

II-65 中小流域対象の新しい洪水流出計算法の提案と検討

京都大学防災研究所 正会員 友杉 邦雄
通商産業省 浦田 秀行

1. はじめに

洪水流出計算のためのモデルは、流域の地形・地質条件や降雨強度等の空間分布を考慮できる分布定数型モデル(kinematic wave modelなど)と、これらの空間分布を考慮できない集中定数型モデル(タンクモデル、貯留関数モデルなど)とに大きく分けられるが、入手可能な水文・地文情報の実情と簡便性のため、集中定数型モデルの方が実用性が高い。また、集中定数型モデルを中小スケールの分割流域(単位流域)に適用し、それらからの流出の河道系における流下合流過程を別途モデル化すれば、少なくとも降雨の空間分布は考慮できる。ただ問題は従来の集中定数型モデルが一般に物理的根拠に乏しいことである。

そこで本研究では、中小の山地自然流域を想定して、斜面における水の運動とpartial source areaの概念の導入により物理的根拠を持たせた集中定数型モデルを構築し、それに基づく流出計算法として「入力平均型貯留関数法」と称するものを提案し、中小流域の出水解析を通じて、その妥当性の検証と適用性、及びパラメータ特性の検討を行った。

2. 入力平均型貯留関数法の概要

従来の代表的な集中定数型モデルである貯留関数法は、流域全体を1つのブラックボックスと考えて、そこでの貯留高と流出高の関係を定式化するため、斜面における水の運動を取り込むことができない。そこで「入力平均型貯留関数法」では流域を、斜面流によって雨水が斜面下流方向へ運搬される場と斜面下流端付近に集積された雨水が直接流出に変換される場の2つに分け、前者を流動場、後者を貯留・流出場と称してそれぞれ以下のように定式化する。

(1) 流動場のモデル化

中小流域を対象とするので、降雨の空間分布は一律とし河道の効果は考えない。また流出は全て中間流によるものと考え、中間流発生域では雨水の土壤深部への浸透は無視できるとする。図1のような斜面を想定すると、連続式とDarcyの運動式から一般的

に次式で示すような斜面下流端での流出高 q_d の表示式が得られる。

$$q_d = (\alpha/L) (R(t) - R(t - t_o)) \quad (1)$$

ここに、 $R(t)$: 時刻 t までの積算雨量、 t_o : 洪水到達時間、 L : 斜面長、 $\alpha = k i$ (k : 透水係数、 i : 斜面勾配)である。この式は一見簡単であるが、流域全体に拡張して用いようとする流域実効パラメータとなる α と L の同定が困難である。そこで本研究では、中間流発生域の斜面長を L_o として、直接流出率 f を次式で定義し、

$$f = L_o/L \quad (2)$$

これと中間流の流速の式

$$v = \alpha = L_o/t_o \quad (3)$$

を式(1)に用いて次式を導き流動場の基礎式とした。

$$q_d = (f/t_o) (R(t) - R(t - t_o)) \quad (4)$$

上式のパラメータ f と t_o は雨量と流出高のデータが得られれば、比較的容易に同定できる。

(2) 貯留・流出場のモデル化

斜面下流端付近に集積された雨水がどのような機構に基づいて直接流出に変換されるのかについては未だよく解明されていない。植物の根の枯死や小動物によるパイプ状の空隙を通して貯留された雨水が速やかに排出されるという見解などもあるが、具体的な定式化には至っていない。そこで本研究では、この貯留・流出場のモデル化には、貯留関数法を用いることにする。その理由は、貯留関数法が物理的

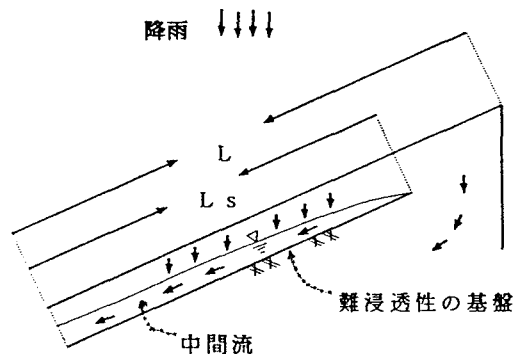


図1 難浸透性基盤を有する山腹斜面モデル

機構は問題にせずともパラメータ操作でハイドログラフを合わせられるという利点を持っていることのほかに、斜面下端付近に集積された雨水貯留高と流出高の間に指数関数的な関係があることを示唆する報告¹⁾があることを考慮したためである。斜面下端付近に直接降る降雨の影響を無視すると、貯留・流出の基礎式は次式となる。

$$dS/dt = q_d - q_L \quad (5)$$

$$S = K \cdot q_L^p \quad (6)$$

ここに、 S ：貯留高、 q_L ：河道への流出高、 K, p ：パラメータである。(4)、(5)、(6)式が「入力平均型貯留関数法」の基礎式となる。パラメータの数は従来の貯留関数法と同じであるにも関わらず、斜面における水の運動と式(2)で定義する直接流出率を組み込んだモデルで、貯留場への入力 q_d が洪水到達時間も、内の平均有効雨量強度であるのが特徴である。

3. 実流域への適用結果

本方法の適用性とパラメータ特性を検討するために、北海道と近畿の11の中小流域から82出水を収集し解析に供した。まず出水ごとにパラメータを同定してみたところ、流域面積が20km²程度以下で、かつ都市化の影響のない山地流域ではパラメータ K と p の値が比較的安定することが分かった。そこで、これらの流域では、 K と p の値を流域ごとに固定して流出高を計算し、実測の流出高と比較してみた。その結果、図2に例示するようにこれらの流域では流域ごとに K と p を統一してもハイドログラフをよく再現できること、また $p=0.6$ 、初期貯留高 $S_0=0$ としてよいことが確かめられた。しかし、都市化の影響の著しい流域や流域面積が200km²を越える規模の流域では、特に K の値が安定せず、従って本手法を適用することが適切でないという見解が得られた。これは、本手法のモデル構築対象を考えればむしろ妥当であろう。また本研究では本手法の適用性を判定する別の方法の検討も行った。即ち、式(2)と(3)より次式が導かれる。

$$t_c = fL/\alpha \quad (7)$$

上式は、中間流が直接流出の大半を占めるとき、 f の増大とともに t_c も増加することを示している。そこで、各流域について、出水ごとに同定された f と t_c の関係を調べてみると、本手法を適用することが可能と判断された流域では図3に例示するようにこ

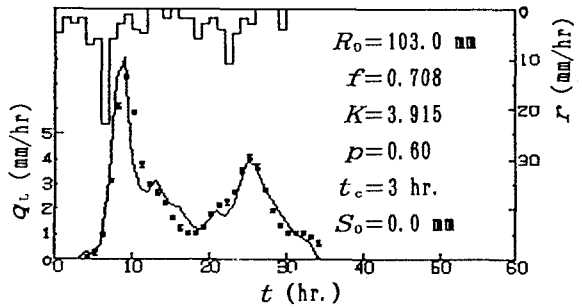


図2 統一されたパラメータによるハイドログラフの再現計算例：茂築別川 (19.81km²)
(実線：観測値、点：計算値)

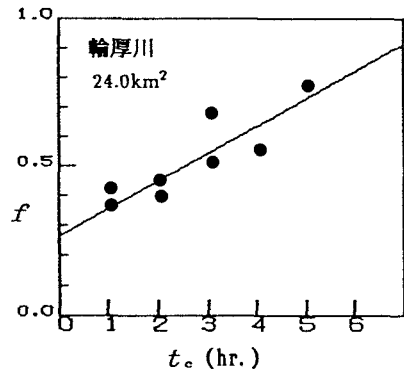


図3 出水毎に同定された洪水到達時間 t_c と直接流出率 f の関係の例：輪厚川 (24.0km²)

の関係がほぼ満たされているのに対し、不適切と判断された流域ではこの関係が成り立たないことが分かった。この結果は、本手法の適用性を判断するのに、 f と t_c の関係に着目することが有望であることを示唆しているとともに、 t_c の同定の際に f の値がある程度の目安となることを示している。

4. おわりに

本研究では中小流域の洪水流出計算法として「入力平均型貯留関数法」を提案し、実流域におけるその適用性を、主として流域規模や都市化の影響という観点から検討した。本手法を実用に供するためには、さらに雨量規模や地質条件等の観点からも検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 太田猛彦・小林直巳(1989):急勾配山腹斜面における洪水流出機構について, 水文・水資源学会 1989年研究発表会要旨集, pp. 179-182.