II—48　流出解析における流域地形の斜面への変換について

京都大学防災研究所　正員　工博　石原安雄
京都大学工学部　正員　工修○頼　千元

河川流域における雨水の流出現象を解明するに当っては、降雨特性、流域特性および雨水流の流出機構など多くの研究課題があり、これらは互に関連した点が少なくない。本研究はこうした課題のうち、洪水時の流出解析を行なうに際して、流域の特性を合理的に取り入れようとしたものである。

さて、由良川における最近の研究によると、洪水時の流出現象では、表面流出および中間流出が主要な流出成分であって、この場合、山腹斜面での遅滞効果は流路でのそれに比してかなり大きく、流域を単一の矩形斜面に変換して取り扱ってよいことが明らかにされている。すなわち、単一矩形斜面の流下長をL_0，傾斜角をθ_0，等価粗度係数をN_0とすると、最大流出量の発生条件から、最大流量Q_{max}の到達時間t_{pc}とその時間内の平均有効降雨強度r_{mp}との間につぎの関係が成立する。

$$t_{pc}\cdot r_{mp}^{1-p}=B_c=\left(\frac{N_0 L_0}{\sqrt{\sin\theta_0}}\right)^p, \qquad Q_{max}=r_{mp}\cdot F \tag{1}$$

ここに、Fは流域面積、pはマンニングの公式を仮定すると0.6であり、またB_cは流域特性量の総合的表現である。このB_cは、とくに大出水の場合を対象とするときには、流域によってほぼ一定の値を示す。このように、流出解析に流域要素が導入されているわけであるが、B_cの中に含まれているL_0，θ_0は流域地形の形態学的な要素であるから地形計測によって求められるものと考えられる。

前述したように、実河川における出水の遅滞はほとんど山腹斜面で起ると考えてよいが、B_cに含まれる諸量は、ある程度より小さい流路をも含めた流域の部分に対応した斜面要素によって表現すべきである。この場合、どの程度の大きさの流路までを、斜面からの流出を集めるだけの効果をもつ流路として取り扱えばよいかということが問題となる。その基準として、本研究では，Hortonによって提案された流路の順位（order）を採用したわけであるが、これは同順位の流路は水文学的にほぼ同じような特性をもち、しかも普遍性があるものと考えたからである。すなわち、流路要素として考えてよい最低順位Mが定められたとすると、M以下の順位の流路に付随する微小流域は、流量観測点に対して時間的に同等の位置にあり、分割された一つ一つの微小流域が最小単位の流域となるわけである。

このような微小流域内においても、一つの河川流域をなしており、その形態は非常に複雑である。そこで便宜的な方法として、図-1のようにその中に一本だけ含まれている順位M，またはM以上の順位をもつ流路の長さB_iの2倍を下流巾とし、その面積がもとの微小流域の面積F_iに等しい矩形流域に置換することができるものと仮定した。こうして置換された微小矩形流域は、流量観測点に対して時間的に同等であるから、斜面長の小さいものから順位並べて編成換えを行なってもよいはずである。

つぎに、編成換えを行なった斜面群を，最大流出量を等しくするという条件で単一の矩形斜面に変換する必要がある。いま，斜面の下流方向に直角に y 軸をとれば，斜面長 x は $x=f(y)$ で表わされる。そこで，最小の斜面長を $x_s=f(y_s)$，単一矩形斜面に変換したときの斜面長を $L_0\equiv x_0=f(y_0)$，最大斜面長を $x_e=f(y_e)$ とすると，任意の降雨があった場合の流出量の最大値 Q_{max} は，

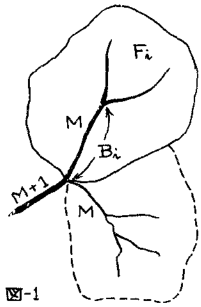

図-1

$$Q_{max} = r_{mp}\left\{f(y_0)\cdot(y_e-y_0)+\int_{y_s}^{y_0} f(y)\,dy\right\}(1+\varepsilon) \tag{2}$$

で与えられる。ここに，ε は降雨の時間的分布状態および斜面の形状に関係する量であって，普遍的な表現をすることは困難であるが，その大きさは1に比して小さいと考えられる。

一方，降雨の継続時間 t とその間の平均強度 r_m との関係として，確率論的に導かれた雨量配分の理論を用いると，近似的に次式が成立する。

$$\alpha\left(\frac{T}{t}\right)^{\beta} = \frac{r_m}{R}T \tag{3}$$

ここに，R は T 時間内の総降雨量，$\alpha=3.463$，$\beta=0.395$ である。

(3)式を(2)式に代入すれば，異なる斜面長を有する場合の最大流出量が計算されるが，この Q_{max} が最大値であるための条件と(1)式で与えられる単一矩形斜面での最大流出量と等しくならねばならないという条件から，

$$\frac{p\beta}{1+\beta(p-1)} \doteqdot \frac{f(y_0)\cdot(y_e-y_0)}{f(y_0)\cdot(y_e-y_0)+\int_{y_s}^{y_0} f(y)\,dy} \tag{4}$$

の関係がえられる。上式の右辺の分母，分子は斜面の部分的な面積を表わし，左辺は定数であるから，y_0 および $f(y_0)$ の値を容易に求めることができる。

このようにして流域を単一矩形斜面へ変換できたが，その傾斜角 θ_0 はつぎのようにして求めることとした。すなわち，対象としている流域の地形図上に格子を描き，雨水流を忠実に追跡するという観点から，各格子点を通る最急こう配線の長さを峰線から流路要素まで計り，その両端の標高差を求め，後者を前者で割ったものの算術平均をもって斜面のこう配とした。

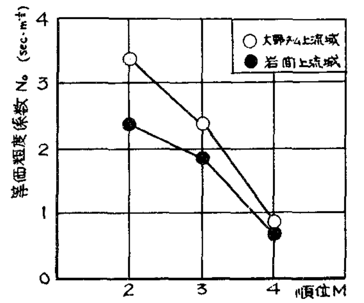

図-2 由良川流域における等価粗度係数

以上のようにして，L_0，θ_0 が求められるので，流出解析によってえられた B_c の値を用いて等価粗度 N_0 が計算される。図-2は由良川において求めた等価粗度係数 N_0 と微小流域の基準順位Mとの関係を示したものであるが，これらについての考察は講演時に述べる。

最後に本研究は文部省科学研究費の交付を受けて行なったものの一部であることを付記する。