論 文(Original article)

# 2008 年岩手・宮城内陸地震後に発生した 2 次的な斜面崩壊の地形・地質的特徴

村上 亘 1)\*、大丸 裕武 1)、江坂文寿 2)

# Topographical and geological characteristics of the landslide induced after the 2008 lwate-Miyagi Nairiku Earthquake

Wataru MURAKAMI<sup>1)\*</sup>, Hiromu DAIMARU<sup>1)</sup> and Fumitoshi Esaka<sup>2)</sup>

#### Abstract

To investigate the landslide induced after the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, we compared aerial photographs taken immediately and 3 months after the earthquake respectively, of a portion of the Iwai River Area and the Ichihasama River Area. We then interpreted the distribution of new landslides and the extension of existing landslides after the earthquake. Topographical characteristics (i.e. slope inclination) and the geology within which the new landslides occurred after the earthquake were analyzed using GIS. The area of landslide deemed to have been induced by the earthquake due to seismic shading comprised 3.7km<sup>2</sup> of the Ichihasama River Area, while the figure in the Iwai River Area was 0.85km<sup>2</sup>. However, when the extent of extension of existing landslides and new landslides having occurred within 3 months of the earthquake was calculated as a percentage of the overall landslide area in each analytical section, the Ichihasama River Area comprised 12.3%, and the Iwai River Area 13.7%. In the Iwai River Area, the new landslides comprised an area percentage exceeding 30% in terms of the extent of extension of existing landslides and new landslides having occurred within 3 months of the earthquake. Conversely, in the InIchihasama River Area, the area percentage of new landslides was 16%. In the Iwai River Area, the occurrence of new landslides 3 months after the earthquake tended to occur on middle-late Miocene marine sediments and on slopes with gradient exceeding 25-35 degrees. In the Ichihasama River Area, the occurrence of landslides immediately after the earthquake was focused on the late-Pliocene – early-Pleistocene welded tuff and the subordinate late-Miocene – early-Pliocene lacustrine. However, the occurrence of new landslides 3 months after the earthquake tended to occur on Tertiary andesite lava zone and slopes of gradient exceeding 35 degrees. On the slope where the new landslides occurred, the presence of cracks was also confirmed by the field survey. Therefore, it was suggested that the occurrence of these cracks triggered the occurrence of new landslides after the earthquake.

Key words: 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, landslide, new landslide after the earthquake, geology, slope inclination

要旨

2008年岩手・宮城内陸地震で斜面崩壊が発生した磐井川流域および一迫川流域を対象とし、地 震直後および3ヶ月後の航空写真画像から地震後に発生した崩壊(地震時の崩壊の拡大、及び新 たな崩壊:新規崩壊)の発生の有無を判読し、このうち、新規崩壊発生斜面の地形・地質的特性を GISを用いて検討した。地震直後の崩壊面積は一迫川流域が約3.7km<sup>2</sup>と磐井川流域の0.85km<sup>2</sup>と 比べ大きい。しかし、地震後3か月間に発生した崩壊を各流域の全崩壊面積に対する発生面積率で みると、磐井川流域で13.7%、一迫川流域で12.3%と磐井川流域が大きかった。地震後に発生した 崩壊のうち、崩壊地の拡大ではない新規崩壊の発生は、磐井川流域では30%以上を占めるのに対し、 一迫川流域では16%となり流域ごとに違いがみられた。新規崩壊の発生斜面は磐井川流域では第 三紀中新世中期~後期の海成層の斜面で発生する傾向があり、傾斜は25~35度以上であった。一迫 川流域では地震直後の崩壊地は第三紀鮮新世後期~第四紀更新世前期の溶結凝灰岩およびその下層 の第三紀中新世後期~鮮新世前期の湖成層からなる斜面に集中していたが、新規崩壊は第三紀安山 岩地域の斜面で多く発生する傾向があり、傾斜は35度以上であった。両調査流域とも新規崩壊が 発生した斜面では、亀裂の存在が現地調査から確認され、これらの亀裂が弱線(面)となって崩壊 を発生させたことが判断された。

キーワード:2008年岩手・宮城内陸地震,崩壊、新規崩壊、地質、傾斜

原稿受付:平成 23 年 11 月 30 日 Received 30 November 2011 原稿受理:平成 25 年 2 月 4 日 Accepted 4 February 2013

森林総合研究所水土保全研究領域 Department of soil and water conservation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)
 元林野庁東北森林管理局(現 内閣府(防災担当)) Former office: Forestry Agency, Tohoku Regional Forest Office / current office: Cabinet Office, Government of Janan

Cabinet Office, Government of Japan \* 森林総合研究所水土保全研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1 Department of soil and water conservation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: wmura@ffpri.affrc.go.jp

## 1. はじめに

地震は森林斜面の安定に影響を与えていることが指 摘されている。地震時の振動が直接的に崩壊を発生さ せる (横山・菊山 1997) ことに加えて、地震によって 発生した崩壊がその後の降雨により拡大することや、 新たな崩壊が発生していることが、1995年に発生し た阪神淡路大震災後の六甲の花崗岩山地における調査 で報告されている(田結庄・藤田 1996)。これまでに、 地震後の降雨により2次的に発生している崩壊につい ては、従来、降雨時には崩壊が発生しにくいと考えら れている凸型斜面や急傾斜の場所であること(沖村ら 1998)、地震前に比べ、少ない降水量で崩壊が発生し ていること(富田ら 1996)、そのような斜面では地震 による振動によって亀裂が発生するなどし、不安定化 が進行していること (平松ら 1999) などが報告されて いる。近年、温暖化にともなう豪雨頻度の増加が予測 されており、豪雨による斜面崩壊の危険性の増加が危 惧される (小俣 2005, 古賀 2007) 中、地震時に強い振 動を受けた森林斜面において、地震後に豪雨によって 崩壊が発生する箇所を予測することは、防災の面から、 強く社会から求められている。

これまでの報告では、地震後の降雨により崩壊が発 生する場所や形態は地形・地質条件により異なること も指摘されている。山越ら (2009) は阪神大震災後の 六甲の花崗岩山地と中越地震後の第三紀の堆積岩類で 構成された山地で発生した崩壊の特徴に違いがあるこ とを報告している。また、宮崎ら (2005) は 2000 年に 発生した新島・神津島近海地震後、地盤が緩むことに より地震以前には崩壊に至らなかった降雨量でも崩壊 が発生していること、崩壊箇所には地形・地質条件に 違いが認められることを指摘している。このように、 地震による振動で森林斜面が不安定化し、その後の降 雨で崩壊に至る可能性が高い森林斜面は、地質・地形 条件によって分布が大きく異なることが考えられる。

2008年6月14日に発生した岩手宮城内陸地震 (M7.2)により、岩手県南部から宮城県北部の広い範囲 に斜面崩壊が発生した。筆者らは地震発生直後より岩 手、宮城両県の斜面崩壊発生地の現地調査を行う機会 を得た。また、地震発生直後と発生から3ヶ月経過し た9月に撮影された空中写真を入手し、崩壊地を判読 した。その結果、地震時に発生した斜面崩壊が拡大し ていることに加え、多数の崩壊が新たに発生している ことを確認した(村上ら 2010)。

本研究は岩手宮城内陸地震により崩壊が発生した地 域において、地震後の降雨によって2次的な崩壊が 発生する危険が高い場所を、これまでに地震後の降雨 によって崩壊が発生した森林斜面の地質、および傾斜 といった地形的特徴から予測することを目的としてい る。本稿では、岩手県一関市の磐井川流域と宮城県栗 原市の一迫川流域を対象とし、地震直後及び地震後3 か月間に崩壊が発生した斜面の地形・地質的な相違に ついて報告する。加えて、これまでの調査結果をもと に、今後の降雨で崩壊の危険性が高い斜面を抽出した 結果についても報告する。

地震直後 Immediately after the earthquake



地震3か月後 Passed the earthquake three months



- Fig. 2 岩手県一関市槻木平地区の地震直後の崩壊の分布と3か 月後の崩壊の拡大および新規崩壊の発生。空中写真(オ ルソ画像)は2008年6月14日の地震直後および3か月 後の2008年9月に林野庁により撮影された。等高線図 は1/2.5万地形図「高檜能山」を使用した。等高線間隔 は10m。
- Fig. 2 Distribution of the landslides immediately after the earthquake, and the extension of landslides and the occurrence of new landslides within three months of the earthquake in Tsukinokidaira Area, Ichinoseki City, Iwate Prefecture. These aerophotographs (ortho images) were taken of a picture by the Forestry Agency in June (immediately after the earthquake) and September (during three months after the earthquake). We use the 1/25000 topographical map (unit 10m) 'Takahinoyama' by Geospatial Information Authority of Japan.



Fig. 1調査対象地域。画像は 2008 年 7 月 2 日に撮影された ALOS 衛星画像。Fig. 1Study area. The image is a satellite image (ALOS) taken a picture of on July 2, 2008.



- Fig. 3 岩手県磐井川流域の崩壊地の分布。等高線図は 1/2.5 万地形図「真湯温泉」「高檜能山」「栗駒山」 「本寺」を使用した。
- Fig. 3 Distribution of the landslides in the Iwai River Area. We use the 1/25000 topographical maps 'Shinyuonsen', 'Takahinoyama', 'kurikomayama' and 'Hondera' by Geospatial Information Authority of Japan.



- Fig. 4 岩手県磐井川流域の地質分布と崩壊地の関係。地質図は 1/10 万栗駒地熱地域地質図 ( 栗駒地熱地 質編集グループ、1986)を基に作成した。地質凡例は次の通り。R2g:沖積層 ( 上位段丘堆積物)、 PM w:第三紀中新世後期~鮮新世前期溶結凝灰岩、Tal:第三紀安山岩 ( 溶岩)及び貫入岩類など、 M1t:第三紀中新世後期海成層 ( シルト岩・砂岩・凝灰岩)、M1a:第三紀中新世後期海成層 ( 酸 性細粒 ~ 火山礫凝灰岩)、M2l:第三紀中新世中期海成層 ( シルト岩)、M2m:第三紀中新世中期 海成層 ( 中性 ~ 塩基性細粒 ~ 火山礫凝灰岩)
- Fig. 4 Geology in the Iwai River Area. This geological map was made based on the Geological map of Kurikoma geothermal area by Research group for the geological map of Kurikoma Geothermal Area (1986). Legends are as follows; R2g: Recent upper terrace sediments, PMw: Late Mioceneearly Pliocene welded tuff, Tal: Tertiary andesite lava and intrusive rocks and so on, M1t: Late Miocene Marine sediments (Siltstone or Sandstone, Tuff), M1a: Late Miocene Marine sediments (Silicic Fine to Lapilli-tuff), M2l: Middle Miocene Marine sediments (Siltstone), M2m: Middle Miocene Marine sediments (Intermediate to mafic Fine- to Lapilli-tuff)



- Fig. 5 宮城県一迫川流域の崩壊地の分布。等高線図は 1/2.5 万地形図「桂沢」「栗駒山」「軍沢」 「切留」「花山湖」を使用した。
- Fig. 5 Distribution of the landslides in the Ichihasama River Area. We use the 1/25000 topographical maps 'Katsurazawa', 'Kurikomayama', 'Ikusazawa', 'Kiridome' and 'Hanayamako' by Geospatial Information Authority of Japan.



- Fig. 6 宮城県一迫川流域の地質分布と崩壊地の関係。地質図は 1/10 万栗駒地熱 地域地質図 ( 栗駒地熱地質編集グループ、1986)を基に作成した。地質凡 例は次の通り R1g:沖積層 ( 下位段丘堆積物)、Qal:第四紀安山岩 ( 溶岩) PP w:第三紀鮮新世後期~第四紀更新世前期溶結凝灰岩 (北川溶結凝灰岩)、 Tal:第三紀安山岩 ( 溶岩) 及び貫入岩類など、PM:第三紀中新世後期~ 鮮新世前期湖成層、M2p:第三紀中新世中期海成層 ( 軽石凝灰岩)、Trl: 第三紀流紋岩 ( 溶岩)、Gr:先第三紀花崗岩類
- Fig. 6 Geology in the Ichihasama River Area. This geological map was made based on the Geological map of Kurikoma geothermal area by Research group for the geological map of Kurikoma Geothermal Area (1986). Legends are as follows; R1g: Recent Alluvium Lower terrace sediments, Qal: Quaternary andesite lava, PPw: Late Pliocene- early Pleistocene welded tuff (Kitagawa welded tuff), Tal: Tertiary andesite lava and intrusive rocks and so on, PM: Late Miocene- early Pliocene Lacustrine sediments, M2p: Middle Miocene Marine sediments (Pumice tuff), Trl: Tertiary rhyolite lava, Gr: Pre-Tertiary Granitic

### 2. 調査地の概要

本研究の調査対象地域は岩手県一関市市野々原から 祭畤にかけての磐井川流域と宮城県栗原市花山の一迫 川流域である (Fig. 1)。調査地では Fig. 2 に示すように、 地震後3ヶ月が経過した時点で地震直後に発生した崩 壊地の拡大、あるいは新たな崩壊の発生(以降、新規 崩壊とし、崩壊地の拡大とは区別する)が認められる。 震源は磐井川流域内に位置する (Fig. 3)。1/10 万栗駒 地熱地質図 (栗駒地熱地質編集グループ 1986) および これまでの現地調査から、磐井川流域の地質は主に第 三紀中新世中期~後期の砂岩、シルト岩、凝灰岩など からなる海成層 M1t、M1a、M2l、M2m、M2b で構 成されており、その上位層として第三紀安山岩溶岩及 び貫入岩類などからなる Tal が分布する (Fig. 4)。磐 井川流域の調査対象範囲で最も大きい崩壊は、市野々 原地区の磐井川右岸で発生した地すべり性の崩壊であ る (Fig. 3) 。それより上流側では、規模は小さいもの の多くの崩壊が発生している。一迫川流域は震源地か らおよそ 20km 離れているが、後述する通り、震源地 周辺よりも崩壊の発生が顕著であり、温湯温泉より上 流側で発生面積が大きい (Fig. 5)。対象範囲には北村 (1986)が北川溶結凝灰岩とした第三紀鮮新世後期~ 第四紀更新世前期の溶結凝灰岩 PPw が広く分布する (Fig. 6)。また、Fig. 6 に示す地質図では第三紀中新 世後期~鮮新世前期の湖成層 PM が一迫川沿いに分布 するように示されているが、その層は北村 (1986) が 小野松沢層としたカルデラ内に堆積した湖成堆積物の 層であり、調査地域においては PPw の下位に広く分 布する。一迫川下流域では、第三紀の安山岩溶岩及び 貫入岩類などからなる Tal、あるいは先第三紀の花崗 岩 Gr が分布する。上流域では PPw の上層となる第四 紀の安山岩溶岩 Qal が分布する (Fig. 6)。

#### 3. 研究方法

写真画像の判読は、対象とする2流域のうち、地 震直後の2008年6月末と地震から3ヶ月が経過し た2008年9月の2時期のオルソ画像(ともに東北森 林管理局撮影)の撮影範囲とした(Fig.1)。解析範 囲の面積は磐井川流域が約22km<sup>2</sup>、一迫川流域が約 57km<sup>2</sup>である。それぞれの画像より崩壊地を判読し、 ArcGIS9.3を使用して判読結果を重ね、地震後の崩壊 地の拡大、および新規崩壊の発生箇所について、それ ぞれの面積を算出した。

新規崩壊の発生箇所の地形・地質的な特徴は、以下の方法で地質および傾斜ごとの崩壊の発生率を算出した (Fig. 7)。まず、10m 間隔の格子点を重ね合わせ、各点の地質と傾斜を読み取った。各点は10×10mの方形の中心(代表点)であり、読み取った点数に100m<sup>2</sup>を掛けると新規崩壊地及び地質・傾斜ごとの



- Fig. 7 解析(集計)方法。ArcGIS 9.3 を使用し、解析範囲に 10m間隔の格子点を重ね合わせ、各点ごとの崩壊の有無 と地質・傾斜情報を集計した。
- Fig. 7 Analysis method. We overlapped the lattice points at 10m intervals by using ArcGIS9.3 within the analysis area, and totaled the distribution of the landslide and geology/ slope inclination information of each point.

面積となる。傾斜は北海道地図(株)作成の10mメッ シュ標高データ(GISMAP Terrain)を使用して算出し、 5度ごとに階層化した。地質は1/10万栗駒地熱地質図 (栗駒地熱地質編集グループ1986)の区分を基に分類 した。なお、地質図上では一迫川の流路沿いにのみの 分布となっている PM については、前述のとおり、こ の層の上位に PPw が堆積し、キャップロック状の構 造となっていることが北村(1986)などの報告で知ら れている。また、後述するが、この地質構造が地震時 の崩壊の発生に影響を与えていることが指摘されてい る。このことから、PPwとPMについては、一つのユ ニットとして取り扱った。解析範囲全体の地質と傾斜 クラスの組み合わせで定義されるそれぞれのグループ において、

新規崩壊の _	地質・傾斜クラス内の新規崩壊の点数(面積)	100
発生(面積)率	解体範囲全体の地質・傾斜クラスの点数(面積)	100

として算出した。さらに算出された新規崩壊の発生 率の高い斜面の実際の状況を明らかにするために、現 地調査を行った。



- Fig. 8 磐井川流域(厳美)および一迫川流域(栗駒深山)にお ける地震発生以降のアメダス降水量
- Fig. 8 AMEDAS precipitation after the earthquake in the Iwai River Area (Genbi) and the Ichihasama River Area (Kurikomamiyama)

# 4. 結果

地震が発生した6月14日以降、8月31日までの降 雨状況をFig.8に示す。磐井川流域(AMeDAS臨時観 測地点「厳美」)では7月11日と12日に時間最大降 水量25mmと32mmを観測した。日降水量は8月24 日に84.5mm(時間最大降水量8mm)を観測した。一 迫川流域(AMeDAS臨時観測地点「栗駒深山」)では 8月19日に時間最大降水量21mmを観測し、日降水 量は8月24日の115mm(時間最大降水雨量10mm) が最大であった。これらの降水量は過去10年間の降 雨記録から、時間最大降雨水量、日降水量それぞれ、 年に1度程度の確率降雨であった。

2流域の対象とした範囲における地震時に発生した 崩壊面積は一迫川流域が約3.7km<sup>2</sup>(解析範囲面積に 対する発生率: 6.5%)、磐井川流域が 0.85km<sup>2</sup>(同: 3.8%)と一迫川流域が多い(Fig.9左側の棒グラフ)。 しかし、3ヶ月経過した時点での崩壊地の拡大あるい は新規崩壊の発生は、発生面積では一迫川流域の方が 大きいが、各解析範囲内で発生した全崩壊面積に対す る発生率でみると、磐井川流域で13.7%、一迫川流域 で12.3%となり、磐井川流域の方が地震後の崩壊発生 率が高い傾向にあった。さらに、地震後に発生した崩 壊を地震時に発生した崩壊の拡大と新規崩壊の発生面 積率でみると(Fig.9右側の円グラフ)、磐井川流域で は地震時に発生した崩壊の拡大よりも、新規崩壊の発 生が 30%以上を占めるのに対し、一迫川流域では新規 崩壊の発生は16%であり、地震時に発生した崩壊の拡 大が占める率が高い傾向にあった。このように、地震 後に発生した崩壊は、流域間で違いが見られた。

解析範囲の地質・傾斜区分ごとの面積分布率とFig. 7の方法で集計した地震時に発生した崩壊の地質・傾 斜区分ごとの発生率、および地震後の新規崩壊の地 質・傾斜区分ごとの発生率を Fig. 10、11 に示す。ま た、地震後の新規崩壊の発生率について、地質・傾斜 区分ごとに集計した結果を Table 1、2 に示す。磐井川 流域では、地震後の新規崩壊は地震時と同様に、第三 紀中新世中期~後期の海成層 M1a、M1t、M2l、M2m で発生率が高く、特に第三紀中新世後期海成層(酸性 細粒~火山礫凝灰岩) M1a で新規崩壊の発生率が高い 傾向が認められた (Fig. 10)。傾斜については、地震 後の新規崩壊は地震時と同様に、勾配が急になるほど 発生率が高い傾向があるが、M1a 及び第三紀中新世後 期海成層 (シルト岩・砂岩・凝灰岩) Mlt では 25 度 以上の傾斜で、ほかの地質では35度以上の斜面で崩 壊の発生率が高くなる傾向があった (Fig. 10、Table 1)。地震後に新規崩壊が発生した斜面を現地調査した ところ、複数の亀裂が発生していることが確認された (Photo 1)。これらの亀裂は新規崩壊の発生地点につ ながっているケースが複数認められた。また、いくつ かの場所では湧水が確認された (Photo 2)。

一迫川流域では地震時には第三紀鮮新世後期~第四 紀更新世前期溶結凝灰岩 PPw とその下層の第三紀中 新世後期~鮮新世前期湖成層 PM のユニットで崩壊発 生率が高く、傾斜は急になるほど高くなる傾向であっ た (Fig. 11)。一方で、地震後に発生した新規崩壊の 発生箇所は、第三紀安山岩溶岩及び貫入岩類などから なる Tal で多い傾向が見られ、傾斜は 35 度以上であ った (Fig. 11 および Table 2)。また、現地調査から新 規崩壊が発生した場所及びその周辺の斜面では磐井川 流域の現場と同様に、亀裂の存在と湧水が認められた (Photo 3、4)。









Fig. 10 Relationship between landslides and slope inclination / geology in the Iwai River Area. The lower graph: Areal distribution in the analyzed area; the middle graph: landslide occurrence rate immediately after the earthquake in the analyzed area; the upper graph: new landslide occurrence rate within 3 months of the earthquake in the analyzed area. Geological legends are same as Fig. 6 and Table1.



- Fig.11
   一迫川流域における崩壊と傾斜と地質の関係。グラフの解説は Fig.11 と同上。地質の凡例は Fig.8 および Table2 を参照。
- Fig.11 Relationship between landslides and slope inclination / geology in the Ichihasama River Area. The explanation of these graphs is the same as Fig. 10. Geological legends are same as Fig. 8 and Table2.

Table1 New landslide incident rate of each geology and slope inclination condition: the Iwai River Area

Slope	傾斜(*) inclination	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60
	PMw	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
2	M1t	0.04	0.04	0.02	0.07	0.07	0.16	0.14	0.15	0.42	0.35	0.00	0.00
地口	M1a	0.10	0.09	0.09	0.07	0.14	0.21	0.25	0.36	0.52	0.40	0.00	0.00
見る	M2I	0.02	0.03	0.03	0.06	0.07	0.09	0.05	0.24	0.73	0.53	0.00	0.00
	M2m	0.08	0.00	0.00	0.06	0.12	0.07	0.10	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tal	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.05	0.15	0.05	0.30	0.00	0.00

地質凡例 PMw:第三紀中新世後期溶結凝灰岩、Mlt:第三紀中新世後期海成層(シルト岩・砂岩・凝灰岩)、Mla:第三 紀中新世後期海成層(酸性細粒〜火山礫凝灰岩)、M21:第三紀中新世中期海成層(シルト岩)、M2m:第三紀中新世中期海 成層(中性〜塩基性細粒〜火山礫凝灰岩)、Tal:第三紀安山岩(溶岩)及び貫入岩類など

Legend: PMw: Late Miocene- early Pliocene welded tuff, M1t: Late Miocene Marine sediments (Siltstone or Sandstone, Tuff), M1a: Late Miocene Marine sediments (Silicic Fine to Lapilli-tuff), M21: Middle Miocene Marine sediments (Siltstone), M2m: Middle Miocene Marine sediments (Intermediate to mafic Fine- to Lapilli-tuff), Tal: Tertiary andesite lava and intrusive rocks and so on,

※赤枠、及び黄色枠はFig.12で示す新規崩壊の発生する可能性が特に高い領域及び高い領域とした条件

Red and yellow frame shows the zoning condition where the landslides are newly occurred in Fig.12: Red frame: possibility that the landslides newly occurs is especially high . Yellow frame: high.

Table1 地質・傾斜条件ごとの新規崩壊発生率(%):磐井川流域

Table2	地質・	·傾斜斜	を件ごと	の新規崩	崩壞発生≥	മ(%)	:一迫	川流域						
Table2 N	New lar	ndslide	incident	rate of ea	ich geolog	gy and	slope i	nclinatio	n condi	tion: th	e Ichił	lasama	River A	rea

Slope	倾斜(°) inclination	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65
	R1g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
地	Qal	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.12	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
質。	Gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00
	Tal	0.00	0.06	0.08	0.08	0.05	0.16	0.19	0.45	0.61	1.07	0.78	0.00	0.00
	PPw+PM	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.08	0. 18	0.28	0.42	0.51	0.79	0.00

地質凡例 R1g:沖積層(下位段丘堆積物), Qal:第四紀安山岩(溶岩), Gr:先第三紀花崗岩類, PPw:第三紀鮮 新世後期~第四紀更新世前期溶結凝灰岩, PM:第三紀中新世後期~鮮新世前期湖成層, Tal:第三紀安山岩(溶岩) 及び貫入岩類など

Legend; R1g: Recent Alluvium Lower terrace sediments, Qal: Quaternary andesite lava, Gr: Pre-Tertiary Granitic rocks, PPw: Late Pliocene- early Pleistocene welded tuff (Kitagawa welded tuff), PM: Late Miocene- early Pliocene Lacustrine sediments, Tal: Tertiary andesite lava and intrusive rocks and so on,

※赤枠、及び黄色枠はFig.13a、13bで示す新規崩壊の発生する可能性が特に高い領域及び高い領域とした条件

Red and yellow frame shows the zoning condition where the landslides are newly occurred in Fig.13a and 13b: Red frame: possibility that the landslides newly occurs is especially high , Yellow frame: high.



- Photo 1 磐井川流域の新規崩壊の頭部付近で確認された亀裂。位置 は Fig.2 を参照。亀裂は新規崩壊につながっている。
- Photo 1 Crack found near the top of new landslide in the Iwai River Area. Fig.2 shows the taking a picture position. The crack reaches the new landslide.



- Photo 2 磐井川流域の新規崩壊地で見られた湧水。位置は Fig.2 を 参照。
- Photo 2 Spring water found on the new landslide in the Iwai River Area. Fig.2 shows the taking a picture position.



Photo3 一迫川流域の新規崩壊の発生が認められる斜面の周辺で認められた亀裂(矢印)。位置は Fig.13b を参照。

Photo3 Crack found near the new landslide in the Ichihasama River Area (arrow). Fig.13b shows the taking a picture position.

#### 5. 考察

地震後3ヶ月の間には、年1回の回帰年である降雨 が観察された。調査地周辺では気象観測が開始されて 以来、2008年の地震が起こるまでは対策を講じる必 要のある崩壊の発生は報告されていないことから、調 査地周辺の斜面は富田ら (1996)が報告する阪神淡路 大震災後に崩壊が発生した斜面と同様に、地震動によ り地震前に比べ少ない降雨で崩壊しやすい状況になっ ていることが考えられた。

磐井川流域では、震源に近いにも関わらず地震時に 大規模な崩壊は一迫川流域に比べると発生しておら ず、地震後に発生した崩壊地の拡大あるいは新規崩壊 の発生も、発生面積は一迫川流域よりも小さかった。 しかし、地震後に発生した崩壊地の拡大あるいは新規 崩壊を解析範囲内で発生した全崩壊面積に対する発生 率でみると磐井川流域のほうが高く、さらに新規崩壊 の発生率が一迫川流域よりも高い傾向にあった。新規 崩壊は地震時に崩壊が発生した地質・傾斜の条件と同 じ場所で崩壊の発生率が高い傾向にあったが、とくに 第三紀中新世後期海成層(酸性細粒〜火山礫凝灰岩)



Photo4 一迫川流域の新規崩壊地で見られた湧水 (矢印)。位置は Fig.13b を参照。

Photo4 Spring water found on the new landslide in the Ichihasama River Area (arrow). Fig.13b shows the taking a picture position.

M1aの、傾斜が25度以上の斜面での崩壊発生率がほ かの地質・傾斜条件に比べ高い傾向にあった。新規崩 壊の周辺の斜面では今回の調査で確認されたほかにも 多数の亀裂が確認されており(村上ら2009)、新規崩 壊が発生した斜面でも崩壊に続く亀裂が確認されてい る(Photo 1)ことから、平松ら(1999)による阪神淡路 大震災の際の調査での報告と同様に、地震時に亀裂が 発生し、それが弱線(面)となってその後の降雨の際 に拡大することで新規崩壊が発生していることが推測 された。なお、新規崩壊の発生していることが推測 された。なお、新規崩壊の発生場所では複数の地点で 湧水がみられることが多く、湧水の存在も地震後の崩 壊の発生に関係していることが示唆されるが、これに ついては十分な調査を行っていないため、今後の検討 事項である。

一迫川流域では地質によって地震後の崩壊に差異が 認められた。地震時に崩壊が多く発生した第三紀中新 世後期~鮮新世前期の湖成層 PM とその上位の溶第三 紀鮮新世後期~第四紀更新世前期結凝灰岩 PPw が分布 する斜面では、大丸ら (2010) あるいは三森ら (2009) により、その地質構造が地震時の崩壊に影響を与えた

ことが指摘されている。PM とその上位に PPw が分布 する斜面では大丸ら(2011)の温湯温泉上流の調査よ り、崩壊地の背後に存在していた線状凹地に新たな亀 裂が入り、斜面が変形していたことを報告しており、 地震後の崩壊の拡大はこのような変形がみられた斜面 が、その後の降雨を引き金として拡大に至ったものと 推測される。一方で、新規崩壊は地震直後には崩壊が あまり認められなかった第三紀の安山岩溶岩および貫 入岩類などからなる Tal が分布する、傾斜 35 度以上 の斜面で多く認められる傾向があった。新規崩壊が多 く認められる場所における調査は、崩壊斜面が急勾配 なこともあり磐井川流域ほど十分な現地調査は行えて いない。しかしながら、これまでに調査に入ることが できた斜面では、磐井川流域同様の亀裂の発生が複数、 確認されている (Photo 3)。これまでに確認された亀 裂は、磐井川流域で確認されたような新規崩壊につな がるものではなかったが、一迫川流域でも今回の地震 後に新規崩壊の発生が認められた地質・傾斜条件の斜 面では、弱線(面)となる亀裂が地震時に形成されて いることが考えられる。また、これらの新規崩壊の発 生場所においても湧水が認められており (Photo 4)、 湧水の存在と崩壊の発生についても検討していくこと が必要であると考える。

Table 1 および 2 に示された地震後に新規崩壊の発生 率が高かった地質と傾斜条件をもとに、今後、新規崩 壊が発生する可能性が高い領域を Fig. 12 および Fig. 13a、b に示した。両流域とも、便宜的に Table 1、2 において崩壊発生率が0.15%以上の地質・傾斜条件と なる斜面を新規崩壊の発生する可能性が高い領域、0.2 %以上の地質・傾斜条件となる斜面を新規崩壊の発生 する可能性が特に高い領域とした。このうち、Table 2 において沖積層下位段丘堆積物 R1g で傾斜 25-30°の 斜面で崩壊発生率が高くなっているが、これは別の地 質・傾斜条件の斜面の崩壊地からの崩土を崩壊地とし て判読している可能性が高いため、領域からは除外し た。Fig. 12 及び Fig. 13a、13b は地質と傾斜条件のみ から推定したものであり、さらに、地震後の崩壊地の 拡大および 2008 年9月以降に発生した新規崩壊につ いては考慮していないため、崩壊の発生する危険が高 い斜面を厳密には予測しているわけではない。予測す るためには降雨データや震源からの距離および地震動 の伝わり方、あるいは2008年9月以降に発生した崩 壊箇所の情報を追加するなど、さらなる検討が必要で ある。しかし、崩壊した場所と同じ地質・傾斜条件を 持つ斜面を図的に示すことは今後の現地調査を進める うえで有効な指標であると考える。Fig. 12から、磐 井川流域では地震時に崩壊が発生した地質・傾斜条件 の斜面の周辺で新規崩壊が発生する危険性が高いこと が推測された。一方で、一迫川流域では上流側の地震

時に崩壊が発生した地質・傾斜条件の斜面では新規崩 壊の発生の可能性は高くなく (Fig. 13a) 、下流側の地 震時に崩壊があまり発生していない地質・傾斜条件の 斜面で新規崩壊の発生の可能性が高い (Fig. 13b) とい う結果となった。これは、一迫川流域では地震時の崩 壊の拡大が占める割合が高いこと、Fig. 13a、b で示 した危険性は新規崩壊のみであり、崩壊の拡大につい ては考慮していないことが理由の一つとして考えられ る。しかし、少なくとも地震時に崩壊の発生が少なか った下流域の Tal の分布する傾斜 35°以上の斜面で は、今後の降雨により新規崩壊が起こる可能性が高い と考える。現地調査によると、各流域で新規崩壊が発 生する可能性が高いとした地質・傾斜条件の斜面では、 地震時に形成されたと推察される亀裂が多くの斜面で 見つかっている。このため、このような斜面において は、亀裂が弱線(面)となることで今後の降雨による 崩壊発生の可能性が高いと考える。

#### 6. まとめ

地震後の新規崩壊の発生地点の地質・傾斜条件をも とに新規崩壊の発生する危険性が高い斜面を Fig. 12 および Fig. 13a、b で示した。新規崩壊の発生する危 険性が高い地質・傾斜条件は流域ごとに異なり、磐井 川流域では地震時に崩壊が発生した地質・傾斜条件と 同じ斜面で新規崩壊が発生する傾向が認められ、特に 第三紀中新世後期海成層(酸性細粒~火山礫凝灰岩) M1a が分布する傾斜が 25 度以上の斜面で発生率が高 かった。一方で、一迫川流域では地震時に崩壊が多く 発生した地質・傾斜条件である第三紀鮮新世後期~第 四紀更新世前期溶結凝灰岩 PPw とその下層の第三紀 中新世後期~鮮新世前期の湖成層 PM のユニットでは 新規崩壊はあまり発生せず、地震時に崩壊があまり発 生しなかった第三紀安山岩溶岩および貫入岩類などか らなる Tal が分布する、傾斜が 35 度以上の斜面で発 生率が高い傾向があった。これまでに行った現地調査 から、どちらの流域の新規崩壊が発生する可能性が高 い地質・傾斜条件の斜面でも亀裂の発生が確認されて おり、それらが弱線(面)となってその後の降雨によ り崩壊を発生しやすくしていることが推測された。今 後は、降雨データや震源からの距離および地震動の伝 わり方、あるいは2008年9月以降に発生した崩壊箇 所の情報などを追加し、さらに現地調査などから弱線 (面)となる亀裂の存在といった斜面の変状を確認す ることで、より正確に将来的に崩壊の危険性の高い斜 面を予測していくことが課題である。

#### 謝辞

現地調査に際しては、林野庁東北森林管理局宮城北 部森林管理署宮城山地災害復旧対策室、および岩手県 の関係各位より多大な協力をいただいた。なお、この 研究は独立行政法人森林総合研究所運営費交付金プロ ジェクト(課題番号:200810)「岩手・宮城内陸地震に よって発生した土砂災害の特徴と発生機構に関する研 究」に基づいて行われて成果である。



- Fig.12 磐井川流域における地質と傾斜条件から抽出した新規崩壊発生の危険領域。等高線図は 1/2.5 万地形図「真湯温泉」「高檜能山」「栗駒山」「本寺」を使用した。領域の条件は Table1 に記載。
- Fig.12 Zone with possibility that landslides newly occur in the Iwai River Area. We use the 1/25000 topographical maps 'Shinyuonsen', 'Takahinoyama', 'kurikomayama' and 'Hondera' by Geospatial Information Authority of Japan. The zoning condition is described in Table1.



- Fig.13a 一迫川流域における地質と傾斜条件から抽出した新規崩壊発生の危険領域(上流側)。等高線図は1/2.5 万地形図「桂沢」「栗駒山」「軍沢」「切留」「花山湖」を使用した。領域の条件は Table2 に記載。
- Fig.13a Zone with possibility that landslides newly occur in the Ichihasama River Area (upper area). We use the 1/25000 topographical maps 'Katsurazawa', 'Kurikomayama', 'Ikusazawa', 'Kiridome' and 'Hanayamako' by Geospatial Information Authority of Japan. The zoning condition is described in Table2.





Fig.13b Zone with possibility that landslides newly occur in the Ichihasama River Area (lower area). We use the 1/25000 topographical maps 'Katsurazawa', 'Kurikomayama', 'Ikusazawa', 'Kiridome' and 'Hanayamako' by Geospatial Information Authority of Japan. The zoning condition is described in Table2.

- 大丸裕武・村上 亘・多田泰之・三森利昭 (2010) 岩 手宮城内陸地震による一迫川上流部の崩壊発生と バレーバルジング, 地形, **31**, 61.
- 大丸裕武・村上 亘・多田泰之・岡本 隆・三森利昭・ 江坂文寿 (2011) 2008 年岩手・宮城内陸地震によ る一迫川上流域の崩壊発生環境,地すべり学会誌 ,48,147-159.
- 平松晋也・水山高久・石川芳治・小山内信智 (1999) 地震により斜面上に形成された亀裂が土砂生産危 険度に及ぼす影響,地すべり,36(2),3-12.
- 北村 信 (1986) 新生代東北本州弧地質資料集, 第2 巻その8島弧横断ルートNo.20(鬼首-細倉-花 泉).
- 古賀省三 (2007) 地球温暖化にもとづく土砂災害対応の課題,砂防学会誌, 60 (4), 1-2.
- 小俣新重郎 (2005) 豪雨による斜面崩壊,物理探査, 58, 599-609.
- 栗駒地熱地質編集グループ (1986) 1/10 万栗駒地熱 地質図説明書,特殊地質図 (21-3),地質調査所, 26p.
- 三森利昭・大丸裕武・黒川 潮・岡本 隆・村上 亘・ 多田泰之・小川泰浩・岡田康彦・大野泰宏・野口 正二・安田幸生・浅野志穂・安田正次 (2009) 宮城・ 岩手内陸地震で発生した崩壊の特徴,第58 回平 成21 年度砂防学会研究発表会概要集, T-103.
- 宮崎裕子・千木良雅弘・黒川 潮 (2005) 2000 年新島・ 神津島近海地震とその後の降雨による崩壊発生の

地質・地形的要因について:流紋岩質溶岩と火砕物からなる斜面の崩壊の例,地形,26,205-204.

- 村上 亘・大丸裕武・小川泰浩・黒川 潮・多田泰之・ 三森利昭・安田正次・斎藤 仁 (2009) 岩手宮城 内陸地震において崩壊斜面背後の山地稜線部に形 成された亀裂, 2009 年春季学術大会日本地理学 会発表要旨集, 217.
- 村上 亘・大丸裕武・江坂文寿 (2010) 2008 年岩手宮 城内陸地震災害地での地震後の斜面崩壊発生の地 形・地質的要因について,日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集,HDS021-09,CD-ROM.
- 沖村 孝・鳥居宣之・永井久徳 (1998) 地震後の降雨 により発生した斜面崩壊メカニズムの一考察,建 設工学研究所論文報告集, No. 40-B, 97-114.
- 田結庄良昭・藤田智子 (1996) 兵庫県南部地震とその 後の降雨による斜面崩壊,応用地質,37(3),35-45.
- 富田陽子・桜井 亘・中 庸充 (1996) 六甲山系にお ける地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 新砂防,48(6),15-21.
- 山越隆雄・松岡 暁・田村圭司・寺田秀樹・長井義樹・ 丸山 準・小竹利明・小川紀一朗 (2009) 地震後 の降雨・融雪に伴う土砂生産特性について:兵庫 県南部地震と新潟県中越地震の比較,地形,30, 54.
- 横山俊治・菊山浩喜 (1997) 1995 年兵庫県南部地震時 に発生した六甲花崗岩地域の斜面崩壊の運動様式 と機構,地すべり,34(3),17-24.