

## 第 章 地震時の斜面崩壊率評価の検討

本章では、評価対象とする日本全国の急傾斜面を 10mDEM データから GIS の地形解析により斜面クラスターデータとして作成し、このデータと既往地震による崩壊実績データに基づき、地震動により斜面崩壊が発生する確率（崩壊率）を算出するための手法の検討を行い、素因および誘因を考慮したマトリクス（崩壊面積率テーブル）を作成した。

以下の順でその検討内容について述べる。

- 1．利用データについて
- 2．地震時の斜面崩壊による被害事例の調査
- 3．既往の評価手法の調査
- 4．斜面クラスターデータの作成
- 5．地震動による斜面崩壊率評価モデルの構築

## 1. 利用データについて

前述の通り、本研究では、全国を一律の精度で評価するため、全国を網羅した地理空間情報データ（以下、GIS データ）を活用する必要がある。評価に必要な GIS データとしてはまず、標高データがあげられる。その他、崩壊率に影響する地形地質状況を把握するため、地形区分（土地条件）や地質区分のデータが必要である。これら主な GIS データについて、活用可能なデータを比較検討し、利用データを選定した。

### 1-1. 標高データ

全国を対象として効率的に傾斜等の地形量演算を行うためには、標高値をデジタルデータ化した数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）を利用することも合理的である。

一般に入手可能な DEM（表 -1 参照）の中で最も高密度なものは国土地理院により整備されている 5m メッシュ（標高）であるが、都市計画区域に限られている。全国整備されている中で、最も高密度なものは基盤地図情報の 10m メッシュ（標高）である。よって、このデータを利用することとした。この標高データは、全国の 2 万 5 千分 1 地形図の等高線データ等を基に不規則三角網（triangulated irregular network, TIN）を作成して、地表緯度経度ともに 0.4 秒（約 10m）間隔で区切った方眼（メッシュ）中心点の標高を求めたものである。標高値は 0.1m 単位となっているが、1m 単位で求めたものが有効値であり、小数点以下については参考値として格納されている。

表 -1 入手可能な DEM の一覧

名称	発行元	メッシュサイズ	元データ	全国
数値地図 5m メッシュ(標高) 基盤地図情報(数値標高モデル)	国土地理院	5m	航空レーザ計測データ, 写真測量	×
数値地図 10m メッシュ(火山標高) 基盤地図情報(数値標高モデル)	国土地理院	10m	1/5 千・1/1 万火山基本図	×
<b>10m メッシュ(標高) 基盤地図情報(数値標高モデル)</b>	<b>国土地理院</b>	<b>10m</b>	<b>1/2.5 万地形図</b>	
数値地図 50m メッシュ(標高)	国土地理院	50m	1/2.5 万地形図	
数値地図 250m メッシュ(標高)	国土地理院	250m	1/2.5 万地形図	
国土数値情報 標高・傾斜度 3 次メッシュデータ	国土交通省	1km	1/2.5 万地形図	
GISMAP Terrain	北海道地図(株)	10m	1/2.5 万地形図	
航空レーザ測量アーカイブデータ	航測各社	1~2m	航空レーザ計測データ	×
SRTM-1	NASA(USGS)	30m	スペースシャトルデータ	
SRTM-3	NASA(USGS)	90m		
ASTER-GDEM	NASA(ERSDAC)	30m	人工衛星搭載センサ「ASTER」	

## 1 - 2 . 地形分類データ

全国的に公表されている地形区分図としては表 -2 のようなものが代表的である .

全国で整備されている GIS データの中で ,20 万分の 1 土地分類基本調査と国土数値情報の土地分類メッシュのデータは , 山地が大起伏・中起伏・小起伏と細かい区分に分けられている .

全国で整備されており , ポリゴンデータとして面的に分布が分かる ,20 万分の 1 土地分類基本調査のデータを使用することとした .

表 -2 入手可能な地形分類データの一覧

名称	発行元	縮尺・メッシュサイズ*	全国	GIS データ化
土地条件図	国土地理院	2 万 5 千分の 1	×	(ポリゴン)
		20 万分の 1		×
5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査	国土交通省	5 万分の 1	×	×
<b>20 万分の 1 土地分類基本調査</b>	国土交通省	<b>20 万分の 1</b>		<b>(ポリゴン)</b>
50 万分の 1 土地分類基本調査	国土交通省	50 万分の 1		(ポリゴン)
国土数値情報 土地分類メッシュ	国土交通省	約 1km メッシュ		(メッシュ)
日本の地形・地盤デジタルマップ	東京大学出版会*1	約 1km メッシュ		(メッシュ)
地形・地盤分類 250m メッシュマップ (7.5-second JEGM)	(独)防災科学技術研究所	250m メッシュ		(メッシュ)

\*1 : 若松ほか (2005)

### 1 - 3 . 地質データ

地質に関する代表的なデジタルデータの一覧を表 -3 に示す .

このうち , 50 万分の 1 表層地質図と日本の地形・地盤デジタルマップはかなり粗い区分であり , 20 万分の 1 数値地質図と 20 万分の 1 表層地質図は逆に , 各層まで分類された細かい区分となっている .

20 万分の 1 シームレス地質図は , 地質時代と岩石区分のマトリックスで区分されているが , 堆積岩は 1 つの区分となっている .

本研究において地質データを用いる目的としては , 地質の違いによる地盤分類を行うことが主であるため , 堆積岩の種別が区分されており , 全国で区分が統一されている , 国土数値情報の土地分類メッシュ ( 表層地質 ) を利用することとした .

表 -3 全国を網羅する地質データの一覧

名称	縮尺	地質区分	備考	発行元
20 万分の 1 数値地質図	20 万分の 1 (ポリゴン)	地層名まで		産業技術総合研究所
20 万分の 1 シームレス地質図	20 万分の 1 (ポリゴン)	時代と地質区分により大分類	泥・砂・礫岩の別は不明	産業技術総合研究所
表層地質図 (土地分類調査)	20 万分の 1 (ポリゴン)	500 近い区分に細かく分類		旧国土庁
	50 万分の 1 (ポリゴン)	18 区分に大分類	泥・砂・礫岩の別は不明	旧国土庁
国土数値情報 土地分類メッシュ	1km メッシュ	81 の岩石区分		国土交通省
日本の地形・地盤 デジタルマップ	1km メッシュ	第四系完新統・更新統・火山岩類 , 第三系 , 先第三系に区分	泥・砂・礫岩の別は不明	東京大学出版会

#### 1 - 4 . 崩壊地実績データ

全対象範囲に対する実績崩壊面積の比率を面的に求めることを目的として、地震発生後に撮影された空中写真判読により崩壊地分布が面的に把握できる下記のモデル4地震を選定している。

表 -4 に崩壊地分布データの諸元を示す。調査範囲は、空中写真の撮影範囲に限定されている。

表 -4 対象としたモデル4地震の崩壊地分布データの諸元

No.	名称	発生年月日	解析範囲面積 [km <sup>2</sup> ]	解析範囲内崩壊面積 [km <sup>2</sup> ]	崩壊ポリゴン数	出典
1	兵庫県南部地震	1995/01/17	157.99	0.425	2,281	国土交通省 六甲砂防事務所
2	鳥取県西部地震	2000/10/06	784.16	0.940	705	(独)土木研究所 火山・土石流チーム
3	新潟県中越地震	2004/10/23	79.10	2.601	2,392	(独)土木研究所 地質チーム
4	岩手・宮城内陸地震	2008/06/14	726.69	8.228	3,304	アジア航測株式会社

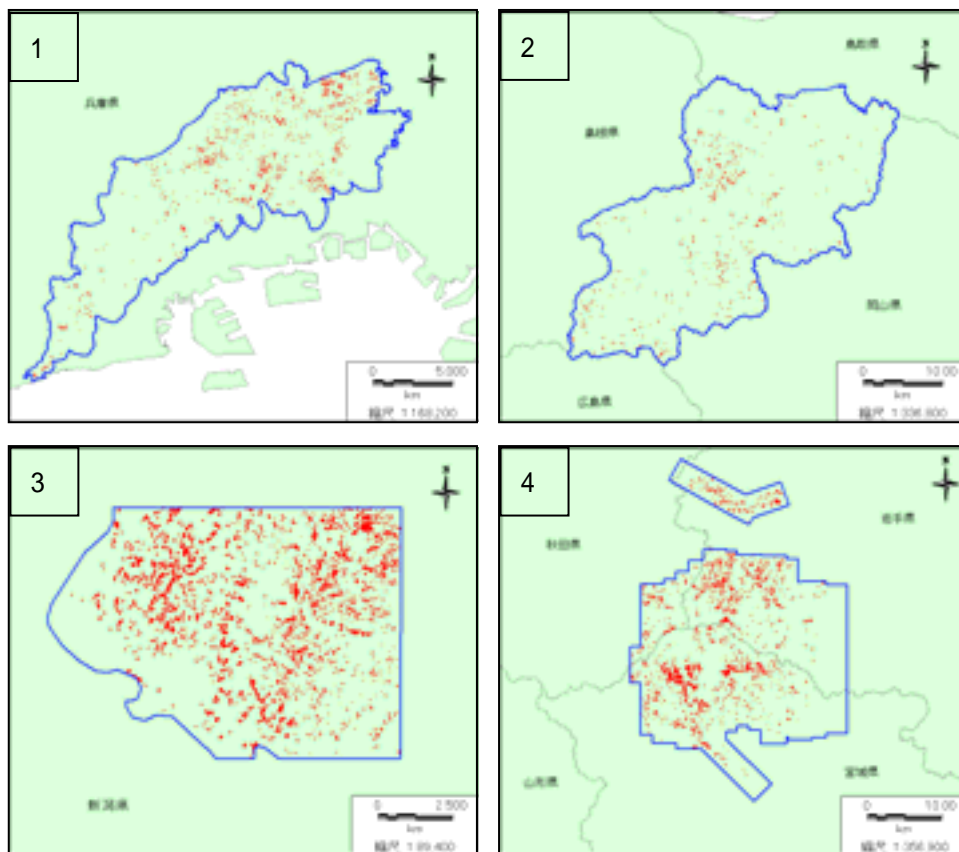


図 -1 対象としたモデル4地震の崩壊地分布データ

## 2. 地震時の斜面崩壊による被害事例の調査

過去の地震による斜面崩壊事例について、崩壊の位置や地震動の分布が取得できる資料を収集し、崩壊件数やその分布、家屋被害の状況などを整理した。ただし、被害事例として整理されているものは多くないため、本研究で対象とする4地震のみとした。

調査対象とする地震は、地震動の分布等に関する情報が整備されてきた過去15年程度に日本国内で発生したものとした。

土砂災害の発生と被害の状況を把握するための資料としては、次のようなものが考えられる。

災害実態調査報告

土砂災害危険箇所等の緊急点検結果報告

国土交通省や自治体の公表資料

過去の地震における崩壊地の空中写真判読図

このうち、災害実態調査報告は、地震による被害が発生した際、都道府県から国土交通省に提出されるもので、家屋の被害を把握する上で最も詳細な資料である。しかし、一般では入手が困難である。

次に の資料は、基本的に既存の急傾斜地崩壊危険箇所を対象としており、点検の結果、その総数が一般に示されるのみで、被害の詳細な情報まで把握できる地震は少ない。

は、大きな地震については、国土交通省砂防部や国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所、各都道府県等で、地震毎に資料が整理されている。よって、主に の資料に基づいて、地震に伴う崩壊とその被害についてとりまとめた。

については、面的な崩壊分布がGISデータとして把握でき、地質の異なる代表的な地震を前項の表 -4 の通り選定した。この4地震について、崩壊率評価モデルの構築、および検証のためのモデル地区とすることとした。

土砂災害の発生した地震について、表 -5 のとおり整理した。

2004 年以前の地震については、自治体における災害報告、学会や大学、研究機関の調査研究報告等を収集・整理し、土砂災害の発生した地震について、被害状況を取りまとめた。しかし土砂災害の種別による区分がない場合が多く、また記載は資料により異なるため、資料表記のとりの記載とした。2004 年以降の災害については、国土交通省河川局砂防部のホームページにおいて、被害の概況がとりまとめられており、土砂災害の種別（土石流、地すべり、がけ崩れ）による発生件数の内訳が示されている。その中で、2004 年新潟県中越地震における斜面崩壊は多く、地すべりによる被害は 131 件、がけ崩れによる被害は 90 件であった。

地震時の土砂災害による被害データとしては、自治体の被害統計が主であるが、被害の集計では家屋被害（全壊・半壊・一部損壊）に含まれ、地震の揺れや火災等による被害と区別されていないものが大半である。

表 -5 土砂災害の発生した地震の一覧

地震名	発生年月日	規模M	最大震度	土砂災害
宮城県沖地震	1978/06/12	7.4	5	崩壊
日本海中部地震	1983/05/26	7.7	5	がけ崩れ
千葉県東方沖	1987/12/17	6.7	5	がけ崩れ
北海道南西沖地震	1993/07/12	7.8	5	がけ崩れ多数
北海道東方沖	1994/10/04	8.1	5	土砂災害あり
平成7年(1995年)兵庫県南部地震	1995/01/17	7.3	7	崩壊等多数
伊豆半島東方沖	1997/03/03	5.5	5弱	崖崩れなど
鹿児島県薩摩地方	1997/03/26	6.6	5強	斜面崩壊等
鹿児島県薩摩地方	1997/05/13	6.4	6弱	斜面崩壊等
新島・神津島近海	2000/07/01	6.5	6弱	崩壊多数
新島・神津島近海	2000/07/15	6.3	6弱	崩壊多数
三宅島近海	2000/07/30	6.5	6弱	土石流2, 地すべり3, がけ崩れ37件
平成12年(2000年)鳥取県西部地震	2000/10/06	7.3	6強	土石流等2, 地すべり3, がけ崩れ22件
平成13年(2001年)芸予地震	2001/03/24	6.7	6弱	地すべり1, がけ崩れ52件
宮城県沖の地震	2003/05/26	7.1	6弱	地すべり, がけ崩れ
宮城県北部	2003/07/26	6.4	6強	がけ崩れ
平成15年(2003年)十勝沖地震	2003/09/26	8.0	6弱	がけ崩れ
平成16年(2004年)新潟県中越地震	2004/10/23	6.8	7	土石流4, 地すべり131, がけ崩れ90件
福岡県西方沖を震源とする地震	2005/03/20	7.0	6弱	がけ崩れ22件
福岡県西方沖を震源とする地震	2005/04/20	5.8	5強	がけ崩れ6件
平成19年(2007年)能登半島地震	2007/03/25	6.9	6強	がけ崩れ44, 地すべり65件
三重県中部を震源とする地震	2007/04/15	5.4	5強	がけ崩れ2件
平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	2007/07/16	6.8	6強	がけ崩れ64, 地すべり29件ほか
平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震	2008/06/14	7.2	6強	土石流29, 地すべり4, がけ崩れ15件
駿河湾を震源とする地震	2009/08/11	6.5	6弱	高速道路でがけ崩れ等33件
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震	2011/03/11	9.0	7	土石流13, 地すべり29, がけ崩れ97件

### 3 . 既往の評価手法の調査

建築，土木，防災等関連分野の参考文献・論文等を収集し，既往研究における手法について整理した．また，中央防災会議の資料や各自治体（都道府県）の地震被害想定結果等を収集し，地震時の斜面崩壊危険度の評価手法について整理した．

#### 3 - 1 . 既往研究における手法の整理・比較

建築，土木，防災等関連分野の参考文献・論文等を収集し，既往研究における手法について整理した結果，広域を対象に地震を誘因とする崩壊危険度評価を行う場合の手法は大きく，過去に起きた崩壊例に基づく統計的手法（統計的手法），斜面安定解析や FEM 解析等の数値計算による手法（工学的的手法），その他（ファジィ理論，AHP 法などのエキスパートシステム等），に分けられることが判った．中央防災会議や各自治体で行われている手法は，に含めることができる．

このうち，のエキスパートシステム等は，研究途上でもあり，全国への応用は難しいと考えられることから，の統計的手法およびの工学的的手法について，手法の長所・短所を整理した（表 -6）．従来，広域かつ均質なデータが容易に入手でき，計算式も比較的簡便であるために統計的手法が多く用いられてきたが，コンピュータ技術の発達により，工学的手法の研究も多く取り上げられつつある．

表 -6 評価手法の比較

評価手法	長 所	短 所
統計的手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数値以外の定性的なデータ（地形区分や断層の有無など）を考慮することができる．</li> <li>・パラメータに用いるデータの入手が比較的容易．</li> <li>・計算式が比較的簡便</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・評価精度を向上させるために多くの詳細な斜面崩壊履歴情報を要する．</li> <li>・定性的な評価結果を得る手法が多い．</li> </ul>
工学的手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・崩壊履歴がなくても危険度の大小を評価することができる．</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数値以外のデータを数値に置き換えて評価する必要がある．</li> <li>・パラメータとして，地盤物性値等を必要とする．</li> <li>・精度の良い解析（FEM 解析等）では時間と手間を要する．</li> </ul>

収集した評価事例より，全国への適用性，DEM の活用性，適用事例の多さなどから上記の代表例として次の3手法を選定し，モデル地震による試行計算により手法の検討を行った．このうち，中央防災会議の手法は急傾斜地崩壊危険箇所に関わり斜面クラスターを，内田らと秦らの手法は DEM のメッシュ（内田らは 10m，秦らは 15m 間隔）を評価単位とした．



急傾斜地崩壊危険箇所カルテを用いた斜面危険度予測（中央防災会議の手法）  
 個別の急傾斜地に対して現地調査により得られたデータを利用して危険度の評価  
 を行う，多くの自治体で利用されている一般的な手法．

DEM を利用した面的評価手法（内田ら，2004）

内田らは，地形など一般的に入手可能なデータを用い，山腹斜面の地震時崩壊危  
 険度を評価する実務的な手法を開発することを目的として，1995 年兵庫県南部地震  
 における六甲山系流域での崩壊事例をもとに，斜面崩壊危険度判定手法の構築を試  
 みている．最大速度と最大加速度を比較した結果，最大加速度の方が崩壊発生率と  
 の相関関係が高いことから，最大加速度を誘因の指標に用いている．複数の地震に  
 対して事例解析を行っており，被引用も多い．

DEM を利用した静的安定解析手法（秦ら，2007）

15mDEM データ（ASTER DEM）や地質に関する平面分布データ等を活用し，強震動  
 予測手法ならびに斜面崩壊に関する安全率算定式を用いた広域における斜面安定性  
 の相対的な評価を行っている．物理的手法の中では，DEM を用いて比較的容易に広  
 域の解析が可能である．

これら 3 手法については，メッシュ単位の評価および斜面クラスター単位の評価を  
 試行し，適用性について検討した．

3 手法において，用いるパラメータ等を比較した（表 -7）．地形要素として考慮  
 すべき項目は，いずれの手法も DEM を用いた地形解析により推定可能である．秦ら  
 (2007)の手法と内田ら(2004)の手法は，メッシュ単位の評価方法であり，中央防災会  
 議の手法は斜面単位の評価方法である．

表 -7 3 手法の比較検討

	中央防災会議の手法	内田ら(2004)の手法	秦ら(2007)の手法
指標値	基準要素点	判別得点	安全率 $F_s$
手法	統計的手法	統計的手法	物理的手法
評価単位	斜面	メッシュ	メッシュ
地形要素	勾配，比高	勾配，平均曲率	勾配
地質要素	地盤区分（3 区分）	-	地盤物性値（3 区分）
土層厚	勾配により 2 区分	-	一律値（変更可能）
地震動要素	震度	最大加速度	最大加速度

内田ら(2004)の手法に関しては，算出する値（判別得点）のレンジのばらつきが他  
 の 2 手法と比較して大きいため，評価には適当でないと判断した．また，秦ら(2007)  
 の手法に関しては，無限長斜面の安定計算をメッシュに展開しているため，安定解析  
 式を斜面ポリゴンに当てはめることで斜面クラスター単位の評価として適用すること

の可能性を考え検討したが、メッシュ単位の計算手法を斜面クラスター単位に適用する際にパラメータの設定などに困難が生じるため、評価には適当でないと判断した。

本研究では、最終的には全国を評価するための計算量を考慮して中央防災会議の手法を参考とした評価モデルの構築を検討することとした。

### 3 - 2 . 国や自治体の地震被害想定調査

中央防災会議の資料や、各自治体（都道府県）の地域防災計画、地震被害想定結果等を収集し、斜面崩壊危険度の被害想定手法について整理した。

対象とした自治体は、中央防災会議における被害想定で参考とされている6都県（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、静岡県、長野県）のほか、実績として崩壊地が面的に把握されている4地震（兵庫県南部地震、鳥取県西部地震、新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震）の主な被災都道府県（岩手県、宮城県、新潟県、兵庫県）とした。

#### （1）中央防災会議における被害想定手法

急傾斜地崩壊危険箇所の調査データを基に、急傾斜地崩壊危険箇所内の人家に対して、「急傾斜地地震災害対策危険度判定基準」及び「震度による危険度ランク判定基準」を用いて、危険度ランクを3区分（A：危険度が高い、B：危険度がやや高い、C：危険度が低い）に分類し、ランクに応じた崩壊確率を設定している。建物の被害率は、1978年宮城県沖地震と1978年伊豆大島近海地震の被害実態に基づき設定した震度別全壊率を乗じ、対策工の有無を考慮している。以下に、本手法の概要を示す。

なお、本手法は、中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」、「東南海・南海地震等に関する専門調査会」、「東海地震に関する専門調査会」における被害想定に採用されている。

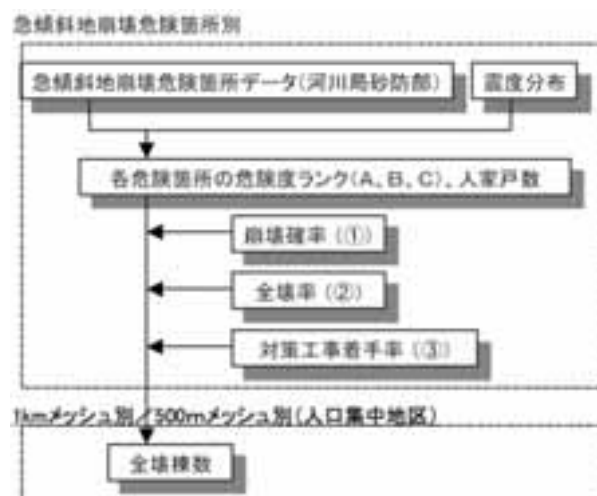


図 -2 中央防災会議における被害想定手法

(中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会(第15回)」資料3より)

各急傾斜地崩壊危険箇所の危険度ランク（A，B，C）の算出

各急傾斜地崩壊危険箇所の斜面特性について，表 -8 に示す項目ごとに得点付けし，その合計点数を「基準要素点」とする．算出した基準要素点と想定される震度のクロス表（表 -9）より，斜面毎に崩壊危険度ランク（A，B，C）を設定する．

表 -8 急傾斜地 地震対策危険度判定基準

項目	小項目名	点数	備考
斜面高 (H) m	H < 10	3	
	10 H < 30	7	
	30 H < 50	8	
	50 H	10	
斜面勾配	< 1 : 1.0	1	
	1 : 1.0 < 1 : 0.6	4	
	1 : 0.6	7	
オーバーハング	構造物のないオーバーハング	7	岩の表面などで一見して オーバーハングと見られるもの
	構造物のあるオーバーハング	4	
	なし	0	
斜面の地盤	斜面の表面に転石・浮石が	10	上位のものを用いる．例えば， 土砂で表面に転石・浮石が 多いものは 10 点とする．
	切土法面に玉石が多い	7	
	風化変質・亀裂の発達した 礫混じり土砂	5	
	風化変質した岩	4	
	亀裂の発達した岩	4	
	土砂	4	
	粘質土	1	
	亀裂の発達していない岩	0	
表土の厚さ	0.5m 以上	3	表土とは表面の腐植土・表土有機 質を指す．但し，表土下も非常にル ーズな崩石があればそれも含める．
	0.5m 以下	0	
湧水	有	2	常時見られる湧水をさす．
	無	0	
落石・崩壊頻度	年 1 回以上	5	道路交通または道路構造物に 損傷を与えない程度の軽微な 落石・法崩れ等を指す．
	年 1 回以下	3	
	無	0	

表 -9 震度による判定ランクの振り分け

震度／基準要素点	13 点以下	14～23	24 点以上
6 強～7	A	A	A
6 弱	B	A	A
5 強	C	B	A
5 弱	C	C	B
4	C	C	C

#### 崩壊確率の算出

崩壊危険度ランクに応じて崩壊確率を求める(表 -10)．この崩壊確率は，1978 年宮城県沖地震の実績をもとに設定されたものである．

表 -10 危険度ランク別崩壊確率

崩壊危険度 ランク	崩壊確率
A	95%
B	10%
C	0%

#### 全壊率の算出

想定される震度に応じて，全壊率を求める(表 -11)．この全壊率は，1978 年宮城県沖地震および 1978 年伊豆大島近海地震の実績をもとに設定されたものである．

表 -11 震度別全壊率

～震度 4	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
0%	6%	12%	18%	24%	30%

#### 対策工事着手率による補正

斜面崩壊防止施設施工済みの地区からは，人家被害は生じないものとし，県別に対策効果による補正を行う．1 都 3 県については各都県，その他の県については内閣府調査に基づき設定している．

#### 危険箇所別の全壊棟数算出

あらかじめ把握されている急傾斜地崩壊危険箇所ごとの人家戸数と上記より，下記式により危険箇所ごとの全壊棟数を求める．

(全壊棟数)

$$= (\text{危険箇所内人家戸数}) \times (\text{崩壊確率}) \times (\text{崩壊地における建物全壊率}) \\ \times \{ 1 - (\text{対策工事着手率}) \}$$

#### メッシュ毎の危険度ランク算出

中央防災会議「東海地震に関する専門調査会(第 10 回)平成 13 年 11 月」では，危険箇所ごとに土砂災害防止法で定義される警戒区域(図 -3)の面積を算出し，その面積が 1 km メッシュに占める割合より，1 km メッシュ毎の危険度ランクを求めている．具体的には，急傾斜地崩壊危険箇所調査で把握された斜面の高さ及び勾配から，図 -3 に示す警戒区域(長さ)を算出し，それに幅を乗じて，震度 6 弱以上の地域につ

いて、警戒区域の面積を求め、その分布を図示する。また 1km メッシュの中に数箇所  
の危険斜面がある場合はその面積は総和とする。

「東海地震に関する専門調査会」において対象とした自治体の警戒区域面積の平均  
は約 20,000 m<sup>2</sup>で、危険斜面一箇所に対する平均的な保全対象家屋は約 10 戸という値  
が求められている。これより、メッシュ毎の危険度ランクを 0~5(%), 5~10(%),  
10~20(%), 20~50(%)及び 50(%)以上の 5 区分とすると、面積から逆算される崩壊  
危険箇所数と、それに応じた保全人家数は、ほぼ表 -12 に示したとおりとなる。(中  
央防災会議「東海地震に関する専門調査会(第 10 回)」資料 4 より抜粋)



図 -3 斜面における警戒区域のイメージ

表 -12 メッシュ毎の危険度ランクとの対応

メッシュ中に示す 警戒区域の面積比(%)	危険箇所数(箇所)	保全人家数(戸)
0~5	0~3	0~30
5~10	3~5	30~50
10~20	5~10	50~100
20~50	10~25	100~250
50%以上	25箇所以上	250戸以上

(2) 各自治体における被害想定手法

中央防災会議の手法で参考とされている6都県(東京都, 神奈川県, 千葉県, 埼玉県, 静岡県, 長野県)のほか, 被害事例の調査対象とした4地震の主な被災都道府県について, 地震被害想定資料を収集し(表 -13), 下記のとおり地震による急傾斜地崩壊の被害想定手法について整理した。

表 -13 収集した地震被害想定の一覧

都道府県	資料名	発行年月
東京都	首都直下地震による東京の被害想定	2006(H18).5
神奈川県	神奈川県地震被害想定調査	1999(H11).3
千葉県 <sup>1</sup>	平成19年度 千葉県地震被害想定調査報告書	2008(H20).3
埼玉県	埼玉県地震被害想定調査報告書	2009(H21).1
静岡県	第3次地震被害想定結果	2001(H13).5
長野県 <sup>1</sup>	長野県地震対策基礎調査報告書	2002(H14).3
岩手県	岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査	2004(H16).11
宮城県	第三次地震被害想定調査報告書	2004(H16).3
新潟県 <sup>2</sup>	新潟県地震被害想定調査報告書	1998(H10).3
鳥取県	鳥取県地震防災調査研究報告書	2005(H17).3
兵庫県 <sup>3</sup>	兵庫県地震被害想定調査報告書	1999(H11).3

1: ホームページでの公表は被害想定結果のみ(手法の詳細なし)

2: ホームページでの公表なし

3: 斜面崩壊に関する検討なし

各自治体の手法は, 細部は若干異なるものの, 基本的に全ての自治体が先に述べた中央防災会議の手法に基づいている。各自治体における手法の差異の主なものを, 以下に示す。

- 林野庁所管の山腹崩壊危険地区も含めている [ 新潟県, 鳥取県 ]
- 斜面崩壊だけでなく地すべりや雪崩も評価対象としている [ 長野県, 鳥取県 ]
- 50m メッシュ DEM から傾斜度 30° 以上の斜面を抽出, さらに 30° 以上の斜面から 2000 年鳥取県西部地震の計測震度 5.5 以上の場所を「危険性がある」地域としている [ 鳥取県 ]
- 地震の強さとして, 震度の代わりに加速度を用いている [ 神奈川県 ]
- 震度による危険度ランク判定基準が A~D の 4 基準以上ある [ 岩手県, 長野県 ]
- 対策工が完了しているものを対象外としている [ 宮城県 ]
- 高さ 50m 以上の斜面は到達距離として森脇の式を用いている [ 神奈川県 ]
- がけ崩れの被災家屋を崖の最前面の家屋に限っている [ 神奈川県 ]
- 危険度評価は行っているが斜面崩壊による被害予測は行っていない [ 岩手県, 宮城県, 長野県, 新潟県 ]

#### 4 . 斜面クラスターデータの作成

中央防災会議の手法では、急傾斜地崩壊危険箇所・区域の情報をもとに急傾斜地の評価を行なっている。本研究では、全国を対象に、個別斜面のデータがない範囲についても面的な評価を行うことを目的としていることから、具体的にはDEMを用いたGISによる地形解析から求められる地形量やそのほか全国的に入手可能なデータを用いて、急傾斜地をモデル化し、それを斜面クラスターデータとして作成した。

##### 4 - 1 . 斜面クラスターデータの作成方法

斜面クラスターデータの作成手順を以下に示す。

###### ( 1 ) 崩壊の可能性がある斜面 ( 斜面クラスター ) の作成

10mDEMを用い、斜面勾配、斜面高さ、斜面方位の地形量を算出し、これらを用いて斜面を抽出し、これを斜面クラスターとする。

なお、各地形量 ( 斜面勾配、斜面高さ、斜面方位 ) は、ArcGIS ( ESRI 社 ) を用いて算出した。

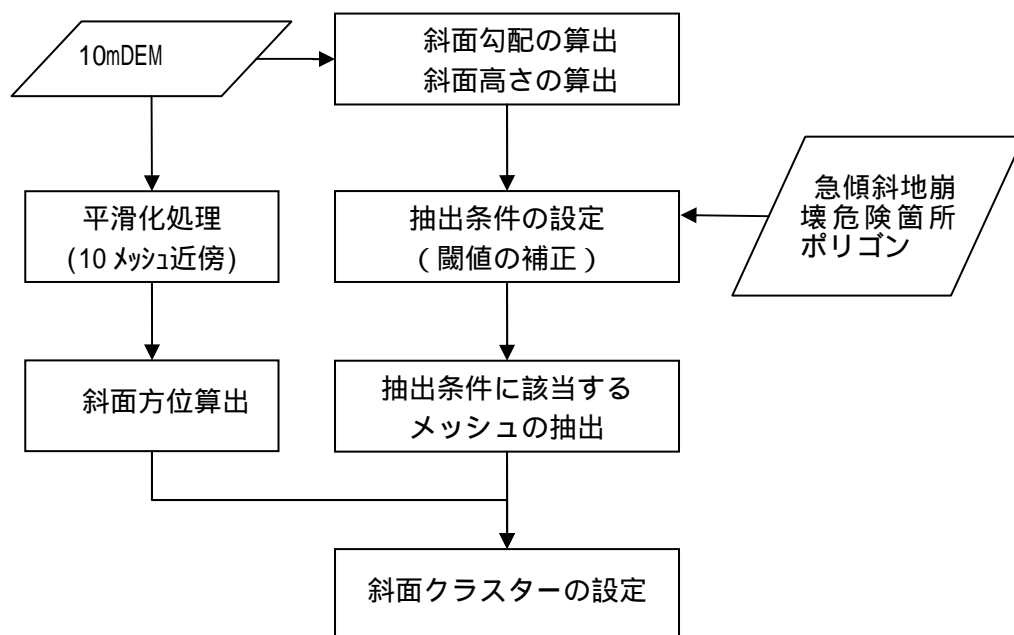


図 -4 斜面クラスターデータの作成フロー

### 斜面勾配の算出

10mDEM を用いて地形解析により斜面勾配（傾斜度）を算出する．DEM は，地形を離散化してデジタルデータとしたものであり，この DEM から傾斜度を求める場合，実際の地形の再現性には差異が生じる．すなわち，実際の斜面勾配（傾斜度）よりも小さな値になる傾向にある．メッシュ間隔が大きくなるほど，計算される斜面勾配（傾斜度）は均される傾向にある．参考までに 50mDEM（国土地理院発行「数値地図 50m メッシュ（標高）」）より算出した斜面勾配（傾斜度）の分布との比較（図 -5）を示す．10mDEM の方がより明瞭に急な斜面勾配（傾斜度）を表現できることが分かる．

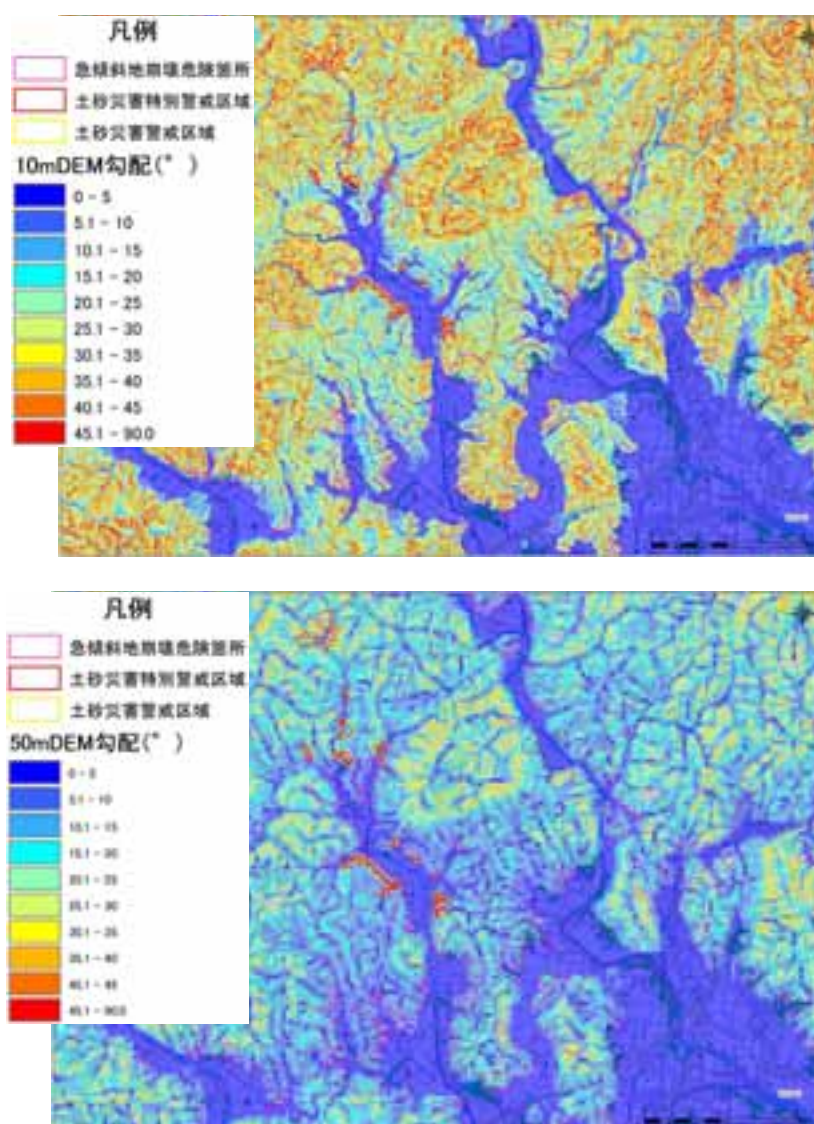


図 -5 10mDEM(上)と 50mDEM (下)より算出した勾配分布と急傾斜地崩壊危険箇所ポリゴン



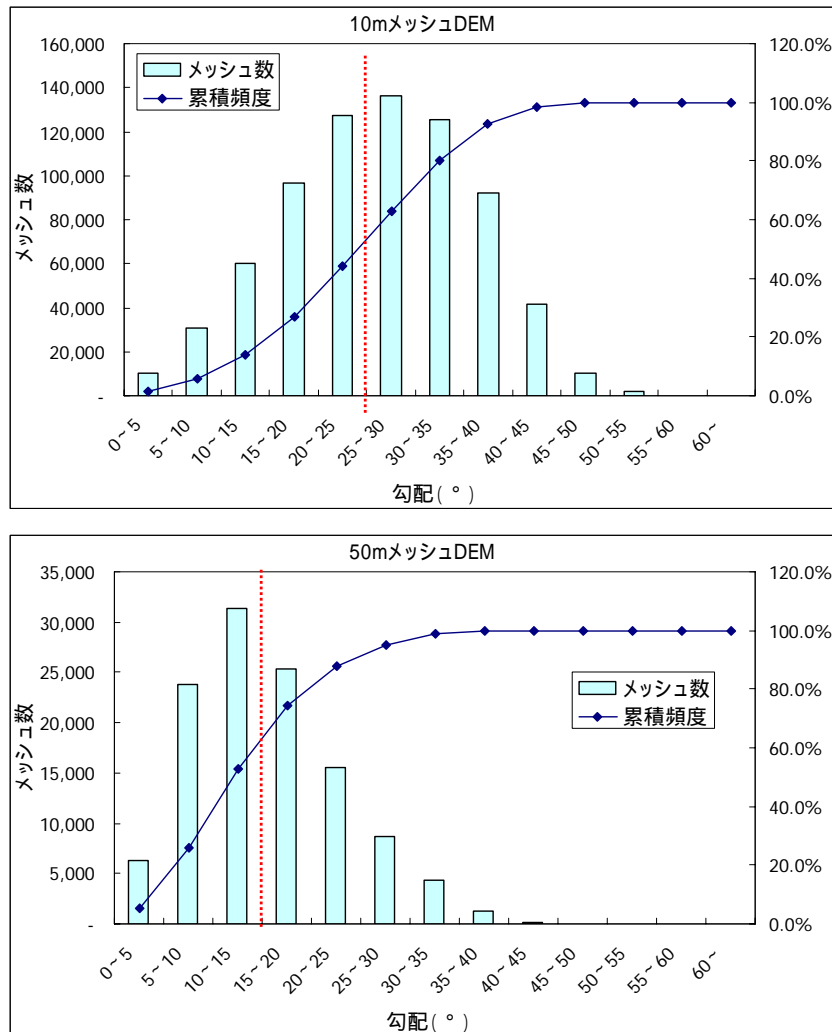


図 -6 10mDEM (上) と 50mDEM (下) による急傾斜地崩壊危険箇所の勾配分布  
 急傾斜地崩壊危険箇所の定義は傾斜度 30° 以上であるため、本研究では、これに相当する斜面を抽出するために、地形解析計算から求められる傾斜度を補正する。

$$\text{傾斜度 } r (\text{計算値}) = \text{傾斜度 } s - \text{補正值}$$

適切な補正值を設定するために、自治体から提供いただいた急傾斜地崩壊危険箇所の GIS データ (以下、急傾箇所データ) との比較を行った。

崩壊影響範囲を含まない 2 都県 (東京都, 和歌山県) のデータと崩壊影響範囲を含む 9 県 (岩手県, 秋田県, 栃木県, 千葉県, 神奈川県, 山梨県, 滋賀県, 広島県, 鳥取県) のデータを参考に、DEM の中心点が急傾斜地崩壊危険箇所ポリゴンに含まれるメッシュについて、大地形区分ごと (山地, 火山地, 台地段丘, 丘陵地, 低地) に、傾斜度を算出し、傾斜度 5° の区間でメッシュ数をカウントし、その頻度分布を確認した結果より、補正值を山地・火山地は 10°, 山地・火山地以外は 20° とした。これより、本検討で対象とする急傾斜地の抽出しきい値は山地・火山地は 20° 以上, 山地・火山地以外は 10° 以上となる。

### 斜面高さ（比高）の算出

斜面高さ（比高）は下記の通り算出する．斜面クラスター内の標高最高値から標高最低値を減ずることにより比高を算出する．図 -7 に，9メッシュ(3x3)から成る斜面クラスターの例を示す．

このように算出した斜面高さ（比高）から比高 5m 以上のメッシュを抽出する．

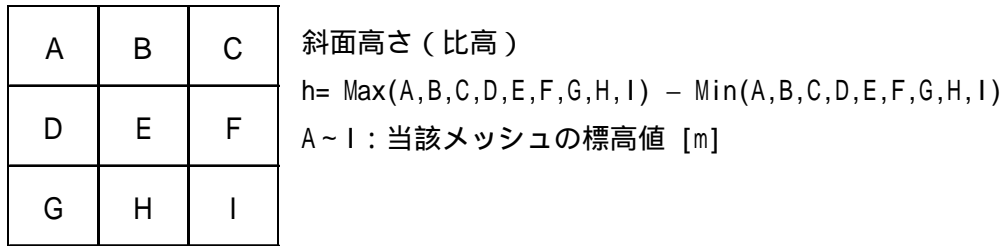


図 -7 斜面高さの計算方法

### 斜面方位

斜面崩壊の家屋等への影響範囲を考える場合，斜面の傾斜方向（斜面方位方向）に崩壊の影響範囲が広がるのが想定される．また，実際の斜面方位は連続した斜面の中で漸移するため，評価を行うにあたっては，ある程度まとまった単元での斜面のモデル化（斜面クラスターの設定）を行うこととした．10mDEM から算出した斜面方位をもとに区分を行う方法を検討した．

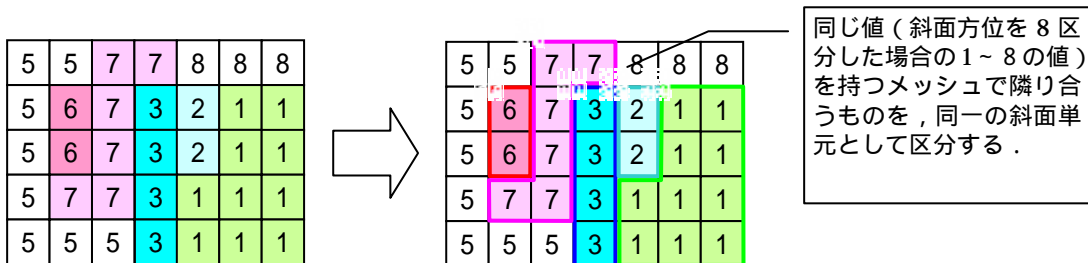


図 -8 斜面方位算出のイメージ

なお，メッシュ標高に基づいて斜面方位をメッシュ毎に算出すると，一つの連続する斜面内で細かく分割されることから，メッシュの平滑化処理を行うこととした．パラメータスタディの結果より，周辺 10 メッシュの範囲で平滑化するのが最もよく斜面のまとまりを表現できることが分かった．（図 -9）よって，抽出したメッシュを，周辺 10 メッシュの範囲で近傍メッシュ標高値の平均値をとった（平滑化した）DEM より斜面方位（8 区分）を算出し，同一方位で隣接しているメッシュを統合して，斜面クラスターを作成することとした．作成した斜面クラスターの例を示す．

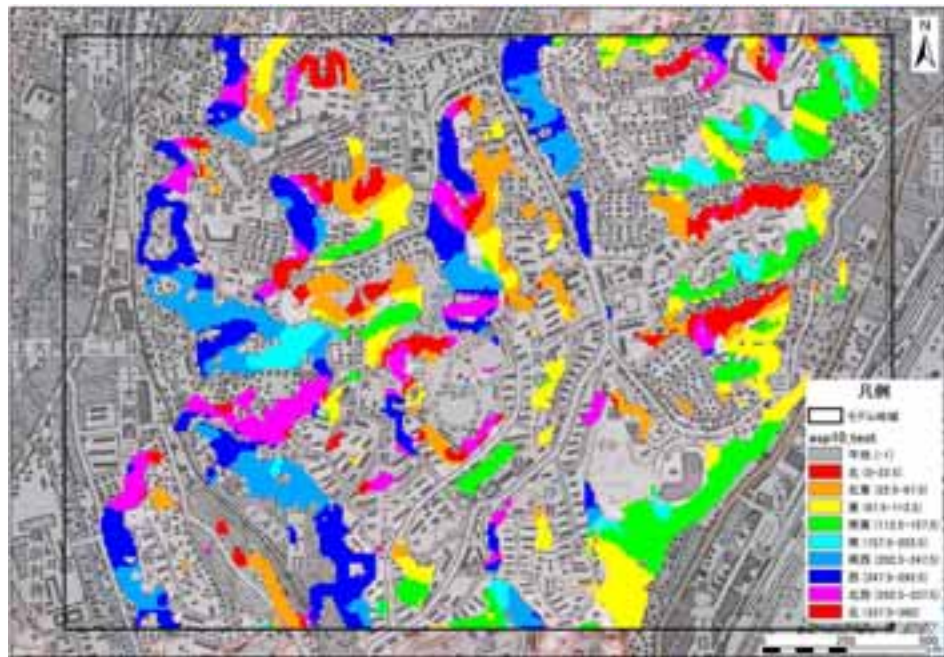
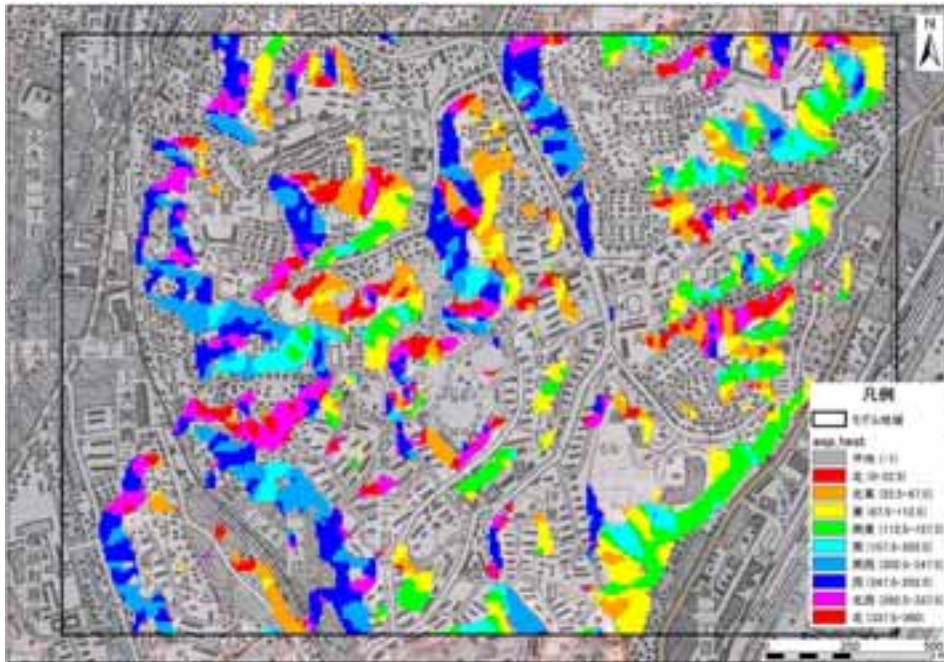


図 -9 斜面方位算出結果の例（上：平滑化处理なし 下：10メッシュ近傍で平滑化）

(2) 作成した斜面クラスターの検証

作成した斜面クラスターと、実際の急傾斜地崩壊危険箇所とを比較し、モデルの妥当性について検証した。

急傾斜地崩壊危険箇所を面（ポリゴン）データとして提供いただいた自治体の中から、人口密度が高い（住宅数が密集した）都道府県として、東京都と神奈川県を対象に、作成した斜面クラスターと急傾斜地崩壊危険箇所の比較を行った。なお、東京都提供のデータには被害範囲を含まない。

比較の方法は、実際の急傾斜地崩壊危険箇所に該当する 10m メッシュを、斜面クラスターとして抽出されたメッシュ（抽出）と、抽出できなかったメッシュ（非抽出）に分けて集計した。合計メッシュ数に対する抽出メッシュ数の比率が抽出率となる。（表 -7）

これより、70%前後の急傾斜地崩壊危険斜面が抽出できている。ただし、神奈川県は東京都よりも 10%近く抽出率が低い結果となっているが、神奈川県の急傾斜地崩壊危険箇所ポリゴンには被害範囲も含まれるため、東京都における抽出率の方が実際に近いものといえる。

抽出できなかった急傾箇所のは多くは、10mDEM の基となっている 2 万 5 千分の 1 地形図で表現されていない小規模な崖と考えられ、データの解像度に依存した課題といえる。

参考までに作成した斜面クラスターデータの都道府県面積に占める斜面クラスター面積の割合を示す。（表 -8）

表 -7(1) 急傾斜地崩壊危険斜面の抽出結果（東京都の例）

	山地	山地以外	合計
合計	126,693	47,480	174,173
抽出	94,815	32,332	127,147
非抽出	31,878	15,148	47,026
抽出率	74.8%	68.1%	73.0%

東京都は被災範囲を含まない「急傾箇所斜面」に対する抽出率

表 -7(2) 急傾斜地崩壊危険箇所の抽出結果（神奈川県の例）

	山地	山地以外	合計
合計	130,205	1,008,433	1,138,638
抽出	84,313	614,396	698,709
非抽出	45,892	394,037	439,929
抽出率	64.8%	60.9%	61.4%

神奈川県は被災範囲を含む「急傾斜地崩壊箇所」に対する抽出率

表 -8 都道府県面積に占める斜面クラスター面積の割合

都道府県名	斜面クラスター面積の合計 [km <sup>2</sup> ]	都道府県面積 [km <sup>2</sup> ]	都道府県面積に占める斜面クラスター面積の割合
全国	205,977	368,777	56%
北海道	37,435	83,456	45%
青森県	4,200	8,918	47%
岩手県	9,151	15,279	60%
宮城県	3,438	6,862	50%
秋田県	6,391	11,434	56%
山形県	5,421	6,652	81%
福島県	7,009	13,783	51%
茨城県	1,269	6,096	21%
栃木県	2,653	6,408	41%
群馬県	3,367	6,363	53%
埼玉県	941	3,767	25%
千葉県	1,324	5,082	26%
東京都	552	4,649	12%
神奈川県	955	2,416	40%
新潟県	7,153	10,789	66%
富山県	2,556	4,248	60%
石川県	2,412	4,185	58%
福井県	2,851	4,189	68%
山梨県	3,044	4,201	72%
長野県	8,767	13,105	67%
岐阜県	7,632	9,768	78%
静岡県	4,545	7,329	62%
愛知県	1,910	5,116	37%
三重県	3,287	5,761	57%
滋賀県	1,673	3,767	44%
京都府	3,151	4,613	68%
大阪府	523	1,898	28%
兵庫県	5,133	8,396	61%
奈良県	2,710	3,691	73%
和歌山県	3,728	4,726	79%
鳥取県	2,069	3,507	59%
島根県	2,875	6,708	43%
岡山県	4,071	7,010	58%
広島県	4,749	8,479	56%
山口県	3,787	6,113	62%
徳島県	3,280	4,146	79%
香川県	783	1,862	42%
愛媛県	4,157	5,678	73%
高知県	5,819	7,105	82%
福岡県	1,943	4,844	40%
佐賀県	997	2,440	41%
長崎県	2,079	4,096	51%
熊本県	3,761	7,077	53%
大分県	3,575	5,099	70%
宮崎県	5,179	6,346	82%
鹿児島県	5,531	9,044	61%
沖縄県	817	2,276	36%

## 5．地震動による斜面崩壊率評価モデルの構築

中央防災会議の手法は前述の通り，急傾斜地崩壊危険箇所ごとに個別の詳細データに基づいて評価を行う手法である．本研究では，10mDEMの地形解析から作成した急傾斜地（斜面クラスター）に基づき全国を対象に，急傾斜地崩壊危険箇所としての指定の有無に関わらず，個別斜面のデータがない範囲についても面的な評価を行う．

これを前提とした素因と誘因の検討について以下に述べる．なお，中央防災会議の手法で考慮している対策工事着手率については，データ入手が困難であり，かつ本研究に使用する斜面クラスターの大部分が自然斜面と想定されることから本研究では考慮しないこととした．

### 5 - 1．素因の検討

#### （1）基準要素点の算出

ここで，急傾斜地地震災害対策危険度判定基準表に基づき，各種デジタルデータから推定可能な項目について，点数付けを行うことを検討した．

表 -9の項目（斜面高，斜面勾配，オーバーハング<sup>1</sup>の有無，斜面の地盤，表土の厚さ，湧水の有無，落石・崩壊頻度）は現地調査に基づいて得られる斜面毎の詳細情報である．全国的な評価を展開するにあたっては，これらのうち推定可能な要因に限定せざるを得ない．指標項目のうち，オーバーハングと表土の厚さ，湧水の有無，落石・崩壊頻度は，現地資料がないと判定が困難である．その他の項目について，斜面高，斜面勾配は前述の通り10mDEMから算出し，斜面の地盤は土地分類メッシュから推定することで点数を付与することとした．（表 -9）

---

<sup>1</sup> 侵食などにより，斜面の上部が下部よりもせり出していること

表 -9 本研究で用いる危険度判定基準

項目	小項目名	中央防災 会議手法	本研究	
		点数	点数	定義
斜面高H (m)	H < 10	3	3	DEMから求める
	10 H < 30	7	7	
	30 H < 50	8	8	
	50 H	10	10	
斜面勾配	< 1:1.0	1	1	DEMから求める
	1:1.0 < 1:0.6	4	4	
	1:0.6	7	7	
オーバーハング	構造物のないオーバーハング	7	-	現地資料がないと把握不可能
	構造物のあるオーバーハング	4	-	
	なし	0	-	
斜面の地盤	斜面の表面に転石・浮石が多い	10	-	-
	切土法面に玉石が多い	7	-	-
	風化変質・亀裂の発達した岩	6	-	-
	礫混じり土砂	5	5	土地分類メッシュから推定(礫質土)
	風化変質した岩	4	-	-
	亀裂の発達した岩	4	-	-
	土砂	4	4	土地分類メッシュから推定推定(砂質土)
	粘質土	1	1	土地分類メッシュから推定推定(粘性土)
表土の厚さ	0.5m以上	3	-	現地資料がないと把握不可能
	0.5m以下	0	-	
湧水	有	2	-	現地資料がないと把握不可能
	無	0	-	
落石・崩壊頻度	年1回以上	5	-	現地資料がないと把握不可能
	年1回以下	3	-	
	無	0	-	

評価項目として、全国的に利用可能なデータより把握可能な3項目(斜面高, 斜面勾配, 斜面の地盤)を考慮した判定基準を作成する。ただし、斜面勾配および斜面の地盤の2項目は、推定方法の検討を踏まえて設定する必要がある。各検討の内容について、以下に述べる。なお、表 -10 は本研究で用いる各評価項目の計算方法を示したものである。

表 -10 パラメータの計算方法

項目	計算方法
斜面高	斜面クラスターポリゴンに含まれる 10mDEM の標高値の差 (最大値-最小値)
斜面勾配	斜面クラスターポリゴンに含まれる 10mDEM から求めた傾斜度の平均値
斜面の地盤	斜面クラスターポリゴンの属する地盤区分 (礫質土, 砂質土, 粘性土) の最頻値

#### 斜面勾配の設定方法

斜面勾配の項目では、1:1.0 (45°) 未満, 1:0.6 (60°) 以上とその中間の3区分に対して得点を求めており、傾斜度 45° と 60° が勾配を評価する際の閾値となっている。10mDEM は 2万5千分の1地形図をもとに作成されており、地形解析により求められる勾配は、実際の斜面勾配よりも均され緩勾配になる傾向にある。実際の斜面勾配と 10mDEM から求めた勾配を整合させるため、パラメータスタディにより地形図と対比させて確認したところ、10° 補



正した場合に、当てはまりが良いことが判ったため、傾斜度 35° および 50° を斜面勾配の閾値として設定することとした。

### 斜面の地盤の推定方法

元の判定表では斜面の地盤は、表 -9 の通り 9 区分であるが、このうち表面の状況や、風化変質・亀裂状況は現地調査により把握可能な項目である。このような項目は評価できないため、本研究では、全国的に 1 km メッシュ単位で整備されている国土数値情報の土地分類メッシュ(図 -11) から、判定可能な項目を設定することとした。

モデル地区における土質区分の結果は表 -11 の通りである。一般に、岩石の風化は基岩岩塊 礫 砂利 砂 粘土といった風化過程をたどり、「礫」「砂」「粘土」に土質は大きく区分される。文献を参考に各岩石区分の風化過程(表 -11)を考慮し、土地分類メッシュの表層地質分類から 3 区分(礫質土、砂質土、粘性土)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。(表 -12, 13)

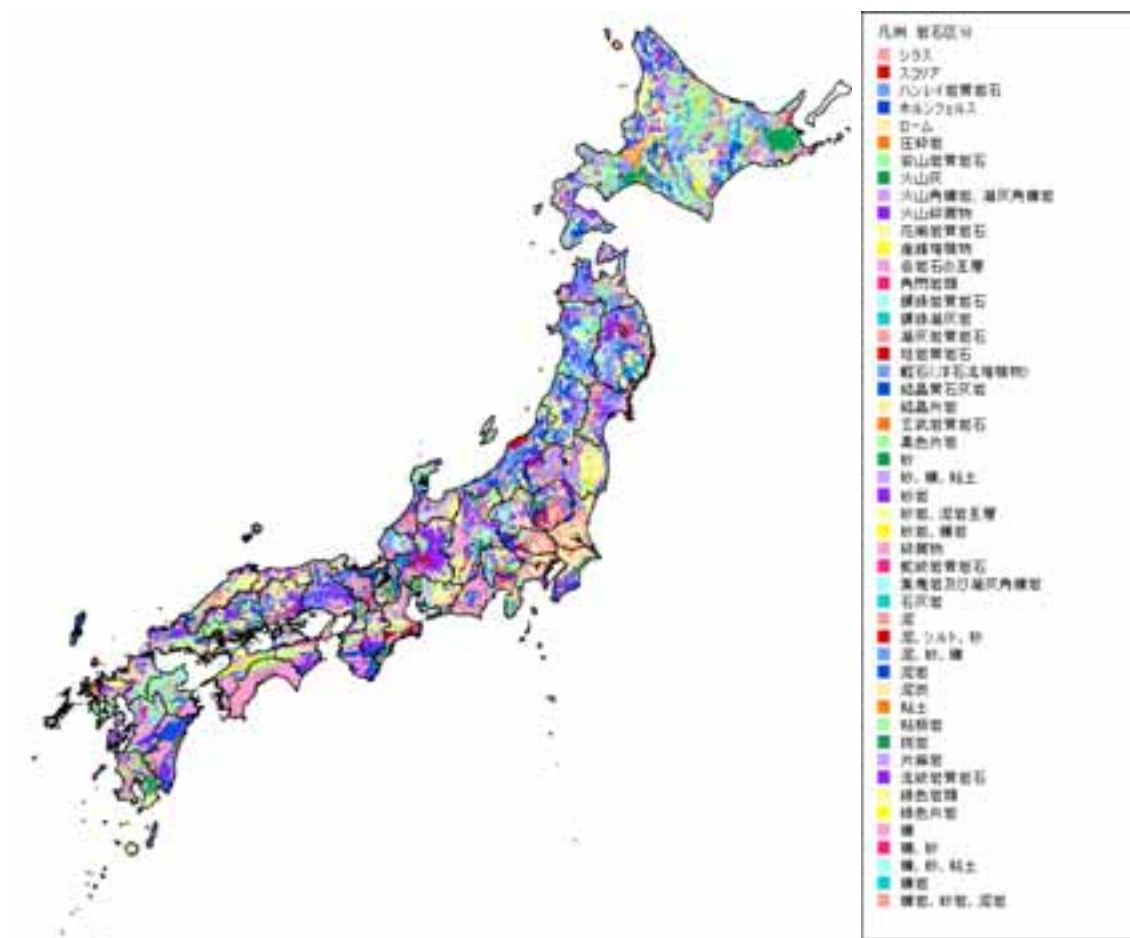


図 -11 土地分類メッシュ (表層地質・岩石区分)



表 -11 岩石の風化過程

岩 種		頁岩・粘板岩	砂 岩
堆積岩類	古生層	基岩→砂利→砂→粘土	基岩→礫→砂利
	中生層	基岩→砂	基岩→砂利→砂
	第三紀	基岩→粘土	基岩→砂
火山岩類	安山岩, 玄武岩, 集塊岩, 凝灰岩	基岩→岩塊	
	火山岩屑	基岩→岩塊→礫	
深成岩類	花崗岩, 閃緑岩, 斑レイ岩	基岩→岩塊→砂, 基岩→砂	
半深成岩類	石英斑岩・玢岩	基岩→礫→砂利, 基岩→岩塊→礫	

(三木(1996)より作成)

表 -12 モデル地区における土質区分・岩石区分別のメッシュ数集計結果

土質区分	岩石区分	兵庫県南部 地震	鳥取県西部 地震	新潟県中越 地震	岩手・宮城 内陸地震	総計
粘性土	泥, 砂, 礫	15		26	487	528
	泥岩	4		69	185	258
	火山碎屑物		59		20	79
	凝灰岩質岩石		34		454	488
	安山岩質岩石		28		365	393
	火山灰			15		15
	蛇紋岩質岩石		2			2
	ハンレイ岩質岩石		8			8
	結晶片岩		69			69
	ホルンフェルス		1			1
	粘性土合計	19	201	110	1,511	1,841
砂質土	砂, 礫, 粘土				17	17
	砂岩		7		233	240
	斑岩				2	2
	花崗岩質岩石	123	533		18	674
	流紋岩質岩石	17	99		176	292
		砂質土合計	140	639		446
礫質土	礫	28	33			61
	礫, 砂				58	58
	礫岩		2		7	9
	礫岩, 砂岩, 泥岩	9				9
	各岩石の互層	35	6	39	146	226
	碎屑物		1			1
	集塊岩及び凝灰角礫岩		43		329	372
		礫質土合計	72	85	39	540
	総 計	231	925	149	2,497	3,802

表 -13 土地分類メッシュの表層地質分類から土質3区分

コード	区分1	区分2	本手法での区分
10	未固結堆積物	泥, 砂, 礫各互層	礫質土
11	未固結堆積物	礫	礫質土
12	未固結堆積物	砂	砂質土
13	未固結堆積物	泥	粘性土
14	未固結堆積物	礫, 砂	礫質土
15	未固結堆積物	泥, シルト, 砂	粘性土
16	未固結堆積物	泥, 砂, 礫	粘性土
17	未固結堆積物	砂, 礫, 粘土	砂質土
21	未固結堆積物	碎屑物	礫質土
22	未固結堆積物	崖錐堆積物	礫質土
23	未固結堆積物	礫, 砂, 粘土	礫質土
24	未固結堆積物	粘土	粘性土
25	未固結堆積物	泥炭	粘性土
29	半固結-固結堆積物	砂岩, 泥岩互層	砂質土
30	半固結-固結堆積物	砂岩, 礫岩	礫質土
31	半固結-固結堆積物	礫岩	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	礫岩, 砂岩, 泥岩	礫質土
35	半固結-固結堆積物	珪岩質岩石	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	輝緑凝灰岩	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	スコリア	礫質土
40	半固結-固結堆積物	粘板岩	粘性土
41	火山性岩石	火山灰	粘性土
42	火山性岩石	火山碎屑物	粘性土
43	火山性岩石	軽石(浮石流堆積物)	粘性土
44	火山性岩石	シラス	砂質土
45	火山性岩石	ローム	粘性土
48	火山性岩石	火山角礫岩、凝灰角礫岩	礫質土
49	火山性岩石	レイ岩	-
50	火山性岩石	緑色岩類	粘性土
51	火山性岩石	集塊岩及び凝灰角礫岩	礫質土
52	火山性岩石	凝灰岩質岩石	粘性土
53	火山性岩石	流紋岩質岩石	砂質土
54	火山性岩石	安山岩質岩石	粘性土
55	火山性岩石	玄武岩質岩石	粘性土
61	深成岩類	斑岩	砂質土
62	深成岩類	花崗岩質岩石	砂質土
63	深成岩類	ハンレイ岩質岩石	粘性土
64	深成岩類	蛇紋岩質岩石	粘性土
65	深成岩類	角閃岩類	粘性土
66	深成岩類	輝緑岩質岩石	粘性土
67	深成岩類	結晶質石灰岩	砂質土
71	変成岩類	ホルンフェルス	粘性土
72	変成岩類	緑色片岩	粘性土
73	変成岩類	黒色片岩	粘性土
74	変成岩類	片麻岩	粘性土
75	変成岩類	結晶片岩	粘性土
81	圧砕岩類	圧砕岩	粘性土
0	表示のないもの		-

危険度判定基準表（表 -8）における区分に対応した土質区分の設定は，表 -14 の通りとした．設定した土質区分の分布の例を図 -12 に示す．

表 -14 判定表の地盤区分と点数

区分	項目名	中央防災会議の点数	土質区分	本研究での点数
1	斜面の表面に転石・浮石が多い	10	—	—
2	切土法面に玉石が多い	7	—	—
3	風化変質・亀裂の発達した岩	6	—	—
4	<b>礫混じり土砂</b>	<b>5</b>	<b>礫質土</b>	<b>5</b>
5	風化変質した岩	4	—	—
6	亀裂の発達した岩	4	—	—
7	<b>土砂</b>	<b>4</b>	<b>砂質土</b>	<b>4</b>
8	<b>粘質土</b>	<b>1</b>	<b>粘性土</b>	<b>1</b>
9	亀裂の発達していない岩	0	—	—

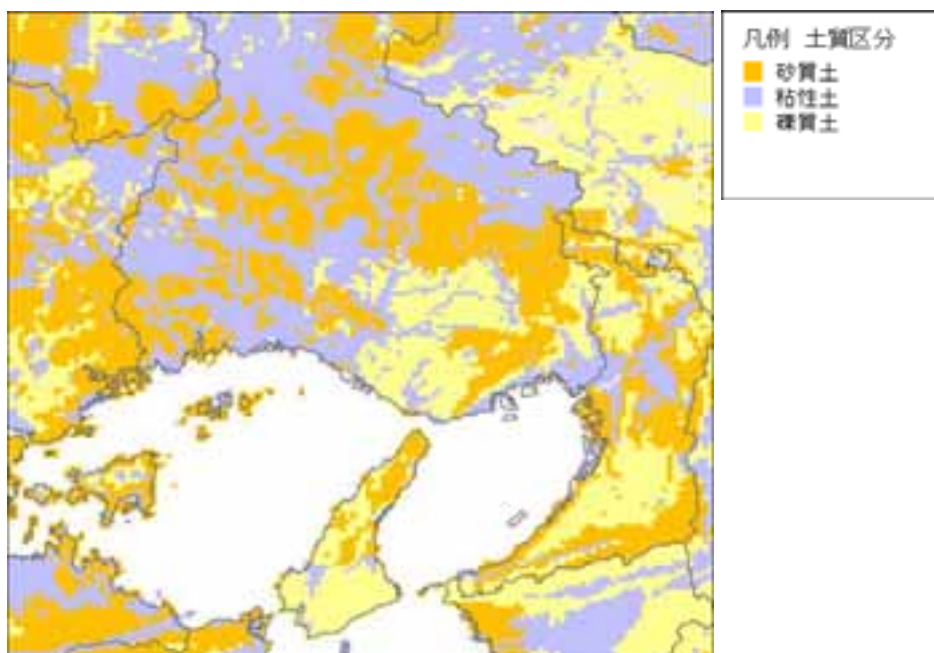


図 -12 土地分類メッシュから区分した土質3区分(阪神地域の例)

(2) 素因ランクの設定

(1) で設定した判定基準により、対象4地震の範囲における斜面クラスターの基準要素点を求めた。基準要素点の算出結果を図-13に示す。

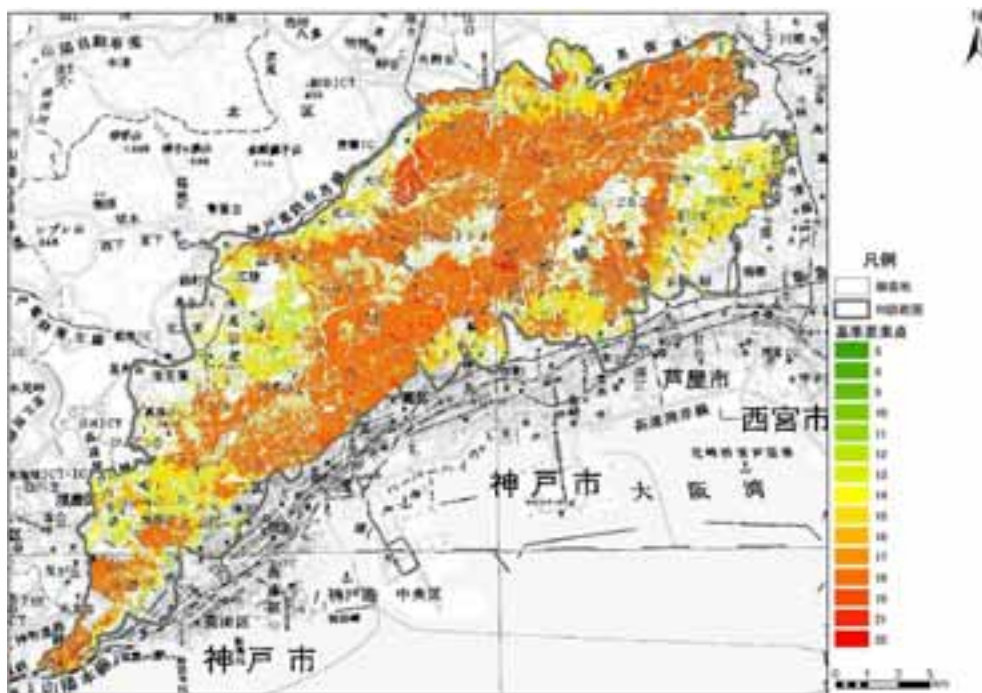


図-13(1) 基準要素点算出結果 [兵庫県南部地震]

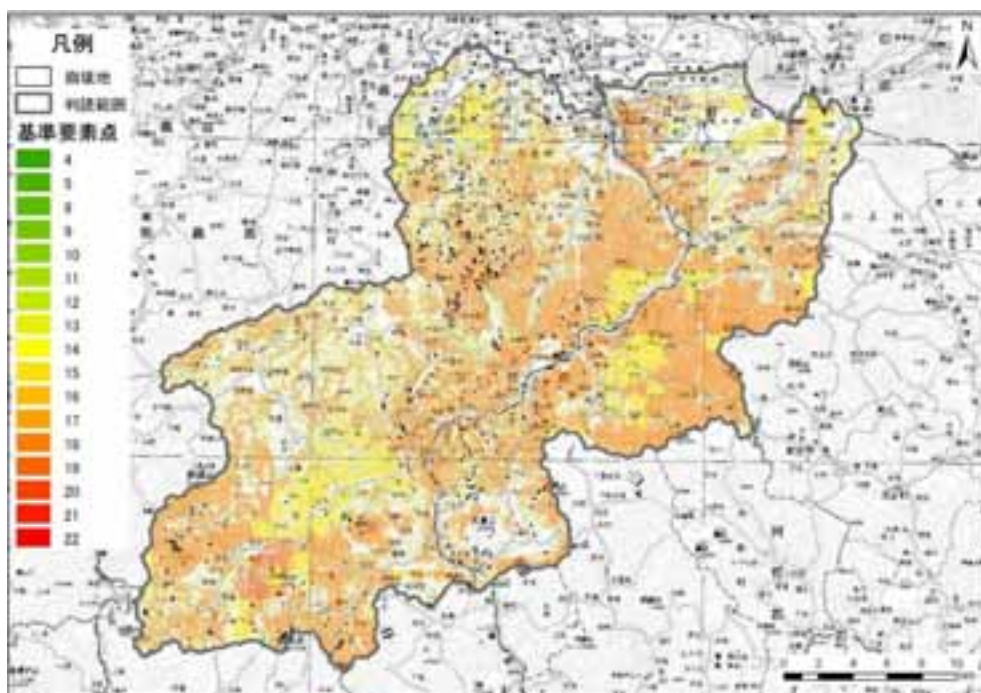


図-13(2) 基準要素点算出結果 [鳥取県西部地震]



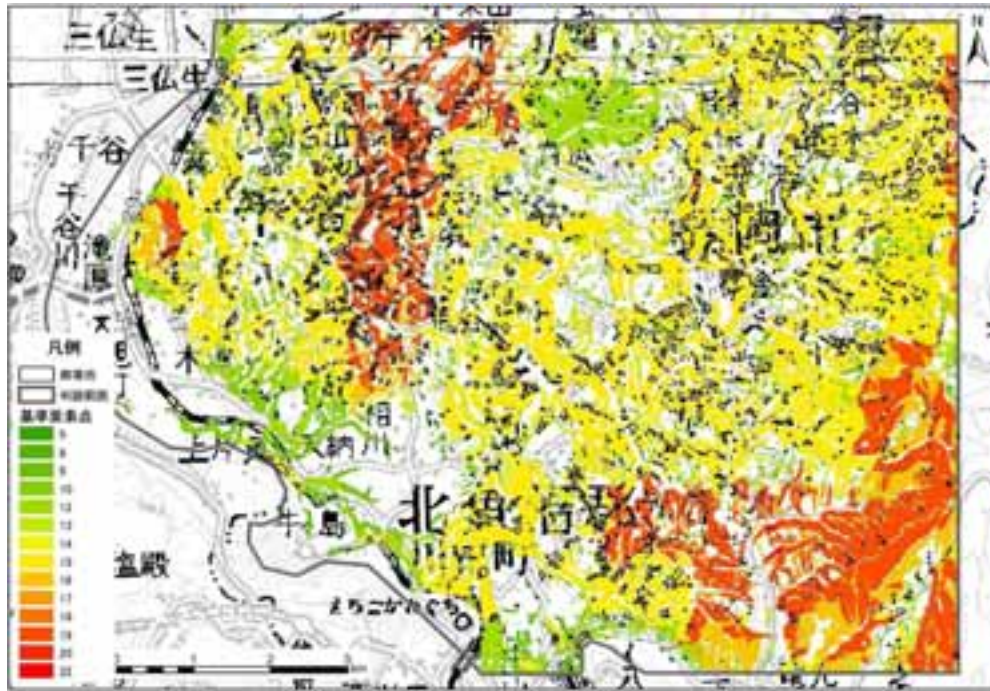


図 -13 (3) 基準要素点算出結果 [新潟県中越地震]

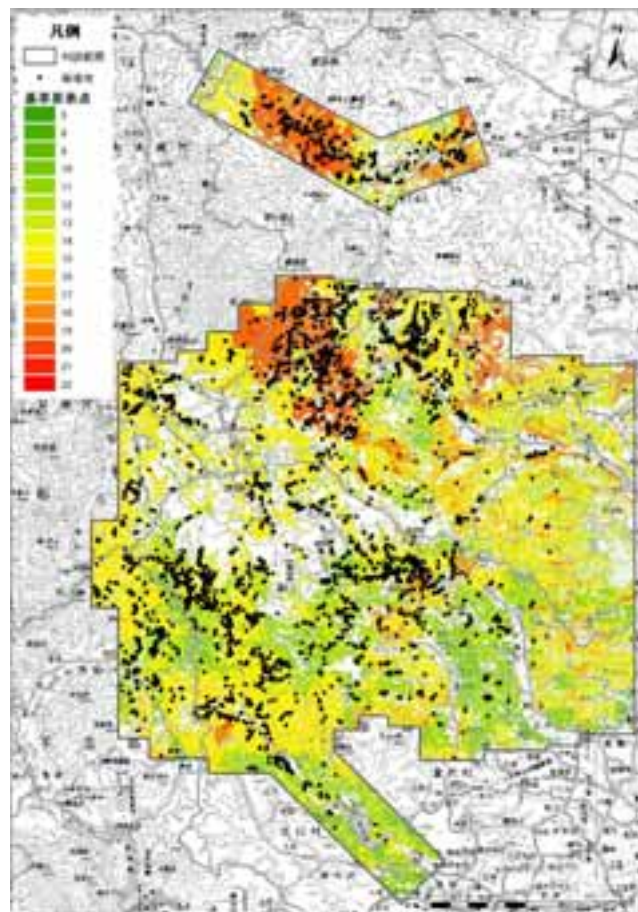


図 -13 (4) 基準要素点算出結果 [岩手・宮城内陸地震]

基準要素点と崩壊面積率（各基準要素点に該当するメッシュに占める崩壊実績メッシュの割合）の関係を図 -14 に示す。ばらつきが大きい原因としては、個々の地震で崩壊発生率（対象範囲に占める崩壊面積率）の違いが影響しているものと考えられる。

基準要素点のランク区分はランクが高くなるほど崩壊面積率が高くなる正の相関を持ち、各ランクに該当するメッシュ数に偏りが無いことが望ましい。基準要素点を3ランクに分割したものを図 -14 に示す。以上より、12点、15点を閾値に3区分の素因ランクを設定した。基準要素点に基づき12以下はランクⅠ、12以上14以下はランクⅡ、15以上はランクⅢに3区分した結果を図 -15 に示す。

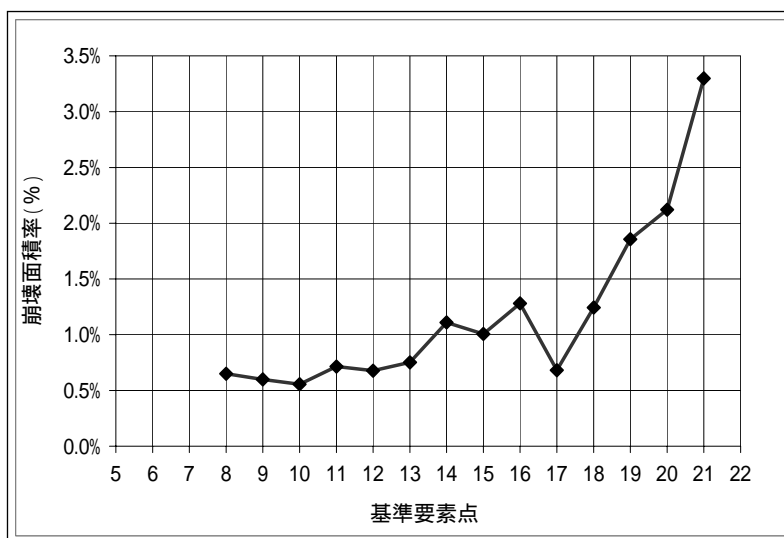


図 -14 基準要素点と崩壊面積率の関係（4地震合計）

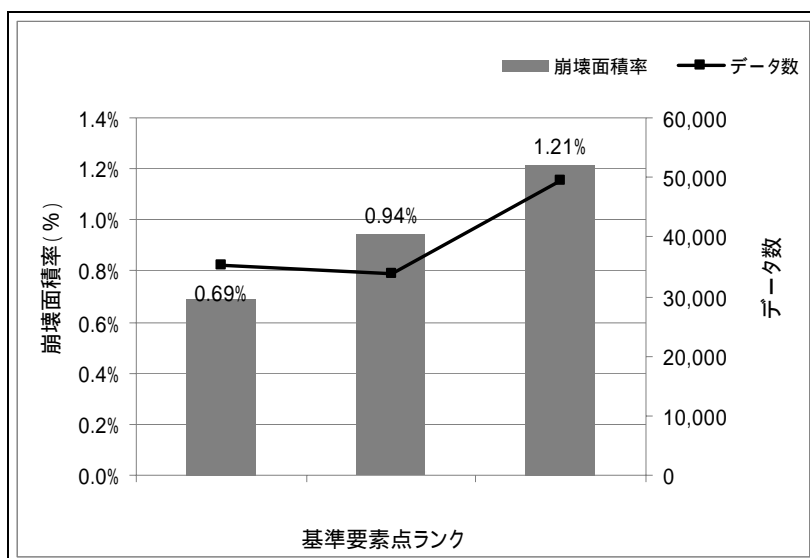


図 -15 素因ランクと崩壊面積率

## 5 - 2 . 誘因の検討

中央防災会議の手法では、表 9 のとおり定性的なランク付け (A~C) を行っているのに対し、本研究では素因・誘因ランクのそれぞれに対応する崩壊面積率 ( ) を定量的に求めることを検討した。

モデル4地震では、対象範囲は実際に空中写真が撮影された範囲に限られているが、全対象範囲に対する崩壊地分布が面的に把握できている。モデル4地震の崩壊地分布と推定した地表最大加速度分布を重ね合わせ、誘因と崩壊面積率の関係および誘因の下限値について検討を行った。

崩壊面積率の求め方：誘因ランクと素因ランクのマトリックスにおける崩壊面積率を各カテゴリに該当する斜面クラスターのメッシュ数に対する崩壊実績メッシュ数の比率として下記のように求めた。

$$\text{崩壊面積率} = \frac{\text{崩壊実績の総面積}}{\text{各誘因ランクに該当する斜面クラスターの総面積}}$$

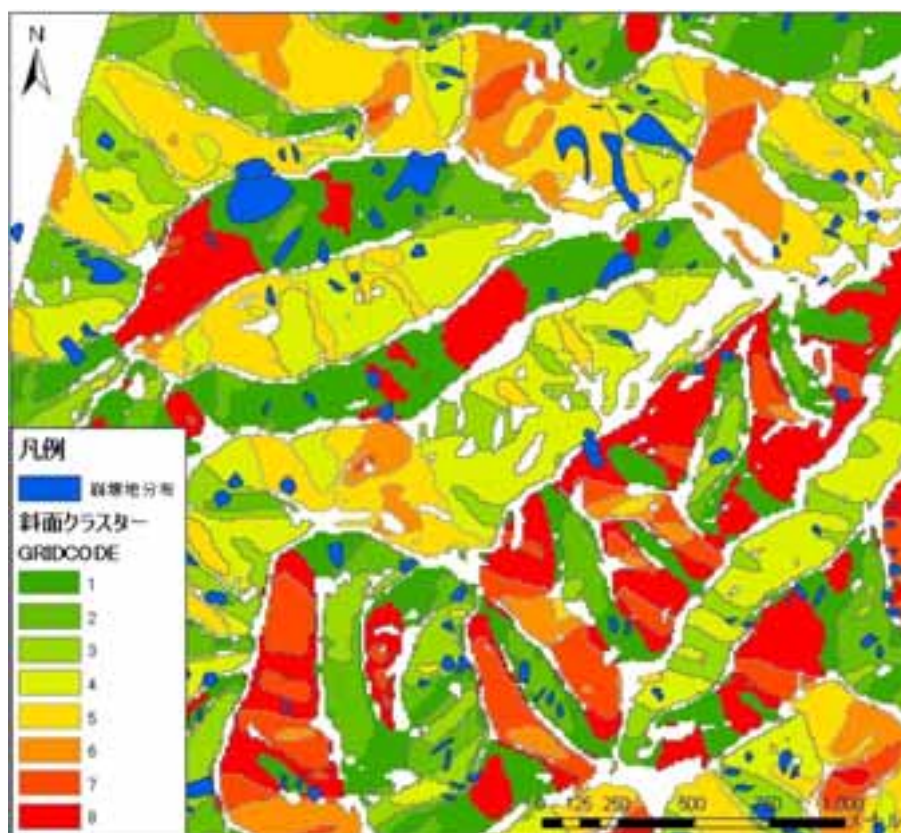


図 -16 斜面クラスターの設定例と崩壊地分布 (岩手・宮城内陸地震の例)

( 1 ) 計測震度，地表最大加速度の算出方法について

250mメッシュデータを用いた地震被害想定システム(損害保険料率算出機構,2009)を用いて地震動分布(計測震度，地表最大加速度)を推定した。モデル4地震の震源モデルの諸元を表 -15に，計算式・方法を表 -16に示す。なお，距離減衰式における断層面からの距離の取り方として、断層最短距離と等価震源距離の2つの式があるが、ここでは断層最短距離を用いた式を採用した。なお，推定精度を向上させるために地震観測記録(観測値)が存在するメッシュについては，観測値を用いることとした。

表 -15 モデル4地震の震源モデル諸元

発生年月日	地震名称	気象庁 マグニチュード	モーメント マグニチュード	最大 震度	震源 深さ (km)	出典
1995/1/17	兵庫県南部地震	7.3	6.9	7	16.06	Ozawa et al. (1997)
2004/10/23	新潟県中越地震	6.8	6.7	7	13.08	国土地理院 HP (2004)
2008/6/14	岩手・宮城内陸地震	7.2	6.9	6強	8	国土地理院 HP (2008)
2000/10/6	鳥取県西部地震	7.3	6.8	6強	8.96	鷺谷ほか (2002)

表 -16 用いた計算式・方法

計算過程	計算式・方法
距離減衰式	司・翠川(1999)
地盤増幅率( )	藤本・翠川(2006)
計測震度変換	藤本・翠川(2005)
空間内挿法	逆距離加重法(IDW法)

観測値のあるメッシュについては、観測地点地盤の地盤増幅率を用いた

( 2 ) 誘因と崩壊面積率の関係

まず、モデル4地震の事例より計測震度および地表最大加速度を誘因として、崩壊面積率との関係を図 -17 に示す。

震度7を記録した地震は少なく，モデル4地震においても距離減衰式からの推定震度では震度7が分布していない。そのため震度7を1区分とするとデータ数が少なくなるため，震度6以上を1区分にまとめた。

4地震の合計で震度との関係を見ると、相関係数  $R^2$  は約 0.72 である。



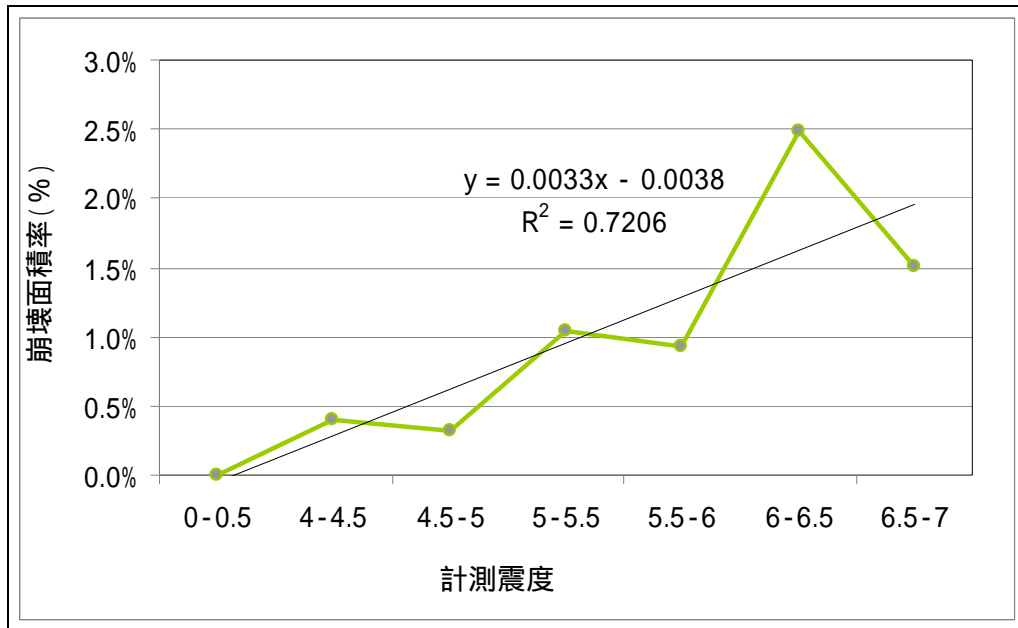


図 -17(1) 計測震度と崩壊面積率 (4地震合計)

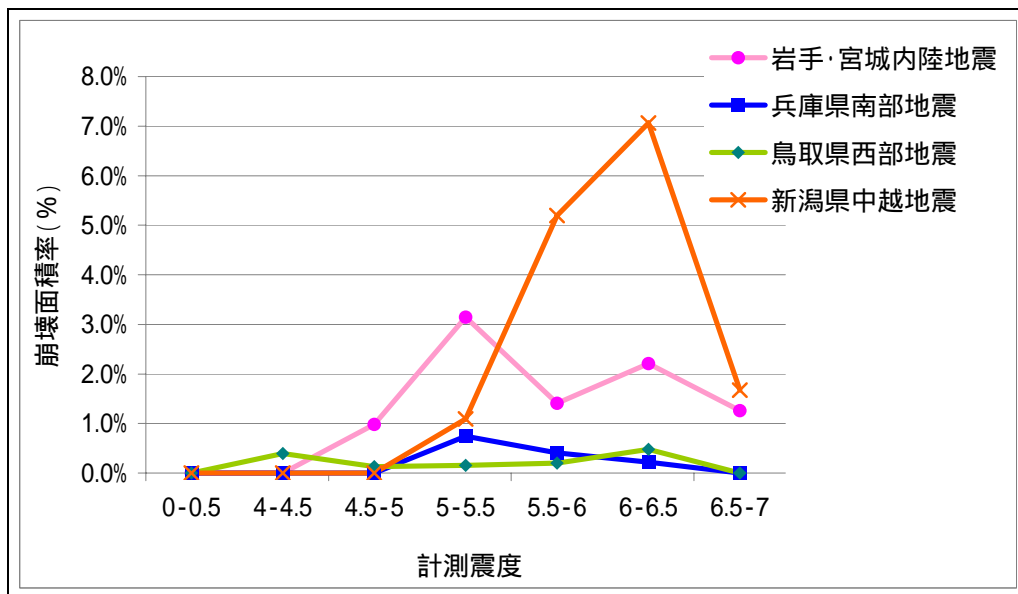


図 -17(2) 計測震度と崩壊面積率 (地震別)

次に、地表最大加速度と崩壊面積率との関係を図 -18 に示す。

地表最大加速度は、地震により値の範囲に幅があり、兵庫県南部地震（六甲地区）および鳥取県西部地震では 200～1000gal であるのに対して、新潟県中越地震と岩手・宮城内陸地震では、1000gal を超える斜面も多く存在するが、ばらつきが大きいため、加速度 1000gal 以上を 1 区分として統合した。（図 -18(2)）。相関係数  $R^2$  は約 0.77 である。

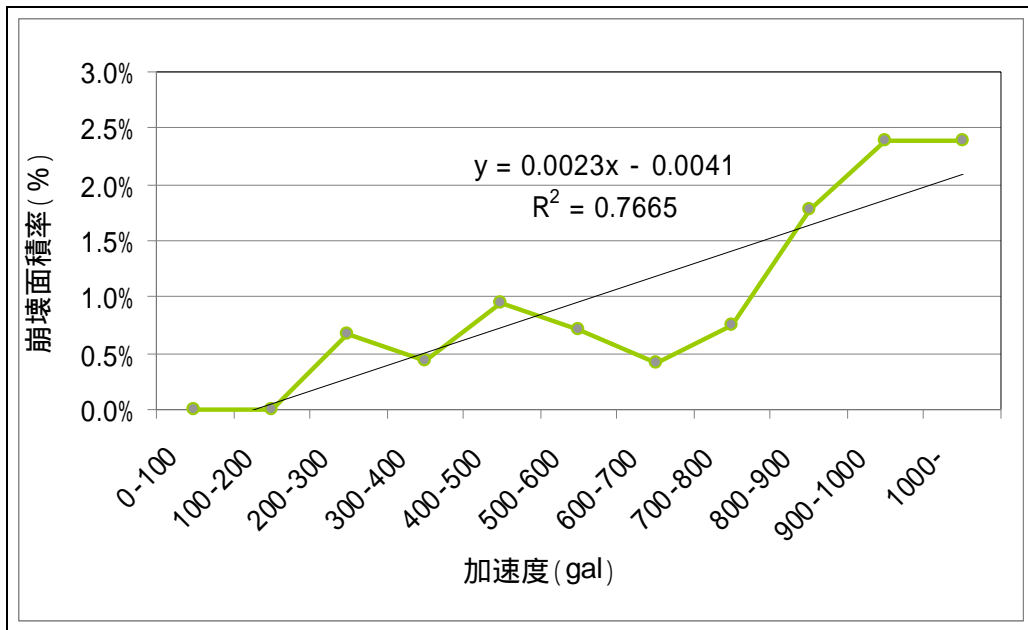


図 -18(1) 地表最大加速度と崩壊面積率 (4地震合計)

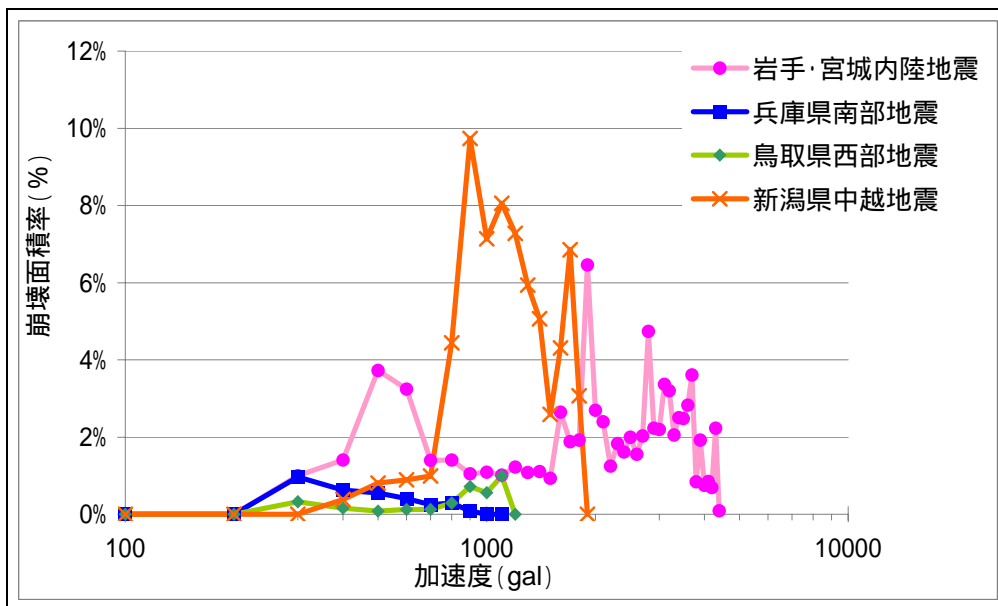


図 -18(2) 地表最大加速度と崩壊面積率 (地震別)

## (2) 崩壊が発生する地震動下限値の設定

崩壊が発生する地震動の下限値を設定するための検討を行った。

実際に崩壊が発生している地点の地表最大加速度を推定し、それらの最小値を求めた(表-17)。加速度分布は、司・翠川(1999)の距離減衰式による計算値に、観測された加速度値を加味して算出した。

表 -17 モデル4地震の崩壊発生地点の推定地表最大加速度の分析

	兵庫県南部地震	鳥取県西部地震	新潟県中越地震	岩手・宮城内陸地震
最小値 [cm/s <sup>2</sup> ]	259	220	381	228
最大値 [cm/s <sup>2</sup> ]	886	1,055	1,715	4,376
平均値 [cm/s <sup>2</sup> ]	481	619	982	1,674
標準偏差	93	196	201	1,219
崩壊数 [件]	2,353	719	2,473	3,319

加速度の最大値や平均値は地震により大きく異なるが、下限値は概ね、220～250gal 前後の値を取るものが多い。なお、最小値が約 380gal となっている新潟県中越地震は他の地震と比べ、判読範囲が狭く、強震動のエリアに限られている。

モデルとした4地震で崩壊実績のある加速度の最小値は約 220gal である。司・翠川(1999)式により求めた地表最大加速度と既往崩壊(ただし大規模崩壊を対象)との関係について、230gal から崩壊が発生しているという文献もある(栗原ほか, 2008)。

以上より、加速度値算出の精度も考慮し、崩壊が発生する地震動の下限値を 200gal とすることにした。

なお、前期降雨や余震の影響、地質構造に起因する弱線がある場合などは、上記で設定した地震動の下限よりも崩壊することが考えられるが、これらの要因を考慮することは困難であるため本手法では考慮しないこととした。

崩壊地と地表最大加速度の分布図を図 -19 に示す。

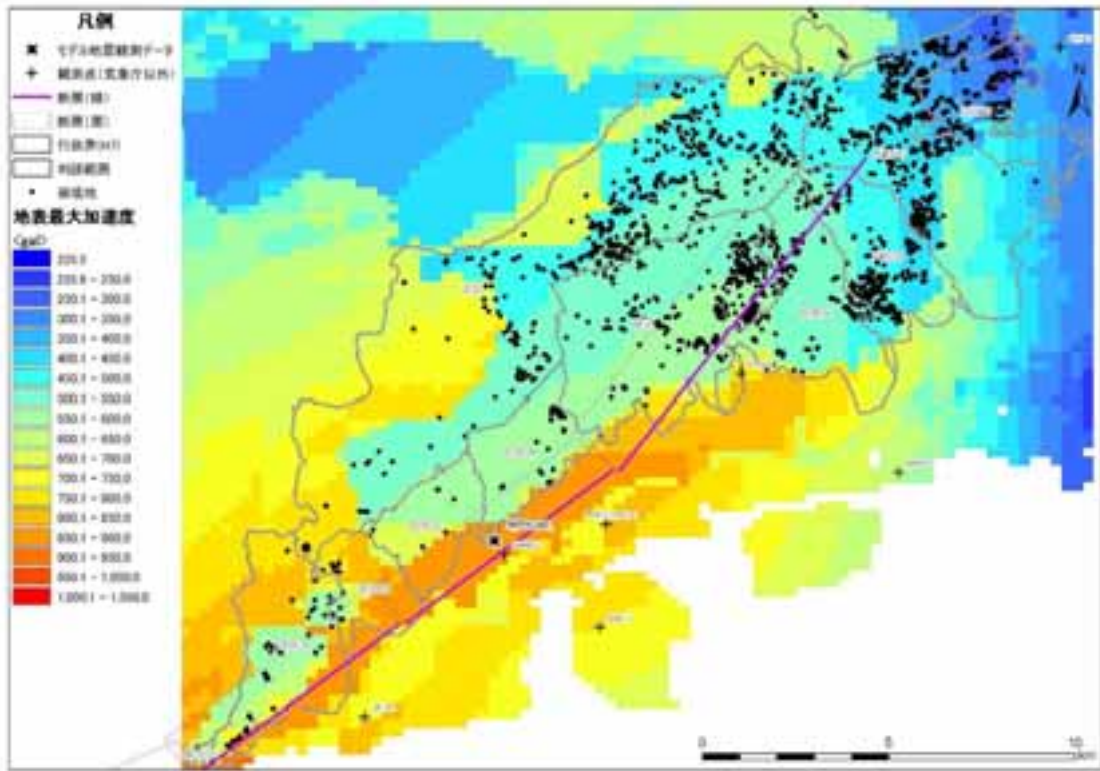


図 -19(1) 崩壊地と加速度分布図(兵庫県南部地震)

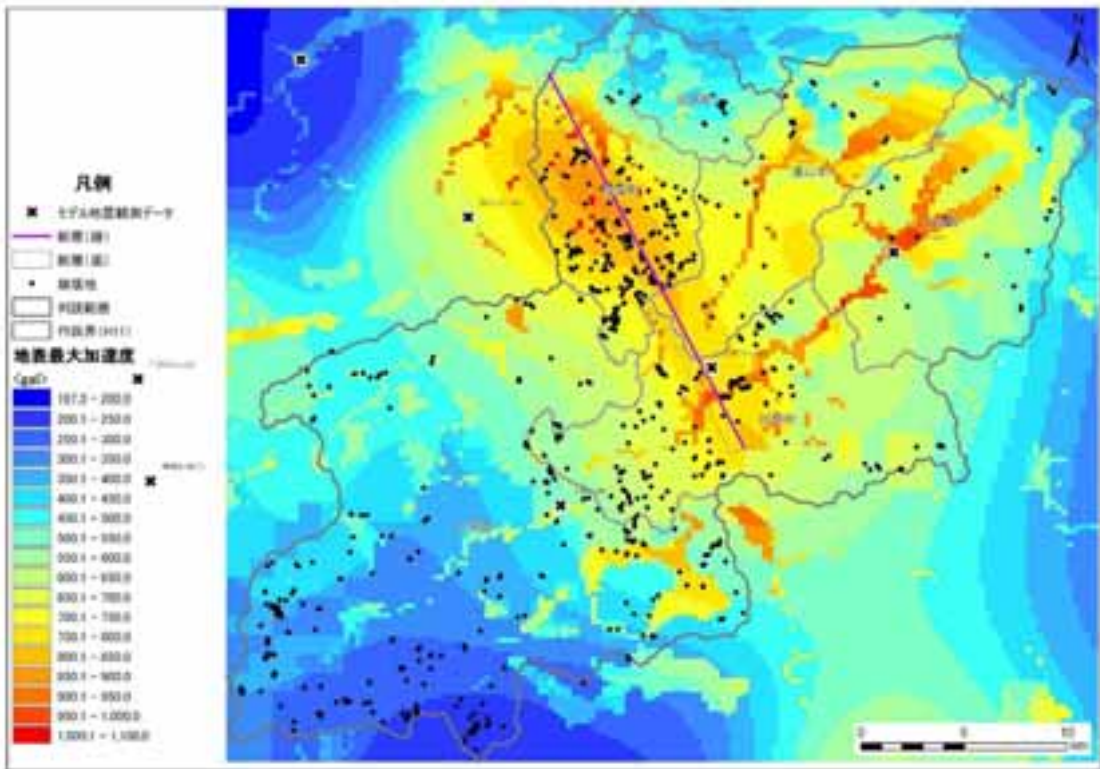


図 -19(2) 崩壊地と加速度分布図(鳥取県西部地震)

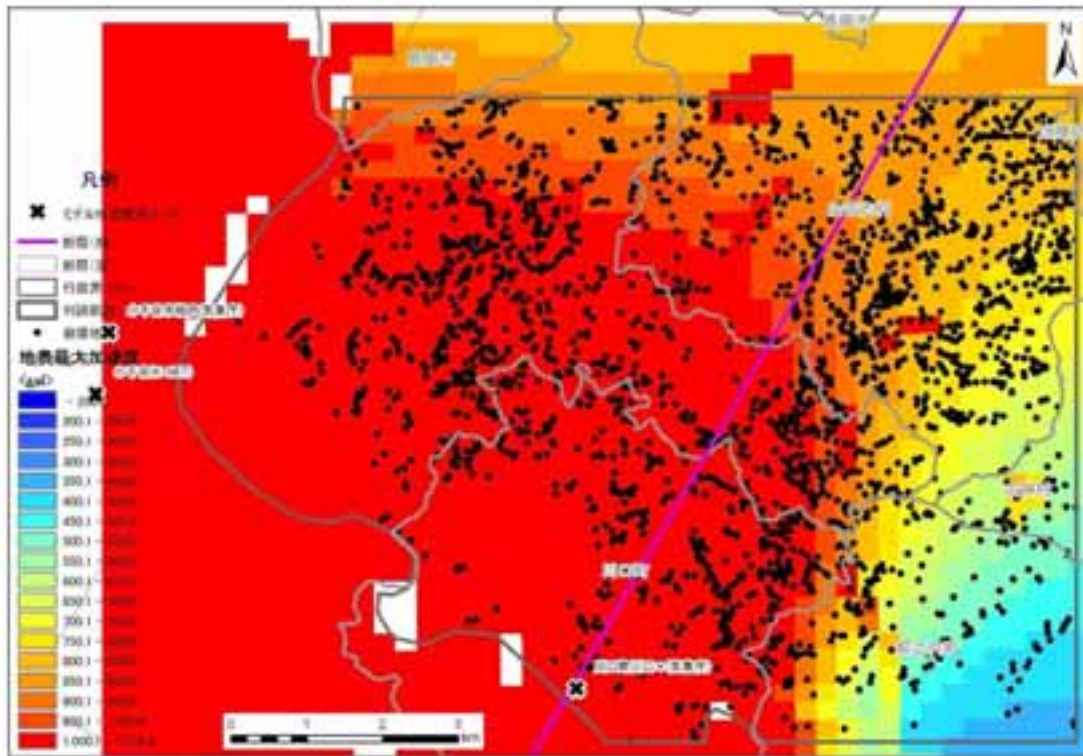


图 -19(3) 崩壊地と加速度分布図（新潟県中越地震）

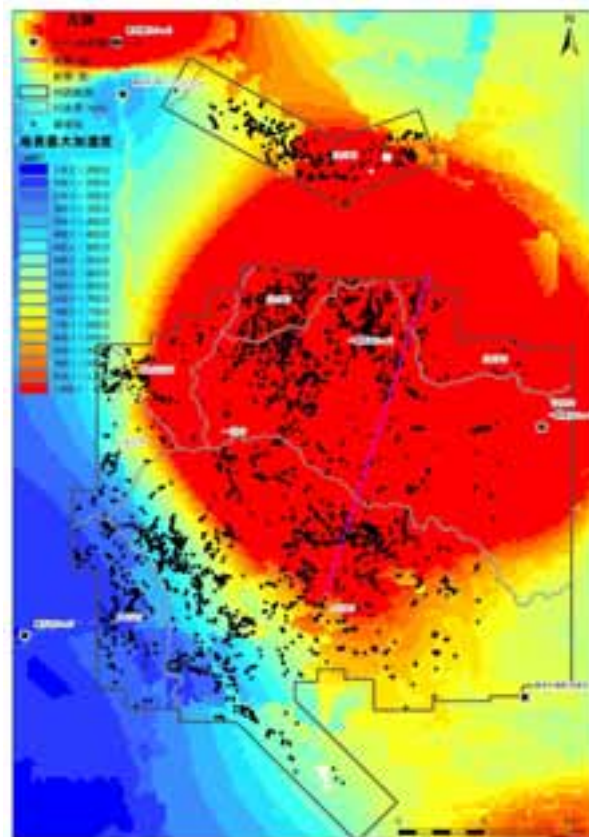


图 -19(4) 崩壊地と加速度分布図（岩手・宮城内陸地震）



(3) 誘因のランク区分

地表最大加速度から誘因ランクの区分を行うための加速度の閾値について検討した。崩壊面積と斜面面積を、図 -20 に示す。崩壊面積率の増加傾向(折れ線グラフの傾き)に変化があり、かつデータ数(ここでは斜面面積を参考とした)のバランスを考慮し、200gal、400gal、700gal、1000gal を閾値として5段階に区分することとした。

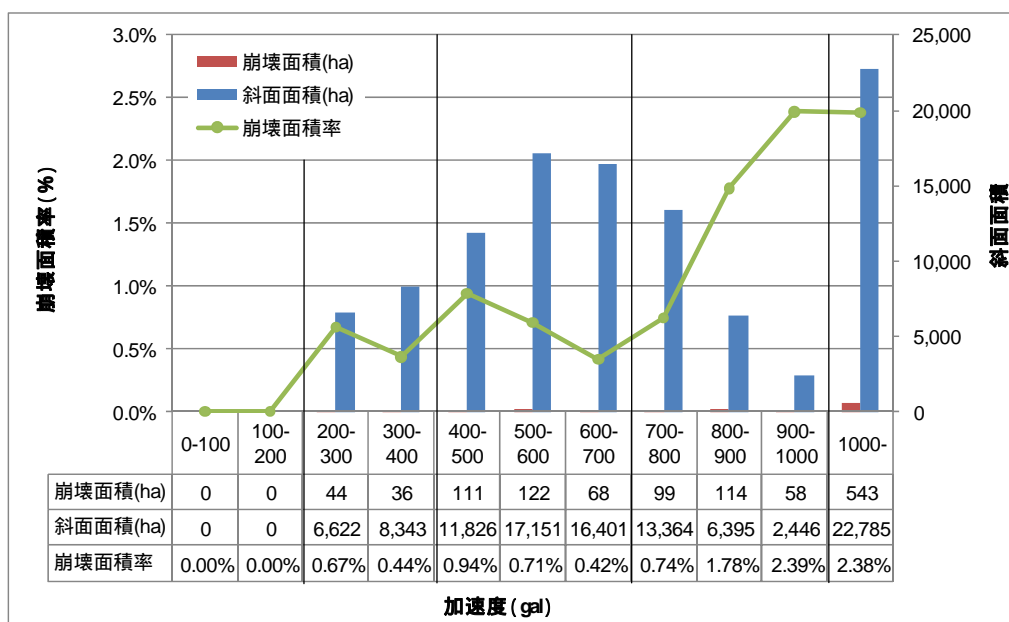


図 -20 地表最大加速度と崩壊面積率および斜面面積の関係

表 -18 素因ランクと誘因ランクによる崩壊面積率

	誘因ランク 加速度 (gal)	素因ランク			総計
崩壊面積 m <sup>2</sup>	PGA < 200	0	0	0	0
	200 PGA < 400	20,089	108,848	698,335	827,272
	400 PGA < 700	88,128	304,456	2,683,580	3,076,164
	700 PGA < 1000	100,510	323,926	2,313,455	2,737,891
	1000 PGA	203,781	943,038	4,405,362	5,552,180
	総計	412,509	1,680,268	10,100,731	12,193,508
斜面面積 m <sup>2</sup>	PGA < 200	0	0	0	0
	200 PGA < 400	6,932,255	17,187,934	123,048,457	147,168,647
	400 PGA < 700	20,311,016	49,291,705	368,785,602	438,388,324
	700 PGA < 1000	18,272,010	45,407,759	149,851,823	213,531,592
	1000 PGA	17,276,465	52,348,754	159,235,588	228,860,807
	総計	62,791,746	164,236,153	800,921,471	1,027,949,370
崩壊面積率	PGA < 200	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	200 PGA < 400	0.29%	0.63%	0.57%	0.56%
	400 PGA < 700	0.43%	0.62%	0.73%	0.70%
	700 PGA < 1000	0.55%	0.71%	1.54%	1.28%
	1000 PGA	1.18%	1.80%	2.77%	2.43%
	平均	0.66%	1.02%	1.26%	1.19%

### 5 - 3 . 誘因・素因による崩壊面積率テーブルの作成

#### (1) 崩壊面積率テーブルの作成

この5段階の誘因ランク区分ごとに、前項で検討した各素因ランク（基準要素点ランク）の斜面面積を集計し、さらにその中に占める崩壊面積の割合から、誘因・素因の組み合わせ階級ごとの崩壊面積率を算出し、誘因ランク・素因ランクともに高いほど崩壊面積率が高くなるようランクを区分し、素因3ランク×誘因5ランクの組み合わせにより崩壊面積率を与える崩壊面積率テーブルを作成した（表 -19, 図 -21）。

表 -19 素因ランクと誘因ランクによる崩壊面積率テーブル

			素因ランク		
誘 因 ラ ン ク	0	PGA < 200	0.00%	0.00%	0.00%
	1	200 PGA < 400	0.29%	0.63%	0.57%
	2	400 PGA < 700	0.43%	0.62%	0.73%
	3	700 PGA < 1000	0.55%	0.71%	1.54%
	4	1000 PGA	1.18%	1.80%	2.77%

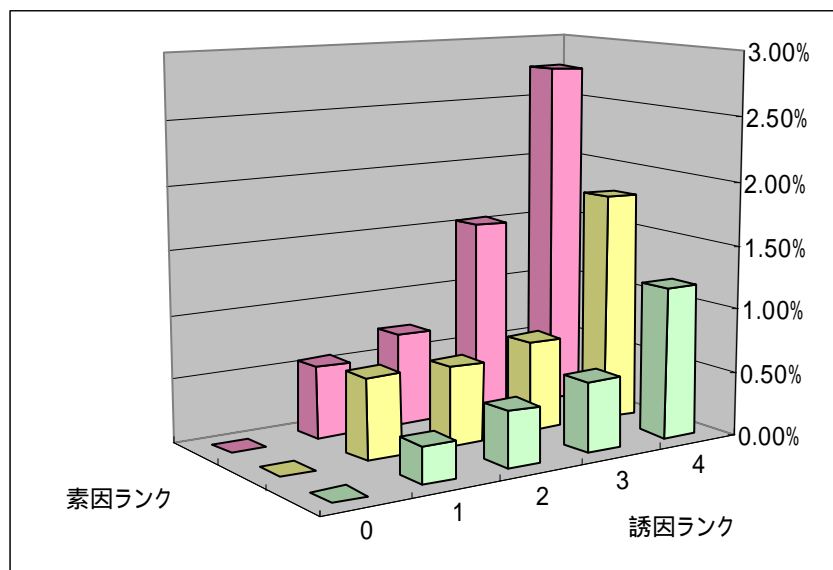


図 -21 素因ランクと誘因ランクによる崩壊面積率テーブル(3次元表示)

## (2) 250m メッシュ別崩壊面積率の設定方法

全国を対象に任意の地震による 250m メッシュ別地震動予測結果（地表最大加速度）を入力とするため、250m メッシュごとに素因ランク別の斜面クラスターの面積（ $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ ）を集計し、その面積に対して、誘因ランクに対応したそれぞれの誘因・素因別崩壊面積率を乗じ、当該メッシュにおける誘因別崩壊面積とする。算出方法の概念図を図 -22 に示す。

例) 当該メッシュの加速度が 400gal の場合

誘因ランク 1 における 250m メッシュ別崩壊面積率

$$= (A_1 \times 0.0029 + A_2 \times 0.0063 + A_3 \times 0.0057) / (A_1 + A_2 + A_3)$$

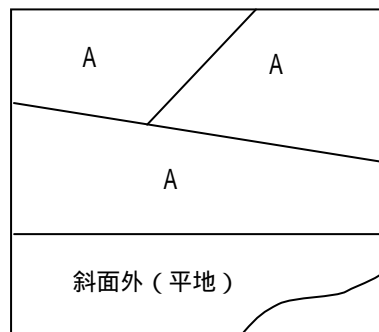


図 -22 250m メッシュ別崩壊面積率算出の概念

## 5 - 4 . 崩壊面積率評価モデルの検証

設定した崩壊面積率マトリクスを用いて誘因・素因ランク毎に、モデル 4 地震を対象に推定崩壊面積（斜面面積 × 崩壊率）を算出し、実績崩壊面積との比較を行った。素因・誘因ランク別の崩壊面積の実績値と予測値の散布図を図 -23 に、モデル 4 地震の平均を図 -24 に示す。また、250m メッシュ別崩壊面積率の分布図を図 -25 に示す。

散布図において個別の地震で見るとばらつきがある。崩壊率が高かった新潟県中越地震では予測値が過小となり、崩壊率の低い兵庫県南部地震や鳥取県西部地震では、予測値の方が過大となった。岩手・宮城内陸地震がもっとも実績値に近い結果となった。その要因としては、地震により斜面の崩壊面積（崩壊の規模）にばらつきがあるためと考えられる。

本手法は、今後発生する地震における斜面崩壊発生率の平均像を評価するという位置付けであり、おおむね妥当な結果が得られているものと考えられる。ただし、地震別にばらつきが見られるのは、全国展開するために簡略化した手法としていることも、一因として考えられるので、その点においても改良の余地がある。4 地震の事例に基づいて作成した崩壊面積率マトリクスから崩壊面積率を予測するモデルであるため、今後、モデルとした 4 地震以外の実績崩壊面積率に基づいた検証が必要である。



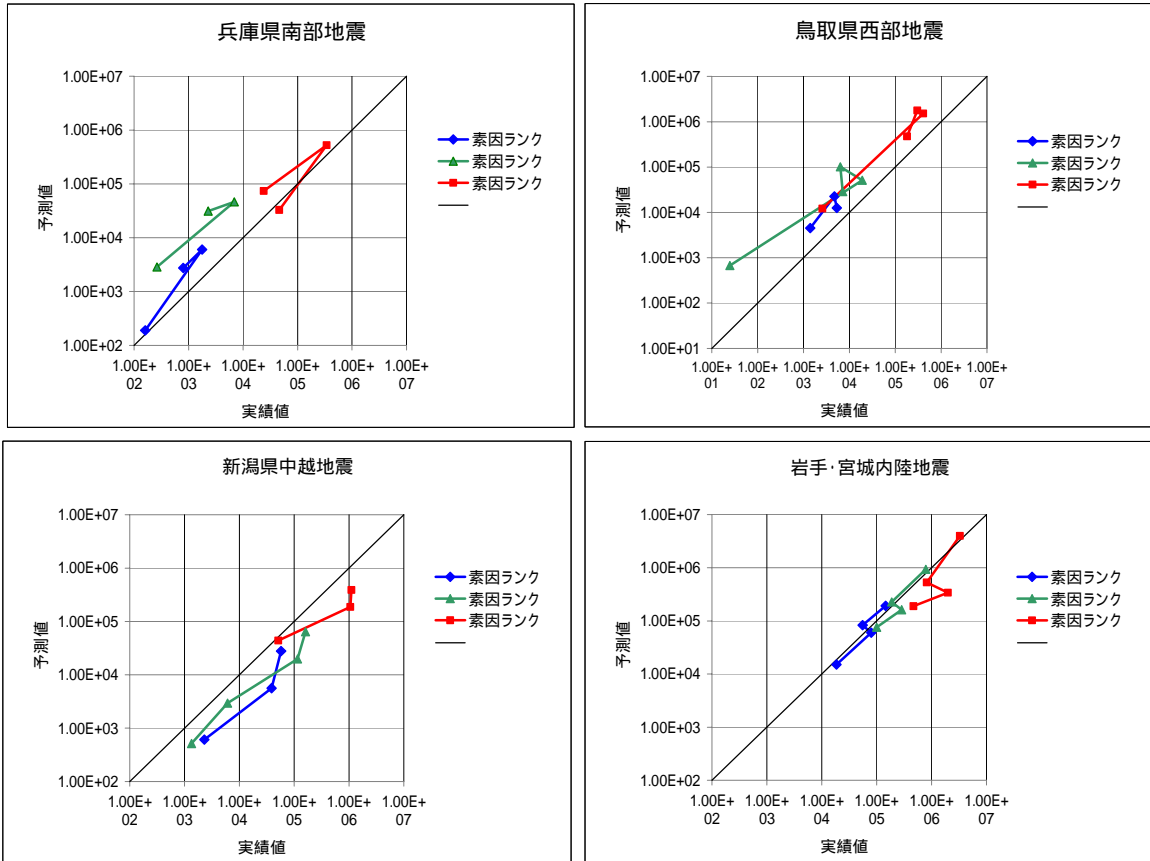


図 -23 実績崩壊面積と推定崩壊面積

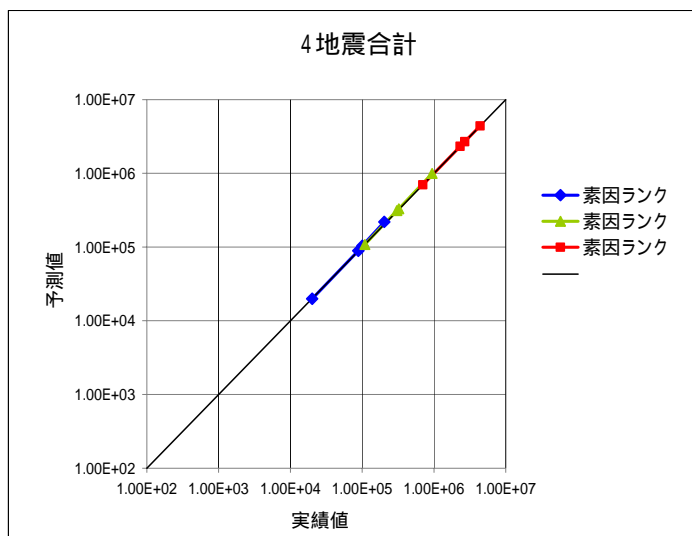


図 -24 実績崩壊面積と推定崩壊面積 (4地震合計)

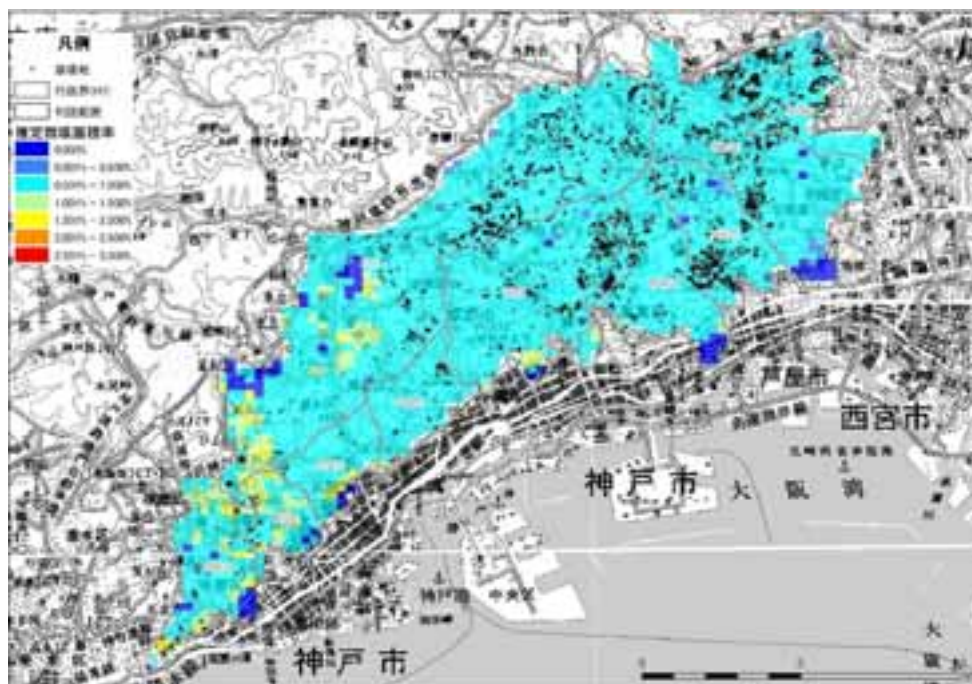


図 -25(1) 250m メッシュ別崩壊面積率分布図（兵庫県南部地震）

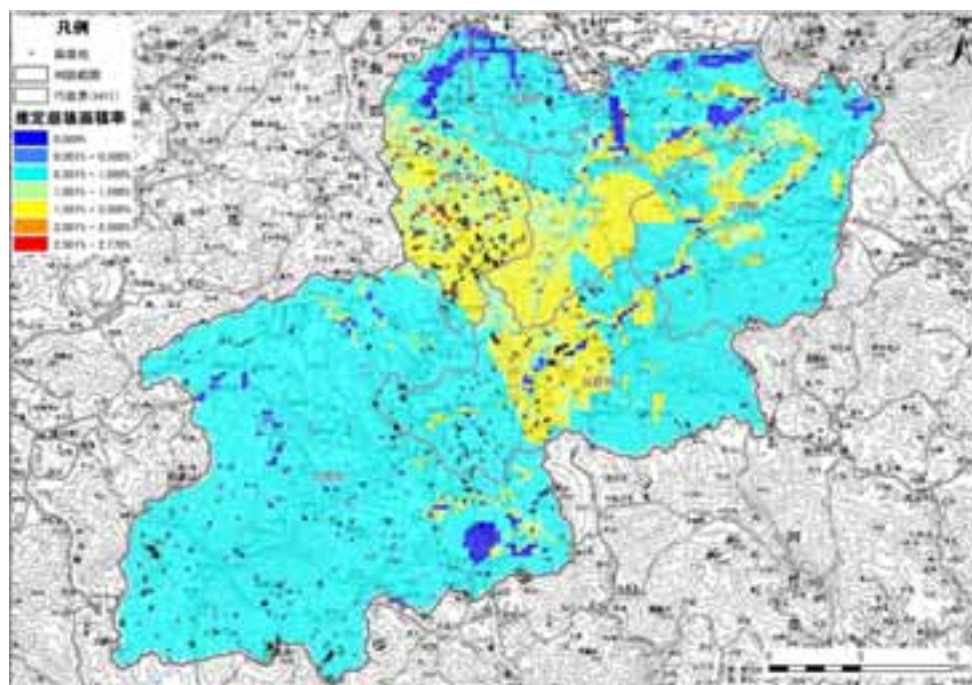


図 -25(2) 250m メッシュ別崩壊面積率分布図（鳥取県西部地震）

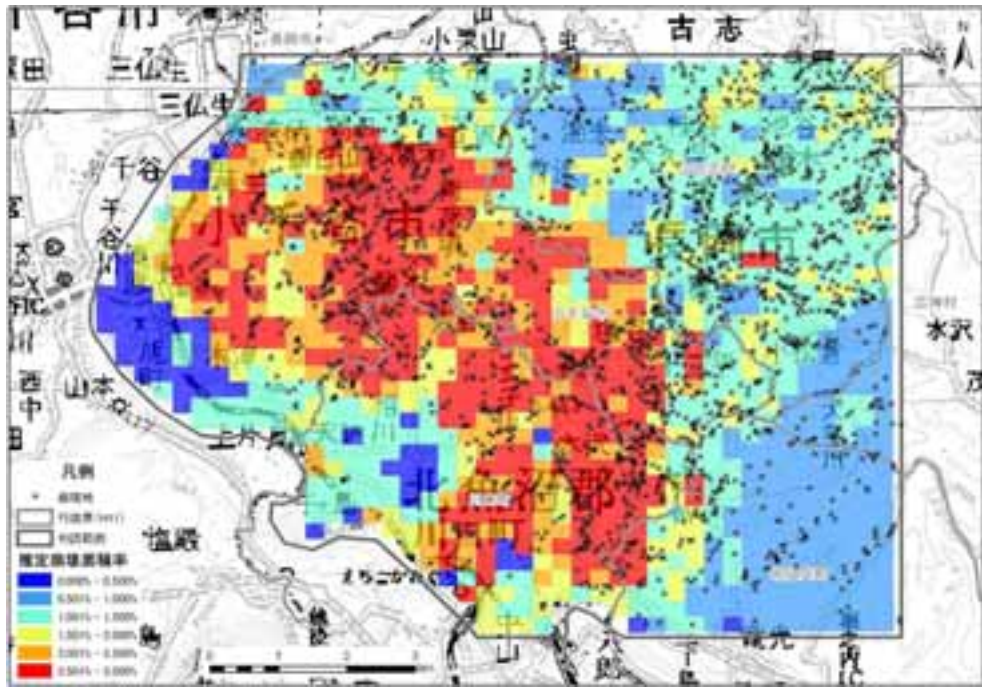


図 -25(3) 250m メッシュ別崩壊面積率分布図（新潟県中越地震）

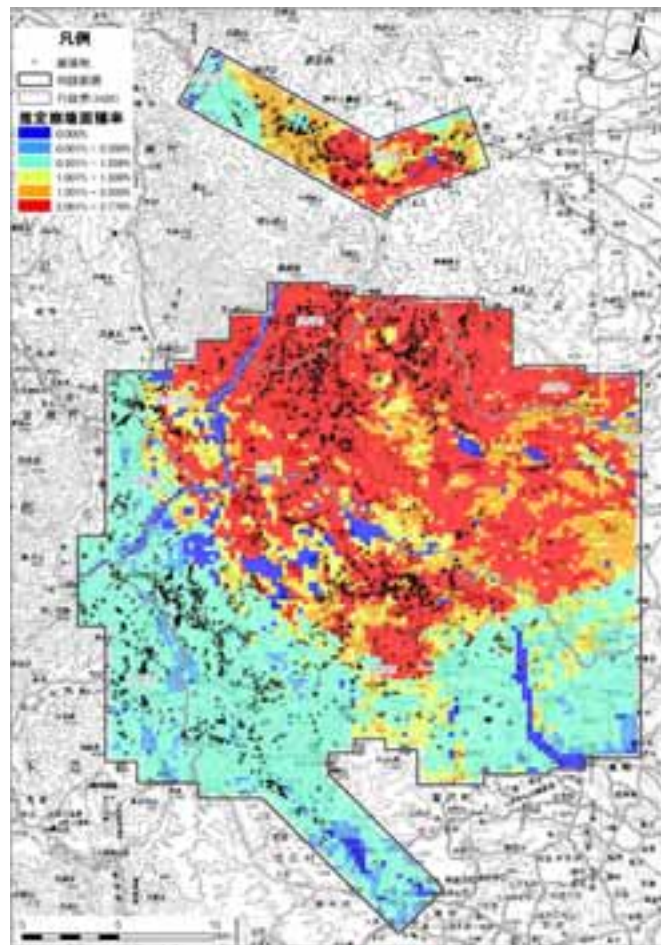


図 -25(4) 250m メッシュ別崩壊面積率分布図（岩手・宮城内陸地震）

