

樹脂固定標本によるすべり面の微細構造分析手法

武士俊也* 武田伸二** 村田誠一*** 藤本泰史**** 本間宏樹***** 水野直弥*****

1. はじめに

地すべり対策においては、すべり面位置の特定が重要であり、ボーリング調査や機器計測によって調査されている。近年、ボーリング技術の向上により、これまで採取が困難であったすべり面や地すべり土塊からも高品質なコアが採取可能になってきた。そのため、破碎・変形構造が生じているすべり面を詳細に観察・分析することで、すべり面の特性を明らかにし、すべり面の調査技術や特定精度を高めることが重要である。

すべり面の微細構造を観察するためには、脆いすべり面付近のコアを樹脂等で固定した上で切断・研磨した標本（樹脂固定標本¹⁾）を作製し、採取時の乱れが少ないコア内部を観察することが効果的である。地すべり滑動によってすべり面付近に破碎・変形構造が生じていれば、この方法で明瞭に観察できる。土木研究所地すべりチームでは、平成22年から平成23年にかけてハイテック株式会社、株式会社高知地質調査、株式会社地圏総合コンサルタント、応用地質株式会社、株式会社建設技術研究所との共同研究「すべり層のサンプリングと認定方法に関する研究」を実施し、樹脂固定標本を用いたコアの微細構造分析手法とすべり面の認定手法について検討を行った。その結果として、樹脂固定標本を用いた微細構造分析のための標準的な観察項目を提案した。また、すべり面認定の確度を向上させるために、従来から行われてきたコアによるすべり面の認定に加えて、すべり面の特徴的な微細構造もあわせて認定根拠とすることも提案した。なお、詳細については共同研究報告書²⁾を参照して頂きたい。

2. 研究方法

2.1 研究方法の概要

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。すべり面とその近傍（一連の攪乱・変形を受ける区間）の構造を詳細に観察し、特徴を明らかにすることは、すべり面の認定根拠の1つになり得ると考えられる。本研究では、すべり面が明らかな6地区の地すべり（図-1）のコアを用いて、すべり面の樹脂固定標本を作製し、すべり面の微細構造を観察し、その特徴

を整理した。本稿では、怒田・八畝地区（三津子野地区）の調査結果を例として示した（3章）。6地区の観察結果から、すべり面とその近傍で確認される特徴について整理した（4章）。それを基に、樹脂固定標本を用いた微細構造観察に基づくすべり面の認定の方法について検討した（5章）。



図-1 対象地すべり箇所

2.2 樹脂固定標本の作製

樹脂固定標本の作製のためには、乱さずに連続したコアが必要である。すべり面付近のコアは、礫混じり土砂や軟弱な粘土、破碎された岩であるなど、そのままの状態では、切断して観察のための標本を作製することは難しい。そこで、エポキシ樹脂等を用いてコアを樹脂固定し、その上で地すべりの移動方向に平行な鉛直面で切断し、切断面を研磨して樹脂固定標本を作製した。作製手順を図-2に示す。

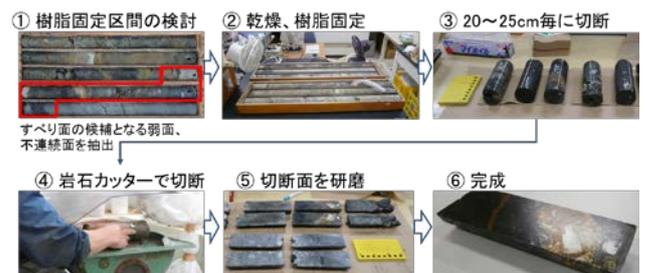


図-2 樹脂固定標本の作製手順

3. 樹脂固定標本による微細構造分析の例

3.1 怒田・八畝地区(三津子野地区)地すべりの概要

三津子野地区は、四国山地中央部の怒田・八畝地すべりの北東部に位置する地すべりブロックで、そのうちのM2ブロックは、三波川帯に属する最大幅50m、すべり深度5m程度の小規模な地すべりブロックであるが、降雨による変位速度の増大がみられるなど活発な運動を示す地すべりである。

本地すべりのM2ブロック中腹部に設置された観測孔

(MR-7) の高品質ボーリング試料のうち、孔内傾斜計で累積変位が認められる深度5~6m区間のコアについて樹脂固定標本を作製し、詳細な観察によって、すべり面の可能性のある位置を認定した。

MR-7孔は、深度5.75m以浅は、褐色を帯びる崩積土からなり、下位の風化泥質片岩との境界部には軟質な礫質粘性土が挟在している。深度5.75m以深に分布する泥質片岩は、亀裂に沿ってやや風化変質が見られるものの粘土化した箇所は認められない。

3.2 樹脂固定標本の観察結果

基盤岩（おもに泥質片岩）より上位の土砂部（深度5.00m~5.75m）について、色の違いや礫の岩種、礫含有率、礫径粒度、礫円磨度、礫配列や縞状の構造の有無、破碎・変形構造などの特徴に注目して、層相や構造が異なるゾーン（ゾーンI a~I c、ゾーンII a~II f）を区分した（図-2）。

ゾーンI（深度5.00~5.30m）は、礫含有率が高く暗褐色を呈するゾーンI aと黄褐色の色調を示すゾーンI bおよび粘土化したゾーンI cに区分される。いずれも含まれる礫は珪質片岩ないし石英脈を起源とする角礫が卓越する。このう

ち、深度5.27~5.30m（ゾーンI c）は細粒化と岩片の長軸が定向配列を示す縞状の構造が顕著に認められるが、下位のゾーンII（深度5.30~5.75m）ではその構造は、配列方向が不明瞭となる。また、下位のゾーンIIとの境界は30°を示し、基盤岩と土砂部の境界面より高角で姿勢が異なる。

ゾーンII（深度5.30~5.75m）は、暗緑~オリーブ灰色を示すほぼ緑色岩の礫のみからなるゾーンで、このうち深度5.35~5.45m（ゾーンII b）、深度5.55~5.60m（ゾーンII d）および基盤岩直上の深度5.70~5.75m（ゾーンII f）には円磨された緑色岩礫を礫含有率が65-75%と多量に含み、岩片長軸方向の定向配列や基質に縞状の構造が観察される。特に深度5.55~5.60m（ゾーンII d）と深度5.70~5.75m（ゾーンII f）の縞状の構造は顕著に認められる。深度5.30~5.35m（ゾーンII a）、深度5.45~5.55m（ゾーンII c）および深度5.60~5.70m（ゾーンII e）区間は岩片の定向配列等が認められず、全体として基盤岩より上位の土砂部は、岩片の配列等が認められない部分と縞状の構造部が互層状を示す。

深度5.75mの土砂部と基盤岩との境界はシャープで、約20°の傾斜を示す。基盤岩は砂質片岩を挟む泥質片岩からな

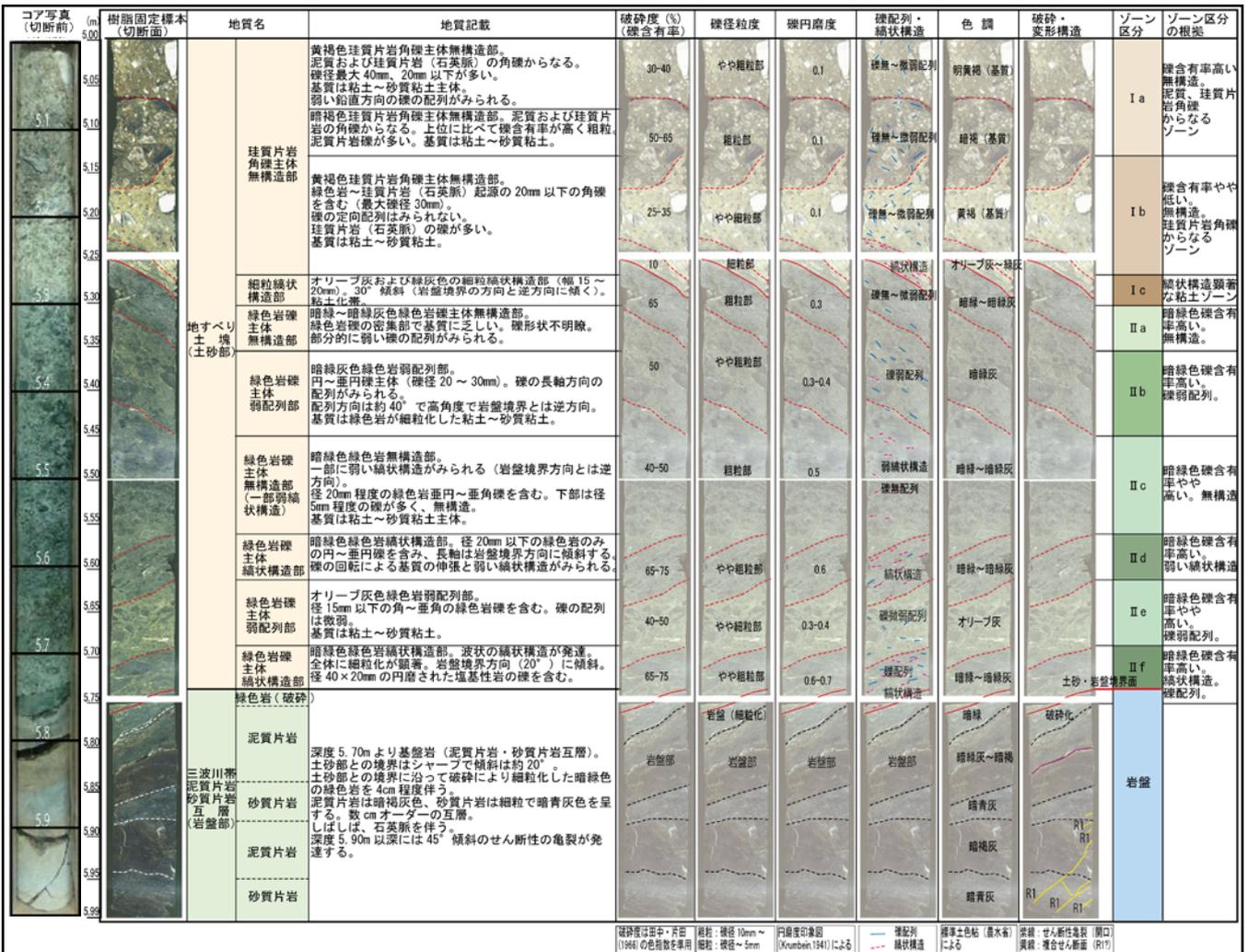


図-3 怒田・八畝地区（三津子野地区）の樹脂固定標本観察柱状図

るが、境界部直下には緑色岩も薄く挟まれる。深度5.75～6.00mの泥質片岩中には、やや高角で開口したクラックが認められる。

4. すべり面の特徴とボーリングの留意点

4.1 すべり面近傍で確認される特徴について

本共同研究において6地区（甚之助谷，由比，入谷，譲原，怒田・八畝，当間）のすべり面付近の微細構造の特徴の分析を行った。その結果、以下のような特徴がみられた。

- ・甚之助谷地区では、すべり面直下の基盤岩とされる岩盤部に、地すべり滑動により破砕を受けたダメージゾーンが認められた。岩盤部の破砕の亀裂には複合面構造が見られた。また、すべり面直上のマトリクスでは、細粒部と粗粒部が交互に分布することで縞状構造が形成されていることが観察された。
- ・由比地区では、φ数mm～数cmの角礫の粒径や岩種（泥岩、砂岩）、風化度の違いが、幅数mm～数cmでバンドをなす縞状構造が観察された。
- ・入谷地区、譲原地区、怒田・八畝地区では、すべり面の傾斜と調和的な礫の配列や細粒分の配列などが観察され、すべり面に向かって下方で細粒化、円磨度が増すなどの傾向が観察された。
- ・当間地区（小ブロックの浅いすべり）では、すべり面周辺で破砕され、細粒化している様子が観察された。

樹脂固定面標本を用いた微細構造観察によって、すべり面とその近傍で確認された特徴的な微細構造を以下に整理する。これらの微細構造は、すべり面の認定の際に参考になるものと考えられる。

表-1 すべり面（近傍）で確認された特徴的な微細構造

地区名	すべり面（近傍）で確認された特徴的な微細構造
怒田・八畝地区 入谷地区 譲原地区	・礫の配列（長軸の定向配列） ・細粒分比率の上昇 ・礫円磨度の上昇
甚之助谷地区	・基盤におけるダメージゾーン ・複合面構造 ・縞状構造
由比地区	・縞状構造
当間地区	・破砕による細粒化

4.2 地すべり地におけるボーリングの留意点

本研究で行ったような地すべり土塊の詳細な観察のためには、極力乱さずに連続したコアを採取することが必要である。本研究においても、一部の地区において高品質なボーリングの掘削を行ったことから、その際の工夫等を地すべり地におけるボーリングの留意点として以下にまとめた。

すべり面付近は粘土や礫混じり土砂等、硬い部分と柔らかい部分が混在することが多く、特に採取が難しいため、給圧、回転数、掘削流体の状況等に細心の注意を払うことが必要である。品質の良いコアを採取する方法として、掘削流体を工夫する手法、内管を回転させない方法などの工夫がなされている。また、重要な箇所を乱さないようにするため、オールコア採取とし、貫入試験は避けることが必要である。孔径は大きいほど観察面が大きくなるため、孔径はφ86mm等の大きいほうが望ましい。

掘進中のコアチューブの上げ下げ（切り替え）、コアの落下に伴う再採取、地山の空隙部、コアチューブから取り出すときに割れた部分、コアをコア箱に収める際に発生した割れ目の位置などの人為的なコアの乱れに関する情報は、コア観察者にとって参考となるため、これらの情報をコア箱に記録しておくなどの工夫が望ましい。特に、すべり面等の微細構造を分析するには重要である。

5. 樹脂固定標本による微細構造分析手法とすべり面の認定

コアによってすべり面を認定するためには、まず、その候補となる弱面、不連続面を抽出する必要がある。このとき、人為的なコアの乱れに留意する必要がある。不動域と移動域のコア性状の変化を踏まえ、候補となる弱面・不連続面を肉眼観察により抽出する。なお、すべり面の可能性がある弱面を抽出するためには、コア性状の観察のみではなく、周辺の地すべりの地形、地質条件、既往の調査・検討資料を踏まえた総合的な評価が必要である。なお、コアによるすべり面の認定については文献³⁾などを参考にされたい。

すべり面と考えられる（可能性が高い）弱面、不連続面の樹脂固定標本作製の際には、その部分のみを作製するのではなく、その上下の部分も含めて作製し、微細構造の変化を観察することが望ましい。樹脂固定標本の観察・記載を行う際の標準的な観察項目としては、以下に示す項目が考えられ、その結果を図-3のような観察柱状図としてまとめる。

- (1)地質区分：岩種、層理、片理、変形構造、堆積構造、風化・変質状況、礫径粒度などに着目し、ゾーン区分を行う。
- (2)風化区分：基盤では岩盤の風化・変質程度の記載、移動体では変質・変色の記載を行う。
- (3)細粒率：粒度組成の評価指標であり、破砕による細粒化によって変化すると考えられる。
- (4)礫径粒度：粗粒、細粒、微細粒等の定性的な記載を、礫種等の記載と併せて行う。
- (5)礫円磨度：累積の変位量が大きいほど、すべり面近傍の

礫の円磨度が高くなることが考えられる。

- (6)礫配列：すべり面付近では、含まれる礫が規則的な配列を示す場合がある。礫長軸の配列状態や方向などに規則性が認められた場合に記載する。
- (7)縞状構造：すべり面付近では、せん断による破碎・変形によって鉱物や礫の定向配列、粘性土の葉状構造などが形成され、縞状構造となっていることが考えられる。地すべり以外の原因により生じた破碎・変形構造が分布している可能性のある箇所では、これらの破碎・変形構造とは区別する必要がある。堆積物または破碎により土砂化した部分において、礫の岩種・粒径・長軸の向き、色の違い等でゾーニングした際に、縞状の模様に見えるものを縞状構造とし、その明瞭さも併せて評価する。
- (8)破碎・変形構造：基盤におけるダメージゾーン、複合面構造、引張亀裂、微褶曲構造、角礫化、膨縮などの構造が認められた場合に記録する。

次に、その観察柱状図を用いて総合的にすべり面の認定を行う。樹脂固定標本を用いたすべり面を認定する際の留意点としては、現段階では以下の項目が考えられる(表-2)。

表-2 樹脂固定標本によるすべり面認定の留意点

- | |
|--------------------|
| ① 細粒分比率の上昇 |
| ② 礫円磨度の上昇 |
| ③ 破碎による細粒化 |
| ④ 礫の配列(長軸の定向配列) |
| ⑤ 縞状構造の存在 |
| ⑥ 基盤におけるダメージゾーンの存在 |
| ⑦ 複合面構造 |

このような微細構造分析によるすべり面の認定は、従来のすべり面の認定(コア等の地質調査による方法と計測機器による方法)と併せて、すべり面認定の確度を向上させるために有効であると考えられる。

6. おわりに

本稿では樹脂固定標本を用いたコアの微細構造分析手法とすべり面の認定手法について紹介したが、樹脂固定標本には他にも様々な活用方法が考えられる。樹脂固定標本とすることで、従来は保存することが難しかったすべり面を半永久的に保存することができる。そのため、数年前に掘削したボーリングのすべり面標本と比較しながらすべり面を認定することもでき、すべり面認定の確度向上に寄与することが期待される。また、すべり面の存在やせん断の証拠などが明瞭な標本は、検討委員会や住民説明会等における説明のためのツールとしても活用できる。

今後も各地の地すべりですべり面の樹脂固定標本の作製と分析を積み重ね、すべり面とその近傍の微細構造についての知見を蓄積して、地すべりについての理解を深め、それをすべり面の認定手法の高度化等に反映させていくことが重要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、地方整備局等地すべり対策事業担当事務所にはコア試料や調査解析資料のご提供などの協力を頂いた。末筆ながら関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (独) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム：樹脂固定法によるすべり面標本の作製マニュアル(案)、土木研究所資料、第4227号、pp.1~18、2012.
- 2) (独) 土木研究所、ハイテック株式会社、株式会社高知地質調査、株式会社地圏総合コンサルタント、応用地質株式会社、株式会社建設技術研究所：すべり層のサンプリングと認定方法に関する研究、共同研究報告書、第449号、2012.
- 3) 国土交通省砂防部、独立行政法人土木研究所：「地すべり防止技術指針及び同解説 平成20年4月」、2008

武士俊也*



国土交通省大臣官房付(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員)
Toshiya TAKESHI

武田伸二**



ハイテック株式会社
Shinji TAKEDA

村田誠一***



株式会社高知地質調査
Seiichi MURATA

藤本泰史****



株式会社地圏総合コンサルタント
Yasushi FUJIMOTO

本間宏樹*****



応用地質株式会社
Hiroki HONMA

水野直弥*****



株式会社建設技術研究所
Naoya MIZUNO