

改良型小型サンプリング装置を用いた雨天時道路排水の重金属流出負荷の実態評価

廃棄物・有害物管理工学研究室 07532791 村田 洸
 指導教員 小松 俊哉 姫野 修司

1. 背景および目的

ノンポイント汚染として知られる雨天時道路排水は、降雨により発生し、非定常的な流出をするため、正確な実態が掴めていない。さらに、降雨の間に発生する雨天時道路排水は、流出量が非常に多いため、全量を対象としている研究はほとんどない。本研究では、橋梁の上部にある1つの雨水ますに流入した道路排水を降雨開始から降雨終了までの間、分割し、継続的な採水を行うことで、降雨条件や先行無降雨時間に基づいて重金属の濃度特性や流出負荷量の実態把握を行うことを目的とした。

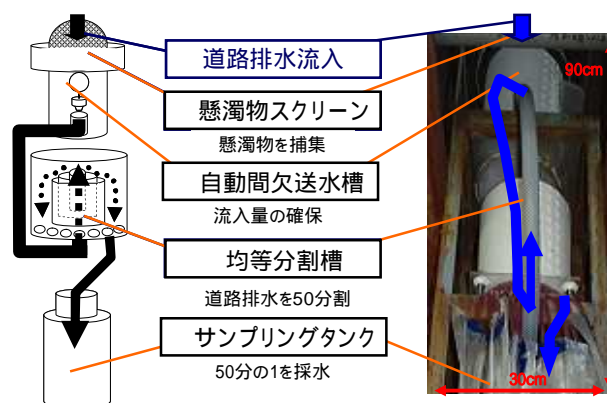


図-1 2008年度用いた改良型小型サンプリング装置概要

2. 採水装置の改良および採水装置の概要

2008年度用いた採水装置は、片山ら¹⁾が開発した32分割採水装置を原形としており、一定面積(35m²)からの道路排水が雨水排水管を通り採水装置内へ流入する。そして、懸濁物スクリーンにて2mm以上の懸濁物を捕集した後、道路排水が自動間欠送水槽に流入すると、一旦貯留される。自動間欠送水槽内で一定量貯まると、下段の均等分割槽へ一定水量が流れ、この槽底部の流出孔により均等分割され、採水タンクに、流入する仕組みとなっている。

32分割採水装置は、対応可能な総降雨量および降雨強度が不十分であるため、表-1に示す改良を行った。その結果、対応可能な総降雨量が12mmから20mmに拡大し、降雨強度も12mm/hrから18mm/hrまで対応することが可能となった。2008年度、現場に用いた採水装置の概要を図-1に示す。

表-1 2008年度に改良した箇所

	目的	改良点
1	対応可能な総降雨量の拡大	分割数の増加(32 → 50)
2	対応可能な降雨強度の拡大	自動間欠送水槽と均等分割槽を繋ぐ連結ホース径の拡大
3	分割性能の安定	浮きの浮力増強
4	採水の確実性	懸濁物スクリーン内部にボール上プラスチック板を設置

3. 採水状況および装置の分割性能

本研究では、2008年4月下旬から11月中旬まで採水を行い、この期間中の全降雨量979mmに対し、継続的な採水ができた降雨量は、全降雨量の約22%の213mm(全降雨日数の44%)となった。また、期間中、継続採水に成功したサンプル数は15サンプルとなり、採水時の1降雨の総降雨量、先行無降雨時間及び最大降雨強度は、それぞれ2.5~33.0mm(平均値:14.7mm,中央値:14.0mm),38~327時間(平均値:109時間,中央値:91時間),0.6~8.5mm/hr(平均値:3.5mm/hr,中央値:3.0mm/hr)であった。これらの降雨諸元を表-2に示す。

また、50分割採水装置で道路排水を採水する時は、毎回採水前後に、分割性能の確認を行っている。その結果を表-3に示す。表-3より平均流出量±標準偏差が204±11ml(理論流出量200ml)、平均分割数±標準偏差が50±3、変動係数が0.06であり、安定性指標としていた平均流出量:理論値±10%、変動係数:0.12(2007年度、現場で性能評価を行った際の平均流出量と平均標準偏差より算出)を達成しており、安定した分割採水が行われた。

表 - 2 道路排水採水時の降雨諸元

採水日 (-)	総降雨量 (mm)	先行無降雨時間 (hr)	最大降雨強度 (mm/hr)
4月24日 8:11 ~	10.0	126	1.5
4月28日 2:22 5月5日 15:55			
5月8日 16:09 5月10日 11:44 ~	20.0	182	6.5
5月11日 8:23 5月31日 7:23 ~			
5月31日 20:31 6月3日 9:25 ~	16.5	41	4.0
6月3日 12:30 6月5日 17:50 ~			
6月5日 24:39 6月19日 17:53 ~	2.5	59	1.0
6月24日 9:04 7月4日 6:44 ~			
7月4日 10:10 7月18日 9:09 ~	14.0	52	3.0
7月21日 23:00 8月24日 9:09 ~			
8月25日 20:57 8月28日 16:48 ~	19.0	57	3.0
9月3日 23:04 10月5日 15:39 ~			
10月7日 4:33 10月11日 1:32 ~	32.0	171	5.0
10月11日 11:17 10月31日 23:31 ~			
11月4日 7:28 11月7日 11:14 ~	21.5	91	4.0
11月10日 18:35			

表-3 現場における分割性能の総合評価

	2008年度 (50分割)	2007年度 (32分割)
流出量 ± 標準偏差 (ml)	204 ± 11 (184-226)	308 ± 24 (270-342)
変動係数 (-)	0.06 (0.02-0.12)	0.05 (0.02-0.11)
分割数 (-)	50 ± 3 (44-56)	33 ± 4 (29-38)

* ()内はデータの範囲
* 50分割採水装置の理論流出量200ml
* 32分割採水装置の理論流出量312ml

4. 分析項目

主な分析項目は、重金属類(Cd, Cr, Pb, Zn, Cu)であり、採水タンクに貯まった道路排水は、1μmでろ過したろ液(以下：溶存態)と、ろ紙に残った微細物質(>1μm)(以下：微粒子)と、懸濁物スクリーンに捕集されたもの(以下：懸濁物)について重金属類濃度を ICP 発光分光分析装置にて測定した。また、同時に雨水を橋梁付近にてプラスチック製バケツで採水し、同様に分析した。

5. 実験結果および考察

5.1 道路排水と雨水中の重金属濃度の比較

道路排水と雨水に含まれる重金属類の平均濃度を表-4に示す。Cdは道路排水でのみ検出され、Cr, Pb, Zn, Cuはそれぞれ雨水より5.7倍、2.9倍、3.4倍、4.7倍高い値を示しており、道路排水中のPbとZnが環境基準値を上回っていた。また、Pbは最も雨水に対する比が低く、降雨の影響が他の重金属より強いことが示唆された。また、道路排水中の重金属濃度が雨水より高いことから、路面による負荷が確認された。

表-4 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 (N=15)	0.00006 ± 0.00010	0.007 ± 0.011	0.023 ± 0.014	0.110 ± 0.115	0.021 ± 0.022
雨水 (N=14)	< 0.00002	0.001 ± 0.001	0.008 ± 0.003	0.033 ± 0.022	0.004 ± 0.003
道路排水/雨水(比)	-	5.7	2.9	3.4	4.7
環境基準値	0.01	0.05	0.01	0.03	(0.04)

5.2 重金属類の存在割合

それぞれの重金属の溶存態、微粒子および懸濁態の割合を図-2に示す。各割合は、各形態の平均濃度から算出した。その結果、Cd, Cr, ZnおよびCuは、懸濁態にて高い存在割合が確認され、Crは62% (標準偏差(以下省略): ±25%), Znは44% (±23%), Cuは39% (±20%)が懸濁態で含まれており、Cdは懸濁態でのみ検出された。Pbは微粒子に多く含まれており、その存在割合は41% (±14%)であった。以上のように、どの重金属も粒子として多く流出しており、自動車交通などで発生する路面上堆積物の影響を強く受けることがわかった。

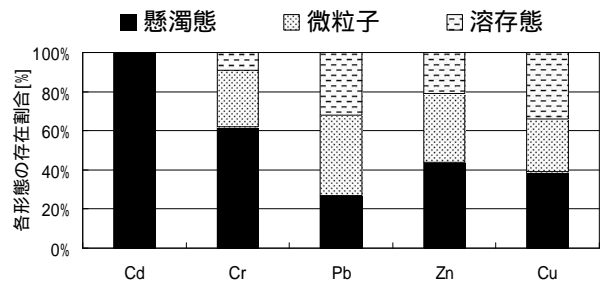


図-2 重金属類の存在割合

5.3 重金属類の流出負荷特性

重金属類の流出負荷量は、式(1)を用いて算出した。

$$\text{負荷量}[\text{mg}/\text{m}^2] = (\text{濃度}[\text{mg}/\text{L}] \times 10^{-3}) \times \text{降雨量}[\text{mm}] \times 10^3 \dots \text{式}(1)$$

重金属類の全流出負荷量(溶存態 + 微粒子 + 懸濁態の流出負荷量を合計した値)と各降雨条件の相関係数 r を表-5 に示す。

その結果、Pb は総降雨量および最大降雨強度の2つの降雨条件との間で有意な相関が確認されたことから、降雨の影響を強く受けることが考えられる。また、Pb は、流出時間や粒径区分、地点間に関係なく、自動車に起因した鉛発生源があると考えられており²⁾、降雨中も Pb が流出しているため、各降雨条件に伴って負荷が増大したと考えられる。また、先行無降雨時間と Cr, Cu の流出負荷量との間で、高い相関が得られているのは、1つだけ先行無降雨時間が他のデータと比べて長く、これが影響しているためであった。それを除くと、Cr : 0.13, Cu : 0.39 であり、先行無降雨時間との関係では、明確に影響が示される結果は得られなかった。これは、採水地点が橋梁であることから風の影響が強いことが考えられ、堆積物の

表 - 5 各重金属の全流出負荷量と各降雨条件との相関係数 r

	総降雨量	先行無降雨時間	最大降雨強度
Cd	-0.35	0.43	-0.24
Cr	-0.16	0.59*	0.00
Pb	0.67*	0.17	0.52*
Zn	0.07	0.48	0.22
Cu	0.34	0.57*	0.44*

* : $p < 0.05$

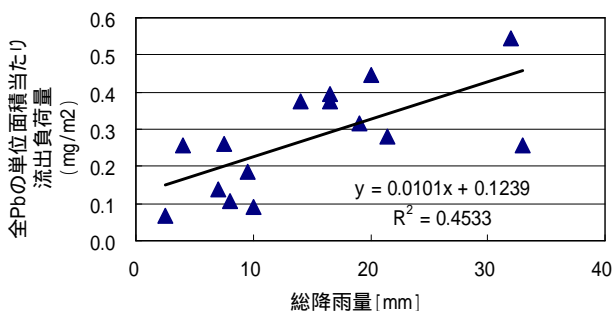


図-3 総降雨量と全Pbの単位面積当たりの流出負荷量の関係

蓄積メカニズムの複雑さや各重金属の流出挙動が異なることなどが原因で明確な関係が表れなかったと考えられる。

5.4 重金属流出負荷の間の相関関係

重金属の全流出負荷量間の相関係数を表-6に示す。その結果、PbとCd, PbとCrの間以外は、有意($p < 0.05$)な正の相関が得られていた。Pbは、Zn, Cuとの間では、有意な正の相関があったものの、それぞれの相関係数 r は0.63, 0.66であり、他の相関係数と比較すると、低い値となった。従って、全Pbの流出負荷量と他の重金属流出負荷量との間では、他の重金属間より低い相関係数となった。

全Pbの流出負荷量は、唯一、総降雨量と有意な正の相関があり、他の重金属とは異なる流出挙動が考えられ、それが、他の重金属との相関係数が低くなったと考えられる。

表-6 重金属の全流出負荷量間の相関係数 r 値

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
Cd	1				
Cr	0.78*	1			
Pb	0.21	0.39	1		
Zn	0.73*	0.89*	0.63*	1	
Cu	0.57*	0.82*	0.66*	0.85*	1

* : $p < 0.05$

5.5 重金属類の年間流出負荷原単位

総降雨量と Pb 流出負荷量の関係で有意な正の相関が確認されたため、Pbの原単位は、その関係間の回帰式から算出した。その回帰式を式(2)に示す。また、その他の重金属は、既存の算術式³⁾(式(3))を用いて算出した。なお、採水装置設置時には、ほとんどが複数日にわたる複数の降雨が流入するため、1回の降雨で発生した負荷量は過大評価されていると考えられる。そこで、1日当たりの総降雨量を算出し、降雨日が連続した場合は、その間を降雨回数1とした。本研究で算出した流出負荷原単位と既存の研究⁴⁾で式(3)を用いて算出した年間流出負荷原単位を表-7に示す。

$$Pb : y = 0.0101x + 0.1239 \dots (2)$$

x : 2008年4~11月の1降雨当たりの総降雨量 [mm]

y : Pb負荷原単位 [kg/km²/year]

年間流出負荷原単位 [kg/km²/year] =

$$\frac{\text{年間降雨回数}}{\text{調査回数}} \times \sum \frac{\text{道路流出負荷量} [g]}{\text{道路面積} [km^2]} \times 10^{-3} \dots (3)$$

年間流出負荷原単位では、Pbのみは差が小さかったものの全ての重金属で本研究の値の方が低かった。これは、既存の研究が、初期降雨段階のみの採水であること、さらには、交通量の多い都市部の高速道路が採水地点であったことが考えられる。

本研究では、降雨全体での水質評価を行っているため、降雨初期のみの採水による水質評価よりも正しい評価と言える。正しい評価を行っていくためには、今後も降雨全体での水質評価を行っていく必要がある。

表 - 7 流出負荷原単位

	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu
本研究	0.02	2.5	18.9	47.6	9.8
既存の研究 ⁴⁾	0.5	5.4	24.5	450	45.1

単位: kg/km²・year

6. まとめ

- 改良型小型採水装置は分割性能が良好であり、2008年度、採水に成功したサンプルは15となった。
- Cdは道路排水でのみ検出され、Cr、Pb、Zn、Cuはそれぞれ雨水より平均で5.7倍、2.9倍、3.4倍、4.7倍高い値で道路排水中に含まれていた。また、Pbが最も比率が低く、Pbは降雨の影響が強いことが示唆された。
- 道路排水中の各重金属は粒子形態に多く含まれており、Cd、Cr、ZnおよびCuは、懸濁態にて高い存在割合が確認され、Cdは懸濁態でのみ検出された。また、Pbは微粒子に多く含まれており、道路上堆積物が多く流出していることが考えられた。
- Pb流出負荷量は総降雨量や最大降雨強度による影響が強く、降雨条件により負荷が増大する傾向が見られた。これは、Pbが流出時間や粒径区分、地点間に関係なく、自動車に起因した鉛発生源があると考えられており、そのため、降雨中も自動車走行に伴い自動車用の鉛含有製品から、発生していると考えられる。
- 先行無降雨時間と各重金属の単位面積当た

りの負荷量では、先行無降雨時間の影響が明確に示される結果は得られなかった。堆積物の蓄積メカニズムの複雑さや各重金属の流出挙動が異なることなどが原因で明確な関係が表れなかったことが示唆された。

- 既存の研究と比べ、より信頼性の高い年間流出負荷原単位を算出することができた。また、本研究では、回帰式および既存の算術式を用いて算出した結果、Cd:0.02、Cr:2.5、Pb:18.9、Zn:47.6、Cu:9.8(単位:kg/km²/year)となった。

参考文献

- 片山智樹ら：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，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)
- 新矢将尚：ノンポイント汚染 - 雨天時水質汚濁の現状と対策 - ，生活衛生，Vol.52，No.2，pp.87-97 (2008)
- 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)
- 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，pp207-213 (2002)