

雨水滞水池における汚濁物流出抑制効果の評価

ESTIMATION OF SUPPRESSIVE EFFECT ON POLLUTANT RUNOFF OF A DETENTION POND

榎谷啓介*, 市木敦之**, 山田 淳**
Keisuke MASUTANI*, Atsushi ICHIKI**, Kiyoshi YAMADA**

ABSTRACT ; The objectives of this study are to clear the characteristics of runoff pollutants depending on their grain size and to estimate the suppressive effect on pollutant runoff of a detention pond. From the result of analysis, the grain size distribution of runoff solids and the content rate of runoff pollutants were cleared. By using these characteristics of runoff pollutants, a simulation was done to estimate the suppressive effect on pollutant runoff of a detention pond, which was expected to control pollutant runoff rationally. The simulation with data of annual precipitation for several years showed the removal rate of annual runoff pollutants and the effect of reduction of runoff-peak where runoff pollutants were intensively concentrated. In the result, some available knowledge, which were concerned with the environmental management of water, were obtained.

KEYWORDS ; detention pond, characteristics of grain size, content rate of pollutants, control of pollutant runoff, reduction of runoff-peak

1. はじめに

都市表面や排水管内に堆積した環境堆積物は、主として雨水によって洗い流され、公共用水域へ流出している。特に都市域では、道路や屋根などの不透水面が多く、堆積した汚濁物が降雨を介して流出しやすくなっている。そのためこうした地域では、汚濁物の降雨時流出、とりわけ降雨時の出水初期に集中して汚濁物が流出する、いわゆるファーストフラッシュをいかに管理していくかが課題となっている¹⁾。筆者らは、ファーストフラッシュ時に流出する汚濁物を、雨水滞水池で一時貯留して懸濁成分を沈降除去する方策を考え、降雨時に実施した汚濁物の流出調査結果から、既報²⁾において、①沈降を支配する懸濁性物質の粒度特性を明らかにし、②雨水滞水池を設置した場合の調査降雨に対する流出負荷削減率を示した。本報告では、さらに1993年に実施した調査データを追加して得られた懸濁性物質の粒度特性値を用いて、京都地方気象台で観測された降水量の時系列データによるシミュレーションを行い、年間流出負荷量に対する雨水滞水池の汚濁物流出抑制効果を検討した。

* 立命館大学大学院理工学研究科

** 立命館大学理工学部

Department of Civil and Environmental Systems Engineering, Ritsumeikan Univ.

2. 汚濁物流出の実態調査

2.1 流域と調査結果の概要

研究対象としたのは、いずれも流域の下流部で市街化区域を有する都市域中小河川、伊佐々川（滋賀県草津市）と山科川（京都市）である。伊佐々川では近年流域の都市化が著しく、一方の山科川では流域の都市化はほぼ完了している。対象とした集水域の概要を表-1に示す。本報告で用いたデータは、両河川で1989年から1993年に筆者らが実施した降雨時の連続採水試料の分析結果に降雨データを加えたものである。調査では、降雨時の水位変動に合わせて適宜10分～1時間の採水および降雨量、流量の測定を実施し、採水した試料は、直ちに実験室へ持ち帰り、水質と懸濁成分粒度（レーザー回折法：島津SALD-1000 使用）を分析した。水質の分析項目は、SS、COD、T-NおよびT-Pであり、一部の降雨では溶解性のCOD、T-N、T-Pも分析した。調査降雨の概要を表-2に示す。調査した降雨は、伊佐々川で24降雨（降雨番号 Ic1-1～Ic1-8、Ic2-1～Ic2-16）、山科川で22降雨（降雨番号 Y-1～Y-7、Yc1-1～Yc1-4、Yc2-1～Yc2-5、Yc3-1～Yc3-6）であったが、降雨Yc1-2～Yc1-4の3降雨は短期間に連続したので、ここでは1降雨とみなして取り扱った。

2.2 汚濁物流出の粒度特性

本報告では、4.におけるシミュレーションに用いる粒度特性値として、既報²⁾に1993年度の調査データを追加して、懸濁性物質の粒度分布と汚濁物含有率を再度算定した。ただし既報²⁾同様、河川への流出負荷量が降雨によって規定される流量の大きさやその増減に依存することを考慮して、図-1のように基準流量（伊佐々川：0.85m³/s、山科川：7.00m³/s）によって調査データの流出期を区分し、基準流量以上を「ピーク期」とし、さらに基準流量未満を流量変化で「増加期」と「減少期」に区分している（この基準流量は、各流出期における調査データ数が、河川毎にほぼ均等になるように便宜的に設定したものである）。

降雨によって流出する懸濁性物質の粒度構成を算定するため、粒径を1～25μm、25～74μm、74～2,000μmに3区分し、各流出期におけるSS流出負荷量の積算値から粒径区分毎の重量構成比率（%）を求め、図-2に示した。伊佐々川では、流量増加期に74～2,000μmの粗い粒径区分の構成比率が高いため、初期流出成分を雨水滞水池に一時貯留した場合に一定の汚濁物沈降除去効果が期待できる。一方、山科川では、複数降雨について加重平均化した結果、単一出水についての傾向が不明瞭となり、増加期と減少期の差は認められなかった。

懸濁性物質の粒径区分別汚濁物含有率を求めるため、降

表-1 対象流域の概要(1990年現在)

河川	集水面積 km ²	流入人口 千人	下水道整備率 %	下排水除方
伊佐々川	3.93	9.0	65.4	分流式
山科川	32.21	141.7	90.3	分流式

下水道整備率：市街地における面積整備率

表-2 調査降雨の概要

河川	降雨番号	調査年度	先行晴天日数 (day)*	降雨量 (mm)	平均流量 (m ³ /s)
伊佐々川	Ic1-1	1992	9	7.5	0.51
	Ic1-2	1992	15	3.0	0.43
	Ic1-3	1992	16	2.0	0.44
	Ic1-4	1992	18	0.5	0.26
	Ic1-5	1992	22	7.0	0.37
	Ic1-6	1992	25	9.0	0.44
	Ic1-7	1992	26	0.5	0.41
	Ic1-8	1992	9	18.0	0.74
	Ic2-1	1993	4	22.5	0.91
	Ic2-2	1993	2	3.5	0.56
	Ic2-3	1993	4	63.0	1.75
	Ic2-4	1993	2	75.0	2.16
	Ic2-5	1993	1	3.5	0.55
	Ic2-6	1993	2	8.5	0.55
	Ic2-7	1993	5	136.5	0.66
	Ic2-8	1993	1	66.5	1.57
	Ic2-9	1993	0	117.5	2.29
	Ic2-10	1993	1	2.0	0.46
	Ic2-11	1993	2	3.0	0.36
	Ic2-12	1993	4	4.5	0.33
	Ic2-13	1993	5	1.5	0.24
	Ic2-14	1993	6	1.0	0.20
	Ic2-15	1993	7	5.0	0.21
	Ic2-16	1993	8	1.5	0.30
山科川	Y-1	1989	2	31.5	8.24
	Y-2	1989	5	16.5	7.35
	Y-3	1989	23	9.0	1.69
	Y-4	1990	12	5.0	1.43
	Y-5	1990	3	7.0	4.90
	Y-6	1990	38	14.0	7.12
	Yc1-1	1991	2	12.0	2.55
	Yc1-2	1991	1	8.0	3.42
	Yc1-3	1991	1	2.0	
	Yc1-4	1991	1	12.5	
	Y-7	1991	41	11.0	4.76
	Yc2-1	1992	20	4.5	1.65
	Yc2-2	1992	31	22.0	4.04
	Yc2-3	1992	3	10.0	3.42
	Yc2-4	1992	3	33.5	5.24
	Yc2-5	1992	1	12.5	1.97
	Yc3-1	1993	3	3.0	2.10
	Yc3-2	1993	7	17.5	3.01
	Yc3-3	1993	0	4.0	2.07
	Yc3-4	1993	7	61.5	5.99
	Yc3-5	1993	2	7.0	2.22
	Yc3-6	1993	6	44.5	3.33

*10mm/day以上の降雨日からの日数

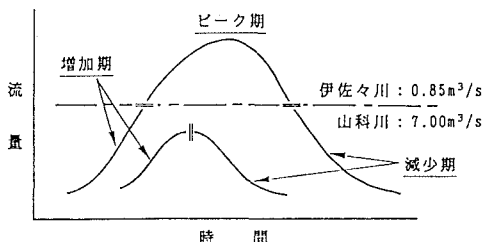


図-1 流出期の区分

雨Ic1-1～Ic1-8, Ic2-1～Ic2-4および降雨Yc2-1～Yc2-5について、流出期単位にコンポジットした試料を用い、試料を1 μ mのろ紙および、25 μ mと74 μ mのフルイで分画して、水質を測定した。粒径区分別の汚濁物含有率を、別途求めた粒径区分別SS水質に対する分画水質の比率として算出し、流出期毎に平均して図-3に示す。両河川のほとんどの指標で、ピーク期では74～2,000 μ mの粗い粒径区分で含有率が高く、逆に減少期では1～25 μ mの微細な粒径区分で含有率が高い傾向がみられる。

3. 雨水滞水池における沈降負荷量の定式化

雨水滞水池による汚濁物流出抑制効果を検討するため、以下の手順で流域からの年間流出負荷量および滞水池内における沈降負荷量を定式化した。ただし、ここでは流域からの流出負荷量は、晴天時分を差し引いた降雨時流出分だけを対象としている。

3.1 流域からの降雨時流出負荷量の算定

河川における有効降雨量 (R) は、降雨量 (P) の2次式で表し、一降雨積算流出比負荷量 (L/A) は、この有効降雨量 (R) を換算した積算流出比流量 (Q/A) のべき乗に比例する³⁾ものとした。

$$R = k \cdot P^2 + h \cdot P \quad \text{----- (1)}$$

$$Q/A = 10^3 \cdot R \quad \text{----- (2)}$$

$$L/A = a \cdot (Q/A)^n \quad \text{----- (3)}$$

ここに、R：有効降雨量 (mm)， P：降雨雨量 (mm)

Q, L：一降雨積算流出流量, 負荷量 (m^3), (kg)

A：集水面積 (km^2)， k, h, a：係数， n：指数

ただし、パラメータk, h, a, nは、調査データについて河川別に回帰分析を行って定めた (表-3)。

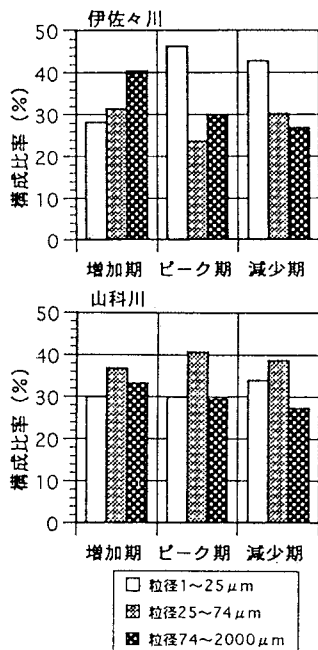


図-2 SS構成比率

(上段：伊佐々川 下段：山科川)

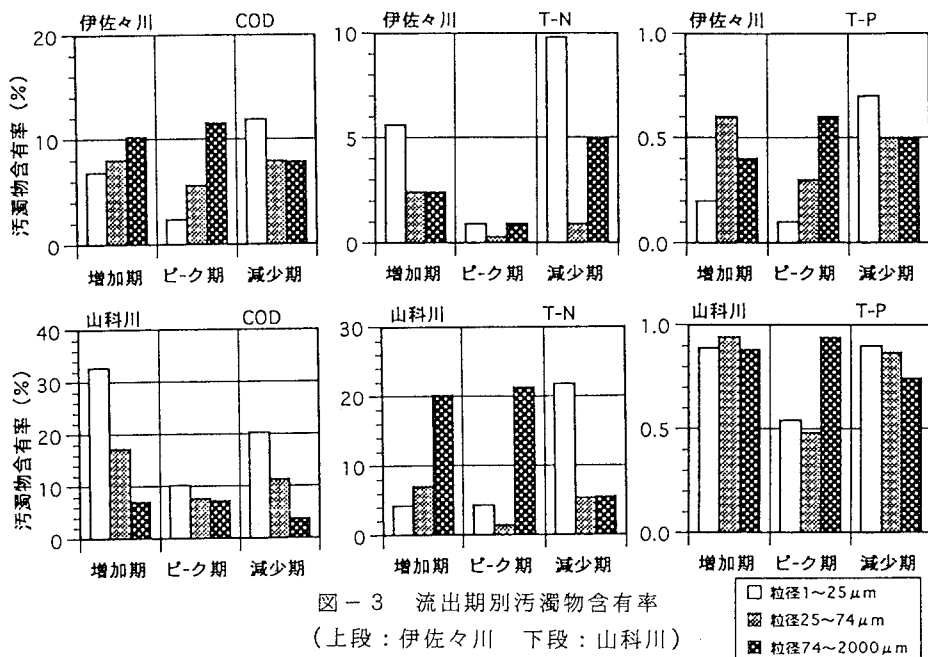


図-3 流出期別汚濁物含有率

(上段：伊佐々川 下段：山科川)

3.2 雨水滞水池における沈降負荷量の算定

雨水滞水池への流入負荷量は (4), (5) 式で表し、流入した負荷量のうち沈降除去される成分は、図-2, 図-3の 粒径区分別構成比率 (d), 含有率 (r) を用いて (6) 式で定めるものとした。

Q ≥ C の場合:

$$L_{in}/A = a \cdot (C/A)^n \quad (4)$$

Q < C の場合:

$$L_{in}/A = L/A \quad (5)$$

$$L_{in}/A = \sum \{ (r_i/100) \cdot (d_i/100) \cdot (L_{in(SS)}/A) \} \quad (6)$$

ここに、C: 雨水滞水池の空き容量 (m³), L_{in}: 雨水滞水池への流入負荷量 (kg)

L_p: 沈降負荷量 (kg), d_i: 粒径区分 i における SS 構成比率 (%) (図-2)

r_i: 粒径区分 i における汚濁物含有率 (%) (図-3)

添字 (SS) は、SS 負荷量であることを示す

表-3 パラメーター一覧

河川	項目	a	n
伊佐々川 [k=0.032 h=0.083	SS	0.008	1.332
	COD	0.004	1.136
	T-N	0.012	0.834
	T-P	0.0001	1.271
山科川 [k=0.003 h=0.112	SS	0.0004	1.646
	COD	0.009	1.087
	T-N	0.024	0.811
	T-P	0.0001	1.206

ただし、流出期毎に d_i, r_i の値が異なるため、L_(SS) には増加期, ピーク期, 減少期の各流出期の別を定めておく必要がある。ここでは簡単のため、(7), (8) 式のように一降雨積算流出負荷量を各流出期で等分するものとした。

(ピーク流量) ≥ (基準流量) の場合:

$$L_{u(SS)}/A = L_{p(SS)}/A = L_{d(SS)}/A = \frac{1}{3} \cdot L_{(SS)}/A \quad (7)$$

(ピーク流量) < (基準流量) の場合:

$$L_{u(SS)}/A = L_{d(SS)}/A = \frac{1}{2} \cdot L_{(SS)}/A \quad (8)$$

ここに、添字 u, p, d は、それぞれ増加期, ピーク期, 減少期における流出成分であることを示す

4. 雨水滞水池による汚濁物流出抑制効果

4.1 年間汚濁物流出負荷量の削減効果

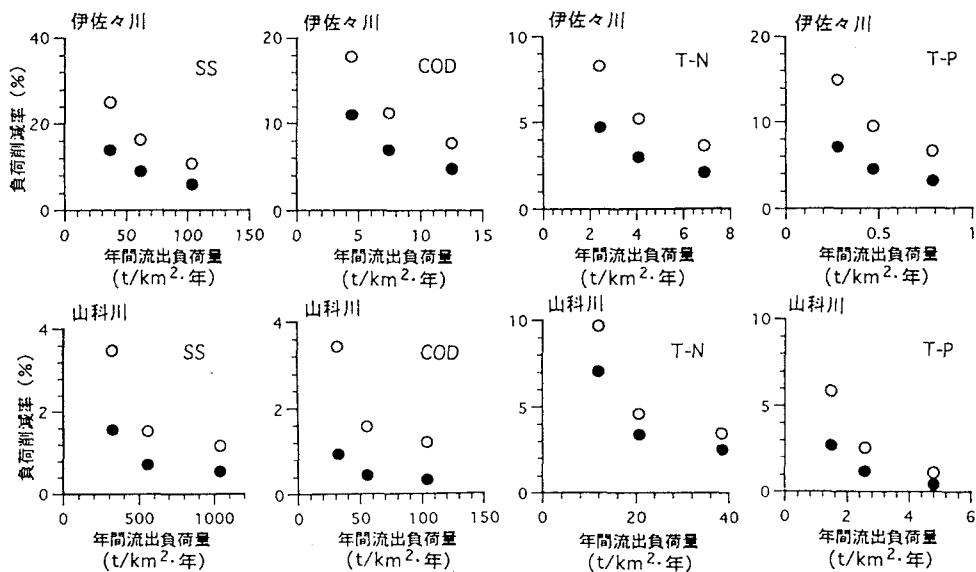
降雨時の初期流出成分を一時貯留し、懸濁物を沈降させた場合の年間流出負荷量の削減効果について検討するため、京都地方気象台で観測された1980年代の降水量のうち、それぞれ出水年, 渇水年, 平水年とみなすことができる1980, 1984, 1988年の3か年の降水量系列を用いて、(1) ~ (8) 式によってシミュレーションを行った。ここでは、滞水池容量は、河川毎に調査降雨の流出率から算定してほぼ降雨量10mmに相当する大きさ (伊佐々川 5,000m³, 山科川 80,000m³) とした。また、降水量の時系列データは12時間ステップで入力し、雨水滞水池からの処理水は貯留後12時間で河川へ放流するものとした。貯留した降雨時流出成分のうち、粒径 74μm以上および 25μm以上の粒子が沈降除去されると仮定した場合のシミュレーション結果を表-4に示す。両河川の流域特性が異なるため、年間流出負荷量に流域差があるが、流出負荷削減率でも両河川の違いが明瞭である。山科川で、特に T-Nの負荷削減率が他の水質指標に比べて高いのは、増加期およびピーク期に74~2,000μmの粗い粒径区分で含有率が高かったからである。表-4のうち年間流出負荷量と流出負荷削減率の関係を図-4に示す。1年間で処理できる汚濁負荷量に限りがあるため、いずれのグラフも横軸方向に漸近する。年間流出負荷量の大小による負荷削減率の違いが、沈降粒径が 74μm以上の場合に比べて 25μmの場合の方が、大きく現れていることから、効率的な流出負荷の削減のためには、流域の汚濁ポテンシャル等を滞水池の容量や貯留時間といった設計・運転条件に考慮することが重要であることが分かる。

表－４ 年間流出負荷量*の削減効果

河川	項目	1980年(年降水量:2028mm)		1984年(年降水量:1158mm)		1988年(年降水量:1432mm)	
		年間流出負荷量 [*] t/km ² ・年	負荷削減率 % x≥74 x≥25	年間流出負荷量 [*] t/km ² ・年	負荷削減率 % x≥74 x≥25	年間流出負荷量 [*] t/km ² ・年	負荷削減率 % x≥74 x≥25
伊佐々川	SS	103.61	5.95 10.68	36.57	13.87 25.00	61.48	9.01 16.23
	COD	12.52	4.80 7.75	4.42	11.06 17.82	7.43	6.97 11.25
	T-N	6.89	2.08 3.60	2.43	4.71 8.27	4.09	2.99 5.20
	T-P	0.79	3.16 6.55	0.28	7.15 14.93	0.47	4.55 9.47
山科川	SS	1038.73	0.55 1.17	321.72	0.57 3.48	557.01	0.72 1.53
	COD	103.94	0.33 1.20	32.19	0.94 3.42	55.74	0.44 1.57
	T-N	38.44	2.53 3.46	11.91	7.06 9.68	20.62	3.40 4.61
	T-P	4.79	0.46 1.12	1.48	2.72 5.87	2.57	1.20 2.56

*：晴天時分を差し引いた降雨時流出負荷量の年間値

x：沈降粒径(μm)



図－４ 年間流出負荷と負荷削減効果の関係
(上段：伊佐々川 下段：山科川)

○ 対象粒径25μm以上
● 対象粒径74μm以上

4.2 流出ピークの抑制効果

雨水滞水池に降雨時流出成分を貯留することにより、流出負荷量の削減だけでなく、汚濁物流出が流出ピークへ集中するのを緩和し、流出負荷を時間的に分散させる効果が期待できる。ここでは、滞水池を設けることで、年間流出負荷量の変動がどの程度遅減されるのかをみるため、降雨時負荷量と降雨時水質について年間変動の標準偏差を算出して、その変化を表－５にまとめた。これにより、滞水池の無い場合に比べて、有る場合の標準偏差が低くなるほど、流出ピークの抑制効果があると判断できる。滞水池内では負荷量の一部が沈降除去されて、処理水は全て時間遅れで後から河川へ戻されるため、流出する時間帯が変わるだけで流出量自体に変化のない流量で最も流出ピークの抑制効果が低くなり、滞水池からの処理水の放流時間に希釈作用が起こる水質で最も抑制効果が高くなる結果となった。水質指標では、両河川とも T-P で最も流出ピーク抑制効果が高いが、年降水量の大小による傾向は明瞭ではなく、降雨パターンによる影響があるものと思われる。

5. おわりに

本研究では、懸濁性汚濁物の粒度分布と粒径区分別汚濁物含有率を用いた年間流出シミュレーションを行い、初期流出成分を雨水滞水池に一時貯留することによる流出負荷抑制効果について検討した。その結果、年間流出負荷量の削減率と流出ピークの抑制効果が明らかとなった。今後はさらに算定手法に改良を加え、滞水池の大きさや運転状況もシナリオに組み込んだシミュレーションを行うことにより、具体的な施策に反映させていきたいと考えている。

なお、本研究の一部は、平成3～5年度滋賀県琵琶湖研究所委託研究「都市域の非特定汚濁負荷削減に関する研究」として実施されたものである。また、調査を行うにあたり環境計画研究室の大学院生、卒業研究生の協力を得たことを記し謝意を表する。

<参考文献>

- 1) Yamada, K., Ichiki, A. and Yoshitomi, M. (1991) Transition of Pollute-runoff from Small River Basin in Urban Area on Sewering, International Conference on Integrated Stormwater Management, Singapore, pp. 56-65
- 2) 市木敦之, 山田淳 (1993) 粒度特性を考慮した非特定汚濁物の流出管理に関する研究—雨水滞水池を例として—, 環境システム研究, Vol. 21, pp. 436-444
- 3) 海老瀬潜一 (1984) 降雨時流出負荷量の算定モデル, 国立公害研究所研究報告, Vol. 50, pp. 59-88

表-5 雨水滞水池による
流出ピークの抑制効果

項目	1980年		1984年		1988年	
	年降水量		2028mm		1158mm	
	L : C		L : C		L : C	
伊	流量	—	—	△	—	—
佐	SS	—	○	—	○	○
々	COD	○	○	○	○	○
川	T-N	○	○	○	○	○
	T-P	○	○	○	○	○
山	流量	△	△	△	△	△
科	SS	△	○	○	○	○
川	COD	△	△	△	△	△
	T-N	△	△	△	△	△
	T-P	△	△	△	△	△

上段 : 74 μ m以上沈降除去

下段 : 25 μ m以上沈降除去

L 負荷量, C 水質

標準偏差の減少量

◎ : 50%以上, ○ : 10%~50%,

△ : 1~10%, — : 1%未満