

SCE-UA 法を用いたタンクモデルの構築

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○杉原 成満 正会員 倉本 和正 正会員 荒木 義則
 八千代エンジニアリング(株) 非会員 大重 綱平(研究時所属: 山口大学大学院理工学研究科)
 山口大学大学院理工学研究科 正会員 朝位 孝二 フェロー会員 古川 浩平

1. はじめに

菅原¹⁾によって提案されたタンクモデルは、降雨が土壌中に浸透した後、流出する状況を表現したモデルであり、河川の流出予測や土砂災害の発生予測等において広く活用されている。これらの予測分野においてタンクモデルを用いる場合、タンクモデルの構造(タンクの段数や流出孔の数)と浸透・流出に関するパラメータは、流量観測データに整合するように同定することが望ましい。

そこで、本研究では最適化手法の一つである SCE-UA 法(Shuffled Complex Evolution Method developed at the University of Arizona)²⁾を活用し、最適なタンクモデルの構造とパラメータの同定を試みた。

2. タンクモデル構築手法の概要

(1) タンクモデル構築の解析手順

本研究では、図-1 に示す解析手順により最適なタンクモデル構造とパラメータの同定を行った。タンク数と流出孔数が多いほど観測流出量に対する再現は有利であるため、まずは十分なモデルとして 5 段タンクモデルを採用しタンクモデルの構築を行うこととした。その後、不要なタンクと流出孔を順次削除することで、より縮約された最適なタンクモデル構造とパラメータの同定を行うものである。

(2) 同定解析に用いるタンクモデル

同定解析に用いるタンクモデルは、側方流出孔 3 つ、浸透孔 1 つを有する 5 段タンクモデルとした。当該モデルにおいて同定すべきパラメータは、流出孔 ($\alpha 1 \sim \alpha 15$)、流出孔位置 ($L1 \sim L15$)、浸透孔 ($\beta 1 \sim \beta 5$)、および各タンクの初期水位 ($S1 \sim S5$) の計 40 定数である。

(3) 解析手法

タンクモデルパラメータの同定解析には、探索出発点の良否に影響されず大域的な解を求められ、かつ探索効率がよい大域的探索手法として提案されている SCE-UA 法²⁾を用いた。

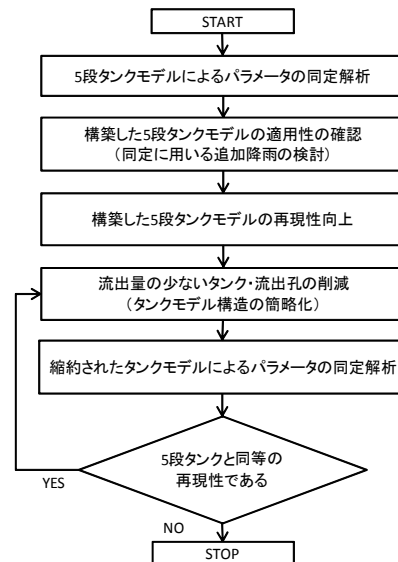


図-1 タンクモデル構築の解析手順

表-1 最適階の探索範囲

パラメータ	探索範囲	
	上限	下限
$L1 \sim L15$	200	0
$\alpha 1 \sim \alpha 15$	0.5	0
$\beta 1 \sim \beta 5$	0.5	0
$S1 \sim S5$	100	0

(4) 解析条件

最適解の探索範囲は表-1 に示すとおり上限、下限ともに十分な探索範囲を与えた。

また、目的関数は、観測比流量(流量を流域面積で除した値)と同定したパラメータを用いた計算比流量との平均二乗誤差を最小とすることとした(式(1))。

$$RMS = \frac{1}{N} \sum \sqrt{(Q_0 - Q_c)^2} \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 RMS : 観測比流量と計算比流量との平均二乗誤差(mm/hr)、 N : データ数、 Q_0 : 観測比流量(mm/hr)、 Q_c : 計算流比流量(mm/hr)である。

本検討では、防府市佐波川流域において観測された雨量・流量データ(1990年～2009年、国土交通省真尾観測所)のうち、防府市で過去に土砂災害が複数件発生した総雨量180～297mmの4つの降雨イベントと断

キーワード タンクモデル, SCE-UA 法

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐2丁目3-30 中電技術コンサルタント(株) TEL082-256-3347

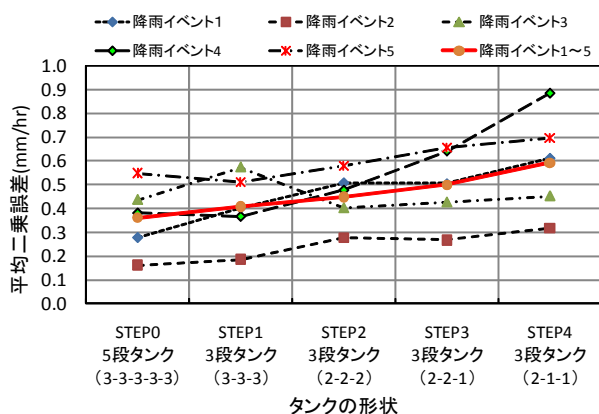


図-2 タンクモデル簡略化による平均二乗誤差の推移

続的に継続する長期降雨イベントの計 5 つの降雨イベントを用いてタンクモデルパラメータの同定を行う。

また、収束判定は計算回数が 30,000 回に達した時点とし、その時点で得られた解を最適解とした。

3. タンクモデル構築およびパラメータ同定結果

図-1 に示すフローに従って構築したタンクモデルの簡略化に伴う平均二乗誤差の推移を図-2 に示す。

図-2 より、タンクモデルを簡略化することで平均二乗誤差が大きくなることが確認された。その中でも降雨イベント 4 (平成 21 年防府災害時の降雨) は変化傾向が顕著であり、流出孔 2-2-1 の 3 段タンクモデル (図-3(a)) から流出孔 2-1-1 の 3 段タンクモデル (図-3(b)) に簡略化する過程において、観測流出量ピーク時の再現性が大きく低下することが確認された (図-4)。

そのため、対象地域における最適なタンクモデルは流出孔 2-2-1 の 3 段タンクモデルであると考えられる。

4. タンクモデルの比較

構築したタンクモデルにより降雨イベント 4 の流出過程を再現した結果を図-4 に示す。

図-4(a) より、流出孔 2-2-1 のタンクモデルは、降雨時や降雨ピーク直後は 1 段タンクおよび 2 段タンクからの流出が全流出の多くを支配し、降雨後は 2 段タンクと 3 段タンクからの流出が全流出の多くを支配している。そのため、当該タンクモデルは各タンクがバランスよく結びつき、全流出量の変動傾向を精度よく再現可能なタンクモデルであると考えられる。

それに対し、図-4(b) に示す流出孔 2-1-1 の 3 段タンクモデルは、全流出のほぼ全てを 1 段タンクからの流出が占めるため、全流出量の変動傾向が 1 段タンクにのみ依存するというバランスの悪いタンクモデルが構築されている。これにより、流出孔 2-1-1 のタンクモデル

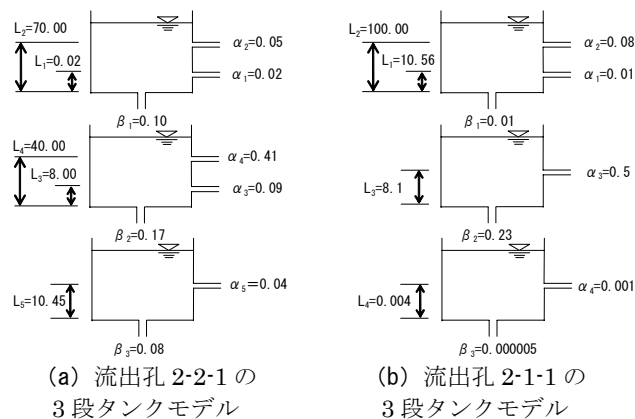
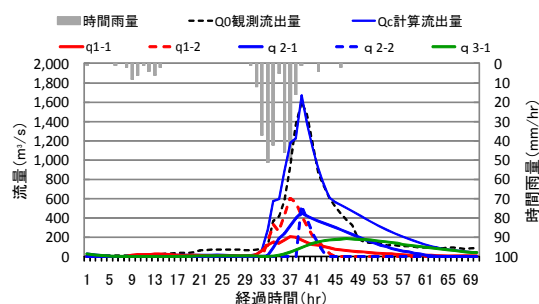
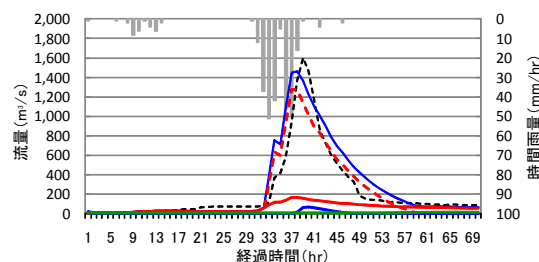


図-3 構築したタンクモデル



(a) 流出孔 2-2-1 の 3 段タンクモデル



(b) 流出孔 2-1-1 の 3 段タンクモデル

図-4 降雨イベント 4 に対する再現結果

※qx-y: x 段目のタンクの下から y 番目の側方流出量を示す

ルは、観測流出量ピーク時の再現性が大きく低下したものと考えられる。

5. まとめ

本研究で提案する手法を用いることで、最適なタンクモデルの構造とパラメータの同定を行うことが可能であると考えられる。今後は他地域での適用検証を行い、手法の有用性を確認する次第である。

参考文献

- 1) 菅原正巳：流出解析法，共立出版，1972。
- 2) Duan,Q.,Sorooshin,S.and Gupta,V.K. : Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, Water Resources Research, Vol.28, No.4, pp.1015-1031, 1992。