

# ポーラスコンクリートを用いた重金属含有模擬排水の吸着除去実験

長岡技術科学大学

若林颯馬

長岡技術科学大学 正会員

小松俊哉

## 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。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とされる<sup>1)</sup>ポーラスコンクリートを作成し、その基本物性(透水係数および圧縮強度)の確認とともに重金属含有模擬排水を用いた吸着実験を行い、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の作成

表1にポーラスコンクリートの示方配合を示す。空隙率の違いによって透水係数と重金属除去能力にどの程度の差が表れるのかを検討するために目標空隙率を20%、25%、30%のものを作成し、試験体A~Cとした。硬化後のポーラスコンクリートの外観を図1に示す。

表1 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	20	23	34	84	366	1576	3.66
B		25	23	26	63	274	1576	2.74
C		30	23	17	42	183	1576	1.83

※Vm/Vg: モルタル/粗骨材体積比

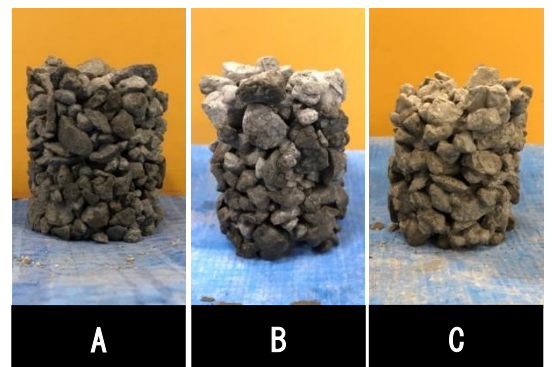


図1 硬化後のポーラスコンクリート  
(φ50×50mm)

## 3. 定水位透水試験

### 3.1 試験対象となる供試体

測定するポーラスコンクリートの配合条件は表1に示したものと同様であり、試験体サイズはφ85×125mmとし、塩ビ管に打ち込んだものを用いた。

### 3.2 試験方法

ポーラスコンクリートの透水試験方法は、定水位透水試験とされている<sup>2)</sup>。試験の概略図を図2に示す。この試験方法は、一定断面積と高さを持つ供試体の中を、一定の水位差の下で一定時間内に浸透する水量を計算するものである。透水係数  $K(\text{cm/s})$  は水位差  $h(\text{cm})$  と一定時間  $t(\text{s})$  における越流水槽から流れ出る水量  $Q(\text{cm}^3)$  を測定し、以下の式に代入する。また断面積  $A(\text{cm}^2)$ 、供試体高さ  $H(\text{cm})$  とする。

$$K = \left(\frac{H}{h}\right) \times \left(\frac{Q}{A \times t}\right)$$

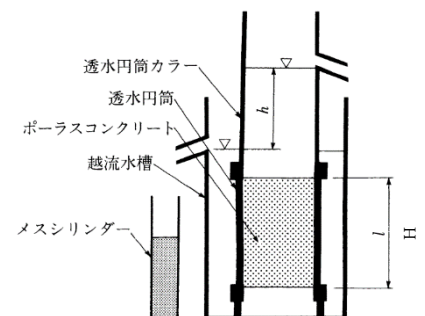


図2 定水位透水試験概略図

### 3.3 結果と考察

試験結果を図 3 に示す。透水係数は目標空隙率 20, 25, 30%が 2.67, 3.95, 4.83cm/s となった。岡本ら<sup>2)</sup>, 畑中ら<sup>3)</sup>の透水係数 (図に示した値は各空隙率近辺の結果の平均値) と比較すると, 文献値を超えた値となり, とくに 20%と 25%は差が大きかった。それぞれの試験体の空隙率を実際に測定したところ 23.4%, 28.1%, 32.0%となっており, 目標空隙率に対して 2~3%高い値になっていた。それが高い測定結果となった一因と考えられる。また, このような空隙率になった理由として,

畑中らはポーラスコンクリートの締固め時に自作の締固め機を使用しているのに対し, 我々は締固めをつき棒を用いて行ったため, ポーラスコンクリート内部の空隙の広がりにも影響したことが考えられる。

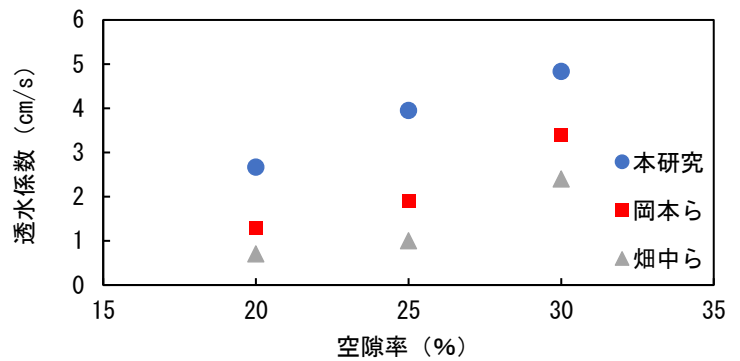


図 3 透水試験結果と文献値

## 4. 圧縮強度試験

### 4.1 試験対象となる供試体

試験に使用する試験体の配合は表 1 と同じであり, 寸法  $\phi 100 \times 200 \text{mm}$  の円柱供試体を使用する。ポーラスコンクリートの圧縮強度は空隙率に依存するため<sup>2)</sup>, それを確認するために空隙率 20, 25, 30%の供試体を試験に用いる。

### 4.2 試験方法

圧縮強度試験とは, 圧縮試験機を用いて供試体に衝撃を与えないように一様な速度で荷重を破壊まで加え, 破壊時の圧力を測定するものであり, 試験は JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って行った。圧縮強度試験は, 試験体の上面と底面の平行が重要であり, 我々が作成したポーラスコンクリートはそれが確保されていなかったため, 上面と底面をセメントペーストで固め平行をとるキャッピングを行い試験体作成をした。

### 4.3 結果と考察

試験結果を表 3 に示す。空隙率が大きいほど圧縮強度が小さくなる傾向がみられた。これは, ポーラスコンクリートは結合部分がセメントペースト分のみであるため, 内部空隙が多くなるほどペースト結合部が減り, 強度が低下することが考えられる。図 4 に破壊形態を示す。全ての試験体で円錐破壊を起こしていた。供試体内部が均一な状態でなければこの破壊は起こらないため, 内部空隙は均一であったと考えられる。また, 本結果の文献値 (各空隙率近辺の結果の平均値, または近似式に基づく値) との比較を図 5 に示す, 本研究の圧縮強度は岡本ら<sup>2)</sup>, 畑中ら<sup>3)</sup>, 前川ら<sup>4)</sup> よりも低い傾向があった。

このような強度になった理由としては, 文献値とは骨材は同様のものを使用しているためセメント部の性状に違いがあったのではないかと考えられる。ただし, 本研究の結果は岡本ら<sup>2)</sup>の低い結果となった値とは同等であった。また, 本用途では高強度である必要性は低く, 実用上は問題ないと考えられる。



図 4 試験体破壊状況

表 3 圧縮強度試験結果

空隙率 (%)	平均直径 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
20	100.8	7977.0	27100	8.1
25	101.2	8048.4	38600	4.8
30	100.1	7876.0	63600	3.4

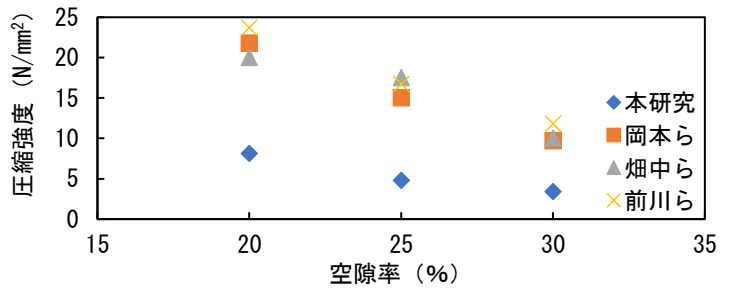


図 5 圧縮試験結果と文献値

## 5. 重金属吸着実験

### 5.1 除去対象の重金属選定

道路排水中の重金属濃度について文献調査を行った結果、Pb(環境基準：0.01mg/L)と Zn(環境基準：0.03mg/L)の2つが環境基準のある重金属の中で基準値の超過が多かった。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 : 125μg/l が検出されており、PEC/PNEC が 1000 倍以上となっていた。よって本研究では Pb, Zn, Cu の3種類の重金属について吸着除去実験を行う。

### 5.2 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ボトル用意した。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試験体名 A~C の空隙率 20, 25, 30%のポーラスコンクリート(φ50×50mm), 及び別途作成した普通コンクリート(φ50×50mm, 試験体名 D)と沈める。ポーラスコンクリートは重量約 150g であったため、固液比はおおよそ 1 : 10 となる。0日目から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。

### 5.3 実験結果

吸着実験の結果を図6~図8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4に示す。すべての試験体において重金属濃度の初期値からの徐々の減少が確認された。Cu に関しては、全系列で実験初期1~2日目に濃度が上昇する結果となった。A~C の空隙率よっ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。初期濃度からの減少率は Zn>Pb>Cu であった。また、pH を測定したところ、全系列で約 11 (アルカリ域) であった。

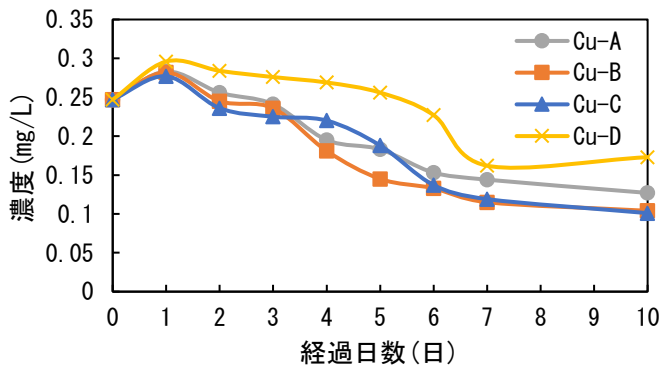


図 6 Cu 吸着実験結果

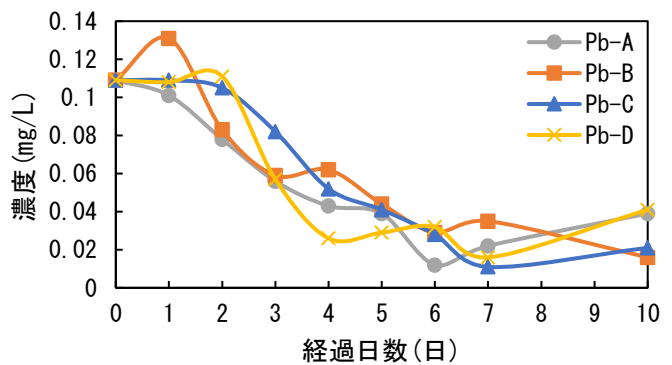


図 7 Pb 吸着実験結果

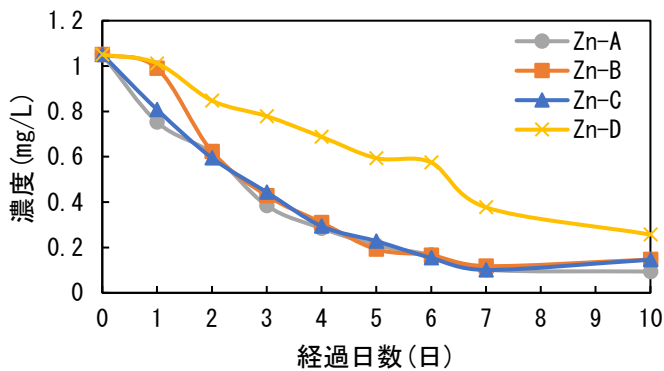


図8 Zn 吸着実験結果

表4 重金属減少率

	Cu 減少率 (%)	Pb 減少率 (%)	Zn 減少率 (%)
A	53.3	62.0	87.5
B	58.1	84.9	86.0
C	59.3	80.6	86.1
D	41.6	61.7	74.6

#### 5.4 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>6)</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。いっぽう試験体 D は経過日数ごとの重金属吸着量が少なく、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。

#### 6. まとめ

- ・透水係数は目標空隙率 20, 25, 30% 供試体がそれぞれ 2.67, 3.95, 4.83cm/s であった。
- ・圧縮強度は目標空隙率 20, 25, 30% で 8.1, 4.8, 3.4N/mm<sup>2</sup> となり、他文献と比べて低い傾向があった。
- ・重金属吸着実験において、ポーラスコンクリートの 10 日間での吸着率は Zn(74.6~87.5%) > Pb(61.7~84.9%) > Cu(41.6~59.3%) となった、空隙率による吸着量には明確な差がみられなかったが、普通コンクリートよりも高い吸着量が得られた。
- ・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。

今後は、吸着ポテンシャルを評価するため高濃度重金属の吸着実験、及びカラム通水による重金属吸着実験を実施する予定である。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、長岡技術科学大学コンクリート工学研究室の茨木泰介氏にはコンクリートの作成や各種試験で多大なる協力をして頂きました。ここに記して謝意を示します。

#### 参考文献

- 1) 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』 No.264 pp81-82
- 2) 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』 P52-62
- 3) 畑中 重光 「ポーラスコンクリートの (案) の作成にむけて」 (2011) 『コンクリート工学』 49 巻 4 号 p. 4\_30-4\_37
- 4) 前川明弘, 畑中重光, 三島直生, 湯浅幸久(2008) 「ポーラスコンクリートの圧縮強度-空隙率関係に関する実験とそのモデル化」『日本建築学会構造系論文集』 73 巻, 625 号, p363-368
- 5) 三島聡子 (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/>)