良好な再現性を得る貯留関数式のパラメータの範囲について

明星大学　正会員　○藤村　和正　東京工業大学大学院　正会員　井芹　慶彦
高知工業高等専門学校　正会員　岡田　将治　東京工業大学大学院　正会員　鼎　信次郎
高知工科大学　フェロー会員　村上　雅博

１．研究の背景と目的

前報[1]では、多数の出水に対して貯留関数式のパラメータを長期流出解析により総合的に評価した。本研究では、個々の出水に対して貯留関数式の最適パラメータを解析的手法により求め、その特性を明らかにすることを目的とする。具体的には、早明浦ダム流域の 14 洪水に対して、Diskin-Nazimov の雨水浸透モデルと貯留関数式を組み合わせ、貯留関数式のパラメータの変動範囲を設定して流出解析を繰り返し、誤差評価指標に Nash 指数を用いて洪水毎の最適パラメータを特定し、パラメータ特性を明らかにする。そして、流出解析で良好な再現性を得るパラメータ分布を表すことにより、パラメータ特性の適用に関する検討を行う。

２．データ及び解析方法

対象流域は早明浦ダム流域 ($472km^2$) とする。対象洪水は、1991 年から 2010 年までの 20 年間に含まれる比較的規模の大きい単峰性の洪水とする。貯留 - 流出の応答特性はパラメータにより決まること考え、単峰性ハイドログラフを単位波形と見なして採用する。雨量データ、ダム流入量データは水資源機構から提供を受けた。ダム流入量から基底流出を分離して直接流出量を得る。分離方法は、水平分離法や勾配急変点法ではなく、片対数グラフにおけるハイドログラフの裾部分で分離する。この方法は、解析誤差が小さくなる直接流出量の分離として藤村ら[2]により示されている。

解析方法は、降雨強度の変化に応じて浸透能変化を計算できる Diskin-Nazimov の雨水浸透モデルを用い有効降雨量を算定し、有効降雨量を貯留関数式に入力して直接流出量を算出する。有効降雨量は直接流出量に変換されことを考え、実測流出量とほぼ等しくなるように浸透パラメータを決定する。貯留関数式は、次式により表され、連続式とともに離散化して用いる。

$$S = kQ^{p} \qquad (1)$$

ここに、S : 貯留量、Q : 流出量、p : 指数、k : 係数。解析誤差の評価指標には Nash-Sutcliffe 係数（以下、Nash 係数あるいは NSE と記す）を用いる。

３．結果及び考察

流出解析は次の 2 つの内容で行った。①洪水毎に最適パラメータを探索する。②14 の対象洪水の中から代表的な 4 洪水を選び、良好な再現性を得るパラメータの分布を表す。貯留関数式に与えるパラメータの変動範囲は、①では、p : 0.11～1.10（0.01 ステップ、100 計算分）、k : 1.1～30.0（0.1 ステップ、300 計算分）であり、1 洪水当たり 100×300 の 30,000 計算、14 洪水合計 42 万回の流出計算を行った。②では、p : 0.11～1.10（0.01 ステップ、100 計算分）、k : 1.1～100.0（0.1 ステップ、1,000 計算分）で、1 洪水当たり 100×1,000 の 100,000 計算、4 洪水合計 40 万回の流出計算を行った。

解析結果として、洪水毎の最適パラメータ、p 値、k 値とそれに対応する Nash 係数を**表 1** に表す。この最適パラメータは、両対数グラフにプロットして近似曲線を求めた（**図 1**）。近似曲線の決定係数は 0.87 であり、相関性は高いと言える。これらの結果より、最適パラメータは洪水毎に異なるが、その関係は指数関数式により表現できる可能性があり、早明浦ダム流域の場合、次式で表された。本研究では、これを p-k 曲線と呼ぶことにする。

$$k = \frac{5.001}{p^{2.180}} \qquad (2)$$

次に、この p-k 曲線の適用性について検討する。最適パラメータが**図 1** の両対数グラフに対称的に現れた 4 洪水（A:No.12 と D:No.13、B:No.3 と C:No.9）を対象に、Nash 係数が 0.8 以上となる分布範囲を表す（**図 2**）。最適パラメータがほぼ p-k 曲線上にプロットされている A と D の洪水では、Nash 係数 0.95 以上の分布上に p-k 曲線の占める部分が多い。一方、最適パラメータが p-k 曲線から離れている B と C の洪水では、Nash 係数 0.8 以上の分布上に p-k 曲線の一定の部分が載っている。これらの結果から言えることは、例えば最適パラメータの分布範囲が狭い C 洪

キーワード　貯留関数式、最適パラメーター、有効降雨、直接流出、Nash 係数
連絡先　〒191-8506　東京都日野市程久保 2-1-1　明星大学理工学部　ＴＥＬ042-591-5111

表１　対象洪水及び最適パラメータ p, k

No.	年月日	総雨量 (mm)	有効降雨 (mm)	直接流出 (mm)	浸透パラメータ			解析結果		
					f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	S_m (mm)	p	k	NSE
01	1991.9.27 – 28	251	129.9	127.1	40	5.0	30	0.69	10.6	0.985
02	1992.8.7 – 9	262	173.1	171.9	50	3.5	20	0.82	8.2	0.987
03	1992.8.24 – 27	292	194.0	192.0	50	2.5	25	0.58	20.8	0.959
04	1993.9.3 – 5	290	135.1	134.8	50	10.0	60	0.61	10.9	0.986
05	1996.8.13 – 15	359	170.2	167.8	50	5.5	35	0.68	12.3	0.991
06	1997.9.15 – 18	421	292.8	290.3	50	5.0	35	0.52	21.8	0.989
07	1998.10.15 – 19	302	208.2	207.3	50	3.0	20	0.62	15.7	0.993
08	1999.9.14 – 17	337	173.2	169.3	50	6.5	35	0.56	18.2	0.975
09	2003.9.12 – 13	258	118.2	116.7	50	7.5	50	0.58	10.4	0.960
10	2004.8.30 – 31	388	301.9	299.0	50	3.0	30	0.57	17.2	0.983
11	2004.10.19 – 21	431	225.0	221.2	50	5.5	40	0.71	10.6	0.978
12	2005.9.5 – 8	708	582.8	578.2	50	2.0	20	0.35	49.9	0.988
13	2007.7.13 – 16	508	320.0	317.0	50	4.0	20	0.92	5.8	0.992
14	2007.8.2 – 4	294	155.3	150.5	50	5.5	25	0.61	19.5	0.963

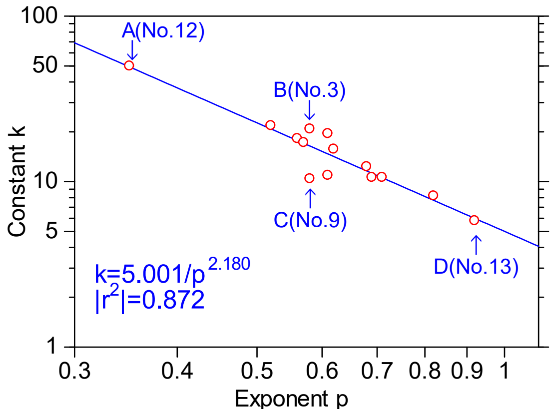

図１　対象洪水の最適パラメータ

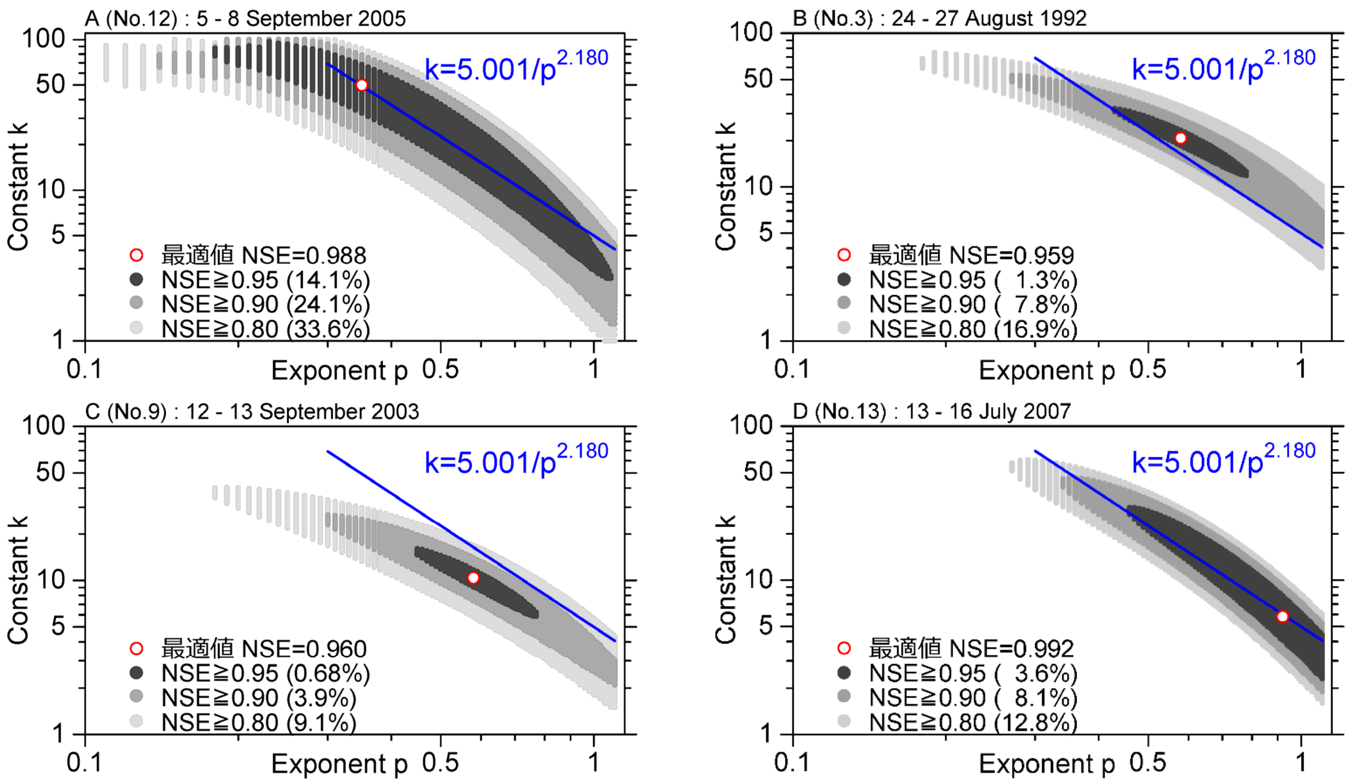

図２　NSE0.8 以上の結果を得るパラメータ分布の例

水を例にすると、p 値がおよそ 0.5 以上 1.0 以下の範囲において p-k 曲線により k 値を求めれば、良好な再現性を得るパラメータを決めることができる。つまり、最適パラメータの p-k 曲線は、貯留関数式に適用するパラメータを決定できる可能性を示唆していると言える。

４．おわりに

本研究では、洪水毎に最適値が変化する貯留関数パラメータについて検討した。解析的手法により、最適な p 値と k 値の関係を指数関数式により表すことができた。さらに、Nash 係数が 0.8 以上を得るパラメータ分布を表し、指数関数式の適用可能性を示した。本研究の結果は、今後、複数の流域において検証する必要があると考えている。

本研究は、独立行政法人水資源機構に貴重なデータの提供を頂いた。また、本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金基盤研究(C)(一般)（15K06241）の支援により実施された。ここに記して関係各位に謝意を表する。

【参考文献】

1）藤村和正・井芹慶彦・鼎信次郎・村上雅博：多数の出水を対象とする貯留関数式の最適定数に関する一考察、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集第２部、 II -219、pp.437-438、2015.9.
2）藤村和正・井芹慶彦・岡田将治・鼎信次郎・村上雅博：貯留関数式の最適パラメーターから評価する直接流出の分離について、第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、 II -26、2016.3.