

II-3 大変位地すべりの発生場の条件に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 14～平 16

担当チーム：地すべりチーム

研究担当者：藤澤和範、野村康裕

【要旨】

地すべり土塊の移動到達長さは、経験的に地すべりブロック長さ（L）と同程度（250m が上限）とすることが多いが、それを超えて移動する地すべり（大変位地すべり）もまれに発生している。大変位地すべりは人的被害を甚大にする可能性が高く、事前の移動距離予測とそれに伴うソフト対策が重要となる。本研究は、既往地すべり災害の統計的解析から大変位地すべりの発生場条件を明らかにすることを目標として実施した。まず、過去の地すべり災害事例について資料を収集し、それぞれを移動形態、地質、地形、地下水等の項目について整理した。そして多変量解析によって、地形的な要因が移動形態の決定に大きな影響を及ぼしていることを示した。次に、地形的要因に絞った多変量解析によって、大変位地すべりの発生に寄与する因子を調べた。その結果、「下方斜面長さ / 地すべりブロック幅」、「地すべり斜面勾配」の2つの因子によって、大変位地すべりとその他の地すべりを 92.2%判別できることが分かった。また、事例整理の結果、250m を超えて移動した地すべりの 94.7%は沢に流入し流動化した事例であることが分かった。

キーワード：地すべり、大変位、統計解析、多変量解析、発生場条件

1. はじめに

経験上、地すべり土塊の到達距離は地すべりブロックの長さ（L）と同程度（250m が上限）と一般的に言われているが、実際にはまれにブロック長さを超えて移動する地すべり（ここでは大変位地すべりと呼ぶ）が発生している。このような地すべりについては、発生場条件が明確にされておらず、対策上十分に考慮されているとは言えない。しかし、ひとたび大変位地すべりが発生すれば人的、物的被害が甚大になる可能性が高く、地すべりが大変位するかどうかを事前に把握する手法の開発は非常に重要である。

滑動し始めた地すべりの移動到達範囲を予測する手法や土塊の移動距離の大きな地すべりの事前把握については、地形的要因の統計整理¹⁾、判別分析による事例解析²⁾、地すべり土塊の性状と運動形態の関わりに着目した統計整理³⁾、といった統計的視点からの研究や、実験を通して土塊の摩擦係数を求め運動方程式を導く方法⁴⁾、といった崩土についての運動モデルの数値解析で移動範囲を推定する方法など、多くの研究が行われているものの、有効な検討方法は確立されていないのが現状である。

本研究では、全国の地すべり事例を対象に土塊の移動形態により分類し、それぞれの地すべりの発生場条件についてデータの収集整理を行った。また、多変量解析によって地すべりの移動形態とその発生場条件と

表-1 地すべり移動形態

移動形態	箇所数
1 わずかに移動	72
2 移動したが土塊はほぼ発生域内に残存	44
3 土塊のほぼ半分が発生域外に押出し	38
4 土塊のほぼ半分が発生域外に押出し流動化	26
5 土塊のほぼ半分が発生域外に押出し流動化して沢を流下	11
6 土塊のほとんどが発生域外に押出し流動化	12
7 土塊のほとんどが発生域外に押出し流動化して沢を流下	2
合計	205

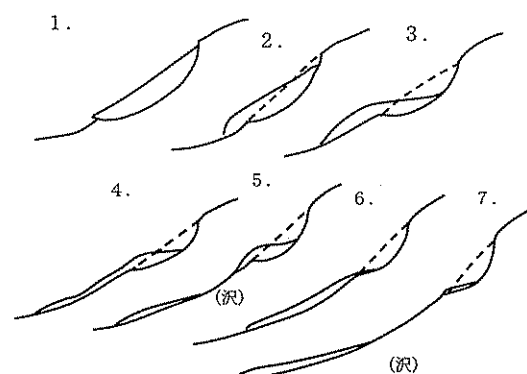


図-1 地すべり移動形態

の関係について調べることで、大変位地すべりの発生する条件を明らかにすることを試みた。

2. 移動形態を規定する要因の把握

2.1 事例の収集と整理

収集した全国の地すべり事例のうち、データがあま

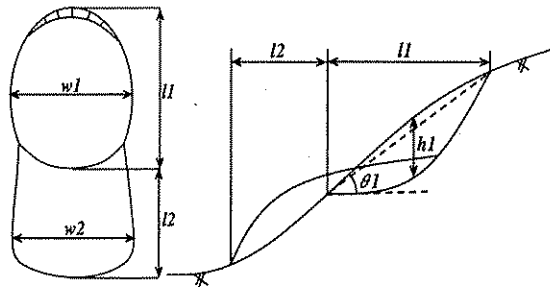


図-2 地すべり移動前後の諸元

表-2 整理項目一覧

要因	細目
移動土塊の性状	1. 粘土質土砂 4. 風化した岩 2. 砂礫質土砂 5. 新鮮な岩 3. 巨礫混じり土砂
地すべり発生の誘因	1. 豪雨 3. 融雪 2. 長雨
下方斜面の地形	1. 河川、沢に面する 3. 末端が平坦面に面する 2. 末端が斜面途中
基盤岩の地質年代	1. 中生代 3. 新第三紀 2. 古第三紀 4. 第四紀
基盤の種類	1. 堆積岩 3. 深成岩 2. 火山岩 4. 変成岩
地質構造	1. 断層・破碎帯 4. 受け盤 2. 火山変質帯、温泉余土 5. キャップロック構造 3. 流れ盤
地下水	1. 高水位 2. 低水位
地すべり幅	w1 (m) (図-2)
地すべり長さ	l1 (m) (図-2)
地すべり深さ	h1 (m) (図-2)
斜面傾斜	$\theta 1$ (°) (図-2)

表-3 出現頻度の高い要因

地すべりの性状		割合
基盤岩の地質年代	新第三紀	70%
基盤の種類	堆積岩	68%
地質構造	断層・破碎帯	51%
地下水	高水位	62%
地すべりの誘因	豪雨	45%

りに不足するもの、地震が原因のもの、人為的なもの、崖崩れ、ブロック末端部の移動なし（移動が観測されていないもの）、等を除いた 205 事例についてデータ収集を行った。また、各地すべりについて空中写真判読等を行い、表-1、図-1 に示す移動形態に分類した上で、地すべり危険箇所調査要領⁵⁾をもとに移動形態の決定に寄与すると考えられる要因（図-2、表-2）に着目してデータの整理を行った。表-1 に示す移動形態の分類で言う「押し出し」とは、地すべり土塊が原形に近い形のまま移動した状態を示し、「流動化」とは地すべり土塊が原形を留めず流体運動をした状態であることを示している。なお、ここでは地質・土質の要因や地下水状況等の定性的要因も含めて解析を行うことを

念頭に、解析結果に物理的な意味付けを行いやすいよう、定性的な移動形態に基づく地すべり分類を行った。

2. 2 移動特性と発生場条件の傾向

事例収集、データ整理の結果、地すべりの質的要因（定性的な要因）のうち、地すべり発生要因としての出現頻度の高い細目を表-3 に示す。これは多くの文献、論文等⁶⁾においても地すべり発生要因として挙げられる地質や年代的偏りとほぼ一致するものである。

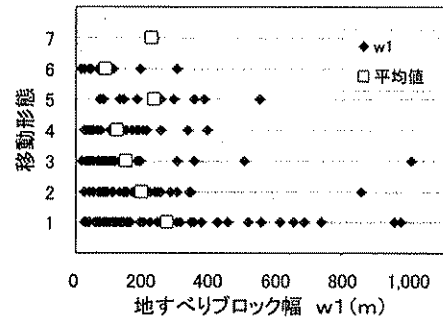


図-3 移動形態と地すべり幅の関係

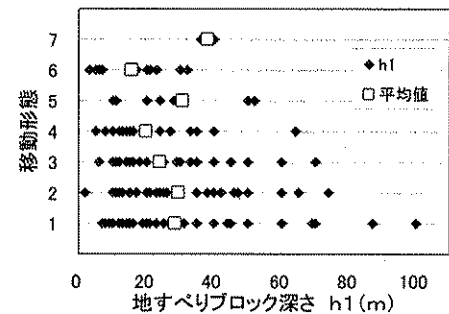


図-4 移動形態と地すべり深さの関係

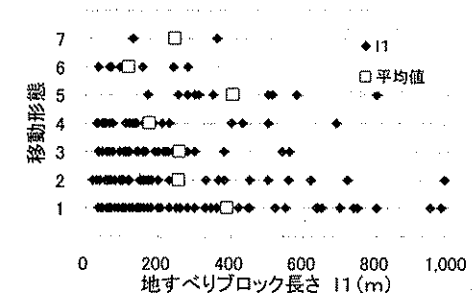


図-5 移動形態と地すべり長さの関係

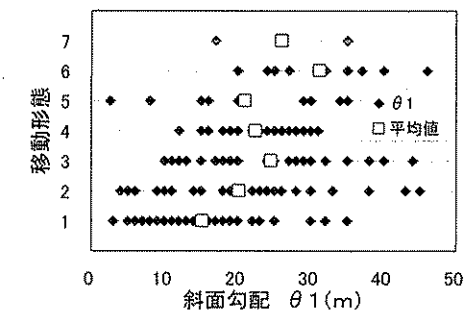


図-6 移動形態と斜面勾配の関係

表-4 地すべり流動化に伴う質的要因の傾向

要因	移動形態					流動化に伴う傾向 (移動形態1→7)
	1	2	3	4	5, 6, 7	
	移動形態ごとの各細目の出現頻度					
移動土塊の性状	新鮮岩 5%		0%			「風化、新鮮岩」より「粘土質土砂」、「砂礫質、巨礫混じり土砂」の割合が多くなる。
	風化岩 35~40%		10~30%			
	巨礫、砂礫質土砂 20~30%		30~35%		70%	
	粘土質土砂 25→50%へ上昇傾向(移動形態1→5)				15%	
下方斜面の地形	河川、沢に面する 30~50%		10~20%			「河川、沢に面する」より「末端が斜面途中」、「末端が平坦面に面する」が多くなる
	末端が斜面途中、平坦面 55~65%		80~90%			
基岩盤の種類	堆積岩 65~80%		45~60%			全体的に堆積岩が多い中で火山、深成岩、変成岩の割合が多くなる。
	火山岩、変成岩、深成岩 20~35%		36~55%			
地質構造	断層・破碎帯 37~49%		55~66%			全体的に断層・破碎帯が多い中で火山変質帯、貫入岩が多くなる。
	受け盤、流れ盤(移動形態2:58%以外) 20~25%		11%	0%		
	貫入岩、火山変質帯 5~25%		33~38%			

表の左側は、移動状況毎に要因の占める大まかな割合の変化を示している。例えば、「移動土塊の性状」で風化岩は移動状況1~3では35~40%を占めるが、移動状況4~7では10~30%と占める割合が低下することを示す。

2. 2. 1 定性的な要因の傾向

質的要因のうち、地すべり土塊の移動形態によって細目の出現頻度に偏りのある要因について、その傾向を表-4に示す。移動土塊の性状については、風化岩よりも粘土質土砂、砂礫質・巨礫混じり土砂が比較的流動化しやすい⁷⁾ために、地すべりの流動化傾向が強くなるとともに後者の出現頻度が増加していると考えられる。下方斜面の地形については、地すべり末端部が河川・沢に面するものは地すべりの移動が対岸により抑止される、もしくは河川の流水により流出するために、地すべりの移動形態の流動化傾向が強まるとともに出現頻度が減少しているものと考えられる。

2. 2. 2 地すべり規模

地すべり規模を表す要因(ブロック幅:w1、ブロック深さ:h1、ブロック長さ:l1)については、図-3~5に示すように地すべりの流動化傾向が強くなるにつれて、概ね平均値が減少する傾向が見られた。すなわち、大規模な地すべりでは流動化傾向が弱いと言える。ただし、移動土塊が河川・沢に流下した事例である移動形態5,7では全体的な傾向からはずれる結果となった。

2. 2. 3 斜面傾斜(θ1)

図-6に示すように、地すべりの流動化傾向が強くなるにつれて、地すべり斜面の傾斜角θ1の平均値が大きくなる傾向が概ね認められた。なお、移動形態5,7については、全般的な傾向から外れているのは前述の地すべり規模についてと同様であった。

2. 3 数量化II類による多変量解析

2. 3. 1 説明変数と解析条件の設定

解析は、移動形態毎に細目の出現頻度に偏りのある4つの要因(表-4に示した要因)について全てのデータのそろった132事例で行った。解析にあたり移動形

態の統合、簡略化を行い、表-5に示す2つのモデルを設定した。モデル1では、移動土塊の地すべり発生域からの流出程度、すなわち、「ほとんど残存」、「ほぼ半分残存」、「ほとんど流出」を目安にそれぞれ微動型、押出型、流出型とした3つの移動形態に区分した。モデル2では、「ほとんど残存」、「約半分以上流出」を目安に、モデル1の押出型と流出型を統合して新たに押出型として、微動型、押出型の2つの移動形態に区分した。

解析を行うにあたり、ここでは外力による影響を除き単純化して議論できるよう下記の事項を考慮して、ケース①:132事例(対象となる全事例)、ケース②:移動形態5,7を除いて「下方斜面が平坦面」に限定した37事例、ケース③:移動形態5,7を除いて「下方斜面が傾斜地」に限定した40事例、の計3ケースを対象

表-5 解析モデル

移動形態	箇所数	モデル1	モデル2
1	51	微動型	微動型
2	22		
3	29	押出型	押出型
4	14		
5	8	流出型	
6	6		
7	2		
合計	132		

表-6 量的変数の分散分析結果

	モデル1	モデル2
w1	有意差あり (0.016)	有意差あり (0.016)
l1	有意差なし (0.084)	有意差なし (0.084)
h1	有意差なし (0.072)	有意差なし (0.072)
θ1	有意差あり (5.20E-09)	有意差あり (5.20E-09)

「有意差なし(P値)」:移動形態間で有意な差がない。
「有意差あり(P値)」:5%有意水準以上で有意差がある。

に解析を行った。

- ・移動形態 5, 7 は移動土塊が沢へ流下する事例であり、移動距離が河川の掃流力や対岸の地形的制約等の外力により左右されている可能性がある。
- ・下方斜面が急勾配で長い場合には流動化傾向が大きくなると推測でき、一方、下方が平坦地の場合には斜面の場合よりも土塊の運動が抑止されていると考えられるため、下方斜面を傾斜地と平坦地によりケース分けすることとした。

質的変数(定性的な要因)のカテゴリには表-2における細目を使用した。量的変数 w_1 、 l_1 、 h_1 、 θ_1 については、移動形態間で変数値に有意な差があるかどうかの検定を分散分析により行った。その結果を表-6に示す。 θ_1 と w_1 についてはモデル1、2の両方において移動形態間で有意な差があると検定されたが、 l_1 、 h_1 については有意差は認められなかった。この結果から θ_1 、 w_1 が移動形態に比較的大きな影響を与えていることが示され、今後の解析では w_1 、 θ_1 を用いることとする。

しかし w_1 と θ_1 は χ^2 乗検定で1%有意水準の相関が確認されており、相互の相関が高いと考えられるため、同時に分析に用いると多重共線性の問題⁸⁾が発生し解析精度が低下する恐れがある。そこで、本研究では、 w_1 と θ_1 を同時に個別の解析変数として利用することはせず、以下の手法を用いることで新たなカテゴリ変数を創出し解析に用いることとする。 w_1 と θ_1 について分類モデル1での判別分析を行い、微動型と押出型、押出型と流出型を判別する2つの判別式によって分割される4つの象限をカテゴリとする新たな変数 $w_1-\theta_1$ を設定した(図-7)。図-7中の①~④の4つのカテゴリは、それぞれ①:「流出型と押出型」、②:「押出型」、③:「微動型と押出型」、④:「微動型と流出型」の事例がそれぞれ集まる傾向にある(つまり流動化傾向で概ね、強、中、弱、例外的)ことを意味する。

表-7 モデル1 解析結果

ケース	アイテム	相関比		的中率	事例数
		1軸	2軸		
①	移動土塊の性状 地質構造 $w_1-\theta_1$	0.96	2.48	60.6%	132
②	移動土塊の性状 地質構造 $w_1-\theta_1$	1.57	2.14	78.4%	37
③	移動土塊の性状 地質構造 $w_1-\theta_1$	1.97	0.51	75.0%	40

モデル1、ケース②解析結果

アイテムレンジ	偏相関係数			
	1軸	2軸	1軸	2軸
移動土塊の性状	2.79	4.09	0.51	0.50
地質構造	1.45	3.11	0.35	0.36
$w_1-\theta_1$	2.16	1.11	0.72	0.32

1軸、2軸とは前者が地すべり移動形態の微動型と押出型、後者が押出型と流出型の判別式を示している。

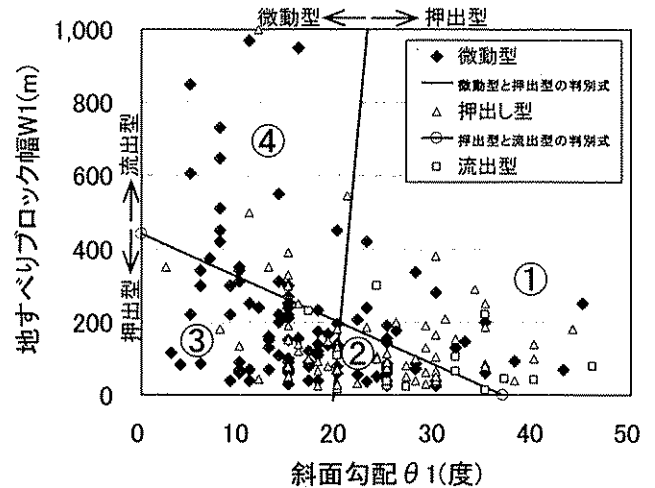


図-7 194 事例の w_1 と θ_1 関係図

2. 4 解析結果と考察

解析を行った中で、地すべり移動形態との相関比、的中率の高かった結果について以下述べる。

モデル1について、移動土塊の性状、地質構造、 $w_1-\theta_1$ を説明変数として数量化Ⅱ類による解析を行った結果を表-7に示す。今回の分析では、地質構造、 $w_1-\theta_1$ の2アイテムについてアイテムレンジと偏相関係数の大小が一致せず、本解析の妥当性は確保できなかった。これは流出型の実例が少なかったためと考えられる。

モデル2について、同様に数量化Ⅱ類による解析を行った結果を表-8に示す。解析対象を「下方斜面が平坦地」の地すべり事例に限定したケース②では、相関比0.56、判別率83.8%となり、やや良く判別できている⁸⁾結果となった。また、このケース②について、流動化傾向に最も強く寄与している要因は、アイテムレンジ、偏相関係数ともに高い値を示した $w_1-\theta_1$ であることが分かった。なお、アイテムレンジと偏相関係数の大小が一致することから本解析の妥当性は保たれ

表-8 モデル2 解析結果

ケース	アイテム	相関比		的中率	事例数
		1軸	2軸		
①	移動土塊の性状 地質構造 $w_1-\theta_1$	0.24	0.25	72.0%	132
②	移動土塊の性状 地質構造 $w_1-\theta_1$	0.56	0.24	83.8%	37
③	移動土塊の性状 地質構造 $w_1-\theta_1$	0.37	0.24	77.5%	40

モデル2、ケース②解析結果

アイテムレンジ	偏相関係数	
	1軸	2軸
移動土塊の性状	1.05	0.25
地質構造	0.61	0.24
$w_1-\theta_1$	2.36	0.71

ていると考えられる。

これらの結果から、下方の斜面傾斜が平坦な場合においては地すべりブロックの規模 (w1) と地すべりブロックの存在する斜面傾斜 ($\theta 1$) によって、地すべりの移動形態が大きな影響を受けていると言える。

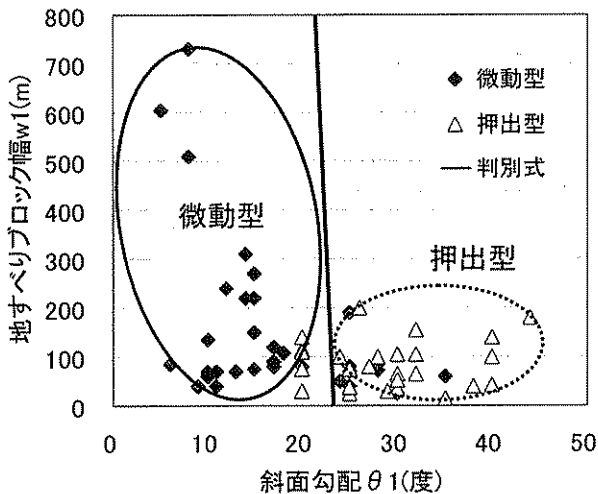
2. 5 w1 と $\theta 1$ による判別分析

4. の数量化Ⅱ類による多変量解析 (モデル2) の結果、地すべりの移動形態に大きな影響を与えていると考えられる因子は w1、 $\theta 1$ であることが分かった。そこで、次に w1、 $\theta 1$ による地すべり移動形態 (モデル2: 微動型と押出型) の判別分析を行った。

w1、 $\theta 1$ が明示される全ての地すべり事例のうち、ケース②に該当する事例 (移動形態が 5, 7 以外で下方斜面が平坦面である事例) についての判別式は次式のとおりとなる。

$$w1 = -481.4\theta 1 + 11146$$

本判別分析に用いた全事例の w1 と $\theta 1$ の関係および判別式の直線を図-8 に示す。本直線より左側は微動型、右側は押出型に判別される。判別が的中したのは全 62 事例中 47 事例 (的中率 75.8%) でありやや良く判別できる⁸⁾ という結果を得た。しかし、判別式および図-8 から分かるように、判別直線は垂直に近く、地すべりの移動形態の判別に w1 はあまり影響を与えておらず、 $\theta 1$ が支配的である結果となった。また、その閾値は約 23° であった。なお、w1 については、押出型が w1 < 約 200m に限定される特徴は見取れる。



モデル1. 斜面勾配が平坦なケース② (62事例)
図-8 w1 と $\theta 1$ の関係

3. 大変位する地すべりの地形的条件

3. 1 事例の収集と整理

ここでは地形的要因が地すべりの移動形態に大きな影響を与えているという2. の結果を受け、地すべりの地形的要因に焦点を当て、表-9、図-9 に示す項目についてデータの整理を行った。2. で収集した事例に平成 14~16 年に全国で発生した地すべりで、災害関連緊急地すべり対策事業の申請が行われ、データが収集可能なもののうち、比較的移動量の大きい事例を解析に追加した。全 235 事例を解析対象とした。

地すべり移動形態の分類については、移動係数 (I2/I1) により定義された大変位地すべり (移動係数 1.0 以上の地すべり) の発生場条件を明確化する目的に合わせて、移動係数による定量的な分類を行った (表-10)。移動形態の閾値については、表に示した移動形態ごとの名称の意味するところと該当する事例数のバランスを考えながら妥当な値を設定した。

過去の事例を整理した結果、移動係数が 0.1 未満の僅かに移動しただけのものを除くと、土塊の押し出しや滑動が認められたもののうち 30.6%が大変位型地すべりであることが分かった。また、地すべりの移動距離として考慮すべき上限値と考えられている 250m を超

表-9 整理項目一覧

要因	細目
上方斜面地形 (11×w1以上)	1.凹地形 2.凸地形 3.無 4.平坦地
下方斜面地形 (21もしくは250m以内)	1.流水のある河川・沢に面する 2.流水のない河川・沢に面する 3.地すべり末端が斜面途中に位置する (下方斜面が一様) 4.地すべり末端が斜面途中に位置する (下方斜面が屈曲している) 5.地すべり末端が平坦面に面する
下方斜面環境 (11以内)の主体	1.住宅地 2.森林 3.草木 4.田畑 5.河川
地すべり幅	w1 (m)
土塊堆積幅	w2 (m)
地すべり長さ	l1 (m)
土塊移動距離	l2 (m)
地すべり頭部~堆積末端の距離	L1 (m)
下方斜面距離 (平坦地まで)	L2 (m)
地すべり頭部~堆積末端の高さ	H1 (m)
下方斜面高さ (勾配変化点まで)	H2 (m)
地すべり斜面勾配	$\theta 1 (^{\circ})$
下方斜面勾配 (勾配変化点まで)	$\theta 2 (^{\circ})$
下方斜面勾配 (平坦~勾配変化点)	$\theta 3 (^{\circ})$

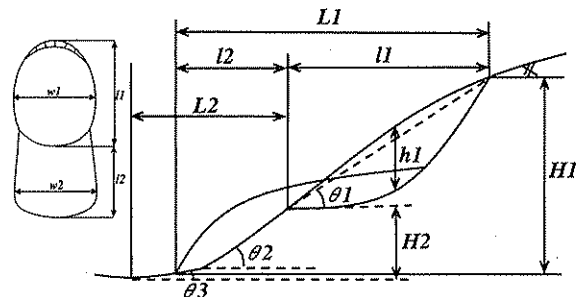


図-9 下方斜面に着目した地すべり発生前後の諸元

表-10 移動係数による地すべりの分類

移動特性	概要	移動係数 (L2/w1)	事例数 (全235)
微動I型	土塊が僅かに移動	0.1未満	114
微動II型	土塊が押し出し	0.1以上 0.4未満	47
押出型	土塊が滑動したが、移動距離が地すべりの長さと同等か、それ以下のもの	0.4以上 1.0未満	37
大変位型	土塊が滑動し、移動距離が地すべりの長さを超えるもの	1.0以上	37

える地すべりについては19事例が収集され、そのうち18事例が移動土塊が沢に流入して流動化した事例であった。よって、250mを超えて移動する地すべりの多くは河川流水、沢地形等の影響を受けている可能性が高いことが分かった。

3.2 数量化II類による多変量解析

3.2.1 説明変数と解析条件の設定

数量化II類を用いて地すべりの移動形態の決定に寄与する要因を調べた。まずはその可能性のある要因を選定した。定性的な要因については、微動型I～大変位型の移動形態に対する寄与を χ^2 乗検定の5%有意水準で評価した。定量的な要因については、移動形態への寄与を相関係数と分散分析結果（相関係数0.7以上かつ分散分析で5%有意水準）によって評価した。計算結果を表-11に示す。なお、表-9で示した要因について整理し分析した結果に基づき、移動形態に相関がある可能性が高い要因について相関係数および分散分析を実施している。定性的要因では「上方斜面の地形」、「下方斜面の地形」、「下方斜面の環境」が選定基準に当てはまり、これら全てを解析対象として採用した。定量的要因については、L2、L2/w1、H2/l1sin θ 1が選定基準に当てはまったが、地すべりの移動現象の活発さに関係なく地すべりブロックの規模に大きく依存するL2を解析対象から除き、さらに前述2.での検討で、地すべり移動形態への関与が指摘された θ 1、w1

表-11 移動形態と各要因の相関分析結果

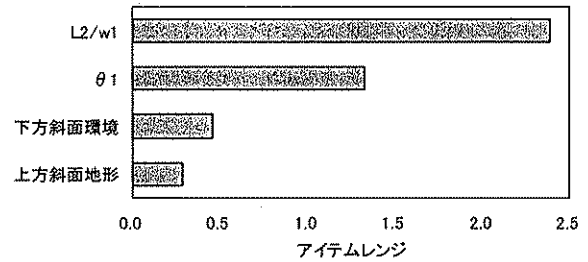
	χ^2 乗検定P値	
上方斜面地形	0.01	
下方斜面地形	0.00	
下方斜面環境	0.02	

	相関係数	分散分析P値
w1	0.01	0.01
l1	0.05	0.01
h1	0.00	0.29
θ 1	0.15	0.00
L2	0.89	0.00
L2/w1	0.79	0.00
H2	0.62	0.00
H2/l1sin θ 1	0.82	0.00
θ 2	0.06	0.00
等価摩擦係数(H1/l1)	0.08	0.00
分類指数(h1/l1)	0.12	0.08

表-12 数量化II類による解析結果

アイテム	相関比	的中率	事例数
上方斜面地形 下方斜面環境 θ 1 L2/w1	0.5	89%	169

アイテム	アイテムレンジ	偏相関係数
上方斜面地形	0.29	0.10
下方斜面環境	0.46	0.17
θ 1	1.33	0.30
L2/w1	2.39	0.65



も加えて、最終的にL2/w1、H2/l1sin θ 1、w1、 θ 1を解析対象として採用した。

また、2.で述べたように多重共線性の問題を考慮し、説明変数となる各要因同士の相関関係を χ^2 乗検定により検定し、相関関係の高い要因を避けた組み合わせによって解析を実施した。

目的変数となる移動形態については、大変位地すべりの発生場条件を明らかにする観点から、大変位地すべり（移動係数1.0以上）とそれ以外の通常の地すべり（移動係数1.0未満）の2つを用いた。

3.2.2 解析結果と考察

解析結果のうち、最も高い分析精度を得られた解析ケースについて以下に述べる。説明変数の組み合わせは、「上方斜面地形」、「下方斜面環境」、 θ 1、L2/w1の4つで、相関比は0.5、判別の中率は89%であった。このケースの分析精度はやや良い⁸⁾と評価できる。解析結果を表-12に示す。要因ごとのアイテムレンジと偏相関係数の大小順位が一致しており本分析の妥当性は確保されていると考えられる⁸⁾。アイテムレンジについて、L2/w1、 θ 1、「下方斜面環境」、「上方斜面地形」の順に値が大きく、特にL2/w1、 θ 1の2つが大変位地すべりの発生に大きく寄与することを示す結果となった。

各要因のカテゴリ数量を図-10に示す。これはマイナスの値が大きいほど大変位地すべりの発生に寄与していることを示している。上方斜面地形については、凹地形であることが最も大変位地すべりの発生に寄与している結果であるが、凹地形は集水地形であることに関係していると考えられる。下方斜面環境について

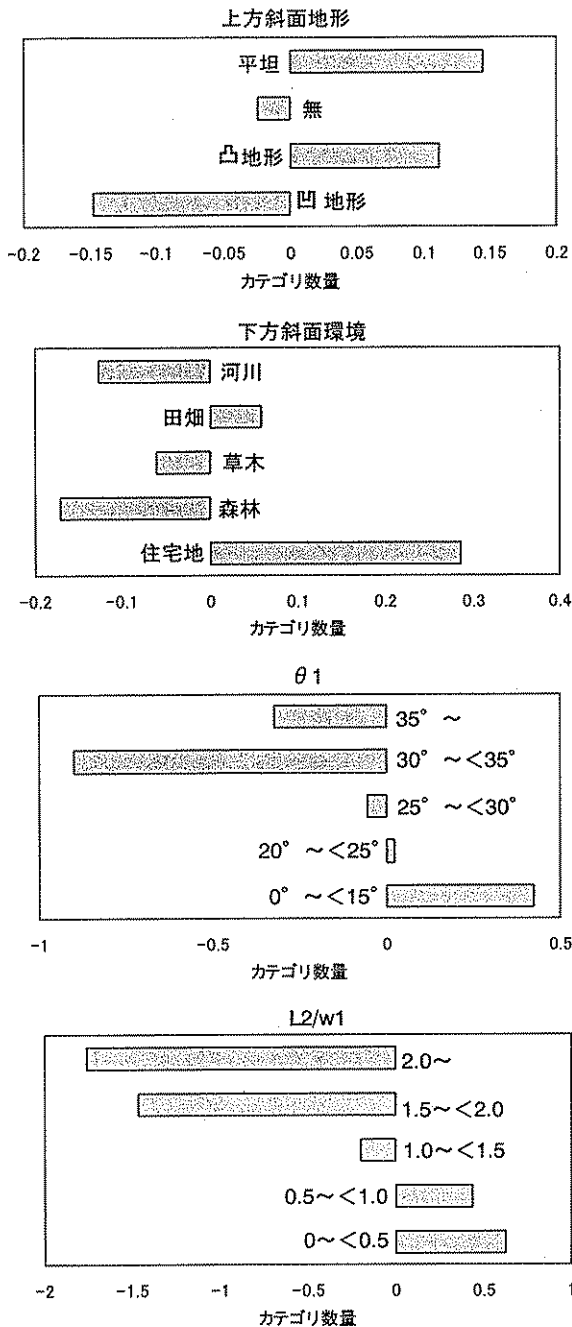


図-10 主要因ごとのカテゴリ数量

は、住宅地の場合が大変位地すべりの発生抑制に寄与しているが、住宅地が平坦地に多く建物が土塊の移動を妨げることに関係していると考えられる。θ1については、全体的に値が大きいほど大変位地すべりの発生への寄与が大きくなる傾向が見られるが、特に30°以上という条件が大変位地すべり発生に非常に寄与していると考えられる。L2/w1については、全体的に値が大きいほど大変位地すべりの発生への寄与が大きくなる傾向が見られるが、特に1.5以上という条件が大変位地すべり発生に非常に寄与していると考えられる。

3.3 大変位地すべりとL2/w1とθ1の関係

3.3.1 判別分析

数量化Ⅱ類による解析では、L2/w1 およびθ1が大変位地すべりの発生に大きく寄与していることが示された。そこで、この2つの要因を説明変数、大変位地すべりとそれ以外の地すべりを目的変数として判別分析を行った。対象事例はL2/w1とθ1の分かる218事例である。判別関数は次式の通りとなった。

$$L2/w1 = -0.1215\theta1 + 5.279$$

本解析に用いた218事例のL2/w1とθ1の値をプロットした図を図-11に示す。図中の直線は判別関数を表しており、本直線より上部領域は大変位地すべり、下部領域は大変位以外の地すべりに判別されることを意味する。本解析の結果、L2/w1とθ1によって大変位地すべりとそれ以外の地すべりを89%の判別の中率で判別できることが分かった。判別精度はやや良い⁸⁾と判定される。

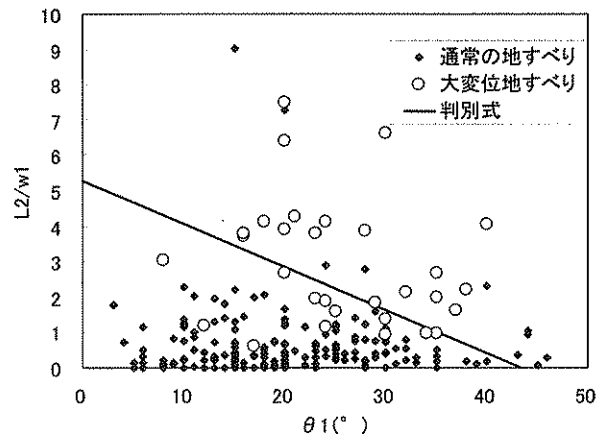


図-11 L2/w1とθ1の関係

3.3.2 大変位地すべり発生基準線の提案

図-11の散布図における大変位地すべりの発生する領域を限定し、大変位地すべりの発生条件をさらに絞り込むことを試みた。その結果を図-12に示す。できるだけ多くの大変位地すべりが他の地すべりと分離できるように次の2直線による境界（発生基準線）を設定した。

$$L2/w1 = 0.94$$

$$L2/w1 = -0.3629\theta1 + 9.879$$

この2直線よりも上部の領域を大変位地すべりの発生領域、下部をそれ以外の通常地すべり発生領域と設定した。そのときの全体の事例における判別の中率は92.2%で、大変位地すべりについての判別の中率は91.1% (34事例中31事例)であった。

大変位地すべりで判別できなかった3事例の特徴を

調べた。共通する特徴は、発生場所が新潟、誘因は融雪、地質年代は新第三紀、地質は堆積岩、下方斜面地形は流水のない河川・沢に面する、であった。この特徴を持つ大変位地すべりは全部で6事例あり、図-12の点線で囲んで示す。上記特徴を有する大変位地すべりに関しては3事例は判別できず、また判別できた事例も判別境界線近くに位置しており、上記特徴を有する地すべりに関しては判別の精度が低くなることが分かった。

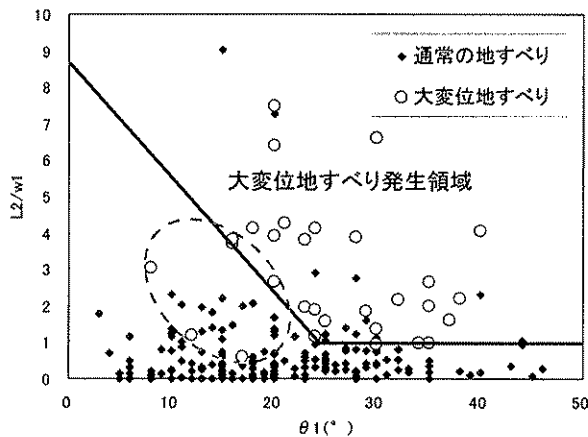


図-12 大変位地すべり発生領域の設定

4. まとめ

大変位地すべりの発生場条件を統計的手法によって検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ・地すべりの発生段階の素因として質的要因が大きく関与していることが示された。

- ・過去の地すべり事例を定性的に分類し数量化Ⅱ類による多変量解析を行った結果、地すべりブロックの下方が平坦地形で河川・沢からの外力による影響がない事例に限定した場合、土塊の移動がほとんど認められなかった地すべりとそれ以外の土塊の移動が半分程度以上認められた地すべりは、地形的要因の $w1$ と $\theta 1$ の2因子によって判別率 75.8% で判別できることが分かった。

- ・そこで、過去の地すべり事例を移動係数（土塊の移動距離/地すべりブロック長さ）により定量的に分類した上で、地形的要因に絞って数量化Ⅱ類による解析を実施した結果、大変位地すべりの発生に下方斜面長さ/地すべりブロック幅、地すべり斜面勾配の2因子が大きく関わっていることが示された。この2因子により大変位地すべりとその他の地すべりを判別率 89%

で判別できることが分かった。また、この2因子によって大変位地すべりとその他の地すべりを領域分割して判別した結果、34事例の大変位地すべりのうち31事例(91.1%)を判別することができた。

- ・移動係数による定量的な分類を行った結果、0.1L以上移動した地すべりの30%が大変位地すべりであった。通常想定する地すべり移動距離の上限値である250mを超えて移動する地すべりは今回収集した地すべりにも19事例あったがそのうちの18事例は沢に流入し流動化した事例であり、河川流水、沢地形等による影響を受けている可能性が高いことが分かった。

本研究を通して大変位地すべりの発生場条件をある程度定量的に抽出することができたと言える。今後の課題は、今回判別できなかった事例について詳細に調べてその特徴を把握することで、今回抽出した大変位地すべりの発生場条件の適用できる範囲を明確にしていき、大変位地すべりをより精度良く把握できる技術を開発することである。

最後になりましたが、本研究をまとめるに当たり、国土交通省や都道府県の関係各位にはご多忙の中、地すべり事例の収集に多大なご協力を賜りました。ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 網木亮介, 藤澤和範, 小野田敏, 村中亮太: 地すべり土塊の到達範囲の事例検討, 第36回地すべり学会研究発表会講演集, P429-432, 1997年
- 2) 森下淳, 小山内信智, 石井靖雄, 仲野公章: 大変位する地すべりにおける地形的条件の検討, 第42回地すべり学会発表講演集, P331-334, 2003年
- 3) 水山高久, 白杵伸浩, 田中善成: 移動距離の長い地滑りに関する考察, 平成15年度砂防学会研究発表会概要集, P184-185, 2003年
- 4) 芦田和男, 江頭進治, 神矢 弘: 斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究, 京大防災研年報 27号 B-2, P331-340, 1984年
- 5) 建設省土木研究所: 地すべり危険箇所点検要項, 1998年
- 6) 渡正亮, 中村浩之, 板垣治: 土木研究所資料 987号 地すべりの実態統計(その1), P33-34, 1975年
- 7) TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES: LANDSLIDES Analysis and Control Special Report 176, P.17, 1978
- 8) 菅 民郎: 多変量解析の実践(上・下), 現代数学社, 1993年