

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所

第二種廃棄物埋設事業許可申請

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条

（廃棄物埋設地）への適合性について

平成 3 0 年 1 1 月

日本原子力発電株式会社

目 次

1.	はじめに	1
2.	廃棄物埋設施設の一般構造	4
2.1	耐震構造及び耐津波構造以外の主要な構造	4
3.	安全設計の方針	5
3.1	基本方針	5
3.2	移行抑制に関する設計	5
3.2.1	放射性物質の移行抑制の機能の基本方針	5
3.2.2	放射性物質の移行抑制の機能に関する安全設計	6
3.3	遮蔽に関する設計	8
3.3.1	遮蔽の機能の基本方針	8
3.3.2	遮蔽の機能に関する安全設計	8
3.4	飛散防止に関する設計	10
3.4.1	飛散防止の措置の基本方針	10
3.4.2	飛散防止の措置に関する安全設計	10
4.	廃棄物埋設地	13
4.1	概要	13
4.2	主要設備	13
4.3	その他設計事項	20
4.3.1	土砂の選定及び施工までの手順	20
4.3.2	竜巻による飛散防止対策	23
4.3.3	森林火災からの容器等の保護対策	24
4.3.4	雨水浸入対策	24
4.3.5	埋設する廃棄物の封入，梱包状態	25
4.3.6	埋設トレンチの設置方法	27

5. 廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止するための設計留意事項	28
6. 廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止するものであることの確認	31
7. まとめ	33

1. はじめに

本資料は、東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請について、「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」（以下「第二種埋設許可基準規則」という。）第十条及び「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」（以下「第二種埋設許可基準解釈」という。）第10条への適合性を説明するものである。

第二種埋設許可基準規則第十条及び第二種埋設許可基準解釈第10条の要求事項を第1表に示す。

第1表 第二種埋設許可基準規則第十条及び第二種埋設許可基準解釈第10条の要求事項

第二種埋設許可基準規則	第二種埋設許可基準解釈
<p>【第二種埋設許可基準規則 第1項】 廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止する機能を有するものでなければならない。</p>	<p>【第二種埋設許可基準解釈 第1項】 第1項に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止する」とは、次のことをいう。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 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あっては、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行に伴う公衆の受ける線量が、廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線（第8条第1項）並びに廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出（第12条第1項）により公衆の受ける線量を含めて法令に定める線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考え方の下、合理的に達成できる限り十分に低いものであること（「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」（昭和50年5月13日原子力委員会決定）を参考に、実効線量で50マイクロシーベルト／年以下を達成できるものであること。）。 二 廃止措置の開始後にあっては、第9条3の三の②及び四の②を満たすこと。 <p>【第二種埋設許可基準解釈 第2項】 2 第1項の「異常な漏えいを防止する機能」については、以下に留意して設計されていることが必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 合理的に利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。 二 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。

第二種埋設許可基準規則	第二種埋設許可基準解釈
<p>【第二種埋設許可基準規則 第2項】</p> <p>2 ピット処分を行う場合の廃棄物埋設地は、外周仕切設備を設置する方法その他の方法により、少なくとも埋設が終了するまでの期間、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を有するものでなければならない。</p> <p>【第二種埋設許可基準規則 第3項】</p> <p>3 廃棄物埋設地は、埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全性を損なわないものでなければならない。</p>	<p>三 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能ができるだけ維持できる構成・仕様であること。</p> <p>四 人工バリア及び天然バリアが有する機能については、その機能を構成する特性の一つに過度に依存しないこと。</p> <p>【第二種埋設許可基準解釈 第3項】</p> <p>3 第3項に規定する「安全性を損なわない」とは、埋設した放射性廃棄物、外周仕切設備及び廃棄物埋設地に充填する土砂等に含有する化学物質が人工バリア及び天然バリアの機能に有意な影響を及ぼさない対策を講じた設計であることをいう。</p>

2. 廃棄物埋設施設の一般構造

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 廃棄物埋設施設（以下「本施設」という。）は、核燃料物質又は核燃料物質によっ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（以下「事業規則」という。）第一条の二第2項第五号に定めるトレンチ処分を実施するための施設であって、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」という。）、「事業規則」及び「第二種埋設許可基準規則」等の関係法令の要求を満足する構造とする。なお、設計、材料の選定、建設・施工及び検査に当たっては、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとする。

2.1 耐震構造及び耐津波構造以外の主要な構造

本施設は、以下の基本的方針のもとに安全設計を行い、「原子炉等規制法」等の関係法令の要求を満足するとともに、「第二種埋設許可基準規則」等に適合する構造とする。

(1) 廃棄物埋設地

埋設した放射性廃棄物（以下「廃棄物」という。）周辺の土壌等（以下「天然バリア」という。）により廃棄物埋設地からの異常な放射性物質の漏出を防止し、覆土により廃棄物埋設地からの放射線の異常な放出を防止する設計とする。

また、埋設した廃棄物に含有されている化学物質の天然バリアへの影響を考慮した場合においても、廃止措置の開始以後の公衆の受ける線量の基準値を下回るため安全性を損なうおそれはない。なお、廃棄物埋設地に充填する土砂には安全性を損なうような化学物質は含有されていない。

3. 安全設計の方針

3.1 基本方針

本施設は、以下の基本方針のもとに安全設計を行い、「原子炉等規制法」等の関係法令の要求を満足する設計とするとともに、「第二種埋設許可基準規則」に適合する構造とする。

- (1) 設計、材料の選定、建設・施工及び検査に当たっては、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとする。
- (2) 平常時、周辺監視区域外の公衆及び放射線業務従事者の受ける線量が「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（以下「線量告示」という。）に定められている線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低くなる設計とする。
- (3) 想定される自然現象、事業所内又はその周辺において想定される人によるもの（故意によるものを除く。）により本施設に異常が発生した場合において、周辺監視区域外の公衆に対して、「第二種埋設許可基準解釈」に記載されている線量基準を超える放射線被ばくを与えない設計とする。

3.2 移行抑制に関する設計

3.2.1 放射性物質の移行抑制の機能の基本方針

- (1) 廃棄物埋設地は、天然バリアの持つ移行抑制の機能を十分に活用し、廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止できる設計とする。
- (2) 廃棄物埋設地に埋設した廃棄物に含有されている化学物質及びその他の化学物質の天然バリアへの影響を考慮した場合においても、安全性を損なわない設計とする。

3.2.2 放射性物質の移行抑制の機能に関する安全設計

廃棄物埋設地においては、以下に示す設計を行うことにより、廃棄物の受入れの開始以後において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止し、生活環境への移行を抑制するものとする。

- (1) 埋設する廃棄物の受入れの開始の日から廃止措置の開始の日の前日までの間にあっては、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行に伴う公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低減し、実効線量で年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下となる設計とし、実効線量で年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下を満たすことを評価にて確認する。

なお、本施設には「第二種埋設許可基準規則」第十二条で要求される廃棄施設（以下「廃棄施設」という。）は設置しないため、廃棄施設から環境への放射性物質の放出により公衆が受ける線量については、考慮する必要がない。

- (2) 廃止措置の開始後にあっては、科学的に最も可能性が高い状態設定による基本シナリオにおいて公衆の受ける線量が年間 $10 \mu\text{Sv}$ 以下であること及び科学的に想定される変動要因を網羅的に考慮した変動シナリオにおいて公衆の受ける線量が年間 $300 \mu\text{Sv}$ を超えない設計とし、公衆が受ける線量が基本シナリオにおいて年間 $10 \mu\text{Sv}$ 以下を満たすこと及び変動シナリオにおいて年間 $300 \mu\text{Sv}$ を超えないことは評価にて確認する。

なお、本施設においては、基本・変動シナリオ以外の自然現象及び人為事象に係るシナリオとして評価すべき自然現象及び人為事象はない。

- (3) 移行抑制の機能を構成する特性については、そのうち一つの特性に過度に依存しない設計とする。
- (4) 周辺土壌等の天然バリアにより放射性物質の異常な漏えいを抑制する

設計とする。

また、埋設された廃棄物が地下水と接触しにくくなるように、廃棄物の底面が地下水の水位より上面となる設計とする。

- (5) 廃棄物の埋設時においては、埋設トレンチの当該区画内に雨水等の浸入を防止できるように、雨水浸入防止用テント（可動式）（以下「雨水防止テント」という。）を設置する。
- (6) 廃棄物埋設地に埋設する廃棄物は金属及びコンクリートであり、含有されている化学物質の天然バリアへの影響を考慮した場合においても、廃止措置の開始以後の公衆の受ける線量の基準値を下回るため安全性を損なうおそれはない。

なお、廃棄物埋設地に充填する土砂には、安全性を損なうような化学物質は含有されておらず、天然バリアの機能に及ぼす影響を考慮する必要はない。

(7) 自然現象に対する考慮

a. 埋設する廃棄物の受入れの開始の日から埋設の終了までの間（以下「埋設段階」という。）

- (a) 放射性物質の移行抑制の機能として期待する中間覆土（最上段を除く）が、風（台風）及び竜巻により飛散並びに降水により流出するおそれがあるため、（社）日本道路協会による「道路土工－盛土工指針」に示される土木（路床や構造部の取り付け部）の管理基準である締固め度 90%以上となるように土砂を締め固めるとともに、定期的に点検及び必要に応じた修繕を行うことで形状を維持する。

- (b) 最上段の中間覆土の飛散を抑制するため、最上段の中間覆土施工後に保護シートを施工する。

b. 埋設の終了から廃止措置の開始の前日までの間（以下「保全段階」と

いう。)

- (a) 放射性物質の移行抑制の機能として期待する最終覆土が、風（台風）及び竜巻により飛散並びに降水により流出するおそれがあるため、
「道路土工－盛土工指針」に示される土木（路床や構造部の取り付け部）の管理基準である締固め度 90%以上となるように土砂を締め固めるとともに、定期的に点検及び必要に応じた修繕を行うことで形状を維持する。
- (b) 最終覆土の飛散及び流出を抑制するため、最終覆土施工後に保護対策を施工する。

3.3 遮蔽に関する設計

3.3.1 遮蔽の機能の基本方針

- (1) 廃棄物埋設地からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線により事業所周辺の公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行により公衆の受ける線量を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低くなる設計とする。
- (2) 廃棄物埋設地は、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、適切な措置を講じる。

3.3.2 遮蔽の機能に関する安全設計

- (1) 埋設する廃棄物に含まれる放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線により事業所周辺の公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行による公衆の受ける線量を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低減し、実効線量で年間 $50 \mu\text{Sv}$ 以下となる設計とし、実効線量で年間 $50 \mu\text{Sv}$

以下を満たすことは評価にて確認する。

なお、本施設には廃棄施設は設置しないため、廃棄施設から環境への放射性物質の放出により公衆が受ける線量については、考慮する必要がない。

- a. 移動式クレーンによる廃棄物の取扱い時間を合理的に達成できる限り短くし、廃棄物は埋設トレンチに定置することで、直接ガンマ線により事業所周辺の公衆の受ける線量を低減する。
- b. 廃棄物の定置作業は区画ごとに実施し、埋設区画 1 段分の廃棄物を定置後は速やかに中間覆土を施し、覆土されていない廃棄物の数を少なくすることで、スカイシャインガンマ線により事業所周辺の公衆の受ける線量を低減する。

(2) 管理区域において、放射線業務従事者の受ける線量が放射線業務従事者の線量限度を超えないものであること及び管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者の線量が公衆の線量限度以下になるよう次のとおり設計する。

- a. 移動式クレーンによる廃棄物の取扱い時間を合理的に達成できる限り短くし、廃棄物は埋設トレンチに定置することで、直接ガンマ線により放射線業務従事者及び管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者が受ける線量を低減する。
- b. 廃棄物の定置作業は区画ごとに実施し、埋設区画 1 段分の廃棄物を定置後は速やかに中間覆土を施し、覆土されていない廃棄物の数を少なくすることで、スカイシャインガンマ線により放射線業務従事者及び管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者が受ける線量を低減する。

(3) 遮蔽の機能を構成する特性については、そのうち一つの特性に過度に依存しない設計とする。

(4) 自然現象に対する考慮

a. 埋設段階

- (a) 遮蔽の機能として期待する中間覆土が，風（台風）及び竜巻により飛散並びに降水により流出するおそれがあるため，「道路土工－盛土工指針」に示される土木（路床や構造部の取り付け部）の管理基準である締固め度 90%以上となるように土砂を締め固めるとともに，定期的に点検及び必要に応じた修繕を行うことで形状を維持する。
- (b) 最上段の中間覆土の飛散を抑制するため，最上段の中間覆土施工後に保護シートを施工する。

b. 保全段階

- (a) 遮蔽の機能として期待する最終覆土が，風（台風）及び竜巻により飛散並びに降水により流出するおそれがあるため，「道路土工－盛土工指針」に示される土木（路床や構造部の取り付け部）の管理基準である締固め度 90%以上となるように土砂を締め固めるとともに，定期的に点検及び必要に応じた修繕を行うことで形状を維持する。
- (b) 最終覆土の飛散及び流出を抑制するため，最終覆土施工後に保護対策を施工する。

3.4 飛散防止に関する設計

3.4.1 飛散防止の措置の基本方針

- (1) 廃棄物埋設地では，廃棄物の落下防止を含む放射性物質の飛散防止のための措置を講じる。

3.4.2 飛散防止の措置に関する安全設計

- (1) 廃棄物埋設地に埋設する廃棄物は，廃棄物を容器に封入又は梱包した状態で取り扱うことで，大気中に放射性物質が飛散しない措置を講じること

から、放射性物質の飛散防止のための設備対策は必要としない。なお、定置作業時は「移動式クレーン構造規格」に適合した移動式クレーンを使用するとともに、作業前点検を実施し、有資格者の下、作業を行うことで落下防止の措置を講じる。

容器等への廃棄物の収納例を第2表に示す。

(2) 自然現象に対する考慮

a. 埋設段階

(a) 覆土に係る事項

(a-1) 飛散防止の措置として期待する中間覆土が、風（台風）及び竜巻により飛散並びに降水により流出するおそれがあるため、「道路土工—盛土工指針」に示される土木（路床や構造部の取り付け部）の管理基準である締固め度 90%以上となるように土砂を締め固めるとともに、定期的に点検及び必要に応じた修繕を行うことで形状を維持する。

(a-2) 最上段の中間覆土の飛散を抑制するため、最上段の中間覆土施工後に保護シートを施工する。

(b) その他の事項

(b-1) 藤田スケールの F1 規模の竜巻により物品が飛散して廃棄物埋設地への飛来物となることを防止するため、廃棄物の受入れ開始時点で廃棄物埋設地の付近に存在する物品及び埋設作業に使用する資機材等は飛散距離及び影響の程度に応じて固縛又は移動する。

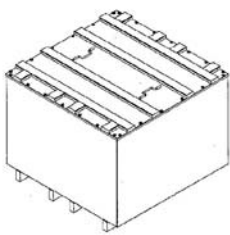
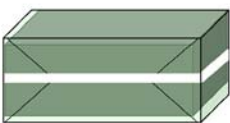
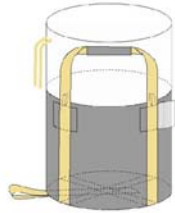
(b-2) 埋設時は、雨水防止テントを設け、雨水防止テントが破損した場合、速やかに修繕する。

(b-3) 森林火災に伴う火炎等の影響を緩和するため、定置済みで覆土を施工していない状態の廃棄物については、必要に応じて断熱機能をもつ不燃シートで覆う。

b. 保全段階

- (a) 飛散防止の措置として期待する最終覆土が，風（台風）及び竜巻により飛散並びに降水により流出するおそれがあるため，「道路土工－盛土工指針」に示される土木（路床や構造部の取り付け部）の管理基準である締固め度 90%以上となるように土砂を締め固めるとともに，定期的に点検及び必要に応じた修繕を行うことで形状を維持する。
- (b) 最終覆土の飛散を抑制するため，最終覆土施工後に保護対策を施工する。

第 2 表 容器等への廃棄物の収納例

廃棄物	金 属	コンクリート ブロック	コンクリートガラ
容器等の イメージ			
	鉄箱	プラスチックシート	フレキシブルコンテナ
容器等の材質	炭素鋼	ポリエチレン等	ポリエチレン・ ポリプロピレン等
容器等の外寸 (m)	約 1.4×約 1.4×約 1.1	約 0.7×約 0.9×約 0.9	約 φ 1.3×約 0.8
廃棄物 収納重量 (t)	約 1.5	約 1.3	約 1.0

4. 廃棄物埋設地

4.1 概要

廃棄物埋設地には、発電所周辺監視区域の北西部に位置し、埋設を計画している約 16,000t（金属：約 6,100t，コンクリートガラ：約 500t，コンクリートブロック：約 9,400t）の廃棄物を埋設可能な埋設トレンチを設置する。

本施設全体の配置図を第 1 図に示す。

4.2 主要設備

(1) 埋設トレンチの配置

埋設トレンチは、T.P. 約+8m まで整備した敷地に、埋設した廃棄物の底面が T.P. 約+4m となるよう地表面から約 4m 掘り下げて設置し、1 区画が約 15m（縦）×約 8m（横）となるように区分し、合計で 55 区画設ける。

なお、ほぼ中央部分の東西方向にアクセス道路を設置し、埋設トレンチを南側 25 区画と北側 30 区画に分ける。廃棄物埋設地の配置図を第 2 図に、廃棄物埋設地の断面図を第 3 図に示す。

(2) 埋設トレンチ

埋設トレンチは、仮設構造物である H 形鋼と矢板（以下「仕切板」という。）により構成される。

仕切板は、区画間の仕切りとして使用する他、外周区画の外側及び埋設を完了した隣接区画の土留めとして使用する。

(3) 覆土

a. 構成及び機能

覆土は、廃棄物間の間隙に充填する土砂、廃棄物と仕切板間の間隙に充填する土砂、中間覆土、最終覆土で構成される。覆土の断面図を第 4 図に示す。

最終覆土は、埋設トレンチ内への雨水等の浸透水を低減し、廃棄物と

水が接触することを低減することによって水を媒体とした放射性物質の移行を抑制する。

また、中間覆土及び最終覆土は、埋設トレンチ内に定置した廃棄物を線源とする放射線を遮蔽すると共に、埋設した廃棄物からの放射性物質の飛散を防止する。

b．構造及び仕様

(a) 廃棄物間の間隙に充填する土砂

(a-1) 概要

廃棄物間の間隙に充填する土砂は、廃棄物間の空隙を無くすために廃棄物の定置後に区画内に充填する。

(a-2) 設計方針

廃棄物間の間隙に充填する土砂は、空隙を防止するために充填性を考慮した設計とする。

また、化学的変質に対する安定性を考慮した設計とする。

なお、評価上、廃棄物間の間隙に充填する土砂が有する収着性を考慮する。

(a-3) 仕様

廃棄物間の間隙に充填する土砂は、土質区分が砂又は砂質土とし、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

(b) 廃棄物と仕切板間の間隙に充填する土砂

(b-1) 概要

廃棄物と仕切板間の間隙に充填する土砂は、廃棄物と仕切板間の空隙を無くすために廃棄物の定置後に区画内に充填する。

(b-2) 設計方針

廃棄物と仕切板間の間隙に充填する土砂は、空隙を防止するために

充填性を考慮した設計とする。

また、化学的変質に対する安定性を考慮した設計とする。

なお、評価上、廃棄物と仕切板間の間隙に充填する土砂が有する収着性を考慮する。

(b-3) 仕様

廃棄物と仕切板間の間隙に充填する土砂は、土質区分が砂又は砂質土とし、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

(c) 中間覆土

(c-1) 概要

中間覆土は、土砂を廃棄物の上部に施工する。

(c-2) 設計方針

中間覆土は、定置した廃棄物から放出される放射線を遮蔽するために遮蔽性を考慮した設計とする。

また、中間覆土は、埋設した廃棄物からの放射性物質の飛散防止も兼ねるため、中間覆土の厚さを考慮した設計とするとともに、化学的変質に対する安定性を考慮した設計とする。

なお、評価上、定置した廃棄物下部の土砂が有する収着性を考慮する。

中間覆土は、風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出を低減するため土砂を締め固める設計とする。

(c-3) 仕様

(c-3-1) 遮蔽性

中間覆土施工後に敷地周辺の公衆被ばくを低減するように、適切な遮蔽厚さとして 0.2m 以上（最上段の中間覆土の場合は 0.5m 以上）を確保する。

なお、中間覆土の乾燥密度は 1.58g/cm^3 以上とする。

(c-3-2) 飛散防止

中間覆土施工後に埋設した廃棄物が容易に露出しないように中間覆土の厚さを確保する。

(c-3-3) 化学的安定性

覆土をできるだけ長期にわたり維持する観点から、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

(c-3-4) その他

最上段の中間覆土の飛散を抑制するため、最上段の中間覆土を締め固めた後、保護シートで中間覆土を覆い、保護シートが風等で飛散しないよう、上部に重石等を設置する。保護シートは、屋外に設置することを考慮し、耐候型シートを使用する。

(d) 最終覆土

(d-1) 概要

最終覆土は、土砂を最上段の中間覆土の上面から盛土状に施工する。

(d-2) 設計方針

最終覆土は、定置した廃棄物から放出される放射線線を遮蔽するため遮蔽性を考慮した設計とする。

また、最終覆土は、廃棄物埋設地内への降雨等による浸透水量の低減を考慮した設計とするとともに、化学的変質に対する安定性を考慮した設計とする。

最終覆土は、風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出を低減するため土砂を締め固める設計とする。

また、管理期間終了後も最終覆土の形状を維持するため、最終覆土を風化、侵食及び土砂の流出から保護する設計とする。

(d-3)仕様

(d-3-1)遮蔽性

最終覆土施工後に敷地周辺の公衆被ばくを低減するように、最終覆土の厚さは 2m 以上を確保する。

なお、最終覆土の乾燥密度は $1.58\text{g}/\text{cm}^3$ 以上とする。

(d-3-2)浸透水量の低減

最終覆土は、周辺の土壌の透水係数が $10^{-3}\text{cm}/\text{s}$ 程度であることを踏まえ、 $1\times 10^{-3}\text{cm}/\text{s}$ 未満の透水係数とする（添付資料－1 参照）。

また、最終覆土の厚さは 2m 以上を確保する。

(d-3-3)化学的安定性

覆土をできるだけ長期にわたり維持する観点から、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

(d-3-4)飛散防止

風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出を低減するため土砂を締め固める。

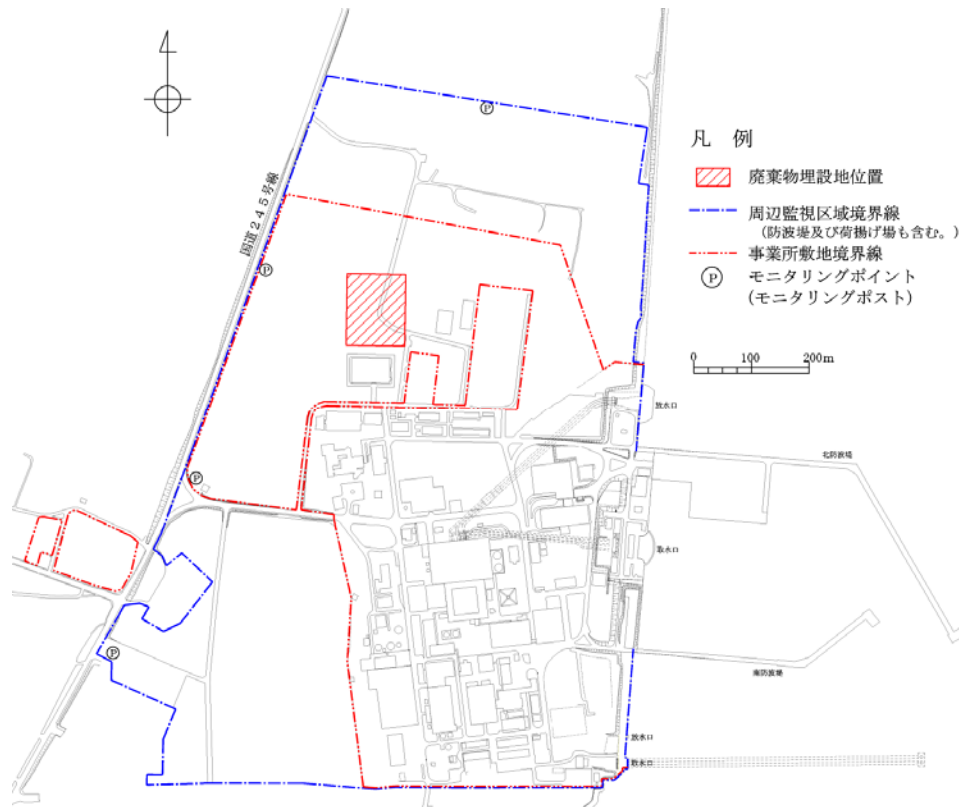
(d-3-5)その他

最終覆土施工後、最終覆土の飛散及び流出を抑制するために、施工済みの最終覆土の上面に碎石（粒径 3cm 以上、添付資料－2 参照）を敷均し、転圧する。

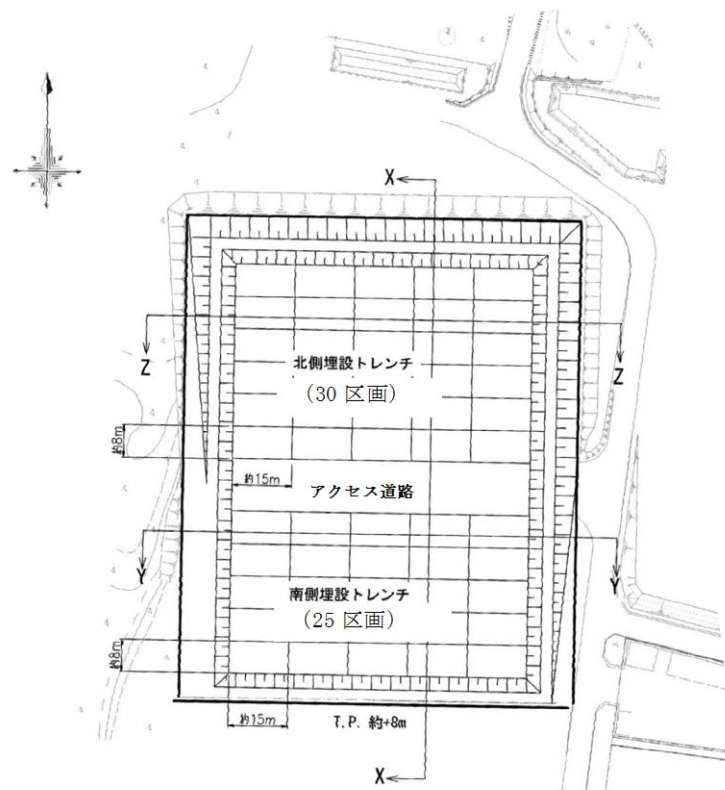
なお、最終覆土の上面は降雨による最終覆土の表面水を速やかに排水することを目的として 2～5%程度の勾配を設けるとともに法肩及び法尻に排水路を設置する。

保全段階における最終覆土の点検結果に応じて、風化、侵食及び土砂の流出状況を考慮し、最終覆土の法面にラス金網を張り付け、その上にモルタルを吹付ける工法により、管理期間終了後の最終覆土の形状を

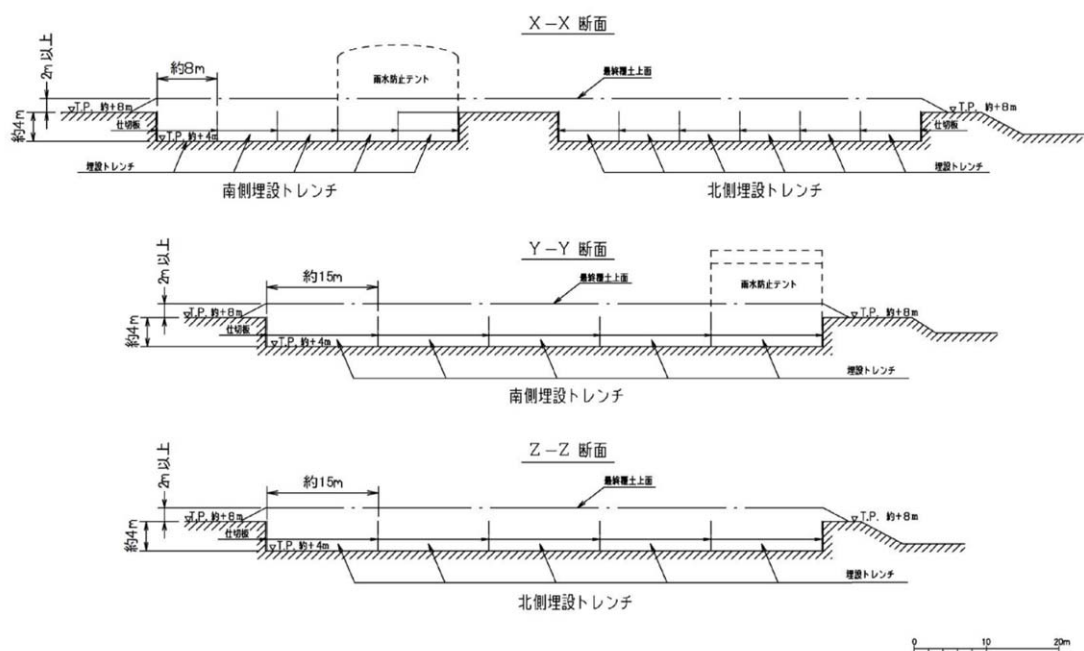
維持する。第 5 図に最終覆土の保護対策の概略図を示す。



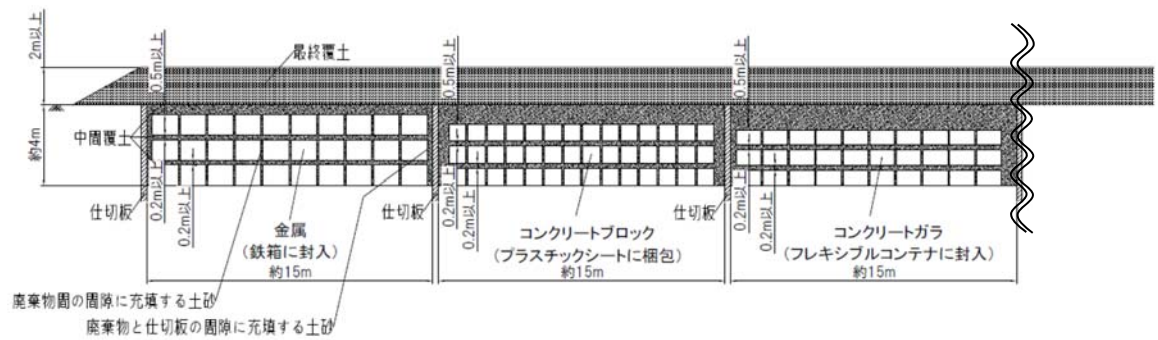
第 1 図 本施設の全体配置図



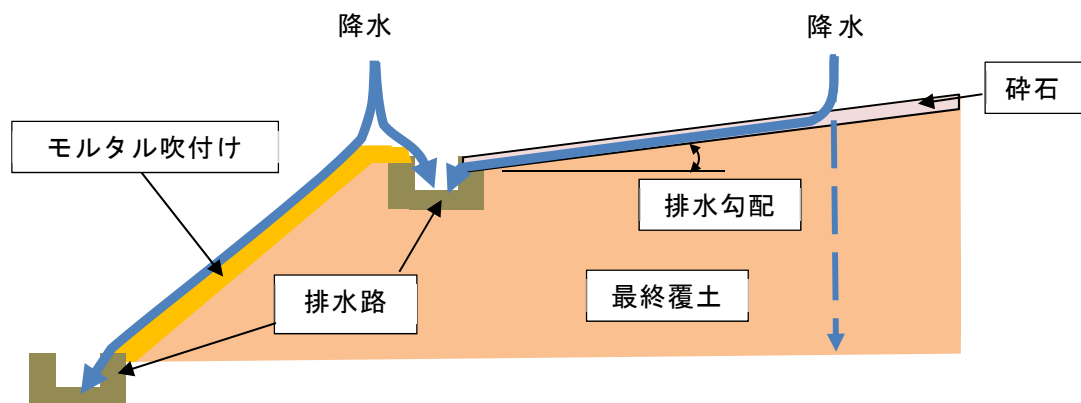
第 2 図 廃棄物埋設地の配置図



第 3 図 廃棄物埋設地の断面図



第4図 覆土の断面図



第5図 最終覆土の保護対策 (概略図)

4.3 その他設計事項

4.3.1 土砂の選定及び施工までの手順

廃棄物埋設地に適用しようとする土砂について、選定及び施工するまでの手順を以下に示す。

a. 土砂の選定

廃棄物埋設地の覆土に求められる機能を確保するため、土砂の種類を「砂又は砂質土」とする。更に適用しようとする覆土の部位に応じて「乾燥密度」と「透水係数」が定められた値を満足する必要がある。

適用しようとする覆土の部位が必要とする能力に応じて候補とする土砂（混合土を候補とする場合は、必要に応じて複数種の土砂）を選定する。

廃棄物埋設地のうち覆土に用いる土砂の要求能力を第3表に、覆土の施工位置を第6図に示す。

b. 室内試験

選定した土砂に対して室内試験（物理試験、締固め試験、透水試験等）を実施し、選定した土砂の特性（物理・力学特性、締固め特性等）を確認するとともに、適用しようとする部位に応じた要求能力（乾燥密度、透水係数 等）に対する適合性を確認する。

選定した土砂が適用しようとする部位に応じた要求能力を満たしていないと予想される場合は、土質改善（混合）を検討するか、土砂を新たに選定する。

c. 試験施工

室内試験で得られた土砂の特性を元に試験施工を実施し、適用しようとする部位に応じた要求能力を確保できる施工条件（含水比、締固め機械、撒き出し厚、転圧回数 等）を検討し、最も適した施工条件を選定する。

d. 施工方法の決定

試験施工により選定した施工条件を基本として、実施工にあたり詳細な施工方法及び施工管理方法を決定する。

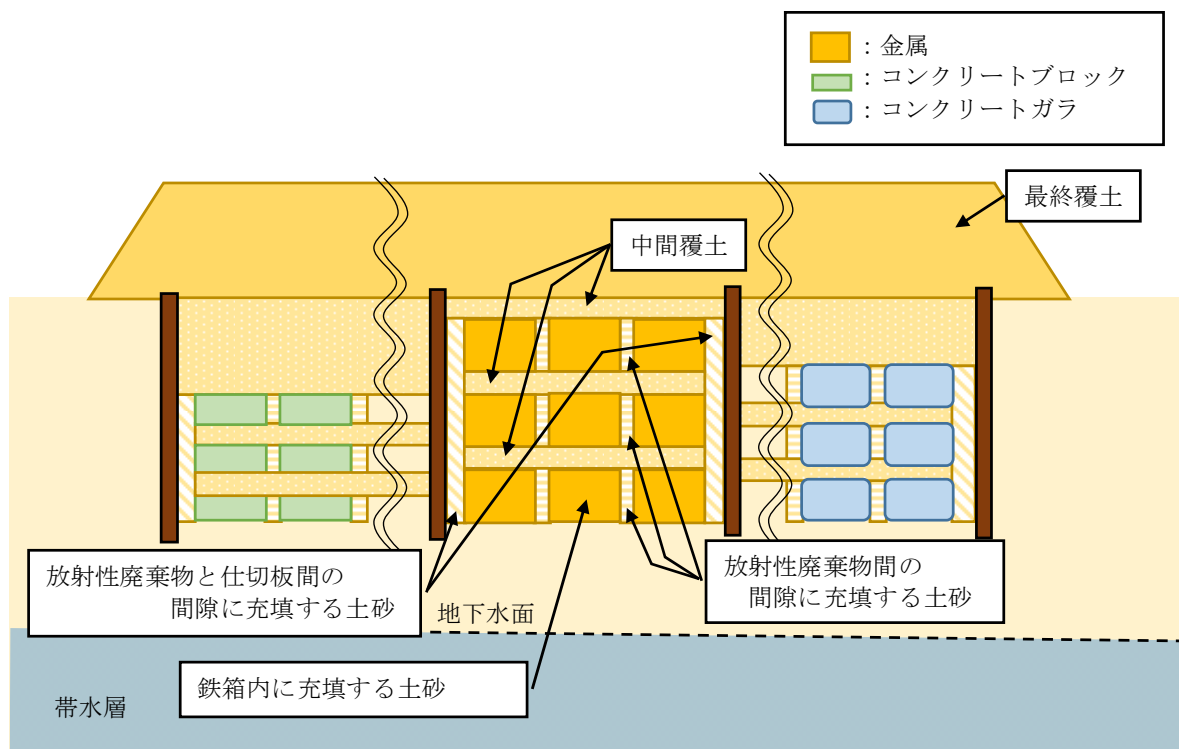
e. 土砂の施工

定められた施工方法及び施工管理方法に従い土砂を施工する。

第3表 廃棄物埋設地のうち覆土に用いる土砂の種類と要求能力

	移行抑制及び遮蔽に必要な能力		試験に用いた天然の土質系材料	
			候補	土質等
最終覆土	土の分類	砂又は砂質土	土砂 A	添付資料 － 3 参照
	透水係数	$1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 未満		
	乾燥密度	1.58 g/cm^3 以上		
中間覆土	土の分類	砂又は砂質土*	土砂 B	添付資料 － 3 参照
	透水係数	移行抑制に関して該当なし		
	乾燥密度	1.58 g/cm^3 以上		
廃棄物と仕切板間の 間隙に充填する 土砂	土の分類	砂又は砂質土*	土砂 A	添付資料 － 3 参照
	透水係数	移行抑制に関して該当なし		
	乾燥密度	遮蔽に関して該当なし		
廃棄物間の間隙に 充填する土砂	土の分類	砂又は砂質土*	土砂 C	添付資料 － 3 参照
	透水係数	移行抑制に関して該当なし		
	乾燥密度	遮蔽に関して該当なし		
鉄箱内に充填する 土砂	土の分類	砂又は砂質土*	土砂 C	添付資料 － 3 参照
	透水係数	移行抑制に関して該当なし		
	乾燥密度	遮蔽に関して該当なし		

*: du 層相当とする。



第6図 覆土の施工位置

4.3.2 竜巻による飛散防止対策

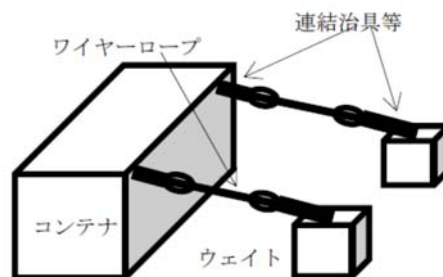
竜巻により物品が飛散して廃棄物埋設地への飛来物となることを防止するため、敷地内物品調査に基づく飛散距離の評価※により、調査時点において藤田スケールの F1 規模の竜巻で飛散し飛来物となる可能性のある物品の飛散距離が 100m 以下であったことを踏まえ、廃棄物の受入れ開始時点で廃棄物埋設地から 100m 以内の範囲に存在する物品は、固縛又は範囲外に移動する。

また、埋設作業に使用する資機材等は持ち込みの際の物品管理及び竜巻による飛散の有無を確認し、飛散距離及び影響の程度に応じて固縛又は移動する。以下に物品等の固縛例を挙げる。

※「第 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）への適合性評価の基本的考え方について（第 213 回審査会合 資料 1）」にて説明済み

(1) 直接固縛

あらかじめアイボルト等が設置されたコンクリートブロック等の質量の大きな物体で固縛する。直接固縛のイメージを第 7 図に示す。

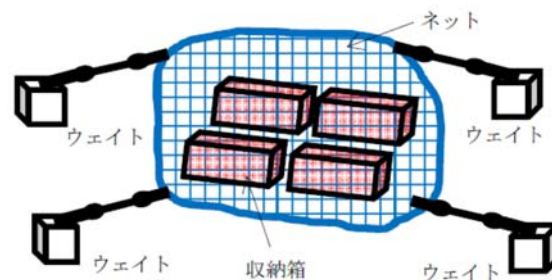


出典：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン
(平成 27 年 1 月) 日本保全学会，原子力規制関連事項検討会

第 7 図 直接固縛のイメージ

(2) 間接固縛

個々の体積が小さい物体で、複数個をまとめてメッシュシートで覆い、そのメッシュシートを、前述のコンクリートブロック等を用いて固縛する。間接固縛のイメージを第 8 図に示す。



出典：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン
(平成 27 年 1 月) 日本保全学会，原子力規制関連事項検討会

第 8 図 間接固縛のイメージ

4.3.3 森林火災からの容器等の保護対策

(1) 概要

付近の森林火災に伴う火炎等の影響を緩和するため、定置済みで覆土を施工していない状態の廃棄物については、必要に応じて断熱機能をもつ不燃シートで覆うことにより、火炎等に伴う容器の損傷を防止する。

(2) 仕様

不燃シート（シート表面温度 800℃がシート裏面温度 100℃未満となるシート）は、森林火災による輻射熱及び火の粉を考慮したものを使用する。

4.3.4 雨水浸入対策

埋設作業時は、雨水防止テントを設け、雨水防止テントが破損した場合、速やかに修繕する設計とする。

雨水防止テントの大きさは、埋設トレンチ 1 区画の大きさに加え、移動式クレーン、低床トラック（廃棄体運搬）等の機械配置を考慮した大きさの移動式テントとする。

また、雨水防止テントの開口となる箇所は、埋設作業中の区画への雨水浸入を防止する構造とするとともに、隣接する廃棄物を埋設した区画の最上段の中間覆土の上に遮水シートを設置し、隣接する廃棄物を埋設した区画からの浸出を防止する。

4.3.5 埋設する廃棄物の封入、梱包状態

埋設する廃棄物は、東海発電所から発生する固体状の廃棄物であって、放射化又は放射性物質によって汚染された金属、コンクリートブロック及びコンクリートガラである。

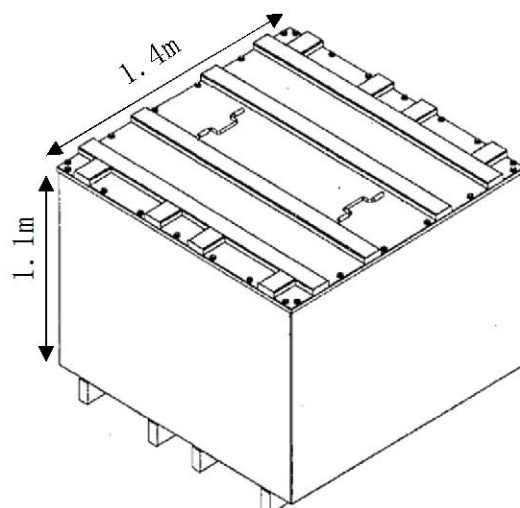
金属は、機器や配管等の解体撤去等に伴って発生する廃棄物であり、鉄箱に封入して埋設する。鉄箱内に廃棄物をいれた後の間隙をできるだけ低減するために砂等を充填する。

コンクリートブロックは、建屋の解体に伴って発生するコンクリート廃棄物（鉄筋その他これに類するものを含む。）であり、解体に伴って発生する形状等に応じて適切な大きさに分割し、プラスチックシートに梱包して埋設する。

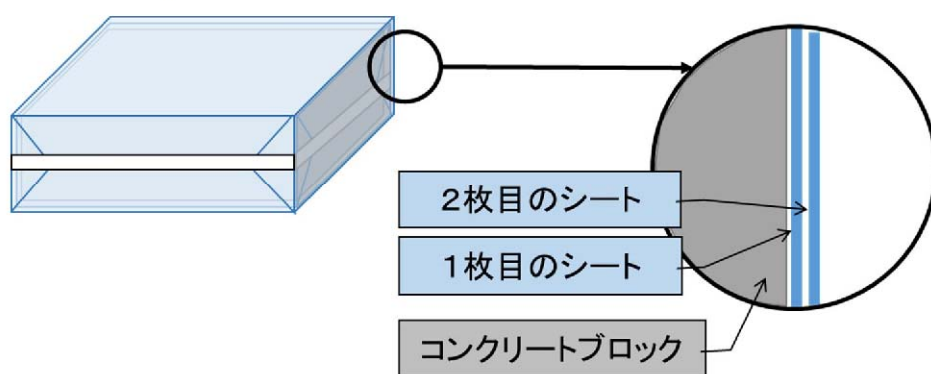
コンクリートガラは、コンクリートのはつり等に伴い発生するコンクリートの破片等であり、フレキシブルコンテナに封入して埋設する。

金属、コンクリートブロック及びコンクリートガラの封入又は梱包状態を第 9 図に示す。

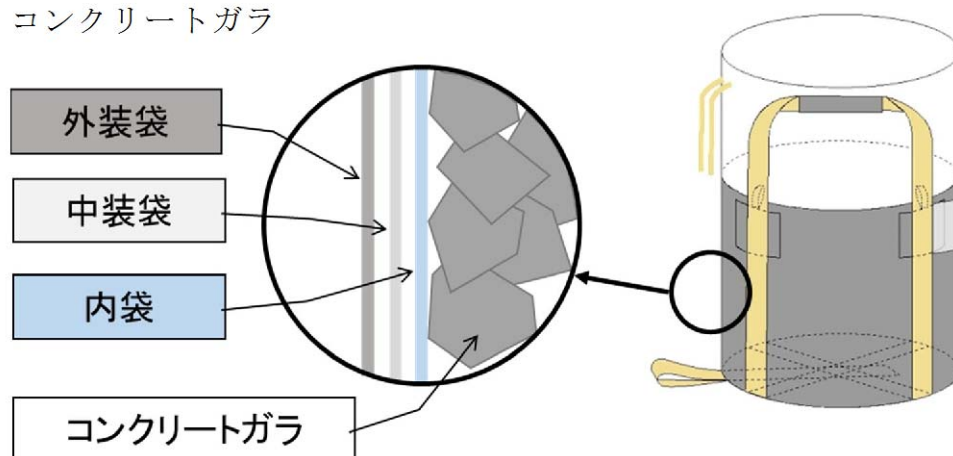
① 金属



② コンクリートブロック



③ コンクリートガラ



第 9 図 埋設する廃棄物の封入又は梱包状態

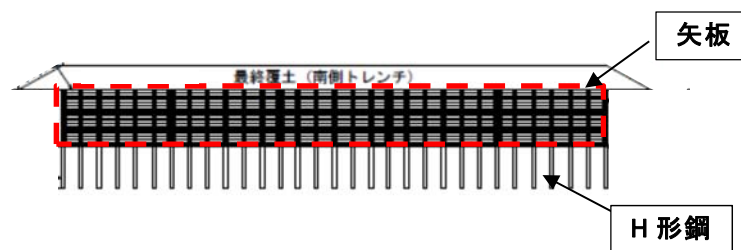
4.3.6 埋設トレンチの設置方法

(1) H形鋼設置

H形鋼を所定のピッチにて杭打ち機を使用して打設する。

(2) 掘削及び矢板設置

H形鋼打設後掘削床付けし，H形鋼にストッパーアングルをボルトにて固定し，矢板をH形鋼及びストッパーとの間に設置し，キャンバー（楔）にて固定する。H形鋼及び矢板の施工図を第10図に示す。



第10図 H形鋼及び矢板施工図

5. 廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止するための設計留意事項

「第二種埋設許可基準解釈」第10条第2項に示される、「異常な漏えいを防止する機能」に対し、留意して設計する必要がある事項について、以下のとおり設計している。

(1) 合理的に利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること

- ① 既に運用実績を持つ日本原子力研究開発機構の JPDR 埋設施設の周辺環境及び処分形態が同等であるため、JPDR 埋設施設の建設・施工技術を本施設の設計の参考にしている。
- ② 覆土の設計、施工については、公共工事における道路、河川等の盛土において適用される「道路土工-盛土工指針」（（社）日本道路協会）等の施工指針を準用し、適切な工事を実施する。

(2) 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

- ① 覆土に使用する土砂は、期待する機能をできるだけ長期にわたり維持する観点から、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。
- ② 中間覆土は、埋設段階における風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出を抑制するため、締固め度 90%以上で締め固める。
- ③ 最終覆土は、埋設終了後における風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出を抑制するとともに、盛土の形状を維持するための力学的安定性を確保するため、締固め度 90%以上で締め固める。

(3) 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能ができるだけ維持できる構成・仕様であること

① 埋設段階においては、定期的に中間覆土の点検を実施し、風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出等の有無を確認し、必要に応じて修繕を行うことで形状を維持する。

② 保全段階においては、定期的に最終覆土を点検し、風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出等の有無を確認し、必要に応じて修繕を行うことで形状を維持する。

③ 最終覆土は 2m 以上施工するため、最終覆土に劣化・損傷が生じた場合でも、直ちに機能が失われることはなく、当該機能ができるだけ維持できる構造・仕様としている。

(4) 人工バリア及び天然バリアが有する機能がその機能を構成する特性の一つに過度に依存しないこと

① 「異常な漏えいを防止する機能」のうち移行抑制の機能は、天然バリアによる廃棄物埋設地内への浸透水の低減と、廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の地下水を介した生活環境への移動を低減する設計としている。

具体的には、廃棄物埋設地内への浸透水の低減を行うことにより、廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出を低減し、更に廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の地下水の移動経路中の周辺土壌等により生活環境までの移動を低減する設計としている。

よって、「異常な漏えいを防止する機能」のうち移行抑制の機能は、天然バリアを構成する一つの特性に過度に依存しない設計としている。

- ② 「異常な漏えいを防止する機能」のうち遮蔽の機能は、天然バリアを構成する中間覆土及び最終覆土により直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線を低減する設計としている。

具体的には、廃棄物埋設地内に埋設された廃棄物から放出される放射線を中間覆土により低減し、更に最終覆土により低減する設計としている。

よって、「異常な漏えいを防止する機能」のうち遮蔽の機能は、天然バリアを構成する一つの特性に過度に依存しない設計としている。

6. 廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止するものであることの確認

廃棄物埋設地が、廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止する機能を有するものであることについては、埋設した放射性廃棄物に起因して発生すると想定される放射性物質による影響が「第二種埋設許可基準解釈」に示される基準を満たすことを評価により確認している。評価結果を以下に示す。

(1) 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の前日までの間

平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行に伴う公衆の受ける線量並びに廃棄物埋設地からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量を評価した結果、以下に示すとおり合計年間約 $27 \mu\text{Sv}$ となり、「第二種埋設許可基準解釈」の基準値（年間 $50 \mu\text{Sv}$ ）を十分に下回ることを確認している。第 11 図に模式図を示す。

a. 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行による線量の評価

平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行により公衆の受ける線量評価については、「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九条（異常時の放射線障害の防止等）への適合性について」に示す廃止措置の開始後における放射性物質が地下水を経由して環境に移行するシナリオの評価結果と同等であり、年間約 $5.3 \mu\text{Sv}$ と評価している。

b. 直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量の評価

「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八条（遮蔽等）の適合性について」に示すとおり、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による被ばく線量は、年間約 $22 \mu\text{Sv}$ と評価して

いる。

(2) 廃止措置の開始以後

「第二種廃棄物埋設施の位置，構造及び設備の基準に関する規則第九条（異常時の放射線障害の防止等）への適合性について」に示すとおり，廃止措置の開始後にあつては，科学的に最も可能性が高い状態設定による基本シナリオにおいて公衆の受ける線量が年間 $10 \mu\text{Sv}$ 以下を満たすこと及び科学的に想定される変動要因を網羅的に考慮した変動シナリオにおいて公衆の受ける線量が年間 $300 \mu\text{Sv}$ を超えないことを確認している。

直接ガンマ線量
+
スカイシャインガンマ線量
+
放射性物質の漏出及び移行による線量

$$\leq \text{年間 } 50 \mu\text{Sv}^{\ast}$$

※「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」（平成元年 3 月 27 日原子力安全委員会了承）を参考

第 11 図 周辺公衆の線量評価の考え方（模式図）

7. まとめ

本施設においては、廃棄物埋設地の外への放射性物質の異常な漏えいを防止する設計としており、また、埋設した廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全性を損なわない設計としている。そのため、「第二種埋設許可基準規則」の第十条及び「第二種埋設許可基準解釈」第10条へ適合していると判断する。

最終覆土の透水係数の設計について

最終覆土の設計に関して、浸透水を低減するための透水係数の設計についての考え方を以下のとおり整理した。

1. 浸透水低減の要因について

降水により地表面に到達した雨水は、土壌の透水性に応じて土壌中に浸透するが、以下の要因によって、年間の降水量に対して全量が浸透水として土壌中を通過することはないと考えられる。

(1) 地表面排水

土壌の透水性を超える雨水は表面水となり、滞留した表面水は時間の経過とともに土壌に浸透するが、地表面に勾配がある場合は表面流となり排水される。

(2) 土壌による保水

土粒子間の毛管力及び土粒子表面への吸着により、土壌に浸透した雨水を保水する。

(3) 蒸発散

土壌に浸透した水分は、降水が止まると気温や湿度に応じて土壌表面より蒸発する。また、表面付近の土壌が乾燥すると、土壌中の圧力勾配により、水分が重力に逆らい上方（地表方向）へ移動⁽¹⁾し蒸発又は土壌により保水される。

2. 施設設計と浸透水量の関係について

(1) 原子力機構における実証試験

日本原子力研究開発機構 JPDR 廃棄物埋設施設（旧日本原子力研究所，以下「原子力機構」という。）では，埋設実証試験の一環として埋設地付近の降雨量と埋設する廃棄物層へ到達する浸透水量について，埋設地近傍で実測を行った。実証試験を実施した施設の施工状態並びに試験報告書⁽²⁾から抜粋した測定方法及び結果を以下に示す。

a. 施設の施工状態

原子力機構における廃棄物埋設は，定置した廃棄物の間に空隙が残らないように土砂を充填し，さらにその上面に厚さ 20cm～30cm の土砂の層（中間覆土）を設け，全体で3段積みとなるように定置するとともに，埋設用トレンチ外周と廃棄物の間の約 30cm に難透水性土（透水性の小さい覆土）を充填している。

覆土は，現地の土砂及び難透水性土を用いて 2.5m 以上とした構造である。3 段目の廃棄物上部の約 30cm には難透水性土を充填するとともに，その上面に周辺の土壌に比して透水性が大きくなるように土砂を締め固めながら 2.2m 以上とし，透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ 程度となるよう施工されている。

また，廃棄物埋設地の外周には，雨水排水のための排水溝を設置している。

b. 試験方法

第 1 図に示すように，埋設用トレンチの設置位置に浸透水量測定装置を設置し，トレンチに埋設する予定の廃棄物層の上面に合わせて，浸透してきた雨水を回収する受け皿を設置し，廃棄物層の上面における浸透水量を測定した。また，雨量計を設置し，降雨量と浸透水量のデータを

連続で測定した。

c. 試験結果

第2図に平成8年から平成10年までの測定結果を示す。また、第1表に測定結果を基にした各年度の年間の降雨量、浸透水量及びその比を示す。この結果、3年間の降雨量と浸透水量の比（以下「浸透割合」という。）の平均値が0.41となった。

(2) 実証試験結果の考察

原子力機構による埋設実証試験の結果、浸透割合が0.41となった要因としては、以下の要素によると推測される。

覆土の透水性以下の弱い雨であれば雨水は浸透するが、覆土の透水性を超える強い雨では雨水の一部が浸透せずに表面水として排水溝へ排水されることで、降水量に対して浸透水量が減少したと考えられることから、覆土の透水性を示す透水係数及び排水対策の実施が浸透水の低減に影響を及ぼしていると考えられる。

また、覆土による保水及び蒸発散により、浸透した雨水が覆土を通過する過程で減少したとも考えられることから、覆土の土質、厚さ及び周囲の気候も浸透水の低減に影響を及ぼしていると考えられる。

(3) 最終覆土による浸透水低減の方法

原子力機構の実証試験結果により、土砂の透水性を下げることで浸透水を低減できると考えられるため、最終覆土の透水性を下げるとともに、最終覆土の土質区分及び厚さにより浸透水を低減する設計とした。

同様の周辺条件である原子力機構の設計を参考とし、最終覆土の透水係数については $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 未満とし、最終覆土の厚さを2m以上とした。

また、最終覆土に使用する土砂は、原子力機構の設計を参考に、土質区分を砂又は砂質土とする。

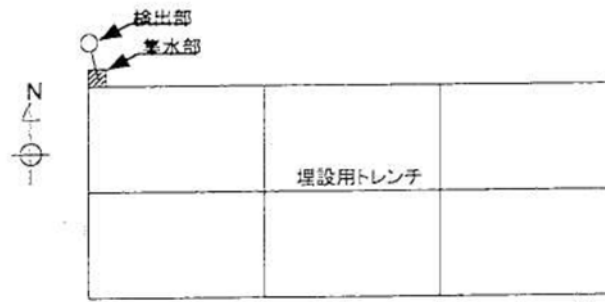
(4) 本施設における浸透水量の予測

本施設と原子力機構における施設断面図を第 3 図に示す。

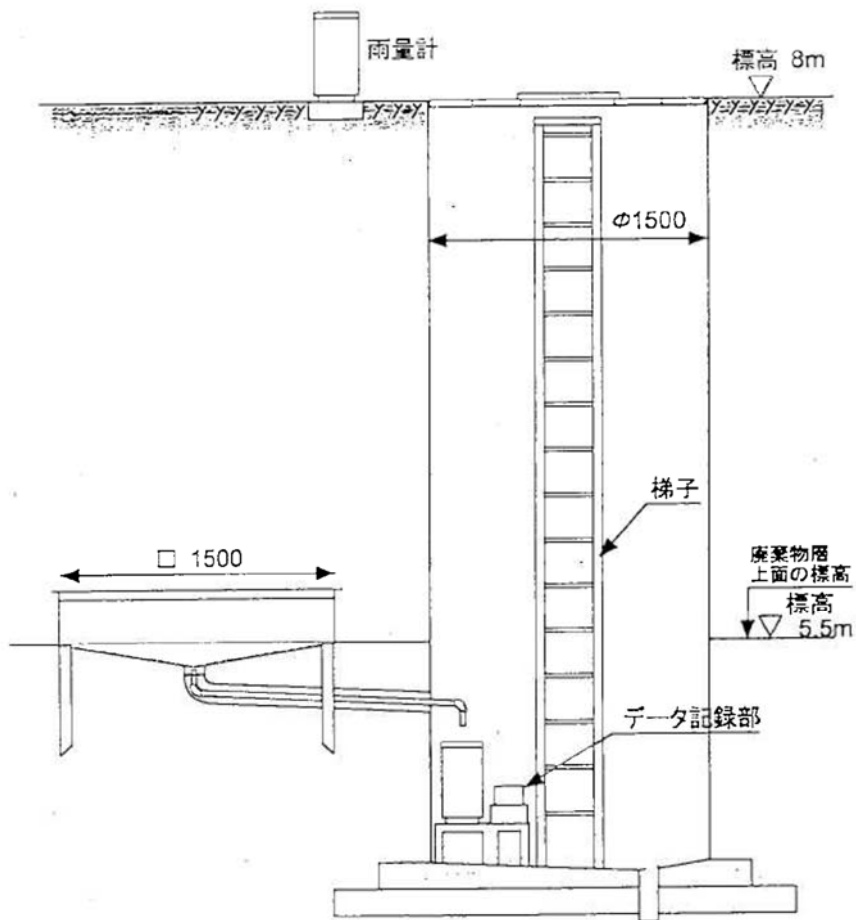
本施設は、原子力機構に隣接した敷地に設置される予定であり、気候及び周辺の土質条件は大きな変わりがない。また、最終覆土の土質、厚さ及び透水係数について、本施設も原子力機構と同等の設計を予定していることから、本施設における年間の浸透水量及び浸透割合は原子力機構の実証試験にて得られた結果と同程度になると考えている。

【参考資料】

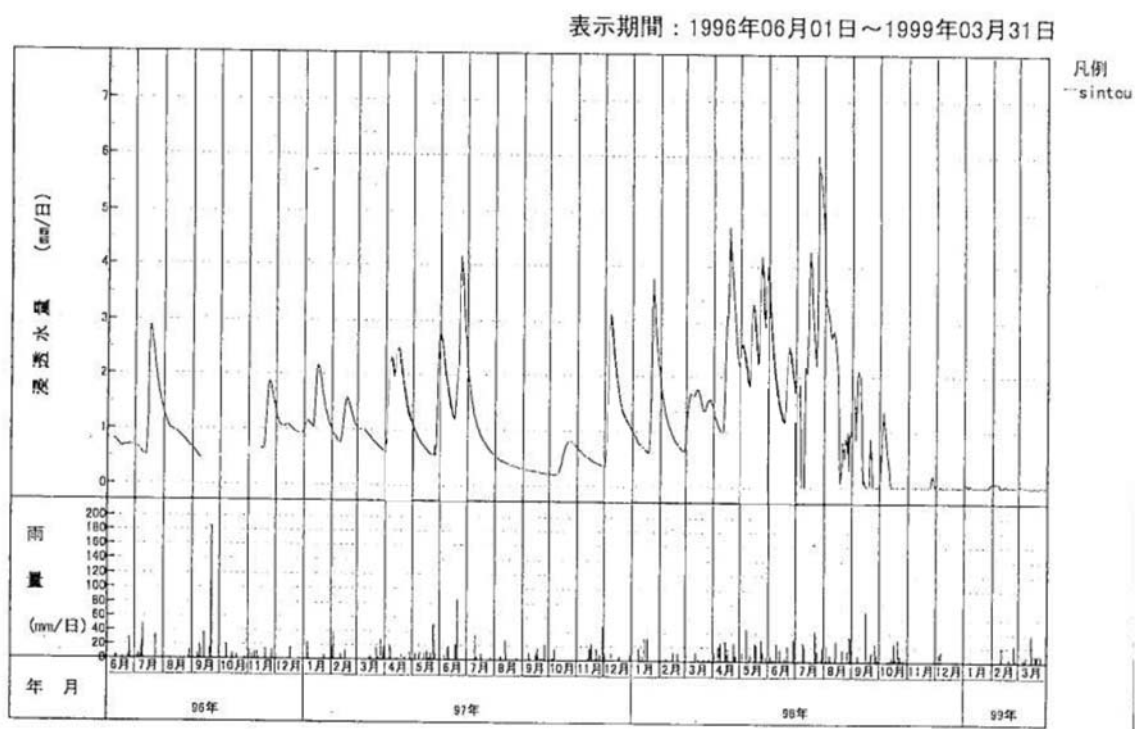
- (1) 斎藤広隆，取出伸夫，蒸発過程の土中水分移動 1. 土性の影響，土壤の物理性 第 119 号（2011）
- (2) 平成 10 年度科学技術庁委託事業 極低レベル固体廃棄物合理的処分安全性実証試験報告書



設置位置(平面図)



第1図 浸透水量測定装置の概要



第2図 浸透水量測定結果

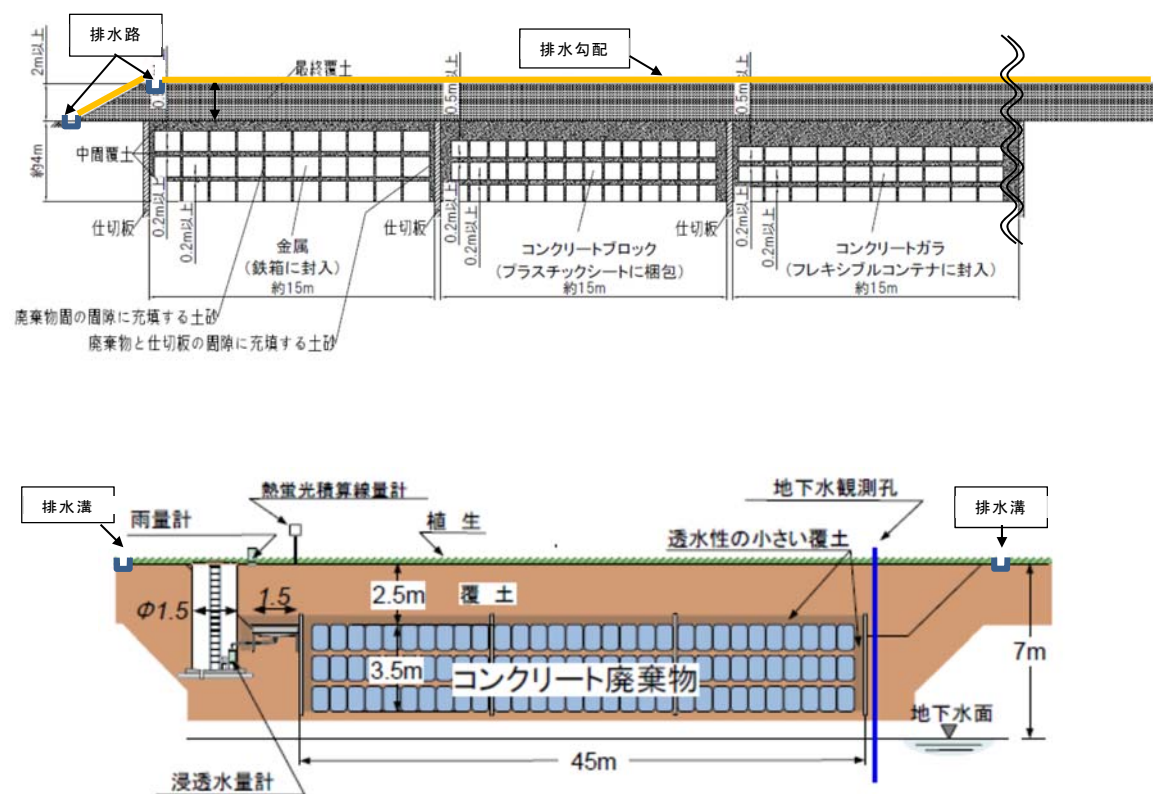
(平成8年9月12日～平成8年11月10日：浸透水量は欠測)

第1表 各年度の年間の降雨量，浸透水量及びその比

年度 (平成)	浸透水量 (mm/y)	降雨量 (mm/y)	比 (=浸透水量／降雨量)
8	252	523	0.48
9	402	991	0.41
10	397	1227	0.32
平均値(切り上げ)			0.41

(平成8年9月12日～平成8年11月10日は，浸透水量が

欠測のためデータの対象から除外した)



第 3 図 本施設(上)と原子力機構(下)の施設断面図 (模式図)

以上

風（台風）、竜巻及び降水に対する最終覆土上面の保護対策の影響評価

最終覆土の上面に施工する砕石について、風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出の有無を、「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 6 条（外部からの衝撃による損傷の防止）への適合性について（添付資料 4, 5）」と同様に、以下のとおり評価した。

(1) 風（台風）及び竜巻による飛散影響

a. 評価条件

風速：風速は、藤田スケールの F 1 規模の竜巻における最大風速 49m/s を用いる。

砕石の粒径：最終覆土に用いる土砂より十分大きい粒径 3cm を用いる。

砕石の形状：評価に用いるパラメータが最も保守的な立方体を用いる。

b. フジタモデルを用いた浮き上がり評価

原子力発電所の影響評価で使用されているフジタモデルを用いて、設計竜巻の最大風速による定置した放射性廃棄物の浮き上がり評価を次のとおり実施する。

(a) フジタモデルの概要

接線風速等の関係式については、参考資料①より、第 1 図のとおりに記載されている。

無次元座標 $r = R / R_m$, $z = Z / H_i$

接線風速 $V_\theta = F_r(r)F_h(z)V_m$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

$$V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq \nu) \\ \frac{V_\theta \tan \alpha_0}{1 - \nu^2} \left(1 - \frac{\nu^2}{r^2} \right) & (\nu < r < 1) \\ V_\theta \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1 - z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

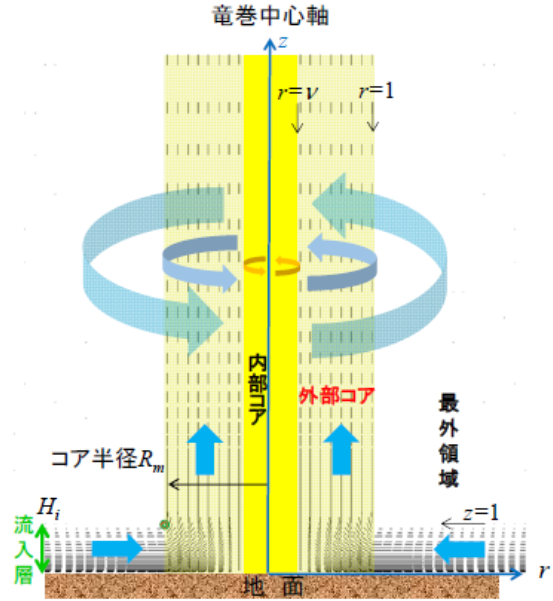
上昇風速

$$V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta V_m}{1 - \nu^2} A(16z^{\frac{7}{6}} - 7z^{\frac{8}{3}}) & (z < 1) \\ \frac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1 - \nu^2)} \{2 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

k_0, k, ν, η, A, B は定数

また、以下の連続の式を満足する。

$$c \equiv \frac{1}{R_m r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{R_m r} \frac{\partial (r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{H_i} \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$



V_θ	接線方向風速
V_r	半径方向風速（内向きが正）
V_z	上昇風速
V_m	最大接線風速
R_m	外部コア半径

第 1 図 フジタモデルの概要

ここで、内部コアの半径 R_v と外部コアの半径 R_m の比 ν ($=R_v / R_m$) については、参考資料②より以下の経験式を提案しているので、これを用いた。

$$\nu = 0.9 - 0.7 \exp(-0.005 R_m)$$

また、流入層は、地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されることから、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。参考資料②より、流入層高さ H_i を竜巻中心の低圧部の大きさ（外部コア半径） R_m に比例するものとして、以下の経験式を提案しており、これを用いた。

$$H_i = \eta R_m$$

ここで、 η は 1 以下の正の値であり、下式で定義される。

$$\eta = 0.55 (1 - v^2)$$

上式において、参考資料①、②、③ より、第 1 表に示すパラメータを用いると、外部コア半径 $R_m = 30\text{m}$ の場合、 $\eta = 0.50$ 、 $H_i = 15\text{m}$ となる。

第 1 表 流入層高さの算出に用いたパラメータ

記号	パラメータ
R_m	30
k_0	1/6
k	0.03
A	0.75
B	0.0217

(b) フジタモデルの水平風速

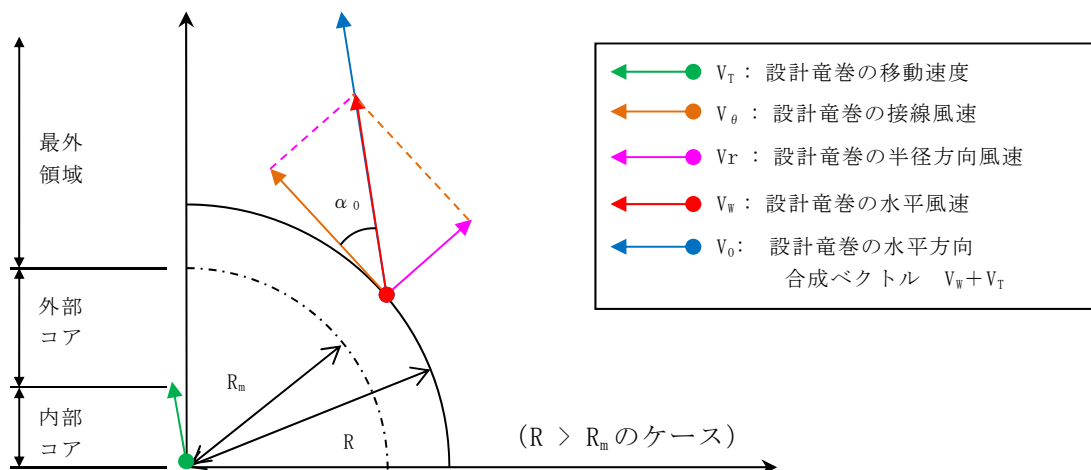
地面からの高度 Z での最大水平風速 V_w は、竜巻中心から R_m の距離で最大となり、下式により算出できる。

$$V_w = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2}$$

また、算出される各水平風速のベクトルの関係を、第 2 図に整理する。

第 2 図に示されるとおり、物体に作用する設計竜巻による水平方向風速の合成ベクトル（以下「最大水平風速」という。） V_0 は、設計竜巻の水平風速と移動速度の方向が一致する点であり、以下の式のとおり、設計竜巻の地面から高度 Z での最大水平風速 V_w に設計竜巻の移動速度 V_T を合成した値となり、以後は、 V_0 にて評価を行う。

$$V_0 = V_w + V_T$$



第 2 図 フジタモデルの水平方向風速の概略モデル図

(c) 碎石に作用する水平風速

設計竜巻 ($V_D = 49 \text{ m/s}$) による風圧力によって、碎石の中心（高さの $1/2$ ）に作用する最大水平風速は、前号に示した関係式より算出でき、その結果を第 2 表に示す。

第 2 表 埋設区画に定置した放射性廃棄物に作用する

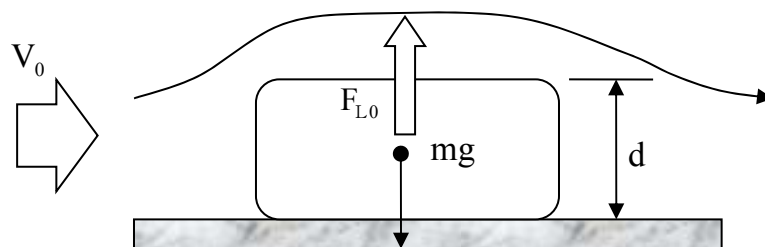
最大水平風速一覧表

対象物	高さ H [m]	水平風速 [m/s]			
		接線 風速 V_θ	半径方 向風速 V_r ※1	水平 風速 V_W	最大水 平風速 V_0 ※2
碎石（粒径 3 cm）	0.03	13.2	-9.9	16.5	23.9

※1 符号の－は、竜巻中心に向かう風速を示す。

※2 水平風速 V_W に設計竜巻の移動速度 V_T を合成した値

設計竜巻による最大水平風速によって発生する物体の浮き上がりは、第 3 図に示す状態において、揚力 F_{L0} が自重 $m g$ を上回ると発生する。



第 3 図 地表面に置かれた物体（高さ d ）に作用する揚力と重力

評価は、物体の浮き上がり発生風速 V_{FL} が、物体に作用する最大水平風速 V_0 を上回る場合に物体の浮き上がりが発生すると判定する。

地表面に置かれた物体に作用する揚力は、以下の式で表される。

$$F_{L0} = \frac{1}{2} \rho V_0^2 C_{L0} a$$

なお、風洞実験等により $C_D A > C_{L0} a$ の関係が確認されており、 F_{L0} に対し、保守的な揚力 $F_{L,m}$ を用いることとし、次の式にて表すことができる。

$$F_{L,m} = \frac{1}{2} \rho V_0^2 C_D A \quad (> F_{L0})$$

ここで、

$C_{L0} a$: 物体の揚力係数と代表面積の積

$C_D A$: 抗力係数と見付面積の積の平均値

V_0 : 物体の浮き上がりを発生させる風速 V_{FL}

以上により、浮き上がりの判定式は次のように示すことができる。

$$mg < F_{L,m} = \frac{1}{2} \rho V_{FL}^2 C_D A$$

これを、 V_{FL} について解けば、下記により算出できる。

$$V_{FL} = \sqrt{\frac{2 mg}{\rho C_D A}} = \sqrt{\frac{2g}{\rho} \frac{C_D A}{m}}$$

ここで、

ρ : 空気の密度 (kg/m^3)

m : 物体の質量 (kg)

第 3 表 浮き上がり風速の算出に用いたパラメータ

記号	パラメータ
m	$0.03 \times 0.03 \times 0.03 \times 2.5 / 1000$
g	9.8
ρ	1.22

このとき、 $C_D A / m$ は、空力パラメータと呼び、下式に基づいて算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

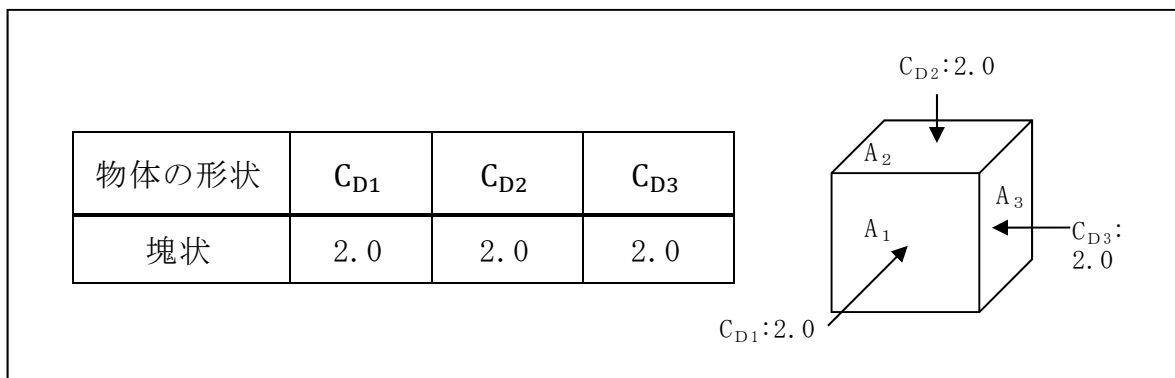
ここで、

C_{D1} 、 C_{D2} 、 C_{D3} : 直交 3 方向における物体の抗力係数

A_1 、 A_2 、 A_3 : $C_{D1} \sim C_{D3}$ を定義した各方向に対する見付面積[m²]

第 4 表 空力パラメータの算出に用いた見付面積

記号	パラメータ
A_1	0.03×0.03
A_2	0.03×0.03
A_3	0.03×0.03



第 4 図 空力パラメータ算出のための抵抗係数

c. 評価の結果

碎石についての浮き上がり風速の算出結果と設計竜巻によって作用する最大水平風速の比較結果を第5表に示す。

以上により，設計竜巻によって作用する最大水平風速は，浮き上がり風速を下回るため，竜巻により碎石が浮き上がることはない。

第5表 浮き上がりの評価結果

対象物	最大水平風速 V_0 (m/s)	浮き上がり風速 V_{FL} (m/s)	浮き上がり ^{※1} の有無
碎石（粒径 3cm）	23.9	24.6	×

※1 ○：発生，×：発生なし

参考資料：

- ① 日本保全学会，原子力規制関連事項検討会（2015）：軽水型原子力発電所の竜巻影響評価における設計竜巻風速および飛来物速度の設定に関するガイドライン
- ② Fujita, T. T., Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications, U. Chicago, 1978.
- ③ Karen A. Kosiba and Joshua Wurman, 2013: The Three-Dimensional Structure and Evolution of a Tornado Boundary Layer. Wea. Forecasting, 28, 1552-1561.

(2) 降水による流出影響

a. 評価条件

降水量：降水量には、「森林法に基づく林地許可申請の手びき」にて定められている降雨強度 127.5mm 及び流出係数 0.5 を用いる。

碎石の粒径：「(1) 風（台風）及び竜巻による飛散影響」における評価条件と同じ，粒径 3cm を用いる。

表面水の勾配：表面水の勾配は，最終覆土の上面の排水を行うための勾配を 5%とし，この値を用いる。

摩擦速度：摩擦速度の算出には，「水理公式集[平成 11 年版]」（土木学会）を参照し，以下の式を用いる。算出に用いたパラメータを第 5 表に示す。

$$\tau = \rho v_*^2 = \rho g R I_e$$

τ ：掃流力 (kg/m²)

ρ ：水の密度 (kg/m³)

v_* ：摩擦速度 (m/s)

g ：重力の加速度 (m/s²)

R ：径深 (m)

I_e ：表面水の勾配

ここで， R は以下の式により算出する。

$$R = A/S \text{ (m)}$$

A ：流積 (m²)

S ：潤辺 (m)

第 5 表 摩擦速度の算出に用いたパラメータ

記号	パラメータ
g	9.8
A	$\{(127.5/60/60)/1000\} \times 1$
S	$\{(127.5/60/60)/1000\} \times 2 + 1$
I_e	5/100

限界摩擦速度

：限界摩擦速度の算出には、「水理公式集[平成 11 年版]」（土木学会）を参照し、以下の式を用いる。算出に用いたパラメータを第 6 表に示す。

$$d \geq 0.303 \text{ cm} : v_{*c}^2 = 80.9 d$$

v_{*c} : 限界摩擦速度 (cm/s)

d : 碎石の粒径 (cm)

第 6 表 移動開始摩擦速度の算出に用いたパラメータ

記号	パラメータ
d	3.0

b. 評価の結果

摩擦速度と限界摩擦速度の比較を第 7 表に示す。摩擦速度が限界摩擦速度を上回らないことから、碎石の流出するおそれはないとの評価結果であり、台風のような短時間に非常に強い降雨となった場合でも最終覆土の上面に敷設された碎石が流出することはないと評価する。

第 7 表 摩擦速度と限界摩擦速度の比較

降水量 (mm)	流出 係数	表面水 の勾配	粒径 d (mm)	摩擦速度 v_* (m/s)	限界摩擦速 度 v_{*c} (m/s)	流出 ※ 2 の有無
127.5	0.5	5%	30	2.95×10^{-3}	1.56×10^{-1}	×

※ 2 ○：流出する，×：流出しない

以上

試験に用いた天然の土質系材料一覧表

			土砂 A	土砂 B	土砂 C
一般	土粒子の密度 ρ_s	g/cm ³	2.638	2.638	2.716
	自然含水比 ω_n	g/cm ³	15.3	7.8	0.6
粒 度	礫 分 ¹⁾ (2～75mm)	%	0.0	0.0	0.0
	砂 分 ¹⁾ (0.075～2mm)	%	78.3	97.4	99.4
	シルト分 ¹⁾ (0.005～0.075mm)	%	8.3	0.8	0.6
	粘土分 ¹⁾ (0.005 未満)	%	13.4	1.8	
	最大粒径	mm	2	2	2
	均等係数 U_c		—	2.3	1.8
分類	地盤材料の分類名称		細粒分質砂	分級された砂	分級された砂
	分類記号		SF	SP	SP
締 固 め	試験方法		A－c	A－c	—
	最大乾燥密度 ρ_{dmax}	g/cm ³	1.767	1.616	—
	最適含水比 ω_L	%	15.5	19.9	—
透水係数 K_{15}			m/s	3.36E-6	—

1) 石分を除いた 75mm 未満の土質材料に対する百分率

候補とした土砂の覆土への適合性確認例

「土砂 A」について、室内試験の結果から中間覆土及び最終覆土への適合性を確認した。

なお、中間覆土及び最終覆土に求める条件は以下のとおりである。

(1) 中間覆土及び最終覆土に求める条件

- ・ 土質区分が砂又は砂質土であること。
- ・ 風（台風）及び竜巻による飛散並びに降水による流出を低減するために土砂の締固め度（最大乾燥密度 ρ_{dmax} に対する乾燥密度の割合）が 90%以上となること。
- ・ 遮蔽の機能として乾燥密度が 1.58g/cm^3 以上となること。

(2) 最終覆土に求める条件

- ・ 移行抑制の機能として透水係数が $1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ 未満となること。

土砂 A の土質区分は「細粒分質砂（砂質土）」である（添付資料－ 3）。

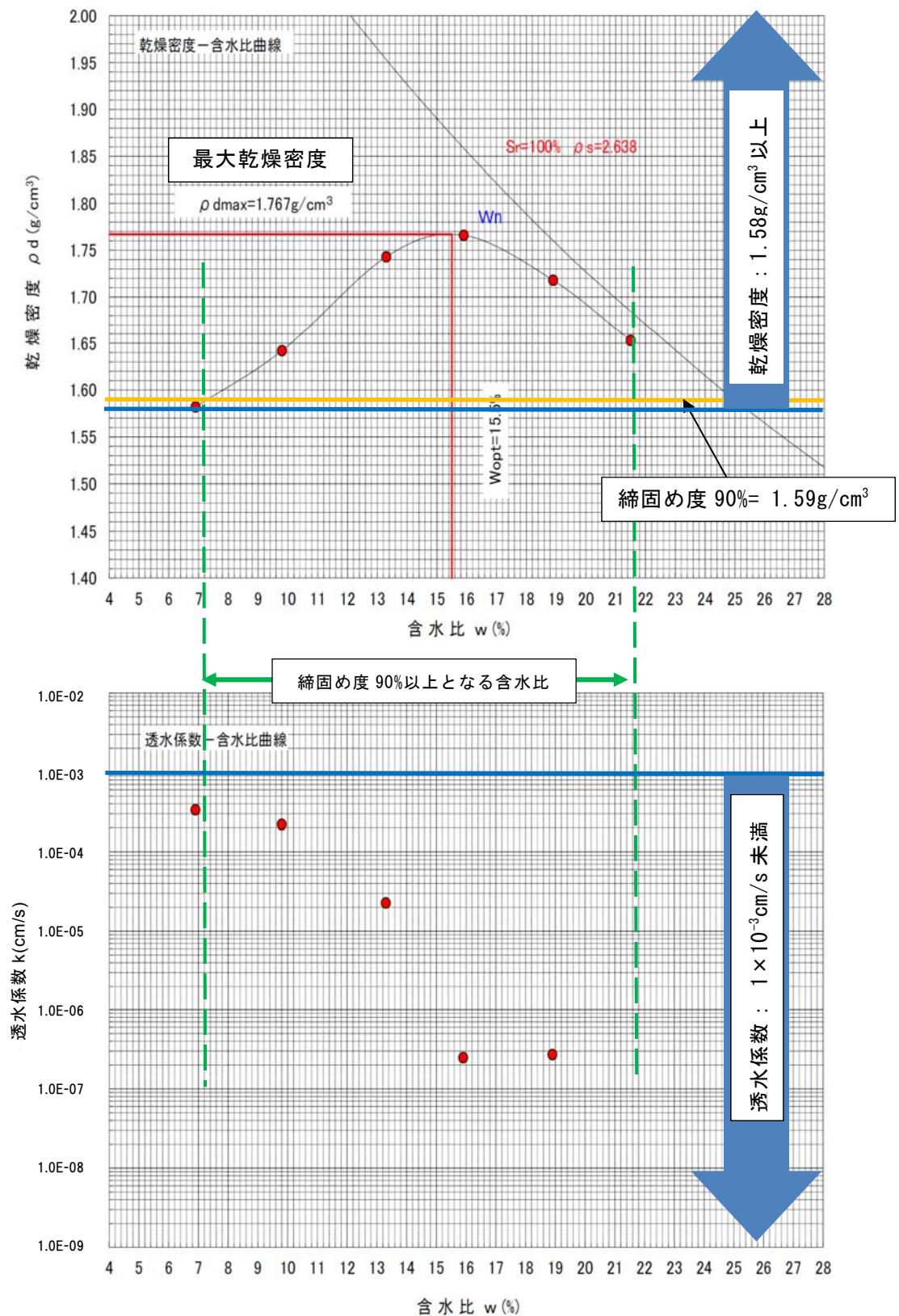
土砂 A に対して室内試験を実施した結果を第 1 図に示す。

室内試験で得られた含水比－乾燥密度曲線より、最大乾燥密度 1.77g/cm^3 に対する土砂の締固め度が 90%となる乾燥密度は 1.59g/cm^3 であることから、中間覆土及び最終覆土に求められる乾燥密度の条件を満たしている。

また、含水比－透水係数曲線より土砂の乾燥密度が 1.58g/cm^3 以上並びに締固め度が 90%以上となる含水比における透水係数はいずれも $1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ 未満となることから、最終覆土に求められる透水係数の条件を満たしている。

以上の結果から、土砂 A は施工において適切な施工管理を行うことで、中間覆土又は最終覆土に適用可能である。

同様に，上記以外の土砂を用いる場合においても室内試験を実施し，適用しようとする部位が必要とする能力を満足するものであることを確認することで，覆土に使用する土砂として選定することが可能である。



第 1 図 土砂 A の室内試験結果 (例)

以上