

統計からみた地すべり地の特徴

竹内篤雄・湊元豪己

ON THE CHARACTER OF LANDSLIDE BY THE STATISTICAL METHOD

By *Atsuo TAKEUCHI, Hidemi TSUMOTO*

Synopsis

In Japan has about 6000 landslides.

In order to find out macroscopics feature of these landslide, the writer attempted statistical analysis.

The results are as follows:

- (1) The logarithm of scale of landslide has straight correlation with the occurrence rate.
- (2) The mean inclination angle of landslide is affected by the geological factor.
- (3) The angle of inclination is inversely correlation with the area of landslide.

1. は し が き

地すべり現象に対する調査、研究は、最近著しく活発になされており、計器類の開発や、その活用によって、地すべり地のその地表面の動きだけでなく、その内部の移動機構までも明らかにすることが可能となってきた。

日本には、約6000箇所におよぶ特定の地質条件によって起る地すべりが存在する。そこで、地すべりを建設省土木研究所により作成された資料をもとに、その特徴を統計的にとらえることも意義あるものと考えた。

そこで、日本の全地すべり地を対象として、地すべり地と面積、及び地表面傾斜と発生頻度との関係、面積と地表面傾斜との相関性等について調べ、地すべり地の形態、規模の面から見た地すべり現象の特徴をとらえようと試みた。

なお、統計処理上で取り扱った地すべり地は2335箇所である。資料は、地すべり地の所在地、面積、地表面傾斜、地質の概要、および工事の有無などを記したものである。

2. 地すべりの分類と比較因子

地すべりをその地質的因子をもとに、いくつかに分類し、その各々の特徴を見た。また、これとは別に特定の地すべり地を選定し、その地域性より生ずる特徴、地すべりを起す気象的因子より生ずる特徴等を比較検討する目的で、それぞれの特徴を下に記述するように調べて見た。

2-1 地すべりの地質的因子

地すべりの分類は、従来から多くの人々によってなされて来ているが、ここでは、過去に分類されたものをそのまま適用せず、資料内に記載された地質の概要より、次のように分類した。これは中村⁴⁾の分類にほぼ類似する。

- Q ……第四紀層の分布する地帯に存在している地すべり
 T ……第三紀層の分布する地帯に存在している地すべり
 M_s …中生層の分布する地帯に存在している地すべり
 P ……古生層の分布する地帯に存在している地すべり
 M_t …変成岩帯の分布する地帯に存在している地すべり
 E ……その他 (上述の分類のいずれとも判別しえぬもの)

上述の分類で、 Q 、 T 、 M_s 、 P は特に岩質的な面における区分は考慮していない。また、 M_t は領家、三波川、御荷鉢の変成岩帯に地すべり地が多いことを考慮して特に区分した。

2-2 地すべりの地域性の因子

地すべりの地域性というものを見る意味で、石川、富山、山形、秋田の裏日本4県と徳島、高知、愛媛、香川の四国4県とを選び、比較検討してみた。このような地域を選定した理由は、次のごとくである。つまり裏日本4県は豪雪地帯であり、12月には、降雨量が200 mm 以上を記録し、第三紀層の地すべり地が多く存在する。四国4県は停滞前線や台風にもなる豪雨地帯で、三波川、御荷鉢の変成岩地帯の地すべり地が多いということからである。

2-3 地すべりの気象的因子

気象的因子としては、地すべり発生の主要な原因と考えられる地下水のもとである降雨量を取りあげて見た。ここでは、その降雨量が、実際に地下に浸透する量だけを考えたほうが適当であろうと考え、降水量から蒸発量を差し引いたもの、すなわち、有効降水量をもって気象的因子とした。そこで、すでにつくられている年間有効降水量分布図の等価線内の地すべり地を対象として、その地すべり地の特徴を検討した。

以下、この1、2、3の各因子が地すべり地の面積、傾斜にどのように影響するかについて検討して見たので、その結果について述べる。

3. 地すべり地の面積と発生頻度

地すべり地の面積について討議する場合、単に、地すべりの活動部のみを地すべり地の面積とするか、あるいは、かつてすべったことのある地域も含めて地すべり地の面積とするかによって、その規模にかなりの差が出てくるのは当然である。

ここで用いた資料における地すべり地の面積は、地すべり等防止法で定められている地すべりの起るおそれのきわめて大きい区域や、また将来、地すべり発生の危険がある地域も含めて地すべり地の面積としたものであると考えた。

資料によれば、全地すべり地の平均面積は、およそ21 haである。これを前述した地すべりの分類で個々に検討すると、平均面積は、17~25 haの間で、最大は Q の24.9 haであり、最少は M_s の17 haである。地すべりの内部機構、運動形態などがよく比較される T と M_t の地すべり地についてみると、平均面積はの1 ha 差しかなく、また、5 ha 以下の小規模な地すべり地の数と、100 ha 以上の大規模な地すべり地の数との割合も、ほとんど差がない。これは平均面積においては明確な地質上の差がないことを示しているといえる (Table 1)。

次に、面積の規模が大きくなるにつれて地すべりの発生頻度が、どう変化するかを検討すると、2の項で分類した地すべり地のいずれもが、面積5~10 ha で30%前後の高頻度を占める。

各々の地質に分類して検討してみても、地すべり地の面積の規模が拡大するにつれて、発生頻度は急激に減少する傾向を示し、特に T と M_t にこの傾向が強い (Fig. 1)。

一方、前述した2つの地域を比較しても同じような傾向があらわれた (Fig. 2)。

次に、日本の全地すべり地の面積の規模と発生頻度との関係を、面積を $\log A$ 、発生頻度を $\log N$ として、5 ha 以上の地すべり地を両対数でグラフ上にプロットした。その結果、かなり高い負の相関で直線上にのることがわかった (Fig. 3)。

Table 1 Relation between geology and landslides areas in area.

Geology	Number of landslides areas	Percentages	Number of landslides areas		
			5 ha >	10 ha <	mean area (ha)
Quaternary Sediments	47	2.2	6	3	24.9
Tertiary Sediments	1,336	63.2	37	57	24.7
Mesozoic Sediments	52	2.4	7	0	17.0
Palaeozoic Sediments	126	6.0	0	1	20.9
Metamorphic Rocks	533	25.2	15	24	23.4
Etc.	20	0.9	0	0	14.7

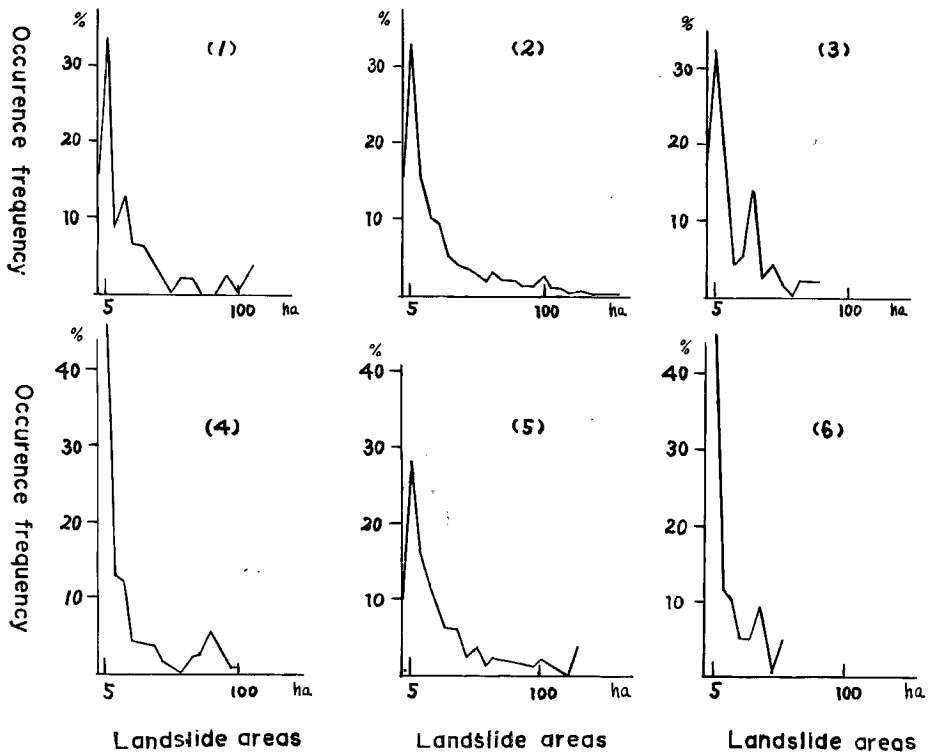


Fig. 1 Area frequency curve of landslide areas

1 Quaternary, 2 Tertiary, 3 Mesozoic,
4 Palaeozoic, 5 Metamorphic rocks, 6 the others.

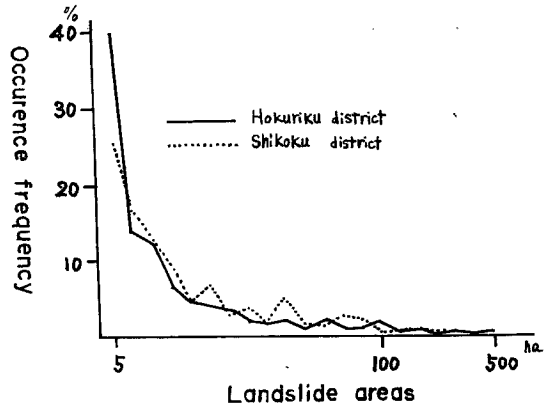


Fig. 2 Area frequency curves of landslide areas.

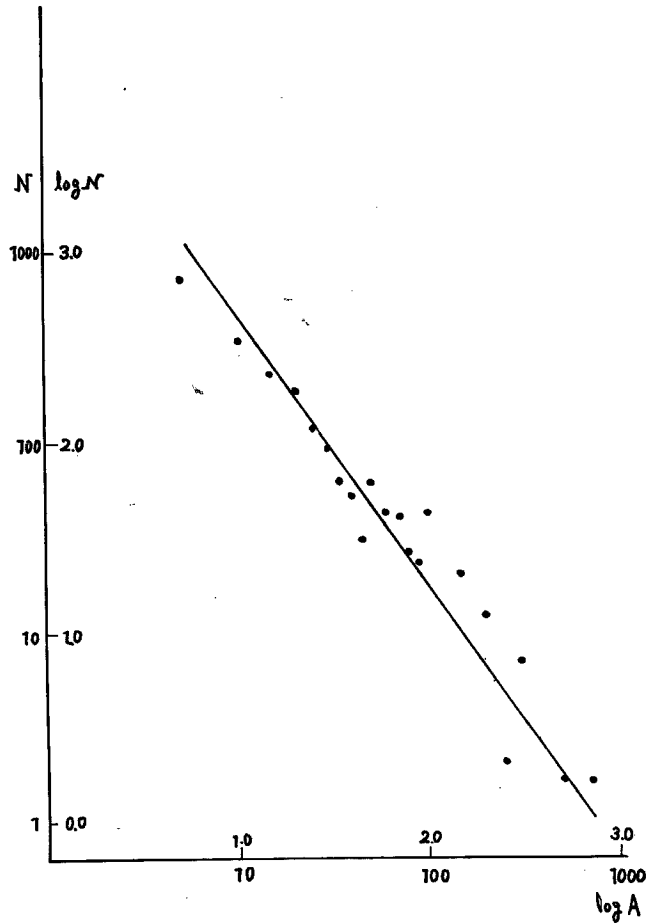


Fig. 3 Relation between area and frequency to the landslide.

その回帰直線を求めると次のようになる。

$$\log N = 4.08 - 1.42 \log A$$

この式は日本の地すべり地が、その規模が10倍になると発生頻度は $1/25$ になることを示している。つまり、この式の見れば、 C の変化にともない面積と発生頻度の関係が変る。この点に注目して T , M_t , 裏日本4県, 四国4県を同方法でプロットすると、上述の場合と同じように、高い負の相関で直線上にのることがわかった。

その結果から C 値をみると、 T は 1.42, M_t は 1.34, 裏日本4県は 1.45, 四国4県は 1.35 となり、僅かな差が見られる。これより、日本の全地すべり地から得られた回帰係数 C 値よりも、 T と裏日本4県の C 値の方が大きく、 M_t と四国4県の回帰係数 C 値は、日本の全地すべり地のそれよりも小さいということがわかる。

そこで、 M_t と四国4県においては、いくらか小規模な地すべりの発生の可能性が多く、大規模な地すべりの発生は少ない傾向にあるということが認められる。この関係をグラフに表わしてみると、その線は直線ではば平行となるが、僅かながらその差を認めることができた (Fig. 4)。

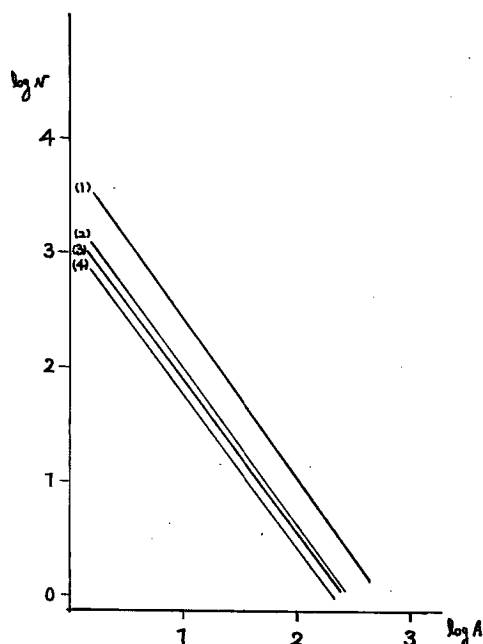


Fig. 4 Classified relation between area and frequency to the landslide.

- 1 Tertiary formations, 2 Metamorphic rocks,
- 3 Hokuriku district, 4 Shikoku district.

4. 地すべり地の面積と有効降水量

ここでは、気象因子と地すべり現象について検討する。有効降水量が地すべり地の面積にどのような影響を与えているかについて検討するために、有効降水量とその平均面積とをグラフに示すと、有効降水量が 1000 mm までは平均面積が 25 ha 前後で変化は表われないが、有効降水量が 1000 mm 以上になると、平均面積は減少してゆく傾向があらわれている (Fig. 5)。

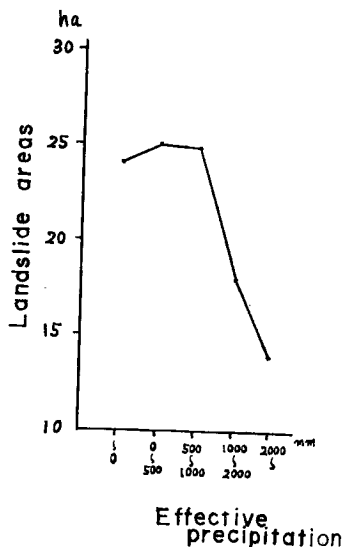


Fig. 5 Variation of mean area by effective precipitation.

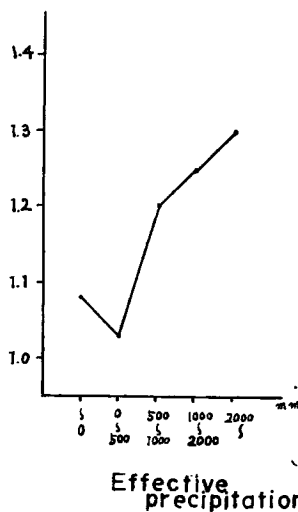


Fig. 6 Variation of regression coefficient by effective precipitation.

次に、地すべり面積と発生頻度と同じように回帰係数 C 値を求め、有効降水量と C 値との関係を見ると、有効降水量が ≤ 0 は例外としても、 $0 \sim 2000$ mmと有効降水量が増すにつれて C 値が上がる傾向が認められた (Fig. 6)。

そこで Fig. 5・6 は、いずれも有効降水量が増すにつれて、地すべり地の面積は小規模化する傾向にあるということを示している。

5. 地すべり地の傾斜と発生頻度

地すべり地の傾斜は様々で、それは緩急の斜面をともなった複雑な地形を有している場合が多く、均一な傾斜を示していない。そこで傾斜について論議するとき、どの部分の傾斜をもって地すべり地の傾斜とするかが問題になってくる。

ここでは、資料内に記載されている傾斜、つまり、地表面の平均傾斜をもって、その地すべり地の傾斜角として論議を進めてゆく。

日本の地すべり地 2071個所について、その平均傾斜をもとめてみると約 21° となり、さらに前述した地すべり地の各分類毎に平均傾斜を求めた場合、各々に次のような明確な特徴を認めることができた。すなわち、 Q 、 T 、 M_s 、 P と地質年代が古くなるにつれて平均傾斜も急になり、 T と M_t を比較してみても面積の場合は、はっきりした特徴が現われなかったが、傾斜においては 7° の差が生じた。また全体的に見ても 10° 以下の緩傾斜の割合は、 P が 0% 、 M_t が 0.8% と低く、 Q が 15% 、 T が 6% とかなり高く、 30° 以上の急傾斜におけるその割合は、 Q が 17% 、 T が 16% と少ないが、 P になると 43% 、 M_t になると 51% というように多く存在し、 P 、 M_t の地すべり地の半数近くが 30° 以上の急傾斜をもって存在している。 M_s においては、ほぼ中間的な傾斜が表われている (Table 2)。

次に、地すべり地の傾斜が急になるにつれて発生頻度がどうかかわるかをみると、だいたいの傾向と、地すべり発生ピークの、平均傾斜のそれと、ほぼ一致していることがつかめた (Fig. 7)。

また、先に分類した各地すべりの各傾斜角に対する発生頻度を累積グラフに示すと、 Q 、 T 、 M_s と P 、 M_t との間には明確な相違が見られる (Fig. 8)。

Table 2 Relation between geology and landslides areas in inclination.

Geology	Number of landslide areas	Percentages	Number of landslides areas		
			10°>	30°<	mean inclination
Quaternary Sediments	46	2.2	7	8	17.6
Tertiary Sediments	1,324	64.0	79	212	20.2
Mesozoic Sediments	58	2.8	6	17	21.1
Palaeozoic Sediments	124	6.0	0	63	26.9
Metamorphic Rocks	492	23.8	4	187	27.2
Etc.	27	1.3	1	4	20.7

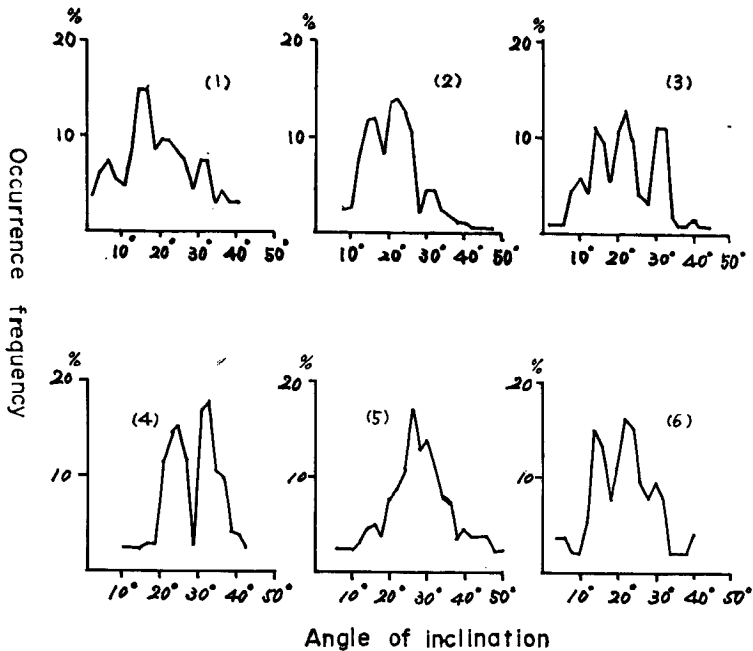


Fig. 7 Frequency curves of landslide inclination

- 1 Quaternary, 2 Tertiary, 3 Mesozoic,
- 4 Palaeozoic, 5 Metamorphic rocks, 6 the others.

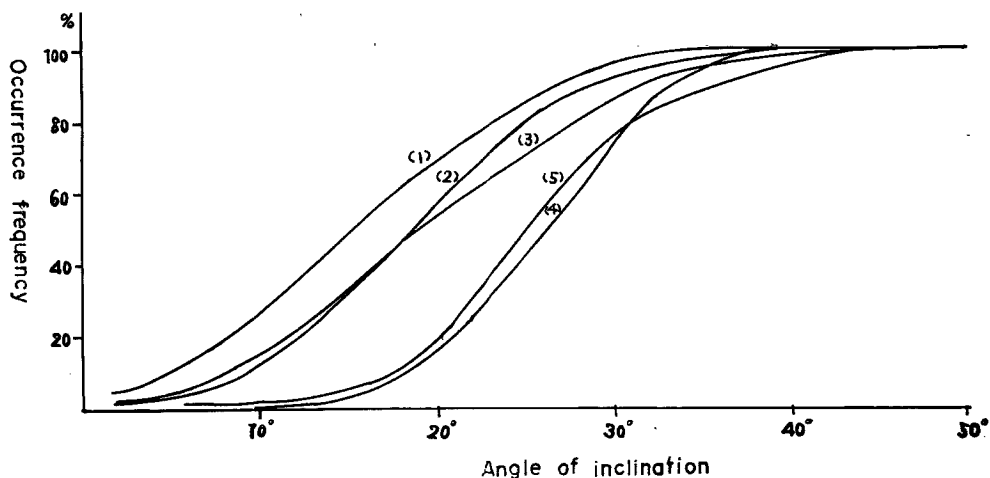


Fig. 8 Accumulated frequency curves of landslide inclination

- 1 Quaternary, 2 Tertiary, 3 Mesozoic,
4 Palaeozoic, 5 Metamorphic rocks.

地すべり地の傾斜による地域性は、裏日本4県と T が、また四国4県と M_e が非常によく似た傾向を示し、地域性の特徴がそのまま地質的因子に表われてきた (Fig. 9)。

さらに、日本地図上に各県別の平均傾斜をプロットしてみても、地すべり地の地域性と地質的因子との間に密接な関係を有していることが明らかになる (Fig. 10)。

次に、傾斜を有効降水量との関連からみると、有効降水量が 1000 mm 以下では傾斜は 20° 以上であり、1000 mm 以上になると傾斜はゆるやかになる傾向がある (Fig. 11)。

この傾向からすれば、地すべり地は、その傾斜が急であるほど、有効降水量に左右されやすいことが考えられる。

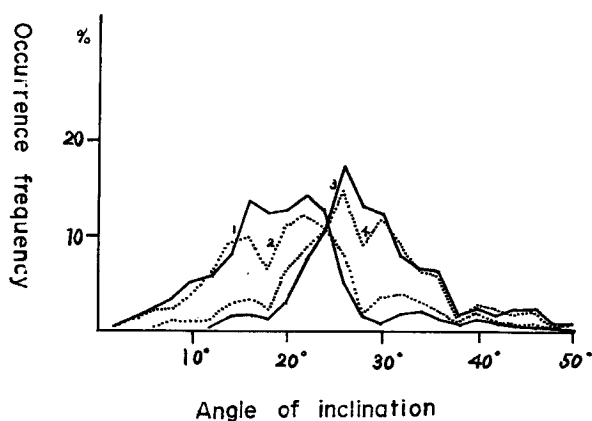


Fig. 9 Another frequency curves of landslide inclination

- 1 Hokuriku district, 2 Tertiary formations,
3 Shikoku district, 4 Metamorphic rocks.

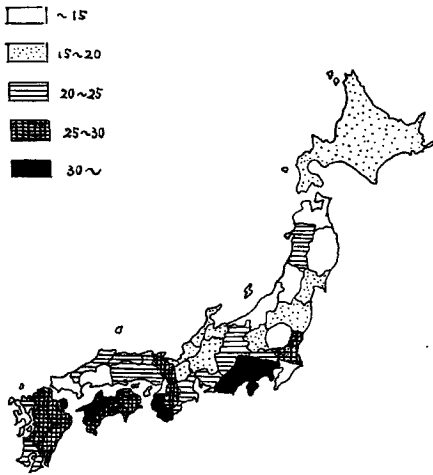


Fig. 10 Distribution of mean inclination of the landslide areas to each prefecture.

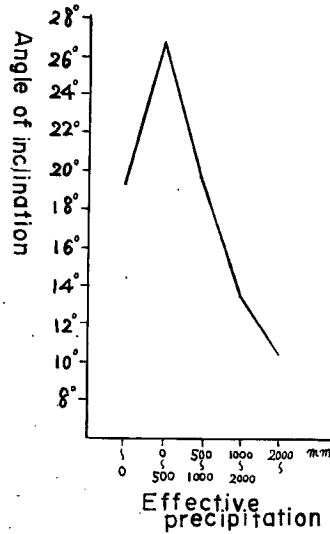


Fig. 11 Variation of mean inclination by effective precipitation.

6. 面積と傾斜との関係

ここでは、面積と傾斜の相互関係を述べてゆくことにする。面積と傾斜との関係をグラフ上にプロットすると、日本の全地すべり地についての面積は、10 ha 以下に集中し、傾斜は 15°~35° の範囲に 70% 近くが集中している。傾斜が 40° 以上、及び面積が 30 ha 以上の地すべり地も存在しているが、そのようなものは極少数である (Fig. 12)。

面積と傾斜との関係をグラフ上にあらわすと、傾斜が急になるにつれて平均面積は縮少してゆく傾向にあることが一見してわかる。そこで、この関係を直線関係とみなして式で表わすと、 $y = -0.6x + 3.6$ で示すことができる。すなわち、傾斜が 10° 増すとその平均面積は、約 6 ha 縮少する関係が示されている (Fig. 13)。

次に面積を 10 ha 以下、10~20 ha、20~30 ha、30 ha 以上に分けて、各々の傾斜角に対する地すべり発生頻度を累積グラフで表わすと、面積が拡大するにつれて傾斜はゆるやかになる傾向があらわれている (Fig. 14・15)。

また、傾斜を 10° 以下、10~20°、20~30°、30~40°、40° 以上と分けて、それぞれの傾斜によって面積の規模がどう変化するかを C 値で検討してゆくと、傾斜が急になるにつれて C の値も大きくなる傾向があらわれている (Fig. 16・17)。

以上の結果から、地すべり地の面積と傾斜との関係は、面積は傾斜が大きくなるにしたがって縮少する傾向を示している。

7. む す び

面積と発生頻度、傾斜と発生頻度、面積と傾斜等のそれぞれの関係について、日本各地の地すべり地を統計的に分析した結果、次のような結論を得た。

- 1) 地すべり地の面積と発生頻度との関係は、日本の全地すべり地には

$$\log N = 4.08 - 1.42 \log A$$

なる直線関係で与えられることがわかった。地質および地域性における面積の規模と発生頻度との関係

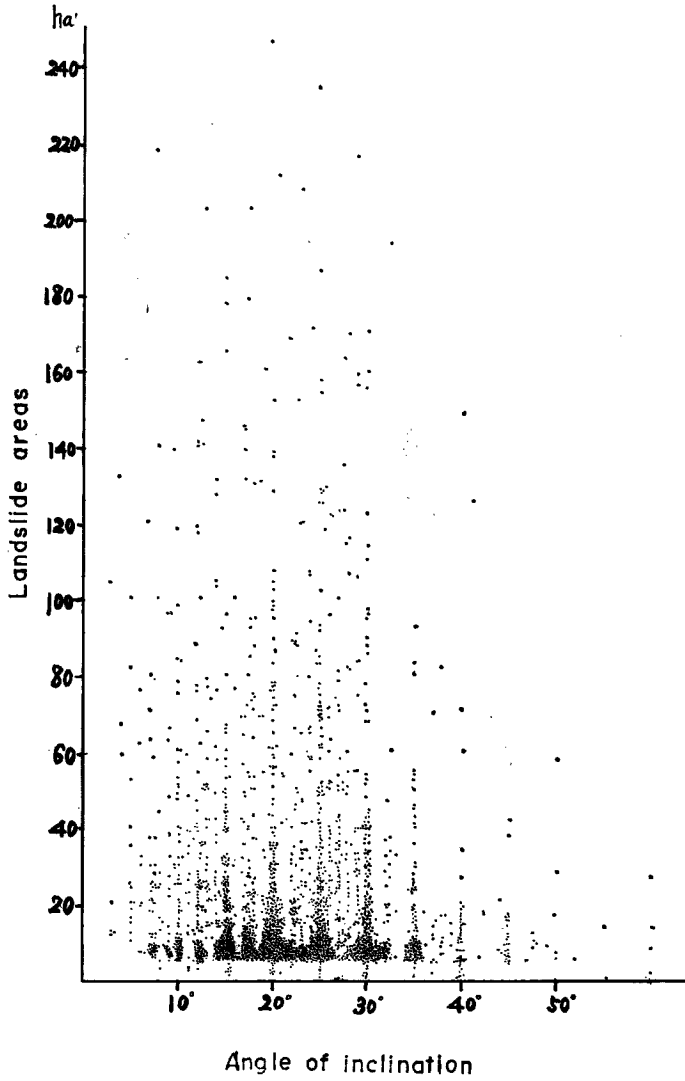


Fig. 12 Relation between area and inclination.

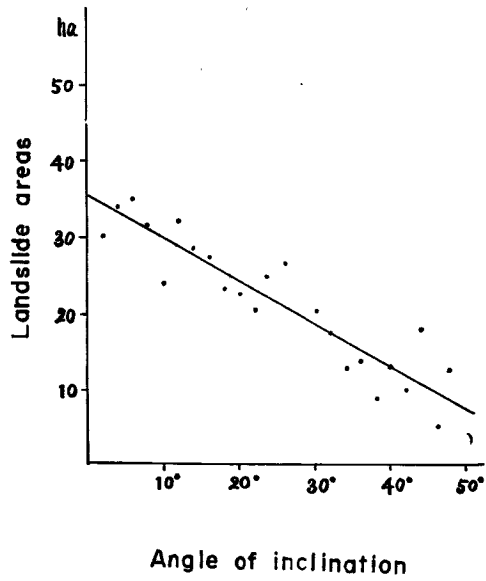


Fig. 13 Relation between area and inclination.

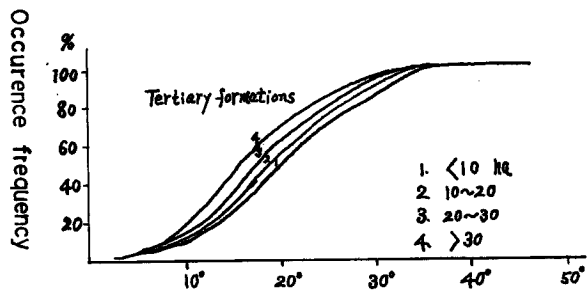


Fig. 14 Accumulated inclination curves of landslide areas.

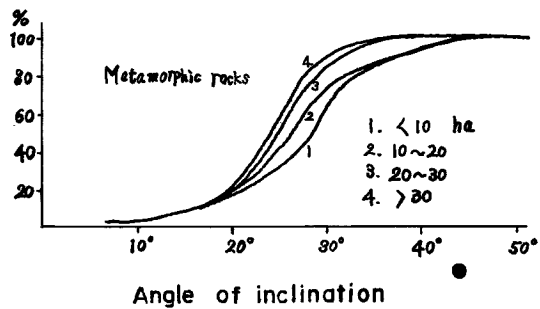


Fig. 15 Accumulated inclination curves of landslide areas.

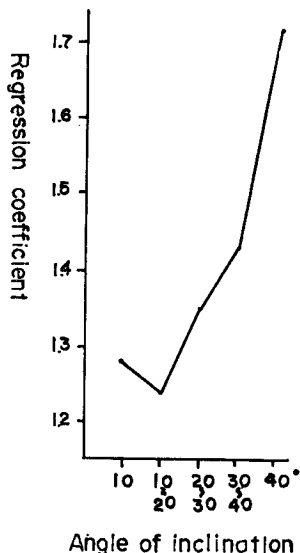


Fig. 16 Relation between inclination and frequency of landslide areas.

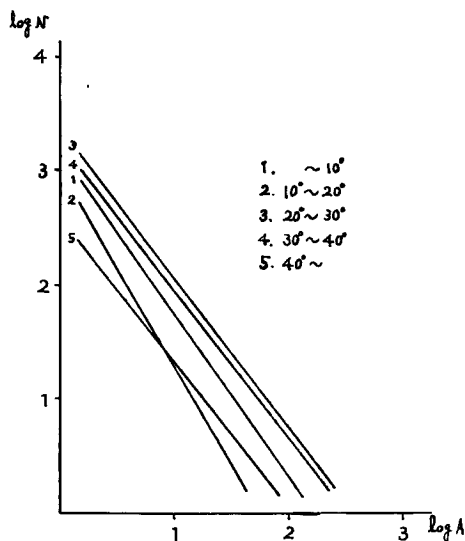


Fig. 17 Variation of regression coefficient by effective precipitation.

は、平均面積、回帰係数で検討しても明確なる相違は表われてこなかった。

有効降水量と面積の関係は、有効降水量の多い地区ほど面積が小規模化する傾向が見られた。

2) 平均傾斜と発生頻度との関係では、地質、地域性より検討した結果、地質が傾斜に及ぼす影響は大きいことが解明された。また、有効降水量が多くなるに従い、その地区の地すべり地の傾斜は、だんだんゆるやかになる傾向にあることもわかった。

3) 面積と傾斜との相互関係は、面積が大きい地すべり地は、傾斜がゆるやかであり、小規模の地すべり地になるほど急傾斜のものが多くなる傾向がみられた。

以上今回地すべりを、主として、その形態、規模の面より統計的に検討してみたが、まだ多々問題が残っているので、今後は資料をさらに詳細に調べ、地すべりの動的な現象との関係などについても究明できるよう研究を進めてゆきたい。

なお、本論作成にあたっては、終始適切な御指導を頂いた山口先生に心よりの謝意を表すると共に、図面、文章等については小西氏の手を煩わしたことを記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 石川栄助：新統計学，1955，槇書店。
- 2) 高野秀夫：地すべりと防止工法，1960，地球出版。
- 3) 農林省農地局計画部：地すべり防止工事調査報告書，1965。
- 4) 中村慶三郎：崩災と国土，1955，古今書院。
- 5) 山口真一：地すべりの素因及び誘因について，地すべり Vol.4 No.1。