

防災カルテ・安定度調査表を用いた斜面崩壊による孤立性評価手法の提案と孤立地域の予測

穂積 克樹¹・酒井 久和²・梶谷 義雄³

¹正会員 株式会社 日建設計 (〒102-8117 東京都千代田区飯田橋 2-18-3)
E-mail: hozumi.katsuki@nikken.jp(Corresponding Author)

²正会員 法政大学教授 デザイン工学部都市環境デザイン工学科
(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2 丁目 33)
E-mail: hisakai@hosei.ac.jp

³正会員 香川大学教授 創造工学部防災・危機管理コース (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)
E-mail: kajitani.yoshio@kagawa-u.ac.jp

集落へのアクセス手段が物理的に断たれる孤立化を防ぐために斜面崩壊対策は重要である。そこで本研究では、斜面状況を記録した防災カルテ・安定度調査表などを用いて、共分散構造分析、ロジスティック回帰分析、SMOTE による斜面崩壊確率評価式を提案した結果、法面・自然斜面の崩壊の的中率が向上した。次に和歌山県における南海トラフシナリオ地震時について、法面・自然斜面の崩壊確率より、緊急輸送道路の途絶確率を推定した結果、沿岸部・内陸部の北部で道路が途絶する確率が高い値を示した。さらに「田辺市 龍神行政局」と災害時にそなえた「備蓄基地（災害救助物資保管場所）」の 2 地点を結ぶ 2 ルートを対象に、優先的に対策すべきルート・対策箇所を示した。

Key Words: Road disruption, Nankai trough earthquake, Geographically isolated community, Slope failure probability model, Disaster prevention Karte

1. はじめに

地震時に発生する土砂災害等の災害は、人命にもかかわる重大な問題を引き起こす。特に、日本は山地と丘陵地が国土の 7 割を占めているため、地震時や豪雨時に多くの土砂災害が発生している。そして近年は、地震や台風が短時間に起こる複合災害も重要な課題になっている。例えば、2018 年 9 月 4 日に北海道等に台風 21 号が直撃し、日雨量 125mm の豪雨災害が起きた。その 2 日後、最大震度は震度 7 の北海道胆振東部地震が起こり北海道厚真町の被害を中心に約 220 件の土砂災害が発生、死者も 36 名に上った¹⁾。また、道路沿いの斜面の崩壊は集落の孤立化を引き起こし、初動の救助活動に支障をきたす、正確な情報が入手できないなど多くの二次災害を引き起こす可能性もある²⁾。集落の孤立化を防ぐには斜面への対策工を行う必要がある。しかし国や地方自治体の予算は限られているため、すべての危険性の高い斜面へ対策を行うのは不可能である。そのため、対策工を行う場所に優先順位をつけることが重要である。

そこで本研究では、将来想定地震時に斜面崩壊する箇

所を事前に予測することで、孤立性の評価を試みる。なお、本研究における「孤立性」とは、「災害時に救助・支援等の場面で必要となる緊急輸送道路の通行が、道路途絶によって不能になる状態」を指す。同様の研究は小野ら³⁾によっても行われていたが、小野らの研究では想定されている地震動が一定であったため、具体的な想定地震には対処できていなかった。そこで、本研究では具体的な将来想定地震を対象とする。分析方法として、斜面崩壊確率評価式の算出には複数の変数の背後にある潜在変数間の関係を構造化する共分散構造分析、ならびに本研究で対象とする斜面崩壊のような質的変数に対する回帰するモデルとしてロジスティック回帰分析を使用し、斜面崩壊確率評価式を作成する。このようなアプローチは梶ら⁴⁾にも採用されている。同様の研究は近野ら⁵⁾にも行われていたが、本研究では雨量や崩壊性の土質や岩質、対策工の有無についても導入し、説明力の向上を試みた。また、道路防災カルテ記載の箇所での斜面崩壊数が限られており、崩壊性評価の十分な精度向上が見込めないことから、データ数を補うために機械学習を用いたパターンによる分析も行う。さらに、提案した斜面

崩壊確率評価式的的中率の検証を行ったうえで、将来想定地震時に当てはめて斜面崩壊確率、道路途絶確率を算出し、優先的に対策すべき箇所を提案する。

2. 分析手法

(1) 斜面崩壊確率評価式分析対象地震

対象地震は「新潟県中越地震」「新潟県中越沖地震」「岩手・宮城内陸地震」「福島県浜通り地震」の4地震を用いたものと「新潟県中越地震」のみで分析したものの2つのパターンで法面・自然斜面に分けて行う。

(2) 孤立性評価対象地震

孤立性を評価する対象地震は「南海トラフ巨大地震」時の和歌山県を対象とする。また、対象の道路は有事の際に優先して通行可能にするべき道路として指定されている緊急輸送道路を対象とする。なお、飛び地は除外としている。

(3) 分析の流れ

孤立性を評価するための斜面崩壊確率の評価式分析手法は、図1に示すとおりである。各使用データを整理し、項目ごとの斜面崩壊発生率を算出する。その後共分散構造分析を算出し、適合度や影響度を求める。

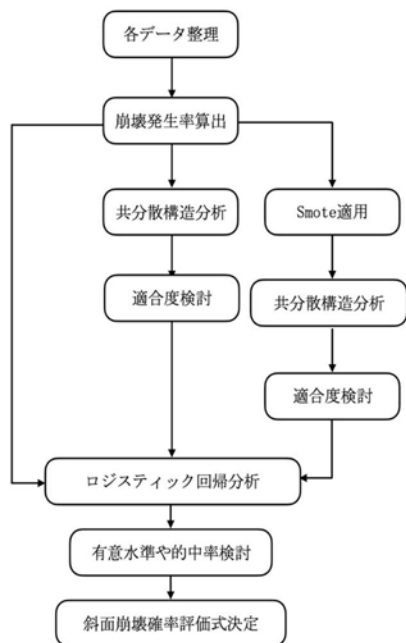


図1 分析方法流れ

(4) 孤立性評価手法

孤立性評価については、ある2地点を結ぶ道路沿いの斜面において、どの程度の確率で斜面崩壊が起こり途絶してしまうかを確認することで行う。道路沿いの斜面を

n 個とした時、各斜面の崩壊確率 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ とし、途絶確率を P_r とする。これらより、途絶確率 P_r は式(1)で算出できる。

$$P_r = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - y_i) \quad (1)$$

(5) 使用データ

a) 防災カルテ・安定度調査表

今回の研究で主な分析データとして、「防災カルテ・安定度調査表」を使用する。防災カルテ・安定度調査表では、法面と自然斜面のそれぞれ両斜面の安定に支障をきたす地形、土質・地質・構造、表層の状況、形状、変状の項目について専門家が点検し、それらの項目や対策の有無、過去の被災頻度や程度を記録している。今回は「崖錐地形」、「崩壊跡地」、「遷急線明瞭」、「台地の裾部」、「脚部浸食」、「オーバーハング」、「集水型斜面」、「土石流跡地」、「尾根先端など凸型斜面」、「表土及び浮石・転石の状況」、「湧水状況」、「表面の被覆状況」、「崩壊性の土質」、「崩壊性の岩質」、「崩壊性の構造」、「当該のり面の変状」、「隣接するのり面・斜面等の変状」、「対策工」の項目を使用する。

b) 崩壊箇所データ

本研究では防災カルテ・安定度調査表が作成された地点が地震時に崩壊しているかどうかを確認するために崩壊箇所データを用いる。「新潟県中越地震」「新潟県中越沖地震」「岩手・宮城内陸地震」については国土地理院が判読したデータを用いる。「福島県浜通り地震」については、福島県から提供を受けた災害報告書のデータを使用する。

c) PGV

地震データを考慮する指標として地震時の最大地表面速度 (PGV: Peak Ground Velocity) を使用する。PGVは比較的土砂災害に高い影響を与えると考えられており、近野ら⁹⁾の研究でも同様のことが分析結果として述べられている。過去のPGVについては、産業技術総合研究所が公開しているデータを用いる。該当データは地震動マップ即時推定システム (QuiQuake: Quick estimation system for earth Quake map triggered by observed records) で公開されている。将来想定地震である「南海トラフ巨大地震」については、「内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会」が予測したデータなどを基に算出したものを使用する。なお、記録がない地点については、IDW(逆距離加重補間)⁹⁾を用いて内挿を行う。

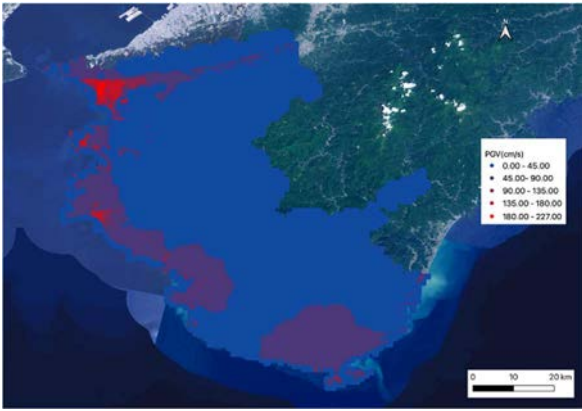


図2 和歌山県 PGV 算出結果

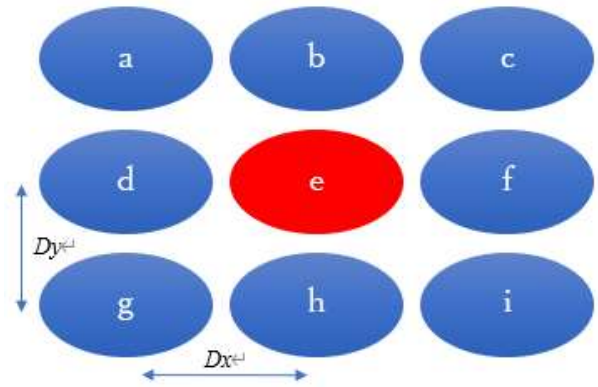


図3 勾配算出用標高地点

d) 降雨量

今回の研究の雨量では、気象庁の地域気象観測システム（アメダス）が過去に計測していた降水量データを使用する。その雨量を基に実効雨量を計算する。実効雨量とは、過去の雨量を考慮し、地中に染み込んだ雨量を計算した値である。直前の雨量を影響度は係数を用いて影響度を大きく、過去の雨量は影響度を小さく見積もるように計算を行う。実効雨量の計算式は式(2)に示す。なお R_G : 実効雨量 (mm) , R_n : n 時間前の雨量 (mm) , a : 1時間単位の減少係数, T : 半減期を示す。

$$R_G = R_0 + a^1 R_1 + a^2 R_2 + a^3 R_3 + \dots + a^n R_n \quad (2)$$

$$a = (0.5)^{1/T} \quad (3)$$

本研究では土砂災害の危険性評価で広く用いられている半減期 72 時間を採用する。また、 n については、新潟県中越地震の 3 日前に台風 23 号が直撃していたため、本研究では 72 時間を n とする。

e) 勾配

勾配の算出には国土地理院が計測した各地点の標高値を基に傾斜量を算出した。傾斜量の算出には、「国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室」が公表している手法と同様の手法を使用する⁷⁾。求めたい勾配とその周辺の点を図3の a~i のように指定し、各点の標高を $Z_a \sim Z_i$ と表す。その場合、勾配の計算は式(4)~式(7)に示した流れの通りである。

$$S_x = \frac{Z_a + Z_d + Z_g - (Z_c + Z_f + Z_i)}{6 * D_x} \quad (4)$$

$$S_y = \frac{Z_a + Z_b + Z_c - (Z_g + Z_h + Z_i)}{6 * D_y} \quad (5)$$

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (6)$$

$$\theta = \arctan(S) * 180 / \pi \quad (7)$$

f) 地質図

今回の研究で用いる地質図は、業技術総合研究所地質調査総合センターの地質図データ⁸⁾を利用する。地質の区分は柁ら⁴⁾の研究を参考に、新潟県に新第三紀・第四紀多く、これらの地質が崩壊しやすい岩石区分であることを考慮したものを作成した。

表1 地質時代区分

地質時代尺度 (万年前)	統合後区分 1
現在~1.17	第四紀
1.17~12.6	
12.6~78.1	
78.1~164	
164~520	新第三紀
520~1,040	
1,040~1,630	
1,630~2,303	その他
2,303~6,600	
6,600~14,500	
14,500~以降	

g) 土壌図

土壌図には、人農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センターの20万分の1の土壌図データ⁹⁾を利用する。分類は柁ら⁴⁾の研究と20万分の1の土壌図データの土壌大群を元に「ポドゾル」, 「暗赤色土」, 「褐色森林土」, 「黒ボク土」, 「赤黄色土」, 「低地土」, 「停滞水成土」, 「未熟土」, 「有機質土」, 「その他」の種類に分類したデータで分析を行う。

h) 植生図

植生図は、環境省自然環境局生物多様性センターの植生図データ¹⁰⁾を利用する。人為的な手が加わると斜面の安定性に影響を及ぼすことから、「I 高山帯自然」 「II コケモモトウヒクラス域自然植生」 「IV ブナクラス域自然植生」 「VI ヤブツバキクラス域自然植生」を自然植生, 「III コケモモトウヒクラス域代償植生」 「V ブナクラス域代償植生」 「VII ヤブツバキクラス域代償植生」を代償植生, 「VIII 河辺・湿原・沼沢地・砂丘植生」を河辺・湿原・沼沢地・砂丘植生(新潟県中越地震のみでの分析では、自然植生に統合), 「IX 植林地・耕作地植生」を植林地・耕作地植生, 「X 市街地等」を市街地・海等に分類した。

i) 植生図

道路ネットワークデータは国土数値情報で公開されているデータを主に使用する。ただし国土数値情報のデータは平成27年のものだが、和歌山県の緊急輸送道路は平成29年に更新されている。そこで追加分の道路ネットワークデータについてはPythonのパッケージであるOSMnxを用いてダウンロードした。

3. SMOTE の適用

本研究では新潟県中越地震のみのデータでも分析を行う。ただし、データ数が限られていることから機械学習を用いてデータの計算を行う。そのためにSMOTEを用いる。SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) とは、データ数が少ない方のパターン近隣のデータをもとに計算し、人工的に算出する手法である。この手法を用いて、崩壊：非崩壊=1：1になるようにデータ数を増やした。算出結果を表2に示す。

表2 SMOTE 分析結果

	法面		自然斜面	
	Smote 前 (個)	Smote 後 (個)	Smote 前 (個)	Smote 後 (個)
崩壊	102	238	126	250
非崩壊	269	238	280	250

4. 共分散構造分析

(1) 分析モデル

共分散構造分析では、分析を行うにあたって基本モデルを作成し、適合度や相関性の優位性によって変数の除去などを行い、最終的なモデルを決定する。今回は表3に示した4つのパターン(法面2つ, 自然斜面2つ)で検証を行う。基本モデルは、説明変数をいくつかの潜在変数にまとめ、それらの要因が崩壊に影響を与えるという基本モデルを作成する。要因は外的要因, 内的要因, 表層要因, 地形要因, 崩壊性要因の5つに分ける。

法面と自然斜面のCASE1では実効雨量・PGVを外的要因に、植生区分・地質時代・湧水を内的要因に、崩壊跡地・オーバーハング・土石流跡地・転石浮石・被覆状況・グライ層・土壌区分・当該斜面変状・対策工を表層要因に、崖錐地形・台地裾部・遷急線明瞭・脚部侵食・集水型斜面・凸型斜面・勾配を地形要因に、崩壊性の岩質・崩壊性の構造_流れ盤_崩壊性の構造_その他・隣接斜面変状を崩壊性要因に分類した。また法面と自然斜面のCASE2では実効雨量・PGVを外的要因に、植生区分・湧水を内的要因に、崩壊跡地・オーバーハング・土石流跡地・転石浮石・被覆状況・グライ層・当該斜面変状・対策工を表層要因に、崖錐地形・台地裾部・遷急線明瞭・脚部侵食・集水型斜面・凸型斜面・勾配を地形要因に、崩壊性の土質・崩壊性の岩質・崩壊性の構造_流れ盤_崩壊性の構造_その他・隣接斜面変状を崩壊性要因に分類した。

表3 共分散構造分析検討パターン

	法面 CASE A	法面 CASE B	自然斜面 CASE A	自然斜面 CASE B
Smote	なし	あり	なし	あり
対象地震	新潟県中越地震, 新潟県中越沖地震, 岩手・宮城内陸地震, 福島県浜通り地震	新潟県中越地震	新潟県中越地震, 新潟県中越沖地震, 岩手・宮城内陸地震, 福島県浜通り地震	新潟県中越地震

(2) 分析方法

これらのデータやパターンを組み合わせ、使用する説明変数については標準化を行った上で共分散構造分析を行なった。なお共分散構造分析を行う前にカテゴリごとに相関係数を検証し、特に高い値を示す多重共線性の有

無を調べたが、分析に悪影響を及ぼすような高い値は存在しなかった。共分散構造分析では、適合度は GFI, AGFI, CFI, RMSEA を見ることにした。GFI とは、0.9 以上が特に良く、重回帰分析における決定係数でモデルの観測データに対する説明率を示す。AGFI とは、0.9 以上が特に良く、標準化の修正後の GFI を示したものの AGFI < GFI だとより良い。CFI は 0.9 以上が特に良く、モデルの適合度がどの程度改善されたかを示すものである。RMSEA は 0.05 以下が特に良く、0.1 以上はあまりよい値ではない、モデルの分布と実際の値の差を示したものである。共分散構造分析では、崩壊について確率を求めるが、小島ら¹¹⁾と同様にファジーセットモデルにより各地点の斜面崩壊の発生確率を求めその値を共分散構造分析に用いる。表 4 に分析結果を示す。

表 4 共分散構造分析結果

パターン	GFI	AGFI	CFI	RMSEA
法面 CASE A	0.860	0.807	0.794	0.087
法面 CASE B (実効雨量あり)	0.854	0.802	0.730	0.090
法面 CASE B (実効雨量なし)	0.851	0.795	0.728	0.093
自然斜面 CASE A	0.838	0.776	0.754	0.095
自然斜面 CASE B	0.792	0.722	0.722	0.101

5. ロジスティック回帰分析

(1) 分析手法

共分散構造分析結果の係数に合わせたパターンなどを合わせて目的変数に崩壊・非崩壊の二値データを使い、斜面の崩壊確率評価式を算出する。評価式の作成については、有意性が高いものを残すことで、より式の信頼度を高める。ただし、p 値が 0.05 以上であっても、崩壊に影響を与えると判断した場合は、評価式の項目に残すこともある。評価式の算出には、表 5 のパターンで比較検討を行なった。

(2) 的中率検証

評価式について、分析に用いたデータを用いて的中率を算出した。崩壊・非崩壊のボーダーは 50% とし、予測確率が 50% を上回ったら崩壊、下回ったら非崩壊と判断する。的中率については、次の通りである。

“Recall” は実際に崩壊したもののうちどの程度正確に崩壊を予測できたかを示す割合である。“Accuracy” は崩壊非崩壊を正確に予測できた割合を示す。“Precision” は崩壊と予測したうち、実際に崩壊したものの

割合を示す。

” Specificity ” は実際に非崩壊だったもののうちどの程度正確に非崩壊を予測できたかを示す割合である。

” F 値 (F-Score) ” は “Recall” と “Precision” から求められるものである。算出した結果の再現率と正確度のバランスの良さを示す。“FPR” は非崩壊と予測したうち、実際は崩壊だったものの割合を示す。そして “AUC” とは、ROC 曲線によって算出される値である。ROC 曲線とは “Recall” と “FPR” によって作成したグラフのことである。グラフ下の面積が AUC という的中率を示す値になる。的中率の式を式(8)～式(14)に示す。

表 5 評価式分析パターン

CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6
斜面種類	法面			自然斜面		
Smote	なし		あり	なし	なし	あり
分析手法	ロジスティック回帰分析のみ	ロジスティック回帰分析+共分散構造分析		ロジスティック回帰分析のみ	ロジスティック回帰分析+共分散構造分析	
対象地震	新潟県中越地震, 新潟県中越沖地震, 岩手・宮城内陸地震, 福島県浜通り地震		新潟県中越地震	新潟県中越地震, 新潟県中越沖地震, 岩手・宮城内陸地震, 福島県浜通り地震		新潟県中越地震

表 6 的中率算出用項目一覧

ボーダー: 50%		実際	
		崩壊	非崩壊
予測	崩壊	TP	FP
	非崩壊	FN	TN

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (9)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (10)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (11)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (12)$$

$$F1 = \frac{2 * Recall * Precision}{Recall + Precision} \quad (13)$$

$$FPR = \frac{TN}{TN + FN} \quad (14)$$

これらの的中率を基に、算出した評価式の有効性を検証する。なお法面の CASE1 については p 値が 5% を超えたものを削除したものとしていない 2 パターン、CASE3 については、実効雨量有無についての 2 パターンを算出した

(3) 評価式

5. (2) 的中率検証の表 7 の CASE3 と表 8 の CASE6 より法面・自然斜面ともに、SMOTE を適用すると Recall と F1 の値が高いということから、通常分析よりも崩壊を予測できる評価式を作成することができた。したがって、本研究では SMOTE を適用した斜面崩壊確率評価式を採用する。法面・自然斜面の各係数、標準誤差、p 値を表 9 と表 10 に、評価式は式(15)に示す。

表 7 法面評価式の中率一覧

	CASE1	CASE2	CASE3	
Smote	なし		あり	
実効雨量	あり			なし
p 値 5%以上	あり	なし	あり	
Recall	0.377	0.311	0.190	0.752 0.798
Accuracy	0.868	0.862	0.848	0.695 0.721
Precision	0.678	0.673	0.606	0.675 0.691
Specificity	0.965	0.970	0.976	0.639 0.643
F1	0.485	0.426	0.290	0.712 0.741
FPR	0.0353	0.0297	0.0240	0.361 0.357
AUC	0.671	0.641	0.583	0.695 0.721

表 8 自然斜面評価式の中率一覧

	CASE4	CASE4 (p 値 5%以上のものを削除)	CASE5	CASE6
Smote 適用	なし	なし	なし	あり
Recall	0.326	0.256	0.171	0.804
Accuracy	0.814	0.806	0.806	0.702
Precision	0.568	0.541	0.564	0.668
Specificity	0.937	0.945	0.967	0.600
F1	0.414	0.347	0.262	0.730
FPR	0.0627	0.0549	0.0333	0.400
AUC	0.631	0.600	0.569	0.702

表 9 法面偏回帰係数一覧

	係数	項目	要因	標準誤差	p 値
α	-0.4531	-	-	0.127	0
β_1	1.084	x1	外的要因	0.164	0
β_2	0.7444	x2	表層要因	0.164	0
β_3	2.1668	x3	内的要因	1.693	0.201
β_4	0.3427	x4	地形要因	0.177	0.053
β_5	0.2857	x5	崩壊性要因	0.141	0.043

表 10 自然斜面偏回帰係数一覧

	係数	項目	要因	標準誤差	p 値
α	-0.2361	-	-	0.107	0.028
β_1	0.7879	x1	外的要因	0.12	0
β_2	0.5656	x2	表層要因	0.299	0.058
β_3	0.8741	x3	内的要因	0.316	0.006
β_4	0.1332	x4	地形要因	0.153	0.383
β_5	0.1917	x5	崩壊性要因	0.124	0.122

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5)\}} \quad (15)$$

6. 岩手・宮城内陸地震

他地震における提案評価手法の有効性の検討として、岩手・宮城内陸地震のデータに法面と自然斜面の評価式(14)を当てはめてデータの的中率を求めた。崩壊・非崩壊のボーダーは 50% とする。Recall は元のデータを上回る結果を示したが、全体の精度を示す Accuracy や非崩壊の予測精度を示す Specificity は下回った。一方 AUC については 6 割である。このことから、全体的にかなり崩壊数が増加するがやや高い崩壊確率を示す傾向を反映したものであり、わずかに安全側の評価を行った結果と解釈できる。

表 11 岩手・宮城内陸地震の的中率一覧

	法面	自然斜面
全体の斜面数	58	30
実際の崩壊数	3	2
実際の非崩壊数	55	28
予測の崩壊数	37	22
予測の非崩壊数	21	8
Recall	1.000	1.000
Accuracy	0.414	0.333
Precision	0.081	0.0909
Specificity	0.382	0.286
F1	0.150	0.167
AUC	0.691	0.643
FPR	0.618	0.714

7. 和歌山県における孤立性評価

有効性を確認した斜面崩壊確率評価式を用いて和歌山県の南海トラフ地震時の孤立性評価を行う。対象路線は和歌山県の緊急輸送道路について行なった。なお、雨量については予測ができないため、新潟県中越地震時に直撃した台風 23 号と同等レベルの雨量が全域に降雨した状況を想定している。法面の算出結果を図 4、図 6 に、自然斜面の算出結果を図 5、図 7 に示す。

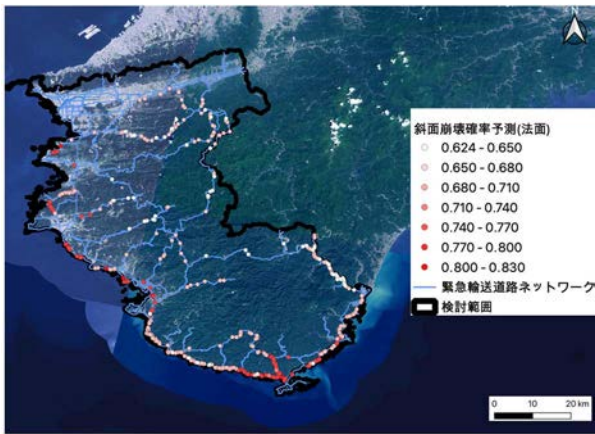


図4 崩壊確率（法面）

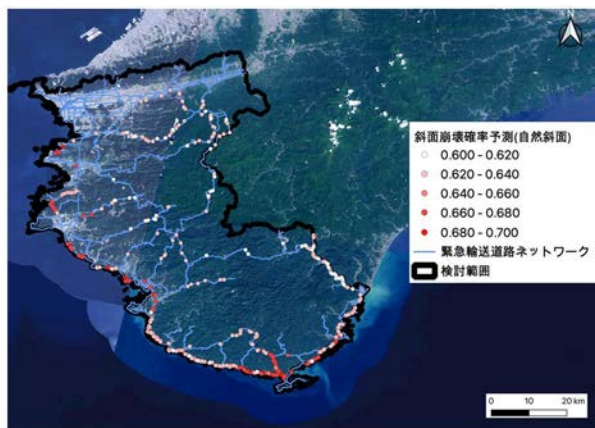


図5 崩壊確率（自然斜面）

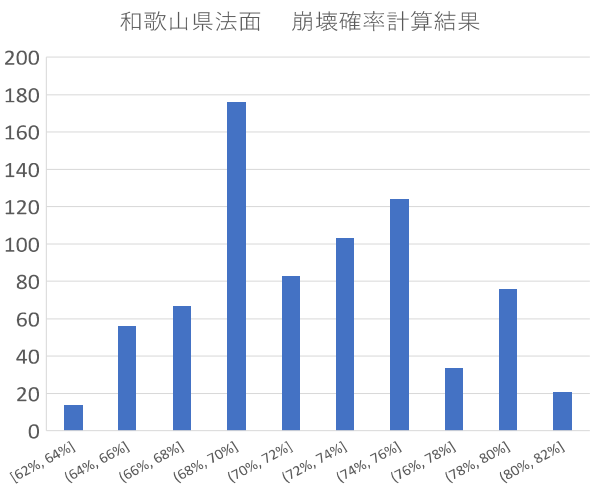


図6 和歌山県法面崩壊確率予測グラフ

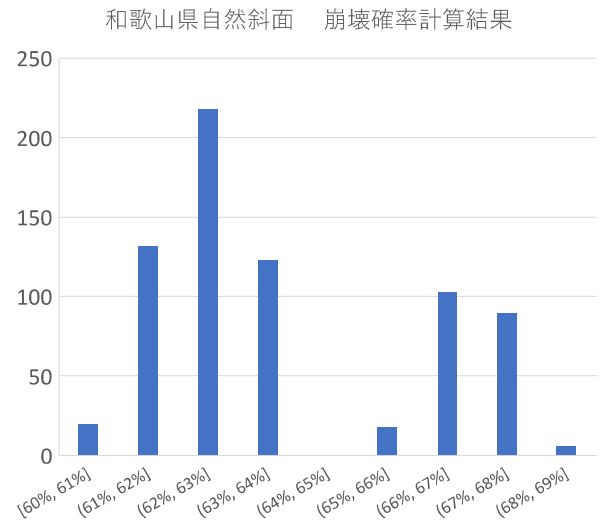


図7 和歌山県自然斜面崩壊確率予測グラフ

これらの斜面崩壊確率をもとに和歌山県内の緊急輸送道路について孤立性評価を行う。孤立性評価手法は、式(1)で述べた計算式を使用する。算出した緊急輸送道路の途絶確率を図8に示す。

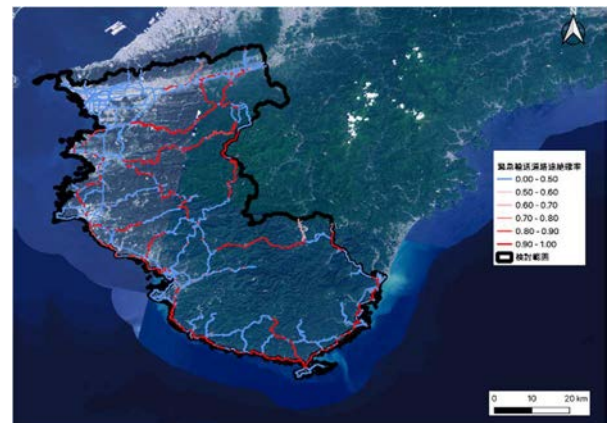


図8 緊急輸送道路途絶確率予測図

予測される斜面崩壊確率は法面・自然斜面ともに沿岸部で高い値を示す傾向がみられる。これは、沿岸部では斜面が海風に削られオーバーハングを形成しやすいことや、PGVが高い値を示しているために計算された結果だと考えられる。道路途絶確率は沿岸部と内陸の北部では特に高い値が示された。特に、内陸の北部では、一つあたりの斜面崩壊確率は沿岸部に比べて低いものの、斜面が密集していることから高い道路途絶確率を示す結果になったと考えられる。

そして、地域の孤立性について検証を行う。今回対象となる地点は、災害時に防災拠点の1つとして指定され

ている「田辺市 龍神行政局」と和歌山県が災害時にそなえた「備蓄基地（災害救助物資保管場所）」の2地点を結ぶルートを対象に検討を行う。



図9 和歌山県対策箇所検討ルート

これらの経路のうち、斜面崩壊確率評価式を用いて算出した確率で最大値となる値は経路1では法面が76.3%、自然斜面が63.9%、経路2では法面が70.7%、自然斜面が63.2%である。それぞれの道路途絶の確率は経路1においては99.9%、経路2においては99.8%であった。以上より、経路2の方が法面、自然斜面ともに低いことから、経路2への対策を優先するべきであると考えられる。

8. 結論

本研究では過去の地震被害における斜面崩壊被害の特徴を分析し、孤立性評価手法の提案を行うことを目的とした。防災カルテ・安定度調査表、地震動強度指標データ等を用いて、共分散構造分析とロジスティック回帰分析により地震時における斜面の崩壊確率評価手法を構築した。この際、データ数において崩壊・非崩壊のバランスが悪いという問題点を、SMOTEを用いることで崩壊：非崩壊=1：1のバランスに改善した。

次に、この評価式を岩手・宮城内陸地震に適用し、その有効性を検証した。その結果、提案手法が法面・自然斜面に対して他の2手法（ロジスティック回帰分析のみ、ロジスティック回帰分析+共分散構造分析）より、崩壊的中率が向上した。

さらに提案手法を、南海トラフ巨大地震地震時の地震動を想定した和歌山県に適用し斜面崩壊確率を予測し、孤立性評価を行った。結果、道路の途絶確率を算出したところ、沿岸部や斜面が多い内陸部の北部で特に高い途絶確率が算出された。また、実際の2地点を結ぶルート

で孤立性評価を行い、優先的に対策を取るべきルート・対策箇所を示した。

謝辞：関西大学 一井康二教授をはじめとする土木学会耐震基準小委員会復旧性WGの委員の方々には貴重なご意見を頂いた。本研究で用いた防災カルテ・安定度調査表は新潟県、福島県、岩手県と和歌山県にご提供いただいた。また本研究はJSPS 科研費 20K05052 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：北海道胆振東部地震による被害状況等について（第27報），<http://www.mlit.go.jp/common/001259066.pdf>（最終閲覧 2022.1）
- 2) 日経コンストラクション：[地震] 新潟県中越地震で斜面崩壊が多発、トンネルや橋に珍しい壊れ方，2006. <https://tech.nikkeibp.co.jp/kn/article/const/news/20070718/509851/>（最終閲覧 2022.1）
- 3) 小野祐輔・本郷峻介：地震時の斜面崩壊確率に基づく中山間地の孤立可能性の定量化の試み，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.74, No.4（地震工学論文集第37巻），I_313-I_319，2018.
- 4) 榎丹人，酒井久和，梶谷義雄：斜面カルテとオープンデータを用いた斜面崩壊確率評価式の提案，（公益社団法人）土木学会地震工学委員会・耐震基準小委員会・復旧性WG活動報告書，pp.125-134，2021.
- 5) 近野玲央，酒井久和，梶谷義雄：防災カルテを用いた長野県北部地域における斜面の信頼性評価手法，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol. 72, I_106，2017.
- 6) QGIS 2.14 の文書 GIS 入門 空間分析（補間） 逆距離加重補間（IDW），https://docs.qgis.org/2.14/ja/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html（最終閲覧 2022.1）
- 7) 国土交通省 国土地理院：傾斜量図の作成方法，<https://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho40108.html>（最終閲覧 2022.1）
- 8) 地質調査所：100 万分の 1 日本地質図第 3 版凡例，<https://gbank.gsj.jp/seamless/legend.html>（最終閲覧 2022.1）
- 9) 独立行政法人 農業環境技術研究所：農業環境技術研究所報告第 29 号「包括的土壌分類 第 1 次試案」，<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/publish/bulletin/niaes29.pdf>（最終閲覧 2022.1）
- 10) 環境省 自然環境局 生物多様性センター：自然環境調査成果一覧，http://www.biodic.go.jp/ne_research.html（最終閲覧 2022.1）
- 11) 小島尚人，関根亮，奥井明紀人，吉田智也：規範型教師データを取り入れた潜在危険斜面広域推定支援策の一提案，土木学会論文集，Vol.70, No.2, pp.60-69，2014.

SEISMIC LANDSLID RISK ASSESMENT METHOD BASED ON DISASTER PREVENTION CHART AND STABILITY SURVEY TABLES FOR DETECTING ISOLATED COMMUNITIES

Katsuki HOZUMI, Hisakazu SAKAI and Yoshio KAJITANI

Earthquakes frequently induce landslides and slope failures which trigger many communities to be isolated. In this study, we proposed an estimation methodology for detecting isolated communities in mountain regions using slope failure probabilities during earthquakes. This methodology was constructed of the Structural Equation Modeling and the Logistic Regression Analysis using the disaster prevention charts and the stability survey tables. The SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) was introduced for estimating slope failure probability more accurately by increasing the failure data equivalent to the non-failure one. Furthermore, we evaluated the community isolation risk in Wakayama prefecture based on the proposed road network disruption probability. Finally, we revealed the detecting method for the economic slope failure countermeasure sites in one sample case.