

非特定汚濁源の把握と削減に関する研究 (その3) —合流式下水道の雨水吐き室の越流水—

嶋 津 暉 之 木 村 賢 史 三 好 康 彦

要 旨

三鷹市仙川流域の合流式下水道を対象として、雨水吐き室の流出汚濁負荷量の把握とその削減対策の検討を進めてきた。その結果、次のことが明らかとなった。

- ① 越流水の水質は総平均でBOD 47 mg/l、COD 38 mg/l、T-N 29 mg/l、T-P 1.1 mg/lであった。家庭汚水の平均水質と比べると、BODはその約2割、CODは4割、T-Nは8割、T-Pは3割の濃度に相当した。
- ② 当流域の下水処理場の一日平均排出負荷量と比べると、晴天日も含めた雨水吐き室のBOD一日平均流出負荷量は処理場の約1.6倍、CODは8割、T-Nは3割、T-Pは2割に相当した。
- ③ 雨水吐き室の流出汚濁物の削減対策として有効と考えられる雨水地下浸透の効果についてシミュレーションを行ったところ、住宅屋根雨水の半分以上を地下浸透させることにより、雨水吐き室の越流量が3割、住宅屋根雨水の全部を地下浸透させることにより、6割減少する結果が得られ、流出汚濁物についても同程度の削減が可能と推測された。

英文要旨

Study on Estimation and Reduction of Non-point Pollution Loads (III)

—Overflow of Diversion Chamber in Combined Sewer System—

Teruyuki Shimazu, Kenshi Kimura and Yasuhiko Miyoshi

(Abstract)

We measured the overflow pollution loads out of diversion chambers in the basin of Sen-kawa, Tama-gawa branch and investigated the reduction methods of that. The results of this study led to the following conclusions.

(1) The average water quality of BOD, COD, T-N, T-P of the overflow is 47 mg/l, 38 mg/l, 29 mg/l, 1.1 mg/l respectively. Compared with the average water quality of domestic waste water, the average of BOD, COD, T-N, T-P of the overflow is about 20%, 40%, 80%, 30% of that respectively.

(2) Compared with the average loads of the treated water of sewage treatment plant, the daily average loads of BOD, COD, T-N, T-P of the overflow is about 160%, 80%, 30%, 20% of that respectively.

(3) We thought that rainwater underground infiltration was the effective reduction method of overflow loads of diversion chambers, and calculated the reduction volume of overflow in case of using this method. As a result, about 30% of overflow volume was cut down by infiltrating half of house roof rainwater and about 60% was cut down by infiltrating all of that.

1 はじめに

晴天時には比較的きれいな川が雨天時に汚れがひどく

なることがしばしばある。下水道の普及と工場排水等の規制で都内の河川の水質は改善されてきたが、雨天時の

汚濁の状況はあまり変わっていない。雨天時に河川を汚濁させる最も大きな要因となっているのは合流式下水道である。

汚水と雨水を同じ下水管に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、下水処理場の処理能力を超える水は雨水吐き室から河川に放流される。雨天時には下水管の管底に堆積した汚濁物が洗い流されるため、雨水吐き室の越流水にはかなりの汚濁物が混入する。

また、処理場内においても二次処理の能力を超える分は第一沈殿池だけの簡易処理で放流されており、これも河川の汚濁源の一つになっている。

この雨水吐き室による河川の汚濁問題について有効な対策を見出すためには、まず、その越流汚濁物の負荷量を把握し、流出のパターンを明らかにする必要がある。本研究はこのことを目的としたもので、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主な雨水吐き室に順次、計測装置を設置して越流水の流量と水質の計測を続けてきた¹⁾²⁾。5年度は、流域面積が中規模の雨水吐き室を対象として同様の作業を進めるとともに、今までの調査結果に基づき、対象流域全体の雨水吐き室の流出汚濁負荷量を計算して下水処理場の排出負荷量との比較を行った。また、その流出汚濁物の削減対策として有効と考えられる雨水の地下浸透でどの程度の削減が可能であるかの試算を行った。これらの調査と計算の結果を報告する。

2 方 法

(1) 計測の対象

5年度に計測を行ったのは、仙川右岸にあるD雨水吐き室である(図1)。この雨水吐き室単独の集水面積(流域面積)は約30haである。この雨水吐き室につながる合流下水管には、上流域からの遮集下水(吐き室で越流しなかった下水)とこの流域の合流下水が流入し、この吐き室で次の遮集下水管の容量を超える分が越流する。平成2~4年度に計測を行ったA、B、C雨水吐き室のうち、A室は単独の流域の下水だけを扱う独立型の吐き室であり、B室とC室はそれぞれ予備と最終の吐き室で、まず、C室から越流し始め、更に流量が増大した時にB等の予備吐き室から越流するようになっている。このように雨水吐き室にはいくつかの型があるが、今回のD室は単独の集水域の合流下水と上流域からの遮集下水を扱

うものであるため、セミ独立型といえる。

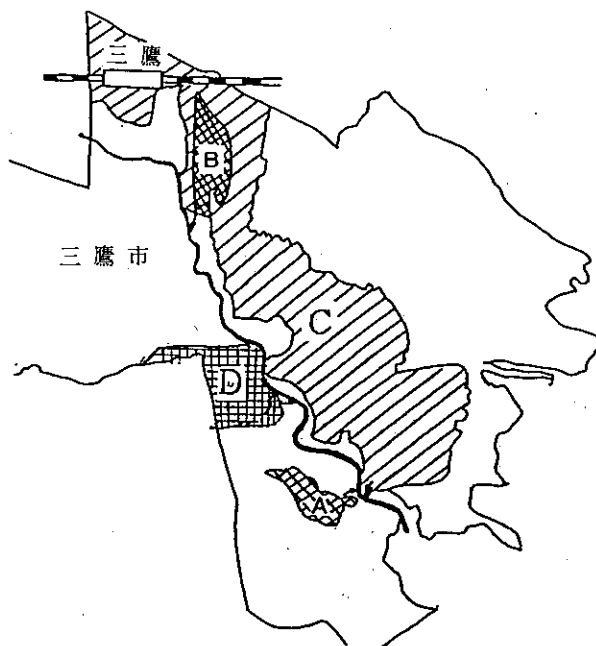


図1 調査対象の雨水吐き室の集水区域

(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)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100m³)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の時間別観測降水量を用いた。

(3) 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次のとおりである。BOD、COD、TOC、SS、T-N、TDN、NH₄-N、NO_x-N、T-P、TDP、PO₄-P

3 結果と考察

(1) 計測の結果

ア 降水量と越流量の関係

D雨水吐き室の降水量と越流量、越流水質の経時変化の例を図2に示す。この例では降水量1mm/時では越流は起きず、2~3mm/時以上になってから越流が始まっている。図3はおおむね連続した降雨を1データとしてその合計の降水量と越流量の関係をみたものである。同図をみると、ばらつきが多いが、これは降水量のデータが府中地点のもので、局地的な降雨や移動性の降雨に対応できないことが原因している。両者の一次回帰式は $Y=0.33X-2$ である。ただし、Xは降水量、Yは越流量/集水面積で、単位はX、Yともmm/時である。

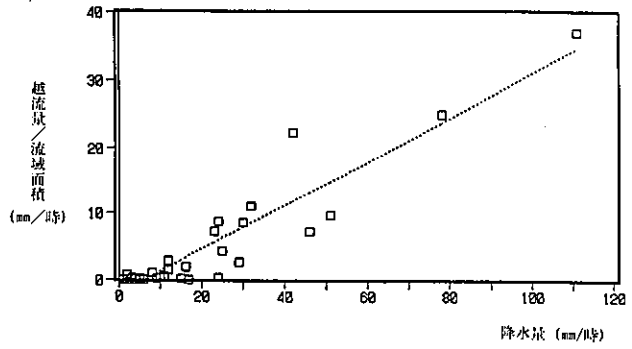


図3 D雨水吐き室の越流量と降水量の関係 (1993年10月~94年5月)

表1は今まで調査を行ったA~D雨水吐き室の回帰式と総流出率($\Sigma Y / \Sigma X$)をまとめたものである。Bは予備吐き室であるので、除外して考えると、回帰係数は0.28~0.34、総流出率は0.23~0.29の範囲にあり、ほぼ同じような値が計測されている。回帰式の切片は0.2~2で大小の差が大きい。これは図3でも明らかなように、切片の推定精度があまり高くないことによる。

表1 降水量と越流量の関係式

Y: 流出量/流域面積 (mm/時)
X: 降水量 (mm/時)

雨水吐き室	Y/X	関係式
A (独立)	0.23	$Y = 0.34 X - 0.2$
B (予備)	0.11	—————
C (最終)	0.29	$Y = 0.28 X - 1.2$
D (増設)	0.23	$Y = 0.33 X - 2.0$
A, C, D の平均	平均 0.25	$Y = 0.32 X - 1.1$

イ 越流水の水質

D雨水吐き室越流水の水質を分析した結果を表2、そのBOD、CODの頻度分布を図4(1)、(2)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た。BODの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90mg/l、平均は単純、加重とも約40mg/lである。家庭汚水平均の200mg/lと比べると、95%水質値はその半分程度、平均は2割程度の値である。他の項目の95%水質値をみると、CODは家庭汚水の8割程度、T-Nは6割程度、T-Pは9割程度である。また、それぞれの平均は単純、加重ともCODは家庭汚水の3割、T-Nは2割、T-Pは3割程度の値

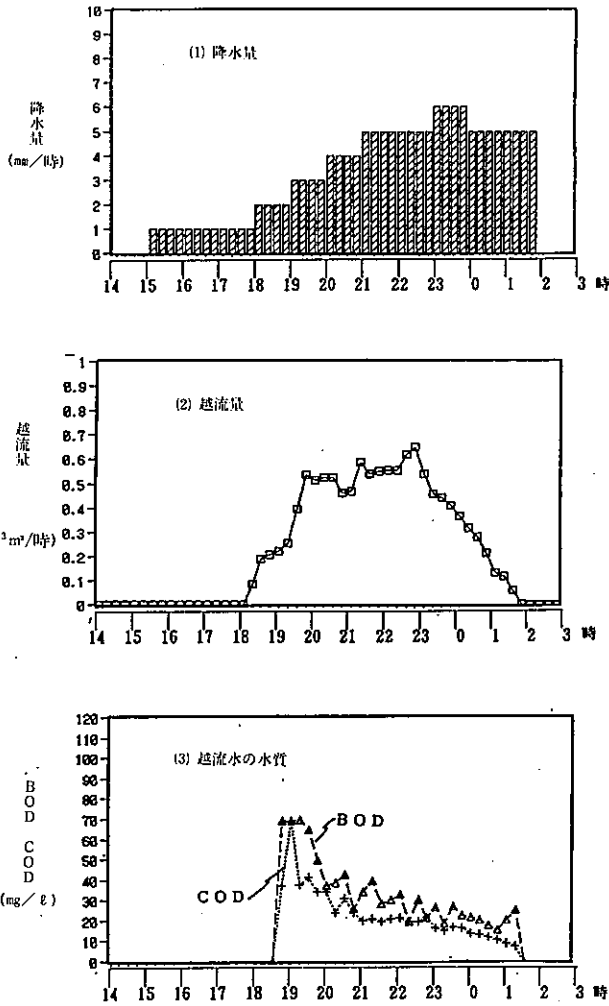


図2 D雨水吐き室越流水の流量と水質の経時変化 (3月23日~24日)

表2 D雨水吐き室の越流水の水質

(単位 mg/ℓ)

	単純平均値	加重平均値	95%水質値	5%水質値	家庭汚水の平均
BOD	42	41	90	9	200
COD	33	34	84	11	100
TOC	14	14	45	3	—
SS	148	161	321	33	170
T-N	7.8	7.7	21.6	2.2	37
TDN	4.3	4.1	11.1	0.8	—
NH ₄ -N	2.5	2.2	8.6	0.5	—
NO _x -N	0.5	0.5	1.5	0.02	—
T-P	1.1	1.1	3.6	0.30	4.0
TDP	0.2	0.2	0.8	0.00	—
PO ₄ -P	0.1	0.08	0.8	0.00	—

7~33 mg/ℓ、T-Pは1.0 ~1.1 mg/ℓの範囲にある。B吐き室の場合は合流管の流量がかなり増加した時しか、越流しないため、他の吐き室に比べて低めの値になっている。

表3 雨水吐き室越流水の水質調査結果のまとめ

(単位 mg/ℓ)

	流域面積	BOD	COD	T-N	T-P
A	14 ha	51	40	6.8	1.0
B	21 ha	32	24	6.0	0.8
C	310 ha	48	38	33	1.1
D	30 ha	41	34	7.7	1.1
平均値	—	43	34	13	1.0
面積による加重平均値	—	47	38	29	1.1

[注] 各雨水吐き室の水質は越流量による加重平均値を示す。

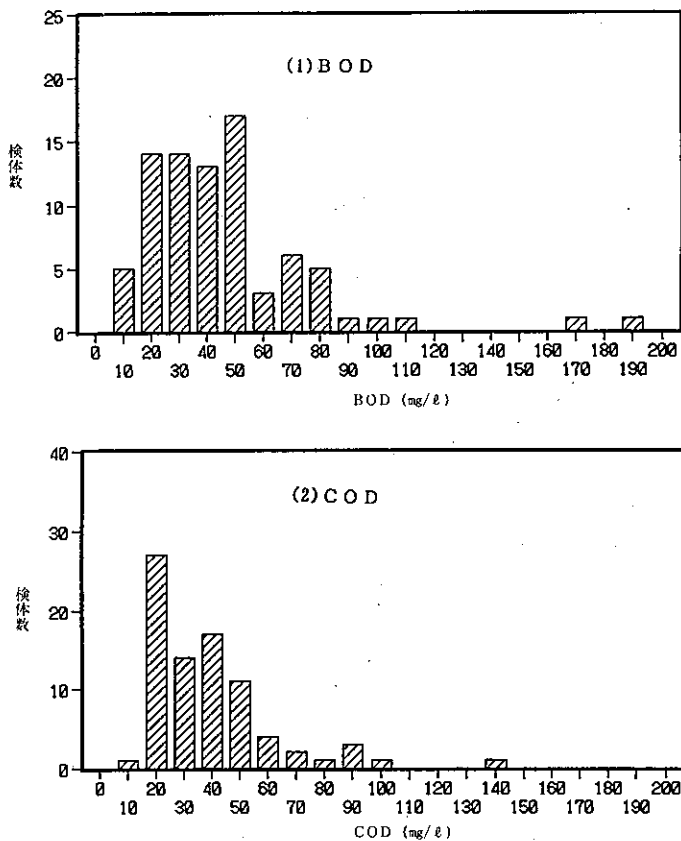


図4 D雨水吐き室越流水のBODとCODの頻度分布

である。また、図4をみると、越流水の大半はBOD、CODとも20~60 mg/ℓの範囲にある。

表3はA~D雨水吐き室越流水の水質を比較したものである。予備吐き室であるBを除くと、BODの加重平均は41~51 mg/ℓ、CODは34~40 mg/ℓ、T-Nは

BOD、COD、T-Pに関してはA、C、D吐き室とも同じような値であるが、T-NはC吐き室の値が非常に高いため、A、D吐き室はその1/4以下になっている。高濃度T-Nの流出はC吐き室だけにみられる特有の現象で、そのT-Nのほとんどは無機態窒素(NH₄-NとNO_x-N)である。その濃度は農地からの流出では説明できないほどの高さで、流出源は不明である。

4雨水吐き室の総平均はBOD 47 mg/ℓ、COD 38 mg/ℓ、T-N 29 mg/ℓ、T-P 1.1 mg/ℓで、BODは家庭汚水平均水質の約2割、CODは4割、T-Nは8割、T-Pは3割に相当する。

ウ 水質の変化

前出の図2(3)に示した例では、越流水のBODとCODは越流の初期に濃度が高く、その後は次第に低くなっている。このBOD等の変化を引き起こしているのは主にSSの流出である。図5(1)~(4)はBOD、COD、T-N、T-Pの各々についてSSとの関係をみたものである。ばらつきはあるが、SSが増加した時は各水質項目とも、上昇する傾向がある。これは、合流式下水管の管底の堆積物が降雨時に洗い流され、それが各水質項目の濃度上昇を引き起こすことを示している。

なお、図2は越流量のピークが一つだけの例であって、越流量が再び増加する場合はBOD等はどのように単純なパターンを描かない。今回は越流量のピークが複数ある場合の水質変化を計測できなかったが、そのような場

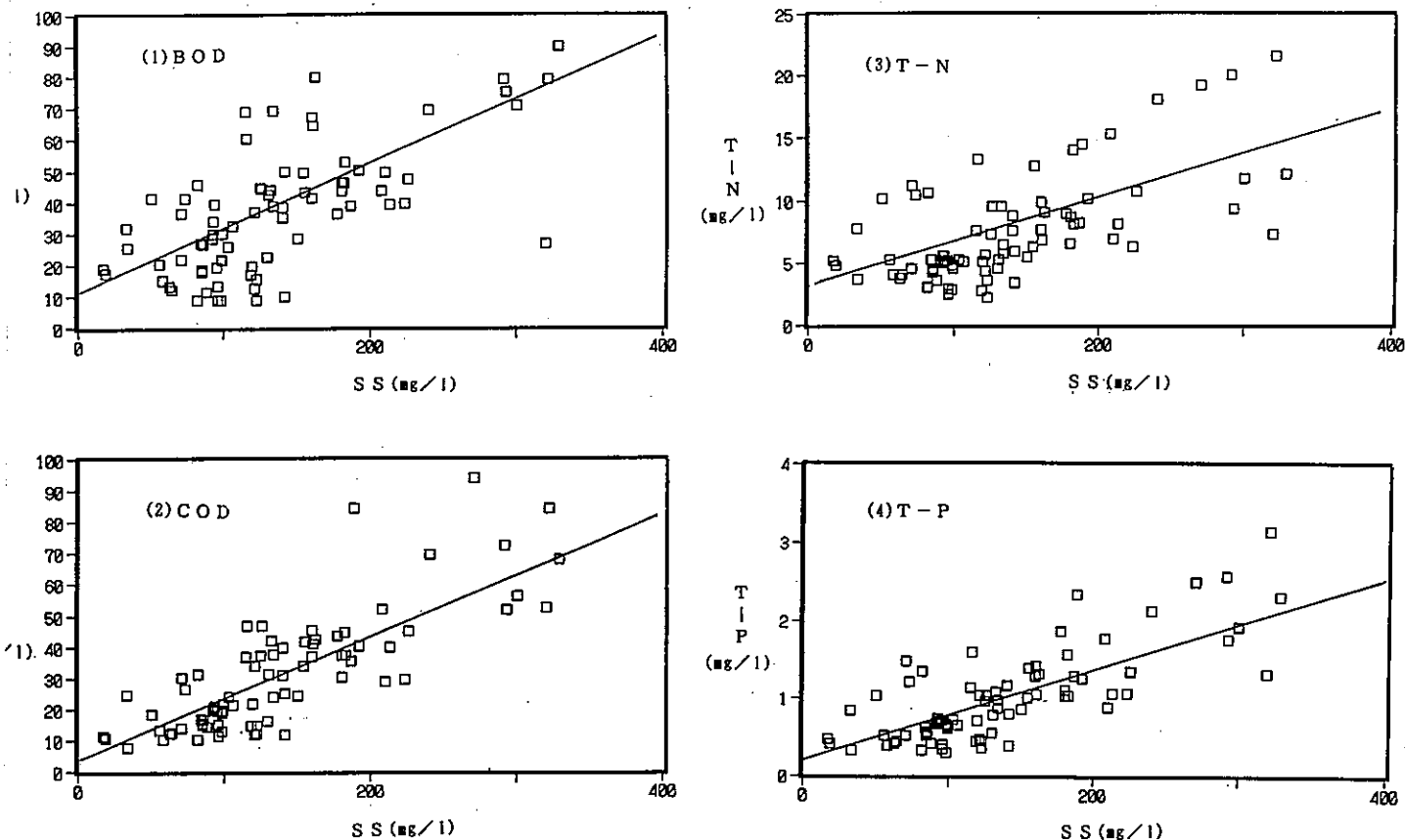


図5 D雨水吐き室越流水の各水質項目とSSの関係

合、AやCの吐き室では越流量の再増加に伴ってBOD等が大幅に上昇していた。このことは、下水管の管底にある堆積物は、一回の流出で洗い流される性状のものではなく、流れの強さに伴って繰り返し流出するものであることを意味している。

(2) 流出汚濁負荷量の計算

次に、今まで調査を行ったA～D雨水吐き室のデータを使って、これらの雨水吐き室を含む流域全体の流出汚濁負荷量を推計し、下水処理場の排出負荷量と対比してみた。対象とした流域は三鷹市T処理場の単独処理区域で、流域面積 615 ha、処理人口約 71000 人である。

T処理場の排水量とBOD等の排出負荷量は、行政資料と3回のスポット調査の結果から推計した。その結果を表4(2)に示す。次に、雨水吐き室の越流量と流出負荷量を次の手順で求めた。

① 一日平均越流量の計算

府中地点の降水量を使うと、過去10年間(1984～93年)の年平均降水量は約1500mmである。雨水吐き室の総流出率(越流量/降水量)は表1の平均値を用いると、

表4 雨水吐き室と下水処理場の一日平均流出負荷量

(流域面積(処理面積) 615ha、処理人口 71000人)

	一日平均排水量 m ³ /日	BOD負荷量 kg/日	COD負荷量 kg/日	T-N負荷量 kg/日	T-P負荷量 kg/日
(1) 仙川の雨水吐き室	6300	300	240	180	7.0
(2) T下水処理場	22000	183	305	654	34.0

25%である。したがって、雨水吐き室からの年平均越流量は単位面積当たり 375 mmであると推測される。これに集水面積を乗じて 365 日で割ると、雨の降らない日も含めての一日平均越流量は約 6300 m³となる。

② 流出負荷量の計算

この越流量に表3の雨水吐き室越流水の平均水質を乗じて、雨水吐き室の流出負荷量を計算した。

雨水吐き室の一日平均流出負荷量の計算結果を表4(1)に示す。T処理場の排出負荷量との比を求めると、BODは約1.6倍、CODは8割、T-Nは3割、T-Pは2割であり、雨水吐き室は仙川等にとって無視できない

汚濁源となっている。なお、T-Nは雨水吐き室の平均濃度が高いが、一方、T処理場の処理水の濃度も高いため、この比が小さくなっている。

雨水吐き室からの明確な越流は、降水量がおおむね10mm以上のまとまった降雨がある時である。1回で10mm以上の雨が降るのは年間で50回足らずであるので、上記の一日平均流出負荷量に365日をかけて50回で割り、1回当たりの平均流出負荷量が求めると、BODは2200kg、CODは1800kg、T-Nは1300kg、T-Pは51kgとなる。この負荷量はBOD、CODについては下水処理場の一日平均排出負荷量の6~12倍、T-N、T-Pについてはその1.5~2倍となる。まとまった降雨によって雨水吐き室から流出する汚濁物量はかなり大きいと考えられる。

(3) 流出汚濁物の削減の方法

この雨水吐き室の流出汚濁物の削減対策として区部等で進められつつあるのは、遮集下水管の容量の増強と合流下水の貯留槽の設置である。しかし、既報1)、2)で試算したように、これらの方法でBOD流出負荷量を大幅に削減しようとするれば、大規模な施設改善が必要となり、現実性に問題がある。

雨水貯留槽は雨天時の越流水を貯留し、晴天になってからポンプで遮集管経由で処理場へ送るものである。流域面積が310haのC吐き室について試算した結果では、BOD流出負荷量の80%を削減しようとするれば、7000~20000m³の雨水貯留槽が必要であった。この数字をT処理場の処理区域全体615haにあてはめると、14000~40000m³、その上限をとれば、40000m³の貯留槽が必要となる。T処理場の一日平均処理水量は22000m³であるから、その2日分に近い容量の貯留槽をこの処理区域で確保しなければならず、現実にはきわめてむずかしい。

また、遮集下水管の容量の増強で対応する場合、C吐き室についての試算では、BOD流出負荷量の80%を削減しようとするれば、遮集倍率(遮集下水量/時間最大計画下水量)を現状の3倍から6倍に引き上げなければならず、遮集下水管の全面的な取り替えが必要となる。そして、下水処理場へ送る遮集下水量を増やしても、その増加分は最初沈殿池だけの簡易処理で放流されるから、水質改善効果はあまり大きくはない。

この雨水吐き室の流出汚濁物の削減対策として有効と

考えられるのは、雨水の地下浸透の積極的な推進により、雨天時の流出を抑制し、雨水吐き室からの越流量を小さくすることである。そこで、この雨水地下浸透の効果をみるため、次の条件において雨水吐き室からの越流のシミュレーションを行ってみた。

[シミュレーションの条件]

① 土地の利用面積率

i. 被覆地(不浸透面で覆われているところ) 50%

住宅	20%
その他の建物	10%
生活道路	10%
幹線道路	5%
その他	5%

ii. 非被覆地(庭、公園、畑等) 50%

② 流出率(合流管への雨水流入量/降水量)

i. 被覆地 80%

ii. 非被覆地 10%

③ 雨水吐き室からの越流

合流管に流入した雨水のうち、1mm/時は遮集されて処理場へ送られる。これはおおむね3倍の遮集倍率に相当する。

④ 雨水地下浸透

次の5ケースを想定する。

ケース0: 被覆地の地下浸透なし

ケース1: 住宅の半数に浸透施設を設置し、屋根雨水を地下浸透させる(浸透面積率(雨水地下浸透対象面積/全土地面積)10%)。

ケース2: 住宅の全部に浸透施設を設置し、屋根雨水を地下浸透させる(浸透面積率20%)。

ケース3: 住宅と住宅以外の建物に浸透施設を設置して屋根雨水を地下浸透させる(浸透面積率30%)。

ケース4: 建物の屋根雨水の他に、生活道路の雨水排水も地下浸透させる(浸透面積率40%)。

⑤ 降雨のパターン

合計降水量40mmの降雨で、図6(1)の降雨パターンを想定する。

上記の条件を設定して雨水吐き室の越流量のシミュレーションを行った結果を図6(2)に示す。雨水地下浸透の対象面積率が上昇するにつれて、越流量が順調に減少している。各ケースの合計越流量はケース0を100%とすると、ケース1は70%、ケース2は41%、ケース3は

14%、ケース4は1%である。

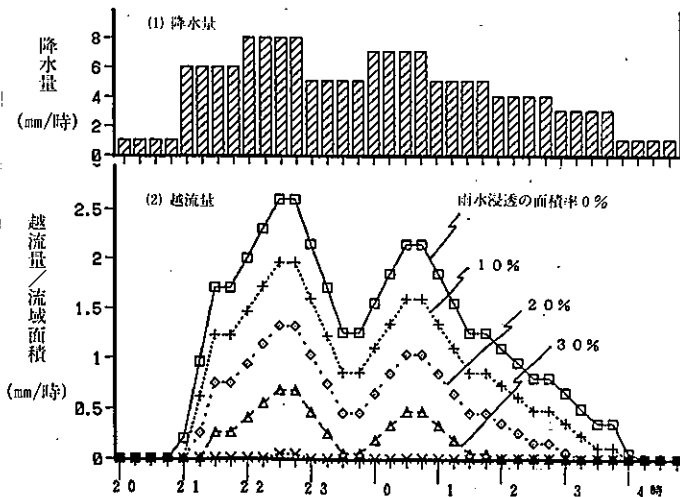


図6 雨水地下浸透の越流量削減効果についてのシミュレーション

BOD等の流出負荷量が越流量に比例すると仮定すれば、その流出負荷量の削減率はケース1で30%、ケース2で59%、ケース3で86%であり、雨水地下浸透の推進で流出汚濁物を大幅に減らすことができる。ケース1は延べ屋根面積約60万 m^2 の雨水を地下浸透させるものであるから、1軒の屋根面積を平均60 m^2 とすれば、1万軒の住宅に雨水浸透施設を設置することが必要である。それにより、雨水吐き室の流出汚濁物を3割減らすことができる。また、住宅全部に雨水浸透施設を設置することができれば(ケース2)、汚濁物の削減率は約6割に、そして、住宅の他に住宅以外の建物の屋根雨水も地下浸透させることができれば、削減率は9割近くになる。

以上はあくまでいくつかの条件を仮定して計算したものであるけれども、雨水の地下浸透が雨水吐き室の流出汚濁物の削減対策として大きな効果を発揮するのは明らかである。

4 おわりに

平成2年度から5年度まで、三鷹市仙川流域の合流式下水道を対象として、雨水吐き室の流出汚濁負荷量の把握とその削減対策の検討を進めてきた。その結果、明らかになったことは次のとおりである。

① 降水量が2~3mm/以上になってから、雨水吐き室からの越流が始まる。その越流量と降水量の比はばらつきがあるが、平均すると、越流量は降水量の25%程

度である。

② 越流水の水質は大きく変化するが、測定した雨水吐き室の総平均はBOD 47 mg/ℓ、COD 38 mg/ℓ、T-N 29 mg/ℓ、T-P 1.1 mg/ℓであった。家庭汚水の平均水質と比べると、BODはその約2割、CODは4割、T-Nは8割、T-Pは3割の濃度に相当した。T-Nの濃度が高いのは、C吐き室において比較的高濃度の無機態窒素の流出が観測されたからであるが、その流出源は不明である。

③ BOD等の各水質項目の多くは、SSとの相関が高く、SSの増加とともに濃度が上昇している。これは合流下水管の管底堆積物の流出によって越流水の汚濁が進行することを意味している。

④ 当流域の下水処理場の一日平均排出負荷量と比べると、晴天日も含めた雨水吐き室のBOD一日平均流出負荷量は処理場の約1.6倍、CODは8割、T-Nは3割、T-Pは2割に相当した。また、まとまった降雨によって流出する平均的な汚濁負荷量を求めると、BODとCODはそれぞれ処理場の6倍と12倍、T-NとT-Pはそれぞれその1.5倍と2倍になる。まとまった降雨によって雨水吐き室から流出する汚濁物量はかなり大きく、河川や海にとって重要な汚濁源となっている。

⑤ 区部等で進められつつある雨水貯留槽の設置や遮集下水管の容量アップにより、流出汚濁物を削減しようとすれば、大規模な施設改善が必要となる。雨水吐き室のBOD流出負荷量の80%を削減するためには、下水処理場の一日平均処理水量の2倍近い容量の雨水貯留槽を流域全体で確保するか、または遮集下水管を全面的に更新して現行3倍の遮集倍率を6倍に引き上げることが必要となる。

⑥ 雨水吐き室の流出汚濁物の削減対策として有効と考えられるのは、雨水の地下浸透の積極的な推進により、雨天時の流出を抑制し、雨水吐き室からの越流量を小さくすることである。この雨水地下浸透の効果についてシミュレーションを行ったところ、住宅屋根雨水の半分を地下浸透させることにより、雨水吐き室の越流量が3割、住宅屋根雨水の全部を地下浸透させることにより、6割減少する結果が得られ、流出汚濁物についても同程度の削減が可能と推測された。

都内の下水道は区部では85%、多摩地域では約40%が合流式下水道であり、その雨水吐き室による汚濁物の流

出は河川や海の水質改善対策を考える上で重要な問題になっている。この流出汚濁物の効果的な削減対策を見出すため、仙川流域にある雨水吐き室の調査を続けてきた。その結果、雨水吐き室への対策を考える上で必要なデータをいくつか得ることができたが、これから調査すべき課題も多く残されている。特に、区部の場合、仙川流域より夜間人口や昼間人口の密度が高いところが多いから、下水管の管底堆積物の量も増え、越流水の水質が今回の調査結果よりもっと高くなる可能性がある。今回の調査結果を参考にして、雨水吐き室の全面的な調査が行われることを期待したい。

本調査を進めるに当たっては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(株)環境分析部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社の方々に感謝の意を表す。

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. 153~161.
- 2) 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2)，東京都環境科学研究所年報 1992，p.138~145.