V—45　最大洪水流量に及ぼす地形効果について

京都大学防災研究所　　正員　石原安雄

1　概説

降雨から最大洪水流量を算定しようとする試みはかなり古くから研究されており，非常に多くの公式が提案されていることは周知のとおりであるが，その大多数の公式は雨水流出の水理学的機構に基づいて合理的に求められたものとはいいにくいようである。ところで，雨水流出現象に関しては，最近，水理学的および水文学的に詳細な検討が加えられ，次才にその実態が明らかになってきた。とくに特性曲線法による水理学的流出解析法はもっとも合理的なものとして高く評価してよいだろう。本研究はこのような特性曲線法を用い，洪水時の最大流出量の発生条件について考察し，とくに流域の地形特性が最大洪水流量に及ぼす効果について検討を加えようとしたものである。

さて，一般に雨水流出を取り扱う場合，河川流域は斜面要素と河道要素とから成り立っており，流域面積が余り大きくないならば，河道要素を無視して流出解析を行なってもその誤差は僅少であると考えられている。換言すると，比較的小さい流域における雨水流出は山腹斜面での流出過程のみを考慮すれば十分であるといえる．つぎにこのような斜面での雨水流出は，とくに洪水流出を対象とする場合には，表面流出と中間流出との二つの流出成分から成り立っているとしてよいだろう。しかもこれら二つの流出成分はいずれも斜面の表面近くの現象であって，互に関連したものと考えられるので，以下ではこれらを直接流出として一緒に取り扱うことができるものと仮定する。

2　最大流量の発生条件

斜面に沿って下流方向にx軸をとり，斜面こう配をi，斜面の巾を$W(x)$，単位面積当りの降雨強度を$r(t)$とし，流水断面積をA，流量をQ，水深をh，平均流速をvとすると，雨水流の連続方程式および運動方程式はそれぞれつぎのようになる。

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=W\cdot r \quad , \quad v=\frac{1}{N}i^{1/2}h^{m} \quad \text{または} \quad A=KW^{1-p}Q^{p} \qquad \cdots\cdots \quad (1)$$

ここに，N：等価粗度係数，m：常数，$K=(N/\sqrt{i})^{p}$，$p=1/(m+1)$。さらに上式は，

$$\text{特性曲線} \quad \frac{dx}{dt}=\frac{Q^{1-p}}{pKW^{1-p}} \quad \text{の上で} \quad Q=\int_{\xi}^{x}W r\,dx+Q(\xi,\tau),\quad Q=\left[\frac{1}{KW^{1-p}}\left\{\int_{\tau}^{t}W r\,dt+A(\xi,\tau)\right\}\right]^{\frac{1}{p}} \cdots (2)$$

と等価である。ここに，$Q(\xi,\tau)$，$A(\xi,\tau)$は特性曲線の出発点(ξ,τ)における値を示す。

さて，(2)式を逐次計算すれば流出量Qが求まり，その最大値も計算できるわけであるがいまの場合はどのような条件のときに最大流量が発生するかが問題である．

(1)　$W=W(x)$，$r=const.$で，降雨期間Tが比較的短かい場合。図−1 に示すように，最大流量は$t=T$の線上で，しかもWの最大値の両側に等距離に$(x-\xi)/2$をとったとき特性曲線がちょうど$(\xi,0)$および(x,T)の点を通るような場合に発生すると考えられる。そのような特性曲線は(2)式から近似的に，$r^{1-p}=K(x-\xi)^{p}/t$　となる。したがって，$x=x$，$t=T$に

おける流出断面積は，ξ~x間の平均巾を W_m とすると

$$A = W_m \cdot T\{K(x-\xi)^p/t\}^{\frac{1}{p-1}} \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

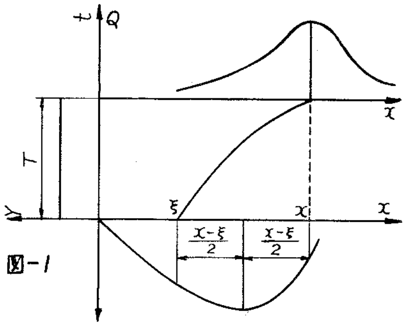
一方，(1)および(2)式から，近似的に，

$$A = K W_m^{1-p} r^p \left\{\int_\xi^x W dx\right\}^p \quad \cdots\cdots \quad (4)$$

とも書くことができる。よって，(3)および(4)式をxで微分して零とおくと，最大流量の発生条件として，

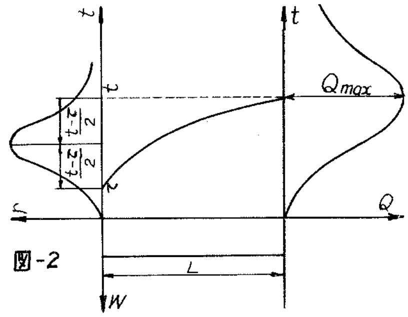
$$\frac{d}{dx}(x-\xi)=0 \quad \text{および} \quad W(x)-\frac{d}{dx}\int_0^\xi W dx = 0 \quad (5)$$

がえられる。すなわち，$(x-\xi)$が最小となり，しかも $W(\xi)=W(x)$となってはじめの予想と一致する。



図−1

(2) $r=r(t)$, $W=const.$ で，斜面長がLの場合。この場合の最大流量の発生条件は石原・高棹によって研究されており，図−2に示すとおりである。

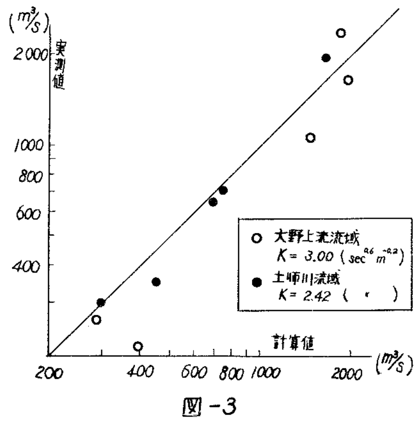


図−2

(3) $r=r(t)$, $W=W(x)$の場合．この場合の最大流量の発生条件を厳密に求めることは困難であるが，上の考察から実用上つぎのようにして近似的に最大流量を求めることができるだろう。 i)最大流量に関与する面積が斜面の一部である場合：まず降雨のはじめ $t=0$からそのピークを過ぎた時刻 t_1 までの平均降雨 r_m を求める。つぎに斜面巾を一定として，r_m, t_1 を用いて特性曲線のx軸への写影長さ x_1，および単位巾流量 q_1 を計算したのち，x_1の長さを図−1の$x-\xi$に対応させたときの平均巾 W_1 を求めると，$Q_1=q_1 \cdot W_1$ がこのときの最大流量を与える。したがって，t_1 をいろいろに変化させて Q_1 を計算して絶対最大をさがせば所要の解がえられる。 ii)最大流量に関与する面積が全斜面である場合：上の計算で求めたx_1の値が斜面上Lをこす場合であって，このときには図−2の関係から，降雨のピークをはさんで平均降雨を求め，斜面を一様な巾と仮定したときの特性曲線がちょうど図−2の関係になるような $t-\tau$ の値を試算的に求めれば，最大流出量が容易に計算できる。

3 由良川流域への適用

以上の方法を実河川へ適用するに当って，まず流域を一つの斜面に置換しなければならない。置換の方法はいろいろと考えられるが，その詳細は講演に述べる。計算結果と実測値とを比較したものが図−3であり，両者はかなりよく一致している。したがって，最大洪水流量に及ぼす地形の効果は，Kの値と，流域斜面のうちどれだけの面積が直接関与するかによって示されるといってよいだろう。



図−3

本研究は総合研究「道路排水に関する基礎的研究」の分担研究の一部である。また御指導を賜った京大，石原藤次郎教授に深謝の意を表するものである。