの調査手法や対策工の分野への展開も期待できる。

本研究では、すべり面の3次元構造や材料特性を基にした地すべり分類方法、すべり面の3次元構造と地すべり特性の関係を抽出することを目的として、①すべり面試料の微細構造を観察する手法の検討、②すべり面の三次元的構造の調査、③すべり面の三次元構造と認定方法についての検討、④すべり面構造の分類と地すべり特性の関係についての検討を行った。

2. 樹脂固定法すべり面標本の作成手法

2.1 はじめに

地すべりの機構解析や対策工の計画において、すべり面位置の特定は重要であり、ボーリング調査や機器による変位観測等の結果を基にして総合的に判断されている。

ボーリング調査では、採取されたボーリングコアの表面において色調、亀裂、風化状況、粘土層等が観察されている。地すべり地においては、土塊が強く破碎を受けていることや、すべり面粘土等の軟弱

層が存在しているため、切れ目のない高品質なボーリングコアを採取することが難しかったが、近年は採取技術が向上し、すべり面や地すべり土塊でも高品質なコアが採取されるようになってきている。

一方、コアの観察は、従来からボーリングコア表面を見て破碎状況を記載するか、コアを折ることで鏡肌や条線を確認する手法がとられている。しかし、コア表面は曲面であり乱されていることもあることや、一度折ったコアはバラバラになってしまうことなどから、コアの品質に見合った情報を引き出せていないのではないかと思われる。

そこで、本研究では透明樹脂を用いたすべり層やすべり面を詳細に観察するための試料の作製方法を提案し、活用とその意義について報告する¹⁾。

2.2 樹脂固定法による標本の種類と作製方法

2.2.1 標本の種類

すべり面はせん断変形を生じる部分であり、最も攪乱・変形を受けているゾーンであると考えられる。そのすべり面の上下には、すべり面のせん断変形に伴って攪乱・変形を受けた縞状構造ゾーン、基岩の破碎ゾーンが存在していることが少なくない。これらの一連の攪乱・変形をすべり面との関係を含めて理解するには、一連の区間の標本を作製して、観察することが重要である。

本研究において樹脂を用いて固化した試料を加工する手法（以下、「樹脂固定法」と呼ぶ）を提案する

のは、すべり面の破碎に伴う構造が最も明瞭に観察できる、地すべりの移動方向に沿った鉛直面で深さ方向に連続的にコアを観察することが有効と考えたためである。

すべり面等の脆弱な試料は、岩石カッターで切断すると摩擦や振動、冷却水によって崩壊するため、樹脂等で固化して強度を持たせる必要がある。樹脂には様々な種類があるが、透明であること、脆弱な試料を固化できるだけの強度を有すること、一定の流動性・浸透性を有すること等の条件を満たす樹脂を選定する。

樹脂固定法による標本には、研磨標本と切断標本の他に薄片も含まれる。

研磨標本(図-1)は、切断面が平滑に研磨されているために、微細構造の詳細観察に適する。しかし、試料に膨潤性粘土等が含まれる場合、研磨に高度な技術と十分な作業時間を要する。

一方、切断標本は研磨工程を経ないため、迅速に作製することができる。また、研磨標本には及ばないが、従来のコア表面の観察に比較すれば格段に多くの情報を得ることができる。加えて、後日、切断標本から研磨標本を作製することもできる。ただし、切断面がそのまま観察面となるため切断に高度な技術を要し、切断面が平滑でないときには微細構造の観察に適さない場合がある。

これらの二つの標本の特性を踏まえると、長めの区間で切断標本を作製し、重要箇所の研磨標本を作製するのが効率的であると考えられる。

薄片は微細な構造の記載や鉱物等の破碎粒子の種類の判定に適している。ただし、鏡下での観察となるために観察範囲が限られるため、大局的な構造把握には研磨標本や切断標本が向いている。



図-1 研磨標本の一例

2. 2. 2 標本の作製方法

コア箱に収納されている状態でボーリングコアを十分に乾燥させ、表面(上面)に樹脂を浸透させ固

化させる。上面が固化したらコア箱から取り出して回転させ、下面にも樹脂を浸透させて、ボーリングコアの全周を樹脂浸透させる。

樹脂が固化したら、これ以降の作業性を考慮して、20~25cm以下の長さに切断(胴切り)し、切断面(胴切り面)から樹脂を浸透させる。樹脂が固化したら地すべりの移動方向に沿った鉛直面で極力乱さないように留意しながら、岩石カッターでボーリングコアを切断する。

なお、ボーリングコアの方位が不明な場合や、移動方向が不明な場合等は、コアの変形構造や地質構造を手がかりとして切断方向を決定することとなる。その際、切断方向(方位)、切断方向を決めた根拠は、観察・分析の際に必要なので記録しておく。切断したら表面の切粉等の汚れを落としておく。

切断標本を作製する場合は、切断面をスキャンしてから乾燥させ、ラッカースプレー等で透明な樹脂を均等に吹付けて表面を保護して仕上げる。

研磨標本を作製する場合は、切断面を樹脂で固化させた後、目の粗い研磨板で凹凸を除去する。研磨中に樹脂が浸透していない部分が露出すると、そこから崩れるので、露出したら再度乾燥させて樹脂で固化させ研磨する。この工程は、凹凸がなくなるまで繰り返す。その後、目の細かい研磨板でキズを除去しラッカースプレー等で透明な樹脂を均等に吹付けて表面を保護し仕上げる。

薄片を作製する場合は、切断面を観察して作製区間を検討する。区間が決まったらチップを作りスライドガラスに貼り付けて薄く研磨し仕上げる。

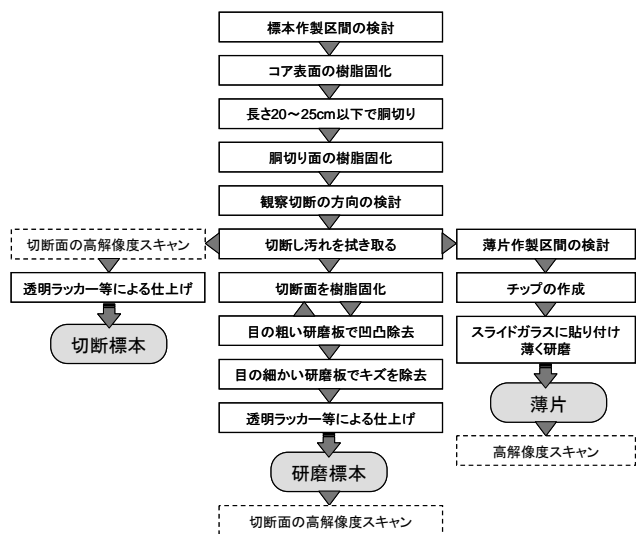


図-2 標本作製のフロー

なお、この手法は、ボーリングコアを用いたすべり面標本の作製を中心に記述しているが、深礎工や集水井から採取したすべり面のブロックサンプル等にも適用可能である。

2. 3 手法の活用とその意義

研磨標本または切断標本は、イメージスキャナを用いて断面をスキャンし、高解像度画像を撮像しておく。断面画像は、パソコンのディスプレイ上で拡大することで細部の観察ができ、また、観察結果を画像上に書き入れる等の活用ができる。

薄片については、偏光顕微鏡による写真撮影に加えてイメージスキャナによる高解像度画像を撮像しておくことが望ましい。薄片の画像は、研磨標本や切断標本と同様の活用ができることに加え、全体的に暗色の試料においては、光が透過するため研磨標本や切断標本より構造が読み取りやすいことがある。

本観察手法を用いると、コア表面だけでは見えない（見え難い）構造が深度方向に連続的に観察できるようになり、すべり面に対する理解がより進むものと期待される。

すべり面粘土を挟む場合や、すべり面で地質構造が異なる場合、明瞭なせん断の痕跡がある場合などは、すべり面の存在をわかりやすく説明する資料となる。また、イメージしにくい地中の地すべり現象をビジュアルに示すツールとして、地域住民への説明、関係機関への説明等に大いに活用できると考えられる。

3. すべり面の三次元的な微細構造

3. 1 樹脂固定法すべり面標本の微細構造観察

3. 1. 1 はじめに

石川県南部の甚之助谷地すべりの中間尾根ブロック末端部で採取したコアを用いて、すべり面の断面を観察する研磨片を作成し、すべり面付近の基盤の剪断構造を観察した²⁾。

3. 1. 2 地形地質概説

対象地周辺は、御前峰(標高 2,702m)を頂点とする急峻な山地で、V 字型の深い渓谷が刻まれている。甚之助谷はこのような渓谷の一つで、石川県手取川の最上流部、標高 1,400~2,000m に位置する全長約 2km、流域面積約 0.7km² の荒廃溪流である。

甚之助谷地すべりにおいて最大の地すべり地形をなす中間尾根ブロックは、別当谷、甚之助谷に挟ま

れた幅約 300m、延長 1km 以上の尾根地形をなす。基盤岩は砂岩および砂岩頁岩互層からなる白亜紀の手取層群で、層理面は南~南東傾斜である。

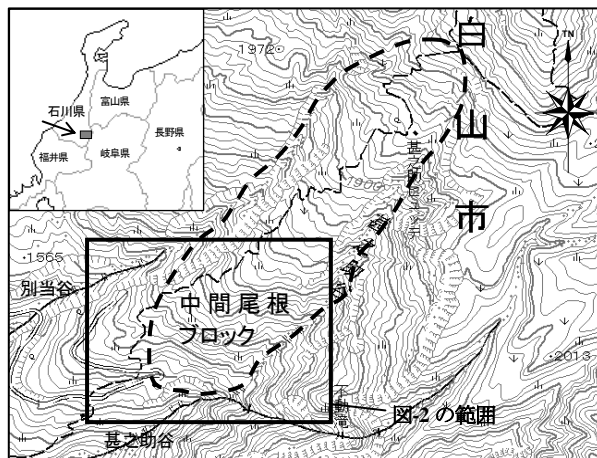


図-3 対象地の地形

3. 1. 3 対象地の地表変位とすべり面形状

地表の GPS 観測では、図-4 に矢印で示すように、全ての観測地点で中間尾根ブロックの長軸方向にほぼ平行な水平変位が観測されている。一方、鉛直変位は多くの地点で沈下が観測されているが、甚之助谷の地すべり末端部では隆起が観測されている。

また、対象地周辺はボーリングや孔内傾斜計観測および地表踏査等の調査が多数実施されている。これらにより確認されたすべり面位置をもとに作成した 2 孔のボーリング孔付近の断面図を図-5 に示す。これらの断面図から AA' 断面においては BV-90 の位置でのすべり面の傾斜は順傾斜、BB' 断面においては BV-91 の位置では逆傾斜となることが推定された。

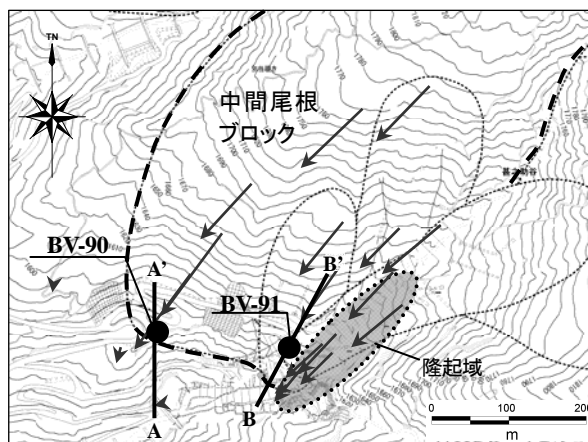


図-4 対象地の地すべり変位

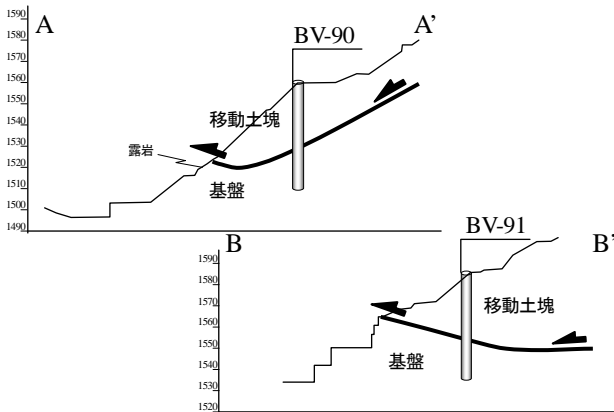


図-5 ボーリング孔付近の断面図

3. 1. 4 観察方法

観察の対象は、BV-90 および BV-91 のすべり面付近のコアで、直径はどちらも 69mm である。これらについて、すべり面付近の構造を詳細に観察するため、樹脂固定法によるすべり面標本を作成した。剪断構造等の記載は、切断研磨面を高解像度スキャナに取り込み、その画像の上に破断面、礫、岩種を肉眼判定したものをトレースする方法とした。

3. 1. 5 すべり面近傍の基盤の観察結果

BV-90 のコアの研磨片の観察結果を図-6に、BV-91 は図-7に示す。図中において太線は剪断面、細線は変位を伴わない(判定不能を含む)割れ目、白太矢印は地すべり土塊の移動方向を示す。どちらも地すべり土塊が右から左へ移動するように表示している。

図-6に示すBV-90では、主すべり面は礫混じり粘土状の移動体と基盤の境界と考えられ、傾斜約25°で連続性が良い。基盤の細粒砂岩には、主すべり面とほぼ平行な厚さ約8cmの粘土を伴った破碎帯が形成されている。この破碎帯には主すべり面と平行または低角度に斜交する剪断面がみられ、このうち主すべり面と斜交する右傾斜の剪断面(図-6中のP)が最もよく発達している。

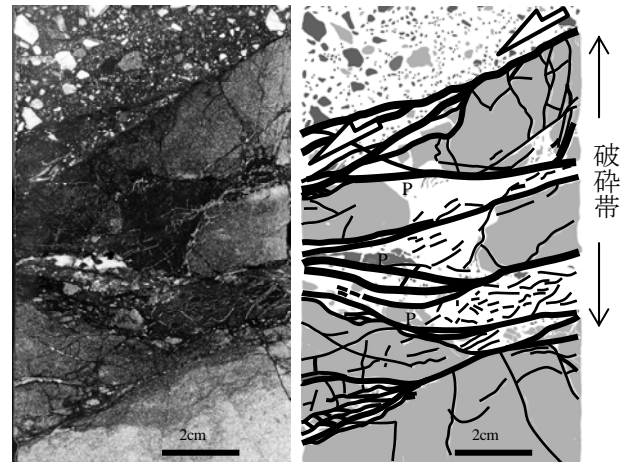


図-6 BV-90 のすべり面付近の観察結果

次に、図-7に示すBV-91では、主すべり面は礫混じり粘土状の移動体と基盤との境界と考えられ、連続性は良いが約20°の逆傾斜であり、粘土を伴う破碎帯は形成されていない。基盤の砂岩泥岩互層には主すべり面に斜交した剪断面がみられ、葉理に沿うものや白色鉱物脈に沿うもの、やや左側(谷側)に傾斜したものがある。これらは、葉理のずれから上盤側が左方へ変位していると判断され、左側(谷側)へ傾斜した剪断面が最も大きなズレがみられる。

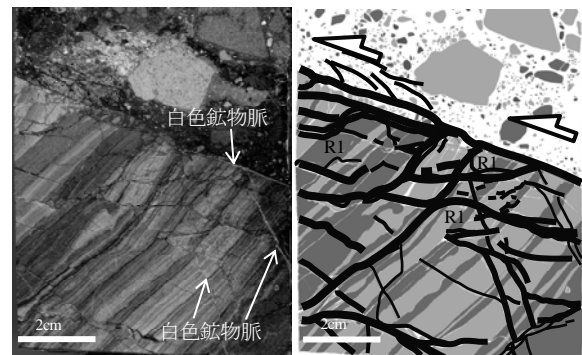


図-7 BV-91 のすべり面付近の観察結果

3. 1. 6 すべり面構造についての考察

図-6、7で観察された剪断構造を断層の発達過程³⁾として見ると、図-8に示すように、主すべり面が順傾斜のBV-90ではP面、逆傾斜のBV-91ではR1面が最も発達している。

断層発達過程においては、これらの剪断構造のうち横ずれ成分と多少の開口成分をもつR1面が最初に形成されるとされる³⁾。このため、BV-91の剪断構造は形成の比較的初期の段階であると推定され、破碎帯が薄いことと調和的である。一方、BV-90はP面が発達していることから破碎が進行していると

考えられ、粘土を伴う破碎帯が比較的厚いことと調和的である。

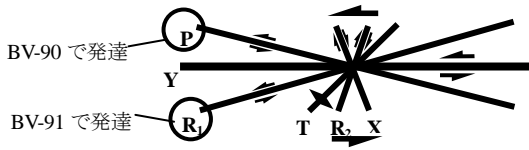


図-8 左横ずれ断層に伴う剪断構造の模式図

3. 2 コアの切断研磨片の X 線 CT 分析

3. 2. 1 はじめに

X線CTが地質系試料の内部構造を調査する手法として近年使用されつつある⁴⁻⁶⁾。地すべり分野においても、すべり面を含むボーリングコアを非破壊でその内部構造・立体構造を把握するための手法として応用できるものと期待される。本報告では、高品質なボーリングコアのX線CTによってすべり面や地すべり土塊の構造を把握するための適用性について検討を行った⁷⁾。

3. 2. 2 X線CTの概要

X線CT(Computed Tomography)は試料内部のX線吸収係数の三次元分布を可視化するものであり、X線CTスキャナには、主に医療用、産業用があり、産業用は大きな試料の撮影に適したミニフォーカス型と小さな試料の微細な構造の撮影に適したマイクロフォーカス型がある⁴⁾。

3. 2. 3 分析試料

試料A：活動中の地すべり地における径86mmのボーリングコアから、地すべり土塊と考えられる礫混じり土砂の層と基岩の最上部と考えられる破碎された堆積岩の境界部分を採取して試料とした。近隣の孔内傾斜計観測による想定すべり面深度及び本ボーリングコアの観察から、この境界部分がすべり面である可能性が高いと考えている。礫混じり土砂層や破碎された基岩は脆いことから、透明な樹脂によって表面を固化させ、断面を観察するためにカッターで地すべりの移動方向に沿って切断し、切断面も樹脂で固化させた。試料の大きさは幅7cm、奥行き3.5cm、高さ10cmである(図9)。

試料B：地すべり地における径86mmのボーリングコアのすべり面付近の礫混じり土砂層から、粘土の薄層を挟む亀裂を含む部分を採取して試料とした。

この亀裂はすべり面と判断できる確かな証拠がないため、すべり面であるかは断定できない。試料の大きさは幅7cm、奥行き3.5cm、高さ13cmである。試料の処理は試料Aと同様である。

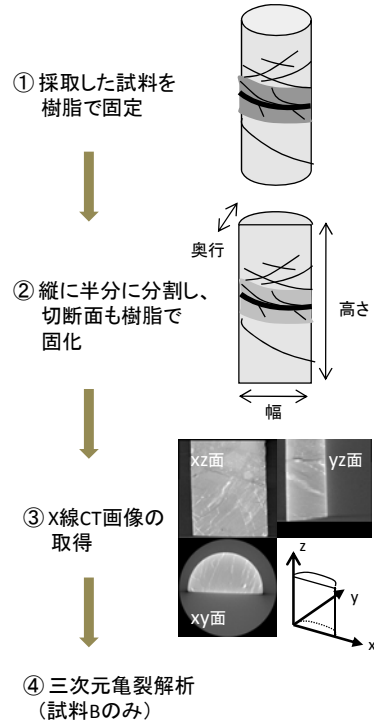


図-9 試料処理と分析の流れ

3. 2. 4 X線CT分析方法

島津製作所(株)製のマイクロフォーカスCTスキャナで試料A及びBを撮影し、X,Y,Z方向の白黒の連続二次元画像のデータセットとして整理した。このデータセットから、三次元のイメージとして構成することが可能である。更に、試料BについてはNVS社製の亀裂解析ソフト(NVS社製VGStudioMAX2.0, DefectAnalysis)を使って、上記で取得した画像データから亀裂の抽出解析を行った。

3. 2. 5 X線CTによる分析の適用性の評価

1) 亀裂の分析について

図-10は、X線CTによって得られた試料Aの断面画像である。今回の撮影条件では、1pixelは0.18mmである。暗い色は密度の低い領域、明るい色は密度が高い領域である。すべり面とみられる礫混じり土砂層と基岩のすべり面の亀裂だけでなく、基岩に内部に生じている亀裂まで鮮明に捉えることが出来ている。これらの亀裂から判断すると、連続

性が良くかつ密度差が大きければ 1pixel (0.18mm)程度までの亀裂を確認できることが分かった。

図-10 の xz 面画像を比較すると、すべり面及び基岩内部の亀裂の変化の様子を観察できる。5mm の観察断面の位置の違いで、すべり面が連続的であったり、分離した層を伴う不連続的な面になったりとミクロな構造が位置によって変化している様子が捉えられている。

また、基岩内部の亀裂の変化を追跡すると、すべり面に平行な亀裂も斜行する亀裂も、観察断面が異なると形状が変化していることから、あまり連続性が高くないことが見て取れる。また、図-10 の yz 面画像を比較することで、移動方向に直交する断面ですべり面の変化する様子を観察できる。連続的なすべり面であったり、分離した層を伴う不連続的なすべり面であったり、この方向でも複雑な形状であることがわかる。

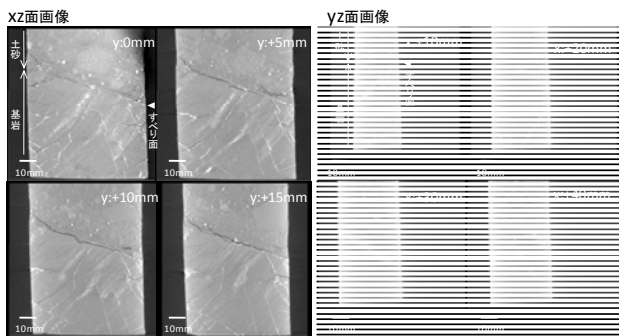


図-10 試料 A の X 線 CT 画像

2) 土塊に含まれる礫の分析について

図-10 で礫混じり土砂層に着目すると、最小で 2pixel (0.36mm)程度の礫までは存在が確認できる。しかし、礫の形状まで分析しようとする、形状にもよるが 5~10pixel (0.9~1.8mm)以上の大きさでないと、礫形状や長軸・短軸の方向まで判断することは難しい。

3) 亀裂の連続性の解析について

連続性の良い亀裂を持つ試料 B について、一連の亀裂を着色して抽出した結果を図-11、12 に示す。このような連続性の良い亀裂であれば、X 線 CT によって亀裂面の立体形状を非破壊で捉えることが可能である。亀裂面のうねりの様子や凹凸のある形状を明瞭に捉えることができています。

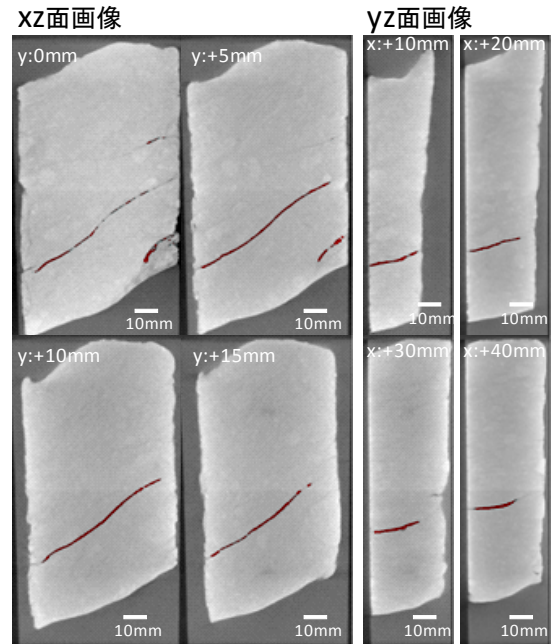


図-11 試料 B の X 線 CT 画像

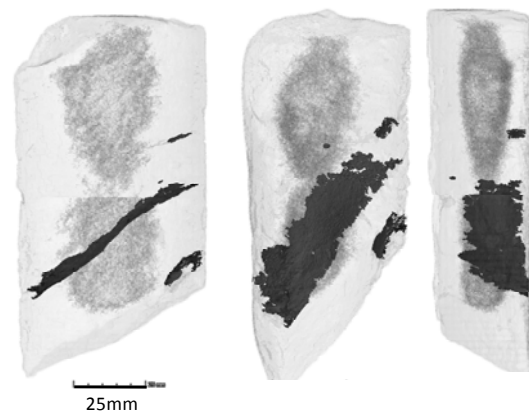


図-12 試料 B の立体画像 (回転画像)

3. 2. 6 まとめ

X 線 CT によってすべり面を含むボーリングコアを観察することによって、非破壊ですべり面等の詳細な内部構造を立体的に捉えることが可能であることが明らかになった。

4. すべり面の三次元構造と認定方法

4. 1 観察方法

観察対象とするボーリングコアは、中生代白亜紀の砂岩・泥岩・礫岩からなる手取層群を基盤とする石川県南部の甚之助谷地すべりの中間尾根ブロック末端部、三波川帯の結晶片岩を基盤とする群馬県の譲原地区および長野県の入谷地区の地すべりの小ブ

ロック頭部付近、新第三紀の泥岩・砂岩からなる島尻層群を基盤とする沖縄県南部の当間地区の地すべりの頭部拡大ブロックの頭部の計4か所から採取したものと、それぞれ1孔からすべり面周辺の標本作製し観察を行った。観察の結果は、多数の記載項目のうち、すべり面の特徴がよく現れていると考えられる地質区分、細粒分率、円磨度、縞状構造の4項目について、深さ方向への変化傾向を整理した。

地質区分：土砂状部の構成物や岩盤の破碎状況の違いによるゾーニングを行う。

細粒分率：図-13 に示す色指数図⁹⁾において、非着色部を粘土やシルトからなる細粒分とみなしてその比率の判定と深さ方向のゾーニングを行う。

円磨度：図-14 に示す円磨度印象図⁹⁾による、肉眼で判定可能な大きさの礫の円磨度の判定と深さ方向のゾーニングを行う。

縞状構造：堆積物または破碎により土砂化した区間において、礫の岩種・粒径・長軸の向き、色等で深さ方向にゾーニングした際に縞模様に見えるものを縞状構造とし、明瞭さについて記載する。

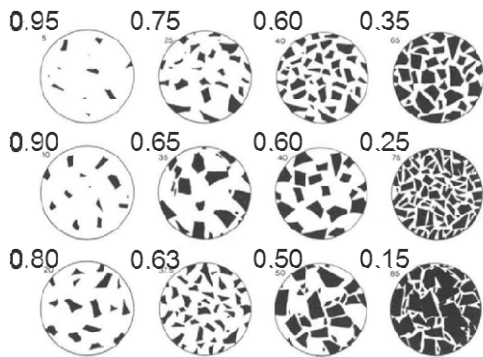


図-13 色指数図 (田中ほか(1966)に加筆)

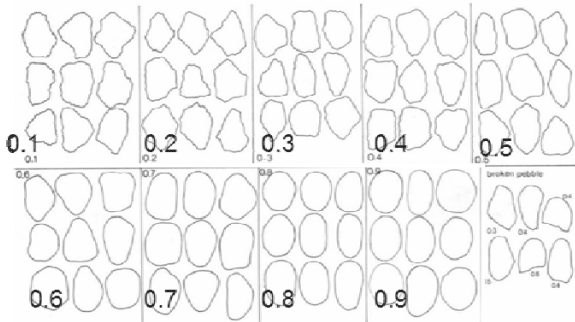


図-14 円磨度印象図 (Krumbein(1941)に加筆)

4. 2 観察方法

観察対象とした4箇所の地すべり地区うち甚之助谷地すべりの観察結果を図-15 に示す。その他3地区の観察結果については、紙面の都合上割愛し、まとめのみを4.2において紹介する。

甚之助谷地すべりでは、孔内傾斜計計測において標本作製区間のうち浅部から深部へ向かい変位量が大きくなり、深度31.0mから31.1mの区間がもっとも大きくすべり面をなしている。地質区分においてすべり面よりも浅い部分は土砂状をなす堆積物から構成され、すべり面直下の基盤は割れ目が発達しておりダメージゾーンを形成している。細粒分率と礫円磨度は、浅部で一部大きな値を示すが、それより深部はすべり面へ向かって上昇傾向を示す。縞状構造は、細粒分率と礫円磨度が高い部分が明瞭である。

研究対象とした4地区の地すべりの標本の観察結果を図-16 に示す。細粒分率と円磨度は、4地区いずれも浅部からすべり面へ向かって上昇する傾向がみられる。また、すべり面の位置の縞状構造は、4地区のうち当間地区を除く3地区で明瞭となっている。地質区分では、4地区いずれもすべり面直下の基盤に割れ目の密集や破碎帯(ダメージゾーン)が形成されている。

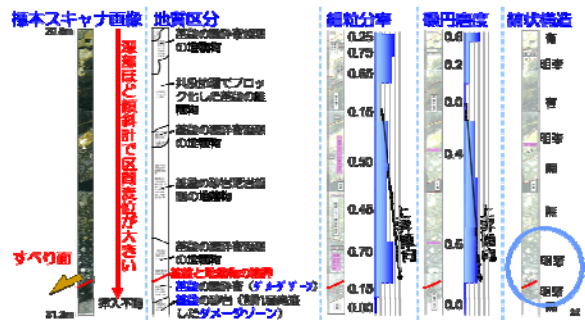


図-15 甚之助谷地すべりの研磨標本の観察結果

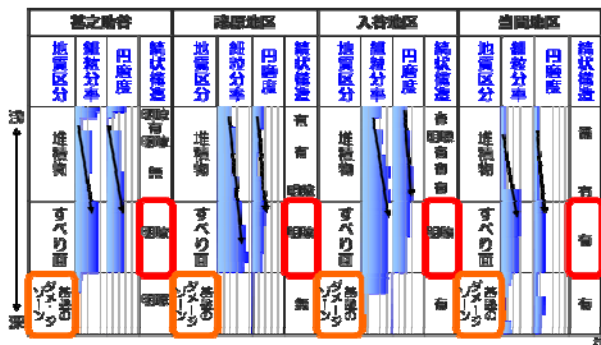


図-16 4地区の観察結果のまとめ

4.3 まとめ

4地区の地すべりのすべり面付近のボーリングコアの樹脂固定標本を用いた詳細な観察から、浅部からすべり面へ向かって細粒分率と含まれる礫の円磨度が上昇し、縞状構造が明瞭となることがわかった。また、すべり面直下の基盤にはダメージゾーンが存在することがわかった。これらの特徴を踏まえ、従前の地すべりのコア観察項目にこれらを加え総合判定することで、すべり面の認定精度の向上が見込まれるものと考えられる。

5. すべり面構造の分類と地すべり特性

5.1 はじめに

すべり面構造の分類と地すべり特性との関係を検討するため、入谷地区、甚之助谷地区、由比地区、芋川地区の地すべりについて、樹脂固定標本によってすべり面近傍の構造を観察し、それぞれの地すべり活動の特性との比較を行った。

5.2 すべり面近傍の観察結果

①入谷地区 BV22-3 孔 (図-17 左)

BV22-3 孔の主すべり面は、幅 3cm の厚い礫混じり粘土状の粘土化部と亀裂の発達した岩盤との境界と考えられる。境界の傾斜は、約 20° で連続性が良い。基盤には、粘土を伴うような破碎帯が幅約 2cm 程度分布する。また、葉理のズレが観察され、主すべり面に対して、右側及び左側へ傾斜する低角度の割れ目が発達する。移動体は、礫の配列から主すべり面よりやや緩い角度に傾斜した剪断面として判断される、縞状構造の発達した幅 3cm の粘土状部と、これより上位になるにつれて、細粒分が多く目視にて縞状構造が不明瞭なものからなっている。

②甚之助谷地区 BV-90 孔 (図-17 右)

BV-90 孔では、主すべり面は礫混じり粘土状の移動体と基盤の境界と考えられ、傾斜約 25° で連続性が良い。基盤の細粒砂岩には、主すべり面とほぼ平行な厚さ約 8cm の粘土を伴った破碎帯が形成されている。この破碎帯には主すべり面と平行または低角度に斜交する剪断面がみられ、このうちすべり面と斜行する右傾斜の剪断面が最もよく発達している。

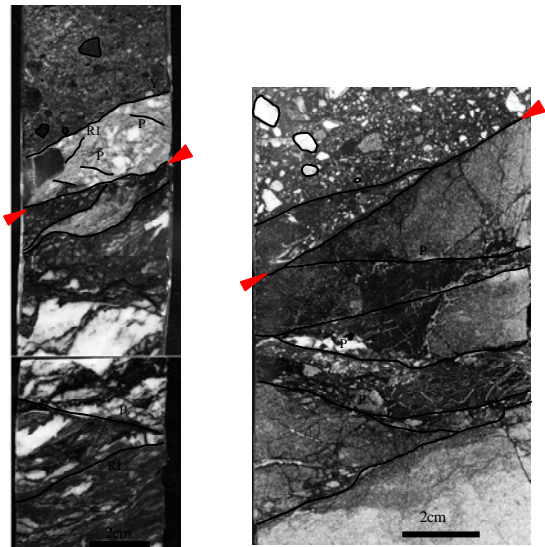


図-17 BV22-3 (左) 及び BV-90 (右) のすべり面付近の研磨標本 (▲で挟まれる線が主すべり面)

③由比地区 SC-13 孔 (図-18 左)

SC-13 孔の主すべり面は、礫混じり土砂状の移動体と割れ目が認められる岩盤との境界がすべり面と考えられ、傾斜は約 30° で連続性が良い。基盤の砂泥互層には、礫状となった破碎部が幅約 2cm 形成される。この破碎部には主すべり面に対して、右側に傾斜した剪断面が最も発達している。礫混じり土砂状の移動体は、礫の配列から主すべり面に対して右側に傾斜した剪断面が発達する。なお、基盤の葉理は傾斜 10° 程度でありすべり面はこれに斜交する。

④芋川地区 BV-3 孔 (図-18 中)

BV-3 孔の主すべり面は、土砂状の移動体と基盤を境界とすると考えられ、傾斜は約 5° である。基盤の泥岩には、わずかに高角度割れ目が認められる程度であり破碎部は分布しない。移動体は、数 mm～数 cm 程度の泥岩礫主体であり、ほとんど面構造が認められない。すべり面直上に直立する縦 4cm、横 2cm の長方形の礫は、クラックが認められ、破碎を受けており、周辺は、細片によって充填されている。

⑤芋川地区 OK-2 孔 (図-18 右)

OK-2 孔の主すべり面は、土砂状の移動体と基盤の境界と考えられ、傾斜は約 20° で連続性がよい。基盤の泥岩は、破碎はほとんど認められず、主すべり面より右側に傾斜した割れ目と岩片で充填された高角度の開口割れ目がわずかに認められる。移動体は数 cm 程度の礫も多くみられ、一部には主すべり面と平行あるいはやや右側に傾斜した割れ目が不明瞭ながら認められる。

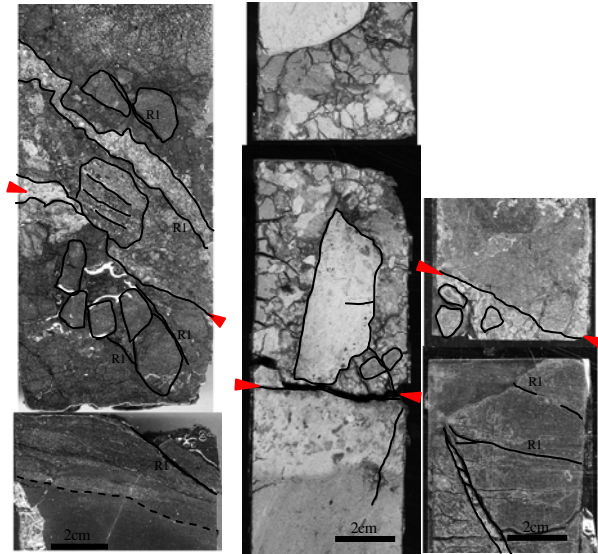


図-18 SC-13 (左)、BV-3 (中)、OK-2 (右) のすべり面付近の研磨標本 (▲で挟まれる線が主すべり面)

5. 4 すべり面構造の分類

①～⑤の研磨標本の観察結果を粘土化部の存在の有無、縞状構造の有無、移動体の破碎度に着目して分類を試みた。

入谷地区 BV22-3 では、すべり面には、幅 3cm の粘土化部及び細粒分が引き伸ばされてできた縞状構造が明瞭に認められる。さらに上位にある移動体は、細粒分が多く縞状構造は不明瞭となる。また、甚之助谷地区 BV-90 においても同様の特徴を有しており、すべり面は礫混じり粘土状で、細粒分及び礫の配列などから縞状構造が認められる。また、さらに上位の移動体は、細粒分が多く縞状構造は不明瞭となる。

由比地区 SC-13 では、すべり面は細片化が進むが土砂状を呈する。礫の配列から縞状構造が認められ、移動体は礫主体でこれらの間を埋める細片で構成される。芋川地区 BV-3 及び OK-2 おいても、すべり面には殆ど粘土化部は認められず、土砂状を呈する。ただし、移動体には、礫の配列等の縞状構造は認められない点が異なる。

これらを整理すると表-1 の通りとなる。

表.1 すべり面構造の比較

項目 \ 孔番	入谷地区 甚之助谷地区	由比 地区	芋川 地区
粘土化部	有	←	→ 無
縞状構造の有無	明瞭	←	→ 不明瞭
移動土塊の破碎状況	破碎が進む	←	→ 破碎が進んでいない
礫のサイズ	小	←	→ 大
細粒分量比	多い	←	→ 少ない

5. 4 すべり面構造の分類と地すべり特性

各地区における地すべり活動履歴の概要は、以下の通りである。

入谷地区：地すべり活動の記録は、古く元禄 11 年 (1698 年) までさかのぼり、最近でも災害が発生している。また、昭和 36 年、昭和 57 年、昭和 58 年、平成 4 年に地すべり災害が発生し、間歇的、継続的に活動してきた地すべりである。

甚之助谷地区：地すべり活動は、年間 5～15cm 程度の活動が継続的に認められている。

由比地区：由比地区では、過去に突発的な地すべり等の災害が発生している。

芋川地区：平成 16 年新潟県中越地震によって地すべりを生じた。現在のところ継続的な地すべり性の変位は確認されていない。

すべり面の構造と地すべり活動との比較を表-2 にまとめた。過去からの活動が継続的に認められる入谷地区や甚之助谷地区のような地すべりのすべり面は、縞状構造が明瞭に認められ、細粒分が多いことなどから破碎が進んでいることが推定される。一方、地震などの突発的な活動や一時的な地すべり活動では、縞状構造は形成されず、破碎の進行はほとんど認められないと推定された。これらのことから、すべり面構造の分類と地すべり特性について、表 2 にまとめたような関係性が示唆される。

表.2 すべり面構造と地すべり活動の比較

項目 \ 孔番	入谷地区 甚之助谷地区	由比 地区	芋川 地区
粘土化部	有	←	→ 無
縞状構造の有無	明瞭	←	→ 不明瞭
移動土塊の破碎状況	破碎が進む	←	→ 破碎が進んでいない
地すべり活動	間欠的, 継続的	←	→ 突発的, 一時的

6. まとめ

本研究では、すべり面の3次元構造や材料特性を基にした地すべり分類方法、すべり面の3次元構造と地すべり特性の関係を抽出することを目的として検討を行った。その結果、以下を成果として得た。

- ①樹脂固定法によるすべり面標本の微細構造観察手法の提案
- ②X線CTによってすべり面の内部構造を立体的に把握する手法の適用性の検証
- ③すべり面の模式的な三次元構造を明らかにし、それに基づいた認定手法の提案
- ④すべり面構造の分類と地すべり活動特性との関係性

今後は、温泉地すべりを含め多くの地質の地すべりについて同様の手法で観察・分析を行い、すべり面の特徴をより詳細に整理し、さらなるすべり面の認定精度向上が望まれる。

参考文献

- 1) 本間宏樹・杉本宏之・武士俊也・宇都忠和：「すべり面を含むボーリングコアの検鏡試片による分析について」、砂防学会研究発表会概要集、pp.446-447、2011
- 2) 本間宏樹・杉本宏之・宇都忠和・武士俊也・二俣秀・藤田重敬・安達忠浩：「ボーリングコアの研磨片の観察によるすべり面の基盤の剪断構造について」、第50回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.100-101、2011
- 3) 狩野謙一・村田明広：「構造地質学」、298p、1998
- 4) 土山明・上杉健太郎・中野司：「高分解能X線CT法による岩石・鉱物の3次元構造の研究—太陽系初期物質とコンドリュール—」、地学雑誌、109、pp.845-858、2000
- 5) 中島善人：「X線CTで岩石中の空隙をイメージする」、地学雑誌、114、pp.1032-1043、2005
- 6) 西澤修・中野司・野呂春文・稲崎富士：「X線CTによる地球科学試料の内部構造分析技術の最近の進歩について」、地質調査所月報、46、pp.565-571、1995
- 7) 杉本宏之・神山嬢子・千田容嗣・本間宏樹・宇都忠和・武士俊也：「すべり面を含むボーリングコアのX線CTによる分析について」、砂防学会研究発表会概要集、pp.448-449、2011
- 8) 田中憲一・片田正人：「カラーインデックス」、地調月報、17、pp.300、1966
- 9) Krumbein, W. C. : "Measurement and geological significance

FEATURE ANALYSIS OF LANDSLIDE MASS AND THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE OF SLIP SURFACE

Budget : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2010-2011

Research Team : Erosion and Sediment Control
Research Group (landslide)

Author : TAKESHI Toshiya
SUGIMOTO Hiroyuki

Abstract : By understanding the three-dimensional structure of the landslide slip surface and clarify the relationship between the characteristics of the landslide, the expand of research methods and countermeasures of landslides can be expected. In this study, we intended to study how the classification of landslides based on the three-dimensional structure of the slip surface. In addition, we also intended to clarify the relationship between the characteristic three-dimensional structure of the slip surface and landslides. Were carried out below, 1) Method for observation of fine structure of slip surface sample by fixed resin, 2) Verification of the applicability of the technique in three dimensions to grasp the internal structure of the slip surface by X-ray CT, 3) Method of certification based on the three-dimensional structure of the slip surface, 4) Investigation of relationship slip surface structure and landslide activity.

Key words : Landslide, Slip surface, Core boring, Method of fixed resin