

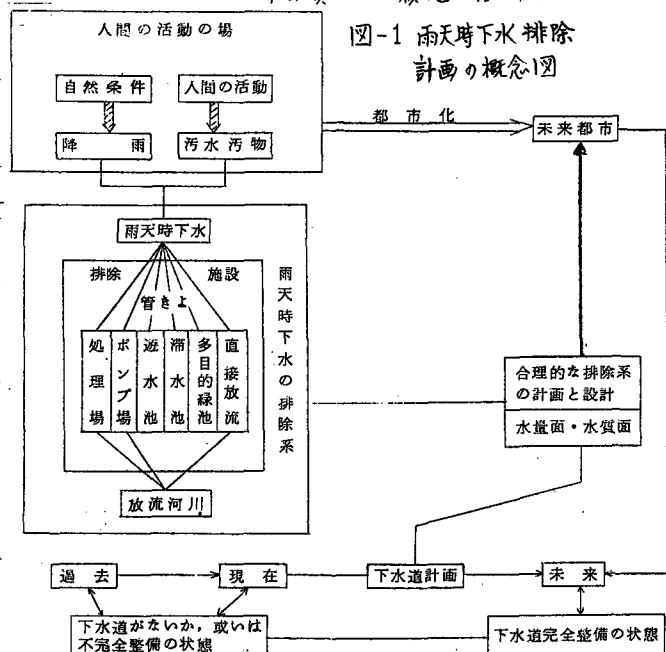
雨天時下水排除の合理化へのアプローチ

建設省土木研究所 正会員 ○ 稲場 紀久雄
 学生員 横尾 将 位

1 はじめに

降雨時に合流式下水道では、雨天時下水の一部が無処理放流されるため、水質汚濁防止の観点から希釈倍数の再検討が必要になっているが、希釈倍数の再検討だけでよいのかどうかということ自体が問題である。筆者らは、放流河川側の水質要求をも満足させるように、雨天時下水と水量水質の両面から合理的に排除するためには下水道系統全体のあり方の再検討が必要であると考えている。本講演は、かかる目的へのアプローチの一環としての考察過程を報告するものである。

図-1 雨天時下水排除計画の概念図



2 雨天時下水の水質の実態

表-1 雨天時下水の水質調査方法

大分類	雨天時観測				晴天時観測	
	雨量観測	流量観測		水質観測	流量観測	水質観測
		水位観測	流速観測			
観測方法	調査区域のほぼ中央に貯水型日巻き自記雨量計を設置し常時観測。 降雨時に流量観測を実施する時に現場に貯水型6時間巻き自記雨量計を設置し現場観測。	観測マンホールに基準点より水面までの距離を水面測定器で観測。 水位上昇時は、2～3分間隔、水位下降時は、5分間隔程度で観測。	水位10m間隔ごとに発光浮子により観測。 断面内1点で観測。 上流マンホールより浮子投入、下流の2つのマンホールで流下時間を測定。	水位観測と同時に採水する。 断面内1点で採水する。 分析項目は、BOD ₅ 、SS、V。SSで、分析方法は1964年版「下水試験法」日本水道協会編による。	表面浮子によって流速観測。 1時間間隔で水位観測。 他は、雨天時観測と同様である。	1時間間隔に水位観測と同時に採水。 他は、雨天時観測と同様である。
観測場所の条件	(1) Back Water のかゝらない所で100m程度直線・定勾配水路。(2)横からの流入が少ない水路。(3)勾配は1～3‰程度。(4)上流域の面積が100ha程度。					

表-2 調査区域概要

都市名	調査区域名	合流別	用途地域名称	総面積 (ha)	総人口 (人)	人口密度 (人/ha)	平均勾配		晴天時平均汚水量 (mm/d)	晴天時平均水質		総戸数	水質化率 数	水質化率 人	最長降雨継続日数	最長降雨量
							地盤	水路		BOD ₅	SS					
東京都	谷端川幹線	合	住居・同業用 準工業・特別工業	540.6	120,000	222.1	(‰) 14.8	(‰) 2.7	(mm/d) 0.65	(ppm) 134.6	(ppm) 184.9	(戸) 41,807	(%) —	(人) —	(日) 33	(mm) 50
豊橋市	花田排水区	合	工業	105.4	12,160	116	9.0	1.7	0.71	126	160	2,945	2,060	10,140	—	—
名古屋市	田光幹線	合	住宅	51.4	9,920	193	7.3	2.3	0.56	56.9	84.6	2,832	2,492	8,730	45	40
名古屋市	千年南新幹線	合	港湾	81.3	12,317	151.5	1.4	1.6	0.68	63.4	51.1	3,342	1,700	7,768	45	40
岐阜市	清水川排水区	分	商業	106.4	24,568	231	1	1.7	0.81	7.0	42	6,462	4,943	19,831	32	37
京都市	中部オ1排水区	合	住宅	67.8	16,945	250	7.8	3.6	0.23	150.6	71	3,728	2,233	10,149	22	21

表-3 雨天時下水の水質とその変動のパターン

都市名	調査区域名	合流別	観測日	最大降雨強度 (mm/hr)	降雨継続時間 (min)	最大水質発生時 時間比		降雨ピーク 時間比	流出ピーク 時間比	降雨前の水質		雨天時最大水質		雨天時最小水質	
						BOD ₅	SS			BOD ₅	SS	BOD ₅	SS	BOD ₅	SS
東京都	谷端川幹線	合	42.6.15	72	36	0.17	0.44	0.31	0.81	(ppm) 151	(ppm) 150	(ppm) 490	(ppm) 1,290	(ppm) 50	(ppm) 150
			6.29	5.6	90	0.87	0.87	(株線)	0.87	140	230	170	540	30	0
			7.3	5.1	176	1.00	1.00	0.70	1.00	90	140	175	510	15	0
			7.6	21	70	0.77	0.77	0.57	0.93	140	30	330	1,350	70	0
			7.13	0.5	102	—	0.68	0.10	0.29	95	20	したいに減少	40	40	0
豊橋市	花田排水区	合	42.8.22	45.6	150	0.07	0.40	0.40	0.67	229	101	410	1,450	30	0
			8.22	43.8	20	—	1.00	0.25	1.00	60	100	したいに減少	470	30	0
名古屋市	田光幹線	合	42.7.19	65	20	0.65	0.70	0.30	0.90	100	80	140	1,790	20	0
			8.22	微弱	—	—	流出ピークに一致	—	—	110	40	したいに減少	570	40	0
			9.13	30	22	—	0.68	0.14	0.68	40	80	40	600	40	0
名古屋市	千年南新幹線	合	42.8.22	31	70	0.29	1.07	0.67	0.93	40	60	160	710	40	0
			8.22	53	25	—	0.84	0.56	1.00	120	30	したいに減少	720	—	0
			9.13	25	26	—	1.00	0.31	1.18	40	70	したいに減少	300	15	0
			9.13	16.5	23	—	0.74	0.09	1.26	45	130	45	210	45	0
京都市	中部オ1排水区	合	42.8.22	30	50	—	0.50	0.24	0.40	100	180	したいに減少	500	20	0
			8.31	32.4	62	0.32	0.58	0.33	0.53	150	150	220	520	20	0
岐阜市	清水川排水区	分	42.7.6	27.6	23	2.18	1.65	0.48	1.83	6.5	60	14.3	268	150	0
			7.12	4.4	50	1.64	0.36	0.12	1.20	3.7	32	14.3	52	0	0
			7.12	2.5	32	2.60	2.34	0.12	2.35	4.4	24	10.0	75	0	0
			7.19	80	75	1.12	0.27	0.13	1.07	6.8	46	14.2	476	0	0
			8.22	40	160	0.50	0.70	0.63	0.82	7.8	86	17.8	208	0	0
			10.5	2.8	360	0.25	0.29	0.42	0.67	7.5	30	13.6	60	0	0

[表-2の注] (1)総人口は住民登録人口。(2)晴天時平均汚水量, 晴天時平均水質は実測値。

(3)総戸数のうち東京都の値は、総世帯数である。

(4) 最長降雨継続日数, 最長無降雨継続日数は 該当市の気象台設置以来の観測記録による。
 (5) 岐阜市清水川排水には、分流水雨水まである。

(表-3の注) (1) 時間比とは、降雨継続時間に対する比率。(別) 降雨ピーク時間比とは、降雨継続時間と降雨開始時から降雨ピーク発生時までの時間の比率である。

表-4 i_m -T 頻度表 (京都市の場合 昭39年)

i_m \ T	0 ~0.5	0.5 ~1.0	1.0 ~1.5	1.5 ~2.0	2.0 ~2.5	2.5 ~3.0	3.0 ~3.5	3.5 ~4.0	4.0 ~5.0	5.0 ~7.0	7.0 ~9.0	9.0 ~11.0	11.0 ~	合計	%
0~5	118	41	17	7	5	10	3	3	4	5	0	3	0	216	68.5
5~10	9	12	5	3	3	5	2	1	1	2	2	4	0	49	15.5
10~15	8	7	0	3	2	1	0	1	0	3	2	0	0	27	8.6
15~20	2	0	1	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	8	2.5
20~25	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4	1.3
25~30	1	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	2.5
30~40	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	1.1
40~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	138	65	26	16	10	16	6	6	5	15	5	7	0	315	—
%	43.8	20.6	8.3	5.1	3.2	5.1	1.9	1.9	1.6	4.7	1.6	2.2	0	—	100

表-6 東京都谷崎川排水(合流式)における
 流送汚濁負荷量(昭42年)

人口標準地 (人/ha)	626
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	15.2
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	4.6
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	2.5
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	12.9
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	6.950
平均降雨 強度 (mm/hr)	49.2
平均降雨 強度 (mm/hr)	2.473
平均降雨 強度 (mm/hr)	4.45
平均降雨 強度 (mm/hr)	18.50
観測 月日	6:15 6:29 7:3 7:6

同上 (同上 昭40年)

i_m \ T	0 ~0.5	0.5 ~1.0	1.0 ~1.5	1.5 ~2.0	2.0 ~2.5	2.5 ~3.0	3.0 ~3.5	3.5 ~4.0	4.0 ~5.0	5.0 ~7.0	7.0 ~9.0	9.0 ~11.0	11.0 ~	合計	%
0~5	108	23	20	10	7	5	5	5	11	5	1	1	0	201	70
5~10	8	4	3	2	4	5	1	2	5	3	3	0	1	41	14.5
10~15	2	2	2	1	3	1	1	0	2	3	0	1	1	19	6.6
15~20	1	1	4	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	12	4.2
20~25	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	5	1.7
25~30	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0.6
30~40	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	4	1.2
40~	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	4	1.2
合計	120	34	29	13	17	11	8	9	21	14	4	5	3	288	—
%	41.7	11.8	10.1	4.5	5.9	3.7	2.8	3.2	7.3	4.9	1.4	1.6	1.1	—	100

表-7 岐阜市清水川排水(分流水雨水)における
 流送汚濁負荷量(昭42年)

人口標準地 (人/ha)	17
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	0.6
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	0.3
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	0.25
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	0.5
面積当り BOD ₅ 量 (kg/ha)	0.06
平均降雨 強度 (mm/hr)	8.29
平均降雨 強度 (mm/hr)	6.76
平均降雨 強度 (mm/hr)	1.80
平均降雨 強度 (mm/hr)	35.85
平均降雨 強度 (mm/hr)	1.1
観測 月日	7:6 7:12 7:12 7:19 10:5

(注) i_m : 最大降雨強度 (mm/hr) T: 降雨継続時間 (hr)

表-5 降雨強度別回数累年比較 (東京都の場合)

年度 降雨強度	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	10年平均
10 mm 以下	106	127	93	101	86	86	108	80	97	86	97
10 mm 以上	12	6	10	10	8	8	10	5	15	10	10
比率 (10mm以上 全降雨日数)	0.9	0.95	0.9	0.91	0.91	0.91	0.91	0.94	0.87	0.9	0.91
全降雨日数	118	133	103	111	94	94	118	85	112	96	107

(注) 単位: 日

表-8 管径別の堆積量 (t/年)

管径 (mm)	堆積量 (t/年)	管径 (mm)	堆積量 (t/年)	管径 (mm)	堆積量 (t/年)	管径 (mm)	堆積量 (t/年)	管径 (mm)	堆積量 (t/年)	管径 (mm)	堆積量 (t/年)
230	511	34	5.11	400	0.0017	520	0.0013	530	0.0013	600	0.0013
250	977	5.5	0.0056	450	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
300	962	4.8	0.0050	500	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
350	137	0.7	0.0051	550	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
380	503	2.3	0.0046	600	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
400	52	0.1	0.0036	600	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
450	74	1.5	0.0036	600	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
520	76	0.1	0.0036	600	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
530	2.1	0.1	0.0036	600	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013
600	109	1.4	0.0036	600	0.0019	550	0.0013	550	0.0013	600	0.0013

(注) 調査地区: 東京都西武池袋線排水(昭42年)

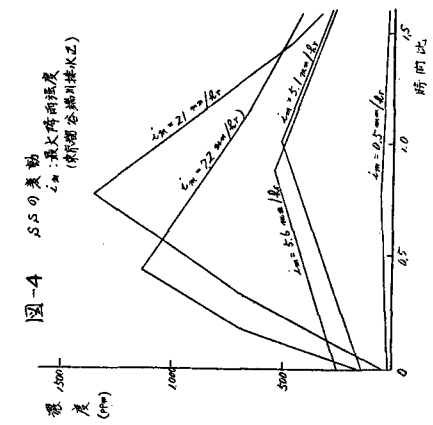
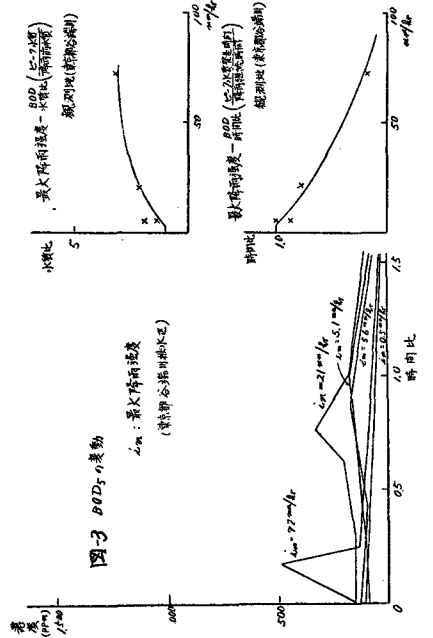
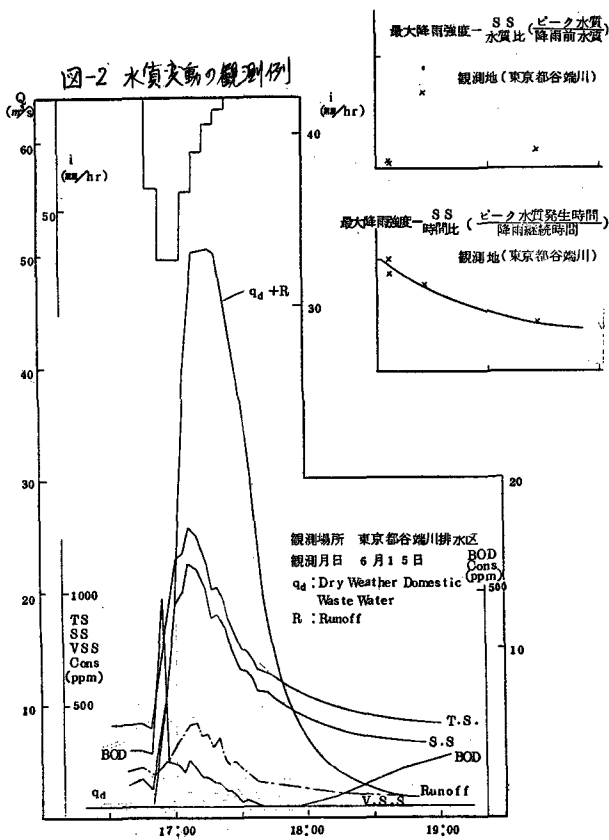
旧高田町地域

面積: 150 ha

同 同 同 同 同 同 同 同 同 同 同 同

昭和41年10月16日(土)午後

昭和41年10月28日(土)午後



雨天時下水の水質の実態については 講演時に詳しく述べらる。本節では 図・表にとどめる。「用水と廃水」誌 Vol. 10 No. 17 (1968) にも一部発表したので付記しておく。

3 雨天時下水の水質の時間変動の解析

雨天時下水の排除計画の立案のためには、雨水流出ハイドログラフと対応した水質の時間変動を推定する必要がある。そこで本節では、2 で述べた水質実態の理論的な説明とあわせて推定方法について考察する。
〔推定方法 1〕

都市域あるいは排水区を等価な矩形排水区とみなす。すなわち、図-5 (次頁) に示すように、面積 $W \cdot L$ は、実際の面積 A に等しく勾配 $\sin \theta$ は、実際の勾配の平均値、モデルの雨水流出ピークが実際の場合と同じ時刻、同じ高さにあらわれる粗度を持つ斜面とする。汚水は、場所的に一様に発生する。降雨は、場所的に一様に降るものとする。汚濁物質は、場所的に一様に堆積しているものとする。

文字の説明

i 降雨強度

q_d 晴天時下水水量

P_d 晴天時下水濃度

q_u, q_l 雨天時下水水量
 P_u, P_l 雨天時下水濃度
 H 汚濁物質堆積高さ
 λ 空隙率 ρ 汚濁物質密度

(1) 汚濁量に關する基礎式

1-1 連続方程式

$$g_L = g_u + \frac{\partial g_u}{\partial x} dx, \quad P_L = P_u + \frac{\partial P_u}{\partial x} dx$$

収支の式より

$$g_L P_L - g_u P_u = g_d P_d dx - f(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} dx$$

以上の式より

$$P_u g_u + P_u \frac{\partial g_u}{\partial x} dx + g_u \frac{\partial P_u}{\partial x} dx - P_d g_d + \frac{\partial g_u}{\partial x} \frac{\partial P_u}{\partial x} (dx)^2 \\ = g_d P_d dx - f(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} dx$$

故に近似的に

$$f(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial P f}{\partial x} = P_d g_d \quad \text{----- (3-1-1)}$$

1-2 運動方程式

$P f = (\text{掃流汚濁量}) + (\text{滞留汚濁量})$ とする。

前者は、 $kF(F - F_c)$ と仮定する。

但し F は、掃流力とし、 F_c は 限界掃流力とする。いま、 F_c は、 F に對して定視できるものとする。

$$kF(F - F_c) \approx kF^2 = k g^2 S^2 h^2 = k_1 h^2$$

ここで g は重力加速度、 S 勾配、 h 水深、 k_1 定数

後者を $k_2 h^{1/3}$ と仮定する。

$$\text{故に } P f = k_1 h^2 + k_2 h^{1/3} \quad \text{----- (3-1-2)}$$

(2) 雨水に關する基礎式

$$\text{連続方程式 } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial g}{\partial x} = i + g_d \quad \text{--- (3-2-1)}$$

$$\text{運動方程式 } g = \frac{1}{n} \cdot S^{1/2} \cdot h^{5/2} = k_3 h^{5/2} \quad \text{--- (3-2-2)}$$

(3) 解析

(3-1-1), (3-1-2) より

$$f(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} + 2k_1 h \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{10}{3} k_2 h^{2/3} \frac{\partial h}{\partial x} = P_d g_d$$

(3-2-1), (3-2-2) より

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{5}{3} k_3 h^{3/2} \frac{\partial h}{\partial x} = i + g_d$$

上の2式より $\frac{\partial h}{\partial x}$ を消去すると

$$f(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} + (2k_1 h + \frac{10}{3} k_2 h^{2/3}) (-\frac{\partial h}{\partial t} + i + g_d) = \frac{3}{5k_3 h^{1/2}} P_d g_d$$

$$\text{故に } \frac{dH}{dt} = \frac{3}{5k_3 f(1-\lambda)} (2k_1 h^{1/2} + \frac{10}{3} k_2 h^{5/6}) \times \\ (\frac{\partial h}{\partial t} - i - g_d) + \frac{P_d g_d}{f(1-\lambda)} \quad \text{--- (3-3-1)}$$

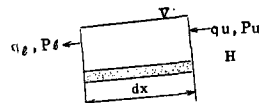
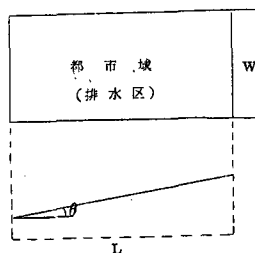


図-5 都市のモデル化

(3-3-1)式は、

水位と汚濁物堆積高との間に

密接な関係がある

ことを示している。

(3-3-1)は、雨水流出波形を仮定してやると容易に解くことが可能である。

水質は、(3-1-1)より

$$P = \frac{1}{f} \int \{ P_d g_d - f(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} \} dx \quad \text{である}$$

から $\frac{\partial H}{\partial t} < 0$ であるから、堆積汚物が流出しているあいだは、下水が単に雨水で希釈される以上に悪水質となる。堆積汚物がなくなると希釈効果のみとなるのである。

堆積汚物には、有機系物質と無機系物質とがあり、それらの堆積場所、2節でも述べたように前者は、下水管底下、側溝に集中しており、後者は、庭、道路、屋根などに集中している。しかも下水管底下、路面等の密度は、高いためマクロに於ける場合、面的に一樣に堆積していると考えてもよいと思われる。

有機系物質と無機系物質とは、堆積量に於て著しい違いがある。前者は、量的に有限であるから全部流出した後は、前述のように雨水による希釈効果のみがあらわれる。後者は、量的に無限だから、その負荷量あるいは水質のピークは、流出

のピークに一致する。有機系と無機系とでは、明らかに水質の時間変動のパターンが異なるといえる。図-6にその差違を図示する。

〔堆定方法2〕

掃流汚濁汚濁物質量も含めた公式としてブラウンの実験公式を用いると流出する汚濁物質量は、近似的に次式で与えられる。但し、この式では、限界掃流力が晴天時時間最大汚水量の時にあらわれるものと仮定している。

$$S = P_d \bar{q}_d + BQ^n \left\{ 1 - \left(\frac{2.25 \bar{q}_d}{Q} \right)^{2n} \right\}$$

こゝで S : ある汚濁物質量
 $\bar{q}_d$: 晴天時下水流量, P_d : 晴天時下水濃度, $\bar{q}_d$: 晴天時平均下水流量, Q : 雨天時下水流量, a : 常数, $B = Kbd / [(89g - 1)gd]^2$

ρ : ある汚濁物質の密度,

ρ : 水の密度, g : 重力加速度

d : 汚濁物質の相等径, K : 10, b : 常数

B は、汚濁物質の相等径 d と逆比例の関係にある。相等径 d と流量 Q との間には、比例関係があるものと考えられる。すなわち、流量が少いと、流下する汚濁物質の径は種々あっても、その平均径は一般に小さく、逆に流量が多い場合は、その逆であると考えられる。この事実から B と Q との間には、一般に逆比例の関係がある。

$$B = k/Q^n$$

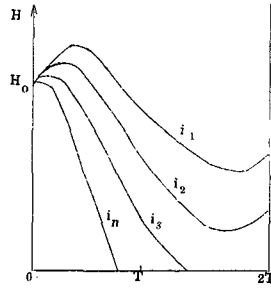
$$\text{故に } S = P_d \bar{q}_d + kQ^{a-n} \left\{ 1 - \left(\frac{2.25 \bar{q}_d}{Q} \right)^{2n} \right\}$$

実験データより k , a , n を求めてやると上式より流量 Q に対応した汚濁物質量が求まる。

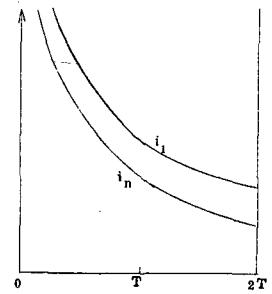
図-2の資料より k , a , n を求めると Total

Solidの場合

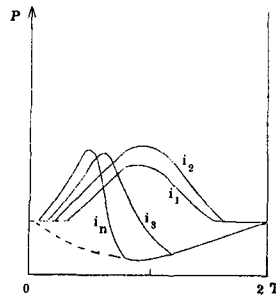
	k	n	a
rising part	2800	1.7	0.5
recession part	170	1.0	0.5
平均	951	1.5	0.5



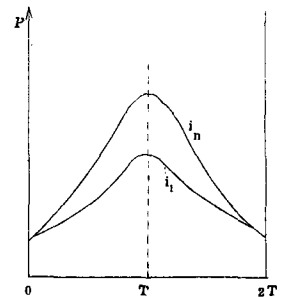
(a) 有機質の堆積物の時間変動 ($i_n > \dots > i_2 > i_1$)



(b) 無機質(砂, SSなど)の堆積物の時間変動



(a) 有機系の水質の時間変動



(b) 無機系の水質の時間変動

図-6 雨天時下水の水質変動のパターン

今後堆積汚物の組成、物理的・化学的な性質、堆積量など調査研究すべき問題が多いが、ミクロな追究には、この種の問題の場合に限り限界があると考ええる。

堆積量の把握が最も重要であるが、マクロに1日(2)づつ堆積するものとし、 n 日前から堆積し続けているとする。自己減衰するものとしその反応速度を k とすると堆積量は、自己減衰が1段階では、 $S = \frac{a}{k} (1 - e^{-kn})$

自己減衰には、オ1段階とオ2段階とがあるがオ2段階の反応速度は、非常に遅いのでオ2段階に入った堆積量の総量に対するウェイトは一般に小さい。そこで上式では、これを無視している。堆積量の推定のためには、 a の設定、無降雨期間の確率的把握、 k の設定などを行う。筆者は、上記のようにマクロに取り組む、はよいと考ええる。

4 雨天時下水の処分対策

雨天時下水の水質が想像以上に悪いということから雨水吐き室の希釈倍数を高める必要があると一概にいわれている。このことは、遮集管まよ、処理場の規模の拡大、処理効率アップといった一連の改善処置が必要であることを意味している。諸外国の雨天時下水処分対策をみると次のとおりである。(1) 視覚的な汚濁の防止策(固形物除去策)……スクリーン併設、粉砕装置併設、スラム除去装置併設 ハイドロサイクロン型雨水吐き室、沈砂池併設など

(2) 細菌による汚濁の防止策……塩素消毒設備の併設 (3) 雨天時下水の放流量を減ずることによる汚濁防止策……貯水池、滯留池の併設、遮集管まよは、従前どおりにして希釈倍数を高める。(4) (1) ~ (3) の組み合わせ。(5) 分流化

雨天時に合流式下水道の下水の水質は確かに悪化するが、長時間にわたって悪化しつづけるわけではない。したがって合流式下水道を若干改造することで放流河川側の水質要求を満足させる対策は存在している。

4-1 希釈倍数引き上げの限界

局地的な小降雨の場合に放流水質が最悪になる。え河川流量は増大しないため最も危険である。仮に晴天時河川水質と雨天時水質とが等しくなるような希釈倍率を n で示す系統で求めると次のようになる。

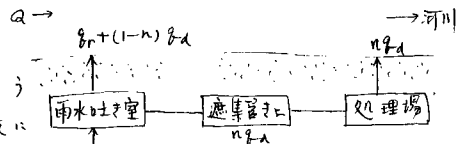


図-7 雨水吐き室と処理場の関連

(1) $n \leq \frac{Q_r}{Q_d} + 1$ (放流の起る条件) で $n = \frac{1}{\alpha} (1 - \frac{C_d}{C_w}) (1 + \frac{Q_r}{Q_d})$ ここで α : 処理率, C_d : 晴天時河川水質, C_w : 雨天時下水水質, Q_r : 雨水流量, Q_d : 晴天時下水流量, α : 晴天時河川流量, n : 希釈倍率。式が成立するためには $\frac{1}{\alpha} (1 - \frac{C_d}{C_w}) \leq 1$ でなければならぬ。

(2) $n \geq \frac{Q_r}{Q_d} + 1$ のとき $\alpha = 1 - \frac{C_d}{C_w}$

(1), (2) あわせると $1 \leq \alpha \leq 1 - \frac{C_d}{C_w}$ である。ところが $\frac{C_d}{C_w}$ は かなり小さいからこの条件を満足することは極めて困難である。

また希釈倍率の設定にあたっては、 C_w や Q_r などは時間的に変化するから、^時 各時刻の n を求めてそのうち最も安全側の値をとるか、あるいは、雨水吐きを自動的に操作して n を刻々変えて行くか、しなければならぬ。なお、 n を上げると、それに対応して種々の施設を改造する必要があり、改造しない場合は、管まよ内の貯留量(余裕)との均衡をはめ下 n とする必要があり非常に難しい。

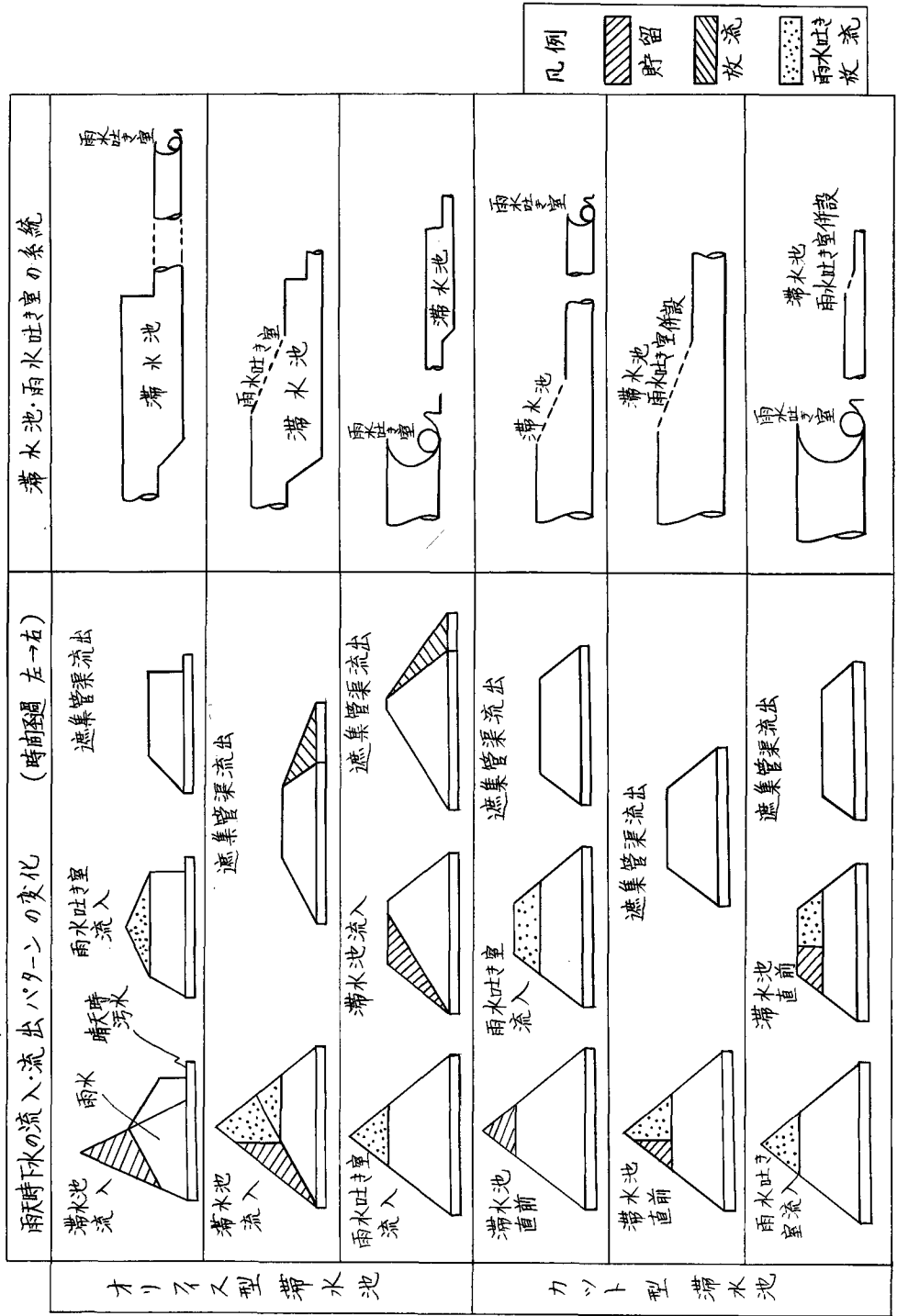
4-2 初期雨水滯留池導入の必要性

前述したように初期雨水(降雨初期の雨天時下水)がかなり汚濁しているのであるから、この初期雨水が直接放流を何らかの形でコントロールすれば、雨天時下水の排除の上での障害はないことになる。初期雨水は、量的に非常に少ない。処理場や遮集管まよなどの規模の拡大を避けるためにも初期雨水滯留池の導入は必要である。したがって改善案のうち、雨水吐き室の希釈倍率を、放流水質の関連でとらえ、滯留池を併設し、付属設備は雨天時下水の水質に応じて考慮する策が最適でないか？

5 初期雨水滯留池の型式・長所短所

滯留池には図-8に示すようにカット型とオリフィン型がある。滯留池は、雨水吐き室、遮集管まよとの関連でとらえる必要があり、その組み合わせ、放流方式を図-8に図示してある。

図-8 滞水池と雨水吐き室による雨天時下水の排除方式



凡例

- 貯留 (Retention)
- 放流 (Discharge)
- 雨水吐き室 (Rainwater discharge room)

図-9 カット型 滞水池のタイプ

(イ) 縦型

(ロ) 横型

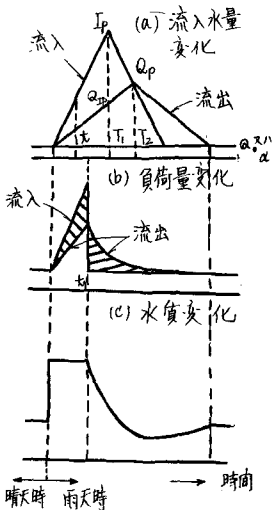
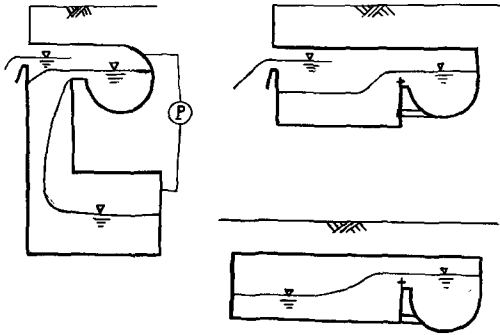


図-10 オリフィス型 滞水池
の降雨時の水質変化
(BODを想定)

$$= C_s(I - Q) + S \frac{dC_s}{dt} \quad \therefore S \frac{dC_s}{dt} = IC_L - IC_s - (5-2)$$

ここで S : 貯留量, I : 流入量, Q : 流出量

IC_L 流入水質, IC_s 流出水質

$$Q = \alpha \frac{I - S}{A} \quad \therefore 2Q \frac{dQ}{dt} = I - Q \quad (5-2-3)$$

(5-2-1) ~ (5-2-3) よりで一般に流出水質は求
まるが (5-2-3) は解けない。個々 α なる置換を
行えば解けるが解も非常に複雑であるため近似
に図-10に示す場合について述べることとする。

オリフィス型滞水池の型式は、図-8に示し
てあるように管きょう部を変形したもので
あるが、カット型滞水池には、図-9に示す
2種類がある。縦型は、水路底に、横型は、
公園下などに設置することができる。自然に
そのまゝ滞水池として利用できる場所がある
地域では、あらたに滞水池を建設することは
ない。滞水池建設の目的は、雨天時下水の水
質(放流水質)のコントロール、換言して負
荷量コントロールである。そこでオリフィス
型とカット型の長短所を論ずる場合、容量と
滞水池放流水質の2点を論ずればよいのではな
いか?、そこで焦点をこの点に絞る。

5-1 容量比較 ----- オリフィス型で図-8のオ1段目のものは、水質
のかなりよい部を貯留することになり、無駄が多い。オ3段目の
ものは、悪水質部分を放流する可能性があるうえ、余分な部分を貯留す
る。この意味でオ2段目のものがより滞水池と雨水貯留室の併設した
型式がよい。オリフィス型の場合、このようなオ2段目の型式の妥当な
容量計算を行うことは難しい。カット型でも無駄な容量のない図-8の
オ5段、オ6段の型式がよい。2や3で述べた実態や理論から比較的に
簡単に妥当な容量が計算できるのではないか?。筆者は、図-8のオ2
段目とオ5段目のような滞水池と雨水貯留室の併設がよいと考えた。

5-2 滞水池放流水質

(イ) オリフィス型の場合 ^{計算} 例 完全混合とした場合について考える。

貯留式 $\frac{dS}{dt} = I - Q$ (5-2)

汚濁物質の貯留式

$$IC_L - QC_s = \frac{dS \cdot C_s}{dt}$$

$$= C_s \frac{dS}{dt} + S \frac{dC_s}{dt}$$

$$= C_s(I - Q) + S \frac{dC_s}{dt} \quad \therefore S \frac{dC_s}{dt} = IC_L - IC_s - (5-2)$$

ここで S : 貯留量, I : 流入量, Q : 流出量

IC_L 流入水質, IC_s 流出水質

$$Q = \alpha \frac{I - S}{A} \quad \therefore 2Q \frac{dQ}{dt} = I - Q \quad (5-2-3)$$

(5-2-1) ~ (5-2-3) よりで一般に流出水質は求
まるが (5-2-3) は解けない。個々 α なる置換を
行えば解けるが解も非常に複雑であるため近似
に図-10に示す場合について述べることとする。

図-10の場合、 $S = \frac{1}{2} \alpha \{ I_p \frac{I_p}{I_p} - Q_p \frac{I_p}{I_p} \} = k_1 t^2$,

$$I = I_p \left(\frac{t}{T_1} \right) + \alpha = k_2 t + \alpha, \quad Q = Q_p \left(\frac{t}{T_2} \right) + \alpha = k_3 t + \alpha$$

$$k_1 \geq k_2 \geq 0 \quad IC_L = k_3 t + k_4 \quad \text{とすると}$$

$$k_1 t^2 \frac{dC_s}{dt} = -k_2 t C_s - \alpha C_s + k_3 t + k_4$$

$$\therefore k_4 = \alpha C_s \text{ と置くと } C_s = \frac{k_3}{k_2} = \frac{k_3 T_1}{I_p} \text{ となる。}$$

同様に $T_1 > 2T_2$ で $IC_L = k_4$ とすると同様の式が

$$\text{成立して解は } C_s = k_5 t - \frac{k_4}{k_1 + k_2} + \frac{k_4}{k_1} \cdot \frac{1}{t}$$

$$k_2/k_1 > 0 \quad k_3/k_1 + k_2 > 0 \quad \frac{k_3}{k_1} - \frac{k_4}{k_1 + k_2} > 0$$

$$k_3' = \frac{k_3 T_1}{I_p} \quad t_1 = \frac{k_4}{k_1 + k_2} \quad t_1 - \frac{k_4}{k_1} > 0$$

(したがって図-10のFのようにオリフィス型滞水池では
、滞水池がなかった状態より悪水質の滞留時間が長く
続くことになる。この意味でオリフィス型滞水池

の建設には この案の充分な吟味が必要ではなからうか？。

(2) カット型の場合：放流水質は 流入水質と同じである。すなわち、この型式の場合は(1)で述べた意味の放流水質はないのである。ただし雨水吐と室を滞水池に併設した場合、(1)で述べたことと同じこと となり放流水質(雨水吐と室からの)の悪い時間が、滞水池建設前より長く続くことになる。

(1)及び(2)で留意する必要がある事項は、雨水吐と室が併設される場合 滞水池放流水質が雨水吐と室からの放流水の水質となることである。

以上を比較してみて、滞水池としてはカット型が好ましいのではないかと筆者は考えている。

6 滞水池容量について(特にマクロに於て)

オリフィス型の場合、滞水池容量が小さいと滞水池放流管の土被りが深くなる。放流管、処理場、滞水池、遡集管などの建設費用および維持管理費用の総費用を最小にする容量(滞水池の容量)が最適容量である。図-10に示す三角形の波形の流出を仮定して上記の最適容量をマクロに計算する方法は、次のようになる。貯留量 $S = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)(I_p \frac{T_1}{T_c} Q_p + \frac{T_1}{T_c} - 1) Q_0$ で、 $Q_p = \alpha \sqrt{H}$ 。滞水池費用 $E_D = \alpha_1 S^{\beta_1} = f(H)$ 、放流管及び遡集管費用と土被り(堆削)分と純管費と分けて $E_p = \alpha_2 H^{\beta_2} + \alpha_3 D^{\beta_3}$ 、処理場費用 $E_T = \alpha_4 H^{\beta_4}$ 、維持管理費等も H の函数であらうから総費用 $E = g(H, D)$ である。最適値は $\frac{\partial E}{\partial H} = 0$, $\frac{\partial E}{\partial D} = 0$ を満足する H 及び D であり、雨水吐と室が併設される場合は、 $E = f(E_D, E_p, \dots)$ の各要素に越流率が入って来て H 及び D は 越流率の函数になる。放流水質の制約、土被りの制約などを満足する最大の越流率に対応した H 及び D を選定して滞水池容量を求める。

カット型の場合、常識的にいって滞水池容量を決めるために土被りの制約はほとんどないと思われる。オリフィス型の場合と同様に最適の滞水池容量は存在する。

以上マクロな全体的観点から述べてみたが、本来の意味の最適規模は、初期雨水のコントロールと取り去る最小部分を貯留することが可能であればよいのであるから、全体的最適規模を念頭に置かなければマクロな追究をする必要があると筆者は考えている。

7 おわりに

雨天下水の排除について水質という点から河川側の水質汚濁防止をはかる排除方式について考察してみたが、問題はいろいろ多岐にわたっているため、いずれもいまだ完全に考察しきれていない。雨(初期雨水)の排除方式の所見を無意味と考える人もいると筆者は心配している。その理由は、堆積汚物量が少なければ、初期雨水はそれほどまたたかないが将来に於ては、維持管理体制も整うから、堆積量は、当然少なくなっていくだろうからである。(しかし筆者は、このようにも考える。すなわち、都市化が進行するにつれて用水量が増大し、従って汚水量も増加する。汚水の水質も生活レベル向上につれて悪化する。都市化の進行につれて堆積汚物量は少なくなろうが、雨天下水の水質に影響する汚物は、粗大なものではない。従って雨天下水の水質に与える効果からいえば、都市化の進行が水質を良くするとはいえない。下水そのものが悪質になるから堆積汚物量はむしろ増大する可能性があるため雨天下水の水質も都市化とともに悪質になろう。その上、放流河川の水質要求が厳しくなる。従って雨天下水の排除の合理化を促さねばならない。問題は、応急策と恒久策である。最初の心算は、応急策で、後の考えは恒久策で反映して行けばよい。しかしアプローチの道は、いうほど長いのである。