

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510255

研究課題名(和文) 尾根の変形を前兆現象として、付加体山地の深層崩壊の発生場所を予測する手法の開発

研究課題名(英文) Development of a method for prediction of location of deep-seated catastrophic slope movements in mountains of accretionary complex, using nontectonic mountain ridge deformation as an omen

研究代表者

横山 俊治 (YOKOYAMA, Shunji)

高知大学・自然科学系・教授

研究者番号：20325400

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：この研究の目的は、深層崩壊が発生する恐れのある付加体山地の場所を、初期山体変形を示す地形の判読によって検出する手法を開発することである。四国山地の尾根は至る所が裂け、線状凹地が発達している。その線状凹地と密接に関係した変動地形が深層崩壊の前兆を検出するためのターゲットとなる。尾根の変形は山向き小崖をつくる断層の形成で始まる。その断層が連続性の良い線状凹地に成長するに伴って、尾根頂部を含む領域が陥没し、山上平坦面が形成される。線状凹地を見つけ出すことは難しいが、山向き小崖起源のやせ尾根と平坦面からなる特異な地形なら、1/2500地形図の読図でも容易に検出することができる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a detecting method for location capable of occurring deep-seated catastrophic slope movement in mountains of accretionary complex, based on reading of landform indicating early nontectonic deformation of mountain. On the ridge top of the Shikoku Mountains, open cracks develop everywhere into linear depressions, and then the landform associated with them is the target of detecting an omen of the deep-seated catastrophic slope movement. The early ridge-top deformation begins by occurrence of open crack with uphill-facing scarp. As the open crack grows into a long trending linear depression, the ridge top area subsides and flattens. However it may be difficult to find out the linear depressions, it is easy to read the differential feature combined with the slender ridge grown from uphill-facing scarp and the ridge-top flatten surface by means of 1/2500 geographical map.

研究分野：ノンテクトニック構造地質学

キーワード：線状凹地 山向き小崖 山上平坦面 前兆現象 深層崩壊 付加体

1. 研究開始当初の背景

(1) 西南日本外帯の付加体山地では、これまでも豪雨時あるいは地震時に深層崩壊が多発し、しばしば広範囲に甚大な被害を発生させてきた。南海トラフでの巨大地震が迫っている今日、その発生場所を予測することは防災上喫緊の課題である。

(2) 付加体山地の初期山体変形は尾根から始まることがわかってきた。典型的な初期山体変形のひとつは谷側への曲げ褶曲で特徴づけられる岩盤クリープである。岩盤クリープの発生はすでに重力によるノンテクトニックな変形が始まっていることを示している。いまひとつは尾根の裂け目で、これは地震動によるノンテクトニック断層の可能性がある。これらの初期山体変形を深層崩壊の前兆現象と捉えると、それらの発生場所の検出によって、深層崩壊の発生の恐れがある場所を予測することができる。

2. 研究の目的

(1) 尾根の裂け目は外帯の付加体山地に広く分布し、地表には線状凹地を形成しているが、フィリピン海プレートが低角度で沈み込んでいる四国山地では、尾根のいたるところが裂けている(布施・横山、2006)。本研究では、線状凹地およびそれに関係した変動地形を迅速かつ高い確度で検出する方法の開発を目的とした。

(2) 現在、国土地理院発行の 1/2500 地形図(等高線間隔 10m)や空中写真だけでなく、航空レーザー測量による数値データによって等高線間隔 1m という精度の高い地形図も作成されるようになった。精度の高い地形図を使って判読し、さらに現地踏査を行えば、線状凹地の検出確度は確実に上がる。しかし、航空レーザー測量による数値データの入手は非常に高価である。広域を、安価でかつ迅速に検出する方法を開発することは意義がある。そこで、1/2500

地形図と空中写真の判読によって、初期山体変形が起きている可能性のある場所を抽出する方法の開発を目的とした。

(3) 初期山体変形から深層崩壊に至るプロセスや、現状での山体の安定性、崩壊の規模を予測・評価するには、初期山体変形の内部構造や形成プロセスの解明が必要である。ところが、それは等高線間隔 1m 地形図を使っても難しい。そこで、現地で変動地形を計測し、精度の高い変形構造の幾何学的形態を明らかにし、その運動像を解明することを試みた。

3. 研究の方法

(1) さまざまな精度の地形図の読図、空中写真判読、現地踏査を行って、それぞれの検出の精度を確認しながら、変動地形の解析を行った。調査・解析の手順は次の通りである： 1/2500 地形図(等高線間隔 10m)の読図、空中写真判読、③現地踏査、検出精度の検証と精査場所の選定、航空レーザー測量による数値データから作成した地形図(等高線間隔 1m)と赤色立体図の読図、簡易レーザー測距儀を用いた現地での微地形計測。

(2) 簡易レーザー測距儀を用いた初期変動地形の運動像解析は次の手順で行った：

簡易レーザー測距儀を使って、尾根の両側の斜面を含めて、線状凹地が発達している尾根の微地形を計測する。非変動域の斜面を外挿して、線状凹地形成前の尾根の地形を復元する。計測した斜面を、変動前から存在していた地表面と、変動に関わった裂け目の断層面とに区分する。変動前から存在していた地表面について、現在の勾配と変動前の勾配との比較から、地表面の傾動の有無を判断し、ブロックの回転を引き起こした断層面の形態を推定する。

断層面沿いの地表面の段差から、地表面

の上下変位のセンスと量を推定する。断層面を地中に内挿して、線状凹地群形成に関わった断層群の幾何学的形態を明らかにする。尾根の変形全体の形成プロセスの復元を試みる。

4. 研究成果

(1) 四国山地・紀伊半島・中部地方の四万十帯山地の初期山体変形の比較

文献と現地調査によって、四国山地・紀伊半島・中部地方の四万十帯山地における初期山体変形のタイプ(尾根の裂け目タイプと岩盤クリープタイプ)を比較した。

四国山地では、尾根の至る所に裂け目起源の線状凹地が発達している。岩盤クリープタイプもあるが、それは少ない。

紀伊半島では、裂け目タイプも岩盤クリープタイプもその存在がはっきりしない。現地調査を行った奈良県五條市赤谷では、2011年9月の豪雨で深層崩壊が発生した。この深層崩壊による移動体は、付加体形成以降に後生的に湾曲して高角度になったユニット境界のスラストと破碎頁岩の破断面構造に規制されたくさび状形態をもつ崩壊面に沿って滑落した(横山ほか、2013)。初期山体変形は明瞭でなく、小規模な段差地形の再活動が確認できただけである。

中部地方では、四万十帯の地質は南アルプス南部に分布する。既往の文献によれば、深層崩壊が発生している山体では大規模な岩盤クリープで山体が変形していたとされている。本研究では、静岡市の赤崩、大谷崩、口坂本地すべりを調査した。赤崩では、崩壊を免れた斜面に線状凹地が多発しているが、崩壊面の大露頭に、明瞭な岩盤クリープ性傾動構造の存在は確認できなかった。大谷崩では、線状凹地は確認できていないが、崩壊面に沿って大小の岩盤クリープ性傾動構造が多発している。口坂本地すべりの移動体内部はクリープし、滑落崖の背後の尾根には地すべり地の範囲を越えて連続

する大規模な線状凹地が発達しているが、地すべり地の岩盤クリープと線状凹地の構造的関係は不明である。

3地域では、このように初期山体変形のタイプや発生頻度が異なる。その原因としては、砂岩層と泥岩層の層厚や両者の割合といった地質の違いのほか、河道の幅や河岸斜面の勾配などの河川地形に現れている山地形成～解体プロセスの違いが関係していると推察される。

(2) 動態観測によって、尾根の裂け目の形成に伴う尾根の陥没が明らかになった事例

四国黒瀬川帯の破碎蛇紋岩で発生した初期山体変形の動態観測の結果、尾根の裂け目形成によって山頂が陥没することが明らかになった(横山・仙波、2011)。この事例では、南斜面に発生した山向き小崖をつくる断層が規模の大きな裂け目に成長するにつれて、山頂から北斜面の最上部にかけての領域が陥没し、最終的には山頂が7m以上下がった。陥没に伴って山頂は北方に前方回転したことが樹木の傾きから分かった。一方、北斜面では圧縮を示す様々な変形構造が観察され、光波測量による移動杭観測によって、斜面が水平に膨らんでいることが明らかになった。最終的には、南斜面の頂部には山向き小崖をつくった尾根がやせ尾根として残り、やせ尾根に沿って規模の大きな裂け目(線状凹地)が形成され、山頂を含む領域は、多数の小規模な裂け目を形成して、平坦化した。このような特異な変動地形の存在とその発達史が初期山体変形を検出する上での有力な作業仮説となることが明らかになった。

(3) 簡易レーザー測距儀による微地形計測・異常樹木・地質構造による解析事例

高知県の町代次集落の北方に位置する

東西性の尾根に線状凹地群が発達している。線状凹地群の形成に伴う当地の地盤の動きは異常樹木から明らかになっている（横山・横山、2004）ので、簡易レーザー測距儀による微地形計測の結果と比較し、その有効性を検討した（光本ほか、2014）。微地形計測による運動像解析の手順は〔3. 研究の方法（2）〕の通りである。解析結果は、異常樹木のみならず、岩相境界や片理といった地質構造から推察された地盤の動きとも調和的であった。この事例では、南斜面に発生した山向き小崖をつくる断層が規模の大きな裂け目に成長するにつれて、山頂から北斜面の上部にかけての領域が陥没し、山上平坦面が形成されたことが明らかになった。これは上述の破碎蛇紋岩の事例と酷似している。

さらに微地形計測の結果から、山上平坦面内に発達する小規模な線状凹地群を形成した断層群は、狭い範囲で運動様式を変化させていることが分かった。これらの断層群は、断層面が平面の「面状」あるいは上に凸の「リストリック」か、傾きが一方か互いに向き合った共役かで、面状正断層群、リストリック正断層群、共役面状正断層群、共役リストリック正断層群の4タイプに分類された。この事例によって、簡易レーザー測距儀による微地形計測が変動地形の運動像解析に有効であることが確認された。

（4）線状凹地を伴う初期山体変形の地形的特徴と発達史モデルの構築 - 作業仮説の検証 -

線状凹地を伴う初期山体変形による変動地形には、共通した地形的特徴があることが分かった。それは、変動の進行方向に向かって、非変動斜面の頂部にやせ尾根、それに沿って発達する規模の大きな線状凹地、線状凹地を挟んでやせ尾根とは反対側に山

上平坦面という地形の配列である。ただし、山上平坦面を形成するに至らず、一続きの尾根の一部が、その両側の尾根と比較して、山頂の標高が低く、やや平らになっているだけのこともある。さらに、やや平らな山塊がその両側の連続する尾根の並びから、変動の進行方向にずれていることもある。

このような地形的特徴から変動地形の発達史を組み立てると、山向き小崖をつくる断層の形成、断層の伸張と開口に伴う規模の大きな線状凹地の形成、③それに伴う山頂から反対側の斜面にかけての領域の陥没、陥没に伴う小規模な線状凹地群（正断層群）の形成と反対側斜面に向けての膨らみ、最終的に、山上平坦面の形成、となる。

（5）1/2500 地形図による初期山体変形の検出のポイント

線状凹地の深さは10mを越えることはまれである。したがって、等高線間隔が10mの国土地理院発行の1/2500地形図では、山上平坦面に線状凹地が存在していても、等高線が凹地の壁面を通らない限り、地形図には表示されないことになる。

しかし、線状凹地が検出できなくても、山上平坦地や標高が低く平坦になった山塊は1/2500地形図の等高線から読み取ることができる。そこで、山向き小崖起源のやせ尾根と山上平坦面からなる特異な地形、両側の尾根の標高よりも低くなっている山塊、③連続する尾根の並びから局部的にずれた山塊、非対称な横断面を示す山塊といった地形要素が初期山体変形の検出のポイントになる。

< 引用文献 >

布施 昌弘、横山 俊治、四国島の線状凹地の分布とその特徴、第43回日本地すべり学会研究発表会講演集、2004、561-564

光本 恵美、本間 こぎと、横山 賢治、横山 俊治、異常樹木と簡易レーザー測距儀を用いた山上クラック帯の運動像解析，平成 26 年度研究発表会発表論文集，日本応用地質学会中四国支部、2014、37-40

横山 俊治、井口 隆、永田 秀尚、加藤 弘徳、木村 克己、2011 年台風 12 号で発生した奈良県赤谷深層崩壊の地質構造規制、第 52 会日本地すべり学会研究発表会講演集、2013、82-83

横山 俊治、仙波 咲子、四国山地の山上開口クラックによって形成された山上平坦面の研究 - (1)事始め -、第 50 回日本地すべり学会研究発表会講演集、2011、30-31

横山 賢治、横山 俊治、異常現象を示す樹木をセンサーとする地すべり性開口クラックの検出と解析、日本地すべり学会誌、41 巻、3 号、2004、217-224

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

横山 俊治、地すべり現象の地質学的な“みかた”、日本地すべり学会誌、査読有、Vol.51、No.2、2014、pp.50-59

Kojima, S., Nozaki, T., Nagata, H., Tanahashi, R., Kondo, R., Okamura, N., Suzuki, K., Ikeda, A., Nakamura, T. and Ohtani, T., Large-scale landslides in Toyama Prefecture, central Japan, and their probable relationship with earthquakes, 査読有, Environ. Earth Sci., Vol.71, 2014, pp.2753-2763

Regmi, A.D., Yoshida, K., Nagata, H. and Pradhan, B., Rock toppling assessment at Mugling-Narayanghat road section: ‘A case study from Mauri Kholā landslide’, Nepal. Catena, 査読有, Vol.114, 2014,

pp.67-77

Regmi, A.D., Yoshida, K., Nagata, H., Pradhan, A.M.S., Pradhan, B., and Reza Pourghasemi, H. The relationship between geology and rock weathering on the rock instability along Mugling-Narayanghat road corridor, Central Nepal Himalaya. Natural Hazards, 査読有, Vol.66, Issue 2, 2013, pp.501-532

横山 俊治、なぜ、西南日本外帯で降雨時あるいは地震時に深層崩壊が多発するか？日本地すべり学会誌、査読有、Vol.50、No.1、2013、pp.1-6

佐々木 誠、横山 俊治、秩父帯北帯の谷ノ内地すべりの地表面輪郭構造の再検討、高知大学学術研究報告、査読無、Vol.62、2013、pp.11-23

<http://www.lib.kochi-u.ac.jp/papers/doc/mokuji.htm>

柏木 健司、横山 俊治、重力性ノンテクトニック構造と斜面診断、北陸地盤工学会誌「北陸地盤情報」、査読無、Vol.23、2012、pp.13-19

永田 秀尚・飯沼 達夫・萩原 陽一郎、豪雨による崩壊で形成された地すべりダムとダムを形成した岩盤すべりの特徴：2004 年三重県宮川災害での例、日本地すべり学会誌、査読有、Vol.49、No.5、2012、pp.33-40

[学会発表](計 11 件)

光本 恵美、本間 こぎと、横山俊治、航空レーザー測量データによる 1m 等高線図と簡易レーザー測距儀を用いた山上凹地の運動像解析-高知県香美市白髪山～白髪わかれの例-、日本応用地質学会、2014.10.29-10.30、九州大学医学部 百年会館(福岡県福岡市)

横山 俊治、村上 綾一、開口クラックの分布密度を指標にした谷側への

曲げ褶曲の認定の試み、日本応用地質学会、2014.10.29-10.30、九州大学医学部 百年会館（福岡県福岡市）

光本 恵美、本間 こぎと、横山 賢治、横山 俊治、異常樹木と簡易レーザー測距儀を用いた山上クラック帯の運動像解析、日本応用地質学会中四国支部、2014.10.3、山口大学（山口県山口市）

光本 恵美、本間 こぎと、横山 俊治、簡易レーザー測距儀を用いた山上クラック帯の運動像解析 - 高知県の町代次の例 - 、日本地すべり学会、2014.8.19-22 つくば国際会議場（茨城県つくば市）

横山 俊治、地すべり現象の地質学的な“みかた”、日本地すべり学会、2013.5.24、東京大学武田先端知ビル武田ホール（東京都文京区）

横山 俊治、井口 隆、永田 秀尚、加藤 弘徳、木村 克己、2011 年台風 12 号で発生した奈良県赤谷深層崩壊の地質構造規制、日本地すべり学会、2013.8.28-9.1、松江県民会館（島根県松江市）

永田 秀尚、小嶋 智、栢本 耕一郎、安井 秀、熊野市ツエノ峰における山上凹地の形成年代とその応用地形学的意義、日本地形学連合、2013.9.14、東北学院大学 押川記念ホール（宮城県仙台市）

永田 秀尚・木村 克己・横山 俊治・井口 隆・加藤 弘徳、テクトニック-ノンテクトニック反転構造：2011 年紀伊半島豪雨による高速岩盤すべりを例として、日本地質学会、2013.9.14-16、東北大学（宮城県仙台市）

横山 俊治、海溝型巨大地震による四国外帯付加体山地の初生変形と斜面変動、砂防学会、2012.5.23-25、高知県立

県民文化ホール（高知県高知市）

横山 俊治、横山 賢治、四国山地の山上開口クラックによって形成された山上平坦面の研究 - (2) 高知県の町代次の事例 - 、日本地すべり学会、2012.8.28-31、札幌市教育文化会館（北海道札幌市）

横山 俊治、笹原 克夫、日浦 啓全、浜口 洋介、2011 台風 6 号で発生した高知県の平鍋深層崩壊：滑落崖の構造と移動体の運動、日本応用地質学会、2012.11.1-2、朱鷺メッセ（新潟県新潟市）

〔図書〕(計 1 件)

横田 修一郎、永田 秀尚、横山 俊治、田近 淳、野崎 保、ノンテクトニック断層 - 識別方法と事例 - 、近未来社、2015、248 (5-67、100-105、127-128、131-132、143-150、160-163、221-225)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 俊治 (YOKOYAMA Shunji)
高知大学 教育研究部自然科学系 教授
研究者番号：20325400

(2) 研究分担者

井口 隆 (INOKUCHI Takashi)
独立行政法人防災科学技術研究所 社会
防災システム研究領域 災害リスク研
究ユニット 研究参事
研究者番号：40360375

(4) 研究協力者

永田 秀尚 (NAGATA Hidehisa)
有限会社風水土 代表取締役

加藤弘徳 (KATO Hironori)
株式会社荒谷建設コンサルタント
技術部 課長