

## 89 裸地斜面における土砂生産の予測

京都大学防災研究所 芦田和男

京都大学防災研究所 ○沢田豊明

### 1. まえがき

山地流域からの土砂生産の予測は、流域の環境・防災に関して重要な課題である。しかし、土砂生産を予測する場合、その形態、規模、発生場所および発生時期に関する時間的・空間的スケールを明らかにする必要がある。ところで、土砂生産の発生頻度と規模によって、その形態を新規の大規模崩壊と裸地斜面の侵食に分け、ここでは後者の土砂生産を対象とする。この裸地斜面の侵食による土砂生産量は単位面積当たりによれば微々たるものであるが、流域内の総量としては大きな役割を演じていることが多い。このような土砂生産の予測法を確立するために、現地において観測・調査を実施し、その実態を外力と条件の異なる斜面について検討した。

### 2. 観測・調査の概要

裸地斜面における土砂生産の形態およびそれに関与する要因は複雑多岐に及んでいる。とくに、降雨などの外力及び斜面の特性に土砂生産は支配されている。そこで、観測・調査は降雨特性、単位面積当たりの生産土砂量、生産土砂の粒径分布および斜面の勾配・圧縮強度などに関して実施された。ここで対象とした斜面の長さは5~30mで、その勾配は15°以上である。調査の方法は斜面勾配によって、便宜上、以下のように三つに分けている。

#### 2.1 斜面勾配が安息角より緩い場合

斜面の侵食深はクイ（鉄棒）の露出長の変化から求められる。対象斜面は火山噴出物の未固結堆積物から構成されており、クイは容易に地中に挿入することができる。各クイは表面流の影響が少なくなるように斜面長が1mとなる地点に設置されている。このクイの露出長は春（6月）と秋（10月）に測定されている。

#### 2.2 斜面勾配が安息角より急な場合

この様な斜面上には不安定な土砂は少なく、表面は基岩とその風化物で構成されており、斜面にクイを打ち込むことは容易ではない。そこで、斜面の下部に土砂採集箱（幅1m）を設置し、一週間毎に箱に入った土砂を採集し、その重量と粒径分布を測定している。測定値点は11箇所、その斜面長は5~10mで、その勾配や地質が異なる。その他、簡易試験による斜面表層の圧縮強度も測定されている。

#### 2.3 斜面勾配が垂直に近い場合

斜面勾配が急な崖やガリ壁面からの土砂生産量は上記の方法で測定することが困難である。そこで、光波測距儀によって斜面の侵食深を求めている。調査を実施した斜面は火山噴出物の堆積層を侵食して形成されたガリ壁面で、その高さは5~30mである。その壁面を構成しているものは安山岩質の火山灰・砂れきで、直径1m程度のれきも多く含まれている。これらの堆積物の固結度は小さく、粘着性もなく風や水流に対する侵食抵抗は小さい。

### 3 土砂生産の特性

#### 3.1 斜面勾配が安息角より緩い場合

斜面勾配が安息角より緩い場合、斜面における土砂の移動を発生させるものとして、表面流、雨滴、霜柱、風などがある。調査を実施している斜面では降雨による水みちが形成されていない。このような斜面における侵食深と斜面勾配の関係は、図-1 に示すとおりである。この図において、縦軸は斜面の侵食深 (cm/年)、横軸は斜面勾配  $\theta$  を  $\sin \theta$  で示している。この図には1982年からの資料が示されているが、斜面勾配に比例して侵食深が大きくなる傾向が認められ、この関係は一般的な形として、

$$E = a \sin^3 \theta \quad (\text{cm/year}) \dots \dots \dots (1)$$

のように表わすことができる。ここに、 $a$  の値は地域性や外力を代表するものと考えられる。従って、この値を求めることが出来れば、年間単位の侵食量の推定が可能となる。この様な関係が成り立つ理由として、斜面表層の凍上・融解が大きな役割を演じている。

from "Yakedake'82,10-'87,5"

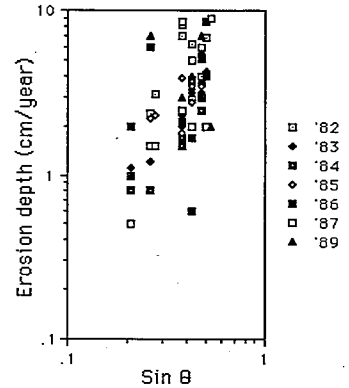


図-1 斜面勾配が安息角より緩い場合の勾配と土砂生産の関係

#### 3.2 斜面勾配が安息角より急な場合

このような斜面の調査は1985年から継続して行なわれている。単位面積当りの週間土砂生産量と斜面勾配の関係は図-2 に示すとおりで、全体的な傾向として斜面勾配が大きくなると土砂生産量が多くなる傾向が認められる。この図に示される関係は土砂生産量の上限值を示すものと考えられる。なお、この図の一部に全体の傾向から外れたものがあるが、これは花崗岩の厚い風化層が発達する斜面で三年間連続して同様の傾向が認められる。なおその後この斜面は道路工事のためなくなった。

Data from "Degree-Sediment,'85-'89"

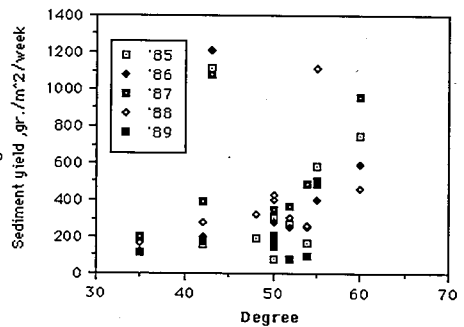


図-2 斜面勾配が安息角より急な場合の勾配と土砂生産の関係

次に、土砂生産量と圧縮強度との関係について、図-3 に示すような関係が得られた。この図から明らかなように、圧縮強度が大きくなると土砂生産量が少なくなる傾向が認められる。この図に示される関係も土砂生産量の上限值を示すものと考えられる。なお、この図の関係には二つのグループが認められる。土砂生産の多い方は花崗岩と斜面勾配が大きな斜面のもので、斜面勾配によってその傾向に違いが生じたものと考えられ、今後、このような関係を厳密に議論するためには条件が等しい斜面を選ぶことが必要である。

Data from "Degree-Sediment,'85-'89"

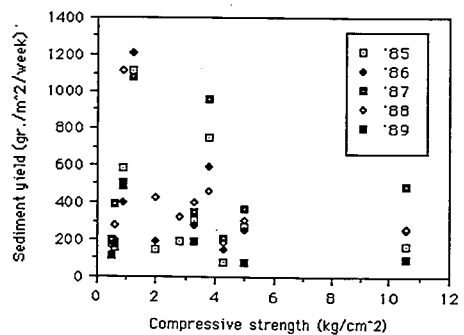


図-3 圧縮強度と土砂生産の関係

ついで、土砂生産量と外力の関係について検討する。

この調査地域において土砂生産の外力として重要な役割を演じているものは降雨及び凍上・融解である。まず、凍上・融解について検討すると、気温が $0^{\circ}\text{C}$ を境に上下する12月、3月および4月に土砂生産量が多くなる。しかし、凍上・融解の発生回数と土砂生産の関係、および一回の凍上・融解において生産される土砂量についても資料が得られていない。そこで、凍結・融解期と降雨期の土砂生産の特徴について比較検討する。図-4は試験地番号1の斜面における土砂生産量と降雨量の履歴を示したものである。この図の第五週頃まで凍結・融解期であり、降雨量が少ないにもかかわらず土砂生産量は非常に多い。その後は降雨期であり降雨量にほぼ対応して土砂量が増加しているが、その傾向は徐々に小さくなる。これは降雨によって斜面から遊離する土砂が少なくなったことによるものと考えられる。しかし、その後の凍結・融解によって斜面上には新たな土砂が生産される。この様な繰り返しは斜面で発生し、土砂生産が行なわれている。一方、生産された土砂の粒径分布についてみると、図-5に示すように、凍上・融解期のものが大きく、降雨期のものは小さい傾向が認められる。この様な理由として凍上・融解で斜面から離脱したものは、その粒径が大きいほど途中の斜面で停止しないのに対して、粒径が数mm以下のものは斜面の途中で停止し、その後の雨滴や斜面上の薄い流れで再移動することが考えられる。この様に斜面の状態は常に変化しているので土砂生産を検討する場合、同一の斜面条件ではないことを考慮する必要がある。また、土砂生産量を予測する場合、凍上・融解と降雨に支配されるものを区別することも必要である。

降雨による土砂生産が顕著な例として、第7試験地において表面流が斜面に供給されたものを図-6に示す。この図において、第22週に降雨強度の大きな降雨が発生し、この斜面の上部に連続する斜面に発生した多量の表面流が流れ込んだために、土砂生産が非常に多くなったものと考えられる。この様な大量の土砂生産は調査を開始して以来のものである。第27および29週にこの週を超える降雨が発生しているが、降雨強度が小さく表面流の

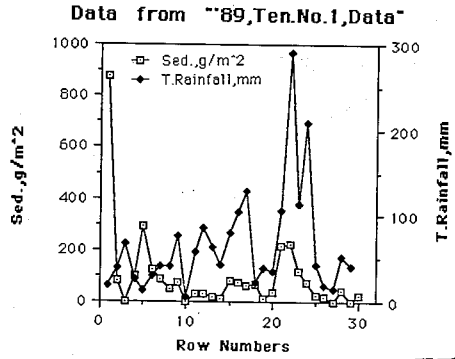


図-4 週単位の土砂生産量と降雨量の履歴

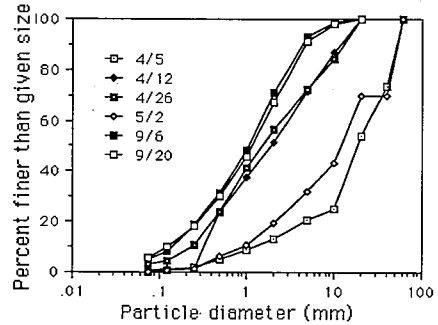


図-5 土砂の粒径分布の比較

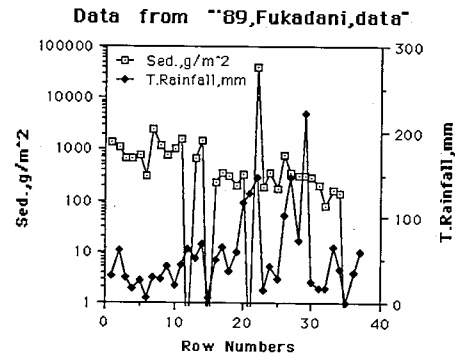


図-6 週単位の土砂生産量と降雨量の関係

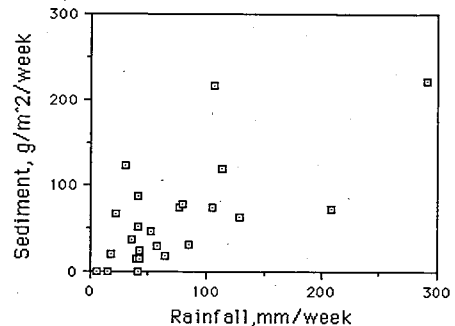


図-7 降雨量と土砂生産量の関係

発生がなかったものとする。降雨量と土砂生産の間には図-7に示すように凍上・融解期を除く土砂生産量と降雨量との間に比較的良好な相関が認められる。しかし、斜面の状態は侵食によって変化するためその関係も一年を周期として変化する。

### 3.3 斜面勾配が垂直に近い斜面の侵食

このような斜面はガリの壁面に形成され、火山噴出物の堆積域に多く分布している。ガリ壁は流域における土砂

Data from "Gully wall data '81-'88"

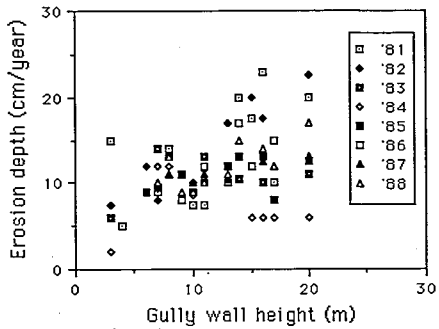


図-8 ガリ壁面の高さ と土砂生産量の関係

はガリ壁面から生産された土砂が土石流の発生源となっており、土石流の発生が頻発する原因となっている。このガリ壁面の侵食は壁面に平行して進行している。1981年から1988年まで調査されたガリ壁面の侵食とガリ壁面の高さの関係は図-8に示すとおりである。この図の縦軸は侵食深 (cm/年)、横軸はガリ壁面の高さ (m) である。この図に示されるように、各年によって若干ばらつきはあるが、全体的な傾向として、ガリ壁面が高いほど侵食量が大きくなる傾向が認められる。侵食量がガリ壁の高さに比例することの理由として、重要なことはガリ壁面を構成する土砂礫の粒径分布が広い範囲にあることである。細粒成分は凍上・融解によって斜面から剝離し、大きな礫を壁面から露出させる重要な役割を演じている。一方、大きな礫は壁面から露出し、礫が壁面の支持を失って崩落する途中で下部の壁面に衝突し、新たに壁面を破壊する役割を果たしている。したがって、その壁面が高いほど崩落礫が壁面に衝突する機会が多くなり侵食が進行することになり、均一粒径に近い壁面ではこのような関係は認められない。

### 4. 土砂生産の予測

土砂生産はその現象に関与する要素が多く、また時間的・空間的にもそのスケールが異なる。

ここでは、土砂生産を裸地斜面に限定し、さらに対象斜面を勾配によって三つに分け、土砂生産の予測について述べる。斜面勾配が安息角より急な場合、降雨量及び凍上・融解、斜面勾配や圧縮強度の値から土砂生産量を予測することができる。一方、斜面勾配が垂直に近く構成土砂礫の粒径範囲が広い場合、その壁面の高さから土砂生産量を予測することが可能である。さらに、詳細な予測が必要な場合、対象地域における試験地での2~3年の観測が有効な手段となる。

しかし、植生のある斜面における新規の崩壊などによる土砂生産の予測は場の条件などの評価が困難であることから、上記のものに比較して予測の精度は非常に悪い。

### 5. まとめ

本研究は土砂生産を裸地斜面に限定し、その斜面勾配によって調査方法を分けて土砂生産の実態を明らかにし、土砂生産量の予測において斜面勾配や圧縮強度などの場の条件を考慮した点に特徴を有する。しかし、外力としての凍上・融解などの評価が今後の課題として残されている。

### 参考文献

- 1) 芦田和男・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出(18)、京都大学防災研究所年報32号B-2, 1989, pp. 471-486.