

# 都市域の雨水流出に伴う雨水樹流出負荷の研究

## STUDY OF RUNOFF WATER QUALITY OF THE FLUSHING FROM THE STREET INLETS IN URBAN AREA

和田安彦\*・三浦浩之\*\*

By Yasuhiko WADA and Hiroyuki MIURA

Since most accumulated loads, which are produced by human activities, on road surfaces are gathered into street inlets, we never ignore the influences of pollution loads in street inlets on runoff water quality. So, we carried out the investigations on the change of pollution loads in street inlets for a period of approximately 4 months, and we made clear the characteristics of pollution loads in street inlets in urban area. Furthermore, we derived the model for runoff loads from street inlets in order to make clear the influence on runoff loads on rainy day and the runoff characteristics. And we simulated runoff loads by our model on the basis of the results of our experiments of the flushing of pollution loads in street inlet.

*Keywords: street inlet, simulation model, accumulated pollution loads, runoff characteristics*

### 1. 緒言

非特定汚染源負荷のうちでも路面堆積汚染物質の流出は発生汚染物質量の面などから重要視されている。特に、路面堆積汚染物質流出機構の中でも、道路端の雨水樹は、その構造上から、路面や屋根に堆積した汚染物質等が蓄積しやすく、蓄積した汚染物質の雨天時下水水質への寄与は、必ずしも小さいものではない。雨水樹からの汚染物質の流出過程を表現するモデルが、今後、公共用水域の水質を向上させるためにも必要である。

著者らは雨水樹からの汚染物質の流出に着目し、この流出特性を把握して、モデル化を図り、雨水樹沈澱汚染物質の流出機構を明らかにすることを試みた<sup>1)</sup>。これまでに、実験室規模での実験により、雨水樹沈澱汚染物質の流出状態をモデルにより表わした<sup>2)</sup>。ここでは、住宅地に設置してある実規模の雨水樹を対象に調査、実験を行い、雨水樹沈澱汚染物質の特性を明らかにした。さらに、シミュレーションモデルにより雨水樹からの流出汚染物質の解析を行い、これを効果的に削減するための方策について考察した。

### 2. 都市域の降雨時汚染物質流出の特性と雨水樹

#### (1) 降雨時の雨水樹への流入汚染物質

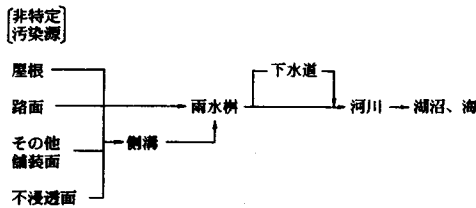
雨は、屋根、道路等の不浸透域および浸透域に堆積している汚染物質を洗い流し、側溝に流出する。側溝に流出してきた汚染物質を含んだ雨水は、側溝途中に設けられた雨水樹内へと流入していく。この流出過程を図一に示す。

降雨時に、雨水樹内へ流入してくる非特定汚染源からの汚染物質を大別すると、大気中の浮遊物や降下物等の大気系負荷、降雨含有負荷、都市内を移動する交通等による排ガス、ごみ、ほこり等の路面負荷の3つに分けることができる<sup>3)</sup>。都市域では、土地利用面積の20~30%近くが路面である。路面負荷とは路面上に堆積しているもので、大気からの降下物質、自動車排ガス、タイヤ摩耗物質、土粒子等の人為活動に伴う汚染物質が降雨時に流出し側溝、雨水樹、下水道管を経て水系に流出するものである。

路面負荷は、路面に堆積している比較的粒子径の粗い物質に含有される負荷(堆積性負荷)と、路面に付着している微粒子に含有される負荷(付着性負荷)から成っている<sup>5)</sup>。これらの含有負荷の特徴をBOD、SSを中心

\* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科  
(〒564 吹田市山手町 3-3-35)

\*\* 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科(同上)



図一 都市域の非特定汚染源負荷の流出過程

に挙げると以下ようになる。

- ① 路面負荷は路面上に一樣に堆積しているのではなく、粒子径の比較的大きいもの ( $74\mu\sim 420\mu$ ) は路肩に堆積している。したがって、路肩部分では堆積性負荷の割合が高く、路肩以外の部分では付着性負荷が中心となる。
- ② 堆積負荷の粒子径は  $250\mu$  未満のものが  $1/2$  以上 (重量比) を占め、微粒子が多い。
- ③ 用途地域別では、工業系地域 (工業専用地域、工業地域、準工業地域) での路面負荷は他の用途地域のものより  $5\sim 10$  倍多く、 $BOD\ 0.09\sim 0.73\ (g/m^2)$ 、 $SS\ 0.8\sim 43.2\ (g/m^2)$  にある。
- ④ 住居専用地域での路面負荷量は少ないが ( $BOD\ 0.02\sim 0.06\ g/m^2$ )、住居地域 ( $0.05\sim 0.08\ g/m^2$ ) では商業地域 ( $0.03\sim 0.08\ g/m^2$ ) よりも路面負荷量が多い場合がある。
- ⑤  $BOD$  は工業系地域では堆積性の方が付着性のものより多いが、その他の用途地域では  $8\sim 9$  割が付着性である。
- ⑥  $SS$  は住居専用地域、工業系地域では堆積性の割合が高く、住居地域や商業地域では付着性の割合が高い。
- ⑦ 金属類の路面負荷の中では、 $Mn$  が最も多く、住居地域や商業地域で  $10\sim 50\times 10^{-5}\ (g/m^2)$ 、工業系地域では  $40\sim 550\times 10^{-5}\ (g/m^2)$  にある。

屋根負荷の内容物は、人為的な飛散土粒子、地表面堆積物質、塗料、それらの溶解物質等であり、降雨負荷は、雲の中の雨滴の成長段階と降下段階で汚染物質が取り込まれたものである。

## (2) 降雨時の雨水樹沈澱物の流出特性

雨水樹は雨水排除機能をもつとともに、非特定汚染源からの汚染物質の流出機構の一部ともなっている。すなわち、晴天時に発生し、路面、空地、屋根等に堆積した汚染物質は、降雨によってその大半が雨水樹にいったん集められる。雨天時には、雨水の流入により晴天時に沈澱した汚染物質は容易に分流式雨水管へ流下する。このように、雨水樹は晴天時に発生・堆積した路上等からの汚染物質を貯め、雨天時に流出する、いわば雨天時の汚染物質供給源となっている。

著者らによる雨水樹流出汚染物質に関する研究<sup>1)</sup>では、雨水樹汚染物質は以下のような特性をもっていることを明らかにした。

- ① 路面の汚濁は、大気中からのばい煙、粉じんの降下、自動車の排気ガス、ごみ等に起因する。
- ② 雨水樹には降雨時に路面堆積負荷の大半が流入するため、雨水樹は汚染物質の貯留槽的な機能をもち、雨天時の汚染物質供給源となっている。
- ③ 雨水樹内汚染物質の大部分は沈澱物質中に含有され、降雨時には沈澱物質の巻き上げにより汚染物質の離脱 (巻き上げ、溶出) が起こった後に汚染物質が流出する。このため、雨水樹からの流出汚染物質はファーストフラッシュに影響すると同時に、その後の汚染物質流出にも強く寄与している。
- ④ 雨水樹からの汚染物質流出は降雨開始後 30 分以内にはほぼ終了するため、これまでの雨水流入状態に汚染物質流出は強く影響を受ける。また、雨水樹内汚染物質の流出は沈澱物質の巻き上げを伴うため、流入開始直後に流量が多い場合よりも、 $10\sim 20$  分経過後に流量の多い場合の方が流出濃度は高くなる。
- ⑤ 雨水樹からの汚染物質流出濃度は主に沈澱負荷量に左右されるが、沈澱物質と底質との関係により微妙に変化する。また、雨水樹からの汚濁物質流出濃度がピークとなるまでの時間は、沈澱物質量に比例し、上澄み水濃度はあまり影響しない。
- ⑥ 雨水樹からの流出負荷は、降雨時総流出負荷の  $1/5\sim 1/3$  と大きな部分を占めている。したがって、雨天時の雨水樹沈澱物の流出状況を具体的に把握することができれば、これを効果的に減ずるための手法の確立に役立ち、都市域からの汚染物質流出量の削減が可能になる。

## 3. 雨水樹内沈澱物の流出機構とそのモデル化

### (1) 雨水樹内沈澱物の流出機構

雨水樹内に沈澱・堆積した汚濁物の雨天時の流出機構は、次の 2 つのシステムにより成り立っているものと考えられる。

- ① 雨水樹には、先行降雨流出時に、雨水樹から下水道へ流入せず、樹内に貯留されていた汚濁雨水 (貯留水) が、残留していることが多い。樹内の貯留水は、晴天時の蒸発散により濃縮されて汚濁濃度が高くなったり、開口部からの汚染物質侵入等により沈澱汚染物質が増加したりしている。また、嫌気性状態にあることも多く、アンモニウム塩等が増大していることもある。
- ② 雨水樹の土砂だめ部には、雨天時に雨水樹へ流入してきた汚染物質や晴天時に開口部より浸入した汚

染物質が流入土砂とともに沈澱している。雨天時には、この沈澱汚染物質は、流入雨水により攪拌、巻き上がり、掃流されて、下水管きよへ流入している。

実際の雨水樹からの沈澱汚染物質の流出は、この2つの流出機構が関連し合っており、モデル化にあたっては、それぞれの流出機構を個別に表わすシミュレーションモデルが必要となる。

(2) 雨水樹内沈澱物の流出水質シミュレーションモデル

雨水樹沈澱物質の流出モデルとしては、上澄み水に溶存している物質の流出を表わす「溶存物質除去式」と、沈澱・堆積したものが巻き上がり流出するものを表わす「沈澱物質除去式」の2つを用いる。

Ian J. Fletcher と Christopher J. Pratt<sup>1)</sup> は、雨水樹内で生じる汚濁流出システムを、以下のようなモデルを用いて表現している。

1) 雨水樹からの溶存物質除去式

溶存物質の除去は流出水量と樹内溶液の混合割合  $P$  を用いて、次式で表わせる。

$$C_D = C_0 \cdot e^{-tQP/100V} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $C_D$ : 溶存物質濃度 (mg/l),  $Q$ : 雨水樹流入水量 (l/s),  $P$ : 樹内溶液混合割合 (%),  $V$ : 雨水樹容量 (l),  $C_0$ : 雨水樹上澄み水初期濃度 (mg/l),  $t$ : 経過時間 (s)。

なお、 $P$  は流入水量  $Q$  が雨水樹内の水量  $V$  とどの程度混合しているかを示す指標で、 $P = 664.0 \cdot Q + 19.7$  ( $Q \leq 0.121$  l/s),  $P = 100\%$  ( $Q > 0.121$  l/s) で表わせる。

2) 雨水樹からの沈澱物質除去式

雨水樹の沈澱汚染物質は、樹内溶液中へ離脱し混合され、流出水によって放出される。沈澱汚染物質が離脱し終わった後は、樹内溶液に混合された汚染物質が流入水により希釈され、流出する。このように沈澱汚染物質は2段階で除去され、離脱継続時と離脱終了後により場合分けされる。Fletcher と Pratt は、一定流量  $Q$  における1秒当たりの沈澱物質の離脱量  $K$  (mg/s) を測定し、沈澱汚染物質の流出濃度  $C_s$  (mg/l) を表わす式として以下のものを示した。

① 沈澱物質離脱時

$$C_s = K/Q(1 - e^{-tQ/V}) \dots\dots\dots (2)$$

② 離脱終了後

$$C_s = K/Q(1 - e^{-Mq/KV}) e^{(-tQ/V + Mq/KV)} \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $M$  (mg) は離脱物量で、ある流量において巻き上がり可能な沈澱物質中の汚染物質質量のことである。したがって、雨水流入開始からの経過時間  $t$  が、 $0 \leq t \leq M/K$  では離脱は継続し、 $t > M/K$  では離脱は終了している。

3) 流出濃度式

著者らは、一定流量時の雨水樹内汚染物質流出濃度  $C$  (mg/l) を溶存物質除去式と沈澱物質除去式を合成して、次のように表わした。

離脱継続時 ( $t \leq M/K$ )

$$C = C_0 \cdot e^{-tQP/100V} + K/Q(1 - e^{-tQ/V}) \dots\dots\dots (4)$$

離脱終了後 ( $t > M/K$ )

$$C = C_0 \cdot e^{-tQP/100V} + K/Q(1 - e^{-Mq/KV}) e^{-(t+M/K)Q/V} \dots\dots\dots (5)$$

Fletcher と Pratt による雨水樹からの溶存物質除去式と沈澱物質除去式は、雨水樹への流入水量が一定である場合の汚染物質の流出状況をモデル化したものである。したがって、流入水量が変動する実際の雨天時における汚染物質の流出状況を把握することはできない。そこで、著者らは、Fletcher らの考えをさらに展開し、流入水量の変動に対応できるモデル式を構成した<sup>2)</sup>。さらに、モデル式中のパラメーターも流入水量と樹内沈澱物の初期条件から求められるようにした。

すなわち、シミュレーションにおいて、一定時間 (30秒) 同一の流量を流す場合を考える。  $N$  回目の流量  $Q_{(N)}$  を流してから  $S$  秒経過したときの濃度を  $C_{(N,S)}$  とする。またモデルを考える場合にあって以下のような条件を設定した。

- ① 流入後すぐに流入水量と同量の水が流出する。
- ② 樹の土砂だめは、最初から水で満たされている。

これより、離脱継続時には、 $(N-1)$  回目の流量における30秒経過後の樹内溶存物量の濃度を  $C_{(N-1,30)}$  とすると、 $N$  回目の流量時の流出濃度  $C_{(N,S)}$  はこれを初期の溶存濃度と考えて、次式のように表わせる。

$$C_{(N,S)} = C_{(N-1,30)} e^{-SQ(N)P(N)/100V} + K_{(N)}/Q_{(N)}(1 - e^{-SQ(N)/V}) \dots\dots\dots (6)$$

また離脱終了後の濃度は次のようになる。

$$C_{(N,S)} = C_{(N-1,30)} e^{-SQ(N)P(N)/100V} + K_{(N)}/Q_{(N)}(1 - e^{-M(N)Q(N)/KV}) \cdot e^{-(S+M(N)/K(N))Q(N)/V} \dots\dots\dots (7)$$

雨水樹沈澱汚染物質の流出濃度のピークは、室内実験において、流出開始より20秒~1,2分経過後にあることが明らかになっている<sup>1),2)</sup>。したがって、シミュレーションにおいては、下流水系への影響の大きい流出濃度ピーク時の流出過程を表わすため、秒単位でモデル化している。

4. 雨水樹沈澱汚染物質の沈澱状況

(1) 調査方法

都市域の雨水樹内に貯留されている雨水の水質と底部に沈澱している汚染物質の特性を調査し、降雨による雨水樹内沈澱汚染物質の挙動を把握するために、住宅地に設置してある雨水樹について調査を行った。

大学周辺の住宅地に設置されている雨水樹を2か所（ポイント①，②）選定し，雨水樹の形状，樹内の貯留水の水質と雨水樹底部に沈澱している土砂（沈澱泥）について調査した。水質は，樹内の貯留水を角型ポリビンにてサンプリングした。また沈澱泥は，樹内に沈澱している沈澱物をビシャクで均等に採泥した。

(2) 雨水樹の設置状況と周辺環境

調査対象雨水樹の設置してある周辺は，住宅地，公園等がある閑静な住宅地である。宅地内の道路は幅員4mおよび6mのアスファルト舗装で，交通量はあまり多くない（図-2）。

調査対象雨水樹は，それぞれ住居1区画の角に設置され，雨水はU字型側溝を通り，雨水樹の両端から樹内へ流入している。

ポイント①は，住居1区画（周囲約150m）に設置されている雨水樹2個の1つであり，他方とは，約15mの間隔を設けてある。ポイント②は，住居1区画（周囲約200m）周辺に3か所設置されているうちの1つで，各樹間の距離は80m，50m，70mである。なお，調査地域の下水排除方式は，分流式である。

雨水樹の集水地域は，住宅地（屋根），空地，道路に分けられ，ポイント①，②の集水面積は，それぞれ0.23ha，0.25haである。調査対象雨水樹の集水面積とその工種割合を表-1に示す。ポイント①では，空地が83%を占め，降雨時にポイント①に流入してくる負荷は，空地からのものが多いと思われる。ポイント②では，屋根面積が全体の47%とほぼ半分を占めており，ポイント②に降雨時に流入してくる負荷は，屋根堆積負荷の占める割合が高いと思われる。

雨水樹はどちらも角形のコンクリート製であり，大きさはポイント①が内のり57×49cm，ポイント②が内のり55×45cmである。また，樹蓋は鋳鉄製で，格子状になっている。その他，雨水樹の深さ，泥だめの深さなどは図-3に示す。

(3) 調査結果

1) 比重，含水比

ポイント①，②ともに沈澱泥の比重は2.62~2.68である。砂質土の比重が2.55~2.65，粘土の比重が2.65~2.75であることから，沈澱泥は，砂質土と粘土を中心としたものである。

含水比はポイント①，②ともに，平均して30~40%である。また，比重と含水比より間隙比を求めると，約0.88となる。

2) 貯留水の水質

BODはポイント①で4~48mg/l，ポイント②で4~63mg/lであり，CODは8~65mg/l，SSは7~70mg/lの範囲にあった。

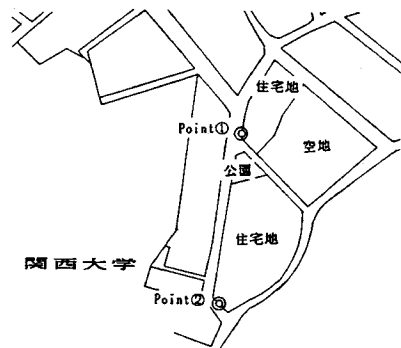


図-2 測定地点

表-1 集水面積とその工種

ポイント	①		②	
	面積(ha)	割合(%)	面積(ha)	割合(%)
屋根	0.01	4.5	0.08	47.0
道路	0.01	4.5	0.03	18.0
空地・公園等	0.20	91.0	0.06	35.0
合計	0.22	100.0	0.17	100.0

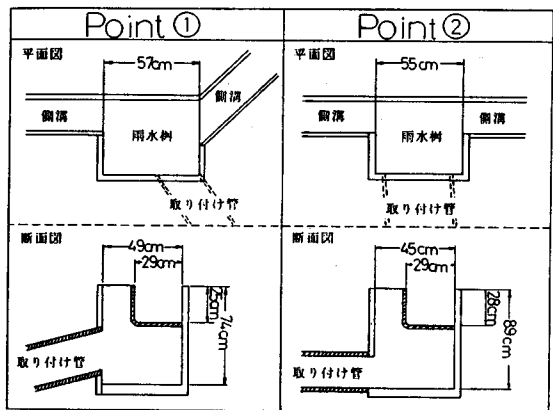


図-3 雨水樹の形状

表-2 本調査と土研による調査結果の比較

項目	水・泥の別	本調査	土研調査 <sup>*)</sup>
BOD	水質(mg/l)	4~63	146~1682
	底質(g/kg乾泥)	0.3~4.8	1.8~13.5
COD	水質(mg/l)	8~65	103~641
	底質(g/kg乾泥)	2.5~8.8	17.4~63.6
SS	水質(mg/l)	7~70	1648~11678
	底質(g/kg乾泥)	20~50	25~54

これを土研による東京都谷端川流域での雨水樹調査結果<sup>\*)</sup>と比較する（表-2）と，BOD，COD，SSともすべて本調査結果の方がかなり低くなっており，この傾向は底質においても顕著である。これは，本調査地域が郊外の住宅地であるためと考えられる。

底泥中には小石や砂あるいは紙片，木の葉などの有機物が含まれ，溶解性の有機物も含有されている。表-2中の底質のSSとは，底泥をよく攪拌したときに浮遊し

ている物質でSSとなるものを指している。

(4) 降雨前後の樹内沈澱汚染物質の特性

一般的に、降雨後には樹内沈澱物量が減少し、樹内負荷が減少している。降雨とその発生の間隔によって樹内沈澱汚染物質がどのように変化しているかを明らかにするために、降雨量と樹内沈澱泥量の関係および、降雨量と沈澱負荷量の関係について検討した。なお、調査は比較的降雨の少ない秋季、冬季（昭和60年10～12月）と梅雨時（昭和61年6月）に実施した。

1) 降雨量と樹内沈澱泥量の関係

降雨量と樹内沈澱泥量の関係を図-4に示す。

秋、冬季と梅雨時の樹内沈澱泥量を比較すると、梅雨時の方が秋、冬季の2～3倍の量になっている。これは、量的に多い降雨が頻繁にあると、樹内沈澱泥の流出量も多いが、集水域より樹に流入する土砂、汚染物質も多く、結果的に樹内に残留する汚染物質が多くなるものと考えられる。

一降雨による樹内沈澱泥量の変化を検討した。秋、冬季では、5mm以下の降雨時には樹内沈澱泥量はほとんど変化せず、比較的強い降雨（15mm以上）によって減少している。全体としては、秋、冬季は樹内沈澱泥量は減少傾向にある。

梅雨時では、20mm以上の降雨の前後に樹内沈澱泥量は変動しているが、全体としては樹内沈澱泥量は一定の範囲内にある。

また、ポイント①、②でその変動状態は異なっている。すなわち、ポイント①では、40mm程度の降雨があると樹内沈澱泥量は増加することがある。これは、空き地、公園等が集水面積の大部分を占めているため、多量の降雨があると空き地、公園からの流入土砂量が多くなり、樹内沈澱泥量が増加していると考えられる。

一方、ポイント②では、少降雨時や晴天期間中に樹内沈澱泥量が増加している。これは、取付管底が樹底よりも高い位置にあり、この期間中に流入した汚染物質が沈澱しやすいこと、および、屋根面積が集水面積の約半分を占め（屋根堆積汚染物質は少量の降雨でも比較的容易に洗い流される）ていることが影響しているのではないと思われる。

2) 降雨量と樹内貯留水水質の関係

降雨量と貯留水の水質の経日変化を図-5に示す。

秋、冬季と梅雨時の樹内貯留水水質を比較すると、BOD、CODとSSではその傾向が異なっている。

BOD、CODでは、梅雨時の方が秋、冬季よりもやや高い値となっているが、SSでは梅雨時の方が秋、冬季よりも低い値となっている。

秋、冬季では、量的に少ない降雨であるため、BOD等の溶存性汚染物質の濃度はさほど変化していないが、

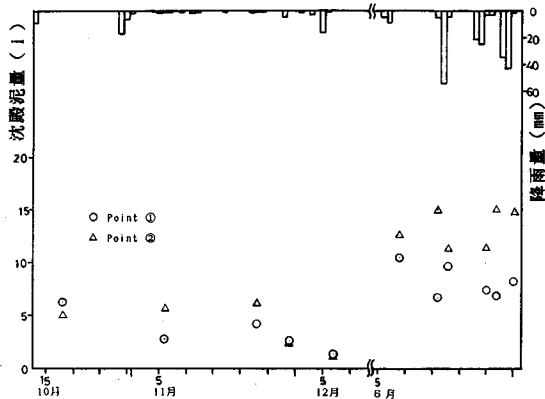


図-4 降雨量と沈澱泥量の変化

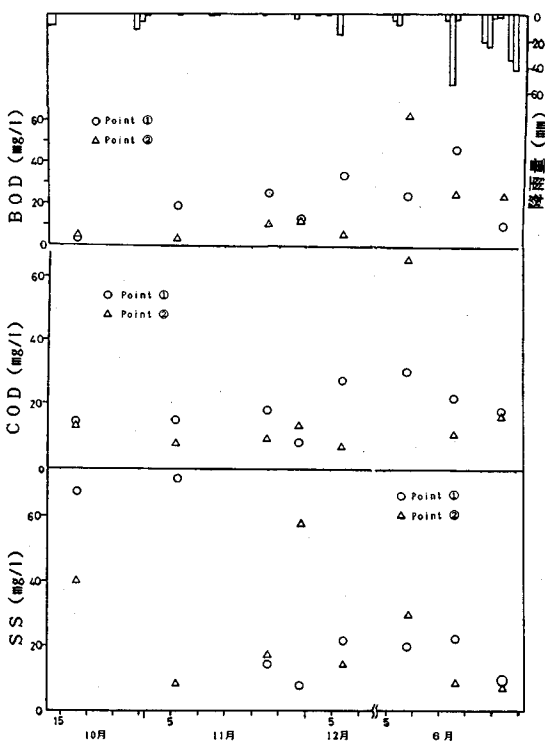


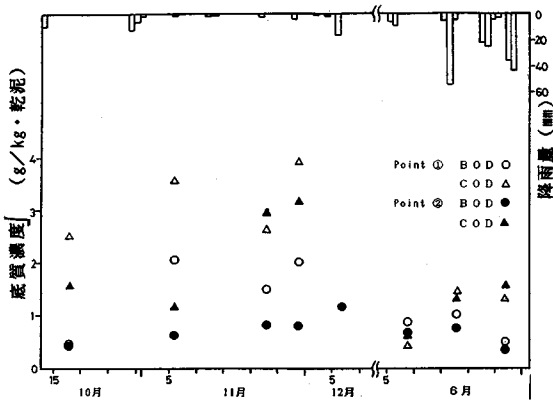
図-5 降雨量と貯留水質の変化

浮遊性汚染物質の濃度は大きく変化している。これは、浮遊性汚染物質が、わずかな雨水流入でも樹内へ流入し、かつ、沈澱していたものが巻き上がるため、貯留水水質が大幅に変動しているものと思われる。

梅雨時では、流入雨水量が多く、貯留水中の汚染物質の希釈が進むため、溶存性、浮遊性に関係なく、樹内貯留水水質値は低くなる傾向にある。

3) 降雨量と底質濃度の関係

降雨量と底質濃度の経日変化を図-6に示す。全般的に底質濃度は降雨にはさほど影響されず、ほぼ一定値と



図一六 降雨量と底泥中の汚濁負荷

なっている。

秋、冬季と梅雨時の底質濃度を比較すると、枳内貯留水水質同様、梅雨時の方が濃度は低くなっている。この理由は、枳内沈澱泥が雨水流入により巻き上がり、流出していること、および、集水域に堆積する非特定汚染源負荷が雨天が続くため Flush out され、少なくなっていることである。

また、BOD と COD では多少傾向が異なっており、秋、冬季と梅雨時ともに降雨により BOD はやや濃度が低下し、COD はやや高くなっている。

## 5. 雨水流出に伴う雨水流出負荷の実験調査

### (1) 調査目的

都市域における雨水流出負荷の特性を明らかにするには、雨水枳が降雨時の汚濁流出に及ぼす影響や雨水枳中の汚染物質の諸特性を把握することが必要である。本調査では、室内モデル実験での結果を踏まえて、実際に設置されている雨水枳において流出負荷の調査を行った。降雨時の流出負荷特性を調査するうえで、実降雨時に調査することが理想ではあるが、調査が困難なため、実降雨と同じ流量を U 字側溝に流して実験を行った。

### (2) 調査方法

調査にはポイント①を用い、調査は 3 回行った。

調査に使用した雨水枳の土砂だめ容量は 30.7 (l) (57 × 49 × 11 cm) である。

雨水枳内の底泥は、約 25 mm の降雨で約 5 kg (湿潤時) 流出しており、本調査では実験途中で底泥がすべて流出してしまうことがないように底泥を近傍の雨水枳より採取し捕った。採取した底泥とポイント①の雨水枳底泥と均一になるまで混合攪拌し、枳底部に均等に沈澱させて、一定時間以上静置したうえで実験を行った。調査時の底泥量は平均で 25.4 kg (湿潤時) (13.97 (l)) であった。調査においては、水中ポンプ (0.12 m<sup>3</sup>/分) により連続

的に側溝へ水を流し、一定流量を雨水枳へ流入させた。

流入水量は、流速計の構造上、流入水路での測定が困難であった (測定可能水深とならない) ため、流出円形管の入口にプロペラ流速計を備えつけ、5 秒ごとに水深、流速を測定した。

サンプリングは 30 秒ごとに行い、できるだけ流出口に近い位置の枳内水をサンプリングした。

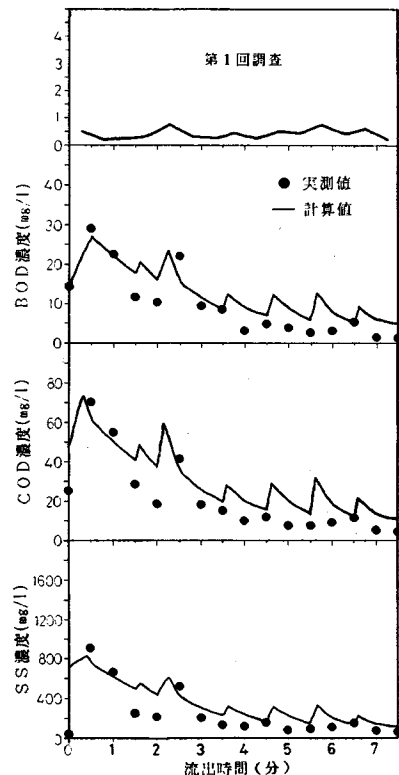
### (3) 調査結果

#### 1) 第 1 回調査

流入水量は、平均 0.42 (l/s) であり、これは降雨強度 4.0 (mm/h) に相当するものである。枳内の沈澱土砂は含水比 48.6 %、比重 2.63、その量は、乾泥に換算して 13.7 kg になる。

流出水量に対する流出濃度の変化を図一七に示す。

BOD では流出開始から 30 秒で流出濃度はピークとなっており、ファーストフラッシュ現象が発生している。流出濃度はしだいに低くなっているが、120 ~ 150 秒経過後にみられるような流量の増加がある場合には、底泥の巻き上がりが生じ、流出濃度が再び高い値を示している。流出開始から 240 秒 (4 分) 程度経過すると、それ以降は、流量が増加しても流出濃度は上らずある値に収束し、大きな変動はみられない。これは、ある流入水量においては、沈澱物が巻き上がり、流出する沈澱泥量



図一七 雨水枳からの汚濁流出濃度

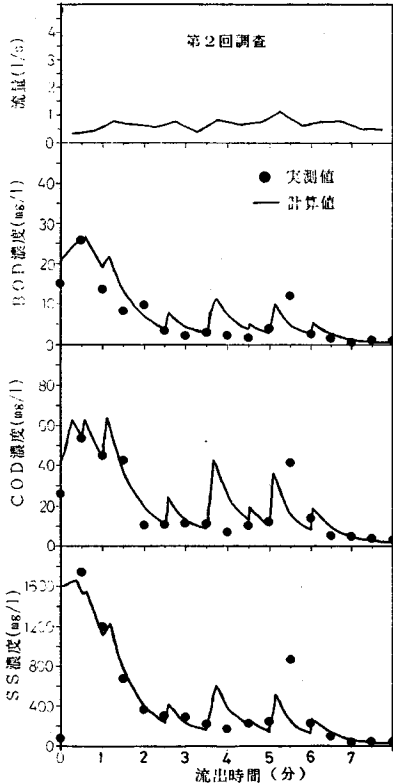


図-8 雨水樹からの汚濁流出濃度

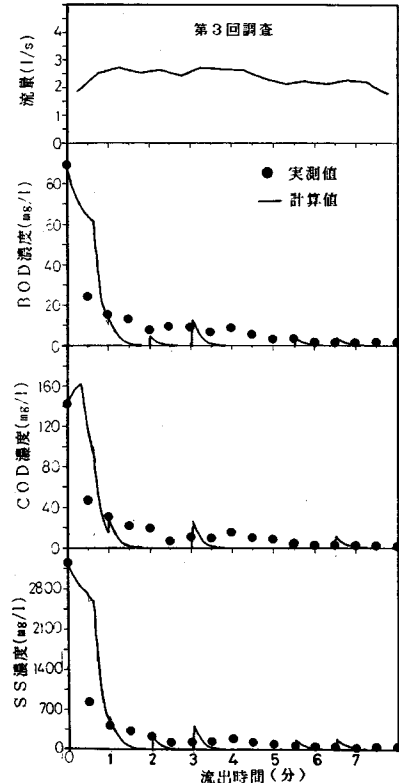


図-9 雨水樹からの汚濁流出濃度

がほぼ定まってくるためと考えられる。

CODのピーク時間はBODと同じく30秒経過後であり、流出濃度はBODとほぼ同じ変化を示すが、濃度は約2倍である。

SSのピーク時間も30秒経過後で、BOD、CODと同様な濃度変化を示している。

2) 第2回調査

第2回の調査結果を図-8に示す。平均流入水量は、0.66 (l/s) (降雨強度6.4 mm/h)であり、枳内の沈澱土砂は含水比32.6%、比重2.65、その量は乾泥に換算して18.2 kgである。

第1回とほぼ同様な結果が得られているが、第2回調査は第1回よりも、平均流入水量が多くなっているため、実験開始180秒(3分)程度で流出濃度が一定化しており、流入水量が増加すると、早い時間内に流出濃度が一定化すると考えられる。

3) 第3回調査

調査結果を図-9に示す。平均流入水量は、2.37 (l/s) (降雨強度22.8 mm/h)にあり、枳内の沈澱土砂は、含水比36.9%、比重2.64、その量は乾泥に換算して19.6 kgである。

第2回調査の約3.6倍の流入水量のため、各水質とも

初期濃度が最も高く、流入開始後1~2分で流出濃度はほぼ一定となっている。

以上のように、流入水量が多いほど、雨水樹からの汚染物質流出濃度は早期にピークとなり、流出濃度の低減も早い。

6. 雨水流出に伴う雨水樹沈澱汚染物質の流出濃度シミュレーション

(1) パラメーターの決定

雨水樹からの沈澱汚染物質流出濃度を表わす式において、離脱率  $K$  (mg/s) と離脱物量  $M$  (mg) を著者らは流入水量  $Q$  (l/s) の関数として次のように求めた<sup>2)</sup>。

$$K = (a \cdot Q + b) \times (\text{全沈澱負荷量 (g)})$$

$$M = (c \cdot Q + d) \times (\text{全沈澱負荷量 (g)})$$

$a$ , BOD; 1.57, COD; 2.10, SS; 1.78

$b$ , BOD; 0.42, COD; 0.24, SS; 0.22

$c$ , BOD; 55.2, COD; 47.8, SS; 57.1

$d$ , BOD; 8.61, COD; 1.01, SS; 0.83

(2) 雨水樹沈澱物質の流出シミュレーション

3回実施した流出実験結果についてシミュレーションを行った(図-7~9)。

モデルにおいては、30秒間流入水量が一定であると

してシミュレーションしているため、流出濃度がややなめらかでない場合もある。また、サンプリング時に分析に必要な試料を得るためにサンプリングに15秒程度を要した場合もあり、実測値とシミュレーション値にはやや差がみられることもある。しかし、ピーク時間やピーク濃度、および、流出濃度が収束する時間とその濃度値についてはモデルによりほぼ表現できている。

したがって、本モデルにより、雨天時に雨水樹より分岐式雨水管に流入していく汚濁負荷量をほぼ定量することが可能であり、さらに公共用水域への流出負荷量を予測し得る。

## 7. 結 論

本研究は、都市域の雨水樹の沈澱汚染物質の特性とその雨天時流出に関して、調査、実験を行い、考察を行った。さらに、著者らがFletcher, Prattの考えを展開して構成した、雨水樹沈澱汚染物質の流出状況を表わすモデルの適合性の検討を行った。

(1) 雨水樹の現地調査により、雨水樹内には、雨天時流入水の一部が残留貯留され、土砂だめには、汚濁物を多く含有した土砂が沈澱していることを明らかにした。さらに、これらが、降雨水流入によって変化していること、および、季節によって樹内沈澱泥量、樹内貯留水水質は異なることを明らかにした。

(2) 同じ地域にある雨水樹でもその集水域の土地利用により、雨水樹沈澱汚濁負荷量やその変動状態が異なってくることも把握した。

(3) 雨水流入による樹内沈澱汚染物質流出実験においては、ある流入水量によって流出する沈澱汚染物質量には限界があること、および、流入水量が多い場合には、流出濃度は相対的にピークとなるのが早く、かつ、ピーク後、流出濃度が低下するのが早くなることを明らかに

した。

(4) さらに、この実験結果に対して、著者らの提案した流出モデルによるシミュレーションを行った結果、雨水樹沈澱物の特性が把握されたならば、雨天時の流出濃度を予測、定量することが可能であることを示した。

謝 辞：当研究調査にご協力を賜った多くの方々へ深く感謝いたします。また、当研究に適切な助言をいただいた摂南大学教授 合田 健先生、大阪大学教授 末石富太郎先生、山口大学教授 中西 弘先生、京都大学教授 住友 恒先生に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 和田安彦・三浦浩之：都市路面堆積負荷流出とモデル化、環境問題シンポジウム講演論文集, No.11, 土木学会, 1983.
- 2) 和田安彦・三浦浩之：都市路面堆積負荷の雨水マスからの流出のモデル化とその解析, 衛生工学研究論文集, Vol. 21, 1985.
- 3) 非特定汚染源による汚染防止対策調査検討会中間報告書, 環境庁水質保全局, 1982. 3.
- 4) 和田安彦：非点源負荷の定量と流出管理(1), (2), 環境技術, Vol. 9, No.12, 1980, Vol.10, No.1, 1981.
- 5) 和田安彦：路面堆積負荷と流出に関する研究, 用水と廃水, Vol. 23, No. 6, 1981.
- 6) 中村栄一：下水管路施設の合理化に関する調査報告書(Ⅲ), 土木研究所資料, 第1487号, 1979.
- 7) Ian J. Fletcher・Christopher J. Pratt: Mathematical simulation of pollutant contributions to urban runoff from roadside gully ponds, Second international conference on urban storm drainage, Urbana, Illinois, USA, June 14-19, 1981.
- 8) 下水管路施設の合理化に関する調査報告書(V)一都市域の汚濁ポテンシャル一, 土木研究所資料, 第1705号, 建設省土木研究所下水道研究室, 1981. 8.

(1986. 1. 20・受付)