

ポーラスコンクリートによるノンポイント流出水中の重金属除去の評価と実用化

福島大学 正会員 ○原田 茂樹

1. 目的：本稿では、著者が取り組んできたポーラスコンクリートを用いた市街地ノンポイント流出水（路面排水）に含まれる重金属除去について、次の2つの検討を行い土木技術としての実用性を考察する。**検討内容①** 雨水排除システム内でのオンサイト浸透工法に用いる素材として、ポーラスコンクリートの重金属除去性能を室内実験により検討する。**検討内容②** 実雨水枡の底にポーラスコンクリート盤を設置し重金属吸着があるかを調べた結果により、①での性能評価結果を検証する。そのほか、最新鋭の都市型水文モデルである Inforworks ICM を用い、雨水枡から在来地盤への浸透損失係数を適切に与え初期雨水（路面排水）の雨水枡内の挙動を再現すると、初期雨水のほとんどが雨水枡の底部でポーラスコンクリート盤を通過することを明らかにしており、当該土木技術の排水区レベルでの実用性は検討済みである（投稿準備中）。

2. オンサイト浸透工法が必要とされる背景とここまでの著者による検討の概説：市街地表面に雨水（アミズ）が一度落ち流出した雨水（ウスイ）は多くの汚濁物質を含み、路面排水でいえば交通量や大気汚染物質影響の影響をうけながら「交通起源の重金属を多く含む¹⁾」ことが指摘されている。雨水排除システムに流入した汚濁は、分流式下水道の場合には無処理で公共用水域に放流され、合流式下水道の場合には通常は下水処理場に送られるが、雨天時越流（CSO）の形で、同様に無処理で放流される場合がある。したがって、路面排水などノンポイント流出水が下流水域の水質や生物・生態系の健全性、および生態系食物連鎖を通じた食料生産に与える影響が懸念される（水域には生態系保全のための亜鉛に関する基準も設定されている）。路面排水の対策として、オンサイト浸透工法の利点は2つある：流出総量を減らし汚濁の総流出負荷総量を減らすこと、及び適切な素材を選択すれば浸透過程での浄化が期待できることである。ポーラスコンクリート²⁻⁶⁾は細骨材を減らし浸透性としたものであり、コンクリートの長所である硬さを保った上で、水をはじくという課題を解決する上に、重金属を3つの機構により浄化する。機構の1つはアルカリ沈殿反応であり、ポーラスコンクリートを形成する砕石のpHが高いことから路面排水が浸透中に砕石と接触し高pH状態で重金属の溶解度が低下し、結果として重金属が析出・吸着される（その後に水分供給があっても析出した重金属は流出しないことが実験的に確認されている）。2つ目はポーラスコンクリート内に水和物が形成され水和物表面に重金属が吸着される³⁻⁵⁾ことである（ただし水和物は時間と共に消滅に向かうため、砕石サイズにもよるがアルカリ沈殿反応の方が重金属吸着への寄与度が高い）（投稿準備中）。3つ目はポーラスコンクリートが多孔質であることから、水中の懸濁態重金属が濾過により物理的に除去される⁹⁾ことである。ここで、オンサイト浸透工法は経済的利点もある。処理施設建設のコストが削減でき⁷⁾、つまり晴天時には不要なスペースを生み出さない。さらに、ポーラスコンクリートに吸着した重金属の回収・再資源化により市街地に広く拡散した汚濁は資源へと変わる⁸⁾。その時、ポーラスコンクリートそのものの再利用が可能であることも示されている⁸⁾。

3. 検討内容① 室内実験による浸透工法の効果 について： 仙台市若林区内の雨水枡において、施設占有・道路使用許可を得た上で、雨水枡内に採水装置を設置し路面排水（初期雨水として）1Lを継続的に採取した。2021年度中に採取した路面排水のうち、直近の約20を用いた実験について示す。採取した路面排水は2mmの篩いにより夾雑物を除去した後、濾過（Whatman GF/B 孔系 $1.0\mu\text{m}$ ）を行ったもの（濾過後）と濾過を行わなかったもの（濾過前）をそれぞれ硝酸洗浄したガラス瓶に保管した。それらを4～6程度ずつ混合し、混合濾過前①②グループと混合濾過後①②③グループを作成し実験室内でのポーラスコンクリートカラム（直径10cm、高さ10cm）への散水実験に用いた。各グループの全Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pbという代表的路面排水中重金属濃度（ICP-MSで計測）を図1に示す。この図より、混合濾過前グループの濃度が高く、路面排水中に

キーワード ポーラスコンクリート、市街地ノンポイント流出水、重金属除去メカニズム、実路面排水
連絡先 〒960-1296 福島市金谷川1番地食農学類管理棟303 tel: 024-503-4975

は粒子態重金属が多く含まれていることがわかる。そこで2で述べた3つの浄化機構、つまり、濾過効果、アルカリ沈殿反応、水和物吸着の全てが機能する混合濾過前①②グループの散水実験の結果を図2に示す。Case1は砕石が大きく（Gmax15）、Case2と3は砕石が小さい（Gmax5）。Case2とCase3は素材の違いがあるが配合設計は同じである。重金属種ごとに差があるが80%以上の吸着率が砕石サイズの小さいCase2, 3で示されており、重金属除去効果のためにはGmax5の砕石の方が適していると言える。Case2と3の吸着率の違いには部材からの僅かな重金属溶出の影響がある。著者によるこれまでの検討からポーラスコンクリートからは僅かに各種重金属が脱着（溶出）することがわかっている。そのため、図2の吸着率は、吸着から脱着を引いたものを「みかけの吸着」とみなした吸着率である。全Cr濃度の低い「混合濾過前②」のCase1の吸着率が下がっていることが顕著な例である。各カラムの溶出量を計測しており、互換した結果が得られている。例えばCdは溶出がなく図1の溶液濃度が低くても吸着率は大きく下がる。

4. 検討内容② 現場実証実験による浸透工法の効果 につ

いて：千葉県市川駅前の底が浸透性及び非浸透性の雨水枡に2016年11月にポーラスコンクリート盤を設置し、2021年8月に掘り出した。その後、酸性化による再溶出実験⁸⁾を行い、Cu, Zn, Pbの吸着量（ $\mu\text{g/g}$ ）を調べた結果（ICPにより計測した）を図3に示す。いずれもブランク（2016年11月に枡に設置しないで保管していたもの）に対し十分大きな溶出を示し、雨水枡内のポーラスコンクリートにおいて重金属吸着が起こっていたと言える。当該雨水枡底への流入水濃度のモニタリングは、コロナ禍での移動自粛のため実施できなかった。しかし、若林区と市川駅前の雨水枡周辺で採取した塵埃から作成した模擬路面排水中の重金属濃度は同オーダーであり（投稿準備中）、したがってコンスタントに路面排水中に検出される亜鉛に注目すれば、図1の亜鉛濃度とほぼ等しい1~2mg/Lの亜鉛の流入が市川駅前雨水枡にもあったと考えられる。一方、著者の既報では溶液濃度が2.5mg/Lの時、吸着量は110 $\mu\text{g/g}$ である⁸⁾。図3より亜鉛吸着量は100 $\mu\text{g/g}$ であり、吸着量は妥当な数値だと言える。なお、非浸透性雨水枡の方が漬け込み状態になりポーラスコンクリートへの吸着は大きいと想像したが、差は小さかった。浸透性雨水枡で浸透過程（ポーラスコンクリート通過中）に十分に吸着されるならば、治水面から浸透性の雨水枡利用の方が、便益が大きいと言える。

【謝辞】本研究は、JST Astep トライアウト JPMJTM20BK および宮城大学研究費の支援を受けました。仙台市および市川市の関係者に感謝します。プロジェクトメンバー、宮城大学卒業研究生に感謝します。

参考文献 1) 村上道夫, 2006, 東京大学博士論文 2) 原田茂樹ら, 2007, 下水道協会誌論文集 3) 原田茂樹・北辻政文, 2008, 農業農村工学会論文集 4) 原田茂樹・小室仁典, 2009, 農業農村工学会論文集 5) Harada & Komuro, 2010, Chemosphere 6) Harada, S. et al., 2014, DIPCON/ARC 7) 原田茂樹・金主鉉, 2014, 農業農村工学会誌（水土の知） 8) Harada & Yanbe, 2018, Chemosphere 9) 渡邊ら, 2010, 水文水資源学会誌

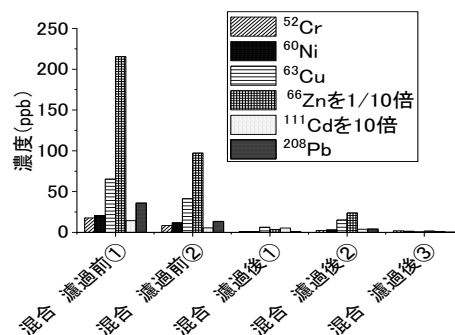


図1 雨水枡流入水重金属濃度

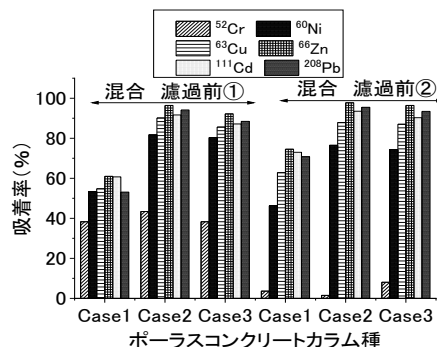


図2 3種のカラムによる吸着率

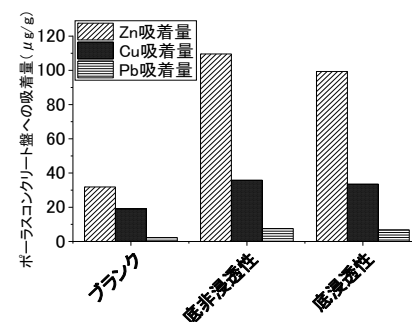


図3 現場実証実験による重金属吸着量