

## 表面流出に関する研究(その1) - 実験斜面において 降雨強度が表面流出の発生に及ぼす影響

|     |                                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 著者  | 木下 武雄, 中根 和郎                                                                              |
| 雑誌名 | 国立防災科学技術センター 研究報告                                                                         |
| 巻   | 18                                                                                        |
| ページ | 35-49                                                                                     |
| 発行年 | 1977-11                                                                                   |
| URL | <a href="http://doi.org/10.24732/nied.00000753">http://doi.org/10.24732/nied.00000753</a> |

## 表面流出に関する研究（その1）

—実験斜面において降雨強度が表面流出の発生に及ぼす影響—

木 下 武 雄\*・中 根 和 郎\*\*

国立防災科学技術センター

### Study on Surface Runoff (Part 1)

#### — Effects of Rainfall Intensity on Surface Runoff from the Experimental Plot —

By

T. Kinoshita and K. Nakane

*National Research Centre for Disaster Prevention, Japan*

#### Abstract

In order to make clear the mechanism of surface runoff, the authors carried out experiments of surface runoff induced by heavy rainfall on the man-made slope in the rainfall simulator of the National Research Center for Disaster Prevention. The experimental plot forms a slightly concave slope and its area is 102 m<sup>2</sup>. It had been left outdoors for two years. Roots of grasses in summer and freezing in winter had made the surface soil porous. The range of the intensity of rainfall produced by this simulator is 20—100 mm/hour which covers almost the whole range of heavy rainfall in Japan. Surface runoff, which includes a short-period interflow in this report, appears in every simulated storm.

The following results were obtained.

(1) Runoff increases with rainfall intensity. It also increases with time when a constant intensity of rainfall is applied. The runoff hydrograph induced by a constant rainfall about 20—30 mm/hour gradually increases with time. The hydrograph by 50 mm/hour shows two saturation curves which imply existence of two kinds of infiltration. The hydrograph by 75—100 mm/hour consists of multi-saturation curves.

(2) The loss which is defined as a difference between the rainfall intensity and the surface runoff increases with rainfall smaller than 50 mm/hour, while it decreases with rainfall about 75—100 mm/hour. This fact means that the runoff ratio rapidly increases with rainfall about 75—100 mm/hour and therefore agrees to

---

\* 第3研究部 \*\* 第3研究部降雨実験室

such a big runoff ratio, that is nearly equal to one, is recorded in field observation during periods of heavy storms.

(3) A big surface runoff suddenly appears by the heavy rainfall which succeeds to weak rainfall. This fact means that initial wetness may be an important factor for a rise of surface runoff.

(4) The three-wave rainfall has a different type of loss, which gradually tends to a constant.

(5) All depletion curves generally coincide with each other on a semilogarithmic paper.

## まえがき

昭和50年8月17日高知県中西部は台風5号による激しい豪雨に見舞われ、最大値として総雨量822mm, 時間雨量133mm/時(鏡川流域柿の又)を記録した。仁淀川・吉野川には洪水・土石流などによる大きな災害が発生した。この時、吉野川早明浦ダムのピーク流入量からランショナル式で流出係数を求めると1.31となり、仁淀川の川口・伊野間支川流量に対して同係数を求めると0.89となっている。洪水の総流出率においても早明浦ダムで0.95, 川口・伊野間支川で1.14となっている。数字の細かい点は再検討が必要かも知れないが、雨量に対してきわめて大きな流出が発生したわけで(国立防災科学技術センター, 1976), このような例は他にも利根川右支川神流川若泉においても2, 3の洪水で実測されている(青木佑久, 1972), (建設省土木研究所, 1968)。試験プロットにおける例としては住宅公団南多摩

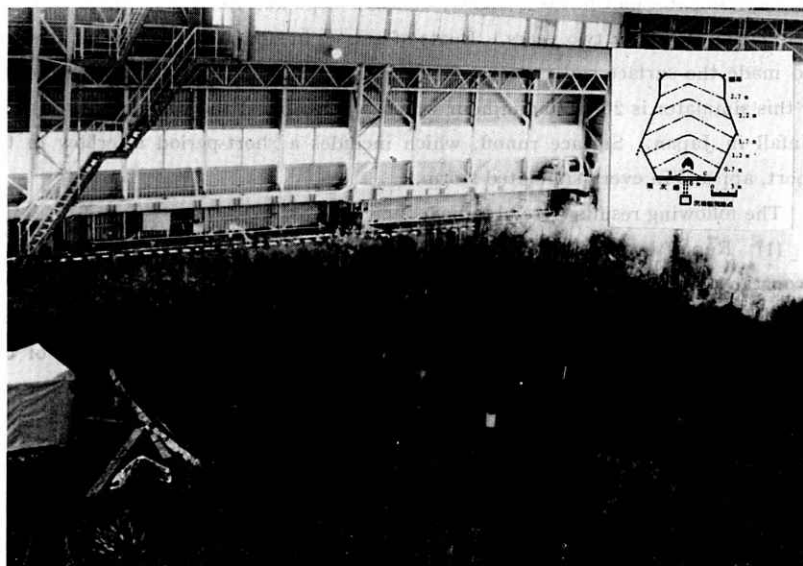


写真1 実験斜面  
Photo 1 Experimental plot.

開発局の管内で実施した資料のとりまとめがある(木下武雄, 1977)。これによれば, 地表の条件および降雨条件によって流出率は大幅に変化するが, 一つの傾向を持つことが示されている。流出率以外の諸要素も, 降雨条件によって変化することが考えられるので, 表面流出を実験的に再現してこれらの問題を解決するために, 国立防災科学技術センター大型降雨実験装置内の盛土斜面で実験を行なった。

手法としてはこの他にライシメータ, 浸透計による方法もあるが, 表面流出と短期の中間流出とを分離せずに, なるべく現実の流出に近い流出を再現してみるという観点から, 以下に述べるような手法に拠った。

## 1. 実験方法

作成した実験斜面, 降雨装置の仕様, 降雨条件, 計測手法について次に示す。

### 1.1 実験斜面

従来, 表面流出は条件を簡単にするように一方向に傾いた長方形斜面が実験に供された例が多く, あるものは枠に入れられたり, 地下水が抜かれたりで, 多くの条件が人為的すぎる。そこで, 本実験では盛土の築山を用い, 実流域のような水の集中効果を持たせるためにゆるい凹形斜面を製作した。写真1のように, 集水溝における流域面積 102 m<sup>2</sup>, 最大斜面長12m, 勾配10~15度の中央が凹形の斜面である。この斜面は, 2年前に

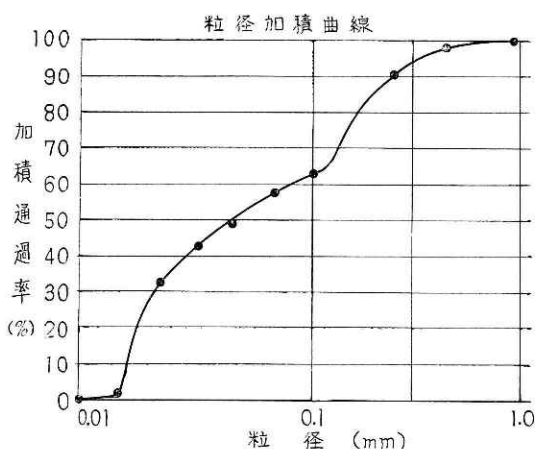


図 1 表土の粒径分布  
Fig. 1 Grain size distribution of surface soil.

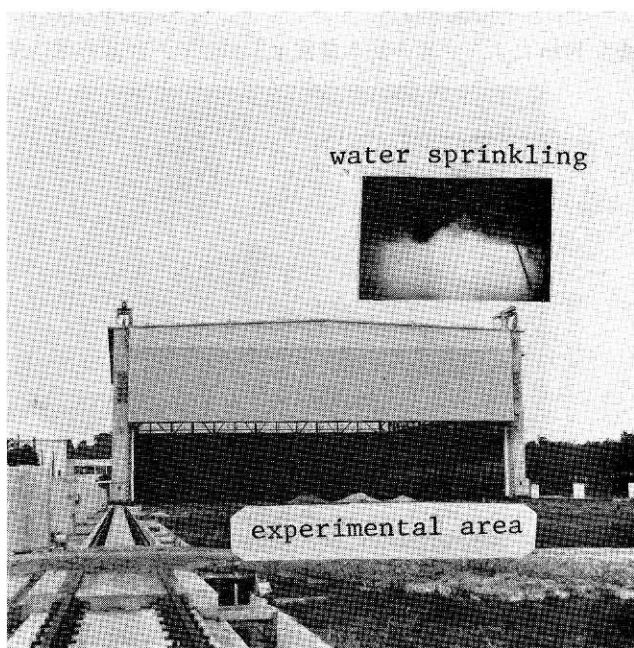


写真 2 降雨装置  
Photo 2 General view of the rainfall simulator.

表 1 実験結果一覧表  
Table 1 List of experiments.

| 実験<br>番号 | 降雨強度<br>(mm/時) | 降雨時間<br>(min) | 総雨量<br>(mm) | 総流出高<br>(mm)               | 総流出率                        | 降雨開始後<br>60分におけ<br>る流出高<br>(mm/時) | 降雨開始後<br>60分におけ<br>る流出係数    | 流域<br>面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 流量計測法                 |
|----------|----------------|---------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1        | 31.7           | 120           | 63.4        | 11.5                       | 0.18                        | 4.8                               | 0.15                        | 102                           | 三角堰（開角30度）<br>の水位を測る  |
| 2        | 50.4           | 60            | 50.4        | 17.3<br>(9.2) <sup>1</sup> | 0.34<br>(0.18) <sup>1</sup> | 17.7<br>(14.1) <sup>1</sup>       | 0.36<br>(0.28) <sup>1</sup> | 102                           | 定容積流入するの<br>に用する時間の計測 |
| 3        | 75.5           | 60            | 75.5        | 19.4                       | 0.26                        | 25.8                              | 0.34                        | 102                           | 定容積流入するの<br>に用する時間の計測 |
| 4        | 90.6           | 71            | 107.2       | 46.7                       | 0.44                        | 54.0                              | 0.60                        | 102                           | 定容積流入するの<br>に用する時間の計測 |
| 5        | 102.7          | 60            | 102.7       | 62.4                       | 0.61                        | 75.4                              | 0.73                        | 102                           | 三角堰（開角30度）<br>の水位を測る  |
| 6        | 21.5           | 59            | 66.9        | 37.3                       | 0.56                        | 2.8                               | 0.13                        | 102                           | 三角堰（開角30度）<br>の水位を測る  |
|          | 90.9           | 31            |             |                            |                             | (61.8) <sup>2</sup>               | (0.69) <sup>2</sup>         |                               |                       |
| 7        | サイン波<br>25~90  | 96            | 93.2        | 61.5                       | 0.66                        | —                                 | —                           | 102                           | 三角堰（開角30度）<br>の水位を測る  |

(<sup>1</sup>) 湧水による流入量を除いた場合の推定値

(<sup>2</sup>) 散水強度を 21.5 mm/時から 90.9 mm/時に変えて後 31 分後の値

図 1 のような粒度分布を持つ有機質の畑土をブルドーザで整形して、その後 2 年間屋外に放置した。その間、斜面には一年生の雑草が繁茂し、草の根や霜柱などで多孔質の表土層が形成された。表土層の土壌を 10 地点採取し、空隙率を調査したところほぼ 80% であった。

## 1.2 降雨装置

降雨装置は国立防災科学技術センターの大型降雨実験装置（写真 2）である。この装置は、地上 16m にあるノズルから散水する装置で、雨滴の粒径は 0.3~1.0mmφ と細粒であるが、

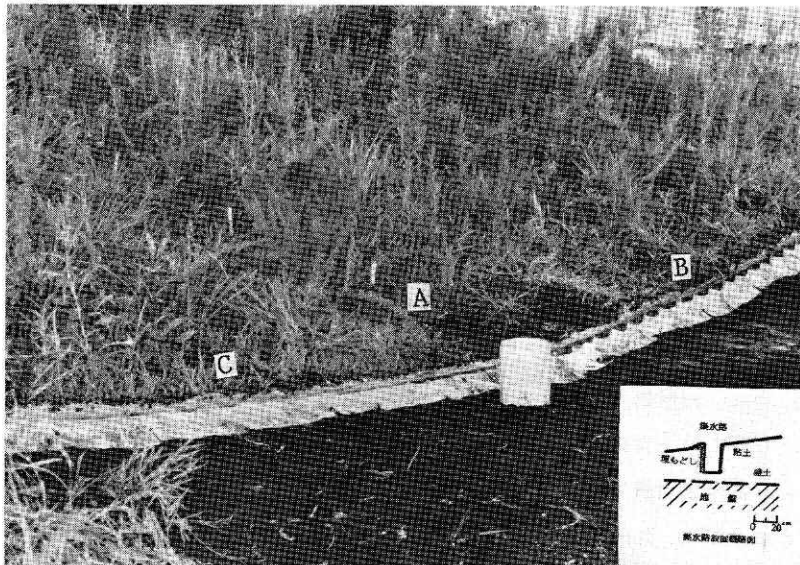


写真 3 集水路  
Photo 3 Drainage channel.



写真 4 流量観測点  
Photo 4 Runoff measurement.

15~200mm/時の任意の降雨強度で散水できる。また、最大散水面積は $72 \times 44\text{m}$ であり、散水強度 200mm/時で1時間30分連続的に散水できる機能を持っている。

### 1.3 降雨条件

降雨強度と表面流出との関係を求めるため、表1のような各種の降雨を降らせた。降雨条件は次の3種である。(1)一定の降雨強度で、一定時間降らせる。多くは60分としたが、最終浸透能をみるため長時間の例もある。(2)降雨強度が変化する例の一つとして、災害の発生しやすいと考えられる降雨条件を考えた。すなわち、降雨強度の弱い降雨があって表層が湿潤になった後、降雨強度の強い降雨が連続する場合を想定して、2段階の降雨を降らせた。(3)ダブルピーク等複雑な降雨波形の例として、3つ山のサイン波の降雨を降らせた。ただし、装置の操作上きれいなサイン波にはならなかった。

### 1.4 計測手法

計測項目は次の3つである。

(1)流出量：表面を流れ下る水の量を測るため、集水路は写真3に示すように、斜面裾部をほぼ水平に掘削し、深さ24cm、幅15cm、長さ7.2mのトタン製の開水路をはめ込んで作った。また、水路と表土層との間に粘土を充填した。この水路を流れる雨水の流下時間は、流量によって異なるが水路の最遠点から流量観測地点までほぼ5~15秒である。流量計測は、流出量が一定容積に満ちる時間を計って流量を算出する方法(写真4)と三角堰(開角度30度)の水位から流量を算出する方法とを併用した。

(2)降雨強度：大型降雨実験装置にも流量計がついていて降雨強度がわかるが、転倒杓雨量計

によって雨量強度を測った。さらに総量の算出のため、流域内の適当な位置に直径 20cm の簡易雨量計を 5 個設置し、降雨量をメスシリンダーで測った。

(3)土壌の含水量：地表下 2 cm, 10 cm の表層土壌を万遍なく 10 カ所から降雨開始直前と直後とに採取し、JIS A 1203-70 の試験方法を用いて測定した。

## 2. 実験結果および考察

### 2.1 一定降雨強度による場合

(1)目視による観察：降雨強度 31.7mm/時の場合、降雨開始とともに流域は濡れた状態になり、5 分後には流域中央部末端 (写真 3 の A 地点) 付近に水溜りのような薄い水層ができる。そこから表面流出が発生している。その後、発生域は時間の経過とともに徐々に凹地沿いに上部へ細長く拡大する。25 分後になると、中央凹地末端の両わき (写真 3 の B, C 地点) に浅い水溜りのような湛水域ができ、そこからも表面流出が発生している。この湛水域もわずかなではあるが徐々にまわりへ広がっている。降雨強度 50.4mm/時の場合になると表面流出発生域は、31.7mm/時の場合と異なり凹地を中心に上部へ拡大するのみでなく、側方へも拡大している。また、降雨開始後 7 分になると、中央凹部末端の両わきに浅い水溜りのような湛水域が発生し、その後、湛水域は 31.7mm/時の場合よりも広域に広がる。降雨強度 75.5mm/時の場合は、湛水域の発生時刻が早くなり、湛水域の面積も大きくなる。降雨開始後 2 分頃には表面流が発生し、3 分後には、中央凹部末端とその両わきに湛水域が発達する。その後、湛水域は急速に拡大し、10 分後になると斜面のいたる所の凹部に小さな浅い水溜りが発生する。26 分後になると、中央凹地末端付近に明瞭な湧水が発生し、その土層は幾分浮く感じになる。また、集水路の側壁からも湧水が発生するようになる。降雨強度が 90.6 mm/時、102.7mm/時になると、湛水域の発達はさらに急速になり面積も広がる。

(2)ハイドログラフ：各実験のハイドログラフは図 2 に示すように、降雨強度が 31.7mm/時の場合、時間の経過と共にわずかな単調増加傾向を示すが、降雨強度が 50.4mm/時になると、2 段構造の特異な波形を示す。75.5mm/時の場合、降雨開始後 2 分から 13 分にかけて流出量は増加し、その後増加はきわめてゆるくなる。しかし、18分から28分にかけて再び急増加し、それ以後はほぼ一定流量となる。ハイドログラフの 2 段目の立上りは、降雨強度が強くなるにともなって、早い時刻に立上る傾向を示す。50.4mm/時、75.5mm/時、90.6 mm/時の場合、2 段目の立上りまでの総損失量を計算するとほぼ 21mm となる。降雨強度が 90.6mm/時、102.7mm/時になると明瞭な 2 段波形のハイドログラフが次第になくなり、複雑な立ち上りのハイドログラフに移行するようになる。それにともなって流出量も急増加する。

総括すると、降雨強度が 20~30mm/時程度では、表面流出発生域は中央凹地付近に限ら

れ、面積も小さくほとんど雨水は土層内を鉛直降下浸透して行くものと思われる。この場合の表面流出量は、時間の経過とともにわずかに単調増加する傾向を示し、表面流出発生域は非常に長い時定数で徐々に拡大するものと思われる。降雨強度が50~70mm/時になると、表面流出発生域は中央凹地末端を中心に広がる傾向を示し、ハイドログラフは2段の特異な波形を示す。この現象は、時間の経過とともに多孔質な表層部に雨水が貯留され、一定の貯留量（この実験では21mm）に達すると表土層内を流れ下る。この水が下流で再び地上に現われ表面流出として流下する。この流出成分がハイドログラフの2段目の立上り部にあたると考えられる。このような2段のハイドログラフは、多摩ニュータウンの自然斜面で行った散水実験（土木研究所、未発表）にも見られる事から、一年生の雑草が繁茂する盛土斜面特有の性質ではないと思われる。さらに、降雨強度が強くなり100mm/時程になると、表面流出発生域は急速に全面に広がる。ハイドログラフは極めて速い立上り特性を示し、小きざみに波打つようになる。

## 2.2 2 段波形降雨による場合

(1)目視による観察：降雨強度が21.5mm/時、90.9mm/時の2段波形の雨を降らせた場合、降雨開始後5分頃から中央凹地末端付近に表面流出が発生し、その後、発生域は中央凹地沿いに細長く発達する。59分後に降雨強度を90.9mm/時に強めると、斜面全域の地表より雨水が外観上滲み出すように表面流出が発生する。表面流は薄層流のような流れ方はせず、草の株などにより小さな凹地のある所を流れ下り、しばらくすると幾すじかの水みちが発達する。

(2)ハイドログラフ：ハイドログラフは図3に示すように、降雨開始後8分頃から徐々に単調増加し、降雨強度を変えた時点（59分後）から64分にかけて急激に増加している。この流出量が急増する現象は、前にも述べたように表層が湿潤状態になった後に、90.9mm/時という強い雨が降ると、表層部が飽和状態となり、下層の不飽和土層内の空気が閉じ込められるために起るものと考えられる。また、外観上、斜面全域の地表より雨水が滲み出すような感じに表面流出が発生することからも推測される。66分以後は流出量の増加がにぶり徐々に最終値に近づく。

## 2.3 サイン波降雨による場合

(1)目視による観察：降雨強度をサイン波的に変化させた場合、降雨開始後3分頃から表面流出が発生し、降雨強度の増加と共にその発生域は全域に広がる。降雨強度が弱くなるにともなう、表面流出発生域は斜面全域から中央凹地付近へと減少する。再び、降雨強度が強くなると中央凹地付近から全域に広がる。

(2)ハイドログラフ：ハイドログラフの変化は図4に示すように、初期損失によりハイドログラフの立上りは降雨の立上りよりも10分程遅れているが、後の降雨波形と流出波形との位相差はほぼ2分となっている。流下する時間を4分30秒として、この流下時間で降雨を積

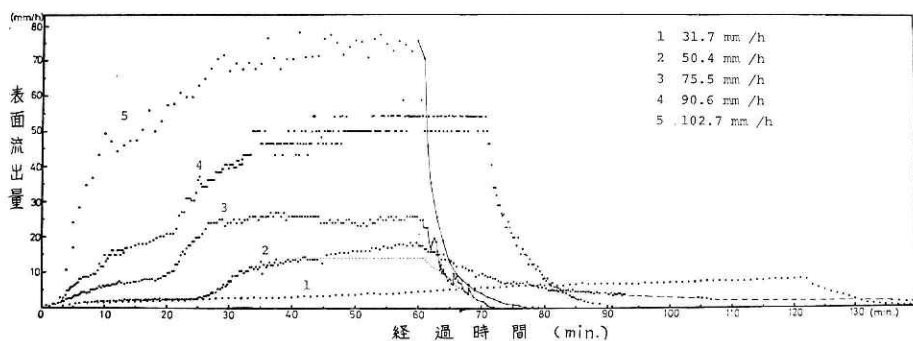


図 2 一定降雨強度の散水実験における表面流出量  
Fig. 2 Hydrographs of surface runoff from the experimental plot induced by constant intensities of rainfall.

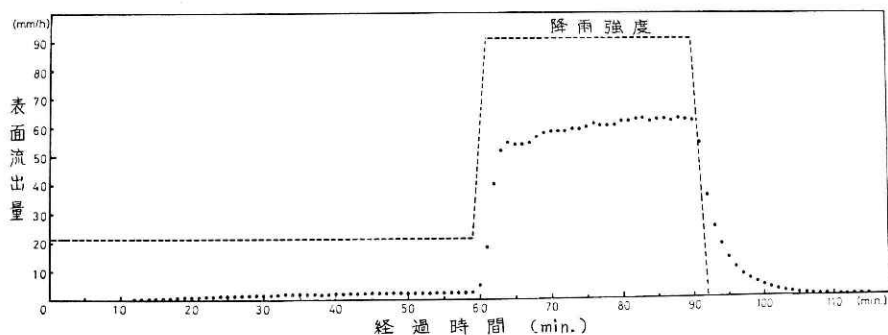


図 3 2 段波形降雨強度の散水実験における表面流出量  
Fig. 3 Hydrograph of surface runoff from the experimental plot induced by a two-step rainfall.

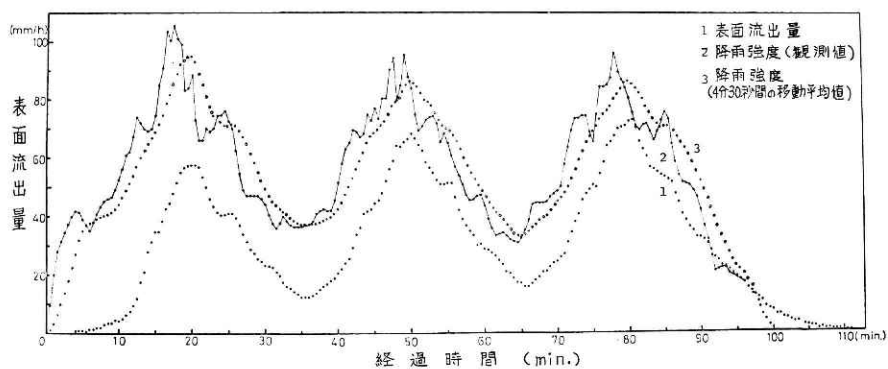


図 4 サイン波降雨強度の散水実験における表面流出量  
Fig. 4 Hydrograph of surface runoff from the experimental plot induced by a three-wave rainfall.

分した値

$$\int_{t-4 \text{分}30 \text{秒}}^t R(t)td \quad (1)$$

は流出と同位相になる。また、主要な水みちを流下する表面流で、最遠点から集水路まで流下する時間をフルオレッセンを用いて計るとはぼ3~5分となっている。これらのことより、流出量の主成分は地表に達した雨水が直接地表を流下する表面流であると考えられる。次に、ハイドログラフの各ピークまたは谷での流出高を見ると、第1波、第2波、第3波となるにしたがって増加しているが、これは浸透量が長い時定数で減少するために起るものと考えられる。

## 2.4 流出率

一定降雨強度による場合について調べる。総流出率  $f_v$ 、ピーク流出率  $f_p$  は図5のようになる。この場合、総雨量  $r_v$ 、総流出高  $q_v$ 、雨量強度(一定)  $r_p$ 、ピーク流出高  $q_p$  の関係は、次式のように定義する。

$$f_v = q_v / r_v \quad (2)$$

$$f_p = q_p / r_p \quad (3)$$

長方形の降雨を与えているので継続時間を  $t$  とすれば  $r_v = r_p \cdot t$  である。ピーク流出高  $q_p$  は雨を止めた時の流出高をとる。  $t$  は表面流出の集中時間と比べて十分長くとり、ここでは60分で統一した。60分以上の例では60分の流出高を用いそれから減衰したと仮定して補正している。  $t$  によって結果が変わってくるからである。第一にこの図から言えることは流出率100mm/時前後で急増するということである。これまで漠然と流出率は降雨強度の関数とみられていたが、ある特定流域とはいえ、このように変化の傾向が明らかになったことは有意義である。特にこのあたりの降雨強度は災害の発生と関連深い範囲であるだけに重要である。

第二に  $f_v < f_p$  であることに注目したい。大まかに言うと、一定率で浸透する流域からの流出は  $f_v = f_p$  でこの値が一定率となる。しかし、  $f_v$  が小さいということは初めの流出は小さく、後ほど流出が大きいこと、これと表裏の関係にあるが、何か時定数の長い流出成分がはいっていることを示唆している。

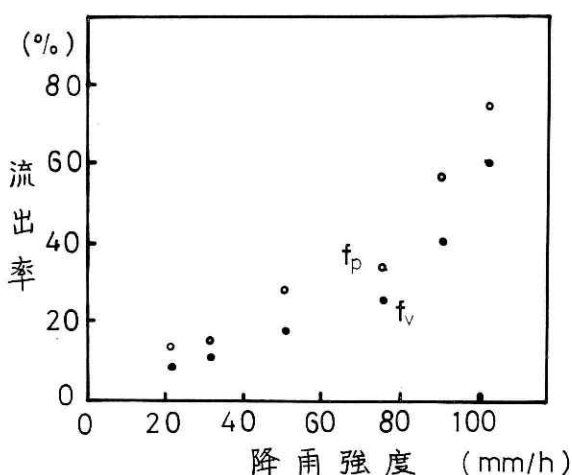


図5 流出率  $f_p$ ,  $f_v$  と降雨強度の関係  
Fig. 5 Runoff ratio and rainfall intensity.

## 2.5 降雨の損失量

ここで損失とは降雨強度から表面流出高を引いた値と定義する。各一定降雨強度の散水実験による損失量の経時変化を図6に示す。これによると、損失量は降雨開始から40分程度様々な減衰形態を示すが、40分以後はほぼ最終的な値に落ち着く。この結果は、ライシメータや浸透計による実験結果で損失量が最終値に達するという点では同様であるが、初期の減衰形態がかなり異なっていることと、最終の損失量自体も今回の実験の方が少ない。この理由として、前にも述べたように、今回の実験では表面流出成分のうちに中間流的なものも含まれており、ライシメータや浸透計による実験では、中間流が地表に現われるような斜面長や斜面構造を持っていないための違いと考えられる。いずれにしても、面積約100m<sup>2</sup>の草地斜面においても、降雨強度が強い場合、降雨開始後数十分で損失量がほぼ最終値に達するという結果を得た。

降雨開始後60分付近の損失量の値を最終値としてプロットすると図7に示すようになる。横軸に降雨強度をとり、降雨強度が弱い場合、全量損失となるので45度の直線に漸近するのは当然といえるが、降雨強度がほぼ75mm/時になると、損失量は逆に減少している。これは、降雨強度75mm/時付近を境にして流出量が急増加する現象(図8)と表裏の関係にある。今までのライシメータや浸透計による実験では、降雨強度が増すにしたがって、最終浸透量は増加するがその増分は徐々に減少し、最終的には一定値に達するという結果(村井宏他, 1975)が得られており、今回の実験と相反する。この原因については次のように考え

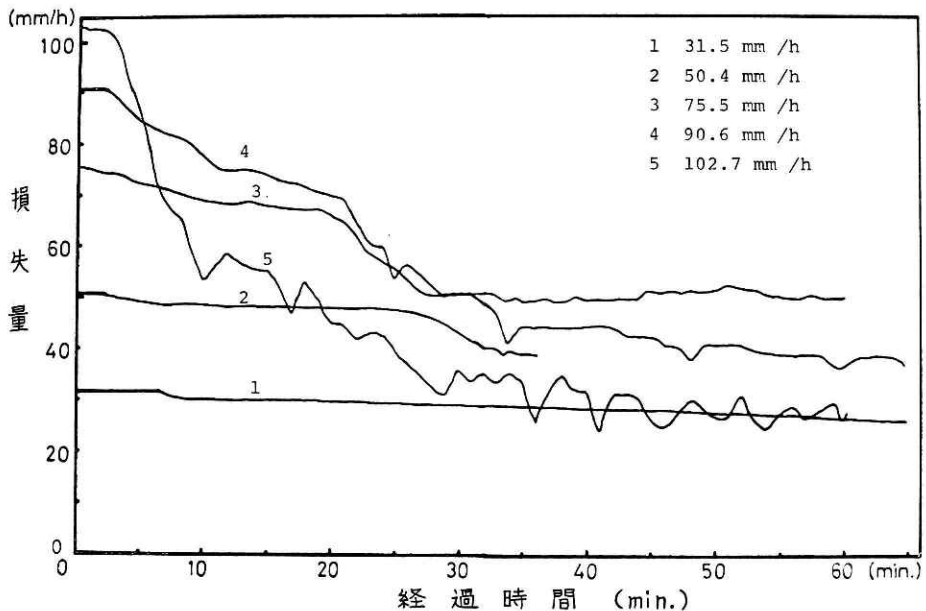


図6 一定降雨強度の散水実験における損失量  
 Fig. 6 Loss curves of constant intensities of rainfall.

られる。降雨強度の強い雨が降ると、今回の実験流域のような斜面長12m、中央凹地形の斜面では、凹地周辺の表土層に飽和帯ができやすくなり、この飽和帯の存在によって、下層の不飽和土層内の空気が閉じ込められるようになる。そのため、鉛直降下浸透量が減少し、その結果として表面流出量が急増加するものと思われる。

図9は2段波形の降雨を与えた場合の損失量の経時変化である。降雨強度を途中 21.5mm/時から 90.9 mm/時へと4.3倍増加させたにもかかわらず損失量は1.7倍(19mm/時から36mm/時)の変化しか示さない。それ以後徐々に減少して20分後には、損失量はほぼ最終値(29 mm/時)に達する。すなわち、第1段の降雨により、第2段の降雨の損失が極めて早く定常な状態へ移行したと思われる。このことより、降雨強度の弱い降雨によって地表が湿潤になった後大雨が降ると、表面流出量が一気に増加し、洪水到達時間の短い洪水波が発生することが指摘できる。

サイン波降雨強度の降雨を与えた場合の損失量の経時変化を図10に示す。ここで、損失量  $L$  は、以下に述べる3つの理由で、注目する時点から前方4分30秒間の雨量  $R$  を移動平均した値  $\bar{R}$  からその時点の流出量  $Q$  を引いた値を用いた。

- (i)  $\bar{R}$  と  $Q$  の波形が非常に似ている。
- (ii)  $\bar{R}$  と  $Q$  の位相が一致する。
- (iii) 目視観察によると、降雨のピークには表面流はほぼ全域から発生し、幾すじかの水みちを流下する。この流下時間がほぼ3~5分である。

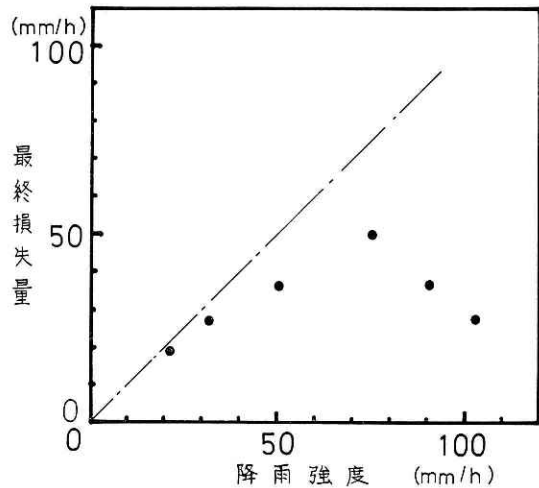


図7 最終損失量と降雨強度の関係  
Fig. 7 Final loss and rainfall intensity.

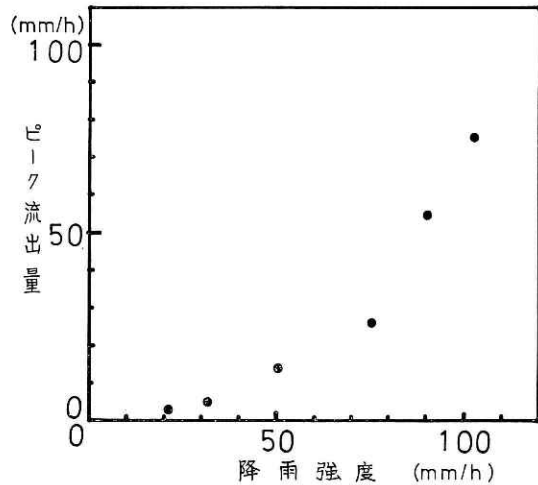


図8 ピーク流出量と降雨強度の関係  
Fig. 8 Relation between peak runoff and rainfall intensity.

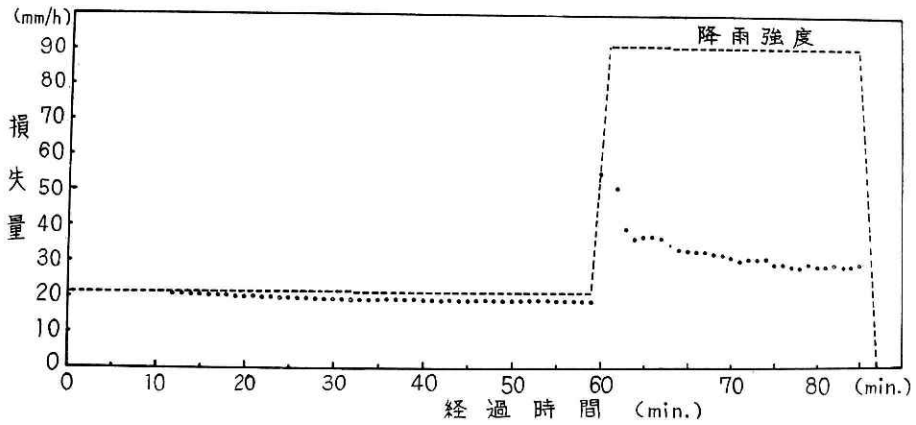


図 9 2 段階降雨強度の散水実験における損失量  
Fig. 9 Loss curve in case of the two-step rainfall.

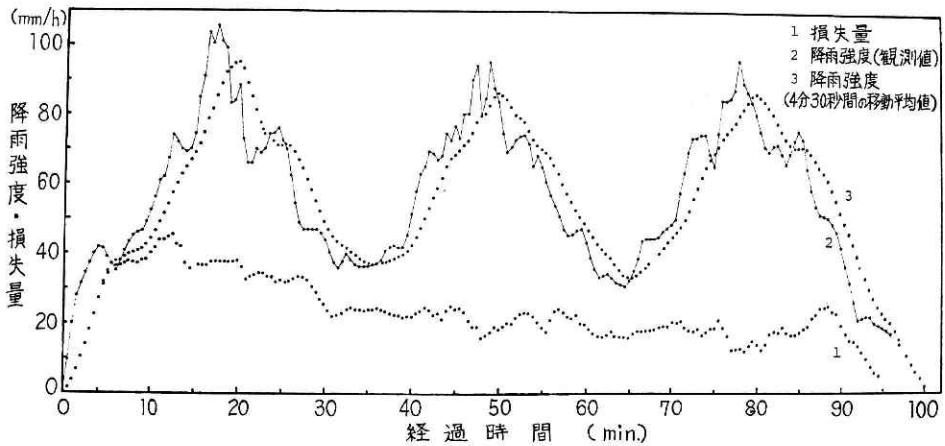


図 10 サイン波降雨強度の散水実験における損失量  
Fig. 10 Loss curve in case of the three-wave rainfall.

$$L(t) = \bar{R}(t) - Q(t) \quad (4)$$

$$\bar{R}(t) = \int_{t-4 \text{ 分 } 30 \text{ 秒}}^t R(t) dt / 4 \text{ 分 } 30 \text{ 秒} \quad (5)$$

この損失量  $L$  の経時変化を見ると、降雨強度の強弱にかかわらず、18 分頃から徐々に減少し 58 分にはほぼ最終値に達する。すなわち、今回の実験のように 30 分周期の降雨に対しては、定量的な損失機構を示すといえることができる。

## 2.6 流出量の立上りおよび減衰

(1) 流出量の立上り：流域表土層の浸透能は各地点によってかなり異なり、散水強度と表面流出発生域の関係は流域特有なものになっている事、この浸透能は表土層の水分量と深い関係（青木佑久，1972）にあり、降雨の継続時間または累加雨量の増加にともなって、徐々に減

少する。また、今回の実験では中間流出的な流出成分が存在する。等々の理由により、流出量の立上りは複雑になっており、定量的な取扱いは困難であるが定性的には次のようなことが言える。

(i) 降雨強度が 50.5, 75.5, 90.6mm/時の場合のハイドログラフの立上りの時定数はほぼ同値となっており、この程度の降雨強度では立上りの時定数は降雨強度と無関係な値になっている。

(ii) 降雨強度が 102.7mm/時になるとハイドログラフの立上り時定数は大きくなり、表面流出発生域も急速に拡大する。すなわち、90.6mm/時と 102.7mm/時の間の降雨強度に、

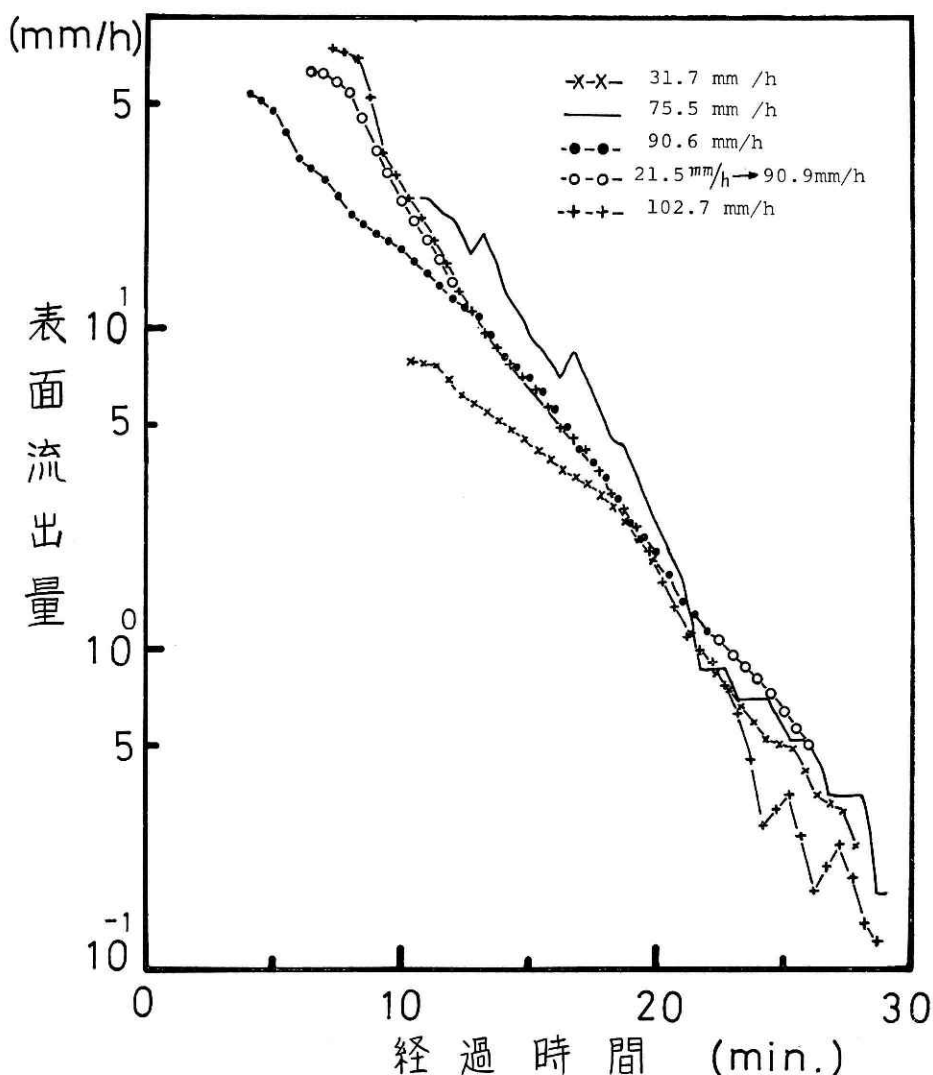


図 11 表面流出量の逓減曲線  
Fig. 11 Depletion curves of surface runoff after the constant intensities of rainfall.

表 2 水分量測定結果一覧表  
Table 2 Soil moisture of the surface layer before and after experiments.

| 実験番号 | 降雨強度<br>(mm/h) | 降雨時間<br>(min) | 総降雨量<br>(mm) | 時   | 地 表 面 下 10cm |            |                             | 地 表 面      |            |                             |
|------|----------------|---------------|--------------|-----|--------------|------------|-----------------------------|------------|------------|-----------------------------|
|      |                |               |              |     | 含水率<br>(%)   | 飽和度<br>(%) | 含水量<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率<br>(%) | 飽和度<br>(%) | 含水量<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
| 1    | 31.7           | 120           | 63.4         | 実験前 | 85           | 58         | 0.46                        | 73         | 49         | 0.39                        |
|      |                |               |              | 実験後 | 100          | 68         | 0.54                        | 44         | 64         | 0.51                        |
| 2    | 50.4           | 60            | 50.4         | 実験前 | 82           | 55         | 0.44                        | 74         | 50         | 0.40                        |
|      |                |               |              | 実験後 | 92           | 62         | 0.50                        | 88         | 59         | 0.48                        |
| 3    | 75.5           | 60            | 75.5         | 実験前 | 81           | 55         | 0.44                        | 70         | 47         | 0.38                        |
|      |                |               |              | 実験後 | 92           | 62         | 0.50                        | 84         | 59         | 0.45                        |
| 4    | 90.6           | 71            | 107.2        | 実験前 | 84           | 59         | 0.45                        | 72         | 49         | 0.39                        |
|      |                |               |              | 実験後 | 96           | 65         | 0.52                        | 100        | 68         | 0.54                        |
| 5    | 102.7          | 60            | 102.7        | 実験前 | 86           | 58         | 0.46                        | 80         | 54         | 0.43                        |
|      |                |               |              | 実験後 | 98           | 66         | 0.53                        | 92         | 62         | 0.50                        |
| 6    | 21.5           | 99            | 66.9         | 実験前 | 79           | 54         | 0.43                        | 74         | 50         | 0.40                        |
|      | 90.9           | 31            |              | 実験後 | 96           | 65         | 0.52                        | 91         | 61         | 0.49                        |

表面流出発生域を急増させるしきい値が存在するものと思われる。

(2)流出量の減衰：降雨停止後の流出量の変化を図11に示す。この図は、各実験の減衰特性を比較しやすくするため、流出量がほぼ 2 mm/時になる時点を同一時刻にしてある。これによると、ほぼ片対数グラフ上で直線をなしている。細かい点を見ると、75.5mm/時の場合は初期の減衰がやや急になっていること、31.7mm/時、90.6mm/時の場合、初期の減衰がゆるやかになっており、上に凸の特異な曲線をなしている。これについては、降雨停止直後の表土層内の含水量（表2）と合せて今後議論して行く必要がある。

50.4mm/時の場合の減衰曲線（図2）を見ると他の実験の場合と比較して、減衰定数で1/6倍小さくなっている。これは実験中、集水路の底から湧水が生じたためで、この流出分は表面流出から除いて考えている。

### 3. ま と め

表面流出の発生機構を明らかにするため、大型降雨実験装置内の実験斜面において、20～100 mm/時の雨を降らせた。この斜面は 102m<sup>2</sup> のゆるい凹形で、2年間放置して、草の根、霜柱などで表土層を多孔質にしたものである。ここに表面流出とは短期の中間流も含ませている。本実験では次のような事実が明らかになった。

(1)表面流出は降雨強度とともに増す。降雨強度が一定ならば時間とともに増す。一定強度の雨の下でのハイドログラフは、30mm/時ぐらいの降雨では徐々に直線的に増加し、50~75mm/時ぐらいでは2段の飽和曲線をなす。100mm/時ぐらいでは多段構造となる。

(2)降雨強度からタイムラグを無視して流出高を引いて求めた損失高は30~75mm/時の範囲では降雨強度と共に増すが、100mm/時近くでは降雨強度と共に減る。このことは流出率が75~100mm/時で急増することと対応している。

(3)2段の降雨波形では、第一段降雨があまり強くなくても、第2段で強い降雨があると、ほぼ斜面全域から表面流出が発生し、流出高が急増す。

(4)3つ山の降雨波形では、第1波の中程から損失は減少し、指数関数的に約20mm/時に近づく。

(5)減衰曲線は片対数方眼紙上でほぼ共通の勾配を示す。細かく見ると若干の差異があり、土壌水分量に由来すると思われるが、今後の課題である。

#### 4. 謝 辞

この実験に当り、降雨実験室の寺島室長を初め各研究員氏に御助言御協力を賜り厚く御礼申し上げる。また、計測に当り、第3研究部佐藤照子氏、旧大型実験研究部(現在施設課)高田孝二氏・青木秀夫氏に直接御助力いただき厚く御礼申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) 青木佑久(1972):山地流域における洪水流出の追跡,土木研究所報告 第143号
- 2) 建設省土木研究所(1968):神流川流域水文観測資料,土木研究所資料 第324号
- 3) 国立防災科学技術センター(1976):1975年8月17日台風第5号による高知県中部の災害現地調査,主要災害調査報告第9号,木下武雄,中根和郎,福井隆文
- 4) 木下武雄(1977):表流水の発生と変化に関する実験 第21回水理講演会論文集
- 5) 村井 宏,岩崎勇作(1975):林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)林業試験場研究報告 274号

(1977年6月28日 原稿受理)