

(63) 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

—雨水滯水池を例として—

STUDY TO CONTROL POLLUTANT RUNOFF CONSIDERING ITS GRAIN SIZE

市木敦之*, 山田 淳**

Atsushi ICHIKI*, Kiyoshi YAMADA**

ABSTRACT ; The objectives of this study are to survey the characteristics of pollutant runoff and its grain size during a storm event and to examine the effect of a detention pond to control pollutant runoff from urban areas. The results of surveys showed that the large size of grains are discharged from urban areas in proportion to the rise of water level and that the small size of grains are discharged from natural areas in proportion to its decline. They also showed the content rate of pollutants in each size class of runoff grains. And the effect of a detention pond, to store the runoff elements in the first-flush by storm and to sediment solid pollutants, was examined using the content rate. As a result, some available knowledge, which were concerned with the management of nonpoint sources, were obtained.

KEYWORDS ; urban river basin, control of pollutant runoff, characteristics of grain size, content rate of pollutants, detention pond

1. はじめに

都市域では、様々な都市活動の活発化にともなって汚濁物の発生量が増大してきている。これらの汚濁物は、都市の陸域、水域において主として降雨による水理的条件の変化によって流出と堆積を繰り返すなかで存在しており、ノンポイントソースとして、あるいはポイントソース由来の二次的な汚濁源として地域的に偏在している¹⁾。こうした汚濁物の公共用水域への降雨時流出量が年間総流出量に対してかなり大きな比率を占めていることは、既にいくつかの報告²⁾で示されているが、下水道システムを始めとする現行の環境管理策は、これらの降雨時流出に充分対処できているとはいえない。逆にこうした排水システムの整備は、都市化にともなう不浸透面積の拡大等と相まって、洪水到達時間を短縮させ、汚濁物をファーストフラッシュとして出水初期に集中的に流出させつつある³⁾。降雨時の流出負荷のほとんどが懸濁性である⁴⁾ことはよく知られており、工学的な手法で溶解成分の流出を制御するのは技術的にも困難で費用的にも莫大なものになることが予想されるため、ここで懸濁成分の流出をどの程度制御できるのかを調べ、その結果として懸濁性、溶解性を併せたトータル物質の流出をいくら抑制できるのかを検討しておくことは重要である。本研究では、降雨時の出水初期に集中して流出する汚濁物を、雨水滯水池で一時的貯留して懸濁成分を沈降除去する方策を考え、沈降を支配する懸濁性物質の粒度特性の把握に重点をおいた降雨時の汚濁物流出調査を実施した結果を用いて、雨水滯水池による流出負荷削減率の推定を試みた。

* 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 Engineering, Ritsumeikan Univ.

2. 流域と調査の概要

2.1 流域の概要

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、伊佐々川と山科川である。対象とした集水域の概要と特性を図-1、表-1にそれぞれ示す。伊佐々川は琵琶湖へ東岸から流入しており、山科川は京都市東部に位置している。伊佐々川は、近年流域の都市化が著しく、上流部が山地と田畑、中流部が住宅地となっており、下流で滋賀県草津市の中心部を流れている。一方山科川では、流域の都市化がほぼ完了しており、上流部が山地、その他の地域では住居地域を主体に工業地域や田畑が混在している。下水道の排除方式は、両河川とも分流式である。

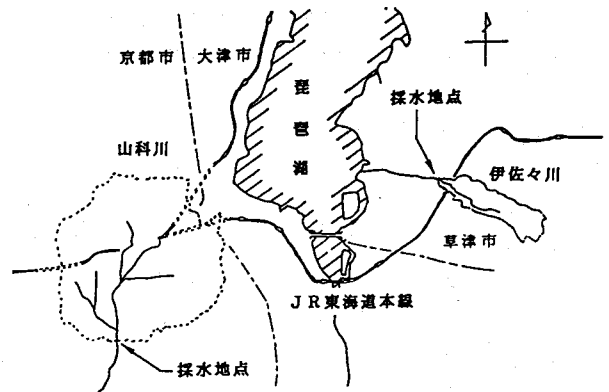


図-1 調査対象流域

表-1 調査対象流域の概要 (1990年現在)

河川	集水域 km ²	土地利用 %				流入 千人	城口 %	下水道 率 %	下 排 方	水 除 式
		山緑地	住居地	工業地	商業地					
伊佐々川	3.93	65.3	13.4	13.1	8.2	9.0	65.4	分流式		
山科川	32.21	65.6	28.6	3.2	2.6	141.6	90.3	分流式		

下水道整備率：市街地における面積整備率

2.2 調査の概要

本研究で用いたデータは、両河川で1989年から1992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。調査は、図-1に示した採水地点に転倒マス型自記雨量計とストレイ

表-2 調査結果の概要

降雨 番号	調査期日	平日 休日	先行晴 天日数 (day)*	先行降 雨量 (mm)**	降雨量 (mm)	降雨継 続時間 (hrs)	流出率 ***	降雨影 響時間 (hrs)	平均 流量 (m ³ /s)	平均水質 (mg/l)				
										SS	SS ₅₀₀	COD	T-N	T-P
Ic1-1	92/10/24	平日	9	26.0	7.5	6.0	0.189	10.0	0.51	11.4	10.1	4.56	1.32	0.114
Ic1-2	92/10/30	平日	15	8.0	3.0	1.0	0.007	4.0	0.43	28.9	24.1	3.25	1.00	0.050
Ic1-3	92/11/1	休日	16	7.0	2.0	6.0	0.317	4.5	0.44	14.8	13.7	7.38	2.92	0.191
Ic1-5	92/11/6	平日	22	4.0	7.0	11.1	0.106	16.5	0.37	18.3	17.2	4.50	2.15	0.053
Ic1-6	92/11/9	平日	25	12.0	9.0	7.0	0.157	17.0	0.44	29.8	27.0	5.58	1.42	0.127
Ic1-7	92/11/10	平日	26	12.0	0.5	1.0	0.012	4.0	0.41	7.9	6.9	4.00	1.24	0.049
Ic1-8	92/11/20	平日	9	14.0	18.0	9.6	0.228	24.0	0.74	141.0	132.1	5.72	1.74	0.128
Y-1	89/8/30	平日	2	99.0	31.5	11.0	0.346	22.8	8.24	115.0	105.1	4.04	1.38	0.039
Y-2	89/9/28	平日	5	107.0	16.5	4.5	0.233	5.8	7.35	51.5	47.1	4.98	1.53	0.173
Y-3	89/11/9	平日	23	5.0	9.0	1.5	0.095	23.8	1.69	203.1	182.2	2.94	1.23	0.066
Y-4	90/5/31	平日	12	0.0	5.0	45.6	0.231	46.3	1.43	8.9	6.6	3.69	1.99	0.082
Y-5	90/7/7	平日	3	89.0	7.0	2.0	0.284	5.0	4.90	89.5	87.6	2.79	1.91	0.038
Y-6	90/9/3	平日	38	0.0	14.0	0.7	0.218	5.0	7.12	745.7	664.9	11.72	2.35	0.403
Yc1-1	91/6/19	平日	2	60.5	12.0	22.3	0.392	43.5	2.55	16.8	13.5	5.18	1.60	0.051
Yc1-2	91/6/22	平日			8.0	5.3	0.285							
Yc1-4	91/6/23	休日	1	70.5	2.0	1.2	0.322	73.2	3.42	7.4	6.2			
Yc1-7	91/9/8	休日	41	12.0	11.0	2.2	0.233	6.7	4.76	522.7	472.3	16.13	7.07	0.901
Yc2-1	92/9/14	平日	20	0.0	4.5	19.0	0.356	25.0	1.65	5.0	3.9	4.79	3.89	0.049
Yc2-2	92/9/25	平日	31	0.5	22.0	5.8	0.128	10.2	4.04	182.5	140.0	7.75	7.97	0.217
Yc2-3	92/9/29	平日	3	22.0	10.0	1.8	0.091	7.0	3.42	231.9	199.3	5.39	5.99	0.057
Yc2-4	92/9/29	平日	3	22.0	33.5	9.5	0.206	18.0	5.24	178.1	136.1			
Yc2-5	92/10/1	平日	1	78.0	12.5	5.0	0.086	9.0	2.72	29.6	23.6			

* 10mm/day以上の降雨日からの日数, ** 先行10日間の降雨量, *** (晴天時分を差し引いた積算比流出量 mm) / (総降雨量 mm)
降雨Ic1-1~Ic1-8および降雨Yc2-1~Yc2-5の平均水質欄：下段は溶解性、他は(懸濁性)+(溶解性)

ンゲージをセンサーとする自記水位計ならびに自動採水装置 (ISCO-2700 使用) を設置し、連続的に記録、採水を行うとともに、降雨時には浮子流速を観測した。そして、降雨開始後流量に降雨時流出の影響が現れ始めた時点から降雨終了後平常の流量に戻るまでの間の直接流出量を、降雨時流出量とした。降雨量は、10分間隔の降雨強度として整理し、流量は、別途行った採水地点の横断面測量と浮子流速による実測流量 Q を、当該水位 H の 2 次式として近似した $H-Q$ 式を降雨毎に作成し、これに 10 分間隔で観測した水位を代入することにより算定した。採水間隔は、流出前半の流量、水質急変時では 10 分とし、流出後半の流量減速期では水位の下降に合わせて適宜 10 分～ 1 時間とした。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を分析した。水質の分析項目は、SS, SS_{500} (500 μm ふるい通過試料についての 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。懸濁性物質の粒度分布は、500 μm ふるい通過試料についてレーザー回折法 (島津SALD-1000 使用) で測定し、この結果と SS, SS_{500} 分析値から粒径 2,000 μm 以下の粒度分布を求め 3.2 (B) 以降の解析で使用した。調査結果の概要を表-2 に示す。調査した降雨は、伊佐々川で 7 降雨 (降雨番号 Ic1-1~Ic1-3, Ic1-5~Ic1-8)、山科川で 16 降雨 (降雨番号 Y-1~Y-7, Yc1-1~Yc1-4, Yc2-1~Yc2-5) であったが、降雨 Yc1-2~Yc1-4 の 3 降雨は短期間に連続したもので、ここでは 1 降雨とみなして取り扱った。

3. 降雨時河川水の水質変化と懸濁性物質の粒度特性

3.1 汚濁物の流出パターン

汚濁物の流出挙動は降雨の規模や降雨強度によって異なる。河川への流出負荷量は、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と考えられるので、本研究では、図-2 のように基準流量 (伊佐々川: $0.85\text{m}^3/\text{s}$, 山科川: $7.00\text{m}^3/\text{s}$) 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」に区分した。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。対象河川における平均的な降雨時流出パターンを調べるため、各流出期における流出流量と負荷量の積算値から平均水質を求め、表-3 に示した。流量や COD, T-N, T-P の平均値は、山科川の方が伊佐々川よりかなり大きいものに対して、SS ではピーク期を除いて差がない。一般に単一出水については流量と水質、または流量と負荷量の連続的な測定値はループ特性を有し、ファーストフラッシュが顕著であるほど明瞭な時計まわりのループを描くとされているが、ここでは、両河川とも平均水質では流量増加期と減少期にほとんど差がなくなってしまう。これは、図-3 に示すように、時計まわりのループと反時計まわりのループがグラフ上で散らばったために、ループ特性が不明瞭になったものと思われる。

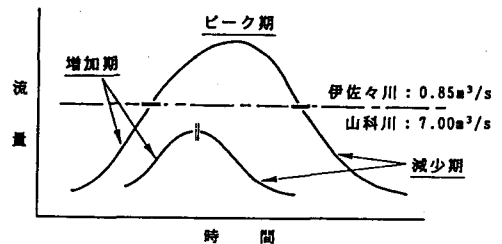


図-2 流出期の区分

表-3 流出期別平均水質

河川	流出期区分	平均流量 (m^3/s)	平均水質 (mg/l)			
			SS	COD	T-N	T-P
伊佐々川	増加期	0.47	29.1	6.07	1.64	0.165
	ピーク期	1.13	241.5	15.39	2.46	0.608
	減少期	0.45	26.9	6.06	1.94	0.158
山科川	増加期	4.91	28.7	8.41	4.27	0.417
	ピーク期	23.71	312.0	35.48	14.33	1.318
	減少期	4.85	31.6	8.93	5.05	0.420

増加期: 伊佐々川 流量 $< 0.85\text{m}^3/\text{s}$, 山科川 流量 $< 7.00\text{m}^3/\text{s}$
 ピーク期: 伊佐々川 流量 $\geq 0.85\text{m}^3/\text{s}$, 山科川 流量 $\geq 7.00\text{m}^3/\text{s}$
 減少期: 伊佐々川 流量 $< 0.85\text{m}^3/\text{s}$, 山科川 流量 $< 7.00\text{m}^3/\text{s}$

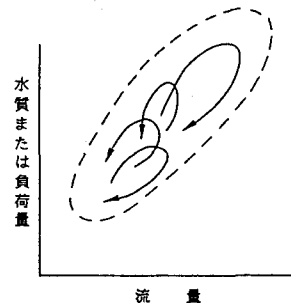


図-3 ループ特性の概念

3.2 懸濁性物質の粒度特性

(A) 流量、水質および粒度のループ特性

降雨によって流出する懸濁性物質粒度の経時変動特性をみるため、伊佐々川では降雨 Ic1-6と降雨 Ic1-8、山科川では降雨 Y-1と降雨 Y-6について、流量と SS_{500} の経時変化を図-4に、 $500\mu\text{m}$ ふるい通過試料についての50%加積粒径 D_{50} と SS_{500} の経時変化を図-5にそれぞれ示す。両図とも時間経過の方向を矢印で添えた。図-4では、降雨Ic1-8とY-6がファーストフラッシュ特有の時計まわりのループ特性を示すのに対して、降雨Ic1-6とY-1では逆に反時計回りのループを描いており、降雨特性による差が認められる。しかし、図-5ではどの降雨も反時計まわりのループを描いている。これは、ファーストフラッシュの有無に関わらず、流量増加時に比較的大きな粒子が流出し、減少時には小さな粒子が卓越することを表しており、大きな粒子については「有限供給源」であり、小さな粒子については「無限供給源」であることを意味している。このことは、微細粒子に含まれた汚濁物が降雨初期に流出してくるとされる従来の考え方とは異なっていることを示している。他の降雨についても、同様の傾向が特に規模の大きな降雨に対する出水について明瞭に認められたが、小さな降雨では粒度の経時的な変化が小さいため明瞭ではなかった。

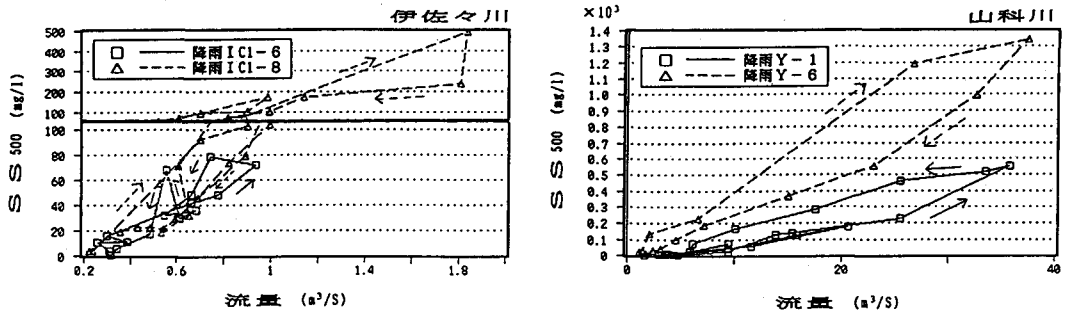


図-4 流量とSS500の関係(左:降雨 Ic1-6, Ic1-8 右:降雨 Y-1, Y-6)

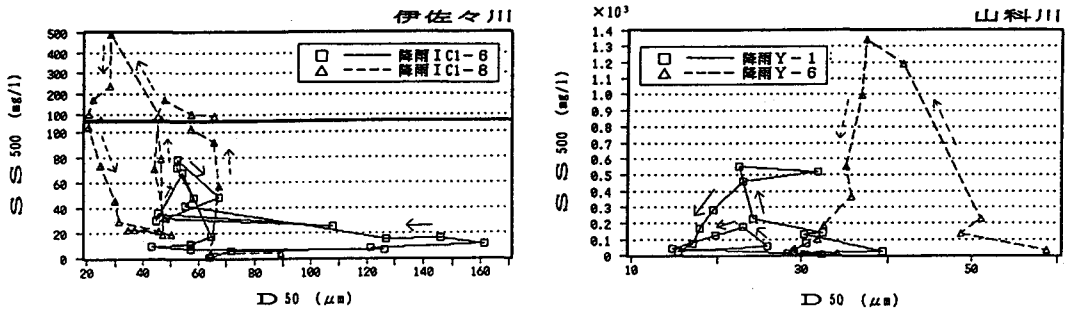


図-5 D_{50} とSS500の関係(左:降雨 Ic1-6, Ic1-8 右:降雨 Y-1, Y-6)

(B) 分散分析による流出期別粒度特性の検定

環境堆積物は、降雨による水理条件の変化にตอบสนองしてその粒度に応じて流出している、すなわち流出する懸濁性物質粒度は、流量の大小や流量の増加、減少によって支配されていると考えられる。これらの影響要因とその影響度を明らかにするために、ここでは、粒径を $1\sim 25\mu\text{m}$ 、 $25\sim 74\mu\text{m}$ 、 $74\sim 2,000\mu\text{m}$ に3区分し、その構成比率(%)、および、SS、 SS_{500} の分析値と粒度分布の測定結果から算出した各粒径区分別SS (mg/l)について、流量の大小と増減を要因とする2元配置の分散分析を行った。分析結果をまとめて表-4に示す。「流量の大小」は、基準流量(伊佐々川: $0.85\text{m}^3/\text{s}$ 、山科川: $7.00\text{m}^3/\text{s}$)によって2水準、「増減」は流量

変動より増加期、減少期の2水準に区分して検討した。「流量の大小」の効果は、各粒径区分のSSにおいて顕著なのは当然であるが、重量構成比率に対しても顕著な効果が現れており、大きな掃流力を要する大粒径粒子が、それに応じた流量で流出してきていることを示している。「流量の増減」については、都市化の程度が高い山科川の重量構成比率において、前述の粒度に関するループ特性が顕著に現れており、粒径区分別SSにおいても増加期と減少期に有意差が認められる結果となった。なお、両河川の重量構成比率において、粒径1~25 μm および74~2,000 μm の区分での有意水準に対して、粒径25~74 μm の区分の有意水準が比較的低いのは、1~25 μm と74~2,000 μm の粒径区分の粒子が互いに補完関係にあるからである。

(C) 懸濁性物質の粒径区分別流出パターン

3.1 で区分した各流出期において、それぞれの粒径区分でどの程度の量の懸濁性物質が流出しているのかを調べるため、粒径区分における粒径区分別SSについて、3.1と同様に各流出期における流出流量と負荷量の積算値から平均水質を求め、表-5に示した。両河川とも、前述のように複数の降雨による水質変動を扱っていることから、増加期と減少期の差は大きくはないが、分散分析結果に現れたように、増加期に粗い粒径区分のSSが高く、減少期に微細な粒径区分のSSが高くなる現象が示されている。両河川におけるピーク期のSSは、粒径1~25 μm の微細な区分で差がないのに対して、粗い粒径区分になるほど差が大きくなることから、都市化の進展にともなって、有限供給型の環境堆積物は増加し、山地等からの無限供給型負荷は相対的に減少すると考えられる。こうした有限供給型の粒径の粗い粒子が出水初期に流出してくることは、初期流出成分を一時貯留して粗い粒子を沈降除去する手法が、都市域における降雨時流出管理策として効果的であるということを示唆している。

各流出期毎の粒径加積曲線を図-6に示す。ここでも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が、いずれもSSの80%程度が粒径100 μm 以下であることを示している。京都市内の路面堆積物に関する調査結果から、路面堆積物の中で粒径74 μm 以下の加積百分率は10~30%程度であるとの報告⁵⁾が行われているが、それと比較すると、河川へ流出してくる懸濁性物質は、かなり細かい粒子であることが分かる。

3.3 粒径区分別の汚濁物含有特性

汚濁物の粒径別含有特性を調べるため、降雨Ic1-1~Ic1-8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 μm のろ紙および、25 μm と74 μm 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表-6に示す。区分別SSを粒度分布

表-4 分散分析による流出期別粒度特性の検定

河川	項目	流量	増減	交互	
伊佐々川	重量構成比率	1~25 μm	◎	△	
		25~74 μm	○		
		74~2,000 μm	◎		
	粒径区分別SS	1~25 μm	◎	◎	
		25~74 μm	◎	◎	
		74~2,000 μm	◎		
山科川	重量構成比率	1~25 μm	◎	○	
		25~74 μm	◎		
		74~2,000 μm	◎	◎	
	粒径区分別SS	1~25 μm	◎	◎	○
		25~74 μm	◎	○	
		74~2,000 μm	◎	○	△

有意水準 ◎: 1%有意, ○: 5%有意, △: 10%有意
重量構成比率(%), 粒径区分別SS (mg/l)
流量: 2水準 {伊佐々川 < 0.85 m^3/s , \geq 0.85 m^3/s
山科川 < 7.00 m^3/s , \geq 7.00 m^3/s }
増減: 2水準 (流量増加期, 流量減少期)
交互: 「流量」と「増減」の交互作用

表-5 粒径区分別SS平均水質

河川	流出期区分	平均流量 (m ³ /s)	SS平均水質 (mg/l)		
			1~25 μm	25~74 μm	74~2,000 μm
伊佐々川	増加期	0.47	5.2	10.3	13.7
	ピーク期	1.13	96.0	102.1	43.4
	減少期	0.45	6.4	9.8	10.8
山科川	増加期	4.91	7.8	11.2	9.7
	ピーク期	23.71	96.8	125.4	89.7
	減少期	4.85	10.0	12.6	9.0

増加期: 伊佐々川 流量 < 0.85 m^3/s , 山科川 流量 < 7.00 m^3/s
ピーク期: 伊佐々川 流量 \geq 0.85 m^3/s , 山科川 流量 \geq 7.00 m^3/s
減少期: 伊佐々川 流量 < 0.85 m^3/s , 山科川 流量 < 7.00 m^3/s

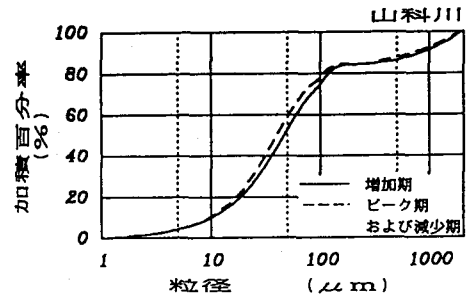
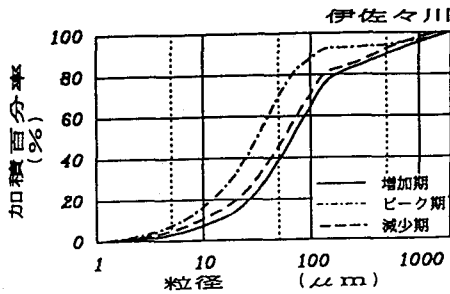


図-6 懸濁性物質の粒径加積曲線 (左: 伊佐々川 右: 山科川)

から求めたため、正確さにやや欠けるが、両河川ともピーク期では COD含有率が小さく、無機成分が卓越していることを示している。また、減少期にはいずれの指標も1~25μmの微細な粒径区分で含有率が高いことから、流出後期まで高濃度の負荷流出が継続するのは、こうした汚濁物が付着した微細粒子が流出しているためであることが分かる。

表-6の含有率と粒径区分別SS値を用いた、各降雨における水質の推定値を(1)式で与え、実測値との関係を図-7(1),(2)に示す。

$$C = C_s + \sum (r_i \cdot SS_i / 100) \quad (1)$$

ここに、C: 推定水質濃度 (mg/l)

C_s : 実測溶解成分濃度 (mg/l)

r_i : 粒径区分*i*における汚濁物含有率 (%) (表-6)

SS_i : 粒径区分*i*における実測SS濃度 (mg/l)

図には、実測値と推定値の相対誤差 (= |推定値-実測値| / 実測値 × 100%) の平均値を併せて示している。いずれの河川でも、相対誤差では差は大きくないが、比較的懸濁成分比率の高いCODとT-Pで推定精度が高い。T-Nは、伊佐々川では減少期、山科川ではピーク期の推定精度がそれぞれ他の流出期に比べて悪く、いずれも高濃度側に推定されている。T-N濃度は、SSほど流量増加に追随しないため、高濃度での誤差が大きい。

4. 一時貯留による汚濁物流出の抑制効果

汚濁物の流出管理手法として、雨水滞水池に初期流出成分を一時貯留し、懸濁物を沈降させた場合の流出負荷の削減効果について検討する。ここでは、河川毎に調査降雨の流出率から算定して降雨量

表-6 粒径区分別汚濁物含有率 (降雨Ic1-1~Ic1-8, 降雨Yc2-1~Yc2-5)

河川	流出期区分	水質項目	SS 平均水質 (mg/l)			懸濁分 平均値 (mg/l)	溶解分 平均値 (mg/l)
			汚濁物含有率 (%)				
			1~25 μm	25~74 μm	74~ 2,000 μm		
伊佐々川	増加期	SS	7.0	13.1	16.5	-	-
		COD	7.67	8.08	10.21	3.28	3.56
		T-N T-P	4.19 0.11	2.91 0.64	1.34 0.45	0.90 0.17	1.09 0.05
	ピーク期	SS	97.4	97.6	32.8	-	-
		COD	2.34	4.96	6.78	9.34	5.11
		T-N T-P	0.03 0.12	0.40 0.18	1.43 0.65	0.89 0.50	1.46 0.05
	減少期	SS	5.1	7.4	7.6	-	-
		COD	26.83	7.67	7.66	2.51	3.87
		T-N T-P	6.28 1.02	1.00 0.52	4.84 0.42	0.76 0.12	1.62 0.06
山科川	増加期	SS	8.9	16.6	16.6	-	-
		COD	26.22	17.23	5.58	6.12	3.94
		T-N T-P	0.84 0.71	5.59 0.94	12.08 0.88	3.01 0.37	6.36 0.06
	ピーク期	SS	62.3	104.4	81.9	-	-
		COD	10.23	7.73	7.22	20.36	5.38
		T-N T-P	3.21 0.54	1.43 0.48	10.65 0.94	12.21 1.60	6.11 0.07
	減少期	SS	16.6	26.8	24.3	-	-
		COD	20.27	11.30	2.97	7.10	4.33
		T-N T-P	17.47 0.90	5.28 0.86	3.29 0.59	5.11 0.52	6.33 0.06

流出期区分は表-3と同じ

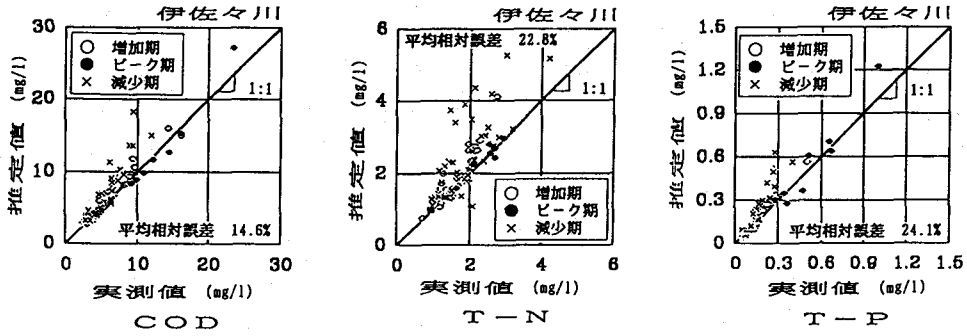


図-7 (1) 実測水質と(1)式による推定水質の関係
(伊佐々川：降雨Ic1-1~Ic1-8)

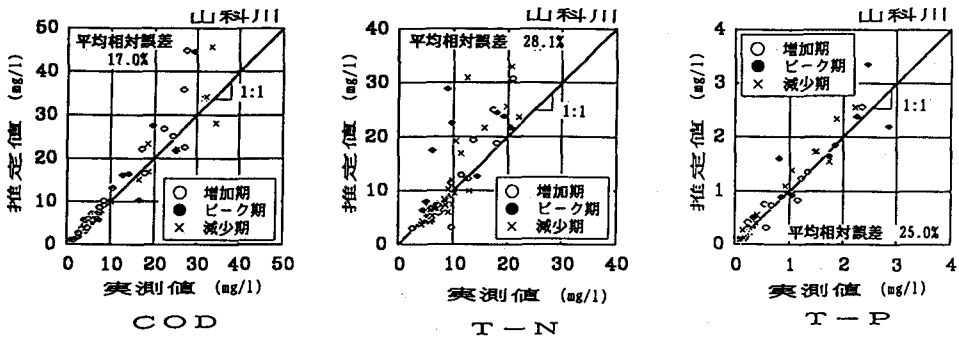


図-7 (2) 実測水質と(1)式による推定水質の関係
(山科川：降雨Yc2-1~Yc2-5)

5mmにほぼ相当する滞水池容量 (RUN-1: 伊佐々川 2,500m³, 山科川 40,000m³) と降雨量10mmにほぼ相当する滞水池容量 (RUN-2: 伊佐々川 5,000m³, 山科川 80,000m³) を設定した。各粒子の汚濁物含有率は表-6の値を用いるとして、貯留した降雨時流出成分のうち、粒径 74μm以上の粒子が沈降除去されると仮定した場合の各降雨に対する流出負荷の削減率を、水質項目毎に(2)式~(4)式により算定して表-7(1)に示す。また、粒径 25μm以上の粒子が沈降除去されると仮定した場合の削減率についても、同様に算定して表-7(2)に示す。ここで、粒子は球形でストークスの法則にしたがって沈降するものとする、懸濁成分の比重が下水中でみられる1.3~2.7程度⁶⁾で水温10℃の場合、その沈降速度は粒径 74μmの粒子で 0.68~3.9mm/s, 粒径 25μmの粒子で 0.078~0.44mm/sとなる。したがって、有効水深を 3~4mとして、貯留時間を半日程度とれば沈降除去は十分可能であるといえる。ただし、先行晴天日数の著しく多い降雨Y-6と降雨Y-7および分析サンプル数が水質の経時変動を再現するのに充分でない降雨Yc2-3については、計算しなかった。

(有効降雨量) ≥ (雨水滞水池容量) の場合：

$$L_r = \int_0^t \sum (r_i \cdot S S_i / 100) \cdot Q_{net} dt / 1000 \quad (2)$$

(有効降雨量) < (雨水滞水池容量) の場合：

$$L_r = \int_0^T \sum (r_i \cdot S S_i / 100) \cdot Q_{net} dt / 1000 \quad (3)$$

$$R = L_r / L_{gross} \times 100 \quad (4)$$

ここに、 L_r : 流出負荷削減量 (kg)

r_i : 粒径区分 i における汚濁物含有率 (%) (表-6)

SS_i : 粒径区分 i における実測SS濃度 (mg/l)

Q_{net} : 晴天時分を差し引いた流量の降雨時流出成分 (m^3/s)

R : 流出負荷削減率 (%)

L_{gross} : 一降雨の積算流出負荷量 (kg)

t : 流量に降雨時流出の影響が現れてから雨水滞水池への積算流入流量が滞水池容量となるまでの経過時間 (sec)

T : 流量に降雨時流出の影響が現れてから降雨時流出が終了するまでの経過時間 (sec)

表-7 (1) 初期貯留池による流出負荷削減率の推定 (沈降粒径 $\geq 74 \mu m$)

降雨 番号	総流出量 ($\times 10^4 m^3$)	RUN-1								RUN-2							
		貯留量 ($\times 10^4 m^3$)	貯留率 (%)*	流出負荷削減率 (%)				貯留量 ($\times 10^4 m^3$)	貯留率 (%)*	流出負荷削減率 (%)							
				SS	COD	T-N	T-P			SS	COD	T-N	T-P				
Ic1-1	1.84	0.25	13.59	10.38	2.66	1.21	4.63	0.50	27.02	15.72	3.83	2.77	6.93				
Ic1-2	0.62	0.14	22.85	19.94	5.98	9.52	12.61	0.14	22.85	19.94	5.98	9.52	12.61				
Ic1-3	0.72	0.19	27.25	28.51	6.00	13.33	14.04	0.20	27.25	28.51	6.00	13.33	14.04				
Ic1-5	2.20	0.25	11.19	15.07	4.14	5.72	9.24	0.30	13.57	16.85	4.58	6.63	10.31				
Ic1-6	2.71	0.25	9.34	5.30	2.88	1.82	4.50	0.50	18.41	14.70	7.07	9.18	12.20				
Ic1-7	0.59	0.10	16.57	9.74	1.80	1.32	4.00	0.10	16.57	9.74	1.80	1.32	4.00				
Ic1-8	6.35	0.25	4.05	1.40	1.54	1.15	2.49	0.50	7.92	3.28	3.06	2.76	6.75				
Y-1	67.52	4.00	5.94	0.36	0.05	0.09	0.54	8.00	11.82	0.97	0.29	0.69	2.07				
Y-2	15.44	4.00	25.91	14.98	3.97	12.24	14.52	6.83	44.25	21.28	5.54	16.99	20.39				
Y-3	14.52	1.32	9.09	9.05	2.61	12.65	6.03	1.32	9.09	9.05	2.61	12.65	6.03				
Y-4	23.81	4.00	16.80	6.90	0.26	0.38	0.76	4.99	20.95	10.00	0.34	0.45	1.03				
Y-5	8.82	4.00	45.13	15.69	6.73	42.65	10.97	4.48	50.82	16.11	6.81	43.04	11.16				
Yc1-1	39.98	4.00	10.11	4.39	0.64	3.87	3.01	8.00	19.42	6.71	0.98	5.00	5.03				
Yc1-2	90.21	4.00	4.29	4.91	0.28	1.23	1.21	8.00	9.00	6.31	0.35	1.50	1.53				
Yc1-4	14.85	3.21	21.64	10.67	0.51	0.66	2.03	3.21	21.64	10.67	0.51	0.66	2.03				
Yc2-1	14.77	4.00	26.92	14.16	6.41	14.01	15.23	8.00	54.08	23.52	10.23	21.58	24.60				
Yc2-4	33.97	4.00	13.74	7.25	5.76	19.47	13.44	8.00	23.20	15.32	12.20	41.14	28.42				
Yc2-5	8.81	4.00	45.13	23.64	2.94	3.72	20.06	4.62	52.46	24.74	3.06	3.86	20.94				

RUN-1: 貯留容量 (伊佐々川) = 2,500 m^3 , (山科川) = 40,000 m^3

RUN-2: 貯留容量 (伊佐々川) = 5,000 m^3 , (山科川) = 80,000 m^3

* (貯留率) = (貯留流量) / (総流出流量) $\times 100$ %

表-7 (2) 初期貯留池による流出負荷削減率の推定 (沈降粒径 $\geq 25 \mu m$)

降雨 番号	総流出量 ($\times 10^4 m^3$)	RUN-1								RUN-2							
		貯留量 ($\times 10^4 m^3$)	貯留率 (%)*	流出負荷削減率 (%)				貯留量 ($\times 10^4 m^3$)	貯留率 (%)*	流出負荷削減率 (%)							
				SS	COD	T-N	T-P			SS	COD	T-N	T-P				
Ic1-1	1.84	0.25	13.59	20.76	4.76	3.83	11.27	0.50	27.02	30.65	6.82	6.13	16.18				
Ic1-2	0.62	0.14	22.85	38.86	11.65	11.39	27.41	0.14	22.85	38.86	11.65	11.39	27.41				
Ic1-3	0.72	0.19	27.25	35.75	7.49	14.41	18.65	0.20	27.25	35.75	7.49	14.41	18.65				
Ic1-5	2.20	0.25	11.19	24.79	6.58	7.49	17.10	0.30	13.57	27.30	7.20	8.48	18.71				
Ic1-6	2.71	0.25	9.34	9.79	4.81	3.69	8.44	0.50	18.41	27.77	12.58	12.45	22.50				
Ic1-7	0.59	0.10	16.57	17.18	3.05	1.88	8.10	0.10	16.57	17.18	3.05	1.88	8.10				
Ic1-8	6.35	0.25	4.05	2.28	2.30	2.30	4.05	0.50	7.92	5.47	4.58	4.22	9.10				
Y-1	67.52	4.00	5.94	1.64	0.72	0.47	2.80	8.00	11.82	10.11	4.30	2.09	14.38				
Y-2	15.44	4.00	25.91	32.92	9.52	14.77	24.27	6.83	44.25	43.61	12.45	20.16	32.55				
Y-3	14.52	1.32	9.09	22.62	10.11	21.43	14.03	1.32	9.09	22.62	10.11	21.43	14.03				
Y-4	23.81	4.00	16.80	14.63	1.26	0.68	1.79	4.99	20.95	21.47	1.72	0.89	2.54				
Y-5	8.82	4.00	45.13	52.83	27.05	64.95	27.03	4.48	50.82	53.82	27.55	66.20	27.61				
Yc1-1	39.98	4.00	10.11	13.10	4.54	7.43	9.36	8.00	19.42	24.20	6.96	11.16	15.97				
Yc1-2	90.21	4.00	4.29	10.59	1.36	2.24	2.92	8.00	9.00	16.20	2.30	3.28	4.53				
Yc1-4	14.85	3.21	21.64	16.13	1.45	0.90	3.33	3.21	21.64	16.13	1.45	0.90	3.33				
Yc2-1	14.77	4.00	26.92	28.11	19.18	19.55	28.18	8.00	54.08	50.53	34.12	32.36	49.67				
Yc2-4	33.97	4.00	13.74	14.85	12.29	22.24	20.68	8.00	23.20	30.89	25.53	46.77	43.22				
Yc2-5	8.81	4.00	45.13	47.70	14.20	8.48	48.75	4.62	52.46	49.22	14.50	8.69	50.14				

RUN-1: 貯留容量 (伊佐々川) = 2,500 m^3 , (山科川) = 40,000 m^3

RUN-2: 貯留容量 (伊佐々川) = 5,000 m^3 , (山科川) = 80,000 m^3

* (貯留率) = (貯留流量) / (総流出流量) $\times 100$ %

伊佐々川では、山科川と比べて各指標とも汚濁物含有率が小さいため、どのケースについてもSSに比べて他の汚濁負荷削減率は大きくない。滯水池容量を変えて貯留率を増やした場合でも、降雨規模の大きな降雨 Icl-8 においても流出負荷削減率がある程度増加しただけにとどまっており、RUN-1 規模の雨水滯水池で10～30%程度の流出負荷削減率とみるのが適当である。

一方山科川では、表-7(1)の場合、微細粒子に依存するCODの削減率が比較的小さいものの、T-NやT-Pの削減率は、RUN-1からRUN-2へと容量規模の効果が一定現れており、かなり大きな雨水滯水池を設けることが効果的であることがわかる。しかし、表-7(2)のように粒径25 μ mまでの粒子の沈降が確実に見込める場合には、RUN-1とRUN-2の流出負荷削減率には大差がなく、RUN-1程度の規模の雨水滯水池で充分対応できるということが分かる。

一般に雨水滯水池の場合、流出負荷の削減率はまず貯留率に依存すると考えられるが、時間的な降雨強度の変化などの降雨パターンや貯留方式によって、貯留率は同じでも流出負荷の削減率が大きく異なることがあるので、こうしたファーストフラッシュ時の流出成分の貯留だけでなく、降雨強度によって滯水池内外への流入、流出をある程度コントロールすることも加えると、さらに汚濁物流出の抑制効果が期待できる。

5. まとめ

本研究では、懸濁性汚濁物の粒度分布と粒径別含有特性を明らかにし、初期流出成分を一時貯留することによる流出管理策について検討を行った。推定計算に使った現場調査データには、なお、ばらつきが見られるが、今後さらに観測値を増やし、一般化が進められれば、汚濁物の流出管理策をさらに詳細に検討でき、具体的な施策に反映させうるものと考えている。

なお、本研究の一部は、平成3、4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., Nishimoto, Y., Ichiki, A., Yoshitomi, M. and Nishioka, H. (1991) Pollutant Runoff and Environmental Management in Urban Areas, Proc. of 3rd IAWPRC Regional Conference Asian Water-quality '91, Shanghai, Vol.2, pp. IV-23 - IV-28
- 2) たとえば建設省霞ヶ浦工事事務所(1977) 霞ヶ浦負荷量解析
- 3) 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
- 4) 海老瀬潜一(1980) 小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価, 環境技術, Vol.9, No.4, pp.277-285
- 5) 梅原龍哉, 西岡久, 山田淳(1992) 土地利用からみた路面堆積汚濁物の現存特性と時系列特性, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集, 第II部, pp.954-955
- 6) A Joint Committee of Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers(1959) Sewage Treatment Plant Design, Water Pollution Control Federation