

路面堆積物環境の簡易モニタリング手法の提案

A SIMPLIFIED MONITORING METHOD FOR ROAD-DEPOSIT ENVIRONMENTS

砂田岳彦¹・二瓶泰雄²・水野智之³・今野篤¹

Takahiko SUNADA, Yasuo NIHEI, Tomoyuki MIZUNO and Atsushi KONNO

¹ 学生員 学 (工) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程
(〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

² 正会員 博 (工) 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科 (同上)

³ 非会員 学 (工) 東京理科大学 理工学部土木工学科 (同上)

To clarify environments of road deposits, one of non-point sources in urban area, we present a simplified monitoring method for road-deposit environments in which one can easily obtain road deposits under simulated rainy conditions. The present method collects road deposits suspended in water by a simple operation in a short time and then analyze water qualities for samples obtained here. With the present method, we conduct a field observation in urban area before and after a hydrologic event, and then examine the variations of suspended solids and particulate matter on road through the hydrologic event. We also conduct field measurements to clarify horizontal distributions of deposits on road. The observed results indicate that the spatial fluctuations of deposits on road are dominant, showing the importance of the simplified monitoring method for road-deposit environments presented here.

Key Words: road deposit, non-point source, monitoring, pollutant load, urban area

1. はじめに

都市域を流域として抱える湖沼や内湾, 都市河川では, 様々な人為的活動の結果として, 水質汚濁問題が顕在化しており, そのための水質改善対策がこれまでに数多く行われている. この対策としては, 流域の点源・面源負荷に対する汚濁発生源対策と, 水域そのものを対象とする水質直接浄化対策に分類される¹⁾. このうち, 汚濁発生源対策としては, 下水道整備の促進や工場排水規制により生活系・産業系負荷という点源負荷の削減が進められている. この結果として, 汚濁負荷量自体は減少しているものの, これまで卓越していた点源負荷に代わり, 市街地や山林, 畑, 水田等からの面源負荷の影響が相対的に大きくなりつつある^{2)~5)}. また, 面源負荷は天候や季節, 地形条件などにより大きく変化するため, 面源負荷削減は, 上述した点源負荷の場合と比べて著しく困難である¹⁾.

このような面源負荷削減対策を実施するためには, 面源負荷の発生・排出量の実態を把握することは必須である. 例えば, 都市部における面源負荷として顕著となる路面堆積物に関する調査方法としては, 人工降雨もしくは実降雨による流出水の採水方式と堆積物の直接採取方式が挙げられる⁶⁾. このうち, 前者の流出水の採水方式は, 降雨時に流出する路面堆積物を雨水枡や排水ピット

にて採水する方法であり, 降雨に伴って流出する路面堆積物の対象領域における平均値を求められるものの, 非一様性が大きいと予想される路面堆積物の面的分布特性を得ることは難しい. 一方, ブラシや掃除機等で路面を直接的に収集する, という後者の直接採取方式は, 降雨時の流出成分よりも多くの堆積物が取得されるなど, 採取した堆積物の代表性には疑問が残る. このような既存の路面堆積物採取方法の問題点を解決するために, 降雨時に流出する路面堆積物の面的分布を簡便かつ正確に計測することが可能なモニタリング手法の開発が望まれる.

本研究では, これまでの調査方法とは大きく異なる路面堆積物環境の簡易モニタリング手法を提案する. ここでは, 路面を水で浸し, 水中を浮遊している堆積物を直接採取可能な装置 (以下, 本装置と呼ぶ) を考案し, 本装置を用いて得られたサンプル水に対して濁度計測や水質分析を行う, という路面堆積物環境調査を実施する. この本装置を用いて, 都市域におけるいくつかの路面堆積物調査を実施し, 降雨イベント前後における路面堆積物環境の変化や, 路面上の堆積物量の空間分布特性に関する結果を得たので, その一部を報告する.

2. 本装置に基づく路面堆積物調査方法

(1) 路面堆積物採取装置の概要

本装置に基づく路面堆積物環境の簡易モニタリング手法は、

- ① 路面堆積物採取方法をなるべく簡便にすることにより、多地点での調査が容易となり、路面堆積物量の面的分布調査を実現可能とする。
 - ② 降雨時流出過程を考慮して、路面上を水で浸し、その水をかき混ぜて浮遊してくる堆積物を採取する。
- という2点に配慮して考案されている。そのために作成された路面堆積物採取装置は、図-1 (a) に示すように、プラスチック製円筒容器及びこの円筒容器と路面を密着させるためのパテから構成され、容器内から水を採取するための取水口が容器下部に取り付けてある。実際には、図-1 (b) に示すように、路面に設置された円筒容器内に水を注入し、その水を攪拌しながら採水する。このように、路面が水に浸ることにより浮遊する堆積物を採取でき、かつ、その採取方法が極めて簡便であることから、本装置による路面堆積物採取方法は、上記の①と②の特徴を反映して、多地点における計測を手軽に行うことが可能なモニタリング手法になり得る。

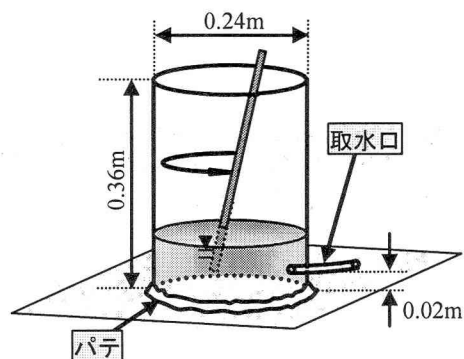
この円筒容器の寸法としては、直径0.24m、高さ0.36mである。また、路面より0.02mの高さに取水口となるビニールホース（内径0.01m）を取り付ける。また、凸凹のある路面と円筒容器の隙間から水漏れが起こらないようにするために、ここでは、エアコン配管用に使われているパテ（材質：ポリブテン樹脂、因幡電機産業㈱製）を用いる。

(2) 調査手順

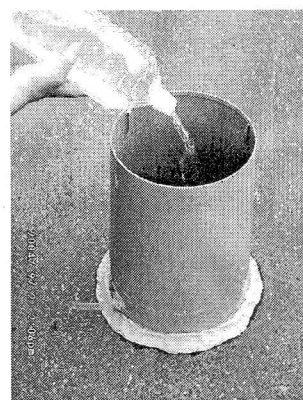
本装置に基づく路面堆積物の採取手順としては、図-2に示すように、次の3つの手順に従う。

- ① パテを装着した円筒容器を、路面の所定の位置に設置する。
- ② 設置された円筒容器内に蒸留水2Lを注入する。
- ③ 攪拌棒を用いて容器内の水を攪拌しつつ、取水口から採水を行う。

このようにして取得されたサンプル水に関しては、まず、多項目水質計（WQC-24、東亜ディーケーケー㈱製）を用いて濁度計測を行う。その後、一部のサンプルに関しては、SSや窒素、リン、CODの分析を下水試験方法97年度版⁷⁾に準拠して行う。また、使用しているパテは、水に濡れると粘着性が落ちるものの、練り直すことにより粘着性が元に戻ることから何回も利用することが可能である。なお、パテを円筒容器下部に付ける際には、パテの一部が容器内側に露出するため、その部分のパテが溶け出して採水サンプルの水質に影響を及ぼす可能性がある。そこで、路面堆積物調査に先駆けて、本装置をきれいに清掃されたアクリル板上に設置し、上記と同じ試

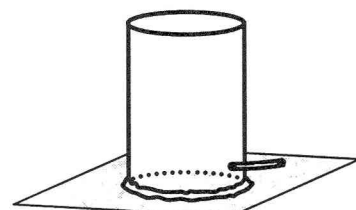


(a) 模式図

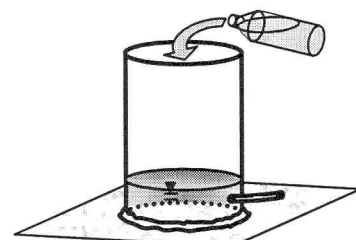


(b) 設置時の様子

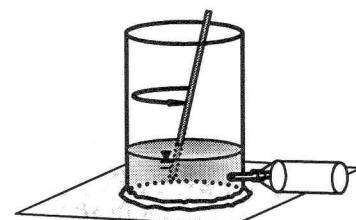
図-1 本装置の概要



①円筒容器を所定の位置に設置



②蒸留水2Lを注入



③攪拌棒で攪拌しながら採水

図-2 本装置に基づく採取手順

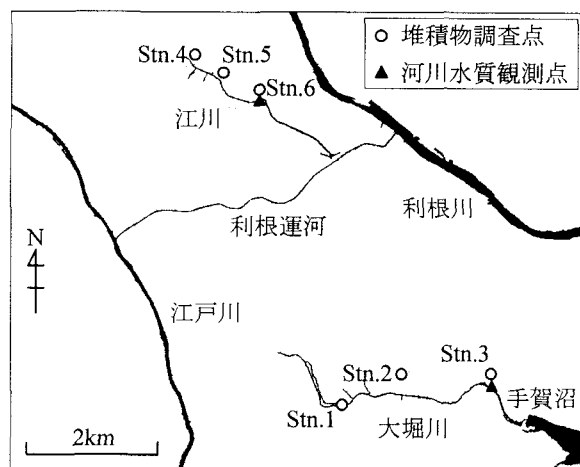


図-3 降雨イベント時の流域調査地点

験を行ったところ、その時に得られた採水サンプルに対する濁度や COD の分析値は、蒸留水に対する結果と大差ないことを確認している。

(3) 調査地点・期間

本装置を用いて、①降雨イベント前後における流域調査、②多地点における平面調査、③同一地点における定期調査、という3種類の路面堆積物調査を実施した。まず、①の流域調査では、降雨イベント前後における路面堆積物環境の変化を把握するために、図-3に示すように、都市河川流域内に位置する6つの観測地点において調査を行った。この観測地点のうち、Stn.1～Stn.3は千葉県手賀沼へ流入する大堀川流域、Stn.4～Stn.6は利根運河へ流れ込む江戸川流域に位置している。観測時期としては、台風0404号の接近に伴って生じた降雨イベント(総降雨量17mm、時間最大雨量7mm)の前後に相当する、2004年6月11日と12日を選定した。なお、各観測地点では場所を変えて2箇所ずつ計測を行っており、採水サンプル数は合計24個となった。これらのサンプル水に対する分析項目は、濁度、SS、窒素、リン、CODである。なお、河川水質環境と路面堆積物環境を比較するために、流域調査と平行して、図-3中の三角印の地点において、河川表層水を採水し、そのサンプル水の水質分析を行う、という調査を実施した。河川水サンプルの分析項目は、濁度、SS、窒素、リン、CODとする。

次に、②の平面調査では、これまで調査例が見当たらない、道路における堆積物の平面マップを作成するために、対象道路での多地点調査を実施することを試みた。具体的には、東京理科大学野田校舎南側の道路(北緯35°55'29"、東経139°54'37")を対象として、図-4に示すように、縦断方向25m、横断方向4.8mの範囲内にわたり密に観測点を配置した調査を2回実施した。1回目の調査は2004年8月2日において、同図中の丸印(縦断

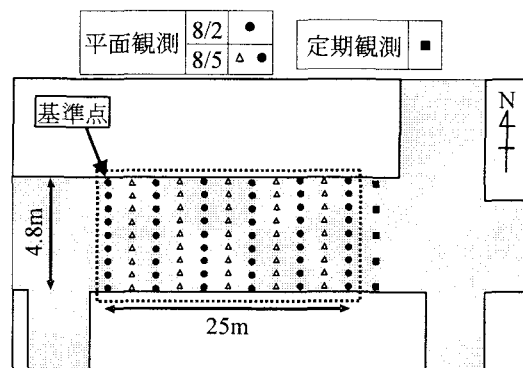


図-4 平面調査と定期調査の観測地点

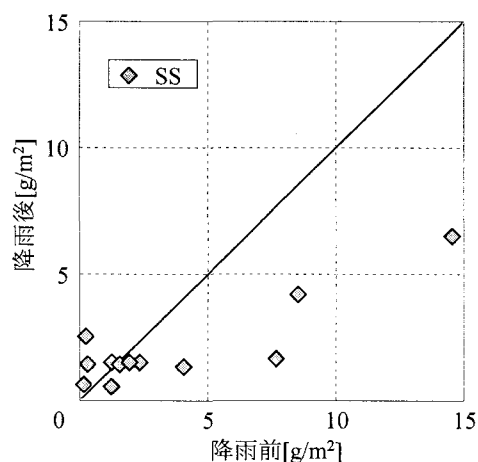
方向6断面、横断方向9地点、合計54地点)にて行った。2回目の調査は、1回目よりも空間的に密に調査するために、同5日にて、同図中の丸印と三角印(縦断方向11断面、横断方向9地点、合計99地点)において行った。②の調査で得られたサンプル水に対しては濁度計測を行い、一部のみSSを計測した。なお、この道路はアスファルト舗装であり、道路北・南側には蓋付きの排水溝がある。この排水溝は、北側では塀と、南側では幅30cm程度の草地と隣接している。なお、路面堆積物量と密接に関係している先行晴天日数は、1回目と2回目の調査日ではそれぞれ2.3日、5.3日であり、この調査日の間には降雨は観測されていない。

路面堆積物環境の時間変化の様子をモニタリングすることを目的として実施した③の定期観測は、②の観測が行われた本学野田校舎南側道路における5地点(図-4中の■印、測定点の横断方向間隔を1.2mに設定)にて調査を行った。調査期間は2004年8月27日から9月29日までであり、週末を除き毎日調査を実施した。また、採水サンプルの分析項目は濁度とし、一部のサンプルのみSSとしている。

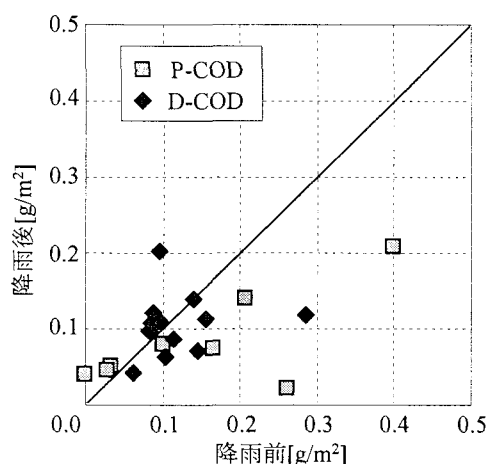
3. 観測結果と考察

(1) 降雨イベント前後の路面堆積物環境の変化

降雨イベント前後において行われた流域調査結果の一例として、SSとCODの降雨イベント前後の変化を図-5に示す。図中の結果は、SSとCODともに、単位面積当たりの質量に換算して表示している。これは、採水サンプルの分析値(単位体積あたりの質量)に円筒容器に注入した水の体積(2L)を掛けて、容器底面の面積(0.045m²)で割ることにより得ている。また、CODに関しては、懸濁態成分(P-COD)と溶解態成分(D-COD)と分けて表示している。まず、同図(a)に示されているSSに着目すると、全体的には、降雨前の値の方が降雨後よりも大きくなっており、その傾向は、降雨前のSS



(a) SS

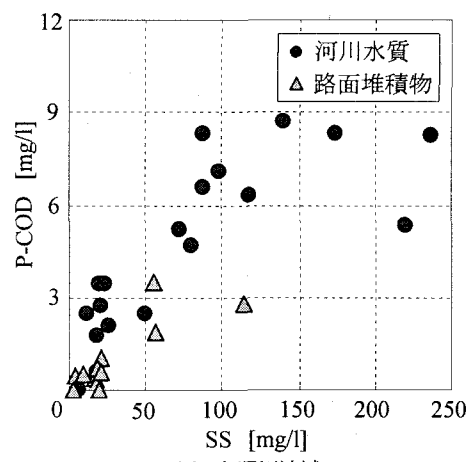


(b) COD (P-COD と D-COD は各々COD の懸濁態、溶存態成分を示す。)

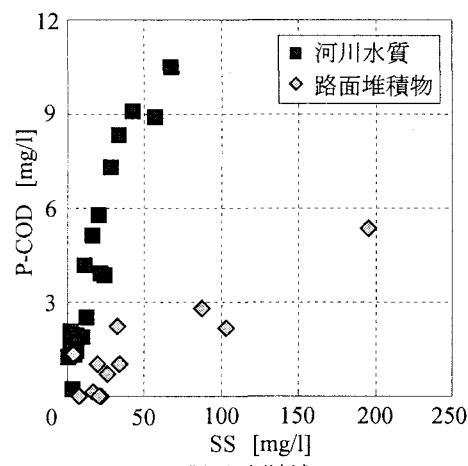
図-5 降雨イベント前後における路面堆積物環境の変化

が大きくなるほど顕著になっている。これは、降雨イベントにより、路面上に堆積していた土砂成分が流出したためであり、その土砂流出量は、元々の堆積量とともに増加することがうかがえる。次に、同図 (b) に示されている COD のうち、懸濁態濃度 (P-COD) に関しては、前述した SS と同様に、降雨前の値が降雨後よりも大きい。一方、溶存態濃度 (D-COD) については、P-COD ほど明確な傾向は見られないものの、降雨イベントにより濃度値が若干減少している。これらの結果として、路面上における COD の全成分 (=P-COD+D-COD) も、SS と同様に、降雨イベントにより減少している。また、大堀川流域と江川流域の結果を比較したところ、明確な差は見られないことを確認している。

ここで得られた路面堆積物環境と、降雨時における河川水質環境の関連性を調べるために、同じ降雨イベント時において大堀川と江川で観測された水質データと路面堆積物データを比べた結果を図-6に示す。これより、大堀川流域では、河川水質環境と路面堆積物環境が概ね



(a) 大堀川流域



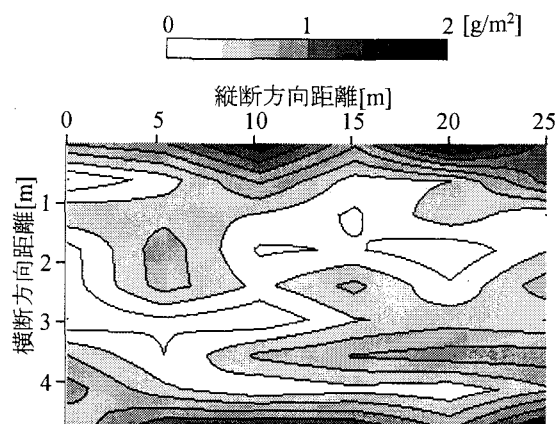
(b) 江川流域

図-6 路面堆積物環境と河川水質環境の比較 (SS と P-COD の相関図)

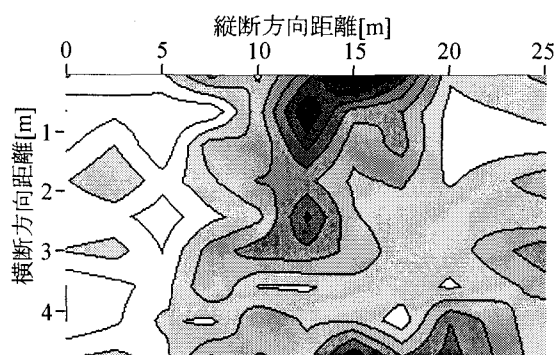
類似しており、河川水の SS 中における COD 含有量と路面堆積物中の COD 含有量が同程度であることが分かる。一方、江川流域に関しては、河川水中の SS の方が路面堆積物よりも大きな COD 含有量となっている。このように、都市河川毎に、降雨時における河川水質環境と路面堆積物環境の関係性が明確に異なっていることが分かる。このような違いは、河川水中の懸濁態物質の起源が異なるためであり、本装置に基づく路面堆積物調査により、降雨時における河川水中の汚濁物質の起源に関する検討を容易に行うことが可能となっている。

(2) 多地点における平面調査

路面堆積物環境の平面調査により得られた、路面上における堆積物量の空間コンターを図-7に示す。ここでは、8月2日と5日の結果が図示されている。図中の結果としては、多地点観測において計測した濁度から SS に変換し、その後、前節と同様に、単位面積当たりの質量に換算している。なお、ここで用いた濁度 *Turb* と SS の検定曲線は、下記のとおりである。



(a) 8月2日



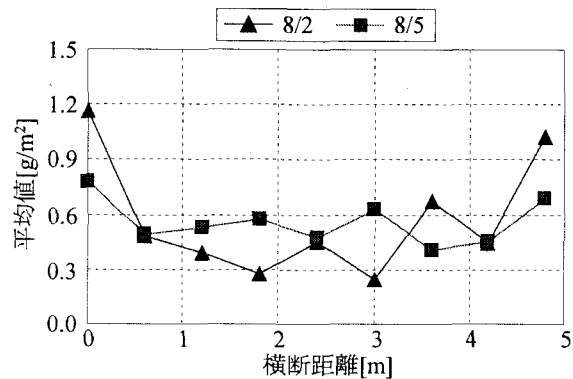
(b) 8月5日

図-7 路面上における堆積物量の平面分布

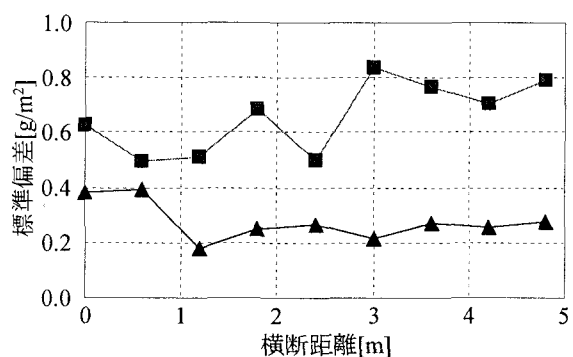
$$SS = 1.23Turb - 10.0 \quad (r=0.9520) \quad (1)$$

この図を見ると、まず、8月2日の結果に関しては、道路中央付近よりも路肩付近の値が大きくなっており、既存の研究成果⁶⁾と類似した傾向になっている。しかしながら、そのような路面堆積物量の横断分布特性は、必ずしもすべての横断面に当てはまるわけではなく、縦断方向に均一な状況になっていないことが分かる。次に、5日の結果を見ると、路肩付近で大きく中央部で小さい、という路面堆積物の横断方向変化の傾向は特に見られない。また、路面堆積物量の縦断方向変化が顕著となり、基準点より12.5～15.0m付近の値が極めて大きい。このように、8月2日と5日における路面堆積物の空間分布特性は著しく変化していることが分かる。

多地点計測された路面堆積物量の統計データとして、縦断方向の堆積物量データに対する平均値と標準偏差の横断分布を図-8に示す。同図(a)に示されている平均値に着目すると、8月2日の結果については、路肩近傍では1.0～1.2g/m²、中央付近では0.3～0.5g/m²となっており、図-7(a)の結果と定性的に一致する横断方向分布となっている。一方、5日の結果に関しては、若干、路肩付近の堆積物量が中央部より高いものの、2日の結



(a) 平均値



(b) 標準偏差

図-8 路面堆積物量の横断分布

果と比べると、横断方向に一様化されている。また、今回の観測対象領域の全平均値としては、8月2日では0.26g/m²、5日では0.29g/m²となっており、5日の方が大きくなっている。これは、この2回の調査の間には雨は降っておらず、晴天時に全体的に路面堆積物が蓄積したため、5日の方が大きくなったものと考えられる。次に、路面堆積物量の空間変動特性を定量的に見るために、堆積物量の標準偏差(同図(b))に着目すると、8月2日に関しては、この標準偏差は0.2～0.4 g/m²であり、道路中央部の平均値と同程度の値となっている。5日における路面堆積物量の標準偏差は0.5～0.8 g/m²であり、2日の結果よりも大きく、また、場所によっては堆積物量の平均値を上回る地点も存在していることが分かる。

以上の結果をまとめると、路面上における堆積物分布は、既存の研究と同様な、路肩で大きく中央部で小さい、という横断分布が見られるときもあるものの、堆積物量の空間変動は顕著になっている。特に、縦断方向の堆積物量データに対する標準偏差は、平均値と同程度の大きさとなっている。このような結果は、路面堆積物環境を把握する上で路面堆積物の空間分布特性を考慮することが重要であることを示しており、それに加えて、このような多地点における平面調査を容易に実現できる本装置

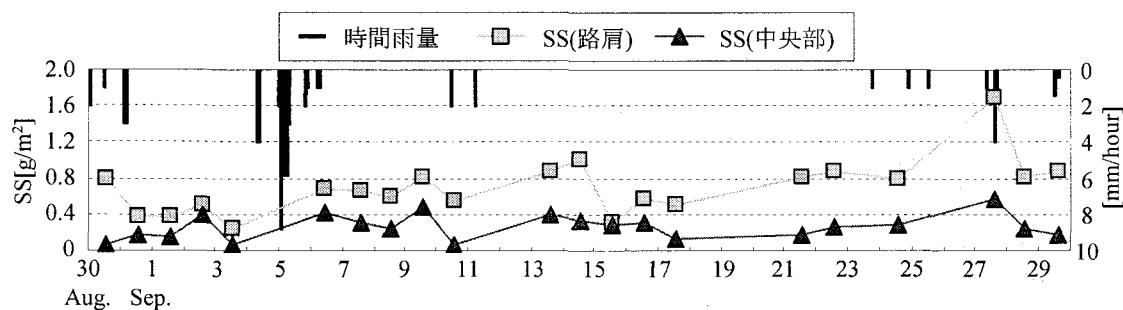


図-9 定期観測に基づく路面堆積物の時間変化

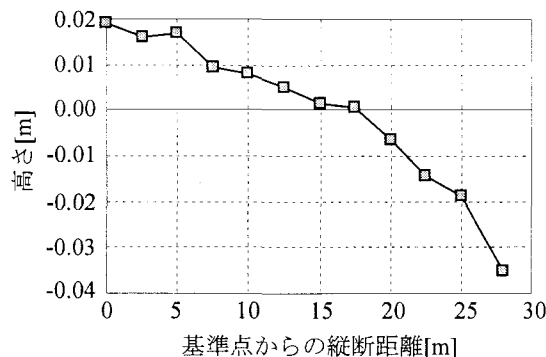


図-10 路面高さの縦断方向変化（対象領域の平均値を基準高さとしている）

に基づく路面堆積物環境のモニタリング手法の有用性を示すことができたものと考えられる。

(3) 同一地点における定期調査

路面堆積物量と気象条件の関連性を見るために、約1ヶ月間の定期観測により得られた路肩及び道路中央における路面堆積物量の時間変化を図-9に示す。ここでは、路肩の結果は、調査対象の5地点のうち路肩に位置する2地点の平均値を、また道路中央の値は、路肩以外の3地点の平均値を、各々表している。ここでも、濁度計測値をSSに変換し、単位面積当たりの質量に換算している。また、気象条件として、時間雨量（千葉県我孫子アメダスデータ）を合わせて示している。これを見ると、路肩の堆積物量が道路中央よりも大きいこと、また、両者の時間変動は類似していることが分かる。特に、降雨が見られた後には、路肩と道路中央ともに増加するケースが多く見られる。これは、3.(1)で示している結果とは逆に、降雨イベント時に路面堆積物量が流出するよりも集積する分が大きいことを示している。この平面調査を行った観測領域の路面高さの縦断分布（図-10）を見ると、定期調査点の高さはこの中で最も低くなっている。このような路面高さのために、降雨イベント時において路面堆積物が集積したものと推察される。

決するために、降雨時に流出する路面堆積物の面的分布を簡便かつ正確に計測することが可能である、路面堆積物環境の簡易モニタリング手法を提案することを試みた。その調査法に基づいて、都市河川流域における降雨イベント前後の堆積物環境調査を実施し、降雨イベント時における路面堆積物の挙動やそれと河川水質環境との関連性を比較・検討した。また、本観測法に基づいて、これまで調査例が皆無である、路面上の堆積物量の空間マップを作成し、路面上における堆積物量の空間変動特性が顕著であること、さらに、多地点観測を容易に実現できる本調査法の有用性が示唆された。

謝辞：本調査を行う際には、東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室学生諸氏には多大なる御助力を頂いた。また、水質分析の際に、同学科出口浩助教授に様々な便宜を図って頂いた。本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(C)(2)(研究代表者：二瓶泰雄)によるものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 本橋敬之助, 立本英機: 湖沼・河川・排水路の水質浄化 ― 千葉県の実施事例 ―, 海文堂, pp.1-128, 1997.
- 2) 古米弘明: 都市域の雨天時汚濁負荷流出解析の現状と課題, 水環境学会誌, Vol.25, No.9, pp.524-528, 2002.
- 3) 和波一夫, 嶋津暉之: 都市河川の雨天時汚濁の実態, 水環境学会誌, Vol.25, No.9, pp.529-532, 2002.
- 4) 二瓶泰雄, 服部祐司, 小久保武, 大竹野歩: GISを用いた手賀沼流入河川の汚濁負荷解析, 水工学論文集, Vol.48, pp.1459-1464, 2004.
- 5) 砂田岳彦, 二瓶泰雄, 今野篤, 尾関利文: GISを用いた手賀沼流域の汚濁負荷解析, 土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, Vol.59, pp.583-584, 2004.
- 6) 和田安彦: ノンポイント汚染源のモデル解析, 技報堂出版, pp.1-214, 1990.
- 7) (社)日本下水道協会: 下水試験方法上巻 ―1997年版―, pp.136-201, 1997.

(2004.9.30 受付)

4. おわりに

本研究では、既存の路面堆積物採取方法の問題点を解