



短期出水予測を目的とするタンクモデルの同定に関する研究

川谷, 健

齋藤, 雅彦

エマヌエル, アサレ・ポアフ

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 2:83-95

(Issue Date)

1998-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00317465>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00317465>



短期出水予測を目的とするタンクモデルの 同定に関する研究

Identification of Tank Model for Flood Forecast

川谷 健¹⁾

Takeshi Kawatani

齋藤 雅彦²⁾

Masahiko Saito

アサレ・ボアフ・エマヌエル³⁾

Asare-Boafo Emmanuel

概要 : 短期出水の流出予測に適用できるタンクモデルを同定するにあたって、同定に用いる観測データとしてどのようなデータが適当であるかを明らかにするため、降雨波形とタンク流出孔の係数の関係について検討した。その結果、波形ができるだけ後方集中型である降雨と、それに対応するハイドログラフを用いるのが適当であること、またタンクモデルは、タンクが1段、流出孔と浸透孔がそれぞれ1つずつという簡単なものであっても所期の目的を達成できることを明らかにした。

キーワード : タンクモデル、降雨波形、パラメーター同定、短期出水、流出予測

1. はじめに

流出解析の目的は、もちろん、流出予測に適用できる流出モデルを構築することである。タンクモデルは、流出解析に主用される流出モデルの一つであり、土地利用形態の変化に伴う流出特性の変化を表現できる可能性をもっている¹⁾。しかしタンクモデルにも、これまで提案され実用に供されてきたモデルと同様、幾組かの降雨・流出量の観測データを用いてモデルパラメーターを同定すると、各組ごとに同定結果が異なるという問題点がある²⁾。そしてこのような場合、流出予測に同定されたモデルの中からどのモデルを採用するかが問題となる。

流出予測の対象が短期の洪水流出である場合、パラメーターの異なる幾つかのタンクモデルがあるとすれば、予測には、同一の降雨に対して最も大きなピーク流量を与えるモデルを採用するのが妥当と考えられる。それゆえ、同定にどのような降雨・流出データを用いたとき最大のピーク流量を与えるモデルが得られるかを明らかにすれば、流出予測のためのモデルを設定できることになる。

降雨波形を前方集中型、中央集中型および後方集中型に分ければ、後方集中型降雨の場合に相対的に大きな流出が発生すると言われている³⁾。そこで流出予測に適用できるモデルを特定するという観点から、本研究では、明石川上流域で観測された降雨および河川流量データを用いてタンクモデルの同定を行い、降雨波形とモデルパラメーターの関係について検討した。

2. 流域および雨量・流量観測の概要

この解析には上述のとおり、明石川上流域で観測された降雨および河川流量データを用いた。図-1 に、流域の地形、雨量観測地点および流量観測地点を示す。この流域は2級河川明石川の上流域であり、流域下流端で準用河

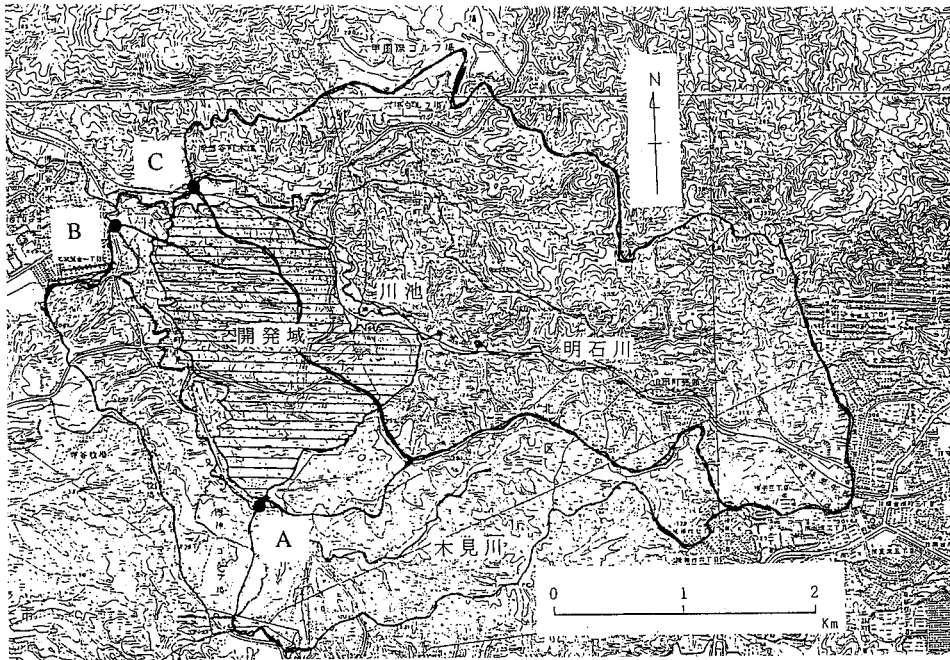


図-1 流域、開発域および流量観測地点(A, B, C)

川である明石川と木見川が合流している。流量観測地点は木見川に2地点(A地点およびB地点)、明石川に1地点(C地点)である。雨量観測地点はC地点の近くに1地点である。表-1に、各観測地点の流域面積を示す。なお流域内の下流域では産業団地の開発が進行中である。表-1には、最終的な開発域の面積も示してある。

流域は、六甲山地よりつづく標高200mから300mの丘陵地である。丘陵部はマツを主体とする森林であり、谷部は水田を主とする農地として利用されている。地質は、最も広く分布しているのが砂岩、凝灰岩、礫岩からなる神戸層群である。流域の北西部に、未固結の砂、礫、粘土からなる大阪層群が不整合に神戸層群を覆って分布している。

雨量および流量の観測は、1989年以降継続されている。雨量観測には転倒ます型雨量計を使用し、これにより0.5mmの精度で10分間雨量が計測される。河川流量については、各地点とも水位を水圧式水位計で連続観測し、それから5分間流量に換算される。水位記録の読み取り精度は、実水位に換算して、A地点で1mm、BおよびC地点で2.5mmである。

表-1 流域面積

河川名	観測点	流域面積 (ha)	開発面積 (ha)	開発率 (%)	備 考
木見川	A	365	0	0	
	B	680	157	23	A流域を除くB流域の開発率は50%
明石川	C	995	78	8	

3. タンクモデルの同定

(1) タンクモデルの構成

タンクモデルの一般的な構成は直列の3段であり、周知のとおり、1段目のタンクが表面流出成分、2段目が中間

流出成分、そして3段目が基底流出成分を発生させる役割をもっている。本研究では短期の洪水流出を解析対象とするので、タンクがただ1つのモデルを取り扱うこととする。図-2に、この解析のために設定したタンクモデルを示す。

Model-1は流出孔が2つ、Model-2は流出孔が1つのものである。Model-1に設けた上方の流出孔は、急激な増水と減水を示す大出水に対応するためである。

同定すべきパラメーターは、流出孔の係数、浸透孔の係数および浸透孔の高さである。多くの場合、これらのパラメーターは数学的最適化手法を適用して同定され、そして同定されたモデルは実用的に許容できる精度で実測ハイドログラフを再現できる。しかしパラメーターの数が多いと、同定されたパラメーターに関して、解の唯一性が必ずしも保証されない。そのため、パラメーターが多い場合、モデルパラメーターと降雨波形の相関を調べる意義がきわめて薄弱になる。したがって、ここでは流出孔の高さは既知とし、流出孔および浸透孔の係数だけを同定する。Model-1では、下方の流出孔の高さを $H2 = 3 \text{ mm}$ 、上方の流出孔の高さを $H1 = 10 \text{ mm}$ とした。一方 Model-2では、流出孔の高さを $H = 10 \text{ mm}$ とした。

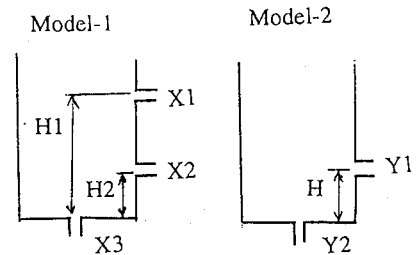


図-2 本解析のタンクモデル

(2) パラメーターの同定方法²⁾

パラメーター同定には、非線形最適化手法の1つである制約付きシンプレックス法を用いる。これは目的関数の勾配を必要としない試行探索法であり、目的関数の値を最小とする最適解が得られる可能性の高い手法である。

目的関数 F は

$$F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(q_{o_i} - q_{c_i})^2}{q_{o_i}}$$

とした。ここに、 q_o と q_c はそれぞれ実測流出高と計算流出高であり、 N はデータ数である。本研究では短期出水を解析対象としているので、目的関数値の算定には、流出高が実測ピーク流出高の30%以上の部分だけを用いた。

最適値への収束判定条件は、シンプレックスの各頂点における目的関数値の標準偏差が基準値 ϵ 以下になることである。すなわち、

$$\left\{ \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (F_k - F_{av})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} < \epsilon, \quad F_{av} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M F_k$$

のとき、パラメーターの最適値が得られたものとする。ここに、 F_{av} は目的関数値の平均値、 M はシンプレックスの頂点の数である。

流出孔および浸透孔の係数に課す制約条件は、Model-1について

$$0.01 \leq X1 \leq 0.9$$

$$0.001 \leq X2 \leq 0.9$$

$$0.0001 \leq X3 \leq 0.9$$

$$0.01 \leq X1 + X2 + X3 \leq 0.95$$

とし、一方 Model-2 については

$$0.01 \leq Y1 \leq 0.9$$

$$0.0001 \leq Y2 \leq 0.9$$

$$0.01 \leq Y1 + Y2 \leq 0.95$$

とした。

(3) 雨量および流出量の観測データ

雨量および河川流量は、前述のとおり1989年から継続して観測されている。本解析には、1989年から1996年までの8年間のデータを用いる。表-2に、連続日雨量が40mm以上の雨量観測データを各年ごとに示す。ここで連続日雨量とは、日雨量10mm以上の降雨が連続しているとき、これを一連の降雨と見なして、その総雨量である。同表中、(A, B, C)欄の*印は、A, B, C地点で出水が観測されたことを示す。

本研究では、A地点のみを対象に流出解析を行う。A地点での出水は28回観測されている。そのうち、表-2の「A地点の最大日流出高」欄に○印を付した10回の出水が、降雨波形とモデルパラメーターの関係を調べるために採用したデータである。これ以外の出水は、タンクモデルによって所期の精度で観測ハイドログラフを再現できなかった

た。なお、流出解析では、1時間雨量 (mm/h) および1時間流出高 (mm/h) をそれぞれ入力および出力とした。

表-2 (a) 連続日雨量(40mm以上) , 1989年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	2	9/2	9/3	115.5	90.5 (9/3)	*	*	*	○ 84.6 (9/3)
2	3	6/22	6/24	99.5	68.5 (6/23)	*	*	*	29.4 (6/24)
3	3	9/5	9/7	88.0	39.0 (9/6)	*	*	*	34.4 (9/7)
4	2	9/13	9/14	83.5	44.0 (9/13)	*	*	*	○ 35.5 (9/14)
5	1	8/27		58.0					
6	2	6/15	6/16	55.0	50.5 (6/16)				
7	3	2/16	2/18	51.5	24.5 (2/16)		*	*	
8	3	2/23	2/25	46.0	32.0 (2/24)				
9	2	7/9	7/10	42.5	21.5 (7/9)				
10	2	7/12	7/13	42.0	39.5 (7/13)		*	*	
11	2	9/18	9/19	42.0	37.5 (9/19)	*	*	*	19.6 (9/19)
12	2	5/11	5/12	40.0	31.0 (5/11)				

表-2 (b) 連続日雨量(40mm以上) , 1990年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	6	9/15	9/20	205.0	85.5 (9/19)	*	*	*	○ 42.3 (9/19)
2	7	6/27	7/3	142.5	55.0 (6/30)	*	*	*	43.8 (7/3)
3	2	6/15	6/16	64.5	40.5 (6/15)	*	*	*	28.1 (6/16)
4	2	5/18	5/19	63.5	54.5 (5/19)	*	*	*	○ 26.2 (5/19)
5	3	10/6	10/8	61.5	42.5 (10/8)	*	*	*	○ 42.7 (10/8)
6	3	5/3	5/5	51.5	22.5 (5/5)	*	*	*	23.8 (5/5)
7	1	11/4		51.5		*	*	*	33.2 (11/4)
8	2	2/23	2/24	49.0	38.0 (2/23)	*	*	*	22.7 (2/24)
9	2	3/28	3/29	48.5	40.0 (3/28)				
10	1	5/7		47.5		*			○ 26.6 (5/8)
11	1	11/30		45.0		*			○ 19.6 (11/30)

表-2 (c) 連続日雨量(40mm以上) , 1991年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	2	6/2	6/3	66.5	49.5 (6/2)	*	*	*	16.9 (6/3)
2	2	9/30	10/1	62.0	55.0 (10/1)				
3	3	9/13	9/15	61.0	46.0 (9/14)				
4	1	5/8		60.5		*	*	*	○ 18.7 (5/9)
5	2	4/6	4/7	52.0	36.0 (4/7)	*	*	*	27.4 (4/8)
6	2	11/27	11/28	51.0	32.5 (11/28)				

表-2 (d) 連続日雨量(40mm以上) , 1992年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	2	8/18	8/19	79.5	63.5 (8/19)		*	*	
2	2	6/23	6/24	65.0	63.0 (6/23)				
3	1	10/8		60.5			*		
4	1	9/29		49.5					
5	2	5/8	5/9	44.0	27.0 (5/8)				
6	3	6/30	7/2	43.5	37.0 (6/30)				

表-2 (e) 連続日雨量(40mm以上) , 1993年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	8	6/28	7/5	214.0	52.5 (7/2)	*	*		49.6 (7/5)
2	7	8/13	8/19	168.0	52.0 (8/16)	*	*		37.7 (8/18)
3	2	9/29	9/30	86.0	73.0 (9/30)	*	*	*	○ 56.0 (9/30)
4	1	7/10		54.0		*	*	*	31.6 (7/10)
5	2	9/13	9/14	44.5	40.5 (9/14)				
6	2	9/3	9/4	42.0	22.5 (9/3)				
7	2	8/10	8/11	40.0	30.5 (8/10)				

表-2 (f) 連続日雨量(40mm以上) , 1994年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
	3	6/12	6/14	49.0	22.5 (6/13)				

表-2 (g) 連続日雨量(40mm以上) , 1995年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	5	7/3	7/7	169.0	48.5 (7/4)	*	*		97.9 (7/6)
2	2	5/11	5/12	143.5	110.0 (5/12)	*	*	*	149.8 (5/12)
3	3	5/14	5/16	74.5	32.5 (5/14)	*	*	*	44.8 (5/15)
4	2	10/1	10/2	63.5	36.0 (10/1)				
5	3	7/20	7/22	50.0	27.0 (7/20)				

表-2 (h) 連続日雨量(40mm以上) , 1996年

順位	日数	始 (月/日)	終 (月/日)	降雨量 (mm)	期間内最大日雨量 (mm) (月/日)	A	B	C	A 地点の最大日流出高 (mm) (月/日)
1	2	6/20	6/21	99.5	81.0 (6/20)	*	*	*	25.6 (6/21)
2	3	8/27	8/29	95.0	73.0 (8/27)				
3	3	6/24	6/26	89.0	65.0 (6/26)	*	*	*	72.6 (6/26)
4	2	7/19	7/20	71.5	51.0 (7/19)				
5	1	9/13		59.5			*	*	
6	1	10/14		54.5		*	*	*	○ 41.6 (10/14)
7	2	12/4	12/5	51.5	48.0 (12/5)				

(4) 同定結果および考察

Model-1 のパラメーター (X1, X2, X3) の同定結果を目的関数値 (F: 単位 mm/hr) とともに、表-3 に示す。この表で、降雨と流出の間に遅れ時間 (Td) を考慮しなかった場合が (Td = 0) であり、遅れ時間を考慮した場合が (Td ≠ 0) である。また後者の場合、表に示した遅れ時間 Td は、Td の値を変えて同定を行い、目的関数が最小となったときの値である。遅れ時間は、1つの出水で2時間である以外は、すべて1時間である。

遅れ時間を考慮してパラメーターを同定した場合、それを考慮しなかった場合と比べて、目的関数値がかなり小さくなっており、ハイドログラフの再現精度が向上していることがわかる。特に、解析対象の出水の中では大きい出水である「(5) 1990, 9, 19-20」では、再現精度が大きく向上している。この出水の計算ハイドログラフを、図-3 に示す。また比較的小さな出水である「(8) 1991, 5, 8-9」の場合、遅れ時間を考慮することによって再現精度は著しく向上している。図-4 に示すとおり、遅れ時間を考慮しないとき、計算ハイドログラフと実測ハイドログラフは全く違っている。図-5 に、遅れ時間を考慮した場合の計算ハイドログラフと実測ハイドログラフを降雨量とともに示す。

表-3 Model-1 のパラメータ同定結果

出 水 (年, 月, 日)	(Td = 0)				(Td ≠ 0)				
	X1	X2	X3	F(mm/hr)	X1	X2	X3	Td (hr)	F(mm/hr)
(1) 1989, 9, 2-3	0.157	0.014	0.0001	0.110	0.187	0.036	0.040	1	0.056
(2) 1989, 9, 13-14	0.010	0.012	0.046	0.057	0.011	0.044	0.069	2	0.031
(3) 1990, 5, 7-8	0.092	0.001	0.005	0.149	0.105	0.001	0.001	1	0.015
(4) 1990, 5, 18-19	0.057	0.262	0.0001	0.048	0.017	0.044	0.044	1	0.031
(5) 1990, 9, 19-20	0.111	0.022	0.250	0.225	0.069	0.057	0.138	1	0.036
(6) 1990, 10, 7-8	0.010	0.001	0.162	0.161	0.010	0.001	0.191	1	0.105
(7) 1990, 11, 30-12, 1	0.095	0.010	0.003	0.091	0.115	0.022	0.003	1	0.046
(8) 1991, 5, 8-9	0.188	0.586	0.221	0.935	0.051	0.017	0.001	1	0.003
(9) 1993, 9, 29-30	0.065	0.005	0.136	0.103	0.157	0.018	0.108	1	0.013
(10) 1996, 10, 14-15	0.131	0.001	0.014	0.255	0.185	0.007	0.001	1	0.139

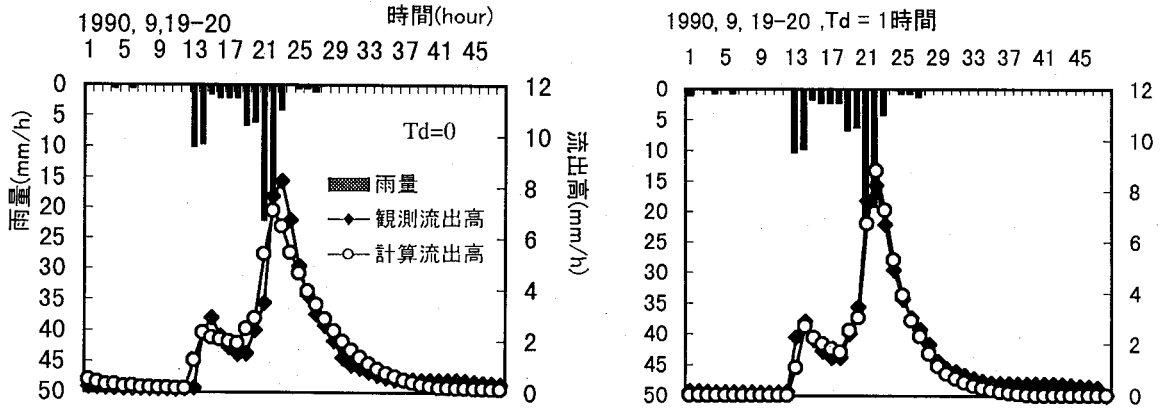


図-3 Model-1による出水「(5) 1990, 9, 19-20」のハイドログラフの再現結果(遅れ時間の有無による違い)

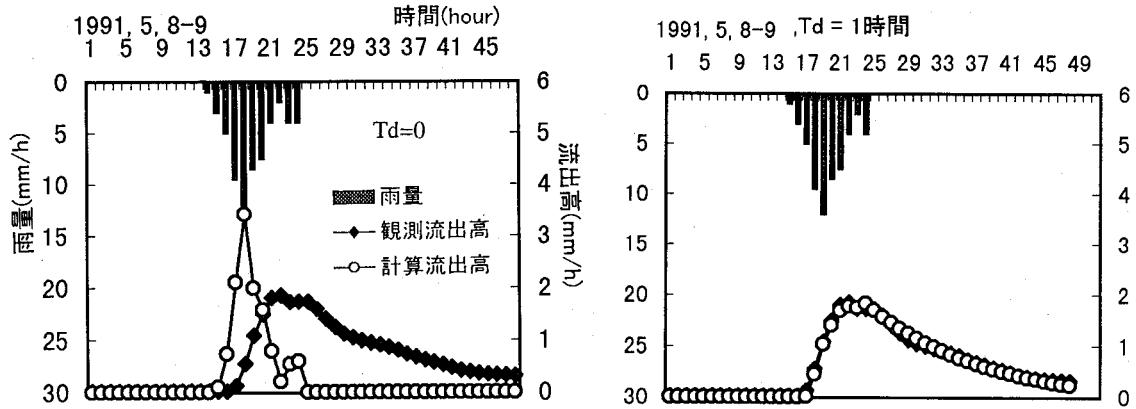


図-4 Model-1による出水「(8) 1991, 5, 8-9」のハイドログラフの再現結果(遅れ時間の有無による違い)

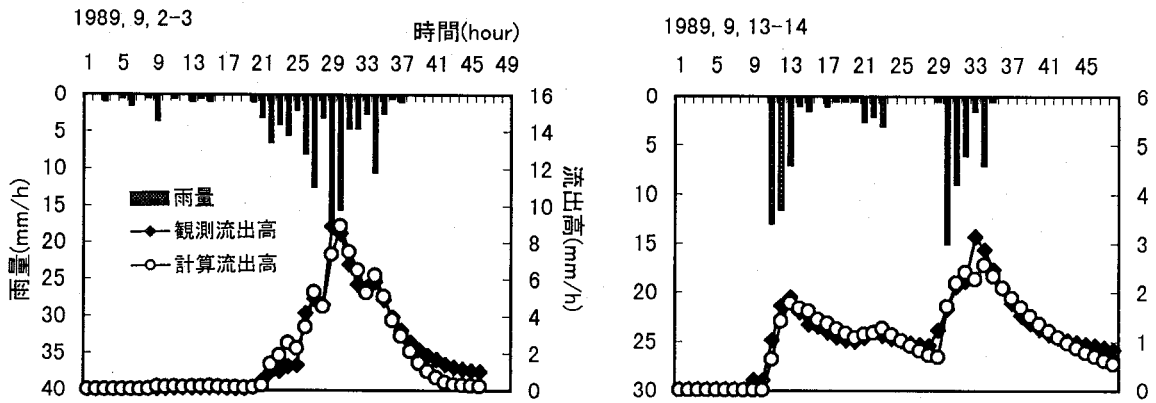


図-5 (1) Model-1によるハイドログラフの再現結果(遅れ時間あり)

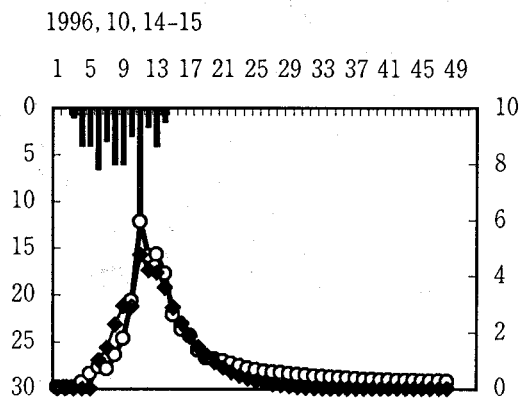
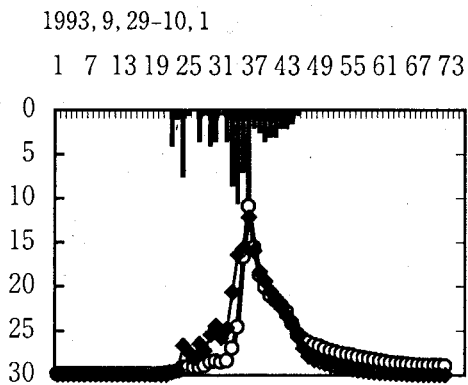
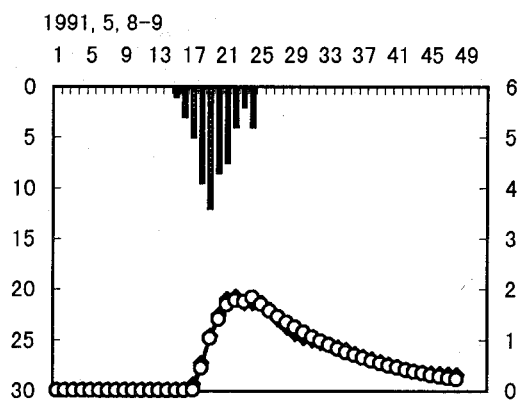
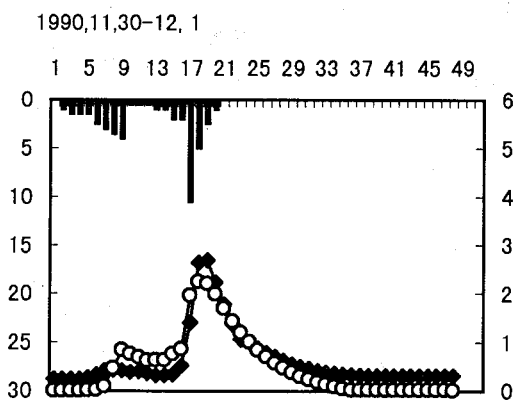
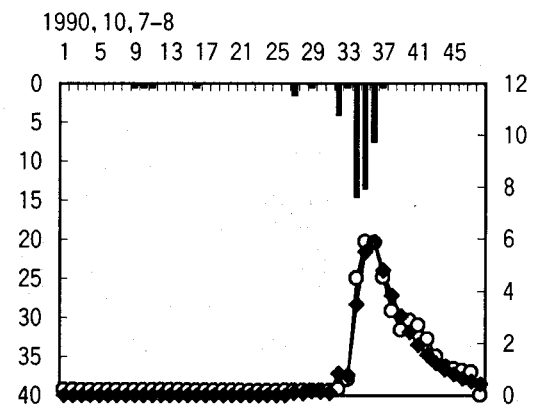
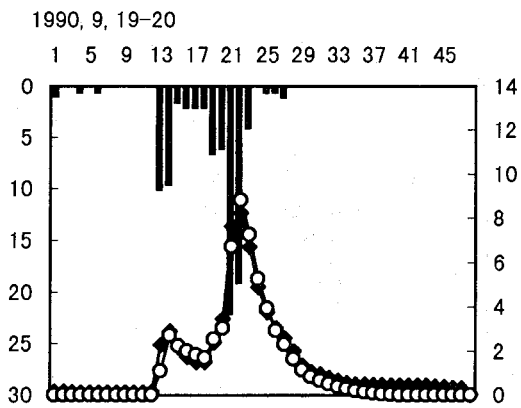
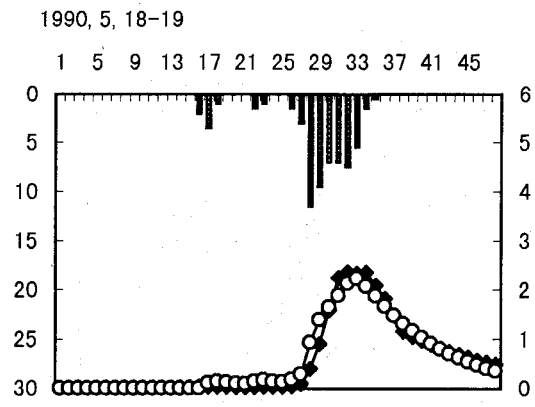
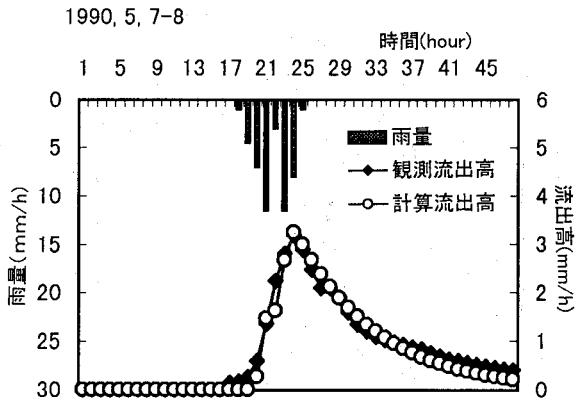


図-5 (2) Model-1 によるハイドログラフの再現結果(遅れ時間あり)

表-4 に、Model-2 のパラメーター (Y1, Y2) の同定結果を目的関数値 (F: 単位 mm/hr) とともに示す。Model-2 の場合も Model-1 と同様、全般的に、遅れ時間を1時間程度にとると再現精度は向上していることがわかる。図-6 に、遅れ時間を考慮した場合について、計算ハイドログラフと実測ハイドログラフを降雨量とともに示す。

表-4 Model-2 のパラメータ同定結果

出水 (年, 月, 日)	(Td = 0)			(Td ≠ 0)			
	Y1	Y2	F(mm/hr)	Y1	Y2	Td (hr)	F(mm/hr)
(1) 1989, 9, 2-3	0.157	0.014	0.110	0.227	0.035	1	0.056
(2) 1989, 9, 13-14	0.063	0.009	0.066	0.102	0.029	2	0.049
(3) 1990, 5, 7-8	0.098	0.001	0.014	0.106	0.001	1	0.022
(4) 1990, 5, 19-20	0.057	0.260	0.048	0.066	0.037	1	0.024
(5) 1990, 9, 19-20	0.145	0.019	0.276	0.219	0.040	1	0.072
(6) 1990, 10, 7-8	0.192	0.0001	0.255	0.230	0.001	1	0.180
(7) 1990, 11, 30-12, 1	0.086	0.0001	0.105	0.214	0.001	1	0.028
(8) 1991, 5, 8-9	0.045	0.017	0.006	0.053	0.017	1	0.003
(9) 1993, 9, 29-30	0.205	0.0001	0.106	0.267	0.016	1	0.013
(10) 1996, 10, 14-15	0.147	0.0001	0.251	0.185	0.006	1	0.139

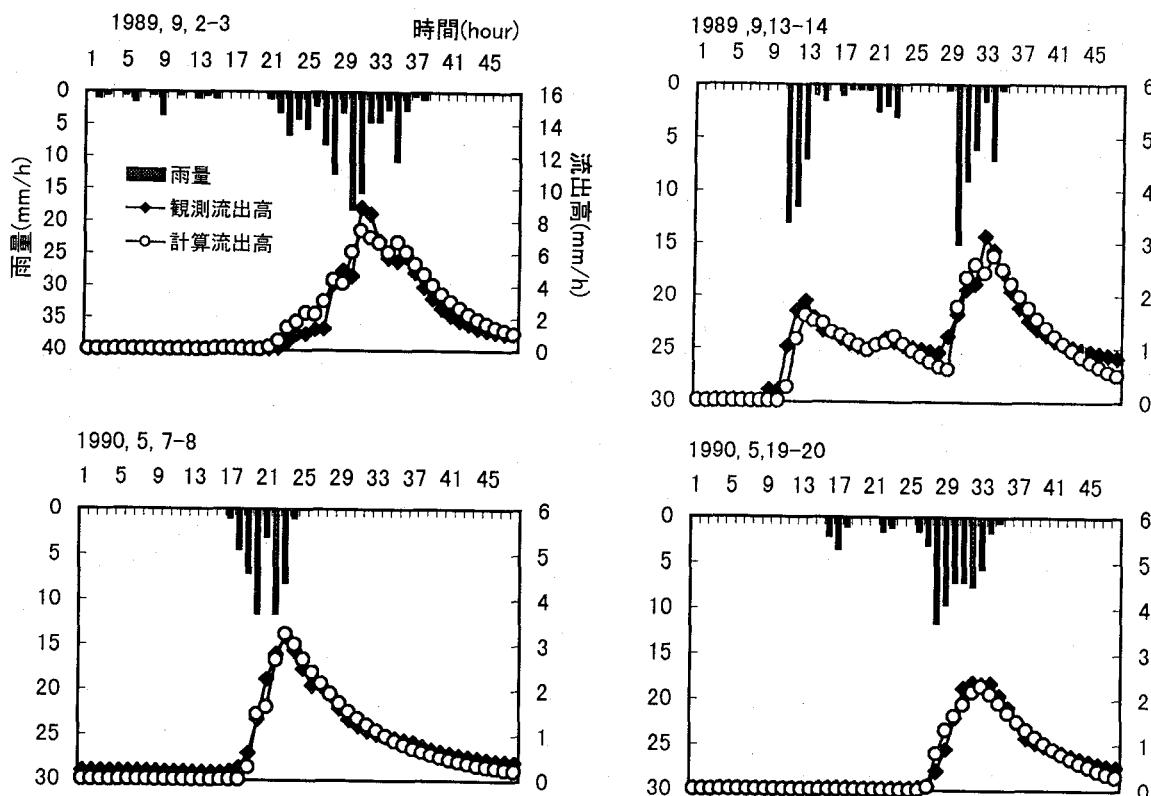


図-6 (1) Model-2 によるハイドログラフの再現結果 (遅れ時間あり)

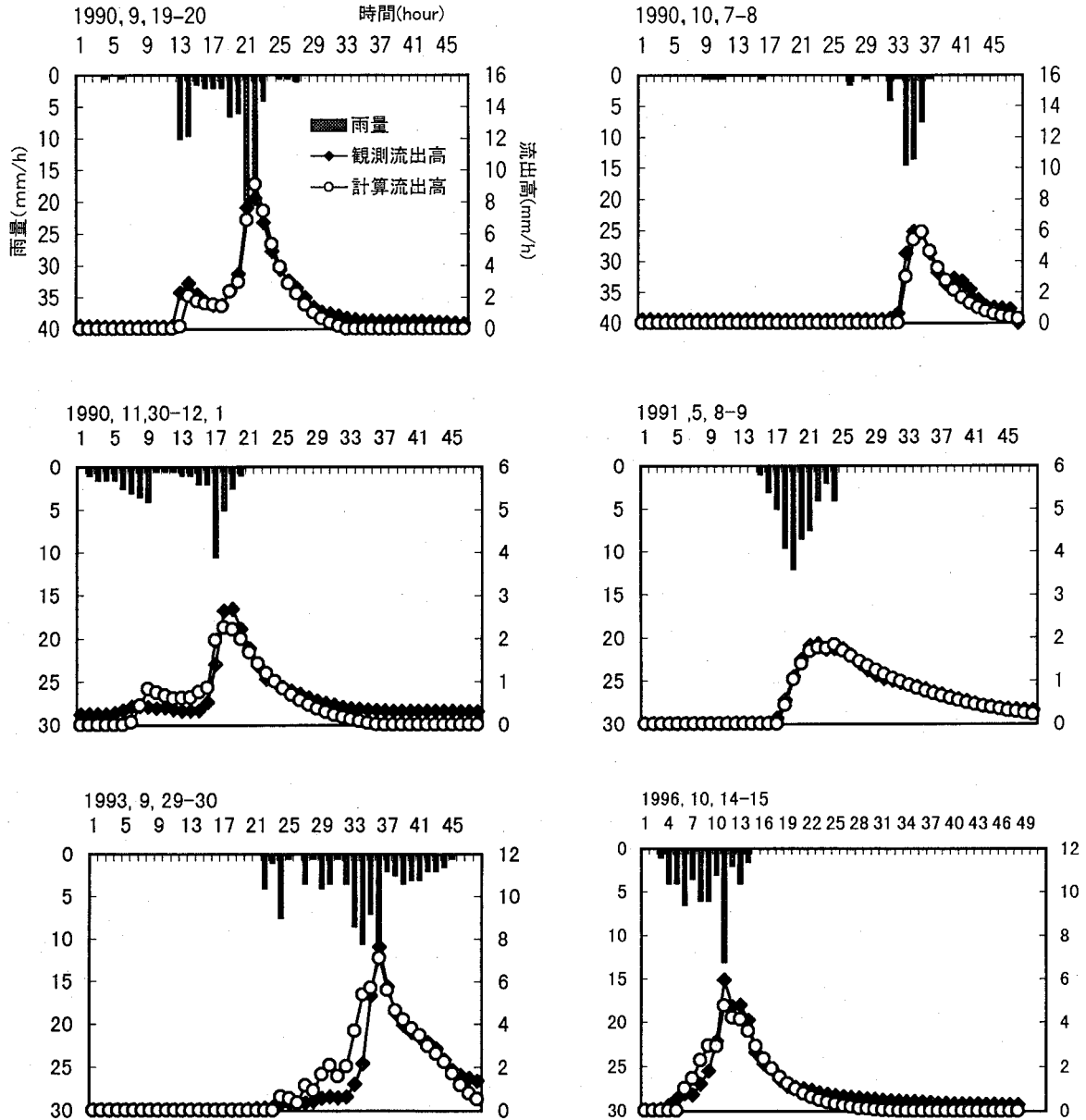


図-6 (2) Model-2 によるハイドログラフの再現結果(遅れ時間あり)

以下では、遅れ時間を導入した場合の同定結果について考察する。図-5 および図-6 に示したように、遅れ時間を導入すると、Model-1 あるいは Model-2 によってかなり高精度で実測ハイドログラフを再現できる。しかしながら既に指摘したとおり、同定された流出孔および浸透孔の係数の値は、どちらのモデルでも、ともに大きくばらついている。また Model-1 については、上方の流出孔の係数と下方のそれとの相対的な大小関係も明確でない。それゆえ Model-1 の2つの流出孔係数を、Model-2 のような流出孔が1つのモデルの流出孔係数として、つぎのように評価した。

いま Model-1 において、タンク内の貯留水深 Z が上方の流出孔より大きい ($Z > H1$) 場合、流出高 q は

$$q = X1 (Z - H1) + X2 (Z - H2) = (X1 + X2) (Z - He)$$

ここに、 $He = (H1 \cdot X1 + H2 \cdot X2) / (X1 + X2)$

である。したがってタンク内の貯留水深が大きい場合、Model-1 で与えられる流出高は、流出孔が1つのモデルを設定して、流出孔の係数を $(X1+X2)$ 、流出孔の高さを He とすれば、再現できることがわかる。

表-5に、(X1+X2) および He の値を、Model-2 の係数 Y1 とともに示す。この結果では、係数 (X1+X2) と係数 Y1 とが極めて近い値となるケースが見られる反面、両者が大きく異なっているケースもある。これは降雨分布や総降雨量の違いによると思われるが、ここではそれ以上の詳しい検討をしていない。この結果についてははさておき、このように Model-1 の2つの流出孔係数を等価な1つの流出孔係数として評価しても、そのばらつきは大きい。

表-5 (X1+X2) および He の値

出水 (年, 月, 日)	X1+X2	He (mm)	Y1
(1) 1989, 9, 2-3	0.223	8.87	0.227
(2) 1989, 9, 13-14	0.055	4.40	0.102
(3) 1990, 5, 7-8	0.106	9.93	0.106
(4) 1990, 5, 19-20	0.061	4.95	0.066
(5) 1990, 9, 19-20	0.126	6.83	0.219
(6) 1990, 10, 7-8	0.011	9.36	0.230
(7) 1990, 11, 30-12, 1	0.137	8.88	0.214
(8) 1991, 5, 8-9	0.068	8.25	0.053
(9) 1993, 9, 29-30	0.175	9.28	0.267
(10) 1996, 10, 14-15	0.192	9.74	0.185

4. 降雨波形とモデルパラメーターの相関

以上の結果から、タンクモデルの構造を固定しても、同定されたパラメーターには大きなばらつきのあることがわかる。

いま、これらのタンクモデルに同一の降雨を入力すると、(基本的に流出孔が1つのモデルを想定すれば)、流出孔係数の最も大きいモデルが最も大きい流出を与えると考えられる。それゆえ、流出予測のためのモデルを選定するとすれば、最も大きい流出孔係数のものを選ぶべきである。

ところで、降雨強度と継続時間の関係が等しい降雨であれば、後方集中型波形の降雨が前方集中型や中央集中型より大きい流出を与えられている。したがって、逆に、パラメーター同定に

用いた降雨が後方集中型であれば、同定された流出孔係数が相対的に大きな値となっていることが考えられる。この観点から、ここでは降雨波形と流出孔係数の相関関係について検討する。

(1) 降雨波形の基準化

解析に用いた降雨の波形が前方集中型、中央集中型あるいは後方集中型のいずれに属するかを判断するため、その波形の重心を採用することとした。重心は、次式によって算定し、対象とする降雨の継続時間で除して無次元化した。

$$\frac{\sum (\text{時間雨量}) \times (\text{降雨開始時から時間降雨中心までの経過時間})}{(\text{総降雨量}) \times (\text{降雨継続時間})}$$

重心の算定は、増水に直接関係していると思わせる降雨のうち、ピーク流量の出現時までの降雨を対象とした。さらに、Model-2 の流出孔の高さが 10 mm であること、および Model-1 の等価な流出孔高さが 10 mm 程度であることを考慮して、降り始めからの累加雨量が 10 mm に達するまでの時間雨量は損失雨量と見なし、重心の算定に直接的には算入しないことにした。

(2) 降雨波形と流出孔係数の関係

表-6に、降雨重心と流出孔係数を示し、図-7に両者の関係を示す。これらの結果から、降雨波形が後方集中型であるほど、すなわち重心の値が大きくなるほど流出孔の係数が大きくなることがわかる。特に、流出孔が1つである Model-2 の場合、両者の相関の高いことが明確に示されている。なお、「(6) 1990, 10, 7-8」の出水については、Model-1 と Model-2 で流出孔係数の大きさが著しく違っている。このときの降雨は、流出に寄与した降雨の継続時間が3時間ほどの集中的な降雨である。そのため、流出孔が2つである Model-1 と1つである Model-2 とでは、結果として、流出機構の異なるモデル化の差が顕著に現れたものと考えられる。いま、この場合の結果(図-7の中の●印)を無視すれば、降雨の重心と流出係数の相関はさらに高くなる。

ところで、短期出水の流出予測に適用するモデルに期待されることは、起こり得る最大のピーク流量を過剰に予測しないことと同時に、そのモデルの同定に用いた降雨以外の降雨を入力して得られる計算ピーク流出量が実測のピーク流出量以上となることである。

したがって、流出予測への適用を前提としてモデルの同定を行うとき、それに用いる観測データとしては、幾つかの観測データの中から、後方集中型の波形をもつ降雨とこれによって生じた流出ハイドログラフを選択するのが妥当

と考えられる。いま Model-2 を流出予測に用いるとすれば、「(9) 1993, 9, 29-30」の出水データから同定されたパラメーターを採用することになる。ここでは、このモデルを Model-2(9)と呼ぶことにする。図-8 に、「(2) 1989, 9, 13-14」の降雨および「(7) 1990,11,30-12,1」の降雨を Model-2(9)に入力して得られる計算ハイドログラフを、それぞれの実測ハイドログラフとともに示す。なお、これらの計算では遅れ時間を前者で2時間、後者で1時間としている。いずれの場合も、ピーク流出量の予測値が実測値より大きくなっており、Model-2(9)は既存のモデルの中では流出予測に適用できる最良のモデルと言える。

表-6 降雨重心と流出孔係数

出水 (年・月・日)	降雨の 重心	Model-1 X1+X2	Model-2 Y1
(1) 1989, 9, 2-3	0.621	0.223	0.227
(2) 1989, 9, 13-14	0.530	0.055	0.102
(3) 1990, 5, 7-8	0.443	0.106	0.106
(4) 1990, 5, 19-20	0.481	0.061	0.066
(5) 1990, 9, 19-20	0.641	0.126	0.219
(6) 1990, 10, 7-8	0.500	0.011	0.230
(7) 1990, 11,30-12,1	0.587	0.137	0.214
(8) 1991, 5, 8-9	0.443	0.068	0.053
(9) 1993, 9, 29-30	0.703	0.175	0.267
(10) 1996, 10, 14-15	0.560	0.192	0.185

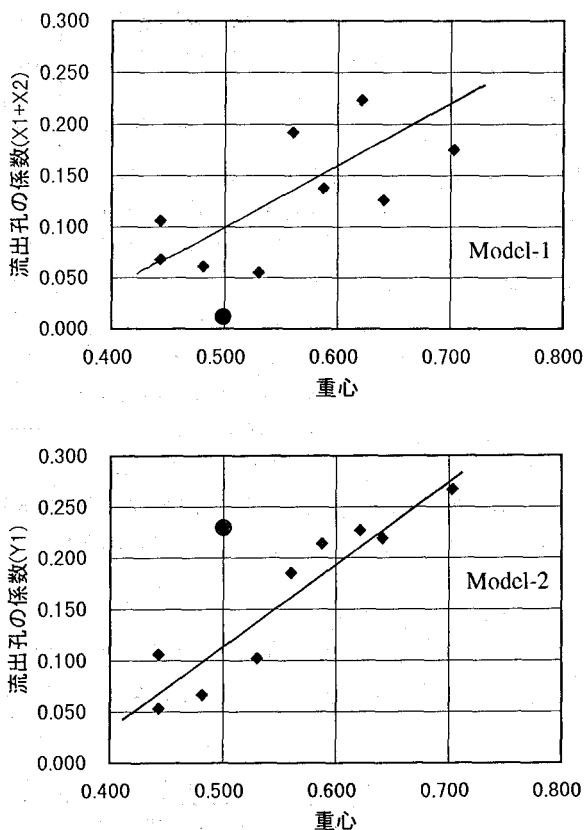


図-7 降雨の重心と流出孔係数の相関

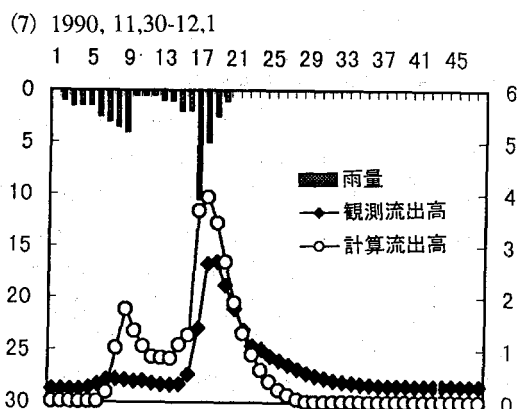
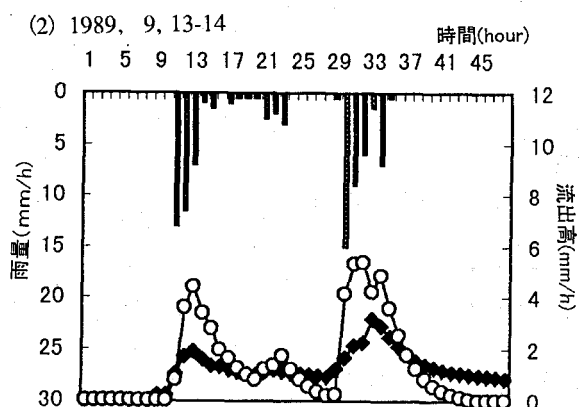


図-8 Model-2(9)に、「(2) 1989, 9, 13-14」の降雨および「(7) 1990,11,30-12,1」の降雨を入力して得られる計算ハイドログラフ

5. まとめ

短期の出水を流出予測の対象として、それに適用できるタンクモデルを同定するためには、幾つかの観測データの中から、波形ができるだけ後方集中型である降雨と、それに対応するハイドログラフを用いることが適切である。またタンクモデルの構成と構造に関しては、タンクは1段とし、流出孔と浸透孔がそれぞれ1つずつという簡単な構造のモデルであっても所期の目的を達成できると考えられる。むしろ、モデルパラメーターの最適解を求めるという観点からは、同定すべきパラメーターの数が少ない方が解の唯一性が期待できると思われる。その意味で、流出孔の高さは、観測データから損失雨量などを推定し、既知量として設定するのが良いと考えられる。

参考文献

- 1) 永井明博・角屋睦: 流出モデル定数の最適化手法、京大防災研究所年報、第22号B-2、pp.209-224、1979
- 2) 川谷健・中田慎一・池宮俊二: 制約付きシンプレクス法によるタンクモデルのパラメーター同定について、建設工学研究所報告、第33号、pp.191-204、1991
- 3) (社)日本河川協会編: 防災調整池等技術基準(案)(増補改訂)、計画対象降雨、pp.12-13、1988

著者: 1) 川谷健、神戸大学都市安全研究センター、教授; 2) 齋藤雅彦、神戸大学工学部建設学科、助手;
3) Asare-Boafo Emmanuel、神戸大学自然科学研究科博士後期課程、院生

