

平成30年度 重点研究課題

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

概要報告（説明資料）

2020年11月24日

【注】本説明資料は2019年度土木学会全国大会における研究討論会「福島第一原発廃炉
および原子力発電所等廃止措置に向けての放射性廃棄物処理処分等の技術方策に
ついて」【研05】(2019.9.3)において発表された資料を再掲したものです。

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放射性廃棄物処分施設検討）

2019年土木学会全国大会
第74回年次学術講演会 研究討論会

**福島第一原発廃炉および原子力発電所等廃止措置に向けての
放射性廃棄物処理処分等の技術方策について**

**土木学会における極低レベル放射性廃棄物(L3)処分に関する
調査研究概要報告**

2019年 9月3日

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)主査 莊込敏

1. L3処分施設検討分科会 の活動概要

極低レベル放射性廃棄物(L3)埋設とは

- ・原子力発電所の運転や廃止措置に伴い発生する低レベル放射性廃棄物は、その放射能濃度に応じて3分類され、最も放射能濃度が低いものがL3廃棄物。
- ・低レベル放射性廃棄物は、埋設後、放射能の減衰を待つ間、跡地を管理:L3の場合は30-50年間。その後は、放射性物質としての管理不要に。
- ・旧原研JPRDの解体コンクリート廃棄物を、敷地内に埋設した実績があり、日本原子力発電東海発電所内にも設置すべく、現在、事業許可申請、審査中。
- ・廃止措置に伴い短時間に、比較的多量に発生することから、敷地内における埋設も選択肢の一つ。立地条件が多様化。
- ・新しい規制基準類の整備が進められており、対応が必要(規則の改正案に対する意見募集が完了)。

検討概要

① 新規制基準等への対応に関する既存情報の調査・整理

(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(完了)

- ・諸外国のL3埋設施設の構造等を把握し、②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

- ・規制・基準の要求事項及び東海L3の審査指摘事項を整理し、②の課題抽出に資する。
- ・埋設規制基準等の改正※の動向を踏まえた、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。

※:現在、原子力規制委員会の「廃棄物埋設の放射線防護基準に関する検討チーム」では、L1埋設に係る許可基準規則・解釈の制定及び第二種事業規則の改正について検討しており、それを踏まえたL2/L3に係る規制基準等の改正案についても示している。

② 類型化された処分サイト条件に応じたL3埋設施設形態と新規制基準対応のための課題抽出及び対応策検討

1) 類型化された地形・地質環境条件に応じた埋設施設概念の検討(検討中)

- ・様々な地形・地質環境を想定したL3埋設施設概念について、既往の報告書を参考に検討する(構造、施工方法等)。

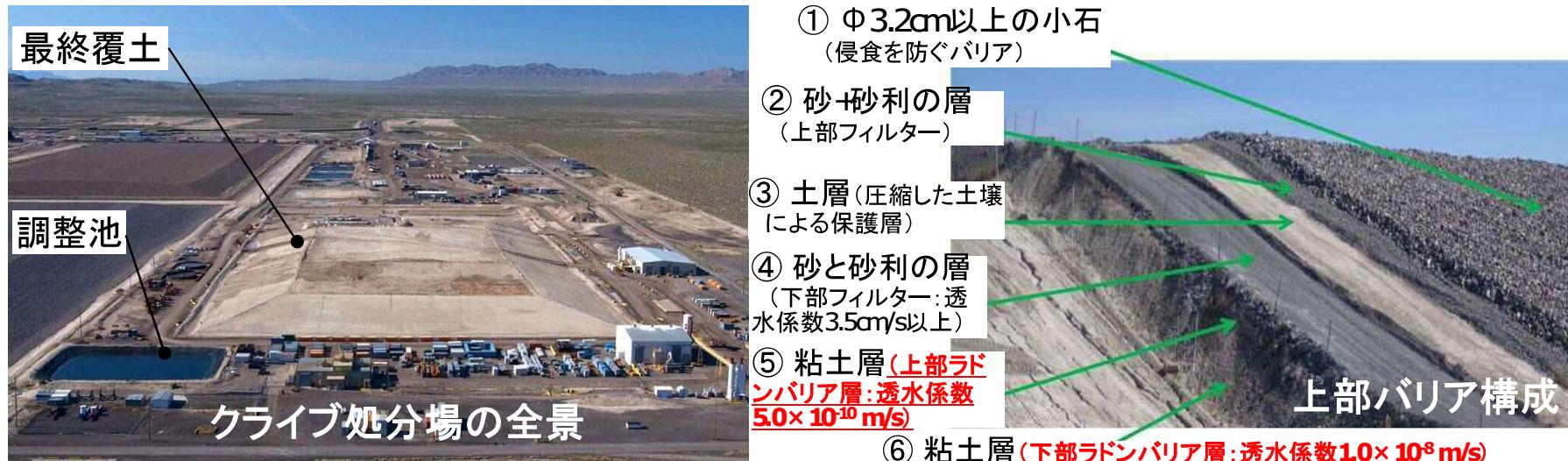
2) 各埋設施設概念に関して、新規制基準への対応のための課題抽出、それへの対応策検討(検討中)

- ・様々な埋設施設概念に関して、新規制基準への対応のための課題を抽出する。(検討例はP5参照)
- ・上記課題に対する対応策について検討を行う(構造、施工方法等)。

2. 新規制基準等への対応 に関する既存情報の調査・整理

(諸外国における取組状況の調査・整理)

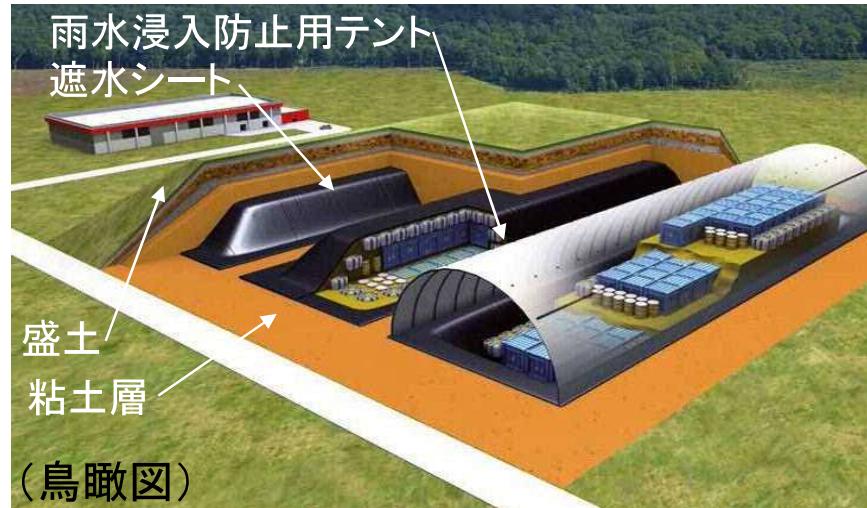
クライブ処分場(アメリカ)の概要



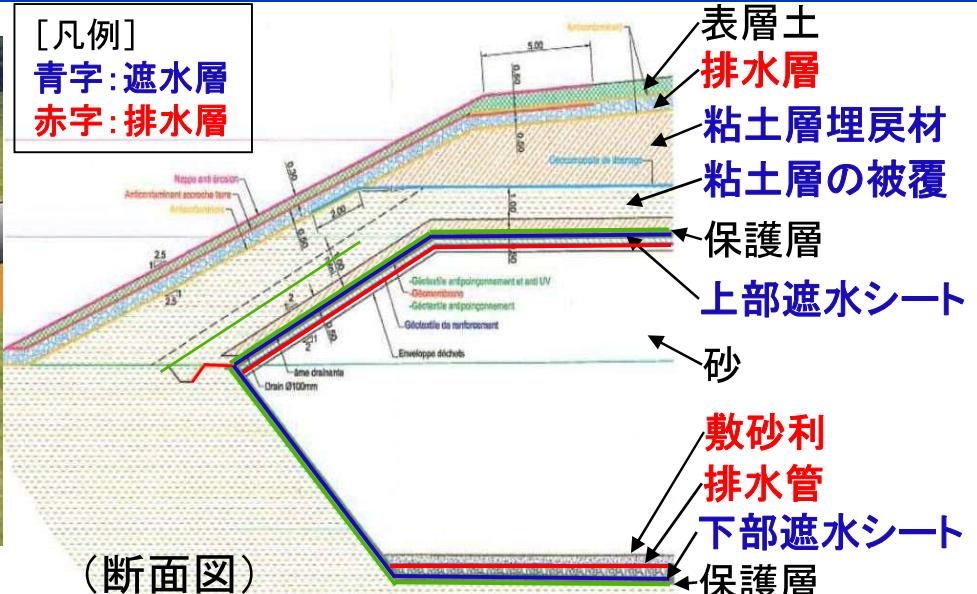
| | | |
|-------|-------|--|
| | 施設タイプ | 平地における半地下式盛土型埋設施設 |
| 設置環境 | 地下水 | <ul style="list-style-type: none"> 埋設施設底部から約15~20フィート(約4.6~6.1m)下方 塩分濃度が高いため品質が悪く、総溶解固形分(TDS: Total Dissolved Solids)の含有量が高いため、人間への用途には適していない。 |
| 受入廃棄物 | クラス | Class A廃棄物(L3相当の金属、コンクリート、 <u>使用済樹脂、鉛、液体廃棄物、廃化学物質、水銀、ウラン廃棄物</u> 等) |
| | 発生場所 | 原子力発電所、病院・研究施設、ウラン製錬施設、軍事施設等(<u>集中処分</u>) |
| 規制要求 | 規制要求 | <u>ラドン放出率基準</u> ($20\text{pCi/m}^2/\text{s} = 0.74\text{Bq/m}^2/\text{s}$ を超えないこと) |
| | バリア | 上部バリア及び底部バリアの最下層に <u>低密度粘土層</u> (透水係数: <u>$5.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$及び$1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$</u>) |

(出典)エナジーソリューション社HP, “北米地域のウラン廃棄物処分に関する調査” JAEA, “Licensing and Operation of the Clive, Utah Low-level Containerized Radioactive Waste Disposal Facility – A Continuation of Excellence” を参考に作成

モルヴィリエ処分場(フランス)の概要



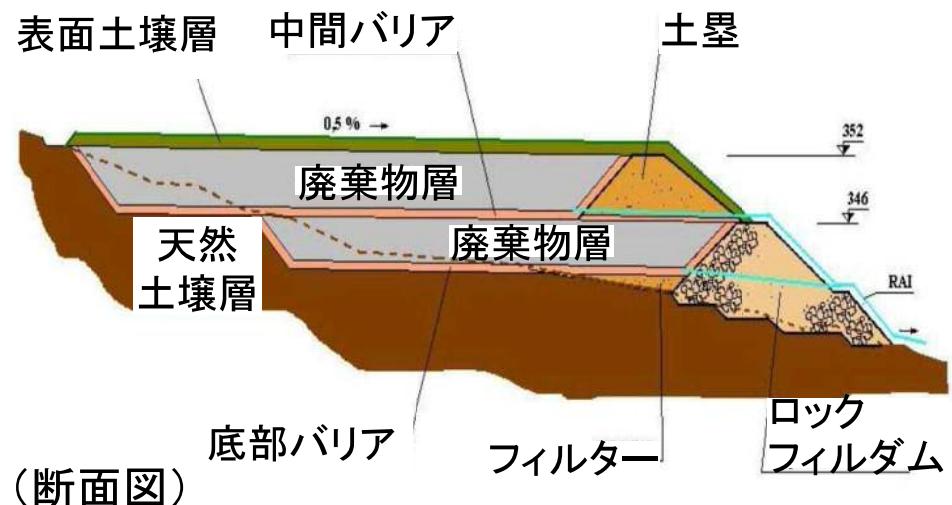
[凡例]
青字:遮水層
赤字:排水層



| | | |
|-----------|-------|--|
| 設置環境 | 施設タイプ | 平地における半地下式盛土型埋設施設 |
| 受入 廃棄物 | クラス | VLLW(L3相当の金属、コンクリート、 <u>汚泥(固化後)</u> 、 <u>プラスチック(圧縮後)</u> 等) |
| | 発生場所 | 原子力発電所、病院・研究施設、その他原子力施設等(<u>集中処分</u>) |
| 規制要求 | 規制要求 | <u>非放射性の有害廃棄物処分施設に関する管理規則</u> |
| | バリア | <ul style="list-style-type: none"> 厚さ15m~25mの<u>低透水性の粘土層の地盤</u>に設置、粘土層を深さ約8m掘削する。 廃棄物周辺には<u>高密度ポリエチレン(HDPE)</u>製の遮水シートを設置。 ジオメンブレンは<u>完全防水性</u>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。 |

(出典)“RANDECニュース 2016 No.102”, “The surface disposal concept for VLL waste”ANDRA, “欧洲地域のウラン廃棄物処分に関する調査” JAEA, “L3廃棄物施設に関する予備的検討(平成22年度)”日本原子力発電株を参考に作成

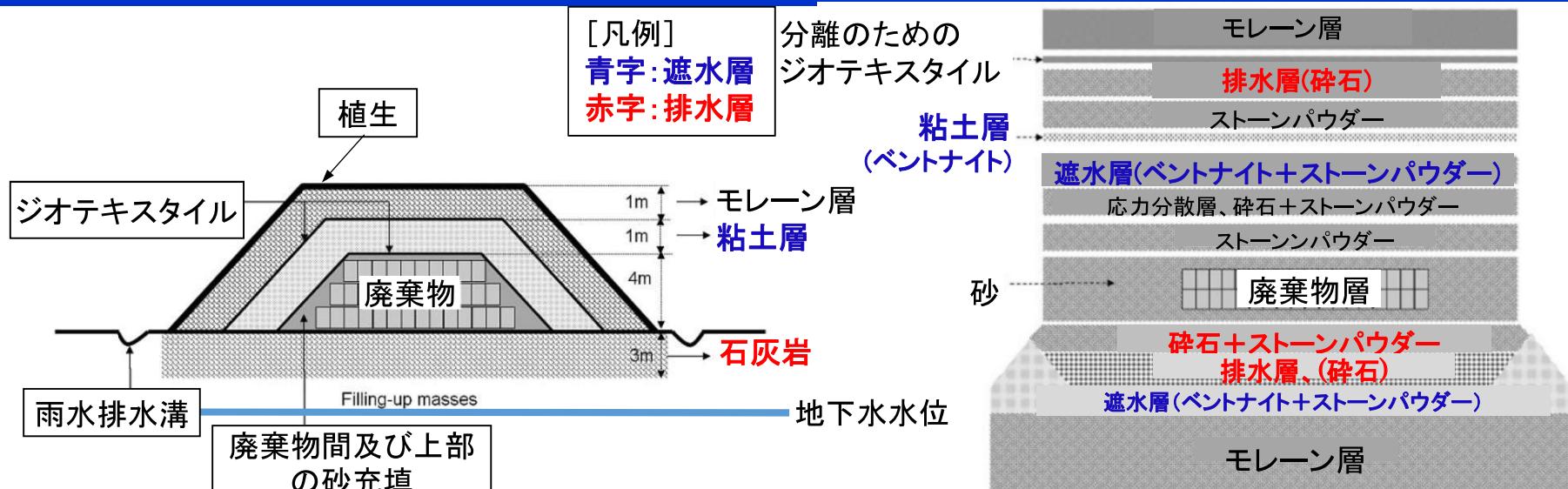
エルカブリル処分場(スペイン)の概要



| | | |
|-----------|-------|--|
| 設置環境 | 施設タイプ | 丘陵地における半地下式盛土型埋設施設 |
| 受入 廃棄物 | クラス | VLLW(L3相当の金属、コンクリート、 <u>圧縮廃棄物</u> 等) |
| 発生場所 | | 原子力発電所、病院・研究施設、原子燃料施設等(<u>集中処分</u>) |
| 規制要求 | 規制要求 | <ul style="list-style-type: none"> 有害廃棄物の排除に関する欧州指令 極低レベル放射性廃棄物貯蔵のための施設の基準 |
| | バリア | <ul style="list-style-type: none"> 天然土壤層の上部に底部バリアを設置する。 廃棄物を定置した後、廃棄物を土壤層で覆い、その上部に<u>HDPE層</u>と碎石排水層及び現地土壤から成り立つキャップ部のバリアが設けられ、最上部は表面土壤層で覆う。 |

(出典)ENRESA HP, "Very Low Activity Waste Disposal Facility Recently Commissioned as an Extension of the Cabril LLLW Disposal Facility in Spain - 9014", "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" JAEA等を参考に作成

フォルスマルク処分場(スウェーデン)の概要

|  <p>[凡例] 青字:遮水層 赤字:排水層</p> | | 分離のためのジオテキスタイル |
|--|---|---|
| ジオテキスタイル | モレーン層 排水層(碎石) ストーンパウダー | 粘土層(ベントナイト) |
| 雨水排水溝 | 遮水層(ベントナイト+ストーンパウダー) 応力分散層、碎石+ストーンパウダー ストーンパウダー | 砂 |
| 廃棄物間及び上部の砂充填 | 廃棄物層 碎石+ストーンパウダー 排水層、(碎石) | モレーン層 |
| 設置環境 | 施設タイプ | 平地における <u>盛土型埋設施設</u> |
| 受入廃棄物 | クラス | VLLW(L3相当の金属、コンクリート、 <u>イオン交換樹脂、可燃物、プラスチック(圧縮処理後)</u> 等) |
| | 発生場所 | フォルスマルク原子力発電所のみ(<u>サイト内処分</u>) |
| 規制要求 | 規制要求 | 主に原子力活動法及び放射線防護法・令 |
| | バリア | <ul style="list-style-type: none"> 覆土はベントナイトライナーを<u>粘土層</u>、モレーン層、碎石及びストーンパウダーで覆う構造 底部の排水層は礫層で、遮水層は<u>ベントナイト混合層</u>であり、覆土に比べるとやや簡略化した構造 |
| スウェーデンの特徴 | <u>発電所ごとに発電所敷地内に処分場設置</u> | |

(出典) "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)", "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" 原電自社研等を参考に作成

3. 類型化された処分サイト条件に 応じたL3埋設施設形態

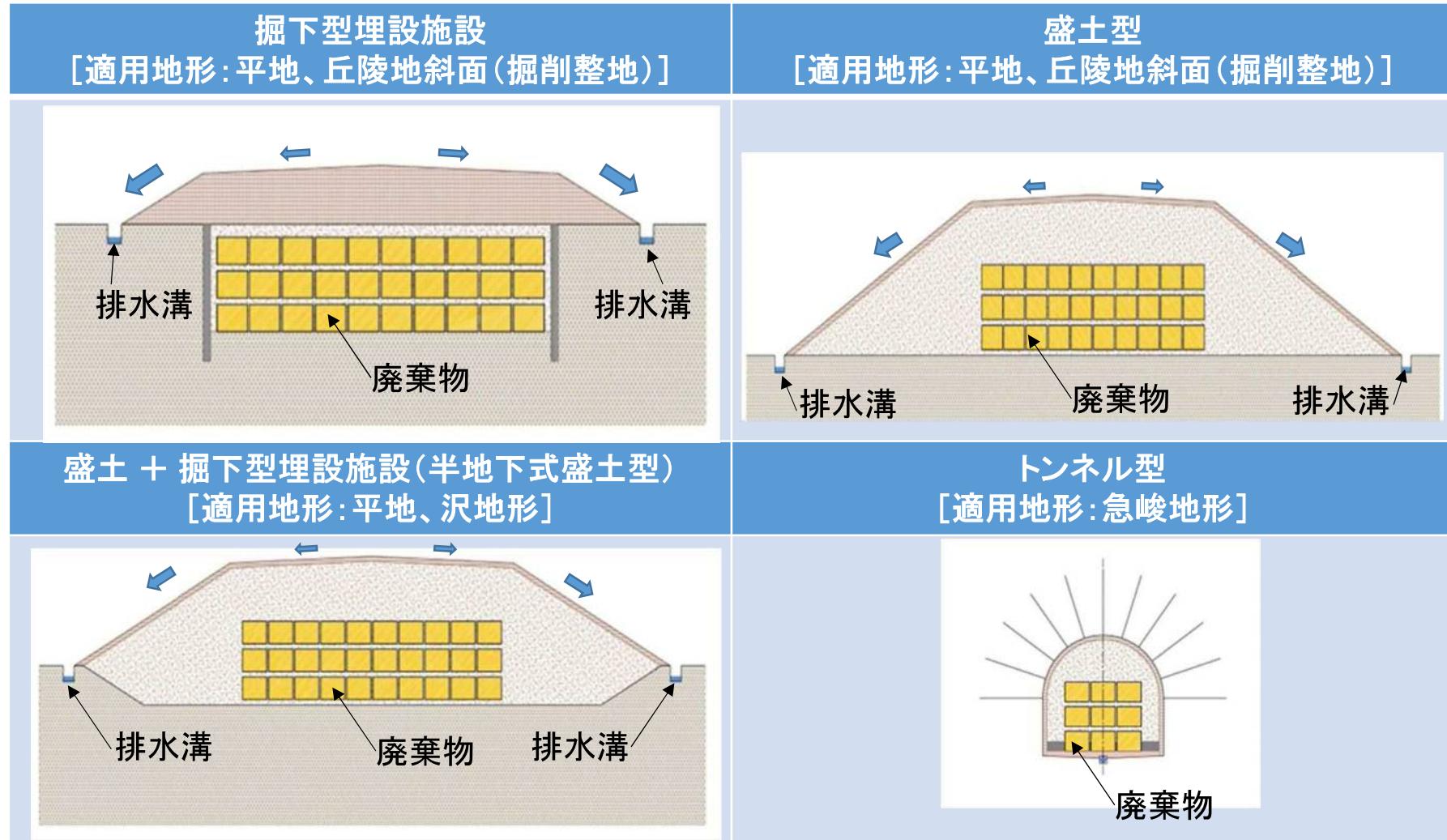
考慮すべき廃設施設の立地地形の抽出

- 国内処分施設の実績又は検討例では、PDR処分場(JAEA)、原電東海処分場共に平地
- 海外では平地の他、丘陵地斜面にも設置実績あり
- 国土の狭い我が国においては、今後は平地以外の設置についても考慮が必要



地形条件に適したL3埋設施設の構造の抽出

想定される地形に応じたL3埋設施設構造を以下のとおり抽出



(出典)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26年3月”を参考に作成

規則・基準の要求事項(L3埋設施設設計)・[1／2]

1. 設置場所の条件

① 地盤(現行許可基準規則・解釈第3条)

- 廃棄物埋設施設を十分支持できる地盤であること
- 地震に伴う地盤の傾斜などの変形により安全性が損なわれないこと
- 断層の活動による地盤の変位が生じないこと

② 地震(現行許可基準規則・解釈第4条)

③ 津波(現行許可基準規則・解釈第5条)

2. 埋設施設の設計条件

① 設計の留意事項([案]改正許可基準規則・解釈第10条 第1項)

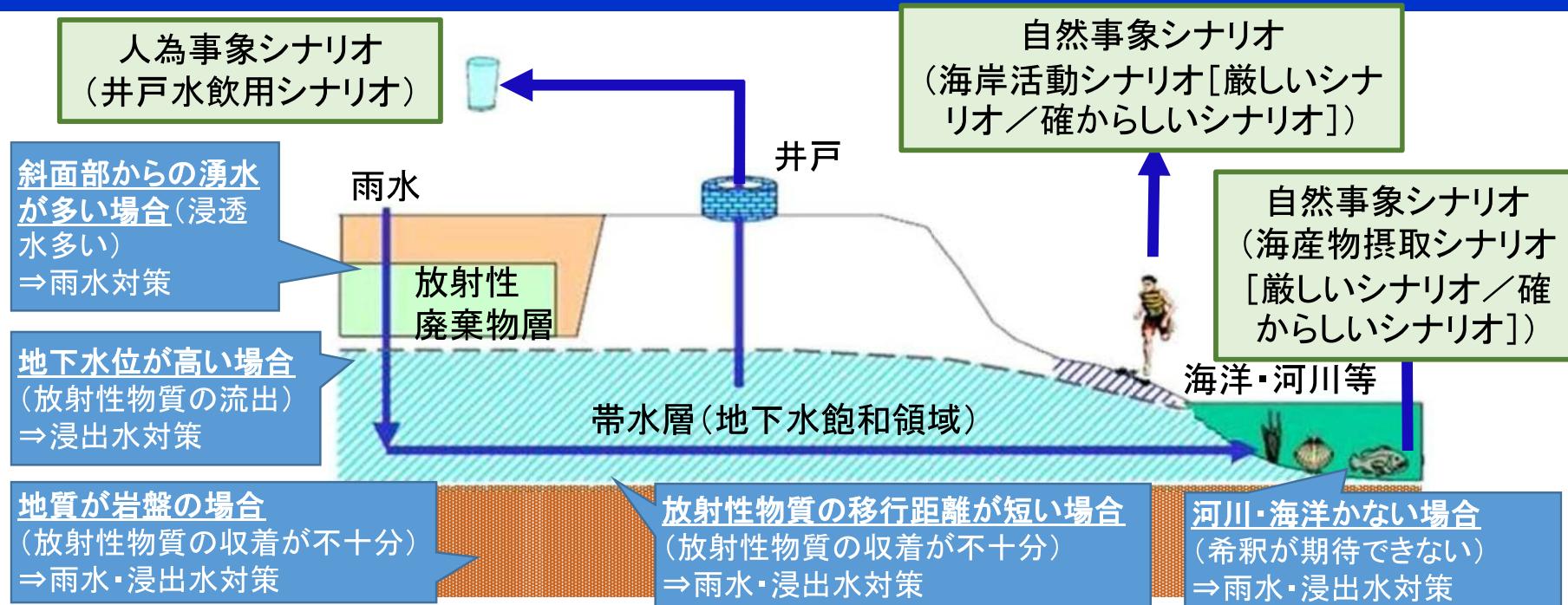
- 一 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。
- 二 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。 ⇒バリア
- 三 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる(安全上支障のない期間内において速やかに修復できることが確実であることを含む。)構成・仕様であること。 ⇒バリア

② 外部からの衝撃による損傷の防止([案]現行許可基準規則・解釈第6条)

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、地滑り、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、安全機能を損なわれないものでなければならない。⇒法面保護、キャッピング等

(参考情報)赤字:解釈の改正案にて変更される箇所

規則・基準の要求事項(L3埋設施設設計・被ばく評価)・[2/2]



L3埋設施設は、埋設した放射性廃棄物に起因して発生すると想定される、放射性物質の環境に及ぼす影響が以下の基準を満たすよう設計することが要求されている。

■ 自然事象シナリオ

- ✓ 確からしいシナリオ (科学的に最も可能性が高いシナリオ) : **10 μ Sv/年**
- ✓ 厳しいシナリオ (科学的に合理的と考えられる範囲で最も厳しいシナリオ) : **300 μ Sv/年**

■ 人為事象シナリオ

- ✓ 掘削抵抗性なし: **300 μ Sv/年**
- ✓ 掘削抵抗性あり: **1mSv/年**

(出展)「ピット処分及びトレンチ処分に係る規則等の改正案及び改正案に対する意見募集の実施について」(第18回原子力規制委員会 2019.7.17 資料2)

様々な環境条件等に応じて、上記基準を満足するよう埋設施設のバリア設計を実施

(参考情報)赤字:解釈の改正案にて変更される箇所

L3埋設施設のバリアに対する要求事項

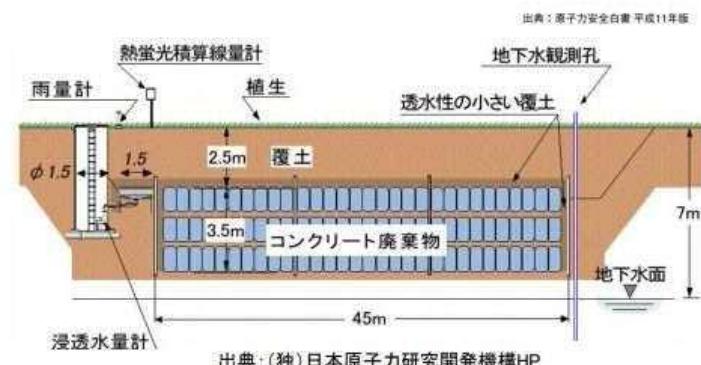
- 現行の規則・基準においてトレンチ処分に人工バリアの要求はない。

原子力規制委員会検討チーム会合においても、トレンチ処分の概念として下図のとおり説明されている。

1-3. 浅地中処分(ピット処分・トレンチ処分)

トレンチ処分

- 容器に固型化しない放射性廃棄物を、
人工バリアを設置しない廃棄物埋設地
に浅地中処分するもの
- 天然バリアによる遮蔽機能・移行抑制
機能を要求



*¹人工バリア：埋設された放射性固体廃棄物から生活環境への放射性物質の漏出の防止及び低減を期待して設置する人工構築物をいう。

*²天然バリア：人工構築物又は埋設された放射性固体廃棄物の周囲に存在し、埋設された放射性固体廃棄物から漏出してきた放射性物質の生活環境への移行の抑制等が期待できるような岩盤又は地盤等をいう。 5

(出典)第1回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム会合 “資料1-1 第二種廃棄物埋設に係る規制制度の概要”

- 規則・基準は人工バリアの使用を妨げていることではない。
- 諸外国のL3処分場では、埋設する廃棄物の性状、地形及び環境に応じて人工バリアを設けている。

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、人工バリアを廃棄物埋設施設に用いることは有効

L3埋設施設の設計に必要な対策

規則・基準の要求事項より、L3埋設施設設計に必要な土木技術に係る対策を以下のとおり抽出

① 雨水・浸出水対策⇒バリア(遮水工)

■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。

■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、②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。

② 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]←今回の報告対象外

■飛来物対策

台風等が発生した場合における、飛来物に対する防御対策又は飛来物を固縛するなどのソフト対策を考慮した設計とする。

■飛砂対策

台風等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。

■法面崩落・流出対策

地震、洪水、台風等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。

■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。

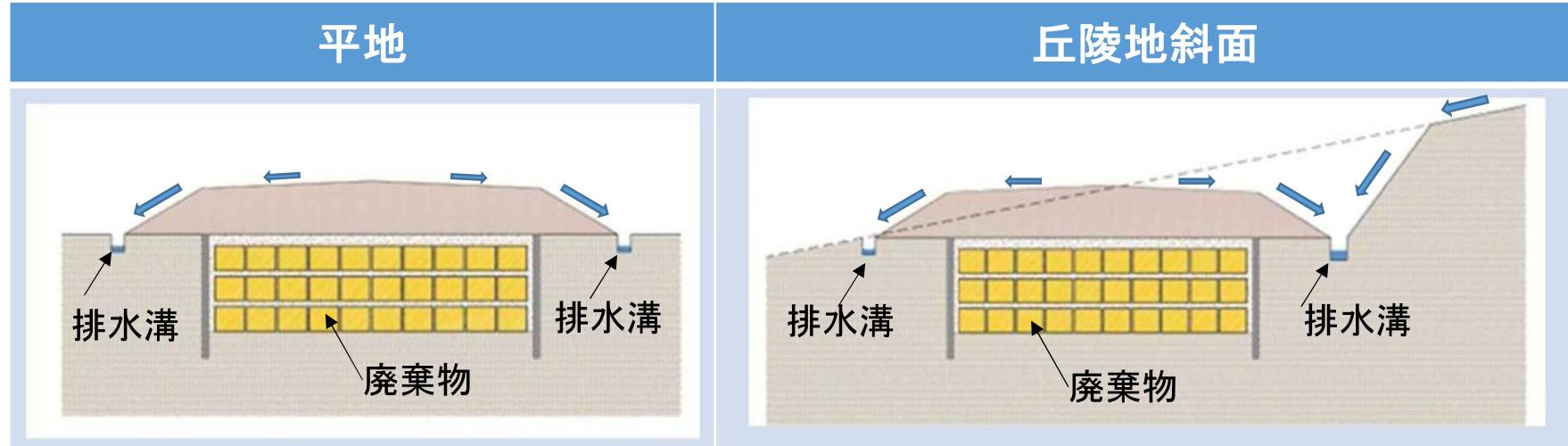
■排水対策

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

① 掘下型埋設施設の構造概念及び設置に適した地形

- 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掘下型埋設施設が採用可能。



(出典)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26年3月”を参考に作成

- 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1)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2)がある。



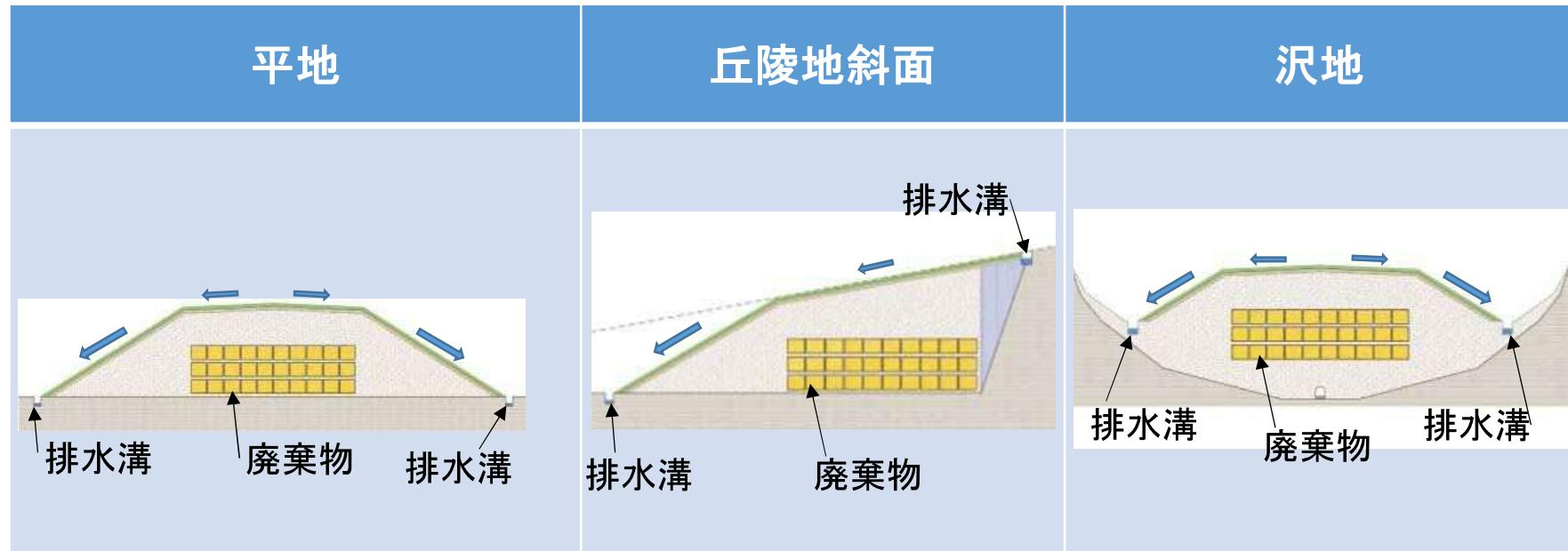
図1 小規模区画タイプ(JPDR処分場・日本)



図2 大規模区画タイプ(モルヴィリエ処分場・仏国)

② 盛土型埋設施設の構造概念及び設置に適した地形

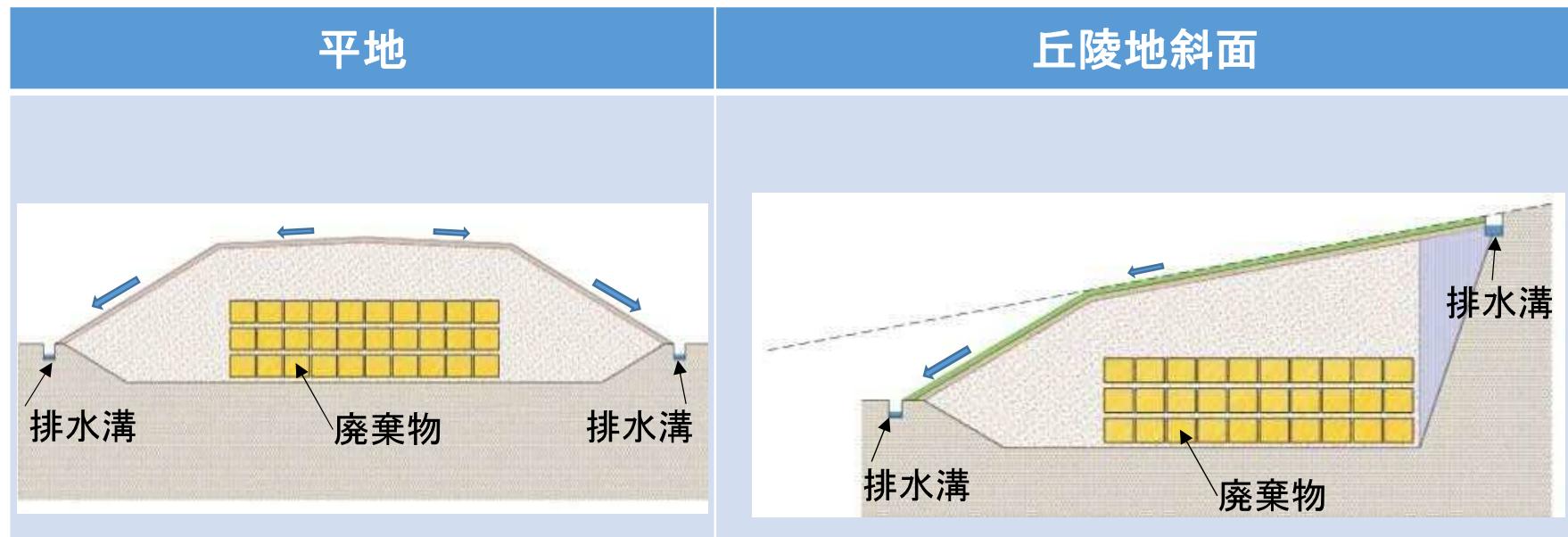
- 盛土型埋設施設は、地表面に直接放射性廃棄物を定置し、盛土することにより、放射性物質の移行抑制機能及び遮蔽機能を確保する構造。
- 地表面に直接放射性廃棄物を設置することから、地下水面が高く、岩盤が浅いなど地表面からの掘削に制限がある地形に適している。
- 盛土することにより、放射性物質の移行抑制機能及び遮蔽機能を確保する構造のため、急峻な地形を除く平地、掘削整地後の丘陵地斜面及び沢地への設置に適している。



(出典)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26年3月”を参考に作成

③ 半地下式盛土型埋設施設の構造概念及び設置に適した地形

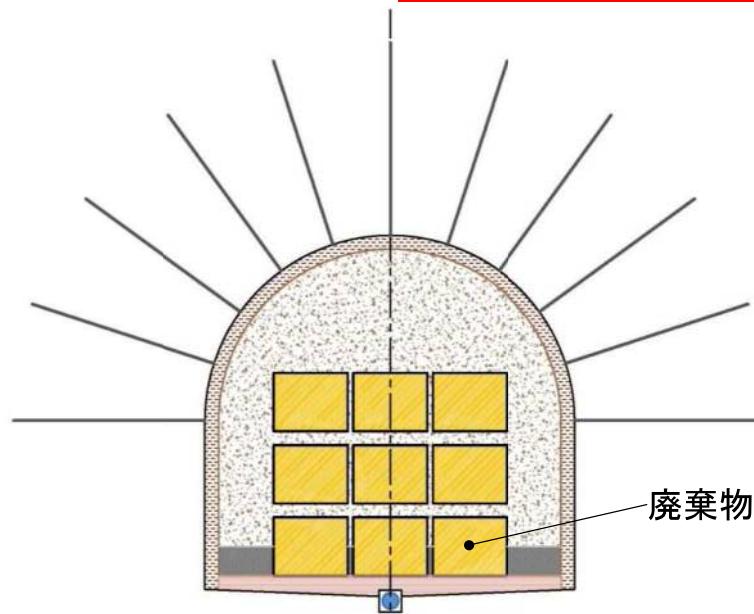
- 地表面を比較的浅く掘削した後、放射性廃棄物を定置し、盛土することにより、放射性物質の移行抑制機能及び遮蔽機能を確保する構造。
- 地表面を浅く掘削して設置すること以外は、盛土式と同様の構造。
- 本構造は地表面からの掘削深さが浅いため、敷地面積が広く確保できる場所であれば、オープンカット工法の採用が可能である。
- 構造の実例としては、平地に設置したフランスのモルヴィリエ処分場、及び斜面を切り拓き整地した場所に設置したスペインのエルカブリル処分場があり、いずれの処分場もオーブンカット工法を採用している。



(出典)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)の処理処方策の検討－ 平成26年3月”を参考に作成

④トンネル型埋設施設の構造概念(例)

- 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し、ポーラスコンクリートや発泡モルタルを隙間に充てんすることにより、放射性物質の移行抑制機能及び放射能の遮蔽機能を確保する構造。
- 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。
- 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底部の中央排水溝に集水し、坑口から排水する。
- 海外においても、低レベル放射性廃棄物(LW)又は中レベル放射性廃棄物(LLW)の埋設施設として類似の構造例はあるが、VLLW埋設施設の実例はまだない。



(出典)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26年3月”を参考に作成

4. 新規制基準対応のための方策 検討

L3埋設施設に対する雨水・浸出水対策に係る要求事項

現行許可基準規則・解釈第10条 第2項における要求事項

「異常な漏えいを防止する機能」について以下に留意して設計することが要求される。

- 一 合理的に利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。
- 二 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。
- 三 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能ができるだけ維持できる構成・仕様であること。
- 四 人工バリア又は天然バリアについては、これらを構成する構造又は設備が有する一つの性能に過度に依存しないこと。

改正許可基準規則第10条 第1項(2019年9月改正予定)における要求事項

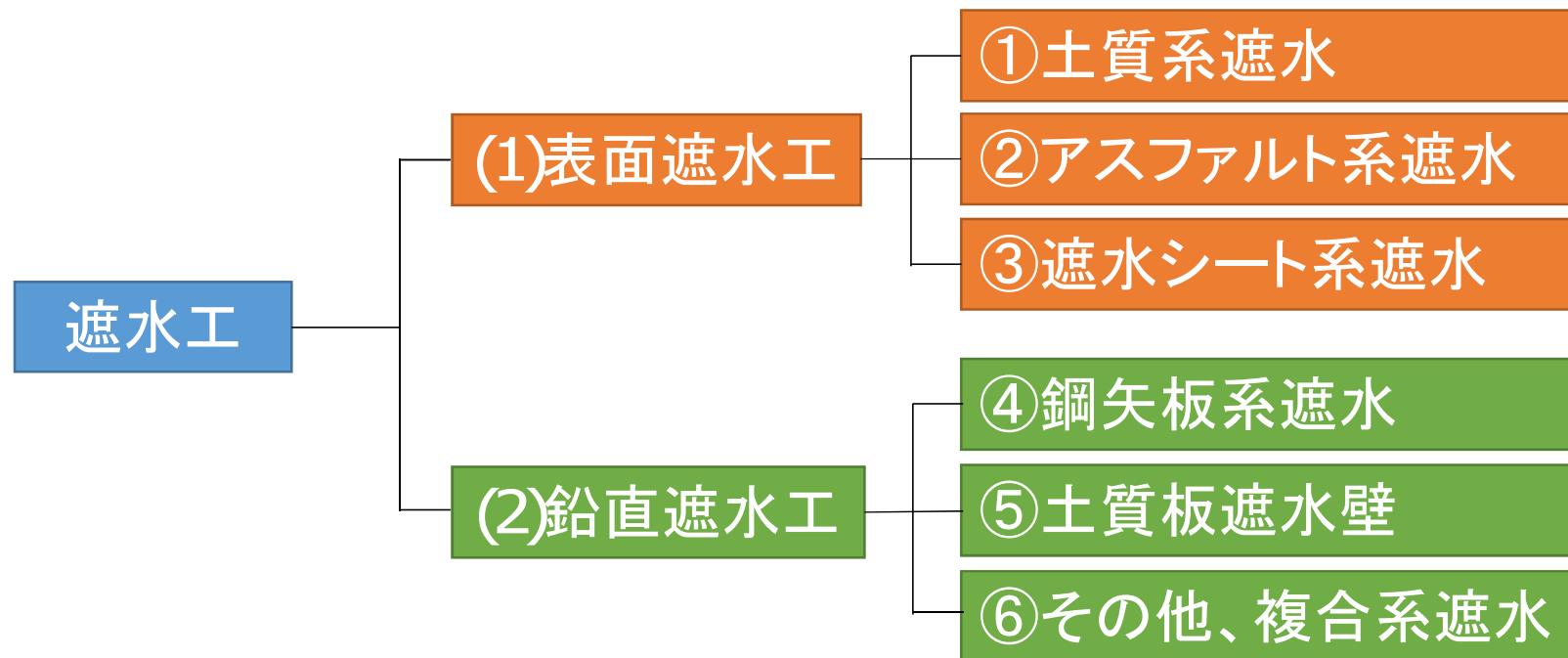
- 一 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。
- 二 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。
- 三 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる(安全上支障のない期間内において速やかに修復できることが確実であることを含む。)構成・仕様であること。

・現行解釈においては、異常な漏えいを防止する機能について「合理的に利用可能な最善の建設・施工技術」の適用が要求されており、際限のない設計が要求される虞があつたが、改正案にて「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」の文言が追加され、一定の歯止めはされると思われるが、具体的なバリア性能や設備構成の要求はない。

・よって、最終処分場の実例から、適用可能な既存技術を整理するに当たっては、L3埋設施設と最終処分場の特徴を考慮するとともに、地質や設置環境に応じて、雨水・浸出水対策を選定する必要がある。

雨水・浸出水対策に適用可能な既存技術の分類

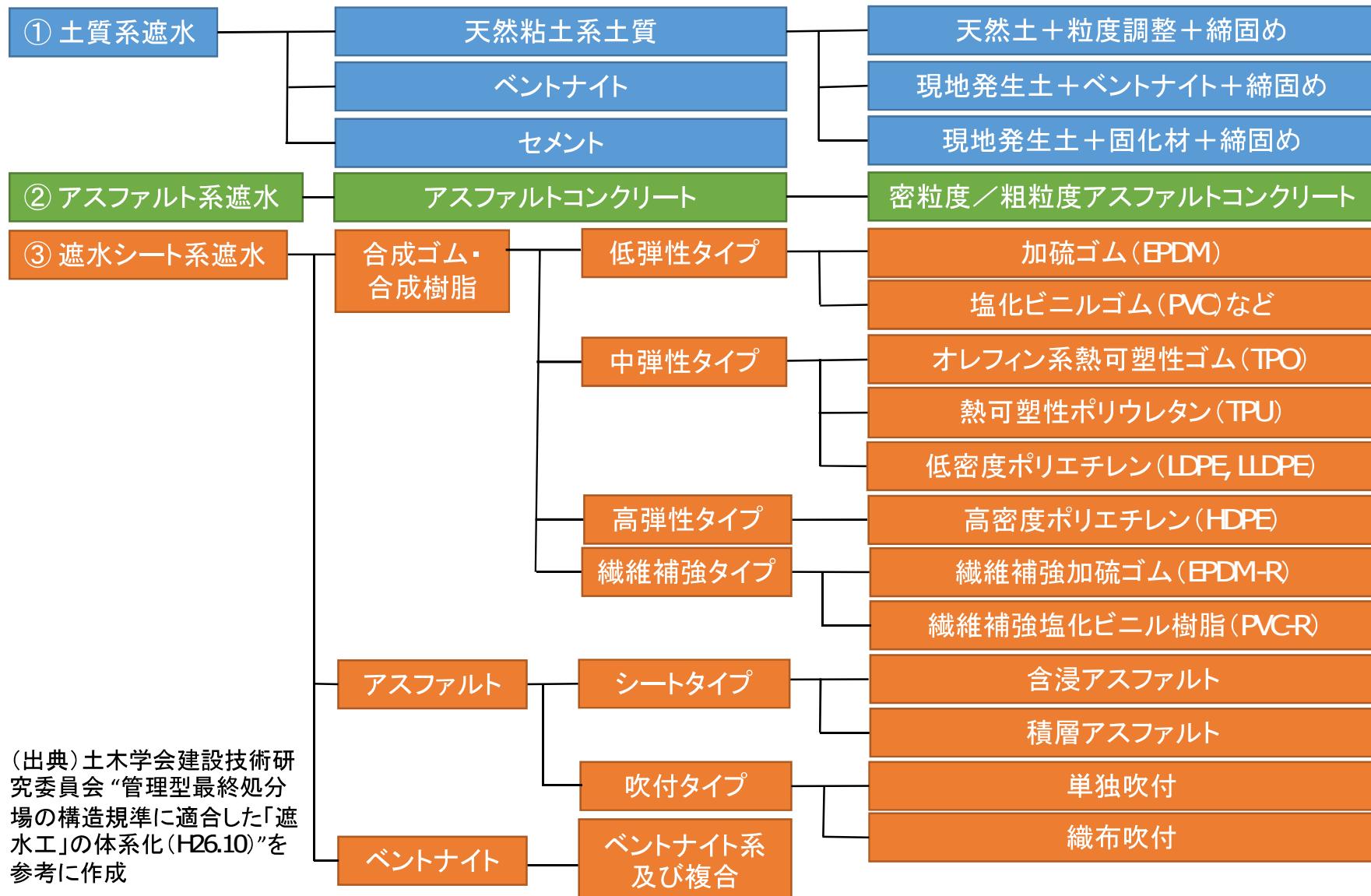
- 埋立地に雨が降ると、その雨は廃棄物層に浸透する。
- この浸透した浸出水は、地下水を汚染する成分を含んでいる恐れがあるため、この浸出水をむやみに浸透させないために、廃棄物と埋立地外部を隔離するために設置されるのが遮水工である。
- 遮水工には、大別すると埋設地の下地表面に施す表面遮水工と、地中の不透水層まで鉛直に設ける鉛直遮水工の2種類がある(下図参照)。



(出典)土木学会建設技術研究委員会 “管理型最終処分場の構造規準に適合した「遮水工」の体系化(H26.10)”から引用

(1) 表面遮水工の例

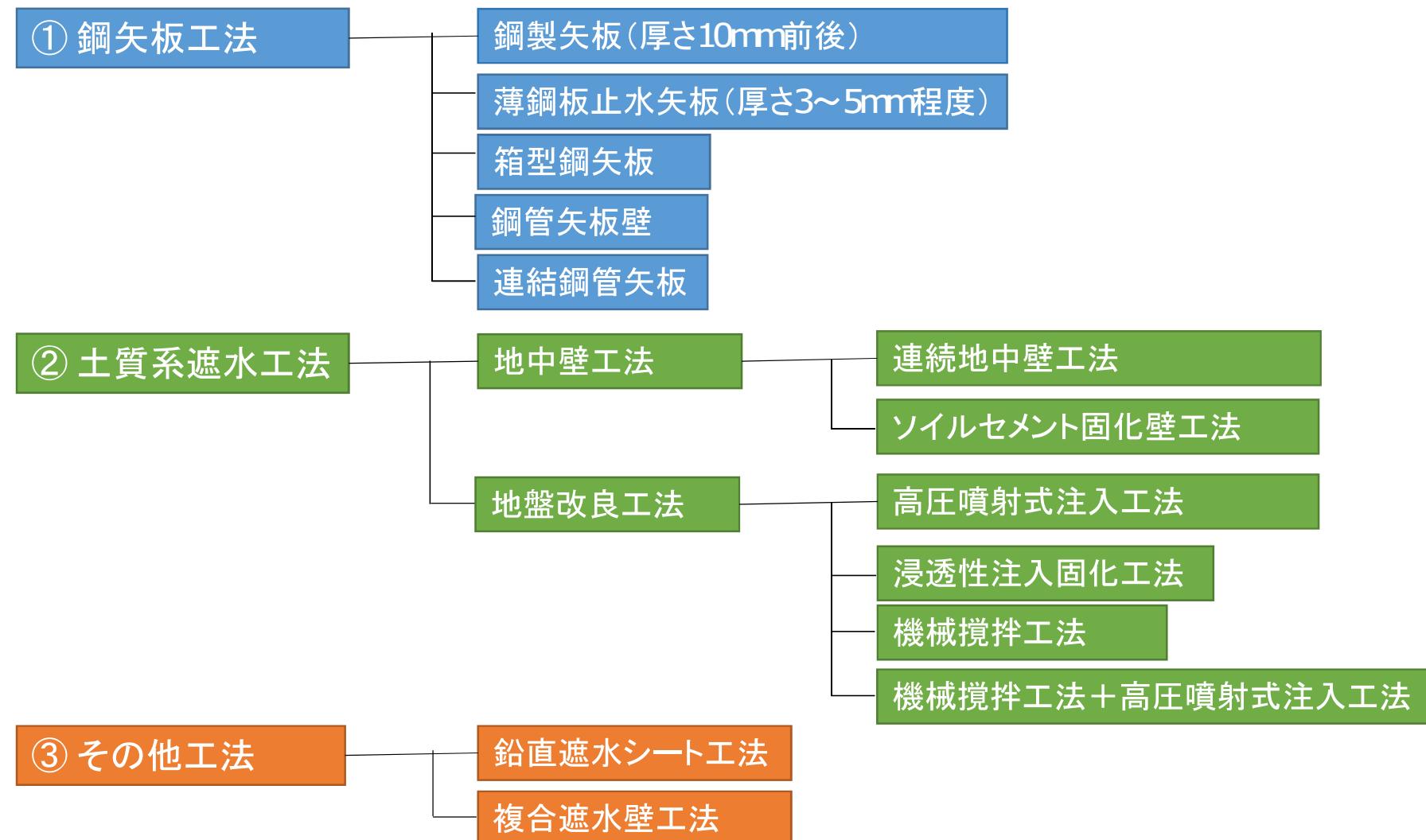
上部バリア及び底部バリアとして適用可能な遮水工について、以下のとおり分類した。



(出典)土木学会建設技術研究委員会“管理型最終処分場の構造規準に適合した「遮水工」の体系化(H26.10)”を参考に作成

(2) 鉛直遮水工の例

鉛直遮水工としては、以下のようなものがある。



自然事象対策一法面保護対策

自然事象から法面の崩落や土砂の流出を防止する法面保護法は、植生工と構造物による方法に大別できる。一般的に工費、景観の観点からは植生が望ましいが、我が国のL3埋設施設の規則基準で自然事象により埋設地の安全機能が損なわれないことが要求されているため、気象、地質、土質、勾配、湧水の状態から植生工では法面安定性が確保できない場合は、構造物による工法を適用する必要がある。

主な法面保護工の工種と目的

| 分類 | 工 種 | 目的・特徴 |
|------|---|---|
| 植生工 | 種子散布工、客土吹付工、植生基材吹付工、 張芝工、植生マット工、植生シート工 | <u>浸食防止</u> 、凍上崩落抑制、全面植生(緑化) |
| | 植生筋工、筋芝工 | <u>盛土法面の浸食防止</u> 、部分植生 |
| | 植生土のう工 | 不良土、 <u>硬質土法面の浸食防止</u> |
| | 苗木設置吹付工 | <u>浸食防止</u> 、景観形成 |
| | 植栽工 | 景観形成 |
| 構造物工 | 編柵工、じゃかご工 | 法面表層部の浸食や湧水による <u>土砂流出の抑制</u> |
| | プレキャスト枠工 | 中詰が土砂やぐり石の空詰めの場合は浸食防止 |
| | モルタル・コンクリート吹付工、石張工、ブロック張工 | <u>風化、浸食、表面水の浸食防止</u> |
| | コンクリート張工、吹付枠工、 現場打ちコンクリート枠工 | 表面表層部の崩落防止、多少の土圧を受けるおそれのある箇所の土留、岩盤はく落防止 |
| | 石積、ブロック積擁壁工、ふとんかご工、 井桁組擁壁工、コンクリート擁壁工 | ある程度の土圧に対抗 |
| | <u>補強土工</u> (盛土補強土工、切土補強土工)、 ロックボルト工、グラウンドアンカー工、杭工 | すべり土塊の滑動力に対抗 |

(出典)“道路土工 切土工・斜面安定工指針・平成21年度版”から引用

ご清聴ありがとうございました