

宮崎大学農学部 ○谷口義信 高橋正佑

1. はじめに

本研究は特に降灰活動が盛んな桜島の山頂部付近の急斜面においてなぜ山腹崩壊が少なく、逆に無数のガリヤリルが形成されるのか、またそこにおいてどのような形態の土砂生産が行われ、それがどのようにして土石流となるのかを実験的に追究することを試みたものである。

2 実験装置および実験方法

実験装置としては模型水路、人工降雨装置、流出土砂量測定装置、撮影装置の4装置から成る。その概略を図-1に示す。模型水路の諸元は $20 \times 20 \times 400$ cmであり、降雨強度は $600 \sim 700$ mm/hr である。なお降雨強度が異常に高くなつたのは落下雨滴による侵食の影響を避けるため、水压もかなり高く

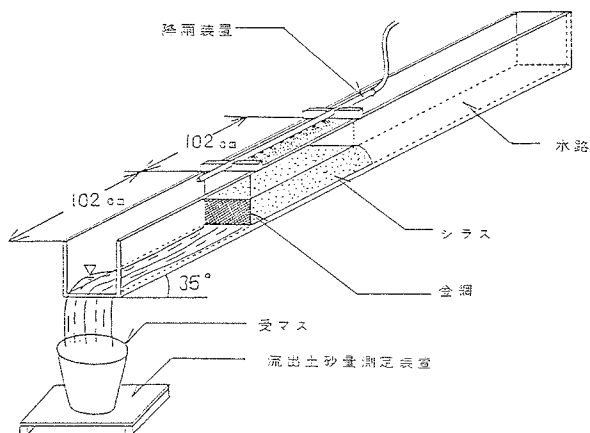


図-1 実験装置概略図

くし ($3 \sim 4$ kg/cm²)、完全な霧状としたことによる。流出土砂量は水路下端に取付けた受マスの荷重計により重量で測定し、撮影は図-1では省いてあるが、水路前面より16mmカメラを用いて、毎秒コマの一定速度で行えるようにセットした。水路勾配は10°, 20°, 35°の3種類とし、水路内堆積物材料としては砂 ($d_m = 0.72$ mm, $\phi = 42^\circ$) およびシラス ($d_m = 0.17$ mm, $\phi = 35^\circ$, $c \approx 0.2$ kg/cm²) の2種類を用いた。桜島では降灰活動により地表面の透水性が著しく低下すると言われている。しかし火山灰層の下は比較的粒径も大きく、透水性は著しく高い。ここでは透水性の比較的高い材料の例として砂を選び、低い例としてシラス(これを火山灰と見なす)を選んだ。

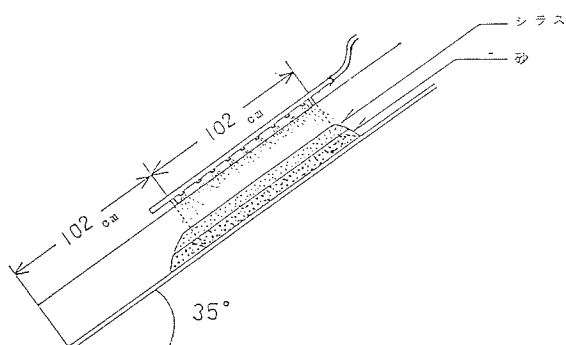


図-2 砂・シラスの複層構造模型

の1例として35°を設定したものである。すなわち10°は土砂がほぼ掃流作用で運ばれると考えられる領域の1例であり、35°は前述のシラスの中が35°であることから考えて明らかなように、崩壊発生領域と考えられる1例である。水路内堆積物材料として砂を用いた場合は10°, 20°, 35°の3種類の水路勾配ともに対して実験を行い、シラスを用いた場合は20°, 35°の2種類の水路勾配に対して実験を行った。土

砂は図-1 に示すように、水路下端より102 cm～204 cmの区間までに厚さ10 cmに堆積させ、これに完全に霧状とした人工降雨を与えるものとした。シラスを用いた水路勾配35°の実験は9回行ったが、そのうち5回の実験については、16mmカメラを用いて水路内の侵食溝（ここではこれをガリと呼ぶことにする）の発生およびその拡大状況を撮影した。つぎの段階の実験としては、土砂生産に及ぼす降雨の影響を明らかにするため、図-2 に示すように砂層の上にシラス層を重ね、複層とした実験を行った。堆積厚は砂、シラスとも5 cmであり、堆積区間は前述と同様である。これは現実の斜面勾配が30°以上であることを考慮して、これとの対応性も考え、またシラスの中が35°であることも考慮して水路勾配

表-1 勾配 35 度 試料:砂

EXP.	全面崩壊発生の有無	ガリ発生の有無	含水率 (%)	降雨強度 (mm/hr)
1	○	×	7.06	690
2	○	×	9.53	663

表-2 勾配 35 度 試料:シラス

EXP.	全面崩壊発生の有無	ガリ発生の有無	含水率 (%)	降雨強度 (mm/hr)
1	×	○	14.01	729
2	×	○	21.19	774
3	×	○	17.34	702
4	×	○	15.36	750
5	×	○	17.24	705
6	×	○	12.58	702
7	×	○	17.20	738
8	×	○	11.14	735
9	×	○	12.19	699

表-3 勾配 20 度 試料:砂

EXP.	全面崩壊発生の有無	ガリ発生の有無	含水率 (%)	降雨強度 (mm/hr)
1	○	×	5.67	734
2	○	×	4.74	694
3	○	×	5.36	738
4	○	×	6.19	779
5	○	×	5.00	671

表-4 勾配 20 度 試料:シラス

EXP.	全面崩壊発生の有無	ガリ発生の有無	含水率 (%)	降雨強度 (mm/hr)
1	×	○	5.26	775
2	×	○	5.20	765

表-5 勾配 10 度 試料:砂

EXP.	全面崩壊発生の有無	ガリ発生の有無	含水率 (%)	降雨強度 (mm/hr)
1	×	○	5.11	706
2	×	○	6.20	676
3	×	○	5.53	728
4	×	○	6.01	744
5	×	○	5.05	699
6	×	○	5.49	797
7	○	○	6.47	782

表-6 勾配 35 度 試料:砂とシラスの互層

EXP.	全面崩壊発生の有無	ガリ発生の有無	砂の含水率 (%)	シラスの含水率 (%)	降雨強度 (mm/hr)
1	×	○	5.22	15.42	663
2	×	○	7.02	17.73	673

35°で実験を行った。この実験は火山灰で表面が被覆された山腹斜面を想定したもので、ここでのようにしてガリが形成され、それがどのような過程を経て土砂流となつて、土砂の運搬が行われるかを追求する目的のものである。なお水路勾配が35°の場合は勾配が急であるため、堆積土砂下端部からの斜面先破壊を防止する目的で金網を取付けた。砂の場合20°においても金網を取付けて斜面先破壊を防止した。

3 実験結果

砂およびシラスの1層構造とした水路勾配35°の場合の実験結果を表-1、表-2に示す。同表において全面崩壊とは、降雨開始後ある時間で一挙に起こる全面的な地すべり現象、すなわち全面流動であり、したがって全面崩壊発生の有無欄の○印はリル・ガリが形成される前に全面的な崩壊・流動が起こったことを示し、×印はそれが起こらなかったことを示す。ガリ発生の有無欄についても同様である。なお砂の場合に見られる全面崩壊発生までの時間は降雨開始後ス～3分であった。水路勾配20°の場合の砂およびシラスの1層構造の実験結果を表-3、表-4に示す。さらに10°の砂の1層構造の場合の実験結果を表-5に示す。ここでシラスの実験値がないのは、シラスの場合35°、20°の両実験結果から考えて、ここでも当然リル・ガリの形成が先行するものと考

えられるから、これについては実験を行わなかつたためである。フダに砂とシラスの複層構造の場合の実験結果を表-6 に示す。ここで実験回数が2回しかないのは、予備実験の結果、表-2 とほぼ同様な実験結果が得られたので、ここでも同様の結果が予想されたため再度実験を行わなかつたことによる。

4. 考察

表-1 と表-2 の結果を比較すると、同一水路勾配であっても構成材料の相違によって土砂の生産形態に明らかな相違が見られる。すなわち砂では典型的な全面崩壊タイプが起こるのに対し、一方シラスでは全面崩壊の形態は起こらない。勾配20°の場合の表-3、表-4 についても全く同様の傾向が認められる。しかし10°になるとこの傾向は全く異なり、砂でも全面崩壊の形態は非常に少なくなり、これに反してガリの発生が顕著となる。同表から明らかなように、7回のうち1回だけ全面崩壊が発生しているが、これもその実態はガリの形成が先行し、それがある程度拡大した段階で発生した全面崩壊であったから、結果的には7回ともガリの形成が先行していると言える。

複層構造の場合、すなわち表面を火山灰が覆った状態の全面崩壊、ガリ発生の有無は表-6 から明らかなように、35°の勾配においてもシラスの1層構造の場合と同様、ガリの形成が先行していることがわかる。ただこの場合はガリの侵食がある程度進んで、谷の規模が大きくなると後に地すべり性の全面崩壊・流動の起こる傾向のあることが明らかとなった。

以上の結果から斜面堆積物が流動に到る要因としては大きく地形的に見た場合の斜面勾配が、内部的要因としては構成土砂の粒径が、また層構造的な要因としては火山灰の表面被覆があるか否かが関係することが明らかとなった。これらの要因によって一挙に全面流動となるか、またほりル・ガリの発生を経て土砂流動に到るか、その過程は大きく2つに分れる。

ここで火山灰層の有無によって、なせりル・ガリの形成が先行したり、または全面崩壊が先行したりするののかについて若干検討する。火山灰が粘着力 C をもつときの長大斜面の安定条件は、水の影響はないとした場合、最も簡単に表わせばつぎのようになる。

$$Z \cos \alpha \sin i \leq C + \gamma Z \cos^2 i \tan \phi \quad \text{----- (1)}$$

ここに Z は火山灰層の厚さ、 γ はその単位体積重量、 i は斜面勾配、 ϕ は火山灰の内部摩擦角である。ここで Z が (1) 式から当然崩壊は起こらないことになる。 $i > \phi$ の場合は (1) 式から

$$Z \leq (C/\gamma) \cdot \{ \sec^2 i / (\tan i - \tan \phi) \} \quad \text{----- (2)}$$

たとえば斜面勾配が35°であっても、前述のシラスの場合 $C \approx 0.2 \text{ kg/cm}^2$ のため、またシラス試料で測った γ の平均値は $9.7 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3$ (乾燥状態) であったから、(2) 式から $Z \approx 14 \text{ m}$ となり、相当な厚さまで崩壊は起こらないことがわかる。しかし実際には水の影響によって、この Z の値は著しく小さくなると考えられるが、それでもある厚さまでは崩壊は起こらないと考えられる。現地調査の結果では、火山灰層の厚さは10~30 cmであったので、この程度の厚さならば(1)式から考えて、表層崩壊は起こらないと考えられる。したがってそのために、本実験において斜面勾配は相当急であるにもかかわらず、降雨によって全面崩壊の起こる前にほりル・ガリの発生が先行し、これが次第に拡大していったものと考えられる。こうして一旦ガリが形成されると、斜面勾配が大きいので、それは急速に裾部に向かって伸長する。桜島山頂部付近の無数のほりル・ガリもこうして形成されたものと考えられる。これらのガリは次第に規模を大きくするが、その過程において、兩岸側壁面はほとんど垂直に近い壁面を

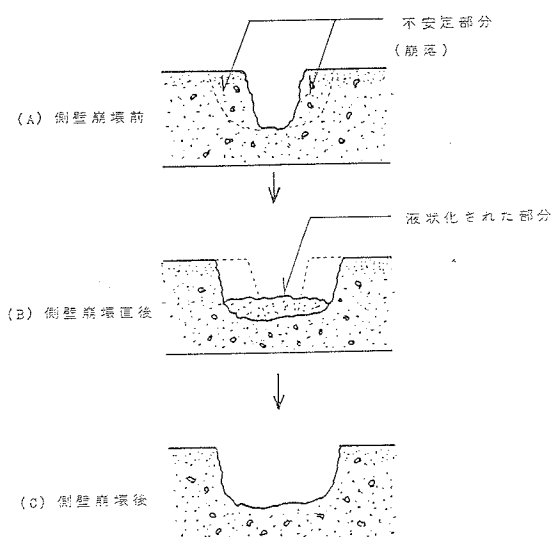


図-3 かり横断面における土砂生産パターン

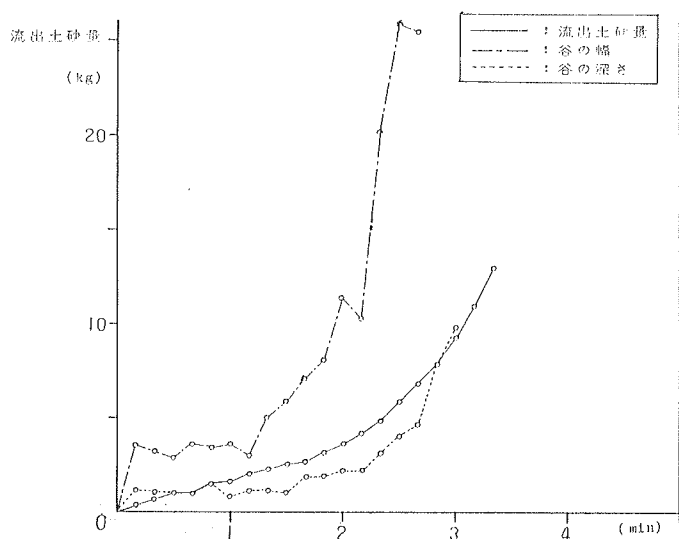


図-4 谷の幅および深さの拡大と流出土砂量の関係

つぎに Meyer-Peter の式からかりでの土砂の運搬形態を検討すると、 i を傾斜角、 d を粒子の直径、 q_s を比流量、 q_b を河床の単位幅、単位時間当たりに運搬される掃流砂の乾燥質量として²⁾

$$q_s^{3/5} \cdot (i/d) = 17 + 0.4 q_b^{3/5} / d \quad \text{----- (3)}$$

勾配 10° の砂の場合実験値はほぼ (3) 式に適合することが認められたが、35° のミラスの場合図-5 から明らかなように適合性はあまり見られな。これは流出形態が集合運搬型であったためと考えられる。

5. おわりに

土砂生産・流動に及ぼす降雨の影響について述べたが、今後更に他方面からの検討が必要であろう。

6. 引用文献

1) 河上彦義：土質力学，森北出版

2) 奥田節夫：理論地形学，古今書院

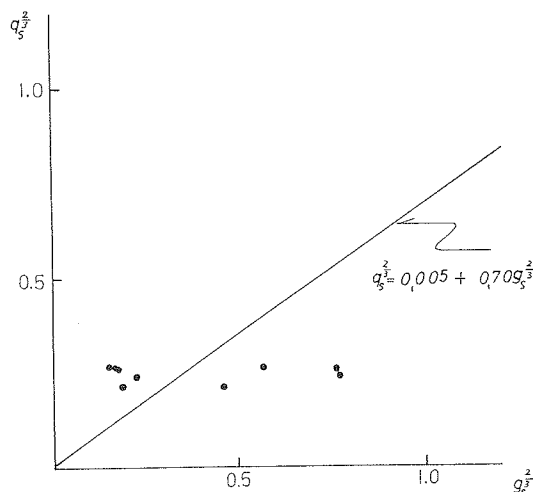


図-5 流出土砂量 q_s と比流量 q_b の関係

形成する傾向のあるのが現地に
おいても認められる。そして降
雨によつて側壁部では大小様々
の規模の崩落がほぼ連続的に起
こり、その結果非常に流動性の
高い土砂塊をかり内に供給する。
これを模式的に示したのが図-3
である。一方縦断面においても
勾配急変点（滝部）での崩落が
起こり、前述同様の土砂供給が
行われる。この関係を示したの
が図-4 である。問図から明ら
かのようにある時点からかりの規
模が急激に大きくなり、それに
伴つて流出土砂量も多くなる。