

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

廃棄物・有害物管理工学研究室 高橋 梢
指導教員 小松俊哉 姫野修司

1. はじめに

近年自動車由来の粉塵などの不特定な発生源に由来するノンポイント汚染の環境への負荷が、相対的に増大していることが指摘されている。しかし、実態の把握がなされておらず対策されていないのが現状である。本研究では、測定に必要な最小限の量を確保することが可能な採水装置を用いた採水を行い、雨天時道路排水中に含まれる重金属類を長期的に測定し、様々な降雨パターンにおける流出特性を明らかにすることを目的とする。

2. 採水および測定方法

2.1 道路排水の採水装置による採水

一降雨の道路排水全量を採水することは不可能なので、一定分割を行い、降雨終了まで必要量のみを採水することが可能な採水装置を橋梁下の排水管に直接接続・設置後し、実雨天時道路排水の採水を行うこととした。

採水装置を設置した排水管が受け持つ排水面積は 30m² であり、流出率は 90% とした。降雨量は、雨量計により測定を行った。

2.2 降雨の状況および降雨の採水

採水は 2006 年 9 月～12 月に実施した。採水期間中の全降水量は 912.5mm であり、そのうち採水を行ったのは約 50% の 423.5mm であった (N=25, 降雨回数では全体の約 70%)。採水を行った 25 回の一降雨の降雨量、先行無降雨時間および降雨継続時間の範囲は、それぞれ 1～63.5mm (平均: 17.3mm, 中間: 9.5mm), 4～159 時間 (平均: 44.9 時間, 中間: 38 時間), 0.5～168 時間 (平均: 23.9 時間, 中間: 16 時間) であった。また、現場付近にて実降雨の採水 (N=13)

および装置設置前に同排水管から手動にて一定時間の間隔でのファーストフラッシュを含む初期降雨のみの採水 (N=2) も実施した。後者の測定は 2 回実施した。両日ともに手動で採水を行い、一度に 500mL もしくは 1L 採水を行った。

2.3 重金属類の測定方法

重金属類濃度は、装置によって分割され、タンクに回収された水サンプルとシート状に捕集された懸濁物に分類し測定を行った。水サンプルは、1 μ m のガラス繊維ろ紙を用いてろ過したろ液 (以下、溶存態) とろ過していないものを測定した。溶存態からろ過していないものを差し引き、水サンプルの微細物質 (>1 μ m) を評価する。水サンプルはともに前処理として下水試験方法に基づき硝酸分解を行い、ICP にて測定を行った。また、懸濁物は、環境庁告示 19 号法 (含有量試験) に従い前処理を行い、水サンプル同様に ICP 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 = 総量) で除した結果 (mg/L) と水サンプルの和 (溶存態 + 微細物質 + 懸濁物) が道路排水中のトータル重金属類濃度となる。

3. 結果と考察

3.1 重金属類濃度の経時変化

採水装置を用いて降雨終了まで採水を行った測定濃度結果 (以下、RUN2) を表-1 に示す。溶存態濃度およびトータル濃度を示した。ファーストフラッシュを含めた初期降雨のみの測定濃度結果 (以下、RUN1) を図-1 に示す。白抜きは溶存態濃度、黒塗りはトータル濃度を示している。

トータル濃度は降雨継続にともなって濃度が減少していくために RUN2 よりも RUN1 の方が、

および下層土¹⁾の平均値を示す。

Cd は、一般的な土壌と路面からの懸濁態では差異は見られなかった。そのため、道路交通由来の汚染の影響は小さく、路面に堆積した土壌およびタイヤに付着し運ばれてきた土壌が懸濁態として主に排出されていると考えられる。一方、その他の元素は一般土壌と比較すると高い値を示した。特に Zn については、10 倍以上高い値を示したため、自動車交通等による汚染の影響が顕著であると考えられ、路面に堆積した土壌が排ガス等により汚染されている可能性が示唆された。Zn は、タイヤの加硫促進剤²⁾に用いられており、また、タイヤの含有量試験を行った結果他の元素は検出されなかったにもかかわらず、Zn は 12mg/g と高濃度に含まれていたとの報告もある³⁾。そのため他の元素と比較するとタイヤからの影響を受けやすく、寄与が高いと考えられる。したがって、タイヤと路面との摩擦により生じたタイヤカス等の影響が考えられる。

表-2 懸濁態への重金属類含有量 (mg/kg)

含有量	Cd	Cr	Pb	Ni	Zn	Cu
平均	0.101	2.327	8.264	1.311	72.80	10.30
本研究						
min	0.004	0.073	0.22	0.048	1.7	0.35
max	0.415	5.417	27.525	5.692	244.226	31.274
表層土 ¹⁾	0.176	0.16	1.92	0.34	5.91	1.65
下層土 ¹⁾	0.1	0.15	1.5	0.27	2.75	1.12

3.4 降雨との比較

降雨に含まれる重金属類濃度を表-3 に示す。道路排水との比較から Cd および Ni はほぼ降雨由来であることが確認された。Cr、Pb および Cu も比較的降雨への含有割合は高いものの自動車交通や路面による影響もあることが確認された。Zn は、降雨に含まれるものよりも道路排水への含有割合が高いことが確認された。そのため、大気中の粉塵等よりも自動車交通、路面そのものによるもの、タイヤなど路面での影響を受けやすい元素であると考えられる。一方で、他の元素と比較すると降雨への含有割合が低いために、降雨による希釈効果があると考えられる。

これらの元素は、初期降雨段階に道路交通などの人為由来が流出し、のちに希釈されることが考えられる。一方で、Cd および Ni など降雨への含有割合が高い元素は希釈効果が得られにくい元素と考えられる。

表-3 降雨の重金属類濃度 (mg/L)

	Cd	Cr	Pb	Ni	Zn	Cu
平均	0.00073	0.0027	0.0050	0.0087	0.054	0.010
	±0.00057	±0.0029	±0.0074	±0.0098	±0.079	±0.011
範囲	0.00028	<0.00005	<0.0002	0.0013	0.0014	<0.001
	~0.0025	~0.0093	~0.030	~0.032	~0.27	~0.037

3.4 流出負荷

トータル重金属類流出負荷と降雨情報との相関係数を表-4 に示す。*マークがついているものは、両側検定において有意であったものである(p<0.05 の場合)。全ての元素間で強い相関が見られた。降雨量とは、Cd、Pb、Cu、Fe および Mn が有意な相関を示した。先行無降雨時間とは、全て正の相関関係が見られたが、p<0.05 において有意な関係は見られなかった。また、降雨継続時間とは全ての元素において相関は全く見られなかった。

表-4 重金属元素と降雨情報との相関マトリクス (N=25)

	降雨量	先行無降雨時間	降雨継続時間	Cd	Cr	Pb	Ni	Zn	Cu
Cd	0.40*	0.27	-0.02	1.00					
Cr	0.38	0.41	-0.06	0.83*	1.00				
Pb	0.46*	0.28	0.00	0.68*	0.81*	1.00			
Ni	0.37	0.24	-0.01	0.76*	0.89*	0.74*	1.00		
Zn	0.35	0.38	-0.06	0.92*	0.94*	0.83*	0.86*	1.00	
Cu	0.41*	0.29	-0.07	0.94*	0.87*	0.76*	0.80*	0.92*	1.00

道路排水における汚濁負荷の流出特性を把握するために重要な汚濁負荷原単位を(1)式に示す既存の式³⁾を用い算出を行った。

$$\text{汚濁負荷原単位 (kg/km}^2\text{/year)} = \frac{\text{年間降雨回数}}{\text{調査回数}} \times \sum \frac{\text{道路流出負荷量 (g)}}{\text{道路面積 (km}^2\text{)}} \times 10^{-3} \quad \dots (1)$$

年間降雨回数は、気象庁⁴⁾の過去4年間のデータより算出した。降雨を観測した日のうち、降雨とは傾向が異なることが予想され、調査を行った長岡市で特徴的な降雪時、すなわち、1~3および12月の積雪を観測している期間とした。過去4年間の平均は83回、降雨量にして870mmである。すなわち、降雪時以外の和の平

均である127回(降雨量にして1,616mm)とした。

表-5 に本研究の結果より算出された汚濁負荷原単位を示す。また、他の文献値も比較のため示した。新矢ら⁵⁾は、大阪の高速道路から初期降雨(2時間)を6回にわたって採水したのから算出された値である。

新矢らの値と比較すると、Cdが2倍、Niは3倍、本研究での値の方が大きいことがわかった。新矢らは、初期降雨を対象としており、降雨終了まで調査していない。初期降雨では、懸濁態の流出があり、濃度・負荷ともに上昇する傾向が見られる。しかし、溶存態は降雨時間に伴って濃度減少する懸濁態とは異なり、時間に関係なくある程度一定濃度で流出し続ける。これらの元素は溶存態に多く含有しているため、降雨初期段階のみを対象として調査し、汚濁負荷原単位を算出した際には値が小さくなることが考えられる。また、これらの元素は、降雨への含有割合が高いために、希釈されることなく、降雨終了まで流出されていたため、本研究では値が大きくなったものと考えられる。一方、Znは、新矢らの方が3.5倍高い値を示していた。本研究での採水場所は一般道路であり、高速道路と比較すると交通量は非常に少ない。そのため、自動車交通由来が汚染源と考えられるZnは値が低くなったものと考えられる。

表-5 算出された汚濁負荷原単位 (kg/km²/year)

	Cd	Cr	Pb	Ni	Zn	Cu
本研究	1.05	8.66	10.9	16.0	162	20.2
新矢ら ⁵⁾	0.5	5.4	24.5	4.4	450	45.1

4. ま と め

1) 初期降雨段階では、懸濁態を多く含み、高濃度で流出するが、30分程度経過すると溶存態濃度が多くを占め、降雨終了まで一定濃度で流出を続ける。溶存態は降雨継続時間に関係なくある程度一定濃度で流出し続ける。また、どの元

素もトータルの汚濁負荷量は降雨量と比較的正しい相関が見られた。そのため、降雨終了まで採水を行わなければ正確な汚濁負荷評価はできないことが考えられた。

2) Cd, Cr, Ni, Zn および Cu は溶存態へ、Pb, Fe および Mn は微粒子への含有割合が高い。どの元素も懸濁態への含有割合は低く、先行無降雨時間の影響による路面への堆積物の影響が出にくかった。また、降雨量が増加すると堆積物は希釈され流出するために影響は少なかった。

3) Cd, Ni は、降雨への含有割合が高く、降雨継続時間に関係なくある程度一定濃度で流出し続けた。一方、Zn は、道路排水への含有割合が高く示された。懸濁物へはZnが多く含まれていたことから、大気中の粉塵等よりも道路交通、タイヤなど路面での影響を受けやすいと考えられた。

参考文献

- 1) 浅見輝男(2001) データで示す-日本土壌の有害金属汚染, アグネス技術センター
- 2) 尾崎宏和ら (2005) 上高地周辺の観光道路における土壌および道路わき粉塵の重金属濃度の長期変動, 環境化学, Vol.15, No.2, pp.287-298
- 3) 和田安彦 (1990) ノンポイント汚染源のモデル解析, 技報堂出版
- 4) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 5) 新矢将尚ら (2002) 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