

## II-17 雨水の損失機構について

京都大学防災研究所 正員 高橋琢馬  
建設省都市局 正員 藤田哲夫  
名古屋市役所 正員 三木常義

本研究は、前回の考察<sup>1)</sup>をさらに進展させ、面積数百 $\text{km}^2$ 以内の山地流域における洪水流出と相関連した雨水損失の機構と特性<sup>2)</sup>を定式的に解明せんとしたものである。以下において解析の対象としたのは、由良川大野上流域における出水である。

1. 一般的考察：流域内で生起する水文事象は、降雨 $\rightarrow$ 損失 $\leftrightarrow$ 流出であり、これらは「出水のサイクル<sup>3)</sup>」を構成する。ここにいうサイクルは前期と対象期との直接流出終了時の間隔を意味し、その性状、換言すれば、降雨から流出への変換過程は、供給源である降雨およびその損失と雨水の挙動場である流域の諸特性および気象条件に支配される。

わが国の山地流域は一般に森林土壌より成るきわめて多孔質なくその浸透能は数百 $\text{cm}$ にもおよびる層が存在し、こういった被覆表層は流出過程の基本的領域であるといえる。F.R. Dreihelbisも試験地における測定により、地表面から0~12 $\text{cm}$ の層における出水ごとの、および年間を通じての土湿変動が顕著なことから、こういった層を *zone of major hydrologic activity*<sup>3)</sup> と名づけている。このような流域に降雨があると、その一部は樹葉遮断を受けるが大部分は地表面に達し表層内に急速に浸入する。表層下部には透水性の低い遷移帯が存在するから、浸入水は表層内に毛管吸着力によつて保持され、降雨が継続して毛管飽和の状態になると重力水の移行が始る。この時刻までの降雨分が初期損失である。重力水のうち遷移帯を通り下層へ浸透していくものは下層の土湿不足を補うと共にやがては地下水流出となるが、洪水流出を対象とする立場からは損失である。一方の遷移帯に溜り側方流は中間流出となり、さらに表層内水深が地表面に達すると表面流が生起する。降雨終了後は蒸発散による損失が無視できなくなり、直接流出終了後、表層内土湿はしだいに減少してやがて次の出水に際しての初期損失の原因となる。

2. 初期損失：従来においても、出水の状態が流域の初期保湿状況によつて異なることは指摘されている、たとえば *wet run, dry run* の區別である。そのための指標として用いられているものに、①前期無降雨日数、②前期降雨量、③初期基底流量、④A.P.I.があり、もっとも普通に用いられるものは③④である。しかし、③は常時湿潤な流域では認められるものであるが普遍的な指標とはいひ難く、また④は前期無降雨日数や前期降雨量を考慮した点でかなり合理的であるが、物理的あるいは定量的な意義が不十分である。

ところで、初期損失は、現象的には「対象降雨開始時刻から直接流出生起時刻までの降雨量」、機構的には「表層内において雨水が重力水としての移行を開始するために必要な水量」すなわち「毛管飽和量-初期保湿量」と定義できよう。無降雨期間中の土湿減少のあり方が蒸発散あるいは下層への毛管ポテンシャルによる土壌水分移行現象の面から指數的に考えられること、また小降雨による土湿補充の効果も考え、降雨期間中の蒸発散を無視す

ると、結局、初期損失量  $I_L$  はつぎのように定式化できる。

$$I_L = D(n-\delta) \left\{ 1 - e^{-\alpha \sum_{i=1}^n T_{di}} \right\} - \sum_{i=1}^n R_i e^{-\alpha \sum_{j=1}^i T_{dj} + 1} \quad (1)$$

ここに、 $D$ : 表層厚さ、 $n$ : 表層土壌の空隙率、 $\delta$ : 有効空隙率 (non-capillary porosity)、 $R_i$ : 前期直接流出終了時から第  $i$  番目の直接流出を生起させる小降雨量、 $T_{di}$ :  $R_{i-1}$  と  $R_i$  との間の日数、 $\alpha$ : 土湿減少係数であり、下層土壌の特性と気象条件に依るが、季節的には一定と考えられる。図-1 は既往の観測資料から二組の ( $R_i, T_{di}, I_L$ ) を知り、これから試算的に (1) 式中の定数  $D(n-\delta)$  と  $\alpha$  とを決定する過程を示したものであり、その際計算の便宜上  $e^{-\alpha} = k$  とおいた。表-1 はその解析結果である。

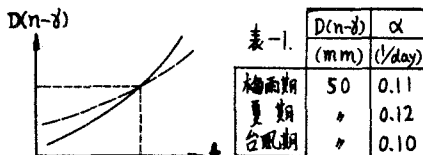


表-1.

|     | $D(n-\delta)$<br>(mm) | $\alpha$<br>(1/day) |
|-----|-----------------------|---------------------|
| 梅雨期 | 50                    | 0.11                |
| 夏期  | *                     | 0.12                |
| 台風期 | *                     | 0.10                |

図-1.

3. 浸透損失: R.E. Horton の浸透理論によれば浸透能は指数型で表わされる。しかし、下層土壌の特性や乾燥条件は顕著な変動を見せないであろうし、Dreibelbis も測定しているように下層への浸透能はごく短時間に一定値になる。したがって、表層被覆型の流域では、遷移帯から下層への浸透能  $i$  は、上述のようにして初期損失を考慮すれば季節ごとに一定値と考えられ、 $i = i_m = \text{定数}$  (2)

と表わすことができよう。一方、出水の全期間を考えると水収支方程式は、

$$R - (I_L + \sum Q_0) = I + E, \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

である、ここに、 $R$ : 総降雨量  $= \int_{t_0}^{t_2} R(t) dt$ ,  $t_0, t_2$ : 降雨  $R(t)$  の開始と終了の時刻、 $\sum Q_0$ : 総直接流出量、 $I$ : 総浸透損失量  $= i_m \cdot T_{00}$ ,  $T_{00} = t_2 - t_0$ ,  $t_0, t_2$ : 直接流出  $Q_0$  の生起と終了の時刻、 $E$ : 総蒸発散損失量である。ところで、蒸発散

表-2.

| No. | 雨量<br>(mm) | R<br>(mm) | $T_m$<br>(hr) | $I_L$<br>(mm) | $\sum Q_0$<br>(mm) | $T_{00}$<br>(hr) | $(E+I)$<br>(mm) | E<br>(mm) | I<br>(mm) |
|-----|------------|-----------|---------------|---------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------|
| 6   | 244        | 90        | 40            | 10            | 58                 | 62               | 22              | 5         | 17        |
| 8   | 117        | 73        | 30            | 19            | 35                 | 55               | 19              | 8         | 11        |
| 9   | 531        | 100       | 40            | 35            | 33                 | 67               | 32              | 12        | 20        |
| 10  | 427        | 150       | 33            | 26            | 84                 | 80               | 40              | 13        | 27        |
| 11  | —          | 102       | 56            | 18            | 58                 | 65               | 26              | 15        | 11        |
| 13  | —          | 125       | 44            | 12            | 84                 | 89               | 29              | 12        | 17        |
| 14  | —          | 110       | 60            | 20            | 53                 | 71               | 37              | 6         | 30        |
| 18  | —          | 118       | 38            | (61)          | 30                 | 60               | 27              | 8         | 19        |

による損失は従来一般には明確に取り扱われていない。しかし、表層土壌の水分状態を考慮して C.W. Thornthwaite が提案した方法で一応の推定を行つてみると、由良川流域では梅雨期 3~4 (mm/day)、夏期 4~5 (mm/day)、台風期 3~2 (mm/day) の可能蒸発散があることがわかる。そこで、このことから各出水時における  $E$  を推定し、(3) 式によつて浸透能  $i_m$  を算定した。

表-2 は解析例計算過程、図-2 (a)(b) はその結果

を示す。図-2 (b) から (2) 式の近似がほぼ妥当といえよう。

以上の詳細については講演時に述べる。

### 参考文献

- 1) 石原高樹・藤田: "出水生起時における雨水の挙動に関する研究"。林業全国調査報告書。第 37.11. pp. 85~87
- 2) 石原高樹・藤田: "出水予知に関する一考察"。" " pp. 83~84.
- 3) Dreibelbis, F.R.: "Some Aspects of Watershed Hydrology" - Journal of Geophy. as Determined from Soil Moisture Data" - vol. 67, No. 9 (1962), pp. 427.

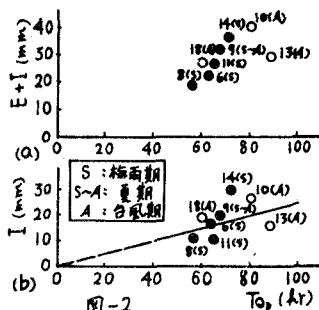


図-2.