

## 球形ポーラスコンクリートによる水質浄化機構に関する基礎研究

立命館大学 学生員 ○谷貝 有紀、市丸 園子

立命館大学 正会員 中川 隆一、フェロー 岡本 享久

## 1. はじめに

本研究は琵琶湖の水質浄化に注目し、従来の空隙を利用したポーラスコンクリート (PoC) の浄化材としての機能に有機分子などを吸着する効果のあるゼオライトを組み合わせるにより、バクテリアや植物の住処を確保し、水辺の生態系を保全する水質浄化材の開発を目的とする。

## 2. 球形 PoC を用いた水質浄化実験

## 2.1 実験概要

写真1に球形 PoC の断面図を、写真2に試験体設置状況を示す。実験に使用した試験体は、直径20cmの球状とし、中心にゼオライトを粒状のまま混入した。学内の560×80×375cmの大水槽に、計30個の試験体を吊るした状態で設置した。その水槽内に琵琶湖南湖より取水した試験水を注水し、滞留状態とした。実験は2012年6月27日より7週間実施し、1週間毎に水質分析を行った。測定項目は、全リン、全窒素である。



写真1 球形 PoC 断面図



写真2 試験体設置状況

## 2.2 使用材料および示方配合

表1に使用材料を、表2に PoC の示方配合を示す。

表1 使用材料

| 材料 (略記)    | 物性                                                         |
|------------|------------------------------------------------------------|
| 水 (W)      | 水道水                                                        |
| セメント (C)   | 普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>                     |
| ゼオライト (Ze) | クリノプチロル系天然ゼオライト                                            |
| 粗骨材 (G)    | 硬質砂岩碎石 表乾密: 2.68g/cm <sup>3</sup><br>粒径: 5~13mm 吸水率: 0.99% |
| 混和剤 (AD)   | 高性能 AE 減水剤 密度: 1.065g/cm <sup>3</sup>                      |

表2 示方配合

| 配合表(kg/m <sup>3</sup> ) |                       |                       |                        |        |        |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|
| C(kg/m <sup>3</sup> )   | W(kg/m <sup>3</sup> ) | G(kg/m <sup>3</sup> ) | AD(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C(%) | 空隙率(%) |
| 343                     | 72                    | 1526                  | 3.65                   | 21     | 25     |
| 6号碎石 10kg の場合           |                       |                       |                        |        |        |
| 2.25                    | 0.47                  | 10                    | 0.024                  | 21     | 25     |

## 2.3 実験結果

図1に全リン、全窒素の水質分析結果を示す。49日間実験を行った結果、全窒素、全リンともに早期での除去効果が確認できた。全リンの初期濃度は0.1mg/Lであったが、実験開始1週間で0.023mg/Lまで減少した。全窒素に関しても、初期濃度は0.74mg/Lであったが、1週間で0.25mg/Lまで減少した。また、1週間目以降の減少幅は小さく、停滞していたことから、試験体は1週間で飽和状態となったと言える。

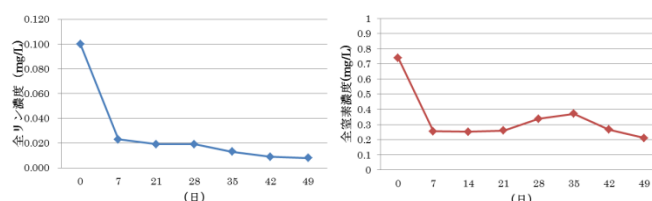


図1 全リン・全窒素水質分析結果

## 3. 空隙構造解析 1)

## 3.1 実験概要

PoCの空隙構造を明らかにし、水質浄化実験で用いた球形 PoC 内部に占める空隙の比表面積を求めることにより、水質浄化効果を定量的に評価した。まず、画像解析により円柱型 PoC 硬化体の断面における連続空隙の空隙周長および空隙数を求め、空隙構造の定量化を試みた。その結果から単位体積あたりの空隙比表面積を求め、それを球状として換算することで、球形 PoC の比表面積を算出した。

## 3.2 供試体作製方法

作製した円柱 PoC を打設面から5cm間隔にコンクリートカッターで切断した。その後4分割されたそれぞれの切断面の写真を撮り、画像解析ソフトを用いて色

キーワード：ポーラスコンクリート、水質浄化、富栄養化、ゼオライト、空隙構造解析

連絡先 〒527-8577 滋賀県草津市野路 1-1-1 イーストウイング 2F 環境マテリアル研究室 TEL 077-561-2666

の反転・二値化し、空隙数、空隙面積、および空隙周長を求めた。

3.3 空隙構造モデル

図2に連続空隙比表面積モデルを示す。各断面における連続空隙比表面積は、[空隙の周長]×[輪切長（次の断面までの長さ：50mm）]とし、連続した空隙を円柱形とみなして計算した。解析によって測定した各断面における空隙数と連続空隙比表面積をかけた総和が、この供試体の全空隙量となる。

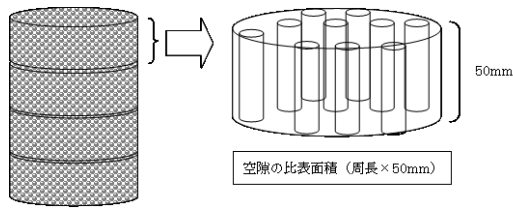


図2 連続空隙モデル

3.4 解析結果

3.4.1 平均連続空隙面積および平均連続空隙数

表3に各断面の空隙数、平均連続空隙面積および平均連続空隙周長を示す。画像解析によって測定した、各断面における連続空隙の面積および周長の平均をとったものである。平均連続空隙面積の高さ方向における変化はほとんどなく、作製した供試体はペーストの下方への流動や締め固めすぎのない良好な状態であるといえる。空隙数は断面積（φ100）における測定結果である。また、各断面における連続空隙面積および空隙周長の平均値を求めた。

表3 平均連続空隙面積及び平均空隙周長

| 打設面からの高さ (mm) | 連続空隙数 (φ100mm) | 平均連続空隙面積 (mm <sup>2</sup> ) | 平均連続空隙周長 (mm) | 比表面積 (mm <sup>2</sup> ) |
|---------------|----------------|-----------------------------|---------------|-------------------------|
| 50            | 56             | 43.7                        | 8.2           | 23086                   |
| 100           | 62             | 37.3                        | 8.6           | 26677                   |
| 150           | 58             | 37.3                        | 9.0           | 26239                   |
| 200           | 56             | 40.8                        | 9.1           | 25615                   |

各断面における比表面積は平均連続空隙周長に高さ50mmをかけ、さらに空隙数分かけた値である。以上の結果から円柱 PoC 供試体における全空隙比表面積は各断面における比表面積の総和となる。表4に円柱 PoC 供試体の全空隙比表面積および単位体積あたり空隙比表面積を示す。単位体積あたり比表面積は、全空隙比表面積(m<sup>2</sup>)を、直径 0.1m、高さ 0.2m の円柱体積で除したものである。

表4 全空隙比表面積及び単位体積あたり比表面積

| 全空隙比表面積 (m <sup>2</sup> )                     | 0.102 |
|-----------------------------------------------|-------|
| 単位体積あたり比表面積 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | 64.7  |

3.4.2 水質浄化用 PoC への適応の提案

本研究で用いた球形 PoC の比表面積を算出する。表4より単位体積あたりの空隙比表面積：0.65(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)であることが確認できた。本研究に使用した球形 PoC の体積は以下ようになる。

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \text{ (直径 20cm の球体)} - \frac{4}{3}\pi a^3 \text{ (ゼオライト部分)} \\ = 0.004\text{m}^3$$

これに単位体積あたりの空隙比表面積：64.7 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>をかけることで、水質浄化用球形 PoC の比表面積が求められる。その結果、水質浄化用 PoC は 0.26m<sup>2</sup>の比表面積を持つことが確認できた。この値は空隙を円柱とみだてて算出した値であり、およその値である。表5に単位面積あたり吸着量及び球形 PoC 1 個あたりの吸着量を示す。単位面積あたりの吸着量は、琵琶湖水を用いた水質実験で得られた全リン、全窒素濃度の 1 週間後の減少量に対し、球形 PoC の比表面積：0.26 m<sup>2</sup>で除することで求めた。この結果より、本研究で用いた球形 PoC 1 個あたりの各吸着量が算出でき、浄化対象地の全リン、全窒素濃度と水量が分かれば、必要 PoC 個数を算出できることが示せた。

表5 単位面積あたり吸着量計算結果

|     | 球形ポーラスコンクリート 1個あたりの吸着量 (mg) | 単位面積あたり吸着量 (mg/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------------------|---------------------------------|
| 全リン | 43                          | 166                             |
| 全窒素 | 272                         | 1048                            |

4. 結論

本研究の範囲内で得られた結果を以下にまとめた。  
(1)ゼオライト入り球形 PoC 浄化材を水中に設置した場合、全リン、全窒素濃度が短期間で除去できることが確認できた。  
(2)PoC の空隙構造解析によって求めた単位比表面積あたりの全リン、全窒素吸着量により、水質と水量が分かれば、必要浄化材個数が推定できることを示した。

＜参考文献＞

1) 梶尾聡：ポーラスコンクリートの配合設計法と空隙性能に関する研究：首都大学東京・学位論文、pp126-132,2008