

## 貯留関数法の大規模洪水に対する適用性

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○大月友貴  
 京都大学大学院工学研究科 正員 立川康人  
 京都大学大学院工学研究科 正員 萬 和明  
 京都大学名誉教授 正員 椎葉充晴

1 はじめに 平成23年の台風12号により紀伊半島の熊野川に記録的豪雨がもたらされ、未曾有の大洪水が発生し甚大な被害をもたらした。こういった被害を事前に防ぐため、起こり得る大洪水の流量を正確に予測し、そのような洪水に対して、適切な対策を取ることが必要である。そのためには流出モデルと既往洪水から得たパラメータの大規模洪水に対する再現性を確認する必要がある。本研究では我が国の流量予測に広く用いられている貯留関数法に関して、既往洪水から得られたパラメータの大規模洪水に対する再現性および貯留関数法の大規模洪水に対する適用性の分析を行った。なお、貯留関数法には有効降雨モデルを分離した貯留関数法<sup>1)</sup>、流出計算とパラメータ同定には水理水文シミュレーション共通プラットフォーム CommonMP<sup>2)</sup>とSCE-UA法<sup>3)</sup>を導入した計算実行環境 CMPEE<sup>4)</sup>を用いた。

対象流域は熊野川風屋ダム上流域(660km<sup>2</sup>)とする。流域内の風屋ダム地点の降水データを入力データとし風屋ダム流入量を再現する。対象とした洪水は平成2年から平成25年までの11洪水である。

2 パラメータの同定及び同定計算 有効降雨を分離した貯留関数法はパラメータとして貯留係数  $k$ 、 $p$ 、遅滞時間  $T_L$ 、一次流出率  $f_1$ 、飽和雨量  $R_{sa}$ 、初期損失雨量、基底流量、初期流出高を有する。8つのパラメータのうち、初期損失雨量は0mm、初期直接流出高は0mm/hrとした。また基底流量は計算開始時の初期流量とし、水平分離法によって直接流出量を求めた。

2.1 有効降雨に関するパラメータ  $f_1$ 、 $R_{sa}$  の決定  $f_1$  は流域ごと、 $R_{sa}$  は降雨ごとに決定可能なパラメータであると考え、総雨量と総直接流出高から定めた。<sup>1)</sup>

2.2 流れのモデルに関するパラメータ  $k$ 、 $p$ 、 $T_L$  の決定  $k$  と  $p$  に関しては、 $k$  と  $p$  の2つのパラメータを同時に同定する場合と、 $p=0.6$  とし  $k$  のみを同定する

表1  $p=0.6$  とし  $k$  のみ同定した際のパラメータ値

Event	ピーク流量	$k$	$p$	$T_L$	$f_1$	$R_{sa}$
H2	4284	28.89	0.6	2	0.57	252
H6	2982	31.06	0.6	2	0.57	422
H9(1)	2836	30.27	0.6	2	0.57	383
H9(2)	324	34.54	0.6	2	0.57	133
H13(1)	1384	44.85	0.6	2	0.57	463
H13(2)	417	58.54	0.6	1	0.57	278
H15(1)	2869	27.09	0.6	1	0.57	185
H15(2)	308	36.53	0.6	2	0.57	137
H16(1)	1543	17.63	0.6	2	0.57	230
H16(2)	983	28.3	0.6	2	0.57	117
H23	4896	34.77	0.6	1	0.57	376

表2  $k$  と  $p$  を同時に同定した際のパラメータ値

Event	ピーク流量	$k$	$p$	$T_L$	$f_1$	$R_{sa}$
H2	4284	38.47	0.52	2	0.57	252
H6	2982	55.14	0.38	2	0.57	422
H9(1)	2836	54.99	0.38	2	0.57	383
H9(2)	324	33.56	0.66	2	0.57	133
H13(1)	1384	36.75	0.7	2	0.57	463
H13(2)	417	64.15	0.3	1	0.57	278
H15(1)	2869	26.1	0.57	2	0.57	185
H15(2)	308	40.87	0.31	1	0.57	137
H16(1)	1543	14.13	0.69	2	0.57	230
H16(2)	983	34.47	0.5	2	0.57	117
H23	4896	24.21	0.7	1	0.57	376

場合の2通り考えた。 $p=0.6$  は定常状態を仮定した際に地表面流型の流量流積関係式を用いたキネマティックウェーブモデルから導かれる。 $T_L$  は、それぞれのケースで  $T_L=1, 2$  hr の2通り行い、目的関数であるNASH指標値が高いものを同定計算および再現計算に用いた。パラメータは表1、2のようになった。

2.3 同定計算結果及び考察 平成23年台風12号洪水の同定計算結果のハイドログラフは図1のようになった。赤線が実績流量、青線、緑線がそれぞれ  $p=0.6$  とし  $k$  のみを同定したときのパラメータ、 $p=0.6$  とし  $k$  のみを同定したときのパラメータによる同定計算結果のハイドログラフである。計算値が実績値を上回っているが、風屋ダム上流で大規模崩壊が起き、洪水がせき止められたことを考慮に入れると妥当と考えられる。

3 再現計算及び考察 再現計算は以下の手順で行った。ある年の洪水で得たモデルパラメータ  $k$  と  $p$  を用いて別の洪水を計算する。一次流出率  $f_1$  は固定し、飽和雨量  $R_{sa}$ 、基底流量  $Q_b$  は再現する洪水で同定計算

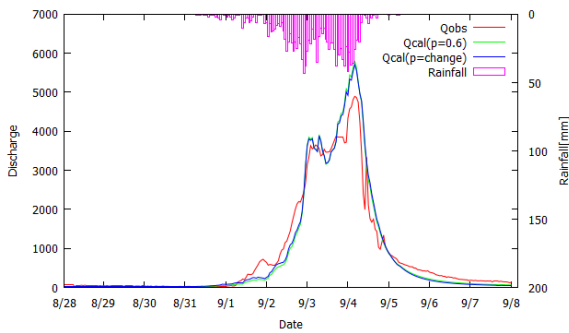


図1 平成23年台風12号洪水の同定計算結果

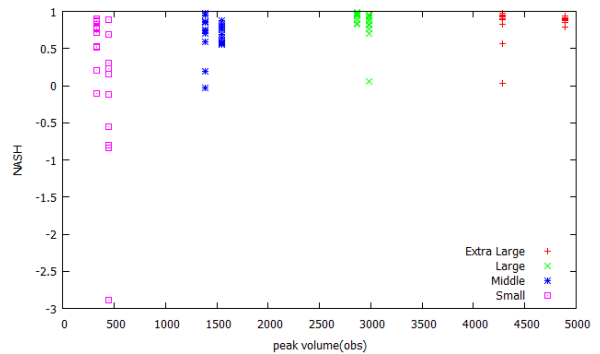
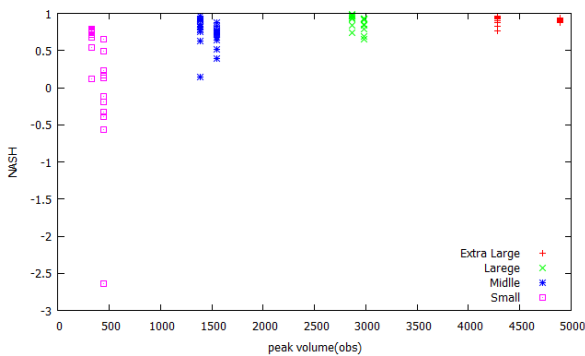
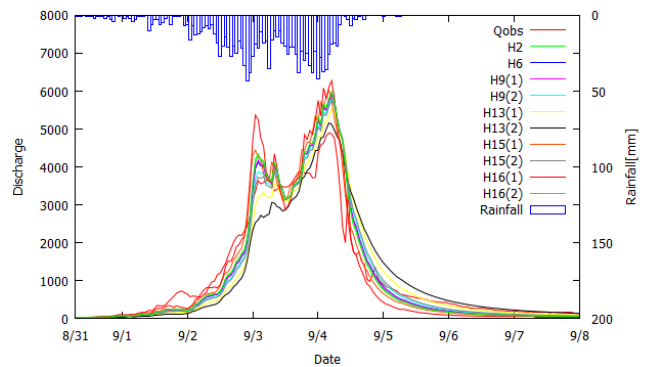
図3  $k$  と  $p$  を同定した際の NASH-ピーク流量関係図2  $p = 0.6$  とした再現結果の NASH-ピーク流量関係

図4 平成23年台風12号洪水の再現計算結果

のときに用いた値を再現計算でも用いる。再現計算結果をもとに NASH 指標値を計算し、横軸にピーク流量、縦軸に NASH 指標値を表示した結果を図2、図3に示す。図中、ピーク流量が  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  に満たない出水を”Small”、 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  未満を”Middle”、 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  未満を”Large”、 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上を”ExtraLarge”と分類した。

2つの図から最もピーク流量の大きい平成23年の洪水は  $p$  の扱いに関わらず NASH 指標は1にかなり近くなっている。図4は、 $p = 0.6$  として異なる洪水で得たパラメータを用いて平成23年の大洪水を再現した結果である。規模の小さい洪水は、別の洪水から得たパラメータでは再現性が低いことも図2、図3から読み取れる。”ExtraLarge”、”Large”の出水に注目すると、洪水の NASH 指標値は、 $p$ 、 $k$  を同時に同定した値を用いるよりも  $p = 0.6$  として  $k$  を同定した値を用いた方が大きく、再現性が高い。

#### 4 まとめ 得られた知見をまとめる。

- 1) 別の洪水から得られたパラメータ値を用いた場合、平成23年に起きた9月洪水の再現性を確認した。このときパラメータの違いによる計算流量の

違いは小さかった。

- 2) 規模の小さい洪水の再現性は、同定されたパラメータごとに大きく異なる。
- 3)  $p = 0.6$  とした方が、同定されたパラメータに依らず再現性が高まる。特に大洪水ほどその傾向が見られる。

謝辞：観測データは電源開発(株)から提供された。ここに謝意を示します。

#### 参考文献

- 1) 椎葉充晴, 立川康人, 市川温: 水文学・水工計画学, 第11章, 京都大学学術出版会, 2013.
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所: CommonMP ホームページ, <http://framework.nilim.go.jp>(参照確認日:2013年4月3日)
- 3) Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. K.: Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology, Vol. 158, pp.265-284,1994.
- 4) 立川康人, 高橋円: CommonMP 計算実行環境 KyotoUnivEngHywrCMPEE 解説書, <http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/commonmp/>