

氏名（本籍）	鈴木 圭一（愛知県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 413 号
学位授与日付	平成 24 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	塩素化エチレン化合物のバイオレメディエーションに係る入手容易な地下水質データに基づく浄化予測手法 (Procedure of diagnosis for bioremediation of chlorinated ethylene using easily measurable water qualities)
学位論文審査委員	(主査) 教授 本城 勇介 (副査) 教授 李 富生 教授 佐藤 健

論文内容の要旨

1. 緒言

バイオスティムレーションによる地下水汚染浄化の影響要因・機構の把握については、様々な既往の研究が進められているが、それらの基礎的な研究成果を実際のサイトへ展開するためには、より現実的な手法を導入する必要がある。そこで、本研究では、塩素化エチレン化合物の嫌気還元分解によるバイオスティムレーションを対象とした、容易に入手できる地下水質データに基づく現実的な浄化予測手法の開発を行うことを研究課題とした。

2. バイオスティムレーション実施事例及び実施における浄化評価手法

バイオスティムレーションによる浄化作業は事前の適用性試験、工法選定、薬剤拡散方法などの設計、施工後のモニタリングで構成される。特に、バイオスティムレーションは、現地に生息する微生物を利活用するため、有機系の薬剤を如何に対象範囲内に拡散させるかが重要な要因となりうる。適正に計画、施工したサイトでは、地下水質の変化に伴い一定の期間内に逐次脱塩素化分解が進行し、地下水基準未達まで浄化できることを確認した。(図-1及び図-2)

また、浄化進捗状況は、観測地点地下水濃度の経時変化グラフや地下水濃度分布図などに取りまとめ、視覚的に確認する方法以外にも、地下水基準超過範囲面積の経時変化グラフへの取りまとめやボックスプロットとして整理し中央値などを用いて微生物分解を反応速度やラグ期などの反応モデル定数として定量的に把握することが可能であり、浄化予測のアウトプットを想定した。

3. バイオスティムレーションによる地下水質変化

バイオスティムレーション実施のために導入された有機系薬剤は現地に生息する微生物による分解に伴い、TOC、pH、ORP、DOなどの地下水質を変化させる。現場実証試験で得られた測定データに基づいて地下水質変化をモデル化した。また、地下水質変化を a) 薬剤到達・分解過程、b) 有機酸生成過程、c) 有機酸分解過程、d) 還元性物質消費過程、e) 酸化性物質流入過程に伴う地下水質変化サイクル(図-3)として整理し、導入薬剤の影響が一定範囲に限定されることを示し、EPA Technical Protocolを参考にしバイオスティムレーションの至適範囲、最適な薬剤導入方法について例示した。また、浄化予測の適用範囲を明確にした。

4. 初期水質に基づくパラメータ事前予測と浄化事前予測プロセス

バイオスティムレーションによる塩素化エチレン化合物の分解を式1に示す一次反応式に基づいて、37サイト70検体の室内適用性試験結果を解析した。

$$C_t / C_0 = \exp\{-k(t - t_{lag})\} \quad (1)$$

得られた反応速度 k 及びラグ期 t_{lag} に対して、容易に測定できる初期水質 pH、ORP、

DO、VC 組成率を変数にした重回帰解析を行い、反応速度及びラグ期の推算式(図-4)を得た。なお、推算結果は一定のばらつきを持つことに留意する必要がある。また、浄化予測のケーススタディ及び浄化予測結果の整理方法について示し、実務的に適用可能な手法を例示した。

5. 結論

バイオスティムレーションは多様な条件により支配される微生物分解反応であり、一部の条件の差異による影響を試算はできるものの、包括的に予測することは困難なものであった。本研究では、pH、ORP、DO、VC 組成率などの容易に測定できる初期地下水質データに基づいて、事前の浄化予測手法のひとつを構築した。本手法は実務的、工学的に有用であり、本研究の成果は、原位置浄化手法のひとつであるバイオスティムレーションの適切な普及を通して、社会に貢献できるものと考えられる。

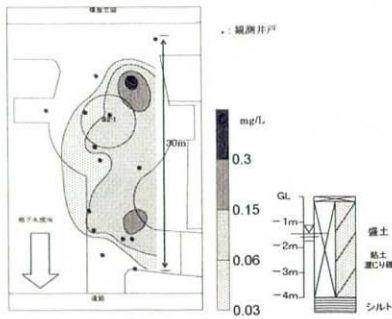


図-1：サイトA地下水汚染状況

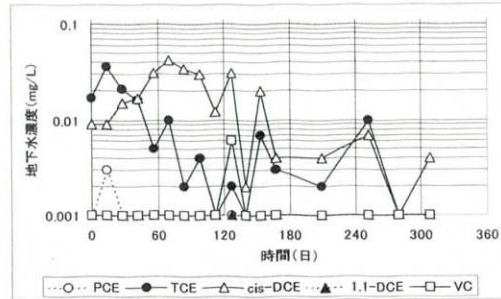


図-2：サイトAでの地下水濃度変化

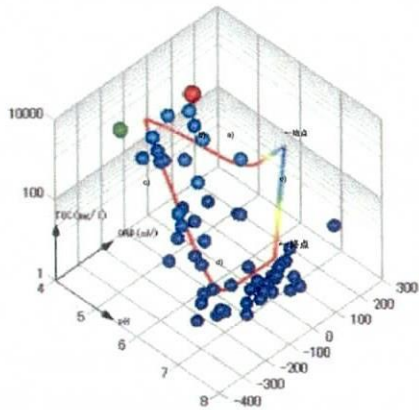


図-3：地下水質変化サイクル

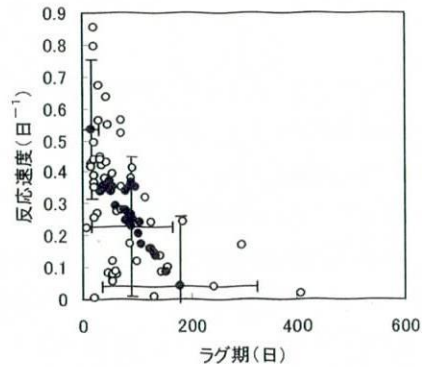


図-4：ラグ期, 反応速度の実測値と推算値

論文審査結果の要旨

鈴木圭一提出の論文「塩素化エチレン化合物のバイオレメディエーションに係る入手容易な地下水質データに基づく浄化予測手法」は、発がん性が指摘されるトリクロロエチレンなどの塩素化エチレン化合物による汚染地下水のバイオレメディエーションに対し、栄養塩注入による地下水質の変化と微生物による汚染物質の濃度変化を、実際の汚染現場で計測容易な指標を使って事前予測する手法を開発した研究である。

バイオレメディエーションは、既往技術である土壌ガス吸引法・地下水揚水法・エアースパージング法に比べ、浄化施設を小規模化でき、作業中も適用可能な技術であり、特に、低濃度汚染に対し分解効率が高く、環境基準の達成が得やすいことなどの理由から、原位置の浄化対策工法として注目されている。バイオレメディエーションの事前評価は、有用微生物が汚染現場に生息し、基質となる栄養塩の添加による微生物分解の加速化を室内あるいは現場実験で確認し実施される。しかし、微生物分解に影響する pH、酸化還元状態などの地盤環境要因を考慮して、バイオレメディエーションによる地下水質と汚染物質の経時変化を、包括的に予測する手法は未開発であり、汚染対策の初期段階における浄化効果の判定を行ったり、環境基準達成までの浄化期間を予測したりする場合など、バイオレメディエーション実施に当たっての大きな課題となっていた。本論文では、論文提出者が実際に施工した 37 のバイオレメディエーションの現場計測結果に基づき、栄養塩注入による周辺地下水質の変化は、TOC, DO, ORP, pH の初期水質指標を使ってその変化の過程が定量的に評価でき、バイオレメディエーションによる浄化効果は、DO, ORP, pH と塩素化エチレン化合物の合計濃度に占める塩化ビニルモノマー濃度の割合 (VC) に依存するラグ期と一次反応速度を用いて、汚染物質濃度の時間的変化の予測が可能であることを明らかにしている。

最終試験結果の要旨

2月9日(木)に学位論文公聴会を実施するとともに、その後の学位審査委員会において、学位論文に関する発表論文が、2編の査読付学術雑誌に印刷公表済みであり、社会基盤工学講座における学位論文の基礎学術論文判定基準を満足することを確認した。学位審査委員会は、公聴会での質疑応答などにもとづき、提出論文に関連する科目の学識および研究指導能力について慎重に審査した結果、最終試験に合格と判定した。

発表論文 (学位論文に直接関係するもの)

鈴木圭一, 安藤卓也, 小西孝明, 伊藤善孝: 操業中事業所におけるバイオスティムレーション法実施事例, 土壌環境センター技術ニュース, No.14, pp.22-28, 2008.

鈴木圭一, 安藤卓也, 伊藤善孝, 佐藤健: 地下水質情報に基づく VOC 汚染に対するバイオスティムレーションの事前予測の可能性, 土木学会論文集 G (環境), Vol.67, No.2, pp.54-59, 2011.