

京大防災研究所 正員 永井明博・角屋 睦

1. まえがき これまで多くの流出解析法が提案されているが、各モデルの得失、相互関連性は明確ではない。そこで前報では自然丘陵山地地域を対象に検討したが、今回は市街地地域を対象として、代表的流出モデルと目されるタンクモデル、貯留関数法、雨水流モデルを適用し、上述の点を考察する。

2. 流域概要と対象出水 研究対象は図1の京都市西北部、天神川上下流水位観測点間に流入する2.63 km²の市街地地域で、上流山地(5.3 km²)の雨水も流入している。吟味の対象として表1の大中出水を選び、雨量は京都地方気象台10分記録を用いる。ここで市街地からの流出量は、下流端流量から、洪水ごとに一定流下時間(10~30分)遅らせた上流端流量及び下水道量推定値とを差し引いた値を採用した。

3. モデル定数 1) タンクモデル: Powellの共役傾斜法により(1)式の下でタンクモデルの最適定数を探索した。ここに $F = \sum |Q_0 - Q_c| / \sqrt{Q_0} \rightarrow \min$ (1)
F: 目的関数, Q_0 : 実測流量, Q_c : 計算流量。結果の一例を図2に示すが、直列4段モデルを想定して定数を求めたところ、3段のモデルを得た。また3段からの流出高は小さく、実用上は2段のモデルで十分と判断された。 2) 貯留関数法: 有効雨量は累加雨量~累加損失雨量曲線(図3)から推定した。流量は(2)式をRunge-Kutta法で解いて求めた。ここに $dQ/dt = (r_e - Q_e)Q_e^{1/P} / K$ (2)

Q_e : 遅れ時間 T_e を考慮した直接流 $F = \sum |Q_0 - Q_c| \rightarrow \min$ (3)
出高(mm/5分), r_e : 有効降雨強度(mm/5分), $K, P: S_e = KQ_e^P$ とおくときの定数,
 S_e : 見かけの流域貯留量(mm)。(3)式の下で得た最適解は $S_e = 3.45 Q_e^{0.60}$, $T_e = 0$ であった(図6, 7)。 3) 雨水流モデル: 上流端流入量は境界条件として与え、有効雨量は貯留関数の場合と同一(図3), 等価粗度は従来の値 $N = 0.004 \sim 0.006 \text{ m}^{-1/3}$ を用いた。

4. 再現結果 結果の一例を図4に示すが、各モデルとも再現性は実用上十分である。図5はピーク流量実測値と計算値を対比したもので、結果は雨水流モデル、貯留関数法、タンクモデルの順に良好である。またハイドログラフ全体の再現性についてもこの順序は変わらず、市街地からの流出量の大部分が表面流出分であることを示唆している。タンクモデルの再現性は他の2方法による結果に比べ若干劣る。その理由は、まずオニに1段目タンクの側面流出孔数を2個としたのが不十分で、流量の大きい所の非線形貯留流出関係をうまく表現できなかった、オニに京都地方気象台の雨量記録をそのまま流域平均雨量として用いたためと判断している。

5. 相互関連性 1) 貯留関数と雨水流モデル: 斜面、河道の流れを $R_0 = R_0 B_0^P$, $w = R_0 Q^P$ とおき、ピーク時に流域最速点の擾乱が下流端に到達すると仮定すると、表面流モデルと貯留関数の K, P に對し(4)式が成立する。

$$P_0 \leq P \leq P_c, K = \alpha_1 \frac{R_0 B_0^P}{1 + P_0} \left(1 + \frac{1 + P_0}{1 + P_c} \frac{t_c}{t_d} \right) \quad (4)$$

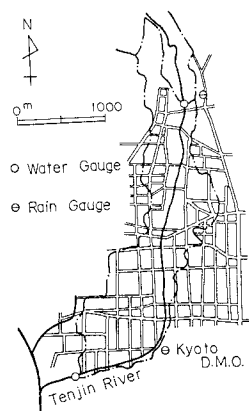


図1 流域概要

表1 解析対象出水

期間	総雨量	ピーク流量	損失雨量
Aug. 1973	33.5mm	29m ³ /s	11.4mm
June, 1974	125.5mm	37m ³ /s	29.7mm
July, 1974	46.0mm	19m ³ /s	17.7mm

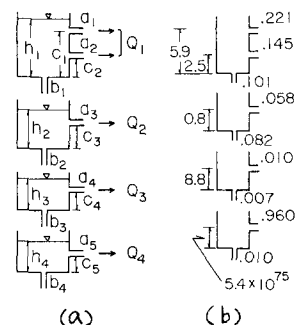


図2 タンクモデル

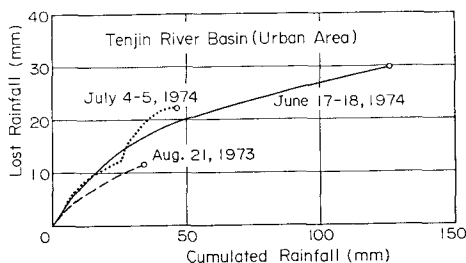


図3 累加雨量~累加損失雨量曲線

ここに R : 水深, q : 単位幅流量, w : 流積, Q : 流量
 B : 斜面長, t_d , t_c : 斜面, 河道の伝播時間, R_d , R_c ;
 n_d , n_c : 定数, α : 単位換算係数。いま P に対する相対
 目的関数 F/F_0 (F_0 : 最小目的関数値) の変化をみると,
 最適値は $P_{opt}=0.60$, F_0 の 1% 以内では $P_{1\%}=0.52 \sim 0.72$
 (図6)。有効雨量を若干変えると, $P_{opt}=0.62$, $P_{1\%}=0.54$
 ~ 0.70 を得る。これより貯留関数は Manning 型または
 Chézy 型表面流モデルに相当していることがわかる。いま
 Manning 則を仮定すると, $R_d=(N/\sqrt{I})^{0.6}$, N : 等価粗度,
 I : 斜面勾配, $t_d/t_c=0$ として $P=0.6$, $K=2.69$, $t_d/t_c=1$
 として $P=0.6$, $K=4.38$ を得る。ただし N , B は m - s 単
 位, S_e , Q_e が mm - 5 分単位では $\alpha \approx 0.517$ 。また洪水到達
 時間は (5) 式, その実用推定式²⁾に

(6) 式がある。これらの式と (4)
 式とから (7) 式を得る。

$$t_p = R_d B^{0.6} (1 + \frac{t_c}{t_d}) P^{0.6-1} \quad (5)$$

$$t_p = C A^{0.22} P^{-0.35} \quad (6)$$

$$P = 0.65, K \approx \alpha_2 \frac{C A^{0.22}}{1+P} \quad (7)$$

ここに t_p : 洪水到達時間 (分),
 P : 有効降雨強度 (mm/hr), A :
 流域面積 (km^2), C : 定数, 市街

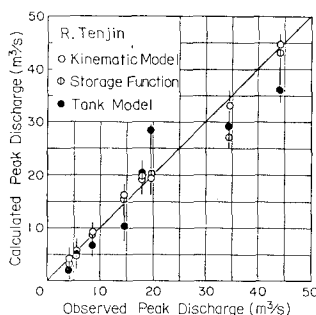


図5. ピーフ流量再現結果

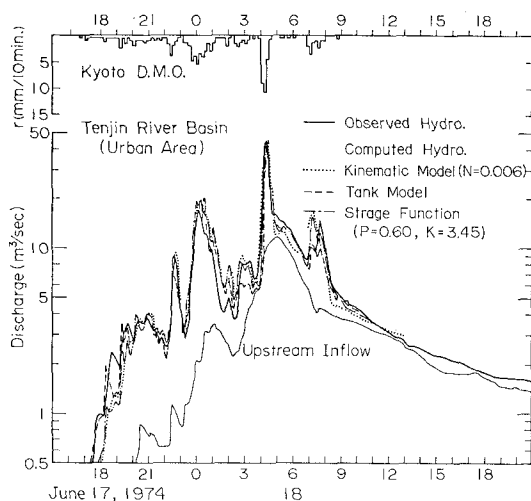


図4. 各モデルの再現結果の一例

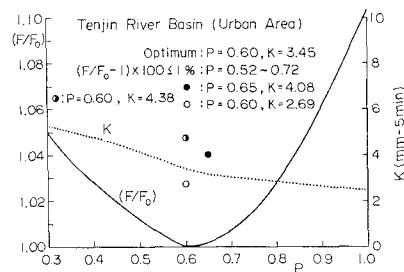


図6. P に対する相対目的関数 F/F_0 と最適な K

地域では約 65. S_e , Q_e が mm - 5 分単位では単位換算係数は $\alpha_2 \approx$
 0.0838 。(7) 式より $P=0.65$, $K=4.08$ を得る。上のよう
 に求まる貯留関数の K , P はいずれも最適値に近い (図6)。

2) タンクモデル: 最適化手法を用いれば, 再現性の良好な
 モデルは多く得られるが, 各々のオ一段の貯留関係 ($h_1 \sim c_1$)
 (図2) はほとんど同一であり (図7), 流出高の大きい所では
 (8) 式で表現できる。また図7より他のモデルとの関係は (9)
 $\sim$ (11) 式で示される。

$$h_1 - c_2 \approx K_t Q_1^{P_t} \quad (8)$$

$$\text{貯留関数との関係: } P_t \approx P=0.6, f_1 K_t \approx K, f_1 = 0.6 \sim 0.7 \quad (9)$$

$$\text{洪水到達時間との関係: } P_t \approx 0.65, f_2 K_t \approx \alpha_2 \frac{C A^{0.22}}{1+P}, f_2 = 0.8 \sim 0.95 \quad (10)$$

$$\text{雨水流モデルとの関係: } P_t \approx 0.6, f_3 K_t = \alpha_1 \frac{R_d B^{0.6}}{1+P_d} (1 + \frac{t_d}{t_c} \frac{t_c}{t_d}) \quad (11)$$

$$f_3 = 0.95 \sim 0.9 (t_d/t_c=1), f_3 = 0.5 \sim 0.55 (t_d/t_c=0),$$

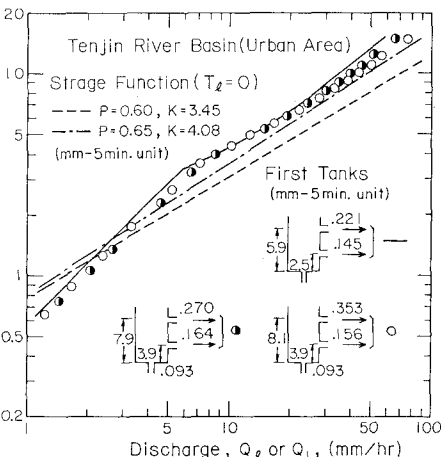


図7. タンクモデルの貯留～流出関係

ここに K_t , P_t : 定数, f_1 , f_2 , f_3 : ($h_1 \sim c_2$)

中の直接流出に与える貯留量及び2段以下の複雑な貯留流出関係を総合的に表わす定数。

6. あとがき 今後, 雨水流モデルの最適化, 他の土地利用形態の流域への, 各種モデルの適用などにつ
 いても研究を進める予定である。本研究は昭52科学研究費の成果の一部であることを付記する。

参考文献: 1) 小林・丸山, 農土論, 第65号, 1976. 2) 角屋・福島, 京大防災研年報, 第19号B2, 1977.