

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第十三条 地下水の水位等の監視設備

2019年10月16日

日本原燃株式会社

審査会合における本資料に関連するコメントと反映箇所

No.	コメント	反映箇所
148	<p>第 298 回審査会合(2019/8/26) 資料 1-4</p> <p>監視・測定項目の選定については、新規制基準の要求として人工バリア及び天然バリアの機能に関連する項目を選定し、これが監視・測定できる設計であることを求めていることから、データの直接的な観測をまず検討すること。その際、平成 22 年 8 月 9 日付け原子力安全委員会決定「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」に記載されている監視データの取得等の考え方も踏まえ、検討すること。</p>	<p>4. 移行抑制機能に関する監視</p> <p>5. まとめ</p>

目 次

1. はじめに	1
2. 地下水の水位等の監視目的.....	3
3. 閉じ込め機能に関する監視.....	3
4. 移行抑制機能に関する監視.....	4
4.1. 基本的な考え方.....	4
4.2. 移行抑制機能と線量評価パラメータについて.....	4
4.3. 移行抑制機能の影響要因.....	6
4.4. 監視、測定項目.....	9
4.5. 廃棄物埋設地周辺監視孔による監視、測定.....	13
4.6. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視、測定.....	26
5. まとめ	29

	: 補正に伴い変更する箇所(コメント対応含む)
	: 上記以外の審査会合コメント反映箇所
緑字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)までに自主的に変更した箇所
赤字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)からの変更箇所

1. はじめに

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条(地下水の水位等の監視設備)への適合性について、説明する。

()内の頁数は説明記載箇所を示す。

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則	規則への適合性
(地下水の水位等の監視設備) 第十三条 廃棄物埋設施設には、地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周辺の状況を監視し、及び測定する設備(第十一条第一号及び第二号に規定する設備を除く。)を設けなければならない。	本施設には、定期的な評価等に必要なデータを取得するため、廃棄物埋設地及びその周辺における地下水の水位等の状況を監視及び測定する設備を設ける。(資料全般)

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈	規則への適合性
<p>1 第 13 条に規定する「廃棄物埋設地及びその周辺の状況を監視し、及び測定する設備」とは次のことをいう。</p> <p>一 第 9 条第 2 号並びに第 10 条第 1 項及び第 2 項との関係に基づき事業規則第 19 条の 2 に規定する定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能に関する地下水の状況等の監視及び測定の項目を選定し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、監視及び測定できる設計であること。</p> <p>二 測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定ができる性能を有する監視設備及び測定設備を用いること。</p>	<p>一 廃棄物埋設施設には、定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能に関する地下水の状況等を監視及び測定する設備を設ける。(4.3. 移行抑制機能の影響要因～4.6. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視、測定【P.6～28】)</p> <p>埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、排水監視設備からの排水量及び排水中の放射性物質濃度を監視、測定できる設計とする。また、周辺監視区域境界付近に地下水位測定孔を設け、地下水の水位を監視、測定できる設計とする。(3. 閉じ込め機能に関する監視【P.4】)(4.5. 廃棄物埋設地周辺監視孔による監視、測定 (2) 天然バリアの低透水性の監視 ①敷地の地下水の流向を確認するための地下水位の監視、測定【P.16】)</p> <p>覆土完了から廃止措置開始までの間において、廃棄物埋設地付近に地下水位測定孔及び地下水採取孔を設け、地下水の水位及び水質を監視、測定できる設計とする。</p> <p>(4.3. 移行抑制機能の影響要因～4.6. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視、測定【P.6～28】)</p> <p>二 測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いるとともに、定期的評価等の結果に基づき、監視項目、監視・測定の設備や位置などは、必要に応じ見直す。(4.3. 移行抑制機能の影響要因～4.6. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視、測定【P.6～28】)</p>

2. 地下水の水位等の監視目的

「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」第十九条の二に規定する「廃棄物埋設施設の定期的な評価等」（以下「定期的な評価等」という。）に必要なデータを取得するため、人工バリア及び天然バリアの安全機能に係る地下水の状況等を監視及び測定するための設備（以下「地下水の水位等の監視設備」という。）を設ける。

地下水の水位等の監視については、第十条第1項及び第2項に対して設計した廃棄物埋設地の状態に対して安全機能が維持されているかどうか、また、第九条第二号において評価した廃棄物埋設地の状態に対して安全機能が維持されているかどうかについて、人工バリア及び天然バリアに対して以下の2つの安全機能を対象として監視及び測定する。

- ①閉じ込め機能(放射性物質を廃棄物埋設地の限定された区域に閉じ込める機能)
- ②移行抑制機能(廃棄体から漏出する放射性物質が生活環境へ移行する速度を低下、あるいは量を低減する機能)

3. 閉じ込め機能に関する監視

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間、人工バリアの閉じ込め機能が維持されていることについて確認するため、排水監視設備からの排水量及び排水中に含まれる放射性物質濃度を監視及び測定する。

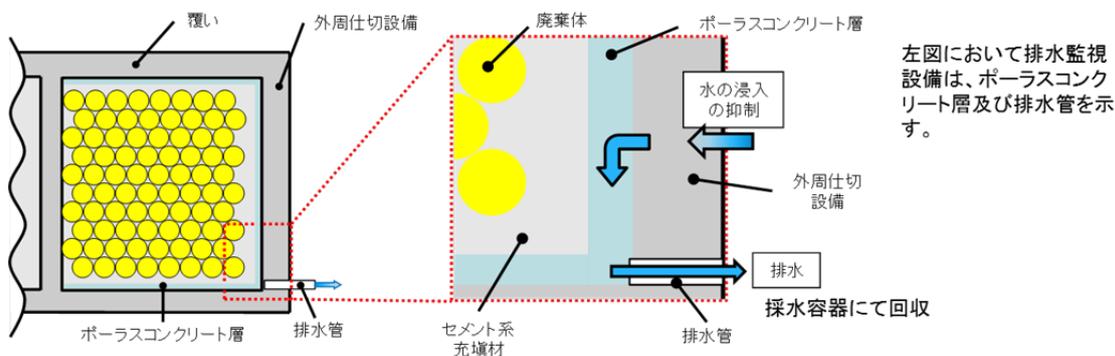
排水監視設備からの排水量の監視及び測定は、排水管からの水を一時的に貯留し、回収するための採水容器を設置し、この採水容器に貯留された水の量を確認することによって行う。

また、排水監視設備からの排水中に含まれる放射性物質濃度の監視及び測定は、排水管からの水を貯留した採水容器を放射能測定装置設置場所まで運搬し、放射能測定装置を用いて排水中の放射性物質濃度*1を確認することによって行う。

監視及び測定の頻度は、想定される排水量を基に設定する。

閉じ込め機能のイメージ図を第1図に示す。

*1 測定対象核種は、H-3、Co-60、Cs-137 とする。



第1図 閉じ込め機能のイメージ図

4. 移行抑制機能に関する監視

4.1. 基本的な考え方

覆土完了から廃止措置開始までの間、移行抑制機能が維持されていることの確認は、人工バリアと天然バリアのそれぞれで行う。

バリア機能の監視・測定の目的は、定期的な評価等への反映であり、監視・測定の結果を踏まえ、廃止措置開始以後の廃棄物埋設地の安全性(設計時の評価が妥当であること)を定期的に確認することである。さらに、廃止措置開始時点では、監視・測定を継続しなくとも廃棄物埋設地の安全性を確保できる見通しがあることを再確認した上で、監視・測定等の管理を終了する。

以上を踏まえ、バリア機能の監視・測定は、バリア機能に影響を与える廃棄物埋設地の様々な状態変化の監視・測定結果から予測される将来のバリア機能の経年的変化が、線量評価上(状態設定上)で想定している変化の範囲内であることを確認する。

4.2. 移行抑制機能と線量評価パラメータについて

線量評価において埋設設備内の核種 i の間隙水中濃度は以下の式を用いて評価しており、吸着性を示す分配係数のほか、体積、間隙率及び粒子密度が人工バリアである埋設設備内の核種 i の間隙水中濃度を決定するパラメータである。

$$C_{ww}(0, i) = \frac{A_0(i)}{\varepsilon \cdot Rf(i) \cdot V_{meq}}$$

$$\varepsilon \cdot Rf(i) = \sum_j (P(j) \cdot \varepsilon(j) \cdot Rf(i, j))$$

$C_{ww}(0, i)$: 埋設設備内の覆土完了直後における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m³)

$A_0(i)$: 核種 i の総放射エネルギー (Bq)

$P(j)$: 埋設設備内の媒体 j の体積分率 (-)

$\varepsilon(j)$: 埋設設備内の媒体 j の間隙率 (-)

$Rf(i, j)$: 埋設設備内の媒体 j の核種 i の遅延係数 (-) ;

$$= 1 + \frac{1 - \varepsilon(j)}{\varepsilon(j)} \cdot \rho(j) \cdot Kd(i, j)$$

$\rho(j)$: 埋設設備内の媒体 j の粒子密度 (kg/m³)

$Kd(i, j)$: 埋設設備内の媒体 j の核種 i の分配係数 (m³/kg)

V_{meq} : 分配平衡となる埋設設備の体積 (m³)

また、埋設設備から鷹架層への核種 i の漏出量は以下の式を用いて評価しており、天然バリアである覆土及び鷹架層の透水係数、動水勾配によって設定される流出水量が、埋設設備からの核種 i の漏出量を決定するパラメータである。

$$S_g(t, i) = Q_{go}(t) \cdot C_{ww}(t, i)$$

t : 覆土完了以後の経過時間 (y)

$S_g(t, i)$: 埋設設備から鷹架層への核種*i*の漏出量(Bq/y)
 $Q_{go}(t)$: 埋設設備から鷹架層への流出水量(m³/y)

第 1 表に示した「各バリアに期待する移行抑制機能と線量評価パラメータ」に関連した重要パラメータである「埋設設備から岩盤(鷹架層)又は上部覆土への流出水量」、「各バリア材料の分配係数」に与える影響事象は、比較的緩慢に生じる廃棄物埋設地の周辺環境の変化によるものが主なものであり、急激に著しくバリア機能が変化することは考え難い。

したがって、廃棄物埋設地近傍の変化を評価するために、地下水の水質(放射性物質濃度含む)及び温度、流入流出水量及び流速の変化を確認する。

線量評価パラメータの透水係数から求められる流出水量及び分配係数に与える代表的な影響事象としては、地下水との反応による各バリア材・間隙水の変化が考えられる。しかし、覆土完了後において、人工バリア及び天然バリアより材料を直接採取することは、バリアを損傷することになり、移行抑制機能の損失が懸念されるため、状態変化を直接的に評価することは実質不可能である。したがって、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」について(22 安委決第 24 号平成 22 年 8 月 9 日原子力安全委員会決定)に基づき、類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験を行い、人工バリア及び天然バリア機能(収着性、低透水性)の変化を確認する。

第 1 表 各バリアに期待する移行抑制機能と線量評価パラメータ

バリア	移行抑制機能	移行抑制機能の内容	線量評価パラメータ
セメント系材料 (廃棄体固化材、埋設設備)	収着性	セメント系材料、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)の収着性を期待することにより、廃棄物埋設地からの核種の漏出量を低減し、移行を遅延させる。 基本的に収着性が大きい方が移行抑制効果は大きい。土地(土壌)の利用が想定される場合は、収着性が小さい方が線量低減に寄与する場合もある。	<ul style="list-style-type: none"> 分配係数 体積・厚さ 間隙率 粒子密度
難透水性覆土			
上部覆土			
岩盤(鷹架層)			
難透水性覆土	低透水性	ベントナイト混合土を用いた難透水性覆土及び下部覆土に対して低透水性を期待することにより、施設通過流量(施設への浸入水量及び施設上部並びに生活環境への地下水の流出)を低減させる。 岩盤(鷹架層)の低透水性によって、廃棄物埋設地への地下水浸入量の低減を期待するとともに、生活環境までの移行遅延を期待する。	<ul style="list-style-type: none"> 埋設設備から覆土への流出水量 覆土内地下水流量(希釈) 覆土の地下水流速 埋設設備から鷹架層への流出水量 鷹架層の地下水流速
下部覆土			
岩盤(鷹架層)			

4.3. 移行抑制機能の影響要因

第 2 表及び第 3 表に長期状態において収着性及び低透水性に影響を及ぼす要因の抽出を示す。

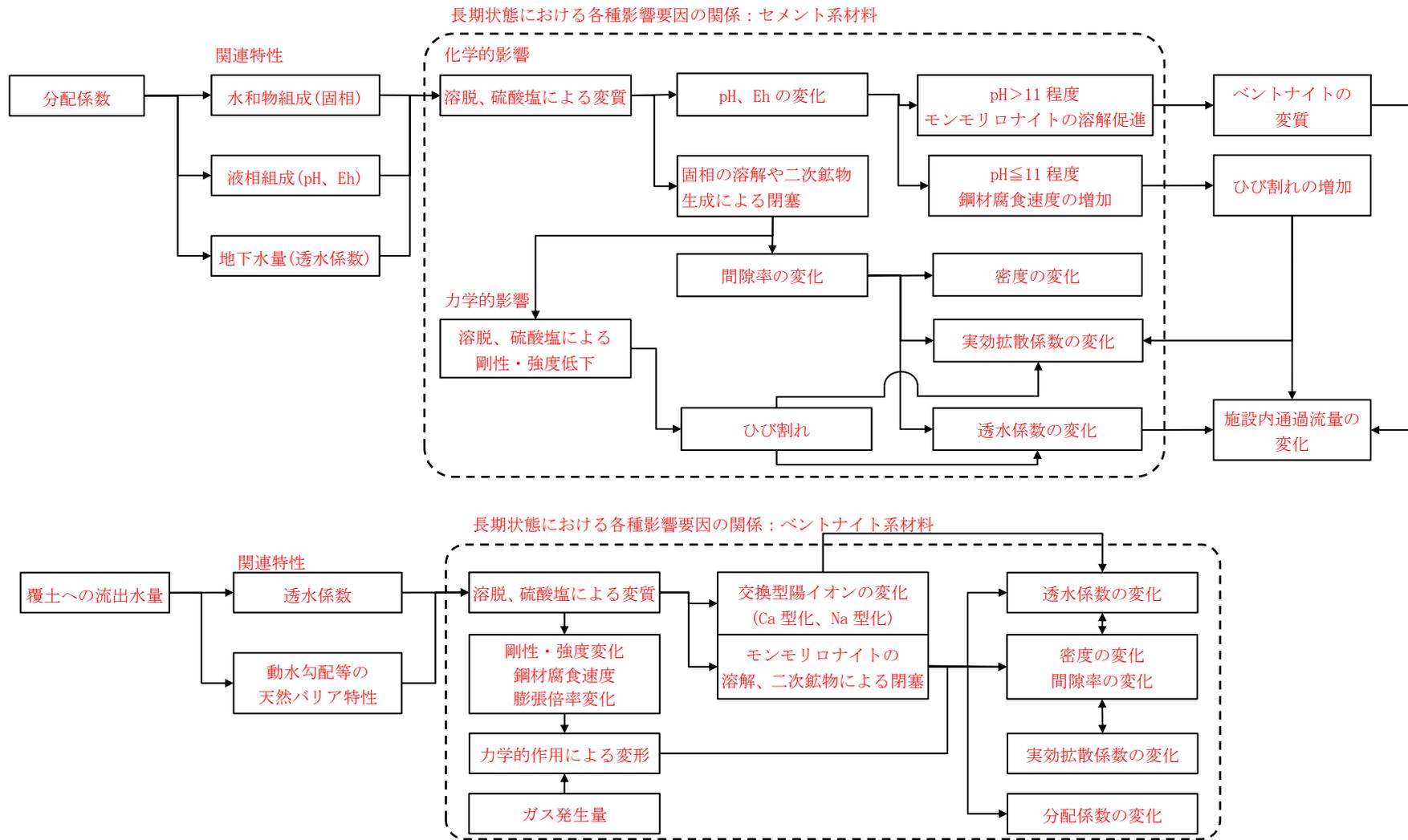
第 1 表の線量評価パラメータと第 2 表及び第 3 表の影響要因に対し、その関係性を整理した。第 2 図に長期状態における各種影響要因の関係を示す。これらを踏まえ類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験に対する監視、測定項目を抽出する。

第 2 表 長期状態において収着性に影響を及ぼす要因の抽出

項目	長期状態における影響要因		影響機構	
分配係数	セメント系材料特性の変化	化学的影響	セメント水和物の溶解、二次鉱物の生成	地下水によりセメント水和物の溶解や地下水成分との反応による二次鉱物の生成により空隙構造が変化する。
			廃棄体に含まれる硫酸塩によるエトリンサイト等の生成	廃棄体に含まれる硫酸塩とセメント水和物の反応によりエトリンサイト等が生成され空隙構造が変化する。
			有機物	セルロースはアルカリ性の環境下において分解し、イソサッカリン酸が生成することによって放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する。
		力学的影響	セメント水和物の溶解	地下水によりセメント水和物の溶解により空隙構造が変化し、剛性、強度が低下する。
廃棄体に含まれる硫酸塩によるエトリンサイト等の生成	廃棄体に含まれる硫酸塩とセメント水和物の反応によりエトリンサイト等が生成され、セメント系材料にひび割れが発生する。			
ベントナイト系材料特性の変化	化学的影響	モンモリロナイト、随伴鉱物の溶解、二次鉱物の生成	セメント系材料からの高アルカリ性の間隙水によるベントナイト構成材料の溶解による空隙の増加。溶解成分と地下水成分が反応し二次鉱物が沈殿する。	

第3表 長期状態において低透水性に影響を及ぼす要因の抽出

項目	長期状態における影響要因			影響機構
透水係数	ベントナイト特性の変化	化学的影響	交換性陽イオンの変化	セメント系材料からの高カルシウム濃度の間隙水によるベントナイトのCa型化。
			廃棄体中のほう酸塩、硫酸塩などの可溶性塩影響	可溶性塩影響により、空隙特性(空隙率、空隙構造)が変化するとともに、膨潤性能が低下。また、陥没による覆土の変形。
有効粘土密度の変化		力学的影響	金属の腐食	金属の腐食膨張により、覆土の隅角部等に、厚さの減少及び変位に伴う透水性が変化した領域の発生。
		化学的影響	モンモリロナイトの溶解、随伴鉱物の溶解、二次鉱物の生成	セメント系材料からの高アルカリ性間隙水によるベントナイト構成材料の溶解に伴う密度低下。溶解成分と地下水成分などが反応して二次鉱物が沈殿。
短絡経路の形成		力学的影響	ガス発生	廃棄体の腐食などにより発生したガスによる覆土の破過が生じ、低密度部を形成。



第2図 長期状態における各種影響要因の関係

4.4. 監視、測定項目

監視、測定項目は、人工バリア及び天然バリアの各部材に期待する移行抑制機能と評価パラメータの関係及び評価パラメータの関連特性、関連パラメータ及び影響因子を整理し、長期状態評価結果を踏まえて設定する。

線量評価パラメータと監視項目例の関係を第4表に示す。

廃棄物埋設地全体の周辺環境変化(水理的境界条件)に関するパラメータは周辺監視孔にて取得し、人工バリア及び天然バリアの移行抑制機能に影響する関連パラメータは類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験で取得する。

監視及び測定項目例は第5表に示すように整理される。

第4表 線量評価パラメータと監視項目例の関係(1/2)

バリア	部材	技術要件	評価パラメータ	関連特性・関連パラメータ、影響因子等 ^{*1}		監視・測定項目とした理由又はしない理由
				設計時又は設置時	監視・測定項目例	
人工バリア	セメント系材料(廃棄体固化材、埋設設備)	収着性	分配係数	材料仕様(水和物組成)、 ①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度、地下水量	①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度、 ⑤分配係数 ^{*4}	廃棄物埋設地の水理境界条件を地下水質や温度を周辺監視孔で取得し、分配係数を類似環境下の原位置試験あるいはそれを補完する室内試験で取得することにより、収着性の変化を把握できる。
			体積・厚さ	寸法、形状	— ^{*3}	
			間隙率	材料仕様	⑥間隙率 ^{*4}	
			密度	材料仕様	⑦密度 ^{*4}	
天然バリア	上部覆土	収着性	分配係数	材料仕様(鉱物組成)、 ①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度、地下水量	①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度	監視期間中又は以降においても分配係数の変化は生じないと考えられる。
			体積・厚さ	寸法、形状	— ^{*3}	
			間隙率	材料仕様、地下水量	— ^{*3}	
			密度	材料仕様	— ^{*3}	
下部覆土	低透水性	埋設設備から覆土への流出水量	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配、形状・寸法、 ⑦密度 ^{*4}	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配、 ⑦密度 ^{*4}	廃棄物埋設地の水理境界条件を地下水位や動水勾配を周辺監視孔で取得し、透水係数及び密度を類似環境下の原位置試験あるいはそれを補完する室内試験で取得することにより、覆土内の流入流出量と流速の変化を把握できる。	
		覆土内地下水流量(希釈)	⑧透水係数 ^{*4} 、 ③地下水位、 ④動水勾配	⑧透水係数 ^{*4} 、 ③地下水位、 ④動水勾配		
		覆土の地下水流速	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配		

*1 表中の①～④は地下水採取孔又は地下水測定孔から取得するデータから得られる関連特性パラメータ(下線箇所)。

*2 地下水の水質には放射性物質濃度も含む。

*3 設計時又は設置時に設定することから、監視・測定の対象としない。

*4 表中の⑤～⑧は、類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験から得られる関連パラメータ(下線箇所)

第4表 線量評価パラメータと監視項目例の関係(2/2)

バリア	部材	技術要件	評価パラメータ	関連特性・関連パラメータ、影響因子等 ^{*1}		監視・測定項目とした理由又はしない理由	
				設計時又は設置時	監視・測定項目例		
天然バリア	難透水性覆土	収着性	分配係数	材料仕様(鉱物組成)、 ①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度、地下水量	①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度、 ⑤分配係数 ^{*4}	廃棄物埋設地の水理境界条件を地下水質や温度を周辺監視孔で取得し、分配係数を類似環境下の原位置試験あるいはそれを補完する室内試験で取得することにより、収着性の変化を把握できる。 寸法・形状の変化は、直接的、間接的に測定することが困難なため、他のパラメータより状態を推定する。	
			体積・厚さ	寸法、形状	— ^{*3}		
			間隙率	材料仕様	⑥間隙率 ^{*4}		
		密度	材料仕様	⑦密度 ^{*4}			
		低透水性	埋設設備から覆土への流出水量	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配、 形状・寸法、 鋼材腐食速度、腐食膨張倍率	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配		廃棄物埋設地の水理境界条件を監視、測定孔により取得することにより変化を確認できる。 バリア材の状態変化は、類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験により変化を確認できる。
			覆土内地下水流量(希釈)	⑧透水係数 ^{*4} 、 ③地下水位、 ④動水勾配	⑧透水係数 ^{*4} 、 ③地下水位、 ④動水勾配		
	覆土の地下水流速		透水係数、 ④動水勾配	⑧透水係数 ^{*4} 、 ④動水勾配			
	岩盤(鷹架層)	収着性	分配係数	岩種(固相組成)、 ①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度、地下水量	①地下水の水質 ^{*2} 、 ②地下水の温度	監視期間中又は以降においても分配係数の変化は生じないと考えられる。 監視期間中又は以降においても物理特性変化は生じないと考えられる。	
			体積・厚さ	地質分布	— ^{*3}		
			間隙率	間隙率、 地下水量	— ^{*3}		
密度			密度	— ^{*3}			
低透水性		埋設設備から鷹架層への流出水量	透水係数、 ④動水勾配、 地質分布、	④動水勾配	監視期間中又は以降においても岩盤の水理特性が変化しないと考えられる。		
		鷹架層の地下水流速	透水係数、 ④動水勾配	④動水勾配			

*1 表中の①～④は地下水採取孔又は地下水測定孔から取得するデータから得られる関連特性パラメータ(下線箇所)。

*2 地下水の水質には放射性物質濃度も含む。

*3 設計時又は設置時に設定することから、監視・測定の対象としない。

*4 表中の⑤～⑧は、類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験から得られる関連パラメータ(下線箇所)

第 5 表 監視及び測定項目例

監視、測定項目例	対象	移行抑制機能	監視、測定箇所
①地下水の水質	廃棄物埋設地周辺	収着性 低透水性	周辺監視孔
②地下水の温度			
③地下水位			
④動水勾配			
⑤分配係数	セメント系材料 難透水性覆土	収着性	類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験
⑥間隙率	セメント系材料 難透水性覆土	収着性 低透水性	
⑦密度	セメント系材料 下部覆土 難透水性覆土	収着性 低透水性	
⑧透水係数	下部覆土 難透水性覆土	低透水性	

4.5. 廃棄物埋設地周辺監視孔による監視、測定

(1) 人工バリア及び天然バリアの収着性の監視

埋設設備付近の地下水の水質(放射性物質濃度含む)及び温度を監視、測定し、廃棄物埋設地から流出する地下水の化学環境の変化を確認する。

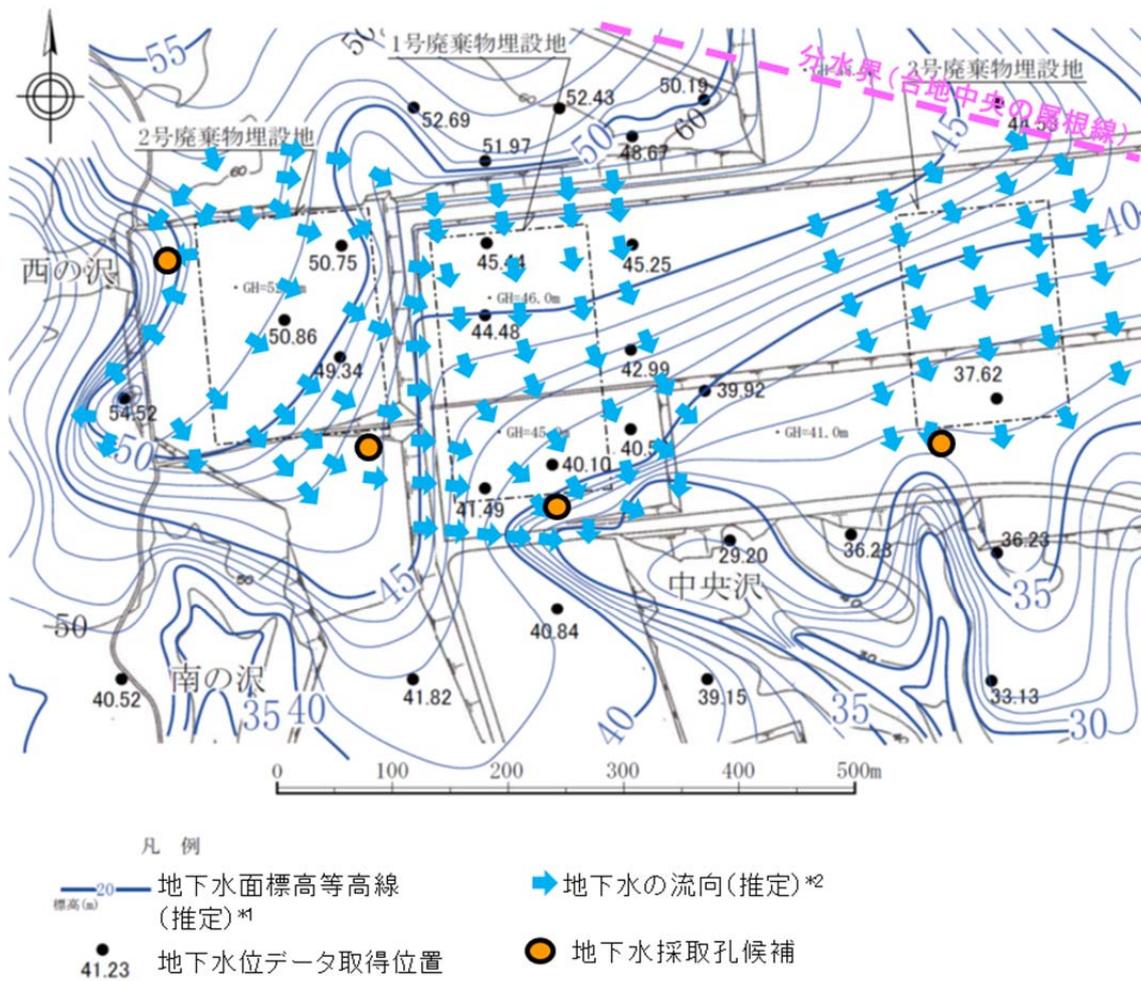
監視方法、監視期間、地下水採取孔の位置・深さ、測定方法、監視頻度、測定精度について第6表及び第3図に示す。

また、水質分析項目は、環境変化の確認を行う観点で、現状の地下水の水質分析項目と同様に、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、硫酸イオン、炭酸水素イオン、塩化物イオン、溶存鉄、pH 及び電気伝導度とする。水質分析方法は、日本産業規格(JIS)に準じるものとする。(第7表参照)

第6表 人工バリア及び天然バリアの収着性に関する監視の考え方

項目	考え方
監視方法	地下水の水質分析は、廃棄物埋設地に地下水採取孔を設けて地下水を採取及び運搬し、室内において採取した地下水を対象に一般的な水質分析項目(マグネシウムイオン、カルシウムイオン、ナトリウムイオン、カリウムイオン、硫酸イオン、炭酸水素イオン、塩化物イオン、溶存鉄、pH 及び電気伝導度)について行う。 放射性物質濃度の測定対象核種は、状況に応じて設定する。
監視期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間
地下水採取孔の位置	地下水採取孔は、埋設設備を経由した地下水の水質を確認する必要があることから、埋設設備より流出する地下水流向から、沢方向の流れを想定した上で、地下水の下流側とする。また、埋設設備を経由した地下水の水質が周りの影響をできるだけ受けない埋設設備付近とする。2号埋設設備においては西の沢への流れも考慮し、西の沢への流れも確認できる地下水採取孔を設置するものとする。
地下水採取孔の深さ	地下水採取孔の深さは、水質分析に必要な水量を確保できる深さ及び埋設設備を経由した地下水の移行経路に該当する深さとする。
測定方法	地下水の採取は、ベアラを利用する。 地下水の水質分析は、日本産業規格に準拠する。
監視頻度	監視頻度は廃棄物埋設地内で予想される地下水の流速を参考に設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

なお、定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



*1 地下水面標高等高線は、覆土後の地形に最も近いと想定される敷地造成後の1990年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第3図 廃棄物埋設地付近の地下水採取孔候補

第7表 水質分析方法

水質分析項目	分析方法	単位
マグネシウムイオン (Mg ²⁺)	JIS K 0102-2013 51.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
カルシウムイオン (Ca ²⁺)	JIS K 0102-2013 50.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
ナトリウムイオン (Na ⁺)	JIS K 0102-2013 48.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
カリウムイオン(K ⁺)	JIS K 0102-2013 49.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	JIS K 0102-2013 41.3 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
炭酸水素イオン (HCO ₃ ⁻)	JIS K 0101-1998 13.1 に定める酸消費量	mg/L
塩化物イオン(Cl ⁻)	JIS K 0102-2013 35.3 に定めるイオンクロマトグラフ法	mg/L
溶存鉄(T-Fe)	JIS K 0102-2013 57.2 に定めるフレイム原子吸光法	mg/L
pH	JIS Z 8802-2011 に定める pH 測定方法	-
電気伝導度	JIS K 0102-2013 13 に定める電気伝導率試験方法	mS/m

(2) 天然バリアの低透水性の監視

埋設設備付近の地下水の流向、動水勾配、地下水位を監視、測定し、廃棄物埋設地の地下水流入、流出量の変化を確認する。以下、次のことについて説明する。

- ①敷地の地下水の流向を確認するための地下水位の監視、測定
- ②廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視、測定
- ③覆土内水位の監視、測定

① 敷地の地下水の流向を確認するための地下水位の監視、測定

敷地の地下水の流向の大局的な傾向は、掘削工事などの局所的な地形変更及び地下水位変動によって変わらないこと並びに周辺監視区域境界付近の地下水面標高と地形面標高の等高線形状が調和的であることが敷地の地下水の流向の大局的な傾向である。

また、敷地全体の地下水の流向が北側に向かっても線量評価上問題ないことは第 284 回審査会合 資料 1-1-2 「前回(第 279 回)審査会合におけるコメント回答 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れと線量評価について」(2019年6月20日)にて説明済みであるが、将来においても敷地の地下水の流向の大局的な傾向が変わらず、主に南側に流れていることを確認することを目的とし、敷地全体の地下水位並びに廃棄物埋設地周辺の地下水位及び全水頭を監視するものとする。

敷地の地下水の流向は、以下の2つの観点で確認する。

a. 敷地全体の地下水の流向

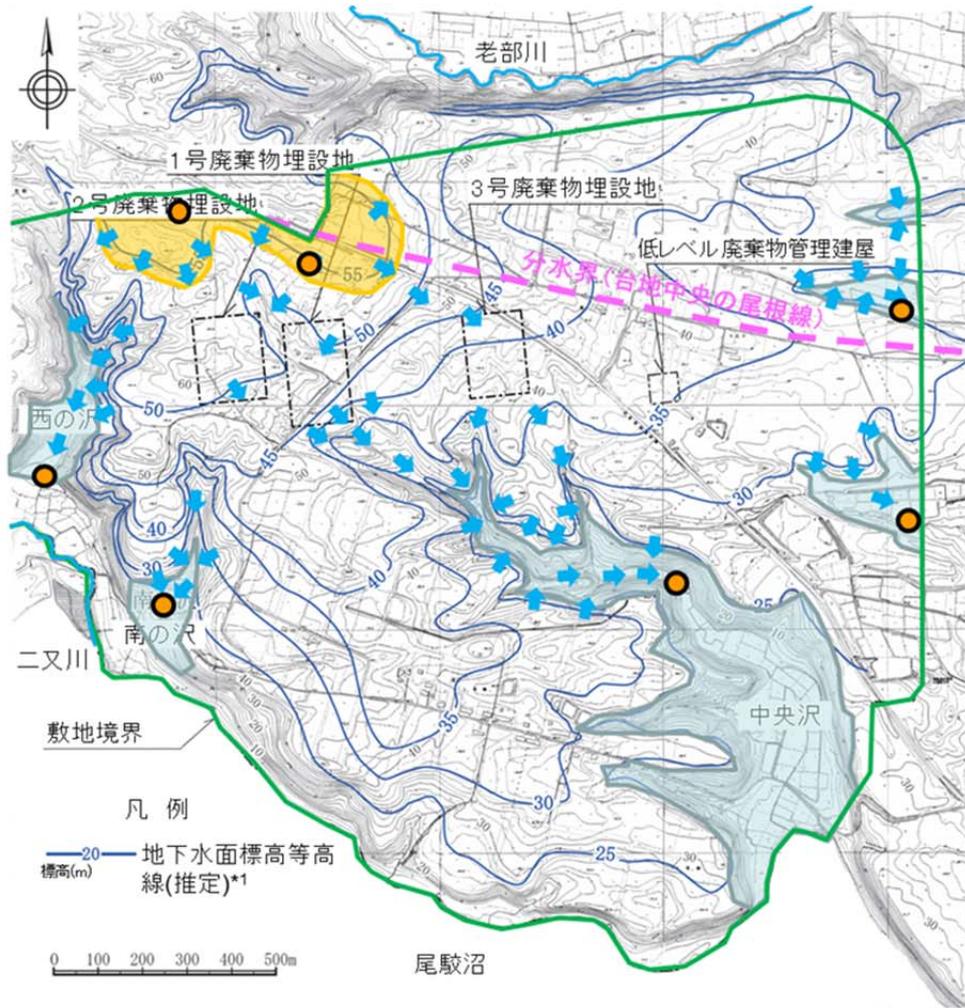
線量評価の前提条件である敷地全体の地下水の流向は、敷地全体の地下水面分布の変化を監視、測定することによって求めることができることから、周辺監視区域境界付近に地下水位測定孔を設置するものとする。

監視方法、監視期間、地下水位測定孔の位置・深さ、測定方法、監視頻度、測定精度について第 8 表及び第 4 図に示す。

第8表 敷地の地下水の流向を確認するための地下水位の監視の考え方

項目	考え方
監視方法	敷地の地下水の流向を確認する方法は、周辺監視区域境界付近の地下水流れの上流域や地下水が集水されやすい台地内開析谷付近において地下水位測定孔を設け、測定した地下水位が既往データの変動範囲にあるかを確認することにより行う。
監視、測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間とする。
地下水位測定孔の位置	地下水流動場が敷地の地形と調和的であることから、敷地外でかん養された地下水が敷地内に流入してくる敷地境界付近及び降雨雪により台地にかん養された地下水が集水しやすい台地内の開析谷付近を選定する。
地下水位測定孔の深さ	降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
監視頻度	事業規則第十三条の要求及び地下水位の季節変動を考慮して設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

なお、定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



凡例

- : ① 降雨雪により台地にかん養された地下水が集水しやすい台地内の開析谷付近
- : ② 敷地外でかん養された地下水が敷地内に流入する敷地境界付近
- : 地下水位測定孔(既設)
- : 地下水の流向(推定)*2

*1 敷地造成前の1986年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第4図 周辺監視区域境界付近の地下水位測定孔候補

b. 廃棄物埋設地設置地盤付近の流向

廃棄物埋設地の北～北東側には、東－西方向～西北西－東南東方向の台地の中央に尾根線が分布し、基本的にはこの尾根線よりも北側では主に北へ、南側では主に南へ地下水が流れていると考える。

3号廃棄物埋設地は、台地中央の尾根線に近く、その南側に位置する。3号廃棄物埋設地北側で計測した地下水の全水頭測定値は孔間の全水頭の差が少ない箇所もあるが、地下水は主に南に向かっていることを確認する。

監視方法、監視期間、地下水位及び全水頭測定孔の位置・深さ、測定方法、監視頻度、測定精度について第9表及び第5図に示す。

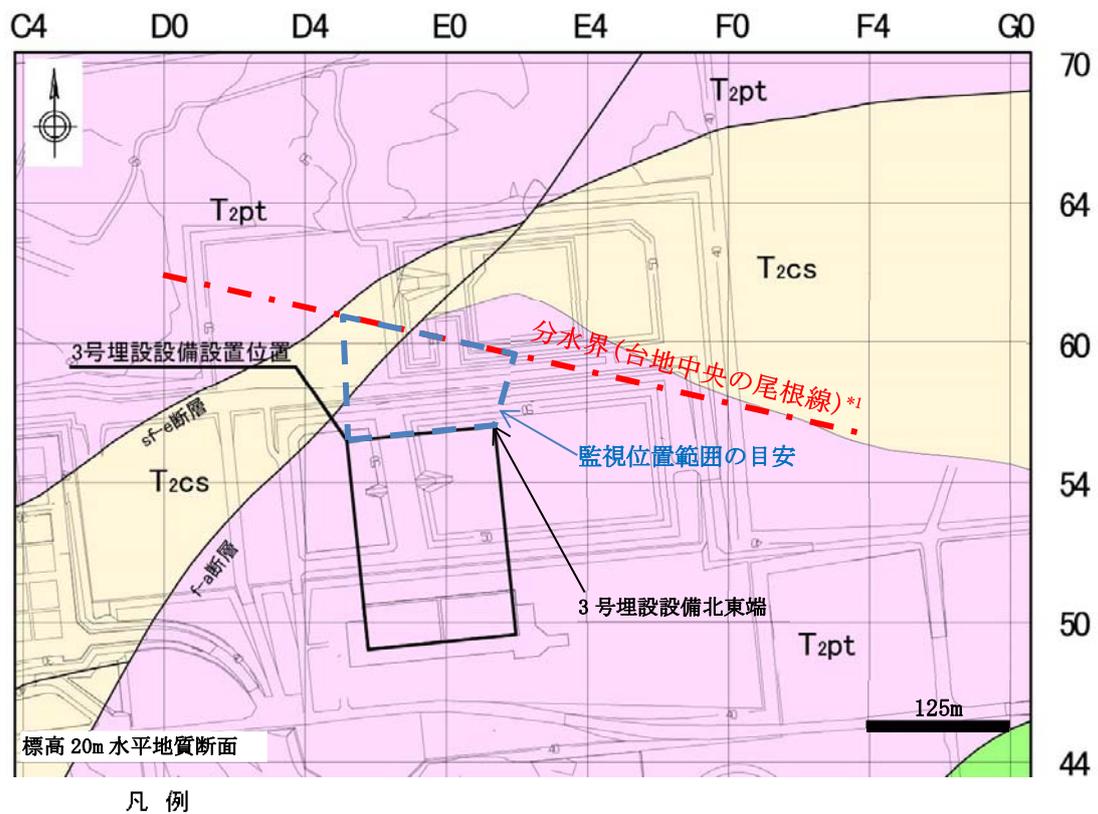
第9表 廃棄物埋設地設置地盤付近の流向を確認するための
地下水位及び全水頭の監視の考え方(1/2)

項目	考え方
監視方法	埋設設備から放射性物質が地下水を媒体に移行するシナリオを考える上で3号廃棄物埋設地付近における地下水の流向(主に南側に流れていること)を確認するため、3号廃棄物埋設地付近において以下のデータを取得する。 ① 3号埋設設備付近の地下水位 ② 3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭 なお、地盤中の地下水の流れは、複数地点の地下水位(若しくは全水頭)の大きさを比較することで確認できる。
監視期間	覆土完了以後において今後人為的な地下水位(若しくは全水頭)の低下を引き起こさない時期から廃止措置の開始までの間とする。 なお、定期的評価等の結果により必要に応じ期間を見直すものとする。
地下水位及び全水頭測定孔の位置	3号廃棄物埋設地付近における地下水の流向の監視目的は、3号埋設設備を通過した地下水が3号廃棄物埋設地の主に南側に流れていることの確認にあることから、監視位置は、以下の点を考慮して第5図に示す監視位置範囲を目安に地下水位及び全水頭測定孔を設置する。 ・台地中央の尾根線の南側であること ・3号廃棄物埋設地の北側であること ・主流向方向を四方位程度で確認できる箇所数及び配置とすること
地下水位及び全水頭測定孔の深さ	地下水位測定孔は、降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。全水頭測定孔は、埋設設備設置地盤標高付近の全水頭を測定できる深さとする。

第9表 廃棄物埋設地設置地盤付近の流向を確認するための
地下水位及び全水頭の監視の考え方(2/2)

項目	考え方
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位又は全水頭測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
監視頻度	監視頻度は、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭の時間変化と地下水の流向の傾向を把握できるように設定する。 また、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭は、事業所敷地内の降雨や融雪によってかん養される水量の影響を受けている。よって、監視頻度は、気象観測の降水量や積雪深の最小観測頻度と同じ1時間当たり1回とする。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

なお、定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設定や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



凡例

- fl 盛土
- T2ps 軽石混り砂岩層
- T2pt 軽石凝灰岩層
- T2cs 粗粒砂岩層
- 断層
- 地質境界線

第5図 3号廃棄物埋設地付近における地下水の流向の監視位置の考え方^{*2}

*1 第3図の分水界(台地中央の尾根線)をトレースした。

*2 全水頭を地下水面標高に置き換えることにより、地下水面の流向の監視にも適用できる。

② 廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視、測定

廃棄物埋設地の動水勾配は、線量評価の前提であり、廃棄物埋設地の地下水流れの上流側と下流側の地下水位を測定することで求めることができるため、廃棄物埋設地に地下水位測定孔を設置する。

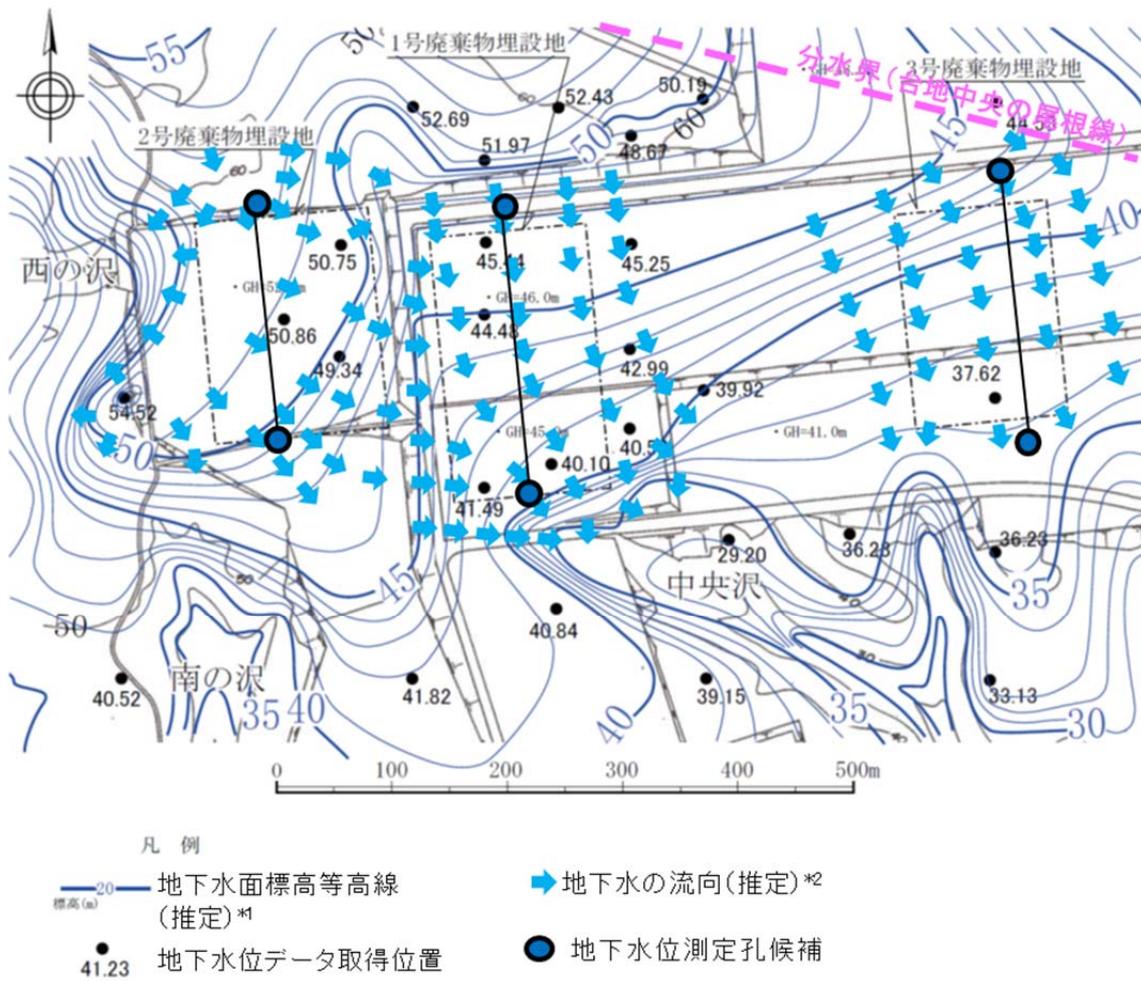
監視方法、監視期間、地下水位測定孔の位置・深さ、測定方法、監視頻度、測定精度について第 10 表及び第 6 図に示す。

第 10 表 廃棄物埋設地の動水勾配を確認するための地下水位の監視の考え方

項目	考え方
監視方法	廃棄物埋設地付近の地下水流れの上流側と下流側の地下水位の差と距離から動水勾配を求め、敷地全体の平均的な動水勾配と比較検討して想定外事象の有無を確認する。
監視、測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間とする。
地下水位測定孔の位置	廃棄物埋設地における地下水の動水勾配を確認することから、廃棄物埋設地付近の地下水流れの上流側と下流側とする。
地下水位測定孔の深さ	覆土後の再冠水や降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
監視頻度	事業規則 ^{*1} の第十三条の要求及び地下水位の季節変動を考慮して設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

*1 事業規則: 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則。

なお、定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



*1 地下水面標高等高線は、覆土後の地形に最も近いと想定される敷地造成後の1990年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。

*2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第6図 廃棄物埋設施設の動水勾配を確認するための地下水位測定孔候補

③ 覆土内水位の監視、測定

覆土内水位は、線量評価の前提であり、廃棄物埋設地の覆土施工範囲の地下水位を測定することで求めることができるため、廃棄物埋設地の覆土施工範囲に地下水位測定孔を設置する。

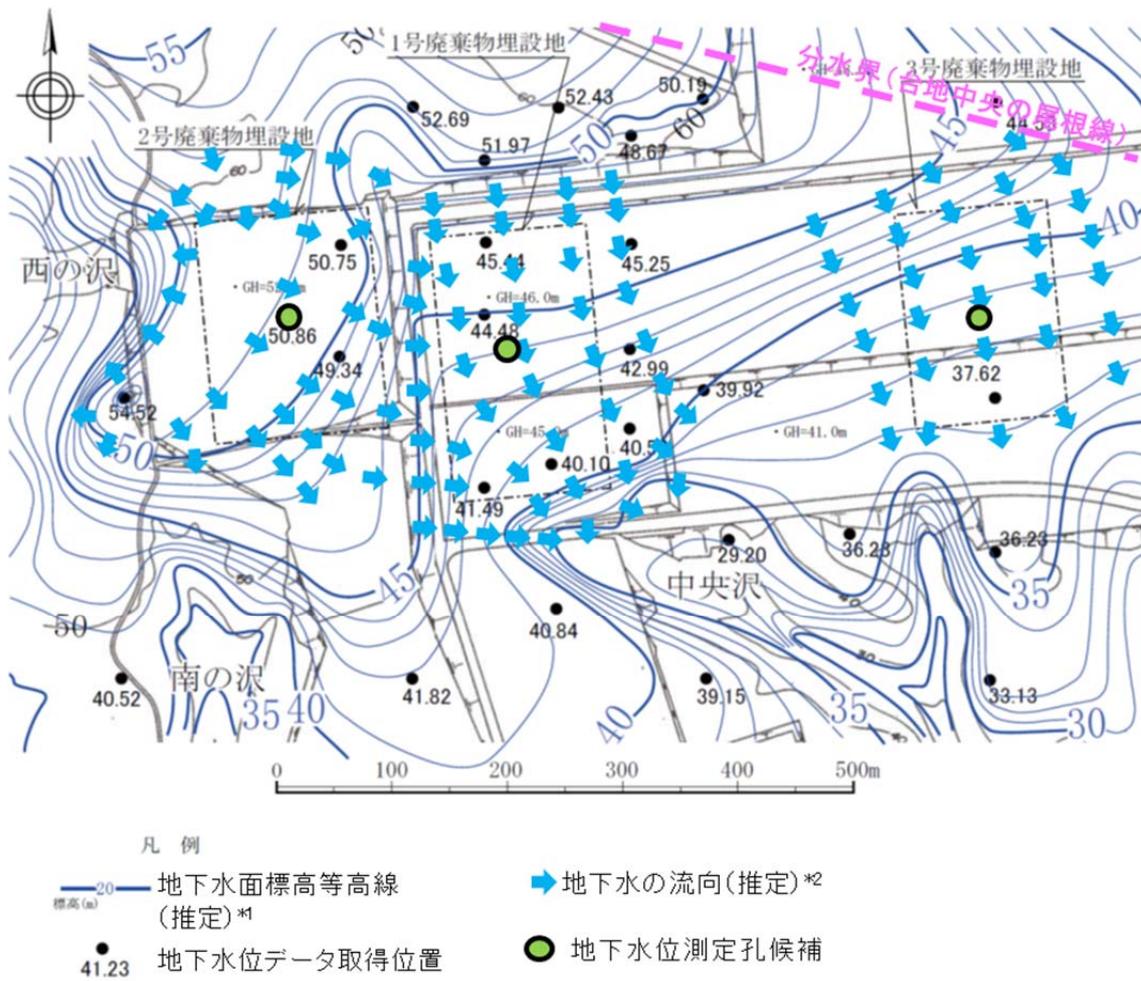
監視方法、監視期間、地下水位測定孔の位置・深さ、測定方法、監視頻度、測定精度について第 11 表及び第 7 図に示す。

第 11 表 覆土内水位を確認するための地下水位の監視の考え方

項目	考え方
監視方法	覆土完了後に上部覆土内に地下水位測定孔を設け、地下水位を測定し、覆土内土壌の水浸範囲・覆土内地下水流量を求める前提とした覆土内地下水位が季節変動を考慮して想定される範囲にあるかを確認することにより行う。
監視、測定期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間とする。
地下水位測定孔の位置	廃棄物埋設地の覆土施工範囲とする。
地下水位測定孔の深さ	覆土後の再冠水や降雨等による地下水位の変動を考慮しても測定できる深さとする。また、下部覆土を損傷しない深さとする。
測定方法	触針式水位計を用いて、地下水面と地下水位測定孔の管頭の距離を測定し、測定した距離と管頭標高から、地下水面の標高を計算により求める。
監視頻度	事業規則 ^{*1} の第十三条の要求及び地下水位の季節変動を考慮して設定する。
測定精度	測定期間及び使用環境に適応して実用上必要な精度で監視及び測定できる性能を有する監視設備及び測定設備を用いる。

*1 事業規則: 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則。

なお、定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定の設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。



*1 地下水面標高等高線は、覆土後の地形に最も近いと想定される敷地造成後の1990年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。
 *2 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

第7図 覆土内水位を確認するための地下水位測定孔候補

4.6. 類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験による監視、測定

類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験を実施し、人工バリア及び天然バリアの収着性及び低透水性の変化を確認する。第 12 表に人工バリア及び天然バリアの収着性、低透水性に関する監視の考え方を示す。

第 12 表 人工バリア及び天然バリアの収着性、低透水性に関する監視の考え方

項目	考え方
監視方法	各部材の特性及び影響要因を考慮した供試体を製作し、類似環境下に埋設する。埋設した供試体を定期的に回収し、各測定を行い各バリアの状態変化を評価する。
監視期間	覆土完了以後から廃止措置の開始までの間。
位置	埋設設備の環境が類似させるために、廃棄物埋設地近傍で各バリア材と同程度の深度に供試体を埋設する。
測定方法	埋設した供試体を回収し、室内試験を実施する。各試験方法は、ISO 規格、日本産業規格の他、原子力学会、地盤工学会基準等、各学会基準に準拠する。規格、基準がないものについては、試験結果の妥当性を評価する。
監視頻度	長期状態評価を踏まえて、覆土完了後から必要な頻度で実施する。

なお、定期的な評価等の結果に基づき、監視項目及び監視・測定設備や位置、頻度などは、必要に応じ見直す。

(1) 人工バリア及び天然バリアの収着性の監視、測定項目

人工バリア及び天然バリアの収着性に対する各部材の監視、測定項目と影響要因を第 13 表に示す。類似環境下に埋設する供試体及び周辺材料は、各影響要因を考慮した構成とする。第 14 表に収着性に対する測定項目の試験方法を示す。

第 13 表 収着性に対する各部材の監視、測定項目例と影響要因(1/2)

部材	監視、測定項目例	影響要因
セメント系材料 (廃棄体固型化材、 埋設設備)	⑤分配係数	<ul style="list-style-type: none"> 地下水によりセメント水和物の溶解や地下水成分との反応による二次鉱物の生成により空隙構造が変化する。 廃棄体に含まれる硫酸塩とセメント水和物の反応によりエトリングイト等が生成され空隙構造が変化する。 廃棄体に含まれる有機物(セルロース)はアルカリ性の環境下において分解し、イソサッカリン酸が生成することによって放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する。
	⑥間隙率	
	⑦密度	

第 13 表 収着性に対する各部材の監視、測定項目例と影響要因(2/2)

部材	監視、測定項目例	影響要因
難透水性覆土 上部覆土	⑤分配係数	・セメント系材料からの高アルカリ性の間隙水によるベントナイト構成材料の溶解による空隙の増加。溶解成分と地下水成分が反応し二次鉱物が沈殿する。
	⑥間隙率	
	⑦密度	

第 14 表 収着性に対する測定項目例の試験方法

試験項目例	試験方法	備考
分配係数 (セメント系材料)	収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順 (AESJ-SC-F003 : 2002)	-
間隙率 (セメント系材料)	水銀圧入法による土及び岩の細孔体積及び細孔体積分布の測定に関する標準試験方法 (ASTM D44404-84(1998)e1)	廃棄体固型化材は除く
密度 (セメント系材料)	Concrete, hardened -- Determination of density ISO 6275:1982 又は、体積及び重量測定からの算定による。	
分配係数 (難透水性覆土 上部覆土)	収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順 (AESJ-SC-F003 : 2002)	-
間隙率 (難透水性覆土 上部覆土)	砂置換法による土の密度試験方法 (JIS A 1214) 土の含水比試験方法 (JIS A 1203) 土粒子の密度試験方法 (JIS A 1202)	-
密度 (難透水性覆土 上部覆土)		-

試験方法は、実施環境及び実態に応じて見直すものとする。

(2) 天然バリアの低透水性の監視、測定項目

天然バリアの低透水性に対する各部材の監視、測定項目と影響要因を第 15 表に示す。類似環境下に埋設する供試体及び周辺材料は、各影響要因を考慮する。第 16 表に低透水性に対する測定項目の試験方法を示す。

第 15 表 低透水性に対する各部材の監視、測定項目例と影響要因

部材	監視、測定項目例	影響要因
下部覆土 難透水性覆土	⑥間隙率	<ul style="list-style-type: none"> 可溶性塩影響により、空隙特性(空隙率、空隙構造)が変化するとともに、膨潤性能が低下する。 セメント系材料からの高アルカリ性の間隙水によるベントナイト構成材料の溶解に伴う密度低下する。溶解成分と地下水成分などが反応して二次鉱物が沈殿する。
	⑦密度	
	⑧透水係数	

第 16 表 低透水性に対する測定項目例の試験方法

試験項目例	試験方法	備考
間隙率	砂置換法による土の密度試験方法(JIS A 1214) 土の含水比試験方法(JIS A 1203)	-
密度	土粒子の密度試験方法(JIS A 1202) ベントナイトなどのメチレンブルー吸着量の測定方法(JIS Z 2451)	
透水係数	低透水性材料の透水試験方法(JGS 0312-2018)	-

試験方法は、実施環境及び実態に応じて見直すものとする。

5. まとめ

人工バリアの閉じ込め機能について、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間、排水監視設備からの排水量及び排水中の放射性物質濃度を監視及び測定することで、閉じ込め機能が維持されていることを確認できる設計とする。

人工バリア及び天然バリアの移行抑制機能について、覆土完了以後から廃止措置開始までの間、地下水採取孔、地下水位測定孔及び全水頭測定孔を設け、**廃棄物埋設地周辺環境の変化を確認する。また、類似環境下での原位置試験あるいはそれを補完する室内試験を行い、人工バリア及び天然バリア移行抑制機能(収着性、低透水性)の変化を確認する。これにより、移行抑制機能として期待する技術要件である低透水性及び収着性が維持されていることを確認できる設計とする。**

【廃棄物埋設地周辺環境変化の変化に対する監視、測定項目】

- ・ 地下水の水質(放射性物質濃度を含む)及び温度
- ・ 地下水の流向、動水勾配及び覆土内地下水位
- ・ 地下水の流向

【人工バリア及び天然バリアの移行抑制機能(収着性、低透水性)の変化に対する監視、測定項目例】

- ・ 分配係数
- ・ 間隙率
- ・ 密度
- ・ 透水係数

地下水の水位等の監視項目例ごとの監視位置及び監視設備を第 17 表に示す。

第 17 表 地下水の水位等の監視項目例ごとの監視位置及び監視設備

機能	主な監視項目例	覆土完了まで		覆土完了以後	
		監視位置	監視設備	監視位置	監視設備
閉じ込め機能	排水監視設備からの排水量及び排水中に含まれる放射性物質濃度	廃棄物埋設地	排水監視設備	—	—
移行抑制機能	①地下水の水質 (放射性物質濃度含む)	—	—	廃棄物埋設地付近	地下水採取孔
	③地下水位 ・地下水の流向 ・覆土内水位	—	—	周辺監視区域境界付近*1	地下水位測定孔
				廃棄物埋設地付近 廃棄物埋設地の覆土施工範囲	地下水位測定孔 全水頭測定孔
	④動水勾配	—	—	廃棄物埋設地付近	地下水位測定孔
	⑤分配係数	—	—	類似環境下での原位置試験場あるいはそれを補完する室内試験施設	—
	⑥間隙率	—	—		
	⑦密度	—	—		
⑧透水係数	—	—			

*1 周辺監視区域廃止後は取り止める。