

## 裸地斜面における土砂生産

沢田 豊明・高橋 保

### SEDIMENT YIELD ON BARE SLOPES

By *Toyoaki SAWADA* and *Tamotsu TAKAHASHI*

#### Synopsis

Sediment yield is characterized by various regional factors including geology, topography, weather and vegetation. So many factors are relevant to the phenomena of sediment yield that prediction is rather formidable task and it needs untiring observation of the realities of the phenomena. The present research has been carried out considering that sediment yield depends mainly on the gradient of slope, and the real situation of sediment yield was clarified through observation and survey of actual slopes in the field.

#### 1. はじめに

流域における水と土砂に関する諸問題は土砂の移動に大きく関わっている。ここでは、土砂流出システムの中で土砂生産が流域の環境に与える影響を予測するために、土砂生産の実態とその機構について検討している。土砂生産の形態は複雑多岐にわたり、且つ規模の大小や発生頻度も様々である。土砂生産の形態は広義にみると、1) 流水による侵食、2) 雨滴・風などによる剥離・崩落、3) 崩壊および4) 土石流に大別される。本研究では新規の崩壊などによる土砂生産ではなく、1) と2) の一部で斜面勾配が $10^\circ$ 以上で斜面長が10 m程度の裸地斜面における土砂生産を対象として1985年から現地観測・調査を実施してきた<sup>1)~3)</sup>。

本文では従来より継続されてきた観測・調査の中で1992年に観測・調査が実施されたものについて土砂生産に関与する外力や場の条件について検討を行っている。その他、斜面勾配が垂直に近いガリ壁面の侵食については、斜面から崩落する礫による壁面の侵食に関する簡単な現地試験の成果について検討している。

#### 2. 観測・調査と斜面条件

##### 2.1 観測・調査地域の概要

土砂生産の観測・調査地域の概要は Fig. 1 に示す。この地域は神通川の源流であり、流域界には3000 m級の山が連なっている。この地域は標高1000 m付近でも11月下旬から凍上・融解や降雪があり、12月から3月までは積雪がある。流域の地質は古生代の堆積岩から第四紀の火山噴出物まで広い地質年代の岩石が分布している。このような気候や地質に支配され地形は急峻な斜面や火山堆積による斜面など非常に複雑であり、このような地形を形成した土砂生産および土砂流出の形態も非常に複雑である。

試験斜面は地質や斜面勾配などを考慮して11地点に設置されている。Fig. 1 に示されている数字は試験斜面を示している。なお、土砂生産の場と外力は相互に作用するため、条件の異なる斜面における土砂生産を比較検討するために次の3点を考慮して試験斜面を選定した。

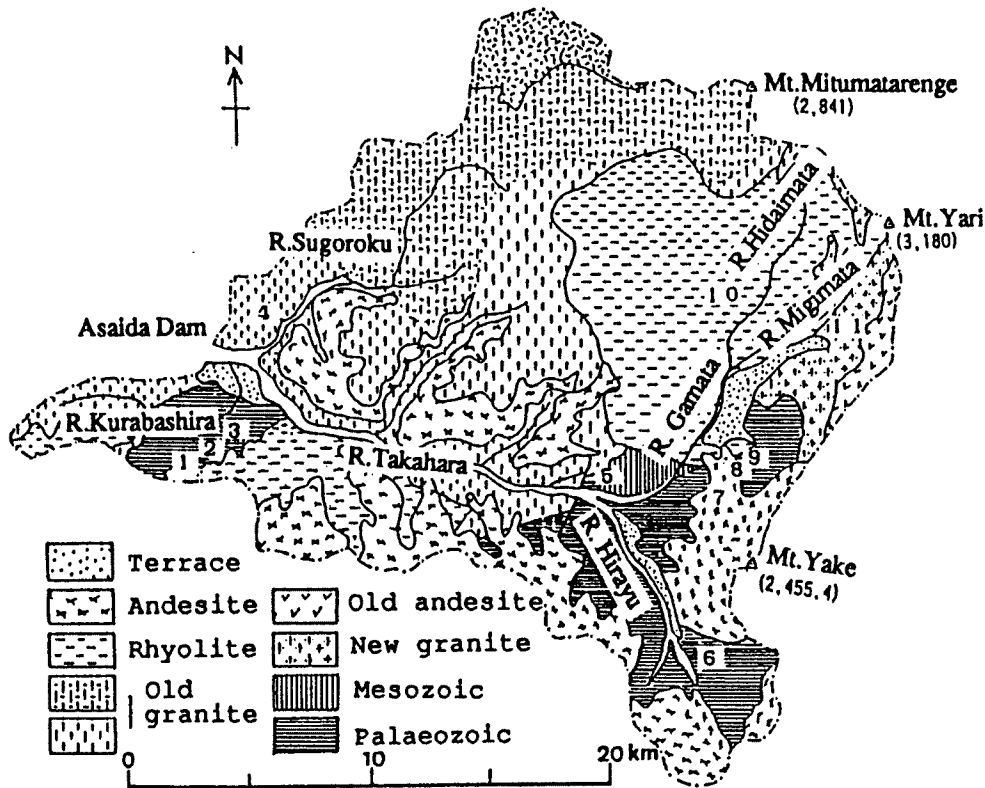


Fig. 1. Plan of the Takahragawa experimental basin. The number 1, 2, 3, …, 11 in the figure represents the observation sites of slope erosion.

1) 単位面積当たりの生産土砂量：斜面長が10m程度の規模の小さな斜面において、 $m^2$ 単位で土砂生産量を比較検討する。

2) 生産土砂量の規模と発生頻度：土砂生産の時期により、また、年により大きく変動する。一般にその規模が大きなものほど発生頻度が小さい。ここで対象としている凍上・融解・降雨などによる土砂移動現象の発生頻度は高い。したがって、測定はそれらの現象に対応した時間スケールで行うことが重要と考えられるが、ここでは一週間毎に測定を行うことにしている。

3) 生産土砂の質的な構成：生産土砂の粒径分布はその流出形態や流出過程を支配する要素として重要な役割を演じている。凍上・融解・雨滴侵食、崩壊など土砂生産の形態によって土砂の粒径分布が異なる。したがって、生産土砂の粒径分布の調査は土砂生産の形態を推定することからも重要である。

これらの試験斜面では土砂生産量は斜面勾配の下部に設置された採集箱に入った土砂礫を1週間毎に採集し、乾燥重量を測定している。その後、粒径分布が測定されている。

## 2.2 外力と斜面条件の評価

斜面侵食を検討する際に、対象斜面の場の条件を評価することが必要である。特に侵食抵抗を評価するために斜面構成材料の強度などを知る必要がある。この様な場合、岩石の風化の程度が議論の対象となる。しかし、風化の尺度はその目的によって異なる。本研究では比較的小規模な裸地斜面を対象としているので、現地において直接簡易試験によって斜面構成材料の圧縮強度を測定した。測定は対象斜面の1m平方において、50点以上の簡易貫入試験を行い圧縮強度を求めている。なお、貫入試験は岩盤の割れ目や細かく破碎された部分に対して実施している。また、表層のひび割れの大きさの指標として細粒化した斜面では表層の粒径分布を測定した。

斜面勾配によって侵食の形態や機構が異なるので、斜面勾配の測定も行っている。斜面勾配は斜面長が数 m と短いので斜面の上下部を結ぶ直線の勾配を測定している。

植生の条件については、裸地斜面に侵入してくる植物は除去しないことにしている。その他、斜面表層の乾燥によって風による微細粒子の飛散が生じるが、ここでは斜面表層の含水率などの測定は行っていない。しかし、No. 7 地点の近くで大気湿度は測定されている。

雨量の測定は No. 1 および No. 7 地点の近くで測定されている。降雨時に斜面に発生する表面流については観測は行われていない。また、風の強さなどについても測定は行われていない。

### 2.3 ガリ壁面の侵食試験

このガリ壁面を形成する堆積層の厚さは 20 m~40 m で火山灰から 1~3 m の巨礫によって構成され、火砕流・泥流の約 10 層の互層となっている。このようなガリ壁面は垂直に近い侵食部とその下部の堆積部で構成されている。土砂生産は垂直に近い壁面で発生し、下部の堆積斜面が土石流などによって侵食されない場合、その堆積面の上昇と共にガリ壁面の高さが低くなり最終的に安息角の堆積面だけになる。

対象としたガリは壁面は約 10 m の高さがあり、その下部の堆積斜面にシートを掲げて崩落土砂礫を採集した。試験は壁面の礫が落下するまでの露出長を測定する試験と落下礫の大きさおよび落下距離と侵食量を測定する試験の 2 種類に分けて実施した。

礫の露出長と落下の関係を見るために、ガリ壁面の種々の大きさの礫について露出長と直径を測定した。礫の露出は周囲の砂礫を均一に取り除くように行った。落下礫の侵食については、種々の重量の礫を 3 m と 4 m の高さから自然落下させ、斜面の下に敷いたシートで侵食土砂を採集した。落下させる礫は 5 m のポールの先端に取り付けた金具で固定し、手元で金具を緩めることによって礫を壁面に接した状態で落下させることができる。

## 3. 土砂生産の実態

### 3.1 ガリ壁面の侵食

河岸段丘堆積層や火山堆積層など固結していない堆積層は河岸・ガリ侵食によって垂直に近い崖を形成することが多い。このような火山堆積層を侵食して形成されたガリの壁面の侵食の実態について 1981 年から調査が行われている。ガリ壁面の侵食深とガリ壁面の高さの関係は Fig. 2 に示すとおりである。この図の縦軸は侵食深 (cm/年)、横軸はガリ壁の高さ (m) である。各年によって若干異なるが、全体的な傾向としてガリ壁が高いほど侵食深が大きく、それらには比例の関係が見られる。

このような関係を明らかにするため、現地において礫の落下による侵食の試験を実施した。Fig. 3 は礫が落下するまでの露出長と礫の直径の関係を示したものである。この図から壁面を構成する礫の直径の約 75 % が露出すると礫の重量で礫を支えている壁が破壊し、礫が壁面から離脱することが分かる。この様にして壁面を離脱した礫が落下の際に壁面に衝突して壁面を侵食する。Fig. 4 は落下礫の重量と土砂生産量 (侵食量) の関係を落下距離 3 m と 4 m について示している。この図では資料の数が少ないので明瞭な関係は認められないが落下礫の重量が大きく、落下距離が長くなるほど土砂生産量が多くなることが期待される。なお、落下礫の壁面への衝突の形態と壁面の状態によって侵食量に大きな差が生じている。

ガリ壁面のように垂直に近い斜面からの土砂生産量が崖の高さに比例することと土砂生産の機構について若干の検討を行ってみよう。Fig. 5 にはガリ壁面を代表する No. 7 地点の土砂生産量と降雨量の時系列変化が示されている。この図に示されるように降雨量が少ないにも関わらず春先に土砂生産量が多いことが特徴である。これは凍上・融解によるものと考えられる。降雨によるものは 6 月から 7 月の梅雨期に多い。土砂生産は全体的な傾向として春先を最大にして徐々に減少する傾向が認められ、凍上・融解によって斜面から遊離した土砂が斜面に少なくなったことを示すものと考えられる。その他、春先の乾燥期には、強い風が吹くと

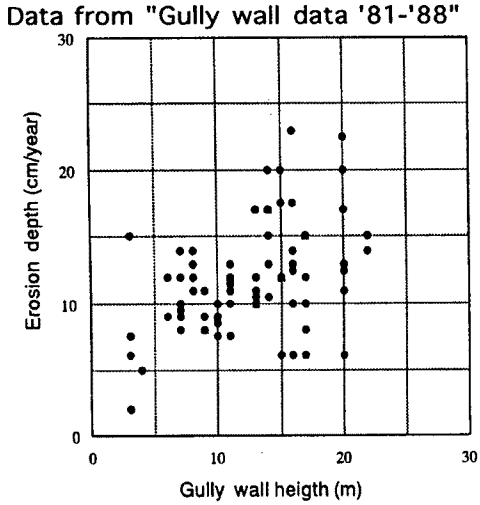


Fig. 2. Relation between height (m) of gully wall and annual erosion depth (cm/year).

ガリ壁面から細かい砂が飛散することが多い。その量は明らかではないが、ガリ壁面を構成する微細粒子の風による侵食によって礫が壁面から露出する。この露出部分が大きくなると、ガリ壁がその礫の重量を支えきれなくなって礫が崩落する。その際、その礫の周囲の壁面が破壊され土砂礫が崩落する。その他、壁面の凍上・融解によって微細粒子の結合力が低下し、礫を支えきれなくなって斜面の破壊が生じ、壁面の侵食が起こる場合も考えられる。

一方、ガリ壁面の高さが大きくなると土砂生産量が多くなることについては、壁面から礫が崩落する際に途中の壁面に衝突し、その際に壁面を破壊して新たな土砂を生産することが観察された。ガリ壁面が高いほど礫が途中の壁面に衝突する機会が多くなるので土砂生産量が多くなるものとする。

このような特徴はガリ壁面が広い粒度分布の土砂礫で構成されていることが重要な条件となっている。したがって、粒径が均一の砂で構成されたガリ壁面ではこのような特性は現われないものとする。

3.2 裸地斜面の侵食

裸地斜面の侵食調査は斜面勾配が35°から60°について実施された。Fig. 6は1985年から1992年までの週平均生産土砂量 (g/m<sup>2</sup>/week) と観測期間中の総雨量の経年変化を各試験斜面について示している。土砂生産量の全体的な傾向は1987年頃を最大に調査地点全域では減少傾向が認められる。特にNo. 6およびNo. 7の地点の土砂生産量の減少は顕著である。この様な理由として降雨量の影響が考えられるが、Fig. 6において調査期間中の総雨量と土砂生産量の関係を見ると、1988年を境にその傾向が異なるようである。このような裸地における土砂生産は経年変化を繰り返し、次第に生産量が減少し植生が回復して行くものと考えられる。ここで対象とした斜面は観測を開始した時点で裸地となつてから何年経過したかは明確ではないが、No. 1, No. 2およびNo. 3地点は1980年頃に裸地となっていることから、現在までに約10年以上経過

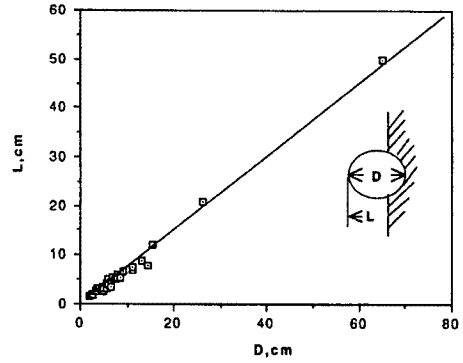


Fig. 3. Relation between the rate of exposed rock (L, cm) and the diameter of falling rock (D, cm).

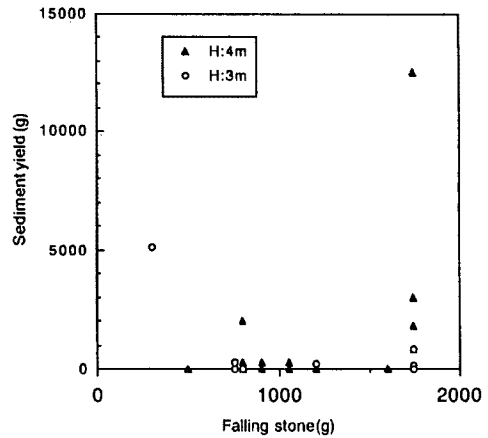


Fig. 4. Relation between weight of falling rocks and the rate of sediment yield in the gully wall.

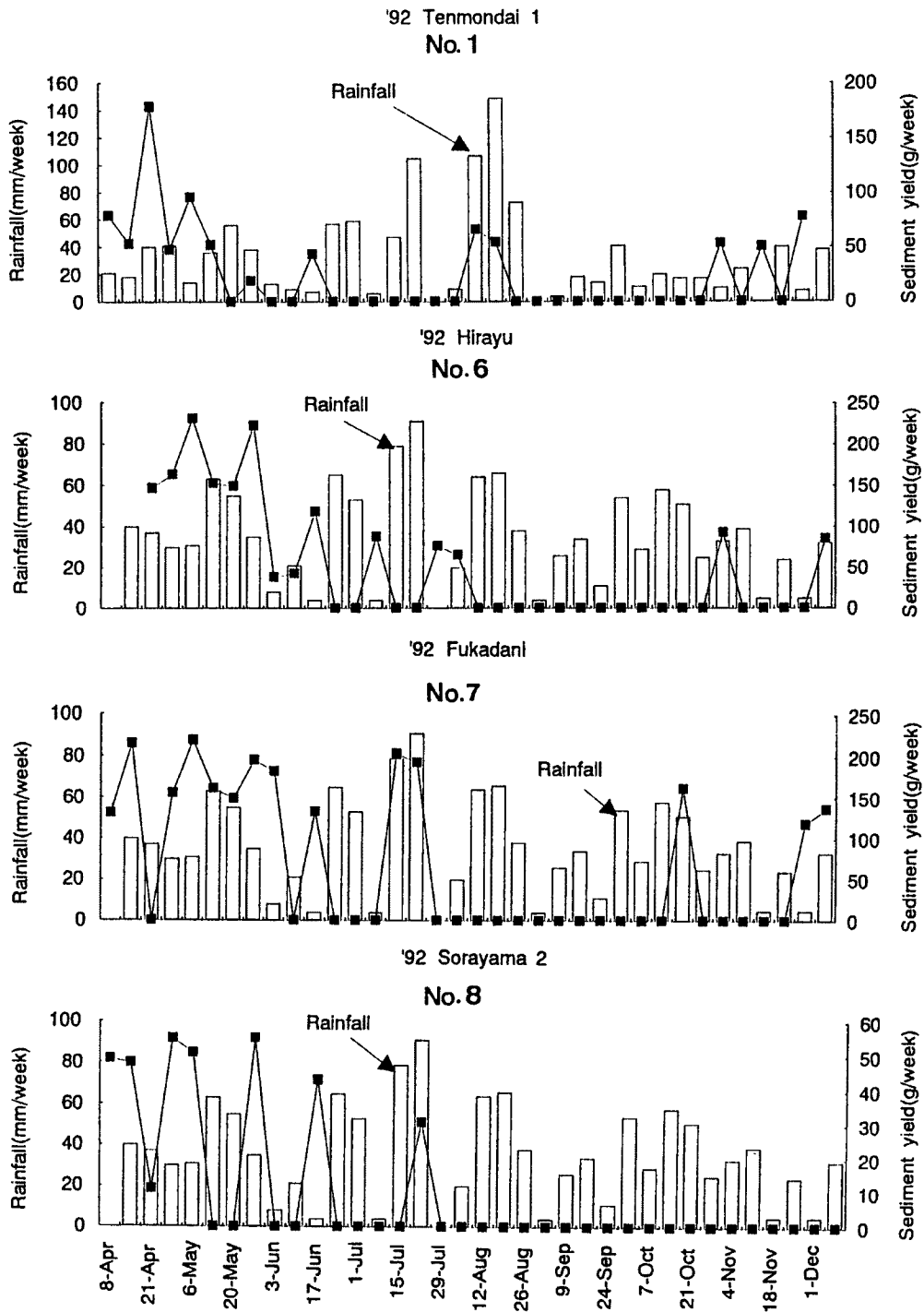


Fig. 5. Relation between rainfall (mm/week) and the rate of sediment yield (g/m<sup>2</sup>/week) in the experimental plots.

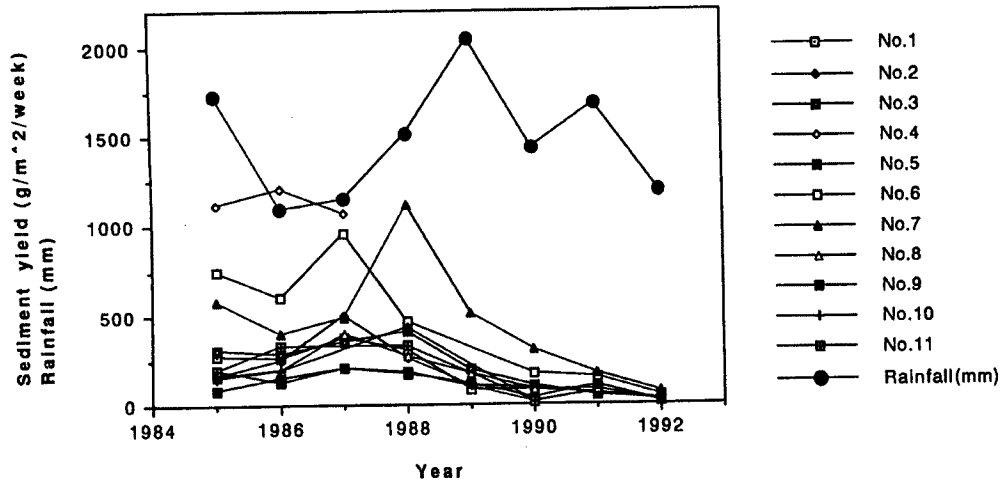


Fig. 6. Relation between rainfall (mm) and the rate of sediment yield ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{week}$ ) in the experimental plots.

したことになる。この様に崩壊や道路建設などによる裸地は自然に安定するのに10年以上の歳月を必要としていることが分かる。

一方、斜面において生産された土砂礫が流出する過程において発生する諸問題を考えると、より詳しい土砂生産特性の時系列変化に関する情報が必要である。そこで、各調査地点における土砂生産量と降雨量の時系列分布について若干の検討を行う。

Fig. 5 は1992年の各調査地点の一週間の土砂生産量と降雨量の時系列分布を示している。この図から各調査地点に共通していることは4月から5月に土砂生産量が多く、8月以降に土砂生産量が少なくなることである。その後、11月から土砂生産が発生する。これは裸地斜面の凍上・融解の影響によるものと考えられる。凍上・融解によって裸地斜面を構成する土砂は斜面から浮き上がり不安定となっている。これらの不安定土砂が凍上・融解によって斜面から崩落し、斜面に残ったものはその後の降雨などによって斜面から移動する形態を取るものとする。8月以降、降雨量に対応して土砂生産がないことは降雨によって移動するような不安定な土砂が斜面からなくなったものとする。この様に考えると年間生産土砂量が凍上・融解によって支配されることになる。凍上・融解によって不安定となる表層の厚さは生産土砂量から逆算すると平均1mmから5mm程度である。しかし、生産土砂の平均粒径はNo. 6地点で33mm, No. 9地点で31mm, No. 7地点で12mm, No. 1地点で10mm, No. 8地点で8mm, No. 3地点で4mmとなっている。この様に生産土砂の平均粒径が平均侵食深より大きいことから侵食が部分的に発生しているものとする。

裸地斜面において凍上・融解が発生すれば斜面上の土砂は斜面から移動を開始する。その移動の形態は大きく二つに分けられる。一つは霜柱によって斜面から持ち上げられた土砂礫が霜柱の崩壊と共に斜面を滑落する場合である。他の一つは土砂礫が霜柱と別に崩落する場合である。生産土砂量を粒径分布で比較した場合、前者は細粒径の土砂も多く斜面構成土砂の粒径分布に近い。一方、後者の粒径分布は細粒径のものが少ないことが特徴で、これは細粒成分が斜面の途中の凹凸に補足されるためである。その後の降雨によって斜面の途中に堆積したものは洗い出される。

以上のように土砂生産は凍上・融解および降雨によって発生するが、最も重要な役割を演じているのが凍上・融解である。生産土砂量や粒径分布は各斜面によって異なる。これは斜面勾配などの場の特性に支配されているものとする。ここでは斜面勾配と圧縮強度(簡易貫入試験)について検討する。Fig. 7 は年平均の土砂生産量と斜面勾配の関係を示している。この図から斜面勾配が大きくなるほど土砂生産量が大きくなることが分かる。しかし、その関係は1985年から1987年を上限値として次第に減少している。Fig. 8

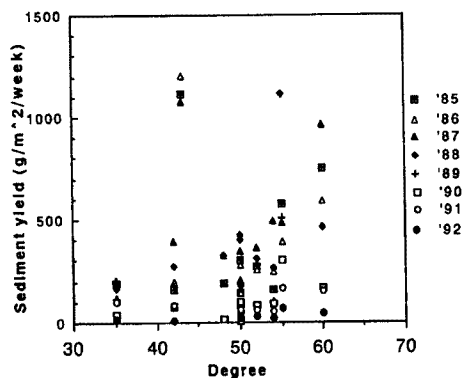


Fig. 7. Relation between the gradient of bare slope and the rate of sediment yield ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{week}$ ) in the experimental plots.

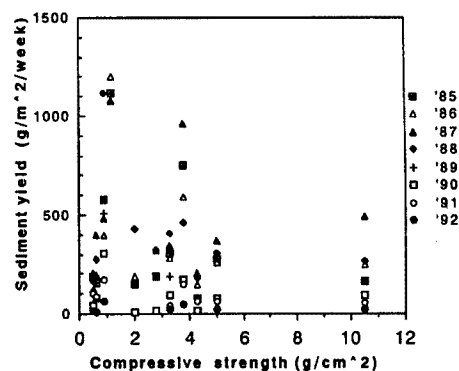


Fig. 8. Relation between the compressive strength ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) of bare slope and the rate of sediment yield ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{week}$ ) in the experimental plots.

は年平均の生産土砂量と圧縮強度の関係を示している。この図から圧縮強度と土砂生産量の関係は二つの領域に分けられるが、いずれの場合も圧縮強度が大きくなると、侵食量が減少することが分かる。しかし、この場合も1985年から1987年を上限值として次第に減少している。

#### 4. 結 語

以上、本文において裸地斜面における土砂生産の実態について実施された1992年の観測・調査の成果に基づき若干の検討を行った。その結果をまとめて結語とする。

- 1) 年間の土砂生産量は凍上・融解に支配され、降雨は2次的な要因となっている。
- 2) 土砂生産量は斜面勾配・圧縮強度などに支配されている。
- 3) 土砂生産の形態は1年を周期とし、経年的に変化している。
- 4) 垂直に近いガリ壁面の侵食量がガリ壁面の高さに比例していることはガリ壁面の構成材料が広い粒径分布を有することに起因していることを明らかにした。

以上のように、1985年から開始した土砂生産量の調査において、土砂生産量が8年間で約1/10に減少している。今後、これらの試験斜面において土砂生産特性がどの様に変化するか調査を継続すると共に、凍上・融解、降雨量および裸地斜面の場の特性などの評価について、更に精度の高い検討を進めたい。

最後に、この観測・調査を実施するに際して協力して頂いた京大防災研究所志田正雄技官に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 芦田和男・高橋 保・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出 (14)，京都大学防災研究所年報，第28号 B-2, 1985, pp. 309-323.
- 2) 沢田豊明・芦田和男：裸地斜面における土砂生産，水工学論文集，第34巻，1990, pp. 355-360.
- 3) 芦田和男・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出 (21)，京都大学防災研究所年報，第35号 B-2, 1992, pp. 29-39.