第 II 部門　　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
京都大学大学院工学研究科　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、起こりう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の検証が必要である。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[1)]、流出計算とパラメータ同定には CommonMP と SCE-UA 法[2)] を導入した計算実行環境 CMPEE[3)] を用いる。

対象流域は風屋ダム上流域 (660km^2) 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。水理・水文モデル構築システム　CommonMP を用い、有効降雨を分離した貯留関数法を流域要素の演算モデルとして設定し、入力データを読み込むための入力要素、結果を出力するための出力要素を直列に接続し構成する。

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　f_1, R_{sa} の決定　f_1、R_{sa} はそれぞれ流域ごと、降雨ごとに決定可能なパラメータであるため、総雨量と総直接流出高から定めた。[1)]

2.2　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 のみを同定する場合の 2 通り行った。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物理的に決定される。T_{L} は、それぞれのケースで T_{L}=1 hr、T_{L}=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

表 1　p=0.6 とし k のみ同定した際のパラメータ群

Event	ピーク流量	k	p	T_{L}	f_1	R_{sa}
H2	4284	28.89	0.6	2	0.569	252.1257
H6	2982	31.06	0.6	2	0.569	422.3413
H9(1)	2836	30.27	0.6	2	0.569	383.2947
H9(2)	324	34.54	0.6	2	0.569	132.5838
H13(1)	1384	44.85	0.6	2	0.569	462.6939
H13(2)	417	58.54	0.6	1	0.569	278.3358
H15(1)	2869	27.09	0.6	1	0.569	184.8007
H15(2)	308	36.53	0.6	2	0.569	136.8741
H16(1)	1543	17.63	0.6	2	0.569	229.576
H16(2)	983	28.3	0.6	2	0.569	116.9458
H23	4896	34.77	0.6	1	0.569	376.2755

表 2　k と p を同定した際のパラメータ群

Event	ピーク流量	k	p	T_{L}	f_1	R_{sa}
H2	4284	38.47	0.52	2	0.569	252.1257
H6	2982	55.14	0.38	2	0.569	422.3413
H9(1)	2836	54.99	0.38	2	0.569	383.2947
H9(2)	324	33.56	0.66	2	0.569	132.5838
H13(1)	1384	36.75	0.7	2	0.569	462.6939
H13(2)	417	64.15	0.3	1	0.569	278.3358
H15(1)	2869	26.1	0.57	2	0.569	184.8007
H15(2)	308	40.87	0.31	1	0.569	136.8741
H16(1)	1543	14.13	0.69	2	0.569	229.576
H16(2)	983	34.47	0.5	2	0.569	116.9458
H23	4896	24.21	0.7	1	0.569	376.2755

2.3　同定計算結果及び考察　本研究で注目する平成 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。赤線が観測流量、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。計算値が観測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に従って行った。ある年の洪水で得たモデルパラメータ k と

Yuki OTSUKI, Yasuto TACHIKAWA, Kazuki YOROZU and Michiharu SHIIBA
ootsuki.yuuki.35a@st.kyoto-u.ac.jp

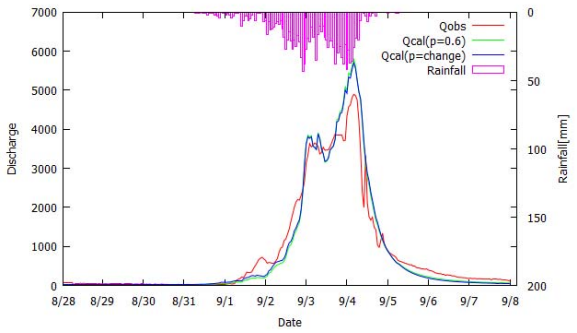

図 1　平成 23 年台風 12 号洪水の同定計算結果

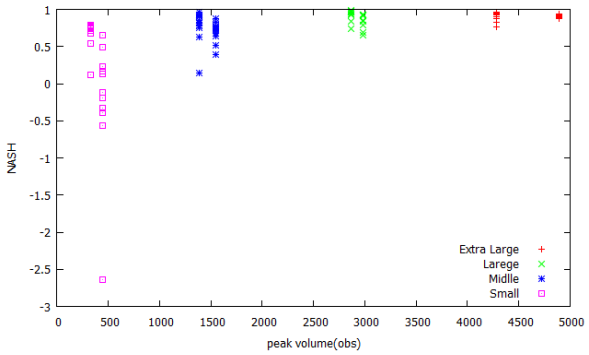

図 2　$p = 0.6$ とした再現結果の NASH–ピーク流量関係

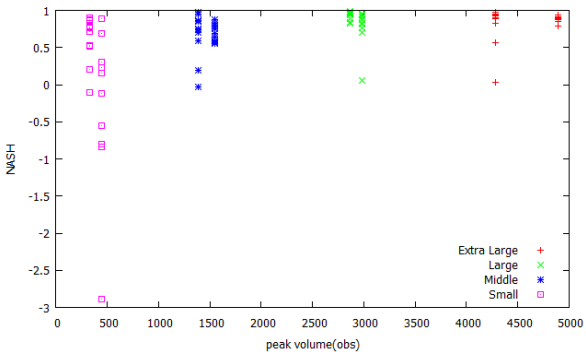

図 3　k と p を同定した際の NASH–ピーク流量関係

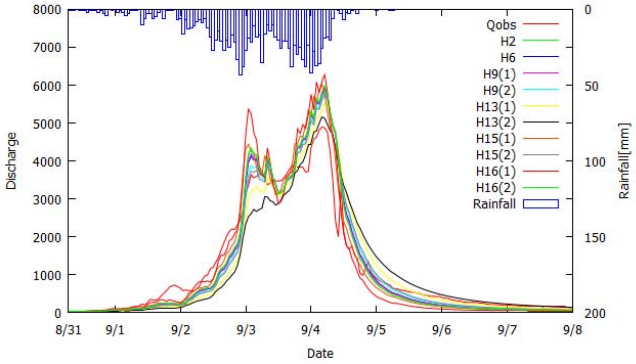

図 4　平成 23 年台風 12 号洪水の再現計算結果

p を用いて別の洪水を計算する。一次流出率 f_1 は流域ごとに決まるパラメータなのであらかじめ求めたものを用いる。飽和雨量 R_{sa}、基底流量 Q_b は再現する洪水の値を計算に用いる。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 m^3/s に満たない出水を"Small"、1000 m^3/s 以上 2000 m^3/s 未満を"Middle"、3000 m^3/s 以上 4000 m^3/s 未満を"Large"、4000 m^3/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を用いて平成 23 年の大洪水を再現した結果であり再現性は高い。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　貯留関数法は、既往洪水の規模を遥かに超える平成 23 年台風 12 号による洪水の流量予測に適用できるという結果が得られた。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を用いて、平成 23 年に起きた大規模洪水を再現することができた。
2) 小さい規模の洪水の再現性は、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、大洪水の再現性は高い。

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) Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. K. : Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydorology, Vol. 158, pp.265-284,1994.
3) 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/