

山地小試験流域の流出特性とタンクモデルの適用

鹿児島大学工学部 正員 ○端野道夫 田国電気工事Kk 藤岡 幹

1. はじめに

鹿児島県那賀川上流域の折宇谷一支流(流域面積0.25km²)において、重要水源山地整備治山事業の一環として、鹿児島県によって、雨量・流量等の水文観測が昭和54年11月より開始された。本論文では、得られた雨量、流量資料を用いて本流域(折宇谷試験流域と呼ぶことにする)の地下水流出、中間流出、表面流出等の流出特性を解析する。また、本流域の水循環機構をタンクモデルで表現すれば、どのようなモデル構造かを当てはめるかについて二を検討した結果を報告する。

2. 折宇谷試験流域の概要

本試験流域は標高697~1316mに位置し、平均斜面勾配 $\Delta z/\Delta x=0.63$ なる急斜面山地流域で、地質は古生代の秩父帯に属する剣山層群(砂岩、泥岩、頁岩)と若杉層群(砂岩が主体)の両者にまたがる。植生については、流域面積の88%がスギ、ヒノキの人工針葉樹林(70%以上が幼、壮令林)である。現地土壌調査により、A層からE層までの土壌厚さは平均1.5~2.0m、土壌空腔率は全般的に60~70%であると推定されている。

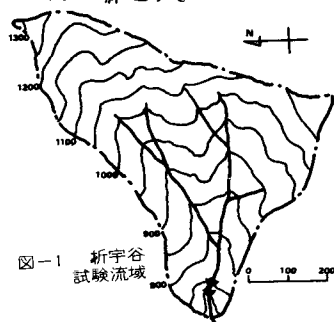


図-1 折宇谷試験流域

3. 地下水流出の二減特性

高木によれば、被圧、不被圧地下水帯水層からの流出二減は次式で与えられる。

$$\text{被圧型: } g = g_0 \exp(-A_c t) \quad (1) \quad \text{不被圧型: } g = g_0 / (1 + A_u \sqrt{g_0} t)^2 \quad (2)$$

ここに、 g_0 = 二減部の基準流出高(初期流出高)、 A_c , A_u = それぞれ、被圧、不被圧二減係数。上式を流域の地下水貯留高 S と流出高 g との関係式に書き直せば次式のようなものである。被圧型: $g = A_c S$ (3) 不被圧型: $g = A_u^2 S^2$ (4)

降雨終了後、約24~48時間後の地下水流出二減部(勾配変化点より以降)を鑑み、初期流出高 g_0 の大きさによって、 $0.38 \leq g_0 < 0.6$ mm/hr のものをゲル-70 Q_3 、 $g_0 < 0.38$ のものをゲル-70 Q_4 とし、地下水流出の二減特性を調べる。最小二乗法により(1),(2)式中の定数 A_c , A_u を求め、初期流出高 g_0 との関係を図示すれば、図-2 (a), (b) のようである。これらの図より、初期流出高 $g_0 < 0.38$ のゲル-70 Q_4 では、 A_c , A_u の値はそれぞれ、 $A_c = 0.001 \sim 0.003 \text{ hr}^{-1}$ 、 $A_u = 0.001 \sim 0.003 \text{ mm}^{-1/2} \text{ hr}^{-1/2}$ であり、初期流出高に

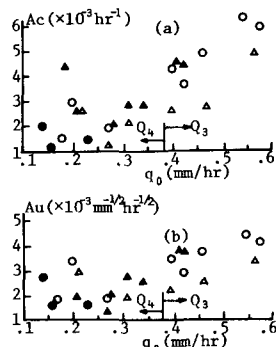


図-2 地下水流出二減係数と初期流出高の関係
△: 3~5月 ○: 6~9月
△: 10~11月 ●: 12~2月

関係なく、かつ季節変化の影響もほとんど見受けられないと判る。しかし、初期流出高が $0.38 \leq g_0 < 0.6$ のゲル-70 Q_3 では A_c , A_u とも g_0 の増加とともに大きくなる傾向があり、とくに被圧二減係数 A_c のうちその増加割合が大きい。以上のことから、ゲル-70 Q_3 およびゲル-70 Q_4 を含みすべての地下水流出の二減部を二減式で表現しようとすれば、(3)式のような線形モデル(被圧)では不適当であり、(4)式のような非線形モデル(不被圧)でもまだ十分でないようである。そこで、(4)式を一般化した Maillet 型の非線形モデル¹⁾: $g = K S^n$ ($n \neq 1$) の適合性を検討する必要があらう。

4. 中間流出と表面流出特性

中間流出の二減係数 λ_2 と見かけの表層厚 δD 、中間流出最大強度 γ_a の間には次式が近似的に成り立つとされている。²⁾

$$\delta D \div [\exp\{\lambda_2(t_2 - t_1) - 1\}] l_c / \lambda_2 = \gamma_a / \lambda_2 \quad (5)$$

ここに、 l_c = 表層下部への最終浸透能、 $(t_2 - t_1)$ = 中間流出が卓越している時間。前項3.より明らかのように、流出高 $g \div 0.6$ mm/hr 以上の流出二減部では中間流出が卓越しており、中間流出の二減係数 $\lambda_2 = 0.065 \text{ hr}^{-1}$ 、

その卓越時間(t_p)は40 hr なる値を得た。最終到達能 l_c については Horton 型の到達能式を適用し、 $l_c = 0.28$ mm/hr を得た。これらの値を(6)式に代入すれば、中間流出最大強度は $R_a = 2.9$ mm/hr、見かけの表層厚は $PD = 47$ mm となる。推定に用いた資料は数少なく、ここで得られた値はあくまでも概略値であり、今後の資料の蓄積を待つて修正されるものと見られる。

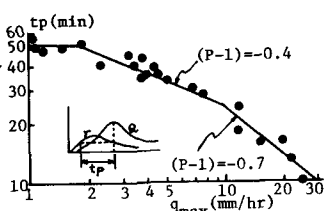


図-3 $tp \sim q_{max}$

さて、表面流出の抵抗則を概略推定する方法として、Kinematic Wave 理論より導かれる、到達時間 t_p と最大流出高 g_{max} の関係式： $t_p \propto g_{max}^{p-1}$ (6) がよく用いられる。本流域での t_p と g_{max} の関係を両対数紙にプロットすれば、図-3 のようである。図-3 を注意深く見れば、 $g_{max} \leq 1.9$ mm/hr においては $t_p = 50$ min にはほぼ一定、 $1.9 < g_{max} < 10$ mm/hr では直線の傾きは $(p-1) = -0.4$ であるが、 $10 \leq g_{max}$ では傾きは $(p-1) = -0.7$ と大きくなっている。このように、最大流出高が大きくなると直線の傾きも変化(傾きが大のほうへ)することが流域の解析例でも見られる。ところで、(6)式あるいは図-3 は表面流出高に比

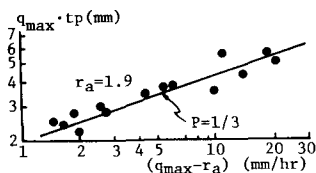


図-4 $q_{max} \cdot tp \sim (q_{max} - r_a)$

べ、中間流出最大強度 R_a が無視されうるとし、かつ表面流出の生起場が降雨強度(あるいは流出高)に関係なく一定であるとする考えに基づくものであることに注意する必要がある。一般には、中間流出最大強度 R_a 以上の豪雨が降り、斜面表層(A層)は斜面下流端付近から飽和され、はじめに表面流出の生起場が局所的に現われることが予想される。また、降雨強度が大きければ、表面流出の生起場が斜面上流に何って広がるはずである。したがって、本流域のように中間流出がある場合には、中間流出最大強度 R_a を考慮し、かつ表面流出の生起場が最大流出高 g_{max} に比例するとして Kinematic Wave 理論より導かれる(7)式で表面流出の抵抗則を判定すべきである。(7)式の導出については別の機会に発表したい)

$$g_{max} \cdot t_p \propto (g_{max} - r_a)^P \quad (7)$$

図-4 は $g_{max} \cdot t_p$ と $(g_{max} - r_a)$ の関係を示し、直線の傾きは $(g_{max} - r_a)$ の大きさに関係なく一定($P = 1/3$)であることが判る。このことから、中間流出を考慮した(7)式の適用が当であり、本流域の表面流出の抵抗則としては層流則($P = 1/3$)のように見られる。

5. タンクモデルの基本的構造

通常、図-5(a)のような直列4段タンクモデルが低水解析に用いられ、実測ハイドログラフの再現性が良いことが知られている。しかし、前項図(2~4.)で解析された各流出成分の特性をも的確に表現している保証はまったくない。そこで、本流域の水循環機構をタンクモデルで表現するには、前項図の解析結果と符合するようタンクモデルの基本的構造を設定すべきであろう。図-5(b)はその一例である。地下水タンクは前項3.の地下水流出の非線形性を考慮し流出孔を3つ設けた。地下水補給は上段の表層タンクから行い、表層タンクの貯留高が最大容量に達して、はじめに表面流出が生起するとする。このタンクモデルと前述の直列4段モデルの定数を Powell の非線形最小二乗法²⁾で求め、両者の結果を比較検討し、次のようなことが明らかとなった。すなわち、直列4段モデルのうちの1台ロケラの適合性が高いが、各流出成分の流出特性は前項3.4.の解析結果とかけ離れたものとなっている。とくに、固定された地下水の減衰係数は本格的に異なっている。一語、図-5(b)のタンクモデルは適合性は若干低いものの、固定された地下水の減衰係数は前項3.の値とはほぼ同じであり、各流出成分の挙動は前者に比べ、はるかに自然なものとなっている。しかし、中間流出成分、表面流出成分に対応するタンク構造については今後、改良されねばならない余地が残されている。

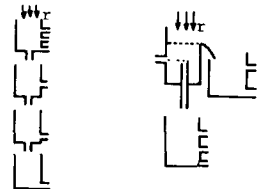


図-5 タンクモデル

最後に、貴重な観測資料を提供して頂いた 水利科学研究所、徳島県治山河道課、林業課の関係各位に厚謝の意を表します。

参考文献；

- 1) 高木不析：地下水流出のモデル化について、水工学に関する最新研究報告集、A2-2、1977。
- 2) 石原(編)・石原(監)・高橋・類：山形川の出水特性に関する研究、京大防災研究所年報、No.5、A、昭和37年2月
- 3) 小倉恒元：非線形多変数関数の最小化、大阪大学計算機センターニュース、No.32、1979。