

侵食実験用人工降雨装置について*

井上章二*・江崎次夫**

I はじめに

降雨水による斜面侵食に関する研究は、数多くの研究者によって古くからすすめられているが、侵食は雨滴の衝撃力、地表流下水の掃流力などの誘因と、土質、傾斜、斜面長などの素因とが複雑に関係しあって生じる現象であるため、侵食の機構自体、正確に把握されていない部分が多く、侵食土量の算定式すら普遍的に利用できるものはみあたらないというのが現状である。

このため筆者らは以前より侵食機構を解明しようとして、種々の実験を継続して行ってきた。いま降雨水による斜面侵食の実験研究を行なう場合に、その方法としては、大きく別けて次の二つが考えられる。一つは、自然降雨による侵食現象を解析するもの、他の一つは人工降雨装置を利用した実験を行うものである。この両者ともに一長一短があり、両者を並行させて実験をすすめていくのが最善の方法といえよう。さて人工降雨装置をもちいた実験を実施する際に、特に重要なことは、その人工降雨をできるだけ自然の降雨状態に近づけることである。というのは、侵食が雨滴そのものと深い関係をもっているためであり、中でも斜面侵食に影響をおよぼす支配的なものは、降雨強度、雨滴径の分布、雨滴の落下速度などであると考えられるからである。

今回、筆者らの共同研究「降雨水によるノリ面侵食に関する研究」のため、附属演習林米野々事業所に人工降雨装置を設置し、実験を開始したので、この降雨装置の構造および降雨状態の検定結果について報告する。

なお、この降雨装置の雨滴発生部は九州大学農学部砂防工学研究室で作製¹⁾されたものであり、その借用を認めていただいた末 勝海教授に深甚の感謝の意を表す。また、降雨装置の設置にあたって、終始ご協力をいただいた、演習林、藤久正文、尾上清利、河野修一各技官、森林工学研究室専攻生、横山宏三君に対して、ここに記して深謝の意を表す。

II 人工降雨装置の概要

本降雨装置の概略は図-1に示すとおりで、給水槽によって一定の水頭に保たれた水は、流量調節用バルブ、流量計を通して雨滴発生部に供給され、そこで発生した雨滴は金網を通過して落下する。

雨滴発生部は、一端に注射針（規格：皮下注射針1/2）を差しこんだ軟質ビニールホースの另一端を、硬質塩ビ管にとりつけ、軟質ビニールホースが逆U字型になるように固定してある。注射針は4 cm間隔で、20列×47列、計940本が並んでおり、その結果、降雨面積は $0.76\text{ m} \times 1.84\text{ m} \cong 1.4\text{ m}^2$ となる。雨滴発生部は、地上から組み上げた建設用仮設足場の上に設置し、足場の周囲は、実験の風による影響を除くため、厚手のビニールで覆いをした。なお、実験斜面から金網までの高さは約11.5 mで水滴の自然落下速度が一定となる終末速度を得るのに充分とされて

* Shoji INOUE and Tsugio EZAKI: On the Rainfall Simulator for Experiments of Soil Erosion

* 森林工学研究室 Laboratory of Forest Engineering

**附属演習林 University Forest

いる寸法²⁾をとっている。

金網は、4.0mm目のものを使用しており、それを雨滴発生部直下、30cmのところにとりつけ、振動数約1.2Hz、振幅約10cmの水平方向の往復運動を与えている。雨滴の大部分は金網に当たって細かく砕け、また、一部は網目にたまって大きな雨滴となって落下する。このように、金網によって雨滴径の分布を広げることと、金網を振動させることによって、雨滴が同一か所に落下するのを防止することが金網をとりつけた目的である。

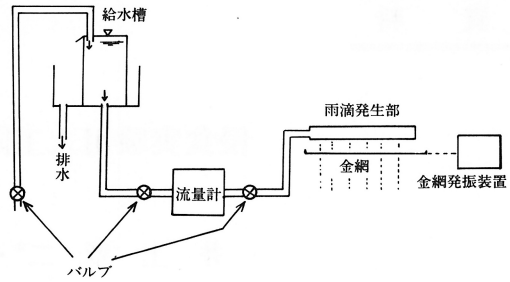


図-1 人工降雨装置の概略

III 降雨装置の検定結果

1) 降雨強度

この降雨装置の降雨強度は、流量調節用バルブを操作することによって、約10~160mm/hrの範囲で任意の値に設定することができる。

降雨強度の場所的分布は、降雨域内に様に並べた33個のポリ容器にたまった量を測定して調べた。その結果を図-2に示す。これからわかるように、降雨強度が小さいときは全面ほぼ一様な降雨強度であるのに対して、降雨強度が大きくなるにつれて、降水量のバラツキが顕著になってくるが、そのほとんどは、中央部が大きく、周辺部が小さいというものである。これは、金網の自重によるたわみによって、雨滴が中央部に集中しやすくなったものと考えられる。また、誤差率で考えると89mm/hrで最小でこれより多くても少なくても誤差率がふえる。

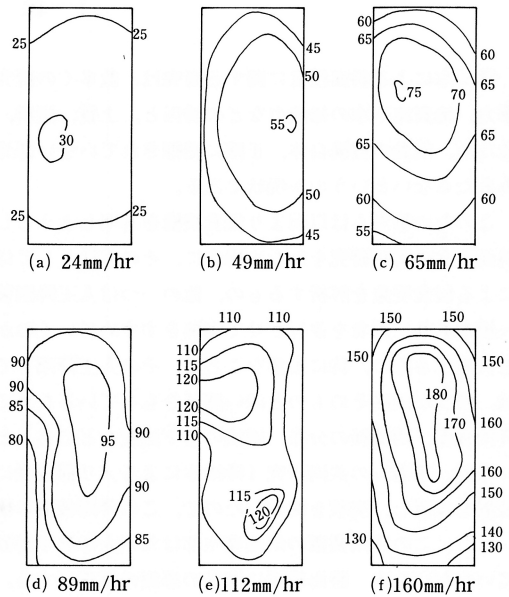


図-2 降雨強度の分布

2) 雨滴径の分布

雨滴径の測定法は従来より数種類が考案されている。その中で、比較的容易に測定でき、しかも精度の高いものと評価されている三原³⁾の方法を採用した。この測定法は雨滴をガラス板で受け、それに色素を塗布した口紙を押しつけて、その斑痕の径を測定するものである。斑痕はその大部分が円形であるが、楕円に近い場合は、長径と短径の平均値を求め計測は1/10mmまで行った。このようにして測定された斑痕径から、実際の雨滴の大きさを求めるには、Fournierらによって提案された、次の換算式をもちいた。

$$d = 0.345 \varnothing^{0.76}$$

d : 雨滴径 (mm), \varnothing : 斑痕径 (mm)

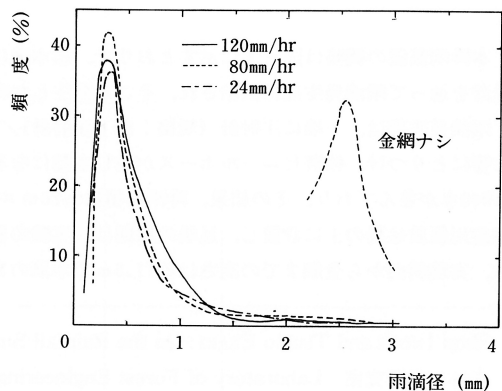


図-3 雨滴径分布

雨滴径の測定は降雨強度120mm/hr, 80mm/hr, 24mm/hrの三段階について行い、その結果を図-3に示しているが、雨滴径の分布は降雨強度によってほとんど変化はしていない。これに対し図-4には三原³⁾によって報告された、自然降雨の雨滴径分布が示されている。図-4によると、自然降雨は6mm/hr以上の強度(強雨型)では、直径0.6mm以下の雨滴が圧倒的に多くなっている。本降雨装置の降雨強度は、三原の指摘する強雨型の範疇にあるにもかかわらず、自然降雨とは著しく異なった分布型を示している印象を受ける。しかし、三原の場合は直径0.4mm以上の雨滴を測定した結果であり、0.4mm未満の雨滴については出現頻度が少なくなるという報告にとどめている。このことを考慮すれば、本降雨装置の雨滴径分布は、自然降雨における分布状態にきわめて近似しているといえる。また、図-3には参考のために金網をとりつけていない状態での雨滴径分布も示しているが、これから明らかなように、降雨装置にとりつけた金網が、雨滴径の分布を広げるという役割は十分に果たしているといえよう。

3) 雨滴の落下速度

雨滴は速度を増しながら落下し、ある時点で重力と空気抵抗とがつり合い、一定速度となり、その後はこの速度を維持する。これを終末速度という。図-5のLaws²⁾の実験結果が示すように、この終末速度は雨滴径によって異なる。今回は、降雨装置の構造上、特定の径の雨滴に対する落下速度を求めることはできず、雨滴径とは無関係に、降雨強度を変化させながら落下速度を測定した。測定には16mm高速度カメラ(PHOTO-SONICS 16-IVN)を使用し、解析用映写機としては、DYNAMIC FRAME model DF-16Bをもちいた。測定の結果、最小3.94m/sから最大8.88m/sまでの落下速度が観測され、平均値は6.80m/sであった。測定した雨滴の径が不明のため断定することはできないが、三原³⁾によれば $d = 1\text{mm}$ で4.0m/s、 $d = 4\text{mm}$ で8.7m/s、Laws²⁾によれば図-5のごとくであるの対比し、図-3の雨滴径分布と図-5の落下速度、落下高などを考え合わせると、一応、自然降雨の落下速度(終末速度)に近いと判断してさしつかえないと思われる。

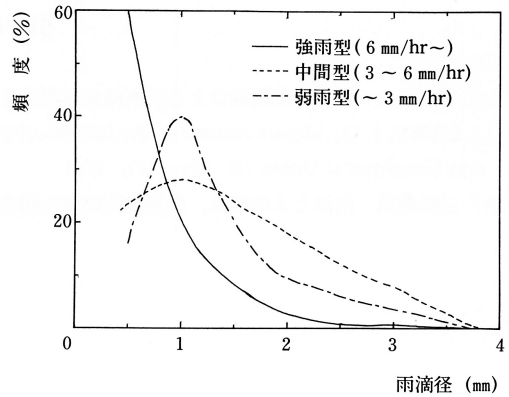


図-4 自然降雨の雨滴径分布(三原)

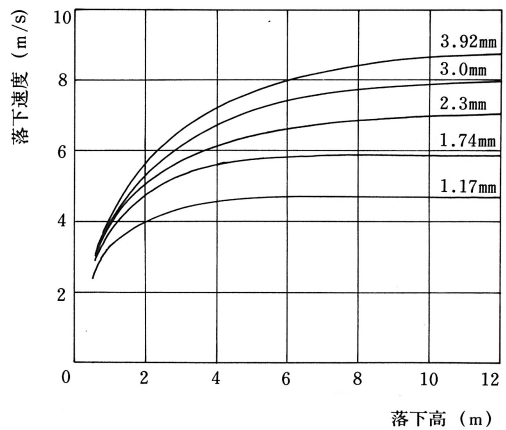


図-5 雨滴径別の落下速度(LAWS)

IV む す び

本報では、演習林米野々事業所に設置した人工降雨装置について、その降雨状態を自然降雨の場合と比較し、詳細に検定を行なった。その結果、本降雨装置は強度分布に場所的な偏差がみられる他は、雨滴径分布、雨滴の落下速度などは自然降雨の状態にきわめて近いものであることが確認され、斜面侵食の実験に使用することができると判断した。ただし、前述の降雨強度のバラツキについては、さらに検討を加え修正をはかる必要があろう。今後は、斜面侵食の機構を定量的に解明するための実験を実施していく予定である。

引用文献

- 1) 井上章二：人工降雨装置による斜面侵食に関する研究（I）．日林九支研論33：319～320，1980
- 2) LAWS, J. O.: Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. Transactions of the American Geophysical Union 22: 709～721, 1941
- 3) 三原義秋：雨滴と土壤侵食．農業技術研究所報告41：1～59，1951

(1981年8月31日受理)

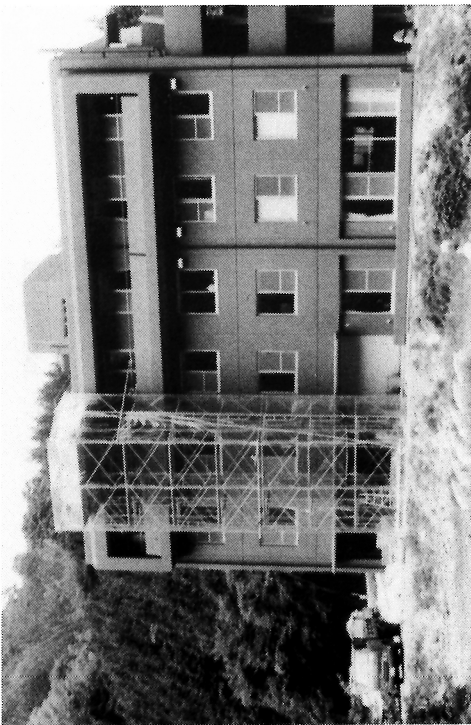


写真-1 人工降雨装置全景



写真-2 雨滴発生部 (下側)

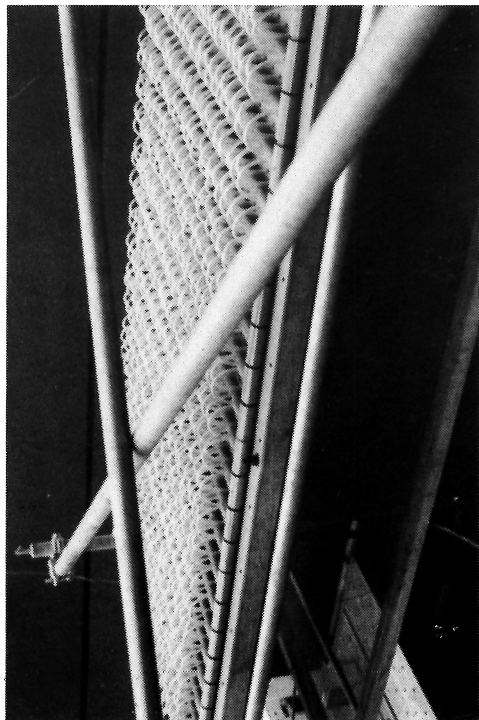


写真-3 雨滴発生部と金網

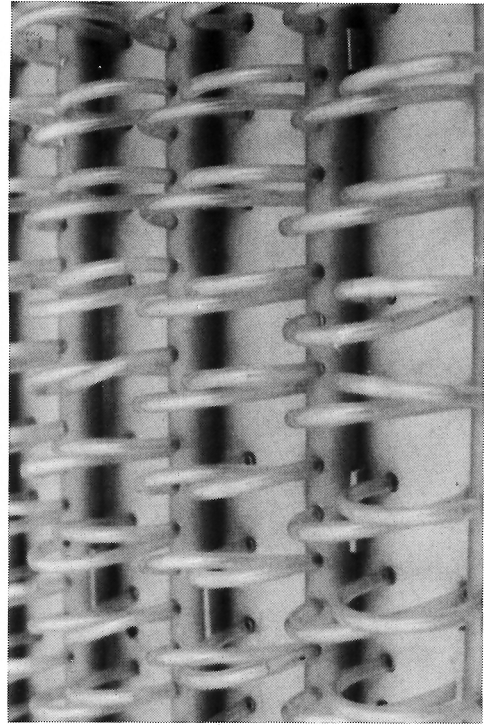


写真-4 雨滴発生部 (上側)

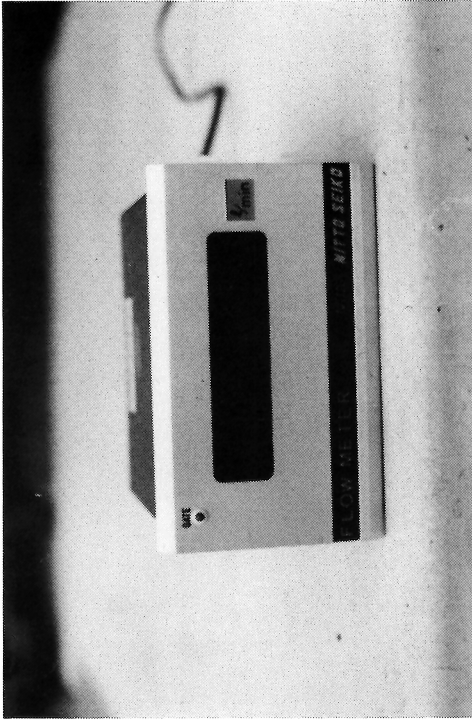


写真-6 瞬間流量計

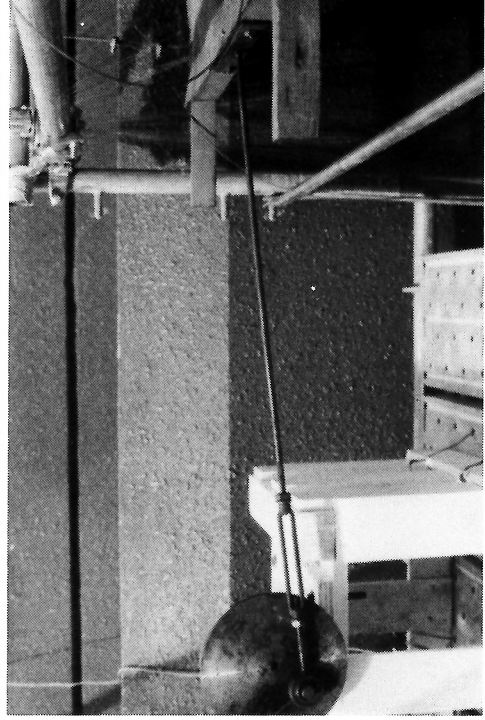


写真-8 金網発振装置と金網

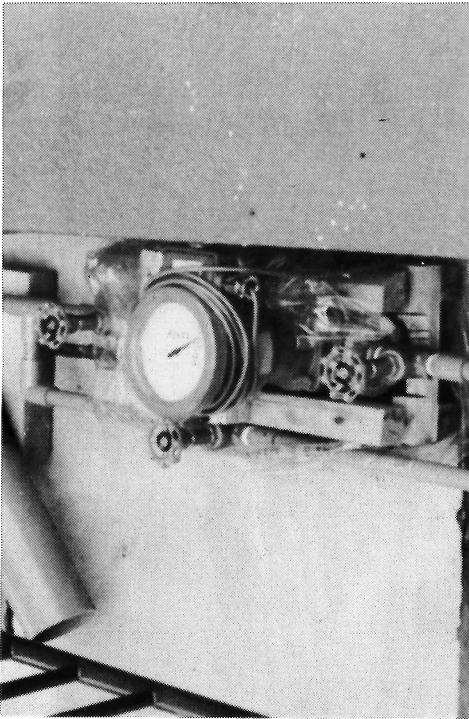


写真-5 積算流量計

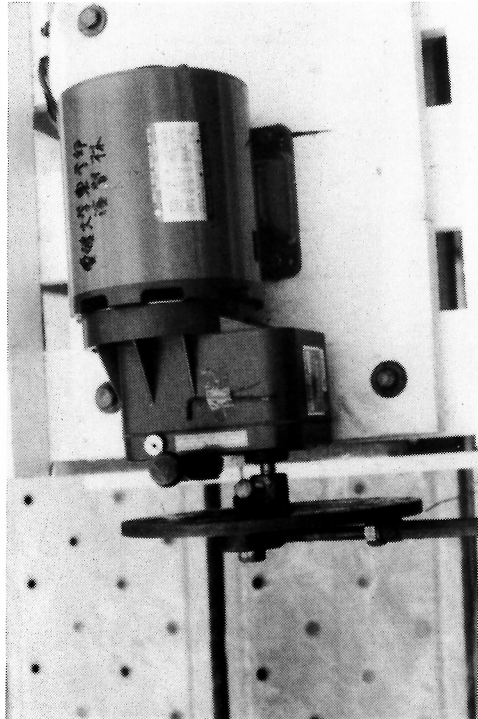


写真-7 金網発振装置