

鉛直浸透機構を考慮した流出モデルの長期流出解析におけるパラメータの安定性に関する研究

大石 裕泰^{1*}・山田 正²

¹中央大学大学院 理工学研究科 都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²中央大学 理工学部 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

* E-mail: a13.dsju@g.chuo-u.ac.jp

長期流出解析による流量の将来予測を考えると、年度や降雨ケースによって定数の変動が少ない、パラメータの安定性が求められている。本研究では、鉛直浸透機構と斜面計算を分離した物理的流出モデルを用いて、長期流出解析におけるパラメータの安定性を評価した。4年間、各年においてパラメータの同定を行った結果、それらの年度ごとのパラメータの変動が少ないことが分かった。また、それらのパラメータの平均値を用いて計算をしても計測値との差はほとんど変わらなく、パラメータの安定性があるという結果が得られた。

Key Words : long-term runoff analysis, vertical infiltration, stability of parameters, degree method

1. はじめに

我が国の水資源は、国土の60%を占める山地部からの河川水に大きく依存している。しかし河川上流部で降った雨は2~3日で河口まで流れてしまうため、日本ではダムを作ることによって水資源を確保している。そして、河川上流域の山地部で水資源開発をしているダム管理を効率的に行うためには長期流出解析による予測が求められている。

菅原のタンクモデル¹⁾は連続式を用いた簡易的な構造と計算式を持ちながら長期短期問わずに再現性が高いことから一般的に長期流出解析にも広く用いられる。しかし、このモデルで同定されたパラメータはばらつきがあり、同定時の初期値や流域の条件で変動し、安定性のあるパラメータを決定することは困難であるとも示されている。²⁾

長期流出解析をする上で将来の予測を考えると、雨の降り方や強度が変わったときのパラメータの安定性が必要である。この研究では、長期流出解析への適用性も示されている吉見・山田が提案した鉛直浸透機構と斜面計算を分離した降雨流出モデル³⁾において数年にわたるパラメータの安定性を評価した。

(1) 流出計算手法の概要

吉見・山田が提案した流出モデルの概要を示す。山田らは従来から単一斜面における一般化された降雨流出の基礎式を提案している⁴⁾。また、吉見・山田らは山腹斜面は複数の層で構成されていると考え、各層における鉛直浸透量と流出に寄与する雨量の連続関係を単一斜面における流出の基礎式と組み合わせたモデル³⁾を提案をした。さらに吉見らにより、山地流域での短期の洪水計算では2段3層構造のモデル、長期流出解析へ適用する場合は3段4層構造のモデルによって高い再現性が得られることも示されており³⁾、本研究では3段4層構造のモデルを使用した。

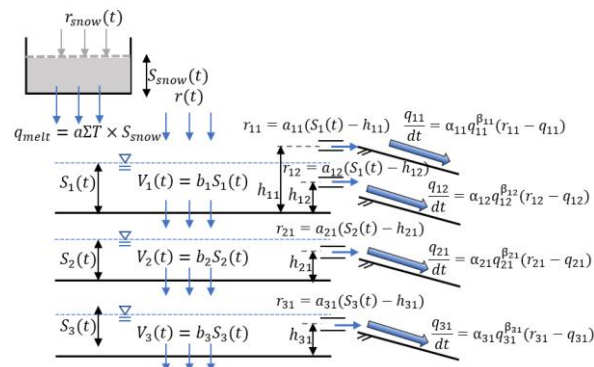


図-1 使用モデルの概念図

2. 流出計算結果

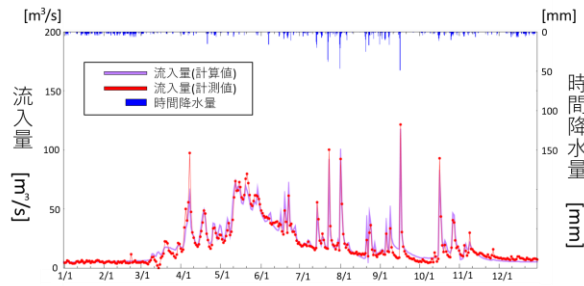


図-2 2013 年同定パラメータでの 2013 年計算結果

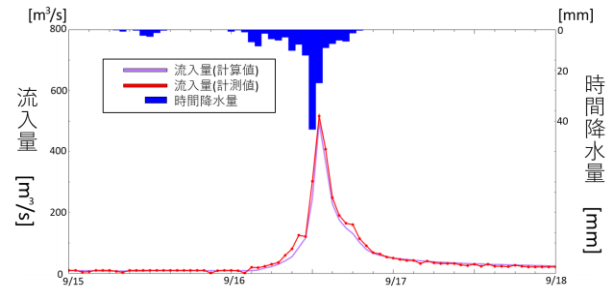


図-4 2013 年同定パラメータでの 2013 年洪水計算

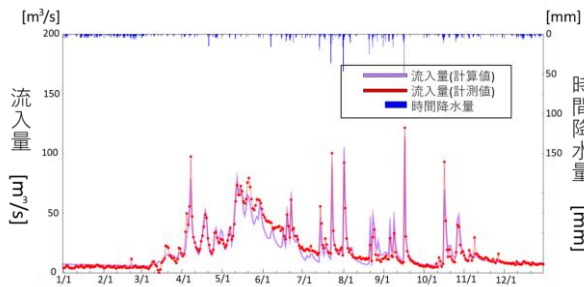


図-3 2011 年同定パラメータでの 2013 年計算結果

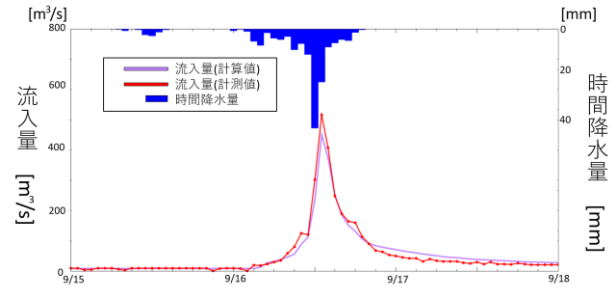


図-5 2011 年同定パラメータでの 2013 年洪水計算

融雪量はDegree法と連続式から計算し、融雪量を鉛直浸透機構を考慮したモデルの1段目に入力することで接続をした。Degree法は積算気温とそれにかかる係数のみから融雪量を推定することができる簡易的なモデルであり、本研究では時間単位に適用させることによってDegree-hour法とした。

モデル全体の概念図を図-1に示す。ここに、 r ：降雨強度[mm/h]、 T ：気温[°C]、 r_m ：有効降雨強度[mm/h]、 S_n ：各層の土壌内水位[mm]、 q_m ：各層からの流出高[mm/h]、 V_n ：鉛直浸透量[mm/h]、パラメータが a_m 、 b_m 、 α_m 、 β_m 、 h_m である。融雪量算定に関しては融雪係数 a と、図-1には書かれていないパラメータが2つ、雪判定気温 T_{snow} と融雪開始気温 T_{melt} が含まれている。

(2) パラメータ同定

融雪量算出のためのパラメータ3個と鉛直浸透と斜面流出計算のためのパラメータ19個の計22個を同定するために、一般的に非線形最適化に広く用いられるガウスニュートン法を使用した。さらに、収束を安定させるためにLevenberg-Marquardt法による修正法を用いた。

4年間で各年でパラメータを同定して、計算年と同じ年で同定したパラメータを使用した場合の計算結果と、別の年で同定したパラメータを使用した結果の比較をした。

(3) 計算結果と考察

対象流域は利根川水系にある流域面積167.4km²の矢木

沢ダム流域である。計算期間は2010年11月から2014年11月までの4年間である。入力データ間隔は1時間で、計算ステップは20分とした。計算期間の中で最も洪水が多かった2013年の計算結果を、計算年と同じ年で同定したパラメータを用いた場合を図-2に、2011年で同定したパラメータを用いた場合を図-3に、それぞれ日データに平均化したものを示す。

どちらにおいても、7月から11月の洪水のピークをよく再現できている。より詳しく見るために、この年で一番大きかった洪水を時間データのハイドログラフで示したものが図-4と図-5である。この洪水の総降雨量は流域平均で176.4mm、ピーク雨量強度は49mm/hで、図-4が同じ年でパラメータを同定したもの、図-5が2011年に同定したパラメータを使用したものである。2011年で同定したパラメータを用いた計算においても立ち上がりと逓減は良く再現でき、ピーク流入量の計測値との差は約10%増えた。この洪水以外の洪水においても同様で、2011年で同定したパラメータを用いると5~10%ほど計測値との差が広がるだけで、それ以上の大きな差が生じることはなかった。

一方、4月から6月の融雪期については、計算年と同じ年で同定したパラメータを使用した場合は良い再現性を示しているが、計算年と異なる年である2011年で同定したパラメータを使用した場合は融雪期末期の5月後半から6月にかけての逓減に大きな差が生じており、再現性が低いことが分かる。その理由として、モデル内の融雪流量を計算する部分が、気温のみに依存するDegree法と連続式

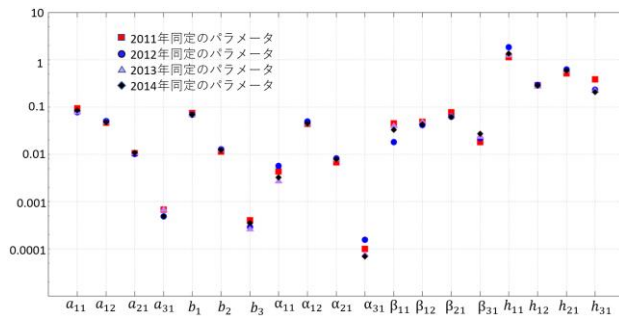


図-6 各年で同定されたパラメータ

から計算していることが挙げられる。融雪流出のメカニズムは様々な気象因子や熱輸送が組み合わさり構成されるが、それらの現象はDegree法においては融雪係数と呼ばれる1つのパラメータにパラメタライズされるか、もしくは考慮されていない。そのため、融雪期においてもパラメータ推定によって各年の計測値に合わせる係数を決定することは可能であっても、それが異なる年でも適用可能か、また、小さな変動に対しても安定した解が得られるか等といったパラメータの安定性は低いという結果になったと考えられる。

他の3年間の計算結果も同様で、洪水ケースでは計算年と同じ年で同定したパラメータを使用しても別の年で同定したパラメータを使用しても計測値と計算結果との洪水ピーク流量の差は全て12%以内に収まる結果となった。別の年で推定したパラメータで用いても良い再現性があることから積雪・融雪期以外の洪水ケースにおいてのみパラメータの安定性があることが分かる。

3. パラメータの安定性の評価

4年間で推定したパラメータを図-6に示す。鉛直浸透と斜面計算のためのパラメータ19個のうち、4年間の平均パラメータと各年で同定したパラメータの差は全てが50%以内の差に収まっている。4年間の計算を、パラメータの変動を少なく抑え、精度良く計算できていることを示しており、実用性が高いと言える。

洪水計算におけるパラメータの安定性をさらに詳しく見るために、各年で同定したパラメータと4年間の平均パラメータを使用しての洪水ピーク流量の計測値との差の比較をした。対象ケースは4年間の中で計測流入量が200m³/sを超えた7ケースである。結果は、計算年と同じ年で同定したパラメータを用いた場合は対象洪水のピーク流入量の差の平均が8.7%であるのに対し、4年間の平均パラメータを使用した場合では9.9%であった。両者はほとんど変わらない再現性であり、パラメータの安定性があ

ることを示している。

4. まとめ

本研究では、長期流出解析への適用性が示されている物理的モデルである吉見・山田のモデルを用いた長期流出解析におけるパラメータの安定性を検証した。

その結果、モデルのパラメータの安定性があることが分かり実用性が高いことが分かった。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 吉見・山田の鉛直浸透機構を考慮した流出モデルによる長期流出解析では、融雪期を除く洪水期においてはパラメータの安定性があることが分かった。融雪期については、計算に用いたDegree法が考慮している物理現象が少なく物理性が低いことからパラメータの安定性が低いと考えられる。
- 2) 融雪期では特に5月後半から6月の融雪期末期において、別の年のパラメータでは計測値と大きくズレることが分かった。しかし融雪量計算は気温のみしか考慮しない概念モデルであるDegree法を用いたためパラメータの安定性がないことは当然と言えば、他の気象因子を考慮して物理的に融雪量を求めた場合の検討が必要である。
- 3) 鉛直浸透と斜面計算のための19個のパラメータは、4年間で同定したパラメータはそれぞれ大きく変化しておらず、4年間の平均パラメータを使用した計算でも同等の精度の計算が可能であることが分かった。さらに、安定性のあるパラメータの範囲が分かった。

参考文献

- 1) 菅原正巳：流出解析法，共立出版，1972
- 2) 鈴木誠・百田博宜・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，土木学会水工学論文集，Vol.42，pp.115-120，1998
- 3) 吉見和弘・山田正：鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長短期流出解析への適用，土木学会水工学論文集，Vol.70，pp.367-385，2014
- 4) 山田正：山地流出の非線形性に関する研究，土木学会水工学論文集，Vol.47，pp.259-264，2003