山腹における損失雨量について

広島大学工学部　正員　金丸昭治
山口大学工業短大　正員　○星　健三
広島大学大学院　学生員　三島隆明

河川流域における雨水の流出現象を解析する場合，対象を洪水時あるいは低水時に限定して，解析の際に考慮すべき要素の数を少なくすることが考えられるが，これは流量が増大したり，あるいは減少する期間に生じている遷移現象の解析が容易でないからである。従来，この遷移現象に対応する流出成分を中間流出成分と称し，雨水のうち，地表にも現われず地中にも滲透しないで，表層部分を流れて河に流出する成分であると考えられている。このような成分の流出現象が解明されれば普遍的な流出解析法の確立はもちろんのこと，流出計算法と直接関連のある損失雨量の問題についても明確な解答が得られるものと思う。ここでは，山腹からの雨水流出に関する研究の一環として，流出成分と損失雨量の定義にも関係する事項について検討した結果を述べることにする。

従来，損失雨量は流出計算法に適合しない雨量成分として取扱われてきたのであって，例えば，採用した流出計算法が中間流出を含まないときは，中間流出に対応する雨量は損失雨量の一部であると定められていた。これは，中間流出の性格も定義も実際の現象に合致しない不明確なものであったことが原因である。このような問題について，山腹からの雨水流出全般を対象とした実験結果をもとに検討してみることにする。

上流端からの距離をx，表層内水深をH，表層空隙率をγ，表層から下方への滲透量を除いた有効降雨強度をr，基準降雨強度をr_0，$r_s = r/r_0$，表層内単位巾当りの貯溜量をSとすれば，定常状態においては

$$S = (ax^2 + bx)\,r_s^{\,m} \quad \text{------------------------ (1)}$$

が実験結果から成立することは既に発表したとおりである。　$S = \gamma\int_0^x H\,dx$ であるから

$$\gamma H = (2ax + b)\,r_s^{\,m}, \qquad \gamma\, dH/dx = 2a\,r_s^{\,m} \quad \text{---------------- (2)}$$

が得られる。ここに，a，b，mは表層の特性をあらわす定数であるが，aは表層内の雨水の流動に対する抵抗に関係し，恐らく表層材料の性格と空隙の形状および勾配によって左右されるようであり，bは表層内の定常保水量に関係するようであり，表層の厚さと空隙率に密接な関連がある。mは空隙率および個々の空隙の大小によって定まるようである。

上記（2）式と定常状態における単位巾流量$q = rx$とからx，r_sを消去し，任意の位置におけるqとHの関係を求めると，

$$q = \frac{r_0\gamma}{2a}\left(H - \frac{b}{2a}\frac{dH}{dx}\right)\left(\frac{\gamma}{2a}\frac{dH}{dx}\right)^{\frac{1}{m}-1} \quad \text{---------- (3)}$$

のようになる。ここで，降雨開始時に雨水が流動を始めるまでの貯溜量，あるいは降雨継続中に流動しないで表層内に滞溜し得る貯溜量としては，上記のqを0とおいたときの水面形から求められるものが対応するはずである。$q = 0$としたときの解のうち，$0 < S \leqq (ax^2 + bx)\,r_s^{\,m}$でなければならないという条件を満足する必要があるので $dH/dx = 0$，$H = Const.$ のみがその条件を満足する。すなわ

ち，$x=0$で$q=0$であるから（２）式から，どの位置にも共通な関係式として，

$$\gamma H = b r_s^m \quad\text{------------------------}(4)$$

が得られるが，このことは，一定のrが供給されているとき，（４）式の関係が満足される状態になるまでは表層内の雨水は流動しないこと，および貯溜量が大きいときに急にrが小さくなった場合はそのrについての（４）式が満足される状態まで雨水の流動が継続するということを意味している。この量を一時的保溜水量ということにすれば，これは損失雨量ではなく，降雨継続中増減しながら降雨終了後にその全量が除々に流出することになる。減水部の流量を$q=q_0 e^{-\alpha t}$として実験値と実測値の従来中間流出といわれてりた部分（流出曲線減水部第一折曲点と第二折曲点間）とのαを比較してみると 0.03〜0.04 (hr^{-1}) でよく類似している．つまり，中間流出といわれていたのは上記の一時的保溜水が流出する成分をあらわしていたものと思われる。したがって，中間流出に対応する雨量は損失雨量でもなく，また各時間の雨量から相当分を少しづつ充当するという考え方も改めなければならない。

上述のような考え方に従えば，雨水の流出成分は，（４）式であらわされる表層内水深以上になったとき，（３）式のような計算式で求められる流出成分（従来はこれを表面流出と称した）と，上記の一時的保溜水が流出する成分，および地中へ滲透し地下水流出となる成分の三成分に分け，損失雨量としては地下水流出に相当する降雨量であると考えるのが妥当である。

ここで，地中への滲透分を除いた各時間の有効雨量rが与えられたときに，上記一時的保溜水量が各時間毎に増減するが，これらを考慮して山腹からの雨水流出計算を行なうには，一先づつぎに述べる方法が簡単であろう。

基礎方程式は（３）式と連続方程式とから求められるべきものであるが，ここではつぎのような近似によって簡単化してみよう。すなわち，非定常状態においても$\partial H/\partial x$は定常状態のそれに極めて近い値を示すものと思われるので，（３）式に（２）式を代入して得られる。

$$q = \frac{r_0}{2a}(\gamma H - b r_s^m) r_s^{1-m} \quad\text{--------------------}(5)$$

をもって運動方程式に代える。これと連続方程式 $\gamma\cdot\partial H/\partial t + \partial q/\partial x = r$ とから

$\gamma\cdot\partial H/\partial t + (\gamma r/2a r_s^m)\,\partial H/\partial x = r$ が得られるから，これを解いて，

$$\int_\tau^t r\,dt = \gamma\{H(t,x) - H(\tau,\xi)\} \quad\text{--------------------}(6)$$

$$\frac{1}{2a}\int_\tau^t \frac{r}{r_s^m}\,dt = x - \xi \quad\text{-----------------------------}(7)$$

が得られる。ここに$H(t,x)$は時刻t，位置xにおける水深，τ，ξは特性曲線の出発する時刻および位置である．（５），（６），（７）式によってt，xにおけるqを求めるわけであるが，

$\gamma H(\tau,\xi) - b r_s(\tau)^m > 0$ のときは（６）式に用いる$H(\tau,\xi)$は $b r_s(\tau)^m$，

〃 < 0 〃 $H(\tau,\xi)$とするのが妥当であろう。これは，（５）式が一時的保溜能力以上の雨水が供給された場合にのみ成立するものであり，そのときの流出（従来の表面流出）は速やかに流出してしまうと考えたからである．また，降雨終了後（r, $r_s=0$）には（５）式は成立せず，そのときの保溜水は別の法則に従って流出する。

以上の考察を実験的に検討した結果については講演時に述べる予定である。