

京都大学工学部

学生員 ○ 村田康明

京都大学大学院 工学研究科

正員 市川 温

京都大学大学院 工学研究科

正員 椎葉充晴

1 はじめに 椎葉ら[1]は、従来の中間流・表面流統合型 kinematic wave モデルに圃場容水量の概念を導入することによって、洪水時を対象とするだけでなく、低水時の流出計算も可能とする流出モデルを構築した。しかし、この分布型流出モデルは、計算に非常に多大な時間を要するという問題点があり、最終的な目的である河川流域全体の長期的な流況評価には至っていないのが実状である。そこで本研究では、実際の流出現象をより反映し、かつ実用に耐えうる流出モデルを構築すべく、市川ら[2]が展開した集中化手法を用いて、圃場容水量を考慮した表面流・中間流統合型 kinematic wave モデルの流量流積関係式を集中化する。

2 集中化手法

2.1 集中化の基本的な考え方 集中化手法の基本的な考え方は、市川ら[2][3]と同様である。すなわち、対象とする山腹斜面系を、矩形の斜面素片の集合体としてモデル化し、その数値地形モデルから得られる地形量を用いて、流量及び通水断面積の空間分布を定常状態のそれで近似する。次に通水断面積を空間的に積分することにより、対象とする山腹斜面系における貯留量を求め、貯留量と流出量の集中化された関係を離散的に求める。離散値の間は、線形補間で内挿する。そしてこの離散的な貯留量-流出量関係と連続式を組み合わせることで流出計算を行なう。

2.2 貯留量の算出 流量流積関係式が次式で与えられているとする。

$$q(x, t) = g(h(x, t)), \quad h(x, t) = f(q(x, t)) \quad (1)$$

ただし、 $q(x, t)$:単位幅流量、 $h(x, t)$:水量である。このとき山腹斜面系の斜面素片 i の貯留量 s_i は次式で表される。

$$s_i = \bar{w}/\bar{r} \int_{q(0)}^{q(L)} f(q) dq = \bar{w}/\bar{r} [F(q(L)) - F(q(0))] \quad (2)$$

ここで $dF/dq = f$ である。図2は f, g, F の関係を表している。 $f(q)$ が q で陽に表され、かつ解析的に積分

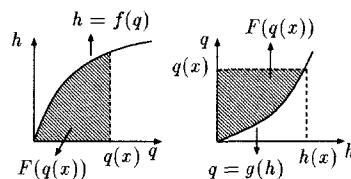


図1 f, g, F の関係

可能であれば F は容易に計算できるが、一般には流量が水量の関数として与えられていることが多いため、 F も $f(q)$ を解析的に積分して求めることができない。そこで、 $F(q(x))$ を次のようにして計算する。

$$F(q(x)) = q(x)h(x) - \int_0^{h(x)} g(h)dh \quad (3)$$

斜面素片 i の貯留量 s_i は以下の手順で求める。

1. ある降水強度 $\bar{r}$ を仮定し、斜面素片上流端及び下流端の単位幅流量 $q(0), q(L)$ を計算する。
2. 式(1)を用いて $q(0), q(L)$ に対応する水量 $h(0), h(L)$ を数值的に計算する
3. 式(3)を用いて $F(q(0)), F(q(L))$ を求める。
4. 式(2)を用いて s_i を求める。

このとき対象とする山腹斜面系全体の貯留量 S と斜面系からの流出量 O は次式で表される。

$$S = \sum_{i=1}^n s_i, \quad O = \bar{r} \sum_{i=1}^n A_i \quad (4)$$

ただし、 n :斜面素片数、 A_i :斜面素片 i の面積である。この手順を降水強度 $\bar{r}$ を変えて繰り返し、様々な降水強度に対応する S と O の関係を求め、その S と O の離散的な関係を運動方程式として流出計算を行なう。離散値の間は線形補間で内挿する。

2.3 圃場容水量を考慮した流量流積関係式の集中化 圃場容水量を導入した表面流・中間流統合型 kinematic wave モデルの連続式と流量流積関係式は以下の式で表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad (5)$$

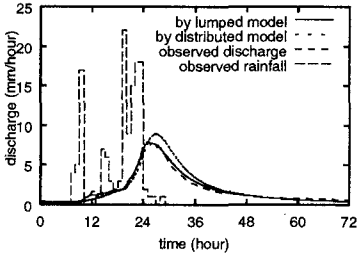


図2 大戸川流域の計算流量と観測流量

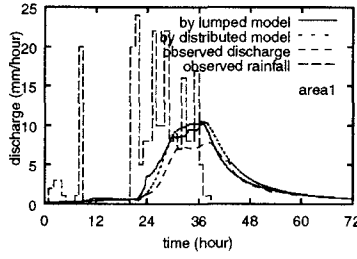


図3 桂川流域の計算流量と観測流量 (area1)

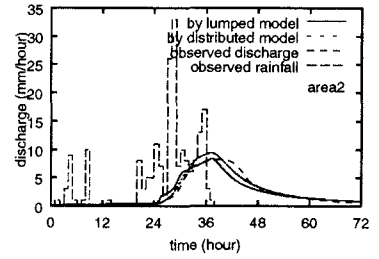


図4 桂川流域の計算流量と観測流量 (area2)

$$q = \begin{cases} ah_f & (0 \leq h_f < d) \\ \alpha(h_f - d)^m + ah_f & (h_f \geq d) \end{cases} \quad (6)$$

$$h = \begin{cases} h_f + h_c \left\{ 1 - \left(\frac{d-h_f}{d} \right)^N \right\}^{1/N} & (0 \leq h_f < d) \\ h_f + h_c & (h_f \geq d) \end{cases} \quad (7)$$

ただし、 h_f :自由水分量 [m], $\alpha = \sqrt{\sin \theta}/n$, m :流量流積パラメータ $[-] (> 1)$, $a (= k \sin \theta / \gamma)$:地中水実質流速 [m/sec], γ :A層空隙率 $[-]$, d :A層の空隙部分の深さ [m], D :A層厚 [m], γ_e :有効空隙率 $[-]$, γ_c :圃場容水量 $[-]$, N :パラメータ $[-] (> 1)$ である。ここで $\gamma_e = \gamma - \gamma_c$, $d = \gamma_e D$, $h_c = \gamma_c D$ である。

式(6),(7)で与えられる流量流積関係式から式(3)の $F(q(x))$ を計算する。式(3)の右辺第2項は、変数を変換して、 $\int_0^{h_f(x)} g(h_f) \cdot \frac{dh_f}{dh_f} \cdot dh_f$ と書くことができる。この項をA層が不飽和の場合と飽和の場合で区別して計算し、 $F(q(x))$ を求めると以下の式を得る。

(i) 不飽和の場合 ($0 \leq h_f < d$)

$$F(q(x)) = \frac{1}{2}ah_f^2 + ah_c \frac{d}{N} \cdot B_{1-c^N} \left(\frac{1}{N} + 1, \frac{1}{N} \right) \quad (8)$$

(ii) 飽和の場合 ($h_f \geq d$)

$$\begin{aligned} F(q(x)) &= q(h_f(x) + h_c) - adh_c \\ &\quad + ah_c \frac{d}{N} \cdot B \left(\frac{1}{N} + 1, \frac{1}{N} \right) \\ &\quad - \frac{\alpha}{m+1} (h_f(x) - d)^{m+1} - \frac{1}{2}ah_f(x)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

以降2.2で示した手法により S と O の関係を求めていく。

3 適用と考察 集中型モデルを大戸川流域に適用した結果を図2に示す。使用した降水量および流量データは、1990年9月19日から21日にかけて得られたものである。図2をみると、両モデルの計算流量と観測流量は、ピーク時に若干の差は認められるもの

の、全体的にはよく一致している。また、低水時には圃場容水量の効果もよく表れている。

図3集中型モデルを桂川流域に適用した結果を示したものである。計算は世木ダムより上流の流域 (278.43km^2)(area1)と亀岡地点から世木ダムまでの流域 (431.79km^2)(area2)に分けて行なった。計算期間は1989年9月2日から5日である。図3のarea1のグラフをみると、両モデルの計算流量は降雨開始から降雨終了時にかけてはやや差が認められるが、おおむね一致しているといえよう。特に低水時ではよく一致している。しかしピーク時における両モデルの計算流量は観測流量に比べ過大になっている。area2では集中型モデル、分布型モデルともに計算流量はarea1に比べてピーク時にも観測流量に近い結果が得られた。

4 結論 本研究では、圃場容水量を考慮した表面流・中間流統合型 kinematic wave モデルを集中化する手法を展開し、新たな集中型モデルを構築した。今後の課題としては、より忠実に実際の流出現象を表現するためには、雨水の地下水への流出機構やパイプ流の機構を考慮することが考えられる。また、当モデルで長期的な流出シミュレーションを行なうためには、降雨による流出機構だけではなく、無降雨時の地表面からの蒸発や植生からの蒸発散の機構も取り入れていく必要があるであろう。

参考文献

- [1] 椎葉充晴・立川康人・市川温・堀智晴・田中賢治：圃場容水量・パイプ流を考慮した斜面流出計算モデルの開発、京都大学防災研究所年報，第41号，B-2，pp.229-235，1998。
- [2] 市川温・小椋俊博・立川康人・椎葉充晴：数値地形情報と定常状態の仮定を用いた山腹斜面系流出モデルの集中化，水工学論文集，第43巻，pp.43-48，1999。
- [3] 市川温・小椋俊博・立川康人・椎葉充晴・宝馨：山腹斜面系における一般的な流量流積関係式の集中化，水工学論文集，第44巻，pp.145-150，2000。