

名古屋大学 学生員 松林 宇一郎
名古屋大学 正 員 高木 不折

1 まえがき 本報告は、山地流域を1つの斜面で代表させ、傾斜透水層の飽和浸透流モデルにより、流出の低減特性を数値解析的に検討したものである。とくに、従来あまり注意の払われなかった、低減初期の特性について考察した。また実測値を用いた検討も行なった。

2 解析モデル 対象としたモデルは、図-1に示す、一定勾配 i の透水層で、飽和浸透流として扱う。図中の記号は、 γ :有効間隙率、 h :水深、 k :透水係数、 r :A層への有効降雨強度又は、地下水帯への水供給強度、 q :流出量である。境界条件として、上流端で不透水、下流端で一定水位を与え、降雨条件は強度 r 、継続時間 t_r とする。ここで問題を一般的に扱うため、透水層特性・降雨特性をもとに無次元化すると基礎式は(1)式となる。

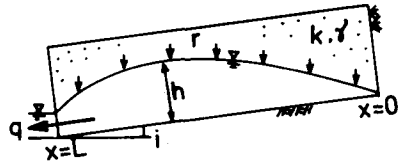


図-1 透水層モデル

$$\frac{\partial h'}{\partial t'} + \alpha \frac{\partial}{\partial x'} \left\{ h' \left(1 - \beta \frac{\partial h'}{\partial x'} \right) \right\} - 1 = 0, \quad \alpha = \frac{k i t_r}{\gamma L}, \quad \beta = \frac{r t_r}{\gamma L i} \quad (1)$$

ここで、 t' , x' , h' は、それぞれ、 t , x , h の無次元量であり、 $t' = t/t_r$, $x' = x/L$, $h' = h/r t_r / \gamma$ の関係がある。 α, β は現象を支配する無次元パラメータであり、今回は、実際の流出に見られる指数低減性を考慮して、 $2^{-6} < \alpha < 2^{-2}$, $2^{-6} < \beta < 2^{-3}$ の範囲の (α, β) について数値計算を行なった。

3 数値解析の結果 低減特性の解析には、斜面下流端からの流出量 $q(t)$ から

$$q(t) = \left[-k h \frac{\partial (h+x)}{\partial x} \right]_{x=L} = r L \left[\alpha h' \left(1 - \beta \frac{\partial h'}{\partial x'} \right) \right]_{x=1} = r L q'(t) \quad (2)$$

として表わされる無次元ハイドログラフ $q'(t)$ を用いた。すなわちピークから無次元時刻 t' におけるハイドログラフの接線の傾きとして無次元低減係数 $\lambda_{t'}$ を求め低減特性を解析した。

(i) 総降雨量一定の場合の低減特性(低減後期)

α, β の定義より、ある斜面(γ, L, i, k ;一定)について考えると、総降雨量 $r t_r$ 一定という条件は、 β 一定を意味している。図-2は、この β をパラメータとして α と $\lambda_{t'}$ の関係をプロットしたものである。ここで、低減係数を求めた時点の無次元時刻 t' は実時間で一致するように、 $\alpha = 2^{-1}, 2^{-2}, \dots, 2^{-6}$ に対し、 $t' = 2, 4, \dots, 64$ とした。これらは低減の後期に相当している。この図から、各 β について $\alpha, \lambda_{t'}$ は両対数紙上45°の直線にのることがわかる。すなわち、 $\lambda_{t'} = \lambda'_i \alpha$ (3)の関係がある。一方、実物の低減係数 $\lambda_{t'}$ と $\lambda_{t'}$ との関係から、 $\lambda_{t'} = \lambda_{t'}/t_r = \lambda'_i \alpha/t_r = \lambda'_i (k i / \gamma L)$ (4)が導かれ、これから $\lambda_{t'}$ は、総降雨量一定という条件のもとでは降雨の形と無関係に決まることがわかる。図-2で見るように、(3)式の λ'_i が β によって異なることは、無次元で共通に与えた境界水深 h が次元をもつ h では異なるためと考えられる。

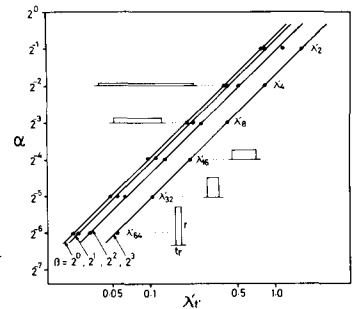


図-2 α - $\lambda_{t'}$ 関係

(ii) $\alpha\beta$ が一定の場合の低減特性(低減初期)

基礎式(1)を展開した式

$$\frac{\partial h'}{\partial t'} + \alpha \frac{\partial h'}{\partial x'} - \alpha \beta \left\{ \left(\frac{\partial h'}{\partial x'} \right)^2 + h' \frac{\partial^2 h'}{\partial x'^2} \right\} - 1 = 0 \quad (1')$$

において、本研究で対象としている $\alpha < \beta$ という領域では図-3に示す、(1')式各項の分布からわかるよう

に、第2項(iによる移流項)が第3項(水深勾配による移流項・拡散項)より小さくなる場合が生ずる。この様な場合には、現象が $\alpha\beta$ という1つのパラメータによって決定される。このことは、斜面勾配*i*が無視できることを意味するが、事実 $\alpha\beta = krt/r^2/(rL)^2$ には、*i*が含まれていない。図-4は、 $\alpha\beta$ が共通な幾つかの(α, β)の組について、それらの無次元ハイドログラフを示したものであるが、とくに低減の前半でよく一致し、現象が $\alpha\beta$ に支配されていることを表している。低減の後期で一致しなくなるのは、図-3の $t \geq 10$ に見られるように、 α^{2h}/x' の項が無視し得なくなるためである。この部分には、(i)の議論が適用される。ところで、上述したように、 $\alpha\beta$ に支配される低減初期の現象は無次元で一致するが、次元をもつハイドログラフに直すとそれぞれ異なる。図-5は図-4のハイドログラフを実時間で一致し、かつvolume的にも実物で正しくなるように描き直し、重ね合わせたものである。これについて、従来、低減初期の地下水流出は、いくつかのハイドログラフの包絡線で与えられる標準指数低減曲線などによって分離されてきたが、図-5はたとえ1つの斜層からの流出低減部であっても、単に1本の標準低減曲線ではなく、低減の初期にはより大きな減衰率を示す成分も含まれていることを示している。

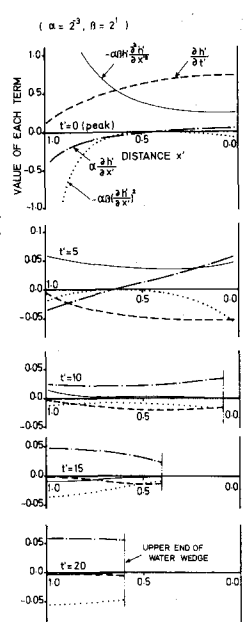


図-3 基礎式各項の分布変化

図-4 $\alpha\beta$ = 一定の無次元ハイドログラフ

図-6は $\alpha\beta$ と λt をいくつかの(α, β)についてプロットしたものであるが、 $\alpha \ll \beta$ かつ $\alpha\beta$ が大きい場合、(1)式左辺第3項が卓越する場合には、 λ_2 は $\alpha\beta$ で一義的に定まることがわかる。この関係は実測値との比較に用いた。

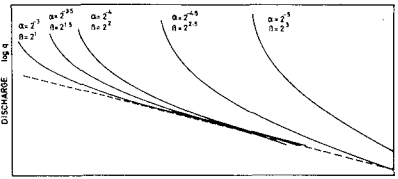


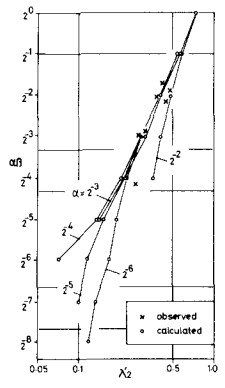
図-5 $\alpha\beta$ = 一定、実スケールでのハイドログラフ

4. 実測ハイドログラフによる検討

実測のハイドログラフから長期にわたる低減部を取り出すことは困難であり、ほとんどが数日程度の低減である。一方、あまり短い低減では表面流出を含んでしまう可能性があり好ましくない。そこで、ここではピークから4日目のハイドログラフの傾きから低減係数を求め(ii)の低減特性について検討を加えた。用いたデータは長良川洞戸流域(311 km²)昭.37-40のものである。

まず、対象とする洪水に対する降雨を矩形で近似し、 r, tr を求める。次に λ_4 から $\lambda t = \lambda_4 tr$ によって無次元低減係数 λt を求める。

ところで、 $\log \alpha\beta = \log r tr^2 + \log k/(rL)^2$ より、 $\alpha\beta - \lambda t$ のグラフは、片対数紙上では、 $r tr^2 - \lambda t$ のグラフを $\log k/(rL)^2$ だけずらすことによって得られる。図-6 $\alpha\beta - \lambda t$ 関係
図-6中のX印は、こうして実測値から得られる $r tr^2 - \lambda t$ を重ねてプロットしたものであり、その分布傾向は数値解析結果によく一致している。このことは実際の流出においても、ピーク後数日で地下水流出が卓越し、その低減特性と降雨特性とは数値解析で得られた関係と同一構造をもつことを示すものである。



5. あとがき
本研究の結果、とくに低減初期の特性について得られた関係は、地下水流出の役割りをより大きく評価する必要があることを示し、流出成分の分離に対しても新たな可能性を示唆している。また、低減後期の特性は、総降雨量一定という条件のもとでは、流域特性のみによって決まることになる。