

# 斜面崩壊の素因に注目した斜面の危険度評価

THE RISK EVALUATION OF THE SLOPE

WHICH NOTICED PRIMARY CAUSES OF SLOPE FAILURE

北園 芳人<sup>1</sup>・井上 敦裕<sup>2</sup>

Yoshito KITAZONO and Athuhiro INOUE

<sup>1</sup>熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

E-mail: kitazono@gpo.kumamoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>大成建設(株) (〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル)

**Key Words:** risk evaluation, slope failure, primary cause, microtopography

## 1. はじめに

斜面の崩壊危険度を予測するには素因と誘因に分けて考慮する必要がある。素因には地形、地質、土壌、植生等が挙げられる。誘因については降雨や地震等がある。斜面崩壊は素因と誘因の条件を満たした時に発生すると考えられる。誘因については時系列で大きく変動するので崩壊時刻の予測においては重要である。一方素因は短時間の時系列による変動は少ない。そこで崩壊危険箇所の予測によく用いられる。また、地形、地質等という素因は市販されている地形図、地質図から容易にデータを得ることが出来る。

これまで、地形図、地質図、土地利用図等を用いて、地盤情報データベースを作成し、50m メッシュ単位で斜面の危険度の予測を行って来た<sup>1)</sup>。しかし、これまでの研究では航空写真を立体化し地形を判読し、断層を含むリニアメントや崩壊跡地・植生異常等の微地形の変化を抽出して素因とすることは経費的に難しいところがあり、これまで導入してこなかった。今回、航空写真の三次元処理が比較的簡単にできる解析ソフト Kuraves-K を使用して、これまでの素因のアイテムに微地形の変化(リニアメント・崩壊跡地・植生異常等)を加えて斜面の危険度を評価した。その結果、崩壊地的中率に向上が見られることが判明した。

## 2. 研究方法

斜面の危険度評価に用いるアイテムは起伏量、最急傾斜

角、斜面形状、土地利用、地質、集水面積に今回微地形の変化を加えた。

これらのアイテムを得るために、地形図として森林基本図(1/5,000)、地質図として 1/50,000、土地利用図として同じく 1/50,000 の熊本県環境特性図<sup>2)</sup>を用いた。研究対象地は平成 19 年 7 月の集中豪雨で土砂災害が発生した熊本県下益城郡美里町付近(東西 8km×南北 6km、基本図4枚分)とした(図-1)。従って航空写真は美里町周辺で平成 19 年 7 月以前が一番新しいもの(平成 17 年撮影)を用いた。

地盤データの入力、数値データの算出、危険度評価図の出力は当研究室で開発した斜面崩壊危険度評価システム<sup>1)</sup>を用いた。危険度評価については崩壊、非崩壊を目的変数として、素因のアイテムを説明変数として数量化Ⅱ類を用いて、各アイテムのカテゴリースコアを算出した。得ら

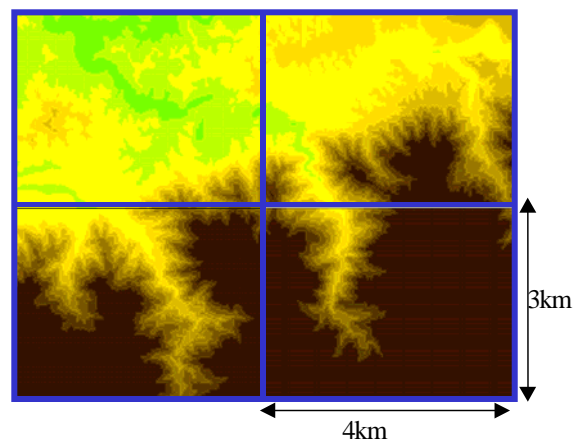


図-1 解析対象地域(美里町)

れたカテゴリースコアを基に整数化した危険度評価点数を求め、その値を用いて斜面の危険度評価を50mメッシュ単位で行った<sup>1)</sup>。

### 3. データベースの作成

まず、アイテムの起伏量、最急傾斜角、斜面形状、集水面積を算出するために各メッシュ点の三次元データが必要である。そのため、森林基本図から標高単位を10m単位でデジタイザを用いて等高線を入力した。そしてメッシュの格子点の座標を25mメッシュで算出し、各メッシュ9個の格子点データから各アイテムを算出する。地質と土地利用のデータはそれぞれの図からデジタイザで入力した<sup>1)</sup>。微地形の変化については航空写真の密着写真をまずスキャナーで読み込み、60%重なっている写真を三次元写真計測システム Kuraves-K を用いて、立体的に可視化する。本来ならばそのデータを GIS でデータベースシステムに取り込んで解析すると誤差が出ないと考えられるが、航空写真と森林基本図の正確な座標の確認が不十分だったので、今回はパソコン画面から目視でリアメントや崩壊跡地を含む植生異常を抽出し、1/5,000の森林基本図に転記して、それをデジタイザで入力した。また、崩壊データは3回の現地調査や熊本県及び九州地方整備局の調査データを参考に崩壊地のデータを1/5,000の森林基本図に転記してデジタイザで入力した。

図-2～図-5に航空写真の三次元データの作成方法を示す。

1) 写真ツールにて処理して取り込んだ2枚のTiffデータに共通する位置を12～15点程度配置し、ズーム機能等を用いてその誤差を0.2ピクセル以下に収め計算させ初期対応点(図-2)とする。(その際に配置する点群は、60%重ね撮りされた画像の中に均等に配置する。)

2) 初期対応点の処理を追加ボタンで解析したい範囲に点群を増設する作業に移る。点を増設するコマンドはその目的によりコマンドボタンより選択し、処理することができる。片方の画像に付いた点群は、自動対応ボタンによりもう片方の画像データに自動的に増設することができる(図-3)。その際に誤対応点が発生するが、このとき解析範囲内の格子の分割数を多くすればするほど多くの誤対応点が発生する。

3) 誤対応点を削除し、解析地を点群で3D化したものが図-4である。この3D図を回転させたりすると改めて誤対応点が見つかることもある。誤対応点は、判明する度にそのつど削除していく。対応点は3D表示画面や三面図表示状態でエリアから逸脱している点群を探し、削除する。その作業を繰り返して誤対応点のない精度の高い点群を求める。

4) 誤対応点を削除し3D化した点群に面を張ったのが図

-5である。今回の研究では解析対象地の微地形の変化を考慮して危険度点数を求めるが、微地形の変化を判別する際はこの図-5のような3D図を拡大したり回転させたりしながら微地形の変化を見極めて抽出していく。

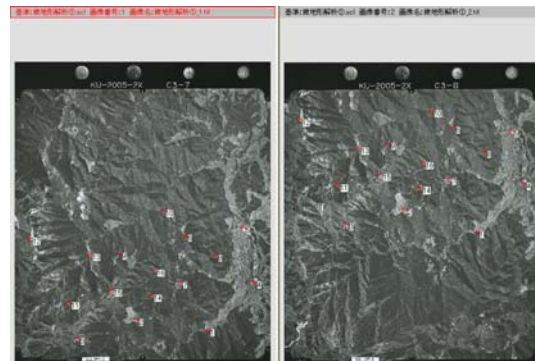


図-2 対応点の入力

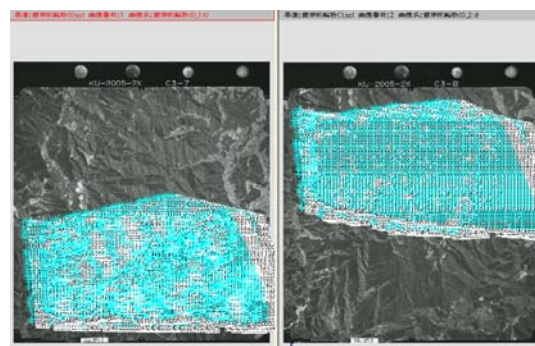


図-3 対応点の自動抽出

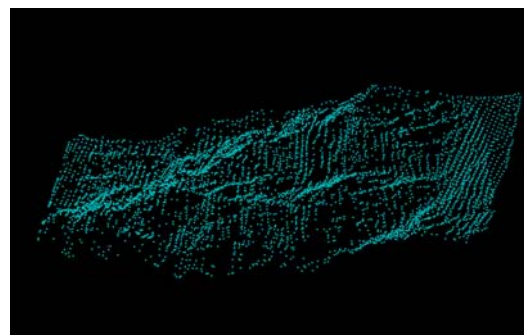


図-4 点データによる3次元表示

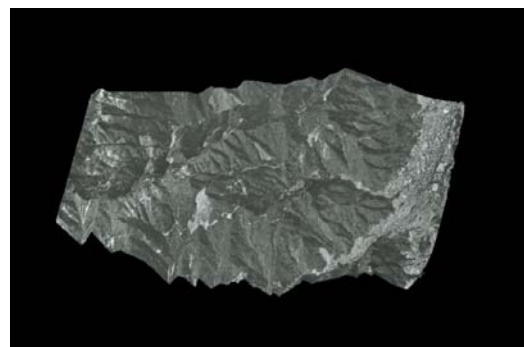


図-5 写真を貼り付けた3次元表示

#### 4. 危険度評価点数の設定

斜面の危険度を予測するためには危険度評価点数は解析対象地域だけでなく他の地域の斜面にも適用できる必要がある。そこで解析対象地域のデータを用いて数量化Ⅱ類(目的変数をグループ分けする時,説明変数が数量である場合判別分析を用いるが,質的なもの含まれる場合にカテゴリーに分けて数量化Ⅱ類を用いる)で解析する場合,地質や土地利用についてはある程度広範囲に適用できるカテゴリーにする必要がある<sup>1)</sup>。そのため地質については火成岩を火山岩と深成岩,変成岩,堆積岩は年代別の中(古)生代,第三紀,第四紀とした。また,土地利用についても地域特有の植生を取り上げるのではなく,種々の地域で適用できる程度のカテゴリーにした。その結果,土地利用のカテゴリーは田,畑,果樹園,針葉樹林,広葉樹林,竹林,荒地,人工物地とした。

これまでの研究<sup>3)</sup>で主として火成岩からなる地域と堆積岩からなる地域では使用する危険度評価点数を区別しないと良い危険度評価が出来ないことがわかっている。今回は主としては堆積岩が多く見られるので堆積岩地域の危険度評価点数とした。

危険度評価点数は解析対象地域のデータを用いてカテゴリースコアを算出し,カテゴリースコアの最大値と最小値を参考にサンプルスコアが最大で100点となるように正の整数で求める<sup>3)</sup>。

本研究では微地形の変化のアイテムの影響を考察するために微地形の変化をアイテムに加えない場合と加えた場合に分けて,危険度評価点数を求めた。

平成19年7月の集中豪雨で土砂災害が発生した下益城郡美里町の崩壊データをもとに,崩壊の有無を目的関数に,まず起伏量,斜面形状,最急傾斜角,集水面積,土地利用,表層地質の6つのアイテムを説明変数として数量化Ⅱ類を行う。ここで,危険度評価点数は数量化Ⅱ類解析によって算出されたカテゴリースコアにより求められる。各アイテム内のカテゴリー間の最大値と最小値の差のことをカテゴリースコアのレンジといい,これが大きいアイテムほど目的関数すなわち崩壊の有無の判別に貢献していると考えられる。今回の研究対象地の特徴としては,図葉によって地質も土地利用も全く異なることがあげられる。土地利用としてはダム周辺に田畑が多く存在し,そうでない場所は基本的に針葉樹や広葉樹が多くの割合を占める。表層地質に関しては,堆積岩系中生代,火山岩,深成岩が多くを占め,変成岩の地質はさほど多くないことがあげられる。

また,崩壊メッシュに対して非崩壊メッシュが圧倒的に多いことに関しては,森田の研究<sup>4)</sup>で,非崩壊メッシュを1500,3000,6000に場合わけして絞って数量化Ⅱ類解析を行った。その結果カテゴリースコアに有意な差は見られず,的中率も同等であったため非崩壊のサンプル数は数量

化Ⅱ類解析の結果とは相関が強くないことが分かっている。

##### (1)微地形の変化を含まない場合

###### a)数量化Ⅱ類解析結果

表-1は数量化Ⅱ類の解析結果の各アイテムのカテゴリースコアのレンジとその順位である。カテゴリースコアのレンジが大きいアイテムほど崩壊,非崩壊の判別に貢献している。1位は起伏量となっており,起伏量が50m以上のメッシュが崩壊に大きく影響を与え,19m以下のメッシュが非崩壊に大きく影響を与えるということになる。2位の表層地質であるが堆積岩系深成岩(花崗岩)が崩壊に大きく影響を与えるためこのように大きなレンジになったと考えられる。

表-1 アイテムの順位(微地形無)

アイテム	レンジ	順位
起伏量	2.497	1
斜面形状	1.205	3
傾斜角	0.804	4
土地利用	0.781	5
表層地質	1.988	2
集水面積	0.780	6

今回約18400(ダム等の広水域を除く)のサンプルを数量化Ⅱ類にかけた結果,判別の中率は71.2%となった。判別の中率は75%以上あることが望ましいと考えられることから十分な結果であるとはいえない。また,ここで求めた判別の中率がそのまま危険度評価の中率になるわけではない。

ここで求めたのは数量化Ⅱ類にかけた約18400のサンプルの的中率であり,実際にはこの結果をもとに危険度評価点数を設定し,すべてのメッシュに適用することになる。その結果として,総合的な危険度評価的中率と崩壊地的中率が求まる。

よって,この判別の中率はアイテムの選定と危

表-2 危険度評価点数(微地形無)

項目	カテゴリー	点数
起伏量 (m)	50~	27
	40~49	12
	30~39	8
	20~29	4
	~19	0
斜面形状 (m)	~-7	9
	-6~-3	5
	-2~2	9
	3~6	9
	7~	16
最急傾斜角 (°)	50~	4
	40~49	11
	30~39	9
	~29	8
土地利用	田	5
	畑	11
	果樹園	6
	針葉樹林	10
	広葉樹林	8
	竹林	10
	荒地	0
表層地質	人工物地	5
	火山岩系	16
	第三紀	9
	第四紀	14
	中生代	4
	深成岩	24
集水面積 (㎡)	変成岩	3
	5600~	12
	4600~5599	8
	3600~4599	6
	2600~3599	10
~2599	9	

危険度評価点数の決定の材料とはなり得るが、実際には全てのメッシュに適応し総合的な中率を求めた上で適切かどうかを判断する。

**b) 危険度評価点数の決定**

数量化Ⅱ類の結果をもとに表-2の危険度評価点数を設定した。危険度評価点数の設定の際には、最も非崩壊に影響を与えているカテゴリーの点数を0点、最も崩壊に影響を与えているカテゴリーの点数を27点とし、その他のカテゴリーについてはその2つの最大値、最小値の点数より算出する。そして、各アイテム内の最大の危険度評価点数を合計したものが100点になるように配点した<sup>3)</sup>。

危険度評価の分類方法として100点を分けるとき、危険度大、危険度やや大、危険度中、危険度やや小、危険度小の5段階に分ける方法と、危険度大、危険度中、危険度やや小、危険度小の4段階に分ける方法があるが、藤田の研究<sup>5)</sup>と同様に4段階に分けて評価することにした。

最も点数が大きくなったのが起伏量の40m~49mのカテゴリーであり27点、最も小さいのが起伏量の19m以下と土地利用の荒地が0点となった。傾斜角が50°以上は岩盤地域が多いと推測され、崩壊にほとんど影響を与えないということで危険度評価点数は4点と低めに設定になった。

今回の対象地には土地利用の竹林、表層地質の堆積岩系第三紀の箇所は存在しなかった。しかし、この危険度評価点数を他の堆積岩地域にも適用させることができるようにするためには、それらのカテゴリーにも危険度評価点数を設定しておく必要がある。よって、それらのカテゴリーの点数を森田の求めた八代の堆積岩地域の危険度点数と同じように定め、他の堆積岩地域にも適用できるようにした。

**c) 危険度評価**

数量化Ⅱ類解析の結果をもとに設定した危険度評価点数を用いて、対象地である下益城郡美里町地域(図-1)の危険度評価を行った。その結果を表-3に示す。

危険度評価的中率は79%と良い結果が得られたが、崩壊地的中率が52%と崩壊の見逃しが約半数に近くなり、危険度予測には不十分な結果となった。これは対象メッシュ数に対して崩壊メッシュ数が5%程度と非常に少ないため、崩壊に影響を与えるカテゴリーより、非崩壊に影響を与えるカテゴリーが強調され、表-3の(d)が多くなると危険度評価的中率は向上するが他方(b)も増加し崩壊地的中率が下がったと考えられる。

表-3 危険度評価結果(微地形無)

		評価		
		崩壊	非崩壊	合計
実 際	崩壊	(a) 56	(b) 51	(a+b) 107
	非崩壊	(c) 3950	(d) 15143	(c+d) 19093
合計		(a+c) 4006	(b+d) 15194	(e) 19200

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{危険度評価的中率} = (a+d)/e = 79.2\% \\ \text{崩壊地的中率} = a/(a+b) = 52.3\% \end{array} \right.$$

**(2) 微地形の変化を含む場合**

**a) 数量化Ⅱ類解析結果**

アイテムに微地形の変化を含めて数量化Ⅱ類による解析を行った。表-4は微地形の変化を考慮した場合のアイテムの順位を示す。微地形の変化は4位に入り、その他のアイテムの順位は4位以下が繰り下がったが微地形の変化を考慮しない場合と変化がなかった。レンジは少し小さくなっている。判別的中率は70.1%となり、微地形の変化を考慮しない場合とほとんど変化がなかった。

**b) 危険度評価点数の決定**

数量化Ⅱ類の結果をもとに表-5の危険度評価点数を設定した。各アイテム内の最大の危険度評価点数を合計したものが100点に

表-4 アイテムの順位(微地形有)

アイテム	レンジ	順位
起伏量	2.401	1
斜面形状	1.170	3
傾斜角	0.774	5
土地利用	0.767	6
表層地質	1.903	2
集水面積	0.728	7
微地形	0.883	4

なるように配点した。そのため、最も非崩壊に影響を与えているカテゴリーの点数を0点、最も崩壊に影響を与えているカテゴリーの点数が23点となったことと、項目に微地形の変化の有無が入っていることが表-2と異なる点である。

崩壊に貢献する順位は起伏量50m以上の23点、表層地質の深成岩の20点に次いで「微地形の変化」は三番目の14点となった。他の点数に関しては、最大の点数が27点から23点に減った分、全て数点ずつ減点されている。この点数だけを見ても危険度評価において断層

表-5 危険度評価点数(微地形有)

項目	カテゴリー	点数
起伏量 (m)	50~	23
	40~49	12
	30~39	6
	20~29	3
	~19	0
斜面形状 (m)	~-7	7
	-6~-3	4
	-2~2	7
	3~6	6
	7~	13
最急傾斜角 (°)	50~	3
	40~49	9
	30~39	8
	~29	7
土地利用	田	4
	畑	10
	果樹園	5
	針葉樹林	8
	広葉樹林	7
	竹林	10
	荒地	0
	人工物地	4
表層地質	火山岩系	13
	第三紀	9
	第四紀	12
	中生代	3
	深成岩	20
	変成岩	2
集水面積 (m <sup>2</sup> )	5600~	11
	4600~5599	7
	3600~4599	5
	2600~3599	8
	~2599	7
微地形変化	あり	14
	なし	7

やリニアメント、崩壊跡地などの微地形の変化が崩壊に大きく影響を与えていることがわかる。

### c) 危険度評価

表-5の危険度評価点数を用いて、対象地である下益城郡美里町地域(図-1)の危険度評価を行った。その結果を表-6と図-6に示す。微地形の変化を入力しての危険度評価点数を用いた結果、危険度評価的中率は74.4%、崩壊地的中率は60.7%となった。微地形の変化を考慮しない場合と比較して危険度評価的中率は5%ほど低下したが、崩壊地的中率は約8%の向上が見られた。微地形の変化を導入したことにより危険度評価的中率は若干減少したが崩壊地的中率が向上し、崩壊の見逃しが減少したことは大変有意であった。微地形の変化をアイテムに加えたことで崩壊と評価されるメッシュ数が増加し、非崩壊と評価されるメッシュ数が減少した。その結果、危険度評価的中率は低下し、崩壊地的中率が向上した。これらの理由として、微地形の変化が見られた地域で実際の崩壊箇所との重なりが多く見られたことが数量化Ⅱ類解析の際に崩壊に影響を与える要因としての判断の基準となったと考えられる。また、微地形の変化があると入力されたメッシュの多くが危険度評価において崩壊メッシュと評価されていたことから、危険度評価をするにあたって微地形の変化を含むか含まないかで崩壊地的中率に大きな差が出てくることがわかる。今回の対象地では解析対象メッシュ数に対し、崩壊地のメッシュ数が5%程度と少ないため、危険度評価的中率の若干の低下が見られた。このことは素因から見ると危険度の高いメッシュが多数

存在することになり、誘因の状況次第ではさらに多くの崩壊が発生する危険性を示しているともいえる。図-6は解析対象地の全範囲を図示したものであるが、視覚的に判断しづらいので、付図-1~3のように三次元表示すると視覚的に見やすくなる。付図-1に図-6を4分割した右下の部分の危険度評価図、付図-2に同じ地域の斜面崩壊箇所、付図-3に微地形の変化箇所図として、断層と崩壊跡地と思われる窪み等を示したものを示した。

## 5. 結論

本研究の成果をまとめと課題を示す。

①今回斜面崩壊の素因として「微地形の変化」を危険度予測にアイテムに加えた。その結果、危険度評価的中率は若干低下したが、崩壊地的中率は向上した。したがって崩壊地の見逃しが減少するため、「微地形の変化」を斜面崩壊危険度の予測のアイテムとして用いることは有効であることが確認できた。

②「微地形の変化」を抽出するために航空写真を用いたが、その際、航空写真の三次元表示が容易なソフトを用いることによって、微地形の変化の判読が容易になった。

③対象とした地域のメッシュ数に比較して崩壊メッシュ数が約5%と低かったこと、崩壊地の特定に当たって現場調査データや災害時の調査写真(災害調査ヘリ)を見ながら1/5000の森林基本図に人力で転写したので少し場所や面積の誤差が考えられる。災害後の航空写真データを用いると精度の向上が図られると考えている。

また、課題として、航空写真の三次元表示データをGISを用いて直接データベースシステムに読み込むことができれば時間と精度の向上が図られると考えられる。しかし今回は航空写真での座標の確認が不慣れで行えなかったため、「微地形の変化」をモニターで確認し、それを1/5000の森林基本図に転写したので時間がかかり、精度の点でも満足できるものではなかったため、GISソフトを用いて地盤情報システムに直接読み込む必要がある。

謝辞： 本研究は科学研究費補助金基盤研究(B)：研究課題「ローカリティを考慮した新しい土砂災害リスク評価手法の開発と実用化」(研究代表者：陳光斉)の成果の一部である。

表-6 危険度評価結果(微地形有)

		評価		
		崩壊	非崩壊	合計
実際	崩壊	(a) 65	(b) 42	(a+b) 107
	非崩壊	(c) 4867	(d) 14226	(c+d) 19093
合計		(a+c) 4932	(b+d) 14268	(e) 19200

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{危険度評価的中率} = (65 + 14226) / 19200 = 74.4\% \\ \text{崩壊地的中率} = 65 / 107 = 60.7\% \end{array} \right.$$

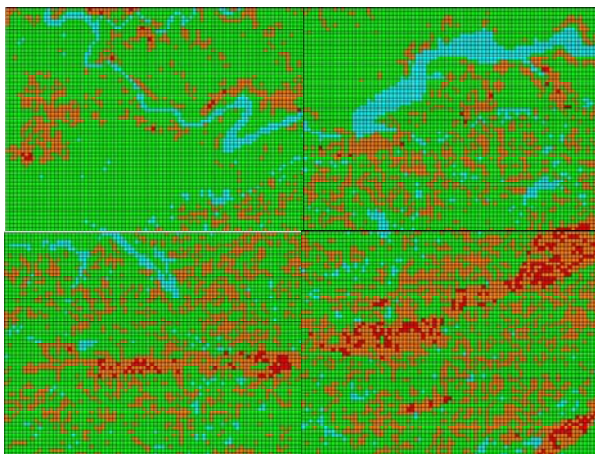
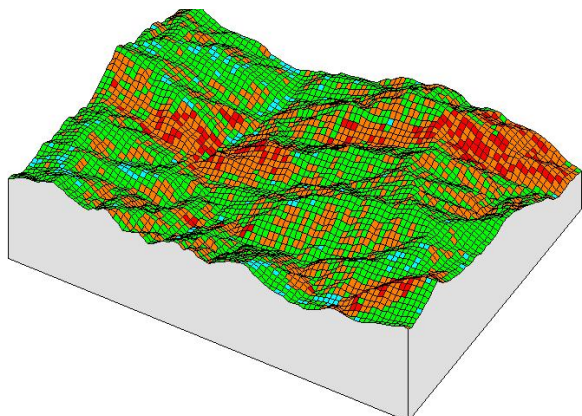
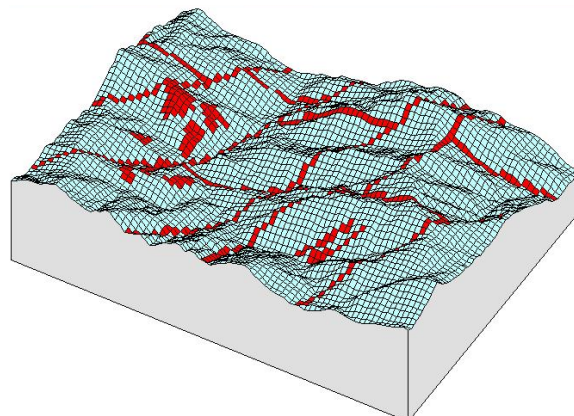


図-6 危険度評価マップ(微地形有)

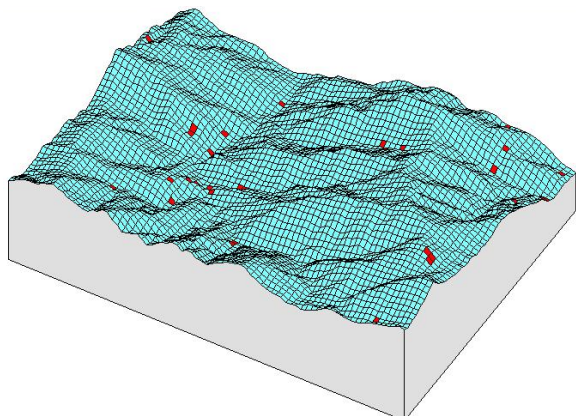
## 付録



付図-1 危険度評価図三次元表示(右下)



付図-3 微地形の変化図三次元表示(右下)



付図-2 斜面崩壊箇所三次元表示(右下)

### 参考文献

- 1) 北園・仲宗根・寺園：地盤情報データベースシステムの作成と斜面崩壊予測への応用, 自然災害科学, 日本自然災害学会, No. 20, Vol. 1, pp75-87, 2001
- 2) 熊本県環境公害部：熊本県環境基本計画環境特性図(宇城・上益城地域), 1995
- 3) 小川・北園・鈴木：斜面の崩壊危険度の評価法, 平成14年度土木学会西部支部発表会講演概要集, 土木学会西部支部, pp. A-450-451, 2003. 3
- 4) 森田裕介・北園芳人：斜面の崩壊危険度の評価, 平成17年度土木学会西部支部発表会講演概要集, 土木学会西部支部, pp. 609-610, 2006. 3
- 5) 藤田・北園・柿原：数値地図を用いた斜面崩壊ハザードマップの精度について, 平成16年度土木学会西部支部発表会講演概要集, 土木学会西部支部, pp. 523-524, 2006. 3

(2008.5.16 受付)