

2011年3月12日に発生した長野県北部地震と大雪の複合災害 - 地震によって誘発された雪崩発生状況 -

上石 勲*・本吉弘岐*・石坂雅昭*

The Snow and Earthquake Multiple Disaster Induced by North Nagano Prefecture Earthquake on 12 March 2011 - Avalanches induced by the earthquake -

Isao KAMIISI, Hiroki MOTOYOSHI, and Masaaki ISHIZAKA

* Snow and Ice Research Center,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
kamiisi@bosai.go.jp, himotoyoshi@bosai.go.jp, ishi@bosai.go.jp

Abstract

The North Nagano prefecture Earthquake (M6.7) on 12 March 2011 induced surface-snow avalanches, full-depth avalanches, collapse of the block-like snowpack and cracks on the surface of the snowpack over wide area, where the seismic intensity was 6 or more and the snow depth was more than 2 m. The avalanches occurred at slopes even though avalanche supporting structures had been deployed and debris filled roads at many locations. Earthquake-induced avalanches of snow, mixed with rock and sand, flew long distances due to high fluidity. We calculated the stability index of the snowpack by using an equation that incorporates the earthquake acceleration. The result shows that the stability index of the sliding surface for a surface-snow avalanche, consisting of wet melt forms snow, was estimated to be 1.5 or less which indicates the possibility of earthquake-induced avalanche.

Key words : Multiple disaster, North Nagano Prefecture earthquake, Avalanche, Snowpack, Crack

1. はじめに

長野県北部地震 (M6.7) は長野県と新潟県の県境付近を震源として3月12日午前3時49分に発生した。長野県栄村で震度6強、新潟県津南町、十日町市で震度6弱を記録し、多くの雪崩や積雪の崩落が発生した。地震によって発生した雪崩については東浦ら¹⁾、小倉ら²⁾、小杉ら³⁾の例があるが、今回のように積雪2m以上の大雪時に発生した地震によって広域的に雪崩が誘発された研究報告例はない。ここでは、地震発生直後から震源地を中心とした長野県栄村、新潟県津南町、十日町市において行った地震と雪の複合災害についての現地調査結果について報告する。

2. 長野県北部地震発生時の積雪状況

2010-11年冬期は平成18年豪雪以来の豪雪で、特に1月

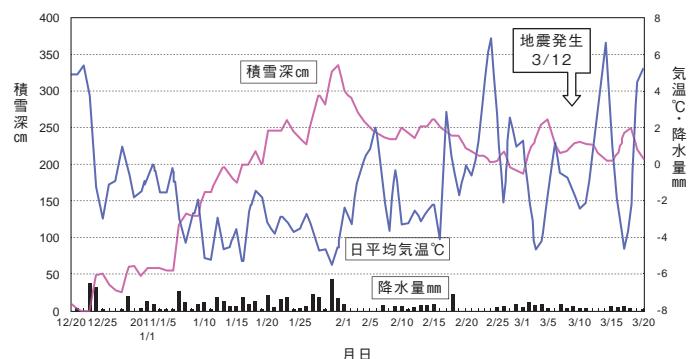


図1 長野県北部地震発生前の積雪気象状況
(アメダス津南観測点)

Fig. 1 Snow depth and temperature variations before the earthquake.

は当地域でも大雪となり、アメダス津南観測点では1月31日に338 cmを記録した(図1)。長野県北部地震発生の3月12日の積雪深も平年よりも多く、アメダス津南観測点で227 cm、新潟県十日町市松代支所で237 cm、新潟県十日町市松之山支所で303 cmと震源地周辺では2 m以上となっていた。多くの家屋はすでに雪下ろしをされていて屋根の上に大量の雪は載っていなかったが、屋根雪が雪崩のように崩落している建物もあった(図2、図3)。道路融雪のための消雪パイプは平成16年10月の新潟県中越地震では多くが被災したが⁴⁾、今回の被災例は少なかった。一方、地震によって被災した水道などのライフラインの復旧には積雪による工事の遅れなどの影響があった。



図4 地震によって同時に多発した表層雪崩(新潟県十日町市)
Fig. 4 Many seismicity-induced surface snow avalanches.



図2 長野県北部地震で屋根雪が崩落し、被災した倉庫(長野県栄村)

Fig. 2 The falls of roof snow and collapsed cabin by the earthquake.



図5 地震によるブロック状の積雪の崩落と雪崩発生(新潟県十日町市)

Fig. 5 Avalanches and falls of snowpack blocks induced by the earthquake.



図3 長野県北部地震による屋根雪の落下状況(新潟県津南町)

Fig. 3 The falls of roof snow induced by the earthquake.



図6 ブロック状の積雪の崩落(新潟県十日町市孟地)

Fig. 6 The falls of snowpack blocks induced by the earthquake.

3. 長野県北部地震による雪崩・クラックの発生状況

現地調査により、1つの斜面で多数の表層雪崩や全層雪崩が発生しているところや(図4)、通常雪崩が発生しない緩斜面や勾配変化点、尾根部でも雪崩や積雪のクラック、ブロック状の積雪の崩落が発生していることが確認された(図5、図6)。また、雪崩予防柵が設置してある斜面でも、施設の上部から雪崩が発生して柵を乗り越えて道路まで到達し、道路を一部通行止めにするなどの影響を与えた(図7)。また、一部では雪崩や積雪の崩落が建物にも被害を与えた(図8)。

さらに、土砂崩壊に伴った雪崩も多発した。新潟県津南町で発生した雪崩は約1,000 m 流下して、大量の湿った



図7 雪崩予防柵上部斜面から発生した雪崩が道路を埋積(新潟県十日町市)

Fig. 7 Avalanches at slope with avalanche supporting structures.



図8 地震による雪崩によって被災した建物 (新潟県十日町市)

Fig. 8 Collapse house by seismicity-induced snow avalanche.



図10 地震による雪崩発生への影響範囲

Fig. 10 Area of seismicity-induced snow avalanche.

積雪と土砂からなるデブリが道路を埋積した。雪崩の見通し角(雪崩の停止点から発生点を見通した角度で大規模な乾雪表層雪崩の最大到達点で18度という経験則がある)は18度で、地震の影響などで流動性が高くなり、流下距離が長くなると推定される。同様の現象は長野県栄村でも発生し、見通し角14度の地点まで流下した(図9)。

地震発生1週間後の調査でも、通常雪崩が発生しづらい箇所でクラックや不安定なブロック状の積雪が残っているところがあり、余震や気象変化などによって雪崩が発生しやすい状態であることが把握された。

幹線道路沿いの約100地点についての地震の積雪・雪崩発生への影響調査を実施した。長野県栄村、新潟県津南町と十日町市旧松代、旧松之山地区の震度6弱以上を観測した観測点が入る範囲では、自然では雪崩が発生しづらい勾配の緩やかなところでも、地震によって雪崩やブロック状積雪の崩落やクラックが随所に発生していた(図10)。

また、新潟県十日町市天水越や長野県栄村小滝などでは、融雪後に地盤のクラックが確認され、一部では水田の耕作ができない状態であった(図11)。さらに、地震による雪崩によって河道が埋積して上流の水がダムアップしている状況も見られた(図12)。

道路雪崩対策施設である道路のスノーシェッドが背面の斜面の表層崩壊により崩壊している箇所もあった(図13)。さらに、中越地震と同様に、斜面の崩壊に伴って雪崩予防柵が崩壊した箇所も見られた⁴⁾(図14)。



図11 融雪後の積雪と地面のクラック(長野県栄村)

Fig. 11 Cracks of snowpack and ground observed in the snow melt season.



図12 地震による雪崩によってダムアップした河川 (新潟県十日町市: 渋海川)

Fig. 12 River dam up caused by seismicity-induced snow avalanche debris.



図9 地震による斜面崩壊と雪崩、流動性が高く道路まで到達(新潟県津南町, 長野県栄村)

Fig. 9 Seismicity-induced collapse of slope and snow avalanche, that had high fluidity and long flow distance.

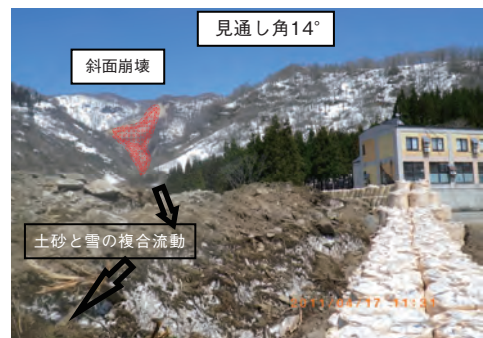




図13 背後の斜面の表層崩壊によるスノーシェットの崩壊 (長野県栄村横倉)
 Fig.13 Collapse of snow shed by seismicity-induced surface slide.



図14 地震によって崩壊した雪崩予防柵(新潟県十日町市)
 Fig.14 Collapse of avalanche supporting structures due to the earthquake.

4. 積雪状況から解析した地震の影響を考慮した雪崩危険度

地震による雪崩発生箇所2か所(新潟県十日町市孟地, 新潟県十日町市野中(図10))において積雪断面調査を行った。調査では、積雪をすべり層まで掘り、雪質、積雪の粒度、密度、含水率などを測定した。また、シアフレーム(断面積100cm²金属製の枠)を用いて積雪の剪断抵抗力を測定した。積雪深は2.2~2.6mで、ぬれざらめ雪をす

べり層とし、その上部の密度200~300kg/m³の約70cmの積雪が流下していることがわかった。すべり層の剪断抵抗力は雪質の違いにより、十日町市猛地では1.58kN/m²で、十日町市野中での剪断抵抗力は0.78kN/m²であった(図15, 図16)。

これらの観測データを用いて地震を考慮した積雪の安定度を見積もるため、地盤の安定解析の考え方を積雪に応用した。式(1)に示すように、積雪荷重の斜面分力に地震の水平加速度をプラスした駆動力と、現地斜面上で測定したすべり層の剪断抵抗力(SFI)を用いて積雪安定度(SI)を計算した。

$$SI = SFI / (W \sin \theta \cos \theta + W k_h \cos^2 \theta) \quad (1)$$

- SI: 積雪安定度
- SFI: 剪断抵抗力(kN m⁻²) (斜面上の測定値)
- W: 単位水平面積当たりの積雪の鉛直荷重(kN m⁻²)
- k_h: 地震水平震度(=地震水平加速度(gal)/重力加速度(980 gal))
- θ: 斜面勾配(度)

地震による水平加速度には、防災科学技術研究所の強震度観測網津南観測点における水平加速度の最大値704gal(1gal=10⁻²m s⁻², 東西方向)を用いた。さらに、想定される余震に対する雪崩発生の可能性を検討するため、気象庁震度階級による震度に対応した加速度の平均値を水平加速度として計算した。

- 震度4: 25-80 gal (平均53 gal)
- 震度5: 80-250 gal (平均165 gal)
- 震度6: 250-400 gal (平均325 gal)

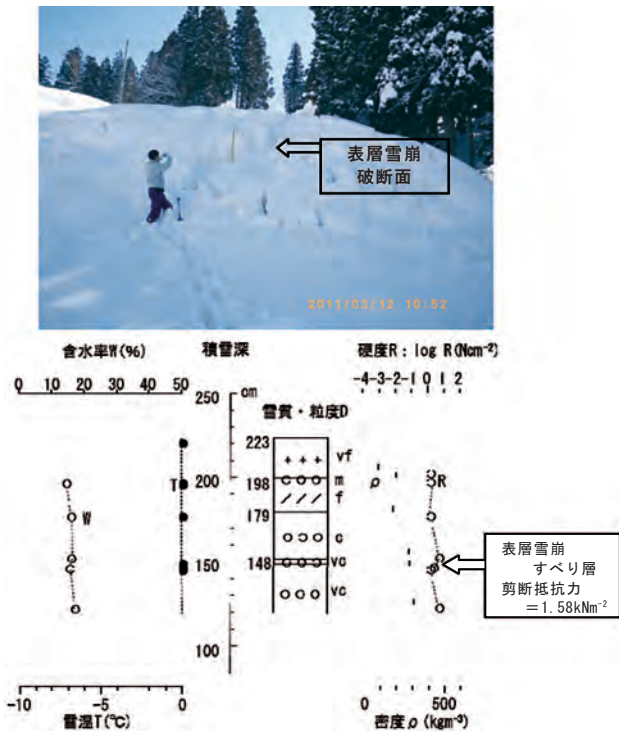


図15 雪崩発生状況と積雪観測結果 (新潟県十日町市孟地 3月12日)
 Fig.15 Snow profile (Mochi, Tokamachi, Niigata pref. 12.March).

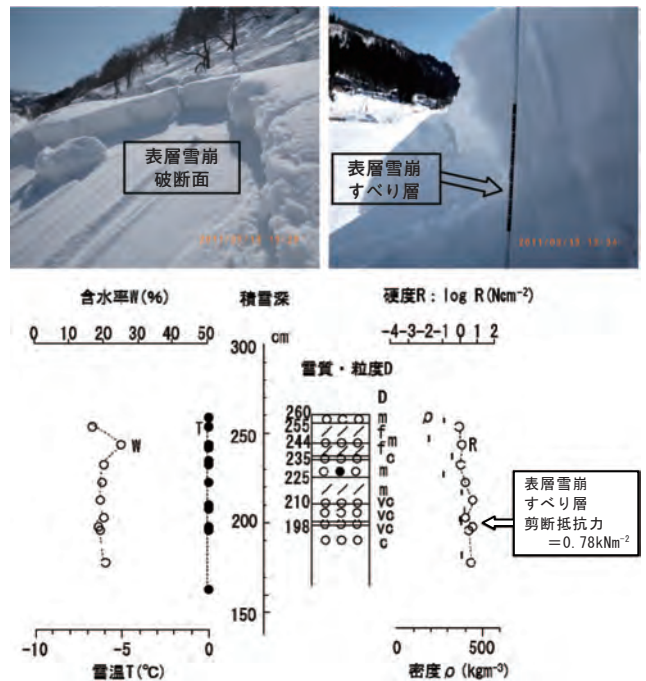


図16 雪崩発生状況と積雪観測結果 (新潟県十日町市野中 3月13日)
 Fig.16 Snow profile (Nonaka, Tokamachi, Niigata pref. 13.March).

十日町市松代孟地（標高 200 m，斜面の向き西）で観測した表面から 75 cm のすべり層の剪断抵抗力 ($SFI=1.58 \text{ kN m}^{-2}$) とすべり層上载荷重 ($W=1.44 \text{ kN m}^{-2}$) から，斜面勾配 (θ) を変数として積雪安定度 (SI) を求めた．**図 17** に地震無，津南強震観測点における最大水平加速度，震度階級 4～6 別の斜面勾配による積雪安定度 (SI) の変化を示した．現地の斜面勾配 (θ) は約 35 度 (図中矢印) であるので，地震無の場合，積雪安定度 (SI) は 2.34 となり，最大水平加速度を考慮した場合は積雪安定度 (SI) が 1.5 以下となった．積雪は比較的安定していたが，地震の強い揺れによって観測箇所（十日町市孟地）周辺で見られたようなブロック状の積雪の崩落現象 (**図 6**) や雪崩が多数発生したものと考えられる．

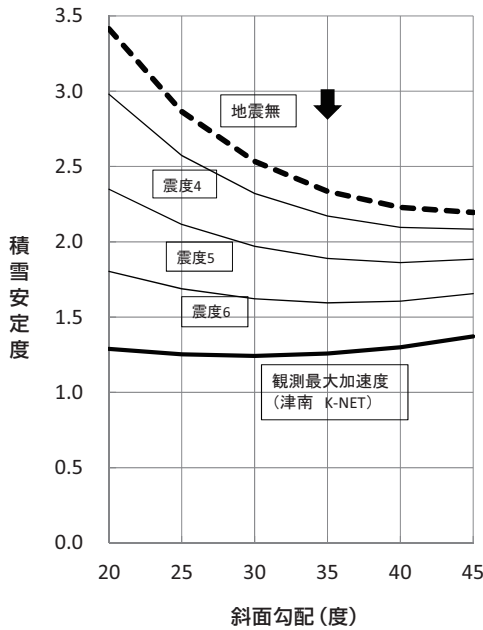


図 17 地震による積雪安定度の解析結果
新潟県十日町孟地 3 月 12 日の観測データを使用
Fig. 17 Analysis of stability index of snowpack taking the effect of earthquake into account.

同様に，**図 18** に十日町市野中（標高 400 m，斜面の向き北東，斜面勾配 $\theta = 25$ 度 (図中矢印) において測定したすべり層の剪断抵抗力 ($SFI = 0.78 \text{ kN m}^{-2}$) とすべり層上载荷重 ($W = 2.00 \text{ kN m}^{-2}$) を用いて求めた斜面勾配別の積雪安定度 (SI) を示した．この場合，地震による震動が無くとも積雪安定度 (SI) は 1.02 と低く，震度 4 以上では積雪安定度 (SI) は 1.0 以下となった．周囲の斜面で大小の表層雪崩が多発していたのは (**図 4** 参照)，この不安定な積雪状態が影響していたものと推定される．このような積雪安定度が低い積雪が分布している箇所では，その後の余震活動による雪崩の再発も懸念された．

5. まとめと今後の課題

今回の長野県北部地震は積雪期に積雪地域で発生し，通常雪崩が発生しづらい箇所でも，地震の影響により雪崩

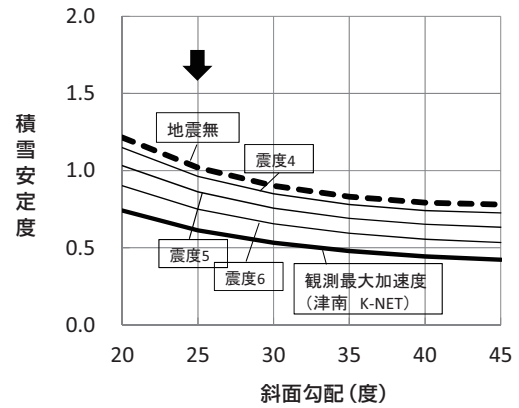


図 18 地震による積雪安定度の解析結果
新潟県十日町市野中 3 月 13 日の観測データを使用
Fig. 18 Analysis of stability index of snowpack taking the effect of earthquake into account.

や積雪のブロック状の崩落が同時に多発した．また，土砂崩壊に伴う雪崩も発生して通常の雪崩よりも長く流下し，道路を埋積するなどの被害が発生した．平成 23 年の大雪，平成 18 年豪雪，平成 17 年の大雪など，近年は数年に 1 回は大雪となるケースが増えており，少雪傾向とは言い難い．長野県北部地震は大雪のピークを過ぎていた時期の夜間に発生したが，もし仮に積雪深 3 m 以上であった今年 1 月下旬に地震が発生した場合や，日中の道路の交通量が多いときに発生していた場合などには，さらに人的・物的被害や住民の避難活動などに影響が拡大した可能性も十分推定される．このような状況を踏まえると，豪雪時に大きな地震が発生した際の複合災害の被害の想定と対策を検討することは重要である．そのために，地震が積雪に与える影響や，土砂と雪の混合流の流動特性などについて，実験などの手法により定量的に把握していく必要がある．

参考文献

- 1) 東浦将夫・中村 勉・中村秀臣・阿部 修(1979)：地震によって発生した雪崩．国立防災科学技術センター研究報告，No.21，103-112.
- 2) 小倉康子・和泉 薫・宮崎伸夫・小林俊一(2001)：2001 年 1 月 4 日新潟県中里村で発生した地震による雪崩．新潟大災害研年報，23，9-15.
- 3) 小杉健二・根本征樹・阿部 修・佐藤 威・功刀 卓(2000)：山形県西川町で発見された不思議な積雪の亀裂について．東北の雪と生活，21，19-20.
- 4) 上石 勲(2011)：中越地震によって発生しやすくなった雪崩と長野県北部地震で発生した雪崩．積雪期の地震防災 - 積雪期の地震にどう備えたら良いか -，日本雪工学会上信越支部，16-20.

(2011 年 11 月 15 日原稿受付．
2011 年 11 月 23 日改稿受付，
2011 年 11 月 23 日原稿受理)

要 旨

2011年3月12日午前3時59分に長野県北部を震源としたマグニチュード6.7の地震が発生した。2011年冬期は大雪で、長野県栄村、新潟県津南町、十日町市松代、十日町市松之山など震度6以上の範囲では地震発生時の積雪深は2mを越えていた。地震によって、表層雪崩や全層雪崩、土砂崩壊に伴った雪崩、ブロック状の積雪の崩落、平坦部の積雪表面のクラックなどが広範囲に多数発生した。通常雪崩が発生しない雪崩予防柵設置斜面上部からも雪崩が発生し、道路を各所で一時通行止めにした。また、通常の雪崩よりも流下距離が長い土砂崩壊に伴う雪崩も発生した。表層雪崩は、脆弱なぬれざらめ雪をすべり層としたものが多く、その剪断強度と上載荷重を測定した。このデータを用い、地震時の地盤の安定解析の考え方を応用して、地震を考慮した積雪安定度解析を行った。その結果、積雪安定度が2.3と積雪が比較的安定な斜面でも、地震の水平振動が加わることによって、積雪安定度が1.5以下と不安定となり、雪崩が同時に多発したことを裏付ける結果となった。今後、地震と大雪の複合災害の想定と対策のためにも、地震の積雪への影響を実験などの手法により定量的に把握する必要がある。

キーワード：複合災害、長野県北部地震、雪崩、積雪、クラック