

# 雨水の地下浸透に関する研究 (その1)

## —住宅地総合雨水排水の水質と流出特性—

嶋 津 暉 之

### 要 旨

三鷹市仙川流域にある住宅地の総合雨水排水の流出量と水質の変化を計測した結果、主に次のことが明らかとなった。

- ① 初期流出水の水質値が高いだけでなく、降雨が続くと、流出量の増加に対応してSSが増加し、それに伴ってCOD、BODなども上昇する。
- ② 流出水の各水質項目の単純平均値は、BODが6.6mg/l、CODが15mg/l、T-Nが2.0mg/l、T-Pが0.22mg/lであった。ただし、各項目の頻度分布をみると、いずれも、濃度の低い試料が圧倒的に多かった。CODの上昇は土壌の流出で説明することができるが、一方、BODの上昇は一般の土壌とは違うSS成分の流入や、洗濯排水のような排水の流入に起因していた。
- ③ 地下浸透を行った場合に地下水への影響が懸念される溶解性成分の単純平均値は、溶解性TOCが3.3mg/l、NH<sub>4</sub>-Nが0.27mg/l、NO<sub>x</sub>-Nが0.75mg/l、PO<sub>4</sub>-Pが0.02mg/lであり、窒素、りん成分の濃度は比較的lowであった。

Study on Ground Infiltration of Rainwater

—Characteristic of Runoff and Quality of Combined Rain Drainage in Residential Area—

Teruyuki Shimazu

### Summary

By investigating the change of runoff volume and quality of combined rain drainage in a residential area located in the basin of Sen-kawa, Mitaka City, the following results were obtained.

- (1) The water quality of early runoff was, of course, high, but after a spell of rain, SS increased in proportion as the runoff volume, and other parameters like COD and BOD increased as well.
- (2) The absolute average value of each parameter of runoff water quality turned out to be BOD: 6.6mg/l, COD: 15mg/l, T-N: 2.0mg/l and T-P: 0.22 mg/l. However in the frequency distribution of each parameter, samples showing low values were considerably many. The increase in COD could be attributed to the outflow of soil, on the other hand, that of BOD turned out to be caused by the inflow of SS components different from general soil, and drainage such as wash-out waste water.
- (3) The absolute average value of soluble components that caused some concerns about the influence in underground water in case of infiltrating rain drainage, turned out to be soluble TOC: 3.3mg/l, NH<sub>4</sub>-N: 0.27mg/l, NO<sub>x</sub>-N: 0.75 mg/l and PO<sub>4</sub>-P: 0.02mg/l. Hence, the value of nitrogenous and phosphoric components were comparatively low.

### 1 はじめに

雨水の地下浸透は、①湧水の保全と復活、②大雨時の流出抑制による氾濫の防止、③合流式下水道の雨水吐き室からの流出汚濁物量の削減<sup>1)</sup>、④水道原水としての地下水への涵養などの効果が期待されており、雨水の地下浸透を積極的に推進する必要がある。今まで雨水の地下浸透の対象とされてきたのは、主として住宅等の屋根雨水であるが、全土地面積に対する屋根面積の割合に限られており、浸透量を増やすためには敷地雨水排水や道路雨水排水など、地下浸透の対象を拡大することが望ましい。しかし、これらの雨水排水は水質上の問題があり、安易な地下浸透の拡大は地下水汚染等を引き起こす心配がある。

これらの雨水排水の地下浸透をはかるためには、その水質変化と流出特性を把握して、地下浸透した場合の問題点と地下水汚染の防止のためにとるべき対策を明確にする必要がある。

今回、このことを目的にして、三鷹市仙川流域の住宅地総合雨水排水の調査を実施した。流量計測装置で雨水排水の流出量の変化を計測するとともに、自動採水器で雨水排水を採取して水質変化を測定した。その調査の結果を報告する。

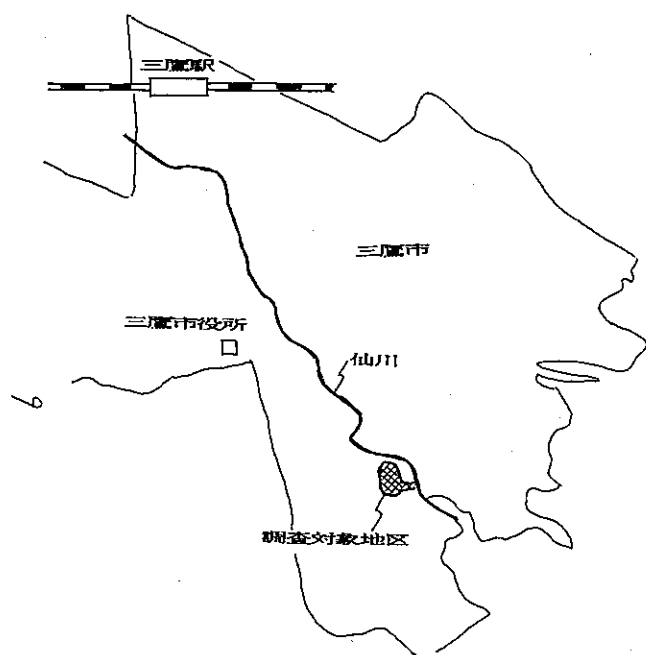


図1 調査対象地区

### 2 方法

#### (1) 計測の対象

三鷹市仙川流域にある新川団地の雨水排水管を流下する総合雨水排水を計測の対象とした。対象地区の場所を図1に示す。この雨水排水管の集水域は一戸建て住宅、低層の集合住宅の地区で、面積は約2.5haである。住宅の屋根雨水の他に、住宅の敷地、生活道路、小公園等の雨水排水が合わさって、この排水管を流下する。

#### (2) 計測の方法

この雨水排水管から仙川に流出する手前のマンホールの下に流量計測装置と自動採水器を設置した。この流量計測装置は雨のない時も15分おきに流量を計測し、記録し続ける。ある程度の降雨があって、流量が設定値を超えると、流量計測装置から自動採水器に対して採水の指示が出て採水が行われる。降雨後に現場に赴き、自動採水器の中の採水試料を回収するとともに、流量計測装置の中の流量計測データを携帯用パソコンに転送した。

また、降水量については調査対象の雨水排水管から約1kmの距離にある三鷹市役所第2庁舎の屋上に雨量計を設置して計測を行った。

#### (3) 計測期間

計測期間は1994年10月から95年5月までである。

#### (4) 分析の方法

JISに準じて、次の項目を分析した。

BOD、COD、SS、TOC、溶解性TOC、T-N、溶解性T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、T-P、溶解性T-P、PO<sub>4</sub>-P、Fe、Mn、Zn、Cu、Pb、Cd、Cr

### 3 結果

#### (1) 降雨量と流出量

降雨量と雨水排水管の流出量を連続計測した例(3月1日)を図2に示す。この排水管の場合、流域から計測地点までの最長流達距離は500m程度で、非常に短いですが、それでも、地表面や屋根等における貯留効果があるためか、降雨と流出に30分以上のタイムラグがあり、それぞれのパターンが異なっている。図2の例の流出率(流出量/降雨量)は43%である。

降雨量と流出量の関係は前回の降雨からの経過日数、降雨のパターン等によって差があり、一様ではない。図3は一連続降雨ごとの合計降雨量と合計流出量の関係を

みたものである。なお、流出量は流域面積で割った値（単位mm）で示してある。降雨量が10mm程度までは流出量のばらつきが目立つが、降雨量がそれより大きくなると、流出量のばらつきが小さくなる。降雨量と流出量の回帰式は次のとおりである。

$$Y = 0.48X - 0.88 \quad X: \text{一連続降雨の降雨量 (mm)}$$

$$r = 0.96 \quad Y: \text{一連続降雨の流出量 (mm)}$$

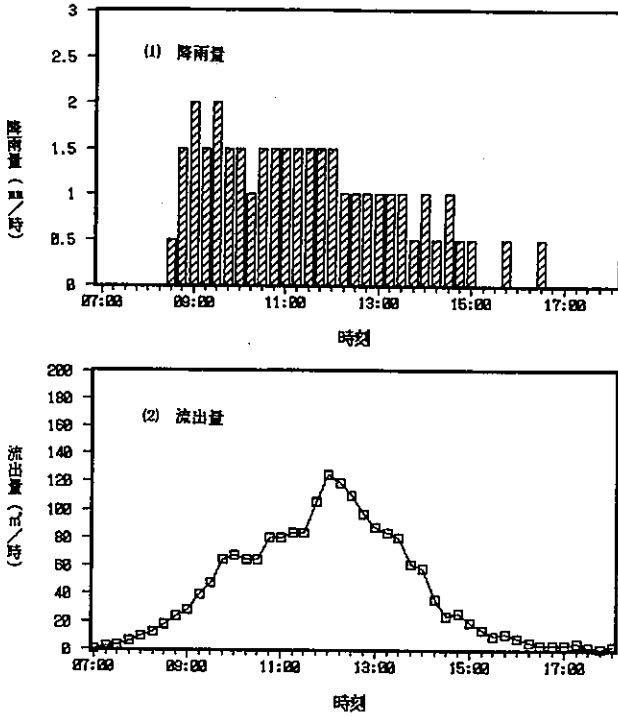


図2 降雨量と流出量の経時変化（3月1日）

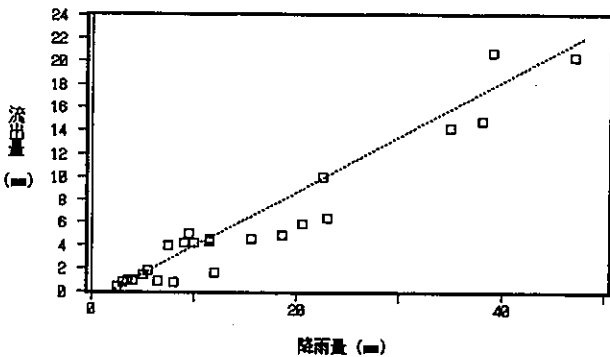


図3 降雨量と流出量の関係

降雨量と流出量をそれぞれ合計し、後者を前者で除して平均流出率を求めると、37%となる。当地区は合流式下水道の地区も混在しており、1990～91年に当地区にあ

るA雨水吐き室の越流水の計測を行った。その時の計測データによる平均流出率は23%であった<sup>9)</sup>。合流式下水道の場合は雨水排水の一部が下水処理場へ送られるので、流出率が小さくなる。この点を考慮すれば、この二つの流出率の差は概ね妥当な値であると考えられる。

(2) 水質と流出量の関係

図4と5は流出水の水質の経時変化と流出量の変化の例を示したものである。10月21日はSSをはじめ、どの水質項目も初期流出水の値が高い。その後、流出量のピークに対応して、SSがピークを形成し、COD、BOD、T-N、T-Pも上昇している。3月1日は7時間前に降雨があったためもあって、初期流出水の水質値の上昇は小さく、その後は流量の増加に対応してSS等がピークを形成している。

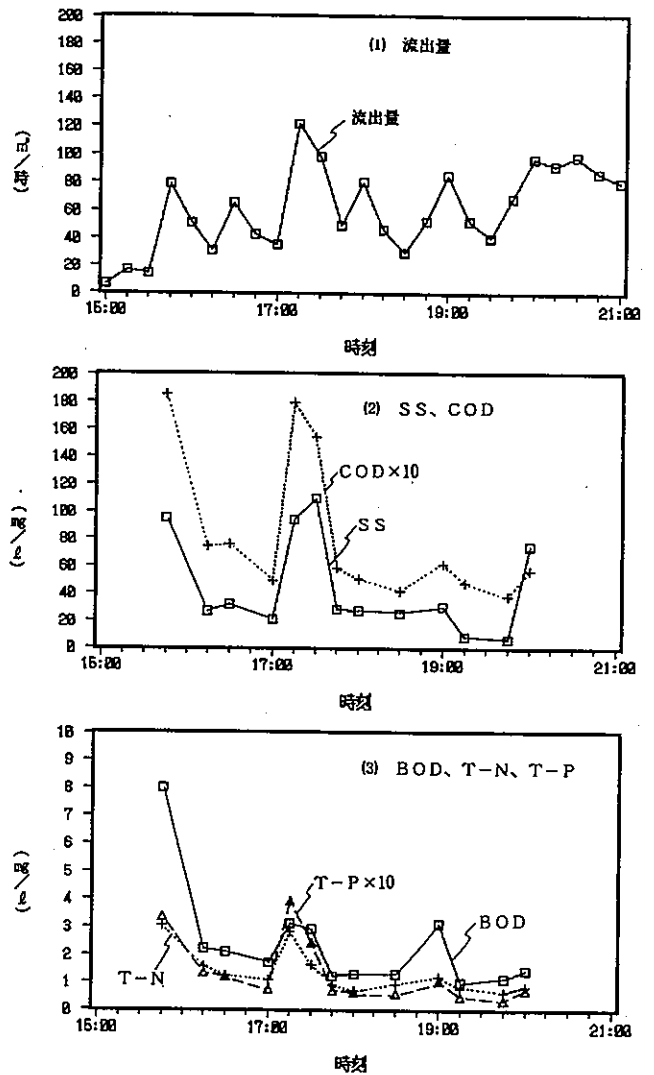


図4 流出水の水質の経時変化（10月21日）

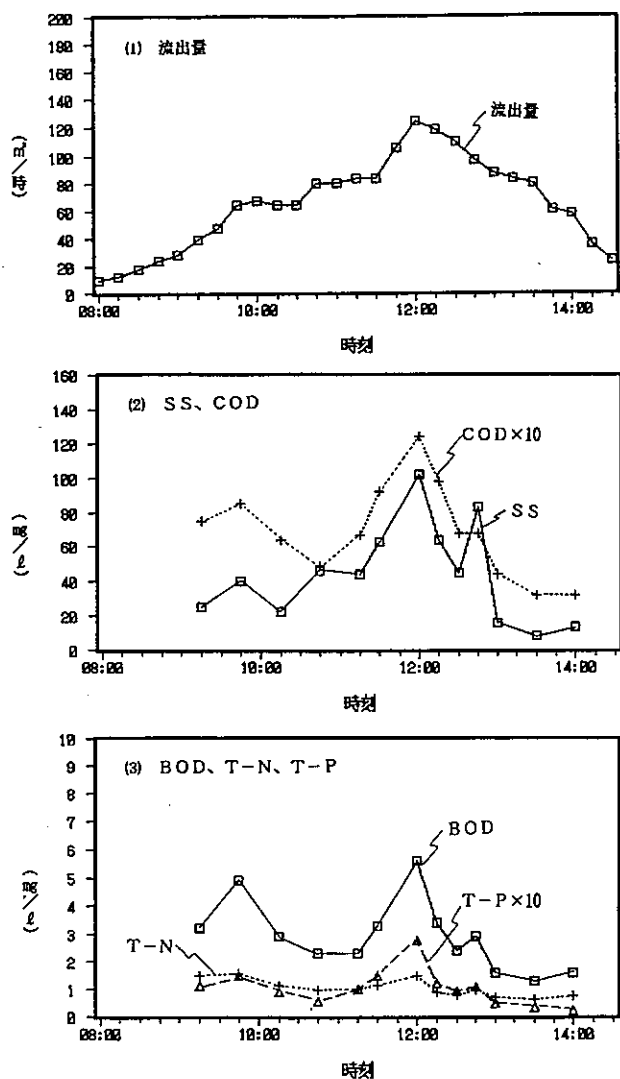


図5 流出水の水質の経時変化 (3月1日)

この経時変化をみると、初期流出水の水質値は上昇するが、それだけが高いのではなく、降雨が続くと、流出量の増加に対応してSSが増加し、それに伴って、BODやCODなども上昇する。このように、地表面上の汚濁物質は初期降雨だけで流出してしまうのではなく、降雨量の増加とともに繰り返し流出する。

図6は流出量とSSとの関係を見たものである。右上がりの傾向はみられ、SSの流出に流出量が関与していることは伺える。しかし、ばらつきは大きく、流出量とSSの対応は一樣ではない。前回の降雨からの経過日数によって、地表面に残るSS量は変化するため、SS濃度は単に流出量だけでは決まらない。

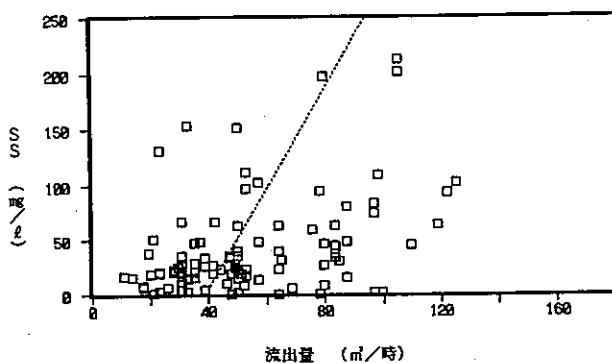


図6 流出量と流出水SSの関係

(3) 流出水質の変動範囲

観測期間における流出水のSS、COD、BOD、T-N、T-P、溶解性TOCの頻度分布を図7(1)~(6)に、これらとその他の水質項目の平均値、中位数、95%水質値、最大値を表1に示す。平均値は単純平均値と、流出量による加重平均値の両方を示した。

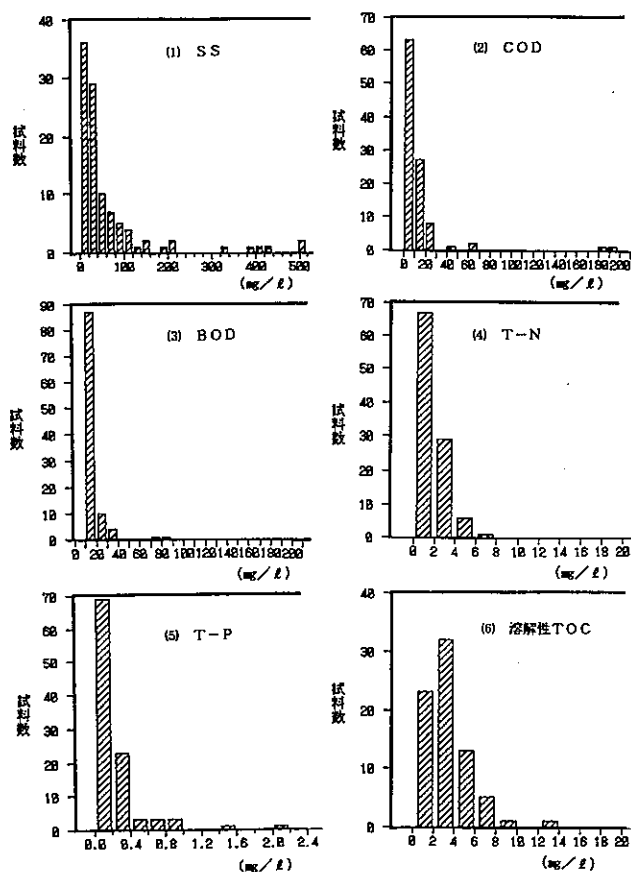


図7 流出水の水質の頻度分布

表1 住宅地総合雨水排水の水質 (n=103)  
[単位 mg/ℓ]

	単純平均値	加重平均値	中位数	95%水質値	最大値
BOD	6.6	9.4	3.1	23.8	72.8
COD	14.7	23.7	8.1	28.7	192
SS	90.7	137	27.0	324	1930
溶解性TOC	3.3	3.0	2.8	6.9	13.0
T-N	1.95	2.06	1.59	4.17	6.54
溶解性T-N	1.26	1.32	1.06	2.89	4.19
NH <sub>4</sub> -N	0.27	0.29	0.18	0.78	1.54
NO <sub>x</sub> -N	0.75	0.79	0.59	2.00	2.76
T-P	0.22	0.26	0.12	0.75	2.10
溶解性T-P	0.04	0.04	0.01	0.06	1.25
PO <sub>4</sub> -P	0.02	0.02	0.01	0.05	1.14
Fe	2.1	3.3	1.2	6.7	23.8 (0.2)
Zn	0.1	0.1	<0.05	0.3	1.4 (0.1)
Mn	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.7 (<0.1)
Pb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cr	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3

[注] Fe、Zn、Mnの最大値の( )内は溶解性の値を示す。

水質項目の中でオーダーが高いのはSSであって、最大値は1920mg/ℓ、95%水質値は324 mg/ℓにもなり、単純平均値は91mg/ℓにもなった。SSの大きい試料は土壌の混入と思われる外観を呈していた。ただし、頻度分布をみると、大半の試料は40mg/ℓ以下である。

他の項目はSSと比べれば、オーダーが低く、最大値と単純平均値はBODがそれぞれ73mg/ℓと6.6mg/ℓ、CODが192mg/ℓと15mg/ℓ、T-Nが6.5mg/ℓと2.0mg/ℓ、T-Pが2.1mg/ℓと0.22mg/ℓであった。各項目の頻度分布をみると、いずれも、濃度の低い試料数が圧倒的に多く、平均値は非常に濃度の高い一部の試料の影響を大きく受けている。そのことは同表の平均値と中位数との差からも明らかである。また、重金属類は一般的に濃度が低く、Pb、Cd、Cu、Crは不検出で、Fe、Zn、Mnの最大値はそれぞれ24mg/ℓ、1.4mg/ℓ、0.7mg/ℓ、単純平均値はそれぞれ2.1mg/ℓ、0.1mg/ℓ、0.1mg/ℓ未満であった。

参考までに、多摩地域の地下水への涵養源の一つと考

えられている多摩川中流部(日野橋)の1993年度の平均水質を表2に示す<sup>2)</sup>。これと比較すると、雨水排水の単純平均値のBODは2.3倍、CODは3.8倍、T-Nは0.6倍、T-Pは0.7倍である。T-N、T-Pは多摩川中流部より低いが、BOD、CODはそれより高い。

表2 多摩川日野橋の水質 (1993年度)<sup>2)</sup>  
[単位 mg/ℓ]

	平均値	最大値
BOD	2.9	5.8
COD	3.9	6.1
SS	7	34
TOC	3.3	5.0
T-N	3.26	4.25
NH <sub>4</sub> -N	0.54	1.3
NO <sub>x</sub> -N	2.36	3.07
T-P	0.27	0.49
PO <sub>4</sub> -P	0.22	0.37

試料の過半数はBOD、CODが一桁であるが、時にはBOD、CODが二桁から三桁に上昇することがある。SSとBODとの関係、SSとCODとの関係を図8に示す。SSが2000mg/ℓ近くまで異常に上昇した時に、BOD、CODも最大値に近い値を示しており、SS成分がBODやCODを時折大きく上昇させていることが分かる。SSと各水質項目との相関係数は次のとおりで、主にSSによって水質値が上昇しているのはBOD、CODとFeである。

SSとの相関係数

BOD	COD	T-N	T-P	Fe
0.90	0.98	0.55	0.37	0.94

表3は、集水域にある土壌を三種類採取し、蒸留水に湿重量で約1500mg/ℓ混濁させてその水質を分析したものである。土壌は道路脇の植込みの土壌、小公園の土壌、集合住宅立て替え工事の掘削土壌である。このうち、掘削土壌はSSが高くて、CODが小さいが、植込みや

小公園の土壌は有機物質の含有率が高く、CODが大きい。しかし、BODは小さい。

表3 土壌の懸濁水の水質

[単位 mg/ℓ]

	道路脇の植込みの土壌	小公園の土壌	工事の掘削土壌
BOD	1.2	1.5	0.9
COD	56.2	63.0	2.4
SS	372	807	453
溶解性TOC	1.2	1.0	1.4
T-N	2.67	3.51	0.53
溶解性T-N	0.36	0.27	0.33
NH <sub>4</sub> -N	0.01	0.00	0.13
NO <sub>x</sub> -N	0.22	0.21	0.19
T-P	0.43	2.81	0.11
溶解性T-P	0.01	0.06	0.01
PO <sub>4</sub> -P	0.01	0.06	0.01

この結果をみると、雨水排水のCODの上昇は土壌の流出で説明できるが、BODの上昇は説明できない。前出の図8(1)でBODを大きく上昇させているSS成分は一般の土壌とは違うものの流出であるが、その中身は不明である。また、この図においてSSがあまり高くなくても、BODが数十mg/ℓになることがある。測定対象の雨水排水は、側溝に流れ込む雨水排水が集まったものであるが、雨が降らない時にも多少の流れがあって、時には洗濯排水のような白い色を呈することもある。そのような排水が側溝に排出されたことによるものと推測される。

(4) 合流式下水道の越流水との比較

測定対象の雨水排水管は分流式下水道の中の雨水排水管である。この仙川流域は合流式下水道が大半を占めており、今回の測定対象の近くにも合流式下水道の地区がある。その合流式下水道のA雨水吐き室における越流水の水質を1990～91年に調査した結果を表4に示す<sup>3)</sup>。

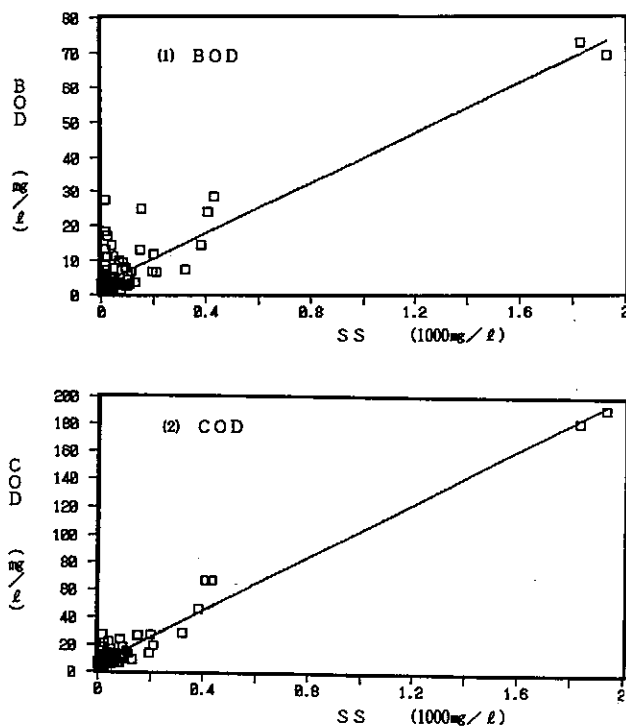


図8 流出水のSSとCOD、BODの関係

表4 合流式下水道の雨水吐き室越流水の水質<sup>3)</sup>

(三鷹市仙川流域のA地区)

[単位 mg/ℓ]

	単純平均値	加重平均値	95%水質値
BOD	54	51	150
COD	43	40	110
SS	130	150	400
T-N	7.3	6.8	14
溶解性T-N	3.6	3.1	7.5
NH <sub>4</sub> -N	1.7	1.6	4.2
NO <sub>x</sub> -N	0.72	0.69	1.9
T-P	1.4	1.0	4.0
溶解性T-P	0.47	0.15	3.4
PO <sub>4</sub> -P	0.31	0.10	1.9

各水質項目の単純平均値を比較すると、分流式下水道の雨水排水に対する合流式下水道の雨水吐き室越流水の倍率は、BODが8.2倍、CODが2.9倍、SSが1.4倍、T-Nが3.7倍、T-Pが7.0倍である。

SSとCODについては、合流式下水道と分流式下水道の差が予想以上に小さいが、BOD、T-N、T-Pについては大きな差がある。合流式下水道の雨水吐き室の越流水は下水管底の堆積物の流出によって、分流式下水道の雨水排水管の流出水は主に土壌の流出によって、水質濃度が上昇する。SS、CODの差が小さく、BOD、T-N、T-Pの差が大きくなるのは、この流出物の性状の違いに由来する。

なお、三鷹市仙川流域の合流式下水道の雨水吐き室のうち、集水面積が最も大きいC雨水吐き室の越流水は特定の工場排水が原因と考えられる影響で、T-Nの単純平均値が36mg/ℓもあった。それと比べると、今回の雨水排水のT-Nは格段に小さい。このように、上記の倍率は一定ではなく、合流式下水道の集水域の特性によって変わるものであることに留意する必要がある。

#### 4 考 察

以上のデータに基づいて、今回調査した住宅地総合雨水排水を地下浸透させることが可能かどうかについて若干の考察をしておく。

当初は初期流出水のみが汚濁され、その後は流出量の増加とともに、清澄化していく流出パターンを想定していたが、測定の結果は予想と異なり、流出量の増加とともに、水質濃度が上昇した。もし当初想定したような流出パターンならば、浸透ますの手前に越流堰を設け、一定流量を超えた流出水のみを浸透させ、その流量以下の流出水は河川に流出させることにより、初期流出水の影響を軽減することができるが、事実は違っていた。したがって、一部の流出水を分離することによる汚濁軽減策の採用は無理と考えられる。

流出水の水質濃度の上昇はほとんどSSの流出によるものであり、そのSSは主に土壌成分である。普通の土壌成分ならば、それを含む流出水を地下浸透させても、地下水の水質上の問題はあまり生じないはずである。なぜなら、普段から土壌層を通過した雨水が地下に浸透しているからである。しかし、土壌成分を多量に含む水の地下浸透は、浸透ますを閉塞させてしまうことが予想さ

れるから、浸透ますに細かい網を入れて、網を時折取り換えるなどの対応策、すなわち、浸透ますの構造の工夫と維持管理が必要とされる。

しかし、流出水に混入するのは一般土壌だけではない。BODの異様な上昇を引き起こす、成因不明なSS成分もあるし、また、洗濯排水のような排水が側溝に流されることによる汚濁物質の流入もある。前者については今後、SSの成因を追求する必要があるが、SS成分であるから、浸透ますに堆積する土壌でほとんどろ過されると考えられる。後者については浸透対象地域の住民に対して、側溝に雨水排水以外の排水を流さないように、周知し、その意識の浸透をはかる必要があるが、不特定多数の住民においてそれがどこまで徹底されるかは不明である。

以上の前提で地下浸透の推進を考えていくと、残る問題は流出水に含まれる溶解性成分である。今回、溶解性成分について分析した項目は、溶解性TOC、窒素、りん関係と重金属類である。

溶解性成分の最大値と単純平均値は前出の表1に示すとおり、溶解性TOCがそれぞれ13mg/ℓと3.3mg/ℓ、NH<sub>4</sub>-Nが1.5mg/ℓと0.27mg/ℓ、NO<sub>x</sub>-Nが2.8mg/ℓと0.75mg/ℓ、PO<sub>4</sub>-Pが1.1mg/ℓと0.02mg/ℓであった。このうち、NH<sub>4</sub>-NやPO<sub>4</sub>-Pも土壌に吸着されやすい成分であり、最大でこの程度のオーダーならば、浸透の過程で自然土壌に吸着されるものと考えられる。また、NO<sub>x</sub>-Nは水道水の基準が10mg/ℓ以下であるから、基準をかなり下回っている。たとえ、NH<sub>4</sub>-Nの酸化でNO<sub>x</sub>-Nが増加しても、余裕がある。

溶解性の重金属類で検出されたのはFeとZnで、それぞれの最大値は0.2mg/ℓと0.1mg/ℓであった。陽イオンになる重金属類は低濃度であれば、浸透の過程で自然土壌に吸着されるので、地下水汚染に結び付くことはないと考えられる。

測定した項目のうちで問題として残るのは溶解性TOCである。溶解性TOCの最大値が13mg/ℓ、単純平均値が3.3mg/ℓである流出水を地下浸透の対象としてどう評価するかはむずかしい。その中には、先に述べた側溝への洗濯排水等の混入による上昇も含まれているから、住民への意識の浸透で低減される部分もあるだろうが、その低減の度合いは不明である。最大値はともかくとして、平均値3.3mg/ℓは、前述の多摩川中流部の河川水

(日野橋)に近い。日野橋の1993年度の平均TOCは3.3mg/ℓである。この測定値は晴天日の平均であり、晴天日における多摩川河川水のTOCのほとんどは溶解性である。したがって、溶解性TOCの面では、住宅地総合雨水排水の地下浸透は、多摩川中流部の河川水を地下浸透させることにほぼ相当するといえる。多摩川中流部の河川水の一部は砂層等でろ過されながら、深層地下水を涵養していると考えられている。

このように、分析した項目の範囲で、問題点を整理していくと、いくつかの条件を前提とすれば、住宅地総合雨水排水を地下浸透させることの可能性はあると考えられる。

しかし、それを明確にするためには、更にデータを積み上げるとともに、地下浸透の是非を評価する基本的な考え方を整理することが必要である。

## 5 おわりに

三鷹市仙川流域にある住宅地の総合雨水排水の流出量と水質の変化を計測した結果、次の諸点が明らかとなった。

- ① 降雨量と流出量の関係は前回の降雨からの経過日数、降雨のパターン等によって差があり、一様ではないが、平均流出率は37%であった。
- ② 初期流出水の水質値が高いだけでなく、降雨が続くと、流出量の増加に対応してSSが増加し、それに伴ってCOD、BODなども上昇する。
- ③ 流出水の各水質項目の最大値と単純平均値は、BODがそれぞれ73mg/ℓと6.6mg/ℓ、CODが192mg/ℓと15mg/ℓ、T-Nが6.5mg/ℓと2.0mg/ℓ、T-Pが2.1mg/ℓと0.22mg/ℓであった。ただし、各項目の頻度分布をみると、いずれも、濃度の低い試料が圧倒的に多かった。
- ④ CODの上昇は土壌の流出で説明することができるが、一方、BODの上昇は一般の土壌とは違うSS成分の流入や、洗濯排水のような排水の流入に起因していた。
- ⑤ 近傍にある合流式下水道のA雨水吐き室における越流水の水質の調査結果と比較すると、今回の雨水排水に対する雨水吐き室越流水の倍率は、BODが8.2倍、CODが2.9倍、SSが1.4倍、T-Nが3.7倍、T-Pが7.0倍であった。
- ⑥ 地下浸透を行った場合に地下水への影響が懸念され

る溶解性成分の平均濃度は溶解性TOCが3.3mg/ℓ、NH<sub>4</sub>-Nが0.27mg/ℓ、NO<sub>x</sub>-Nが0.75mg/ℓ、PO<sub>4</sub>-Pが0.02mg/ℓであり、窒素、りん成分は比較的低かった。

今後は雨水排水の調査を続けてより多くのデータを把握するとともに、地下浸透の是非を評価する基本的な考え方を整理していくことにしたい。

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る。

## 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3)。東京都環境科学研究所年報，1994，p.149～156。
- 2) 東京都環境保全局：平成5年度公共用水域の水質測定結果(資料編)，p.199～203(1994)。
- 3) 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。