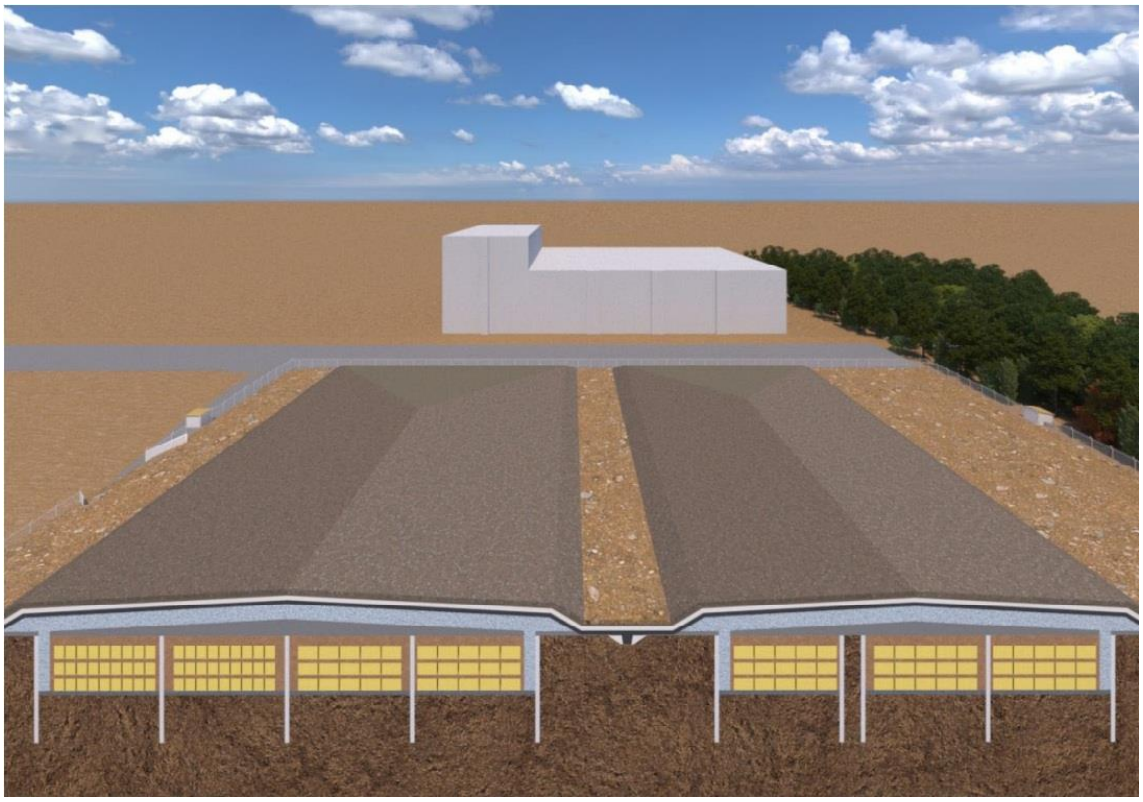
規制基準に対応した極低レベル放射性廃棄物処分施設と設計の考え方に関する研究

2025 年 9 月



公益社団法人　土木学会

エネルギー委員会

低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する

研究小委員会　分科会3（L3 処分施設検討）

概　　要

我が国においては、2011 年 3 月の東日本大震災に伴って発生した東京電力㈱福島第一原子力発電所事故以降、停止されていた原子力発電所の再稼働が徐々に増えて来ている一方、廃止措置を決定あるいは廃止措置中に至った原子力発電所が既に 24 基に達している（2025 年 6 月 19 日時点：経済産業省・資源エネルギー庁 HP,“原子力発電所の現状”より）。廃止措置後に発生することになる放射性廃棄物のうち、極低レベル放射性廃棄物（以下、「L3 廃棄物」という。）に関しては、各発電所を保有する電気事業者が処分の実施責任を負うことになっており、処分サイトの環境条件等に応じて現行の規制基準に対応した安全かつ合理的な処分施設を設置する方策の確立が今後の重要な課題となっている。

そこで、国内外での L3 廃棄物処分への取組み状況、あるいは現行の規制基準や日本原子力学会標準整備状況についての調査結果を整理すると共に、今後の我が国における規制基準に対応した L3 廃棄物埋設施設の概念と設計の考え方について検討取りまとめを行うことにより、今後の L3 廃棄物の安全かつ合理的な処分の推進に向けての一つの技術的な拠り所に資するものである。

2025 年 9 月
土木学会エネルギー委員会
低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する研究小委員会
委員長　大西 有三
同　研究小委員会　分科会 3（L3 処分施設検討）
主　査　苅込 敏

エネルギー委員会
低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する研究小委員会 委員構成

（2025年 3月現在：敬称略，50音順）

委員長　大西 有三　（京都大学 名誉教授）
副委員長　勝見 武　（京都大学大学院 教授）
幹事長　河西 基　（㈱アサノ大成基礎エンジニアリング／
（(一財)電力中央研究所 名誉シニアアドバイザー）

委 員

遠藤 和人（国立環境研究所）
苅込 敏[*1)]（日本原子力発電 ㈱）
佐々木 泰（日本原燃 ㈱）
杉山 大輔（(一財)電力中央研究所）
中居 邦浩（日揮 ㈱）
西坂 直樹（四国電力 ㈱）
万福 裕造（(国研)農業・食品産業技術総合研究機構）
宮脇 健太郎（明星大学）
加藤 和之（原子力損害賠償・廃炉等支援機構）
窪田 茂（原子力発電環境整備機構）
佐藤 努（北海道大学大学院）
土 宏之[*2)]（清水建設 ㈱）
新堀 雄一（東北大学）
森本 良（東京電力ホールディングス ㈱）
森本 英雄（前田建設工業 ㈱）

幹 事

山本 武志（(一財)電力中央研究所）
渡邊 保貴（(一財)電力中央研究所）

オブザーバー（常時参加者）

白土 博司[*3)]（東電設計 ㈱）

前委員（所属は就任時）

赤村 重紀（東京電力ホールディングス ㈱）
末広 俊夫（東京電力ホールディングス㈱）
蓮本 清二（東京電力ホールディングス ㈱）
油井 三和（福島工業高等専門学校）
石田 東生（筑波大学 名誉教授）[*4)]
高橋 利昌（四国電力 ㈱）
久田 真（東北大学大学院）
横山 慎吾（(一財)電力中央研究所）[*5)]

【注】*1) 分科会3 主査（L3処分施設検討）
*2) 分科会1 主査（除染廃棄物対策検討）
*3) 分科会2 主査（1F事故廃棄物対策検討）
*4) 研究小委員会 専門委員
*5) 研究小委員会 幹事

エネルギー委員会
低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する研究小委員会
分科会3（除染廃棄物対策検討） 委員構成

（2025年 3月現在；敬称略，50 音順）

主　査　　苅込　　敏（日本原子力発電 ㈱）
副主査　　野口　裕史（日本原子力発電 ㈱）

委 員

池田　孝夫　（日揮 ㈱）
坂井　章浩　（（国研） 日本原子力研究開発機構）
杉　　俊二　（大日本ダイヤコンサルタント ㈱）
高尾　肇　（日揮 ㈱）
福田　和人（前田建設工業 ㈱）
山田　淳夫　（㈱ 安藤・間）
押部　甚一　（東電設計 ㈱）
佐々木　泰[*1)]　（日本原燃 ㈱）
須山　泰宏　（鹿島建設 ㈱）
土　　宏之[*2)]　（清水建設 ㈱）
松田　　武　（㈱大林組）

分科会代表幹事

河西　基[*3)]（㈱アサノ大成基礎エンジニアリング／（一財）電力中央研究所 名誉シニアアドバイザー）
山本　武志（（一財）電力中央研究所）[*4)]　　渡邊　保貴[*4)]　（（一財）電力中央研究所）

前委員（所属は就任時）

今井　久　（㈱ 安藤・間）
杉橋　直行　（清水建設 ㈱）
矢島　一昭　（㈱ ダイヤコンサルタント）
江口　逸雄　（三菱マテリアル ㈱）
根本　浩史　（清水建設 ㈱）
山本　修一　（㈱ 大林組）

【注】*1）研究小委員会 委員
*2）分科会1主査（除染廃棄物対策検討）
*3）研究小委員会 幹事長
*4）研究小委員会 幹事

目　　次

1 はじめに---------- 1
（1） 背景･目的 ---------- 1
（2） 成果の概要---------- 1

2 諸外国における極低レベル放射性廃棄物を取り扱う処分場に関する調査 ---------- 7
2．1 アメリカ---------- 7
（1） 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場 ---------- 7
（2） リッチランド---------- 9
① 概要---------- 9
② 操業開始----------11
③ 受入廃棄物----------11
④ 処分容量----------11
⑤ 処分施設の構造----------12
⑥ 地下水----------14
⑦ 降雨量----------15
⑧ 廃棄物埋設状況----------15
（3） バーンウェル----------15
① 概要----------15
② 操業開始----------16
③ 受入廃棄物----------16
④ 処分容量----------17
⑤ 処分施設の構造----------17
⑥ 地下水----------21
⑦ 降雨量----------21
⑧ 廃棄物埋設状況----------21
（4） クライブ----------24
① 概要----------24
② 操業開始----------25
③ 受入廃棄物----------25
④ 処分容量----------26
⑤ 処分施設の構造----------26
⑥ 地下水----------27
⑦ 降雨量----------28
⑧ 廃棄物埋設状況----------28

（５） ＷＣＳテキサス----------30
① 概要----------30
② 操業開始----------31
③ 受入廃棄物----------31
④ 処分容量----------32
⑤ 立地条件----------32
⑥ 処分施設の構造----------33
⑦ 地下水----------37
⑧ 廃棄物埋設状況----------38
参考文献（アメリカ） ---------- 39

２．２ フランス---------- 43
（１） 極低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場 ----------43
（２） モルヴィリエ極低レベル放射性廃棄物処分場 ----------44
① 概要----------44
② 操業開始----------46
③ 受入廃棄物----------46
④ 処分容量----------46
⑤ 処分施設の構造----------46
⑥ 廃棄物埋設状況----------49
⑦ モニタリング期間----------52
参考文献（フランス） ---------- 53

２．３ イギリス---------- 54
（１） 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場 ----------54
（２） ドリッグ処分場----------55
① 概要----------55
② 操業開始----------56
③ 受入廃棄物----------57
④ 処分容量----------58
⑤ 処分施設の構造----------58
⑥ 地下水----------70
⑦ 廃棄物埋設状況----------71
参考文献（イギリス） ---------- 72

２．４ スウェーデン---------- 74
（１） 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場 ----------74
（２） スウェーデン国内における各処分場----------75

① 概要----------75
② 操業開始----------78
③ 受入廃棄物----------78
④ 処分容量及び放射能量----------78
⑤ 処分シナリオ----------78
⑥ VLLW 処分施設の設計----------80
⑦ 各処分場の構造----------82
⑧ 地下水----------89
⑨ 廃棄物埋設状況----------90
参考文献（スウェーデン）---------- 92

２．５ スペイン---------- 93
（１） 低レベル放射性廃棄物の処分場----------93
① 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場----------93
② スペイン国内の放射性廃棄物処分場における廃棄物受入基準----------94
（２） エルカブリル処分場----------95
① 概要----------95
② 操業開始----------97
③ 受入廃棄物----------97
④ 処分容量----------98
⑤ 処分施設の構造----------98
⑥ VLLW 処分場の安全評価---------- 105
⑦ 廃棄物埋設状況（VLLW）---------- 106
参考文献（スペイン）---------- 107

３ 類型化された地形・地質環境条件に応じた L3 廃棄物埋設施設概念検討（設計概念）
---------- 109
３．１ 埋設施設の概要---------- 109
３．２ 埋設施設への人工構造物の適用について---------- 112
（１） 地下水移行経路（移行距離および流出点の位置）---------- 113
（２） 対策期間---------- 114
（３） 地下水位と廃棄物埋設深度---------- 117
（４） 地質条件（地下水移行経路としての地盤特性）---------- 117
（５） 人工構造物設置の目的例---------- 118
３．３ 考慮すべき地形及び各々の地形に適した処分場構造の抽出---------- 120
（１） 平地---------- 120
（２） 丘陵地斜面---------- 120
（３） 沢地形---------- 120

（４） 急峻地形---120
３．４ 設置場所の条件---122
３．４．１ 地盤に対する要求事項---122
（１） 安全機能を有する施設を十分支持できる地盤---122
（２） 地殻変動による廃棄物埋設施設の変形---125
（３） 変位が生ずるおそれがない地盤---131
３．４．２ 地震に対する要求事項---131
３．４．３ 津波に対する要求事項---132
３．５ VLLW 処分場の設計概念---132
（１） 許可基準規則・解釈の要求事項---132
（２） 設計に考慮すべき事項---133
（３） 地下水位---136
３．６ 地形形状に適した埋設施設構造---136
３．６．１ 掘下型埋設施設---138
（１） 掘下型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形---138
（２） 平地における掘下型埋設施設---141
（３） 丘陵地斜面における掘下型埋設施設---146
３．６．２ 盛土型埋設施設---149
（１） 盛土型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形---149
（２） 平地における盛土型埋設施設の構造---152
（３） 丘陵地斜面における盛土型埋設施設---156
（４） 沢地における盛土型埋設施設---161
３．６．３ 半地下式盛土型埋設施設---164
（１） 半地下式盛土型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形---164
（２） 平地における半地下盛土型埋設施設の構造---166
（３） 丘陵地斜面における半地下盛土型埋設施設の構造---170
３．６．４ トンネル型埋設施設---173
（１） トンネル型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形---173
（２） 急峻地形におけるトンネル型埋設施設の構造---174
参考文献（類型化された地形・地質環境条件に応じた L3 廃棄物埋設施設概念検討）--176

４ 総括---178

５ おわりに---190

1　はじめに

（1） 背景･目的

我が国においては、2011 年 3 月の東日本大震災に伴って発生した東京電力㈱福島第一原子力発電所事故以降、停止されていた原子力発電所の再稼働が徐々に増えて来ている一方、廃止措置を決定あるいは廃止措置中に至った原子力発電所が既に 24 基に達している。廃止措置後に発生することになる放射性廃棄物のうち、L3 廃棄物に関しては、各発電所を保有する電気事業者が処分の実施責任を負うことになっており、処分サイトの環境条件等に応じて現行の規制基準に対応した安全かつ合理的な処分施設を設置する方策の確立が今後の重要な課題となっている。

そこで、国内外での L3 廃棄物処分への取組み状況、あるいは現行の規制基準や日本原子力学会標準整備状況についての調査結果を整理すると共に、今後の我が国における最新の規制基準に対応した L3 廃棄物埋設施設の概念と設計の考え方について検討取りまとめを行うことにより、今後の L3 廃棄物の安全かつ合理的な処分の推進に向けての技術的な拠り所に資することを目的とする。

（2） 成果の概要

（2－1）諸外国における L3 廃棄物を取り扱う処分場に関する調査

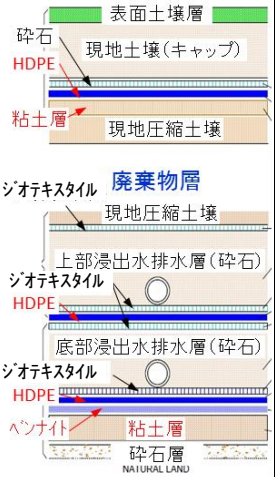
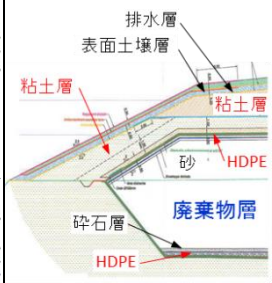
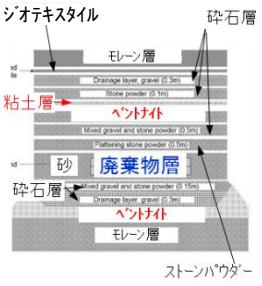
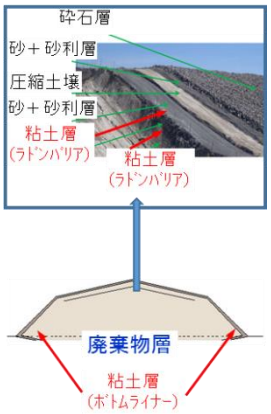
「2　諸外国における L3 廃棄物を取り扱う処分場に関する調査」においては、諸外国における L3 廃棄物を受け入れている処分場で取扱う廃棄物の性状、施設構造、及び施設設計の考え方等に関する既存情報を次のような２つの観点より調査・整理した。

表 1.(2)-1　新規制基準等への対応に関する既存情報の調査･整理

調査項目	検討のねらい
1) 諸外国における L3 廃棄物処分の取組状況の調査・整理	・諸外国における L3 廃棄物を取り扱う L3 廃棄物埋設施設の構造等を把握し、「3 類型化された地形・地質環境条件に応じた L3 廃棄物埋設施設概念検討（設計概念）」で検討する施設概念、新規制基準対応に関する課題抽出・対応策検討に資する。
2) 規制・基準、学会標準の整備状況の調査・整理	・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、「許可基準規則」という。）等の改正（2021 年 10 月 21 日改正）を踏まえた、日本原子力学会標準改正の状況を調査し、本分科会での検討結果の活用も提案する。

諸外国における L3 廃棄物等の処分の取り組み状況を調査・整理した概要を表 1.(2)-2 に示す。

表 1.(2)-2　諸外国における L3 廃棄物処分の取組状況の調査・整理結果の概要

	エルカブリル （スペイン）	モルヴィリエ （フランス）	フォルスマルク （スウェーデン）	クライブ （アメリカ）
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
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、フィルム梱包	容器なし、コンクリート容器、大型機器一体
処分場 型式	半地下式盛土型 （丘陵地斜面）	半地下式盛土型 （丘陵地斜面）	盛土型 （平地）	半地下式盛土型 （平地）
設計の 考え方	非放射性の有害廃棄物処分施設に係る規制基準に基づき、放射性及び有害廃棄物の両方を埋設することを可能としている		覆土の透水係数（10^{-10} m／s 以下）及び浸透量（5 ℓ／m^2／y）が法令要求	ラドン放出基準（0.74 Bq／m^2／s）を遵守するためにラドンバリア設置
施設構造 （詳細は別冊参照）				

L3 廃棄物処分場の調査対象としたのはアメリカ（リッチランド、バーンウェル、クライブ、WCS テキサス）、フランス（モルヴィリエ）、イギリス（ドリッグ）、スウェーデン（フォルスマルク）、スペイン(エルカブリル)の 5 ヶ国 8 処分場であり、諸外国では、平地もしくは丘陵地斜面での半地下式盛土型（一部では盛土型）が多かった。表 1.(2)-2 はその主な処分場の調査整理結果をまとめたものである。また、諸外国での設計の考え方として、非放射性

の有害廃棄物処分施設に係る規制基準に基づき、放射性及び有害廃棄物の両方を埋設処分可能としているところも見受けられた。

表 1.(2)-3　諸外国における取組状況の調査・整理

受入廃棄物	■ 日　本：金属・コンクリートに限定（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。）が 2019 年 12 月 5 日に改正され、廃棄体にした場合、金属・コンクリート以外の廃棄物も埋設可能となった。） ■ 諸外国：上記に加え、可燃物、有害物質及びウラン廃棄物も受け入れ可能
施設設計の考え方	諸外国で遮水シート等による遮水層を設置している理由は以下のとおり。 ■ スペイン・フランス： 放射性廃棄物及び有害廃棄物の両方を埋設可能とするため、有害廃棄物処分場に係る基準に準拠している。 ■ スウェーデン： 覆土の浸透係数（10^{-10} m／s 以下）及び浸透量（5ℓ／m^2／y）の法令要求あり。 ■ アメリカ（クライブ）： ラドン放出基準（0.74 Bq／m^2／s）を満足させるため、粘土層を設置。

表 1.(2)-3 に示すとおり、当初日本における受入れ可能な廃棄物対象は、金属・コンクリート類の放射性廃棄物に限定されていた。一方、諸外国ではそれらに加えて、可燃物、有害物質及びウラン廃棄物等も受入れ可能としているところが我が国とは異なるところであったため、必ずしもベントナイト混合土等の低透水覆土や遮水シートによる遮水層の設置が必要ではなかった。しかし、2019 年 12 月 5 日の許可基準規則の改正により、覆土等により雨水及び地下水の浸入を十分に抑制し、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ことが要求され、その目安として国内の一般廃棄物・産業廃棄物処分場の性能（覆土厚さ 50cm 以上､透水係数 10^{-8}m/s 以下)に比べて遜色のないものという考え方が示された。それに合わせて、事業規則も改正され、容器に封入し固型化すれば金属・コンクリート以外の液体状の放射性廃棄物、イオン交換樹脂、焼却灰、フィルタスラッジ、その他粉状・粒状廃棄物も埋設可能となった。さらに、2021 年 10 月 21 日の改正においては、ウラン廃棄物の埋設も可能となり、諸外国と同様の種類の廃棄物が埋設可能となったため、諸外国における埋設施設の設計を参考にしつつ、埋設対象廃棄物の性状、埋設施設の設置環境、地質環境に応じた設計を行う必要がある。

（２－２）類型化された地形条件に応じた埋設施設概念の検討

L3 廃棄物は基本的に各サイト内で保管・管理の後、個別に処分が検討されることになっており、処分場に関してはオンサイトあるいは別のサイトとするかは発電所ごとの事情に応じて決められることになる。処分場の立地場所は、地形、地質・地盤、地下水等様々な条件が想定されることから、想定されるサイト条件を類型化して、それらに応じた処分施設形態

や技術的な考慮事項等に関して予備的検討を行い、今後の事業主体による対応策の具体的検討に資する検討を「３　類型化された地形条件に応じた埋設施設概念の検討」において行った。

主な結果は以下のとおりである。

①　考慮すべき L3 廃棄物埋設施設の立地地形パターンの抽出

これまでの国内 L3 廃棄物埋設施設の実績又は検討例では平地が主であるが、海外では平地の他、丘陵地斜面でも設置実績があり、国土が狭い我が国においては、今後平地以外での設置についても考慮することが必要と考えられる。これらを踏まえて、今後検討対象として考慮すべき L3 廃棄物埋設施設の立地地形パターンとして平地、丘陵地斜面、沢地形、急峻地形を抽出・類型化した（図 1.(2)-1 参照）。

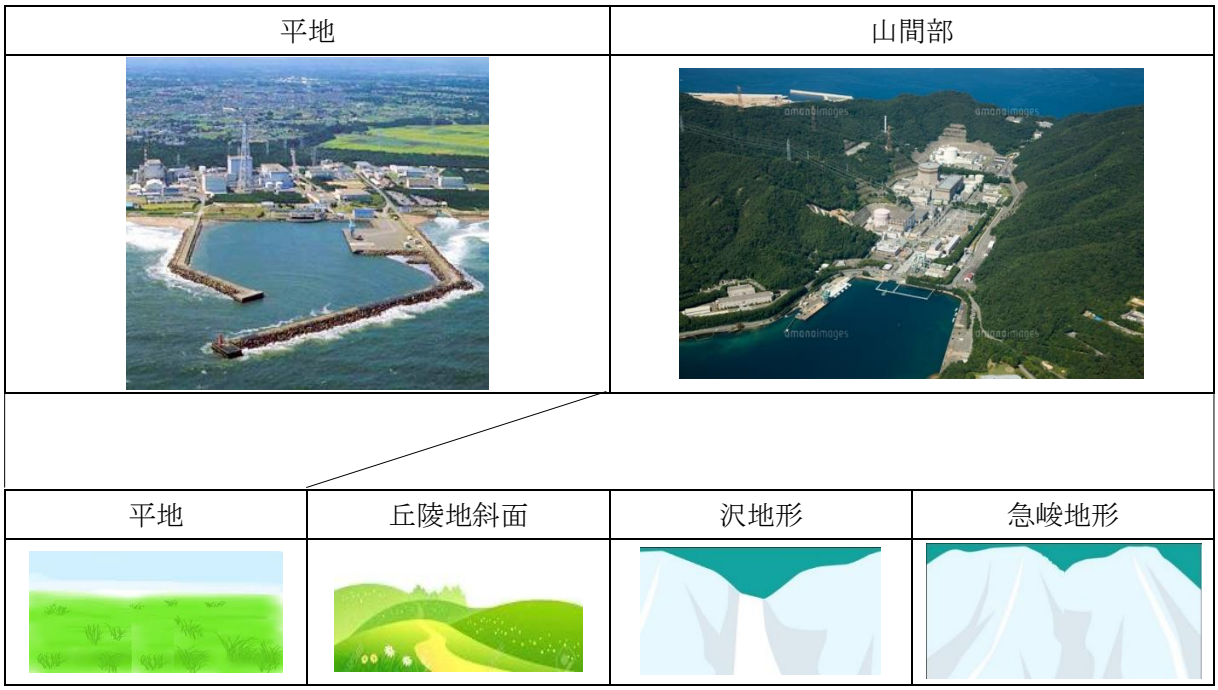


図 1.(2)-1　考慮すべき L3 廃棄物埋設施設の立地地形パターン例

②　地形に応じた L3 廃棄物埋設施設構造の抽出

上述のように抽出した地形分類に適した L3 廃棄物埋設施設の施設構造として、掘下型埋設施設、盛土型埋設施設、半地下式盛土型埋設施設、あるいは急峻地形ではトンネル型埋設施設の可能性も提案した（図 1.(2)-2 参照）。

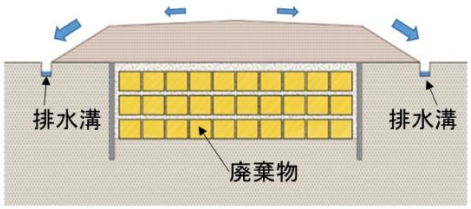
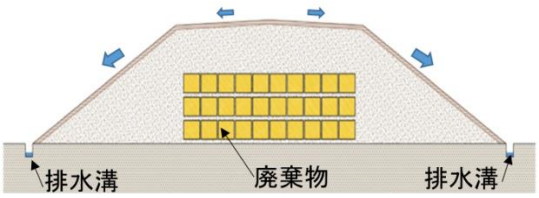
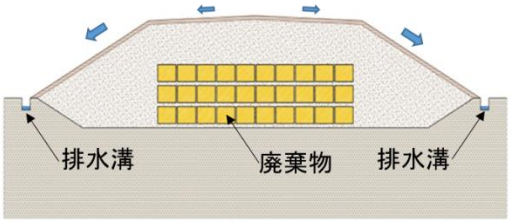
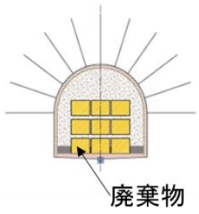
<table>
<tr><td>掘下型埋設施設
［適用地形：平地、丘陵地斜面］</td><td>盛土型埋設施設
［適用地形：平地、丘陵地斜面］</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>盛土 ＋ 掘下型埋設施設（半地下式盛土型）
［適用地形：平地、丘陵地斜面、沢地形］</td><td>トンネル型埋設施設
［適用地形：急峻地形］</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

図 1.(2)-2　地形条件に適した L3 廃棄物埋設施設の構造例

③　L3 廃棄物埋設施設の設計に必要な対策

L3 廃棄物埋設施設の設計にあたっては、2021 年 10 月 21 日に改正された「許可基準規則の解釈」を参考に、必要な対策とその設計事項を以下のとおり抽出・整理した。

a. 雨水・地下水対策⇒バリア（遮水工）

(a)　雨水・地下水浸入抑制対策

廃棄物埋設施設へ浸入する雨水及び地下水の浸透水量を低減する対策を考慮した設計とする。

(b)　浸出抑制対策

廃棄物埋設施設底部への地下水浸出抑制及び廃棄物埋設施設からの浸出水の抑制対策を考慮した設計とする。なお、b.の自然現象対策のうち、台風、降水、積雪等が発生した場合における排水対策も、浸出抑制対策に含む。

b. 自然現象対策⇒バリア（鉛直遮水工）、法面保護、キャッピング、排水

(a)　飛砂対策

台風又は竜巻が発生した場合における、飛砂防止対策を考慮した埋設施設を設計する。

(b)　法面崩落・流出対策

地震、洪水、台風及び竜巻が発生した場合における法面崩落対策を考慮した埋設施設を設計する。

(c)　側部流入対策

洪水、台風、降水及び積雪が発生した場合における、埋設施設側部への流入対策を考慮

した埋設施設を設計する。

(d) 排水対策

台風、降水、積雪等が発生した場合における、排水対策を考慮した埋設施設を設計する。

(注) 埋設施設の設計に当たっては、廃棄物埋設施設底部と地下水位の位置関係によって、雨水・地下水対策など必要な対策が異なる。

②で抽出した地形に応じた L3 廃棄物埋設施設構造に対する設計に必要な対策を表 1.(2)-4 にまとめた。

表 1.(2)-4　地形形状に適した L3 廃棄物埋設施設構造の検討項目

地形	埋設施設構造	雨水・地下水対策	自然事象対策	備考
平地	掘下型	・雨水抑制対策 ・雨水＋地下水抑制対策	・飛砂対策 ・排水対策	廃棄物底面と地下水の位置関係により対策が異なる
	盛土型		・法面崩落/流出対策 ・飛砂対策 ・排水対策	
	半地下式盛土型			
丘陵地斜面	掘下型			
	盛土型			
	半地下式盛土型			
沢地形	盛土型			廃棄物底面が地下水より上
急峻地形	トンネル型	・排水対策	・崩落対策 ・排水（湧水）対策	

④　地形形状に適した L3 廃棄物埋設施設構造の検討項目

上述のように抽出したそれぞれの地形形状に適した埋設施設構造に係る設計概念の検討に必要な対策として、雨水・地下水対策に加え、許可基準規則・解釈で要求されている自然現象からの衝撃による損傷対策について、表 1.(2)-4 に示すような検討項目に整理した。これらの対策については、産業廃棄物処分場や海外の VLLW 処分場で適用されている既存の土木技術を参考に検討する必要がある。

２　諸外国における L3 廃棄物（VLLW）を取り扱う処分場に関する調査

２．１　アメリカ

（１） 低レベル放射性廃棄物（LLW）の処分実施主体及び処分場

表 2.1.(1)-1　低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場（アメリカ）

処分場名	取扱廃棄物※1	処分実施主体	受入可能な州
リッチランド（ワシントン州）	Class A, B, C	US エコロジー社	ノースウェスト・コンパクト※2（アラスカ州、ハワイ州、アイダホ州、モンタナ州、オレゴン州、ユタ州、ワシントン州、ワイオミング州）及びロッキーマウンテン・コンパクト（コロラド州、ネバダ州、ニューメキシコ州）
バーンウェル（サウスカロライナ州）	Class A, B, C	エナジーソリューションズ社	アトランティック・コンパクト（サウスカロライナ州、コネティカット州、ニュージャージー州）
クライブ（ユタ州）	Class A	エナジーソリューションズ社	米国内の全領域
WCS テキサス（テキサス州）	Class A, B, C	ウエスト・コントロール・スペシャリスト社	テキサス・コンパクト（テキサス州、バーモント州）

（出典：文献 1 及び文献 4 を改変して転載）

※1：米国の放射能濃度上限値（参考値）［Bq／t］注

・Class A（Ｃｏ－60：8.9×10^{12}、Ｓｒ－90：5.1×10^{8}、Ｃｓ－137：1.3×10^{10}）⇒L3 相当

・Class B（Ｓｒ－90：1.9×10^{12}、Ｃｓ－137：5.6×10^{11}）⇒L2 相当

・Class C（Ｃ－14：1.0×10^{11}、Ｔｃ－99：3.8×10^{10}）

・GTCC（Class C 以上の放射能）⇒L1 相当

（出典：文献 2, P2 Table.2 を参考に編集作成）

注）米国の放射能濃度上限値の単位は Ci／m^3のため、現状電気事業者で想定している L2 廃棄体の金属廃棄物の充填率 11 %、砂・モルタル充填率 89 %より次のように単位を Bq／t に換算した。（11%×7.8＋89%×2.3＝2.91 t／m^3、1Ci＝3.7×10^{10} Bq）

日本の放射能濃度上限値［Bq／t］（参考）

・L3 （Ｃｏ－60：1.0×10^{10}、Ｓｒ－90：1.0×10^{7}、Ｃｓ－137：1.0×10^{8}）

・L2（Ｓｒ－90：1.0×10^{13}、Ｃｓ－137：1.0×10^{14}）

・L1（Ｃ－14：1.0×10^{16}、Ｔｃ－99：1.0×10^{14}）

※2：州内で発生する低レベル放射性廃棄物は州が責任を持つこと、その際地域全体で解決を図るために構築した、州間の地域的協力体制を定めた州間協定のこと（図 2.1.(1)-2 参照）。

図 2.1.(1)-1　アメリカの主な低レベル放射性廃棄物処分場の設置場所広域マップ

（出典：Google マップを編集加工）

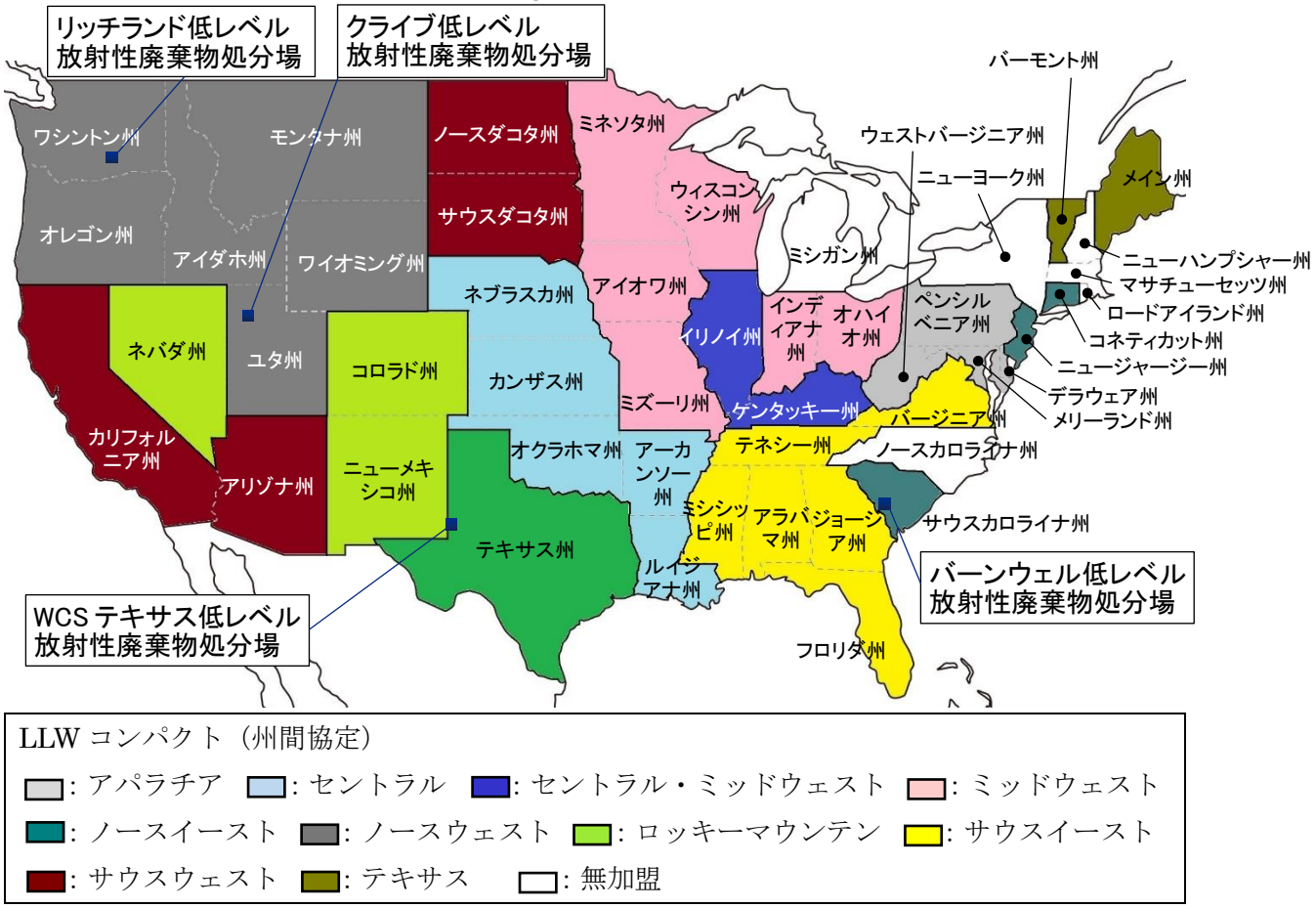


図 2.1.(1)-2　アメリカ LLW コンパクト（州間協定）地域マップ

（出典：文献 4 を参考に編集作成）

（２） リッチランド処分場

① 概要

リッチランド処分場は、ワシントン州リッチランドの約 30 km 北にあり、1965 年から民間処分場として低レベル放射性廃棄物の処分が行われている。

操業者は、US エコロジー社であり、処分場の土地は、ワシントン州が連邦政府から 100 年間借り受け、US エコロジー社に転貸されている。リッチランド処分場は、エネルギー省（DOE）のハンフォード・サイトの中に位置している。

リッチランド処分場では、浅地中処分可能な全ての低レベル放射性廃棄物の受け入れ、処分が可能である。ただし、Class A, B, C の低レベル放射性廃棄物の受け入れは、ノースウェスト・コンパクト、またはロッキーマウンテン・コンパクトに加盟する州からの放射性廃棄物のみとなっている。

リッチランド処分場は、土地の賃貸契約が切れる 2063 年よりも 7 年早い、2056 年に閉鎖するとの予定が示されている。

（出典：文献 3, P55 より転載）

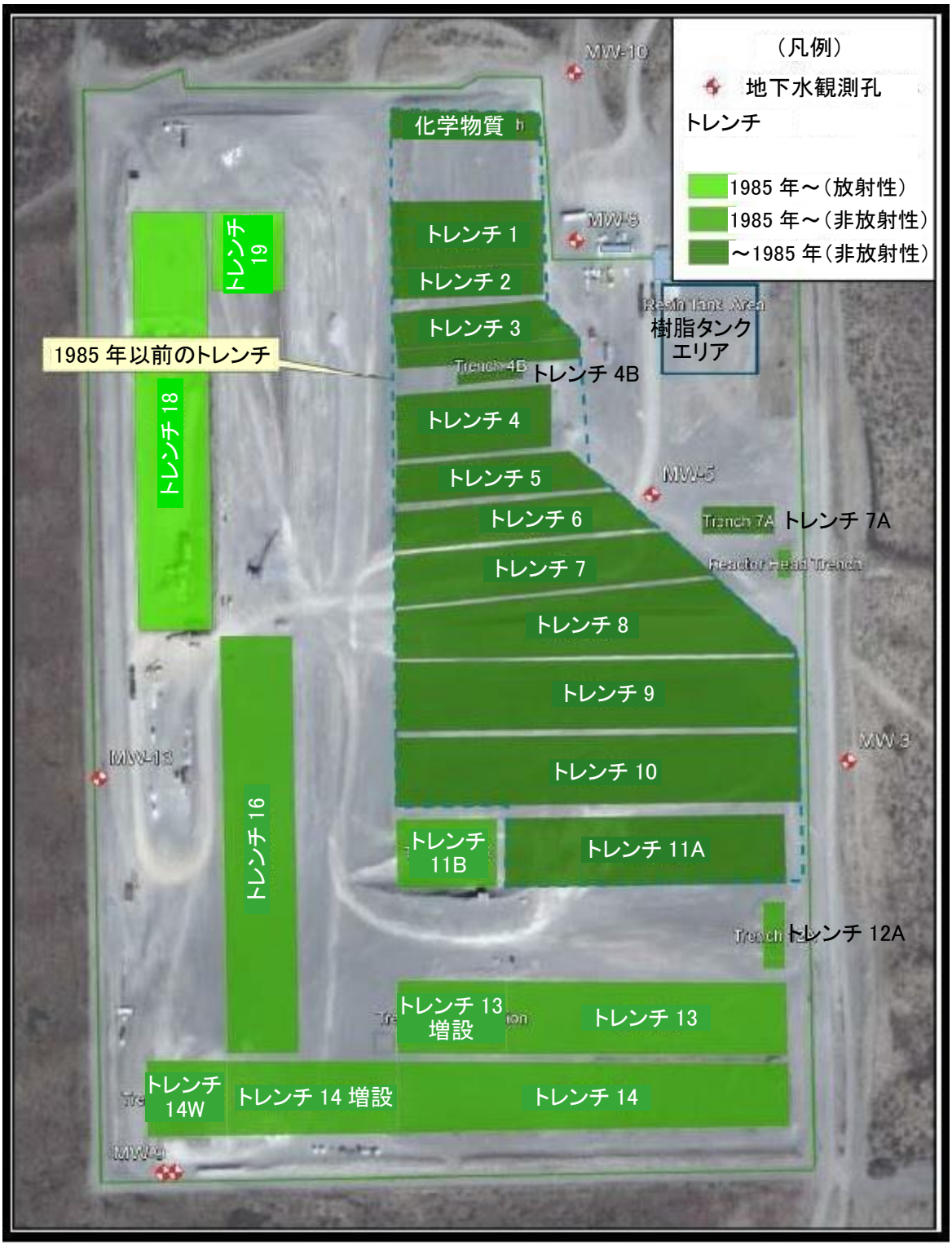


図 2.1.(2)-1　リッチランド処分場の施設配置図（2012 年現在）

（出典：文献 33 P9 Figure4.0 を一部修正して転載）

② 操業開始

1965 年

（出典：文献 3, P55 を参考に作成）

③ 受入廃棄物

リッチランド処分場で受け入れている低レベル放射性廃棄物を表 2.1.(2)-1 に示す。

表 2.1.(2)-1　リッチランド処分場の受入対象廃棄物

対象廃棄物	・ノースウェスト・コンパクト及びロッキーマウンテン・コンパクトからの Class A, B, C 低レベル放射性廃棄物 ✓ Class A（廃棄物割合 98 %、放射能量割合 2.6 %）：使用済保護服、医療廃棄物 ✓ Class B（廃棄物割合 0.83 %、放射能量割合 19 %）：長半減期廃棄物、原子力発電所から発生する金属／フィルタ／機器廃棄物、産業廃棄物 ✓ Class C（廃棄物割合 0.75 %、放射能量割合 78.3 %）：原子力発電所、医療研究機関及び産業から発生する廃棄物 ・アメリカ国内で発生した天然由来の放射性物質及び加速器によって製造しうる放射性物質を含む廃棄物（NARM：Naturally occurring and accelerator-produced radioactive materials）。 ・過去には、非放射性の有害物を含む廃棄物を埋設していた時期がある。

（出典：文献 3, P55、文献 5, P58 及び文献 6 を参考に編集作成）

④ 処分容量

リッチランド処分場の処分容量は約 170 万 m^3 で、そのうち既に埋設済みの容量は約 40 万 m^3 である（2016 年 12 月末時点）。

（出典：文献 3, P55 を参考に編集作成）

リッチランド処分場で受け入れ可能な総放射能量を表 2.1.(2)-2 に示す。

表 2.1.(2)-2　リッチランド処分場における総放射能量

核種	総放射能量［1965 年～2056 年］	
	（Ci）	（Bq）
H－3	8.6×10^{5}	3.2×10^{16}
C－14	5.1×10^{3}	1.9×10^{14}
Cl－36	3.2×10^{0}	1.2×10^{11}
Co－60	1.5×10^{6}	5.7×10^{16}
I－129	6.0×10^{0}	2.2×10^{11}
Cs－137	1.2×10^{5}	4.5×10^{15}
Pu－238	1.1×10^{4}	3.9×10^{14}
Pu－239	4.5×10^{3}	1.7×10^{14}
Ra－226	3.2×10^{2}	1.2×10^{13}

核種	総放射能量［1965 年～2056 年］	
	（Ci）	（Bq）
Ｔｃ－99	5.5×10^{1}	2.0×10^{12}
Ｕ－234	2.8×10^{2}	1.0×10^{13}
Ｕ－235	3.1×10^{1}	1.1×10^{12}
Ｕ－238	1.5×10^{3}	5.6×10^{13}
Ａｍ－241	4.7×10^{2}	1.7×10^{13}

（出典：文献 7, P17 Table.2-1.1 を参考に作成）

⑤　処分施設の構造

リッチランド処分場は、浅地中の素掘りトレンチで、典型的なトレンチは幅約 45 m、深さ約 14 m、長さ約 260 m であり、廃棄物パッケージを処分する「掘下げ＋盛土型」のトレンチ施設である。施設構造の公開情報がなく詳細は不明であるが、これまでに入手した写真からは、⑧廃棄物埋設状況のとおり現状は特別な遮水構造は確認できず、砂による覆土のみと推測される。

ただし、処分施設を閉鎖する際は、ワシントン州の所轄官庁が作成した、最終環境影響評価書（FEIS：Final Environmental Impact Statement）で定められている以下の性能基準を満たした閉鎖用覆土を施すことになっている。

・雨水浸透率：0.5 mm／y 以下
・覆土厚さ：5 m 以上
・オフサイト線量：220 μSv／y 以下
・オンサイト線量：1,070 μSv／y 以下

覆土設計には以下に示す 4 つの選択肢がある（図 2.1.(2)-2 参照）。

a.　対策なし：埋設地土壌による覆土

現地土壌は主に砂質ロームであり、砂含有量が高く、有機物が少なく、保水力が低い。本案は、ワシントン州法の 246-250 Washington Administrative Code (WAC)に基づいて承認された閉鎖計画に必要な要件を満たしていないため、ライセンス申請の更新ができなかった。

b.　代替案１：US エコロジー社提案の覆土

本案は、1996 年に US エコロジー社が提出した閉鎖計画で提案された覆土設計である。US エコロジー社提案の覆土は約 5 m の多層バリアである。覆土の主な特徴は、50%の砂利を含む約 0.1 m の表面層、約 0.9 m のシルトローム層、及び約 0.3 m のベントナイト粘土（12 %）の低透水性のバリアである。この覆土は、ワシントン州保健省（DOH）及びワシントン州人類生態学省と連携して設計された。

c.　代替案２：均質覆土

均質覆土の全体の厚さ約 5 m で、最上段の層と 2 番目の層には厚さ約 1.5 m のシル

トローム層がある。本覆土と US エコロジー社提案の覆土（代替案 1）の違いは、シルトローム層の厚さを約 0.9 m から約 1.5 m に増加させたこと、及びシルトローム層内のシルトの割合を 75 %から 85 %に増加させていることである。このカバーは、US エコロジー社がネバダ州のビーティ低レベル廃棄物サイトを閉鎖する際に選択された設計に類似している。

d. 代替案３：強化覆土

強化覆土の設計には、3 種類のものがある。3 種類の案すべてに約 1.5 m のシルトローム層と低透水性のバリアが含まれている。覆土のタイプは、透水性によって異なり、以下の 3 つの設計がある。

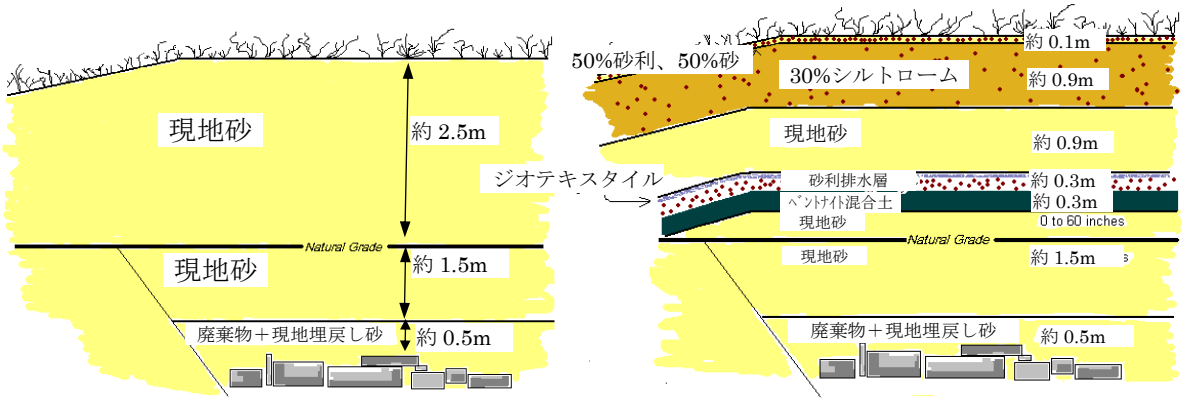
(a) アスファルト：約 0.3 m のアスファルトバリア

(b) ジオシンセティックス：ジオテキスタイルクレイレイヤー

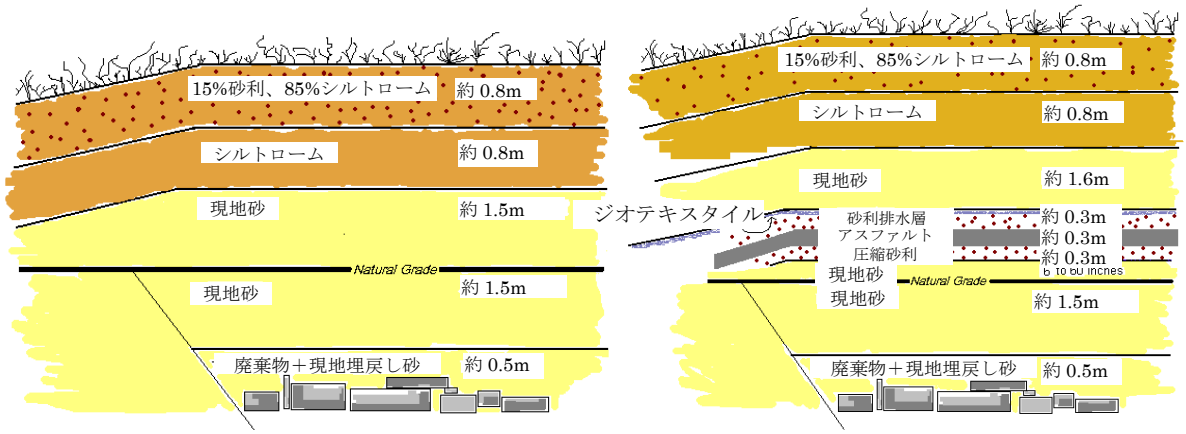
(c) ベントナイト：約 0.3 m のベントナイトバリア

覆土設計の選択肢の違いは、覆土表面層の砂利の量、上部約 1.5 m のシルトローム土壌の割合と量、及び低透水性のバリアの存在とその特性である。砂利は、覆土表層の侵食を最小限にするために表面層に含んでいる。シルトローム層は、植物の成長の促進及び浸透水の低減のために用いている。低透水性のバリアは、ラドンガスの発散の低減、及び廃棄物層への浸透水の浸入に対する第 2 レベルの保護として、いくつかの層に設けている。

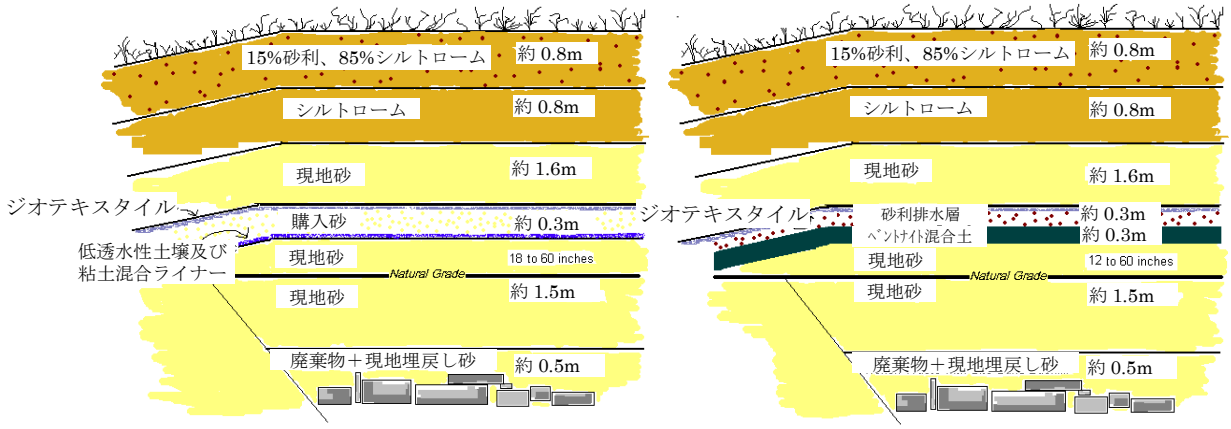
（出典：文献 3, P55, 文献 5, P19～20, P73～75, 文献 8, P1 を参考に編集作成）



覆土設計（対策なし）：埋設地土壌　　代替案 1：US Ecology 社提案覆土



代替案 2：均質覆土　　代替案 3-(a)：強化覆土（アスファルト）



代替案 3-(b)：強化覆土（ジオシンセティックス）　　代替案 3-(c)：強化覆土（ベントナイト）

図 2.1.(2)-2　リッチランド処分場の覆土構造の検討例

（出典：文献 5, P78～83 Fig.3.A, 3.B, 3.C, 3.D, 3.E, 3.F を改変して転載）

⑥　**地下水**

地下水までの平均深度：約 96 m

（出典：文献 5, P47 Table.2.A を参考に作成）

⑦　降雨量

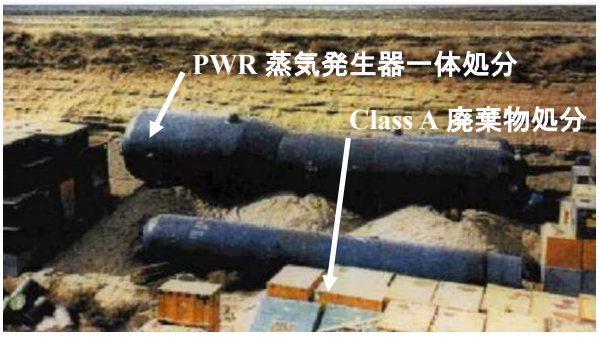
年間降雨量：約 152 mm／y

（出典：文献 5, P47 Table.2.A を参考に作成）

⑧　廃棄物埋設状況

図 2.1.(2)-3 に Class A 及び Class B 廃棄物の埋設状況を示す。Class A 廃棄物については、コンテナに収納し、Class B 廃棄物については、廃棄物をコンクリート製の容器に収納して処分される。図では、コンクリート容器の空隙に砂を充填している作業を示している。大型機器（蒸気発生器等）はそのままの形状で埋設している。なお、廃棄物定置作業は、テント等で覆うこともなく屋外で実施している。

a. Class B 廃棄物の処分状況
（出典：文献 3, P55 より転載）



b. PWR 蒸気発生器一体処分／Class A 廃棄物の処分状況
（出典：文献 9, P20 より転載）

図 2.1.(2)-3　リッチランド処分場における廃棄物埋設状況（Class A, B 廃棄物）

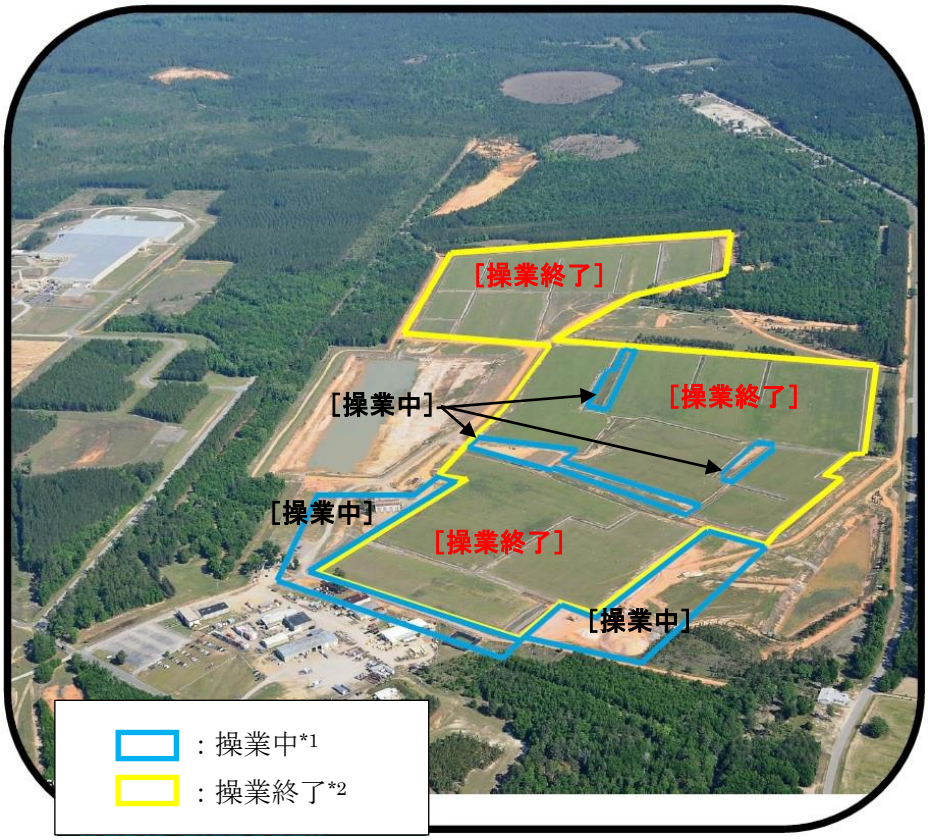
（３）　バーンウェル処分場

①　概要

バーンウェル処分場は、サウスカロライナ州エイケンのエネルギー省（DOE）のサバンナリバー・サイトとスネリング村の間に位置しており、1971 年から民間の処分場として低レベル放射性廃棄物の処分を行っている。現操業者は、エナジーソリューションズ社であり、同社はそれまでの運営会社であるケム･ニュークリアシステム社を 2006 年に買収している。なお、処分場の土地は、サウスカロライナ州の所有であり、操業者に貸し出されている。

バーンウェル処分場では、浅地中処分が可能な Class A, B, C の低レベル放射性廃棄物の受け入れ、処分を行っている。

バーンウェル処分場では、素掘りでのトレンチ処分が行われており、処分容量が一杯になりつつある。2008 年 7 月以降は、アトランティック・コンパクト（サウスカロライナ州、ニュージャージー州、コネティカット州）の低レベル放射性廃棄物のみに受け入れが制限されている。また、残りのスペースの多くは、近隣の原子力発電所の解体廃棄物の処分用に予約されている。（出典：文献 3, P56 より転載）



*1：今後（2016 年以降）、処分地として使用できるエリア（約 7.3×10^4 m^2）

*2：埋設が終了したエリア（約 4.9×10^5 m^2）

図 2.1.(3)-1　バーンウェル処分場の施設配置図

（出典：文献 10, P5 を加筆修正して転載）

②　操業開始

1971 年

（出典：文献 3, P56 を参考に作成）

③　受入廃棄物

バーンウェル処分場で受け入れている低レベル放射性廃棄物を表 2.1.(3)-1 に示す。

表 2.1.(3)-1　バーンウェル処分場の受入対象廃棄物

対象廃棄物	・アトランティック・コンパクトからの Class A, B, C 低レベル放射性廃棄物（放射化機器、大型機器、蒸気発生器、樹脂、原子炉圧力容器等） ✓ Class A：ドラム缶、金属箱等に収納した放射能濃度の比較的低いもの ✓ Class B：300 年間耐用の高健全性容器（HIC）に入れる ✓ Class C：放射化された鋼、ステンレス鋼等全廃棄物の約 0.5 % ・処分の対象となる廃棄物は、商用原子力発電所、病院及び各種研究施設から発生する低レベル放射性固体廃棄物である。

（出典：文献 10, P4 及び文献 11, PⅡ-3-5 参考に編集作成）

④ 処分容量

バーンウェル処分場の処分容量は約 88 万 m^3 で、そのうち既に埋設済みの容量は約 80 万 m^3 である（2016 年 12 月末時点）。

（出典：文献 3, P56 を参考に作成）

バーンウェル処分場で受け入れ可能な最大放射能濃度を表 2.1.(3)-2 に示す。

表 2.1.(3)-2　バーンウェル処分場における最大放射能濃度

核　種	Class A	Class B	Class C
① 長半減期核種	（Bq／m^3）	（Bq／m^3）	（Bq／m^3）
Ｃ－14	≦3.0×10^{10}		≦3.0×10^{11}
Ｃ－14（放射化金属）	≦3.0×10^{11}		≦3.0×10^{12}
Ｎｉ－59（放射化金属）	≦8.1×10^{11}		≦8.1×10^{12}
Ｎｂ－94（放射化金属）	≦7.4×10^{8}		≦7.4×10^{9}
Ｔｃ－99	≦1.1×10^{10}		≦1.1×10^{11}
Ｉ－129	≦3.0×10^{8}以下		≦3.0×10^{9}
② α 核種	（Bq／g）	（Bq／g）	（Bq／g）
半減期 5 年以上の α 核種	≦3.7×10^{2}		≦3.7×10^{3}
Ｒａ－226	≦3.7×10^{2}		≦3.7×10^{3}
Ｐｕ－241	≦1.3×10^{4}		≦1.3×10^{5}
Ｃｍ－242	≦7.4×10^{4}		≦7.4×10^{5}
③ 短半減期核種	（Bq／m^3）	（Bq／m^3）	（Bq／m^3）
半減期 5 年以下の核種の合計	≦2.6×10^{13}	≦2.6×10^{13}	
Ｈ－3	≦1.5×10^{12}	≦1.5×10^{12}	
Ｃｏ－60	≦2.6×10^{13}	≦2.6×10^{13}	
Ｎｉ－63	≦1.3×10^{11}	≦2.6×10^{12}	≦2.6×10^{13}
Ｎｉ－63（放射化金属）	≦1.3×10^{12}	≦2.6×10^{13}	≦2.6×10^{14}
Ｓｒ－90	≦1.5×10^{9}	≦5.6×10^{12}	≦2.6×10^{14}
Ｃｓ－137	≦3.7×10^{10}	≦1.6×10^{12}	≦1.7×10^{14}

（出典：文献 12, P5 Table　I を参考に作成）

⑤ 処分施設の構造

トレンチ処分を設置する土壌は、低透水性の粘土質である。地下水位は、地表から約 9 m から約 15 m にあり、地下水位とトレンチの底面は、約 1.5 m 離すように設置する。

2007 年当時、Class A トレンチは、長さ約 300 m、幅約 90 m、深さ約 9 m で、Class B, C トレンチは、長さ約 180 m、幅約 15 m、深さ約 6 m で、スリット型のトレンチは、長さ約 90 m、幅約 3 m、深さ約 6 m の仕様である。スリット型のトレンチは、高い放射能レベルの Class C 廃棄物を埋設する。これらの廃棄物は、通常、放射化した金属材料である。細

く深いトレンチは、容器の積み下ろし作業における作業者の被ばくを最小化するためである。

図 2.1.(3)-2-(a)及び(b)に示すとおり、トレンチ内に上部側部からの雨水浸入防止のため、地表の砂土を取り除き粘土を盛ってバリア壁を設けている。廃棄物層の底部は、浸透水の排水を促進するために砂層としており、底部の砂層は、浸透した水を集水枡に導くために傾斜を設け、収集した水はポンプアップして排水している。浸透水の監視のために、約 7.5 m 間隔にモニタリング管を設けている。

Class B, C トレンチは、Class A トレンチと類似の方法で建設される。Class A トレンチでは、進入路を設置して輸送車がトレンチに入って定置するが、Class B, C トレンチでは、被ばくを低減するため、クレーンで定置する。様々な廃棄物の長期的な性能の向上のため、ボールトと呼ばれる角型及び円筒形のコンクリート製の容器（以下、「ボールト容器」という）に廃棄物を収納する。ボールト容器は 3 段まで積むことができる。

角型のボールト容器は、金属角型容器やドラム缶の廃棄物を入れるために使われ、その大きさは、約 3 m×約 3 m で高さ約 3.4 m である。円筒形のボールトは、金属円筒容器、HIC 容器、ドラム缶を入れるために使用され、直径約 2.4 m、高さ約 2.7 m である。スリット型のトレンチでは、長さ約 5.2 m、幅約 1.5 m、高さ約 1.4 m である。どのボールト容器も壁の厚さは約 0.2 m である。

個々のトレンチの廃棄物の埋設が完了後は、雨水の浸入を防止するために約 0.6 m の粘土で覆土する。将来処分施設を閉鎖する際は、図 2.1.(3)-3,4 に示すとおり、廃棄物層の上部には低透水性土壌（再生圧縮粘土）、天然粘土ライナー（GCL）、高密度ポリエチレン（HDPE）、排水砂層及び植生被覆土で構成されるバリアが設置される予定である。HDPE と GCL は 2 重の浸透水防護バリアとなっており、もし、HDPE が破損しても GCL が欠陥を補修する設計となっている。

なお、Class C 廃棄物は、廃棄物の上端が覆土上面から最低 5m 以下の深さとなるように埋設するか、又は最低 500 年間侵入者から保護するように侵入者バリアを設置する必要がある。

（出典：文献 9, P24 の図、文献 3, P56「処分場の構成」、文献 13 の P8～11 及び文献 14, P14 の 2.3 を参考に編集作成）

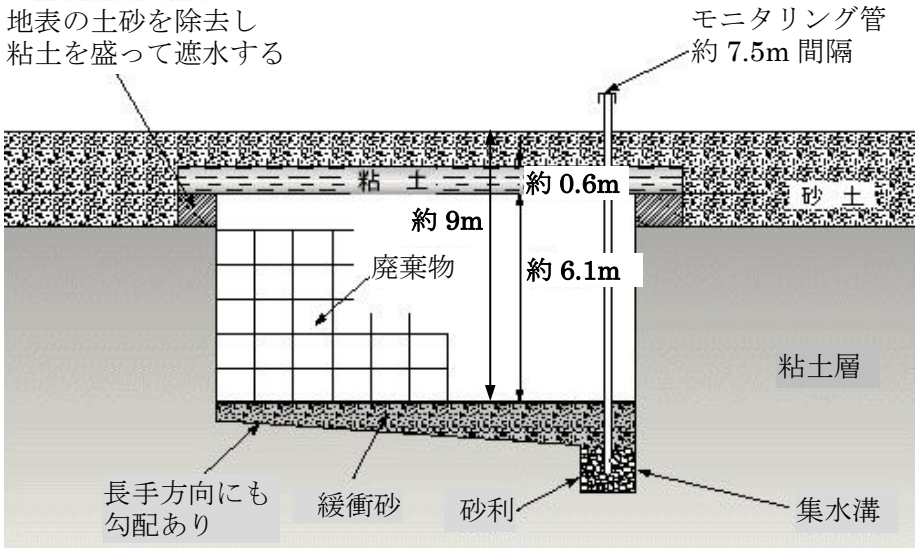


図 2.1.(3)-2-(a)　バーンウェル処分場の断面図（Class A 廃棄物処分用トレンチ）

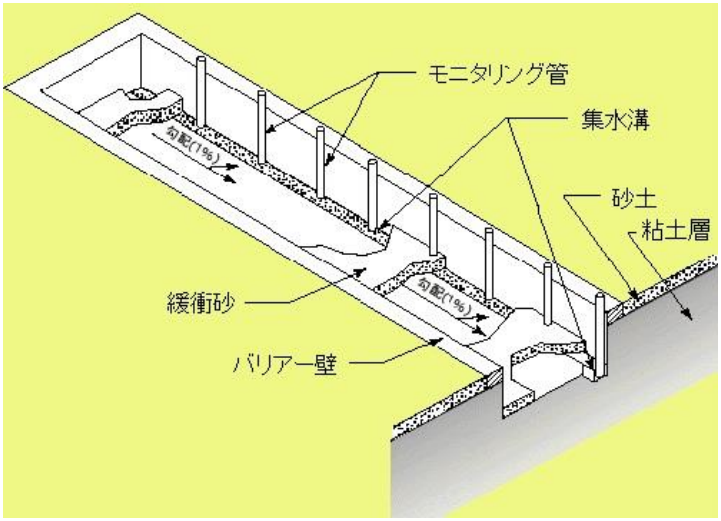


図 2.1.(3)-2-(b)　バーンウェル処分場の断面図（Class A 廃棄物処分用トレンチ）

（出典：文献 9, P24 を加筆修正して転載）

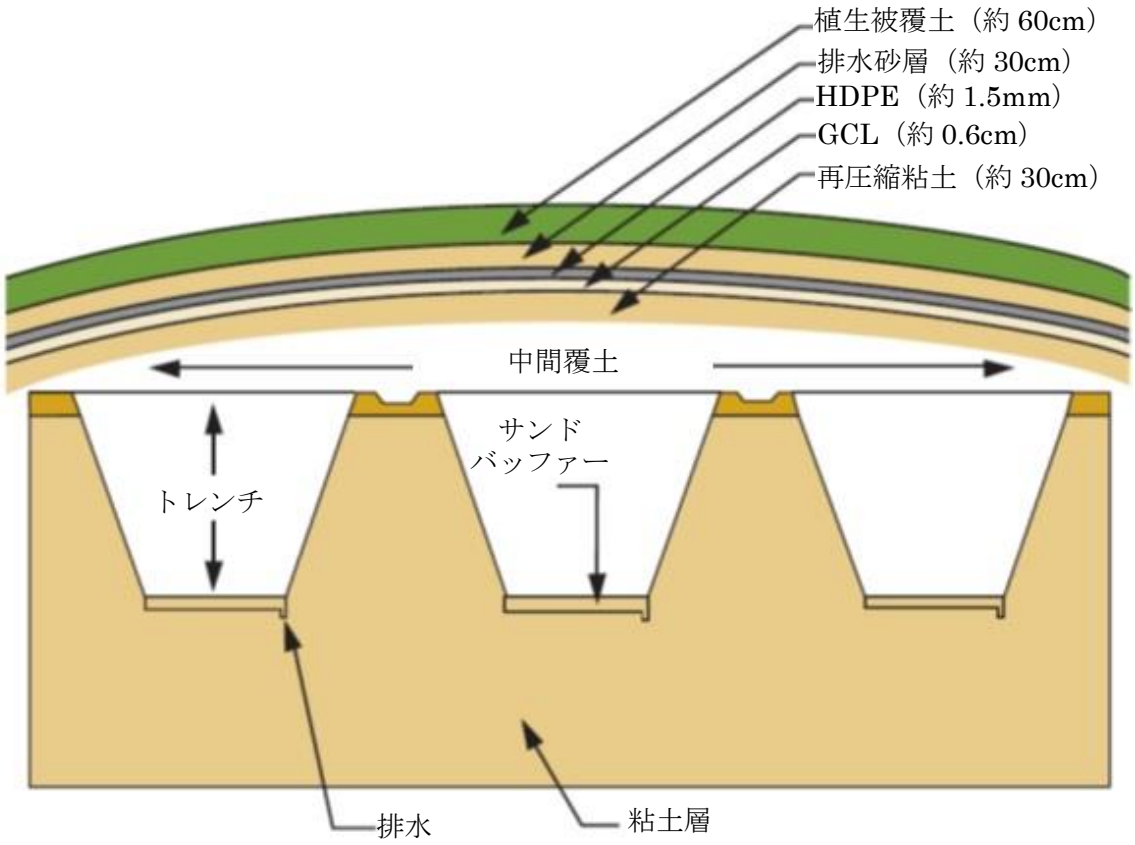


図 2.1.(3)-3　バーンウェル処分場の最終覆土の模式図

（出典：文献 13 , P11 図 7 を加筆修正して転載）

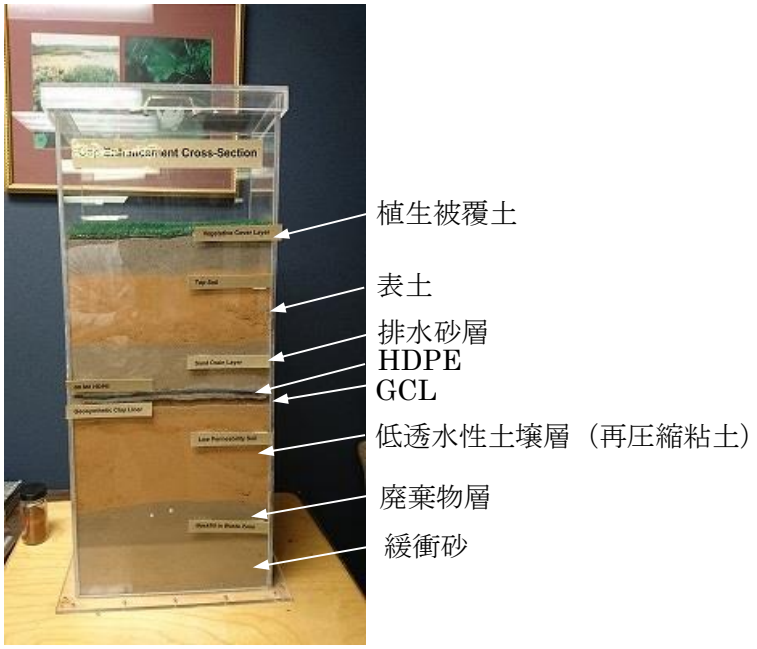


図 2.1.(3)-4　バーンウェル処分場のバリア構成

（出典：エナジーソリューションズ社提供を加筆修正して転載）

⑥ **地下水**

バーンウェル処分場のあるサウスカロライナ州エイケンは、降水量も地下水も我が国に似ており、地下水は廃棄物底面より下部を流れている。地下水位は、地表から約 9 m から約 15 m にあり、地下水までの平均深度は約 12 m である。地下水位とトレンチの底面は、約 1.5m 離すように設置している。

（出典：文献 5, P47 Table 2.A を参考に作成）

⑦ **降雨量**

年間降雨量：約 914 mm／y

（出典：文献 5, P47 Table 2.A を参考に作成）

⑧ **廃棄物埋設状況**

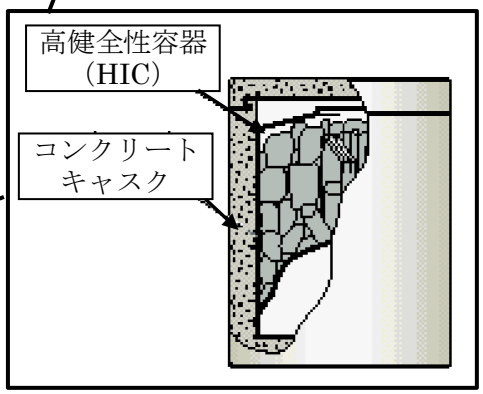
バーンウェル処分場における廃棄物 Class 毎の処分量の割合は、Class A が約 80 %弱、Class B 及び Class C が各々約 10 %強である。

（出典：文献 14, P16 Table 2 を参考に作成）

a. Class B 廃棄物処分
（出典：文献 15 を加筆修正して転載）

b. Class B 廃棄物処分
（出典：文献 3,P56 より転載）

c. Class B 廃棄物処分
（出典：文献 9, P23 より転載）



d. HIC 容器と内容物
（出典：文献 9, P23 を加筆修正して転載）

e. Class A 廃棄物処分
（20 フィートコンテナ／鉄箱）
（出典：文献 9, P23 より転載）

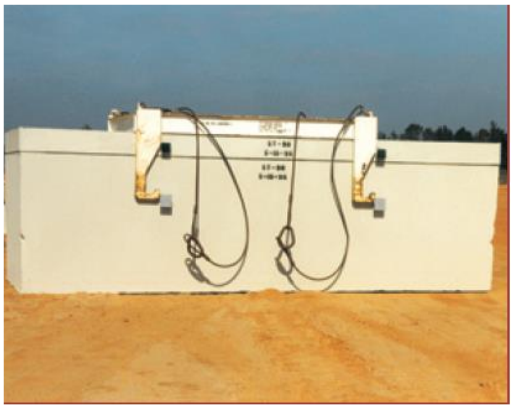
f. 低放射性の商業炉の蒸気発生器を
処分用ボールトの間に定置している様子
（出典：文献 13, P6 より転載）

g. Class A の HIC 容器を円筒形の
ボールト容器に入れている様子
（出典：文献 13, P13 より転載）

h. 代表的な円筒形及び角型の
ボールト容器
（出典：文献 13, P10 より転載）

i. Class B, C トレンチにおける円筒形の
ボールト容器は速やかに覆土を行う
（出典：文献 13, P10 より転載）

j. スリット型トレンチとボールト容器
（出典：文献 13, P9 より転載）



k. スリット型トレンチ用のボールト容器と吊具

（出典：文献 13, P10 より転載）

図 2.1.(3)-5　バーンウェル処分場における廃棄物埋設状況

（４） クライブ処分場

① 概要

クライブ処分場は、ユタ州の州都ソルトレイクシティーから西へ約 120 km 離れたユタ州西部の砂漠にあり、現操業者はエナジーソリューションズ社である。クライブ処分場では、1988 年から、ウランなどの自然起源放射性物質（NORM）の処分が行われていたが、1998 年に Class A の低レベル放射性廃棄物の受入れ・処分許可がユタ州から発給され、低レベル放射性廃棄物の処分が行われるようになった。Class B, C の廃棄物についても取り扱いの申請が行われたが、その後に断念している。なお、クライブ処分場では、ウラン鉱さいなどの「11e（. 2）副生成物廃棄物」の処分も行われている。また、クライブ処分場では、化学毒性を持った放射性廃棄物である混合廃棄物についても処分を行っている。

クライブ処分場の見取り図を図 2.1.(4)-1-(a)及び(b) に示す。現在は、Class A の LLRW の処分場である Class A West 施設、ウラン鉱さい処分施設（図中“Byproduct”）、Mixed waste の処分施設が操業中であり、廃棄物の処理、保管施設も操業中である。

ユタ州はノースウェスト・コンパクトに属しているが、クライブ処分場は全ての州からの Class A の低レベル放射性廃棄物を受け入れている。エネルギー省（DOE）からの放射性廃棄物も受け入れており、最近では、米国で処分される低レベル放射性廃棄物の多くが、このクライブ処分場で処分されている。

（出典：文献 3, P57, 文献 16, 文献 17, P22～23 及び文献 18, P18 を参考に編集作成）

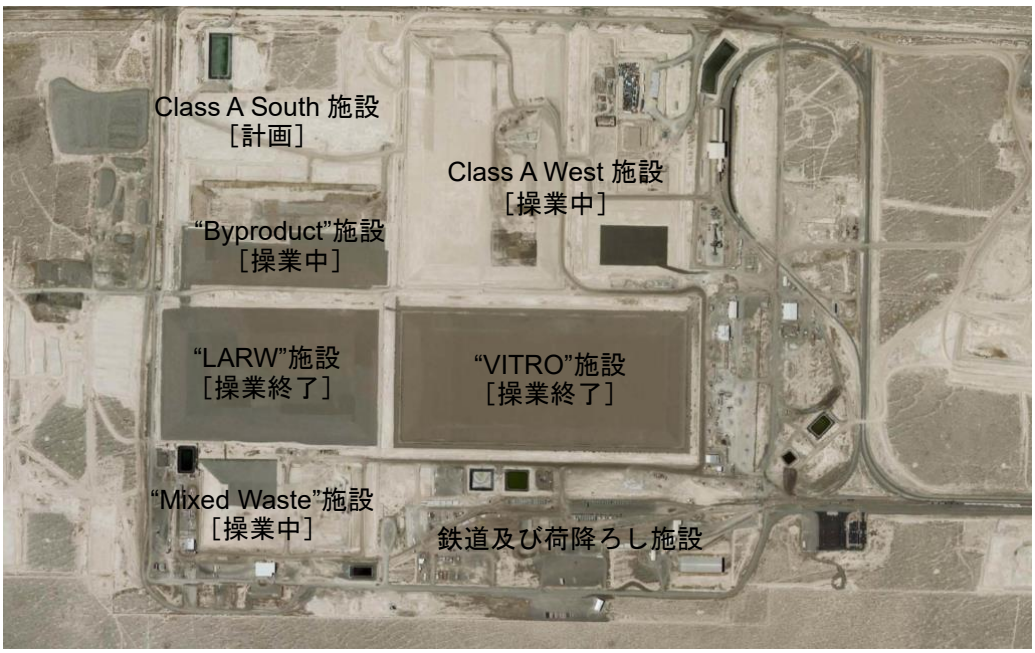


図 2.1.(4)-1-(a)　クライブ処分場の施設配置図

（出典：文献 16 及び文献 17 P26 図 5.4.1 を参考に編集作成）

図 2.1.(4)-1-(b)　クライブ処分場の施設外観

（出典：文献 18, P7 より転載）

②　操業開始

1971 年（サイト選定）

（出典：文献 3, P57 を参考に作成）

③　受入廃棄物

クライブ処分場はノースウェスト・コンパクト以外の 42 州からの Class A 廃棄物を受け入れており、これは全国の大半の Class A 廃棄物の受入を意味する。クライブ処分場の受入対象廃棄物を表 2.1.(4)-1 に示す。

（出典：文献 4 及び文献 16 を参考に編集作成）

表 2.1.(4)-1　クライブ処分場の受入対象廃棄物

廃棄物発生場所 （対象廃棄物）	【Class A 低レベル放射性廃棄物】 ・原子力発電所（使用済樹脂、乾燥放射性廃棄物［DAW］、大型機器、鉛の固化体、フィルタ等） ・原子力施設の廃止措置により発生する廃棄物（コンクリート、木、金属、機器等） ・サイト修復（土壌、がれき、スラッジ、液体廃棄物等） ・医療／研究施設（試験装置、防護服、廃化学物質、水銀等） ・州／連邦政府機関等の廃棄物（放射性物質と化学的有害物質を含む混合廃棄物、固化処理廃棄体、廃液固化体、PCB 等） ・産業において生成した廃棄物（核原料物質、濃縮ウラン、汚染機器、2 次汚染水等）

（出典：文献 4 及び文献 16 を参考に編集作成）

④ 処分容量

クライブ処分場の全処分容量は約 882 万 m^3で、そのうち既に埋設済みの容量は約 509 万 m^3である（2016 年 12 月末時点）。

現在クライブ処分場で操業中の処分施設は、Class A 低レベル放射性廃棄物の処分施設である Class A West 施設、ウラン鉱さい処分施設である”Byproduct”施設、及び重金属や有機物との混合廃棄物の処分施設である”Mixed Waste”施設である。なお、Class A West 施設では、大量の劣化ウラン廃棄物を処分する計画があったが、ユタ州の取り決めにより、少量の劣化ウランを含む廃棄物（劣化ウランの重量が 5 wt%を超えないもの）、だけが処分できる状況である。天然ウラン及び濃縮ウランで汚染された廃棄物も核分裂性核種の量の受入基準に従って処分できる。ウラン鉱さいの処分施設である”VITRO”施設、及び低放射能廃棄物（Low - Activity Radioactive Wastes）の処分施設である”LARW”施設は既に埋設が完了し、操業を終了している。

ここでは、日本の L3 相当の廃棄物に近い廃棄物を取り扱う Class A West 施設に関する情報を整理する。Class A West 施設の敷地面積は約 54 万 m^2（690 m×780 m）、体積は約 670 万 m^3で、埋設最大放射能量は、約 7.4×10^{14} Bq である。

（出典：文献 3, P57 及び文献 17, P22～23 を参考に編集作成）

⑤ 処分施設の構造

現在操業中の Class A West 施設は、天然の土壌・粘土を用いた浅地中処分施設で、地下数メートルから高さ最大 23 m に設計された地表部構造を持つ盛土式施設である。

（出典：文献 17, P23, 26 図 5.4.2 を参考に編集作成）

a. 施設底部構造

各セルの基礎は既存の地上レベルより下に設置され、その位置は地下水面の約 4.6m～約 6.1 m 上部である。基礎は標準的な管理で少なくとも 95 %に締め固めた現地の粘土又は砂で構成されている。埋設施設底部には、ボトムライナーとして約 0.6 m の厚さの低密度粘土層（透水係数：1.0×10^{-8} m／s）が設置されている（図 2.1.(4)-2 下図参照）。

（出典：文献 19, P8 を参考に編集作成）

b. 覆土構造

廃棄物層の底部、側部、上部に粘土層、砂利等の排水層の浸透水の抑制バリア、覆土の侵食を抑制する等の多層のバリアを備えている。図 2.1.(4)-2 に施設のバリア構成を示す。

覆土の多層バリアのうち、覆土の最下層には厚さ約 0.6 m の低密度粘土層（透水係数：5.0×10^{-10} m／s 及び 1.0×10^{-8} m／s）であるラドンバリア層を設けている（図 2.1.(4)-2 ⑤及び⑥参照）。これは、米国環境保護庁（EPA：Environmental Protection Agency）のラドンの放出率の基準（20 pCi／m^2／s = 0.74 Bq／m^2／s を超えないこと）に従うために設置されたものである。

ラドンバリア層の上部には、砂及び砂利で構成された 2 層のフィルタ層と、その間に設置する保護層が設置されている（図 2.1.(4)-2 ②～④参照）。

最終覆土の最上面には、覆土の侵食を防止するために直径 3.2 cm 以上の小石を約 46 cm 設置している（図 2.1.(4)-2 ①参照）。最終覆土の上面の勾配は 4 %、側面の法面勾配は約 5:1 に施工される（図 2.1.(4)-2 下図参照）。

（出典：文献 17, P23, 26 図 5.4.2 及び文献 19, P8 を参考に編集作成）

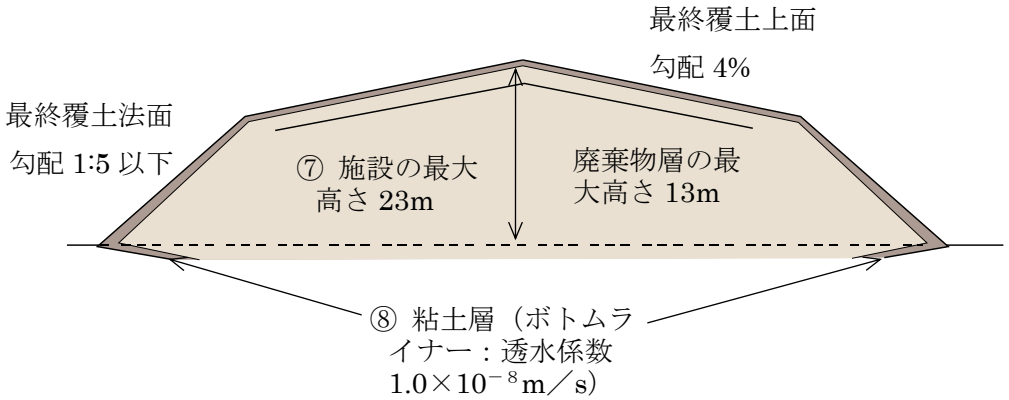


図 2.1.(4)-2　Class A West 施設のバリア構成

（出典：文献 17, P26 図 5.4.2 を改変して転載）

⑥　地下水

埋設施設底面は既存の地上レベルより下に掘下げて設置され、その底面は地下水位から約 4.6m～約 6.1 m 上部に位置している。

なお、クライブ付近の地下水は、塩分濃度が高いため品質が悪く、総溶解固形分（TDS：

Total Dissolved Solids）の含有量が高いため、人間への用途には適していない。クライブサイト下の地下水の TDS 含有量は 40,500 mg／ℓ（40.5 %）と報告された例もあり、これは人間や家畜にとって有益ではなく、灌漑にも適さない水質である。

（出典：文献 19, P8 及び文献 21, P16 を参考に編集作成）

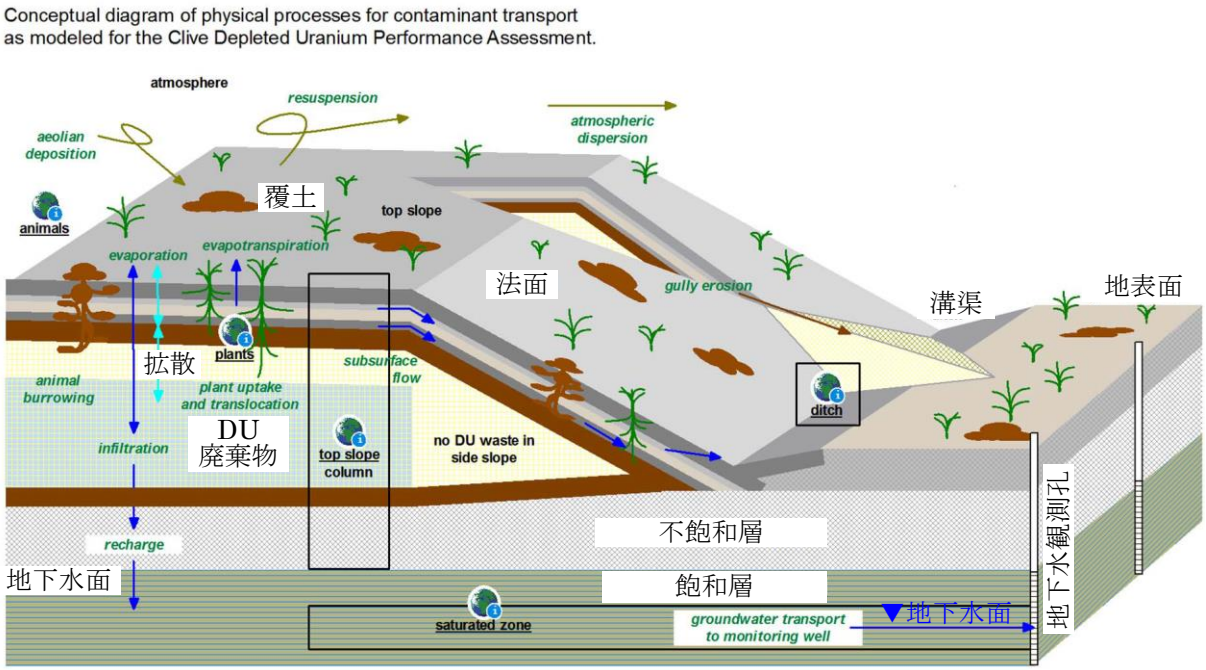


図 2.1.(4)-3　Class A West 施設の断面図

（出典：文献 17, P27 図 5.4.3 を改変して転載）

⑦　降雨量

年間平均降雨量：約 220 mm／y

（出典：文献 21, P8 の 3.2.2 を参考に作成）

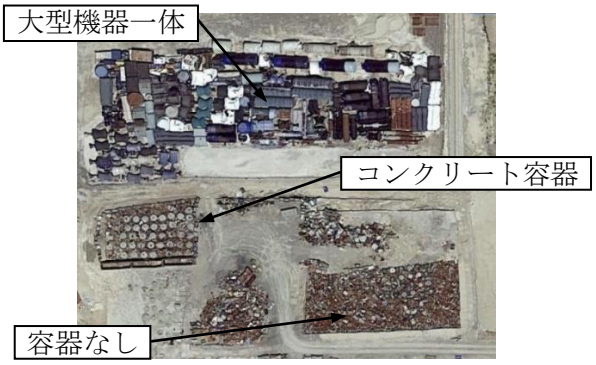
⑧　廃棄物埋設状況

比較的低い放射能レベルの廃棄物（量は多い）はそのまま処分できるバルク状で受け取り、少し高い放射能レベルの廃棄物（量は少ない）は容器に封入して扱われ、覆土は粘土、砂利と岩石によって行われる。

a. 廃棄物受入れ
（出典：文献 16 より転載）

b. コンクリート容器収納廃棄物埋設
（出典：文献 16 より転載）

c. コンクリート容器収納廃棄物埋設
（出典：文献 18, P14 より転載）



d. 廃棄物埋設状況（上空写真）
（出典：Google マップを編集加工）

e. 大型機器一体埋設
（出典：文献 16 より転載）

f. 大型機器一体埋設
（出典：文献 16 より転載）

g. 受入済廃棄物
（出典：エナジーソリューションズ社提供）

h. 受入済廃棄物
（出典：エナジーソリューションズ社提供）

図 2.1.(4)-4　廃棄物の埋設状況

（５） ＷＣＳテキサス処分場

① 概要

WCS テキサス処分場は、テキサス州アンドリュース郡にあり、民間廃棄物の処分場（CWF）及び連邦政府機関廃棄物の処分場（FWF）として低レベル放射性廃棄物の処分が計画され、2009 年にテキサス州の許可を受け、2011 年 11 月 10 日に操業を開始し、2012 年 4 月 27 日に CWF で最初の低レベル放射性廃棄物の受入れを行った。FWF は、2013 年 6 月 6 日に操業を開始した。

操業者は、ウエスト・コントロール・スペシャリスト社（WCS ：Waste Control Specialists）であり、1985 年低レベル放射性廃棄物政策修正法で州または州が共同で処分を実施するとされた以降で、初めて建設された低レベル放射性廃棄物処分場である。

図 2.1.(5)-1 に WCS テキサス処分場の施設配置図を示す。低レベル放射性廃棄物処分施設は、テキサス・コンパクト（テキサス州、バーモント州）の Class A, B, C の放射性廃棄物を処分する CWF 施設（Compact Waste Facility）と、エネルギー省（DOE）などの連邦政府機関の Class A, B, C 低レベル放射性廃棄物及び混合低レベル廃棄物を処分する FWF 施設（Federal Waste Facility）がある。FWF 施設は、コンテナを用いない廃棄物を埋設する施設（FWF - NCDU: Non - Canister Disposal Unit）とコンテナに入れた廃棄物を埋設する施設（FWF - CDU: Canister Disposal Unit）に分かれて設置する計画であったが、最近の変更許可申請書や Web ページでは、コンテナを用いない廃棄物を受け入れることはできるが、FWF-NCDU を設置する記載は見られなくなっている。なお、CWF 施設はテキサス・コンパクトの低レベル放射性廃棄物を受け入れているが、コンパクトの委員会の承認を受けることにより、その他の州も処分を行うことも可能である。ただし、CWF に配置された非コンパクトの廃棄物の総量を、認可された能力の 30 %に制限している。

（出典：文献 3, P58、文献 17, P10、文献 25、文献 27,P4,5 を参考に編集作成）

図 2.1.(5)-1　WCS テキサス処分場の施設配置図

（出典：2020/3/30 WCS の web ページから引用し、文献 17 を参照し編集

http://www.wcstexas.com/facilities/interactive-wcs-facilities-map/）

② **操業開始**

2011 年 11 月 10 日

（廃棄物の受入は 2012 年 4 月 27 日開始）

（出典：文献 3, P58 より転載）

③ **受入廃棄物**

WCS テキサス処分場は、表 2.1.(5)-1 に示す発生者別に埋設する処分施設を区分している。

表 2.1.(5)-1　WCS テキサス処分場の受入対象廃棄物

対象廃棄物	・テキサス・コンパクトからの Class A, B, C 低レベル放射性廃棄物（CWF 処分施設） ・エネルギー省（DOE）などの連邦政府からの Class A, B, C 低レベル放射性廃棄物（ウランで汚染された廃棄物等を含む）及び混合低レベル廃棄物（FWF 処分施設）

（出典：文献 22, P1～2 を参考に編集作成）

受け入れた廃棄物は、以下の方法により埋設が可能である。

- 円筒形又は長方形の鉄筋コンクリート製のモジュラーコンクリートキャニスター（MCC）に収納または廃棄物容器ごと収納し、グラウトを充填して処分する方法
- バルク状の廃棄物及び大型機器等（Large Componet）を処分する方法

バルク状の廃棄物は、Class A で廃棄物から 30 cm 離れた線量が 1 mSv／h 以下のものに限られる。CWF 施設では、容器に入れないバルク状の廃棄物は、テキサス・コンパクト内の発生者にだけ認められている。

（文献 22, P2 の 2.9、及び文献 23, P11 の 6.2.7 に基づき作成）

④ 処分容量

CWF 及び処分 FWF 施設の処分容量、埋設最大放射能量を表 2.1.(5)-2 に示す。

表 2.1.(5)-2　WCS テキサス処分場の処分容量／埋設最大放射能量

施設名	主な発生者	放射能レベル	処分容量※1	総放射能量
CWF 処分施設	テキサス・コンパクト	Class A, B, C	約 25.5 万 m^3	1.44×10^{17} Bq
FWF 処分施設の合計	DOE		約 73.6 万 m^3	2.07×10^{17} Bq
FWF（コンテナ入り廃棄物）		Class A, B, C	約 22.9 万 m^3	2.04×10^{17} Bq
FWF（コンテナを使用しない廃棄物）		※2	※3	※3

※1 許可書に記載されている量

※2 バルク廃棄物は、Class A、大型機器(LC)は、Class の記載なし。

※3 許可証に記載なし（最大で FWF（コンテナ入り廃棄物）と FWF（コンテナを使用しない廃棄物）の合算が、FWF 処分施設の合計を超えないことであると想定される）

（出典：文献 22, P8 の 5.2.1、及び文献 23, P10 の 6.2.1 を参考に作成）

⑤ 立地条件

処分場から最も近い住宅は西に約 3.5 マイル（約 5.6 km）離れた場所であり、公衆から比較的遠隔地に位置している。また、半乾燥地帯であり、使用可能な地下水の持続的な供給がない場所である。

処分場周辺の地質及び水理状態を図 2.1.(5)-2 に示す。処分施設を設置する深さの地層は、赤色層と呼ばれる低透水性の粘土層（透水係数は、1×10^{-11} m／s）で、不飽和層となっている。図 2.1.(5)-2 の「180 フィート砂・シルト層（地下約 55 m）」は途中で途切れているため、「225 フィート砂・シルト層（地下約 69 m）」が帯水層として、安全評価における施設近傍の井戸水利用シナリオの条件として用いられ、また、四半期ごとに実施する地下水のモニタリングに利用されている。ただし、「225 フィート砂・シルト層」についても、透水係数が 1.0×10^{-10} m／s と非常に低いため、地下水流速は 1.2×10^{-3} m／y と小さく、実際に地域の生活に利用できるほどの地下水流量ではない。これら処分場周辺の地質及び水理状態を考慮すると、砂・シルト層の間を通って、放射性物質が流出する可能性はほとんどない。

（出典：文献 17, P11、文献 26, P2～4 を参考に作成）

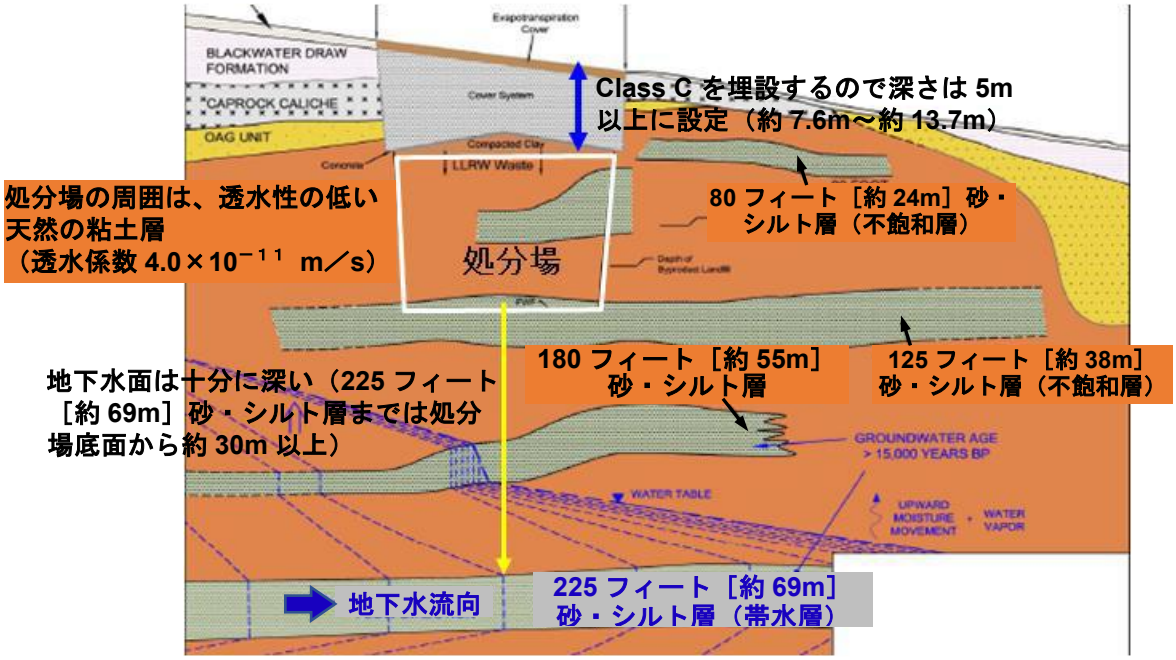


図 2.1.(5)-2　処分場周辺の地質及び水理状態

（出典：文献 17, P16 図 5.2.2 を改変して転載）

⑥　処分施設の構造

WCS テキサス処分場は、テキサス州の規則（Texas Administrative Code RULE §336.729：低レベル放射性廃棄物の浅地中処分に係る許可要件）及び米国連邦規則 10CFR part 61 の廃棄物の処分施設の要件に基づき、Class C 廃棄物を埋設するため 5 m より深く設置するとともに、粘土層の中に処分施設全体を設置することとし、場所に応じて約 7.6 m から約 13.7 m の深さとすることとしている。なお、テキサス州の規則においては、「覆土は水の浸入を最小限に抑えることにより、浸出水又は表面水を埋設した廃棄物から遠ざけるとともに、地質学的変化及び生物的活動による劣化に耐えられる設計としなければならない。」とされている。廃棄物層及び底部のライナー層の深度方向の厚さは、約 18.3 m であるため、処分施設底面から帯水層（「225 フィート砂・シルト層」）までの深さは、30 m 以上となっている。

CWF 施設の概念図を図 2.1.(5)-3、覆土構造断面図を図 2.1.(5)-4 に、FWF 施設の覆土構造断面図を図 2.1.(5)-5 に示す。処分施設は最終的に廃棄物層の上部に以下の a～c に示す 3 つの層からなるカバーシステムを設置している。カバーシステムの機能は廃棄物層から近い順に以下のとおり。

a. 浸透水抑制システム（Performance Cover System）：雨水等による浸透水の浸入を抑制するカバーで、以下に示す層で構成されている。

a)　ジオテキスタイル（6 oz／yd^2）

b)　粘土層

この層は圧縮した粘土混合土層であり、上部に多重層を構築するためにわずかに冠状にして施工する。

c) 吹付鉄筋コンクリート層（約 30 cm）

上部に設置する各種システムを構築するための安定した基盤となる、厚さ約 30 cm の吹付鉄筋コンクリート層である。

d) 低透水性粘土層（約 90 cm）

不透水性の覆土として機能する、厚さ約 90 cm の低透水性の圧縮粘土層である。

e) 遮水シート（FWF 施設のみ）

FWF 施設では、粘土層と排水層の間に高密度ポリエチレン（HDPE）の遮水ライナー層を設置する。

f) 排水層（約 60 cm）

約 60 cm の厚さの砂と砂利の層で、上層からの浸透水を横方向に排水する層として機能する。

g) ジオテキスタイル（10 oz／yd^2）

上層を設置する際に、砂と砂利で構成されている排水層の分離をするためのジオテキスタイルである。

b. 生体侵入防止システム（Biobarrier Cover System）：

h) 粘土層

厚さ約 2.5 m～約 8.5 m の圧縮された粘土層である。

i) 生体侵入防止バリア層（約 90 cm）

植物の根又は穴居性動物の侵入防止、閉鎖後の流出による侵食から保護するための丸石で構成された約 90 cm の層である。

c. 蒸発散システム（Evapotranspiriation Cover System）：風雨による侵食を抑え、長期の安定性を保つためのカバーシステムで、以下に示す層で構成されている。

j) ジオテキスタイル（6 oz／yd^2）

k) フィルタ層［砂］（約 30 cm）

浸透水を上層に保持するための毛細遮断層として機能する約 30 cm の厚さの砂層である。

l) ジオテキスタイル（6 oz／yd^2）

m) 天然土層（約 60 cm）

土壌の水分の保持及び植生維持の機能を有する厚さ約 60 cm の天然素材の層である。

n) 調整土層（約 30 cm）

土壌の水分の保持及び植生維持の機能を有する厚さ約 30 cm の調整土層である。

o) 玉砂利層（約 2.5 cm）

土壌の水分を保持し、下層の調整土層に播種された種子を保護し、植生カバーが定着するまでの間、風雨による浸食を最小限に抑えるための、厚さ約 2.5 cm の玉砂利層である。

（出典：文献 17,P11、文献 24, P1、文献 26, P8、及び文献 32, P53 を改変して転載）

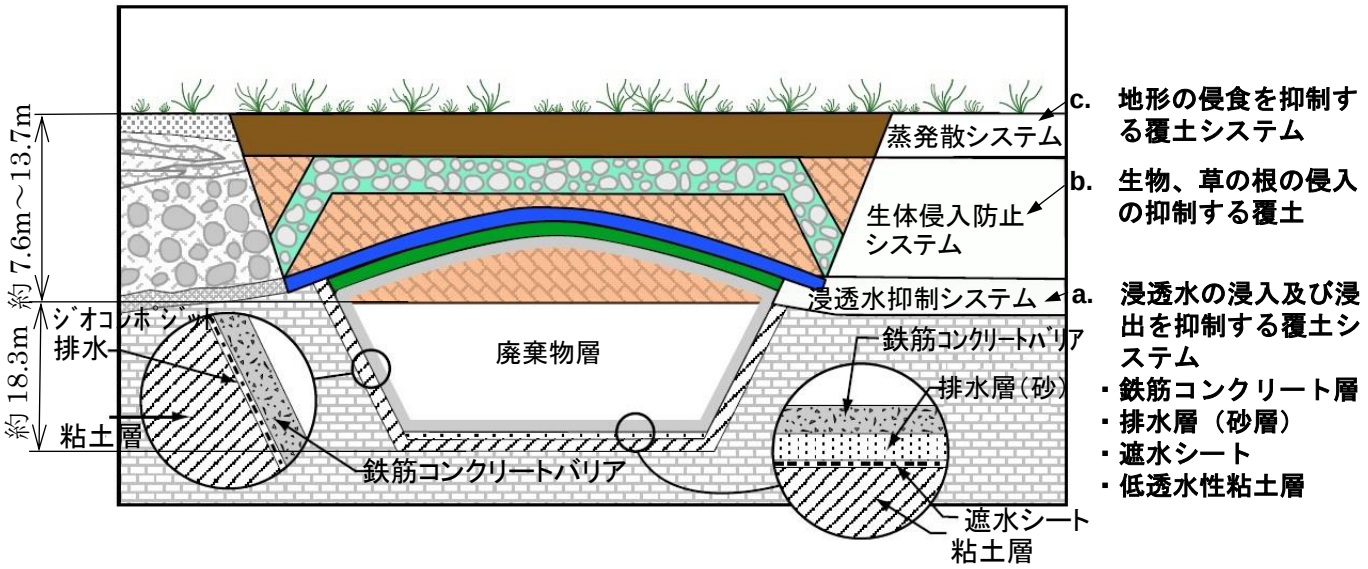


図 2.1.(5)-3　CWF 処分施設の概念図

（出典：文献 26, Figure 3 を改変して転載）

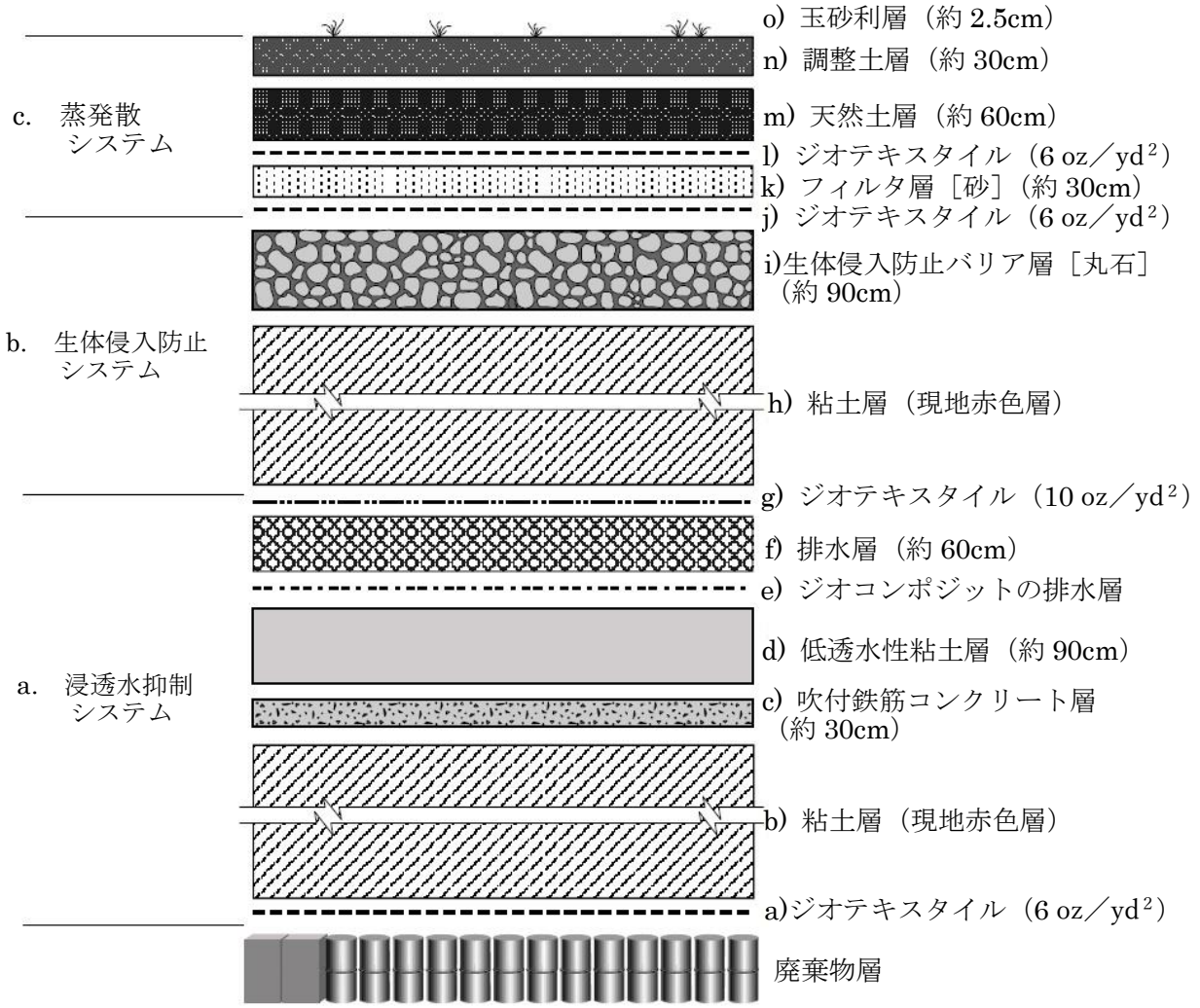


図 2.1.(5)-4　CWF 覆土構造断面図

（出典：文献 26, Figure 6 を改変して転載）

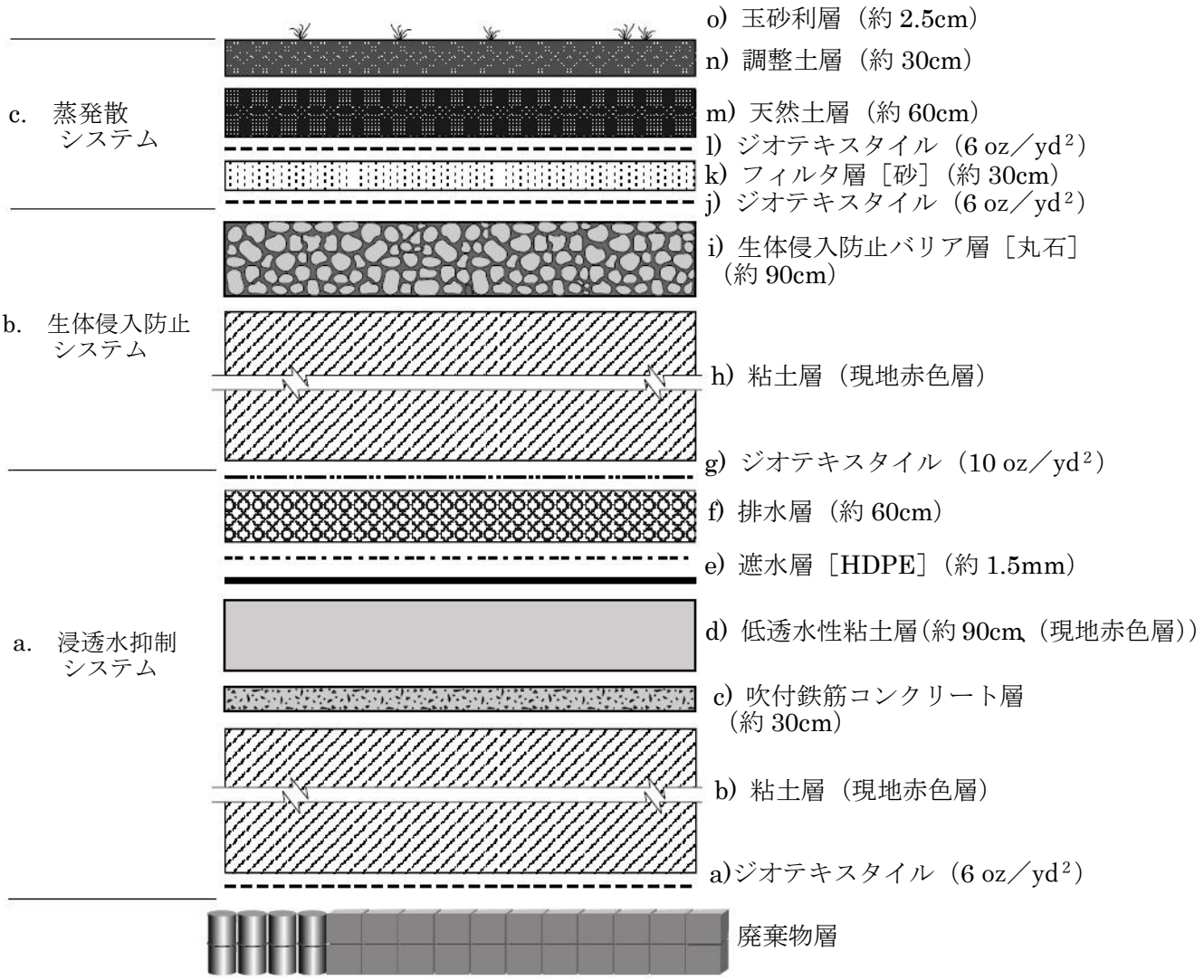


図 2.1.(5)-5　FWF 覆土構造断面図

（出典：文献 26, Figure 7 を改変して転載）

⑦　地下水

処分場は、テキサス州の規則及び米国連邦規則 10CFR part 61 の廃棄物の処分施設の要件から、図 2.1.(5)-2 に示すように地表から 5 m 以深に設置するとともに、ほぼ不浸透性の赤色粘土層内に施設全体を設置することとし、場所に応じて約 7.6 m から約 13.7 m の深さとしている。廃棄物層及び底部のライナー層の深度方向の厚さは、約 18.3m（60 フィート）であるため、処分場底面から地下水層（225 フィート砂・シルト層）までの深さは、30m 以上となっている。処分場付近の砂及びシルト層は、図 2.1.(5)-2 に示すように地表から深さ約 24 m（80 フィート）、約 38 m（125 フィート）及び約 55 m（180 フィート）に帯状に位置している。処分場に近い「80 フィート砂・シルト層」及び「125 フィート砂・シルト層」は、不飽和であり、「80 フィート砂・シルト層」は水平方向に連続性がない。「180 フィート砂・

シルト層」は、処分場の下方では飽和しているが、処分場の南側では不飽和かつ不連続である。したがって、砂・シルト層はいずれも乾燥しているか、飽和していても透水係数が低いため、井戸の設置をサポートする能力がなく、地下水の供給源としては機能しない。

さらに下方の「225 フィート砂・シルト層」は飽和しており、モニタリングの目的で最上部の帯水層に指定している。この「225 フィート砂・シルト層」の水平方向の地下水流速は約 1.2×10^{-3} m／y と非常に遅く、この地下水の総溶解固形物（TDS）は 5,000 ppm のオーダーである。C-14 の年代測定によれば、約 16,000 年前の地下水であるとのことである。

（出典：文献 17,P11、文献 25, P B-4、及び文献 26, P3～4 を参考に編集作成）

⑧　廃棄物埋設状況

a. CWF 処分施設（テキサス・コンパクト廃棄物）
（出典：文献 28 より転載）

b. FWF 処分施設（DOE 廃棄物）
（出典：文献 29 より転載）

c. 副産物処分施設
（出典：文献 30 より転載）

d. 有害物処分施設
（出典：文献 31 より転載）

図 2.1.(5)-6　廃棄物の埋設状況

参考文献（アメリカ）

1. “Locations of Low-Level Waste Disposal Facilities”, U.S.NRC ホームページ, 入手先 <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/licensing/locations.html>（2019.10.17 閲覧）
2. “NRC Regulations (10 CFR) §61.55 Waste classification”, U.S.NRC ホームページ, 入手先<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part061/part061-0055.html>（2019.10.18 閲覧）
3. 諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて（2019 年版）, 経済産業省資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課, 入手先 （財）原子力環境整備促進・資金管理センターホームページ < https://www2.rwmc.or.jp/publications:rwmhg2019>（2019.12.24 閲覧）
4. “Low – Level Waste Compacts”, U.S.NRC ホームページ, 入手先 <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/licensing/compacts.html>（2019.10.17 閲覧）
5. “FINAL ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT（DOH Publication 320-031 VOLUME 1）”, COMMERCIAL LOW – LEVEL RADIOACTIVE DISPOSAL SITE RICHLAND, WASHINGTON, May 28, 2004, 入手先 ワシントン州保健省（DOH）ホームページ<https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/320-031_vol1_w.pdf>（2018.4.27 閲覧）
6. “NARM: Naturally-Occurring and Accelerator-Produced Radioactive Material”, ワシントン州保健省（DOH）ホームページ, 入手先 <https://www.doh.wa.gov/CommunityandEnvironment/Radiation/WasteManagement/CommercialLowLevelRadioactiveWasteDisposal/NARM>（2020.5.18 閲覧）
7. “Technical Evaluation Report For US Ecology Low-Level Waste Disposal Facility, Richland Washington (Final Report)”, U.S.NRC Office of Federal and State Materials and Environmental Management Programs Washington, DC 20555-0001, 入手先 U.S.NRC ホームページ<https://www.nrc.gov/docs/ML1024/ML102420319.pdf>（2018.4.27 閲覧）
8. “Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal Site Richland, Washington（Application for approval of the final design of the Phase I interim closure cover April 2010）”, 入手先＜https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/4100/feisadd42610_w.pdf＞（2022.3.15 閲覧）
9. 放射性廃棄物ポケットブック 2001, （財）原子力環境整備促進・資金管理センター, 入手先（公財）原子力環境整備促進・資金管理センターホームページ <https://www.rwmc.or.jp/library/file/pocketbook2001.pdf>（2019.10.21 閲覧）
10. Michael Benjamin(2016), “Barnwell LLRW Disposal Facility”, WM Symposia 2016, 入手先 WM SYMPOSIA ホームページ <http://www.wmsym.org/archives/2016/presentations/251.pdf>（2018.4.27 閲覧）

11. 放射性廃棄物ハンドブック（平成 30 年度版），（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター
12. “SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL CONTROL RADIOACTIVE MATERIAL LICENSE（Amendment No. 49 amends）”, 入手先 The Atlantic Interstate Low-Level Radioactive Waste Management Compact ホームページ< http://www.atlanticcompact.org/pdf_file_brdf/8b8b75145733a89f54cf96e3e7c266c7.dft_lic_097_amdt_49_ver_2.pdf>（2019.10.21 閲覧）
13. “Commercial Low-Level Radioactive Waste Disposal In South Carolina”, Apublication of the South Carolina Department of Health and Environmental Control, CR-000907, 2007.3. , 入手先＜ https://www.scdhec.gov/sites/default/files/docs/HomeAndEnvironment/Docs/commercial_low_level.pdf＞（2022.3.15 閲覧）
14. R.D. Baird, C.D. Pedersen, G.B. Merrell, L.S. Berta, & B.S. Mason(October 4 2007), “BARNWELL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITY ; CONCEPTUAL DESIGN FOR LOW-VOLUME OPERATIONS (DRAFT REPORT)”, URS Corporation, 入手先 The Atlantic Interstate Low-Level Radioactive Waste Management Compact ホームページ <http://www.atlanticcompact.org/pdf_file/29f3737663937c53aebb326b1a87c628.ACC_Conceptual_Design_Report_071004.pdf>（2018.2.7 閲覧）
15. “Barnwell Disposal Facility”, ENERGY SOLUTIONS 社ホームページ, 入手先 <https://www.energysolutions.com/barnwell-disposal-facility/>（2021.6.24 閲覧）
16. “Clive Disposal Facility”, Energy Solutions 社ホームページ, 入手先 <https://www.energysolutions.com/clive-disposal-facility/>（2021.6.24 閲覧）
17. 長谷川 信, 齋藤 龍郎, 財津 和久, 佐藤 和彦, 坂井 章浩, 麓 弘道, “北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査”, （国研）日本原子力研究開発機構, 入手先 <https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5043107>（2018.1.18 閲覧）
18. Dan Shrum(November 7, 2016), “LLRW Clive Facility 2016 Disposal Update”, Energy Solutions, 入手先< http://www.wmsym.org/archives/2016/presentations/361.pdf >（2018.4.5 閲覧）
19. Ledoux, & Cade(February 24-28, 2002), “Licensing and Operations of the Clive, Utah Low-level Continerized Radioactive Waste Disposal Facility - A Continuation of Excellence”, WM’02 Conference, Tucson, AZ, 入手先 ユタ州立大学ホームページ< https://digitalcommons.usu.edu/govdocs/1/ >（2018.4.6 閲覧）
20. Paul Black, John Tauxe, Ralph Perona, Robert Lee, Kate Catlett, Greg McDermott, Mike Balshi, Mark Fitzgerald, Dan Shrum, Sean McCandless, Robert Sobocinski, & Vern C. Rogers, “Advancing Performance Assessment for Disposal of Depleted Uranium at Clive

Utah", Waste Management 2012
21. "Conceptual Site Model for Disposal of Depleted Uranium at the Clive Facility：Clive DU PA Model v1.4 ： November 5, 2015", Neptune and Company, Inc. , 入手先＜https://documents.deq.utah.gov/legacy/businesses/e/energysolutions/depleted-uranium/performance-assessment/docs/2015/12dec/appendix2.pdf＞（2018.4.6 閲覧）
22. "Federal Waste Disposal Facility (FWF) Generator Handbook", 入手先 Waste Control Specialists LLC (WCS)社ホームページ<http://www.wcstexas.com/pdfs/forms-and-docs/FWF%20Generator%20Handbook%20_HTSW_.pdf>（2018.4.6 閲覧）
23. "Compact Waste Disposal Facility (CWF) Generator Handbook", 入手先 <http://www.wcstexas.com/documents-and-forms/>（2020.8.27 閲覧）
24. "Texas Administrative Code RULE§336.729：Licensing Requirements for Near-Surface Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste", 入手先 <http://txrules.elaws.us/rule/title30_chapter336_sec.336.729>（2018.5.11 閲覧）
25. "低レベル廃棄物の最前線に救援があるか：テキサス州の WCS 社の場合", Radwaste Solutions 2003.7-8, 入手先＜http://www.3r-net.com/info/rad/rad_pdf/dl.cgi?path=rad_07_08b.pdf＞（2022.3.14 閲覧）
26. "Overview - Technical Version ： Application for license to authorize near – surface land disposal of Low – Level radioactive waste", Waste Control Specialists LLC, 16 March 2007
27. "Application for license to authorize near-surface land disposal of low-level radioactive waste - Appendix 3.0-1: WCS LLRW Disposal Engineering Report", 1 May 2007, 入手先＜https://www.yumpu.com/en/document/view/54229915/wcs-llrw-disposal-engineering-report＞（2022.3.14 閲覧）
28. "Compact Waste Facility", Waste Control Specialists (WCS)社ホームページ, 入手先 <http://www.wcstexas.com/facilities/compact-waste-facility/>（2019.12.24 閲覧）
29. "Federal Waste Disposal Facility", Waste Control Specialists (WCS)社ホームページ, 入手先 <http://www.wcstexas.com/facilities/federal-waste/>（2019.12.24 閲覧）
30. "Byproduct Facility", Waste Control Specialists (WCS)社ホームページ, 入手先 <http://www.wcstexas.com/facilities/by-product-material/>（2019.12.24 閲覧）
31. "Hazardous Waste Services", Waste Control Specialists (WCS)社ホームページ, 入手先 <http://www.wcstexas.com/facilities/hazardous-waste/>（2019.12.24 閲覧）
32. "Application for license to authorize near-surface land disposal of low-level radioactive waste – Section 8 Performance Assessment", 16 May 2007, 入手先＜https://www.nrc.gov/docs/ML1219/ML12193A453.pdf＞（2022.3.14 閲覧）
33. "Report to Legislature on US Ecology Commercial Low-Level Radioactive Waste Site Closure：Department of Ecology", 1 Dec 2015, 入手先＜

https://app.leg.wa.gov/ReportsToTheLegislature/Home/GetPDF?fileName=1505013_9ca987e3-f005-4478-a6f8-ba989ad72798.pdf＞（2022.3.14 閲覧）

２．２ フランス

（１） L3 廃棄物（VLLW）の処分実施主体及び処分場

表 2.2.(1)-1　L3 廃棄物の処分実施主体及び処分場（フランス）

処分場名	取扱廃棄物	処分実施主体
モルヴィリエ	L3 廃棄物（VLLW）	放射性廃棄物管理機関（ANDRA）

（出典：文献 1, P2～3 を参考に編集作成）

図 2.2.(1)-1　フランスの主な L3 廃棄物処分場の設置場所広域マップ

（出典：Google マップを編集加工）

（２） モルヴィリエ処分場

① 概要

モルヴィリエ処分場（CIRES）では、主に原子力施設の解体や、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 L3 廃棄物が処分されている。モルヴィリエ処分場は、パリ東方のオーブ地方のモルヴィリエに位置し、オーブ処分場に隣接している。処分場の構成は、粘土層を素掘りしたトレンチで、横 25 m、縦 80 m、深さ 6.5 m の処分セルからなっている。また、操業期間は約 30 年間とされている。

なお、モルヴィリエ処分場は、埋設する合計の放射能レベルによる施設分類の指標の値が小さいことから、ラ･マンシュ処分場やオーブ処分場のような原子力基本施設（INB）ではなく、環境保護指定施設（ICPE）としての許可を受けて操業されている。ICPE は放射性物質を扱う施設に限らず、有害物質を扱う事業から農業及び畜産関連の事業等、様々な業種に適用される。環境汚染など、環境保護の観点からリスクが高いと判断される事業を行う特定の施設として指定され、「ICPE に関する 1976 年 7 月 19 日の法律（79-663）」で、規制の枠組みが規定されている。ICPE は環境大臣の規制下に置かれ、その規制はリスク予防総局（DGRP）の管轄下で県知事により行われる。

（出典：文献 1, P25, 文献 2, P2～3 及び文献 4 を参考に編集作成）

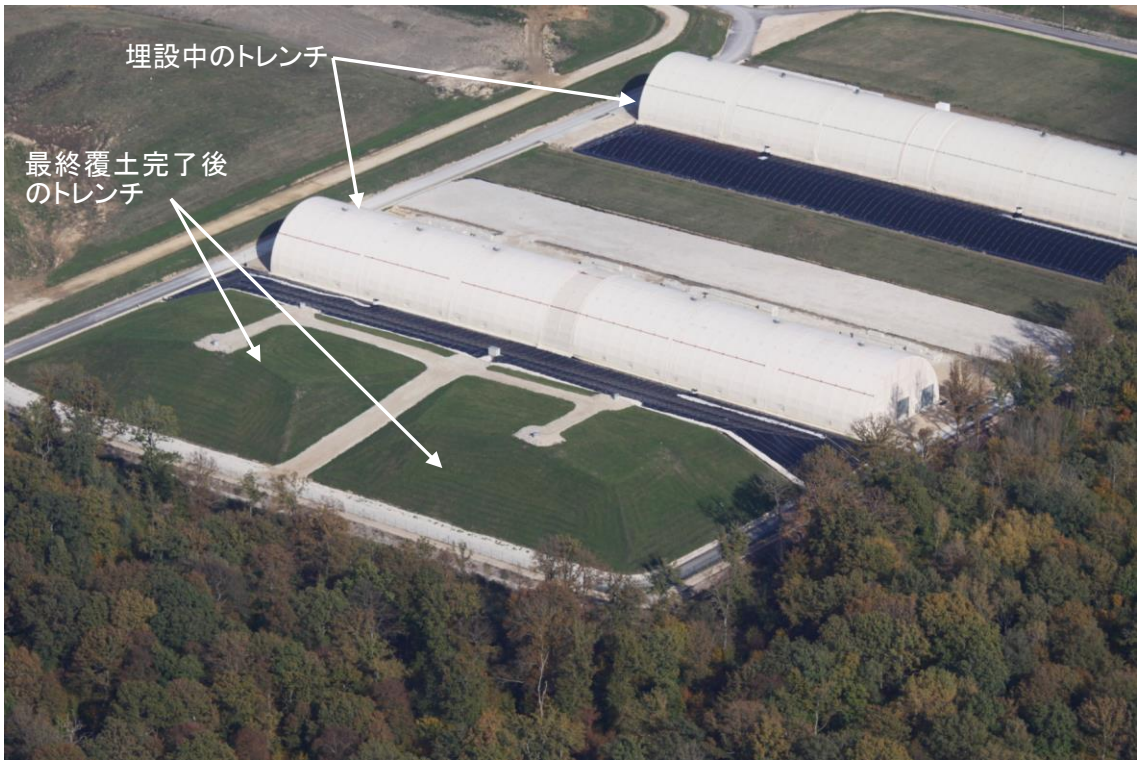


図 2.2.(2)-1　モルヴィリエ処分場の施設外観

（出典：文献 3, P13 より転載）

また、2017 年に大型廃棄物専用のトレンチが操業した。この新しい埋設セルは、長さ 265 m、幅 22 m で、約 35,000 m^3 の埋設容量を有する。このセルは、原子力施設の廃止措置で発生する大型廃棄物専用となっている。セルの周囲にある深さ 9 m の 100 本の杭により、吊り上げ能力 130 トンの天井クレーンでの作業が可能である。
（出典：文献 4 を改変して転載）

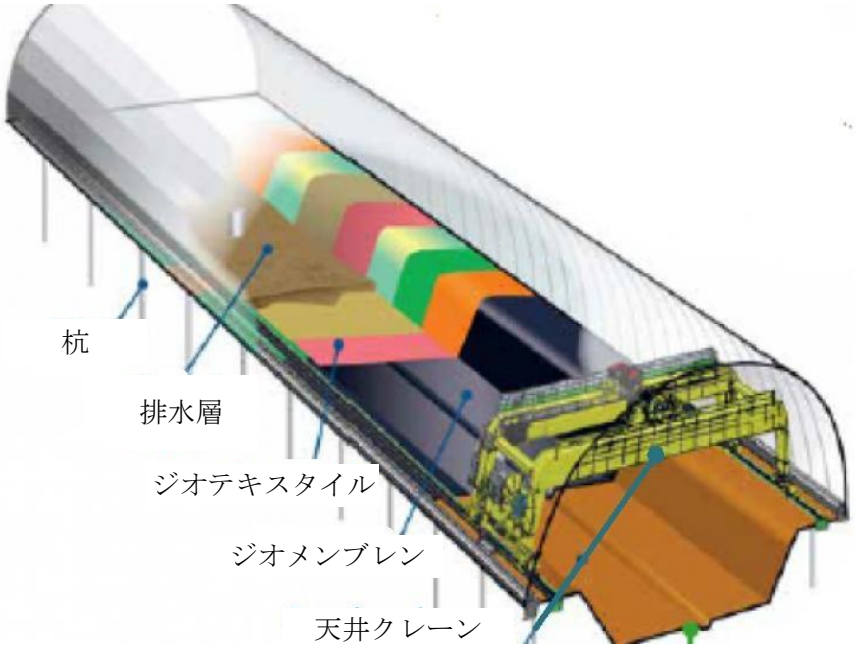


図 2.2.(2)-2　2017 年に操業した大型廃棄物専用トレンチの概念図
（出典：文献 4 より転載）

図 2.2.(2)-3　2017 年に操業した大型廃棄物専用トレンチ内部
（出典：文献 5, P4 より転載）

② 操業開始

2003 年

2017 年（大型廃棄物専用トレンチ）

（出典：文献 1, P25, 文献 3, P7 及び文献 4 より転載）

③ 受入廃棄物

モルヴィリエ処分場で受け入れている VLLW は、原子力施設の廃止措置や運転中に発生する放射性廃棄物、もしくは放射性核種を使用する公共施設（研究所、病院など）や工業施設等から発生する放射性廃棄物であり、内容は土壌、がれき、スクラップ金属等であり、角型容器、ドラム缶、フレコンなどに入れて処分する他、大型の廃棄物を直接処分している。処分場には圧縮処理施設が設置されており、受け入れたプラスチックや圧縮可能な金属廃棄物の処理を行った後、埋設することも行われている。いずれの場合も空隙は不等沈下防止のために砂などを充填する。放射能レベルは 10 Bq／g 程度である。

フランスではクリアランスが制度化されておらず、汚染もしくは放射化による廃棄物が存在する領域（nuclear waste zone）と汚染や放射化の可能性がない領域（conventional waste zone）に区分されることになっている。前者に区分されると極めて微量な汚染もしくは放射化でも放射性廃棄物として処分する必要がある。

（出典：文献 6, P14～15 より転載）

④ 処分容量

モルヴィリエ処分場の処分容量は約 65 万 m^3 で、そのうち既に埋設済みの容量は約 35 万 m^3 である（2017 年末時点）。

（出典：文献 1, P25 を参考に編集作成）

モルヴィリエ処分場で受け入れ可能な総放射能量は表 2.2.(2)-1 のとおり。

表 2.2.(2)-1　総放射能量

核種	総放射能量（Bq）	核種	総放射能量（Bq）
C－14	1.9×10^{12}	Sn－126	1.0×10^{11}
CL3 6	6.4×10^{10}	I－129	3.1×10^{10}
Se－79	7.4×10^{11}	Cs－135	1.8×10^{12}
Sr－90	3.7×10^{12}	Ra－226	1.4×10^{12}
Tc－99	1.3×10^{11}	Th－232	1.1×10^{10}
Ag－108m	3.8×10^{9}	Pu－239	1.2×10^{11}

（出典：文献 7, P161 を改変して転載）

⑤ 処分施設の構造

トレンチ設計の基本原則は、非放射性の有害廃棄物処分施設に関する管理規則を遵守することになっている。この原則を適用することにより、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。

図 2.2.(2)-4 に処分場の概念図を示す。処分場は、厚さ約 15 m ～25 m の低透水性の粘土層の地盤に設置され、粘土層を深さ約 8 m 掘削する。廃棄物を定置する前に、厚さ 2 mm の高密度ポリエチレン（HDPE）を処分セル底部（下部ジオメンブレン）及び側部に取り付ける。廃棄物を平均約 10 層定置した後、廃棄物の周囲の空隙を砂で充填し、廃棄物上部に同様の HDPE（上部ジオメンブレン）を取り付け、下部ジオメンブレンに熱溶接し防水バリアを形成する。ジオメンブレンは完全防水性で、数 10 年間放射能の拡散及び外部水（雨、湿潤）の浸水を防ぐよう設計されている。

ジオメンブレン外周の「粘土質の被覆」は、浸透率 10^{-9} m／s 以下の非常に低い浸透性のものである。また、その上部の「粘土層埋戻材」は、処分セル掘削に伴い除去した粘土層で、最初の浸透率を回復させるために、厚さ 1 m～5 m の層を機械的に成形して圧縮した層である。この「粘土層埋戻材」が、「ジオメンブレン」及び「粘土質の被覆」等で構成された閉じ込め機能を、風化（霜、風）、動物及び侵食から守る役割を果たしている。最後に、厚さ約 30 cm の植生された表層土で覆う。

下部ジオメンブレンの上（廃棄物側）に敷砂利及び排水管による集水機能を設けている。

廃棄物の定置中のトレンチには、膜構造のテントを設置して雨水の浸入を防止する。

（出典：文献 2, P3, 文献 4, 文献 7, P156, 文献 8, P11 及び文献 9, P3.2.1.2-29～30 を参考に編集作成）

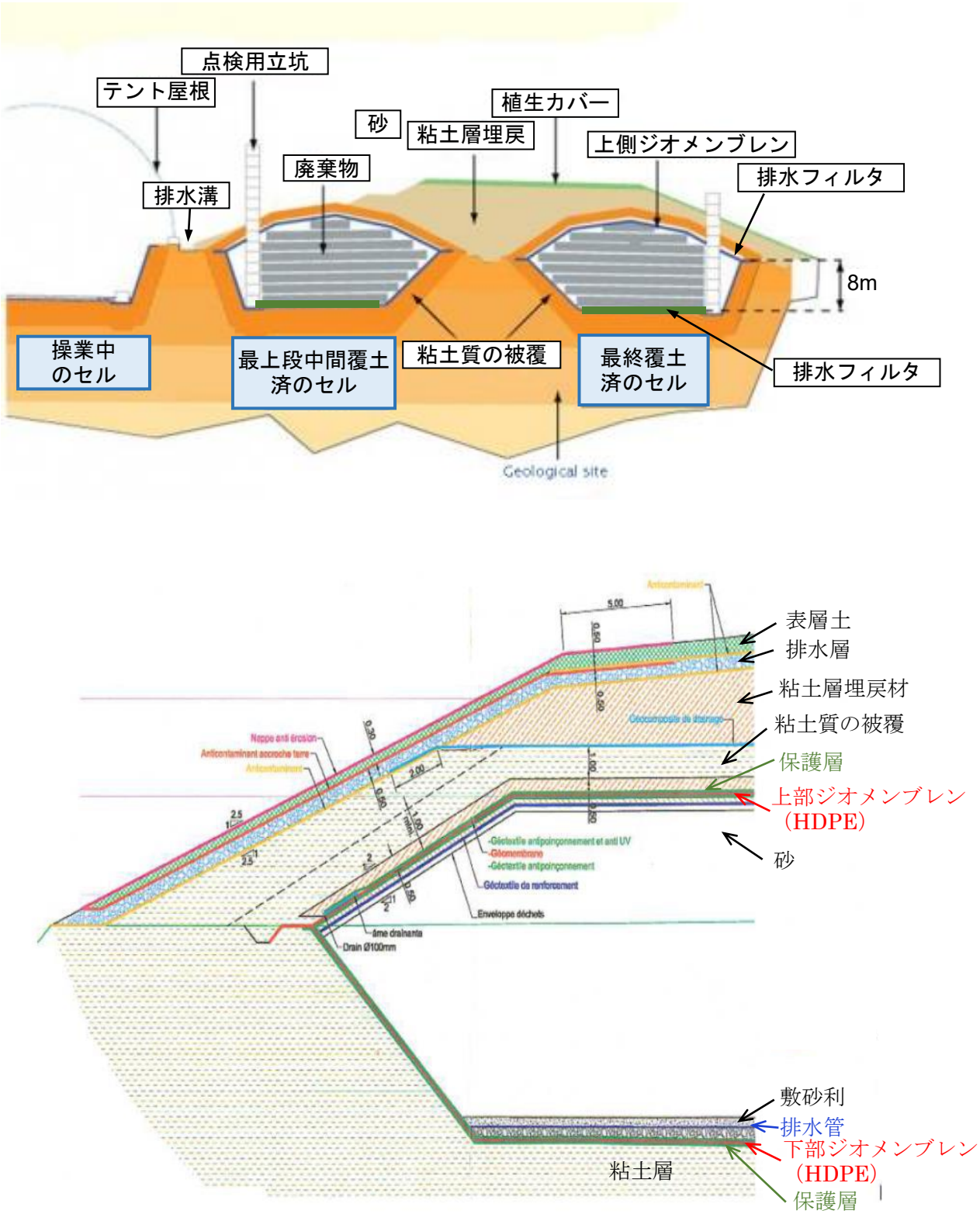


図 2.2.(2)-4　モルヴィリエ処分場の概念図

（出典：文献 3, P8, 11 を改変して転載）

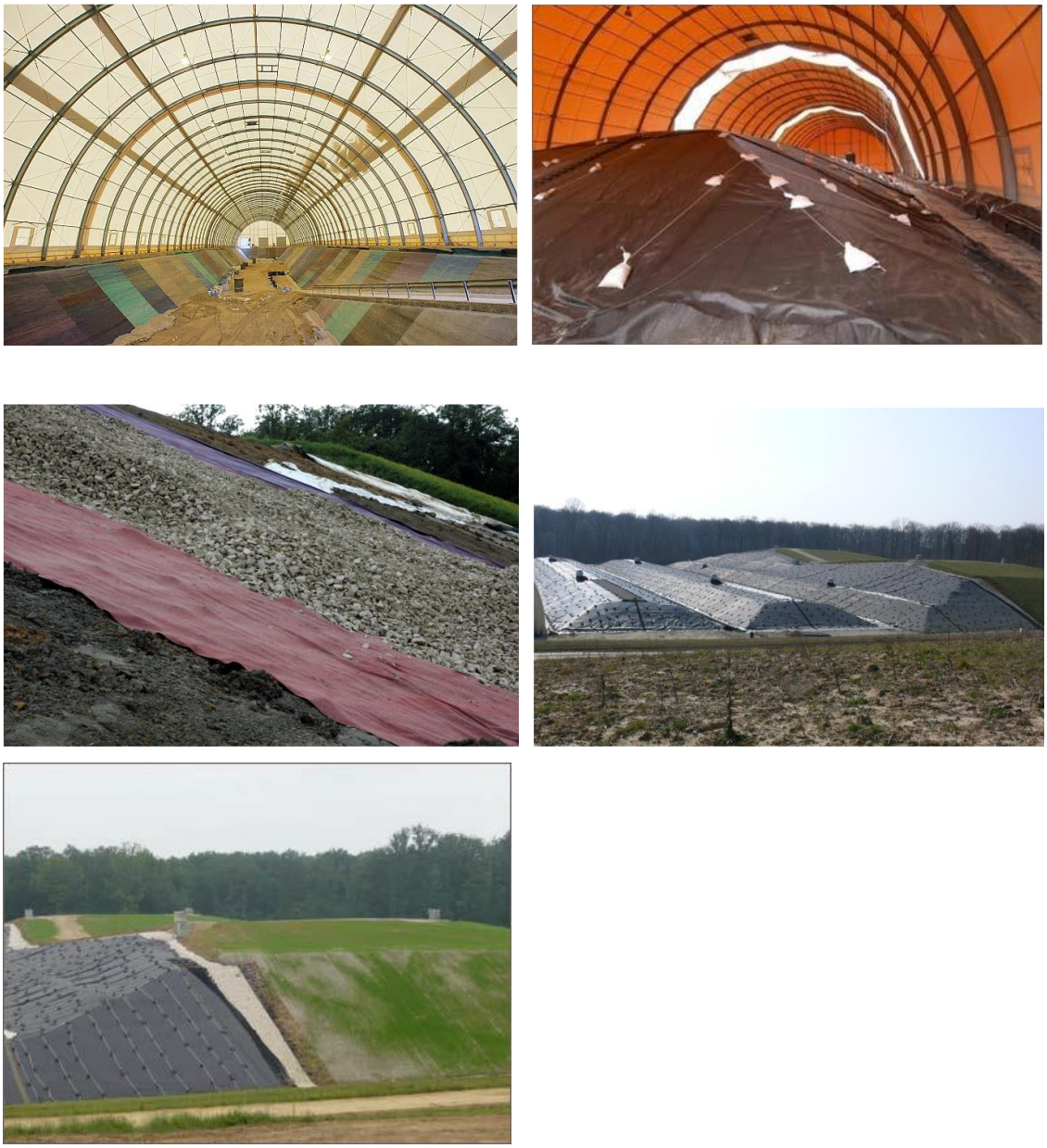


図 2.2.(2)-5　モルヴィリエ処分場のキャッピング
（出典：文献 3, P12 より転載）

⑥　廃棄物埋設状況

L3 廃棄物の性質を考慮すると、廃棄物収納容器等（ドラム、シートなど）は放射能を閉じ込める役割は有しておらず、運搬時の保護及び埋設作業を容易にする役割を果たしている。モルヴィリエ処分場で受け入れる廃棄物の約 30 %は、埋設前に処理を受けている。低密度の廃棄物（プラスチック、断熱材など）は、ベーリングプレス機で圧縮された後、結束されて透明なプラスチックシートで梱包される。また、別のプレス機にてスクラップ金属を減容している。埋設地現場で発生した汚水や事業者から受

け入れた汚泥などの廃棄物は、固化・安定化ユニットで処理される。

また、輸送用キャスクやコンクリートブロック及び蒸気発生器などの大型機器を、解体することなく埋設処分を行っている。これまで 4 基の蒸気発生器を埋設しているが、除染後の蒸気発生器は十分に放射能が低いため、通常のセルで埋設可能である。

（出典：文献 2, P4～5, 文献 3, P2 及び文献 8, P10 を参考に編集作成）

a. トレンチの掘削

（出展：文献 3, P10 より転載）

b. トレンチの掘削

（出展：文献 4 より転載）

c. 定置前のトレンチ

（出展：文献 4 より転載）

d. ドラム缶廃棄物の定置作業

（出典：文献 3, P10 より転載）

e. フレコン定置作業

（出典：文献 7, P158 より転載）

f. フレコン、ドラム缶の覆土

（出典：文献 7, P159 より転載）

g. 金属廃棄物の定置作業

（出典：文献 7, P159 より転載）

h. ドラム缶廃棄物の定置

（出典：文献 3, P10 より転載）

i. 大型廃棄物の定置

（出典：文献 2, P6 より転載）

j. 蒸気発生器輸送

（出典：文献 6, P16 より転載）

k. 蒸気発生器

（出典：文献 6, P16 より転載）

l. 雨水浸入防止テント設置状況
（出典：文献 3, P10 より転載）

m. 覆土施工後（テント内）
（出展：文献 4 より転載）

n. 覆土後のテント移設作業

o. 覆土施工後（テント移動後）
（出展：文献 4 より転載）

p. 覆土上部の植生作業
（出展：文献 4 より転載）

q. 植生後
（出展：文献 4 より転載）

図 2.2.(2)-6　廃棄物の埋設状況

⑦　モニタリング期間

覆土後の処分場の管理期間（モニタリング期間）は、30 年とされている。
（出典：文献 2, P5 より転載）

参考文献（フランス）

1. 諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて（2019 年版），経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課, 入手先 （財）原子力環境整備促進・資金管理センターホームページ
   < https://www2.rwmc.or.jp/publications:rwmhg2019>（2019.12.24 閲覧）
2. 佐藤 和彦, 坂井 章浩, 秦 はるひ, 麓 弘道, 川越 浩, 齋藤 龍郎, 長谷川 信, “欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査”, （国研）日本原子力研究開発機構, 入手先 <https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5044331>（2018.1.25 閲覧）
3. Nicolas Solente, “VLLW disposal and management of large volume of slightly contaminated materials：the French experience”, ANRDA, 入手先 <https://gnssn.iaea.org/RTWS/general/Shared%20Documents/Waste%20Management/Waste%20Management%20after%20Emergency/Nov%202013%20NE%27s%20TM%20on%20the%20Disposal%20of%20large%20volume%20of%20radioactive%20waste/Wednesday/largevolumes_andra_Solente_FRA.pdf>（2019.10.28 閲覧）
4. “A specific solution for VLLW”, ANDRA ホームページ, 入手先 <https://international.andra.fr/operational-facilities/industrial-facility-grouping-sorting-and-very-low-level-waste-VLLW-disposal-facility-cires/specific-solution-VLLW>（2021.7.7 閲覧）
5. Pierre-Marie Abadie(May23, 2018), “6th Review Meeting of Joint Convention Group 2” , 入手先 < https://www.french-nuclear-safety.fr/Media/Files/Sixth-Review-Meeting-of-the-Joint-Convention-Country-Group-2-Andra＞（2022.3.15 閲覧）
6. 泉田 龍男, “フランスの中低及び極低レベル廃棄物処分施設の状況”, RANDEC ニュース No.102(February, 2016), （公財）原子力バックエンド推進センター, 入手先 <http://www.randec.or.jp/publish/documents/RANDEC%20NEWS/RANDEC%20NEWS_102.pdf> （2018.4.15 閲覧）
7. M.Dutzer, F.Chastagner, N.Ricquart, F.Duret(December13-17, 2004), “DISPOSAL OF VERY LOW LEVEL WASTE AND SAFETY ASSESSMENT：Disposal of Low Activity Radioactive Waste (IAEA)”, 入手先
   < https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:36078141>（2019.10.28 閲覧）
8. “ANDRA The surface disposal concept for VLLWaste”, 入手先 <https://international.andra.fr/operational-facilities/industrial-facility-grouping-sorting-and-very-low-level-waste-VLLW-disposal-facility-cires/cires>（2018.2.10 閲覧）
9. L3 廃棄物施設に関する予備的検討最終報告書（平成 22 年度），日本原子力発電(株)

２．３ イギリス

（１） 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場

表 2.3.(1)-1 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場（イギリス）

処分場名	取扱廃棄物	処分実施主体
ドリッグ	低レベル放射性廃棄物	LLWR 社

（出典：文献 1, P43 を参考に編集作成）

図 2.3.(1)-1 イギリスの主な L3 廃棄物処分場の設置場所広域マップ

（出典：文献 1, P40 を参考に、Google マップを編集加工）

（２） ドリッグ処分場

① 概要

イングランドのカンブリア州西部のドリッグ村近郊に位置するドリッグ処分場は、過去には、英国原子力公社（UKAEA）、英国核燃料会社（BNFL）により操業されていたが、現在は、原子力廃止措置機関（NDA）から委託を受けた LLW Repository Ltd（LLWR 社） により 2007 年から運営されている。ドリッグ処分場では、2 種類の処分方法で廃棄物を処分している。1959 年に操業を開始し、粘土でライニングされたトレンチ処分施設に固型化・処理されていない低レベル放射性廃棄物を処分していたが、その後、1986 年に英国議会の勧告を受けて、トレンチに廃棄物を直接埋設する方式から廃棄物をコンクリートで固化する方式にするよう方針転換した。これにより、1988 年のボールト 8 の操業開始からトレンチ処分は徐々に減少し、1995 年のセラフィールド LLW 圧縮施設の完成によりトレンチ処分は終了し、コンクリートボールト施設に大型の ISO コンテナ容器に収納された廃棄体を処分する方法に変わっていった。

現在、ドリッグ処分場ではボールト 8（処分容量 20 万 m^3）の処分容量が満たされ、廃棄物はボールト 9 に定置している。今後、ドリッグ処分場では 2,130 年までに発生が見込まれる 440 万 m^3 の低レベル放射性廃棄物を処分するため、ボールト 20 まで施設を増設する予定である。

（出典：文献 1, P43 及び文献 2, P I -310 を改変して転載）

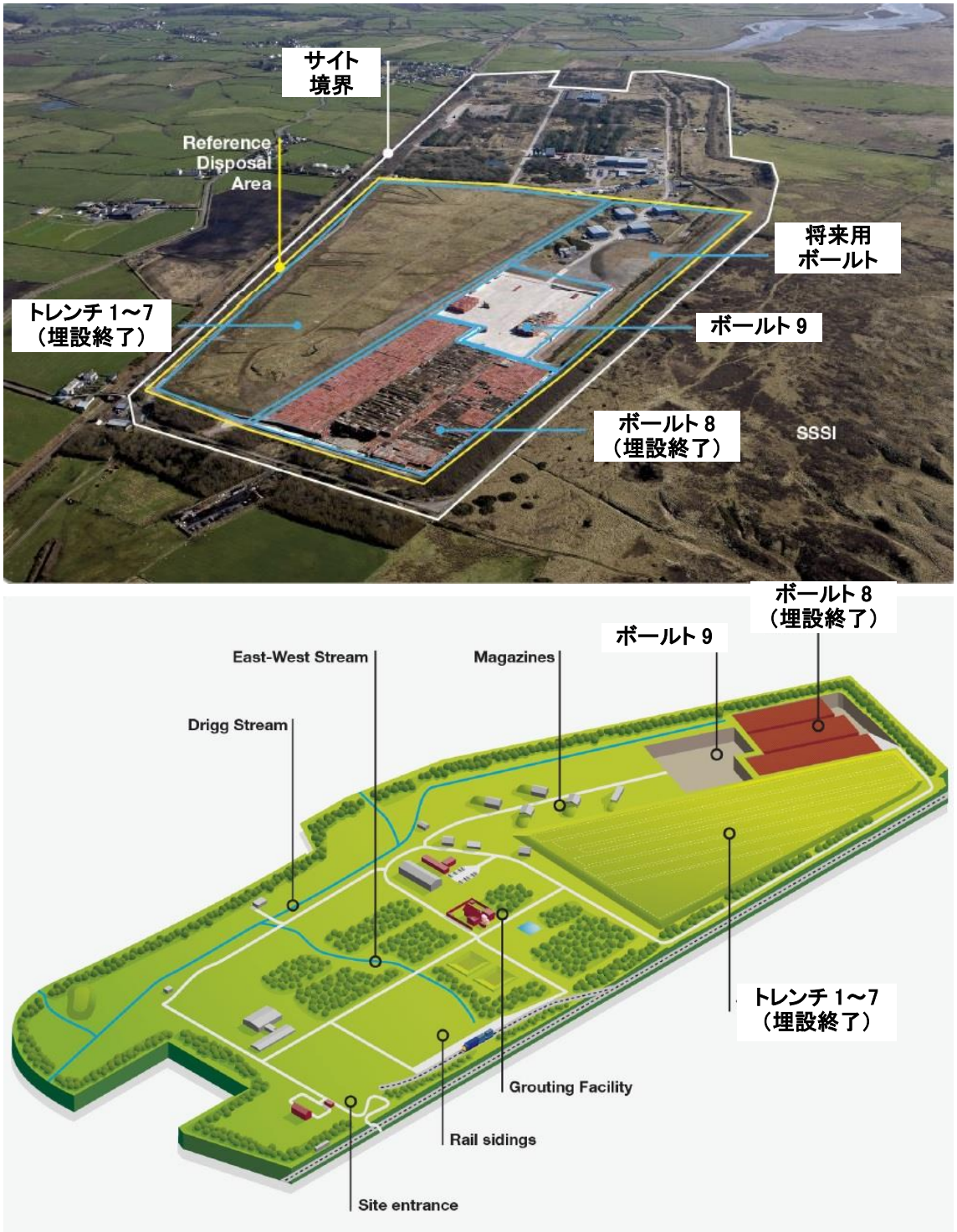


図 2.3.(2)-1　ドリッグ処分場の施設配置図

（出典：文献 4, P13 より転載）

② 操業開始

1959 年

（出典：文献 1, P43 より転載）

③　受入廃棄物

ドリッグ処分場は低レベル廃棄物の処分場であり、放射性物質の濃度上限値はα核種で4,000 Bq／g、βγ核種で12,000 Bq／gである。そのうちL3廃棄物の濃度上限値は4 Bq／gである（図2.3.(2)-2参照）。受け入れ条件は表2.3.(2)-1のとおり。

ドリッグ処分場で受け入れる前に、大半の廃棄物は圧縮した上で20 m^3のISOコンテナに収納し、圧縮できない廃棄物は、20 m^3のISOコンテナに直接収納する（図2.3.(2)-3参照）。なお、廃棄物を20 m^3のISOコンテナに収納した後、ドリッグの固形化施設にて20 m^3のISOコンテナにグラウトを充填し固形化する。

（出典：文献5, P2, 文献3, P18, 文献6, 文献7, P339～340を改変して転載）

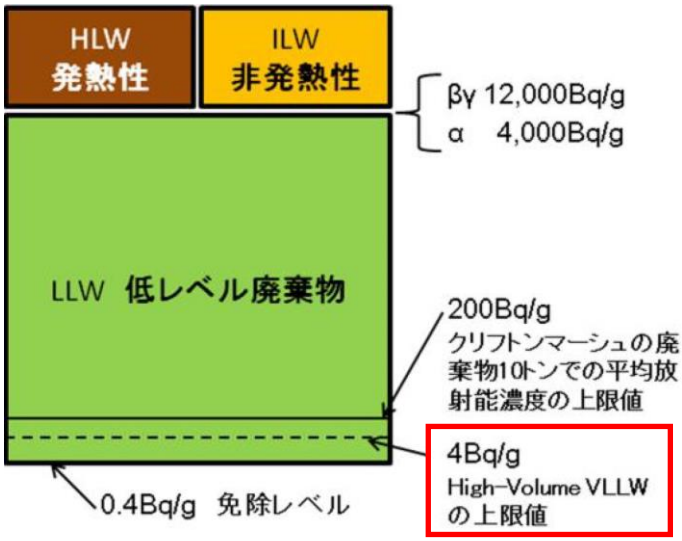


図2.3.(2)-2　イギリスの低レベル放射能区分

（出典：文献3, P18より転載）

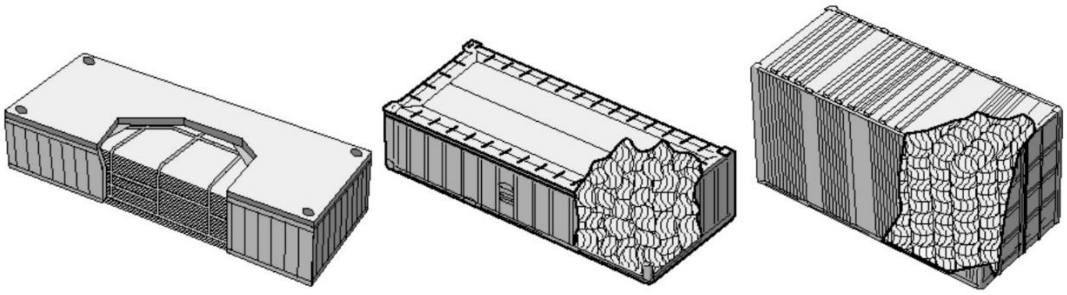
表2.3.(2)-1　ドリッグ処分場の受入条件

項　目	内　容
受入対象物	原子力産業、防衛省、非原子力産業、教育、医学及び研究施設などから発生する、紙、厚紙、プラスチック、防護服、土壌、瓦礫、金属をISOコンテナ容器に収納したもの
有害物	水、火災・爆発性物質※1、ガスを発生する物質、腐敗性物質（5 %以下）、生物学的毒性
表面密度限度	α核種：0.4 Bq／cm^2以下、βγ核種：4 Bq／cm^2以下
マクロ空隙率	10%以下
圧縮強度	400 kN／m^2以上
重量	グラウト充填前：35トン以下 グラウト充填後：42トン以下もしくは30 kN／m^2以下の厳しい方

※1：①可燃性金属（微粉のＬｉ，Ｍｇ，Ｚｒ，Ｚｎ，Ｎａ，Ｋ，Ｃａ）、②22℃以下の引火点

を有する固定化されている液体、③りん、④ホウ素の水素化物、⑤水素化物、窒素化物、炭化物等で水と反応により熱・可燃性を発生する物質、⑥強酸試薬、⑦圧縮気体、エアゾル

（出典：文献 6 を参考に編集作成）



（1）ハーフハイトコンテナ　（2）ハーフハイトコンテナ　（3）フルハイトコンテナ
（圧縮物収納）　（非圧縮物収納）　（充填ドラム缶収納）

図 2.3.(2)-3　廃棄物の収納形態の例（出典：文献 8, P20 より転載）

④　処分容量

ドリッグ処分場の処分容量は、既に埋設が完了しているトレンチ 1～7 が約 80 万 m^3で、操業中のボールト 8～14 が約 130 万 m^3である（2011 年 5 月）。

（出典：文献 1, P43 より転載）

⑤　処分施設の構造

a. トレンチ

トレンチ 1 からトレンチ 7 は 1959 年から 1995 年にかけて操業され、表 2.3.(2)-2 に示すとおり順に埋設された。ドリッグ処分場の主要媒体は、不均一で不連続な粘土層であり、その周囲に砂層が分布している。トレンチの廃棄物層の厚さ（深さ）は約 3.5 m～約 6.5 m の範囲であり、また、廃棄物を定置するトレンチ内の法面の勾配は通常 1：1 で建設されている。

トレンチの平面図及び断面図を図 2.3.(2)-4 及び 2.3.(2)-5 に示す。

トレンチに埋設した廃棄物の大半は、北から南に向かって順に埋設された。トレンチに埋設した廃棄物は、未処理であったため、全体的にばらばらに傾いていた。トレンチに廃棄物を定置した後は、埋設地周辺から掘削した砂質粘土を覆土材として使用し、日常的に覆土している。

表 2.3.(2)-2　トレンチの概要

No.	操業	閉鎖	深さ	標高	覆土
1	1959 年	1963 年	3.65 m	26.0 m	7.0 m
2	1963 年	1973 年	4.28 m	25.0 m	7.0 m
3	1973 年	1979 年	6.26 m	24.0 m	5.0 m
4	1979 年	1981 年	4.00 m	27.0 m	10.0 m
5	1981 年	1983 年	4.17 m	24.0 m	7.0 m
6	1983 年	1985 年	4.57 m	22.0 m	4.0 m
7	1985 年	1995 年	6.14 m	21.0 m	2.0 m

（出典：文献 9, P41 を改変して転載）

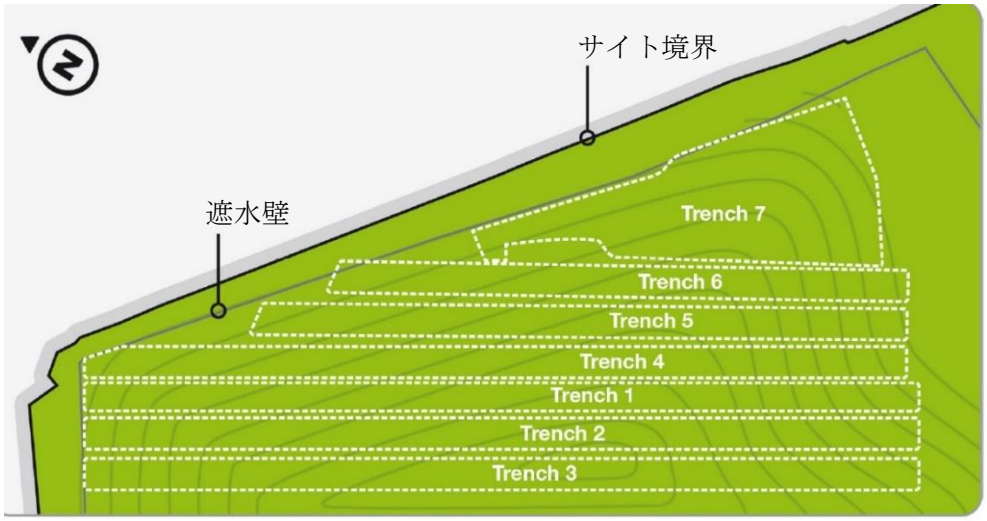


図 2.3.(2)-4　トレンチ概念図（平面図）

（出典：文献 9, P42 より転載）

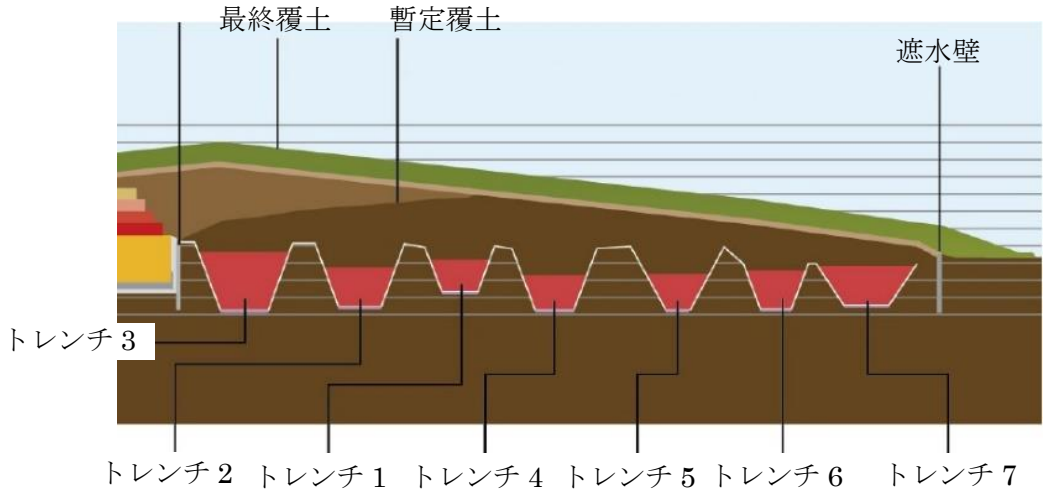


図 2.3.(2)-5　トレンチ概念図（断面図）

（出典：文献 9, P42 より転載）

i. 暫定覆土

トレンチ 1～トレンチ 6 の暫定覆土及び遮水壁は、当時の基準に基づき 1988 年 9 月から 1989 年 8 月に建設された。暫定覆土の概要は以下のとおり。

- 14 ha（140,000 m^2）にわたる 450,000 m^3 の盛土（平均厚さ 3.2 m）
- 最低 450 mm の土壌による覆土（通常は約 1 m）
- 勾配 1:25 の土盛り（主に砂質粘土）
- ジオメンブレン：地中約 1 m に厚さ 0.375 mm の低密度ポリエチレン（LDPE）を敷設
- 接合部：熱融着によって「溶着」され、検査を実施

トレンチ 7 の暫定覆土は、1995 年のトレンチ閉鎖後に建設された。覆土の仕様は基本的にトレンチ 1～トレンチ 6 と同様である。

この暫定覆土は暫定的な目的で十分に機能し続けると考えられているが、最終覆土により更に高い性能基準の達成が見込まれている。

ii. 覆土からの地表流の排水

トレンチの暫定覆土から流出する地表流は、覆土周辺の排水溝に集水され、西側の観測施設（TCRW）及び東側の観測施設（TCRE）でモニタリングされる（図 2.3.(2)-6 参照）。年次のモニタリング結果において排水溝の欠陥が報告されたため、2010 年の夏にトレンチ覆土周辺の排水システム全体が交換された。排水設計は、75 年に 1 度の降水による流出に対応している。この設計には、様々な保守的な条件が考慮されており、一時的に超過しても埋設施設には影響はない。

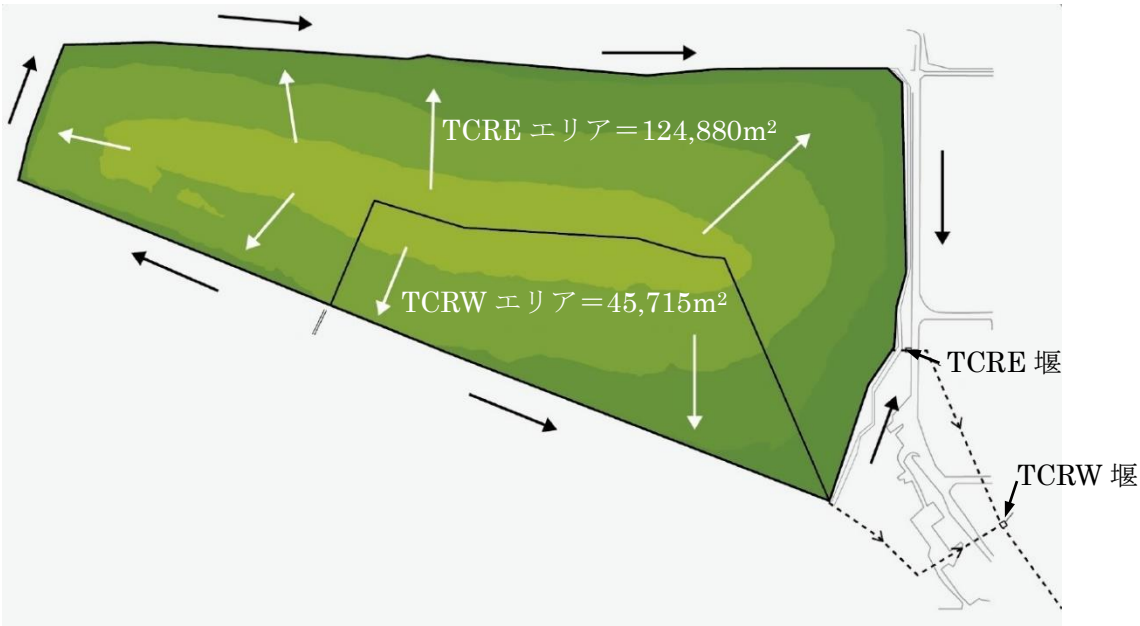


図 2.3.(2)-6　トレンチ暫定覆土の排水計画

（出典：文献 9, P44 より転載）

iii. 遮水壁

トレンチ 1 からトレンチ 6 の北側及び東側周辺の遮水壁（COW）は、幅 1 m、長さ 450 m、深さ 9 m（範囲 7.3 m～9.4 m）で、その深さは「粘土層に最低 2 m の根入れを確保した深さ」と定義されている。

遮水壁の設計寿命は 300 年で、透水係数は 28 日時点で 10^{-8} m／s、1 年時点で 10^{-9} m／s 以下とされている。これらは建設時における現場透水試験により確認され、10^{-8} m／s と報告されている。報告されている配合設計は、水 1,000 kg に対し、セメント 32 kg（3 %）、ベントナイト 45 kg（4 %）、GGBFS セメント（高炉スラグ微粉末を用いたセメント材）代替品 128 kg（10 %）であった。

b. ボールト 8

ボールト 8 の底部においては、現場における透水係数が 10^{-9}m／s 以下となる粘土を 1 m 以上設置された。この条件を満たせない場合は、ベントナイトと現地土壌の混合土を厚さ 300 mm 設置している。ベントナイト混合土は、現地において 10^{-10} m／s 以下となることを試験にて確認している。1989 年の現地試験においては、透水係数 6×10^{-11} m／s を得たと報告されている。

2009 年には、ボールト 9 の建設に伴い露出したボールト 8 南端の 2 つのエリアのベントナイト混合土から、4 つのサンプルを採取し試験した結果、1 つ目のエリアにおいて透水係数約 7×10^{-11} m／s が得られ、20 年以上に亘って低透水性を維持していたことが確認された。2 つ目のエリアにおいては、約 4×10^{-10} m／s～6×10^{-10} m／s と一桁高い値が得られた。これらの結果は、何らかの劣化、あるいは施工品質が低かった可能性を示唆している。また、採取したサンプルには、現在受け入れられている材料よりも粗い材料が含まれていたとされている。

基礎スラブは通常の鉄筋コンクリート構造である。図 2.3.(2)-7 のとおり、ボールト 8 は 3 つのエリアに区切られており、スラブ厚さ 250 mm のエリア A、300 mm のエリア B 及び C がある。

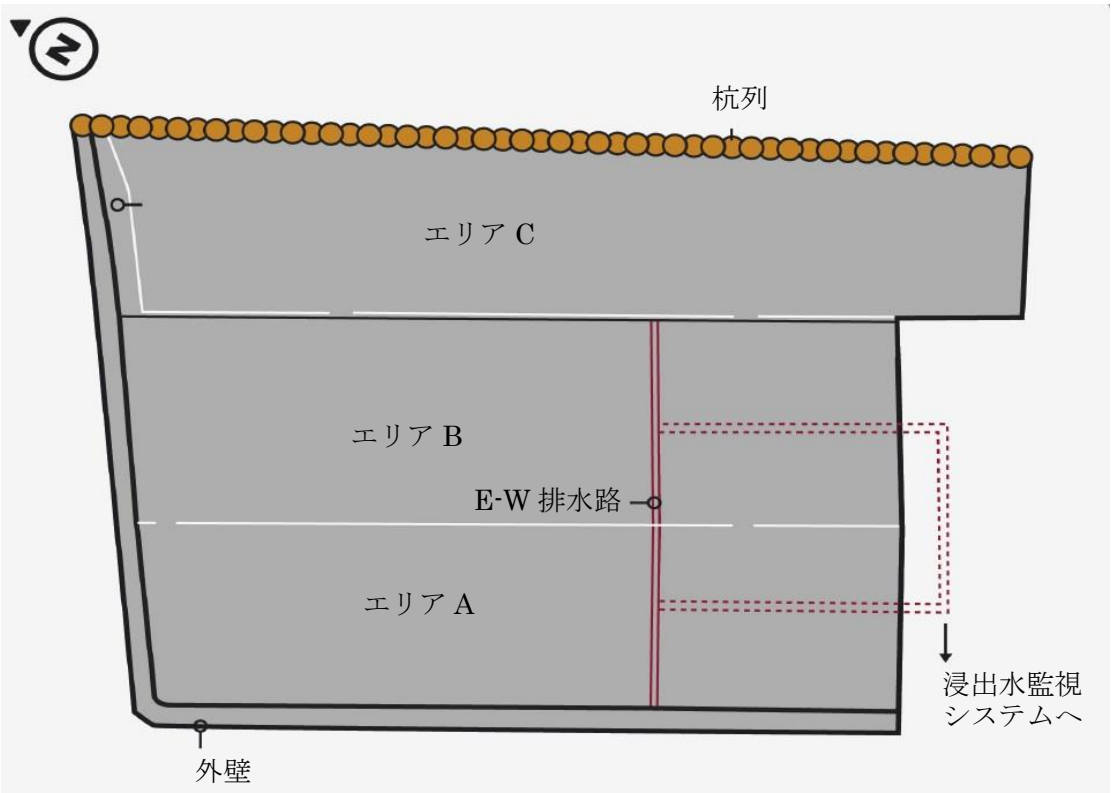


図 2.3.(2)-7　ボールト 8 概略図
（出典：文献 9, P47 より転載）

c. ボールト 9

ボールト 9 は、底部のコンクリートの下部にも多層からなる浸透水漏えい防止層が設けられている（図 2.3.(2)-8）。ボールト 9 では、遮水層上部の「HDPE 遮水シート及びジオテキスタイル」と「ベントナイト混合土（一次層）」の下層に、リーク検出及び集水層（LDCL）が組み込まれており、水が浸透した場合は、浸透水が収集及び監視できる構造となっている。HDPE 遮水シートを損傷から保護するために、鉄筋コンクリートスラブの下部に 1,200 g／m^2のジオプロテクター層を、また、リーク検出及び集水層の下部に最低 3,000 g／m^2のジオプロテクター層を設けている。

設計は環境庁のガイドに準拠している。底部遮水の機能要件は以下のとおり。

- ボールト 9 内からの浸出水を閉じ込め、浸出水が制御されずに地面に流出するのを防ぐ。
- ボールト 9 への地下水の浸入を防ぐ。
- 廃棄物定置用のフォークリフト・トラックを含め、最大 6 段積のハーフハイト ISO コンテナによる荷重を支持できるようにする。
- ボールト 8 のスラブ下の遮水層との連続性を維持する。
- 将来設置するボールトのライナーとの連続性を維持するのに適している。

また、ジオメンブレン（HDPE 遮水シート）については、以下が要求されている。

・ 最小厚さ：2 mm
・ 透水係数：10^{-14} m／s 未満
・ 適切な溶接の詳細
・ 適切な検証試験

なお、ベントナイト混合土についていては、以下が要求されている。

・ 最小厚さ：500 mm
・ 透水係数：10^{-10} m／s 以下
・ 適切な混合管理、敷均し、転圧
・ 適切な検証試験

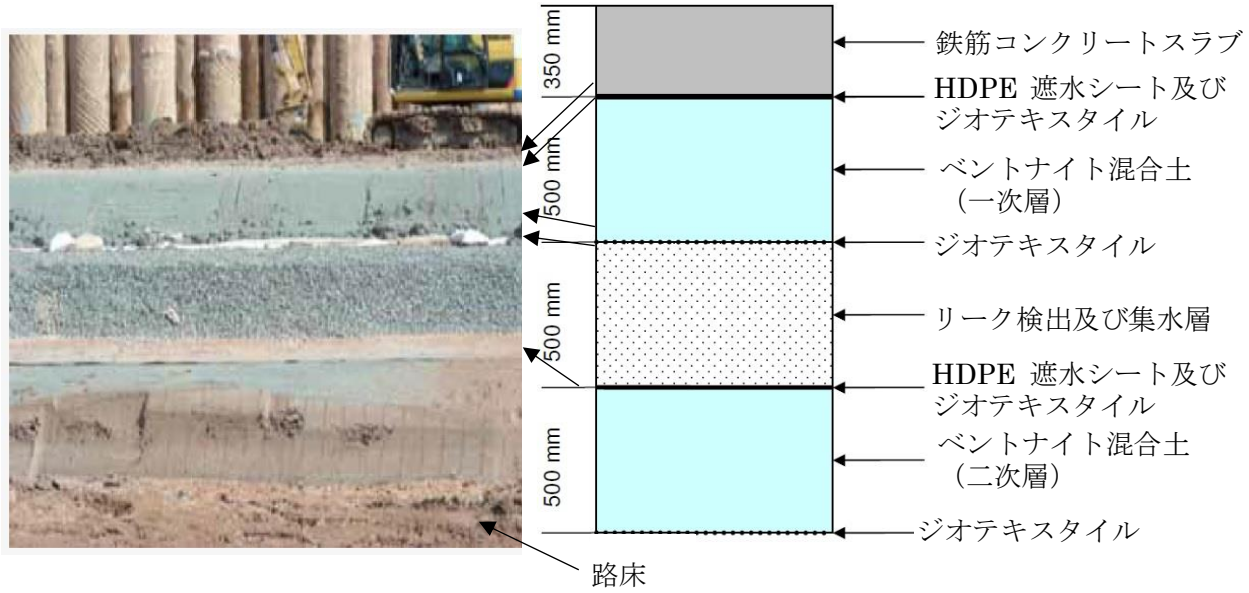


図 2.3.(2)-8　ボールト 9 底部の遮水構造（出典：文献 9, P56～57 より転載）

d. 最終覆土

最終覆土は以下のとおり設計されている。

・ 水の浸透を制限して流出を抑制する。
・ 廃棄物を隔離・保護し、廃棄物の状態を制御する。（低透水性バリアにより水の浸透を低減し、廃棄物劣化を抑制し、汚染物質（ガス、液体、又は固体）の放出を最小限にする。）
・ ボールト及びトレンチ内の廃棄物から発生する放射性ガスの埋立地からの放出を制御する。
・ 浸食（風や雨など）、地震及び植物・動物・人間の侵入による損傷を防止する。

最終覆土の設計に当たっては、主に以下の制約がある。

・ 可能な限り天然素材をする（人工材料の長期性能データに基づく）。なお、利点

を示すことができる場合は、他の材料を使用することも可能。

- 視覚的な影響を軽減するために、最終覆土の高さを最小化する。
- 最終覆土においては、運用上の要件を考慮する必要がある。空隙による沈下に対応するためのものである（ただし、沈下の可能性を制限するために、廃棄物内の空隙の充填が行われる。）。

最終覆土の設計においては、埋設する廃棄物の形状及び高さの変動、悪天候での作業の困難さなど、運用上の要件を考慮する必要がある。各ボールトが満杯になった場合、最終覆土は、各ボールトの区画とトレンチの隣接エリアに設置することができる。

最終覆土の斜面は、視覚的な影響を最小限に抑えるために、許容可能な最も平坦な設計となっている。覆土に関する環境庁のガイダンス等に沿って、浸潤を最小限に抑えるための技術要件を満たすには、1／25 の勾配が必要となっている。

覆土設計概念を図 2.3.(2)-9 に、詳細断面図を図 2.3.(2)-10 に、最終覆土構造を詳細断面図 2.3.(2)-11 に示す。

各層の機能等については、以下のとおり。

i. 表土層及び植生

表土層の主な機能は以下のとおり。

- 浸食を最小限に抑え、安定性を向上させる。
- 浸食を最小限に抑え、美観を促進する手段として、植物の成長を提供する。
- 安定性を損なうことなく、雨水の浸透を抑制し、乾期を通して植生を維持するために、適切な保水能力を提供する。

植生は、蒸発散による浸食の防止と浸潤の抑制効果がある。

ii. 保水層

表土層の下に計画されている厚さ 300 mm の保水層は、主に覆土上部の水分保持力を高めることを目的としており、植生の維持及び蒸発散の促進に寄与する。また、保水層は下層の排水層への浸透を抑制し、表面流出を促進することで下位層を浸食、凍上及び乾燥から保護する役割も担っている。

降雨量が少ない期間に乾燥しないように、保護層の材料は少なくとも 10 %のシルトと粘土を含む必要がある。ただし、乾燥割れが発生しやすくなるため、粘土が多すぎるのは良くないとされている。

保水層は、植物の根が下層に侵入するのを最小限に抑えるために十分な厚さである必要がある。保水層の厚さは、300 mm が適切であるとされている。

iii. フィルタ層

フィルタ層の機能は、下層にある生体侵入防止バリア及び排水層への粒子の流入を最小限にすることである。粒子の流入は、これらの層の目詰まりを招き、性能に悪影響を及ぼす。

フィルタ層は、細粒子フィルタである砂層、及び粗粒子フィルタである礫層で構成

されており、厚さは各々150 mm である。

iv. 生体侵入防止バリア

生体侵入防止バリアの機能は、動物による掘削、植物の根による貫通、及び人間の介入による低透水性バリアの損傷を防止することである。本バリアは、侵食から保護し、さらに廃棄物への侵入も防止できる。

生体侵入防止バリアは、通常、大きく耐久性のある石畳を設け、均一で適切に転圧される。石のサイズは、侵入が想定される動物の掘削力によるが、通常は 100 mm～300 mm の玉石が使用される。ドリッグ処分場においては、石のサイズは 100 mm～300 mm の範囲の玉石を使用し、厚さ 600 mm に転圧して敷き詰めることが計画されている。玉石のサイズの選定に当たっては、処分場サイトに存在の可能性のある動物のうち、最大の穴を掘る動物（アナグマ）の侵入により、水、湿潤、根、その他動物の経路となることを防ぐのに十分な大きさが選定されている。また、土壌の気孔率を高め、浸透を増進する効果もある。

文献 10 によると厚さ 900 mm に敷き詰められた玉石、又は厚さ 750 mm に敷き詰められた玉石の上に厚さ 150 mm の砂利を敷き詰めた層は、根の深い植物の根の侵入を止めるのに効果的である可能性があるとされている。これを踏まえ、ドリッグ処分場における生体侵入防止バリアの厚さは、その上部にある厚さ 150 mm のフィルタ層（礫）及び下部にある厚さ 500 mm の排水層の寄与を考慮し、厚さ 600 mm としており、深い発根植物や動物による掘削に十分抑止力があるとされている。

降雨等により排水層の容量を超過した場合には、生体侵入防止バリアが追加の側方排水機能を果たす。また、生体侵入防止バリアの上層であるフィルタ層は、バリアの微粉含有量を最小限に抑制し、バリア内の栄養分と水分の含有量を低く維持するため、下層への根の侵入を防止する。これにより、根は上層の湿った土壌内を横方向に伸びる可能性が高くなる。

v. 排水層

排水層の機能は、浸透水を堰き止め、横方向への排水を促進することにより、低透水性バリア（ジオメンブレン）の上部への浸透水を最小限に抑えることである。排水層により、上層にある土壌が追加の水を吸収して保持することができる。また、下層にあるバリア層との界面での間隙水圧を低減及び制御することにより、覆土の安定性を維持する。これは、覆土を潜在的に飽和させるのに十分な降雨がある場合に重要である。

排水層の主な基準は以下のとおり。

- 排水層の最小厚さは 500 mm とする。
- 排水材の透水係数は 10^{-4} m／s 以上とする。
- 排水層は、堆積物による閉塞、化学的な沈殿物、生物付着、物理的な目詰まりなどの影響を軽減できる適切な大きさにする必要がある。また、必要な設計耐

用年数期間中、過度な目詰まりを生じることなく機能できることが必要である。

厚さ 500 mm の粗砂利で構成されている排水層は、低透水性バリア（ジオメンブレン）の上部から覆土周囲への排水をするために計画されたものである。排水層の底部の厚さ 150 mm の層は、下層のジオメンブレンの損傷リスクを最小限に抑えるために、鋭利な石や角張った石を使用せずに、玉砂利を使用している。

vi. ジオテキスタイル保護層

ジオメンブレンの上部にはジオテキスタイル保護層が必要であり、高い保護効率を備えた高密度の不織布であるジオテキスタイルの設置が計画されている。このジオテキスタイル保護層は、低透水性バリアとして設置する HDPE ジオメンブレンの損傷を防ぐために設計されたものである。

vii. 複合不透水性バリア（ジオメンブレン）

複合不透水性バリア（ジオメンブレン）の主要な機能は、雨水の浸透及び上昇するガスの不透過バリアとなるものである。本バリアは、直接的に浸透水を遮断することや間接的に上層において浸透水を排水及び貯蔵することにより、浸透水を最小にする。

複合不透水性バリアの主な基準は以下のとおり。

- 少なくとも、ジオメンブレンライナーと粘土鉱物によるバリアの複合材料で構成されること。
- ジオメンブレンは、ポリマーが分解した後でも可能な限り機能を果たし続けるものとすること。
- 粘土鉱物によるバリアは、天然粘土又はベントナイト混合土で構成すること。
- 粘土鉱物によるバリアの最小厚さは 600 mm とすること。
- 粘土鉱物によるバリアの透水係数は、10^{-9} m／s 未満とすること。
- 複合不透水性バリアは、適切な耐歪み性が必要であり、可能な範囲で覆土の長期変形に耐えることができなければならない。
- 複合不透水性バリアは、霜の最大深さよりも深い位置に設置しなければならない。

リファレンスデザインとして、2 mm の HDPE ジオメンブレンが想定されている。HDPE は一般に、最も耐薬品性に適したポリマーと考えられており、埋設地のライニングシステムに最も適したジオメンブレンある。2 mm の厚さは一般的であり、十分に試験により確認されている。なお、厚さを厚くすると柔軟性が低くなり、取り付けが困難になることになり、設計上の利点はない。

HDPE ジオメンブレンの設計及び施工は、環境庁のガイドに基づきボールト 9 のライナーシステム用に承認された詳細仕様に従った。設計には以下が必要である。

- 最小厚さ 2 mm
- 透水係数 10^{-14} m／s 未満

・ 適切な溶着

・ 適切な検証試験

viii. 複合不透水性バリア（ベントナイト混合土）

先にも述べたとおり、粘土鉱物によるバリアは、天然粘土又はベントナイト混合土で構築されている。バリアに関する主な懸念は、透水性及び厚さの問題ではなく、沈下による機能喪失である。600 mm のベントナイト混合土層は、ジオメンブレンの直下に施工され、複合不透水性バリアの下部として機能するもので、600 mm は一般的な厚さである。なお、ベントナイト混合土層の厚さを厚くしすぎても、浸透水量を大幅に低減させたり、設計寿命を延ばすことはなく、設計上の利点はない。設計の主目的は、ベントナイトの最適な混合割合及び高水準の施工管理を確保することである。

ベントナイト混合土の設計及び施工は、環境庁のガイドに基づきボールト 9 のライナーシステム用に承認された詳細仕様に従った。設計には以下が必要である。

・ 透水係数 10^{-10} m／s 未満

・ 適切な混合管理、敷均し、転圧

・ 適切な検証試験

（出典：文献 9, P41～44 を改変して転載）

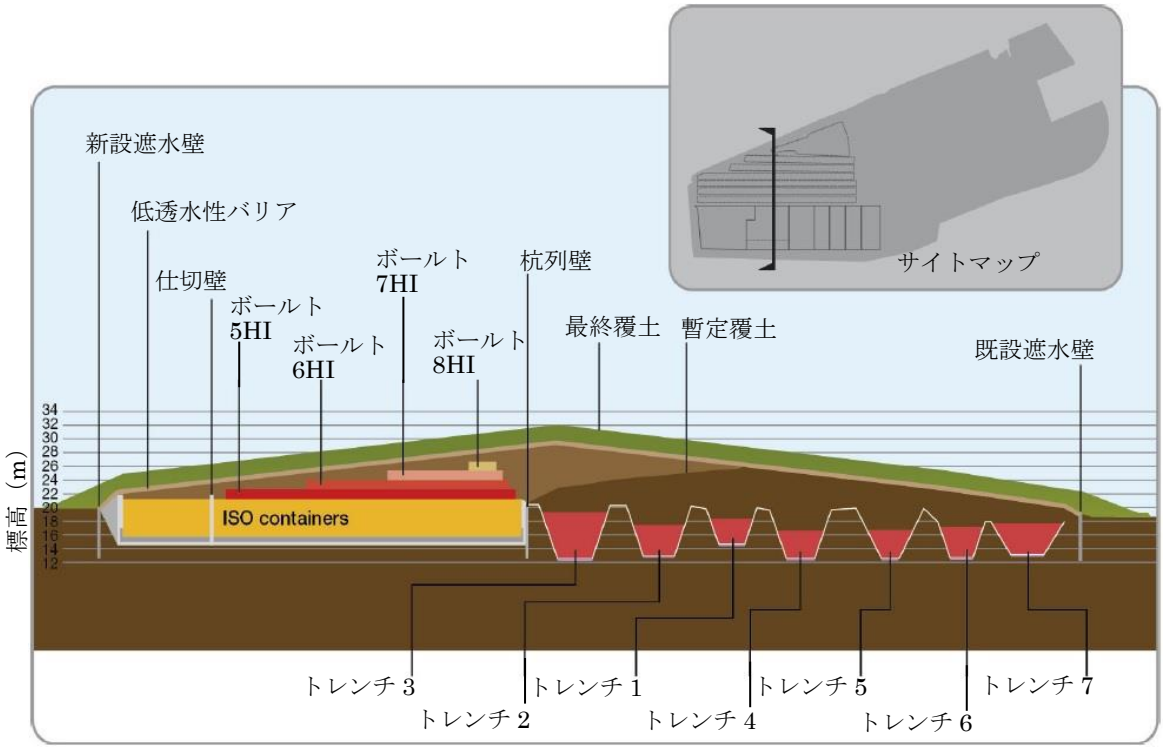
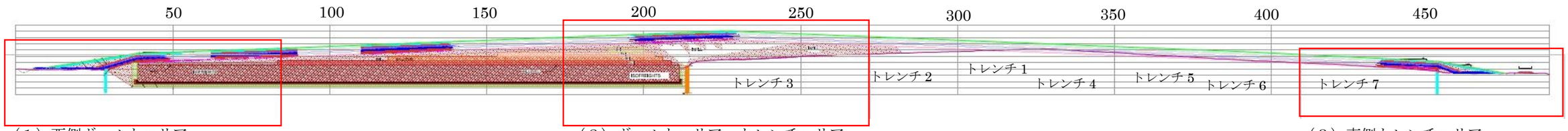
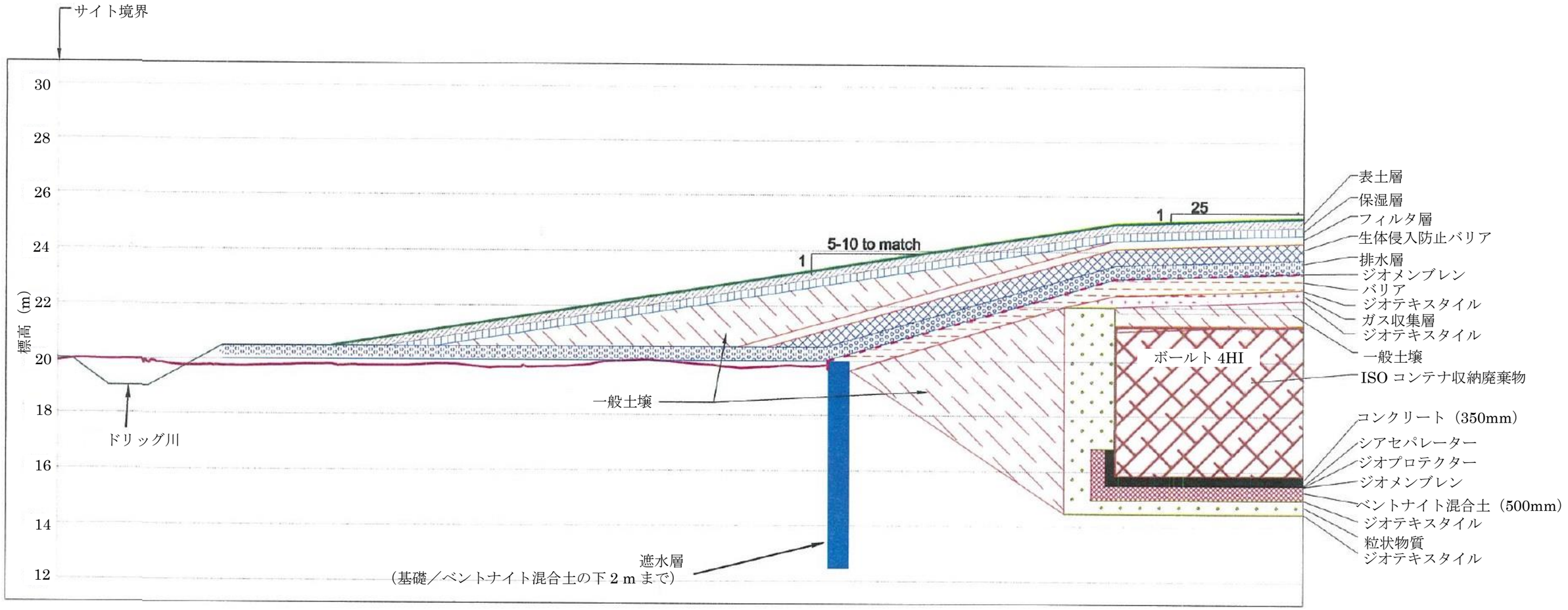


図 2.3.(2)-9　覆土設計概念

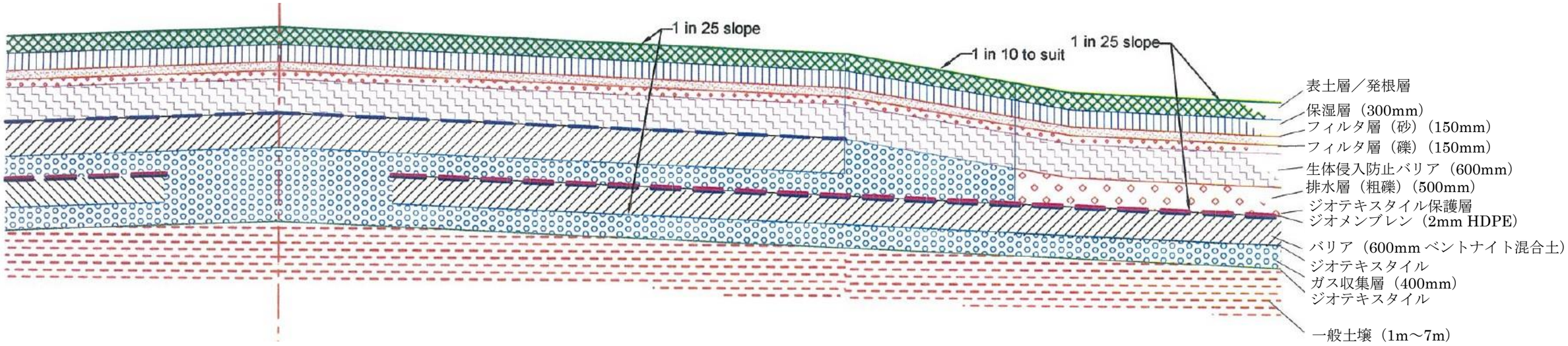
（出典：文献 9, P73 より転載）



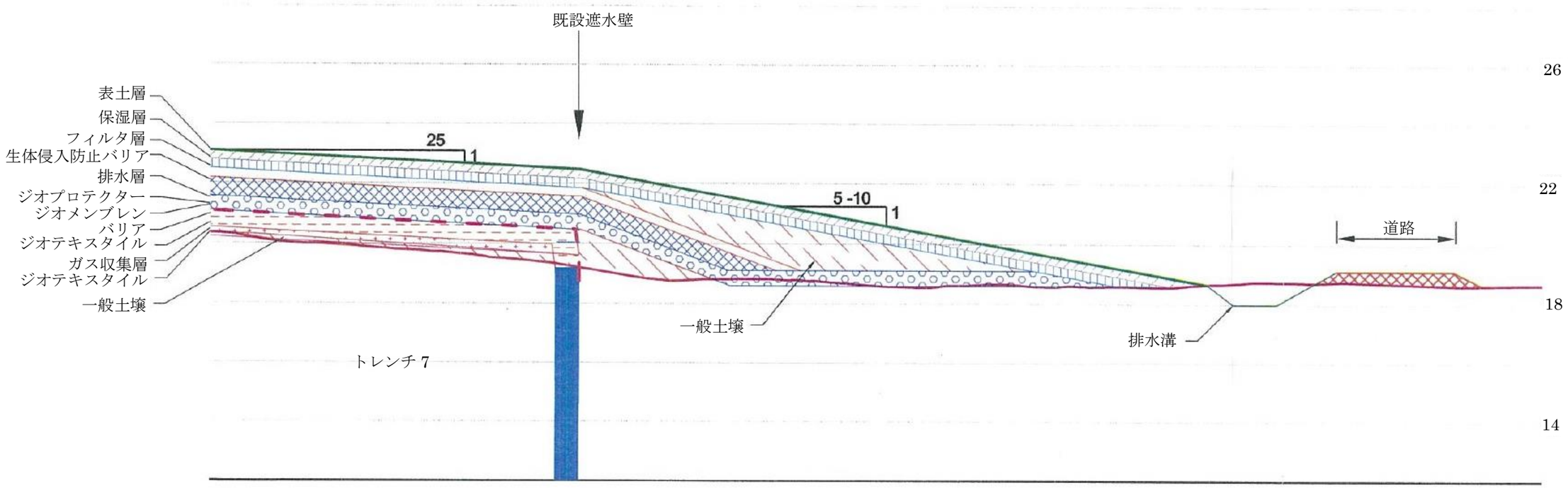
（1）西側ボールトエリア　（2）ボールトエリア～トレンチエリア　（3）東側トレンチエリア



（1）詳細断面図（西側ボールトエリア）



（２）詳細断面図（ボールトエリア～トレンチエリア）



（３）詳細断面図（東側トレンチエリア）

図 2.3.(2)-10　詳細断面図（ボールト～トレンチ）　（出典：文献 9, 付録 2 図 D-01 より転載）

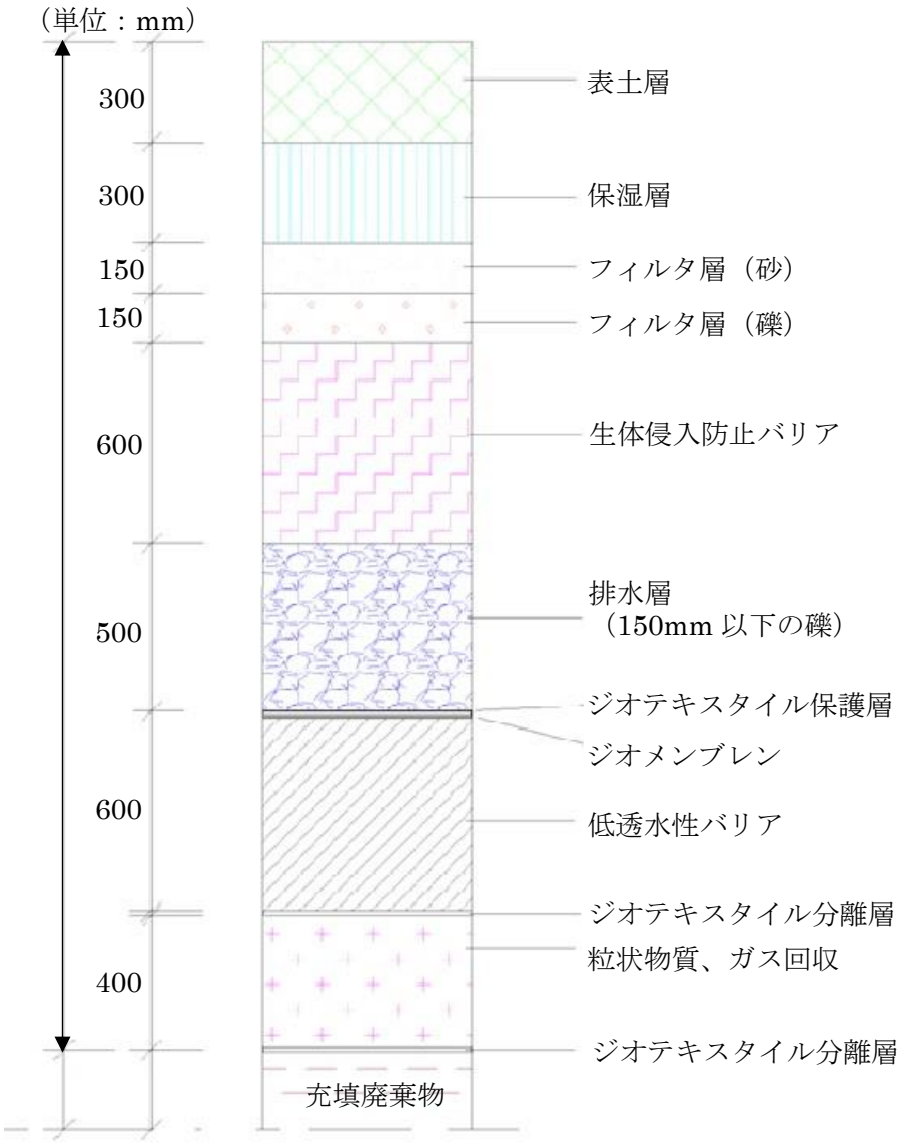


図 2.3.(2)-11　最終覆土構造
（出展：文献 9, P76 より転載）

⑥　地下水

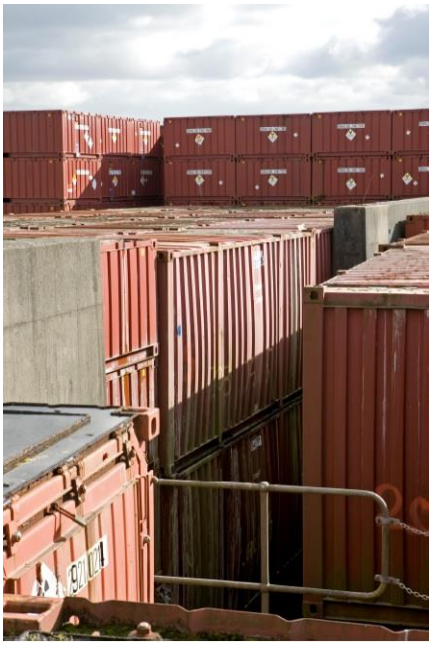
廃棄物埋設地周辺における地下水位は、埋設地底面より下位である標高 5 m～8 m（深さ 10 m～15 m）の位置にあり、陸側から海岸に向かって流れている。
（出典：文献 9, P22 より転載）

⑦　廃棄物埋設状況

a. トレンチ操業中の状況（1980's）
（出典：文献 4, P18 より転載）

b. ISO コンテナ定置（ボールト 9）
（出典：文献 4, P32 より転載）

c. 廃棄物鉄道輸送（ISO コンテナ）
（出典：文献 10, P21 より転載）



d. ISO コンテナ定置（ボールト 8）
（出典：文献 4, P30 より転載）

e. ISO コンテナ受入れ
（出典：文献 10, P7 より転載）

図 2.3.(2)-12　廃棄物の埋設状況

参考文献（イギリス）

1. 諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて（2019 年版），経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課, 入手先 （財）原子力環境整備促進・資金管理センターホームページ
   < https://www2.rwmc.or.jp/publications:rwmhg2019>（2019.12.24 閲覧）
2. 平成 27 年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業 「放射性廃棄物海外総合情報調査（国庫債務負担行為に係るもの）報告書（平成 27 年度分）」，（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター, 入手先
   <https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2015/27fy_kyoutuu_kaigai.pdf>（2019.10.29 閲覧）
3. 佐藤 和彦, 坂井 章浩, 秦 はるひ, 麓 弘道, 川越 浩, 齋藤 龍郎, 長谷川 信, “欧州地域のウラン廃棄物処分に関する調査”, （国研）日本原子力研究開発機構, 入手先 <https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5044331>（2018.1.25 閲覧）
4. “The 2011 Environmental Safety Case：Site History and Description(May, 2011)”, LLW Repository Ltd,
   入手先＜
   https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/686018/LLWR_ESC_Main_Report_-_May_2011.pdf＞（2019.10.29 閲覧）
5. “Directions to the Nuclear Decommissioning Authority (the NDA) in respect of the Drigg Nuclear Site”, ENERGY ACT 2004, 入手先
   <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/452826/Directions_to_NDA_in_respect_of_the_LLWR_Nuclear_Site.pdf> （2019.10.31 閲覧）
6. “LLW Repository”, LLW Repository Ltd ホームページ, 入手先 <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20170412103233/http://llwrsite.com/national-repository/>
   7. “Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facility”, Proceedings of a Symposium, Vienna, June17-21, 1996, 入手先 <
   https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/038/28038144.pdf>（2021.7.8 閲覧）
8. 放射性廃棄物ポケットブック 2001, （財）原子力環境整備促進・資金管理センター, 入手先 （公財）原子力環境整備促進・資金管理センターホームページ <https://www.rwmc.or.jp/library/file/pocketbook2001.pdf>（2019.10.21 閲覧）
9. “The 2011 Environmental Safty Case Engineering Design (May 2011)”, LLW Repository Ltd

10. “LLWR Plan 2018-2023”, LLW Repository Ltd, 入手先 <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/757075/LLWR_Plan_2018-2023__double_page_.pdf>（2019.10.31 閲覧）

２．４ スウェーデン

（１） 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場

スウェーデンでは、原子力発電所を所有・操業する許可所有者である電力会社が、その事業から発生する放射性廃棄物を安全に処分する責任がある。L3 廃棄物（VLLW）については、発生者が自らのサイト内で地表埋立てにより処分する方法がとられており、これまでに原子力発電所ではフォルスマルク（Forsmark）、オスカーシャム（Oskarshamn）、リングハルス（Ringhals）で実績がある。

それ以外の低中レベル放射性廃棄物は、スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB 社）が実施主体となる複数の処分場において放射性廃棄物を処分する計画であり、原子力発電所の運転から生じた低中レベル放射性廃棄物は 1988 年から操業開始した SKB 社の SFR という処分場で処分されている。SKB 社は原子炉の運転期間の延長のほか、今後本格化する原子力発電所の廃止措置への対応するため、2014 年 12 月に SFR の拡張に関する許可申請を行っている。

（出典：文献 1, P6 を改変して転載）

表 2.4.(1)-1　L3 廃棄物の処分実施主体及び処分場（スウェーデン）

処分場名	取扱廃棄物	処分実施主体
フォルスマルク	L3 廃棄物（VLLW）	バッテンフォール
オスカーシャム	L3 廃棄物（VLLW）	E.ON／フォータム
リングハルス	L3 廃棄物（VLLW）	バッテンフォール／E.ON

（出典：文献 3, P73 Table D7 を参考に編集作成）

図 2.4.(1)-1　スウェーデンの主な L3 廃棄物処分場の設置場所広域マップ

（出典：Google マップを編集加工）

（２） スウェーデン国内における各処分場

①　概要

i. フォルスマルク原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

フォルスマルク原子力発電所では、放射線管理区域内で使用される作業着、手袋、紙類のほか、煙感知器などのプラスチック、金属端材などの L3 廃棄物（VLLW）を発電所敷地内において地表埋立てによって処分している。

極低レベル廃棄物の年間発生量は約 200 m^3 と少ないため、埋立処分を通年で行っておらず、約 5 年間隔のキャンペーン方式で実施している。

金属や硬質プラスチックはドラム缶などの容器に収納して処分するが、廃棄物の大部分は高圧圧縮した廃棄物をストレッチフィルムで梱包した約 1 m^3 のパッケージである。これらを地表地盤に構築した約 1 m の下部シーリング層の上に定置し、雨水が廃棄物と接触しないように約 3 m の厚さの上部シーリング層を施工する。

埋立処分場全体の 総放射能は常に 200 GBq 以下に制限されており、処分した廃棄物に含まれる放射能は 100 年以内にクリアランスレベル以下に減衰するものだけが埋立処分することが認められている。

（出典：文献 1, P11 より転載）

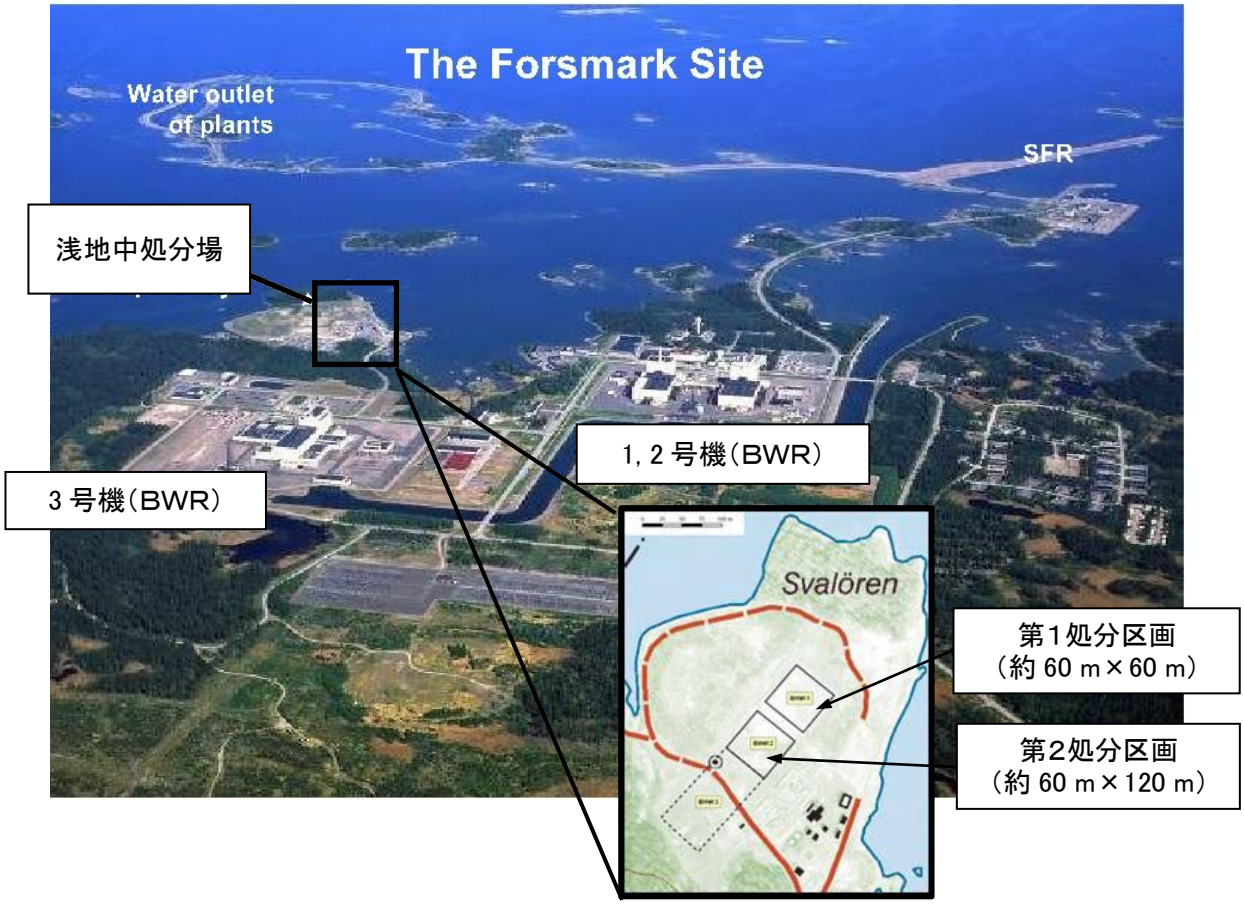


図 2.4.(2)-1　フォルスマルク原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）の施設配置図　（出典：文献 1, P11 を改変して転載）

ii. オスカーシャム原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

図 2.4.(2)-2　オスカーシャム原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）の施設配置図
（出典：文献 2, P11 を改変して転載）

iii. リングハルス原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

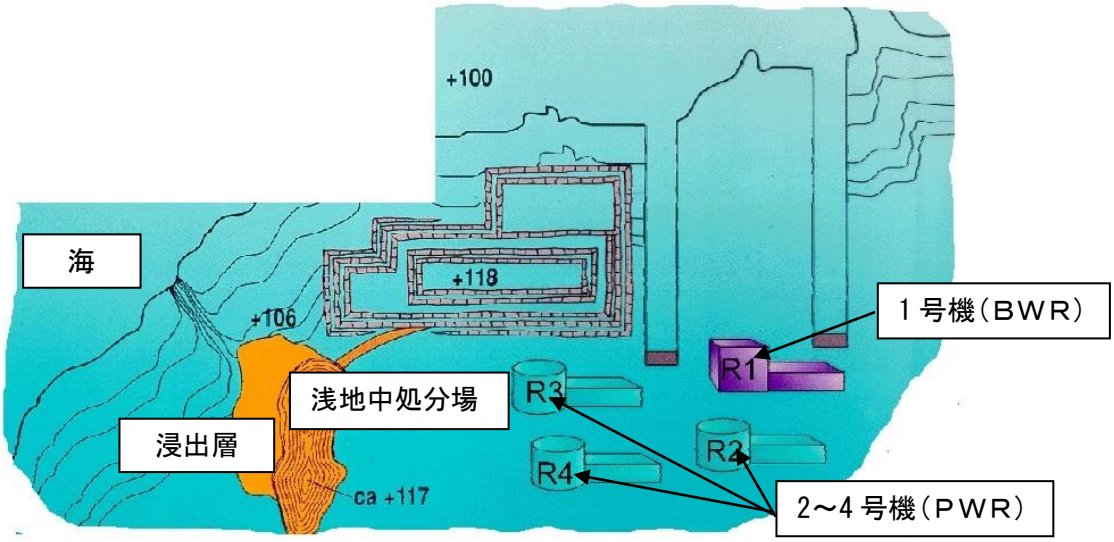


図 2.4.(2)-3　リングハルス原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）の施設配置図
（出典：文献 2, P3 を改変して転載）

② **操業開始**

表 2.4.(2)-1　各処分場の操業時期及びライセンス期間

	フォルスマルク	オスカーシャム	リングハルス
操業開始	1989 年	1986 年	1993 年
ライセンス期間	2070 年	2075 年	2060 年

（出典：文献 1, P11, 文献 3, P73 Table D7 及び文献 4, P28 表 4.1-4 を参考に編集作成）

③ **受入廃棄物**

表 2.4.(2)-2　各処分場の受入廃棄物及び荷姿

廃棄物種類	フォルスマルク	オスカーシャム	リングハルス
イオン交換樹脂	鉄製ドラム缶にアスファルト固化	鉄製ドラム缶にコンクリート固化	コンクリート製と鋼製モールドにコンクリート固化
金属スクラップ及び使用済部品	・ 鉄製モールドに収納 ・ ISO コンテナに収納	・ コンクリート製モールドに収納しコンクリートで固化	・ コンクリート製モールドに収納しコンクリートで固化 ・ ISO コンテナに収納
スラッジ	－	－	・ コンクリート製モールドに収納し、コンクリートで固化

（出典：文献 3, P65 Table D4 より転載）

④ **処分容量及び放射能量**

表 2.4.(2)-3　各処分場の処分容量及び放射能量

	フォルスマルク	オスカーシャム	リングハルス
ライセンス条件	約 1.7 万 m^3 〔最大：200 GBq α 核種最大：0.2 GBq〕	約 1.0 万 m^3 〔最大：200 GBq α 核種最大：0.2 GBq〕	約 1.0 万 m^3 〔最大：1,100 GBq α 核種最大：0.1 GBq〕
実績（2016.12.31 現在）	約 0.7 万 m^3（約 4,400 トン） 〔34.3 GBq〕	約 1.0 万 m^3（約 5,400 トン） 〔37 GBq〕	約 0.9 万 m^3（約 5,400 トン） 〔265 GBq〕

注：〔　〕内は放射能量

（出典：文献 3, P73 Table D7 を参考に編集作成）

⑤ **処分シナリオ**

スウェーデンにおける処分場からの放射性物質の放出としては、火災による大気放出及び水による漏出の 2 つが主に考慮されており、これ以外には人間侵入に対するシナリオが検討されている。スウェーデンにおける L3 廃棄物埋設施設の申請において考慮されたシナリオをまとめると下表のようになる。（出典：文献 4, P2-1 より転載）

表 2.4.(2)-4　スウェーデンで検討された主なシナリオ

シナリオ	考え方
埋設地中の廃棄物を通る地下水による放射能の放出	・ 慎重な仮定とパラメータ値を用いた評価がなされた。
	・ 最悪の事態を想定し埋設地からの放射能の早い浸出プロセスが検討された。処分場が最高放射能を保持している時期に、廃棄物のまわりの内部バリアがすべて劣化すると仮定された。
	・ 放射能の早い放出を引き起こす極端な降水を考慮した条件での計算も実施される。これが扱ったシナリオの中で最も高い被ばく計算値となった。
火災	・ 火災による大気放出で拡散した場合について計算がなされた。
閉鎖の後の掘削、埋設地の上での農業	・ 埋設地が小さな丘の形状であるため、その上での農業活動や井戸を掘るために使用されるという可能性は高いとはみなされず、そうしたシナリオは考慮されていない。

（出典：文献 4, P2-1 表 2.1-1 より転載）

多層集排水方式の覆土や底部を有する L3 廃棄物埋設施設における安全評価シナリオとしては、主に地下水シナリオが考えられる。地下水シナリオの中でも、極端な降水を考慮したシナリオでは次のことを考慮する必要がある。

・ 覆土内の排水層により降水が排水しきれない場合
・ 表面保護層の侵食

これらの 2 点については、表面保護層（植生層）が破壊されていない限り、極端な水量が排水層に浸透することは考えにくく、目視点検等による管理がなされていれば問題ないと考えられる。また、植生がある程度安定した段階では、表面保護層の侵食などの劣化は考えにくい。

廃棄物周辺のバリアが早期に劣化することを想定したシナリオでは、以下 2 点が考えられる。

・ 遮水層の透水性増加
・ 排水層や廃棄体間の充填材の目詰まり

ベントナイト混合土は自然由来の材料であり長期的に安定しており、処分場の放射能が減衰していない時期（数十年）における劣化は考えにくい。目詰まりについても、スウェーデンではそのリスクはほとんど考慮されていないようである。これは、表面保護層等を通過してくる地下水の流量が少なく（HDPE シートなどを使う場合は実質的にゼロに近い）、また細粒分等が濾過されていることなどで数十年の時間スケールでは問題はないとの判断と思われる。

降水量の想定については、表 2.4.(2)-4 にある「放射能の早い放出を引き起こす極端な降水を考慮した条件」についても検討がなされている。具体的には 27,000 mm／y というフォルスマルクの平均降水量 700 mm／y の 40 倍近い値であり、大幅に過大な降水が考慮されている。これは、極端な条件での被曝量を把握しておくために使用された条件となっている。

（出典：文献 4, P2-1～2-2 より転載）

⑥ VLLW 処分施設の設計

放射性廃棄物の管理及び処分については、主に原子力活動法（SFS 1984：3）及び令（SFS 1984：14）、並びに放射線防護法（SFS 1988：220）及び令（SFS 1988：293）の規定によって規制されている。

（出典：文献 5, P10 より転載）

i. 盛土の構造安定性

フォルスマルク、オスカーシャム及びリングハルス処分場の構造概念図を図 2.4.(2)-4～図 2.4.(2)-10 に示す。スウェーデンの規制当局は、追加で補足的な要件を求めることがある。例えば、処分場の傾斜について図 2.4.(2)-7 の写真（９）に示すように、オスカーシャム処分場の盛土の法面について法勾配 1:3 が求められている。ただし、この規制はさらに厳しくなり、現在は 1:4 以下であることが求められている。

（出典：文献 4, P2-2 より転載）

ii. 施設のバリア機能

スウェーデンの規制では、主として機能要件に基づいており、粒度や透水係数等の個別の特性については規制の中で示されていない。ただし、処分キャンペーンの実施申請では、事業者が詳細な計画を示すことが求められる。事業者は、使用される材料及びプロセスの詳細な技術事項をすべて含んでいる計画を提出し、規制当局は申請書のレビューにおいて、使用材料の詳細や、どのように施工を行うかの詳細について、変更を要求することができる。

a. 覆土層

覆土に関しては、降雨浸透量が十分に低い値となるように設計される。すなわち法令要求としては、覆土の透水係数が 10^{-10} m／s 以下、あるいは浸透量が 5 ℓ/m²/年が示されている。スウェーデンにおける安全評価では、結果が過小評価とならないように用いられるほとんどの値は保守側にバイアスがかけられており、覆土浸透水量の評価においても、動水勾配を 1.0 として検討がされている。覆土内部の動水勾配を仮に 1.0 とすると、浸透量が 5 ℓ／m^2／y であることは 1.6×10^{-10} m／s に相当する。これはかなり低い透水係数であり、ベントナイト混合土を用いる場合にはベントナイトの配合率をある程度高くする必要がある。あるいは、高密度ポリエチレンシート（HDPE）などで完全に覆うことが必要と考えられる。

スウェーデンの埋設施設の覆土層には、こうした人工材料でできたシートが用い

られている。その有効期間については、実験室での試験により 150 年～250 年と見積もられているが、メーカーの保証は与えられていない。メーカーでは、ジオメンブレンやジオテキスタイルは 150 年機能が持続するとしているが、これは所定の期間に機能の重大な悪化が生じないこと（100 %の性能が維持されるとは限らない）を意味するものとして理解されている。一方、現在のライセンス条件では、規制当局は VLLW 処分場の放射能量を放射線の監視が約 65 年の後に終了可能となるようなレベルに制限している。事業者は、この同じ期間に対してジオメンブレン及びジオテキスタイルの耐久性は十分として計画を提出しており、規制当局は当初、材料の特定の有効期間を認めていなかったが、放射線の監視がなされている間は十分に良いとして受け入れた。

また、遮水層にベントナイトカーペット（GCL）を用いる場合、十分な機能を得るためには荷重(覆土重量)がかかった状態にして、水和するようにする必要があるとしている。ベントナイト水和過程中は、必要な拘束力を得るために最低 1.0 m の覆土が必要であり、表面保護層をベントナイトカーペットとともに適切に設置する必要がある。

b. 底部バリア

底部バリア層の役割は、廃棄物層を通過してきた浸透水を速やかに外部に出すことで、処分場の内部に地下水位が形成されないようにすることである。このことを確実にするために、処分場の底部バリア層は比較的高い透水性($k = 10^{-8}$ m／s)を持つように設計されている。

c. 浸透床（Infiltration bed）

リングハルス及びオスカーシャムの VLLW 処分施設では浸透床が設置されている。浸透床に浸透した水は、オスカーシャムの場合近くの Hamnefjärden 湾（バルト海）で、リングハルスの場合近くの大西洋に排出されることになる。核種が浸透床を通過するシナリオでは、それらは沿岸の水に分散されることが想定されている。

オスカーシャム盛土処分場において、規制当局は砂の混合物、泥炭と破砕された貝殻から成る浸透床（収着床）を要求している。廃棄物からの放射能が水とともに移動する場合は、放射能のほとんどは浸透床の中で収着され海に到達しないとしている。このような収着が放射能を濃集させ、二次的放射線源を形成することもありうるが、スウェーデンの規制当局は放射能を海に到達させるよりはその方が良いと考えている。浸透床での放射性核種の収着を評価する際、Kd 値としてＣｏ－60 については 10 mℓ／g、Ｃｓ－137 については 20 mℓ／g が用いられており、これらは非常に保守的な値となっている。

（出典：文献 4, P2-4～2-6 より転載）

⑦ 各処分場の構造

i. フォルスマルク原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

［覆土構造］

ベントナイトライナーを粘土層、モレーン層、砕石及びストーンパウダーで覆う構造を持った覆土を有する盛土型の埋設施設である。

覆土構造の概念を図 2.4.(2)-4 に、詳細を図 2.4.(2)-5 に示す。覆土の構造として、排水層は径 8 mm～16 mm の砕石層であり、遮水層はベントナイトテキスタイルとベントナイト混合層の 2 種類が組み合わされている。最上部の砂質モレーン層は、機械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働きを有する。また、浸食の観点から、粘土分が 10 %未満であるという利点を有する。覆土の構成要素を表 2.4.(2)-5 に示す。（出典：文献 6, P6 を改変して転載）

［底部構造］

底部構造の概念を図 2.4.(2)-4 に、詳細を図 2.4.(2)-5 に示す。底部の排水層は礫層で、遮水層はベントナイト混合層であり、覆土に比べるとやや簡略化した構造となっている。

砕石層の透水係数は 10^{-2} m／s で、その上の 0 mm～32 mm 粒径の砕石とストーンパウダーの混合層の透水係数は 10^{-5} m／s である。

遮水層などの透水性は締固め度で管理される。締固め度はアイソトープメーター（Troxler など）を用いて管理制御される。底部の構成要素を表 2.4.(2)-6 に示す。（出典：文献 6, P7 より転載）

表 2.4.(2)-5　フォルスマルク処分場の覆土構成要素

覆土層	機能	配合等	厚み
モレーン層	表面保護、浸食防止		1.2 m
ジオテキスタイル	層の分離		
砕石層	排水層	粒径 8 mm～16 mm	0.3 m
ストーンパウダー	ベントナイトテキスタイルの保護	粒径 0 mm～2 mm	0.1 m
ベントナイトテキスタイル	遮水層		
ベントナイトとストーンパウダーの混合層（BES5）	遮水層		0.4 m
砕石とストーンパウダーの混合層	応力分散	粒径 0～32 mm	0.5 m
ストーンパウダー	均し層	粒径 0～2 mm	0.5 m

（出典：文献 6, P6 表 2-3 より転載）

表 2.4.(2)-6　フォルスマルク処分場の底部構成要素

底部層	機能	配合等	厚み
礫（砕石）とストーンパウダーの混合層	排水層の保護	粒径 0 mm～32 mm	0.15 m
礫層（砕石層）	排水層	粒径 8 mm～16 mm	0.3 m
ベントナイトとストーンパウダーの混合層（BES１）	遮水層		0.4 m
天然のモレーン層	構造物の基盤		2 m

（出典：文献 6, P7 表 2-4 より転載）

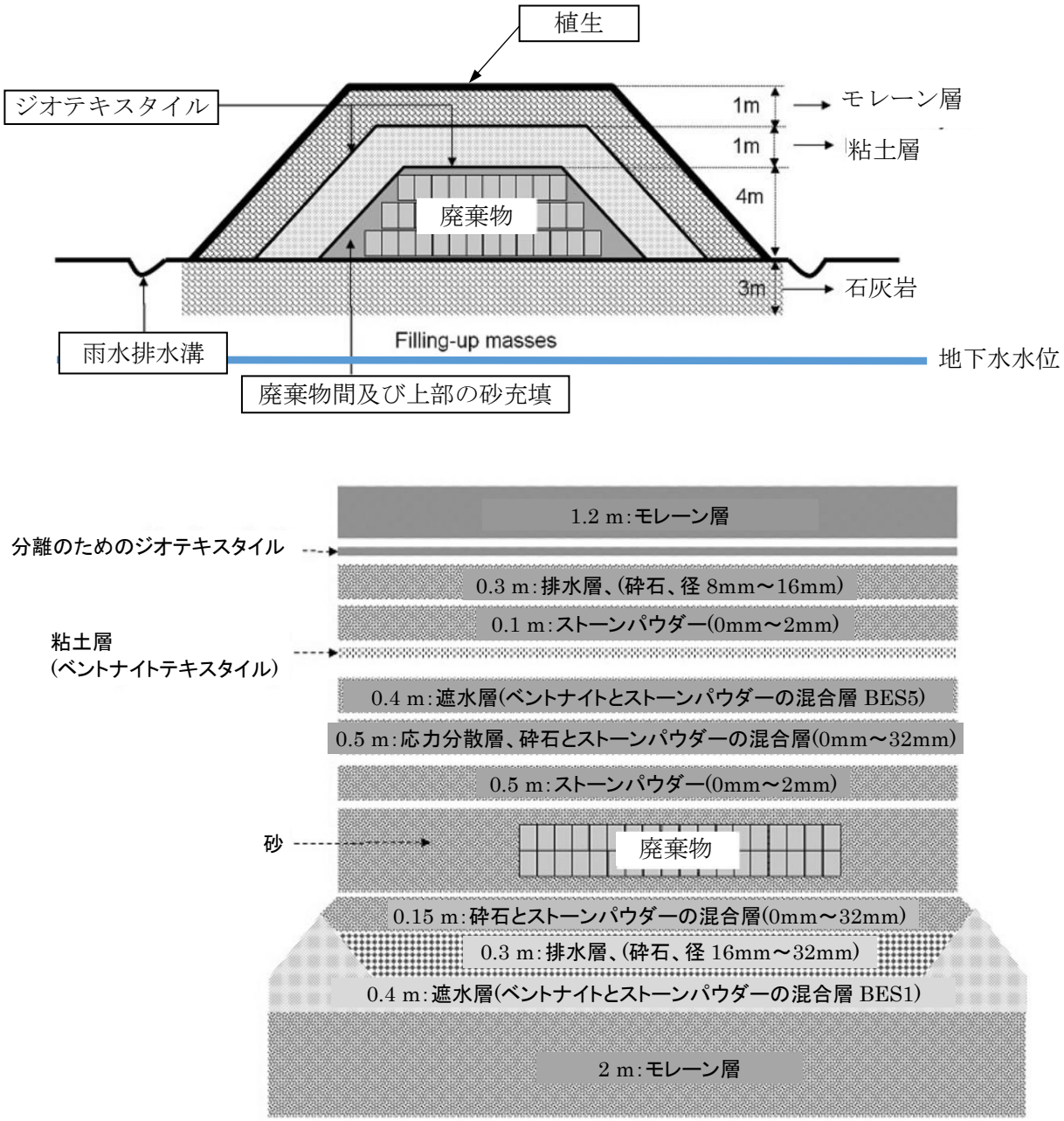


図 2.4.(2)-4　フォルスマルク処分場の構造概念図

（出典：文献 7, P52 Fig.3 を改変して転載）

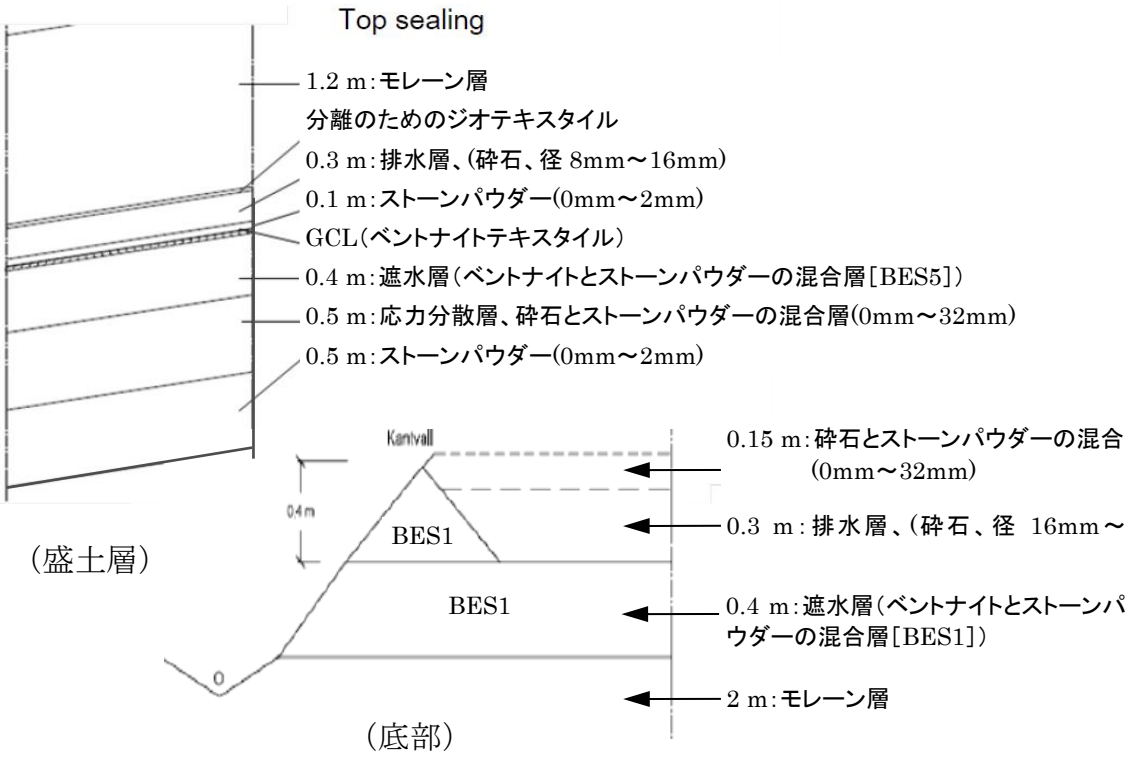


図 2.4.(2)-5　フォルスマルク処分場の盛土層及び底部の構造

（出典：文献 4, P2-3 図 2.2-2 より転載）

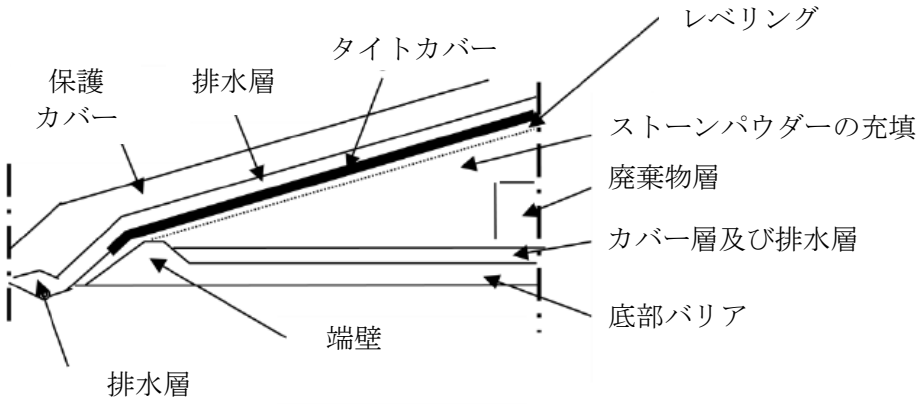


図 2.4.(2)-6　フォルスマルク処分場の端部及び底部の構造（詳細）

（出典：文献 4, P2-8 図 2.3-4 を改変して転載）

ii. オスカーシャム原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

ベントナイト及びプラスチックライナー、排水層、保護層（モレーン層と土）で覆う構造を持った覆土を有する盛土型の埋設施設である。

覆土及び底部構造の概念を図 2.4.(2)-8、構造を示す写真を図 5.(2)-7 に示す。底部には

不透水のコンクリート底盤を設置し、浸出水はそこから浸透床に誘導され、そこで放流される前にモニタリングされる。

覆土はベントナイトと排水層、保護層（モレーンと土）の混合層である。バリアは、砂、礫と有機物の混合物の外部浸透領域で構成している。

（出典：文献 6, P5 表 2-2 を改変して転載）

a. コンクリート底盤

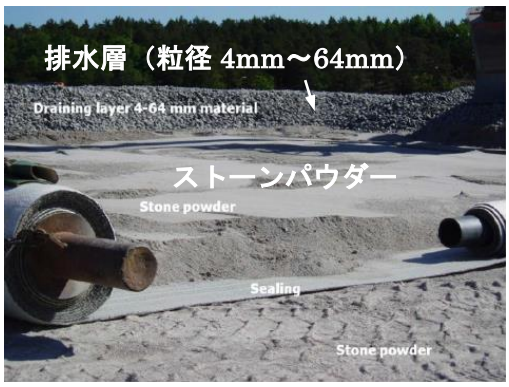
b. 定置後廃棄物上の覆土

c. 遮水層 1 （ベントナイト）

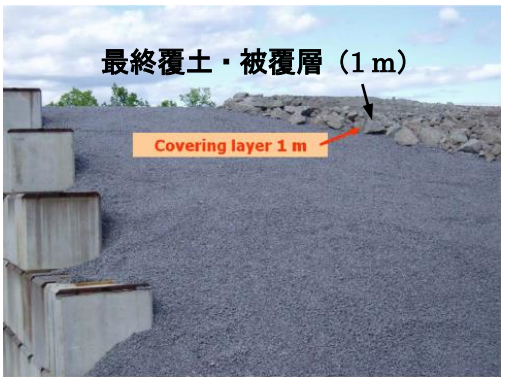
d. 遮水層 2 （HDPE）

e. HDPE の溶着

f. 盛土型覆土



g. 盛土型覆土



h. 最終覆土・被覆層

i. 法面

図 2.4.(2)-7　オスカーシャム処分場の構造

（出典：文献 8, P21　図 4.1-24, P44～48 Fig.4.1-37～44 より転載）

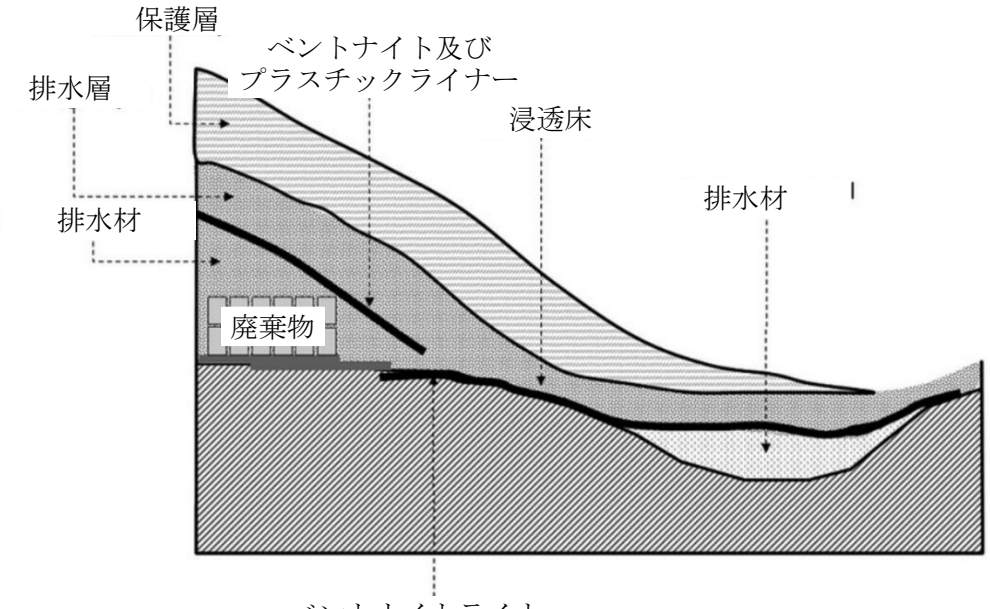


図 2.4.(2)-8　オスカーシャム処分場の構造断面図

（出典：文献 7, P53 Fig.4 を改変して転載）

iii. リングハルス原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

ベントナイトライナー、排水層、保護層（モレーン層と土）で覆う構造を持った覆土を有する盛土型の埋設施設である。

覆土及び底部構造の概念を図 2.4.(2)-9、構造を示す写真を図 2.4.(2)-10 に示す。地盤は不透水の岩盤で、浸出水を誘導する浸透床で構成されている。

覆土はベントナイトライナーを遮水層と保護層（モレーンと土）で覆った構造である。

覆土以外でジオテキスタイル等の人工バリアはない。覆土でほぼ完全に降水を遮断することで、廃棄体を通過する量を極小まで減らすという考え方である。

（出典：文献 6, P5 表 2-2 を改変して転載）

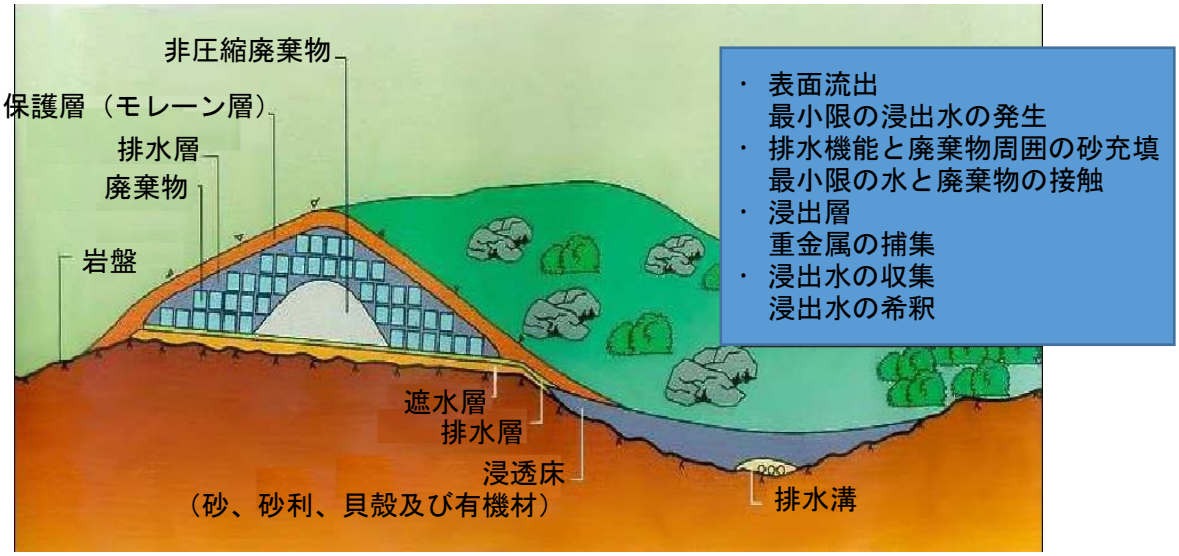


図 2.4.(2)-9　構造断面図

（出典：文献 2, P29 を改変して転載）

a. 処分場底部・施工前（岩盤）

b. 処分場底部・施工中

（表面掘削及びコンクリート打設）

c. 遮水ライナー設置

d. 遮水ライナー

図 2.4.(2)-10　リングハルス処分場の構造（出典：文献 2, P6～8, 10 より転載）

⑧　地下水

表 2.4.(2)-7　各処分場の地下水面の位置

フォルスマルク	オスカーシャム	リングハルス
地下水面は、廃棄物底面より下部に存在している。	情報なし	情報なし

（出典：文献 7, P52 Fig.3 を参考に作成）

⑨　廃棄物埋設状況

i. フォルスマルク原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

図 2.4.(2)-11　フォルスマルク処分場の廃棄物定置状況

（出典：文献 8, P58 Fig.4.1-50 より転載）

ii. オスカーシャム原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）

a. 砂による容器内の空隙充填

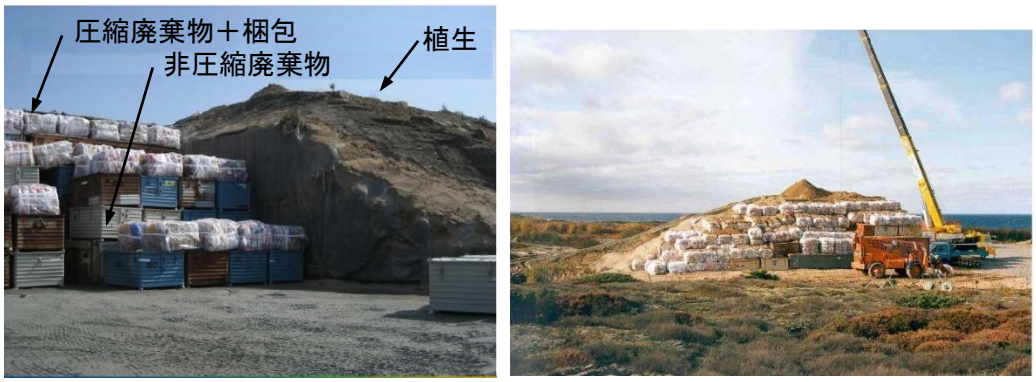
b. 埋設地外周への圧縮廃棄物の定置

c. 底部バリア

図 2.4.(2)-12　オスカーシャム処分場の廃棄物定置状況

（出典：文献 2, P14～15 及び 文献 8, P57 Fig.4.1-49 より転載）

iii. リングハルス原子力発電所（L3 廃棄物の地表埋立処分場）



a. 廃棄物定置状況　　b. 廃棄物定置状況

図 2.4.(2)-13　リングハルス処分場の廃棄物定置状況

（出典：文献 2, P7～8 より転載）

参考文献（スウェーデン）

1. 諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて（2019 年版），経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 放射性廃棄物対策課, 入手先 （財）原子力環境整備促進・資金管理センターホームページ< https://www2.rwmc.or.jp/publications:rwmhg2019>（2019.12.24 閲覧）
2. D.Aronsson, ”Shallow land repositories for very low level waste”, VATTENFALL, 入手先 < https://www.yumpu.com/en/document/read/11270203/2-1-swedish-shallow-land-repositories-engl-amended-iaea>（2018.4.16 閲覧）
3. “Sweden’s sixth national report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management(2017)”, Ministry of the Environment Sweden, 入手先 < https://www.iaea.org/sites/default/files/sweden-nr-6th-rm-jc.pdf>（2018.4.16 閲覧）
4. 極低レベル放射性廃棄物施設の合理的な構造形式に関する研究（その２）成果報告書（2/2）（平成 25 年 3 月），日本原子力発電（株）自社研究
5. Nuclear Legislation in OECD and NEA Countries Sweden （Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities），入手先＜ https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-03/sweden_2008_en.pdf>（2018.5.11 閲覧）
6. 極低レベル放射性廃棄物施設の合理的な構造形式に関する研究（その１）成果報告書（2/2）（平成 24 年 3 月），日本原子力発電（株）自社研究
7. Cheong, Joe Hak, “Analysis on the International Trends in Safe Management of Very Low Level Waste Based upon Graded Approach and Their Implications”, “Journal of the Korean Radioactive Waste Society; ISSN 1738-1894; Worldcat; v. 9(1)”, 発行年：2011 年, 入手先 <https://www.researchgate.net/profile/Jae-Cheong/publication/264145669_Analysis_on_the_International_Trends_in_Safe_Management_of_Very_Low_Level_Waste_Based_upon_Graded_Approach_and_Their_Implications/links/5863b2a308ae329d62039ed5/Analysis-on-the-International-Trends-in-Safe-Management-of-Very-Low-Level-Waste-Based-upon-Graded-Approach-and-Their-Implications.pdf>（2019.11.25 閲覧）
8. 極低レベル放射性廃棄物施設の合理的な構造形式に関する研究（その１）成果報告書（1/2）（平成 24 年 3 月），日本原子力発電（株）自社研究

２．５ スペイン

（１） 低レベル放射性廃棄物の処分場

① 低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場

放射性廃棄物処分については、放射性廃棄物管理公社（ENRESA）が実施主体になっている。ENRESA は、1984 年に放射性廃棄物の管理を行う非営利団体として設立され、スペイン国内で発生した高レベル放射性廃棄物から低・中レベル放射性廃棄物に係わる研究開発、中間貯蔵、輸送、処分、及び原子力施設の廃止措置に至るまで広範囲な活動を行っている。

低中レベル放射性廃棄物（LILW）の処分施設としては、1992 年 10 月に操業を開始したスペイン唯一のエルカブリル放射性廃棄物処分場がある。また、同処分場の南東エリアに原子力施設の廃止措置により発生する L3 廃棄物（VLLW）の処分施設を建設し、2008 年 10 月より操業している。

（出典：文献 1, 文献 2, P16 及び文献 3, P6 を参考に編集作成）

表 2.5.(1)-1　低レベル放射性廃棄物の処分実施主体及び処分場（スペイン）

処分場名	取扱廃棄物	処分実施主体
エルカブリル	低中レベル放射性廃棄物 L3 廃棄物（VLLW）	放射性廃棄物管理公社（ENRESA）

（出典：文献 2, P16 を参考に作成）

図 2.5.(1)-1　スペインの主な L3 廃棄物処分場の設置場所広域マップ

（出典：Google マップを編集加工）

② スペイン国内の放射性廃棄物処分場における廃棄物受入基準

スペイン国内では、放射性廃棄物処分施設を規制する特定の法律は定められていないため、原子力安全審議会（Nuclear Safety Council）の定めた長期放射線許容基準（リスク：10^{-6}／y、線量：0.1 mSv／y）に基づいて、低レベル放射性廃棄物の受入れ濃度基準が下表のように設けられている。

（出典：文献 4, PⅡ-3-39 を改変して転載）

表 2.5.(1)-2　スペインにおける低レベル放射性廃棄物受入れ濃度基準

	核種	濃度上限（Bq／g）
レベル 1（LLW） ○ 均質固化体（樹脂、スラッジ、エバポレータ濃縮物） ・機械的限界（浸漬前後の圧縮・引張強度） ○ 固体廃棄物（カートリッジフィルタ、乾燥スラッジ、灰） ・モルタル／コンクリートの厚さ ・スリーブの機械的限界（圧縮強度） ○ 不均質廃棄物 ・圧縮可能な廃棄物：分離プロセス ・非圧縮性廃棄物：間隙充填	H－3	7.40×10^{3}
	C－14	3.70×10^{3}
	Co－60	3.70×10^{3}
	Ni－59	3.70×10^{3}
	Ni－63	3.70×10^{3}
	Sr－90	3.70×10^{3}
	Nb－94	1.20×10^{2}
	Tc－99	1.00×10^{3}
	I－129	4.60×10^{1}
	Cs－137	3.70×10^{3}
	全β・γ核種	3.70×10^{4}
	全α核種	1.85×10^{2}
レベル 2（ILW） ○ 均質固化体（樹脂、スラッジ、エバポレータ濃縮物） ・機械的限界（浸漬、熱ｻｲｸﾙ前後の圧縮・引張強度） ・浸出限界 ○ 固体廃棄物（カートリッジフィルタ、乾燥スラッジ、灰） ・モルタル／コンクリートブロック遮蔽の厚さ ・遮蔽の機械的限界（圧縮強度）及び熱サイクル ・拡散限界 ○ 不均質廃棄物 ・圧縮可能な廃棄物：製作を回避 ・非圧縮性廃棄物：製作を回避	H－3	1.00×10^{6}
	C－14	2.00×10^{5}
	Co－60	5.00×10^{7}
	Ni－59	6.30×10^{4}
	Ni－63	1.20×10^{7}
	Sr－90	9.10×10^{4}
	Nb－94	1.20×10^{2}
	Tc－99	1.00×10^{3}
	I－129	4.60×10^{1}
	Cs－137	3.30×10^{5}
	全α核種	3.70×10^{3}
・施設全体のα核種の平均濃度は 370 Bq／g 以下でなければならない ・セルの上層部にはレベル 1 廃棄物を設置しなければならない		

（出典：文献 4, PⅡ-3-39, 文献 5, P21 及び文献 6, P23～24, 文献 10, P24 を参考に編集作成）

（２） エルカブリル処分場

① 概要

エルカブリル処分場は、スペイン南部アンダルシア地方コルドバの西北約 60 km にあるシェラアルバナ丘陵地帯の麓にある。スペイン最初の低中レベル放射性廃棄物（LILW）処分場として 1992 年 10 月に操業を開始した。敷地総面積約 1,100 万 m^2 で、このうち約 20 万 m^2 を処分場としている。

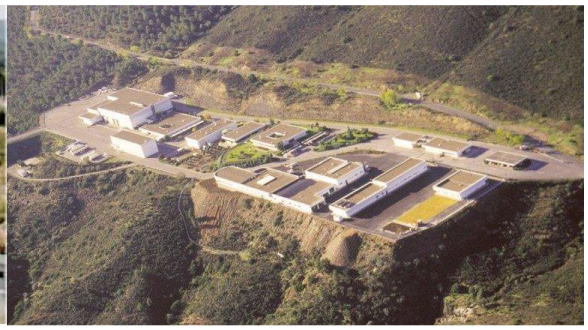
その後、同処分場の南東エリアに、LILW 処分場とは別に、L3 廃棄物（VLLW）専用の処分場の必要性が認められ、2003 年 1 月の自治体の計画認可、2005 年 12 月の環境評価の承認、2006 年 2 月の建設認可され、13 万 m^3 の容量をもつ VLLW 処分施設を建設し、2008 年 10 月に操業開始した。VLLW 処分施設は 4 つのセル（セル No.29～32）に分けられており、2015 年に 2 番目の No.30 の土木工事が完了し、2016 年には No.30 の操業に必要な周辺施設の設置が完了している。

（出典：文献 2, P16～17 及び文献 7, P5, 文献 8, 文献 9, P1 を参考に編集作成）

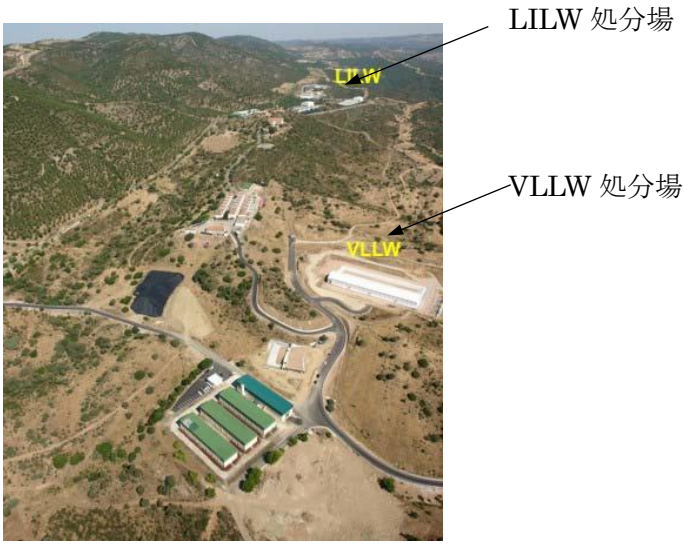
a. VLLW 処分エリア

b. VLLW 処分エリア

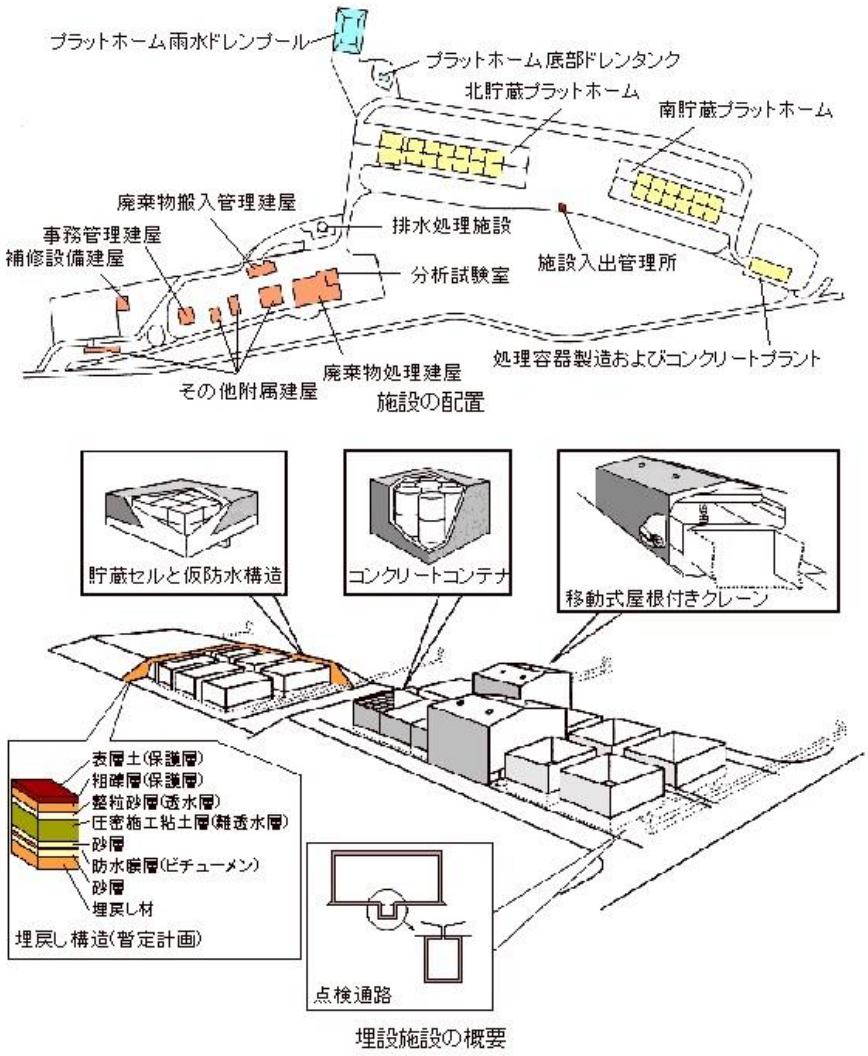
c. LILW 処分エリア



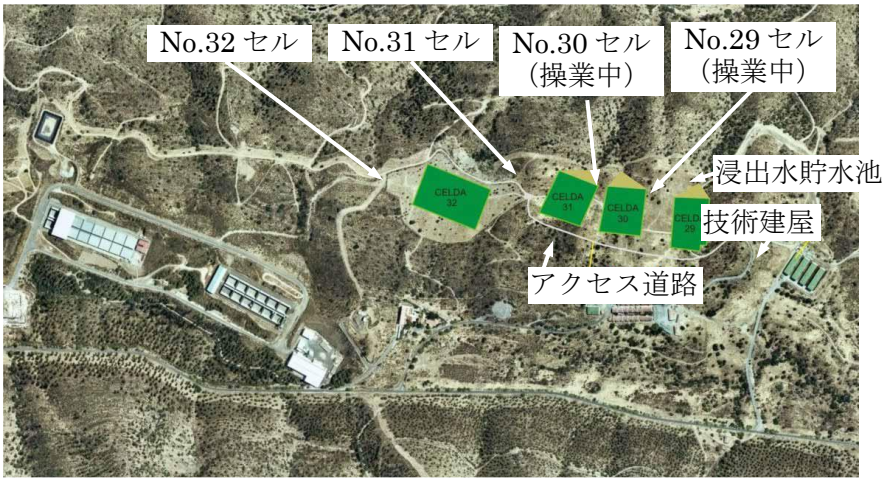
d. 建屋エリア



e. エルカブリル処分場全景



f. エルカブリル処分場（LILW）の施設配置図



g. エルカブリル処分場（VLLW）の施設配置図

図 2.5.(2)-1　エルカブリル処分場写真及び施設配置図

（出典：文献 5, P14,16, 文献 6, P10, 文献 7, P6～7, 文献 8 及び文献 9, P2 より転載）

②　操業開始

1992 年 10 月（LILW 処分場）

2008 年 10 月（VLLW 処分場操業）

（出典：文献 2, P16, 文献 7, P5 及び文献 8 を参考に編集作成）

③　受入廃棄物

スペイン国内 10 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)、研究機関及び医療機関等から発生する低中レベル放射性廃棄物（LILW）及び L3 廃棄物（VLLW）を受け入れている。VLLW は、放射性のスクラップ及びがれきなどの固体廃棄物であり、そのほとんどは、原子力発電所の解体に伴い発生するものであり、フレコン、ドラム缶、又は金属容器に収納された状態で、VLLW 処分場に埋設している。

なお、低中レベル放射性廃棄物（LILW）は、発生者が処理した上で本処分場に処分される。ただし、原子力発電所、CIEMAT 等大規模施設における圧縮性廃棄物については、エルカブリルの高圧圧縮処理施設で処理される。

エルカブリル処分場の受入総放射能量は表 2.5.(2)-1 のとおりであり、そのうち VLLW 処分場の受入総放射能量は、エルカブリル処分場全体の受入総放射能量の 1 %以下に制限される。

（出典：文献 7, P5, 文献 8, 文献 9, P7～8, 文献 10, P23 を参考に編集作成）

表 2.5.(2)-1　エルカブリル処分場の受入総放射能量

核種	総放射能量（Bq）
H－3	2.00×10^{14}
C－14	2.00×10^{13}
Ni－59	2.00×10^{14}
Ni－63	2.00×10^{15}
Co－60	2.00×10^{16}
Sr－90	2.00×10^{15}
Nb－94	1.00×10^{13}
Tc－99	3.20×10^{12}
I－129	1.50×10^{11}
Cs－137	3.70×10^{15}
Pu－241	1.15×10^{14}
全α核種	2.70×10^{11}

（出典：文献 9, P8 を参考に編集作成）

④　処分容量

VLLW エリアについては、2018 年 12 月末時点で、15,491 m^3が埋設されている。また、LILW 処分エリアについては、2018 年 12 月末時点で貯蔵セル 28 基のうち 21 基が既に満杯で、33,602 m^3（占有率 77.2 %）の廃棄物が埋設されている。

（出典：文献 8 を参考に編集作成）

⑤　処分施設の構造

［LILW 処分エリア］

LILW 処分エリアの処分概念は、コンクリート型の構造セルからなる多重バリア浅地中処分埋設施設で、フランス方式を参考として廃棄物の再取り出しを可能なものとしている。環境と廃棄物の間には、以下の 3 つのバリアがある。

i. 廃棄物を充填した 220 リットルドラム缶を、立方形のコンクリート製コンテナ（2.25m×2.25m×2.20m）に 3 行 3 列 2 段（ドラム缶 18 本）に収納し、ドラム缶の空隙にモルタルを注入し固化する（図 2.5.(2)-2 参照）。これが 1 次バリアとなる。

ii. 2 次バリアは、ⅰ.で製作したコンクリート製コンテナに収納した廃棄物を定置するための貯蔵セルである。貯蔵セル内にはこのコンテナ 320 個が定置される。

iii. 3 次バリアは、貯蔵セルがⅱ.で定置したコンテナ廃棄物で満たされた後、コンテナ廃棄物の隙間を充填する砂利、及びその後貯蔵セル上部に設置するスラブ、並びに塗布する非透水性のペイント、その後覆う非透水性及び透水性の土である。また、エルカブリル処分場が位置する地域の地質も 3 次バリアの一つであり、この地域はエルカブリル層として知られ、主に片麻岩と雲母層から構成される丘陵地である。

LILW 処分エリアは南北 2 つのプラットホーム上に設置された計 28 基の強化コンクリート製貯蔵セル（各 24m×19m×10m）で構成されている。セルは南プラットホームに 12 基、北プラットホームに 16 基で、各プラットホームは浸水対策が施され、底部の水を雨水プールに集めるネットワークが設備されている。

（出典：文献 4, PⅡ-3-39 及び文献 10, P24 を参考に編集作成）

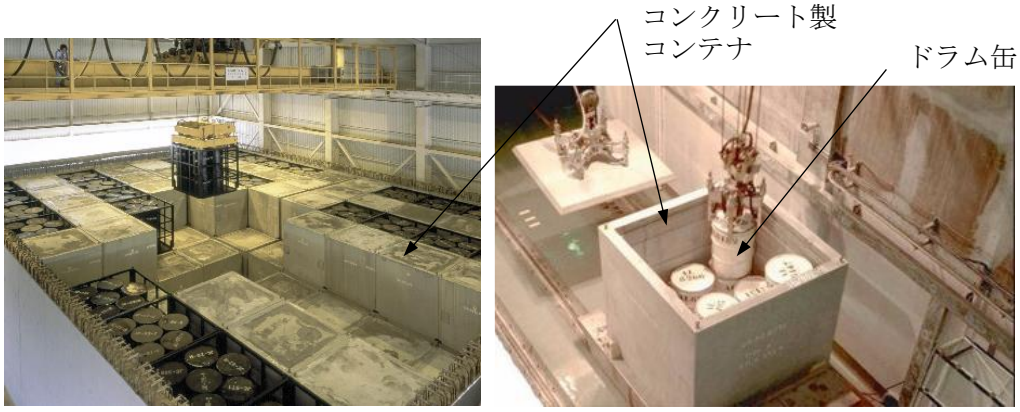


図 2.5.(2)-2　LILW コンクリート製コンテナ

（出典：文献 8 及び文献 6, P18 より転載）

［VLLW 処分エリア］

i. 設計方針と基準

設計では、以下の基本的な目的が考慮されている。

・操業中及び閉鎖後に亘り、公衆、作業者及び環境に対する放射線上の防護を保証する。
・廃棄物、施設、作業者及び環境に関して、徹底的な追跡可能な書類を通してサイトの管理と監視を保証する。

上記の目的を達成するために適用された設計及び技術仕様は以下のとおり。

・放射性核種の移動を妨げるための分離バリアの使用
・廃棄物パッケージ及びセルの放射能制限を設けること
・最大 60 年の監視期間
・廃棄物に接触する可能性のある水を管理する浸出水管理ネットワークシステムの設置
・潜在的に汚染された浸出水の量を最小にするために、処分セルを利用する場合には、簡易シェルターの下で廃棄物の定置が行われること
・廃棄物の積み上げには処分状態が安定で、最終カバーを支持するのに十分な負荷特性を示す

VLLW 処分場は既設の LILW 処分場と同じ基本的に安全基準を満たすが、設計は、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いる。処分施設の具体的な設計は、原子力安全評議会（CSN）によって評価された「有害廃棄物の排除に関する欧州指令（European Directive for elimination of

dangerous waste)」、及びスペインの法律に基づき作成された「L3 廃棄物貯蔵のための施設の基準」に基づいている。

ii.処分場の特徴

VLLW 処分のために、処分セル及び処理建屋の 2 施設が新設された。

a) VLLW 処分は 4 つのセル（セル No.29～No.32）に分けられ、2008 年 10 月より操業され、現在までに、2 つのセルが建設された。残りのセルは放射性廃棄物管理に必要なおよそ 30 年の期間を通じて建設される。

VLLW 処分場の建設状況を図 2.5.(2)-3、断面図を図 2.5.(2)-4 及びバリア構成の断面を図 2.5.(2)-5 に示す。図 2.5.(2)-3 及び図 2.5.(2)-4 に示すとおり、本処分場は山間部の一部を平坦に造成した後掘下げる、掘下げ型のトレンチである。

掘削後、天然土壌層の上部に底部バリアを設置する。底部バリアは、地下排水のための砕石層（図 2.5.(2)-3 写真(3)）、不透水層として厚さ 1 m の粘土層、厚さ 3 cm のナトリウムベントナイトで埋め戻されたポリエチレン製ジオメンブレン層、厚さ 4 mm の高密度ポリエチレン層（HDPE）、浸出水排水管が張り巡らされた砕石層で構成される（図 2.5.(2)-5 参照）。

底部バリアの上部には、中間バリアとしてもう一つの予備の砕石層が置かれ（内部は浸出水排水管を設けている）、システム性能のモニタリングを容易にする役割を担っている（図 2.5.(2)-5 参照）。

廃棄物を定置した後、廃棄物は土壌層で覆われ、その上部に HDPE 層と砕石排水層及び現地土壌から成り立つキャップ部のバリアが設けられ、最上部は表面土壌層で覆われる（図 2.5.(2)-5 参照）。

シェルター内の処分セルの状況を図 2.5.(2)-7 に示す。図 2.5.(2)-7 に示すとおり、廃棄物は金属製の容器又はフレキシブルコンテナに収納したものを受け入れ、雨水浸入防止用テント内で定置作業を実施している。また、雨水浸入防止用テントは、膜構造のもので室内は天井に照明器具を設けている。

b) 処分セルの建設と併せて処理建屋（長さ 50.4 m、幅 12.4 m、高さ 8.5 m）が作られた。この建屋の機能は、廃棄物の受入と積み降ろし、確認と管理、廃棄物の一時的な貯蔵、廃棄物の処理または最終処分の分類、モルタル添加による廃棄物の安定化等である。

（出典：文献 2, P16～17 を改変して転載）

a. 掘削

b. 準備作業／サブドレン設置

c. 砕石層、浸出水排水管設置

d. 粘土層及びベントナイトバリア

e. HDPE フィルム、ジオテキスタイル及び砕石層

f. 砕石排水層、底部及び法面

図 2.5.(2)-3　VLLW 処分場の建設状況写真（出典：文献 5, P20 より転載）

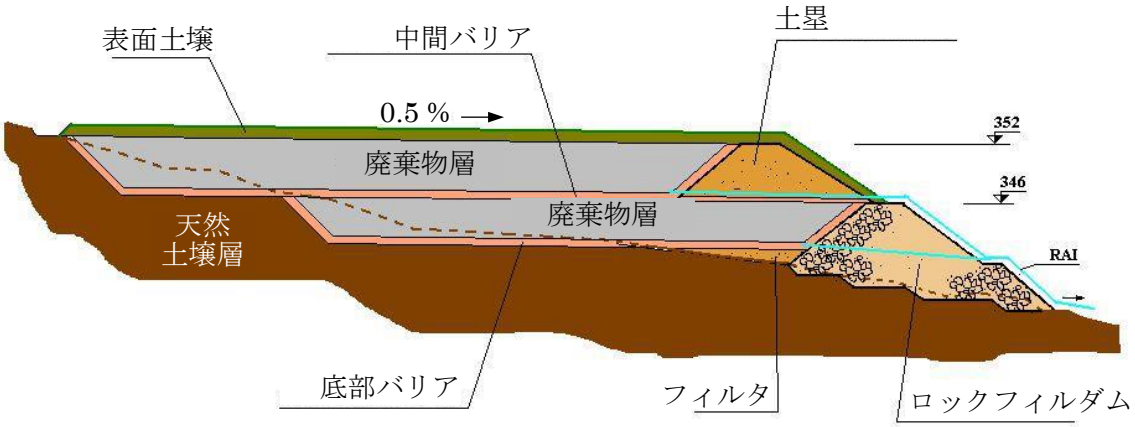


図 2.5.(2)-4　VLLW 処分場の断面図（出典：文献 5, P18 を改変して転載）

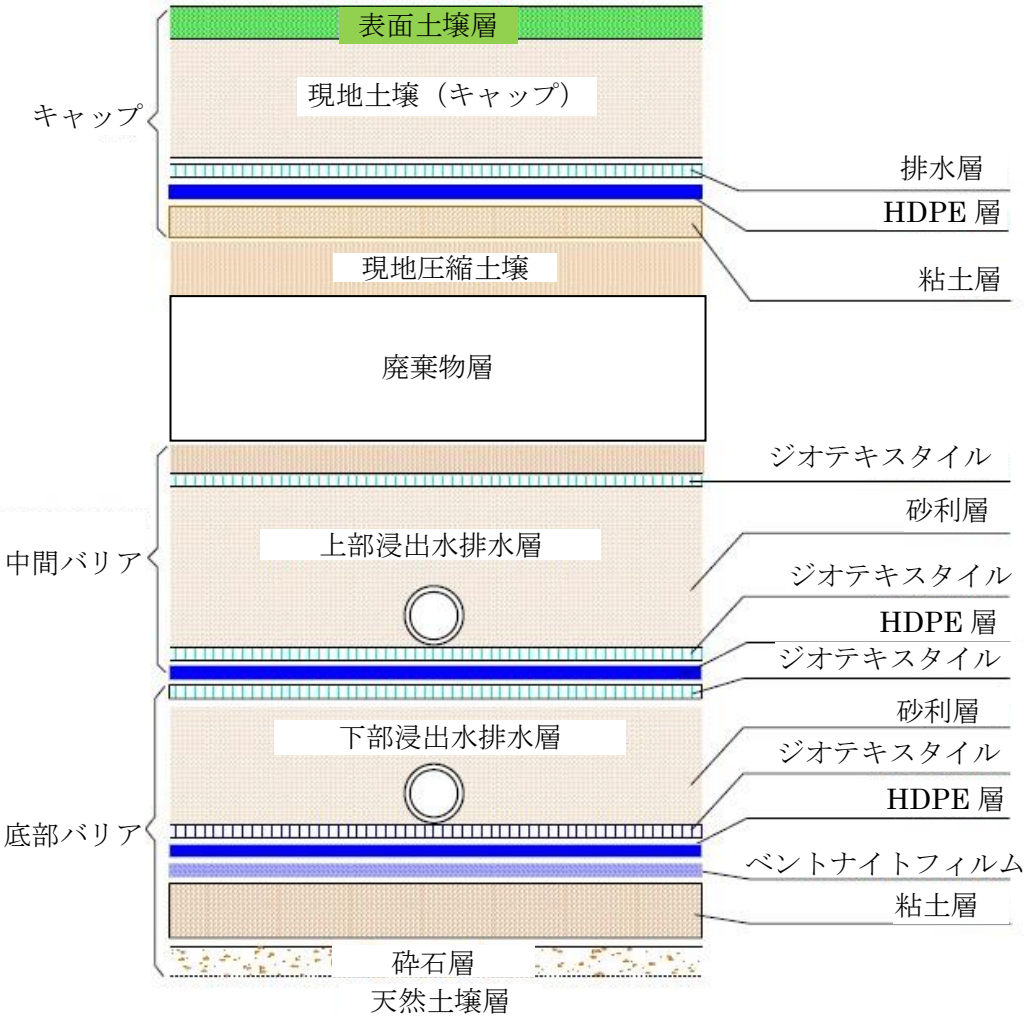


図 2.5.(2)-5　VLLW 処分場のバリア構成（出典：文献 11, P4 Fig.2 を改変して転載）

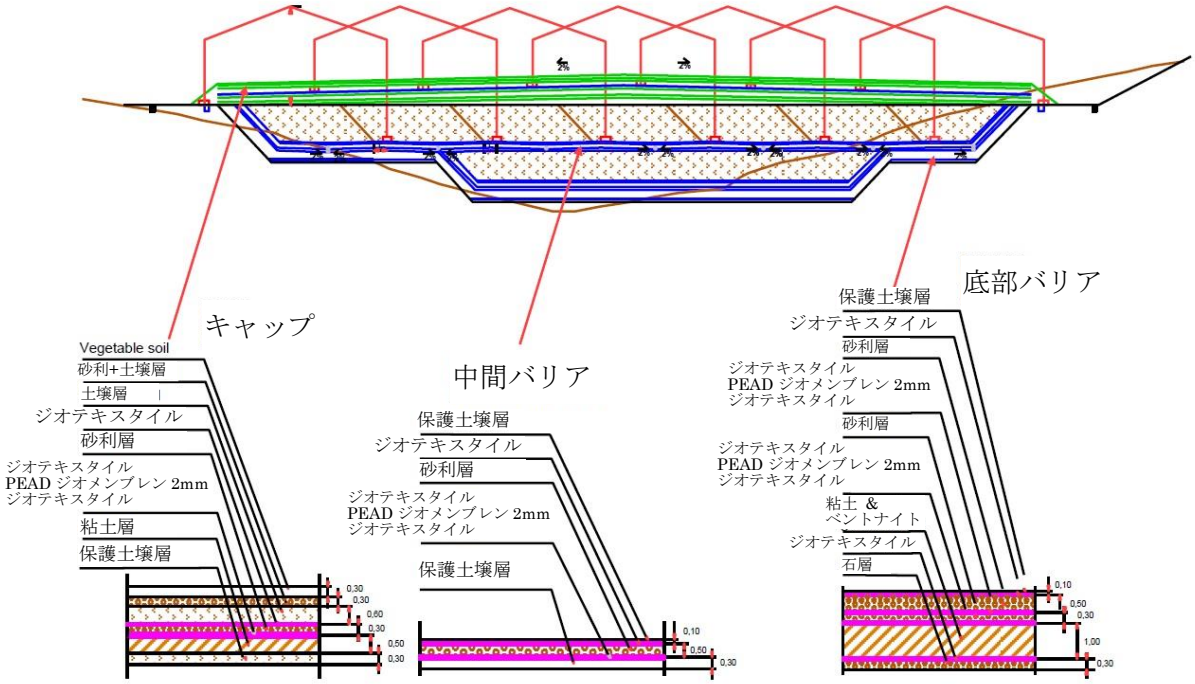


図 2.5.(2)-6　VLLW 処分場の浸透水対策

（出典：文献 9, P5 Fig.3 を改変して転載）

a. VLLW 処分場全景

b. VLLW 処分場シェルター内

c. VLLW 処分場シェルター内

d. VLLW 処分場シェルター内

e. VLLW 処分場シェルター内

f. VLLW 処分場シェルター内

図 2.5.(2)-7　VLLW 処分場の内部写真

（出典：文献 5, P17, 文献 11, P6 Fig.6～9 及び文献 12, P7 より転載）

⑥ VLLW 処分場の安全評価

安全評価の方法は、LILW（低・中レベル放射性廃棄物）のための既存の処分施設に採用された安全アプローチと整合性が取られている。評価では、放射線上の基準、全放射能インベントリ、監視期間、サイト環境あるいは決定グループの定義に対して、両者の処分施設に共通のデータを利用している。

採用された安全要求事項は、国の規定する要求事項ともに、国際原子力機関（IAEA）と国際放射線防護委員会（ICRP）のような国際組織の最新のガイドと勧告に従っている。また、スペインの CSN によって規定された被ばく最大線量は 5 mSv／y、公衆のための線量条件は、基本シナリオで 0.1 mSv／y である。

安全評価では、基本シナリオのほか、発生確率の非常に低い処分施設の侵入シナリオについても考慮されている。地下水移行シナリオでは、自然及び人工バリアの挙動に関して非常に控えめな仮定に従って、基本シナリオと変動シナリオの両ケースで評価された。また、被ばく評価の対象グループは施設近くで生活すると仮定された。また、大気移行シナリオは、施設の操業段階、事故火災と廃棄物落下シナリオのほか、長期的な人為的な人間侵入シナリオを含んでいる。

実施された安全評価によって、処分対象の廃棄物の放射能の受入基準を決めるほか、人間の健康と環境の防護の受け入れられるレベルが現在、将来ともに達成されることが実証される。

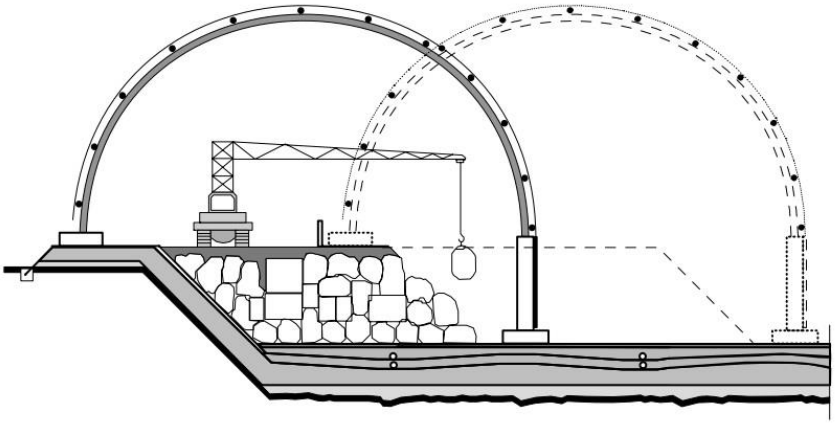
処分施設の長期安全性評価は、処分セルの中の全放射能が LILW 処分のために設けられた基準放射能量の１%以下と想定して、通常時の移行シナリオ評価及び侵入事象を考慮して実施されている。

（出典：文献 2, P17 を一部編集）

⑦　廃棄物埋設状況（VLLW）

a. 廃棄物定置状況

b. 覆土状況



c. 廃棄物定置方法

図 2.5.(2)-6　VLLW 処分場廃棄物の定置状況

（出典：文献 11, P6 Fig.6, 7 及び文献 13, P19 より転載）

参考文献（スペイン）

1. “ENRESA ホームページ(Creation of Enresa)”, 入手先<http://www.enresa.es/eng/index/about-enresa/creation-of-enresa>（2019.12.8 閲覧）
2. 宮本喜晟, “海外技術情報 エルカブリルの L3 廃棄物の処分施設について”, RANDEC ニュース Feb 2010 No.83, P16～18, （財）原子力研究バックエンド推進センター, 2010 年 2 月 19 日発行, 入手先 <http://www.randec.or.jp/publish/documents/RANDEC%20NEWS/RANDEC%20NEWS_83.pdf>（2018.4.15 閲覧）
3. José Luis González, “Status, responsibilities and missions of ENRESA”, Technical Meeting on the Establishment of a Radioactive Waste Manegement Organization, ENRESA, Paris 7-8 June 2010, 入手先＜https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/conventions/fourth-review-cycle/tm-paris/Session 1/enresa-spain.pdf＞（2022.3.15 閲覧）
4. 放射性廃棄物ハンドブック（平成 30 年度版）, （公財）原子力環境整備促進・資金管理センター, 平成 30 年 9 月
5. Mariano Molina, “Disposal Centre of El Cabril”, ENRESA, October, 2017
6. Elena Vico, “LILW Acceptance Procedures in Spain: Distribution of Responsibilities”, IAEA / ANDRA International Workshop on Waste Acceptance Procedure, ENRESA, 26-28 June 2012
7. “海外における低レベル放射性廃棄物処分施設 － フランス：オーブ処分場、スペイン：エルカブリル処分場 －”, 原環センタートピックス 1993.12.No.28, （財）原子力環境整備センター, 入手先＜https://www.rwmc.or.jp/library/file/no28.pdf＞（2018.4.13 閲覧）
8. “ENRESA ホームページ(El Cabril Disposal Facility)”, 入手先<http://www.enresa.es/eng/index/activities-and-projects/el-cabril>（2019.12.8 閲覧）
9. I. Lopez, M. Navarro & P. Zuloaga, “Safety Assessment of the New Very Low-Level Waste Disposal Installation at El Cabril, Spain-9042”, WM2009 Conference, 1-5 March 2009, 入手先＜ https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1050.5031&rep=rep1&type=pdf＞（2018.3.4 閲覧）
10. 鯉渕 浩人, 土肥 輝美, 石黒 秀治, 林 勝及び千田 正樹, “研究施設等廃棄物埋設事業計画策定のための受入要件等に関する調査”, （国研）日本原子力研究開発機構, December 2008, 入手先＜ https://www.jaea.go.jp/04/maisetsu/reference/download/JAEA-Review-2008-034.pdf＞（2019.12.8 閲覧）
11. Pablo Zuloaga & Mariano Navarro , “Very Low Activity Waste Disposal Facility Recently Commissioned as an Extension of El Cabril LILW Disposal Facility in Spain – 9014”, WM2009 Conference, 1-5 March 2009, 入手先＜

http://archive.wmsym.org/2009/pdfs/9014.pdf＞（2018.3.4 閲覧）
12. Mariano Navarro, “Operational experiences of El Cabril 1992-2011”, IAEA Technical Meeting Disponet, 4-6 October 2011
13. Pablo Zuloaga, “New Developments in LLW Management in Spain”, 19 September 2006

3　類型化された地形・地質環境条件に応じたL3 廃棄物埋設施設概念検討（設計概念）

3．1　埋設施設の概要

埋設施設の定義は法規により地上又は地表から深さ 70 m 未満の地下に設置された廃棄物埋設地に、放射性物質のＣｏ－60、Ｓｒ－90、Ｃｓ－137 で規定された放射能濃度以下であり、かつ、廃棄物の由来として、核燃料物質によって汚染されたコンクリートと金属（コンクリート等廃棄物）を埋設すると定義されている。

なお、「コンクリート等廃棄物」の定義としては、従来の事業規則においては、「容器に封入しておらず、又は固型化していない固体状の放射性廃棄物」とされていたが、2019 年 12 月に改定された改正事業規則においては、多種多様な放射性廃棄物に柔軟に対応することができるよう、「固体状の放射性廃棄物」に変更され、容器への固型化も考慮されることになった。

○　事業規則（昭和六十三年総理府令第一号、最終更新：令和元年十二月五日公布（令和元年原子力規制委員会規則第五号）改正）

（定義）第一条の二第２項

五　「トレンチ処分」とは、地上又は地表から深さ七十メートル未満の地下に設置された廃棄物埋設地において別表第二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放射性廃棄物を埋設の方法（前号イ［外周仕切設備を設置した廃棄物埋設地に放射性廃棄物を定置する方法］及びロ［外周仕切設備を設置しない廃棄物埋設地に放射性廃棄物を一体的に固型化する方法］の方法を除く。）により最終的に処分することをいう。

別表第二（第一条の二第二項第五号関係）

コバルト六十	十ギガベクレル毎トン
ストロンチウム九十	十メガベクレル毎トン
セシウム百三十七	百メガベクレル毎トン

七　「コンクリート等廃棄物」とは、固体状の放射性廃棄物であって次に掲げるものをいう。

イ　核燃料物質によって汚染されたコンクリート

ロ　核燃料物質によって汚染された金属

ハ　その他イ又はロに類するもの

従来は埋設施設の一般的な説明として、経済産業省、資源エネルギー庁ホームページなどにおいて、コンクリートピットなどの人工構造物を設置せず、浅地中に埋設処分する方法であり、50 年程度の管理期間を経た後は、一般的な土地利用が可能と説明されていた。

コンクリートや金属など、化学的、物理的に安定な性質の廃棄物のうち放射能レベルの極めて低いものについては、トレンチ処分が行われます。これは、コンクリートピットなどの人工構造物を設置せず、浅地中に埋設処分する方法です。50 年程度の管理期間を経た後は、一般的な土地利用が可能になります。

トレンチ処分は、日本原子力研究開発機構（JAEA）の動力試験炉（JPDR）の解体に伴って発生した廃棄物を対象に、同研究所敷地内で試験的に実施されている例があります。

（出典：文献 2 より転載）

しかし、2019 年 12 月 5 日に改正された「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、「許可基準規則」という。）」において、廃棄物の埋設直後の段階から放射性物質が廃棄物埋設地の外へ容易に漏出する状況に至らないよう、覆土等により規制期間中

（埋設終了後 50 年程度を目安）の雨水や地下水の浸入を避け、放射性物質の漏出を低減することが新たに要求された。

トレンチ処分はコンクリートや金属などの化学的、物理的に安定な性質の廃棄物のうち放射能レベルの極めて低いものを対象としているため、従来は特別な人工バリア等は要求されず、廃棄物埋設地の周囲の地盤により、その核種の移行を抑制する形態として想定されていたが、規則改正後は人工バリアが要求されることになる。なお、原子力規制委員会（2019 年 10 月 2 日）において、覆土等の性能としては、ピット処分の外周仕切設備ほどの性能は必要ないものの、海外の類似の放射性廃棄物の処分場や、国内の産業廃棄物の処分場の性能（厚さ：50 cm 以上、透水係数：10^{-8} m／s 以下）に比べて遜色のないものとすることが適当との考えが示された。

また、廃棄物埋設地等の技術上の基準として、法規により廃棄物埋設地の沈下や陥没等による有意な影響を避けるために、廃棄物埋設地の内部を土砂等により充填することと、埋設終了後に廃棄物が容易に露出しないようにその表面を土砂等で覆うことが求められている。

○ 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（昭和六十三年総理府令第一号、最終更新：令和元年十二月五日公布（令和元年原子力規制委員会規則第五号）改正）

従来の一般的な

（廃棄物埋設施設等の技術上の基準）　第六条

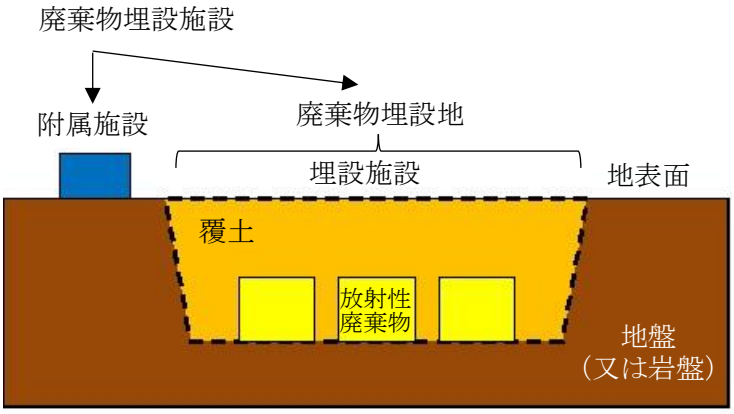
三　コンクリート等廃棄物を埋設する場合において、廃棄物埋設地の外に放射性物質が飛散するおそれがあるときは、飛散防止のための措置を講ずること。

五　廃棄物埋設地は、土砂等を充填することにより、当該廃棄物埋設地の埋設が終了した後において当該廃棄物埋設地の安全機能を損なうおそれのある空隙が残らないように措置すること。

六　廃棄物埋設地には、爆発性の物質、他の物質を著しく腐食させる物質その他の危険物であつて、当該物質の性質及び量に照らして、廃棄物埋設地の安全機能を損なうおそれのあるものを埋設しないこと。

七　埋設が終了した廃棄物埋設地は、埋設した物及び廃棄物埋設地に設置された設備が容易に露出しないようにその表面が土砂等で覆われていること。

従来の一般的なトレンチ処分における廃棄物埋設地は、例えば日本原子力学会標準「低レベル放射性廃棄物の埋設地に係る覆土の施工方法及び施設の管理方法：2016－ピット処分及びトレンチ処分編－」の図 3.1-1 に示すように、地上または地下に定置した放射性廃棄物に対しては覆土のみを行い、周囲の地盤（又は岩盤）を天然バリアとし、人工バリアの設置は想定していなかった。規則改正後は、放射性物質が廃棄物埋設地の外へ容易に漏出する状況に至らないよう、覆土等により雨水や地下水の浸入を避け、放射性物質の漏出を低減する対策をとる必要が生じた。



上図の呼称			左記以外の呼称の例	バリアの種類
廃棄物埋設施設	廃棄物埋設地	放射性廃棄物	金属廃棄物 コンクリート廃棄物	－
		覆　土	－	注 2
		埋設施設	注 1	－
	附属施設		施設の具体的な名称 （受入設備等）	－
地盤（又は岩盤）			－	天然バリア

注 1：地上式の場合、埋設施設ではない。

2：覆土は天然バリアに相当するバリアとして考慮できる。

（規則改定後は、覆土等により雨水や地下水の浸入を避け、放射性物質の漏出を低減する対策が必要となる。）

図 3.1-1　処分場の断面図と部位などの呼称の例（従来の埋設施設）

（出典：文献 3, P33 図 B.8 より転載）

国内の L3 廃棄物（以下「VLLW」という。）処分場の状況については、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）の動力試験炉（以下「JPDR」という。）の廃止措置に伴い発生した VLLW 相当のコンクリート廃棄物を埋設する施設（以下「JPDR 処分場」という。）が東海の研究所敷地内に建設され、1996 年に廃棄物の埋設を完了し、現在は約 30 年間の管理期間の最中である。本施設の敷地周辺は、地表が砂丘砂層で構成された平坦な敷地であり、施設構造は掘下型の素掘り埋設施設である。また、現在日本原子力発電㈱が東海発電所・東海第二発電所地区の社有地内に、東海発電所から発生する VLLW 相当の金属・コンクリート廃棄物を埋設する施設（以下「原電東海処分場」という。）の建設を計画している。当該施設も JPDR 処分場と同様の砂丘砂層で構成された平地であることから、許可基準規則の改正（2019 年 12 月 5 日）前においては、図 3.1-2 に示す掘下型の素掘り埋設施設を計画していた。

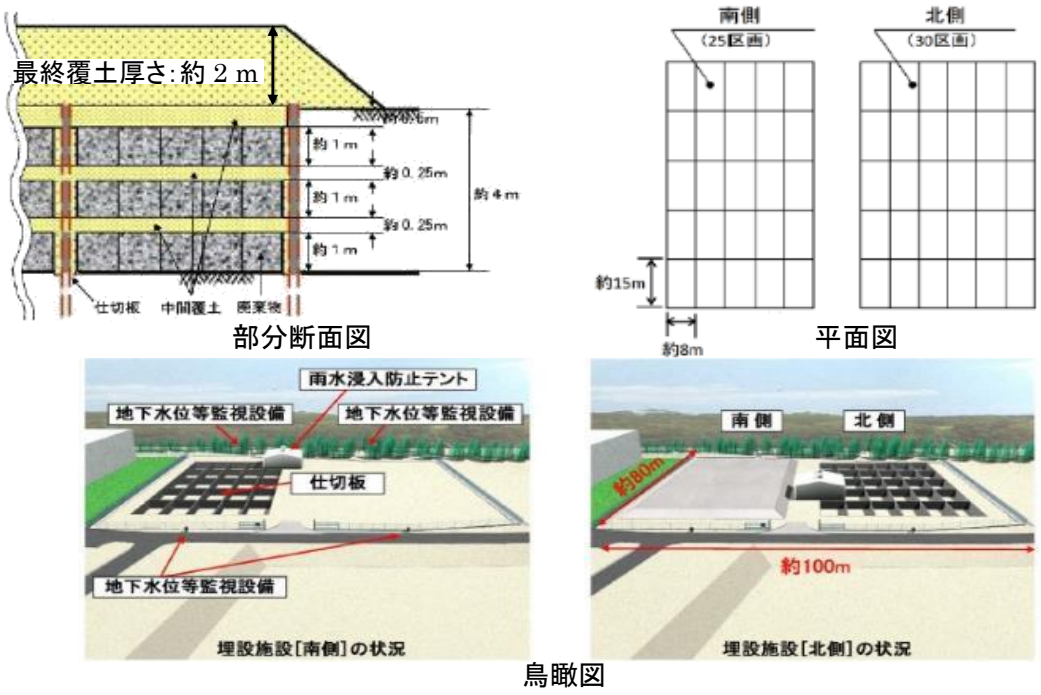


図 3.1-2　トレンチ処分の廃棄物埋設施設イメージ図

（出典：文献 4 より転載）

３．２ 埋設施設への人工構造物の適用について

前記のように、従来の廃棄物埋設地においては人工バリアの設置の要求はなかったが、規則改正後は放射性物質が廃棄物埋設地の外へ容易に漏出する状況に至らないよう、覆土等により雨水や地下水の浸入を避け、放射性物質の漏出を低減する対策をとる必要が生じた。このため、人工バリアの使用は妨げられないこととなった。例えば、今後検討される VLLW 埋設施設は、東海地区の JPDR 処分場及び原電東海処分場のような平地ではなく、それ以外の地形への設置も想定される。その際には、地形を含めたサイトの条件等を考慮して安全性が向上されるものであれば、適宜、人工構造物を廃棄物埋設処分地に用いることは有効と考えられる。

人工構造物を採用した諸外国の VLLW 処分場の例として、アメリカ、フランスでは掘下型埋設施設及び盛土＋掘下型埋設施設（半地下式盛土型）、スペインでは斜面利用・掘下型埋設施設、スウェーデンでは盛土型を採用している。イギリスについては、埋設施設型処分場からコンクリートボールト処分に変更している。ただし、諸外国では処分に対する考え方や法体系も異なることより、それらの背景状況を考慮して参照する必要がある。

埋設施設に人工構造物を用いる場合に考慮すべき項目について以下に示す。

- 地下水移行経路（移行距離および流出点の位置）
- 対策期間
- 地下水位と廃棄物埋設深度
- 地質条件（地下水移行経路としての地盤特性）

・　人工構造物設置の目的例

これらの項目とともに、サイトの地形形状や設置場所の条件を考慮して L3 廃棄物埋設施設の概念を検討することが重要である。以下に各項目の概要を示す。

（１） 地下水移行経路（移行距離および流出点の位置）

従来検討されている埋設施設の処分概念における安全評価の考え方は、平坦で地下水位がある程度低く、埋設する際は廃棄物の底面が地下水位よりも高い位置に設置できることを想定している。また、廃棄物に接した地下水の流出点については、地中を移動してある程度の希釈水量が見込める河川あるいは海洋を想定している（図 3.2,(1)-1）。

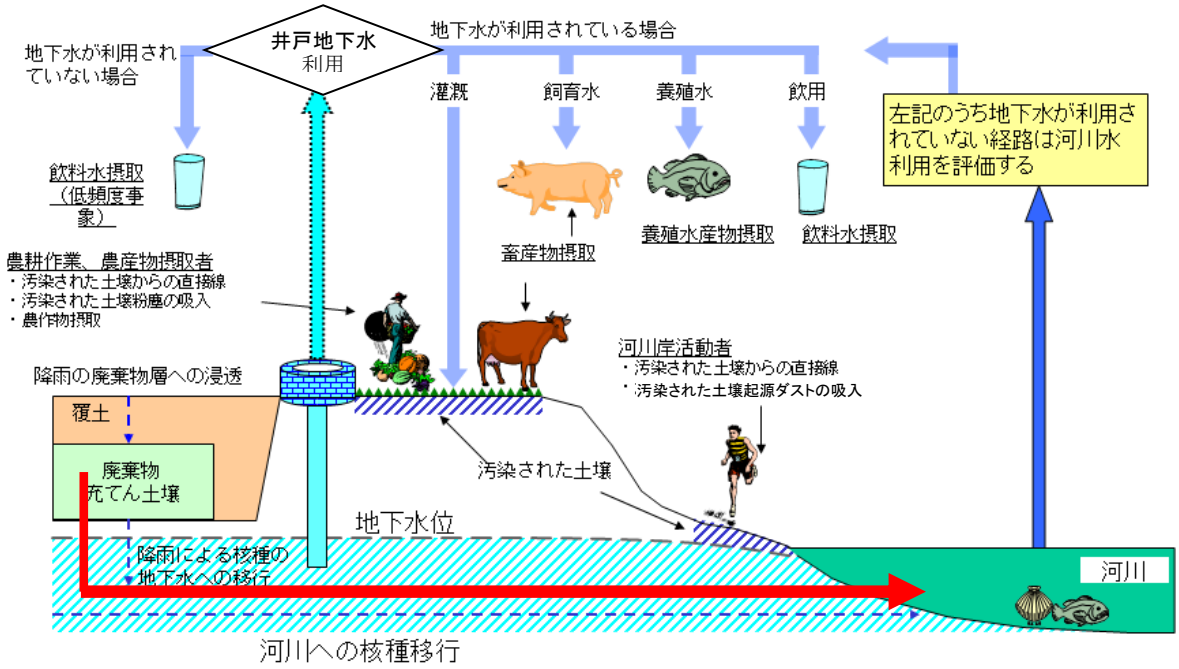


図 3.2.(1)-1　従来検討されている埋設地から流出点までの流れ

（出典：文献 5 の一部を改変して転載）

しかしながら、地形条件によっては、地下水が河川及び海洋以外に湧水する可能性も考えられる。

地下水の湧出点が海洋に到達する前に斜面途中に存在する場合のイメージを図 3.2.(1)-2 に示す。図に示す地形形状では、廃棄物と接触した地下水が斜面途中で湧出し、その湧水した地下水を牧畜等で用いるなどの経路が発生する。そのような経路では、放射性核種の吸着に寄与する土質が少ないことと、湧出後の海水等による希釈が期待できないことより、被ばく線量が上昇することが想定される。このような場合には、必要により遮水構造や集水・排水設備などの対策が有効である。

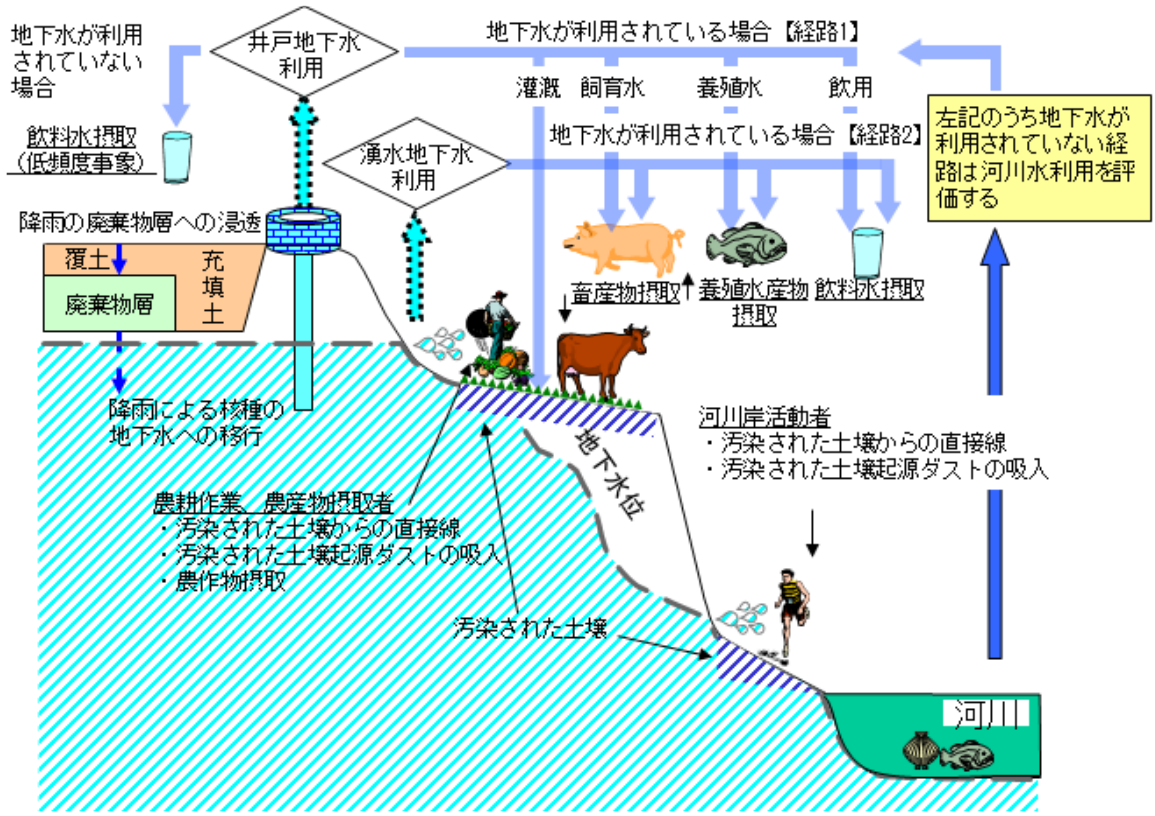


図 3.2.(1)-2　埋設地からの湧水点が途中斜面などに存在する場合

（出典：文献 5 より転載）

（２） 対策期間

前項で記載した対策例については、“放射性核種の半減期”を考慮すると、浸入水及び浸出水の抑制対策等は、管理期間内に機能していれば、処分場の安全性向上に有益である。例えば、以下のような報告がされている。

図 3.2.(2)-1 のような立地で、斜面部から湧水が発生した場合などには、条件により遮水シート等の設置が有効である。例えば湧水を飲用するシナリオを仮定した場合、条件により最大線量が基準線量の 10 μSv／y を上回ることがある。この場合などには、主要核種のH－3の半減期が 12.32 年であることから、遮水シート等のバリア等が 40 年間核種の移行を抑制することができれば、このような斜面に湧水のある立地においても低レベル放射性廃棄物処分地の設置が可能になると考えられる（図 3.2.(2)-2）。

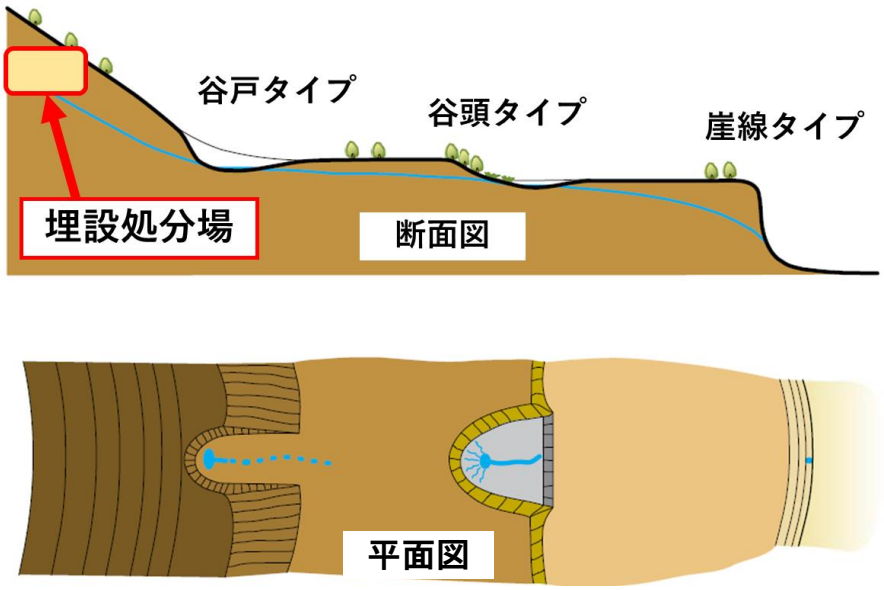
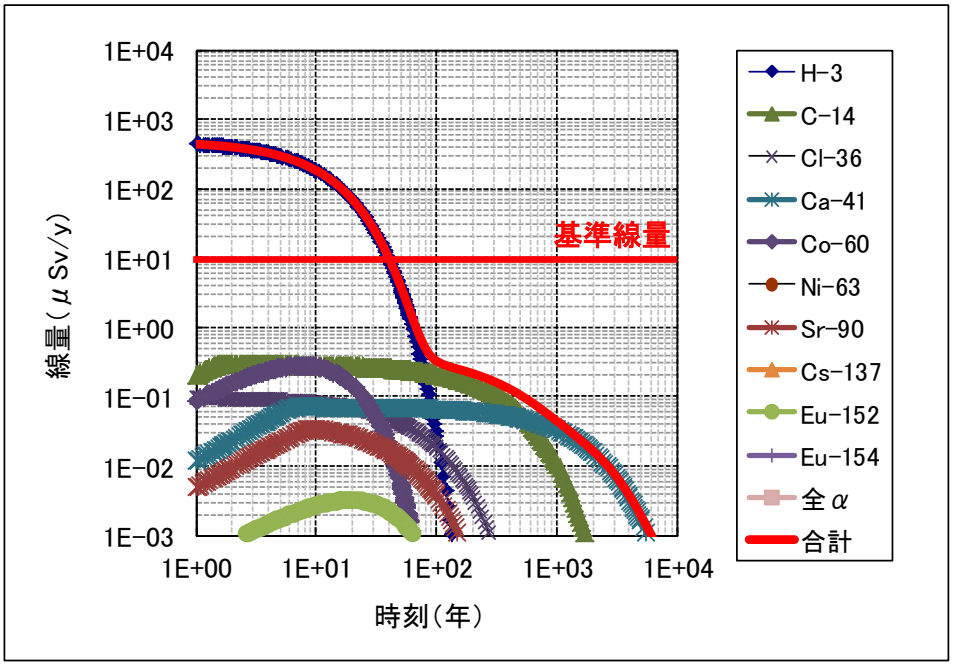
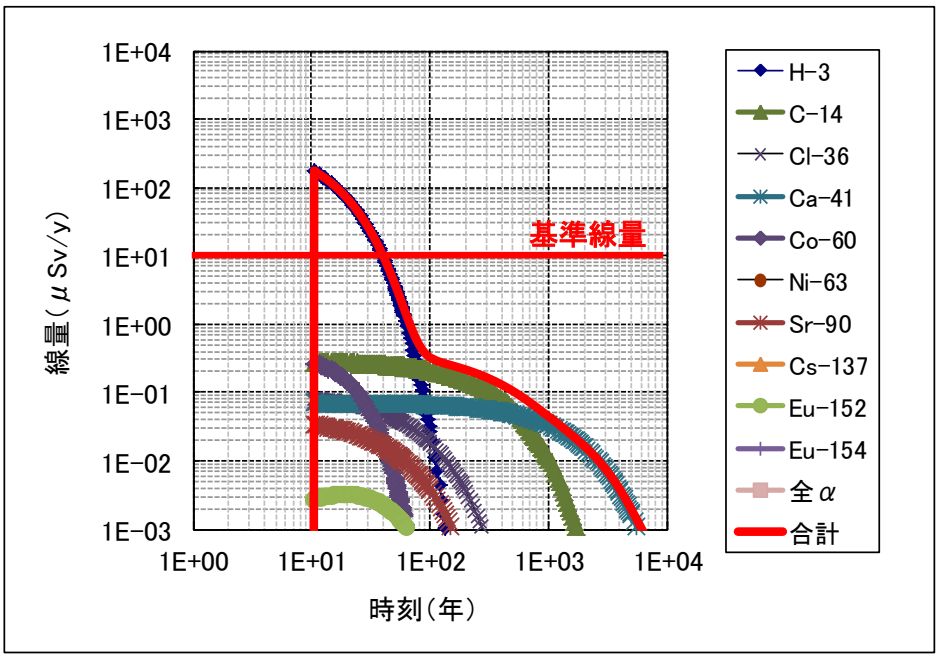


図 3.2.(2)-1　湧水タイプ別のイメージ

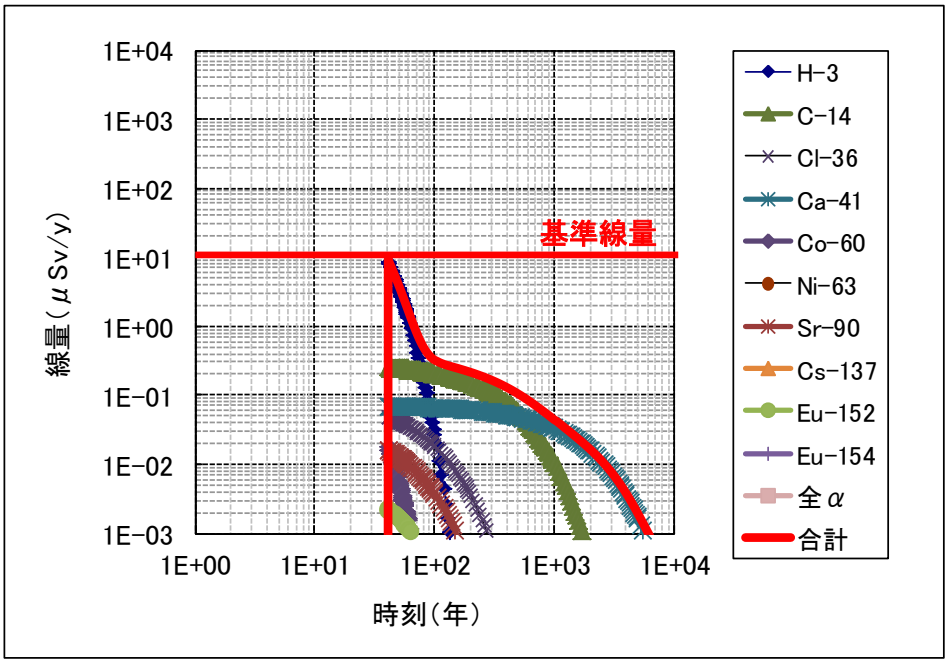
（出典：文献 5 より転載）



a. バリア機能なし



b. 10 年間のバリア機能を期待



c. 40 年間のバリア機能を期待

図 3.2.(2)-2　核種移行解析例（斜面部湧水）

（出典：文献 5 より転載）

（３） 地下水位と廃棄物埋設深度

東海地区の JPDR 処分場及び原電東海処分場（2025 年 6 月現在審査中）では、廃棄物は地下水位より上に設置される。

これらに対して地形や地下水位の条件により、廃棄物底部が地下水位よりも下に設置される場合が想定される。この場合には、廃棄物と接触する地下水が埋設地から常時流出することになる。その場合には流出する地下水による被ばく線量評価を実施し、必要により廃棄物と地下水との直接接触を避ける対策などが有効である。

（４） 地質条件（地下水移行経路としての地盤特性）

地盤特性のうち、放射性物質の移行の観点では地盤を亀裂性媒体として取り扱うか、多孔質媒体として取り扱うかにより評価方法が異なるため地質条件の把握が重要である。

従来のトレンチ処分では、砂地盤に廃棄物を埋設することを想定しており、これは粒子間隙が卓越する多孔質媒体とみなすことができる。このような地盤中の放射性核種は、粒子間隙中を移流分散によって移行し、粒子を構成する鉱物表面に放射性核種が収着することにより移行に遅延が生じる。しかしながら、埋設施設を岩盤上に設置する場合も考えられる。その場合は、多孔質として扱うケースもあるが、岩盤中の亀裂を主要な移行経路として地下水等の動きを取扱うケースもあり、移行する放射性核種は亀裂充てん鉱物への収着や岩石基質部への拡散浸透（マトリクス拡散）によって遅延される（例：花崗岩等の結晶質岩）。これらは大きく特徴が異なるため、放射性廃棄物処分のような長期の期間で考えると施設から流出した放射性核種の移行などに大きな影響を及ぼす（図 3.2.(4)-1）。

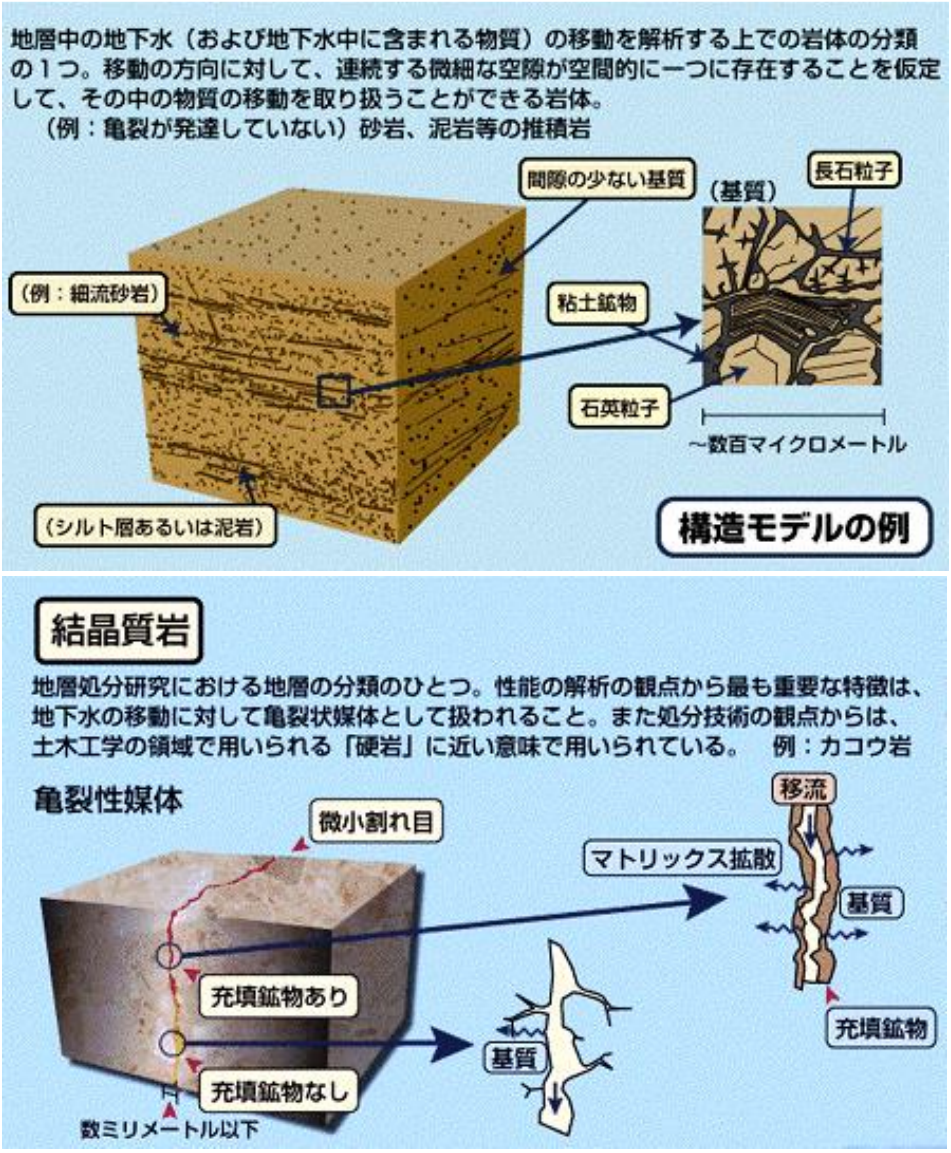


図 3.2.(4)-1　多孔質媒体と亀裂性媒体のイメージ図
（出典：文献 6 より転載）

（５） 人工構造物設置の目的例

従来の埋設施設では、地下水位より上に廃棄物の底部があること等から施設に対策等をしていなかった。しかしながら、規則改正後は、放射性物質が廃棄物埋設地の外へ容易に漏出する状況に至らないよう、覆土等により雨水や地下水の浸入を避け、放射性物質の漏出を低減する対策をとる必要が生じた。また、今後検討される地形条件では地下水位および流出点などの観点から安全性向上における対策として浸入水及び浸出水の抑制が有効である。

- 浸入水抑制対策　：雨水・地下水による施設への浸入水を集・排水設備等を付加することにより抑制する対策
- 浸出水抑制対策　：埋設地からの雨水・地下水などの浸出水を集・排水設備等を付加す

ることにより抑制する対策（管理型処分場で用いられている。）

上記で示した安全性向上を目的とした 3 つの対策の具体的例としては以下が考えられる。

① 遮水シート

浸入水対策としては、廃棄物の上部に敷設され、雨水・地下水の浸入を抑制する。また、施設に浸透する水量を制限することは、社会的受容性の観点からも必要となる可能性がある。実際に、海外の低レベル放射性廃棄物（LLW）処分場では多重の最終カバーを設置して雨水の浸入水量を低下させる構造をとる例が報告されている。(例えばオーブやモルヴィリエ等)

② 低透水層

浸入水対策や浸出水対策として、透水性の低い粘性土等を利用することにより、浸入水及び浸出水を抑制する方法として有用である。

一般廃棄物最終処分場の埋立地底部の遮水工における低透水層の粘土材料としては、ベントナイト系材料等が利用されている。低透水層の設計に当たっては、現地発生土とベントナイト系材料等を均一に混合し、底盤部、法面部に混合土を転圧して遮水層を構築する方法がある。また、ベントナイト系材料を事前に粉体状に加工したり、シート状に加工したりして用いる方法もある。

なお、上記のように埋設地底部に遮水機能を有するシートおよび低透水層を設けた場合には、廃棄物と接触した雨水・地下水を埋設地の外へ直接浸出することを抑制する働きを有すると考えられる。したがって、この場合には、埋設地内に溜まる雨水及び地下水を排水する機構が必要となる。

③ 集排水施設

集排水施設については、地下水や雨水・浸出水等を対象とする設備などがある。

埋設地近傍の地下水位が高い場合、地下水が埋設地に流入し廃棄物と接触してしまう可能性がある。また、遮水シート等の遮水工を設置した場合には、埋設地内に溜まった水を排水する必要がある。これらの影響を防止するため地下水等を速やかに排除するための施設として地下水集排水施設がある。

雨水における集排水施設については、埋設地周辺の流域での降水を速やかに集めて流下させて排除することにより、埋設地への雨水の流入を防止することとなり、廃棄物と雨水との接触を防止することや遮水工等の負担を軽減する役割を有する。

浸出水における集排水施設については、埋設地内に浸入した雨水や地下水を速やかに浸出水処理施設に送るために設けられる。埋設地で発生する浸出水量をできる限り抑制することが重要である。

３．３ 考慮すべき地形及び各々の地形に適した処分場構造の抽出

VLLW 埋設施設の構造は、埋設対象物及び埋設施設の設置環境・地形により様々なものが想定される。今後計画される VLLW 埋設施設は、東海地区の JPDR 処分場及び原電東海処分場のような平地ではなく、それ以外の地形への設置も想定される。したがって、以下に、平地、丘陵地斜面、沢地形及び急峻地形に分類し、各々の地形に適した処分場の構造を抽出した。抽出した構造概略図を表 3.3-1 に示す。

（１） 平地

- 平坦な地形でかつ地下水位が十分深い位置に存在する場合は、JPDR 処分場及び原電東海処分場と同様、掘下型埋設施設の適用が考えられる。
- 平坦な地形であるが、岩盤が浅く掘り下げられない地形には、スウェーデンと同様、盛土型埋設施設の適用が考えられる。
- 平坦な地形であるが、地下水位が十分深い位置にない場合は、盛土＋掘下型埋設施設（半地下式）の適用が考えられる。

（２） 丘陵地斜面

- 斜面があって比較的平地部分が造成可能な場合、以下のように斜面を掘削後造成する構造の埋設施設の適用が２種類考えられる。
- 丘陵地のような緩やかな地形の斜面部分を利用する場合は、スペインのエルカブリル処分場と同様、斜面部分を掘削して平坦部を造成し、その平坦部を掘り下げた丘陵地斜面利用・掘下型埋設施設の適用が考えられる。
- 上記の他、掘削して平坦部を造成し掘削により生じる切土斜面を利用した構造である、丘陵地斜面利用・盛土型埋設施設の適用が考えられる。

（３） 沢地形

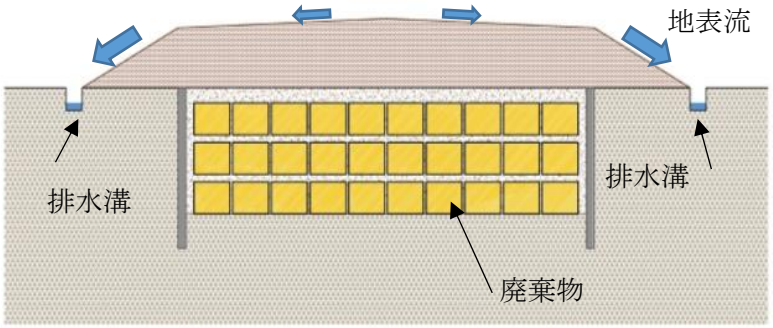
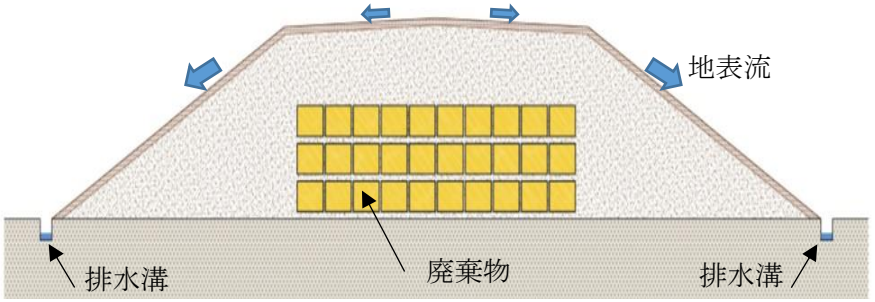
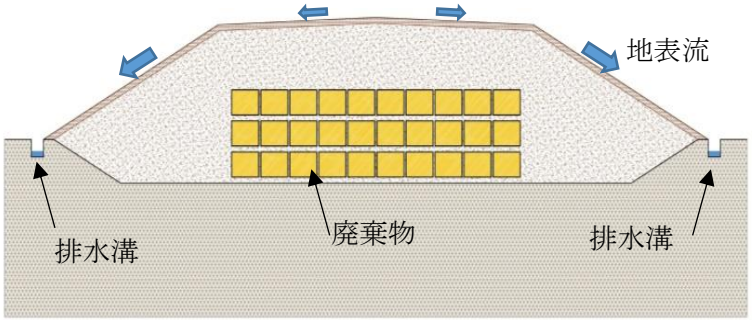
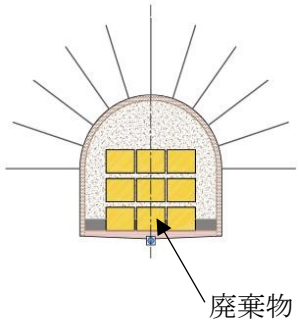
- 地形の縦断方向にある程度の傾斜がある沢地形の場合、地下水位が廃棄物底面より下部となるよう、沢部を埋め立てて整地して盛土を施すか、掘下型埋設施設（半地下式）に盛土を施した形状が考えられる。

（４） 急峻地形

- 切土、盛土が困難な急傾斜面のある地形の場合、急峻な斜面部に坑口を設けるトンネル型埋設施設の適用が考えられる。

（出典：文献 1, P223 を改変して転載）

表 3.3-1　考慮すべき地形に適用可能な処分場の構造（主な構造例）

<table>
<tr><td>掘下型埋設施設
［適用地形：平地、丘陵地斜面（掘削整地）］</td><td>盛土型埋設施設
［適用地形：平地、丘陵地斜面（掘削整地）、沢地］</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>盛土＋掘下型埋設施設（半地下式盛土型）
［適用地形：平地、丘陵地斜面（掘削整地）］</td><td>トンネル型埋設施設
［適用地形：急峻地形］</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

（出典：文献 1, P225～226 表 4.9-1, 4.9-2 を改変して転載）

３．４　設置場所の条件

３．４．１ 地盤に対する要求事項

許可基準規則第三条（廃棄物埋設施設の地盤）では、トレンチ処分に係る廃棄物埋設地（安全機能を有する施設に限る。）は、（１）安全機能を有する施設を十分支持できる地盤、（２）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並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状により安全性が損なわれない地盤、（３）将来活動する可能性のある断層の活動による地盤の変位が生じるおそれのない地盤に設けることが要求されている。

（１） 安全機能を有する施設を十分支持できる地盤

許可基準規則第三条第 1 項では、「安全機能を有する施設は、第四条第二項の規定により算定する地震力（耐震重要度※1）が作用した場合においても十分に支持できる地盤に設けなければならない。」とされている。同解釈第 3 条第 1 項に基づき、安全機能を有する施設の地盤は、自重及び操業時の荷重等に加え、解釈第 4 条第 2 項の分類※1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であることを確認する必要がある。評価方法（例）としては、原電東海処分場に係る事業許可申請において検討した以下の方法が考えられる。

※１：地震により安全機能を有する施設の安全機能が喪失した場合の放射線による公衆への影響を評価し、「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べて十分小さいもの（50 μSv／y）は、耐震重要度「C クラス」、それを満足できないものは「B クラス」とする。

［評価方法（例）］

廃棄物埋設地の基礎形式は直接基礎であることから、地盤の支持性能を検討するに当っては、土木構造物の直接基礎の場合に適用される最新の知見である「道路橋示方書・同解説（Ⅳ下部構造編）」（日本道路協会、平成 29 年）(1)（以下「道示Ⅳ（H29)」という。）及び「建築基準法」に基づく「国土交通省告示第 1113 号（地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための方法等を定める件)」（以下「国土交通省告示第 1113 号」という。）を用いる方法が考えられる。

① 「道示Ⅳ（H29)」に基づく支持地盤の安定性評価方法

図 3.4.1.(1)-1 に示す評価フロー（例）に示すとおり、「道示Ⅳ（H29)」の「9.5.2 鉛直荷重に対する支持の限界状態 1」に基づき、基礎底面に作用する合力（接地圧）が基礎底面地盤の支持力の制限値を超えないことを確認する。

② 「国土交通省告示第 1113 号」に基づく支持地盤の安定性評価方法

図 3.4.1.(1)-2 に示す評価フロー（例）に示すとおり、「国土交通省告示第 1113 号」に基づき、地盤反力度（接地圧）が支持地盤の許容応力度を超えないことを確認する。

（出典：文献 7, P13 を改変して転載）

a. 基礎面地盤の支持力の制限値

・「道示Ⅳ（H29）」の「9.5.2 鉛直荷重に対する支持の限界状態 1」に基づき、支持地盤における基礎底面地盤の支持力の制限値を算出する。

$$Q_{yd} = \xi_1 \Phi_Y Q_y$$

Q_{yd}：基礎底面地盤の支持力の制限値（kN）

ξ_1：調査・解析係数（0.90）

Φ_Y：抵抗係数（0.90）

Q_y：基礎底面地盤の降伏鉛直支持力の特性値（kN）

$Q_y = 0.65Q_u$

Q_u：基礎底面地盤（※2）の極限鉛直支持力の特性値（kN）

※2：廃棄物埋設地の基礎底面地盤は du 層

b. 基礎底面に作用する合力（接地圧）

・「道示Ⅳ（H29）」の「9.5.2 鉛直荷重に対する支持の限界状態 1」の基礎底面に作用する合力の算定式を用いて、接地圧を算定する。

$$F_r = V/\left\{1 - \left(\frac{h^2 + m^2}{v^2}\right)^{1/2}\right\}$$

$$v = V/Q_u,\ h = \{H/(H_u/V)Q_u\},\ m = M/(0.48BQ_u)$$

F_r：基礎底面に作用する力（kN）

H_u：基礎底面と地盤との間に働く最大せん断抵抗力の特性値（kN）

Q_u：基礎底面地盤の極限鉛直支持力の特性値（kN）

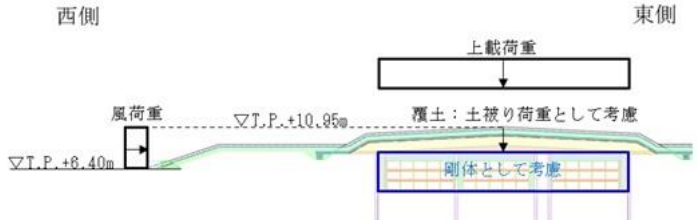
V：基礎底面に作用する鉛直力（kN）

H：基礎底面に作用する水平力（kN）

M：基礎底面に作用する転倒モーメント（kN・m）

B：水平力の作用方向の基礎幅（m）

・基礎底面に作用する鉛直力／水平力／転倒モーメントを算出する際の考え方と、荷重概念図を以下に示す。



十分な支持性能を有することを確認

a. 基礎底面地盤の支持力の制限値 ＞ b. 基礎底面に作用する合力（接地圧）

図 3.4.1.(1)-1 「道示Ⅳ（H29）」による地盤の支持性能評価フロー（例）

（出典：文献 7, P13, 14 を改変して転載）

a. 支持地盤の許容応力度

・「国土交通省告示第 1113 号」のうち、第 2 項(1)式を用いて、支持地盤の許容応力度を算出する。

$$q_a = \frac{1}{3} \times \left(i_c \alpha C N_c + i_\gamma \beta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q \right)$$

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2, \qquad i_\gamma = (1 - \theta/\phi)^2$$

q_a：地盤の許容応力度（kN/m^2）

θ：基礎に作用する荷重の鉛直方向に対する傾斜角（°）

ϕ： 地盤の特性によって求めた内部摩擦角（°）

α, β：基礎荷重面の形状係数

$\alpha = 1.0 + 0.2B/D, \qquad \beta = 0.5 - 0.2B/D$（円形以外の形状）

B：基礎荷重面の短辺（m）

D：基礎荷重面の長辺（m）

C：粘着力（kN／m^2）

γ_1：基礎荷重面下の地盤（支持地盤）の単位体積重量（kN／m^3）

γ_2：基礎荷重面より上方の地盤の平均単位体積重量（kN／m^3）

D_f：基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ（m）

N_c, N_γ, N_q：支持力係数層

b. 地盤反力度（接地圧）

・支持地盤の許容応力度を鉛直支持力とする場合は、「道示Ⅳ（H29）」のうち、地盤反力計算式を用いて、接地圧を算出する。

(a) 荷重の作用位置が底面の核内にある場合（台形分布 e＜B＜6）

$$q_{max} = V/(DB) + 6M/(DB^2)$$

(b) 荷重の作用位置が底面の格外にある場合（三角形分布 e≧B／6）

$$q_{max} = 2V/D_x$$

V：基礎底面に作用する鉛直力（kN）

M：基礎底面図心に作用するモーメント（kN・m）

$M = V_e$

e：荷重の偏心距離（m）

x：底面反力の作用幅（m）で，x＝3×（B/2－e）

x が B より小さいときには三角形分布となり，x が B より大きいときには台形分布となる。

q_{max}：基礎底面における最大地盤反力度（kN/m^2）

B：基礎幅（m）

D：基礎幅の奥行き（m）

十分な支持性能を有することを確認

a. 支持地盤の許容応力度 ＞ b. 地盤反力度力（接地圧）

図 3.4.1.(1)-2　「国土交通省告示第 1113 号」による地盤の支持性能評価フロー（例）

（出典：文献 7, P13, 19, 20 を改変して転載）

（２） 地殻変動による廃棄物埋設施設の変形

許可基準規則第三条第 2 項では、「廃棄物埋設地（安全機能を有する施設に限る。）は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。」とされている。同解釈第三条第 2 項及び第 3 項に基づき、①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による影響が無いこと、②地震発生に伴う建物・構造物間の不等沈下による影響が無いこと及び地震発生に伴う液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状による影響が無いことを確認する必要がある。評価方法（例）としては、原電東海処分場に係る事業許可申請において検討した以下の方法が考えられる。

［評価方法（例）］

① 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による影響

将来活動する可能性のある敷地周辺の活断層がないことを調査により確認し、廃棄物埋設施設の局所的な支持地盤の傾斜及び撓みは発生しないことを説明する。

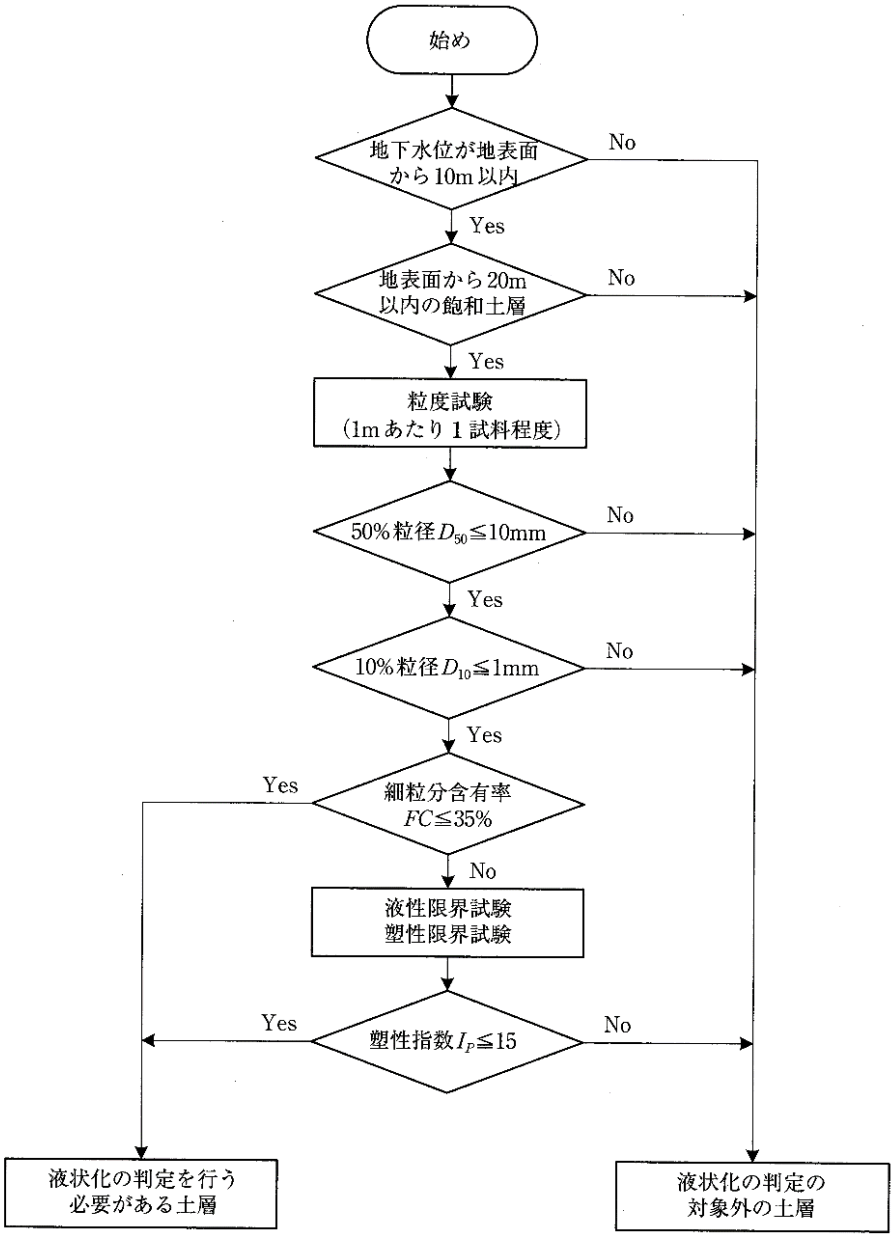
② 地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下による影響

廃棄物埋設地近隣における不等沈下の検討の対象となるような施設、及び廃棄物埋設地内における不等沈下により廃棄物埋設地に影響を及ぼす設備等が存在しないことを確認し、廃棄物埋設地の安全機能に影響を与えないことを説明する。

③ 地震発生に伴う液状化による影響

a. 液状化判定

廃棄物埋設地の支持地盤に対する液状化判定については、「道示Ⅴ（H29）」に準拠した手法（パラメータ設定を含む）にて実施する。液状化判定対象層の抽出については、図 3.4.1.(2)-1 に示す「道示Ⅴ（H29）」の液状化判定の対象層の選定フローに基づき実施する。



※ 「道示Ⅴ（H29）」に加筆

図 3.4.1.(2)-1　液状化判定の対象層の選定フロー

（出典：文献 7, P27 を改変して転載）

液状化判定は、「道示Ⅴ（H29）」に基づき、液状化に対する抵抗率 F_L を以下の式により算定し、この値が 1 .0 以下の土層については液状化が生じると判定する。

$F_L = R/L$

ここで、

F_L：液状化に対する抵抗率

R：動的せん断強度比

L：地震時せん断応力比

動的せん断強度比 R は、レベル 1 地震動及びレベル 2 地震動のそれぞれに対して下式によることを標準とする。

$$R = c_w R_L$$

・ レベル 1 地震動及びレベル 2 地震動（タイプⅠ）の場合

$$c_w = 1.0$$

・ レベル 2 地震動（タイプⅡ）の場合

$$c_w = 1.0 \qquad (R_L \leqq 0.1)$$

$$c_w = 3.3R_L + 0.67 \qquad (0.1 < R_L \leqq 0.4)$$

$$c_w = 2.0 \qquad (0.4 < R_L)$$

$$R_L = 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} \qquad (N_a < 14)$$

$$R_L = 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} \qquad (14 \leqq N_a)$$

$$N_a = c_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47 \qquad (D_{50} < 2mm)$$

$$N_a = \{1 - 0.36 \log 10 (D_{50}/2)\}N_1 \qquad (D_{50} \geqq 2mm)$$

$$N_1 = 170N/(\sigma_{vb}' + 70)$$

$$c_{FC} = 1 \qquad (0\% \leqq FC < 10\%)$$

$$c_{FC} = (FC + 20)/30 \qquad (10\% \leqq FC < 40\%)$$

$$c_{FC} = (FC - 16)/12 \qquad (40\% \leqq FC)$$

ここで、

c_w ：地震動特性による補正係数

R_L ：繰返し三軸強度比

N ：標準貫入試験から得られる N 値

N_1 ：有効上載圧 100 kN/m^{2}相当に換算した N 値

N_a ：粒度の影響を考慮した補正 N 値

σ_{vb}' ：標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧（kN/m^2）

c_{FC} ：細粒分含有率による N 値の補正係数

FC ：細粒分含有率（%）（粒径 75μm 以下の土粒子の通過質量百分率）

D_{50} ：50%粒径（mm）

（出典：文献 7, P28 を改変して転載）

b. 液状化検討を踏まえた沈下量の算定

地盤のばらつきを考慮した詳細検討として、PS 検層及び液状化強度試験にて得られた物性を平均－1σ して設定したパラメータによる有効応力解析を実施し、沈下量を算定した。

検討は、解析コード「FLIP」を使用した 2 次元動的有効応力解析により実施し、地震動に伴う支持地盤の液状化発生の有無を確認すると共に、廃棄物埋設地の沈下量を算出する。2 次元動的有効応力解析による評価フローを図 3.4.1.(2)-2 に示す。

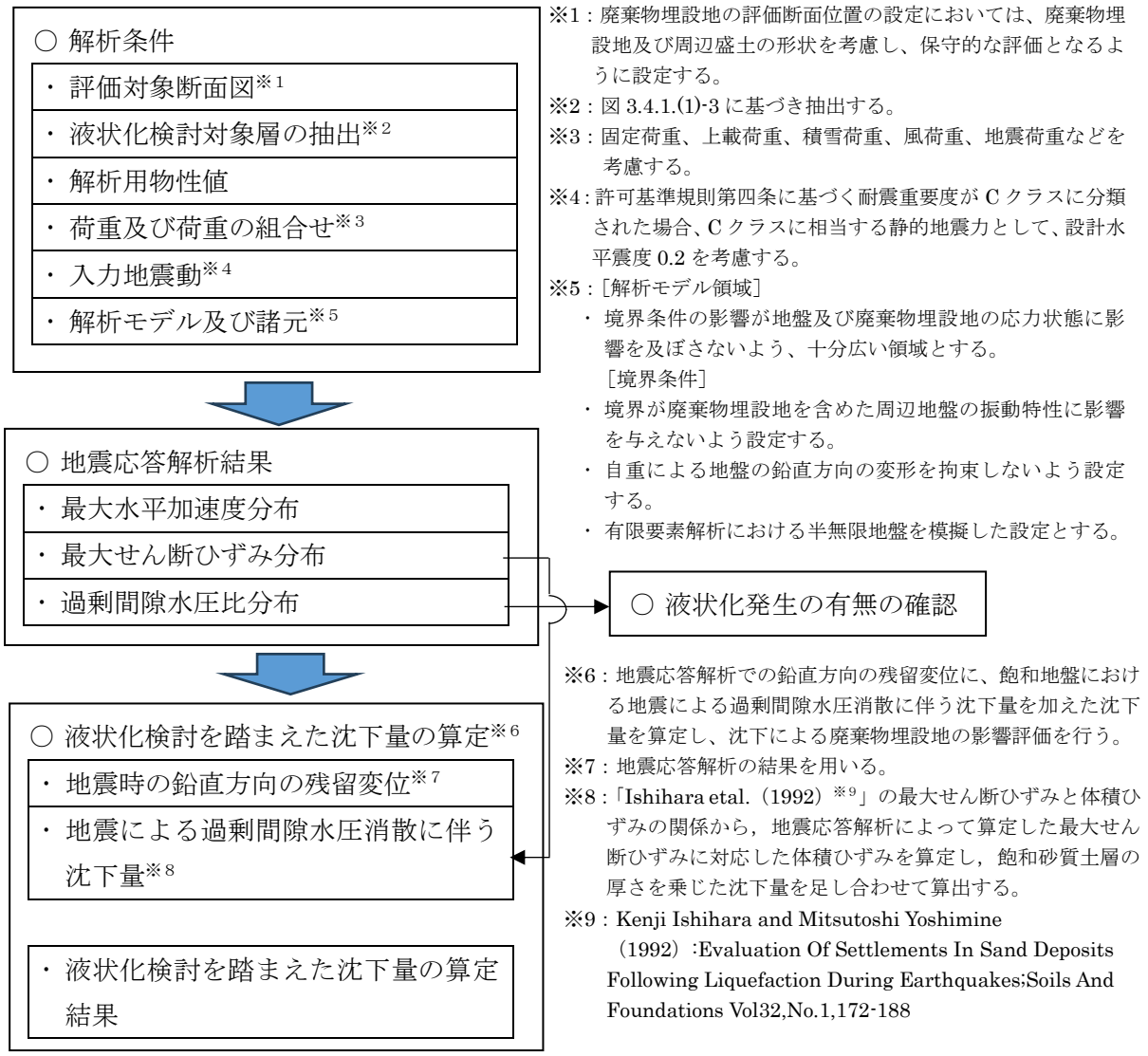


図 3.4.1.(2)-2　2 次元動的有効応力解析による評価フロー
（出典：文献 7, P32, 33, 38, 44, 46, 47, 54 を改変して転載）

④　地震発生に伴う揺すり込み沈下による影響

地震発生に伴う揺すり込み沈下については、廃棄物埋設地底面以深から帯水層以浅の層（通気層）の層厚を検討対象とし、対象層の層厚に 1%（新潟県中越沖地震時における東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所の沈下実績を考慮した値）を乗じて算定する。

⑤　圧密沈下による影響

図 3.4.1.(2)-3 に示すとおり、「道示Ⅳ（H29)」の算定式に基づき、廃棄物埋設地の自重及び操業時の荷重による粘土層への有効上載圧を算定し、室内試験の結果から求めた粘土層の圧密降伏応力との比較を行い、圧密沈下発生の有無について判定する。有効上載圧が圧密降伏応力を上回った場合は、「道示Ⅳ（H29)」に基づき圧密沈下量を算定する。

○ 圧密沈下発生の有無判定

$(q_c - \sigma_z) \leqq \zeta_c(p_c - \sigma_z)$

有効上載圧 ≦ 圧密降伏応力

圧密沈下発生　なし

$(q_c - \sigma_z) > \zeta_c(p_c - \sigma_z)$

有効上載圧 ＞ 圧密降伏応力

圧密沈下発生　有

ここで、

q_c：基礎設置後の粘性土層上面に作用する鉛直応力（kN／m^2）

p_c：粘性土層の圧密降伏応力（kN／m^2）

σ_z：基礎設置前の粘性土層上面に作用する鉛直応力（kN／m^2）

ζ_c：補正係数で 0.65 とする。

（出典：文献 7, P60 を改変して転載）

○ 圧密沈下量の算定

・圧密沈下量の算定は、「道示Ⅳ（H14)」に基づき、粘土層の圧密状態に応じて、下記の式により圧密沈下量を算定する。

・廃棄物埋設により、粘土層が過圧密状態から正規圧密状態へ変化する場合は、過圧密状態における沈下量 S_1 と正規圧密状態における沈下量 S_2 の合計を当該深度の圧密沈下量とする。

［粘土層が過圧密状態のとき］

$$S_1 = \{(e_0 - e_1)/(1 + e_0)\} \cdot H$$

［粘土層が正規圧密状態のとき］

$$S_2 = \{C_c \cdot H/(1 + e_0)\} \cdot \log_{10}\{(p_0 + \Delta\sigma_z)/p_{c2}\}$$

$$(p_0 + \Delta\sigma_z > p_{c2})$$

ここで、

S_1, S_2：粘性土層における圧密沈下量（m）

e_0　：深さ z の層の初期間隙比

e_1　：深さ z の層の $p_0 + \Delta\sigma z$ に対する間隙比

H　：粘性土層の厚さ（m）

（前頁からのつづき）

C_c　：粘性土層の圧縮指数
$\Delta\sigma_z$　：載荷荷重に基づく地盤内の深さ z における垂直応力の増分（kN／m^2）
p_{c2}　：深さ z における圧密降伏応力（kN／m^2）
p_0　：深さ z における有効土かぶり荷重（kN／m^2）
Z　：地表面からの深さ（m）とする。

過圧密状態における深さ z の層の $p_0+\Delta\sigma_z$ に対する間隙比は、膨張指数 C_s を用いて、下式により算定する。

$$e_1 = e_0 - C_s \cdot \log\{(p_0 + \Delta\sigma_z)/\sigma_z\}$$
$$(p_0 + \Delta\sigma_z \leqq p_{c2})$$

廃棄物埋設地による荷重分散増分 $\Delta\sigma_z$ は、「道示Ⅳ（H14）」に基づき、下式にて算定する。

$$\Delta\sigma_z = qBD/\{(B + 2z\tan\theta) \times (D + 2z\tan\theta)\}$$

ここで、
$\Delta\sigma_z$ ：廃棄物埋設地による荷重分散増分（kN/m^2）
B　：荷重の幅のうち短辺（m）
D　：荷重の幅のうち長辺（m）
θ：分散角度（°）「道示Ⅳ（H14）」では「一般には 30°～35°とみなしてよい。」とされている。
q：載荷荷重（kN/m^2）
z：深さ（m）とする。
（出典：文献 7, P67 を改変して転載）

⑥　地盤の変形による廃棄物埋設地の安全機能への影響評価

a. 廃棄物埋設地支持地盤の沈下に対する評価

廃棄物埋設地の底面を地下水位よりも上方に設置することにより、廃棄物埋設地への地下水の浸入を抑制する方法をとる場合は、③～⑤で算定した各沈下量の合計値を考慮しても、廃棄物埋設地の底面が地下水位以下となることがないことを確認する方法が考えられる。

b. 廃棄物埋設地の安全機能への影響評価

廃棄物埋設地支持地盤の最大沈下発生時において、安全機能を有する部位（低透水性覆土、遮水シート等）の安全機能が確保されることを定量的に確認する方法として以下が考えられる。

・低透水性覆土については、強制変位解析により、地震後の過剰間隙水圧消散に伴い地盤が沈下した後の、低透水性覆土の応力－ひずみ状態を確認し、安全機能への影響を評価する。強制変位解析により得られた、最大せん断ひずみ及び体積ひずみを評価すること

により、安全機能が損なわれないことを確認する。

・遮水シートについては、過剰間隙水圧消散に伴う地盤の沈下により、遮水シートに発生する引張応力が、遮水シートの許容値を下回っていることを確認する。平面的な沈下量の変化が緩やかであることから，低透水性覆土等の透水性に影響を与えるような変形が生じることはないことを確認する。

（３） 変位が生ずるおそれがない地盤

許可基準規則第三条第 3 項では、「廃棄物埋設地は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。」とされている。同解釈第 3 条第 3 項に基づき、廃棄物埋設施設は，①震源として考慮する活断層のほか，地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え，②支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面がないことを確認する必要がある。評価方法（例）としては以下の方法が考えられる。

［評価方法（例）］

① 将来活動する可能性のある断層に対する評価

文献調査，変動地形学的調査，地球物理学的調査，地質調査により敷地には将来活動する可能性のある断層等が認められないことを確認する。

② 支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面に対する評価

文献調査、変動地形学的調査により敷地には支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面が無いことを確認する。

３．４．２ 地震に対する要求事項

許可基準規則第四条第 1 項において、「安全機能を有する施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。」ことが要求されており、これを満足できる施設とする必要がある。同解釈第 4 条第 1 項では、安全機能を有する施設は、第 2 項の分類※に応じて算定する地震力に対して、施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされることが要求されている。このため、地震による安全機能を有する施設の最終覆土の損傷（崩壊）により、必要な安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響が考えられるため、安全機能を有する施設に静的地震力を作用させた場合のすべり安定性を確認し、道路土工 盛土工指針（日本道路協会）で示されている地震時の計画安全率（1.0）以上である必要がある。

※：地震により安全機能を有する施設の安全機能が喪失した場合の放射線による公衆への影響を評価し、「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べて十分小さいもの（50 μSv／y）は、耐震重要度「C クラス」、それを満足できないものは「B クラス」とする。

３．４．３ 津波に対する要求事項

許可基準規則第五条において、「安全機能を有する施設は、その供用中に当該廃棄物埋設施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」ことが要求されており、これを満足できる施設とする必要がある。同解釈第5条第1項では、安全上重要な施設を有しない廃棄物埋設施設にあっては、第5条に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがある津波」は、敷地及びその周辺地域における過去の記録、現地調査の結果、行政機関等が実施した津波シミュレーションの結果及び最新の科学的・技術的知見等を踏まえ、影響が最も大きいものとすることとされている。

このため、東日本大震災後に内閣府中央防災会議専門調査会が示した津波の考え方に基づき、各都道府県が実施した津波シミュレーション結果のうち、最も大きな影響をもたらすL2津波※による津波浸水想定結果を踏まえて対策の有無を検討する。

解釈第5条第2項では、「安全機能を有する施設を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こと。」及び「津波による遡上波が到達する高さにある場合には、評価により遡上波による安全機能を有する施設の一部の機能が損なわれることがあっても、廃棄物埋設施設全体として安全性が確保されていることを確認する。なお、防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備を設置して、遡上波の到達又は流入を防止することを含む。」とされているため、先述の津波浸水想定結果を踏まえて対応する必要がある。

※：発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす津波のことで、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定する津波である。

３．５　VLLW処分場の設計概念

VLLW処分場の設計に当たっては、許可基準規則・解釈を参考に必要な対策を抽出した。

（１） 許可基準規則・解釈の要求事項

許可基準規則・解釈の要求事項は以下のとおりである。

① 設計の留意事項（許可基準規則解釈第13条第1項）

a. 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。

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。

c. 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。

② 漏出低減機能（許可基準規則第十三条第1項第二号）

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。

③　遮蔽機能（許可基準規則第八条第 1 項、第 2 項）

廃棄物埋設施設は、当該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を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものであること。

また、廃棄物埋設施設は、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、遮蔽その他適切な措置を講じたものであること。

④　外部からの衝撃による損傷の防止（許可基準規則第六条第 1 項、第 2 項・解釈第 6 条第 1 項、第 2 項）

a. 自然現象

安全機能を有する施設は、想定される自然現象（洪水、地すべり、火山の影響等）であってその供用中に当該安全機能を有する施設に大きな影響を及ぼすおそれがあるものに対して、安全機能を損なわれないものであること。

b. 人為事象

安全機能を有する施設は、事業所又はその周辺において想定される廃棄物埋設施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）のうち、その供用中に当該安全機能を有する施設に大きな影響を及ぼすおそれがあるものに対して安全機能を損なわないものであること。

なお、解釈第 6 条第 3 項において、上記事象における「安全機能を損なわないもの」とは、安全機能が達成されることを意味にしており、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とされている。

（２）　設計に考慮すべき事項

（１）で示した許可基準規則及び解釈の要求事項を考慮し、対策として必要な設計事項を以下のとおり抽出した。

①　雨水・地下水対策

従来の許可基準規則においては、「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。」とされており、雨水や地下水の浸入を防ぐための覆土等に係る規定がなかった。2019 年 12 月の許可基準規則及びその解釈の改正以降、許可基準規則第十三条第 1 項第二号には、「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。」に改正され、「土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法」の要求が追加された。そのため、覆土等にベントナイト混合土等の低透水性の土砂、遮水シートを使用するなど、廃棄物埋設地への雨水及び地下水浸出による浸透水量を低減す

ることにより放射性物質の漏出を低減する設計が必要となった。また、許可基準規則及びその解釈には具体的な覆土性能の要求は記載されていないが、原子力規制委員会（2019 年 10 月 2 日）において、覆土等の性能としては、ピット処分の外周仕切設備ほどの性能は必要ないものの、海外の類似の放射性廃棄物の処分場や、国内の産業廃棄物の処分場の性能（厚さ：50 cm 以上、透水係数：10^{-8} m／s 以下）に比べて遜色のないものとすることが適当との考えが示された。

② 自然現象対策

従来の許可基準規則・解釈第 6 条第 1 項においては、「廃棄物埋設施設は、想定される自然現象（洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地すべり、火山の影響、地形及び陸水の変化、生物学的事象、森林火災等）が発生した場合においても安全性を損なわないものでなければならない。」ことが要求されていた。2019 年 12 月 5 日に施行された改正許可基準規則・解釈においては、浅地中処分の潜在的リスクが比較的小さいため、その特徴を踏まえた規制要求に適正化され、「安全機能を有する施設は、想定される自然現象（洪水、地すべり、火山の影響等）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。」に改正され、自然現象の例示が大幅に削減された。この改正により、従来は網羅的に抽出した外部事象について全て評価することが求められていたが、規則改正後は最低限例示された事象、及び設置する廃棄物埋設地特有のリスクに応じた評価を実施すればよいことになる。

一方、自然事象シナリオの評価については、2021 年 10 月 21 日改正後の許可基準規則・解釈第 13 条第 8 項では、「科学的に合理的な範囲において最も厳しいもの」（最も厳しいシナリオ）と「最も可能性が高いもの」（最も可能性が高いシナリオ）を選定し、それらの「評価の対象とする期間は廃止措置の開始後 1,000 年が経過するまでの期間とすること」と要求されている。したがって、1,000 年程度で変化が生じる自然現象（例えば、気候変動に伴う降水量、地下水位、海水準の変化）を設計に考慮する必要がある。

また、放射性物質の飛散防止措置については、許可基準規則・解釈第 6 条には規定されていないものの、許可基準規則・解釈第 8 条第 4 項に「安全機能を有する施設は、放射性物質の飛散防止のための措置（誤操作や機器の故障による放射性廃棄物の落下防止のための措置、飛来物による放射性廃棄物の破損防止のための措置その他必要な措置）を講じたものでなければならない。」ことが要求されている。

安全機能を有する施設としては、廃棄物埋設地から放射性物質の漏出を低減する機能を有する低透水性の覆土等や、遮蔽機能を有する覆土が考えられる。これら覆土等の設計に当たっては、（1）①に記載したとおり、許可基準規則・解釈第 13 条第 1 項に要求事項が示されている。従来の許可基準規則・解釈においては、「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。」とされていたが、2019 年 12 月 5 日の改正後においては、「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。」に変更さ

れ、破損した場合に補修するなど、ソフト対策の取り入れは可能とされた。

以上の要求事項を踏まえ、廃棄物定置中の段階、中間覆土完了段階及び最終覆土完了段階において、自然現象が発生した場合の廃棄物埋設施設の「安全機能」、及び放射性物質の「飛散防止措置」が損なわれない対策を以下のとおり設計に考慮する必要がある。

a. 飛来物対策

・ 廃棄物定置中の段階

従来の許可基準規則及びその解釈においては、「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。」が要求されていたため、廃棄物を収納した容器、フレコン及びシート等による放射性物質の飛散防止措置が、自然現象に伴い発生する飛来物により破損し放射性物質が飛散しないための対策を考慮する必要があった。2019年12月の許可基準規則及びその解釈の改正後は、「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。」に改正されたため、劣化・損傷時は修復する対策が合理的と考えられる。

・ 中間覆土完了段階

中間覆土完了後においては、上記同様、2019年12月の許可基準規則及びその解釈の改正後、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許容されているため、劣化・損傷時は修復する対策が合理的と考えられる。

・ 最終覆土完了段階

最終覆土完了後から約50年間の保全段階においては、安全機能を有する施設に大きな影響を及ぼすおそれはない施設とするために、安全機能を有する施設を多層構造の最終覆土内部に設置し、さらに表面には植生を施す対策が合理的と考えられる。

なお、保全段階終了後（約50年後）においても覆土等に安全機能が必要な場合は、その機能が必要な期間、機能維持が可能な耐久性のある工法の適用が必要である。

b. 飛砂対策

・ 廃棄物定置中の段階

廃棄物を収納した容器、フレコン及びシート等による放射性物質の飛散防止措置が、自然現象に伴い発生する飛砂により破損し放射性物質が飛散しないための対策を考慮する必要がある。対策としては、飛砂により破損が予測される場合においては、飛砂に対する防御対策（テント、トレンチの仮蓋等）などを考慮するのが有効と考えられる。

・ 中間覆土完了段階

中間覆土完了後おいては、a.飛来物対策と同様、2019年12月の許可基準規則及びその解釈の改正後、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許容されているため、劣化・損傷時は修復する対策が合理的と考えられる。

・ 最終覆土完了段階

最終覆土完了後から約50年間の保全段階においては、安全機能を有する施設に大きな

影響を及ぼすおそれはない施設とするために、安全機能を有する施設を多層構造の最終覆土内部に設置し、さらに表面には植生を施す対策が合理的と考えられる。

なお、保全段階終了後（約 50 年後）においても覆土等に安全機能が必要な場合は、その機能が必要な期間、機能維持が可能な耐久性のある工法の適用が必要である。

c. 法面崩落・流出対策

いずれの段階においても、地震、洪水、台風及び竜巻等の自然現象が発生した場合における、法面崩落対策を考慮した埋設施設の設計が必要である。

d. 側部流入対策

いずれの段階においても、洪水、台風、降水及び積雪が発生した場合における、埋設施設側部への浸透水の流入対策を考慮した埋設施設の設計が必要である。

e. 排水対策

いずれの段階においても、台風、降水、積雪等が発生した場合における、排水対策を考慮した埋設施設の設計が必要である。

（３） 地下水位

埋設施設の設計に当たっては、廃棄物埋設施設底部と地下水位の位置関係によって、雨水・地下水対策など必要な対策が異なるため、その位置関係について以下のとおり分類する。

a. 廃棄物埋設施設底部 ＞ 地下水面

b. 廃棄物埋設施設底部 ＜ 地下水面

なお、我が国では地下水位が比較的高いため、山岳部のトンネル形状の廃棄物埋設施設では、トンネル部を埋め戻すと地下水位が回復し、結果として廃棄物は地下水位以下に設置される場合があることに留意して検討する。

３．６　地形形状に適した埋設施設構造

３．３で抽出した各々の地形形状に適した埋設施設構造に係る設計概念の検討に当たっては、表 3.6-1 に示すとおり、雨水・地下水対策に加え、許可基準規則・解釈で要求されている自然現象からの衝撃による損傷を防止する対策も考慮した構造を検討する。

表 3.6-1　地形形状に適した埋設施設構造の検討項目

地形	処分場構造	設計概念		地下水
		雨水・浸出水対策	自然事象対策	
平地	掘下型	雨水抑制	･飛来物対策 ･飛砂対策 ･排水対策	地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
		雨水抑制		地下水接触
		雨水＋浸出抑制		
	盛土型	雨水抑制	･法面崩落・流出対策 ･飛来物対策 ･飛砂対策 ･排水対策	地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
		雨水抑制		地下水接触
		雨水＋浸出抑制		
	盛土＋掘下型（半地下式）	雨水抑制	･法面崩落・流出対策 ･飛来物対策 ･飛砂対策 ･排水対策	地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
		雨水抑制		地下水接触
		雨水＋浸出抑制		
丘陵地斜面	掘下型	雨水抑制	･法面崩落・流出対策 ･飛来物対策 ･飛砂対策 ･排水対策	地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
		雨水抑制		地下水接触
		雨水＋浸出抑制		
	盛土型	雨水抑制		地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
		雨水抑制		地下水接触
		雨水＋浸出抑制		
	盛土＋掘下型（半地下式）	雨水抑制		地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
		雨水抑制		地下水接触
		雨水＋浸出抑制		
沢地形	盛土型	雨水抑制	･法面崩落・流出対策 ･飛来物対策 ･飛砂対策 ･排水対策	地下水より上
		雨水＋浸出抑制		
急峻地形	トンネル型	排水対策	･崩落対策 ･排水（湧水）対策	地下水接触

（出典：文献 1, P228 表 4.9-3 を改変して転載）

３．６．１ 掘下型埋設施設

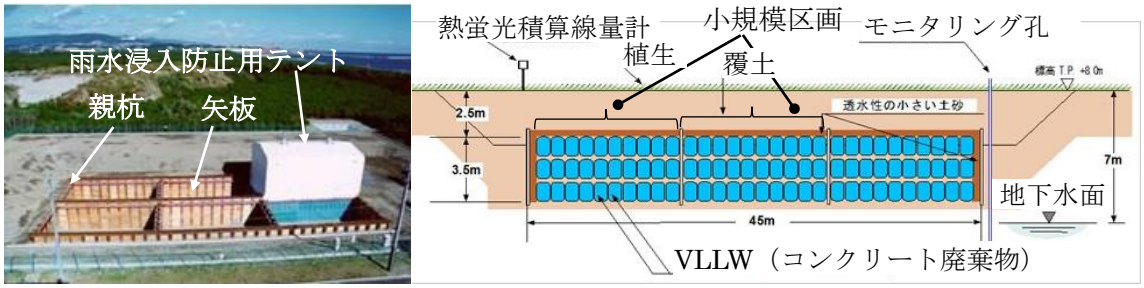
（１） 掘下型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形

① 概要

広く平坦な場所が確保可能で、かつ地下水位が埋設施設底面より下に位置する地形においては、表 3.6-1 に示す掘下型埋設施設が採用可能である。掘下型埋設施設には、JPDR 処分場及び原電東海処分場のように親杭と横矢板で小規模の区画を複数設けるタイプ（図 3.6.1.(1)-1 参照）と、海外のようにある程度大規模な区画を１つ設けるタイプ（図 3.6.1.(1)-2 参照）がある。

前者の小規模区画タイプの掘下型埋設施設は、一度に埋設する廃棄物量を考慮して区画の幅・長さを設定し、それを複数並列する方式である。各区画が小規模なため、廃止措置工事の進捗に応じて廃棄物を段階的に埋設施設に定置し、定置後は速やかに覆土できるため、廃棄物の露出期間を短縮することが可能である（図 3.6.1.(1)-1）。事業者ごとにサイトに設置する埋設施設に適しているものと考えられる。なお、事業規則では、「埋設時においては、埋設を行おうとする場所に雨水等が浸入することを防止する措置を講ずること。（第六条第 1 項第二号）」とされているため、小規模区画タイプの掘下型埋設施設の場合は、埋設中の区画にのみ雨水浸入防止用テントを設けることになる。

後者の大規模区画タイプは、埋設施設の区画の長さを長くし、比較的大規模な単一の区画を建設する方式である（図 3.6.1.(1)-2）。各サイトから発生する廃棄物を受け入れ、集中処分することを考慮した方式で、廃棄物の定置後は細目に中間覆土を施すものである。なお、埋設時における雨水浸入防止措置については、大規模の区画全体を雨水浸入防止用テントで覆う設計とするため、廃棄物及び中間覆土に対する自然現象からの影響を低減することが可能と考えられる。



a. 埋設施設全景　　b. 埋設施設断面図

図 3.6.1.(1)-1　小規模区画タイプ（日本原子力研究開発機構　埋設実地試験施設）
（出典：文献 8 を改変して転載）

a. 埋設施設内部　　b. 廃棄物定置及び覆土状況

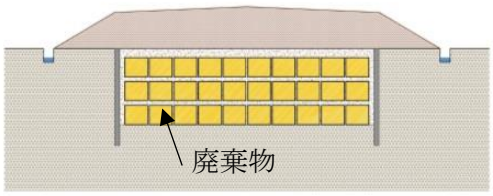
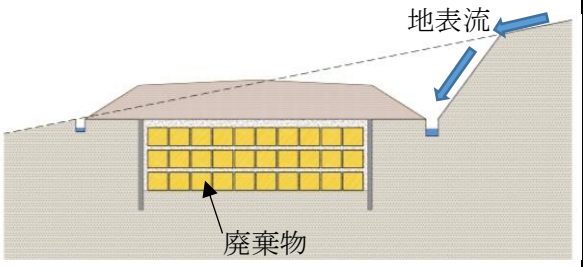
図 3.6.1.(1)-2　大規模区画タイプ（フランス　モルヴィリエ処分場）

（出典：文献 9 より転載）

②　適合する地形及び施設構造概念

掘下型埋設施設の設置に適した地形は、連続した平坦な地形が続く平地、及び丘陵地のような緩やかな斜面を掘削して平坦部を造成する丘陵地斜面である。各々の地形における埋設施設の構造概念を表 3.6.1.(1)-1 に示す。

表 3.6.1.(1)-1　各地形に適した掘下型埋設施設概念

平地	丘陵地斜面
	
［適用実績］ ・JPDR 処分場（日本） ・原電東海処分場（日本） ・リッチランド（アメリカ） ・バーンウェル（アメリカ） ・WCS テキサス処分場（アメリカ）	―

（出典：文献 1, P225 表 4.9-1、及び P226 表 4.9-2 を参考に編集作成）

③　雨水・地下水浸出抑制対策

a. 雨水・地下水抑制対策

2019 年 12 月 5 日に改正された許可基準規則第十三条第 1 項第二号では、「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。」と規定されており、その解釈においては、「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」とは以下の設計をいうとされている。

- 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。
- 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。
- 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。

また、原子力規制委員会（2019 年 10 月 2 日）において、覆土等の性能としては、ピット処分の外周仕切設備ほどの性能は必要ないものの、海外の類似の放射性廃棄物の処分場や、国内の産業廃棄物の処分場の性能（厚さ：50 cm 以上、透水係数：10^{-8} m／s 以下）に比べて遜色のないものとすることが適当との考えが示された。

上記のとおり、2019 年 12 月 5 日に実施された規則等の改正において、放射能濃度が比較的高い埋設直後の段階から放射性物質が廃棄物埋設地の外へ容易に漏出する状況に至らないよう、規制期間中（埋設終了後 50 年程度）は雨水や地下水の浸入を避けるための覆土等によって、放射性物質の漏出を低減することを新たに要求された。これにより、埋設施設に対して透水性の低いバリアの使用など、放射性物質の漏出を低減する対策が義務付けられるようになった。この改正は、今後は現状国内で実績のある平地に設置した掘下型埋設施設の他に、地下水位の高い場所など様々な設置環境に応じた埋設施設や長半減期の放射性物質を多く埋設する施設が想定されるために反映されたものと思われる。

従って、放射性物質の漏出を低減するために、上部からの雨水の浸入抑制策として、覆土層に低透水性の土砂（ベントナイト混合土等）を使用することや、必要に応じて遮水層（遮水シート等）を設けること、また、これに加えて排水機能を組み合せるなどの対策が必要となることが考えられる。また、埋設施設側部からの雨水浸入抑制策としては、埋設中の区画の周囲の区画のうち、廃棄物埋設後中間覆土を施した区画の覆土上面に仮設のシートを敷くことや、必要に応じて鉛直遮水工を設ける方法などが考えられる。

b. 浸出抑制対策

浸出抑制対策については、地下水位と埋設施設底面の位置関係によって対策が異なる。地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下位に位置する場合は、特別な対策は不要と考えられる。また、地下水位が廃棄物埋設施設底面より上位、すなわち廃棄物と地下水が接触する位

置にある場合は、許可基準規則第十三条第 1 項第二号に基づき、廃棄物埋設施設底部に遮水層を設けるなどの放射性物質の漏出低減する対策を施す必要がある。なお、遮水層により貯留される浸出水は、排水層により外部に放出する設備を設ける必要がある。

④ 埋設施設の安定性

埋設施設の安定性については、許可基準規則において「廃棄物埋設施設の地盤（第三条）」及び「地震による損傷の防止（第四条）」について規定されている。

前者については、処分場を設置する場所の地盤が、地震力作用時の接地圧に対する十分な支持性能を有すること、及び液状化・揺すり込み沈下等の周辺地盤の変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならないとされている。

後者については、地震の発生により埋設施設の安全機能が喪失した場合の周辺監視区域境界における年間線量に応じて「耐震重要度」を設定し、その地震力に十分に耐え得る施設を設計する必要がある。

以上を考慮し、適切な覆土材料の選定及び締固め方法の設定、適切な親杭の根入れ長さ並びに矢板の強度・構造について設計し、埋設施設の安定性を確保する。

掘下型埋設施設については、③で述べたとおり、埋設施設の設置環境によって必要な雨水・浸出水抑制対策が異なるため、対策ごとの施設概念を以下のとおり検討した。

（２） 平地における掘下型埋設施設

① 案１（基本ケース：土質遮水）

平地における掘下型埋設施設は JPDR 処分場でも採用されている素掘り埋設施設構造であり、雨水抑制対策としては、許可基準規則第十三条第 1 項第二号に基づき、上部バリアとして低透水性土壌を用いた最終覆土及び現地圧縮土壌層、また必要に応じて側部の覆土に低透水性の土壌を適用した施設である。降雨による雨水は、低透水性土壌を用いた最終覆土及び現地圧縮土壌層により浸出量を抑制されながら、廃棄物層を通過し地下水の流れる帯水層に到達する。廃棄物層に存在する放射性物質は、雨水の浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本構造は埋設施設底部に浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.1.(2)-1、バリア構成を図 3.6.1.(2)-2 に示す。

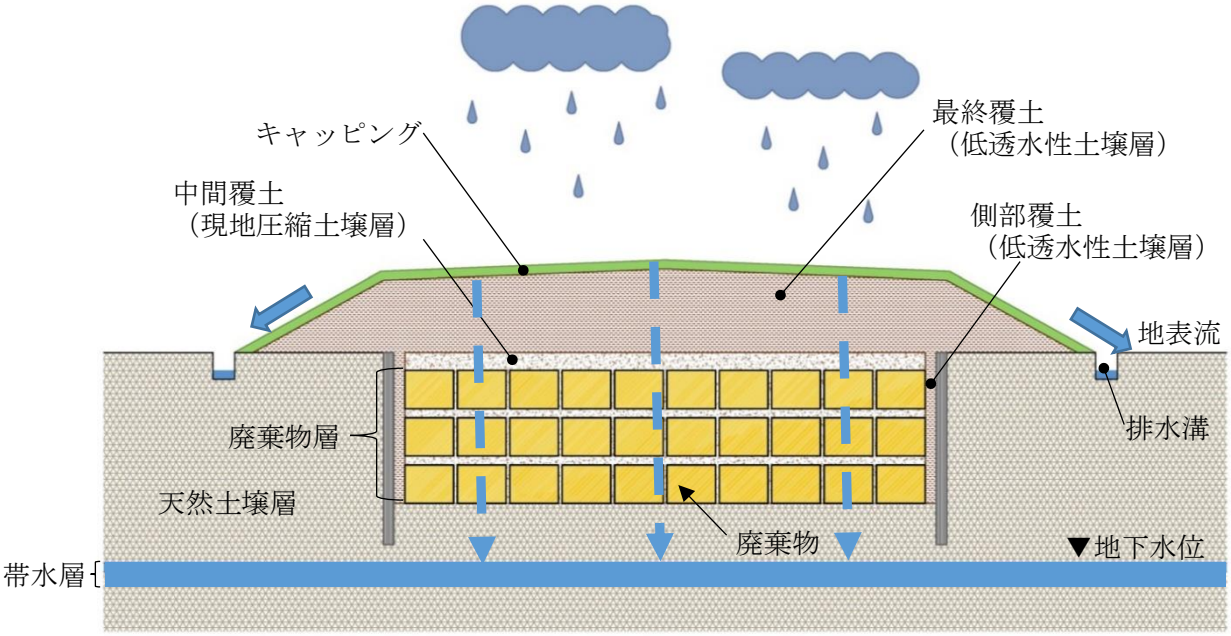


図 3.6.1.(2)-1　平地における掘下型埋設施設
（基本ケース：土質遮水）の構造概念
（出典：文献 1, P231 表 4.9-7 を参考に編集作成）

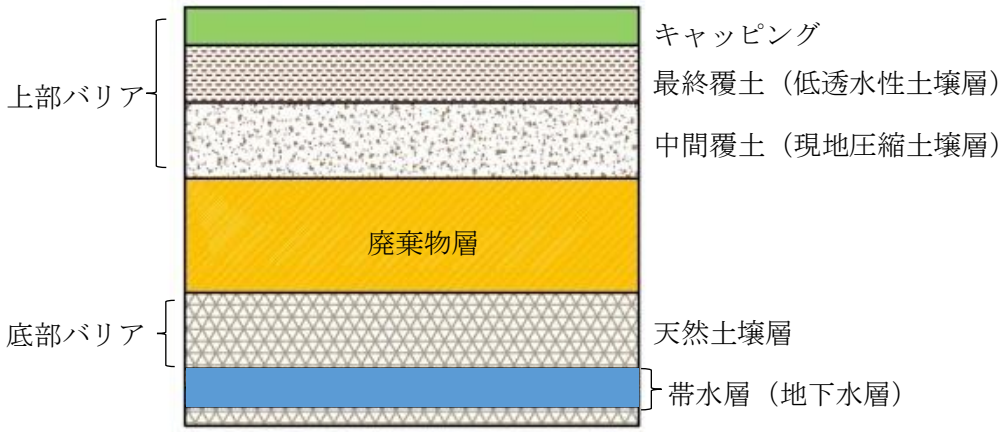


図 3.6.1.(2)-2　バリア構成（掘下型埋設施設［土質遮水］）

②　案２（土質遮水＋上部［側部］遮水層）

雨水抑制対策として、許可基準規則第十三条第１項第二号に基づき、案１の埋設施設構造の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。雨水は、低透水性土壌を用いた最終覆土に浸透し、遮水層で浸透が抑制され、滞留した雨水は排水層を伝って排水溝に流出し放流される。本案は雨水抑制対策が多重構造のため、廃棄物層を通過して地下水の流れる帯水層に到達する浸透水量を低減可

能である。また、必要に応じて埋設施設の側部にも遮水層を設けた場合、さらに雨水の浸透水量の抑制が期待できる。土質遮水及び上部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。廃棄物層に存在する放射性物質は、雨水のごく一部が浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。

なお、本構造は埋設施設底部に浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.1.(2)-3、バリア構成を図 3.6.1.(2)-4 に示す。

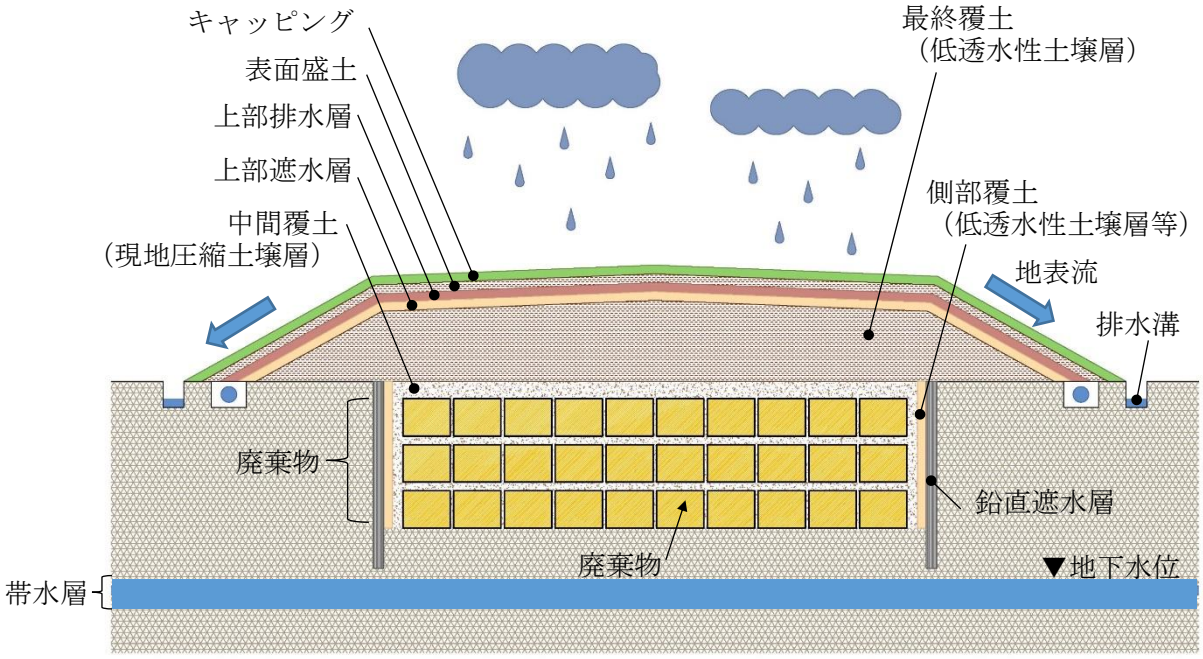


図 3.6.1.(2)-3　平地における掘下型埋設施設
（土質遮水＋上部［側部］遮水層）の構造概念
（出典：文献 1, P231 表 4.9-7 を参考に編集作成）

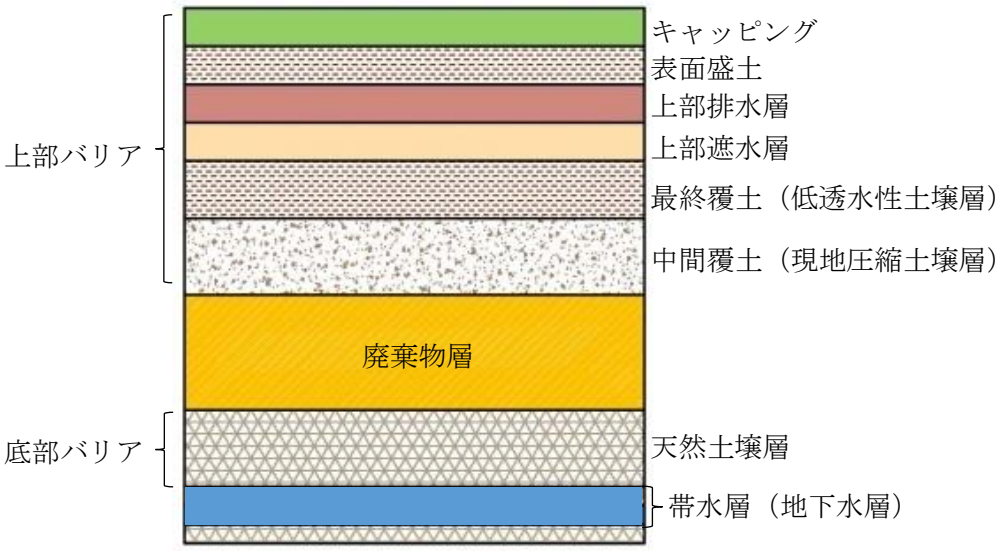


図 3.6.1.(2)-4　バリア構成（掘下型埋設施設［土質遮水＋上部遮水層］）

③　案３（土質遮水＋上部・底部・側部遮水層）

上部バリアについては、案２（土質遮水＋上部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される最終覆土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、側部及び底部バリアにも遮水層を設けていることである。底部バリアは、上部バリアと同様、低透水性土壌などのバリアに加え、遮水層及び排水層を設けることにより、側部からの雨水及び地下水位が埋設施設底部より高い場合の底部・側部からの地下水の浸透水量を低減させるとともに、廃棄物層に浸透した浸出水の帯水層への流出量を抑制させることが可能な構造である。土質遮水及び上部・底部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設は、埋設施設底部及び側部にも遮水層を設ける構造のため、地下水位が高く、地下水が埋設施設底部に接触するような場所にも採用可能な構造である。地下水位の位置による特徴を以下に示す。

○ 地下水位が廃棄物底部以下の場合

雨水による浸入水量と底部の遮水層からの浸出水量のバランスによっては底部の排水層により溜まった水を集水し、排水管を介して施設外部の排水路に導く必要がある。

○ 地下水位が廃棄物底部以上の場合

雨水および側面からの地下水浸入水量と底部排水層からの排水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を外部に排水する必要があり、その場合、排水路の排出差圧については検討が必要である。地下水位が高い場合、少量が遮水を通過して浸透水となる可能性がある。

本施設の構造概念を図 3.6.1.(2)-5、バリア構成を図 3.6.1.(2)-6 に示す。

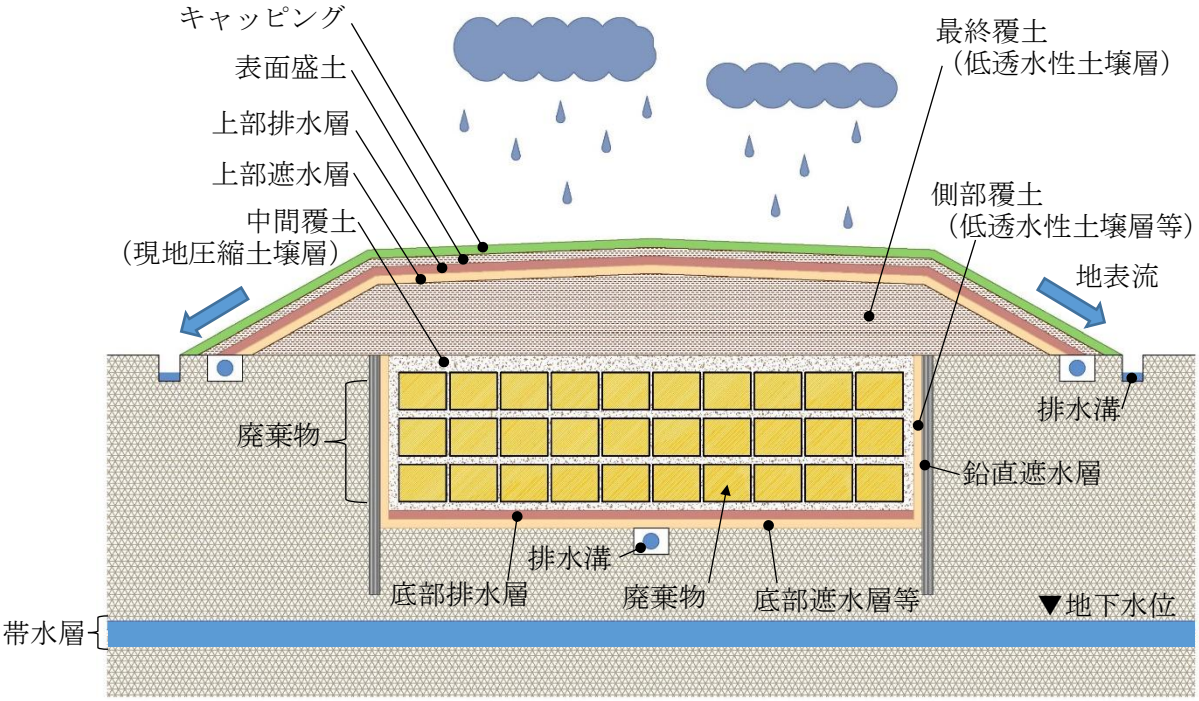


図 3.6.1.(2)-5　平地における掘下型埋設施設
（土質遮水＋上部・下部・側部遮水層）の構造概念
（出典：文献 1, P231 表 4.9-7 を参考に編集作成）

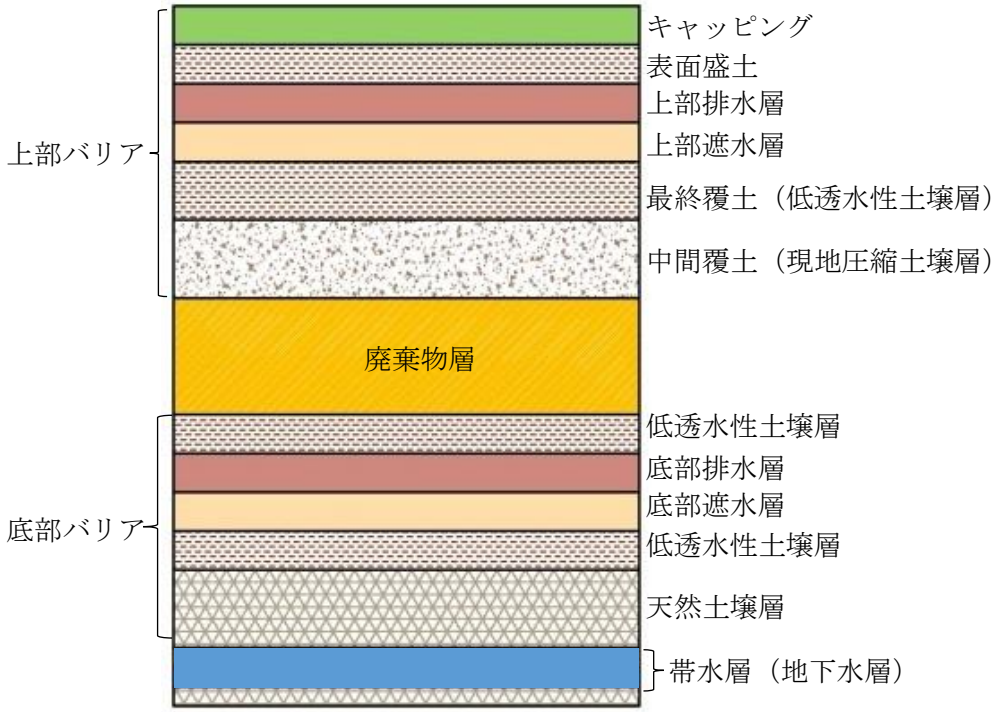


図 3.6.1.(2)-6　バリア構成

（掘下型埋設施設［土質遮水＋上部・下部・側部遮水層］）

（３） 丘陵地斜面における掘下型埋設施設

掘下型埋設施設の設置に適した地形は３．６．１　（１）　② で述べたとおり、連続した平坦な地形が続く平地、及び丘陵地のような緩やかな斜面を掘削して平坦部を造成する丘陵地斜面である。本項においては、後者の丘陵地斜面を利用した案について記載する。

①　案１（基本ケース：土質遮水）

本施設の構造は、基本的に３．６．１　（２）①案１に示した平地における掘下型埋設施設（基本ケース：土質遮水）と同様、雨水抑制対策としては、許可基準規則第十三条第１項第二号に基づき、上部バリアに低透水性土壌を用いた最終覆土及び現地圧縮土壌層、また必要に応じて側部の覆土に低透水性の土壌を適用した施設である。

降雨による雨水は、低透水性土壌を用いた最終覆土及び現地圧縮土壌層により浸出量を抑制されながら、廃棄物層を通過し地下水の流れる帯水層に到達する。また、本施設は、丘陵地斜面を掘削して平坦部を造成しているため、山側斜面からの地表流が埋設施設側面から浸出する量を低減させるために排水溝を設置する設計としている。廃棄物層に存在する放射性物質は、主に埋設施設上部からの雨水の浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本構造は埋設施設底部に浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位

が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.1.(3)-1 に示す。バリア構成は図 3.6.1.(2)-2 と同様のため記載を省略する。

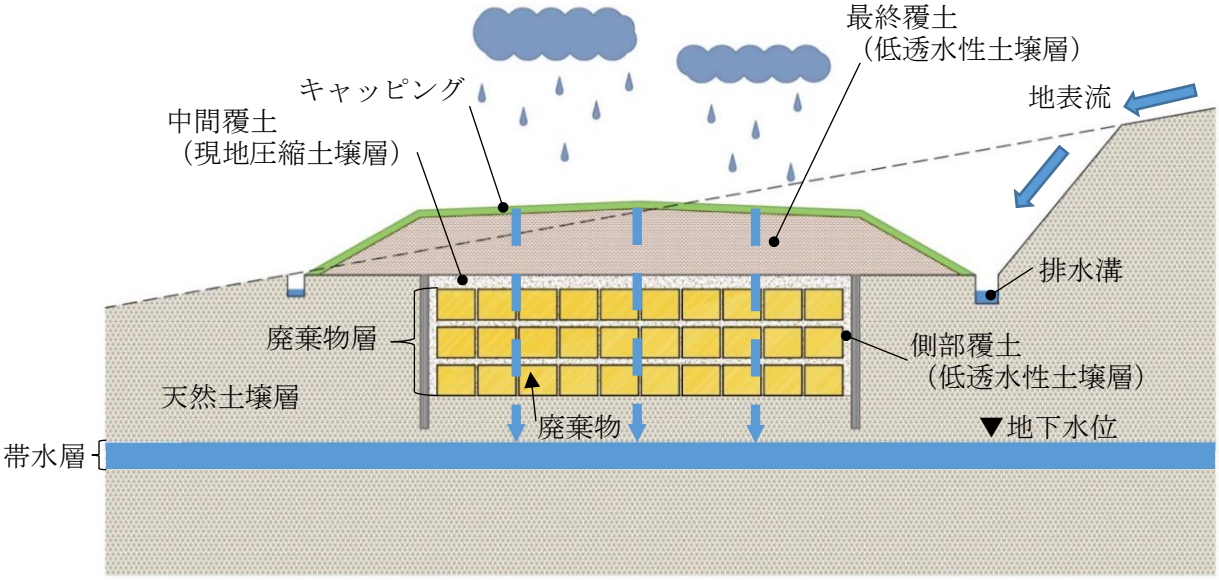


図 3.6.1.(3)-1　丘陵地斜面における掘下型埋設施設
（基本ケース：土質遮水）の構造概念
（出典：文献 1, P235 表 4.9-11 を参考に編集作成）

②　案２（土質遮水＋上部［側部］遮水層）

本施設の構造は、基本的に３．６．１　（２）②案２に示した平地における掘下型埋設施設（土質遮水＋上部遮水層）と同様、雨水抑制対策としては、許可基準規則第十三条第１項第二号に基づき、案１の埋設施設構造の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。雨水は、低透水性土壌を用いた最終覆土に浸透し、遮水層で浸透が抑制され、滞留した雨水は排水層を伝って排水溝に流出し放流される。本案は雨水抑制対策が多重構造のため、廃棄物層を通過して地下水の流れる帯水層に到達する浸透水量を低減可能である。また、必要に応じて埋設施設の側部にも遮水層を設けた場合、さらに雨水の浸透水量の抑制が期待できる。土質遮水及び上部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。廃棄物層に存在する放射性物質は、雨水のごく一部が浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。

なお、本構造は埋設施設底部に浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.1.(3)-2 に示す。バリア構成は図 3.6.1.(2)-4 と同様のため記載を

省略する。

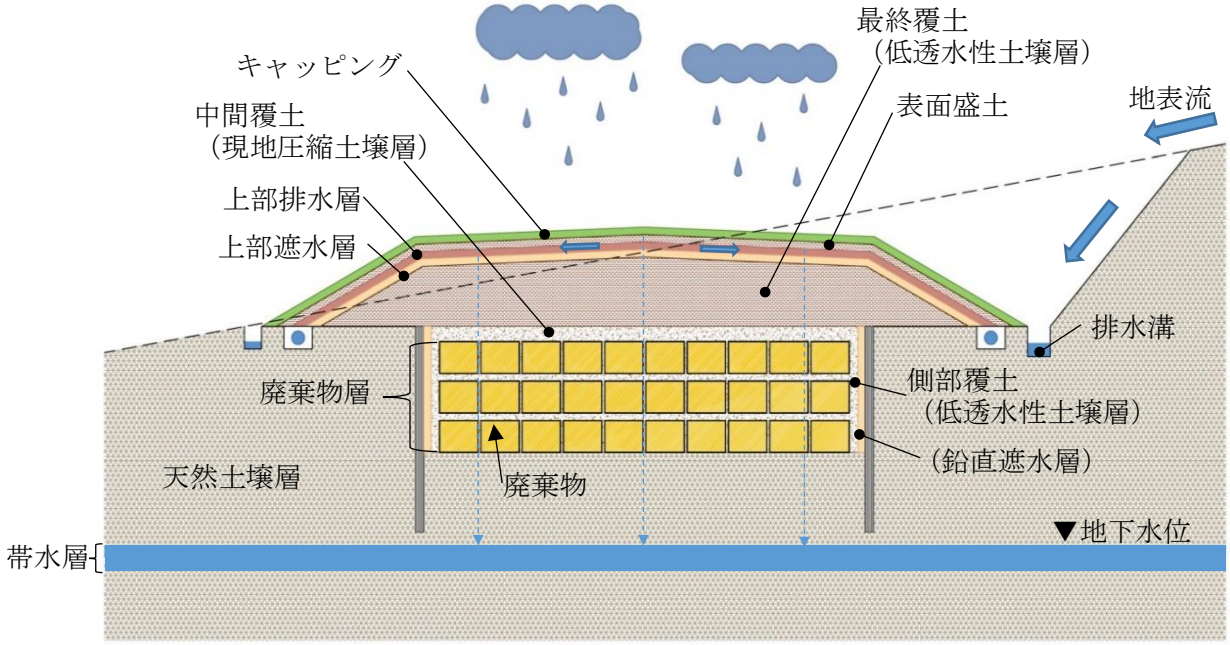


図 3.6.1.(3)-2　丘陵地斜面における掘下型埋設施設
（土質遮水＋上部［側部］遮水層）の構造概念
（出典：文献 1, P235 表 4.9-11 を参考に編集作成）

③　案３（土質遮水＋上部・底部・側部遮水層）

上部バリアについては、案２（土質遮水＋上部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される最終覆土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、側部及び底部バリアにも遮水層を設けていることである。底部バリアは、上部バリアと同様、低透水性土壌などのバリアに加え、遮水層及び排水層を設けることにより、側部からの雨水及び地下水位が埋設施設底部より高い場合の底部・側部からの地下水の浸透水量を低減させるとともに、廃棄物層に浸透した浸出水の帯水層への流出量を抑制させることが可能な構造である。土質遮水及び上部・底部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設は、埋設施設底部及び側部にも遮水層を設ける構造のため、地下水位が高く、地下水が埋設施設底部に接触するような場所にも採用可能な構造である。地下水位の位置による特徴を以下に示す。

○ 地下水位が廃棄物底部以下の場合

雨水による浸入水量と底部の遮水層からの浸出水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を集水し、排水管を介して施設外部の排水路に導く必要がある。

○ 地下水位が廃棄物底部以上の場合

雨水および側面からの地下水浸入水量と底部排水層からの排水量のバランスによって

は底部排水層に溜まった水を外部に排水する必要があり、その場合、排水路の排出差圧については検討が必要である。地下水位が高い場合、少量が遮水を通過して浸透水となる可能性がある。

本施設の構造概念を図 3.6.1.(3)-3 に示す。バリア構成は図 3.6.1.(2)-6 と同様のため記載を省略する。

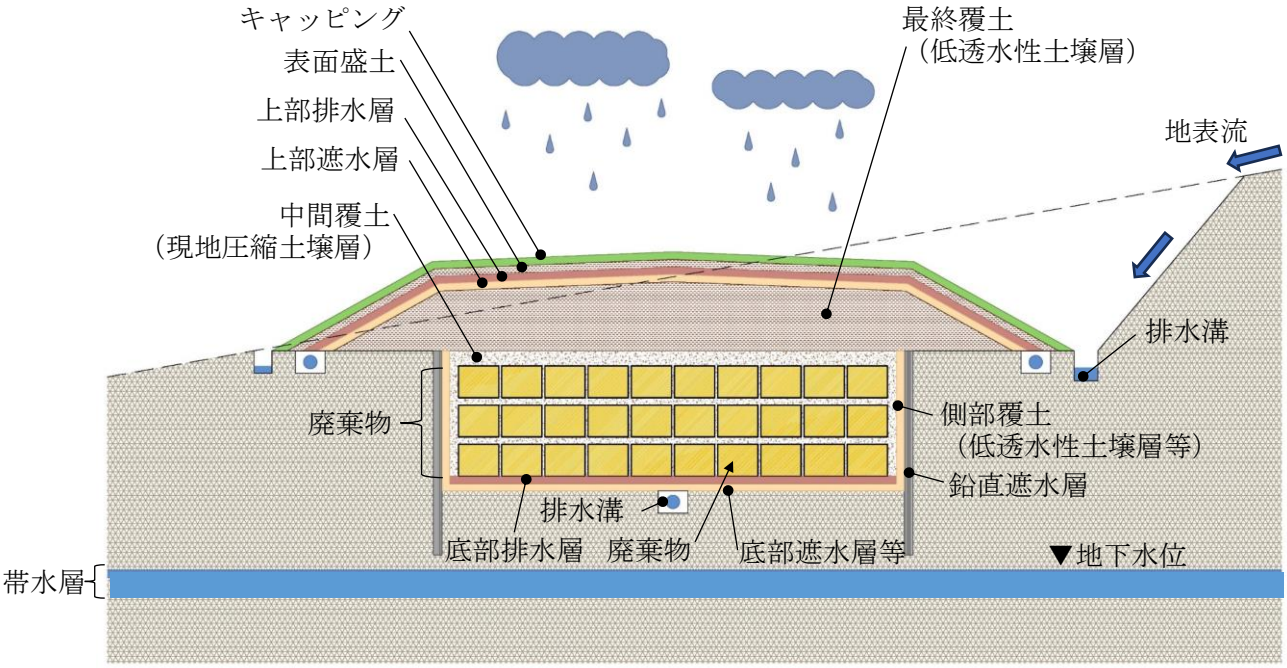


図 3.6.1.(3)-3　丘陵地斜面における掘下型埋設施設
（土質遮水＋上部・底部・側部遮水層）の構造概念
（出典：文献 1, P235 表 4.9-11 を参考に編集作成）

３．６．２ 盛土型埋設施設

（１） 盛土型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形

① 概要

盛土型埋設施設は、地表面に直接放射性廃棄物を定置し、盛土することにより、放射性物質の漏出を低減する機能及び遮蔽機能を確保する構造である。地表面に直接放射性廃棄物を設置可能であることから、地下水面が高く、地表面からの掘削に制限がある地形に適していると考えられる。

本構造の実例としては、平地に設置したスウェーデンのフォルスマルク処分場、オスカーシャム処分場及びリングハルス処分場がある。スウェーデンでは、原子力発電所を所有・操業する許可所有者である電力会社が、その事業から発生する放射性廃棄物を安全に処分する

責任があるため、VLLW については、発生者が自らのサイト内で地表埋め立てにより処分する方法がとられている。スウェーデンの各発電所敷地は、岩盤が浅いため、いずれも盛土型処分構造を採用している。スウェーデンにおける実例を図 3.6.2.(1)-1 に示す。

a. フォルスマルク処分場

b. オスカーシャム処分場

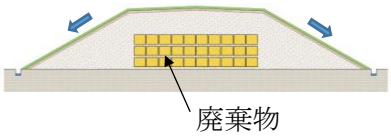
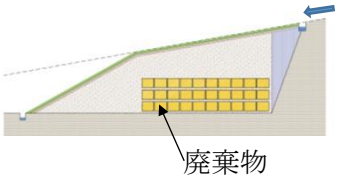
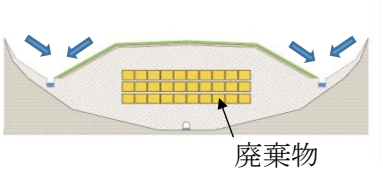
c. リングハルス処分場

図 3.6.2.(1)-1　スウェーデンの VLLW 処分場（盛土型埋設施設）
（出典：文献 10, P8,13、及び文献 11, P58 Figure1-50 より転載）

② 適合する地形及び施設構造概念

盛土型埋設施設は、地表面に直接放射性廃棄物を定置し、盛土することにより、放射性物質の漏出を低減する機能及び遮蔽機能を確保する構造のため、急峻な地形を除く平地、掘削整地後の丘陵地斜面及び沢地への設置に適している。各々の地形における埋設施設の構造概念を表 3.6.2.(1)-1 に示す。

表 3.6.2.(1)-1　各地形に適した盛土型埋設施設概念

平地	丘陵地斜面	沢地
		
［適用実績］ ・フォルスマルク（スウェーデン） ・オスカーシャム（スウェーデン） ・リングハルス（スウェーデン）	―	―

（出典：文献 1, P225 表 4.9-1, P236 表 4.9-2 を参考に編集作成）

③　雨水・地下水浸出抑制対策

a. 雨水抑制対策

許可基準規則で要求されている雨水抑制対策に関連する内容については、３．６．１の掘下型埋設施設のうち、（１）③ａ．雨水・地下水抑制対策に記載した内容と同様である。

盛土型埋設施設は、比較的地下水位の高い場所及び岩盤が浅く水はけの悪い場所に設置されることが多いため、放射性物質の漏出を低減するために、上部からの雨水の浸入抑制対策として、盛土に低透水性の土砂を使用することや、必要に応じて遮水層を設けること、また、これに加えて排水機能を組み合せるなどの対策が必要となることが考えられる。

b. 浸出抑制対策

浸出抑制対策については、地下水位と埋設施設底面の位置関係によって対策が異なる。地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下位に位置する場合は、特別な対策は不要と考えられる。また、地下水位が廃棄物埋設施設底面より上位、すなわち廃棄物と地下水が接触する位置にある場合は、許可基準規則第十三条に基づき、廃棄物埋設施設底部に遮水層を設けるなどの放射性物質の漏出を低減する対策を施す必要がある。なお、遮水層により貯留される浸出水は、排水層により外部に放出する設備を設ける必要がある。

④　埋設施設の安定性

許可基準規則で要求されている埋設施設の安定性に関連する内容については、３．６．１の掘下型埋設施設のうち、（１）④ 埋設施設の安定性に記載した内容と同様である。

盛土型埋設施設については、③で述べたとおり、埋設施設の設置環境によって必要な雨水・浸出水抑制対策が異なるため、対策ごとの施設概念を以下のとおり検討した。

（２） 平地における盛土型埋設施設の構造

①　案１（土質遮水）

地表面に放射性廃棄物を定置した後、盛土を施すことにより放射性物質の漏出を低減する機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造である。

雨水抑制対策としては、許可基準規則第十三条第１項第二号に基づき、上部バリアとして低透水性土壌を用いた表層盛土、及び中詰め盛土として現地圧縮土壌層又は必要に応じて低透水性土壌を適用した施設である。

降雨による雨水は、低透水性土壌を用いた表層盛土及び現地圧縮土壌層又は低透水性土壌を用いた中詰め盛土により浸出量を抑制されながら、廃棄物層を通過し地下水の流れる帯水層に到達する。廃棄物層に存在する放射性物質は、雨水の浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。また、本施設は、盛土表面を流れる地表流が地表面に滞留し埋設施設側面から浸出する量を低減させるために排水溝を設置する設計としている。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本構造は地下水位が比較的高く、地表面からの掘削が制限される場所に設置するのに適している。また、本構造は浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(2)-1、バリア構成を図 3.6.2.(2)-2 に示す。

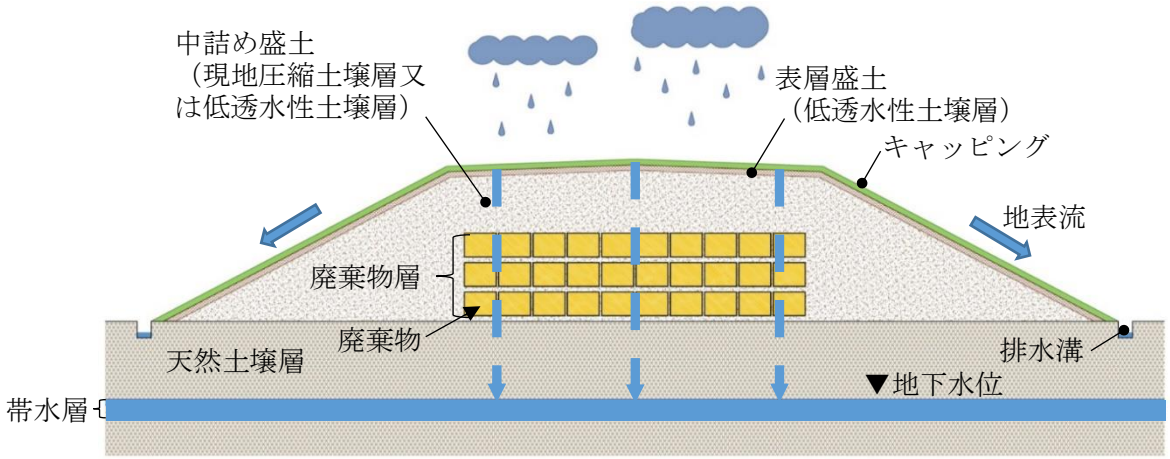


図 3.6.2.(2)-1　平地・盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例

（出典：文献 1, P232 表 4.9-8 を参考に編集作成）

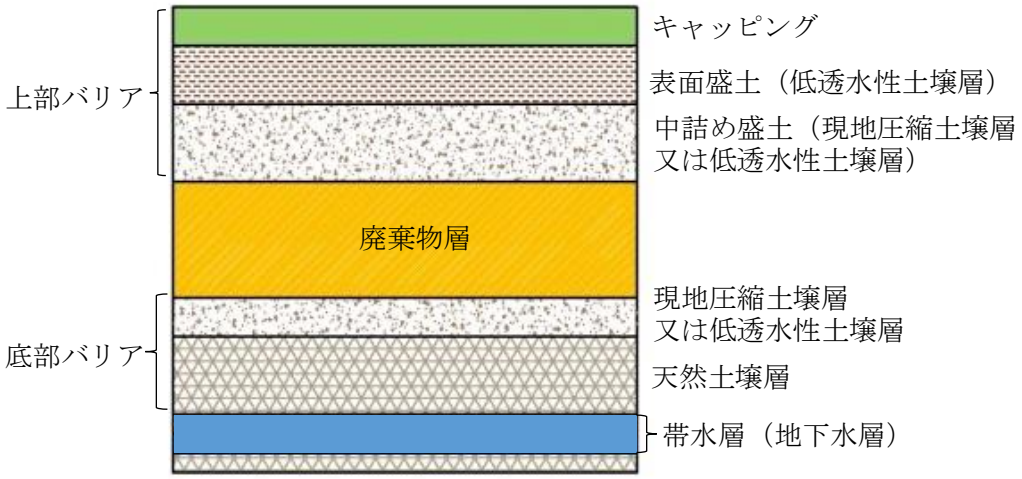


図 3.6.2.(2)-2　バリア構成（平地・盛土型埋設施設［土質遮水］）

②　案２（土質遮水＋上部遮水層）

雨水抑制対策として、許可基準規則第十三条第１項第二号に基づき、案１の平地・盛土型埋設施設（土質遮水）構造の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。

雨水は、低透水性土壌を用いた表層盛土に浸透し、遮水層で浸透が抑制され、滞留した雨水は排水層を伝い排水溝に流出し放流される。本案は雨水抑制対策が多重構造のため、廃棄物層を通過して地下水の流れる帯水層に到達する浸透水量を低減可能である。土質遮水及び上部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。廃棄物層に存在する放射性物質は、雨水のごく一部が浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。

なお、本構造は放射性廃棄物を地表面に定置後盛土する構造のため、地下水位が比較的高く、地表面からの掘削が制限される場所に設置するのに適している。また、本構造は埋設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(2)-3、バリア構成を図 3.6.2.(2)-4 に示す。

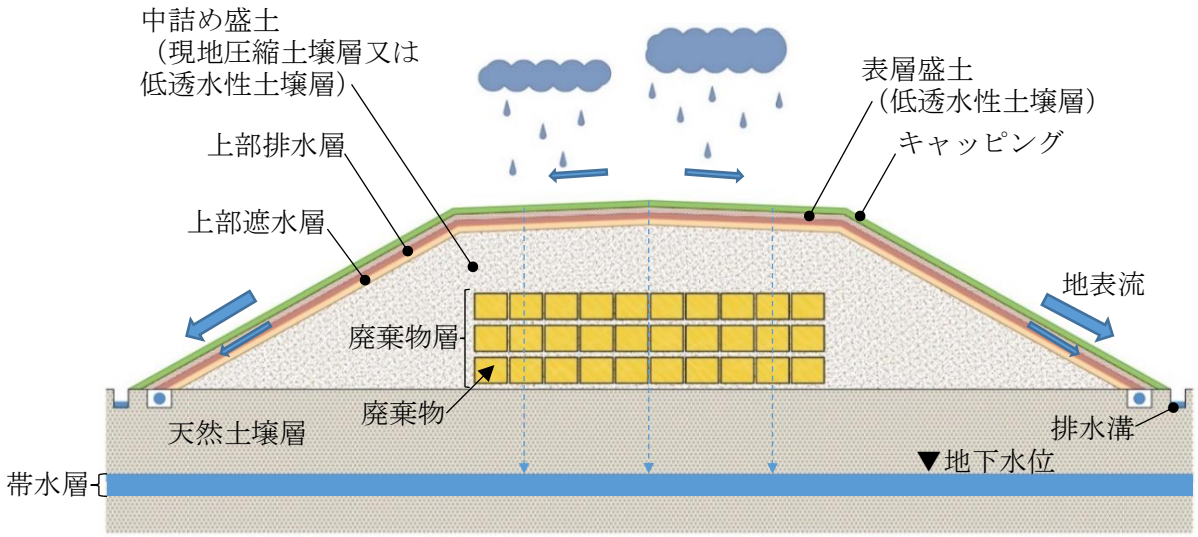


図 3.6.2.(2)-3　平地・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部遮水層）の構造例

（出典：文献 1, P232 表 4.9-8 を参考に編集作成）

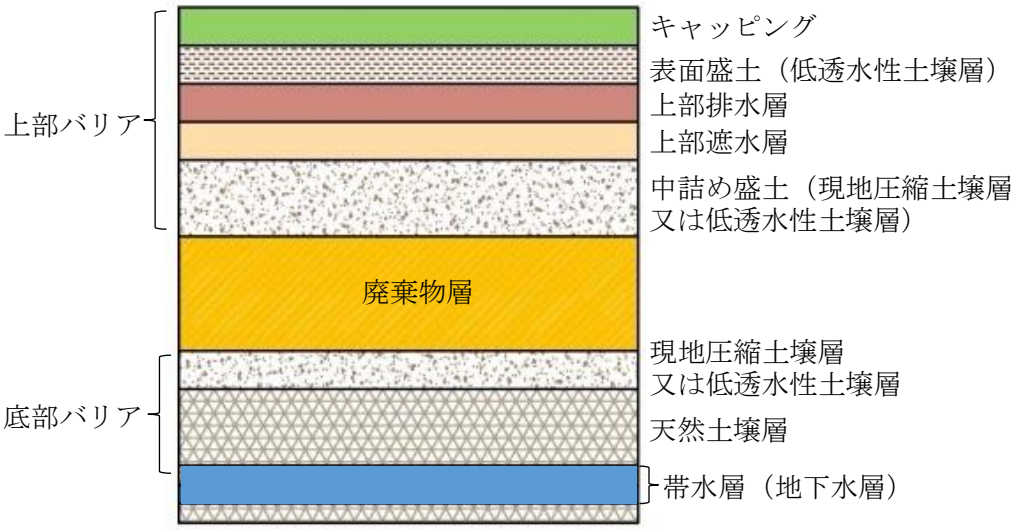


図 3.6.2.(2)-4　バリア構成（平地・盛土型埋設施設［土質遮水＋上部遮水層］）

③　案３（土質遮水＋上部・底部遮水層）

上部バリアについては、案２（土質遮水＋上部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される表層盛土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、底部バリアにも遮水層を設けていることである。底部バリアは、上部バリアと同様、低透水性土壌などのバリアに加え、遮水層及び排水層を設けることにより、地下水位が埋設施設底部より高い場合の底部からの地下水の浸透を防止

させるとともに、ごく一部の廃棄物層に浸透した浸出水の帯水層への流出を抑制させることが可能な構造である。土質遮水及び上部・底部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設は、埋設施設底部にも遮水層を設ける構造のため、地下水位が高く、地下水が埋設施設底部に接触するような場所にも採用可能な構造である。ただし、埋設施設の全体を遮水層により覆うため、盛土内の廃棄物層に雨水が貯留され、放射性廃棄物に接触することのないよう、速やかな排水が可能な排水設備を設置することが重要である。

地下水位の位置による本構造の特徴を以下に示す。

○ 地下水位が廃棄物底部以下の場合

雨水による浸入水量と底部の遮水層からの浸出水量のバランスによっては底部の排水層により溜まった水を集水し、排水管を介して施設外部の排水路に導くことが必要である。

○ 地下水位が廃棄物底部以上の場合

雨水の地下水浸入水量と底部排水層からの排水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を外部に排水する必要があり、その場合、排水路の排出差圧について検討が必要である。地下水位が高い場合、少量が遮水層を通過して浸透水となり、放射性廃棄物に接触する可能性があるため、速やかな排水が可能な排水設設備を設置する必要がある。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(2)-5、バリア構成を図 3.6.2.(2)-6 に示す。

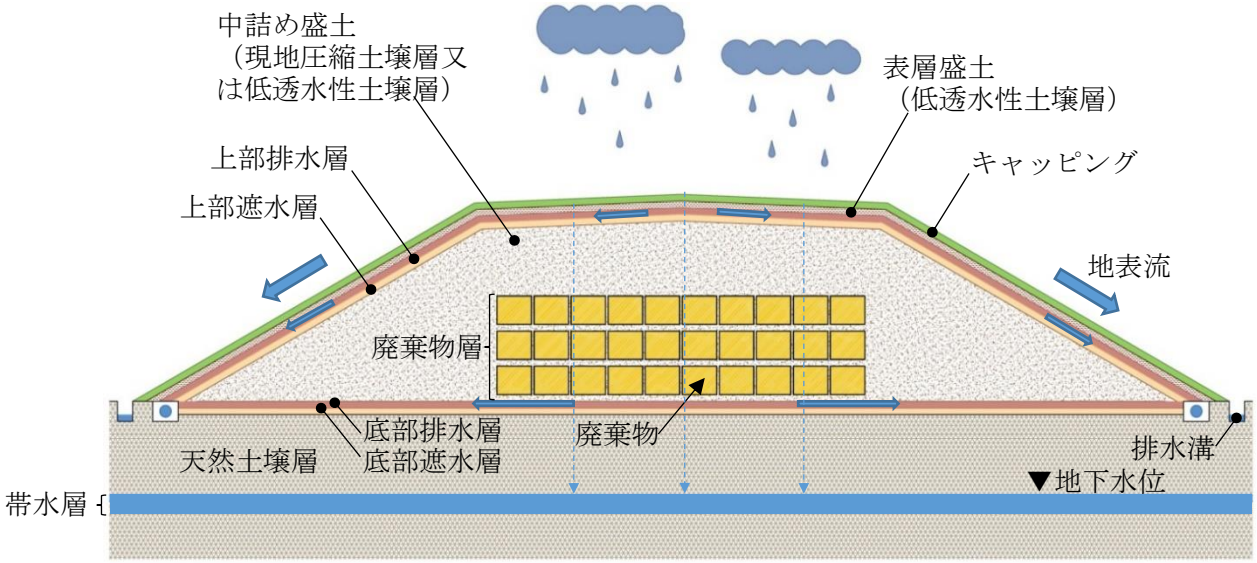


図 3.6.2.(2)-5　平地・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・底部遮水層）の構造例
（出典：文献 1, P232 表 4.9-8 を参考に編集作成）

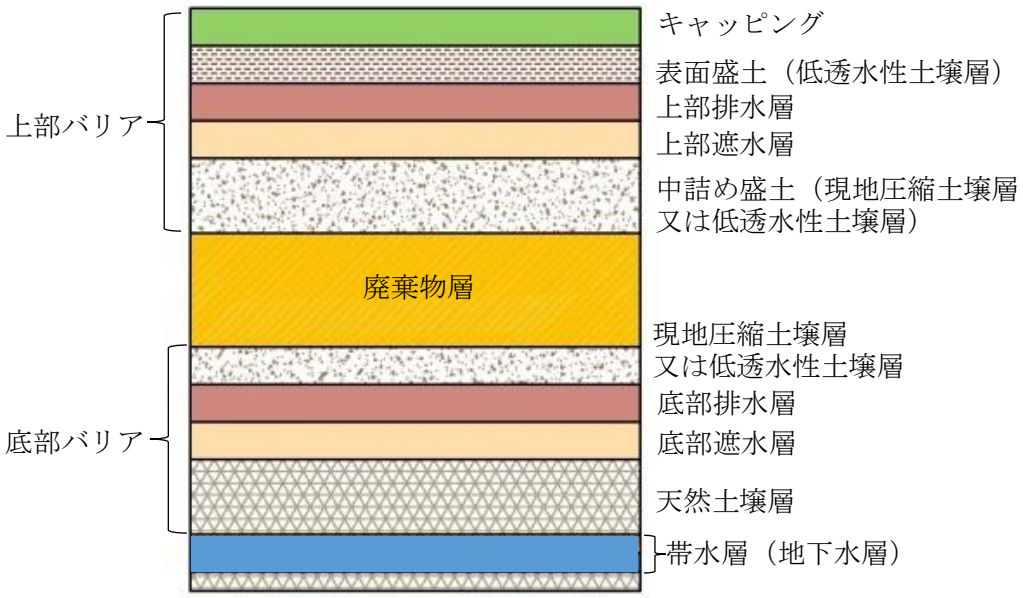


図 3.6.2.(2)-6　バリア構成（平地・盛土型埋設施設［土質遮水＋上部・底部遮水層］）

（３） 丘陵地斜面における盛土型埋設施設

①　案１（土質遮水）

丘陵地斜面を掘削し整地し、その地表面に放射性廃棄物を定置した後、盛土を施すことにより放射性物質の漏出を低減する機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造である。本施設の構造は、基本的に平地における盛土型埋設施設の案１（土質遮水）と同様であるが、本施設は斜面丘陵地の地形を利用した盛土型埋設施設のため、埋設施設の山側からの地表流の埋設施設上部への浸入を抑制するために、谷側斜面下に加えて山側斜面の途中にも排水溝を設ける設計としている。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本構造は埋設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(3)-1 に示す。バリア構成は図 3.6.2.(2)-2 と同様のため記載を省略する。

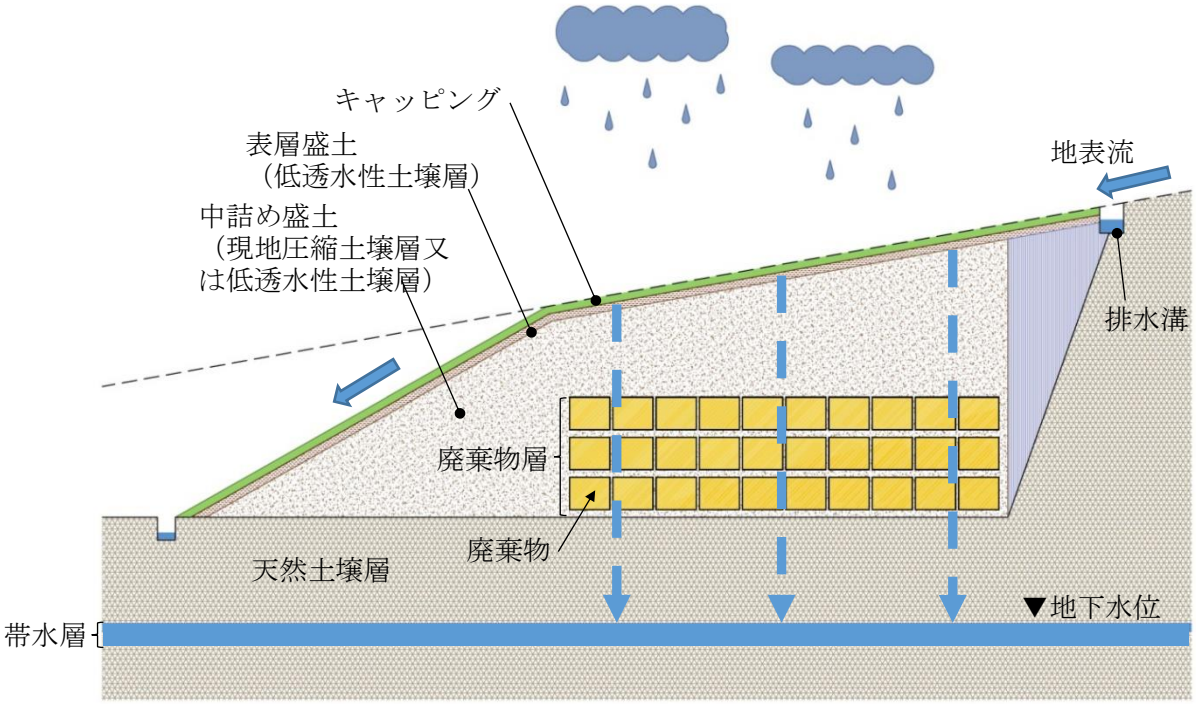


図 3.6.2.(3)-1　斜面・盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例
（出典：文献 1, P236 表 4.9-12 を参考に編集作成）

②　案２（土質遮水＋上部・側部遮水層）

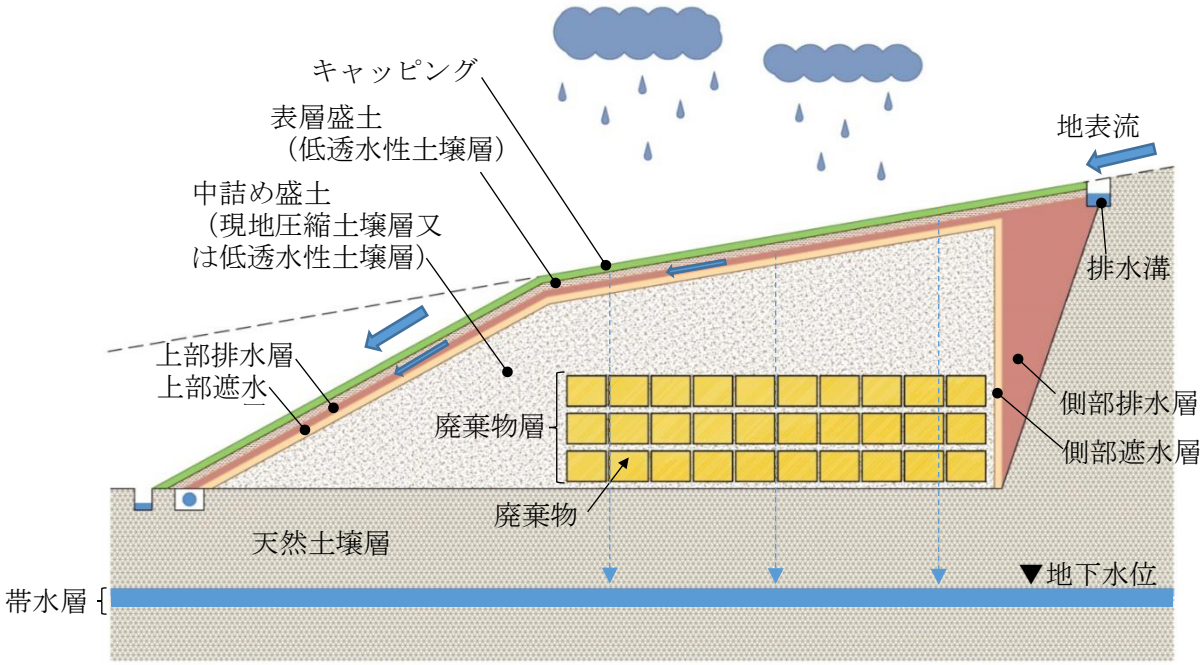
本施設の構造は、基本的に案１の斜面・盛土型埋設施設（土質遮水）と同様であるが、雨水抑制対策として、案１の斜面・盛土型埋設施設構造（土質遮水）の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。

雨水は、低透水性土壌を用いた表層盛土に浸透し、上部遮水層で浸透が抑制され、滞留した雨水は上部排水層を伝って排水溝に流出し放流される。本案は雨水抑制対策が多重構造のため、廃棄物層を通過して地下水の流れる帯水層に到達する浸透水量をさらに低減可能である。また、本施設には山側の埋設施設側部にも遮水層を設けるため、山側からの表流水及び雨水の埋設施設側面からの浸入を抑制する機能を有している。土質遮水及び上部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

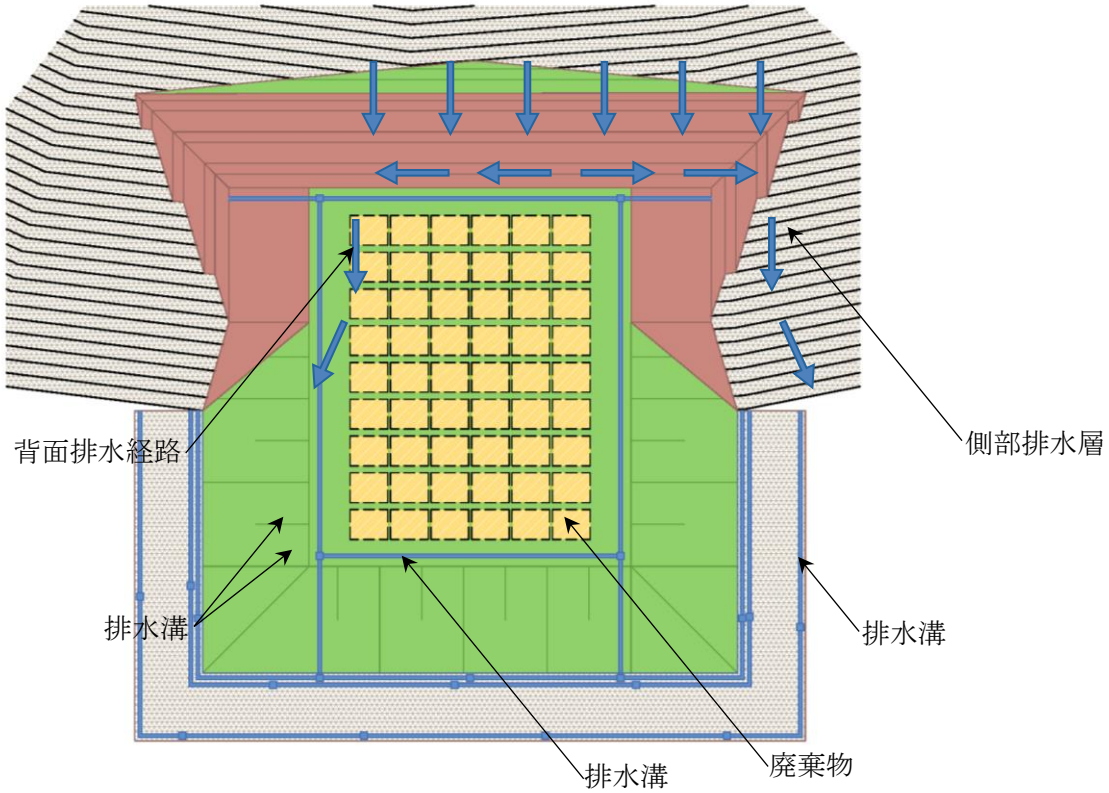
廃棄物層に存在する放射性物質は、ごく一部の雨水が浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。

なお、本構造は埋設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(3)-2 に示す。バリア構成は図 3.6.2.(2)-4 と同様のため記載を省略する。



a. 側面図



b. 平面図(廃棄物透視図)

図 3.6.2.(3)-2　斜面・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・側部遮水層）の構造例

（出典：文献 1, P236 表 4.9-12 を参考に編集作成）

③　案３（土質遮水＋上部・下部・側部遮水層）

上部バリアについては、案２の斜面・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・側部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される表層盛土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、底部バリアにも遮水層を設けていることである。

底部バリアは、上部バリアと同様、低透水性土壌などのバリアに加え、遮水層及び排水層を設けることにより、地下水位が埋設施設底部より高い場合の底部からの地下水の浸透を防止させるとともに、ごく一部の廃棄物層に浸透した浸出水の帯水層への流出を抑制させることが可能な構造である。土質遮水及び上部・底部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設は、埋設施設底部にも遮水層を設ける構造のため、地下水位が高く、地下水が埋設施設底部に接触するような場所にも採用可能な構造である。ただし、埋設施設の全体を遮水層により覆うため、盛土内の廃棄物層に雨水が貯留され、放射性廃棄物に接触することのないよう、速やかな排水が可能な排水設備を設置することが重要である。

地下水位の位置による本構造の特徴を以下に示す。

○ 地下水位が廃棄物底部以下の場合

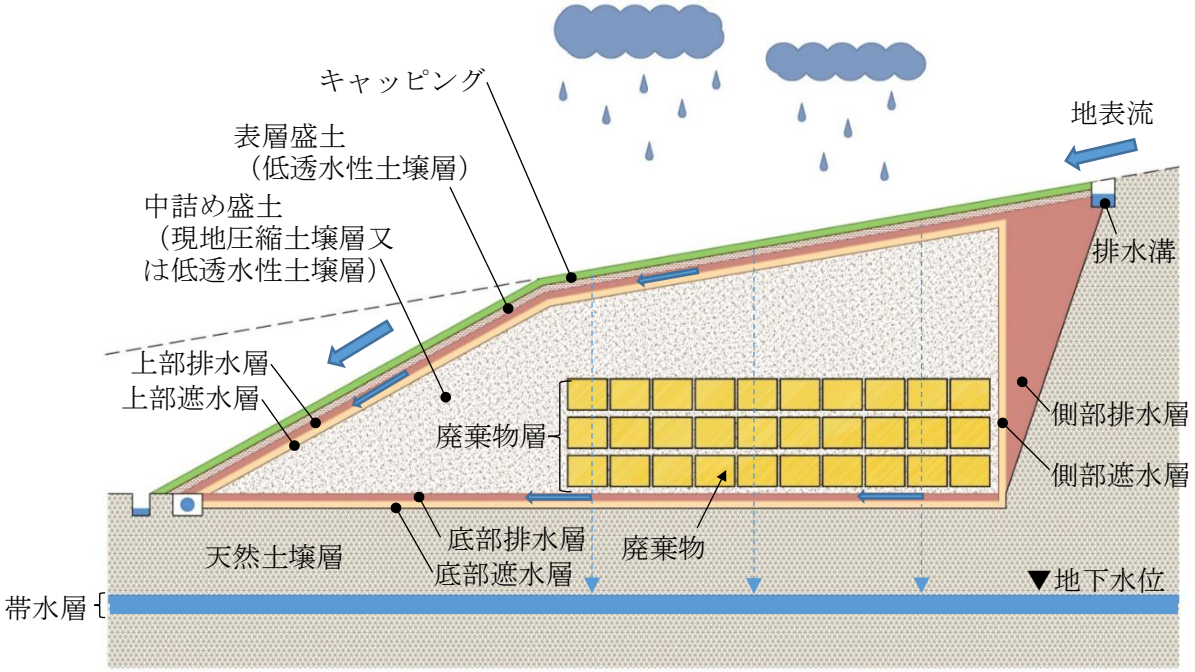
雨水による浸水量と底部遮水層からの浸出水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を集水し、排水管を介して施設外部の排水路に導く必要がある。

○ 地下水位が廃棄物底部以上の場合

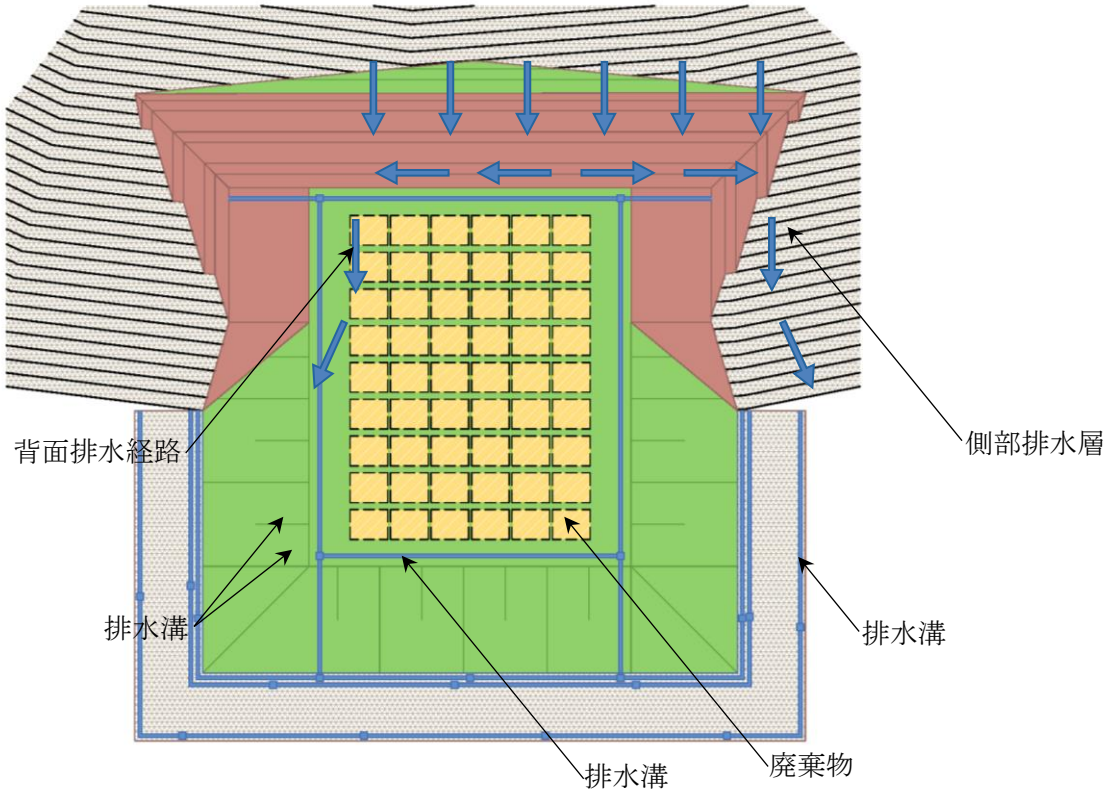
雨水の地下水の浸水量と底部排水層からの排水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を外部に排水する必要があり、その場合、排水路の排出差圧について検討が必要である。

地下水位が高い場合、少量が遮水層を通過して浸透水となり、放射性廃棄物に接触する可能性があるため、速やかな排水が可能な排水設備を設置する必要がある。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(3)-3 に示す。バリア構成は図 3.6.2.(2)-6 と同様のため記載を省略する。



a. 側面図



b. 平面図(廃棄物透視図)

図 3.6.2.(3)-3　斜面・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・側部・底部遮水層）の構造例

（出典：文献 1, P236 表 4.9-12 を参考に編集作成）

（４） 沢地における盛土型埋設施設

① 案１（土質遮水）

沢地を埋め立てて整地し、その地表面に放射性廃棄物を定置した後、盛土を施すことにより放射性物質の漏出を低減する機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造である。本施設の構造は、基本的に平地における盛土型埋設施設の案１（土質遮水）と同様であるが、本施設は沢地の地形を利用した盛土型埋設施設のため、埋設施設の山側からの地表流の埋設施設上部への浸入を抑制するために、斜面下に排水溝を設ける設計としている。

降雨による雨水は、低透水性土壌を用いた表層盛土及び現地圧縮土壌層又は低透水性土壌を用いた中詰め盛土により浸出量を抑制されながら、廃棄物層を通過し地下水の流れる帯水層に到達する。本施設は沢地を埋め立てて設置することから、地下水面が比較的高い場所に位置するため、沢地の埋立部に排水トンネルを設置することにより、地下水が定置した廃棄物の底面に到達しないようにする構造としている。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(4)-1 に示す。バリア構成は図 3.6.2.(2)-2 と同様のため記載を省略する。

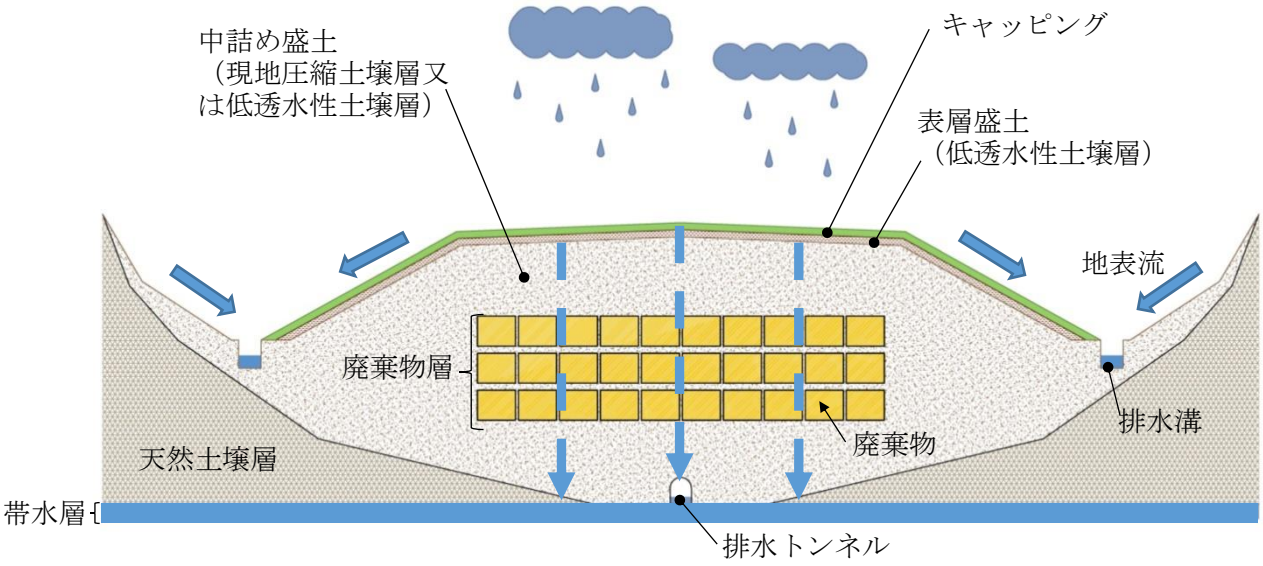


図 3.6.2.(4)-1　沢地・盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例
（出典：文献 1, P238 表 4.9-14 を参考に編集作成）

② 案２（土質遮水＋上部遮水層）

本施設の構造は、基本的に案１の沢地・盛土型埋設施設（土質遮水）と同様であるが、雨水抑制対策として、案１の沢地・盛土型埋設施設構造（土質遮水）の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。

雨水は、低透水性土壌を用いた表層盛土に浸透し、上部遮水層で浸透が抑制され、滞留した雨水は上部排水層を伝って排水溝に流出し放流される。本案は雨水抑制対策が多重構造のため、廃棄物層を通過して地下水の流れる帯水層に到達する浸透水量をさらに低減可能である。土質遮水及び上部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

廃棄物層に存在する放射性物質は、雨水のごく一部が浸出により流出することが考えられるが、底部バリアである天然土壌層が有する放射性物質の収着性能を利用し、放射性物質の漏出を低減する設計である。

なお、本構造は埋設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置するよう沢地の埋め立てを行う必要がある。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(4)-2 に示す。バリア構成は図 3.6.2.(2)-4 と同様のため記載を省略する。

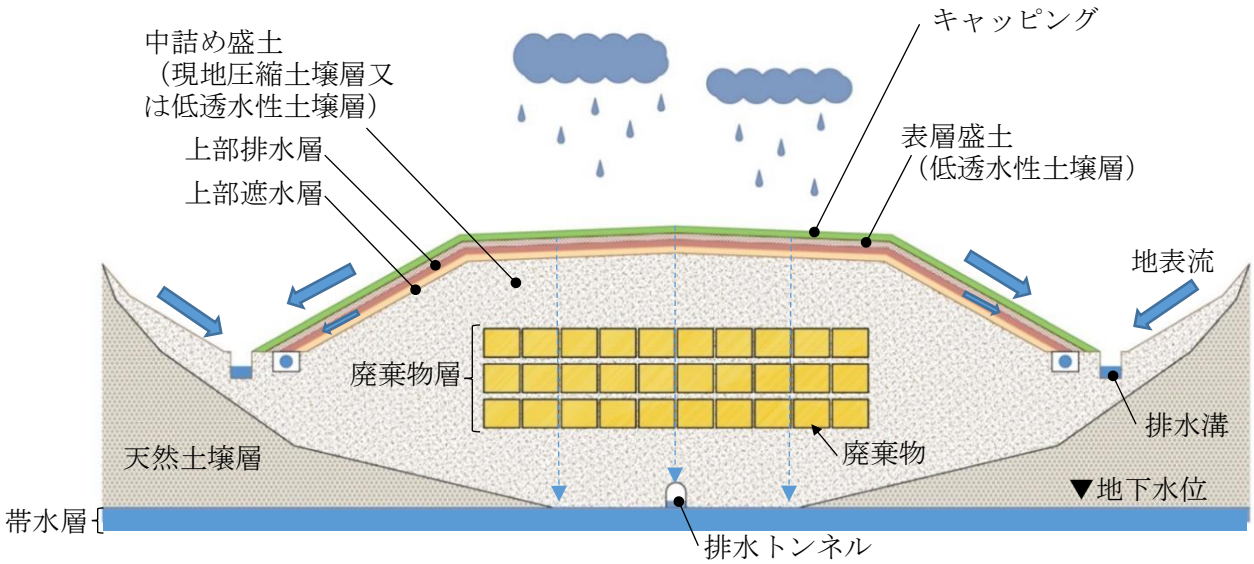


図 3.6.2.(4)-2　沢地・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部遮水層）の構造例
（出典：文献 1, P238 表 4.9-14 を参考に編集作成）

③　案３（土質遮水＋上部・底部遮水層）

上部バリアについては、案２（土質遮水＋上部・側部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される表層盛土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、底部バリアにも遮水層を設け、さらに底部に排水管を設けていることである。

底部バリアは、上部バリアと同様、低透水性土壌などのバリアに加え、遮水層及び排水層を設けることにより、地下水位が埋設施設底部より高い場合の底部からの地下水の浸透を防止させるとともに、ごく一部の廃棄物層に浸透した浸出水の帯水層への流出を抑制させることが可能な構造である。埋設施設の底部まで到達する浸出水は極わずかと考えられるが、到

達した場合底部遮水層により貯留されるリスクがあるため、排水管を設けて堤体内の排水溝に導く構造である。土質遮水及び上部・底部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設は、埋設施設底部にも遮水層を設ける構造のため、地下水位が高く、地下水が埋設施設底部に接触するような場所にも採用可能な構造である。

地下水位の位置による本構造の特徴を以下に示す。

○ 地下水位が廃棄物底部以下の場合

雨水による浸水量と底部遮水層からの浸出水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を集水し、排水管を介して施設外部の排水路に導く必要がある。

○ 地下水位が廃棄物底部以上の場合

雨水の地下水の浸水量と底部排水層からの排水量のバランスによっては底部排水層に溜まった水を外部に排水する必要があり、その場合、排水路の排出差圧について検討が必要である。

地下水位が高い場合、少量が遮水層を通過して浸透水となり、放射性廃棄物に接触する可能性があるため、速やかな排水が可能な排水設備を設置する必要がある。

本施設の構造概念を図 3.6.2.(4)-3 に示す。バリア構成は図 3.6.2.(2)-6 と同様のため記載を省略する。

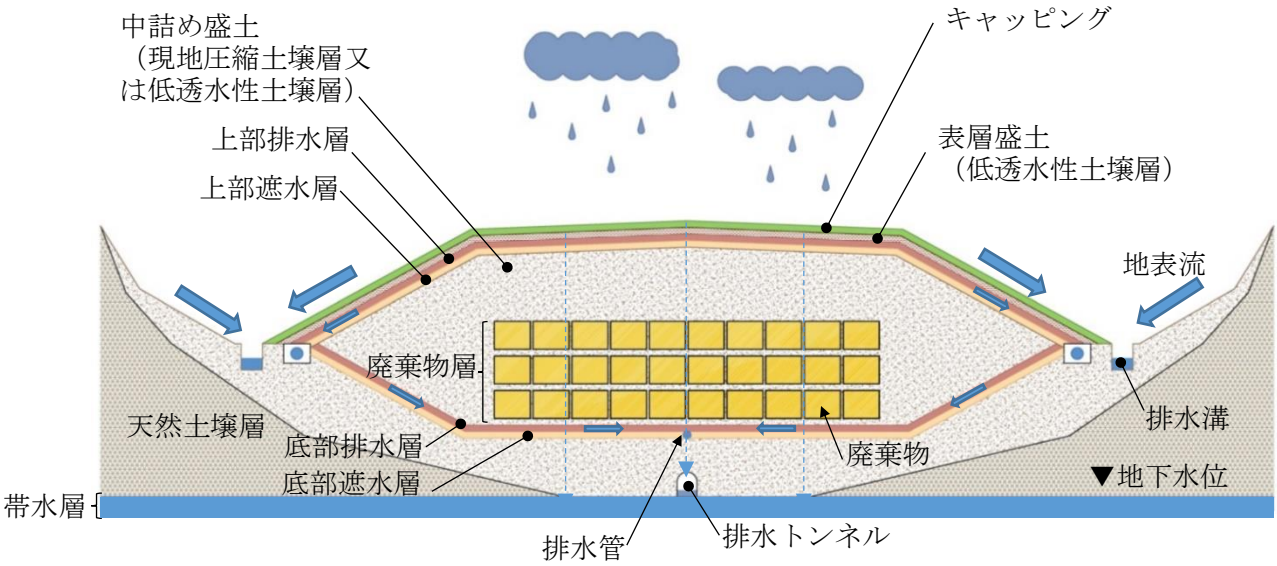


図 3.6.2.(4)-3　沢型埋設施設（土質遮水＋上部・底部遮水層）の構造例

（出典：文献 1, P238 表 4.9-14 を参考に編集作成）

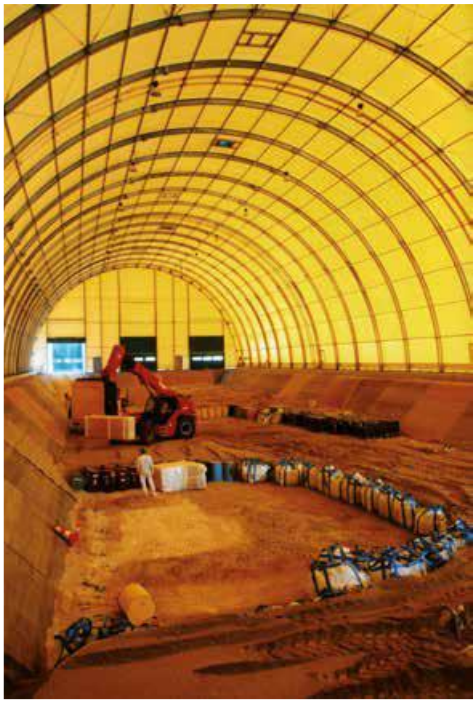
３．６．３ 半地下式盛土型埋設施設

（１） 半地下式盛土型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形

① 概要

半地下式盛土型埋設施設は、地表面を比較的浅く掘削した後、放射性廃棄物を定置し、盛土することにより、放射性物質の漏出を低減する機能及び遮蔽機能を確保する構造である。本構造は地表面からの掘削深さが浅いため、敷地面積が広く確保できる場所であれば、オープンカット工法の採用が可能である。斜面の土質が安定していて土留が不要な場合は、オープンカット工法のうち、土質に応じて規定されている法面勾配に従って施工する法切りオープンカット工法が適している。本工法は根切りをするのみで施工も簡易で、土留費用もかからないのが特徴である。

本構造の実例としては、平地に設置したフランスのモルヴィリエ処分場、及び斜面を切り拓き整地した場所に設置したスペインのエルカブリル処分場があり、いずれの処分場もオープンカット工法を採用している。また、両処分場は共に埋設区画を細かく区切る日本の既存の埋設施設とは異なり、縦長の比較的大きな区画を１つ設ける構造を採用している。モルヴィリエ処分場（フランス）及びエルカブリル処分場（スペイン）の実例を図 3.6.3.(1)-1 に示す。



a. モルヴィリエ処分場

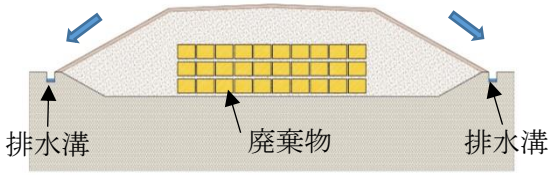
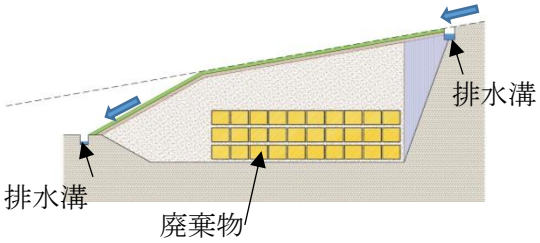
b. エルカブリル処分場

図 3.6.3.(1)-1　フランス及びスペインの VLLW 処分場
（半地下式盛土型埋設施設）
（出典：文献 9, P10 及び文献 12, P7 Figure9 より転載）

② 適合する地形及び施設構造概念

半地下式盛土型埋設施設は、掘削深さが比較的浅く合理的に施工することが考慮されるため、オープンカット工法を採用することが想定される。このため、広範な敷地面積を確保できる地形への設置に適している。施設構造については、地表面を浅く掘削して設置すること以外は、盛土式の構造と同様、掘削後の地表面に直接放射性廃棄物を定置し、盛土することにより、放射性物質の漏出を低減する機能及び遮蔽機能を確保する構造であり、平地及び掘削整地後の丘陵地斜面への設置に適している。各々の地形における埋設施設の構造概念を表 3.6.3.(1)-1 に示す。

表 3.6.3.(1)-1　　各地形に適した半地下式盛土型埋設施設概念

平地	丘陵地斜面
	
［適用実績］ ・モルヴィリエ処分場（フランス） ・クライブ処分場（アメリカ）	［適用実績］ ・エルカブリル処分場（スペイン）

（出典：文献 1, P225 表 4.9-1、及び P226 表 4.9-2 を参考に編集作成）

③ 雨水・地下水浸出抑制対策

a. 雨水抑制対策

許可基準規則で要求されている雨水抑制対策に関連する内容については、３．６．１の掘下型埋設施設のうち、（１）③ ａ．雨水・地下水抑制対策に記載した内容と同様である。なお、比較的地下水位の高い場所及び岩盤が浅く水はけの悪い場所に設置されることがあるため、盛土型埋設施設と同様、放射性物質の漏出を低減するために、上部からの雨水の浸入抑制対策として、盛土に低透水性の土砂を使用することや、必要に応じて遮水層を設けること、また、これに加えて排水機能を組み合せるなどの対策が必要となることも考えられる。

b. 浸出抑制対策

浸出抑制対策については、地下水位と埋設施設底面の位置関係によって対策が異なる。地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下位に位置する場合は、特別な対策は不要と考えられる。また、地下水位が廃棄物埋設施設底面より上位、すなわち廃棄物と地下水が接触する位置にある場合は、許可基準規則第十三条に基づき、廃棄物埋設施設底部に遮水層を設けるなどの放射性物質の漏出を低減する必要がある。なお、遮水層により貯留される浸出水は、排

水層により外部に放出する設備を設ける必要がある。

④　埋設施設の安定性

許可基準規則で要求されている埋設施設の安定性に関連する内容については、３．６．１の掘下型埋設施設のうち、（１）④ 埋設施設の安定性に記載した内容と同様である。

半地下式盛土型埋設施設については、③で述べたとおり、埋設施設の設置環境によって必要な雨水・浸出水抑制対策が異なるため、対策ごとの施設概念を以下のとおり検討した。

（２）　平地における半地下盛土型埋設施設の構造

①　案１（土質遮水）

地表面を浅く掘削し、その底面に放射性廃棄物を定置した後、盛土を施すことにより放射性物質の漏出を低減する機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造である。地表面を浅く掘削する以外は、盛土型埋設施設と同様の構造である（詳細は３．４．２　（２）　①案１（土質遮水）を参照)。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本施設は比較的掘削深さが浅く、かつ広範で平坦な場所を確保可能であれば、合理的に施工することが可能なオープンカット工法を採用することができる。また、本構造は浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.3.(2)-1、バリア構成を図 3.6.3.(2)-2 に示す。

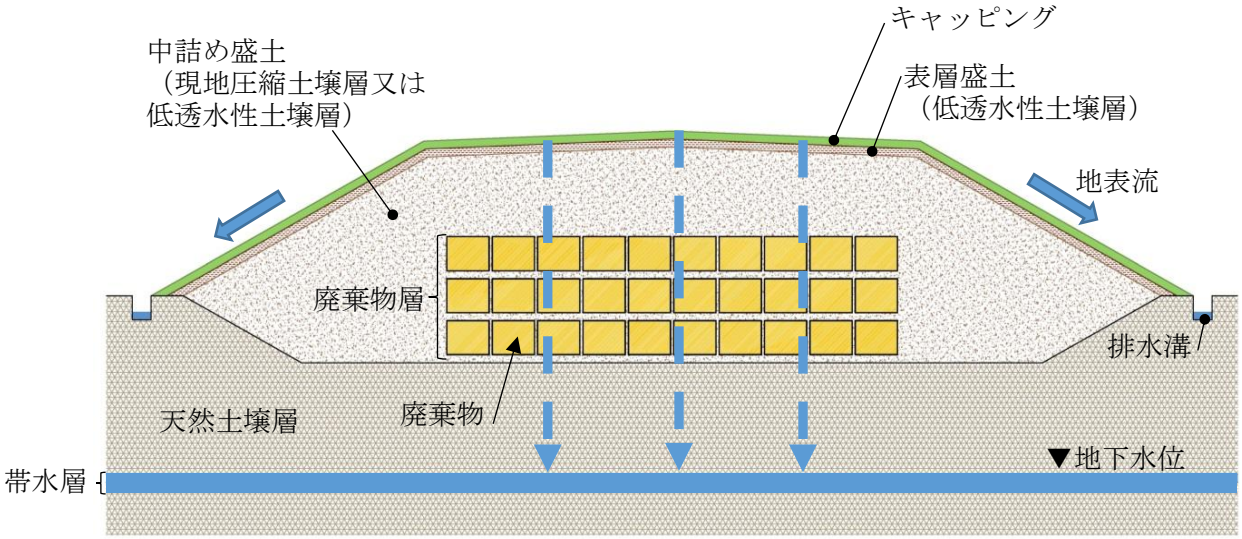


図 3.6.3.(2)-1　平地・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例
（出典：文献 1, P233 表 4.9-9 を参考に編集作成）

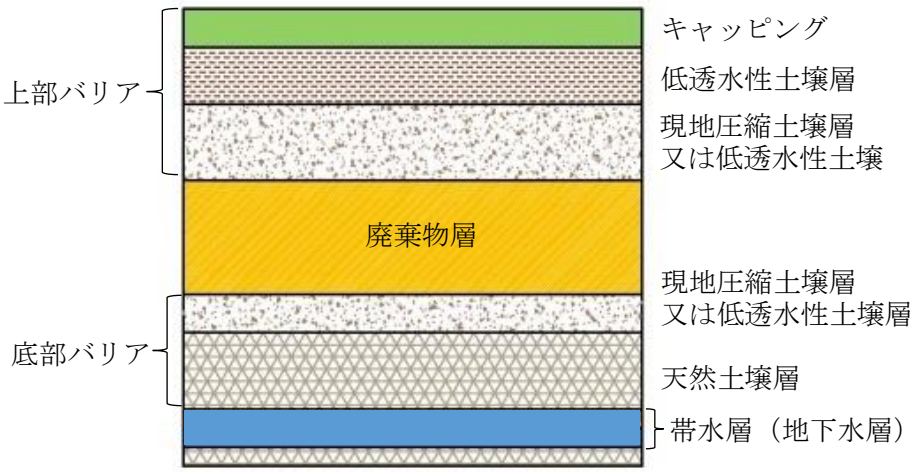


図 3.6.3.(2)-2　バリア構成（平地・半地下式盛土型埋設施設［土質遮水］）

②　案２（土質遮水＋上部遮水層）

雨水抑制対策として、許可基準規則第十三条第１項第二号に基づき、案２の平地・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水）構造の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。本埋設施設の構造は、地表面を浅く掘削する以外は、盛土型埋設施設と同様の構造である（詳細は３．６．２　（２）　②　案２（土質遮水＋上部遮水層）を参照）。

なお、本施設は比較的掘削深さが浅く、かつ広範で平坦な場所を確保可能であれば、合理的に施工することが可能なオープンカット工法を採用することができる。また、本構造は埋

設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.3.(2)-3、バリア構成を図 3.6.3.(2)-4 に示す。

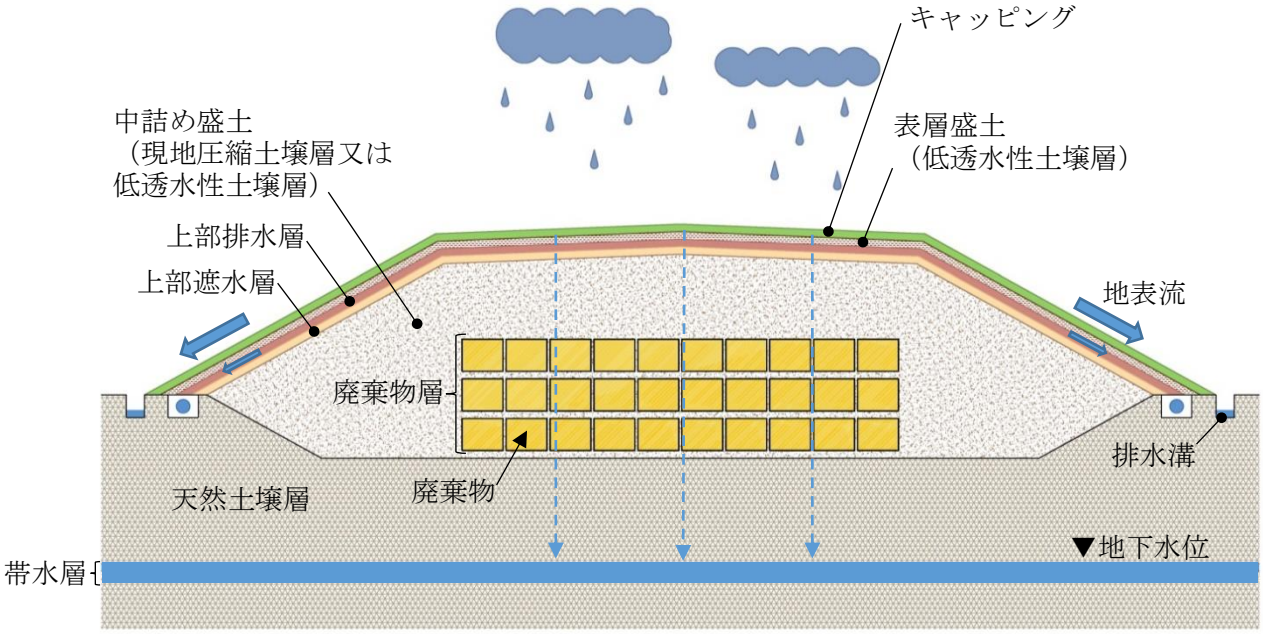


図 3.6.3.(2)-3　平地・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水＋上部遮水層）の構造例

（出典：文献 1, P233 表 4.9-9 を参考に編集作成）

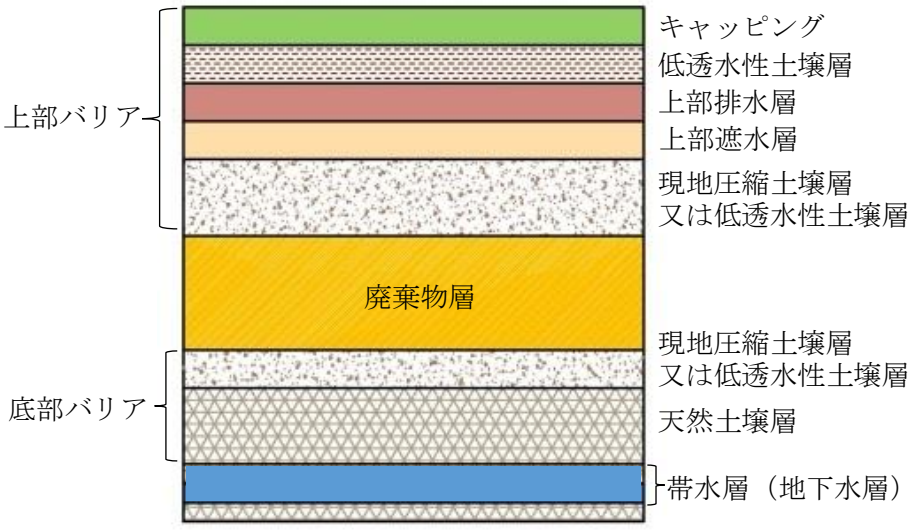


図 3.6.3.(2)-4　バリア構成（平地・半地下式盛土型埋設施設［土質遮水＋上部遮水層］）

③　案３（土質遮水＋上部・底部遮水層）

上部バリアについては、案２（土質遮水＋上部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される表層盛土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、底部バリアにも遮水層を設けていることである。本埋設施設の構造は、地表面を浅く掘削する以外は、盛土型埋設施設と同様の構造である（詳細は３．６．２　（２）　③案３（土質遮水＋上部・底部遮水層）を参照）。

本施設の構造概念を図 3.6.3.(2)-5、バリア構成を図 3.6.3.(2)-6 に示す。

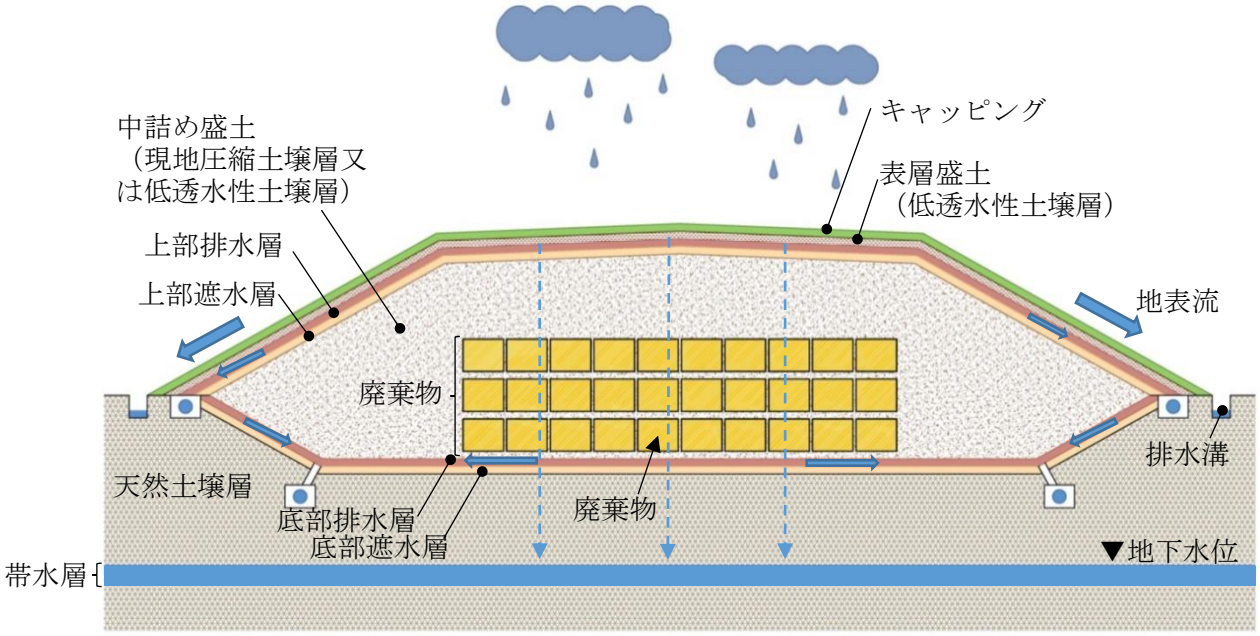


図 3.6.3.(2)-5　平地・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・底部遮水層）の構造例
（出典：文献 1, P233 表 4.9-9 を参考に編集作成）

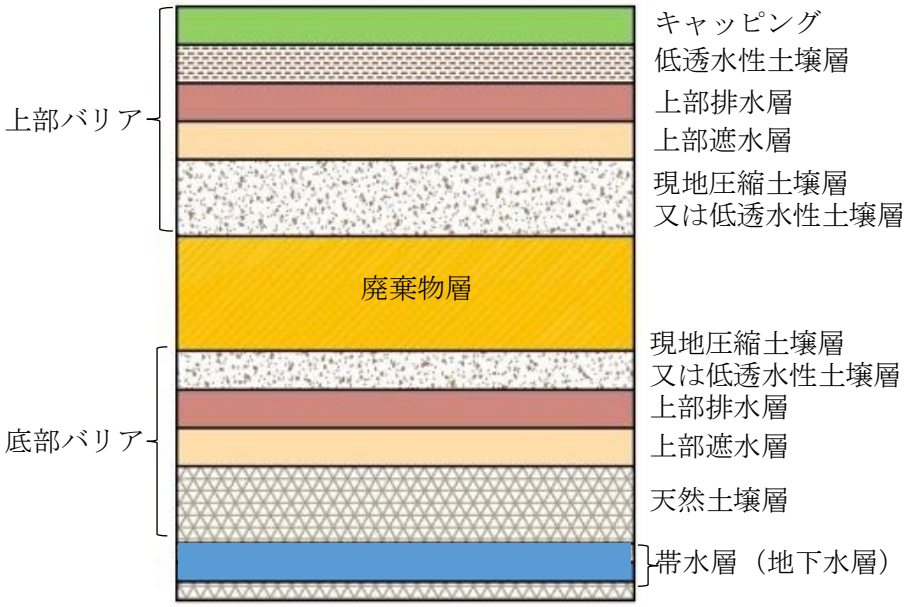


図 3.6.3.(2)-6　バリア構成（平地・半地下式盛土型埋設施設［土質遮水＋上部・底部遮水層］）

（３） 丘陵地斜面における半地下盛土型埋設施設の構造

①　案１（土質遮水）

丘陵地斜面を平坦化しさらに浅く掘削し、その底面に放射性廃棄物を定置した後、盛土を施すことにより放射性物質の漏出を低減する機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造である。本施設の構造は、基本的に平地における半地下式盛土型埋設施設の案１（土質遮水）と同様であるが、本施設は斜面丘陵地の地形を利用した盛土型埋設施設のため、埋設施設の山側からの地表流の埋設施設上部への浸入を抑制するために、谷側斜面下に加えて山側斜面の途中にも排水溝を設ける設計としている。地表面を浅く掘削する以外は、丘陵地斜面における盛土型埋設施設と同様の構造である（詳細は３．６．２　（３）　①案１（土質遮水）を参照）。土質遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本構造は埋設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.3.(3)-1 に示す。バリア構成は図 3.6.3.(2)-2 と同様のため記載を省略する。

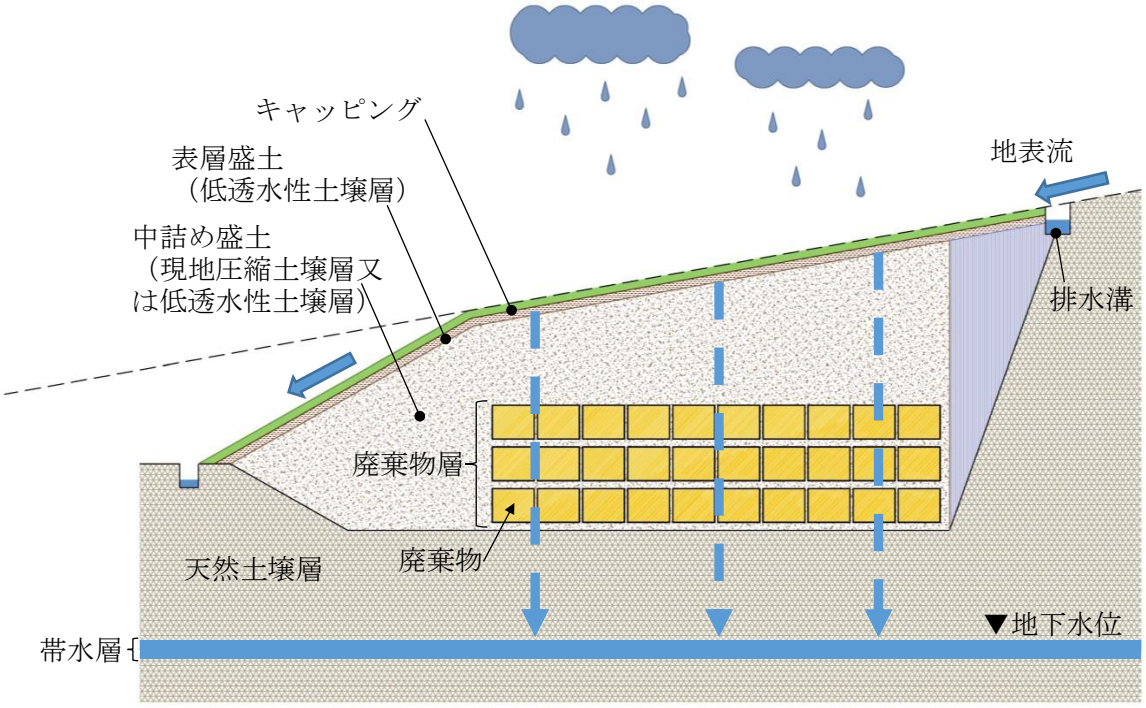


図 3.6.3.(3)-1　斜面・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例
（出典：文献 1, P236 表 4.9-12 を参考に編集作成）

②　案２（土質遮水＋上部・側部遮水層）

本施設の構造は、基本的に案１の斜面・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水）と同様であるが、雨水抑制対策として、案１の斜面・半地下式盛土型埋設施設構造（土質遮水）の上部バリアに遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。

地表面を浅く掘削する以外は、丘陵地斜面における盛土型埋設施設と同様の構造である（詳細は３．６．２　（３）②案２（土質遮水＋上部遮水層）を参照）。土質遮水及び上部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

なお、本構造は埋設施設底部の浸出水抑制対策を特に施さない施設であるため、地下水位が廃棄物埋設施設底面より十分下部に位置する場合に適用可能な構造である。

本施設の構造概念を図 3.6.3.(3)-2 に示す。バリア構成は図 3.6.3.(2)-4 と同様のため記載を省略する。

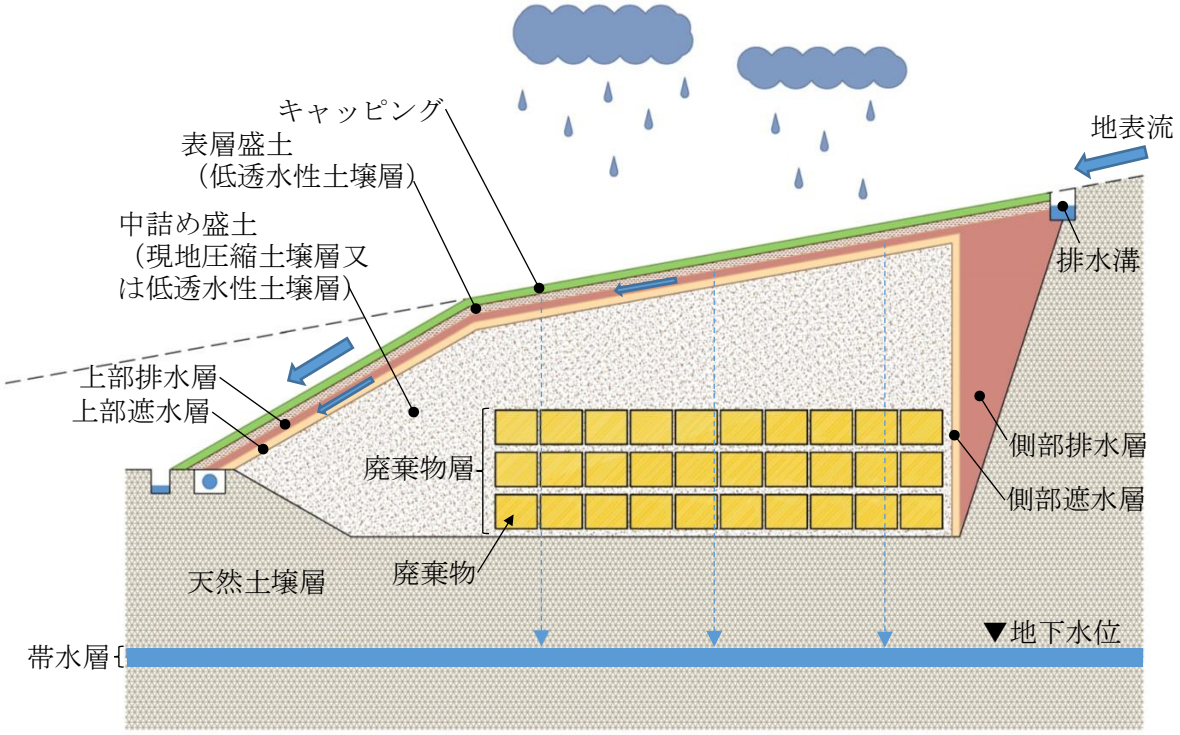


図 3.6.3.(3)-2　斜面・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・側部遮水層）の構造例
（出典：文献 1, P236 表 4.9-12 を参考に編集作成）

③　案３（土質遮水＋上部・底部遮水層）

上部バリアについては、案２（土質遮水＋上部・側部遮水層）と同様、低透水性土壌で構成される表層盛土に遮水層及び排水層を設け、降雨による雨水の廃棄物層への浸透をさらに抑制する構造の施設である。案２と異なる点は、底部バリアにも遮水層を設けていることである。

地表面を浅く掘削する以外は、丘陵地斜面における盛土型埋設施設と同様の構造である（詳細は３．６．２　（３）　③案３（土質遮水＋上部・側部・底部遮水層）を参照）。土質遮水及び上部・底部遮水層の材質については、廃棄物の性状、地質を含む立地環境に応じて選定する。

本施設は、埋設施設底部にも遮水層を設ける構造のため、地下水位が高く、地下水が埋設施設底部に接触するような場所にも採用可能な構造である。ただし、埋設施設の全体を遮水層により覆うため、盛土内の廃棄物層に雨水が貯留され、放射性廃棄物に接触することのないよう、速やかな排水が可能な排水設備を設置することが重要である。

本施設の構造概念を図 3.6.3.(3)-3 に示す。バリア構成は図 3.6.3.(2)-6 と同様のため記載を省略する。

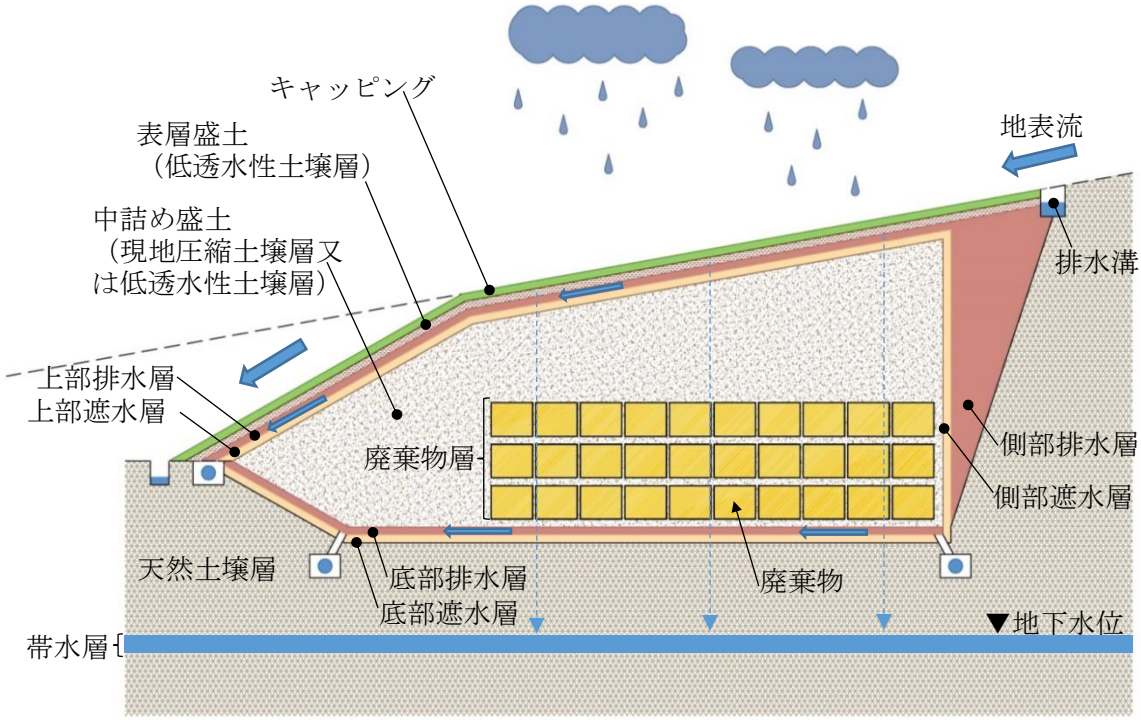


図 3.6.3.(3)-3　斜面・半地下式盛土型埋設施設
（土質遮水＋上部・側部・底部遮水層）の構造例
（出典：文献 1, P236 表 4.9-12 を参考に編集作成）

３．６．４ トンネル型埋設施設

（１） トンネル型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形

① 概要

トンネル型埋設施設は、急峻な斜面部に坑口を設け、トンネルを掘削した空間に放射性廃棄物を定置する埋設施設である。

なお、本構造の埋設施設の適用実績は、海外における低レベル放射性廃棄物（LLW）又は中レベル放射性廃棄物（ILW）の埋設施設として類似の構造例はあるが、L3 廃棄物（VLLW）埋設施設の実例はまだない。

② 適合する地形

トンネル型埋設施設の設置に適した地形は、急峻な地形で切土、盛土による対応が困難な場所である。

③ 浸透水対策

許可基準規則で要求されている浸透水対策に関連する内容については、３．６．１の掘下型埋設施設のうち、（１）③ａ．雨水・地下水抑制対策に記載した内容と同様である。

④　埋設施設の安定性

許可基準規則で要求されている埋設施設の安定性に関連する内容については、３．６．１の掘下型埋設施設のうち、（１）④ 埋設施設の安定性に記載した内容と同様である。

トンネルの安定性については、一般の道路トンネル等の設計と同等の支保を適用することとし、ロックボルトや吹付コンクリート、覆工コンクリートで安定性を確保する。定置後は、ポーラスコンクリートや発泡モルタルにより廃棄物と覆工コンクリートの間を充てんすることで安定性を確保する。

⑤　課題

- 抗口部の脆弱性に対する補強対策
- 埋戻し上部の閉塞方法
- トンネル内の作業・資材スペースの確保
- 坑口及び工事用道路の越波対策（地震時の津波対策）
- 路盤排水機能の低下防止対策
- 廃棄物量増加に伴うトンネル延長の検討

（２）　急峻地形におけるトンネル型埋設施設の構造

急峻な斜面部に坑口を設け、トンネルを掘削した空間の底盤にコンクリートを打設し、その上に廃棄物を定置する。廃棄物の定置は一定長さの範囲毎に実施し、一定量の定置が終了した段階で仕切り壁を設置し、ポーラスコンクリートや発泡モルタルにより廃棄物と覆工コンクリートの間を充てんすることにより、放射性物質の漏出を低減する機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造である。

浸透水対策としては、廃棄物定置後に充てんするポーラスコンクリートや発泡モルタルにより抑制する。また湧水については、一般トンネルと同様に覆工背面の排水材等を通じて底盤コンクリート下部の中央排水溝に集水し、坑口から排水する。覆工内部への浸出水は、廃棄物と覆工の間にポーラスコンクリートの部分を設けることで、これを通じて坑口まで導く方法が想定される。

本施設の構造概念を図 3.6.4.(2)-1 に示す。

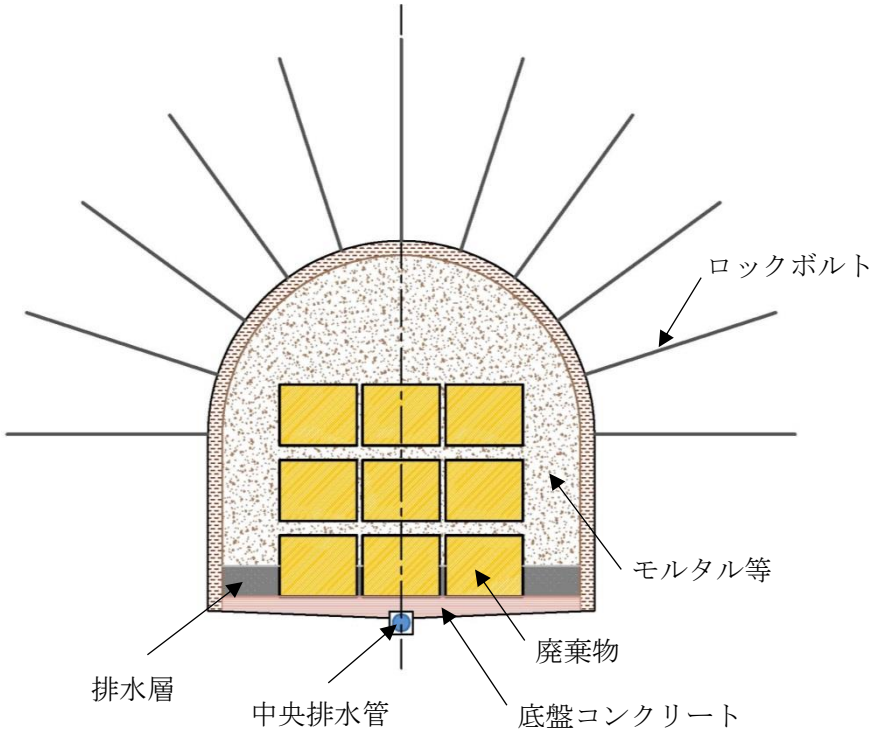


図 3.6.4.(2)-1　トンネル型埋設施設の構造例

（出典：文献 1, P240 表 4.9-16 を参考に編集作成）

参考文献（類型化された地形・地質環境条件に応じた L3 廃棄物埋設施設概念検討）

1. “電力共通研究 委託研究報告書 商業用軽水炉の廃止措置シナリオ構築に関する研究（別冊）－解体廃棄物（L3 ）の処理処分方策の検討－ 平成 25 年度報告書（最終年度）”
2. “放射性廃棄物について －低レベル放射性廃棄物－”, 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ, 入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo01.html >（2025.5.19 閲覧）
3. “日本原子力学会標準 低レベル放射性廃棄物の埋設地に係る覆土の施工方法及び施設の管理方法：2016－ピット処分及びトレンチ処分編－（AESJ-SC-F016:2016）”
4. 日本原子力発電（株）プレスリリース、“東海発電所における低レベル放射性廃棄物の埋設事業許可申請について、添付資料：第二種廃棄物埋設事業許可申請書の概要”、平成 27 年 7 月 16 日、(2015), 入手先<http://www.japc.co.jp/news/press/2015/pdf/270716.pdf >（2021.6.28 閲覧）
5. 高尾 肇, 齋藤 太一, “多様な L3 トレンチ処分概念の必要性について―立地状況を考慮した L3 トレンチ処分概念例―”, 平成 30 年度土木学会全国大会 第 73 回年次学術講演会、CS7-035、2018
6. “地層処分技術に関する研究開発 用語集 「多孔質媒体」、「亀裂性媒体」”, （国研）日本原子力研究開発機構ホームページ, 入手先<https://www.jaea.go.jp/04/tisou/yogo/pic_159.html >、（2021.6.28 閲覧） < https://www.jaea.go.jp/04/tisou/yogo/pic_158.html >（2021.6.28 閲覧）
7. “資料 1-2 東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第三条（安全機能を有する施設の地盤）への適合性について”, 第 546 回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合, 2025 年 3 月 10 日, 入手先 <https://www.da.nra.go.jp/data/NRA100008535-002-003.pdf>（2025.6.16 閲覧）
8. “埋設実地試験 廃棄物埋設地の断面図”, （国研）日本原子力研究開発機構ホームページ, 入手先<https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/backend/backend_01_04_01.html >（2021.6.28 閲覧）
9. “The surface disposal concept for VLLWaste” & “Waste from decommissioning and maintenance of nuclear facilities”, ANDRA, 入手先< https://international.andra.fr/media/2983 >（2021.6.28 閲覧）
10. D.Aronsson, ”Shallow land repositories for very low level waste”, VATENFALL, 入手先< https://www.yumpu.com/en/document/read/11270203/2-1-swedish-shallow-land-repositories-engl-amended-iaea >（2021.6.28 閲覧）
11. 極低レベル放射性廃棄物施設の合理的な構造形式に関する研究（その１）成果報告書（1/2）（平成 24 年 3 月）, 日本原子力発電（株）自社研究

Pablo Zuloaga & Mariano Navarro , “Very Low Activity Waste Disposal Facility Recently Commissioned as an Extension of El Cabril LILW Disposal Facility in Spain – 9014”, WM2009 Conference, 1-5 March 2009,
入手先< http://archive.wmsym.org/2009/pdfs/9014.pdf >（2021.6.28 閲覧）

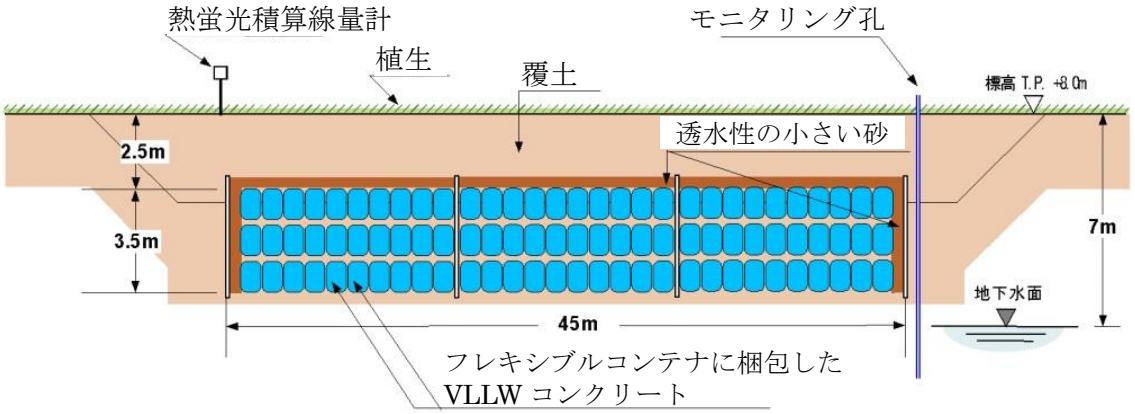
4 総括

最新の原子力発電所の廃止措置計画としては、東京電力が 2020 年 5 月 29 日に福島第二原子力発電所（1～4 号機）の廃止措置計画認可申請書を原子力規制委員会に提出し、2021 年 4 月 28 日に認可を得ている。2021 年 4 月末現在、国内の原子力発電所のうち廃止措置中の発電所は 20 箇所※1 となった。

発電所の廃止措置においては、低レベル放射性廃棄物が大量に発生するため、放射能レベルの区分に応じた埋設施設を建設する必要がある。国内の低レベル放射性廃棄物は、放射能レベルの高い方から、「放射能レベルの比較的高いもの（L1）」、「放射能レベルの比較的低いもの（L2）」及び「放射能レベルの極めて低いもの（L3 ［VLLW］）」に分類されている。

原子力発電所の廃止措置を円滑に進めるためには、早期に低レベル放射性廃棄物処分施設を建設する必要があり、特に低レベル放射性廃棄物のうち最も物量が多く、かつ廃止措置の初期段階で発生する VLLW 相当の処分施設の早期建設が必須である。国内においては、日本原子力発電が東海発電所で発生した VLLW の処分施設をサイト内に建設するために事業許可の申請（2015 年 7 月 16 日）を行っており、現在許可基準規則の適合性について、原子力規制庁の審査を受けている段階である。審査の過程において原子力規制庁より、許可基準規則の第六条に基づき、外部事象（自然事象及び人為事象）による衝撃から埋設施設の「移行抑制機能」及び「遮蔽機能」の損傷防止対策を要求された。このため、日本原子力研究開発機構が実施中の「VLLW の簡易埋設処分に係る安全性実証試験」において 1995 年に建設し、1997 年に保全段階に移行した、VLLW トレンチ施設と同様の構造を持つ従来型の素掘りトレンチ（図 4-1 参照）では、許可基準規則に適合できない可能性がある。このため、今後国内に建設が想定されるあらゆる構造の埋設施設の検討に資するために、先行する諸外国における VLLW 処分施設の構造を調査した。諸外国の調査結果を以下のとおりまとめた。

※1：女川 1 号（東北電力）、福島第二 1～4 号（東京電力）、浜岡 1,2 号（中部電力）、美浜 1,2 号、大飯 1,2 号（関西電力）、島根 1 号（中国電力）、伊方 1,2 号（四国電力）、玄海 1,2 号（九州電力）、東海、敦賀 1 号（日本原子力発電）、ふげん、もんじゅ（日本原子力研究開発機構）



a. VLLW 埋設施設構造（断面図）

b. 埋設施設全景

c. 中間覆土施工（埋設段階）

図 4-1　「VLLW の簡易埋設処分に係る安全性実証試験」における VLLW 埋設施設
（出典：資源・エネルギー戦略調査会 放射性廃棄物処分に関する小委員会 資料 10-5,「低レベル放射性廃棄物処分の現状と課題 ～研究施設等廃棄物の処分について～」,平成 26 年 5 月 27 日 独立行政法人 日本原子力研究開発機構）

（1） 受入廃棄物

諸外国の VLLW 処分場で受入れている廃棄物について調査した結果を表 4.(1)-1 に示す。

- アメリカの処分場で受け入れている廃棄物の発生箇所については、原子力発電所のみならず医療施設、研究施設、軍事施設なども含まれている。受入対象廃棄物は金属、コンクリートに加えて防護服・フィルタ等の可燃物、廃樹脂、鉛・PCB 等の有害物、医療廃棄物やウラン廃棄物も対象とされており、廃棄物の収納方法も放射能レベル・廃棄物の性状に応じてドラム缶、コンクリート製円筒容器、コンテナ、機器一体、容器に収納しないなどとしている。なお、クライブ処分場以外では VLLW のみではなく、日本の L2 に相当する廃棄物も受け入れ混合埋設を行っている。

・ フランス及びスペインの処分場で受入れている廃棄物の発生箇所については、燃料製造施設を含む原子力施設、医療施設、研究施設である。受入対象廃棄物は、主に金属、がれき等で、フランスではそれに加えてプラスチックであり、廃棄物の荷姿は、ドラム缶、コンテナ、フレコン、大型機器一体とされている。
・ スウェーデンは、原子力発電所内に VLLW 処分場を建設し、当該原子力発電所で発生した廃棄物のみ取り扱っており、日本原子力発電の東海 VLLW 処分施設と同様の方式である。受入対象廃棄物は、金属、樹脂、可燃物（防護服、紙、プラスチック等）のであり、廃棄物の荷姿は、ドラム缶、コンテナ、コンクリート容器の他に、圧縮廃棄物についてはストレッチフィルム梱包である。
・ イギリスの処分場は、VLLW の他に日本の L2 相当の廃棄物を受入れ、混合埋設を行っている。受入れている廃棄物の発生箇所については、原子力施設、医療施設、研究施設、軍事施設、非原子力産業である。受入対象廃棄物は、放射性機器、土壌、がれき、及び紙、プラスチック、防護服等の可燃物であり、廃棄物の荷姿はコンテナである。
・ 当初、日本の VLLW 処分場で受け入れ可能な廃棄物は、コンクリート、金属及びそれに類するものに限定されていたため、諸外国の VLLW 処分場と比べて取り扱える廃棄物が限定されていた。その後、2019 年 12 月 5 日の許可基準規則の改正により、覆土等により雨水及び地下水の浸入を十分に抑制し、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ことが要求され、その目安として国内の一般廃棄物・産業廃棄物処分場の性能（覆土厚さ 50cm 以上、透水係数 10^{-8}m/s 以下）に比べて遜色のないものという考え方が示された。それに合わせて、事業規則も改正され、容器に封入し固型化すれば金属・コンクリート以外の液体状の放射性廃棄物、イオン交換樹脂、焼却灰、フィルタスラッジ、その他粉状・粒状廃棄物も埋設可能となった。さらに、2021 年 10 月 21 日の改正においては、ウラン廃棄物の埋設も可能となり、諸外国と同様の種類の廃棄物が埋設可能となった。

表 4.(1)-1　諸外国の処分場における受入廃棄物及び荷姿

国	処分場	受入廃棄物	荷姿
アメリカ	リッチランド（ClassA～C［VLLW～LLW］）	原子力発電所、医療施設、研究施設（放射性機器、大型機器、防護服、医療廃棄物、ラジウム・ベリリウム及びその他密封線源、混合廃棄物等）	コンテナ、大型機器一体、コンクリート容器
	バーンウェル（ClassA～C［VLLW～LLW］）	原子力発電所、医療施設、研究施設（放射性機器、大型機器、樹脂等）	コンテナ、コンクリート容器

国	処分場	受入廃棄物	荷姿
アメリカ	クライブ（ClassA［VLLW］専用）	原子力発電所、医療施設、研究施設、州・連邦政府機関、ウラン製錬施設、DOE 施設（放射性機器、大型機器、鉛、フィルタ、樹脂、コンクリート、土壌、がれき、スラッジ、防護服、液体廃棄物、水銀、混合廃棄物、PCB、ウラン鉱さい、ウラン廃棄物等）	容器なし、コンクリート容器、大型機器一体
	WCS テキサス（ClassA～C［VLLW～LLW］）	原子力発電所、医療施設、研究施設、DOE 施設（LLW、混合廃棄物、ウラン廃棄物）	大型機器一体、コンクリート容器
フランス	モルヴィリエ（VLLW 専用）	原子力施設、医療施設、研究施設（金属、土壌、がれき、プラスチック等）	ドラム缶、コンテナ、フレコン、大型機器一体
イギリス	ドリッグ（VLLW～LLW）	原子力施設、医療施設、研究施設、軍事施設、非原子力産業（放射性機器、土壌、がれき、紙、プラスチック、防護服等）	コンテナ
スウェーデン	フォルスマルク（VLLW 専用）	フォルスマルク原子力発電所（金属、樹脂、防護服、紙、プラスチック等）	ドラム缶、コンテナ、コンクリート容器、ストレッチフィルム梱包（圧縮廃棄物）
	オスカーシャム（VLLW 専用）	オスカーシャム原子力発電所（金属、樹脂、防護服、紙、プラスチック等）	
	リングハルス（VLLW 専用）	リングハルス原子力発電所（金属、樹脂、防護服、紙、プラスチック、スラッジ等）	
スペイン	エルカブリル（VLLW 専用）	原子力施設、医療施設、研究施設（金属、がれき等）	ドラム缶、コンテナ、フレコン
日本（参考）	VLLW 埋設安全性実証試験施設	動力試験炉 JPDR（コンクリート）	フレコン、プラスチックシート
	東海（申請中）（VLLW 専用）	東海発電所（金属、コンクリート）	鉄箱、プラスチックシート

（凡例）　：VLLW 専用処分場

（２） 総放射能量（VLLW 専用施設抜粋）

諸外国における VLLW 専用処分場の総放射能量について調査を行った結果を、表 4.(2)-1 に示す。各処分場の受入れ総放射能量は、集中処分形態を採るアメリカ、フラ

ンス、スペインでは 10^{13} Bq～10^{14} Bq であるのに対して、サイト処分形態を採るスウェーデンでは 10^{11} Bq～10^{12} Bq である。日本原子力発電が申請中の東海 VLLW 埋設施設の総放射能量は、同じサイト処分形態を採るスウェーデンと同程度である。

なお、エルカブリル処分場は、低中レベル放射性廃棄物（LILW）及び極低レベル放射性廃棄物（VLLW）を処分する施設を有しており、受け入れられる総放射能量は施設全体で約 2.8×10^{16} Bq で、そのうち VLLW はその 1 %以下に制限されるため約 2.8×10^{14} Bq とした。

表 4.(2)-1　諸外国における VLLW 専用処分場の総放射能量

国	処分場	処分形態	総放射能量（Bq）
アメリカ	クライブ（Class A West 施設）	集中処分	約 7.4×10^{14}
フランス	モルヴィリエ	集中処分	約 1.0×10^{13}
スペイン	エルカブリル	集中処分	約 2.8×10^{14}
スウェーデン	フォルスマルク	サイト処分	約 2.0×10^{11}
	オスカーシャム	サイト処分	約 2.0×10^{11}
	リングハルス	サイト処分	約 1.1×10^{12}
日本（参考）	東海（2021 年 6 月現在審査中）	サイト処分	約 1.7×10^{12}

（３） 埋設施設の構造（VLLW 専用施設抜粋）

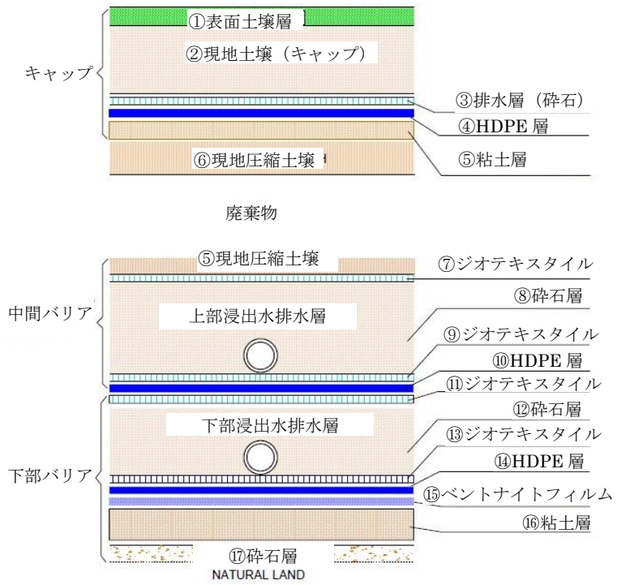
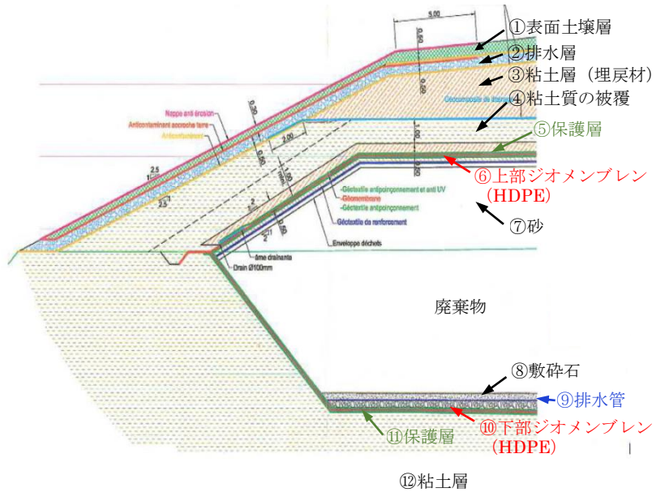
諸外国における VLLW 専用処分場の構造について調査した結果を、表 4.(3)-1 に受入対象廃棄物、総放射能量及び地下水位置等の情報とともにまとめた。

- スペインのエルカブリル処分場は、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、埋設施設の下層への浸透を防ぐ設計としている。
- スウェーデンの VLLW 処分場は、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。なお、オスカーシャム処分場は岩盤が浅いため、トレンチ底部にコンクリート底盤を設置する盛土型処分施設である。埋設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、最上部には砂質モレーン層を設ける。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、埋設施設の下層への浸透を防ぐ設計としている。

・ アメリカのクライブ処分場は、ウラン及びトリウム鉱さい、ウラン廃棄物を取り扱っていることもあり、覆土の最下層には厚さ約 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）のラドンの放出率の基準（0.74 Bq／m^2／s を超えないこと）に従うために設置されたものである。最終覆土の最上面には、覆土の侵食を防止するために直径 3.2 cm 以上の小石を高さ約 46 cm になるように設置している。最終覆土の上面の勾配は 4 %、側面の法面勾配は約 5：1 に施工される。また、底部にはボトムライナーとして約 0.6 m の厚さの低密度粘土層（透水係数：1.0×10^{-8} m／s）が設置されている。

表 4.(3)-1　諸外国における VLLW 処分場の比較（１／２）

		エルカブリル（スペイン）	モルヴィリエ（フランス）
実施主体		放射性廃棄物管理公社（ENRESA）［国営］	放射性廃棄物管理機関（ANDRA）［国営］
操業開始		2008 年 10 月［VLLW 専用施設］	2003 年
受入対象廃棄物			
	放射能レベル	・VLLW（金属、がれき等） ・放射能濃度：1 Bq／g～10 Bq／g　・総放射能量：2.8×10^{12} Bq	・VLLW（金属、がれき、土壌、プラスチック等） ・放射能濃度：10 Bq／g 以下　・総放射能量：1.0×10^{13} Bq
	発生元	国内原子力発電所、原子燃料施設、研究機関及び医療機関等	国内原子力発電所、研究機関、医療機関及び工業施設等
	荷　姿	200ℓ ドラム缶、フレコン、$1.3m^3$ 金属容器	ドラム缶、コンテナ、フレコン、大型機器一体
処分施設構造			
	処分場型式	掘下げ＋盛土型	掘下げ＋盛土型
	覆土	・覆土：廃棄物を定置した後、廃棄物は土壌層（⑥）及び粘土層（⑤）で覆われ、その上部に HDPE 層（④）と砕石の排水層（③）及び現地圧縮土壌（②）から成り立つキャップ部のバリアが設けられ、最上部は表面土壌層（①）で覆われる。 キャップ：① 表面土壌層／② 現地土壌／③ 砕石層（砕石による排水層）／④ HDPE 層（高密度ポリエチレンによる不透水層）／⑤ 粘土層（不透水層） ⑥ 現地圧縮土壌 	・覆土：廃棄物を平均約 10 層定置した後、廃棄物の周囲の空隙を砂（⑦）で充填し、廃棄物上部に同様の厚さ 2 mm の HDPE（⑥上部ジオメンブレン）を取り付け、下部ジオメンブレン（⑩）に熱溶接し防水バリアを形成する。ジオメンブレンは完全防水性で、数 10 年間放射能の拡散及び外部水（雨、湿潤）の浸水を防ぐよう設計されている。ジオメンブレン外周の”粘土質の被覆（④）”は、浸透率 10^{-9} m／s 以下の非常に低い浸透性のものである。また、その上部の”粘土層埋戻材（③）”は、処分セル掘削に伴い除去した粘土層で、最初の浸透率を回復させるために、厚さ 1 m～5 m の層を機械的に成形して圧縮した層である。この”粘土層埋戻材”が、”ジオメンブレン”及び”粘土質の被覆”等で構成された閉じ込め機能を、風化（霜、風）、動物及び侵食から守る役割を果たしている。最後に、厚さ約 30 cm の植生された表層土（①）で覆う。 

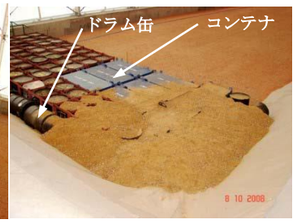
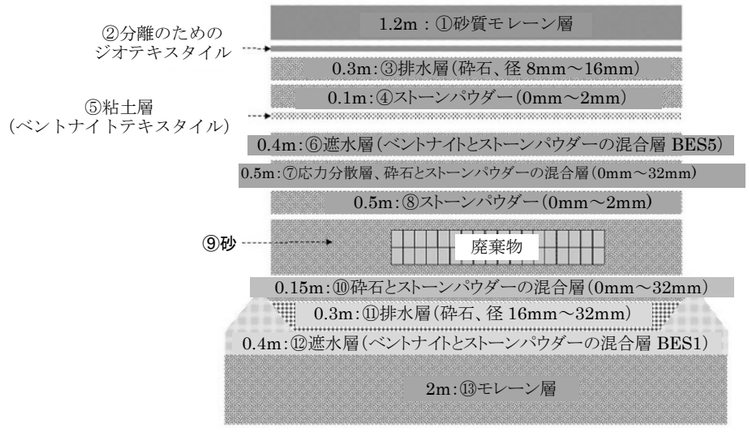
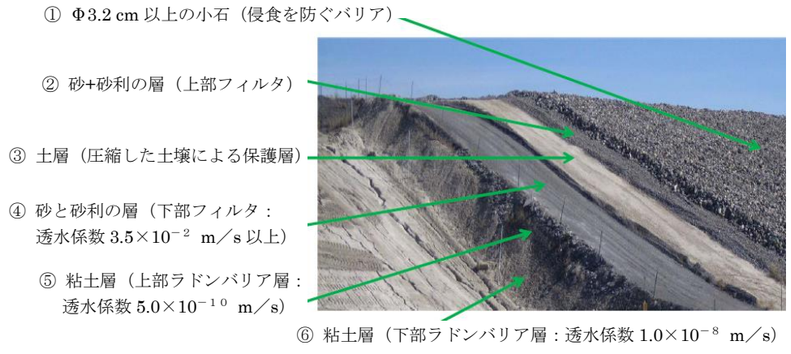
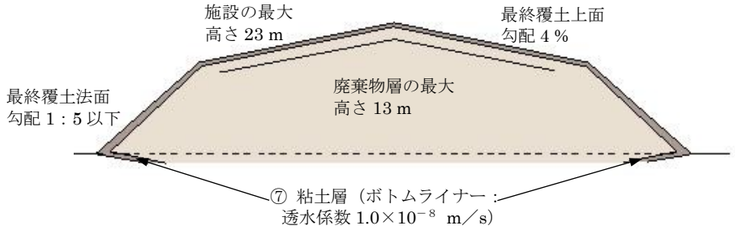
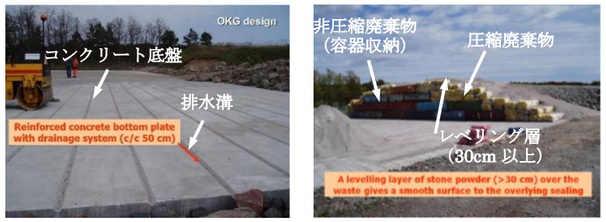
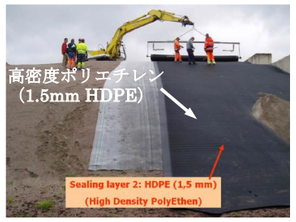
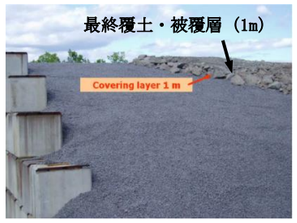
	エルカブリル（スペイン）	モルヴィリエ（フランス）
底部	・底部：処分セル底部のバリアは、地下排水のための砕石層（⑰）、不透水層として 1 m 厚さの粘土層（⑯）、ナトリウムベントナイトで埋め戻されたポリエチレン製ジオメンブレン層（⑮）、高密度ポリエチレン層（⑭HDPE）、浸出水回収パイプが張り巡らされた砕石層（⑫）から構成される。また、さらにその上部に予備の中間バリアで構成されている。各層の詳細は以下のとおり。 中間バリア ⑦ ジオテキスタイル（濾過層） ⑧ 砕石層（浸出水排水配管含む排水層） ⑨ ジオテキスタイル（濾過層） ⑩ HDPE 層（高密度ポリエチレンによる不透水層） 下部バリア ⑪ ジオテキスタイル（濾過層） ⑫ 砕石層（浸出水排水配管含む排水層） ⑬ ジオテキスタイル（濾過層） ⑭ HDPE 層（高密度ポリエチレンによる不透水層） ⑮ ベントナイトフィルム（ナトリウムベントナイトによる不透水層） ⑯ 粘土層（厚さ 1 m の粘土による不透水層） ⑰ 砕石層（排水層）	・底部：厚さ 15 m～25 m の低透水性の粘土層（⑫）の地盤に設置され、粘土層を深さ約 8m 掘削する。粘土層の透水係数は非常に低く、10^{-9} m／s 以下である。廃棄物を定置する前に、厚さ 2 mm の高密度ポリエチレン（HDPE）を処分セル底部（⑩下部ジオメンブレン）及び側部に取り付ける。下部ジオメンブレンの上（廃棄物側）に敷砕石（⑧）及び排水管（⑨）による集水機能を設けている。
		
設計の考え方	VLLW 処分場は既設の LILW 処分場と同じ基本的に安全基準を満たすが、設計は、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いる。処分施設の具体的な設計は、「有害廃棄物の排除に関する欧州指令（European Directive for elimination of dangerous waste）」とスペインの法律に基づき作成された「極低レベル放射性廃棄物貯蔵のための施設の基準」に基づいている。	トレンチ設計の基本原則は、非放射性の有害廃棄物処分施設に関する管理規則を遵守することになっている。この原則を適用することにより、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。
設計の考え方	VLLW 処分場は既設の LILW 処分場と同じ基本的に安全基準を満たすが、設計は、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いる。処分施設の具体的な設計は、「有害廃棄物の排除に関する欧州指令（European Directive for elimination of dangerous waste）」とスペインの法律に基づき作成された「極低レベル放射性廃棄物貯蔵のための施設の基準」に基づいている。	トレンチ設計の基本原則は、非放射性の有害廃棄物処分施設に関する管理規則を遵守することになっている。この原則を適用することにより、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。
地下水位	廃棄物底面より下部	廃棄物底面より下部
雨水浸入防止	膜構造テント	膜構造テント

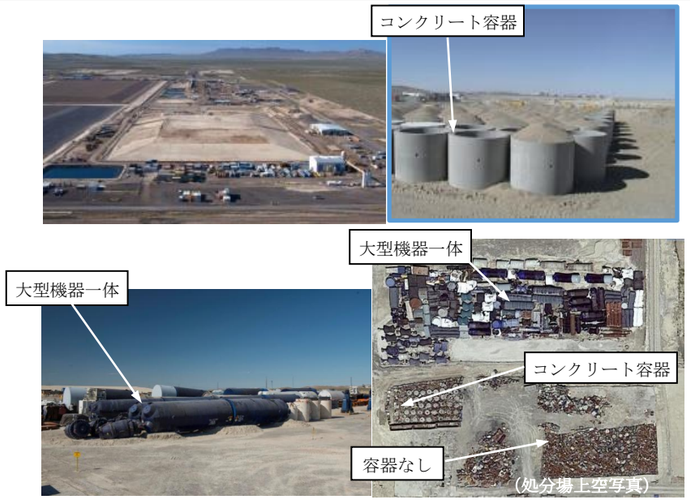
表 4.(3)-1　諸外国における VLLW 処分場の比較（２／２）

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>フォルスマルク（スウェーデン）</th><th>クライブ（アメリカ）</th></tr>
<tr><td colspan="2">実施主体</td><td>フォルスマルク発電会社（FKA）</td><td>エナジーソリューションズ</td></tr>
<tr><td colspan="2">操業開始</td><td>1989 年</td><td>1998 年（VLLW 受入許可取得）</td></tr>
<tr><td colspan="2">受入対象廃棄物</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>放射能レベル</td><td></td><td>・VLLW（金属、樹脂、防護服、紙、プラスチック等）
・放射能濃度：数 10 Bq／g 以下　・総放射能量：2.0×10^{11} Bq</td><td>・VLLW（放射性機器、大型機器、鉛、フィルタ、樹脂、コンクリート、土壌、がれき、スラッジ、防護服、液体廃棄物、水銀、混合廃棄物、PCB、ウラン鉱さい、ウラン廃棄物等）
・総放射能量：7.4×10^{14} Bq</td></tr>
<tr><td>発生元</td><td></td><td>フォルスマルク原子力発電所</td><td>国内原子力発電所、原子燃料施設、研究機関及び医療機関、軍事施設等</td></tr>
<tr><td>荷　姿</td><td></td><td>ドラム缶（イオン交換樹脂）、コンクリート容器／ISO コンテナ（金属／使用済部品）、ストレッチフィルム梱包（圧縮廃棄物）</td><td>容器なし、大型機器一体、コンクリート容器</td></tr>
<tr><td colspan="2">処分施設構造</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>処分場型式</td><td></td><td>盛土型</td><td>掘下げ＋盛土型</td></tr>
<tr><td>覆土</td><td></td><td>・覆土：法令要求としては、覆土の透水係数が 10^{-10} m／s 以下、あるいは浸透量が 5　ℓ／m^2／y が示されている。これはかなり低い透水係数であり、高密度ポリエチレンシート（HDPE）などで完全に覆うことが必要とされている。覆土構造は以下のとおり。
廃棄物を砂（⑨）で埋めた後、その上部にならし層として厚さ 0.5 m のストーンパウダー（⑧粒径 0 mm～2 mm）、応力分散のために厚さ 0.5 m の砕石とストーンパウダーの混合層（⑦粒径 0 mm～32 mm）を設けている。排水層（③）は粒径 8 mm～16 mm の砕石層であり、遮水層はベントナイトテキスタイル（⑤）及びベントナイトとストーンパウダーの混合層（⑥）の 2 種類が組み合わされている。最上部の砂質モレーン層（①）は、機械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働きを有する。また、浸食の観点から、粘土分が 10%未満であるという利点を有する。
 
</td><td>・覆土：覆土の最下層には厚さ 2 フィート（約 0.6 m）の低密度粘土層（透水係数：5.0×10^{-10} m／s 及び 1.0×10^{-8} m／s）であるラドンバリア層を設けている（⑤,⑥）。これは、Environmental Protection Agency（米国環境保護庁）のラドンの放出率の基準（0.74 Bq／m^2／s 以下）に従うために設置されたものである。ラドンバリア層の上部には、砂及び砂利で構成された 2 層のフィルタ層と、その間に設置する保護層が設置されている（②～④）。最終覆土の最上面には、覆土の侵食を防止するために直径 3.2 cm 以上の小石を高さ約 46 cm になるように設置している（①）。最終覆土の上面の勾配は 4 %、側面の法面勾配は約 5：1 に施工される。
 
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>フォルスマルク（スウェーデン）</th><th>クライブ（アメリカ）</th></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td>底部</td><td>・底部：底部の排水層は厚さ 0.3 m の砕石層（⑪粒径 8 mm～16 mm）で、その上部には排水層の保護のため厚さ 0.15 m の砕石とストーンパウダーの混合層（⑩粒径 0 mm～32 mm）を設けている。なお、砕石層の透水係数は 10^{-2} m／s、砕石とストーンパウダーの混合層の透水係数は 10^{-5} m／s である。
遮水層は厚さ 0.4 m のベントナイトとストーンパウダーの混合層（⑫）であり、覆土に比べるとやや簡略化した構造となっている。なお、遮水層などの透水性は、アイソトープメーター（Troxler など）を用いて締固め度で管理される。</td><td>・底部：各セルの基礎は既存の地上レベルより下に設置され、その位置は地下水面の約 4.6 m～約 6.1 m 上部である。基礎は標準的な管理で少なくとも 95 %に締め固めた現地の粘土又は砂で構成されている。埋設施設底部には、ボトムライナーとして約 0.6 m の厚さの低密度粘土層（⑦透水係数：1.0×10^{-8} m／s）が設置されている。
 
</td></tr>
<tr><td>写真</td><td> 





オスカーシャムの例（オスカーシャムは岩盤が浅いため、トレンチ底部にコンクリート底盤を設置する構造である。）</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>設計の考え方</td><td>放射性廃棄物の管理及び処分については、主に原子力活動法（SFS 1984：3）及び令（SFS 1984：14）、並びに放射線防護法（SFS 1988：220）及び令（SFS 1988：293）の規定によって規制されている。</td><td>クライブ処分場ではウラン及びトリウム鉱さい、ウラン廃棄物を取り扱っていることもあり、覆土の最下層には厚さ約 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）のラドンの放出率の基準（0.74 Bq／m^2／s を超えないこと）に従うために設置されたものである。</td></tr>
<tr><td colspan="2">地下水位</td><td>廃棄物底面より下部</td><td>廃棄物底面より下部（約 4.6 m～約 6.1 m 下方）</td></tr>
<tr><td colspan="2">雨水浸入防止</td><td>なし</td><td>なし</td></tr>
</table>

（４） L3 廃棄物の埋設処分概念に関する予備的検討

「２．諸外国における L3 廃棄物を取り扱う処分場に関する調査」においては、諸外国における L3 廃棄物処分場の取扱う廃棄物の性状、施設構造、及び施設設計の考え方等に関する既存情報を調査・整理した。

一方、「３．類型化された地形・地質環境条件に応じた L3 廃棄物埋設施設概念検討（設計概念）」においては、それらの結果等を踏まえ、以下の観点より L3 廃棄物の埋設処分概念に関する予備的検討を行った。

L3 廃棄物は基本的に各サイト内で保管・管理の後、個別に処分が検討されることになっており、処分場に関してはオンサイトあるいは別のサイトとするかは発電所ごとの事情に応じて決められることになる。処分場の立地場所は、地形、地質・地盤、地下水等様々な条件が想定されることから、想定されるサイト条件を類型化して、それらに応じた処分施設形態や技術的な考慮事項等に関して予備的検討を行った結果をとりまとめた。

主な検討の成果は以下のようにまとめられる。

① 考慮すべき L3 廃棄物埋設施設の立地地形パターンの抽出

これまでの国内 L3 廃棄物埋設施設の実績又は検討例では平地が主であるが、海外では平地の他、丘陵地斜面でも設置実績があり、国土が狭い我が国においては、今後平地以外での設置についても考慮することが必要と考えられる。これらを踏まえて、今後検討対象として考慮すべき L3 廃棄物埋設施設の立地地形パターンとして平地、丘陵地斜面、沢地形、急峻地形を抽出・類型化した（図 1.(2)-1 参照）。

i. 地形に応じた L3 廃棄物埋設施設構造の抽出

上述のように抽出した地形分類に適した L3 廃棄物埋設施設の施設構造として、掘下型埋設施設、盛土型埋設施設、半地下式盛土型埋設施設、あるいは急峻地形ではトンネル型埋設施設の可能性も提案した（図 1.(2)-2 参照）。

ii. L3 廃棄物埋設施設の設計に必要な対策

L3 廃棄物埋設施設の設計にあたっては、現行の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の他、改正許可基準規則・解釈の骨子案を参考に、必要な対策とその設計事項を以下のとおり抽出・整理した。

a. 雨水・浸出水対策⇒バリア（遮水工）

(a) 雨水浸入抑制対策

廃棄物埋設施設への雨水の浸透水量を低減する対策を考慮した設計とする。

(b) 浸出抑制対策

廃棄物埋設施設底部からの地下水浸出防止、及び廃棄物埋設施設からの浸出水の抑制対策を考慮した設計とする。なお、b.の自然現象対策のうち、台風、降水、積雪等が発生した場合における排水対策も、浸出抑制対策に含む。

b. 自然現象対策⇒バリア（鉛直遮水工）、法面保護、キャッピング、排水

(a) 飛砂対策

台風又は竜巻が発生した場合における、飛砂防止対策を考慮した埋設施設を設計する。

(b) 法面崩落・流出対策

地震、洪水、台風及び竜巻が発生した場合における法面崩落対策を考慮した埋設施設を設計する。

(c) 側部流入対策

洪水、台風、降水及び積雪が発生した場合における、埋設施設側部への流入対策を考慮した埋設施設を設計する。

(d) 排水対策

台風、降水、積雪等が発生した場合における、排水対策を考慮した埋設施設を設計する。

（注）埋設施設の設計に当たっては、廃棄物埋設施設底部と地下水位の位置関係によって、雨水・地下水対策など必要な対策が異なる

一方、上記の ii で抽出した地形に応じた L3 廃棄物埋設施設構造に対する設計に必要な対策に関して整理・とりまとめを行った。(表 1.(2)-1 参照)

iii. 地形形状に適した L3 廃棄物埋設施設構造の検討項目

上述のように抽出したそれぞれの地形形状に適した埋設施設構造に係る設計概念の検討に必要な対策として、雨水・地下水対策に加え、許可基準規則・解釈で要求されている自然現象からの衝撃による損傷対策について、表 1.(2)-1 に示すような検討項目に整理した。これらの対策については、産業廃棄物処分場や海外の VLLW 処分場で適用されている既存の土木技術を参考に検討する必要がある。

以上、これらの研究成果は、今後の事業主体等による L3 廃棄物埋設処分施設構造の設計概念の検討などに資することができれば幸いである。

5 おわりに

本報告書は、日本における原子力発電所の廃止措置の進展を踏まえ、今後廃止措置に伴って発生量の増加が予想される放射性廃棄物の中で大部分を占める、低レベル放射性廃棄物の中でも最も放射能レベルの低い L3 廃棄物を概ね地表から 10m程度までの深さに掘り込んだ地中に埋設処分する方法について、調査検討した結果を取りまとめたものである。

第２章では本報告書で対象としている L3 廃棄物を実際に取り扱い運用されて来ている、5 カ国における処分場の設計・施工・運用や安全管理などの実績に関する文献調査の結果をとりまとめた。

また、第３章では、L3 廃棄物の国内での埋設処分方法について概念検討を行った成果を取りまとめた。日本では、地形、地質、地下水等の環境条件の特性に応じて、基準・規則等における安全規制要件を十分に満足する設計や安全評価結果を示す必要がある。そこで、検討にあたっては、最近 5 年前後ぐらいの間に改定されてきた日本の第二種廃棄物埋設（低レベル放射性廃棄物処分）に関する主な規制要求事項への対応を考慮すると共に、日本において L3 廃棄物埋設処分場のサイトとなる可能性のある地域の地形・地質・岩盤等の環境条件を 4 種類（平地型、丘陵地斜面型、沢地形型、急峻地形型）に分類・設定し、それぞれ実現可能性のある設計概念等の技術検討を行い、比較・検討した結果を取りまとめた。

今後の L3 廃棄物の安全かつ合理的な処分事業の円滑な推進に向けて、より安全性とロバスト性の高い合理的な埋設処分施設の概念を、今後の候補となるサイトの地形・地質環境に応じて、安全かつ合理的な埋設処分施設を実現するために行う様々な検討等に際して何らかの参考になれば幸いである。