

複数地域の流出特性を考慮した汎用タンクモデルの構築方法の提案

国土交通省 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 山田 拓、小竹利明
 国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター 木下篤彦、柴田 俊
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 中谷洋明、野村康裕※
 中電技術コンサルタント株式会社 ○池田 寛、倉本和正、中田一騎、大上峻平
 (※現 富山県砂防課)

1 はじめに

土壌雨量指数は、図-1 に示す3 段タンクモデルによって計算される土壌の水分量を表した指数であり、全国的に土砂災害の危険度評価に用いられている。しかし、土壌雨量指数は、花崗岩地域に適したタンクモデルパラメータを全国一律で採用しており、地域特性が考慮されていないことが課題である。

この課題に対し、個別の流域に対して研究がなされた事例がある（例えば、杉原ら¹⁾）。しかし、すべての流域に対してタンクモデルを構築することは困難であるため、今後は、複数地域に適用可能なタンクモデルを構築する必要があると考えられる。

本検討では、このような背景を踏まえ、複数地域の流出特性を考慮した汎用性のあるタンクモデルの構築を試み、そのモデルの精度を検証した。

2 検討方法

本検討では、図-2 に示す素因特性が類似する5つの隣接流域について、個別流域の流出特性のみを考慮した個別モデル（5 ケース）と全流域の流出特性を考慮した汎用モデル（1 ケース）を構築した。

構築した計6 ケースのモデルおよび気象庁モデルを用いて、各流域の比流量を算出・比較し、汎用モデルの汎用性や精度を検証した。

3 解析手法および解析条件

タンクモデルパラメータの同定において、解析手法には、比較的容易に最適解が探索可能な SCE-UA 法¹⁾を用いた。SCE-UA 法のアルゴリズムのパラメータは、杉原らの研究¹⁾と同様とした。

タンクモデルパラメータの探索範囲は、同定したタンクモデルパラメータの値が上限に達しないように、試行錯誤で決定した。

誤差評価関数には、高水部の適合度を重視する際に一般的に用いられる RMSE（式(1)参照）を用いた。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{(Q_{ci} - Q_{oi})/A\}^2} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 Q_{ci} ：計算流量、 Q_{oi} ：観測流量、 A ：流域面積、 N ：データ数である。

制約条件は、同定したタンクモデルパラメータが物理的に不都合な値とならないように、以下の3つとした。なお、以下の条件を満足できない場合は、誤差評価関数に十分に大きな値を加算した。

① 流出孔 α_{11} と α_{12} の高さが逆転しない ($L_{11} < L_{12}$)。



図-1 3 段タンクモデル

図-2 対象流域

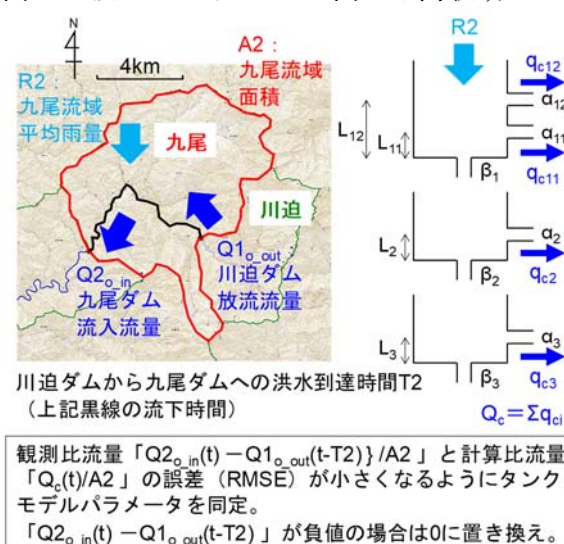


図-3 解析に用いた雨量・流量データ（九尾流域の例）

- ② タンクの貯留量が負値とならないように、流出孔 α_i 、浸透孔 β_i の和は1 以下。
- ③ 水収支（式(2)参照）がバランスしている（藤原らの研究²⁾を参考に水収支誤差を2%以内まで許容）。

$$\text{Water balance error} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{ci} - \sum_{i=1}^N Q_{oi}}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}} \quad \text{式(2)}$$

解析における収束判定条件は、RMSE が 1.0×10^{-6} (mm/hr) 以下とした。なお、当該判定条件を満足できない場合は、RMSE が収束していることを確認し、繰り返し計算 5,000 回で計算を終了した。

4 解析に用いたデータ

タンクモデルパラメータの同定では、タンクに観測雨量を入力し、タンクから排水される計算比流量と観測比流量の誤差（RMSE）が小さくなるように解析を行う。

その際、入力値となる雨量データには流域平均雨量を用い、出力値（計算比流量）と比較するデータには、ダ

ム流入流量を流域面積で除した比流量を用いた。

ただし、川迫（最上流）以外の流域の場合、図-3 に示すように、入力値となる雨量データおよび出力値と比較するデータには、ダム区間の流域平均雨量および比流量（「当該ダム流入流量－上流ダム放流流量」を流域面積で除した比流量）を用いた。また、ダム区間の比流量の算出においては、中小河川計画の手引き（案）を参考に、上流ダム放流流量の遅れ時間を考慮した（図-3 中の T2）。

なお、解析に用いるデータは、大雨時の流出特性をより反映できるように、個別モデルの場合、当該流域の総雨量上位 10 イベントとし、汎用モデルの場合、各流域の総雨量上位 10 イベント（計 50 イベント）とした。

5 解析結果および精度検証

タンクモデルのパラメータを同定し、各流域における RMSE を算出した結果を図-4 に示す。なお、図中の棒グラフ上端の数値は、RMSE の順位（小さい方が精度が高い）を示したものである。また、個別モデルは、「パラメータ調整で対象とした流域名」＋「モデル」（例えば、川迫モデル）とモデル名を表記している。

この図より、各個別モデルは、パラメータ調整で対象とした流域に対して、順位が 1 位と精度が高いことがわかる（図中○）。しかし、その他の流域に対しては、順位が 4 位～7 位と低くなる場合があり、汎用性が低いと考えられる。

一方で、汎用モデルは、順位が 1 位となる流域がないものの、すべての流域に対して 2 位～3 位の高水準の精度を有していることがわかる（図中○）。また、気象庁モデルより RMSE が低いことも確認できる。

これらの結果より、汎用モデルは、汎用性が高く、気象庁モデルよりも高い精度を有していると推察される。

次に、比流量の立ち上がりやピーク時等の状況について精度を確認した。観測値、川迫モデル、二津野モデル、汎用モデルの比流量の比較図を図-5 に示す。

図-5(1)より、川迫流域の場合、川迫モデルや汎用モデルは、全体的に比流量の推移を表現できているが、二津野モデルは、比流量の立ち上がりが遅く、ピーク後に大きな誤差が生じていることがわかる。

また、図-5(2)より、二津野流域の場合、二津野モデルは、全体的に比流量の推移を表現できているが、川迫モデルは、比流量の立ち上がりが早く、ピーク前に大きな比流量の誤差が生じていることがわかる。なお、汎用モデルは、これら双方のモデルの中間の比流量を示しており、川迫モデルよりも誤差が小さいことがわかる。

これらの結果より、個別モデルは、他流域に適用すると、比流量に大きな誤差が生じる可能性があるが、汎用モデルは、比較的大きな誤差が生じる可能性が低いと想定される。

6 おわりに

素因特性が類似する 5 つの隣接流域を対象に、個別流域のみの流出特性を考慮した個別モデルと対象流域すべ

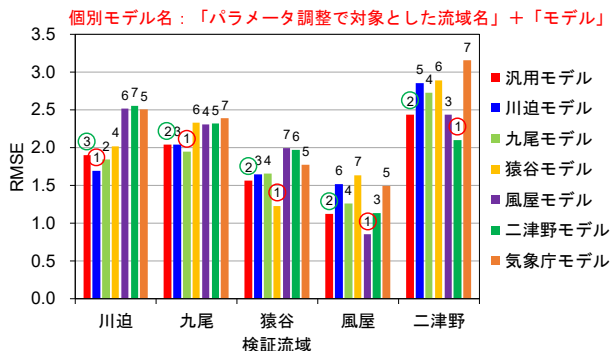
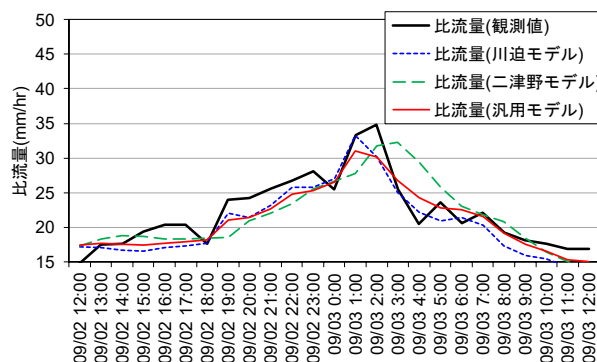
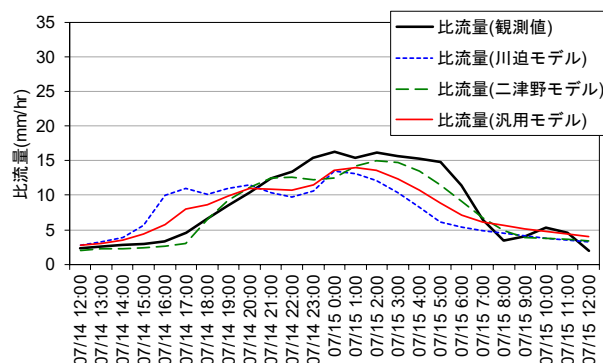


図-4 各流域における RMSE の算出結果



(1) 川迫流域（2011 年 9 月 2 日～3 日）



(2) 二津野流域（2007 年 7 月 14 日～15 日）

図-5 比流量の比較図

での流出特性を考慮した汎用モデルを SCE-UA 法を用いて構築し、精度の比較を行った。

その結果、対象流域すべての流出特性を考慮することで、汎用性が高く、一定の精度を確保した汎用モデルを構築できる可能性が示唆された。

今後は、さらに多数のデータを活用し、素因特性が類似する地域のうち、隣接しない地域での汎用モデルの適用性などを検討したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 杉原成満ら：SCE-UA 法を用いたタンクモデルの構築とそれを用いた土砂災害発生危険基準線の設定、土木学会論文集 F6（安全問題）、Vol. 67、No. 1、pp.1-13、2011.
- 2) 藤原洋一ら：流出モデル定数の最適同定における誤差評価関数の選択に関する研究、農業土木学会論文集、No.225、pp.137-149、2003.