

(32) 汚濁物質の雨天時負荷量と流域との特性比較

建設省土木研究所 馬場 洋 二

1. はじめに

都市域の排水系統においては汚濁物質が残存堆積し、雨天時に流出する。その量は総流出負荷量に大きく関係するとされている。最近、汚濁流出に関する調査が精力的に実施され、その実態が明確にされようとしているが、地表面を含めた都市排水系統のどこに、どれだけの汚濁物質量が、どのような形で堆積残存し、それが降雨によりどれだけ流出するのか、あるいは流出後の急激な堆積機構などについて、さらに調査が必要と考えられる。都市域の雨天時における汚濁物質の流出負荷量のみならず、瞬間的な水質濃度までが都市域河川などの公共用水域の管理者にとって重要な情報となりつつある。

ここでは、いままでに土木研究所で観測された資料から、中小自然流域河川、都市下水路、下水道既設河川、未敷設河川、分流式下水道敷設河川、下水道幹線といった流域特性を持つ排水系統において、一雨による汚濁流出負荷量を主としてマクロな立場から検討したものである。

2. 排水系統における汚濁物質の滞留

都市では絶えず汚濁物質が生まれ、人工的なあるいは自然の排水系統を流下し、あるものは処理され、他は最終的には海域にまで到達する。この排水系統のそれぞれの排水区間では、絶えず汚濁物質の輸送が行われているが、同時にそれぞれの区間での汚濁物質の滞留(停滞)という現象がある。いいかえれば、各区間で汚濁物質の輸送特性が異なる。汚濁物質が排水系統の場所場所で、滞留(期間)状況が異なるということが1つの環境上の問題を提起していると同時に、その堆積物が雨天時に一挙に流出する現象も他の問題を提起しているといえる。海域にとって河川は、また河川にとって下水道は、それぞれ汚濁物質の輸送に対して効率がより良いという特長がある。またそれぞれの関与する流域面積は、効率のより良い排水区間ほど小さいから、たとえば下水道は局地的降雨に対してもその内部の堆積物を流出させることができるが、それを受ける河川では堆積してしまう可能性がある。

3. 雨天時の平均水質

晴天時の水質は、排水区内から供給される負荷量によってほぼ決定されるのに対して、雨天時の水質にはさらに汚濁堆積物のフラッシュにとまなう負荷量加わる。このことは逆に、雨天時の水質を調査分析することによって排水系統内における汚濁堆積物についての情報が得られることを示す。

次頁の図-1は、一雨出水の水質(BODとSSのみ)の平均濃度の変化、および出水中の瞬間最大濃度を示すものである。さらに、資料のあるものについては晴天時の平均水質を示した。なお水質の平均濃度は出水中の汚濁流出総負荷量を流出水量で除して求めている。ここにY川は分流式下水道敷設河川、石神井川は下水道未敷設河川、善福寺川は合流式下水道敷設河川、でそれぞれ都市流域河川である。一方、多西橋(平井川)はその流域の約7割が山林、残り半々が宅地と田畑の河川、昭和橋は多摩川本川小河内ダム下流の地点で、流域のほとんどが山林である(小河内ダムの流域面積は除いてある)。さらに沢戸橋は秋川中流地点で、これもほとんどが山林流域からなっている。

前述のように出水中の水質濃度は、ファーストフラッシュの他、掃流力にもとづく濃度の増減、および残存負荷量による増減などから形成されるが、一雨出水の平均濃度はそうした流出機構よりもむしろ残存負荷総量に関する情報を提供するものと考えられる。図-1の横軸には、流域の性格とともに、流域面積の大きさの順に並べてある。都市域排水の影響を顕著に受ける善福寺川より左方の小さい排水系統では、ほぼ同様な濃度レベルと考えられるが、より右方の自然流域に近い河川ほど濃度レベルは低下し、オーダで見ると2つ位小さくなる。各観測所でのデータ数に大小があるが、自然流域の河川ほど水質の変動は少いので、図-1の傾向および各観測所地点における変動巾がある程

度肯定することができよう。

さて各観測所内でのデータを見ると、とくに左方の下水道排水区では、晴天時の平均水質に比較して、平均BOD濃度は出水中に低下し、反対に平均SS濃度は出水中には増加する現象が明瞭である。右方の資料の少ない河川でも同様の傾向が見られる。これは出水中にはBOD濃度が自己流量により希釈（あるいはDOの供給）される現象を、またSSについては出水中にあらたにフラッシュされる現象を示すものである。一方晴天時には、SSの滞留があるからSS水質が良くできていると考えることができる。

さらに各観測所内における一雨出水中の平均水質の変動中は非常に大きく、これは前期晴天日数の多少による流域残存堆積量の多少、および出水規模による流出負荷量の多少が平均水質濃度に現れているものである。Y排水区の下方のBODデータが、長雨の期間における残存堆積量の小さいケースに相当する。これらの変動中の意味を理解するためには、流域残存堆積量とその流出機構をさらに研究する必要がある。

さて、BOD、SS物質の流出総量の特性を調べるため、降雨期間中（出水中）の平均流量をパラメータに、前述の一雨出水中の平均水質濃度を対比させて示したのが図-2～4の例である。平均流量は降雨期間中（出水中）の総流出流量を流出時間で除すことによってあたえた。図-2～4の各排水区では、流量および負荷量に日変動があるので、いわゆる流出成分の分離と類似の分析が困難であるが、一応降雨による流出増加および流出終了時刻を推定することによって流出時間を決定した。流量測定、採水の間隔は3分～60分のものが多い。

図-2～4の例を見ると、一雨出水の平均BOD濃度は、平均流量の増加とともに低下する傾向がある。もちろん、直前に出水のあったような場合には図中の傾向線

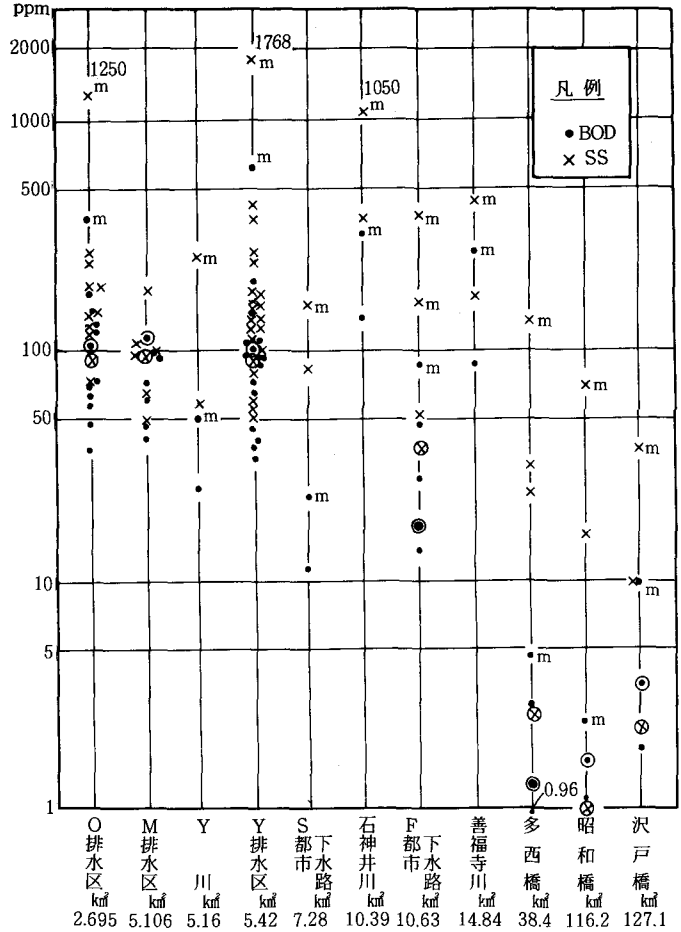


図-1

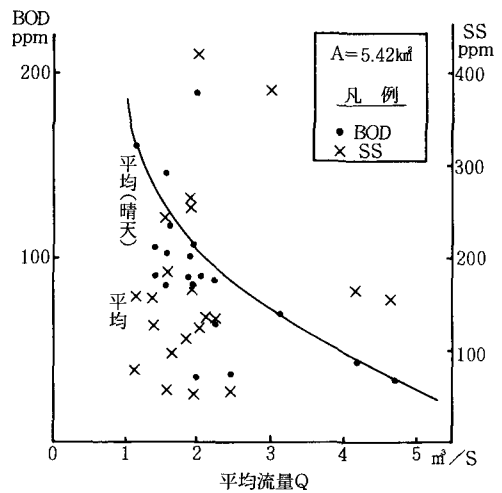


図-2 Y排水区

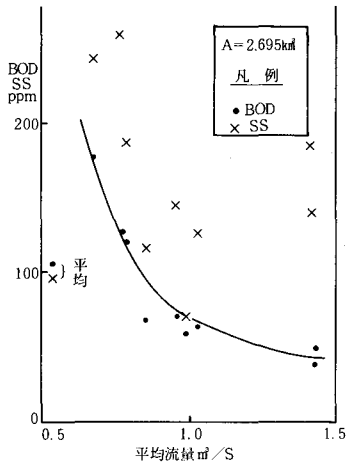


図-3 O排水区

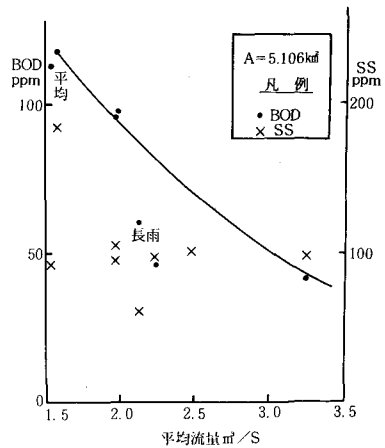


図-4 M排水区

上には乗らずに、下方の●印のように平均濃度が小さい。したがって図-2～4中の傾向線は、前期晴天日数が2日以上の場合を指しているものと推定される。

一方図-2～4から見る限り、平均SS濃度は平均流量にはあまり関係しない。

4. 汚濁流出量と残存堆積量

さて表-1は各観測点における代表的な一雨出水について、総流出流量 Q_W 、BOD流出量 BOD_W 、SS流出量 SS_W 、および晴天時負荷量の Q_D 、 BOD_D 、 SS_D のそれぞれの数量の例のいくつかを示してみたものである。日変動の影響を強く受ける排水区では日変動を考慮して、自然河川では水平分離法により、流出時間、流出流量、汚濁流出量を決定している。これらの表の中でとくに目立つ傾向が、降雨流出によって、付加的に流出する汚濁物質の量とその流域による違いであろう。

流域の比較的小さい下水道排水区では、およそ

$$BOD_W - BOD_D \approx (1 \sim 3) BOD_D$$

$$SS_W - SS_D \approx (1 \sim 4) SS_D \quad (\text{Y排水区の11という数値もある})$$

一方、表-1のS都市下水路以下の観測点では、およそ

$$BOD_W - BOD_D \approx (3 \sim 15) BOD_D$$

となる差違である。善福寺川は合流式下水道敷設河川であって、常時の水源は清浄な湧水であるのに対して雨天時は越流水がほぼ全流量を形成するために、例外的に巨大な数値

$$BOD_W - BOD_D \approx 1000 BOD_D, \quad SS_W - SS_D \approx 2000 SS_D$$

となっているものである。

さらに、河川(排水区)によっては、 $(BOD_W - BOD_D)$ と BOD_D とが同じオーダーであるのに対して、

表-1

河川名(流域面積)	年・月・日	時刻	時間	Q _w (m ³)	Q _D (m ³)	BOD _w (ton)	BOD _D (ton)	SS _w (ton)	SS _D (ton)
O 排水区 (2.695 km ²)	50. 9/23~24	2005~1700	20 ^h 55 ^m	106770	41749	5.009	4.535	15.080	3.897
	51. 6/5~6	1200~700	19 ^h	65268	37323	4.658	3.866	9.573	3.338
	52. 6/24~25	100~2300	46 ^h	169739	92206	11.046	10.347	21.989	9.167
M 排水区 (5.106 km ²)	51. 8/28	1230~2300	10 ^h 30 ^m	93773	40963	6.804	5.476	9.652	3.908
	53. 11/17	1000~1800	8 ^h	45739	33909	5.395	4.214	8.526	3.367
Y 川 (5.16 km ²)	50. 10/24~25	1000~400	18 ^h	33487	24244	0.846	0.357	1.994	0.091
Y 排水区 (5.42 km ²)	47. 7/31	1751~2122	3 ^h 31 ^m	39358	18171	3.430	2.084	15.171	1.502
	48. 7/29	720~2400	16 ^h 40 ^m	111878	83662	10.025	9.604	12.650	8.049
	48. 11/10	500~1300	8 ^h	270431	38697	12.255	3.742	44.390	3.316
	51. 7/19	700~2100	14 ^h	110730	69988	9.911	7.914	14.774	6.754
S都市下水路(7.28 km ²)	55. 10/13~16	1925~1445	67 ^h 20 ^m	281583	28600	3.179	0.314	23.356	0.317
石神井川 (10.39 km ²)	55. 1/28~29	1800~500	11 ^h	47150	12837	6.209	0.864	17.507	0.754
F都市下水路(10.63 km ²)	54. 9/27~30	2355~555	60 ^h	187503	77760	2.490	0.773	9.876	0.771
	55. 10/13~16	1800~1300	67 ^h	356961	91532	9.907	2.434	59.958	2.562
善福寺川 (14.84 km ²)	55. 1/28~29	1800~700	13 ^h	122897	10520	10.697	0.007	21.318	0.008
多西橋 (38.4 km ²)	54. 9/27~2	2100~1340	112 ^h 40 ^m	3269817	1366872	3.135	1.042	79.290	4.020
	55. 10/13~16	1855~1235	65 ^h 40 ^m	682004	108970	1.915	0.121	21.060	0.270
昭和橋 (116.2 km ²)	55. 10/13~16	1630~1030	66 ^h	1973876	782100	2.328	0.508	31.230	0.420
沢戸橋 (127.1 km ²)	55. 10/13~16	1455~1135	68 ^h 40 ^m	1281387	863111	2.415	0.485	12.632	1.730

(SS_w - SS_D) と SS_D とが非常に大きく異なる場合がある。これには都市下水路の規模より大きい流域を持つ河川が多いようであるが、一雨出水中に余分に流出する BOD 量は BOD_D の数倍の範囲のものが多いといえるであろう。これに対して SS については、およそ

$$SS_w - SS_D \approx (10 \sim 20) SS_D$$

程度となる。この現象は、河床に無限量の汚濁堆積物を持つような極端な例を考え、低水流量時には SS が移動しにくい状況（地表面で堆積し降雨時に流出、排水系統内で堆積し降雨時に流出、あるいは降雨時でもある限界流量をこえないと流出しない、などの状況）に起因すると推定される。

このような分析からみて、都市排水系統の中では、BOD 物質と SS 物質とはかなり独立した流出形態をとる、あるいは独立した堆積残存形態を取っているものと推定される。このことは、下水道管きよ内における山口ら¹⁾の水質シミュレーションモデルの違いからもうかがい知ることができる。ここではとくに SS 物質の堆積残存量の精度の良い推定方法が望まれるところであるが、適切な整理がまだできていない。

そこで図-1 と同じ資料について、汚濁負荷量を (BOD_w - BOD_D)、および (SS_w - SS_D) の形に修正し、流域面積 1 km² 当りの負荷量に換算して示したのが図-5 である。図-1 と同様に、単位面積当り汚濁流出量の各排水区における変動中には非常に大きなものがある。しかし種々の前期晴天日数での状況、および種々の強度の降雨に対して、汚濁流出量に図-5 の程度の変動中があるのは当然のことかも知れない。むしろ図-5 の汚濁流出量強度をこのままの形で是認し、汚濁流出量強度実績、あるいは堆積残存負荷量実績と考えておくのが妥当かも知れない。

5. 汚濁流出の性質

排水系統内の残存堆積量は汚濁物質特有の力学的流出特性を持つと考えられている。そこで、一雨出水について、各時刻までの汚濁流出量を流出終了時刻の汚濁総流出量で割って正規化した数値を縦軸に、時刻を横軸にとって表現

してみることにした。

図-6は自然河川に近い多西橋のデータである。降雨流出がはじまると最初に増加する汚濁負荷量はBODあるいはCOD（CODの方が少し早い場合が多いようである）である。この状態はファーストフラッシュに相当するのであろうか。つづいてSS負荷量の急激な増加が起こる。その後SSが最初に頭打ちとなる場合が多く、つづいてCODあるいはBODとなる。流量は最後になって頭打ちとなる。SSの頭打ちは限界掃流力に対応すると考えられ、CODあるいはBODのそれは残存堆積量の消滅および限界掃流力などを意味すると考えられているが、そう大きな間違いではなからう。多西橋地点より流域面積の大きい昭和橋、沢戸橋ではいずれも類似の傾向を示している。

図-7は石神井川のデータである。SSの流出が早く頭打ちとなっている点が図-6と異なり、他に資料がないので断定できないが、微細なSS物質を河床に多数付着しているような場合には連続的なSSの浮遊化が起こり得るものと考えられる。

図-8は都市下水路の場合であるが、出水末期になって急激にBODおよびCOD物質が大量に流下したことを現わしている。類似の現象がS都市下水路においても観測されているが、その理由は分からない。

図-9はY排水区の場合であるがBODの流出が先きに終了する。Y排水区ではほぼ全ケース、M排水区でも約半分のケースについてBODがSSより先きに流出が終了する。この理由はいまのところ分からない。

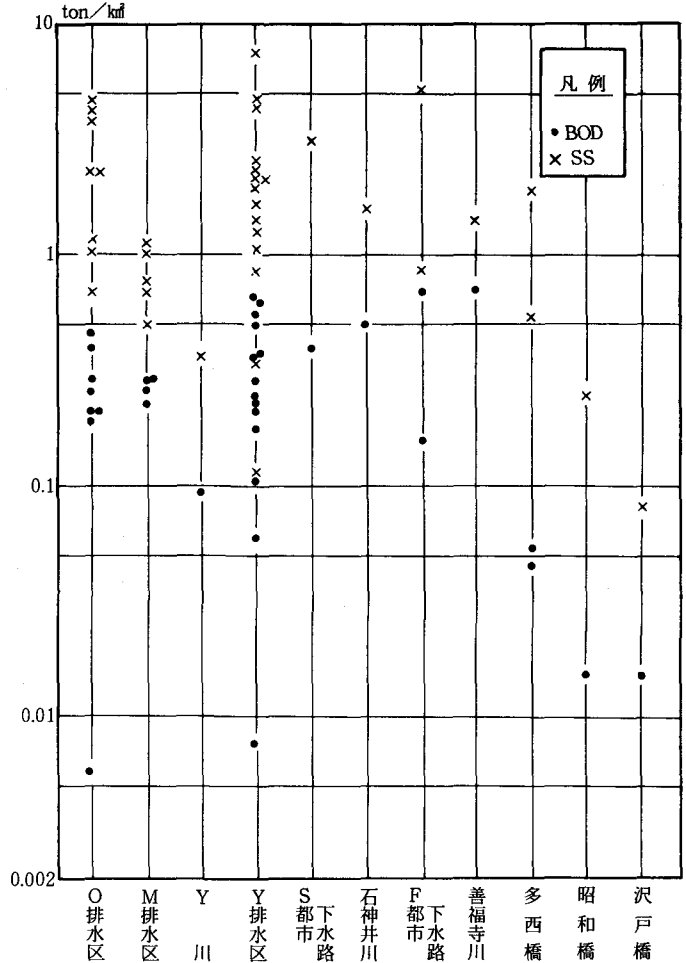


図-5

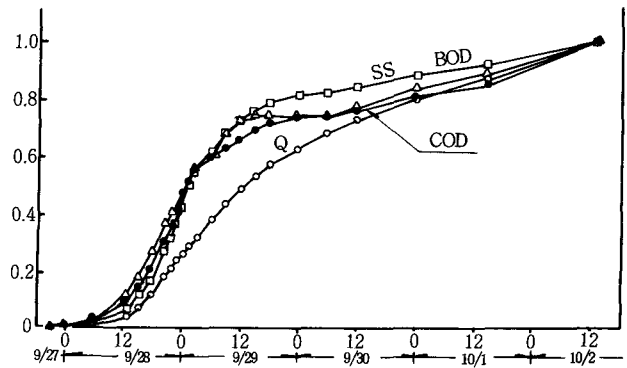


図-6 多西橋. 1979年

6. まとめ

雨天時の一雨の汚濁流出量をマクロな立場から検討した。この立場は現在実施されている汚濁流出シミュレーションモデルを念頭に置きながらの検討であった。その結果、汚濁流出シミュレーションの力学的モデルの考え方に沿った現象をいくつか検証した。図-5におけるY排水区のSS流出負荷量の最大値は山口ら¹⁾の汚濁源調査結果によく一致もしている。残存堆積量を推定する方法を開発するには至らなかったものの、現在の汚濁流出シミュレーションの力学的モデルの傍証になれば幸いである。

参考文献

- 雨天時における合流式及び分流式下水道の改善に関する調査、東京都委託報告書、日本下水道協会、昭和54年3月

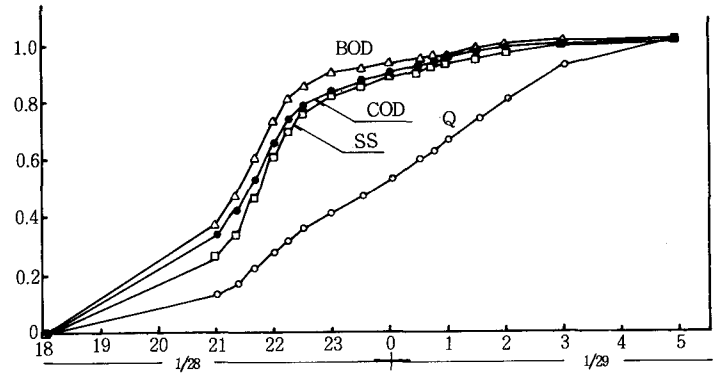


図-7 石神井川, S55年1月28日~29日

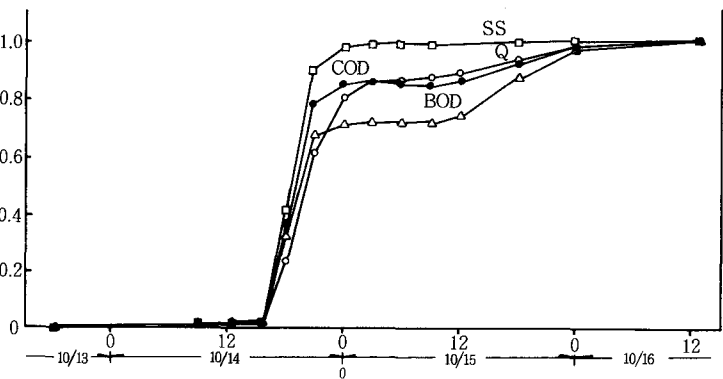


図-8 F都市下水路 1980年

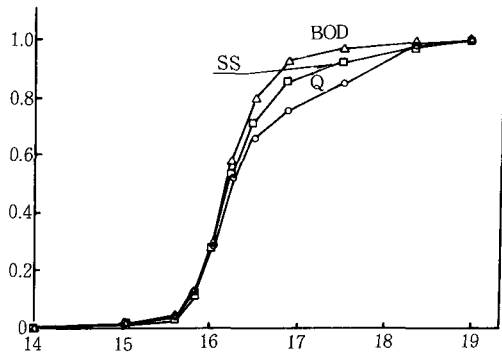


図-9 Y排水区 S50年7月12日