

山地水路網における不定流の計算法

広島大学工学部 正員 常松 芳昭 東 和 科 学 正員 三島 隆明
日本電信電話 正員○山地 克典 五 洋 建 設 正員 S. De Costa

1. はじめに

山地小流域は、複雑に分布する山腹斜面と河道との集合体からなっており、出水現象を解明する上で、これらの地形構造がどのように出水に関与するかを明らかにすることは重要な課題である。この点に関してここでは河道系の流れに焦点をあて、流域内の水路網における不定流の系統的な追跡計算法について検討した結果を報告する。

2. 山地水路網における河道流の追跡計算法

水路網流れの追跡計算を行う場合、開水路流れの性質上、水路網の連結構造に従い、上流から下流へ順次計算していかなければならない。流域分割数が小さいときには、この順番は人間のパターン認識能力により決められるが、流域分割数が増大すると、計算機によって自動的に決められる方が便利である。また、流域分割数が増大すると各河道において入力および出力流量時系列を記憶させるための計算機メモリが膨大となり、計算機の計算能力だけでなく、記憶能力も大きな制約となる。水路網の論理構造を考慮し、かつ計算に必要な計算機メモリを最小化した追跡順番を本文では最適な追跡計算手順と呼ぶことにする。これまで水路網の論理構造に基づく最適化については、高棹・椎葉¹⁾や陸・早川²⁾らの研究があるが、ここでは、これらの研究をさらに発展させ、最適な追跡計算手順として次に示すような汎用性をもたせた6つのステップを考えた。

第1ステップ 水路網を表すシステム・グラフに対して Strahler³⁾の位数理論を適用して、各枝に位数を与える。位数化システムを具体的に書くと以下ようになる。

(I) 最上部のソースから出連結する枝の位数が1である。

(II) 節点に入連結するする枝の中に2本以上の枝が最高位数 ω をもつなら、その節点から出連結する枝の位数は、 $\omega + 1$ となる。

(III) 節点に流入する枝の中に1本だけが最高位数をもつなら、その節点から出連結する枝の位数は、その最高位数と同位数となる。

これらの位数化システムの(II)と(III)は、次の式で表される。

$$\omega^d = \max(\omega_1^i, \omega_2^i+1, \dots, \omega_m^i+1)$$

ただし、 ω^d : 合流によってできる枝の位数、 ω^u : 合流する前の枝の位数

ω_i^i ($i=1, 2, \dots, m$) : 合流する河道の位数であり、次のような関係がある。

$$\omega_1^i \geq \omega_2^i \geq \omega_3^i \geq \dots \geq \omega_m^i$$

第2ステップ 流域の出口、つまり水路網の最下流端にあたるシンクを現在点とする。現在点とは、計算を行なう上で今、着目している節点のことである。現在点の節点に入連結する最も高位数の枝を探す。現在点を、この新たに探し出した枝の出連結節点に移す。現在点に同じ位数の枝が入連結している場合は、現在点からそれらの枝を見て、左側から入連結する枝を選択する。

第3ステップ 現在点を移した節点に対して、第2ステップを繰り返す。ただし、システム・グラフにおいて現在点がソースに到達した時点で、第2ステップを終了する。

第4ステップ 最適追跡手順は、第2ステップと第3ステップとは逆にソースからシンクに向かって行なう。第2ステップと第3ステップによって現在点が到達したソースに計算をスタートする節点番

号①を与える。節点番号①の節点から出連結している枝に枝番号①を与える。枝番号①の枝が入連結する節点に現在点を移し、節点番号②を与える。以下、同様に行なう。

第5ステップ 現在点のある節点に入連結する枝と出連結する枝がある場合、残りの入連結する枝に対して第2ステップ、第3ステップを繰り返し、現在点がたどり着いたソースに次の節点番号を与え、第4ステップを繰り返す。

第6ステップ 水路網全体でN個の節点とE本の枝がある場合、第1ステップ～第5ステップによってすべての節点と枝に節点番号と枝番号を与える。このようにして定められた枝の番号順が最適な追跡計算順序を与える。トリーシステムでは一般に $E = N - 1$ の関係がある。

3. 実流域への適用例

解析対象とした流域は、広島県安芸郡江田島町の切串流域である。流域内水路網のシステム・グラフを図1に示す。河道流の基礎方程式には Kinematic Wave モデルを用い、4点差分法によって計算した結果を図2に示す。計算条件として粗度係数は $n = 0.03$ 、降雨は1地点で観測されているので、これを流域平均雨量として用いた。斜面から河道への流入については簡単のため、斜面の効果を考慮に入れて降雨を χ^2 分布に変換し、これに一定の流出率をかけたものを、河道の単位長さあたりの横流入量として与えた。図2から計算値と実測値のピーク付近の波形は近いが、増水時と減水時で両者の大小関係は逆になっている。これは降雨に無関係に流出率を一定としていることによると考えられる。また、Lumpingの方法の影響もあるものと予想される。

4. あとがき

計算機プログラミングに有用な山地水路網における河道流の系統的な追跡計算手法を確立するためには、さらに水路網の連結構造を定量的に表示し、これを組み込んだ追跡計算のアルゴリズムを展開するなど、検討すべき点が多く残されている。

参考文献：1) 高棹琢馬・椎葉充晴：河川流域の地形構造を考慮した出水系モデルに関する研究，土木学会論文集，第248号，pp.69-82，1976.，2) 陸 晏校・早川典生・小池俊雄：河道網構造に基づく最適追跡順番の決定法，土木学会論文集，第473号，pp.1-6，1993.，3) Strahler, A.H. : Hypsometric (area - altitude) analysis of erosional topography, Bull. of G.S.A., Vol.63, pp.11 17-1142, 1952.

