

関西大学工学部 正員 和田 安彦
関西大学工学部 正員○三浦 浩之

1. はじめに 都市域においては、面的に発生する汚濁物が増加しており、この非特定汚染源負荷は降雨時に集中的に流出し、公共用水域の汚濁や下水道施設への高負荷の要因の一つとなっている。このため、都市域では非特定汚染源からの汚濁物の流出機構を明らかにすることが、雨天時流出負荷制御のために必要である。これまでこの問題に対して、筆者らは路面堆積負荷の用途地域別定量と流出モデルの確立¹⁾、雨水樹堆積負荷の調査および流出モデルの構成²⁾、分流式下水道雨水管の流出モデルの研究³⁾等を既に行ってきた。

そこで、筆者らは都市域非特定汚染源負荷の流出機構の一つである、合流式下水道の雨天時汚濁負荷についても、モデル化を図り、総合的な非特定汚染源負荷の都市域からの流出機構の解明を進めた。

2. モデルの位置づけ 雨天時合流式下水道からの流出負荷を予測するモデルとしては、土研モデル、堆積負荷評価モデル等を初め、いくつかのものが知られている⁴⁾。しかしながら、非特定汚染源等の汚濁負荷発生現象の把握が困難なため、モデル化とそのパラメータの同定を行なうことが容易ではなく、これらのモデルはまだ発展段階にある。そこで、筆者らは、これらモデルの特徴や長所を踏まえた上で、次の事を目的にモデル構成を行なった。①ひと雨ごとの流出負荷の状況を予測しうる。②モデル式中の各種係数、パラメータが比較的容易に算定できる。③降雨開始時の初期堆積(残存)負荷量を定量化する。④モデル構成が単純で、取り扱いが容易である。したがって、モデルは物理的モデルで、実際の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。

3. モデルの考え方と基礎式 一般に堆積物が雨水等により流出する現象は、流出水質のいわゆる「ループ特性」⁵⁾を考慮して、残存堆積負荷量と流量の関数として表わされる。筆者らもこの考え方をもとに、合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⁶⁾。

$$Q_{sw} = K_w \cdot S \cdot Q_w \quad (Q_{sw}: \text{雨天時流出負荷量}, Q_w: \text{雨天時流量}, S: \text{堆積負荷量}, K_w, \beta: \text{係数})$$

次に、流出負荷量と堆積負荷量の減少量は等しく、かつ常に晴天時負荷(DWL)は供給されているので、堆積負荷量の減少状態は $(dS/dt) = -Q_{sw} + (DWL)$ で表わせ、この1階線形微分方程式は初期堆積負荷量を S_0 とすると、次の解を得る。

$$S = S_0 \cdot e^{-\int K_w \cdot Q_w \cdot \beta \cdot dt} + e^{-\int K_w \cdot Q_w \cdot \beta \cdot dt} \cdot \int \{ (DWL) \cdot e^{\int K_w \cdot Q_w \cdot \beta \cdot dt} \} dt$$

なお、実際に計算を行なうに当たっては、上記の式を時間に関して差分化して用いた。

4. モデルの適用 (1) 対象地域および対象降雨
対象地域は、4排水区(自然排水)⁷⁾であり、地域特性は表-1に示す。対象降雨は、A排水区4, B排水区6, C排水区3, D排水区4の合計17降雨である(降雨量4.3mm~32mm、降雨強度1.3~11.5mm/hr)。なお、対象とする水質項目は、BOD, COD, SSである。

表-1 排水区別地域特性

項 目	排水			
	A	B	C	D
排水区面積(ha)	68.37	148.49	39.50	57.60
不透透面積(ha)	49.91	114.46	26.07	14.98
不透透面積率(%)	73.0	77.0	66.0	26.0
屋根面積(ha)	29.58	83.19	16.22	8.00
屋根面積率(%)	43.26	56.02	41.00	14.00
地盤勾配(%)	9.00	2.90	2.63	28.00
管きょ勾配(%)	1.70	1.96	8.67	22.28
人口(人)	23,314	31,183	7,308	3,917
人口密度(人/ha)	341	210	185	68
用途区分	商業地域	準工業・住商混合地域	商業地域	住居地域

(2) 初期堆積負荷量の算定 雨天時の合流式下水の負荷量の多くは、晴天時に管内に堆積した汚濁物であり、これは降雨流出直後から堆積し始め、管渠の勾配や晴天時汚水量との関係により、ある平衡量に達する⁵⁾。さらに、雨天時には、降雨水が路面等に堆積していた負荷も合流式下水道へ流入させるため、これも考慮する必要がある。この面的に広く堆積した負荷も、降雨直後から堆積し始め、住居地域等では約1週間程度で、ほぼ一定量に収束する。したがって、ここではまず、ポリユートグラフから求めた雨水のみによる流出負荷

量L（流出総量－晴天時汚水負荷量）を次の回帰式により近似した。
 $L = a + b \cdot \sqrt{t}$ （t：先行晴天日数、a、b：定数）回帰式により近似した結果の一例を図－1に示す。また、一般に晴天時に堆積した負荷は降雨時に70～80%流出するとされていることから⁶⁾、初期堆積負荷量S₀としては、近似式で求めた流出負荷量を1.3～1.5倍したものとした。

(3) 最適な係数の選定 モデル式中の未知の係数は、K_w、βおよびS₀である。一般にK_wは、汚濁負荷の全体的な流出パターンを決定し、βは流出負荷量の流量への対応を表わす。したがって、各降雨時流出にモデルを適用する際の最適な係数は、その特性を考慮しながら、実測値と計算値の残差平方和が最小となるように求めた。また、初期堆積負荷量S₀は、先に述べた方法により得られたものを用いた。計算された流出負荷量と実測流出負荷量との相関係数は、およそ0.75～0.98の間にあった。

(4) 係数の推定 筆者らは、本モデルの目的のひとつである、モデル式中の係数が容易に予測できることを満たすため、先に得られた最適な係数と排水区の地域特性、降雨特性との多変量解析を行なった。係数K_w、βを従属変数、地域特性と降雨特性および初期堆積負荷量を独立変数として、解析を行なった。この結果を表－2に示す。推定式による係数推定値と最適値との相関係数は0.85～0.99の間にある。

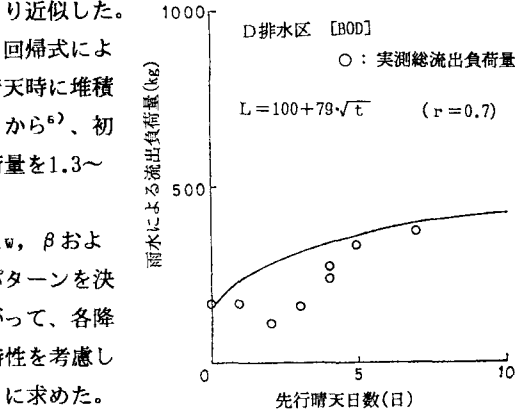
5. モデルの適合性評価

以上の方法により、各排水区において、最適な係数を得るために用いた降雨日以外の雨天時流出を予測した結果の一例を図－2に示す。相関係数はr=0.7～0.99、実測値との残差平方和より定義した合致率E（ $E = 100 - \frac{\sum (L - Q_{sw})^2}{TL} \times 100$ （%））は90%以上という結果が得られた。準工業地域を含むB排水区での予測精度は、これよりやや低い値となっており、他排水区とは異なる土地利用を多変量解析のみでは表わしきれなかったことに起因するものと考えられる。

6. まとめ 雨天時合流式下水中の汚濁負荷量の流出特性を表わすモデルを構成し、雨天時流出負荷の挙動を予測した。今後は、土地利用形態等の複雑な都市の各種条件を考慮して、より高い精度で予測が行なえるよう研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 和田安彦、他：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(17)、土木学会、等
- 2) 和田安彦、三浦浩之：都市路面堆積負荷の雨水マスからのモデル化とその解析、衛生工学研究論文集(21)、土木学会、等
- 3) 和田安彦、三浦浩之：都市域の雨水管水質、負荷流出特性とそのモデル化、59年度関西支部年講、等
- 4) 非特定汚染源による汚染防止対策調査検討会、環境庁、57年3月。
- 5) 中村栄一：合流式下水道越流負荷とその対策、環境技術、Vol.14, No.1。

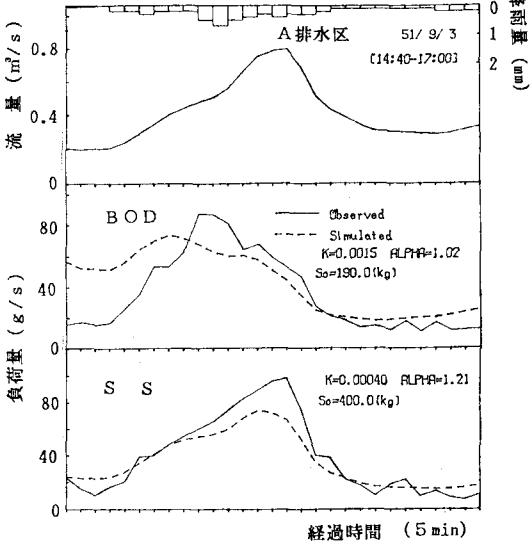


図－1 先行晴天日数と流出負荷量

水質項目	表－2 K _w , βの推定式と相関係数	
	係 数	推 定 式
BOD	$K_w = (104.5 \cdot FRE + 44.13 \cdot RE - 14.79 \cdot AR + 1598) / 10^6$ (r=0.855)	$\beta = (1.146 \cdot FRE + 5.090 \cdot FDW + 3.837 \cdot HR - 2.431 \cdot RE - 0.877 \cdot SI + 2.630 \cdot PI + 0.632 \cdot AR - 0.017 \cdot S_0 + 56.22) / 10^2$ (r=0.996)
COD	$K_w = (-43.65 \cdot FRE - 71.23 \cdot HR - 175.2 \cdot SI + 162.2 \cdot PI - 18.48 \cdot AR + 3718) / 10^6$ (r=0.931)	$\beta = (3.719 \cdot HR - 3.188 \cdot RE - 0.00124 \cdot POP + 0.9309 \cdot AR - 0.1318 \cdot S_0 + 141.1) / 10^2$ (r=0.913)
S S	$K_w = (-31.98 \cdot FRE - 61.14 \cdot HR - 70.55 \cdot SI - 0.1121 \cdot POP + 4186) / 10^6$ (r=0.908)	$\beta = (1.228 \cdot FDW - 1.528 \cdot HR - 1.126 \cdot RE - 0.00098 \cdot POP + 0.00984 \cdot S_0 + 163.4) / 10^2$ (r=0.908)

※ () 内は係数最適値との相関係数

FRE: 先行降雨量	[mm]	FDW: 先行晴天日数	[日]	HR: 降雨継続時間	[hr]
RE: 降雨量	[mm]	SI: 地盤勾配	[‰]	PI: 管きよ度配	[‰]
AR: 排水区面積	[ha]	POP: 人口	[人]	S ₀ : 初期堆積負荷量	[kg]



図－2 合流式下水道流出モデルのシミュレーション

- 6) 和田安彦、他：雨天時流出負荷マクロモデル、未発表。
- 7) 合流式下水道の雨天時下水に関するデータベース、土研、54年1月。