

第II部門 淀川流域を対象とした分布型流出予測システムの構築に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○飯田哲徳
京都大学防災研究所 正員 立川康人

京都大学大学院工学研究科 学生員 佐山敬洋
京都大学防災研究所 正員 寶 馨

1 はじめに 分布型流出モデルの性能は向上し、かなりの精度で流出現象を再現できるようになってきた。また、電子計算機の発達に伴い流出計算に要する時間は大幅に短縮されつつある。それでも大流域の流出計算を行うには、なお長い計算時間が必要である。本研究では、分布型モデルの精度を保ちながら計算時間を短縮することを目標に、淀川流域を対象として河道網を3 km毎に分割し、その寄与域毎に集中化した実用的な分布型流出モデルを構築することを目指す。

2 流量流積関係式 本研究では、立川らが提案した飽和・不飽和流れを考慮した流量流積関係式[1]を市川らの分布型流出モデルに組み込んだモデルである。その各斜面素辺は、図1の左図のように土層を三層に分け、流れの状態として不飽和流、中間流、表面流の三種を考慮する。このモデルは、土層を三層にすることで、低流出時から高流出時まで流出を再現でき、そして、独立したパラメータを用いているため、パラメータの同定が比較的容易であるという特徴を持つ。この流量流積関係式を(1)式に示す。

$$q = \begin{cases} v_c d_c \left(\frac{h}{d_c}\right)^3 & (0 \leq h \leq d_c) \\ v_c d_c + v_a (h - d_c) & (d_c < h \leq d_s) \\ v_c d_c + v_a (h - d_c) + \alpha (h - d_s)^m & (d_s < h) \end{cases} \quad (1)$$

となる。ここで、 q :単位幅流量、 h : k_a :中間流部の透水係数、 k_c :マトリクス部の透水係数、 $v_a = k_a i$ 、 $v_c = k_c i = k_a i / \beta$ 、 $\alpha = \sqrt{i}/n$ である。(1)式で表された q と h の関係を1の右図に示す。

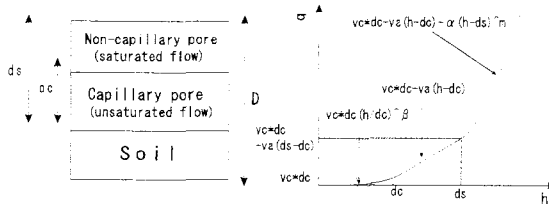


図1 土層のモデルと q と h の関係

3 分布型流出モデルの集中化

3.1 集中化手法 市川らにより展開された集中化手法[2]を、飽和・不飽和を考慮した流出モデルに適用する。この流出モデルは、流域斜面系と河道網系に分けて考えられており、本研究で集中化するのには流域斜面系である。河道網を淀川流域を合流点、流量観測所などの位置で約3 km毎に分割する。これらの分割された河道に流入する部分流域をそれぞれ一単位として、部分流域毎に集中化を施す。枚方上流域を対象とした場合の部分流域の数は1707個であった。

その集中化手法として、まず、対象とする流域斜面系に定常かつ空間的に一様な降水が与えられ降水-流出系が定常状態になっていると仮定する。このときの降水強度を $\bar{r}$ 、ある斜面素辺の貯留量を s とし、各斜面素辺の幅 $\bar{w}$ を一定とすると、 s 、 q は、

$$s = \bar{w} \int_0^L h(x) dx \quad (2)$$

$$q = \frac{\bar{r} A_{up}}{\bar{w}} + \bar{r} x \quad (3)$$

で表される。ただし、 L :斜面素辺の長さ、 $w(x)$:斜面素辺の幅、 A_{up} :考えている斜面素辺の上流域の面積である。これより、

$$\begin{aligned} s &= \frac{\bar{w}}{\bar{r}} \int_{q(0)}^{q(L)} f(q) dq \\ &= \frac{\bar{w}}{\bar{r}} [F(q(L)) - F(q(0))] \end{aligned} \quad (4)$$

と変換することができる。ただし、 $dF/dq = f$ である。ここで、 F は陽に与えられておらず、そのまま求めるのは難しいので、

$$F(q(x)) = q(x)h(x) - \int_0^{h(x)} g(h) dh \quad (5)$$

とすることにより、 $F(q(x))$ を積分可能にする。

飽和・不飽和流れを考慮した流量流積関係式を集中化する場合、(1)式に示した q と h の関係を(5)式に代入して、各状態における $F(q)$ が次のように得られる。

- $0 \leq h \leq d_c$ (Matrix 流の時)

$$F(q) = v_c h^2 \left(\frac{h}{d_c} \right)^{\beta-1} - \frac{v_c h^2}{\beta-1} \left(\frac{h}{d_c} \right)^{\beta-1}$$

- $d_c < h \leq d_s$ (中間流が発生している時)

$$F(q) = \frac{1}{2} v_a h^2 + \left(v_c - \frac{v_a}{2} \right) d_c^2 - \frac{v_c d_c^2}{\beta+1}$$

- $d_s < h$ (表面流が発生している時)

$$F(q) = \frac{1}{2} v_a h^2 + \left(v_c - \frac{v_a}{2} \right) d_c^2 - \frac{v_c d_c^2}{\beta+1} + \alpha h (h - d_s)^m - \frac{\alpha (h - d_s)^{m+1}}{m+1}$$

また、流出量を O とすると、

$$O = \bar{r}(A_{up} + \int_0^x w(x)x \, dx) \quad (6)$$

と表せ、(4) 式で計算される貯流量 s と合わせて、様々な降水量に対する貯留量-流出量関係を離散的に導く。離散値の間は線形補間し、これを貯留関係式として流出計算を行う。

3.2 単一部分領域への適用

一つの集中化領域に、30 mm/hr の雨を 20 時間 (72000 sec) 降らせ続け、集中化モデルと分布型モデルのシミュレーション結果を比較する。初期流量は、0 とし、パラメタ値には、 $m=1.667$ 、 $k=0.01$ (m/s)、 $d_s=0.2$ (m)、 $d_c=0.1$ (m)、 $\beta=8.0$ と、 n 値には $n=0.6$ ($m^{-\frac{1}{3}}$ s) を用いた。図2において、流出の初期はよく一致するが、表面流が発生した後は、違いが現れる。理由の一つに、集中化モデルの貯流量-流出量関係は定常時を仮定したもので、一価の関係にあるのに対し、分布型モデルのそれは一価で表すことができないことが挙げられる。

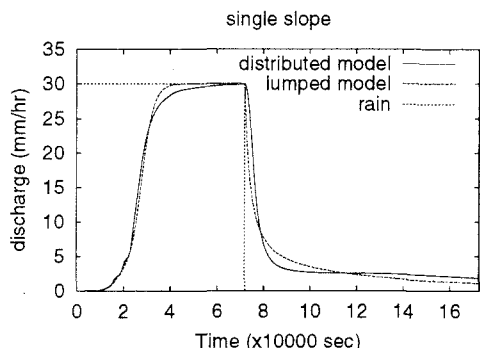


図2 単一斜面での比較

4 淀川流域への適用 木津川の島ヶ原上流域 (流域面積 522 km²) を対象とし、1990 年 9 月 15 日から 22 日までのシミュレーションを行った。この期間は、台風 19 号の影響を大きく受け、対象領域での期間中の平均総降水量は 308 mm に達した。パラメタ値は、3.2 とほぼ同じ $m=1.667$ 、 $k=0.01$ (m/s)、 $d_s=0.2$ (m)、 $d_c=0.1$ (m)、 $\beta=8.0$ と、 n 値には $n=0.9$ ($m^{-\frac{1}{3}}$ s) を用いた。その結果が図3である。図3において、集中化モデルの予測は流出量が小さい時に分布型流出モデルの予測と若干の違いが出てきているものの、全体を通して見ると、ピーク発生時刻、ピーク流量等、分布型モデルによく追従している。また、集中化、分布型モデルとも、シミュレーション開始後、最初の降雨に対する流出は小さくなる傾向にあるものの、その後は、観測値をよく再現している。

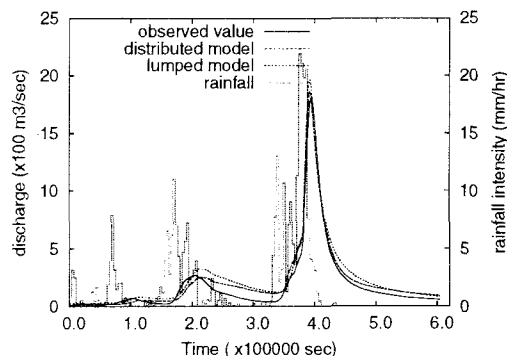


図3 木津川上流域での比較

5 まとめ 構築した集中化モデルは、流量が小さい時のシミュレーションに課題を残すが、全体を通して分布型モデルによく追従しており、観測値をよく再現している。また、計算時間については、分布型モデルに比べ約 1/6 に短縮することができた。本研究で構築した集中化モデルは、特に洪水時の流出予測に関して有効である。

参考文献

- [1] 立川康人・永谷 言・寶 馨：飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 第 48 巻, 2004.
- [2] 市川 温・村田康明・椎葉充晴：圃場容水量を考慮した流量流積関係式の集中化, 水文・水資源学会誌, 第 15 巻 1 号, pp. 60-69, 2002.