

貯水池流入河川水温予測に関する研究

山口大学工学部 正員 浮田 正夫、中西 弘
日本上下水道設計 川上 実 日産建設 伊藤 光明

1. はじめに

本研究は、貯水池水質予測の基礎となる貯水池内水温予測モデルの精度向上を目的とし、河川水温形成機構を表現するタンクモデルを用いて、特に出水時における貯水池流入河川の水温変化の予測を試みるものである。

2. 対象流域及び対象期間

対象は、図1に示す山口県厚東川ダムの流入河川、厚東川（流域面積 157.3km^2 ）及び太田川（流域面積 117.3km^2 ）について、1989年8月1日～1991年1月24日の期間とする。尚、この期間は50mm以上の降雨について両河川の貯水池流入部において、降雨終了後の一定期間継続調査（延べ55日間70回）を行い、検証用データとした。流量予測の検証用データとしては、厚東川ダム管理事務所の毎日の流入水量のデータを用いた。

3. モデルの概要

これまで演者らは、各降雨の表面流出と地下水流出の混入割合に着目した簡易な貯水池流入河川水温式を用いてきた。しかし、モデルの精度向上のために雨の温度、気温、地温と各成分流量の熱の授受を考慮していく必要があると考え、以下の様な機構、仮定による流入水温予測を試みた。モデルの概略は図2に、基礎式は表1にそれぞれ示す。

(1) 流量予測 タンクモデルを用いることで、表面流出、中間流出、地下流出の各流出成分に分離して解析できる利点を活かし、本研究では、3段直列のタンクモデルによって各タンクからの流出量と各タンク内の貯留量（貯留水深）を計算する。 $\Delta t=1/4$ 日とした。

(2) 水温予測 水温予測は、流出段階と流下段階により構成されている。

① 流出段階 降雨量と降雨時に於ける設定降雨水温を入力データとするが、表層タンクへの入力前に土との熱の授受を考える。タンク内では完全混合とし、流量予測によって得られた浸透成分量に比例した熱量が下段タンクの入力となる。下段タンクの入力前には、表層と同様、土との熱の授受を計算する。以下この計算を繰り返す。また、各タンクからの流出量と各タンクの水温から全流出水の熱量を算出し、流出水温を決定する。

② 流下段階 流下段階では、各季節の気温の影響を受ける平衡水温と流出水温の温度差により決定する熱の移動量を算出し、最終的に貯水池流入水温とする。

平衡水温は、以下に示す式より得た（1988年8月から1年間の山口気象台データを用いた。）計算値を各月毎に平均し、Sinカーブにより近似した値を用いた。

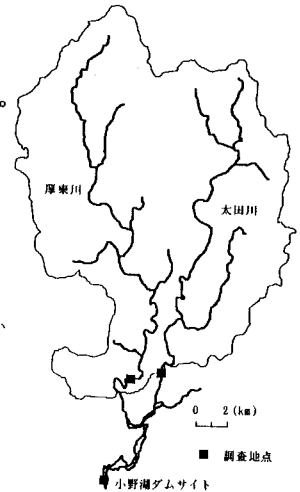


図1 厚東川対象流域

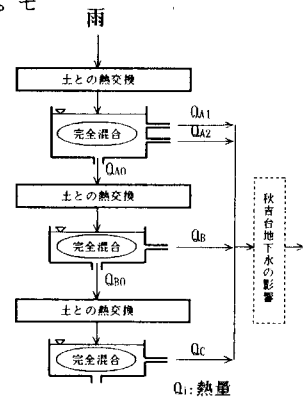
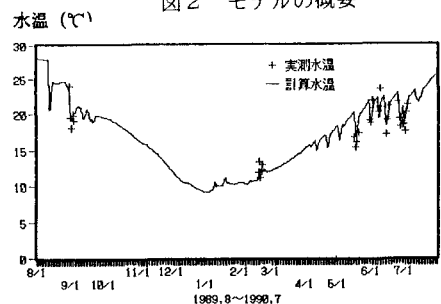


図2 モデルの概要



(厚東川) (平成元年8月～2年7月)

図3 水温予測の結果

$$\theta_w = \theta_a + \left\{ \frac{(R_N/h - 1.5 \cdot \Delta E)}{(1 + 1.5 \cdot de/d\theta)} \right\} \quad \dots(1)$$

$$R = \delta \cdot Ta^4 (1 - a - b \cdot e^{1/2}) \cdot (1 - c \cdot n^2) \quad \dots(2)$$

$$R_N = (1 - \alpha) \cdot I - R \quad \dots(3)$$

R:長波放射量、 R_N :正味放射交換量、I:短波放射量、cn:雲量、e:蒸気圧、 T_a :絶対温度、 α :水面反射率、a、b:定数、 θ_w :平衡水温、 θ_a :気温、h:熱伝達係数、 ΔE :飽差(気温 θ_a に対する飽和水蒸気圧力と気温 θ_a との差)、 $de/d\theta$:任意の気温に於ける飽和水蒸気圧力曲線の勾配(変化率)

(3) 対象流域の特殊性を反映して地下水の混入を考慮する。小野湖流入河川の厚東川、太田川はほぼ同様な地理的な条件を有するが、水質、水温に大きな違いがある。その原因は厚東川上流の秋吉台地下河川に由来するものと考えられる。両河川の違いを表現するため、厚東川では、流下段階において地下水温の一定割合が常に混入する機構を取り入れた。

4. 結果

(1) 流量予測 厚東川、太田川両河川の実測値と計算値の相関係数は0.93、0.94であるが、冬期の低水時計算流量が若干大きい。

(2) 水温予測 図3に、対象期間(1990年5月1日~75日)の水温予測結果(厚東川)を示す。図4に実測値のある部分を3つに分けて再掲する。これまで流量増加時と逓減時で同一流量での異なる水温、特に、夏季の降雨における違いは顕著であったが、今回、成分流量に分け、更に土との熱交換を考慮して、現象の再現に努めることで、貯水池流入河川水の水温予測としてほぼ満足できる結果が得られた。

表1 モデルの基礎式

【水の収支】

$$\frac{h(i) - h(i-1)}{\Delta t} = r(i) - Ya(i) - Yao(i)$$

$h(i)$:水位(mm)、 $r(i)$:降雨量(mm/day)、

$Ya(i)$:流出高(mm/day)、 $Yao(i)$:浸透高(mm/day)

【雨、土、気温の年変化】

$$Tr(i) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi(i-130)}{365}\right) + b$$

$$Ts(i) = c \cdot \sin\left(\frac{2\pi(i-130)}{35}\right) + d$$

$Tr(i)$:雨の温度(°C)、 $Ts(i)$:土の温度(°C)、

i:基準日からの延べ日数、a,b,c,d:定数

【雨と土の熱の授受】

$$Qr(i) = Tr(i) \cdot r(i) \cdot Cw \cdot \rho$$

$$Qin(i) = Qr(i) + dQin(i)$$

$$dQin(i) = kr \cdot (Ts(i-1) - Tr(i))$$

$Qr(i)$:降雨によって持ち込まれる熱量(cal/day/cm²)、

$Qin(i)$:表層タンクに持ち込まれる熱量(cal/day/cm²)、

$dQin(i)$:土との熱交換量(cal/day/cm²)、

$r(i)$:降雨量(cm)、 Cw :水の比熱、 ρ :密度(g/cm³)、

kr :熱伝達速度定数(cal/cm²・°C・day)

【完全混合(tank a)】

$$Qa(i) = Qa(i-1) + Qin(i) \cdot \Delta t$$

$$Ta(i) = \frac{Qa(i)}{Ha(i) \cdot Cw \cdot \rho}$$

$Qa(i)$:tank a内の全熱量(cal/day)

$Ha(i)$:tank aの水位(cm)

※tank b,cでは、 $Tr(i)$ 、 $Qr(i)$ の代わりに上段タンクの
 $Tj(i)$ 、 $Qj(i)$ を用いる。

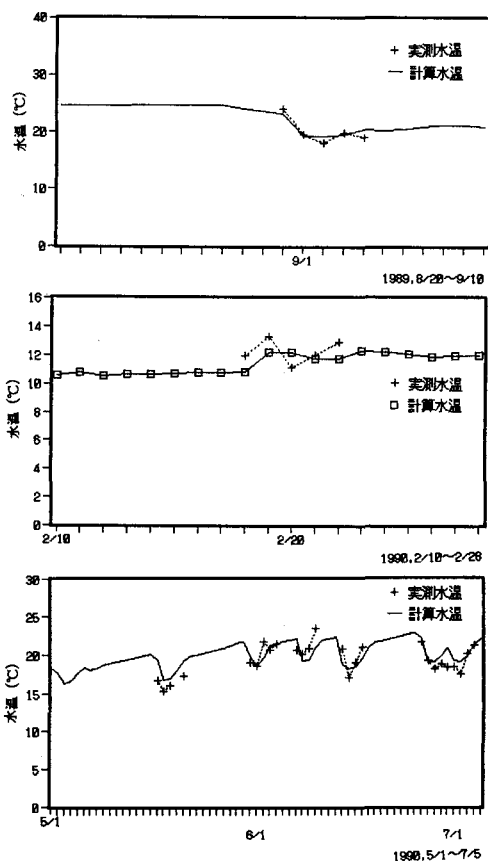


図4 水温予測の結果