

吸着層工法に使用する材料等の  
試験方法の標準化検討委員会  
報告書

第1版

2022年12月28日

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討会

事務局

国立研究開発法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

## 目次

1. 背景と目的.....	4
1.1. 背景.....	4
1.2. 目的.....	5
2. 委員会の概要.....	6
2.1. 委員会開催日.....	6
2.2. 委員名簿等.....	6
2.3. 委員会における議論の概要.....	9
2.3.1. 吸着層工法に使用する材料等に求められる性能.....	9
2.3.2. 評価対象.....	9
2.3.3. 試験方法に対する基本的な考え方.....	9
3. 吸着層工法に使用する材料等のバッチ吸着試験方法（案）.....	11
3.1. はじめに.....	11
3.2. 用語及び定義.....	11
3.3. 試験方法の概要.....	12
3.4. 試薬.....	12
3.5. 装置及び器具.....	12
3.6. 試料の準備.....	13
3.6.1. 試料の調製.....	13
3.6.2. 地盤材料の調製.....	13
3.6.3. 含水比の測定.....	13
3.7. 吸着材のバッチ吸着試験方法.....	13
3.7.1. 温度.....	13
3.7.2. 溶液の調製.....	13
3.7.3. 吸着試験.....	14
3.7.4. 検液の測定.....	15
3.8. 吸着層材料のバッチ吸着試験方法.....	15
3.8.1. 温度.....	15
3.8.2. 溶液の調製.....	15
3.8.3. 吸着試験.....	15
3.8.4. 検液の測定.....	17
3.9. 浸漬養生後の吸着層材料の試験方法.....	17
3.9.1. 温度.....	17
3.9.2. 溶液の調製.....	17

3.9.3.	浸漬養生.....	17
3.9.4.	吸着試験.....	19
3.9.5.	検液の測定.....	19
3.10.	見掛けの分配係数の計算.....	19
3.10.1.	吸着量の計算.....	19
3.10.2.	吸着率の計算.....	20
3.10.3.	各液固比における見掛けの分配係数の計算.....	20
3.10.4.	吸着等温線.....	22
3.10.5.	目標濃度における見掛けの分配係数の計算.....	22
3.11.	試験報告書.....	26
<b>4.</b>	<b>吸着層工法に使用する材料等のカラム吸着試験方法（案）.....</b>	<b>27</b>
4.1.	はじめに.....	27
4.2.	用語及び定義.....	27
4.3.	試験方法の概要.....	28
4.4.	試薬.....	28
4.5.	装置及び器具.....	28
4.6.	試料の準備.....	30
4.6.1.	試料の調製.....	30
4.6.2.	含水比の測定.....	30
4.7.	試験方法.....	31
4.7.1.	温度.....	31
4.7.2.	流入液の調製.....	31
4.7.3.	カラムの準備及び吸着層材料のカラムへの充填.....	31
4.7.4.	初期飽和.....	32
4.7.5.	通水の開始.....	32
4.7.6.	流出液の回収及び測定.....	32
4.7.7.	デッドボリュームの測定.....	33
4.8.	計算.....	33
4.8.1.	流出液の全質量.....	33
4.8.2.	液固比及び累積液固比.....	33
4.8.3.	平均流量速度.....	34
4.8.4.	吸着量及び累積吸着量.....	34
4.8.5.	見掛けの分配係数.....	35
4.9.	試験報告書.....	35

## 1. 背景と目的

### 1.1. 背景

建設工事等の掘削により発生する岩石・土壌は、盛土や埋土の材料として有効利用がはかられることがのぞましい。一方、我が国には、自然由来の砒素や鉛などの自然由来重金属等を含む土壌や岩石が広く分布しており、このような土壌や岩石に遭遇する現場では発生土等への適切な対応が求められることから、様々な取組みがなされている。例えば、「建設工事における自然由来重金属等含有 岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」においてはサイト概念モデルによるリスク評価や対策の考え方が整理されている。また、改正土壌汚染対策法（2019年4月1日の第2段階施行）では、「自然由来等土壌構造物利用施設」として、物質移動モデル等を用いて地下水汚染リスクが十分に低いことを確認した上で自然由来重金属等による基準不適合土壌を盛土などの土構造物として活用することが認められるなど、合理的措置に関する検討が進んでいる。このような自然由来重金属等を含有する土壌の低コストな対策方法として、不溶化工法、吸着層工法等が存在するが、吸着層工法に関しては、①吸着材の性能評価方法、②盛土内での物理的な水移動の評価などの技術的な課題、③発生源における重金属等の溶出特性評価や、④設計思想をどうするのか、などの課題（図 1.1-1）が指摘されており（例えば、保高ら（2022）<sup>1)</sup>）、今後の吸着層工法のさらなる普及に向けては、上記の課題解決が必要である。

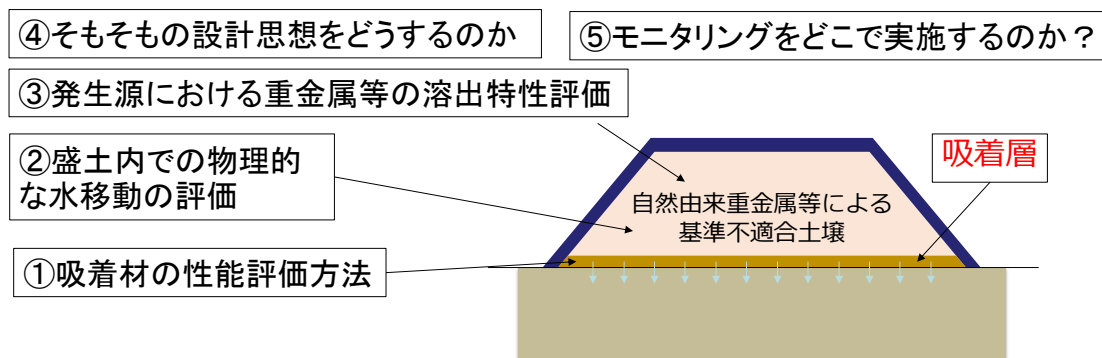


図 1.1-1: 吸着層工法に関する課題の例

吸着層は自然由来重金属等を含んだ盛土の下部に重金属を吸着する層を設置するもので、盛土内から溶出してくる自然由来重金属等を長期にわたって吸着する性能が求められる。現在、天然の土壌や人工吸着材の吸着性能を評価する方法として、バッチ型の吸着試験が一般的に用いられている（例えば、環境省（2022）における自然地盤における分配係数の取得方法<sup>2)</sup>や、北海道環境保全技術協会による吸着層工法設計マニュアル<sup>3)</sup>等がある。）。

単一のバッチ吸着試験で評価する際の課題は大きく3つある。一つは水との接触が吸着性能に与える影響である。自然の土壌のように重金属等の吸着メカニズムが主に純粋な吸着反応によるものである場合には、単一のバッチ吸着試験でも十分に性能評価が可能であると考えられる。一方で、様々な種類の吸着材（例えば、鉄系、鋳物系等）が用いられる吸着層工法では、その吸着メカニズムも多種多様である。例えば、吸着層工法に関しては、数十年以上の吸着性能の保持が期待される。しかしながら、吸着材の水和反応が重金属等の主な固定化メカニズムである場合、水との1回の接触によりその吸着性能が失われる可能性があり、吸着層工法の材料としては不適となるが、単一のバッチ吸着試験ではこの評価をすることが難しい。

二つ目は、試験方法が標準化されていないことによる課題である。バッチ吸着試験の方法が標準化されていないため、振とう時間や液固比、用いる溶液中の自然由来重金属等濃度等の試験条件だけでなく、得られた結果から分配係数の計算方法について異なる方法が用いられているケースがある。これらの相違は、得られる分配係数に影響を与えるだけでなく、試験結果の比較を難しくしている。

三つ目は、吸着試験を実施する際の液固比が 10 以上で試験を実施するケースが多く、実現場の吸着層内の液固比と比べて非常に大きいことから、実際の現場条件とは異なることである。

前述した理由により、単一のバッチ吸着試験のみでは、前述した長期的な吸着性能を有するかに関して、十分な評価ができていない材料・ケースがあると想定される。そのため、上記課題を克服した吸着材の性能評価試験法の構築や標準化は重要な課題である。

このような背景のもと、吸着層工法に使用する材料等の吸着性能の評価方法について、前述した課題に対応する試験方法の検討を目的として、2019 年より産業技術総合研究所を事務局として、「吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会（委員長：勝見武）」および「吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討会」を立ち上げ、議論を進めてきた。

## 1.2. 目的

本報告書では、当該委員会での議論の概要を整理するとともに、吸着層工法に使用する材料等の吸着特性を評価するための 2 つの試験方法案、すなわち「吸着層工法に使用する材料等のバッチ吸着試験方法（案）」および「吸着層工法に使用する材料等のカラム吸着試験方法（案）」について報告することを目的とする。

- 1) 保高徹生，井本由香利，西方美羽，森本和也，加藤智大，勝見武（2022）吸着層工法に関する吸着材の性能評価試験の標準化に関する検討状況，第 27 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演要旨集
- 2) 環境省 水・大気環境局 水環境課 土壌環境室（2022）汚染土壌の処理業に関するガイドライン（改訂第 4.2 版）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による盛土部分下部の分配係数の取得方法
- 3) 一般社団法人 北海道環境保全技術協会（2012）『吸着層工法設計マニュアル』

## 2. 委員会の概要

### 2.1. 委員会開催日

- 第1回 2019年8月7日
- 第2回 2019年12月10日
- 第3回 2020年3月9日
- 第4回 2020年7月30日
- 第5回 2021年1月14日

### 2.2. 委員名簿等

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会の委員，事務局，オブザーバーおよび吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討会の名簿を示す。なお，所属および部署名は第1回委員会開催当時（2019年8月）の所属である。

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会 委員名簿

	所属	氏名
有識者	京都大学大学院（委員長）	勝見 武
	北海道大学大学院	五十嵐 敏文
	北海道大学大学院	佐藤 努
	国立研究開発法人国立環境研究所	肴倉 宏史
	大阪大学大学院工学研究科	乾 徹
	国立研究開発法人土木研究所	品川 俊介
メーカー	日鉄セメント株式会社	大石 徹
	太平洋セメント株式会社	守屋 政彦
	株式会社水循環エンジニアリング	武島 俊達
ユーザー	株式会社大林組	三浦 俊彦
	国際航業株式会社	山田 優子
	応用地質株式会社	宮口 新治
	パシフィックコンサルタンツ株式会社	龍原 毅
	鹿島建設株式会社	石神 大輔

所属および部署名は第1回委員会開催当時（2019年8月）

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会 事務局名簿

	所属	氏名
事務局	国立研究開発法人産業技術総合研究所	保高 徹生
	国立研究開発法人産業技術総合研究所	井本 由香利
	国立研究開発法人産業技術総合研究所	森本 和也
	国立研究開発法人産業技術総合研究所	西方 美羽
	国立研究開発法人産業技術総合研究所	小栗 朋子
事務局アドバイザー	宮崎大学	伊藤 健一
	東京農工大学	橋本 洋平
	日本工営株式会社	鈴木 弘明

所属および部署名は第1回委員会開催当時（2019年8月）

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討委員会 オブザーバー名簿

	所属	氏名
有識者	応用地質株式会社	門間 聖子
有識者	一般財団法人電力中央研究所	井野場 誠治
有識者	大成建設株式会社	樋口 雄一
分析会社	株式会社太平洋コンサルタント	長瀬 孝宏
分析会社		小向 雄人
分析会社	エヌエス環境株式会社	青野 大輔
関係機関	環境省 水・大気環境局 土壌環境課	小林 明子 大澤 和也
関係機関	経済産業省 産業技術環境局 環境管理推進室	柏木 勇人
関係機関	一般社団法人土壌環境センター	中島 誠
関係機関	一般社団法人北海道環境保全技術協会	畔原 孝典
関係機関	公益財団法人産業廃棄物処理事業振興財団	佐伯 悌 土屋 猛
関係機関	京都大学	加藤 智大

所属および部署名は第1回委員会開催当時（2019年8月）

吸着層工法に使用する材料等の試験方法の標準化検討会 委員名簿

所属	氏名
株式会社神戸製鋼所	飯島 勝之 澤山 哲也
株式会社水循環エンジニアリング	富樫 真治
J F E ミネラル株式会社	須藤 達也 西田 崇人 尾崎 隆 渡辺 哲哉
太平洋セメント株式会社	松山 祐介 森 喜彦
日鉄セメント株式会社	阿部 直也
吉澤石灰工業株式会社	川島 健 田村 俊孝
住友大阪セメント株式会社	板谷 裕輝 國西 健史
石原産業株式会社	森田 一太
宇部マテリアルズ株式会社	尾花 誠一 赤坂 真吾
大福工業株式会社	小村 一行 三代 江里子
岡本興業株式会社	磯 洋 楠 真哉
株式会社イーエス総合研究所	下原 英一 木川 えり子

所属は第1回委員会開催当時（2019年8月）



## 2.3. 委員会における議論の概要

### 2.3.1. 吸着層工法に使用する材料等に求められる性能

吸着層工法に使用する材料等に求められる性能に関しては、「実現場で使用することを想定した外的環境条件下で、対象となる自然由来重金属等に対して必要な吸着性能が発揮され長期的に維持されること。」と定義した。ここで、本性能における「吸着性能」については、吸着以外も含めた様々なメカニズムを含んでいるため、本来であれば吸着と記載すべきであるが、ここでは吸着と記載する。

### 2.3.2. 評価対象

吸着材および吸着層材料（吸着層に混合する土質材料と吸着材を混合したもの）を対象とする。なお、一般的には、吸着層材料に対する吸着材の混合割合は3%～30%程度であるため、この混合割合の範囲を対象とした。

### 2.3.3. 試験方法に対する基本的な考え方

吸着層工法に使用する材料等に求められる性能で示した「長期的に吸着性能が維持されること」、「実現場で使用することを想定した外的環境条件下」を評価できる試験内容について検討を進めてきた。

「長期的に吸着性能が維持されること」については、材料性能の長期的な変化による吸着性能の評価方法の検討を進めてきた。現場においては、雨水等における接触が長期的に継続されることから、材料の状態として、①フレッシュな状態での材料、②水との接触等による短期的な変化が生じた後の材料、③長期的な変化が生じた後の材料が想定される。委員会等での議論の結果、③長期的な変化が生じた後の材料の状態を評価することは現時点では難しいことから、①フレッシュな状態での材料および②水との接触等による短期的な変化が生じた後の材料について評価対象とした。

「実現場で使用することを想定した外的環境条件下」については、吸着層を使用する環境のことを指す。具体的には、水の通過、酸化・還元状態、浸出水の浸透による競合イオンの存在、pHの変化等が想定される。実際に吸着層の使用環境として、吸着層内部の環境、自然由来重金属等を含んだ盛土からの浸出水の性状に分類をして表に整理した。吸着層内部の環境として、水の通過に関しては浸漬養生を実施したバッチ吸着試験に加え、カラム吸着試験も含めることで、より実現現象に近い形での試験を想定した。

さらに、吸着試験の結果からパラメータ（分配係数等）の計算方法についても標準化の対象とした。

外的条件		吸着層の使用環境下で想定される条件	基本的な考え方で考慮した事項
吸着層内部の環境	水の通過	長期的かつ断続的に水が通過する。	カラム試験／浸漬養生を実施したバッチ吸着試験。
	酸化・還元状態（好気・嫌気）	吸着層内部は、酸化状態・還元状態にそれぞれの状態になりうる。ただし、還元状態は長期に継続するような設計にはなっていないと想定。	盛土内は酸化条件であることが多いため考慮しない。
	乾湿繰り返し	一定の排水性が確保されている場合、乾燥／湿潤の繰り返しが想定される。（乾燥は、自然含水比程度まで）（酸化還元の繰り返し）	乾湿繰り返し試験が考えられるが、今回は考慮しない。
自然由来重金属等を含んだ盛土浸出水の性状	浸出水中の競合イオン	上部の盛土の性状に依拠して変化する。農業利用と比較すると競合イオンは少ないと思慮。	
	pHの変化等	上部に設置する汚染土壌の性状に依拠して変化する。	
	自然由来重金属等の濃度	-	-

## 2.4. 本検討に関連する学術資料

本検討に関連する学術資料として、査読のある学術論文および学会発表を以下に示す。

### 2.4.1. 査読のある学術誌論文

- 1) Kato, T., Gathuka, L.W., Okada, T., Takai, A., Katsumi, T., Imoto, Y., Morimoto, K., Nishikata, M. and Yasutaka, T. (2021): Sorption-desorption column tests to evaluate the attenuation layer using soil amended with a stabilising agent, *Soils and Foundations*, Vol. 61, No. 4, pp. 1112-1122.  
(<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.05.004>)
- 2) 加藤智大, 井本由香利, 保高徹生, 勝見 武(2021): カラム吸着試験に基づく分配係数の取得方法が吸着層の性能評価に及ぼす影響の考察, *地盤工学ジャーナル*, Vol. 16, No. 2, pp. 131-141.  
(<https://doi.org/10.3208/jgs.16.131>)
- 3) 西方美羽, 保高徹生, 森本和也, 井本由香利(2021): 浸水前処理およびシリアルバッチ吸着試験による吸着材への水接触の影響評価, *地盤工学ジャーナル*, Vol. 17, No. 2, pp. 195-204.  
(<https://doi.org/10.3208/jgs.17.195>)

### 2.4.2. 学会発表

- 1) 加藤智大, 保高徹生, 井本由香利, 黒澤暁彦, 勝見 武(2022): カラム試験での分散長に及ぼす通水速度の影響, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, 論文番号 III-276, 京都市. (口頭発表).
- 2) 加藤智大, 保高徹生, 井本由香利, 黒澤暁彦, 勝見 武(2022): カラム吸着試験の標準化に関する一考察, 第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 論文番号 S1-18, 横須賀市. (口頭発表).
- 3) 保高徹生, 井本由香利, 西方美羽, 森本和也, 加藤智大, 勝見 武(2022): 吸着層工法に関する吸着材の性能評価試験の標準化に関する検討状況, 第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 論文番号 S4-05, 横須賀市. (口頭発表).
- 4) 西方美羽, 保高徹生, 井本由香利, 森本和也, 月村勝宏(2020): シリアルバッチおよび浸水前処理による吸着層工法に用いる吸着材の吸着性能評価, 第55回地盤工学研究発表会, オンライン. (口頭発表).
- 5) 西方美羽, 保高徹生, 井本由香利, 森本和也(2021): 使用試薬・標準液の違いがバッチ吸着試験に及ぼす影響, 第56回地盤工学研究発表会, オンライン. (口頭発表).
- 6) 西方美羽, 保高徹生, 井本由香利, 森本和也, 勝見武(2022): 吸着層工法に用いられる材料の性能評価試験法—みかけの分配係数算出について, 第57回地盤工学研究発表会, 新潟市. (口頭発表).

### 3. 吸着層工法に使用する材料等のバッチ吸着試験方法（案）

#### 3.1. はじめに

この試験方法(案)は、掘削土やズリ等から溶出する自然由来重金属等(カドミウム(Cd)、六価クロム(Cr(VI))、水銀(Hg)、セレン(Se)、鉛(Pb)、ヒ素(As)、ふっ素(F)、ほう素(B))への対策工である、吸着層工法に用いる材料の吸着特性を評価するためのバッチ吸着試験の方法を記している。

#### 3.2. 用語及び定義

この試験方法で用いる主な用語を表 3.2-1 のとおりに定義する。

表 3.2-1：本試験方法で用いる用語と定義

用語	定義
自然由来重金属等	地質に自然的原因で存在する物質のうち、カドミウム (Cd)、六価クロム (Cr(VI))、水銀 (Hg)、セレン (Se)、鉛 (Pb)、ヒ素 (As)、ふっ素 (F)、ほう素 (B)、の 8 つの無機物質
吸着材	自然由来重金属等を自身に吸着させることを目的として、吸着層に混合する材料
吸着層	自然由来重金属等を含む掘削土や破砕された岩石であるズリ等の下部に設ける、自然由来重金属等を吸着するための土層。人工的な吸着材を地盤材料に添加する土層だけでなく、天然材料のみの土層、天然材料に吸着材を混合した土層の場合もある。
地盤材料	吸着層に混合する土質材料
吸着層材料	吸着材と地盤材料とを混合したもの。吸着層材料を適切な厚さ、密度等で層状に敷設したものが「吸着層」となる。
対象物質	自然由来重金属等のうち、本試験で吸着性能の評価対象とする物質。
湿潤質量	吸着材又は吸着層材料の有姿の質量 (kg)
湿潤液固比	吸着材又は吸着層材料の湿潤質量 (kg) に対する、試料に接触させる溶液の体積 (L) の比。単位はリットル毎キログラム (L/kg)
湿潤液固比 (吸着材)	吸着材の湿潤質量 (kg) に対する、試料に接触させる溶液の体積 (L) の比。単位はリットル毎キログラム (L/kg)
湿潤液固比 (吸着層材料)	吸着層材料の湿潤質量 (kg) に対する、試料に接触させる溶液の体積 (L) の比。単位はリットル毎キログラム (L/kg)
液固比	吸着材又は吸着層材料の乾燥質量 (kg) に対する、試料に接触させる溶液の体積 (L) の比。単位はリットル毎キログラム (L/kg)
乾燥質量	含水比の測定(3.6.3 参照)により求められた水分量を除いた吸着材又は吸着層材料の質量(kg)
混合割合	吸着層材料に含まれる吸着材の割合で、湿潤質量を基準とする。単位は%
見掛けの分配係数	試験後の吸着層材料に分配された自然由来重金属等の吸着量を、バッチ吸着試験後の検液中の対象物質濃度で除した値。

目標濃度	見掛けの分配係数を計算する際に用いる、吸着試験後の検液中の対象物質濃度。基本的には盛土等から吸着層に流入する浸透水中の自然由来重金属等の推定濃度に基づいて、目標濃度を設定する。 推定が困難である場合（対象土壌がない場合を含む）は、目標濃度は評価対象とする物質がふっ素または又はほう素の場合は土壌溶出量基準の 10 倍（ふっ素 8 mg/L, ほう素 10 mg/L）、その他の物質は土壌溶出量基準の 30 倍の濃度（例：砒素 0.3 mg/L）とする（3.7.2.参照）。

### 3.3. 試験方法の概要

バッチ吸着試験方法には、吸着材のみで行う試験、吸着層材料で行う試験、浸漬養生後の吸着層材料で行う試験の 3 種類がある。

試験は、試験に供する材料等に対して、対象物質を含む溶液を加えて 24 時間振とうして対象物質を吸着させて検液を得ることによって行う。得られた検液中の自然由来重金属等の濃度を測定し、得られた結果より、見掛けの分配係数を計算する。

### 3.4. 試薬

試薬は、次による。

- A) 水 JIS K 0557 に規定する A3 又は A4 の水
- B) 塩酸 有害金属測定用、又はそれと同等の品質のもの。
- C) 水酸化ナトリウム JIS K 8576 に規定する特級、又はそれと同等の品質のもの。
- D) 溶液調製用試薬 溶液の作製に用いる対象物質を含む水への溶解性が高い特級試薬あるいは JCSS 化学分析用標準液。なお試薬の価数が複数ある物質（砒素およびセレン）を対象物質とする場合は、それぞれ価数について溶解性が高い特級試薬あるいは JCSS 化学分析用標準液を用いることとする。

### 3.5. 装置及び器具

装置及び器具は、次による。なお、溶液に接触する部分の材質は、測定対象物質を溶出せず、且つ吸着しないものでなければならない。

- A) 試験容器 ポリプロピレンなどの樹脂製の容器。円筒形の容器を基本とし、直径が 10 cm 未満、容積 1 L のものを使用する。
- B) 振とう機 試験容器を固定可能で、振とう幅 4~5 cm、毎分約 200 回水平振とうできるもの。
- C) 遠心分離装置 遠心分離装置は、3000 G 以上に設定できるもの。温度の上昇を防止するために、冷却機能付きのものが望ましい。
- D) 遠沈管 遠沈管は、遠心分離装置に適した形状及び強度で、密閉用の蓋を備えるもの。
- E) メンブランフィルター メンブランフィルターは、孔径 0.45 μm のもの。
- F) pH 計 pH 計は、JIS Z 8802 に規定する繰返し性が±0.05 以下のもの。
- G) はかり はかりは、最小読み取り値が 0.0001 g 以下のもの。
- H) ふるい ふるいは、JIS Z 8801-1 に規定する金属製の網ふるい、又は同等の仕様をもつ非金属製の網ふるい

いを用いる。

D) **メスシリンダー** メスシリンダーは、容積 500 mL のもの

### 3.6. 試料の準備

#### 3.6.1. 試料の調製

吸着材は、おおむね 20°C で容器に密閉して保管する。吸着材を未乾燥のまま、目開き 4.75 mm のふるいに通したものを試験に供する。

#### 3.6.2. 地盤材料の調製

地盤材料は、おおむね 20°C で容器に密閉して保管する。

地盤材料を、未乾燥のまま、目開き 4.75 mm のふるいに通したものを試験に供する。目開き 4.75 mm のふるいを通しなかった地盤材料の種類と質量を記録する。ただし、水を多く含むためにふるいの通過が困難な場合は、ふるいを通す前に、地盤材料を 30°C 未満で風乾してもよい。

地盤材料は、実際の現場で使用する地盤材料を用いることを基本とするが、現地で用いる地盤材料が決まっていない場合は、豊浦砂を使用することとする。

#### 3.6.3. 含水比の測定

地盤材料の一部を分取して、JIS A 1203 に従って含水比を測定する。吸着材の一部を採取して、材料の変質が生じないこと等に配慮した方法によって含水比を測定する。

### 3.7. 吸着材のバッチ吸着試験方法

#### 3.7.1. 温度

試験は、おおむね 20°C で行う。

#### 3.7.2. 溶液の調製

対象とする自然由来重金属等を決定する。

バッチ試験に用いる溶液中の対象物質の濃度が、ふっ素又はほう素の場合は目標濃度の 3 倍となるよう、その他の物質の場合は目標濃度の 10 倍となるよう、対象物質を含む試薬又は標準液を水に添加し、溶液を調製する。

目標濃度は、基本的には盛土等から吸着層に流入する浸透水中の自然由来重金属等の推定濃度に基づいて、目標濃度を設定する。

推定が困難である場合（対象土壌がない場合を含む）は、例えば、実汚染土壌から溶出する砒素の濃度が 0.2 mg/L である場合、目標濃度は 0.2 mg/L、バッチ試験に用いる溶液中の砒素濃度は、目標濃度の 10 倍の 2 mg/L となる。また、実汚染土壌がない場合で、ふっ素が評価対象の場合、目標濃度は 8 mg/L となり、バッチ試験に用いる溶液中のふっ素濃度は、目標濃度の 3 倍の 24 mg/L となる。表 3.7.2-1 に、実汚染土壌がない場合における、対象物質ごとの目標濃度と試験に供する溶液濃度を示す。

表 3.7.2-1：実汚染土壌がない場合における対象物質ごとの目標濃度とバッチ吸着試験に供する溶液濃度

/	土壌溶出量基準	目標濃度	バッチ吸着試験に供する溶液濃度
カドミウム	0.003 mg/L	0.09 mg/L	0.9 mg/L
六価クロム	0.05 mg/L	1.5 mg/L	15 mg/L
水銀	0.0005 mg/L	0.015 mg/L	0.15 mg/L
セレン	0.01 mg/L	0.3 mg/L	3 mg/L
鉛	0.01 mg/L	0.3 mg/L	3 mg/L
砒素	0.01 mg/L	0.3 mg/L	3 mg/L
ふっ素	0.8 mg/L	8 mg/L	24 mg/L
ほう素	1.0 mg/L	10 mg/L	30 mg/L

調製後の溶液の pH を測定し、5.8～6.5 の範囲外であった場合、水酸化ナトリウム水溶液又は塩酸で 5.8～6.5 の範囲内となるように pH の調整を行う。pH の測定方法は JIS Z 8802 に準ずる。

溶液中の対象物質濃度を測定する。測定方法は、JIS K 0102 に準じた方法とする。

ブランク試験を実施する。ブランク試験は、次による。

- 調整した溶液 500 mL をメスシリンダーで測りとり、試験容器に入れる。
- 試験容器を振とう機に横向きに取り付け、振とう回数毎分約 200 回、振とう幅 4～5 cm にて振とうを開始する。
- 振とうを開始して 24 時間後に振とう機を停止する。
- 試験容器を振とう機からはずして必要な量の溶液をメンブランフィルターでろ過して検液とする。

### 3.7.3. 吸着試験

吸着試験は、次による。

- 吸着試験における湿潤液固比（吸着材）は 100, 250, 500, 750, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 の 9 段階に設定する。試験の反復回数は 3 回とする。溶液の量は、すべて 500 mL とする。

3.6.1 で調製した吸着材を、表 3.7.3-1 に示した湿潤液固比に応じてはかりで量り取り、試験容器に入れ試験に供する。量り取った吸着材の量を記録する。

表 3.7.3-1：湿潤液固比（吸着材）に応じた吸着材の湿潤質量

湿潤液固比（吸着材）	吸着材の湿潤質量 (g)
100	5 ± 0.5
250	2 ± 0.2
500	1 ± 0.1
750	0.667 ± 0.067
1000	0.5 ± 0.05
2500	0.2 ± 0.02
5000	0.1 ± 0.01
7500	0.067 ± 0.0067
10000	0.05 ± 0.005

- b) 3.7.2 で調整した溶液 500 mL をメスシリンダーで測りとり、吸着材が入ったバッチ吸着試験容器に入れる。
- c) 15 分以内に、吸着試験容器を振とう機に横向きに取り付け、水平方向に振とう回数毎分約 200 回、振とう幅 4～5 cm にて振とうを開始する。
- d) 振とうを開始して 24 時間後に振とう機を停止する。
- e) 試験容器を振とう機からはずして 30 分以内に、3.7.4 での測定に必要な量の溶液を遠沈管に移して、3000 G で 20 分間遠心分離し、その上澄み液をメンブランフィルターでろ過して検液とする。

### 3.7.4. 検液の測定

- a) 固液分離後、速やかに、回収した検液の pH をはかる。
- b) JIS K 0102 に従って、測定対象物質の濃度をはかる。

## 3.8. 吸着層材料のバッチ吸着試験方法

### 3.8.1. 温度

試験は、おおむね 20°C で行う。

### 3.8.2. 溶液の調製

3.7.2 と同様の方法で調製する。

### 3.8.3. 吸着試験

吸着試験は、次による。

- a) 吸着材と地盤材料との混合割合を、3%～30%の範囲で任意に決定する。3.6.1 で調製した吸着材と 3.6.2 で調製した地盤材料とを、湿潤液固比に応じて量り取り、試験容器に入れよく混ぜる。地盤材料の湿潤質量を、以下の式で計算する。混合割合を記録する。

$$m_{\text{soil}(ls)} = m_{\text{agent}(ls)}((100 - p)/p)$$

ここで

$m_{\text{soil}(ls)}$  : 湿潤液固比 (吸着材)  $ls$  の試験における地盤材料の湿潤質量 (kg)

$m_{\text{agent}(ls)}$  : 湿潤液固比 (吸着材)  $ls$  の試験における吸着材の湿潤質量 (kg)

$ls$  : 液固比 (100, 250, ..., 10000)

$p$  : 混合割合 (%)

湿潤液固比 (吸着材) は 100, 250, 500, 750, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 とし、試験時の溶液量は、500 mL とする。試験の反復回数は 3 回とする。

表 3.8.3-1 : 吸着材混合割合が 3% の場合の湿潤液固比 (吸着材) , 混合割合, 吸着材・地盤材料・吸着層材料の湿潤質量, 湿潤液固比 (吸着層材料) の対応表

湿潤液固比 (吸着材)	混合割合 (%) ( $p$ )	吸着材の 湿潤質量 (g) ( $m_{\text{agent}}(ls)$ )	地盤材料の 湿潤質量(g) ( $m_{\text{soil}}(ls)$ )	吸着層材料の 湿潤質量 (g) ( $m_{\text{agent}}(ls) + m_{\text{soil}}(ls)$ )	湿潤液固比 (吸着層材料)
100	3	5	161.67	166.67	3
250	3	2	64.67	66.67	7.5
500	3	1	32.33	33.33	15
750	3	0.667	21.556	22.222	22.5
1000	3	0.5	16.167	16.667	30
2500	3	0.2	6.467	6.667	75
5000	3	0.1	3.233	3.333	150
7500	3	0.067	2.156	2.222	225
10000	3	0.05	1.617	1.667	300

表 3.8.3-2 : 吸着材混合割合が 30% の場合の湿潤液固比 (吸着材) , 混合割合, 吸着材・地盤材料・吸着層材料の湿潤質量, 湿潤液固比 (吸着層材料) の対応表

湿潤液固比 (吸着材)	混合割合 (%) ( $p$ )	吸着材の 湿潤質量 (g) ( $m_{\text{agent}}(ls)$ )	地盤材料の 湿潤質量(g) ( $m_{\text{soil}}(ls)$ )	吸着層材料の 湿潤質量 (g) ( $m_{\text{agent}}(ls) + m_{\text{soil}}(ls)$ )	湿潤液固比 (吸着層材料)
100	30	5	11.67	16.67	30
250	30	2	4.67	6.67	75
500	30	1	2.333	3.333	150
750	30	0.667	1.556	2.222	225
1000	30	0.5	1.167	1.667	300
2500	30	0.2	0.467	0.667	750
5000	30	0.1	0.233	0.333	1500
7500	30	0.067	0.156	0.222	2250
10000	30	0.05	0.117	0.167	3000

- b) 3.8.2 で調整した溶液 500 mL をメスシリンダーで測りとり, 吸着層材料が入った容器に入れる。
- c) 15 分以内に, 吸着試験容器を振とう機に横向きに取り付け, 水平方向に振とう回数毎分約 200 回, 振とう幅 4~5 cm にて振とうを開始する。
- d) 振とうを開始して 24 時間後に振とう機を停止する。
- e) 試験容器を振とう機からはずして 30 分以内に, 3.7.4 での測定に必要な量の溶液を遠沈管に移して, 3000 G で 20 分間遠心分離し, その上澄み液をメンブランフィルターでろ過して検液とする。



#### 3.8.4. 検液の測定

- a) 固液分離後，速やかに，回収した検液の pH をはかり，記録する。
- b) JIS K 0102 に従って，測定対象物質の濃度をはかる。

### 3.9. 浸漬養生後の吸着層材料の試験方法

#### 3.9.1. 温度

試験は，おおむね 20°C で行う。

#### 3.9.2. 溶液の調製

3.7.2 と同様の方法で調製する。

#### 3.9.3. 浸漬養生

吸着材と地盤材料との混合割合を，3%～30%の範囲で任意に決定する。3.6.1 で調製した吸着材と 3.6.2 で調製した地盤材料とを， 湿潤液固比に応じて量り取り，試験容器に入れよく混ぜる。地盤材料の湿潤質量を，以下の式で計算する。混合割合を記録する。

$$m_{\text{soil}(ls)} = m_{\text{agent}(ls)}((100 - p)/p)$$

ここで

$m_{\text{soil}(ls)}$  : 湿潤液固比（吸着材） $ls$  の試験における地盤材料の湿潤質量 (kg)

$m_{\text{agent}(ls)}$  : 湿潤液固比（吸着材） $ls$  の試験における吸着材の湿潤質量 (kg)

$p$  : 混合割合 (%)

湿潤液固比（吸着材）は 100, 250, 500, 750, 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 とし，吸着試験時の溶液量は 500 ml とする。試験の反復回数は 3 回とする。

その後，吸着層材料に対する湿潤液固比が 1 となるように吸着層材料と同質量の水を試験容器に加える。

ただし，吸着層材料の湿潤質量が 20 g に満たない場合は，一律に 20 mL の水を加える。

吸着層材料がすべて水に浸漬していることを確認したのちに容器のふたを閉め，28 日間常温・常圧で静置する。

混合割合 3%および 30%の場合の湿潤液固比（吸着材），吸着材湿潤質量，地盤材料湿潤質量，吸着層材料湿潤質量，添加水量の対応表を表 3.9.3-1，表 3.9.3-2 に示す。

表 3.9.3-1 : 混合割合 3% の場合の湿潤液固比 (吸着材) , 混合割合, 吸着材・地盤材料・吸着層材料の湿潤質量, 湿潤液固比 (吸着層材料) , 添加水量の対応表

湿潤液固比 (吸着材)	吸着材の 湿潤質量 (g) $(m_{\text{agent}}(ls))$	地盤材料の 湿潤質量(g) $(m_{\text{soil}}(ls))$	吸着層材料の 湿潤質量 (g) $(m_{\text{agent}}(ls) + m_{\text{soil}}(ls))$	添加水量 (mL)
100	5	161.667	166.667	166.667
250	2	64.667	66.667	66.667
500	1	32.333	33.333	33.333
750	0.667	21.556	22.222	22.222
1000	0.5	16.167	16.667	20
2500	0.2	6.467	6.667	20
5000	0.1	3.233	3.333	20
7500	0.067	2.156	2.222	20
10000	0.05	1.617	1.667	20

表 3.9.3-2 : 混合割合 30% の場合の湿潤液固比 (吸着材) , 混合割合, 吸着材・地盤材料・吸着層材料の湿潤質量, 湿潤液固比 (吸着層材料) , 添加水量の対応表

湿潤液固比 (吸着材)	吸着材の 湿潤質量 (g) $(m_{\text{agent}}(ls))$	地盤材料の 湿潤質量(g) $(m_{\text{soil}}(ls))$	吸着層材料の 湿潤質量 (g) $(m_{\text{agent}}(ls) + m_{\text{soil}}(ls))$	添加水量 (mL)
100	5	11.667	16.667	20
250	2	4.667	6.667	20
500	1	2.333	3.333	20
750	0.667	1.556	2.222	20
1000	0.5	1.167	1.667	20
2500	0.2	0.467	0.667	20
5000	0.1	0.233	0.333	20
7500	0.067	0.156	0.222	20
10000	0.05	0.117	0.167	20

### 3.9.4. 吸着試験

吸着操作は、次による。

- a) 3.7.2 で調整した溶液 500 mL をメスシリンダーで測りとり、吸着層材料が入った容器に入れる。(添加水量に加えて、溶液 500 mL が添加されるため、試験時の溶液量は 500 mL + 添加水量となる)
- b) 15 分以内に、吸着試験容器を振とう機に横向きに取り付け、水平方向に振とう回数毎分約 200 回、振とう幅 4~5 cm にて振とうを開始する。
- c) 振とうを開始して 24 時間後に振とう機を停止する。
- d) 試験容器を振とう機からはずして 30 分以内に、3.7.4 での測定に必要な量の溶液を遠沈管に移して、3000 G で 20 分間遠心分離し、その上澄み液をメンブランフィルターでろ過して検液とする。

### 3.9.5. 検液の測定

- a) 固液分離後、速やかに、回収した検液の pH をはかり、記録する。
- b) JIS K 0102 に従って、測定対象物質の濃度をはかる。

### 3.10. 見掛けの分配係数の計算

見掛けの分配係数の計算は、次による。

吸着試験によって得られた溶液の濃度が定量下限値未満であった場合は、定量下限値を用いて計算するとともに、定量下限値未満であった旨を報告する。

#### 3.10.1. 吸着量の計算

湿潤液固比  $ls$  の試験における吸着量  $M_{(ls)}$  を、次の式により計算する。

$$V_{(ls)} = 0.5 + \frac{m_{\text{agent}(ls)} \times w_{\text{agent}}/100}{(1 + w_{\text{agent}}/100)} + \frac{m_{\text{soil}(ls)} \times w_{\text{soil}}/100}{(1 + w_{\text{soil}}/100)} + V_{\text{pre}(ls)}$$

$$C_{0(l_s)} = C_0 \times \frac{0.5}{V_{(ls)}}$$

$$M_{(ls)} = \frac{(C_{0(l_s)} - C_{(ls)}) \times V_{(ls)}}{(m_{\text{agent}(ls)} + m_{\text{soil}(ls)})}$$

ここで

$M_{(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における吸着量 (mg/kg)

$V_{(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における実溶液量 (L)

$m_{\text{agent}(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における吸着材の湿潤質量 (kg)

$m_{\text{soil}(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における地盤材料の湿潤質量 (kg)

$w_{\text{agent}}$  : 吸着材の含水比 (%)

$w_{\text{soil}}$  : 地盤材料の含水比 (%)

$V_{\text{pre}(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における浸漬養生時の添加水量 (L)

$C_{0(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における実添加液濃度 (mg/L)

$C_0$  : 吸着操作の前に添加した溶液中の対象物質の濃度 (mg/L)

$C_{(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における試験後の溶液濃度 (mg/L)

### 3.10.2. 吸着率の計算

吸着率を次の式により計算する。

$$\text{吸着率}(\%) = 100 \times \frac{(C_{0(ls)} - C_{(ls)})}{C_{0(ls)}}$$

ここで

$C_{0(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における実添加液濃度 (mg/L)

$C_{(ls)}$  : 湿潤液固比  $ls$  の試験における試験後の溶液濃度 (mg/L)

### 3.10.3. 各液固比における見掛けの分配係数の計算

各試験における試験条件および試験結果を、次の表に整理する。反復の3試験で外れ値が得られた場合は、再試験を実施するのが望ましい。

表 3.10.3-1 : バッチ吸着試験結果のまとめ例

湿潤液固比 (吸着材)	湿潤液固比 (吸着層材 料)	反復 回数	pH	試験後の 溶液濃度 $C_{(ts)}$ (mg/L)	吸着量 $M_{(ts)}$ (mg/kg)	吸着 率 (%)	吸着量 $M_{(ts)}$ / 試験後の溶液濃度 $C_{(ts)}$ (L/kg)	吸着量 $M_{(ts)}$ / 目標濃度 (L/kg)
100		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
250		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
500		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
750		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
1000		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
2500		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
5000		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
7500		N1						
		N2						
		N3						
		平均						
10000		N1						
		N2						
		N3						
		平均						

### 3.10.4. 吸着等温線

吸着試験後の溶液中の対象物質濃度  $C_{(s)}$  及び吸着量  $M_{(s)}$  の平均値から、吸着等温線を描く。

### 3.10.5. 目標濃度における見掛けの分配係数の計算

以下の手順および図 3.10.5-1 のフローチャートに従い、「目標濃度における見掛けの分配係数」を計算する。  
 なお、「目標濃度における見掛けの分配係数」の計算には反復の3試験の平均値を用いる。

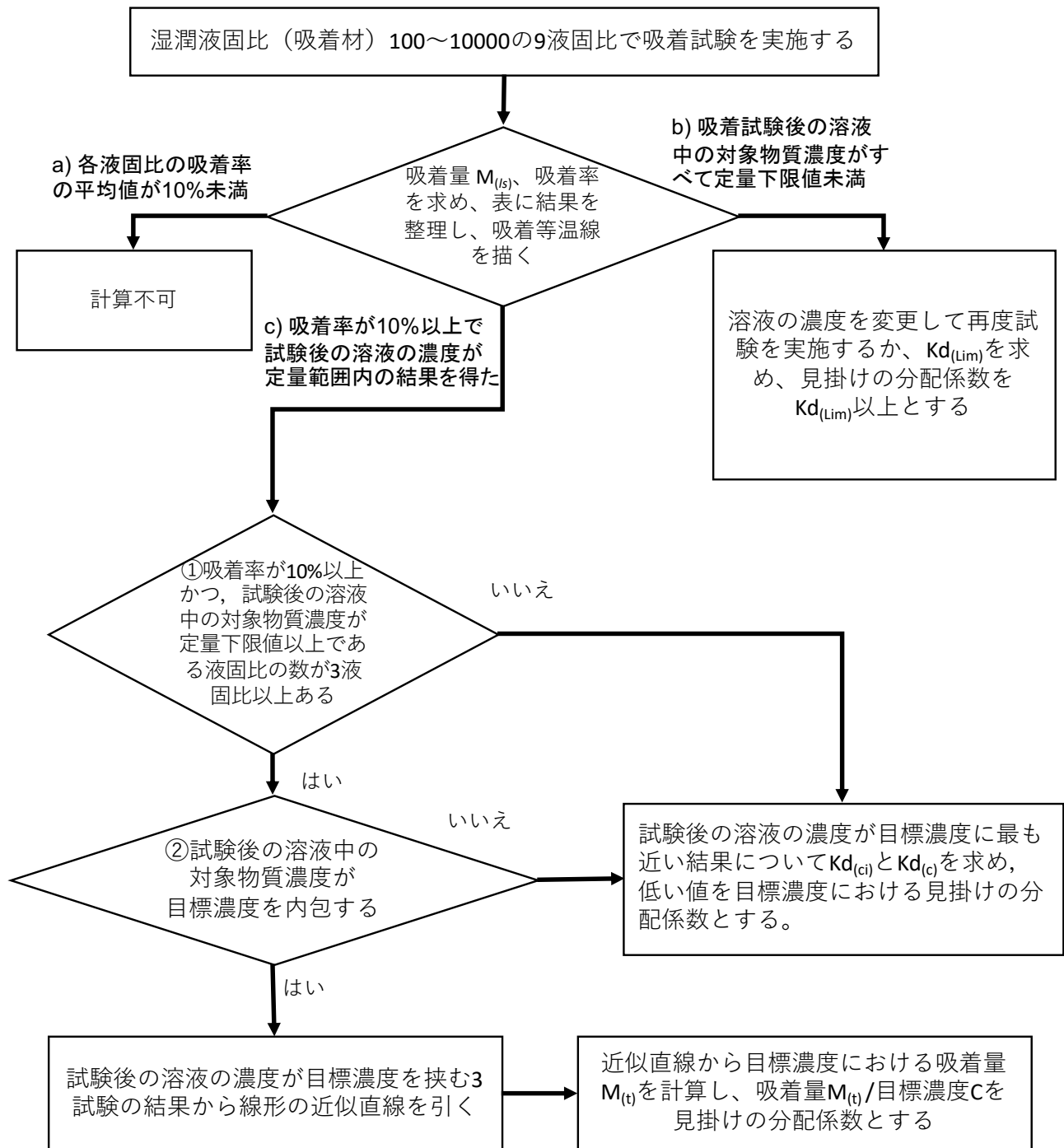


図 3.10.5-1：見掛けの分配係数計算のフローチャート

- a) 3.10.2 で計算する各液固比の吸着率の平均値が 10%未満であった場合は、計算不可とする。
- b) 吸着試験後の溶液中の対象物質濃度がすべて定量下限値未満であった場合は、以下の手順で「目標濃度における見掛けの分配係数」を計算する。

吸着試験において最も大きい湿潤液固比（通常は湿潤液固比（吸着材）で 10,000）の吸着試験後の溶液濃度が定量下限値と同じ濃度であるとみなし、「目標濃度における見掛けの分配係数」を次の式より計算する。

$$V_{(max)} = 0.5 + \frac{m_{agent(max)} \times w_{agent}/100}{(1 + w_{agent}/100)} + \frac{m_{soil(max)} \times w_{soil}/100}{(1 + w_{soil}/100)} + V_{pre(max)}$$

$$C_{0(max)} = C_0 \times \frac{0.5}{V_{(max)}}$$

$$M_{(Lim)} = \frac{(C_{0(max)} - C_{(Lim)}) \times V_{(max)}}{(m_{agent(max)} + m_{soil(max)})}$$

$$Kd_{(Lim)} = \frac{M_{(Lim,ave)}}{C}$$

ここで

$V_{(max)}$ ：湿潤液固比の最も大きい試験における実溶液量 (L)

$m_{agent(max)}$ ：湿潤液固比が最大の試験における吸着材の湿潤質量 (kg)

$m_{soil(max)}$ ：湿潤液固比が最大の試験における地盤材料の湿潤質量 (kg)

$w_{agent}$ ：吸着材の含水比 (%)

$w_{soil}$ ：地盤材料の含水比 (%)

$V_{pre(max)}$ ：湿潤液固比の最も大きい試験における浸漬養生時の添加水量 (L)

$C_{0(max)}$ ：湿潤液固比の最も大きい試験における実添加液濃度 (mg/L)

$C_0$ ：吸着操作の前に添加した溶液中の対象物質の濃度 (mg/L)

$M_{(Lim)}$ ：湿潤液固比の最も大きい試験における試験後の溶液の濃度を定量下限値とした場合の吸着量 (mg/kg)

$M_{(Lim,ave)}$ ：湿潤液固比の最も大きい試験における試験後の溶液の濃度を定量下限値とした場合の吸着量 (mg/kg) の平均値

$C_{(Lim)}$ ：対象物質の定量下限値 (mg/L)

$C$ ：目標濃度 (mg/L)

$Kd_{(Lim)}$ ：湿潤液固比の最も大きい吸着試験における吸着試験後の溶液中の対象物質濃度を定量下限値とみなした場合の見掛けの分配係数 (L/kg)

- c) a)および b)に該当しない場合（吸着率が 10%以上であり、かつ、吸着試験後の溶液中の対象物質濃度のいずれかが定量下限値以上である液固比が存在する場合）は、以下の方法で「目標濃度における見掛けの分配係数」を計算する。

まず、以下の二つの条件を満たすかを確認する。

- ① 吸着率が 10%以上であり、かつ、吸着試験で得られた溶液中の対象物質濃度が定量下限値以上である液固比の数が 3 液固比以上ある。
- ② ①を満たす液固比における吸着試験後の検液中の対象物質濃度の範囲が目標濃度を内包している。

(1) ①, ②の両方の条件を満たす場合

①, ②, 両方の条件を満たす場合は、以下の手順で「目標濃度における見掛けの分配係数」を計算する。

- 吸着試験後の溶液中の対象物質濃度が目標濃度を内包する 3 試験の結果から線形の近似直線を引く (図 3.10.5-2-I)。この場合、目標濃度を内包する 3 試験は、目標濃度を挟む 2 試験と、その 2 試験以外で最も吸着試験後の溶液濃度が目標濃度に近い 1 試験を選択する。
- 近似直線の式を求め、当該式から目標濃度における吸着量を計算する (図 3.10.5-2-II)。
- 近似直線により得られた吸着量および目標濃度から以下の式で、「目標濃度における見掛けの分配係数」を計算する (図 3.10.5-2-III)。

$$Kd_{(ct)} = \frac{M_{(t)}}{C}$$

ここで

$M_{(t)}$  : 目標濃度における吸着量 (mg/kg)

$C$  : 目標濃度 (mg/L)

$Kd_{(ct)}$  : 見掛けの分配係数(L/kg)

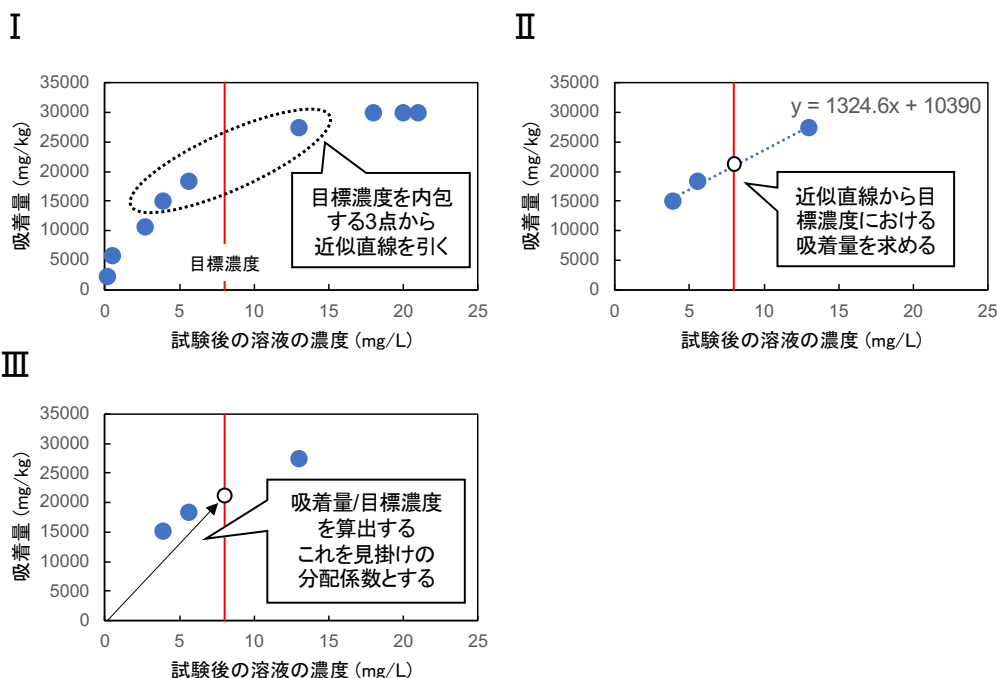


図 3.10.5-2 : 目標濃度における見掛けの分配係数の計算例

(2) (1)以外の場合 (①, ②の条件を両方満たす場合以外)

(1)以外の場合 (①, ②の条件を両方満たす場合以外) は、以下の手順で「目標濃度における見掛けの分配係数」を計算する。吸着試験後の溶液中の対象物質濃度が目標濃度に最も近い湿潤液固比  $i$  の試験結



果を用いて計算される  $Kd_{(cls)}$  と、目標濃度で計算される  $Kd_{(c)}$  と比較し、小さい値を「目標濃度における見掛けの分配係数」とする。

$$Kd_{(CAIs)} = \frac{M_{(AIs)}}{C_{(AIs)}}$$

$$Kd_{(c)} = \frac{M_{(i)}}{C}$$

ここで

$Kd_{(CAIs)}$  : 吸着等温線において目標濃度に最も近い湿潤液固比  $Is$  の試験結果と原点を結ぶ直線の傾き (L/kg)

$M_{(AIs)}$  : 吸着試験後の溶液中の対象物質濃度が目標濃度に最も近い湿潤液固比  $Is$  の試験における吸着量の平均値 (mg/kg)

$C_{(AIs)}$  : 目標濃度に最も近い湿潤液固比  $Is$  の試験における吸着試験後の溶液中の対象物質濃度の平均値 (mg/L)

$C$  : 目標濃度 (mg/L)

$Kd_{(c)}$  : 横軸 (吸着等温線における試験後の溶液の濃度) を目標濃度, 縦軸 (吸着量) を  $M_{(Is)}$  としてプロットした点と原点を結ぶ直線の傾き (L/kg)

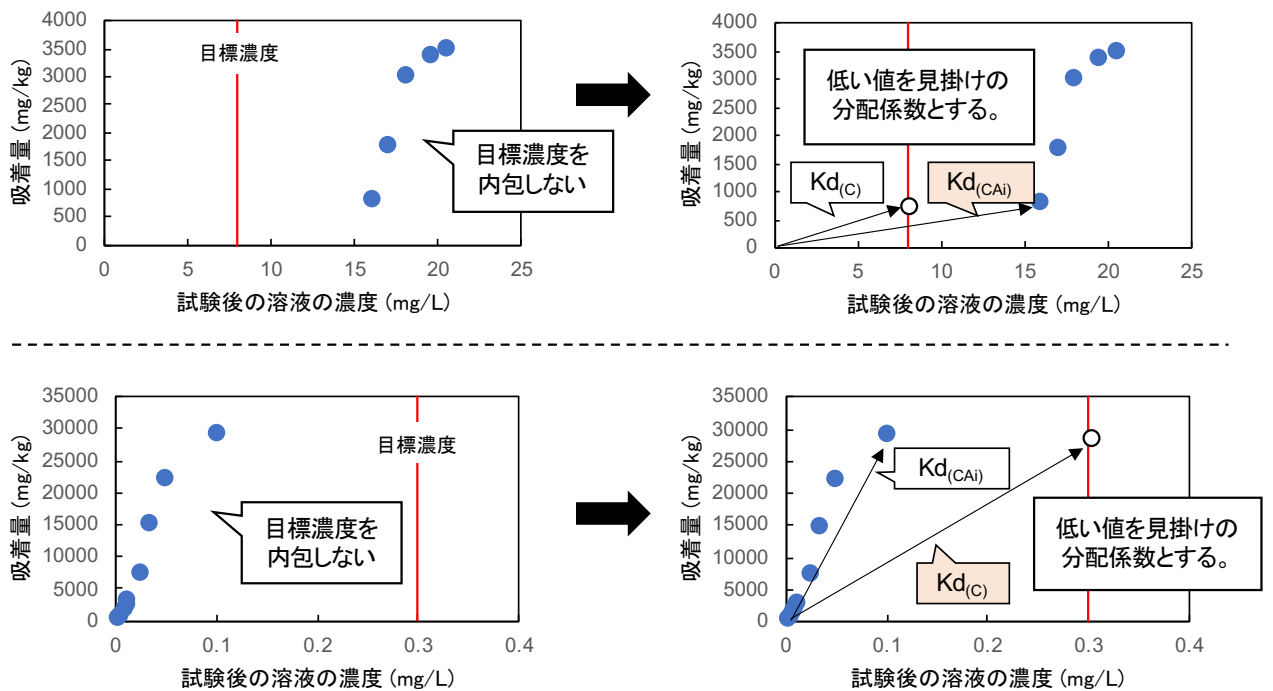


図 3.10.5-3 : (1)以外の場合の目標濃度における見掛けの分配係数の計算例

### 3.11. 試験報告書

試験報告書には、次の内容を記載する。

表 3.11 : 試験報告書に記載する項目と内容

項目	内容
試験方法の名称	試験方法の名称
試験の実施日	試験の実施日
試験の実施者	試験所名及び所在地
試料の調製方法	吸着材及び地盤材料の種類, 吸着材及び地盤材料の質量, 吸着材及び地盤材料の保管履歴, 地盤材料の風乾操作実施の有無, 混合割合, 並びに吸着材及び地盤材料の含水比
バッチ試験方法	試験温度, 目標濃度, 試薬の名称, 溶液の対象物質濃度, pH, pH 調整の有無, pH 調整に用いた試薬の名称
測定対象物質	測定対象物質の名称, 分析方法, 及び定量下限値
各試験の測定値および計算値	3.10.3 で整理した試験結果の表, 試験後の pH
吸着等温線	3.10.4 で描いた吸着等温線のグラフ
目標濃度における見掛けの分配係数	求めた見掛けの分配係数 (L/kg) の値
その他	この試験方法の範囲内及び範囲外のあらゆる試験条件の詳細, 並びに試験結果に影響を与えた可能性のあるあらゆる要因 (使用した地盤材料の基礎物性等)

#### 4. 吸着層工法に使用する材料等のカラム吸着試験方法(案)

##### 4.1. はじめに

この試験方法(案)は、掘削土やズリ等から溶出する自然由来重金属等(カドミウム(Cd)、六価クロム(Cr(VI))、水銀(Hg)、セレン(Se)、鉛(Pb)、砒素(As)、ふっ素(F)、ほう素(B))への対策工である、吸着層工法に用いる材料の吸着特性を評価するためのカラム吸着試験の方法を記している。

##### 4.2. 用語及び定義

この試験方法で用いる主な用語を表 4.2-1 のとおりに定義する。

表 4.2-1：この試験方法で用いる用語と定義

用語	定義
自然由来重金属等	地質に自然的原因で存在する有害物質。ここでは、土壤汚染対策法の特定有害物質として指定されるカドミウム(Cd)、六価クロム(Cr(VI))、水銀(Hg)、セレン(Se)、鉛(Pb)、ヒ素(As)、ふっ素(F)、ほう素(B)、の8つの無機物質を指す。
吸着材	自然由来重金属等に対して吸着性を有し、吸着層に混合する材料
吸着層	自然由来重金属等を含む掘削土やズリ等の下部に設ける、自然由来重金属等を吸着するための土層。人工的に作製された吸着材を地盤材料に添加する場合が多い。
地盤材料	吸着層に混合する土質材料
吸着層材料	吸着材と地盤材料を混合したもの
対象物質	自然由来重金属等のうち、本試験で吸着性能の評価対象とする物質。
流入液	カラムに通水する液体で、対象物質を所定の濃度(目標濃度)で溶解させたもの
流出液	カラム試験で回収する液体
液固比	試料の乾燥質量(kg)に対する、試料に接触させる溶液の体積(L)の比。単位はリットル毎キログラム(L/kg)
累積液固比	各画分の液固比を足し合わせたもの。カラムに充填した試料の乾燥質量(kg)に対する流出液の累積流量(L)の比を意味する。単位はリットル毎キログラム(L/kg)
比濃度	カラムから流出した液の対象物質濃度を、カラム試験に用いる流入液の対象物質濃度で除した値
破過曲線	カラム吸着試験から得られる、累積液固比—流出液の対象物質濃度、もしくは比濃度プロファイル
見掛けの分配係数	吸着層材料に分配された対象物質の質量を、カラム吸着試験に用いる流入液の対象物質濃度で除した値。 本来であれば、カラム吸着試験終了時のカラム間隙内の溶液濃度を流入液の代わりに用いることが適切であるが、以下の理由により本試験方法では流入液の濃度を使用する：①カラム試験終了時に比濃度が1に達している場合は、カラム内間隙の溶液濃度は流入液の濃度と等しくなる。②一方、カラム試験終了時に比濃度が1未満の場合は、カラム間隙内の濃度分布を正確に把握することができないため、見掛けの分配係数を過大に評価しない観点から間隙内濃度として最も高いと考えられる流入

	液の濃度を使用する。
目標濃度	見掛けの分配係数を計算する際に用いる溶液の対象物質濃度。本試験法では、流入液の対象物質濃度となる。 基本的には盛土等から吸着層に流入する浸透水中の自然由来重金属等の推定濃度に基づいて、目標濃度を設定する。推定が困難である場合（対象土壌がない場合を含む）は、対象物質がふっ素又はほう素の場合は土壌溶出量基準の 10 倍、その他の物質は土壌溶出量基準の 30 倍の濃度を目標濃度とする。カラムに通水する溶液の濃度は目標濃度に設定する。
デッドボリューム	カラム上下端に繋いだチューブの体積、およびカラム上下端の蓋の部分の体積の合計。 カラム内に充填した吸着層材料の間隙体積に対してデッドボリュームの体積が大きいくほど、カラム吸着試験を行う際の誤差が生じやすくなるため、デッドボリュームを極力小さくすることが望ましい。

#### 4.3. 試験方法の概要

試験は、カラムに充填した、吸着材と地盤材料を混合した吸着層材料へ、溶液を上向きに流すことによって行う。地盤材料は、粒径を 4.75 mm 以下に調整することを基本とする。吸着層材料を規定の方法でカラムに充填する。水を溶媒とし、溶媒に対象物質を含む試薬を溶解させた溶液を、規定の流量速度でカラムの底部から頂部に向かって連続的に通水する。頂部から流出する流出液を採取する容器を交換することで幾つかの画分に分けて採取する。流出液の総量が目標とする累積液固比 (L/kg) に到達したら、通水を終了する。流出液中の対象物質の濃度 (mg/L) を測定し、試験結果は、濃度 (mg/L) を累積液固比に対して整理して表示する。

注 各試験条件の考え方は、Appendix-B 参照

#### 4.4. 試薬

試薬は、次による。

- A) 水 JIS K 0557 に規定する A3 又は A4 の水
- B) 塩酸 有害金属測定用、又はそれと同等の品質のもの。
- C) 水酸化ナトリウム JIS K 8576 に規定する特級、又はそれと同等の品質のもの。
- D) 流入液調製用試薬 対象物質を含む水への溶解性が高い特級試薬あるいは JCSS 化学分析用標準液。なお試薬の価数が複数ある物質（ヒ素およびセレン）を対象物質とする場合は、それぞれ価数について溶解性が高い特級試薬あるいは JCSS 化学分析用標準液を用いることとする。

#### 4.5. 装置及び器具

装置及び器具は、次による。なお、流入液又は流出液に接触する部分の材質は、対象物質を溶出せず、且つ吸着しないものでなければならない。

- A) カラム カラムは、内径 50 mm の円筒で、試料を厚さ 50 mm ± 5 mm に充填できるもの。カラムの両端は、チューブ (4.5-B)参照) を接続でき、かつ、それ自体をカラムから着脱できる部品を取り付ける。チューブの体積はできる限り小さくすることで、試験の誤差を小さくすることが望ましい。また、通水

中に試料を流出させないためのプレフィルター（4.5-D参照）を試料と多孔板の間に設置する。コラム及び付帯装置の例を、図 4.5-1 に示す。

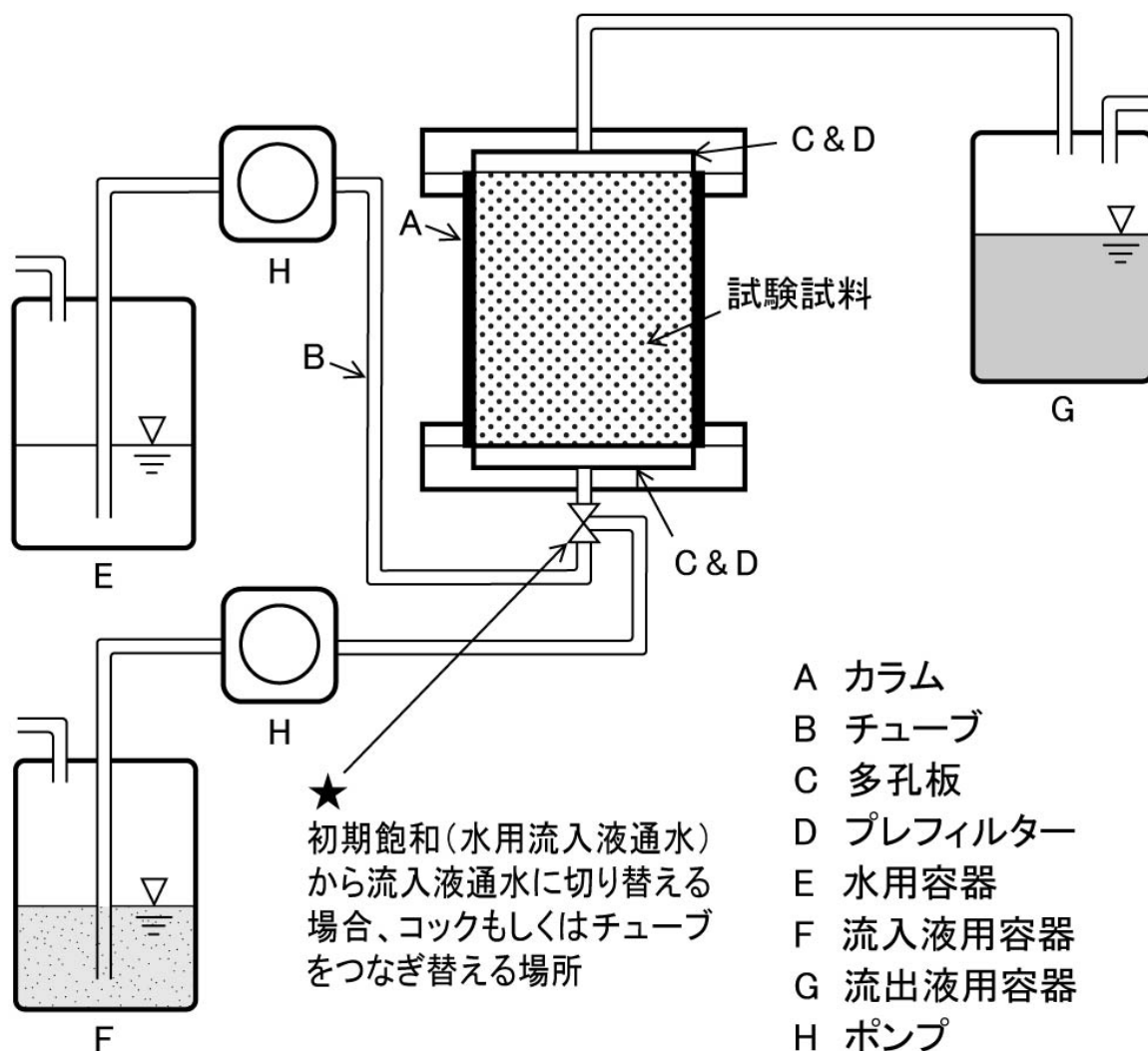


図 4.5-1：コラム及び付帯装置の例

- B) チューブ チューブは、コラムと付帯装置とを接続できるもの
- C) 多孔板 多孔板は、孔を多数空けた円盤、又は粒子を焼結したもの
- D) プレフィルター プレフィルターは、孔径  $1\ \mu\text{m}$ ～ $20\ \mu\text{m}$  のもの
- E) 水用容器 水用流入液容器は、チューブを接続できる蓋又は覆いを備えるもの
- F) 流入液用容器 流入液容器は、チューブを接続できる蓋又は覆いを備えるもの
- G) 流出液用容器 流出液容器は、チューブを接続できる蓋又は覆いを備えるもの。測定対象物質が室内空気の影響を受ける場合は、水封機構を設けるなどして流出液容器内を室内空気から隔離する。
- H) ポンプ ポンプは、規定の流量を安定して送液できるもの
- I) メスシリンダー メスシリンダーは、容積 50 mL 又は 100 mL のもの
- J) 遠心分離装置 遠心分離装置は、遠心加速度 3000 G 以上に設定できるもの。温度の上昇を防止するために、冷却機能付きのものが望ましい。
- K) 遠沈管 遠沈管は、遠心分離装置に適した形状及び強度で、密閉用の蓋を備えるもの

- L) **メンブランフィルター** メンブランフィルターは、孔径 0.45 μm のもの
- M) **pH 計** pH 計は、JIS Z 8802 に規定する繰返し性が±0.05 以下のもの
- N) **電気伝導率計** 電気伝導率計は、JIS K 0130 に規定する 0.1 mS/m 以下の測定範囲をもつもの
- O) **はかり** はかりは、最小読み取り値が 0.1 g 以下のもの
- P) **ふるい** ふるいは、JIS Z 8801-1 に規定する金属製の網ふるい、又は同等の仕様をもつ非金属製の網ふるいを用いる。
- Q) **ランマー** ランマーは、125 g の質量のもので、かつ、打設面の直径がカラム内径の 0.9 倍以上のものを用いる。
- R) **へら**

#### 4.6. 試料の準備

##### 4.6.1. 試料の調製

吸着材と地盤材料は、おおむね 20°C で容器に密閉して保管する。地盤材料は、未乾燥のまま、目開き 4.75 mm のふるいを通過させる。ただし、水を多く含むためにふるいの通過が困難な場合は、ふるいを通す前に、地盤材料を 30°C 未満で風乾してもよい。目開き 4.75 mm のふるいを通過しなかった地盤材料の種類と質量を記録する。

地盤材料は、実際の現場で使用する地盤材料を用いることを基本とするが、現地で用いる地盤材料が決まっていない場合は、豊浦砂を使用することとする。豊浦砂を選定した理由として、透水性を確保すること、標準試料であり比較的高い再現性が見込めることが挙げられる。

吸着材と地盤材料の混合割合を 3%~30%の間の任意の値に設定する。混合割合は、地盤材料と吸着材の混合物全体の湿潤質量に対する吸着材の湿潤質量比とする。

事前に予備充填試験を実施し、充填高さ 50 mm に相当する試料の質量を設定する。当該質量を 5 等分した質量を 1 層分の充填量とする。1 層分の吸着材と地盤材料の湿潤質量を次の式を用いて計算し、それぞれ取り分ける。

$$m_{\text{agent}_1} = m_1 \times \frac{p}{100}$$

$$m_{\text{soil}_1} = m_1 \times \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

ここで、

$m_{\text{agent}_1}$  : 1 層分の吸着材の湿潤質量 (kg)

$m_{\text{soil}_1}$  : 1 層分の地盤材料の湿潤質量 (kg)

$m_1$  : 1 層分の吸着層材料の湿潤質量 (kg)

$p$  : 混合割合 (%)

取り分けた吸着材と地盤材料を混合し、1 層分の吸着層材料とする。混合の際には、非帯電性の容器やさじを使って静電気が発生しないようにゆっくりとよく混合する。合計 5 層分の吸着層材料を調製する。

##### 4.6.2. 含水比の測定

地盤材料の一部を採取して、JIS A 1203 に従って含水比を測定する。吸着材の一部を採取して、材料の変質が

生じないこと等に配慮した方法によって含水比を測定する。

## 4.7. 試験方法

### 4.7.1. 温度

試験は、おおむね 20°C で行う。

### 4.7.2. 流入液の調製

対象物質及び目標濃度（表 4.2-1 目標濃度の項を参照）を設定する。対象物質を含む試薬を水に添加し、流入液を調製して、流入液容器に入れる。対象としたい物質が複数ある場合は、複数の試薬を水に添加して流入液を作成してもよい。流入液中の対象物質濃度は、目標濃度とする。調製後の溶液の pH を測定し、5.8～6.5 の範囲外であった場合、水酸化ナトリウム水溶液又は塩酸で pH の調整を行う。流入液を調製する毎に、対象物質の濃度、pH、並びに電気伝導率をそれぞれ JIS K 0102, JIS Z 8802, 並びに JIS K 0130 に準ずる方法で測定する。

### 4.7.3. カラムの準備及び吸着層材料のカラムへの充填

- カラム及び付帯装置のうち水、流入液又は流出液に直接接触する部分を、硝酸で洗浄する。洗浄後、水で十分にすすぎ、乾燥する。
- カラム底部側の部品、プレフィルター及び必要に応じて多孔板をカラムに取り付ける。これらを設置後、全体の質量 (kg) をはかる。これを空のカラム質量と呼ぶ。
- 4.6.1 で調整した試験に用いる吸着層材料を、1 層分ずつ 5 回に分けてカラムに入れることで充填する。各層について毎回、へらで平らにならす。一つ分を入れ終えるごとに、試料面からおおむね 200 mm の高さからランマーを 3 回落下させて締固めを行う。締固め後、次の層との密着をよくするために、試料面にへらで縦横に線を刻む。四つ目を入れ終えたら充填した吸着層材料の高さをはかり、最終的に 50 mm ± 5 mm になるように最後に入れる吸着層材料の量を調整する。最後の締固め後、吸着層材料の充填高さ及び全体の質量をはかる。

注 詳細は、Appendix-A 参照

- カラムに充填した試料の乾燥質量を、次の式を用いて計算する。

$$m_d = (m_{\text{col\_fill}} - m_{\text{col\_emp}}) \times \frac{1}{1 + w/100}$$
$$w = \frac{(m_{\text{col\_fill}} - m_{\text{col\_emp}}) - (m_{d,\text{agent}} + m_{d,\text{soil}})}{m_{d,\text{agent}} + m_{d,\text{soil}}}$$
$$m_{d,\text{agent}} + m_{d,\text{soil}} = \frac{(m_{\text{col\_fill}} - m_{\text{col\_emp}}) \times p/100}{(1 + w_{\text{agent}}/100)} + \frac{(m_{\text{col\_fill}} - m_{\text{col\_emp}}) \times (1 - p/100)}{(1 + w_{\text{soil}}/100)}$$

ここで、

$m_d$  : カラムに充填した吸着層材料の乾燥質量 (kg)

$m_{\text{col\_fill}}$  : 試料を充填した後のカラムの質量 (kg)

$m_{\text{col\_emp}}$  : 試料を充填する前の空のカラム質量 (kg)

$w$  : 吸着層材料の含水比 (%)

$m_{d,\text{agent}}$  : カラムに充填した吸着材の乾燥質量 (kg)

$m_{d,\text{soil}}$  : カラムに充填した地盤材料の乾燥質量 (kg)

$w_{\text{agent}}$  : 吸着材の含水比 (%)

$w_{\text{soil}}$  : 地盤材料の含水比 (%)

$p$  : 混合割合 (%)

- e) 空の流出液容器の質量をはかり、カラム、流入液用容器、流出液容器、及びポンプをチューブで接続する (図 4.5-1 を参照)。

#### 4.7.4. 初期飽和

- a) カラム内の試料を飽和させるために、水を通水する。つまり、水用容器 (図 4.5-1 : E) に接続するチューブをカラム下端に連結する。
- b) ポンプを始動し、流量速度が  $72 \text{ mL/h} \pm 6 \text{ mL/h}$  になるように通水し、カラム内の水位を上昇させる。
- c) カラム内の水位が試料の上端まで到達した後にカラム上端に繋いだチューブ先端から流出液が 1 滴得られたら、水位の上昇を停止してカラム入口側の流路を閉じ、24 時間静置する。

#### 4.7.5. 通水の開始

- a) 流入液を蒸留水から対象物質を含む液に切り替える。つまり、水用容器 (図 4.5-1 : E) に接続するチューブにかわり、流入液用容器 (図 4.5-1 : F) に接続するチューブをカラム下端に連結する。
- b) ポンプを始動し、流量速度が  $72 \text{ mL/h} \pm 6 \text{ mL/h}$  になるようにポンプの流量を調整する。
- c) 採水の度に、採水した溶液の質量から流量速度を計算し、流量速度が規定の範囲から外れている場合は、範囲内に収まるようにポンプの流量を調整する。また、頂部側のプレフィルターの目詰まりを確認する。目詰まりが生じている場合は、頂部側のプレフィルターを交換する。

注 流量測定方法の詳細は、Appendix-A 参照

#### 4.7.6. 流出液の回収及び測定

- a) 一定時間おきに各画分を採取する。回収する各画分の採水時間を時間間隔によって設定する。通水初日は、採水時間間隔を 2 時間として、合計 3 回の採水を行う。通水開始から 2~7 日目は、1 日 2 回採水する。ただし、同じ日の採水間隔は 6 時間以上あけることにする。8 日目以降は、24 時間経過毎に一度採水を行う。

表 4.7-1 採水頻度

日	採水頻度
通水初日	採水時間間隔を 2 時間として、合計 3 回 (通水開始から 2 時間後、4 時間後、6 時間後)
通水開始から 2~7 日目	1 日 2 回採水。ただし、同じ日の採水間隔は 6 時間以上あけることとする (例 : 9 時と 16 時に採水)
通水開始から 8 日目以降	24 時間経過毎に 1 日 1 回採水。(例 : 毎日 9 時)

- b) ある画分の採水を終了する時間に達したら、流出液容器を交換し、時刻を記録する。
- c) 流出液容器を交換したら、速やかに、次の操作を行う。
- (ア) 流出液の入った容器の質量をはかる。
- (イ) 通水初日の 1 回目に採水したサンプルについては、流出液のうちの 30 mL 以上を、あらかじめ空の質量をはかったメスシリンダーに取り分け、その体積及び全体の質量をはかり、流出液の体積に対する質量の比が  $1.01 \text{ kg/L}$  未満であることを確認する。



なお、この測定で流出液の体積に対する質量の比が 1.01 kg/L 以上の場合は、通水初日の 1 回目に採水したサンプル以降のサンプルについても (イ) の手順で流出液の体積に対する質量の比を求めることとする。

(ウ) 流出液の固液分離を行う。固液分離は、次による。

- 1) 固液分離を行う流出液の量は、測定対象物質の分析に必要な量でよい。
- 2) 3000 G で 20 分間遠心分離を行った後、メンブランフィルターを用いて上澄み液をろ過する。

なお、遠心分離を省略し、流出液を直接ろ過することも可能である。

- d) 固液分離後、速やかに、回収した流出液の pH 及び電気伝導率をはかる。
- e) JIS K 0102 に従って、測定対象物質の濃度をはかる。
- f) 全ての画分の採水を終えた後、カラムを解体する際には、カラム充填試料の高さをはかる。
- g) カラム吸着試験は、累積液固比が 400 に達するまで行う。試験者が望む場合、液固比 400 を超えての試験の実施についても液固比 1000 を上限として認める。なお、流出液の比濃度が  $1.0 \pm 0.1$  の範囲の値を 4 日間以上継続してとり続けることが観測された場合は、その時点で試験を終了することができる。

#### 4.7.7. デッドボリユームの測定

カラム上下端に繋いだチューブの体積、およびカラム上下端の蓋の部分の体積を測る。それらを合計し、デッドボリユームとする。

カラムの蓋の部分のデッドボリユームは、カラム上端及び下端それぞれについて、カラムの蓋にプレフィルターを取り付け、流出口をふさいだ状態で注水を行い、蓋の部分にたまった水量から求めるとよい。チューブ及び接続部のデッドボリユームは、チューブ等の断面積と長さから体積を計算する、もしくは、チューブ等を水で満たし、その水量から求めるとよい。

#### 4.8. 計算

各画分の測定値及び見掛けの分配係数の計算方法を以下に示す。

##### 4.8.1. 流出液の全質量

$$m_{\text{eff}(i)} = m_{\text{ves\_fill}(i)} - m_{\text{ves\_emp}(i)}$$

ここで、

$m_{\text{eff}(i)}$  : 画分  $i$  の流出液の全質量 (kg)

$i$  : 画分番号 (1, 2, ..., n)

$m_{\text{ves\_fill}(i)}$  : 画分  $i$  の流出液が入った流出液容器の質量 (kg)

$m_{\text{ves\_emp}(i)}$  : 画分  $i$  の空の流出液容器の質量 (kg)

##### 4.8.2. 液固比及び累積液固比

###### a) 液固比

$$LS_{(i)} = \frac{V_{\text{eff}(i)}}{m_d}$$

$$V_{\text{eff}(i)} = \frac{m_{\text{eff}(i)}}{\rho_{\text{eff}(i)}}$$

ここで、

$LS_{(i)}$  : 画分  $i$  の液固比 (L/kg)

$i$  : 画分番号 (1, 2, ..., n)

$V_{\text{eff}(i)}$  : 画分  $i$  の流出液の全体積 (L)

$m_d$  : カラムに充填した試料の乾燥質量 (kg)

$m_{\text{eff}(i)}$  : 画分  $i$  の流出液の全質量 (kg)

$\rho_{\text{eff}(i)}$  : 画分  $i$  における流出液の体積に対する質量の比 (kg/L)。4.7.6 c) で 1.01 L/kg 以下であることを確認し、測定を省略した場合は 1.00 L/kg とする。

#### b) 累積液固比

$$LS_{\text{cum}(i)} = \sum LS_{(i)}$$

ここで、

$LS_{\text{cum}(i)}$  : 画分  $i$  までの累積液固比 (L/kg)

$i$  : 画分番号 (1, 2, ..., n)

$LS_{(i)}$  : 画分  $i$  の液固比 (L/kg)

#### 4.8.3. 平均流量速度

$$r_{(i)} = \frac{V_{\text{eff}(i)}}{t_{(i)} - t_{(i-1)}} \times 1000$$

ここで、

$r_{(i)}$  : 画分  $i$  の平均流量速度 (mL/h)

$i$  : 画分番号 (1, 2, ..., n)

$V_{\text{eff}(i)}$  : 画分  $i$  の流出液の全体積 (L)

$t_{(i)}$  : 通水開始から画分  $i$  の採水を終了するまでの時間 (h)

$r_{(i)}$  が  $72 \pm 6$  mL/h の範囲にあることを、画分毎に確認する。

注 画分  $i$  の流出液の全体積の求め方については、9.2 a) 参照。

#### 4.8.4. 吸着量及び累積吸着量

##### a) 吸着量

$$M_{(i)} = \{C_{\text{inf}(i)} - C_{(i)}\} \times LS_{(i)}$$

ここで、

$M_{(i)}$  : 画分  $i$  における測定対象物質の吸着量 (mg/kg)

$i$  : 画分番号 (1, 2, ..., n)

$C_{\text{inf}(i)}$  : 画分  $i$  の採水中に通水した流入液中の測定対象物質の濃度 (mg/L)

$C_{(i)}$  : 画分  $i$  における流出液中の測定対象物質の濃度 (mg/L)

$LS_{(i)}$  : 画分  $i$  の液固比 (L/kg)

なお、流出液中の測定対象物質の濃度が定量下限値以下の場合は、定量下限値を用いて計算する。また、4.7.2 で複数種類の試薬を用いて流入液を作製した場合には、それぞれの物質毎に吸着量を求める。

注 デッドボリュームと間隙体積に関する補正を考慮した計算方法は、Appendix-A.4 参照

b) 累積吸着量

$$M_{cum(i)} = \sum_{(i)} M_{(i)}$$

ここで、

$M_{cum(i)}$  : 画分  $i$  までの測定対象物質の累積吸着量 (mg/kg)

$i$  : 画分番号 (1, 2, ..., n)

$M_{(i)}$  : 画分  $i$  における測定対象物質の吸着量 (mg/kg)

4.7.2 で複数種類の試薬を用いて流入液を作製した場合には、それぞれの物質毎に吸着量を求める。

4.8.5. 見掛けの分配係数

$$K_{d\_app} = \frac{K_{d\_app}'}{(1 + w/100)}$$

$$K_{d\_app}' = \frac{M_{cum}}{C_{ave,inf}}$$

ここで、

$K_{d\_app}$  : 見掛けの分配係数 (L/kg)

$K_{d\_app}'$  : 吸着層材料の乾燥質量換算の見掛けの分配係数 (L/kg)

$M_{cum}$  : 最終画分までの測定対象物質の累積吸着量 (mg/kg)

$C_{ave,inf}$  : 流入溶液中の対象物質濃度の平均値 (mg/L)

$w$  : 吸着層材料の含水比 (%)

なお、試験終了時点での比濃度が 0.9 より小さい場合は、求めた見掛けの分配係数の値に「以上」を付して報告する。また、4.7.2 で複数種類の試薬を用いて流入液を作製した場合には、それぞれの物質毎に見掛けの分配係数を計算する。

4.9. 試験報告書

試験報告書には、表 4.9-1 に示す項目と内容を記載する。

表 4.9-1 : 試験報告書に記載する項目と内容

項目	内容
試験方法の名称	試験方法の名称
試験の実施者	試験所名及び所在地
試料の調製方法	吸着材及び地盤材料の種類、吸着材及び地盤材料の保管履歴、地盤材料の風乾操作実施の有無、取り除いた地盤材料の種類及び質量割合、混合割合、並びに吸着材及び地盤材料の含水比
カラム試験方法	試験温度、対象物質、試薬の名称、流入液の対象物質濃度、pH、及び電気伝導率、pH 調整の有無、カラム充填試料の初期高さ（ノギスを用いて小数点以下第

	一位まで測定) 及び乾燥質量, 初期飽和の方法, 初期飽和完了から通水開始までの静置時間, 通水開始日時, 流量速度の目標値, 通水終了日時, カラム充填試料の最終高さ, 並びにデッドボリューム
流出液の固液分離方法	遠心分離の実施の有無, 遠心分離を実施した場合は, その条件 (遠心加速度, 遠心分離時間, 温度など), ろ過操作実施の有無, 及びろ過操作を実施した場合は, その方法 (吸引ろ過又は加圧ろ過の別)
測定対象物質	測定対象物質の名称, 分析方法, 及び定量下限値
各画分の測定値	第1画分から最終画分のそれぞれについて, 流出液容器の交換時刻, 採水時間, 流出液の全質量, 流出液の体積に対する質量の比, 液固比, 累積液固比, 平均流量速度, 流出液の pH, 電気伝導率, 並びに測定対象物質の濃度, 比濃度, 吸着量, 及び累積吸着量
破過曲線	カラム試験で得た各画分の対象物質の濃度を縦軸, 累積液固比を横軸としたグラフもしくは比濃度プロファイル
見掛けの分配係数	求めた分配係数の値を単位 L/kg として記載する。試験終了時の比濃度が 0.9 より小さい場合は, 求めた見掛けの分配係数の値に「以上」を付ける。
その他	この試験方法の範囲内及び範囲外のあらゆる試験条件の詳細, 並びに試験結果に影響を与えた可能性のあるあらゆる要因 (使用した地盤材料の基礎物性等)

## Appendix-A カラム吸着試験の各試験操作の参考手順

### A.1 一般

この Appendix は、カラム吸着試験の各試験操作の参考となる手順を示す。

### A.2 試料の充填

- a) **ランマーのガイドの活用** ランマーを確実に試料面へ落下させるために、円筒状のランマーに棒を通してガイドとするとよい。その場合は、あらかじめ、直径がカラム内径のおおよそ 0.9 倍の円盤を試料の上に置く。
- b) **頂部付近でのカラーの活用** 頂部付近での充填作業の際、試料がこぼれ落ちるのを防ぐために、カラムと同じ内径のカラーをカラム頂部に継ぎ重ねるとよい。
- c) **地盤材料の風乾操作の留意点** 地盤材料の含水比が高い場合に、風乾を行うと、酸化、炭酸化などが進む可能性がある。これらの影響を避けたい場合は、不活性雰囲気乾燥させる必要がある。

### A.3 通水中の流量及び試料の状態の管理

- a) **流量測定方法の例** 出口側チューブから流出する流出液を、15 分以上の一定時間、ビーカーなどに受け、質量の変化を測定するとよい。測定後は、ビーカーなどに受けた流出液を全て流出液容器に加える。別の方法として、15 分以上の一定時間、流出液容器そのものの質量の変化を測定してもよい。必要に応じて、頂部側プレフィルターの目詰まりを目視で確認し、目詰まりが起きている場合は、プレフィルターを交換するとよい。
- b) **通水中の充填高さの低下への対応** 細粒分を多く含む試料の場合は、通水中に充填高さが低下する可能性がある。そのため、試験終了後にも試料の充填高さを測定し、最終的な沈下量を把握する。

### A.4 吸着量を求める際のデッドボリューム及び間隙体積の補正

この試験方法では累積液固比が 400 になるまで通水することを基本としており、その場合にはデッドボリュームや試料内の間隙体積は通水体積と比較して極めて小さいことから無視できると仮定して、吸着量の計算におけるこれらの補正を省略した。しかし、累積液固比が 400 になる前に試験を終了するなどの通水体積が小さくなる場合や吸着量の計算をより正確に行う必要がある場合には、以下の式を用いて画分 1 の対象物質の吸着量を求めることができる。

$$M_{(1)} = \{C_{\text{inf}(1)} - C_{(1)}\} \times LS_{(1)} - C_{\text{inf}(1)} \times \frac{(V_{\text{dead}} + V_{\text{pore}})}{m_d}$$

ここで、

$M_{(1)}$  : 画分 1 における測定対象物質の吸着量 (mg/kg)

$C_{\text{inf}(1)}$  : 画分 1 の採水中に通水した流入液中の測定対象物質の濃度 (mg/L)

$C_{(1)}$  : 画分 1 における流出液中の測定対象物質の濃度 (mg/L)

$LS_{(1)}$  : 画分 1 の液固比 (L/kg)

$V_{\text{dead}}$  : デッドボリュームの体積 (L)

$V_{\text{pore}}$  : カラム内の間隙体積 (L)

注 カラム内間隙体積の求め方は A.5 参照

#### A.5 カラム内の間隙体積の求め方

カラム内の間隙体積は、吸着層材料の粒子密度と乾燥質量から計算した吸着層材料の体積をカラム体積から差し引くことで求めることができる。吸着材と地盤材料の粒子密度に大きな差がない場合や混合割合が小さい場合には、吸着層材料の粒子密度の代わりに地盤材料の土粒子密度を用いてもよい。また、簡易的な方法として、初期飽和が終了した後のカラムの全質量からデッドボリュームを含む初期飽和前のカラムの全質量とデッドボリュームを質量換算した値とを差し引いた値、つまり間隙を満たした水量、から間隙体積を概算してもよい。

##### a) 吸着層材料の粒子密度を用いる方法

$$V_{\text{pore}} = V_{\text{col}} - m_d / \rho_s \times 1000$$

$$\rho_s = \frac{m_d}{\frac{m_d \times p' / 100}{\rho_{s,\text{agent}}} + \frac{m_d \times (1 - p' / 100)}{\rho_{s,\text{soil}}}} = \frac{\rho_{s,\text{agent}} \times \rho_{s,\text{soil}}}{p' / 100 \times \rho_{s,\text{soil}} + (1 - p' / 100) \times \rho_{s,\text{agent}}}$$

$$p' = \frac{\frac{m_{\text{agent}}}{(1 + w_{\text{agent}} / 100)}}{\frac{m_{\text{agent}}}{(1 + w_{\text{agent}} / 100)} + \frac{m_{\text{soil}}}{(1 + w_{\text{soil}} / 100)}}$$

ここで、

$V_{\text{pore}}$  : カラム内の間隙体積 (L)

$V_{\text{col}}$  : カラムの体積 (L)

$m_d$  : カラムに充填した吸着層材料の乾燥質量 (kg)

$\rho_s$  : 吸着層材料の粒子密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_{s,\text{agent}}$  : 吸着材の粒子密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_{s,\text{soil}}$  : 地盤材料の土粒子密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m_{\text{agent}}$  : カラムに充填した吸着材の湿潤質量 (kg)

$m_{\text{soil}}$  : カラムに充填した地盤材料の湿潤質量 (kg)

$m_{d,\text{agent}}$  : カラムに充填した吸着材の乾燥質量 (kg)

$m_{d,\text{soil}}$  : カラムに充填した地盤材料の乾燥質量 (kg)

$p'$  : 乾燥質量換算の混合割合 (%)

$w_{\text{agent}}$  : 吸着材の含水比 (%)

$w_{\text{soil}}$  : 地盤材料の含水比 (%)

なお、地盤材料の土粒子密度は、JISA 1202 に準ずる方法で測定する。吸着材の粒子密度は、材料の変質等が生じない方法により測定する。

## Appendix-B カラム吸着試験方法の各試験条件の考え方

### B.1 一般

この Appendix は、カラム吸着試験方法の各試験条件の考え方を示す。この試験方法は、再現性の高い結果をできるだけ短期間で得られるように、各試験条件を設定している。

### B.2 通水方向

この試験方法は、溶液を上向きに流すことによって、粒子間隙が水で飽和した条件で試験を実施することとした。上向流は下向流と比べ、流量速度が過剰でない限り、水みちを防ぐことができる。

### B.3 通水速度

試験の再現性を確保するためには、試料と対象物質との反応時間を十分に確保し、且つ試験期間を通して通水速度を一定の範囲に維持することが重要である。評価可能な見掛けの分配係数の値の上限を上げるためには通水量をある程度確保する必要もあることから、カラムの寸法と試験期間を考慮して通水速度を 72 mL/h とした。

### B.4 温度

化学反応は、温度に依存することから、溶媒及び流出液の温度を可能な限り一定に保つ必要がある。そのため、試験は、おおむね 20°C で行うこととした。試験を行うにあたっては、試験期間を通して室温を管理するほか、カラムにウォータージャケットを用いるなどしてカラムの温度を管理してもよい。

### B.5 試験期間

通水量を多くすると評価可能な見掛けの分配係数の値の上限を上げることができるが、長期間の試験は望ましくないことから、試験期間が 2 か月程度となる累積液固比 400 L/kg までの通水を基本とした。実際の試験においては、比濃度が 1 に近づいていかない場合や 1 を超えて続く場合等があるが、これらの情報も有用であるため、累積液固比 400 までは試験を継続する。一方、比濃度が 1 に近い値で推移する場合には、性能評価に十分な量の試験結果が収集できており、且つ、材料の性状も安定しているとみなせることから、比濃度の値が  $1.0 \pm 0.1$  を 4 日間以上継続した場合には、試験を終了してよいこととした。

### B.6 試験終了時に比濃度が 0.9 に達していない場合の対応

見掛けの分配係数が非常に大きい材料を使って試験をした場合、試験終了時点での流出液の対象物質の比濃度が 1 に達しないことが想定される。この場合は、通水の継続により累積吸着量の増加が見込めることから、実際の吸着性能は、試験終了時の結果から計算される値より大きくなると考えられる。この試験方法では、比濃度が  $1.0 \pm 0.1$  の範囲を比濃度 1 と同等とみなし、試験の早期終了の条件として設定した (B.5 参照)。これに合わせて、試験終了時に比濃度が 0.9 に達していない場合は、求めた見掛けの分配係数の値に「以上」を付して報告することとした。

### B.7 試験結果の利用の限定

この試験方法の試験結果のみに基づいてこの試験方法以外の環境での化学物質の挙動を示すことは適当ではないため、他の試験方法及び／又はモデルと組み合わせて用いるのが望ましい。また、この試験方法は、人の健

康及び安全性に関する問題を扱ってはいない。