二価関数による貯留関数法を用いた都市小流域の洪水流出特性

東京都土木技術センター　高崎忠勝
首都大学東京　河村明
首都大学東京　天口英雄

１．はじめに

近年、東京都内の中小河川における浸水被害の多くは集中豪雨によるものであり2005年9月4日の集中豪雨においては杉並区と中野区を合わせて2500棟以上の浸水被害を生じた．貯留関数法は降雨流出現象の非線形性を簡単な構造式で表現でき比較的計算が簡便なことから，水害被害軽減に向けたソフト対策である水位予測に適した解析手法であると考えられる．二価関数による貯留関数法は大きな流域を有する河川の洪水流出を良好に再現することが報告されている[1)]．本報は高度に市街化された都市小流域における二価関数による貯留関数法の適用性について検討する．

２．対象流域

対象とした荒川水系神田川は市街化率が95%を超える極めて市街化が進行した流域であり，流出特性は下水道の影響を大きく受けたものとなっている．

図1に示した流域面積10.0km^{2}以下となる水位観測所を解析対象とした．流域面積は，久我山橋3.4km^2，佃橋5.2km^2，和泉10.0km^{2}である．流域雨量は周辺雨量観測所の10分値からティーセン法により求めた．（図１参照）

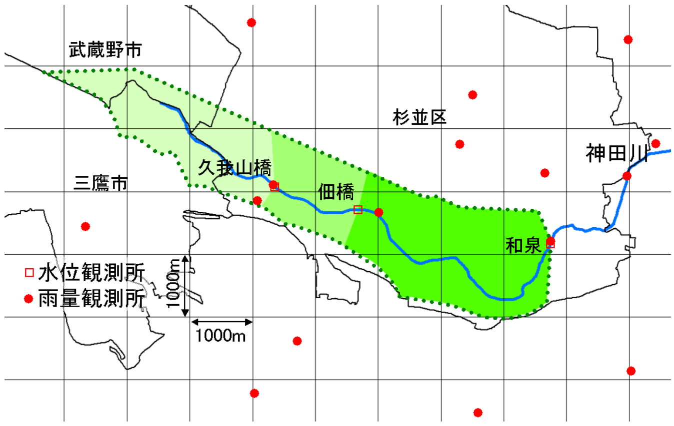

図1　対象流域

３．解析モデル[2)]

二価関数による貯留関数法は貯留高 s と直接流出高 q の関係を式(1)で表す．また，貯留高 s の連続の式は式(2)で表される．

$$s(t)=k_1 q^{p_1}(t)+k_2\frac{d}{dt}q^{p_2}(t) \quad \cdots (1) \qquad \frac{ds(t)}{dt}=cr(t)-q(t) \quad \cdots (2)$$

ここに，s:貯留高，q:直接流出高，t:時間，k_1, k_2, p_1, p_2:モデルパラメータ，c:流出率，r:雨量

式(1)，(2)より求めた式(3)の非線形2階常微分方程式について式(4)の変数変換を行うと，式(5)の1階の2元連立常微分方程式に変換される．

$$k_2\frac{d^2q^{p_2}(t)}{dt^2}=-k_1p_1q^{p_1-1}(t)\frac{dq(t)}{dt}+cr(t)-q(t) \quad \cdots (3)$$

$$x_1(t)=q^{p_2}(t) \qquad x_2(t)=\frac{dq^{p_2}(t)}{dt} \quad \cdots (4)$$

$$\frac{dx_1(t)}{dt}=x_2(t) \qquad \frac{dx_2(t)}{dt}=-\frac{k_1p_1}{k_2p_2}x_1(t)^{\frac{p_1}{p_2}-1}x_2(t)-\frac{1}{k_2}x_1(t)^{\frac{1}{p_2}}+\frac{c}{k_2}r(t) \quad \cdots (5)$$

式(5)の非線形連立微分方程式を差分法によって解くことで流出量を計算する．

４．計算結果及び考察

2000年7月7日～8日（洪水1），2002年8月19日（洪水2），2002年9月6日（洪水3），2004年10月8日～9日（洪水4），2004年10月20日～21日（洪水5）の5洪水を対象に，モデルパラメータk_1，k_2，p_1，p_2及び流出率cの5パラメータについて全データに対するRSMEを最小とする値を大域的探索法であるSCE-UA法[3]を用いて同定した．

パラメータの探索範囲は，$1<k_1<100$，$1<k_2<100$，$0.01<p_1<1$，$0.01<p_2<1$，$0.01<c<1$とした．

各洪水データに対する同定結果をcase1，5洪水全てのデータに対する同定結果をcase2とし，得られたパラメータを表1に示した．また，佃橋の再現計算結果を図2に示した．

1洪水データで同定したcase1のパラメータは洪水毎に異なる値となった．5洪水データで同定したcase2のパラメータはcase1のパラメータと値が異なるものの5洪水の水位変化を良好に再現した．このことから市街化の進んだ小流域においても二価関数による貯留関数法が適用できることを確認した．洪水4と洪水5の流出高のピークを再現できていない点が問題であるが，降雨の空間分布や下水道による損失等を考慮し有効雨量をより正確に表すことにより，再現性を向上できるものと考える．

表1　同定パラメータ

久我山橋	case1					case2
	洪水1	洪水2	洪水3	洪水4	洪水5	
k1:	12.3	8.0	48.1	24.1	33.9	12.9
k2:	18.8	13.4	81.8	35.4	46.9	14.5
p1:	0.345	0.394	0.063	0.121	0.079	0.261
p2:	0.333	0.416	0.118	0.198	0.124	0.419
c:	0.517	0.393	0.416	0.466	0.417	0.456
佃橋	case1					case2
	洪水1	洪水2	洪水3	洪水4	洪水5	
k1:	12.0	8.9	44.0	24.5	42.7	14.0
k2:	20.4	14.5	53.1	29.0	47.1	13.5
p1:	0.414	0.457	0.103	0.177	0.086	0.310
p2:	0.378	0.488	0.187	0.297	0.137	0.510
c:	0.562	0.472	0.495	0.570	0.521	0.538
和泉	case1					case2
	洪水1	洪水2	洪水3	洪水4	洪水5	
k1:	13.6	14.2	21.9	21.6	58.7	16.2
k2:	15.2	21.2	28.1	34.0	73.2	23.9
p1:	0.538	0.480	0.274	0.279	0.092	0.326
p2:	0.358	0.313	0.525	0.407	0.141	0.476
c:	0.538	0.480	0.511	0.643	0.613	0.571

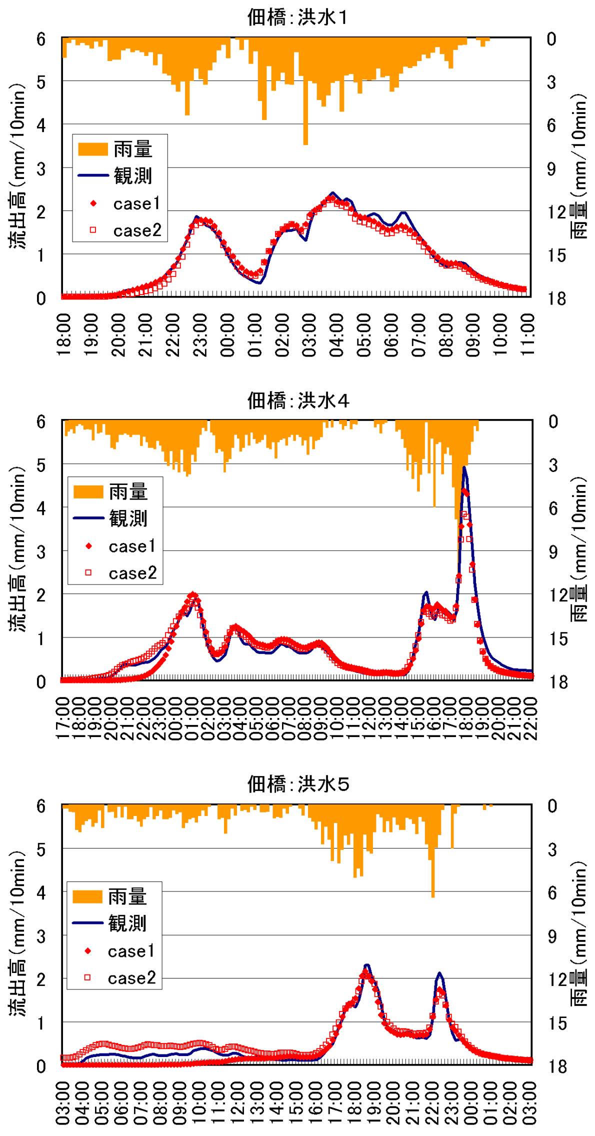

図2　再現計算結果（佃橋：洪水1,4,5）

参考文献

1) 国土交通省，北海道開発局建設部河川管理課：実時間洪水予測システム理論解説書，北海道河川防災センター・研究所，2004

2) 河村明：貯留関数法を用いたカルマンフィルターによる洪水流出の実時間予測，水理公式集例題プログラム集CD-ROM版，土木学会，pp1.12.1-1.12.26，2001.

3) 森永陽子，河村明，神野健二：SCE-UA法による貯留関数モデルの大域的パラメータ同定について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，土木学会西部支部，2002

キーワード：洪水流出，中小河川，貯留関数法