

Appendix-13 自然由来等土壌構造物利用施設における自然由来等土壌構造

物利用施設を設置する土地の土壌の分配係数の取得方法

1. はじめに

自然由来等土壌構造物利用施設における自然由来等土壌構造物利用施設を設置する土地の土壌の分配係数は非常に重要なパラメータである。本 Appendix では、適用範囲、分配係数を取得するためのバッチ吸着試験方法及び分配係数の算定方法を示す。

2. 適用範囲

本 Appendix に示す分配係数の取得方法は、「自然由来等土壌構造物利用施設における自然由来等土壌構造物利用施設を設置する土地の土壌」の汚染状態の判定のための「Appendix-12 自然由来等土壌構造物利用施設における新たな地下水汚染を引き起こさないための措置の決定に係る個別サイト評価の計算ツールの操作方法」での利用を前提に設計されており、他の目的での使用は想定していないことに注意が必要である。

3. バッチ吸着試験

バッチ吸着試験では、溶液中の対象物質濃度（区域指定濃度以上の任意の濃度）及び固液比（1:4～1:200）の範囲で条件を決定することができるが、土壌及び対象物質の吸着特性を勘案して、図-2（Appendix 13_4）の分配係数の算定フローを考慮した試験条件の設定が必要である。

特に、算定フローでは、3点以上の試験結果において以下2点を満たす必要があるため、図-1を参考に対象物質濃度及び固液比（1:4～1:100）を選定することが望ましい。

条件①-b：吸着率が試験結果において10%以上であること。

条件②：試験後の液相濃度が区域指定濃度以上のデータが1点以上含まれていること

例えば、分配係数が低いことが想定される土壌及び対象物質では、固液比は小さく、溶液中の対象物質濃度も小さくすることが、分配係数が大きいことが想定される土壌及び対象物質では、固液比は大きく、溶液中の対象物質濃度も大きくすることが必要であろう。

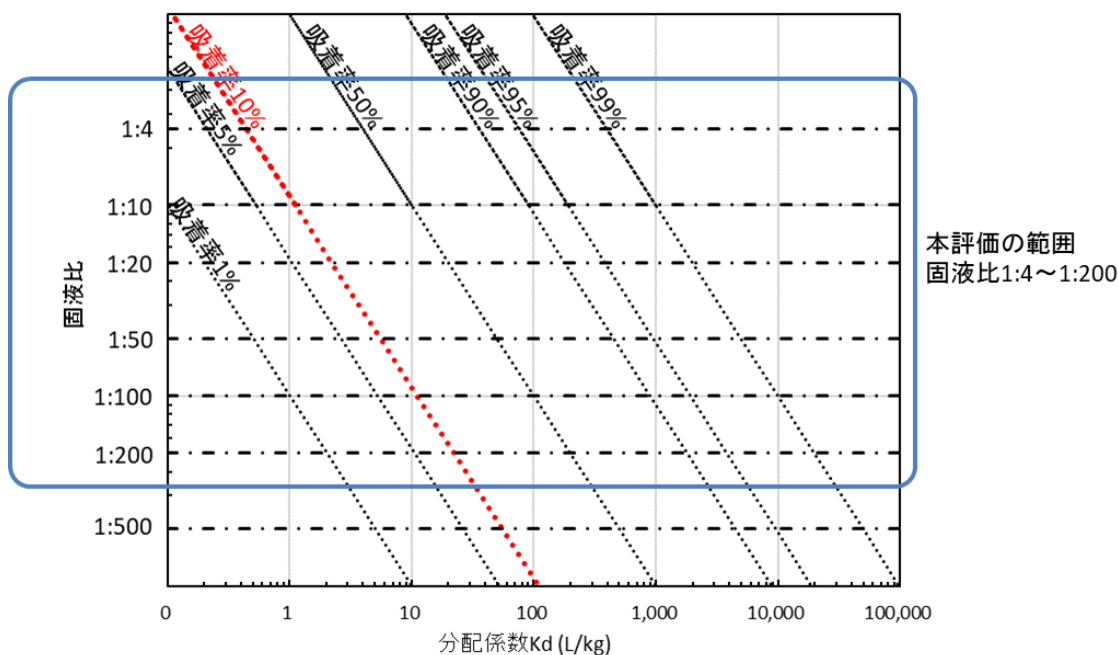


図-1 分配係数、固液比と吸着率の関係

3.1 溶液の調製

バッチ吸着試験に供する溶液は次の方法により調整する。

溶媒は水（日本工業規格（以下、JIS）K0557に規定するA3又はA4のもの）を用いる。利用する土壌の区域指定物質（以下、対象物質）を含む試薬を溶媒に添加し、溶液を調整する。添加する試薬は利用する土壌の現場の条件を考慮し溶けやすい塩等を用いる。溶液中の対象物質濃度は区域指定濃度の以上の濃度から1濃度を選定*する。濃度の選定においては、条件①、②を満たす濃度を検討した上で設定することが望ましい。pH調整は行わない。溶液中の対象物質濃度（初期濃度 C_0 ）を測定する。測定方法は、平成3年8月環境庁告示第46号（以下、環告46号）別表に準じた方法とする。

- * 濃度選定においては、図-2の分配係数の算定方法の決定フローにおいて、試験後の液相濃度が区域指定濃度以上となっているデータが1点以上含まれているかを確認する項目（②）があることを考慮し選定を行う。また、想定される分配係数が大きい場合には、図-2のフローの分岐④の条件に該当する可能性が高いため、吸着試験で区域指定濃度の30倍以上の初期濃度かつ固液比1:200での試験を加えることも検討する。

3.2 土壌試料の調整

バッチ吸着試験に供する土壌試料は次の方法により調整する。

「Appendix-12 自然由来等土壌構造物利用施設における新たな地下水汚染を引き起こさないための措置の決定に係る個別サイト評価の計算ツールの操作方法、4.3.4」に記載された方法で採取した土壌は、対象物質が吸着しない容器に空隙が残らないように密封して収める。試験は試料採取後直ちに行う。試験を直ちに行えない場合は、暗所に保管し、できるだけ速やかに試験を行う。

土壌は風乾し、中小礫、木片等を除き、土塊、団粒を粗砕した後、9.5 mmの目のふるいを通過させたものをバッチ吸着試験に供する。風乾は30℃を超えない温度で行うこととする。粗砕を行う際には、粒子をすりつぶす等の過度な粉砕を行わない。試料の含水比を、JIS A1203に規定する方法に準じて測定する。

バッチ吸着試験に供する試料の分取については、「JIS A1201 土質試験のための乱した土の試料調製方法」における「5.1 分取方法」を参考に分取することが望ましい。

なお、自然由来等土壌構造物利用施設の底面と当該施設を設置する土地の土壌との間に、構造物の設計や安定性その他の目的で他の土壌（清浄土など）を盛土構造物の材料として敷設することが想定される。しかしながら、当該層は本評価対象外のため、分配係数算定のために当該層の土壌試料採取は実施しない。

3.3 バッチ吸着試験

対象物質の吸着特性に応じて、固液比を1:4～1:200から3点以上選定し、以下の方法で試験を実施する。

（ア）固液混合

溶液量は一定（0.5 L）とし、土壌質量を所定の固液比に調整して混合する。最低土壌質量は事前の再現性確認試験の結果等から5 gとした。固液比に応じた土壌質量の例を表1に示す。試料

は風乾試料を使用するが、固液比の算定は炉乾換算土壌質量(kg)に対する溶液量(L)とする。混合・振とうに用いる容器は、対象物質が吸着及び溶出しない材質で、溶液の体積の2倍程度の容積のものを使用する。固液比1:200を選定する場合のみ、溶液量は1.0 Lとする。

また、土壌を加えないブランクテストを実施する。ブランクテストの溶液量・容器容量は試験条件のうち任意の1条件を設定する。

表-1 固液比に応じた炉乾換算土壌質量、溶液量、容器容量の例
(以下に示す固液比以外の固液比の選定も認める。)

固液比	炉乾換算土壌質量	溶液量	容器容量
1:4	125 g	0.5 L	1 L
1:10	50 g	0.5 L	1 L
1:20	25 g	0.5 L	1 L
1:50	10 g	0.5 L	1 L
1:100	5 g	0.5 L	1 L
1:200	5 g	1.0 L	2 L

(イ) 振とう

混合液を、常温(おおむね20℃)常圧(おおむね1気圧)で振とう速度毎分約200回、振とう幅約4~5 cm、振とう時間24時間で連続して水平方向に振とうする。

なお、細粒分が多く、自然含水比が高い土壌の場合、固液比が1:4の試験において振とう時の攪拌が不十分になる可能性があるため、十分攪拌がなされているか目視での確認をすることが望ましい。

(ウ) 固液分離

環告46号付表1(5)検液の作成に準じた方法で固液分離を行い、検液とする。

(エ) 液相濃度、固相吸着量の算出

検液の対象物質濃度を測定する(液相濃度C)。測定方法は、環告46号別表に準じた方法とする。固相吸着量(q)を次の式により算出する。

$$q = (C_0 - C)/(m_s/V_L) \quad (\text{式1})$$

ここで、q:固相吸着量(mg/kg)、C:液相濃度(mg/L)、C₀:初期液相濃度(mg/L)、m_s/V_L:実質固液比(kg/L)である。実質固液比は、m_s/V_L=炉乾換算土壌量 m_s(kg) / (炉乾換算土壌量 m_s(kg) × 含水比 + 溶液量(L))とする。

(オ) 吸着率の算出

吸着率を次の式により算出する。

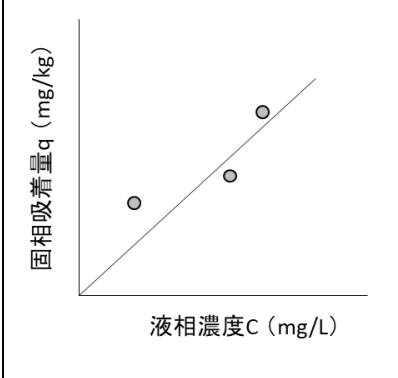
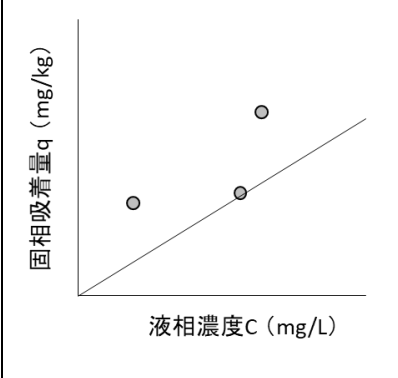
$$\text{吸着率(\%)} = (C_0 - C)/C_0 \times 100 \quad (\text{式2})$$

4. 分配係数の算定方法

4.1 分配係数の算定方法

分配係数の算定方法は表-2 に示す 3 パターンに分類される。これらの算定方法は、「3.3 バッチ吸着試験」で得られた試験結果を基に図-2 に示すフローにより決定する。

表-2 分配係数の算定方法

算定方法1	算定方法2	算定方法3
3 固液比のデータに対して原点を通る直線近似をしたときの傾きで分配係数を算定する方法	傾きが最も小さくなる点と原点を結んだ線の傾きで分配係数を算定する方法	デフォルト値を使用
		—

4.2 分配係数の算定方法決定フロー

分配係数の算定方法は、「3.3 バッチ吸着試験」で得られた試験結果を基に図-2 に示すフローにより決定する。以下に各判断について説明する。

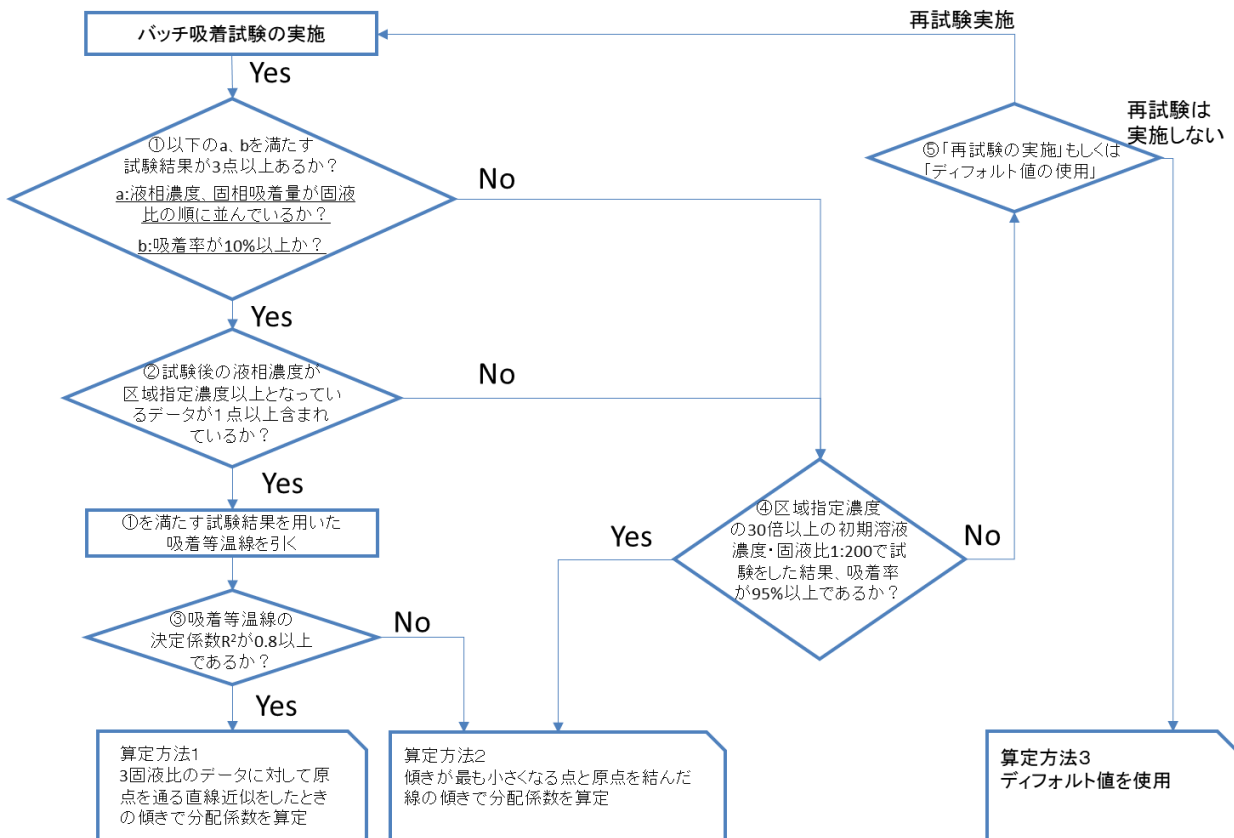


図-2 分配係数の算定方法の決定フロー

(ア) 条件①：液相濃度、固相吸着量が固液比の順及び試験後の液相濃度の確認

まず、バッチ吸着試験で得られた試験結果（同じ初期濃度で実施された3点以上）について、以下のa、bを満たしているかを確認し、両方を満たしている試験結果が3点以上あるかを確認する。

条件①-a：液相濃度、固相吸着量が固液比の順に並んでいるか？

条件①-b：吸着率が10%以上か？

・a、b両方を満たしている結果が3点以上あれば、分配係数の算定に資するデータが取得できていると判断し②に進む。以後、a、b両方を満たしている結果を使用して判定を行う。

・a、b両方を満たしている結果が3点以上なければ、分配係数の算定に資するデータが取得できていないと判断し④に進む。

条件①-a：液相濃度、固相吸着量が固液比の順に並んでいるか？

溶液中の対象物質濃度を一定にして、固液比を変更してバッチ吸着試験を実施した場合、液相濃度と固相吸着量の散布図を描くと、通常、図-3左のように、固液比が増加するに従い液相濃度、固相吸着量は増加する。図-3の左の結果が得られている場合には、分配係数の算定に資するデータが取得できていると判断し②に進む。

一方、図-3右のように、固液比が増加しても、液相濃度もしくは固相吸着量が減少する結果が得られることがある。この場合には、分配係数の算定に資するデータが取得できていない可能性があるとして判断し⑤に進む。図-3右のようなケースは、低吸着性土壌・物質の組み合わせ、高吸着性土壌・物質の組み合わせで生じやすい。

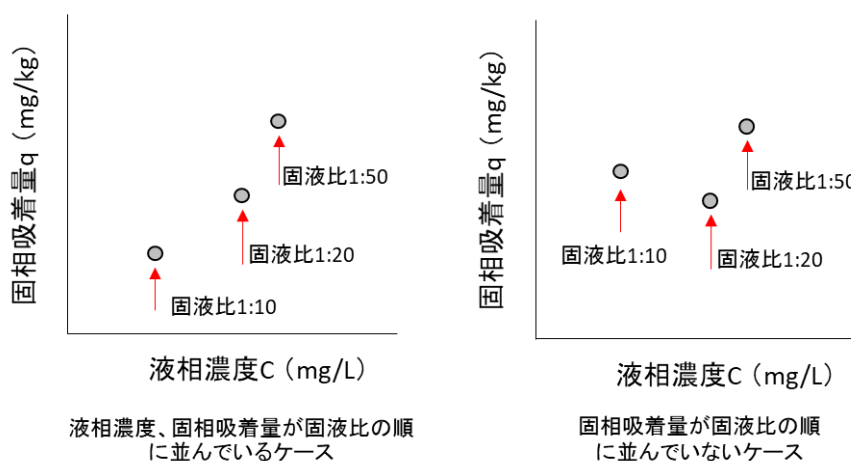


図-3 液相濃度、固相吸着量が固液比の順に並んでいるかの判断方法

条件①-b：吸着率が10%以上か？

(式2)で計算される吸着率が低い場合には、得られる分配係数の誤差が大きくなる。そのためバッチ吸着試験で得られた結果について吸着率が10%以上であることを確認する。

なお、吸着率が高い場合でも同様に分配係数の誤差は大きくなるが、図1に示すとおり、吸着率が95%以上の場合には、想定される分配係数は1000 L/kg以上となる。本算定方法で得られる分配係数は、Appendix-12で示す計算ツールでの利用を想定しているが当該モデルにおいては分配係数が300 L/kg以上では、不飽和層厚、年間降水量が最も安全側の設定でも、自然由来等土壌の汚染状態が第二溶出量基準までの範囲でクラス1-A（遮水工等が不要）となることから、ここでは当該誤差による影響が小さいとして上限値は設定しないこととした。

(イ) 条件②：試験後の液相濃度が区域指定濃度以上のデータが1点以上含まれているか？

一般に分配係数は溶液濃度が増加すると低下する傾向にある。そのため、分配係数の算定に資するデータとしては、液相濃度の最大値と最小値の間に区域指定濃度を含むことが望ましい（図-4中）。ただし、区域指定濃度よりも液相濃度が高いデータが得られている場合には、分配係数としては安全側の値となる。そのため、試験後の液相濃度が区域指定濃度以上となっているデータが1点以上含まれている場合（図-4左）には、③へ進む。

一方、図4右のように、試験後の液相濃度が全て区域指定濃度以下となっている場合には、⑤へ進む。これは、吸着等温線がフロイドリッヒ型の形状になった場合には、本データから算定される分配係数と比較して、区域指定濃度で算定される分配係数の値が低くなる可能性があるためである。

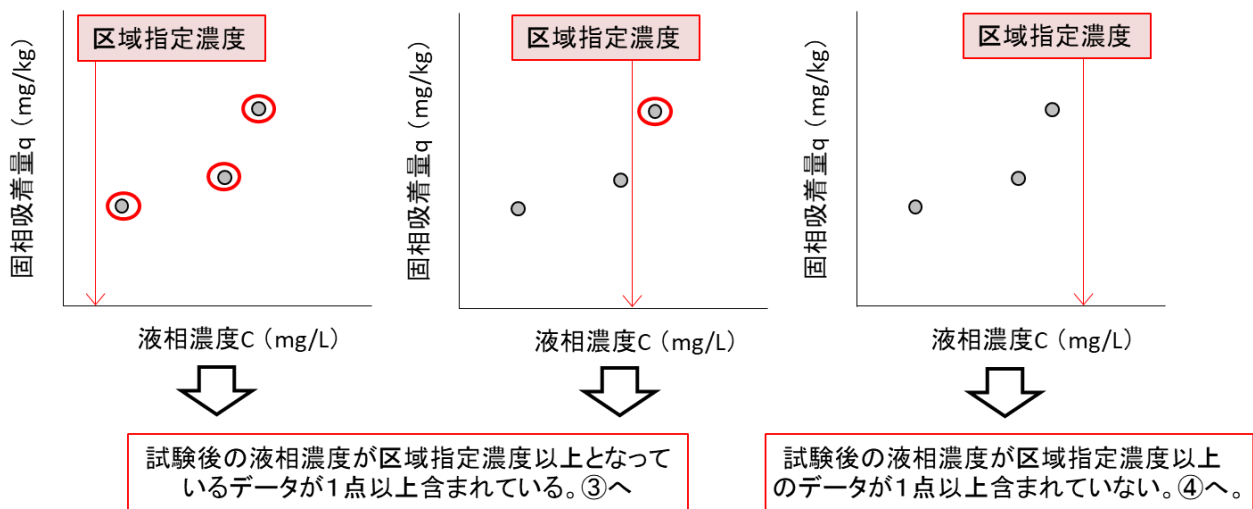


図-4 試験後の液相濃度が区域指定濃度以上となっているデータが1点以上含まれているかの判断方法

(ウ) 条件③：原点を通る線形吸着等温線の決定係数 R^2 が0.8以上であるか？

固液比3点（以上）の試験結果を用いて、液相濃度と固相吸着量の結果から吸着等温線を作成する。原点を通る近似直線の傾きを算定し、当該近似直線の決定係数 R^2 を算定する。決定係数 R^2 が0.8を超える場合には、算定方法1にて分配係数を算定する。決定係数 R^2 が0.8以下の場合には、算定方法2にて分配係数を算定する。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad (\text{式 } 3)$$

ここで、 q_i は固液比 i の固相吸着量、 \hat{q}_i は近似直線から求めた固液比 i の固相吸着量、 \bar{q} は固相吸着量の平均値である。

(エ) 条件④：区域指定濃度の 30 倍以上の初期濃度・固液比 1:200 で試験をした結果、吸着率が 95%以上であるか？

条件①～②の結果、いずれかで「No (該当しない)」となった場合、吸着試験で区域指定濃度の 30 倍以上の初期濃度、固液比 1:200 で試験をした結果があるか、及び当該試験の結果、吸着率が 95%以上であるかを確認する。上記条件に該当する場合には、算定方法 2 にて分配係数を算定する。該当しない場合には、⑤「再試験の実施」もしくは「デフォルト値の使用」に進む。

これは、吸着能が高い土壌・物質で本試験を実施する場合、本試験の範囲で最も吸着率が低く評価される「第二溶出量基準の初期濃度 C_0 ・固液比 1:200 の試験」においても、当該物質が強く土壌に吸着することで、吸着率が 95%を超える、もしくは試験後の液相濃度が定量下限付近となり結果として条件①を満たせないケースや、試験後の液相濃度が区域指定濃度以下となり条件②を満たせないケースがあるためである。図-1 に示すとおり、吸着率が 95%以上の場合には、想定される分配係数は 1000 L/kg 以上となるため、この場合には算定方法 2 にて分配係数を算定する。

(オ) 条件⑤：「再試験の実施」もしくは「デフォルト値の使用」

再試験を実施して分配係数を評価する際には、前試験のデータを活用することをしてよい。ただし、同一条件での試験も 1 条件以上含め、再現性を確認すること。

参考資料

- 1) OECD: OECD GUIDELINE FOR THE TESTING OF CHEMICALS, Adsorption-Desorption Using a Batch Equilibrium Method, OECD Test No. 106, 2000.
- 2) 吸着層工法設計マニュアル:一般社団法人北海道環境保全技術協会 技術委員会, 道環協 技術レポート No.6 , 2012.