

8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の焼却灰等の処分方法に関する方針

環境省が6月23日に示した「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」においては、放射性セシウムの濃度が8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の焼却灰等については、処分の安全性が確認されるまでの間、一時保管とすることが適当とされている。今般、一時保管の後の安全な処分方法についての技術的な検討結果を以下のとおり取りまとめた。

1 安全な処分を行うための技術的な論点

「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」をとりまとめた際の知見は、次のとおりである。

- 放射性セシウム濃度（セシウム134とセシウム137の合計値。以下同じ。）が100,000Bq/kg以下の脱水汚泥等について、跡地を居住等の用途に供しないこととした上で長期的に適切な措置を講じる条件下で埋立処分した場合、跡地からの周辺住民の被ばく線量が年間 $10\mu\text{Sv}$ を下回るとの試算が得られている（原子力災害対策本部「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」）。
- 100,000Bq/kg以下の廃棄物を一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）で埋立処分する場合、作業中は、居住地域等の敷地境界から適切な距離をとれば、周辺住民の被ばく線量が年間 1mSv を下回るとの試算が得られている（環境省「福島県内の災害廃棄物の処理における一時保管」別紙）。
- 放射性セシウム濃度が8,000Bq/kg以下の廃棄物をそのまま埋立処分する場合の作業員の被ばく線量は、原子力安全委員会による作業員の目安である年間 1mSv を下回っている。このように、8,000Bq/kgは作業員の安全も確保される濃度レベルである（環境省「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」参考3）。

以上のようなことを踏まえ、8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下のものについては、跡地利用の制限による一般公衆の被ばく防止及び電離放射線障害防止規則に準じた作業員の被ばく対策に加えて、次の(1)及び(2)により、安全に埋立処分することが可能と考えられる。

(1) 放射性セシウムによる公共用水域や地下水の汚染が防止されること

- ・長期間に渡って放射性セシウムを含む焼却灰と水が極力接触しないように対策を講じる。
- ・そのうえで、放射性セシウムが溶出した場合の対応として、土壌吸着性を考慮し、土壌の層の上に埋め立てる。
- ・さらに、放射性セシウムが流出してきた場合の対応として、処分場からの排水等のモニタリングを行い、必要に応じて排水処理を行う。

(2) 跡地の利用制限を含め、長期的な管理が行われること

2 放射性セシウムによる公共用水域や地下水の汚染の防止

一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）で埋立処分を行うに当たっては、2-1の共通事項に加え、2-2に掲げるいずれかの埋立方法により水との接触の防止又は低減化を図る必要がある。

また、2-3のとおり、処分場へ雨水が流入しない遮断型最終処分場で埋立処分を行うことも考えられる。

2-1 埋立てにあたっての共通事項

(1) 水との接触の防止又は低減化

1) 焼却灰は放射性セシウムが溶出しやすいものもあることから、水との接触を防止又は低減化するために、セメントで均質に混合し焼却灰が容易に崩れないように固化したもの（セメント固化と同等の接触や溶出防止効果のある他の方法であってもよい。以下、「セメント固化物」という。）を埋め立てる。飛灰の場合は、固化の際に土壌と混合することにより吸着効果を期待することも考えられる。養生する場合は、作業環境や敷地境界での空間線量率を考慮して適切に行う。

2) 一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）内の水が溜まりやすい場所での埋立ては行わない。

(2) 土壌層の上への埋立て

仮に埋立場所に水が浸入しても放射性セシウムが排水中に流出するのを遅らせるために、埋立場所の下部には土壌の層（厚さ 50cm 程度。）を設置する^(注1)。なお廃棄物層の上に土壌の層を設ける場合には、不同沈下に配慮する。

(注1) 土壌の層は中間覆土層であってもよい。

(3) モニタリング及び排水処理

- 1) 一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）からの排水がある場合は、水質のモニタリングを行う^(注2)。また、当面、経口摂取を考慮して定められた「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示（平成十三年三月二十一日経済産業省告示第百八十七号）」別表第二で定められた濃度限度（三月間の平均濃度がセシウム 134 で 60Bq/L、セシウム 137 で 90Bq/L）（以下、「排水濃度限度」という。）^(注3)を目安として排水処理を行う。

- 2) 周辺の地下水の放射性セシウム濃度のモニタリングを行う^(注2)。

(4) その他の管理

処分場において他の廃棄物と分けて埋め立て、埋立場所を記録する。

2-2 埋立方法

2-1 埋立てにあたっての共通事項（1）水との接触の防止又は低減化を図りつつ、以下の1）～3）のいずれかの埋立方法により、安全に処分する。

1) 隔離層の設置による埋立て

以下のア)～エ)の対策を行う。

ア) 埋め立てる際には、セメント固化物をフレコンバッグ等に入れ、粉砕しないように作業する。また、埋立作業により生じた空隙を土壌で充填する。

イ) 埋立区画の下部に隔離層を設置したうえで埋め立てるとともに、埋め立て後は、側面及び上部に隔離層を設置する。隔離層の要件は、以下のとおりとする。

①セメント固化物 1 m³ 当たり 150kg 以上、かつ埋立処分を行う際におけ

(注2) モニタリングの方法については、当面、「福島県内の災害廃棄物の処理における焼却施設及びモニタリング」（平成 23 年 8 月 9 日、環境省）により、排水、排水汚泥及び周辺の地下水について、1 ヶ月に 1 回の頻度で行うことを基本とする。なお、処分場の状態を把握するため、放流水だけでなく、処理前の原水も測ることが望ましい。

(注3) 排水濃度限度は、同一人が 0 歳児から 70 歳になるまでの期間一定量水を摂取しても被ばく線量が一般公衆の許容値である年平均 1mSv となる濃度として設定されている。(参考文献：放射線審議会基本部会「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」（平成 11 年 4 月）等)

る一軸圧縮強度が0.98メガパスカル以上の強度が得られるような配合比^(注4)でセメントが混合されている場合：

- (i) 埋立区画の上部の隔離層：厚さ30cm程度以上の土壌の層。透水係数の低いベントナイト等の土壌、透水係数 $K=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下。
- (ii) (i)以外の場所の隔離層：厚さ30cm程度以上の土壌の層。透水係数 $K=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下でなくても構わないが、なるべく透水係数の低い粘土混合土等の土壌を用いることとする。

②セメント固化物が①の要件を満たさない場合：

- (i) 埋立区画の上・下部及び水が浸入する側の側面の隔離層：①(i)と同じ。
- (ii) (i)以外の場所の隔離層：①(ii)と同じ。

なお、①、②ともに、上部の隔離層については、不同沈下に配慮するとともに、水密性のアスファルトコンクリート（透水係数 $K=1.0 \times 10^{-7}$ cm/s以下。）を用いてもよい。

ウ) 降雨時に雨水が浸入するおそれのある埋立作業中の区画については、埋立作業時以外は上部をシート等の遮水性のあるもので覆う。また、雨天時の埋立作業は原則行わないこととするが、テント等の屋根で雨水の浸入を防止できる場合はその限りでない。

エ) 埋立てが終了した区画には、最終覆土を行う際に、雨水が冠水しないように隔離層の上部に排水勾配を作り、排水層^(注5)を設けるなどの処置を施す。

2) 長期間の耐久性のある容器による埋立て

以下のア)～ウ)の対策を行う。

ア) セメント固化物を蓋のある容器に入った状態で埋め立てる。

イ) 「容器」は、埋立作業中の破損だけでなく、劣化により破損しないよう、8,000Bq/kgまで低減するまでの期間程度の長期間の耐久性を確保した水密性の鉄筋コンクリート等の容器とする。

ウ) 廃棄物・覆土等の荷重による容器が破損しないように留意する。容器と容器の間の空隙を土壌で充填する。また、容器及びその内容物の自重そ

(注4) 焼却灰の含水率が高い場合などは、固形化物の強度に影響を及ぼすおそれがあることから、あらかじめ含水率を把握しておくことが望ましい。

(注5) 排水層は、透水係数の高い材料による層であり、隔離層の上部に降った雨を速やかに排除することにより隔離層の保護を図るものである。

の他廃棄物・覆土等の荷重による処分場の設備類が破損しないように留意する。

3) 屋根付き処分場での埋立て

屋根付き処分場で、以下のア)～ウ)の対策を行う。

ア) 処分場が廃止されるまでの間、雨水が浸入しないよう適正な管理を行う。

イ) 埋立場所については、飛散防止のため以外の散水は行わない。

ウ) 埋立終了区画などについて、屋根と同等の機能を有する覆いにより閉鎖終了する場合を除き、屋根を取り外さない。屋根の設備等を定期的に確認し、雨水が処分場内に浸入しないように必要な修繕を行う。

なお、2-1 埋立処分にあたっての共通事項(1)(2)については、屋根により雨水の浸入が防止されているため、不要である。

2-3 遮断型最終処分場での埋立て

一般廃棄物最終処分場(管理型最終処分場)以外に、有害な重金属等を含む廃棄物を埋め立てるための遮断型最終処分場での埋立処分が技術的に可能と考えられる。遮断型最終処分場は廃棄物が水と接触せず、排水が生じないため、管理が容易である。ただし、周辺の地下水の放射性セシウム濃度のモニタリングを行うこととする。

なお、既存の遮断型最終処分場は少ない(平成21年4月1日時点の全国の残存容量が16,085m³)。

3 周辺地域や作業員への放射線被ばくの防止

操業中の周辺地域や作業員への放射線被ばくを抑える観点から、敷地境界の被ばく線量を測定^(注6)するとともに、作業員の被ばくを電離放射線障害防止規則に準じて管理する。さらに、一日の作業終了後に覆土(即日覆土)を行う。なお、放射線遮蔽効果については、30cmの覆土を行うと空間線量率が40分の1程度になるとされている。ただし、作業員の被ばく線量が年間1mSvを下回る場合には即日覆土を行う必要はない。

(注6) 敷地境界での空間線量率については、当面、「福島県内の災害廃棄物の処理における焼却施設及びモニタリング」(平成23年8月9日、環境省)により、1週間に1回の頻度で行うことを基本とする。

4 跡地の利用制限を含めた長期的な管理

4-1 跡地の利用制限について

埋め立てられた焼却灰に含まれる放射性物質が安全なレベルまで低減するまでの期間、放射線の遮蔽の継続が必要である。

そのため、一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）の埋立終了後においても、廃棄物処理法に基づく管理を基本として、以下の1）～3）のとおり、覆土が適切に行われたことの確認、土地改変及び跡地利用用途の制限、モニタリングや排水処理の継続により、放射性物質に関する長期的な管理を行う必要がある。

1) 覆土が適切に行われたことの確認

埋立てが終了した際には、覆土が適切に行われたかどうか確認する。具体的には、覆土後の埋立地の空間線量率を詳細に測定し、バックグラウンドより著しく高い部分がないことを確認する。

2) 土地改変及び跡地利用用途の制限

放射線を遮蔽する効果が継続するように、放射性物質に汚染されたおそれのある焼却灰が埋め立てられた場所について、土地を改変しないこととし、跡地利用の用途の制限（居住等の用途に供しないこと）を行う。なお、水による放射性物質の処分場内での移動の可能性がある場合は、移動の可能性がある範囲も含めて土地改変及び跡地利用用途の制限を行う。

3) モニタリング、排水処理の継続

水との接触を低減化させるため、埋立終了後においては、沈下等に配慮しつつ、放射性物質に汚染されたおそれのある焼却灰が埋め立てられた場所について、当該場所に雨水が浸入する可能性のある範囲や、水による放射性物質の処分場内での移動の可能性がある範囲も含めて、可能な限り雨水浸入の防止の措置を取る。

また、埋立終了後も放射性物質が安全なレベルまで低減するまでの期間は、周辺地下水を含めたモニタリング^(注2)や、必要に応じて排水処理を行う。

4-2 民間業者の処分場について

長期的な管理が必要なため、民間業者が設置する処分場については、埋立終了後の長期間に渡るモニタリングや排水処理等が行われるよう、国、委託者である市町村等、施設の指導監督権限を有する県又は政令市が必要な指導を行うなどの措置を講じる必要がある。

また、埋め立てられた廃棄物の情報を公的に管理することが必要である。

5 その他

本方針は、現在の知見に基づき作成されたものであり、焼却灰の固化方法、放射性セシウムの溶出や処分場内における移動の防止等に関する新たな知見や技術開発により、他の処分方法を示すことができる可能性があることに留意されたい。

焼却施設で発生した焼却灰の測定により、東日本大震災以降、放射性セシウムの濃度が 8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の焼却灰が既に一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）に埋め立てられていることが明らかとなった場合、掘り返しを行うと放射性セシウムが飛散・流出により拡散するおそれがある。そこで、本方針を参考として雨水の流入防止措置等を講じつつ、長期的にモニタリングを行い、敷地境界での空間線量率がバックグラウンドと比べて著しく高くなく、かつ排水及び地下水等の放射性セシウム濃度が排水濃度限度を超えないことを確認することにより、周辺への安全性を確認することとする。

（参考 1）海面埋立処分場の取扱い

海面埋立処分場については、焼却灰と水との接触をなるべく抑える対策を講じたうえで排水処理を行い、跡地の利用制限を含めた長期的な管理を行うことにより、安全に埋立てを行うことができる可能性があると考えられることから、今後、個別に対応を検討することとする。

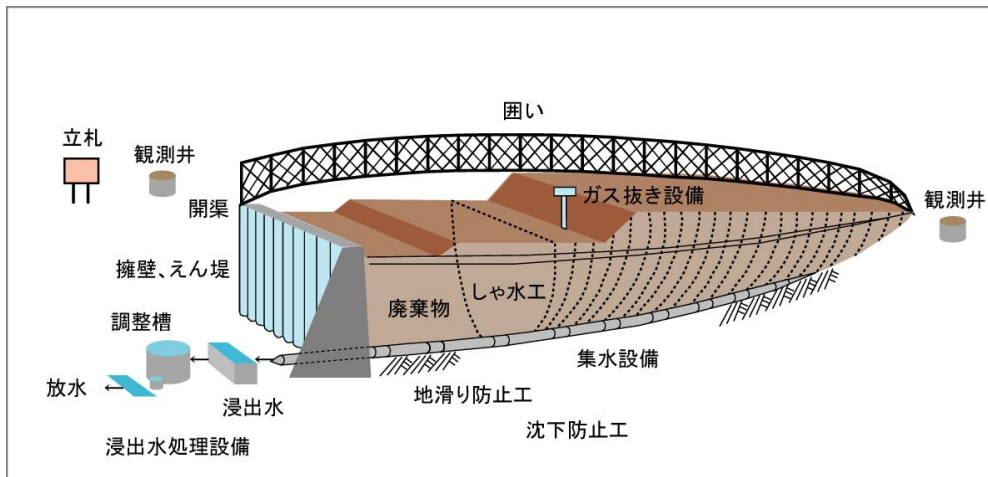
（参考 2）放射性セシウム濃度が 100,000Bq/kg を超える焼却灰の埋立て

放射性セシウム濃度が 100,000Bq/kg を超える焼却灰については、有害な重金属等を含む廃棄物を埋め立てるための遮断型最終処分場での埋立処分が技術的に可能と考えられるが、埋め立てる焼却灰の放射性セシウムの濃度に応じ放射線の遮蔽のために必要となるコンクリート壁の厚さを確保するとともに、長期的な安全性の確保といった観点にも配慮して、適切な埋立処分の方法を検討すべきと考えられる。

また、焼却灰をセメント固化し、固化後の濃度が 100,000Bq/kg 以下になる場合には、8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下と同様の方法で処理することも可能であると考えられる。

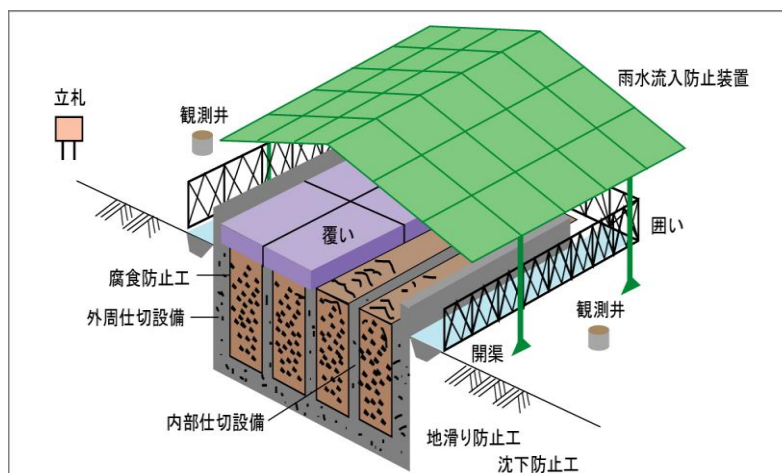
(参考3) 管理型最終処分場及び遮断型最終処分場の概要

【管理型最終処分場】



- 管理型最終処分場では、保有水等による地下水汚染を防止するために、貯留構造物や二重構造の遮水工によって最終処分場内部と外部を遮断している。
- 処分場内で発生した保有水等を集排水管で集水し、浸出液（最終処分場の外へ排出された保有水等）処理施設で処理後、放流している。

【遮断型最終処分場】



- 遮断型最終処分場は、廃棄物中の有害物質を自然から隔離するために、処分場内への雨水流入防止を目的として、覆い（屋根等）や雨水排除施設（開渠）が設けられる。
- 産業廃棄物を貯留して周辺環境と遮断する設備として、外周仕切設備（一軸圧縮強度が 25N/mm^2 以上の水密性鉄筋コンクリートで厚さが 35cm 以上）が設けられる。
- 埋立面積 50m^2 又は埋立容量 250m^3 を超える場合には、内部仕切設備（外周仕切設備と同等の仕様）を設け、1 区画が埋立面積 50m^2 又は埋立容量 250m^3 を超えないように区画割をしなければならない。
- 埋立処分が終了した区画は、外周仕切設備等と同等仕様の覆いにより完全密封する。

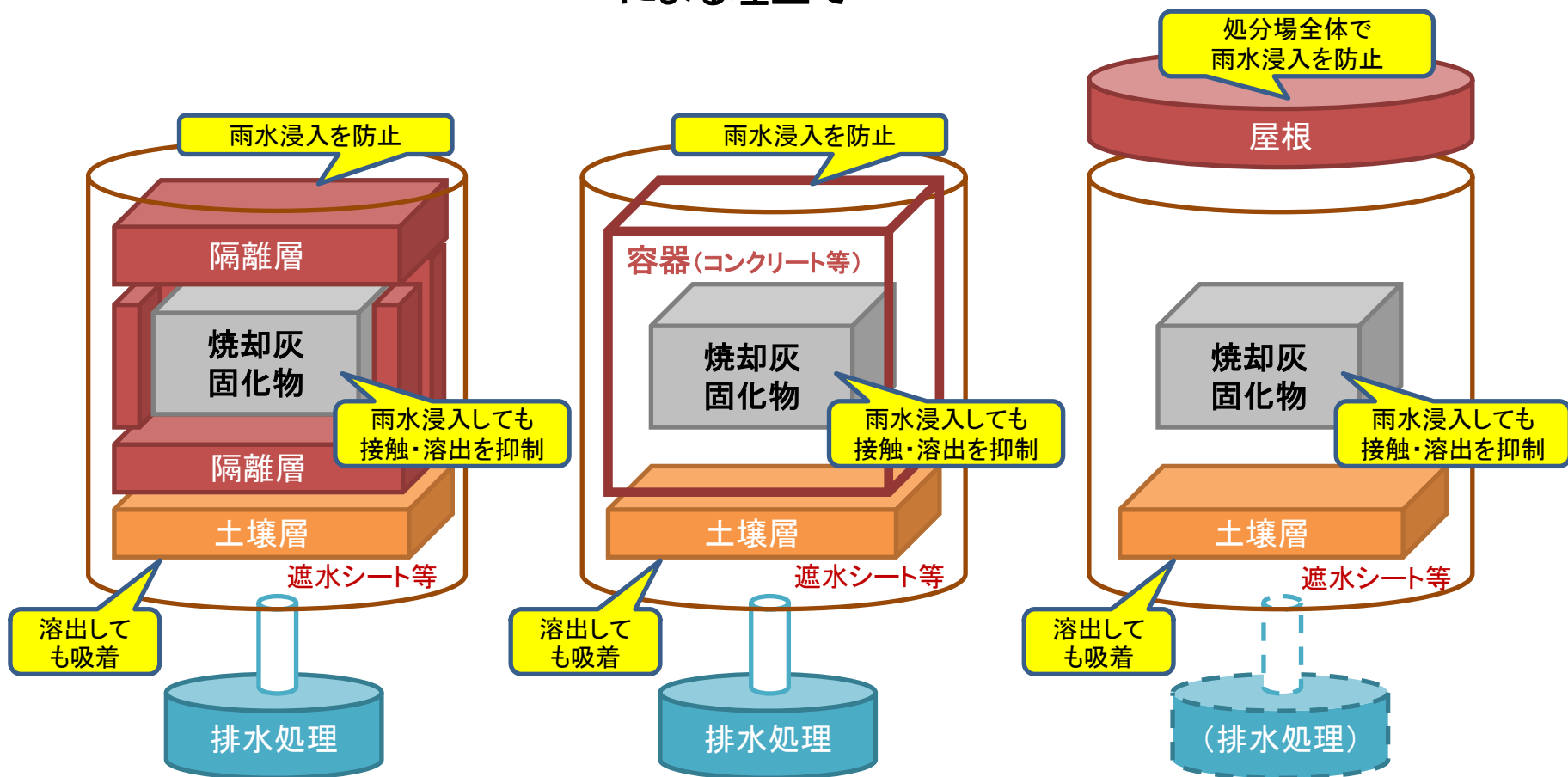
8,000Bq/kgを超え100,000Bq/kg以下の焼却灰等の処分方法の概要 【一般廃棄物最終処分場(管理型最終処分場)での処理イメージ】

以下の1)~3)のいずれかによる。

1) 隔離層の設置
による埋立て

2) 長期間の耐久性
のある容器等
による埋立て

3) 屋根付き処分場
での埋立て

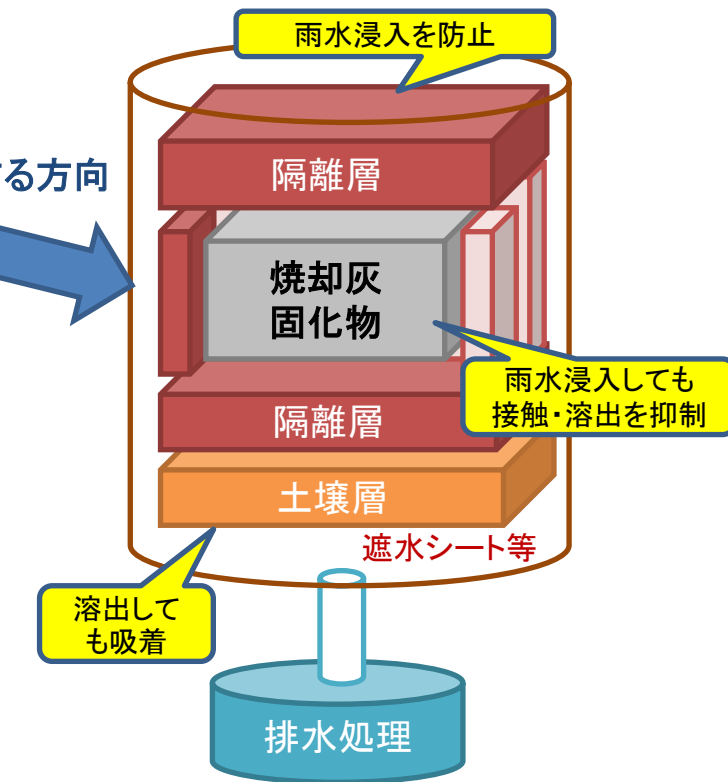
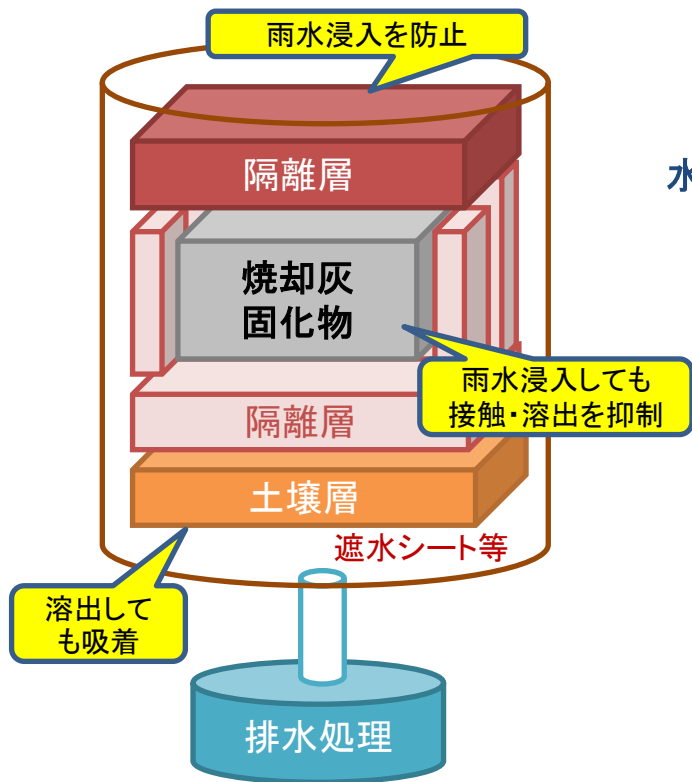


1) 隔離層の設置による埋立て(詳細)

① 十分な強度を満たす場合

- ・1 m³当たり150kg以上セメントを混合
- ・埋立処分を行う際における一軸圧縮強度が0.98メガパスカル以上の強度

② セメント固化物が①の要件を満たさない場合



厚さ30cm程度以上の土壌の層。
透水係数の低いベントナイト等の土壌、
透水係数 $K=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下。



厚さ30cm程度以上の土壌の層。
透水係数 $K=1.0 \times 10^{-6}$ cm/s以下でなくても構わないが、
なるべく透水係数の低い粘土混合土等の土壌を用いる。

焼却灰等の放射性セシウムの溶出や土壌吸着について

第 5 回災害廃棄物安全評価検討会では、以下のような知見が報告されている。

○焼却灰等からの放射性セシウムの溶出挙動について

・都市ごみの焼却主灰（212～2,450Bq/kg）の溶出液については、溶出試験の結果、放射性セシウム濃度が検出下限以下であった。

・焼却飛灰（2,400～32,400 Bq/kg）についてはセメントで成形固化した状態で溶出率 13%であったが、飛灰並びに粉状の飛灰処理物（セメント固化したものを除く。）では 64～88%と高かった（JIS 攪拌試験）。

（第 5 回災害廃棄物安全評価検討会資料 3-1 より抜粋・一部追記）

○放射性セシウムの土壌に対する吸着効果について

・わが国の処分場浸出水の水質を考慮して、高アルカリ、高電気伝導率の飛灰溶出液を用いて吸着試験を行ったところ、放射性セシウムの吸着能力は、珪砂 5 号<茨城真砂土<埼玉土壌<ベントナイトの順に高くなる。

・得られた分配係数から、 ^{137}Cs が覆土層を通過するトラベルタイムと、その期間内に期待できる自然減衰を推察した。分配係数の高い土壌を中間覆土層に使うと、放射性セシウムの通過を大幅に遅延し、放射能の自然減衰の効果を期待できる。さらに、放射性セシウムを含む廃棄物層への水の浸入を防止することで、遅延効果はさらに高まり*、放射能濃度は低減する。

*例えば、降雨量 1,800mm/yr のうち、600mm/yr が浸透したときの、0.5m 厚の覆土を ^{137}Cs が通過するのに必要な時間：埼玉土壌 52 年、ベントナイト 97 年等）

（第 5 回災害廃棄物安全評価検討会資料 3-2 より抜粋・一部追記）