

ため池の洪水流出現象を再現する流出解析モデルの比較

Comparison of Runoff Analysis Models for Simulating Flood Runoff Phenomena in Irrigation Ponds

○寺家谷勇希*, 小嶋創*, 吉迫宏*

JIKEYA Yuki, KOJIMA Hajime, YOSHISAKO Hiroshi

1. はじめに

ため池の洪水流出流量を算定するモデルとして,「土地改良事業設計指針『ため池整備』」(以下,「指針『ため池整備』」) ¹⁾においては,合成合理式を用いた計算例が紹介されている。一方,既往研究 ^{2) 3)}には貯留関数法やタンクモデルの適用事例もみられる。しかし,ため池の洪水流出現象への適用にあたり,各モデルの特徴を踏まえて,流出モデルによる再現性をため池の流域の洪水流出特性と関連付けて,比較・検討した事例はない。

そこで本報では,宮城県白石市内にある2カ所のため池を対象に,上記3種の流出解析モデルによる再現性を比較・検討した結果を報告する。

2. 対象ため池と水文観測

対象ため池は宮城県白石市内の笠松溜池(以下, K池)と赤沢溜池(以下, A池)である(図-1)。表-1に対象ため池の諸元を示す。K池とA池は共に自流域を持つため池である。K池の流域の土地利用形態は山林のみであるが, A池の流域は山林に加え,水田やK池はじめ複数の小規模なため池が分布する。A池には圧力式水位計を, K池には圧力式水位計と転倒ます型雨量計を設置し, 表-1に示した観測開始日から10分間隔で貯水位と雨量を観測した。

3. 対象降雨イベント

本研究では, 2022年3月から2024年11月に発生した降雨から, 24時間を超える無降雨期間を含まない一連の降雨イベントを抽出し, このうち, 総雨量が100mm以上で1時間最大雨量が30mm

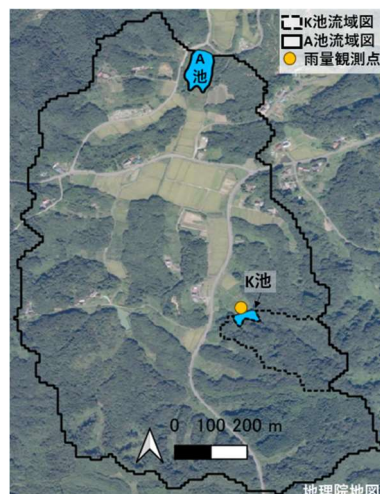


図-1 流域図と水位・雨量観測点

Watershed map and Water Level・Rainfall Observation Points

以上, かつ取水施設の操作による水位の減少が認められない2回の降雨イベントを, 解析モデルのパラメータ同定期間及び検証期間とした(表-2)。

4. モデル概要

流出解析モデルの検証に用いるため池への流域流入量(以下,「観測流入量」)は, 3mm以下の変動を除去した貯水位データを用いて, 指針『ため池整備』の「貯留効果の計算例」をもとに, 式(1)により1分間隔で求めた。

$$q_o = V_t - V_{t-1} - R + q_s \quad (1)$$

q_o : ため池への流域流入量 ($\text{m}^3/\Delta t$), V_t : 時刻 t の貯水量 ($\text{m}^3/\Delta t$), R : 貯水面への雨量 ($\text{m}^3/\Delta t$), q_s : 洪水吐放流量 ($\text{m}^3/\Delta t$)。

検討対象の流出解析モデルは, 指針『ため池整備』に記載の合成合理式と「土地改良事業計画設

表-1 対象ため池の諸元と観測開始日

Specifications of the Target Irrigation Ponds and Observation Start Date

名称	堤高 (m)	総貯水量 (千 m^3)	流域面積 (km^2)	満水面積 (km^2)	洪水吐				観測開始日
					型式	深さ (m)	幅 (m)	流量係数 (m^2/s)	
K池	2.5	14	0.055	0.0022	水路流入式	0.86	0.60	1.39	2022/3/2
A池	7.2	0.8	1.093	0.0083	越流堰式	0.49	2.61	2.0	2022/3/3

注) 諸元の値のうち,「堤高」と「総貯水量」は農林水産省が公開している「農業用ため池一覧」に基づく値。「流域面積」は国土地理院の基盤地図情報の10mDEMからArcGISの解析ツールで求めた値。「満水面積」は地理院地図より求めた値。洪水吐の「深さ」と「幅」は現地にて計測した値。「流量係数」は洪水吐型式から判断される「指針『ため池整備』」記載値。

*農研機構, NARO キーワード: ため池, 洪水流出, 流出解析モデル

計基準及び運用・解説 計画『排水』⁴⁾に記載の貯留関数法およびタンクモデル（直列4段型）とし、ため池への流域流入量（以下、「計算流入量」）を1分間隔で求めるものとした。

合成合理式について、ピーク流出係数は、パラメータ同定期間のうち高水期間（観測流入量がその最大値の20%以上（以下、観測流入量（20%以上））を対象として、絶対基準（式（2））に基づき、計算流入量と観測流入量（20%以上）の10分間積算値の誤差が最小となるよう求めた。

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |q_{oi} - q_{ci}| \quad (2)$$

N ：データ数、 i ：データ番号、 q_{oi} ：観測流入量（ $\text{m}^3/10\text{min}$ ）、 q_{ci} ：計算流入量（ $\text{m}^3/10\text{min}$ ）。

貯留関数法について、有効降雨強度は1次流出率（0.5）と飽和流出率（1.0）、飽和雨量（50mm）を設定し求めた。なお、遅れ時間は流域面積が小さいことから、「0」とした。また貯留関数法における計算流入量の算定には、吉迫ら²⁾の「流域面積補正係数」を用い、パラメータ同定期間中の計算流入量と観測流入量（20%以上）の10分間積算値との誤差が最小となるようにパラメータを設定した。タンクモデルについても同様に「流域面積補正係数」を適用し、試行錯誤でパラメータ同定期間中の計算流入量と観測流入量（20%以上）の10分間積算値の誤差が小さくなるようにパラメータを設定した。

5. 結果と考察

絶対基準（式（2））を用いて、観測流入量（20%以上）と計算流入量の10分間積算値の誤差評価を行った結果を表-2に、A池の検証期間におけるハイドログラフを図-2に示す。K池の検証期間においては、式（2）による誤差は貯留関数法が最も小さくなったものの、貯留関数法の誤差（ $6.26 \text{ m}^3/10\text{min}$ ）に対する合成合理式およびタンクモデルの誤差はそれぞれ 10.72 および $10.98 \text{ m}^3/10\text{min}$ となり、3種のモデル間に大きな差異は生じなかった。これは、K池の流域の土地利用形態が山林のみのため、洪水流出現象を線形で表現する合成合理式でも比較的再現されたと考えられる。これに対して、A池においては、合成合理式の誤差（ $432.95 \text{ m}^3/10\text{min}$ ）に対する貯留関数法およびタンクモデルの誤差はそれぞれ 49.53 および $48.36 \text{ m}^3/10\text{min}$ にとどまり、合成合理式による再現性が

他の2種のモデルと比べて著しく低い結果となった。水田やため池が分布するA池の流域においては、それらによる貯留効果が表現されない合成合理式では再現性が低くなったものと考えられる。

表-2 流出解析モデルのパラメータ同定・検証に用いた降雨と検証結果

Rainfall Used for Parameter Fitting and Validation of Runoff Analysis Models and the Validation Results

項目		単位	パラメータ同定期間	検証期間
			2023.9.4~2023.9.7	2024.9.19~2024.9.25
1時間最大雨量		mm/h	31.5	32.5
総雨量		mm	155	115
継続時間		h:m	86:00	142:10
K池	絶対基準	合成合理式	$\text{m}^3/10\text{min}$	7.72
		貯留関数法	$\text{m}^3/10\text{min}$	5.73
		タンクモデル	$\text{m}^3/10\text{min}$	7.76
A池	絶対基準	合成合理式	$\text{m}^3/10\text{min}$	397.44
		貯留関数法	$\text{m}^3/10\text{min}$	71.90
		タンクモデル	$\text{m}^3/10\text{min}$	114.75

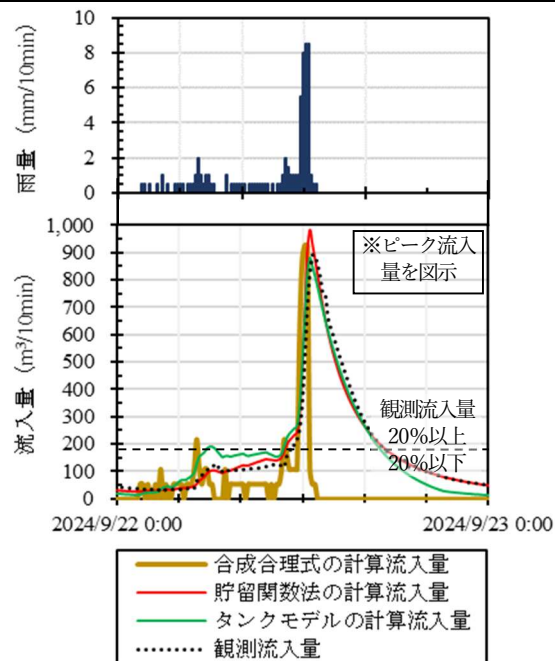


図-2 A池の検証期間におけるハイドログラフ
Hydrograph during the verification period of A-pond

【引用文献】1)農林水産省農村振興局整備部（2015）：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業農村工学会，pp.165-176. 2)吉迫ら（2019）：減災対策を目的としたため池洪水流出モデル，農業農村工学会誌，87（5），pp.365-368. 3)加藤ら（2002）：実降雨のパターンを考慮したため池の洪水調節機能評価，農業土木学会論文集，222，pp.17-23. 4)農林水産省農村振興局（2019）：土地改良事業計画基準及び運用・解説計画「排水」，pp.232-237.

【謝辞】本報告の一部は農林水産省委託プロジェクト研究「ため池の適正な維持管理に向けた機能診断及び補修・補強評価技術の開発」（JP009839）で実施した。