

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第6980242号
(P6980242)

(45) 発行日 令和3年12月15日(2021. 12. 15)

(24) 登録日 令和3年11月19日(2021. 11. 19)

(51) Int. Cl.	F 1					
EO2D	3/10	(2006.01)	EO2D	3/10	102	
BO9C	1/00	(2006.01)	EO2D	3/10	103	
GO6Q	10/04	(2012.01)	BO9B	5/00	ZABS	
			GO6Q	10/04		

請求項の数 4 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2021-47210 (P2021-47210)</p> <p>(22) 出願日 令和3年3月22日(2021. 3. 22)</p> <p>審査請求日 令和3年5月31日(2021. 5. 31)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 501273886 国立研究開発法人国立環境研究所 茨城県つくば市小野川16-2</p> <p>(73) 特許権者 500030482 株式会社地層科学研究所 神奈川県大和市大和東三丁目1番6号</p> <p>(74) 代理人 100211719 弁理士 伊藤 和真</p> <p>(72) 発明者 倉倉 宏史 茨城県つくば市小野川16-2 国立研究 開発法人国立環境研究所内</p> <p>(72) 発明者 横山 裕之 神奈川県大和市大和東三丁目1番6号 株 式会社地層科学研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 汚染物質流出による環境影響の予測方法、及び汚染物質流出による環境影響の予測プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を予測する方法であって、
コンピュータが、
解析格子において、固相を模擬した固相解析領域と、該固相と接触する液相を模擬した
液相解析領域と、を設定することと、

前記固相解析領域について、前記固相の内部での前記汚染物質の拡散を計算することと

前記解析格子において、前記固相と前記液相との間の前記汚染物質の分配を、固液界面
の平衡モデルを用いて計算することと、

前記液相解析領域について、単位格子間の前記汚染物質の移行を、移流分散解析モデル
を用いて計算することと、

を実行し、

前記移流分散解析モデルには、前記固相の全体の体積に基づいて算出される前記固相か
らの溶出量が考慮される、

汚染物質流出による環境影響の予測方法。

【請求項2】

請求項1に記載の汚染物質流出による環境影響の予測方法において、

コンピュータが、

前記液相解析領域について、前記固相との境界に位置する領域である液相境界層領域と

、それ以外の領域である一般液相領域と、に分割することと、
前記一般液相領域について、単位格子間の前記汚染物質の移行を、前記移流分散解析モデルを用いて計算することと、
前記液相境界層領域について、前記汚染物質の拡散を計算することと、
を更に実行する。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の汚染物質流出による環境影響の予測方法において、
コンピュータが、
前記固相解析領域について、前記液相との境界に位置する領域に所定の微小な厚さの吸着層を設定することと、
前記固相と前記液相との間の前記汚染物質の分配について、前記吸着層と前記液相解析領域との間で前記汚染物質の平衡分配を計算することと、
を更に実行する。

【請求項 4】

所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を予測するプログラムであって、
コンピュータに、
解析格子において、固相を模擬した固相解析領域と、該固相と接触する液相を模擬した液相解析領域と、を設定することと、
前記固相解析領域について、前記固相の内部での前記汚染物質の拡散を計算することと、

前記解析格子において、前記固相と前記液相との間の前記汚染物質の分配を、固液界面の平衡モデルを用いて計算することと、

前記液相解析領域について、単位格子間の前記汚染物質の移行を、移流分散解析モデルを用いて計算することと、

を実行させ、

前記移流分散解析モデルには、前記固相の全体の体積に基づいて算出される前記固相からの溶出量が考慮される、

汚染物質流出による環境影響の予測プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、汚染物質流出による環境影響の予測方法、及び汚染物質流出による環境影響の予測プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、工場跡地の再開発などにおいて実施される土壌調査により、土壌汚染、またはそれに伴う地下水汚染が顕在化する事例が増えている。そして、汚染土に対して、従来から各種技術を利用した浄化工事が実施されている。しかしながら、例えば、浄化工事として汚染土の掘削除去が実施される場合、掘削された汚染土の処分が新たな問題となり得る。

【0003】

また、土木工事において、資源の有効活用の観点から、リサイクル材料が盛土材や埋土材として利用される場合がある。しかしながら、例えば、鉄鋼スラグ等のリサイクル材料にはアルカリ性物質が含まれていることがあり、雨水等によりリサイクル材料からアルカリが流出することで、周囲の環境を汚染してしまう事態が生じ得る。

【0004】

ここで、特許文献 1 には、アルカリ性資材を陸上現場で使用する際に、該陸上現場でのアルカリ流出リスクを予め予測するための技術が開示されている。当該技術によれば、陸上現場の土壌のアルカリ吸着を考慮した移流分散解析手法において、陸上現場の土壌の最大アルカリ吸着能を測定するだけの簡便な方法で各種定数を予測し、陸上現場におけるアルカリ流出リスクを予測することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2017-66827号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

地球規模での資源枯渇の問題から、鉄鋼スラグ等のリサイクル材料や、自然由来に存在する重金属を含んだ自然由来汚染土、または人為的な汚染土として掘削除去された後に洗浄された土などを、土木工事等に有効活用するニーズは大きい。しかしながら、これらの再利用にあたって、周囲の環境を汚染してしまうリスクが問題となり、結局のところ廃棄されてしまう場合がある。ここで、特許文献1に記載の技術によれば、陸上現場の土壌のアルカリ吸着を考慮した移流分散解析手法により、陸上現場におけるアルカリ流出リスクが予測される。これによれば、アルカリ性物質を含む鉄鋼スラグ等のリサイクル材料から流出するアルカリによる環境汚染のリスクを事前に把握できるようにも思われる。しかしながら、リサイクル材料からの汚染物質の溶出メカニズムまでは十分に説明されておらず、また、現場土壌の実測値を用いるなどの経験則によるところもあり、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を汎用的に評価できるとは言い難い。

【0007】

そして、従来技術によれば、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響について、該汚染物質によって汚染される被汚染側の固相表面での吸着平衡を考慮した移流分散解析モデルで評価される場合が多く、被汚染側の固相表面での汚染物質の挙動に加えて被汚染側の固相内部での汚染物質の挙動まで考慮したモデルは見られない。例えば、従来技術の解析モデルによれば、汚染源からの汚染物質の流入が停止した後においては、その汚染土壌の状態が、100年前から汚染されている土壌と、1日前に汚染された土壌と、で同一に扱われてしまう問題がある。実際の現象としては、これら土壌を比較すると、その汚染の程度が異なることがわかっているため、従来技術の解析モデルでは、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を適切に評価できないことになる。そして、このような環境影響を事前に詳細に予測することができれば、上記のリサイクル材料や自然由来汚染土などを、土木工事等に適切に有効活用することができる。このように、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を適切に評価したうえで資源の有効活用を図る技術については、未だ改善の余地を残すものである。

【0008】

本開示の目的は、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を好適に予測する技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本開示は、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を予測する方法であって、コンピュータが、解析格子において、固相を模擬した固相解析領域と、該固相と接触する液相を模擬した液相解析領域と、を設定することと、前記固相解析領域について、前記固相の内部での前記汚染物質の拡散を計算することと、前記解析格子において、前記固相と前記液相との間の前記汚染物質の分配を、固液界面の平衡モデルを用いて計算することと、前記液相解析領域について、単位格子間の前記汚染物質の移行を、移流分散解析モデルを用いて計算することと、を実行し、前記移流分散解析モデルには、前記固相の全体の体積に基づいて算出される前記固相からの溶出量が考慮される。

【0010】

上記の汚染物質流出による環境影響の予測方法では、固相の内部での汚染物質の拡散（固相内拡散）と、固液界面での汚染物質の吸脱着（吸脱着平衡）と、を接続して、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を予測することができる。なお、上記の汚染源とは、例えば、鉄鋼スラグ等のリサイクル材料や重金属を含んだ汚染土などである。こ

ここで、固相内拡散は、例えばフィックの第1法則によって計算され、算出された固相濃度が、固液界面でヘンリー型、ラングミュア型、またはフロイントリッヒ型の平衡モデルを用いて平衡分配される。そして、このように固相内拡散と吸脱着平衡とが接続された本開示の解析モデルによれば、汚染物質の経時的な濃度変化を合理的に説明することができ、以て、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を適切に評価することができる。また、本開示によれば、汚染源側と被汚染側とで同じ解析モデルを用いて汚染物質の挙動を解析することができるため、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を汎用的に評価できる。

【0011】

そして、上記の汚染物質流出による環境影響の予測方法において、コンピュータが、前記液相解析領域について、前記固相との境界に位置する領域である液相境界層領域と、それ以外の領域である一般液相領域と、に分割することと、前記一般液相領域について、単位格子間の前記汚染物質の移行を、前記移流分散解析モデルを用いて計算することと、前記液相境界層領域について、前記汚染物質の拡散を計算することと、を更に実行してもよい。

【0012】

また、上記の汚染物質流出による環境影響の予測方法において、コンピュータが、前記固相解析領域について、前記液相との境界に位置する領域に所定の微小な厚さの吸着層を設定することと、前記固相と前記液相との間の前記汚染物質の分配について、前記吸着層と前記液相解析領域との間で前記汚染物質の平衡分配を計算することと、を更に実行してもよい。

【0013】

また、本開示は、汚染物質流出による環境影響の予測プログラムの側面から捉えることができる。すなわち、本開示は、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を予測するプログラムであって、コンピュータに、解析格子において、固相を模擬した固相解析領域と、該固相と接触する液相を模擬した液相解析領域と、を設定することと、前記固相解析領域について、前記固相の内部での前記汚染物質の拡散を計算することと、前記解析格子において、前記固相と前記液相との間の前記汚染物質の分配を、固液界面の平衡モデルを用いて計算することと、前記液相解析領域について、単位格子間の前記汚染物質の移行を、移流分散解析モデルを用いて計算することと、を実行させ、前記移流分散解析モデルには、前記固相の全体の体積に基づいて算出される前記固相からの溶出量が考慮される。

【発明の効果】

【0014】

本開示によれば、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を好適に予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1実施形態における、汚染物質の移行メカニズムを模式的に説明するための第1の図である。

【図2】第1実施形態における、汚染物質の移行メカニズムを模式的に説明するための第2の図である。

【図3】第1実施形態に係る汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローを示すフローチャートである。

【図4】ユーザによってユーザ端末に入力される解析条件を説明するための図である。

【図5】第2実施形態における、汚染物質の移行メカニズムを模式的に説明するための図である。

【図6】第2実施形態に係る汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

以下、図面に基づいて、本開示の実施の形態を説明する。以下の実施形態の構成は例示であり、本開示は実施形態の構成に限定されない。

【 0 0 1 7 】

(ハードウェア構成)

本開示の汚染物質流出による環境影響の予測方法を実現するハードウェア資源の構成について説明する。本開示の汚染物質流出による環境影響の予測方法は、サーバ300によって実行される。

【 0 0 1 8 】

サーバ300は、データの取得、生成、更新等の演算処理及び加工処理のための処理能力のあるコンピュータ機器であればどのような電子機器でもよく、例えば、パーソナルコンピュータ、サーバ、メインフレーム、その他電子機器であってもよい。すなわち、サーバ300は、CPUやGPU等のプロセッサ、RAMやROM等の主記憶装置、EPROM、ハードディスクドライブ、リムーバブルメディア等の補助記憶装置を有するコンピュータとして構成することができる。なお、リムーバブルメディアは、例えば、USBメモリ、あるいは、CDやDVDのようなディスク記録媒体であってもよい。補助記憶装置には、オペレーティングシステム(OS)、各種プログラム、各種テーブル等が格納されている。

【 0 0 1 9 】

サーバ300は、機能部として通信部301、記憶部302、制御部303を有しており、補助記憶装置に格納されたプログラムを主記憶装置の作業領域にロードして実行し、プログラムの実行を通じて各機能部等が制御されることによって、各機能部における所定の目的に合致した各機能を実現することができる。ただし、一部または全部の機能はASICやFPGAのようなハードウェア回路によって実現されてもよい。

【 0 0 2 0 】

ここで、通信部301は、サーバ300をネットワークに接続するための通信インタフェースである。通信部301は、例えば、ネットワークインタフェースボードや、無線通信のための無線通信回路を含んで構成される。サーバ300は、通信部301を介して、その他の外部装置と通信可能に接続される。

【 0 0 2 1 】

記憶部302は、主記憶装置と補助記憶装置を含んで構成される。主記憶装置は、制御部303によって実行されるプログラムや、当該制御プログラムが利用するデータが展開されるメモリである。補助記憶装置は、制御部303において実行されるプログラムや、当該制御プログラムが利用するデータが記憶される装置である。

【 0 0 2 2 】

制御部303は、サーバ300が行う制御を司る機能部である。制御部303は、CPUなどの演算処理装置によって実現することができる。

【 0 0 2 3 】

なお、サーバ300は、ネットワーク200を介して所定のユーザ端末400から操作されてもよい。ここで、ユーザ端末400は、本開示の処理を実行するユーザが保有する電子機器であればよく、例えば、スマートフォン、タブレット端末、ウェアラブル端末、パーソナルコンピュータ等、その他端末機器であってもよい。

【 0 0 2 4 】

ユーザ端末400は、機能部として通信部401、入出力部402、記憶部403を有している。通信部401は、ユーザ端末400をネットワーク200に接続するための通信インタフェースであり、例えば、ネットワークインタフェースボードや、無線通信のための無線通信回路を含んで構成される。入出力部402は、通信部401を介して外部から送信されてきた情報等を表示させたり、通信部401を介して外部に情報を送信する際に当該情報を入力したりするための機能部である。記憶部403は、サーバ300の記憶部302と同様に主記憶装置と補助記憶装置を含んで構成される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

入出力部 4 0 2 は、更に、表示部 4 0 2 1、操作入力部 4 0 2 2 を有している。表示部 4 0 2 1 は、各種情報を表示する機能を有し、例えば、LCD (Liquid Crystal Display) ディスプレイ、LED (Light Emitting Diode) ディスプレイ、OLED (Organic Light Emitting Diode) ディスプレイ等により実現される。操作入力部 4 0 2 2 は、ユーザからの操作入力を受け付ける機能を有し、具体的には、タッチパネル等のソフトキーあるいはハードキーにより実現される。

【 0 0 2 6 】

また、ネットワーク 2 0 0 は、例えば、IP ネットワークである。ネットワーク 2 0 0 は、IP ネットワークであれば、無線であっても有線であっても無線と有線の組み合わせであってもよく、例えば、無線による通信であれば、ユーザ端末 4 0 0 は、無線 LAN アクセスポイント (不図示) にアクセスし、LAN や WAN を介してサーバ 3 0 0 と通信してもよい。また、ネットワーク 2 0 0 は、これらの例に限られず、例えば、公衆交換電話網や、光回線、ADSL 回線、衛星通信網などであってもよい。

【 0 0 2 7 】

(ソフトウェア構成)

次に、本開示の汚染物質流出による環境影響の予測方法を実現するソフトウェア構成について、第 1 実施形態、第 2 実施形態、および第 3 実施形態に基づいて説明する。

【 0 0 2 8 】

< 第 1 実施形態 >

本実施形態における汚染物質流出による環境影響の予測方法の概要について、図 1 および図 2 に基づいて説明する。

【 0 0 2 9 】

図 1 は、本実施形態における、汚染物質の移行メカニズムを模式的に説明するための第 1 の図である。本実施形態は、所定の汚染源からの汚染物質の移行の態様を説明するものである。ここで、上記の汚染源とは、例えば、鉄鋼スラグ等のリサイクル材料や、自然由来に存在する重金属を含んだ自然由来汚染土、または人為的な汚染土として掘削除去された後に洗浄された土などである。そして、このような汚染源に含まれる重金属等の汚染物質が、雨水等により溶出し隣接する被汚染側の地盤に流入する。

【 0 0 3 0 】

ここで、図 1 (a) に示す汚染源および被汚染地盤の部分拡大図を表す図 1 (b) に示すように、汚染源側および被汚染側の夫々には、固相と液相とが含まれることになる。そして、本実施形態では、これら固相と液相とを含んだ微小体積に解析格子が設定される。

【 0 0 3 1 】

図 2 は、本実施形態における、汚染物質の移行メカニズムを模式的に説明するための第 2 の図である。図 2 では、2 つの単位格子を接続した例として、汚染源側から被汚染側への汚染物質の移行メカニズムを表している。図 2 に示すように、所定の汚染源からの汚染物質 1 が流出する汚染源側の解析格子 1 0 においては、所定の拡散係数が設定されることで固相 (汚染源) の内部の構造を模擬した固相解析領域 1 1 と、該固相と接触する液相 (雨水等) を模擬した液相解析領域 1 2 と、が設定される。また、汚染物質 1 が流入する被汚染側の解析格子 2 0 においては、所定の拡散係数が設定されることで固相 (被汚染物質である土壌) の内部の構造を模擬した固相解析領域 2 1 と、該固相と接触する液相 (雨水等) を模擬した液相解析領域 2 2 と、が設定される。このように、本実施形態では、汚染源側と被汚染側において、同様にして解析領域が設定される。

【 0 0 3 2 】

ここで、固相解析領域 1 1 および固相解析領域 2 1 では、汚染物質 1 が拡散するとしてモデル化される。また、固相解析領域 1 1 と液相解析領域 1 2 との界面である固液界面 1 3、および固相解析領域 2 1 と液相解析領域 2 2 との界面である固液界面 2 3 では、固相と液相との間の汚染物質 1 の吸脱着がモデル化される。

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

50

また、液相解析領域 1 2 および液相解析領域 2 2 について、単位格子間の汚染物質 1 の移行がモデル化される。そうすると、図 2 に示すメカニズムでは、汚染源側から被汚染側へ汚染物質 1 が移行することになる。なお、図 2 における線 L 1 0 および線 L 2 0 は、汚染物質 1 の量を模式的に表して、汚染源側の固相解析領域 1 1 に含まれる汚染物質 1 の一部が、汚染源側の液相解析領域 1 2 に溶出している。また、汚染源側の液相解析領域 1 2 に含まれる汚染物質 1 の一部が、被汚染側の液相解析領域 2 2 に移行し、該液相解析領域 2 2 に含まれる汚染物質 1 の一部が、被汚染側の固相解析領域 2 1 に滲入している。

【 0 0 3 4 】

次に、本実施形態における汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローについて、図 3 に基づいて説明する。図 3 は、本実施形態に係る汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローを示すフローチャートである。本フローは、サーバ 3 0 0 によって実行される。

【 0 0 3 5 】

本フローでは、先ず、S 1 0 1 において、解析条件が取得される。本実施形態では、サーバ 3 0 0 は、ユーザによってユーザ端末 4 0 0 に入力された解析条件を通信により取得する。ここで、図 4 は、ユーザによってユーザ端末 4 0 0 に入力される解析条件を説明するための図である。本開示の処理を実行するユーザは、ユーザ端末 4 0 0 を用いて、図 4 に例示する画面 S C 1 を表示部 4 0 2 1 に表示させることができる。図 4 に例示する画面 S C 1 には、解析領域 S C 1 1、入力項目 S C 1 2、入力フィールド S C 1 3、および備考欄 S C 1 4 が示される。そして、ユーザは、ユーザ端末 4 0 0 の操作入力部 4 0 2 2 を用いて、入力フィールド S C 1 3 に解析条件を入力することができる。例えば、解析領域 S C 1 1 が固相で入力項目 S C 1 2 が質量の入力フィールド S C 1 3 には、固相の質量が入力される。また、本実施形態では、固相が複数の微小な球体または板であるとして解析される。そのため、解析領域 S C 1 1 が固相で入力項目 S C 1 2 が形状の入力フィールド S C 1 3 には、固相を複数の微小な球体として解析する場合には 0 が、固相を複数の微小な板として解析する場合には 1 が入力される。また、本実施形態では、固相と液相との間の汚染物質の吸脱着を計算する固液界面の平衡モデルとして、ヘンリー型、ラングミュアー型、またはフロイントリッヒ型の平衡モデルを利用できる。そのため、解析領域 S C 1 1 が固液界面で入力項目 S C 1 2 が平衡モードの入力フィールド S C 1 3 には、ヘンリー型を利用する場合には 0 が、ラングミュアー型を利用する場合には 1 が、フロイントリッヒ型を利用する場合には 2 が入力される。なお、このような解析条件は、解析格子夫々について、設定することができる。

【 0 0 3 6 】

次に、S 1 0 2 において、解析格子が設定される。本実施形態では、上記の図 1 および図 2 の説明で述べたように、全体の構成のうち固相と液相とを含んだ微小体積に解析格子が設定される。例えば、上記の図 2 に示したメカニズムでは、汚染源側の解析格子 1 0 において、固相解析領域 1 1 と液相解析領域 1 2 とが設定され、被汚染側の解析格子 2 0 において、固相解析領域 2 1 と液相解析領域 2 2 とが設定される。なお、格子分割数は適宜設定することができる。また、このような解析格子が設定される 1 つの微小固体と、固相全体と、の関係を下記式 1 で表すことができる。

【 数 1 】

$$N = \frac{(1-\varphi)V}{v} \quad \dots \text{式 1}$$

：空隙率

V：全体の固相体積（空隙含む）

v：1 つの微小固体の体積

N：微小固体の個数

なお、全体の固相体積 V は、S 1 0 1 の処理で取得される固相の質量と密度とに基づいて、算出することができる。また、1 つの微小固体の体積 v は、S 1 0 1 の処理で取得さ

10

20

30

40

50

れる微小固体の形状と半径（又は板厚）とに基づいて、定義することができる。

【 0 0 3 7 】

次に、S 1 0 3において、固相解析領域について、固相の内部での汚染物質の拡散（固相内拡散）が計算される。これは、フィックの第 1 法則によって計算され、固相解析領域における拡散方程式を下記式 2 に表す。

【数 2】

$$\frac{\partial \rho_s F}{\partial t} = -\nabla \cdot (-D_{sm} \nabla \rho_s F) \quad \dots \text{式 2}$$

F : 固相濃度

s : 固相密度

D s m : 固相内分子拡散係数

ここで、固相内分子拡散係数 D s m は、例えば、拡散溶出試験で得ることができる。

【 0 0 3 8 】

次に、S 1 0 4において、固液界面での汚染物質の吸脱着（吸脱着平衡）が計算される。本実施形態では、上述したように、固液界面の平衡モデルとして、ヘンリー型、ラングミュアー型、またはフロイントリッヒ型の平衡モデルが利用され得る。そして、上記式 2 により算出される固相濃度 F が、固液界面でヘンリー型のモデルにより平衡分配される場合を下記式 3 に、ラングミュアー型のモデルにより平衡分配される場合を下記式 4 に、フロイントリッヒ型のモデルにより平衡分配される場合を下記式 5 に表す。

【数 3】

$$F = k_d C \quad \dots \text{式 3}$$

C : 液相濃度

k d : ヘンリー型の分配係数

【数 4】

$$F = \frac{q_{sat} k_L C}{1 + k_L C} \quad \dots \text{式 4}$$

C : 液相濃度

k L : ラングミュアー型の平衡定数

q s a t : ラングミュアー型の飽和吸着量

【数 5】

$$F = k_F C^{n_F} \quad \dots \text{式 5}$$

C : 液相濃度

k F : フロイントリッヒ型の平衡定数

n F : フロイントリッヒ型のべき数

【 0 0 3 9 】

次に、S 1 0 5において、隣接する単位格子間の汚染物質の移行が計算される。本実施形態では、S 1 0 3の処理により算出される液相濃度 C を用いて、下記式 6 に示す移流分散方程式によって上記の移行が計算される。

【数 6】

$$\varphi \frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = -\nabla \cdot (-\varphi D_l \nabla C) + Q \quad \dots \text{式 6}$$

u : ダルシー流速

D l : 液相の分散テンソル

Q : 固相からの溶出量

10

20

30

40

50

なお、ダルシー流速 u は、液相を流れる流体の流量と、その通水面積と、に基づいて、算出することができる。また、固相からの溶出量 Q は、微小体積における固相内拡散と、微小固体の個数 N と、に基づいて、算出される。また、液相の分散テンソル D は、下記式 7 によって表される。

【数 7】

$$D_{ij} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{v_i v_j}{\|v\|} + \alpha_T \|v\| \delta_{ij} + \tau D_{lm} \delta_{ij} \quad \dots \text{式 7}$$

L : 縦分散長

T : 横分散長

D_{lm} : 液相内分子拡散係数

: 屈曲率

【0040】

図 3 に示すフローでは、S103 ~ S105 の処理が実行されることで、固相の内部での汚染物質の拡散と固液界面での汚染物質の吸脱着、および隣接する単位格子間の汚染物質の移行が計算される。なお、S103 ~ S105 の処理は、周知の技術に基づいて、所定の演算周期で繰り返し実行される。そして、本実施形態に係る汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローでは、固相の初期濃度の設定により、汚染源側と被汚染側の解析格子を模擬することができ（例えば、上記の図 2 に示したメカニズムでは、固相の初期濃度が高く設定された解析格子が汚染源側の解析格子 10 として、固相の初期濃度が低くまたは 0 に設定された解析格子が被汚染側の解析格子 20 として模擬される。）、汚染源側と被汚染側とで同じ解析モデルを用いて汚染物質の挙動を解析することができる。そのため、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を汎用的に評価できる。また、本実施形態では、上記式 2 および上記式 3 ~ 5 に表されるように、固相内拡散と吸脱着平衡とが接続されるため、汚染物質の経時的な濃度変化を合理的に説明することができる。

【0041】

そして、本実施形態に係る汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローでは、上記の S103 ~ S105 に例示される処理による、固相の内部での汚染物質の拡散と固液界面での汚染物質の吸脱着、および隣接する単位格子間の汚染物質の移行の計算が、予め定められた回数繰り返し実行される。これにより、汚染物質の経時的な濃度変化を算出することができる。そうすると、例えば、上記の図 2 に示したメカニズムにおいて、液相を流れる流体の流量が通水開始から所定時間経過後には 0 になる場合を仮定すると、汚染源から被汚染側への汚染物質の移行が停止した後においては、従来技術の解析モデルによれば、固相と液相とが瞬時平衡となるため、汚染源側および被汚染側での汚染物質の濃度変化が生じないのに対して、本実施形態の固相内拡散と吸脱着平衡とが接続された解析モデルによれば、汚染源側および被汚染側での汚染物質の経時的な濃度変化が生じることになる。ここで、汚染源からの汚染物質の流入が停止した後の土壌について、100 年前から汚染されている土壌と、1 日前に汚染された土壌と、では、その汚染の程度が異なることがわかっている。そして、本実施形態では、上記の如く汚染物質の経時的な濃度変化を算出することができるため、実際に汚染土から固相内拡散によって染み込んだ汚染物質が徐々に放出されるような事象を再現することができ、以て、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を適切に評価することができる。

【0042】

以上に述べた処理によれば、環境影響を事前に詳細に予測できることで、循環資源の環境影響や長期的な地盤汚染の解析において、有用性が高い。これにより、リサイクル材料や自然由来汚染土などを、土木工事等に適切に有効活用することができる。

【0043】

そして、本実施形態では、サーバ 300 によって、汚染源となり得るリサイクル材料や汚染土などの利用可能性が判定されてもよい。従来技術によれば、汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を適切に評価し難いため、これらの再利用にあたって、周囲の環境

を汚染してしまうリスクが問題となり、結局のところ廃棄されてしまう場合がある。一方、本実施形態の固相内拡散と吸脱着平衡とが接続された解析モデルによれば、汚染物質の経時的な濃度変化を予測できるため、例えば、或る期間における汚染物質の濃度の変化を算出し、その結果と（土壌汚染対策法等により規定される）所定の閾値とを比較することで、上記の利用可能性を判定することができる。

【 0 0 4 4 】

詳しくは、サーバ300は、例えば、上記の図2に示したメカニズムの污染源側の解析格子10および被汚染側の解析格子20において、所定期間（例えば、10年間）における汚染物質の濃度の経時変化を算出する。このとき、流体が液相を流れるタイミングを任意に複数回設定してもよいし、その流量を任意に設定してもよい。そして、サーバ300は、算出された汚染物質の濃度が所定の閾値よりも小さくなるタイミングを、所定の污染源およびそれが埋土等された土壌の利用可能開始時期として判定する。なお、これは、污染源から汚染物質が徐々に放出されるような事象や、污染源からの汚染物質が染み込んだ土壌から該汚染物質が徐々に放出されるような事象を想定したものであって、このような場合、長い期間をかけて固相と液相とで汚染物質の濃度が平衡にいたることや、微量の汚染物質が地下水に混入し所定の基準値以下の汚染水として流出していくことで、全体としての汚染物質の濃度が低下する。したがって、全体としての汚染物質の濃度が所定の閾値よりも低下したタイミングを、上記の利用可能開始時期として判定することができる。

【 0 0 4 5 】

以上に述べたように、本実施形態によれば、所定の污染源からの汚染物質の流出による環境影響を好適に予測することができる。

【 0 0 4 6 】

< 第2実施形態 >

第2実施形態における汚染物質流出による環境影響の予測方法について、図5および図6に基づいて説明する。

【 0 0 4 7 】

図5は、本実施形態における、汚染物質の移行メカニズムを模式的に説明するための図である。図5では、2つの単位格子を接続した例として、污染源側から被汚染側への汚染物質の移行メカニズムを表している。本実施形態では、図5に示すように、液相解析領域12および液相解析領域22について、固相との境界に位置する領域である液相境界層領域12a、22aと、それ以外の領域である一般液相領域12b、22bと、に分割される。そして、固相解析領域11と液相境界層領域12aとの界面である固液界面13、および固相解析領域21と液相境界層領域22aとの界面である固液界面23において、固相と液相との間の汚染物質1の吸脱着がモデル化される。また、一般液相領域12bおよび一般液相領域22bについて、隣接する単位格子間の汚染物質1の移行がモデル化される。

【 0 0 4 8 】

そして、液相解析領域では、液相境界層領域12a、22aにおいて、汚染物質1が拡散するとしてモデル化される。そうすると、汚染物質1の量を模式的に表す線L10および線L20に示されるように、液相境界層領域12a、22aにおいて、拡散による汚染物質1の濃度変化が生じることになる。

【 0 0 4 9 】

次に、本実施形態における汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローについて、図6に基づいて説明する。図6は、本実施形態に係る汚染物質流出による環境影響の予測方法の処理フローを示すフローチャートである。本フローは、サーバ300によって実行される。なお、本実施形態において、上述した第1実施形態と実質的に同一の処理については、その詳細な説明を省略する。

【 0 0 5 0 】

図6に示すフローでは、S104の処理の後、S201において、液相境界層領域について、液相境界層での汚染物質の拡散が計算される。これは、フィックの第1法則によ

て計算され、液相境界層領域における拡散方程式を下記式 8 に表す。

【数 8】

$$\frac{\partial C_b}{\partial t} = -\nabla \cdot (-D_{lm} \nabla C_b) \quad \dots \text{式 8}$$

C_b : 液相境界層内の液相濃度

D_{lm} : 液相内分子拡散係数

そして、S 2 0 1 の処理の後、サーバ 3 0 0 は S 1 0 5 の処理へ進む。なお、本フローにおいても、S 1 0 3 ~ S 1 0 5 の処理が、周知の技術に基づいて、所定の演算周期で繰り返し実行される。

【0 0 5 1】

以上に述べた処理によっても、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を好適に予測することができる。

【0 0 5 2】

< 第 3 実施形態 >

第 3 実施形態における汚染物質流出による環境影響の予測方法について説明する。上述した第 1 実施形態では、固相内拡散によって、固相内部での汚染物質の濃度の経時的变化を算出することができるものの、従来の固液界面での平衡分配においては、固相の全体の体積についての濃度に対する分配が計算され得る。そして、このような場合には、実現象と差異が生じ得ることが新たに見出された。

【0 0 5 3】

そこで、本実施形態では、固相解析領域について、液相との境界に位置する領域に所定の微小な厚さの吸着層が設定される。ここで、微小な厚さとは、例えば、0 . 0 0 1 mm である。そして、本実施形態では、固相と液相との間の汚染物質の吸脱着について、上記の吸着層と液相解析領域との間で汚染物質の平衡分配が計算される。

【0 0 5 4】

詳しくは、サーバ 3 0 0 は、式 3、式 4、または式 5 における固相濃度 F について、固相全体に対する値を上記の吸着層の体積に基づく値に換算して計算する。つまり、固相内部での汚染物質の濃度の経時的变化が算出された固相濃度 F において、微小体積の領域である吸着層に存在する汚染物質が平衡分配に関与するものとして、固相と液相との間の汚染物質の吸脱着が計算される。これにより、実現象を再現し易くなる。

【0 0 5 5】

そして、以上に述べた処理によっても、所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を好適に予測することができる。

【0 0 5 6】

< その他の変形例 >

上記の実施形態はあくまでも一例であって、本開示はその要旨を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施しうる。例えば、本開示において説明した処理や手段は、技術的な矛盾が生じない限りにおいて、自由に組み合わせて実施することができる。

【0 0 5 7】

また、上記の実施形態では、汚染源となり得るリサイクル材料や汚染土などの再利用を例にして説明したが、本開示の汚染物質流出による環境影響の予測方法が用いられる態様はこれに限定されない。例えば、本開示の汚染物質流出による環境影響の予測方法を用いて、工場等の人為的汚染源による環境影響を事前に評価することで、その工場跡地の再開発などが計画された場合に、浄化工事の必要性の有無や浄化工事の工法等を事前に検討することができる。

【0 0 5 8】

また、1つの装置が行うものとして説明した処理が、複数の演算処理装置によって分担して実行されてもよい。このとき、複数の演算処理装置同士が好適に協働可能に構成される。また、異なる装置が行うものとして説明した処理が、1つの装置によって実行されて

10

20

30

40

50

も構わない。コンピュータシステムにおいて、各機能をどのようなハードウェア構成（サーバ構成）によって実現するかは柔軟に変更可能である。

【0059】

本開示は、上記の実施形態で説明した機能を実装したコンピュータプログラムをコンピュータに供給し、当該コンピュータが有する1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出して実行することによっても実現可能である。このようなコンピュータプログラムは、コンピュータのシステムバスに接続可能な非一時的なコンピュータ可読記憶媒体によってコンピュータに提供されてもよいし、ネットワークを介してコンピュータに提供されてもよい。非一時的なコンピュータ可読記憶媒体は、例えば、磁気ディスク（フロッピー（登録商標）ディスク、ハードディスクドライブ（HDD）等）、光ディスク（CD-ROM、DVDディスク・ブルーレイディスク等）など任意のタイプのディスク、読み込み専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、EPROM、EEPROM、磁気カード、フラッシュメモリ、光学式カード、電子的命令を格納するために適した任意のタイプの媒体を含む。

【符号の説明】

【0060】

- 1・・・汚染物質
- 10・・・汚染源側の解析格子
- 20・・・被汚染側の解析格子
- 11、21・・・固相解析領域
- 12、22・・・液相解析領域
- 13、23・・・固液界面

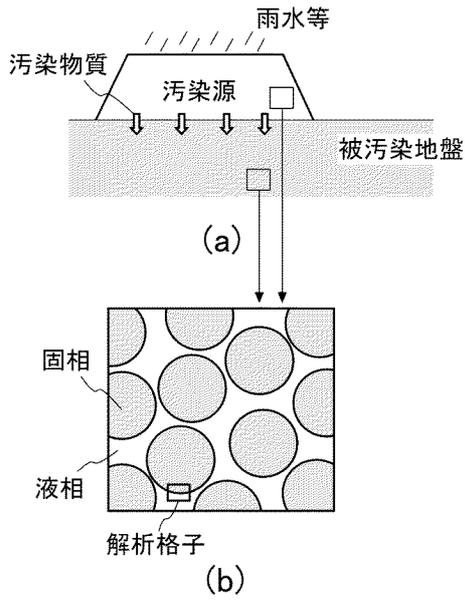
【要約】

【課題】所定の汚染源からの汚染物質の流出による環境影響を好適に予測する技術を提供する。

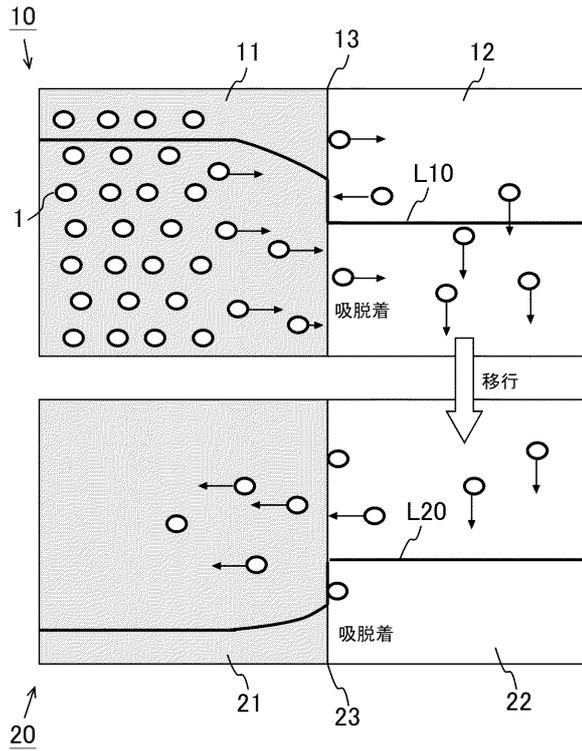
【解決手段】本開示の汚染物質流出による環境影響の予測方法は、コンピュータが、解析格子10、20において、固相解析領域11、21と液相解析領域12、22とを設定することと、固相解析領域11、21について、汚染物質1の拡散を計算することと、解析格子10、20において、固相と液相との間の汚染物質の分配を、固液界面の平衡モデルを用いて計算することと、液相解析領域12、22について、単位格子間の汚染物質の移行を、移流分散解析モデルを用いて計算することと、を実行する。

【選択図】図2

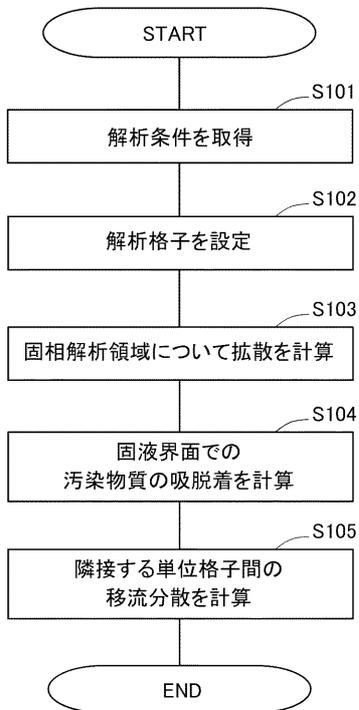
【図1】



【図2】



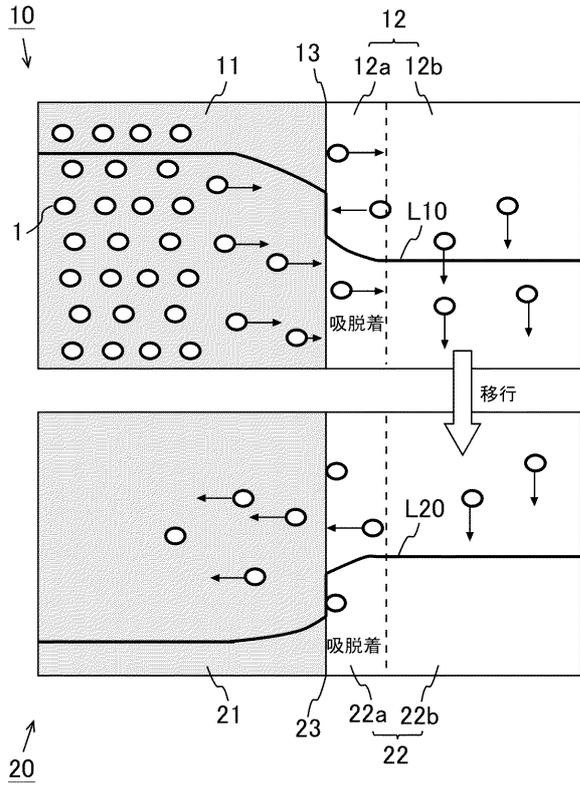
【図3】



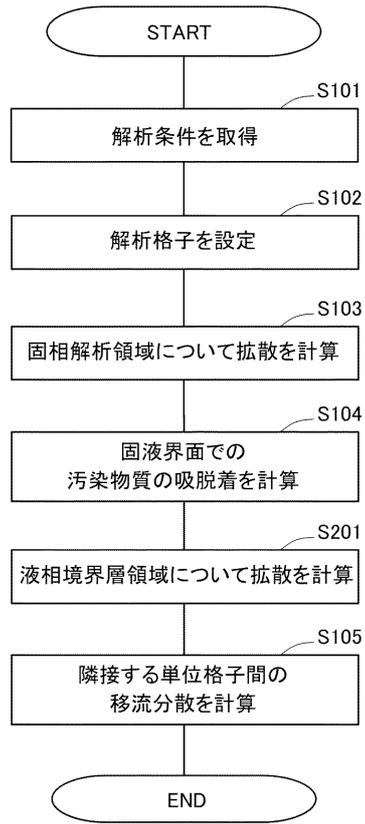
【図4】

		SC11	SC12	SC13	SC14	SC1
固相	質量				kg	
	密度				kg/m ³	
	固相内分子拡散係数				m ² /s	
	形状				0:球形、1:板状	
	半径 又は 板厚				mm	
	空隙率					
	初期濃度				mg/kg	
液相	縦分散長				m	
	横分散長				m	
	液相内分子拡散係数				m ² /s	
	屈曲率					
	流体の流速				m/s	
	初期濃度				mg/kg	
固液界面	平衡モード				0: Henry 1: Langmuir 2: Freundlich	
	kd				L/kg	
	qsat				mg/kg	
	kL				L/mg	
	kF				mg/kg	
	nF					

【図5】



【図6】



フロントページの続き

審査官 亀谷 英樹

(56)参考文献 特開2008-212771(JP,A)

特開2014-037677(JP,A)

特開2017-066827(JP,A)

登坂博行、外5名、多成分多相型移流拡散モデルによる包括的な地下水汚染解析、地下水学会誌、第38巻第3号、日本、1996年、P.167-180、jstage.jst.go.jp/article/jagh1987/38/3/38_167/pdf/char/jp

38/3/38_167/pdf/char/jp

石森洋行、外3名、津波堆積物からの浸出水濃度予測に及ぼす非線形吸脱着モデルの影響と表計算ソフトウェアを用いた簡易計算手法の提案、地盤工学ジャーナル、Vol.15、No.3、日本、2020年09月30日、P.497-508、jstage.jst.go.jp/article/jgs/15/3/15_497/pdf/char/jp

f/char/jp

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

E02D 1/00-3/115

E02B 1/00-3/14

B09B 1/00-5/00

B09C 1/00-1/10

G06Q 10/04