

斜面崩壊危険度評価における 赤色立体地図の利用

USE OF THE RED RELIEF IMAGE MAP IN MAKING RISK ESTIMATION OF THE SLOPE FAILURE

末続 真依¹・北園 芳人²・平川 泰之³・佐藤 秀文¹
Mai SUETSUGU, Yoshito KITAZONO, Yasuyuki HIRAKAWA and Hidefumi SATO

¹ 日本地研株式会社 (〒812-0894 福岡市博多区諸岡5丁目25番25号)

E-mail: suetugu430@chiken.co.jp

² 熊本大学 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)

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

³ アジア航測株式会社 (〒812-0016 福岡市博多区博多駅南3-3-25)

E-mail: ys.hirakawa@ajiko.co.jp

Key Words: slope failure, ground information database, risk estimation, risk evaluation score of slope failure

1. 序論

(1) 研究目的

日本の国土は山地が多く、傾斜が急で険しい地形を多く有している。そのため、集中豪雨や台風によって毎年土砂災害の被害が多発しているという現状がある。九州においても平成24年7月に発生した九州北部豪雨によって、熊本県では甚大な人的・物的被害が発生した。また、阿蘇地域においては平成2年7月にも大規模な土砂災害が発生している。いずれの災害時においても崩壊・土石流が多数発生しており過去の崩壊箇所・近隣箇所の崩壊も多く見られた¹⁾。しかしハード対策として全ての崩壊危険斜面の整備を行うことは困難であるため、併せてハザードマップ等のソフト対策が求められている。

そのような中、これまで熊本大学地盤環境研究室(以下、本研究室)では地盤情報データベースシステムを開発し、斜面の崩壊危険度評価方法の検討に取り組んできた²⁾。崩壊危険度評価は、過去の豪雨災害時の斜面崩壊事例より多変量解析を行い、その結果を基準としてカテゴリ毎の危険度評価点数を設定する方法を用いている。とくに九州北部豪雨発生後、過去の崩壊箇所のデータを危険度評価に活用する方法を検討してきた³⁾。崩壊履歴箇所の抽出には航空写真等を用いて来たが、地被物の影響等で十分に抽出できたとは言えない⁴⁾。そこで本研究

では崩壊履歴をより簡便で詳細に判読するため、地表面標高が得られる航空レーザー測量データ(LPデータ)を利用した赤色立体地図(Red Relief Image Map)⁵⁾を用いて崩壊履歴箇所の抽出を行うことを試みた(図1-1)。その際に危険度評価結果と実際の平成24年の崩壊箇所を比較し、赤色立体地図による崩壊履歴箇所の抽出方法の有用性を検討した。

(2) 研究方法

a) 崩壊履歴箇所の抽出

赤色立体地図を用いて地表面の形状から崩壊履歴箇所の抽出を行った。従来地形判読をする際には、地形図や

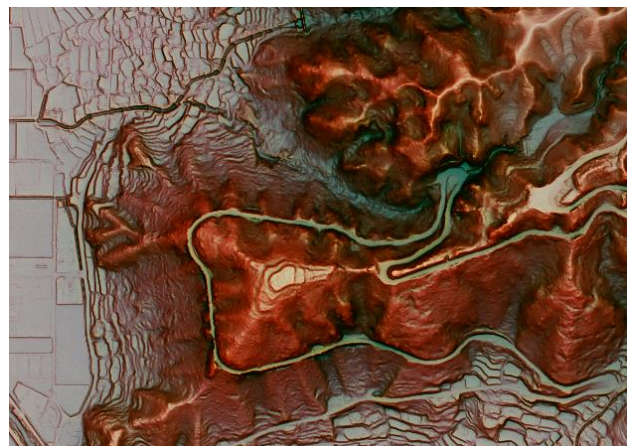


図 1-1 赤色立体地図(東手野地区)

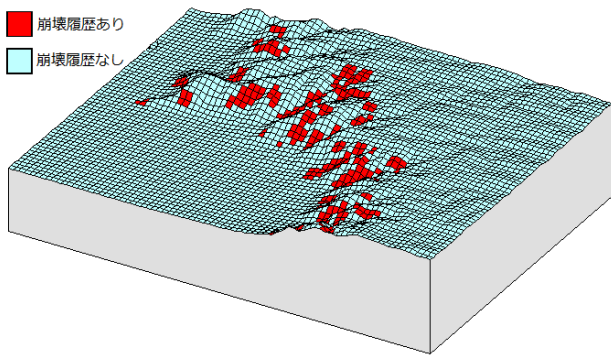


図 1-2 崩壊履歴箇所のデータ

航空写真を用いてきた。しかしこの手法では判読者に経験と技術が要求される。また航空写真では樹木が地表を覆っているため、詳細な地形を判読する事が困難であった。一方、赤色立体地図は数値標高モデルを利用した地形の表現技術である。航空レーザー測量によって得た地表面の座標を用いるため、航空写真では確認できない樹木の下を形状を可視化することができる。そのため、地表面の形状をより正確に得られるので崩壊跡地がより明確に判別できる。

今回は阿蘇カルデラ東斜面地域を例とした。使用したLPデータは、国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所が平成21年度に、熊本河川国道事務所が平成24年度にそれぞれ航空レーザー計測によって取得した1mメッシュ地盤データで、これらから赤色立体地図を作成した。平成21年データにより過去の崩壊箇所を、災害後の平成24年データから平成24年7月の災害による崩壊箇所の抽出を行った。対象地は平成24年7月の災害で多数の崩壊が発生した阿蘇カルデラ東斜面(南北9km×東西4km)とした。赤色立体地図の平成21年データから抽出した「崩壊履歴箇所」を地盤情報システムの表層区分データのその他のアイテム「過去の崩壊・微地形の変化」に50mメッシュ単位で入力した(図1-2)。

b) 斜面の危険度評価

平成24年の実際の崩壊の有無を目的変数に、起伏量・斜面形状・傾斜角・土地利用・表層地質・崩壊履歴・集水面積を説明変数とし、斜面の評価を行った。まず国土地理院基盤地図情報サイト⁶⁾より対象地域の阿蘇市の数値地図10mメッシュ標高データ(緯度・経度を基準としたメッシュデータ)をダウンロードした。この阿蘇市の標高データからX・Y座標に変換して得られた標高を基に、25mメッシュの標高格子点データを求め、起伏量、斜面形状、傾斜角、集水面積のデータを算出した。算出結果の例を図1-3に示す。次に、土地利用データと表層地質データも地盤情報データベースシステムに入力した。土地利用に関しては熊本県環境基本計画環境特性図(1/50,000)⁷⁾、表層地質に関しては阿蘇火山地質図(1/50,000)を用いた⁸⁾。このように7つの説明変数に対して図1-2、

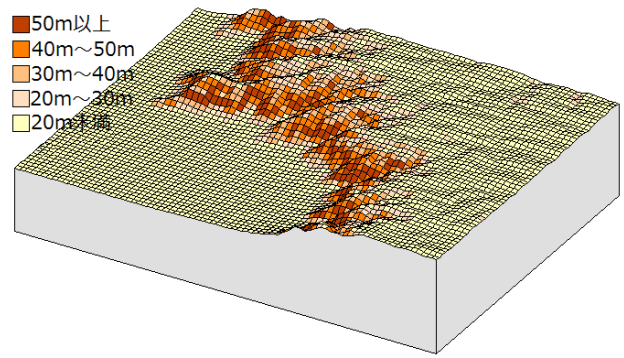


図 1-3 起伏量のデータ

図1-3と同様のメッシュデータを出力する。

(3) 危険度予測システムにおけるアイテムの定義

斜面崩壊の要因として考えられる起伏量、斜面形状、傾斜角、土地利用、表層地質、崩壊履歴、集水面積の7つのアイテムのうち斜面崩壊危険度予測システムでは、起伏量、斜面形状、傾斜角、集水面積の4アイテムはDEM(Digital Elevation Model: 数値地形モデル)により算出される。ここで各メッシュは50m×50mであるが、標高データは25m×25mで求められており、1メッシュに9つの格子点データが存在することになる(図1-4)。

- a) 起伏量
各メッシュにおける25m間隔の9つの格子点データ(図1-4のA~H, O)の最大値と最小値の差のこと。
- b) 斜面形状
メッシュを取り囲む4つの格子点の標高データ(A, C, F, H)の平均値とメッシュの中心の標高データ(O)との差のことで、斜面の凹凸を示している。
- c) 傾斜角
斜面の傾斜角とは、メッシュの隣り合う3つの格子点(例えばABO)で作られる三角形の最急の傾きのこと。その中で最急傾斜角とはメッシュの中心点と、その周辺の8つの格子点とで作られる8つの三角形の中の最大の傾斜角のことをいう。
- d) 集水面積
50mメッシュの中のある1つの格子点に隣接する8

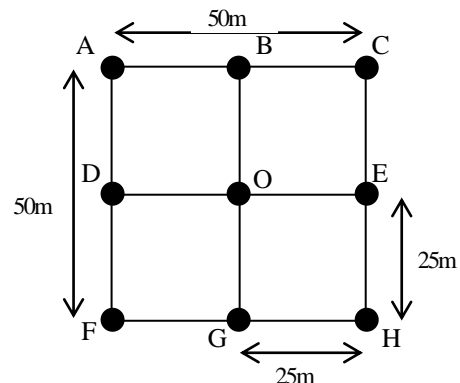


図 1-4 1メッシュの構成

つの格子点のうち下りの最大の勾配を与える方向を水の流れとし求められた水系網に流出係数を考慮し、算出したもの。各メッシュにおける地表水の集まりやすさ(地下浸透流は含まない)を表す。

- e) 土地利用
針葉樹林, 広葉樹林, 荒地, 人工物地など各メッシュの土地利用の種類を示す。
- f) 表層地質
堆積系第四紀, 堆積系第三期, 堆積系中生代, 火山岩系, 深成岩系, 変成岩系, 海・陸水から各メッシュの表層地質の種類を示す。
- g) 崩壊履歴(微地形変化)
断層, リニアメント, 崩壊履歴といった, 航空写真の三次元解析や赤色立体地図の判読によって判明した地形で, 通常地形図から判読できない地形の変化をいう。

2. 斜面崩壊危険度評価

平成24年の実際の崩壊の有無を目的変数とし、起伏量, 斜面形状, 最急傾斜角, 土地利用, 表層地質, 崩壊履歴, 集水面積の7つのアイテムを説明変数として数量化Ⅱ類解析を行い、その結果をもとに危険度評価点数を求めた。

(1) 危険度評価点数の作成

斜面の危険度評価を行うためにまず危険度評価点数を設定する必要がある。対象地域の50mメッシュデータ全メッシュ数14400(南北9km×東西4km)のサンプルに対して数量化Ⅱ類解析を行った。その結果から表2-1のようにカテゴリースコアとレンジを算出した。今回の危険度評価点数の設定の方法は、表2-1の例では最も非崩壊に貢献しているカテゴリー「土地利用：荒地」のスコア-0.29を基準として、その他のカテゴリーとの差(例えば「崩壊履歴：有り」のスコア2.17の場合2.46になる)を四捨五入し整数化するために10倍する(「崩壊履歴：有り」の場合2.46→25→25)。そして最も非崩壊に貢献しているカテゴリー「土地利用：荒地」の危険度評価点数を0点とすると、最も崩壊に貢献している「崩壊履歴：有り」の危険度評価点数は25点になる。

点数が最大となったカテゴリーは「崩壊履歴：有り」で25点となった。2番目に点数が高い「集水面積：5600㎡以上」の項目が14点であるため、「崩壊履歴：有り」のカテゴリーが群を抜いて高い点数となった。この結果から、崩壊履歴が実際の崩壊に大きな影響を与えていることが分かる。

また、アイテムレンジは各アイテム内のカテゴリー間のスコアの最大値, 最小値の差のことをいう。カテゴリースコアのレンジは各アイテムの目的変数の判別への貢

表 2-1 危険度評価点数

アイテム	カテゴリ	スコア	点数	レンジ
起伏量 (m)	50m以上	0.49	8	0.61 (3位)
	40m~50m	0.25	5	
	30m~40m	0.2	5	
	20m~30m	0.28	6	
	20m未満	-0.12	2	
斜面形状 (m)	6m以上	0.02	3	0.18 (6位)
	2m~6m	-0.03	3	
	-2m~2m	0.05	3	
	-6m~-2m	-0.13	2	
	-6m未満	-0.05	2	
傾斜角 (°)	50°以上	0.07	4	0.08 (7位)
	40°~49°	0.03	3	
	30°~39°	-0.01	3	
	30°未満	-0.01	3	
土地利用	田	-0.02	3	0.51 (4位)
	畑, 牧草地	-0.11	2	
	針葉樹林	0.19	5	
	広葉樹林	0.22	5	
	荒地	-0.29	0	
	人工物地	0.04	3	
表層地質	堆積系第4紀	-0.04	3	0.30 (5位)
	堆積系第3紀	0.26	6	
	火山岩系	0.12	4	
崩壊履歴	無し	-0.11	2	2.28 (1位)
	有り	2.17	25	
集水面積 (㎡)	5600㎡以上	1.06	14	1.28 (2位)
	4600~5599	0.39	7	
	3600~4599	0.06	4	
	2600~3599	-0.15	1	
	2599以下	-0.22	1	

献度のことで、貢献度が最も高いものは崩壊履歴である。2番目に集水面積が高い値となった。逆に貢献度が最も低いアイテムは傾斜角である。しかし一般的には傾斜角の大きさは崩壊に大きく影響を与える。本研究では、とくに傾斜角35°前後で表層崩壊が起きやすいこと⁹⁾を考慮し、傾斜角のカテゴリーの分類を見直したが、アイテムレンジも危険度評価点数もほとんど向上しなかった。阿蘇カルデラの特殊地形として、カルデラ内壁は火砕流堆積物層からなる急崖とその下の崖錐堆積物が連なっており、急崖の上部は表層崩壊を起こしやすい風化した火山灰土層が堆積している。そのため、ほとんど同じ傾斜角の崩壊地と非崩壊地が多く、傾斜角の貢献度が低くなったものと考えられる。

(2) 危険度評価結果

まず、表2-1の点数を斜面崩壊危険度予測システムに入力する。次に危険度評価は、各サンプル毎に表2-1の各アイテムが該当するカテゴリー一点数の合計点を算出する。各アイテムの最高点を合計したもの(表2-1では65点)から最小値を合計したもの(13点)までを5分割し、今回は危険度大(65-56)、やや大(55-44)、中(43-34)、やや小(33-23)、小(22-13)の5段階で評価した。そして、危険度大、やや大、中を危険と評価し、危険度やや小、小を危

険なしと評価した結果、表 2-2 の結果が得られた。表 2-2 の評価結果から中山洋の研究¹⁰を参考に次式よりの中率を求めた。

$$\text{危険度評価的中率(\%)} = \frac{a+d}{e} \times 100$$

$$\text{崩壊地的中率(\%)} = \frac{a}{a+b} \times 100$$

- a: 崩壊に的中したサンプル数
- b: 崩壊に的中しなかったサンプル数
- c: 非崩壊に的中しなかったサンプル数
- d: 非崩壊に的中したサンプル数
- e: 全サンプル数

危険度評価結果データを危険度(5段階)として出力しの中率を求める。その評価結果を表2-2に示す。上記の方法よりの中率を算出すると、以下の結果となった。

- ・危険度評価の中率=92.1%
- ・崩壊地的中率=53.9%

危険度評価の中率は92.1%と高い数値となった。これは全メッシュに対して非崩壊かつ危険なしのメッシュ数が圧倒的に多いことに起因する。一方で崩壊地的中率は53.9%となった。これは実際に崩壊した箇所約半数を

表 2-2 総メッシュの的中数

		評価		合計
		危険	危険なし	
平成24年	崩壊	436(a)	373(b)	809
	非崩壊	701(c)	12890(d)	13591
合計		1137	13263	14400(e)

危険であると評価したことであるが、十分な結果であるとはいえなかった。

3. 的中率向上のための検討

(1) 近隣箇所の崩壊

赤色立体地図を用いて危険度評価を行ったが満足出来る崩壊地的中率を得ることが出来なかった。赤色立体地図を用いて崩壊履歴箇所を抽出したが、図3-1に見られるように平成24年の崩壊箇所と比較すると崩壊履歴箇所の周辺に新たに崩壊が発生していることが分かった。また災害後の現地調査を行った際にも、図3-2に見られるように過去の斜面崩壊箇所の拡大や近隣の崩壊が多く見られた。図3-1と図3-2の符号と数字は同一箇所を示している。(但し図3-1は図3-2の撮影範囲外の箇所を含む。)平成24年九州北部豪雨において阿蘇地域では崖錐堆積箇所の崩壊や、溪流に沿って過去の崩壊地の近隣が崩壊している箇所も確認出来た。そこで、崩壊履歴箇所の周囲は崩壊跡地地盤が崩落したことで不安定な地形状況にあると考え、近隣箇所も崩壊履歴データとして入力することを検討した。

(2) 崩壊履歴データの拡大

過去に崩壊した斜面の近隣が多く崩壊している点を考慮して、赤色立体地図を用いて判読した結果を斜面崩壊危険度予測システムに入力する際に、今回は崩壊履歴箇所の隣接したメッシュ(50m×50m)も崩壊危険ゾーンと見なして1メッシュ分広く「崩壊履歴有り」のカテゴリ

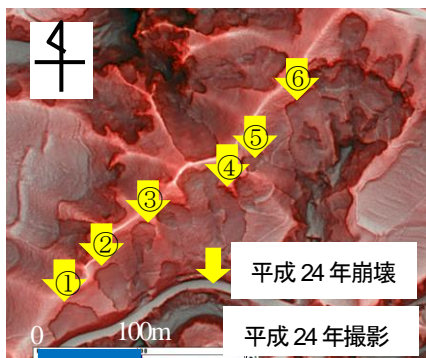
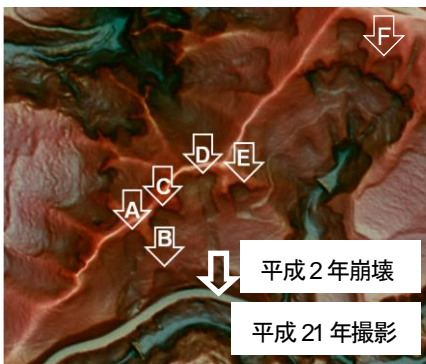


図 3-1 箱石峠地区の赤色立体地図

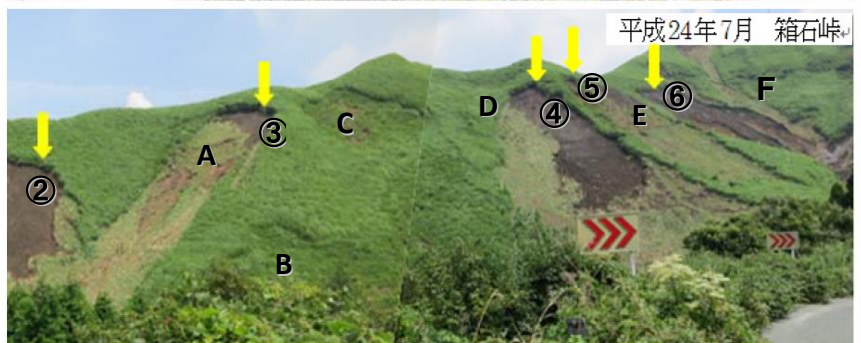
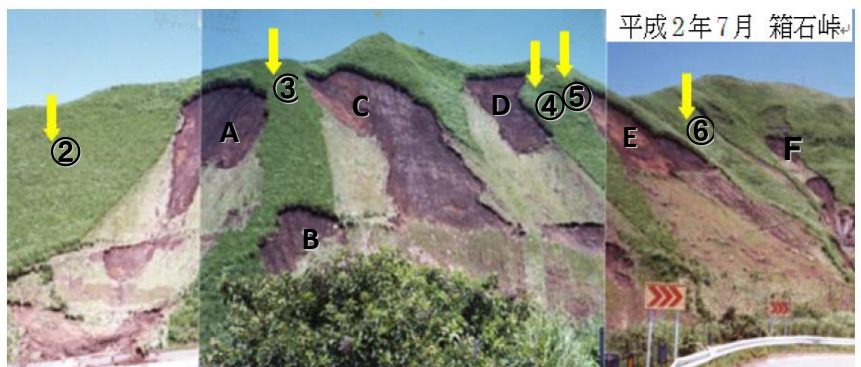


図 3-2 表層崩壊箇所写真(箱石峠)

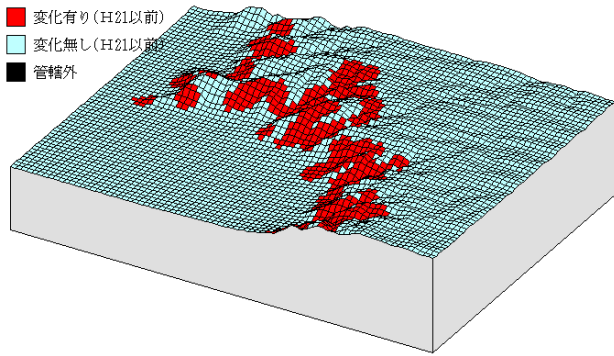


図 3-3 崩壊履歴箇所データの拡大後

一として入力した(図3-3).

(3) 危険度評価

範囲を広げた崩壊危険ゾーン(崩壊履歴有り)データを用いて、新たな危険度評価点数を設定した(表3-1)。まず数量化Ⅱ類解析を行ったところ、目的変数への貢献度が最大である項目が崩壊履歴であるという結果は変化しなかった。しかし崩壊履歴範囲を拡大したことで、レンジの値は2.28から1.78と低くなった。崩壊履歴以外のアイテムでは、斜面形状と表層地質の順位が入れ替わった。また、カテゴリースコアが最も低いものは変わらず「土地利用：荒地」であるため、危険度評価点数を0点として他のカテゴリーの点数を設定する。その結果、最も点数が高いカテゴリーも前回の解析結果と変わらず「崩壊履歴：有り」のカテゴリーとなった。しかし前回の危険度評価点数の設定においては「崩壊履歴：有り」は25点であったが、今回は19点となった。この新たに設定した危険度評価点数を用いて、再び危険度評価を行った。

再び斜面崩壊危険度予測システムに新たな危険度評価点数を入力し、危険度評価の結果を算出した。危険度大、やや大、中を危険とし、危険度やや小、小を危険なしとする(表3-2)。その結果、危険箇所のメッシュ範囲が広がった(図3-4)。これは「崩壊履歴：有り」の範囲を崩壊危険ゾーンとして広げたことで、前回危険であると評価されたメッシュの周囲の危険度が増したためである。この結果からも、崩壊履歴はアイテムの中でも斜面の危険度に大きく影響することが分かる。

この危険度評価結果データを再び出力し、的中率を求めた。上記の求め方による的中率を算出すると、的中率は以下のように算出された。

- ・危険度評価的中率=89.4%
- ・崩壊地的中率=70.7%

崩壊危険ゾーンを設定したことで、危険度評価的中率はやや下がったが崩壊地的中率は大きく向上した。これは危険ありと評価したメッシュが増えたことで実際に平成24年に崩壊した箇所(図3-5)の7割を危険ありと評価できたということである。その分平成24年に崩壊していな

表 3-1 危険度評価点数

アイテム	カテゴリ	スコア	点数	レンジ
起伏量 (m)	50m以上	0.33	6	0.42 (4位)
	40m~50m	0.15	4	
	30m~40m	0.15	4	
	20m~30m	0.23	5	
	20m未満	-0.09	2	
斜面形状 (m)	6m以上	-0.02	2	0.19 (5位)
	2m~6m	-0.02	2	
	-2m~2m	0.06	3	
	-6m~-2m	-0.13	1	
	-6m未満	-0.04	2	
傾斜角 (°)	50°以上	0.05	3	0.08 (7位)
	40°~49°	-0.01	3	
	30°~39°	-0.03	2	
	30°未満	0	3	
土地利用	田	0	3	0.44 (3位)
	畑、牧草地	-0.09	2	
	針葉樹林	0.18	4	
	広葉樹林	0.14	4	
	荒地	-0.26	0	
表層地質	堆積系第4紀	-0.02	2	0.13 (6位)
	堆積系第3紀	0.11	4	
	火山岩系	0.05	3	
崩壊履歴	無し	-0.19	1	1.78 (1位)
	有り	1.59	19	
集水面積 (m ²)	5600m ² 以上	1.06	13	1.26 (2位)
	4600~5599	0.41	7	
	3600~4599	0.06	3	
	2600~3599	-0.2	1	
	2599以下	-0.2	1	

表 3-2 危険度

危険度	危険度評価点数
大	44~52
やや大	35~43
中	27~34
やや小	18~26
小	9~17

表 3-3 総メッシュの的中率

		評価		合計
		危険	危険なし	
平成24年	崩壊	542(a)	267(b)	809
	非崩壊	1285(c)	12306(d)	13591
合計		1827	12573	14400(e)

いが「危険あり」と評価したメッシュも増えたため危険度評価的中率はやや低下したが、9割近くの的中率を維持した。このことから、今回の対象地域においては崩壊危険ゾーンを設定したことで評価の精度は向上したといえる。図3-3の危険度評価結果からも分かるように、崩壊危険ゾーンを考慮することで崩壊の危険ありと評価される斜面が増えた。そのため平成24年の崩壊跡地は表層地盤が崩落したため、すぐに再び崩壊することはないが崩壊地周辺は同じような表層地質や地形であり今後も崩壊の危険があると言える。

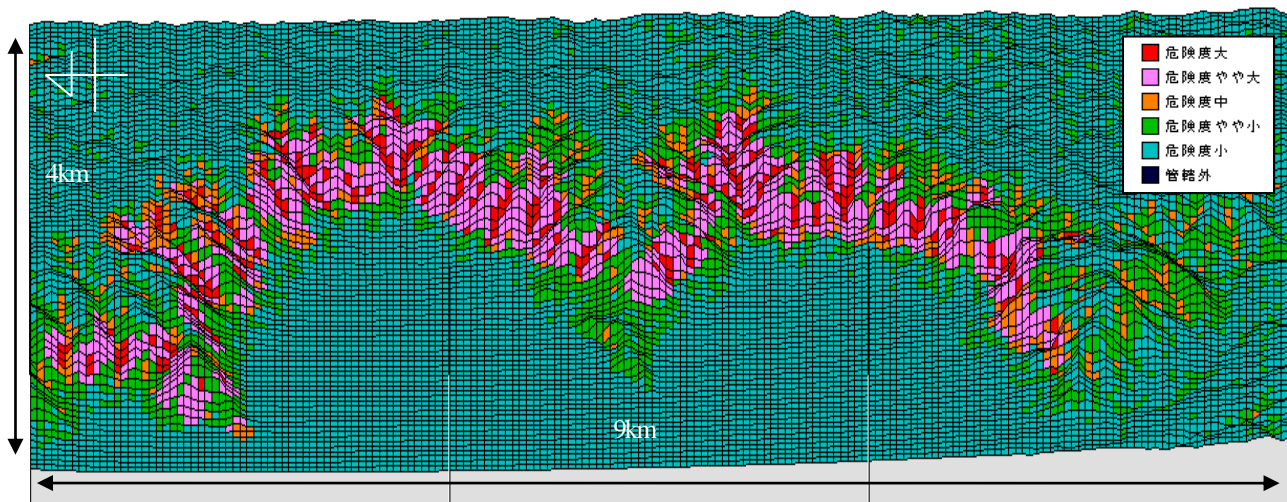


図 3-4 危険度評価結果(東西 4km×南北 9km)

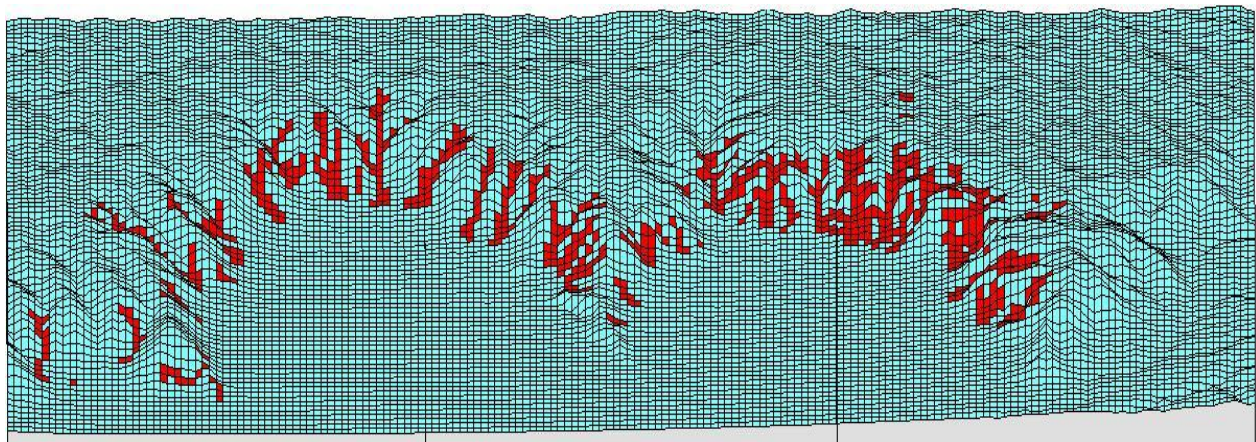


図 3-5 実際の崩壊(東西 4km×南北 9km)

4. 結論

本研究の斜面崩壊危険度評価について以下にまとめる。

- a) 本研究で崩壊履歴箇所抽出に利用した赤色立体地図は地形を分かりやすく立体的に表現できる方法であり、地被物を除去した地表面の形状が把握でき判読者に依存せず高精度の微地形判読が容易になった。
- b) 数量化Ⅱ類の結果から危険度評価点数を設定した結果、崩壊履歴が最も実際の崩壊に影響を与えていることが分かった。
- c) 崩壊危険ゾーンを設定し危険度評価を行った結果、危険度評価の中率は89.4%、崩壊地的中率は70.7%となった。

参考文献

- 1) 熊本県阿蘇地域振興局土木部：7.12 熊本広域大水害の土砂災害被害報告書，1962.
- 2) 北園芳人，仲宗根典子，寺園忠彦：地盤情報データベースの作成と斜面崩壊予測への応用，自然災害科学 20-1，pp.75-87，2001.
- 3) 野田光星：豪雨災害地調査と斜面の危険度評価，平成 24 年度熊本大学工学部社会環境工学科卒業論文，pp.9-10，2013.
- 4) 北園芳人，井上敦裕：斜面崩壊の素因に注目した斜面の危険度評価，第 4 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.97-102，2008.
- 5) 千葉達朗，鈴木雄介：赤色立体地図・新しい地形表現手法，応用測量論文集，No.15，pp.81-89，2004.
- 6) 国土地理院基盤情報地図サイト：
<http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 7) 熊本県環境公害部：熊本県環境基本特性図，1993.
- 8) 小野晃司，渡辺一徳：阿蘇火山地質図，地質調査所，1985.
- 9) 高橋，大八木，大滝，安江：斜面災害の予知と防災，白亜書房，pp.101-102，1953.
- 10) 中山洋：環境地盤情報データベース構築とその利用に関する研究，pp.41-43，1990.