

長短期流出解析のための河道流追跡法の比較

Comparison of channel routing models

池部 亘一郎* 永井 明博** 近森 秀高**

IKEBE Kouichiro, NAGAI Akihiro, CHIKAMORI Hidetaka

1. はじめに 種々の土地利用がなされている流域の水循環構造を正確に把握するには、流域をいくつかのブロックに分割して分布形式での解析が必要となる。この場合、一つのブロックからの流出量は各種の流出モデルで推定できるが、複数ブロック合流後における河道内流れの取り扱いについては未解明の点が多い。ここでは流域水循環モデルの構築を念頭におき、河道内流れの簡便な追跡計算法について検討する。なお、以下では洪水を対象とするが、洪水時以外の平常時の流れについても適用できることはいうまでもない。

2. 不定流解析 洪水時も含めて河道内流れは本質的に不定流であり、その運動方程式は(1)式である。ここでは、まず長さ100kmの単一水路(図1)の不定流シミュレーションを行い、差分法で求めた計算流量を真値(観測値)として扱う。この計算

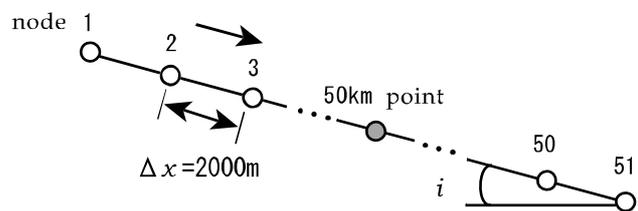


図1 単一水路

において、水路は幅200mの長方形断面とし、河床勾配は $i=1/100 \sim 1/5000$ の範囲で6通り想定した。境界条件は、上流端では岡山県吉井川(1717km²)で観測された11出水の洪水流量を与え、下流端では等流型条件($\partial h/\partial x = 0$)を設定した。上流端から50km地点の計算流量を観測流量としている。

3. 洪水追跡法 不定流解析では精度のよい解が得られるものの、計算に必要なデータが多く、プログラム作成も煩雑で、下流端境界条件も必要であるなど、流域水循環モデルに組み込むには問題点が多い。以下では、上流端流量境界条件のみを用いて、精度よく簡便に下流側流量を推定できる手法を検討する。なお、(2)式のdiffusion waveの応答関数は(3)式である。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Qv)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} - i + S_f\right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}, \quad C = \frac{Q^{1-P}}{KP}, \quad D = \frac{Q}{2iB} \quad (2)$$

$$u(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi D}} \frac{x}{t^{3/2}} \exp\left[-\frac{(Ct-x)^2}{4Dt}\right] \quad (3)$$

$$A = KQ^P \quad (4)$$

Muskingum-Cunge 法：この方法の2定数はdiffusion waveの係数C, Dから求まる。

v : 平均流速, h : 水深, g : 重力加速度, Q : 流量
 i : 水路床勾配, S_f : 摩擦勾配, A : 流水断面積
 C : 伝播速度, D : 拡散係数, K, P : 定数

応答関数法：入力の上流端流量を(3)式の応答

関数で重ね合わせて下流端流量を求める。**kinematic wave 法**：運動方程式は等流であり(4)式で表される。**貯留関数モデル**：(4)式に区間長を乗じて河道貯留量とし、下流端流量を求める。**遅れ時間法**：上流端流量のハイドログラフを伝播速度Cから求まる遅れ時間 T_l だけ遅らせる。

* 岡山大学大学院自然科学研究科, Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

** 岡山大学環境理工学部, Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University

キーワード：洪水追跡, 長短期流出

4. 解析結果 各方法に不定流計算時と同一の上流端流量を与えて 50km 地点の流量を計算し、不定流解析による計算流量とどの程度一致しているかを検討する。

Muskingum-Cunge 法(図 2): 全体的に波形が遅れる傾向が見られ、洪水の立ち上がりが遅く、ピーク流量が小さい等、他の方法に比べて精度が悪い。しかし、洪水の減水部においては比較的精度のよい結果が得られる。

応答関数法(図 3): 伝播速度 C を各出水の上流端流量のピーク流量で求める場合には、設定した全ての水路床勾配においてピーク部の精度は非常によいが、立ち上がり部、減水部における精度は悪い。その他の場合においても、ピーク部の精度はよいが、全体的に流出が早い傾向が見られる。

kinematic wave 法(図 4): 洪水波形が全体的に約 1~2 時間遅れるが、河床勾配が $1/100 \sim 1/1000$ では精度のよい解が得られる。**Muskingum-Cunge 法** や **応答関数法** に比べ、立ち上がり部の推定精度がよい。**貯留関数モデル**(図 5): 流量ハイドログラフが不定流の計算結果と全体的によく一致しており、設定した全ての河床勾配 ($i = 1/100 \sim 1/5000$) の洪水に対応できる。プログラムも、ここで対象とした方法の中では最も簡単である。**遅れ時間法**: 伝播速度 C を流量に応じて変えた場合、特性曲線法で計算したことになるため、**kinematic wave 法** による解析結果とほぼ同じ波形となる。水路床勾配が $1/100 \sim 1/1000$ では精度のよい解が得られる。

5. おわりに 以上の結果を総合すると、本報で検討した 5 つの洪水追跡法の中では、貯留関数モデルが最良と評価できる。この方法の水理学的裏付けについては今後の課題と考えている。また、応答関数法や **kinematic wave 法**、遅れ時間法でも、河床勾配等の適用条件に注意すれば、精度のよい結果が期待できる。

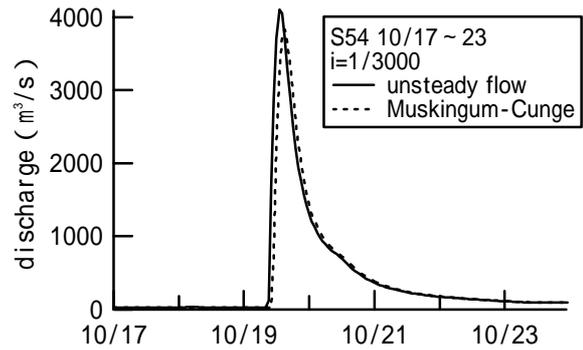


図 2 Muskingum-Cunge 法による解析結果例

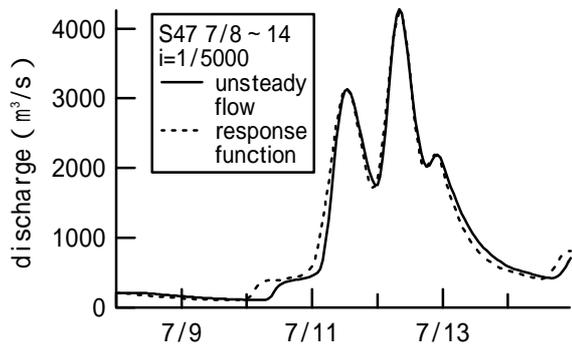


図 3 応答関数法による解析結果例

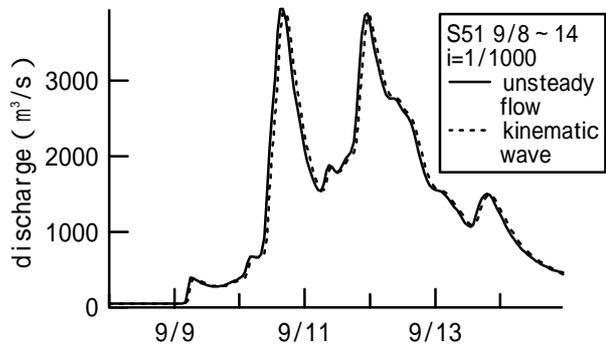


図 4 kinematic wave 法による解析結果例

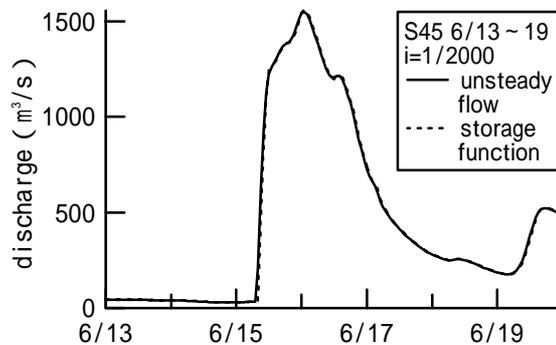


図 5 貯留関数モデルによる解析結果例