

# 道路排水モニタリングのための新方式小型採水装置の開発と重金属流出負荷量評価

廃棄物・有害物管理工学研究室 片山 智樹  
指導教員 小松 俊哉 姫野 修司

## 1. はじめに

近年家庭や事業所等からの公共用水域への汚濁負荷量は減少している一方、自動車由来の雨天時道路排水等ノンポイント汚染による環境への負荷が相対的に増大している。しかし、実態把握が困難であることから、対策を講じるまでに至っていない。

本研究では道路排水を採水可能な小型採水装置を開発し、それをを用いて道路排水中の重金属類を長期的に測定し、降雨データ等の影響を把握し、流出負荷量を明らかにすることを目的とした。

## 2. 採水装置の開発および性能評価

昨年度高橋<sup>1)</sup>によって開発された採水装置は、道路排水を96分割したものを採水する仕組みである。採水装置を橋梁に既設の排水管(以下、現場)に直接設置し、性能評価実験を行った。実験は、橋梁上の排水溝から10Lの水を各降雨強度(1, 2, 3, 5, 7, 10mm/hr)で流入させ、採水タンクに貯まった量を測定することで分割性能を確認した。その結果、変動係数は0.11となり、設定値の0.1に近い値であったが、平均分割数は64であり、本来期待された性能とは異なった。そこで、本研究では、新規に採水装置を開発することとした。

本研究では、昨年度の採水装置とは異なる新規の分割方式を用いることとした。そして、降雨開始から降雨終了までの降雨期間中にある一定の割合を保ちながら道路排水を採水可能な装置を作製した。排水管から流入した道路排水は、最上部に設置した容器にて葉や小石など夾雑物質を除去すると同時に、懸濁物が捕集される。そして、その下段に設置

した容器に流入し、一定量貯まるとその下段の容器に流入し、この容器にて一定の割合に調整されて流出した道路排水が採水タンクに貯まるという仕組みである。採水装置は、無動力であり、設置場所の制約を少なくするためにコンパクトで、採水時に多大な労力を必要とせずに長期間採水できるという特徴がある。総降雨量12mm(長岡市4~11月の降雨量の約30%)、降雨強度12mm/hrまで対応可能である。実験室において性能評価実験を行ったところ、分割性能も良好で変動係数も0.1以下を達成したため、採水装置を現場に設置して採水を開始することとした。

## 3. 採水状況

本研究では、2007年7月上旬から11月中旬まで採水を行った。採水時には毎回性能評価実験を行い、装置の分割性能を確認した。採水前および採水後に、橋梁上の排水溝から10Lの水を各降雨強度(1, 3, 5, 7, 10mm/hr)で流入させ、採水タンクに貯まった量を測定することで分割性能を確認した。実験の結果、本研究の設定値である変動係数0.1からは少し外れたが、分割性能は安定しており、昨年度よりも性能は向上していると考えられる。期間中の全降雨量は798.5mmであり、採水できたのは約10%の71.0mmであった(N=8, 降雨回数で約15%)。採水期間中の降雨諸元を表-1に示す。採水を行った一降雨の降雨量、先行無降雨時間および降雨継続時間は、それぞれ1.0~45.0mm(平均値:8.8mm, 中央値:3.5mm)、1.5~69.4時間(平均値:24.8時間, 中央値:21.8時間)、0.1~72.0時間(平均値:13.9時間, 中央値:6.0時間)であっ

た。また、道路排水の採水と同時に現場付近にて雨水の採水(N=5)も行い、道路排水との比較を行った。

表-1 降雨諸元

採水日	降雨量 [mm]	先行無降雨 時間 [hr]	降雨継続 時間 [hr]
7月12日	3.0	3.8	12.9
8月6日	1.0	8.4	0.1
8月28日	8.5	2.2	2.3
8月29日	4.5	1.5	5.7
10月3日	2.5	40.0	4.4
10月15日	2.0	69.4	7.5
10月17日	4.0	35.1	6.3
11月16日	45.0	38.2	72.0

#### 4. 重金属類の測定方法

重金属類濃度は、採水装置によって分割され、採水タンクに貯まった液体サンプルと採水装置最上部の容器にて捕集された懸濁物に分類して測定を行った。液体サンプルは、1 $\mu$ mのガラス繊維ろ紙を用いてろ過を行ったろ液(以下、溶存態)とろ紙上の残留物(以下、微粒子)を測定した。液体サンプルはともに前処理工程として下水試験法に従って硝酸分解を行い、ICP 発光分光分析装置にて測定を行った。また、懸濁物は、2mmのステンレスフルイを通過したものを環境省告示 19 号法(含有量試験)に従い前処理を行い、液体サンプルと同様に ICP 発光分光分析装置にて測定を行った。得られた値(mg/kg)に採取量(g)を乗じ、採水量(L)(分割数を乗じたもの=道路排水の総量)で除した結果(mg/L)と液体サンプルの和(溶存態+微粒子+懸濁物)が道路排水中のトータル重金属類濃度となる。

#### 5. 結果および考察

##### 5.1 道路排水と雨水の比較

道路排水と雨水中の重金属類濃度を表-2に示す。雨水中の Cd 濃度は道路排水中の Cd 濃度とほぼ同じレベルであり、降雨由来であ

ることが確認された。一方、Cr、Pb、Zn および Cu は、道路排水中濃度が雨水よりも有意に高く( $p < 0.05$ )、平均値でそれぞれ雨水濃度の約 7.8、5.8、3.9、6.4 倍であった(道路排水 N=8、雨水 N=5)。道路排水と雨水の採水日を揃えた場合(N=5)の道路排水の平均濃度はそれぞれ雨水の約 6.5、3.3、3.4、4.2 倍であり、この場合も有意な差であった( $p < 0.05$ )。これらの元素は、雨水よりも道路排水への含有割合が高く、降雨量との間に負の相関があったため、大気中の粉塵よりもタイヤなど道路交通や路面からの影響を受けやすく、その後は希釈されていくことが考えられた。

表-2 道路排水と雨水に含まれる重金属類濃度

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
道路排水	0.0005 $\pm 0.0004$	0.0047 $\pm 0.0024$	0.0068 $\pm 0.0052$	0.0940 $\pm 0.0377$	0.0208 $\pm 0.0141$
雨水	0.0003 $\pm 0.0003$	0.0007 $\pm 0.0007$	0.0012 $\pm 0.0013$	0.0238 $\pm 0.0121$	0.0033 $\pm 0.0015$

単位: mg/L

##### 5.2 重金属類の存在割合

溶存態、微粒子および懸濁態の重金属類濃度の存在割合を図-1 に示す。道路排水中重金属類濃度の平均値を割合で示している。Pb は、5 元素の中で最も懸濁態の割合が高く、37%(標準偏差: 23%)であった。Pb は降雨量の増加とともに微粒子+懸濁態濃度が低くなっていったため( $r = -0.77$ )、初期降雨段階の粒子態の優先的な流出が考えられた。また、Cr も懸濁態の割合が高く、30%(標準偏差: 26%)であった。

一方、溶存態は全ての元素で 50%未満であった。懸濁態は、先行無降雨時間との間に正の相関が見られた( $r = 0.60$  程度)。このことから、道路排水は路面上の堆積物の影響を受けているものと考えられる。重金属濃度と降雨データの相関係数を表-3に示す(降雨量 45mm を観測した 11 月 16 日のデータは相関係数に大きく影響を与えられたため

め除いた, N=7) . \*マークの付いているものは回帰分析の両側検定において有意であったものである (p<0.05) . いずれの重金属も降雨量と負の相関を示した . 先行無降雨時間については, Zn のみ有意な相関は見られなかった . 降雨継続時間については, Zn のみが負の相関が見られた . Zn は, 先行無降雨時間と相関が見られなかったことから, 堆積物からだけではなく, 降雨時にも流出しているものと考えられる .

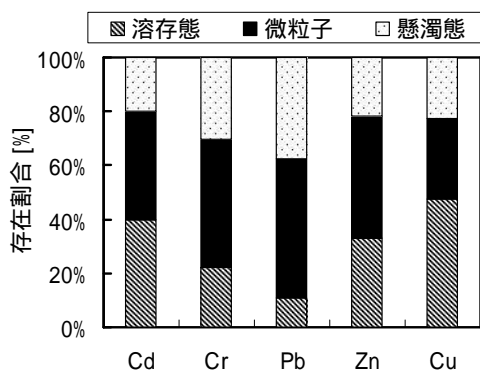


図-1 重金属類の存在割合

表-3 各重金属濃度と降雨データの相関係数

	降雨量	先行無降雨時間	降雨継続時間
Cd	-0.31	0.93*	0.13
Cr	-0.56	0.68	0.20
Pb	-0.73*	0.45	-0.16
Zn	-0.62	0.05	-0.51
Cu	-0.77*	0.64	-0.19

\* p<0.05

### 5.3 汚濁負荷

各降雨による重金属負荷量(重金属濃度×路面排水量÷排水面積)(mg/m<sup>2</sup>)と降雨データの相関係数を表-4 に示す(降雨量 45mm を観測した 11月 16日のデータは相関係数に影響を与えると考えられたため除く, N=7) . 今

表-4 各重金属流出負荷と降雨データの相関係数

	降雨量	先行無降雨時間	降雨継続時間
Cd	-0.07	0.69	0.09
Cr	0.06	0.32	0.29
Pb	0.13	0.22	0.18
Zn	0.92*	-0.37	-0.21
Cu	0.29	0.67	0.06

\* p<0.05

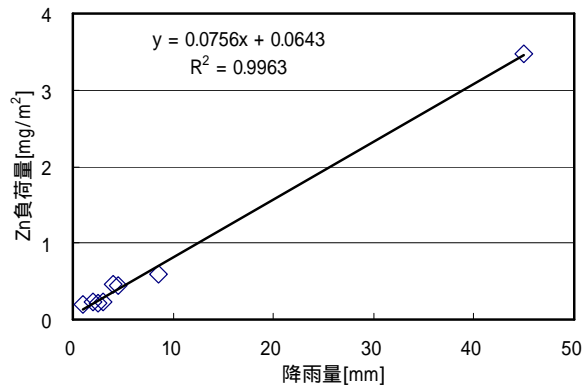


図-2 降雨量と Zn 負荷量の関係および回帰式

回のデータでは, Zn は溶存態にも比較的多く含まれ, 5 元素の中で最大負荷であり, 降雨量の増加とともに大きい負荷量を示した . 明確な相関があったのは Zn と降雨量のみであった (r=0.92) . また, Zn のトータルおよび溶存態においては, 降雨量が多くなると単位降雨量当たりの値は減少するものの有意に大きくなることが確認された (p<0.05) . Zn は主にタイヤ加硫促進剤として含有されている<sup>2)</sup>ため, 磨耗によって放出された Zn が流出しているものと考えられる .

汚濁負荷原単位は, 45mm を含む降雨量と負荷量の関係の回帰式から算出した . 例として, 降雨量と Zn 負荷量の関係および回帰式を図-2 に示す . また, 全ての元素の汚濁負荷原単位を式(1)-(5)に示す . 汚濁負荷原単

$$Cd \text{汚濁負荷原単位} [kg / km^2 / year] = \sum (0.00098 \times (2007 \text{年} 4 \sim 11 \text{月の各日降雨量})) \dots (1)$$

$$Cr \text{汚濁負荷量} [kg / km^2 / year] = \sum (0.0035 \times (2007 \text{年} 4 \sim 11 \text{月の各日降雨量}) + 0.0042) \dots (2)$$

$$Pb \text{汚濁負荷量} [kg / km^2 / year] = \sum (0.0003 \times (2007 \text{年} 4 \sim 11 \text{月の各日降雨量}) + 0.0216) \dots (3)$$

$$Zn \text{汚濁負荷量} [kg / km^2 / year] = \sum (0.0756 \times (2007 \text{年} 4 \sim 11 \text{月の各日降雨量}) + 0.0643) \dots (4)$$

$$Cu \text{汚濁負荷量} [kg / km^2 / year] = \sum (0.0056 \times (2007 \text{年} 4 \sim 11 \text{月の各日降雨量}) + 0.0477) \dots (5)$$

位は, 回帰式に 2007 年 4~11 月の各日降雨量を代入したものである . Cd については,

切片がマイナスを示したため、切片を 0 として回帰式を示す。算出した年間汚濁負荷原単位を表-5 に示す。

文献値<sup>3)</sup>は、式(6)に示す既存の式<sup>4)</sup>を用いて算出した値である。

$$\text{汚濁負荷原単位} \left[ \text{kg} / \text{km}^2 / \text{year} \right] = \frac{\text{年間降雨回数}}{\text{調査回数}} \times \sum \frac{\text{道路流出負荷量} \left[ \text{g} \right]}{\text{道路面積} \left[ \text{km}^2 \right]} \times 10^{-3} \dots (6)$$

しかし、本研究では調査時の降雨量が少なく(計 8 回の降雨量平均は 8.8mm)、式(6)を用いて算出することは不相当と考えられたため、式(1)-(5)を用いた。文献値<sup>3)</sup>は、初期降雨段階のみの採水をもとに年間汚濁負荷量を算出しているため、実際よりも過小評価されていることが考えられる。しかし、交通量の多い都市部の高架高速道路が採水地点であることから、自動車交通の影響を受けやすい Zn 等が本研究に比べて高い値を示したと考えられる。

表-5 汚濁負荷原単位

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
本研究	1.5	5.8	3.15	121	14.4
文献値 <sup>3)</sup>	0.5	5.4	24.5	450	45.1

単位: kg/km<sup>2</sup>/year

## 6. まとめ

1) 本研究では新方式の小型採水装置の開発を行った。採水装置は道路排水を一定の割合を保ちながら採水できるものである。信頼性の高い分割性能を有し、コンパクトな大きさとなり、本研究の採水地点以外にもスペースがあれば、設置できるものとなった。総降雨量 12mm、降雨強度 12mm/hr まで採水可能であり、採水期間中に全降雨量の約 10%(N=8、降雨回数で約 15%)を採水した。

2) 同時に現場付近にて採水した雨水(N=5)中の濃度と比較した結果、雨水中の Cd 濃度は道路排水中の Cd 濃度とほぼ同じレベルであり、降雨由来であることが確認された。

方、Cr、Pb、Zn および Cu は、道路排水中濃度が雨水よりも有意に高く、平均値でそれぞれ雨水濃度の約 7.8、5.8、3.9、6.4 倍であった。

3) Pb 濃度は、最も懸濁態の比率が高く、微粒子 + 懸濁態において降雨量が多くなると有意に低くなる傾向が見られたため、初期降雨段階に粒子態の多くが流出することが考えられた。また、全元素において懸濁態については、先行無降雨時間との間に正の相関が見られた。このことから、道路排水は、路面上の堆積物の影響を多く受けていることが示された。

4) Zn は溶存態にも比較的多く含まれ、Zn 負荷量は本研究において調査を行った 5 元素の中で最大値を示し、道路排水トータルおよび溶存態において降雨量が多くなると単位降雨量当たりの値は減少するものの、有意に大きくなることが確認された。

5) Zn は主にタイヤ加硫促進剤として含有されているため、磨耗によって放出され、Zn による負荷量が大きくなっているものと考えられた。

## 参考文献

- 1) 高橋梢：新型採水装置を用いた雨天時道路排水の連続観測と重金属類の流出評価，長岡技術科学大学大学院工学研究科環境システム工学専攻 修士論文 (2007)
- 2) 尾崎宏和ら：中部山岳国立公園上高地周辺における沿道土壌の重金属濃度の地理的分布および季節変動，環境化学，Vol.12，No.3，pp.571-583 (2002)
- 3) 新矢将尚ら：高速道路排水における汚濁負荷の流出特性，用水と廃水，Vol.44，No.3，pp.207-213 (2002)
- 4) 和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析，技報堂出版 (1990)