

能登半島地震による輪島周辺の斜面崩壊の地形的特徴（第 2 報）
Geomorphological features of slope failures around Wajima City,
triggered by the Noto Hanto Earthquake in 2007 (Second Report)

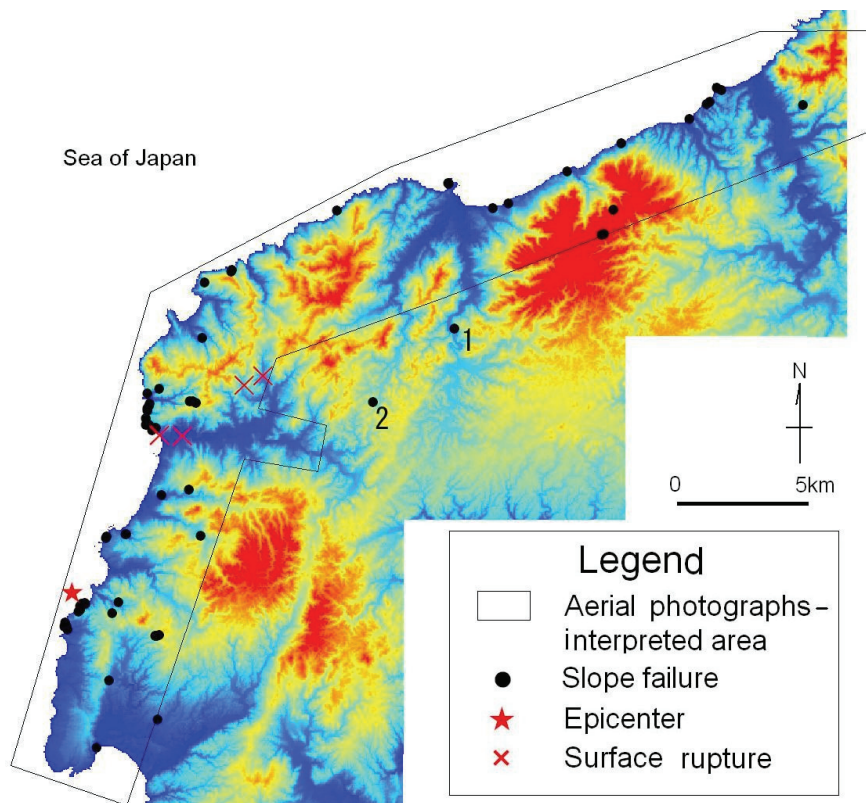
国土地理院地理地殻活動研究センター

佐藤 浩

Geographical Survey Institute (GSI)

Hiroshi P. SATO (fax: +81-29-864-2655)

国土地理院では 3 月 26 日、震源域に面した能登半島の志賀町から輪島市の日本海沿海部を中心に縮尺 1/10,000 のカラー空中写真を撮影し¹⁾、その写真を判読して地震によって生じたと考えられる斜面崩壊の位置を 3 月 30 日に災害状況図（電子国土）として公開した²⁾。ここでは、その空中写真の撮影範囲のほぼ全域、284.8km²における 65 ヶ所の斜面崩壊（図—1）について、国土地理院の 50m メッシュ数値地形モデル（Digital Elevation Model: DEM）を用いた地形的特徴と、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図データベース³⁾を重ね合わせた結果を述べる。



図—1 対象範囲における斜面崩壊（黒点）の分布。赤星は震央、赤×印は研究者^{5),6),7)}によって地震断層もしくは地表の変状が報告されている位置。背景は国土地理院の 50m メッシュ標高データ。
Fig.1 Slope failures distribution in the aerial photographs-interpreted area. Positions of surface rupture were identified by 5), 6), and 7). Back image is based on 50m-grid digital elevation model published by Geographical Survey Institute.

1. 斜面崩壊分布と 50m メッシュ DEM の重ね合わせ

図—1 に黒点で示したのは、今回撮影の空中写真を利用して国土地理院が判読した輪島市周辺の斜面崩壊である。空中写真で判読する限りでは、小規模な表層崩壊が多いようである。黒細線で囲んだ撮影範囲の南東側にある 2 ヶ所（1, 2 と番号をつけた箇所）の斜面崩壊は、ALOS/AVNIR-2 画像による判読結果⁴⁾でその位置を補った。1 と番号をつけたのが、一時的に河道閉塞を来した斜面崩壊である。図—1 にマッピングした斜面崩壊の数 65 ヶ所とは、この 2 ヶ所も含めている。

図—1 の赤い×で示したのは、能登半島地震による地震断層もしくは断層と関わりのある地表の変状として報告されている箇所（東京大学地震研究所佐藤教授のグループ⁵⁾、金沢大学石渡教授のグループ⁶⁾、産業技術総合研究所のグループ⁷⁾による報告）である。これらは、国土地理院が電子基準点で観測された地殻変動データから推定した震源断層モデル⁸⁾の上端の近傍もしくは延長上に位置している⁹⁾。今回マッピングした斜面崩壊の発生箇所については、この想定断層線との何らかの位置関係を示すような分布は見いだせなかった。空中写真の撮影範囲が狭かったこともあり、その関係を考察することは、現時点では困難である。

1) http://www1.gsi.go.jp/topographic/bousai/photo_h19-noto/photo-area.html（国土地理院ホームページ）

2) <http://zgate.gsi.go.jp/notojishin/notojishin.html>（国土地理院ホームページ）

3) http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/jisuberi_mini/index.asp（防災科学技術研究所ホームページ）

4) http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/isikawa/ALOS_noto.htm（国土地理院ホームページ）

5) <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/noto20070325/satou0329.html>（東京大学地震研究所ホームページ）

6) http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/2007_notohanto-earthquake/2007_notohanto-earthquake.html（金沢大学石渡研究室ホームページ）

7) <http://unit.aist.go.jp/actfault/katsudo/jishin/notohanto/report/070403.html>（産業技術総合研究所ホームページ）

8) <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007/0328.htm>（国土地理院ホームページ）

9) http://cais.gsi.go.jp/Research/crust/notohanto/fault_etc.pdf（国土地理院ホームページ）

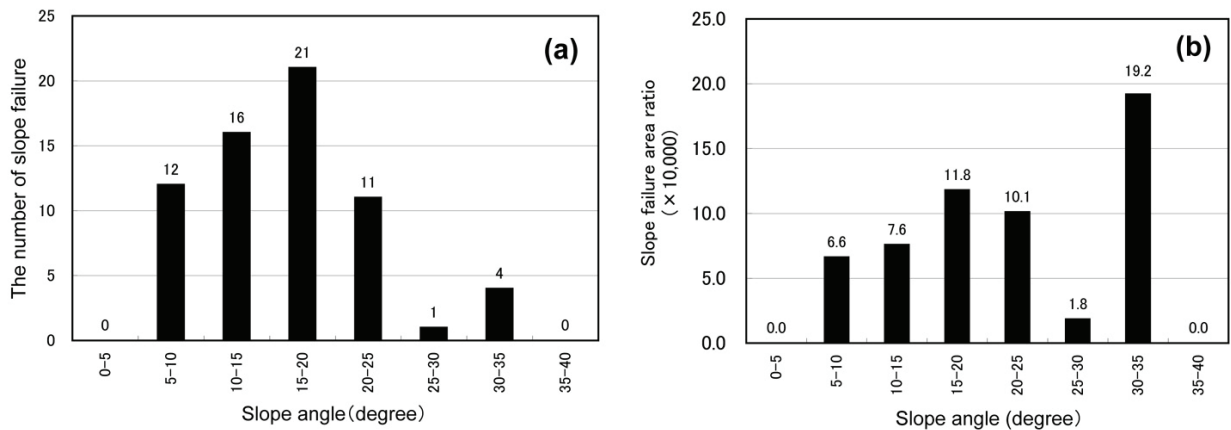
図—1 にマッピングした斜面崩壊を、国土地理院の 50m メッシュ数値地形モデル（Digital Elevation Model）と重ね合わせて、65 ヶ所の斜面崩壊の地形的特徴を定量的に把握しようとした。具体的には、50m メッシュ DEM から計算される傾斜、断面曲率（断面図における傾斜変化率。正・負の値が大きいほど、断面的にそれぞれ凸・凹の曲率が高くなり、ゼロは等斉斜面）、斜面方位の 3 つの地形量に着目した。

図—1 にマッピングした斜面崩壊は、その面積が 50m×50m の中に収まる程度の小規模な崩壊がほとんどであるため、個々の斜面崩壊がその 1 メッシュすべてを占めると仮定して、その注目メッシュの傾斜、断面曲率、斜面方位を抽出した。その結果を図—2 (a)、図—3 (a)、図—4 (a)にそれぞれ示す。

（1）斜面崩壊と傾斜角の関係

図—2 (a)において、最も斜面崩壊の頻度が高いのは 15-20° の傾斜帯における 21 ヶ所であった。図—2 (a)については、15-20° の傾斜帯が今回の判読範囲の面積を広く占めるので、たまたま斜面崩壊が生じる機会が多かったのかもしれないというおそれがある。そこで、今回の判読範囲において各傾斜帯が占めるメッシュ数で割り戻した面積比を求めることによって、平準化した頻度を求めようと

した。その結果が図一2 (b)である。ただし、縦軸は 10,000 倍にスケールしている、スケールした後の数値を述べる (以下、同様)。30° 未満までは 15-20° の面積比が 11.8 と最も多いが、全体的に見ると、30-35° における斜面崩壊の面積比が 19.2 と著しく高く、今回の地震によって、急斜面で斜面崩壊が生じやすかったことが示唆される。

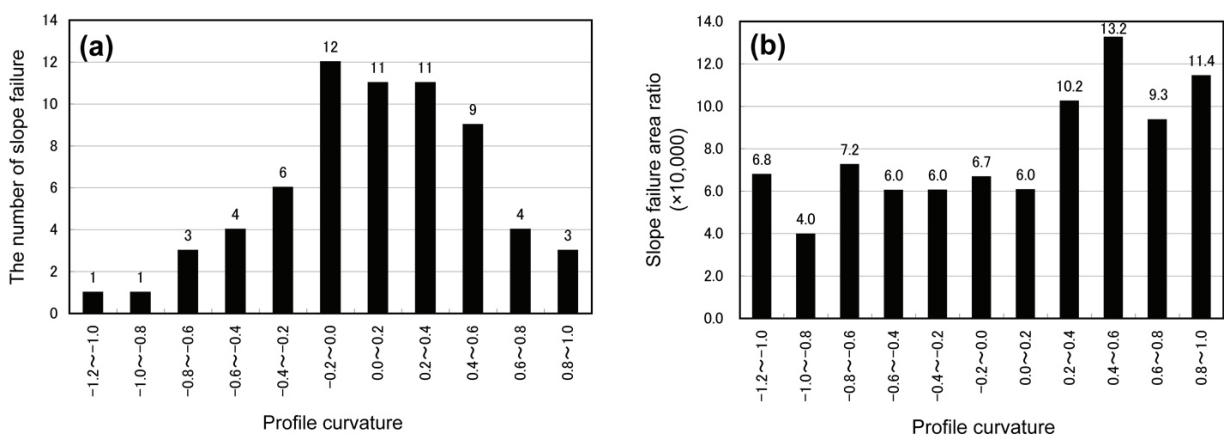


図一2 (a) 斜面崩壊の傾斜に関する頻度, (b) 各傾斜帯に占める斜面崩壊の面積比。

Fig.2 (a) Slope failures frequency on slope angle, (b) Slope failure area ratio in each slope angle class.

(2) 斜面崩壊と断面曲率の関係

図一3 (a)は、0 以上 0.8 未満の 4 つのクラスで断面曲率の頻度が 9 以上であり、-0.8 以上 0 未満の 4 つのクラスの頻度が 6 以下であることと比較すると、断面形状が凹よりも凸の斜面で斜面崩壊が相対的に多いようである。これは、従来の地震による斜面崩壊でも指摘されてきたことである。傾斜の場合と同様に、平準化のため断面曲率に関する斜面崩壊面積比を求めたのが(b)のグラフである。断面曲率 0.4 以上の面積比が 9.3 以上であり、凸の斜面で斜面崩壊が相対的に多い事実がいつそう裏付けられることが判った。

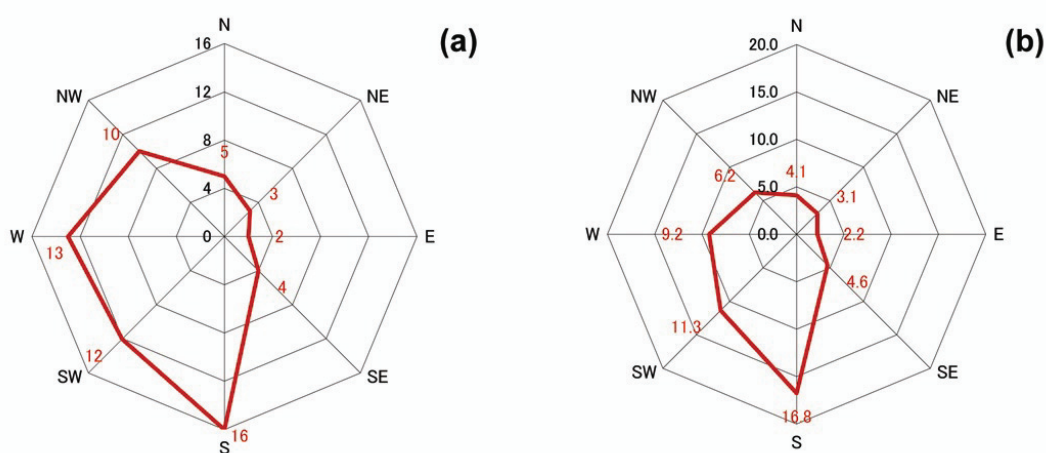


図一3 (a) 斜面崩壊の断面曲率に関する頻度, (b) 各曲率帯に占める斜面崩壊の面積比。

Fig.3 (a) Slope failures frequency on profile curvature, (b) Slope failure area ratio in each profile curvature class.

(3) 斜面崩壊と斜面方位の関係

図一4(a)は、南向き斜面で16ヶ所、それ以外でも南西～西～北西向き斜面で10ヶ所以上と、南から西向き成分を有する斜面で崩壊が多発しており、それに対して東向き成分を有する斜面では4ヶ所以下と、異方性が極めて著しいことが判った。先の2つの地形量と同様に、平準化のため斜面方位に関する斜面崩壊面積比を求めたのが(b)のグラフである。西向き成分よりも東向き成分を有する斜面の面積比の方が小さいが、(a)ほど異方性が際立っているとはいえないが、それでも異方性を主張することはできよう。東西異方性よりも面積比が大きいのが南向き斜面であり、16.8を記録した。南向き斜面で斜面崩壊の面積比が多いのが、今回の断層運動と関連するのか、それとも太陽日射の関連で風化が進んでおり地震動によって崩壊する土砂に富んでいるのか、その要因を探るのは難しい。



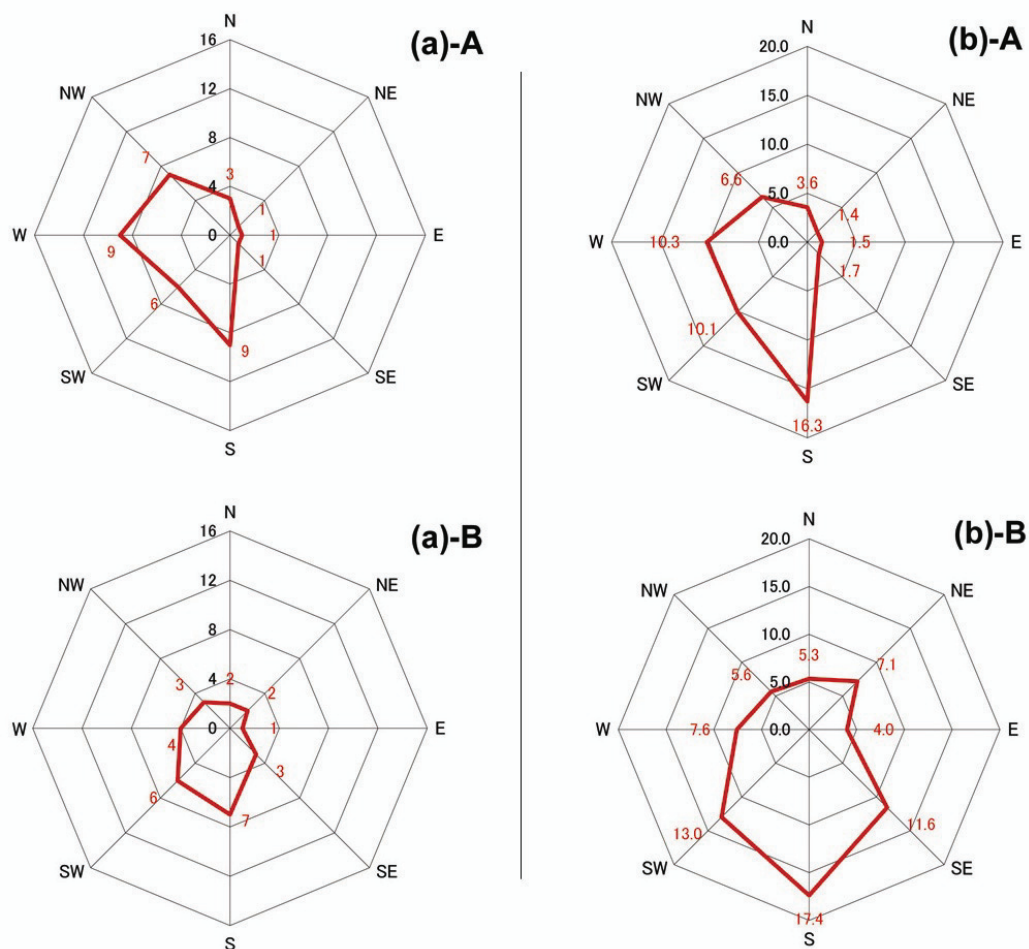
図一4(a) 斜面崩壊の斜面方位に関する頻度, (b) 各斜面方位に占める斜面崩壊の面積比。

Fig.4 (a) Slope failures frequency on slope aspect, (b) Slope failure area ratio in each slope aspect class.

今回想定される断層線を挟んで、断層運動による北西側と南東側の地殻の挙動が異なるため、想定断層線の西側と南東側に分けて議論することによって、斜面崩壊の特徴に違いがあるかもしれない。図一5は、今回の想定断層線を挟んで図一4を北西側と南東側に分けて示したレーダーチャートである。Aが北西側、Bが南東側である。

左列(a)の斜面崩壊の個数を比較すると、想定断層線の北西側・南東側を問わず南～南西向き斜面の異方性が認められる。さらにAの北西側では、西向き斜面の異方性が認められるが、Bの南東側では、Aの北西側と比較して、それほど西向き斜面の異方性は認められない。右列(b)の斜面崩壊面積比を考慮しても、それらの傾向は同様である。

このことから、今回の空中写真の判読範囲に分布する斜面崩壊を対象とする限り、斜面崩壊には南～南西向き斜面の異方性が認められ、それは想定断層線の北西側・南東側を問わないことが判った。



図—5 (a) 斜面崩壊の斜面方位に関する頻度, (b) 各斜面方位に占める斜面崩壊の面積比。A, 想定断層線より北西側; B, 想定断層線より南東側

Fig.5 (a) Slope failures frequency on slope aspect, (b) Slope failure area ratio in each slope aspect class. A, Northwest side of the estimated fault line along the surface ruptures; B, Southeast side of the line.

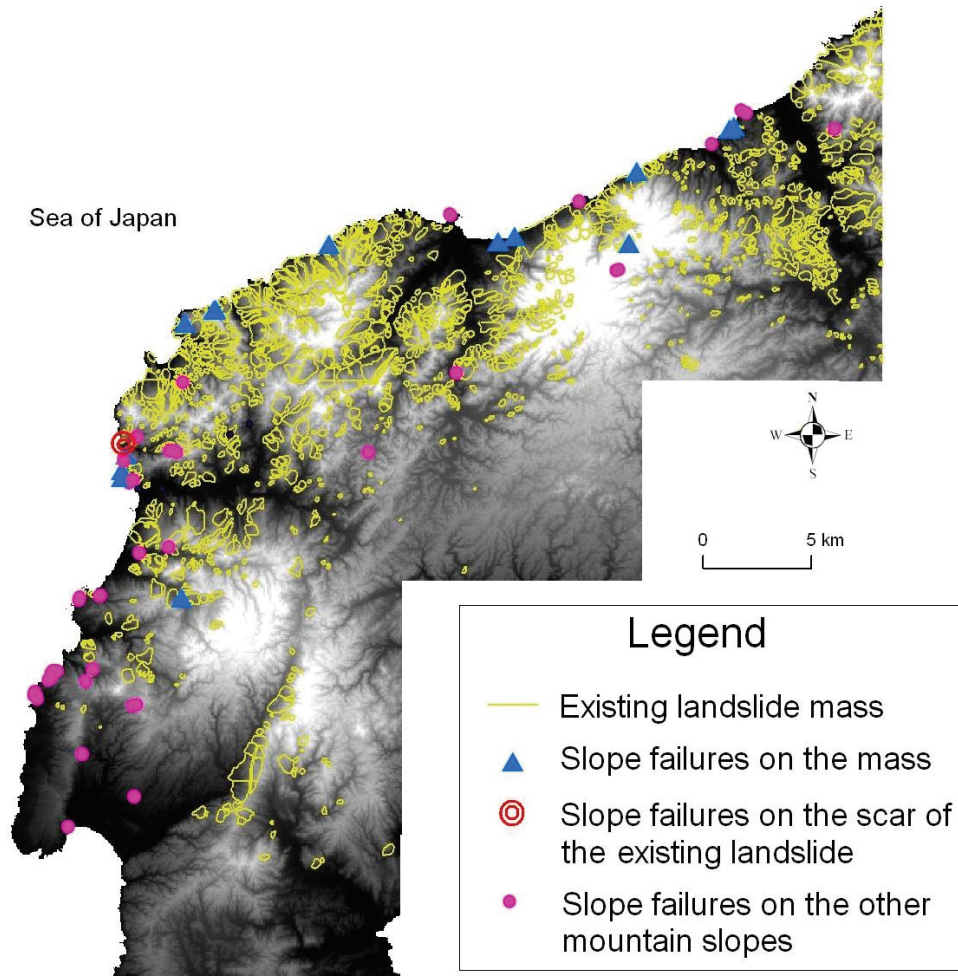
2. 斜面崩壊分布と地すべり地形分布図データベースの重ね合わせ

図—1 に示した 65 ヶ所の斜面崩壊を、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図データベース³⁾と重ね合わせた結果を図—6 に示す。この結果、表—1 に示すように、既往地すべり地形で発生した斜面崩壊よりも、一般斜面で生じた斜面崩壊のほうが3倍以上多かったことが判った。

表—1 斜面崩壊と既往地すべり地形の関係

Table 1 Relation between slope failures and existing landslide landform

斜面崩壊の位置 (Position of the slope failures)	箇所数 (Site number)
地すべり移動体上 (on the landslide mass)	15
地すべり滑落崖 (on the landslide scar)	1
その他山地斜面 (on the other mountain slopes)	49



図—6 斜面崩壊と地すべり地形分布図データベース³⁾の重ね合わせ。斜面崩壊の位置を既往地すべり地形に応じて3つに分類した。背景は国土地理院の50mメッシュ標高データ。

Fig.6 Overlay of slope failures on the landslide data base published by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED). Location of the slope failures were classified into three types according to the existing landslide landform. Back gray image is based on 50m-grid digital elevation model published by Geographical Survey Institute.