

## (29) 規範型教師データを取り入れた 地すべり危険箇所評価支援策とその有用性

関根 亮<sup>1</sup>・小島 尚人<sup>2</sup>・奥井 明紀人<sup>3</sup>・吉田 智也<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: a7613608@rs.tus.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 東京理科大学 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

<sup>3</sup>非会員 千葉県庁 (〒260-8667 千葉県千葉市中央区市場町1-1)

<sup>4</sup>非会員 JR東日本旅客鉄道(株) (〒330-0853 埼玉県さいたま市大宮区錦町434-4)

本研究は、既崩壊領域を現状型教師データ(目的変数)として「斜面崩壊危険箇所評価モデル」を構築する際に議論が不足している点を指摘した上で、「未崩壊領域を規範型教師データ」とする潜在危険箇所評価支援策について提案したものである。地すべりや斜面崩壊の発達過程を反映する「地形判読要因」は、専門家の知見として知られており<sup>3)</sup>、次の5ケースを「規範型教師データ」として取り入れた。1)凸状尾根地形、2)凸状台地状地形、3)凹状単丘状地形、4)凹状多丘状地形、5)凹状緩斜面地形。現状型とこれら規範型教師データをもとに作成される斜面崩壊危険箇所評価図の違いを表示した「差画像」を作成した。差画像とその解釈の内容を含めて「既崩壊地とは土地の性状を異にする」「潜在危険斜面」の広域推定支援に有用となることを示した。

**Key Words :** *normative types of training data sets, simultaneous slope failures, slope failure hazard mapping, structural equation modeling, spatial data integration*

### 1. はじめに

各種地理情報、衛星リモートセンシングデータを説明変数(以下、素因)として、斜面崩壊危険箇所を広域に評価しようとするモデル構築に関わる研究は、国内外をみても枚挙にいとまがない<sup>1)2)</sup>。これらのモデルでは、斜面崩壊が発生した領域を「判別基準(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推定(現状型斜面崩壊危険箇所評価図)することが目的となっている。崩壊危険性無しと判定される領域であっても、地震や降雨といった誘因の違いによって、今後、斜面崩壊が発生することは言うまでもない。しかし、斜面崩壊発生領域を教師データとすることを前提として、モデルが構築されることから、斜面崩壊が発生していない領域を教師データ(以下、規範型教師データ)として、これを取り込んでモデルを構築するといった研究アプローチについては、未だ議論が不足していると言える。

「地すべりや斜面崩壊」の発達過程と地形の関係については数多くの研究がなされており(図-1、後述)、これらは専門家の知見に基づく「地形要因」によって区分されている<sup>3)</sup>。未崩壊箇所であってもこれらの地形判読

要因に該当する領域は、まさに「規範型教師データ」の候補となる。現状型と規範型教師データを用いて作成される斜面崩壊危険箇所評価図上の違いは「既崩壊地とは土地の性状を異にする潜在危険斜面」に相当し、これらを図化できれば、今までにない技術者支援情報になり得るはずである。

そこで、本研究では、潜在危険斜面の広域推定精度向上を目的として、地形判読要因に基づく「規範型教師データ」を取り入れた斜面崩壊危険箇所評価支援策を提案するとともに、現状型と規範型評価図の違いを図化した新たな「差画像」を提示し、その有用性を示したものである。

### 2. 素因データと規範型教師データの定義

#### (1) 対象領域

検討対象領域は、新潟県長岡市(旧山古志村、東西3.6km×南北3.0km)である。新潟県中越地震に伴い、形態を異にする崩壊(表層崩壊、深層崩壊、地すべり)が同時発生した領域である。

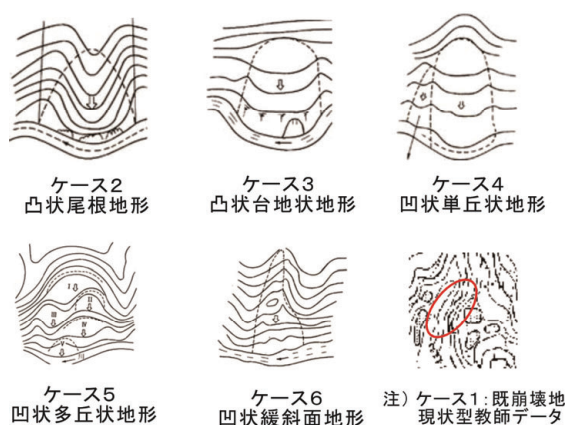


図-1 地形要因に対応する規範型教師データ<sup>3)</sup>

## (2) 素因データ (説明変量)

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種類を用意した。さらに、本研究ではIKONOSデータから植生指標を作成し、素因の一つとした。

## (3) 現状型&規範型教師データ (目的変量)

本研究では、初期検討段階として「地すべり」を現状型教師データ (ケース1) とした。一方、地形判読要因に基づく規範型教師データは、図-1に示す5ケースである。これらの教師データとケース名の対応は、以下のとおりとなる。

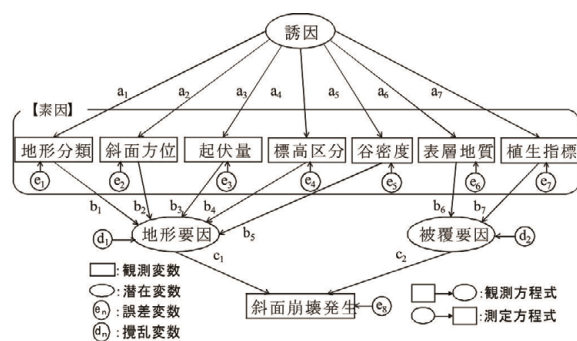
- ケース2:凸状尾根地形
- ケース3:凸状台地状地形
- ケース4:凹状単丘状地形
- ケース5:凹状多丘状地形
- ケース6:凹状緩斜面地形

「ケース2→ケース6」の順で崩壊地形の変遷段階に対応することが知られている<sup>3)</sup>。斜面崩壊領域の土地の性状を分析する上で重要な知見となる。

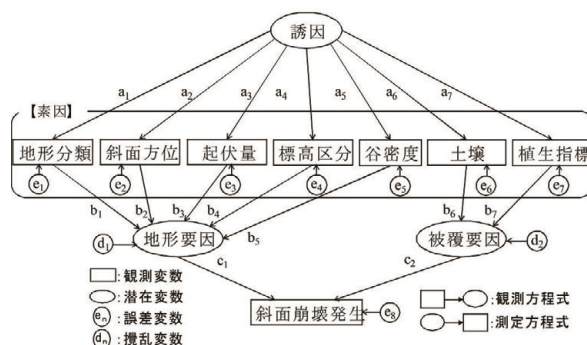
## 3. 適合度検定

### (1) パス図

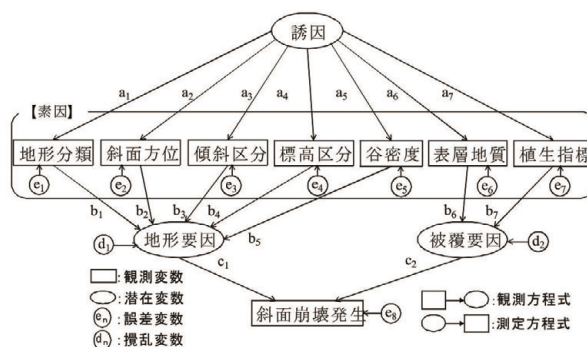
本研究では、共分散構造分析法を中核とした斜面崩壊危険箇所評価モデルをベースとし<sup>2)</sup>、前述した6ケースの教師データ (目的変量) と素因データ (説明変量) を入力データとして、画素単位で評価値を計算する。「説明変量」については、多重線形共線性を排除するために、説明変量間の相関係数が高い組み合わせ (0.7 以上) のうち、偏相関係数の大きい素因を採択した。採択された素因に基づくパス図を図-2 に示す。図-2(a)がケース 1



(a)ケース1、ケース6に対応するパス図



(b)ケース2に対応するパス図



(c)ケース3、ケース4、ケース5に対応するパス図

図-2 教師データ別パス図

とケース 6に対応、図-2(b)がケース 2に対応、図-2(c)がケース 3～ケース 5に対応する。

## (2) 教師データに対する的中率

これらのパス図を用いて計算される画素単位での評価値が高い画素から順に並べかえた後の上位X%の画素の中に存在する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を計算した結果が「的中率」となる<sup>1)</sup>。モデルの判別性能そのものを表す指標である図-3がその結果である。

規範型に比べて、現状型の的中率は低い値を示していることが判る。規範型教師データとして設定した土地の性状の一様性を示しており、規範型教師データを利用できることを裏付けている。

見方をかえれば、既崩壊領域の土地の性状は多様性があ

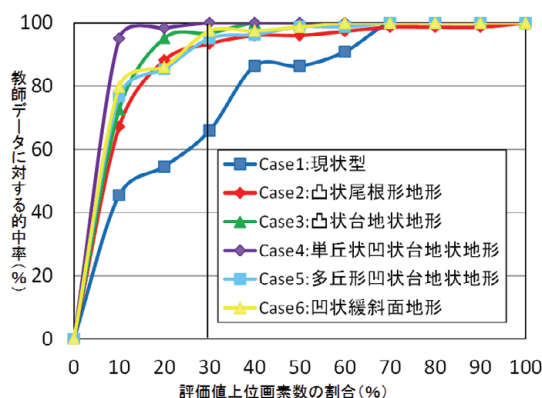


図-3 現状型と規範型教師データに対する的中率曲線

ることを意味しており、妥当性のある結果と言える。全てのケースにおいて、評価上位画素数 30%での的中率が 60%以上を示しており、教師データそのものに対する判別精度（必要条件）は保証されていると判断できる。

### (3) 適合度検定

適合度検定の結果を表-1 に示す。GFI $\geq 0.9$ , AGFI $\geq 0.9$ , RMSEA $\leq 0.08$  であり、モデル選択基準の許容範囲内にある。ケース 1～ケース 6 全ての教師データに対応するパス図は採択できると言える。

## 4. 斜面崩壊危険箇所評価図の一对比較戦略

### (1) 現状型と規範型評価図の一对比較

現状型と規範型評価図は計6種類作成できる。これらの一对比較ケースを通して作成される「差画像」は15ケースとなる。一对比較表は、紙面の都合上、口頭発表時に紹介する。

図-4(a), 図-4(b)にそれぞれ「ケース1：現状型教師データ」と「ケース2：規範型教師データ・凸状尾根地形」を用いた斜面崩壊危険箇所評価図を示す。これらの差画像が図-4(c)である。

差画像上の情報は、現状型と規範型評価図の評価値の大小関係に基づいて、以下の3つのグループに分けて解釈できる。

- ・緑色系画素：現状型評価値>規範型評価値
- ・白色画素：現状型評価値 $\approx$ 規範型評価値
- ・赤色系画素：現状型評価値<規範型評価値

現状型と規範型の影響の違いが緑色系と赤色系の色相の違いによって一見して把握できる。さらに判り易くするために、規範型教師領域を一部拡大したものが図-4(d)である。

一方、規範型教師領域以外で赤色系の評価となった領域の拡大図が図-4(e)である。この図と図-4(d)を比較すると、教師領域と同様の地形となっている領域の評価値

表-1 適合度検定

| 教師データ |           | GFI   | AGFI  | RMSEA |
|-------|-----------|-------|-------|-------|
| ケース1  | 現状型(地すべり) | 0.996 | 0.994 | 0.032 |
| ケース2  | 凸状尾根地形    | 0.983 | 0.975 | 0.068 |
| ケース3  | 凸状台地地形    | 0.993 | 0.982 | 0.045 |
| ケース4  | 凹状単丘状地形   | 0.994 | 0.985 | 0.040 |
| ケース5  | 凹状多丘状地形   | 0.991 | 0.978 | 0.048 |
| ケース6  | 凹状緩斜面地形   | 0.992 | 0.979 | 0.048 |

注) GFI : Goodness of Fit Index

AGFI : Adjusted Goodness of Fit Index

RMSEA : Root Mean Square Error of Approximation

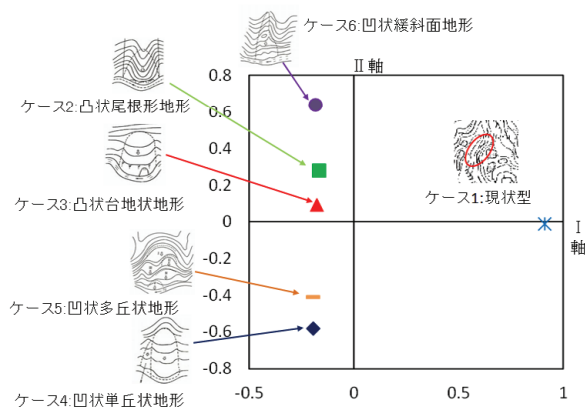


図-5 現状型と規範型評価図間の非類似性分析（数量化Ⅳ）

が高く、モデル解としての妥当性が確認できる。差画像上の赤色系の領域は、「既崩壊地とは土地の性状を異にする潜在危険斜面」に相当するが、これらの情報を顕在化できている。規範型教師データに基づく新たな潜在危険斜面の分析・推定支援につながる結果と言える。

差画像上の情報は、現状型と規範型教師領域の土地の性状分析を担うとともに、発見的支援情報として有用となる。

### (2) 非類似性分析と解釈の有用性（数量化Ⅳ類）

教師データ別・土地性状の違いを分析するために、「斜面崩壊危険箇所評価図間の非類似性分析」を実施する。斜面崩壊危険箇所評価図間で評価値の差の絶対値をとり、その総和平均を非類似度とする。非類似度 (Dissimilarity) は次式で表される。

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_i - b_i| \quad (1)$$

但し、 $n$ ：総画素数

$a_i$ ：斜面崩壊危険箇所評価図Aの  $i$  番目の画素の評価値

$b_i$ ：斜面崩壊危険箇所評価図Bの  $i$  番目の画素の評価値

ケース1～ケース6に対応する斜面崩壊危険箇所評価図をアイテムとし、これら評価図間の一对比較ケースから作成される非類似度行列をもとに、数量化Ⅳ類をとおしてアイテム散布図を作成した。その結果が図-5である。

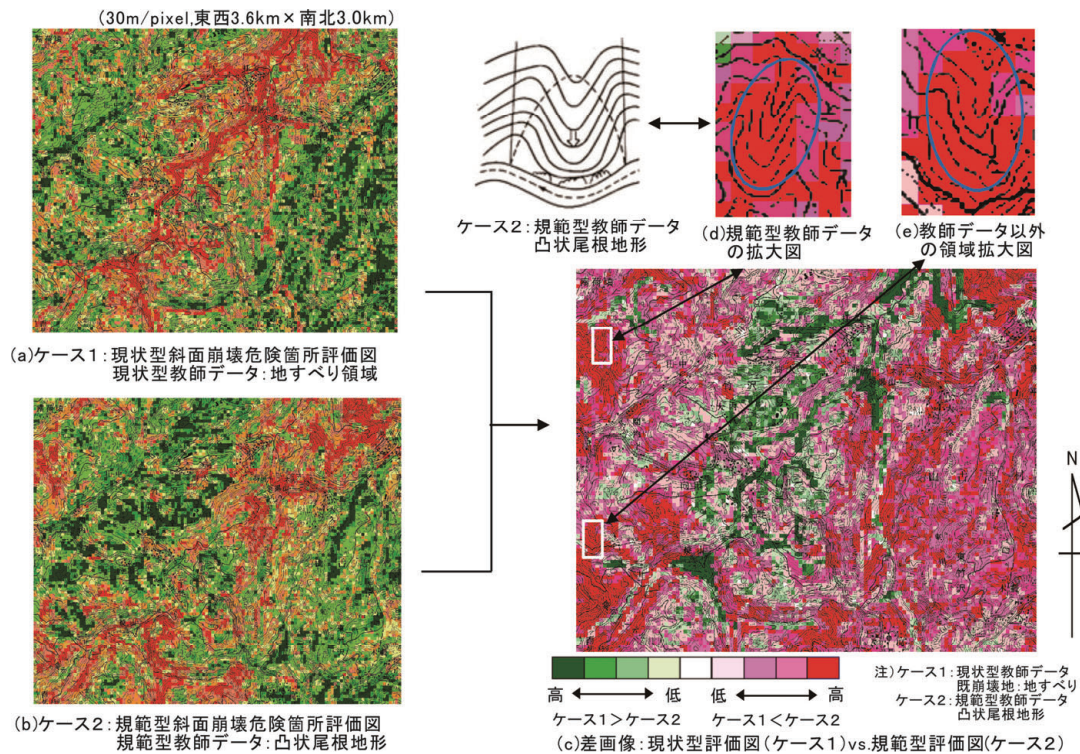


図4 現状型と規範型教師データを用いた斜面崩壊危険箇所評価図間の差画像:感度分析

この図から以下のことが読み取れる。

(a) 第1軸上では、現状型(ケース1)と規範型(ケース2～ケース6)が大きく離れている。1軸は、現状型教師データと規範型教師データの土地の性状に違いを表していると言える。対象領域では、地形遷移履歴に基づく規範型教師領域とは性質が異なる「地すべり」が発生したと解釈できる。図-5に示したケース1(現状型)の地形を見るとこのことを裏付けている。

(b) 第2軸を見ると、「ケース2とケース3」、「ケース4とケース5」が隣接して布置され、グループ化できる。

「ケース2→ケース5」は「幼年期→青年期→壮年期」といった順で「崩壊地形の変遷段階」に対応することが知られており<sup>3)</sup>、ケース2とケース3、「ケース4とケース5」がグループ化できることに対応している。これらの規範型教師データはモデル構築上、適用可能と言える。

(c) ケース6は、老年期の地すべり地形に対応するが、ケース2(幼年期:尾根地形)と同じ第2象限に布置されている。これは、壮年期の教師データ(緩斜面谷地形)設定時に「尾根領域」が含まれてしまったため(含まれやすい)である。規範型教師データの代表性の問題となるが、この点に関する検討は今後の課題としたい。

## 5. まとめ

本研究の内容は、以下の2点にまとめられる。

(a) 未崩壊領域を「規範型教師データ」として取り入

れて、潜在危険斜面を推定することの必要性を指摘した上で、現状型教師データ(既崩壊地)と規範型教師データ(図-1)を用いて斜面崩壊危険箇所評価図を作成した。

(b) これらの違いを表示した「差画像」を作成し、その解釈の内容を含めて、既崩壊地とは土地の性状に異なる「潜在危険斜面」の広域推定支援に有用となることを示した。

次のステップとして、現状型教師データとして「深層崩壊、表層崩壊」を使用した場合の評価図と規範型評価図(ケース2～ケース6)の差画像を作成・分析する予定にある。「同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価」における支援情報として寄与できるか否かについて検討する点において興味深い課題になると考えている。

**謝辞:** 本研究は、平成25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)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

- 1) Chung, C.F., Kojima, H. and Fabbri, A.G.: Stability analysis of prediction models applied to landslide hazard mapping, *Applied Geomorphology, Theory and Practice*, John Wiley & Sons Publication, pp.3-19, 2002.
- 2) 小島尚人, 大林成行, 青木 太: 共分散構造分析法を導入した斜面崩壊危険箇所評価アルゴリズムの構築, 土木学会論文集, No.714/VI-56, pp.79-93, 2002.
- 3) 渡 正亮, 小橋澄治: 地すべり・斜面崩壊予知と対策, pp.61-71, 山海堂, 1987.