

分流式下水道の雨水流出に伴う汚濁負荷流出モデルとその適用

CONSIDERATION OF MODELING FOR RUNOFF POLLUTANT LOADS OF STORM DRAIN IN SEPARATE SEWER SYSTEM

和田安彦*・三浦浩之**

By Yasuhiko WADA and Hiroyuki MIURA

Various pollutants which caused by human activities are accumulated in our environment, and the accumulated pollution loads have a great amount of potential for the water pollution. These pollution loads are flushed out by rainfall through a road surface and gutters etc., and directly flowed into the receiving water. For this reason, the pollution loads in receiving water are increasing. For the purpose of reducing these non-point pollution loads, we must survey the characteristics of runoff loads from these pollution sources. In this paper, we derived the model for runoff loads of storm drain which is one of non-point pollution sources. And we applied these models to six drainage areas where separate sewer system are provided. From these examinations, it becomes clear that our model represents these runoff patterns and characteristics properly and it is useful for preliminary surveying of runoff loads.

1. 緒 言

都市域の拡大と人口集積に伴う過密化や都市における人々の諸活動の活発化等により、生活環境にはさまざまな汚濁負荷が多量に発生し、それらは路面や屋根、空地、排水溝や下水道管きょ内等に堆積している。これらの負荷は雨天時の雨水流出によりフラッシュアウトされ、公共用水域や閉鎖性水域の水質汚濁の原因の1つとなっている。

公共用水域や閉鎖性水域での水質問題の解決のためには、これら非特定汚染源からの汚濁流出を何らかの方法で制御することが必要であり、そのためには、非特定汚染源からの汚濁負荷の流出機構を明らかにし、流出負荷を予測、定量することが重要である。

これまで、著者らは主として都市域の非特定汚染源負荷の定量や流出経路について調査研究を行ってきた^{1)~5)}。さらに、非特定汚染源負荷の流出特性の把握や水域環境への影響などについての研究成果もすでに発表している^{6)~14)}。さらに、これまでの研究成果を踏まえたうえで、非特定汚染源からの汚濁負荷の流出経路の1つである分

流式下水道の雨水管の雨天時流出負荷を表現するモデルを構成し、その検証を行ってきた^{15)~19)}。

ここでは、これらの研究成果をもとにBOD、COD、SS、T-N、T-Pを水質指標として用い、モデルにより雨天時におけるこれらの負荷の流出状況を予測した。

2. 雨天時流出負荷モデルの位置づけと考え方

非特定汚染源の流出負荷の定量化モデルには、流出負荷が都市域の下流部分から流出するとして表わすものと、それが河川に流入し、河川下流で流出するとして表わすものに分けられる。前者は河道内に堆積していた負荷も含めた全体の流出負荷を表わしている。現在、都市域からの流出負荷量が多く、その影響が大きいため、前者のモデルの研究が多く行われている。

これまで、都市域からの流出負荷のモデルとしては、合流式下水道に関するものが多数発表されているが^{20)~32)}、都市域では多くの非特定汚染源負荷が発生しており、分流式下水道からの雨天時流出負荷のモデルの研究も重要である。

都市域で発生した非特定汚染源負荷の大半は雨天時に流出するため、下水道関連の問題として取り扱われることが多い。これらの流出負荷を表現するため、従来、次の4つの側面に注目してモデルが組み立てられている。

* 正会員 工博 関西大学助教授 工学部土木工学科
(〒564 吹田市山手町 3-3-35)

** 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科 (同上)

- (1) 地表面流出
- (2) 管きよ系流出
- (3) 地表面および管きよ流出を合わせて考えたもの
- (4) 都市域を一括化してとらえるもの

従来のモデルには、モデル化にあたって、仮想的な都市を考えて流出負荷を総量的にみる理論モデルと、現実の負荷流出パターンをより意識し、実際の流出負荷の状況を的確に表わそうとする物理モデルとがある¹¹⁾。後者には、現実の流出状況を表現しながらも、実用面からマクロに取り扱うものが多い。

一般に、わが国の都市は高密度、高集積化しており、降雨流出が早期に生じ、排水区域も比較的小さい。表-1には、現在までにわが国で開発されたモデルと諸外国のモデルの中から、このわが国の都市の特性から、適用の可能性のあるモデルを一覧にして表わしている。

本論文の分流式雨水管流出負荷モデルは、物理モデルで、実際の都市流出現象を比較的马クロに表わすものである。

また、モデル化において、非特定汚染源負荷の雨天時流出を予測するために、モデルの係数が排水区の地域特性、降雨特性等によって容易に推定できるように、モデルの係数を推定する手法を検討した。

(1) 雨天時流出負荷モデル

a) 運動式²¹⁾

合流式下水道における雨天時流出負荷量 (Q_s) と流量 (Q) との間には、次式で表わされるような関係があることが知られている²²⁾。

$$Q_s = K \cdot Q^n \dots\dots\dots (1)$$

しかし、上式のように流出負荷量を流量のみの関数とすると、流出初期における非常に大きな負荷流出現象や、流出低減期における流出負荷量の減少を説明することができないので²¹⁾、残存負荷量 S の概念を導入して

$$Q_s = K \cdot S^m \cdot Q^n \dots\dots\dots (2)$$

という関係式が提案された²⁶⁾。さらに、晴天時流量の影響やファーストフラッシュ現象の表現などの観点から、

限界流量 (Q_c) を取り入れた運動式が提案された²³⁾。

$$Q_s = K \cdot S^m \cdot Q^{n-1} \cdot (Q - Q_c) \dots\dots\dots (3)$$

限界流量 (Q_c) は晴天時の最小流量を用いれば、負荷流出シミュレーションが行い得るとされている²¹⁾。著者らのモデルは雨水管を対象としており、晴天時流量は非常に少ないため、この量は無視できると考えられる。

b) 連続式

連続式は、管きよ系の初期堆積負荷量 (P_0) と路面や側溝からの流出負荷 (M)、降雨負荷 (R)、屋根負荷 (r)、他の水路等からの流入負荷 (O)、晴天時負荷 (D_{wr}) 等を考慮して次式で表わされる。

$$S(t) = P_0 + \int_0^t M(\xi) d\xi + \int_0^t R(\xi) d\xi + \int_0^t r(\xi) d\xi + \int_0^t O(\xi) d\xi + \int_0^t D_{wr}(\xi) d\xi + \int_0^t Q_s(\xi) d\xi \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $S(t)$ は任意時間の排水区内の堆積負荷量である。

3. 分流式下水道の2段流出モデル

(1) モデルの考え方と基礎式

降雨時の河川流出負荷量を表わすモデルとして、浮遊性物質の挙動を次のように表わしたものが³²⁾。

$$L = A \cdot S^m \cdot Q_1 \cdot (Q_1 - Q_c) + B \cdot Q_2^2 + L_0 \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 L : 浮遊性物質流出負荷量、 S : 残存負荷量、 L_0 : 浮遊性物質基底負荷量、 Q_1 : 地表面流出成分流量、 Q_2 : 中間流出成分流量、 Q_c : 限界掃流量、 A, B : 定数。

そこで、著者らは、分流式下水道から雨天時に流出する負荷を流量 (Q) が直接的に影響する流出成分と、排水区内残存負荷量 (S) が影響する流出成分から成ると考え、両者を線形結合したモデル (2段流出モデル) を構成した。ここにおいて、限界掃流量 (Q_c) は、都市域において非特定汚染源負荷の雨天時流出が比較的早期に起こることから無視した。残存負荷量の累乗項 m は実測データに対して2段流出モデルを適用し (a, b は最小二乗法によるもの)、 m に種々の値を代入して計算を繰り返した結果、最も良好であった $m=1$ を用いることとした。さらに、基底負荷量は雨水管においては存在しないと考えられ、次式のようにモデルを表わした。

$$Q_s = a \cdot Q^2 + b \cdot S \cdot Q \dots\dots\dots (6)$$

また、連続式は、降雨開始時に排水区域内に面的に堆積している堆積負荷量 (初期堆積負荷量 S_0) と流出負荷量 (Q_s) より次式で表わした。

$$S = S_0 - \int_0^t Q_s(\xi) d\xi \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 S : 残存堆積負荷量。

(2) 対象地域および対象降雨

対象排水区は、神戸市花隈 A³⁴⁾、花隈 B³⁵⁾、北須磨³⁵⁾、

表-1 各モデルの対象別位置づけ¹⁸⁾

階級	理論モデル			物理モデル		
	マ	グ	ロ	マ	グ	ロ
都市				STORM ① 適量負荷供給有限モデル (土木研究所) ② 適量最大堆積モデル (土木研究所) ③ 適量堆積負荷流出モデル (和田モデル)		
管きよ系				④ 管きよ系外流出モデル (堆積負荷評価モデル)		⑤ SWMM
流域				⑥ 道路・管きよ系流出負荷モデル (土木研究所) ⑦ 負荷供給モデル ⑧ 負荷流出パターンを考慮した流出モデル (和田モデル)		⑨ メッシュモデル (市川モデル)
道	⑩ 完全混合モデル ⑪ 管底負荷流出モデル (堆積モデル)			⑫ 雨天時流出負荷マクロモデル (和田モデル) ⑬ 分流式雨水流出汚濁負荷モデル		
河川				⑭ ランク流出モデル (海老瀬モデル)		

注) 表中の◎印は各モデルの相対的位置を示している。

表一4 2段流出モデルの係数推定式

	B O D	C O D	S S	T N	T P
a	$a = (-467.1 \cdot RE - 547.1 \cdot FDW + 1425 \cdot HR - 0.8533 \cdot POP + 9342) \times 10^{-5}$	$a = (-799.3 \cdot RE - 1549 \cdot FDW + 2111 \cdot HR - 113.2 \cdot AR + 104.4 \cdot POPD + 6331) \times 10^{-4}$	$a = (-3228 \cdot HR - 2351 \cdot FDW + 1065 \cdot RARP + 106623) \times 10^{-4}$	$a = (-8.488 \cdot RE + 48.89 \cdot FDW + 94.39 \cdot UNARP - 50.05 \cdot POPD + 22500 \cdot a_{BOB} - 10990) \times 10^{-4}$	$a = (-3.245 \cdot RE - 5.515 \cdot FDW - 25.43 \cdot HR - 4.703 \cdot UNARP + 9.111 \cdot POPD + 2228 \cdot a_{BOB} - 836.3) \times 10^{-5}$
	(r=0.775)	(r=0.948)	(r=0.796)	(r=0.824)	(r=0.873)
b	$b = (-7.301 \cdot RE - 1.214 \cdot FDW + 2.169 \cdot SI + 5.143 \cdot POPD + 394.5) \times 10^{-5}$	$b = (-6.787 \cdot RE - 25.31 \cdot FDW - 7.019 \cdot RARP + 755.1) \times 10^{-5}$	$b = (-4.265 \cdot RE - 1.641 \cdot FDW - 1.855 \cdot FNE - 1.340 \cdot UNARP + 5.930 \cdot POPD - 512.5) \times 10^{-5}$	$b = (-3.774 \cdot RE - 3.060 \cdot FDW - 4.667 \cdot FBE - 20.18 \cdot HR - 7.191 \cdot UNARP - 0.02913 \cdot POPD - 9553 \cdot b_{BOB} - 611.7 \cdot b_{SS} + 1162) \times 10^{-5}$	$b = (2.802 \cdot RE + 1.269 \cdot FDW + 14.77 \cdot HR + 4.816 \cdot UNARP - 10.88 \cdot POPD + 124500 \cdot b_{BOB} + 0.8705 \cdot b_{SS} - 1171) \times 10^{-5}$
	(r=0.810)	(r=0.754)	(r=0.844)	(r=0.944)	(r=0.932)

RE: 降雨量 [mm], FRP: 先行降雨量 [mm], FDW: 先行晴天日数 [日], HR: 降雨継続時間 [hr], AR: 排水区面積 [ha], UNARP: 不透透面積率 [%], RARP: 屋根面積率 [%], SI: 勾配 [%], POPD: 人口密度 [人/ha], POP: 人口 [人], a_{BOB}, a_{SS}, b_{BOB}, b_{SS}: 係数推定値

式によりモデルの係数を推定することが可能である。

なお、ここで用いた多変量解析は、変数選択法のうちの変数増減法であり、変数選択用 F 値を用いて独立変数の回帰モデルへの投入・除去を繰り返し、最終的な回帰モデルを得るものである³⁹⁾。今回の計算においては、変数投入用 F 値、除去用 F 値ともに 0.5 とした。また、最終的な F 値は、係数 a で F=3.75~12.53, b で F=3.94~4.73 であった。

4. 堆積負荷量の考え方とその算定

(1) 初期堆積負荷量の考え方

都市域のように地表面の不浸透面積比率の高い地域では、汚濁負荷の大半は屋根、舗装道路等の不浸透性地表面への降下物、あるいは交通・輸送に伴う付着物や堆積物などであるとされている。したがって、非特定汚染源の中では、大気系負荷、廃棄物負荷、都市排水系負荷、都市行動系負荷、建設系、形質変更による負荷（建設工事に伴う負荷）が主な都市域の非特定汚染源負荷といえる。

前回の降雨流出後に地表面や流路内に残存した負荷量に、降雨後の晴天期間中に新しく発生した負荷量を加えたものが、次回の降雨による流出の初期条件となる。したがって、降雨時に流出する堆積負荷量は、この初期条件と降雨条件により決まり、これを初期堆積負荷量（流出ポテンシャル堆積負荷）とする。

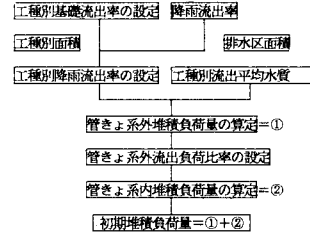
(2) 初期堆積負荷量の算定方法

都市域では、不浸透面積率が高いため、降雨流出の大半は直接流出によるものであり、雨天時に初期堆積負荷量の大部分が流出している。したがって、初期堆積負荷量の算定を図一に示すように、堆積負荷量を工種別に求め、これに管きよ系からのものを加えて初期堆積負荷量を算定するという手順で行った。

まず、工種別（屋根、路面、空地その他）の流出率を設定する。排水区の基礎流出率は、この工種別流出率を以下のように合成することにより得られる。

$$C = \sum_{i=1}^m (C_i \cdot A_i) / \sum_{i=1}^m A_i \dots\dots\dots (9)$$

ここで、C: 排水区の基礎、C_i: i工種の基礎流出率、A_i: i工種の総面積、m: 工種数。



図一1 初期堆積負荷量算定の手順

表一5 初期堆積汚濁負荷量算定の基礎式

	考 え 方	基 礎 式
屋根	屋根雨水流出量 (R・Cr ₁) とその平均水質 (C ₁) より求める	S ₁ = C ₁ ・R・Cr ₁ ・A ₁
路面	路面雨水流出量 (R・Cr ₂) とその平均水質 (C ₂) より求める	S ₂ = C ₂ ・R・Cr ₂ ・A ₂
空地その他	空地雨水流出量 (R・Cr ₃) とその平均水質 (C ₃) より求める	S ₃ = C ₃ ・R・Cr ₃ ・A ₃
管きよ	管きよ系外流出負荷比率 (Pex) をもって求める	S ₄ = (S ₁ + S ₂ + S ₃) / Pex - (S ₁ + S ₂ + S ₃)

$\langle Cr_1 = 0.85, Cr_2 = 0.80, Cr_3 = 0.15 \rangle$
 $\text{管きよ系外流出負荷比率}(Pex) = \frac{\text{管きよ系外流出負荷量}}{\text{総流出負荷量}}$

一方、降雨流出率 (C_r) は降雨ごとに異なり、必ずしも排水区の基礎流出率とは一致しない。したがって、工種別に初期堆積負荷量(流出ポテンシャル堆積負荷量)を求めるには、工種別雨水流出率 (C_{r,i}) が必要となる。しかし、この値も工種別の基礎流出率とは異なってくる。このため工種別降雨流出率 (C_{r,i}) を次式により算定する。

$$C_{r,i} = C_i \cdot C_r / C \dots\dots\dots (10)$$

次に、この工種別流出率と工種別面積を用いて、表一5に示す基礎式より、管きよ系以外の堆積負荷量を求める。

また、管きよ内堆積負荷量は、これに関する実測データを得ることは困難なことが多いため、管きよ系外負荷(屋根、路面、空地その他)の流出比率から算定した。

(3) 初期堆積負荷量

工種別平均排水水質に関しては、屋根排水は対象地域

表一六 流出水質と初期堆積負荷量

排水区	降雨日	水質	流出率			初期堆積負荷量 (kg)				総流出負荷量 (kg)	
			路面	屋根	その他	路面	屋根	その他	管きよ糸		
北九州	56. 1.24	BOD	0.83	0.88	0.64	5.591	2.255	3.812	53.111	64.769	65.180
		COD				9.197	9.311	15.726	13.983	48.216	48.170
		S S				12.500	20.302	34.319	352.363	419.504	409.470
		T-N				1.430	0.688	1.163	3.415	6.696	6.673
		T-P				0.065	0.030	0.050	0.373	0.518	0.523
山形	49.10.15	BOD	0.43	0.46	0.08	0.357	0.263	0.053	1.009	1.687	1.673
		COD				0.046	0.071	0.014	0.196	0.327	0.326
		S S				0.196	0.976	0.186	2.052	0.342	3.407
		T-N				0.058	0.111	0.022	0.287	0.478	0.476
		T-P				0.004	0.008	0.002	0.019	0.032	0.032
神戸 花隈 B	50. 2. 4	BOD	1.00	1.00	0.23	2.422	0.676	0.095	13.698	16.911	16.726
		COD				4.819	2.184	0.305	12.308	16.240	16.287
		S S				7.799	10.165	1.420	101.765	121.149	117.842
		T-N				0.951	0.315	0.044	1.209	2.519	2.534
		T-P				0.036	0.012	0.002	0.126	0.175	0.175
神戸 北須磨	52. 9.28-29	BOD	0.57	0.61	0.11	2.726	2.199	0.097	0.886	5.908	5.927
		COD				5.264	4.350	0.192	0.099	9.905	9.945
		S S				7.953	13.234	0.584	38.703	60.474	60.058
		T-N				0.664	0.025	0.001	0.521	1.211	1.206
		T-P				0.038	0.025	0.001	0.181	0.245	0.247
千葉	57. 1. 18-19	BOD	0.56	0.60	0.11	4.900	0.964	1.045	7.190	14.099	13.960
		COD				9.463	1.906	2.067	3.571	17.007	16.930
		S S				14.297	5.800	6.287	30.972	57.356	57.040
		T-N				2.237	0.951	1.030	0.521	4.739	4.731
		T-P				0.068	0.011	0.012	0.147	0.238	0.240

における実測値の平均を用いた（降雨含む）路面水質は対象地域の実測値が得られなかったため、土木研究所による東京都谷端川流域における路面散水実験²⁰⁾における値を用い、これに降雨水質を加えたものとした。また、同流域における雨天時流出汚濁源の調査結果によると、屋根と空地その他に堆積した BOD 負荷量は、ほぼ等しいので、COD, SS, T-N, T-P でも同様であると考え、空地その他の水質は、屋根水質と同じであるとした。以上より得られた初期堆積負荷量の一例を表一六に示す。

5. モデルの適合性の評価と考察

多変量解析により得られたモデルの係数推定式を用いて山形市、北九州市にモデルを適用した結果を図一2、3に示す。それぞれの合致率および相関係数は、

- 山形市緑町 T-P $E=87.19(\%)$, $r=0.821$
- 北九州市朝日ヶ丘 BOD $E=80.56(\%)$, $r=0.738$
- S S $E=91.28(\%)$, $r=0.914$

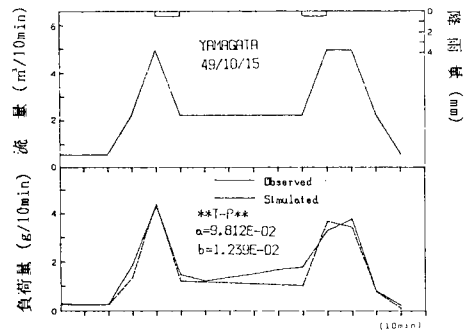
であり、比較的汚濁負荷量の流出現象を再現できている。

汚濁負荷流出現象を係数同定時と同程度の精度で予測するには、表一四に示したものの以外の各排水区の出流の特性や地理条件、各種社会条件等の対象地域の関連データがさらに必要となる。

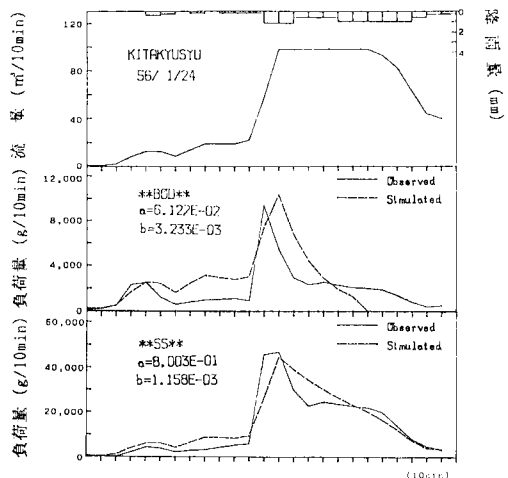
一方、係数同定時に用いた排水区の降雨データのうち、係数同定に利用しなかったものにモデルを適用した結果を図一四~六に示す。それぞれの合致率と相関係数は

- 神戸市花隈 B BOD $E=87.99(\%)$, $r=0.961$
- COD $E=91.95(\%)$, $r=0.977$
- S S $E=80.38(\%)$, $r=0.988$
- T-N $E=83.28(\%)$, $r=0.976$
- 神戸市北須磨 T-N $E=89.83(\%)$, $r=0.988$

- 千葉市さつきが丘 BOD $E=81.74(\%)$, $r=0.904$
- S S $E=91.18(\%)$, $r=0.950$
- T-N $E=91.34(\%)$, $r=0.959$



図一2 二段流出モデルシミュレーション



図一3 二段流出モデルシミュレーション

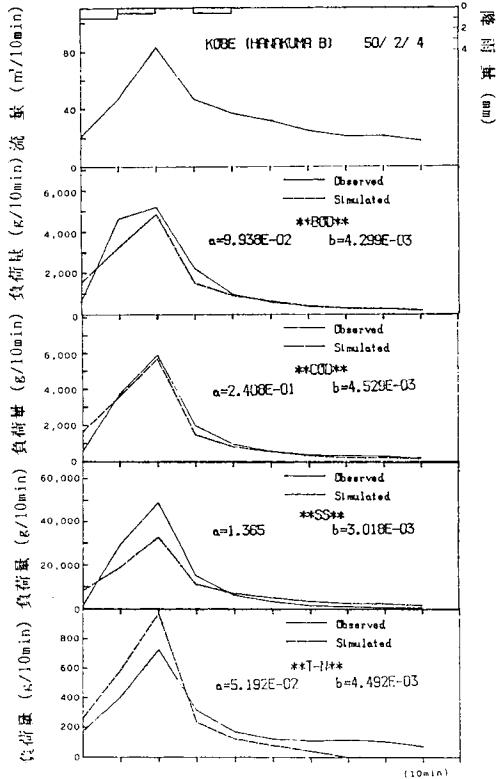


図-4 2段流出モデルシミュレーション

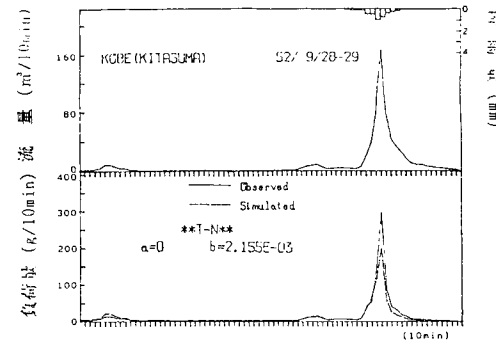


図-5 2段流出モデルシミュレーション

であり、係数を同定した排水区の係数同定に用いなかった降雨時における汚濁負荷流出の予測にモデルを適用した場合、その予測精度は、相関係数 0.90 以上と良好である。

6. 結 言

非特定汚染源負荷流出経路の1つである分流式下水道の雨水管の流出特性を把握するため、雨天時汚濁負荷流出モデルの確立と検証を試みた。当モデルは、流出負荷を流量が直接的に影響する流出成分と、排水区内残存負荷量が影響する流出成分により構成したものである。モ

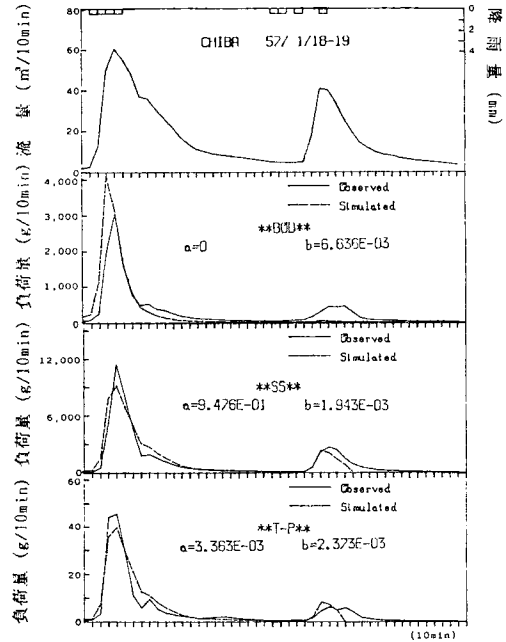


図-6 2段流出モデルシミュレーション

デルの係数を4排水区のデータを用いて同定し、これを推定し得る回帰モデルを得た。この推定式を用いて、2排水区を対象にモデルの検証を行った。

この結果、著者らのモデルは、汚濁負荷流出状況を適切に表現できることが明らかとなった。しかし、各都市の流出特性や地形条件、各種社会条件等が都市の雨天時流出負荷に強く影響するため、すべて高い精度でシミュレーションを行うには対象地域の関連データが必要となり、実用上の限界もある。一方、係数同定を行った排水区では、降雨時汚濁負荷流出を適切に予測できた。

なお、当モデルの適用範囲としては、降雨時の汚濁物質流出現象を精度よく予測するためには、今回対象とした排水区と同様な地域特性を有する地域であることが望ましい。

また、降雨については、本論文で取り扱った降雨量 3.0 mm～27.0 mm の範囲内にあるものが、モデル適用範囲である。

今後は、初期堆積負荷量算定に必要な各工種ごとの流出水質や管きよ系外流出負荷比率についての調査や、多変量解析における F 値の検討等を行い、モデルのシミュレーション精度を向上させることが必要である。

謝 辞：当研究調査にご協力を賜った多くの方々、さらに、貴重な資料を活用させていただきました方々に深く感謝いたします。また、当研究に適切な助言をいただきました大阪大学教授 末石富太郎先生、京都大

学教授 住友 恒先生に深く感謝いたします。また、東京大学 市川 新先生、山口大学 中西 弘先生、建設省土木研究所の中村栄一氏をはじめ、多くの先生方にご指導頂き、改めて、深く厚く感謝いたします。

さらに、神戸大学名誉教授 田中 茂先生（前・関西大学教授）には研究のあり方、方法論を含め多大な激励を受けました。ここに、伏して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 和田安彦：非点源負荷の定量と水域環境への影響度の評価，衛生工学研究論文集，Vol. 16，土木学会，pp. 168～174，1980年1月。
- 2) 和田安彦：非点源負荷の定量と流出管理（1），（2），環境技術，Vol. 9，No. 11，12，pp. 5～11，pp. 4～10，1980年11月，12月。
- 3) 和田安彦，ほか1名：非点源負荷における路面堆積負荷の定量と流出シミュレーション，衛生工学研究論文集，Vol. 17，土木学会，pp. 25～31，1981年1月。
- 4) 和田安彦：雨天時河川堆積負荷流出に関する研究，水処理技術，Vol. 22，No. 8，pp. 9～23，1981年8月。
- 5) 和田安彦：非点源負荷の地域内定量例と考察，水処理技術，Vol. 22，No. 11，pp. 21～35，1981年11月。
- 6) 和田安彦：水質管理と非点源負荷の考察，水道公論，Vol. 17，No. 3，pp. 66～74，1981年3月。
- 7) 和田安彦：非点源負荷における分流水雨水管の流出負荷の考察（I），（II），水利科学，No. 138，139，pp. 1～13，pp. 32～41，1981年3月，6月。
- 8) 和田安彦・末石富太郎：Effect of Decreasing Total Pollution Loads with Retention Tank，Second International Conference on Urban Storm Drainage (University of Illinois)，pp. 286～294，1981年6月。
- 9) 和田安彦：Modeling of Stormwater Runoff Loads in Combined Sewer Systems，Second International Conference on Urban Storm Drainage (University of Illinois)，1981年6月。
- 10) 和田安彦：非点源負荷における路面堆積負荷の定量と流出シミュレーションに関する研究，水質汚濁研究，Vol. 4，No. 3，pp. 31～43，1981年9月。
- 11) 和田安彦：非特定汚染源負荷と雨天時流出モデル，公害と対策，Vol. 18，No. 5，pp. 33～46，1982年5月。
- 12) 和田安彦：非特定汚染源負荷の水域環境への影響，用水と廃水，Vol. 24，No. 12，pp. 59～64，1982年12月。
- 13) 和田安彦・三浦浩之：Quantification of Accumulated Loads on Road Surfaces and their Runoff Characteristics，Third River Basin Management Conference，pp. 463～472，1983年7月。
- 14) 和田安彦・島原寛二：非特定汚染源の流出特性と単位面積流出負荷モデル，環境問題シンポジウム論文集，Vol. 11，土木学会，pp. 33～38，1983年8月。
- 15) 和田安彦・三浦浩之：水環境アセスメントのための分流水雨水管のモデル化，環境問題シンポジウム論文集，Vol. 10，土木学会，pp. 45～50，1982年8月。
- 16) 和田安彦・三浦浩之：都市路面堆積負荷流出とそのモデル化，環境問題シンポジウム論文集，Vol. 11，土木学会，pp. 39～44，1983年8月。
- 17) 和田安彦・三浦浩之：都市域の分流水雨水管流出負荷のモデル化，環境技術，Vol. 13，No. 2，pp. 14～16，1983年11月。
- 18) 和田安彦・三浦浩之：都市域の雨水管水質負荷流出モデルとその考察，衛生工学研究論文集，Vol. 20，pp. 19～25，1984年1月。
- 19) 和田安彦・三浦浩之：Quantification of Water Quality of Urban Storm Drainage and Modeling Runoff Loads，Third International Conference in Urban Storm Drainage (Sweden)，pp. 969～978，1984年6月。
- 20) 高畑征三郎，ほか：合流式下水道における雨天時流出汚濁負荷量の推定，衛生工学研究論文集，Vol. 12，土木学会，pp. 108～113，1976年1月。
- 21) 中村栄一：合流式下水道対策の検討（II）—汚濁負荷流出シミュレーション—，衛生工学研究論文集，Vol. 16，土木学会，pp. 154～159，1980年1月。
- 22) 稲場紀久雄：雨天時下水道水量水質の制御に関する研究，京大学位論文，1975年2月。
- 23) Short Course Proceedings Applications of SWMM EPA，1977年。
- 24) 市川 新，ほか：雨天時の汚水流出負荷モデルに関する考察，環境問題シンポジウム講演論文集，Vol. 9，土木学会，1980年8月。
- 25) 中村栄一：雨天時合流式下水道対策の検討（第2報）—ひと雨負荷量と先行降雨条件との関係について—，第34回年次学術講演会講演概要集，土木学会，1979年10月。
- 26) 都市域からの雨天時汚濁流出調査報告集，土木研究所資料第1019号，建設省土木研究所，1975年3月。
- 27) 中村栄一：雨天時合流式下水道対策の検討，下水道研究発表会講演集，Vol. 14，1977年10月。
- 28) 雨天時における合流式および分流水下水道の改善に関する調査，日本下水道協会，1979年3月。
- 29) 雨天時における合流式下水道改善に関する調査報告書，日本下水道協会，1980年3月。
- 30) 和田安彦：負荷流出パターンを考慮した雨天時流出負荷の研究，衛生工学研究論文集，Vol. 17，土木学会，pp. 17～24，1981年1月。
- 31) 和田安彦・末石富太郎・藤原：負荷流出のシミュレーション，未発表。
- 32) 海老瀬潜一，ほか：タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析，用水と廃水，Vol. 21，No. 12，pp. 46～56，1979年12月。
- 33) 昭和50年度下水道事業調査報告，建設省土木研究所，1976年。
- 34) 非特定汚染源による汚染防止対策調査，神戸市，1979年。
- 35) 分流水下水道からの雨水流出水に関するデータベース，土木研究所資料第1549号，建設省土木研究所，1980年。
- 36) 非特定汚染源による汚染防止対策調査，千葉県，1982年3月。
- 37) 非特定汚染源による汚染防止対策調査，山形県，1978年。
- 38) 非特定汚染源による汚染防止対策調査，北九州市，1980年。
- 39) FACOM OS IV，SDA II，解説書，（調査データ解析プログラム）。