

# ポーラスコンクリートを用いた道路排水中の重金属除去

資源エネルギー循環研究室 B4 若林颯馬

## 1. はじめに

現在、公共用水域への汚濁負荷の比率として、発生源が明確な工場排水等の比率が下がっている一方、対策が困難な道路、農地等の発生源が不明確なノンポイント汚染の比率が高まっている<sup>1)</sup>。市街地における主なノンポイント汚染の発生源として、自動車走行に伴う有害物質の路面堆積が挙げられる。このような路面堆積物には重金属が含まれており、雨天時における流出に伴う公共用水域の水環境や水生生物への影響が懸念されている。そのため、本研究では重金属吸着能力を持つことが報告されている<sup>2)</sup>ポーラスコンクリートを作成し、その重金属への吸着材としての評価を行い、重金属の公共用水域や土壌、地下水の汚濁削減を検討する。

## 2. ポーラスコンクリートとは

ポーラスコンクリートとは多孔質コンクリートとも呼ばれ、一般的なコンクリートとは異なり、極端に細骨材を減らすもしくは使用せずに製造するコンクリートである。そのためコンクリート中に多くの空隙を含むことから、透水性や透気性が大きく、水質の浄化効果や吸音効果などを有している。表1に用途別のポーラスコンクリートの要求性能<sup>3)</sup>を示す。吸着材として使用するものは透水性を確保する必要があるため、透水係数を1~3cm/s確保する必要がある。

表1 ポーラスコンクリートの用途と要求

用途	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	透水係数 (cm/s)
浄化	10~15	4~6
緑化	13~18	2.5~5
透水	15~25	1~3
舗装	30~40	0.1~1

## 3. ポーラスコンクリートの作成

表2にポーラスコンクリートの示方配合を示す。岡本ら<sup>4)</sup>の論文より、空隙率と透水係数には相関があることが確認されているため、本実験では透水係数を1~3cm/s確保するために目標空隙率を20%、25%、30%のものを作成する。表2に示すような配合条件について、試験体A~C、加えて普通コンクリート試験体Dを作成した。硬化後のポーラスコンクリートの外観を図1に示す。どの試験体もセメントペーストの材料分離は起こさず、空隙率も目標に近い値を示したと考えられる。しかし、試験体下部に粒形の小さいもの、試験体上部に粒形の大きいものが分かれてしまうといった分離が生じてしまった。これは、硬化前のポーラスコンクリートを型枠に打設する際の締固めが起因していると考えられ、今後それらの検討を行う必要がある。

表 2 ポーラスコンクリート配合表

試験体	粗骨材の 最大寸法 (mm)	目標空隙率 (%)	W/C (%)	Vm/Vg (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	G	AE 減水剤
A	15	30	23	17	42	183	1576	1.83
B		25	23	26	63	274	1576	2.74
C		20	23	34	84	366	1576	3.66

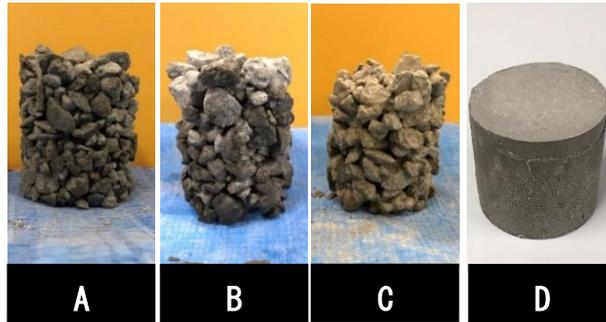


図 1 硬化後のポーラス及び普通コンクリート (φ50×50mm)

#### 4. 重金属吸着実験

##### 4.1 除去対象の重金属選定

重金属濃度について 4 つの文献について調査を行った。記載されていた重金属濃度の最大値を以下の図 2 にまとめた。全ての文献で Zn(環境基準 : 0.03mg/l)の最大値濃度は環境基準値を超過していた。Pb(環境基準 : 0.01mg/l)に関しては、環境基準の超過は無かったものの、比較的環境基準値に近い値となった。また Cu については水生生物への毒性が強く、三島ら<sup>5)</sup>の論文より環境中濃度 (PEC) と予測無影響濃度 (PNEC) が、PNEC : 0.1μg/l に対して PEC : 1.0mg/l が検出されており、PEC/PNEC が最大 1000 倍となっていた。よって本研究では Pb, Zn, Cu の三種類の重金属について測定及び除去実験を行うこととした。

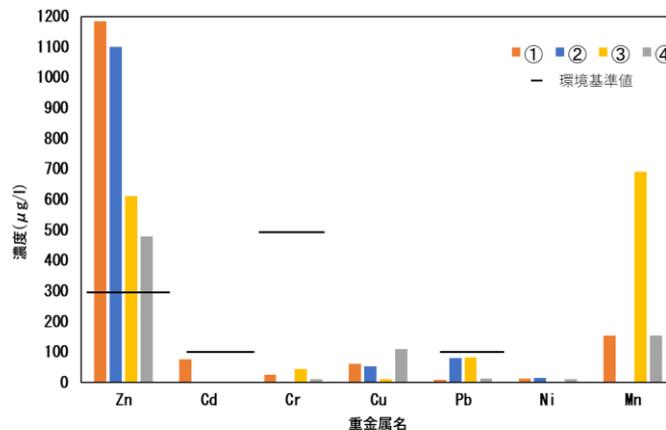


図 2 道路排水中の重金属濃度最大値

## 4.2 実験方法

CuCl<sub>2</sub>, PbCl<sub>2</sub>, ZnCl<sub>2</sub>を用い Cu:0.2mg/l, Pb : 0.1mg/l, Zn : 1.0 mg/l の重金属溶液 1.5L を 4 ボトル作成する。溶液濃度は、文献調査より各重金属の高濃度レベルを設定した。作成した重金属溶液中にそれぞれ図 1 に示す試験体名 A~C のポーラスコンクリート(φ50×50mm)と試験体名 D とした普通コンクリート(φ50×50mm)を沈める。ポーラスコンクリートは重量約 150g となるため、固液比はおおよそ 1 : 10 となる。7 日目までの 1 日ごと及び、10 日目に重金属溶液を採取し、ICP(高周波プラズマ発光分析法)を用いて重金属濃度と pH を測定した。実験の様子を図 3 に示す。



図 3 吸着実験の様子

## 4.3 実験結果

吸着実験の結果を図 4~図 6 に、pH の測定結果を図 7 に示す。また、初期濃度から 10 日目時点での重金属の減少率を表 3 に示す。すべての試験体において 7 日目までには初期値以下の重金属濃度となった。A~C の空隙率によつての吸着量の変化は確認されなかったが、普通コンクリートである D に関しては A~C と比べ経過日数ごとの重金属濃度の減少が少なく、普通コンクリートに比べてポーラスコンクリートの有効性が確認された。初期濃度からの吸着率は Zn>Pb>Cu であった。しかし、Cu に関しては、すべての系列で実験初期 1~2 日目に濃度が上昇する結果となった。pH に関しては、0 日目から 2 日目にかけて値が増加し、pH12 付近まで増加した後は値の変化はあまり見られなかった。

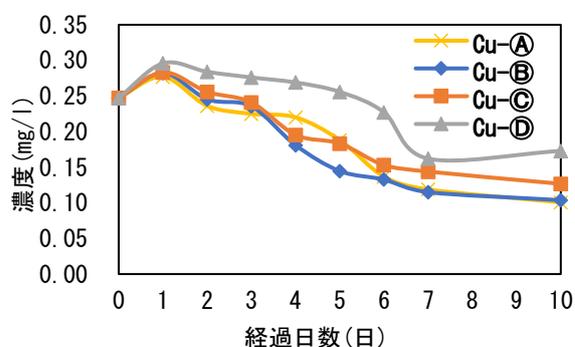


図 4 Cu 吸着実験結果

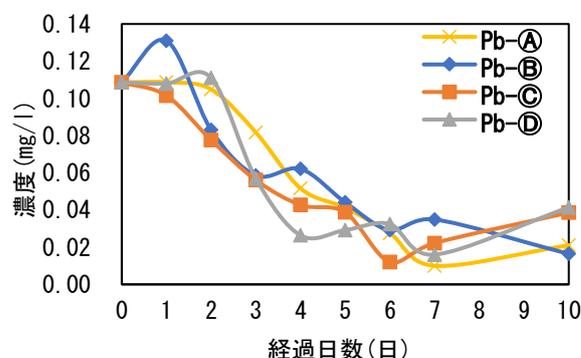


図 5 Pb 吸着実験結果

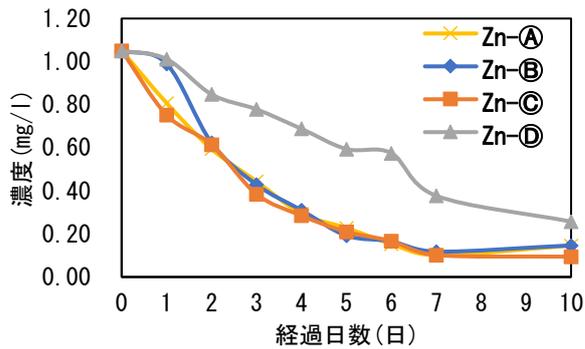


図6 Zn吸着実験結果

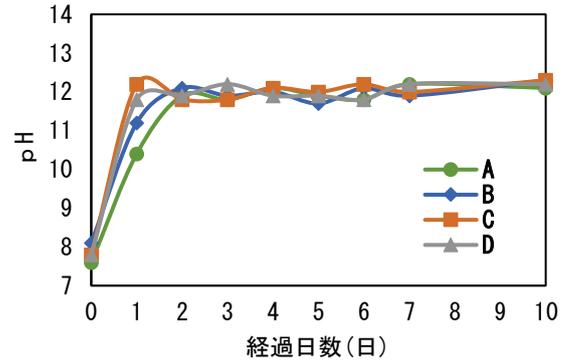


図7 pH結果

表3 各重金属吸着率

	Cu 減少率 (%)	Pb 減少率 (%)	Zn 減少率 (%)
A	59.3	80.6	86.1
B	58.1	84.9	86.0
C	55.3	62.0	87.5
D	41.6	61.7	74.6

## 5. 考察

Cuは実験初期に濃度が上昇した。理由として、コンクリートからのCu溶出が考えられる。コンクリートの材料であるセメントには、銅スラグなどの酸化鉄原料が使用されている<sup>5)</sup>ため、溶液に浸漬初期にCuが溶出したと考えられる。また、試験体A~Cでは吸着量の変化にあまり差が見られなかったため、空隙率はこのような実験方法においては重金属吸着量に影響を与えていないと考えられる。試験体A~Cと試験体Dの結果を比較すると、試験体A~Cに比べて試験体Dは経過日数ごとの重金属吸着量が少なかったため、ポーラスコンクリートは普通コンクリートよりも重金属吸着能力が優れている。これは、ポーラスコンクリートは普通コンクリートに比べ、重金属溶液と接触する比表面積が大きいため、より多くの重金属を吸着したことが考えられる。

10日目時点の減少率に関しては、Zn>Pb>Cuの順に減少していた。これを原田氏の論文<sup>2)</sup>と比較すると、Cuが低い傾向は一致するが、PbとZnは逆の結果となった。これは、原田氏はカラム散水試験の結果であり、用いたポーラスコンクリートの特性以外に実験条件の違いも影響していると考えられる。pHに関してはコンクリート中のセメントが水と反応し、水和反応を起こすことで水酸化カルシウムが発生するため、ポーラスコンクリートが強いアルカリ性になることが原因であると考えられる。

## 6. まとめ

- 1) 普通コンクリートに比べ優れた吸着能力を持つポーラスコンクリートを作成できた。
- 2) ポーラスコンクリートの吸着率は  $Zn(74.6\sim 87.5\%) > Pb(61.7\sim 84.9\%) > Cu(41.6\sim 59.3\%)$  となった。
- 3) 空隙率の違いによるポーラスコンクリートを重金属溶液に浸漬させた場合の重金属吸着量には明確な差がみられなかった。
- 4) Cu は実験初期に濃度が上昇した。セメント原料からの溶出が起きたためと考えられる。

## 7. 今後の展望

本研究ではポーラスコンクリートを重金属溶液中に沈め、経過時間ごとの重金属吸着量を測定したが、今後は上部から一定量の重金属溶液をポーラスコンクリートに浸透させ、下部より流れ出した重金属溶液の濃度を測定するような散水カラム試験を行いたいと考えている。また、それに伴いポーラスコンクリートの透水係数も測定する必要があると考えられるため、定水位透水試験を行いたいと考えている。

また本研究から、ポーラスコンクリートからの Cu の溶出が確認されたため、Cu 及び他の重金属のポーラスコンクリートからの溶出実験を行うことも重要である。

## 参考文献

- 1) 新矢将尚 (2008) 「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 87-97
- 2) 原田茂樹, 小室仁典 (2009) 「ポーラスコンクリートを用いた重金属のノンポイント流出削減」『農業農村工学会論文集』 第 246 号, p81-82
- 3) Concrete Medical Center 「ポーラスコンクリートの基礎知識 | 使用方法・製造方法まとめ」 (<https://concrete-mc.jp/porous-concrete/>)
- 4) 岡本享久・安部登・増井直樹・佐藤文則 (1998) 「ポーラスコンクリートの製造・物性・試験方法」『コンクリート工学』 P61-62
- 5) 三島聡子・大塚知泰・庄司成敬・坂本広美・安部明美 (2014) 「高架道路から水域への重金属の流出と由来」『環境科学』 Vol.15, No2, pp335-343
- 6) Concrete Medical Center 「セメントの原料とセメントが作られる工程を解説」 (<https://concrete-mc.jp/cement-material/>)