

地震による深層崩壊のおそれのある溪流の抽出

武澤永純* 内田太郎** 横山 修*** 田村圭司**** 鈴木啓介*****

1. はじめに

台風の襲来や梅雨前線等豪雨や大規模な地震による土砂災害のうち、表土層だけでなく深層の風化した岩盤までもが崩壊土塊となる深層崩壊は、大規模な土石流や河道閉塞（天然ダム）を引き起こし、被害が甚大になる場合がある。このような災害を防ぐために、崩壊発生危険箇所を予測することを目的として、「深層崩壊の発生の恐れのある溪流を抽出する手法」（以下、本抽出手法と呼ぶ）が開発され¹⁾、砂防の現場で適用されている（例えば^{2,3)}）。しかしこれまで、抽出手法の精度の検証は、豪雨による深層崩壊に対する検討が中心であった。そこで、本研究は深層崩壊が多発した2008年岩手・宮城内陸地震を対象に同抽出手法を適用し、本抽出手法の適用性を検証した。

2. 検討対象地域

検討対象地域は宮城県栗駒山系周辺の面積約429km²の地域である（図-1）。当該地域は2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震において、斜面崩壊が多数発生した。

検討対象流域を（独）産業技術総合研究所地質調査総合センターが刊行している20万分の1シームレス地質図を参考に、地質A（約74km²）、地質B（約85km²）、地質C（約271km²）の3つに区分した。

3. 検討方法

本抽出手法¹⁾は検討対象地域における深層崩壊跡地と地質構造、微地形要素、地形量の関係进行分析し、対象地域に適した指標を設定し、深層崩壊の発生の恐れのある溪流を抽出する手法であり、1) 深層崩壊の発生実績、2) 地質構造及び微地形要素、3) 地形量（勾配と集水面積の関係）、の3つの条件により、深層崩壊の恐れのある溪流を抽出するものである。ここでいう溪流とは、流域面積約1km²の単元流域と残流域に区分した評

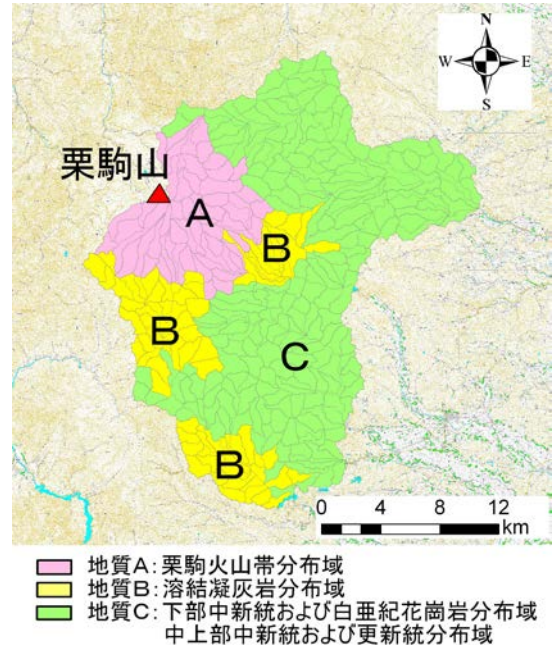


図-1 対象地域

価単位を指し、検討対象領域では、353溪流に区分した。

3.1 地震前・地震後の深層崩壊発生箇所の抽出・整理

地震前については、1947年、2006年、2007年に撮影された空中写真（縮尺1/16,000～1/40,000）の判読により、「深層崩壊跡地」を143箇所（深層崩壊跡地が1つ以上存在する溪流は85）抽出した。本研究では、深層崩壊が発生した直後の裸地化した斜面のみならず、スプーン状にえぐられているなど地形的に斜面崩壊の跡地と考えられる箇所を崩壊跡地として抽出した上で、崩壊跡地の面積が10,000m²以上のものを深層崩壊跡地とした。このため、地震前の崩壊地は発生年代及び発生要因は特定できていない。

地震後については、2008年6月、10月に撮影された空中写真（縮尺1/8,000～1/10,000）の判読により、「深層崩壊発生箇所」を78箇所（深層崩壊発生箇所が1つ以上存在する溪流は51）判読した。深層崩壊発生箇所の崩壊面積は、深層崩壊跡地と同様10,000m²以上の崩壊地とした。

3.2 地質構造と微地形要素の抽出

本研究では、深層崩壊と関連性が高いと考えられる地質構造・微地形要素として、本抽出手法に従い、地すべり地形、岩盤クリーブ斜面、円弧状クラック、多重山稜・線状凹地・小崖地形、山頂緩斜面（図-2参照）、リニアメント、活断層の7要素を地震前の空中写真を用いた判読により抽出した。

この抽出結果をもとに、溪流毎に各要素の有無を集計した。その上で、深層崩壊跡地と各要素の関連性を明らかにするために、①ある要素が分布する溪流の内、深層崩壊発生箇所または深層崩壊跡地がある溪流の割合（以下、「的中率」とする）および、②深層崩壊発生箇所または深層崩壊跡地がある溪流の内、任意の要素が分布する溪流の割合（以下、「カバー率」とする）を地質A～Cごとに算出した。

さらに、的中率が深層崩壊跡地率より顕著に高い要素をまず選び、その上でカバー率が高い要素を2つ程度抽出し、要素を組み合わせた場合（2つの要素のいずれもが存在する条件、または、いずれかが存在する条件）の的中率、カバー率を算出し、単独の場合と比較して、的中率、カバー率のより高い指標を採用した。

3.3 地形量の算出

国土地理院発行の数値地図50mメッシュ（標高）を用いて、メッシュ毎の斜面勾配、集水面積を計算した。その上で、斜面勾配8区分、集水面積9区分のカテゴリに区分し、各カテゴリに属する全メッシュ数に対する深層崩壊跡地メッシュ（メッシュの重心が深層崩壊跡地ポリゴン内にあるメッシュ）の割合を「深層崩壊跡地率」として算出した。そして各深層崩壊跡地率が対象地質区分における深層崩壊跡地率の平均値より2倍以上示したメッシュを、深層崩壊の危険度の高い

メッシュと設定した。次に、溪流毎に深層崩壊の危険度の高いメッシュの数を算出した後、深層崩壊の危険度の高いメッシュの数について、閾値を0～500の範囲で設定し、危険度の高いメッシュが閾値以上となる溪流について、的中率とカバー率を算出した。

4. 抽出指標の設定

4.1 地質構造及び微地形要素との的中率・カバー率の関係

図-3に各地質構造、微地形要素の的中率・カバー率を示す。これより、深層崩壊跡地と関連性の高い要素として2つ候補を選定した結果、地質Aは“線状凹地”・“地すべり地形”、地質Bは“リニアメント”・“地すべり地形”、地質Cは“山頂緩斜面”・“円弧状クラック”であった。その上で、候補の微地形要素を組み合わせた的中率、カバー率を表-1に示す。表-1に示す各地質における微地形要素の組み合わせのうち、的中率が高く、カバー率が高い要素（白抜き箇所）を、各地質における最適な指標と考えた。これより、これらの

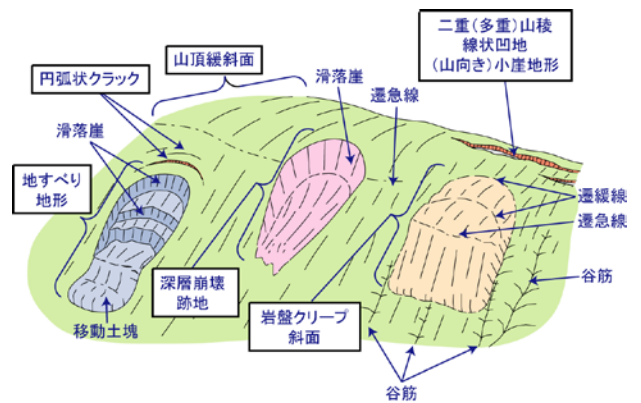


図-2 微地形要素の概念図

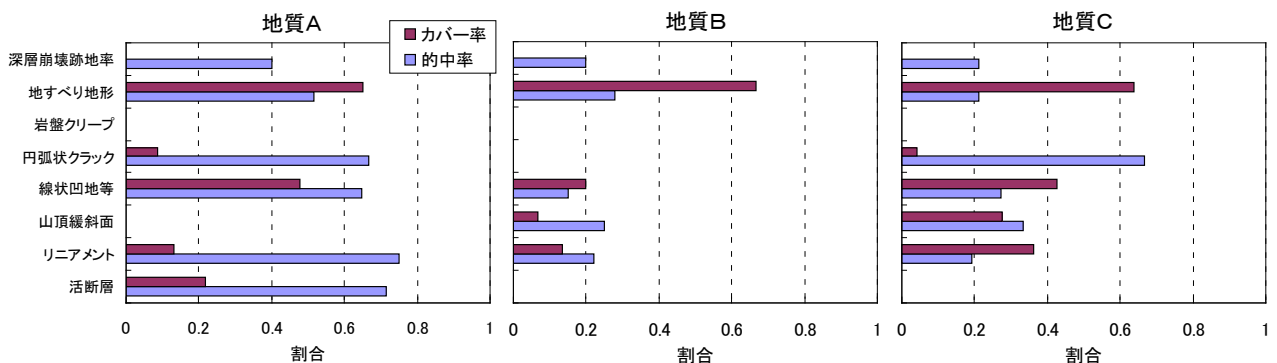


図-3 地質毎の的中率・カバー率の結果

表-1 地質区分毎の地質構造及び微地形要素

地質区分	微地形要素	的中率	カバー率
地質A	線上凹地 or 地すべり地形	0.49	0.78
	線上凹地 & 地すべり地形	0.89	0.35
地質B	リニアメント or 地すべり地形	0.29	0.80
	リニアメント & 地すべり地形	0.00	0.00
地質C	山頂緩斜面 or 円弧状クラック	0.36	0.32
	山頂緩斜面 & 円弧状クラック	-	0.00

表-2 危険メッシュと考えた勾配と集水面積の範囲 (黄色で着色された範囲) (上:地質A、中:地質B、下:地質C)

深層崩壊 面積率	集水面積 (log ₁₀ As)										
	3.40	3.70	3.88~ 4.00	4.10~ 4.40	4.44~ 4.70	4.72~ 5.10	5.11~ 5.40	5.40~ 5.70	5.70~		
樹冠	~10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠	10~15	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	15~20	0.00	0.10	0.25	0.27	0.56	0.35	0.00	0.00	0.00	
	20~25	0.62	1.37	3.18	3.62	4.44	2.66	0.00	0.00	0.00	
	25~30	2.34	4.01	5.52	6.92	5.05	1.54	3.51	0.00	0.00	
	30~35	3.24	6.55	6.68	9.92	8.33	1.89	0.00	0.00	1.77	
	35~40	4.49	11.33	11.64	16.28	13.33	0.00	0.00	-	1.92	
	40~	11.77	26.53	34.09	12.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	深層崩壊跡地率の平均値の2倍 : 3.42										
	深層崩壊 面積率	集水面積 (log ₁₀ As)									
		3.40	3.70	3.88~ 4.00	4.10~ 4.40	4.44~ 4.70	4.72~ 5.10	5.11~ 5.40	5.40~ 5.70	5.70~	
樹冠	~10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠	10~15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	15~20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	
	20~25	0.04	0.00	0.45	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	25~30	0.60	0.90	0.83	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	
	30~35	0.44	1.36	2.31	3.67	2.54	0.00	0.00	0.00	1.04	
	35~40	1.22	2.81	2.23	5.42	4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
	40~	2.86	9.00	9.24	16.92	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	
	深層崩壊跡地率の平均値の2倍 : 1.02										
	深層崩壊 面積率	集水面積 (log ₁₀ As)									
		3.40	3.70	3.88~ 4.00	4.10~ 4.40	4.44~ 4.70	4.72~ 5.10	5.11~ 5.40	5.40~ 5.70	5.70~	
樹冠	~10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠 樹冠	10~15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	15~20	0.03	0.10	0.06	0.29	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00	
	20~25	0.28	0.08	0.50	0.47	0.13	0.14	0.00	0.00	0.00	
	25~30	0.42	0.81	0.77	0.78	1.16	0.00	0.00	0.00	0.18	
	30~35	0.61	1.59	2.79	2.47	2.41	0.39	0.00	0.00	0.71	
	35~40	2.25	4.53	5.50	5.99	2.59	1.22	0.00	0.00	0.00	
	40~	6.41	7.84	10.67	9.29	0.00	0.00	14.29	0.00	0.00	
	深層崩壊跡地率の平均値の2倍 : 1.07										

要素を有する溪流は、地質構造及び微地形要素から見た深層崩壊のおそれのある溪流とした。

4.2 地形量と的中率・カバー率の関係

表-2に、地質区分毎に深層崩壊の危険性が高いメッシュと勾配と集水面積の範囲を示す。また、図-4には閾値とする深層崩壊の危険性の高いメッシュ数と的中率、カバー率の関係を示した。その結果、閾値は、地質Aは150メッシュ以上、地質Bは100メッシュ以上、地質Cは150メッシュ以上とした。これより、これらの地形量を有する溪流は、地形量から見た深層崩壊のおそれのある溪流とした。

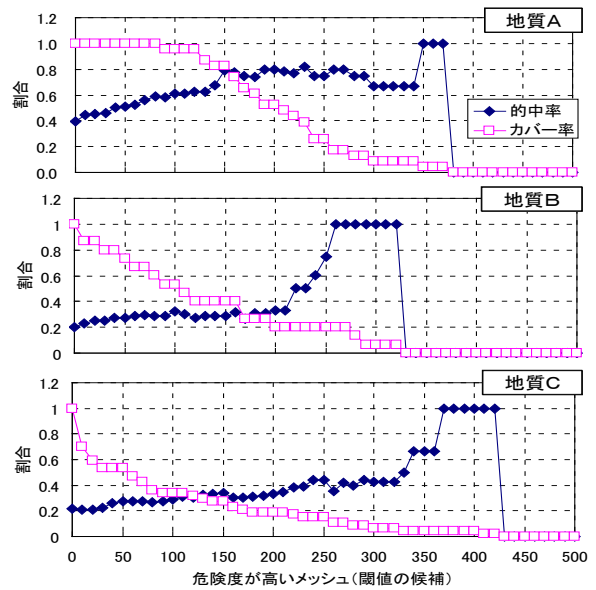


図-4 地質毎の地形量の的中率・カバー率の関係

4.3 深度評価深層崩壊の恐れのある溪流の抽出

4.1、4.2で設定した条件、および過去に発生した深層崩壊跡地の有無の3つを元に、深層崩壊の恐れのある溪流の抽出を行った。この結果、条件を1つも満足しない溪流は189 (全体の54%)、1つだけ満足する溪流は85 (24%)、2つ満足する溪流は58 (16%)、全て満足する溪流は21 (6%)であった。

5. 地震による深層崩壊に対する適用

4.3で設定した抽出条件によって抽出される深層崩壊の恐れのある溪流と、2008年岩手・宮城内陸地震による深層崩壊が発生した溪流の関係を解析した。すなわち、地震による深層崩壊が発生した51溪流及び発生しなかった302溪流が、4.で設定した3条件を満たす溪流かという観点で整理した。その結果を図-5に示す。図より、条件の満たす数が多いほど、条件を満足する溪流に対する深層崩壊が発生した溪流の割合が高くなり、満足する条件の数は溪流単位の地震による深層崩壊発生危険度を表していた。このことは、本抽出手法は地震による深層崩壊の溪流単位の危険度評価において、有効であることが明らかになった。一方、本手法を適用した場合、地震による深層崩壊が発生した溪流を見逃した数(各条件に該当せず、かつ地震による深層崩壊が発生した溪流)を数えると、条件がひとつも満足しない場合は10 (全体の20%)、1つだけ満足する場合は17 (33%)、

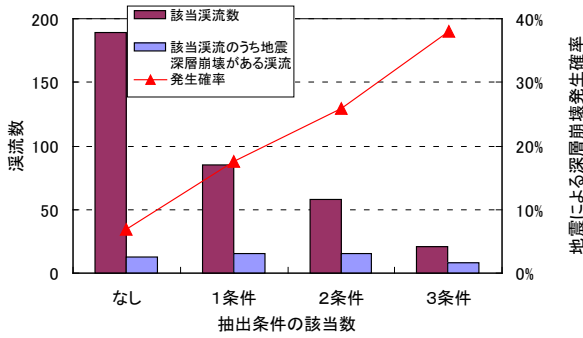


図-5 抽出手法の適用性の評価

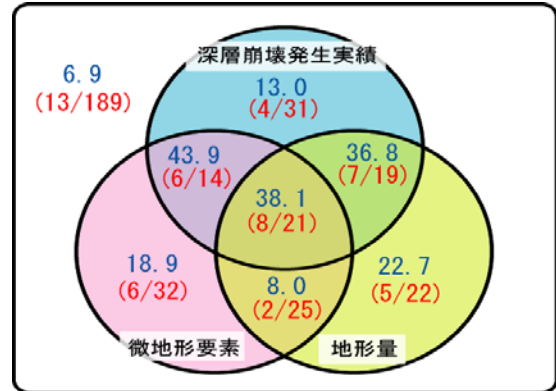


図-6 各条件における深層崩壊発生確率

(図中の数字の単位は%、括弧書きは深層崩壊発生確率の計算式)

2つ満足する溪流は15 (29%) であった。

ここで、各条件が地震による深層崩壊の恐れのある溪流をどの程度絞り込んでいるかについて評価するために、各条件に合致した溪流に対する深層崩壊発生確率を図-6に示す。図より、深層崩壊発生実績、微地形要素、地形量の各条件で抽出された深層崩壊発生確率は、大きくは変わらない。これは、実績、微地形、地形量のどれか1つが抽出結果に大きく効いているわけではなく、また、効いていないものもないことが分かる。

一方、地震による斜面崩壊の発生確率は誘因である地震力に影響することが言われているが(例えば4)、本抽出手法では地震力の場所による違いは考慮されていない。このことは、地震力の影響を考慮できれば、抽出精度はより向上し、見逃しが減少する可能性を示している。さらに、当該地域では、近年大規模な地震がなく、過去に発生した深層崩壊(深層崩壊跡地)の多くは雨または融雪によるものであった可能性が考えられる。しかしながら、本研究で示したように、本抽出手法は地震に対する深層崩壊に関しても有効であることが分かった。また、このことは、「溪流単位」というスケールで見た場合、降雨による深層崩壊と地震による深層崩壊の危険度の相関が高い可能性を示していると考えられる。

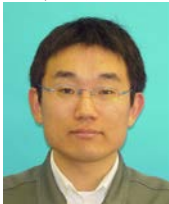
6. まとめ

栗駒山周辺を対象に2008年岩手・宮城内陸地震以前に発生した深層崩壊跡地に関して、地質構造・微地形要素および地形量から解析した結果を元に、岩手・宮城内陸地震で発生した深層崩壊が分布する溪流の抽出において、抽出手法の適用可能性を検証した。その結果、本抽出手法は地震による深層崩壊発生危険溪流を抽出する上で有効であることが明らかになった。

参考文献

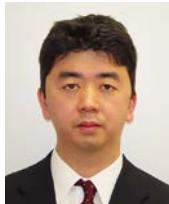
- 1) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム：深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)、土木研究所資料第4115号、2008。
- 2) 道畑亮一、田中秀基、八木澤和人、小島隆、金子裕司、内田太郎、鈴木隆司、宮瀬将之、安田勇次：鬼怒川上流域における深層崩壊危険度評価に有効な指標の選定手法の検討、第58回砂防学会研究発表会概要集、pp.368～369、2009。
- 3) 若林栄一、齋藤克浩、三上真範、伊藤俊介、内田太郎、鈴木隆司、川上誠博、道畑亮一、安田勇次：立谷沢川流域における深層崩壊発生危険度評価、第58回砂防学会研究発表会概要集、pp.378～379、2009。
- 4) 武澤永純、内田太郎、田村圭司、本間信一、小林容子：地震による崩壊の危険度に影響を与える要因の評価、第59回砂防学会研究発表会概要集、pp.574～575、2010。

武澤永純*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員
Nagazumi TAKEZAWA

内田太郎**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員
Taro UCHIDA

横山 修***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交
流研究員
Osamu YOKOYAMA

田村圭司***



国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所長(前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム上席研究員)
Keiji TAMURA

鈴木啓介***



国土交通省東北地方整備局岩手河川国道工事事務所調査第一課長
Keisuke SUZUKI