

中間流・地表面流への集水効果

京都大学工学部 正 員 高 棹 琢馬
 京都大学工学部 正 員 つ 椎 葉 亮 晴
 京都大学工学部 学生員 長 野 哲 司

§1. 概 要

石原・高棹(1959, 1962 etc.)の中間流・地表面流理論は, "Variable Source Area Concept" を説明し得る理論の1つであるが, 矩形平面でモデル化される一様な山腹斜面での表面流生起場の変動を対象とするにとどまっている。本研究では, "地形パターン関数"を導入した kinematic wave モデルを提示し, その特殊な場合として, 収束または発散する円錐面上での中間流・地表面流の計算例を示す。

§2. "地形パターン関数"を導入した kinematic wave モデル

"地形パターン関数" $p(y)$ を導入した kinematic wave モデルとは, 次のような方程式系で記述されるモデルをいうものとする。

$$\partial S / \partial t + \partial w / \partial y = p(y) r(t) \quad (1)$$

$$w = p(y) f(S/p(y)) \quad (2)$$

$$y=0 \text{ で } w=S=0 \quad (3)$$

$$Q(t) = w(1, t) \quad (4)$$

ただし, y は $0 \leq y \leq 1$ なる無次元化された距離, t は時刻, $r(t)$ は(有効)降雨強度, $w(y, t)$, $S(y, t)$ は"流量", "流積", 関数 f は流量一流積関係式, $Q(t)$ は流出量である。この方程式系は, 次のような One-step の Lax-Wendroff スキームで解ける。

《差分スキームの概要》 y 軸上に等間隔に設けた節点を $y_0, y_1, \dots, y_N$ ($y_j = j \Delta y$, $\Delta y = 1/N$) とする。 $S(y_j, t_i)$, $w(y_j, t_i)$, $p(y_j)$ をそれぞれ S_j^i , w_j^i , p_j とかく。微小時間 Δt 後の節点 y_j における流積 $S(y_j, t_i + \Delta t)$ は, $j=1, 2, \dots, N-1$ のとき,

$$S(y_j, t_i + \Delta t) = S_j^i + \Delta t \left[-0.5(w_{j+1}^i - w_j^i) / \Delta y - p_j r(t_i) \right] + 0.5 \Delta t^2 \left[f \left(\frac{S_j^i + S_{j+1}^i}{p_j + p_{j+1}} \right) \right. \\ \left. \times \left\{ \frac{p_j + p_{j+1}}{2 \Delta y} r(t_i) - \frac{w_{j+1}^i - w_j^i}{\Delta y^2} \right\} - f \left(\frac{S_j^i + S_{j-1}^i}{p_j + p_{j-1}} \right) \left\{ \frac{p_j + p_{j-1}}{2 \Delta y} r(t_i) - \frac{w_j^i - w_{j-1}^i}{\Delta y^2} \right\} + p_j r(t_i) \right] \quad (5)$$

として求める。 $j=0$ のときは境界条件 $w=0$, $j=N$ のときは1次の後退差分近似を用いる。差分時間間隔 Δt は, 安定性条件 $\Delta t \leq \Delta y / C_f$ (C_f は節点 y_j での特性曲線の伝播速度) を満たすようにとる。

§3. 収束または発散する円錐面上の中間流・地表面流

金丸(1961)は, Fig.1 のような収束または発散する円錐面上の表面流を考え, 連続式

$$\partial h / \partial t + \frac{1}{b(x)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \{ u h b(x) \} = r(t) \quad (6)$$

を与えている。ここに, h は鉛直方向水深, u は流下方向の平均流速, $b(x)$ は位置 x での

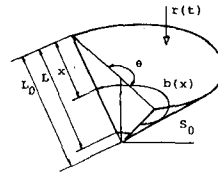
流域幅であり、円錐面では x の1次式である。

これと、高樺ら(1976)の中間流・地表面流系
の流量-流積関係式とを用いると、適当な変数
変換の後、次のような方程式系を得る。

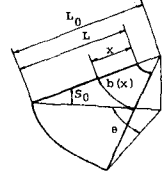
$$\partial s / \partial t + \partial w / \partial x = p(y) r(t) \quad (7)$$

$$w = p(y) f(s / p(y)) \quad (8)$$

$$Q_R(t) = w(s, t) \quad (9)$$



(a) Converging section



(b) Diverging section

Fig. 1. Watershed surface models.

ただし、 $Q_R(t)$ は流出高であり、“地形パターン関数” $p(y)$ は、

$$p(y) = 2(1-p_0)y + p_0 \quad (10)$$

よりえられ、パラメタ p_0 が $p_0 > 1$ のとき収束する円錐面を、 $p_0 < 1$
のとき発散する円錐面を表わす。また、(8)式中の関数 f は、

$$\begin{aligned} 0 \leq s \leq D \text{ のとき } f(s) &= ks \\ s \geq D \text{ のとき } f(s) &= ks + \alpha(s-D)^m \end{aligned} \quad (11)$$

とする。ただし、 $D > 0$ はみかけのA層厚、 $k > 0$ は中間流流速を反
映する定数、 $\alpha > 0$ 、 $m > 1$ は表面流のkinematic定数である。

(7)~(9)式は、§2で述べた方程式系と同型であるので、そこ
で述べた数値解法が適用される。計算例として、 $D=100 \text{ mm}$ 、 $K=$
 0.5 hr^{-1} 、 $\alpha=0.5 \text{ mm}^{-2/3} \text{ hr}^{-1}$ 、 $m=5/3$ 、 $p_0=1.5$ を標準値とし、各パラ
メタを変化させたときの流出高の変化をFig. 2~4に示す。た
だし、入力降雨は、継続時間が10時間、ピーク強度が 20 mm/hr である
二等辺三角形分布のものを用いた。この計算例の意味するとこ
ろについては講演時に述べる。

§4. あとがき

“地形パターン関数” $p(y)$ を導入したkinematic waveモデ
ルを入出力系モデルとしてみると、 $p(y)$ は必ずしも1次式であ
る必要はなく、かなり広範囲の応答系モデルとして用いられる。
実際、河道網系の総合的表現としても用いることができる⁵⁾。

参考文献

- 1) 石原高樺(1959)単位図法とその適用に関する基礎的研究。土木学会論文集第60号。
- 2) 石原高樺(1962)中間流出現象とそれらが流出過程に及ぼす影響について。土木学会論文集第79号。
- 3) 金丸(1960)流出を計算する場合の山腹斜面の単純化について。土木学会論文集第73号。
- 4) 高樺・椎葉・北村(1976)分布型モデルによる流出のシミュレーションおよび流域の集中化モデル。土木学会年講概要。
- 5) 高樺・椎葉(1981) Kinematic wave法への集水効果の導入。京大防災研究所年報(投稿中)

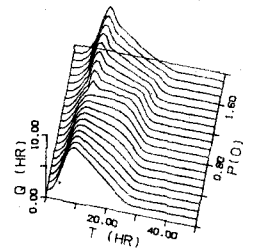


Fig. 2. Changes in the runoff height when parameter p_0 varies.

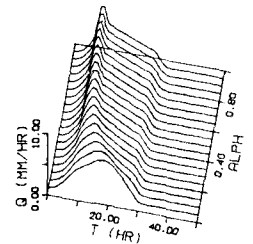


Fig. 3. Changes in the runoff height when parameter α varies.

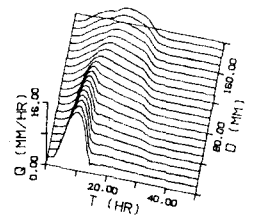


Fig. 4. Changes in the runoff height when parameter D varies.