

(10) 同時多発型斜面崩壊危険箇所評価を目的とした 教師データ再設定方法の提案

A resampling method of training data for evaluating different types of simultaneous slope failures

小島尚人¹・吉田智也²・野崎亮²

Hirohito KOJIMA, Tomoya YOSHIDA and Ryo NOZAKI

抄録：本研究は「同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価支援」を目的として、「教師データの再設定方法」を提案し、崩壊形態別・潜在危険箇所の判別精度を向上させたものである。同時多発型・斜面崩壊危険箇所問題における判別精度は教師データの代表性に依存することを指摘した上で、クラスター分析を通して崩壊形態が異なる現状型教師データ（表層崩壊、深層崩壊、地すべり）をグループ化し、現状型教師データと一致する教師データを抽出・再設定（再設定型教師データ）する方法を提案した。さらに、斜面崩壊形態別・危険箇所評価図間の違いを分析するために、四分位法を適用した感度分析図とその一般解釈表を提示するとともに、再設定型教師データを用いれば、同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価精度を向上できることを示した。

キーワード：同時多発型斜面崩壊、斜面崩壊形態、教師データ代表性、共分散構造分析、クラスター分析、新潟県中越地震

Keywords : simultaneous slope failure, types of slope failures, representativeness of training data, structural equation modeling, cluster analysis, Niigata-ken Chuetsu earthquake

1. はじめに

衛星リモートセンシングデータや各種地理情報（説明変量）を併用し、「潜在危険斜面の広域推定」を目的とした評価モデルの構築に関わる研究は、国内外を含めて枚挙にいとまがない¹⁾。これらのモデルでは、既崩壊地を目的変量（以下、現状型教師データ）として、これと類似する土地の性状を有する斜面を判別することから、その判別精度は教師データの代表性に依存する。

予期せぬ集中豪雨や巨大地震を誘因として、様々な形態の斜面崩壊が広域にわたって同時多発的に発生しており、斜面崩壊危険箇所評価モデルを構築する上で、教師データの代表性の問題は避けては通れない検討課題となる。

そこで、本研究では、クラスター分析を通して崩壊形態が異なる現状型教師データ（表層崩壊、深層崩壊、地すべり）をグループ化し、現状型教師データと一致する教師データを抽出・再設定（再設定型教師データ）することによって、教師データとしての代表性を向上できるか否かについて検討する。

2. 本研究の特色

本研究の特色は以下の2点にまとめられる。

(1) 再設定教師データの提案

これまでの斜面崩壊危険箇所評価に関する研究では、各斜面崩壊の発生箇所に基づいて教師データを設定している。しかし、形態を異にする斜面崩壊が同時多発的に発生した場合、この従来の方法では崩壊形態の誤分類が発生する可能性がある。

本研究では、再現性のある統計的手法であるクラスター分析

を用いて現状型教師データを再分類した再設定型教師データを提案する。統計的な分類手法を用いて教師データを再設定することによって、これまでに生じていたと推察される斜面崩壊形態の誤分類を修正できると考えられる。

(2) 教師データ代表性向上アルゴリズムの構築

本研究では、2種類の教師データ（現状型、再設定型）を用いて斜面崩壊危険箇所評価を実施しているため、2種類の「斜面崩壊危険箇所評価図」が提示される。これらの違いを効率的に分析するためのアルゴリズムを構築する必要がある。

具体的には、現状型と再設定型の評価値の違いを抽出した「感度分析図（四分位法）」と「一般解釈表」を提示する。「感度分析図（四分位法）」は2種類のモデル間の評価値が高い箇所、低い箇所を分析できるだけでなく、両モデルともに評価値が高い箇所、低い箇所も詳細に分析することを可能としている。この感度分析図を用いて、教師データの再設定に伴う危険箇所評価結果の変化箇所を顕在化することは、潜在危険斜面を推定する上で有用であると言える。

図-1に構築したアルゴリズムを示す。教師データを再設定することによって代表性を向上させ、さらに、その効果を感度分析図（四分位法）によって顕在化させるアルゴリズムを提案した点が既往の研究には見られない本研究の大きな特色となる。

3. 本研究の前提条件

(1) 対象領域

評価対象領域は、新潟県長岡市（東西 3.6km×南北 3.0km）とした。新潟県長岡市では、新潟県中越地震に伴い、形態を異にする斜面崩壊が同時発生している。近年、

1：正会員 博士(工学) 東京理科大学 教授 理工学部土木工学科

(〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641, Tel: 04-7124-1501, E-mail: kojima_h@rs.noda.tus.ac.jp)

2：学生員 学士(工学) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 地球環境工学研究室

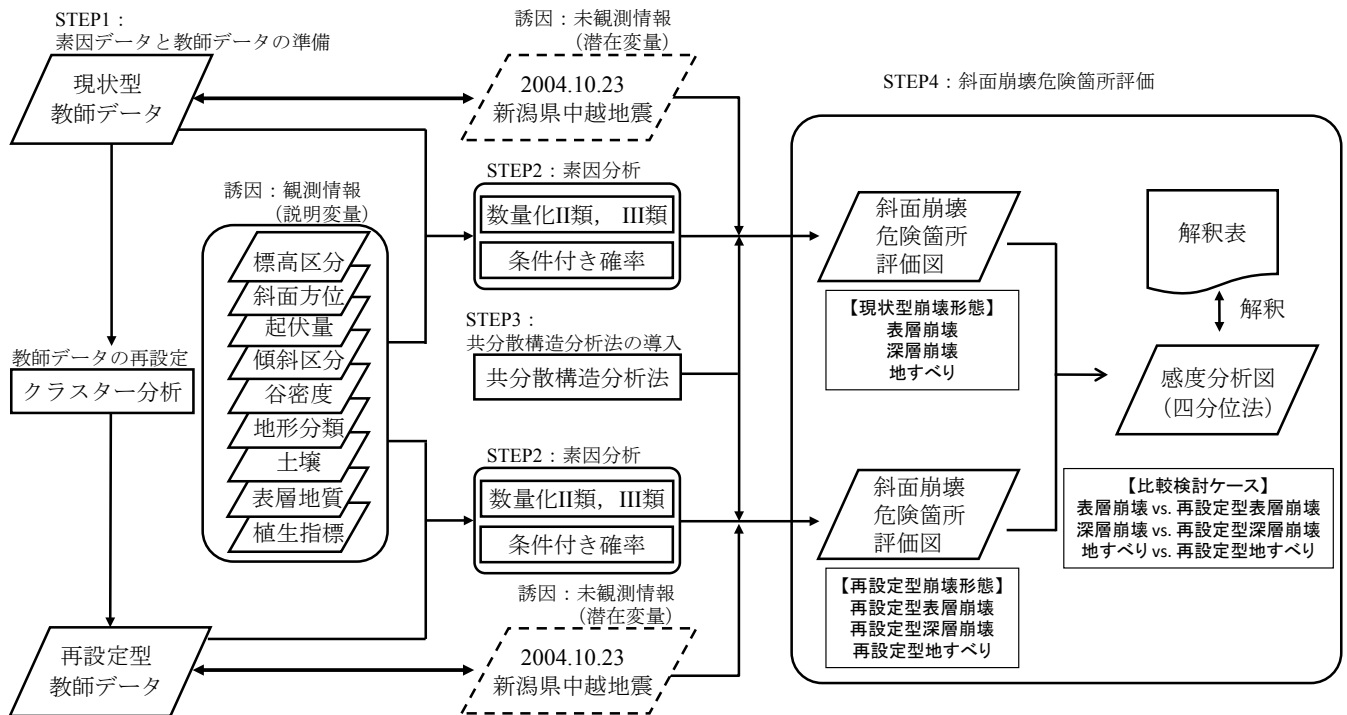


図-1 教師データの代表性向上アルゴリズム

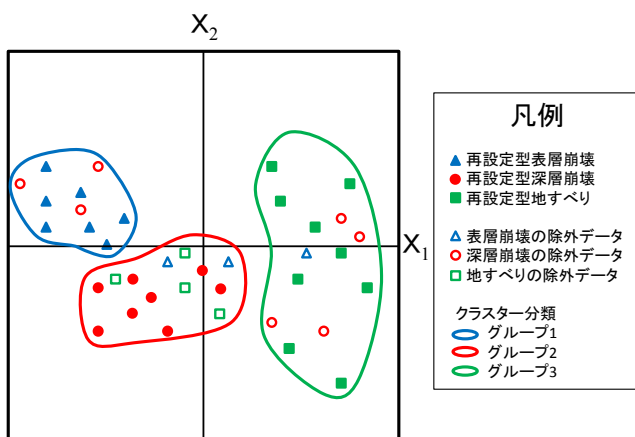


図-2 再設定型教師データの作成概念

大地震や集中豪雨に数多く見舞われており、斜面二次崩壊に伴う災害への影響が無視できない領域である。

(2) 素因データ（説明変量）の準備

土地分類基本調査の成果図面を数値化した土地分類図から「地形分類、土壌、表層地質」と数値地形モデル(DTM：Digital Terrain Model)から「標高区分、傾斜区分、起伏量、斜面方位、谷密度」の計8種類を用意する。さらに、本研究ではIKONOS データから植生指標を作成し、素因として加えた。これらの素因は、土地に内在する潜在的な因子であり、斜面崩壊危険箇所評価を進める上で基本となるものである。

(3) 再設定型教師データの作成

本研究では、土木学会の調査報告書で確認されている「表層崩壊、深層崩壊、地すべり」の3種類の斜面崩壊形態を「現状型教師データ」として設定する²⁾。

現状型教師データに対して、9種類の素因のうち多重線

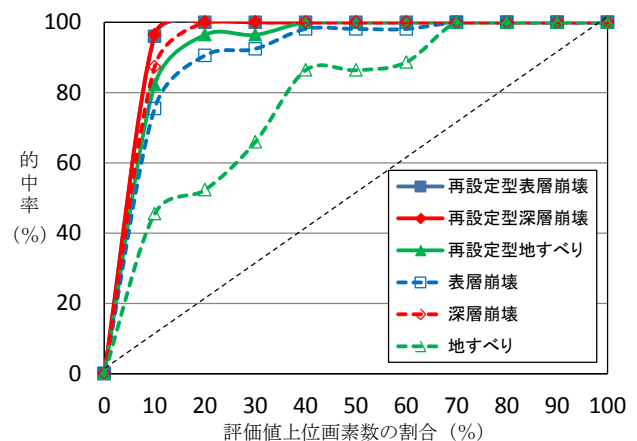


図-3 教師データに対する的中率

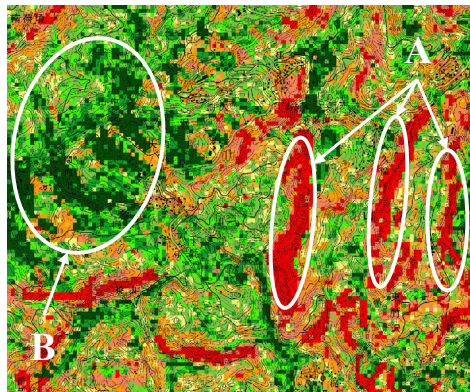
形共線性を取り除いた7素因を変数として「クラスター分析」を実施し、3つのグループに分類する。さらに、クラスター分類結果と現状型教師データの一致した箇所を抽出し、新たに「再設定型教師データ(再設定型表層崩壊、再設定型深層崩壊、再設定型地すべり)」として作成する。例として、図-2に再設定型教師データの作成概念を示す。この概念図では、簡略化のため変数の数は2つとした。

4. モデルの評価精度と従来の感度分析の限界

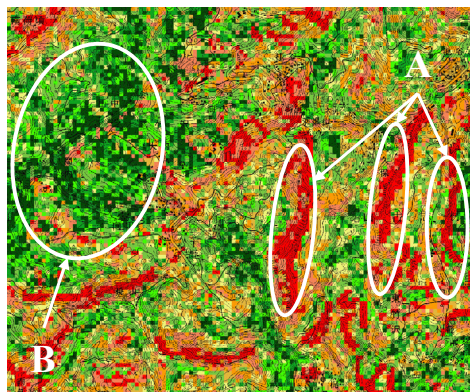
(1) 教師データに対する的中率（モデルの成立条件）

本研究では、共分散構造分析法を中核とした斜面崩壊危険箇所評価モデルをベースとし、前述した6種類の教師データ(目的変量)と素因データ(説明変量)を入力データとして、画素単位で評価値を計算する。

斜面崩壊危険箇所評価図：表層崩壊

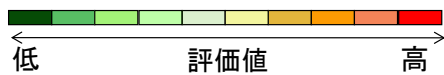


(a) 現状型教師データ使用

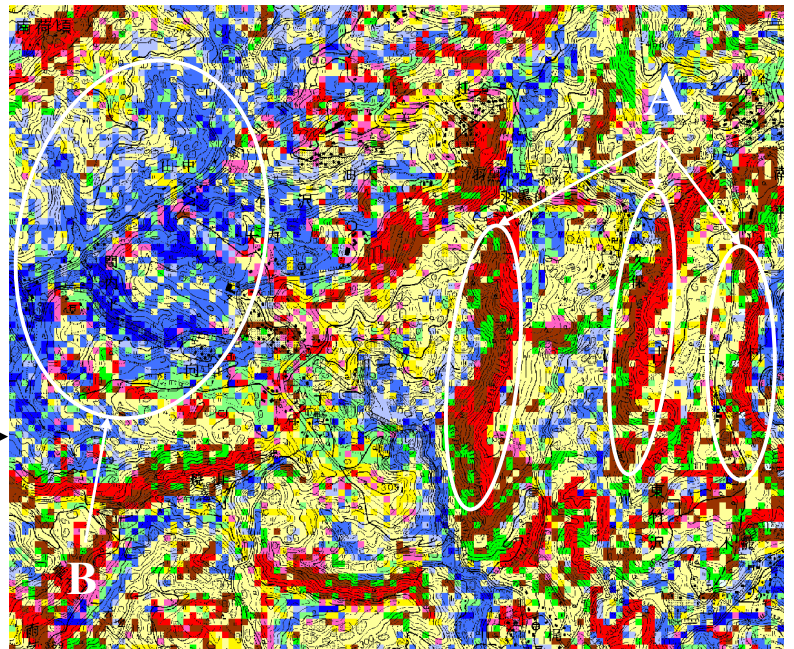


(b) 再設定型教師データ使用

斜面崩壊危険箇所評価図凡例



感度分析図



(c) 表層崩壊 vs. 再設定型表層崩壊

感度分析図凡例

	グループ1				グループ2				グループ3			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
信頼性	高	高	中	低	高	高	中	中	高	高	中	低

図－4 斜面崩壊危険箇所評価図と感度分析図

表－1 感度分析図の一般解釈表

グループ名	モデルA (現状型)	評価値の 大小関係	モデルB (再設定型)	感度分析における一般解釈 (現状型 vs. 再設定型)		モデル解 としての信頼性	ケース	ピクセル数	色付け
				安全側評価レベル	危険側評価レベル				
グループ1	レベル3 (第4四分位群)	$\leq$	レベル3 (第4四分位群)	3	1	高	1	1256	赤
		$>$	レベル3 (第4四分位群)	3	1	高	2	1163	茶
		$>$	レベル2 (四分位範囲)	2	2	中	3	581	ピンク
		$>$	レベル1 (第1四分位群)	1	3	低	4	0	淡ピンク
グループ2	レベル2 (四分位範囲)	$\leq$	レベル2 (四分位範囲)	3	1	高	5	824	黄
		$>$	レベル2 (四分位範囲)	3	1	高	6	3894	淡黄
		$<$	レベル3 (第4四分位群)	2	2	中	7	574	緑
		$>$	レベル1 (第1四分位群)	2	2	中	8	709	淡緑
グループ3	レベル1 (第1四分位群)	$\leq$	レベル1 (第1四分位群)	3	1	高	9	372	青
		$>$	レベル1 (第1四分位群)	3	1	高	10	1912	淡青
		$<$	レベル2 (四分位範囲)	2	2	中	11	706	淡青
		$<$	レベル3 (第4四分位群)	1	3	低	12	9	淡青

推定値が高い画素から順に並べかえた後の上位 i %の画素のうち、教師データに該当する画素の数を数え、教師データの総数に対する割合が的中率となる。図-3に示した結果を「的中率曲線」と呼ぶ。図-3を見ると、全てのケースにおいてランダム線を越えており、教師データに対するモデルの成立条件(必要条件)が満たされていると判断できる。斜面崩壊危険箇所評価において適用できると言える。

再設定型教師データの的中率は、それぞれ現状型と比較して高い値を示している。特に表層崩壊と地すべりの中率は教師データを再設定したことによって大幅に上昇しており、評価精度が向上したと言える。

(2) 従来の感度分析図の限界

図-4(a), (b)に「表層崩壊」と「再設定型表層崩壊」の斜面崩壊危険箇所評価図(以下、危険箇所評価図)を示す。危険箇所評価図は、赤色系の画素は崩壊発生の危険性が高く、緑色系の画素は崩壊発生の危険性が低いと解釈できる。

危険箇所評価図の違いを効率的に分析するために、筆者らは「感度分析図」を提示し、2つの危険箇所評価結果の違いを分析する上で有用な技術者支援情報となることを示した³⁾。しかし、「感度分析図」は複数の危険箇所評価結果の「差分値」をもとに作成されていることから、危険箇所評価結果の違いについて詳細な分析をすることに限界がある。

例えば、両検討ケースともに「強」と判断された領域や「弱」と判断された領域は、感度分析図上では危険箇所評価結果に差がない領域として同義に取り扱われてしまう。そこで、危険箇所評価結果の違いのすべての組合せ事象を網羅して分析できる新たな評価図を作成する必要がある。

5. 斜面崩壊危険箇所評価図間の感度分析

(1) 四分位法を適用した感度分析図の提案

教師データの再設定に伴う危険箇所評価結果の違いにおける全ての組み合わせを分析するためには、複数のモデル解を組分けする必要があるが、差分値による評価は前述したとおりモデル解の感度分析上の問題がある。そこで、本研究では一般的に統計解析で使われている「四分位法⁴⁾」を適用し、モデル A(現状型)、モデル B(再設定型)から得られる危険箇所評価結果を組分けした。

具体的には、第1四分位群(評価値下位25%)に該当する領域を「危険レベル1(危険度:弱)」, 四分位範囲(評価値上位25%~75%)に該当する領域を「危険レベル2(危険度:中)」, 第4四分位群(評価値上位75%)に該当する領域を「危険レベル3(危険度:強)」と定義した上で、評価結果を組分けした。

(2) 四分位法を適用した感度分析図の一般解釈

図-4(c)に、モデル A を「表層崩壊」、モデル B を「再設定型表層崩壊」とした感度分析図を示す。四分位法を適用した感度分析図は、危険箇所評価結果の違いの全ての組合せ事象を網羅的に示した上で、詳細な分析を可能としている。特に、領域 A のように両モデルともに「危険レベル3(危険

度:強)」と判断された箇所や、領域 B のように「危険レベル1(危険度:弱)」と判断された箇所は、従来の感度分析図上では1つのグループにまとめられている。この領域は、四分位法を適用したことにより、初めて分析可能となった領域である。

図-4(c)に示した感度分析図の組み合わせ事象をまとめると表-1のようになる。緑色で反転した行は、評価値の変化が四分位範囲で区分されるグループ内に収まっている組み合わせである。評価値の変化が小さいことから、モデル解としての信頼性は高い画素と言える。したがって、当該領域は安全側評価領域として解釈できる。

(3) 四分位法を適用した感度分析図の分析

図-4(c)の領域 A に着目すると、ケース1の画素が帯状に分布しており、現状型よりも再設定型の評価値が高く、かつ両モデルの危険レベルが3の領域であることが判る。この領域は表層崩壊が起りやすいとされている起伏量が大きい領域と一致しており、実際の土地の性状と整合がとれている。

このように「再設定型表層崩壊」の危険箇所評価図は崩壊発生懸念領域を強調できており、教師データを再設定したことによって代表性を向上できたと言える。

6. まとめ

本研究の内容は、以下の3項目にまとめられる。

- 斜面崩壊危険箇所評価モデルにおいて、教師データの代表性の問題は避けては通れない検討課題となることを指摘した上で、クラスター分析を通して、現状型教師データを再設定する方法を提示した。
- 現状型と再設定型教師データに対する的中率を比較した結果、全ての崩壊形態について判別精度の向上が確認された。さらに、危険箇所評価図間の詳細な分析を可能とするために、四分位法を適用した感度分析図と一般解釈表を提案した。
- 感度分析図から、再設定型教師データは崩壊発生懸念領域を強調できており、代表性が向上していることが判った。再設定型教師データを用いれば評価精度を向上でき、潜在危険斜面を推定する上で有用であることを示した。

今後の課題として、誘因逆推定問題³⁾において再設定型教師データを適用した場合の影響分析を予定している。

謝辞: 本研究は、平成24年度文部科学省科学研究費・挑戦的萌芽研究(研究代表者:小島尚人、課題番号:24651209 平成24年度採択)のうちの一課題として進めたものである。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

- Chang-Jo F. Chung, Hirohito Kojima and Andrea G. Fabbri : Stability analysis of prediction models applied to landslide hazard mapping, *Applied Geomorphology, Theory and Practice*, John Wiley & Sons Publication, pp. 3-19, 2002. 4.
- 日本地すべり学会:2004 年新潟県中越地震による斜面災害調査報告, 日本地すべり学会誌, VI-41, pp. 83-86, 2005 年 3 月.
- 田口靖朋, 小島尚人:斜面崩壊に関わる異種誘因広域逆推定アルゴリズムの一提案, 土木学会論文集, Vol. 65, No. 4, pp. 542-554, 2009 年 12 月.
- 樗木武:土木計画学, 森北出版, B5 判, 全 254 頁, 2001 年 12 月.