

(3) 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考察

MODEL BUILDING OF RUNOFF POLLUTANT LOADS OF THE FLUSHING IN SEPARATE SEWER SYSTEMS AND CONSIDERATION OF SIMULATION RESULTS

和田安彦*, 三浦浩之*

Yasuhiko WADA*, Hiroyuki MIURA*

ABSTRACT Various pollutants are produced too much in our environment, and they are accumulated on road surfaces, roofs, and open areas or in drainage ways and sewer pipes. These loads are flushed out by runoff water in rainfall and become one of factors of water pollution in receiving water.

For preventing the water pollution and improving the quality of receiving water, it is necessary to control the pollution runoff from non-point sources by some way. For this purpose, it is important that we make clear the runoff mechanism of pollutant from non-point sources and estimate the runoff loads quantitatively.

In this paper, we made clear the runoff characteristics of separate sewer systems which is one of ways of runoff loads from non-point sources, and built up the model which express these runoff characteristics. We simulated runoff loads in each rainfall and in each water qualities by our models. We get good results that simulated value by these models almost agree with measured value it will be possible to calculate the runoff loads of the flushing of separate sewer systems in many districts.

KEYWORDS; Simulation of water quality, Non-point sources, Separate sewer systems, Runoff characteristics, Runoff model.

1. 緒言

都市域の拡大と人口集積に伴う過密化や都市活動の活発化及び交通量の増大等により、生活環境には様々の汚濁物が多量に発生し、それらは路面や屋根、空地、排水溝や下水道管きょ内に堆積している。これらの負荷は、雨天時に流出水によりフラッシュアウトされ、公共用水域の水質汚濁の原因の一つとなっている。

公共用水域の水質汚濁防止や水質改善のためには、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物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。

筆者らは、非特定汚染源からの汚濁物の流出経路の一つである分流式下水道の流出特性を明らかにし、これを表現するモデルを構成した。一排水区を対象として適用した結果は既に発表したが、その後さらにモデルの改良を行い、対象排水区も広ろげて3地域をとりあげ、研究を進めた結果、モデルの適合性の向上をみた。

2. 都市流出モデルの位置づけと基礎式

(1) 都市流出負荷重視の背景

都市域における分流式下水道からの雨水流出負荷が注目される背景には次のものがある。²⁾

1) 都市活動の増大化に伴って都市環境に蓄積される負荷量が増大してきた。

2) 都市化によって雨水流出率が高くなり、都市の雨水流出量が増大し、都市環境に蓄積された負荷が掃流され易くなった。

- 3) 総量規制の実施に伴い、水域環境における流入負荷についてのクリティカルな状態が多く発生するようになり、都市流出、降雨流出における負荷を無視して論じられなくなった。
- 4) 閉鎖性水域においては特に流入負荷の挙動が水質に大きな影響を与えるようになり、可能な限り流入負荷量を減少せねば水質保全を行い得ない状態になってきた。

以上にあげたように、従来から都市に少しずつ蓄積されてきた負荷がかなりの量にのぼり、都市への汚濁物の「ストック」が増大している。さらに人口集積によって雨水流出率が高くなり、小さな降雨時においても雨水流出量がこれらの負荷流出に影響をもつようになっている。

(2) モデルの位置づけ

非特定汚染源の流出負荷の定量化モデルには、流出負荷が都市域下流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。前者は発生源が都市域で排水区の下流で定量される。後者は河川下流での全体の流出負荷と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が大きく、関心が高いため前者のモデル研究が多く行われている。

都市域からの流出負荷のモデル研究としては、合流式下水道排水区におけるものが発表されているが、都市環境に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水流出負荷のモデル研究も重要となっている。

都市域からの流出負荷の大半は降雨流出によって生じるため、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。

- (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

モデル化に当っては、仮想的な都市を考えて流出負荷を総体としてみる理論的モデルと、現実の流出負荷の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的モデルとがある。後者には、現実の流出状況を表現しながら、とり扱いには実用面からマクロにとり扱うものももっとも多い。

表1には現在わが国で開発されたモデルと諸外国のモデルの中から、わが国の都市の実情を考慮して適用の可能性のあるモデルを一覧表として表わしている。

ここで述べる筆者らの分流式下水道からの雨水流出に伴う汚

表1 各モデルの対象別位置づけ (筆者作成)

		理論モデル	物理モデル	
			マ ク ロ	ミ ク ロ
水	地表面		STORM 路面負荷供給有限モデル◎(土木研究所) 路面敷大堆積モデル◎(土木研究所) 路面堆積負荷流出モデル◎(和田モデル)	
	管きよ		◎汚濁負荷運動モデル(土木研究所他) 管きよ系流出モデル(堆積負荷評価モデル) ◎	◎ SWMM
	総合		◎ 路面・管きよ系流出負荷モデル(土木研究所) 負荷供給モデル◎(土木研究所) 負荷流出パターンを考慮した流出モデル(和田モデル)◎	◎メッシュモデル(市川モデル)
道	一括	◎完全混合槽モデル 等価負荷流出モデル◎ (稲場モデル)	◎雨天時流出負荷マクロモデル(和田モデル) ◎分流式雨水流出汚濁負荷モデル	
	河川		◎タンク流出モデル(海老瀬モデル)	

濁負荷流出モデルは、物理的モデルで、実際の都市流出現象を比較的マクロに表わしていこうとするものである。

筆者らは観測値として得られた雨天時流出負荷をモデル化するため、各係数をトライアル的に取り扱っていくだけでは雨天時に都市域から流出してくる汚濁負荷を予測するには限界があると考え、モデルの係数が排水区の地域特性、先行降雨や先行晴天日数、および降雨量等によって決められうることもモデル化のひとつとして組み入れた。

(3) 汚濁負荷流出の運動式と連続式

雨天時下水道負荷流出量 (Q_s) を表わす汚濁物質の運動方程式を研究の初期段階から表わすと次のようになる。初期の負荷流出の基礎式は、流量を Q として経験式から次式が用いられた。

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

流出負荷は、ある限界流量を越えると急激に増大して流出することから次式が考慮された。

$$Q_s = K \cdot (Q - Q_c)^n \quad (2)$$

さらに、流出負荷は限界流量によるものと、流量によるものから構成されていることを考慮し、より適合度の向上から次式が用いられる。

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

しかし、下水道の流出負荷は排水区域内堆積負荷 S の占める割合が大きく、これらの負荷が流出に大きな影響をもつことが研究の進行とともに明らかとなり、これらの式を改良した次式が用いられる。

$$Q_s = K \cdot S^m \cdot Q^n \quad (4)$$

限界流量を越えると急激に負荷の流出が生じることから、現在では次式が用いられている。

$$Q_s = K \cdot S^m \cdot Q^{n-1} (Q - Q_c) \quad (5)$$

ここで、 K , m , n はそれぞれ負荷流出係数、堆積負荷流出運動係数、負荷流出運動係数である。

2) 負荷流出の連続式

負荷流出の連続式は、管きょ系の中にある初期堆積負荷量 (S_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 (Dwf) 等を考慮して式-6で表わされる。

$$S(t) = S_0 + \int M \cdot dt + \int R \cdot dt + \int r \cdot dt + \int Q \cdot dt + \int Dwf \cdot dt - \int Q_s \cdot dt \quad (6)$$

ここで、 $S(t)$ は任意時間の流出系内の堆積負荷量である。

3. 分流式下水道の雨水流出に伴う汚濁負荷流出モデル

前章で論じた都市雨天時汚濁負荷流出モデルの基本的考え方を考慮して、筆者らは分流式下水道からの雨天時流出負荷のモデル化を行った。

(1) モデルの基礎式と考え方

1) 堆積負荷運動評価モデル化

下水道からの雨天時流出負荷量を表わす汚濁物質運動方程式には、現在式-5が最も妥当であるとされている。筆者らはこのモデルの考え方を基に、分流式下水道からの雨水流出に伴う汚濁負荷流出のモデルを次のように構成した。すなわち、分流式下水道では合流式下水道や河川の晴天時流出負荷の様な基底流出負荷が少ないため、雨天時流出負荷は流量により大きく変動することから、モデルに流量の変動状態を表わす項を加えた。この時の堆積負荷運動評価モデルの運動方程式は、排水区内に面的に堆積している負荷量 S を考慮すると次のようになる。

$$Q_s = K \cdot S^m \cdot Q^{n-1} \cdot (Q - Q_c) \cdot Q'^{-p} \quad (7)$$

ここで Q' は、式-7を時間的に差分した時のワン・タイムステップ前の流量であり、 Q と Q' の関係から流量の変動状態を表わすものである。すなわち、流量と排水区内残存負荷量が同じであっても、流量が増加状態にある場合と減少状態にある場合では、負荷の流出状態に差異が生じることを考慮したものであり、流量と流出負荷量の非線形性を組み込んでいる。

実際の計算に当っては、残存負荷量 S 、流量 Q にかかる累乗 m , n の値は試算の結果、最も良好な 2 とし、限界掃流量 Q_c は $Q_c = 0$ とした。また係数 K は運動方程式(7)を以下の様に変形して、タイムステップごとに K を算出し、これを流量と残存負荷量に関する加重平均を行って K を決定した。

$$K = L / (Q^2 \cdot S^2 \cdot Q'^{-p}) \quad \text{ここで、} L: \text{実測流出負荷量} \quad (8)$$

また累乗項 p は実測ピーク値と計算ピーク値が最も良く合致する様に 0.01 ~ 1.00 の間で設定する。

また負荷流出の連続式は、排水区域内に面的に堆積している初期堆積負荷量 (S_0) と流出負荷量 (Q_s) より次式で表わされる。

$$S = S_0 - \int Q_s \cdot dt \quad (9)$$

2) 2 段流出モデル

海老瀬らは、降雨時河川流出負荷モデルとして、浮遊性物質を式-5 を修正して表わしている。

このモデルは小流域を対象に、流出の時間遅れを考慮して、有効降雨の直接流出を地表面流出成分と一度地表面下に浸透した後遅れて出る中間流出成分に分け、それぞれの流出成分に対応した負荷量を観測地点の負荷量とする、流域を分割した取り扱い方法である。

このモデルは河川流出負荷量の中でも特に変動の激しい浮遊物質の流出をシミュレートするものであり、マクロ的に見れば分流式下水道からの雨天時流出負荷モデルとも共通する点があると考えられる。分流式下水道の雨水流出においては雨水流出が早く、中間流出に対応するものの影響は小さい。従って直接流出を適正に表わすことが重要である。また、流量による流出負荷の影響も大きく、これを適切に表現する必要がある。

筆者らは、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に分け、両者を線形結合した 2 段流出モデルを構成した。

$$Q_s = a \cdot Q^2 + b \cdot S \cdot Q \quad (10)$$

係数 a, b の値は実測値を用いて最小自乗法で定める。また、負荷流出の連続式は堆積負荷運動評価モデルと同様に、式-9 を用いる。

(2) 対象地域および対象降雨

1) 対象地域

対象とした排水区は神戸市花隈、山形市、千葉市の 3 排水区である。花隈、山形市の排水区は市街地中央に位置し、産業活動の盛んな住商混合地域であり、千葉市の排水区は、新興住宅団地である。なお、それぞれの工種別面積、地域特性を表-2 ~ 4 に示す。

表-2 工種別面積 (千葉市)

種 別	面積 (ha)	割合 %
屋 根	11.2	12.0
道 路	13.2	14.2
その他	68.8	73.8
合 計	93.2	100.0

表-3 工種別面積 (神戸市)

種 別	面積 (ha)	割合 (%)
道路面積	4.88	39.5
屋根面積	5.28	42.7
そ の 他	2.21	17.8
合 計	12.37	100.0

表-4 工種別面積 (山形市)

種 別	面積 (ha)	割合 (%)
屋 根	5.61	41.0
道 路	1.68	12.3
その他	6.40	46.7
合 計	13.69	100.0

2) 対象降雨

対象降雨は 11 降雨とし (花隈 (神戸市) 4 降雨、山形市 3 降雨、千葉市 4 降雨)、基礎資料は末尾に示すものである。各降雨の特性は表-5 に示すもので、降雨量は 3.0 ~ 27.0 mm、降雨強度 0.57 ~ 13.28 mm/hr と種々のタイプの降雨を対象としている。非特定污染源への汚濁負荷の堆積状態を左右する先行降雨量および先行晴天日数も 18 日で 19.5 mm の降雨があったものから、前日に 26.5 mm の降雨のあったものまで様々で

表-5 対象降雨特性

No.	排水区域	降雨量 (mm)	降雨継続時 間 (hr)	降雨強度 (mm/hr)	先行降雨量 (mm) 数	先行晴天日 (日)	ピーク濃度 (ppm)		
							BOD	COD	SS
1	花隈	27.0	2.50	10.80	5.0	5	238.0	192.8	1280.0
2		6.5	5.92	1.10	9.0	1	31.2	38.6	187.5
3		3.5	2.50	1.40	20.5	10	61.8	92.8	123.2
4		5.5	2.50	2.20	26.5	15	170.7	234.0	336.3
5	山形市	25.5	1.92	13.28	92.0	12	78.7	30.6	701.0
6		20.5	1.67	12.28	1.5	3	52.7	56.0	295.0
7		3.0	1.50	2.00	1.00	0	204.0	61.1	339.0
8	千葉市	23.0	4.55	5.05	26.5	0	6.1	11.1	100.0
9		4.5	6.88	0.67	18.0	5	62.0	48.0	118.2
10		11.0	10.67	1.03	19.5	18	116.3	74.4	172.1
11		4.5	7.90	0.57	2.0	5	73.6	52.7	218.2

降雨量: 観測時間中の降雨量

ある。またピーク流出濃度もBODで6.1 ppm～238 ppmと2オーダーもの差があり、降雨による流出水質の変動の大きいことを示している。

(3) 初期堆積負荷量の算定

降雨時に分流式雨水管を流出する汚濁負荷は、降雨開始直前までに排水区域内に面的に堆積していた負荷および大気中の浮遊物質を含んだ降雨水等により発生していると考え、初期堆積負荷量を算定した。基本的な考え方および基礎式は表-6に示すもので、降雨、屋根、路面、管きよ別に堆積負荷量を求めるものである。

表-6 初期堆積汚濁負荷量算定の基礎式

	考 え 方	基 礎 式
降 雨	降雨の汚濁負荷は屋根、路面の面積より算定	$S_1 = P_1 \times R \times C \times (A - A_2 - A_3)$
屋 根	降雨による屋根負荷流出量とその平均水質より求める	$S_2 = P_2 \times R \times C \times A_2$
路 面	降雨による路面負荷流出量とその平均水質より求める	$S_3 = P_3 \times R \times C \times A_3$
管きよ	全負荷量から降雨、屋根、路面、負荷量を引いた値とする	$S_4 = \Sigma S - (S_1 + S_2 + S_3)$
	S : 負荷量 P : 平均水質 R : 降水量 C : 流出係数 A : 面積	1 : 降雨 2 : 屋根 3 : 路面 4 : 管きよ

4. シミュレーション結果の評価とモデルの考察

筆者らが先に発表したモデルによるシミュレーションにおいては、モデルの係数を降雨水総流出量から算定していたが、地域特性の異なった複数排水区においてもモデル適用が行え、しかもより係数推定精度を向上させるため、地域、降雨特性を用いた多重回帰分析を行った。

(1) 降雨・地域特性による係数の推定

分流式雨水管流出負荷の挙動を予測するためには、モデルの各係数が降雨特性等によって表わされることが必要となる。そこで、降雨、地域特性とモデルの各係数との関係を明らかにするため、実測資料をもとに多変量解析の回帰分析を行った。

ここで用いた回帰分析は変数選択法の中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モデルへの投入・除去を繰り返し、最終的なモデルを得るものである。具体的には、変数投入ステップ、変数除去ステップを交互に計算して独立変数のモデルへの投入及び除去を繰り返し、変数選択用F値を満たす変数の中で投入されるものも、除去されるものもなくなるまで処理が続けられて、最終的なモデルを得るものである。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。

これにより得られた各係数の推定式は表-7に示すものであり、相関係数が0.524～0.989、平均で0.837と高く、これら推定式によりモデルの係数が推定できると考えられる。推定式の特徴としては以下のものが挙げられている。

表-7 モデルの係数推定式（多変量解析による）

水 質 項 目		B O D	C O D	S S
2段流出 モデル	a	$a = 0.1522 \cdot RE - 0.022 \cdot FRE$ $+ 0.038 \cdot FDW - 0.283 \cdot HR$ $- 0.559 \cdot RI - 0.011 \cdot AR + 6.158$ $(r = 0.968)$	$a = -0.039 \cdot RE - 0.009 \cdot FRE$ $+ 0.016 \cdot FDW - 0.175 \cdot HR$ $- 0.010 \cdot SI + 2.197$ $(r = 0.955)$	$a = 0.161 \cdot RE - 0.062 \cdot FRE$ $- 0.502 \cdot HR - 0.692 \cdot RI + 13.822$ $(r = 0.979)$
	b	$b = -0.0002 \cdot RE + 0.0004 \cdot FDW$ $- 0.0014 \cdot HR + 0.0001 \cdot SI + 0.004$ $(r = 0.961)$	$b = -0.0002 \cdot RE + 0.0003 \cdot FDW$ $- 0.0012 \cdot HR + 0.0044$ $(r = 0.885)$	$b = 0.0006 \cdot FDW - 0.0019 \cdot HR$ $- 0.0006 \cdot RI + 0.0055$ $(r = 0.924)$
堆積負荷 運動評価 モデル	K $\times 10^{-10}$	$K = 87.843 \cdot FRE - 315.332 \cdot FDW$ $- 0.010 \cdot TR + 859.337$ $(r = 0.524)$	$K = 32.159 \cdot FRE - 840.818 \cdot HR$ $- 211.305 \cdot RI + 144.119 \cdot UNAR$ $+ 4039.357$ $(r = 0.689)$	$K = -85.202 \cdot RE + 92.602 \cdot FDW$ $- 532.398 \cdot HR + 33.347 \cdot AR$ $+ 41.420 \cdot SI + 806.765$ $(r = 0.651)$
	p	$p = 0.010 \cdot FRE - 0.025 \cdot FDW$ $+ 0.034 \cdot RI - 0.009 \cdot AR$ $+ 0.070 \cdot UNAR - 0.489$ $(r = 0.989)$	$p = 0.008 \cdot FRE - 0.021 \cdot FDW$ $+ 0.030 \cdot RI + 0.005 \cdot AR$ $- 0.025$ $(r = 0.812)$	$p = 0.010 \cdot FRE - 0.019 \cdot FDW$ $- 0.004 \cdot UNARP + 0.425$ $(r = 0.706)$

FRE = 先行降雨量 [mm]

RI = 降雨強度 [mm/h r]

SI = 勾配 [%]

FDW = 先行晴天日数 [日]

AR = 面積 [ha]

TR = 交通量 [台/日]

RE = 降雨量 [mm]

UNAR = 不浸透面積 [ha]

HR = 降雨継続時間 [h r]

UNARP = 不浸透面積率 [%]

① 2 段流出モデル

係数 a ; 流量に關与する流出分を表わす項に強く影響するのは、降雨特性（降雨量、降雨強度、降雨継続時間）と先行降雨特性（先行降雨量、先行晴天日数）であり、直接的な地域特性はさほど影響していない。

係数 b ; 流量と堆積負荷量に關与する流出分を表わす項に強く影響するのは先行晴天日数と降雨特性（降雨継続時間、降雨量）であり、非特定污染源負荷の堆積量に直接影響する因子と、その流送状態に影響する因子である。

② 堆積負荷運動評価モデル

係数 k ; 単位流量、単位堆積負荷量当たりの流出負荷量を左右する係数 k に關連の深い降雨・地域特性は、水質項目により異なっている。各水質とも前降雨特性（先行降雨量、先行晴天日数）や降雨特性（降雨継続時間）の他に、BODでは交通量、CODでは不浸透面積、SSでは総面積および地盤勾配等の地域特性を考慮して k を求めることができる。

係数 p ; 同流量でも流出する負荷量は、流量増加時と流量減少時では異なっている。これらの事項を表わす項に關与する特性には前降雨特性がある。これに加えて BOD、COD では、降雨強度や排水区面積も影響を与えている。流量増減時の微妙な流出負荷量の違いは、非特定污染源負荷の流出堆積状況に主に影響されることを示している。

以上、モデル係数推定式から考察しうる事項をまとめたが、2 段流出モデルの係数推定式には直接的な地域特性は組み込まれていない。これは当モデルの運動方程式は主として降雨特性により決められることを示している。

(2) シミュレーション結果によるモデルの考察

シミュレーション結果の一例を図-1, 2, 3 に示す。水質項目ごとに排水区を変えて表わしてあり、以下これを基にモデルの評価を行う。ここで評価値として、シミュレーション値と実測値の相関係数 (R)、及びシミュレーション値の誤差より定義した合致率 (E) ($E = 100 - \sqrt{\sum (L - Q_s)^2} / TL \times 100 (\%)$ 、L : 実測流出負荷量、TL : 総流出負荷量) を用いた。これを図-4 に示す。

1) 2 段流出モデル

河川の水質・負荷量のモデル化については山口らの研究⁷⁾があり、これによると水文学的なモデルによるシミュレーションの年間総負荷量としての誤差は、大規模河川において 0 ~ 30%、実測値と推定値の相関係数は 0.70 ~ 0.95 程度となっている。

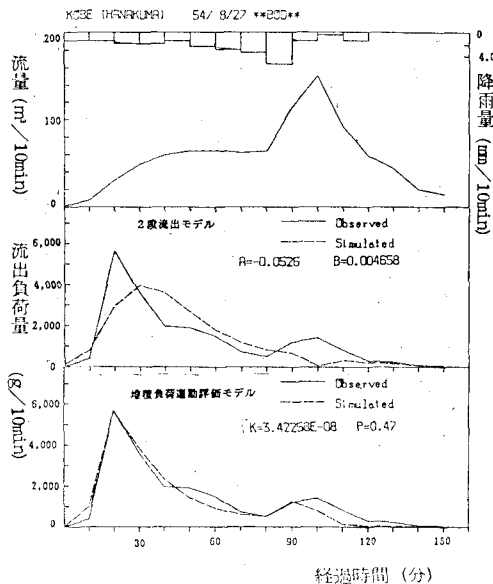


図-1 シミュレーション図

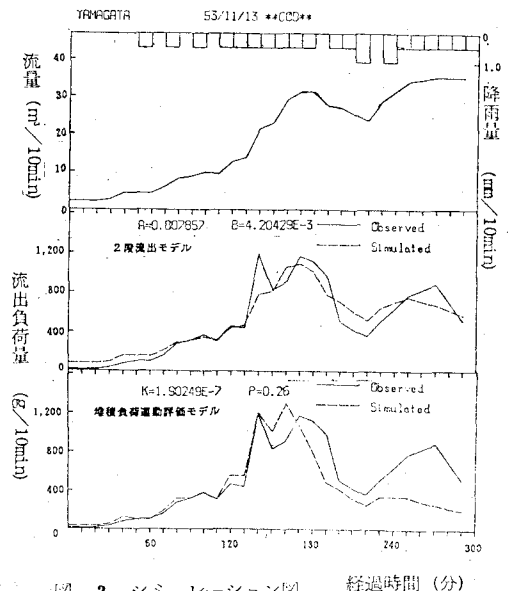


図-2 シミュレーション図

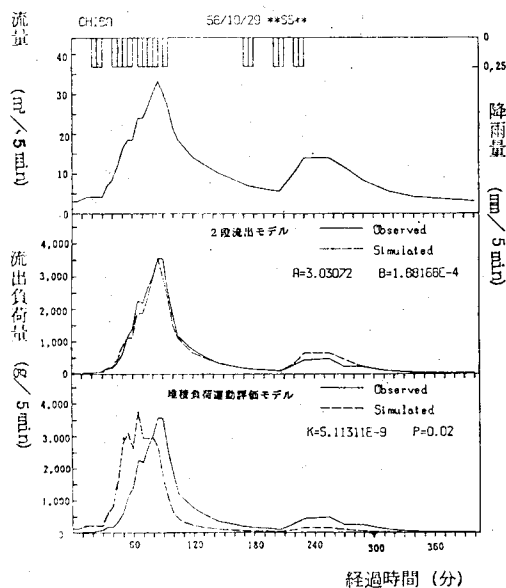


図-3 シミュレーション図

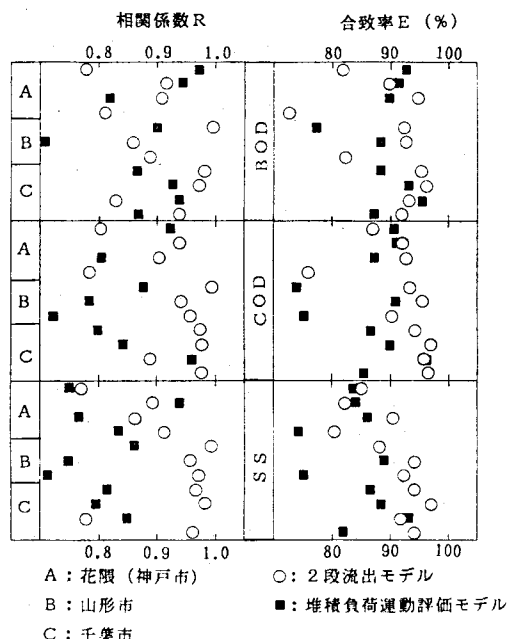


図-4 シミュレーション結果の相関係数と合致率

一方、筆者らの2段流出モデルによるシミュレーションの合致度は80～98%、実測値とシミュレーション値の相関係数は0.80～0.99となっている。大規模河川と分流式下水道と対象とするものは異なっているが、筆者らのモデルも山口らのモデルと同様に、シミュレーションモデルとしての精度を有しているといえる。

また当モデルは堆積負荷運動評価モデルと比べると、降雨後半における流出ピークの精度も高い。

2) 堆積負荷運動評価モデル

当モデルによるシミュレーションの合致度は80～95%、実測値とシミュレーション値の相関係数は0.70～0.95と評価値のみをみると、再現精度は2段流出モデルほどではない。しかし、当モデルはシミュレーションにおいて重要視されるファーストフラッシュや流出ピークの再現性は、2段流出モデルよりも優っている。また、水質項目のBODにおける各評価値では2段流出モデルとの差異はほとんどなく、当モデルもシミュレーションモデルとしての精度を有している。

5. 結 言

非特定汚染源流出経路の一つである分流式雨水管の流出特性にもとづいた雨天時汚濁負荷流出モデルの構成を行った。その結果、各降雨ごとにシミュレーション値と実測値がほぼ合致し、良好な結果が得られ、多くの排水区においても、分流式下水道の雨水流出に伴う汚濁負荷量の算定が行いえるようになった。

参 考 文 献

- 1) 和田安彦，三浦浩之：水環境アセスメントのための分流式雨水管のモデル化、第10回環境問題シンポジウム、土木学会、昭和57年8月
- 2) 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
- 3) 神戸市；非特定汚染源による汚染防止対策調査、昭和54年度、環境庁委託業務結果報告書
- 4) 山形県；非特定汚染源による汚染防止対策調査、昭和53年度、環境庁委託業務結果報告書
- 5) 千葉県；非特定汚染源による汚染防止対策調査、昭和56年度、環境庁委託業務結果報告書
- 6) FACOM OS IV，SDA II解説書（調査データ解析プログラム）
- 7) 山口高志，吉川勝，興石洋；河川の水質・負荷量に関する水文学的研究、土木学会論文報告集、第293号、1980年1月