

非特定汚濁源の把握と削減に関する研究 (その2) ——合流式下水道の雨水吐き室の流出汚濁負荷量——

嶋津暉之 木村賢史 三好康彦

要 旨

前報に引き続き、合流式下水道の雨水吐き室越流水の汚濁負荷量を把握し、その削減の方法を検討するため、三鷹市下水道の仙川左岸側の最終雨水吐き室に流量計測装置と自動採水器を設置した。この計測の結果、次のことが明らかとなった。

- ① 越流水のBOD, COD, T-Pの95%水質値は家庭汚水の平均水質と同程度、平均値はその0.3~0.4倍である。また、T-Nの95%水質値は家庭汚水の2.5倍、平均値はそれと同程度である。
- ② 一連続降雨によるBOD, COD, T-Pの流出負荷量は集水区域における一日平均発生負荷量の0.4~0.6倍、T-Nは1.6倍である。
- ③ 下水処理場処理水の集水区域分の一平均排出負荷量と比較すると、雨水吐き室のBOD一日平均流出負荷量はその90%、CODは40%、T-N, T-Pは20%程度に相当する。

1 はじめに

汚水と雨水を同じ下水管で流す合流式下水道では、雨天時に下水管の流量が増大した時、処理場の処理能力を超える分は雨水吐き室から河川に放流される。この越流水は下水管底に堆積した汚濁物も含むため、川や海の汚濁源の一つになっている。

この流出汚濁物の削減の方法を検討するため、平成2年度後半から多摩川支流仙川の流域にある三鷹市下水道の雨水吐き室に計測装置を設置し、越流水の汚濁負荷量を把握してきた。1年目は集水区域が比較的小さい雨水吐き室2カ所を対象として計測を行い、その結果を前報に報告した。2年目は集水面積が大きい、仙川左岸側の最終雨水吐き室を計測の対象とした。その計測と解析の結果を報告する。

2 方 法

(1) 計測の対象

雨水吐き室の配置には二つの型がある。一つは汚水混合雨水が一つの雨水吐き室だけを通して配置したもので、各吐き室の遮集下水(吐き室から越流しなかった下水)は污水管幹線で処理場へ送られる。もう一

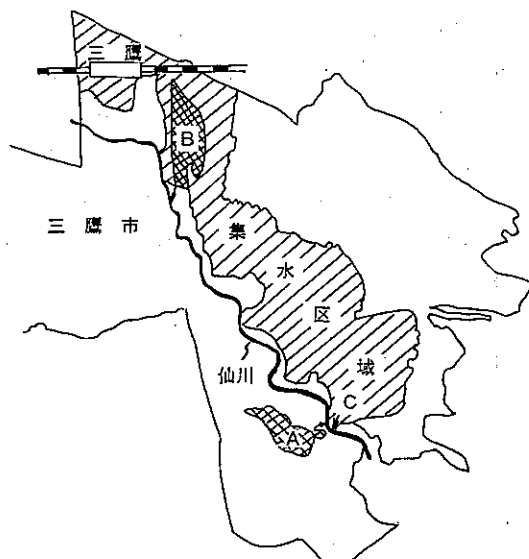


図1 C雨水吐き室の集水区域

つは予備と最終の二つの雨水吐き室を通して配置したもので、予備の雨水吐き室の遮集下水は合流管幹線の流れ、その末端の最終雨水吐き室で污水管幹線へ

遮集される。後者の場合はまず最終雨水吐き室で越流し、流量が更に増大した時に予備雨水吐き室で越流が行われる。仙川の雨水吐き室は右岸側は主として前者、左岸側は後者の配置がされている。1年目に計測を行ったA室は前者の雨水吐き室、B室は後者の予備雨水吐き室である。今回、計測装置を設置したのは、三鷹市内の左岸側最終雨水吐き室(C室)である。その集水区域を図1に示す。集水面積は約310 ha、推定居住人口は約36000人である。なお、前年計測したA、B雨水吐き室の集水面積はそれぞれ14 haと21 ha、推定居住人口は1700人と3700人である。

(2) 計測の方法

雨水吐き室越流水の下水管に流量計測装置と自動採水器を設置して、越流水の流量を計測するとともに、越流水を採取してその水質を分析した。流量計測装置は、設定した時間間隔(今回は15分又は30分)で流れがない時も含めて流量を連続的に計測し、設定流量(今回は250 m³)が通過する度に、採水器に対し採水の指示を出すようになっている。

なお、降水量は東京管区気象台の府中地点における時間別観測降水量を用いた。

(3) 計測の期間

計測装置を設置した期間は1991年12月下旬から92年6月下旬である。ただし、トラブルが発生したことと分析能力に限度があったことにより、期間中の越流水の全部を採水することはできなかった。採水した検体数は合計122本である。

(4) 分析項目

自動採水器から回収した検体について分析した項目は、BOD、COD、TOC、SS、T-N、TDN、NH₄-N、NO_x-N、T-P、TDP、PO₄-P、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Fe、Mnである。

3 結果と考察

(1) 降水量と越流量の関係

図2に降水量と越流量の経時変化の例を示す。この例では降水量と越流量が比較的良好に対応しており、2時間程度の時間差で降水量のピークが越流量のピークになって現れる。降水量が1 mm/時では越流が起きないが、2 mm/時以上になると、越流が生じている。

図3はおおむね連続した降雨を1データとしてその時

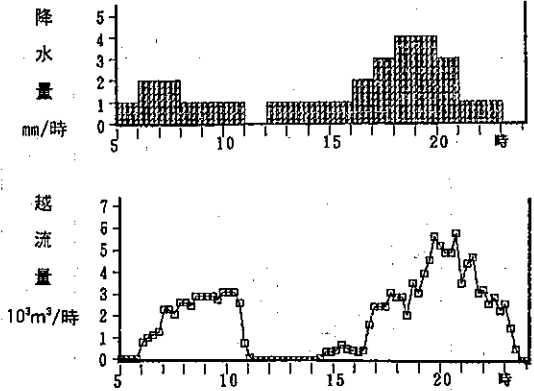


図2 降水量と越流量の経時変化(3月5日)

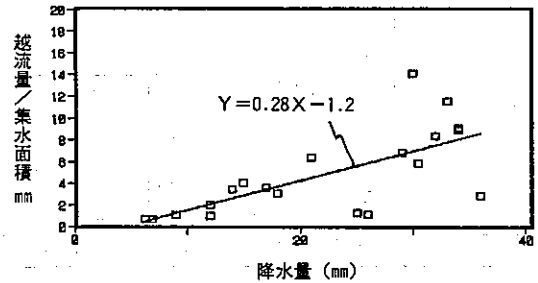


図3 降水量と越流量の関係(1992年2~6月)

の合計降水量と合計越流量の関係をみたものである。両者の関係は図2の例とは異なり、バラツキがあるデータが少なくない。これは降水量として府中地点の観測値を用いたため、移動性の降雨や局地的な降雨に対応できなかったことによるものと考えられる。

降水量をX(mm/時)、越流量/集水面積をY(mm/時)として、一次式を当てはめると、相関係数0.70で、 $Y = 0.28X - 1.2$ が得られた。Xの係数0.28が最終雨水吐き室Cの流出率を示している。C室の集水区域では予備雨水吐き室からの越流もある。その予備雨水吐き室の一つであるB室について前年計測した流出率は0.09であった。この値をそのまま加算すれば、仙川左岸の雨水吐き室全体の流出率は0.37となる。前年計測した独立型の雨水吐き室であるA室の流出率0.34に近い値である。

(2) 越流水の水質

ア 水質の平均値と分布

雨水吐き室越流水の水質を分析した結果を表1に示す。平均値は単純平均と越流量による加重平均の両方を示し

表1 雨水吐き室越流水の水質

(単位mg/ℓ)

	C雨水吐き室				(参考)		
	95%水質値	5%水質値	単純平均値	加重平均値	A室加重平均値	B室加重平均値	家庭汚水の平均
BOD	179	9.5	50	48	51	26	190
COD	128	7.9	38	38	40	22	100
TOC	52	2.9	16	15	—	—	—
SS	412	27	122	124	150	120	170
T-N	93	6.7	36	33	6.8	4.7	37
TDN	78	4.6	30	28	3.1	—	—
NH ₄ -N	48	2.5	17	16	1.6	1.3	—
NO _x -N	39	0.01	12	11	0.7	0.6	—
T-P	3.9	0.15	1.1	1.1	1.0	0.7	3.5
TDP	0.6	0.08	0.2	0.2	0.2	—	—
PO ₄ -P	0.6	0.05	0.2	0.2	0.1	0.1	—
							排水基準
Cu	2.3	<0.1	0.5	0.5	0.1	—	3
Pb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—	1
Zn	3.0	0.3	0.9	0.9	1.0	—	5
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	—	0.1
Cr	1.3	<0.1	0.3	0.3	0.1	—	2
Fe	29	2.7	10	11	—	—	—
Mn	0.7	0.1	0.3	0.3	—	—	—

た。95%水質値(測定値を小さい方から並べて95%の順位になる値)は179mg/ℓであり、家庭汚水の平均BODとはほぼ同じ値である。平均値は単純、加重とも、50mg/ℓ程度で、家庭汚水平均の約0.3倍である。BODの分布は図4(1)に示すとおりで、100mg/ℓを超える検体の割合は11%である。

他の項目についても同様に家庭汚水の平均水質と比較すると、95%水質値はCODが1.3倍、T-Nが2.5倍、T-Pが1.1倍、加重平均値はCODが0.4倍、T-Nが0.9倍、T-Pが0.3倍である。T-Nのみが相対的に高い値を示している。前年のA室越流水と比べると、BOD、COD、T-Pは同じような値であるが、T-Nはその約5倍もある。T-Nの分布は図4(2)に示すとおり、50mg/ℓを超える検体の割合が29%である。T-Nの構成をみると、溶解性無機態窒素(NH₄-NとNO_x-N)が大半を占めている。

重金属類のうち、Cu、Znは排水基準値との比率が比較的高く、95%水質値はCuが排水基準値の0.8倍、Znが0.6倍、加重平均値はCu、Znとも0.2倍である。Cuは

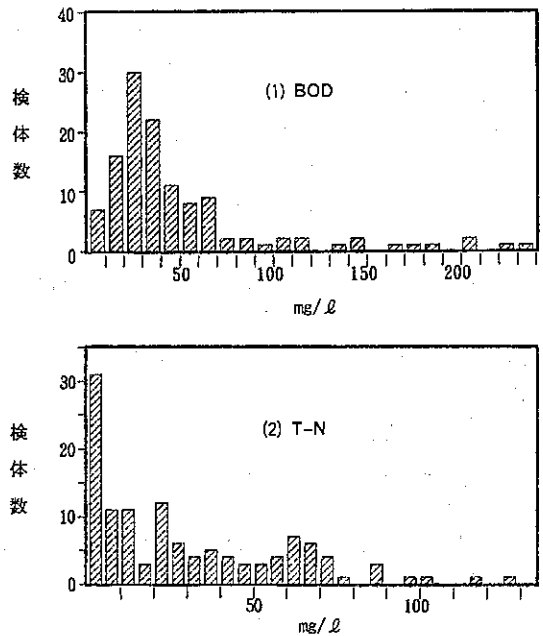


図4 BODとT-Nの頻度分布

前年にA室で計測した値の5倍になる。

イ 各水質項目とSSとの相関

SSと各水質項目の回帰式を表2に、相関図を図5に示す。BOD、COD、T-P、FeはSSとの相関係数が0.8~0.9であり、また、Y切片の値が平均値に比して小さいので、SSとはほぼ比例的な関係にある。これは合流式下水管の管底堆積物の流出程度で、これらの水質項目の濃度がきまることが表している。しかし、T-NはSSとの相関係数が0.2しかなく、管底堆積物との関係が明瞭ではない。

ウ 水質の経時変化

図6に3月21日における越流量、BODとCOD、T-NとT-Pの経時変化を示す。まず、越流量とBODの対応をみると、越流が始まると、BOD濃度はすぐにピークになり、その後は次第に漸減傾向となるが、越流量が増大すると、再び増加傾向に変わる。しかし、越流開始直後と比べれば、おおむね1/2以下の値である。COD、T-Pも同じような経時変化がみられる。

雨水吐き室越流水の水質濃度を上昇させる主たる要因は管底堆積物の流出である。この流出の割合は、管底堆積物がどの程度残留しているか、また、洗い流す力がど

表2 各水質項目とSSの相関
(Y:各水質項目 X:SS 単位mg/l)

	回帰式	相関係数
BOD	$Y=0.31X+11$	0.84
COD	$Y=0.26X+6.6$	0.94
TOC	$Y=0.094X+4.7$	0.67
T-N	$Y=0.051X+29$	0.22
T-P	$Y=0.0078X+0.17$	0.86
Cu	$Y=0.0049X-0.13$	0.62
Zn	$Y=0.0037X+0.48$	0.64
Cr	$Y=-0.00015X+0.34$	0.04
Fe	$Y=0.062X+2.9$	0.88
Mn	$Y=0.0016X+0.12$	0.71

の程度働くかによってきまる。前報で解析したように、前者は直前までの越流量の累積値、後者はその時点の越流量の大きさによって表される。BOD, COD, りんについてはそのような傾向がみられる。

一方、同図(3)のT-N濃度は最初のピークの発生が

BODより1時間ほど遅れ、越流量が増大すると、再び、大きなピークを形成するようになる。窒素成分の経時変化の動きは他の水質項目のそれとは明らかに違っている。これは窒素成分の流出には管底堆積物の流出とは異なる機構が働くことを示している。

二 窒素成分の流出源

9検体以上の連続採水ができたのは延べ6回であった。その時の窒素成分の形態別構成比率を表3に示す。4月30日を除けば、浮遊性窒素の比率は小さく、溶解性無機態窒素が80~90%を占めている。そのうち、NH₄-NとNO_x-Nの比は全計測期間では6:4である。この比は時期により多少の変動があるが、水温が上昇する3月から6月にかけてNO_x-Nの割合が高まる傾向はみられない。

NH₄-NやNO_x-Nの流出源の一つとして、三鷹市内の農地からの肥料成分の流出が考えられる。三鷹市の農地比率は約15%である。田淵俊雄らがまとめた国内の測定値によれば、畑の窒素施肥量はT-Nとして1haあたり200~300kg/年、溶出率は20~30%のものが多く、このデータから集水区域の窒素流出量を求めると、年間合計で1900~4200kgである。

これに対して、後出の表5に示すとおり、4月下旬か

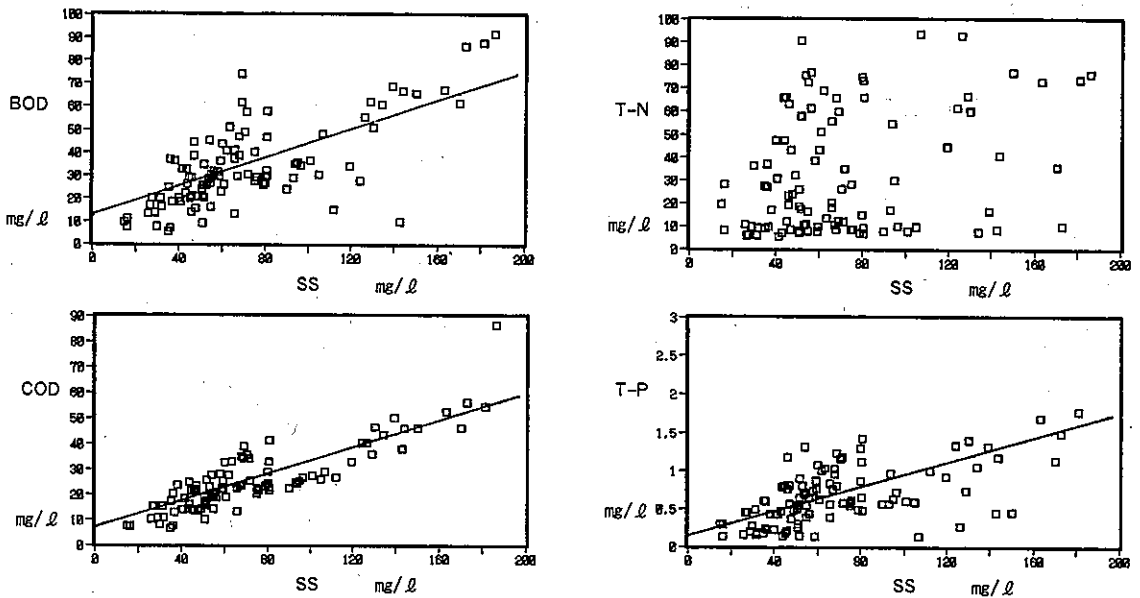


図5 各水質項目とSSの関係

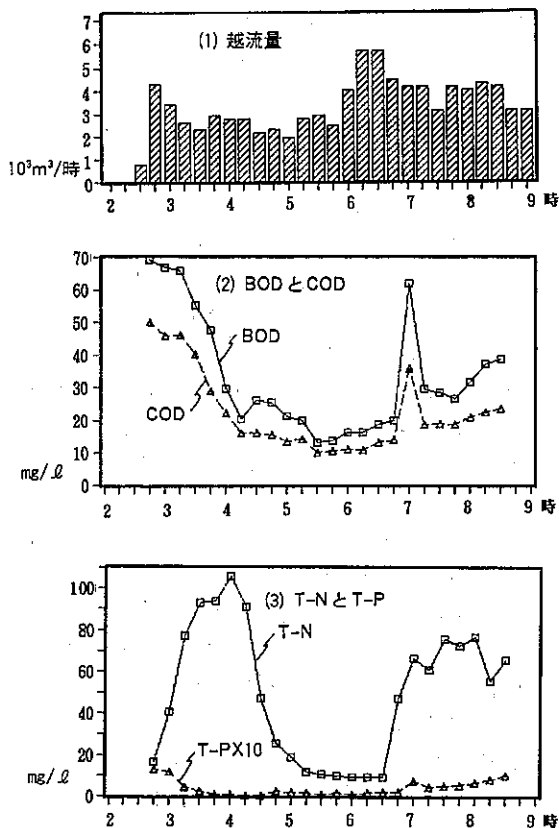


図6 越流水の流量と水質の経時変化 (3月21日)

表3 窒素成分の構成比率

(単位%)

	浮遊性窒素	溶解性有機態窒素	NH ₄ -N	NO _x -N
3月18日	23	4	45	28
3月21日	14	1	45	40
4月30日	41	13	41	5
5月10日	8	1	52	39
5月18日	13	1	51	35
6月23~24日	9	1	44	46
全計測期間	15	4	48	33

(注) 浮遊性窒素: T-NとTDNの差
溶解性有機態窒素: TDNと[NH₄-H+NO_x-N]の差

表4 流出負荷量

	BOD (kg)	COD (kg)	T-N (kg)	T-P (kg)
3月18日	1250	900	520	22
3月21日	690	460	990	10
4月30日	1080	780	180	21
5月10日	320	260	380	8
5月18日	910	590	520	18
6月23~24日	500	410	830	13
集水区域の一日平均発生負荷量	1940	930	330	34

[注] 発生負荷量はT処理場の平成3年度一日平均流入負荷量に〔C雨水吐き室集水面積/T処理区処理面積〕を乗じて求めた。

ら6月下旬にかけての2カ月間のT-N流出負荷量は約3000kgである。この期間の合計降水量は340mmであり、年間降水量の2割程度であるから、降雨強度の変化を考えずに単なる比例計算を行えば、C雨水吐き室の年間窒素流出負荷量は約15000kgとなる。農地からの肥料成分の流出で説明するにはこの窒素負荷量は大きすぎるように思われる。

窒素成分流出の機構の解明は今後の課題とし、ここでは、無機態窒素の流出について留意すべきことを述べるにとどめておく。

① 前年計測を行ったA室は無機態窒素の濃度がC室に比べて1桁低かった。A室は集水面積が小さく、住宅地を中心としているのに対して、C室は集水面積がA室の20倍もあり、また、三鷹駅周辺の商業地区や工業地区も含まれている。このことから、無機態窒素の流出は集水面積が広いことや、商業地区、工業地区が含まれていることと関係があるように思われる。

② 管底堆積物の流出ピークより、無機態窒素のピークの発生が遅れていることを考えると、その流出源はより奥まったところにある。

③ NO_x-Nの割合が水温の上昇とともに高まる傾向がみられないことから判断して、NO_x-Nは下水管の管底等でNH₄-Nから生成されたものではなく、NO_x-Nの形態で下水管に流入したものと考えられる。

(3) 流出負荷量

ア 発生負荷量との比較

連続した降雨があって9検体以上を採水できた時のBOD、COD、T-N、T-Pの流出負荷量を表4に示す。同表脚注に示す方法で集水区域の一日平均発生負荷量を推定した。この一日発生負荷量に対する一連続降雨の流出負荷量の比を求めると、BODはその0.2~0.6倍(平均0.4倍)、CODは0.3~1倍(平均0.6倍)、T-Nは0.5~2.8倍(平均1.6倍)、T-Pは0.2~0.6倍(平均0.4倍)である。

表5 C雨水吐き室の2ヵ月間の流出負荷量

	BOD	COD	T-N	T-P
(1)4月下旬~6月下旬の合計流出負荷量(kg)	4510	3730	2990	120
(2)2ヵ月間の一日平均流出負荷量(kg/日)	75	62	50	2
(3)集水区域の一日平均発生負荷量(kg/日)	1940	930	330	34
(4)下水処理場の一日平均排出負荷量(kg/日)	83	140	290	9

[注] 下水処理場の排出負荷量はT処理場の平成3年度一日平均排出負荷量に[C雨水吐き室集水面積/T処理区処理面積]を乗じて求めた。

4月下旬から6月下旬までの延べ2ヵ月については越流水の全流出負荷量をおおむね把握することができた。この2ヵ月間の流出負荷量の合計を表5(1)に示す。計測日数の60日で除して一日平均の流出負荷量を求めると(同表(2))、BODは集水区域の一日平均発生負荷量(同表(3))の4%、CODは7%、T-Nは14%、T-Pは6%となる。

イ 下水処理場の排出負荷量との比較

下水処理場から晴天日に放流されている集水区域分の処理水の一日平均排出負荷量を推定し(同表(4))、これに対する雨水吐き室流出負荷量の比を求めると、BOD

は88%、CODは44%、T-Nは17%、T-Pは22%となる。合流式下水道の雨水吐き室は川や海に対してこの程度の汚濁源となっている。

ウ 負荷量削減対策についての若干の検討

雨水吐き室の流出汚濁負荷量を削減する対策として、一部実施されてきているのは、遮集管の容量アップと雨水貯留槽の設置である。まず、遮集水量の増加必要量について検討してみる。9検体以上の連続採水を行うことができた延べ6回の各々について、BOD流出負荷量の80%を削減するための遮集必要量を求めると、表6(1)の

表6 遮集必要量と貯留必要量

	(1) BOD流出負荷量を80%削減するための追加遮集必要量(m ³ /時)	(2)合計越流量(m ³)	(3) BOD流出負荷量を80%削減するための貯留必要量(m ³)
3月18日	5800	19900	13000
3月21日	4300	20800	16700
4月30日	5200	17400	10700
5月10日	5300	10700	9100
5月18日	3300	9900	6800
6月23~24日	5300	32500	19700

[注] 3月21日は採水終了後も越流が続いた。上表の合計越流量は採水時間中の合計で、この時の全越流量は4400m³であった。その他の時期は越流終了時まで採水することができた。

とおり、4300~5800m³/時となる。現在のC室の最大遮集水量を遮集管の口径と勾配から計算すると、約4500m³/時であるから、遮集倍率を倍増すること、すなわち、現行の3倍から6倍に引き上げることが必要となる。C室は下水処理場までの距離が数百mであるので、遮集管の敷設替えは不可能ではないが、下水処理場において増大した遮集下水をどう処理するかの問題が残される。最初沈殿池だけで放流する簡易処理では水質改善効果があまり大きくはない。

次に雨水貯留槽による流出汚濁負荷量の削減について検討すると、延べ6回各々の合計越流量は同表(2)に示すとおり、10000~33000m³である。BOD流出負荷量の80%を削減するためには同表(3)のとおり、このうちの7000~20000m³を貯留する必要がある。集水区域の一日平均汚水量は13000m³程度であるから、貯留必要量の上限値は

その1.5日分に当たる。合流管幹線の末端あるいは下水処理場の用地内にこれだけの容量の雨水貯留槽を設置することは容易ではない。

このように、雨水吐き室の流出負荷量の削減倍率の引上げや雨水貯留槽の設置で対応することはむずかしい。

4 おわりに

三鷹市下水道の仙川左岸側の最終雨水吐き室に流量計測装置と自動採水器を設置して、越流水の流量と水質を計測した。その結果、次の諸点が明らかとなった。

- ① 越流水の95%水質値はBOD 180mg/l, COD 130mg/l, T-N 90mg/l, T-P 4mg/lである。BOD, COD, T-Pの値は家庭汚水の平均水質と同程度であるが、T-Nはその2.5倍にもなった。
- ② 越流水の平均値はBOD 50mg/l, COD 40mg/l, T-N 35mg/l, T-P 1mg/l程度である。BOD, COD, T-Pは家庭汚水の平均水質の0.3~0.4倍であるが、T-Nはそれと同程度であった。
- ③ T-NがBOD等比べて相対的にかなり高い傾向は、前年計測したA室ではみられなかったことである。T-Nの大半はNH₄-NとNO_x-Nである。この無機態窒素の流出源は現段階では不明である。
- ④ 重金属類のうち、Cu, Znの濃度が比較的高く、平均値は排水基準値の0.2倍であった。
- ⑤ 一連続降雨により放流されるBOD, COD, T-P負荷量(延6回の計測の平均)は、集水区域における一日平均発生負荷量の0.4~0.6倍、T-Nは1.6倍である。
- ⑥ 4月下旬から6月下旬までの2カ月間の一日平均流出負荷量は、BOD, COD, T-Pについては集水区域に

おける一日平均発生負荷量の4~7%、T-Nについては14%に相当する。

⑦ 下水処理場処理水の集水区域分の一平均排出負荷量と比較すると、雨水吐き室の一日平均流出負荷量は、BODがその90%、CODが40%、T-N, T-Pが20%程度に相当する。

2年間の調査で雨水吐き室越流水の汚濁負荷の実態が明らかとなったが、その削減対策を考えるには更に多くのデータを把握する必要がある。今後も調査を継続して、雨水吐き室の流出負荷量削減対策の確立に寄与していくことにしたい。

本調査の実施にあたっては前年に引き続き、三鷹市建設部下水道課の全面的な協力を得た。ご協力いただいた同課の桑波田昭男維持係長をはじめ、課員の方々に厚く謝意を表す。また、雨水吐き室からの検体の回収と分析の一部は新日本気象海洋環境分析研究所への委託により行った。マンホール内の作業に従事された同研究所の所員の方々にも感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 嶋津暉之ら：非特定汚濁源の把握と削減に関する研究(その1), 東京都環境科学研究所年報1991-2, p. 153.
- 2) 嶋津暉之ら：家庭用合併処理浄化槽の処理水質向上に関する研究(その3), 東京都環境科学研究所年報1991, p. 153.
- 3) 田淵俊雄ら：集水域からの窒素・リンの流出, 東京大学出版会 p. 71 (1985).

Study on Estimation and Reduction of Non-point Pollution Loads (II)
Overflow Pollution Loads of Diversion Chamber in Combined Sewer System

Teruyuki Shimazu, Kenshi Kimura and Yasuhiko Miyoshi

(Abstract)

Although the sewer construction has almost been completed, the water quality of many rivers still leaves much room for improvement. That is partly because some stormwater runoff with pollutant flows out of diversion chambers in the combined sewer system during wet weather. In order to investigate the reduction methods of the pollution loads, we set a flow measuring device and an automatic water sampler in the final diversion chamber on the left bank of the combined sewer system in the basin of Sen-kawa, Tama-gawa branch, and measured overflow pollution loads. The results clarified the following.

- (1) The 95 % unexceeding probability water quality of BOD, COD, Total-P of the overflow is about the same as the average water quality of domestic wastewater, and the average of BOD, COD, Total-P is three-tenths to four-tenths of that. And the 95 % unexceeding probability water quality of Total-N is 2.5 times of the average of domestic wastewater and the average of Total-N is about the same as that.
- (2) The overflow pollution loads of BOD, COD, Total-P due to a continuance of rain is four-tenths to six-tenths of the daily loads of sewage in the drainage area, and that of Total-N is 1.6 time as much.
- (3) Compared with the daily loads of the treated water of sewage treatment plant, the daily average loads of BOD, COD, Total-N, Total-P of the diversion chamber is about 90%, 40%, 20% and about 20% of that respectively.
- (4) As a consequence of examining the reduction of overflow loads in diversion chambers caused by the setting of the overflow detention tank and the enlargement of the intercepting capacity of the sewage flowing to the treatment plant, it turned out that a great improvement of the facilities was needed.