

## II-14 地すべりの危険箇所の抽出手法に関する調査

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：藤澤和範、石井靖雄

### 【要旨】

地すべりによる被害の軽減のためには、地すべりの危険箇所を抽出しその危険度を評価してハザードマップを整備することが重要となる。本調査では数値標高モデル（DEM）データから地すべりブロックを自動抽出するアルゴリズムと、地すべり危険箇所調査項目と既往災害発生データの相関分析により危険度評価手法の改良について検討を行った。その結果、自動抽出は勾配 - ラプラシアン - 凹凸度、または勾配 - 地上開度 - 地下開度を用いた地すべり領域の抽出と、遷急線・遷緩線を用いた地すべり境界の抽出を組合せて評価するアルゴリズムにより、典型的な地すべり地形を有する地すべり地は自動抽出が可能であることを示した。また、相関分析により災害の発生と高い相関性が認められた「地すべり履歴」、「地すべり地形の明瞭さ」、「地すべり兆候」、「地質」等の地すべり危険箇所調査項目に着目し、既往の各調査項目の配点を補正することでより適切な危険度評価に改良できることを示した。

キーワード：数値標高モデル（DEM）、危険度評価、相関分析、地すべり危険箇所調査

### 1. はじめに

地すべりによる被害の軽減のためには、地すべりの危険箇所を抽出しその危険度を評価してハザードマップを整備することが重要となる。現在、地すべり危険箇所の抽出や危険度の判定は熟練した技術者の判断により行われているが、その結果は個人差を伴い客観性に欠ける部分があり、また作業には多くの時間と労力を要する。全国で標準化されたハザードマップを作成するためには、その作業の効率と客観性を高める必要がある。そこで本調査では地すべり危険箇所の自動抽出手法および危険度の概略評価手法の提案を達成目標とし、数値標高モデル（以下DEMという）データから地すべりブロックを自動抽出するアルゴリズムと、地すべり危険箇所調査項目と既往災害発生データの相関分析による危険度評価手法の改良について検討を行った。

### 2. DEM を利用した地すべり危険箇所の自動抽出手法

#### 2.1 自動抽出アルゴリズム

一般に地すべり地形は、移動体（移動により緩傾斜になった斜面）と滑落崖（移動体の上部～側部を囲む急傾斜地）という二つの特徴的な地形領域により構成されている。また、これらの領域の境界には地形勾配が急激に変化する遷

急線・遷緩線が認められる場合が多い。そこで、地すべり危険箇所の自動抽出のアルゴリズムは図-1 で示すとおり、遷急線・遷緩線を抽出する「①地すべり境界の線データの抽出」と移動体と滑落崖の地形領域を抽出する「②地すべり領域の面データの抽出」を並行処理し、次にそれらの抽出結果を1つの地すべりプロ

### 地すべり危険箇所の自動抽出アルゴリズム

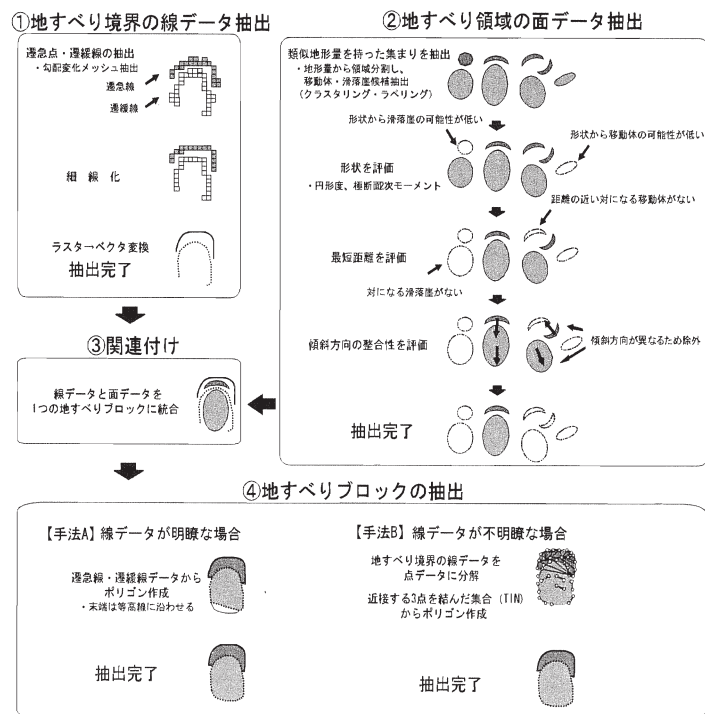


図-1 地すべり危険箇所の自動抽出アルゴリズム

ックのデータに統合する「③関連付け」を行い、最後に移動体と滑落崖の地形領域の境界を遷急線・遷緩線で囲い込んで地すべりブロックとして抽出する「④地すべりブロックの抽出」という流れのデータ処理を考案した。それぞれデータ処理については以下に述べる。

### 2. 1. 1 地すべり境界の線データ抽出

- 1) 各メッシュ点から上下-左右-斜めの8方向で最大傾斜方向を探索し、その方向の上流方向と下流方向の開度に閾値を設ける開度法(図-2)によりDEMデータから地形勾配が変化する遷急線と遷緩線データを抽出する。
- 2) 1)で抽出されたデータを一本の線になるまで細線化する(図-1参照)。
- 3) 細線化したデータをラスタ形式からベクター形式に変換し、線データとしての遷急線と遷緩線を抽出する(図-1参照)。

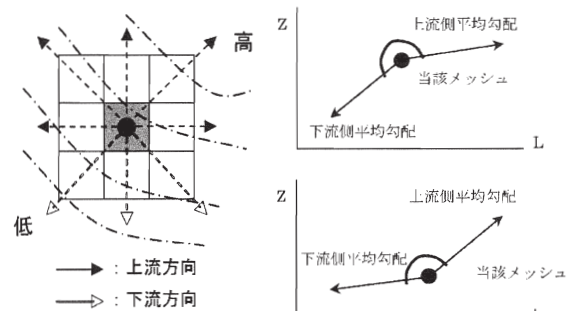


図-2 遷急線・遷緩線の抽出方法

### 2. 1. 2 地すべり領域の面データ抽出

- 1) 移動体と滑落崖の候補となる地形量の面データを全て抽出する。地すべり領域の面データの抽出に有効な地形量として、DEM上の各セルについて、勾配、地上開度、地下開度、凹凸度、ラプラシアン、起伏量、水系密度の各値を計算する。これらの値の分布と既存の地すべり分布図を比較すると、勾配-ラプラシアン-凹凸度の組合せと勾配-地上開度-地下開度の組合せが滑落崖や移動体といった地すべりに特徴的な地形の分布と類似する傾向を示した。
  - 2) 円形度と極断面2次モーメントを用いて面データの形状の評価し、移動体や滑落崖の可能性の低い面データを除外する(図-1参照)。
  - 3) 一定距離以内に対(移動体-滑落崖)となり得る面データがあるかを評価し、移動体と滑落崖が対とならない面データを除外する(図-1参照)。
  - 4) 移動体と滑落崖の傾斜方向が一致していない面データを除外する(図-1参照)。
- 以上の過程を経て、一對の移動体と滑落崖の面データが抽出される。

### 2. 1. 3 関連付け

地すべり領域の面データと一定距離以内にある地すべり境界の線データとを関連付け、1つの地すべりブロックのデータとする。また、線データの長さに閾値を設けて、閾値より短い線データはノイズとして除外する(図-1参照)。

### 2. 1. 4 地すべりブロックの抽出

滑落崖の遷急線データと移動体の遷緩線データから地すべり領域を囲い込むポリゴンを作成することで地すべりブロックが抽出される。この際、地すべり境界の線データが明瞭な場合と不明瞭な場合とでアルゴリズムが異なる。線データが明瞭な場合は、線データからポリゴンを作成し、移動体末端部については等高線に沿わせる形状でポリゴンを作成する。一方、線データが不明瞭な場合は、途切れ途切れの線データの端末を点データとして分解し、近接する3点を結んだ集合体(TIN)からポリゴンを作成する(図-1参照)。

### 2. 2 適用性の検討

以上の地すべり危険箇所の自動抽出アルゴリズムにより、実際の地すべり分布域のDEMデータを利用して地すべりブロックを抽出した。その結果から抽出精度について検証し、地すべり危険箇所を抽出する際の適用性について考察を行った。

#### 2. 2. 1 調査地とDEMデータ

地すべりブロックの抽出を行ったのは、群馬県「草津白根」地区と岩手県「澄川」地区である。草津白根では2.5mメッシュのDEMを使用し、上の山地すべり(幅・長さ約500m)の抽出を目標とした(図-3)。澄川では1mメッシュのDEMを使用し、澄川地すべりと隣接する地すべり(幅・長さ約300~400m)の抽出を目標とした(図-4)。

#### 2. 2. 2 検証結果

自動抽出による地すべりブロックと既往地すべり調査結果を参考にした空中写真判読による地すべりブロックの比較を図-5, 6に示した。

これらを見ると、自動抽出による地すべりブロックと地形判読による地すべりブロックの分布は、概ね一致しており、滑落崖と移動体が一対となっている典型的な地すべり地形は自動抽出が可能であることが示された。ただし、図-6 澄川地区のように複数の小ブロックや滑落崖を伴わない地すべりブロックを抽出することは不可能であった。

#### 2. 2. 3 適用性について

本研究で開発した地すべり危険箇所の自動抽出アルゴリズムは、滑落崖と移動体が一対となっている典型

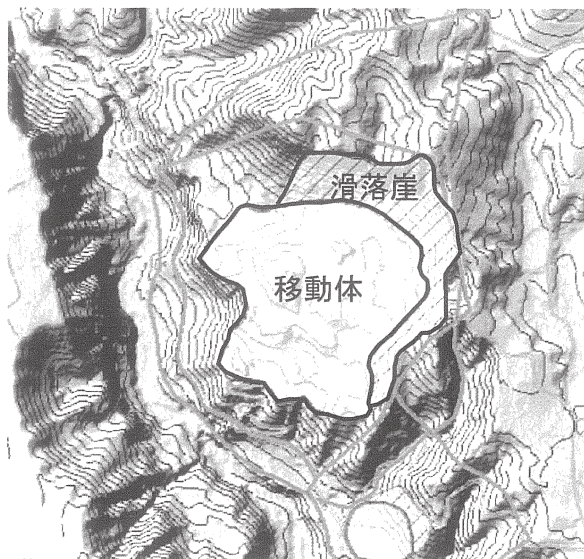


図-3 草津白根地区 (山の上地すべり)

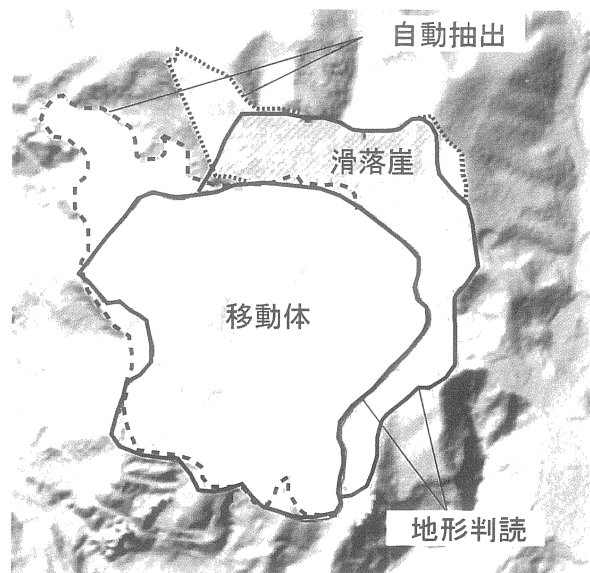


図-5 自動抽出結果 (草津白根地区)

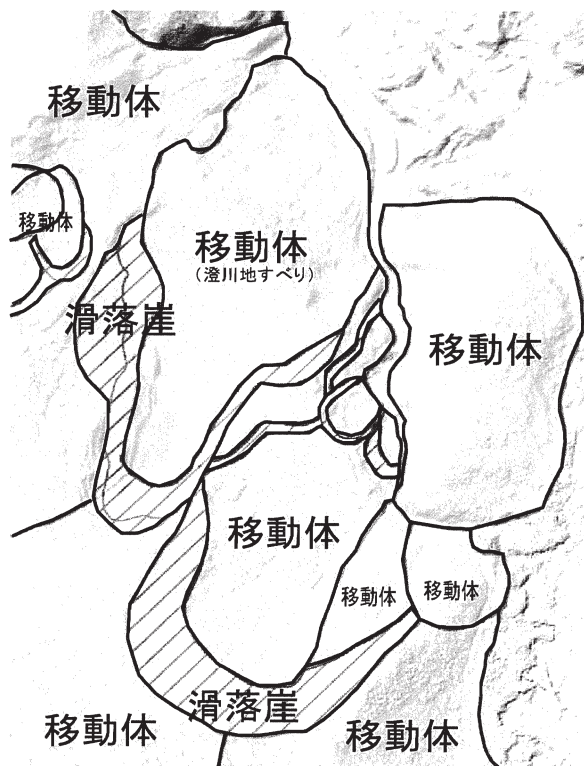


図-4 澄川地区 (澄川地すべりと周辺の地すべり) 的な地すべり地形は自動抽出が可能であることが示された。しかし、小ブロックや滑落崖を伴わない地すべりブロックを抽出することは不可能であった。そのため本アルゴリズムの利用方法としては、技術者による地形判読では時間と労力を要する広範囲からの地すべりブロックの抽出作業において、典型的な地すべり地形を概略的に抽出することで技術者による地形判読の省力化に利用すること等が考えられる。

また、今回その検討過程において遷急線・遷緩線を抽出する手法を提案した。遷急線・遷緩線の分布は地すべりの判読において重要であり、判読作業の省力化

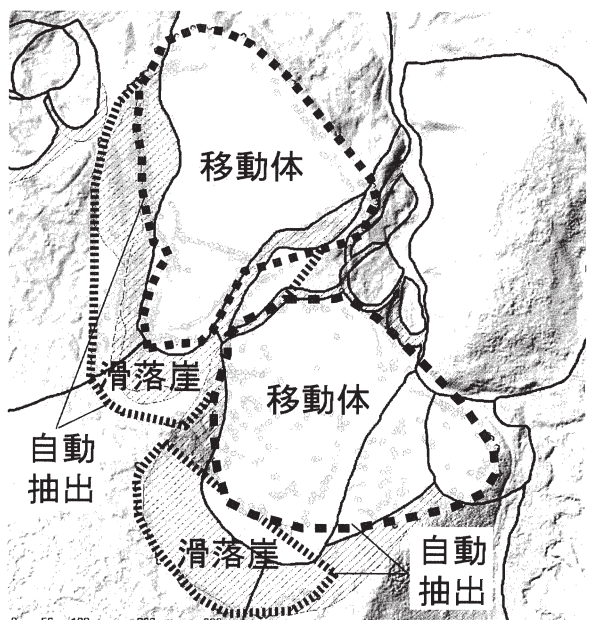


図-6 自動抽出結果 (澄川地区) につながる補助データになると考えられる。さらに、遷急線・遷緩線を抽出する手法は、今後初生地すべりの発生危険箇所の推定につながる可能性がある。

### 3. 相関分析を利用した地すべり危険箇所の危険度評価手法

現在の地すべり危険箇所調査は、「地すべり危険箇所調査要領」<sup>1)</sup>に定められた地質、地形的項目について調査員が現場踏査を行い、危険度の得点を決定している(表-1)。項目の中には「地すべり地形の明瞭さ」、「地すべりの兆候」など、調査員の主観が大きく影響する項目があり、これらの項目の配点が高くなってい

る。また、各調査項目の配点の根拠が定量的に示されておらず、地すべりの危険度を必ずしも適切に評価しているかが不明であり、調査項目と危険度との関連性を検証する必要がある。

そこで、新潟県、長野県、愛媛県、長崎県の危険箇所調査結果と災害報告資料（H4～H17）を収集し、相関分析手法を用いて各調査項目の災害発生への影響度を分析した。

### 3.1 災害発生状況

収集した危険箇所調査結果数は、新潟県 595 箇所、長野県 486 箇所、愛媛県 452 箇所、長崎県 348 箇所です。また、上記の危険箇所の中で地すべり災害が発生した箇所数は、新潟県が 157 箇所、長野県 73 箇所、愛媛県 10 箇所、長崎県 4 箇所であった。地すべり災害報告の被害状況を見ると、道路や建造物基礎への亀裂発生、水道管・下水道管の破裂、土砂流出による道路通行止めが多く、局所的で小規模な災害に限られている。

### 3.2 各調査項目の災害発生率

各調査項目の災害発生率は、単純な分析値であるが、各調査項目と災害発生との相関性について概観する場合には有効である。図-7 に全データ、県別の各調査項目における災害発生率を示す。

「地すべり履歴」は、全データ、各県のケースともに 100% の災害発生率となっており、災害発生との相関性が高いと考えられる。その他に災害発生に影響している項目は、「地すべり地形の明瞭さ」「地すべり兆候」が挙げられる。なお、愛媛県では「地すべり地形の明瞭さ」において明瞭よりもやや明瞭で災害発生率が大きくなっているが、災害発生箇所数が 10 箇所と少ないため統計解析としての信頼性は低いと考えられる。また、「地すべり兆候」では、兆候ありより小兆候ありが災害発生に寄与している結果となったケースが認められ、調査段階における調査員の主観の影響が

分析に現れているものと推測される。その他、新潟県と長野県のように第三紀層の分布地域では「第三紀層」が、愛媛県のように中・古生層の分布地域では「中古

表-1 危険箇所調査要領の危険度判定表

項目	着眼点	配点	得点	
地すべり徴候	斜面に連続する亀裂、隆起や陥没、あるいは斜面安定工に異常・変状がみられる。路面に隆起、亀裂等の異常が認められる。	20		
	小崩壊や斜面に隆起、亀裂等の異常が認められる。	10		
	徴候なし。	0		
地すべり地形	滑落崖。丘状地形、緩傾斜地、等高線の乱れ、河川などへの押し出し等の地すべり地形が認められる。	明瞭	10	
		やや明瞭	6	
		不明瞭	2	
地質等	断層・破砕帯		5	
	火山変質帯、温泉余土		5	
	流れ盤		4	
	受け盤		2	
	貫入岩またはキャップロック構造の周辺斜面		1	
	その他		0	
	年代及び岩質	中・古生層（結晶片岩、堆積岩）		2
		第三紀層（堆積岩）		2
		緑色岩・蛇紋岩の分布域		2
		第四紀層（堆積岩）		1
その他（火山岩、深成岩等）			0	
湧常水	あり		3	
	なし		0	
地すべり履歴	過去の災害、地すべり記録や確かな伝承等	あり	20	
		なし	0	
合計点				

判定区分	配点	得点
A	40点以上	
B	20点以上～40点未満	
C	20点未満	

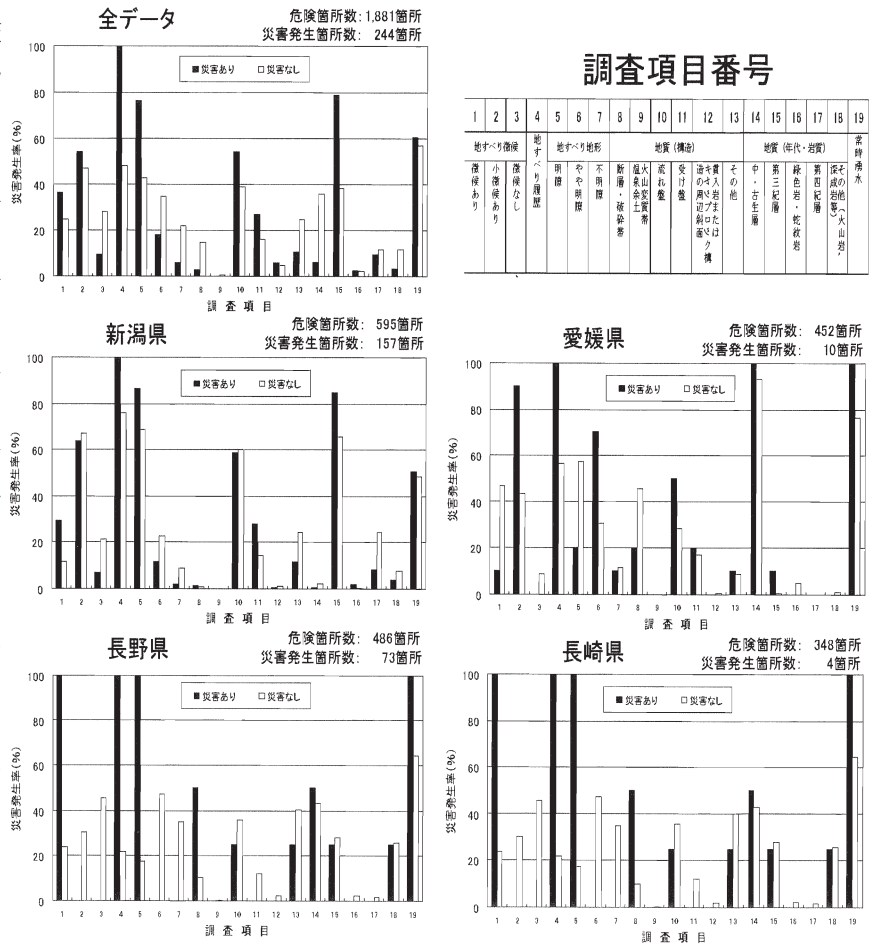


図-7 各調査項目における災害発生率

生層)の災害発生率が大きい傾向にあり、「地質(年代・岩質)」が災害発生率と関係している可能性が示された。また、長野県と長崎県では「常時湧水」が災害発生に関連している可能性がある。

### 3.3 相関分析

各調査項目と災害発生との単相関係数(他の調査項目との相関を含んだ相関係数)と偏相関係数(他の調査項目との相関を含まない、ある調査項目単独での災害発生との相関係数)を求めた。一般に、単相関係数、偏相関係数ともに0.5以上の値の場合に相関性が高いとされている。図-8に全データを用いた分析結果を示す。

全体に相関係数は小さく0.5未満であるが、「地すべり履歴」は単相関係数が0.35、偏相関係数が0.24と他の調査項目と比較すると高い値となっている。また、「地すべり地形明瞭」も単相関係数が0.23、偏相関係数が0.11であり、災害発生に影響していると考えられる。単相関係数についてみると、「地すべり履歴」、「地すべり地形明瞭」以外に相関係数が高いものとして、「中・古生層」の0.21、「第三紀層」の0.27があげられる。これらは他の調査項目との組合せによっては災害発生と相関性があるものと考えられる。

### 3.4 多変量解析(数量化Ⅱ類)

数量化Ⅱ類は質的データにおける判別分析にあたり、各調査項目が災害発生に及ぼしている影響度合を分析する。解析は、素因に着目したケース(「地すべり地形」、「地質構造等」、「年代及び岩質」、「常時湧水」と災害発生の関係について分析を実施)と兆候・履歴に着目したケース(「地すべり兆候」、「地すべり履歴」、「地すべり地形」と災害発生の関係について分析を実施)に調査項目を区分し、全データ、県別にそれぞれ行った。

まず数量化Ⅱ類における解析値に相関比があげられ

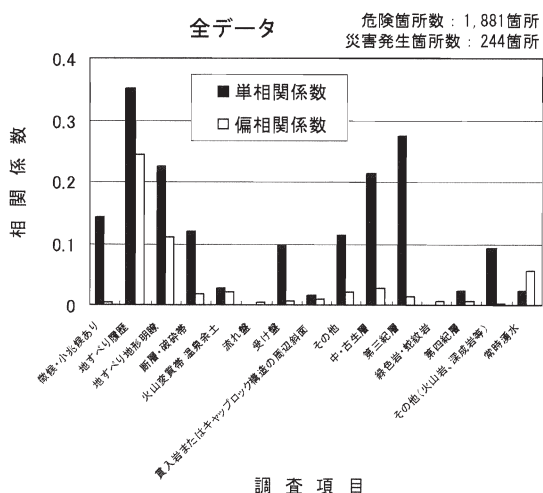


図-8 各調査項目における相関係数

る。この相関比は調査項目が災害発生に影響を及ぼす度合を示すもので、1に近いと調査項目の該当と災害発生の有無が一致しており、逆に0に近いと調査項目の該当と災害発生の有無の分離がされてないことになる。一般に0.25以上の相関比の場合に相関性があると言われている。解析結果の相関比を図-9に示す。

解析対象を兆候・履歴とした長野県で0.27を示す以外、相関比は0.2未満と小さく調査項目の該当と災害発生の有無の分離がされてないことが示された。したがって、数量化Ⅱ類による多変量解析では、調査項目ごとの災害発生に関与する影響度合を区分することは不可能であった。

### 3.5 危険度評価手法の改良

以上の各調査項目の災害発生率の分析結果、相関分析結果、多変量解析(数量化Ⅱ類)結果から、調査項目と災害発生との関係は以下のようにまとめられる。

- 1) 災害発生と相関性が高い調査項目は「地すべり履歴」と「地すべり地形」である。
- 2) 「地すべり兆候」、地質(年代・岩質)の「中古生層」と「第三紀層」、「常時湧水」も地域によっては災害発生と相関性がある。
- 3) 上記の災害発生と相関性がある調査項目の影響度合を比較し区分することは今回の解析結果からはできない。

以上から地域ごとに災害発生に関連している各調査項目のみを用いて、それぞれ調査項目の得点を一定の20点として危険度判定を行い(表-2)、現行配点による危険度判定結果と比較をした。危険度の判定区分は現行どおりのAランク:40点以上、Bランク:40点未満20点以上、Cランク:20点未満とした。表-3に現行配点と見直し配点の危険度評価の比較の結果を

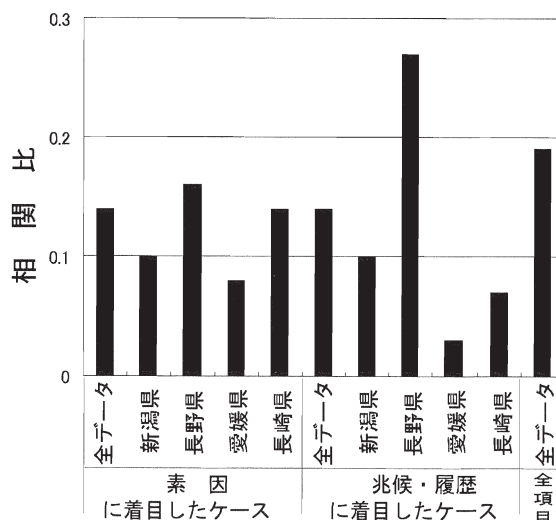


図-9 数量化Ⅱ類による相関比

示す。

新潟県と長野県では、現行配点による危険度判定ではAランクの災害発生割合が92%と78%であったのに対し、見直し配点では99%と82%と高くなった。また、Bランクの災害発生割合が8%と22%であったのに対し、見直し配点では1%と18%に低くなった。したがって、見直し配点による危険度判定結果、現行配点結果より危険箇所をより適切に評価できるよう改良されたことが示された。なお、見直し配点によるAランクの危険箇所数は、新潟県483箇所、長野県184箇所と現行配点の危険箇所数、新潟県399箇所、長野県143箇所よりも増加している。そのためAランク危険箇所における災害発生率は低下している。しかし、災害発生箇所数は過去10年間程度のものであり、今後の災害発生は前述した災害発生割合でAランクの危険箇所に集中して増加する可能性がある。

愛媛県と長崎県では、現行配点による危険度判定でAランクの災害発生割合がともに100%であったのに対し、見直し配点では愛媛県で90%に低下した。しかし、愛媛県の災害発生箇所数は10箇所と少ないため、現行配点と見直し配点の優劣を判断することは困難である。一方、見直し配点によるAランクの危険箇所数は、愛媛県180箇所、長崎県61箇所と現行配点の危

表-2 得点を与えた調査項目

解析ケース	得点を与えた項目および得点						
	地すべり徴候あり	地すべり小徴候あり	地すべり履歴あり	地すべり地形明瞭	地すべり地形やや明瞭	第三紀層	常時湧水
新潟県	20		20	20		20	
長野県	20		20	20			20
愛媛県		20	20		20		
長崎県	20		20	20			
全データ			20	20		20	

表-3 危険度評価結果の比較

判定区分		現行配点				表-2の配点			
		災害発生			②/①	災害発生			②/①
		① 危険箇所数	② 箇所数	③ 割合(%)		④ 危険箇所数	⑤ 箇所数	⑥ 割合(%)	
新潟県	A	399	145	92	36	483	156	99	32
	B	157	12	8	8	89	1	1	1
	C	39	0	0	0	23	0	0	0
長野県	A	143	57	78	40	184	60	82	33
	B	144	16	22	11	144	13	18	9
	C	189	0	0	0	158	0	0	0
愛媛県	A	280	10	100	4	180	9	90	5
	B	142	0	0	0	189	1	10	1
	C	39	0	0	0	83	0	0	0
長崎県	A	71	4	100	6	61	4	100	7
	B	98	0	0	0	81	0	0	0
	C	179	0	0	0	206	0	0	0
全データ	A	895	216	89	24	856	222	91	26
	B	541	28	11	5	628	22	9	4
	C	447	0	0	0	399	0	0	0

険箇所数、愛媛県280箇所、長崎県71箇所よりも減少している。このことは、今後災害発生実態をふまえて分析していく必要があるが、安全側に評価されていた地すべり危険箇所を合理的に再評価できる可能性を示しているとも考えられる。

### 3.6 適用方法

以上のように、「地すべり履歴」以外の調査項目は、地域により災害発生との相関性の有無が異なっている。したがって、各地域ごとに災害発生データを収集して調査項目と災害発生との相関性を分析し、災害発生と相関性の高い調査項目とその項目の配点を見直すことで、現行の危険度判定よりも適切な危険度評価に補正することが可能であると考えられる。

## 4. まとめ

本調査では数値標高モデル (DEM) データから地すべりブロックを自動抽出するアルゴリズムと、地すべり危険箇所調査項目と災害発生データの相関分析による危険度評価手法について検討した。その結果、前者においては地すべり領域の抽出と遷急線・遷緩線の抽出を組合せて評価するアルゴリズムにより、典型的な地すべり地形を有する地すべり地は自動抽出が可能になった。また、後者においては、既往の各調査項目の配点を補正することでより適切な危険度評価に改良できることを示した。達成目標については、上記のことから達成できたと判断する。

今後の課題として次のことがあげられる。①地すべり危険箇所の自動抽出アルゴリズムについては、滑落崖-移動体が一対となった典型的な地すべり地形については概略的に抽出可能であった。しかし、不明瞭な地すべり地形を示す地すべりブロックも多くある。今後は、不明瞭な地すべり地形に対する自動抽出手法の開発が望まれるとともに、さらには初生地すべりの発生危険箇所を推定する技術開発が望まれる。②地すべり危険箇所の危険度評価については、「地すべり地形の明瞭さ」、「地すべりの兆候」など、調査員の主観が大きく影響する項目と災害発生との相関性が不明瞭であった。相関分析をより精度あるものにするためには、調査項目の判定の質を向上させなければならない。今後は各調査項目を正確に判定できるように、各調査項目の調査手法を改良する必要がある。

## 参考文献

- (社)全国治水砂防協会 (2000) : 地すべり対策事業の手引き, pp91~113.