

平成 30 年度 重点研究課題 (研究助成金)

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

(第 II 分冊)

— 類型化された地形・地質環境条件に応じた

L 3 埋設施設概念検討 —

報告書

平成 30 年 3 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

分科会 3 (L 3 放射性廃棄物処分施設検討)

## 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未曾有の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20基近くに達している。廃止措置後に発生することになる放射性廃棄物のうち、極低レベル放射性廃棄物（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、各事業主が用意する処分サイトの環境条件等に応じて新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、あるいは規制基準や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新規制基準に対応したL3廃棄物処分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。

平成30年3月  
研究代表者  
大西有三・苅込敏

土木学会 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  
(50音順、敬称略)

小委員会委員長	大西有三	京都大学
小委員会副委員長	勝見 武	京都大学大学院
幹事長	河西 基	電力中央研究所／(株)アサノ大成基礎エンジニアリング
幹事	山本武志	(一財)電力中央研究所
幹事	横山信吾	(一財)電力中央研究所
幹事	渡邊保貴	(一財)電力中央研究所
委員	遠藤和人	(国研) 国立環境研究所
委員	加藤和之	原子力損害賠償・廃炉等支援機構
委員	苅込 敏	日本原子力発電(株)
委員	窪田 茂	原子力発電環境整備機構
委員	佐々木泰	日本原燃(株)
委員	佐藤 努	北海道大学大学院
委員	森本英雄	前田建設工業(株)
委員	杉山大輔	(一財)電力中央研究所
委員	高橋利昌	四国電力(株)
委員	土 宏之	清水建設(株)
委員	中居邦浩	日揮(株)
委員	新堀雄一	東北大学大学院
委員	久田 真	東北大学大学院
委員	万福裕造	(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構
委員	宮脇健太郎	明星大学
委員	油井三和	福島工業高等専門学校
専門委員	石田東生	茨城大学名誉教授／日本大学

土木学会 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 (極低レベル放射性廃棄物 (L3) 処分施設検討)

分科会委員構成\*)  
(50 音順、敬称略)

主 査	苅込 敏	日本原電(株)
副 主 査	野口裕史	日本原電(株)
代表幹事	河西 基	電力中央研究所／(株)アサノ大成基礎エンジニアリング
幹 事	江口逸雄	三菱マテリアル株)
幹 事	押部甚一	東電設計(株)
幹 事	坂井章浩	(国研)日本原子力研究開発機構
幹 事	杉橋直行	清水建設(株)
委 員	池田孝夫	日揮(株)
委 員	今井 久	(株)安藤・間
委 員	須山泰宏	鹿島建設(株)
委 員	高尾 肇	日揮(株)
委 員	福田和人	前田建設工業(株)
委 員	松田 武	(株)大林組
委 員	矢島一昭	(株)ダイヤコンサルタント

注\*) 分科会委員のうち、分科会 3 (L3 処分施設検討) の担当者



## 目 次

1.	はじめに.....	1
2.	類型化された地形条件に応じた埋設施設概念の検討 .....	5
2.1	埋設施設処分の概要.....	5
2.2	埋設施設処分への人工建造物の適用について.....	7
(1)	地下水移行経路（移行距離および流出点の位置） .....	8
(2)	対策期間.....	9
(3)	地下水位と廃棄物埋設深度.....	10
(4)	地質条件（地下水移行経路としての地盤特性） .....	10
(5)	人工建造物設置の目的例 .....	12
2.3	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 <sup>[6]</sup> .....	13
2.4	設置場所の条件 .....	16
2.4.1	地盤に対する要求事項.....	16
(1)	支持性能 <sup>[7]</sup> .....	16
(2)	地殻変動による廃棄物埋設施設の変形 .....	18
(3)	変位が生ずるおそれがない地盤 .....	19
2.4.2	地震に対する要求事項.....	20
2.4.3	津波に対する要求事項.....	20
2.5	VLLW 処分場の設計概念.....	21
(1)	現行及び改正許可基準規則・解釈の要求事項 .....	21
(2)	設計に考慮すべき事項.....	22
(3)	地下水位.....	23
2.6	地形形状に適した埋設施設構造.....	23
2.6.1	掘下型埋設施設埋設施設.....	24
(1)	掘下型埋設施設埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形.....	24
(2)	平地における掘下型埋設施設.....	28
(3)	丘陵地斜面における掘下型埋設施設埋設施設 .....	33
2.6.2	盛土型埋設施設.....	36
(1)	盛土型埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形.....	36
(2)	平地における盛土型埋設施設の構造 .....	39
(3)	丘陵地斜面における盛土型埋設施設 .....	43
(4)	沢地における盛土型埋設施設 .....	46
2.6.3	半地下式盛土型埋設施設.....	50
(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.....	50
(2)	平地における半地下盛土型埋設施設の構造 .....	52

(3)	丘陵地斜面における半地下盛土型埋設施設の構造 .....	56
2.6.4	トンネル型埋設施設 .....	58
(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 .....	58
(2)	急峻地形におけるトンネル型埋設施設の構造 .....	59
3.	雨水・浸出水対策 .....	61
3.1	表面遮水工 .....	62
3.1.1	土質系遮水 .....	63
3.1.1.1	土質系遮水材の種類 .....	63
(1)	天然粘土系遮水材 .....	63
(2)	ベントナイト <sup>[13]</sup> .....	70
(3)	セメント <sup>[13]</sup> .....	71
3.1.1.2	土質遮水工の施工 .....	71
(1)	土質遮水工の施工手順 .....	71
(2)	土質遮水工施工上の留意点 <sup>[14, 15, 20, 21, 22, 23]</sup> .....	73
(3)	品質管理 .....	77
3.1.2	アスファルト系遮水 <sup>[13, 22]</sup> .....	91
(1)	アスファルトコンクリート .....	91
(2)	アスファルトマスチック .....	91
3.1.3	遮水シート系遮水 <sup>[13, 32, 33]</sup> .....	92
(1)	合成ゴム系遮水シート .....	92
(2)	アスファルト系遮水シート .....	95
(3)	ベントナイト複合遮水シート .....	95
3.2	キャッピング <sup>[34, 35]</sup> .....	96
3.2.1	シート系キャッピング工法 .....	96
3.2.2	土質系キャッピング工法 .....	96
3.2.3	覆い <sup>[13]</sup> .....	97
3.3	鉛直遮水工 <sup>[22]</sup> .....	97
3.3.1	鋼矢板系遮水工法 <sup>[13]</sup> .....	97
3.3.2	土質系遮水工法 <sup>[13, 22]</sup> .....	100
(1)	地中壁工法 .....	100
(2)	地盤改良工法 .....	101
3.3.3	その他工法 <sup>[22]</sup> .....	102
(1)	鉛直遮水シート工法 .....	102
(2)	複合遮水壁工法 .....	102
3.3.4	鉛直遮水工の比較 <sup>[13]</sup> .....	102
3.4	補修方法 <sup>[36]</sup> .....	104

3.4.1	表面遮水の補修.....	104
(1)	土質系遮水の補修.....	104
(2)	遮水シート系遮水の補修.....	104
3.4.2	鉛直遮水の補修.....	104
4.	自然事象対策.....	104
4.1	法面保護対策.....	104
4.1.1	植生工 <sup>[37, 38, 39]</sup> .....	106
(1)	種子散布工.....	106
(2)	客土吹付工.....	107
(3)	植生基材吹付工.....	107
(4)	植生マット工.....	108
(5)	植生シート工.....	109
(6)	植生筋工.....	110
(7)	植生土のう工.....	110
(8)	張芝工.....	111
(9)	筋芝工.....	112
(10)	苗木設置吹付工（山取苗吹付工法）.....	112
4.1.2	構造物工 <sup>[40, 41, 42, 43, 44, 45]</sup> .....	113
(1)	じゃかご工.....	113
(2)	プレキャスト枠工.....	113
(3)	モルタル・コンクリート吹付工.....	115
(4)	ブロック張工.....	116
(5)	コンクリート張工.....	117
(6)	吹付枠工.....	119
(7)	現場打ちコンクリート枠工.....	120
(8)	グラウンドアンカー工.....	122
(9)	杭工.....	123
4.2	浸出水排水対策 <sup>[22, 46]</sup> .....	124
(1)	浸出水集排水管の種類及び概略構造.....	124
(2)	浸出水排水管の種類.....	125
(3)	底部集排水管の配置.....	125
4.3	トンネル崩落対策 <sup>[47]</sup> .....	126
(1)	主な天端安定対策工法.....	127
(2)	主な鏡面安定対策工法.....	128
5.	総括.....	131
	参考文献.....	133

## 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未曾有の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20基近くに達している。廃止措置後に発生することになる放射性廃棄物のうち、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事業者が処分の実施責任を負うことになっており、各事業主が用意する処分サイトの環境条件等に応じて新規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、あるいは規制基準や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新規規制基準に対応したL3廃棄物処分施設の基本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所に資することを目的とする。

### (2) 成果の概要

分冊Ⅰ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。

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、それらに応じた新規規制基準への対応に係る処分施設形態や技術的な考慮事項等に関して（設計、施工、性能評価等）、調査と予備的検討を行い、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本分冊Ⅱにおいて行った。

主な結果は以下の通りである。

#### 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）。

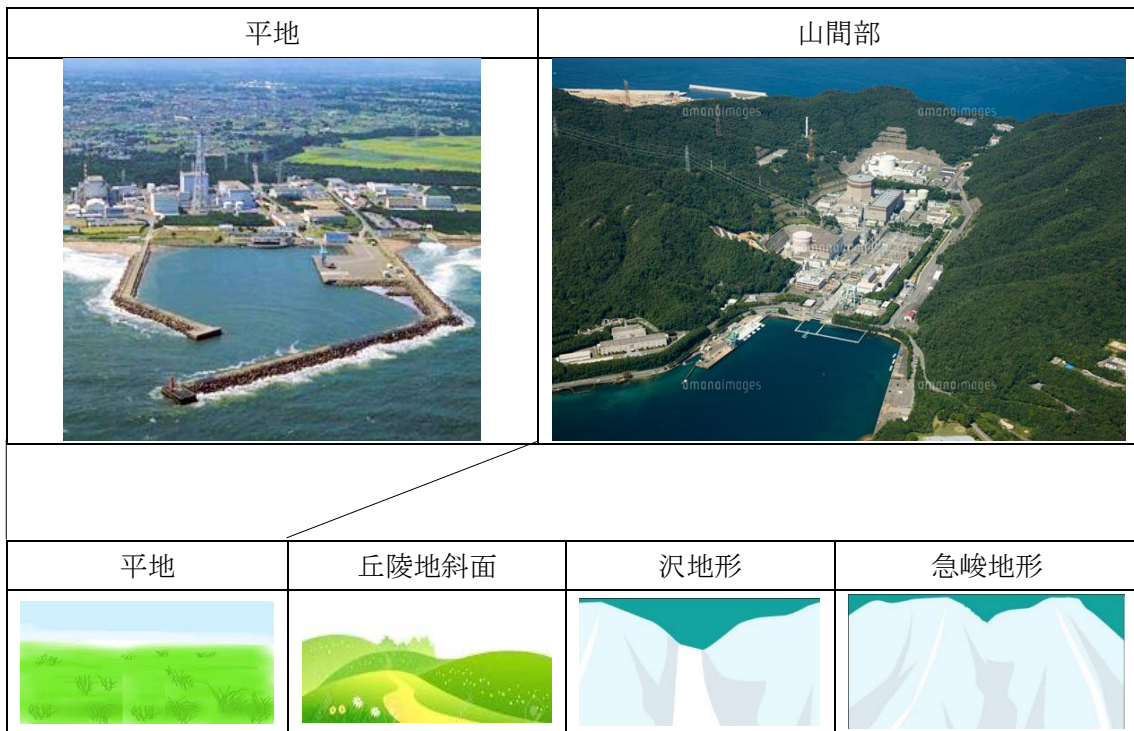


図 1.(2)-1 考慮すべき L3 廃棄物埋設施設の立地地形パターン例

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）。

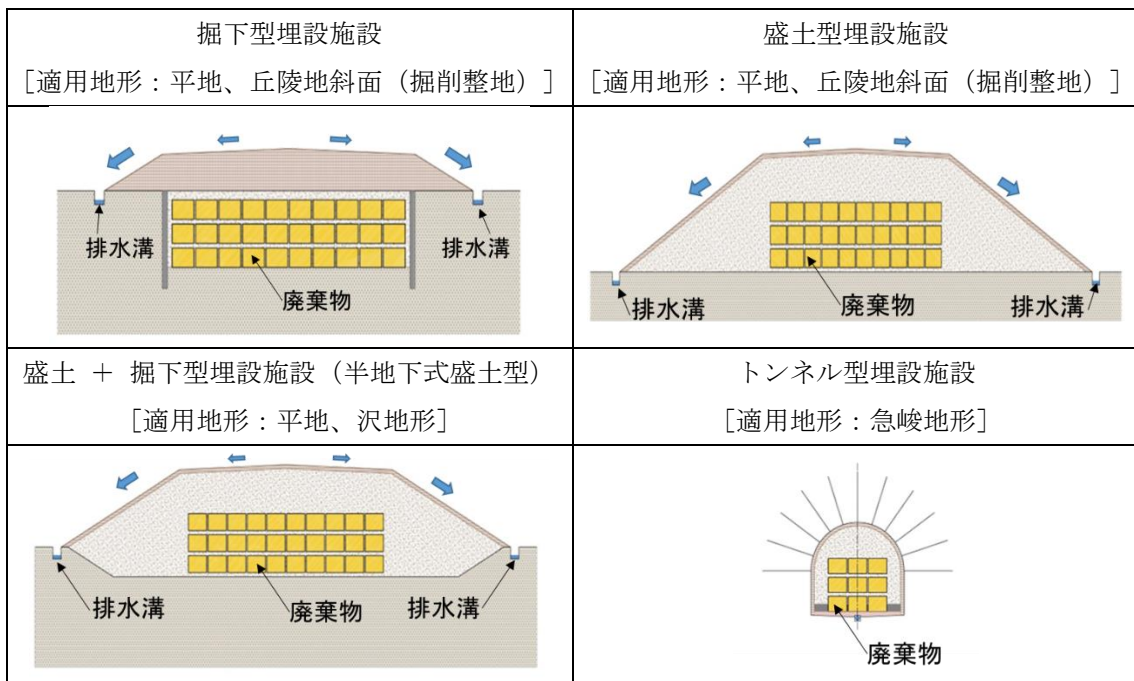


図 1.(2)-2 地形条件に適した L3 廃棄物埋設施設の構造例<sup>[6]</sup>

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、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) 飛来物対策

台風又は竜巻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。

(b) 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。

(c) 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。

(d) 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。

(e) 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）埋設施設の設計にあたっては、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

表 1.(2)-1 に、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まとめた。

表 1.(2)-1 地形形状に適した L3 埋設施設構造の検討項目 [6]

地形	埋設施設構造	雨水・浸出水対策	自然事象対策	備考		
平地	掘下型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雨水抑制対策</li> <li>・雨水+浸出抑制対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛来物対策</li> <li>・飛砂対策</li> <li>・排水対策</li> </ul>	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		<ul style="list-style-type: none"> <li>・法面崩落/流出対策</li> </ul>			
	半地下式盛土型					
丘陵地斜面	掘下型		<ul style="list-style-type: none"> <li>・雨水抑制対策</li> <li>・雨水+浸出抑制対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛来物対策</li> </ul>	廃棄物底面が地下水より上	
	盛土型					
	半地下式盛土型			<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛砂対策</li> <li>・排水対策</li> </ul>		
沢地形	盛土型	<ul style="list-style-type: none"> <li>・雨水抑制対策</li> <li>・雨水+浸出抑制対策</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・崩落対策</li> </ul>	廃棄物底面が地下水より上	
急峻地形	トンネル型					<ul style="list-style-type: none"> <li>・排水対策</li> </ul>

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あたっては、表 1.(2)-1 に示すような検討項目に整理し、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について、産業廃棄物処分場で適用されている既存の土木技術を参考に検討した。

## 2. 類型化された地形条件に応じた埋設施設概念の検討

### 2.1 埋設施設処分の概要

埋設施設処分の定義は法規により地上又は地表から深さ 50m 未満の地下に設置された廃棄物埋設地に、放射性物質のコバルト六十、ストロンチウム九十、セシウム百三十七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を埋設すると定義されている。

- 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和六十三年総理府令第一号、最終更新：平成三十年六月八日公布（平成三十年原子力規制委員会規則第六号）改正）

（定義）第一条の二

- 五 「埋設施設処分」とは、地上又は地表から深さ五十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の上欄に掲げる放射性物質についての放射能濃度がそれぞれ同表の下欄に掲げる放射能濃度を超えない放射性廃棄物を埋設の方法（前号イ及びロの方法を除く。）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、容器に封入しておらず、又は容器に固化化していない固体状の放射性廃棄物であつて次に掲げるものをいう。
- イ 核燃料物質によつて汚染されたコンクリート
  - ロ 核燃料物質によつて汚染された金属
  - ハ その他イ又はロに類するもの

また、埋設施設処分の一般的な説明として、経済産業省、資源エネルギー庁 HP などでは、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る。

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、埋設施設処分が行われます。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。[1]  
埋設施設処分は、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。[1]

このように、埋設施設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、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る。ただし、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り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



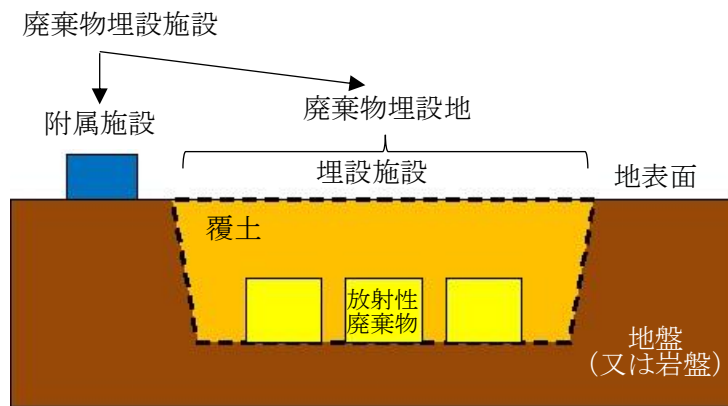
にその表面を土砂等で覆うことが求められている。

- 核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和六十三年総理府令第一号、最終更新：平成三十年六月八日公布（平成三十年原子力規制委員会規則第六号）改正）

（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。  
 四 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空隙が残らないように措置すること。  
 五 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を埋設しないこと。  
 六 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を土砂等で覆うこと。

このため、一般的な埋設施設処分の廃棄物埋設地は、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－ピット処分及び埋設施設処分編－」の図 2.1-1 に示すように、放射性廃棄物を地上または地下に覆土のみを行い、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い。



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	—
	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。

注 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。

図 2.1-1 参照処分場の断面図と部位などの呼称の例（埋設施設処分） [2]

また、国内の VLLW 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（株）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、掘下型の素掘り埋設施設を計画している（図 2.1-2）。

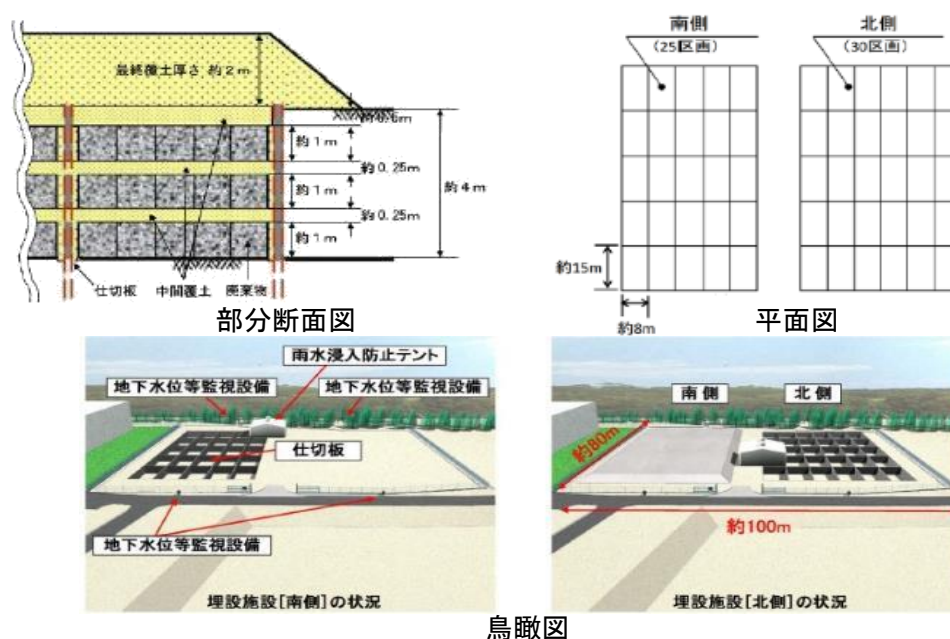


図 2.1-2 レンチ処分の廃棄物埋設施設イメージ図[3]

## 2.2 埋設施設処分への人工構造物の適用について

前記のように埋設施設処分の廃棄物埋設地は人工バリアを要求してはいないが、人工構造物の使用を妨げる物ではない。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例としては、諸外国の VLLW 処分場では、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。

埋設施設処分に人工構造物を用いる場合に考慮すべ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 埋設地の概念を検討することが重要である。

#### (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処分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、地中を移動して河川（ある程度の希釈水量が見込める河川）および海洋へ流出することを想定している（図 2.2.(1)-1）。

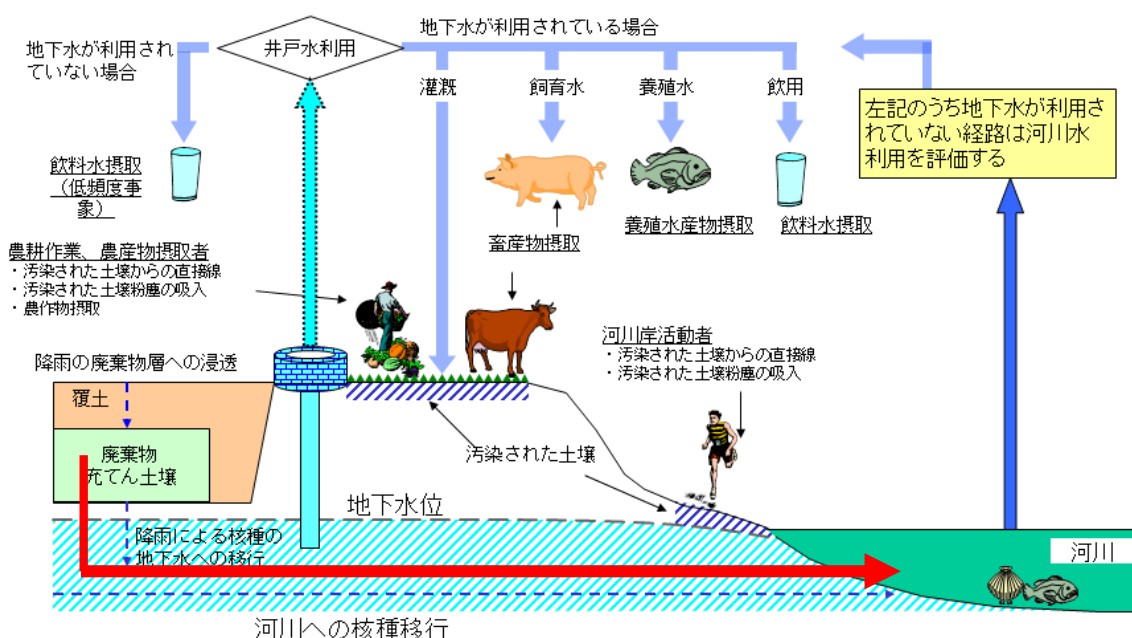


図 2.2.(1)-1 従来検討されている埋設地から流出点までの流れ<sup>[4]</sup>

しかしながら、地形条件によっては、上記のような平坦で地下水位がある程度低

い用地を確保出来ない場合には、地下水が河川およ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で存在する場合のイメージを図 2.2.(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、その湧出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。

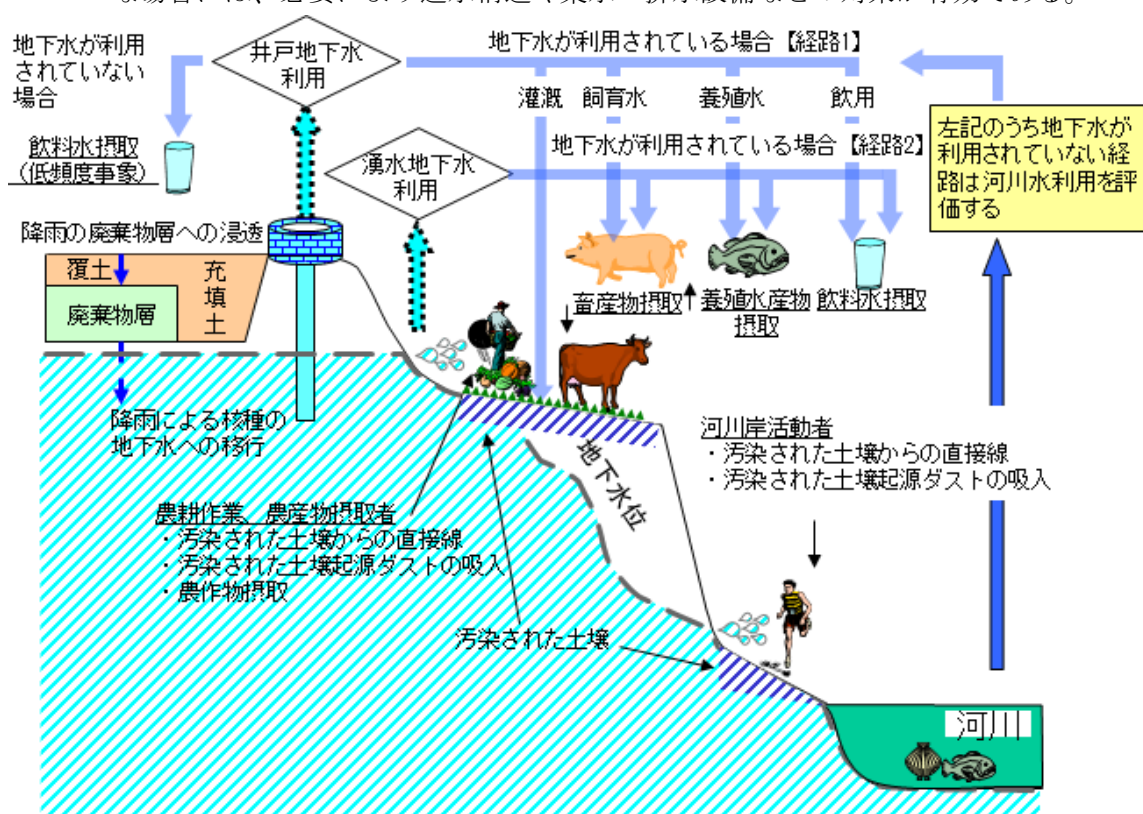


図 2.2.(1)-2 埋設地からの湧水点が途中斜面などに存在する場合[4]

## (2) 対策期間

前項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、侵入水およ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 2.2.(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  $10\mu\text{Sv/y}$  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 2.2.(2)-2）。

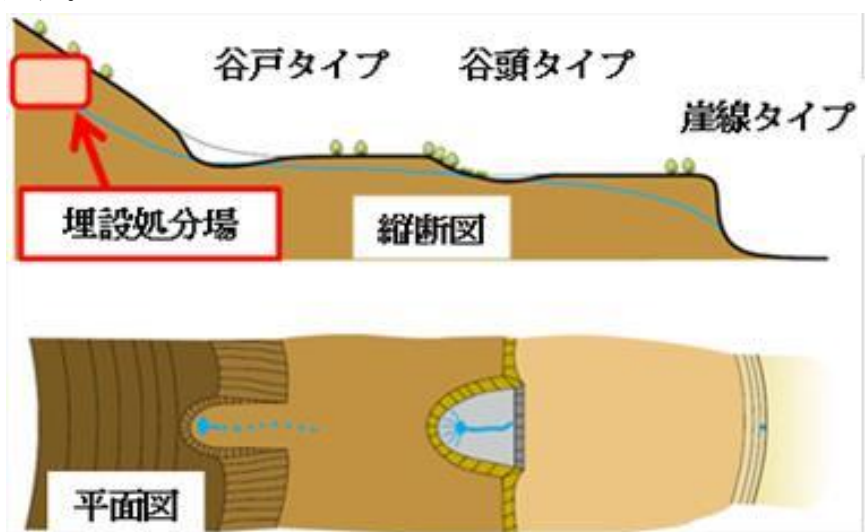


図 2.2.(2)-1 湧水タイプ別のイメージ<sup>[4]</sup>

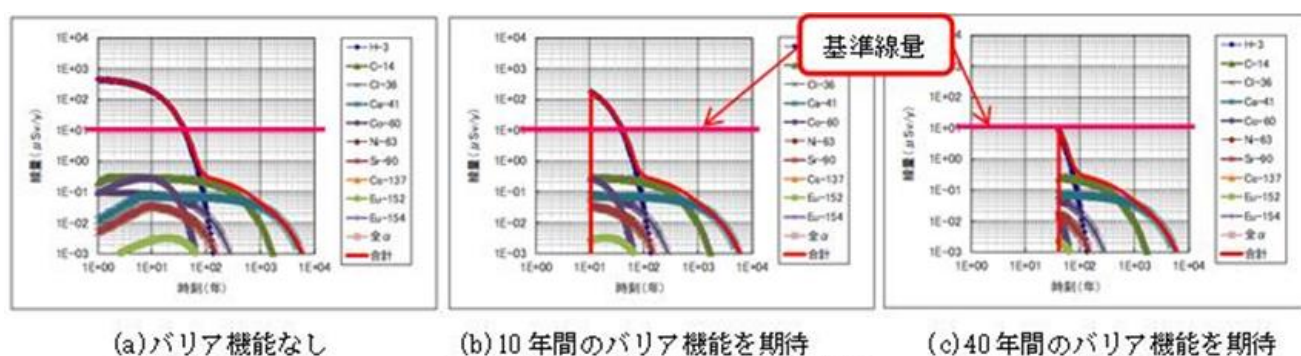


図 2.2.(2)-2 核種移行解析例（斜面部湧水）<sup>[4]</sup>

### (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 VLLW 処分場（審査中）では、廃棄物を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。その場合の影響を評価し、必要により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が重要である。

従来の埋設施設処分では、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呼ばれる岩体と同様であり、粒子間隙中を移流分散によって移行する放射性核種は粒子を構成する鉱物表面への収着によって遅延される。しかしながら埋設地が岩盤系地盤に設置する場合も考えられる。その場合には、岩盤系地盤において観察される亀裂性媒体中に発達した亀裂を包含し、亀裂を主要な移行経路として地下水等の動きを取扱うことになり、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 2.2.(4)-1）。

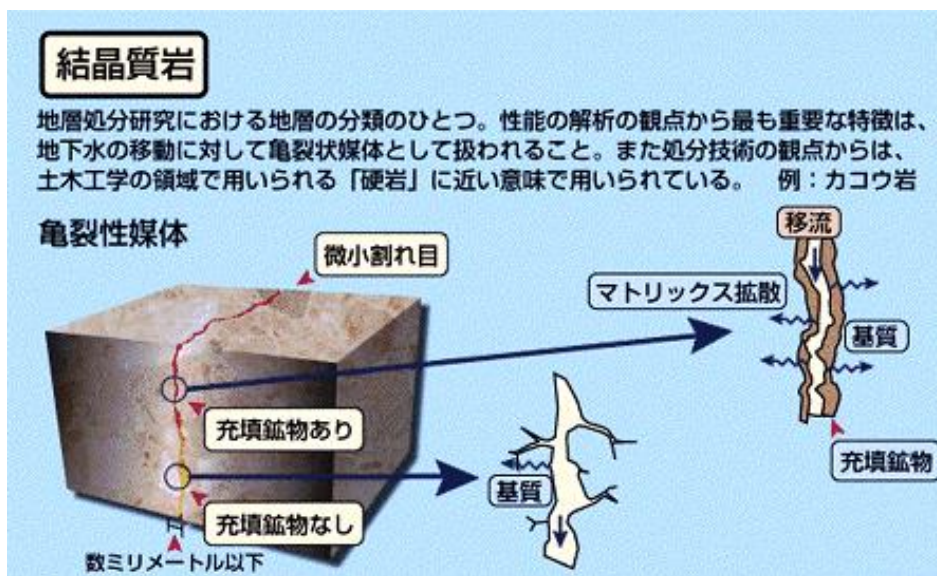
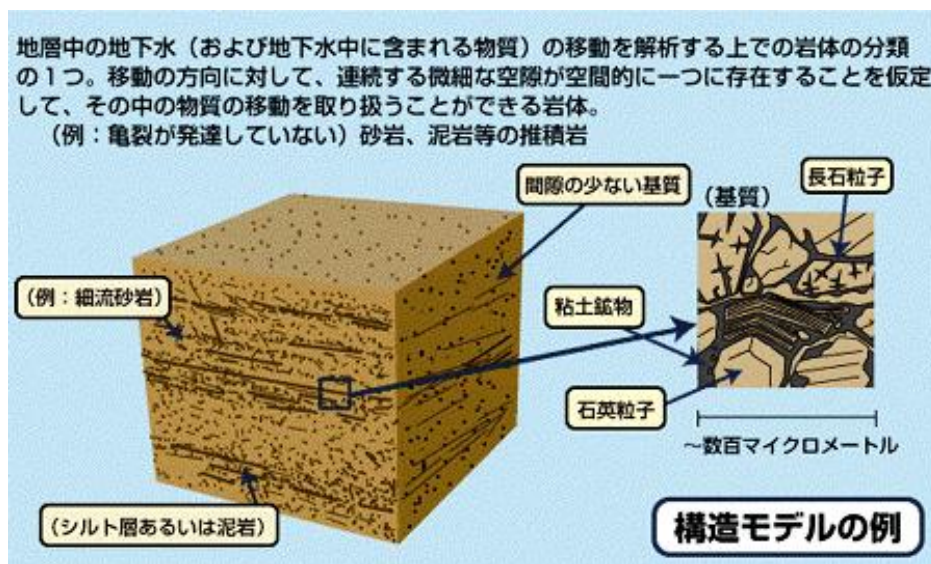


図 2.2.(4)-1 多孔質媒体と亀裂性媒体のイメージ図[5]

#### (5) 人工構造物設置の目的例

従来の埋設施設処分では、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い。しかしながら、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侵入水およ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る抑制対策
- ▶ 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る抑制対策(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2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、浸入水およ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、溜まる雨水およ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・保有水等を対象とする設備などがある。

地下水における集排水施設については、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、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。これにより、埋設地で発生する浸出水量をできる限り抑制し、埋設地内に浸出水は滞留しないと考えられるため、埋設地内の遮水工等への負担を軽減する役割を有する。

### 2.3 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<sup>[6]</sup>

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ことから、考慮すべき地形とそれに適した施設構造について以下のとおり分類した。

これら地形状況から、VLLW 処分場の設置が想定される地形を、平地の他、山に囲まれた地形から丘陵地斜面、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 2.3-1 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（半地下型）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ルル処分場と同様、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

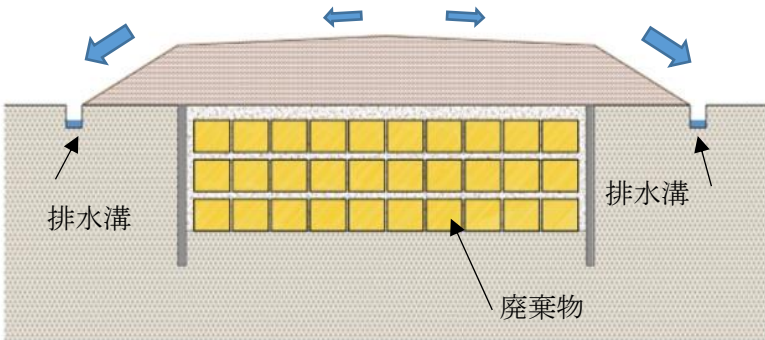
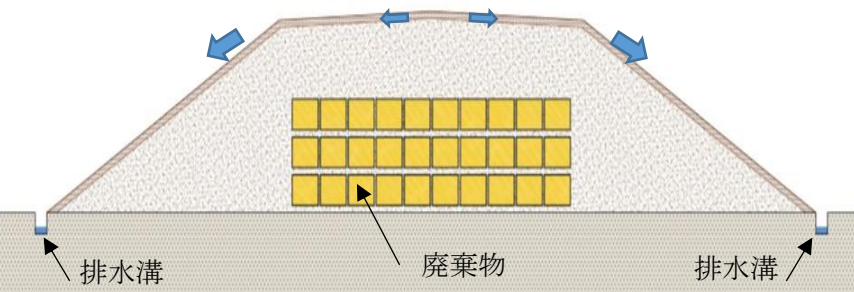
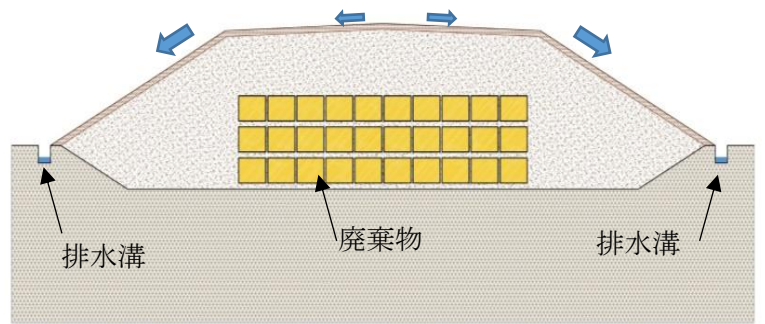
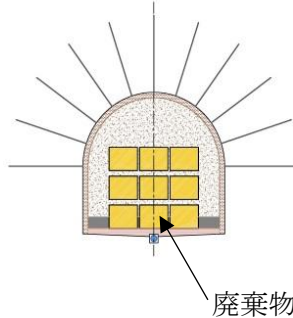
- ・ 地形の縦断方向にある程度の傾斜がある沢地形の場合、地下水位が廃棄物底面より上部となるよう、沢部を埋め立て・整地した沢地利用・盛土+掘下型埋設施設（半地下型）の適用が考えられる。



(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の施設の適用が考えられる。

表 2.3-1 考慮すべき地形に適用可能な処分場の構造（主な構造例） [6]

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

## 2.4 設置場所の条件

### 2.4.1 地盤に対する要求事項

改正許可基準規則第3条（廃棄物埋設施設の地盤）では、（1）廃棄物埋設施設を十分支持できる地盤であること、（2）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、及び（3）断層の活動による地盤の変位が生じないことが要求されており、これを満足できる地盤に設置する必要がある。

#### （1）支持性能<sup>7)</sup>

平成30年8月1日の原子力規制委員会で示された、改正許可基準規則第3条第1項（現行規則から変更なし。）では、「廃棄物埋設施設は、第4条の規定により算定する地震力（耐震重要度<sup>\*</sup>）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、廃棄物埋設施設の地盤は、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<sup>\*</sup>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。

※：地震により廃棄物埋設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（50 $\mu$ Sv/年）に比べて十分小さいものは、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）

道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（（社）日本道路協会、平成14年3月）において、設置地盤の支持力については、許容鉛直支持力、許容水平支持力、許容せん断抵抗力を評価している。また、基礎の安定に関する基本事項の一つに圧密沈下量を挙げている。

上記を参考に、廃棄物埋設施設の設置地盤の支持性能については、設置地盤の①極限鉛直支持力、②せん断抵抗力、③圧密沈下についての評価を行う方法がある。なお、通常、廃棄物は設置地盤に根入れしないことから、極限水平支持力の評価は行わない。

##### ① 極限鉛直支持力

廃棄物埋設施設の埋設底面の最大接地圧が、設置地盤の極限鉛直支持力を下回ることを図2.4.1.(1)-1に示す評価フロー（例）に基づき確認する方法がある。

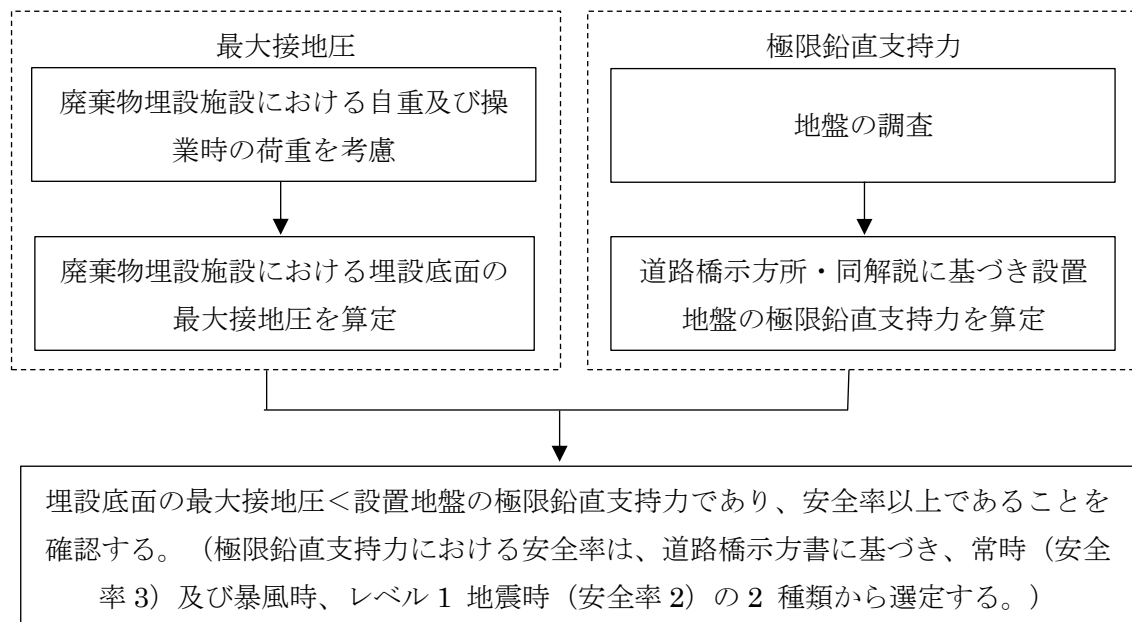


図 2.4.1.(1)-1 極限鉛直支持力に対する評価フロー（例）

② せん断抵抗力<sup>[7]</sup>

廃棄物埋施設の埋設底面に作用する水平荷重が、埋設底面の許容せん断抵抗力を下回ることを図 2.4.1.(1)-2 に示す評価フロー（例）に基づき確認する方法がある。

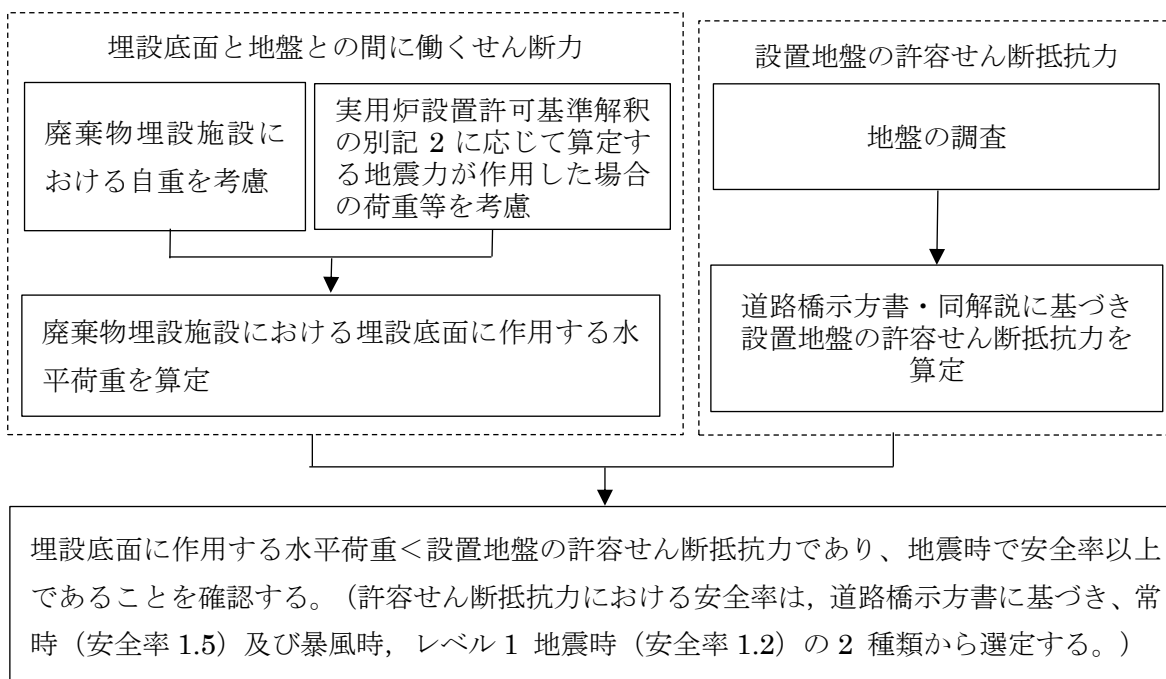


図 2.4.1.(1)-2 許容せん断抵抗力に対する評価フロー（例）

③ 圧密沈下<sup>[7]</sup>

廃棄物埋設施の自重及び作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を下回ることを図 2.4.1.(1)-3 に示す評価フロー（例）に基づき確認する方法がある。有効上載圧が圧密降伏応力を上回り、圧密沈下が発生する場合は、圧密沈下量を算定し影響を評価する。

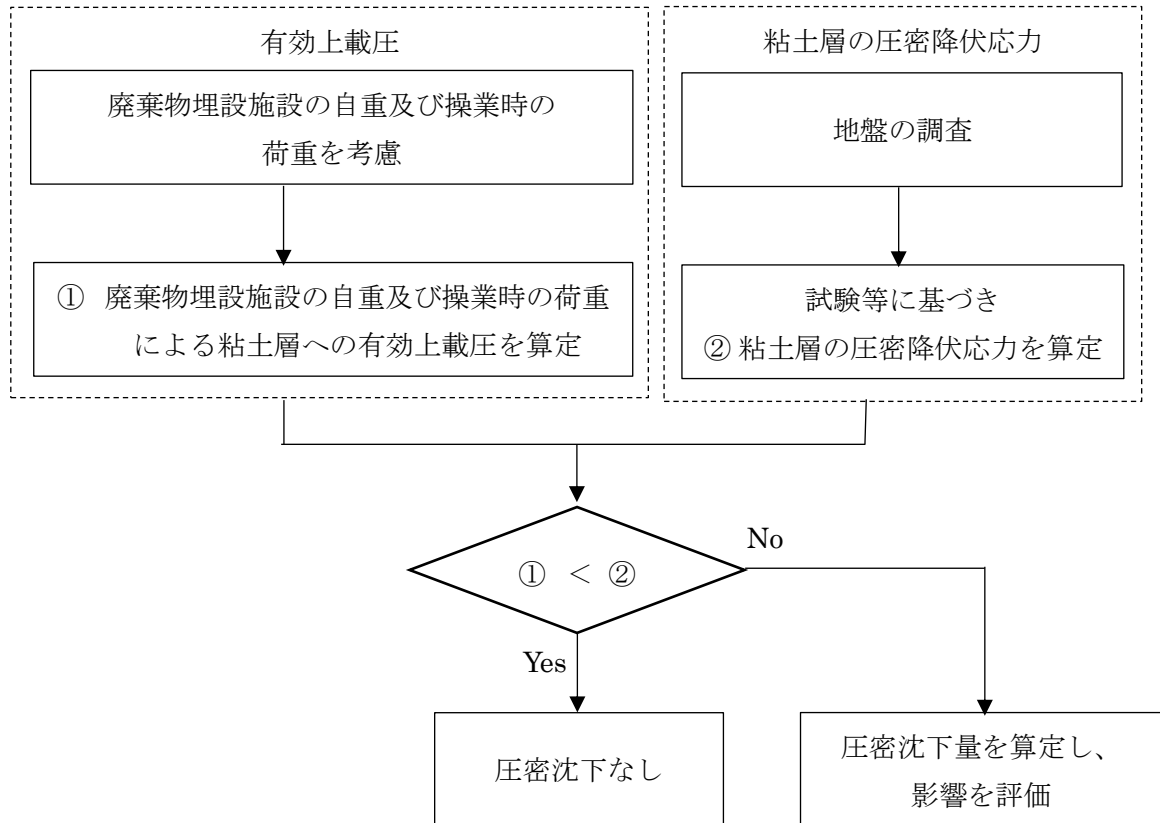


図 2.4.1.(1)-3 圧密沈下に対する評価フロー（例）

(2) 地殻変動による廃棄物埋設施の変形

改正許可基準規則第 3 条第 2 項（現行規則から変更なし。）では、「廃棄物埋設施は、変形した場合においてもその安全性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 3 条第 2 項及び第 3 項に基づき、廃棄物埋設施は、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、局所的な支持地盤の傾斜及び撓みは発生しないため、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並びに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<sup>[7]</sup>

地震発生に伴う液状化及び揺すり込み沈下の影響により、廃棄物が地下水位以深まで沈下する可能性に配慮して、道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（（社）日本道路協会，平成14年3月）等に基づき、地震発生に伴う液状化及び揺すり込み沈下量の評価を行う方法がある。評価フロー（例）は図2.4.1.(2)-1に示すとおり。

なお、不等沈下による影響の有無については、地質調査の結果に基づき影響評価を行う。

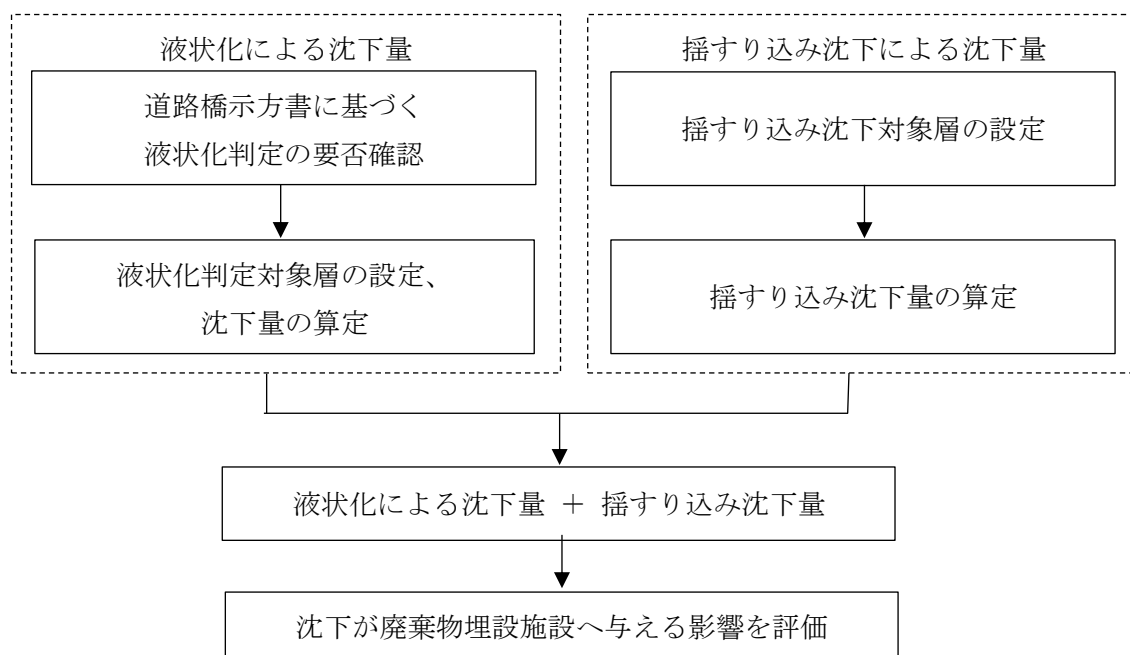


図 2.4.1.(2)-1 液状化及び揺すり込み沈下に対する評価フロー（例）

(3) 変位が生ずるおそれがない地盤

改正許可基準規則第3条第3項では、「廃棄物埋設施設及び安全上重要な施設は、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4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等の有無

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の有無

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。

#### 2.4.2 地震に対する要求事項

改正許可基準規則第4条第1項において、「廃棄物埋設施設は、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、廃棄物埋設施設は、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、地震による廃棄物埋設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、廃棄物埋設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。

※：地震により廃棄物埋設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（50 $\mu$ Sv／年）に比べて十分小さいものは、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。

#### 2.4.3 津波に対する要求事項

改正許可基準規則第5条において、「廃棄物埋設施設は、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事とされている。

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、「廃棄物埋設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が損なわれないことを確認する。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。

## 2.5 VLLW 処分場の設計概念

VLLW 処分場の設計に当たっては、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（以下、「許可基準規則・解釈」という。）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を抽出した。

### (1) 現行及び改正許可基準規則・解釈の要求事項

現行及び改正許可基準規則・解釈の要求事項は以下のとおり。

- ① 設計の留意事項（改正許可基準規則・解釈第10条）
  - a. 設計時点において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。
  - 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当該機能ができるだけ維持できる構成・仕様であること。
  - d. 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。
- ② 放射性物質の漏えい低減（改正許可基準規則・解釈第13条）

廃棄物埋設施設は、廃棄物埋設施設の表面を土砂等で覆う方法その他の方法により、廃棄物埋設施設の外への放射性物質の漏えいが低減される機能を有するものでなければならない。
- ③ 外部からの衝撃による損傷の防止（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、移行抑制機能及び遮蔽機能を損なわれないものでなければならない。



## (2) 設計に考慮すべき事項

(1) で示した現行及び改正許可基準規則・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

#### a. 雨水浸入抑制対策

改正許可基準規則第 13 条第 3 項には、「廃棄物埋設施設の表面を土砂等で覆う方法その他の方法により、廃棄物埋設施設の外への放射性物質の漏えいが低減される機能を有するものでなければならない。」との制限事項が追記されたため、低透水性の土砂を使用するなど、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、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

現行許可基準規則・解釈第 6 条には、「放射性廃棄物の受入れの開始以後においては、想定される自然現象が発生した場合でも、廃棄物埋設施設の移行抑制機能及び遮蔽機能を損なわないこと。」と規定されている。また、放射性物質の飛散防止措置については、同第 6 条には規定されていないものの、現行許可基準規則第 8 条第 3 項に「廃棄物埋設施設は、放射性物質の飛散防止のための措置を講じたものでなければならない。」と規定されている。しかし、同第 8 条では、自然現象が発生した場合の耐久性についての言及はないが、原子力規制庁の指導により自然現象により損傷しないことも要求された。ただし、埋設段階及び保全段階においては、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。

このため、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「移行抑制機能」及び「遮蔽機能」、並びに放射性物質の「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含める必要がある。

#### a. 飛来物対策

台風又は竜巻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。

#### b. 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。

c. 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。

d. 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。

e. 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。

(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ものとして検討する。

2.6 地形形状に適した埋設施設構造

2.3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 2.6-1 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 2.6-1 地形形状に適した埋設施設構造の検討項目 [6]

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		地下水接触	
		雨水抑制			
		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		地下水接触	
		雨水抑制			
		雨水＋浸出抑制			
	盛土＋掘下型 (半地下型)	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		地下水接触	
		雨水抑制			
		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		地下水接触	
		雨水抑制			
		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			地下水接触
		雨水抑制			
		雨水＋浸出抑制			
	盛土＋掘下型 (半地下型)	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			地下水接触
		雨水抑制			
		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	

### 2.6.1 掘下型埋設施設埋設施設

#### (1) 掘下型埋設施設埋設施設の構造の特徴及び設置に適した地形

##### a. 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 2.6-1 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 2.6.1.(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 2.6.1.(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 2.6.1.(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、現行の第二種廃棄物埋設施設の事業に関する規則（以下、「事業規則」という。）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。（第六条第二項）」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 2.6.1.(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、大規模の規格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。

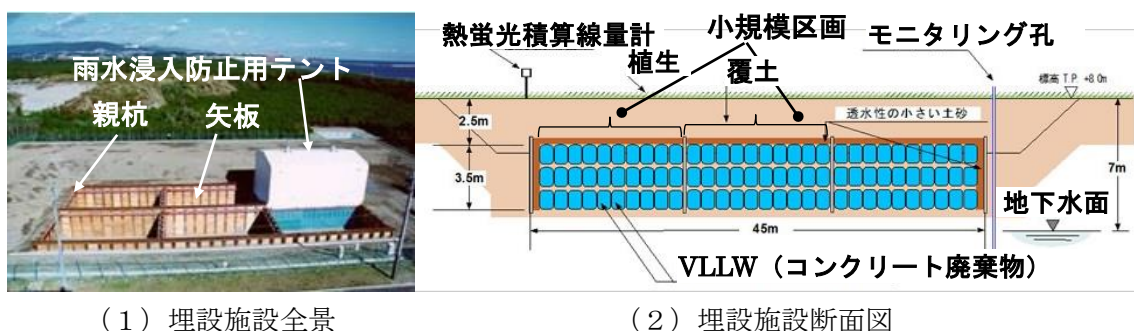
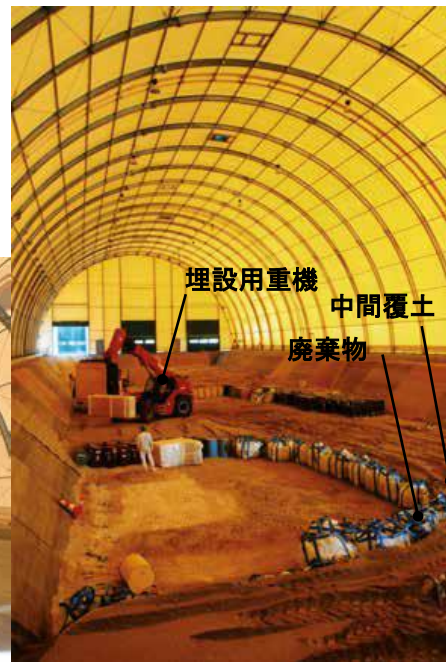


図 2.6.1.(1)-1 小規模区画タイプ（日本原子力研究開発機構 埋設実地試験施設） [8]



(1) 埋設施設内部



(2) 廃棄物定置及び覆土状況

図 2.6.1.(1)-2 大規模区画タイプ (フランス モルヴィリエ処分場) [9]

b. 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は表 2.6.1.(1)-1 のとおり。

表 2.6.1.(1)-1 各地形に適した掘下型埋設施設概念[6]

平地	丘陵地斜面
<p>[適用実績]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• JPDR 処分場 (日本)</li> <li>• 原電東海処分場 (日本)</li> <li>• リッチランド (アメリカ)</li> <li>• バーンウェル (アメリカ)</li> <li>• WCS テキサス処分場 (アメリカ)</li> </ul>	<p>—</p>

c. 雨水・浸出抑制対策.

i. 雨水抑制対策

現行の許可基準規則の第十条第一項では、「廃棄物埋設施設は、廃棄物埋設施設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。」と規定されており、その解釈においては、「異常な漏えいを防止する機能」について次に示す点を留意して設計することが規定されている。

- ・ 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当該機能ができるだけ維持できる構成・仕様であること。
- ・ 人工バリア及び天然バリアが有する機能については、その機能を構成する特性の一つに過度に依存しないこと。

上記のとおり、現行規則においては、人工バリアの設置が義務付けられていない埋設施設については、天然バリアの劣化・損傷に対する抵抗性は考慮するが、透水性の低いバリアの使用は任意であるものと解釈できる。

一方、2019年中に改正する方向で検討している許可基準規則・解釈（案）の第13条第3項には、「廃棄物埋設施設は、廃棄物埋設施設の表面を土砂等で覆う方法その他の方法により、廃棄物埋設施設の外への放射性物質の漏えいが低減される機能を有するものでなければならない。」という解釈が追加され、埋設施設に対して透水性の低いバリアの使用など、放射性物質の漏えい低減策が義務付けられるようになる。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、放射性物質の漏えいを低減するために、上方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わ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。

ii. 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、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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えい低減を施す必要がある。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。

#### d. 埋設施設の安定性

埋設施設の安定性については、現行の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性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、c. 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）

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、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。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 2.6.1.(2)-1、バリア構成を図 2.6.1.(2)-2 に示す。



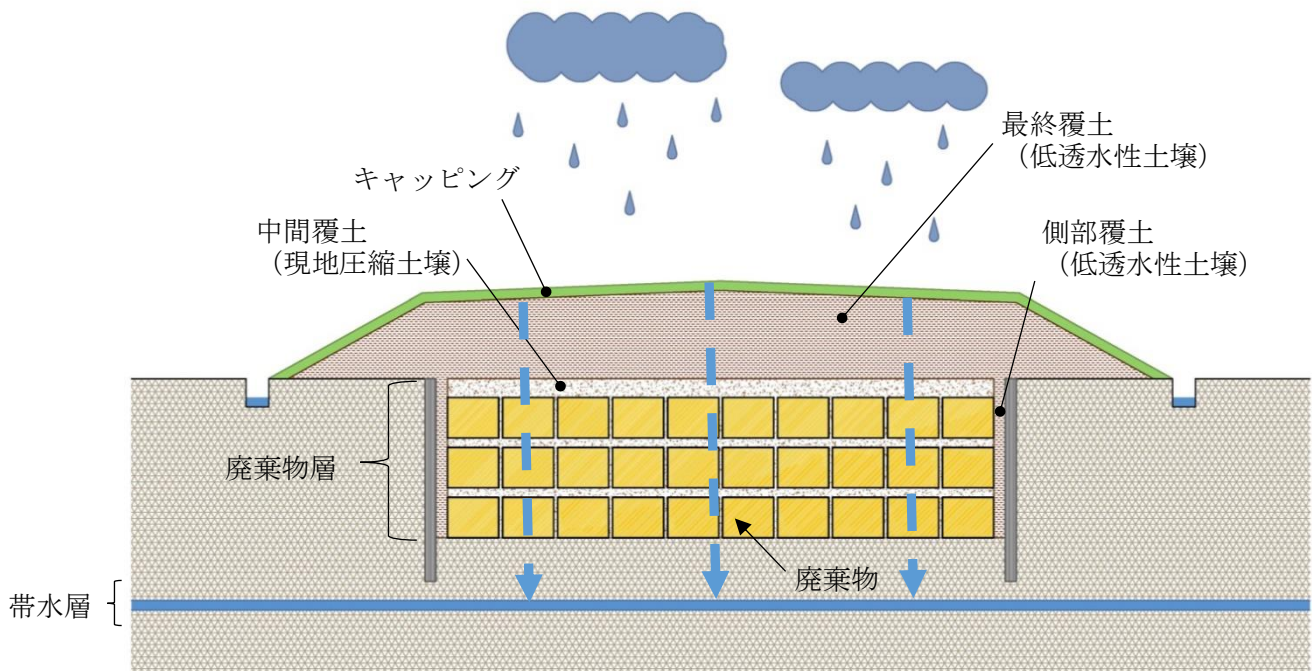


図 2.6.1.(2)-1 平地における掘下型埋設施設埋設施設  
(基本ケース：土質遮水) の構造概念<sup>[6]</sup>

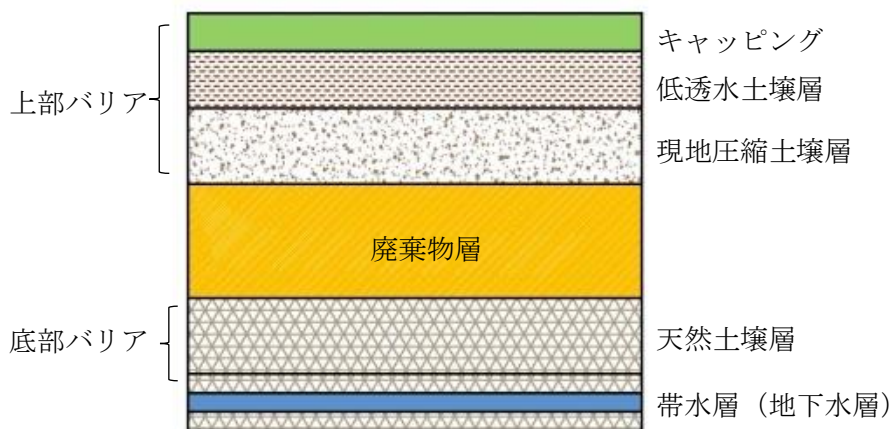


図 2.6.1.(2)-2 バリア構成 (掘下型埋設施設埋設施設 [土質遮水])

② 案 2 (土質遮水+上部 [側部] 遮水層)

雨水抑制対策として、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。

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 2.6.1.(2)-3、バリア構成を図 2.6.1.(2)-4 に示す。

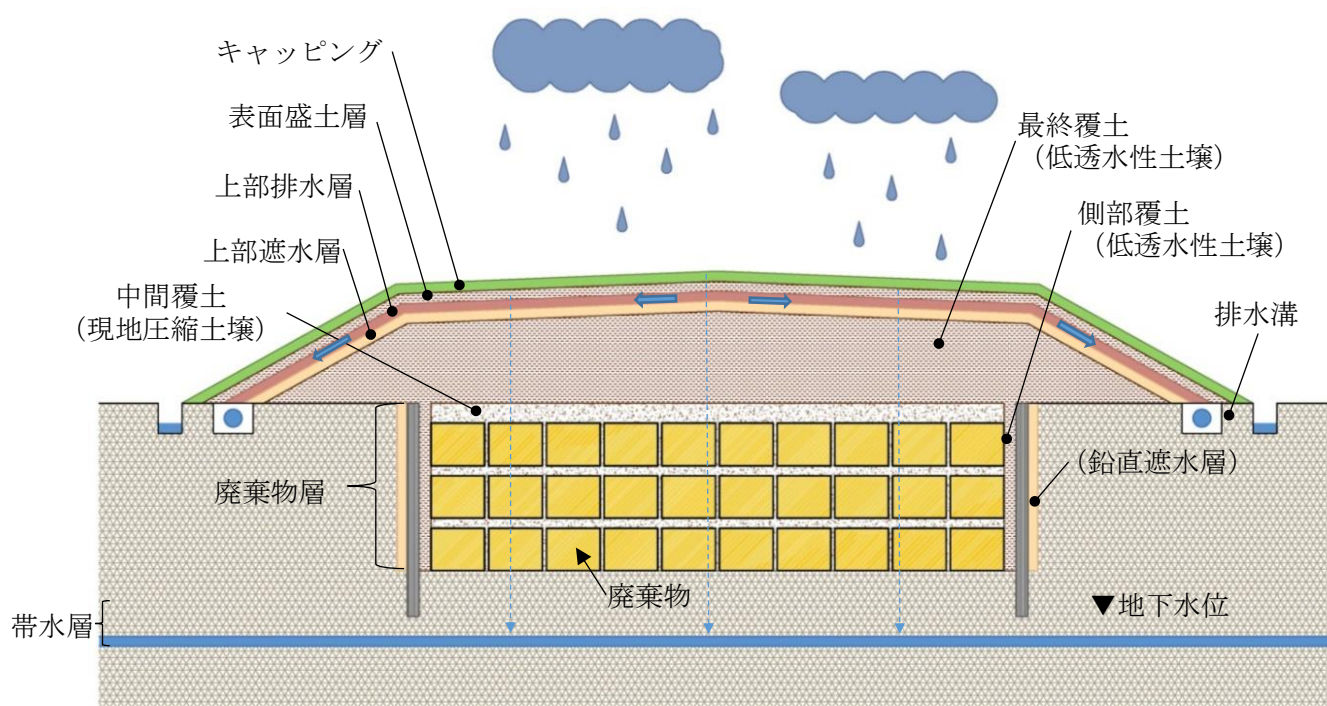


図 2.6.1.(2)-3 平地における掘下型埋設施設埋設施設  
(土質遮水+上部〔側部〕遮水層)の構造概念<sup>[6]</sup>

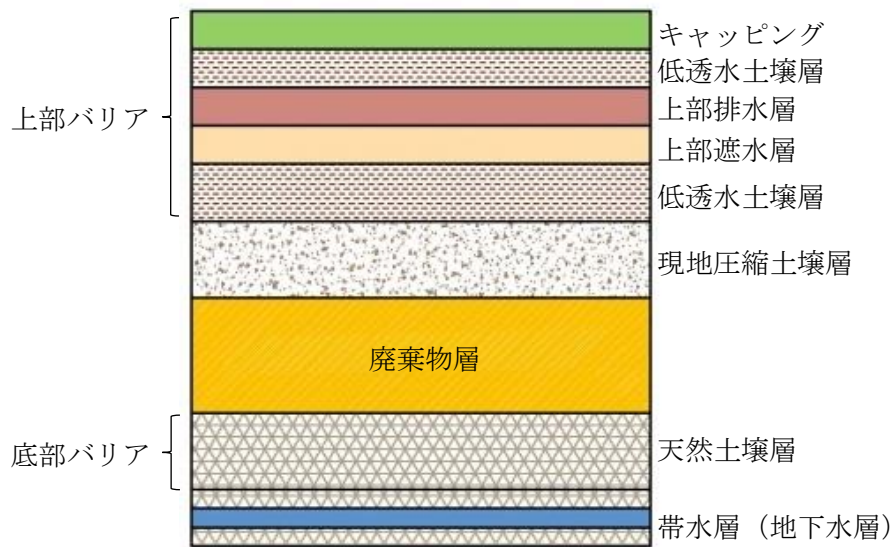


図 2.6.1.(2)-4 バリア構成（掘下型埋設施設埋設施設 [土質遮水+上部遮水層]）

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である。

○ 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る、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 2.6.1.(2)-5、バリア構成を図 2.6.1.(2)-6 に示す。

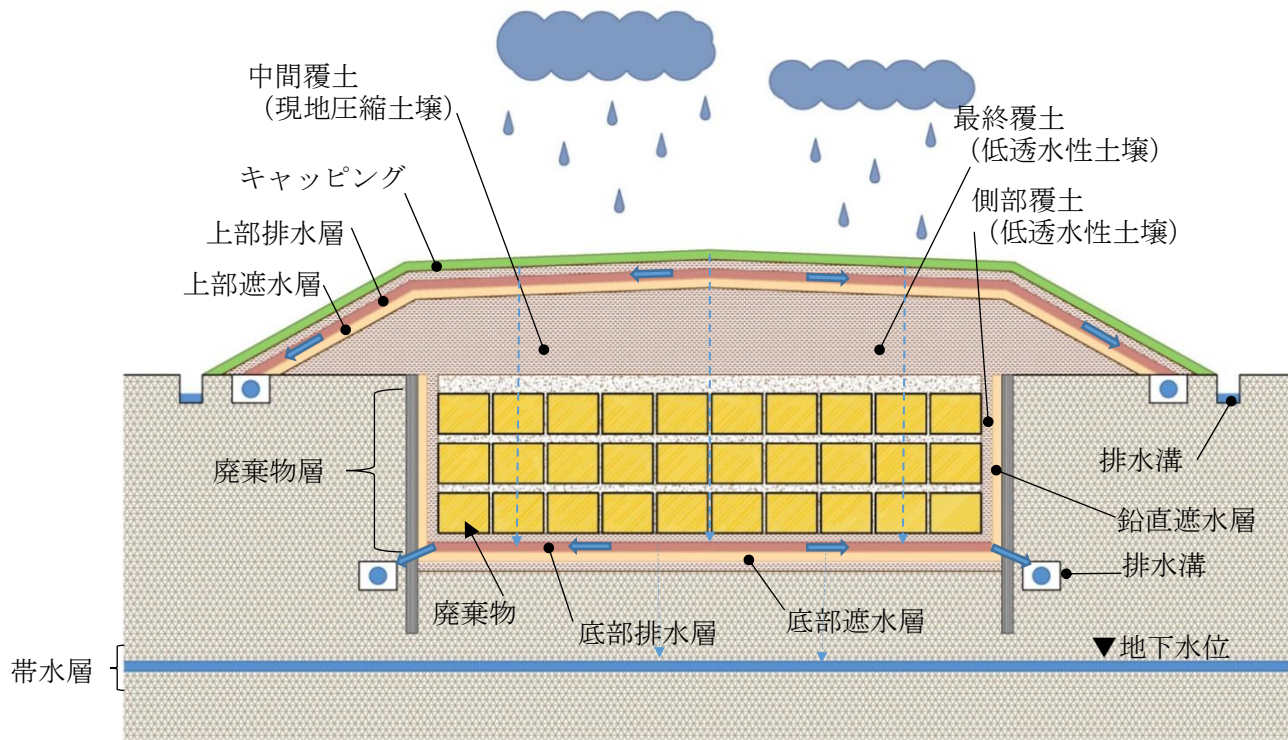


図 2.6.1.(2)-5 平地における掘下型埋施設埋施設 (土質遮水+上部・下部・側部遮水層) の構造概念<sup>[6]</sup>



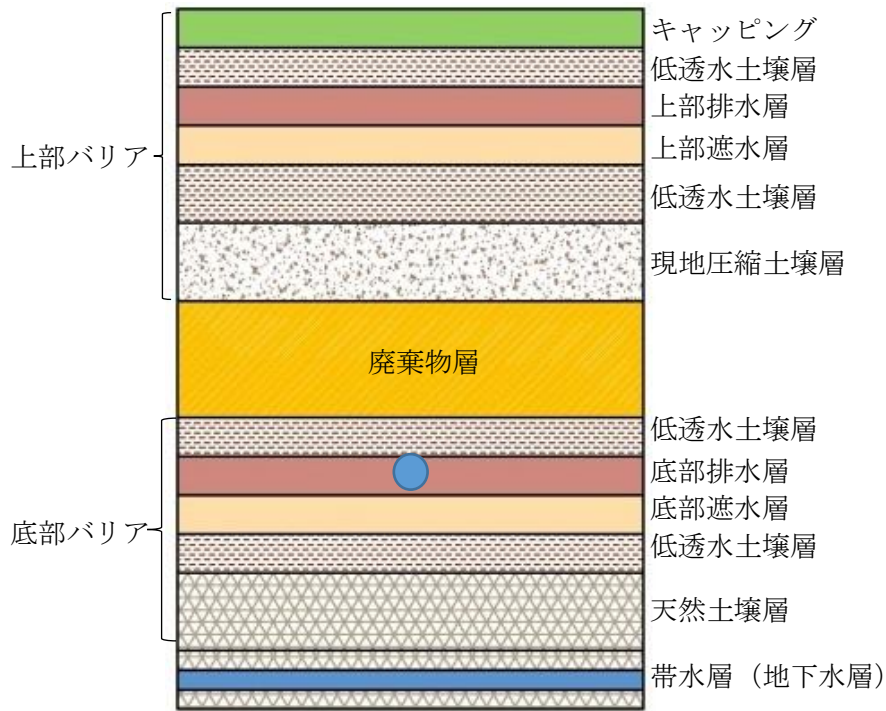


図 2.6.1.(2)-6 バリア構成

(掘下型埋設施設埋設施設 [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埋設施設

掘下型埋設施設の設置に適した地形は 2.6.1(1)b. 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 2.6.1(2)の案①に示した平地における掘下型埋設施設埋設施設 (基本ケース：土質遮水) と同様、雨水抑制対策としては、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、雨水抑制対策として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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。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 2.6.1.(3)-1 に示す。バリア構成は図 2.6.1.(2)-2 と同様のため記載を省略する。

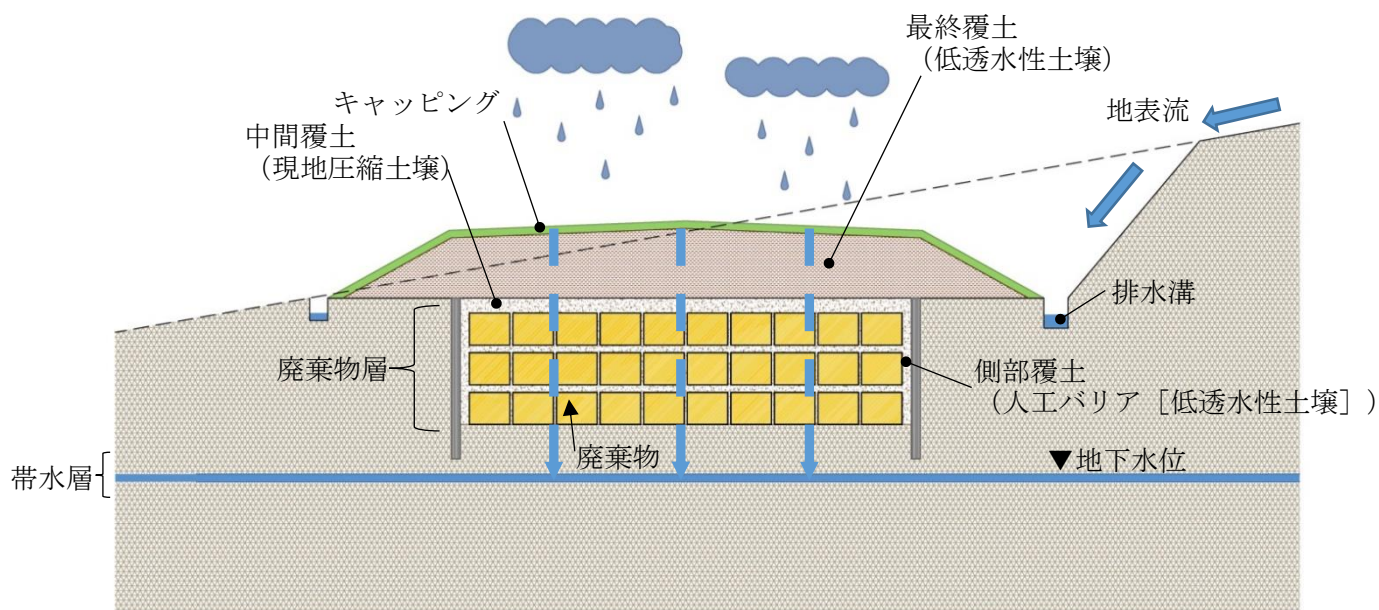


図 2.6.1.(3)-1 丘陵地斜面における掘下型埋設施設埋設施設  
(基本ケース：土質遮水) の構造概念<sup>[6]</sup>

## 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 2.6.1 (2)の案②に示した平地における掘下型埋設施設埋設施設 (土質遮水+上部遮水層) と同様、雨水抑制対策としては、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。

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 2.6.1.(3)-2 に示す。バリア構成は図 2.6.1.(2)-4 と同様のため記載を省略する。

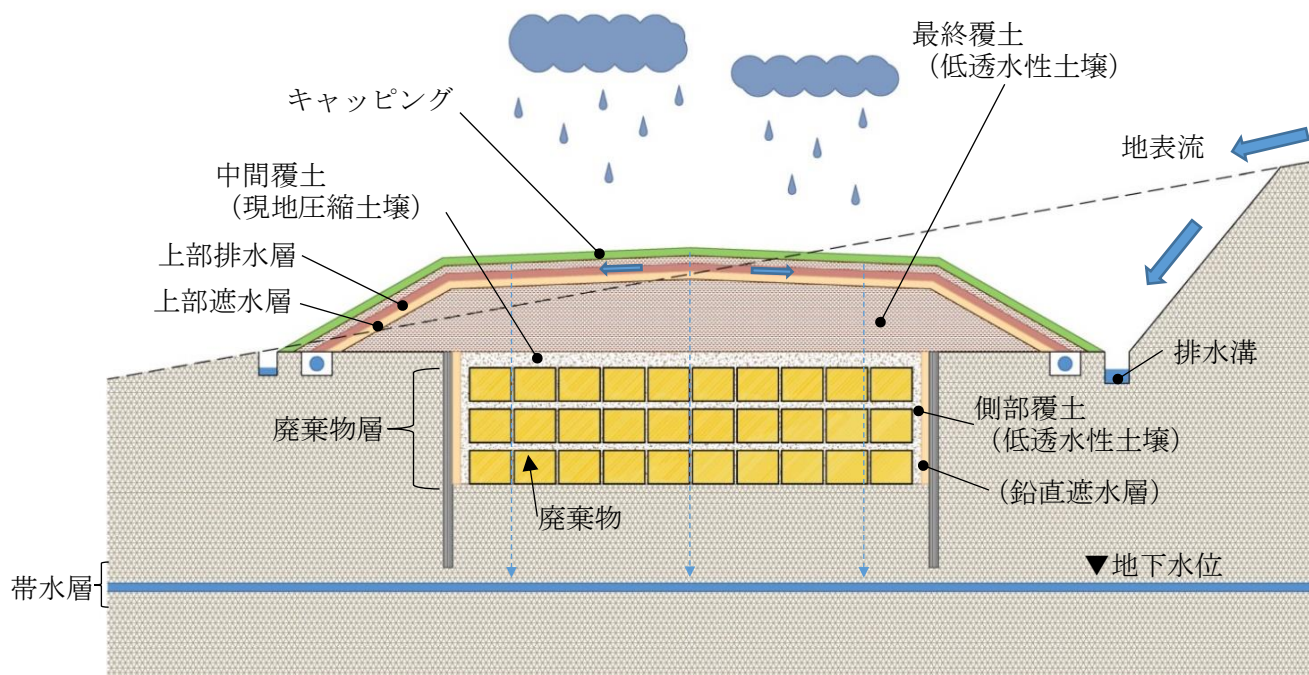


図 2.6.1.(3)-2 丘陵地斜面における掘下型埋設施設埋設施設  
(土質遮水+上部〔側部〕遮水層)の構造概念<sup>[6]</sup>

### 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である。

○ 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、少量が遮水層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 2.6.1.(3)-3 に示す。バリア構成は図 2.6.1.(2)-6 と同様のため記載を省略する。

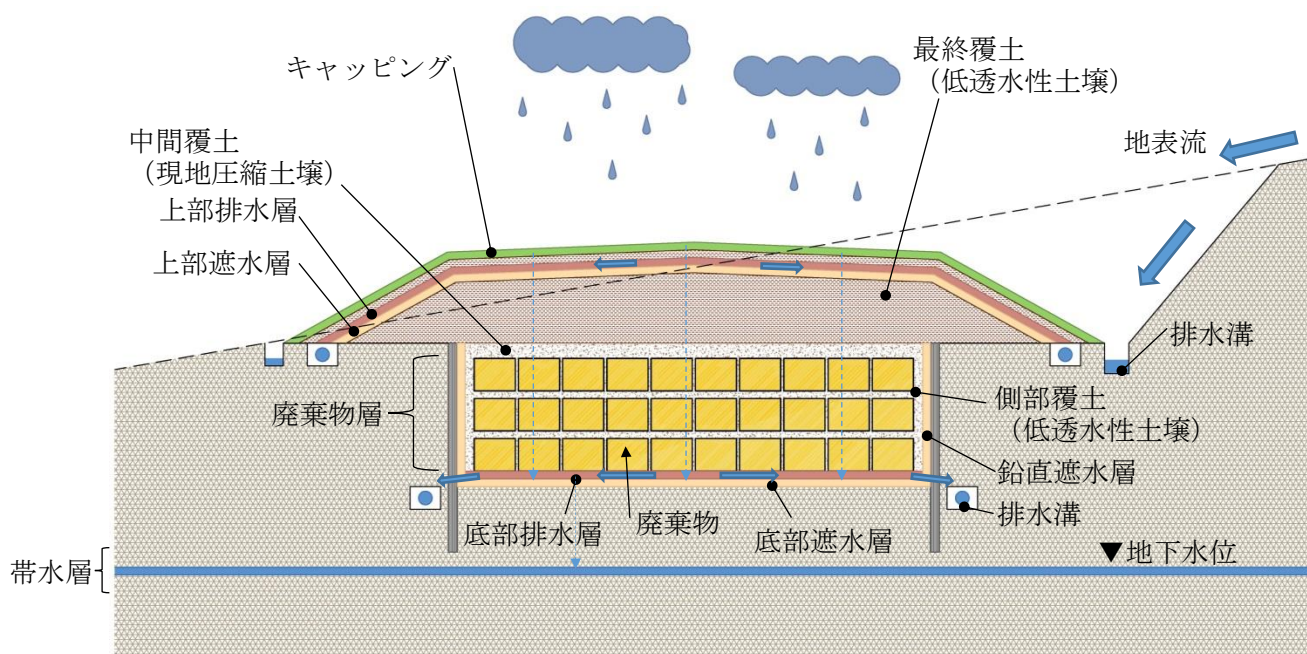


図 2.6.1.(3)-3 丘陵地斜面における掘下型埋設施設埋設施設 (土質遮水+上部・底部・側部遮水層) の構造概念<sup>[6]</sup>

## 2.6.2 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

#### a. 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、放射性物質の移行抑制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 2.6.2.(1)-1 に示す。



(1) フォルスマルク処分場



(2) オスカーシャム処分場



(3) リングハルス処分場

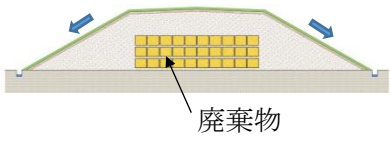
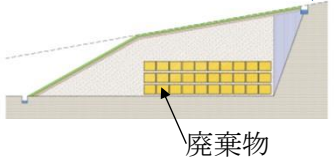
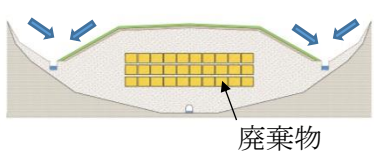
図 2.6.2.(1)-1 スウェーデンの VLLW 処分場（盛土型埋設施設）<sup>[10]</sup>

#### b. 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。各々の地形における埋設施設の構造概念は表 2.6.2.(1)-1 のとおり。



表 2.6.2.(1)-1 各地形に適した盛土型埋設施設概念<sup>[6]</sup>

平地	丘陵地斜面	沢地
		
<p>[適用実績]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フォルスマルク (スウェーデン)</li> <li>・オスカーシャム (スウェーデン)</li> <li>・リングハルス (スウェーデン)</li> </ul>	—	—

c. 雨水・浸出抑制対策.

i. 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、2.6.1 項の掘下型埋設施設埋設施設のうち、(1) c. i. 雨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、放射性物質の漏えいを低減するために、上方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わせるなどの対策が必要となることが考えられる。

ii. 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、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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えい低減を施す必要がある。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。

d. 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する内容については、2.6.1 項の掘下型埋設施設埋設施設のうち、(1) d. 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、c. 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移行抑制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、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。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 2.6.2.(2)-1、バリア構成を図 2.6.2.(2)-2 に示す。

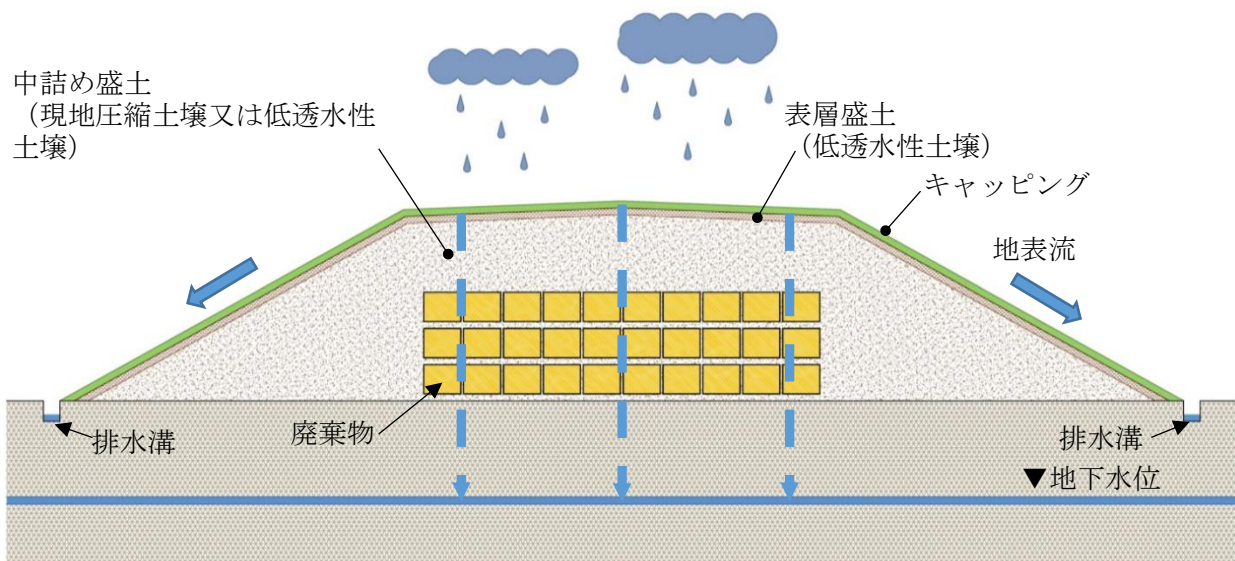


図 2.6.2.(2)-1 平地・盛土型埋設施設 (土質遮水) の構造例<sup>[6]</sup>

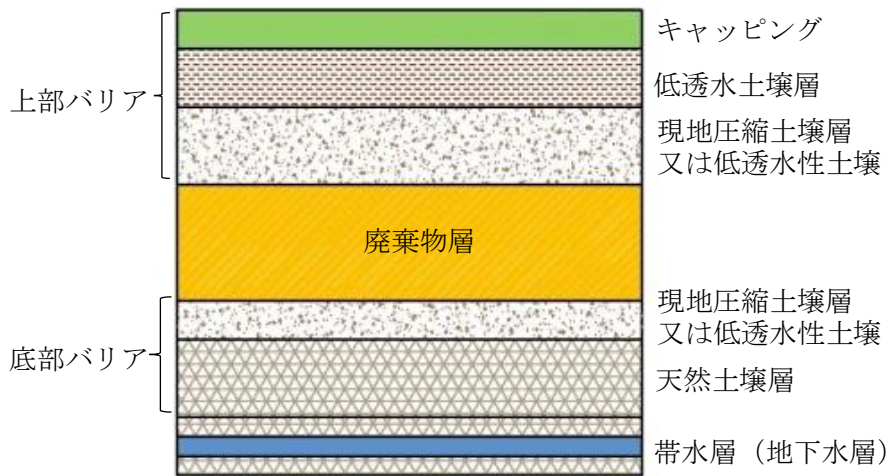


図 2.6.2.(2)-2 バリア構成（平地・盛土型埋設施設 [土質遮水]）

② 案 2（土質遮水＋上部遮水層）

雨水抑制対策として、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。

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 2.6.2.(2)-3、バリア構成を図 2.6.2.(2)-4 に示す



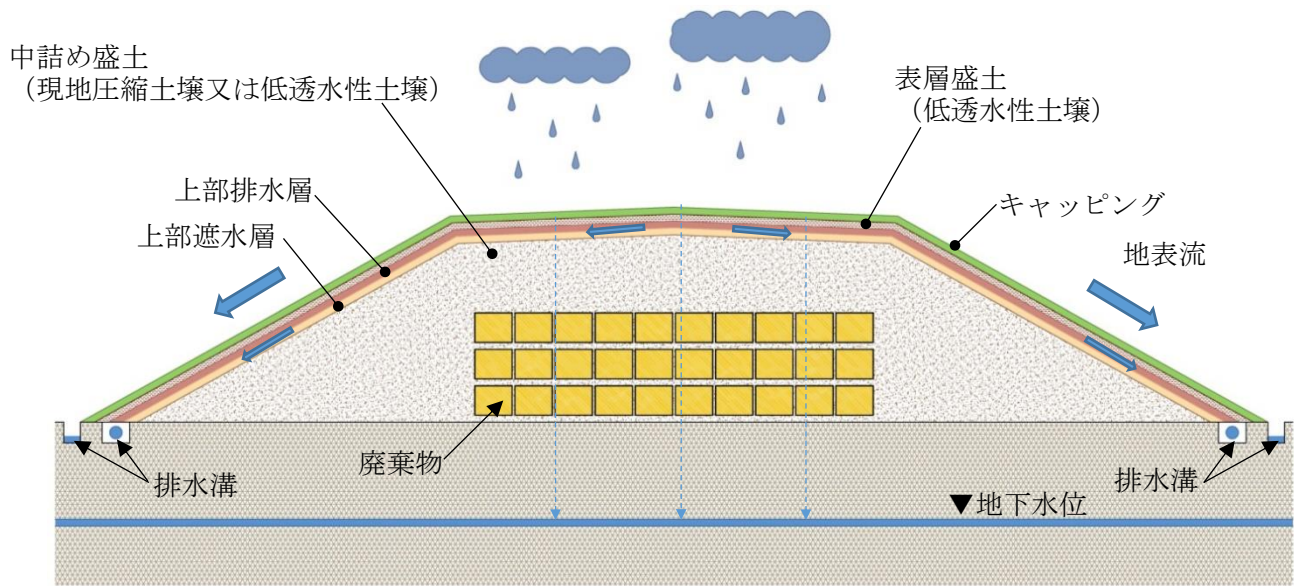


図 2.6.2.(2)-3 平地・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

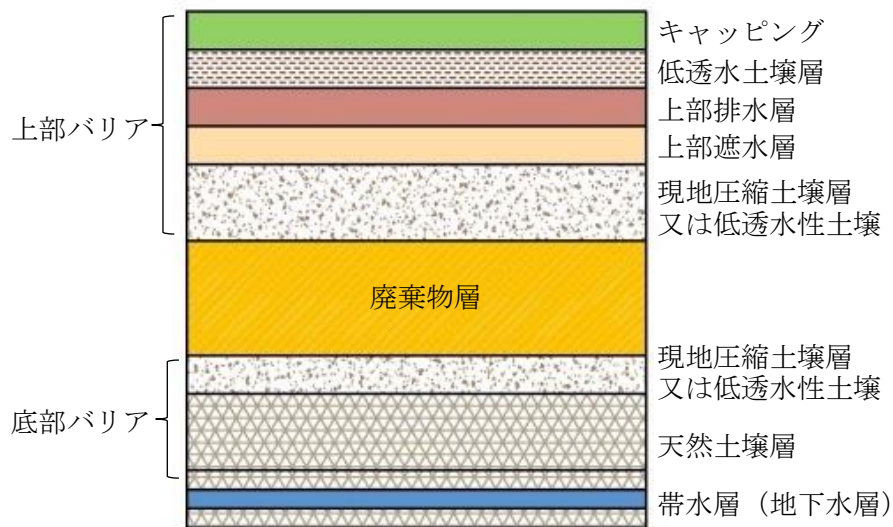


図 2.6.2.(2)-4 バリア構成（平地・盛土型埋設施設 [土質遮水＋上部遮水層]）

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る、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 2.6.2.(2)-5、バリア構成を図 2.6.2.(2)-6 に示す。

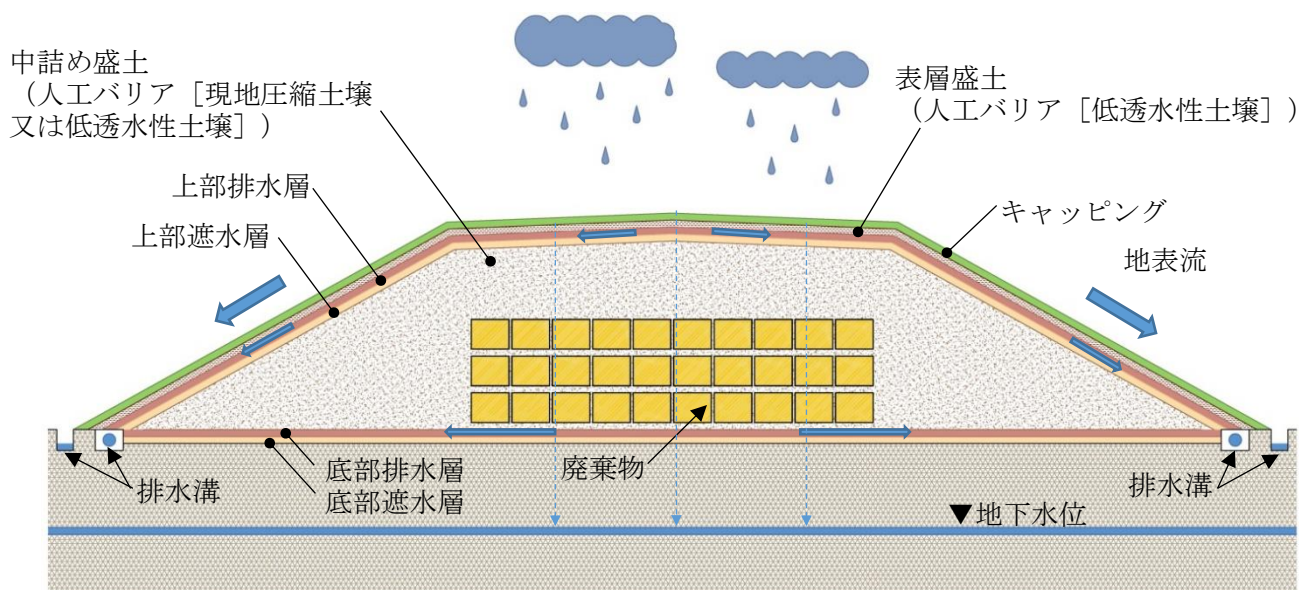


図 2.6.2.(2)-5 平地・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・底部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

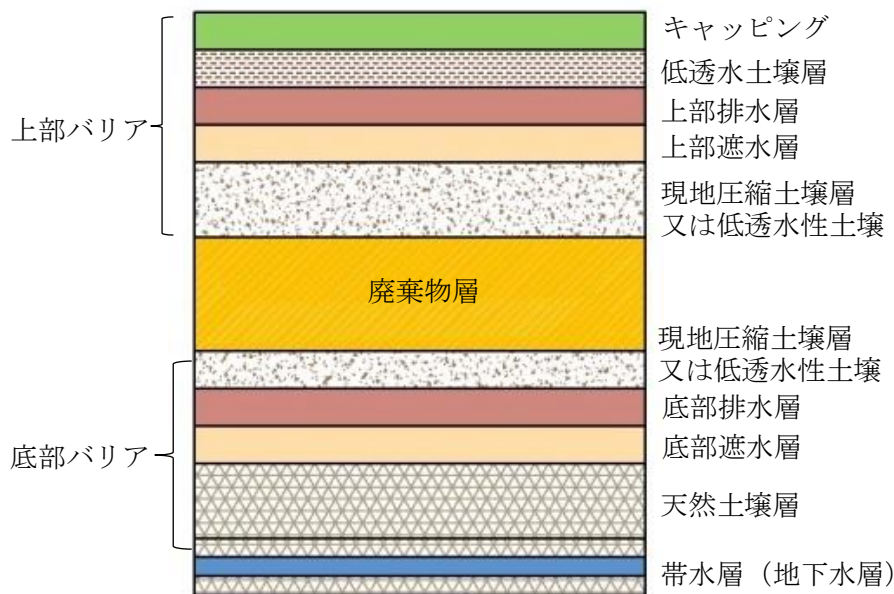


図 2.6.2.(2)-6 バリア構成（平地・盛土型埋設施設 [土質遮水＋上部・底部遮水層]）

### （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移行抑制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 2.6.2.(3)-1 に示す。バリア構成は図 2.6.2.(2)-2 と同様のため記載を省略する。



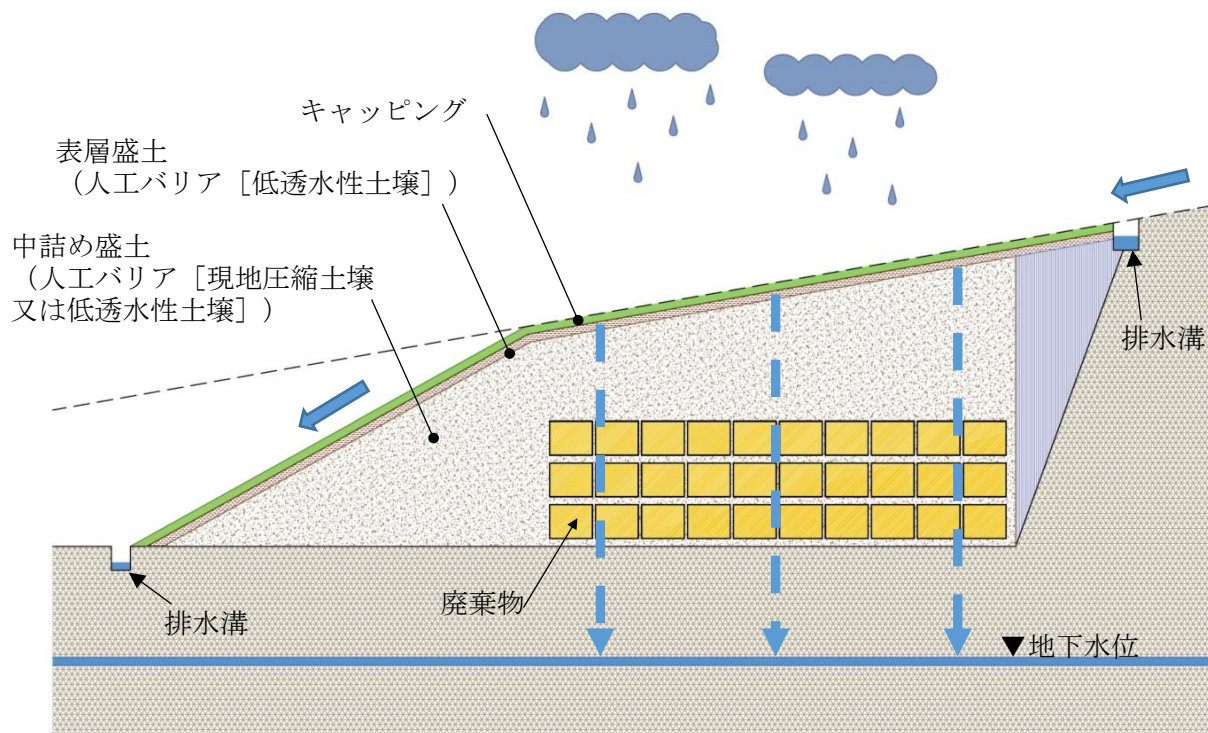


図 2.6.2.(3)-1 斜面・盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例<sup>[6]</sup>

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、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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。

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 2.6.2.(3)-2 に示す。バリア構成は図 2.6.2.(2)-4 と同様のため記載を省略する。

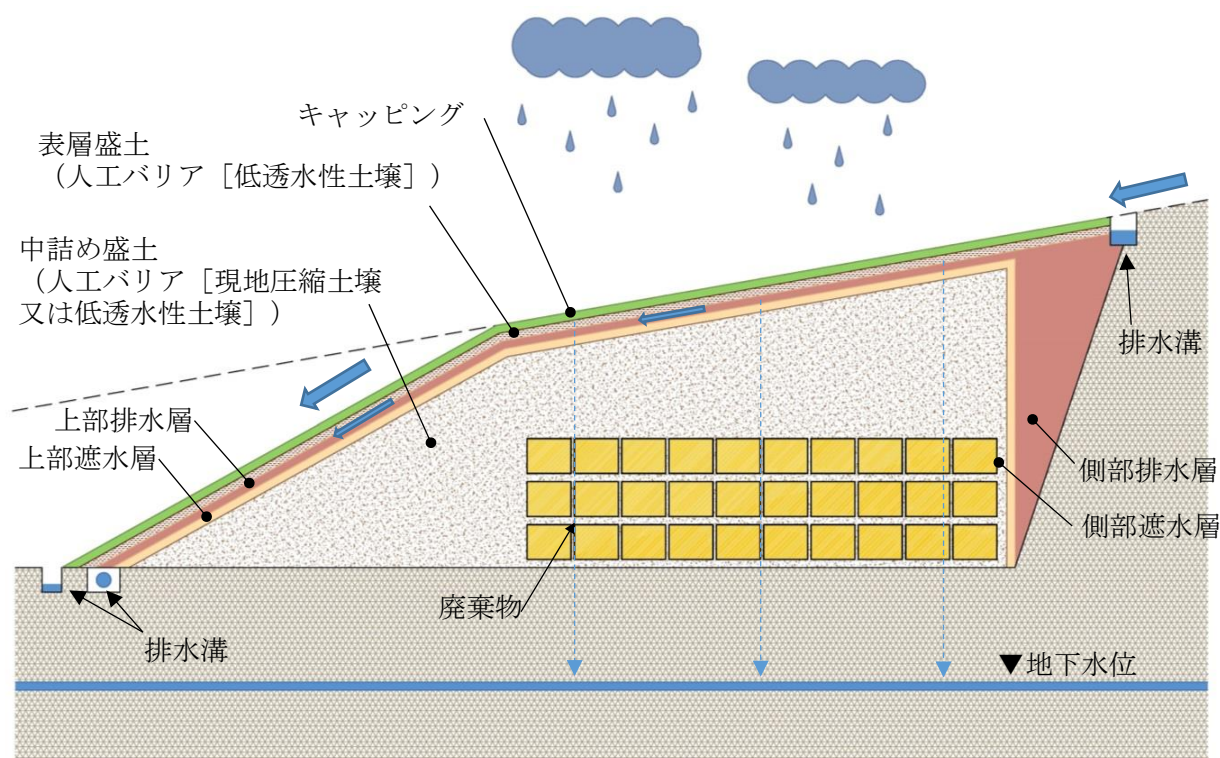


図 2.6.2.(3)-2 斜面・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・側部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

### 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（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である。

○ 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るため、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 2.6.2.(3)-3 に示す。バリア構成は図 2.6.2.(2)-6 と同様のため記載を省略する。

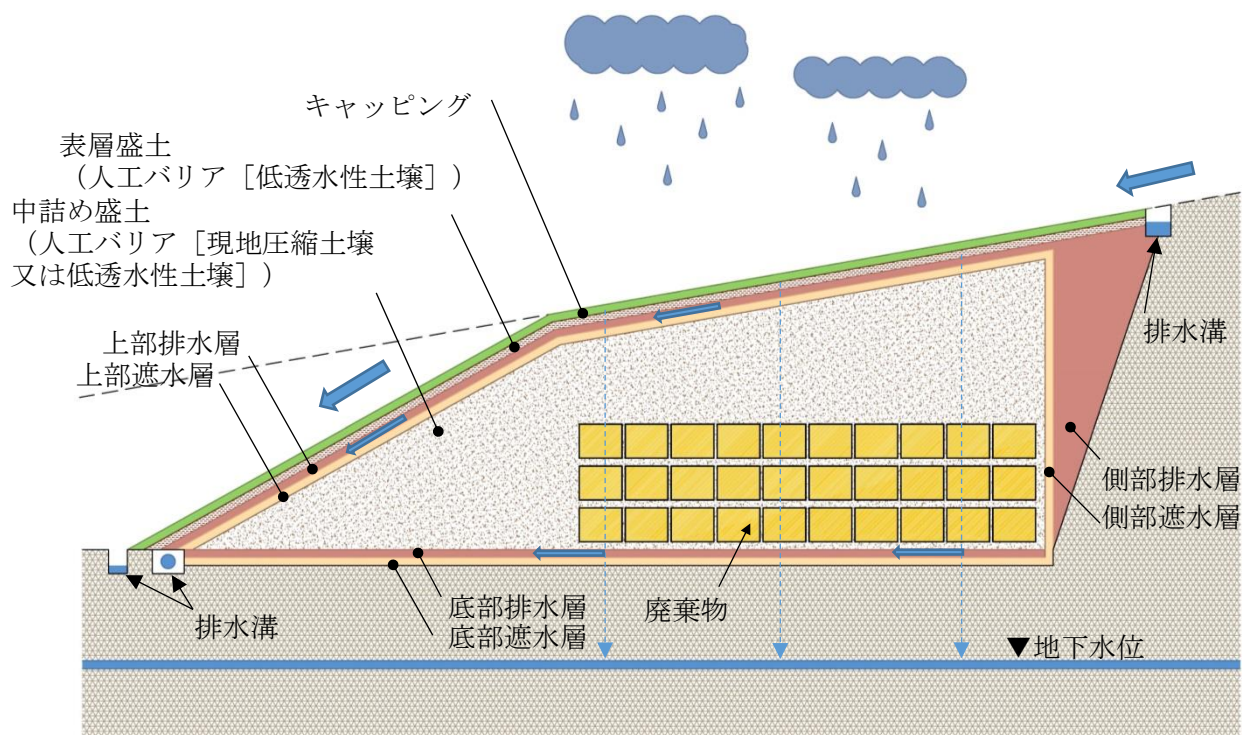


図 2.6.2.(3)-3 斜面・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部・側部・底部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

(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移行抑制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位が高いため、地下水面に到達した水により水位が上昇しないように、沢地の埋立部に排水トンネルを設置して定置した廃棄物の底面に到達しないようにする構造である。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。

本施設の構造概念を図 2.6.2.(4)-1 に示す。バリア構成は図 2.6.2.(2)-2 と同様のため記載を省略する。

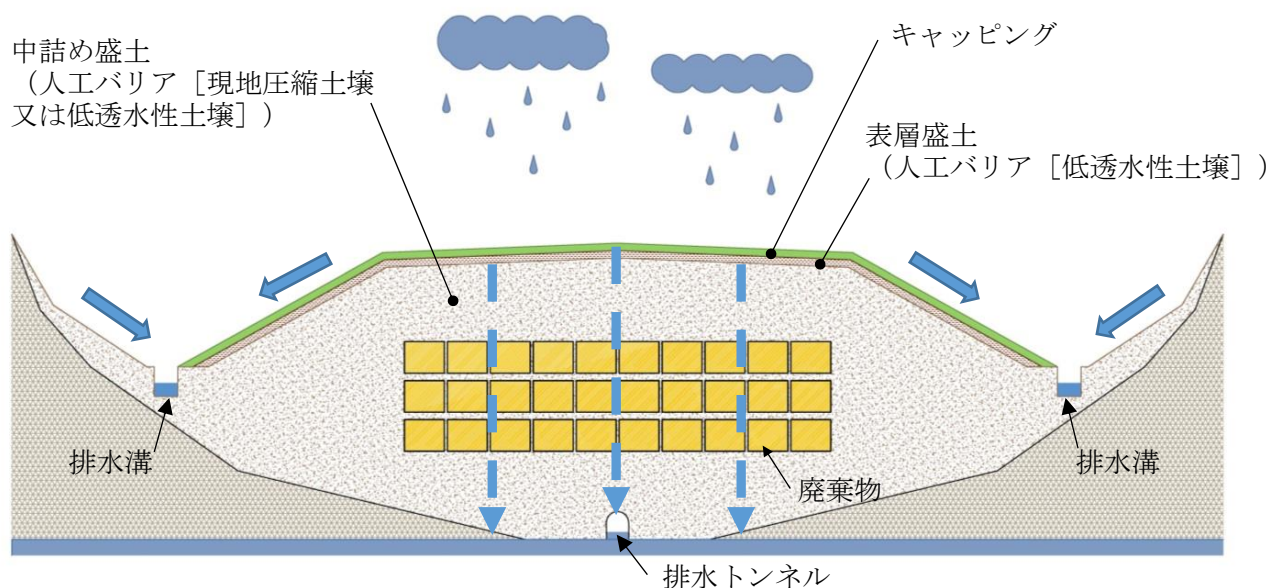


図 2.6.2.(4)-1 沢地・盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例<sup>[6]</sup>

## 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、放射性物質の移行抑制を図る設計である。

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 2.6.2.(4)-2 に示す。バリア構成は図 2.6.2.(2)-4 と同様のため記載を省略する。

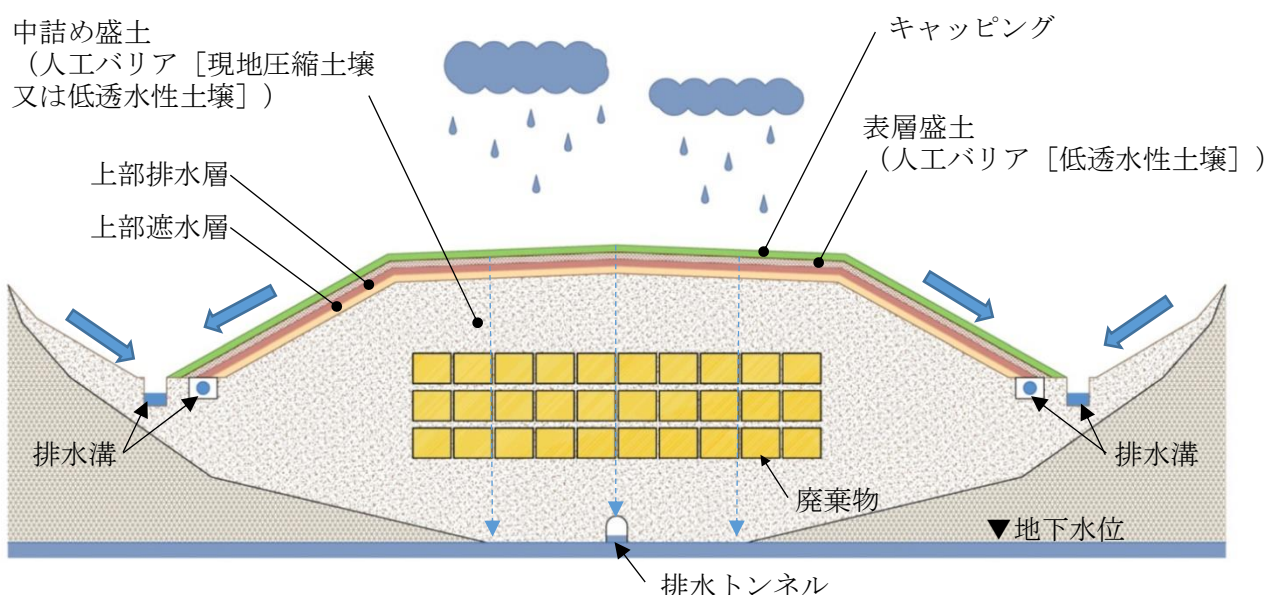


図 2.6.2.(4)-2 沢地・盛土型埋設施設（土質遮水＋上部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

### 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である。

○ 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るため、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 2.6.2.(4)-3 に示す。バリア構成は図 2.6.2.(2)-6 と同様のため記載を省略する。

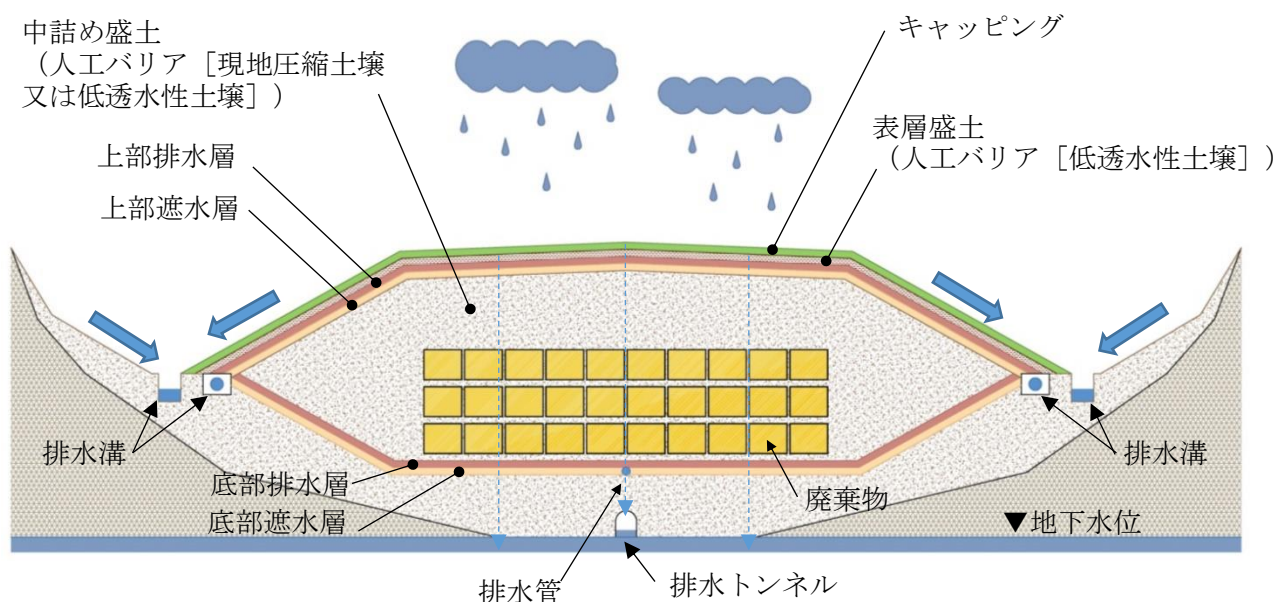


図 2.6.2.(4)-3 沢型埋設施設 (土質遮水+上部・底部遮水層) の構造例<sup>[6]</sup>

### 2.6.3 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

##### a. 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、放射性物質の移行抑制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、山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ルル処分場があり、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)及びエルカブルル処分場(スペイン)の実例を図2.6.3.(1)-1に示す。



(1) モルヴィリエ処分場



(2) エルカブルル処分場



(3) クライブ処分場

図 2.6.3.(1)-1 フランス、スペイン及びアメリカの VLLW 処分場  
(半地下式盛土型埋設施設) [9, 11, 12]

b. 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、放射性物質の移行抑制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は表 2.6.3.(1)-1 のとおり。

表 2.6.3.(1)-1 各地形に適した半地下式盛土型埋設施設概念<sup>[6]</sup>

平地	丘陵地斜面
<p>[適用実績]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・モルヴィリエ処分場 (フランス)</li> <li>・クライブ処分場 (アメリカ)</li> </ul>	<p>[適用実績]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エルカブルル処分場 (スペイン)</li> </ul>

c. 雨水・浸出抑制対策.

i. 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、2.6.1 項

の掘下型埋設施設埋設施設のうち、(1) c. i. 雨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、放射性物質の漏えいを低減するために、上方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わせるなどの対策が必要となることも考えられる。

## ii. 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、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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えい低減を施す必要がある。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。

## d. 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する内容については、2.6.1 項の掘下型埋設施設埋設施設のうち、(1) d. 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、c. 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移行抑制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 2.4.2 (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 2.6.3.(2)-1、バリア構成を図 2.6.3.(2)-2 に示す。



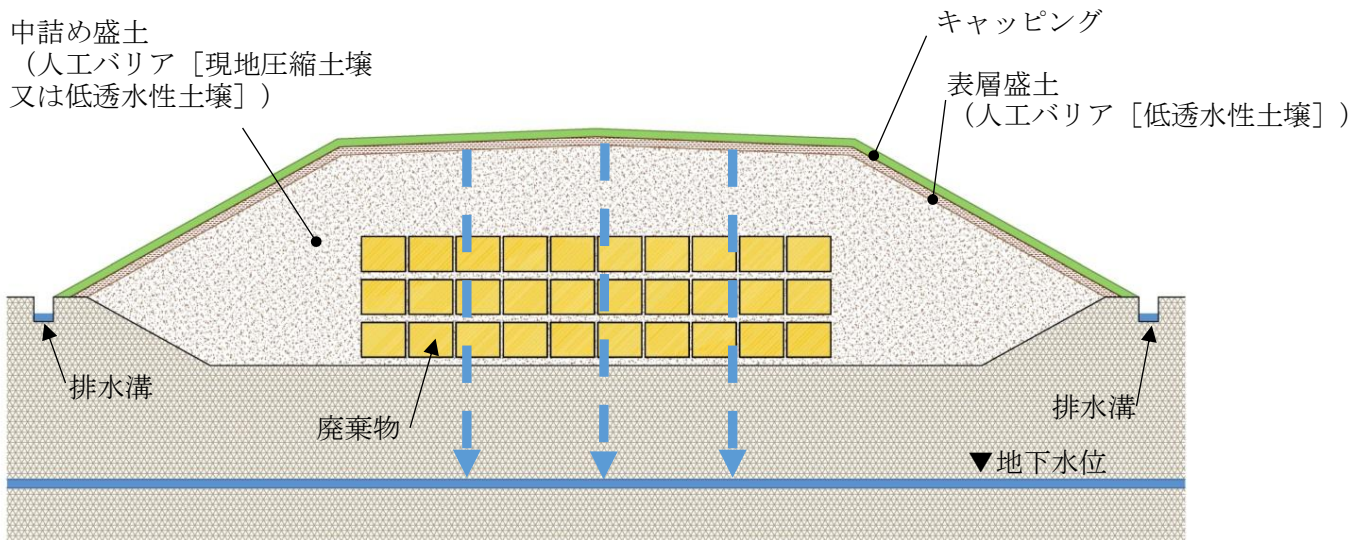


図 2.6.3.(2)-1 平地・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水）の構造例<sup>[6]</sup>

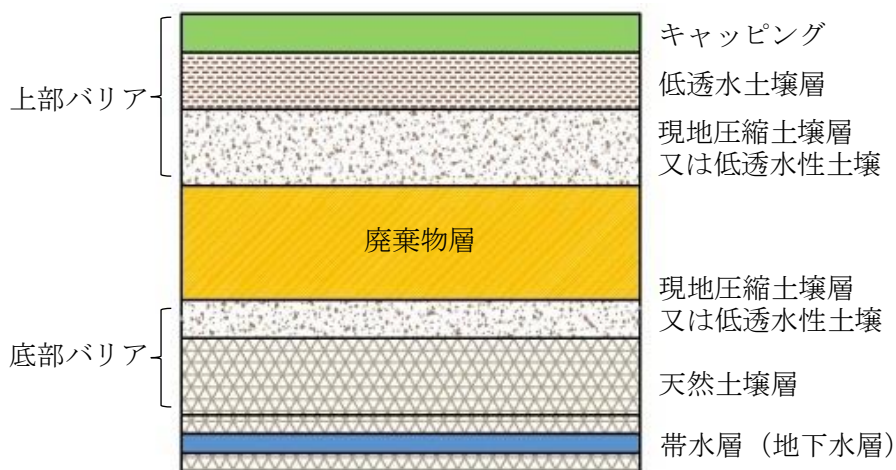


図 2.6.3.(2)-2 バリア構成（平地・半地下式盛土型埋設施設〔土質遮水〕）

② 案 2（土質遮水＋上部遮水層）

雨水抑制対策として、現行の許可基準規則第十条又は改定規則の第十三条に基づき、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 2.6.2 (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 2.6.3.(2)-3、バリア構成を図 2.6.3.(2)-4 に示す

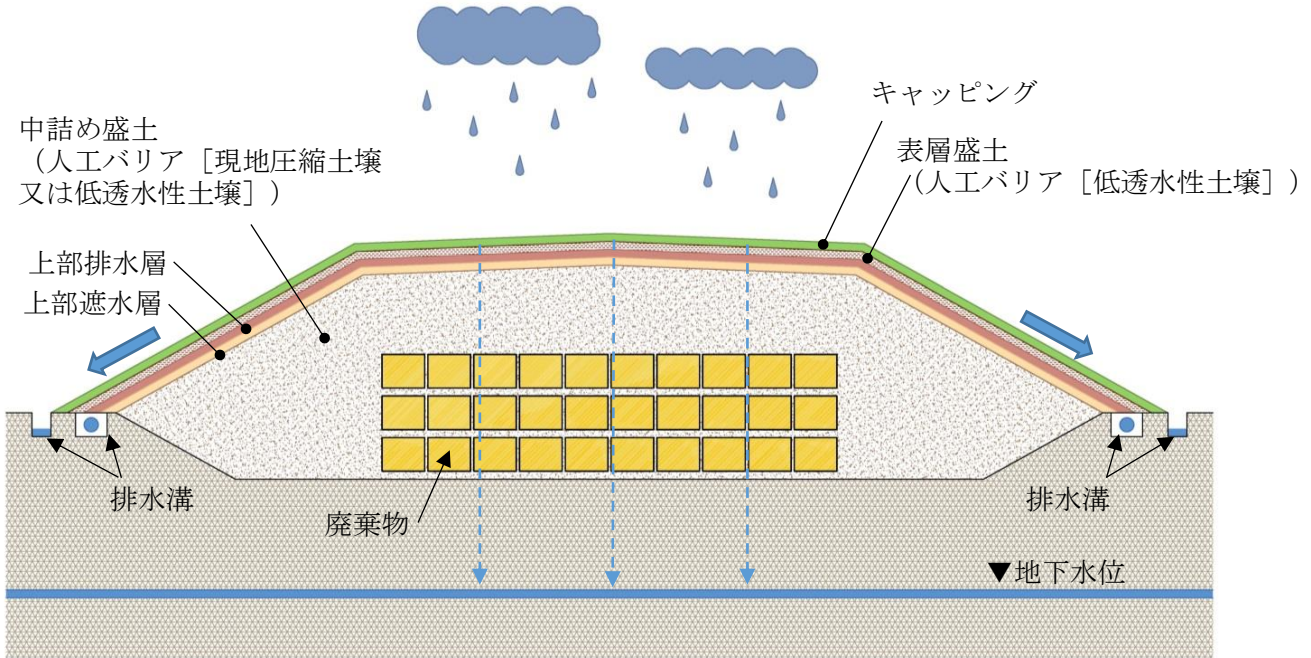


図 2.6.3.(2)-3 平地・半地下式盛土型埋施設（土質遮水＋上部遮水層）の構造例[6]

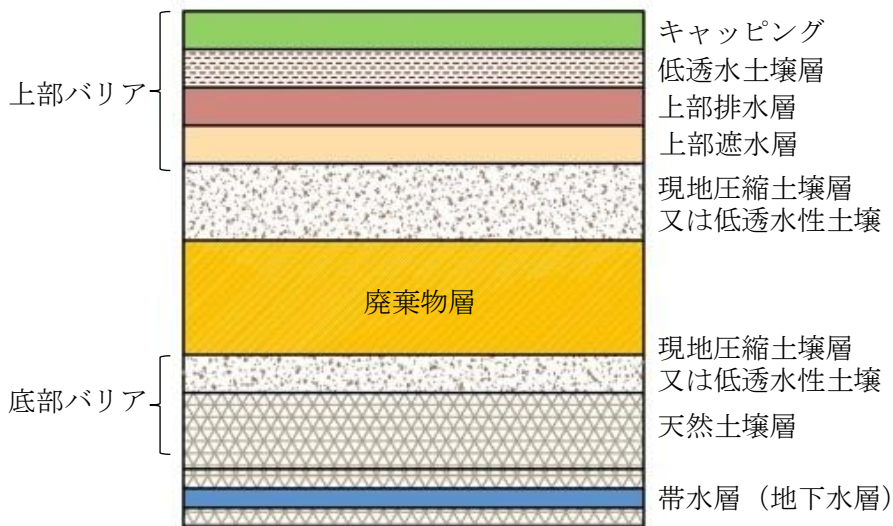


図 2.6.3.(2)-4 バリア構成（平地・半地下式盛土型埋施設 [土質遮水＋上部遮水層]）

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2.6.2(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2.6.3.(2)-5、バリア構成を図2.6.3.(2)-6に示す。

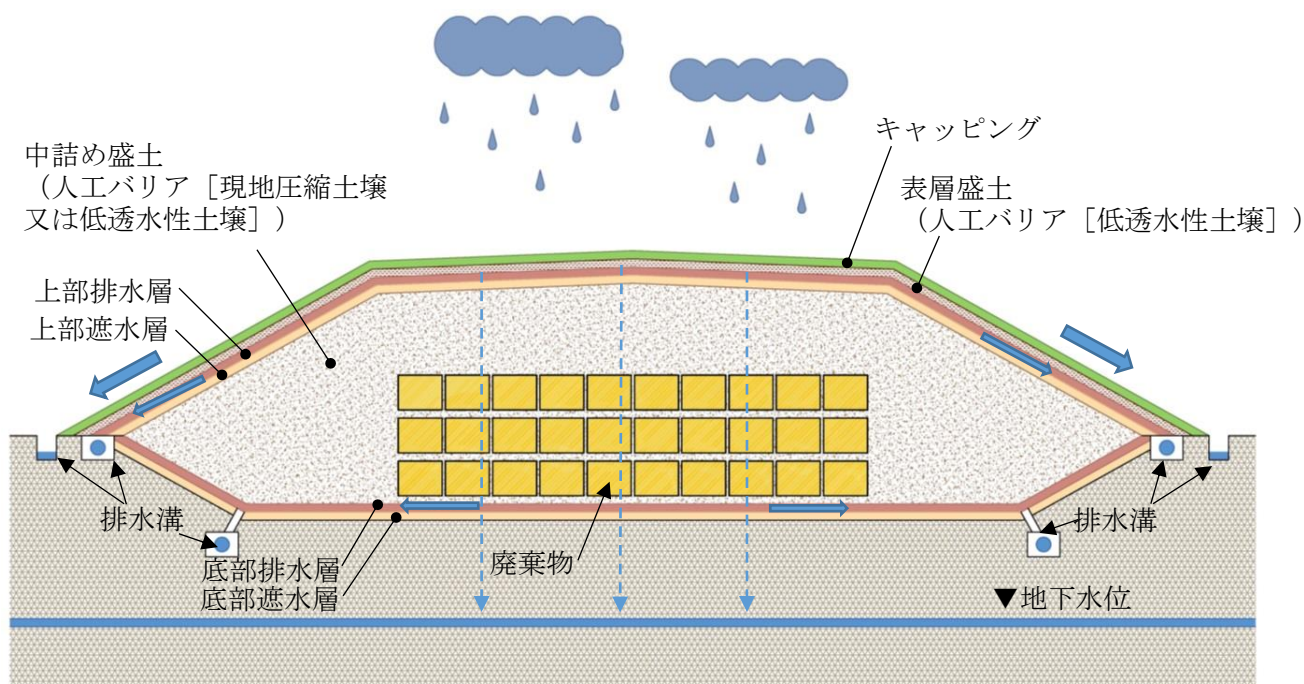


図2.6.3.(2)-5 平地・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水+上部・底部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

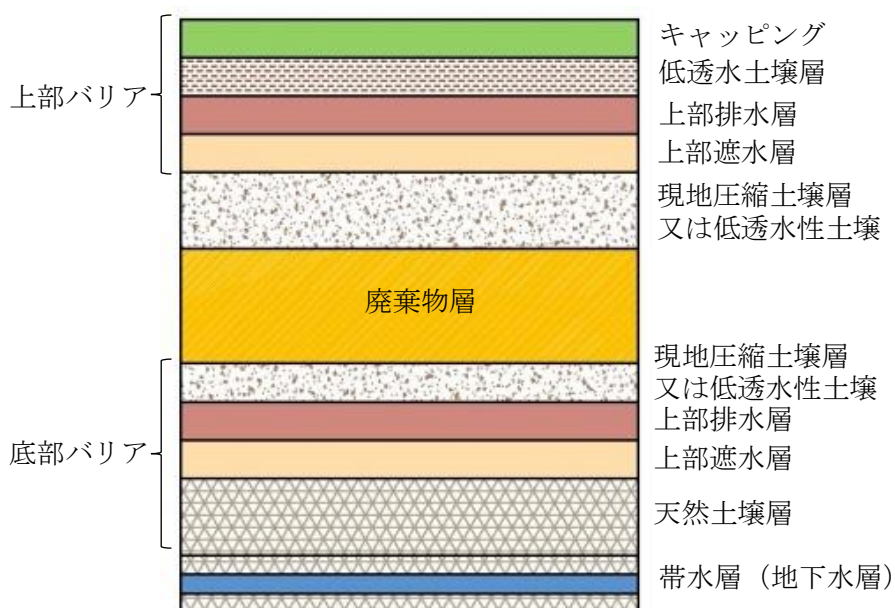


図2.6.3.(2)-6 バリア構成（平地・半地下式盛土型埋設施設 [土質遮水+上部・底部遮水層]）



### (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移行抑制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2.6.2(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2.6.3.(3)-1に示す。バリア構成は図2.6.3.(2)-2と同様のため記載を省略する。

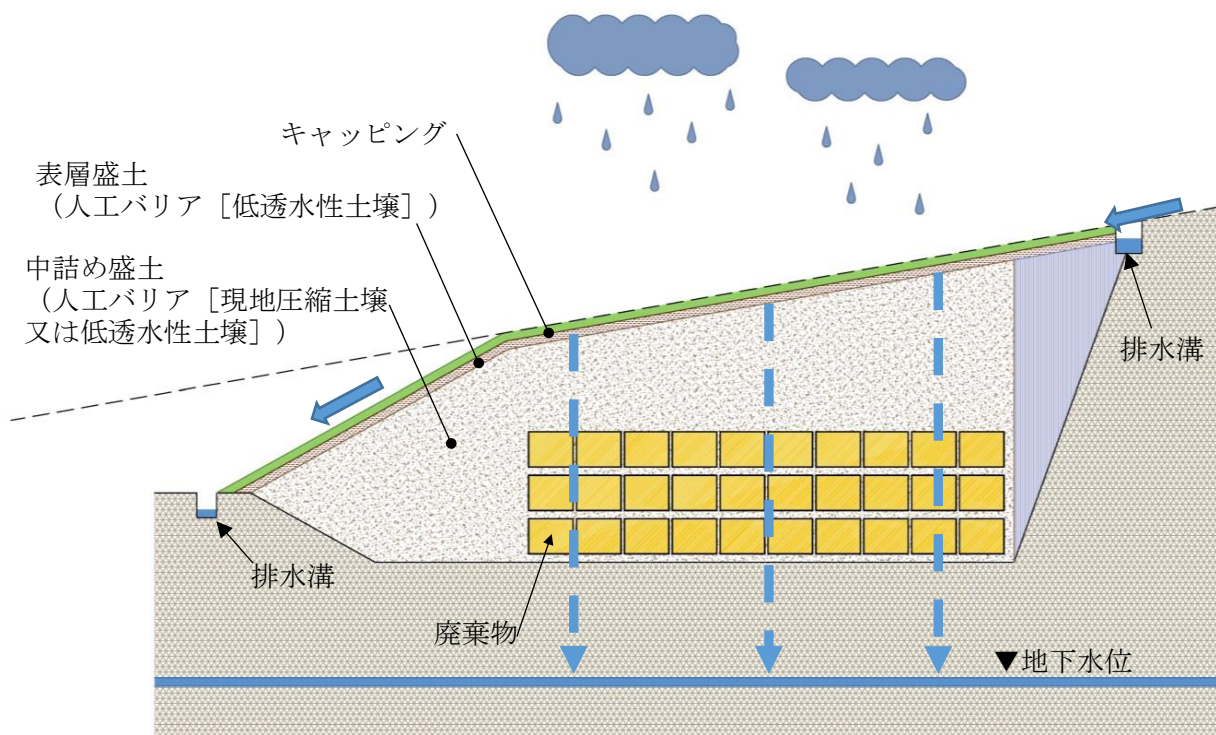


図2.6.3.(3)-1 斜面・半地下式盛土型埋設施設 (土質遮水) の構造例<sup>[6]</sup>

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2.6.2(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2.6.3.(3)-2に示す。バリア構成は図2.6.3.(2)-4と同様のため記載を省略する。

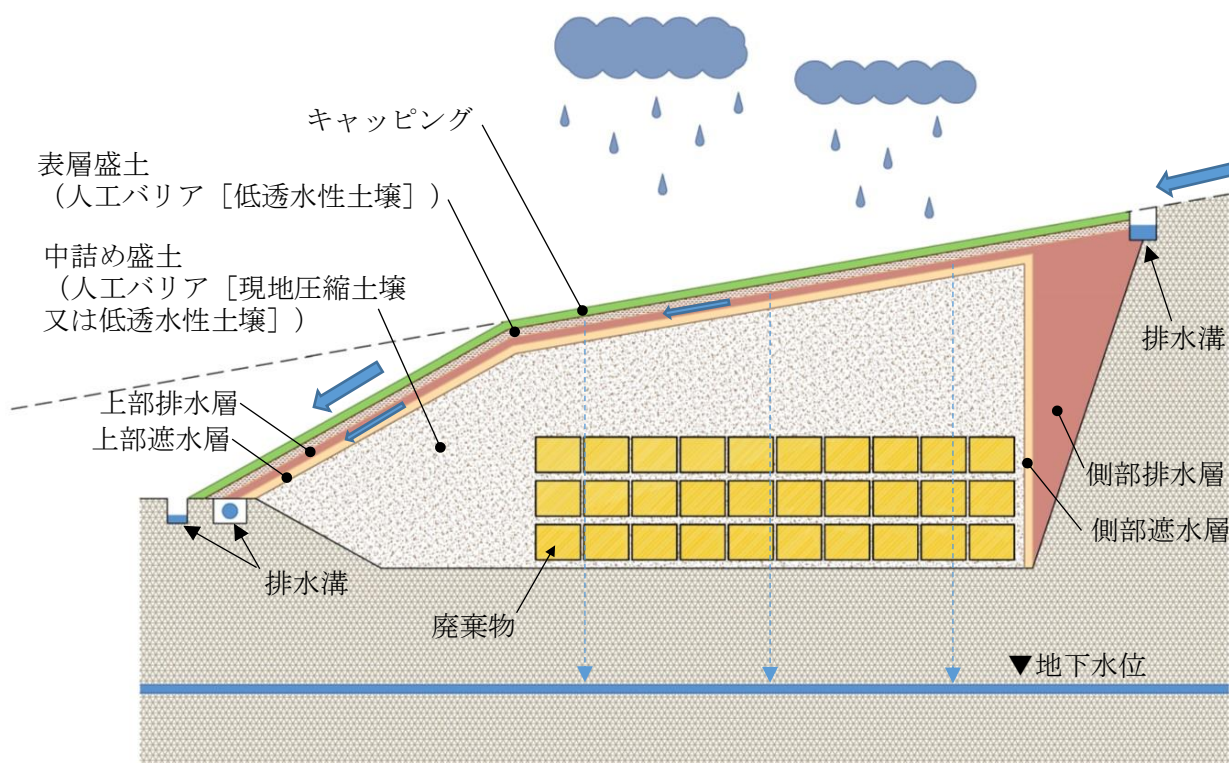


図 2.6.3.(3)-2 斜面・半地下式盛土型埋設施設（土質遮水+上部・側部遮水層）の構造例<sup>[6]</sup>

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2.6.2(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2.6.3.(3)-3に示す。バリア構成は図2.6.3.(2)-6と同様のため記載を省略する。

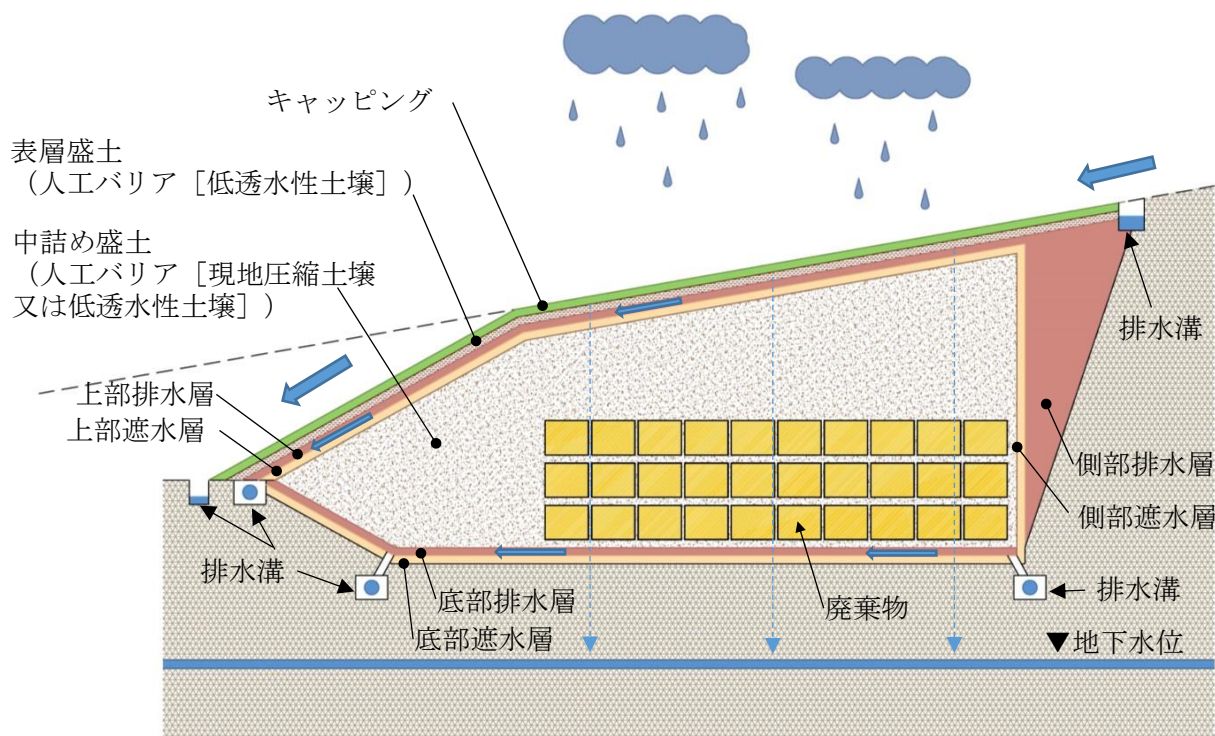


図 2.6.3.(3)-3 斜面・半地下式盛土型埋設施設  
(土質遮水+上部・側部・底部遮水層)の構造例<sup>[6]</sup>

#### 2.6.4 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

###### a. 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、VLLW 埋設施設の実例はまだない。

b. 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。

c. 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、2.6.1 項の掘下型埋設施設埋設施設のうち、(1) c. i. 雨水抑制対策に記載した内容と同様である。

d. 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、2.6.1 項の掘下型埋設施設埋設施設のうち、(1) d. 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。

e. 課題

- ・ 坑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、放射性物質の移行抑制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 2.6.4.(2)-1 に示す。

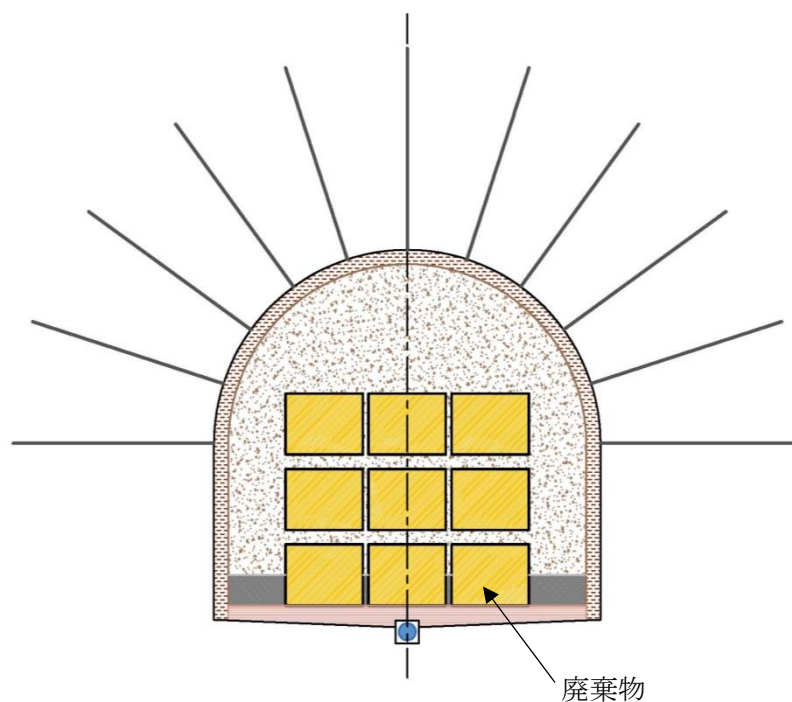


図 2.6.4.(2)-1 トンネル型埋設施設の構造例[6]

### 3. 雨水・浸出水対策

改正許可基準規則・解釈第 13 条第 2 項では、「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ている。

- a. 設計時点において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。
- 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当該機能ができるだけ維持できる構成・仕様であること。
- d. 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 13 条第 3 項には、「廃棄物埋設施設の表面を土砂等で覆う方法その他の方法により、廃棄物埋設施設の外への放射性物質の漏えいが低減される機能を有するものでなければならない。」との制限事項が追記されたため、低透水性の土砂を使用するなど、廃棄物埋設地の地質調査結果による地層構造や地盤の透水性に応じて、廃棄物埋設施設への雨水の浸透水量を低減する適切な対策を考慮した設計とする必要がある。

以上を考慮した雨水・浸出水対策として、以下のとおり表面遮水、キャッピング及び鉛直遮水について利用可能な技術を抽出した。これらの工法を体系化すると図 3-1 のように分類できる。

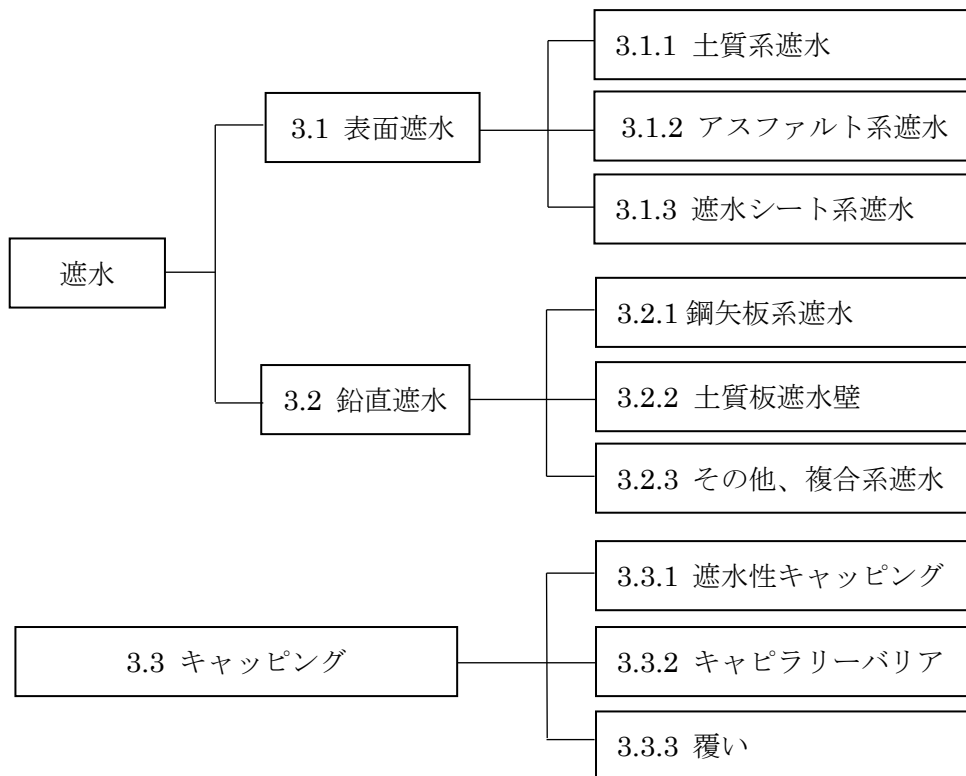


図 3-1 雨水・浸出水対策工法の分類<sup>[13]</sup>



### 3.1 表面遮水工

表面遮水工は、廃棄物埋設地の地質調査結果による地層構造や地盤の透水性に応じて遮水工法を選定するものとし、天然土質による土質系遮水を基本として、必要に応じて他の遮水工法を組み合わせる。国内の管理型最終処分場及び海外の VLLW 処分場に適用可能な遮水工法を参考に、VLLW 処分場に適用可能な表面遮水工法を抽出した結果を図 3.1-1 に示す。



図 3.1-1 表面遮水の分類<sup>[13]</sup>

### 3.1.1.1 土質系遮水

#### 3.1.1.1.1 土質系遮水材の種類

土質系遮水工に利用する遮水材は、天然の粘土などを使用した「天然粘土系遮水材」、現地発生土に主にベントナイトを混合して改良した材料を使用する「ベントナイト系遮水材」、並びに現地発生土にセメント系材料を混合して改良した材料を使用する「セメント系土質遮水材」に分類できる。各々の遮水材の種類等については、以下の(1)～(3)のとおりである。

#### (1) 天然粘土系遮水材

##### ① 土の分類<sup>[29]</sup>

ここでは、天然土質の性質を利用した遮水工について述べる。地盤材料は、表 3.1.1.1-1 に示す各粒径を境にして粒径区分をし、各々の区分範囲の粒子を表 3.1.1.1-1 に示す呼び名で表される。

地盤工学会基準「地盤材料の工学的分類方法 (JGS0051-2009)」によると、地盤材料の分類は、大分類、中分類及び小分類とし、目的に応じた分類段階まで行うこととしている。

地盤材料を主に観察結果と粒度試験で得られる粒度組成に基づき、表 3.1.1.1-2 (地盤材料全体) 及び表 3.1.1.1-3 (土質材料の大分類) のように、各々地盤材料及び土質材料について大分類し、その分類名と分類記号を付番する。

土質材料のうち粗粒土の小分類は、材料の観察とともに主に土質材料の粒度組成により行うもので、粒度組成による分類の代表として三角座標による分類 (図 3.1.1.1-1) を用いる。

また、主に細粒土の中分類及び小分類は、主に観察と塑性図 (図 3.1.1.1-2)、液性限界値を用いて行う。

以上を用いると土質材料の工学的分類の体系化が可能で、体系化したものが表 3.1.1.1-4 になる。これが現在日本で用いられている土の分類体系である。なお、細粒土に大分類したもので、粗粒分が 5%以上混入するものは、表 3.1.1.1-5 に従って細区分される。

表 3.1.1.1-1 地盤材料の粒径区分とその呼び名<sup>[29]</sup>

細粒分		粗粒分						石分		
粘土	シルト	砂			礫			石		
		細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石 (コブル)	巨石 (ボールドー)	岩又は 岩盤
(粒径)	0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.75	19	75	300	2000 mm

表 3.1.1.1-2 地盤材料の工学的分類体系<sup>[29]</sup>

材料名	材料の分類名
地盤材料	岩石質材料 (Rm) (石分 $\geq 50\%$ )
	石分まじり土質材料 (Sm - R) ( $0\% < \text{石分} < 50\%$ )
	土質材料 (Sm) (石分 = 0%)

表 3.1.1.1-3 土質材料の工学的分類体系 (大分類) <sup>[29]</sup>

材料名	区分方法	大分類	
		土質材料区分	土質区分
土質材料 (Sm)	粒径で区分	粗粒土 (Cm) 〔粗粒分 $> 50\%$ 〕 〔粒径で分類〕	礫質土 (G) (礫分 $>$ 砂分)
			砂質土 (S) (砂分 $\geq$ 礫分)
		細粒土 (Fm) 〔細粒分 $\geq 50\%$ 〕 〔観察で分類〕	粘性土 (Cs)
			有機質土 (O)
	観察により 起源で区分	高有機質土 (Pm) (有機物を多く含むもの)	高有機質土 (Pt)
		人工材料 (Am) (人工的に加工したもの)	人工材料 (A)

表 3.1.1.1-4 土質材料の工学的分類体系

(a) 粗粒土の工学的分類体系 (礫質土) [29]

大分類		中分類		小分類	
土質材料区分	土質区分	主に観察による分類		三角座標上の分類	
粗粒土 (Cm) (粗粒分 > 50%)	礫質土 (G) (礫分 > 砂分)	細粒分 < 15%	礫 (G) (砂分 < 15%)	礫 (G) (細粒分 < 5% 砂分 < 5%)	
				砂まじり礫 (G-S) (細粒分 < 5% 5% ≤ 砂分 < 15%)	
				細粒分まじり礫 (G-F) (5% ≤ 細粒分 < 15% 砂分 < 5%)	
				細粒分砂まじり礫 (G-FS) (5% ≤ 細粒分 < 15% 5% ≤ 砂分 < 15%)	
			砂礫 (GS) (15% ≤ 砂分)	砂質礫 (GS) (細粒分 < 5% 15% ≤ 砂分)	
				細粒分まじり砂質礫 (GS-F) (5% ≤ 細粒分 < 15% 15% ≤ 砂分)	
			15% ≤ 細粒分	細粒分まじり礫 (GF)	細粒分質礫 (GF) (15% ≤ 細粒分 砂分 < 5%)
					砂まじり細粒分質礫 (GF-S) (15% ≤ 細粒分 5% ≤ 砂分 < 15%)
		細粒分質砂質礫 (GFS) (15% ≤ 細粒分 15% ≤ 砂分)			

(b) 粗粒土の工学的分類体系 (砂質土) [29]

大分類		中分類		小分類
土質材料区分	土質区分	主に観察による分類		三角座標上の分類
粗粒土 (Cm) (粗粒分 > 50%)	砂質土 (S) (砂分 ≥ 礫分)	細粒分 < 15%	砂 (S) (礫分 < 15%)	砂 (S) (細粒分 < 5%) (砂分 < 5%)
				礫まじり砂 (S-G) (細粒分 < 5%) (5% ≤ 礫分 < 15%)
				細粒分まじり砂 (S-F) (5% ≤ 細粒分 < 15%) (礫分 < 5%)
				細粒分礫まじり砂 (F-FG) (5% ≤ 細粒分 < 15%) (5% ≤ 礫分 < 15%)
		礫質砂 (SG) (15% ≤ 礫分)	礫質砂 (SG) (細粒分 < 5%) (15% ≤ 礫分)	
			細粒分まじり礫質砂 (SG-F) (5% ≤ 細粒分 < 15%) (15% ≤ 礫分)	
		15% ≤ 細粒分	細粒分まじり砂 (SF)	細粒分質砂 (SF) (15% ≤ 細粒分) (礫分 < 5%)
				礫まじり細粒分質砂 (SF-G) (15% ≤ 細粒分) (5% ≤ 礫分 < 15%)
				細粒分質礫質砂 (SFG) (15% ≤ 細粒分) (15% ≤ 礫分)

(凡例) 「質」と「まじり」の使い方

- ・ 質量構成比：15%以上 50%未満、分類表記：○○質、接続記号：なし
- ・ 質量構成比：5%以上 15%未満、分類表記：○○まじり、接続記号：-
- ・ 質量構成比：5%未満、分類表記：表記しない、接続記号：なし



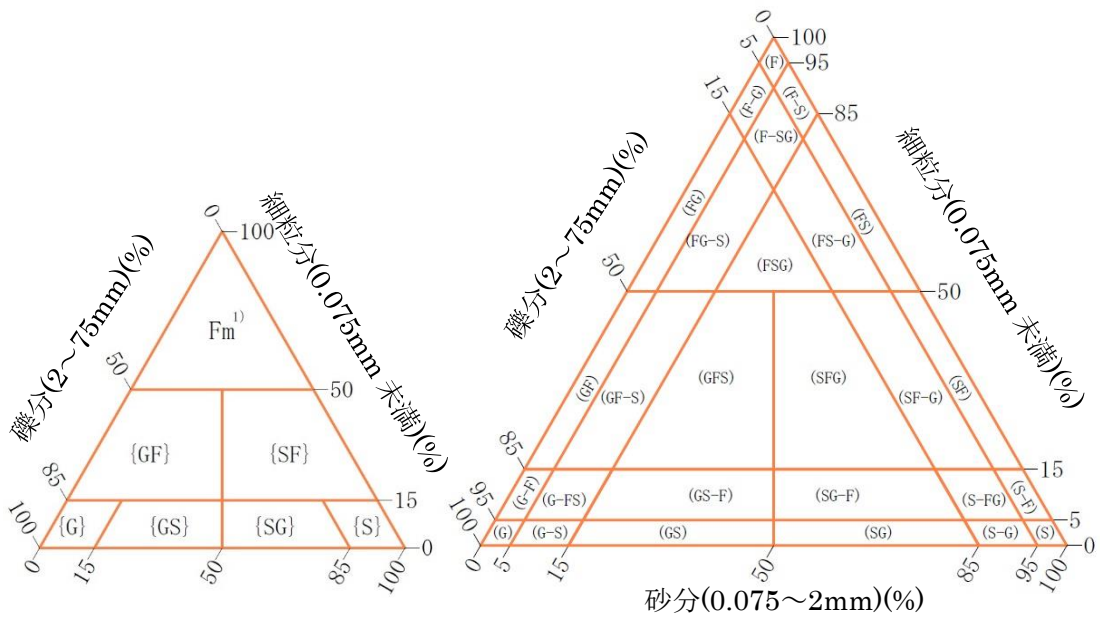
(c) 主に細粒土の工学的分類体系<sup>[29]</sup>

大分類		中分類	小分類	
土質材料区分	土質区分	観察・塑性図上の分類	観察・液性限界等に基づく分類	
細粒土 (Fm) (細粒分 $\geq 50\%$ )	粘性土 (Cs)	シルト (M) (塑性図上で分類)	$\omega L < 50\%$ - シルト (低液性限界) (ML)	
			$\omega L \geq 50\%$ - シルト (高液性限界) (MH)	
		粘土 (C) (塑性図上で分類)	$\omega L < 50\%$ - 粘土 (低液性限界) (CL)	
			$\omega L \geq 50\%$ - 粘土 (高液性限界) (CH)	
	有機質土 (O) (有機質、暗色で有機臭あり)			$\omega L < 50\%$ - 有機質粘土 (低液性限界) (OL)
				$\omega L \geq 50\%$ - 有機質粘土 (高液性限界) (OH)
				有機質で火山灰質 - 有機質火山灰土 (OV)
	火山灰質粘性土 (V) (地質的背景)			$\omega L < 50\%$ - 火山灰質粘性土 (低液性限界) (VL)
				$50\% \leq \omega L < 80\%$ - 火山灰質粘性土 (I型) (VH <sub>1</sub> )
				$\omega L \geq 80\%$ - 火山灰質粘性土 (II型) (VH <sub>2</sub> )
高有機質土 (Pm) (有機物を多く含むもの)	高有機質土 (Pt)		未分解で繊維質 - 泥炭 (Pt)	
			分解が進み黒色 - 黒泥 (Mk)	
人工材料 (Am)	人工材料 (A)	廃棄物 (Wa)	廃棄物 (Wa)	
		改良土 (I)	改良土 (I)	

(凡例)  $\omega L$  : 液性限界

表 3.1.1.1-5 粗粒分 5%以上混入細粒土の細区分<sup>[29]</sup>

砂分混入量	礫分混入量	土質名称
砂分 < 5%	礫分 < 5%	細粒土 (F)
	$5\% \leq$ 礫分 < 15%	礫まじり細粒土 (F-G)
	$15\% \leq$ 礫分	礫質細粒土 (FG)
$5\% \leq$ 砂分 < 15%	礫分 < 5%	砂まじり細粒土 (F-S)
	$5\% \leq$ 礫分 < 15%	砂礫まじり細粒土 (F-SG)
	$15\% \leq$ 礫分	砂まじり礫質細粒土 (FG-S)
$15\% \leq$ 砂分	礫分 < 5%	砂質細粒土 (FS)
	$5\% \leq$ 礫分 < 15%	礫まじり砂質細粒土 (FS-G)
	$15\% \leq$ 礫分	砂礫質細粒土 (FSG)



(1) 中分類用三角座標

(2) 粗粒度の小分類及び細粒土の細区分用三角座標

図 3.1.1.1-1 三角座標[29]

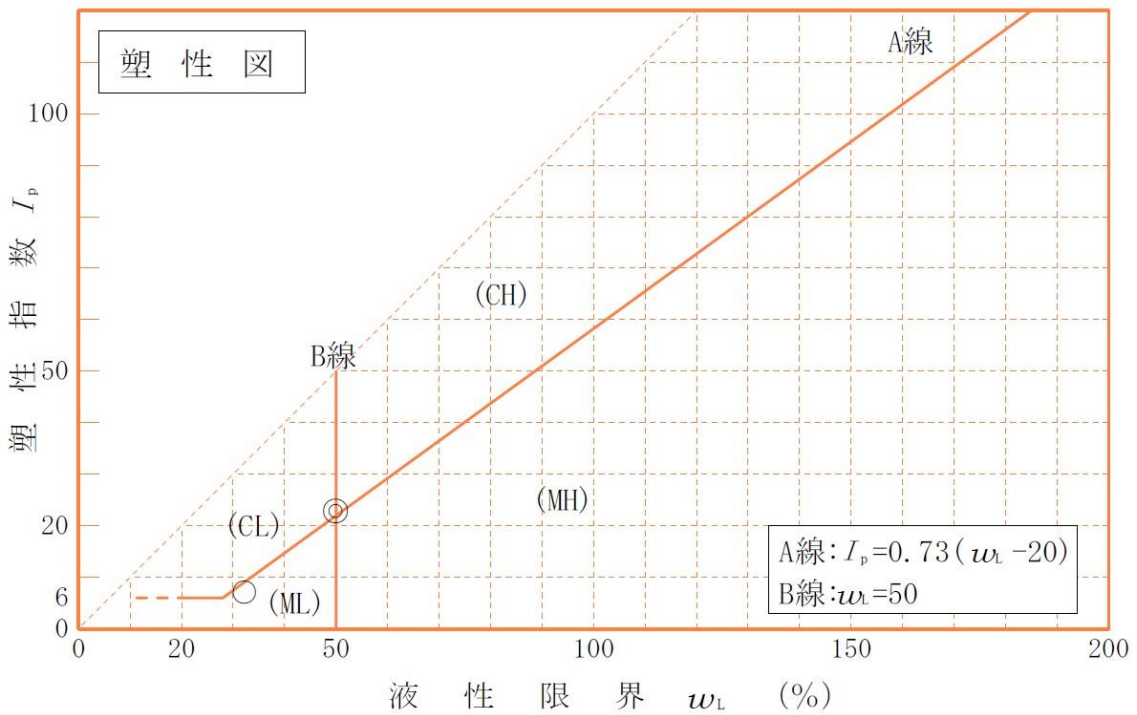


図 3.1.1.1-2 塑性図[29]

② 土の特性 (透水性)

一般に、土質材料は a. で述べたように粒径やシルト・粘土含有量によって分類され

る。しかし、土の透水性は同一の土においても密度、飽和度や土の構造などの土の状態によって大幅に異なる。したがって、求めよとする透水係数は、想定される現場条件に対応する試験条件のもとに求める必要がある。日本工業規格「土の透水試験方法（JIS A 1218 : 2009）」によると、土の種類と透水性の関係と、適用される試験方法については、表 3.1.1.1-5 に示すとおりである。

表 3.1.1.1-5 土の種類と透水性の関係及び適用される試験方法<sup>[17]</sup>

透水係数 k (m/s)	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>0</sup>
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中位		高い			
対応する土の種類	粘性土 (C)		微細砂、シルト、 砂-シルト-粘土混合土 (SF) (S-F) (M)			砂及び礫 (GW) (GP) (SW) (SP) (G-M)			清浄な礫 (GW) (GP)			
透水係数を 直接測定する方法	特殊な 変水位透水試験		変水位透水試験			定水位浸透試験			特殊な 変水位透水試験			
透水係数を間接的に 推定する方法	圧密試験結果から計算		なし			清浄な砂と礫は粒度と間隙比から計算						

土質材料の選定に当たっては、廃棄物埋設地の地質調査結果による地層構造、現地地盤の透水性及び取り扱う廃棄物の性状に応じて必要な性能の土質を選定することになる。シルト・粘性土など透水性の低い材料ほど締固めによる施工性が悪くなるため、施工性についても十分に検討したうえで材料を決定する必要がある。しかし、通常は入手しやすい土砂を使用せざるを得ない場合が多く、この場合には極端に酸度やアルカリ度の強い土壌、有害物質を含む土壌等、浸出水の性状を悪化させる土壌、植生に支障となるような土壌は可能な限り避けなければならない。

最終覆土には降雨の浸食に対し抵抗力が強く、透水性が小さく、植生に適した土壌が望ましい。例えば腐植物性を適度に含むローム系の土壌が適当である。

なお、建設現場等から発生する土砂を最終覆土として使用する場合は、周辺環境に支障を及ぼす有害物質が含まれていないことを事前に確認しておく必要がある。

### ③ 土の特性（物性値）<sup>[13, 15, 16, 17, 29]</sup>

また、VLLW 埋設施設設計に当たっては、改正許可基準規則第 13 条（廃棄物埋設地）第 4 項に基づき、廃止措置の開始後における埋設した放射性廃棄物に起因して発生することが想定される放射性物質による公衆の受ける線量評価結果が、その基準を満足する必要がある。この線量評価の実施に際しては、廃棄物埋設地の物理的・化学的状態を十分に把握し、評価に反映させることが要求されているため、廃棄物埋設地の状態の変化も考慮する必要がある。このため、土質材料の選定の際は、物性値（土粒子密度、含水比、間隙比等）の変化の範囲も考慮したうえで選定する必要がある。つまり、この物性値の変化の範囲が、線量評価に使用する廃棄物埋設地の状態変化を

考慮したパラメータの変動範囲となる。

表 3.1.1.1-6 に主な土質材料の物性値を示す。

表 3.1.1.1-6 土質区分と物性値<sup>[18,19]</sup>

土質 区分 <sup>※1</sup>	項目		範囲		根拠 (参考文献)
			最小	最大	
砂	土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.6	2.8	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂, 真比重
	含水比	%	5	20	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂, 自然含水比
	間隙比	—	0.5	1.0	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂, 自然間隙比
砂質土	土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.6 (2.5)	2.8 (2.7)	参考文献 19 : p58, 表-2. 2.2, 沖積砂質土 (参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂, 真比重)
	含水比	%	10 (20)	30 (40)	参考文献 19 : p151, 表-2. 9.2, 沖積層砂質土 (参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂質土, 自然含水比)
	間隙比	—	1.1	2.0	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂質土, 自然間隙比
シルト	土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.5	2.7	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂質シルト, 真比重
	含水比	%	30	60	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂質シルト, 自然含水比
	間隙比	—	1.5	2.5	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 砂質シルト, 自然間隙比
粘性土	土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.50 (2.5)	2.75 (2.7)	参考文献 19 : p58, 表-2. 2.2, 沖積粘性土 (参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 粘土シルト, 真比重)
	含水比	%	30 (50)	150 (100)	参考文献 19 : p151, 表-2. 9.2, 沖積層粘性土 (参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 粘土シルト, 自然含水比)
	間隙比	—	1.5	3.0	参考文献 18 : P1-1-5, 表-1.1.2, 粘土シルト, 自然間隙比

※1 : 日本統一土質分類の定義と工学的分類体系 (平成 5 年当時) の簡易分類名を元に区分。

## (2) ベントナイト<sup>[13]</sup>

ベントナイトは火山灰に堆積してできた天然の粘土で、水分を含むと膨潤する性質があり、土砂に配合することにより透水性が低くなる。ベントナイトは、天然の無機土質材料のため、長期的にみても不燃性で劣化することがなく環境への負荷がかからない特徴を有する。また、ベントナイト系粘土ライナーにクラックが生じた場合には、ベ

ントナイトが膨潤してクラックを充填するため自己修復性に優れる。

(3) セメント<sup>[13]</sup>

土砂にセメントを配合することにより透水性が低下する。遮水性能は粘土ライナーより高いが、セメント系改良土には膨潤性がほとんどないため自己修復性は期待できない。

3.1.1.2 土質遮水工の施工

(1) 土質遮水工の施工手順

土質遮水工の配合設計から施工完了までの作業フロー例としては、図 3.1.1.2-1 に示すとおり「① 室内配合試験」、「② 試験施工」及び「③ 実施工」の順に実施する。

一般的には、配合設計及び施工仕様の検討により計画した内容が、実施工において有効であるかどうかを確認するために、試験施工を行う。具体的には、安定材と対象土の混合の度合や施工厚、転圧回数と締固め度の関係などから目標とする品質管理が達成できるかを現地で確認する。



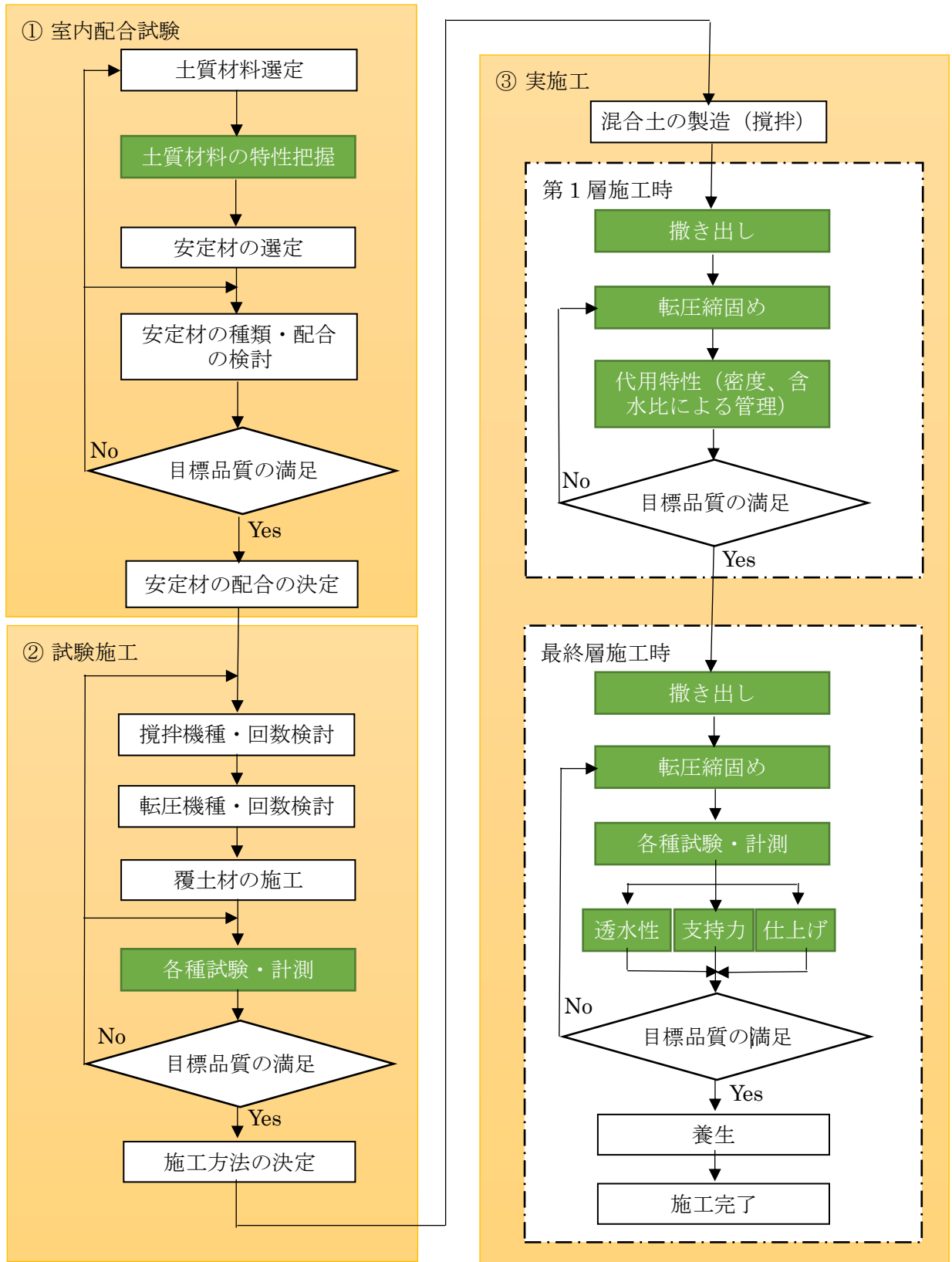


図 3.1.1.2-1 土質遮水工の配合設計から施工完了までの作業フロー例<sup>[22]</sup>

(2) 土質遮水工施工上の留意点<sup>[14, 15, 20, 21, 22, 23]</sup>

土質遮水工施工時の留意点は、ひび割れ、亀裂、及び破損などによる遮水性能の低下防止や、締固め不足や継ぎ目不良などの施工不良による遮水能力不足防止である。

① 遮水基盤の確認

土質遮水工は施工中から供用開始後の荷重に対して沈下せず、厚さと透水係数が保持できることが求められるため、施工時は次の点に留意する必要がある。

基盤の施工は、不陸が生じないように仕上げの精度を上げて、遮水工に偏荷重が働かないようにする。突起物の除去、支持力の確保、並びに下地表面の湧水除去などである。ガスが発生する場合はガス抜きを行い、揚圧力の除去を行う。

また、気象条件により斜面の基盤が乾燥状態にある場合には、混合土の水分が基盤に取られ乾燥側になりやすいため、基盤面の養生のためにも土質遮水工施工に先立ち斜面に散水しておく必要がある。

② 運搬機械の選定

土質遮水工材料の運搬機械は、下地基盤面に影響のないものを選択する。

③ 施工時期、施工を中止する気象条件

a. 施工時期

降雨が多い時期における施工は、十分な転圧・締固めができないことが多い。降雨により土質遮水工の含水比が大きくなり含水比調整が困難になるため、施工性に問題が生じるおそれがある。このため、表面排水対策やシート養生を図ることは当然であるが、設計段階から土質遮水工の施工は、その品質確保上支障の少ない乾期の施工となるよう配慮しておく必要がある。

b. 施工を中止する気象条件の例

施工を中止する気象条件の例を以下に記載する。

- ・ 降雨及び降雪が予測される場合
- ・ 気温が低く凍結のおそれがある場合
- ・ 施工前及び施工中の降雨や降雪等で土質材料の含水比調整や転圧締固めが困難となった場合

④ 材料の攪拌方式、混合機械の検討

材料の混合は、均一性に優れた攪拌方式や混合機械を選定する。混合方式には、中央プラント混合方式、フィールド混合方式、直接混合方式、及び移動式プラント混合方式がある。

中央プラント混合方式及び移動式プラント混合方式は比較的大規模な現場で採用され、フィールド混合方式及び直接混合方式は比較的小規模の現場で採用されている。安定材にはセメントやベントナイトが使用されている。なお、ベントナイトは混合時に粉じんが発生し、水に濡れると粘りつくという特性があるので、可能な限りこれらの対策を講じ、作業効率を高める必要がある。また、土砂はストックヤードに自

然含水比の状態では置きし、現地発生土の性状によっては、ブルーシートで覆い保管する。必要に応じて、転石及びごみなどを除去してから粒度調整を行う。

#### a. 中央プラント混合方式

中央プラント混合方式は、土砂ホッパ、混合材ホッパ、及び攪拌機と、これらを制御する制御盤とから構成されるバッチャープラントによる連続方式である。品質管理は、あらかじめ土砂の含水比と混合材の添加量との関係を求め、モータのインバータ回転数、土砂の排出量、並びに混合材の添加量の関係から一定の配合を維持できるようにしている。バッチャープラントによる混練り時間は、一例では30秒程度である。

中央プラント方式製造設備の一例を図3.1.1.2-2に示す。製造設備は、土質材料を貯蔵する土砂ホッパ、土砂を定量供給するフィーダ、ベントナイトなどの粉体を貯蔵する粉体サイロ、粉体定量切出し装置、並びにこれらの材料を混合装置に運搬する設備としてのベルトコンベア等から構成される。混合装置で製造した混合土は、積込みを考慮してベルトコンベアで円錐状に堆積する。また、含水比調整の必要がある場合は加水設備を設ける。

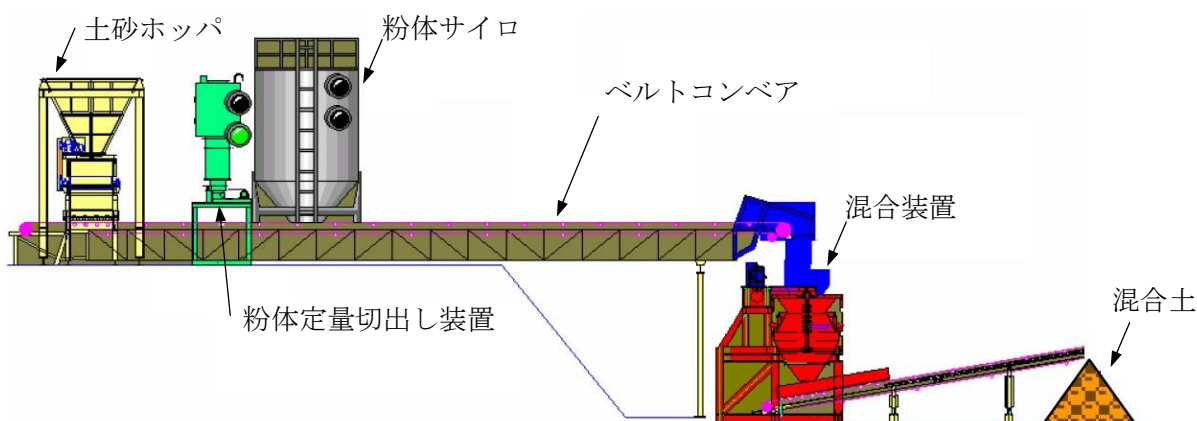


図 3.1.1.2-2 中央プラント方式の設備構成 (例)

#### b. 移動式プラント混合方式

移動式プラント混合方式は、土砂ホッパ、ベントナイトホッパ、ソイルカッタ、3軸ロータリーハンマ及びこれらを制御する制御盤からなる機動力及び搬送性に富んだ自走式土質改良機で混合する。ベントナイト及び土砂の添加量は、ダイヤル操作による任意の配合割合にコントロール可能である。処理能力は  $30\text{m}^3/\text{h}$ ～ $80\text{m}^3/\text{h}$  程度である。



図 3.1.1.2-3 移動式プラント混合方式（例）

c. フィールド混合方式及び直接混合方式

フィールド混合方式及び直接混合方式には、ロータ付トラクタ又はスタビライザによる耕起混合とバックホウ又はホイールローダによる混合がある。この場合、あらかじめ土砂量を計量し、計量された土砂に対してベントナイト等の安定材を添加し、一定時間以上混合するバッチ方式が採用される。

⑤ 敷均し、転圧（締固め）、整形の施工仕様

施工方法の選定に当たっては、土質材料の締固め特性を把握し、十分な締固め能力をもつ工法を選択する。一般に土質材料は、締め固められることによって土中の空気層が減少し、土粒子が密な状態になり土の性質が改良される。具体的には、強度の増加、圧縮性の減少、透水性の減少などで、結果として外力に対する抵抗力が大きく、より高い安定性を保つ物となる。したがって、施工時には土粒子が密な状態になるように締め固めることが重要であり、土質材料の乾燥密度が最大となる最適含水比付近で締め固める必要がある。

土質材料には粘性土から礫まで様々な材料があるため、施工機械を選定するに当たっては、土質材料の締固め特性を把握し、十分な締固め能力を持つ機械の選定が重要である。そのために、施工仕様について試験施工結果を踏まえて、以下の要領で検討する。

a. 使用機械

予定した施工機械で所定の品質が得られたかどうかを確認し、標準的な機械編成及び台数を検討する。また、路床の路肩部や構造物裏込めなどの施工で、大型機械での施工ができない箇所で使用する小型機械の選定も検討する。

b. 敷均し方法及び撒き出し厚

敷均し方法や撒き出し厚により転圧効果は異なるため、最適な敷均し方法と撒き出し厚さについて検討を行う。

c. 締固め回数

締固め回数の検討に当たっては、少ない転圧回数で締固め度が規定を満足する場合があるが、使用材料及び現地の作業条件に最適となるよう、締固め度及び沈下量の

収束傾向などを確認して総合的に判断する。

d. 品質管理方法及び管理基準値の検討

品質管理方法及び管理基準値は、モデル施工の試験結果を基に総合的に検討を行い決定する（（3）品質管理を参照。）。

一般的な締固め方式を表 3.1.1.2-1 に示す。

表 3.1.1.2-1 一般的な締固め方式<sup>[14]</sup>

機械	適合機械	適合土質	撒き出し厚 (cm)	回数	備考
転圧 重力式	タイヤローラ、 シーブスフート 又はタンピング ローラ	粘土質用土（乾）	15～25	6～10	多軸式 10t～30t 以上がよい 3t～6t 被けん引式 22t 自走式（特殊例）
		粘土質用土（湿）	15～25	6～10	
		（玉石混じり土、破碎岩）	30～45	5～7	
振動式	タイヤローラ	粘土質用土（乾）	20～25	6～8	3t～11t  3t～5t（転圧面かき荒しが必要） 0.5t～2t（転圧面かき荒しが必要）  50kg～500kg タンピングランマ、 パイブレーションランマ
	フラットローラ コンパクタ	砂礫混じり土	25～30	5～7	
		砂礫	20～30	5～7	
		砂礫混じり土又は地山取付など	20～30	3～5	
タンバ	地山取付部など狭い場所	10～20	3～5		
衝撃式	ランマ	地山取付部など狭い場所	10～20	3～5	50kg～500kg ランマ、150kg 圧縮空気サンドランマ

注記 ブルドーザのクローラによる転圧も、小規模な場合又は予備転圧として使われている例が多い。

使用機械・締固め方法は、適切な重量・大きさのブルドーザなどで敷き均し、適切な性能のダンピングローラ、タイヤローラ、及び振動ローラなどで転圧し、適切な性能のランマやプレートなどで整形して、遮水性能を確保する。所定回数の転圧が終了した後、現場密度試験を実施し、所定の遮水性能等の品質管理基準を満足しているか確認する。遮水性能に関しては、現場透水試験又はサンプリング試料を用いた室内透水試験を実施し、所定の基準値を満足しているかどうかの確認を行う。なお、現場透水試験を行う場合は、試験位置に留意し、作業工程に支障のない場所で行う。

土質材の一層の撒出し厚さ及び転圧回数は、要求される締固め度、締固め機械、及び施工法などの条件によって左右され、締固め作業は土質遮水工の性能を決定する重要な作業であるので、必ず試験施工を実施して締固め方法及び転圧回数を決定する。なお、標準仕上がり 50cm の場合、2～3 層に分けて転圧する。転圧回数は、機械の種類により決定するが、振動ローラを使用するのが一般的であり、転圧回数はおおむね 6～8 回である。セメント混合土よりベントナイト混合土の方が比較的少ない転圧回数で所定の遮水性能を確保できる。

なお、法面の最終覆土は安定するまで時間がかかり、降雨により浸食されやすいので慎重に施工する必要があるため、勾配は 2～3 割程度とするのが標準である。平坦部は雨水排水のために 2～3% の勾配とすることが望ましい。また、法面など振動ロ



ーラが使用できない場合は、振動コンパクタなどによる締固め方法を検討する。

⑥ 養生

セメント系混合土は、固化材の水和反応が十分行われるように、施工直後から3日程度散水養生し、乾燥ひび割れの防止に努める。

ベントナイト混合土は、降水などにより膨潤に伴う泥状化や浸食・流出を防止するため、施工直後にシート養生や覆土を行う。

⑦ ひび割れ防止

土質遮水工表面は、施工直後に散水やシート養生を行い、乾燥収縮を防止する。

⑧ 覆土の管理

埋立跡地の維持管理事項の一つである覆土の管理は、浸出水の処理、ガス対策などとともに重要である。覆土表面は、埋立ごみの分解・圧密、覆土の圧密等によって覆土表面に沈下、陥没、くぼみ、地割れ等が生じる。この結果、浸出水量の増加を招いたり、ガスの漏出、覆土の浸食、土砂の流失、地すべり等の事故や災害に及ぶこともある。特に、埋立跡地の表面にくぼみやひび割れが生じると、そこから雨水が地中へ浸透し、計画流入水量を超える浸出水量となることもある。また、発生ガスの通気孔ともなるので、覆土表面は定期的に点検・補修することや植生の監視を十分に行うことが必要である。

(3) 品質管理

土質遮水工の品質管理は、土質試験により土の性質を定量的かつ化学的に判断することが重要で、その遮水性能の確保を第一とした管理が必要とされる。表 3.1.1.2-2 に各作業段階における土質遮水工の品質管理方法の例を示す。

表 3.1.1.2-2 土質遮水工の品質管理方法の例<sup>[2, 30]</sup>

管理項目	試験名	規格	管理目的	土質材料 (室内試験)	覆土材 (試験施工)	転圧後 (実施工)
密度	・土粒子の密度 [9.5mm ふるいを通過した土]	JIS A 1202	・物質の判断等	○	○	—
締固め密度・ 締固め度	・RI 法	JGS 1614	・現場密度 (締固め度)	—	—	○
	・砂置換法	JIS A 1214		—	—	○
	・狭隘部の土の密度試験	検討中		—	—	○
含水比	・土粒子の含水比試験 [炉乾燥] ・電子レンジを用いた土の 含水比試験	JIS A 1203 JGS 0122	・土の状態判断	○	○	—
粒度分布 (粒度加 積曲線 [礫、砂、 細粒分])	・土の粒度試験 [75mm ふるいを通過した土]	JIS A 1204	・粒度分布の良否 ・透水性の推定 ・土の分類 ・材料判定	○	○	—
細粒分含水率	・土の細粒分含有率試験	JIS A 1223	・細粒土と粗粒土の 区別	○	—	—
コンシステンシー (液性限 界・塑性限界)	・土の液性限界・塑性限 界試験 [425 $\mu$ m ふる いを通過した土]	JIS A 1205	・土の分類 ・土の安定性判定 ・材料判定	○	○	—
収縮限界	・収縮定数試験	JIS A 1209	・変形、塑性判定等	○	—	—
湿潤密度	・土の湿潤密度試験 [自 立する塊状の土]	JIS A 1225	・土被り圧、土の分 類	○	—	—
最大・最小密度	・砂の最小・最大密度試 験	JIS A 1224	・砂の圧縮性、変形 特性 ・液状化現象の検討	○	—	—
有機物含有量	・土の強熱減量試験	JIS A 1226	・土の性質判定 ・土の処理方法の判 定	○	○	—
土の pH	・土懸濁液の Ph 試験 [10mm 以上の土粒子 を取り除いた土]	JGS 0211	・土の酸性、アルカリ 性の判定	○	○	—
水溶性成分 含有量等	・土の水溶性成分試験 [10mm 以上の土粒子 を取り除いた土]	JGS 0241	・土中の水溶性成 分、塩素イオン量、硫 酸イオン	○	○	—
最適含水比・最大 乾燥密度・含水比 ～密度曲線	・突き固めによる土の締 固め試験 [37.5mm ふ るいを通過した土]	JIS A 1210	・盛土等の施工規定	—	○	○
コンの貫入抵抗 力 度	・締固めた土のコン指数 試験	JIS A 1228	・土の強度 (支持力)	○	—	—
CBR	・CBR 試験 [37.5mm ふ るいを通過した土]	JIS A 1211	・土の支持力比 ・舗装厚の決定 ・施工管理	○	○	—

管理項目	試験名	規格	管理目的	土質材料 (室内試験)	覆土材 (試験施工)	転圧後 (実施工)
透水係数	・土の透水試験方法	JIS A 1218	・透水性 ・透水量の算定	○	—	○
	・締め固めた地盤の透水試験方法	JGS 1316		○	—	○
	・地下水面より上の地盤を対象とした透水試験方法	JGS 1319		○	—	○
	・低透水性材料の透水試験方法	JGS 0312		○	—	○
圧密係数・圧縮指数・圧密降伏応力・体積圧密係数	・土の段階載荷による圧密試験 ・土の定ひずみ速度載荷による圧密試験	JIS A 1217 JIS A 1227	・沈下量の計算 ・沈下に要する時間の計算	○	—	—
一軸圧縮強さ・変形係数	・土の一軸圧縮試験	JIS A 1216	・土の支持力	○	○	—
粘着力・内部摩擦角	・土の三軸圧縮試験 非圧密非排水 UU 圧密非排水 CU 圧密非排水 $\overline{CU}$ 圧密排水	JGS 0521 JGS 0522 JGS 0523 JGS 0524	・土の支持力 ・摩擦力の算定	○	○	—
	・土の圧密定体積一面せん断試験 ・土の圧密定圧一面せん断試験	JGS 0560 JGS 0561		○	—	—
繰返し回数・液状化応力比	・土の繰返し非排水三軸試験	JGS 0541	・砂の液状化強度特性	○	—	—
応力-ひずみ履歴曲線・せん断ひずみ-せん断弾性係数・減衰定数	・地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験	JGS 0542	・土の動的変形特性 ・地震応答解析	○	—	—
せん断応力-せん断ひずみ履歴曲線・せん断ひずみ-せん断弾性係数・減衰定数	・土の変形特性を求めるための繰返し中空ねじり試験	JGS 0543		○	—	—
メレンブル吸着量	・ベントナイトなどのメレンブル吸着量の測定方法	JIS Z 2451	・ベントナイト混合状況	○	○	—
細粒分含有量	・細粒分含有試験	JIS A 1223		—	○	○
電気伝導率	・電気伝導率測定法	JGS 0212		—	○	○
撒き出し厚	・測量	—	・撒き出し厚設定	—	○	—
締め固め回数	・目視	—	・締め固め回数設定	—	○	—
覆土厚さ	・測量	—	・層厚さ管理	—	—	○
仕上げ面精度	・測量 ・目視	—	・仕上げ管理	—	—	○

表 3.1.1.2-2 に示した土質遮水工の品質管理方法の例のうち、主な土質遮水工の品質管理について以下に述べる。

① 現地発生土の粒度管理<sup>[24]</sup>

遮水工用改良土の混合性向上のためには、粒度 75mm 以上の礫やごみなどを除去する必要がある。除去方法としては、振動ふるい又はスケルトンバケット付きバックホウなどの利用が考えられる。

土の粒度は、粒径 75mm 未満の土粒子径の分布状態を、質量百分率で表したものである。粒度から土を工学的に分類し、この分類から土の力学的性質を概略推定することができる。

試験は、ふるい分析と沈降分析の 2 種類の方法で構成されている。ふるい分析は粗粒分（粒径 0.075～75mm）を、沈降分析は細粒分（粒径 0.075mm 未満）を測定対象とする。

試験法は“土の粒度試験方法（JIS A 1204）”により行われる。ふるい分析は、0.075～75mm の試験用網ふるいのふるい目が大きい順に試料を通過させ、各ふるいに残った試料の質量を測定する。沈降分析は、粒径 2mm 未満の試料に一定量の水に攪拌混合しておき、比重を所定時間ごとに測定する。時間経過に伴い粒径の重い土粒子から早く沈んでいき、懸濁液の比重は徐々に小さくなる。比重の経時変化から土粒子の粒径とその割合を求める。

② 密度管理

覆土には、基本安全機能の移行抑制及び遮蔽機能を損なわないよう、放射性廃棄物の露出を防止する機能及び陥没を防止する機能が求められる。そのためには、所定の施工方法に基づき、覆土に使用する土質材料を所定の締固め度に締め固めることが適切であると考えられる。締固め密度は、遮水工の性能に大きく影響し、その施工精度の良否により、遮水係数は 1～2 オーダーで変化する。一般に設計密度は“突固めによる土の締固め試験方法（JIS A 1210）”により得られた最大乾燥密度の 90～98% が用いられる。

土を締め固めた場合の土の締固め程度  $D_c$  の判定は、式 (③-1) のとおり覆土施工後に測定する乾燥密度  $\rho_d$  と、予め JIS A 1210 により実施する室内試験によって求められた最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  との比で表される。

$$D_c = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \cdots \text{式 (③-1)}$$

覆土施工後に測定する乾燥密度  $\rho_d$  の測定方法は以下に示すとおり、遮水工を損傷させない方法である a. RI 法、現場で一定の大きさの孔を掘る b. 砂置換法、及び埋

設した廃棄物間の狭隘部の覆土の密度を測定するc. 狭隘部の土の密度試験法がある。  
a. RI 計器による土の密度試験方法・RI 法 (JGS 1614) [26]

この試験方法は、 $\gamma$  線密度計及び中性子水分計によって、現場における土の湿潤密度及び水分量を同時に測定することができる、放射性同位体 (RI) を用いた現場密度試験法がある。この方法は従来の方法に比べ以下の利点がある。

- ・ 非破壊であるため同一箇所を繰り返し試験が可能
- ・ 測定時間が短く結果がただちに得られる
- ・ 取扱いが簡単
- ・ 個人誤差が少なく高い精度が期待できる

なお、RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領 (建設省技調発第 150 号 平成 8 年 8 月 16 日) によると、本方法の適用範囲は、粒径 100mm 未満の土に限定している。

RI 計器には一般に透過型と散乱型があり、各々の方法の特徴は表 3.1.1.2-3 のとおり。

表 3.1.1.2-3 透過型と散乱型の比較例[25, 26]

	透過型	散乱型
測定方法	(密度) $\gamma$ 線透過型 (水分) 速中性子透過型	(密度) $\gamma$ 線後方散乱方式 (水分) 熱中性子散乱方式
適用範囲	(粒径) 100mm 未満	
長 所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軽量で取扱い易い</li> <li>・ 表面の凹凸に作用されにくい</li> <li>・ 使用実績が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 孔あけ作業が不要</li> <li>・ 感度が高く計測分解能力が高い</li> </ul>
短 所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 孔あけ作業が必要</li> <li>・ 礫に適用できない場合がある (削孔不能な地盤)</li> <li>・ 線源棒が露出している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 測定表面の凹凸の影響を受け易い</li> <li>・ 礫の適用に注意を要する</li> <li>・ 重い</li> </ul>

(a) 透過型 RI 計器

線源が長さ 20cm の線源棒の先端付近にあり、測定時には線源棒の挿入作業を伴うので散乱型に対して少し測定作業時間が長くなる。線源が地中にあるため、盛土面と計器底面との空隙の影響は比較的受けにくい特徴がある。



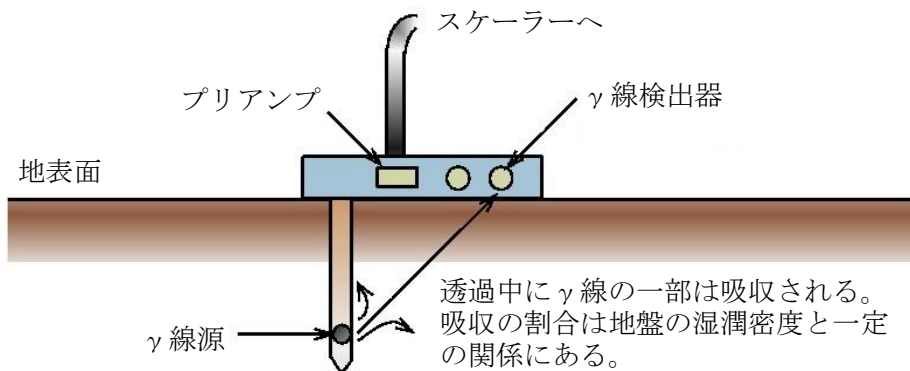


図 3.1.1.2-4 表面型密度計（透過型 RI 計器）による測定例

(b) 散乱型 RI 計器

線源が地表面にあるため、測定前の作業が測定面の平滑整形だけでよく、作業性が良い。ただし、土質の礫分が多くなると測定地点の表面整形がしにくくなり平滑度が低くなるため、地盤と計器底面との空隙の影響を受けやすい。このため、散乱型 RI 計器の適用範囲は、礫率 60%未満としている。

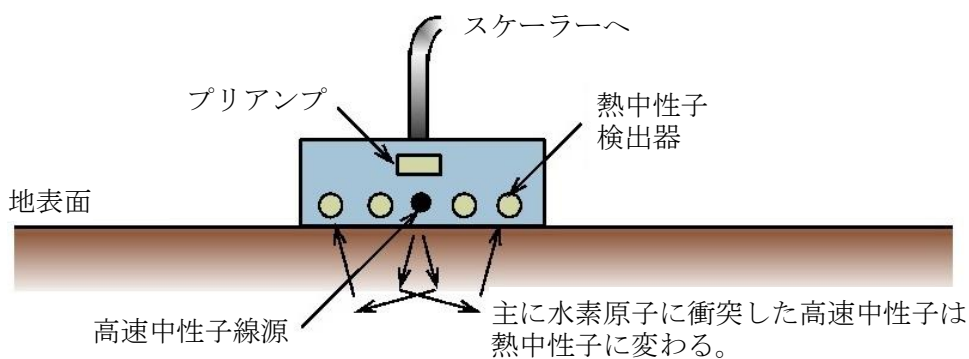


図 3.1.1.2-5 表面型水分計（散乱型 RI 計器）による測定例

b. 砂置換法による土の密度試験方法（JIS A 1214）<sup>[27]</sup>

この方法は、締め固めた現場で一定の大きさの孔を掘り、掘り出した土の質量  $m$ 、掘削した孔にあらかじめ密度  $\rho_{ds}$  がわかっている標準砂を注入することによる孔の体積  $V$ 、掘り出した土の含水比  $w$  を測定し、自然含水状態における土の湿潤密度  $\rho_t$ 、及びその時の乾燥密度  $\rho_d$  を求める方法である。この方法は、幅広い土質に適用でき、測定精度が比較的高く、標準的な方法として広く用いられている。なお、JIS A 1214 によると、本方法の適用範囲は、粒径 53mm 以下の土に限定されている。図 3.1.1.2-5 に示す砂置換法の測定方法例による乾燥密度の算出方法は以下の式のとおり。

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{ds}} \dots \text{式 (3-2)}$$

$$\rho_t = \frac{m}{V} \dots \text{式 (3-3)}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1+(w/100)} \cdots \text{式 (3-4)}$$

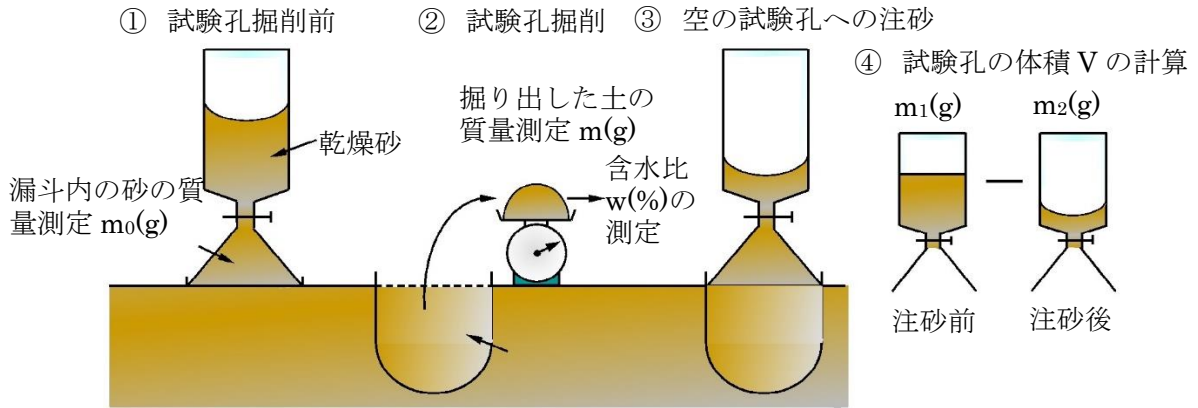


図 3.1.1.2-6 砂置換法による測定例

c. 狭隘部の土の密度試験<sup>[4]</sup>

L3 廃棄物を埋設する場合、廃棄物と廃棄物の間には定置作業上十数 cm 程度の隙間が発生する(図 3.1.1.2-7)。この廃棄物と廃棄物の間等の狭隘部における土の密度測定方法として、ポータブルコーン貫入試験を用いた簡易な検査方法が検討されており、平成 30 年度土木学会全国大会・第 73 回年次学術講演会にて発表されている。

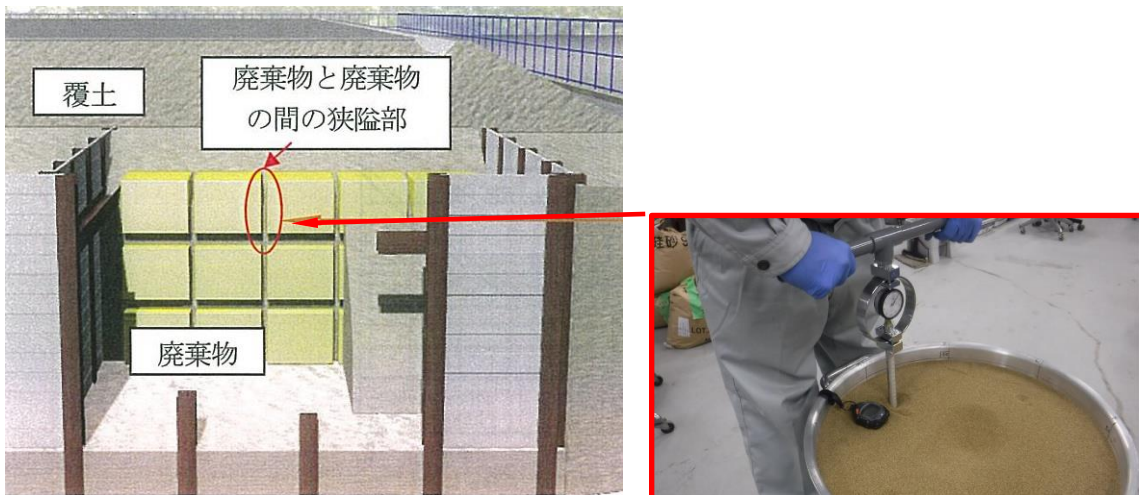
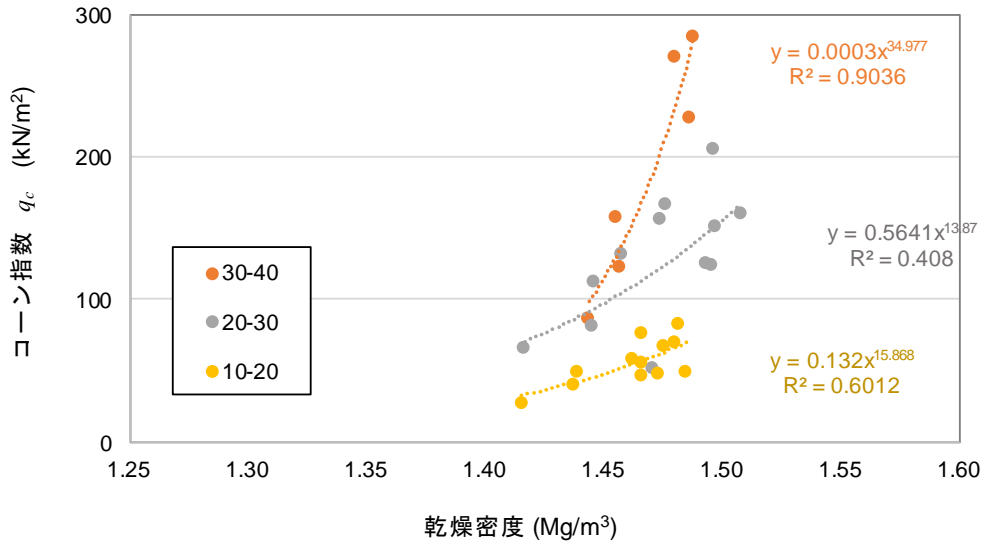


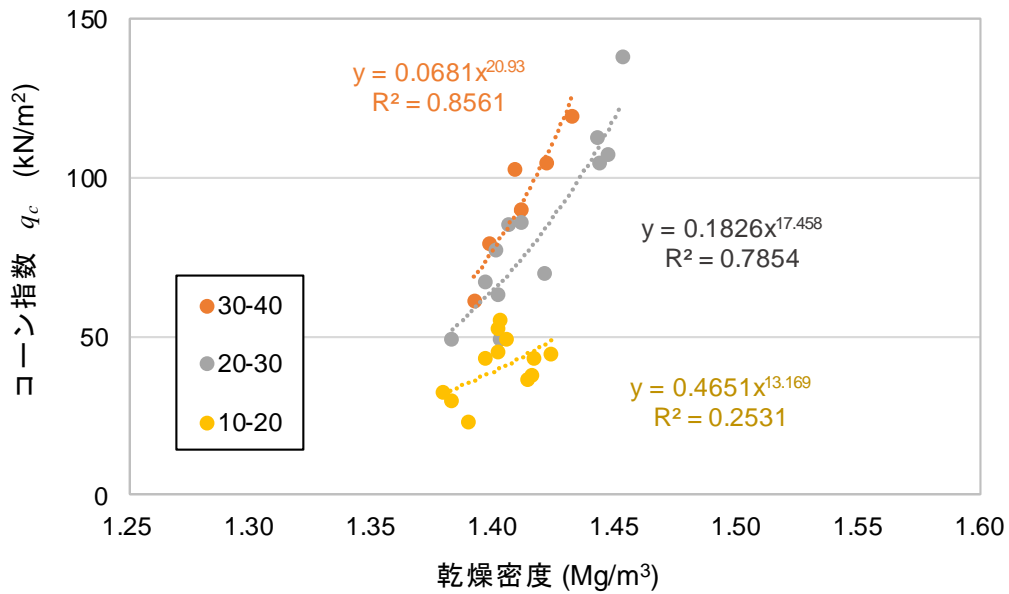
図 3.1.1.2-7 狭隘部の土の密度測定例

この試験方法は、ポータブルコーン貫入試験によるコーン指数と充填後砂質材料の乾燥密度の相関関係を確認することにより、現場施工時の狭隘部への充填後の検

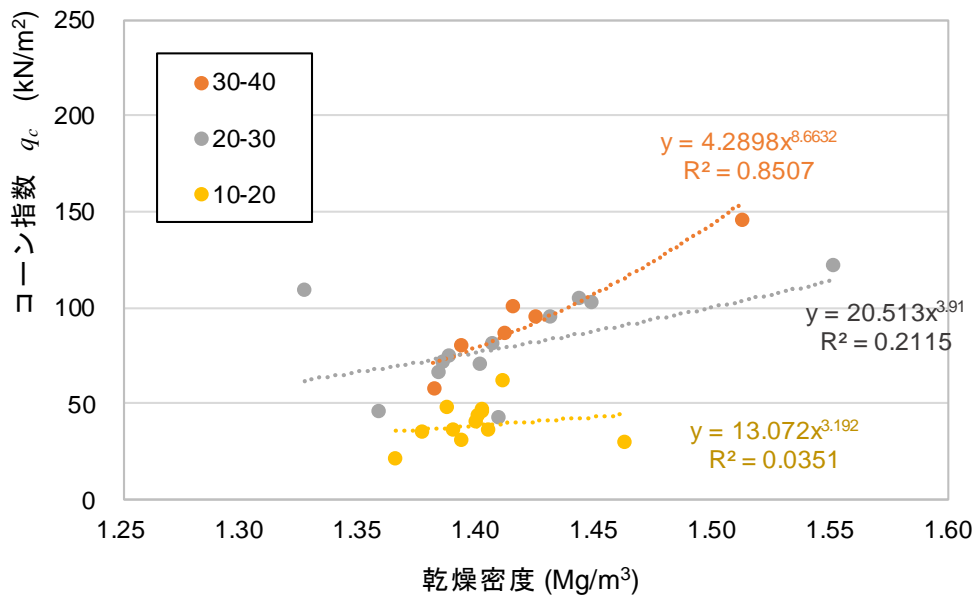
査を比較的短時間で行うものである。コーン指数と乾燥密度の関係例を図 3.1.1.2-8 に示す。



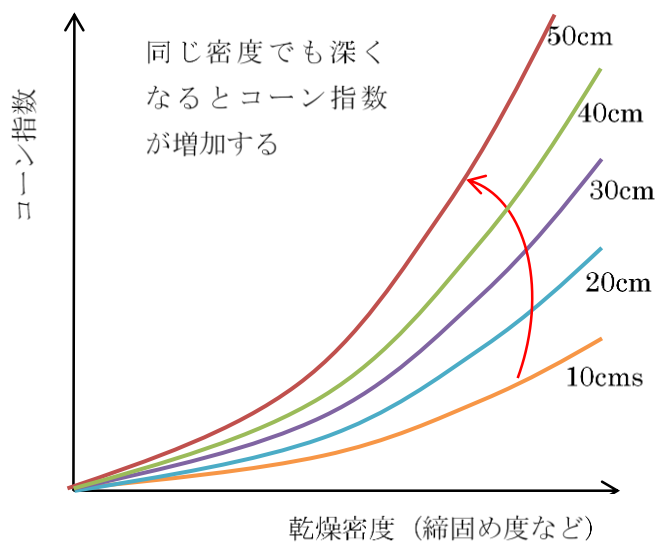
(a) コーン指数と乾燥密度の関係 (3A 号)



(b) コーン指数と乾燥密度の関係 (5 号)



(c) コーン指数と乾燥密度の関係 (6号)



(d) コーン指数と乾燥密度の関係の概念

図 3.1.1.2-8 コーン指数と乾燥密度の関係例

③ 含水比管理<sup>[22]</sup>

締固め時の土質遮水工の含水比は締固め密度に影響し、最適含水比で締固め密度は最大となる。一方、遮水性能は一般的に最適含水比+数%時に最大となるといわれている。また、混合土製造場所から施工場所に運搬した後、敷均し及び転圧を行う間に、混合土の含水比は時間とともに乾燥側に移行する場合が多い。

したがって、混合土は製造時には最適含水比+0~+5%の範囲で管理を行いながら、必要な遮水性能の確保を図ることになる。

セメント系混合土の場合、時間が経つほどセメントの固化が進行するため、混合から締め固めまでの時間は締め固めに支障がない範囲で早く行うよう留意が必要である。

測定方法としては、RI計器による土の密度試験（JGS 1614）、土の含水比試験方法（JIS A 1203）、電子レンジを用いた土の含水比試験方法（JGS 0122）、あるいは赤外線水分計を用いた方法が利用できる。なお、乾燥炉を用いた土の含水比試験方法（JIS A 1203）以外の方法による場合は、事前に乾燥炉を用いた方法との誤差を調査しておく必要がある。

#### a. 透水係数管理

透水係数は土質遮水工の最も重要な管理項目であり、土質遮水工の性能を直接的に表す指標である。施工された土質遮水工の透水係数が設計条件を満足しているかどうかの確認を現場で試験する方法としては、締め固めた地盤の透水試験方法（JGS 1316）が定められている。

しかし、透水係数  $1 \times 10^{-9} \text{m/s}$  程度以下の地盤を対象とした現場透水試験では、定常状態となるまでに非常に長時間を有するとともに、試験孔内水面からの蒸発散量が試験結果に及ぼす影響が大きくなる。このような場合、転圧後の土質遮水工から採取した、乱さない試料（ブロックサンプリング試料）を用いた室内透水試験を実施する。試験は土の透水試験（JIS A 1218）の変水位法あるいは三軸圧縮試験装置を用いた特殊な変水位透水試験（土質試験の方法と解説 P417、地盤工学会 平成12年6月）によって行う。

上記のとおり透水試験は、室内で供試体を用いて行う試験と野外で実地盤を対象にする現場試験があるが、ここでは前者を対象とした試験について以下に記載する。

#### (a) 土の透水試験方法（JIS A 1218）<sup>[18, 31]</sup>

土の透水性は同一の土においても密度、飽和度や土の構造などの土の状態によって大幅に異なる。従って、求めようとする透水係数は、想定される現場条件に対応する試験条件のもとに求めなければならない。

本基準はダルシーの法則に基づいたもので、飽和状態における透水係数を求めることを目的にし、締め固めた試料及び乱さない試料を対象に試験する方法である。試験方法は2種類あり、透水性が高い砂質土などの試料には定水位透水試験を、透水性が低い粘性土などの試料には変水位透水試験を適用する。一般的には透水係数  $k=10^{-4} \text{cm/s}$  を境にして試験方法を選択する。

##### i. 定水位透水試験

定水位透水試験は、一定の断面  $A$  及び長さ  $L$  をもつ供試体の中を、一定の水位差  $h$  の下で一定時間内に浸透する水量（透水量  $Q$ ）を測定する方法で、透水係数  $k$  は①式を使用して求める。

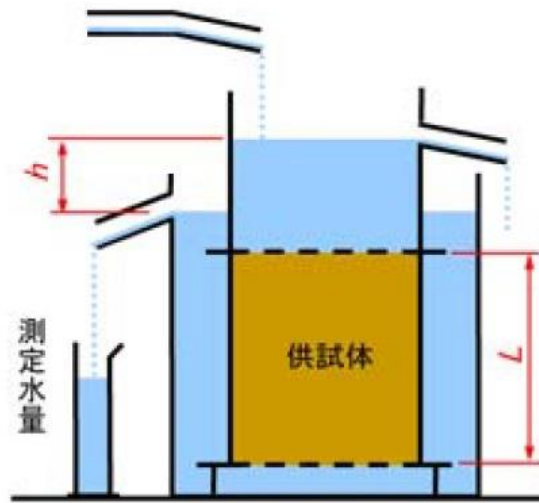


図 3.1.1.2-9 定水位透水試験

$$k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \dots \textcircled{1}$$

$k_T$  : 水温  $T^\circ\text{C}$  のときの透水係数 (cm/s)

$h$  : 水位差 (cm)

$Q$  : 透水量 ( $\text{cm}^3$ )

$t_2 - t_1$  : 測定時間 (s)

$A$  : 供試体の断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$L$  : 供試体の長さ (cm)

ii. 変水位透水試験

変水位透水試験は、一定の断面  $A$  及び長さ  $L$  をもつ供試体の中を、ある水位を初期状態  $h_1$  として浸透するときの水位  $h_2$  の降下量、及び経過時間 ( $t_2 - t_1$ ) を測定する試験である。透水係数  $k$  は②式を使用して求める。



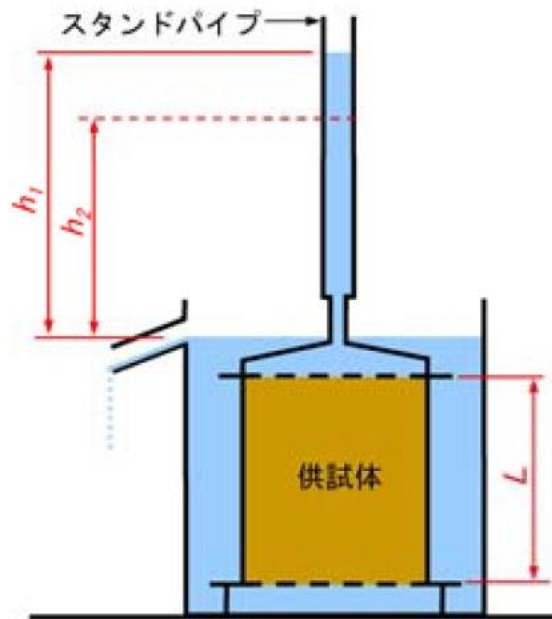


図 3.1.1.2-10 変水位透水試験

$$k_T = 2.303 \times \frac{a \times L}{A(t_2 - t_1)} \times \log \frac{h_1}{h_2} \dots \textcircled{2}$$

$k_T$  : 水温  $T^\circ\text{C}$  のときの透水係数 (cm/s)

$h_1$  : 測定開始時刻における水位 (cm)

$h_2$  : 測定終了時刻における水位 (cm)

$t_2 - t_1$  : 測定時間 (s)

$a$  : スタンドパイプの断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$A$  : 供試体の断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$L$  : 供試体の長さ (cm)

(b) 締固め度と透水係数

i. 締固め度と透水係数との相関関係<sup>[28]</sup>

一般的に土は、締め固められると土の間隙が小さくなるため、透水係数が小さくなる傾向にある。しかし、土の乾燥密度は、最適含水比の時に最大となるが、土の透水係数は最適含水比より若干湿潤側で最小値に達する (図 3.1.1.2-11 参照)。

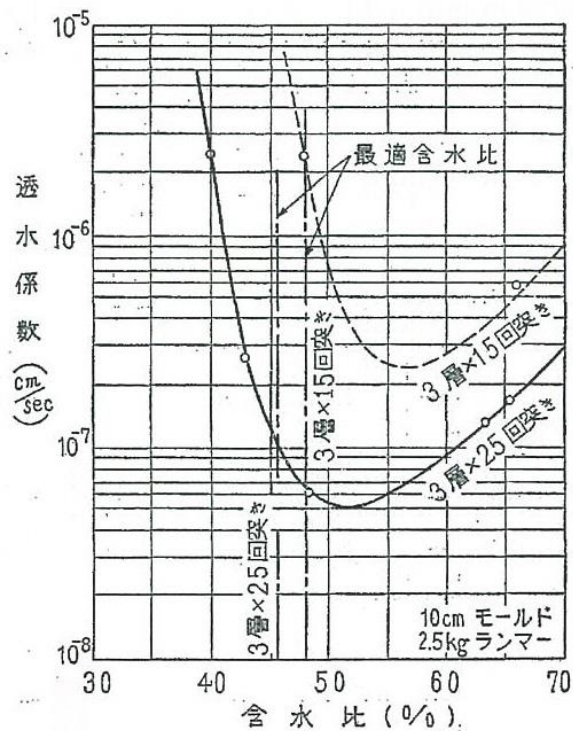


図 3.1.1.2-11 透水係数と含水比との関係

覆土に低透水性を求める場合、透水係数の管理が必要となる。その場合には、使用する材料の締固め度と透水係数との相関関係をあらかじめ把握し、覆土の締固め度の検査から覆土の透水係数を求める方法もある。

ii. 判定基準<sup>[14]</sup>

締固め度の判定基準は、要求される機能によって異なることが知られている。そこで、締固め度の判定基準を定量的に設定する場合に参考となる、造成盛土、道路などにおける締固め度の判定基準例を表 3.1.1.2-4 に示す。

表 3.1.1.2-4 締固め度判定基準例

規格制定者	工種	測定項目	規格値	備考
国土交通省	下層路盤	締固め度	X <sub>10</sub> ≥ 95% 注 a)	突き砂法 : JGS 1611-2003
			X <sub>6</sub> ≥ 96% 注 a)	砂置換法 : JIS A1214:2001
			X <sub>3</sub> ≥ 97% 注 a)	RI 法 : JGS 1614-2003
国土交通省	道路土工	締固め度	路体 ≥ 85%	砂置換法 : JIS A1214:2001
			路床 ≥ 90%	
UR 都市機構	盛土工	締固め度	≥ 90%	RI 法 : JGS 1614-2003
			一般 ≥ 85%	砂置換法 : JIS A1214:2001

規格制定者	工種	測定項目	規格値	備考
			重要 $\geq 88\%$ 注 b)	
			一般 $\geq 87\%$ 重要 $\geq 90\%$ 注 b)	RI 法 : JGS 1614-2003
NEXCO	路体		$\geq 90\%$	突き砂法 : JGS 1611-2003
			$\geq 92\%$	RI 法 : JGS 1614-2003
	裏込め A		$\geq 95\%$	突き砂法 : JGS 1611-2003
			$\geq 97\%$	RI 法 : JGS 1614-2003
	裏込め B		$\geq 90\%$	突き砂法 : JGS 1611-2003
			$\geq 92\%$	RI 法 : JGS 1614-2003
<p>注a) 締固め度は、10 個の測定値の平均値 <math>X_{10}</math> が規格値を満足しなければならない。また、10 個の測定値が得がたい場合は 3 個の測定値の平均値 <math>X_3</math> が規格値を満足していなければならないが、<math>X_3</math> が規格値をはずれた場合は、さらに 3 個のデータを加えた平均値 <math>X_6</math> が規格値を満足していればよい。</p> <p>注b) 特記仕様書記載部位</p>				

#### b. 仕上げ精度

表面の仕上げ精度の品質管理は、目視による管理と測量による方法とが一般的に行われており、土質遮水層の仕上げ精度がその後の表面の仕上げ精度や耐久性に影響するため、極力平滑な仕上げが要求される。

土質遮水工の仕上げ精度は、上部に遮水シートが敷設されていることを考慮すると、表面凹凸のピッチを  $L$ 、高さを  $H$  とした場合、 $H/L < 0.1$ 、 $H < 5\text{cm}$  が望ましい（図 3.1.1.2-12 参照）。

また、遮水工の層厚も汚染物質の拡散防止を考える上で透水係数と同様に重要な品質管理項目であり、測量及びボーリング調査などにより、適切な遮水層厚が確保されていることを確認する必要がある。

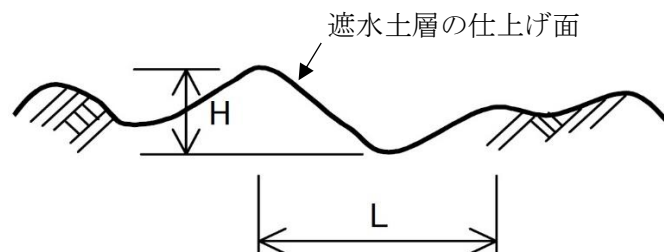


図 3.1.1.2-12 土質遮水工の仕上げ精度

### 3.1.2 アスファルト系遮水<sup>[13, 22]</sup>

アスファルト遮水工は、発電や治水、灌漑用のダムや貯水池の表面に適用される例が多く存在する。一方、産業廃棄物の廃棄物最終処分場においては、底盤部や斜面部に適用されており、一般的な道路舗装用のアスファルトコンクリートと異なり、水密性や耐候性、変形追随性、斜面での安定性などの要求性能を満足する水工用アスファルトコンクリートが用いられている。

アスファルト遮水工で用いられているアスファルト混合物は、遮水層本体に用いられている水工用アスファルトコンクリートと、表面保護に用いられる水工用アスファルトマスチックに分類される。標準的な水密アスファルトコンクリート遮水工の構成を図 3.1.2.(2)-1 に示す。なお、水密アスファルトコンクリート遮水工を斜面部に用いる場合は、基盤が力学的に安定していることを前提として、一般的に 1:1.5 が施工可能な限界勾配である。

#### (1) アスファルトコンクリート

最終処分場におけるアスファルトコンクリート遮水工では、支持層用に水工用粗粒度アスファルトコンクリートが、遮水層用に水工用密粒度アスファルトコンクリートが用いられている。水工用密粒度アスファルトコンクリートと道路舗装用アスファルトコンクリートとを比較すると、遮水性と変形追随性を向上させる目的で水工用の方が細骨材が多く、アスファルト量が 1.5 倍以上という特徴がある。

底面部の施工方法については、通常の道路舗装と同様の施工機械で施工できるが、斜面部では堤頂部にウインチポーターを設置し、斜面舗装用に改造したアスファルトフィニッシャーやローラーを牽引して舗装する。

#### (2) アスファルトマスチック

水工用アスファルトマスチックは、アスファルトと石粉(炭酸カルシウム)を 4:6 程度で混合したもので、これを表面保護層として厚さ 2~3mm 程度で、吹付けまたは塗布する。施工時には高い流動性が必要となるが、斜面での吹付けであるため、施工後の流動抵抗性を高めるために植物繊維や鉱物繊維などの添加剤を用いる。

表面保護層の水工用アスファルトマスチックの施工方法については、クッカー車という 200℃まで昇温しながら混練する専用機械と吹付け専用機を用いる。

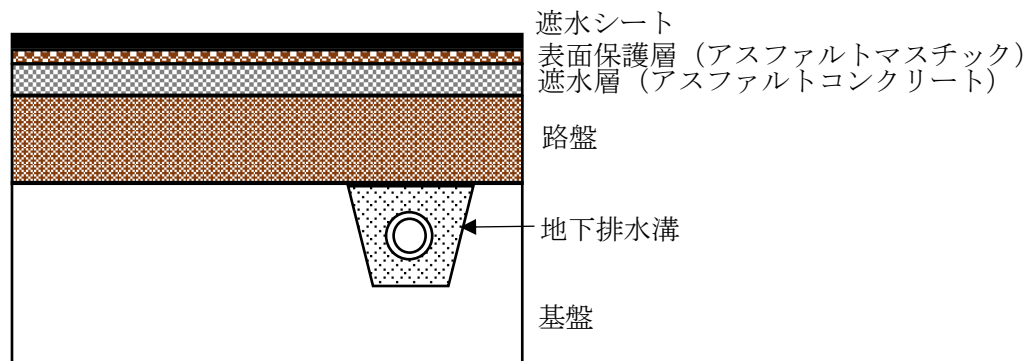


図 3.1.2.(2)-1 標準的な水密アスファルトコンクリート遮水工の構成

### 3.1.3 遮水シート系遮水<sup>[13, 32, 33]</sup>

遮水シートには、合成ゴム系、アスファルト系、ベントナイト系などの多様な遮水シートがある。シート系の表面遮水工としては、遮水シートの他に、遮水シートを保護する保護マットがあり、それぞれ使用場所などに適した材料を使い分けている。

ここでは遮水シートについて紹介する。遮水シートは、図 3.1-1 に示すように、材料の種類、弾性、用途などによって細分類でき、その性能については日本遮水工協会が自主基準を制定している。

#### (1) 合成ゴム系遮水シート

##### (1)-1 低弾性タイプ

##### ① 加硫ゴム (EPDM)

加硫ゴム遮水シートは、機械特性の温度依存性が比較的小さく、柔軟で下地によく追従し、耐候性も良いことからルーフィングシートや農業用貯水池の遮水シートとして広く用いられている。これらの実績を踏まえ、1976年に廃棄物最終処分場の遮水シートとして初めて採用された。

一般的に機械的強度が小さく、衝撃や鳥獣による破損事例があり、また、主として接着剤を用いた接合であるため、気象条件の影響も受けやすい。

##### ② 塩化ビニルゴム (PVC)

塩化ビニルゴム遮水シートは、エチレンやアセチレンを原料として、塩素を作用させて重合して作られる。可塑剤を使用する事により柔軟性が増加するが、可塑剤が長期的には消失して劣化する可能性が有ると言われている。比重が 1.3 と重く、防水シートの重量が重くなるため、厚手シートや幅広シートを使用しての施工では、作業効率が悪くなる。塩化ビニルゴム遮水シートは、自己消火性という燃えにくい材質ではあるが、着火すると有害な塩化水素ガスが発生するので、日本のトンネル現場では使用されていない。しかし、比較的経済性や作業性に優れることから、主

として産業廃棄物最終処分場や海面埋立護岸の遮水シートとして利用されている。  
なお、他の遮水シートと比べ柔軟性を得るために可塑剤が配合されている。

## (1)-2 中弾性タイプ

### ① オレフィン系熱可塑性ゴム (TPO-PP, TPO-PE)

#### ・ TPO-PE 系

TPO-PE 系遮水シートは、TPO にポリエチレン成分をブレンドしたものに 2%程度のカーボンブラック、少量の光安定剤、及び熱酸化防止剤を添加したもので、熱融着可能であることを特徴としている。1982 年に最終処分場の遮水シートとして採用された実績がある。

ポリエチレン成分としては、LLDPE や LDPE が用いられているが、最近では、柔軟性が高く機械的強度や熱融着性能に優れる LLDPE 遮水シートが開発され、実績を伸ばしている。しかし、PP 系に比べ線膨張係数が大きい。

#### ・ TPO-PP 系

TPO-PP 系遮水シートは、樹脂成分の主体がポリプロピレンの遮水シートである。従来、結晶性が高い汎用樹脂を使用していたが、新たに軟質ポリプロピレンが開発され、その重合段階から EPDM 成分を混合分散させるリアクター方式で作られた TPO を利用した遮水シートが開発され、1990 年頃から米国で使用されるようになり、FPP と分類された。国内では 1996 年頃から使用されるようになった。結晶性の低い柔軟なエラストマーが多く含まれていることから、比較的柔らかく、線膨張係数が小さいのが特徴である。エラストマー成分が多いため、複雑な熱融着作業を伴う場合は、温度管理の配慮を行う。

### ② 熱可塑性ポリウレタン (TPU)

ポリウレタンには大きく分けてエステル系とエーテル系の素材があり、遮水シートには一般的に耐加水分離性に優れるエーテル系の熱可塑性ポリウレタンが使用されている。ポリウレタン遮水シートは、引張り強さ及び伸度がともに大きく、また降伏点を示さず、応力を除去すると初期状態に回復する。また、鋭利な突起物に対する突刺抵抗性も大きいなど、非常に優れた特徴を有している。しかし、高温(80℃)での長期使用は強度低下を招くおそれがあるため、遮光性保護マットなどで十分な保護を行う。また、表面性状が紫外線等により変化しやすいため、特に接合予定部を長時間の日射から避けるなど熱融着部分のきめ細かな養生が必要である。

### ③ 低密度ポリエチレン (LDPE, LLDPE)

低密度ポリエチレン遮水シートは、密度が 0.90~0.93 のポリエチレンを用いた遮水シートである。使用する触媒や重合条件によって様々な特性の素材が得られる。

低密度ポリエチレン遮水シートは、高密度ポリエチレンに比べ密度が低下することで、耐候性や化学的安定性もやや低下するが、柔軟性があり、施工性が改善され



る。一方、線膨張係数が大きいため、重ね幅を十分確保することや、接合作業を行う時間帯は、高温時を避けるなどの配慮が必要になる場合がある。

#### ④ エチレン酢酸ビニル樹脂 (EVAC) など

エチレン酢酸ビニル樹脂系シートは、エチレンと酢酸ビニルの共重合体で、エチレン酢酸ビニル樹脂 (EVA) 樹脂をシート状に成形したもので、酢酸ビニルの含有量によって柔軟性や溶着性が変わってくる。柔軟性、ゴム弾性、低温特性に優れたプラスチックで $-50^{\circ}\text{C}$ まで可撓性があり、成形加工性に優れ、耐候性も優秀で、ストレスクラックにもよく耐え、水・紫外線にもよく耐える特徴がある。

なお、酢酸ビニルの含有量が増すと柔軟性、溶解性が向上する反面、引張り強さや引き裂き強さが弱くなり、逆に酢酸ビニルの含有量が少なくなると強度は増すが柔軟性や溶解性が悪くなることから、トンネルでの防水シート材に適した含有量が決められている。(含有量は防水シートの仕様により幅が有り、一概に「何%」とは言えない。ただし含有量は全体の10%前後に留まる。)

EVA は日本で最も多く使用されている材質で、そのほとんどが厚さ 0.8mm 等の薄手シートであり、排水型トンネルで使用されている。

### (1)-3 高弾性タイプ

#### ① 高密度ポリエチレン (HDPE)

高密度ポリエチレンは、曲げなどのストレス疲労下で割れやすくなるストレスクラック性 (ESCR) が課題であったが、1980年代からアメリカやドイツで重合方法などの技術開発によりストレスクラック性が改善された。最終処分場の遮水シートとして本格的に使用されるようになった。現在でも、欧米の最終処分場では、高密度ポリエチレン遮水シートが圧倒的に多く用いられており、VLLW 処分場でも多く採用されている。1994年に日本に導入された。機械的強度が高く化学的安定性に優れるが、剛性が高いため、固定工の設計施工に配慮が必要である。

### (1)-4 繊維補強タイプ

繊維補強タイプは、ナイロンまたはポリエステルなどの基布の両面に、加硫ゴム (EPDM)、塩化ビニルゴム (PVC) などを被覆した複合遮水シートであり、力学的強度 (引張強さ・引裂強さ) に優れている。また、基布があるために、万一損傷が生じても損傷が広がりにくい特徴を持っている。基布の種類によっては、100%程度の伸び率を有するものもあるが、通常伸び率は数十%程度であり、均質遮水シートと比べて小さい。基布が透水性を持つため、接合部を含め基布端部が露出しないような配慮を行う。

## (2) アスファルト系遮水シート

アスファルト系遮水シートは、シートタイプと吹付けタイプがある。

### (2)-1 シートタイプ

シートタイプは不織布などを基材とし、これを溶融したアスファルトに含浸されることで、厚さ 3~4mm の遮水シートとしたものである。

アスファルト系遮水シートの特徴は、クラック伝播性が非常に小さく、傷の部分に応力が集中せず、傷が拡大伝播しにくく強度の低下が小さいことである。合成ゴムや合成樹脂を主成分とした遮水シートが弾性を示すのに対して、アスファルト系遮水シートは塑性を示し変形すると回復しない。

### (2)-2 吹付けタイプ

吹付けアスファルトは、アスファルトエマルジョンにゴムラテックスなどを加えたゴムアスファルトエマルジョンに電解質溶液（分散剤）を特殊スプレーガンで混合しながら吹付けるものである。さらに遮水層の保護のためにアクリル系トップコートを吹付ける。吹付けアスファルトは、急勾配法面やモルタル吹付け面に基布を敷設して、ゴムアスファルトエマルジョンを吹き付けてシームレスな遮水層を形成するもので、多少の凹凸やオーバーハングしたところでも施工が可能である。

## (3) ベントナイト複合遮水シート

この遮水シートは、高密度ポリエチレン（HDPE）遮水シートの片面に粒状のベントナイトを接着させた二層構造で、HDPE 遮水シートの遮水性と優れた力学的強度及び耐薬品性、ならびにベントナイトの水膨潤による自己修復性を兼ね備えている。

上記のゴム系遮水シートのうち主なものの透水係数測定例を表 3.1.3.(3)-1 に示す。

表 3.1.3.(3)-1 遮水シートの透水係数測定例

種 類		透水性 (m/s)	
合成ゴム	低弾性タイプ	加硫ゴム (EPDM)	$1.3 \times 10^{-13}$
		塩化ビニルゴム (PVC)	$1.6 \times 10^{-13}$
	中弾性タイプ	オレフィン系熱可塑性ゴム (TPO [PP])	$2.2 \times 10^{-14}$
		オレフィン系熱可塑性ゴム (TPO [PE])	$7.5 \times 10^{-14}$
		低密度ポリエチレン (LDPE)	$2.7 \times 10^{-14}$
高弾性タイプ	高密度ポリエチレン (HDPE)	$2.5 \times 10^{-15}$	
アスファルト系	アスファルト系 (AS)	$1.5 \times 10^{-13}$	

(出典：ごみ埋立地の設計施工ハンドブック、国際ジオシンセティック学会日本支部ジオメンブレン技術委員会編 [2000] オーム社)

### 3.2 キャッピング<sup>[34, 35]</sup>

キャッピングは、降雨の浸透などにより堆積した廃棄物中に存在する有害物質が人や自然環境に曝露・拡散することを防止するため、汚染土や廃棄物の上部に設置するものであり、取り扱う廃棄物の性状及び処分場の設置環境により採用が検討されるオプションの扱いである。キャッピングの方法としては、シート系キャッピング工法、土質系キャッピング工法及び覆いがある。

#### 3.2.1 シート系キャッピング工法

シート系キャッピング工法は、使用する材料により 3.1.3 遮水シート系遮水に記載した合成ゴム系遮水シート、アスファルト系遮水シート及びベントナイト系遮水シートに加え、通気防水シートなどが用いられる。通気防水シートは、雨水などの下層への浸透を最小限に抑えながら、下層部からガスを自然排出する、防水性・透気性を兼ね備えたシートである。これらシート下部にはガス排除層が、上部には排水層や浸食防止層が設置される例が多い。

#### 3.2.2 土質系キャッピング工法

土質系キャッピング工法には、粘土層工法、サブドレーン工法及びキャピラリーバリア工法などがある。

粘土層工法は、3.1.1 土質系遮水に記載した低透水性の粘性土を覆土として実施し、雨水浸透を抑制する工法である。

サブドレーン工法は、廃棄物の上面で廃棄物に接触しない高さの覆土の位置に暗渠排水管や砂利等による排水層（ドレーン層）を設置し、浸透して廃棄物に接触していない雨水を地表面下浅い場所で集排水する工法である。

キャピラリーバリアとは、毛管力（キャピラリー）の働きによって形成される遮水層（バリア）のことである。キャピラリーバリア工法は、廃棄物層の上面に毛管力の異なる砂と礫などの土質材を組み合わせることで設置することにより、砂層に浸透した雨水が砂層の毛管現象により下部への浸透が抑制され横方向に排水されるものである。すなわち、廃棄物層への雨水の浸入を抑制することにより、汚染物質の拡散を抑制する機能を有している。毛管現象を利用する砂層の代替材としては、ホタテ貝、熔融スラグなどの産業副産物を有効利用する方法も研究されている。

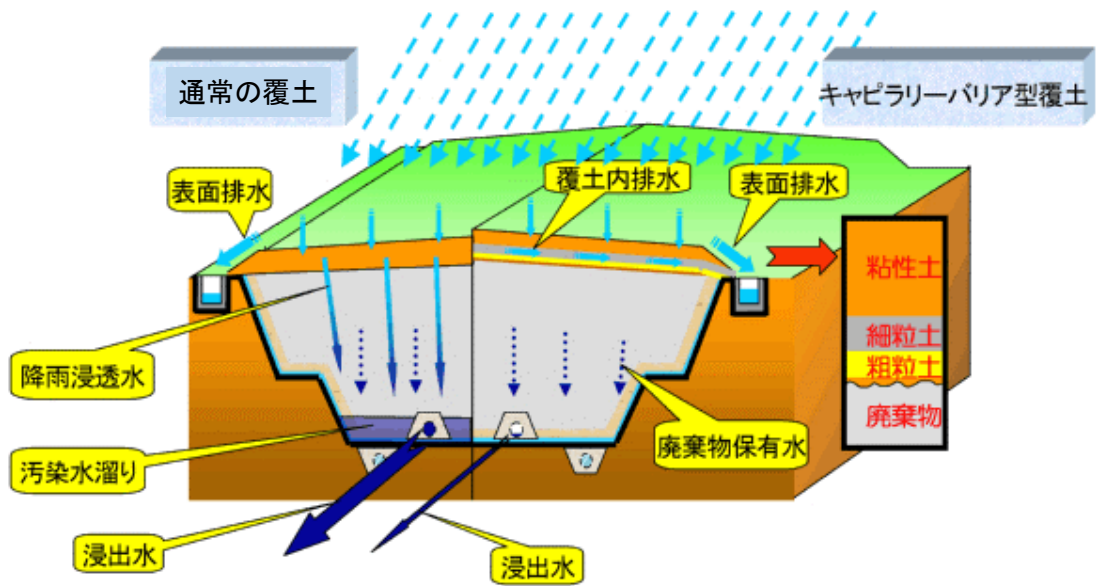


図 3.2.2-1 キャピラリーバリアを採用した処分場の構造例<sup>[35]</sup>

その他、コンクリート、アスファルト舗装などでキャッピングする方法がある。

### 3.2.3 覆い<sup>[13]</sup>

覆いには、覆土表面をコンクリート、アスファルト舗装、ゴムアスファルト等で覆う方法がある。

## 3.3 鉛直遮水工<sup>[22]</sup>

鉛直遮水工は、表面遮水工と同様に浸出水による地下水への放射性物質の流出防止を目的としている。鉛直遮水工は比較的浅い深度に不透水層が存在する場合に採用されることが多く、表面遮水工と併用されることもある。

最終処分場における鉛直遮水工の例として、以下が挙げられる。

- ・ 鋼矢板系遮水工法
- ・ 土質系遮水工法（地中連続壁工法、地盤改良工法）
- ・ その他工法（鉛直遮水シート工法、複合遮水工法など）

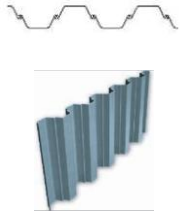

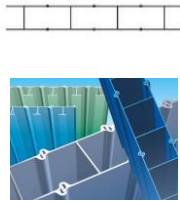


### 3.3.1 鋼矢板系遮水工法<sup>[13]</sup>

鋼矢板系遮水工法は、両端に継手を有する鋼矢板、鋼管矢板あるいは鋼板等の鋼製材料を嵌合しつつ、地盤内へ連続的に不透水層まで打設して構築される壁体によって遮水する工法である。

鋼矢板は、それ自体は連続した鋼で構成されており不透水材料であるが、継手部は打設性の観点から適当なあそびが必要であり、無処理状態の場合、水頭差があると継手を

通り、鋼矢板壁を横切って水が流れる。このため、継手部については表00に示すとおり各々遮水処理を施す必要がある。鋼矢板系遮水工法を、遮水壁の種類、継手形状および継手部充填材料によって分類したものを表 3.3.1-1 に示す。

表 3.3.1-1 鋼矢板系遮水工法比較

遮水壁種類	概略図	構造の概要	最大適用長	継手の種類	遮水処理
鋼製矢板（厚さ 10mm 前後）		U型またはハット型钢製矢板を利用した構造	20～30m	鋼矢板継	膨潤性遮水材
				溝付き継手	膨潤性ゴム
					シリコーン樹脂
薄鋼板止水矢板（厚さ 3～5mm 程度）		鋼板の両端に継手を溶接加工した構造	20～30m	鋼矢板継手	膨潤性遮水材
				P-T 継手	モルタル
				特殊継手	不透水性グラウト材
箱型钢矢板		直線鋼矢板と鋼板、またはハット型钢矢板と H 形鋼を組合せた構造	20～40m	鋼矢板継手	膨張性遮水材＋土質系遮水材
				溶接継手	膨張性遮水材＋アスファルト系遮水材
					土質系遮水材
鋼管矢板壁		鋼管両端に継手を設けた構造	40～60m	P-T 継手	アスファルト系遮水材
				漏洩防止ゴム付き P-T 継手	モルタル
				P-T 継手＋形鋼	モルタル＋土質系遮水材
					モルタル＋アスファルト系遮水材
連結鋼管矢板		2本の鋼管を H 型钢で連結加工し、両端に H-H 継手を設けた構造	40～60m	H-H 継手	膨張性遮水材＋モルタル
					膨張性遮水材＋土質系遮水材



### 3.3.2 土質系遮水工法<sup>[13, 22]</sup>

土質系遮水壁工法は、埋立地から保有水等が外部に浸出するのを防止するため、開口部を除き、埋立地周囲の地盤を連続的な壁体（地中連続壁工法）または地盤改良（地盤改良工法）によって遮水する工法を指し、主に一般廃棄物及び産業廃棄物の最終処分場に採用されている。

#### (1) 地中壁工法

地中壁工法は、等厚壁の連続地中壁工法と柱列壁や等厚壁のソイルセメント固化壁工法に大別できる。

##### ① 連続地中壁工法

連続地中壁工法は、各種の掘削機械で一定幅の溝を必要な深度まで掘削し、その溝にコンクリートやモルタルなどの遮水材料を打ち込むことにより、地中に連続した壁体を構築する工法である。連続地中壁工法は、鉄筋などを挿入することにより、強度や耐震性を高めて構造体とすることもできる。なお、連続地中壁工法の主流は RC 地下連続壁工法である。

本工法は土留め壁としての剛性が高いため、大規模な開削工事・立坑工事、近接施工を伴う工事、軟弱地盤を有する工事等に適用される。RC 地下連続壁用の掘削機械は、バケット式、回転式、衝撃式がある（表 3.3.2.(1)-1 参照）。

表 3.3.2.(1)-1 連続地中壁工法

壁体材料	築造方法	平面形状	掘削・攪拌方式	工法名
連続地中壁工法	置換方法	等厚	RC 地下連続壁用掘削機械	RC 地下連続壁工法
				鋼製地中連続壁工法
				SC 合成地中連続壁工法

表 3.3.2.(1)-2 RC 地下連続壁用掘削機械

分類	掘削・攪拌方式	掘削機械名
バケット式	ロッド式クラムシェル方式	CON 掘削機
	懸垂式クラムシェル方式	イコス掘削機
		MHL 掘削機
		MEH 掘削機
	スーパーケリー (KS02) 掘削機	
回転式	水平多軸回転カッター方式	ハイドロフレーズ (HFA) 掘削機
		エレクトロミル (EMX) 掘削機
		BMX 掘削機
		BC 掘削機
		MBC 掘削機

分類	掘削・攪拌方式	掘削機械名
衝撃式		イコスビット工法

② ソイルセメント固化壁工法

ソイルセメント固化壁工法は、原位置土と固化材を攪拌混合し、ソイルセメントによる連続地中壁を構築する。攪拌方式については、等厚壁は主としてカッターチェーン攪拌混合、柱列壁はオーガ攪拌混合が適用される。なお、等厚壁は施工目地がなく連続した遮水壁を構築できる。

また、ソイルセメント固化壁工法は、H鋼などの芯材を挿入することにより、強度や耐震性を高めて構造体とすることもできる。ソイルセメント固化壁工法に適用される掘削・攪拌方式、工法等を表 3.3.2.(1)-3 に示す。

表 3.3.2.(1)-3 ソイルセメント壁工法

壁体材料	築造方法	平面形状	掘削・攪拌方式	工法名	
ソイルセメント	置換工法	等厚	RC 地下連続壁用掘削機械	CRM 工法	
				FUSS 工法	
				TSW 工法	
	原位置混合攪拌工法	等厚	カッターチェーン攪拌方式	TRD 工法	
				鋼製地中連続壁工法-II	
		柱列	オーガ攪拌方式	ロータリー掘削方式	BH・W 工法
					CSM 工法
					鋼製地中連続壁工法-II
					SMW 工法
					ECW 工法(ECW-II型)
					GSS 工法
					ECW 工法(ECW-I型)
					RSW 工法
	ONS 工法				
TSP 工法					
GST 工法					
ECO-MW 工法					
UD-HOMET 工法					

(2) 地盤改良工法

① 高圧噴射式注入工法

高圧噴射式注入工法は、高圧水の噴射により地盤を切削攪拌することによ

り原位置の土壌を除去して空間を造り、その空間に固化材を注入する方法である。噴射方式によりエアーや加圧した水を併用する。施工機械はボーリング方式が主流である。また、柱列式以外に改良体を壁状に築造する工法や任意の角度に築造する工法等がある。

#### ② 浸透性注入固化工法

浸透性注入固化工法は、固化材量を地盤中の所定の箇所に注入管を挿入して注入し、地盤の止水性または強度を増加させる工法である。施工機械はボーリング方式が主流である。また、一般的な多重管注入工法の他に、土粒子間に低圧で浸透して地盤の止水壁を築造する工法等がある。

#### ③ 機械攪拌工法

原位置土と固化材を直接攪拌翼で混合攪拌する工法であり、多種多様の工法がある。掘削機械は、オーガ攪拌方式が主流である。

#### ④ 機械攪拌工法＋高圧噴射式注入工法

機械攪拌工法と同様に原位置土と固化材を混合攪拌する工法であるが、機械攪拌工法と高圧噴射式注入工法を併用する複合法である。施工機械はオーガ攪拌方式、ボーリング方式がある。

### 3.3.3 その他工法<sup>[22]</sup>

その他工法としては、鉛直遮水シート工法や複合遮水壁工法などがある。

#### (1) 鉛直遮水シート工法

鉛直遮水シート工法は、耐化学薬品性に優れた高密度ポリエチレンシートなどを連続的に不透水層まで打ち込むことにより鉛直遮水壁を設置し、継手部には水膨潤性のシール材を充填して遮水する工法である。

#### (2) 複合遮水壁工法

複合遮水壁工法は、ソイルセメント固化壁中に薄鋼板止水矢板や高密度ポリエチレンシートなどの遮水板を挿入することにより、地盤中に連続した複合遮水壁を構築する工法である。

### 3.3.4 鉛直遮水工の比較<sup>[13]</sup>

表 3.3.4-1 に各種鉛直遮水工法の特徴の比較を示す。

表 3.3.4-1 各種鉛直遮水工法の特徴

項目 工法		遮水材料	施工方法	遮水性	適用地盤	材料の耐久性
注入固化工法	浸透性注入固化工法	・セメント系 セメント、粘土、 ベントナイト ・薬液系 水ガラスとセメ ントの混合物	ボーリング機械で削孔し、地盤中に固化剤を浸透注入して間隙を充填する。	透水係数 10nm/秒程度に改良することが可能である。 土質に適合した注入材と十分な施工管理が必要である。 遮水性能の確認が必要である。	岩盤、砂層に適用可能である。	セメント系は耐久性が良い。 水ガラス系は溶脱の問題があるので、耐用年数の検討が必要である。 周辺の地下水環境や土壌環境への配慮が必要である。
	高圧噴射式注入工法	・セメント系 ・薬液系	超高压噴流による切削または混合効果を利用する。 地盤を柱状に切削し、空隙に注入剤を充填する。	透水係数 10nm/秒程度に改良することが可能である。 継手部やオーバーラップの十分な施工管理が必要である。 遮水性能の確認が必要である。	岩盤を除くあらゆる地盤に適用可能である。	セメント系は耐久性が良い。 水ガラス系は溶脱の問題があるので、耐用年数の検討が必要である。 周辺の地下水環境や土壌環境への配慮が必要である。
地中壁工法	連続地中壁工法	・コンクリート、 または鉄筋コン クリート	各種掘削機により一定幅で連続的に掘削し、コンクリートなどで地下連続壁を築造する。	透水係数 0.1nm/秒程度の壁を造成することが可能である。 継手部の十分な施工管理が必要である。	ほとんどの地盤に適用可能である。 深度 100m 程度まで施工可能である。	セメント系なので耐久性が良い。
	ソイルセメント固化壁工法	柱列壁	オーガーなどで削孔し、固化液と原地盤を混合・攪拌（水平攪拌）して柱列状の連続した固化壁を築造する。	透水係数 10nm/秒程度の壁を造成することが可能である。 継手部やオーバーラップ部などの十分な施工管理が必要である。	硬質地盤に対しては、先行削孔など補助工法の検討が必要となる。 深度 45m 程度まで施工可能である。	セメント系なので耐久性が良い。
		等厚壁	・ソイルセメント (TRD など)	地中に差し込んだカッターポストを水平方向に移動させて掘削し、鉛直方向に固化液と原地盤を混合・攪拌して施工目地のない等厚の連続壁を築造する。	透水係数 10nm/秒程度の壁を造成することが可能である。 深度方向に対して均質な壁が造成できる。	硬質地盤に対しても適用可能である。 深度 60m 程度まで施工可能である。
鋼製矢板工法	鋼製矢板工法	・鋼製矢板	パイプロ方式または圧入方式により、鋼製矢板を連続的に打設する。 継手部に水膨潤性の遮水材を塗布し、接合処理を施す。	継手部や根入部の遮水性確保が課題である。 接合処理がない場合、透水係数は 100nm/秒程度である。	一般的にN値30程度まで施工可能である。 玉石混じりあるいは転石のある層では工法が制限される。	浸出水などによる腐食の検討が必要である。
	薄鋼板止水矢板工法	・薄鋼板止水矢板	パイプロ方式または圧入方式により、幅広の薄鋼板を連続的に打設する。 継手部に不透水性グラウト材を注入し、遮水効果を高める。	一般の鋼製矢板と比較して継手部が少ない。 継手部や根入部に、適切にグラウトされれば遮水効果は高い。	N値30程度まで施工可能である（ウォータージェット併用）。 深度 30m 程度まで施工可能である。	浸出水などによる腐食の検討が必要である。
その他工法	鉛直遮水シート工法	・遮水シート	ウォータージェットを併用して遮水シートを直接打設する方法、または先行削孔および泥水置換後にシートを打設する方法がある。 継手部には水膨張性シール材を充填し、遮水効果を高める。	一般の鋼製矢板と比較して継手部が少ない。 継手部や根入部に、適切にシールされれば遮水効果は高い。	直接打設方式は、N値5～10以下の緩い地盤に適用でき、施工可能深度は5m程度である。 置き換え後打設方式は、N値5～10以上の比較的固い地盤にも適用でき、施工可能深度も20m程度となる。	耐薬品性が高く、腐食に関する検討は不要である。 砂礫地盤では、礫によりシートが破損するおそれがある。
	複合遮水壁工法	・ソイルセメント (TRD など) ・遮水板（薄鋼板 止水矢板、遮水 シートなど）	ソイルセメント固化壁（等厚壁を標準とする）造成後、固化前に薄鋼板止水矢板や遮水シートなどの遮水板を挿入することにより、連続した複合遮水壁を構築する。	複合遮水構造を形成するため、遮水性能が大幅に向上する。	硬質地盤に対しても適用可能である。 深度 40m 程度まで施工可能である。	ソイルセメントに挟まれているため、薄鋼板止水矢板や遮水シートの耐久性は向上する。

### 3.4 補修方法<sup>[36]</sup>

#### 3.4.1 表面遮水の補修

##### (1) 土質系遮水の補修

土質遮水工の粘性土層の補修が必要となるのは、施工時を除いて極めて稀であるが、遮水工が露出している状態、又は損傷箇所が掘り出せる状態の場合の補修の方策としては以下のようなものがある。

- ・部分的な材料の入れ替え
- ・グラウト等の施工
- ・遮水工表面の改良
- ・遮水工の材料改良、再締固め
- ・遮水工の変更（遮水シートの切り替え）
- ・地盤の改修、改良
- ・地下水集排水施設の設置 他

##### (2) 遮水シート系遮水の補修

設計・施工時の対応、点検管理を行うことにより、遮水工の補修に至る事例は極めて稀であるが、補修の方策としては以下のようなものがある。

遮水シートの補修は、遮水シートの損傷部を露出させて清掃し、損傷部と同一材料の増し張り遮水シートを接合する方法が一般的である。また、遮水シートと同一な材料を熔融状態にしておき、これを遮水シートの損傷部に流し込んで損傷部を充填密着させる方法もある。

#### 3.4.2 鉛直遮水の補修

鉛直遮水工は地中に埋設されるものであるため、施工後は目視などの点検が困難である。また、遮水シートのように埋立作業などで損傷する可能性も少ないことから、その施工後は特段の点検管理は行われていない。

鉛直遮水工の遮水機能を間接的に検査する手法としては、鉛直遮水工背面（埋立地外）に地下水観測井や監査廊などを設置し、その水位や水質を測定して浸出水との類似性をみる方法、鉛直遮水シートの絶縁特性を利用した高密度探査法等が用いられている。

### 4. 自然事象対策

#### 4.1 法面保護対策

法面保護工は法面の風化・浸食を防止し法面の安定を図るものであり、植物を用いて法面を保護する植生工と、コンクリート等の構造物による法面保護工の2種類に大別される。一般に工費、景観等から考えると植生工が望ましいが、気象、地質、土質、勾配、湧水の状態等から植生工による法面安定の確保

が難しい場合は、構造物による工法を採用する。

また、法面に湧水がある場合は法面の洗掘を防止し安定を図るため、法面保護工に加えて地下排水溝等の法面排水工を併用する必要がある。

主な法面保護工の工種を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 主な法面保護工の工種と目的

分類	工種	目的・特徴	
植生工	播種工 種子散布工 客土吹付工 植生基材吹付工 植生マット工 植生シート工	浸食防止、凍上崩落抑制、植生による早期全面被覆	
		植生筋工	盛土で植生を筋状に成立させることによる浸食防止、植物の侵入・定着の促進
		植生土のう工	不良土、硬質土法面の侵食防止
	植栽工	張芝工	芝の全面張り付けによる浸食防止、凍上崩落抑制、早期全面被覆
		筋芝工	盛土で芝の筋状張り付けによる浸食防止、植物の侵入・定着の促進
		苗木設置吹付工	早期全面被覆と樹木等の生育による良好な景観の形成
	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土砂流出の抑制
		プレキャスト枠工	中詰の保持と浸食防止
モルタル・コンクリート吹付工 石張工 ブロック張工		風化，浸食，表流水の浸透防止	
コンクリート張工 吹付枠工 現場打ちコンクリート枠工		法面表層部の崩落防止，多少の土圧を受ける恐れのある箇所土留め、岩盤はく落防止	
石積、ブロック積擁壁工 かご工 井桁組擁壁工 コンクリート擁壁工 連続長繊維補強土工		ある程度の土圧に対抗して崩壊を防止	
地山補強土工		すべり土塊の滑動力に対抗して崩壊を防止	



分類	工種	目的・特徴
	グラウンドアンカー工 杭工	

(出典：道路土工 切土工・斜面安定工指針 (平成 21 年度版) )

#### 4.1.1 植生工<sup>[37, 38, 39]</sup>

##### (1) 種子散布工

###### ① 目的

- ・ 侵食防止 (マトリクス流出防止)
- ・ 風化防止
- ・ 凍上崩落抑制
- ・ 全面植生 (緑化) 及び景観保護

###### ② 特徴

種子や肥料などを混合し、圧縮空気により法面に厚さ 1cm 程度に吹付ける工法である。吹付後、種子が発芽、生育し、法面を保護する。高所や勾配のある法面にも適用でき、広範囲面積の施工ができ、法面緑化の中で、最も簡易で経済的な工法である。

種子、高度化成肥料、木質繊維、水、接合剤等をタンクに投入し攪拌し、圧縮空気を併用した吹付車でホースをのぼし、均一に吹付ける。種子の配合は、土壌、土質、風土、気候などを考慮し決定する。

###### ③ 適用範囲・条件

- ・ 肥沃地侵食の少ない地、湿潤地に適用
- ・ 急勾配法面、高硬度地盤には不適
- ・ 1 : 1.0 より緩勾配
- ・ 土砂地盤 (土壌硬度 23mm 以下)

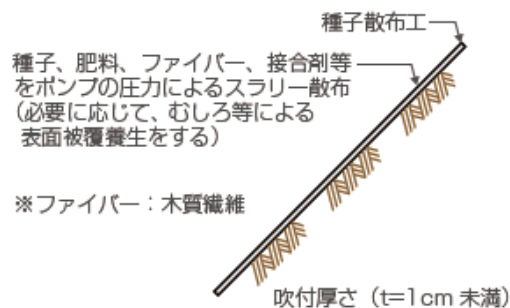


図 4.1.1-1 種子散布の例

## (2) 客土吹付工

### ① 目的

- ・ 侵食防止（マトリクス流出防止）
- ・ 風化防止
- ・ 凍上崩落抑制
- ・ 全面植生（緑化）及び景観保護

### ② 特徴

法面の土壌硬度が硬く、種子散布（吹付）工では発芽が望めない箇所、または岩砕ズリの箇所に施工する。種子散布（吹付）工の使用材料に、緑化基盤材（バーク堆肥）が追加される。使用機械は同じであるが、吹付厚を 1cm～3cm で吹付ける。

種子の配合は、土壌、土質、風土、気候などを考慮し決定する。一般的に種子散布（吹付）工よりも高い発芽率が望めるとともに、法面表面の侵食防止にもなる。

### ③ 適用範囲・条件

- ・ 土砂地盤（土壌硬度 23mm 以下）及び礫質土
- ・ 1：0.8 より緩勾配

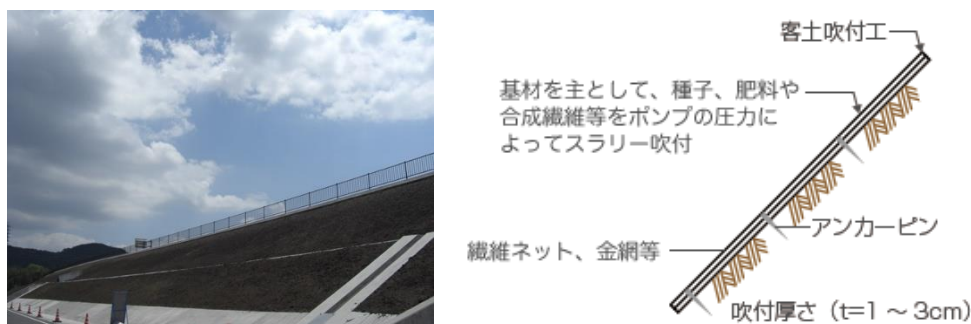


図 4.1.1-2 客土吹付工の例

## (3) 植生基材吹付工

### ① 目的

- ・ 侵食防止（マトリクス流出防止）
- ・ 風化防止
- ・ 凍上崩落抑制
- ・ 全面植生（緑化）及び景観保護

### ② 特徴

法面の整形・清掃を行った後、ラス金網を張り付け、その上に基盤材、接着剤、種子、肥料を吹付機に投入、攪拌装置内で均等に練り混ぜて、コンブ

レッサーの圧縮空気で搬送し、所定の長さ(3cm~10cm)に一度に吹付ける。

土壤粘土の高い硬質土、軟岩、硬岩等の、根の生育が期待できない法面等に吹付けを行えて、従来植生不可能であった法面で、法面保護、景観、自然保護のために、緑を蘇らせることを可能にした工法である。

植物が必要な養分等を自然補給されるようになるまでの養分を蓄えた、緑化基盤材で法面を被覆することにより、植物を生育させて法面の安定化・自然化を促進する。

### ③ 適用範囲・条件

- ・ 発芽不適期である冬季や積雪高冷地にも適用可能
- ・ 保水性が高く、乾燥地に適用可能
- ・ 土砂地盤及び岩盤
- ・ モルタル吹付面
- ・ 1:0.8より緩勾配(使用する基盤材や接合材によって異なる。)

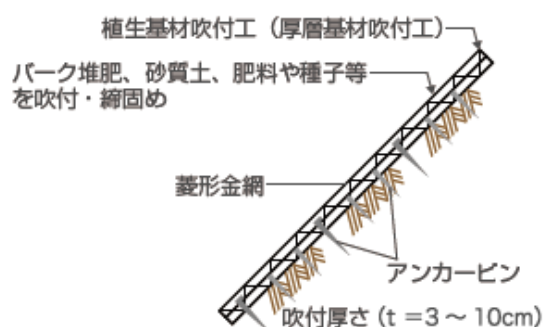


図 4.1.1-3 植生基材吹付工の例

### (4) 植生マット工

#### ① 目的

- ・ 侵食防止(マトリクス流出防止)
- ・ 風化防止
- ・ 凍上崩落抑制
- ・ 全面植生(緑化)及び景観保護

#### ② 特徴

植生による法面保護工の1つで、主に切土法面に使用される。植生マットは保湿性のある不織布、綿、紙、ヤシ繊維、フェルト等に、種子、肥料を仕込み、ポリエチレン製のネット、金網で保護しロール状に仕上げたもの。

一般的に植生シートよりも強固に作られている。植物の生育を促進させるために肥料等を含んだ袋状の肥料袋を等間隔に装着したものもある。

平滑に仕上げた法面にシートが浮き上がらないようにアンカーピン、釘、

竹串等でマットを固定させ法面を安定させる工法である。浸食防止など施工後直ちに法面保護の効果が期待できる。

③ 適用範囲・条件

- ・ 1 : 1.0 より緩勾配法面に適用
- ・ 法面に密着させる必要あり
- ・ 海岸地帯などの風衝地

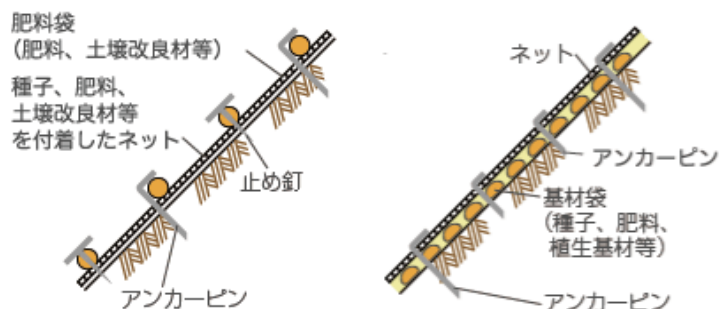


図 4.1.1-4 植生マット工の例

(5) 植生シート工

① 目的

- ・ 侵食防止 (マトリクス流出防止)
- ・ 風化防止
- ・ 凍上崩落抑制
- ・ 全面植生 (緑化) 及び景観保護

② 特徴

植生による法面保護で、主に盛土法面に使用される。植生シートは保湿性のある、不織布、綿、紙、わら、フェルト等に、種子、肥料を仕込みポリエチレン製のネットで、保護しロール状に仕上げたものである。

平滑に仕上げた法面にシートが浮き上がらないようにアンカーピン、釘、竹串等でシートを固定させ、法面を保護し、早急に法面を緑化させる工法である。

③ 適用範囲・条件

- ・ 1 : 1.0 より緩勾配法面に適用
- ・ 法面に密着させる必要あり
- ・ 肥料分が少ない土質では追肥管理が必要



図 4.1.1-5 植生シート工の例

(6) 植生筋工

① 特徴

種、肥料などを装着した帯状の布または紙（繊維帯）を盛土のり面の土羽打ちの際に、水平筋状に挿入し、施工する。使用される植物は外来および在来の草本種子であり、施工直後の耐浸食性はほとんどない。適用できるのり面勾配は1：1.2より緩く、地質も土壌の多い盛土に限定される。

このため、比較的小面積の限られた範囲に適用されることが多い。肥料分の少ない土質では追肥管理が必要で、砂質土には不向きである。

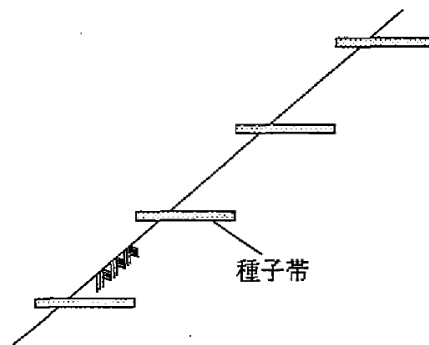


図 4.1.1-6 植生筋工の例

(7) 植生土のう工

① 目的

・緑化及び景観保護

② 特徴

植生土のう工は、種子、肥料、土壌などを詰めた土嚢（植生土嚢）を整地した法面を充填していく作業である。土嚢の内側には種子、肥料、が装着しており、それに現地の土を詰めて使用するが、工場ですみ良質土を詰めた完成品もある。

土嚢を法面に安定させるために、釘を打ち込んで留めたり、すみ法枠工を

施したりする。枠内に設置する際には施工後の沈下やはらみ出しが起きないように注意して平滑に仕上げる。土嚢の間に隙間が出来た場合は粘性土等で間詰めを行う。

③ 適用範囲・条件

- ・勾配 1 : 0.8 より緩い法面に適用
- ・肥料分の少ない土砂又は硬質地盤、岩盤に適する

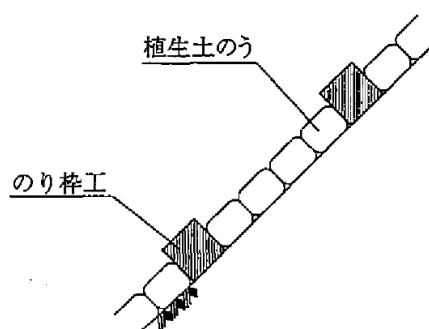


図 4.1.1-7 植生土のう工の例

(8) 張芝工

① 目的

- ・盛土法面の侵食防止
- ・部分植生

② 特徴

芝を人力にてベタ張りで隙間なく張り付け、法面・平地に良く密着するように施工する。使用する芝は、野芝・高麗芝の切芝もしくは、外来草本種のロール芝が用いられ、平滑に仕上げた法面・平地に目串などで固定する。

法面施工の場合、適用できる勾配は、1:1.5 より緩い勾配で、基本的には、対象面積が小さく、造園的効果が必要な場合に限定して適用される。

③ 適用範囲・条件

- ・1 : 1.0 より緩勾配法面に適用
- ・小面積に有効



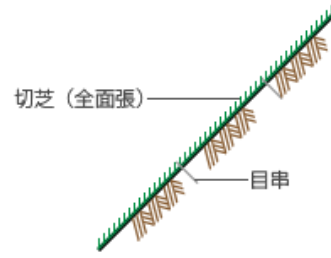


図 4.1.1-8 張芝工の例

(9) 筋芝工

① 目的

- ・ 盛土法面の侵食防止
- ・ 部分植生

② 特徴

筋芝工は、芝が法面に一定の間隔で水平な筋を形成するよう、切り芝を埋めていくものである。切り芝は 2/3 以上が土に埋まるように土羽打ちを行いながら埋めていく。小面積の盛土に適用されるが、砂質土には適さない。張芝工と比べ地表水の浸食に対して弱い。最近では、一部の地方を除いて施工されることは少ない。

③ 適用範囲・条件

- ・ 1 : 1.2 より緩勾配法面に適用
- ・ 小面積の盛土に有効
- ・ 砂質土には不適

(10) 苗木設置吹付工 (山取苗吹付工法)

① 特徴

山取苗吹付工法は、これまで法面整形や法面清掃時に捨てられていた現場内の地域性苗木を採取して、法面緑化で有効利用するエコロジカルな工法である。

山取苗吹付工法は、吹付植栽で苗木を法面に固定できるので、通常の苗木植栽が困難な岩盤法面にも植栽可能で、播種工 (植生基材吹付工) との組み合わせにより多様性豊かな緑を創造できる。

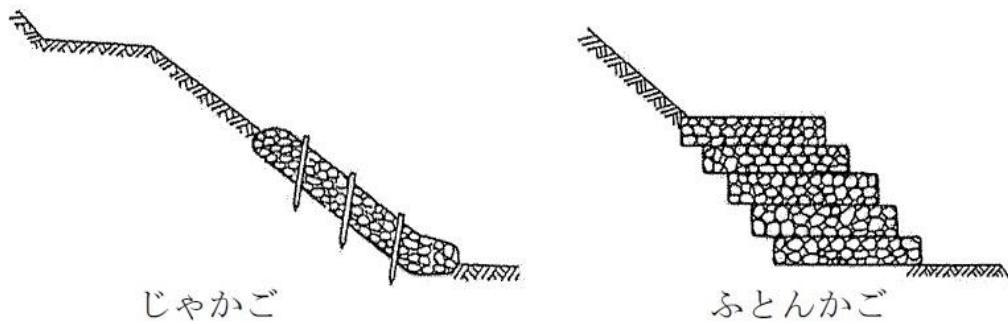


図 4.1.1-9 苗木設置吹付工（山取苗吹付工法）の例

#### 4.1.2 構造物工<sup>[40, 41, 42, 43, 44, 45]</sup>

##### (1) じゃかご工

じゃかご工は、法面に湧水があつて土砂が流出するおそれのある場合や、崩壊した箇所を復旧する場合、あるいは凍上により法面がはく離するおそれのある場合等に用いる。



じゃかご

ふとんかご

図 4.1.2-1 じゃかご工の例

##### (2) プレキャスト枠工

###### ① 目的

- ・ 法面の風化侵食防止
- ・ 緑化基盤工として利用

###### ② 特徴

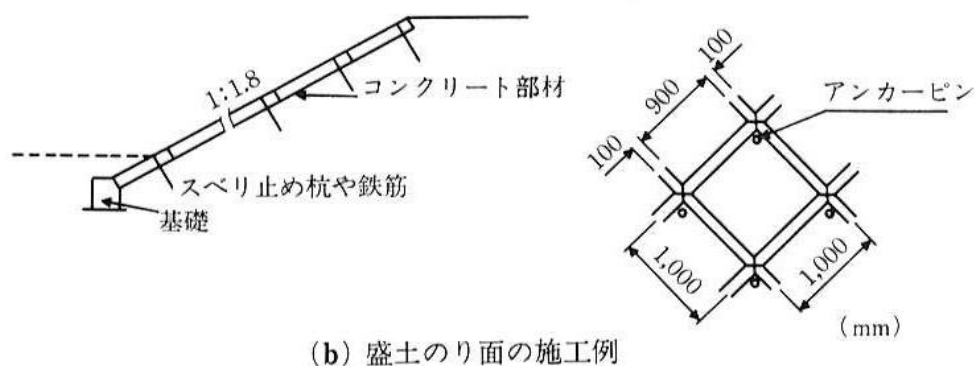
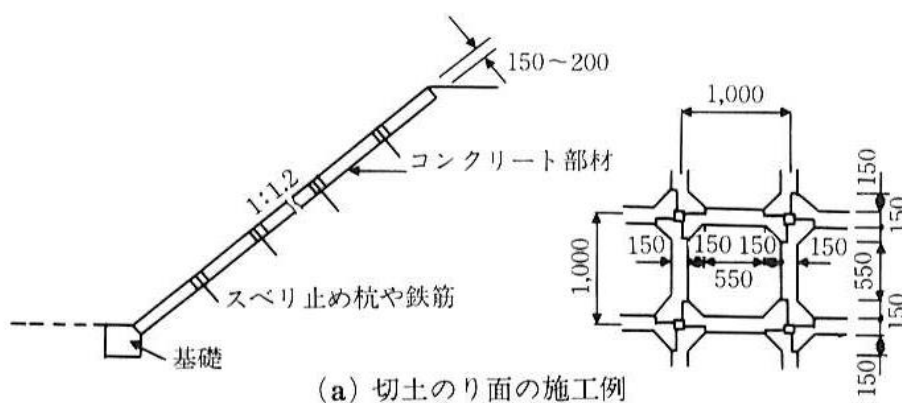
プレキャスト枠工は、侵食されやすい切土法面や標準勾配でも状況によって

植生が適さない箇所、あるいは植生を行っても表面が崩落するおそれのある場合に用いられ、1:1.0より緩やかな勾配の法面に適用される。

枠の交点部分には滑り止めのため、長さ50から100cm程度のアンカーピンを設置し、枠内は良質土で埋め戻し植生で保護することが望ましい。

③ 適用範囲・条件

- ・ 法面整形が容易な場所に適する
- ・ 枠の支点強度が低いため、土圧に抵抗できない
- ・ はらみ出し、凍上の影響を受ける場合は避ける
- ・ 基礎工が必要
- ・ 侵食防止に枠内の中詰工が必要
- ・ 侵食されやすい砂質土系の切土法面に適用可能
- ・ 植生困難な切土法面に適用可能
- ・ 法面勾配1:0.8以上(1:1.0が主)の緩勾配
- ・ 枠が洗掘などで沈下しない箇所に適用(プレキャストコンクリート:凹凸、局面のある法面では施工が困難)



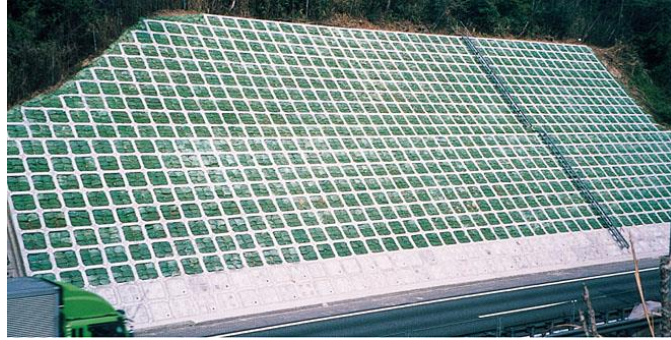


図 4.1.2-2 プレキャスト枠工の例

(3) モルタル・コンクリート吹付工

① 目的

- ・ 雨水（表面水）による侵食・浸透や風化・劣化の防止など
- ・ 小規模な岩盤剥離の抑止
- ・ 風化による新たな崩壊・落石源の発生予防

② 特徴

モルタル・コンクリート吹付工は、法面にさしあたりの危険は少ないが、風化しやすい岩、風化して剥げ落ちるおそれのある岩、切土した直後は固くてしっかりしていても、表面からの浸透水により不安定になりやすい土質ならびに固結シルトなどで植生工が適用できない箇所に用いる。

吹付厚は、法面の地質状況や凍結度合等の気象条件等を考慮して決定するが、一般にモルタル吹付工の場合は 8～10 cm、コンクリート吹付工の場合は 10～20 cm を標準とする。

③ 適用範囲・条件

- ・ 土圧を受けない箇所
- ・ 植生工が適用できない箇所
- ・ 法面に湧水が少なく崩壊危険性は少ないが、風化しやすい岩盤、風化して崩落する恐れのある岩盤に適用
- ・ 湧水箇所では排水対策が必要
- ・ 土砂主体の法面では、後にクラックの発生により早期に表面が剥離し景観上も緑化された法面に比較し劣るため、主に応急処置・仮設工事として小崩落防止に適用

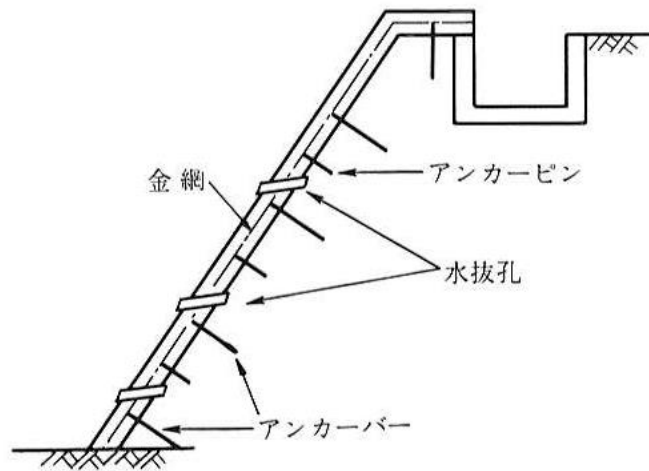


図 4.1.2-3 モルタル・コンクリート吹付工の例

#### (4) ブロック張工

##### ① 目的

- ・ 法面の風化及び侵食等の防止
- ・ 表面水の浸透抑止
- ・ 法面表層部の崩落防止
- ・ 岩盤剥落防止

##### ② 特徴

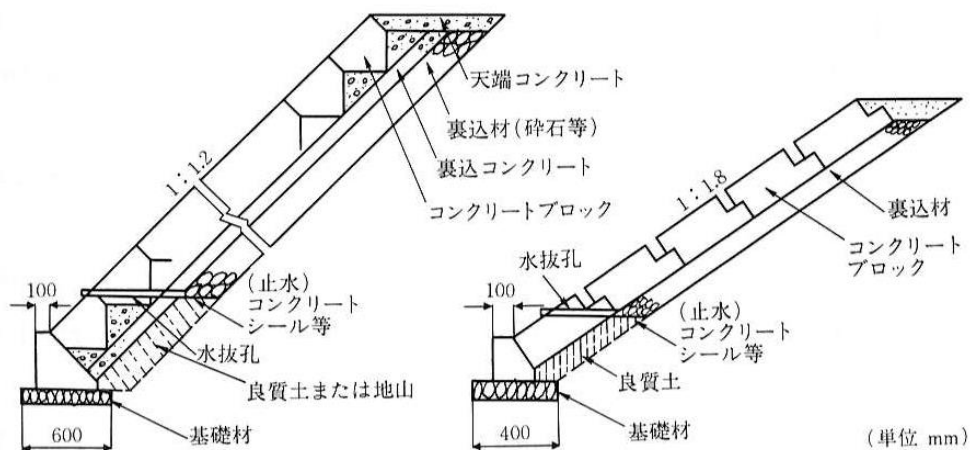
ブロック張工は、法面の風化及び浸食等の防止を主目的とし、1:1.0 以下の緩勾配で粘着力のない土砂、泥岩等の軟岩ならびに崩れやすい粘土等の法面に用いる。

また、法面勾配を標準より急にする必要がある場合や、オーバブリッジの埋め戻し部、盛りこぼし橋台の全面の保護等にも用いられる。一般に直高は5 m以内、のり長は7 m以内が多い。



③ 適用範囲・条件

- ・ 1:1.0より緩勾配で粘着力のない土砂、泥岩等の軟岩並びに崩れやすい粘土等の法面に適用
- ・ 法面勾配を標準勾配より急にする必要がある場合や、オーバブリッジの埋戻し部、盛こぼし橋台前面など特殊箇所の保護等



(a) 切土のり面における例

(b) 盛土のり面における例



図 4.1.2-4 ブロック石張工の例

(5) コンクリート張工

① 目的

- ・ 法面の風化及び侵食等の防止
- ・ 表面水の浸透抑止
- ・ 法面表層部の崩落防止
- ・ 岩盤剥落防止



## ② 特徴

コンクリート張工は、コンクリート擁壁工とモルタル吹付工との中間に位置付けられ、原則として土圧等の作用しない箇所に用いられ、節理の多い岩盤や緩い崖錐層等で、法枠工やモルタル吹付工では法面の安定が確保できないと考えられる場合に用いられる。長大法面、急勾配法面では金網または鉄筋を入れるとともに、すべり止めのアンカーピンまたはアンカーバーをつけることが望ましい。

一般に 1 : 1.0 程度の勾配の法面には無筋コンクリート張工が用いられ、1 : 0.5 程度の法面には鉄筋コンクリート張工やH鋼等で補強したコンクリート張工が用いられる。

## ③ 適用範囲・条件

- ・ 原則として土圧等作用しない箇所に用いられ、節理の多い岩盤や緩い崖錐層等で法枠工では安定確保が難しい場合に適用
- ・ 急勾配では鉄筋又は金網を入れてコンクリートを打設
- ・ 施工性が悪く、高所や長大法面には不向き

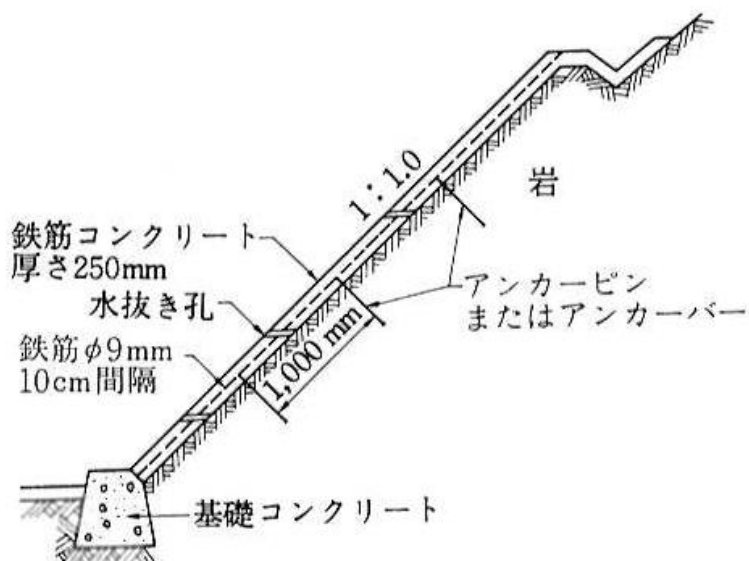




図 4.1.2-5 コンクリート張工の例

(6) 吹付砕工

① 目的

- ・ 多少の土圧を受ける箇所の土留
- ・ 比較的安定した斜面の表面保護
- ・ 岩盤の剥落防止
- ・ アンカー工、ロックボルト工の受圧板として斜面の安定を図る
- ・ 緑化基盤工

② 特徴

切土法面、自然斜面等に法枠材（型枠金網）を設置し、モルタルまたはコンクリートを吹き付けにより充填する工法である。プレキャスト法枠と異なり、凹凸の多い斜面においても地山に密着させることが可能である。

③ 適用範囲・条件

- ・ 他の法枠工の適用が困難な、凹凸のある亀裂の多い岩盤法面や早期に保護する必要がある法面、長大法面、高所法面などフレキシブルに対応可能

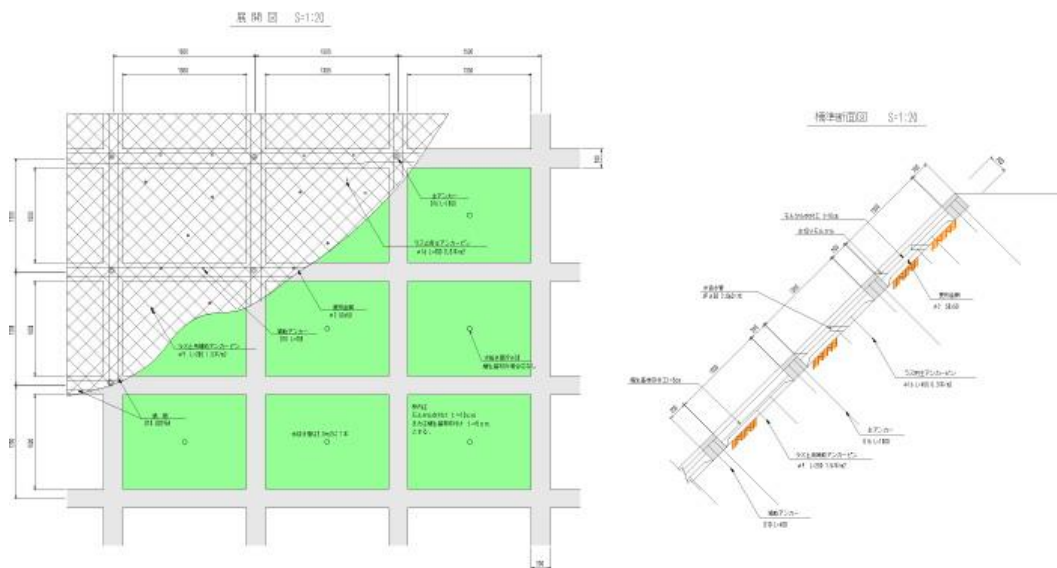


図 4.1.2-6 吹付砕工の例

(7) 現場打ちコンクリート砕工

① 目的

- ・ 多少の土圧を受ける箇所の土留
- ・ 比較的安定した斜面の表面保護
- ・ 岩盤の剥落防止
- ・ アンカー工、ロックボルト工の受圧板として斜面の安定を図る
- ・ 緑化基盤工

② 特徴

現場打ちコンクリート砕工はのり面に型枠を設置しコンクリートを打設する工法で、大断面ののり枠で平坦でのり高が低いのり面に適している。

枠は鉄筋コンクリートの現場打ちとし、枠内は状況に応じて石張り、ブロッ

ク張り、コンクリート張りモルタル吹付や植生によって保護する。ブロック工に比べ鉄筋を入れた梁構造となるため曲げに対しても強い。また、枠交点が一体化しており、ある程度の土圧に抵抗できるため、小規模崩落防止に効果的である。

③ 適用範囲・条件

- ・ 湧水を伴う風化岩や長大法面等で、法面の長期安定に対する不安が存在する箇所、あるいはコンクリートブロック枠等では崩落のおそれがある場合に適用
- ・ 凹凸のある法面、曲面法面
- ・ 基礎工が必要
- ・ 小断面の枠は施工が困難
- ・ 高所・長大法面、凹凸の多い法面への適用は困難

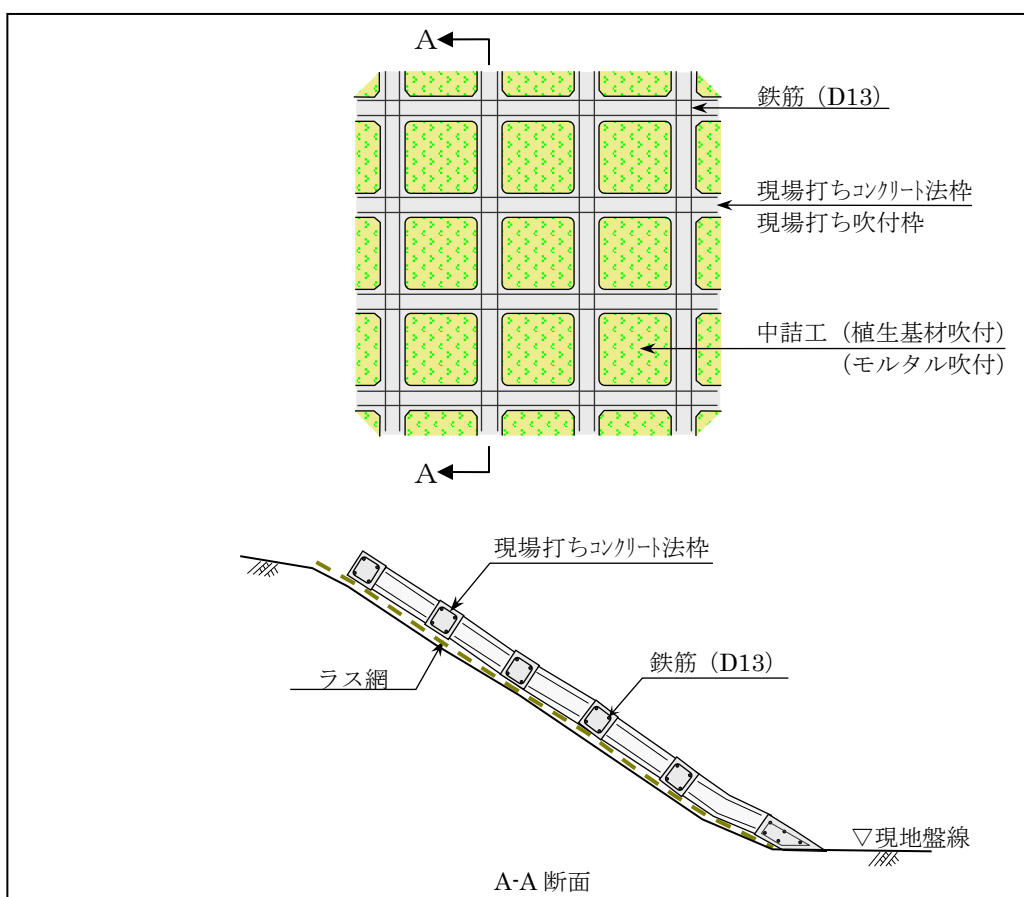




図 4.1.2-7 現場打ちコンクリート枠工の例

出典：(株)補強土エンジニアリングホームページ

#### (8) グラウンドアンカー工

##### ① 目的

- ・ 急傾斜対策
- ・ 既存斜面・構造物補強
- ・ 地すべり等、大きな抑止力を必要とする斜面安定対策
- ・ 落石等不安定岩塊の固定
- ・ 仮設法面の補強対策

##### ② 特徴

グラウンドアンカー工は、法面において岩盤に節理、亀裂等があり、崩落または崩落するおそれがある場合、比較的締った土砂の法面や斜面で崩壊のおそれがある場合等で抑止力を付与する目的で用いられる。

グラウンドアンカー工は、現場打ちコンクリート枠工、吹付枠工、コンクリート張工、擁壁工等の工法と組み合わせて使用される。

アンカー引張部材には高張力が作用することから、鋼材のリラクゼーションを少なくする等の理由により、一般に PC 鋼材 (PC 鋼棒、PC 鋼より線、多重 PC 鋼より線等) が用いられており、これら鋼材にて緊張力を加えることにより、すべり土塊の変位を抑える。

##### ③ 適用範囲・条件

- ・ 斜面などに用いる場合に確実な防食・防錆処理を施した永久アンカーを使用
- ・ 想定すべり面が 4m より深く、それより深部に定着層が認められる場合
- ・ 自由長の最低長：4m
- ・ アンカー体長：3m (最低) ～10m (最大)
- ・ 削孔用の足場仮設スペースが必要

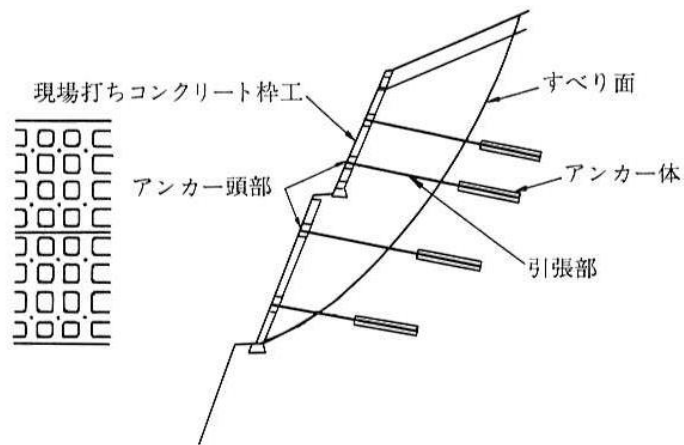


図 4.1.2-8 グラウンドアンカー工の例

(9) 杭工

① 目的

- ・ 地すべり・崩壊対策

② 特徴

杭工は、限られた範囲で崩壊に対して比較的大きな抑止力を有する工法である。杭はすべりの形態によってせん断のみ、もしくはせん断及び曲げに対して安全な構造としなければならない。

杭の断面、形状、杭間隔については、必要な抑止力から算定する。この場合、杭間の中抜けに対しても安全であるよう配慮する必要がある。

杭にはH形鋼杭、鉄筋コンクリート杭、鋼管杭等あり、施工法としては挿入杭がよく用いられる。挿入杭は大口径ボーリング (30~60 cm 程度) の孔に直径 30~50 cm 程度の鋼管を挿入し、コンクリートで中詰めし、管と孔壁の間隙にグラウトして施工する。

③ 適用範囲・条件

- ・ 地すべり性崩壊の予想される斜面



- ・ 流れ盤岩盤斜面の崩壊防止
- ・ 対象斜面に対する切土が不可能な場合
- ・ 地すべり運動速度が 1mm/日以上地域では適用困難
- ・ 枠外周部はグラウトによる入念に根固めが必要
- ・ テンションゾーンでの枠設置は避ける

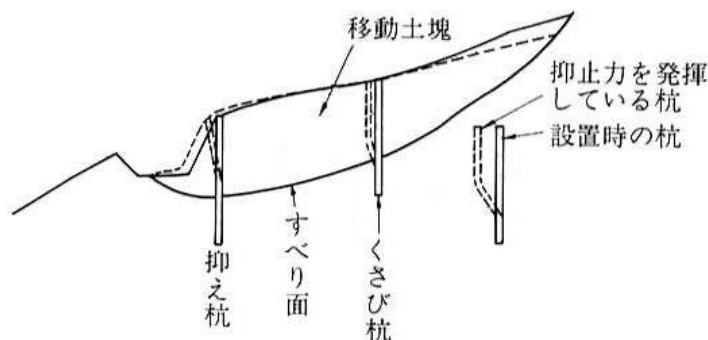


図 4.1.2-9 杭工の例

#### 4.2 浸出水排水対策<sup>[22, 46]</sup>

##### (1) 浸出水集排水管の種類及び概略構造

浸出水集排水施設は、埋立地内の浸出水を速やかに浸出水処理施設に送るための設備であり、これによって浸出水の長期にわたる埋立地内滞留を抑制し、遮水工や貯留構造物に及ぼす水圧を軽減するとともに有害物質の浸出水中への溶出の防止を目的としているもので、処分場に埋設する廃棄物の性状及び処分場の立地環境に応じて設置されるものである。

浸出水集排水管の種類と構成概念図を図 4.2.(1)-1、図 4.2.(1)-2 に示す。

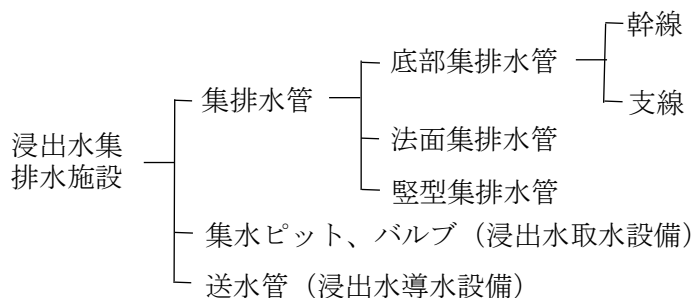


図 4.2.(1)-1 浸出水集排水管の種類

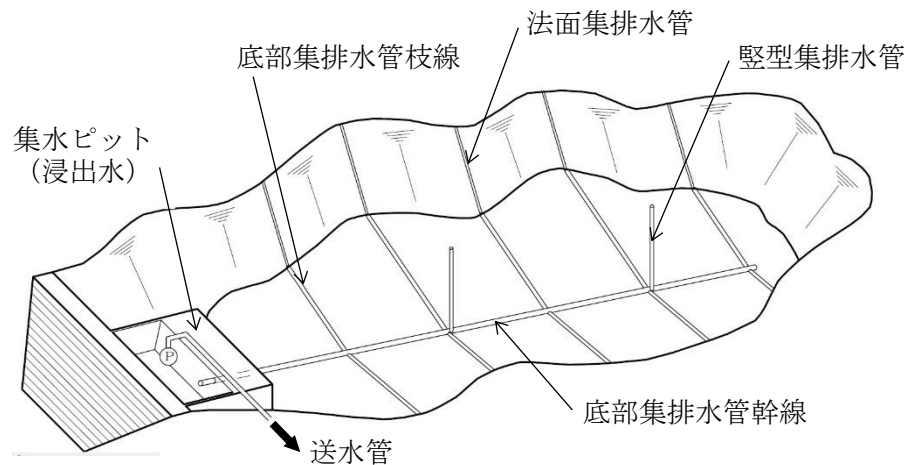


図 4.2.(1)-2 浸出水集排水施設の概念図 (例)

(2) 浸出水排水管の種類

浸出水集排水管は腐食性のある浸出水を対象とするため、十分な強度と耐食性を有する材質の管を選定することが必要であり、一般に有孔合成樹脂管が多く用いられる。多孔質材料の透水管は、孔径が小さいので目詰まりが生じやすく、最終処分場における使用例は少ない。また、蛇籠を集排水管として採用する場合には有孔管径の2倍以上を目安とし、有孔管と併用することが望ましい。

浸出水集排水管の種類及び特徴を表 4.2-1 に示す。

表 4.2.(2)-1 浸出水集排水管の種類及び特徴

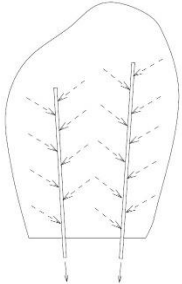
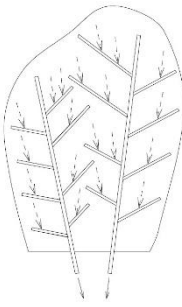
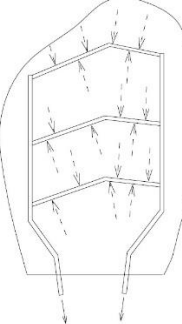
管の種類		標準的な管の直径 (cm)	底部集排水管		法面集排水管	堅型集排水管	特徴
			幹線	支線			
有孔ヒューム管		15~300	○			○	剛性が高いので、管の変形を避けたい場合に適する。
有孔合成樹脂管	強化プラスチック管	50~150	○			○	高強度で耐腐食性も高い、埋立厚さが大きい場合に適する。
	硬質ポリエチレン管	10~40		○	○		可とう性が大きく、耐腐食性も高い。小管に適する。
	硬質塩化ビニル管	10~80	○	○	○	○	強度は高いが、熱には比較的弱い。
コンクリート透水管		10~70		○			可とう性が小さい。目詰まりには注意を要する。
高分子透水管		10~60		○	○		可とう性は大きい。目詰まりには注意を要する。
じゃかご		—		○	○	○	短期的な使用に適する。目詰まりには注意を要する。

(3) 底部集排水管の配置

埋立地底面部の集排水管の配置形式を表 4.2.(3)-1 に示す。一般的には、幹

線と枝線を配する分枝型が多く利用されている。

表 4.2.(3)-1 底部集排水管の配置

方法	概略図	特 徴
直線型		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 小規模でかつ地底勾配の急な場合に用いられる。</li> <li>・ 埋立構造としては、改良型衛生埋立てとなる。</li> <li>・ 特徴： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 工事は安価である。</li> <li>➢ 空気流通面が少なく、底部の好氣的領域が小さい。また、集水効率も悪い。</li> </ul> </li> </ul>
分枝型		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広く用いられており、縦横断勾配が比較的十分な場合に適する。</li> <li>・ 特徴： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 通気流通面が確保できる。</li> <li>➢ 集水効率はよい。</li> </ul> </li> </ul>
ハシゴ型		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平地埋立てや比較的横断勾配がとりにくい地形の場合に用いられる。</li> <li>・ 特徴： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 空気流通、集水効率は分枝型と同様。</li> <li>➢ 幹線が一つの系に複数あるので、不慮の事故の場合でも速やかに排水できる。</li> </ul> </li> </ul>

#### 4.3 トンネル崩落対策[47]

国内外における VLLW 処分場及び産業廃棄物処分場では、トンネル型の処分場が適用された例はないため、ここでは一般のトンネルにおける崩落対策について参考に記載する。

トンネル掘削時に発生する崩落は、その発生箇所により「天端（トンネル上面）からの崩落」と「鏡面（トンネル正面）からの崩落」に大別される。これらの崩落の発生を予防するために、地山・環境条件に応じた補助工法（トンネルの安定確保や周辺環境の保全を目的として、通常の支保工に追加して施工する工法）が選定・施工される。補助工法の選定における検討フローを以下に示す。

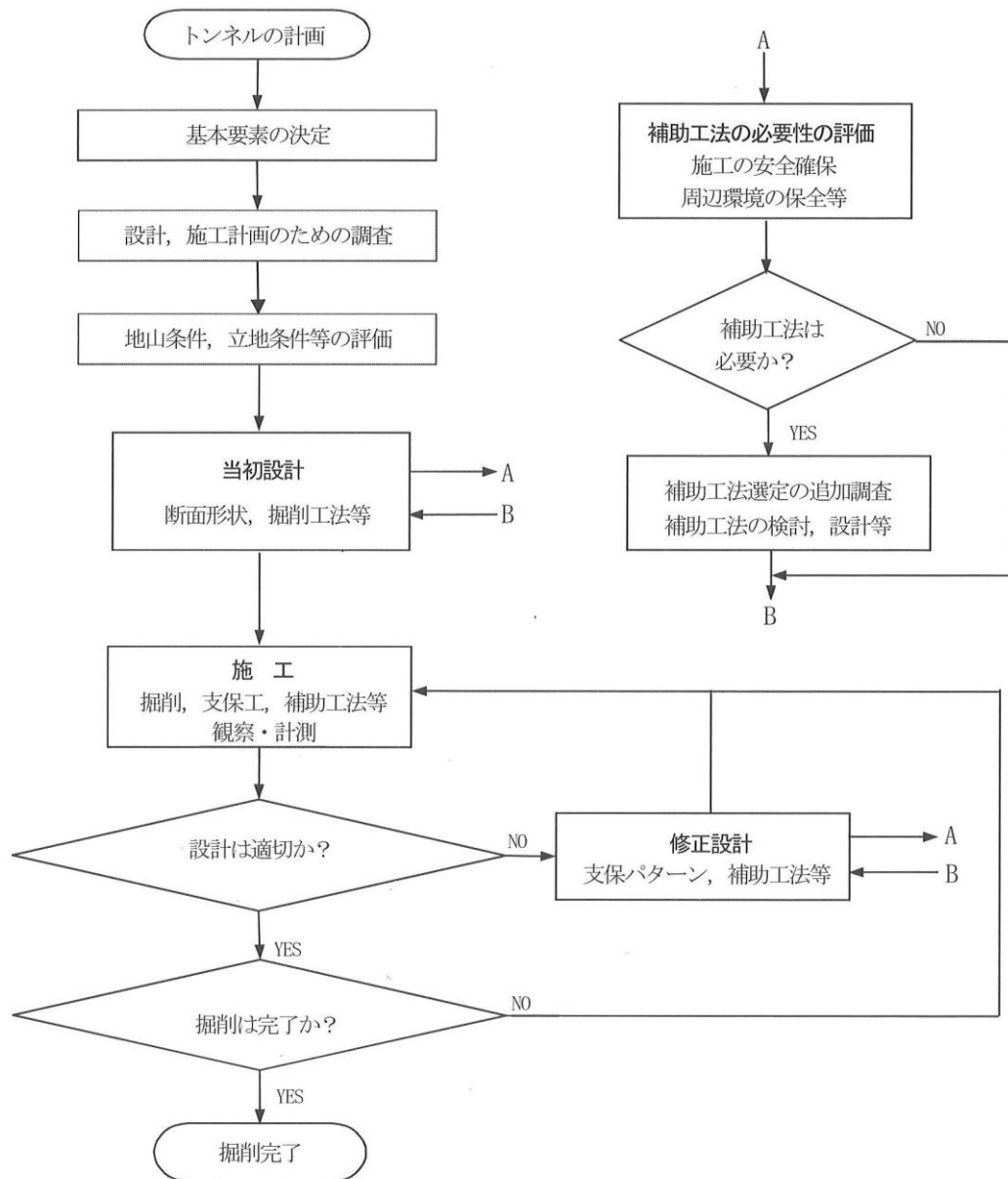


図 4.3-1 補助工法に着目したトンネルの調査、設計、施工の流れ

主な天端、鏡面安定のための補助工法を以下に示す。

(1) 主な天端安定対策工法

天端安定のためによく実施される補助工法は、フォアポーリング、フォアパイリングである。これらの工法はトンネル掘削に先立ち、ボルト（フォアポーリング）や鋼管（フォアパイリング）を切羽前方の天端部に打設し、ルーフを形成してから掘削を行うものである。

## (2) 主な鏡面安定対策工法

鏡面安定対策として主に実際されるのは、鏡吹付けコンクリート及び鏡ボルトである。鏡吹付けコンクリートは、掘削直後の鏡面に吹付けコンクリートを行うことにより、鏡面表面からの小崩落や抜け落ちを防止するものである。鏡ボルトはボルトを打設することにより鏡面前方の地山を縫い付けて一体化させ、大規模な抜け落ちや滑りの発生を防止するものである。

一方、トンネル構築後における崩落の発生は稀であり、我が国においては北海道の豊浜トンネルの岩盤崩落（厳寒条件下の岩盤の表面凍結によって地下水が潜在亀裂を拡大させたと推定される）など数例しか無い。このような構造物の崩壊を伴うトンネル崩落は、事前の適切な地質調査や建設地の選定によって回避することができる。

表 4.3-1 主な天端安定対策工法の種類と特徴[48]

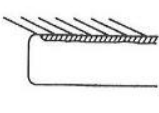
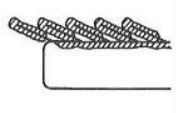



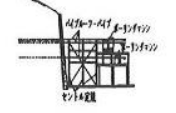
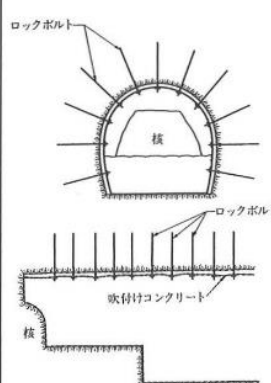
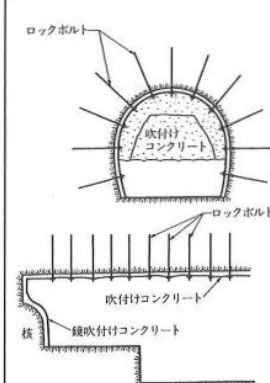
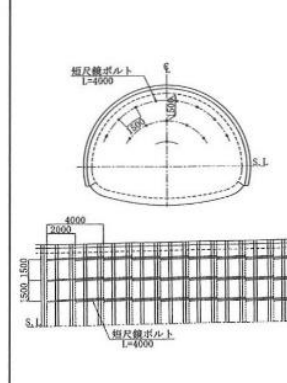
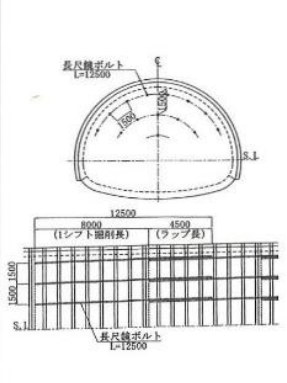
工法名	フォアポーリング		長尺フォアパイルング	水平ジェットグラウト (噴射攪拌式)	スリットコンクリート	パイプルーフ
	充填式	注入式				
概要図						
工法概要	ドリルジャンボで切羽外周部に鉄筋等を60cm程度のピッチで打設する。	ドリルジャンボで切羽外周部に中空鋼棒を打設し、注入材を圧入する。打設間隔は60cm程度。	ドリルジャンボ、または専用機によりφ100程度の鋼管を打設し、その後、注入する。間隔は45～60cm程度。	専用の機械により削孔後、先端より噴射攪拌し地盤を改良する。間隔・改良径は60cm程度。	専用の機械により掘削に先立ち切羽前方地山に、アーチシェルの薄肉覆工を構築する。	ポーリングマシンにより、トンネル断面外周に一定間隔で比較的大きい鋼管を配置する。
特徴	鉄筋等により切羽前方地山の拘束力を高めることができる。	心材と注入材による注入ゾーンにより地山を改良することができる。	鋼管と注入材により、切羽周辺の地山を改良できる。また、先受け長が長いので、先行変位を抑制することができる。	高圧噴射により、切羽周辺地山を確実に改良できる。また、先受け長が長いので先行変位を抑制することができる。	薄肉覆工により天端の安定を図ると同時に、地山の変位を抑制することができる。	環境条件により種々の鋼管径を選択できる。鋼管の剛性が高く、変位抑制効果が高い。
適用地質	粘性土、砂質土、砂礫、亀裂性岩盤、玉石	粘性土、砂質土、砂礫、亀裂性岩盤、玉石	粘性土、砂質土、砂礫、亀裂性岩盤、玉石	粘性土、砂質土	粘性土、砂質土	粘性土、砂質土、砂礫、玉石
施工性	通常設備で対応可能	注入設備が必要	注入設備が必要	高圧噴射の設備が必要	専用の施工設備が必要	専用の施工設備が必要
一打設長	6m以下	6m以下	12m程度	12m程度	2～3m	20～70m



表 4.3-2 主な鏡面安定対策工法の種類と特徴[48]

工法名	核 残 し	鏡吹付けコンクリート	鏡 ボ ル ト	
			短 尺	長 尺
概要図				
工法概要	トンネル掘削断面の中央部に地山の一部を残し切羽の安定を図る工法。	掘削直後の鏡面に吹付けコンクリートを厚さ3～10cmで施工する。	ドリルジャンボで鏡面に長さ3～6mのGFRPボルト等を一定間隔（1.0～2.0m）あるいはランダムで打設する。	ドリルジャンボまたは二重管削孔用の専用機で鏡面に長さ6m超のGFRPボルト等を一定間隔（@1.0～2.0m）あるいはランダムで打設する。
特 徴	鏡面の安定対策のうち最も経済性に優れる工法である。地山の状況にあわせて対応が早期にできる工法である。	小崩壊や岩塊の落下を防止する目的で採用され、とくに坑口部や小土被り箇所でも適用が一般的である。また、切羽休止の場合にも適用される。	GFRPボルト等により地山を縫い付ける効果を期待する工法である。地山の緩みや亀裂の開口による小崩壊や岩塊の落下を防止することを目的として適用される。	GFRPボルト等により地山を縫い付ける効果を期待する工法である。地山の緩みや亀裂の開口による小崩壊や岩塊の落下を防止することに加えて先行変位の抑制を目的として適用される。
適用上の留意点等	核の存在によりロックボルトを切羽直近で打設することができないため、坑口部やロックボルトがない箇所での適用に限られる。	切羽崩壊のきっかけとなる鏡面の肌落ちを防止する目的で適用される。現場において肌落ちの防止効果を上げているがその効果を定量評価することが困難であるため、経験的に厚さが設定されている。	一般に、鏡吹付けコンクリートとの併用が多い。鏡ボルトは、打設したものが掘削後においても適切な長さ残るように、ラップさせることが重要である。孔壁が自立しない場合には、二重管削孔方式や自穿孔方式を採用することが必要である。	

## 5. 総括

分冊 I 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、本分冊 2 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調査検討を行った。

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、それらに応じた新規規制基準への対応に係る処分施設形態や技術的な考慮事項等に関する（設計、施工、性能評価等）調査と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）。

### 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）。

### 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、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) 飛来物対策

台風又は竜巻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。

(b) 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。

(c) 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。

(d) 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。

(e) 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に関して整理・とりまとめを行った。(表 1.(2)-1 参照)

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あたっては、表 1.(2)-1 に示すような検討項目に整理し、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について、産業廃棄物処分場で適用されている既存の土木技術を参考に検討した。

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。

## 参考文献

1. 経済産業省資源エネルギー庁 HP  
([http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo01.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo01.html))
2. 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ーピット処分及びトレンチ処分編ー (AESJ-SC-F016:2016)”
3. 日本原子力発電株式会社プレスリリース、“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)
4. 公益社団法人土木学会、平成 30 年度土木学会全国大会、第 73 回年次学術講演会
5. 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 HP：地層処分技術に関する研究開発用語集 ([https://www.jaea.go.jp/04/tisou/yogo/pic\\_158.html](https://www.jaea.go.jp/04/tisou/yogo/pic_158.html)、[https://www.jaea.go.jp/04/tisou/yogo/pic\\_159.html](https://www.jaea.go.jp/04/tisou/yogo/pic_159.html))
6. 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”
7. 原子力規制委員会 HP、第 236 回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合 「資料 3-2 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事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第三条 (廃棄物埋設施設の地盤) への適合性について 平成 30 年 6 月 日本原子力発電株式会社」 (<https://www.nsr.go.jp/data/000236951.pdf>)
8. 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 HP、埋設実地試験  
([https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/backend/backend\\_01\\_04\\_01.html](https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/backend/backend_01_04_01.html))
9. ANDRA、“The surface disposal concept for VLL waste”
10. VATENFALL、“Shallow land repositories for very low level waste”
11. WM2009 Conference, March 1-5, 2009, Phoenix, AZ、“Very Low Activity Waste Disposal Facility Recently Commissioned as an Extension of El Cabril LILW Disposal Facility in Spain -9014”
12. ENERGY SOLUTIONS、“LLRW Clive Facility 2016 Disposal Update”
13. 土木学会建設技術研究委員会 建設技術体系化小委員会 遮水工ワーキンググループ、“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”
14. 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埋戻し方法及び

施設の管理方法：2010（AESJ-SC-F016:2010）”

15. 全国都市清掃会議、“廃棄物最終処分場指針解説 1989年版”
16. 公益社団法人 地盤工学会、“地盤材料試験の方法と解説”
17. 日本工業規格、“土の透水試験方法（JIS A 1218:2009）”
18. 土質工学会、“土質試験の方法と解説”
19. 公益社団法人 地盤工学会、“土質試験の方法と解説—第1回改訂版—”
20. 株式会社高速道路総合技術研究所、“道路土工の土質安定処理技術”
21. 環境産業新聞社 最終処分場技術システム研究会編集、“廃棄物最終処分場技術システムハンドブック “
22. 環境産業新聞社 最終処分場技術システム研究会編集、“廃棄物最終処分場新技術システムハンドブック “
23. 特定非営利活動法人 最終処分場技術システム研究協会、“廃棄物最終処分場遮水システムハンドブック”
24. 一般財団法人 日本建築総合試験所 HP、“わかりやすい試験シリーズ 土-04 土の粒度試験”  
([http://www.gbrc.or.jp/assets/test\\_series/documents/so\\_04.pdf](http://www.gbrc.or.jp/assets/test_series/documents/so_04.pdf))
25. 地盤工学会標準、“RI 計器による土の密度試験方法（JGS 1614-2012）”
26. 建設省技調発第 150 号 平成 8 年 8 月 16 日、“RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領（案）”
27. 日本工業規格（JIS）、“砂置換法による土の密度試験方法”（JIS A 1214:2013）
28. 森北出版、河上房義（1978）、“新編 土質力学（改定版）”
29. 地盤工学会基準、“地盤材料の工学的分類方法（JGS 0051-2009）”
30. 一般社団法人全国地質調査業協会連合会 地質環境情報 WEB、“第 5 章 室内試験” ([https://www.zenchiren.or.jp/sekisan/pdf/h27/ak\\_4-5-1.pdf](https://www.zenchiren.or.jp/sekisan/pdf/h27/ak_4-5-1.pdf))
31. 一般財団法人 日本建築総合試験所 HP、“わかりやすい試験シリーズ 土-08 土の透水試験” ([http://www.gbrc.or.jp/assets/test\\_series/documents/so\\_08.pdf](http://www.gbrc.or.jp/assets/test_series/documents/so_08.pdf))
32. 国際ジオシンセティックス学会 日本支部 ジオメンブレン技術委員会、“廃棄物処分場における遮水シートの耐久性評価ハンドブック”
33. 合成高分子ルーフィング工業会 HP、“シート防水の分類 エチレン酢酸ビニル樹脂系” (<https://www.krkrroof.net/roofing/bun-1-4.html>)
34. 環境省 HP、“覆いの機能維持 雨水浸透抑制型覆土の留意事項（キャッピング工法の概要）” ([https://www.env.go.jp/recycle/misc/guide\\_wds/03.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/misc/guide_wds/03.pdf))
35. 日本国土開発（株）HP、“キャピラリーバリア” ([https://www.n-kokudo.co.jp/tec\\_civil/capillary.html](https://www.n-kokudo.co.jp/tec_civil/capillary.html))
36. 全国都市清掃会議、“廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010 年

版”

37. 中部緑化（株）HP、“法面工事” (<http://www.chuburyokka.jp/slope/>)
38. 土木情報サービス いさぼうネット HP、“緑化工法”  
(<https://isabou.net/theme/ryokuka/index.asp>)
39. 東興ジオテック（株）HP、“環境緑化工事” (<https://www.toko-geo.co.jp/construction/jigyoubu/1/#category-19>)
40. 日本じゃかご協会 HP、“製品案内” (<http://jakago.jp/product.html>)
41. 道路土工 切土工・斜面安定工指針
42. ケイコン（株）HP、“法面保護工 法枠ブロック”  
([http://www.kcon.co.jp/items\\_detail?pf1\\_id=a0d10000044gRjAAI&pf1\\_kc=ON](http://www.kcon.co.jp/items_detail?pf1_id=a0d10000044gRjAAI&pf1_kc=ON))
43. 斜面防災対策技術協会 HP、“斜面防災技術 がけ崩れ対策技術情報”  
([https://www.jasdim.or.jp/gijutsu/gakekuzure\\_joho/index.html](https://www.jasdim.or.jp/gijutsu/gakekuzure_joho/index.html))
44. 昇栄工業（株）HP、“法面保護工事 吹付法枠工” (<https://www.shouei-kogyo.com/record>)
45. （株）補強土エンジニアリング HP、“斜面補強 のり枠工”  
(<https://www.reecom.co.jp/joho/yougo/shamen/n/noriwakukou.html>)
46. 燕・弥彦総合事務組合・国際航業株式会社、“一般廃棄物最終処分場増設事業に係る基本設計等調査業務委託基本設計報告書”
47. 土木学会、“トンネル標準示方書 [山岳工法編] ・同解説”
48. 土木学会、“山岳トンネルの補助工法 -2009 年版”