

道路防災総点検結果を利用した道路斜面 に対する新たな安定度評価手法の提案

小田 和広¹・伊藤 真一²

1大阪大学大学院 工学研究科 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

2大阪大学大学院 工学研究科 (〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1)

大雨によって不安定化する危険性を潜在的に有している斜面であっても、不安定化を引き起こすに必要な雨量を経験しなければ崩壊が生じることはない。つまり、斜面災害は、斜面の持つ崩壊の素因と誘因である降雨の関係によって決まる。ところで、近年、過去に経験にない局地的・突発的な集中豪雨が多発している。したがって、過去に崩壊を起こしていない斜面であっても、未経験の降雨を受けることにより崩壊する可能性がある。すなわち、崩壊の素因を有する斜面を抽出し、その安定度を評価しなければならない。本研究では、人工知能技術の一つである自己組織化マップと質的データによる判別分析法である数量化Ⅱ類を組み合わせることにより、豪雨による斜面崩壊に対する新たな安定度評価手法を提案した。提案手法は、崩壊斜面の抽出精度が高いだけでなく、崩壊に対する潜在的な危険性が高いと考えられる斜面の抽出における“漏れ”が少ないことを明らかにした。

自己組織化マップ (SOM) 数量化Ⅱ類 安定度評価

1. はじめに

豪雨や地震などにより毎年数多くの斜面が崩壊している。これに伴う人命や経済的損失を考えると崩壊の危険性の高い斜面を選び出し、それらに対して防災対策を実施しなければならない。道路斜面に対しては、このような目的で道路防災総点検が行われている。道路防災総点検の対象となった斜面は、災害の発生確率が高いことが知られている。すなわち、道路防災総点検によって得られた情報を効果的に活用できれば、道路斜面の安定度を効率的に評価できると考えられる。

ところで、一口に道路斜面といっても斜面の幾何学的形状、地形、地質など斜面を特徴付ける指標は多種・多様である。これらの指標は程度の違いはあるものの崩壊と密接に関連しているものと考えられる。ただし、道路防災総点検による点検情報は定性的なものが主であるため、定量的な分析になじみ難い。

ところで、近年、ビッグデータをビジネスへ活用しようとする動きが盛んである。ここで、ビッグデータとは、意図せずに蓄積されたデータの集合体であり、一種のデータベースである。ビッグデータには、量的な情報だけでなく、質的なそれも玉石混淆の状態に含まれている。現在、このようなデータを効果的に解析する統計学的手法が普及しており、それがビッグデータの活用には拍車をかけている。筆者らはそのような技術のうち、自

己組織化マップ（以下、SOM）の技術を使って、道路盛土を特徴毎にクラスタリングした。そして、地震によって崩壊した盛土とそれらの類似性から、地震に対する安定度評価手法を提案した¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。本研究では、この手法の基本的な考え方を保持しつつ、新たに数量化Ⅱ類を組み合わせることにより、豪雨時の斜面安定に対する新たな安定度評価手法を提案する。そして、その手法を主として切土斜面に対して適用し、その有用性を検証する。

2. 自己組織化マップの概要

図-1はSOMの構造を模式的に示している。SOMは、入力層と競合層（出力層）からなる2層構造の教師なし学習ニューラルネットワークである。SOMは高次元データの分類・解析に効果的な技術として知られている。つまり、図-1に示すように高次元のベクトル集団を2次元の平面上に写像し、視覚的に理解しやすくすることがで

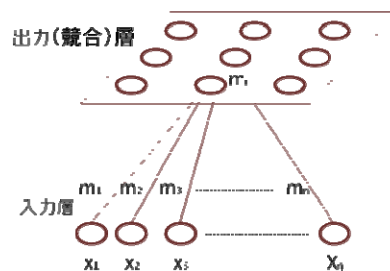


図-1 SOMの構造⁵⁾

きる。つまり、似ているベクトルは2次元のマップ上の近い位置に配置され、似ていないそれは遠い位置に配置されるという特徴を持つ。これにより、高次元ベクトルの集団であっても、特徴の類似したものを容易にクラスタリングすることが可能となる。

3. 数量化Ⅱ類

数量化Ⅱ類は性質的な要因から性質的な外的基準を予測するための判別分析の一種である⁶⁾。図-2はカテゴリースコアと判別区分点の関係を模式的に表している。図-2における上表のように、道路斜面を特徴づける指標（カテゴリー）に対してスコアをつける。同時に、外的基準として崩壊・非崩壊にスコアをつける。これを数量化Ⅱ類に基づき解析すれば、下表を得る。ここで、カテゴリースコアとは重みのようなものであり、これを上表に適用することにより、サンプルスコアを得る。そしてサンプルスコアと判別区分点の値との関係から崩壊・非崩壊を判別する。

道路斜面	道路斜面の特徴					外的基準
	地形		...	高さ		
	集水地形	無し		H≥30	30>H	
1	1	0	...	1	0	1
2	0	1	...	1	0	1
...	...	...	...	...	...	...
n	1	0	...	0	1	0

カテゴリースコア	地形		...	高さ	
	集水地形	無し		H≥30	30>H
	b₁₁	b₁₂	...	b_{n1}	b_{n2}

判別区分点	P
-------	---

図-2 カテゴリースコアと判別区分点（抽出基準）

4. 安定度評価手法

図-3は本研究において提案するSOMと数量化Ⅱ類を組み合わせた道路斜面の安定度評価手法を模式的に示している⁷⁾。また、図中には従来型の数量化Ⅱ類のみを

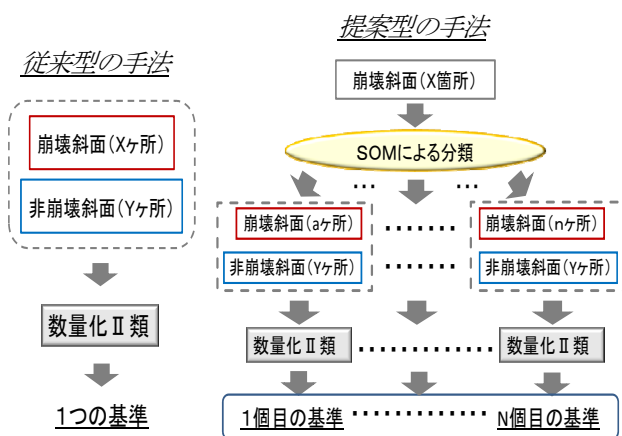


図-3 提案する安定度評価手法

使用した安定度評価も併せて示している。従来型の数量化Ⅱ類のみを使用した安定度評価の場合、崩壊斜面（Xヶ所）と非崩壊斜面（Yヶ所）の情報を一つの集まりとして数量化Ⅱ類に適用し、1つの抽出基準が作成される。しかし、崩壊斜面の特徴は必ずしも一種類ではない。このことが、数量化Ⅱ類による判別の精度を低下させている。そこで、提案手法では、まず、崩壊斜面に対してSOMを適用する。そして、崩壊斜面の特徴に応じて崩壊斜面Xヶ所を複数のクラスターに分類する（ $X_{(ヶ所)} = a + \dots + n_{(ヶ所)}$ ）。これにより、各クラスター内の崩壊斜面の特徴は統一される。その結果、斜面の特徴に関して非崩壊斜面とのコントラストが強くなると考えられる。そして、各クラスターの崩壊斜面と非崩壊斜面Yヶ所の情報を一つの集まりとして数量化Ⅱ類に適用する。その結果、N個の抽出基準が作成される。つまり、各抽出基準毎に崩壊の危険性が高い斜面が算出される。最後に、いずれかの基準に1つでも崩壊の危険性が高いと判断された斜面すべてを危険性の高い斜面として判断する。

5. 解析対象

本研究では、高速道路斜面128ヶ所（うち、崩壊履歴有8ヶ所）とその周辺の国道の道路斜面89ヶ所（うち、崩壊履歴有29ヶ所）の計217ヶ所の斜面をランダムにほぼ7:3になるように152ヶ所（うち、崩壊履歴有26ヶ所）と65ヶ所（うち、崩壊履歴有11ヶ所）に振り分けた。そして、152ヶ所は教師データとして、65ヶ所は検証データとして使用した。また、道路斜面の特徴付けに関してはH8年度防災総点検で使用された、9アイテム（27カテゴリー）を使用した。すなわち、①のり面地形、②崩壊性の土質、③崩壊性の岩質、④流れ盤、⑤不透水性基板、⑥表土、⑦湧水、⑧被覆状況および⑨高さである。そして、それぞれのアイテムについて、該当する（1）・該当しない（0）の（1，0）方式で道路斜面の特徴づけを行った。

5. 安定度評価

表-1は教師データに従来型の手法を適用して得られた結果（抽出基準A）を示している。ここで実績群とは実際の事象であり、推定群とは数量化Ⅱ類によって判断されたそれを示している。例えば、実績群が崩壊、推定群が非崩壊であれば、当該斜面が実際には崩壊しているにも関わらず数量化Ⅱ類の推定では非崩壊と判断したことを示している。表-1から実際に崩壊している斜面26ヶ所のうち20ヶ所（76.9%）を崩壊と判断している。また、126ヶ所の非崩壊斜面のうち、21ヶ所（16.7%）の斜面を

表-1 推定結果（教師用データ，抽出基準A）

		実績群		
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	152	126	26
推定群	非崩壊	111	105	6
	崩壊	41	21	20

表-2 推定結果（検証用データ，抽出基準）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	49	54	4
	崩壊	16	9	7

崩壊と判断した。

表-2は検証データを抽出基準Aに適用した際に得られた推定結果を示している。実際に崩壊している斜面11ヶ所中7ヶ所（63.6%）を捕捉できている。ただし，当然のことながら教師データによる推定精度よりも検証データによるそれは低下している。また，54ヶ所の非崩壊斜面のうち，9ヶ所（16.7%）の斜面が崩壊すると判断した。

次に，同じデータに対して提案手法を適用する。まず，教師データに対してSOMを適用することにより，崩壊斜面をその特徴に応じて複数個のクラスタに分類する。図-4は教師データに対する自己組織化マップを示している。図から分かるように4つのクラスタに区分される。このことは崩壊斜面の特徴は主に4種類に大別できることを意味している。そして，各クラスタの崩壊斜面と教師データの非崩壊斜面126ヶ所を一つの集まりとして数量化Ⅱ類に適用することにより，4つのクラスタから4つの抽出基準B～Eを作成した。教師データ段階における

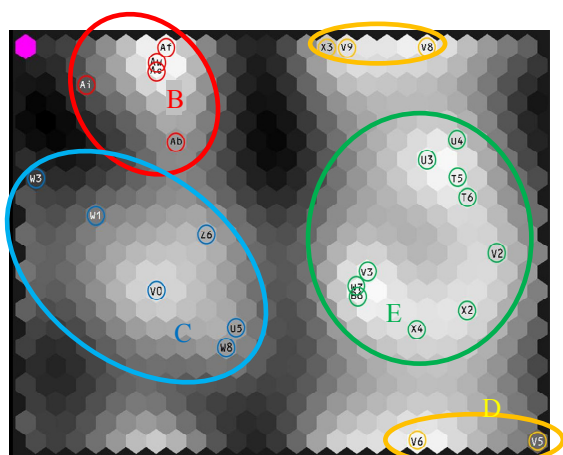


図-4 教師用データのクラスタ分析

表-3 推定結果（教師用データ，抽出基準 B）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	131	126	5
推定群	非崩壊	97	97	0
	崩壊	34	29	5

表-4 推定結果（教師用データ，抽出基準 C）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	132	126	6
推定群	非崩壊	122	122	0
	崩壊	10	4	6

表-5 推定結果（教師用データ，抽出基準 D）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	131	126	5
推定群	非崩壊	124	124	0
	崩壊	7	2	5

表-6 推定結果（教師用データ，抽出基準 E）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	136	126	10
推定群	非崩壊	126	126	0
	崩壊	10	0	10

表-7 非崩壊斜面中の崩壊斜面の抽出数

抽出基準	非崩壊斜面数	崩壊と推定され斜面数
B	126	29 (23.0%)
C	126	4 (3.2%)
D	126	2 (1.6%)
E	126	0 (0.0%)

抽出基準B～Eのそれぞれの推定結果を表-3～6に示す。抽出基準B～Eでは実際に崩壊している斜面のすべてを捕捉できている。このことから教師データの段階では，従来の手順で作成された抽出基準Aよりも精度が高い。また，表-7は，非崩壊斜面中の崩壊斜面の抽出数を示している。抽出基準Bによる抽出数が圧倒的に多く，29ヶ所の斜面が崩壊すると判定された。先に述べたように，抽出基準B～Eでは，実際に崩壊している斜面のすべてを捕捉できている。このことから，抽出の精度が高いと判断すると抽出基準Bで分類される特徴を有する斜面は，崩壊の危険性を潜在させつつ存在しているが，抽出基準C，DおよびEで分類される特徴を有する斜面では，そのほとんどが既に崩壊していることが推察される。

表-8～11は検証データをそれぞれ抽出基準B～Eに適用

表-8 検証用データへの適用（基準 B）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	48	40	8
	崩壊	17	14	3

表-9 検証用データへの適用（基準 C）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	60	51	9
	崩壊	5	3	2

表-10 検証用データへの適用（基準 D）

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	64	5	10
	崩壊	1	0	1

表-11 検証用データへの適用 (基準E)

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	60	53	7
	崩壊	5	1	4

表-12 推定結果 (検証用データ, 抽出基準B~E)

	実績群			
		全体	非崩壊	崩壊
	全体	65	54	11
推定群	非崩壊	39	37	2
	崩壊	26	17	9

した際に得られた推定結果を示している。学習用データを適用した場合は異なり、一見すれば、すべての抽出基準において、実際の崩壊斜面に対する捕捉の精度が非常に悪いように見える。しかしながら、検証用の11ヶ所の崩壊斜面は特定のクラスタに属するものでない。それらは、図4における4つのクラスタから満遍なく選ばれている。したがって、抽出基準が対象としているクラスタ以外に属する斜面は、たとえそれが実際に崩壊したものであっても崩壊の危険性は低いと抽出基準は判断したものである。つまり、事前にSOMによって特徴の類似している斜面をクラスタリングしておくことは、数量化Ⅱ類による判定精度の向上に寄与しているものと考えられる。また、学習用データを適用した場合と同様に、非崩壊斜面中の崩壊斜面の抽出数は抽出基準Bによるものが圧倒的に多い。これは、学習用データを適用した場合と同様の傾向を示している。

表-12は、提案した安定度評価手法に基づき、表-8~11に示す結果をまとめた最終的な安定度評価結果を示している。実際に崩壊した斜面11ヶ所中9ヶ所(81.8%)を捕捉できている。この結果は、数量化Ⅱ類のみを適用した抽出基準Aによる結果よりも勝っている。特に、抽出基準Aを作成する際に学習用データを適用したときの値よりも精度が高いことは注目値する。また、非崩壊斜面54ヶ所中17ヶ所を潜在的に崩壊の危険性があると判定している。抽出基準Aでは9ヶ所しか危険性があると判断しなかったことから、提案手法は崩壊の危険性の高い斜面に対する抽出の“漏れ”を少なくすることが可能であると考えられる。

7. 結論

本研究では、事前に自己組織化マップによって崩壊斜面をクラスタリングし、各クラスタ毎に数量化Ⅱ類によって潜在的に崩壊の危険性の高い斜面を抽出する方法、すなわち、豪雨時の安定度評価手法を提案した。また、提案手法を道路防災総点検のデータに適用し、潜在的に崩壊の危険性の高い斜面の抽出を試みた。以下に、本研究で得られた主な知見をまとめる。

1. 数量化Ⅱ類だけを用いた場合、必ずしも実際に崩壊した斜面を全部捕捉しない。
2. 提案した安定度評価手法は、非常に高い精度で実際の崩壊斜面を捕捉することができる。
3. 提案した安定度評価手法は、数量化Ⅱ類のみによる手法に比べ、潜在的に崩壊の危険性の高いと考えられる斜面の抽出における“漏れ”が少ない。
4. 提案した安定度評価手法は、数量化Ⅱ類だけを用いる手法に比べ有用である。

7. 謝辞

本研究は、新都市社会技術融合創生研究会における「ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究(H22-24)」の一環として行われたものである。貴重なサポートをいただいた関係各位に謝意を表す。

8. 参考文献

- 1) 神田真太郎, 工藤俊祐, 小田和広, 小泉圭吾: 被災盛土のグルーピング化に対するSOMの適用性に関する研究, 第45回地盤工学研究発表会, pp.97-98, 2010.
- 2) 小西貴士, 上出定幸, 神田真太郎, 工藤俊祐, 小田和広: マクロ評価による道路盛土の安定度評価とそのグルーピング化, 土木学会第65回年次学術講演会概要集, III-36, pp.71-72, 2010.
- 3) 神田真太郎, 工藤俊祐, 小田和広, 常田賢一: 地震時に不安定化する可能性がある盛土のSOMによる抽出, 土木学会第65回年次学術講演会概要集, III-458, pp.915-916, 2010.
- 4) 小田和広, 神田真太郎, 小泉圭吾: 自己組織化マップによる道路盛土のクラスタリング方法とその応用, 斜面・のり面の維持管理と防災マネジメントに関するシンポジウム発表論文集, pp.7-12, 2011.
- 5) 徳高平蔵, 大北正昭, 藤村喜久郎, 権田英功: 自己組織化マップとそのツール, シュプリンガー・ジャパン, 2008.
- 6) 内田治: すぐにわかるEXCELによる多変量解析, 東京図書, 1996.
- 7) 神田真太郎, 小田和広, 工藤俊祐, 小泉圭吾, 上出定幸, 小西貴士: 豪雨時に不安定化すると考えられる道路斜面のSOMによる抽出, 第46回地盤工学研究発表会, pp.1943-1944, 2011.
- 8) 神田真太郎, 小田和広, 小泉圭吾, 上出定幸: SOMと数量化Ⅱ類を組み合わせた道路斜面の安定度評価手法の提案, 第47回地盤工学研究発表会, pp.1779-1780, 2012.