

山梨大学 正員 砂田 憲吾
東京工業大学 正員 吉川 秀夫
東京工業大学 学生員 グェン・ソン・フン

1. はじめに

流出 hydrograph の逓減部分では流域固有の特性が集約されると考えられることから、従来より数多くの研究の対象あるいは手段とな、てきており、逓減曲線自身についても提案される度散形の数はいくつかない。最近、竹内ら¹⁾は各洪水流出曲線の標準逓減曲線への乗り合い点に注目して流出特性を検討しており、四俣²⁾は逓減率スベクトルを用いて逓減曲線の解法を行っている。本稿ではこれらの概念を拡張し、総合化して逓減部の情報を可能な限り利用して洪水・低水に共通した流出のモデル化を行うことを試みたものである。

2. 流出成分々離モデル

逓減部は複数の指数関数の和で与えられるとし、図-1のような多段多列のタンク系を置き、いま三段の場合と考える。これらの各系は互に独立で線型であるが、その種の系で表現し得ない流出成分を仮に表面流出と呼び別に非線型な取扱いとする。図中 Q_0 を除いた Q_g は個々の系は線型であるが全体として R に対して非線型な系になる。図-2はこのモデルからの流出の模式的な例であり、 R は後に検討する。

○三段直列タンク系 図-1では個々のタンク系で逓減率 $\lambda_i < \lambda_{oi}$ 、別の系との間で $\lambda_i < \lambda_{i+1}$ と仮定している。いま i 列の系ととり出し、継続時間が t_{ri} の一定強度降雨 r_{oi} に対するこの系からの流出は、 $t \geq t_{ri}$ 次第のようになる。

$$Q_{gi}(t) = \frac{r_{oi} \lambda_i \lambda_{oi}^2}{(\lambda_{oi} - \lambda_i)^2} \left[\frac{(e^{\lambda_i t_{ri}} - 1)}{\lambda_i} e^{-\lambda_i t} - \frac{(\lambda_{oi} - \lambda_i)(e^{\lambda_{oi} t_{ri}} - 1)}{\lambda_{oi}} e^{-\lambda_{oi} t} + \frac{1}{\lambda_{oi}} \left\{ \lambda_{oi}(\lambda_{oi} - \lambda_i)t_{ri} e^{\lambda_{oi} t_{ri}} - (e^{\lambda_{oi} t_{ri}} - 1)(2\lambda_{oi} - \lambda_i) \right\} e^{-\lambda_{oi} t} \right] \\ = K [A e^{-\lambda_i t} + B t e^{-\lambda_{oi} t} + C e^{-\lambda_{oi} t}] \quad (1)$$

式(1)は、 λ_i, λ_{oi} の仮定のもとで $\lim_{t \rightarrow \infty} Q_{gi}(t) = K A e^{-\lambda_i t}$ となる。すなわち、時間経過が十分な流出量曲線は次式で近似される。

$$Q_{gi}(t) = \frac{r_{oi} \lambda_i \lambda_{oi}^2}{(\lambda_{oi} - \lambda_i)^2} (e^{\lambda_i t_{ri}} - 1) e^{-\lambda_i t} \quad (2)$$

3. パラメタの決定

a) 標準逓減曲線 流量逓減部で長時間にわたり無降雨がほとんど無視できるような洪水記録を多数選び、標準逓減曲線を求める³⁾。その曲線の片対数紙上での傾きと最下段タンクの逓減率 λ_i とする。

b) 成分流出総量 個々の洪水記録に対して、その hydrograph が標準逓減曲線に乗り合う点 R を求める。図-3の面積 S_i は i タンク系を経由して流出する成分の総量の近似値を与える。

c) 降雨継続時間と成分入力降雨強度 前項の結果から S_i と

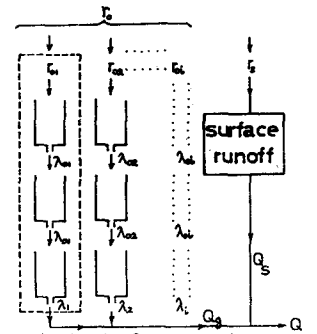


図-1. 成分々離モデル (多段多列)

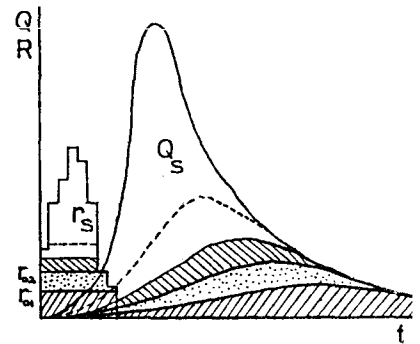


図-2. モデルからの流出

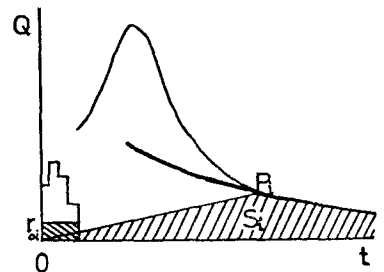


図-3. 成分流出総量の計算

t_{ri} との関係と図-4のようにplotする。この結果がある曲線に落ちればその曲線のこう配が考慮中のタンク系への入力としての降雨強度を示す。その曲線がほぼ直線となれば r_{oi} は一定である。多列タンク系の場合各系について r_{oi} が求まれば、 r_{oi} は成分入力強度スペクトル（密度ではない）とでも言うべきものとなり、流出特性と端的に表現し得る可能性をもつものである。

d) 上段タンク過減率 前項までに得られたパラメタ $\lambda_i, r_{oi}, (x_{ri})$ を用いて、個々の流出ポータ過減部を式(1)が best fit するように λ_{oi} と決める。これらの平均値を上段タンクの過減率 λ_{oi} とする。

e) 高次の標準過減曲線 上の結果を用い、降雨から r_{oi} を、流量 hydrograph から式(1) および t_{ri} に対応する同様な式と差し引く。新たに得られる各洪水の hydrograph の過減部を用いて、より高次の標準過減曲線を求め、a)~e)までの操作を繰返す。

4. 表面流出について

ある列までの線型タンク系の合成で表現しきれなかつた、たゞば残余の流出成分 Q_s は表面流及び表面附近の水平方向移動の卓越した流出成分と考えられる。ここではその非線型性の程度の検討も含め貯留関数法に準じたモデルを適用する。そのパラメタの決定は、先に²⁾有効性が調べられている感度解析により自動的に行える。

5. 実河川流域への適用

流域規模に差のある2つの実河川（神流川：373 km²、梓川：0.4 km²）ポータを用いた。この適用では2列までのタンク系の分離に留まったが、図-4に対応するグラフは両流域・タンク系ともほぼ直線に沿ってバラツキ、 $r_{oi} = \text{const}$ (0.1~20 mm) が得られた。図-5、6は神流川の場合でのそれぞれ、成分分離を行わない場合、2列まで分離した場合の $S \sim Q$ 関係である。図-6は従来の経験的な成分分離に近い1列までのものよりもさらに $S \sim Q$ 関係の1価性、線型性の度が向上していることも知れた。多数のタンク系がさらに線型性と保証するとは限らないが、2列までの分離で残余の流出成分が大幅に扱い易いものになったと云える。図-7は流出計算結果（神流川）の1例である。

6. まとめ

モデルの全てのパラメタは試算を経ることなく過減特性と感度解析から一義的に定め得るのが本方法の特長である。分離の残余としての表面流出成分は非線型性が弱まり解析は容易となるが、さらに幾つかの流域でも検討してみる必要があると考えている。

参考文献

- 1) 四張：洪水流量過減曲線の解法，土木学会論文報告集，No.245 (1976)
- 2) 江川・竹内：過減曲線形状の特性，第31回年講 (1976)
- 3) 砂田・吉川・渡辺：流量過減部の特性について，第32回年講 (1977)
- 4) 吉川・砂田・鈴木：流量過減部の特性と考慮した流出モデル，第22回水講 (1978)

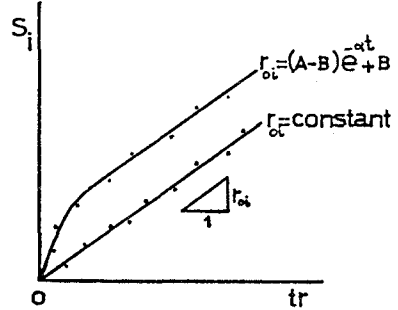


図-4. S_i と t_{ri} との関係

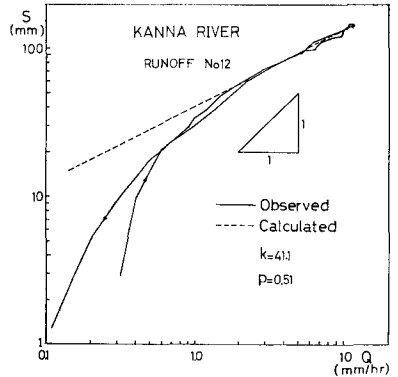


図-5. 分離しない場合の $S \sim Q$ 曲線

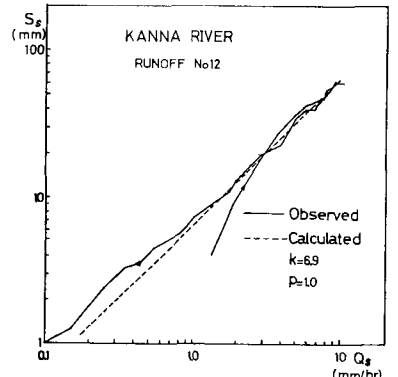


図-6. 2列まで分離した場合の $S_2 \sim Q_2$ 曲線

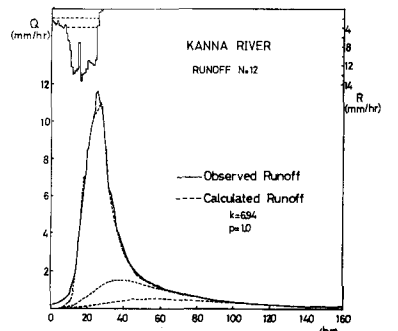


図-7 流出計算例(神流川)