

広島大学工学部 正員 工博 金丸 昭治

" " 工修 三島 隆明

広島大学大学院 学生員 ○日野 勝

治水, 利水の両面からみても雨水流出現象に与える流域特性の影響を具体的に把握することが肝要であるが, 任意の形で供給される降雨によって発生する河川流量は降雨分布の影響をうけるので, それらの記録から流域特性を抽出することは極めて困難であり, 従来から単位図の形や計算上の係数によってそれを表現する努力が続けられてきたが, 未だ的確な成果が得られていない。流域特性の把握に重点をおくならば, 降雨終了後の流出が降雨の影響を直接にはうけないという理由から, 降雨終了後の流出を対象とした解析がより効果的である。この研究は, 流域特性の具体的な評価方法を見出すことを目的として, 降雨終了後の雨水流出機構の解明に着手したわけであるが, 現象の複雑さに加えて流域の不規則性を考慮すると, その機構を解析的に表現することが困難であり, したがって平均値的取り扱いによる近似を試みた場合の成果の一部を示すことにする。

降雨終了後の実河川流量の変化は流域の地形および地質構造の場所的变化の影響をうけて平均化された形で表われるものと考えられる。したがって, 実用的な面からすると, 最終的には流出場の変化, 即ち流出型態の変化に応じた流動式を統一的に把握し解析することが必要となるが, わが国の地形を考えると, 一般に流域の大半は山地を成しているのて, ひとまず, 山地流域を典型対象とする。そこで山地において発生する流出型態を考えてみると, 代表的な流出型態としては, 図1～図4に示されるような4種類の流出型態が想定されよう。すなわち, 図1 (流出型態I) のような型態は樹木, 下草などによって形成される, いわゆる枯葉堆積層の良く発達した斜面においてみこる型態であり, 図2 (流出型態II) のような型態は風化の進んだ斜面においてみこる型態である。さらに図3 (流出型態III) のような型態は比較的風化の浅い斜面あるいは比較的上流部の斜面においてみこる型態であり, また図4 (流出型態IV) のような型態は露岩斜面あるいは崩壊付近等においてみこる型態であると考えられよう。そこで, これらの各流出型態について降雨終了後の流出方程式について考察し, さらに流出現象を総括的に取り扱う方法について検討した結果について述べる。

まず, ある範囲の斜面内外の雨水流動に対して平均操作, 流れ方向の拡散効果 (たとえば拡散係数

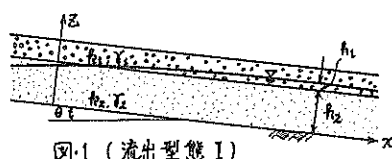


図1 (流出型態I)



図2 (流出型態II)



図3 (流出型態III)

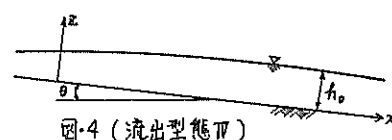


図4 (流出型態IV)

2) を考慮すると、質量保存の関係から移流型拡散方程式に近い連続条件式が得られることがわっているが、先に示した各流出現態に対応するこれらの式に、流動方程式として、表面流動に対して、Chezy の流速公式、層内流動に対して Darcy の法則が適用できるものとして代入し、微小項を省略した近似式をつくらとそれぞれつぎのようになる。ただし、 h は水深、 t は時間、 K は透水係数、 θ は斜面傾斜角、 γ は空隙率、 x は流れ方向の距離、 U は平均流速であり、suffix 0 は表面流、1 は上層、2 は下層の諸量とあらわす。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{h \sin \theta}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial x} = \left\{ \left(\gamma + \frac{h \cos \theta}{\gamma} K_2 \right) + \frac{K_1 \cos \theta}{\gamma} h_1 \right\} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad \text{--- (1-1)}, \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{h \sin \theta}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial x} = \left(\gamma + \frac{h \cos \theta}{\gamma} K_1 \right) \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad \text{--- (1-2)}$$

$$\frac{\partial h_0}{\partial t} + \frac{3}{2} U_0 \frac{\partial h_0}{\partial x} = \left(\gamma + K_1 \cos \theta h_1 \right) \frac{\partial^2 h_0}{\partial x^2} \quad \text{--- (1-3)}, \quad \frac{\partial h_0}{\partial t} + \frac{3}{2} U_0 \frac{\partial h_0}{\partial x} = \gamma \frac{\partial^2 h_0}{\partial x^2} \quad \text{--- (1-4)}$$

したがって、単独型態斜面からの流出については、上式のいずれかを解けばよいわけであるが、前述のように一般の斜面からの流出は (1-1) ~ (1-4) 式の混合型となり、たとえば、 $\frac{h \sin \theta}{\gamma}$ あるいは $\frac{3}{2} U_0$ の代表値と $A = \text{const.}$ とおき、 $\left\{ \left(\gamma + \frac{h \cos \theta}{\gamma} K_2 \right) + \frac{K_1 \cos \theta}{\gamma} h_1 \right\}$, $\left(\gamma + \frac{h \cos \theta}{\gamma} K_1 \right)$, $\left(\gamma + K_1 \cos \theta h_1 \right)$ あるいは γ の代表値と $B = \text{const.}$ とおき、また水深の代表値と h とおける範囲の現象を扱うことにすれば、(1-1) ~ (1-4) 式は、すべてつぎのような (2-1) 式で表わされ、さらに $X = x - At$, $T = t$ なる変数変換を行なえば、一般斜面からの総括的な流出方程式の近似式としては、(2-2) 式のような熱伝導方程式と解けばよいことになる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + A \frac{\partial h}{\partial x} = B \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad \text{--- (2-1)}, \quad \frac{\partial h}{\partial T} = B \frac{\partial^2 h}{\partial X^2} \quad \text{--- (2-2)}$$

この (2-2) 式と $h(0, X) = \varphi(X)$, $h(T, 0) = \psi(T)$ として解いた解は、

$$h(X, T) = \frac{1}{2\sqrt{B\pi T}} \left[\varphi(\xi) \left(e^{-\frac{(\xi-T)^2}{4BT}} - e^{-\frac{(\xi+T)^2}{4BT}} \right) \right] d\xi + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{X}{2\sqrt{BT}}} \psi\left(T - \frac{X^2}{4B\eta^2}\right) \cdot e^{-\eta^2} d\eta, \quad (X > 0) \quad \text{--- (3-1)}$$

$$h(X, T) = \frac{1}{2\sqrt{B\pi T}} \left[\varphi(\xi) \left(e^{-\frac{(\xi-T)^2}{4BT}} - e^{-\frac{(\xi+T)^2}{4BT}} \right) \right] d\xi - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{X}{2\sqrt{BT}}}^{\infty} \psi\left(T - \frac{X^2}{4B\eta^2}\right) \cdot e^{-\eta^2} d\eta, \quad (X < 0) \quad \text{--- (3-2)}$$

のようになる。

$\varphi(X)$ は、結局は $t = 0$ における x 方向の水深分布であるから初期条件として与えられるべきものである。 $\psi(T)$ は $X = 0$, つまり $x = At$ における水深を示すわけであり、上下流端における水深の時間的な変化などの境界条件と与えることによって定められるべき関数である。これらの関数形としてどのようなものが適当であるかは慎重に決定すべきであり、とくに $\psi(T)$ は、 $x \sim x$ 平面では特殊な位置における水深であり、簡単に与えることはできないが、屋内実験等を通じて検討中であり、その成果については講演時に述べる予定である。

現段階で (3-1), (3-2) 式に基づいて、流量変化と推定する範囲では、流量変化としては、時間的に指数関数の級数として表わせるようである。このことは従来、比較的大きな流域からの流出変化の観測結果が、近似的に指数関数的に変化しているという事実と一致するものであり、以上のような取り扱いが流域からの総括的な流出変化を解析する方法として、妥当であることと示すものと考えられる。