

都市域の雨水管水質、負荷流出特性とそのモデル化に関する研究(II)

関西大学工学部 正員 和田安彦
〇三浦浩之

1. はじめに 都市域からの雨水流出を含めた雨天時下水の流出により、市街地に面的に堆積した汚濁物は公共用水域へ流出し、水質汚濁の一要因となっている。そのため合流式下水道越流負荷及び分流式下水道雨水管流出負荷に関する研究が行われており、筆者らも分流式下水道雨水管流出負荷の挙動を表わす2つのモデル(2段流出モデル、堆積負荷運動評価モデル)に関して前回発表した¹⁾。ここでは対象水質項目もBOD, COD, SSとしたが、その後、閉鎖性水域の富栄養化の要因として着目されている栄養塩(T-N, T-P)についてもモデルの適用を図り、良好な結果が得られたので、これについて報告する。

2. モデル構成 (1) 2段流出モデル 分流式下水道雨水管からの雨天時流出負荷(Q_s)を流量(Q)が直接的に影響する流出成分と排水区域内堆積(残存)負荷量(S)が影響する流出成分の2段階に考え、両者を線形結合したモデルを構成した。(S_0 :初期堆積(残存)負荷量)

$$Q_s = a \cdot Q + b \cdot S \cdot Q \quad (m=2, n=1), \quad S = S_0 - \sum Q_s \quad \cdots(1)$$

(2) 堆積負荷運動評価モデル 汚濁負荷運動モデル²⁾ $Q_s = K \cdot S^m \cdot Q^n (Q - Q_c)$ (Q_c : 限界流量)に、分流式下水道雨水管の特性である、流出負荷が流量により大きく変動することを考慮して、流量の変動状態を表わす項を加えてモデルを構成した。ここで Q' は式(2)を時間的に

$$Q_s = K \cdot S^m \cdot Q'^n \cdot Q'^{-p} \quad (m=2, n=2), \quad S = S_0 - \sum Q_s \quad \cdots(2)$$

差分した時の1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。ここでは限界流量 Q_c を無視して取扱っている。

3. シミュレーション方法 モデルによる雨水流出負荷シミュレーションを行う手順は図-1に示すものである。なお係数最適値(算定値)を求める際の S_0 は、実測総流出負荷量とした。

4. 対象排水区 対象排水区およびその地域特性は表-1に示すものであり、神戸、山形は住商混合地域、北九州、千葉は一部近隣商業地域を含む住居地域となっている。

5. シミュレーションとその評価 (1) 降雨地域特性による係数の推定、筆者らは雨天時流出負荷のモデル化を行うにあたり、係数をトライアル的に取扱うだけでは流出負荷の予測には限界があると考え、モデルの係数も排水区地域特性、降雨特性により推定することを試みた。具体的には、係数の最適値(算定値)を従属変数、地域特性(排水区面積、不透透面積率、屋根面積率、排水区勾配、交通量、人口)と降雨特性(降雨量、先行降雨量、

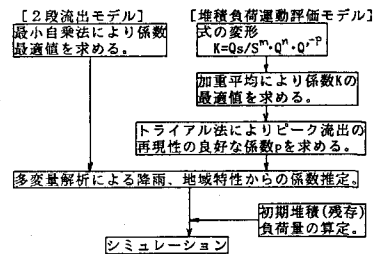


図-1 シミュレーション方法

排水区	神戸	山形	北九州	千葉
排水区面積 (ha)	12.37	13.69	14.90	93.20
道路面積 (ha)	4.88	1.69	2.60	13.20
屋根面積 (ha)	5.28	5.61	3.70	11.20
その他 (ha)	2.21	6.39	8.60	68.80
不透透面積 (ha)	10.61	7.30	6.30	24.40
不透透面積率 (%)	85.77	53.32	42.30	26.18
屋根面積率 (%)	42.68	41.00	24.80	12.02
排水区勾配 (%)	66.5	22.0	48.0	13.0
交通量 (台/日)	324,290	33,120	43,268	273,750
人口 (人)	1,997	1,089	2,054	12,125
人口密度 (人/ha)	161.44	79.55	137.85	130.00

先行晴天日数、降雨継続時間)を独立変数とする。変数選抜法による多変量解析を行った。これより得られた係数推定値を表-2,3に示す。

(2)初期堆積負荷量の算定

ここで取扱う初期堆積負荷量(S_0)は、モデルの係数設定との関連から1降雨ごとに流出した汚濁物量となる。したがって S_0 は降雨特性に強く影響されることとなり、降雨量と流出率および平均流出水質より、図-2に示す手順で S_0 を算定する。工種別の S_0 は表-4に示す基礎式により求め、これらをもとめて管きよ系外堆積負荷量とする。管きよ系内堆積負荷量を直接的に求めることは、デーソ等の制約から困難であることが多く、管きよ系外堆積負荷量の全流出負荷量に占める割合(管きよ系外流出負荷比率)を実測値より求め、これより間接的に管きよ系内堆積負荷量を求めた。この両者を合わせたものが初期堆積負荷量 S_0 となる。

(3)シミュレーション結果の評価 両モデルによるシミュレーションの評価値として相関係数 r と合致率 E を用いる。合致率は次式で得られる

$$E = \{1 - \sqrt{\sum (L - Q_s)^2 / TL} \times 100 \quad (\%) \quad \cdots (3)$$

(L :実測流出負荷量, TL :総流出負荷量)。

各評価値は係数推定値とともに表-2,3に示してあり、それぞれの平均値は2段流出モデル(a, b モデル)で $\bar{E} = 88.99(\%)$, $\bar{r} = 0.917$, 堆積負荷運動評価モデルで $\bar{E} = 84.26(\%)$, $\bar{r} = 0.775$ と良好な値を示している。シミュレーション結果の一例を図-3に示す。

6. まとめ ①両モデルともT-N, T-Pの雨天時流出負荷への適用が可能である。②降雨、地域特性から推定した係数によるシミュレーションの適合性は良好である。今後は係数最適値の設定方法、 S_0 算定方法等に検討を加え、より一層の適合性向上を図りたい。

1)昭和59年度関西支部年講

2)雨天時における合流式および分流式下水道の改善に関する調査, 日本下水道協会

表-2 a,bモデルのシミュレーション結果(合致率 E と相関係数 r)

排水区	降雨日	水質	a	b	E	r
神戸	54. 8.27	T-N	1.488E-2	7.341E-7	89.46	0.882
		T-P	1.366E-3	6.132E-6	86.45	0.892
	54. 9. 4	T-N	1.659E-3	1.357E-6	68.65	0.921
		T-P	5.078E-3	1.402E-5	89.31	0.699
山形	54.11. 4	T-N	4.792E-1	4.303E-6	81.14	0.903
		T-P	3.723E-2	4.398E-5	78.69	0.869
	53.11.13	T-N	4.615E-2	1.490E-6	95.39	0.962
		T-P	2.012E-2	3.512E-6	94.93	0.921
北九州	55.11.21	T-N	4.598E-3	1.577E-7	85.79	0.968
		T-P	1.380E-3	1.609E-6	91.52	0.864
	56.10.29	T-N	2.646E-1	2.175E-7	84.58	0.983
		T-P	3.171E-3	6.217E-6	93.09	0.980
千葉	56.11. 25-26	T-N	6.566E-2	2.682E-7	96.00	0.958
		T-P	1.998E-3	1.283E-5	91.05	0.903
	57. 1. 18-19	T-N	8.876E-2	8.444E-8	94.59	0.991
		T-P	5.550E-3	1.350E-5	93.20	0.981

表-3 K,pモデルのシミュレーション結果(合致率 E と相関係数 r)

排水区	降雨日	水質	K	p	E	r
神戸	54. 8.27	T-N	3.194E-8	0.18	85.84	0.823
		T-P	3.593E-7	0.21	87.80	0.930
	54. 9. 4	T-N	4.658E-7	0.27	85.64	0.832
		T-P	6.801E-6	0.54	83.35	0.622
山形	54.11. 4	T-N	1.374E-6	0.21	59.98	0.513
		T-P	1.337E-5	0.41	67.73	0.642
	53.11.13	T-N	3.429E-7	0.34	92.21	0.830
		T-P	5.694E-6	0.23	91.58	0.824
北九州	55.11.21	T-N	2.075E-8	0.35	89.56	0.792
		T-P	1.605E-7	0.42	87.80	0.733
	56.10.29	T-N	5.392E-7	0.90	82.45	0.676
		T-P	1.317E-5	0.90	82.45	0.676
千葉	56.11. 25-26	T-N	9.133E-8	0.51	81.84	0.886
		T-P	1.745E-6	0.26	89.48	0.878
	57. 1. 18-19	T-N	1.901E-8	0.29	89.98	0.920
		T-P	1.158E-6	0.32	82.66	0.876

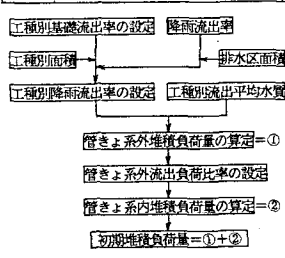


図-2 初期堆積負荷量算定の手順

表-4 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($R \cdot Cr_1$)とその平均水質(C_1)より求める	$S_1 = C_1 \cdot R \cdot Cr_1 \cdot A_1$
路面 路面雨水流出量($R \cdot Cr_2$)とその平均水質(C_2)より求める	$S_2 = C_2 \cdot R \cdot Cr_2 \cdot A_2$
空地 空地雨水流出量($R \cdot Cr_3$)とその平均水質(C_3)より求める	$S_3 = C_3 \cdot R \cdot Cr_3 \cdot A_3$
その他 管きよ系外流出負荷比率(P_{ex})をもちて求める	$S_4 = (S_1 + S_2 + S_3) / P_{ex} - (S_1 + S_2 + S_3)$
S : 工種別堆積負荷量 C : 工種別平均水質 R : 降雨量 Cr : 工種別流出係数 A : 工種別面積	添字 1: 屋根 2: 路面 3: 空地、その他 4: 管きよ

$\langle Cr_1 = 0.85, Cr_2 = 0.80, Cr_3 = 0.15 \rangle$

管きよ系外流出負荷比率(P_{ex}) = 管きよ系外流出負荷量 / 総流出負荷量

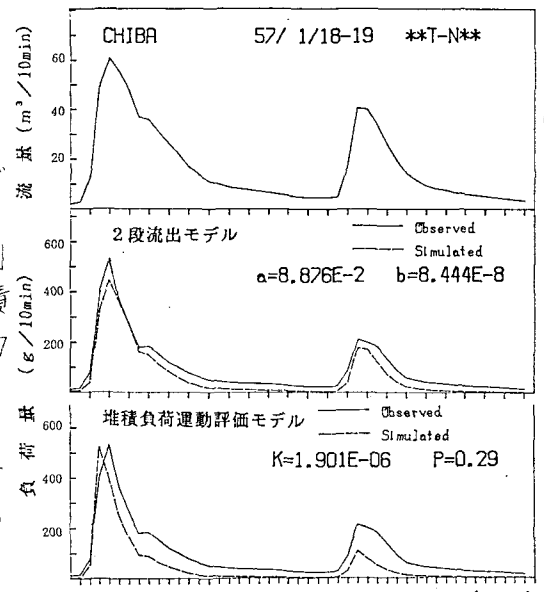


図-3 シミュレーション結果 (10min)