

特集：自然災害被害の予測・把握技術の高度化に向けて

地震時の斜面崩壊危険度評価と警戒避難降雨基準の検討

野村康裕* 岡本 敦**

1. はじめに

大規模地震が発生すると斜面が崩壊するとともに、斜面に亀裂等の緩みが生じ、しばらくは通常より少ない降雨でも崩壊が発生すると言われている。しかし、地震に伴う斜面崩壊のメカニズムは複雑で必ずしも明らかではない。

砂防研究室では兵庫県南部地震における六甲山系の崩壊実績をもとに地震時の斜面崩壊危険度評価判別式（以下、判別式）を開発し、中越地震、岩手・宮城内陸地震（以下、岩手地震）等の内陸型地震に適用してきた。しかし、地震動特性が内陸型地震と異なる海溝型地震へ適用した事例がなかったことから東北地方太平洋沖地震（以下、東北地震）における判別式の適用性を検証した。

また、都道府県と地方気象台が大雨時に共同で発表する土砂災害警戒情報では、大規模地震後、地震動による斜面の不安定化を考慮し、雨量基準（CL）を通常より引き下げた暫定基準を適用している（引き下げ率：震度5強で通常の7~8割、震度6弱以上で5~6割）。そこで、東北地震後約半年間の降雨データ及び土砂災害発生データを用いて暫定基準設定の妥当性等を検証した。

2. 判別式の適用性

2.1 判別式の概要

判別式は、多変量解析により絞り込まれた地震時の崩壊発生の要因を元に、判別分析手法により導かれた経験式である。同手法はある説明変数について事象を図中にプロットし、崩壊発生・非発生グループに分離する境界線を導くことにより崩壊を予測するものである。判別式の判別得点が高いメッシュほど崩壊が起りやすいと言える。判別式は、素因データに勾配と平均曲率（地形の凹凸を示す指標）、誘因データに最大加速度を用い以下のように表される。ここに、F：判別得点、

I：勾配（°）、C：平均曲率、A：最大加速度（ cm/s^2 ）である。

$$F = 0.075I - 8.92C + 0.006A - 3.228 \quad \dots\dots \text{式(1)}$$

2.2 データ作成方法

勾配と平均曲率は国土地理院基盤地図情報10mメッシュから算出し、最大加速度は防災科学技術研究所が発表した断層モデルに基づき、距離減衰式（2002、福島・田中ら）を用いて算出した。

2.3 崩壊地の判読結果

岩手・宮城県境の栗駒山周辺において、東北地震に関し、距離減衰式による推計加速度分布と空中写真判読による崩壊地分布を重ね合わせた結果を図-1に示す。国土地理院が平成23年5~10月に撮影した空中写真と東北地震前の平成22年11月の空中写真を比較し、主な崩壊地について、新たな崩壊地の発生、拡大を判読した。その結果、約350箇所、約2,060箇所の崩壊が確認され、これらを東北地震により発生した崩壊と推定した。なお、岩手地震による同地区の崩壊地は約2,060箇所である。

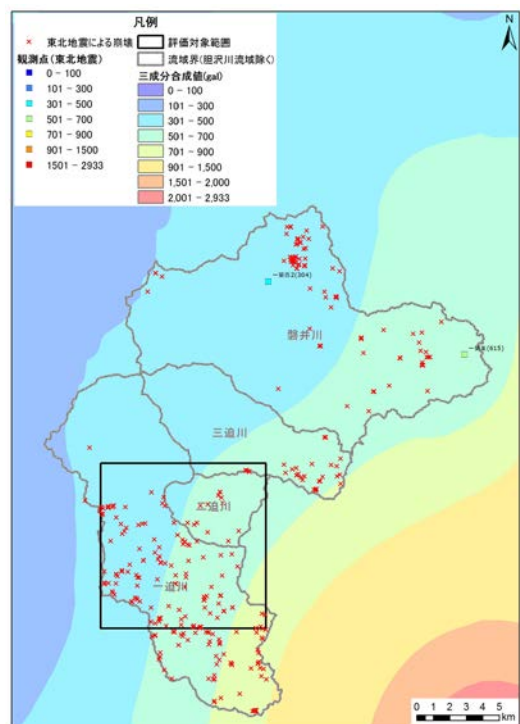


図-1 栗駒地区での東北地震の加速度と崩壊地の分布

A study on assessing potential of seismic landslides and threshold rainfall for landslide early warning in storms following major seismic disturbances

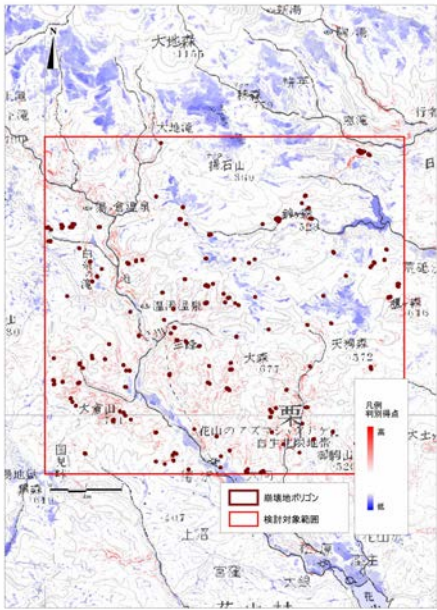


図-2 栗駒地区対象地域における判別評価結果

2.4 判別式の適用結果

栗駒地区の中から判別式を適用する10km四方のエリアを選定した。これは判別式を東北・岩手両地震へ適用しその結果を比較・分析できるように、両地震時で同程度の地震動を受けたエリアに絞って解析を行うためである。

式(1)より算出した判別得点と実際の崩壊地分布を図-2に示す。図-2から崩壊危険度が高いと予測された箇所（赤色）が実際の崩壊地（赤点）と概ね対応していることが分かる。精度を定量的に評価するため、崩壊発生率、的中率、見逃し率を算出した。的中率とは全体メッシュ数に対する崩壊・非崩壊を正しく予測できたメッシュの割合であり、見逃し率とは非崩壊と予測されたが実際は崩壊が発生したメッシュの割合である。ここでは、崩壊地源頭部に位置する1メッシュのみを崩壊メッシュと定義した。

その結果、図-3のように判別得点が高くなるに従い各得点レンジ毎の崩壊発生率が増加する傾向が見られたが、岩手地震の判別結果ほど明瞭ではなかった。また、的中率は50%、見逃し率は41%

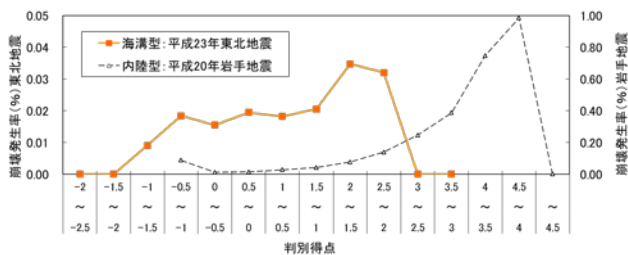


図-3 判別得点ごとの崩壊発生率

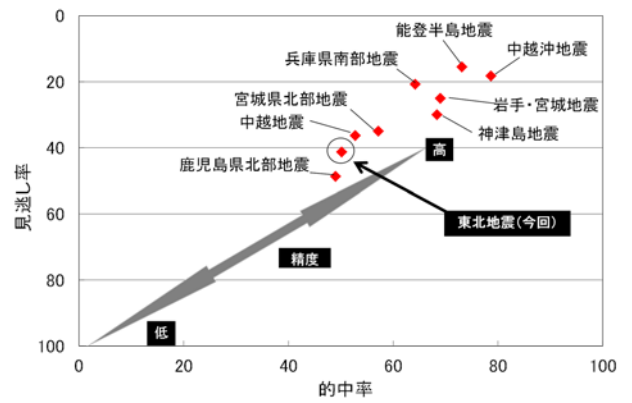


図-4 栗駒地区での判別結果の相対的評価

であった。図-4より他の内陸型地震と比べ精度があまり高くないと言える。崩壊箇所数、崩壊発生率ともに非常に小さかったことから明確な判別には至らなかったものと考えられる。

3. 地震後の警戒避難基準雨量

3.1 対象範囲とデータ収集

東北地震後から10月31日の間を検討期間とし、この間に震度5強以上を観測した東北・関東・東海地方の17都県を検討範囲とした。また気象庁の推計震度分布（市町村単位、図-5）、降雨、土壌雨量指数、国土交通省の土砂災害データ（地すべりを除く）を収集した。

3.2 対象災害の選定

収集した全土砂災害件数は758件であったが、本検討では各都県が土砂災害警戒情報のCL検討に採用した対象災害の考え方（例：土石流又は複数発生したがけ崩れを対象とする）に基づき検討対象災害を絞り込んだ。また、本検討の趣旨に合うよう要因が地震や融雪であるもの、災害形態が

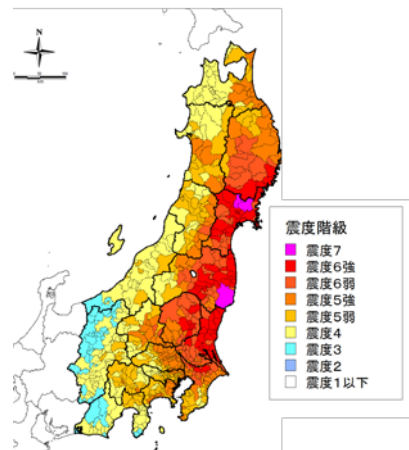


図-5 市町村単位での推計震度分布

山林火災やその他となっているもの、発生日が特定できないものは除外した。さらに、通常基準を大幅に上回る降雨で発生した7月の新潟・福島豪雨による土砂災害は地震による影響評価が難しいことから除外した。この結果、本検討での対象災害は表-1に示す32件（がけ崩れ20件，土石流6件，土砂流4件，山腹崩壊2件）となった。

3.3 CL超過判定の考え方

3.2で整理した対象災害について実況雨量を用いて発生日時前後のスネークラインを作成し通常CLおよび暫定CLに対する超過判定を行い、各CLでどの程度災害が捕捉出来たかについて検証した。なお、スネークラインとは、実況・予測雨量を縦軸；60分積算雨量、横軸；土壤雨量指数のグラフにプロットして結んだもの（図-6の黒色曲線）で、通常、1~2時間後にCLを超過すると予想されるときに土砂災害警戒情報を発表することになっている。また、災害発生時にスネークラインが位置する領域と当該市町村の経験した最大震度を整理した。領域区分は図-6のように、(1)通常CL超過、(2)暫定CL超過かつ通常CL未超過、(3)暫定CL未超過の3区分とした。なお、本検討では、土砂災害警戒情報の発表単位が市町村であることから、市町村単位のCL超過判定を行った。暫定基準は、各県の実際の引き下げ手法を適用するとともに、地震発生後速やかに設定され対象期間中継続して設定されているものとした。

表-1 対象災害リスト

日時	災害種別	異常気象名	都道府県	暫定基準	震度階	領域番号
2011年6月24日	がけ崩れ	-	秋田県	70%	5強	1
2011年6月24日	がけ崩れ	-	秋田県	70%	5強	1
2011年5月30日	がけ崩れ	-	宮城県	60%	6強	2
2011年9月21日	土石流	台風15号	宮城県	60%	6弱	1
2011年9月21日	土石流	台風15号	宮城県	60%	6強	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6強	2
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6強	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6強	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6弱	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6弱	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6弱	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	福島県	60%	6弱	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	茨城県	50%	6強	1
2011年6月15日	がけ崩れ	-	茨城県	50%	6強	3
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	茨城県	70%	6弱	1
2011年7月30日	山腹崩壊	-	栃木県	60%	6強	3
2011年8月7日	土石流	-	栃木県	80%	5強	2
2011年9月2日	土石流	台風12号	栃木県	80%	6弱	1
2011年9月21日	土石流	台風15号	栃木県	80%	5強	1
2011年9月22日	がけ崩れ	台風15号	栃木県	80%	6弱	1
2011年6月22日	がけ崩れ	梅雨前線	千葉県	50%	6強	3
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	千葉県	50%	6強	3
2011年9月22日	がけ崩れ	台風15号	千葉県	50%	6強	2
2011年7月6日	山腹崩壊	梅雨前線	新潟県	70%	6強	2
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	山梨県	70%	5強	1
2011年9月21日	がけ崩れ	台風15号	山梨県	70%	5強	1
2011年9月21日	土砂流	台風15号	静岡県	50%	6強	1
2011年9月21日	土砂流	台風15号	静岡県	50%	6強	1
2011年9月22日	土砂流	台風15号	静岡県	50%	6強	1
2011年9月22日	土砂流	台風15号	静岡県	50%	6強	1
2011年9月22日	土砂流	台風15号	静岡県	50%	6強	1

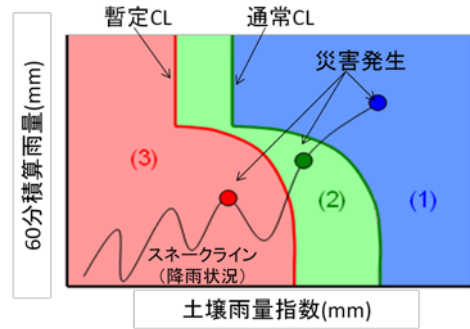


図-6 スネークラインによる超過判定領域区分

3.4 CL超過判定結果

領域別・最大震度別での災害発生状況の整理結果を表-2、図-7に示す。通常CLによって捕捉された災害（領域(1)）は68.8%であった。暫定基準により捕捉出来た災害（領域(1)+領域(2)）は87.6%と通常CLだけでの捕捉率を大きく上回り、暫定CLの有効性が確認された。なお、通常CLでの災害捕捉率の全国平均値は約75%程度（気象庁データ）であり、それと比較しても遜色ない。

次に震度ごとに見ると領域区分が(1)→(3)と降雨規模が小さくなるに従い、各領域で発生した全災害のうち震度5強、6弱の災害割合は59%→0%と急激に低下するが、震度6強以上は41%→100%と大きく増加する。これは強震動を受けるとより少ない降雨で災害が発生しやすくなることを示唆している。

3.5 必要最小限の引き下げ率検討

暫定基準で捕捉出来た領域(1)、(2)の災害28件について、実運用時の引き下げ率と捕捉可能な必要最小限の引き下げ率の関係を災害毎に図-8に示

表-2 対象災害の領域区分と最大震度

領域	最大震度別の災害件数				合計	割合
	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7		
(1)	5	8	9	0	22	68.8%
(2)	1	0	5	0	6	18.8%
(3)	0	0	4	0	4	12.5%
合計	6	8	18	0	32	-

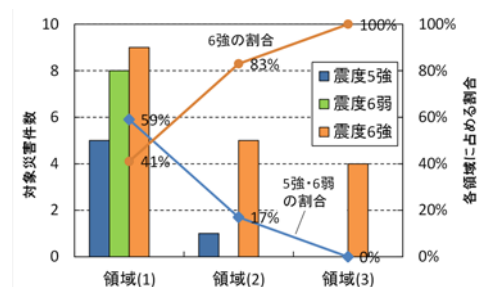


図-7 対象災害の領域区分と最大震度

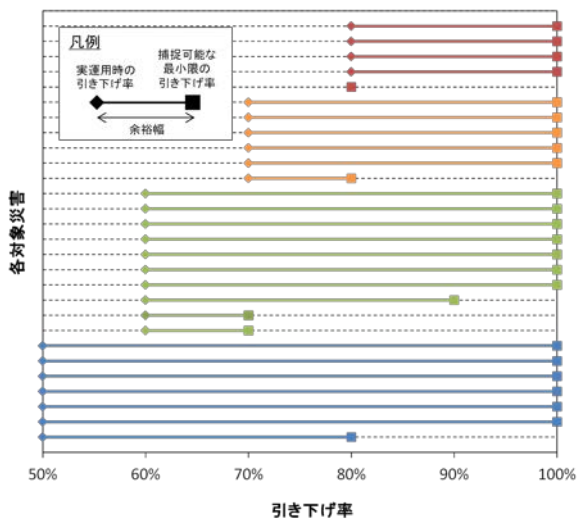


図-8 実際の引き下げ率と必要最小限の引き下げ率の差。また、実運用時の引き下げ率ごとに必要最小限の引き下げ率を図-9に整理して示す。結果として多くの災害で安全側に暫定基準が設定されており、暫定基準の引き下げは「震度5強で通常基準の8割」、「震度6弱以上で通常基準の7割」としても3.4で示した災害の災害捕捉状況と変わらない結果となった。

3.6 暫定基準解除のタイミング

国土交通省と気象庁では、地震時の崩壊等変状の有無、その後の経験降雨等に応じた暫定基準解除の考え方を示している。この手法通りに解除した場合の災害捕捉率について整理した結果、暫定基準を継続し解除しない場合の災害捕捉状況と変化はなかった。CL超過頻度や空振り率を減らすため、出来る限り同手法に沿って解除することが望ましいと考えられる。

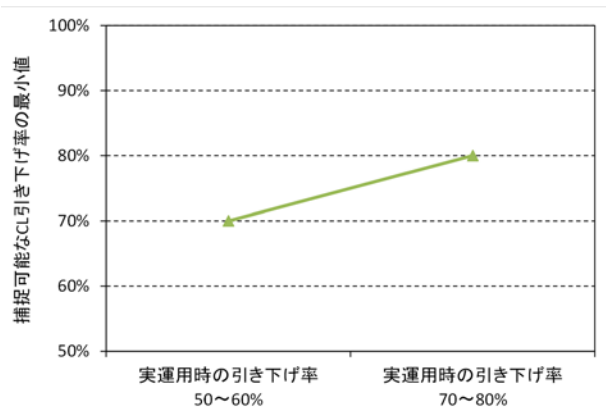


図-9 必要最小限の引き下げ率

4. まとめ

地震時崩壊危険度評価判別式の海溝型地震である東北地震に適用したところ、これまでに適用した内陸型地震ほどの精度を有さない結果となった。これは対象エリアの崩壊数が少なかったことが影響している可能性があるが、詳細について精査する必要がある。また、現在運用されている土砂災害警戒情報の暫定基準の設定について東北地震以後半年間の運用実績を検証した結果、その有効性が確認できた。また最小限の引き下げ率を検討したところ、震度5強で通常基準の8割、震度6弱以上で7割としても、現状の暫定基準を適用した場合と災害捕捉率に変化がない結果となった。

現時点では地震動が斜面に与える物理的な影響はその多くが必ずしも明確ではない。今後は、地震時の土砂災害発生機構について、事例検討を積み重ね、地震時崩壊危険度評価手法の精度向上および斜面安定解析等を通じた土砂災害警戒情報暫定基準の設定手法の高度化に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 内田太郎、片岡正次郎、岩男忠明、松尾修、寺田秀樹、中野泰雄、杉浦信男、小山内信智：地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究、国総研資料第204号、2004
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0204.htm>
- 2) 岡本敦、富田陽子、秋山怜子：「土砂災害警戒情報を補足する情報」の運用状況、土木技術資料、第54巻、第7号、pp.50~51、2012
- 3) 福島美光、田中貞二：新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂、地震学会講演予稿集、pp.116、1992

野村康裕*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室 研究官
Yasuhiro NOMURA

岡本 敦**



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室 長
Atsushi OKAMOTO