

III-22 雨水流出現象における損失機構について

京都大学工学部 正員 石原藤次郎, 准員 高棹琢馬

山間地流域からの流出は、雨水の流達経路によって直接流出、中間流出、地下水流出の三つに分けられるから、従来の進んだ流出解析法を適用するためには、降雨とその流達経路に応じて事前に分離する必要がある。

W-index あるいは Horton 型方式などによる従来の降雨の分離法は、いわゆる有効降雨 $E(t)$ として、降雨 $R(t)$ と浸透能 $i(t)$ との差 $E(t) = R(t) - i(t)$ を与え、浸透能 $i(t)$ としては常に簡単な正の函数を与えている。このことは、中間流出の発生機構を考慮していないことを意味し、この欠は従来の降雨分離法の難点といえよう。そこで、浸透能 $i(t)$ の代りに浸透能および中間流出 $de(t)$ を含む損失能 $ls(t)$ を考え、 $E(t) = R(t) - ls(t)$ の形で有効雨量を与えることにすれば、 $ls(t)$ の時間分布を求めることが降雨分離法の主眼となり、そのためには雨水の損失機構を明らかにすることが必要である。

1. 損失能 $ls(t)$ の計算法；図-1 に示すように、片側に流路をもち、流路に沿って斜面流下距離の等しい模型流域を考へる。以下の数式における記号は、 B は斜面の流下距離、 L は流路長、 K 、 K' はそれぞれ斜面および流路の特性を表わす因子、 p 、 p' はそれぞれ斜面および流路における断面積～流量関係を表わす因子、 $g(t)$ は斜面から流路への単位中、単位時間当りの流入量、 Q_{ot} は流路上流端流入量、 Q_{x0} は流路内基底流量、 τ 、 t (τ , t) はそれぞれ雨水擾乱の出發時間と到達時間 (τ と付加したものは初期条件 Q_{x0} 、境界条件 Q_{ot} を考慮した仮想時間座標における τ , t の値)、 $G(\tau \sim t) = \int_{\tau}^t g(t) dt$ 、 $E(\tau \sim t) = \int_{\tau}^t E(t) dt$ であり、降雨、境界および初期流量および斜面、流路の諸量は既知とする。Manning の抵抗法則と連続の条件から、流入量と流量の関係式、

$$G(\tau \sim t) = K [Q(t) - Q_{ot}(\tau)]^p \quad (1)$$

$$\text{が求まり、仮想時間と実時間の間には、} \quad t = \tau + t_0 \quad t_0 = K(Q_{x0} - Q_{o0})^p / g_0 \quad (2)$$

の関係がある。ここで t の関係は Q_{ot} の有無に応じて

$$Q_{ot} \neq 0; \quad PLK = \int_{\tau}^t \{ (G(\tau \sim t') / K)^{1/p} + Q_{ot}(\tau) \}^{1-p} dt' \quad (3)$$

$$Q_{ot} = 0; \quad PLK^{1/p} = \int_{\tau}^t [G(t') - G(\tau)]^{1/p-1} dt' \quad (4)$$

$$\text{と表わされ、さらに(3)式は、} \quad t = PLK Q_{ot}(\tau)^{p-1} + \tau \quad (5)$$

$$\text{と近似できる。(4)、(5)式からそれぞれの場合について、} \quad \tau = f_n(t), \quad \tau = f_n(t) \quad (6)$$

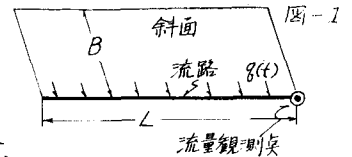
の関係が求まるから、(6)式と(1)、(2)式から $G(t)$ が求まり、したがって $g(t)$ が算出される。

$$\text{さらに流入量と降雨の間には、} \quad E(\tau \sim t) = K' g(t)^{p'} \quad (7)$$

$$\text{の関係があり、} \quad \tau \text{ と } t \text{ の関係は、} \quad PBK'^{1/p'} = \int_{\tau}^t [K' g(t')^{p'}]^{1/p'-1} dt' \quad (8)$$

$$\text{として与えられ、これから、} \quad \tau = f_n(t) \quad (9)$$

の関係が求まる。(9)式と(1)式から $E(t)$ が算出され、また損失能累加曲線 $L_s(t)$ 、実測降雨の累加曲線 $R(t)$ および $E(t)$ の間には、 $L_s(t) = R(t) - E(t)$ (10)



の関係が成立するから $L_s(t)$ が求まり、これから結局 $l_s(t)$ が算出されることになる。

2. 損失機構について； 上述の損失能計算法を由良川実験小流域の流出に適用した結果が図-1 のようであり、これから推察される l_s と R の関係を模型的に描いたものが図-3 である。この図によって l_s の一般的傾向を予想すると次のようである。まず降雨始発から t_f までは流出がなく、この間の降雨は初期損失として消費される。 t_f から t_0 までは l_s は正、すなわち地下への浸透があり、一般に R に比例的な挙動を示す。 t_0 以後は l_s が負となるから、地下からの流出つまり中間流出が卓越することになり、指数曲線または双曲線と考えられる滑らかな曲線で $l_s=0$ の基準軸に近づく。なお、損失能は $l_s(t)=i(t)+\Delta e(t)$ と定義されたものであり、 $i(t)$ と $\Delta e(t)$ は異符号であるから、それぞれの大小に応じて $l_s(t)$ は正あるいは負となる。 $i(t)$ と $\Delta e(t)$ とを流域全体にわたって相殺した平均量と考えれば、 $i(t)$ と $\Delta e(t)$ とは時間的には共存しないはずである。降雨分離の問題は $l_s(t)$ の推定にあるとい

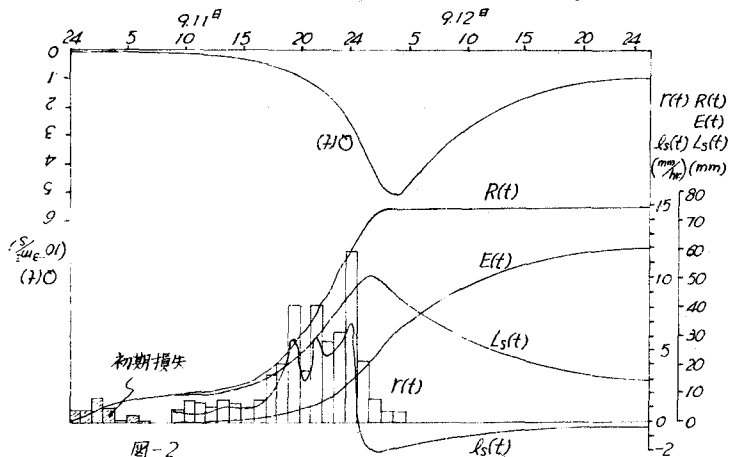


図-2

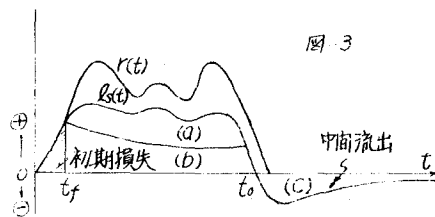


図-3

ることができ。前者は表層が有機物の腐敗または腐敗過程にある透水性のよい土壌層(A層)であり、その下にA層に比して透水性の低い無機土壌層(B層)がある。後者は表層が砂質土、粘土などの無機土壌層(B層)である。A層を有するA帯の存在が中間流出の発生機構と密接な関係があり、Horton型浸透能と l_s との合致しない理由は、中間流出の発生にあるものと考えられる。図-2の $t_f \sim t_0$ 区間の l_s は、地下深部への浸透部分(b)と t_0 以後の中間流出成分(c)に移行すべくA層に保留され後に地表に浸透する成分(a)の二つの成分に分かれるものとしてよい。Horton型浸透能方程式が成分(b)に対して成立するものであることは容易に推察され、この部分は降雨条件にほとんど無関係としてよいが、(a)部分は一流域についても降雨条件に応じて著しく変動する。

以上のような l_s の挙動に関する詳細は、講演のときに流域表層土壌内の雨水の挙動を結びつけて論議し、さらに連水博士の過剰塩基と密度の測定による中間流出の実例結果あるいは立神博士の流出指示率の算出結果を用いて実証する。損失過程究明に関する今後の主方向は、こうした中間流出の発生機構を明らかにしていくことにある。