

## 人工降雨装置による斜面侵食に関する研究(Ⅱ)

九州大学農学部 井上章二

### 1. はじめに

降雨水による盛土ノリ面の表面侵食の機構を定量的に解明するために、実験用裸地ノリ面において、人工降雨装置を用いた室内実験を行なった。今回は主として、流出土砂の粒径分布ならびに量の経時変化について、また自然降雨による野外実験において、筆者らが前に提案した無次元表示の流出土砂量実験式の有効性について報告する。

### 2. 実験方法

実験に用いた人工降雨装置については前報<sup>1)</sup>のとおりである。実験盛土ノリ面は、アクリル製の箱に供試土(マサ土、中央粒径: 0.4mm, 標準偏差: 6.32, 比重: 2.68)を入れて締固め、それを傾斜可変台に載せたものである。ノリ面の大きさは、斜面長150cm, 幅30cmで、土層の深さは表面と垂直方向に15cmである。重量4.57Kg, 接地面積38.5cm<sup>2</sup>のランマーを40cmの高さより一定回数落下させ、その衝撃によって供試土を締固めた。このとき、土がアクリル箱よりもわずかに高くなるようにし、後に箱の高さまで削って整形した。アクリル箱の底は二重にし、上の底板には多数の穴を明け、浸透水が下へ抜けるようにした。土を締固めた後、土中水分を安定させるために、そのまま数時間静置し、降雨開始前に表面土砂の含水比を測定した。

降雨開始後は地表流出水量、浸透水量および流出土砂量の測定を10分ごとに行なった。流出土砂は、炉乾燥して重量を測定した後、フルイ分けによって粒径分布を調べた。降雨終了後は、採土筒で採取した土砂から土の乾燥時の単位体積重量を測定した。なお、人工降雨装置は実験ノリ面の上方5.5mに設置されている。今回は、降雨強度30mm/hr, 60mm/hr, 120mm/hrの三種類と斜面こう配20°, 30°, 40°の三種類を組み合わせることによって合計18回の実験を実施した。

### 3. 実験結果および考察

#### 1) 流出土砂の粒径分布

10分間隔で採取した流出土砂の中央粒径( $d_{50}$ )

と標準偏差( $\sigma$ )を調べた結果の一例を表-1に示す。これからわかるように、降雨強度120mm/hrのときは、時間の経過につれて中央粒径、標準偏差ともに増加していき、約50~60分後にピークが現われるという傾向がみられる。これは土砂の流出に際して、まず粒径の小さな移動しやすい粒子から流出を始め、しだいに大きな土粒子が移動していく、いわゆる粒径の淘汰現象が起り、それが50~60分程度で一応完了するものと考えられる。その結果、ノリ面は粗粒化していくが、このまま降雨を継続すれば、この現象はより顕著となるであろう。しかし、降雨強度が60mm/hrまたは30mm/hrのときは、一定の傾向を示しておらず、今後解明していく必要があると思われる。ただ、降雨強度が大きくなるほど、またこう配が急になるほど大きな土粒子が流出可能となることは確認された。

表-1 流出土砂の粒径分布 ( $\theta=20^\circ$ の場合)

経過時間 min	I=120mm/hr		I=60mm/hr		I=30mm/hr	
	$d_{50}$ mm	$\sigma$	$d_{50}$ mm	$\sigma$	$d_{50}$ mm	$\sigma$
10	0.31	2.58	0.26	2.43	0.25	2.75
20	0.35	2.87	0.25	2.75	0.25	2.31
30	0.35	3.13	0.24	2.80	0.25	2.80
40	0.38	3.97	0.26	3.14	0.21	2.65
50	0.38	4.15	0.27	3.16	0.20	2.34
60	0.34	4.08	0.25	3.16	0.29	3.11
70			0.30	3.23	0.25	2.58

#### 2) 流出土砂量

図-1に示した例からわかるように、流出土砂量の経時変化は大きく二つの型に分けられる。一つは降雨開始後10分までの流出土砂量が、その後の10分間の流出量よりも多い場合である。これは降雨強度が、120mm/hrのと

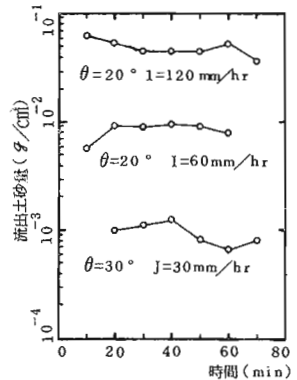


図-1 流出土砂量の経時変化 (一例)

きで移動しやすい土粒子が急激に流出してしまい、移動しにくいものが残るという前記のような土粒子の淘汰現象の結果と考えられる。他の一つは、これとは逆に最初の10分間よりも次の10分間の方が流出土砂量が多くなる場合で、降雨強度が60mm/hr, 30mm/hrのときである。降雨強度が小さいときは、土砂は徐々にしか流出せず、短時間では淘汰現象が現われないものと考えられる。しかし、降雨開始から40分あるいは50分後には流出量が減少するものも多く、そうでない場合もこのまま降雨を継続すれば、前記同様の現象がみられるのではないかと推察される。

3) 流出土砂量実験式

$$E / r \cdot d_{50} = A (i^2 / g \cdot d_{50})^B - C \dots \dots \dots (1)$$

ここに、Eは単位面積当り流出土砂量、rは土の単位体積重量、 $d_{50}$ は中央粒径、iは10分間最大降雨強度、gは重力の加速度、A、B、Cは定数である。(1)式は筆者らが野外実験のデータによって導いた無次元表示の流出土砂量実験式<sup>2)</sup>である。この実験式は、ひきつづいて行なわれた野外実験から得られたデータにおいても適用性があることを確かめ既に報告<sup>3)</sup>した。そこで、今回はこの室内実験に対して(1)式の適用が可能であるか否かを検討した。まず、野外実験で測定できなかった因子を加えて、流出土砂量をY、降雨強度の2乗を $X_1$ 、土の単位体積重量を $X_2$ 、降雨直前の土の含水比を $X_3$ 、斜面こう配を $X_4$ 、 $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ を定数とし、

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4$$

と表わして重回帰分析を行ない、流出土砂量に影響をおよぼすと考えられる諸因子についてその関与の度合を調べた。その結果、

$$Y = -35.16 + 0.0807 X_1 + 2.258 X_2 - 2.10 X_3 + 3.09 X_4$$

となり、これを標準化したデータによって表わすと、

$$Y' = 1.1 X'_1 + 0.33 X'_2 - 0.052 X'_3 + 0.15 X'_4$$

となった。偏相関係数は $r_{Y1.234} = 0.97^{***}$ 、 $r_{Y2.134} = 0.75^{***}$ 、 $r_{Y3.124} = -0.37$ 、 $r_{Y4.123} = 0.52^*$ であり、重相関係数は $r_{Y.1234} = 0.98^{***}$ であった(ただし、\*、\*\*、\*\*\*は危険率5%、1%、0.1%でそれぞれ有意)。また、回帰係数 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ の有意性の検定結果は、 $a_1$ 、 $a_2$ は危険率0.1%で有意であり、 $a_3$ は有意性が認められず、 $a_4$ は危険率5%で有意となった。すなわち、以上の分析は流出土砂量が降雨強度と土の単位体積重量に大きく左右され、特に降雨強度因子の影響が大きく、土の含水比とはほとんど無関係であるということを示している。しかし、 $X_2$ 、 $X_3$ は得られた値の変化量が小さいため、 $X_2$ 、 $X_3$ のとり

得るすべての値に対して上記同様の結果になるとはかぎらない。ここで、室内実験の結果を実際に(1)式にあてはめてみる。ただし、野外実験で $B=1$ が確かめられているので、ここでは $B=1$ とにおいて、斜面こう配別に回帰分析を行なった。その結果は図-2のとおりで、これからわかるように、相関係数(r)はいずれも非常に高く、(1)式がこの室内実験においても適合することを示している。以上の結果より、(1)式は盛土ノリ面からの侵食土砂量を表わす式として有効なものであるといえよう。以上の分析にあたっては、斜面こう配が大きくなるほど、降雨総量が減少するので(1)式のiの代りに $i' = i \cos \theta$ を用い、Eは降雨開始から40分間の量を用いた。また、もう一つの重要な因子とみなされる斜面長については、本実験では150cmで一定とした。

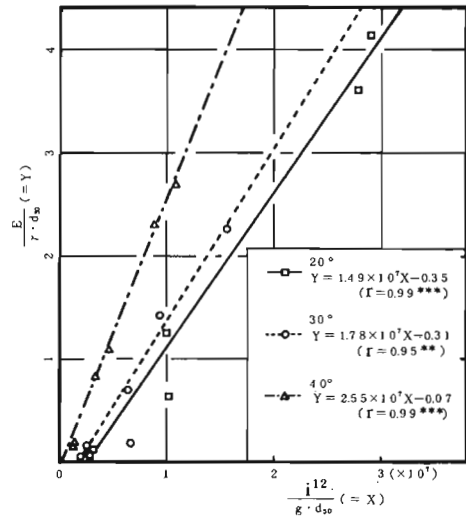


図-2  $\frac{i^2}{g \cdot d_{50}}$  と  $\frac{E}{r \cdot d_{50}}$  との関係

4. おわりに

今回はデータは少なかったが、流出土砂量実験式の適用性を室内実験において一応確認することができた。今後は、多くのデータを得るとともに、降雨時間、斜面長因子との関連性についても究明していくつもりである。

引用文献

(1)井上章二：日林九支研論，33，319～320，1980  
 (2)江崎次夫，井上章二：愛媛大演報，13，109～126，1978  
 (3)井上章二，長澤喬：日林九支研論，33，321～322，1980