

山地小流域における出水特性の研究 (1)

— 流量 いて 減 部 の 特 性 —

九州大学工学部 小 川 滋

1. はじめに

山地小流域における流出現象は、複雑な山地をいかに水理モデルに組み入れるかという問題であろうが、現実の現象との対比においてモデル化を進め、山地の特性を知るといった方法は、実験的な解析モデルとは異なり、きわめて応用範囲の広いものとなると考える。出水現象がかなり平均化されていると考えられる流量 いて 減 部 において、中間流出のモデルを適用し、山地あるいは流出の特性値を求め、総合的な流出解析へと進むわけであるが、ここでは石原(藤)、高掉らりの現在最も進んだ、流量 いて 減 部の特性モデルについて検討を加えてみたい。

2. 中間流出期 (流量 いて 減 部) のモデル

石原(藤)、高掉らは以下のようにモデル化している。図-1のように流域をモデル化し、中間流出の発生場

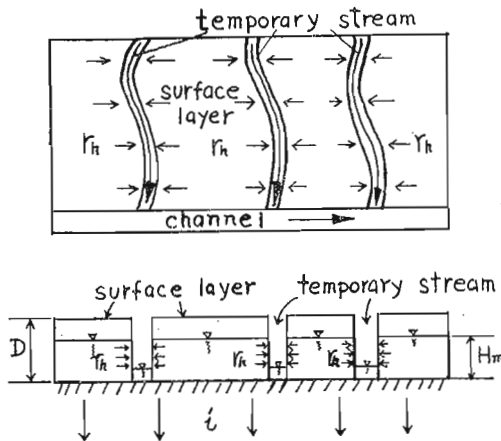


図-1 中間流出モデル

面積 F について(1)式、表層内貯留 S について連続条件を(2)式として、これより中間流出流量 Q_2 を導く。

$$F = \alpha H_m = \beta S \quad (1)$$

ここに、 $S = \gamma A (1 - \delta) H_m$ 、 A : 流域面積、 γ : 表層有効孔隙率、 $\delta = Ad/E$ 、 Ad : 水みち面積、 δ : 水

みち面積比、 α 、 β : 流域固有定数、 H_m : 表層内貯留水深

$$dS/dt = -r_h F - A(1 - \delta)i \quad (2)$$

ここに、 r_h : 表層からの水みち側面単位面積当りの浸出強度、 i : 表層より下層への浸透能。

r_h は表層特性、 β 、 δ を定数とし、 i を最終浸透能 i_c とすれば、(1)、(2)式より(3)をうる。

$$S = \{ S(t_0) + A(1 - \delta)i_c / \beta r_h \} e^{-\beta r_h (t - t_0)} - A(1 - \delta)i_c / \beta r_h \quad (3)$$

t_0 は中間流出期間中の任意時刻である。

観測点における流量 いて 減 部の Q_2 は、水みち流下時間内における F の平均 F_m をもちいて、

$$Q_2 = r_h F_m - A \delta i_c \quad (4)$$

$$F_m = \beta S_m \quad (5)$$

S_m は、流下時間内における平均表層貯留量であり、 $(t - \tau)$ を水みち流下時間の流域代表値として、

$$S_m = \int_{\tau}^t S ds / (t - \tau) \quad (6)$$

(3)、(6)式より

$$S_m = \frac{1}{\beta r_h} \{ S(t_1) + A(1 - \delta)i_c / \beta r_h \} \times \left(\frac{e^{\beta r_h (t - \tau)} - 1}{t - \tau} \right) e^{-\beta r_h (t - t_1)} - A(1 - \delta)i_c / \beta r_h \quad (7)$$

ここで t_1 は表面流出が終って中間流出が卓越する時刻である。

それ故 Q_2 は、(4)、(5)、(7)式より

$$Q_2 = \{ S(t_1) + A(1 - \delta)i_c / \beta r_h \} \times \left(\frac{e^{\beta r_h (t - \tau)} - 1}{t - \tau} \right) e^{-\beta r_h (t - t_1)} - (1 - \delta + \beta r_h \delta) A i_c \quad (8)$$

ここで、表層内の貯留水深 I の地域的分布を無視しているが、 $\{ e^{\beta r_h (t - \tau)} - 1 \} / (t - \tau)$ を一定と考え βr_h を一定値とすると、 $(1 - \delta + \beta r_h \delta) \approx 1$ として、

$$Q_2 = K e^{-\beta r_h (t - t_1)} - A i_c \quad (8) \quad K: \text{定数}$$

となり、てい 減 線は指数関数的減少と考えることができる。

さらに、 βr_h については、(1)式より

$$\beta = F/A\gamma(1-\delta)Hm \quad \text{--- (9)}$$

F は水みちの平均流下長 Ld に水みち数 N をかけた水みち総延長の2倍に Hm を乗じて、

$$F = 2 \cdot Ld \cdot N \cdot Hm \quad \text{--- (10)}$$

$$\beta = 2 \cdot Ld \cdot N / A\gamma(1-\delta) \quad \text{--- (11)}$$

つぎに流域全体の平面的な平均流出強度 \bar{r}_h は、

$$\bar{r}_h = Fr_h/A \quad \text{--- (12)}$$

(12)式と(10)により

$$\beta r_h = r_h / (1-\delta)\gamma Hm \quad \text{--- (13)}$$

(14)式より \bar{r}_h は表層の透水性によって決まり、ほぼ一定であると考えられ $\bar{r}_h/Hm = \text{一定}$ の関係が得られ Hm が最大値 D のとき \bar{r}_h は最大値 r_a となり

$$\bar{r}_h/Hm = r_a/D \quad \text{--- (14)}$$

(13)、(14)式より中間流出期のてい減指数 λ_2 は

$$\lambda_2 = \beta r_h = r_a / (1-\delta)\gamma D \quad \text{--- (15)}$$

また、中間流出が終り地下水流出が卓越し始める時刻 t_2 で $S=0$ として、表面流出が終る時刻 t_1 で表層は飽和されているとすれば、(3)式で、 $t_0=t_1$ 、 $t=t_2$ 、 $S(t_2)=0$ 、 $S(t_1)/A = \gamma D$ 、 $\delta \doteq 0$ として、

$$\gamma D = \{e^{2\lambda_2 t_1} - 1\} i_c / \lambda_2 \quad \text{--- (16)}$$

γD がもとめられると、(15)式より

$$r_a = (1-\delta)\lambda_2 \gamma D \quad \text{--- (17)}$$

これらにより、出水特性値を順次求めることができる。

3. 適用と考察

このモデルを、岡山県竜の口山森林理水試験地南谷の出水資料(期間1937~1957年)のうち、19資料に適用し、検討をおこなった。

中間流出流量は、地下水流出流量を(18)式で算定し、単純に逆延長して分離して求めた。

$$Q_3 = Q_{03} e^{-\lambda_3 t} \quad \text{--- (18)}$$

ここに、 Q_{03} は地下水流出の初期流量、 t は時間、 λ_3 は、地下水流出のてい減係数である。 λ_3 は、0.017~0.011 (1/hr) が得られ、季節的变化が認められた。さらに、小流域で絶対流量も小さいことから、分離の際には各出水の λ_3 を用いた。

さて、中間流出のてい減指数 λ_2 は、0.07~0.09 (1

/hr) の値となった。片対数紙上でのプロット点は、かなり直線性がよく、指数関数的減少を裏付けたものと考えられたが、平均雨量との正相関が考えられ、現象の問題として降雨によって表層付近の条件が平均化されていないのではないかということ、表面流と中間流の混在を、まだモデルに組み込んでいないということ、地下水流出の分離が十分でないことなどが考えられるので、今後資料をふやして整理検討を行なう予定である。

つぎに、平均化された(モデル化された)表層付近の特性値を求めるために、(9)式の水理の意味として Q_2 が Ai_c 付近で急減することに着目して、 i_c を推定したが、急減点は、ほぼ $1 \sim 2$ l/sec 附近であり、 $i_c = 0.02 \sim 0.03$ mm/hr と推算され、(10)式で、 $\gamma D = 10$ mm となった。 i_c については、普通、山地の森林土壌が発達しているところでの値とは、極度にかけ離れており、また大流域で平均的に、総雨量—総損失雨量より、Horton の浸透能方程式を適用して求められる値より1オーダー低い値となっている。これは、中間流出期での下層への浸透は、最終浸透能として与えられるものではないのではなからうかということを示唆している。これについては、現在、流域の大小問題とも考え合せて検討中である。

しかしながら、現在のところ、このモデルによって考えられることは、中間流出期における小流域での現象は、かなり表層流的な傾向をもつようであり、とくに、降雨量が大きいときに λ_2 が大きいということは、それを示すものではないかと推察される。

また、全貯留量の平均量を平均化して流域全体にばらまくといった近似をどこまで解析的につめることができるかどうかということ、水みち面積比の評価の問題とも考え合せて問題点を整理する予定である。

参考文献

- 1) 石原(藤)、石原(安)、高埜、頼：由良川の出水特性に関する研究、京大防災研年報 第5号A、S.37.3