

## 安全な施設管理に向けた技術的検討課題（案）

指定廃棄物処理施設の構造・維持管理による安全性の確保に関する対策等については、これまでの有識者会議で整理されたところであるが、今後、実際に指定廃棄物を処理施設において安全に長期管理していくにあたり、技術的課題を整理し、将来的な施設管理のあり方も含め、さらに具体的な検討が必要。

検討事項としては、管理中の指定廃棄物の放射性セシウム濃度レベルに応じた対応、施設の管理期間、施設の維持管理方法に関するものが考えられる。

### （1）施設管理のあり方について

#### 【既に整理されている事項】

- ・ 処理施設の安全性確保の考え方（参考 1）

#### 【今後の検討課題】

- ・ 濃度レベルに応じた指定廃棄物の処理方法
- ・ 指定廃棄物の放射性セシウム濃度が十分に低下した場合の施設管理のあり方

### （2）施設の構造について

#### 【既に整理されている事項】

- ・ 多重防護の考え方（参考 1）
- ・ 施設構造の考え方（コンクリートの二重構造等）（参考 2）
- ・ 埋立方法の考え方（参考 3）
- ・ 放射線の遮へい方法の考え方（参考 4）
- ・ コンクリートの耐久性（参考 5）

#### 【今後の検討課題】

- ・ 具体的な必要耐用年数（コンクリート等）の設定
- ・ その耐用年数を実現するための具体的な維持管理方法

(3) 施設の維持管理方法について

a. モニタリング方法

【既に整理されている事項】

- ・測定のおえ方（測定項目、測定位置）（参考6）

【今後の課題】

- ・測定のおえ方（測定頻度）
- ・漏えい検知システム

b. 点検・維持管理方法について（異常発生時の対応を含む）

【既に整理されている事項】

- ・施設の機能維持のおえ方（参考7）
- ・第1監視期間<sup>\*1</sup>のおえ方（参考8）
- ・第2監視期間<sup>\*2</sup>のおえ方（参考9）

\*1 第1監視期間：管理点検廊より、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断等の検査によって埋立構造物の健全性について確認・補修等を行う期間

\*2 第2監視期間：第1監視期間の後、放射性セシウム吸着性のあるベントナイト混合土を管理点検廊に充填して、モニタリングを継続する期間

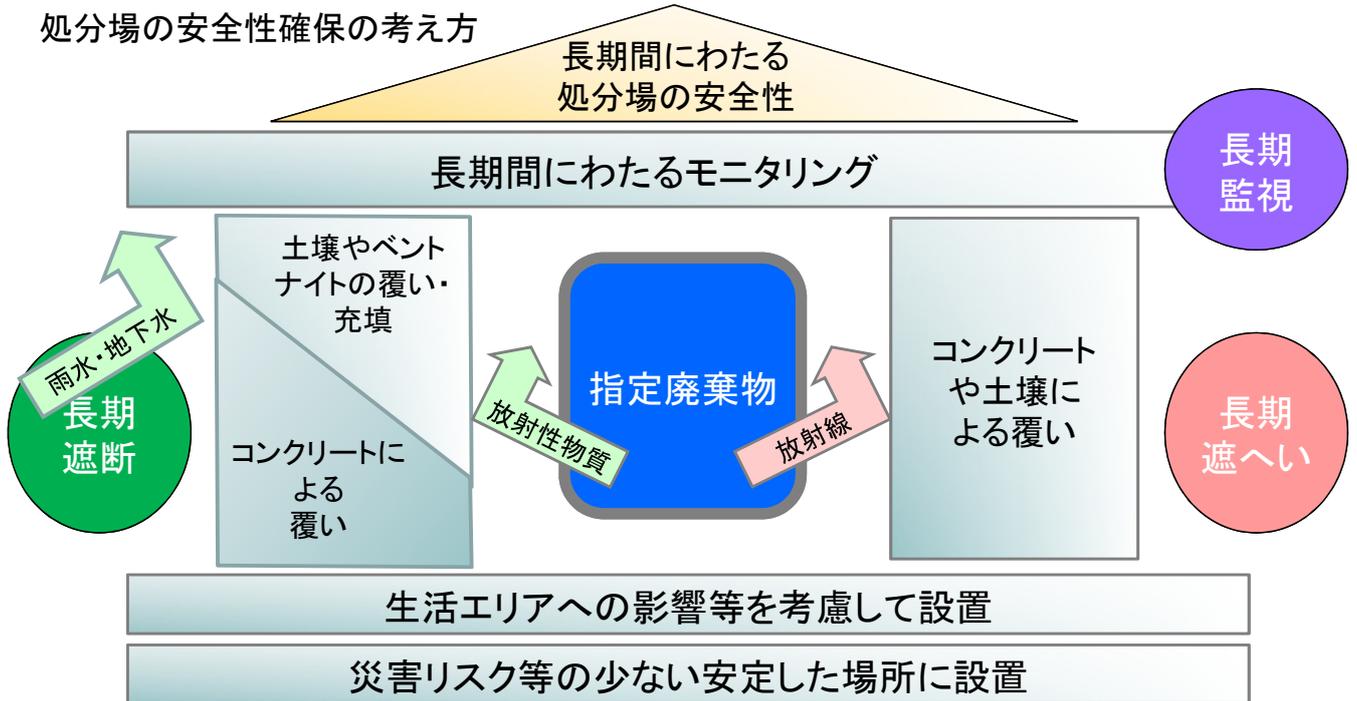
【今後の課題】

- ・第1監視期間から第2監視期間への具体的な移行時期
- ・第2監視期間の終了時期
- ・漏えいが検知された場合の対策工（遮断のための矢板等）

# はじめに: 処分場の安全性確保の考え方

◆指定廃棄物が健康や環境に及ぼす影響を防止できるように配慮した立地検討、処分場設計、長期間の監視を行います。

## 処分場の安全性確保の考え方



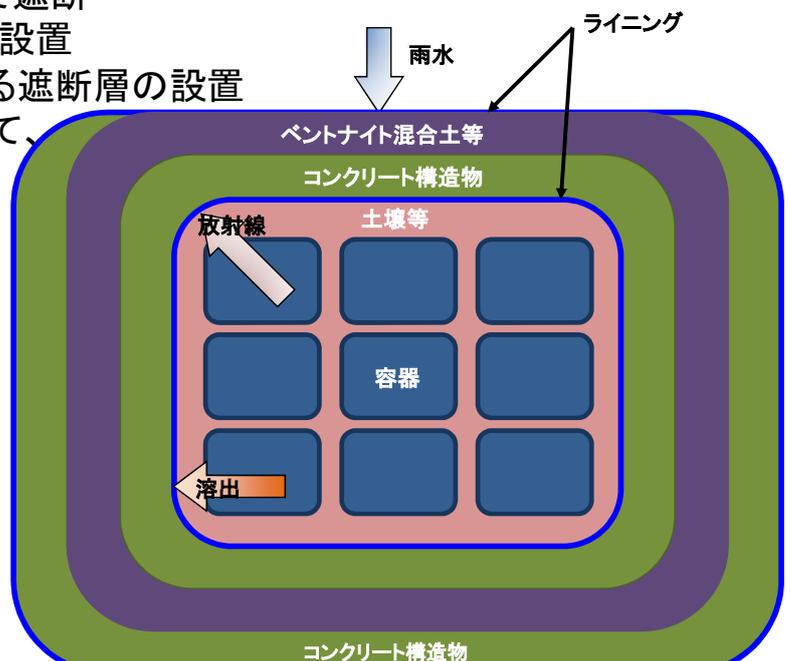
# はじめに: 処分場の安全性確保の方法

搬入する廃棄物は、

- ①容器(フレキシブルコンテナ等)で密封
- ②土壌等でサンドイッチ状に埋設
- ③2重のコンクリート構造物で遮断
- ④ライニングによる保護層の設置
- ⑤ベントナイト混合土等による遮断層の設置

等の何重もの安全対策を講じて、安全性を確保します。

対策	効果
容器	飛散・漏出防止
土壌等	吸着、遮へい
コンクリート	遮断、遮へい
ライニング	コンクリート保護
ベントナイト混合土等	吸着、遮断、遮へい



安全性確保のためのフェイルセーフ・システム

◆ 指定廃棄物の処分場では、安全性を確保するために、以下の安全確保の方法をとります。

## 長期間にわたる処分場の安全性確保のための方法

管理区分	埋立中	第1監視期間	第2監視期間
	3年間程度	数十年間	その後～
安全性の確保の目安	追加線量1mSv/年以下 (第1監視期間以降は追加線量10 $\mu$ Sv/年以下)		100年で約16分の1に減衰
安全確保の基礎	生活エリアへの影響等を考慮して設置 災害リスク等の少ない安定した場所に設置		
遮断する	コンクリート製の遮断型構造		ベントナイト混合土を管理点検廊に充填
	屋根・囲いの設置	コンクリート・ベントナイト・ 土壌による覆い	
遮へいする	コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い		
安全を確認する	長期間にわたって点検・維持管理を可能とする構造		
	長期間にわたる放射線・放射能のモニタリング		

## 作業中の飛散防止のための対策

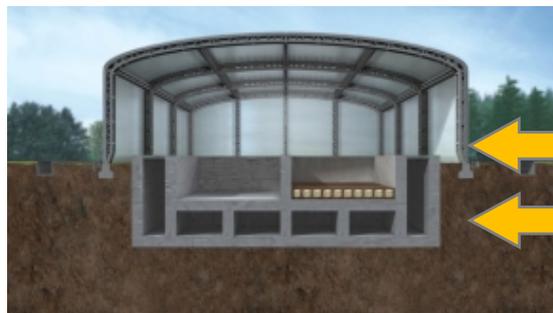
飛散の防止	放射性物質を飛散させない輸送・仮置き・焼却・埋立
-------	--------------------------

## ①: 処分場: コンクリート製の遮断型構造

参考2 第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P13

- ◆ 処分場の構造は、**放射性物質を含む廃棄物の影響を遮断**するため、コンクリートに囲まれた遮断型構造とします。
- ◆ 埋立期間中には屋根と囲いを設置し、雨水が処分場内に浸入することを防ぎます。
- ◆ また、コンクリート壁の立ち上がり部分を地上面より高くすることで、雨により生じた**表流水(地表面を流れる水)**が処分場内に浸入することを防ぎます。
- ◆ 処分場は深さ約8mの地下埋設型のコンクリート構造であり、雨水により土壌にしみこんだ水が処分場内に浸入することを防ぎます。
- ◆ これによって、地下水及び表流水が廃棄物に接触しないようにするとともに、**放射性物質が外部に漏れ出すことを防ぐ**ことができます。

処分場の構造



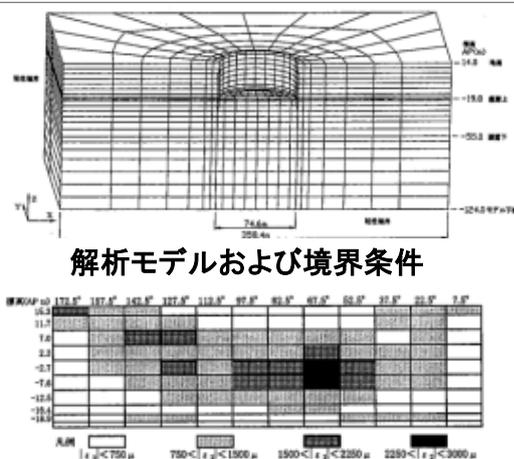
表流水の浸入防止

地下水の浸入防止

## ① : 処分場: コンクリート製の遮断型構造

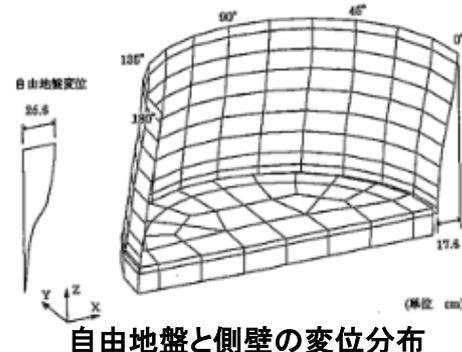
第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P14

- ◆ 当該地において想定される地震を想定し、**耐震性・安全性を高めた構造物**とします。
- ◆ **地震応答解析\***を行い、極めて稀に発生する地震による力に対しても倒壊、崩壊せずに躯体を維持できることを確認します。



解析モデルおよび境界条件

圧縮主ひずみの分布



自由地盤と側壁の変位分布

LNG地下タンク躯体の地震応答解析の例

\*) 構造物および周辺地盤を小さな要素の集合体としてモデル化し、地中の岩盤面(工学的基盤面)に時間とともに変化する地震加速度波形を与え、地中から構造物まで伝わる振動(加速度、速度、変位)を逐次計算し、地震の発生から終息までの各時間ごとに構造物の各部位に発生するひずみや応力を求める方法。

## ① : 処分場:コンクリート製の遮断型構造

- ◆コンクリートの耐久性を持続させるため、**コンクリート壁体の内外面には腐食防止対策**を講じます。
- ◆腐食防止対策としては、エポキシ樹脂塗装、FRP防食ライニング、シートライニング等の施工を想定しています。
- ◆鉄筋には耐腐食性の高いものを使用します。

### 腐食防止対策

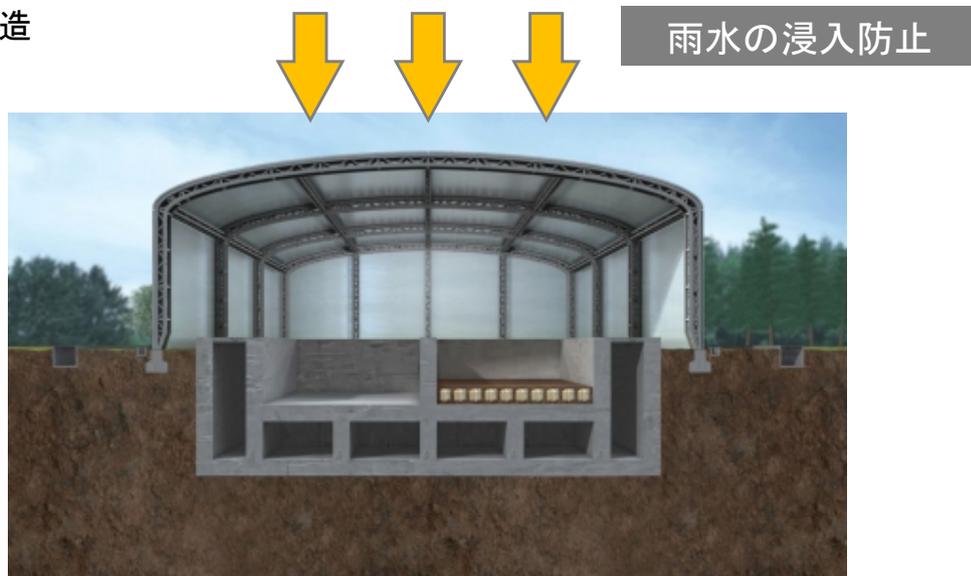
- エポキシ樹脂塗装 :耐薬品性、耐磨耗性、密着性に優れた、エポキシ樹脂塗料を用いた塗装
- FRP防食ライニング:耐水・耐食性及びクラック追従性に優れたビニルエステル樹脂とガラスマット等を複合した工法
- シートライニング :伸縮性に富んだシート(ゴム系、塩ビ系、アスファルト系)を使用する工法

## ②: 処分場: 屋根・囲いの設置

参考3 第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P17

- ◆埋立期間中には、屋根と囲いを設置します。
- ◆これによって、**雨水が埋立地の内部に浸入することを防ぐとともに、埋立作業中の粉じん等の外部への飛散を防ぐことができます。**

処分場の構造



## ②: 処分場: 屋根・囲いの設置

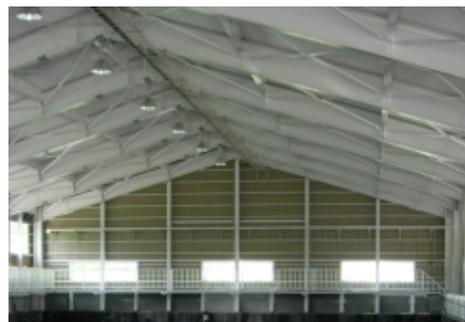
第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P18

埋立地や仮置場に設置する屋根や囲いは、台風、稀に発生する竜巻、地震、積雪を考慮して、鉄骨造の骨組み構造等とします。

- ◆屋根は金属製の折板構造とします。
- ◆構造材は鋼製の骨組み構造とします。



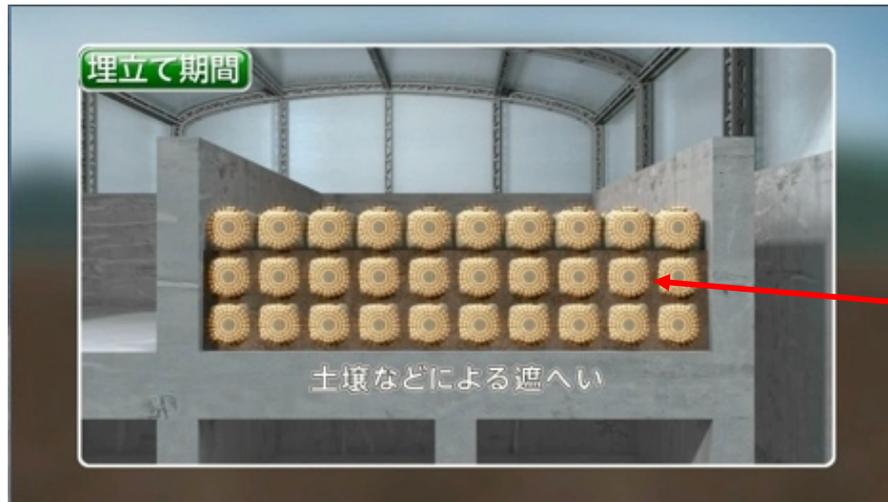
屋根外観(例)



屋根内部(例)

## ②: 処分場: 屋根・囲いの設置

- ◆ 廃棄物が入った容器と容器の間に、土壌を充填します。また容器の上は土壌で覆います。
- ◆ 土壌を充填することにより、仮に容器から廃棄物が流出し放射性物質が溶け出したとしても、放射性物質が埋立構造物の外に移動することを防ぐことができます。
- ◆ また、土壌で覆うことで、埋立作業中の処分場付近の空間線量率を低減することができます。(土壌による遮へい効果)

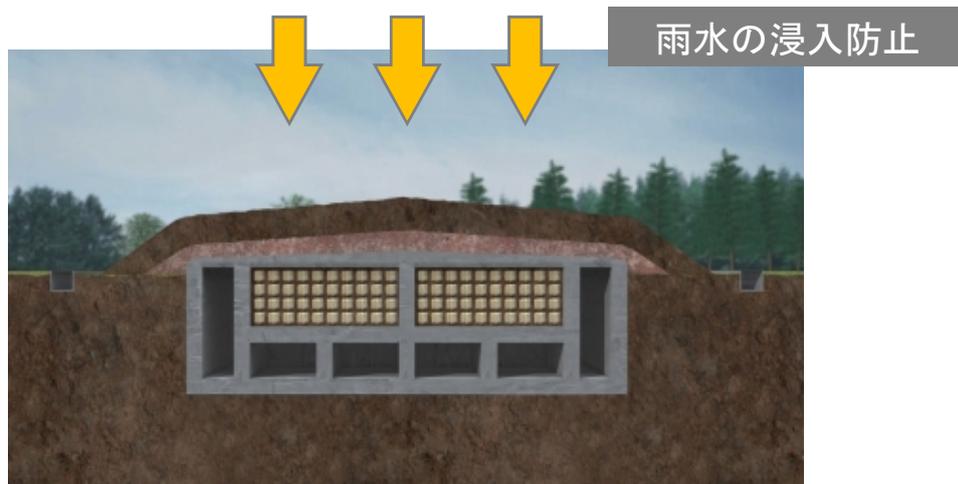


土壌を  
充填

## ③: 埋立後のコンクリート・ベントナイト・土壌による覆い

- ◆ 指定廃棄物の埋立終了後には、処分場の上部をコンクリート製の覆いで蓋をし、さらにその上に止水性のあるベントナイト混合土で覆い、さらに土壌で覆います。
- ◆ これによって、埋立終了後も雨水が埋立地に浸入することを防ぐことができます。

第1監視期間



## ⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い

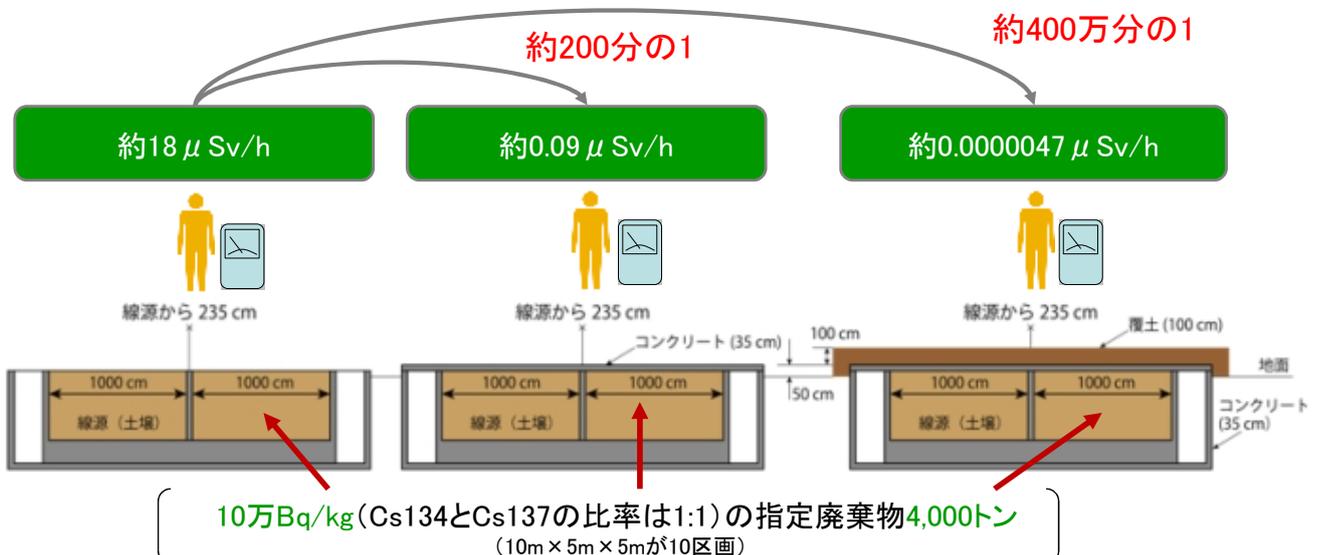
- ◆指定廃棄物には放射性物質が含まれているため、放射線を出します。外部被ばくを防ぐためには、遮へい効果のあるコンクリートや土壌で覆い、指定廃棄物からの放射線を遮へいすることが重要です。
- ◆そこで、埋立中は**廃棄物を埋め立てる度にその上を土壌で覆い**、埋立終了後には処分場の上部を**コンクリート製の覆いで蓋をし**、さらにその上を**ベントナイト混合土や土壌**で覆います。
- ◆これによって、処分場内にある**放射性物質から出される放射線を十分に遮へい**することができ、人の健康への影響を防ぐことができます。

第1監視期間



## ⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い

- ◆コンクリートと土壌の遮へい効果の程度を試算した結果、**35cmのコンクリート層**を設置した場合、**放射線は約99.5%遮へい**され、放射線の量は**約200分の1**になります。
- ◆その上に**100cmの土壌層**を設置した場合は、放射線はさらに遮へいされ、放射線の量は**約400万分の1**になります。



\*線源の放射性セシウム濃度及びコンクリートの単位体積重量は保守的な値を用いて計算しているため、実際の空間線量率は記載している数値よりさらに小さい数値となります。

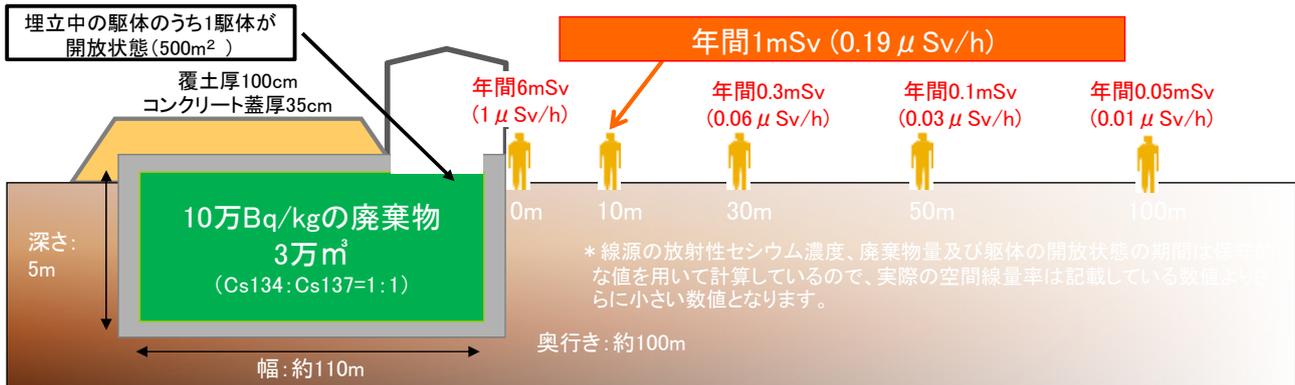
## ⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い

第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P28

- ◆ 以下の図は、「埋立中」における、埋立区画端からの距離毎の空間線量率のシミュレーションの結果です。
- ◆ 埋立中においては、敷地境界で周辺公衆の追加被ばく線量が年間1mSv(0.19 μSv/h)を超えないようにすることとされています。敷地境界線を埋立区画端から10m以上とることによって、周辺公衆の追加被ばく線量の年間1mSvを下回ります。
- ◆ 埋立の際、埋立終了した区画を速やかに覆土して遮蔽を行うことにより、敷地境界での追加被ばく線量は、シミュレーション計算値の数分の1に低減します。

### ■シミュレーション計算条件の設定

- ・10万Bq/kgを3万m<sup>3</sup>埋立(Cs134:Cs137=1:1と仮定)
- ・廃棄物の上には、厚さ35cmのコンクリート蓋、厚さ100cmの土壌の覆い
- ・建屋を設置(幅3,000cm×奥行き3,600cm×高さ1,250cm、屋根の厚さ:0.1cm、壁の厚さ:0.035cm、材質:鉄7.9 g/cm<sup>3</sup>)



※図中の年間追加空間線量率は、1日の内、8時間を外で、16時間を屋内で過ごした場合を想定した値であり、下記の式で求められるものです。  
年間あたりの追加空間線量率=時間あたりの追加空間線量率×(8+0.4×16)×365

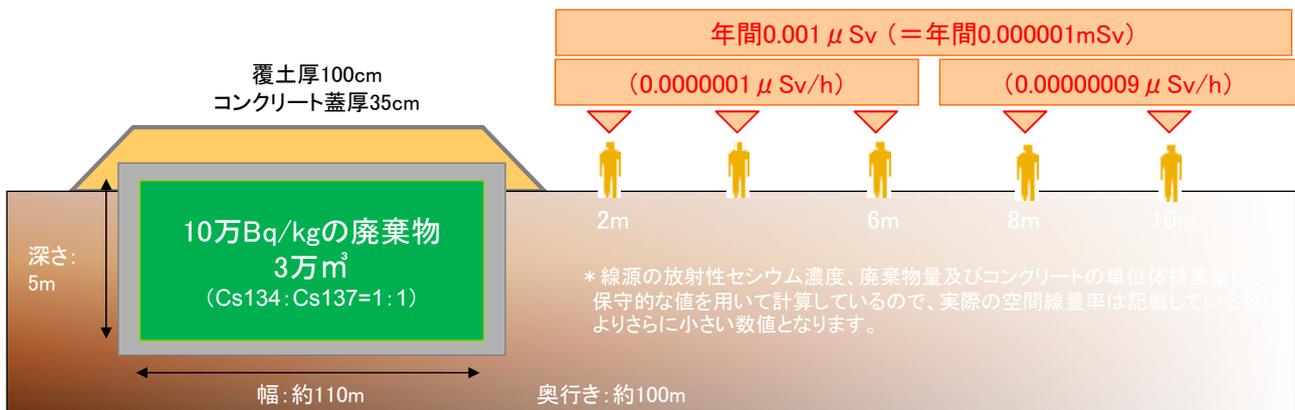
## ⑤:コンクリート・ベントナイト・土壌による覆い

第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P29

- ◆ 以下の図は、「埋立終了後」における、埋立区画端からの距離毎の空間線量率のシミュレーションの結果です。
- ◆ 埋立終了後においては、周辺公衆の追加被ばく線量が年間10 μSvを超えないようにすることとされています。シミュレーション結果からは、処分場付近(2m)でも年間0.001 μSvと、年間10 μSvを大きく下回ります。具体的には、年間10 μSvに対して1万分の1程度の小さな値となります。

### ■シミュレーション計算条件の設定

- ・10万Bq/kgを3万m<sup>3</sup>埋立
- ・廃棄物の上には、厚さ35cmのコンクリート蓋、厚さ100cmの土壌の覆い



※図中の年間追加空間線量率は、1日24時間を外で過ごした場合を想定した値であり、下記の式で求められるものです。  
年間あたりの追加空間線量率=時間あたりの追加空間線量率×24×365

## ① : 処分場:コンクリート製の遮断型構造

- ◆ 使用するコンクリートは強度は、鉄筋コンクリート構造体の計画供用期間※を参考に、必要な耐久性を確保できるものを使用し、長期にわたり建物の強度、水の遮断機能、放射線の遮へい機能を維持します。
- ◆ コンクリートや鉄筋に用いる材質については、耐久性等を十分配慮したものを使用します。

※計画供用期間: 躯体の計画耐用年数。大規模補修を必要としないことが予定できる期間

### 鉄筋コンクリート構造体の計画供用期間

供用期間の級	計画供用期間
標準供用級	およそ65年
長期供用級	およそ100年
超長期供用級	およそ200年

出典: 日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説5 第13版

### 鉄筋コンクリートの耐久性

- ◆ 一般的に、地中で環境変化が少ない場合、コンクリートの劣化は遅くなります。
- ◆ コンクリートが所要の強度を有していて、鉄筋の発錆を抑制する対策が講じられていれば、鉄筋コンクリート構造物は100年以上は十分に耐久性があります。

## 【参考資料】コンクリートの耐久性について

- ◆ イタリアのソマ・ヴェスヴィアーナ遺跡から発掘された約2000年前の古代コンクリートは、建設時の約1/4※の圧縮強度を有していた。

※発掘した古代コンクリートの圧縮強度: 3.3~5.6N/mm<sup>2</sup>  
当時の製法を再現して作成した模擬試験体(材齢1年)の圧縮強度: 20N/mm<sup>2</sup>



ソマ遺跡で採取された古代コンクリート

ただし、古代コンクリートの製法や材料は、現代コンクリートとは異なっている。

		古代コンクリート	現代コンクリート
特徴		消石灰と骨材間のポゾラン反応及び消石灰の炭酸化硬化を利用し、長時間かけてゆっくりと強度を発現させる	セメントそれ自体の水和反応を利用し、早期に強度を発現させる
材質	セメント	消石灰	エーライト(Ca3SiO5)、 ビーライト(Ca2SiO4)
	細骨材	山砂、海砂、川砂	砂、砂利、採石、砕砂、人口軽量骨材、スラグ骨材など
	粗骨材	レンガ屑、石材	おおむね5mm以上の粒径のもの
	混和材	ポツォラーナ (高耐久性、水中施工性が求められる場合)	高炉スラグ、シリカフューム
	混和剤	油	分散剤、遅延剤、増粘剤
耐久性		80年以上	一般の建築物で50年、 高耐久性の建築物で100年

土木学会:コンクリートライブラリー131号古代ローマコンクリート(2008)より



## ⑧:長期間にわたるモニタリング

◆処分場では、万が一何らかの変化があればいち早く察知して対処可能とするため、埋立中から、継続して放射線量や地下水のモニタリング(監視)を実施します。

### 測定のお考え方

- ▶放射線量は敷地境界の空間線量率を、観測井では地下水の放射性セシウム濃度などを測定し、許容値内に収まっていることや異常な変化がないことを確認します。
- ▶空間線量率については、敷地境界でバックグラウンドレベルであることを確認します。(埋立中は累積追加線量が年間1mSvを超えないように、埋立終了後は累積追加線量が年間10μSvを超えないようにします。)
- ▶測定結果はインターネット等により公開します。

※なお、先にも述べたとおり、十分な遮へいを行うことにより、実際の追加被ばく線量はバックグラウンドと比べても十分に小さな値となると考えられます。

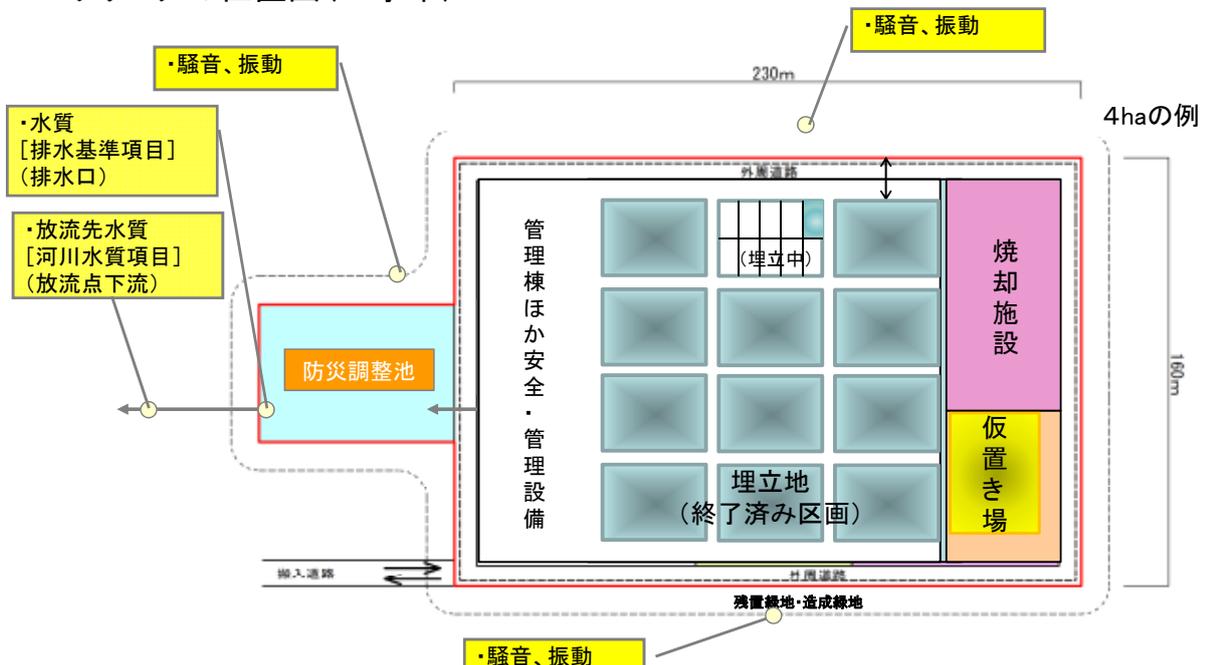
処分場モニタリング計画(案)

	区分	モニタリング	
		項目	測定場所
工事中	生活環境	水質(排水基準項目)	排水口
		放流先水質(河川水質項目)	放流点下流
		騒音、振動	敷地境界
埋立中	生活環境	生活排水	排水口
		騒音、振動	敷地境界
		空間線量率	敷地境界
監視期間	施設の健全性	地下水水質(放射性セシウム濃度、ダイオキシン類、電気伝導率、塩化物イオン、地下水水質項目)	地下水モニタリング井戸

## ⑧長期間にわたるモニタリング

◆施設内及び施設周辺の各所において、モニタリング(監視)を行い、許容値内に収まっていることや異常な変化がないことを確認します。

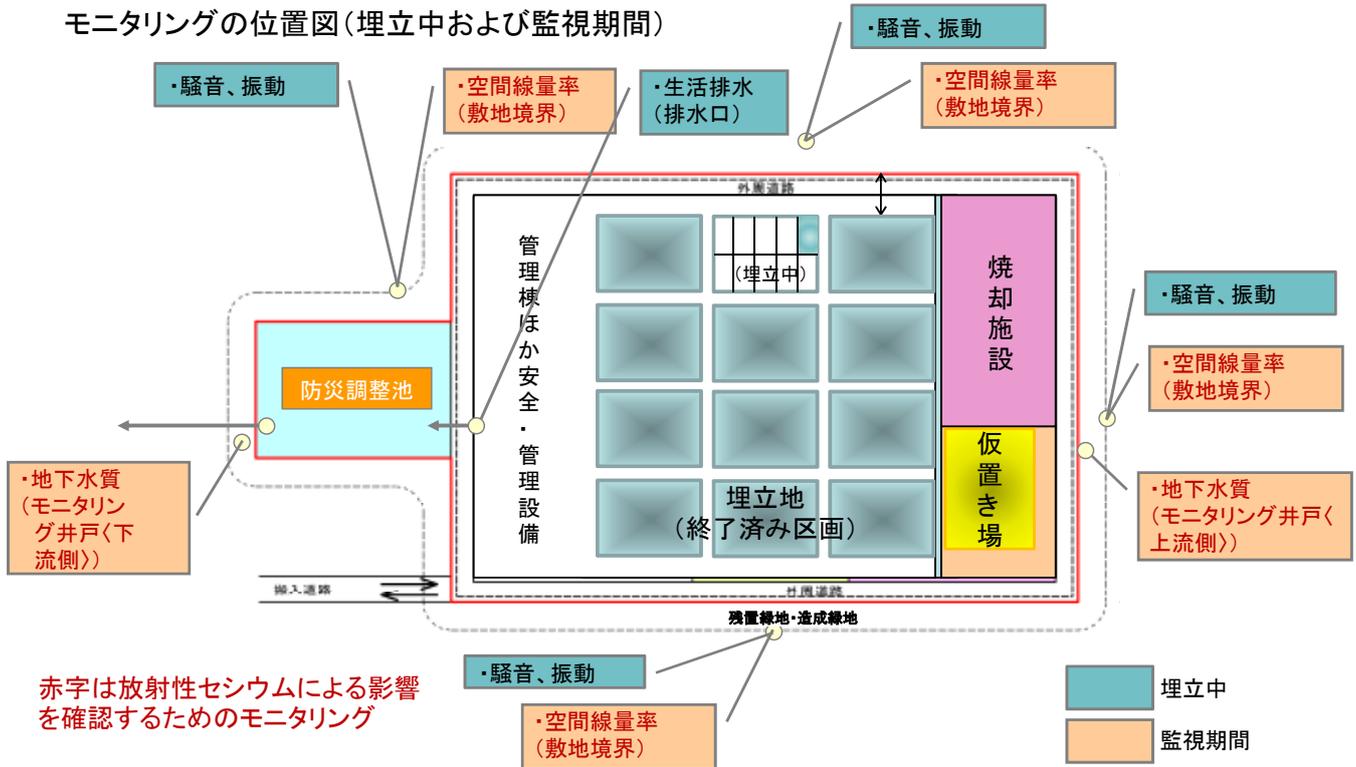
モニタリングの位置図(工事中)



## ⑧長期間にわたるモニタリング

◆敷地内の各所において、モニタリング(監視)を行い、許容値内に収まっていることや異常な変化がないことを確認します。

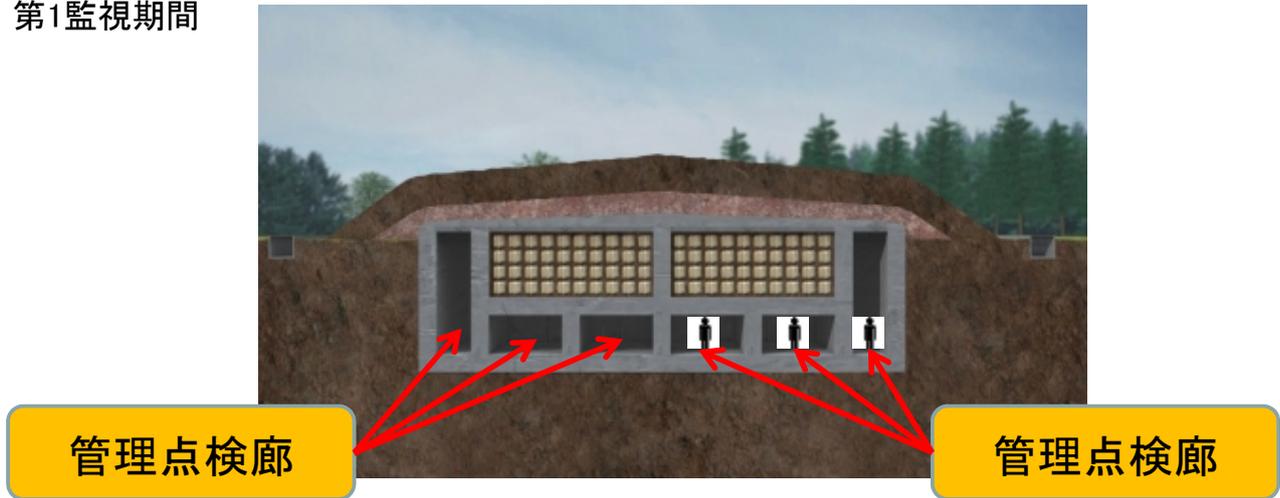
モニタリングの位置図(埋立中および監視期間)



## ⑥:長期間にわたる点検・維持管理

- ◆処分場施設の健全性については、埋立中および第1監視期間において、管理点検廊から直接目視によりコンクリート構造物の健全性を監視します。
- ◆第1監視期間では、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断を行って施設の健全性を確認すると同時に、適切に補修等を行いながら管理していきます。

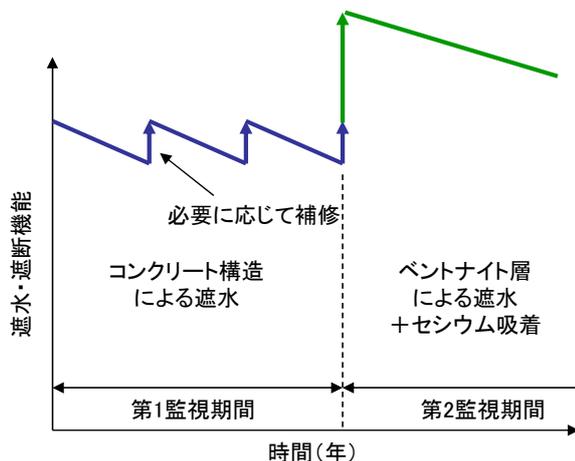
### 第1監視期間



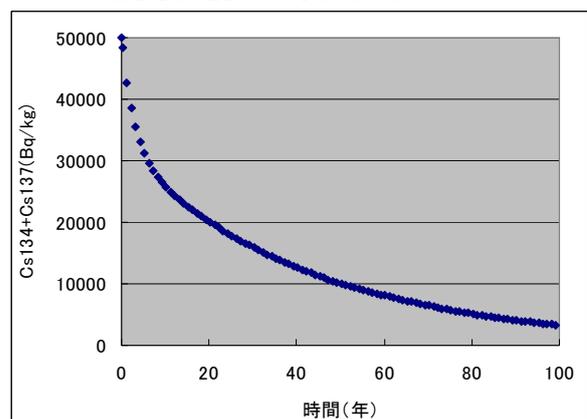
## ⑥:長期間にわたる点検・維持管理

- ◆適切に維持管理を行うことにより、非常に長期間にわたり遮水機能を維持することができます。
- ◆このように、処分場の遮水機能が十分に維持されている間に、廃棄物中の放射性セシウム濃度は減衰していきます。
- ◆例えば、放射性セシウム濃度は100年で約16分の1に減衰します。

※5万Bq/kgの内訳(Cs134とCs137の比率)は、福島第一原子力発電所から放出された時点で1:1であると仮定し、その後1年6ヶ月経過したものとして計算しています。



監視期間における処分場機能の維持



放射性セシウム濃度の減衰



## ⑦: 第1監視期間の考え方

参考8 第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P34

- ◆ 第1監視期間は、管理点検廊より、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断等の検査によって埋立構造物の健全性について確認を行う期間(埋立終了後の数十年間)です。

### <考え方>

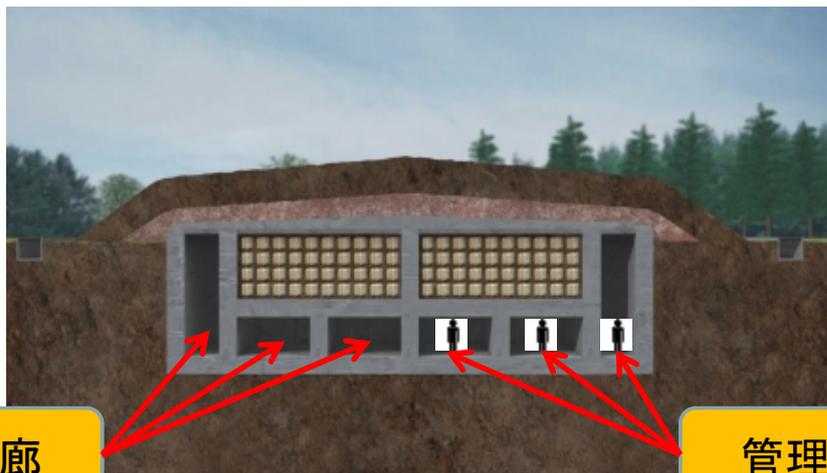
- 埋立地周辺の空間線量については、埋立処分が完了し、コンクリートによる覆いと土壌層による覆土が完成した時点においてモデル計算をしてみると、埋立地からの距離が2mの地点であっても線量は年間 $0.001 \mu\text{Sv}$ と試算され、管理目標値の年間 $10 \mu\text{Sv}$ に対して約1万分の1となります。
- ただし、地下水や雨水に対する遮断性能や放射線の遮蔽性能が適切に発揮されていることを一定期間確認することによって、処分場の安全性をより明確に示す必要があります。
- 埋立終了後の数十年間、第1監視期間として、管理点検廊より、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断等の検査によって埋立構造物の健全性を確認するとともに、線量が十分低い状態になっていることを確認します。その後、コンクリートが劣化した場合であっても、放射性セシウムの漏出を防止できるベントナイト混合土の充填に切り替え、第2監視期間として、引き続き地下水等のモニタリングを適切に行い管理していきます。  
管理にあたっては、専門家の意見を踏まえて実施いたします。

## ⑥: 長期間にわたる点検・維持管理

第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P31

- ◆ 処分場施設の健全性については、埋立中および第1監視期間において、管理点検廊から直接目視によりコンクリート構造物の健全性を監視します。
- ◆ 第1監視期間では、コンクリートのひび割れ点検、劣化診断を行って施設の健全性を確認すると同時に、適切に補修等を行いながら管理していきます。

### 第1監視期間



管理点検廊

管理点検廊

## 【参考資料】処分場施設の点検・補修方法の例

第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P59

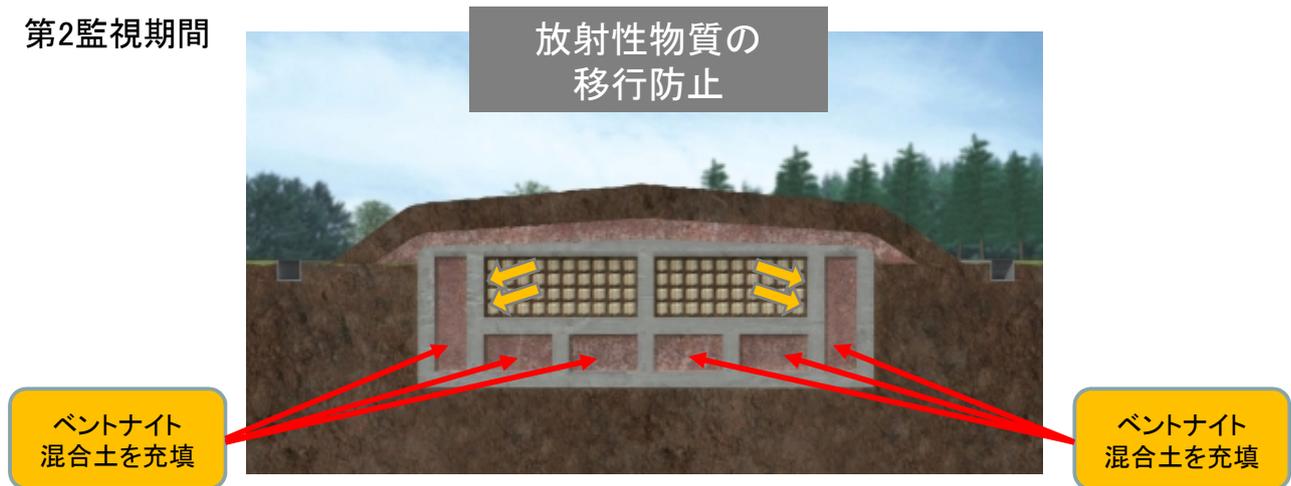
点検項目		点検方法	補修方法
コンクリート	ひび割れ	クラックスケールによるひび割れ幅調査 クラックチェッカーによる目視検査	表面被覆工法 充填工法 注入工法
	剥離	目視点検 ハンマーによる打音検査	左官工法 吹付け工法 グラウト工法
	空洞	ハンマーによる打音検査 弾性波探査 電磁レーダー法 赤外線探査法	注入工法 充填工法
	強度	コアサンプリングによる圧縮強度試験 テストハンマーによる打撃 プルオフ法による引張強度試験	打換え・取替え工法 増厚工法 コンクリート巻立て工法 鋼板接着工法 FRP接着工法 鋼板巻立て工法 FRP巻立て工法
鉄筋	腐食	中性化深さ調査 塩化物イオン含有量調査 鉄筋腐食量調査 自然電位測定 分極抵抗測定	表面被覆工法 電気防食工法 脱塩工法 再アルカリ化工法 大断面修復工法

## ④: ベントナイト混合土の充填

参考9 第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P21

- ◆埋立終了後、一定の期間(第1監視期間)をおいた後、放射性セシウムを吸着する性質のあるベントナイト混合土を管理点検廊に廃棄物を包むように充填します(第2監視期間)。
- ◆これによって、遠い将来にコンクリート構造物が劣化して、ひび割れ部分から水がたとえ漏出したとしても、ベントナイト混合土に放射性セシウムが吸着されるので、処分場の外にまで漏れ出てくることを防止することができます。

第2監視期間



## ⑥: 長期間にわたる点検・維持管理

第2回指定廃棄物処分等有識者会議  
資料1-1(平成25年4月22日) P33

- ◆万が一、コンクリート壁及び管理点検廊に充填したベントナイト混合土層の両方が破損し、放射性セシウムを含む水が漏れ出したとしても、セシウムは土壤に吸着されるなどして敷地外まで到達するには極めて長い時間がかかります。
- ◆敷地境界に到達するまでの間に、新たな遮水壁の設置等の対策を講ずることで、敷地外への影響を防ぐことが可能です。
- ◆なお、周辺地盤が砂層等の透水性の高い土質の場合には、埋戻しの際に粘性土など透水性の低い材料で埋戻したり、必要に応じて地盤の改良を行います。

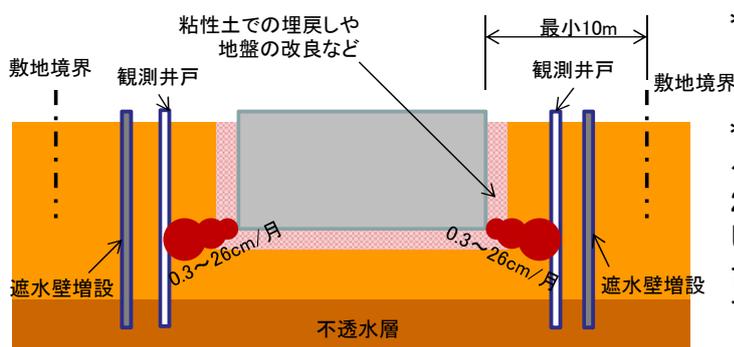
地下水の流速の試算例(吸着を考慮しない流速)

透水係数 :  $k=1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$  (シルト層の場合)

動水勾配 :  $i=0.15$

有効空隙率 :  $\lambda=0.15^{*1}$

流速 :  $v=k \cdot i / \lambda = 1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-5} \times 0.15 / 0.15 = 1.0 \times 10^{-7} \sim 10^{-5} \text{cm/sec} = 0.26 \sim 26 \text{cm/月}^{*2}$



\*1) 泥粘土質層の安全側代表値  
(地下水ハンドブック1979年)

\*2) 遮水壁を設置するのに3ヶ月を要すると仮定すると、この間に漏水は、最大  $26 \text{cm/月} \times 3 \text{月} = 78 \text{cm}$  しか進みません。したがって、敷地外に放射性セシウムを含む水が漏れ出す前に、遮断することができます。