

損失量を考慮したタンクモデルとパラメータ同定手法に関する検討

福岡大学大学院 学生会員 ○藤本雄大

福岡大学工学部 正会員 手計太一, 佐藤研一, 平野文昭

1. はじめに

タンクモデルは、そのモデル構造の簡便性及び流出現象の表現性の良さ、また比較的精度が良いなどの理由から、現在、短長期の流出予測で最も頻繁にそして広く使われている流出モデルの一つである。しかし、タンクモデルのパラメータの最適化は初期値や探索範囲に依存し、流域毎に一意の値に決めることは困難であることが知られている。そのため、タンクモデルのパラメータの同定手法に関する研究は数多くなされているが、パラメータを一意的に決定できないのが実情である。そこで、本研究では、物理的な制約条件の下、複数の評価指標でスクリーニングを行うことによって、対象流域に対してパラメータ値を一意的に決定することを目的とする。また、多田¹⁾は長期間の計算では最下段のタンクから損失量を減ずる方法が長期間にわたり安定した適合度を保つことを示していることから、一般的な2段タンクモデル（従来型）と損失量を考慮した2段タンクモデル（損失考慮型）の比較検討を行う。

2. モデルと使用データ

本研究では、パラメータ数を少なくするように勤め、図-1に示す7つのパラメータを有する2段タンクモデルと9つのパラメータを有する損失量を考慮した2段タンクモデルを使用した。モデル中のH1, H2, H3は貯留深（mm）、A1, A2は流出孔の大きさ、B1, B2は浸透孔の大きさ、C1, C2は流出孔の高さ（mm）である。また、計算はすべて10分単位で行い、短期の出水を対象としたため、蒸発散量は考慮しない。

本研究における対象流域は、（独）土木研究所が1969年から継続的に水文観測を行っている流域面積3.12km²の裏筑波流出試験地²⁾である。流域内は典型的な山地森林流域である。本研究で利用したデータは、1969年から1998年までの30年間に観測された洪水のうち、既往最大から順に30番目までの出水（総降雨量：26mm～300mm）を選択した。

3. 研究方法

タンクモデルの最適化手法は現在までに数多く検討されており、一定の成果が報告されている。本研究では、角屋³⁾によってその実用性が確認されている拡張カルマンフィルタを使用した。なお、システム方程式のノイズは5%、観測雑音の標準偏差は1.0とした。本研究では、実用性を考慮し客観的にパラメータの値を決定できるようにするためにそれぞれのパラメータにおいて適当な初期値を決定し、従来型では5184通り、損失考慮型では20736通りの組合せを初期値として与えた。また、計算流量が観測流量をどの程度再現しているのかを定量的に評価する指標として、総流出量誤差、ピーク流量誤差、相関係数、Nash Sutcliffe指標⁴⁾、対数二乗誤差基準の5つを用いた。

4. 解析結果

使用データがパラメータの最適化に与える影響として、出水規模やデータ数などが考えられる。そこで、それぞれのパラメータについて使用データの特性と標準偏差の関係について検討を行った。従来型では、パラメータの最適化に使用したデータの総降雨量が大きいものほど、貯留深H1及びH2の標準偏差は大きかった。その要因として、タンク内において貯留することで流量を調節していることが挙げられる。H1及びH2以外のパラメータについては、

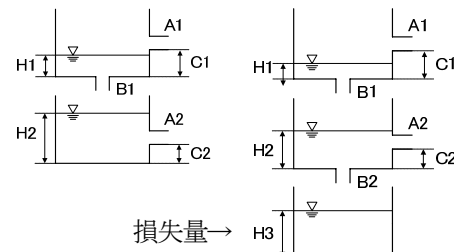


図-1 2段タンクモデルと損失量を考慮した2段タンクモデル。

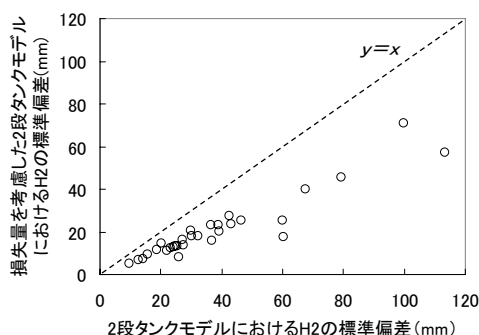


図-2 従来型におけるH2の標準偏差と損失考慮型におけるH2の標準偏差の関係。

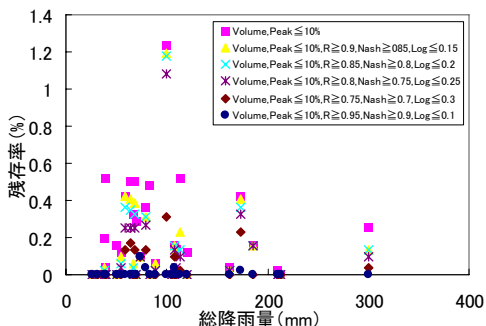


図-3 従来型における、複数の評価指標を用いてスクリーニングを行ったときの残存率。

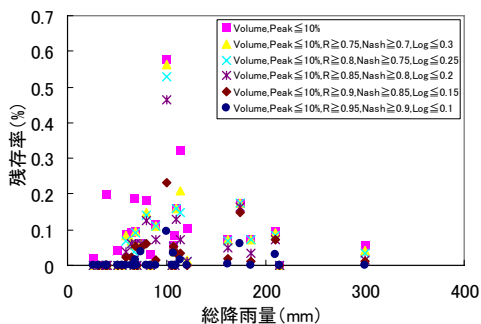


図-4 損失考慮型における、複数の評価指標を用いてスクリーニングを行ったときの残存率。

キーワード タンクモデル、最適化、拡張カルマンフィルタ、損失量、裏筑波流出試験地

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1 福岡大学大学院工学研究科 TEL 092-871-6631

パラメータの標準偏差と総降雨量の有意な傾向は見られなかった。図-2は、従来型におけるH2の標準偏差と損失考慮型におけるH2の標準偏差の関係である。損失を考慮することでH2の標準偏差は全体的に約45%小さくなっている。H2以外のパラメータについては、従来型と損失考慮型における標準偏差に大きな違いは見られなかった。

次に、総流出量誤差率10%以下かつピーク流量誤差率10%以下を満足することを条件に設定し、流量の適合性を評価する相関係数、Nash Sutcliffe指標、対数二乗誤差基準を用いてスクリーニングを行った。その際、相関係数、Nash Sutcliffe指標、対数二乗誤差基準で単独にスクリーニングを行った場合、出水の残存数が同程度となるようにそれぞれの基準値を試行錯誤で決定した。

図-3は従来型における総流出量誤差率とピーク流量誤差率が10%以下を満足する条件下で、複数の評価指標を用いてスクリーニングを行ったときの残存率、図-4は損失考慮型における総流出量誤差率とピーク流量誤差率がともに10%以下を満足する条件下で、複数の評価指標を用いてスクリーニングを行ったときの残存率である。損失考慮型の残存率は、従来型の残存率に比べて全体的に小さい。しかし、青丸で示される総流出量誤差率10%以下、ピーク流量誤差率10%以下、相関係数0.95以上、Nash Sutcliffe指標0.9以上、対数二乗誤差基準0.01以下の基準においてスクリーニングを行なった結果、従来型では出水規模の違う4出水、合計10出水（残存率約0.2%）、損失考慮型では出水規模の違う8出水、合計61出水（残存率約0.3%）が残存し、損失考慮型の残存率の方が大きい。このことから、損失考慮型は従来型の2段タンクモデルよりも質の良い結果が得られると言える。

ここで、スクリーニングの基準を更に理想値に近づけ（総流出量誤差率10%以下、ピーク流量誤差率10%以下、相関係数0.98以上、Nash Sutcliffe指標0.95以上、対数二乗誤差基準0.005以下）スクリーニングを行なうと従来型では0出水、損失考慮型では出水規模の違う3出水、合計9出水が残存した。残存した出水規模ごとのハイドロ・ハイトグラフの一例と流域における同定結果を図-5に示す。出水規模の違う3出水ともピーク流量後、基底流に戻る部分において相違が見られる。これは、タンクモデルの段数が2段であり中間流が良く再現できていないためと考えられる。その他の部分においては精度良く推定できている。出水規模ごとに同定結果をみると総降雨量73.5mmの出水でB1、C1の標準偏差が比較的大きくなっているが、全体的にみると出水規模ごとではパラメータの標準偏差は小さいと言える。流域におけるパラメータ同定結果はある程度の幅に同定することはできているが、出水規模ごとの同定結果と比較するとB、Cの標準偏差が大きいことがわかる。

5. まとめ

本研究では、流域に対するパラメータ値を一意的に決定することを目的に、2段タンクモデルと損失量を考慮した2段タンクモデルを使用し、それぞれのパラメータについて適当な初期値を決め、その組合せを初期値として拡張カルマンフィルタでパラメータを最適化した。そして、総流出量誤差率、ピーク流量誤差率、相関係数、Nash Sutcliffe指標、対数二乗誤差基準の5つの評価指標を用いてスクリーニングを行い、その同定結果について検討を行った。その結果、損失量を考慮することで2段目のタンクの貯留深の標準偏差は小さくなり、質の良い結果が得られることを示した。また、複数の評価指標でスクリーニングを行うことで、出水規模ごとでは全体の適合度と短期の流出予測で重要となるピーク流量を精度良く推定できるパラメータ値に同定でき、流域においてはある程度の幅に同定できることを示した。

謝辞：本研究の遂行に際し、（独）土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センターより裏筑波流出試験地の水文データの提供をしていただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 多田毅・横尾善之・重松利幸：タンクモデル定数の同定における安定性の導入，土木学会論文集，No.782/II-70，pp1-10，2005。
- 2) 益倉克成・吉野文雄・吉谷純一・深見和彦・堀内輝亮・山邊満：裏筑波流出試験地調査成果報告書，土木研究所資料，第2959号，pp.4-26，1991。
- 3) 角屋睦・田中丸治哉：長短期流出両用モデルによる実時間洪水予測，農業土木学会論文集，No.177，pp.31-41，1995。
- 4) Nash, J.E and Sutcliffe, J.V : River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles, J.of Hydrol., Vol. 10, pp.282-290, 1970。

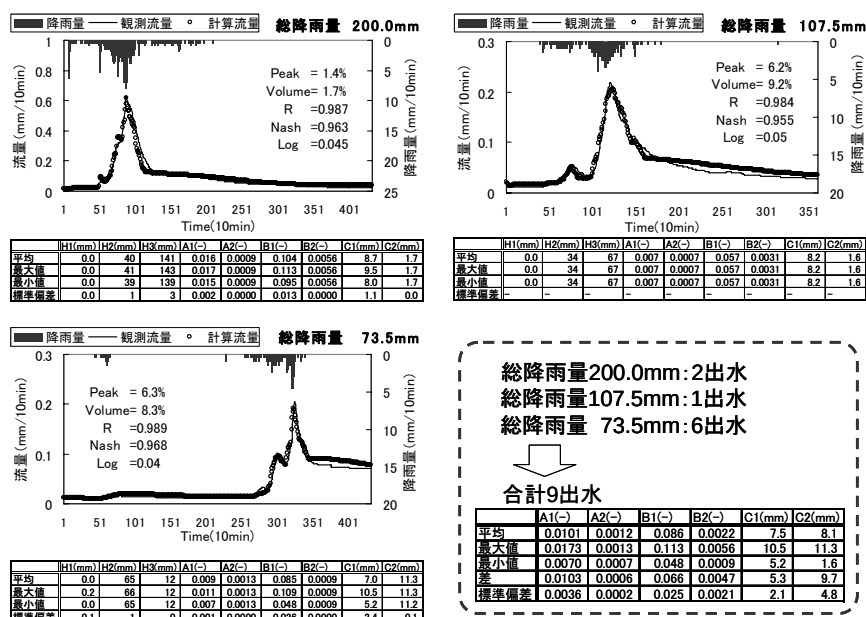


図-5 損失考慮型において、総流出量誤差率10%以下、ピーク流量誤差率10%以下、相関係数0.98以上、Nash Sutcliffe指標0.95以上、対数二乗誤差基準0.005以下でスクリーニングを行った出水規模ごとのハイドロ・ハイトグラフの一例と流域における同定結果。