

放射性セシウム挙動解析業務委託仕様書

1 背景・目的

一般廃棄物最終処分場（以下、処分場と称する。）の環境安全性を検討する上で、放射性セシウムが雨水とともに処分場内部を移行する挙動を明らかにすることは重要である。しかしながら、処分場の内部で起こる放射性セシウムや浸透水の挙動を実験的に評価することは容易ではない。そこで本業務委託では、これらの移行挙動を数値シミュレーションによって明らかにすることを目的とする。

2 業務委託期間

契約締結日から令和9年3月24日（水）まで

3 業務委託の内容

本業務委託の詳細を別紙「放射性セシウム挙動解析業務委託実施計画書」に示す。

本業務委託は次の5項目からなる。

- ① 受注者は、処分場の雨水による放射性セシウム移行挙動シミュレーションに用いる入力データを、発注者が提示する複数の条件に対して作成すること。
- ② 受注者は、一部の作成した入力データに対しては解析を行い、出力データを得ること。
- ③ 受注者は、出力データを基に発注者が指定する濃度変化図、3次元静止画、アニメーション、アニメーション作成用静止画、テーブル等を発注者と協議の上作成すること。
- ④ 特にアニメーション作成のためのデータファイルの保存に関して、時間刻みや保存する時間間隔などの詳細は事前に発注者と協議の上行うこと。時間刻みごとのデータファイル等は指定するデータ保存用ハードディスク等に保管し、データファイル等を納品物として提出すること。必要に応じてデータ保存用ハードディスク等は発注者が受注者に貸与する。
- ⑤ 受注者は、一連の作業結果を業務報告書にまとめること。

受注者は、次の点を了解の上作業を行うこと。

- a) 汎用熱流動コード **ANSYS Fluent** を使って数値シミュレーションを行うこと。したがって、モデリングデータ、メッシュデータ、入力データ、出力データなどは全て **Fluent** のデータ形式を用いること。
- b) 発注者は、受注者が作成した全ての **Fluent** データ（モデリングデータ、メッシュデータ、入力データ、出力データなど）を発注者が保有する **Fluent** ソフトウェアを使って正常に読み込めること及び実行できることを常に確認することができる。受注者が作成した全ての **Fluent** データを発注者が正常に読み込めない場合や実行できない場合は、受注者は発注者が正常に読み込めて実行できるよう対応すること。発注者による確認は適時行うものとする。
- c) 発注者は業務状況の確認、未確定事項の確定等のために受注者と打ち合わせを行う。受注者は、打ち合わせ後一週間以内に打ち合わせた内容についての議事録を提出すること。提出は電子メールにファイルを添付して行うこと。

- d) 受注者は業務を行った週について、業務内容を簡単にまとめた週報を発注者に提出すること。提出は電子メールにファイルを添付して行うこと。
- e) 受注者は、業務報告書のまとめ方について作成前に発注者と協議すること。
- f) 受注者は、業務報告書の提出前に内容を発注者に説明すること。
- g) 受注者は、モデリングデータ、メッシュデータ、入力データ、出力データを基にした作成物等の作成方法や実行方法などを発注者に提示すること。前述の提示は基本的に WEB を介して行うこととするが、必要に応じて実際にパソコンを操作しながら対面で行うものとする。
- h) 本業務を行う際に生じた不具合事項、疑問点などに関して、受注者は速やかに発注者に連絡すること。発注者は連絡を受けた後、速やかに検討結果を受注者に回答するものとする。

4 成果品

契約書に定める成果物、提出部数は次のとおりである。

① 成果物

業務報告書

Fluent データ（モデリングデータ、メッシュデータ、入力データ、出力データなど）

作成物等（コンター図、ベクトル図、2次元図/3次元図、アニメーション、アニメーション用静止画、テーブルなど）

② 提出部数等

- ・業務報告書 3部
- ・入力データ等の電子データ 1式
- ・電子データは DVD 等に収録して提出すること。
- ・電子データのファイル形式は契約締結後に提示する。

③ 提出先

福島県田村郡三春町深作10番2号 福島県環境創造センター 研究部

5 提出書類

受注者は契約書に定めるもののほか、次の各号に挙げる書類を発注者の指定する日時までに提出しなければならない。

- ① 業務委託着手届（別記様式第1号）
- ② 業務委託完了報告書（別記様式第2号）

令和 年 月 日

福島県環境創造センター所長

受注者 住 所
名 称
代表者 印

業務委託着手届

令和 年 月 日付けで契約を締結した下記業務委託について着手したので、届け出ます。
記

- 1 業務委託の名称
令和 8 年度放射性セシウム挙動解析業務委託
- 2 業務委託料
円
(うち、取引にかかる消費税及び地方消費税額 円)
- 3 委託の期間
着 手：令和 年 月 日
履行期限：令和 9 年 3 月 2 4 日
- 4 着手年月日
令和 年 月 日

令和 年 月 日

福島県環境創造センター所長

受注者 住 所
名 称
代表者 印

業務委託完了報告書

令和 年 月 日付けで締結した下記業務委託について完了したので、成果品を添えて報告します。

記

- 1 業務委託の名称
令和8年度放射性セシウム挙動解析業務委託
- 2 業務委託料
円
(うち、取引にかかる消費税及び地方消費税額 円)
- 3 業務委託の着手及び完了年月日
着手：令和 年 月 日
完了：令和 年 月 日
- 4 成果品
報告書（別添のとおり）

「放射性セシウム挙動解析業務委託」実施計画書

1. 背景と目的

一般廃棄物最終処分場（以下、処分場と称する。）の適正管理を評価していく上で、放射性セシウムが雨水とともに処分場内部を移行する挙動を明らかにすることは重要である。しかしながら、処分場の内部で起こる挙動を実験的に評価することは容易ではない。そこで、本業務委託では、放射性セシウムの挙動を数値シミュレーションによって明らかにすることを目的とする。

2. 数値シミュレーション

2.1 処分場概要

図 2.1 に処分場構造の模式図を示す。処分場には焼却灰や不燃ごみなどの廃棄物が鉛直方向に対して何層にも埋め立てられている。処分場に降った雨水は、一部は表層除去水となって処分場表面を横方向に流れる。残りは処分場表面から内部に侵入して浸透水になり、処分場底部に位置する浸出水集排水管を通して外部に流出する。

処分場表面に降った雨は埋立物内を浸透（浸透水）し、処分場底部から外部に配管を通して浸出（浸出水）する。

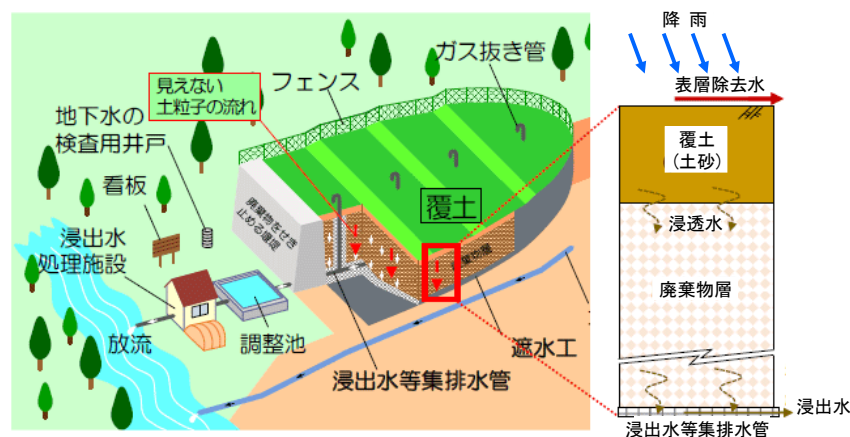


図 2.1 処分場模式図

（放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト（環境省）より引用し一部改変）

2.2 先行研究の再現シミュレーション

福島第一原発事故によって放出された放射性セシウムの一部は廃棄物等に付着し、減容化後に最終処分場に埋設されたものがある。そのため、先行研究では焼却灰に付着した放射性物質の溶出量を考慮した浸出水の影響評価が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、この数値解析は COMSOL ver4.2 で計算されており、別の汎用型ソフトウェア（G-TRAN/3D）によってクロスチェックが行われているが、汎用熱流動コード ANSYS Fluent（以下、Fluent と称する。）を用いた再現が可能かは実験されていない。そこで、Fluent により先行研究とほぼ同一の計算結果が得られるかを確認するため、再現実験を行う。

再現シミュレーションの解析体系概略を図 2.2 に示す。なお、先行研究では一次元シミュレーションで計算していることから、本実験においても入口境界から既存廃棄物層までの準一次元流れを解析する体系とする。

処分場内に存在する放射性セシウムの濃度拡散挙動を Fluent のユーザー定義スカラー変数の輸

送方程式を使って解く。放射性セシウムは汚染廃棄物層から瞬時に全て水に溶出し、最終処分場の内部を下に向かってだけ流れることとする。下部土壌層にユーザー定義関数の放射性セシウム吸着モデルを作成し、放射性セシウムの分配係数を与えることで、放射性セシウムは部土壌層を通過する際に吸着される。処分場内の埋立物は多孔質体と仮定し、多孔質体の固体部と空気や水が停滞する空間部の体積を基に埋立物に空隙率を設定する。空隙率 0 はすべて固体部であり、空隙率 1 はすべて空間部を意味する。流体部には Darcy 則、Forchheimer 式、Corey モデル等を適用する。多孔質体の空間部は初期に空気で満たされているが、水が流れ込むことで空気と水が存在する二相流となり、十分な時間経過後には空間部はすべて水で満たされる。このように時間とともに浸透する水に溶出した放射性セシウムの挙動を解析する。

図 2.2 より最上面の入口境界から、雨水流量（涵養量）を与える。処分場表面上方の側面は下方が壁、上方が流入流出境界であり、雨水は処分場表面に構成される液膜を介して処分場内部に浸透する。一方、上昇した空気は前述の流入流出境界から外部に流出する。詳細な寸法や形状は別途協議の上決定するものとする。

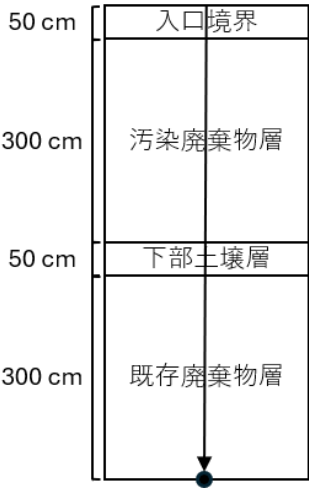


図 2.2 再現シミュレーションの解析体系概略

再現シミュレーションのための入力データ作成ケースとフル解析実施ケースを表 2.2 に示す。入力データ作成ケースは Fluent 用 CAS ファイルを作成するためのケースである。一方、フル解析実施ケースは入力データ作成ケースの中から数ケースをピックアップして設定するもので、一定時間以上の計算を行って後述の 3 章に示すデータ処理を行うケースである。ここで一定時間とは、非定常計算の結果が定常に達するまでの時間を意味するが、詳細は別途協議とする。表 2.2 に示す各パラメータの値は概略値であり、詳細は別途提示とする。

表 2.2 再現シミュレーションのための入力データ作成ケースとフル解析実施

作成 ケース	入口 流量 (mm/y)	処分場 初期温度 (K)	¹³⁷ Cs 条件		分配係数(mg/L)		空隙率		フル 解析 実施
			Cs 濃度 (Bq/kg)	拡散係数 (cm ² /s)	廃棄 物層	下部 土壌層	廃棄 物層	下部 土壌層	
2.2.1	<u>50</u>	293	1,000	2×10 ⁻⁵	0.5	10	0.4	0.4	○
2.2.2	<u>100</u>	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	○
2.2.3	<u>200</u>	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	○

- (1) (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料 第四版），（2014）
- (2) 山田正人、遠藤和人、石森洋行、大迫政浩：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（第四版），（2013）

2.3 準一次元シミュレーション

処分場内の埋立状況を変更し、準一次元シミュレーションにより放射性セシウムの濃度拡散挙動を解く。準一次元シミュレーションの解析体系概略を図 2.3 に示す。

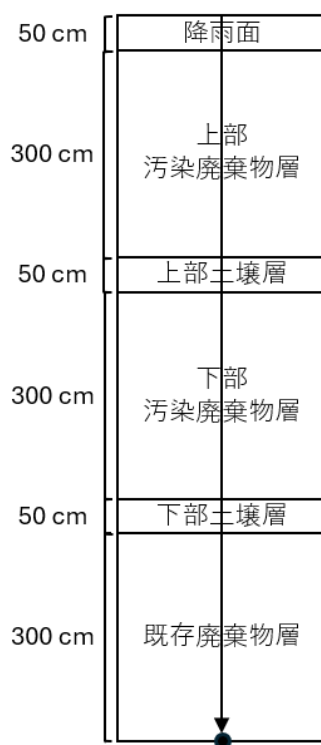


図 2.3 準一次元シミュレーションの解析体系概略

放射性セシウムや水の流れについては、2.2 先行研究の再現シミュレーションと同様とし、下部汚染廃棄物層及び下部土壌層のパラメータを変更することにより、処分場内の埋立状況を変更する。表 2.3 に準一次元シミュレーションのための入力データ作成ケースとフル解析実施ケースを示す。表 2.3 に示す各パラメータの値は概略値であり、詳細は別途提示とする。

表 2.3 準一次元シミュレーションのための入力データ作成ケースとフル解析実施ケース

作成 ケー ス	入 口 流 量 (mm/y)	処 分 場 温 度 (K)	上部				下部				空隙率 (上下部 共通)		フル 解 析
			¹³⁷ Cs 条件		分配係数 (mg/L)		¹³⁷ Cs 条件		分配係数 (mg/L)				
			Cs 濃度 (Bq/kg)	拡散係数 (cm²/s)	廃棄 物層	土壌 層	Cs 濃度 (Bq/kg)	拡散係数 (cm²/s)	廃棄 物層	土壌 層	廃棄 物層	土壌 層	
2.3.1	<u>50</u>	293	500	2×10 ⁻⁵	0.5	10	1,000	2×10 ⁻⁵	0.5	10	0.4	0.4	○
2.3.2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>25</u>	〃	〃	○
2.3.3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	10	〃	〃	○

2.3.4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	<u>25</u>	〃	〃	○
2.3.5	<u>100</u>	〃	〃	〃	〃	〃	1,000	〃	〃	10	〃	〃	○
2.3.6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>25</u>	〃	〃	○
2.3.7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	10	〃	〃	○
2.3.8	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	<u>25</u>	〃	〃	○
2.3.9	<u>200</u>	〃	〃	〃	〃	〃	1,000	〃	〃	10	〃	〃	○
2.3.10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>25</u>	〃	〃	○
2.3.11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	10	〃	〃	○
2.3.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	<u>25</u>	〃	〃	○

2.4 三次元シミュレーション

2.3 準一次元シミュレーションにより放射性セシウムの濃度拡散挙動を一次的に解いたが、解析体系を三次元へ変更し、放射性セシウムの濃度拡散挙動を三次元的に解く。三次元シミュレーションの解析体系概略を図 2.4 に示す。

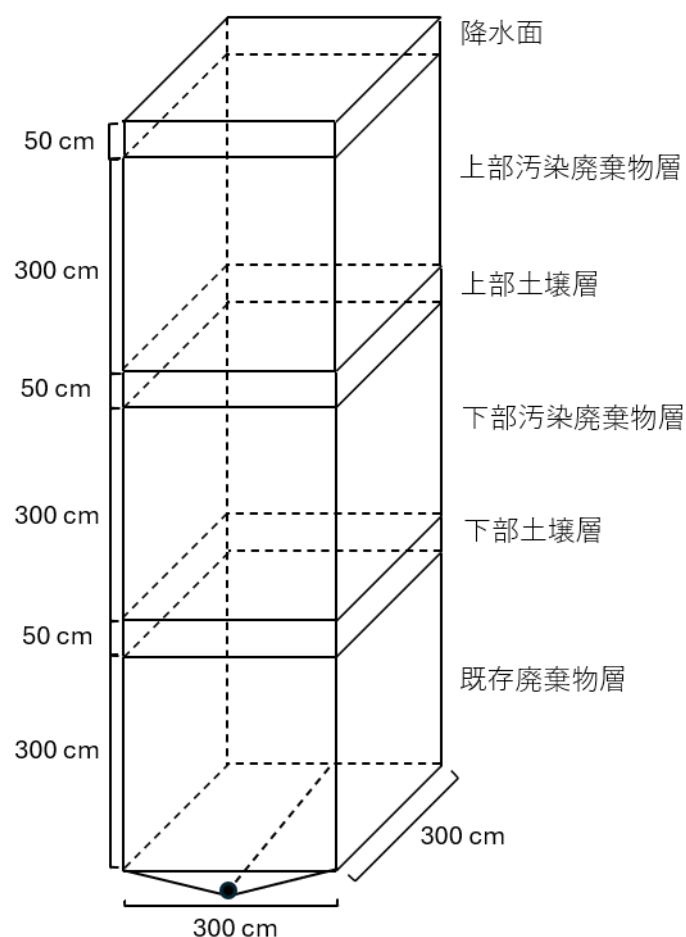


図 2.4 三次元シミュレーションの解析体系概略

放射性セシウムや水の流れについては、2.3 準一次元シミュレーションと同様とし、下部汚染廃棄物層及び下部土壌層のパラメータを変更することにより、処分場内の埋立状況を変更する。なお、三次元での放射性セシウムの濃度拡散挙動を評価するため、水は既存廃棄物層の浸透後、1 点へ集められて排出されることとする。

表 2.4 に三次元シミュレーションのための入力データ作成ケースとフル解析実施ケースを示す。
表 2.4 に示す各パラメータの値は概略値であり、詳細は別途提示とする。

表 2.4 三次元シミュレーションのための入力データ作成ケースとフル解析実施ケース

作成 ケー ス	入 口 流 量 (mm/y)	処 分 場 温 度 (K)	上部				下部				空隙率 (上下部 共通)		フル 解 析
			¹³⁷ Cs 条件		分配係数 (mg/L)		¹³⁷ Cs 条件		分配係数 (mg/L)				
			Cs 濃度 (Bq/kg)	拡散係数 (cm ² /s)	廃棄 物層	土壌 層	Cs 濃度 (Bq/kg)	拡散係数 (cm ² /s)	廃棄 物層	土壌 層	廃棄 物層	土壌 層	
2.4.1	<u>50</u>	293	500	2×10 ⁻⁵	0.5	10	1,000	2×10 ⁻⁵	0.5	10	0.4	0.4	○
2.4.2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>25</u>	〃	〃	○
2.4.3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	10	〃	〃	○
2.4.4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	<u>25</u>	〃	〃	○
2.4.5	<u>100</u>	〃	〃	〃	〃	〃	1,000	〃	〃	10	〃	〃	／
2.4.6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>25</u>	〃	〃	／
2.4.7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	10	〃	〃	／
2.4.8	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	<u>25</u>	〃	〃	／
2.4.9	<u>200</u>	〃	〃	〃	〃	〃	1,000	〃	〃	10	〃	〃	／
2.4.10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>25</u>	〃	〃	／
2.4.11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	10	〃	〃	／
2.4.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	<u>0</u>	〃	<u>0</u>	<u>25</u>	〃	〃	／

3. データ処理

フル解析実施ケースでは、受注者は、シミュレーションが十分に定常に達した段階で出力ファイルを作成し、次の処理を行うものとする。

a) 評価点における濃度変化図作成

一次元シミュレーション及び三次元シミュレーションにおいて、解析体系図の下部に評価点を設け、経過時間による評価点を通過した放射性セシウム濃度変化図を作成するものとする。評価点の位置など、詳細は別途協議とする。

b) 3次元アニメーション作成

可視化する際の3次元位置は別途協議の上決定するものとする。3次元アニメーションの主な対象は、ボイド率分布、速度ベクトル分布、流速分布、温度分布、濃度分布、微小粒子分布、化学反応生成物分布などであるが、詳細は別途協議とする。アニメーション作成にあたり、静止画が必要になるが、これは計算途中で出力するデータから作成する。計算途中で出力するデータの保存方式、出力するデータの時間間隔や静止画総数などについても詳細は別途協議とする。

c) 各種物理量の静止画像

具体的には、ボイド率分布、速度ベクトル分布、流速分布、温度分布、濃度分布、微小粒子分布、化学反応生成物分布などの任意時刻の画像である。アニメーション結果を確認する場合はディスプレイ等が必要であるが、静止画像は例えば印刷物として容易に確認できるために現象の理解に重要である。詳細は別途協議とする。

d) その他

上述の a)、b)及び c)の他に発注者が必要と考えるデータ処理についても受注者は対応すること。
ただし、詳細は別途協議とする。

4. 特記事項

作業を行う上での注意点等は次のとおりである。

- i) 解析体系のモデリングを行う際は、受注者は発注者と事前に協議し、発注者の意向を十分に理解した上で実施すること。計算格子、入力データの作成についても同様である。
- ii) 作成するデータの形式（CAS ファイル、DAT ファイルなど）は発注者が別途提示する。
- iii) 入力データはすべて 3 次元、非定常の条件で作成すること。
- iv) フル解析のケースは結果が定常になるまで実行すること。定常状態判別は協議の上決定する。
- v) フル解析を実施しないケースでは、受注者は試計算による実行確認を行って作成した入力データが問題なく計算できることを確認すること。試計算等の確認方法については別途協議とする。
- vi) 計算格子分割は最大 50 万格子を目安とすること。流れ場や温度場に及ぼすメッシュの影響が極力ないように分割には配慮すること。
- vii) 作業を行う上で不具合等が発生した場合や発注者が解析体系や解析条件の修正等を提案した場合は、発注者と受注者が協議を行い、解決するものとする。場合によっては代替策等を講じることも可能とする。