

B-7 多機能生態系支援コンクリートによる 水質浄化効果の評価

○田村 生弥¹・新田 和代²・駕田 啓一郎²・中尾 佑子²・今井 昭二²・
葛西 博文³・山田 登志夫³・田中 基博³・関澤 純²・山本 裕史^{2*}

¹徳島大学大学院 総合科学教育部 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町一丁目一番地)

²徳島大学 総合科学部自然システム学科 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町一丁目一番地)

³開発コンクリート株式会社 水環境室 (〒768-0065 香川県観音寺市瀬戸町二丁目十七番地十五号)

* E-mail: hiroshi@ias.tokushima-u.ac.jp

1. はじめに

連続的空隙を持つポーラスコンクリートはその構造的
特徴により多くの微生物が付着し、汚染物質の分解を促
進する生態系支援コンクリートとして着目されている¹⁾。
これに陽イオン交換機能のある石炭灰からリサイクルし
た人工ゼオライトを添加したのも生態系支援コンクリ
ートとして界面活性剤直鎖アルキルベンゼンスルホン酸
の浄化支援効果があることもわかってきている¹⁾。

そこで、本研究では、新たに陰イオン交換樹脂を添加
して機能を追加したポーラスコンクリートを実際の河川
に沈設して生物膜を回収し、陰イオンである界面活性剤
C₁₂-LAS、硝酸、リン酸および栄養塩類の除去を支援す
る効果を回分式実験および連続式水路実験により比較検
討した。

2. 実験方法

(1) 対象河川

徳島県の汚水処理設備の普及率が47都道府県で最下位
であり²⁾、徳島市で公共下水道が普及しているのは、吉
野川の南東のごく一部である。本研究では、徳島市南部
の下水道未整備地域を流れる冷田川を対象河川として選
定した。この河川は、公共下水道が普及しておらず、生
活排水が直接排出されているおそれがある。さらに容易
に生物膜採取装置を沈設でき、かつ、潮位や海水の流入
による影響が認められず、塩分濃度の変動による影響は
ないと考えられる。

(2) 生物膜採取

徳島市南部八万町の下水道未整備地域を流れる冷田川

を対象に生物膜を回収するために回分式実験用に7.5×2
×0.5 cm、連続水路実験用に10×10×2.5 cmの普通コン
クリート (NC)、ポーラスコンクリート (PC)、人工
ゼオライト (中部電力) 添加ポーラスコンクリート
(PC+AZ) (人工ゼオライト10% v/v)、人工ゼオライト+
陰イオン交換樹脂 (ダイヤイオンSA-10A、三菱化学) 添
加ポーラスコンクリート (PC+AER) (人工ゼオライト
10% v/v、陰イオン交換樹脂10% v/v)の供試体をそれぞれ
約3週間沈設し、そこで回収した生物膜を用いて添加回収
実験を行なった。

(3) 添加回収実験

添加回収実験は100 mL三角フラスコ内に130 mLの水と
1枚の7.5×2×0.5 cmの各供試体を入れる回分式と、10
cm幅で深さ5 cm長さ1 mのアクリル製水路に15 Lの水と
6枚の10×10×2.5 cmの各供試体を入れる連続式実験の2
つを並行に実施した。実験には採取場所の河川水を用い、
回分式試験は2008年12月23日-28日、2009年1月14日-19日
に、連続式試験は2008年12月22日-27日、2009年1月13日-18
日に流速5-6 cm/sで実施した。

ともに、グルコースとペプトン、リン酸を含む人工下
水と、初期濃度が1.0 mg/Lになるように直鎖アルキルベ
ンゼンスルホン酸(C₁₂-LAS)を添加し、暗所にて温度を
15℃に設定した。0、3、8、24、48、72、120時間後に採
水し水質項目 (C₁₂-LAS、NO₂⁻・NO₃⁻・PO₄³⁻・NH₄⁺、T-N、
T-P、TOC) を測定した。C₁₂-LAS濃度は蛍光・吸光検出
器付HPLC (LC-10ADVP、SHIMADZU) を用いて、NO₂⁻・
NO₃⁻・PO₄³⁻・NH₄⁺濃度はイオンクロマトグラフ (ICS-1000、
DIONEX) を用いて、TOCはTOC計 (TOC-5000、
SHIMADZU) を用いて測定した。T-Nは紫外線吸光光度
法により、T-Pはモリブデン青法により測定した。水相中
の濃度が時間とともに減少する様子を一次反応 (C=C₀・

e^{-kt} 、 C ： t 時間後の水相中濃度、 C_0 ：初期濃度）として、浄化能の定量的評価を行った^{1) 3)}。

3. 結果・考察

(1) C_{12} -LAS除去効果

添加回収実験で得られたデータより、水相中濃度を一次反応モデルに適用し、供試体ごとに速度定数 k (1/h)を求めた。12月と1月で似たような傾向を示したが紙面のスペースの問題から、12月の反応速度定数のみを図1に示す。 C_{12} -LASの普通コンクリート供試体を用いた時の反応速度定数を100%とした時の除去支援効果を数字で示している。

C_{12} -LASの反応速度定数は、概して陰イオン交換樹脂および人工ゼオライト添加ポーラスコンクリート(PC+AER) > 人工ゼオライト添加ポーラスコンクリート(PC+AZ) > ポーラスコンクリート(PC) > 普通コンクリート(NC) > 河川水のみ(RW)の順となった。しかし、PC+AERとPC+AZ、PCの間の差は特に水路実験ではあまり顕著でなかった。PC+AERは他のコンクリートよりも C_{12} -LASの k 値が回分式で1.7~2.0倍、連続式で0.9~1.6倍と高くなっているものがあり、陰イオン交換によるLAS浄化支援効果が確認された。

回分式と連続式を比較すると、回分式実験の k 値は0.0004~0.06(1/h)で、水路実験の k 値は0.005~0.03(1/h)でコンクリート供試体による回分式実験は河川水のみのもを除き水路実験の k 値よりも1.3~2.3倍高かった。これは、試料水の体積と供試体の表面積の比率が回分式で130 cm³/39.5 cm²=3.3、連続式で150000 cm³/1800 cm²=8.3と約2.5倍であるように体積あたりの表面積が回分式の方が連続式よりも大きいことに起因していると考えられる。

(2) TOC除去効果

12月の一次反応速度定数を図2に示す。TOCでも傾向は同じで、概ねPC+AER > PC+AZ > PC > NC > RWの順となった。コンクリートの種類で比較すると、水路実験ではコンクリートによる大きな違いは見られなかったが、回分式ではゼオライト+陰イオン交換樹脂添加>ゼオライト添加>ポーラスコンクリート>通常コンクリートとなった。回分式実験の k 値は0.02~0.06(1/h)で、水路実験の k 値は0.01~0.03(1/h)で回分式実験は水路実験の k 値よりも1.2~2.0倍高かった。前述したように体積/表面積が回分式の方が小さく、試験水とコンクリート供試体との接触回数が多いためと考えられる。

(3) リン除去効果

全リン、リン酸ともに同じような傾向を示した。120時間後にはやや増加しており、これは、生物膜に取り込まれたもしくは吸着したリンの再溶出が考えられる。回分式では例外的にNC > PCとなっているが、連続式では図3のような順となっており、PCの添加物による違いはあまり見られなかった。

反応速度定数は C_{12} -LAS、TOCとは逆で連続式のほうが大きくなっている。これは、リンの除去には好気性と嫌気性が交互に繰り返される環境がのぞましく、連続式ではコンクリート供試体が回分式に比べ大きくその内部の空隙に生成された生物膜は嫌気状態となっている可能性があるほか、水路では循環させている一部の区間は空気に触れておらず、嫌気状態になっていると考えられ、構造上除去されやすい環境となっていたと推察される。

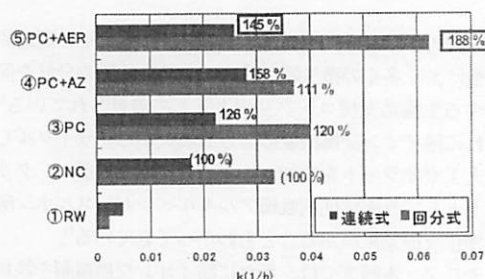


図1. C_{12} -LAS 減少一次反応速度定数 k (1/h) (12 月)

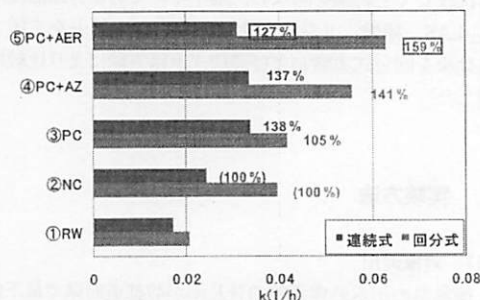


図2. TOC 減少一次反応速度定数 k (1/h) (12 月)

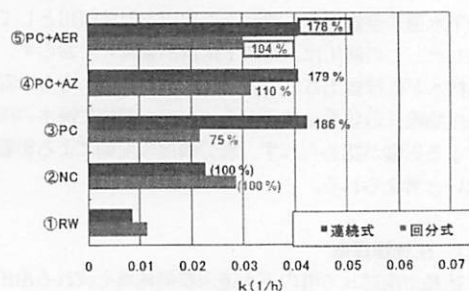


図3. TP 減少一次反応速度定数 k (1/h) (12 月)

(4) 窒素除去効果

アンモニウムイオン濃度が硝酸イオン、亜硝酸イオンに比べて高く、全窒素とアンモニウムイオンは似たような傾向を示した。代表として12月の回分式実験のPC+AERの窒素存在形態を図4に示す。回分式試験ではアンモニウムイオンおよび全窒素は48時間で一度減少するものの、72、120時間では増加傾向が見られ、付着微生物膜からの溶出が考えられる。

また、図5および図6に示すように超純水ブランクの全窒素濃度はアンモニウムイオン、硝酸、亜硝酸イオン濃度の合計 C_T の超純水ブランクより高く、その差は有機体窒素であると考えられる。そのため時間の経過とともに河川水中の有機物が微生物によってアンモニウムイオンへと分解されたと考えられる。しかし、硝酸イオンの増加は見られず硝化・脱窒が十分に進んでいないことがわかった。

連続式試験でも回分式と同様72、120時間では増加傾向が見られた。とくにPCとPC+AERで増加が顕著であったが、それ以外は回分式よりも減少する傾向が見られた。全リン同様に硝化・脱窒には好気性、嫌気性の組み合わせが重要であり、前述のように連続式のほうが除去されやすい環境になっていたためと考えられる。硝酸イオンは初期濃度が0.8-0.1 mg/Lとアンモニウムイオンに比べて低いものの、回分式・連続式とも河川水のみの場合には120時間後に2-6割程度、生物膜付着供試体を用いたものは24時間で約8割が速やかに分解された。

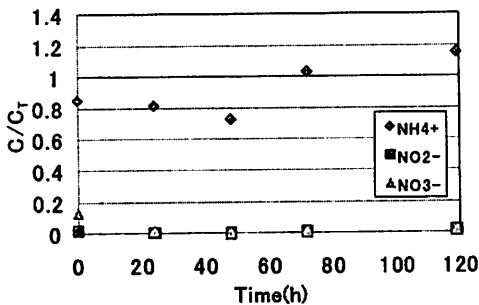


図4. 窒素存在形態 (PC+AER 回分式 12月)

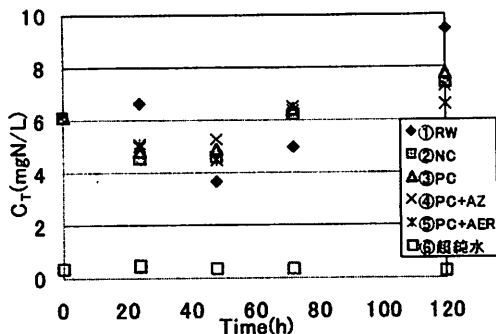


図5. 窒素濃度 ($C_T=[NH_4^+]+[NO_2^-]+[NO_3^-]$) の時間変化(回分式 12月)

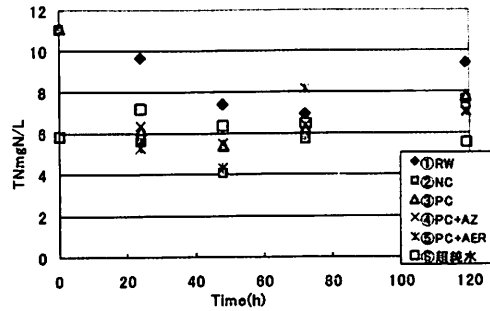


図6. 全窒素濃度 の時間変化(回分式 12月)

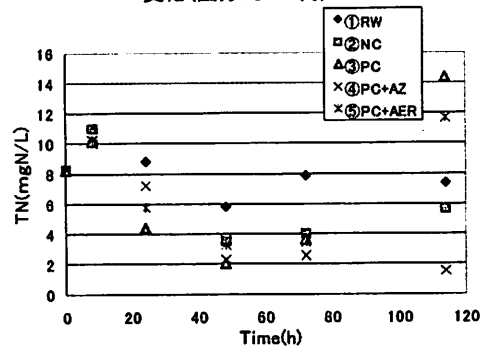


図7. 全窒素濃度 の時間変化(連続式 12月)

謝辞

TOC測定等でご協力いただいた徳島大学ソシオテクノサイエンス研究部上月康則教授にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 山本ら (2007) 用水と排水, 49, 913-918.
- 2) 環境省 記者発表資料, 平成19年度末の汚水処理人口普及状況について
- 3) 田村ら(2007) 環境工学研究論文集, vol.44,134-141.