

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310126

研究課題名(和文) 初生地すべりの解剖学的研究

研究課題名(英文) Anatomy of first time landslides

研究代表者

千木良 雅弘(CHIGIRA, Masahiro)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00293960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,600,000円、(間接経費) 1,680,000円

研究成果の概要(和文)：不攪乱で採取された高品質ボーリングコアについて、構造地質学的手法と知見を用いて、観察・記載方法を確立した。その結果、ノンテクトニックな断層とテクトニックな断層を区別する指標を明らかにした。さらに、面構造の発達程度と重力による岩石の変形との関係、また、初生地すべりへの発達過程を明らかにした。高品質ボーリングコアを用いて明らかにした変形斜面の内部構造を、有限差分法を用いて力学的に検討し、河川の下刻に伴って斜面内部の応力・ひずみ状態が変化し、実際に認められたせん断ゾーンが形成されていくことを再現することができた。

研究成果の概要(英文)： We established how to observe and describe high-quality undisturbed drilled cores using methods and knowledge of structural geology, and consequently obtained criteria to differentiate non-tectonic faults and tectonic faults. We clarified the relationship between the development of foliation and gravitational rock deformation and the development processes from gravitational slope deformation to first-time landslide.

We simulated the subsurface gravitational slope deformation that have been obtained by high-quality drilled cores by using finite difference methods, demonstrating that the internal stress strain conditions in the slope change according to the river incision forming the shear zones, which have been identified in the nature.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：初生地すべり 山体重力変形 地質構造

### 1. 研究開始当初の背景

初生地すべりは、岩盤が重力によって変形して最終的に周囲の岩盤から切り離されて独立してすべるようになったものであり、その前段階は山体重力変形（あるいはサギング、重力斜面変形、岩盤クリープ）と呼ばれる。初生地すべりは、地形的に地すべりとして明確に認識されない地域に発生して、深層崩壊にいたり、ダム貯水に伴って滑動したりすることがあり、大きな災害と社会問題を引き起こすことがある。たとえば、最も著名なものとして 1963 年のイタリアのバイオントダムの地すべりがあり、最近の例では、昨年の台湾の小林村の深層崩壊や奈良県や埼玉県などのダム貯水による地すべりが挙げられる。初生地すべりを認定してその安定性を評価するためには、初生地すべりと山体重力変形の地表形態と内部構造を明らかにすることが不可欠であるが、その内部構造を観察・記載した例は極めて少ない。それは、2000 年代に入るまでは、破砕部を不攪乱で採取する技術が確立されていなかったからである。一方、1990 年代に我が国で開発され、2003 年頃から地すべりの調査に多く使用されるようになった高品質コアボーリングは、破砕されて脆弱になった岩石も不攪乱で採取することを可能にした画期的な技術である。しかしながら、我が国の地すべり調査にあたっての記載・分類方法は、コア採取率が悪かった当時とほとんど変わっていないのが実情であり、また、諸外国での調査研究適用実績はない。つまり、高品質のコアが採取されているにもかかわらず、様々な重要な情報が見逃されている実態がある。結果的に、地すべりのすべり層（せん断変位の集中している層）をテクトニックな断層から区別する論理も確立されていないし、すべり層の発達程度や連続性を評価する論理もないのが現状である。

申請者は、これまで様々なタイプの岩盤クリープの観察、記載を行ってきたが、それらのほとんどは断片的な地表露頭の観察によるものであった。本研究では、高品質ボーリングコアを用いた調査方法を確立し、山体の内部を徹底的に解剖して構造解明し、重力による変形構造やすべり層の形成過程を明らかにし、また、その過程を力学的に検討して、初生地すべりの発生場の予測に結びつける展開を目的とした。申請者は、研究に必要な高品質ボーリングコアの一部は入手し、また、脆弱なボーリングコアを固化・切断して観察する技術を考案していた。

### 2. 研究の目的

地すべりや山体重力変形など、地表付近で生ずるマスマーブメントの内部構造とその地表への出現形態を解明して、これらの発生場の地質・地形的予測と安定性評価を行うことが研究の全体構想である。その中で、本研究は、平成 23 年度から 25 年度の 3 年間に、

脆弱な破砕物質も不攪乱で採取することを可能にした高品質ボーリングによる地質調査手法を確立し、それを用いて、近年様々な問題を引き起こしている初生地すべりの内部構造と発達過程を解剖学的に明らかにし、また、その発達過程を斜面内部の歪・応力場の解析によって力学的に検討し、これらに基づいて、初生地すべりの安定性を評価しようとするものである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高品質ボーリングコアの観察・記載方法の確立

不攪乱で採取された高品質ボーリングコアについて、構造地質学的手法と知見を用いて、破断面の形状、破砕による細粒化の程度、破砕部と非破砕部との移り変わり、割れ目の開口などに注目した観察・記載方法を確立し、また、この方法を一般的に使用可能なものとする。

#### (2) 重力による岩石の変形の特徴と初生地すべりへの発達過程の解明

i) 重力による岩石の変形の特徴づけ：テクトニックに形成された変形構造や断層と、重力による変形構造やすべり層とを比較し、それらを区別する特徴を見出し、重力による構造を特徴づける。

ii) すべり層の構造の解明：すべり層の構造を詳細解析して明らかにし、岩石が重力によって変形し、破砕、粉碎されてすべり層が形成されていく過程を明らかにする。

iii) すべり層の側方成長、発達過程の解明：すべり層が斜面内のどのような位置に形成を始め、斜面内に成長していくのか、明らかにする。

iv) すべり層の構造と側方連続性とのリンク：すべり層の構造的特徴から、すべり層の側方への連続性を推定する論理を構築する。つまり、点の情報を線と面に拡大するための論理である。

#### (3) 重力斜面変形の力学的検討

高品質ボーリングコアを用いて明らかにした変形斜面の内部構造を、有限差分法を用いて力学的に検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 高品質ボーリングコアの観察・記載方法の確立

不攪乱で採取された高品質ボーリングコアについて、構造地質学的手法と知見を用いて、観察・記載方法を確立した。すなわち、図 1 に示すように、岩石の割れ目密度、および岩片の相互の連続状態に応じて、岩石の脆性変形を 6 段階に分類した。

そして、これらの脆性変形の特徴を分析・整理してテクトニックな構造の特徴と比較し、両者を区別する指標を明らかにした（表 1）。

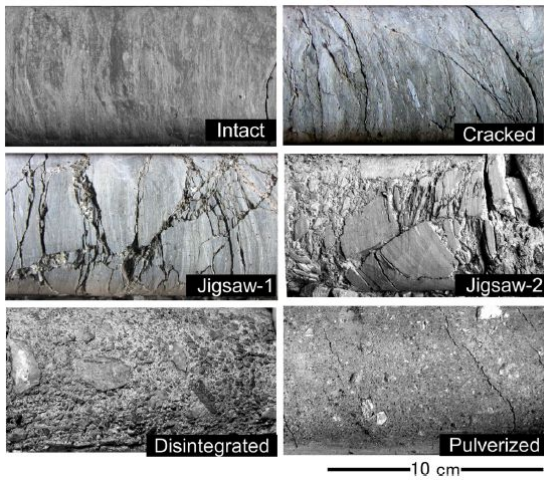


図1 岩石コアの脆性変形の分類 (Chigira et al., 2013a; 千木良, 2013)

表1 ノンテクトニックとテクトニック構造との比較 (Chigira et al., 2013a; 千木良, 2013)

Structural features	"Non-tectonic"	Tectonic
Open fractures	Developed	No
Planar structures (P,Y,R)	Weak	Developed
"Jigsaw puzzle"	Developed	Weak
Outline of fragments	Jagged	Sharp
Rim of a shear zone	Transitional	Generally sharp
Peeling off along foliation	Developed	Weak
Attrition of fragments	Increase with shearing	Yes

(2) 重力による岩石の変形の特徴と初生地すべり(深層崩壊)への発達過程の解明  
面構造の密に発達した片岩と、相対的にその発達程度の低い頁岩や砂岩との重力による変形構造の特徴を明らかにし、特に面構造の発達程度と重力による岩石の変形との関係、また、初生地すべりへの発達過程を明らかにした。さらに、さまざまな重力斜面変形の内部構造と詳細地形との対応を検討し、両者をリンクし、地表形態から内部構造を推定する手法を提案した。そして、2011年台風12号による深層崩壊39か所について発生前の地表形態を分析し、重力斜面変形を経て深層崩壊が発生すること、そして、それらは特徴的な地表形態を示すことを明らかにした。図2は、すべり層の発達途中を示す地質断面図であり、最も粉碎の進んだPゾーンが三転的に分布することが示され、また、その前段階を示すDゾーンも斜面全体を横断して連続的にはなっていないことを示している。

(3) 重力斜面変形の力学的検討  
高品質ボーリングコアを用いて明らかにした変形斜面の内部構造を、有限差分法を用いて力学的に検討した。特に、河川の下方侵食に伴って応力ひずみ状態が変わることを再現し、実際の斜面内部で認められた岩盤の破碎部分で岩盤の破碎が進むことを再現することができた(図3)。本結果は、雑誌 Engineering Geology に投稿中である。

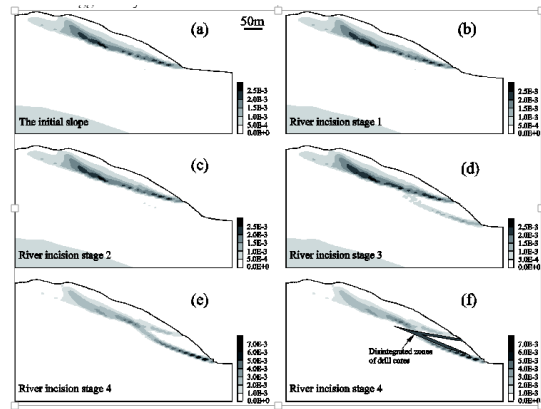


図3 河床面の低下に伴うせん断層の発達過程。(a)から(e)に向けて河床が低下し、最大せん断ひずみの増分の分布が変化することがわかる。(f)は、実際のDゾーンの分布(図2)との比較。

## 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9件)

Chigira, M., Hariyama, T., Yamasaki, S., 2013a. Development of deep-seated gravitational slope deformation on a shale dip-slope: observations from high-quality drillcores. Tectonophysics, 605, 104-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2013.04.019> (査読有)

Chigira, M., Tsou, C.-Y., Matsushi, Y., Hiraishi, N., Matsuzawa, M., 2013b. Topographic precursors and geological structures of deep-seated catastrophic landslides caused by Typhoon Talas. Geomorphology, 201, 479-493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.020> (査読有)

Wang, G., Huang, R., Chigira, M., Wu, X., Lourenço, S.D.N., 2013. Landslide Amplification by Liquefaction of Runout-Path Material after the 2008 Wenchuan (M 8.0) Earthquake, China. Earth Surface Processes and Landforms, 38(3), 265-274. DOI: 10.1002/esp.3277 (査読有)

千木良雅弘, 2013. 近年の斜面災害が与えた教訓. 地盤工学会誌, 61(9), 1-5. (依頼原稿, 査読なし)

千木良雅弘, 2013. 地質災害. 地質と調査, 137, 32-38. (依頼原稿, 査読なし)

Yamada, M., Matsushi, Y., Chigira, M., Mori, J., 2012. Seismic recordings of landslides caused by Typhoon Talas (2011), Japan. Geophysical Research Letters, 39, L13301, doi:13310.11029/12012GL052174. (査読有)

千木良雅弘, 松四雄騎, ツォウ・チ

ンイン, 平石成美, 松沢真, 松浦純男, 2012. 2012年台風12号による深層崩壊. 京都大学防災研究所年報, 55, 193 - 211. <http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no55/ronbunA/a55a0p08.pdf> (査読なし)

Tsou, C.Y., Feng, Z.Y., Chigira, M., 2011. Catastrophic landslide induced by Typhoon Morakot, ShiaoLin, Taiwan. *Geomorphology*, 127(3-4), 166-178. doi:10.1016/j.geomorph.2010.12.013 (査読有)

Yamasaki, S., Chigira, M., 2011. Weathering mechanisms and their effects on landsliding in pelitic schist. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(4), 481-494. DOI: 10.1002/esp.2067 (査読有)

[学会発表](計 13件)

Chigira, M., Matsushi, Y., Tsou, C.-Y., 2013. Precursory landforms and geologic structures of catastrophic landslides induced by typhoon Talas 2011 Japan (invited paper), American Geophysical Union. American Geophysical Union, San Francisco, pp. NH31C-07. 4 December, 2013

Chigira, M., Kamai, T., 2013. Landslides in tectonically active countries, 2nd G-EVER International Symposium and the 1st IUGS&SCJ International Workshop on Natural Hazards, Sendai, pp. 37-38. 19 Oct. 2013

Chigira, M., 2013. Recent landslide hazards induced by earthquakes and rainfalls in Asia (Invited paper), International Symposium & 9th Asian Regional Conference of IAEG (International Association of Engineering Geology and Environment), Beijing. 24 Sept. 2013.

Chigira, M., 2013. Geological precursors of catastrophic landslides induced by earthquakes, Japan Geoscience Union Meeting 2013, Makuhari, pp. HDS06-06. 23 May, 2013

Chigira, M., Tsou, C.-Y., Yokoyama, R., Shirasawa, M., Funakoshi, K., Sakurai, Y., 2013. Extracting small scarps to predict potential sites of deep-seated landslides, Japan Geoscience Union Meeting 2013, Makuhari, pp. HDS27-P03. 23 May, 2013

山崎新太郎, 千木良雅弘, Dave Petley, 2013. 泥質片岩における萌芽的滑り層の形成条件、日本地球惑星科学連合大会, 幕張, HDS 0618. 2013年5月22日.

Chigira, M., 2013. Geological and geomorphological characteristics of catastrophic landslides induced by recent earthquakes (Invited paper), The

International Symposium in Commemoration of the 5th Anniversary of the 2008 Wenchuan Earthquake., Chengdu. 13 May, 2013.

Chigira, M., Tsou, C.-Y., Matsushi, Y., 2013. Topographic precursors and geological structures of deep-seated catastrophic landslides caused by typhoon Talas, determined from the analysis of high-resolution DEMs, European Geosciences Union, Vienna, pp. EGU2013-3604. 10 April, 2013

Chigira, M., Tsou Ching-Ying, Matsushi, Y., Hiraishi, N., Matsuzawa, M. 2012. Deep-seated catastrophic landslides induced by typhoon 12 and their precursory gravitational slope deformation. Japan Geosciences Union Meeting 2012, Makuhari, HDS04-01. 23 May, 2012

Matsushi, Y., Yamada, M., Chigira, M., 2012. Rainfall, slope instability, and deep-seated landslides in Kii Mountains Japan. Japan Geosciences Union Meeting 2012, Makuhari, HDS04-02. 23 May, 2012

Yamada, M., Matsushi, Y., Chigira, M., 2012. Seismic recordings of the Landslides caused by Typhoon Talas. Japan Geosciences Union Meeting 2012, Makuhari, HDS04-03. 23 May, 2012

千木良雅弘, 針山岳大, 2011. 頁岩の流れ盤斜面における重力変形, 日本地すべり学会研究発表会, 静岡. 2011年8月31日

Yamasaki, S., Chigira, M., 2011. A method for making wide cross-sections of fracture zone formed by deep-seated gravitational slope deformations, 2nd Conference on Slope Tectonics, Vienna. 6 September 2011

[図書](計 5件)

千木良雅弘, 2013. 深層崩壊-どこが崩れるのか-. 近未来社, 名古屋.

Chigira, M., Wang, G., Wu, S., 2012. Landslides induced by the Wenchuan earthquake. In: J.J. Clague, D. Stead (Eds.), *Landslides Types, Mechanisms and Modeling*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 383-392

千木良雅弘, 2012. 地震地すべりと地質. 社団法人日本地すべり学会 (編), 地震地すべり, pp. 103-109.

千木良雅弘, 2011. 災害地質学 (斜面災害). 日本応用地質学会 (編), 原点から見る応用地質学. 古今書院, 東京, pp. 73-100.

千木良雅弘, 2011. 深層崩壊発生の地形・地質的な場. 寶薫, 戸田圭一, 橋本学 (編), 自然災害と防災の事典. 丸善出版, 東京, pp. 114-116.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.slope.dpri.kyoto-u.ac.jp/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

千木良雅弘 (CHIGIRA, Masahiro)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00293960

### (2) 研究分担者

山崎新太郎 (YAMASAKI, Shintaro)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：40584602

### (3) 連携研究者

上田圭一 (UETA, Keiichi)

(財)電力中央研究所・地球工学研究所・

上席研究員

研究者番号：40371405