

# ハイブリッド型準三次元地下水解析による河川流量評価

清水建設（株）和泉研究室 正会員 鈴木 誠  
 清水建設（株）技術研究所 正会員 百田博宣  
 九州大学大学院 正会員 神野健二

## 1. はじめに

タンクモデルは概念モデルであるため、地形・地質構造等を考慮できず、降水の流出過程や地下水流の物理的把握が困難であり、トンネルなどの空洞湧水が生じる解析への拡張はできない。一方、飽和・不飽和の準三次元 FEM 解析は、比較的小さな容量で広域水収支域の地下水状況や水文流出に適用できるため、著者らは空洞湧水量の評価と一般化された地表境界面処理法の導入による拡張を図っている<sup>1)</sup>。しかし、降雨浸透能と地表流出量の河川への到達時間については、概念的な表現に留まっている。本研究では、河川流量の評価に影響する降雨浸透能と河川到達時間を合理的に考慮することを目的に、直列4段タンクモデルの2段タンクへの涵養量を地下水解析の地表面涵養条件としたハイブリッド型のタンクモデル・準三次元地下水解析を提案し、観測データへの適用性を検討する。

## 2. ハイブリッド型解析の概要

河川流量の算出に関連した課題として、降雨浸透能の設定法と地表流出量の時間遅れ（河川到達時間） $\delta$ の設定法の2項目があげられる。そこで、水収支域の有効降雨量（降水量-蒸発散量）のデータと河川流量の観測データがある場合を対象に、この2項目の改良を目的としたタンクモデルと準三次元解析の結合方法を示す。

タンクモデルとして、図-1に示す直列4段タンクモデルを考える。図中、 $r(t)$ :降水量、 $e(t)$ :蒸発散量、 $h_1 \sim h_4$ :タンク水深、 $a_1 \sim a_5$ :タンク側方流出孔係数、 $b_1 \sim b_3$ :タンク下方流出孔係数、 $c_1 \sim c_4$ :タンク側方流出孔高さ、 $I_1, I_2, I_3$ :下段タンクへの浸透量、 $Q_1 \sim Q_5$ :タンク側方からの流出量であり、 $Q_1 \sim Q_5$ の総和が河川流量  $Q_r(t)$  になる。

$$Q_r(t) = \sum_{i=1}^5 Q_i \quad (1)$$

なお、 $e(t)$  は  $h_1(t) > 0$  の場合は1段タンクから取るが、 $h_1(t) = 0$  の場合は下段のタンクより取ることにする。

タンクモデルを解くことによって、 $I_1(t) \sim I_3(t)$  の浸透量、 $Q_1(t) \sim Q_5(t)$  の流出量が得られる。ここで、1段タンクの流出量は主に地表流出量、2段タンクの流出量は地表流出量と中間流出量、3段タンクと4段タンクの

流出量が地下水流出量に相当すると考えると、2段タンクへの浸透量  $I_1(t)$  または3段タンクへの浸透量  $I_2(t)$  が、降雨浸透能以下の有効降雨量成分と対応づけられる。

このため、降雨浸透能を設定することなく、準三次元解析の涵養条件  $P_s(t)$  をタンクモデルのタンク浸透量から設定でき、降雨浸透能を超える降水成分に対応する河川流出量はタンク流出量から算出できることになる。ここで、涵養条件  $P_s(t)$  は  $I_1(t)$  を基に、次式で与える。

$$P_s(t) = I_1(t) - E \quad (2)$$

ここに、 $E$ :タンクモデル解析において  $h_1(t) = 0$  の条件下で、2段~4段タンクから取られた蒸発散量の総和である。

式(2)の  $P_s(t)$  と2段タンク浸透量  $I_1(t)$  と区別するため、この  $P_s(t)$  は、2段タンク涵養量と称す。

## 3. 適用例

適用対象としたMダムは、堤高45m、総貯水量260万 $m^3$ の重力式コンクリートダムであり、流域面積は11.4 $Km^2$ 、平均標高はEL+600m程度である。適用対象の観測記録として、図-2に示す1992年1月から4年1ヶ月にわたる日降水量と日流出量を対象とする。一雨降水と流出量のピークの時間的遅れは、 $\delta=1 \sim 2$ 日であり、基底流量は概ね20000 $m^3/day$ である。

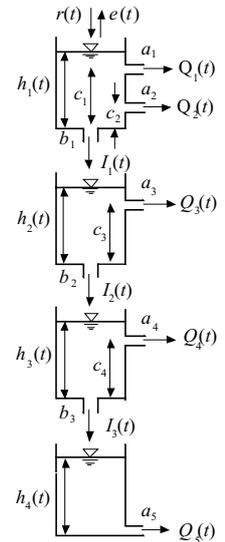


図-1 直列4段タンクモデル

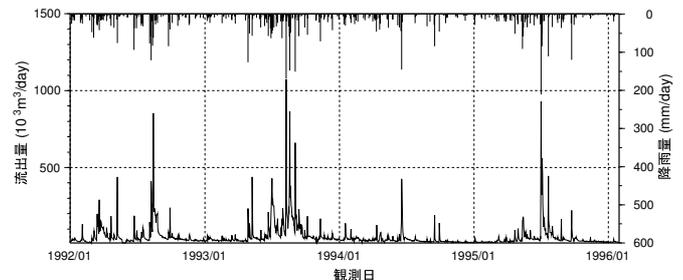


図-2 観測された日流出量と日降水量

Key Words: 地下水, 河川流量, 降雨, タンクモデル, 有限要素解析

〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-2 清水建設(株), TEL(03)3508-8101, FAX(03)3508-2196

また，図-3 に水収支域の解析モデルを示す．降水量と河川流量の観測記録と蒸発散推定値にタンクモデルを適用するが，有効降雨量の総和と河川流量の総和が等しくなるように蒸発散量 1.1mm/day を水収支域の降雨量から一律差し引いて与える．また，16 個のパラメータの同定には，遺伝的アルゴリズム (GA) を用いている<sup>2)</sup>．

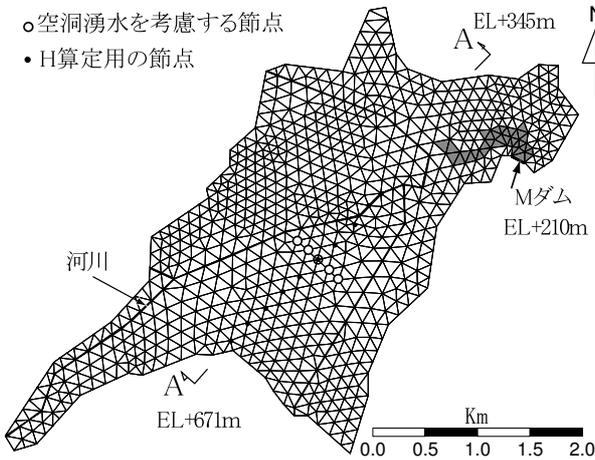


図-3 解析モデル

河川流量を約 4 年間を表示すると観測値との対応がわかりにくいので，ここでは比較的降雨量が多い 1993 年の解析結果のみ示す．図-4 に示す従来の有効降雨量を直接入力した Case-0 は，流出量のピーク値は比較的よく表現されているが，降雨時と無降雨時の差が大きく地表流出量の遅れは過少評価になっている．また，2 段タンク涵養量入力した解析は，タンクモデルの誤差評価関数を次式の最小二乗誤差基準と対数最小二乗誤差基準とした Case-1 と Case-2 の 2 通りとする．

$$J_1 = \frac{1}{M} \sum (Q_a(i) - Q_0(i))^2 \quad (3)$$

$$J_2 = \frac{1}{M} \sum (\ln Q_a(i) - \ln Q_0(i))^2 \quad (4)$$

ここに， $Q_0$ :観測河川流量， $Q_a$ :計算河川流量， $M$ :データ数を示す．図-5 と図-6 に示す Case-1 と Case-2 は，タンクモデルによる差異は大きくはないが，ピーク時の流出量が Case-2 の方が過大評価となっている．また，地表流出量の遅れについては，両者とも Case-0 よりは観測値を多少表現できており，基底流量に近い流出量は Case-1 の方が一致している．1993 年の流出量の日平均誤差をみると，最大流出量 1074700m<sup>3</sup>/day の Case-0 は 5.7%，Case-1 は 4.9%，Case-2 は 5.2%と若干ではあるが Case-1 のモデルの方が少ないことがわかる．

図-7 に Case-1 の比較的少雨時期 (1993.3.10) の等地下水水位線と地表浸出点分布を示す．図中の細い実線は河川を

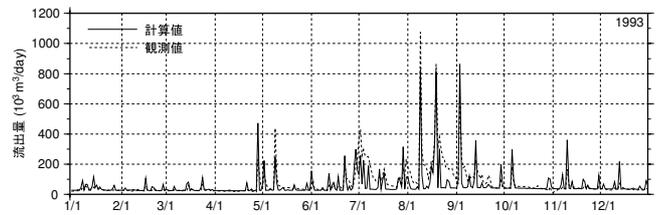


図-4 有効降雨量を直接入力による解析結果 (Case-0)

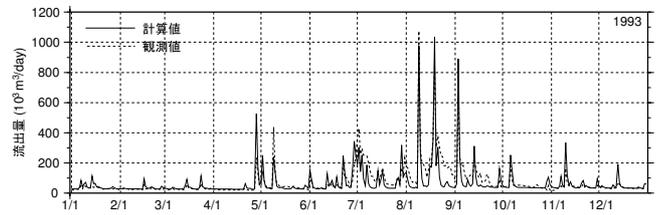


図-5 2 段タンク涵養量入力による解析結果 (Case-1)

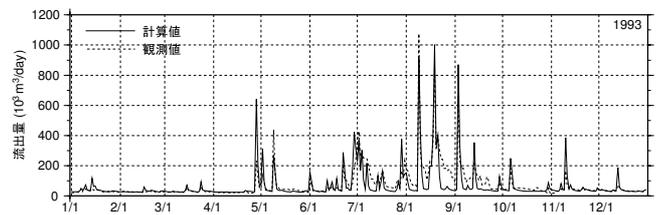


図-6 2 段タンク涵養量入力による解析結果 (Case-2)

表している．河川近くに地表浸出点が集まっている様子がわかる．

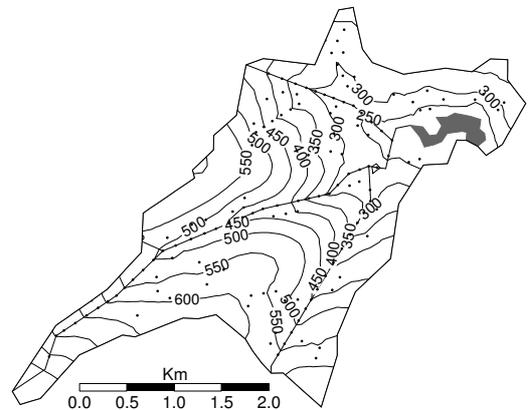


図-7 等地下水水位線と地表浸出点 (Case-1)

#### 4. おわりに

本研究では，河川への到達時間を解決することを目的に，直列 4 段タンクモデルの 2 段タンク涵養量を地下水解析の地表面涵養条件としたハイブリッド型のタンクモデル・準三次元地下水解析を提案した．また，1 段タンクの流出量と準三次元地下水解析結果を用いた河川流量の評価法も提案した．さらに，提案手法を実サイトの観測記録に適用し，その有用性を検討した．

#### 参考文献

- 1) 鈴木誠, 百田博宣, 神野健二, 長谷川誠: 準三次元解析による地表流出量と空洞湧水量の評価法, 土木学会論文集, No.677/II-55, pp.21-31, 2001.
- 2) 鈴木誠, 百田博宣, 神野健二, 河村明: GA を用いたタンクモデル同定に関する統計的検討, 水工学論文集, No.42, pp.115-120, 1998.