



京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute

Kyoto University

著しい変形を受けた地質地域の斜面災害評価に関する 研究集会

Meeting on the hazard analysis for strong deformed
geological area

令和5年3月

March, 2023

研究代表者 山崎 新太郎

Coordinator Shintaro YAMASAKI

特定 研究集会（ 課題番号 ： 2022C-04 ）

京都大学防災研究所長 殿

[申請者（研究代表者）]

氏 名 ：山崎 新太郎

職 名 ：准教授

所属機関名：京都大学防災研究所

下記のとおり、研究集会の実施結果について報告します。

記

集会名：著しい変形を受けた地質地域の斜面災害評価に関する研究集会

主催者名：京都大学防災研究所・公益社団法人日本地すべり学会・すべり面研究委員会

研究代表者：山崎 新太郎

所属機関名：京都大学防災研究所

所内担当者名（一般研究集会のみ）：

開催日：令和 4 年 10 月 28, 29 日

開催場所：京都大学防災研究所附属徳島地すべり観測所

参加者数：31名（所外 29 名、所内 2 名） **※別紙参加者名簿を添付してください。**

研究及び教育への波及効果について

深層崩壊を発生させる地質条件が近年明らかになってきているが、その条件として最も注意すべきなのは地質体の著しい変形である。今回の集会では災害現場で議論し、さらに集会で、事例、分析手法に関する総合的な議論を行った。それによって研究の方向性を相互に確認した。また学生も多く参加し、現地観察を通じて現場で思考する能力を研鑽できた。

研究集会報告

(1) 目的

付加体地域など多様性が大きく予測困難な不連続面構造を多数有する地質においては、斜面災害の発生形態やすべり面は様々であり、予測・抑止・抑制にはそれを十分に理解する必要がある。本研究集会では付加体地域の災害地を見学すると共に各種専門家に事例や研究方法を紹介してもらい意見交換を行う。本研究集会は合同巡検と研究集会からなり、1日目は徳島県から高知県を横断して合同巡検を行う。2日目は京都大学防災研究所徳島地すべりにおいて研究集会を行う。

(2) 成果のまとめ

地質学、地形学、地球物理学、砂防学などを専門とし、斜面災害に取り組む研究者が全国から集結して相互に意見交換を行うことができた。また、今回は四国で実施したために、徳島地すべり観測所を含む四国内4大学の斜面災害に関係する研究室およびその所属学生がほぼすべて集合し、フィールドを合同で検討するという貴重な機会となった。これによって研究の方向性を相互に確認し、また教育効果が高いフィールドワークを今後も実

施していくことを確認した。

(3) プログラム

・ 10月28日（金）

10:00 徳島地すべり観測所出発 徳島県三好市西祖谷山村有瀬・高知県大豊町豊永, 岩原 見学
18:30 帰着

・ 10月29日（土）

9:00~9:05 趣旨説明
9:05~9:20 山崎新太郎（京都大学防災研究所）
「著しい変形を受けた地質地域の斜面危険性とその評価」
9:20~9:35 笹原克夫（高知大学自然科学系理工学部門）
「高知県大豊町立川川流域において地すべり地形を示す斜面の崩壊の周期性」
9:35~9:50 長谷川陽一（国土防災技術株式会社）
「明瞭なすべり面が確認されない礫混じりの地すべり粘土における現場残留強度の計測方法について」
9:50~10:05 西山賢一（徳島大学社会産業理工学研究部）
「2016年熊本地震で地すべりが発生した阿蘇カルデラ・高野尾羽根火山北斜面における変形構造」
10:05~10:20 野々村敦子（香川大学創造工学部）
「空中電磁探査データを用いた地震時斜面崩壊危険箇所抽出手法の検討」
10:30~10:45 木村誇（愛媛大学農学部）
「放棄地を含む造成農地の分布把握と崩壊危険性評価」
10:45~11:00 荒井紀之（京都大学防災研究所）
「どのような地質・地形条件で深層崩壊は発生しているのか？ —紀伊山地四万十付加体の事例—」
11:00~11:15 柴崎達也（国土防災技術株式会社）
「ベトナム中部の断層に近接した斜面変動場での露頭観察事例」
11:15~11:30 古木宏和（日本工営株式会社）
「斜面に関係する研究内容」
11:30~11:45 植木岳雪（帝京科学大学教育人間科学部）
「高知県南東部, 加奈木崩れの初生的発生時期」
11:45~12:00 藤内智士（高知大学自然科学系理工学部門）
「四国白亜紀四万十付加体牟岐メランジュの基質頁岩およびユニット境界断層のイライト K-Ar 年代」
12:00~12:20 総合討論

(4) 研究成果の公表

本研究集会の成果をまとめた論文集の発行を2023年11月に予定している。

著しい変形を受けた地質地域の斜面災害評価に関する研究集会

計 画 書

目的および概要：

付加体地域など多様性が大きく予測困難な不連続面構造を多数有する地質においては、斜面災害の発生形態やすべり面は様々であり、予測・抑止・抑制にはそれを十分に理解する必要がある。本研究集会では付加体地域の災害地を見学すると共に各種専門家に事例や研究方法を紹介してもらい意見交換を行う。本研究集会は合同巡検と研究集会からなり、1日目は徳島県から高知県を横断して合同巡検を行う。2日目は京都大学防災研究所徳島地すべりにおいて研究集会を行う。

主 催：京都大学防災研究所（特定研究集会，2022C-04）
公益社団法人日本地すべり学会・すべり面研究委員会

現地検討会場所：徳島県三好市西祖谷山村有瀬・高知県大豊町豊永，岩原

研 究 集 会：京都大学防災研究所・斜面災害研究センター附属徳島地すべり観測所

集 会 形 式：現地検討会1日，現地研究集会（オンライン併用）

詳細プログラム（文中敬称略）」：

10月28日（金）

- 10：00 徳島地すべり観測所 出発（山崎，荒井，中村，木村匠，野々村（学生2），森長）
- 10：20 JR阿波池田駅（特急停車駅）出発（梅村，柴崎，長谷川，西山，植木）
- 10：30 ビジネスホテル阿波池田 出発（笹原（学生4）），藤内（学生2），古木，木村誇（学生1）
- 11：00 大歩危 ローソン（昼食購入，トイレ休憩，永野合流）
- 11：15 高知県大豊町岩原（泥質片岩露頭観察・崩壊地遠望）
- 12：00 豊永（崩壊地遠望）
- 13：00 美桜の里（大歩危峡谷・地すべり群遠望，昼食（ゲストハウス晴れる家））
- 14：10 岩原陰の丘展望所（徒歩見学開始）
- 15：40 有瀬上，地すべり頭部（簡易トイレ設置）

- 16:10 有瀬頂上（テフラ露頭観察）
- 17:00 道の駅大歩危（休憩）
- 17:50 ビジネスホテル阿波池田（宿泊者はチェックイン）
- 18:20 徳島地すべり観測所 夜間集会・軽食（飲酒無し）
- 20:00 各自ホテルへ移動（阿波池田駅へは箸蔵駅発20:23が利用可能）

10月29日（土）

- 8:30 ビジネスホテル阿波池田 出発（レンタカー、貸し切りバス1台出発）
- 9:00 研究集会開催
- 12:20 解散 希望者は昼食会（さぬきうどん、部屋を貸し切っています）

移動・宿泊・休憩・食事・持ち物に関して：

- 1) 1日目のバスは徳島地すべり観測所、JR 阿波池田駅、ビジネスホテル阿波池田の各所に立ち寄って参加者の方をお迎えします。JR 阿波池田駅では10:15に徳島方面より到着予定の特急剣山、10:20に岡山方面より到着予定の特急南風を待って出発します。阿波池田駅にはトイレ・コンビニがあります。ビジネスホテル阿波池田集合の方はそこに車を駐車させて下さい。既にホテルには複数台朝から翌日まで駐車することを伝えてあります。
- 2) 1日目の昼食はゲストハウスの部屋を無償で借りていますが、昼食は用意しておりません。昼食は持参されるか、途中でローソンに立ち寄りますので、そこで入手して下さい。当方ではお茶も用意します。
- 3) 最長1時間程度の徒歩での見学、地すべり地内の見学を予定しています。登山靴や運動靴、野外活動ができる服装とリュックサック、ヘルメットをご用意下さい。なお、学生さんのヘルメットは当方で準備します。
- 4) 体調が優れない場合やトイレが必要な場合、観測所職員が公用車でトイレのある場所まで運送します。またテント型簡易トイレも適宜設置します。
- 5) 夜間集会は換気の良い状態に部屋をし、飲酒なしで行う予定ですが、希望者のみの参加とさせて頂けますと幸いです。1日目の夜間集会の軽食費用として一般1000円、学生500円を集めます（サンドイッチ、おにぎり、お茶、ソフトドリンクを用意します）。これに参加するかどうかは、1日目の昼食時までに希望をお知らせ下さい。
- 6) 29日の発表会で利用するPCはご自分の（HDMI端子のみ利用可能）を利用するか、会場のWindows PC（マイクロソフト PowerPoint 2016をインストール済み）を利用できます。会場のPCを利用される場合は、28日の夜間集会時か、29日の開始前にファイルを移動することができます（デスクトップ上に置いて下さい）。終了後はファイルを確実に消去します。

- 7) 学生の皆様は本観測所での宿泊（無料）を準備をしています。以下の12点に注意して下さい、1. 寝室は男女別に部屋に分かれて利用して下さい。2. 風呂は男女共用ですので利用時間帯を学生間で決めて利用して下さい。3. 朝食や夜食は斜面を10分ほど下ったところにローソンがありますのでそこで入手できます。4. 相部屋ですし、翌日は研究集会ですので、できる限り早く就寝しましょう。5. 風呂、トイレ、部屋入室時に事前にロックによる確認など相互のプライバシーを守って下さい。6. 財布など貴重品の自己による厳重な管理を行って下さい、盗難・紛失に関して本観測所では一切責任を持ちません。7. 布団・シーツは押し入れにあります。就寝時はシーツを使用し、退所時には布団は部屋に広げて置き、シーツはすべて畳んで玄関に当日設置するオレンジのかごに置いて下さい。8. 退所前には掃除機により軽く掃除を行って下さい。9. 緊急時は山崎（090-7622-9688）に連絡をお願いします。10. ゴミと余った食品、飲料も含めてすべて持ち帰って下さい。観測所では処分ができません。11. 8時50分には全員荷物も含めて退室しておいて下さい。施錠します。荷物は本館開放後、廊下に置くことができます。12. 簡易宿泊施設ですので、タオル、バジャマ、アメニティ類はありません。持参して下さい。
- 8) 2日目朝、ホテルから徳島地すべり観測所までのレンタカーと貸し切りバスを用意しています。引き続き自動車をホテルに止めて頂き、タクシーに乗車して観測所にお越し下さい。
- 9) 2日目の会議終了後、岡山・愛媛・香川方面へは、徳島地すべり観測所最寄りの「箸蔵（はしくら）」駅から琴平方面への13：47の普通列車が利用できます。香川県側の琴平駅または多度津駅で各方面への特急に接続します。高知方面へは、最寄りのバス停「箸蔵ロープウェイ」より13：22の四国交通バスが利用できます。阿波池田駅の到着は13：37が標準時刻です。また、自家用車利用の方の観測所からホテルまでの帰路に関しては適宜利用車両を調整し、ご協力をお願い頂けますと幸いです。
- 10) 現地見学参加者全員が障害保険に加入していますが、怪我に注意して過ごして下さい。

緊急連絡先：

京都大学防災研究所 徳島地すべり観測所 山崎 新太郎 090-7622-9688

一般参加者の氏名・所属（順不同、合計15人、現地参加者14人）

山崎 新太郎・京都大学防災研究所（世話人）

中村 真也・琉球大学農学部（地すべり学会すべり面研究委員会 委員長）

笹原 克夫・高知大学自然科学系理工学部門

藤内 智士・高知大学自然科学系理工学部門

柴崎 達也・国土防災技術株式会社

梅村 順・日本大学工学部
木村 誇・愛媛大学農学部
西山 賢一・徳島大学社会産業理工学研究部
古木 宏和・日本工営株式会社
野々村 敦子・香川大学創造工学部（巡検現地参加，会議はオンライン参加）
長谷川 陽一・国土防災技術株式会社
荒井 紀之・京都大学防災研究所（レンタカー運転）
木村 匠・琉球大学農学部
伊藤 拓馬・沖縄国際大学経済学部（会議オンライン参加）
植木 岳雪・帝京科学大学教育人間科学部

参加学生の氏名・所属（合計１６名，現地参加者１２名）

高知大学 黒崎 颯，田村 優人，高山 天誓，大島 有希子，永野 栄一（巡検のみ参加），松元 日向子，野村 夏希
琉球大学 安井 和輝，西平 守輝，堀江 里穂，石中 空海（４名とも会議オンライン参加）
愛媛大学 上野 晴生
香川大学 長澤 怜真，山下 泰樹（２名とも巡検現地参加，会議はオンライン参加）
京都大学 黄 超，近藤 有史（両名とも講義の一環で参加）

事務担当：森長 公仁（京都大学防災研究所徳島地すべり観測所，公用車運転）

※一般参加者は本館地下階多目的室，学生参加者は本館地上階研究室で講演を視聴します。

※オンライン会議は他地すべり学会すべり面委員会委員にも公開します。

研究集会プログラム

<Zoom 接続先>

<https://kyoto-u-edu.zoom.us/j/83791882789?pwd=dnM5ODZtTTV5cWZpdkZDNnRYcnlFUT09>

ミーティング ID: 837 9188 2789

パスコード: 331095

<タイトルは21日までに・要旨(A4, 1ページ程度, 様式自由)は29日までにEメールでお寄せ下さい(要旨は開催の証拠とするものですのでご面倒ですがお願いします)>

9:00～9:05 趣旨説明(山崎)

9:05～9:20 山崎新太郎(京都大学防災研究所)

「著しい変形を受けた地質地域の斜面危険性とその評価」

9:20～9:35 笹原克夫(高知大学自然科学系理工学部門)

「高知県大豊町立川川流域において地すべり地形を示す斜面の崩壊の周期性」

9:35～9:50 長谷川陽一(国土防災技術株式会社)

「明瞭なすべり面が確認されない礫混じりの地すべり粘土における現場残留強度の計測方法について」

9:50～10:05 西山賢一(徳島大学社会産業理工学研究部)

「2016年熊本地震で地すべりが発生した阿蘇カルデラ・高野尾羽根火山北斜面における変形構造」

10:05～10:20 野々村敦子(香川大学創造工学部)

「空中電磁探査データを用いた地震時斜面崩壊危険箇所抽出手法の検討」

<休憩>

10:30～10:45 木村誇(愛媛大学農学部)

「放棄地を含む造成農地の分布把握と崩壊危険性評価」

10:45～11:00 荒井紀之（京都大学防災研究所）

「どのような地質・地形条件で深層崩壊は発生しているのか？ 一紀伊山地四万十付加体の事例―」

11:00～11:15 柴崎達也（国土防災技術株式会社）

「ベトナム中部の断層に近接した斜面変動場での露頭観察事例」

11:15～11:30 古木宏和（日本工営株式会社）

「斜面に関する研究内容（仮）」

11:30～11:45 植木岳雪（帝京科学大学教育人間科学部）

「高知県南東部，加奈木崩れの初生的発生時期」

11:45～12:00 藤内智士（高知大学自然科学系理工学部門）

「四国白亜紀四万十付加体牟岐メランジュの基質頁岩およびユニット境界断層のイライト K-Ar 年代」

12:00～12:20 総合討論・すべり面委員会の今後の方針について.

著しい変形を受けた泥質片岩地域の岩石なだれ

山崎 新太郎

片理や劈開といったフォリエーションは結晶片岩をはじめとする変成岩の主要な構造であるだけでなく、岩盤すべりの鍵となる要因である。フォリエーションは岩石に顕著な強度異方性をもたらしている。そして、斜面においてそのような岩石は重力の影響を受けやすい。重力によるストレスはフォリエーションに沿って破壊面を形成し、それを伸展させる。さらに重力によるストレスは、曲げ変形に伴うフレクシュラルスリップをフォリエーションのある岩石に発生させる。結果として重力斜面変形はフォリエーションを含む岩石において多発する。英文の深層重力斜面変形 (DGSD: Deep-seated Gravitational Slope Deformation) は山体を横断する連続的なすべり面を持った岩盤すべりの影響下にある斜面と明確なすべり面を持たないゆっくりとした変形作用の影響下の斜面の双方で使われている。後者が岩盤すべりに進化するという直接証拠は少ないが、その進化は合理的に推定できる。岩盤すべりの多くは流れ盤上で発生している。それは重力変形発達中のフォリエーション面へのせん断の集中の結果と考えると合理的である。緩慢な岩盤すべりは厚いすべり層を持っている。一旦、せん断の集中で厚いすべり層が形成されると、定常すべりに移行し、上載する岩盤すべりの分解は弱くなる。四国山地・結晶片岩の岩盤すべりの斜面は 25~30 度の急斜面であるが巨角礫で覆われるようなものは少なく土地利用がされているのはこのようなプロセスで形成されたためと思われる。

一方で急速な運動を伴う深層岩盤すべり、岩石なだれに関しても深層重力斜面変形との関係が考えられている。そのような急速な岩盤すべりは必ずしも厚いすべり層をもたない。条件としては、30 度を超えるような急な分離面やすべり面を持ち、移動体と不動面との間の結合性が小さいことや、そこに極端に材料的に弱い物質が存在していること、そして降雨で崩壊するような斜面の場合は雨を蓄えやすい構造が必要であると思われる。これまで、崩壊に関係する構造として、流れ盤斜面の下方での重力斜面変形における座屈の発生、透水性の小さな厚い断層破碎帯の存在などが指摘されてきた。これらは、四国の変成岩地域においても存在している可能性があるが、これまでに知られている同地域の深層崩壊地を検討したところ必ずしも発見できなかった。

ところで、変成作用は鉱物の再結晶作用だけでなく、延性変形ももたらしめている。褶曲とそれに関係する二次的なフォリエーションである劈開は、その波長によっては複数方向の強度異方性を岩石にもたらしめている。例えば露頭スケール(波長 10 m より小さなスケール)の褶曲(メソスコピック褶曲)はその場での岩石の強度に大きな影響を与えている。三波川変成コンプレックスは典型的な高圧低温型の変成帯であり、結晶片岩からなるが、多段階の変成ステージを経験している。そして、メソスコピック褶曲を含む地域が三波川変成コンプレックスの中では一定の広がりをもって存在する。

本報告では、上記のメソスコピック褶曲・劈開が、特に四国吉野川流域・大歩危南方地域の 1970 年代以降から進行している深層崩壊の発生に関係していることを、観察事実と 1-mDEM を元にした精密地形表現図の分析を元に報告する。また、これらの深層崩壊の発生には地質構造に加え、河川侵食が重要であることも推定できた。

「高知県大豊町立川川流域において地すべり地形を示す斜面の崩壊の周期性」要旨

高知大学 笹原克夫

平成 30 年 7 月豪雨により、高知県長岡郡大豊町の立川流域では 20 箇所以上で大規模崩壊が発生した。これらは平成 30 年 7 月 6 日夜から 7 日早朝にかけての、線状降水帯の形成に伴う多量の降水により発生したと考えられる。また当地域は泥質片岩、砂質片岩や苦鉄質片岩が分布し、多くの地すべり地形が認められる。

今回の大規模崩壊の多くは、稜線付近に存在する地すべり地形や緩斜面の辺縁部の遷急線付近、ないしはその下部で発生した。遷急線直下に崩壊跡地や地すべり地形が存在し、それらが崩壊した場合も多かった。遷急線直下に崩壊跡地等がある斜面では、今回のみならず過去より繰り返し崩壊が発生してきたことが示唆された。

よって本地域において、繰り返し他委が発生した斜面を抽出し、その地形特性と崩壊の周期を検討するために、国土地理院が Web 上で公開している空中写真と Google earth の判読により、繰り返し崩壊が発生した斜面を抽出し、その地形特性を検討した。その結果 5 つの斜面で 1966 年以降に繰り返し斜面崩壊が発生していることが確認された。山頂緩斜面や地すべり地形の辺縁部、下部が 25～43 年の間隔で再度崩壊したことが確認された。

上記のように崩壊が繰り返し発生する場合は、砂防計画における中期や長期の土砂生産と流出を単発ではなく、複数回設定するという土砂流出シナリオの設定の必要性を示唆するものである。

明瞭なすべり面が確認されない礫混じりの地すべり粘土における 現場残留強度の計測方法について

長谷川陽一，柴崎達也，毛利貴子（国土防災技術株式会社）

【キーワード】 泥質片岩，塩基性片岩，礫，単純せん断試験，応力経路

1.はじめに

筆者らは結晶片岩地すべり地において地すべり粘土の現場残留強度を単純せん断試験により評価することを実施してきた。本発表ではこれらの試験結果を報告するとともに，同時に実施した一面せん断試験とリングせん断試験の結果と比較することにより，明瞭なすべり面が確認されない礫混じりの地すべり粘土における現場残留強度の評価方法として単純せん断試験が適していることを述べる。

2.試験概要

本研究で実施してきた土質試験は表-1に示す3種類6条件である。各試験種のせん断箱を写真-1に示す。

表-1 試験種と試験条件

略記号	試験種名	供試体サイズ (mm)	試料調整方法	せん断速度 (mm/min)	制御条件	変位量
SS	単純せん断試験	直径60 高さ20～25	(未調整)	0.1	定体積	7mm両振り 1サイクル28mm
BS-1	一面せん断試験	直径60 高さ20	(未調整)	0.1	定体積	7mm両振り 1サイクル28mm
BS-2	一面せん断試験	直径100 高さ50	(未調整)	0.1	定体積	7mm両振り 1サイクル28mm
RS-1	リングせん断試験	外径150 内径100 高さ20	0.425mm フルイ通過	0.02	定圧	一方向回転 せん断 総計600～ 1500mm程度
RS-2	リングせん断試験	外径150 内径100 高さ20	2mm フルイ通過	0.02	定圧	一方向回転 せん断 総計600～ 1500mm程度
RS-3	リングせん断試験	外径150 内径100 高さ20	5mm程度以上の 礫を手で除去	0.02	定圧	一方向回転 せん断 総計600～ 1500mm程度

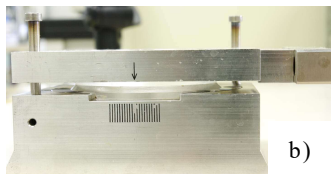


写真-1 各試験種のせん断箱
(a:単純，b:一面，c:リング)

3.試験結果

図-1および図-2に単純せん断試験と一面せん断試験の応力経路図の一例を示す。単純せん断試験の応力経路は破壊線上を明瞭に追跡する挙動がみられる。一方，一面せん断試験の応力経路は破壊線に沿う挙動は明瞭でなく，破壊線を超えるような挙動も目立つ。

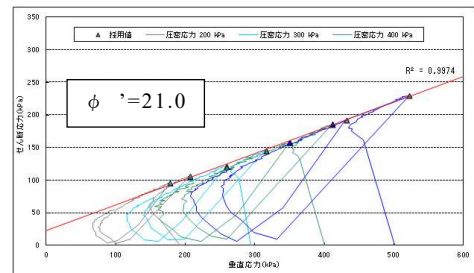


図-1 単純せん断試験の応力経路

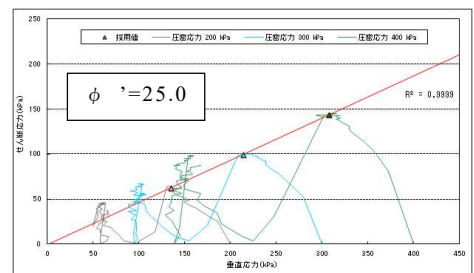


図-2 一面せん断試験の応力経路

表-2 土質試験結果

調査地区	試験種	残留強度定数	
		c' (kPa)	φ' (°)
A	単純せん断	5.5	20.5
	一面せん断	9.5	23.9
	リングせん断 (2mm以下)	6.4	15.7
B	単純せん断	25.8	21.0
	一面せん断	0.0	25.0
	リングせん断 (礫分を手で除去)	10.8	24.3

表-2に土質試験結果の残留強度定数を示す。リングせん断試験は供試体作製方法により得られる強度定数に大きな差が見られる。

4.結論

結晶片岩地域の地すべり粘土のように礫を多く含む試料で一面せん断試験を実施すると上下盤の礫のかみ合わせの有無等によりせん断強度がばらつくが，単純せん断試験は一面せん断試験よりもせん断変形を発生させるせん断帯が厚くなるため礫のかみ合わせの影響等が小さくなり，せん断強度のばらつきが小さくなる。

礫を多く含む試料でリングせん断試験のために試料調整を行うと調整の方法によって残留強度が変化することから，現場残留強度を適切に評価することが難しい。よって，乱れの少ない試料を未調整で用いる単純せん断試験のほうが，より適切に現場残留強度を評価することができる。

以上

2016 年熊本地震で地すべりが発生した阿蘇カルデラ・

高野尾羽根火山北斜面における変形構造

西山賢一（徳島大）・鳥井真之（熊本大）

1. はじめに

2016 年 4 月に発生した熊本地震では、阿蘇カルデラ火山の各地で、種々の規模の地すべりが多数発生した。このうち、カルデラ西部に位置する高野尾羽根火山の溶岩ドームでは、西側斜面で発生した地すべりが、アースフローとして斜面下方へ流下し、大きな被害をもたらした。高野尾羽根火山の北斜面でも、西斜面よりやや規模が小さな地すべりが発生し、地すべりの側方崖には、2016 年熊本地震より古い時代に発生したと思われる地すべり移動体が露出しており、溶岩ドーム斜面における地すべりの活動履歴の推定や、テフラを主体とする斜面堆積物の地すべりに伴う変形構造を検討するうえで、貴重な露頭である。この側方崖に露出した古い地すべり移動体の層相を検討したので報告する。

2. 対象斜面の地形・地質

対象とした高野尾羽根火山は、京都大学火山研究所が立地する、頂部がほぼ平坦な直径約 0.8 km の溶岩ドーム（標高 565 m）であり、約 5 万年前に噴出した黒雲母流紋岩の溶岩流と、それを覆うテフラ・ローム・黒ボクからなる。地すべりが発生した高野尾羽根山北斜面の傾斜はおおむね 20°～25°で、同じく地すべりの発生した西斜面に比べて急傾斜である。地すべり発生前の空中写真（2013 年撮影）の判読に基づけば、溶岩ドームの北～北西斜面において、幅 100 m 未満の類似した大きさ・形状を持つ馬蹄形～さや状の旧滑落崖が複数見いだされる。2016 年熊本地震で地すべりが発生した滑落崖の上方には、左右 2 つの旧滑落崖が判読できる。

3. 左側方崖で観察される古い地すべり移動体の層相

左側方崖では、斜面上方側へ向かって緩く傾斜したすべり面に向かって、薄い筋状～パッチ状をなす K-Ah が覆瓦状構造をなして繰り返しており、低角なすべり面に収斂する部分で K-Ah が消失している（西山ほか，2018；図

-2）。これらの構造は、K-Ah を含む斜面表層部の滑落と堆積によるものと考えられ、その発生源は、2016 年地すべりの滑落崖のすぐ上方に位置する旧滑落崖（左）が想定できる。

4. 右側方崖で観察される古い地すべり移動体の層相

右側方崖では、粗粒軽石からなる Kpfa（草千里ヶ浜降下軽石，30 cal kBP）が、斜面下方に向かって低角となるすべり面に沿って覆瓦構造をなして繰り返しており、テフラ層より上位にも軽石が散在するなど、初生的な層序が大きく乱されている。一方、Kpfa を覆う K-Ah には変形が認められない。Kpfa の直上には、AT に対比可能なガラス質テフラが認められるが、その分布がパッチ状をなし、覆瓦構造などの変形構造は不明瞭である。変形した Kpfa の上位には、地表までに 3 層の黒ボク土が認められ、そのうちの最下層の黒ボク土には、変形した土層ゾーンを覆う波状のうねりが認められるものの、左側方崖のような覆瓦構造は認められない。以上から、Kpfa の覆瓦構造は、Kpfa を含む土層の滑落によるものと考えられ、その発生源は右側方崖の上方に認められる旧滑落崖（右）と推定される。

5. 地すべりの発生時期と誘因

高野尾羽根溶岩ドーム北地すべりの側方崖に露出したすべり面の層準は左右で異なり、2016 年熊本地震前に 2 回のイベントが発生したことが推定される。高野尾羽根溶岩ドームには明瞭な谷地形が形成されていないことから、この変形構造を生じさせた地すべりが豪雨を誘因とするとは考えにくい。南阿蘇村で実施された活断層のトレンチ調査に基づけば、K-Ah 降下後に、少なくとも 4 回の地震イベントが抽出されていること（遠田ほか，2018）から、近隣の活断層に起因する強い地震動が地すべりの誘因と考えられる。

どのような地質・地形条件で深層崩壊は発生しているのか？ —紀伊山地四万十付加体の事例—

荒井 紀之

1889年の十津川災害，1953年有田川水害，2011年紀伊半島水害では，台風や梅雨前線に伴う豪雨により深層崩壊（大規模岩盤崩壊）が多発した．崩壊発生の地質・地形学的素因を究明するために深層崩壊が多発した熊野川上流域，有田川上流域で地質調査を行うとともに高解像度地形データを用いた地形解析を行った．地質は，四万十帯北帯の湯川コンプレックス，花園コンプレックス，美山コンプレックスが分布している．

その結果，熊野川支流河原樋川下流域で発生した二か所の深層崩壊（赤谷と赤谷東）は，厚い粘土質破碎帯を伴う衝上断層と北西—南東走向の高角断層との交差部で発生していることを発見した．また，深層崩壊が発生した場所では，北西に 30° から 50° 傾斜する衝上断層が先入蛇行しながら流下する河原樋川の侵食作用により，斜面下部において露出または数 10m の浅所に位置していた．また，熊野川沿いの約 12km 区間の断層調査を行い，1m 以上の非固結断層破碎帯を伴う衝上断層が数 km 間隔で存在し，深層崩壊やこれに先立つ重力斜面変形はこれらの断層に規制されて分布していることが示唆された．このような衝上断層が流れ盤を構成している場合，河川侵食が進むと，衝上断層は斜面脚部の川沿いで地表近くに位置するようになり，断層の上盤側の岩盤が不安定化して変形し，斜面上部に眉型の谷向き小崖や線状凹地が形成される．流れ盤をなす衝上断層を持つ斜面がその傾斜方向の高角断層を有していると，それと衝上断層によって周囲と分離された領域が形成され，そこの岩盤はより変形・崩壊しやすくなる．衝上断層に伴う非固結の脆性破碎帯が重力斜面変形と深層崩壊の素因となるのは，それが粘土質のガウジや角礫を有し，連続的な力学的弱層となるだけでなく，地下水の遮水層となるためである．この遮水性のために，豪雨時には間隙水圧の急上昇が生じ，これが急激な崩壊発生の原因となると推察される．

一方，湯川コンプレックと花園コンプレックスが分布する有田川上流域の調査から，以下の事項が明らかになった．湯川コンプレックス中には連続性を有する地質的不連続面として，カタクレーサイトからなる断層，破断相中のせん断面が存在する．これらの不連続面は南西から南東傾斜，北西傾斜で低角をなすものが多い．金剛寺や北寺の崩壊は，これらの不連続面からなるくさび破壊または一面すべりとして発生した．本研究域の湯川コンプレックス中には濁沸石脈が断層やせん断面沿いおよび砂岩中に広範囲に分布する．濁沸石脈が発達したカタクレーサイトからなる断層やせん断面は，地下水面の昇降に伴う乾湿繰り返しにより劣化し，せん断強度の低下をもたらす，崩壊の素因となったと推定される．梁瀬断層沿いでは，上盤の砂岩優勢な湯川コンプレックスと，下盤の泥岩や泥質基質が優勢な岩相からなる花園コンプレックスが，水理地質学的不連続面を形成し，豪雨に伴い上盤側の湯川コンプレックスの岩盤に大規模崩壊が発生した．有田川流域には遷急線が不規則に分布し，遷急線より上部の尾根沿いには厚い強風化層が存在する．これらの遷急線を跨ぐように複数の大規模崩壊が発生した．さらに，穿入蛇行しながら流下する有田川の攻撃斜面では，斜面下部が河川侵食により急斜面をなし斜面形状が凸型となって不安定斜面を形成し，大規模崩壊の素因になった．

付加体岩盤すべりのすべり面の 構造的特徴の可視化 と 最近の可視化技術

日本工営 中央研究所 古木 宏和

2022年10月26日(水)
日本工営株式会社

自己紹介

- ・名前:古木宏和(ふるきひろかず)出身:大分県
- ・所属:日本工営株式会社 中央研究所
- ・経歴:山口大(2001年卒)⇒京大防災研(2003年卒)
- ・専門:斜面防災、地質、(AI)
- ・経歴:2003年入社(19年目)
- ・所属学会:応用地質学会、地すべり学会、砂防学会

経歴・従事してきた仕事の内容

- ・斜面防災一般(急傾斜、道路法面等)
- ・災害現場の調査～設計(落石、(深層)崩壊、土石流)
- ・ダム貯水池斜面の調査解析、斜面对策工の設計
- ・2017年以降、AIなどの新技術開発・・「現場とAI活用」

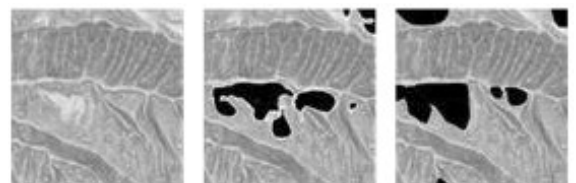


紀伊半島大水害 発災直後の写真
(奈良県大塔村)



ハッ場ダム 試験湛水

AIとか・・・



空中電磁探査データを用いた地震時斜面崩壊危険箇所抽出手法の検討

香川大学 ○野々村 敦子
香川大学 長谷川 修一
ネオサイエンス 城森 明
ネオサイエンス 城森 敦善
ネオサイエンス 十山 哲也

1. はじめに

これまで当研究グループでは、1707年の宝永地震で崩壊が発生した高知県室戸市加奈木の崩えり周辺斜面においてヘリコプターによる周波数領域法の空中電磁探査（HEM）で得られる比抵抗データを用いて斜面崩壊危険箇所を推定する手法を検討してきた¹⁾。そして、手法の妥当性は2016年熊本地震で斜面崩壊が発生した阿蘇地域で検証した²⁾。2016年熊本地震の際には、火山灰層でも多数の崩壊が発生したが、検証の結果、本研究で提案する手法では、火山灰層での崩壊危険性は推定できないが、岩盤崩壊の危険性は推定できることが示された。

ヘリコプターによる調査は、広域においてデータを取得する手法として適切であるが、トンネルの坑口など特定の箇所に着目して斜面崩壊危険度を推定する場合などに、対象箇所を絞って早く状況を調べることができる方法の開発が求められる。そこで、本研究では、ドローンによる空中電磁探査も実施し、HEMで得られた比抵抗データと比較して、その特徴を分析した。

2. ヘリコプターによる空中電磁探査データを用いた地震時斜面崩壊危険度分布の推定

ヘリコプターによる空中電磁探査から得られた比抵抗（HEMによる比抵抗）分布では、谷部で低比抵抗、尾根部で高比抵抗分布が見られた。岩盤の緩みと比抵抗分布との関係を調べたところ、比抵抗値では岩盤の緩みとの関係が見られなかった箇所でも、比抵抗値の相対分布を算定して（比抵抗凹凸度）、緩みとの関係を調べたところ、比抵抗値の相対分布と岩盤の緩みとの関係が確認された。このことから、比抵抗の相対分布から岩盤の緩みを推定する手法を提案した。さらに、比抵抗分布から推定した岩盤の緩みと地形データから推定する地震動増幅地形を掛け合わせて地震時斜面崩壊危険度推定手法を提案した。

3. ドローンによる空中電磁探査データを使用した斜面における緩み評価

本研究では、ネオサイエンス社が開発したD-GREATEM（Drone-Grounded Electrical source Airborne Transient Electromagnetics）システムによる空中電磁探査で対象地域の比抵抗情報を観測した³⁾。D-GREATEMシステムは、過渡応答電磁探査法（TEM法）をドローンによる空中電磁探査システムに用いている。TEM法では、送信システムが生じる1次磁場の急激な時間変化を利用することで、地下の比抵抗に比例した誘導電流を生じさせる。これにより生じた新たな2次磁場の時間変化である過渡応答を測定し、解析することにより地下の比抵抗値を求めた。

D-GREATEMで得られた比抵抗データをHEMの比抵抗分布と比較したところ、HEMでは見られなかった比抵抗分布の鉛直構造が確認された。この比抵抗分布と地形との関係から、D-GREATEM法ではHEMでは捉えることができなかった岩盤の緩みを捉えることができる可能性があることを示した。

P8. ベトナム中部における特徴的な斜面変動例

Characteristic slope deformation in central Vietnam

○柴崎達也（国土防災技術），Ngo Doan Dung（ITST, Vietnam），
宮城豊彦（東北学院大学），濱崎英作（アドバンテクノロジー）

Tatsuya Shibasaki, Ngo Doan Dung, Toyohiko Miyagi, Eisaku Hamasaki

1. はじめに

ベトナム中部中山間部の国道沿い斜面¹⁾を調査した中で、重力変形した岩盤露頭を発見した。その露頭は河岸に面す地すべりの末端部に位置し、層状堆積岩が座屈褶曲したものである。地すべりの移動方向と座屈した地層の傾斜方向が大きく斜交することや、周辺の微地形や周辺露頭の構造や性状などを勘案すると、地すべり斜面を含む背後の山体全体が地層傾斜の方向に重力変形したことにより形成された可能性が示唆された。本発表では、興味深い露頭の紹介と、その形成に関わった斜面変動機構を予察的に報告する。

2. 調査地概要

対象斜面は、ハノイ市から約250km南西、ビン市から約160km西北西に位置する。ラオス国境から約30kmの距離にあり、国道7号線が斜面を通過する。地質は古生代デボン紀～シルル紀の層理の発達した堆積岩（砂岩、シルト岩、頁岩）である。AW3D 5mDSMデータから作成した地形図を図-1に示す。広域に地表踏査を行ったわけではないが、対象斜面周辺の地層の走向は東西性で、35～50°北傾斜である（図-1、図-2）。変動が確認されている地すべり（C-C'断面）は、東北東向きに移動しており、その移動体内の脚部を国道7号線が通過している。

3. 山体重力変形に伴う岩盤の変形とその機構

C-C'断面の地すべりの末端は河川で浸食を受け、道路擁壁の基礎杭が地表に露出していた。基礎杭のコンクリートに張り付いた岩盤が剥ぎ取り標本のように地山の内部構造を残しており、地層の褶曲状況が河川側から詳しく見てとれた（図-3）。この座屈褶曲した地層の走向はほぼ地すべりの移動方向と平行である。褶曲の形成に作用した最大主応力の方向を考えると、現状顕在化している地すべりの方向（C-C'断面）ではなく、南から北に向けたものと推察することができる。この斜面を含む山体を俯瞰するとA-A'断面で示した尾根地形が認識できる。この尾根地形を作る山体には、EW走向、約50°北傾斜の大きな段差地形（S1,S2,S3）がGoogle Earthによ

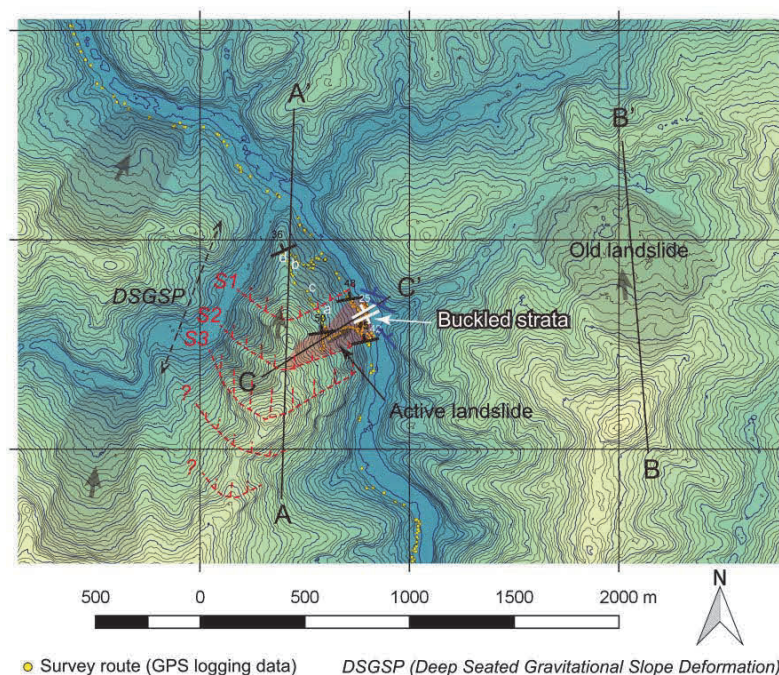


図-1 平面図

る衛星画像や AW3D 5mDSM から作成した地形図（図-1）から確認できる。段差を生じている面の走向傾斜は概ね周辺の地層の姿勢と調和し、層理面に規制されたものと推察できる。尾根地形を呈す山体が重力変形を起こした中で形成された主滑落崖（S-3）と、移動体を分断する副滑落崖（S-1, S-2）と考えられ、その活

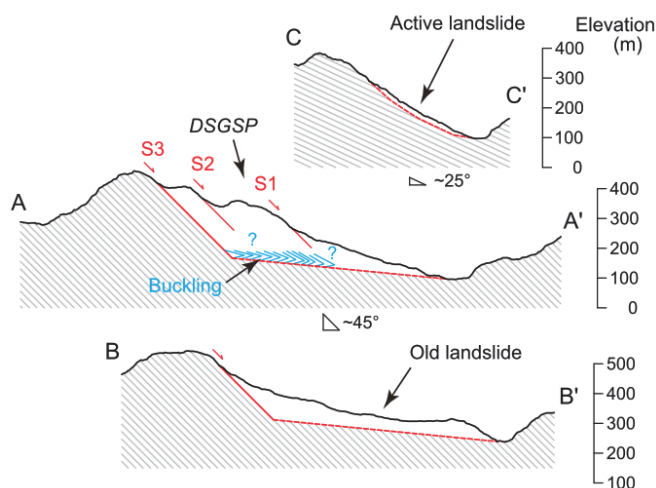
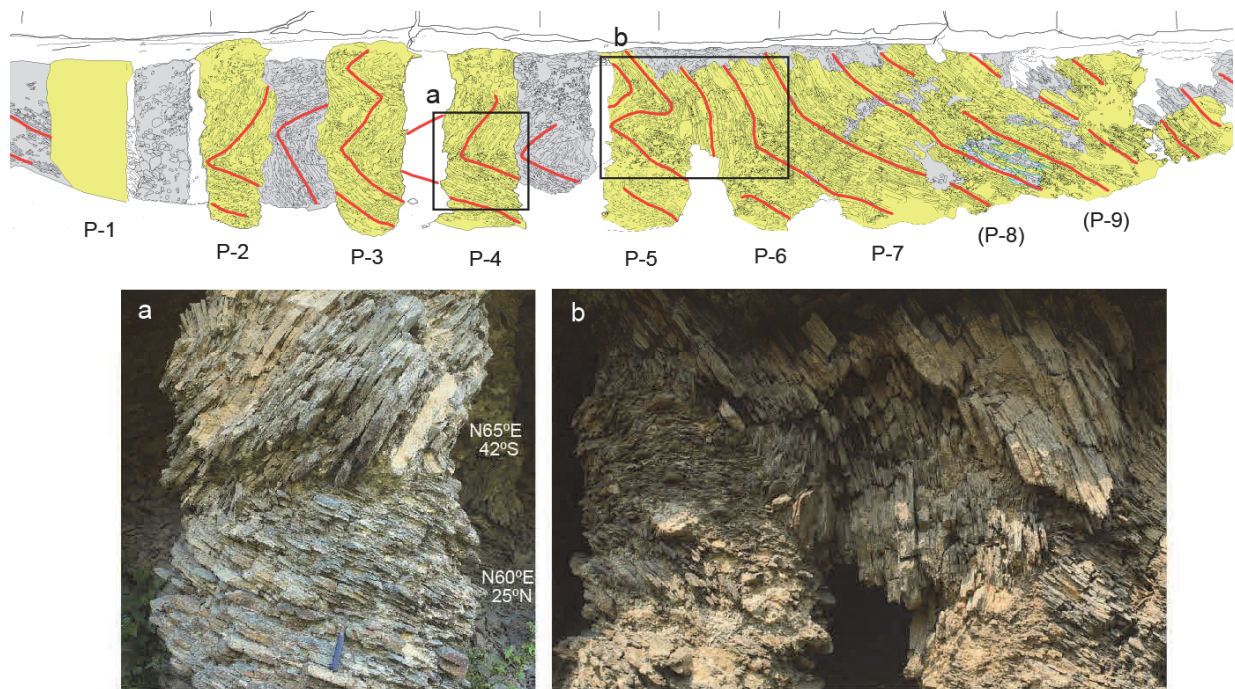


図-2 断面図



図－3 座屈褶曲した岩盤の露頭（C-C'断面の末端）

動の中で移動体の底面に座屈褶曲が形成された可能性がある。東側にある B-B'断面の地すべりはかつて大きく移動した地すべりと考えられ、同じような地質構造の場で発生したものと推定される。将来的には、A-A'の山体も B-B'断面の地すべりのような解体に向かう可能性も懸念される。地表踏査中に、S2の滑落崖付近の層理面に沿って炭酸塩らしき鉱物の析出も確認され、地下水の関与が示唆された。山体の重力変形により S1, S2, S3 滑落崖直下に凹地が形成された結果、尾根の左右に沢地形が発達している。C-C'断面の地すべりは、この集水地形内で発生し、右側部のすべり面は層理面に規制されていると考えられる。

4. 考察～前面座屈と底面座屈の形成条件～

斜面変動を生じた層状岩盤の地層の姿勢と斜面傾斜との関係を調べた研究によると、平行盤や逆目盤の流れ盤斜面では、斜面の変動に伴って地層が座屈を起こしやすい²⁾。移動体の前面（末端部）にて地層が座屈を起こした事例は多数報告されており、和泉群³⁾での事例や、台湾の Tsaoling 地すべり⁴⁾、北海道で発生した幌萌地すべり⁵⁾などがある。ほとんどが、地層傾斜が斜面傾斜に近い平行盤斜面である。一方、斜面傾斜に比べ地層傾斜が急な逆目盤斜面では、斜面変動体の底面の広い範囲で座屈を生じることが、小坂（2015）によるバランス断面による検討⁶⁾や、Weng et al. (2015) によるモデル実験⁷⁾などにより議論されている。今回発見した重力変形露頭は、移動体先端部における座屈現象（Frontal Buckling）ではなく、図－2に示したような逆目盤斜面の斜面変動体底面で起きた座屈現象（Basal Buckling）の可能性が十分考えられる。底面座屈の露頭の報告例は少ないことから貴重な事例

といえよう。

文献

- 1) Dung N. G., Miyagi T., Luong L.H., Hamasaki E., Hayashi K., Tien D.V., Daimaru H., and Abe S. (2016): Trial of landslide topography mapping using ALOS W3D data- Case study along the National Road No.7 in central Vietnam-, Transactions, Japanese Geomorphological Union, Vol.37, No.1, pp.127-140.
- 2) Chigira M. (2000): Geological structures of large landslides in Japan, Journal of Nepal Geological Society, Vol.22, pp.497-504.
- 3) Yokoyama S. and Hada J. (1989): Gravitational Creep Folds in the Izumi Group of the Izumi Mountains, Southwest Japan, 地すべり, Vol.26, No.3, pp.10-18
- 4) Chigira M., Wang W., Furuya T., Kamai T. (2003): Geological causes and geomorphological precursors of the Tsaoling landslide triggered by the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan, Engineering Geology, Vol.68, pp.259-273
- 5) 山崎勉, 柳澤志樹, 足立辰也, 小野由紀光, 山村充 (2017): 雁行褶曲をともなう非構造性断層伝播褶曲の形成機構, 日本地すべり学会誌, Vol.54, No.1, pp.13-20.
- 6) 小坂英輝 (2015): バランス断面法による岩盤斜面の初生地すべり地形とその変位率, 応用地質, Vol.56, No.5, pp.219-229.
- 7) Weng M., Lo C., Wu C. H., and Chuang T. F. (2015): Gravitational deformation mechanisms of slate slopes revealed by model tests and discrete element analysis. Engineering Geology, Vol.189, pp.116-132.

高知県南東部，加奈木崩れの初生的発生時期

植木岳雪（帝京科学大学教育人間科学部）

日本有数の巨大山体崩壊である加奈木崩れは、高知県南東部、室戸市の佐喜浜川最上流部に位置する。崩壊は1707年の宝永地震によって発生したとされているが、崩壊の記録がある史料は1843年までなく、史料の信頼性が問われていた。植木（2007）は、初生的な崩壊堆積物が支流をせき止めた平坦地（以下、せき止めによる谷埋め地形とする）において、支流の堆積物の最上部から炭化材の放射性炭素（ ^{14}C ）年代を求め、崩壊の発生時期を従来と同じく江戸期とした。

植木（2007）とは別の支流のせき止めによる谷埋め地形においてオールコアボーリング掘削調査を行い、長さ5.00 mと21.20 mの2本のコアを得た。後者は、深度0～0.23 mの土壌、深度0.23～9.49 mの支流の堆積物、深度9.49～17.70 mの天然ダム堆積物、深度17.70～19.58 mの支流の堆積物、深度19.58～21.20 mの基盤の砂岩からなる。天然ダム堆積物の深度10.33～10.36 mからは $17,500 \pm 60$ yrs BP、深度15.42～15.60 mからは $18,110 \pm 60$ yrs BPの ^{14}C 年代が得られた。このことから、加奈木崩れの初生的な崩壊は約1.8万年前の後期更新世に発生し、それによってできた天然ダムは約600年かかって埋積されたことになる。加奈木崩れは1万年オーダーで起こる深層崩壊であり、そのリスクは過大評価されている。

植木岳雪（2007）四国南東部，加奈木崩れのせき止め堆積物中の材のAMS ^{14}C 年代，日本地すべり学会誌，44(3)，41-43.

四国白亜紀四万十付加体牟岐メランジュの基質頁岩およびユニット境界断層のイライト K-Ar 年代

藤内 智士、西野 佑哉、松島 雄飛、橋本 善孝、八木 公史、富岡 尚敬

西南日本弧の太平洋側に露出する白亜紀四万十付加体は、白亜紀後期から新生代初期に付加作用が起り、その後に上昇を経験して露出した。この構造発達過程をより詳しく描くために、特に変形が集中する構造的メランジュにおいて、その続成および変形の時期は強い制約を与える。そこで本研究では、徳島県牟岐町に露出する白亜紀四万十付加体の牟岐メランジュを対象として、メランジュ基質の頁岩とユニット境界断層についてイライト K-Ar 年代を測定した。調査地域の牟岐メランジュは、構造的上限および下限がそれぞれ断層によって整然相と接しており、メランジュの内部は玄武岩を基底とする海洋プレート層序の繰り返しに基づいて 5 つの構造ユニット（ユニット 1 からユニット 5）に分けることができる（例えば、Ikesawa et al., 2005）。各構造ユニットは断層によって接し、ユニット 3-4 境界では堆積年代と古地温に有意なギャップが認められる（Ikesawa et al., 2005; Shibata et al., 2008）。また、ユニット 5 のメランジュ基質頁岩およびメランジュ上限境界の断層岩からは先行研究によるイライト K-Ar 年代の報告がある（Tonai et al., 2016）。本研究では、ユニット 1 から 4 のメランジュ基質頁岩およびユニット 1-2 境界とユニット 3-4 境界の断層岩について、それぞれ X 線回折解析（XRD）、電子顕微鏡（TEM）観察、自生イライトの K-Ar 年代測定を行った。XRD 解析から、いずれの試料も自生イライト（1Md ポリタイプ）、碎屑性イライト（2M1 ポリタイプ）、緑泥石、石英、が含まれていることがわかった。これらのうちカリウムを含む鉱物は自生イライトと碎屑性イライトである。そこで、イライト年代法と呼ばれる、XRD パターンから複数の測定試料ごとのイライトポリタイプ量比を求めて両者の K-Ar 年代値を外挿する手法を用いた。その結果、自生イライトの K-Ar 年代（以下、外挿年代とする）が、メランジュ基質頁岩（4 岩石試料）については 41.5–57.7 Ma、ユニット 1-2 境界断層岩（2 岩石試料）について 51.5–57.0 Ma、ユニット 3-4 境界断層（1 岩石試料）について 39.9 ± 1.6 Ma と外挿された。メランジュ基質頁岩の外挿年代は幅を持つものの、古い値は先行研究が報告した母岩の碎屑性ジルコンの U-Pb 年代の最も若い値（ 57.9 ± 2.9 Ma ; Shibata et al., 2008）と誤差の範囲で重なり、堆積からあまり時間をおかずに自生イライトができ始めたことを示唆する。メランジュ全体で見たときに外挿年代の変化の傾向は明瞭ではなく、外挿年代が幅を持つ理由については変形構造との関係やデータの増加など今後詳しい調査が必要である。ユニット 1-2 境界断層岩の外挿年代は、この断層が堆積からあまり時間をおかずに形成した底付け付加起源の断層とする先行研究の見解と整合的である。一方で、ユニット 3-4 境界断層の外挿年代は、他の試料の値と比べて有意に若い。境界を挟んで他の地質データにもギャップが存在することから、この断層はメラ

ンジュの主変形後にそれまでの構造を切るように活動したと考えられる。

文献

Ikesawa et al., 2005, Tectonophysics, 401, 217–230.

Shibata et al., 2008, Island Arc, 17, 376–393.

Tonai et al., 2016, Jour. Struct. Geol., 89, 19–29.

写真（集合写真（上），現地調査写真（下））

