

論文

## 地すべり発生前の斜面勾配について

久保田 哲也\*

## A Study of Slope Gradient antecedent to Landslides

Tetsuya KUBOTA \*

## Summary

To protect life and property from landslide disaster, it is important to identify areas susceptible to landslides. Since the geological or geostructural underground condition is generally very difficult to determine, susceptible area detection must to be primarily carried out using topographical features. Hence, in this context, it is necessary to have adequate topographical knowledge relevant to landslides. The most essential topographical factor is considered to be the slope angle of the cliff, and a great deal of investigation has produced information about this landslide susceptible areas. However, this is still not sufficient at all, because there is little knowledge of the slope characteristics antecedent to landslides. As there are a certain number of primary landslides which occur suddenly without any signs, it is very important to know such kind of slope characteristics.

In this paper, some information about the slope angle antecedent to landslides was obtained in the form of slope ratio  $\Gamma_2 = \theta / \theta_0$ . ( $\theta$  : average slope gradient of the landslide,  $\theta_0$  : original slope angle antecedent to the landslide.) The slope ratio  $\Gamma_2$  seems to have a value of approximately  $0.9 > \Gamma_2 > 0.8$  for each geological situation.

## I 緒 言

地すべりは移動速度こそ一般的に小さいが、移動する土塊の量は大きく、発生後になんらかの対策を取る場合でも、移動量の小さな初期のうちの方が経費や被害が少なくて済む。従って、でき得る限り事前に、地すべりの危険箇所を把握し、詳細な調査がなされることが望まれる。そのためには、発生前に危険斜面が抽出されることが必要であり、地質や勾配を用いた調査法が提案

---

\*鳥取大学農学部 生存環境科学講座

Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

されている（例えば、久保田ら1991）。<sup>2)</sup> 一般に、地すべり危険斜面の調査には、地質・地質構造や斜面勾配など地すべりを発生させ易い素因のデータが必要である。地質については比較的知識が蓄積されているが、発生前の斜面勾配については、蓄積も少なく、研究が待たれるところである。

本研究では、地すべり発生前の斜面地形が明確な発生事例を選び、発生前斜面勾配を計測し、発生形態や地質条件による相違の発見を試みた。地質などある素因条件下の地すべり未発生斜面の勾配を知れば、上記の素因別発生前・発生後勾配比により、その未発生斜面の地すべり危険度が判定し得るものとする。

## II 調査対象事例と方法

### 1. 調査対象事例

本研究の調査対象事例としては、研究の主旨から、地すべり発生前の地形状況が知ることのできるものに限られる。つまり、地形図の整備されている最近に生じた事例、または、古い時代に生じたものでも地形上発生勾配が明確なものや、史料が整備されているなどの発生前勾配が明らかとなるものでなければならないが、このような事例は極めて少ない。ほとんどの地すべり事例は過去の地すべりの二次移動であり、発生前斜面（以下、元斜面と呼ぶ）は数千年～数万年前の海退期の初生地すべりとその二次すべりで破壊されており、発生前勾配を知ることが不可能である。ゆえに、本研究においても、いわゆる初生地すべり（過去の地すべり跡地内における浸食に伴う開析により崩壊土塊が再び不安定化する二次的なすべりではなく、岩盤などがその弱層に沿って前兆現象もなく突発的に発生する地すべり）のうち最近発生したものを中心に少数の事例により発生前勾配の特性を推定せざるを得ない。

使用した事例は、発生後の勾配のみを見る参考的な事例も含めて、21事例となった（表1）。事例の「地すべり」とは広義の地すべりであり、ゆっくり移動する狭義の地すべりと大規模崩壊を含む初生地すべりと考えている。これらの事例は東は山形県から西は鳥取県にまたがる地域で生じた地すべりである。これらの発生原因には地震ならびに豪雨による地下水上昇の両者を含んでいる。また、地質は新生界第三系のものが多いが、この他古生界や深成岩そして新生界第四系の火山堆積物などを含んでいる。

### 2. 調査方法

調査には発生前後の地形図・航空写真が必要であるが、比較的古くから整備されており、全国的に精度が統一できる国土地理院発行の縮尺1/25,000地形図と入手できる範囲の航空写真を参考に発生前後の勾配の推定・計測を行なった。ただし、航空写真は地すべり発生前に地すべり地形や地すべりの徴候があったかどうかや遷急点・遷緩点の位置を判読するために主として使用した。

地すべり発生前勾配の定義は図1のように該当する斜面の遷急点と遷緩点あるいは河川を結んだ線の勾配とする。また、発生後の勾配は図2のように斜面下部の堆積、頂部の後退の形態から

3つの発生形態のタイプに分けて、それぞれ脚部堆積（崩積）土先端と滑落崖頂部を結んだ線の勾配を発生後平均勾配 $\bar{\theta}$ 、滑落崖の下端と脚部の先端を結んだ勾配を発生後緩勾配部のみの平均勾配 $\theta$ と定義する。上記1/25,000縮尺の地形図から地すべり移動方向主断面（地すべり中心断面）の縦断図を作成し、前述の勾配の定義を用い、発生前勾配 $\theta_0$ 及び、発生後平均勾配 $\bar{\theta}$ 、 $\theta$ をそれぞれ計測した。さらに、これらの比 $\Gamma_1 = \theta / \theta_0$ 、 $\Gamma_2 = \bar{\theta} / \theta_0$ 、 $\Gamma_3 = \theta / \bar{\theta}$ をとり、データ全体の平均 $\tilde{\Gamma}_1$ 、 $\tilde{\Gamma}_2$ 、 $\tilde{\Gamma}_3$ を求めて、比較検討を行なった。

表1 地すべり発生前・後斜面勾配調査対象事例

番号	箇所名	タイプ	勾配 (°)			勾配比			地質
		TYPE	$\theta_0$	$\theta$	$\bar{\theta}$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_3$	
1	山形県赤松	3	29	29	20	0.69	1.0	0.69	新第三系砂岩
2	新潟県水沢新田	2	18	18	6	0.38	1.0	0.33	泥岩
3	玉木	3	34	34	-	-	1.0	-	泥岩
4	富山県内山	2	25	12	5	0.20	0.48	0.42	泥岩
5	五十谷	3	7	7	3	0.43	1.0	0.43	泥岩
6	長野県御岳崩れ	3	26	26	22	0.86	1.0	0.86	第四系火山
7	松越崩れ	2	33	25	16	0.49	0.77	0.64	火山
8	滝越崩れ	1	39	31	11	0.27	0.80	0.34	新第三系安山岩
9	御岳高原	3	20	20	17	0.85	1.0	0.85	第四系火山
10	地附山	1	17	17	11	0.67	1.0	0.67	新第三系凝灰岩
11	大西山	3	38	38	-	-	1.0	-	深成岩
12	岐阜県徳山白谷	1	39	25	0.5	0.01	0.64	0.02	深成岩
13	奈良県和田	1	30	28	20	0.66	0.93	0.71	古生界粘板岩
14	兵庫県温泉町前	1	-	15	9	-	-	0.62	新第三系泥岩
15	一宮	1	19	16	-	-	0.84	-	深成岩
16	鳥取県蒲生	1	28	14	6	0.22	0.50	0.43	新第三系頁岩
17	明辺1	1	-	25	25	-	-	1.0	頁岩
18	明辺2	3	24	24	24	1.0	1.0	1.0	頁岩
19	神垣	3	18	18	18	1.0	1.0	1.0	新第三系泥岩
20	中河原	1	-	39	38	-	-	0.99	新第三系礫岩
21	高知県繁藤	1	25	20	-	-	0.80	-	古生界粘板岩

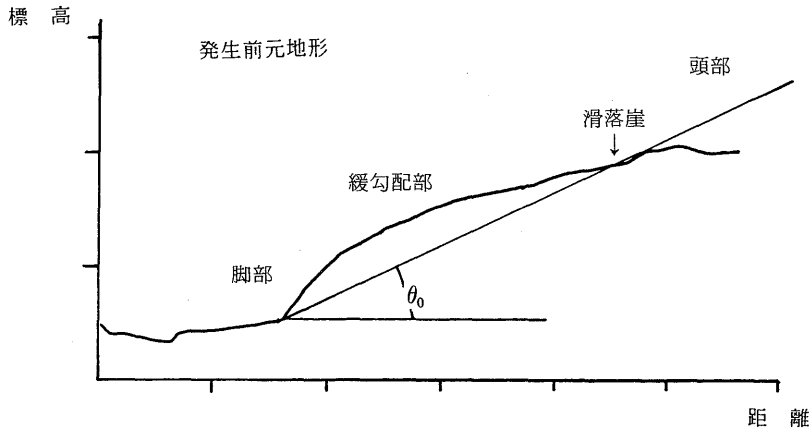


図1 地すべりに関する斜面勾配説明図

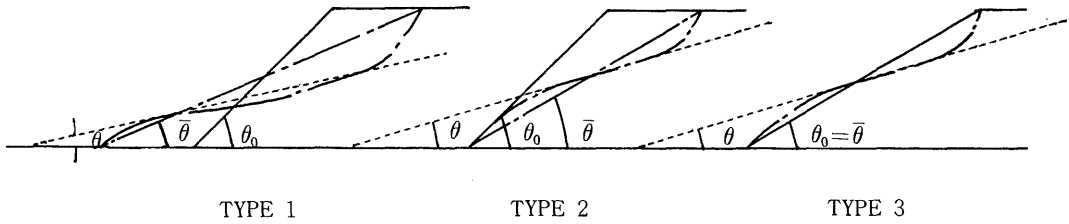


図2 地すべり発生形態別タイプ説明図

### III 調査結果

航空写真判読の結果、初生地すべりである事例を採用したが、その発生前勾配は $7^\circ \sim 39^\circ$ の範囲にあり、その平均 $\bar{\theta}_0$ は、 $25.9^\circ$ 、また発生後勾配はそれぞれ $\bar{\theta}$ が $7^\circ \sim 38.8^\circ$ 、 $\theta$ が $0.5^\circ \sim 38.3^\circ$ の範囲であり、それらの平均は、 $\bar{\theta} = 22.8^\circ$ 、 $\bar{\theta} = 14.7^\circ$ となっている。事例が極めて少ないので統計的有意性は薄いだが、268事例による地すべり実態調査（中村ら、1985）によれば、 $\bar{\theta} = 25.9^\circ$ 。<sup>3)</sup> また、同じく200事例以上に基づく実態統計（建設省土木研究所、1976）によると $\bar{\theta} = 20.3^\circ$ 、 $\bar{\theta} = 16.7^\circ$ となっており、今回の調査結果は、ほぼこれらの値に近いものとなっている。<sup>1)</sup> また、各勾配比 $\Gamma_1$ 、 $\Gamma_2$ 、 $\Gamma_3$ もそれぞれ、 $0.013 \sim 0.85$ 、 $0.48 \sim 1.0$ 、 $0.02 \sim 1.0$ の範囲をもち、その平均は、 $\bar{\Gamma} = \theta / \theta_0 = 0.552$ 、 $\bar{\Gamma}_2 = \bar{\theta} / \theta_0 = 0.876$ 、 $\bar{\Gamma}_3 = \theta / \bar{\theta} = 0.647$ となる。これらのタイプ別平均を比較したものが図3であり、地質系統別に見たのが図4である。

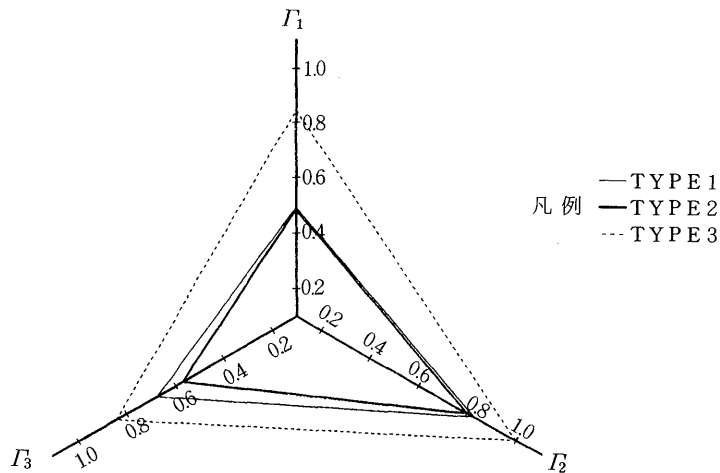


図3 タイプ別地すべり発生前後の平均斜面勾配比

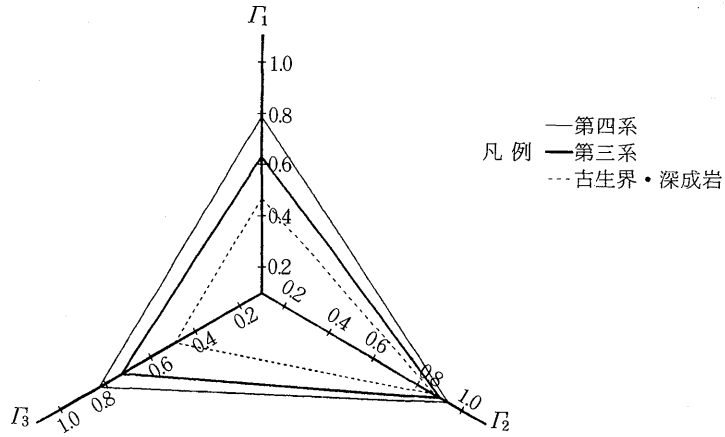


図4 地質別地すべり発生前後の平均斜面勾配比

ここで使用する  $\theta_0$ ,  $\bar{\theta}$ ,  $\theta$  は、次式からわかるように、それぞれ元地形の遷急点や遷緩点ならびに、地すべり脚部末端や滑落崖頂部の位置などにも支配され、その間の地形とは無関係となる。

$$\begin{aligned} \text{勾配 } \tan \theta &= \int_f^c \frac{dy}{dx} dx / \int_f^c dx = \{y(c) - y(f)\} / (c - f) \\ &= \frac{\text{勾配の始点と終点の落差}}{\text{勾配の始点と終点の距離}} \dots\dots(1) \end{aligned}$$

$c$  : 勾配の終点 (斜面頂部),  $f$  : 勾配の始点 (斜面脚部),  $y$  : 地表面を表す関数,  $x$  : 距離,  $\theta$  : 斜面勾配角である。

ゆえに、これらの値は斜面の遷急点・遷緩点や河川 (谷) そして、地すべり滑落崖及び脚部末端位置を表わす指標とも考えられる。平均を見れば、 $\bar{\theta}_0 > \bar{\theta} > \tilde{\theta}$  となるが、これは定義から考えて当然である。危険箇所調査に必要な値は、地質等素因別の  $\theta_0$  であり、地すべりの発生している場所の  $\theta_0$  を知ることで、同一素因条件であれば、初生地すべりの危険箇所が判断できる。このためには、発生後の  $\bar{\theta}$  より  $\tilde{\theta}$  を知ることが、滑落崖も含めた範囲の議論ができることから、最上であると判断できる。従って、ここでは、主として、図3、図4中の  $\bar{\theta} / \theta_0 = \Gamma_2$  に着目する。

タイプ別 (図3) においては、TYPE 3 で当然  $\Gamma_2 = 1$ , TYPE 1 は TYPE 2 とほぼ同じ値を持ち、TYPE 2 の斜面が後退する形態の方が勾配は緩やかとなる傾向が見られるものの、TYPE 2 が3事例しかないことから明確なことは言えない。 $\Gamma_1$  と  $\Gamma_3$  については、TYPE 3 が大きく、 $\Gamma_3$  については TYPE 1 が2番目に大きい。これは、TYPE 3 では発生後緩勾配部脚部の勾配と元勾配の差が少ないことを意味し、TYPE 1 では発生後の脚部勾配と平均勾配の差が小さい、つまり、滑落崖があまり高くないことを意味していると思われる。

地質別 (図4) においては、 $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$  すべてが第四系, 第三系, 古生界・深成岩の順に

なっており、第四系では発生前元勾配と発生後の平均勾配及び脚部緩勾配の差が小さい。このことは、第四系のデータが少なく、そのすべてが火山体上に発生し、未固結な崩土が流動化して流亡したために発生前後の脚部と頂部位置が変化しないためと考えられる。特に第四系の事例が埋積谷に生じており、この埋積谷の勾配に $\theta$ が規制され、比較的緩くならなかったためと考えられる。 $\Gamma_2$ に注目すると、どの地質においても、ほとんど同じ値の0.8~0.9程度となることがわかる。

#### IV 結 語

発生前勾配の明確な初生地すべりが極めて少ないことから、少ない事例での研究となったが、発生後の勾配の値については、200を越す事例を用いた調査結果とも大差なく、その意味では一定の精度を有した研究結果であると考えられる。発生形態別では、当然のことながらTYPE 3の発生前後の勾配にあまり差がないことが判明したが、このタイプは、どの地質にも見られた(表1)。

地質別の検討では、特に $\Gamma_2 = \bar{\theta} / \theta_0$ の値がどの地質でも0.8~0.9程度であるという重要な結論が得られたが、これによって、地すべりの発生し易い素因の地域で、地すべりの発生し易い斜面勾配(平均勾配 $\bar{\theta}s$ )が知られれば、 $\Theta = \bar{\theta}s / \Gamma_2$ となり、その地域で初生地すべりの発生に対し危険な斜面元勾配 $\Theta$ が得られるので、それを利用した危険箇所調査が実施できることになる。今後は、さらに $\theta_0$ のデータを蓄積し、 $\Gamma_2$ などの精度の向上に努めたいと考える。

#### 引用文献

- 1) 建設省土木研究所地すべり研究室：地すべりの実態統計(その2)，全国地すべりがけ崩れ対策協議会，pp.11~12(1976)
- 2) 久保田哲也，中村浩之：臨界すべり面解析と信頼性解析を応用した地すべり・崩壊危険度の判定法，地すべりvol.27, No.4, pp.18~25(1991)
- 3) 中村浩之，吉松弘行，久保田哲也，中嶋 茂：既往地すべり災害実態調査，建設省土木研究所資料第2241号，pp.18~19(1985)