

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十三条

(ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄

物埋設地) 第1項第二号及び第四号

への適合性について

2024 年 9 月

日本原子力発電株式会社

目 次

1	はじめに	1
2	廃棄物埋設地の安全機能について	4
3	設計対象設備	4
4	第二種埋設許可基準規則への適合のための設計方針	4
4. 1	安全設計の方針	4
4. 2	漏出低減機能	7
4. 3	遮蔽機能	12
4. 4	その他の設計	14
4. 4. 1	廃棄物埋設地に関する設計の留意事項	14
4. 4. 2	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機能が損なわれないものであること	18
4. 4. 3	放射性物質の漏出を低減する機能を有すること	19
4. 4. 4	準拠規格及び基準等	22
5	廃棄物埋設地の設計	23
5. 1	構成及び設置位置	23
5. 2	主要設備	28
5. 2. 1	覆土	28
5. 2. 2	表面遮水	45
5. 2. 3	植生	50
5. 3. 4	排水設備	50
6	その他の設計	52
6. 1	雨水防止テント	52
6. 2	雨養生	54

7 参考文献.....	56
-------------	----

添付資料 1 廃棄物埋設地の設計の考え方他

添付資料 2 第二種埋設許可基準解釈第 13 条第 1 項に関する補足説明

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。）第十三条第1項第二号及び第四号並びに「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の解釈」（以下「第二種埋設許可基準解釈」という。）第13条第1項、第5項及び第6項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十三条第1項第二号及び第四号並びに第二種埋設許可基準解釈第13条第1項、第5項及び第6項の要求事項を第1表に示す。

第1表 第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈の要求事項（1／2）

第二種埋設許可基準規則	第二種埋設許可基準解釈
（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地） 第十三条 ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならない。 二 トレンチ処分に係る廃棄物埋設地は、その表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法により、廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制し、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、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであること。	第13条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地） 1 第1号に規定する「外周仕切設備を設置する方法、その表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法」及び第2号に規定する「その表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法」とは、以下の設計をいう。 一 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ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。 三 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる（安全上支障のない期間内において速やかに修復できることが確実であることを含む。）構造・仕様であること。

第 1 表 第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈の要求事項 (2/2)

第二種埋設許可基準規則	第二種埋設許可基準解釈
四 前条第一項第五号及び第六号に定めるものであること。	5 第 1 項第 1 号及び第 2 号の「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」については、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出に伴う公衆の受ける線量が、第 8 条第 1 項に規定する「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による事業所周辺の線量」及び第 17 条第 1 項に規定する「周辺監視区域の外の大気中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出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、ALARA の考え方の下、実効線量で 50 マイクロシーベルト／年以下であること。 6 第 1 項第 2 号に規定する「廃止措置の開始まで」とは、埋設の終了後 50 年程度を目安とする。

2 廃棄物埋設地の安全機能について

第二種埋設許可基準規則第二条第2項第一号によって、「安全機能」とは、廃棄物埋設施設の安全性を確保するために必要な機能であって、その機能の喪失により公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるものをいう。」とされている。

廃棄物埋設施設（以下「本施設」という。）の安全機能は、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能（以下「漏出低減機能」という。）及び遮蔽機能であり、これらの安全機能を有する施設は、漏出低減機能を有するものが側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート及び表面遮水であり、また、遮蔽機能を有するものが中間覆土である。

本施設に必要となる安全機能を維持する期間は、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とする。廃止措置の開始後は、漏出低減機能及び遮蔽機能を期待できるように設計する。

3 設計対象設備

第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号及び第四号の設計対象設備は、側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート及び表面遮水とする。

4 第二種埋設許可基準規則への適合のための設計方針

4. 1 安全設計の方針

本施設は、「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。）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に適合する構造とする。

なお、本施設の設計、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を踏まえ適切な対策を講じた

設計とする。

また、平常時において、事業所周辺の公衆の受ける線量及び放射線業務従事者の受ける線量並びに管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者の受ける線量が「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ように設計する。さらに、公衆の受ける線量については、合理的に達成できる限り低くなるように設計する。

具体的には、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、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出に伴う公衆の受ける線量が、本施設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公衆の受ける線量並びに周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の放出により公衆の受ける線量を含め、線量告示に定められた線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable（以下「ALARA」という。）の考えの下、実効線量で $50 \mu\text{Sv/h}$ 以下となる設計とする。

異常が発生した場合においても敷地周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないように設計する。

廃棄物埋設地は、廃止措置の開始後、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがある設計とする。

ここで、「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態」とは、次に掲げる各シナリオにおける廃止措置の開始後の評価結果が、それぞれの基準を満たすものであることをいう。

- ・ 公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について最も可能性が高いものを選定し、人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは最も可能性が高い設定とする自然事象シナリオ（最も可能性が高い自

然事象シナリオ) で評価される公衆の受ける線量が $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと。

- ・公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について科学的に合理的な範囲において最も厳しいものを選定し、人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは、科学的に合理的な範囲における組み合わせのうち最も厳しい設定とする自然事象シナリオ（最も厳しい自然事象シナリオ）で評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと。
- ・自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削を伴う土地利用を考慮したシナリオ(人為事象シナリオ)で評価される公衆（廃棄物埋設地の掘削を行う者及び掘削された廃棄物埋設地の土地利用を行う者に限る。）の受ける線量が $300 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと。

第二種廃棄物埋設を行う放射性廃棄物の種類は、東海発電所から発生する固体状の放射性廃棄物であって、中性子線の作用によって放射化されたもの、原子炉冷却材等で汚染されたもの又はその両方を含むものである。

東海発電所における汚染移行経路としては、気体が循環する原子炉冷却系と廃液が循環する廃液系がある。放射性廃棄物の種類としては、これらの汚染形態に応じて分類された金属類及びコンクリート類がある。

これらの放射性廃棄物は、「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」（以下「事業規則」という。）の別表第二の上欄に掲げる放射性物質についての放射能濃度がそれぞれ同表の下欄に掲げる放射能濃度を超えないものであって、第八条第1項第二号イ、同条第1項第二号ロ（2）及び同条第3項に定めるコンクリート等廃棄物の技術上の基準に適合するものである。本施設で取り扱う放射性廃棄物は、容器等に収納又はこん包したもので、その容器等が損傷しない限り、放射性物質が漏えいすることはない。放射性廃棄物に含まれる総放射エネルギーを踏まえて、

安全性を確保するために、本施設は、漏出低減機能及び遮蔽機能を有する設計とする。

本施設は、安全性を確保する上で常時機能維持を必要とする動的な設備及び機器は不要であり、静的な設備により安全性を確保することとする。

廃棄物埋設地の設計の考え方については添付資料 1「1 廃棄物埋設地の設計の考え方」に記載する。

4. 2 漏出低減機能

(1) 設計方針

漏出低減機能は、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、放射性廃棄物を埋設した区画（以下「埋設が完了した区画」という。）内への雨水等の浸入を抑制する設計とし、これを達成するための漏出低減機能を有するものは、側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート及び表面遮水とする（第7図、第8図及び第9図参照）。

埋設が完了した区画内への地下水の浸入については、地下水面より上に埋設トレンチを設置することにより浸入を抑制する設計とする。

埋設が完了した区画内への雨水等の浸入については、最終覆土の完了までの間は、側部低透水性覆土及び表面遮水の低透水性により、雨水等の浸入を抑制する設計とする。

なお、最終覆土が施工された区画では、表面遮水に代わり低透水性覆土及び遮水シートの低透水性により、雨水等の浸入を抑制する設計とする。

最終覆土の完了後は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性により、埋設が完了した区画内への雨水等の浸入を抑制する設計とする。

これらにより、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、平常時における廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出により公衆の受ける線量が、本施設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公衆の受ける線量並びに周辺監視区域の外の空気中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の放出により公衆の受ける線量を含め、線量告示で定められた線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考えの下、実効線量で $50\mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下となる設計とする。また、埋設した放射性廃棄物が廃止措置の開始後に公衆に及ぼす影響を評価した結果が、第二種埋設許可基準解釈に示される基準を満たし、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがある設計とする。

(2) 安全設計

漏出低減機能は、埋設が完了した区画内への雨水等及び地下水の浸入を抑制する設計とする。

埋設が完了した区画内への地下水の浸入については、地下水面より上に埋設トレンチを設置することにより浸入を抑制する設計とする。

埋設が完了した区画内への雨水等の浸入の抑制については、最終覆土の完了までの間は、側部低透水性覆土及び表面遮水の低透水性により、雨水等の浸入を抑制する設計とする。

なお、最終覆土が施工された区画では、表面遮水に代わり低透水性覆土及び遮水シートの低透水性により、雨水等の浸入を抑制する設計とする。

最終覆土の完了後は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性により、埋設が完了した区画内への雨水等の浸入を抑制する設計とする。

廃棄物埋設地は、設計対象設備に対して以下に示す設計を行うことによ

り、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、平常時における廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出により公衆の受ける線量が、本施設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公衆の受ける線量並びに周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の放出により公衆の受ける線量を含め、線量告示で定められた線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考えの下、実効線量で $50 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下となる設計とする。

また、埋設した放射性廃棄物が廃止措置の開始後に公衆に及ぼす影響を評価した結果が、第二種埋設許可基準解釈に示される基準を満たし、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しがある設計とする。

漏出低減機能を有するものを第3表に示す。

a. 表面遮水

- (a) 表面遮水は、低透水性を有する設計とする。
- (b) 表面遮水は、定期点検及び地震、台風等の異常事態が発生した場合は臨時点検を行い、劣化・損傷が生じた場合、安全上支障のない期間内において速やかに修復することにより必要な機能を維持する設計とする。
- (c) 表面遮水は、合成ゴム及び合成樹脂系の遮水シートを用いるとともに、紫外線による劣化を考慮して保護砕石等の保護工により覆うことで、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。
- (d) 埋設が完了した区画内への雨水等の浸入を抑制するために、最上段の中間覆土及び最終覆土のうち基礎材の一部を施工後、その上部に表面遮水を設置する。
- (e) 表面遮水に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査に当た

っては、現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとし、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認する。なお、現時点での最新の知見としては、「遮水シート日本遮水工協会自主基準」⁽¹⁾ 及び「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領（2010 改訂版）」⁽²⁾ を参照する。

b. 側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シート

- (a) 側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートは，低透水性を有する設計とする。
- (b) 側部低透水性覆土及び低透水性覆土は，長期的に安全性が損なわれ難い天然材料である土質系材料を採用することにより，劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。なお，側部低透水性覆土及び低透水性覆土の材料は，実際の調達時期により詳細な材料特性が変わる可能性があるが，その場合にも要求性能を満足することを確認したうえで用いることとする。
- (c) 遮水シートは，長期的に安全性が損なわれ難い高密度ポリエチレン（HDPE）シートを用いるとともに，紫外線による劣化を考慮し，覆土により覆うことにより，劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。
- (d) 劣化・損傷が生じた場合においても必要な機能を維持するために，側部低透水性覆土及び低透水性覆土は十分な厚さを有する設計とする。
- (e) 側部低透水性覆土及び低透水性覆土は，長期的な力学的影響に対して，変形追従性を考慮する。また，遮水シートは，長期的な力学的影響に対して力学的安定性を，また，化学的影響に対して化学的安定性を考慮する。

- (f) 埋設が完了した区画の側部及び上部からの雨水等の浸入を抑制するために、以下の設計とする。
- ・側部低透水性覆土を埋設トレンチの側部に設置する。
 - ・低透水性覆土及び遮水シートを埋設トレンチの上部に設置する。
- (g) 側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シートに対する設計，材料の選定，建設・施工及び検査に当たっては，現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとし，利用可能な最善の技術として最新の知見を確認し，現状入手できる材料を用いる。なお，現時点での最新の知見としては，「遮水シート日本遮水工協会自主基準」⁽¹⁾，「道路土工要綱」⁽³⁾，「道路土工－盛土工指針」⁽⁴⁾ 及び「河川土工マニュアル」⁽⁵⁾ を参照する。

第3表 漏出低減機能を有するもの

名称			漏出低減機能
表面遮水※1			○
覆土	最終覆土	保護土層（上層）	—
		保護土層（下層）	—
		フィルタ層	—
		排水層	—
		遮水シート	○
		低透水性覆土	○
		基礎材	—
	中間覆土（最上段）		—
	中間覆土（最上段除く）		—
	側部低透水性覆土		○
	充填砂		—

○：漏出低減機能を有するもの

—：漏出低減機能を有さないもの

※1：表面遮水は、区画ごとの最上段の中間覆土及び最終覆土のうち基礎材の一部施工後に設置され、最終覆土の設置完了時には撤去されるため、表面遮水の設置完了後から最終覆土の設置完了までの間において機能を期待する。

4. 3 遮蔽機能

（1）設計方針

遮蔽機能は、埋設する放射性廃棄物の表面線量当量率、位置等を考慮し、中間覆土の遮蔽性により、事業所周辺の公衆の受ける線量、放射線業務従事者の受ける線量及び管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者の受ける線量が、線量告示で定められた線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考えの下、合理的に達成できる限り低くできる設計とする。

放射線の遮蔽に関する構造は、廃棄物埋設地のうち中間覆土により構成し、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による放射線被ばくから事

業所周辺の公衆，放射線業務従事者並びに管理区域外の人が立ち入る場所に滞在する者を防護する。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から最上段の中間覆土完了までの間においては，施工した中間覆土により放射線の遮蔽を行う。また，最上段の中間覆土完了後から廃止措置の開始までの間においては，最上段まで施工された中間覆土により放射線の遮蔽を行う。

平常時における廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出により公衆の受ける線量が，本施設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公衆の受ける線量並びに周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の放出により公衆の受ける線量を含め，線量告示で定められた線量限度を超えないことはもとより，ALARAの考えの下，実効線量で $50 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下となる設計とする。

(2) 安全設計

廃棄物埋設地は，以下に示す設計を行うことにより，直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による放射線被ばくから事業所周辺の公衆，放射線業務従事者並びに管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者の受ける線量を合理的に達成できる限り低減できる設計とする。

平常時における本施設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公衆の受ける線量が，廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出により公衆の受ける線量並びに周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の放出により公衆の受ける線量を含め，線量告示で定められた線量限度を超えないことはもとより，実効線量で $50 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下となる設計とする。

- a. 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から最上段の中間覆土完了までの間においては，以下に示す設計を行うことにより，直接ガンマ線及び

スカイシャインガンマ線による公衆の受ける線量，放射線業務従事者並びに管理区域以外の人が入り込む場所に滞在する者の受ける線量を低減できる設計とする。

(a) 門型クレーンによる放射性廃棄物の取扱い時間を合理的に達成できる限り短くし，放射性廃棄物を埋設トレンチに定置する。

(b) 放射性廃棄物の定置作業は区画ごとに実施し，埋設区画 1 段分の放射性廃棄物を定置後は速やかに中間覆土を施し，覆土されていない放射性廃棄物の数を少なくする。

b. 最上段の中間覆土完了後においては，最上段まで施工された中間覆土により，直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による公衆の受ける線量並びに管理区域以外の人が入り込む場所に滞在する者の受ける線量を低減できる設計とする。

c. 周辺監視区域の廃止後は，公衆が事業所内に立ち入る可能性を考慮し，中間覆土により事業所内に立ち入る公衆の受ける線量を線量限度以下に低減できる設計とする。

遮蔽の評価結果については，「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 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）への適合性について」にて別途説明する。

4. 4 その他の設計

4. 4. 1 廃棄物埋設地に関する設計の留意事項

廃棄物埋設地は，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，廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するため，以下について留意した設計とする。

(1) 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること

廃棄物埋設地の設計については、放射性物質の種類及び性質により、主に半減期、環境中への移動のしやすさ及び放出される放射線エネルギーが異なることを考慮する。

- ・半減期が長い放射性物質（C-14, C-136, Ca-41, 全α）に対しては、側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート及び表面遮水の漏出低減機能により廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減することで、公衆の受ける線量を低減する。
- ・半減期が短く環境中に移動しやすい放射性物質（H-3, Sr-90）に対しては、側部低透水性覆土、低透水性覆土、遮水シート及び表面遮水の漏出低減機能により廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するとともに、放射能の減衰を図ることで、公衆の受ける線量を低減する。
- ・半減期が短く放射線のエネルギーが大きい放射性物質（Co-60, Cs-137, Eu-152, Eu-154）に対しては、遮蔽機能により放射能が有意に減衰するまで遮蔽を確保することで、公衆の受ける外部被ばく線量を低減する。

また、廃棄物埋設地は、保全に関する措置を必要としない状態に移行できるよう設計する。

廃棄物埋設地の設計は、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術として広く活用され、かつ、実績を多数有している建設・施工技術を用いる。

漏出低減機能を有するものごとの要求性能に加え、材料の選定、建設・

施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

a．合理的な建設・施工技術

表面遮水の透水特性は、最終覆土を施工するまでの間期待するものであり、最終覆土の施工時には撤去することから、点検・補修等による機能維持が可能な遮水シートを用いることが合理的である。

側部低透水性覆土及び低透水性覆土の透水特性は、長期的に期待するため、力学的作用により安全性が損なわれ難い天然材料である土質系材料を用いた土構造物とすることが合理的である。また、低透水性覆土の透水特性である低透水性の確保を確実なものとするため、低透水性覆土の上部に低透水性の遮水シートを設置することが合理的である。

b．利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。

なお、現時点での最新の知見としては、「遮水シート日本遮土工協会自主基準」⁽¹⁾、「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領（2010改訂版）」⁽²⁾、「道路土工要綱」⁽³⁾、「道路土工－盛土工指針」⁽⁴⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁵⁾を参照する。側部低透水性覆土及び低透水性覆土については、一般土工で用いられる重機を使用し、適切な品質管理を行うことで、目標の透水係数を有する覆土を施工できることを確認している。

また、品質管理方法は、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の施工前に行う試験結果を用いて最終決定する。

(2) 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

a．表面遮水

合成ゴム及び合成樹脂系の遮水シートを用いるとともに、紫外線による劣化を考慮し、保護砕石等の保護工により覆うことにより、表面遮水は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

b. 側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シート

側部低透水性覆土及び低透水性覆土については、変形追従性を考慮し、粒径分布に広がりを持った土質系材料を用いることにより、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。また、遮水シートについては、力学的安定性及び化学的安定性を考慮し、高密度ポリエチレン（H D P E）を用いるとともに、紫外線による劣化を考慮し、覆土により覆うことにより、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

長期状態において想定される劣化・損傷事象を抽出し、覆土の低透水性に影響を及ぼす要因に対して、長期的に低透水性を維持するための要求機能を満たす見通しのある設計とする。

（3）劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる（安全上支障のない期間内において速やかに修復できることが確実であることを含む。）構造・仕様であること

a. 表面遮水

遮水シートは、劣化・損傷が生じた場合においても、安全上支障のない期間内において速やかに修復し、漏出低減機能を維持する構造・仕様とする。

b. 側部低透水性覆土，低透水性覆土及び遮水シート

側部低透水性覆土及び低透水性覆土については、発生が予想される力学的影響に対して機能維持が受動的に期待できるよう、十分な厚さとすることで、劣化・損傷が生じた場合においても、漏出低減機能を維持する構造・仕様とする。また、遮水シートは、劣化・損傷が生じた

場合においても、安全上支障のない期間内において速やかに修復し、漏出低減機能を維持する構造・仕様とする。

線量評価上用いる各性能は、線量評価の状態設定における不確実性を包含する設定とすることにより、廃棄物埋設地全体として線量基準を満足するようにする。

これらにより、劣化・損傷が生じた場合においても、漏出低減機能を維持する構造とする。

4. 4. 2 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機能が損なわれないものであること

可燃性の化学物質及び可燃性ガスを発生する化学物質として、「消防法」及び「危険物の規則に関する政令」に定められるものを想定する。埋設する放射性廃棄物は金属類及びコンクリート類であり、容器等に収納又はこん包する。また、覆土は土質系材料を用いることから、これらの化学物質は埋設トレンチ内に含まれない。ただし、その他の化学物質として、雨水等の浸透水とコンクリート類の放射性廃棄物との接触によって溶脱するカルシウム成分等の影響を考慮する。

最終覆土の施工前の安全機能については、中間覆土にて遮蔽機能を期待し、側部低透水性覆土及び表面遮水にて漏出低減機能を期待している。遮蔽機能については、中間覆土はカルシウム成分等による影響はない。漏出低減機能については、雨水等の浸透水がコンクリート類の放射性廃棄物と接触することによって、カルシウム成分が溶脱し、浸透水のpHが変化することで、高アルカリ性の間隙水が発生する可能性があるが、放射性廃棄物と側部低透水性覆土は充填砂により離隔が取られるため、高アルカリ性の間隙水による側部低透水性覆土の低透水性への影響はない。

なお、表面遮水は、埋設した放射性廃棄物より上部に位置するためコンクリート類の放射性廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。

最終覆土の完了後の安全機能については、中間覆土にて遮蔽機能を期待し、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートにて漏出低減機能を期待している。遮蔽機能については、中間覆土はカルシウム成分等による影響はない。漏出低減機能については、雨水等の浸透水がコンクリート類の放射性廃棄物と接触することによって、カルシウム成分が溶脱し、浸透水のpHが変化することで、高アルカリ性の間隙水が発生する可能性があるが、放射性廃棄物と側部低透水性覆土は充填砂により離隔が取られるため、高アルカリ性の間隙水による側部低透水性覆土の低透水性への影響はない。また、低透水性覆土及び遮水シートは、埋設した放射性廃棄物より上部に位置するためコンクリート類の放射性廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。

4. 4. 3 放射性物質の漏出を低減する機能を有すること

(1) 設計方針

「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する」について、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、公衆の受ける線量が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くなるよう、実効線量で $50\mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下となる設計とする。

(2) 評価方法

a. 線量評価シナリオ

廃棄物埋設地からの放射性物質の移動に関する評価対象とする線量評価シナリオは、地下水中の放射性物質が移動する海の海産物の摂取に伴

う内部被ばくとする。

この経路は、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、埋設トレンチ内を浸透する浸透水中の放射性物質が移動する海の家産物の摂取による内部被ばくであり、食生活が標準的である人で、海産物を摂取する人を対象とする。

b. 線量評価モデル

廃棄物埋設地からの放射性物質の移動に関する評価対象とする線量評価モデルは、廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が、廃棄物埋設地直下の地下水により海に流入するものとして設定する。海産物を摂取する場合の内部被ばくの評価は、「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 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（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について」の(1)式から(16)式及び(21)式を用いて評価する。

c. 線量評価パラメータ

廃棄物埋設地から漏出する放射性物質の量の評価に当たっては、最終覆土の完了直後から放射性物質の漏出が開始するとし、「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十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について」に示す最も可能性が高い自然事象シナリオに用いる線量評価パラメータに基づいて評価するが、年間浸透水量については初期値に固定した条件で行う。

なお、最終覆土の完了直後の放射エネルギーは、「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 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（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について「線量評価パラメータ」の第4表の「No.5：放射性廃棄物受入れ時の放射性核種 i の放射エネルギー」の値とし、最終覆土の完了後の時間の経過による放射性物質の減衰を考慮する。その他の線量評価パラメータは同資料の第4表の値を用いる。

d. 線量評価結果

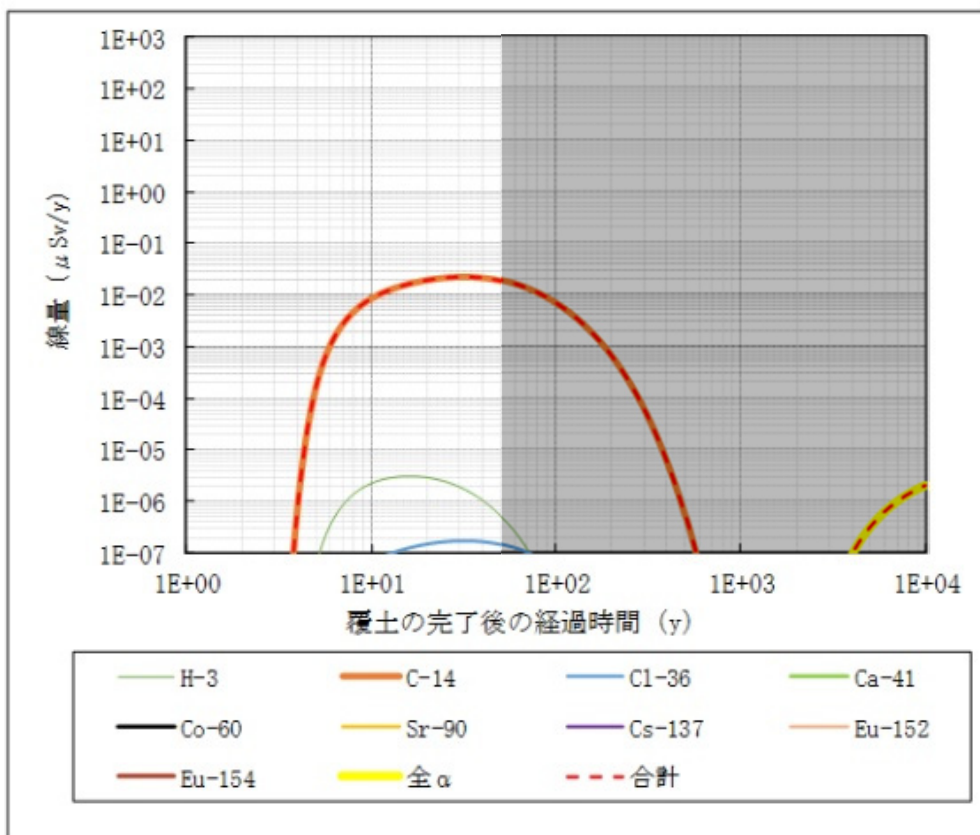
埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間における地下水中の放射性物質が移動する海での海産物の摂取に伴う内部被ばく線量は約 $2.3 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$ である。線量評価結果を第1図に示す。

また、第二種埋設許可基準規則第八条に規定する「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による事業所周辺の線量」により公衆の受ける外部被ばく線量の最大値は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から全区画の最上段中間覆土完了までの間においては約 $3.8 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ であり、全区画の最上段中間覆土完了から廃止措置の開始までの間においては約 $1.1 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ である。

なお、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ける第二種埋設許可基準規則第十七条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出により公衆の受ける線量については、本施設は廃棄施設を設置しないことから、考慮する必要はない。

以上より、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ける公衆の受ける合計線量は、最大約 $3.8 \times 10^1 \mu\text{Sv/y}$ となり、本施設は、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、

公衆に対して合理的に達成できる限り十分に低い線量となる施設の設計となっている。



第 1 図 海産物の摂取に伴う内部被ばくの線量評価結果

4. 4. 4 準拠規格及び基準等

本施設は、設計、製作、建設及び試験検査を通じて信頼性のあるものとする。本施設の設計、材料の選定、建設・施工及び検査に当たっては、漏出低減機能及び遮蔽機能を確保するため原則として国内法規に基づく規格及び基準に準拠する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにし、漏出低減機能及び遮蔽機能に問題がないことを確認する。

本施設の設計等に当たっては、原子炉等規制法、事業規則、第二種埋設許

可基準規則，第二種埋設許可基準解釈及び線量告示に基づくとともに，必要に応じて以下の法令，規格，基準等に準拠する。

- ・ 建築基準法
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 消防法
- ・ 電気事業法
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 日本電機工業会規格（J E M）
- ・ 道路土工要綱（日本道路協会）
- ・ 道路土工－盛土工指針（日本道路協会）
- ・ 河川土工マニュアル（国土技術研究センター）
- ・ 遮水シート日本遮水工協会自主基準（日本遮水工協会）
- ・ 廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領（2010 改訂版）（全国都市清掃会議）

5 廃棄物埋設地の設計

廃棄物埋設地の設計内容について説明する。

5. 1 構成及び設置位置

廃棄物埋設地は，放射性廃棄物を埋設する埋設トレンチ，覆土等により構成する。

埋設トレンチの最大埋設能力は，最大約 24,000 m³である。

埋設トレンチは，放射性廃棄物の底面が東京湾中等潮位（以下「T.P.」という。）約＋4 m となるように掘り下げて設置し，1 区画が約 8 m×約 15 m となるようにH形鋼と鋼矢板（以下「仕切板」という。）により区分し，合計で 42 区画設ける。

なお、埋設トレンチは、西側埋設トレンチと東側埋設トレンチに分ける（第 2 図及び第 3 図参照）。

安全機能を有する施設は、自重及び操業時の荷重等に加え、耐震重要度の分類に応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分に支持性能を有する地盤に設置する。

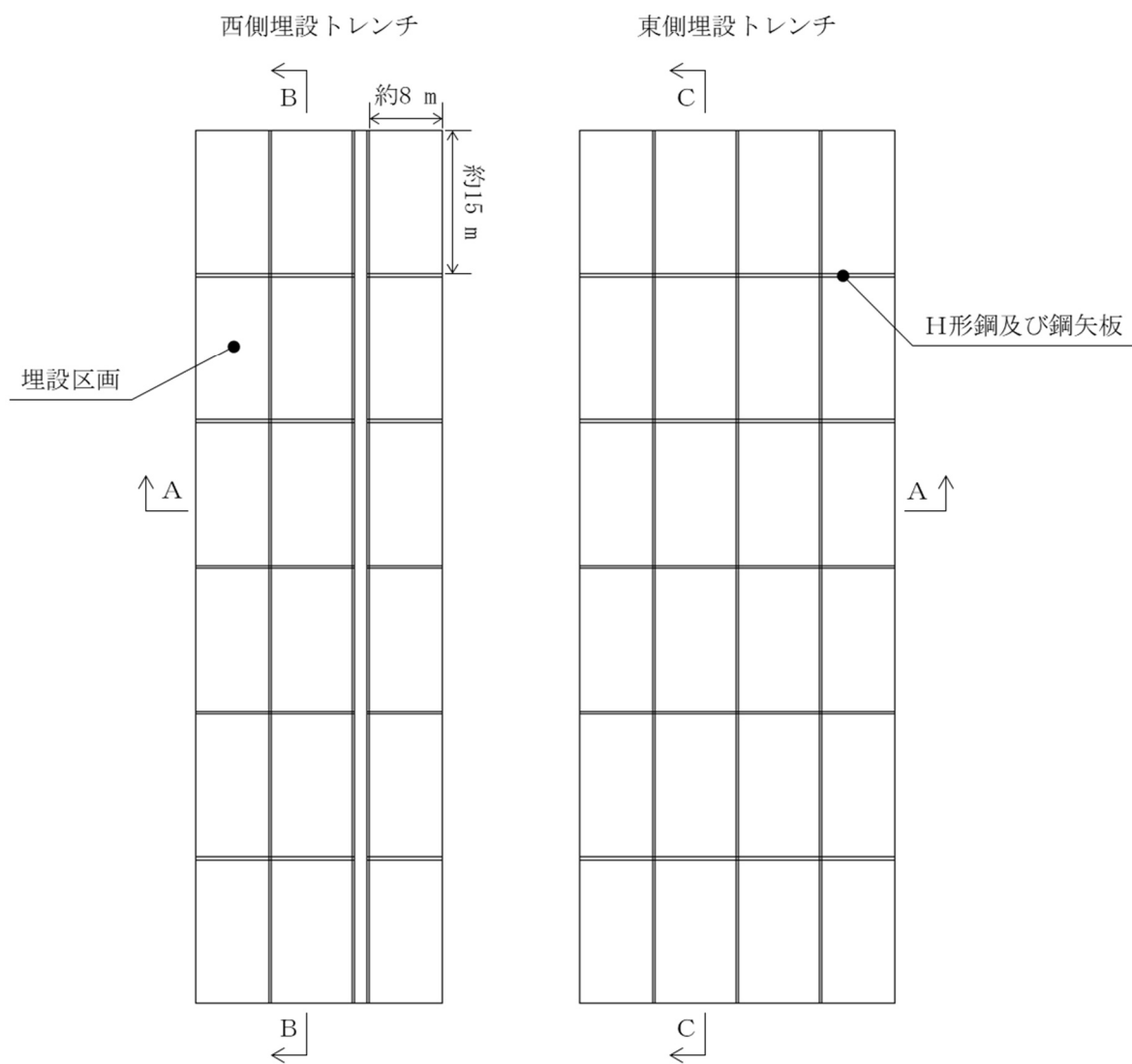
覆土は、側部低透水性覆土、充填砂、中間覆土及びその上面を覆う最終覆土で構成する。最終覆土は、基礎材、低透水性覆土、遮水シート、排水層、フィルタ層、保護土層（下層）及び保護土層（上層）で構成する。

なお、最終覆土の完了までの間は、側部低透水性覆土、充填砂、中間覆土、最終覆土のうち基礎材の一部で覆土を構成し、その上面に表面遮水を設置する。

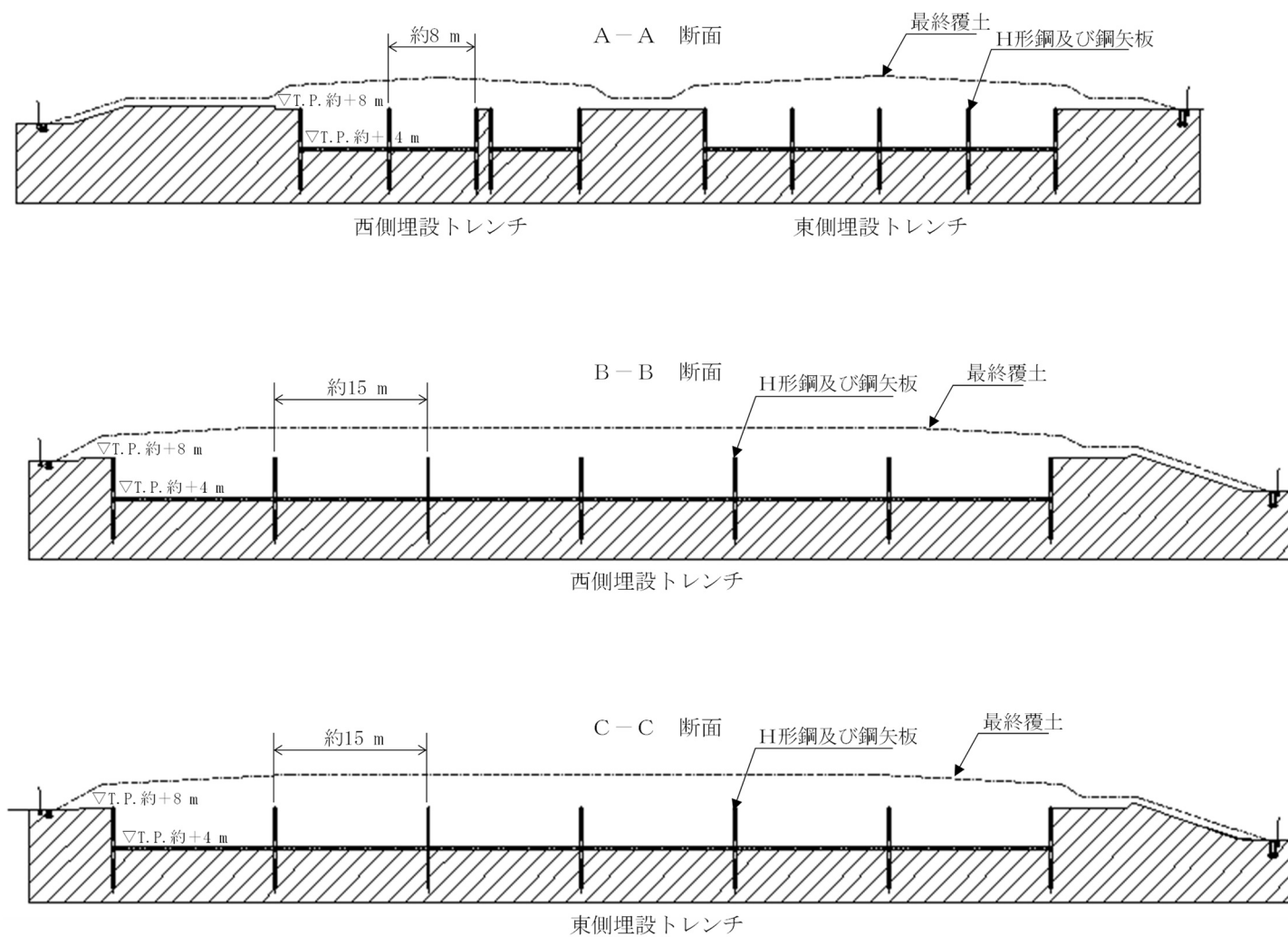
最終覆土の上部には植生を行う。また、最終覆土の側部に排水設備を設置する。

廃棄物埋設地は、東海発電所及び東海第二発電所の周辺監視区域内に設置する（第 4 図参照）。

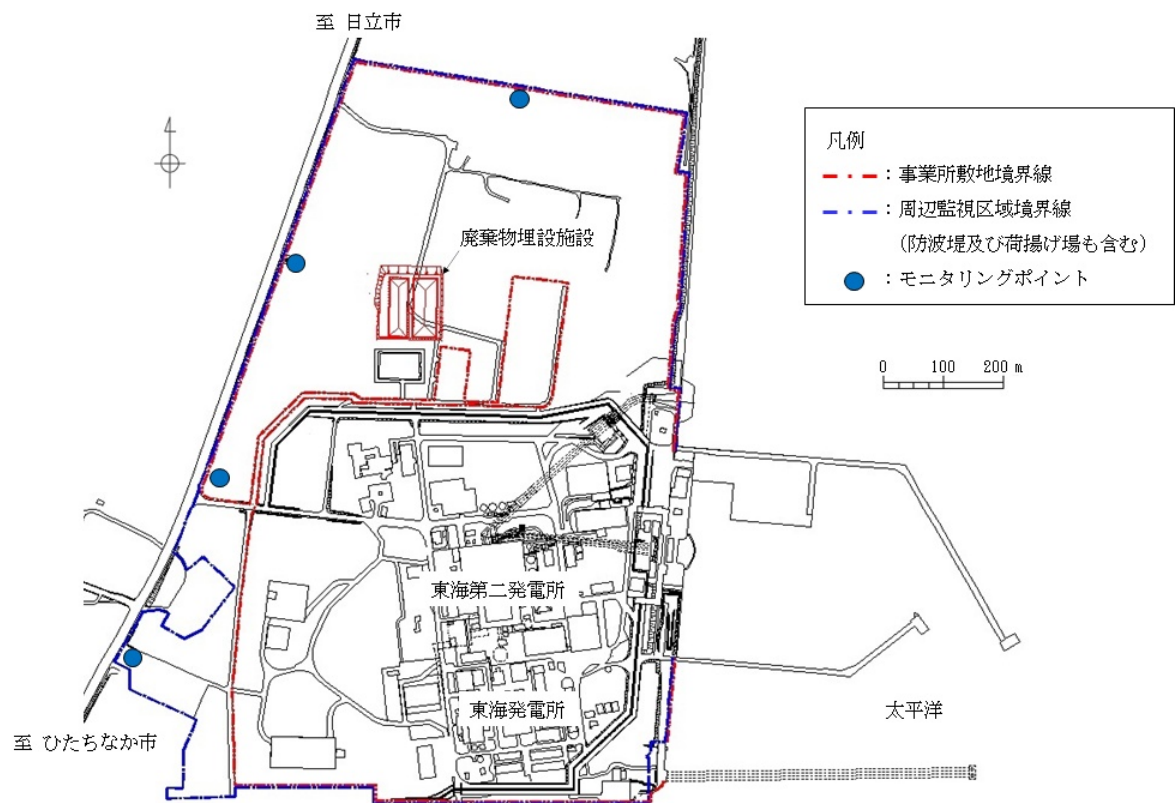
廃棄物埋設地の設置位置選定の考え方については添付資料 1 「2 廃棄物埋設地の基本的考え方」に記載する。



第 2 図 埋設トレンチの平面図



第3図 埋設トレンチの断面図



第 4 図 廃棄物埋設地位置図

5. 2 主要設備

5. 2. 1 覆土

(1) 構成及び安全機能

覆土は、側部低透水性覆土、充填砂、中間覆土及び最終覆土により構成し、最終覆土は盛土状の多層構造を成し、基礎材、低透水性覆土、遮水シート、排水層、フィルタ層、保護土層（下層）及び保護土層（上層）により構成する。

側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性により放射性物質の漏出を低減し、中間覆土の遮蔽性により放射線の遮蔽を行う。

(2) 要求性能及び設計要件

安全機能を確保するために必要な覆土の要求性能及び設計要件を第4表に示す。

a. 要求性能（技術要件及び設計項目）

覆土の設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえ、次のとおり整理する。

(a) 漏出低減機能

覆土の漏出低減機能は、埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減することである。

埋設トレンチ内を浸透する浸透水量は、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの透水特性によって影響を受けることから、側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートに対する技術要件は透水特性（低透水性）であり、その設計項目は、材質、透水係数及び厚さである。また、漏出低減機能については、長期にわたり機能を維持する必要があるため、材質、透水係数及び厚さの変化に影響を及ぼす要因について抽出する。長期状態において側部低透水性覆土、低透水

性覆土及び遮水シートの透水特性に影響を及ぼす要因とその機構を第5表に示す。影響要因の抽出については、周辺土壌などの外部環境も含めた施設の構成及び影響要因の相互作用を網羅的に考慮する（影響要因の抽出・分析結果については、「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 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（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について 廃棄物埋設地の状態設定（影響事象分析）」を参照）。抽出した要因は、廃棄物埋設地に埋設した放射性廃棄物の鉄箱内に残存する空隙に起因する陥没に伴う側部低透水性覆土及び低透水性覆土の乾燥密度の変化並びに遮水シートの劣化、また、最終覆土中に含まれる酸素及び浸透水中に含まれる溶存酸素に起因する遮水シートとの化学反応に伴う遮水シートの劣化である。側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの技術要件は、これらの要因に対する長期機能維持特性（変形追従性、力学的安定性及び化学的安定性）であり、その設計項目は透水係数及び厚さ（変形追従性）、引張強さ（力学的安定性）及び材質（化学的安定性）である。

(b) 遮蔽機能

中間覆土の遮蔽機能は、放射線を遮蔽する機能であるため、技術要件は遮蔽性であり、その設計項目は密度及び厚さである。

b. 設計要件

設計項目である材質、透水係数、厚さ及び密度については、要求性能を満足するための設計要件を設定する。

覆土の技術要件のうち、低透水性覆土及び側部低透水性覆土の低透水性についての詳細は添付資料1「3 技術要件における考え方」に示す。

第4表 覆土の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		設計項目	最終覆土							側部低透水性覆土	充填砂	中間覆土	設計要件	
	技術要件 (必要な特性)			保護土層 (上層)	保護土層 (下層)	フィルタ層	排水層	遮水シート	低透水性覆土	基礎材					
漏出低減機能	透水特性	低透水性	材質	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	低透水性を有する材質とすること。	
			透水係数	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	必要な透水係数を有すること。 ※ ²	
			厚さ	—	—	—	—	○	○	—	○	—	—	必要な厚さを有すること。 ※ ³	
漏 出 低 減 機 能 を 長 期 的 に 維 持 す る た め の 要 求 機 能	長期機能 維持特性	力学的※ ¹ 安定性	引張強さ	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。	
		化学的※ ¹ 安定性	材質	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。
		変形※ ¹ 追従性	透水係数	—	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。
			厚さ	—	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	—
遮蔽機能	放射線の 遮蔽性能	遮蔽性	密度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	被ばく低減のために必要な遮蔽性能を有すること。
			厚さ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	被ばく低減のために必要な遮蔽性能を有すること。 ※ ³

※1：覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構を第5表に整理している。

※2：低透水性覆土及び側部低透水性覆土は 1.0×10^{-10} m/s の透水係数を施工時点で確保する。

※3：遮水シートは厚さ 1.5 mm 以上、低透水性覆土は厚さ 1 m 以上、側部低透水性覆土は横方向で厚さ 0.8 m 以上、中間覆土（最上段を除く）は厚さ 0.2 m 以上、中間覆土（最上段）は厚さ 0.5 m 以上を施工時点で確保する。

第 5 表 覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構

設計項目	長期状態における影響要因			影響機構	要求性能 (技術要件)
材質	遮水シートの劣化	化学的影響	最終覆土中に含まれる酸素及び浸透水中に含まれる溶存酸素	最終覆土中に含まれる酸素及び浸透水中に含まれる溶存酸素との化学反応により遮水シートの材質の化学的変質（酸化劣化）が発生	化学的安定性
透水係数	側部低透水性覆土及び低透水性覆土の乾燥密度の変化	力学的影響	容器内に残存する空隙	容器内の空隙に起因する陥没により，側部低透水性覆土及び低透水性覆土の変位に伴う透水性が変化した領域の発生	変形追従性
厚さ	遮水シートの劣化	力学的影響	容器内に残存する空隙	容器内の空隙に起因する陥没により，遮水シートに引張応力が発生	力学的安定性
	側部低透水性覆土及び低透水性覆土の乾燥密度の変化	力学的影響	容器内に残存する空隙	容器内の空隙に起因する陥没により，側部低透水性覆土及び低透水性覆土の変位に伴う透水性が変化した領域の発生	変形追従性

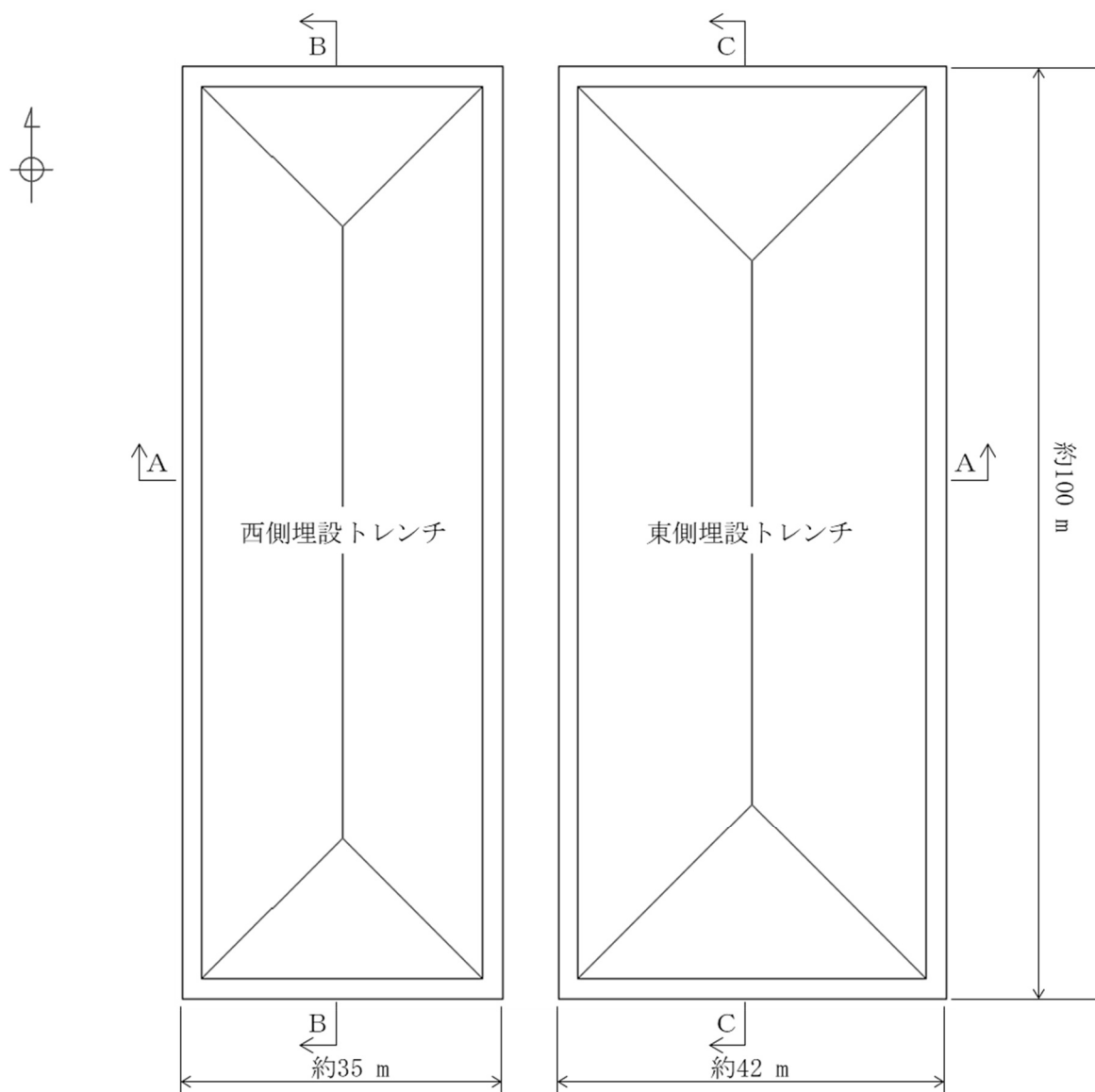
(3) 構造及び仕様

充填砂は、埋設した放射性廃棄物間の間隙及び埋設した放射性廃棄物と側部低透水性覆土又は仕切板の間隙に充填する。中間覆土は、放射性廃棄物の上部に設置する。側部低透水性覆土は、埋設トレンチ最外周の放射性廃棄物の側部に充填する充填砂と仕切板の間に設置する。最終覆土は、最上段の中間覆土の上部に設置する。

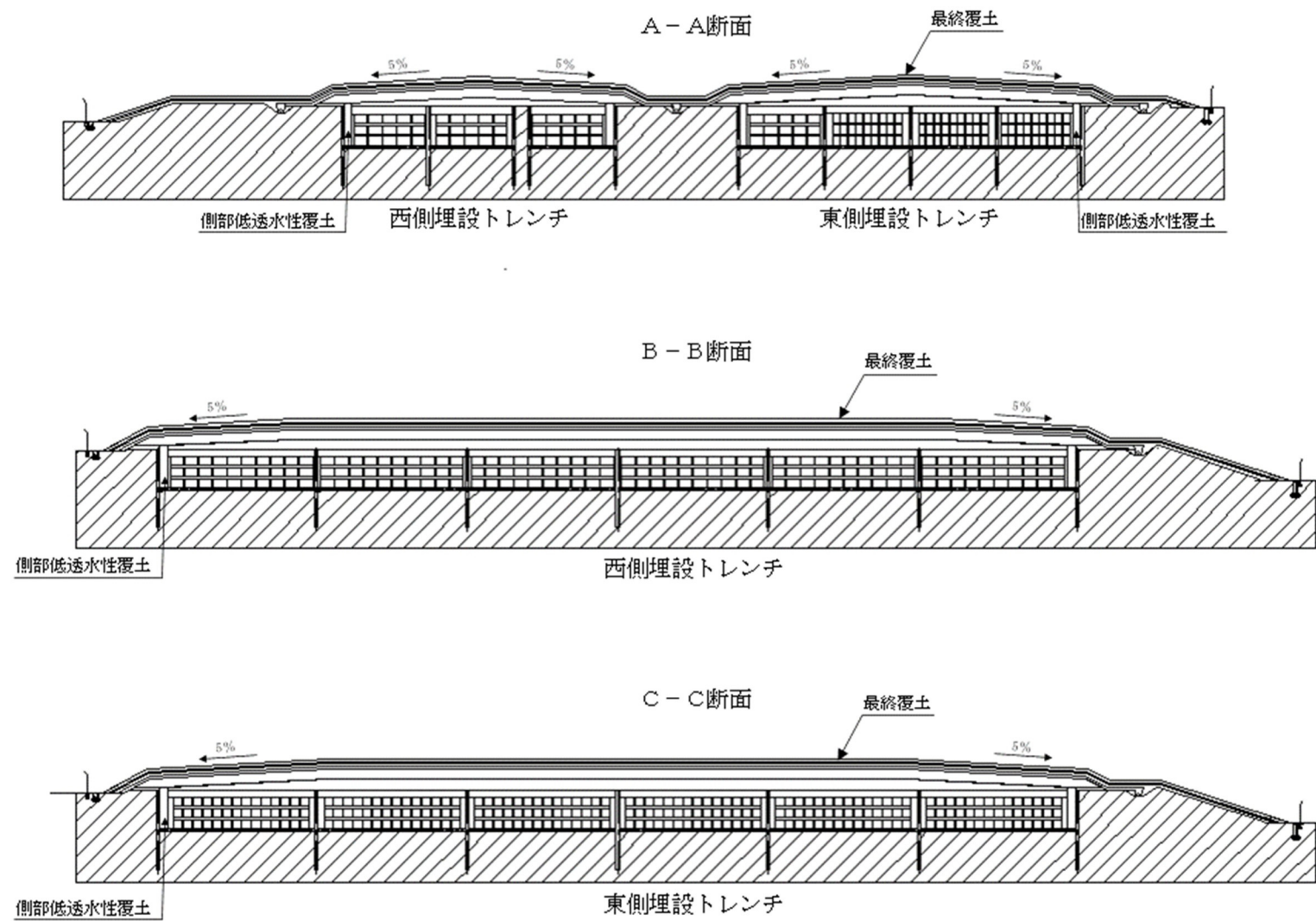
漏出低減機能を確保する観点から、覆土の低透水性は、力学的影響及び化学的影響による長期的な性能低下に配慮した設計とする。

覆土の平面図を第 5 図に、覆土の断面図を第 6 図に、覆土の断面図（西側 A－A 断面）を第 7 図に、最終覆土の断面図を第 8 図に示す。

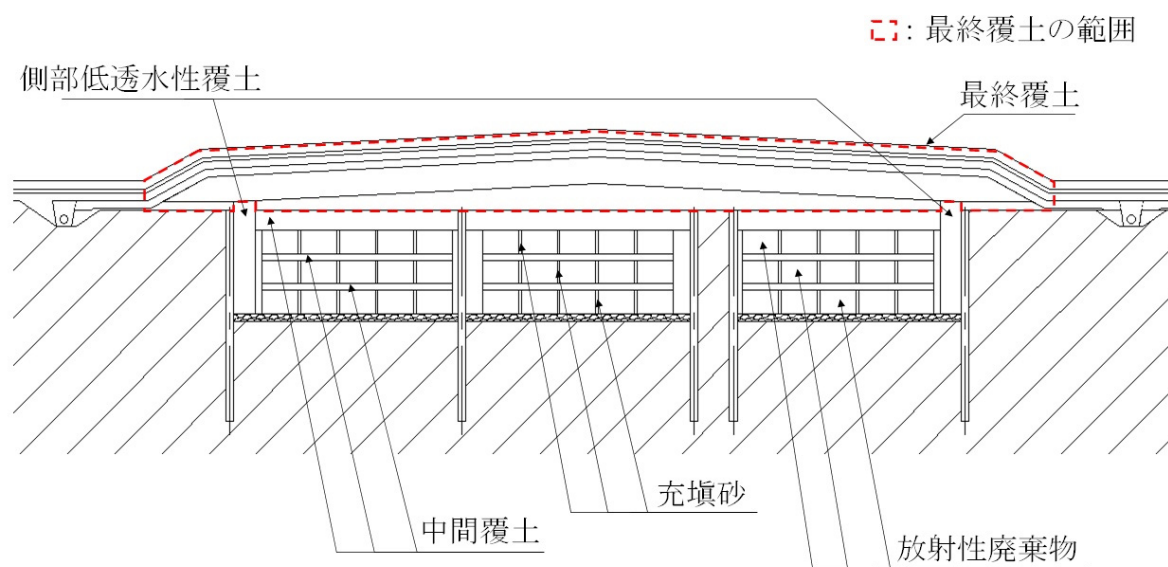
覆土の主な仕様を第 6 表に示す。



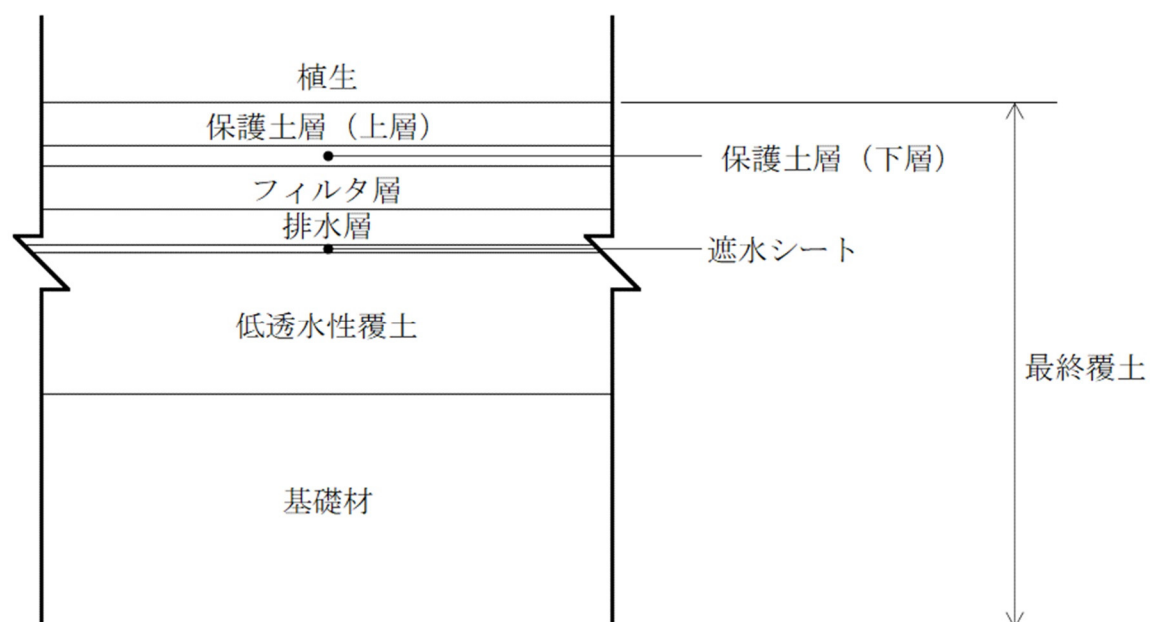
第 5 図 覆土の平面図



第6図 覆土の断面図



第 7 図 覆土の断面図（A－A断面 西側）



第 8 図 最終覆土断面図

第6表 覆土の主な仕様

名称			主な仕様
覆土	最終覆土	保護土層（上層）	- 材料：粘性土又は火山灰質粘性土 - 厚さ※¹：0.3 m 以上
		保護土層（下層）	- 材料：砂質土 - 厚さ※¹：0.15 m 以上
		フィルタ層	- 材料：クラッシャーラン - 厚さ※¹：0.3 m 以上
		排水層	- 材料：単粒度碎石 - 厚さ※¹：0.3 m 以上
		遮水シート	- 材料：高密度ポリエチレン（HDPE）※² - 厚さ※¹：1.5 mm 以上
		低透水性覆土	- 材料：ベントナイト混合土 - 透水係数※¹：1.0×10^{-10} m/s 以下 - 厚さ※¹, ※³：1 m 以上
		基礎材	- 材料：粒度調整碎石 - 厚さ※¹：0.3 m 以上
	側部低透水性覆土		- 材料：ベントナイト混合土 - 透水係数※¹：1.0×10^{-10} m/s 以下 - 厚さ※¹：0.8 m 以上
	中間覆土		- 材料：砂質土 - 厚さ※¹：0.5 m 以上（最上段）、0.2 m 以上（最上段を除く） - 密度：1,300 kg/m³ 以上
	充填砂		材料：砂質土（流動性を期待できるもの）

※1：施工時点の値

※2：高摩擦タイプとする

※3：埋設トレンチ上部の厚さ

a. 最終覆土

(a) 概要

最終覆土は、基礎材、低透水性覆土、遮水シート、排水層、フィルタ層、保護土層（下層）及び保護土層（上層）により構成し、最上段の中間覆土の上部に設置する（第7図及び第8図参照）。

なお、最終覆土を侵食から保護するため、最終覆土の上部に植生を行う。

最終覆土のうち遮水シートより上部の保護土層（上層）、保護土層（下層）、フィルタ層及び排水層は、「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 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六条（外部からの衝撃による損傷の防止）への適合性について」に記載する自然現象及び人為事象から、遮水シート及び低透水性覆土を保護している。また、これらは、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の吸水膨潤による体積変化を拘束圧によって抑制することで、漏出低減機能を確保している。このため、最終覆土のうち遮水シートより上部全体として、漏出低減機能を保護及び確保する機能を有する。

i. 保護土層（上層）

① 概要

保護土層（上層）は、保護土層（下層）の上部に設置する。保護土層（上層）は、植生を維持することで漏出低減機能を有するものを含む廃棄物埋設地を侵食から保護している。また、保護土層（上層）は、保護土層（下層）とともに、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の乾湿影響を低減することで、漏出低減機能を保護している。このため、保護土層（上層）は、漏出低減機能を保

護する機能を有する。

② 設計方針

保護土層（上層）は、最終覆土の上部の植生が正常に育つよう、粘性土又は火山灰質粘性土を使用する。

③ 仕様

保護土層（上層）は、厚さ 0.3 m 以上の粘性土又は火山灰質粘性土とする。

ii. 保護土層（下層）

① 概要

保護土層（下層）は、フィルタ層の上部に設置する。保護土層（下層）は、植生を維持することで漏出低減機能を有するものを含む廃棄物埋設地を侵食から保護している。また、保護土層（下層）は、保護土層（上層）とともに、側部低透水性覆土及び低透水性覆土の乾湿影響を低減することで、漏出低減機能を保護している。さらに、保護土層（上層）が下部のフィルタ層に流出するのを防止することで、保護土層（上層）による排水層の目詰まりを防止し、漏出低減機能を確保している。このため、保護土層（下層）は、漏出低減機能を保護及び確保する機能を有する。

② 設計方針

保護土層（下層）は、植生が正常に育つために透水性良好な層として、砂質土を使用する。

③ 仕様

保護土層（下層）は、厚さ 0.15 m 以上の砂質土とする。

iii. フィルタ層

① 概要

フィルタ層は、排水層の上部に設置する。フィルタ層は、保護土層（下層）の土粒子が下部の層に流出して削れる現象（以下「パイピング」という。）を防止することで、保護土層（下層）による排水層の目詰まりを防止し、漏出低減機能を確保している。このため、フィルタ層は、漏出低減機能を確保する機能を有する。パイピング防止については添付資料1「6 パイピングを防止する措置」に記載する。

② 設計方針

フィルタ層は、パイピングを防止するよう、クラッシャーランを使用する。

③ 仕様

フィルタ層は、厚さ 0.3 m 以上のクラッシャーランとする。

iv. 排水層

① 概要

排水層は、遮水シートの上に設置する。排水層は、雨水等の浸透水を排水することにより最終覆土が飽和することを抑制し、最終覆土の安定性を維持することで漏出低減機能を確保している。このため、排水層は、漏出低減機能を確保する機能を有する。

② 設計方針

排水層は、雨水等を廃棄物埋設地の外に排水するよう、単粒度砕石を使用する。

③ 仕様

排水層は、厚さ 0.3 m 以上の単粒度砕石とする。

v. 遮水シート

① 概要

遮水シートは、埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減することにより、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減することを目的として、低透水性覆土の上部に設置する。また、遮水シートは、長期的な機能維持を考慮し、長期的に性質が安定し、力学的安定性及び化学的安定性を有する高密度ポリエチレン（HDPE）で構成する。高密度ポリエチレン（HDPE）は、最終覆土の安定性の向上の観点から高摩擦タイプとする。

遮水シートの上層の施工時の転圧影響を緩和し、遮水シートの破損を防止することを目的として、遮水シートを保護する材料を遮水シートの上部に設置する。

② 設計方針

遮水シートには、最終覆土の完了後から廃止措置の開始までの間の漏出低減機能を求める。

漏出低減機能に対しては、透水特性を確保し、埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減するために、低透水性を考慮した材質を用いる設計とする。

漏出低減機能を長期的に維持するための力学的安定性及び化学的安定性は、廃止措置の開始後の評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

③ 仕様

・透水特性

遮水シートは、厚さ 1.5 mm 以上の高密度ポリエチレン（HDPE）とする。

- ・機能維持特性

- a) 力学的安定性

力学的影響により，放射性廃棄物の容器内に残存する空隙に起因する陥没に伴い変形した場合においても，力学的安定性が維持され，覆土全体として埋設トレンチへの雨水等に伴う浸透水量の増加を抑制する設計とする。

- b) 化学的安定性

最終覆土中に含まれる酸素や浸透水中に含まれる溶存酸素との化学反応により，遮水シートが劣化した場合においても，化学的安定性が維持され，覆土全体として埋設トレンチへの雨水等に伴う浸透水量の増加を抑制する設計とする。

- vi. 低透水性覆土

- ① 概要

低透水性覆土は，埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減することにより，廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減することを目的として，基礎材の上部に設置する。

なお，低透水性覆土は，埋設する放射性廃棄物の収納容器である鉄箱（鉄箱に収納する放射性廃棄物の隙間には砂を充填して陥没防止を図っている。）が，万一，陥没して低透水性覆土の漏出低減機能が喪失することのないように，長期的な機能維持を考慮し，長期的に性質が安定し，変形追従性を持った天然材料であるベントナイトと砂を母材としたベントナイト混合土で構成する。

- ② 設計方針

低透水性覆土には，最終覆土の完了後から廃止措置の開始までの間の漏出低減機能を求める。

漏出低減機能に対しては，透水特性を確保し，埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減するために，低透水性を考慮した設計とする。

漏出低減機能を長期的に維持するための変形追従性は，廃止措置の開始後の評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

③ 仕様

・ 透水特性

低透水性覆土は， $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下の透水係数を施工時点で確保する。また，埋設した放射性廃棄物の空隙に起因する沈下に伴い鉛直方向に変形した場合でも低透水性を維持できるよう，低透水性覆土は，厚さ 1 m 以上のベントナイト混合土とする。

・ 機能維持特性

a) 変形追従性

力学的影響により，放射性廃棄物の容器内の空隙に起因する陥没に伴い低透水性覆土が変形した場合においても，その変形に追従し，覆土全体として埋設トレンチへの雨水等に伴う浸透水量の増加を抑制する設計とする。

vii. 基礎材

① 概要

基礎材は，最上段の中間覆土の上部に設置する。

② 設計方針

基礎材は，低透水性覆土等の施工時の反力確保等を目的として，粒度調整砕石を使用する。

③ 仕様

基礎材は、厚さ 0.3 m 以上の粒度調整碎石とする。

b. 側部低透水性覆土

(a) 概要

側部低透水性覆土は、廃棄物埋設地の側方から埋設トレンチ内への雨水等に伴う浸透水量を低減することにより、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減することを目的として、埋設トレンチの最外周の放射性廃棄物の側部に充填する充填砂と仕切板の間に設置する（第 6 図及び第 7 図参照）。

なお、側部低透水性覆土は、長期的な機能維持を考慮し、長期的に性質が安定し、変形追従性を持った天然材料であるベントナイトと砂を母材としたベントナイト混合土で構成する。

(b) 設計方針

側部低透水性覆土には、埋設する放射性廃棄物の受入れ開始から廃止措置の開始までの間の漏出低減機能を求める。

漏出低減機能に対しては、透水特性を確保し、埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減するために、低透水性を考慮した設計とする。

漏出低減機能を長期的に維持するための変形追従性は、廃止措置の開始後の評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

(c) 仕様

i. 透水特性

側部低透水性覆土は、 1.0×10^{-10} m/s 以下の透水係数を施工時点で確保する。また、側部低透水性覆土は、厚さ 0.8 m 以上のベントナイト混合土とする。

ii. 機能維持特性

① 変形追従性

力学的影響により，放射性廃棄物の容器内の空隙に起因する陥没に伴い側部低透水性覆土が変形した場合においても，その変形に追従し，覆土全体として埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量の増加を抑制する設計とする。

c. 中間覆土

(a) 概要

中間覆土は，砂質土より構成し，放射性廃棄物の上部に設置する（第 6 図及び第 7 図参照）。

(b) 設計方針

中間覆土には，中間覆土施工後から廃止措置の開始までの間の遮蔽機能を求める。

(c) 仕様

i. 遮蔽性

遮蔽性に配慮した設計として，公衆等の受ける線量を低減できるような密度及び厚さを確保する。密度は $1,300 \text{ kg/m}^3$ 以上とする。中間覆土（最上段を除く）は厚さ 0.2 m 以上の砂質土とし，中間覆土（最上段）は厚さ 0.5 m 以上の砂質土とする。

d. 充填砂

(a) 概要

充填砂は，埋設した放射性廃棄物間の間隙及び埋設した放射性廃棄物と側部低透水性覆土又は仕切板の間隙に充填する砂であり，埋設トレンチに有害な空隙が残らないようにする。（第 7 図参照）。

(b) 設計方針

充填砂は、充填後に有害な空隙が残らないように、充填時に流動性を期待できる土質系材料を使用する。

(c) 仕様

充填砂は、砂質土のうち、流動性を期待できるものとする。

5. 2. 2 表面遮水

(1) 構成及び安全機能

表面遮水は、遮水シートにより構成する。

表面遮水の低透水性により放射性物質の漏出を低減する。

(2) 要求性能及び設計要件

安全機能を確保するために必要な表面遮水の要求性能及び設計要件を第7表に示す。

a. 要求性能（技術要件及び設計項目）

表面遮水の設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえ、次のとおり整理する。

(a) 漏出低減機能

表面遮水の漏出低減機能は、埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減することである。

埋設トレンチ内を浸透する浸透水量は、表面遮水の透水特性によって影響を受けることから、表面遮水に対する技術要件は透水特性（低透水性）であり、その設計項目は、材質及び厚さである。

b. 設計要件

設計項目である材質及び厚さについては、要求性能を満足するための設計要件を設定する。

第 7 表 表面遮水の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		表面遮水	設計要件
	技術要件 (必要な特性)			
漏出低減機能	透水特性	低透水性	材質	○ 低透水性を有する材質とすること。
			厚さ	○ 必要な厚さを有すること。 ※ 1

※1：厚さ 1.5 mm 以上を確保する。

(3) 構造及び仕様

表面遮水は、最終覆土のうち基礎材の一部を施工した後、その上面に設置する。

表面遮水の設置例を第9図に示す。

表面遮水の主な仕様を第8表に示す。

a. 表面遮水

(a) 概要

表面遮水は、合成ゴム及び合成樹脂系の遮水シートにより構成し、最終覆土のうち基礎材の一部を施工した後、その上面に設置する。

なお、遮水シートの上部は保護砕石等の保護工を施工する。

(b) 設計方針

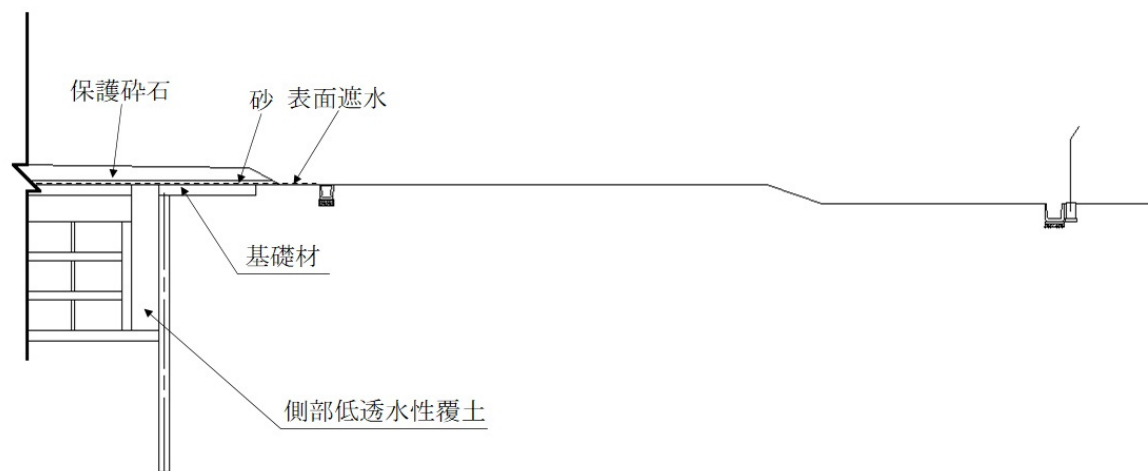
表面遮水には、表面遮水の設置完了後から最終覆土の設置完了までの間の漏出低減機能を求める。

漏出低減機能に対しては、透水特性を確保し、埋設トレンチ内を浸透する雨水等に伴う浸透水量を低減するために、低透水性を考慮した材料を用いる設計とする。

(c) 仕様

i. 透水特性

遮水シートは、厚さ 1.5 mm 以上の合成ゴム及び合成樹脂系とする。



第 9 図 表面遮水の設置例

第 8 表 表面遮水の主な仕様

名称		主な仕様
表面遮水	遮水シート	材料：合成ゴム及び合成樹脂系 厚さ：1.5 mm 以上

5. 2. 3 植生

(1) 概要

最終覆土を侵食から保護するため、最終覆土の上部に芝生・草花で構成する植生を行う（第 8 図参照）。植生は最終覆土を侵食から保護することで、漏出低減機能を保護する機能を有する。

(2) 設計方針

植生により最終覆土を侵食から保護する設計とする。植生が正常に育つために必要な基盤の条件として保護土層（上層）及び保護土層（下層）の厚さを考慮し、植生は芝生・草花とする。

(3) 仕様

植生は、芝生・草花を用いる。

5. 3. 4 排水設備

(1) 概要

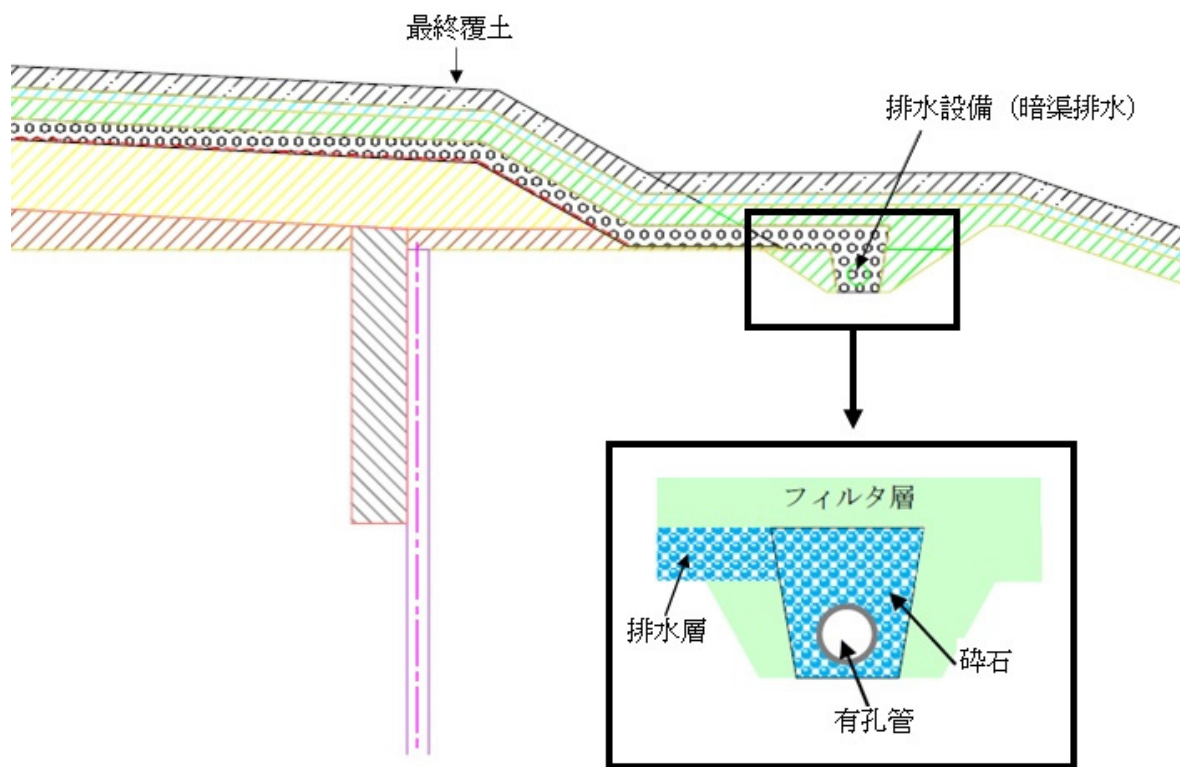
排水設備は暗渠排水とし、砕石及び有孔管により構成し、最終覆土の側部に設置する（第 10 図参照）。

(2) 設計方針

排水設備を設置することにより、主に最終覆土の排水層を流下する雨水等を廃棄物埋設地の外に排水する設計とする。暗渠排水の排水量を確保するため、通水部には砕石及び有孔管を設置する。

(3) 仕様

排水設備は暗渠排水とし、砕石及び有孔管を用いる。



第 10 図 排水設備の設置例

6 その他の設計

雨水等の浸入を防止するための措置として、放射性廃棄物の受入れを行う場所の上面には雨水防止テントを、また、最終覆土の設置において表面遮水を撤去して作業を行う場所には雨養生を設置する。雨水防止テント及び雨養生を作業時に設置し、雨水等の浸入防止の管理を行う。

6. 1 雨水防止テント

(1) 概要

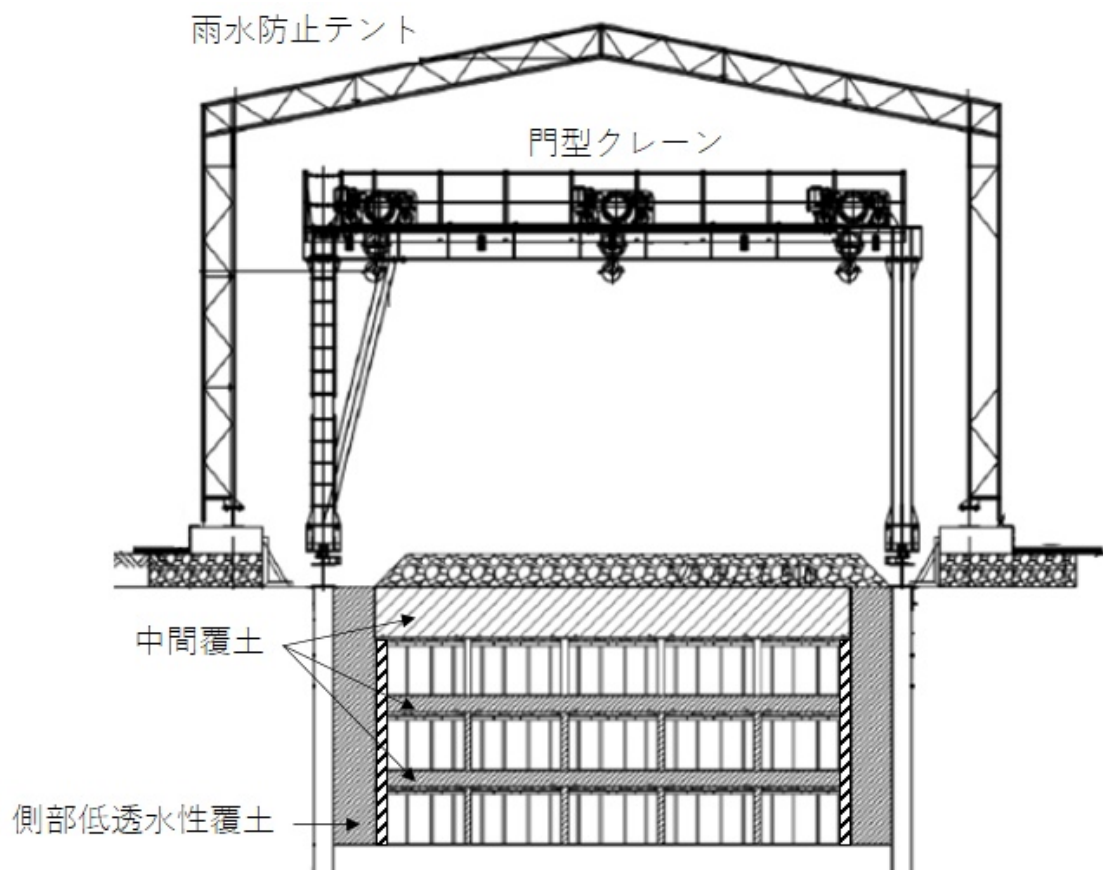
雨水防止テントは、テント支柱・梁及び膜材により構成し、放射性廃棄物の受入れを行う場所の上面に設置する（第 11 図参照）。

(2) 設計方針

放射性廃棄物の受入れを行う場所への雨水等の浸入を防止するために、耐水性を考慮した設計とする。

(3) 仕様

膜材には、耐水性及び耐候性を有するシートを用いる。



第 11 図 雨水防止テントの設置例

6. 2 雨養生

(1) 概要

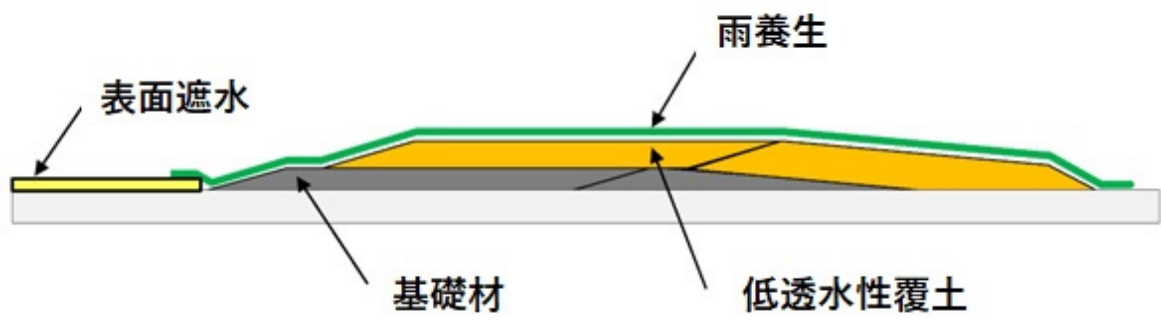
雨養生は、シートにより構成する。雨養生は、最終覆土の設置の際に表面遮水を撤去してから最終覆土完了までの間、表面遮水を撤去した場所での作業中断時に設置する（第 12 図参照）。

(2) 設計方針

最終覆土の設置において表面遮水を撤去して作業を行う場所への雨水等の浸入を防止するために、耐水性を考慮した設計とする。

(3) 仕様

雨養生は、耐水性及び耐候性を有するシートを用いる。



第 12 図 雨養生の設置例

7 参考文献

- (1) 日本遮水工協会（2007）：遮水シート日本遮水工協会自主基準
- (2) 全国都市清掃会議（2010）：廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領（2010 改訂版）
- (3) 日本道路協会（2009）：道路土工要綱
- (4) 日本道路協会（2010）：道路土工－盛土工指針
- (5) 国土技術研究センター（2009）：河川土工マニュアル

以上

廃棄物埋設地の設計の考え方他

目 次

1	廃棄物埋設地の設計の考え方.....	1
1. 1	漏出低減機能の設計の考え方.....	1
2	廃棄物埋設地の基本的考え方.....	2
2. 1	設置位置.....	2
3	技術要件における考え方.....	3
3. 1	低透水性覆土及び側部低透水性覆土の低透水性.....	3
4	放射性廃棄物，埋設の方法等.....	4
4. 1	埋設する放射性廃棄物.....	4
4. 2	主要な放射性物質の種類.....	6
4. 3	第二種廃棄物埋設の方法.....	7
4. 4	廃止措置の開始までの段階的な管理の計画.....	8
4. 5	埋設保全区域.....	12
5	雨水等が浸入することを防止する措置.....	12
6	パイピングを防止する措置.....	16
7	参考文献.....	17

1 廃棄物埋設地の設計の考え方

本施設は、事業規則に定めるトレンチ処分を行うための施設であり、廃棄物埋設地は、放射性廃棄物を埋設するためのものであることから、廃棄物埋設地の設計は、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能（以下「漏出低減機能」という。）を有する設計とする必要があり、かつ、廃止措置の開始後、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行できることが重要である。

廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出は、廃棄物埋設地に浸入する水に起因し、廃棄物埋設地に浸入する水としては、地下水と雨水等による浸透水が想定される。

地下水の浸入については、埋設トレンチを地下水面より上に設置（不飽和帯設置）することにより浸入を抑制することとし、雨水等による浸透水の浸入については、国内外の放射性廃棄物処分場及び国内の産業廃棄物処分場を参考に、低透水性を有する粘土系材料及び遮水シートにより浸入を抑制することとする。

そのうえで、できるだけ保修に頼らずに漏出低減機能を達成できるように設計することとする。

廃棄物埋設地におけ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漏出低減機能に対する設計の考え方を以下に示す。

1. 1 漏出低減機能の設計の考え方

漏出低減機能は、低透水性を有する粘土系材料を用いた覆土（以下「低透水性を有する覆土」という。）及び遮水シートの低透水性により達成する設計とする。

埋設トレンチは地下水面より上に設置（不飽和帯設置）することから、雨

水等による浸透水は、埋設トレンチの上方及び側方から浸入することが想定される。このため、埋設トレンチの上部に低透水性を有する覆土を盛土状に施工し、その上部に遮水シートを設置するとともに、埋設トレンチの側部に低透水性を有する覆土を施工することによって、埋設トレンチの上方及び側方からの浸透水の浸入を低減させる設計とする。なお、漏出低減機能の設計に当たっては、以下について留意する。

- ・低透水性を有する覆土は陥没に対する変形追従性を有すること及び遮水シートは陥没に対する力学的安定性を有することを考慮する。
- ・埋設トレンチの上部の低透水性を有する覆土の施工開始から施工完了までの期間は、低透水性を有する覆土及び遮水シートの一部と代替対策により埋設トレンチの上方からの浸透水の浸入を低減させる。
- ・代替対策は、恒久的なものではないことから、埋設トレンチの上部に設置する低透水性を有する覆土を施工するまでに撤去することを前提に、撤去したエリアに雨水等が浸入することを防止する措置を講ずる。
- ・代替対策は、低透水性を有する覆土と同程度の低透水性を持たせる。

2 廃棄物埋設地の基本的考え方

2. 1 設置位置

廃棄物埋設地の設置位置選定に当たっては、以下のことに配慮した。

(1) 第二種埋設許可基準規則第三条を受け、廃棄物埋設地は、以下に示す事項に適合する地盤に設置する。

- ・自重及び作業時の荷重等に加え、耐震重要度の分類に応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持性能を有する地盤とする。
- ・地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み、液

状化及び揺すり込み沈下による周辺地盤の変状による影響が無い。

- ・将来活動する可能性のある断層等（支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む）の露頭がなく，変位が生じるおそれがない。

（２）第二種埋設許可基準規則第五条を受け，津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置する。なお，津波による遡上波が到達する高さにある場合には，遡上波によって安全機能を損なうおそれがない設計とする。

（３）廃棄物埋設地の直下を通過した地下水が，海に流れる場所に設置する。

（４）侵食抵抗性の観点から海岸から離して設置する。

これらを考慮した結果として，廃棄物埋設地は東海発電所及び東海第二発電所の周辺監視区域内の北西部に位置している。

3 技術要件における考え方

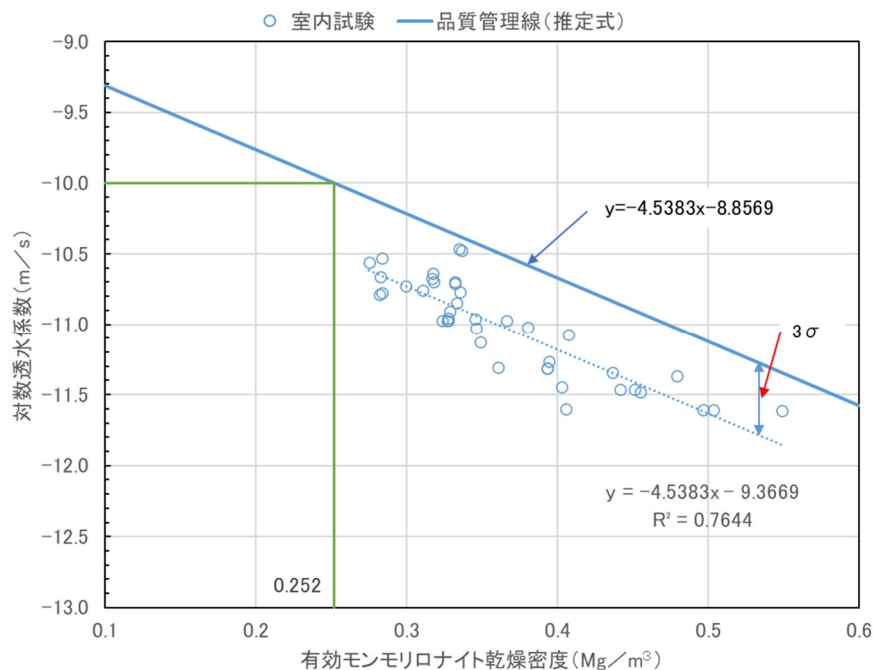
3. 1 低透水性覆土及び側部低透水性覆土の低透水性

十分な低透水性を有することを達成するため，埋設トレンチの上部に設置する低透水性を有する覆土（以下「低透水性覆土」という。）及び埋設トレンチの側部に設置する低透水性を有する覆土（以下「側部低透水性覆土」という。）は，設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m/s 以下）及び設計厚さ（低透水性覆土：1 m 以上，側部低透水性覆土：0.8 m 以上）を確保するものとする。

砂とベントナイト（クニゲルU相当）を使用したベントナイト混合土で構成される低透水性覆土及び側部低透水性覆土を対象に，設計透水係数を満足して施工できる見込みがあることの検証結果及びそのための品質管理方法（案）を添付資料 2「第二種埋設許可基準解釈第 1 3 条第 1 項に関する補足説明」に示す。添付資料 2 において，ベントナイト混合土の透水係数を確認する指標として選定した有効モンモリロナイト乾燥密度をパラメトリックスタディした透水試験（地盤工学会基準 J G S 0312-2018 に準拠）によって得

られた有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係を第1図に示す。

第1図より、有効モンモリロナイト乾燥密度に対する透水係数のばらつきを考慮した平均+3 σ の品質管理線において、有効モンモリロナイト乾燥密度について0.252 Mg/m³以上とすれば、設計透水係数 1.0×10^{-10} m/s以下を確保できると考えられる。



第1図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係（下限値）

4 放射性廃棄物、埋設の方法等

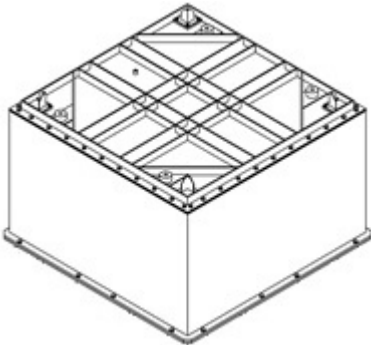
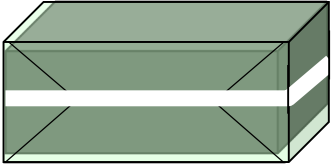
廃棄物埋設地の設計及び評価の前提となる放射性廃棄物、埋設の方法等について以下に示す。

4. 1 埋設する放射性廃棄物

廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物は、東海発電所から発生する固体状の放射性廃棄物であって、中性子線的作用により放射化されたもの、原子炉冷却材等で汚染されたもの又はその両方を含むものである。

放射性廃棄物の種類は、これらの汚染形態に応じて分類された金属類及びコンクリート類であり、容器等に収納又はこん包されたものである（第1表参照）。

第1表 廃棄物を収納する容器等のイメージ

放射性 廃棄物	金属類	コンクリート類	
		コンクリート ガラ	コンクリート ブロック
容器等の イメージ	 鉄箱		 プラスチックシート
容器等の 材質	炭素鋼		ポリエチレン等
容器等の 寸法 (m)	約 1.4×約 1.4×約 0.9		約 0.7×約 0.9×約 0.9

これらの放射性廃棄物は、事業規則の別表第二の上欄に掲げる放射性物質についての放射能濃度がそれぞれ同表の下欄に掲げる放射能濃度を超えないものであって、事業規則第八条第1項第二号イ、同条第1項第二号ロ（2）及び同条第3項に定めるコンクリート等廃棄物に係る技術上の基準に適合するものである。また、本施設における受入れ上の要件を踏まえ、以下の仕様を満たすものである。

（1）金属類及びコンクリートガラ

廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物のうち金属類及びコンクリートガ

ラは、埋設するまでの放射性物質の飛散防止のため、放射性廃棄物を収納する容器（以下「鉄箱」という。）に収納するとともに、鉄箱内の空隙による廃棄物埋設地の陥没防止対策として、鉄箱内に残る空隙部に砂を充填したものであること。

a．鉄箱

鉄箱は、炭素鋼等を用いた金属製の容器であること。

b．砂充填方法

鉄箱内に砂を充填し、鉄箱内に有害な空隙が残らないよう処置すること。

(2) コンクリートブロック

廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物のうちコンクリートブロックは、埋設するまでの放射性物質の飛散防止のため、難燃性のプラスチックシートによりこん包したものであること。

(3) 共通事項

a．表面汚染密度限度

放射性廃棄物を収納又はこん包した容器等の表面汚染密度がアルファ線を放出する放射性物質は 0.4 Bq/cm^2 ，アルファ線を放出しない放射性物質は 4 Bq/cm^2 を超えないものであること。

b．表面線量当量率

$300 \mu\text{Sv/h}$ を超えないものであること。

4. 2 主要な放射性物質の種類

廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物の主要な放射性物質の種類は以下の第2表のとおりである。

第2表 金属類及びコンクリート類の主要な放射性物質の種類

放射性廃棄物 種類	主要な放射性物質の種類
金属類	H-3, C-14, C 1-36, C o-60, S r-90, C s-137, 全 α
コンクリート類	H-3, C-14, C 1-36, C a-41, C o-60, S r-90, C s-137, E u-152, E u-154, 全 α

4. 3 第二種廃棄物埋設の方法

廃棄物埋設地において行う放射性廃棄物の埋設は、放射性廃棄物の定置、土砂の充填・覆土を繰り返して行い、それぞれ以下のとおり行う。

なお、これらの作業は、事業所周辺の公衆、放射線業務従事者及び管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者の受ける外部放射線に係る線量の低減を考慮しながら行う。

(1) 放射性廃棄物の定置

放射性廃棄物の定置に先立ち、埋設する区画に雨水防止テントを設置し、雨水等の浸入を防止する。なお、埋設する区画内に水が溜まっている場合には排水を行う。

放射性廃棄物は、門型クレーンにより1体ずつ所定の位置に定置する。定置は、1区画1段ごとに行い、段数は3段とする。

放射性廃棄物の定置に当たっては、金属類（アルミニウムを含む。）とコンクリート類を同一の区画に定置しないものとする。また、表面線量当量率が $10\mu\text{Sv/h}$ を超える放射性廃棄物は、1段目（最下段）に定置する。

なお、コンクリート類の放射性廃棄物は、側部低透水性覆土の低透水性に影響が生じないように、側部低透水性覆土と離隔をとって定置する。

(2) 土砂の充填・覆土

放射性廃棄物を区画内に 1 段分の規定数定置後、放射性廃棄物間の間隙及び放射性廃棄物と側部低透水性覆土又は仕切板間の間隙に充填砂を充填するとともに、放射性廃棄物の上面には土砂を締め固めながら 0.2 m 以上の中間覆土を施工する。

なお、側部低透水性覆土は各区画の西側埋設トレンチ又は東側埋設トレンチの最外周に位置する側部に施工する。

これを 2 段目まで繰り返し、3 段目となる最上段の放射性廃棄物の上面については、土砂を締め固めながら 0.5 m 以上の中間覆土を施工する。各区画の最上段の中間覆土の設置後、最上段の中間覆土の上に基礎材の一部を施工した後、基礎材のうち地上面より上の部分を設置するまでの間は、基礎材の上部に表面遮水を設置する。

西側埋設トレンチ又は東側埋設トレンチへの埋設が終了した後、表面遮水を撤去し、基礎材のうち地上面より上の部分を施工し、基礎材の上に低透水性覆土を施工するとともに、低透水性覆土の上部に遮水シートを設置する。

なお、表面遮水を撤去した範囲については、最終覆土の完了までの間、作業中の期間を除き、雨養生を設置する。

西側埋設トレンチ又は東側埋設トレンチの遮水シート設置後、遮水シートの上部に最終覆土のうち排水層、フィルタ層、保護土層（下層）及び保護土層（上層）を施工するとともに、最終覆土の表面には植生を行う。

なお、最終覆土は、2.0 m 以上の厚さが確保されるように施工する。

4. 4 廃止措置の開始までの段階的な管理の計画

廃棄物埋設地は、廃止措置の開始までの段階的な管理を確実にを行うため、

事業規則に基づく埋設保全区域を設定するとともに、放射性廃棄物の種類、放射性廃棄物の受入れを開始した日及び全ての放射性廃棄物を埋設し、最終覆土の施工を完了した（以下「埋設の終了」という。）日並びに保安のための注意事項を表示した立て札を設け、保全に関する措置を講じる。また、原子炉等規制法に基づく保全の措置の終了時期を設定するとともに、放射線防護の観点から敷地内の居住を禁止し、放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を行う。

放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置とは、本施設において、公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低く抑えるため、埋設した放射性廃棄物の放射能が時間経過に伴い減衰することによって、生活環境に及ぼす影響が安全上支障のない状態になるまで、廃棄物埋設地に設置したバリアの施工状況や放射能の減衰に応じて廃棄物埋設地を段階的に管理することをいう。

また、事業規則に基づき実施する定期的な評価等では、本施設の廃止措置の認可を受ける日までの 10 年を超えない期間ごと及び放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を変更しようとするときに最新の技術的知見を踏まえて、核燃料物質等による放射線被ばくの管理に関する評価を行う。

（１）埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了まで

当該期間は、人工バリアにより廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するとともに、天然バリアにより放射性物質の移動を抑制する段階である。また、この段階では周辺監視区域境界付近における外部放射線に係る線量の監視及び測定、本施設の巡視及び点検並びに地下水中の放射性物質の濃度測定により廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の状況を確認する。

この段階における保安のために必要な措置は以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を設定する。
- b. 周辺監視区域境界付近における本施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の線量並びに地下水中の放射性物質の濃度を監視及び測定する。
- c. 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えいを監視し、異常な漏えいがあったと認められた場合には、放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講じる。
- d. 定期的に本施設の巡視及び点検を行い、必要に応じて覆土及び表面遮水を修復する。
- e. 定期的な評価等に必要なデータを取得するため、人工バリアの漏出低減機能、天然バリアの放射性物質の移動を抑制する機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその地下水の状況等を監視及び測定し、必要に応じて廃棄物埋設地の保全に関する措置を講じる。

(2) 埋設の終了から廃止措置の開始まで

当該期間は、継続して人工バリアにより廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するとともに、天然バリアにより放射性物質の移動を抑制する段階である。

この段階では引き続き事業所及びその境界付近における外部放射線に係る線量の監視及び測定、本施設の巡視及び点検並びに地下水中の放射性物質の濃度測定により廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の状況を確認する。

この段階の終了予定時期は、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する時期とし、埋設の終了後 50 年程度とする。

ここで「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態」とは、

次に掲げる各シナリオにおける廃止措置の開始後の評価結果が、それぞれの基準を満たすものであることをいう。

- ・ 公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について最も可能性が高いものを選定し、人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは最も可能性が高い設定とする自然事象シナリオで評価される公衆の受ける線量が $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと。
- ・ 公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について科学的に合理的な範囲において最も厳しいものを選定し、人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは、科学的に合理的な範囲における組み合わせのうち最も厳しい設定とする自然事象シナリオで評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと。
- ・ 自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削を伴う土地利用を考慮したシナリオで評価される公衆（廃棄物埋設地の掘削を行う者及び掘削された廃棄物埋設地の土地利用を行う者に限る。）の受ける線量が $300 \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと。

この段階における保安のために必要な措置は以下のとおりである。

- a. 埋設保全区域を継続して設定する。
- b. 周辺監視区域境界付近における本施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の線量及び地下水中の放射性物質の濃度を監視及び測定する。
- c. 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えいを監視し、異常な漏えいがあったと認められた場合には、放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講じる。
- d. 定期的に本施設の巡視及び点検を行い、必要に応じて覆土を修復する。
- e. 周辺監視区域廃止後は、公衆が敷地内へ立ち入る可能性があるため、

放射線防護の観点から、地表面の掘削を制限する。また、周辺環境における本施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の線量を測定し、公衆の受ける線量が、線量告示に定められた周辺監視区域外の線量限度以下であることを確認する。

なお、地下水中の放射性物質の濃度の監視及び測定においては、地下水採取孔から地下水を定期的に採取し、地下水中の放射性物質の濃度を測定し、線量告示に示されている周辺監視区域外における水中の濃度限度以下であることを確認する。

- f. 定期的な評価等に必要なデータを取得するため、人工バリアの漏出低減機能、天然バリア（廃棄物埋設地周辺の地盤）の廃棄物埋設地の外に漏出した放射性物質の移動を抑制する機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその地下水の状況等を監視及び測定し、必要に応じて廃棄物埋設地の保全に関する措置を講じる。

4. 5 埋設保全区域

埋設保全区域は、事業規則に基づき、廃棄物埋設地の保全のために特に管理を必要とする場所であって、管理区域以外のものを埋設保全区域として定める。埋設保全区域は、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減のため、保全を行う必要のある区域とする。

なお、埋設保全区域を明らかに他の場所と区別するため、標識を設ける等の措置を講じる。

5 雨水等が浸入することを防止する措置

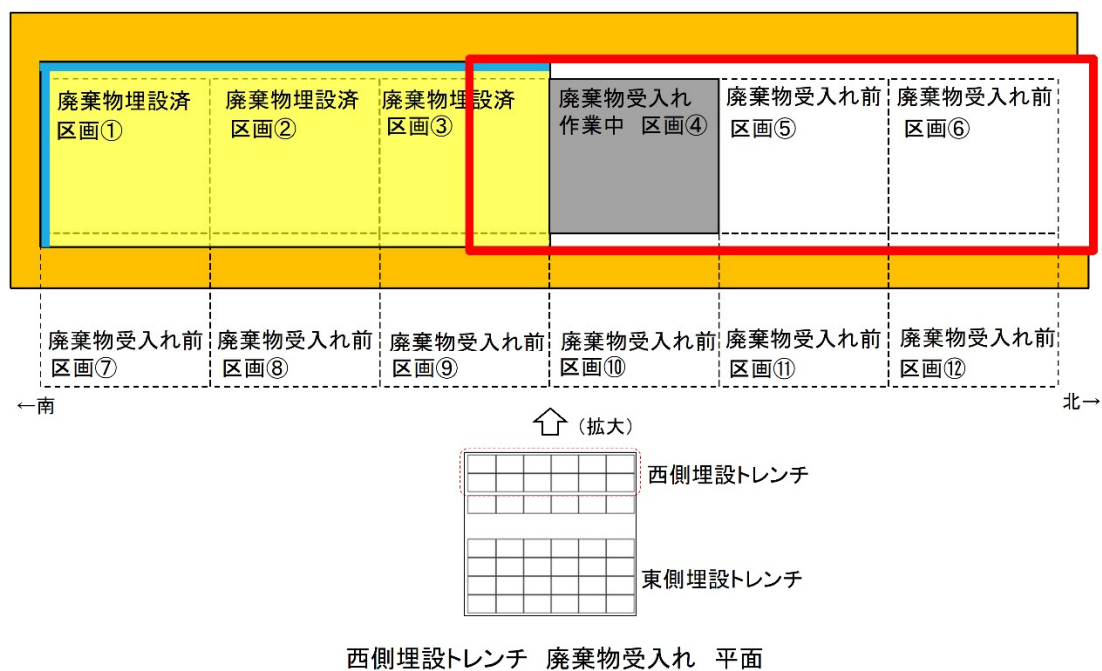
放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの各段階において、作業に伴う漏出低減機能の一時的な空白が生じることによる埋設トレンチへの雨

水等の浸入が想定されることから、雨水等が浸入することを防止する措置により、時間的及び空間的な空白を設けずに雨水等の浸入を抑制・防止する。

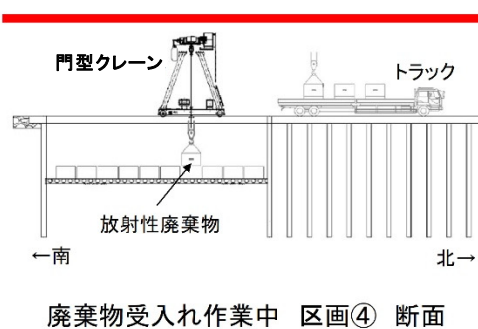
放射性廃棄物の受入れを行っている区画には、事業規則に基づき、放射性廃棄物の埋設時において雨水等が浸入することを防止する措置として、雨水防止テントを設置する。放射性廃棄物の受入れを行っている区画は、雨水防止テントにより雨水等の浸入を防止するため、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出は防止される。

また、表面遮水を撤去したエリアにおいては、当該エリアの最終覆土の完了までの間、作業中の期間を除き雨養生を設置する。雨養生については、事業規則の要求はないものの、雨水防止テントと同様に、埋設トレンチ内への雨水等の浸入を防止する。

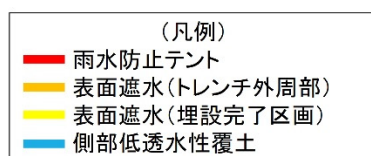
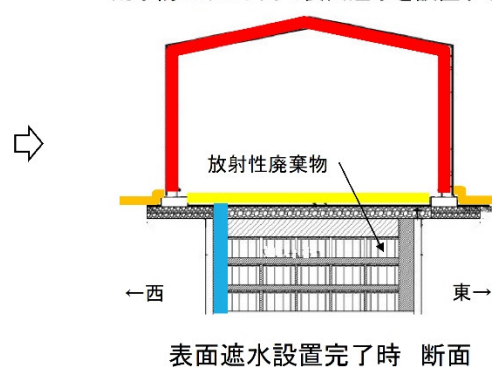
雨水防止テントの設置イメージを第 2 図に、雨養生の設置イメージを第 3 図に示す。



1. 廃棄物受入れ作業は、雨水防止テント内で実施する。

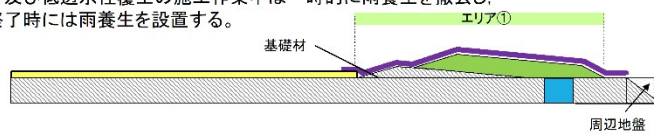


2. 廃棄物受入れ完了後は、雨水防止テント内で表面遮水を設置する。

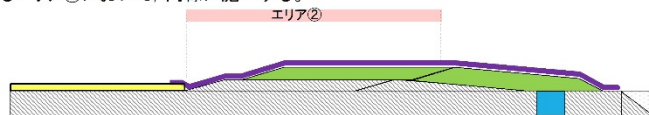


第2図 雨水防止テント設置イメージ図

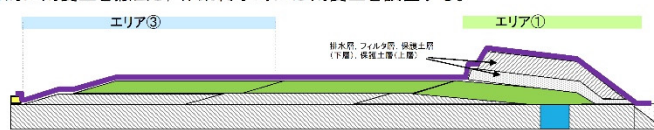
1. エリア①において、表面遮水を撤去し、雨養生を設置する。
基礎材及び低透水性覆土の施工作業中は一時的に雨養生を撤去し、作業終了時には雨養生を設置する。



2. 隣接するエリア②において、同様に施工する。

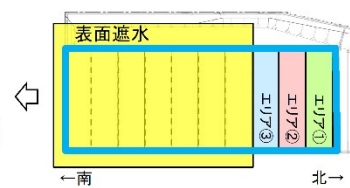


3. エリア③において、同様に施工する。
エリア①において、排水層、フィルタ層、保護土層(下層)及び保護土層(上層)の施工作業中は一時的に雨養生を撤去し、作業終了時には雨養生を設置する。



西側埋設トレンチ工事 断面

注 最終覆土工事は全期間で8か月程度を見込む



西側埋設トレンチ工事 平面

(凡例)	
表面遮水	側部低透水性覆土
雨養生	低透水性覆土

第3図 雨養生設置イメージ図

6 パイピングを防止する措置

廃棄物埋設地では、雨水等は主に保護土層（上層）に浸透し、浸透水の大部分は、保護土層（下層）及びフィルタ層を通過して排水層に浸透する。この際、フィルタ層は、保護土層（下層）の土粒子よりも粒径が大きい砕石を用いるため、保護土層（下層）の土粒子がフィルタ層に流出し、保護土層（下層）の下部が削れる現象（以下「パイピング」という。）が発生する可能性がある。嘉門雅史監訳（2004）^{（1）}では、パイピング予防及び透水性維持のために以下の基準が定められている。

$$D_{15}（フィルター）/D_{85}（表土層） < 4\sim 5 \quad （パイピング予防）$$

$$D_{15}（フィルター）/D_{15}（表土層） > 4\sim 5 \quad （透水性維持）$$

ここで、「 D_{15} （フィルター）」は、乾燥重量で15%だけがふるいを通過するフィルタ層の粒径（通過質量百分率15%における粒径），「 D_{85} （表土層）」は、乾燥重量で85%だけがふるいを通過する保護土層（下層）の粒径（通過質量百分率85%における粒径），また，「 D_{15} （表土層）」は、乾燥重量で15%だけがふるいを通過する保護土層（下層）の粒径（通過質量百分率15%における粒径）である。このため、フィルタ層の材料については、保護土層（下層）の「 D_{85} （表土層）」及び「 D_{15} （表土層）」を踏まえて、上記の基準を満たす粒径の材料を選定する。

なお、排水層についても、フィルタ層と同様の方針で材料を選定する。

7 参考文献

- (1) 嘉門雅史 監訳, 勝見武, 近藤三二 共訳, Robert M. Koerner and David E. Daniel 共著 (2004) : 廃棄物処分場の最終カバー, 2004 年, 技報堂出版

以上

第二種埋設許可基準解釈

第 1 3 条 第 1 項

に関する補足説明

目 次

1	覆土に対する要求性能	1
1. 1	低透水性覆土及び側部低透水性覆土の漏出低減機能に係る技術要件 及び設計項目	1
1. 2	低透水性覆土及び側部低透水性覆土の漏出低減機能に係る設計要件	2
2	低透水性覆土材料の検討	5
2. 1	透水係数の代替指標の仮設定	5
2. 2	ベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の目安値の設定	8
2. 3	材料の選定	12
3	低透水性覆土に対する要求性能（低透水性）の実現性	15
3. 1	室内試験	16
3. 2	ベントナイト混合土施工時の設計値	22
3. 3	ベントナイト混合土の製造	24
3. 4	低透水性覆土の施工実現性	27
3. 5	代替指標に想定されるばらつき	33
3. 6	想定されるばらつきが透水係数に与える影響	37
4	低透水性覆土の施工における品質管理（案）	41
4. 1	材料納入時の品質管理項目	41
4. 2	覆土材料製造時の品質管理項目	42
4. 3	覆土施工時の品質管理項目	43
4. 4	完了確認時の品質管理項目	45

5	参考文献.....	48
6	諸外国との比較.....	49
6. 1	諸外国の極低レベル放射性廃棄物処分施設との比較.....	49

別紙 ベントナイトの種類の違いによる性能比較について

1 覆土に対する要求性能

覆土の要求性能及び設計要件を第1表に示す。

1. 1 低透水性覆土及び側部低透水性覆土の漏出低減機能に係る技術要件及び設計項目

漏出低減機能は、廃棄物埋設地の放射性廃棄物の埋設が完了した区画内を通過する雨水等に伴う浸透水量を低減することである。

放射性廃棄物の埋設が完了した区画内を通過する浸透水量(通過流量)は、覆土のうち低透水性覆土、側部低透水性覆土及び遮水シートの透水特性によって影響を受けることから、低透水性覆土、側部低透水性覆土及び遮水シートに対する技術要件は透水特性(低透水性)であり、その設計項目は、材質、透水係数及び厚さである。

低透水性覆土及び側部低透水性覆土の漏出低減機能については、長期にわたり機能を維持する必要があるため、透水係数、厚さの変化に影響を及ぼす要因について抽出する。長期状態において低透水性覆土及び側部低透水性覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構を第2表に示す。影響要因の抽出については、周辺土壌などの外部環境も含めた施設の構成及び影響要因の相互作用を網羅的に考慮する(影響要因の抽出・分析結果については、「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 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(ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地)第1項第三号及び第四号への適合性について 廃棄物埋設地の状態設定(影響事象分析)」を参照)。抽出した要因は、廃棄物埋設地に埋設した放射性廃棄物の容器内に残存する空隙に起因する陥没に伴う、乾燥密度の変化である。低透水性覆土及び側部低透水性覆土の技術要件は、これらの要因に対する機能維持特性(変形追従性)で

あり，その設計項目は透水係数及び厚さである。

1. 2 低透水性覆土及び側部低透水性覆土の漏出低減機能に係る設計要件

低透水性覆土及び側部低透水性覆土の設計項目である透水係数及び厚さについては，各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

低透水性覆土及び側部低透水性覆土の技術要件のうち，低透水性については，十分な低透水性を有することを達成するため，設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m/s 以下）及び設計厚さ（低透水性覆土：1 m 以上，側部低透水性覆土：0.8 m 以上）を確保するものとする。

第 1 表 覆土の要求性能及び設計要件

安全機能			要求性能		最終覆土							側部低透水性覆土	充填砂	中間覆土	設計要件
			技術要件 (必要な特性)	設計項目	保護土層 (上層)	保護土層 (下層)	フィルタ層	排水層	遮水シート	低透水性覆土	基礎材				
漏出低減機能	透水特性	低透水性	材質	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	低透水性を有する材質とすること。	
			透水係数	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	必要な透水係数を有すること。 ※ ²	
			厚さ	—	—	—	—	○	○	—	○	—	—	必要な厚さを有すること。 ※ ³	
漏 出 低 減 機 能 を 長 期 的 に 維 持 す る た め の 要 求 機 能	長期機能 維持特性	力学的 安定性	引張強さ	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮 する性能を満たす見通しがあること。	
		化学的 安定性	材質	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮 する性能を満たす見通しがあること。	
		変形追 従性※ ¹	透水係数	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮 する性能を満たす見通しがあること。
			厚さ	—	—	—	—	—	○	—	○	—	—	—	廃止措置の開始後の評価において考慮 する性能を満たす見通しがあること。
遮蔽機能	放射線の 遮蔽性能	遮蔽性	密度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	被ばく低減のために必要な遮蔽性能を 有すること。	
			厚さ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	被ばく低減のために必要な遮蔽性能を 有すること。 ※ ³	

※1：低透水性覆土及び側部低透水性覆土の透水特性に影響を及ぼす要因及びその機構を第 2 表に整理している。

※2：低透水性覆土及び側部低透水性覆土は 1.0×10^{-10} m/s 以下の透水係数を施工時点で確保する。

※3：遮水シートは厚さ 1.5 mm 以上，低透水性覆土は厚さ 1 m 以上，側部低透水性覆土は横方向で厚さ 0.8 m 以上，中間覆土（最上段を除く）は厚さ 0.2 m 以上，中間覆土（最上段）は厚さ 0.5 m 以上を施工時点で確保する。

第 2 表 低透水性覆土及び側部低透水性覆土の透水特性に影響を及ぼす要因と
その機構

設計項目	長期状態における影響要因			影響機構	要求性能 (技術要件)
透水係数	乾燥密度の変化	力学的影響	容器内に残存する空隙	容器内の空隙に起因する陥没により，低透水性覆土及び側部低透水性覆土の変位に伴う透水性が変化した領域の発生。	変形追従性
厚さ					

2 低透水性覆土材料の検討

低透水性覆土及び側部低透水性覆土(以下併せて「低透水性覆土」という。)に要求される低透水性を満足するベントナイト混合土の材料を検討する。

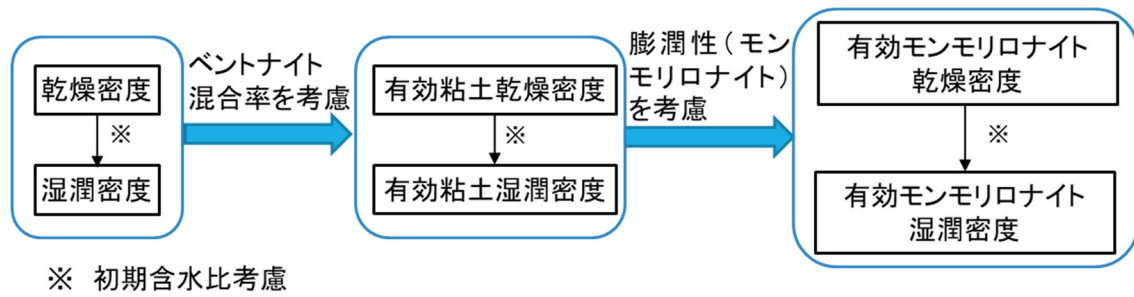
2. 1 透水係数の代替指標の仮設定

低透水性覆土の設計項目である透水係数は、透水試験により確認するには数ヶ月の試験期間が必要となることから、低透水性覆土の施工後速やかに確認可能な代替指標を用いて確認する方針とする。

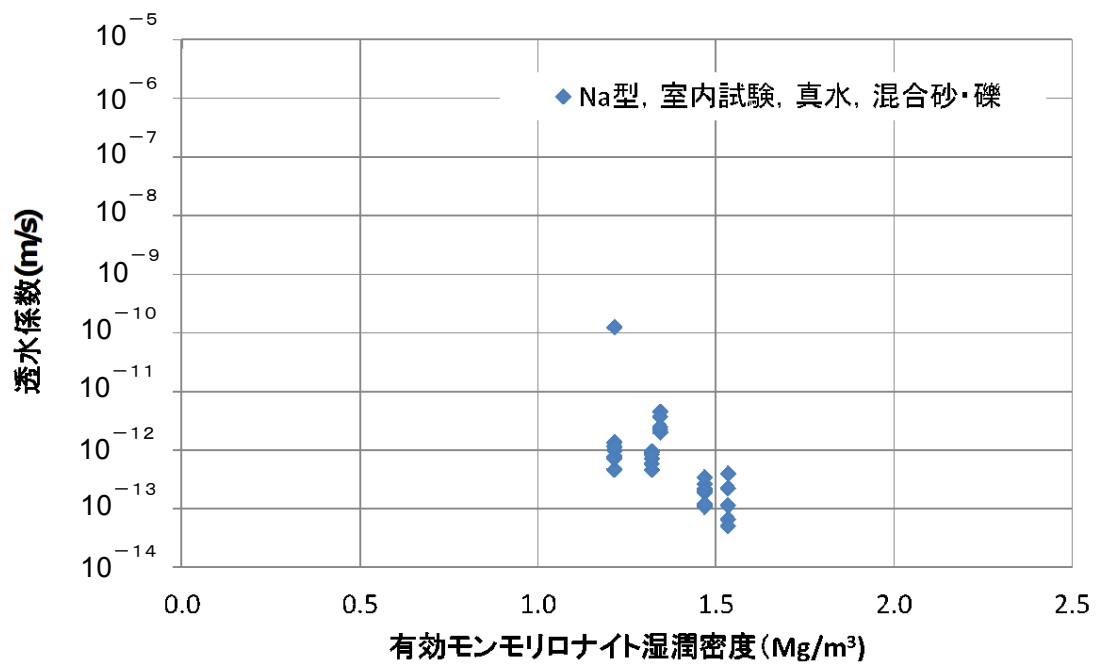
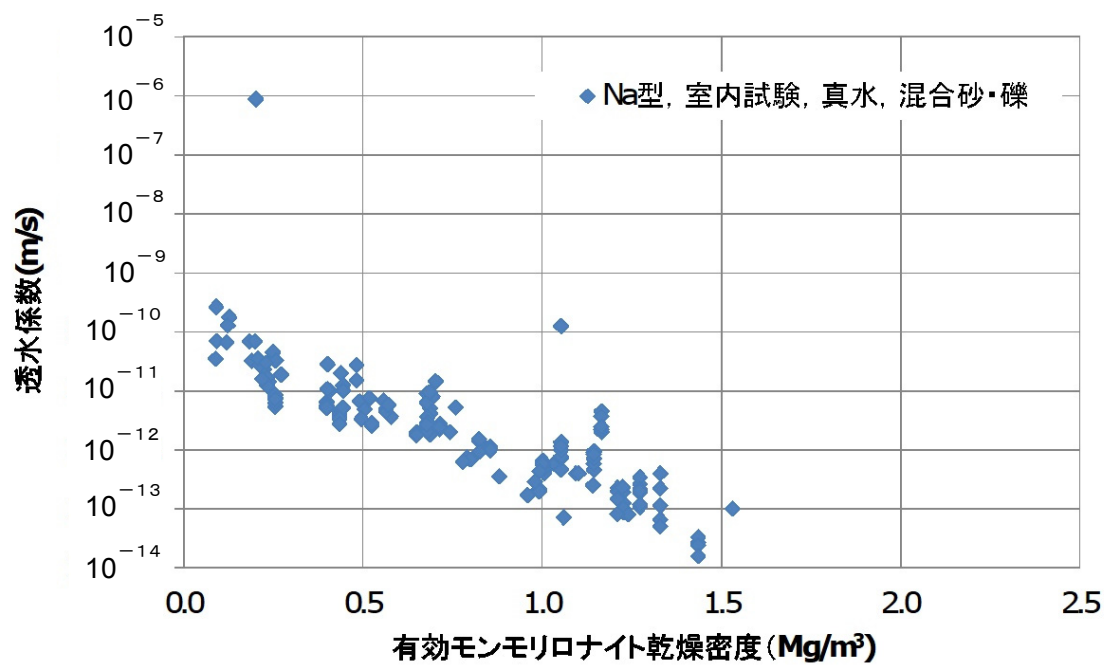
放射性廃棄物処分における透水係数の代表的な代替指標に関する考え方を第1図に示す。第1図のとおり、ベントナイト混合率や膨潤性(モンモリロナイト)を考慮した透水係数の代替指標として、有効モンモリロナイト乾燥密度又は有効モンモリロナイト湿潤密度が用いられており、第2図に示すとおり、既往文献⁽¹⁾において透水係数との相関が確認されている。

ここで、既往文献⁽¹⁾における代替指標と透水係数の相関は様々な材料及び条件において実施した試験結果の平均的な傾向であることから、一定条件下において代替指標により低透水性覆土の透水性を確認するためには、低透水性覆土に用いる材料の選定及び材料配合、締固め特性等の材料特性を考慮して相関を確認し、適用性を判断する必要がある。

実際の施工で用いる代替指標については、選定した材料を用いた室内試験の結果を踏まえて設定するが、材料選定の段階においては、締固め特性に係る初期含水比が不明であることを踏まえ、初期含水比に依存しない有効モンモリロナイト乾燥密度を仮の代替指標として設定する。



第 1 図 透水係数の代表的な代替指標



第2図 代替指標と透水性係数の関係（既往文献）⁽¹⁾

2. 2 ベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の目安値の設定

既往文献⁽¹⁾から、要求性能を満足するベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の目安値を設定する。

(1) 有効モンモリロナイト乾燥密度の算定方法

有効モンモリロナイト乾燥密度は、下式で示される。

$$\rho_{em} = \frac{C_m \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここで、

$$\rho_b = \frac{\rho_d(100 - R_s)}{100 - \frac{R_s \cdot \rho_d}{\rho_s}}$$

ρ_{em} : 有効モンモリロナイト乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_b : 有効粘土乾燥密度 (Mg/m³)

C_m : モンモリロナイト含有率 (%)

ρ_{nm} : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m³)

ρ_d : 乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_s : 骨材の土粒子密度 (Mg/m³)

R_s : 骨材混合率 (%)

(2) 目標透水係数を満足するベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の検討

第2図に示すNa型ベントナイトの有効粘土乾燥密度及び有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係に、目標透水係数 1.0×10^{-10} m/s 以下となる有効粘土乾燥密度及び有効モンモリロナイト乾燥密度を加筆したものを第3図及び第4図に示す。第3図及び第4図から、目標透水係数 1.0×10^{-10} m/s 以下となる有効粘土乾燥密度 0.6 Mg/m³ 以上、有効モンモリロナイト乾燥密度は 0.25 Mg/m³ 以上となることから、パラメトリ

ックスタディ（以下「パラスタ」という。）により目標透水係数におけるベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の関係を整理し、ベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率を設定する。

有効粘土乾燥密度の算定式に、既往試験を参考にした固定値として、乾燥密度 1.8 Mg/m^3 ，骨材の土粒子密度 2.7 Mg/m^3 を入力し、有効粘土乾燥密度とベントナイト混合率の関係を求めた（第 5 図参照）。

これより、有効粘土乾燥密度 0.6 Mg/m^3 となるベントナイト混合率は $14.5\% \div 15\%$ となる。

さらに、有効モンモリロナイト乾燥密度の算定式に、目標透水係数 $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下でベントナイト混合率 15% 以上となる有効粘土乾燥密度 0.6 Mg/m^3 以上、固定値として、随伴鉱物の土粒子密度を 2.7 Mg/m^3 で入力し、有効モンモリロナイト乾燥密度とモンモリロナイト含有率の関係を求めた（第 6 図参照）。

これより、有効モンモリロナイト乾燥密度 0.25 Mg/m^3 以上となるモンモリロナイト含有率は 35%（メチレンブルー溶液吸着量（以下「MBC」という。）換算： $150 \times 0.35 = 52.5 \text{ mmol/100 g}$ ）以上となる。

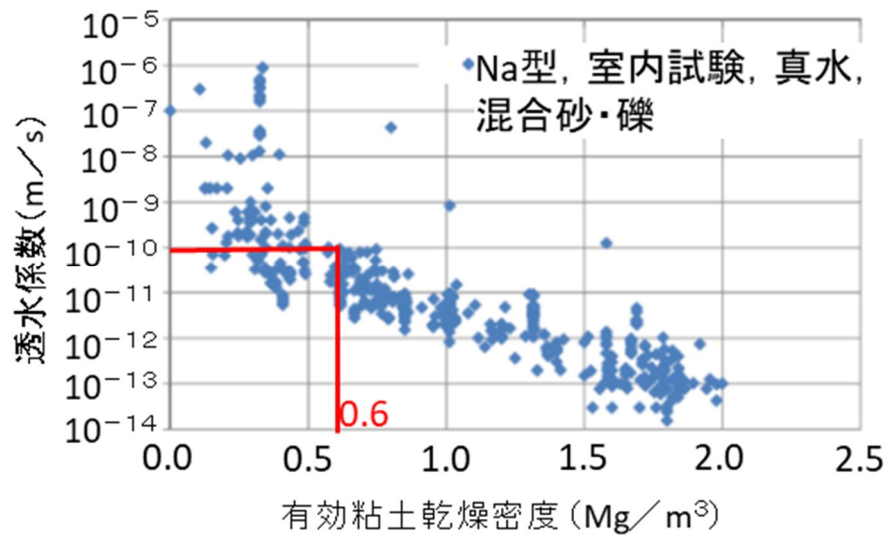
ここで、モンモリロナイト 100% 時の MBC 値は、 $140 \text{ mmol/100 g} \sim 150 \text{ mmol/100 g}$ であるため、保守的な値として 150 mmol/100 g （クニピア F※）を用いた。

※クニゲル V 1 と同鉱床のベントナイトを水簸により精製した製品

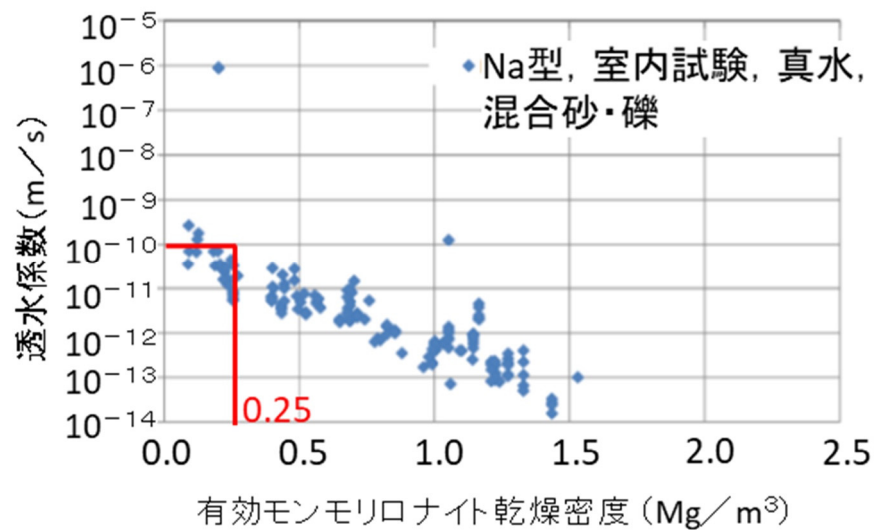
Na 型ベントナイトの有効粘土乾燥密度及び有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係から、ベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の目安値を第 3 表のとおり設定する。

第3表 ベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の目安値

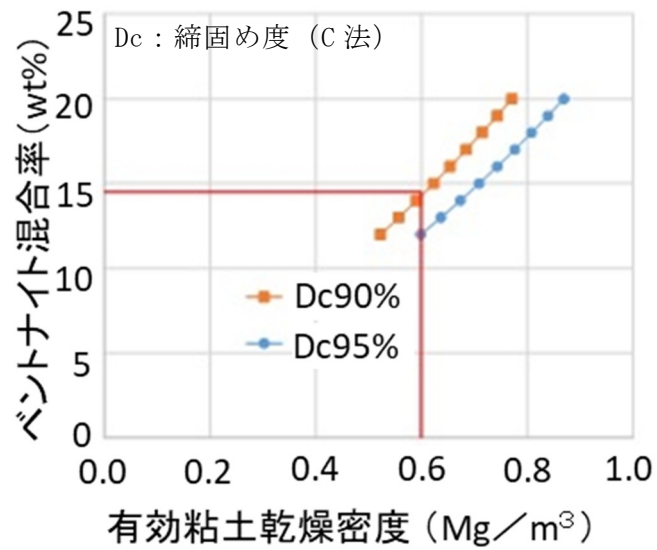
ベントナイト混合率	15%以上
モンモリロナイト含有率	35%以上



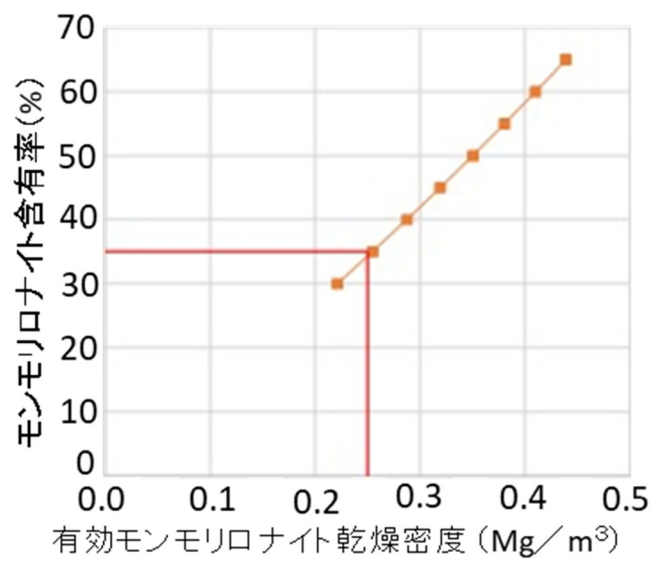
第3図 有効粘土乾燥密度と透水係数の関係



第4図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係



第 5 図 有効粘土乾燥密度とベントナイト混合率の関係のパラスタ



第 6 図 有効モンモリロナイト乾燥密度とモンモリロナイト含有率の関係のパラスタ (ベントナイト混合率 15% の場合)

2. 3 材料の選定

モンモリロナイト含有率の目安に適合するベントナイト及び要求性能を満足する見通しのある母材を選定する。

(1) ベントナイト

候補材料としたベントナイト（クニゲルU）の特性値（モンモリロナイト含有率，陽イオン交換容量，浸出陽イオン量）を第4表及び第5表に示す。

ベントナイト（クニゲルU）の特性値を確認し，モンモリロナイト含有率の目安値に対してモンモリロナイト含有率 50%を確保していることから，候補材料が要求性能を満たす見通しがあることを確認した。

また，ベントナイト（クニゲルU）の特性値の透水性への影響について，多数の施工実績を有するクニゲルV 1と比較した結果，透水性能に差はなく，候補材料が要求性能を満たす見通しがあることを確認した（「別紙 ベントナイトの種類の違いによる性能比較について」参照）。

第4表 M B C測定結果

サンプル名	測定	M B C (mmol/100 g)	モンモリロナイ ト含有率※ (%)
クニゲルU	1回目	71	50
	2回目	69	
	3回目	69	
	平均値	70	

※クニゲルUを水簸（すいひ）した試料（モンモリロナイト含有率 100%）

のM B C 138 mmol／100 g ≒ 140 mmol／100 g に対する割合

第5表 陽イオン交換容量（C E C）及び浸出陽イオン量（L C : S F S A
改良法）測定結果

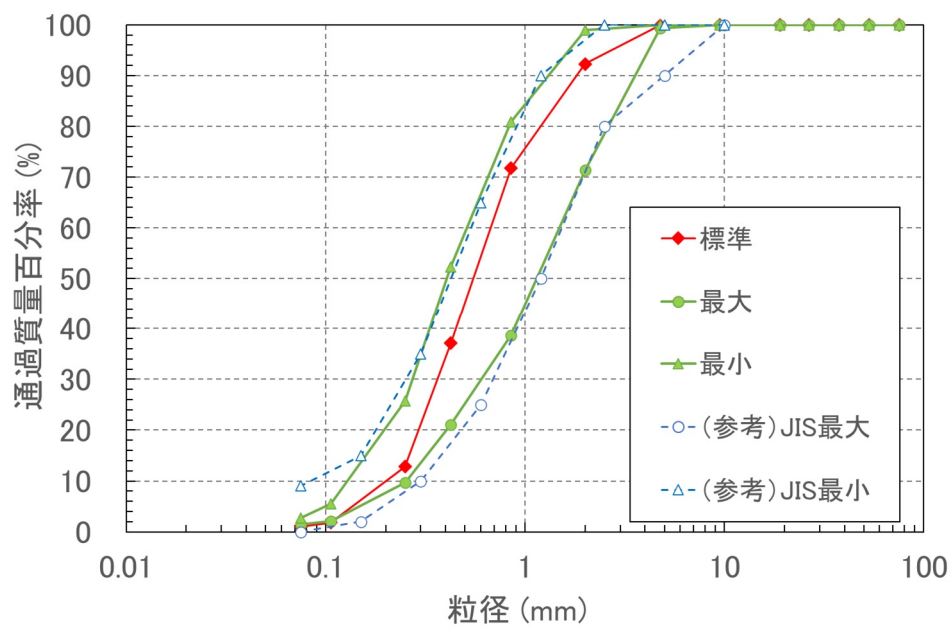
サンプル名	C E C (meq／100 g)	L C (meq／100 g)				
		N a ⁺	K ⁺	M g ²⁺	C a ²⁺	Total
クニゲルU	68.1	54.0	0.5	0.6	13.1	68.2

（2）母材

母材の候補材料とした洗砂（久慈川砂）について、粒度分布のばらつきによるベントナイト混合土の透水性への影響が考えられることから、試験を行うことによりその影響を確認した。

粒度分布において想定されるばらつきの上下限（J I S A 5005：2020を参考に設定）に調整した候補材料（久慈川砂）及び平均（標準）の粒度分布に調整した候補材料（久慈川砂）を母材として製造したベントナイト混合土で透水係数を確認し、設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m／s 以下）を満足すること及び粒度分布の上下限で透水性に有意な差がないことを確認した（「3. 1 室内試験」参照）。

したがって、候補材料（久慈川砂）は、粒度分布が規定範囲内（要求性能を満足する上下限の範囲内）であることを確認することで、要求性能を満たす見通しがあることを確認した。候補材料（久慈川砂）に対して粒度分布の上下限（最大・最小）及び平均（標準）で実施した粒度試験結果を第7図に示す。



第 7 図 粒度試験結果

3 低透水性覆土に対する要求性能（低透水性）の実現性

低透水性覆土に求められる要求性能は低透水性であり，その設計項目は透水係数と厚さである。

低透水性覆土の品質は，使用材料，製造方法又は施工方法によらず施工時において要求性能（設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m/s 以下））及び設計厚さ（低透水性覆土：1 m 以上，側部低透水性覆土：0.8 m 以上）を確保することにより管理する。

設計項目のうち，透水係数については，低透水性覆土に砂（洗砂）とベントナイト（クニゲルU相当）を使用したベントナイト混合土で構成する計画であることから，この材料において設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m/s 以下）を確保できることの見通しを得ておく必要がある。

計画している材料を用いたベントナイト混合土において目標とする性能（透水係数）を確保できることの見通しを得るために実施した事項の概要を以下に示す。

なお，実際の施工において低透水性覆土に使用する材料が今回使用したものとは異なる場合，今回得られた知見（ベントナイト混合土施工時の設計値等）を適用することが難しくなるため，実際の施工に用いる材料を使用し，同様なプロセスにより，低透水性覆土の設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m/s 以下）を確保できる見込みがあることを確認する必要がある。

3. 1 室内試験

「2. 2 ベントナイト混合率及びモンモリロナイト含有率の目安値の設定」にて設定したベントナイト混合率の目安値を基に室内試験※を実施し、ベントナイト混合土の代替指標と透水係数の関係を把握することで、透水係数を推定可能な代替指標を設定する。

※ 第 493 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（2023 年 9 月 4 日）資料 2-2 で示した試験データに対し、試験条件を改善した試験を行い、データを更新した。

（1）ばらつきを考慮した透水試験ケース設定

代替指標を用いた品質管理においては、代替指標である有効モンモリロナイト乾燥密度又は有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の推定式が必要となる。また、実際の施工においては低透水性覆土の品質にばらつきが生じるため、これらを内挿して評価出来るよう代替指標の分布を設定する必要がある。ここでは、ベントナイト（クニゲルU）の品質（納入時）を除いた、材料製造時及び施工時（転圧）のばらつきを考慮して、代替指標を構成するパラメータを設定する。

既往試験結果を踏まえた、各パラメータの範囲を以下に示す。

- ・ 締固め度（C 法）：90%，95%，100%
- ・ 初期含水比： $W_{opt}^{※} \sim W_{opt} + 4\%$
※最適含水比
- ・ ベントナイト混合率：13%～19%

上記に加え、「2. 3 材料の選定」にて設定した母材の粒度分布のばらつきによる影響を考慮した試験を実施する。

- ・ 母材粒度分布のばらつきの最大，最小

上記パラメータを考慮して透水試験（地盤工学会基準 J G S 0312-2018 に準拠）を実施する。設定した試験ケースを第 6 表に示す。

第 6 表 透水試験の試験ケース一覧

Case	母材粒度	乾燥密度	含水比	ベントナイト混合率	設定乾燥密度	設定含水比
No.		$\rho_{d}(\text{Mg/m}^3)$	W	(%)	(Mg/m^3)	(%)
1	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+0%	13.0	1.798	10.4
2	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+0%	15.0	1.798	10.4
3	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+0%	17.0	1.798	10.4
4	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+2%	13.0	1.750	12.4
5	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+2%	15.0	1.750	12.4
6	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+2%	17.0	1.750	12.4
7	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+4%	13.0	1.681	14.4
8	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+4%	15.0	1.681	14.4
9	標準	$\rho_{d\max} \times 90\%$	Wopt+4%	17.0	1.681	14.4
10	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+0%	13.0	1.998	10.4
11	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+0%	15.0	1.998	10.4
12	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+0%	17.0	1.998	10.4
13	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+2%	13.0	1.944	12.4
14	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+2%	15.0	1.944	12.4
15	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+2%	17.0	1.944	12.4
16	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+4%	13.0	1.868	14.4
17	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+4%	15.0	1.868	14.4
18	標準	$\rho_{d\max} \times 100\%$	Wopt+4%	17.0	1.868	14.4
19	標準	$\rho_{d\max} \times 95\%$	Wopt+2%	13.0	1.847	12.4
20	標準	$\rho_{d\max} \times 95\%$	Wopt+2%	15.0	1.847	12.4
21	標準	$\rho_{d\max} \times 95\%$	Wopt+2%	17.0	1.847	12.4
22	標準	$\rho_{d\max} \times 95\%$	Wopt+2%	19.0	1.847	12.4
23	最大	$\rho_{d\max} \times 95\%$	Wopt+2%	15.0	1.847	12.4
24	最小	$\rho_{d\max} \times 95\%$	Wopt+2%	15.0	1.847	12.4

(2) 透水試験結果

母材（久慈川砂）の粒度，締固め度，含水比及びベントナイト混合率をパラメータとした試験ケースにおける透水試験結果を第 7 表に示す。全ケースにおいて透水係数は 10^{-11} m/s 若しくは 10^{-12} m/s オーダーである。

今回の試験に使用したベントナイト（クニゲル U）の M B C 平均値は 73 mmol/100 g，クニゲル U 水簾品の M B C : 138 mmol/100 g $\div$ 140 mmol/

100 g より，モンモリロナイト含有率を 52.1% とする。これより，有効モンモリロナイト乾燥密度及び有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係を整理する。有効モンモリロナイト乾燥密度及び有効モンモリロナイト湿潤密度は下式で表される。

【有効モンモリロナイト乾燥密度： ρ_{em} 】

$$\rho_{em} = \frac{C_m \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここで，

ρ_b ：有効粘土乾燥密度 (Mg/m³)

C_m ：モンモリロナイト含有率 (%)

ρ_{nm} ：随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m³) = 2.81 Mg/m³ (2)

$$\rho_b = \frac{\rho_d(100 - R_s)}{100 - \frac{R_s \cdot \rho_d}{\rho_s}}$$

ここで，

ρ_d ：乾燥密度 (Mg/m³)

R_s ：骨材混合率 (%)

ρ_s ：骨材の土粒子密度 (Mg/m³) = 2.677 Mg/m³

【有効モンモリロナイト湿潤密度： ρ_{emt} 】

$$\rho_{emt} = \rho_{em} + \frac{\frac{100}{100 - R_s} w \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここで，

ρ_b ：有効粘土乾燥密度 (Mg/m³)

C_m ：モンモリロナイト含有率 (%)

ρ_{nm} : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m^3) = $2.81 \text{ Mg}/\text{m}^3$ ⁽²⁾

w : 初期含水比 (－)

第 7 表 透水試験結果

Case No.	母材粒度	乾燥密度 $\rho_d (\text{Mg}/\text{m}^3)$	含水比 W	ベントナイト混合率 (%)	透水係数 (m/s)
1	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+0\%$	13.0	1.06×10^{-11}
2	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+0\%$	15.0	1.06×10^{-11}
3	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+0\%$	17.0	8.40×10^{-12}
4	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+2\%$	13.0	1.87×10^{-11}
5	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+2\%$	15.0	1.09×10^{-11}
6	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+2\%$	17.0	9.54×10^{-12}
7	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+4\%$	13.0	2.76×10^{-11}
8	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+4\%$	15.0	1.74×10^{-11}
9	標準	$\rho_{dmax} \times 90\%$	$W_{opt}+4\%$	17.0	9.41×10^{-12}
10	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+0\%$	13.0	3.44×10^{-12}
11	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+0\%$	15.0	2.47×10^{-12}
12	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+0\%$	17.0	2.44×10^{-12}
13	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+2\%$	13.0	3.58×10^{-12}
14	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+2\%$	15.0	3.31×10^{-12}
15	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+2\%$	17.0	2.46×10^{-12}
16	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+4\%$	13.0	4.92×10^{-12}
17	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+4\%$	15.0	2.50×10^{-12}
18	標準	$\rho_{dmax} \times 100\%$	$W_{opt}+4\%$	17.0	3.44×10^{-12}
19	標準	$\rho_{dmax} \times 95\%$	$W_{opt}+2\%$	13.0	7.42×10^{-12}
20	標準	$\rho_{dmax} \times 95\%$	$W_{opt}+2\%$	15.0	5.39×10^{-12}
21	標準	$\rho_{dmax} \times 95\%$	$W_{opt}+2\%$	17.0	4.53×10^{-12}
22	標準	$\rho_{dmax} \times 95\%$	$W_{opt}+2\%$	19.0	4.30×10^{-12}
23	最大	$\rho_{dmax} \times 95\%$	$W_{opt}+2\%$	15.0	4.87×10^{-12}
24	最小	$\rho_{dmax} \times 95\%$	$W_{opt}+2\%$	15.0	4.87×10^{-12}

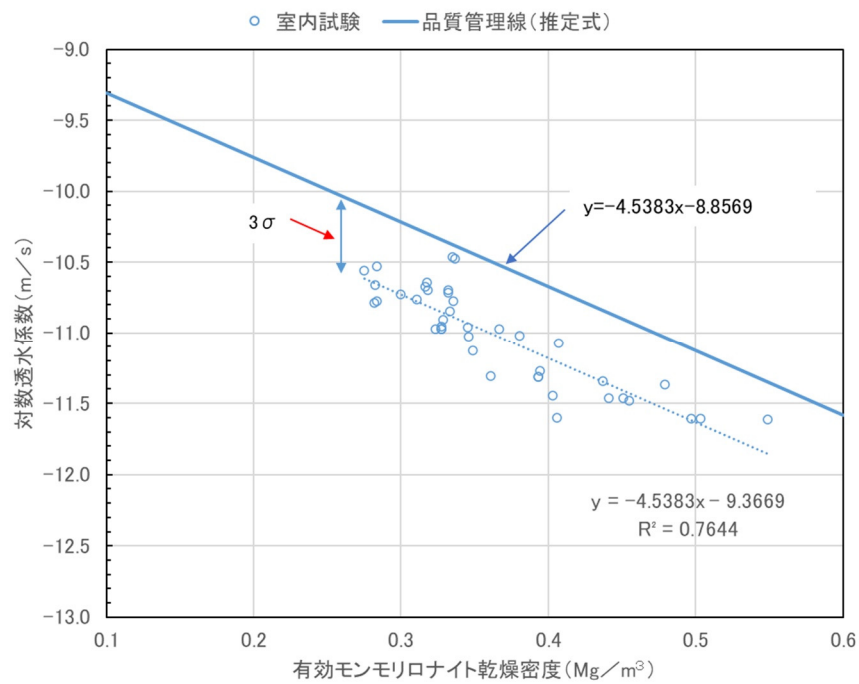
第 8 図に第 7 表及び既往の透水試験結果から整理した有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数（常用対数透水係数（以下「対数透水係数」という。)) の関係を、第 9 図に第 8 図と同様に整理した有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数（対数透水係数）の相関関係を示す。

なお、図中には、試験結果のばらつきを考慮し、近似式と試験値の差を評価して平均 $+3\sigma$ の品質管理線を設定した。

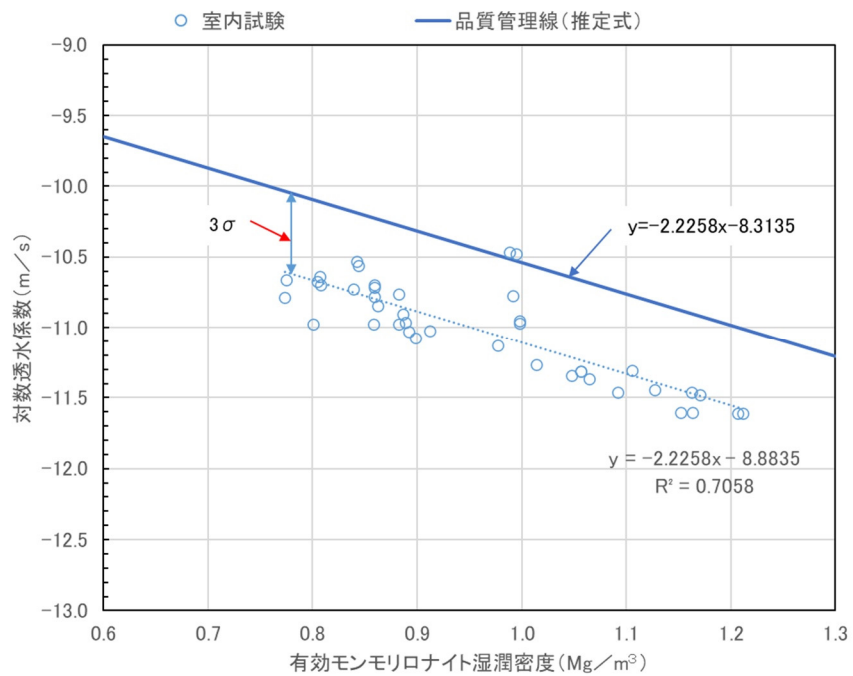
有効モンモリロナイト乾燥密度及び有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の相関を比較すると、ともに決定係数（相関係数の 2 乗）が 1 に近い（精度が良い）結果となっている。

また、試験結果の透水係数が有効モンモリロナイト乾燥密度が大きくなるに従い小さくなる傾向がみられることから、J G S 0312-2018 に基づく透水試験において注意が必要となる供試体の粒子移動に伴う目詰まりは発生していないと考えられる。

したがって、有効モンモリロナイト乾燥密度を代替指標として設定する。



第 8 図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係



第 9 図 有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係

3. 2 ベントナイト混合土施工時の設計値

室内試験の結果から、施工試験として行う代替指標の設計値を設定する。

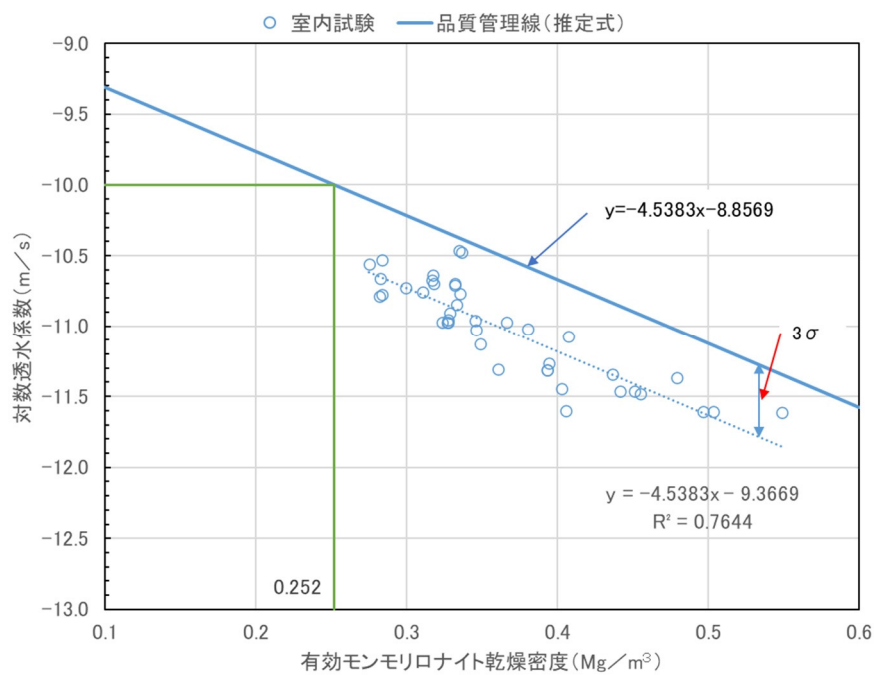
「3. 1 室内試験」に示す試験結果から、試験結果のばらつきを考慮した平均 $+3\sigma$ の品質管理線を用いた低透水性覆土の設計透水係数(1.0×10^{-10} m/s 以下)を確保可能な有効モンモリロナイト乾燥密度の下限値を第10図に示す。

第10図より、低透水性覆土の設計透水係数(1.0×10^{-10} m/s 以下)を確保するためには、有効モンモリロナイト乾燥密度について 0.252 Mg/m^3 以上とする必要があることから、有効モンモリロナイト乾燥密度で 0.252 Mg/m^3 以上をベントナイト混合土施工時の設計値として設定した。

ベントナイト混合土施工時の設計値を第8表に示す。

なお、実際の施工において品質管理線を見直す場合、試験データを更新又は拡充する場合若しくは低透水性覆土に使用する材料が今回使用したものと異なる場合、同様なプロセスにより、室内試験結果から適切な品質管理線を設定するとともに、ベントナイト混合土施工時の有効モンモリロナイト乾燥密度の設計値を設定する。

施工試験では、有効モンモリロナイト乾燥密度の設計値を満足するように施工した覆土に対して原位置サンプリングによる透水試験を行い、試験結果が室内試験における品質管理線を下回っていることを確認することにより、施工した覆土が室内試験と同等以上の品質で施工できていること及び室内試験結果から設定した品質管理線が実際の施工においても適用することが可能であることを確認する。



第 10 図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係（下限値）

第 8 表 ベントナイト混合土施工時の設計値

項目	設計値
有効モンモリロナイト乾燥密度	0.252 Mg/m ³ 以上

3. 3 ベントナイト混合土の製造

ベントナイト混合土の製造時には、ベントナイト混合土施工時の設計値（有効モンモリロナイト乾燥密度 0.252 Mg/m^3 以上）を満足するベントナイト混合率及び初期含水比の目標値を設定する。

「3. 1 室内試験」の試験ケース 5 の条件を例としたベントナイト混合土製造時の目標値を第 9 表に、ベントナイト混合土製造に用いた主要材料を第 10 表に示す。

ベントナイト混合土の製造は、二段階混合方式及び一括混合方式の二方式を用いて行った。

ベントナイト混合土の製造後のサンプリングにより、ベントナイト混合率（ここでは代替指標として細粒分含有率）及び含水比に対して、品質確認^{*}を行った。ベントナイト混合土の製造後の含水比の測定結果を第 11 図に、ベントナイト混合土の細粒分含有率の測定結果から第 11 表に示す母材の細粒分含有率の測定結果の最大値 3.3%に母材の混合率 85%を乗じた値を差し引いて算出した、想定されるベントナイト混合率のヒストグラムを第 12 図に示す。

含水比は、平均値が目標値である 11.5%であり、10.3～12.5%の間に分布し、ばらつきが $11.5\% \pm 2\%$ 程度であった。

ベントナイト混合土と母材の細粒分含有率から算出したベントナイト混合率は、平均値が 13.7%であり、ベントナイト混合率の目標値 15%よりも小さくなっている。混合率が 15%となるように計量し投入したベントナイトを練り混ぜ機械内で混合した場合、装置内（内壁）に細粒分であるベントナイトが貼り付くことが想定されることから、細粒分含有率の平均値が投入した混合率より小さくなったと考えられる。

これらにより、ベントナイト混合率は $15\% \pm 2\%$ 以内、含水比は $W_{opt} +$

2.5%±2%程度であり，目標値の配合を確保した状態で混合できていると考えられる。

※ 第 493 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（2023 年 9 月 4 日）資料 2-2 で示した試験データに対し，試験条件を改善した試験を行い，データを更新した。

第 9 表 ベントナイト混合土製造時の目標値

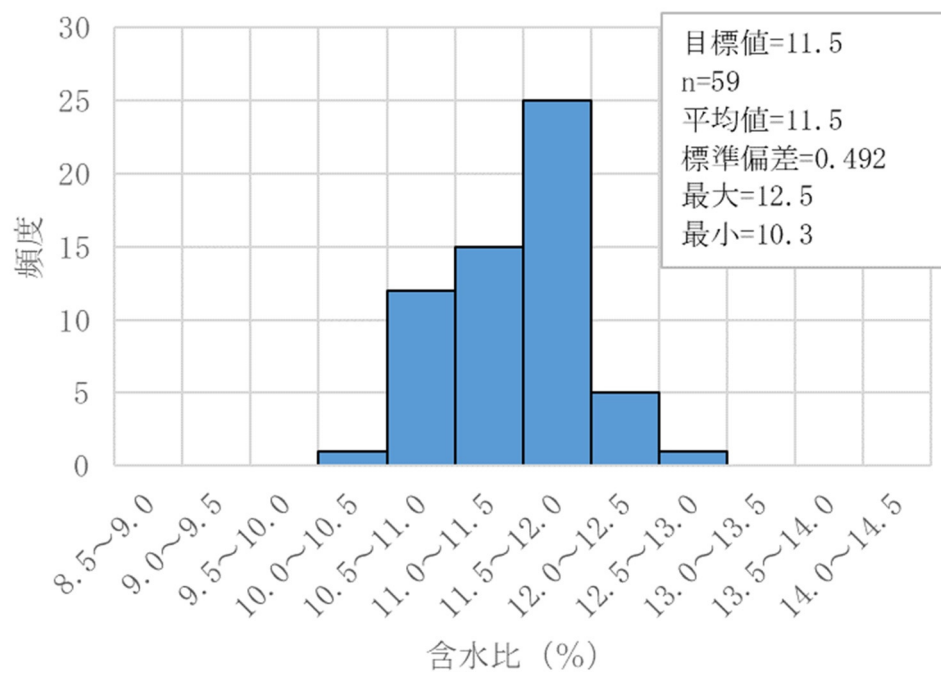
項目	目標値	備考
ベントナイト混合率	15%	—
初期含水比	$W_{opt} + 2.5\%$	$W_{opt} + 2.5\% = 11.5\%$

第 10 表 主要材料

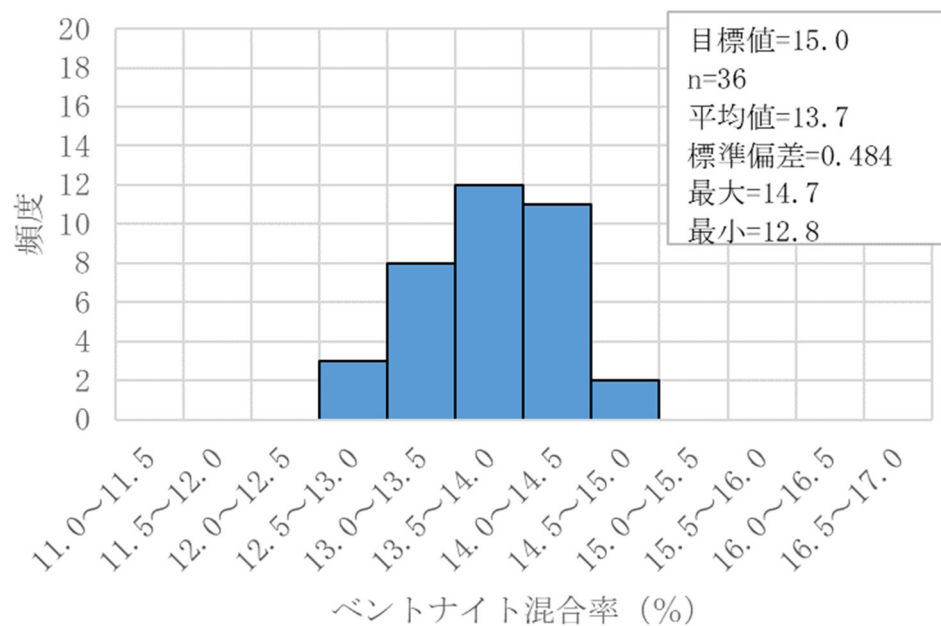
項目	仕様
N a 型ベントナイト（クニゲル U）	M B C : 71.4 mmol / 100 g
母材	洗砂（久慈川砂）

第 11 表 母材（久慈川砂）の細粒分含有率

項目	測定数	細粒分含有率 F_c (%)		
		最小	最大	平均
母材	7	1.8	3.3	2.6



第 11 図 製造後の含水比のヒストグラム



第 12 図 製造後の細粒分含有率から想定されるベントナイト混合率のヒストグラム

3. 4 低透水性覆土の施工実現性

「3. 2 ベントナイト混合土施工時の設計値」にて設定した設計値のとおりに低透水性覆土を施工でき、設計透水係数 (1.0×10^{-10} m/s 以下) を達成できることを施工試験※により確認した。

※ 第 493 回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合 (2023 年 9 月 4 日) 資料 2-2 で示した試験データに対し、試験条件を改善した試験を行い、データを更新した。

(1) 施工試験の概要

低透水性覆土について、施工の実現性を確認するために実施に近い施設構造において施工試験を実施した。また、施工試験で得られた試験結果を整理し、設計透水係数 (1.0×10^{-10} m/s 以下) を確保できることを確認した。

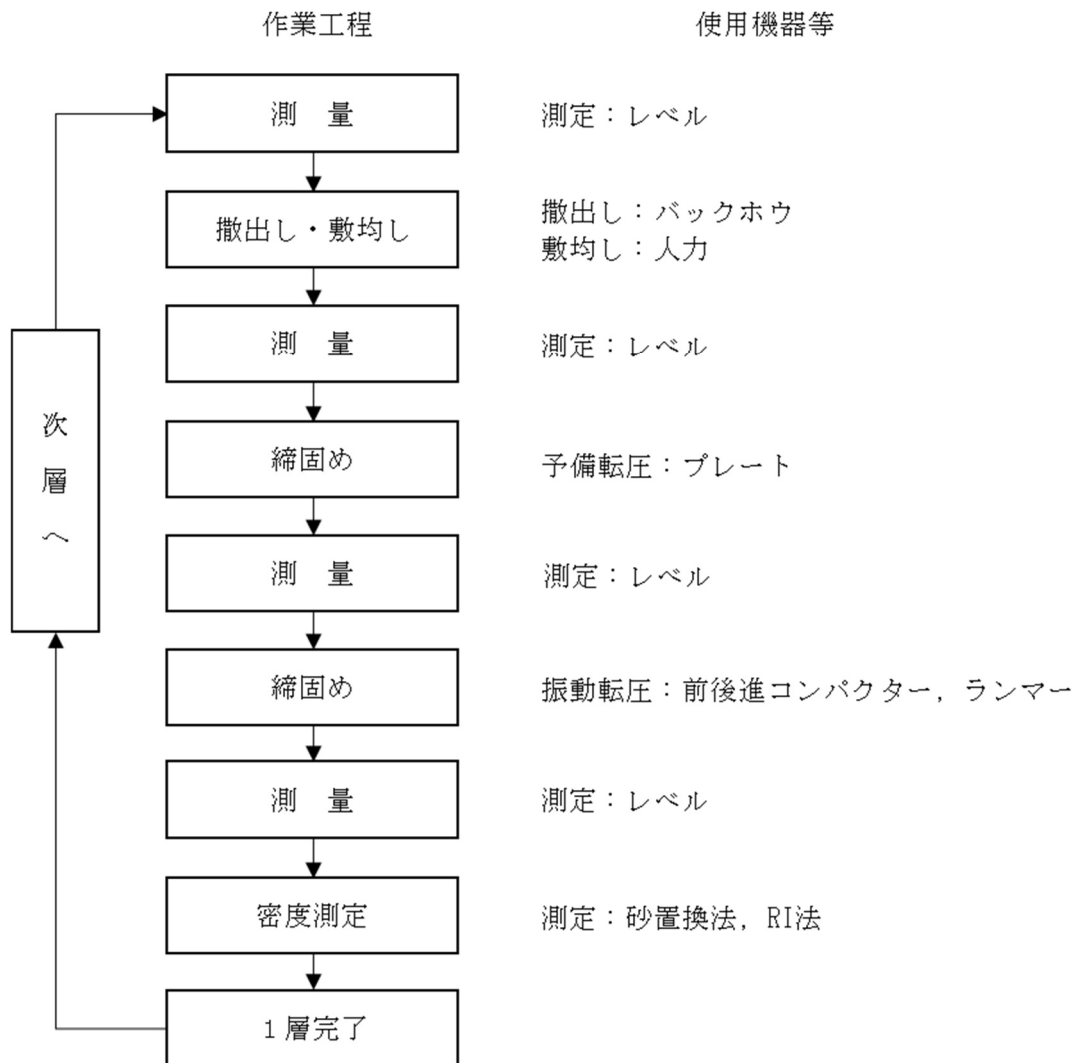
施工試験の実施に際しては、一般土工として広く適用されている公益社団法人日本道路協会 (2010) ⁽³⁾ の他に、本施設と同様に透水性に留意している土構造物として河川堤防に着目した財団法人国土技術研究センター (2009) ⁽⁴⁾ (以下「河川土工マニュアル (2009)」という。) を参照し、低透水性覆土の要求性能である低透水性を満足するための締固め機械、締固め厚さ、締固め回数及び乾燥密度を確認した。

低透水性覆土の施工試験フローを第 13 図に、試験エリアの例を第 14 図に示す。

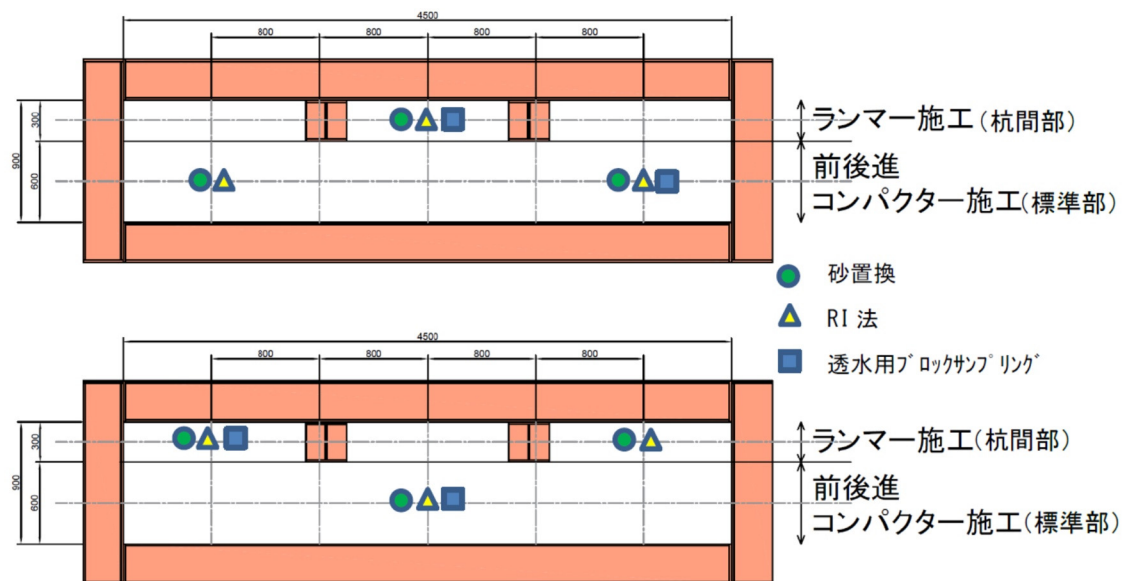
施工試験の手順としては、バックホウによる低透水性覆土の撒出し及び人力による敷均しを行い、測定機器 (レベル) を用いて撒出し厚を確認し、敷均し後、河川土工マニュアル (2009) で一般的と示されている締固め機械を用いて締固めを行い、1 層目の低透水性覆土を設置する。品質確認のため、高さ及び密度をそれぞれ測定し、2 層目を同様に実施する手順とし

た。

低透水性覆土（目標値：ベントナイト混合率 15%，初期含水比 11%（= $W_{opt} + 2\%$ ），撒出し厚 10 cm／層～20 cm／層，乾燥密度 1.82 Mg／m³）を対象とした施工試験の結果及び概要を第 12 表に示す。



第 13 図 低透水性覆土の施工試験フロー（例）



第 14 図 試験エリア (例)

第 12 表 施工試験の結果及び概要一覧

試験対象	透水係数 (m/s)	締固め度 (C法)	施工機械等 (例)
低透水性 覆土	1.38×10^{-12} ～ 8.28×10^{-12} 【n=12】	91.0～99.6 (平均 94.7) 【n=23】	・プレート (予備転圧) ・前後進コンパクター (標準部) ・ランマー (杭間部)

(2) 施工試験の結果

施工試験において取得した乾燥密度のヒストグラムを第 15 図に、施工試験の結果における有効モンモリロナイト乾燥密度のヒストグラムを第 16 図に示す。

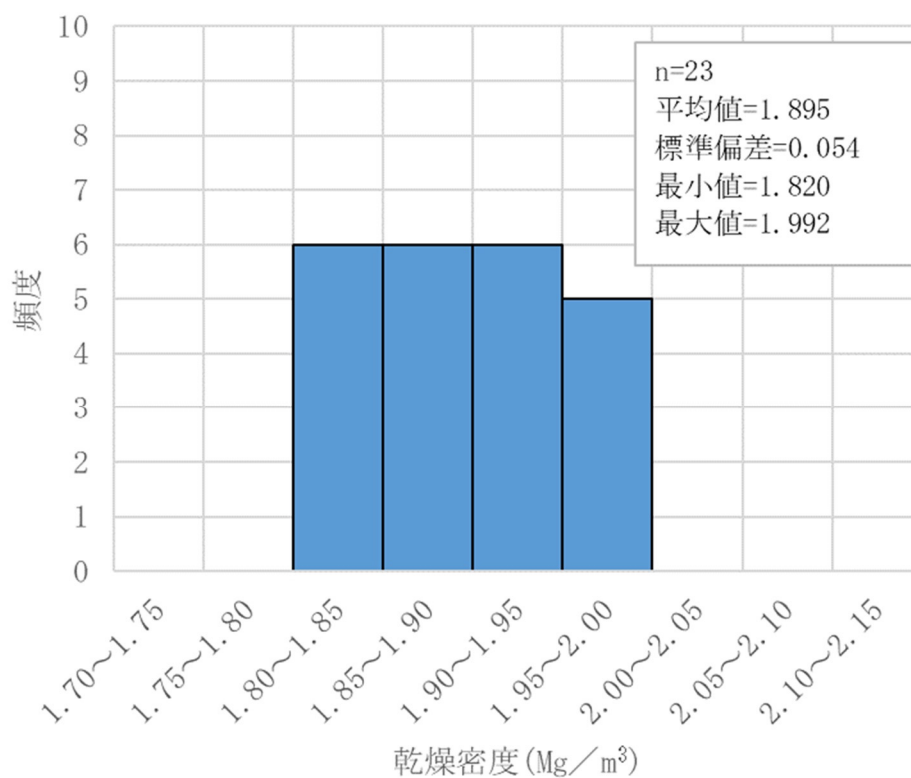
乾燥密度は、目標値である 1.82 Mg/m^3 に対して最小値 1.820 Mg/m^3 と目標値を確保した状態で施工できている。

有効モンモリロナイト乾燥密度は、平均値が 0.365 Mg/m^3 、標準偏差が 0.031 Mg/m^3 であることから、平均 -3σ の値は 0.272 Mg/m^3 となり、設計値 (0.252 Mg/m^3 以上) を満足している。

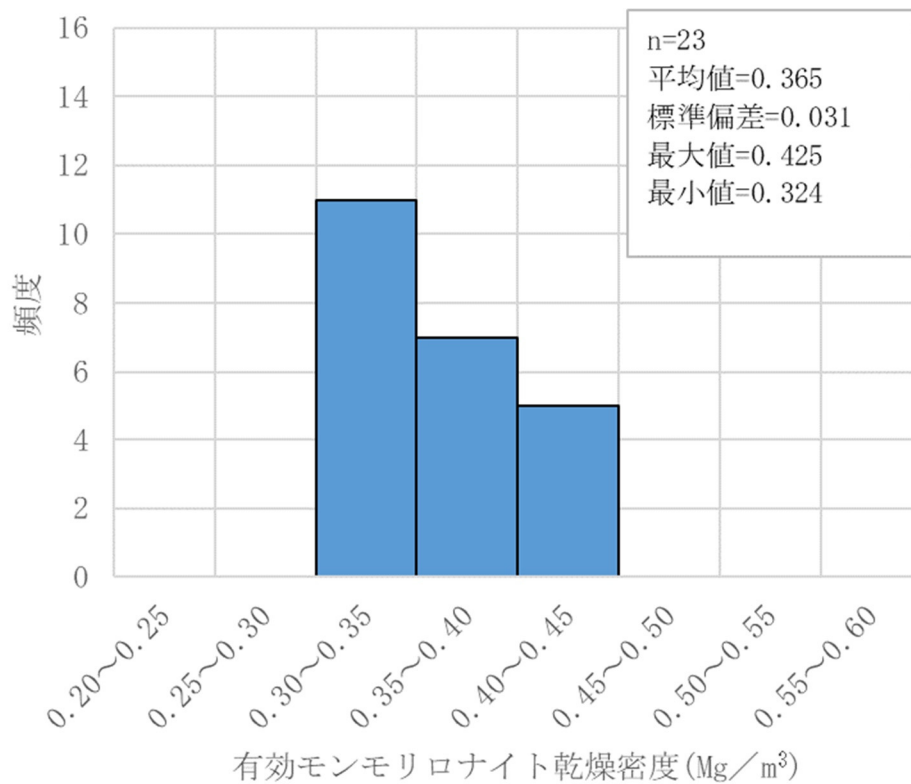
第 8 図に施工試験の透水試験結果を加筆したものを第 17 図に示す。透水係数は、施工時における目標である $1.0 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ 程度を満足し、かつ、低透水性覆土の設計透水係数 ($1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下) を確保している。

また、施工試験による透水試験結果は、透水係数の推定式 (平均 $+3\sigma$ の品質管理線) よりも十分小さい値となっている。このことより、施工試験における覆土の性能は室内試験の供試体より良い品質で施工できていることが確認できることから、実施工において有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の推定式を用いることで、原位置サンプリングを実施することなく、施工時の低透水性覆土の性能を管理できると考えられる。

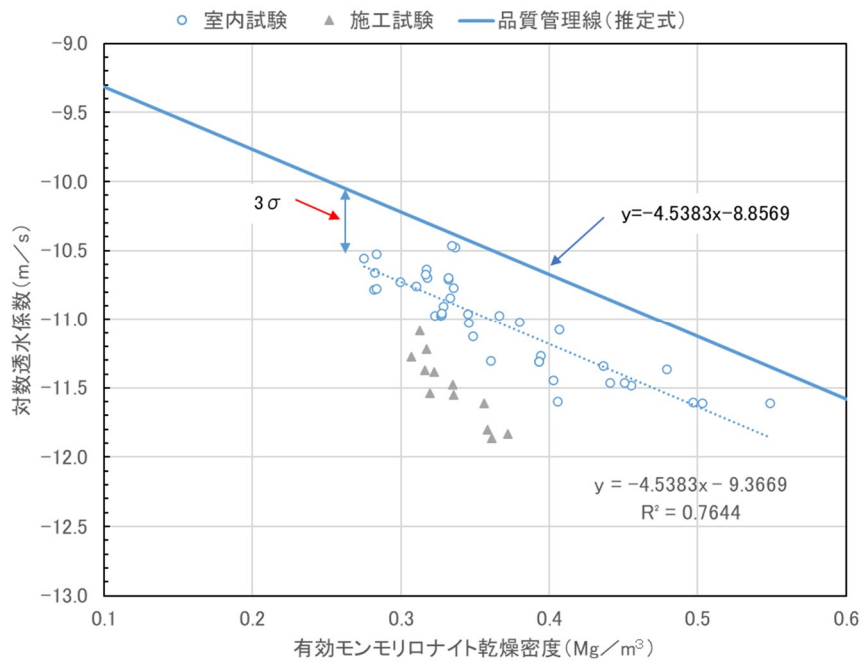
以上のことから、実際の施工においても「3. 2 ベントナイト混合土施工時の設計値」に示す設計値のと通りの低透水性覆土を施工でき、設計透水係数 ($1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下) を達成できる見込みがあると考えられる。



第 15 図 乾燥密度のヒストグラム



第 16 図 有効モンモリロナイト乾燥密度のヒストグラム



第 17 図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係
(施工試験結果加筆)

3. 5 代替指標に想定されるばらつき

有効モンモリロナイト乾燥密度を透水係数の代替指標とすることで透水係数の品質管理を行う考えであることから、既往の試験結果※等を例に、有効モンモリロナイト乾燥密度に影響を与える可能性のある項目（以下「影響項目」という。）に着目し、それらに想定されるばらつきについて、以下に示す。

※ 第 493 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合（2023 年 9 月 4 日）資料 2-2 で示した試験データに対し、試験条件を改善した試験を行い、データを一部更新した。

（1）各段階において想定されるばらつき

ベントナイト混合土は、「材料」の調達、ベントナイト混合土の「製造」、ベントナイト混合土の「施工」といった段階を経て設置される。

この各段階において想定されるばらつきについて、以下に示す。

a. 材料に想定されるばらつき

ベントナイト混合土の材料は、母材（洗砂）及びベントナイト（クニゲルU相当）であることから、これらの材料の影響項目及び想定されるばらつきを示す。また、これらを取りまとめた情報を第 13 表に示す。

（a）影響項目

i. 母材（洗砂）

- ・骨材の土粒子密度

ii. ベントナイト（クニゲルU相当）

- ・モンモリロナイト含有率
- ・随伴鉱物の土粒子密度

（b）想定されるばらつき

i. 母材（洗砂）

- ・骨材の土粒子密度（砂の土粒子密度）は、 2.671 Mg/m^3 から

2.673 Mg/m³の範囲でばらつきが生じると想定。

- ・母材（洗砂）の土粒子密度（3 試料）を測定しており、その値は 2.673 Mg/m³，2.671 Mg/m³，2.671 Mg/m³であった。このことから、その最小値と最大値をばらつきの範囲と想定。

ii. ベントナイト（クニゲルU相当）

- ・モンモリロナイト含有率は、44%～49%の範囲でばらつきが生じると想定。
- ・ベントナイト（クニゲルU）の同ロットのMBCを測定（3 試料を測定）した値は 71 mmol/100 g，69 mmol/100 g，69 mmol/100 gであった。また、既往試験において複数のロットのベントナイト（クニゲルU）に対してMBCを測定した結果、66 mmol/100 g～74 mmol/100 gであったことから、同ロットではばらつきは小さいが、ロットが異なると既往試験の測定結果の最小値と最大値の範囲でばらつきが生じると想定。なお、モンモリロナイト含有率は、ベントナイト（クニゲルU）のMBCを、クニピアFのMBC（150 mmol/100 g）で除した値としている。
- ・随伴鉱物の土粒子密度は、2.636 Mg/m³から 2.810 Mg/m³の範囲でばらつきが生じると想定。
- ・随伴鉱物の土粒子密度を測定していないことから、文献^{(2), (5)}に示された値の最小と最大をばらつきの範囲と想定。

b. 製造時に想定されるばらつき

ベントナイト混合土の製造時の影響項目及び想定されるばらつきを示す。また、これらを取りまとめた情報を第 14 表に示す。

(a) 影響項目

- ・骨材混合率

(b) 想定されるばらつき

- ・骨材混合率は、85%から86.3%の範囲でばらつきが生じると想定。
- ・骨材混合率は、100%からベントナイト（クニゲルU相当）の混合率を差し引いた値としている。
- ・製造したベントナイト混合土の細粒分含有率（36 試料）及びベントナイト混合土の母材の細粒分含有率（7 試料）を測定しており、ベントナイト混合土の細粒分含有率の平均値は 16.5%，母材の細粒分含有率の最大値は 3.3%であり、ベントナイト混合土の細粒分含有率から母材の細粒分含有率の最大値 3.3%に母材の混合率 85%を乗じた値を減じた値の平均値は 13.7%であることから、13.7%から 15%をベントナイト混合率の下側のばらつきの範囲とし、100%からそれらの値を差し引いた値を骨材混合率のばらつきの範囲と想定。

c. 施工時に想定されるばらつき

ベントナイト混合土の施工時の影響項目及び想定されるばらつきを示す。また、これらを取りまとめた情報を第 14 表に示す。

(a) 影響項目

- ・乾燥密度

(b) 想定されるばらつき

- ・乾燥密度は、 1.820 Mg/m^3 から 1.992 Mg/m^3 の範囲でばらつきが生じると想定。
- ・乾燥密度は、施工したベントナイト混合土の乾燥密度（23 試料）を測定しており、その値は第 15 図に示すとおり、平均値 1.895 Mg/m^3 、最小値 1.820 Mg/m^3 、最大値 1.992 Mg/m^3 であった。こ

のことから，その最小値と最大値を乾燥密度のばらつきの範囲と想定。

第 13 表 材料に想定されるばらつきの範囲

	影響項目	ばらつきの範囲
母材（洗砂）	骨材の土粒子密度	$2.671 \text{ Mg/m}^3 \sim 2.673 \text{ Mg/m}^3$
ベントナイト （クニゲルU 相当）	モンモリロナイト含有率	44%～49%
	随伴鉱物の土粒子密度	$2.636 \text{ Mg/m}^3 \sim 2.810 \text{ Mg/m}^3$

第 14 表 製造時及び施工時に想定されるばらつきの範囲

	影響項目	ばらつきの範囲
製造時	骨材混合率	85%～86.3%
施工時	乾燥密度	$1.820 \text{ Mg/m}^3 \sim 1.992 \text{ Mg/m}^3$

3. 6 想定されるばらつきが透水係数に与える影響

影響項目に想定されるばらつきは「3. 5 代替指標に想定されるばらつき」に示したとおりであるが、これらのばらつきが相乗的に働いた場合、ばらつきの影響が大きくなることが想定される。

このため、影響項目に想定されるばらつきが相乗的に働いた場合を想定し、その影響を確認する。

有効モンモリロナイト乾燥密度が最も小さくなる組合せは、ベントナイト混合土中に含まれるモンモリロナイトの量が減少する側にばらつき、かつ、ベントナイト混合土の密度が小さくなる側にばらついたケースである。つまり、骨材混合率、母材の土粒子密度及び随伴鉱物の土粒子密度が大きな値となる側にばらつきが生じ、かつ、乾燥密度が小さくなる側にばらつきが生じるケースである。

これらのばらつきが生じたケースにて、有効モンモリロナイト乾燥密度に与える影響を確認することにより、透水係数に与える影響を確認する。

(1) 影響確認におけるばらつきの想定値

透水係数に与える影響を確認するための想定値は、「3. 5 代替指標に想定されるばらつき」等に示した内容を踏まえ、以下のとおり設定する。

a. モンモリロナイト含有率

モンモリロナイト含有率は、施工途中でロットが変わる可能性を考慮して44%～49%の範囲でばらつく想定し、モンモリロナイト含有率が小さくなる側にばらつきが生じると、有効モンモリロナイト乾燥密度が小さくなることから、モンモリロナイト含有率を「44%」と設定する。

b. 随伴鉱物の土粒子密度

随伴鉱物の土粒子密度のばらつきの範囲は、 2.636 Mg/m^3 から 2.810

Mg/m³と想定されること、随伴鉱物の土粒子密度が大きくなる側にばらつきが生じると、有効モンモリロナイト乾燥密度が小さくなることから、随伴鉱物の土粒子密度を「2.810 Mg/m³」と設定する。

c. 乾燥密度

乾燥密度のばらつきの範囲は、1.820 Mg/m³から 1.992 Mg/m³と想定されること、乾燥密度が小さくなる側にばらつきが生じると、有効モンモリロナイト乾燥密度が小さくなることから、乾燥密度を「1.820 Mg/m³」と設定する。

d. 骨材の土粒子密度

骨材の土粒子密度のばらつきの範囲は、2.671 Mg/m³から 2.673 Mg/m³と想定されること、骨材の土粒子密度が大きくなる側にばらつきが生じると、有効モンモリロナイト乾燥密度が小さくなることから、骨材の土粒子密度を「2.673 Mg/m³」と設定する。

e. 骨材混合率

骨材混合率のばらつきの範囲は、85%から86.3%と想定されること、骨材混合率が大きくなる側にばらつきが生じると、有効モンモリロナイト乾燥密度が小さくなることから、骨材混合率を「86.3%」と設定する。

(2) ばらつきが透水係数に与える影響

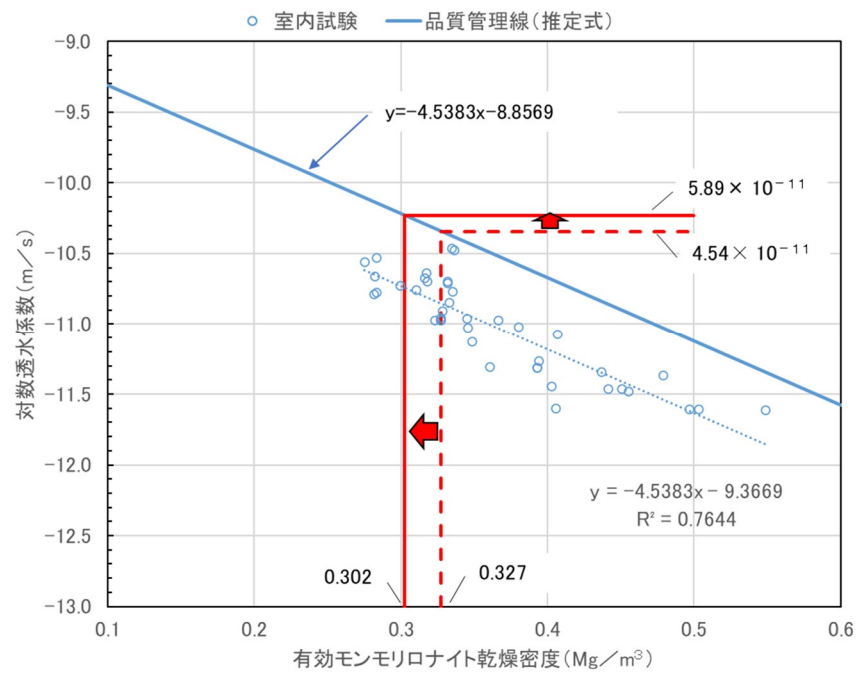
想定したばらつきが透水係数に与える影響を確認した。具体的には、(1)で設定した想定値を用いて算定される有効モンモリロナイト乾燥密度及び「3. 1 室内試験」で評価した有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係を整理した結果から得られる平均+3σの推定式を用いて透水係数を推定した。

想定したばらつきにおける透水係数の推定結果を第 15 表に、想定した

ばらつきにおける透水係数の変化を第 18 図に示す。「材料」の調達，ベントナイト混合土の「製造」，ベントナイト混合土の「施工」といった各段階において想定されるばらつきが相乗的に働いた場合を考慮しても，透水係数に与える影響は 1.3 倍程度であり，覆土の施工に当たって有効モンモリロナイト乾燥密度の目標値をあらかじめ保守的に設定することで低透水性覆土の設計透水係数(1.0×10^{-10} m/s 以下)を確保できると考えられる。

第 15 表 ばらつきを考慮した場合の透水係数の推定結果

		目標値からの 推定値	想定したばらつき からの推定値	変化率
透水係数		4.54×10^{-11} m/s	5.89×10^{-11} m/s	130%
目標値／ 想定値	ベントナイト 混合率	15%	13.7%	91.3%
	乾燥密度	1.820 Mg/m ³	1.820 Mg/m ³	100%
換算値	有効モンモリ ロナイト乾燥 密度	0.327 Mg/m ³	0.302 Mg/m ³	92.4%



第 18 図 ばらつきを考慮した場合の透水係数の変化

4 低透水性覆土の施工における品質管理（案）

第 16 表に低透水性覆土の品質管理項目（案）を示す。品質管理は、「材料納入」、「覆土材料製造」、「覆土施工」及び「完了確認」の各段階において、所定の管理項目を実施する。

なお、ここで示す品質管理（案）は現在の覆土仕様（案）から想定しているものであり、設計透水係数及び設計厚さを確保するための詳細な品質管理方法（管理項目、管理基準、管理値及び管理方法）については、実際の施工時に行う施工試験結果を用いて、平均値及びばらつき（分散）を考慮して最終決定する。その際、本書で示す考え方を基本として品質管理方法を設定するものとする。

4. 1 材料納入時の品質管理項目

材料納入時は、納入した材料が選定した材料と同等であることを品質成績書等により確認する。

ベントナイトは、MBC 測定を実施し、モンモリロナイト含有率を確認する。

ベントナイトの随伴鉱物の土粒子密度は、容易に測定することができないことから、保守的に有効モンモリロナイト乾燥密度が小さくなるような値として、文献^{(2), (5)}に示された値の最大値である「 2.810 Mg/m^3 」と設定する。

母材については、粒度試験を実施し、粒度分布が規定範囲内であることを確認するとともに、土粒子の密度試験を実施し、骨材の土粒子密度を確認する。

なお、「2. 3 材料の選定」で選定した材料と異なる材料を使用する場合は、「2. 3 材料の選定」と同様の確認を行い、ベントナイト混合土が要求

性能を満足する見通しがあることを確認するとともに、納入した材料に対して「3. 1 室内試験」と同様の方法で室内試験を行い、室内試験で評価した有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係を確認し、品質管理線及び設計透水係数 (1.0×10^{-10} m/s 以下) を満足する有効モンモリロナイト乾燥密度の設計値を設定する。

4. 2 覆土材料製造時の品質管理項目

製造段階では、試料採取を行うことが容易であり十分な試料数を得ることが可能である。よって、代替指標を算出する際の乾燥密度以外のパラメータについては、製造段階において実施する試験の測定結果によりばらつきの上下限值等の保守的な値を設定することで管理値を定める。

覆土材料製造時は、使用する材料が有効モンモリロナイト乾燥密度の設計値を満足するように、「3. 5 代替指標に想定されるばらつき」に示す影響項目に想定されるばらつきを考慮してベントナイト混合率を保守的に設定する。

また、設定したベントナイト混合率においてベントナイト混合土の締固め試験を実施し、最大乾燥密度と最適含水比を確認する。

締固め試験結果から、覆土施工時における締固め度（乾燥密度）の目標値を設定するとともに、有効モンモリロナイト乾燥密度の目標値を設定する。

なお、有効モンモリロナイト乾燥密度の目標値は、「3. 6 想定されるばらつきが透水係数に与える影響」に示すように、有効モンモリロナイト乾燥密度の想定されるばらつきが透水係数に与える影響を考慮した場合、最大で10%程度の有効モンモリロナイト乾燥密度のばらつきが想定されることから、材料納入時及び製造時のばらつきを考慮して保守的に目標値を設定する。

使用するベントナイト及び母材の含水比試験を実施し、設定したベントナ

イト混合率及び初期含水比が最適含水比より若干湿潤側となるように材料構成比を設定する。

また、材料製造後にMBC及び細粒分含有率を測定し、ベントナイト混合率を算出することで、設定どおりの混合率で混合されていることを確認する。

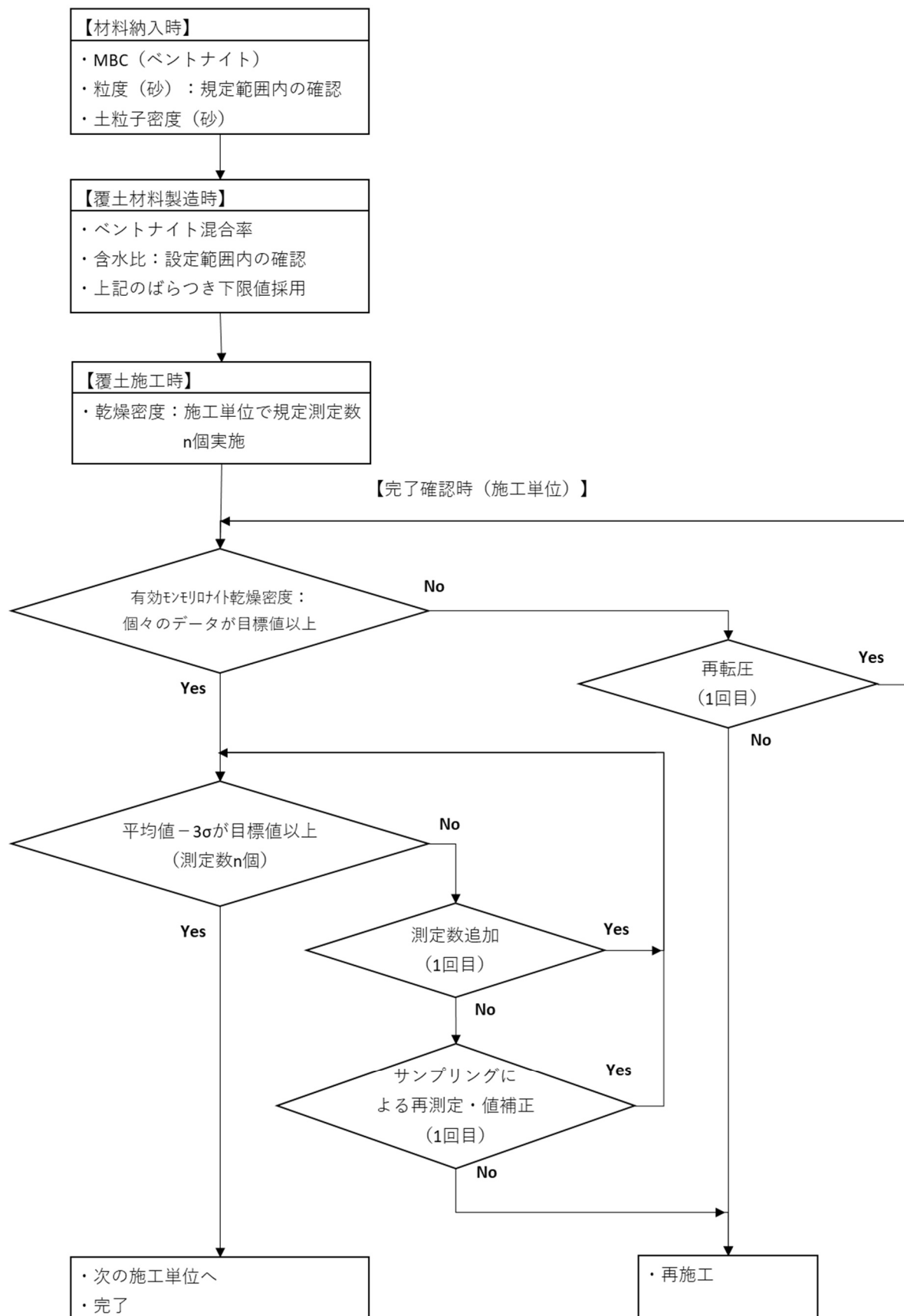
4. 3 覆土施工時の品質管理項目

覆土の施工に当たっては、あらかじめ施工試験を実施し、1層当たりの撒出し厚、仕上がり厚及び締固め回数並びに許容誤差を決定するとともに、低透水性覆土全体の性能を推定可能な十分な測定数で乾燥密度を測定し、有効モンモリロナイト乾燥密度のばらつき（平均値・分散）から実際の施工時の測定数を決定する。

覆土の施工における乾燥密度の測定については、覆土を乱し難い測定方法を採用する必要があることから、施工試験では実際の施工で採用する測定方法に加えて異なる測定方法で測定を行い、補正を行う。

覆土の施工は、施工後の品質確認として施工範囲、最終仕上がり厚及び乾燥密度を測定するとともに、乾燥密度の測定値並びに材料納入時及び覆土材料製造時のばらつきを考慮した設定値から各測定点における有効モンモリロナイト乾燥密度を算定し、施工単位ごとに第19図に示す低透水性覆土の性能判断フロー（案）に基づき判断基準を満足することにより、施工した覆土が部材単位の性能として設計透水係数（ 1.0×10^{-10} m/s 以下）を満足していることを確認する。

なお、上記にかかわらず、廃棄物埋設地の外で施工した低透水性覆土を使用する場合、その施工方法に応じて、あらかじめ施工試験を実施したうえで、廃棄物埋設地の外での敷均し、転圧、保管及び運搬に相当する品質管理を実施するとともに、覆土の設置及び施工完了後に係る品質管理を実施する。



第 19 図 低透水性覆土の性能判断フロー（案）

4. 4 完了確認時の品質管理項目

(1) 有効モンモリロナイト乾燥密度の確認

低透水性覆土の主要機能である透水係数は、透水試験により確認するには時間が数ヶ月必要となることから、ベントナイト混合率及び乾燥密度のばらつきを包含した形で評価可能な有効モンモリロナイト乾燥密度を確認することで、間接的に透水係数を確認する。

低透水性覆土覆土全体の性能判断としては、施工単位ごとに前項に示す確認を行った結果、全ての層で判断基準を満足していることにより、設計透水係数 (1.0×10^{-10} m/s 以下) を満足していることを確認する。

(2) 原位置サンプリング試料による透水係数の確認

施工試験では、原位置サンプリング試料を用いた透水試験結果が「3. 2 ベントナイト混合土施工時の設計値」にて室内試験により設定した平均+3 σ の品質管理線を下回っていることを確認することにより、施工した覆土が室内試験と同等以上の品質で施工できていることを確認する。

実際の施工では、有効モンモリロナイト乾燥密度による透水係数の推定結果を裏付ける目的から、原位置サンプリング試料を用いた透水試験結果が平均+3 σ の品質管理線を下回っていることを確認することにより、施工した低透水性覆土が施工試験と同等の品質で施工できていることを確認する。

なお、原位置サンプリング試料は、低透水性覆土の機能に支障のない範囲で採取することとする。また、廃棄物埋設地の外で施工した低透水性覆土を使用する場合、その一部を原位置サンプリング試料として採取することとする。

第 16 表 低透水性覆土の品質管理項目（案）

施工フロー	対象	管理項目	管理基準	管理値（案）	管理方法	
(1) 材料納入 <pre> graph TD A[ベントナイトの購入] -- ①② --> B[受入検査] C[砂の購入] -- ③ --> D[受入検査] B --> E[保管] D --> E </pre>	ベントナイト	(1)-① 基本物理特性 (粒度分布等)	製品における各種品質基準	—	品質成績書確認	—
		(1)-② モンモリロナイト含有率	所定のモンモリロナイト含有率	—※ ¹	メチレンブルー収着試験	J I S Z 2451:2019
	母材	(1)-③ 基本物理特性 (粒度分布等)	所定の粒度分布等	規定範囲内であること等※ ¹	粒度試験 土粒子の密度試験	J I S A 5005:2020 J I S A 1204:2020 J G S 0051-2020 J I S A 1202:2020
(2) 覆土材料製造 <pre> graph TD A[① 材料の計量] --> B[材料の混合・加水] B --> C[②③ 覆土材料完成] </pre>	ベントナイト，母材	(2)-① 材料構成比	所定の構成比	—※ ¹	混合前の計量	—
	混合土	(2)-② 初期含水比	所定の含水比	$W_{opt} + 2\% \pm 2\%^{※1}$	含水比試験	J I S A 1203:2020
		(2)-③ ベントナイト混合率	所定のベントナイト混合率	$15\% + 2\% \pm 2\%^{※1}$	細粒分含有率試験	J I S A 1223:2020
					メチレンブルー収着試験	J I S Z 2451:2019
(3) 覆土施工 <pre> graph TD A[積込み・運搬] --> B[① 敷均し] B --> C[②③④ 転圧] C --> D[⑤⑥⑦ 施工完了] </pre>	低透水性覆土	(3)-① 1層当たり撒出し厚	所定の厚さ かさ密度測定	$20\text{ cm} + 10\% \pm 10\%^{※1}$	測量 密度，含水比測定	レーザ測量等
		(3)-② 1層当たり仕上がり厚	所定の厚さ	$10\text{ cm} + 10\% \pm 10\%^{※1}$	測量	レーザ測量等
		(3)-③ 締固め回数	基準密度を満たす回数	—※ ¹	目視確認	記録管理
		(3)-④ 施工範囲	所定の範囲・位置に施工されていること	—※ ¹	測量	レーザ測量等
		(3)-⑤ 最終仕上がり厚	所定の厚さ	低透水性覆土： $1.0\text{ m} + 10\% \pm 10\%^{※1}$ 側部低透水性覆土： $0.8\text{ m} + 10\% \pm 10\%^{※1}$	測量	レーザ測量等
		(3)-⑥ 現場密度	所定の現場密度	1.82 Mg/m^3 以上※ ¹	砂置換法	J I S A 1214:2024
			所定の測定頻度	—※ ¹	RI 測定	J G S 1614-2012
		(3)-⑦ 有効モンモリロナイト乾燥密度	所定の有効モンモリロナイト乾燥密度	0.252 Mg/m^3 以上	各パラメータから算定	—

施工フロー	対象		管理項目	管理基準	管理値（案）	管理方法	
(4)完了確認 ① 性能確認	低透水性覆土	(4)-①	透水係数	所定の透水係数	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下	有効モンモリロナイト乾燥密度と推定式から部材単位の性能を推定	—
						一軸透水試験※2	J G S 0312-2018

※1 各段階又は事前の試験における確認結果に応じて設定するため，既往試験結果を基に設定した暫定値（施設確認時に確定値とする）又は未定

※2 代替指標からの推定値による判断を裏付けるために実施

5 参考文献

- (1) 公益社団法人地盤工学会 (2016) : 低透水性土質系材料の活用と性能評価
技術に関する研究委員会 研究報告書
- (2) 山本修一, 佐藤伸, 志村友行, Enrique ROMERO, 西村友良, 大和田仁 (2019) :
サクション制御試験に基づくベントナイト系人工バリア材の不飽和力学
特性と保水特性
- (3) 公益社団法人日本道路協会 (2010) : 道路土工—盛土工指針
- (4) 財団法人国土技術研究センター (2009) : 河川土工マニュアル
- (5) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター (2016) : 平成 27
年度地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発報告
書 (第 4 分冊) —人工バリア材料長期挙動評価・人工バリア評価の初期
条件の設定—

6 諸外国との比較

6. 1 諸外国の極低レベル放射性廃棄物処分施設との比較

本施設では、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するため、覆土により、廃棄物埋設地への雨水等及び地下水の浸入を十分に抑制している。

このことから、本施設の覆土が、合理的かつ利用可能な最善の技術（B A T :Best Available Technique）を使用したものであることを確認するため、諸外国の極低レベル放射性廃棄物の処分施設を調査した。

比較対象として、極低レベル放射性廃棄物を処分する施設で総放射エネルギーが同等な4ヶ国を選定し、第17表に示す。

選定した各国の処分施設の構造（覆土の構造を含む）等を第18表及び第19表に示す。

構造に関しては、各国の極低レベル放射性廃棄物処分場では、覆土及び底部には遮水層（粘土層やH D P E層など）を設けた施設があるのに対し、本施設では、雨水等による浸透水を低減することを目的として、埋設トレンチの上部に低透水性覆土及び遮水シートを、側部に側部低透水性覆土を設置する設計としている。

本施設では、金属及びコンクリートのみを取り扱う（埋設する）のに対し、諸外国の極低レベル放射性廃棄物処分場では、日本と異なり金属及びコンクリート廃棄物以外に、可燃物、有害物質やウラン廃棄物等も取り扱うことを考慮して、覆土や底部に遮水層（粘土層やH D P E層など）を設ける設計をしていると考えられる例や、規制要求などがされていることにより設置形態に違いがある。

覆土に関して、材料については、各国では粘土材料及び土砂を用いており、加えてH D P E（高密度ポリエチレン）も用いている処分場があるのに対し、本施設も同様の構造を採用している。低透水性が必要な土層の厚さについて、

各国においては 0.4 m～0.6 m 程度であるのに対し、本施設の低透水性覆土では 1 m である。透水係数について、本施設の低透水性覆土の値は、各国のうちベントナイトを混合した材料を採用している処分場と同じ 1.0×10^{-10} m/s である。

これらについて、本施設では、金属類及びコンクリート類のみを取り扱う（埋設する）こと並びに透水特性及び機能維持特性を考慮した結果であり、諸外国と同等以上のものである。

以上のことから、本施設の覆土による「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」に関しては、各国に対して遜色のない技術が用いられているといえる。

第 17 表 本施設（廃棄物埋設地）及び諸外国の処分施設の調査結果の整理一覧

	スペイン	フランス	スウェーデン	アメリカ	本施設
	エスカブル	モルヴィリエ	フォルスマルク	クライブ	
概要	原子力発電所，原子燃料施設，CIEMAT（エネルギー・環境技術研究センター），研究機関，医療機関等から発生する極低レベル放射性廃棄物が処分されている。	主に原子力施設の解体，低レベルの放射性物質を扱う非原子力産業サイト，放射性物質によって汚染されたサイトの除染から発生した極低レベル放射性物質が処分されている。	放射線管理区域で使用される作業着，手袋，紙類の他，煙感知器などのプラスチック，金属端材などの極低レベル放射性廃棄物を発電所敷地内において地表埋立てによって処分されている。	Class A の低レベル放射性廃棄物，ウラン鉱さい，化学毒性を持った放射性廃棄物である混合廃棄物が処分されている。	日本原子力発電株式会社東海発電所から発生する固体状の放射性廃棄物であって，中性子線的作用によって放射化されたもの，原子炉冷却材等で汚染されたもの又はその両方を含む金属類及びコンクリート類であり，これらの放射性廃棄物は容器等に収納又はこん包されたものである。
操業開始	2008 年	2003 年	1989 年	1998 年	－
処分場の型式	掘下げ＋盛土	掘下げ＋盛土	盛土	掘下げ＋盛土	トレンチ
受入廃棄物	金属，がれき等	金属，がれき，土壌，プラスチック等	金属，樹脂，可燃物，プラスチック等	金属，がれき，土壌，有害物質，可燃物，ウラン等	金属類，コンクリート類
荷姿	ドラム缶，コンテナ，フレコン	ドラム缶，コンテナ，フレコン，大型機器一体	ドラム缶，コンテナ，コンクリート容器，フィルムこん包	容器なし，コンクリート容器，大型機器一体	鉄箱，プラスチックシートこん包

第 18 表 本施設（廃棄物埋設地）及び諸外国の処分施設の構造の整理一覧

	スペイン	フランス	スウェーデン	アメリカ	本施設
	エスカブル	モルヴィリエ	フォルスマルク	クライブ	
処分施設の構造	スペインのエスカブル処分場は、フランスのモルヴィリエ処分場を基に設計されたもので、放射能レベルと関連付けたリスクに調和した非放射性の有害廃棄物の処分場を規制している規則に基づいて設計されており、放射性廃棄物と有害廃棄物の両方を埋設することを可能としている。このため、埋設施設の覆土は、粘土層及び高密度ポリエチレンによる不透水層（HDPE層）で構成され、浸透水の浸入を防いでいる。モルヴィリエ処分場の場合、粘土層及びHDPE層で構成された閉じ込め機能を、風化（霜、風）、動物及び侵食から保護するために、粘土層及びHDPE層の上部に厚さ約 1 m～5 m の粘土層で覆う設計としている。最上部は、厚さ約 30 cm の植生された表面土壌層で覆う。また、底部については、廃棄物からの発生水及び万が一浸入した場合の浸透水を、粘土層、HDPE層及び排水管で構成した排水層により、施設の下層への浸透を防ぐ設計としている。	他国のような掘削型のトレンチではなく、地表面直下に排水層を設置し、その上に廃棄物を定置し盛土を施す盛土型の処分施設である。施設の覆土に対する法令要求は 10^{-10} m/s 以下とされているため、遮水層としてベントナイトテキスタイル及びベントナイトとストーンパウダーの混合層の 2 種類を組み合わせる設計としている。物理的な影響による損傷を防ぎ、木の根の侵入から遮水層を保護するために、最上部には砂質モーレン層を設ける。また、底部については、廃棄物からの発生水及び万が一浸入した場合の浸透水を、ベントナイトとストーンパウダーで構成された遮水層及び砕石で構成された排水層により、施設の下層への浸透を防ぐ設計としている。	ウラン及びトリウム鉱さい、ウラン廃棄物を取扱っていることもあり、覆土の最下層に厚さ約 0.6 m の低密度粘土層であるラドンバリア層を設けている。これは、Environmental Protection Agency（米国環境保護庁）のラドンの放出基準（ $0.74 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$ を超えないこと）に従うために設置されたものであり、最終覆土の上面には、覆土の侵食を防止するために直径 3.2 cm 以上の小石を 1.5 フィート（約 46 cm）設置している。底部にはボトムライナーとして 2 フィート（約 0.6 m）の厚さの低密度粘土層（透水係数： $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ）が設置されている。	埋設トレンチの上部に設置する最終覆土のうち低透水性覆土及び遮水シート並びに側部に設置する側部低透水性覆土により、埋設トレンチへの雨水等の侵入を防止する設計としている。なお、最終覆土は、保護土層（上層）、保護土層（下層）、フィルタ層、排水層、遮水シート、低透水性覆土及び基礎材により構成している。	

第19表 本施設（廃棄物埋設地）及び諸外国の処分施設の覆土仕様の整理一覧

	スペイン エスカブル	フランス モルヴィリエ	スウェーデン フォルスマルク	アメリカ クライブ	本施設
覆土	[材料] ・HDPE, 砕石, 現地土壌 [厚さ] ・不明 [透水係数] ・不明	[材料] ・HDPE, 粘土質の被覆, 粘土埋戻材, 表層土 [厚さ] ・不明 (HDPE:2 mm) [透水係数] ・HDPE:不明, 粘土埋戻材: 10^{-9} m/s 以下	[材料] ・現地土 (モレーン層), 砕石, ストーンパウダー, ベントナイトとストーンパウダーの混合, 砕石とストーンパウダーの混合 [厚さ] ・3 m (ベントナイトとストーンパウダーの混合層:0.4 m) [透水係数] ・ 10^{-10} m/s 以下 (覆土の透水係数)	[材料] ・砂+砂利, 土壌, 低密度粘土 [厚さ] ・不明 (覆土の最下層 (低密度粘土層):約 0.6 m) [透水係数] ・低密度粘土層: 5.0×10^{-8} cm/s 及び 1.0×10^{-6} cm/s	[材料] ・粘性土, 砂質土, 砕石, HDPE, ベントナイト混合土 [厚さ] ・低透水性覆土 1 m 以上 ・側部低透水性覆土 0.8 m 以上 ・遮水シート 1.5mm 以上 [透水係数] ・低透水性覆土及び側部低透水性覆土: 1.0×10^{-10} m/s
底部	[材料] ・砕石, 粘土, ナトリウムベントナイト, ポリエチレン製ジオメンブレン, HDPE [厚さ] ・不明 (粘土:1 m, ナトリウムベントナイト:3 cm, HDPE:4 mm) [透水係数] ・不明	[材料] ・HDPE [厚さ] ・2 mm [透水係数] ・不明	[材料] ・礫 (砕石) とストーンパウダーの混合, 礫 (砕石), ベントナイトとストーンパウダーの混合, 現地土 (モレーン層) [厚さ] ・2.85 m (ベントナイトとストーンパウダーの混合層:0.4 m) [透水係数] ・ベントナイトとストーンパウダーの混合層:不明	[材料] ・現地の粘土又は砂, 低密度粘土 [厚さ] ・不明 (ボトムライナー (低密度粘土層):約 0.6 m) [透水係数] ・低密度粘土層: 1.0×10^{-6} cm/s	— (なし)

以上

ベントナイトの種類の違いによる 性能比較について

目 次

1	概要	1
1. 1	ベントナイトの種類の違いについて	1
1. 2	比較方針	1
2	試験	1
2. 1	メチレンブルー溶液吸着量試験（J I S Z 2451：2019）	1
2. 2	陽イオン交換容量（C E C）及び浸出陽イオン量（L C：S F S A改良法）の測定	3
3	ベントナイトの性能特性値の比較	3
3. 1	M B C（メチレンブルー吸着量）	3
3. 2	陽イオン交換容量及び浸出陽イオン量	4
4	まとめ	6
5	参考文献	6

1 概要

廃棄物埋設地の設計検討において用いたベントナイト（クニゲル U）は既往文献における実績が少ないことから，多数の施工実績を有するクニゲル V 1 と比較して透水特性のうち低透水性が遜色ないものであることを確認する必要がある。

1. 1 ベントナイトの種類の違いについて

クニゲル U 及びクニゲル V 1 はクニミネ工業（株）の提供するベントナイト製品であり，どちらも山形県月布の同一鉱床から採掘されたベントナイト鉱石から製造されている。

クニゲル U とクニゲル V 1 の違いは，鉱床における 2 か所のベントナイト層から採掘したベントナイト鉱石の配合が異なる点にあり，粘性と膨潤力を基準としてグレード分けされたものであることから，材料の透水係数とグレードに直接的な関係はない。

1. 2 比較方針

ベントナイトの低透水性に影響する物性値として，「モンモリロナイト含有率」及び「交換性陽イオン量」が知られていることから，本件ではクニゲル U に対してこれらの物理量を試験にて評価し，クニゲル V 1 と比較する。

2 試験

2. 1 メチレンブルー溶液吸着量試験（J I S Z 2451：2019）

（1）試験概要

ベントナイトの低透水性に影響するモンモリロナイト量を把握

するための代替指標としてメチレンブルー溶液吸着量（以下「M B C」という。）を測定する。

対象のベントナイトは，クニゲルU及びクニゲルUの水簾（すいひ）品（モンモリロナイト 100％相当に精製したもの。以下「クニゲルU水簾品」という。）とする。

測定結果を用いて，透水係数の代替指標である有効モンモリロナイト乾燥密度の算定に必要なモンモリロナイト含有率を算定する。

（２）試験結果

第 1 表にメチレンブルー吸着量測定結果を示す。クニゲルU水簾品のM B C 138 mmol／100g に対し，クニゲルUのM B C の平均値は 70 mmol／100 g であることから，モンモリロナイト含有率は約 50％となる。

第 1 表 メチレンブルー吸着量測定結果

サンプル名	測定	M B C (mmol／100 g)
クニゲルU	1 回 目	71
	2 回 目	69
	3 回 目	69
クニゲルU水簾品	1 回 目	138
	2 回 目	138
	3 回 目	138

2. 2 陽イオン交換容量（C E C）及び浸出陽イオン量（L C : S F S A改良法）の測定

（1）試験概要

クニゲルUの陽イオン交換容量及び浸出陽イオン量を測定する。

（2）試験結果

第2表に陽イオン交換容量及び浸出陽イオン量（S F S A改良法）測定結果を示す。

クニゲルUの Na^+ とC E Cの比は、 $54.0 / 68.1 = 0.793$ と Na^+ が優勢である。

第2表 陽イオン交換容量（C E C）及び浸出陽イオン量（L C : S F S A改良法）測定結果

サンプル名	C E C	L C（S F S A改良法）（meq/100 g）				
	（meq/100 g）	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Total
クニゲルU	68.1	54.0	0.5	0.6	13.1	68.2

3 ベントナイトの性能特性値の比較

3. 1 M B C（メチレンブルー吸着量）

クニゲルUについての当社試験結果及びクニゲルV1についての文献における測定結果を第3表に整理した。

第3表より、クニゲルUのモンモリロナイト含有率の下限值付近はクニゲルV1と同程度であり、モンモリロナイト含有率については、大きな差は無いと考えられる。

第 3 表 クニゲル U と クニゲル V 1 の モンモリロナイト含有率

測定結果

項目	実施 年度	M B C (mmol／ 100g)	試験数	モンモリロ ナイト含有 率 (%)	備考
クニゲル U 試験結果 (当社実施)	2023①	69～71	3	50 ^{※ 1}	
	2023②	72～74	3	52.9 ^{※ 1}	2023①とは 別ロット品
	2021	68～70	3	45～47 ^{※ 2}	
	2022	66	3	44 ^{※ 2}	
クニゲル V 1 試験結果 (文献値)	—	66～92	—	44～61 ^{※ 2}	参考文献 ⁽¹⁾ ～(12)

※ 1 : モンモリロナイト 100%時の M B C 値はクニゲル U 水簸品の M
B C 138 (mmol／100g)

※ 2 : モンモリロナイト 100%時の M B C 値はクニピア F の M B C 150
(mmol／100g)

3. 2 陽イオン交換容量及び浸出陽イオン量

陽イオン交換容量及び浸出陽イオン量の比較を第 4 表に示す。電気事業連合会他⁽¹³⁾で用いられているモンモリロナイト特性より、クニゲル V 1 はモンモリロナイト含有率：48 wt%，陽イオン交換容量：60.1 meq／100 g，交換性ナトリウムイオンの当量濃度：51.4 meq／100 g となっている。よって交換性ナトリウム率（以下「ESP」という。）は $51.4 / 60.1 = 85.5\%$ である。

また、クニゲルU（S F S A改良法）は交換性ナトリウムイオンの当量濃度：54.0 meq／100 g となっている。よって、E S Pは54.0／68.1＝79.3％と、クニゲルV 1と比較してクニゲルUのE S Pは1割ほど低い結果である。

したがって、クニゲルUの交換性陽イオン量はクニゲルV 1のばらつきの範囲内と考えられ、透水性能への大きな影響はないと考える。

第4表 陽イオン交換容量（C E C）及び浸出陽イオン量（L C）の比較

項目	C E C (meq／ 100 g)	L C (meq／100g)					備考
		N a ⁺	K ⁺	M g ²⁺	C a ²⁺	Total	
クニゲルU 試験結果 (当社実施)	68.1	54.0	0.5	0.6	13.1	68.2	S F S A 改良法
クニゲルV 1 試験結果 (文献値)	60.1	51.4	0.6	0.7	7.4	60.1	電気事業 連合会他 (13)

4 まとめ

前項までの評価の通り，ベントナイトの性能特性値である「モンモリロナイト含有率」及び「交換性陽イオン量」についてクニゲルUとクニゲルV 1と比較した結果，大きな差はなかった。

したがって，クニゲルUとクニゲルV 1の低透水性に大きな差はなく，低透水性覆土の材料としてクニゲルUは性能要求を満たしていると考える。

5 参考文献

- (1) 松本一浩，菅野毅，藤田朝雄，鈴木英明（1997）：緩衝材の飽和透水特性，PNC TN 8410 97-296，動力炉・核燃料開発事業団，1997年4月
- (2) 前田宗宏，棚井憲治，伊藤勝，三原守弘，田中益弘（1998）：カルシウム型化及びカルシウム型ベントナイトの基本特性－膨潤圧，透水係数，一軸圧縮強度及び弾性係数－，PNC TN 8410 98-021，動力炉・核燃料開発事業団，1998年3月
- (3) 小峯秀雄，緒方信英（2001）：高レベル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋戻し材の透水特性，U00041，財団法人電力中央研究所，2001年4月
- (4) 佛田理恵，小峯秀雄，安原一哉，村上哲（2005）：高圧圧密試験装置を用いて算出したNa型およびCa型ベントナイトの透水係数に及ぼす人工海水の影響，第40回地盤工学研究発表会，651，2005年7月
- (5) 小峯秀雄，安原一哉，村上哲，佛田理恵，山口憲治，竹内靖典（2007）：人工海水環境下における各種ベントナイトの透水係数

に関する実験的研究, 土木学会第 62 回年次学術講演会, CS5-017,
2007 年 9 月

- (6) 小峯秀雄 (2008): ベントナイトの透水係数に関する既往研究データに対する透水係数理論評価式の適用性, 第 43 回地盤工学研究発表会, 530, 2008 年 7 月
- (7) 伊藤裕紀, 庭瀬一仁, 金子岳夫, 千々松正和, 中越章雄 (2010): 低配合ベントナイト混合土の長期状態変化を踏まえた設計手法に関する一考察, 土木学会第 65 回年次学術講演会, CS7-017, 2010 年 9 月
- (8) 伊藤紗由未, 小峯秀雄, 村上哲, 瀬戸井健一, 枝川賢司 (2013a): 10^{-9} m/s 以下の透水係数を有する低透水性土質材料のための小型変水位透水試験装置の試作と有効性の検討, 第 48 回地盤工学研究発表会, 547, 2013 年 7 月
- (9) 伊藤紗由未, 小峯秀雄, 村上哲 (2013b): 砂・ベントナイト混合土の透水係数に及ぼす作製過程の影響, 土木学会第 68 回年次学術講演会, III-182, 2013 年 9 月
- (10) 遠藤さち恵, 森川義人, 藤原斉郁 (2014): ベントナイト混合土における脆弱岩の適用性に関する研究 (その 1) - ベントナイト混合土の締固め・透水特性について -, 土木学会第 69 回年次学術講演会, CS9-016, 2014 年 9 月
- (11) 伊藤紗由未, 小峯秀雄, 村上哲, 瀬戸井健一 (2014): 剛壁型透水試験および柔壁型透水試験により得られた砂・ベントナイト混合土における透水係数の比較, 第 49 回地盤工学研究発表会, 8, 2014 年 7 月
- (12) 荻原績, 千々松正和, 高橋隆太郎, 西嶋久寿, 岡本大, 谷智之,

河原忠弘(2011):低配合ベントナイト混合土の施工性に関する検討,土木学会第66回年次学術講演会,CS3-029,2011年9月

- (13) 電気事業連合会,核燃料サイクル開発機構(2005):TRU廃棄物処分技術検討書ー第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめー,JNC TY1400 2005-013,FEPC TRU-TR2-2005-02,2005年9月

以上