

雪国特有の複合災害に関する基礎研究

竹田 周平^{*1}, 池本 敏和^{*2}

Study on Combined Disasters Based on Avalanche and Earthquake

Shuhei TAKEDA^{*1} and Toshikazu IKEMOTO^{*2}

^{*1} Department of Architecture and Environmental Engineering

The big earthquake occurred in Japan. Some typical example, Niigata-Chuetsu earthquake in 2004, North-Nagano earthquake in 2011, occurred and damaged by the shocks of the earthquake. And domestic about 50% are a heavy snowfall area. In Japan, The disaster in the heavy snowfall area has lately attracted considerable attention. In this study, we consider combined disaster based on avalanche and earthquake.

Key Words : Combined Disasters, Avalanche, Earthquake

1. 緒 言

新潟県に代表される豪雪地域は、降雪期に雪崩によって道路が閉塞することにより、道路の寸断、また町村が孤立してしまう可能性がある。特に新潟県は地震も多く発生する地域のため、積雪と地震の複合的な災害に注意が必要⁽¹⁾である。

近年、比較的大きな地震として、2004年に新潟県中越地震、2007年には新潟県中越沖地震、2011年には長野県北部地震、2014年長野県神城断層地震などが発生し、2011年の長野県北部地震時⁽²⁾では、積雪地域において広域で雪崩が誘発されている。このように雪崩が発生した場合、救助活動や除雪作業等を行う必要があるが、地震に誘発されて同時に複数の箇所で雪崩が発生すると、交通の寸断により、救助活動や被災状況の把握が困難となることで二次災害が拡大する。そして、それらを復旧させるために長い時間要することが課題⁽³⁾ ⁽⁴⁾となる。そのため、事前に地震によって雪崩が発生することを想定し、防災対策を講じることが大切である。しかしながら、このような防災対策について、これまで、基準等では地震時の雪崩発生条件が明確に記されていない。このような状況において、雪崩の発生を考える場合、斜面積雪の安定度による評価が一般に用いられることから、地震時の雪崩発生条件においても、斜面積雪の安定度の考え方を導入する検討が行われている。しかし、実際の地震時の雪崩発生個所における積雪観測データが限られるため、その検証は十分ではない。

以上のような背景により、本研究では地震と雪崩の複合災害に着目し、常時である降雪時の雪崩危険度と、降雪+地震による複合的な災害の危険度の違いや課題を明らかにすることを目的に数値計算を実施した。対象地区は新潟県の山古志地区として、この地区へのアクセス道路である県道23号と国道291号線において、SI値の評価に基づく危険度の判定を試みた。具体的には、常時の斜面安定度SI値と地震時の斜面安定度SI_E値を用いて、どの程度安定度が下がるのか比較を行った。

* 原稿受付 2015年2月27日

^{*1} 建築生活環境学科

^{*2} 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 (920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: s-takeda@fukui-ut.ac.jp

2. 対象地区と雪崩評価手法

2.1 調査対象地区の概要

新潟県長岡市の山古志村地区は、2004年の新潟県中越地震により甚大な被害が発生した。特に土砂崩壊等による道路閉塞により集落が孤立するなど、山間地域での地震被害の課題が浮き彫りとなった。この山古志地区はこれまでも土砂崩壊が起きやすい地域であり、このような箇所では雪崩も発生しやすい。また山古志地区は国内において豪雪地域としても有名である。以上の様に、豪雪地域で雪崩地域の発生が懸念され、かつこれまでに地震被害を経験した地域であり、今回着目する複合災害を検討するには相応しい場所である。Fig. 1に着目した2つのルートの位置図を示す。この2つのルートは、長岡市街地側及び小千谷側からの主要アクセス道路（ルート）である、県道23号と国道291号である。

本研究では、対象とした2つのルート沿いで、雪崩が発生する可能性が高い場所、また雪崩が発生したことが認められるエリアを特定し、そのエリア内で代表的な斜面形状をシミュレーションにより推定を行った。なお雪崩の発生危険度が高い地域として、新潟県砂防課のホームページ⁽⁵⁾で公開されているハザードマップを参照し、斜面形状では国土地理院の電子平面図⁽⁶⁾のデータから求めた。

ここで推定した代表的な斜面形状をFig. 2に示す。ここでは、縦軸に標高を、横軸に対象斜面の法尻からの水平距離を示す。着目した斜面について、県道23号はA点からV点までの22斜面、また国道291号は15斜面、合計で37斜面を対象とした。なお斜面の角度について、本研究では加重平均により角度 ϕ を算定した。

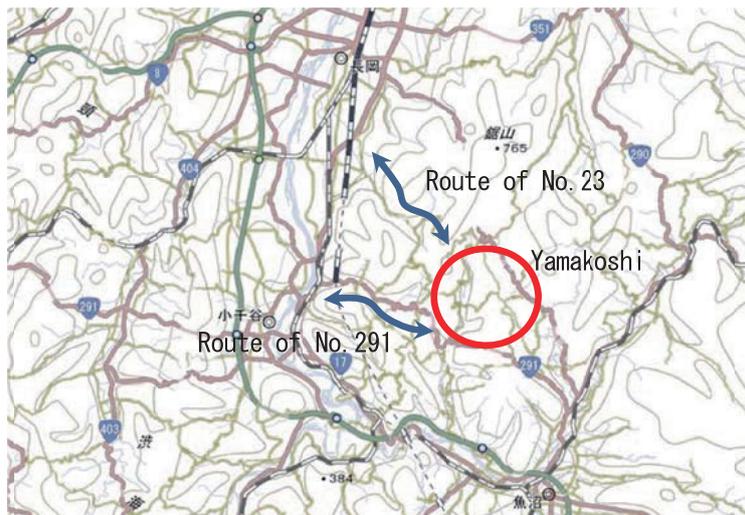
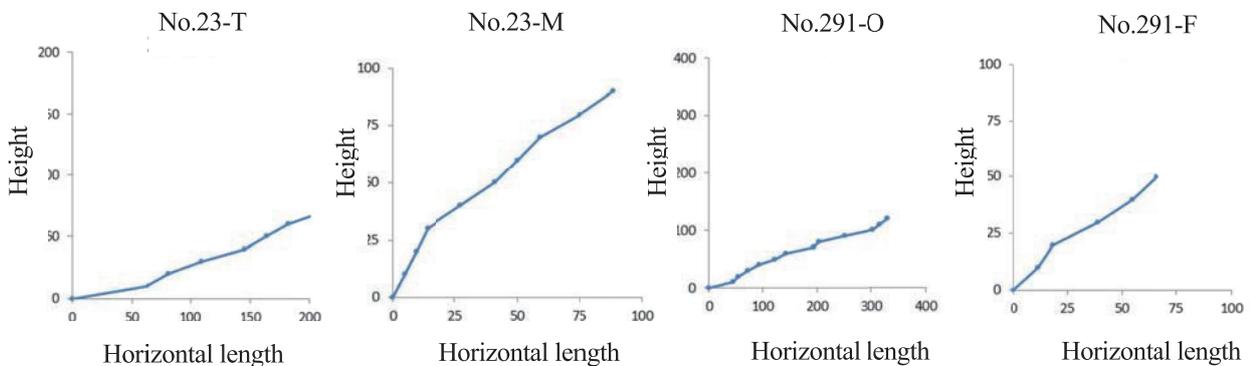


Fig.1 Plan figure



(a) Route of No.23

(b) Route of No.291

Fig.2 Main Cross Sections of Two Routes

2.2 雪崩の判定手法について

雪崩の判定手法について、常時である降雪時における雪崩の判定を SI 値により、また地震時、すなわち複合災害における雪崩の判定を SI_E 値により評価を行う。SI 値とは自然状態の斜面積雪の安定度を示す指標であり、Fig. 3 に斜面積雪の荷重と強度との関係について示す。この値は式 (1) より、対象とする積雪層のせん断強度とせん断応力との比によって算出され、この SI 値が高いほど斜面が安定していることを表す。ここに、 Σ_s :せん断強度(N/m²)、 ϕ :斜面勾配(°)、 σ_n :単位体積当たりの弱層上の積雪荷重(N/m²)を示す。なお、本研究では SI 値が 2.0 以下を雪崩発生の目安と考える。

SI_E 値とは地震時の斜面積雪の安定度を示す指標であり、Fig. 4 に地震動による水平震度の概念について示す。この値は式 (2) より、 SI_E 値は対象とする積雪層の積雪粒子の粘着力と内部摩擦力の和と、地震動の水平震度を外力として加えたせん断応力との比を表している。ここに、 Σ_s :せん断強度(N/m²) ϕ :斜面勾配(°)、 σ_n :単位体積当たりの弱層上の積雪荷重(N/m²)を示す。

なお、安定度評価に用いるパラメーターである Σ_s 及び ρ について、厳密には対象地区の積雪環境や雪質を十分考慮した上で決定することが大切であるが、本研究において、積雪深は松下拓樹⁽⁴⁾らの調査結果を参照し $h=1.00\text{m}$ と仮定した。せん断強度 Σ_s は長野県北部地震⁽³⁾より $1,580\text{N/m}^2$ と設定した。密度については、長岡市山古志地区雪崩調査⁽⁷⁾より 200kg/m^3 と設定した。地震時の水平震度はレベル 1 地震動を地震作用力とし、水平震度を 0.20, 0.25, 0.30 の 3 つのケースを想定した。

$$SI = \frac{\Sigma_s}{\sigma_n \sin \phi} \quad (1)$$

$$SI_E = \frac{\Sigma_s}{\sigma_n (\sin \phi + \alpha \cos \phi)} \quad (2)$$

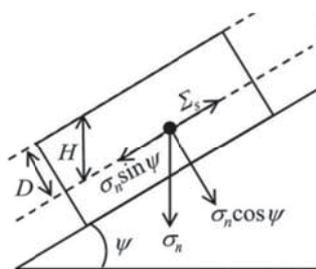


Fig.3 Load Acting on the Avalanche

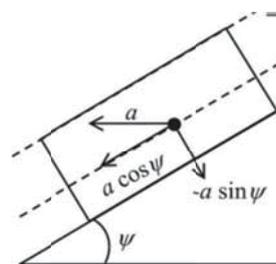


Fig.4 Load Acting on the Earthquake

3. 検討結果と考察

3.1 県道 23 号の結果と考察

積雪深さ $h=1.0\text{m}$ の条件にて雪崩の安定度に関する検討を行った結果を Fig. 5 に示す。この図より、最も安定している箇所は T ($SI=3.04$)、最も危険度が高い箇所は M ($SI=1.62$) となった。また SI 値の平均は $SI=1.91$ となった。最大値 (T) のみに着目すると $SI=3.04$ で比較的安定しているが、最小値 (M) では $SI=1.62$ と 2.0 を大きく下回り雪崩の危険性が高いことが明らかになった。また、平均値でも $SI=1.91$ と一般的に基準とされる安定度の限界値である 2.0 をわずかではあるが下回っており、安定性が低いという結果を得た。

Fig. 6 に、地震時の雪崩の安定度 SI_E 値の結果を示す。なお図中に示す値で下線部は $\alpha=0.20$ の結果、また他の値は $\alpha=0.30$ の結果を示す。図より、 SI_E が最も大きくなったのは水平震度 $\alpha=0.20$ の時であり、その中で SI_E 値の最大値 (T) の $SI_E=1.79$ で、最小値 (N) は $SI_E=1.32$ となった。平均値に着目すると、 $\alpha=0.20$ に

おける平均値は 1.40, $\alpha=0.25$ では 1.32, $\alpha=0.30$ では 1.24 となった。また, 最も危険度が高い場所と最も安定しているところを比率で表すと, SI 値が最大だった T 点で $SI=3.04$, 水平震度 $\alpha=0.30$ の時では $SI_E=1.49$ と比率は 49%となり, 安定性が 50%程度になった。SI 値が最小だった N 点では $SI=1.66$ であり, 水平震度 $\alpha=0.30$ の時の $SI_E=1.20$ と安定性の比率は 72%となった。また低減率の平均は, $\alpha=0.20$ で 74%, $\alpha=0.25$ で 70%, $\alpha=0.30$ で 66%であった。

次に, 地震を考慮した降雪時の SI_E 値が降雪のみで検討した SI 値と同程度になる積雪深さ (h) を求める。なお地震力について, レベル 1 地震動の $\alpha=0.20, 0.25, 0.30$ の三つの水平震度により, 積雪深さを初期値である 1.00mから変化 (減少) させて SI_E 値を再計算した。これらの結果を Fig. 7 に示す。この図及び表より平均値に着目すると, 水平震度 $\alpha=0.20$ では積雪深さが 0.76m の時に SI_E 値が 1.93 となり, 降雪時である SI 値と同程度の安定度になることが判る。同様に, 水平震度 0.25 では積雪深さが 0.71m で SI_E 値が 1.92, 水平震度 0.30 では積雪深さが 0.65m で SI_E 値が 1.91 となった。

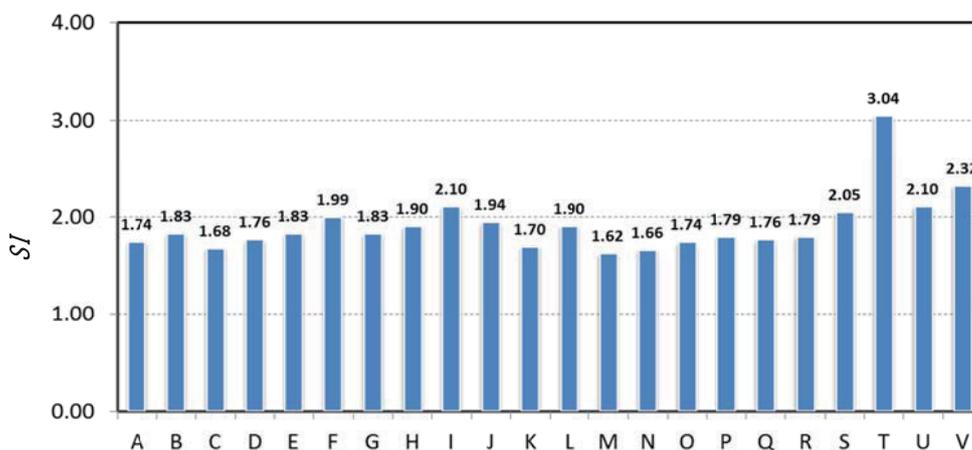


Fig.5 Result of SI (Route of No.23)

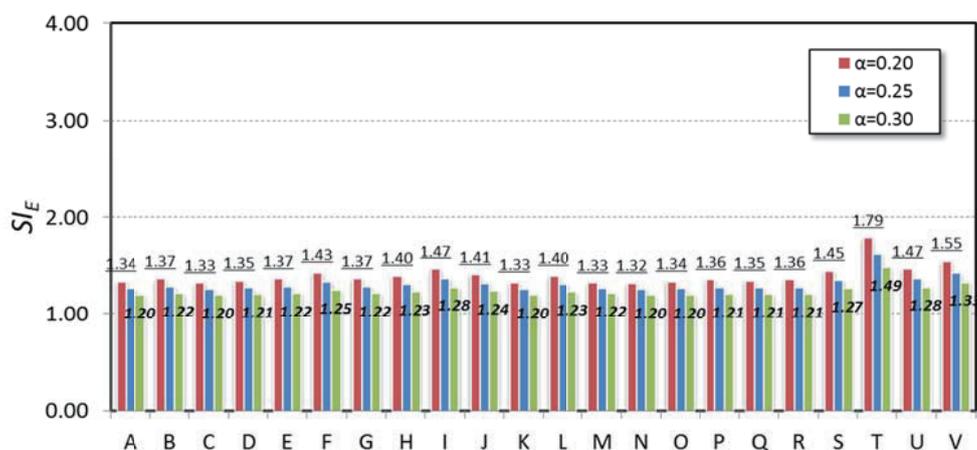


Fig.6 Result of SI_E (Route of No.23)

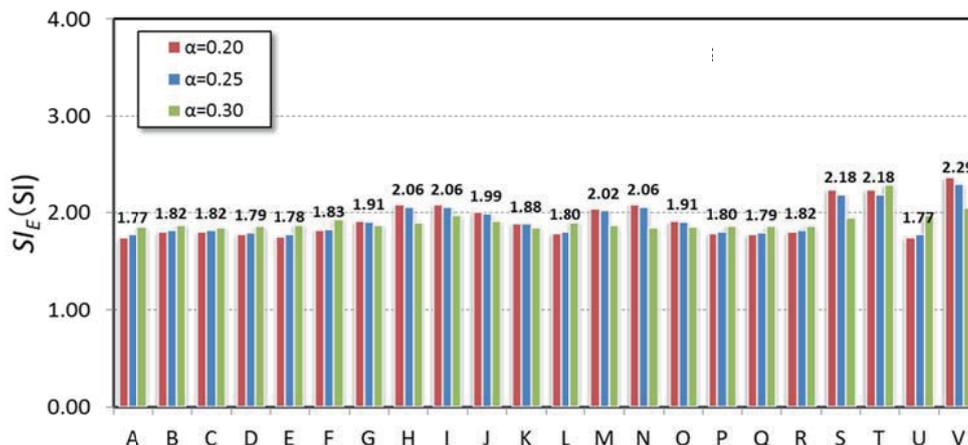


Fig.7 Result of SI_E (Route of No.23)

3.2 国道 291 号の結果と考察

県道 23 号と同様に、積雪深さ $h=1.0\text{m}$ の条件にて雪崩の安定度に関する検討を行った。これらの結果を Fig. 8 に示す。この図より、最も安定している箇所は O(SI=2.62)であり、最も危険度が高い箇所は F(SI=1.70)となった。また、ここで得られた SI 値の平均は 2.14 となった。最大値のみに着目すると SI 値が 2.00 以上で比較的安定しているが、最小値である F では SI 値が 1.70 と 2.0 を大きく下回り雪崩の危険性が高いことが明らかになった。また、平均値では SI=2.14 と一般的に基準とされる安定度の限界値である 2.0 をわずかなではあるが上回っており比較的安定している。

SI_E 値について、最も小さくなったのは $\alpha=0.20$ の時であり、その中で SI_E 値の最大値は T の SI_E=1.79、最小値が N で SI_E=1.32 となった。また $\alpha=0.30$ の時の安定度 SI_E 値が最も小さい値(安定性が低い)となった。また、 $\alpha=0.20$ における平均値は 1.49、0.25 では 1.38、0.30 では 1.29 となった。最も危険度が高い場所と最も安定しているところを比率で表わすと、SI 値が最大だった O 点で、SI=2.62、水平震度 α が 0.30 の時では SI_E=1.40 と比率は 53%となり、安定性が 55%ほどになった。SI 値が最小だった F 点では SI=1.70 であり、水平震度 α が 0.30 の時の SI_E=1.20 と安定性の比率は 71%となった。また、低減率の平均は $\alpha=0.20$ で 70%、 $\alpha=0.25$ で 65%、 $\alpha=0.30$ で 61%であった。

次に、地震を考慮した降雪時の SI_E 値が降雪のみで検討した SI 値と同程度になる積雪深さ h を求めた。これらの結果を Fig. 10 に示す。この結果、平均値に着目すると水平震度 0.20 では積雪深さが 0.69m の時に SI_E 値が 2.15 となり、降雪時である SI 値と同程度の安定度になることが判る。同様に、水平震度 0.25 では積雪深さが 0.65m で SI_E 値が 2.13、水平震度 0.30 では積雪深さが 0.60m で SI_E 値が 2.15 となった。

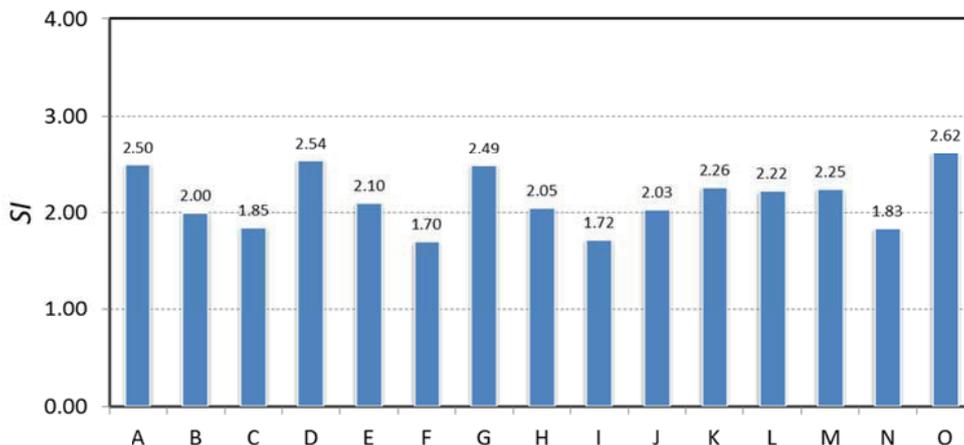


Fig.8 Result of SI (Route of No.291)

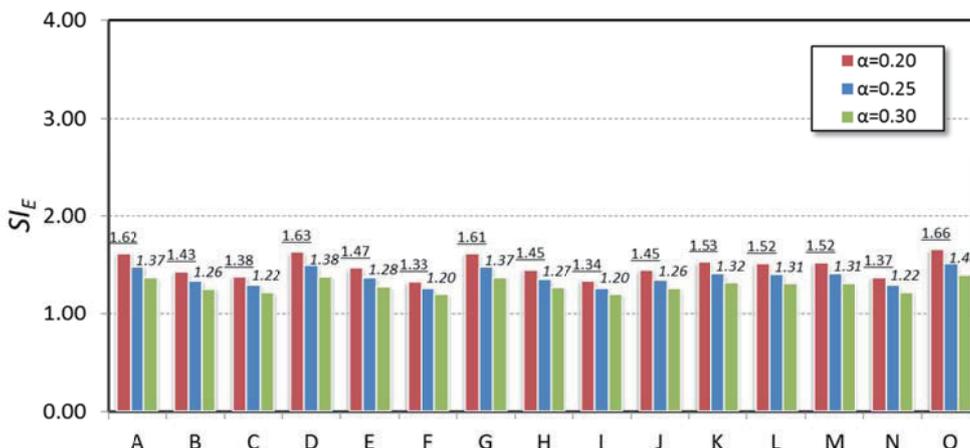


Fig.9 Result of SI_E (Route of No.291)

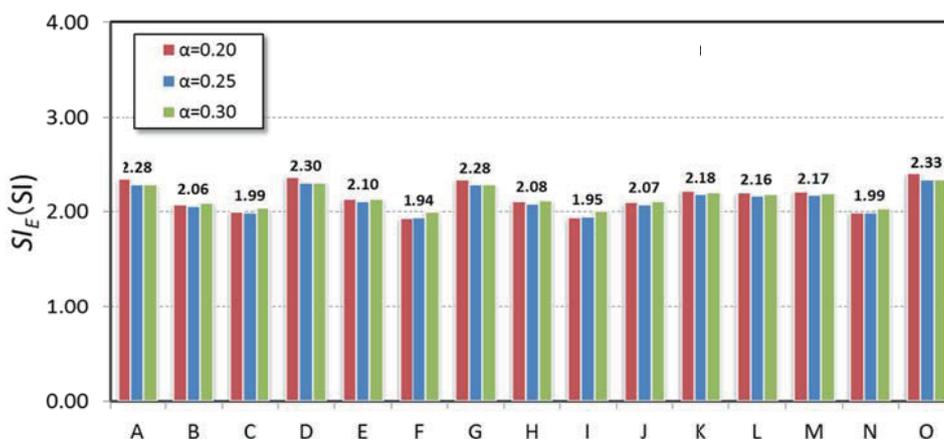


Fig.10 Result of SI_E (Route of No.291)

3.3 複合災害に関する考察

本研究では、雪崩が地震により誘発されることを想定した雪崩安定度に関する検討を行った。降雪時、すなわち積雪のみの条件で発生する雪崩を、積雪深さを $h=1.00\text{m}$ として計算した安定度の結果は、概ね $SI=2.00$ 前後と発生する可能性がある基準相当の安定性であるが、安全とは言いがたい。しかし、地震を考慮した場合は、県道 23 号では $SI=1.24\sim 1.40$ 、国道 291 号では $SI=1.29\sim 1.49$ とこれも地震時の基準相当とされる 1.50 を下回っている。また、県道 23 号線($SI_E=1.40\sim 1.24$)のほうが国道 291 号線($SI_E=1.49\sim 1.29$)よりも SI_E が低いため、その危険度がより高く、 SI 値が大きかった地点ほど減少率も大きかった。すなわち、傾斜のゆるやかな斜面であっても雪崩に対する安心はできない。さらに積雪深さ $h=1.00\text{m}$ を変化させ、積雪時と同様な危険度となるように検討を試みると、県道 23 号では積雪深さが $h=0.65\sim 0.73\text{m}$ 、国道 291 号では積雪深さが $h=0.60\sim 0.69\text{m}$ という結果を得た。

これにより、積雪深さが浅くても地震の発生により誘発される雪崩によって複合災害が発生する可能性がより高くなり、路線上のデブリなどの撤去・除雪等の作業に時間を要することから、集落の孤立の課題がより鮮明になることを意味する。これに加え、降雪時では今回の対象ルートの内、1カ所もしくは少数の箇所雪崩が発生することが予測されるが、地震時は広域的に地震力が作用することで、路線上に同時多発的に雪崩が発生することが考えられる。今回の対象範囲の県道 23 号線と国道 291 号線は、迂回路が少なく同時多発的に雪崩が発生した場合、主要道路が寸断されることにより、周辺の民家や通行中の車の孤立や被災者への救助活動、住居を失った住民の避難経路の確保、地震による火災への消火活動、病傷者の搬送などが困難になる可能性がある。

4. 結 言

本研究では、雪国地域特有の地震と雪崩による複合災害に関する検討を行った。対象とした地区は、地震被害の経験を有する豪雪地域として有名である新潟県長岡市の山古志地区であり、この地区へアクセスするための重要路線（県道 23 号と国道 291 号）を取り上げて、複合災害に関する危険度に関する検討を試みた。本研究で対象とする地震動は、発生可能性が高いとされるレベル 1 地震動相当とした。まず、積雪深さ $h=1.0\text{m}$ として計算した安定度の検討として、 $SI=2.00$ を基準相当（ボーダーライン）と設定した場合の結果として、県道 23 号と国道 291 号のそれぞれの地点の最大値のみに着目した。その結果、積雪時のみの場合、アクセス道路である 2 ルートのそれぞれがボーダーラインを少し上回っているが、安定とは言い難い。また、平均値では、ボーダーラインを下回っており、全体の観点からみると安定とは言い難く、複合災害の発生する確率が高いことが明らかである。また、複合災害の場合、一路線において、Fig. 11 のイメージに示す様に同時にかつ多数の箇所でも雪崩が発生する可能性がある。図中の(a)のケースでは雪崩の発生する箇所があると A~F の 6 ヶ所中 B の 1 ヶ所で発生した。しかし、(b)のケースでは A~F の 6 ヶ所中、5 ヶ所で発生し、復旧に多くの時間がかかると同時に雪崩発生リスクが高い。

近年、地方部において、建設業に従事する人口や建設業の数の減少や、労働者の高齢化の問題が指摘されている。また、山古志地区の様に、都市部に比較し高齢者率が高い積雪地域も多い。このような山間地域にて複合災害が発生すると、雪崩の被害に巻き込まれ、死者が出ると共に、復旧等にも想定以上の時間を有する可能性があることを踏まえると、豪雪地域特有の複合災害対策（雪崩対策）など防災計画の見直しが必要であると同時に、実際に現地調査していくことが必要になってくる。

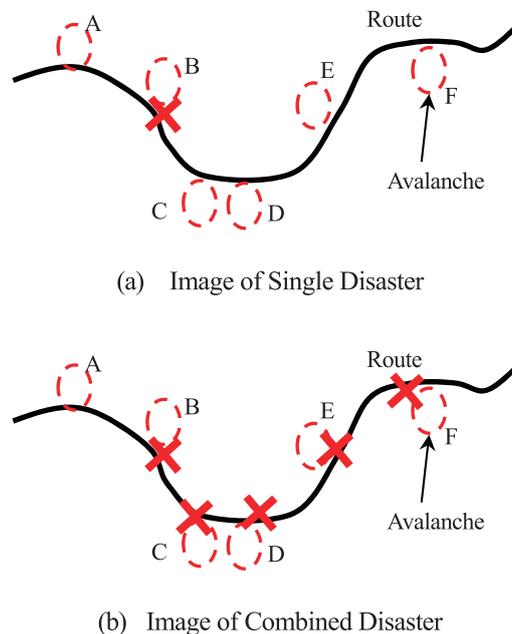


Fig.11 Image of Disasters

謝 辞

本研究は、(一社)北陸地域づくり協会・第19回「北陸地方の活性化」に関する助成制度(タイトル:平成26年度雪国独自の津波・地震複合災害の被害軽減策と復興モデルの提案;代表 池本敏和・金沢大学)により実施した。ここに期して感謝の意を表します。

文 献

- (1) 東浦 将夫, 中村 勉, 中村 秀臣, 阿部 修: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 第21号 1979年3月.
- (2) 上石 勲, 本吉 弘岐, 石坂 雅昭: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:防災科学技術研究所主要災害調査 第48号 2012年3月.
- (3) 松下 拓樹, 松澤 勝, 中村 浩:地震時の雪崩発生条件に関する検討-2013年2月の栃木県北部地震の事例-,第57回(平成25年度)北海道開発技術研究発表会,安14(道),2014.
- (4) 地震による雪崩発生条件に関する検討:松下 拓樹, 中村 浩, 松澤 勝:寒地土木研究所月報 No.733 2014年6月.
- (5) 新潟県砂防課ホームページ雪崩危険箇所一覧(公式ホームページ),<http://www.sabou-niigata.jp/nadarekikenkasyo/>.
- (6) 国土交通省国土地理院ホームページ:地理院地図(電子国土Web),<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kihon-joho-1.html>.
- (7) 長岡市山古志地区雪崩調査:上石 勲, 町田 敬:2011年1月
www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyouisaigai/report_20110109_YamakoshiKoshiji_nadare.pdf.

(平成27年3月31日受理)