

一般財団法人新潟県建設技術センター

平成 30 年度研究助成報告書

中越地震の崩壊斜面を対象とした植生回復速度に関する事業

平成 31 年 3 月

研究代表者 新潟大学 西井稜子

中越地震の崩壊斜面を対象とした植生回復速度に関する事業

西井稜子¹⁾・河島克久¹⁾・松元高峰¹⁾・秋山一弥²⁾

1. はじめに

雪崩発生を抑止力の一つとして植物の存在がある。そのため、積雪地では、崩壊による斜面の裸地化は、流域の土砂流出量の増加だけでなく雪崩の発生頻度を高める可能性がある。2004年10月23日に発生した平成16年新潟県中越地震（以後、中越地震）では、多数の崩壊や地すべりが発生し、翌春には、地震によって形成された裸地斜面において数多くの雪崩の発生が確認されている（関口ほか、2006）。そのような裸地斜面への植物の侵入は、土砂流出量・雪崩発生の低減につながると考えられるが、継続的な調査は行われていない。中越地震被災地において、地震発生から現在までの土砂流出量・雪崩発生リスクの経時変化を評価することは、流域の防災対策を検討する上で重要である。

そこで、本研究では、中越地震被災流域を対象に、裸地斜面（崩壊斜面）の植生回復状況を明らかにした調査結果を報告する。また、土砂流出量・雪崩発生リスクの経時変化を評価するために行っている冬期の土砂・積雪移動観測状況についても報告する。

2. 調査対象地と調査方法

中越地震によって数多くの崩壊・地すべりの発生が報告されている信濃川水系魚野川支流の芋川流域を調査対象とした（図1）。対象流域（約29km²）の平均傾斜は27°を示し、地質は主に新第三紀から第四紀の海成層（産業技術総合研究所、地質図Navi）からなる。

2. 1 裸地斜面の時空間分布

中越地震によって形成された裸地斜面の縮小過程を明らかにするため、表1に示した2005年、2015年の画像データを用いて、各時期のデジタル裸地分布図を作成し、裸地の面積や斜面傾斜等の経時変化を調査した。地震直後のデジタル裸地分布図は、2005年春に計測された航空レーザ測量データのオルソ画像を用いて、GISソフトウェアで作成した。抽出対象は、人為的な影響（斜面对策工等）を受けていないと考えられる10³ m²以上の裸地（無植生の斜面）とした。2015年のデジ

表1 デジタル裸地分布図作成に使用したデータ

撮影日	データ
2005年4月20日 ～6月3日	航空レーザ測量データ
2015年6月7日	WorldView-2

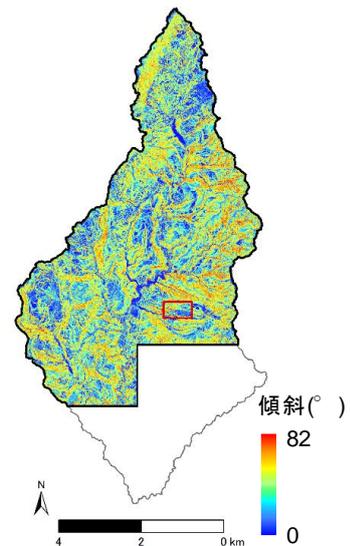


図1 調査対象地の傾斜

太黒線：対象流域
赤枠：現地観測地点（小松倉）

¹⁾新潟大学
²⁾土木研究所

タル裸地分布図は、World View2 衛星のマルチスペクトルセンサーで撮影された画像データを用いて、地震によって形成された裸地（前述の 2005 年裸地分布図の抽出斜面）を対象に、その斜面内に存続している裸地を抽出し、作成した。裸地の抽出には、植物の活性度の指標値である NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指数) を使用した (図 2)。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR : 近赤外域の観測値

RED : 可視赤色域の観測値

※NDVI は、植物の活性度が高いほど大きな値を示す

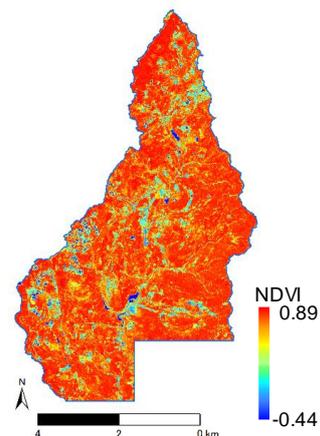


図2 調査対象地のNDVI

裸地の NDVI 値は、モデル流域 A (面積 0.26 km², 平均傾斜 30°) において、ナチュラルカラー画像を基に裸地のポリゴン (計 6×10³ m²) を作成し、そのポリゴン内の NDVI の平均値±標準偏差 (0.36±0.14) とした。最終的に、2 時期の裸地分布図データを基に裸地の残存率 ($\frac{2015 \text{ 年の裸地面積}}{2005 \text{ 年の裸地面積}} \times 100$) を算出し、この値を地震後の植生の回復状況 (侵入状況) の指標とした。

2. 2 雪崩に対する抑止効果としての植生変化

裸地に侵入した植物の樹高は、雪崩の抑止効果を検討していく上で重要な要素となりうる。そこで、2 時期の航空レーザ測量データが揃っているモデル流域 A において、Iwahashi et al (2014), 岡谷ほか (2013) の樹高データ算出方法を参考に、航空レーザ測量データのオリジナルデータを用いて Digital Canopy Model を作成し、30m×30m の平均樹高を算出した。また、植生による雪崩発生を抑止効果を検討するため、除雪・防雪ハンドブック (2005) の雪崩発生危険度 (植生状況) の区分を基に、地震前後の平均樹高・植生密度を分類した。地震前、地震直後、地震後の植生は、それぞれ 1975 年撮影の空中写真 (カラー, 1/8000 縮尺), 2005 年撮影のオルソ画像, 2015 年撮影の Google 衛星画像を用いて判読した。

2. 3 冬期の土砂・積雪移動観測

裸地への植物の侵入状況 (裸地の残存率) に応じて、雪崩の発生頻度や雪の移動に伴う土壌侵食量が異なることが予想される。そこで、芋川流域の小松倉地区において (図 1), 地震時に形成された裸地が残存している斜面 (測線 L1), 地震時に形成された裸地が残存していない斜面 (測線 L3), 地震時に崩れなかった森林斜面 (測線 L2) の計 3 斜面を比較対象に、土砂・積雪移動観測を実施した (表 2)。各斜面におい

表 2 現地観測の概要

測線	斜面方位	グライド計	地温計	ベグ
L1	南	2台 (10min, 24h int.)	2台 (1h int.)	39本
L2	南	1台 (24h int.)	1台 (1h int.)	21本
L3	西	1台 (24h int.)	1台 (1h int.)	6本

て、2018年11～12月にグライド計を設置し10分から24時間のインターバルで雪の移動量の観測を開始した(図3～6)。また、雪の移動に伴う土壌侵食を計測するため、各斜面において2.5m～10m間隔でペグ(長さ20～50cm)を地面に打設した。融雪後にペグ頭部の露出高を計測することで、一冬の土壌侵食量を推定する。また、斜面の凍結融解を計測するため、各斜面の地表面に地温計を設置した。また、測線L1, L3および他の裸地斜面を対象に、定点カメラ(24時間インターバル)を設置し、雪崩の発生回数を観測中である(図7)。融雪後にこれらの観測データを回収し、解析する。



図3 測線L1のグライド計用ソーラーパネル・ロガー(左)とソリ本体(右)



図4 測線L2グライド計一式(左)とソリ本体(右)



図5 測線L3 頭部の木※に設置したグライド計ロガー（左）とソリ本体（右）
 ※地震前から生育している木

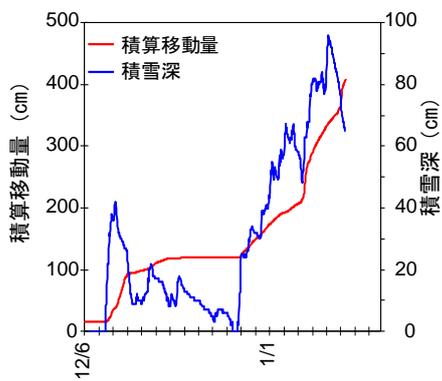


図6 測線L1のグライド計データの例
 積雪深データは新潟県の観測データ（山古志）を使用。



図7 定点カメラの設置状況

3. 裸地の経時変化

3. 1 2005～2015年における裸地の経時変化

2005年のオルソ画像判読から、対象流域では280箇所(9.7箇所/km²)の裸地が確認され、裸地面積率(裸地面積/流域面積×100)は3.6%を示した(図8a)。また、最大裸地面積は37×10³ m²であり、裸地の8割は5×10³ m²未満の規模であった(図9a)。裸地の地形的特徴として、平均傾斜は38°を示した(図10a)。また、裸地が分布する斜面方位は、西斜面と南斜面がやや多い傾向を示した(図11)。

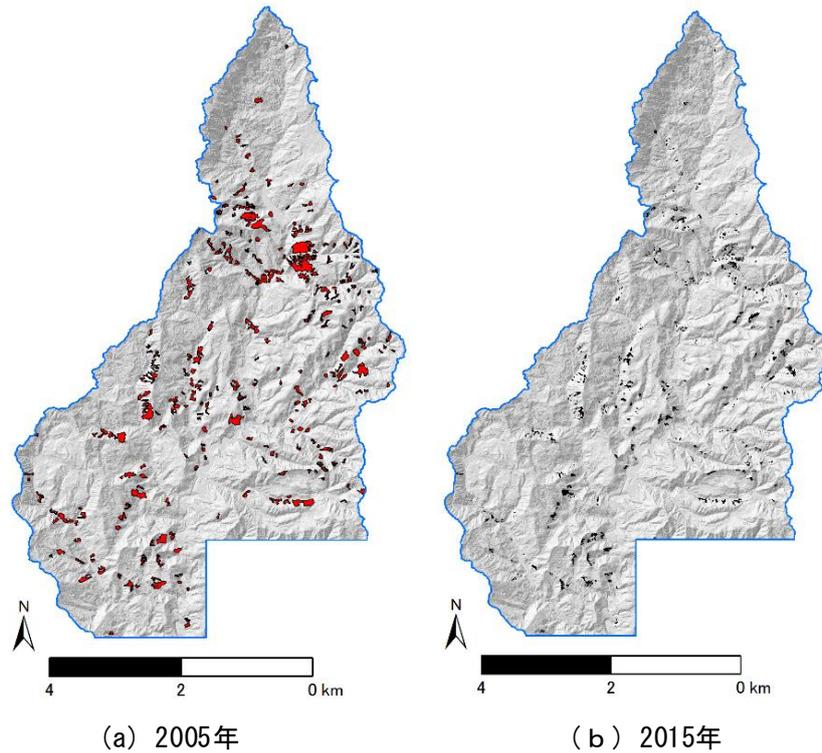


図8 2005年と2015年の裸地分布図

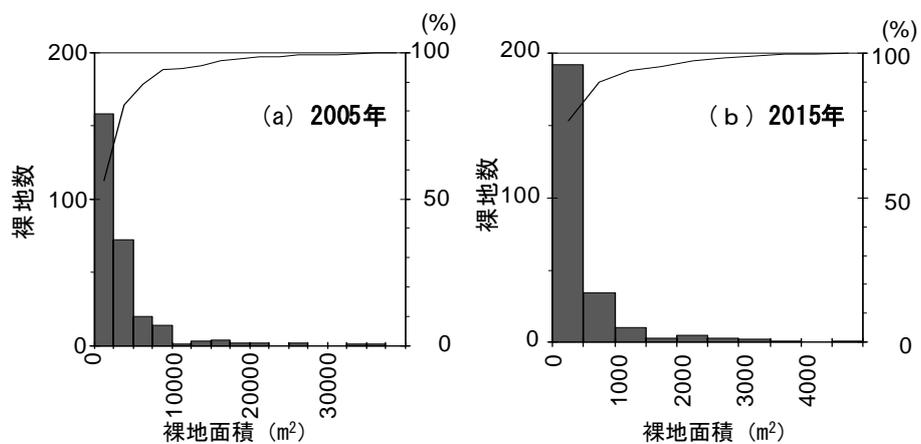


図9 各時期における裸地面積の頻度分布
2015年のグラフは、裸地面積0m² (n=29) のデータを除いて作成。

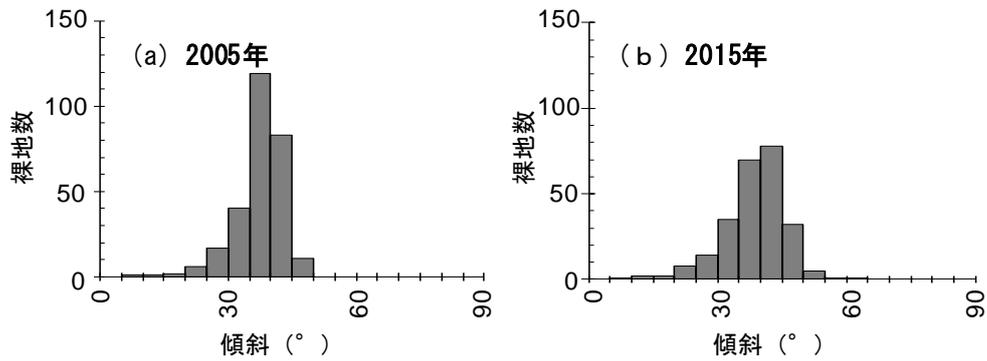


図10 各時期における裸地平均傾斜の頻度分布
2015年のグラフは、裸地面積0m² (n=29) のデータを除いて作成。

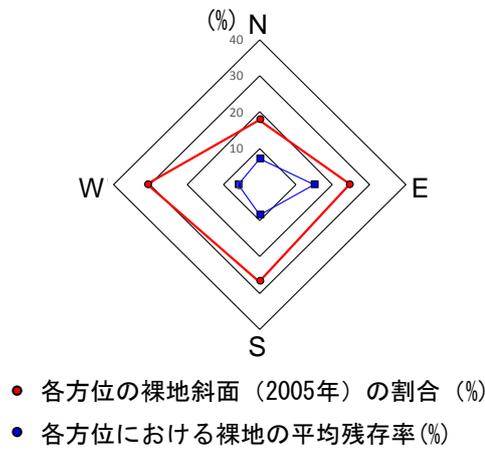


図11 裸地の斜面方位と平均残存率
裸地の斜面方位は、2005年の裸地ポリゴンの重心の斜面方位を示す。

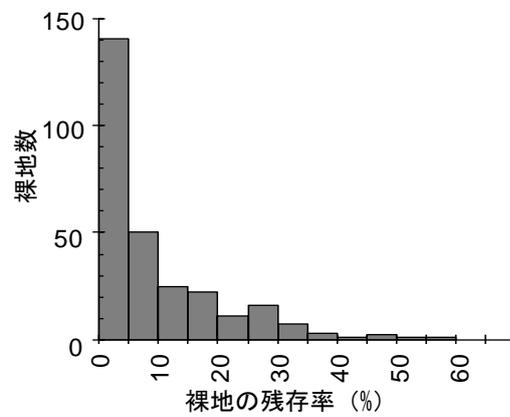


図12 裸地の残存率の頻度分布
グラフには、残存率0% (n=29) のデータも含まれる。

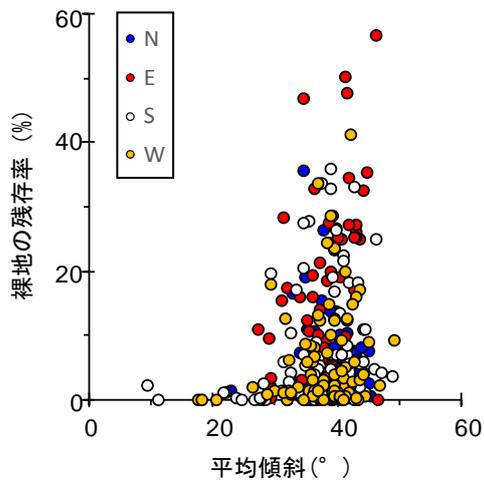


図13 裸地の平均傾斜・斜面方位と残存率の関係
平均傾斜は2005年裸地斜面の値



図14 流域Aの状況 (2018年4月)

一方、2015年には裸地は急激に減少しており、2005年に比べ裸地面積率は1/10 (0.35%)を示した(図8b)。裸地の9割は 10^3 m²未満の規模が占めた(図9a)。裸地の残存率に着目すると、最大残存率は57%であり、全箇所約7割が残存率10%未満を示した(図12)。したがって、地震から11年後には、当初の裸地斜面の面積に対して、少なくとも4割の斜面には植物が侵入することが明らかになった。また、2005年に確認された280箇所の裸地のうち、約1/10を占める29箇所において残存率0%を示した。それら残存率0%を示した斜面は、2005年当時の裸地が小規模(平均 1.6×10^3 m²)である傾向が認められた。図13に、裸地の斜面傾斜・斜面方位と裸地の残存率との関係を示す。平均傾斜約30°を境界に、残存率の値が大きく異なる。平均傾斜30°以下では、残存率は5%以下を示し、ばらつきが小さい。一方、平均傾斜30°以上では、残存率は大きなばらつきを示し、傾斜が急なほど残存率の上限値が増加する傾向を示した。また、裸地の斜面方位に着目すると、とくに東斜面の裸地において残存率が高い傾向が認められた。高い残存率を示す斜面は、裸地への植物侵入が阻害されている場所と考えられる。植物侵入の阻害要因の一つとして、雪や降雨による土壌侵食の可能性が考えられる。一般的に、傾斜30°以上の斜面において雪崩が発生しやすいことが知られている。したがって、雪崩の発生に伴う表土層の侵食が植物の侵入を阻害している可能性が考えられる。ただし、急傾斜においても残存率が低い箇所もあることから、他の要因も含め、今後さらに検討する必要がある。

3. 2 裸地に侵入した植物の樹高と疎密度

地震直後(2005年)に、計8箇所の裸地(平均裸地面積 5.8×10^3 m²/箇所)が確認された流域Aを対象に、裸地に侵入した植物の平均樹高を調査した(図14)。その結果、2009年の植生回復箇所(図15の青線)では、平均樹高2m以下の植物が主に分布していることが明らかになった(図15)。また、流域Aの裸地を対象に地震前後の樹高と植被の経時変化を調査したところ、2タイプの変化が確認された。一つは、地震前と2015年で樹高・植被率が異なるタイプである(図16タイプ1)。地震発生前(1975年)には低木(植被率>50%)を示した斜面が、地震時には無林(植被率0~20%)、2015年には無林(植被率

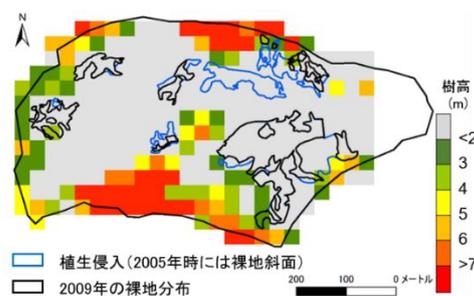


図15 2009年の平均樹高(30m mesh)

		疎密度		
		密	中	疎
		(植被率%)		
樹高		>50	20-50	0-20
高木 (≥8m)				
中木 (4~8m)				
低木 (2~4m)		1975		2005
無林* (≤2m)		2015 ←		

*低灌木, 裸地, 草地

		疎密度		
		密	中	疎
		(植被率%)		
樹高		>50	20-50	0-20
高木 (≥8m)				
中木 (4~8m)				
低木 (2~4m)				
無林* (≤2m)		1975 2015		2005

*低灌木, 裸地, 草地

図16 地震前後の樹高と植被の経時変化
除雪・防雪ハンドブック(2005)
の表6.2.12(p155)を基に加筆。

>50%)へと変化した。もう一つは、地震前と2015年で樹高・植被率が同等のタイプである(図16タイプ2)。地震発生前(1975年)には無林(植被率>50%)を示した斜面が地震時に無林(植被率0~20%)に変化し、2015年には地震前と同様の無林(植被率>50%)の状態を示した。

謝辞

国土交通省湯沢砂防事務所、国土地理院には、航空レーザ測量データをご提供いただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

Iwahashi J, Okatani T., Nakano T., Koarai M., Otoi K. (2014) INTERPRAENENT2014 Proceedings.

除雪・防雪ハンドブック 防雪編(2005)日本建設機械化協会, 雪センター.

岡谷・乙井・中埜・小荒井(2013)写真測量とリモートセンシング, 52, 2, 56-68.

産業技術総合研究所, 地質図Navi シームレス地質図 (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)

関口・秋山・西村・佐藤・佐藤(2006)2006年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 49.