

バイオバリアー内のクロッキングにより生じる不均一流に関する研究 Preferential flow field pattern invoked by moderately clogged biobarrier

花田潤也 関勝寿 宮崎毅

Junya Hanada Katsutoshi Seki Tsuyoshi Miyazaki

1. はじめに

微生物の代謝活動を用いて汚染物を分解する反応性浄化壁(PRB)は、バイオバリアーとして知られている。汚染された地域の下流に栄養を注入して微生物活動が活発であるバイオバリアーを作り、自然の勾配によりこの中に汚染物を流すことで分解除去するという技術があり、これはほとんどの有機汚染物質を無機化することが可能である低環境負荷の技術として研究がされている。一方で、土壤に連続して透水を行なうと微生物によって土壤に目詰まりが起こるとい現象がバイオクロッキングとして知られている。長時間透水を行なうと微生物活動により代謝生成物やガスが形成されるために透水係数は下がる。バイオバリアーを用いた浄化ではバイオクロッキングが起こることにより除去効率や滞留時間に大きな影響を与えるという報告があるが、この現象を正確に予測するモデルは確立されていない。そこで、本研究ではバイオバリアー内の土壤微生物が集中する部位に生じる不均一流をモデル実験により検証することを目的とした。

2. 実験

ガラスビーズを用いたヘルシオカラム実験を行なった。カラム内部に微生物と栄養源を注入してバイオバリアーを作った後、その周囲の流路や透水係数、生菌数を調べた。試料は、平均粒径 0.1mm のガラスビーズを用いて実験を行なった。内径が 20x1x1cm の細長いアクリルカラムを用いた 1 次元実験と、20x10x1cm である平らなカラム(Fig.1)を用いた 2 次元実験を行なった。まず、それぞれのカラムに飽和となるように試料を充填した後、カラムの Nutrient well から、黒ボク土から抽出した細菌を接種した後 24 時間静置した。その後、マリオット管を用いて Nutrient well から一定の圧力で栄養を与えながら、カラム全体に定圧で水を流し続けた。2 次元実験はカラム内の 1 箇所にバイオバリアーを作った実験 A と、3 箇所に作った実験 B をそれぞれ 19 日間行なった。測定項目は、全水頭の分布と排水量であり、毎日測定した。また 1 日おきに栄養の供給を止めて、カラムにトレーサー(プリリアントブルーFCF)を注入して流すことでカラム内の流速の分布を調べた。実験終了後に希釈平板法によりカラム内の生菌数を求めた。

3. 実験結果および考察

1 次元実験では、カラムの流入部に目詰まりが起り、そこでは透水係数は数十分の一となった。カラム内部の栄養を流した場所では、栄養を流していない場所と比較して透水係数が最大で半分に低下した。

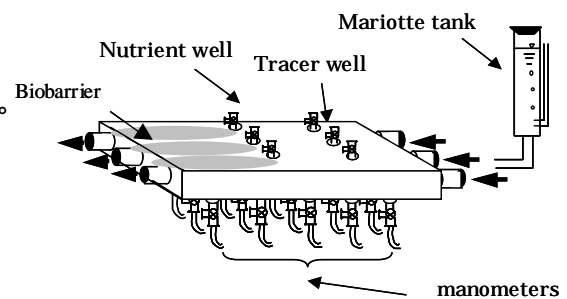


図1 2次元実験の概図
Fig. 1 Outline of 2D experiment

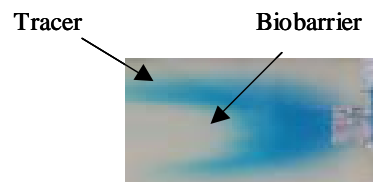


図2 バイオバリアーを避けるトレーサーの流れ
Fig.2 Trace of bypass flow through biobarrier

2次元実験Aでは、栄養を流しつづけた部位にトレーサーを流すと、Fig.2のように栄養を与えた部位をトレーサーが避けた。この部位は微生物活性の高いバイオバリアーであり、幅は約1cmであった。バイオバリアー内の流れと、バイオバリアーを避けた流れ(bypass flow)のトレーサー移動の比較をFig.3に示す。栄養を供給した直後の10-11cm地点でのバイオバリアー内のトレーサー速度は $1.24 \times (10^{-3} \text{cm/s})$ 、11-16cmのトレーサー速度は $1.87 \times (10^{-3} \text{cm/s})$ 、バイオバリアーを避ける流れのトレーサー速度は $3.10 \times (10^{-3} \text{cm/s})$ であった。実験終了後に生菌数を測ったところ、バイオバリアーには10~100倍の生菌が存在した。栄養水を流すことでカラムの右列にバイオバリアーが形成されたが、右列の全水頭とその他の列との全水頭の間に明確な差は現れなかった。

2次元実験Bでは、カラムの3箇所から栄養を流すことでそれぞれ約1cm幅のバイオバリアーが形成された。実験開始から8.80日目ではカラム全体の平均の流速が $3.33 \times (10^{-3} \text{cm/s})$ であるのに対して、バイオバリアー直後のトレーサー速度は $1.53 \times (10^{-3} \text{cm/s})$ 、bypass flowでは $7.83 \times (10^{-3} \text{cm/s})$ となり、バイオバリアーを避ける流量が大きくなっていることが観察された。

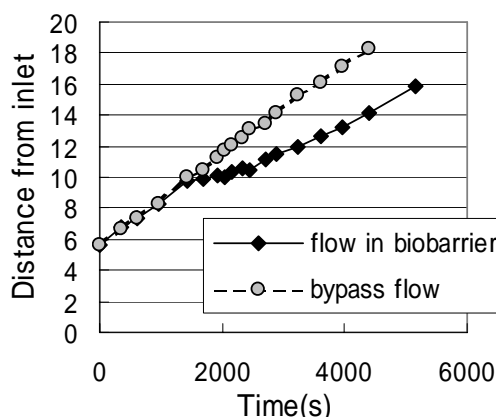


図3 トレーサーの移動の様子
2次元実験A 8.78日目

Fig.3 result of tracer test
in 2D experiment A

5. ダルシー式を用いた直列並列混合モデル

ダルシーの法則を用いてバイオバリアーの存在するフィールドをモデル化した。このモデルを用いることで、全体の水の量に対するバイオバリアー内を流れた水の量を求めることができることがわかった。これを2次元実験Bの8.80日目に用いると、今回のカラム実験では17.6%の水量がバイオバリアー内を流れたと計算することができた。

6. まとめ

栄養を与えることにより微生物による目詰まりに由来する難透水性層が形成され、その結果バイオバリアーを避けるような流れが生じることがわかった。これはThullner et al.(2002)の結果と一致した。

微生物による汚染物の分解が活発だと思われるNutrient wellの近くほど目詰まりが起こり、この部位を避けるような流れが生じる。つまり、このようにバイオバリアーを避ける不均一流が生じることによって、バイオバリアーを用いた土壌浄化の分解効率が下がるということを実験で予測することができた。

ダルシー式に基づいたモデルを構築することでフィールドにおけるバイオバリアーを通る水量を求めることができた。

カラム	位置	細菌数	糸状菌数
1D	バリア内	1.37×10^7	4.26×10^6
1D	バリア外 ¹⁾	1.70×10^5	ND
2D	バリア内	2.99×10^6	1.25×10^5
2D	バリア内	6.38×10^7	3.57×10^6
2D	バリア内 ²⁾	4.11×10^6	ND
2D	バリア外 ³⁾	3.93×10^5	1.83×10^4

1)バリア手前 2)殺菌水を与えた 3)バリア間

図4 希釈平板法による生菌数の測定

Fig.4 result of a dilute plate count method

参考文献：Thullner et al: Journal of Contaminant Hydrology 58: (3-4) 169-189 OCT 2002