

序

洪水流出・河道追跡の計算法は、水理学的手法と水文学的手法に大別される。水理学的手法として、不定流計算に用いられる dynamic wave 法と河床勾配が急な山地河川の流れに広く適用される kinematic wave 法がある。一方、水文学的手法は多岐にわたり、世界中に 100 個以上のモデルが存在すると言われている。その代表例として、単位図法、タンクモデル、貯留関数法、マスキング法などがあげられる。

降雨流出過程を対象として、最初に構築された線形モデルが単位図法である。欧米の大陸河川においては河床勾配も緩やかで、しかも降雨に対する応答も緩やかであるため、単位図法は洪水流出解析に成功を収めたようである。我が国でも戦後たび重なる大型台風による洪水氾濫に悩まされ、緊急に治水計画を策定する必要性が生じたため、単位図法が多くの河川における洪水流出解析に導入された。しかしながら、我が国においては単位図の適応性が必ずしも良好でなかったという歴史的背景がある。その理由は、地形が急峻で、洪水流出現象の非線形性が強いためであると考えられてきた。石原・高棹は 1950 年代に我が国における単位図法の適用限界を示し、kinematic wave 法の洪水流出解析への適応性を指摘したことは注目に値する。

以上の理由から、我が国の洪水流出特性の把握及び時代の要請を受けて、1960 年代に開発されたのが木村の貯留関数法である。この手法の特徴は流出現象の非線形性を単純な式形で表現しているところにある。また、1960 年代、大学や研究機関を除いて現在のようにコンピュータが普及していなかった。当時の河川技術者は木村の貯留関数法を用いて、手計算で洪水解析を行ったという話をしばしば聞く。木村の貯留関数法の特筆すべき事項は、この手法が工事実施基本計画策定（新河川法では河川整備基本方針と河川整備計画に対応）で多くの河川に適用されてきたことである。すなわち、貯留関数法は一級河川水系の 76% で使用され、多くの実績を有していることから、実務者にとってもなじみやすいものとなっている。

貯留関数法における貯留方程式は水理学的手法における連続方程式に等しい。したがって、この手法の計算精度は貯留関数式（貯留量と流出量の関係）に強く依存することになる。一般に洪水時の貯留量と流出量の関係は、流出の上昇期と下降期でループを描き二価関数になることはよく知られている。したがって、この貯留関数式を水理学的手法に基づき、いかに正確に導出するかが重要な研究課題でもあった。以上の考え方を基本として、近年 kinematic wave 法の解を貯留関数法の解に変換する研究成果が数多く発表されている。換言すれば、水理学的手法の kinematic wave 法と水文学的手法の貯留関数法は完全に融合されたと言ってもよい。

洪水流出では表面流出成分が卓越していることから、kinematic wave 法と貯留関数法は有効雨量から直接流出量を算出する流出変換モデルを基本としている。このため、有効雨量を算定する際の損失モデルの良否が流出計算結果に大きく影響してくる。一方、菅原によって提案されたタンクモデルには観測雨量と観測流量を直接計算に取り込むことが可能であるが、未知定数の数が多く、その同定には多くの経験と労力を要する。

本報告に述べるモデル開発は、田中・藤田らによって考案されたタンクモデルと同様に損失項を取り入れた貯留関数法が発端となっており、それを受けて一般化貯留関数法に改良されたものである。さらに、タンクモデルの考え方を踏襲して、表面・中間流出成分と地下水

流出成分に対応できる直列 2 段タンク型貯留関数法に拡張された。タンクモデルでは定数の物理的意味が不明であるのに対して、2 段タンク型貯留関数モデルは kinematic wave モデルの対応からも、定数の物理的意味も明確となった。すなわち、表面・中間流出成分の流れがマンニングの抵抗則に従うとき、1 段タンクの貯留関数式は二価の非線形方程式となる。また、地下水流出成分の流れがダルシー則で支配されるとき、2 段タンクの貯留関数式は二価の線形方程式で表現されることが判明した。

モデル構造が複雑となっても、同定すべき定数の数が少ないほど、実用的利用価値が高まることは論をまたない。第 2 章における解析では、日野・長谷部によって提案された「フィルター成分分離法」を用いて、全流出量を地下水流出成分と表面・中間流出成分に分離した。その結果、近似解として地下水流出成分のモデル定数は確定値で与えられるため、第 2 章でのモデル定数の最適化手法は第 1 章に述べた手法と同等となる。なお、日野・長谷部の流出成分分離手法の基本式は、二価の線形方程式を貯留関数式として採用していることと同等である。

本報告書の構成は、大きく以下の 3 章から成り立つ。

第 1 章 損失項を含む貯留関数法 (1 段タンク型貯留関数モデル)

第 2 章 地下水流出成分を含む貯留関数法 (2 段タンク型貯留関数モデル)

第 3 章 1 段タンク型モデルと 2 段タンク型モデルの精度比較

第 1 章と第 2 章にはそれぞれ独立して、モデル開発の背景、理論展開、モデル定数の最適化手法及び適用例が詳細に述べられている。したがって、本人が興味あるどちらの章から読み始めてもよく、そのモデル構築内容が容易に理解できるように配慮した。第 3 章では、前章で述べた 2 つの貯留関数法による計算結果を比較して示した。結論として、2 段タンク型貯留関数モデルを用いた方が、ピーク流量の再現性は大幅に向上している。しかしながら、ハイドログラフ低減部の適合度に関しては、1 段タンク型貯留関数モデルの方が、概して良好である。

2001 年 5 月に、北海道開発局河川計画課の監修のもと、(財)北海道河川防災研究センター・研究所から「一般化貯留関数法による流域流出解析・河道洪水追跡実用計算法」が発行された。この報告書では河道洪水追跡計算に一般化貯留関数法が採用されている。また、流域流出計算には第 1 章で述べた「損失項を含む貯留関数法」が組み込まれている。当然のことながら、第 2 章の「地下水流出成分を含む貯留関数法」と一般化貯留関数法による河道追跡法を組み合わせることは比較的容易な作業である。

本報告書の内容は PDF 形式で記録された CD-ROM 内にも収められている。また、CD-ROM 内には「補遺 1」と「補遺 2」に掲載されているフォートラン・プログラムを PDF ファイルとは別個にテキストファイルで記録されているので、実際の計算にあたって活用していただきたい。

平成 14 年 10 月

(財)北海道河川防災研究センター

研究所長 星 清

〒060-0042 札幌市中央区大通西 1 丁目 第 2 有楽ビル

Tel: 011-222-8141; Fax: 011-231-3380

E-mail: k.hoshi@bousai.or.jp