

# GIS による斜面崩壊リスク評価手法の研究

呉 瑞亜<sup>1</sup>・野上 敦嗣<sup>2</sup>・周 国雲<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 北九州市立大学修士 国際環境工学研究科(〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1)

E-mail:wuruiya\_trust@yahoo. co. jp

<sup>2</sup>正会員 北九州市立大学教授 国際環境工学部環境生命工学科(〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 1-1)

E-mail:nogami@kitakyu-u. ac. jp

<sup>3</sup>正会員 西日本工業大学教授 工学部総合システム工学科環境建設系(〒800-0344 福岡県京都郡苅田町新津1丁目 11-9)

E-mail: zhouv@nishitech. ac. jp

斜面崩壊リスク評価のために、本研究グループでは、GIS を用いて標高データ (DEM) を斜面単位に分割し斜面崩壊と地形的特徴の相関を求める研究を進め、四川大地震や新潟県中越地震に於ける斜面崩壊への適用例について前回発表した。本研究では相関解析の要素に植生や地質情報を加えることで、崩壊リスクの総合評価指標の改善を試みた。

斜面単位 (Slope Unit) 毎に、地形的特長を数値化した斜面総合指標 (INDEX (0~1) = [落差] + [体積] + [平均傾斜角度] + [植生]) を提案した。中越地震の芋川流域 15km×15km の範囲では 10 段階分類した危険 10 ランクの内、最も危険な最上 3 段 (0.49~0.84) はほぼ 2 割を占めた。さらに、今回提案した斜面総合指標は前回提案したものより精度を上昇し、この危険斜面は実際に崩壊した寺野・東竹沢・檜木の位置と一致した。

**Key Words :** GIS, slope unit, small watersheds, slope failure, landslide, earthquake, vegetation

## 1. はじめに

近年、豪雨と地震によって多くの斜面崩壊等の斜面災害が発生し、経済的人命的損失を与えて大きな社会問題となっている。中国四川大地震による唐家山天然ダムを発生し、年新潟県中越地震による東竹沢と寺野で天然ダムを発生した。いずれも下流に生活する人々に甚大な被害が生じた。本研究グループは GIS による斜面崩壊リスクの解析を行い、斜面単位毎に、地形的特長を数値化した総合指標 (INDEX (0~1) = [落差] + [体積] + [平均傾斜角度] - [距離]) を提案し、四川大地震周辺地域の解析結果と実際に崩壊した位置が一致することを確かめた<sup>1)</sup>。

日本に於ける斜面崩壊の 55% は表土の崩壊であり、崩積土や強風化岩などを入れると斜面崩壊の約 90% がこれら表層崩壊で占められる<sup>2)</sup>。樹木の根系の斜面崩壊抑制機能を利用して、多くの斜面崩壊に

適用できる可能性がある<sup>3)</sup>。従って本研究では評価指標に植生や地質情報を加えて、崩壊リスクの総合評価指標の改善に試みた。中越地震と熊本地震の地域を対象にした。



図 1 中越地震における震度分布 (気象庁資料)

## 2. 研究方法

### 2.1 使用データ

標高データは国土地理院の数値地図 50mメッシュ標高データ(平成 13 年 5 月)である。図 2 に中越地方の例を示す。

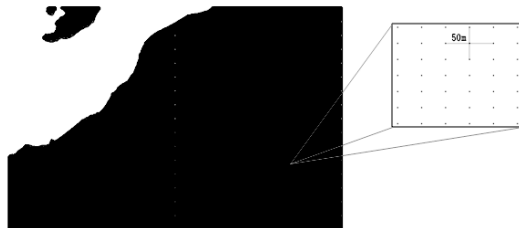


図 2 数値地図 50 メッシュ標高データ

植生データは環境省自然環境局生物多様性センターからダウンロードしたデータである(shape 形式, 平成 10 年までの調査結果)。図 3 に中越地方の例を示す。



図 3 新潟県植生データ

地質データは国土交通省国土政策局国土情報課からダウンロードした 20 万分の 1 表層地質データである。図 3 に熊本芋川周辺の例を示す。



図 4 緑川上流域の地質データ

### 2.2 使用ソフトウェア

地形解析には ArcGIS を用いた。50mメッシュ標高データから分析しやすいラスタデータまで変換し、地形解析の基礎データとして準備した。手順を以下のように示す。

- ① 標高データからラスタデータへの変換(図 5)  
3D Analyst Tools のラスタ内挿を使用し、図 2 の標高データから格子点で表現されるラスタデータを作成する。
- ② ラスタデータの 3 次元表示(図 6)  
作成したラスタが Arcscene で開き、3 次元で表示する。

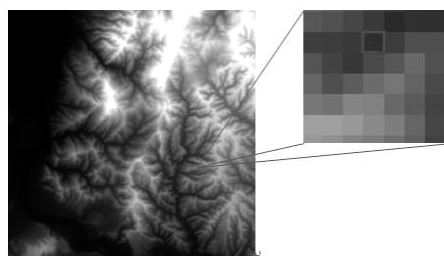


図 5 新潟県芋川周辺ラスタデータ



図 6 新潟県芋川周辺 3D 図

### 2.3 集水域の抽出

従来、不安定ブロックの抽出に関する検討では微地形や地質構造に基づいて特定の地滑りやクリープ斜面の安定性が評価されてきたが、大きな流域の斜面の安定性を調査により評価するには領域の大きさの点から限界がある。ここで単位斜面の抽出を提案し、斜面範囲内の地形特性を定量的に把握する。

ArcGIS の拡張機能 Spatial Analyst で提供されている水文解析ツールや 3D Analyst のポリゴン変換ツールなどの様々な解析モジュールを組み合わせ、累積流量が 100 セル以上の流域を抽出した。

- ① 窪地ラスタの除去(穴埋め処理)
- ② ラスタ方位の算出(水流の方向決定)
- ③ 累積流量(各点に流入するラスタ数)の計算
- ④ 支流網の作成

- ⑤支流の合流点の連結構造の算出
- ⑥集水域(尾根線で囲まれた流域)の作成

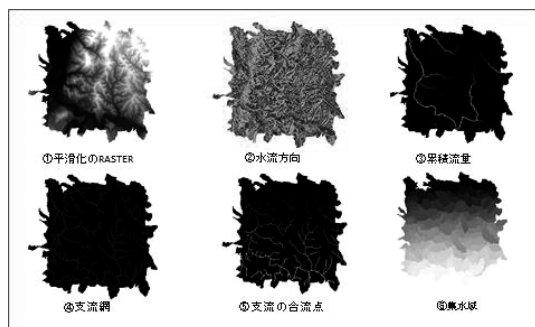


図7 集水域の作成例

## 2.4 単位斜面(Slope Unit)の抽出

単位斜面の抽出というのは、数値地形解析から平坦な部分と斜面を区別し、地域での各単位斜面、すなわち、傾斜方向がほぼ一致する各斜面を抽出する。一つの斜面は基本的に尾根線と谷線で囲まれた範囲である。尾根線と谷線を確定できれば地形を単位斜面に分割することが可能となる。ArcGIS で尾根線をポリゴンデータ(多角の図形データ)として得られるが、谷線に関しては直接に得られない。ここでは、数値地形を逆にし、同じプロセスを行い、新しい尾根線、つまり、谷線を特定する。

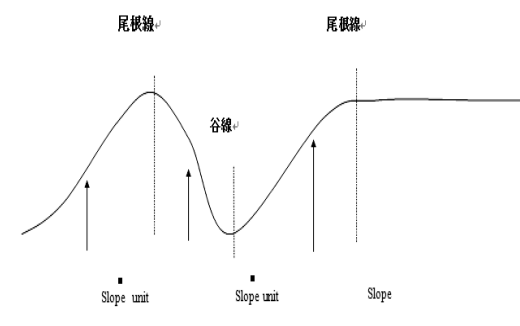


図8 単位斜面概念

更に、得られた尾根線及び谷線のポリゴンデータの2つレイヤーをユニオン処理でマージすることによって、尾根線及び谷線で囲まれたそれぞれの単位斜面を特定することが出来る。<sup>4)</sup>

ゆえに、この標高逆転地形に①～⑥の処理を施すことで谷線で囲まれた領域を得ることができた。

⑦変換ツールのラスタからポリゴンへの変換を使用して、尾根線(図9)と谷線(図10)を抽出。

- ⑧解析ツールオーバーレイのユニオン(union)を使い、尾根線と谷線データを入力し、単位斜面を作成。

最終的に得られた単位斜面を図11に示す。図12に陰影図を加えて、分かりやすくした図である。

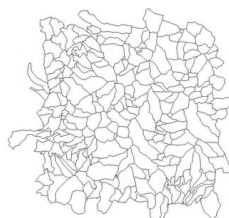


図9 尾根線

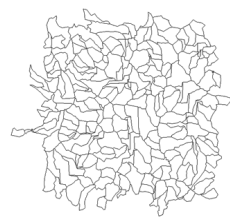


図10 谷線

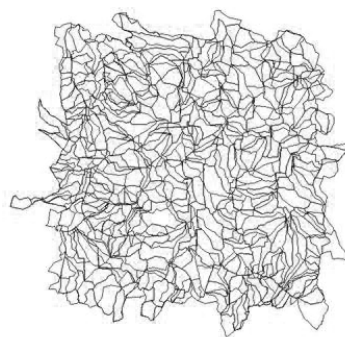


図11 単位斜面

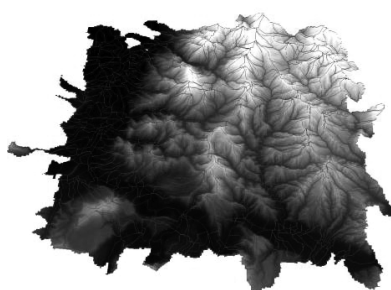


図12 陰影図と単位斜面 slope unit

## 3. 結果と考察

### 3.1 植生を加えた斜面崩壊リスク評価

#### (1) 地形的特徴各要素の危険度

各単位斜面の地形的特徴を数値化するため、以下の3項目すべて正規化の数値を算出した。

- ① 落差の算出(図13)
- ② 体積の算出(図14)
- ③ 斜度の算出(図15)

①～③はArcGISのゾーン統計機能を用いて、単位斜面に含まれる全ラスタの統計を取った。

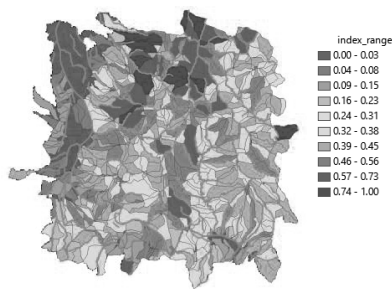


図 13 各単位斜面の落差危険度

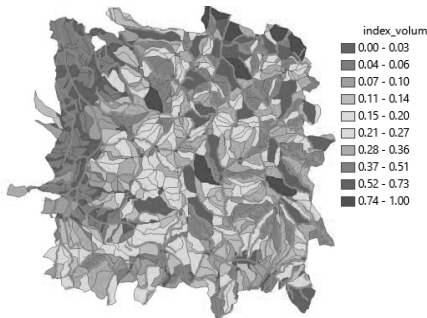


図 14 各単位斜面の体積危険度

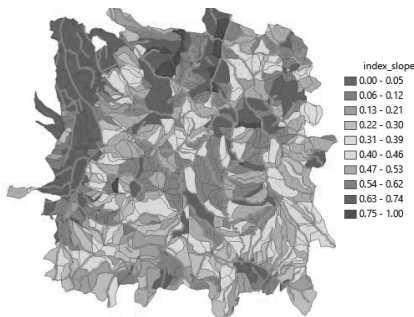


図 15 各単位斜面の斜度危険度

## (2) 植生の指標化と危険度

ブナ、ケヤキ林などの広葉樹林では地震被害が少ない傾向がある<sup>5)</sup>

垂下根・斜出根の発達が悪い浅根性のヒノキ・サワラ・カラマツなどの倒伏率が高く、垂下根・斜出根が発達する深根性のスギ・アカマツ・クロマツ・モミなど倒伏率は低い<sup>6)</sup>

他の樹木に対して、竹の土壌流出量が少なく、緊縛力は大きい<sup>7)</sup>

コナラでは材料特性としての根の引き抜き強度が他の樹種に比べて大きいことと判明した<sup>8)</sup>。

以上の文献により、植生根系の緊縛力は植生種、根系の分布形態及び樹間距離などの相関を有することが示されている。植生根系による斜面補強効

果を定量的に解析するために、  
植生データを 5 段階に分類(表 1)

表 1 植生データの分類及び設定値

植生分類(設定値)	植生種類
広葉樹木(4)	竹, ブナ群団, コナラ, 桜など
広葉以外の樹木(3)	ヤナギ, ヒノキ, スギなど
低木(2)	ススキ群団, ヨシクラスなど
他の植生(1)	チシマザサなど
他(0)	造成地など

表-1 の設定値に基づいて各単位斜面ごとの植生正規化数値を算出した。

### ④ 植生の算出(図 16)

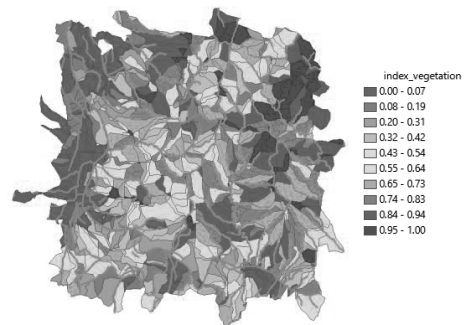


図 16 各単位斜面の植生危険度

## (3) 総合評価指標の改善結果

四川大地震周辺危険斜面を抽出するために、3つの地形的特徴を総合化した評価指標 INDEX を以下の式で求めた。

$$INDEX = [RAN] + [VOL] + [SLOPE]$$

各パラメータの意味は順次に落差, 体積, 斜度である。値はすべて正規化(各パラメータの最大値との比 : 0~1 の数値)した。

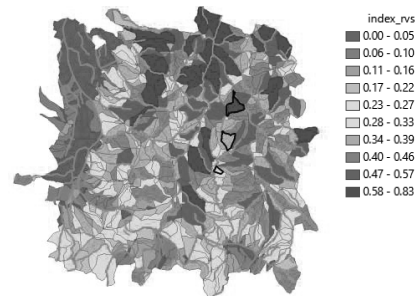


図 17 各単位斜面の危険度(植生なし)

改善に試みた 4 つの地形的特徴を総合化した評価指標 INDEX を以下の式で求めた。

$$INDEX = [RAN] + [VOL] + [SLOPE] + [VEGE]$$

各パラメータの意味は順次に落差, 体積, 斜度と植生である。重み係数は 1:1:1:1 で値はすべて正規化(各パラメータの最大値との比 : 0~1 の数値)した。

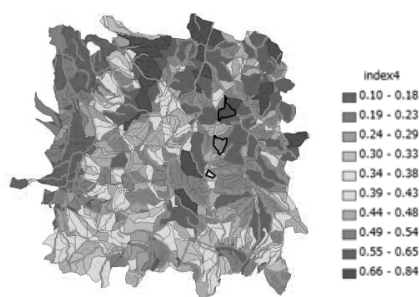


図 18 各単位斜面の危険度(植生あり)

平成 16 年の中越地震中で実際に崩壊した寺野・檜木及び東竹沢の解析データ比較し, 総合評価指標改善後(植生)の効果が示された。

表 2 総合評価指標改善前後の比較(植生)

		前	後
寺野	数値	0.6	0.68
	順位	29	21
檜木	数値	0.35	0.45
	順位	238	238
東竹沢	数値	0.28	0.37
	順位	368	352

### 3.2 熊本大地震地域の斜面崩壊リスク評価

熊本県緑川流域植生有無の場合の総合評価指標を用いて解析した。

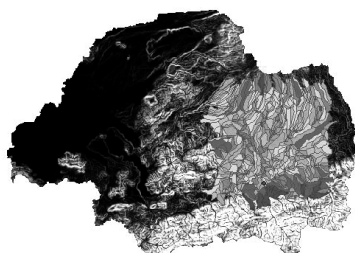


図 19 各単位斜面の危険度(植生なし)

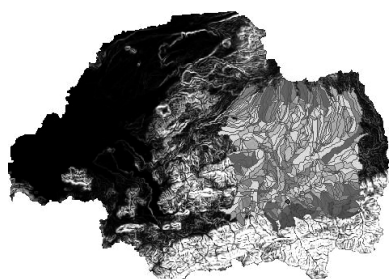


図 20 各単位斜面の危険度(植生あり)

改良した総合評価指標は熊本緑川の斜面全体的なリスクを上昇し, 特に河川周辺の斜面リスクが上昇したことが分かった。

平成 28 年の熊本大地震中で実際に崩壊した内大臣橋付近の解析データ比較し, 総合評価指標改善後(植生)の効果が示された。

表 3 総合評価指標改善前後の比較(植生)

		前	後
内大臣橋付近	数値	0.24	0.38
	順位	526	125

### 3.3 地質を加えたリスク評価(熊本大地震)

植生の導入と同じように, まず地質データを分類にする。分類方法以下に示す。

表 3 地質の分類方法<sup>9)</sup>

コード	区分1	区分2	本手法での区分
10	半固結堆積物	泥、砂、礫互層	礫質土
11	半固結堆積物	泥	礫質土
12	半固結堆積物	砂	砂質土
13	半固結堆積物	泥	粘性土
14	半固結堆積物	泥、砂	礫質土
15	半固結堆積物	泥、シルト、砂	粘性土
16	半固結堆積物	泥、砂、礫	粘性土
17	半固結堆積物	砂、礫、粘土	砂質土
21	半固結堆積物	砂質物	礫質土
22	半固結堆積物	礫、砂質物	礫質土
23	半固結堆積物	泥、砂、粘土	礫質土
24	半固結堆積物	粘土	粘性土
25	半固結堆積物	泥炭	粘性土
29	半固結-固結堆積物	砂質、泥岩互層	砂質土
30	半固結-固結堆積物	砂質、泥岩	礫質土
31	半固結-固結堆積物	泥岩	礫質土
32	半固結-固結堆積物	砂岩	砂質土
33	半固結-固結堆積物	泥岩	粘性土
34	半固結-固結堆積物	泥岩、砂岩、泥岩	礫質土
35	半固結-固結堆積物	砂岩質粘土	砂質土
36	半固結-固結堆積物	各岩石の互層	礫質土
37	半固結-固結堆積物	礫砂質泥岩	粘性土
38	半固結-固結堆積物	石灰岩	砂質土
39	半固結-固結堆積物	スラット	礫質土
40	半固結-固結堆積物	粘板岩	粘性土

土地分類メッシュの表 層地質分類から 3 区分(礫質土[値 5], 砂質土[値 4], 粘性土[値 1])にまとめ, 礫質土を「礫混じり土砂」, 砂質土を「土砂」, 粘性土を「粘質土」と対応させることで地盤区分による判定項目を設定した<sup>9)</sup>。

解析した危険度は図 21 に示す。

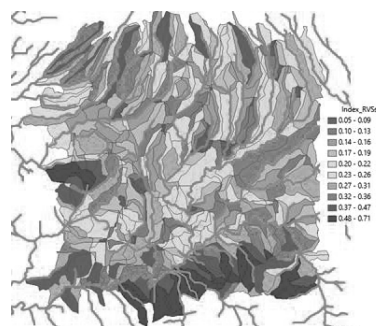


図 21 各単位斜面の危険度(地質あり, 植生なし)

平成 28 年の熊本大地震中で実際に崩壊した内大臣橋付近の解析データ比較し, 総合評価指標改善後(地質)の効果が示された。

表 3 総合評価指標改善前後の比較(地質)

		前	後
内大臣橋付近	数値	0.24	0.28
	順位	526	455

## 4. 結論

GIS を用いて標高データ (DEM) を斜面単位に分割し斜面崩壊と地形的特徴の相関を求める研究を進め、相関解析の要素に植生を加えることで、崩壊リスクの総合評価指標の改善を試みた。主な結論は下記の通りである。

- ① 本研究で利用した GIS による中国四川省周辺地域のみならず日本新潟県芋川周辺と熊本緑川周辺数値地形の作成及び山地の尾根線と谷線の抽出を行うことで、広範囲に亘るすべての単位斜面の空間分布範囲を作成することが出来る。
- ② 本研究で新潟県芋川周辺と熊本緑川周辺 15 × 15km の標高データから作成した単位斜面の空間分布がポリゴンデータとして得られるため、その斜面範囲内の地形特性(落差, 体積, 斜度, 植生)を解析し、定量的に把握することが出来る。
- ③ 本研究は新潟県芋川周辺と熊本緑川周辺の植生毎の値を設定した。熊本緑川周辺地質ごとの値を設定した。
- ④ 前回提案した総合指標 (INDEX(0~1)) = ([落差] + [体積] + [平均傾斜角度]) の植生を加えた改善を試みた。新潟県中越地震中に実際に崩壊した 3 箇所(寺野・檜木及び東竹沢)及び熊本地震中に実際に崩壊した内大臣橋付近の危険順位を上昇したことが分かった。
- ⑤ 前回提案した総合指標 (INDEX(0~1)) = ([落差] + [体積] + [平均傾斜角度]) の地質を加えた改善を試みた。熊本地震中に実際に崩壊した内大臣橋付近の危険順位を上昇したことが分かった。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた指導教員周国云教授と野上敦嗣教授に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 呉 瑞亜, 野上 敦嗣, 周 国雲: GIS による河川沿岸の斜面崩壊と地形的特徴の相関解析, 第 43 回土木学会環境システム研究論文発表会 p. 311-315, 2015. 10
- 2) 稲垣, 秀輝: 植生による斜面安定効果に関する地盤工学的研究, 甲理工博第 184 号, 平成 16 年 9 月 16 日
- 3) 今井 久: 樹木根系の斜面崩壊抑止効果に関する調査研究, ハザマ研究年報 p. 34, 2008. 12
- 4) 周国云, 江崎哲郎, 佐々木 靖人, 邱 騁: GIS を用いた三次元斜面安定評価のための単位斜面 (Slope Unit) の抽出, 土と基礎 52(4), 26-28, 2004-04-01
- 5) 佐々木, 寧: 新潟県中越地震における斜面崩壊と植生の効果について, 埼玉大学工学部紀要 第一部 論文集 Vol. 40, p. 11- 18, 2006 年
- 6) 苅住昇: 樹木根系図説, 誠文堂新光社 p. 101- 114
- 7) 今井 久: 樹木根系の斜面崩壊抑止効果に関する調査研究, ハザマ研究年報 p. 46, 2008. 12
- 8) 栃本泰浩・山本育夫・星野久史: 六甲山系における樹木根系調査と斜面崩壊抑止効果の定量的評価. 近畿地方整備局研究発表会論文集. 2010 年
- 9) 損害保険料率算出機構, 全国を対象とした地震時の斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 地震保険研究 No. 24, p. 44-47, 2012 年 3 月

(2016. 8. 26 受付)

## A study on risk assessment methods for landslides by using GIS Ruiya WU, Atushi NOGAMI and Guoyun Zhou

To clarify the geographical factors involved in the occurrence of slope failure of the the Mid Niigata prefecture earthquake, terrain features analysis was studied by using GIS. Polygons that combines ridge lines and valley lines obtained by hydrological analysis capabilities of ArcGIS was defined as the slope unit. To quantify the topographical features, tilt angle, volume, height difference and vegetation were calculated for each slope units. By integrating these factors, the risk of slope failure was indexed. The result of this study was consistent with the position of the collapsed terano, naraki and higashitakezawa.