

流域の湿潤状態を考慮した洪水流出計算の汎用性向上の研究

室蘭工業大学 ○学生員 谷口 陽子 (Yoko Taniguchi)
 室蘭工業大学 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 (一財)日本気象協会 正員 白谷 友秀 (Tomohide Usutani)

1. はじめに

洪水流出計算の精度に着目すると、ある条件下では再現性が良いものが、事例が変わると途端に精度が落ちる例がよく見られ、河川管理者を悩ませてきた。この問題点は、流域の乾湿状態が流出現象に大きく関与していると考えられ、このことを考慮しなければ普遍性のある洪水計算は難しいと考える。そこで本研究では、現業での洪水流出計算の精度向上を試み、図-1 に示すような流域の湿潤状態を考慮した、改善流出計算モデルを提案する。

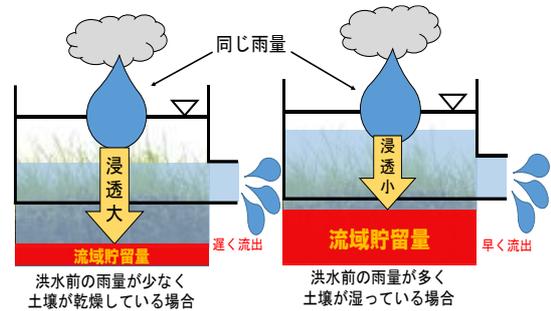


図-1 流域の湿潤状態を考慮したモデルイメージ

2. 方法

2.1 現行モデル

主に北海道開発局の現業部門で用いられている洪水流出計算モデルは、星ら¹⁾が提案した「一般化貯留関数モデル」、「1 段タンク型貯留関数モデル」及び「2段タンク型貯留関数モデル」の3つである。これらを以下「現行モデル」と称す。

2.2 長期水循環モデル (LoHAS)

現行モデルでは再現できない、流域の乾湿状態を考慮したモデルで推算する。流域の乾湿状態を表す「流域貯留量」は長期水循環から求めることができ、この推定を行うモデル(口澤ら²⁾、白谷ら³⁾)を Long-term Hydrologic Assessment model considering Snow processes (以下、LoHAS) と称する。

LoHAS では、日単位の地上気象データから約 1km 四方のメッシュ毎の降雨量、融雪量および蒸発散量が得られる。図-2 に示すように降雨量と融雪量の合計から蒸発散量を差し引き、それをタンクモデルに入力することでタンクモデルの貯留高を算出する。これを各メッシュの土壤水分の状態を表す変量(流域貯留量と称する)とする。

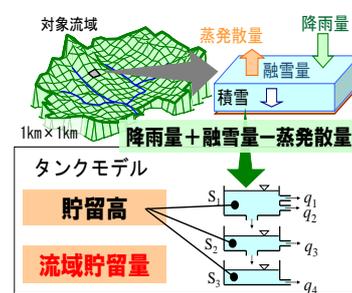


図-2 LoHAS のイメージ

表-1 対象流域

番号	流域名	流域面積(km ²)
1	大雪ダム	220
2	忠別ダム	239
3	金山ダム	470
4	二風谷ダム	1,215
5	伊納	3,379
6	雨竜橋	1,712
7	赤平	2,531
8	桂沢ダム	151
9	清幌橋	1,116
10	裏の沢	1,142
11	漁川ダム	113
12	豊平峡ダム	134
13	定山溪ダム	104
14	雁来	651
15	石狩大橋	12,697
16	矢木沢ダム	167

提案モデルでは流出率 f の算定式(1)を組み込むことで時間毎に変化する流出率を使用し、土壤の湿潤状態の変化を考慮できるようにする。

(2) 1 段タンク型貯留関数モデル

提案モデルでは刻々と変化する流出率 f を損失係数 k_{13} に換算して浸透効果を変化させ、土壤の湿潤状態の変化を考慮できるようにする。

(3) 2 段タンク型貯留関数モデル

提案モデルでは刻々と変化する流出率 f を浸透係数 k_{13} に換算して浸透効果を変化させ、土壤の湿潤状態の変化を考慮できるようにする。

2.3 流域貯留量を考慮した流出モデル

次に流域貯留量を考慮した流出率の算定方法と流出モデルについて説明する。山田ら⁴⁾は、次式に示す流域の保水能を考慮した流出率の算定方法を提案している。

$$f_i = 1 - \frac{\exp(-\alpha S_1)}{\alpha \int_0^i r dt} \left\{ 1 - \exp\left(-\alpha \int_0^i r dt\right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 f_i は降雨開始 i 時間後の流出率、 S_1 は降雨開始前日の流域貯留量 (1 段目タンクの貯留高) (mm)、 r は雨量強度 (mm/h)、 α はパラメータ (1/mm) である。

新たに LoHAS の結果を導入した流出モデル (以下、提案モデル) の内容を以下に示す。

(1) 一般化貯留関数

2.4 対象流域・事例

対象流域は表 1 に示すように全 16 流域とし 1 流域につき洪水事例を 7 つ選定して合計 112 事例の検証を行った。

3. 結果と考察

3.1 再現性の検証

図-3 に全事例の中でも特に現行モデルを良く改善できた矢木沢ダム流域の事例を示す。この事例はピーク比流量が比較的大きな事例にも関わらず、全体的に過小評価である現行モデルを改善するとともに、現行モデルでは補えなかった、2 山目のピーク流量や立ち上がりを精度良く再現できている。

しかしながら、精度指標の Nash-Sutcliffe 指数 (以下, NS 係数), ピーク流量相対誤差 (以下, Jpe) の 2 つを用いて表-2 に示すように現行モデルと提案モデルの計算結果を比較すると, 全体の精度が向上したとは言えない. このことは, 提案モデルに改善の余地があることを表している. ただし, 表-3 に示すようにピーク比流量が 2 以上の比較的大規模な洪水事例に着目すると, 提案モデルの方が流出量の再現性が良いことが確認できる.

3.2 流域貯留量の考察

提案モデルの最大の特徴は, 流域貯留量を考慮していることである. 図-4 に示すように同一流域において洪水前日の流域貯留量が小さい事例と大きい事例を比較し, ピーク流量時の立ち上がりに着目すると, 洪水前日の流域貯留量が小さい場合には, 現行モデルよりも遅く立ち上がり, 大きい場合には, 現行モデルよりも早く立ち上がっている. この結果は図-1 に示すモデルと同じ状態であり, 特に先行雨量が多い場合, すなわち土壌が湿潤している場合に安全側の評価が可能であることを示している.

4. まとめ

本研究において得られた結果を以下にまとめる.

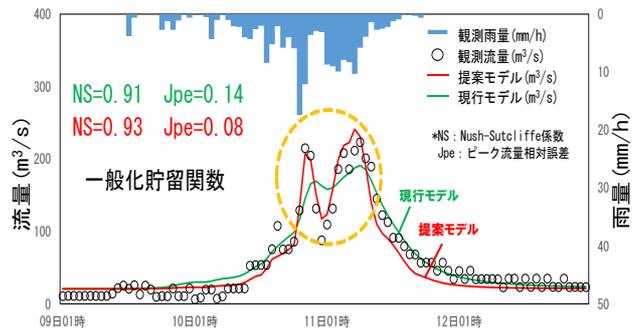
- 1) 流域貯留量に基づいて変化する流出率を組み込んだ提案モデルでは, 流出率固定の現行モデルよりも流出量の再現性の向上が期待できる.
- 2) 全 16 流域 112 事例で精度検証したところ, 提案モデルで NS 係数や Jpe の精度は全てで向上していないが, 大規模洪水事例に着目すると向上がみられる.
- 3) 同一流域において洪水前の流域貯留量が大きい場合はピーク流量への立ち上がりが現行モデルよりも早く, 小さい場合は立ち上がりが遅いことが分かった. この結果から, 土壌水分の状態に応じた洪水流出計算の改善が可能であることが示唆された. 今後は洪水予測について更なる検討を進めていくつもりである.

謝辞: 本研究の一部は国土交通省河川砂防技術研究開発公募 (水防災技術分野) および H26 年度 (一財) 河川情報センター研究助成金 (助成研究名「流量データのない河川でも利用可能な流出計算ソルバーの開発」) の助成を受けた. また, 本研究を進めるにあたり, 独立行政法人水資源機構沼田総合管理所, ならびに, (一財) 日本気象協会からデータ提供等で協力いただいた.

ここに記して感謝の意を表す.

参考文献

- 1) (財) 北海道河川防災研究センター・研究所: 実践流出解析ゼミ 講義テキスト編, 第 4 回, 第 12 回, 2006.
- 2) 口澤寿, 中津川誠: 熱収支を考慮した流域スケールの積雪と蒸発散量の推定, 北海道開発土木研究所月報報文, No.588, pp.19-38, 2002.
- 3) 臼谷友秀, 中津川誠, 松岡直基: 流域貯留量を考慮した現業用洪水予測手法の改良, 河川技術論文集, 第 20 巻, pp.331-336, 2014.
- 4) 山田正, 山崎幸二: 流域における保水能の分布が流出に与える影響について, 第 27 回水理講演会論文集, pp.385-392, 1983.



2002/7/9 1:00 - 7/12 24:00, 総雨量: 183 mm/h, ピーク比流量: 1.33 m³/s/km²

図-3 提案モデルと現行モデルの洪水再現結果

表-2 精度指標の全事例平均値による比較

全事例	一般化貯留関数		1段タンク型		2段タンク型	
	現行モデル	提案モデル	現行モデル	提案モデル	現行モデル	提案モデル
NS係数平均	0.848	0.786	0.854	0.666	0.833	0.800
Jpe平均	0.151	0.131	0.156	0.215	0.138	0.162

表-3 精度指標の大規模洪水事例の平均値による比較

大規模洪水 5事例	一般化貯留関数		1段タンク型		2段タンク型	
	現行モデル	提案モデル	現行モデル	提案モデル	現行モデル	提案モデル
NS係数平均	0.910	0.916	0.932	0.938	0.948	0.960
Jpe平均	0.154	0.144	0.144	0.138	0.118	0.096

* 表 2, 表 3 の黄色のマーカは現行モデルと提案モデルで比較して精度の良い方につけている

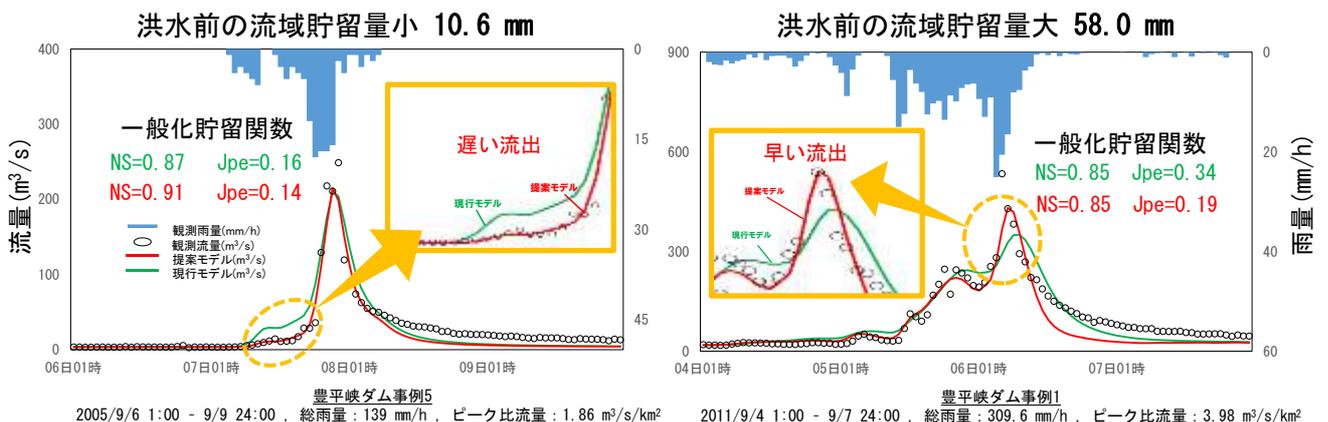


図-4 同一流域における洪水前流域貯留量の大小事例比較