

B-29 合流式下水道で雨天時に発生する 粒子状金属負荷量の推定方法

○ 浦瀬 太郎^{1*}・岩佐 知洋^{1,2}

¹東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552東京都目黒区大岡山2-12-1-M1-4)

²現所属はオルガノ株式会社プラント事業部)

* E-mail: turase@fluid.cv.titech.ac.jp

1. はじめに

合流式下水道から排出される未処理下水による放流水域の環境の劣化が問題となっている。合流式下水道の改善技術の評価の際には、BODのほかにSSや大腸菌群に対しても考慮することがあるが、その他の水質項目については、あまり検討されていない。合流式下水道から排出される越流水の環境影響のひとつの形態として、粒子状の汚染物質が受水域で堆積し、生態系へ影響することが考えられる。都市からの流出の影響を受ける底泥では、重金属の中でも鉛や亜鉛が特徴的に高濃度になりやすいことが多くの研究で示されている。粒子状の金属の排出について評価をすることは重要である。

本研究では、微量物質の限られた地点の採水による不確かな負荷推算を避けるため、比較的測定データの存在するSS負荷量をもとに、原単位法で粒子状金属の排出負荷量に換算する方法を提案し、1年間の降雨について簡易シミュレーションを行い、計算結果出力特性を調べた結果を報告する。

2. 簡易シミュレーションの構造

(1) AR法によるアメダス降雨量から流出雨水量の算定

1次のAR法による流出解析¹⁾では、時間 i ステップの流出高 q_i [mm/10min]は1ステップ前の流出高 q_{i-1} から推定できるとし、降雨量を r [mm/10min]、流出係数を c として、

$$q_i = a q_{i-1} + (1-a) c r_{i-1} \quad (1)$$

とあらわされる。この式の a は、単位図法により降雨ごとに決まる流達時間 T [min]のみの関数とし、 $T=40$ 分で $a=0.8$, 80分で0.9, 160分で0.95となるような関数形を設定した。流達時間 T は、吉本らの論文¹⁾での解析対象降雨での重回帰分析結果から、以下の式によって、与えた。

$$T = 11.19 + 0.0265A + 0.137R_{off} \quad (2)$$

ここで、 A は集水面積[ha]、 R_{off} は降雨イベントごとの

総流出量[mm]である。また、降雨のうち初期の2mmは損失するとして、流出計算からは除外した。また、流出量 Q [m³/10min]は、流出高 q を単位換算して以下の式で求められる。

$$Q = 10Aq \quad (3)$$

(2) 仮に分流排除だった場合の雨水管からのSS負荷量

対象排水区が分流式下水道で整備されていたと考えた場合の流出SS負荷を求める方法として、和田らの二段流出モデル²⁾を採用することとした。

$$Q_{SS} = \alpha Q^2 + \beta S Q \quad (4)$$

ここで、 Q は当該排水区での流出流量[m³/10min]、 S は排水区内残存負荷量[kg]、 Q_{SS} はSS流出負荷[kg/10min]、 α および β はモデルのフィッティングパラメーターである。また、SSの物質保存則から

$$S = S_0 - \int Q_s dt \quad (5)$$

ここで、 S_0 は初期堆積負荷量[kg]である。ここで、降雨イベントごとの S_0 、 α 、 β を以下のように定めた。

$$S_0 = A_{imp} (-0.694 + 0.454R + 1.59I) \quad (6)$$

$$\alpha = (0.282 \exp(-0.0194P_{imp} - 0.0701R)) / A \quad (7)$$

$$\beta = 0.226 \exp(-0.0166P_{imp} - 0.182D - 0.0792I) / A \quad (8)$$

ここで、 A_{imp} は不浸透面積[ha]、 P_{imp} は不浸透面積率[%]、 D は降雨継続時間[hr]、 I は降雨イベントごとの平均降雨強度[mm/hr]である。(6)-(8)式は、後述の2004年の降雨を対象とすると、年平均水質約50mg/Lを与える。

(3) 合流排除の場合のSS負荷量

合流式の場合に対しても二段流出モデルがあてはまると考え、合流式の場合には、下水の流入によって与えられる負荷 k [kg/min]を加算し、

$$Q_{SS} = \alpha Q^2 + \beta S Q + k \quad (9)$$

と考えた。この式で、 Q は雨水の混入による晴天時からの流量増加分であり、分流式の場合と同じくAR法によ

る流量算定値を入力した。

合流式の場合の S_0 , α , β の3つのパラメーターを既存の合流式でのSS排出データから

$$S_0 = A(-4.49 + 2.01R + 2.39D - 0.0682R_{pev}) \quad (10)$$

と重回帰分析によって得た。 α , β については流域や降雨の特徴とは有意な相関がないことから、最も良好な定数として次式を導いた。

$$\alpha = 1.02 \times 10^{-3} A^{-1} \quad (11)$$

$$\beta = 1.18 \times 10^{-2} A^{-1} \quad (12)$$

(4) 汚水量および降雨量

本研究では東京都目黒区、大田区、世田谷区の3区(合計面積132km²)を対象とした。晴天時汚水量は、雨水の混入の少ない時期の処理量実績から目黒区773 m³/10min、大田区2,005 m³/10min、世田谷区2,516 m³/10minと設定した。これは、1人1日あたり435リットルに相当する。晴天時発生SS負荷は、濃度に換算して100 mg/Lした。晴天時時最大汚水量(いわゆる1Q流量)は、目黒区1,943 m³/10min、大田区5,039 m³/10min、世田谷区6,324 m³/10minと設定した。降雨量は、アメダス10分値の世田谷地点(コード44126)の2004年降水量データを用いた。6時間以上の無降水によって区切られた降雨を1降雨イベントとし、2mm以下の降雨は初期損失として考慮しないこととして、2004年1月1日から12月31日の1年間に降雨イベント68回が抽出された。この3区の流出係数 c は、0.614と設定した。

(5) SSあたりの粒子状Pb原単位

本研究では、(合流式で生成する鉛負荷量) = (分流式を仮定した場合の雨水管SS負荷量) $\times$ (雨水原単位) - ((合流式で整備された場合に発生するSS負荷量) - (分流式で整備された場合に発生するSS負荷量)) $\times$ (汚水原単位) と考える。雨水Pb-SS原単位としては、著者らの当該の目黒、世田谷、大田の3区での道路わき雨水堆積泥の濃度に基づき、地区の算術平均、王水抽出画分として、120 mgPb/kgSSとした。一方、名古屋市の全下水処理場での詳細な調査に基づき汚水原単位を37 mgPb/kgSSとした。この(5)節の仮定が本負荷算定方法の核心である。

3. 年間金属排出負荷のシミュレーション結果

(1) 降雨イベントごとの流出特性の把握

表-1に2004年のすべての降雨に対するシミュレーション結果を示す。表では、遮集倍率ごとに越流が生じるかどうかについても示した。図-1に2004年2月2日から3日の降雨No. 2の場合を、図-2に2004年10月3日の降雨No. 51の場合のシミュレーション結果を示す。

図-1は、比較的小さい降雨の場合を示しており、ほぼ2Qの最大流出があった。SS濃度は、初期には汚水のモデル水質である100mg/Lの値をとるが、流出が生じ始めると、最高340mg/Lにまで上昇した。このレベルの降雨に対するこのレベルのSS濃度は、合流式の下水道の吐き口で観察されるレベルであり、妥当なシミュレーション結果である。SSあたりのPb濃度は、初期には、汚水の原単位と同じ37 mgPb/kgSSであり、雨水寄与負荷がある時間帯では120 mgPb/kgSSに引き寄せられ、大きくなった。

一方、図-2は総降雨量の大きい降雨No. 51の場合を示しているが、この降雨イベントでは、3Q量を大きく越える流量が予想された。単位SS量当たりの鉛濃度は、降雨の後半で値が大きく計算され、これは、降雨前半では管内堆積物に由来する汚水原単位換算分が相対的に多いのに対し、降雨後半では雨水原単位で換算される部分が相対的に多くなるためである。

(2) 年間の流出負荷特性

表-1では、遮集や貯留は考えずに、雨天時における総発生負荷(ただし、その時間に管渠に流入する汚水分を除く)で結果を示している。全体のSS負荷のうち、分流式でも生成する雨水寄与分のSS負荷は合流式下水道で生じる負荷の約1/10とモデルでは計算された。

一方、粒子状鉛の負荷に換算すると、雨水原単位よりも汚水原単位を低く設定していることから、年間では30%が雨水原単位換算分の負荷と計算された。弱い降雨ほど、雨水原単位換算分の割合が増加し、一部の降雨では、合流式のほうが分流式よりもSS負荷が小さくなるモデル計算され、この場合、モデルの特性上、汚水原単位換算分の鉛負荷がマイナスに算定され、これは、モデルの不整合部分となっている。

雨天であることによって発生する年間の鉛負荷量は、処理場へ回収される分も含めて、雨水原単位換算分と汚水原単位換算分の和で2,300 kgと算定された。晴天時SS濃度と汚水原単位、晴天時下水量を掛け合わせて、晴天時年間Pb負荷を計算すると、1,030 kgとなることから、雨天であることによって発生する負荷は晴天時の年間負荷の2倍であり、Pbでは、BODよりも、格段に雨天時負荷の適切な回収の重要性が指摘できる。

SSの流出負荷については、(6)-(8)式および(10)-(12)式の仮定の仕方により変動し、また、粒子状Pbの負荷量については、雨水原単位および汚水原単位の仮定値により、大きく変わりうるが、SS負荷から粒子状Pb負荷への換算のひとつの方法として、本方法を提示した。

1) 吉本国春, 下水道協会誌, 31(453), 116-124, 2000.

2) 和田安彦, 三浦浩之, 土木学会論文集, 369, 287-293, 1986.

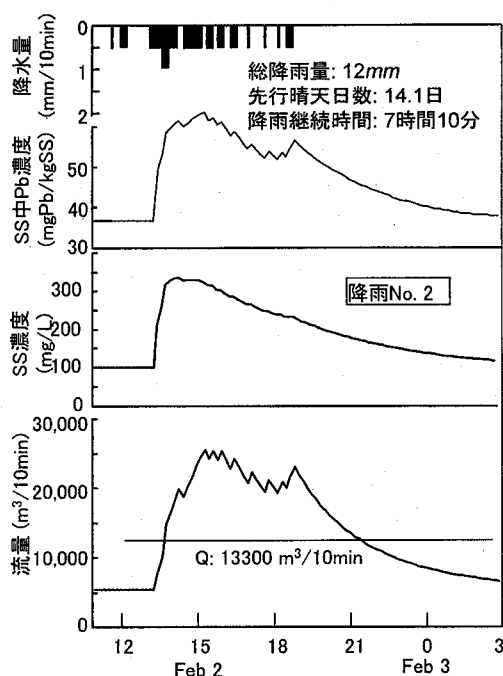


図-1 2004年2月2日から3日のシミュレーション結果

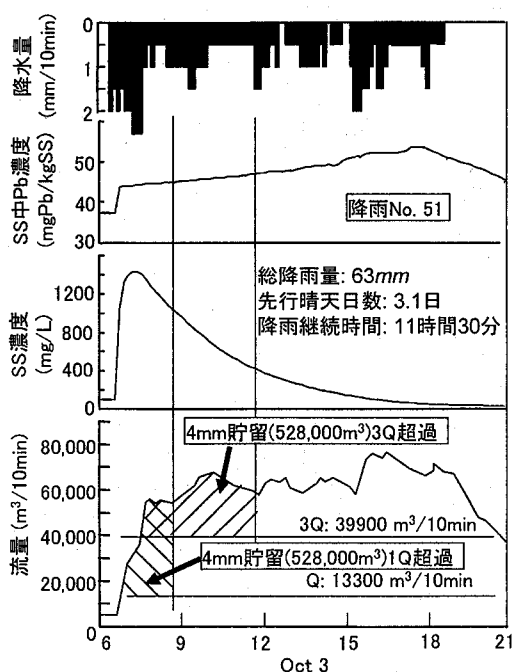


図-2 2004年10月3日のシミュレーション結果

表-1 2004年の66降雨での汚水の管渠流入分を除く雨天起因SS発生負荷量, Pb発生負荷量, および越流の有無

No.	月	日	総降雨量 (mm)	SS負荷量(ton)		Pb負荷量(kg)		越流の有無				
				雨水	合流	雨水	汚水	1Q	2Q	3Q	4Q	5Q
1	1	19	5.0	20.8	31	2.5	0.4	*				
2	2	2	12.0	59.9	243	7.2	6.8	*	*			
3	2	22	11.0	80.0	148	9.6	2.5	*	*			
4	2	18	7.5	42.1	73	5.1	1.2	*				
5	2	20	12.5	70.5	246	8.5	6.5	*	*			
6	3	22	26.0	93.8	885	11.3	29.3	*	*	*		
7	3	24	6.5	12.8	130	1.5	4.3	*				
8	3	25	14.5	63.0	388	7.6	12.0	*	*			
9	3	30	62.0	232.9	1828	28.0	59.0	*	*	*	*	*
10	4	1	21.0	134.4	478	16.1	12.7	*	*	*		
11	4	4	11.0	46.7	253	5.6	7.6	*				
12	4	8	5.0	27.1	23	3.3	-0.1	*				
13	4	14	10.5	49.4	209	5.9	5.9	*				
14	4	19	12.0	70.5	209	8.5	5.1	*	*			
15	4	27	2.5	13.9	8	1.7	-0.2	*				
16	4	27	7.5	29.0	119	3.5	3.3	*	*			
17	4	2	2.5	5.0	1	0.6	-0.1	*				
18	5	11	11.0	56.2	206	6.7	5.6	*	*			
19	5	9	13.5	27.7	463	3.3	16.1	*				
20	5	16	7.0	24.4	105	2.9	3.0	*				
21	5	16	3.0	3.5	11	0.4	0.3	*				
22	5	19	28.0	114.8	930	13.8	30.2	*	*	*		
23	5	20	70.5	145.4	2387	17.5	82.9	*	*	*	*	*
24	5	24	4.0	30.9	0	3.7	-1.1	*				
25	5	31	17.0	76.4	545	9.2	17.3	*	*	*		
26	6	6	9.5	44.2	154	5.3	4.1	*				
27	6	7	15.5	50.2	537	6.0	18.0	*	*			
28	6	9	4.5	10.8	34	1.3	0.9	*				
29	6	11	23.0	115.8	669	13.9	20.5	*	*	*	*	*
30	6	13	13.5	119.1	198	14.3	2.9	*	*	*	*	*
31	6	21	17.5	129.2	380	15.5	9.3	*	*	*	*	*
32	6	25	4.5	18.5	19	2.2	0.0	*				
33	6	25	4.5	8.8	45	1.1	1.3	*				
34	6	30	8.0	34.2	129	4.1	3.5	*				
上半期合計			483.5	2061.8	12082	247.4	371					

No.	月	日	総降雨量 (mm)	SS負荷量(ton)		Pb負荷量(kg)		越流の有無				
				雨水	合流	雨水	汚水	1Q	2Q	3Q	4Q	5Q
35	6	25	2.5	9.6	0	1.1	-0.3	*				
36	7	15	3.0	19.9	0	2.4	-0.7	*				
37	7	26	4.0	27.2	9	3.3	-0.7	*				
38	7	29	17.0	69.0	620	8.3	20.4	*	*	*	*	*
39	7	15	18.0	101.1	414	12.1	11.6	*	*	*		
40	7	18	13.0	78.5	297	9.4	8.1	*	*	*	*	*
41	8	24	3.0	3.3	10	0.4	0.3	*				
42	8	30	31.5	51.1	1836	6.1	58.7	*	*	*	*	*
43	8	31	10.5	69.4	141	8.3	2.7	*	*	*	*	*
44	8	5	72.5	270.1	2111	32.4	68.1	*	*	*	*	*
45	8	5	6.0	35.6	24	4.3	-0.4	*				
46	8	9	6.0	85.4	25	10.3	-2.2	*	*	*	*	*
47	9	10	5.0	55.0	16	6.6	-1.5	*	*	*	*	*
48	9	24	4.0	17.7	12	2.1	-0.2	*				
49	9	27	31.0	101.0	1099	12.1	36.9	*	*	*	*	*
50	9	30	60.5	173.8	1959	20.9	66.0	*	*	*	*	*
51	9	3	63.0	209.4	1899	25.1	62.5	*	*	*	*	*
52	9	4	32.5	86.4	1152	10.4	39.4	*	*	*	*	*
53	9	6	111.5	78.9	3822	9.5	138.5	*	*	*	*	*
54	9	9	275.0	288.8	8244	34.7	294.3	*	*	*	*	*
55	9	11	4.0	5.6	6	0.7	0.0	*				
56	10	13	24.5	67.1	957	8.1	32.9	*	*	*	*	*
57	10	19	9.0	39.0	142	4.7	3.8	*				
58	10	20	216.5	233.9	6707	28.1	239.5	*	*	*	*	*
59	10	21	3.0	3.2	0	0.4	-0.1	*				
60	10	26	16.0	75.1	461	9.0	14.3	*	*	*	*	*
61	10	31	59.0	116.4	2092	14.0	73.1	*	*	*	*	*
62	11	1	12.5	115.7	151	13.9	1.3	*	*	*	*	*
63	11	12	31.0	110.8	1069	13.3	35.5	*	*	*	*	*
64	11	15	19.5	125.1	445	15.0	11.8	*	*	*	*	*
65	11	19	33.0	65.7	1517	7.9	53.7	*	*	*	*	*
66	11	5	46.0	170.3	1431	20.4	46.7	*	*	*	*	*
67	12	29	13.5	57.1	330	6.8	10.1	*	*	*	*	*
68	12	31	14.5	114.9	257	13.8	5.2	*	*	*	*	*
下半期合計			1271.5	3131.2	39055	376	1329					
合計			1755.0	5193.0	51137	623	1700	61	45	32	21	13