

山口県下で発生した豪雨による急傾斜地の崩壊の 予測のためのデータベース化

山本哲朗*・大原資生**

Database for Predicting the Slope Failure by Heavy Rainfall in Yamaguchi Prefecture

Tetsuro YAMAMOTO and Sukeo ŌHARA

Abstract

The regional characteristics of soil and geology of slopes that failed due to heavy rainfall in Yamaguchi prefecture during the years 1978~85 are summarized. Also, the characteristics of slopes and rainfall affecting slope failure are investigated.

It was found that the failed slopes have their own characteristic soil and geology in each public works office jurisdiction. Furthermore, the depth of the failed surface soil layer is 0.5~2.5m irrespective of the soil type and there exists the limited value of rainfall causing slope failure. It was also shown that by multivariate analysis that the depth of the surface soil layer is the most important factor affecting the amount of failed soil.

From the above-mentioned results, it is thought that slope failure induced by heavy rainfall is predictable by surveying the depth of the surface soil layer of a slope.

1. 緒言

山口県、島根県を初め中国、九州の各県では毎年梅雨末期の集中豪雨によって急傾斜地（以下、斜面という）の崩壊が多発し、多くの人命が失われ、家屋や構造物の被害も著しい。

豪雨による斜面の崩壊は雨量特性、斜面を構成する土質、地質などが複雑にからみ合って発生することはわかってきたが、崩壊を予測する方法を確立するまでには至っていない。

本報告の目的は昭和53年度から60年度（1978~1985年度）の間に山口県内で発生した豪雨による斜面の崩壊に関する資料を用いて、次の3つの点を調べることで崩壊には斜面、降雨量などのどのような要因がもつとも関与するかを明らかにして、豪雨による斜面の崩

壊の予測の可能性を調べることである。1) 崩壊した斜面の土質・地質の地域特性、2) 崩壊した表層土の厚さ、3) 崩壊を生じる限界降雨量と崩壊規模

以下、最初に崩壊した斜面の概要をのべ、その後で各項目の検討した結果をのべることにする。

2. 崩壊した斜面の概要

本報告でとりあげた豪雨によって崩壊した斜面は、山口県の編集した「1978~1985年度に山口県内で発生した豪雨による斜面崩壊の災害の実態表」に記載されたものである。

Table 1は年度毎の自然斜面、人工斜面の崩壊の数と、その原因の気象を示す。これから1984年度以外は毎年、数件から50件弱の崩壊が生じ、崩壊の総数198件の内、自然斜面は180件(90.9%)、人工斜面は18件(9.1%)であることがわかる。

なお、これらの斜面は、その崩壊によって人命が失われたり、家屋、構造物、交通網に被害があったもの

*工業短期大学部土木工学科

**宇部工業高等専門学校

Table 1 Number and cause of slope failure per year

Year	Number of failure		Cause
	Natural slope	Artificial slope	
1978	1	0	Baiu (Jun.)
1979	44	2	" (Jun., Jul.)
1980	48	11	" Local severe rain (Ap., Jul., Aug.)
1981	7	1	" , " (Jun., Jul.)
1982	7	1	" , " (Jul.)
1983	45	0	" , " (Jul.) , Typhoon (Sep.)
1984	0	0	-
1985	28	3	Baiu (Jun., Jul.)
Total 198	180 (90.9%)	18 (9.1%)	

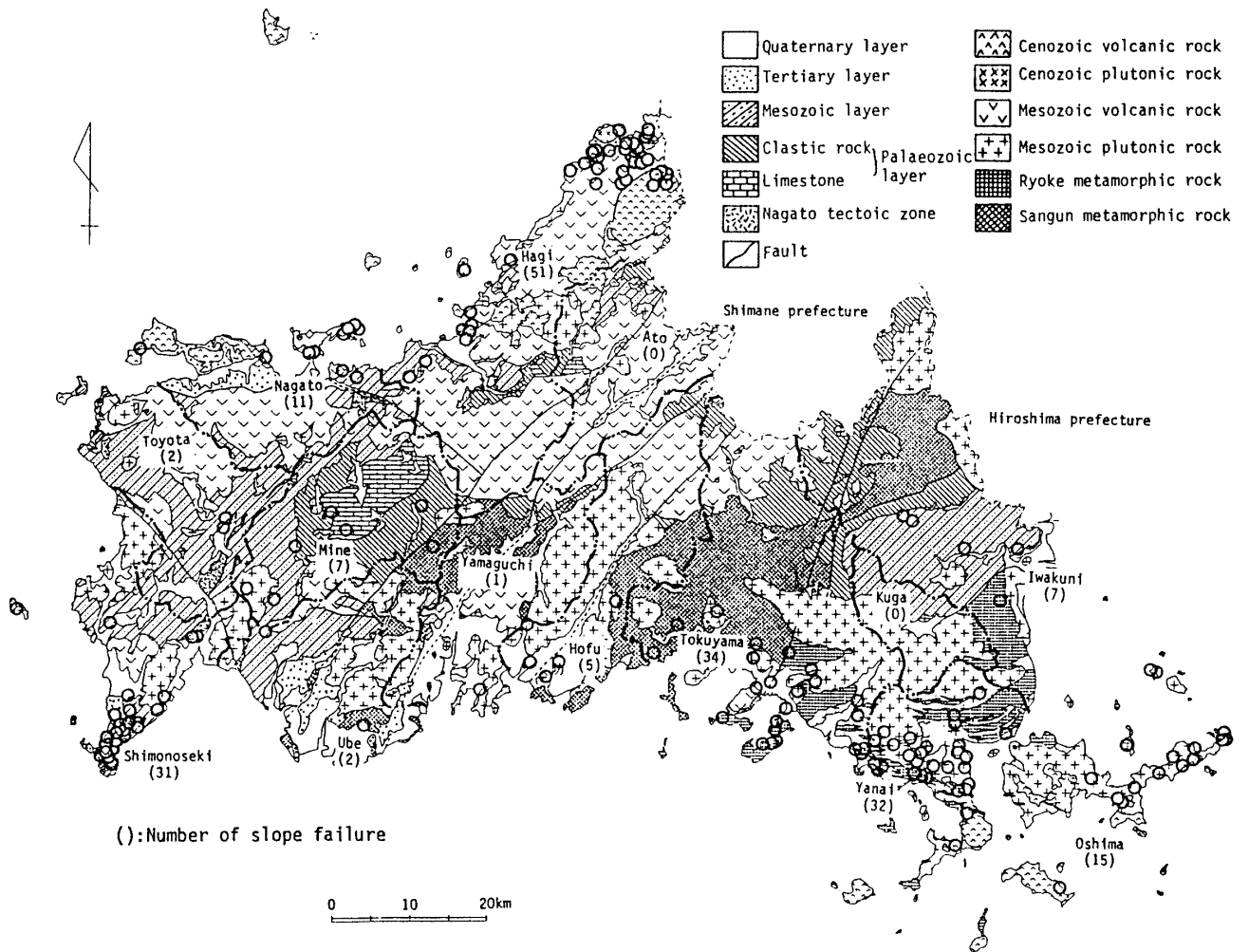


Fig.1 Location of slope failure plotted in geologic map of Yamaguchi prefecture from Yamaguchi society of physical geography

に限られているので、実際に県内で崩壊した斜面の数は Table 1 よりもかなり多いと考えられる。

Fig. 1 はすべての崩壊した斜面の位置を地質図¹⁾上に示したものである。図中の数値は2点鎖線でその境界を示した14箇所の土木事務所の管轄区域のそれぞれで生じた総崩壊数を示す。図から大島、柳井、徳山、下関、萩、長門地区では特に崩壊が多く発生していることがわかる。

下関地区の31箇所の崩壊の約半分に当たる16箇所は1980年度の集中豪雨(前2週間雨量199.5mm, 当日雨量114mm)の時に発生したものである。また、萩地区の51箇所中の41箇所の崩壊は1983年度の豪雨(前2週間雨量332mm, 当日雨量295mm)の時に起きたものである。このように両地区の斜面の崩壊の半数以上は集中豪雨によって発生したものと考えられる。一方、大島、柳井、徳山、下関、長門地区では毎年のように崩壊履歴をもつ斜面にきわめて隣接する斜面が崩壊している。

下関地区のほぼ50%に当たる14箇所の斜面は人工斜面であり、この比率は他の地区に比べて著しく大きい。

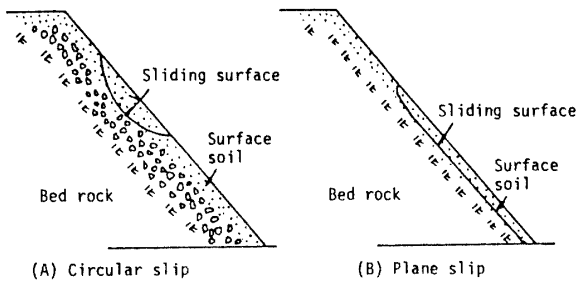


Fig. 2 Type of slope failure

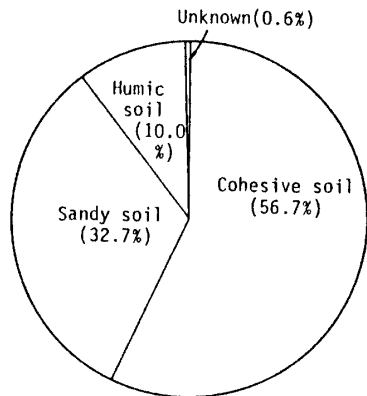


Fig. 3 Frequency of surface soil of slope

3. 崩壊した斜面の土質・地質の地域特性

今回対象とした斜面は180箇所の自然斜面である。

斜面の崩壊の型は、建設省土木研究所の分類によると、まさ土の崩落(5-2-(1)型)が78件でもっとも多く、次いで粘性土がその基盤岩との境界ですべったものが多くみられた。すなわち、崩壊の型は Fig. 2の(A), (B) 図に示すように、表層土内の円弧状あるいは平面状のすべりによって発生したものであった。

斜面を構成する表層土の土質の違いによる崩壊の特性の差異をみるために、斜面を表層土の種類によって粘性土、砂質土および腐植土斜面の3つに分類して、以下の検討を行った。斜面の土質の頻度は Fig. 3に示す。この分類では砂質土の大部分はまさ土であるが、礫も含まれている。

Fig. 4は崩壊した斜面の種類の頻度を年度別に示した図である。この図から1983年度では特に粘性土斜面の崩壊数が多いことがわかるが、これは萩地区の萩市、須佐町、田万川町での斜面のほとんどが粘性土であったことに起因するものである。

Figs. 5(a), (b), (c)はそれぞれ粘性土、砂質土、腐植土の崩壊斜面の傾斜角の頻度分布を示す。この図からそれぞれの斜面の場合に傾斜角が40~49.9度にあるも

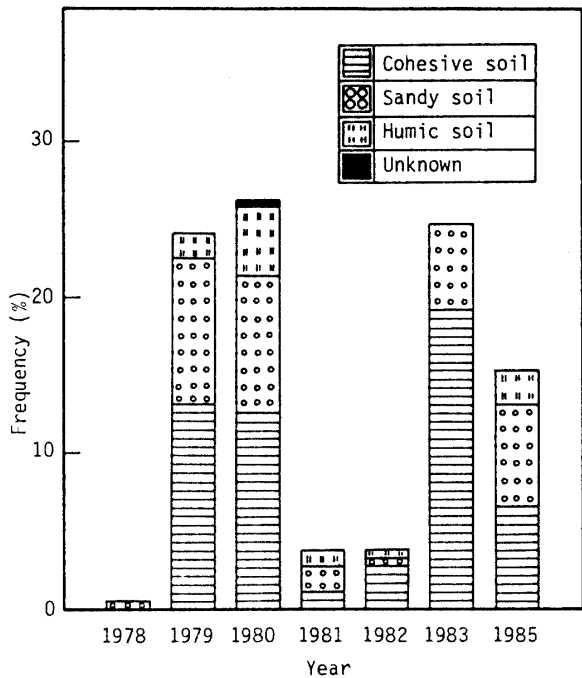


Fig. 4 Frequency of surface soil of slope failed per year

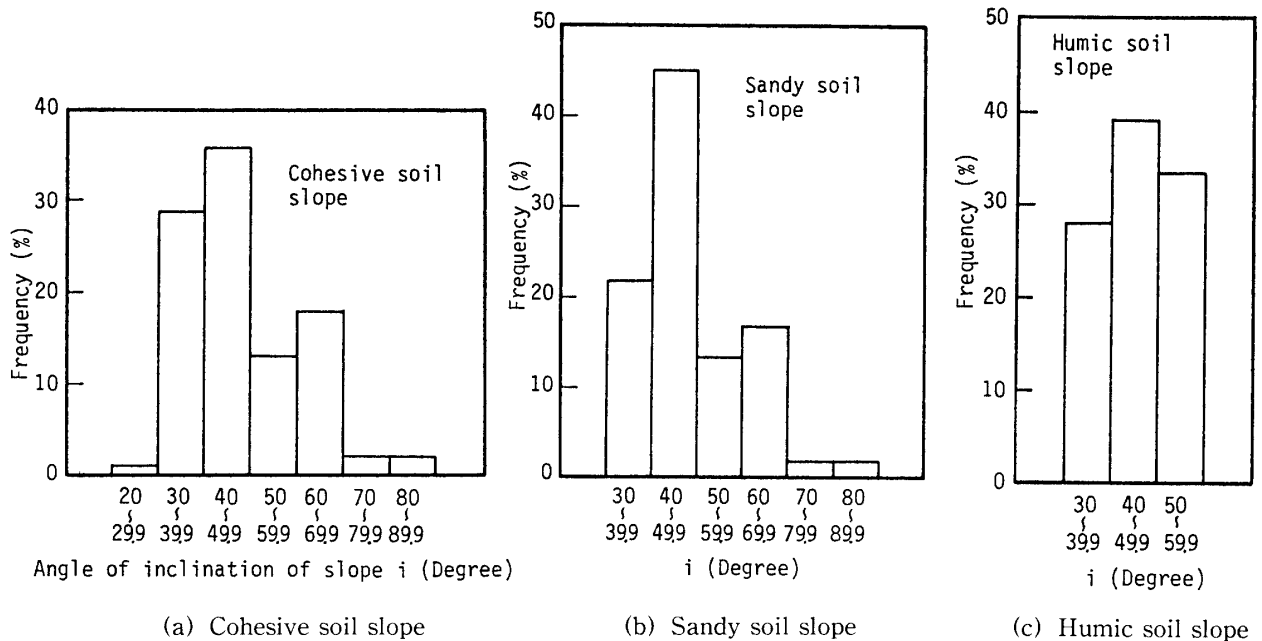


Fig. 5 Frequency of angle of inclination of slope

のが著しく崩壊していることがわかる。

Fig. 6 は各土木事務所管轄地区の崩壊した斜面の種類の種類頻度分布を示す。図からわかるように、柳井、萩地区では粘性土斜面の崩壊の比率が大きい、これに対して大島、下関、長門地区では砂質土斜面の崩壊の比率が大きい。徳山地区では両斜面の崩壊の比率はほぼ同等であることがわかる。

Fig. 7 は崩壊した斜面を構成する基盤岩を成因別に分類し、その頻度を地区別に示した図である。この分類に属する岩石は次のとおりであった。① 深成岩：花崗岩、閃緑岩 ② 半深成岩：石英斑岩 ③ 火山岩：流紋岩、安山岩、玄武岩 ④ 堆積岩：頁岩、砂岩、粘土岩、凝灰岩 ⑤ 変成岩：片麻岩

Figs. 6, 7の結果および Fig. 1の地質図、「山口県の地質」²⁾を参考にして各地区での崩壊した斜面の地質と土質の関係の特徴をまとめると次のようになる。

大島～柳井～徳山～防府地区にかけて分布する斜面の表層土は、中生代の深成岩（花崗岩）が風化して生成された、まき土、粘性土からなる。また、岩国～柳井～徳山地区には古生代の領家あるいは三郡変成岩が風化した土質の斜面もみられる。

下関地区の斜面の表層土は、中生代の下関亜層群に属する中生代の安山岩、火山砕屑岩、凝灰質砂岩、頁岩などが風化して生成されたものである。長門～萩地区の粘性土斜面は中・新生代の安山岩、流紋岩、凝灰岩が風化して生成されたものである。また、長門地区

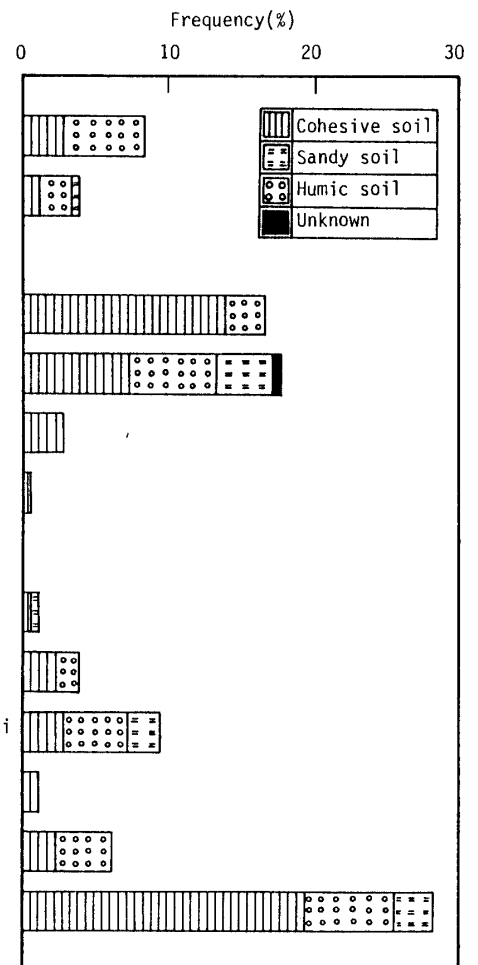


Fig. 6 Frequency of surface soil per public works office

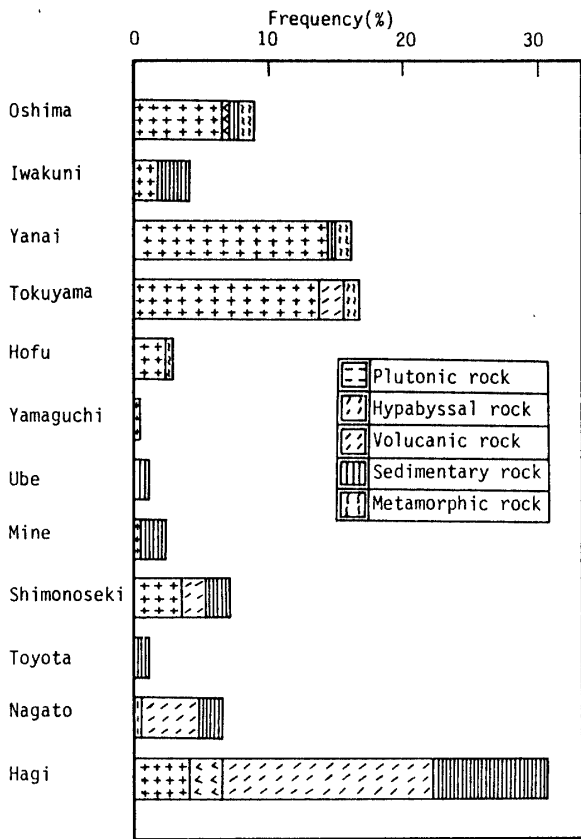


Fig. 7 Frequency of bed rock per public works office

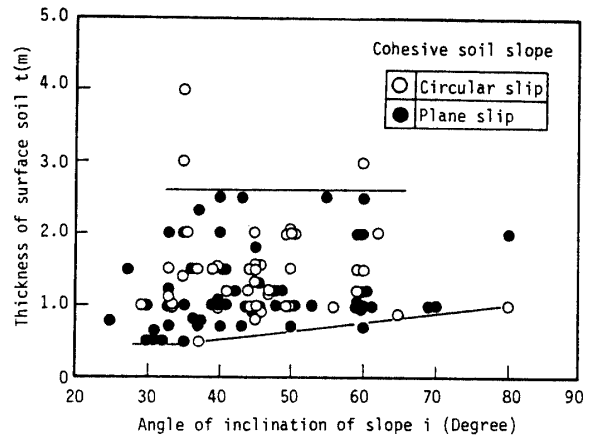
には下関地区と同ような下関亜層群から構成された斜面もみられる。

美祿地区の斜面の地質は古生層，美祿層群の中生層である。

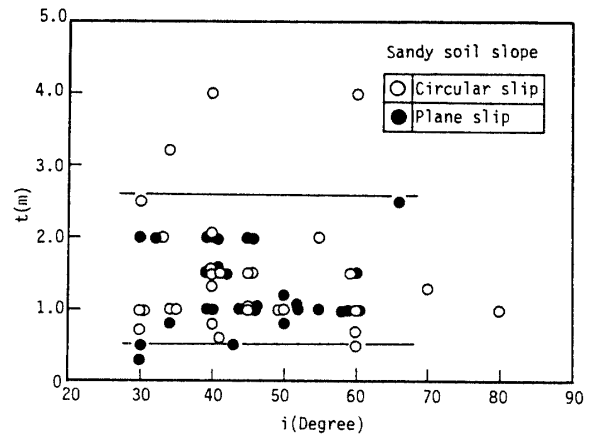
このように斜面の土質・地質は各地区毎に特徴があることがわかる。

4. 崩壊した表層土の厚さ

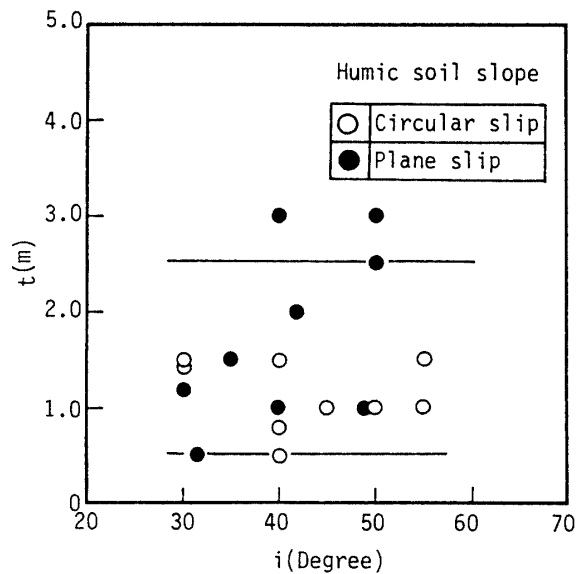
Figs. 8 (a), (b), (c)はそれぞれ粘性土，砂質土，腐植土斜面の場合の崩壊した表層土の厚さと斜面の傾斜角の関係を示す。図中，○，●印はそれぞれ円弧すべり，平面すべり崩壊を生じた斜面であることを表す。この図から斜面の種類や崩壊の型の違いにかかわらず，崩壊した表層土の厚さは0.5～2.5mの比較的狭い範囲にあることがわかる。崩壊厚の下限値付近には多くの結果があり，その信頼性はかなり高いものと考えられるが，上限値については各斜面において厚さ3～4mで崩壊した例も存在することから，上限値は今後さらに検討が要るであろう。



(a) Cohesive soil slope



(b) Sandy soil slope



(c) Humic soil slope

Fig. 8 Thickness of surface soil failed

広島県呉市のまさ土斜面についての同様の調査結果によれば傾斜角が30°~50°の範囲で表層土の厚さは0.65m~0.30mの狭い範囲で変化するという結果が得られている³⁾。

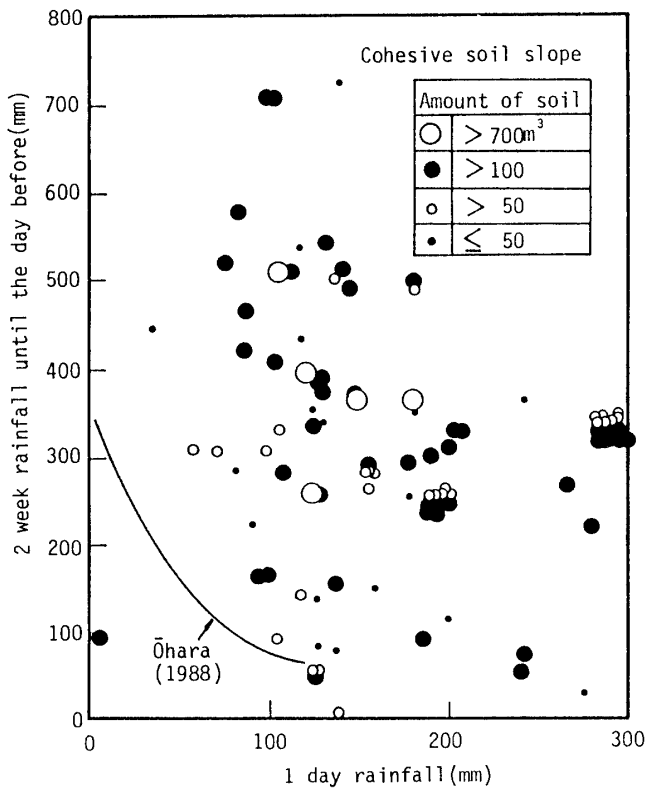
このように本研究で得られた砂質土(まさ土)斜面の場合でも崩壊した表層土の厚さの上限の値は呉のまさ土の場合よりも4倍程度大きいものとなった。しかし、いずれにしても崩壊した表層土の厚さは比較的狭い範囲にあり、ある厚さ以上の表層土は過去に崩壊を生じていると考えられるので、コーン貫入試験などで表層土の厚さを測定することによって、豪雨による崩壊の可能性のある斜面を予測することができると考えられる。

無限長の直線状斜面がすべりに対して安定を保つ限界の厚さ(Z_c)を求める式(1)を用いて今回の有限長の斜面の表層土の限界の厚さを求めた。それによると例えば傾斜角(i)=60°、土の単位体積重量(γ)=1.6 tf/m³、内部摩擦角(ϕ')=26°、粘着力(c')=1.0 tf/m²の斜面の場合、限界の厚さは2.5mとなるが、この値はFigs. 8に示す、今回得られた表層土の崩壊厚さの上限値に相当する。

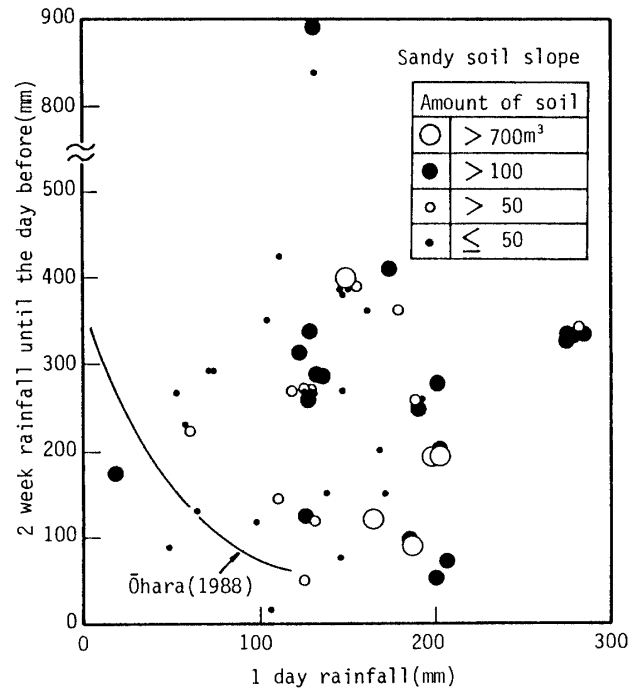
$$Z_c = c' / \gamma \cdot \sec^2 i / (\tan i - \tan \phi') \quad (1)$$

5. 崩壊を生じる限界降雨量と崩壊規模

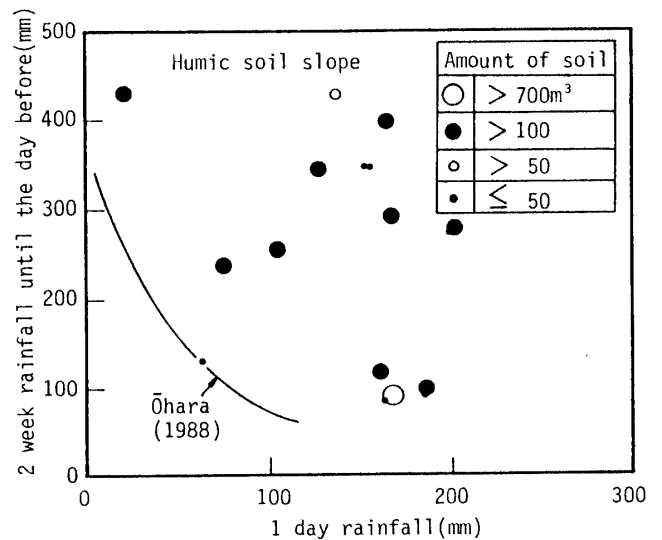
Figs. 9 (a), (b), (c)はそれぞれ粘性土, 砂質土および腐植土斜面について崩壊が生じた時までの降雨量を崩壊土量毎に示したものである。降雨量としては先の研究⁴⁾と同様に累積雨量(前2週間雨量)を考慮に



(a) Cohesive soil slope



(b) Sandy soil slope



(c) Humic soil slope

Fig. 9 Relationship between amount of soil failed and rainfall

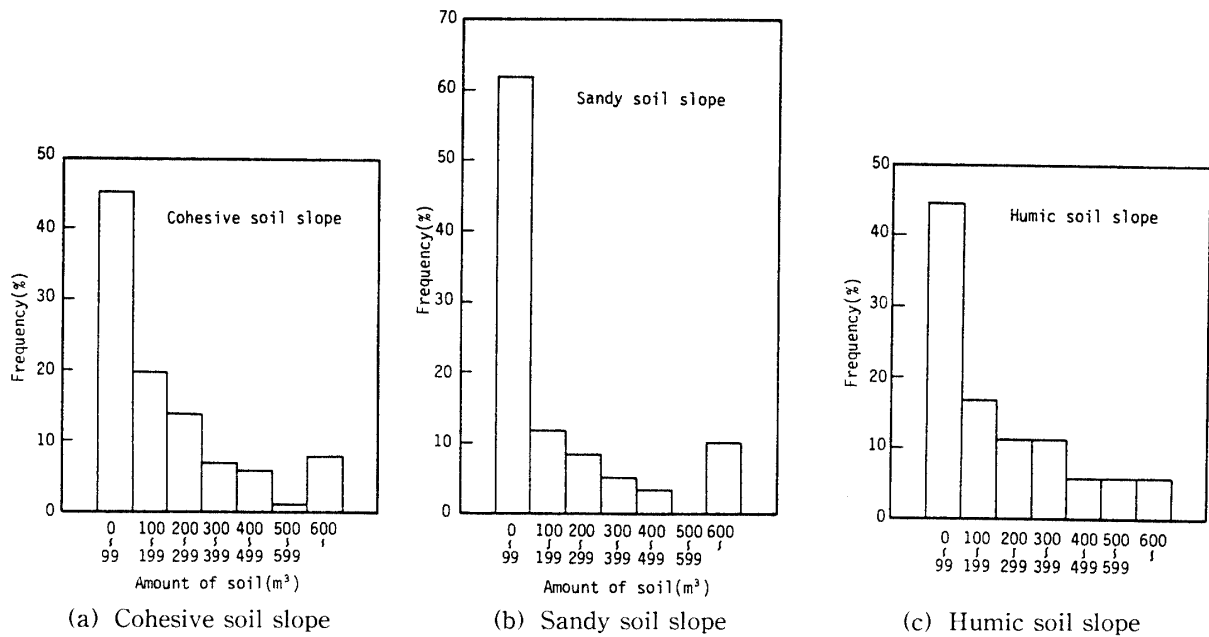


Fig.10 Frequency of amount of soil failed

入れた日雨量を用いることにして、それぞれの雨量を縦、横軸上にとった。図中の曲線は昭和47年7月の中国地区の豪雨時の斜面の崩壊を初めとする多くの崩壊事例から得られたもので、崩壊を生じる限界の日雨量と累積雨量の関係を示す曲線である。

Figs.9 から斜面の土質の違いにかかわらず崩壊を生じる限界の日雨量と累積雨量の関係は図中の曲線によって与えられることがわかる。

Figs.10(a), (b), (c)はそれぞれ粘性土、砂質土、腐植土斜面について崩壊土量の頻度分布を示す。図から各斜面において崩壊土量は99m³以下の場合がもっとも多く、その頻度は粘性土、腐植土斜面で45%、砂質土斜面で62%であることがわかる。

次に、降雨に対してどういった斜面が崩壊を発生し易いかをみるために、前2週間雨量500mm当りに換算して得られた崩壊件数を斜面種別に求めてみた。その結果を Fig.11に示す。これより特に岩国地区の腐植土および美祿地区の砂質土斜面は他の斜面よりも崩壊数が多いことから、これらの斜面は降雨に対して崩壊し易い状態にあるものと考えられる。また、粘性土斜面の場合には単位雨量当りの崩壊数は1.5~3.5件で、地域差はそれほど認められない。

次に、崩壊土量と斜面の要因との関係を推定してみた。解析には林氏の数量化分析I類⁶⁾を用いた。

粘性土および砂質土斜面の崩壊土量(y; 単位 m³)の式はそれぞれ式(2)、(3)として求められた。

$$y = 202.88 + 177.95x_{11} + 89.59x_{12} - 35.39x_{13} -$$

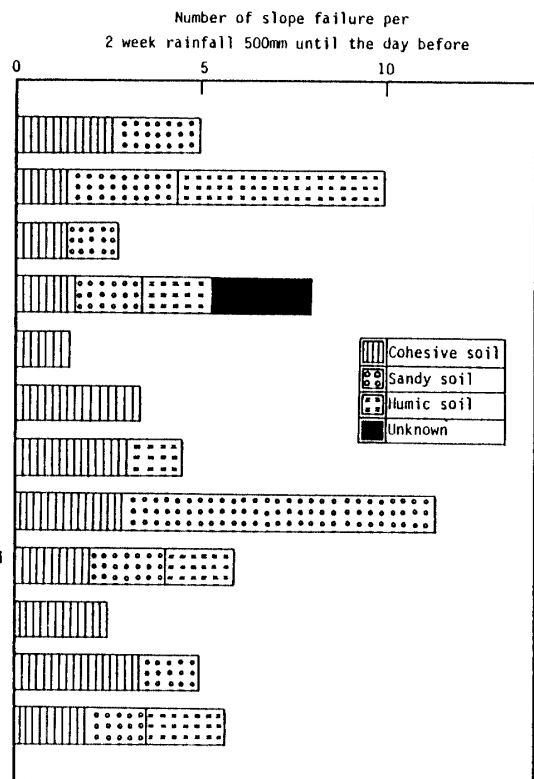


Fig.11 Potential of slope failure against rainfall

Table 2 Slope item and category used in multivariate analysis

Item		X_{ij}					
		j=1	2	3	4	5	6
i=1	Angle of inclination	29.9°<	30-39.9	40-49.9	50-59.9	60-69.9	70>
2	Height	9 m<	10-29	30-49	50-69	70-89	90>
3	State of top	Ridge	Elevation	Concave land	The others		
4	State of covering	Nude land	Grassland	Bamboo, needleleaf and broad- leaf trees	The others		
5	Spring water	Existence	Nothing				
6	Thickness of surface soil	0.49m<	0.50-0.99	1.00-1.49	1.50-1.99	2.00-2.49	2.50>

Table 3 Correlation of amount of soil failed and slope item

Correlation coefficient		Cohesive soil slope	Sandy soil slope
Multiple correlation coefficient $\rho_{y,1-6}$		0.554	0.834
Partial correlation coefficient $\rho(y \cdot i)$	Angle of inclination	0.271	0.365
	Height	0.294	0.110
	State of top	0.162	0.165
	State of covering	0.151	0.668
	Spring water	0.011	0.266
	Thickness of surface soil	0.407	0.652

$$98.16x_{14} - 30.31x_{15} + 57.53x_{16} - 107.88x_{21} - 43.63x_{22} + 120.74x_{23} - 40.63x_{24} - 47.34x_{25} + 146.22x_{26} + 50.08x_{31} - 36.50x_{32} + 34.02x_{41} + 86.00x_{42} - 17.93x_{43} + 91.00x_{44} + 3.40x_{51} - 2.10x_{52} - 104.61x_{62} - 58.73x_{63} + 216.86x_{64} + 45.14x_{65} + 115.32x_{66}$$

(粘性土斜面の場合) (2)

$$y = 181.34 + 119.91x_{12} + 4.11x_{13} - 64.74x_{14} - 95.78x_{15} - 33.95x_{16} - 32.96x_{21} + 11.60x_{22} - 15.66x_{23} + 20.36x_{24} - 49.26x_{25} + 10.01x_{31} + 8.39x_{32} - 96.52x_{33} + 2.06x_{34} - 51.90x_{41} - 41.43x_{42} - 10.83x_{43} + 1169.44x_{44} - 114.87x_{51} - 20.68x_{52} - 141.02x_{61} - 99.84x_{62} - 68.49x_{63} + 41.66x_{64} + 94.95x_{65} + 423.79x_{66}$$

(砂質土斜面の場合) (3)

Table 2 に示すように斜面の要因(i)としては傾斜角、高さ、上端の状態、地被物の種類、湧水の状況、崩壊した表層土の厚さをあげてみたが、各要因の範疇

(j)に該当する場合には上式で $x_{ij} = 1.0$ とし、それ以外は $x_{ij} = 0$ とする。

Table 3 は粘性土および砂質土斜面の重・偏相関係数を示す。砂質土斜面の場合には重相関係数 ($R_{y,1-6}$) は0.834であり、この種の解析で一応満足される値0.85に近いものである。一方、粘性土の場合は $R_{y,1-6}$ は0.554であって、それほど大きくはない。

偏相関係数 $\rho(y \cdot i)$ は表層土の厚さに対して比較的大きくなり、粘性土斜面では0.407、砂質土斜面で0.652である。

以上の解析から崩壊土量には斜面の要因の中で表層土の厚さがもっとも関与することがわかった。この結果と先にのべたように崩壊した斜面の厚さは0.5~2.5 mの範囲にあるという事実を考えると、表層土の厚さを予め調査しておくことで、豪雨による斜面の崩壊の予測ができるのではないかと考えられる。

6. 結論

1978~1985年度の間に山口県内で発生した豪雨によ

る斜面の崩壊の資料を整理し、崩壊した斜面の土質・地質の地域特性を調べ、また崩壊に関与する斜面の要因、限界の降雨量についても検討した。

得られた結論は次のようにまとめられる。斜面の崩壊のほとんどは表層土内のすべりによるものであった。土木事務所管轄区域毎の崩壊した斜面の土質の種類にはその地域の地質を反映した地域差があることがわかった。

崩壊した表層土の厚さは、表層土の種類によらず0.5～2.5mの範囲にあることがわかった。

その他、予想されていることではあるが、崩壊を生じる降雨量には限界値が存在することが示された。さらに、数量化分析から崩壊の規模には表層土の厚さをもっとも関与することが示された。

以上の結論から表層土の厚さと限界降雨量を用いることで斜面の崩壊の長期的な意味での予測が可能になったことがわかった。

謝辞

本報告の作成にあたり、土質工学会山口地区の「斜

面安定問題」分科会の委員の方々から種々の御協力を頂いた。また、県からは貴重な資料の提供に際して格段の御配慮を頂いた。ここに記してこれらの方々に厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口地学会編：日曜の地学12 山口の地質をめぐって、築地書館，1980
- 2) 高橋英太郎他：山口県の地質，山口県立山口博物館，1975
- 3) 網干寿夫：自然斜面崩壊の予測に関する現状と問題点，地質と調査，第3号，pp.2-8，土木春秋社，1987
- 4) 大原資生：豪雨による地盤災害の発生予測手法に関する研究，文部省科学研究費(No.62601529)重点領域研究(1)報告書，pp.1-17，1988
- 5) 河口至商：多変量解析入門I，森北出版，1978
(平成元年9月14日受理)