

60 山地崩壊裸地斜面における土砂の生産・流出機構に関する観測研究

京都府立大学農学部 ○水原邦夫 大手桂二
建設省木津川上流工事事務所 森脇栄一 高北弘二

1. はじめに

砂防計画においては、確率的に生起する豪雨時の斜面崩壊による生産土砂量を如何に正確に把握するかが重要な問題となっているが、崩壊後に形成された裸地斜面における恒常的な土砂生産についても重要視されねばならない。特に、大面積の崩壊地あるいは小規模でも数多くの崩壊地を抱えている流域においては、これらの崩壊地からの土砂流出が大ダム貯水池への堆砂によるダム有効寿命の減少あるいは濁水長期化の原因になったり、また河川下流部の河床上昇に伴う利水機能の阻害につながったりする場合がある。したがって、土砂生産の一つの原点ともいべき山地崩壊裸地斜面における土砂の生産・流出機構を明らかにすることは、崩壊地からの流出土砂の抑制ひいては崩壊地の緑化対策を講じる上で重要な調査研究課題となる。以上のような観点で、木津川上流青蓮寺川水源地帯の一支流であるタコラ谷の一崩壊斜面を調査対象地に選定し、1980年12月以来、崩壊面の土砂変動に関して精密観測を実施してきた。ここでは、観測開始以来10年間にわたる観測データを基に検討、考察した結果について報告する。

2. 観測地と観測方法

本研究には、二つの観測地を設定した。観測地1の裸地斜面は、面積約80m²、斜面長約20m、平均勾配40°の杓子状表層崩壊で、標高640～650mに位置し東南東に面している。この斜面の上部区域は亀裂の多い風化花崗岩とその岩屑で構成され、下部区域は崩積土で覆われ、その所々に植生が見られる。観測施設は、鉄製階段状工作物でできた崩壊面変動量測定装置と環境因子測定装置（雨量計、気温・地温計）から成り立っている。崩壊面変動量の測定は、図-1のように斜面傾斜方向にほぼ直角に設定された38本の固定横断測線上の地盤高を精度1/10mmのポイントゲージで、積雪期を除き約1ヶ月毎に行った。なお、環境因子の測定データは測定期間全体を網羅できなかったので、本観測地近傍の建設省木津川上流工事事務所曾爾観測所で得られたデータを併用し解析に供した。

観測地2の裸地斜面は、冬期における崩落土砂量の経時的観測のために設定したもので、観測地1とは約500m離れている。この裸地斜面は道路用に切り取られた人工斜面であるが、工事完了後約17年間放置されていたので、その表面は風化がかなり進行し自然の裸地斜面に近い様相を呈していた。標高620～630m、北東向きで、幅約100m、斜面長約13m、平均勾配50°で、その一部を観測に用いた。観測においては、ビニール袋を取り付けた

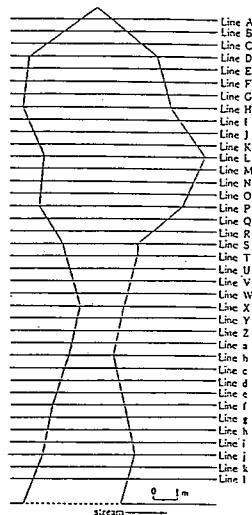


図-1 崩壊地の形状と横断測線

寸法40×100cmの簡易木製枠3個をそれぞれ局所勾配43°, 50°, 57°の斜面中腹に離して設置し、1時間毎に崩落土砂を採取すると同時に地表面の気温と地表面下5, 10, 15cmの地温を放射式温度計で測定した。測定日時は1985年1月25日16時より翌日17時までである。なお、この斜面は1988年の林道延長工事の際に種子の吹き付けが施された。

3. 観測結果とその考察

3. 1 崩壊面変動量の年間推移

図-2は、1981～1990年の10年間にわたる各月の1日当たりの崩壊面変動量（ある測定期間の崩壊面全体における土砂変動量を期間日数で除した値）の平均値を基にして、その年間推移を棒グラフとして示したものである。図において、崩壊面変動量の正の値は堆積、

負の値は侵食を意味する。この図をみると、過去10年間の平均的傾向として、冬期に凍結融解現象によって生産され堆積した土砂が、春先から梅雨、台風の時期に侵食されていき、再び堆積期を迎えるという1年単位の周期的変動をしていることがわかる。このような周期的変動現象を定量的に表現するために調和解析の手法を適用すると、1年における各月 x_t に対する1日当たりの崩壊面変動量 y_t ($10^{-3}m^3/day$)は次式で与えられる。図中の曲線はこの式を描いたものである。

$$y_t = -1.148 + 1.344 \sin(x_t + 64^\circ 14') - 2.657 \sin(2x_t - 76^\circ 1') + 1.839 \sin(4x_t - 28^\circ 31') \\ - 2.561 \sin(3x_t + 68^\circ 25') - 3.289 \sin(5x_t - 36^\circ 3') + 0.788 \sin(6x_t + 89^\circ 59')$$

3. 2 崩壊面変動量と降雨量の関係

図-2において、崩壊面変動量が負になる期間つまり侵食を受ける期間が連続している。これらの侵食期間を、最大の侵食量を示す測定期間までを第1侵食期（春～夏）とそれ以降を第2侵食期（夏～秋）に分けて、降雨による崩壊面の侵食現象を検討する。図-3.1、3.2は、10年間にわたる各測定期間から、第1侵食期と第2侵食期に相当すると思われる期間をそれぞれ取り出し、各測定期間における降雨日平均日雨量（ある測定期間における積算雨量を降雨日数で除した値）と1降雨日当たりの崩壊面変動量の関係を描いたものである。両図を比較すると、第1侵食期ではプロットに多少の散らばりはみられるものの降雨量の増大に伴い侵食量も増大する傾向が認

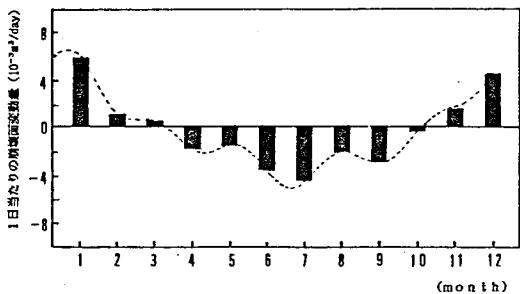


図-2 月別の1日当たり崩壊面変動量の年間推移（1981～1990年の平均値）

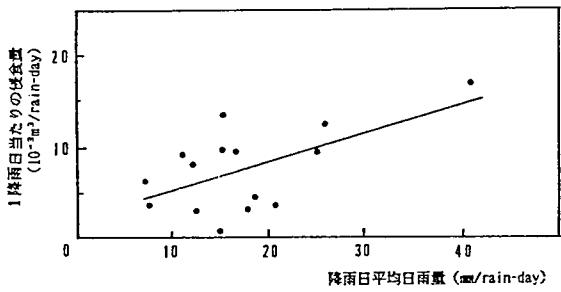


図-3.1 降雨日平均日雨量と1降雨日当たりの侵食量の関係（第1侵食期）

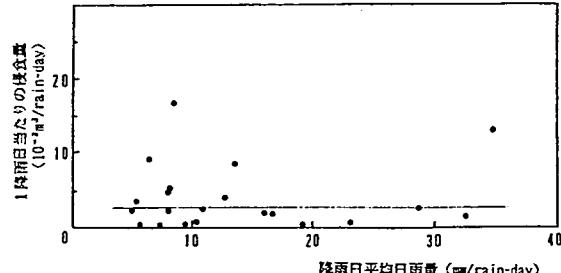


図-3.2 降雨日平均日雨量と1降雨日当たりの侵食量の関係（第2侵食期）

められるが、第2侵食期では明確な相関は認められない。第1侵食期に関して両因子の相関係数は0.59であり、試みに1降雨日当たりの侵食量 y_1 ($10^{-3}m^3/rain-day$) と降雨日平均日雨量 x ($mm/rain-day$) の関係式を求めるとき、次式のようになる。

$$\text{第1侵食期: } y_{s1} = 2.12 + 0.31x$$

$$\text{第2侵食期: } y_{s2} = 3.05 \times x^0 \text{ (ただし、平均値)}$$

上記のような侵食量と降雨量の対応関係の差異は、次のように説明できる。冬期における本崩壊斜面では、0°Cを挟む気温の日変化が頻繁に生じているため、凍結融解作用の繰り返しにより生産された土砂が斜面の中部区域に不安定に堆積し、また崩壊面の表層部は脆弱化して受食され易い状態となっている。したがって、この期間に続く第1侵食期では、降雨量が大きくなるに伴い不安定土砂の流出量つまり侵食量も増大するものと推測される。このように降雨営力による移動可能な土砂が第1侵食期で流出してしまうと、崩壊面には粗粒化現象が生じて降雨営力に対して比較的安定な状態に変化する。そのため、第2侵食期で比較的大きな降雨が生じても、それに対応した土砂流出はあまり起こらないものと考えられる。

3.3 崩壊面変動量と冬期の気温の関係

図-2に示したように、崩壊面変動量の値が正になる期間つまり堆積現象が確認されるのは、大体11月～3月の冬期である。この現象が主として崩壊斜面表層部の凍結融解現象に起因することは前述したことおりであるが、ここでは土砂の堆積現象つまり土砂生産と冬期の気温の関係について定量的に検討す

る。図-4は、日平均最低気温（ある測定期間における1日毎の最低気温の総和を期間日数で除した値）が0°C以下を示した各測定期間を対象として、日平均気温に凍上日出現率（凍上日数の測定期間日数に対する比）を乗じた値 x と崩壊面変動量 y_d ($10^{-1}m^3/day$) の関係を示したものである。この図から明らかなように、両因子の間には相関関係 ($r = 0.67$) が認められ、凍上日の出現回数が多いほど、またそのときの最低気温が低いほど、堆積量つまり土砂生産量は増大すると考えられる。なお、直線回帰による関係式は次のようになる。

$$y_d = 0.920 + 0.745x$$

3.4 冬期1日における土砂生産の時間的推移

図-5は、前述の観測地2の局所勾配50°を有する裸地斜面における1時間毎の崩落土砂量、崩落土砂の含水比、地表面気温および地温の冬期1日にわたる時間的変化を表したものである。この図において崩落土砂量と地表面気温、地表面下5cmの地温の関係に注目すると、気温・地温が0°C以下の1984年1月26日10時までの崩落土砂量は少なく、逆に0°C以上を示す同日10時以後においては、急激に増大している傾向が認められる。一般に、地表面気温が0°C以下に低下すると、斜面表層部は凍結し霜柱が発生する。その結果、表層のごく薄い部分が下層から持ち上げられ、霜柱の成長とともに土粒子間の距離が増大し、表層部は低密度層を形成する。次に、地表面気温が0°C以上になると、霜柱の融解に基づいて低密度層の崩落現象が生じる。このような現象を考慮に入れると、この図に示された

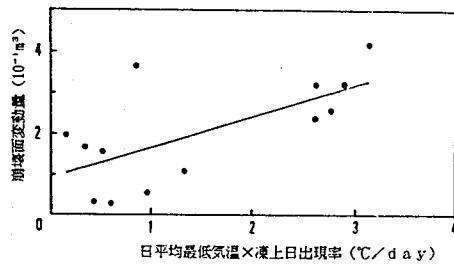


図-4 (日平均最低気温×凍上日出現率) と崩壊面変動量の関係

崩落土砂量の時間的変化が説明できる。なお、実際の観測に際して1月25日18時に霜柱の出現が目撃され、最低気温 -5.1°C を記録した1月26日4時かけて約2cmまで成長したこと、また1月26日10時に霜柱が融解して斜面表層部が濡れていることが確認されている。

図-6は冬期1日間の崩落土砂量と斜面勾配の関係を示したものであり、斜面勾配にほぼ比例して崩落土砂量が増加することが分かる。なお、図において安息角 36° はこの裸地斜面の基部に以前から堆積している崩落土砂の表面勾配を意味する。

3.5 年平均侵食速度

表-1には、10年間における各年の侵食量、平均侵食深（侵食量／崩壊地面積）および降雨量を整理した。この表の結果によれば、本崩壊裸地斜面の10年間にわたる観測結果を基にした年平均侵食速度は 0.87cm/sec である。なお、斜面の最上部の2測線では10年間に最大で 27cm 侵食されていた。さて、昭和34年の伊勢湾台風時にこの地一帯が豪雨に見舞われた際、多数の崩壊地が発生したが、その平均崩壊深は 70cm であった。仮に本崩壊地の侵食速度が代表値であるとして単純計算すれば、約80年後には1回の異常豪雨に匹敵する生産土砂量が見込まれる。

4. おわりに

本研究を遂行するに当たって、京都府立大学農学部砂防工学研究室の各年度の専攻生諸君に多大なる協力を得たことをここに記して感謝したい。

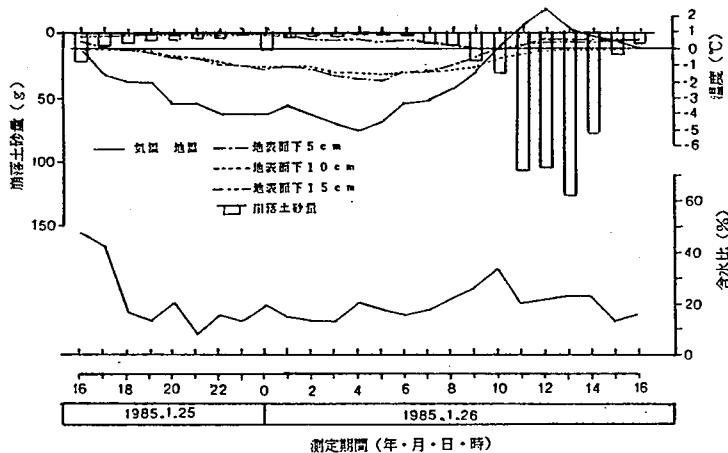


図-5 冬期1日における崩落土砂量、含水比、気温、地温の時間的変化(斜面勾配 50°)

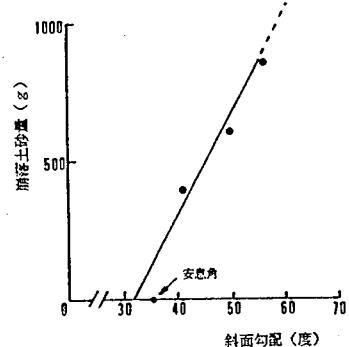


図-6 冬期1日間の崩落土砂量と勾配の関係

表-1 各測定年における侵食量、侵食深、降雨量

測定年度	侵食量 (10^{-3}m^3)	侵食深 (cm)	年間降水量 (mm)
1981	7.57	1.05	1544.3
1982	6.46	0.90	2369.4
1983	5.19	0.72	1683.4
1984	4.88	0.68	1323.7
1986	9.08	1.26	1539.8
1987	4.54	0.63	1021.5
1988	6.39	0.89	1525.5
1989	4.77	0.66	2226.0
1990	7.65	1.06	1990.0
平均値	6.28	0.87	1691.5