

トレンチ処分への遮水材料等の適用

2024年3月

特定非営利活動法人 廃棄物地盤工学研究会

遮水材料耐久性委員会

目 次

| | |
|---------------------------------|-----|
| 1. トレンチ処分と遮水機能について..... | 1 |
| 1.1 本書の目的 | 1 |
| 1.2 トレンチ処分の概要 | 4 |
| 1.3 本書の構成 | 12 |
| 2. 各種遮水材料..... | 15 |
| 2.1 遮水シートの現状..... | 15 |
| 2.2 保護マットの現状..... | 23 |
| 2.3 機能性材料 | 25 |
| 3. 廃棄物処分場の遮水構造 | 31 |
| 3.1 遮水工の歴史と経緯 | 31 |
| 3.2 遮水工構造 | 32 |
| 3.3 漏水検知システム..... | 35 |
| 3.4 製品認定 | 42 |
| 3.5 施工及び維持管理に必要な資格 | 43 |
| 4. 各種遮水材料の耐久性の検討..... | 45 |
| 4.1 遮水シートの劣化要因..... | 45 |
| 4.2 調査方法..... | 48 |
| 4.3 遮水シート材質別の長期耐久性評価式の提案..... | 51 |
| 4.4 被覆下の遮水シートの暴露係数に関する検討..... | 59 |
| 4.5 保護マットの耐久性 | 64 |
| 5. 覆土工、キャッピング | 74 |
| 5.1 最終覆土構造..... | 74 |
| 5.2 被覆施設の構造 | 77 |
| 6. 維持管理 | 85 |
| 6.1 最終処分場の機能検査..... | 85 |
| 6.2 遮水工の維持管理..... | 88 |
| 6.3 遮水工の施工管理..... | 101 |
| 7. トレンチ処分場への適用 | 106 |
| 7.1 廃棄物処分場の形態 | 106 |
| 7.2 遮水シートの長期耐久性..... | 109 |
| 7.3 トレンチ処分場を考慮した場合の処分場構造案 | 116 |
| 8. 参考資料 国内の被覆施設の事例..... | 127 |
| 8.1 被覆施設の構造形式 | 127 |
| 8.2 最終処分場の被覆施設の事例..... | 130 |

図目次

| | | |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 図 1.1-1 | 放射性廃棄物の区分と処分方法 | 2 |
| 図 1.2-1 | 従前のトレンチ処分場の概念例(動力炉試験炉(JPDR)の解体廃棄物埋設実地試験の例) | 8 |
| 図 1.2-2 | 地下水移行シナリオにおける被ばく経路の例(トレンチ井戸水利用、河川水利用) | 9 |
| 図 1.2-3 | 湧水タイプ別のイメージ | 10 |
| 図 1.2-4 | 地下水移行シナリオにおける被ばく経路の例(トレンチ斜面部、湧水シナリオ) | 10 |
| 図 1.2-5 | 人工バリア機能を考慮した核種移行解析例(斜面部、湧水シナリオ) | 11 |
| 図 2.1-1 | 遮水材料の分類 | 16 |
| 図 2.1-2 | 高分子材料劣化の主たる要因 | 20 |
| 図 2.1-3 | 特性変化率(破断時の伸び率の変化)と総日射量との関係 | 21 |
| 図 2.3-1 | セシウム吸着試験結果例(GCL 端部シール有) | 27 |
| 図 2.3-2 | 共存物質のセシウム捕集量の計測例 | 27 |
| 図 3.2-1 | 遮水工構造の変遷 | 32 |
| 図 3.2-2 | 管理型処分場最終処分場での地下水浸入抑制の工法例 | 33 |
| 図 3.2-3 | 表面遮水工(処分場底部)の構造 | 34 |
| 図 3.3-1 | 交替直流波形①電圧を±V に交互に替える波形②電圧を+V、0 に交互に替える波形(図 3.3-2 容量性抵抗、誘導性抵抗による影響は、信号波形が安定してから読み取ることで影響を回避) | 37 |
| 図 3.3-2 | 交流波形(図は途中で波形が切れているが実際は何れも連続波形である) | 37 |
| 図 3.3-3 | スパーク検査イメージ図 | 40 |
| 図 3.3-4 | 運用初期タイプ例 | 41 |
| 図 3.3-5 | 簡易タイプ例 | 41 |
| 図 4.1-1 | 20 年経過後の各断面の SEM 画像 | 46 |
| 図 4.1-2 | アレニウス・プロットによる評価 | 47 |
| 図 4.1-3 | 温度-時間変換則 | 48 |
| 図 4.2-1 | メタルウェザー超促進耐候性試験機 | 50 |
| 図 4.2-2 | メタルウェザーと太陽光の放射照度分布比較 | 50 |
| 図 4.3-1 | 遮水シートのエネルギーバランス | 51 |
| 図 4.3-2 | 引張強さ保持率と総日射量の関係(EPDM) | 54 |
| 図 4.3-3 | 伸び保持率と総日射量の関係(EPDM) | 54 |
| 図 4.3-4 | 引張強さ保持率と総日射量の関係(TPO) | 55 |
| 図 4.3-5 | 伸び保持率と総日射量の関係(TPO) | 55 |
| 図 4.3-6 | 引張強さ保持率と総日射量の関係(EPDM) | 56 |

| | | |
|---------|----------------------------------|-----|
| 図 4.3-7 | 伸び保持率と総日射量の関係 (EPDM) | 56 |
| 図 4.3-8 | 引張強さ保持率と総日射量の関係 (TPO) | 57 |
| 図 4.3-9 | 伸び保持率と総日射量の関係 (TPO) | 57 |
| 図 4.4-1 | 指数関数の直線回帰モデル | 59 |
| 図 5.1-1 | 最終覆土キャッピング構想(案) | 75 |
| 図 5.1-2 | 最終覆土キャッピング構想(案2) | 75 |
| 図 5.2-1 | 構造形式の分類 | 79 |
| 図 6.3-1 | 引張強度と接合部表面温度の関係 (LLDPE, 室温 25°C) | 103 |
| 図 6.3-2 | 遮水シート接合部の熱画像リモートセンシング検査の実施状況 | 104 |
| 図 6.3-3 | 遮水シート接合部の熱画像の表示例 | 105 |
| 図 6.3-4 | 接合部温度、閾値温度、環境温度の連続測定結果 | 105 |
| 図 6.3-5 | 熱画像検査における合否判定フロー | 105 |
| 図 7.1-1 | 考慮すべきトレンチ処分場の立地地形パターン例 | 106 |
| 図 7.1-2 | トレンチ処分場施設概念と設計の例 | 107 |
| 図 7.1-3 | 廃棄物と地下水位の位置関係の例 | 107 |
| 図 7.1-4 | 廃棄物設置位置の例 | 108 |
| 図 7.2-1 | HDPE の劣化モデル図 ¹⁾ | 111 |
| 図 7.2-2 | 経年後の引張特性保持率 | 115 |
| 図 7.3-1 | トレンチ処分場が遮水工に期待する効果(廃棄物上部の最終覆土) | 117 |
| 図 7.3-2 | トレンチ処分場が遮水工に期待する効果 | 117 |
| 図 7.3-3 | クローズドシステム型廃棄物埋め立て参考図 | 118 |
| 図 7.3-4 | トレンチ処分場向け被覆施設案 | 119 |
| 図 7.3-5 | トレンチ処分場の遮水構造提案例 | 119 |
| 図 7.3-6 | ディスク固定イメージ図(M社) | 123 |
| 図 7.3-7 | アンカー付きシート断面イメージ図(T社) | 123 |
| 図 7.3-8 | 検査用遮水シートサンプルの構造(案) | 125 |
| 図 7.3-9 | 検査用遮水シートサンプルの寸法 | 125 |
| 図 8.1-1 | 平面トラス構造例 | 127 |
| 図 8.1-2 | 平面ラーメン構造例 | 127 |
| 図 8.1-3 | 張弦梁構造 (ハイブリッド) 構造例、金沢駅東広場もてなしドーム | 128 |
| 図 8.1-4 | シェル構造例：アイランドシティ中央公園のセンター施設ぐりんぐりん | 128 |
| 図 8.1-5 | スペースフレーム構造例：大阪万博会場お祭り広場大屋根 | 129 |
| 図 8.1-6 | 空気支持構造例 | 129 |
| 図 8.2-1 | 被覆型最終処分場の例 | 130 |
| 図 8.2-2 | エコサイクル高知、最終処分場被覆施設の例 | 131 |
| 図 8.2-3 | 敷地内配置図 | 131 |

| | | |
|----------|---------------------------------|-----|
| 図 8.2-4 | エコサイクル高知、底部遮水設備..... | 132 |
| 図 8.2-5 | 北海道、士別市環境センター外観..... | 132 |
| 図 8.2-6 | 三重県津市最終処分場 | 133 |
| 図 8.2-7 | 長野県山形村サンクス BB 施設内供用状況 | 134 |
| 図 8.2-8 | 広島県加茂環境センター外観及び施設内景観..... | 134 |
| 図 8.2-9 | 遮水シート構造 | 135 |
| 図 8.2-10 | 鹿児島県 環境整備公社 エコパークかごしま外観..... | 135 |
| 図 8.2-11 | 鹿児島県 環境整備公社 エコパークかごしま施設内景観..... | 136 |
| 図 8.2-12 | 熊本県 環境整備事業団 エコアくまもと | 136 |

表目次

| | | |
|---------|-------------------------------|----|
| 表 1.1-1 | 放射性廃棄物の種類 | 1 |
| 表 1.2-1 | 埋設規則および埋設規則解釈のトレンチ処分検討に関する条項 | 6 |
| 表 2.1-1 | 遮水シートの種類と特性目安値 | 17 |
| 表 2.1-2 | 遮水シートの試験方法(その 1) | 18 |
| 表 2.1-3 | 遮水シートの試験方法(その 2) | 19 |
| 表 2.1-4 | 30 度斜面の日射量と全天水平面日射量の比 | 22 |
| 表 2.2-1 | 保護マットの種類と特性目安値 | 24 |
| 表 2.3-1 | 導電性マット自主基準 | 25 |
| 表 2.3-2 | GCL 自主基準 (出典:日本遮水工協会) | 26 |
| 表 2.3-3 | 高吸水性材料の自主基準(出典:日本遮水工協会) | 26 |
| 表 2.3-4 | 浸透防止層の物理性能例 | 29 |
| 表 2.3-5 | 排水層・ガス排除層の物理性能例 | 29 |
| 表 3.2-1 | 表面遮水工のタイプ別比較 | 35 |
| 表 3.3-1 | 遮水シート損傷検知設備の必要機能と主な検査項目 | 36 |
| 表 3.3-2 | 電気式検知設備の検査時期と検査項目 | 38 |
| 表 3.3-3 | 適用範囲の条件 | 39 |
| 表 3.3-4 | 遮水シート損傷(漏水)検知設備の自主基準 | 40 |
| 表 3.5-1 | 資格者の役割及び要件 | 43 |
| 表 4.2-1 | サンプリング前後のサンプル内容 | 49 |
| 表 4.2-2 | サンプリング試料種類 | 50 |
| 表 4.3-1 | 遮水シートの材質別の引張強さ保持率および伸び保持率の推定式 | 53 |
| 表 4.4-1 | 被覆状態での遮水シート引張特性 | 60 |
| 表 4.4-2 | 保護マット被覆 EPDM の暴露係数推定値 | 61 |
| 表 4.4-3 | 保護マット被覆 TPO の暴露係数推定値 | 61 |
| 表 4.4-4 | 土中埋没 TPO の暴露係数推定値 | 62 |
| 表 4.4-5 | 被覆遮水シートの暴露係数 | 62 |
| 表 5.2-1 | CS 処分場と従来型処分場の特徴比較 | 78 |
| 表 5.2-2 | 構造形式と使用材料 | 79 |
| 表 5.2-3 | 被覆設備の構造形式例(その 1) | 81 |
| 表 5.2-4 | 被覆設備の構造形式例(その 2) | 82 |
| 表 5.2-5 | クローズドシステム貯留構造物例(その 1) | 83 |
| 表 5.2-6 | クローズドシステム貯留構造物例(その 2) | 84 |
| 表 6.2-1 | 遮水シートの想定される損傷原因(その 1) | 90 |
| 表 6.2-2 | 遮水シートの想定される損傷原因(その 2) | 91 |
| 表 6.2-3 | 施工時期による遮水シートの想定される損傷原因 | 91 |

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------|-----|
| 表 6.2-4 | 遮水シートの異常状態と想定される損傷原因 (例) | 91 |
| 表 6.2-5 | 点検の頻度 (例) | 94 |
| 表 6.2-6 | 点検項目と点検方法例 (保護マットなどで覆われている状態) | 95 |
| 表 6.2-7 | 点検項目と点検方法例 (保護土等で覆われている状態) | 96 |
| 表 6.2-8 | 点検項目と点検方法例 (廃棄物層の下に埋まっている状態) | 97 |
| 表 6.2-9 | 点検の判定基準 | 98 |
| 表 6.2-10 | 補修計画内容 | 99 |
| 表 6.2-11 | 主な遮水材料の種類別補修方法 | 100 |
| 表 7.2-1 | ステージ I における酸化防止剤失効年数例 ²⁾ | 112 |
| 表 7.2-2 | 試験項目別 HDPE 遮水シートの耐用年数の推定 ²⁾ | 112 |
| 表 7.2-3 | SCR による温度別浸出水浸漬 HDPE 遮水シートの耐用年数推定 ²⁾ | 112 |
| 表 7.2-4 | 遮水シートの種類と配合処方(重量%) ³⁾ | 113 |
| 表 7.2-5 | 遮水シートの一般的性能例 ⁵⁾ | 113 |
| 表 7.2-6 | 引張強さ又は伸び率 50%低下時の遮水シートの耐用年数推定 ⁴⁾ | 114 |
| 表 7.3-1 | トレンチ処分場規模例 | 118 |

遮水材料耐久性委員会名簿

2019年4月設立時

| 構成 | 所属団体 | 氏名 | 所属先 |
|------------|------------------------------------|--------|--------------|
| 委員長 | (特非)廃棄物地盤工学研究会 理事長 | 島岡 隆行 | 九州大学大学院 |
| 副委員長 | 日本遮水工協会 会長 | 上田 滋夫 | |
| 副委員長 | (特非)廃棄物地盤工学研究会 理事 | 中山 裕文 | 九州大学大学院 |
| 事務局 | 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 | 井場 道夫 | 三ツ星ベルト株式会社 |
| 委員 | 日本遮水工協会 副会長 | 石川 雅洋 | 東洋紡株式会社 |
| 委員 | 日本遮水工協会 副会長 | 青山 克己 | 太陽工業株式会社 |
| 委員 | 日本遮水工協会 | 近藤 誠二 | 株式会社田中 |
| 委員 | 日本遮水工協会 | 島田 隆輔 | 日新工業株式会社 |
| 委員 | FPA 遮水システム研究会 | 山岸 栄一 | 東ソー・ニッケミ株式会社 |
| 委員 | FPA 遮水システム研究会 | 本田 泰丈 | ニッタ加工品株式会社 |
| 委員 | 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 | 関 眞一 | 飛島建設株式会社 |
| 委員 | (特非)最終処分場技術システム研究協会 | 志々目 正高 | 前田工織株式会社 |
| 委員 | 一般社団法人 原子力学会 LLW埋設施設検査方法分科会 副主査 | 高尾 肇 | 日揮株式会社 |
| オブ ザーバー | 日本エヌ・ユー・エス株式会社 | | |

1. トレンチ処分と遮水機能について

1.1 本書の目的

発電を終えた原子力発電所は原子炉やその他の設備を解体し、跡地は安全かつ適切に管理され、また、原子力発電所の解体にともない発生する廃棄物は、それらの放射能のレベルに応じて適切に処理・処分する必要がある。

放射性廃棄物の放射能レベルに応じた区分を表 1.1-1 に示す。これらの廃棄物は区分毎に処理方法が決められており、放射性のレベルが高い廃棄物より、深度 300m 以深の地中に埋設する地層処分対象の高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物に分類される(図 1.1-1)。また、低レベル放射性廃棄物はその放射能濃度によって更に「中深度処分」、「浅地中（ピット）処分」、「浅地中（トレンチ）処分」に区分して処理・処分する。

本書ではこれらの廃棄物のうち、放射能レベルの極めて低い廃棄物を処理する「浅地中（トレンチ）処分」（以後「トレンチ処分」という）を対象に、処分場の長期の安定性を効率的に向上させるため、産廃処分場等に多用されている遮水シート等を適用する場合の技術的検討方法を例示することを目的としている。

表 1.1-1 放射性廃棄物の種類

| 廃棄物の種類 | | | 廃棄物の例 | 発生源 |
|------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|
| 高レベル放射性廃棄物 | | | ガラス固化体 | 再処理施設 |
| 低 レ ベ ル 放 射 性 廃 棄 物 | 発 電 所 廃 棄 物 | 高 ↑ 放 射 能 レ ベ ル ↓ 低 | 放射能レベルの比較的高い廃棄物 制御棒、炉内構造物 | 原子力発電所 |
| | | | 放射能レベルの比較的低い廃棄物 廃液、フィルター、廃器材、消耗品等を固形化 | |
| | | | 放射能レベルの極めて低い廃棄物 コンクリート、金属等 | |
| | | 超ウラン核種を含む放射性廃棄物 | 燃料棒の部品、廃液、フィルター | 再処理施設 MOX燃料加工施設 |
| | | ウラン廃棄物 | 消耗品、スラッジ、廃器材 | ウラン濃縮・燃料加工施設 |
| クリアランスレベル以下の廃棄物 | | | 原子力発電所解体廃棄物の大部分 | 上に示した全ての発生源 |

経済産業省、試験エネルギー庁 HP

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo01.html

トレンチ処分の対象廃棄物は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のうち、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、概ね 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なる。ただし、2018 年の「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」（以後、「埋設規則」という）の改正に伴い、「ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地」への要求として条項内容改正により、トレンチ処分でもその表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法により、廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制することが求められた（※）。このためトレンチ処分での遮水シート等の使用が有効と考えられる。

（※）；埋設規則、第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）

“トレンチ処分に係る廃棄物埋設地は、その表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法により、廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであること”

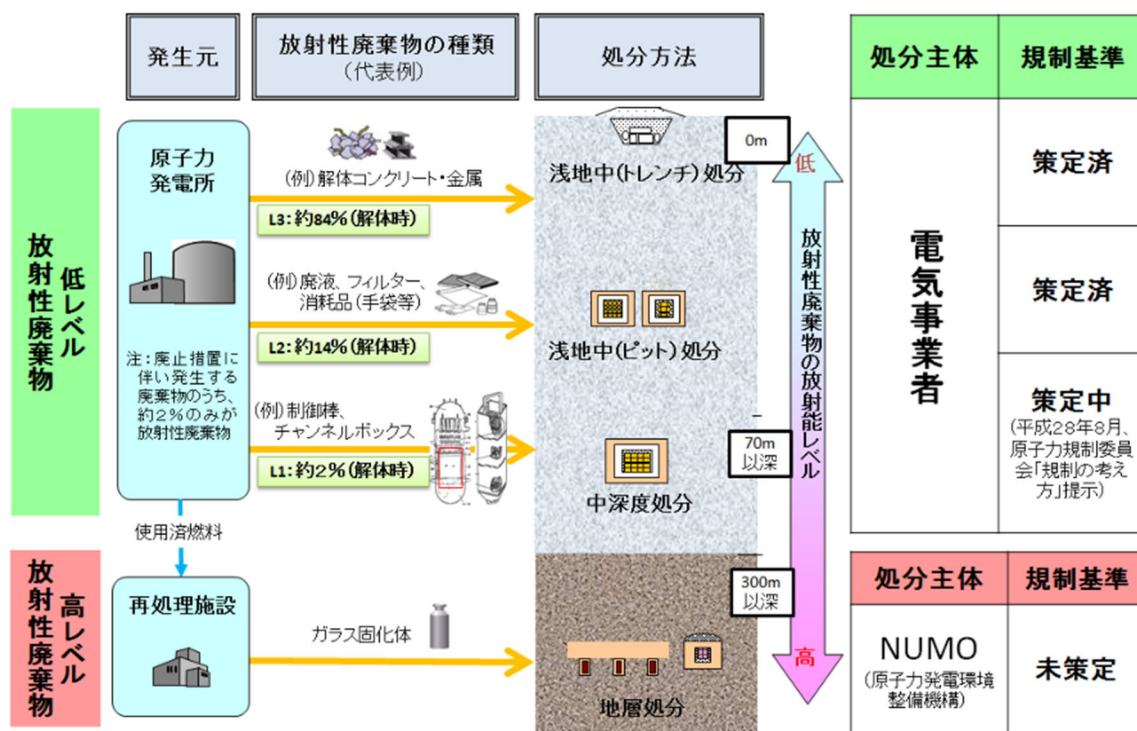


図 1.1-1 放射性廃棄物の区分と処分方法

(出典)経済産業省、試験エネルギー庁 HP

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/gaiyo/gaiyo01.html

このような放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を遮水シート等により対応する場合には、トレンチ処分に要求される機能や条件について十分に考慮する必要がある。

PL法では製品等の欠陥で他に何か損害が出た時に製造者等の賠償責任を定めたものであり、製品の欠陥により損害が発覚してから3年間、製品を購入してから10年間で時効と定められている。メーカー保証は製品自体の品質を保証したもので当事者間で契約される。現状の遮水シート耐久性の目安値では15年で規定されているが、一般廃棄物最終処分場及び管理型産業廃棄物最終処分場の供用期間延長により、より長い期間の性能の発揮が期待されているが、それについては研究途上である。

一方、トレンチ処分では約50年以上に渡り廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制することが求められていることより、遮水シート等をトレンチ処分に適用してその遮水機能を期待する場合には、トレンチ処分場を施工する事業者自らが、使用する遮水シートの遮水性能が長期にわたり維持されることの技術的根拠を示す必要がある。

このような状況を鑑みて、本書ではトレンチ処分への規則等の要求や国内外の動向および長期にわたる遮水シート等の遮水機能が維持されることを検証する手法について示すとともに、最終処分場等の現状の設計方法や、最新の技術等を考慮した場合のトレンチ処分場の概念案を提示することを目的とした。また、本書の遮水シートの長期耐久性に関する技術内容は、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および遮水材料耐久性委員会での検討成果を参考としている。

1.2 トレンチ処分の概要

トレンチ処分の概要として、トレンチ処分場に求められる埋設規則等からの要求と、海外動向の概要を示す。

1.2.1 トレンチ処分に対する規則等（トレンチ処分場への要求事項）

トレンチ処分に関する法規等のうち、遮水シート等をトレンチ処分に適用する場合に考慮しなければならない条項について以下に示す。

【規則】；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

【規則】；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

【内規】；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

【ガイド】；第二種廃棄物埋設の埋設地に関する審査ガイド

(1) 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

同規則では、第一条の二（定義）によつて、トレンチ処分は以下のように定義されている。

- 「トレンチ処分」とは、地上又は地表から深さ七十メートル未満の地下に設置された廃棄物埋設地において別表第二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。

トレンチ処分の対象廃棄物の放射能濃度は以下の別表第二によりコバルトとストロンチウムおよびセシウムの放射能濃度により規定されている。

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 |

対象廃棄物の形態は「コンクリート等廃棄物」で固体状の放射性物質のうち以下を対象としている。

- 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

廃棄物埋設地の保全については第十七条において以下のように規定されている。

- 一 廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏えいを監視し、異常な漏えいがあつたと認められる場合には速やかに廃棄物埋設地の設備の修復その他の放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずること。
- 二 埋設保全区域を定め、当該埋設保全区域については、標識を設ける等の方法によって明らかに他の場所と区別し、かつ、廃棄物埋設地の現状を保全するための措置（前号の措置を除く。）を講ずること。
- 三 廃棄物埋設地には、次に掲げる事項を表示する立札その他の設備を設置し、常に見やすい状態にしておくとともに、表示すべき事項に変更が生じた場合には、速やかに書換えその他必要な措置を講ずること。
 - イ 放射性廃棄物の種類
 - ロ 埋設を開始した日及び埋設を終了した日
 - ハ 保安のための注意事項

(2) 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及び解釈

「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「許可基準規則」という）と「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「許可基準規則の解釈」という）に記載されているトレンチ処分の構造を検討する際に考慮しなければいけない条項を表 1.2-1 に抜粋した。

埋設規則及び埋設規則解釈で求められている条項では、トレンチ処分場の設置場所の地盤は「施設を十分に支持することができる地盤」に設置することになっており、遮水シート等の設置に際しては地盤の強度は十分であることを前提として良い。また、遮水シート等に遮水機能を期待して設計することにより、遮水シート等は規則で定義されている『安全機能を有する施設（第三条）』に該当すると考えられ、その際には『「廃止措置の開始まで」の埋設の終了後 50 年程度を目安（第十三条）』に遮水機能が維持されていることを期待されている。

ここで注意すべき点は、「埋設の終了後 50 年程度」には、廃棄物の埋設を開始して埋設し終わるまでの供用期間が含まれておらず、また、その供用期間についての規定がない点である。このため、各事業者が今後想定することとなる廃棄物埋設の供用期間を算定し、これに「埋設の終了後 50 年程度」を考慮して、その期間を前提とした遮水シートの検討が必要となる。ただし、トレンチ処分場の供用期間の運用に当たっては、遮水シート等の敷設後、保護マットや雨水浸入防止のためのテント状構造物等を利用する場合は、遮水シート等の直接暴露による影響の低減が図られる物と想定される。そのため、設計段階においての検討は、遮水シート等は安全側を想定した、長期間直接暴露状態にある条件と、実際に暴露される期間を想定した条件の双方について評価を行い、その安全性を示すことが必要と考えられる。

表 1.2-1 埋設規則および埋設規則解釈のトレンチ処分検討に関係する条項

| 許可基準規則 | 許可基準規則の解釈 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>第三条（安全機能を有する施設の地盤） 安全機能を有する施設、次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該安全機能を有する施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。</p> <p>2 ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地（安全機能を有する施設に限る。）は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。</p> <p>3 ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地（安全機能を有する施設に限る。）は、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。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・「安全機能を有する施設を十分に支持することができる」とは、安全機能を有する施設について、自重及び操業時の荷重等に加え、算定する地震力が作用した場合においても、<u>接地圧に対する十分な支持性能を有する設計であること。</u> ・「変形」とは、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。 ・「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれをいう。 |
| <p>第四条（地震による損傷の防止） 安全機能を有する施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・「地震力に十分に耐える」とは、あ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をいう。 |
| <p>第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地） <u>トレンチ処分に係る廃棄物埋設地は、その表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法により、廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであること。</u></p> | <ul style="list-style-type: none"> ・「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」については、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出に伴う公衆の受ける線量が、第8条第1項に規定する「廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びブスカイシャインガンマ線による事業所周辺の線量」及び第17条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出により公衆の受ける線量を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考え方の下、実効線量で50マイクロシーベルト/年以下であること。 ・「<u>廃止措置の開始まで</u>」とは、埋設の終了後50年程度を目安とする。 |
| <p>第十五条（監視測定設備） ピット処分又はトレンチ処分を行う場合にあっては廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は線量</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・トレンチ処分に係る廃棄物埋設施設は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は線量を監視及び測定できる設計であること。 |
| <p>地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周囲の状況</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・「地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周囲の状況」を監視し及び測定できる設備は、事業規則第19条の2に規定する<u>定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能並びにこれらに影響を及ぼす地下水の状況等の監視及び測定</u>の項目を選定し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、監視及び測定できる設計であること。ただし、実際の環境と類似した環境下での原位置試験等の間接的な方法により人工バリア及び天然バリアの機能並びにこれらに影響を及ぼす地下水の状況等のデータを取得できる場合は、当該方法による<u>ことができる。</u> |

第13条の『ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地』の規定によりトレンチ処分に係る廃棄物埋設地は、「その表面を土砂等で覆う方法その他の人工バリアを設置する方法に

より、廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであること。」が要求されており、この機能を実現するため遮水シート等の使用は有用と考えられる。

また、第 15 条の『監視』において、「定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能並びにこれらに影響を及ぼす地下水の状況等の監視及び測定の項目を選定し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、監視及び測定できる設計であること」が求められている。このことより、トレンチ処分では最終処分場で用いられている監視設備に加えて、長期間にわたる遮水シートの状態変遷を確認するための直接的に監視する設備が求められ、最新の計測技術の流用についても事前の検討が必要となる。

(3) 第二種廃棄物埋設の埋設地に関する審査ガイド

本審査ガイドは、「許可基準規則」と「許可基準規則の解釈」のうち、第 13 条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）に係る規定への適合性を審査官が判断する際に参考とするためのものであり、審査官による確認の方法の一例が示されている。

廃止措置の開始に向けては、保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しを規制側に提示する必要がある。この「廃止措置の開始までに廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通し」が示されているかどうかについては、各シナリオ（※）に基づく埋設した放射性廃棄物が廃止措置の開始後に公衆に及ぼす影響の評価（以下「線量評価」という。）の埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の種類及び量並びに人工バリア、天然バリア及び公衆の生活環境の状態の設定（以下「状態の設定」という。）並びに被ばくに至る経路について確認する。また、これらに基づいて線量評価に用いるパラメータが設定されていることを確認するとしている。

※シナリオ；安全評価においては廃棄物埋設地と公衆の接近を仮定したシナリオを設定して評価を実施する。シナリオには自然現象を想定する「自然事象シナリオ」や、人間活動に起因する「ボーリングシナリオ」などがあり、またそれぞれのシナリオに対して最も「可能性が高いシナリオ」や「最も厳しいシナリオ」等の観点より、複数のシナリオを設定して評価を実施する。

これらのシナリオの設定と評価のためのトレンチ処分場の状態を示すために廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺に係る過去の記録や、現地調査等の最新の科学的・技術的知見を用いて、人工バリア及び天然バリアが有する放射性物質の移動抑制機能（以下「バリア機能」という。）並びにバリア機能に影響を与える因子（以下「影響因子」という。例えば、地震や材料の経年劣化）が、可能な限り申請対象の廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺に係る過去の

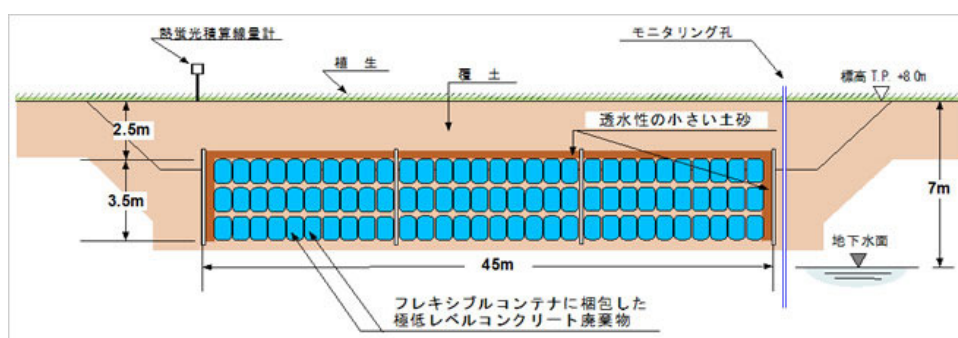
記録、現地調査並びに最新の科学的・技術的知見に基づいて設定されている必要があり、審査ではこれらのデータの取得や評価方法が妥当であることを確認するとしている。

ただし、廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺に係る過去の記録、現地調査並びに最新の科学的・技術的知見に基づいて設定が困難な場合には、用いるデータが申請対象の廃棄物埋設施設及びその周辺に対して適用可能であることを示し、それらについて審査により確認されることでも対応が可能である。

1.2.2 トレンチ処分場への遮水シート等の有効性

(1) 従前のトレンチ処分概念（規則改正前）

2018年の規則改正前までは、トレンチ処分場は図 1.2-1 に示すように人工バリアを設置せず、天然バリアの核種移行抑制機能にのみ期待した処分概念が考えられていた。



フレキシブルコンテナ（ポリエステル製）に収納したコンクリート廃棄物



廃棄物埋設用トレンチ外観及び雨水浸入防止用テント（定置開始前）



フレキシブルコンテナ収納廃棄物の定置作業状況



廃棄物埋設地（保全段階）

図 1.2-1 従前のトレンチ処分場の概念例(動力炉試験炉(JPDR)の解体廃棄物埋設実地試験の例)

(出典)原子力機構「埋設実地試験」

これに対して 2018 年の規則改正に伴いトレンチ処分場には、その表面を土砂等で覆う方法

その他の人工バリアを設置する方法を施すことにより、廃棄物埋設地への雨水及び地下水の浸入を十分に抑制することが求められた。また、処分場の候補地の地形・地質条件によっては、候補地の条件を考慮した多様な人工バリアを備えた概念を導入する必要も想定される。

(2) 地形形状等を考慮した処分概念例

従前のトレンチ処分場の概念では、埋設地に降った雨水等が覆土を通して廃棄物に接触して廃棄物中の放射性物質が溶出し、その廃棄物を透過した水が埋設地の下部に流れる地下水とともに河川や海などへ流出し、それらの地下水を媒体として被ばくする経路を設定している。また、埋設地と流出点の途中で井戸を介しての被ばく経路も想定されている(図 1.2-2)。

これに対して地形形状により斜面の途中に地下水が湧出することは一般的に見受けられる地形であるため、サイト条件によっては流出点に到達する前に他の地点に湧水として流出することが考えられる(図 1.2-3)。この場合は、従来から評価している被ばく経路以外に湧水を介した被ばく経路を追加する必要がある(図 1.2-4)。これについては、従来の地下水移行シナリオにおける被ばく経路のうち井戸水利用と同様の被ばく経路を評価することになる。なお、従来の井戸水飲用の被ばく経路については、管理期間である 50 年間は井戸水を利用しないとしていることから、50 年後から評価を開始しているが、上記の湧水による被ばく経路については、埋設完了直後から評価を開始する必要がある。

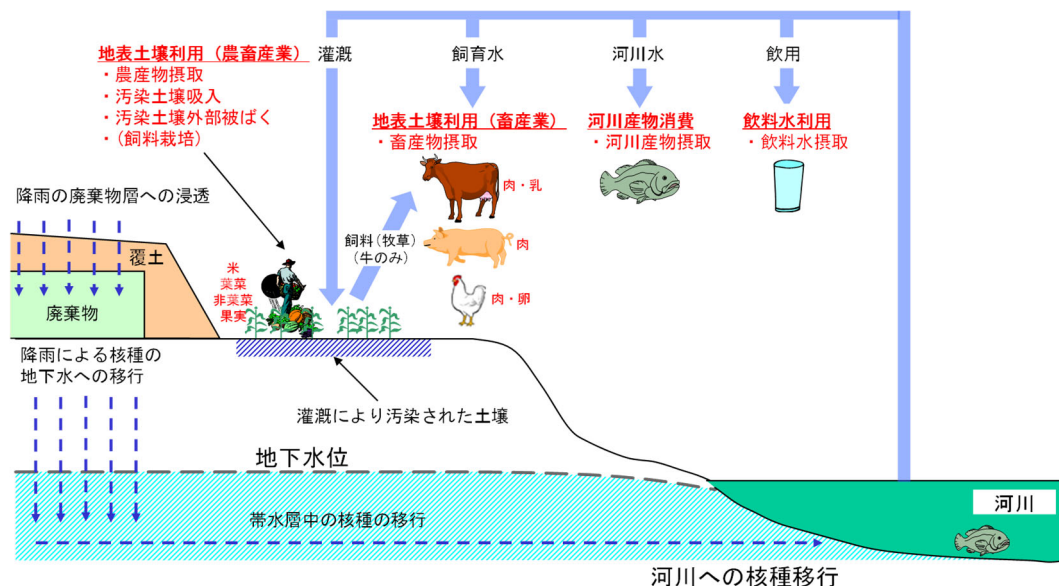


図 1.2-2 地下水移行シナリオにおける被ばく経路の例(トレンチ井戸水利用、河川水利用)
 (出典)高尾他、土木学会 平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会、多様な L3 トレンチ処分概念の必要性について—立地状況を考慮した L3 トレンチ処分概念例—

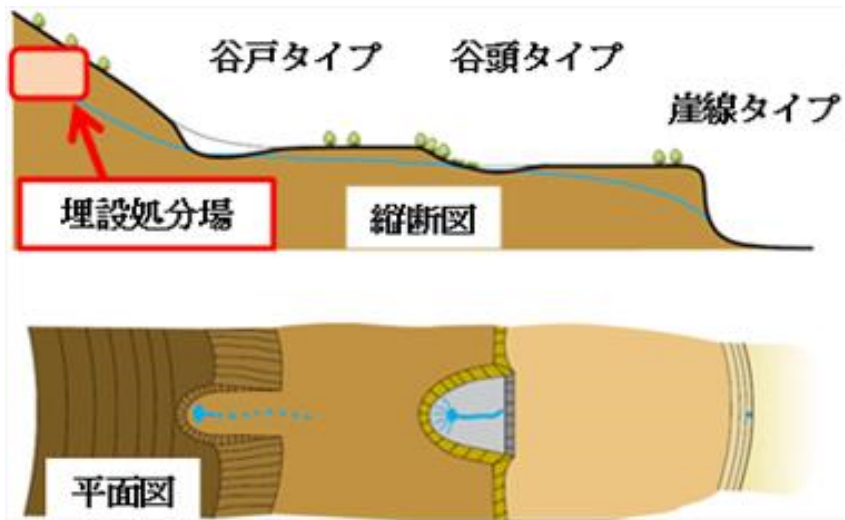


図 1.2-3 湧水タイプ別のイメージ

(出典)高尾他、土木学会 平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会、多様な L3 トレンチ処分概念の必要性について—立地状況を考慮した L3 トレンチ処分概念例—

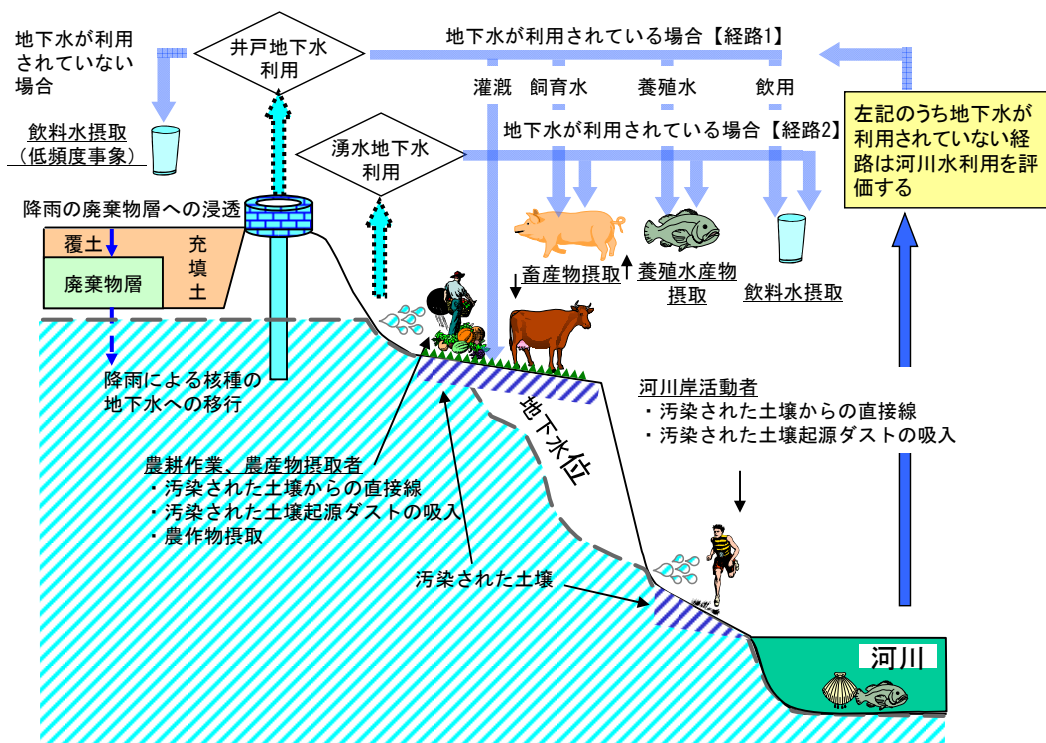


図 1.2-4 地下水移行シナリオにおける被ばく経路の例(トレンチ斜面部、湧水シナリオ)

(出典)高尾他、土木学会 平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会、多様な L3 トレンチ処分概念の必要性について—立地状況を考慮した L3 トレンチ処分概念例—

地形形状が平坦で希積水量が十分に確保できる海や河川などが地下水湧出点であり、かつ、地下水の移行経路に当たる地盤（天然バリア）に、ある程度の核種移行の遅延が期待できる

条件と移行距離が確保できるサイトであれば、基本的に遮水シート等は不要である。しかし図 1.2-3、図 1.2-4 に示すような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、トレンチ処分場の設置が可能になると考えられる(図 1.2-5)。

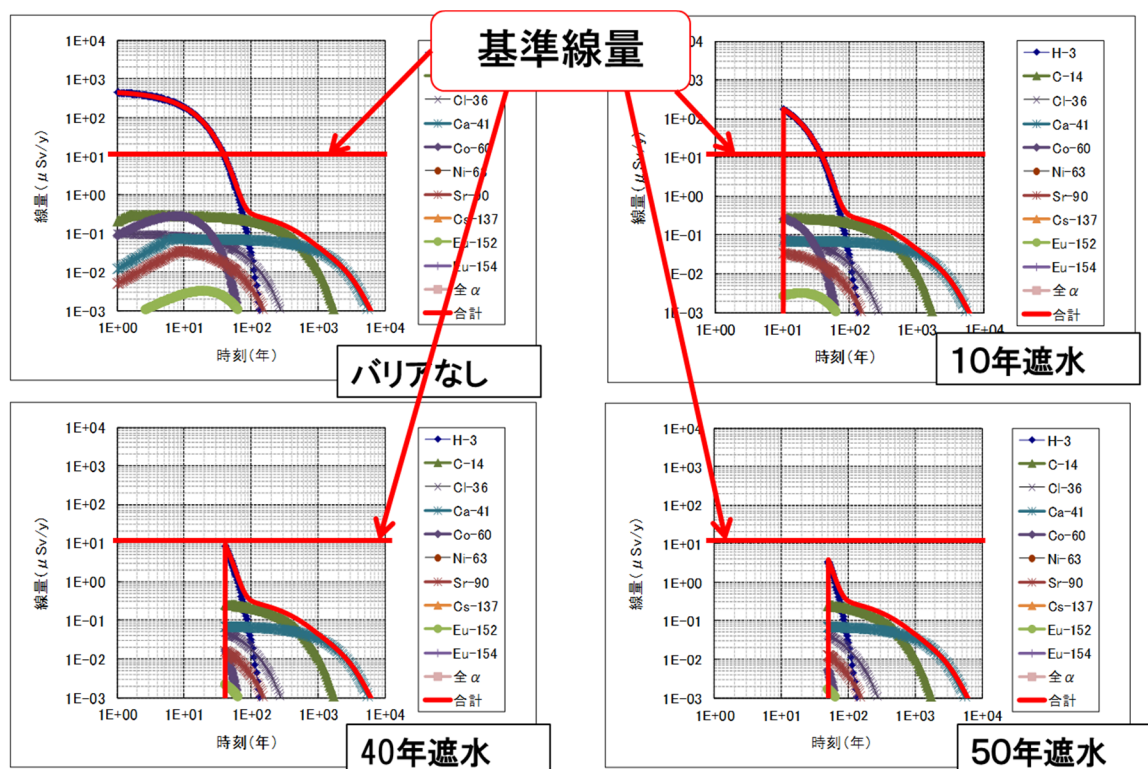


図 1.2-5 人工バリア機能を考慮した核種移行解析例(斜面部、湧水シナリオ)

(出典)「高尾他、土木学会 平成 30 年度全国大会第 73 回年次学術講演会、多様な L3 トレンチ処分概念の必要性について一立地状況を考慮した L3 トレンチ処分概念例一」を元に加筆修正

基本的にトレンチ処分では遮水シート等は不要であるが、規則改正により人工バリアの敷設が求められたことと、処分場の立地条件等によっては、遮水シート等をトレンチ処分場に付加することが有効であると考えられる。

1.3 本書の構成

本書の構成を以下に示す。

遮水シートの長期耐久性の評価方法は国際ジオシンセティックス学会日本支部ジオメンブレ技術委員会および遮水材料耐久性委員会での検討成果を参考としている。

第1章 トレンチ処分と遮水機能について（本章）

本書は放射能レベルの極めて低い廃棄物を処理する「浅地中（トレンチ）処分」を対象に、処分場の長期の安定性を効率的に向上させるため、産廃処分場等に多用されている遮水シート等を適用する場合の技術的検討方法を例示することを目的としている。ここでは、トレンチ処分の概念と法規等からのトレンチ処分への要求事項とおよびサイト条件等により遮水シート等が有効になると想定される状況について概説した。

第2章 遮水工材料

遮水工材料は遮水材料、保護マット(不織布)及び機能性材料を総称している。遮水材料は、遮水シート、液状材料およびその他材料を総称している。本章では、「2.1 遮水シートの現状」と「2.2 保護マットの現状」では、それぞれ種類と特性及び現状での耐久性に係る状況についてまとめた。つづいて「2.3 機能性材料」ではジオコンポジット、導電性材料、自己修復材料、核種吸着材料、通気防水材料などの材料についてまとめた。

第3章 廃棄物処分場の遮水構造

「3.1 遮水工の歴史と経緯」では、遮水シートの歴史として1930年代後半に西ドイツにおいて地下防水に用いられて以来の略歴を紹介し、「3.2 廃棄物処分場の形態」では、トレンチ処分場の構造を念頭に、遮水シートをトレンチ処分場に転用する場合の遮水工の組合せの例を示した。

「3.3 漏水検知システム」では漏水検知システムの種類、検査時期と方法、機能検査の判定と各測定項目の判定基準に加え、最新の遮水シート漏水検知装置の検知システムの例を紹介した。続いて遮水シートの運用に当たって必要となる「3.4 製品認定」と「3.5 施工及び維持管理に必要な資格」について概説した。

第4章 遮水工材料の耐久性の検討

遮水シートの耐久性は日本遮水工協会の自主規格値である15年を超えて、はるかに長期間にわたりその機能を発揮している。

ここではこのような状況を鑑み、高分子材料を素材とする遮水シートの耐久性に関連が想定されている紫外線、温度（熱）および水（薬品の溶液を含む）が劣化の主な因子のうち、最も影響が大きいと考えられる紫外線と熱による劣化を中心に、提案されている特性変化（耐久性）を表現する「数式モデル・評価方法」をいくつか紹介し、その適用性について述べるとともに、遮水シートが長期間にわたりその機能を維持すると推定できることを示した。

検討は既存の研究成果と、実際の処分場で使用された遮水シートをサンプリングし、そ

の劣化の度合いを分析したデータを用いた。さらにこれらの遮水シートサンプリング試料を用いて、促進暴露試験にかけることにより、遮水シートの耐久性(寿命予測推定)を評価するためのデータを取得した。

これらのデータより遮水シート材質別の長期耐久性評価式を提案し、それらの式を用いた遮水シート材質別の長期耐久性評価の結果を提示した。評価結果より遮水シートを通常の状態で使用するのであれば50年を超える長期にわたりそれらの機能が発揮されることを確認した。また、遮水シートと共に用いられる保護マットの長期耐久性についても着目し、その耐久性について評価した。

遮水シートは暴露状態でも長期にわたりその機能を発揮することが確認されたが、処分場では遮水シートと保護マットを組み合わせ使用されるため、遮水シートはさらに長期にわたり機能を発揮することが推定された。

更に詳細に遮水シートの長期耐久性の評価方法を確認する場合には、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および遮水材料耐久性委員会が2023年に改訂したハンドブックを発刊予定なのでそれを参照されたい。

第5章 覆土工、キャッピング

一般廃棄物処分場では遮水シートは廃棄物層底部に配置され、周囲の地下水からの廃棄物の隔離と廃棄物層内に浸透する降雨浸透水の集水と外部環境との隔離に使用されている。一時、周辺住民から外部環境の悪化に対して反対運動などがあったが、遮水シートを含む遮水システムの敷設と多重安全システム等の開発から最近ではこうしたトラブルは殆ど見受けられない。

こうした状況を鑑み、適切な覆土工をトレンチ処分場の最終覆土に適用する事は降雨浸透抑制に有効と考えられることより、トレンチ処分場を想定した場合の覆土工の案を提示した。

続いて、トレンチ処分の対象廃棄物（以下、「トレンチ廃棄物」という）の搬入時の供用期間内に雨水浸入対策として被覆施設（クローズドシステム）の導入が有用と考えられることより、一般に用いられている被覆施設の特徴と構造を提示した。また、一般に用いられている被覆施設の例と、廃棄物最終処分場に設置されている被覆施設の例を参考資料として添付した。

第6章 維持管理

処分場の品質を確保するために必要となる検査や管理について最終処分場の機能検査と遮水工の維持管理としてまとめた。また、遮水工については、遮水シート、保護マット（不織布）およびGCL（ベントナイトマット）について3種類の施工管理における遵守事項を示した。また、従来の遮水シート接合部の検査方法には、目視による外観検査、接合部にドライバー等の検査棒を挿入する検査棒挿入法、検査孔からコンプレッサ等により空気圧をかける加圧検査法、バキュームボックスを用いた負圧検査法などがある。これらに対してここでは、遮水シート接合部の新たな検査方法として「熱画像リモートセンシング

による遮水シート接合部の検査法」(土木学会環境賞受賞、2021年6月)を紹介した。

第7章 廃棄物処分場の形態

遮水シート等をトレンチ処分場へ適用する場合を想定し、地形条件による廃棄物処分場の形態や埋設する廃棄物の配置高さや地下水との位置関係、覆土構造の案について示した。

続いて、遮水シートの長期耐久性の評価方法として、本書の「4 各種遮水材料の耐久性の検討」で示したデータと遮水シートの材質別の耐久性評価式を用いた検討を行い、さらに技術的知見の補強のために国内外の研究事例を紹介する。

最後に、遮水シートを用いた場合のトレンチ処分場の形態の例を示すと共に、遮水シートの維持管理における現地での耐久性確認方法の一つとして、トレンチ処分場内にあらかじめセットした遮水シートサンプルを10年単位で評価することにより、遮水材料の耐久性(経年的変化)を検証する方法の案を示した。

2. 各種遮水材料

2.1 遮水シートの現状

2.1.1 遮水シートの種類と特性

「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領」に基づく遮水シートの種類と特性の要約

遮水シートは、場合により複雑かつ過酷な条件下で使用されるため、長期にわたり遮水機能(基本特性および耐久性などに係る特性)を保持しなければならない。

1) 種類

遮水シートは、合成ゴム・合成樹脂系(低弾性タイプ・中弾性タイプ・高弾性タイプの非補強タイプおよび補強タイプ)、ならびにアスファルト系(シートタイプおよび吹付けタイプ)に分けられ、それぞれ要求機能がある。

2) 必要機能

(1) 基本特性

外観、厚さ、遮水性(透水係数)、引張強さ、伸び率、引裂強さおよび接合部強度(工場接合および現場接合)があり、それぞれの検査結果を確認する必要がある。

(2) 耐久性などに係る特性

耐候性、熱安定性、ストレスクラッキング性、耐酸・耐アルカリ性および安全性(溶出濃度)があり、それぞれの基準および試験方法については表 2.1.1 および表 2.1.2 の一覧表に記す。

注) 非補強タイプは繊維などの補強材を含まない均質タイプの遮水シートをいい、補強タイプは繊維などの補強材を併用した複合タイプの遮水シートである。

(出典) NPO・LSA 発刊「最終処分場機能検査者資格認定試験テキスト」を元に加筆修正

【解説】

遮水材料は、遮水シートと液状遮水材に大別される。「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領」では、遮水シートに限定して記されているが、一部のアスファルト系材料に液状遮水材料である吹付けタイプ(単独および織布との複合)が記載されている。

また、遮水基盤が岩盤等で下地平滑整形できない場合には、液状遮水材料を吹付けまたは塗布により現地で遮水シート形状にする遮水技術が採用されるようになってきている。現状に沿った遮水材料の分類を図 2.1-1 に示す。また、遮水シートの特性を表 2.1-1、試験方法を表 2.1-2 と表 2.1-3 に示す。

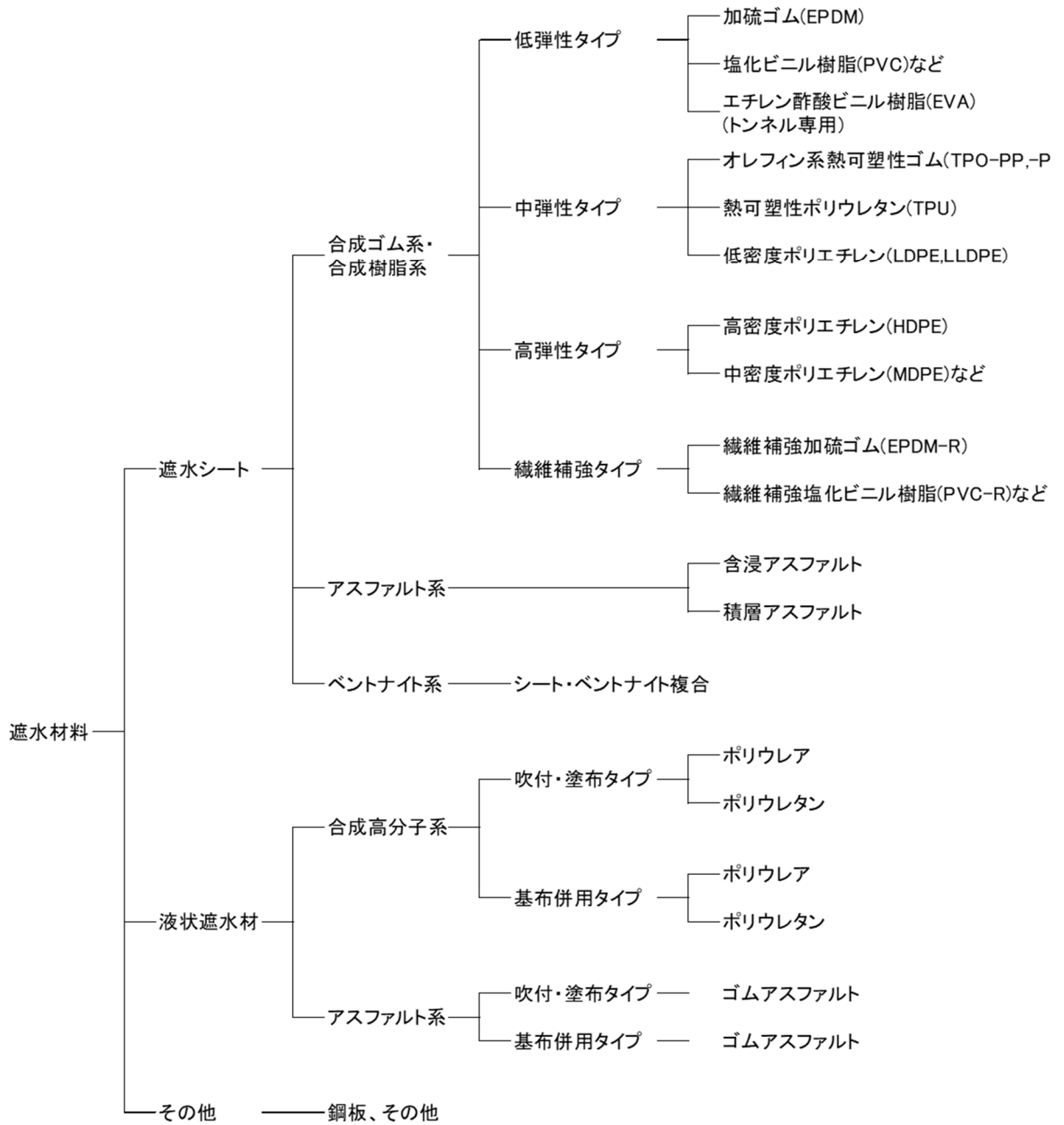


図 2.1-1 遮水材料の分類

表 2.1-1 遮水シートの種類と特性目安値

| 項 目 | | 合成ゴムおよび合成樹脂系 | | | | アスファルト系 | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|-----------|--------------|-----------------------------------------------------------|-----------|-------|
| | | 非補強タイプ | | | 補強 タイプ | シートタイプ | 吹付けタイプ | | |
| | | 低弾性 タイプ | 中弾性 タイプ | 高弾性 タイプ | | 含浸及 び積層 | 単独 | 織布 | |
| 基本 特 性 | 外 観 | 1.極端に湾曲していないこと 2.異常に起伏していないこと 3.異常に粘着していないこと 4.裂けた箇所、切断箇所、貫通した穴がないこと 5.凹み、異常に厚みの薄い箇所がないこと 6.層間に剥離している部分がないこと 7.異常な傷がないこと | | | | | 1.異常に粘着して いないこと 2.裂けた箇所、 切断箇所、貫通 した穴がないこ と | | |
| | 厚 さ (mm) | 1.5 以上 平均値が公称厚さの-0~+15% ただし、測定値は-10%~+15%以 内 | | | | 3 以上 | 表示値の -5%以内 | | |
| | 透水係数 | | 1×10 ⁻⁹ cm/sec 相当以下 | | | | | | |
| | 引張性能 | 引張強さ *(N/cm) | 120 以上 | 140 以上 | 350 以上 | 240 以上 | 100 以上 | 10 以上 | 80 以上 |
| | | 伸び率 (%) | 280 以上 | 400 | 560 以上 | 15 以上 | 30 以上 | 100 以上 | 80 以上 |
| | 引裂性能 引裂き強さ (N) | | 40 以上 | 70 以上 | 140 以上 | 50 以上 | 30 以上 | 10 以上 | 70 以上 |
| | 接合部強度性能 せん断強度(N/cm) | | 60 以上 | 80 以上 | 160 以上 | 140 以上 | 50 以上 | / | |
| 耐 久 性 に 係 る 特 性 | 耐候性紫外 線変化性能 (%) ^{※(1)} | 引張強さ比 | 80 以上 | | | | | | |
| | | 伸び率比 | 70 以上 | | | 50 以上 | | | |
| | 熱安定性 (%) ^{※(1)} | 引張強さ比 | 80 以上 | | | | | | |
| | | 伸び率比 | 70 以上 | | | | | | |
| | 耐ストレスクラッキング ^g 性 | | / | | | ひび割れ ないこと | / | | |
| | 耐 薬 品 性 | 耐酸性 (%) ^{※(1)} | 引張強さ比 | 80 以上 | | | | | |
| | | | 伸び率比 | 80 以上 | | | | | |
| 耐アルカリ 性 (%) ^{※(1)} | | 引張強さ比 | 80 以上 | | | | | | |
| | | 伸び率比 | 80 以上 | | | | | | |
| 安全性 (溶出濃度) | | 基 準 値 以 下 | | | | | | | |
| 備 考 | | ※(1) 耐久性規格値=基本特性×○○% 注) N 単位の換算 1N=1.01972×10 ⁻¹ kgf | | | | | | | |

注) * 樹脂系は厚さ 1.5mm 以上(アスファルト系は 3mm 以上)の遮水シートの 1cm 当たりの引張強さ(N/cm)を表す(「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領」、全国都市清掃会議刊参照)

表 2.1-2 遮水シートの試験方法(その1)

| 項 目 | | 合成ゴムおよび合成樹脂系 | | アスファルト系 | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| | | 試験方法 | 試験条件 | 試験方法 | 試験条件 | |
| 基本特性 | 外 観 | JIS A 6008 | 平面に広げて観察 | 同左 | | |
| | 厚 さ | JIS K 6250 | 製品幅方向、等間隔に 5 箇所測定 | 同左 | | |
| | 透水係数 | JIS L 1099、JIS Z 0208 | | 同左 | | |
| | 引張性能 | 引張強さ | JIS K 6251 JIS K 6922 JIS A 6008 | 引張速度:50mm/min 試験片： ダンベル状 3 号形または 5 号形(非補強タイプ) 50mm 幅短冊またはグラブ法(補強タイプ) | JIS A 6013 | 引張速度:50mm/min 試験片： 50mm 幅短冊またはグラブ法 |
| | | 伸び率 | | | | |
| | 引裂性能 (引裂き強さ) | JIS K 6252 JIS K 6404 | 引張速度:50mm/min 試験片： 19mm 幅切込なしアングル形 (非補強タイプ) 50mm 幅トラウザ(補強タイプ) | 同左 | 引張速度:50mm/min 試験片： 50mm 幅または 70mm 幅トラウザ | |
| 接合部強度性能 (せん断強度) | JIS K 6850 JIS A 6008 | 引張速度: 50mm/min | JIS A 6013 | 同左 | | |
| 耐久性に係る特性 | 耐候性 紫外線 変化性能 | 引張強さ比 | WS-A 型促進暴露試験装置 処理時間:5,000hr 引張速度:50mm/min 試験片： ダンベル状 3 号形または 5 号形(非補強タイプ) 50mm 幅短冊形またはグラブ法(補強タイプ) | 同左 | WS-A 型促進暴露試験装置 処理時間:5,000hr 引張速度:50mm/min 試験片： 50mm 幅短冊形またはグラブ法 | |
| | | 伸び率比 | | | | |
| | 熱安定性 | 引張強さ比 | JIS K 6257 ※(1) | 加熱恒温器 処理温度:80℃ 処理時間:240hr 引張速度:50mm/min 試験片： ダンベル状 3 号形または 5 号形(非補強タイプ) 50mm 幅短冊形またはグラブ法(補強タイプ) | 同左 | 加熱恒温器 処理温度:80℃ 処理時間: 240hr 引張速度:50mm/min 試験片： 50mm 幅短冊形またはグラブ法 |
| | | 伸び率比 | | | | |
| 耐ストレスクラッキング性 | JIS K 6922 - 2 | ニルフェニルポリオキシエチレン・エタノール 10%液 処理温度:60℃ 処理時間:1,500hr | / | | | |

表 2.1-3 遮水シートの試験方法(その2)

| 項 目 | | | | 合成ゴムおよび合成樹脂系 | | アスファルト系 | |
|------------|--------|--------|-------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | 試験方法 | 試験条件 | 試験方法 | 試験条件 |
| 耐久性に係る特性 | 耐薬品性 | 耐酸性 | 引張強さ比 | JIS K 6258 ※(1) | 処理液:0.05% H_2SO_4 (pH=2) 処理温度:60℃ 処理時間:240hr 引張速度:50mm/min 試験片: ダンベル状3号形または5号形(非補強タイプ) 50mm幅短冊形またはグラフ法(補強タイプ) | 同左 | 処理液: 0.05% H_2SO_4 (pH=2) 処理温度:60℃ 処理時間: 240hr 引張速度:50mm/min 試験片: 50mm幅短冊形またはグラフ法 |
| | | | 伸び率比 | | | | |
| | 耐アルカリ性 | 耐アルカリ性 | 引張強さ比 | IIS K 6258 ※(1) | 処理液:飽和 $Ca(OH)_2$ (pH=12) 処理温度:60℃ 処理時間: 240hr 引張速度:50mm/min 試験片: ダンベル状3号形または5号形(非補強タイプ) 50mm幅短冊形またはグラフ法(補強タイプ) | 同左 | 処理液: 飽和 $Ca(OH)_2$ (pH=12) 処理温度:60℃ 処理時間: 240hr 引張速度:50mm/min 試験片: 50mm幅短冊形またはグラフ法 |
| | | | 伸び率比 | | | | |
| 安全性 (溶出濃度) | | | | 昭和48年環告第13号法 昭和46年総理府令35号 | 溶出液:蒸留水(20℃) 溶出時間: 6hr(振とう) 測定項目: 排水基準項目 | 同左 | |
| 備 考 | | | | ※(1) 耐久性規格値=基本特性×○○% 注) N単位の換算 1N=1.01972×10 ⁻¹ kgf | | | |

2.1.2 遮水シートの耐久性

一般・産業廃棄物最終処分場には、遮水工として遮水シートが使用されることが1970年代から一般的になってきた。この遮水シートは、大気中のオゾン、日射等による紫外線、熱などの外的因子により品質が低下するとされ、土等で被覆された状態では外的因子が減少するため、品質低下は進み難いとされている。

一般的な廃棄物最終処分場の埋立期間は概ね15年程度とされているが、廃棄物の減量化等より更に長くなってきている。これらを対象に、長期間供用に対する遮水シートの耐久性の検討が求められ今日に至っている。

操業期間、即ち覆土前の環境への暴露期間を含め、遮水シートを構成する高分子材料の劣化・耐久性を決定する主な要因は、素材（原材料）、製品（製法、製造プロセス）、周辺環境、外力について図2.1-2のようにまとめることができる。劣化のメカニズムについては、国際ジオシンセティックス学会(IGS)日本支部 ジオメンブレン技術委員会発刊の「廃棄物処分場における遮水シートの耐久性評価方法」を参照されたい。

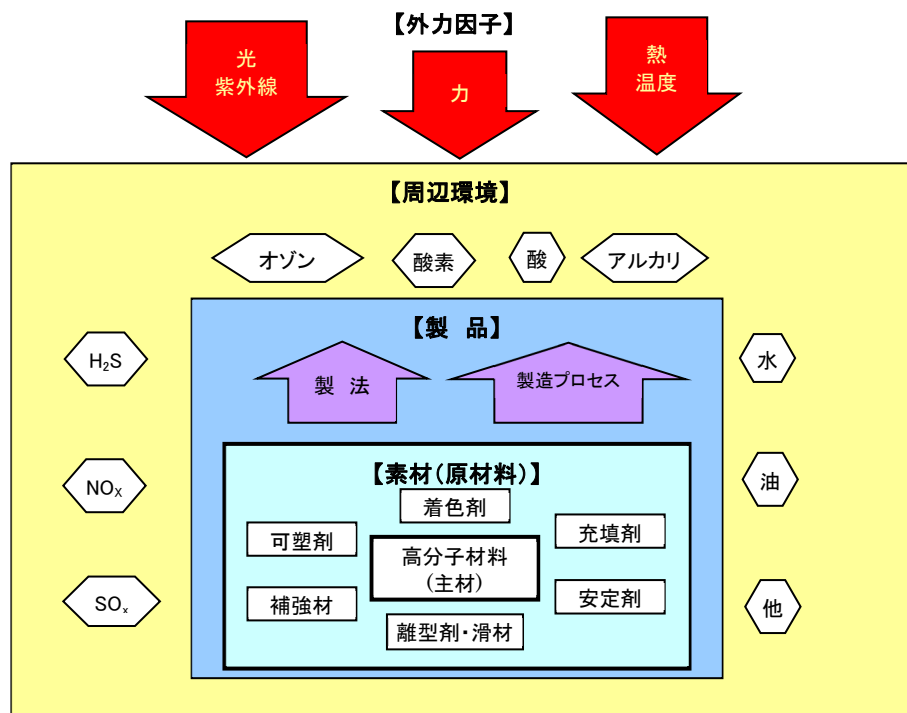


図 2.1-2 高分子材料劣化の主たる要因

①化学的な劣化要因

これらには、水分、酸、アルカリ、薬品、油等がある。

②物理的な劣化要因

これらには、温度、紫外線、摩耗、クリープ、変形、収縮等がある。

③生物的な劣化要因

これらには、カビ、虫類、鳥類、動物等がある。

このうち、環境暴露下の温度と紫外線は分子間の結合力に最も影響し、劣化を促進するものと考えられている。

遮水シートが環境暴露された状態についての促進暴露試験(サンシャインウェザオメーター)では、促進暴露時間により遮水シートの劣化(強度、伸び)を評価するが、暴露期間 5,000 時間が概ね 15 年に相当するとされている。

現場試験実績との相関には経験的な事項が多く、定量的な評価については、継続的な検討が必要とされている。現在の遮水シートの実績は約 35 年であり、この間大きな課題も発生していないことから考え、この範囲であれば本方法で問題ないと考えられるが、更に、40 年、50 年以上の予測には別の角度の検討が必要と考えられる。

検討方法については、国際ジオシンセティックス学会(IGS) 日本支部 ジオメンブレン技術委員会が提案している「廃棄物処分場における遮水シートの耐久性評価方法」の適用が行われている。

図 2.1-3 は、2009 年に 10~15 年程度経過後に現地でサンプリングした、EPDM、HDPE、PVC、TPO の遮水シート試料が引張強度試験において、破断するときの伸び率と初期値との変化率を特性変化率とし、総日射量との関係を示したものである。

この図からは、個々の素材(原材料)に特有の劣化傾向は顕著に見られない。また、同じ素材でも組成や配合の違いで傾向に若干の違いが見られる。

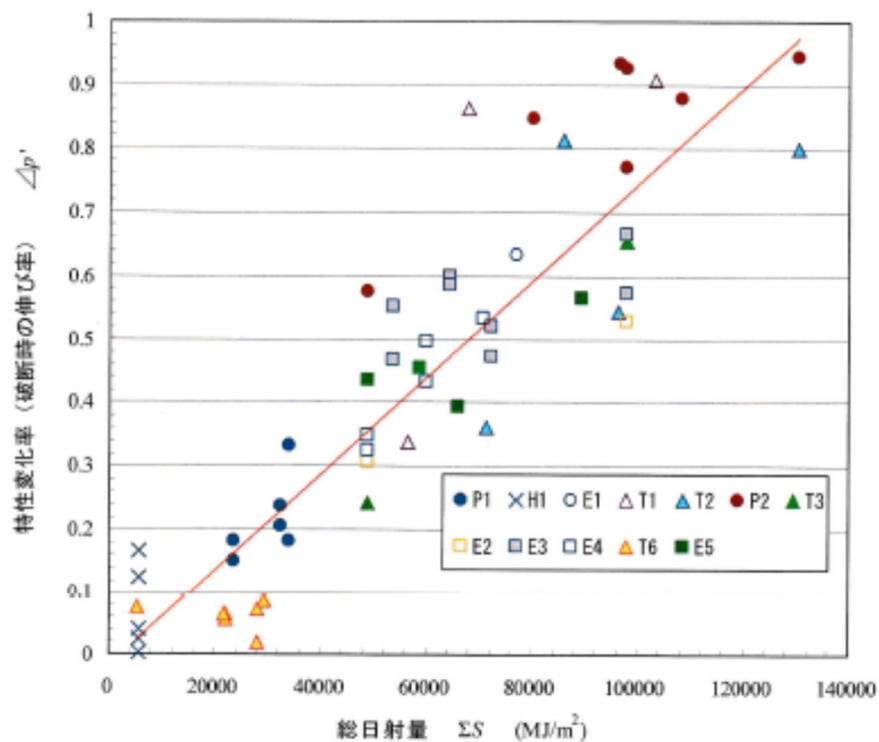


図 2.1-3 特性変化率 (破断時の伸び率の変化) と総日射量との関係

図 2.1-3 から、累積日射量を補正した総日射量と破断時の伸び率の特性変化率との関係には、決定係数は $R^2 = 0.8045$ で比較的良好な相関が得られている。なお、比例定数 A の具体的な値は以下の通りとなる。

特性変化率として提案されている指標（総日射量と呼ぶ）との関係は、次式で表される。

$$\Delta p' = \frac{|p - p_0|}{p_0} = A \sum S = (7.38 \times 10^{-6}) \cdot \sum S$$

ここで、 $\Delta p'$ ：特性変化率（ある特性値の変化率）

P ：試験後の材料の特性値

p_0 ：試験前の材料の特性値

A ：比例定数（材料定数）

$\sum S$ ：累積日射量に気温、向きおよび暴露条件などの影響因子を考慮した指標で、総日射量と呼ぶ。

累積日射量（年平均全天水平面日射量に経過日数を掛けた値）に年平均気温、斜面の向き、暴露条件などの影響因子を考慮した紫外線照射量の代わりに用いる指標である総日射量は、以下の式のように表される。

$$\sum S \approx (\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3) \cdot \bar{g} \cdot t$$

ここで、 t ：施工後からのサンプリング時までの経過日数(day)

\bar{g} ：年平均全天水平面日射量(13.9MJ/m²/day)※日本における 2011 年データ

α_1 ：年平均気温を考慮した補正係数

$$\alpha_1 = 2^{(T-15)/10}$$

T ：年平均温度(15.5℃) ※サンプリング地域の過去 33 年データの平均値

α_2 ：サンプリング地域の全天日射量と施工箇所の方角を考慮した補正係数(30 度斜面日射量と全天水平面日射量との比)1. 26

※ここでは暫定的に、姫路での東西南北の 30 度傾斜面の日射量と全天水平面日射量の比を用いた。具体的な値は表 2.1-4 の通り。

表 2.1-4 30 度斜面の日射量と全天水平面日射量の比

| 向き | 東(0°) | 南(90°) | 西(180°) | 北(270°) |
|------------|-------|--------|---------|---------|
| α_2 | 0.93 | 1.26 | 0.83 | 0.69 |

α_3 ：暴露状態を考慮した補正係数

暫定的に、直接暴露される状態を 1.0、水中を 0.5、遮光状態（保護マット、室内保管）を 0.2 とした。施工後数年経過後に保護マットが施工された箇所については、その年数を考慮した。

図 2.1-3 では、破断時の伸び率の特性変化率 Δp が 0.6 を超えるあたりで、特性変化率のバラツキが大きくなっていることがわかる。このことから特性変化率が 0.6 を越えるあたりで、特性変化が急激に大きくなるものが多いことに起因していると判断できる。そこで、破断時の伸び率特性の許容変化率の判断基準のひとつとして、 $\Delta p=0.6$ を目安値と考えることとする。

IGS が提案している遮水シートの耐久性評価方法は、従来の試験方法、評価を十分考慮したうえで、使用中の現場よりサンプルを採取し、下記の項目を整理検討することで各種条件下による遮水シートの耐久性が予測できることとしている。

- ・経過時間による整理
- ・紫外線照射量による整理
- ・熱(温度)による整理・・・アレニウスの式による整理※
- ・紫外線と熱(温度)の相乗作用による整理
- ・累積(積算)温度などを指標とした劣化特性値の特性曲線

※アレニウスの式とはある温度での化学反応の速度を予測する式である。(4.1.3 参照)

定量的に評価できる方法であると考えられ、中間報告時に検討された内容では 30 年以上の耐久性は十分評価された。サンプル採取試験は、2008 年であり、その後、更に 12 年が経過している。この場所のデータを採取することによって、更なる、40 年、50 年以上の予測が可能になるものと考えられる。

なお、2019 年にサンプリングした遮水材料の試験結果と耐久性評価については、4 各種遮水材料の耐久性の検討に示すので参照されたい。

2.2 保護マットの現状

遮水工の材料には、遮水シートの他に保護マットと機能性材料があるが、先ず保護マットについて示す。

2.2.1 保護マットの種類と特性

最終処分場の遮水シートの保護や二重遮水シート間の中間材として、一般的には保護マットが用いられる。

1) 保護マットの種類

保護マットは、遮光性保護マット(または遮光性マット)、二重遮水シートの中間保護マットおよび一般保護マットに分けられ、それぞれに要求機能がある。

2) 保護マットに求められる機能

保護マットに求められる機能には、遮水シートが外力によって損傷を受けるのを防ぐ保護機能と直射日光等による劣化防止機能がある。保護機能を判断する指標として貫入抵抗があり、紫外線劣化防止機能を判断する指標として遮光性がある。

不織布の保護マットのうち、特に遮光性保護マット(または遮光性マット)は紫外線による極めて厳しい条件に曝されており、損傷が発見された場合は、補修または交換を前

提とする。

【解 説】

保護マットの種類には、長繊維不織布と短繊維不織布、反毛フェルトといった不織布材料が用いられている。

保護マットの要求機能に対する項目、試験方法および目安を表 2.2-1 に示す。ここで基本特性は新規採用時の品質管理上の目安値を、耐久性に係る特性は経年変化後の目安値を示す。保護マットの機能は遮水シートの保護の観点より、保護マットはその引張強さよりも貫入抵抗が重要であり、耐久性に係る特性は貫入抵抗と遮光率を目安値としている。

また、二重遮水シート同時損傷防止機能は、既に埋立用作業車両による走行試験で、保護土 50cm 以上施してあれば、損傷しないことが実験等で確認されているため、ここでは触れないが、貫入抵抗を代用特性としている。

表 2.2-1 保護マットの種類と特性目安値

| 項目 | 単位 | 試験法 | 長繊維不織布 | 短繊維不織布 | 反毛フェルト* | ジオンポジット | |
|------|------------------|-------|-------------------------|-------------------------------------|----------|---------|--------|
| 材質 | | | 合成繊維・合成樹脂 | | | | |
| 目付量 | g/m ² | | 400 以上 | 500 以上 | 1,000 以上 | - | |
| 基本特性 | 引張強さ | N/5cm | JIS L 1908 | 925 以上 | 140 以上 | 100 以上 | 500 以上 |
| | 貫入抵抗 | N | ASTM D4833 | 500 以上 | | | |
| 耐久性 | 耐候性 | N | JIS A 1415 | WS 形促進暴露試験後(1,000hr 以上)の貫入抵抗 500 以上 | | | |
| | 遮光性 | % | JIS L 1055 | 95 以上 | | | |
| 安全性 | 溶出濃度 | | 環告第 13 号法総 理府令第 35 号 | 溶出試験において、排水基準値以下であること | | | |

*JIS L 3204 「反毛フェルト」の第 3 種(合成繊維を主体としたもの)4 号相当以上

2.2.2 保護マットの耐久性

材料の耐久性などに係る特性の中で「耐候性」の項目はサンシャインウェザオメーターによる紫外線照射時間 1,000 時間(暴露期間 3 年を目安)とされている。廃棄物埋立作業による保護マットの損傷等が発生しやすく、部分張替えを前提としていた。定期及び不定期の機能検査により、遮光性材料の健全性が維持管理されてきており、10 年程度は部分補修程度で対応できていることが明らかになってきている。

近年、一般廃棄物中間処理の高度化に伴う廃棄物量の減少傾向により最終処分場の延命化が一般化している。これに伴い遮水材料の長期耐久性がクローズアップされてきている。

特に遮光性材料は、遮水シートの長期耐久性に大きく影響していることが立証されてきており、遮光性材料の健全性を維持管理していくことの重要性が再認識されている。

例として、高耐候性処理品(遮光性機能材料)として、従来の不織布表面にアクリル繊維不織布、アクリル樹脂含浸不織布および耐候処理フィルム(雪害対策)等の積層品なども採用されるようになってきている。

2.3 機能性材料

機能性材料には、ジオコンポジット、導電性材料、自己修復材料、核種吸着材料、通気防水材料などの材料がある。

2.3.1 ジオコンポジット(排水等複合機能材料)

合成樹脂製の基材と不織布等からなる複合材で、基材の形状により、エンボス型、立体網状型およびネット型等に区分されており、耐貫通性、通水性、ガス排気性および圧縮抵抗性等の特徴を有する機能材料である。特性値は、表 2.2-1 に示す。

2.3.2 導電性材料(電氣的検査機能材料)例

導電性材料の使用目的は、遮水シートの貫通穴を検知するためのスパーク検査用途と電気式遮水シート損傷検知用途の二種類に大別され、その構造は不織布に導電性材料(カーボンブラックを配合処方した不織布、アルミニウム箔積層等)を付加させたものがある。不織布以外に、遮水シートが積層構造になっており、導電性材料を下層に施したものもある。

NPO・LSA では、遮水シート損傷(漏水)を検知するうえで、損傷近傍の浸出水の電気伝導率(EC: Electrical Conductivity)の影響は大きく、安全を考慮して暫定的に 300mS/m 以上と決められている。したがって、導電性マットについても表 2.3-1 に示す体積固有抵抗率($\Omega \cdot m$)を満足する必要がある。

表 2.3-1 導電性マット自主基準

| 項目 | NPO・LSA 暫定基準 | 導電性マット例 |
|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 電気伝導率(mS/m) | 300 以上 | (目付量 1,000g/m ²) |
| 体積固有抵抗率($\Omega \cdot m$)* | 3.3×10^6 以下 | 6~50 |

註) 電気伝導率 (S/m、S: Siemens) = 1 / 体積固有抵抗率($\Omega \cdot m$)

*JIS K-6911 準拠(試験電圧 500V)

参考までに、体積抵抗率 (VR: Volume Resistivity) は単位体積当たりの抵抗で、材料分野では体積固有抵抗、電子分野では比抵抗、物理分野では抵抗率と分野により表現が異なる。

2.3.3 自己修復材料例

多重安全の一環として、遮水性のあるベントナイトを使用した複合シート(GCL: Geosynthetic Clay Liner)や合成高分子吸水体を挟み込んだ不織布や繊維吸水膨張不織布が使用されることがある。

これらの素材は吸水時に膨潤性を示すので、釘などの突起物が貫通しても水分を漏らさないという特性があり、これを自己修復性と呼んでいる。

但し、これらの材料等と遮水シートを組み合わせる事により、遮水シートが損傷しても漏出をさせない遮水システムが構築できる。

それぞれの自主基準を表 2.3-2 及び表 2.3-3 に示す。

表 2.3-2 GCL 自主基準 (出典:日本遮水工協会)

| 項目 | | 単位 | 試験方法 | 自主基準値 |
|------|---------------|-------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| 材質 | | — | — | ベントナイトを基材(不織布・織布・遮水シート)で固定した製品 |
| 基本性能 | ベントナイト量(乾燥重量) | kg/m ² | ASTM D 5993 | 4.0 以上 |
| | ベントナイトの膨潤力 | ml/2g | JBAS-104-771 ¹⁾ ASTM D 5890 | 20 以上 |
| | 透水係数 | m/sec | JIS A 1218 ²⁾ ASTM D 5887 | 5×10 ⁻¹¹ 以下 |
| 強度 | 引張強度 | タテ | JIS L 1096 | 9.5 以上 |
| | | ヨコ | | 9.0 以上 |
| 安全性 | 溶出濃度 | — | 昭和 48 年環告 13 号 ³⁾ 昭和 46 年総理府令 | 溶出試験において水質汚濁防止法に基づく排水基準に定められる省令に置いて基準値以下 |

(試験方法)

1)膨潤力試験：JBAS(日本ベントナイト工業会試験法)

粒状ベントナイトの場合：100mesh(149μm)以下に調整する。

ペースト状の場合：乾燥・粉砕し 100mesh 以下に調整する。

JBAS と ASTM では初期含水比が異なるため、注意が必要である。

JBAS：4~10%に調整する。ASTM：乾燥状態(水分 0%)とする。

2)透水試験：基本的な試験方法(試料調整/飽和方法/測定方法)は ASTM D5887 にて実施し、透水係数(m/sec)は JIS A 1218 にて計算を行う。

3)溶出試験：規定以外の操作として固液分離時における塩析の実施も認める。

4)粉じんの飛散抑制に配慮した製品とすること。

表 2.3-3 高吸水性材料の自主基準(出典:日本遮水工協会)

| 項目 | | 試験方法 | 規格値 |
|-----------|------------|---------------------------------|------------------------|
| 吸水性 | 構成膨潤素材の素材量 | — | 240g/m ² 以上 |
| | 膨潤素材の膨潤率 | JIS K 7223 | 50 倍以上 |
| 止水性 | | 日本遮水工協会 止水性試験方法 | 30 分間縦および横 漏れがないこと |
| 安全性(溶出濃度) | | 環境庁告示第 13 号および 排水基準総理府令 35 号 | 基準値以下 |

(試験方法) JIS K 7223 「高吸水性樹脂の吸水量試験方法」

2.3.4 各種吸着マット

一例として、「高吸水膨潤性繊維含有不織布」と「高強度長繊維不織布」の積層を一体化した構造のセシウム吸着マットを紹介する。

「高吸水膨潤性繊維」は放射性物質(セシウム)の吸着性能を併せ持ち、放射性物質の拡散防止、封じ込めも期待できる。図 2.3-1 にセシウム吸着試験結果例を示す。

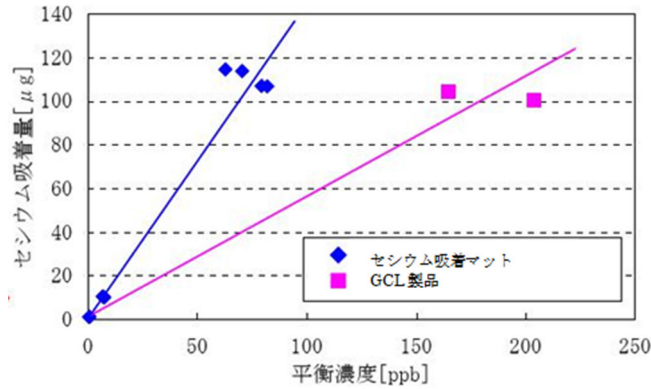


図 2.3-1 セシウム吸着試験結果例 (GCL 端部シール有)

核種吸着材として、ゼオライト(結晶性アルミノケイ酸塩)は天然鉱物として種々のゼオライト結晶が発見されているだけでなく、人工的にも次々に新型種が合成されている。

一例として、米沢市板谷産ゼオライトによるセシウムの除去(日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会、2011年)によれば、ポリエステル(テトロン)またはビニロン製布(フェルト)の片面に粉末ゼオライトを展着させたもの(布間に挟み込んだ製品もある)をゼオライト捕集シートとしている。これについて陽イオンの種類とCs捕集量の関係を図2.3-2に示す。

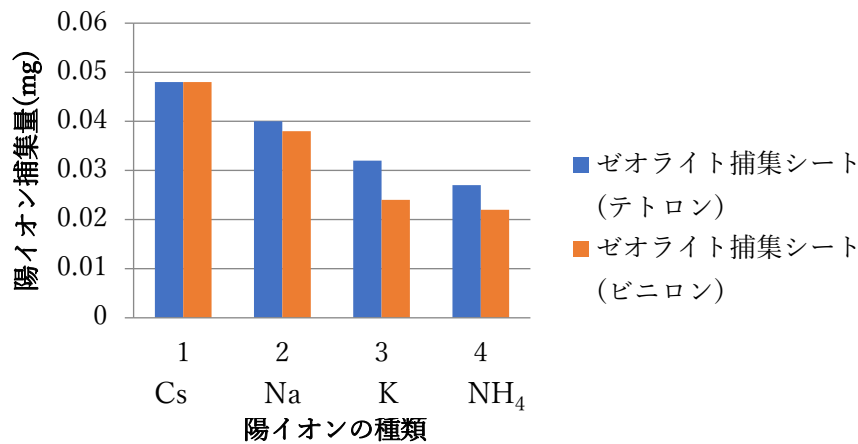


図 2.3-2 共存物質のセシウム捕集量の計測例

ゼオライトの結合力(Cs>NH₄>K>Na)が関係して、NH₄、K、Naの順にセシウムの捕集率が低下する。

重金属イオンの捕集能力では、米沢市で産出される天然ゼオライトのイオン交換選択性はAg⁺≥Pb²⁺>Cu²⁺>Zn²⁺>Cd²⁺>Cr³⁺>Ni²⁺となった。イオン半径が小さいNi²⁺、Cu²⁺、Zn²⁺などは主にNa⁺とイオン交換し、イオン半径が大きいAg⁺やPb²⁺はNa⁺及びK⁺がイオン交換サイトとなることが確認されたことが報告されている。

ゼオライトを主体とした高汚染水処理用吸着材の開発(J.ION EXCHANGE Vol.28 No.3、2017)によれば、ゼオライトの種類により、金属のイオン交換能力・選択制が異なっている。

例えば、チャバサイト(CH4)型ゼオライトの選択性は、Cs>K>Na>Liの順序であり、Csに対して選択吸着性が高く、又A型ゼオライトはCs>Ca>Na>MgとSrの選択吸着性が高いと報告されている。また、高選択性吸着剤と高汚染水の除去(J.ION EXCHANGE Vol.25 No.3、2014)によれば、Csを吸着した不溶性フェロシアン化合物は、それ自体を高温焼結するとCsは全て揮発し、Csは固定されないが、ゼオライトを一定比率混合することにより、焼結温度1,000°Cでほぼ100%のCsが固定されると報告されている。

2.3.5 通気防水シート

一般廃棄物の最終覆土材料として、埋立物の発生ガスは外部に放出し、外部からの雨水等の水分を制御できるガス通気・雨水制御システムを以下に示す。

本システムは、浸透防止層（ガス通気・雨水制御シート）及び排水層・ガス排除層（ジオコンポジット、ジオテキスタイル）から構成される。即日覆土、中間覆土については、有機物の埋立てがないことと、梱包埋立てのため、ここでは考慮しないものとする。

(1) 浸透防止層（ガス通気・雨水制御シート）

ガス通気・雨水制御シートは、微細な隙間を有し、ガス通気・雨水制御機能を発揮する。その構造を図2.3-3、図2.3-4に、物理性能を表2.3-4に示す。

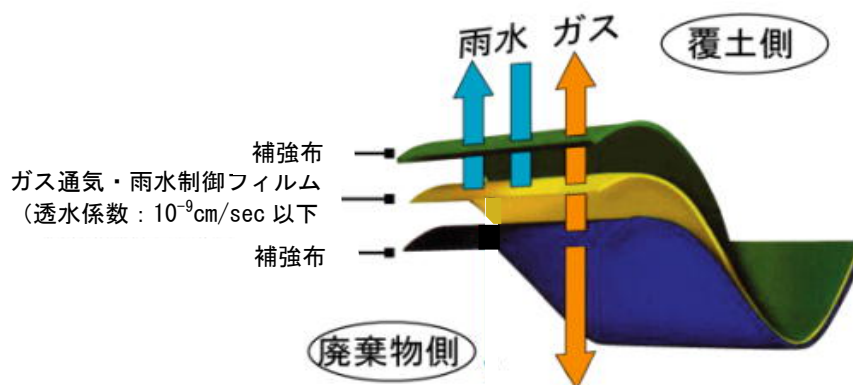


図 2.3-3 浸透防止層の構造図例

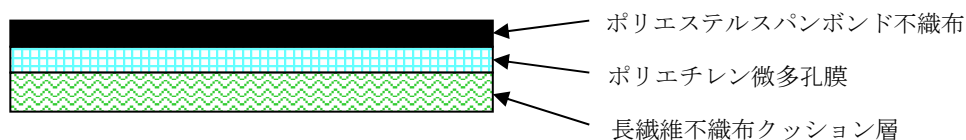


図 2.3-4 ガス通気・雨水制御シートの構造図例

表 2.3-4 浸透防止層の物理性能例

| 厚さ(mm) | 幅(m) | 長さ(m) | 質量(g/m ²) | 引張強さ(N/5cm) | 透水係数(cm/sec) |
|--------|------|-------|-----------------------|-------------|--------------------|
| 3 | 2 | 50 | 500 | 800 | 1×10 ⁻⁹ |

浸透防止層の特徴を、以下に示す。

(ア) 雨水制御フィルムをポリエステル不織布ではさんで保護する緩衝性、強伸度特性に優れている。

(イ) 地盤追従性に優れ、施工性にも優れている。

(ウ) 安定した透水性コントロールが可能である。

(エ) 高密度ポリエステル不織布層は溶着も可能で接合性にも優れている。

(2) 排水層・ガス排除層 (ジオコンポジット、ジオテキスタイル)

従来の排水層・ガス排除層 (土質材料) と同等の透水性・通気性を確保できる代替材として、ジオコンポジットやジオテキスタイルが使用される(図 2.3-5 図 2.3-6、表 2.3-5)。

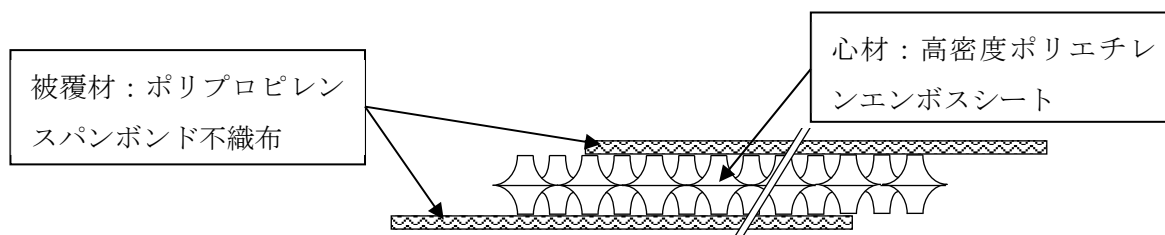


図 2.3-5 排水層・ガス排除層例(D 社)

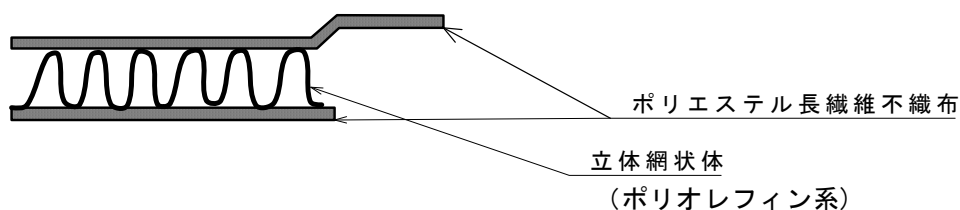


図 2.3-6 排水層・ガス排除層の例(T 社)

表 2.3-5 排水層・ガス排除層の物理性能例

| 種類 | 厚さ(mm) | 幅(m) | 長さ(m) | 質量(g/m ²) | 引張強さ(N/5cm) | | 透水係数(cm/sec) |
|----|--------|------|-------|-----------------------|-------------|-----|--------------------|
| | | | | | 心材 | 不織布 | |
| D | 10* | 2 | 25 | 1,400 | 1,000 | 490 | 1×10 ⁻¹ |
| T | 10 | 2 | 30 | 760 | — | 500 | 1×10 ⁻¹ |

*厚さは心材厚さで不織布は含まず

排水層・ガス排除層の特徴を以下に示す。

(ア) Dタイプは、高耐圧強度

(平板載荷強度 $980\text{kN}/\text{m}^2$ 、長期耐圧強度 $294\text{kN}/\text{m}^2$)、Tタイプは、 $980\text{kN}/\text{m}^2$ 載荷重で空隙率 30%以上有する。

(イ) Dタイプは通水性に優れている。

(ウ) 保護機能に優れている。

(エ) 施工性に優れている。

3. 廃棄物処分場の遮水構造

3.1 遮水工の歴史と経緯

遮水工を構成している遮水シートは、1930年代後半に西ドイツにおいて地下防水に用いられて以来、建築物の防水材料あるいは貯水池、廃水池などの遮水材料として欧米諸国を中心に広く利用されている。我が国では、両者とも試験施工ではあるが、屋根防水材として1957年、その10年後に農業用貯水池の遮水材として初めて使用され、1969年にはJIS A 6008「合成高分子ルーフィングシート」が制定され、屋根防水材として適用される遮水シートの標準化が行われた。

農業用貯水池および調整池の池敷での利用を踏まえ、我が国の廃棄物最終処分場に合成高分子材料である合成ゴム系のEPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)シートが敷設されたのは、昭和51年(1976年)の千葉市中田処分場が最初である。その後、昭和52年(1977年)の共同命令を受けて、1980年代前半には廃棄物最終処分場の表面遮水工として遮水シートの使用が定着した。当初は、廃棄物最終処分場用途としての遮水シートも屋根防水材の転用であることから、その品質はJIS A 6008を標準としていた。

廃棄物最終処分場の表面遮水工として遮水シートの研究が本格的に始められたのは、欧米では1980年頃からであり、日本ではそれより10年ほど遅い1990年頃からである。

1982年頃より合成ゴムと合成樹脂の中間的な素材でゴム弾性と熱可塑性を有するオレフィン系熱可塑性エラストマー(TPO: Thermo Plastic Olefin)を素材とした遮水シート(TPO-PE)が開発された。当時は、熱融着ゴムと呼ばれ、EPDMの一種として取り扱われ普及した。

高密度ポリエチレン(HDPE)シートは、ポリエチレン製造技術発展の歴史において1930年代の高圧法重合技術によりLDPEから始まり、1950年代には中低圧法重合技術により軽量で優れた機械的強度を具備したが、曲げなどのストレス疲労下での割れ性を示すストレスクラック性(ECR)が課題とされた。1980年代からアメリカやドイツで重合方法等の技術開発によりストレスクラック性が改善された結果、最終処分場の遮水シートとしてHDPEシートが本格的に使用された。1990年代になって米国のHDPEシートが日本に持ち込まれ、遮水シートの突刺し抵抗性、耐薬品性に優れ、耐候性については紫外線の劣化を防ぐために、約2~3%程度のカーボンブラックが添加することによりその信頼性が高まり、多くの最終処分場で採用されるようになった。

1995年12月には厚生省より通知「最終処分場の構造に関する技術上の構造基準の強化」が出され、二重遮水シート構造が急増した。その後、強靱性と柔軟性を特徴とした熱可塑ウレタン(TPU: Thermo Plastic Urethane)製の遮水シートが出現したほか、TPOの改良タイプや、軟質ポリプロピレン(FPP: Flexible Polypropylene)をベースとした遮水シートなど柔軟性の高い遮水シートが次々に開発され採用されてきた。このような遮水シートの多様性が、我が国の廃棄物最終処分場の遮水工の特徴の一つとなっている。そして、1998年に発令された基準省令において、遮水シートに求められる要件が示された。その後、これを要求特性項目に展開したものが「廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領」に示され、これが現時点では

廃棄物最終処分場向けの遮水シートの品質基準の目安として運用されている。

以上のように日本における歴史は、合成ゴム系の EPDM は約 50 年、熱可塑性樹脂系は約 35 年となっている。

3.2 遮水工構造

管理型最終処分場や一般廃棄物最終処分場において、埋立地への降水は廃棄物層にしみ込み浸出水となる。この浸出水が地盤に浸透し、地下水を汚染させることを防止する目的で遮水工を設置する。

遮水工は、平成 10 年 6 月の基準省令により、『遮水シートと不透水性土質等の組合せによる遮水工の二重化、保護層の設置等遮水機能の強化等』が図られた。

基準省令では、5m 以上の不透水層（100nm/s または 1 ルジオン以下）が存在する場合を除き、次の 3 タイプの遮水工のいずれかを設置することが義務付けられている。

- ①遮水シート+粘性土（土質遮水工）構造：透水係数 10nm/s 以下、厚さ 50cm 以上
- ②遮水シート+アスファルトコンクリート構造：透水係数 1nm/s 以下、厚さ 5cm 以上
- ③二重シート構造：二重の遮水シートの間に同時損傷が防止できる十分な厚さと強度を備えた不織布等の保護層を挟んだもの

徐々に遮水シート等が追加されていく遮水工構造の変遷を図 3.2-1 に示す。

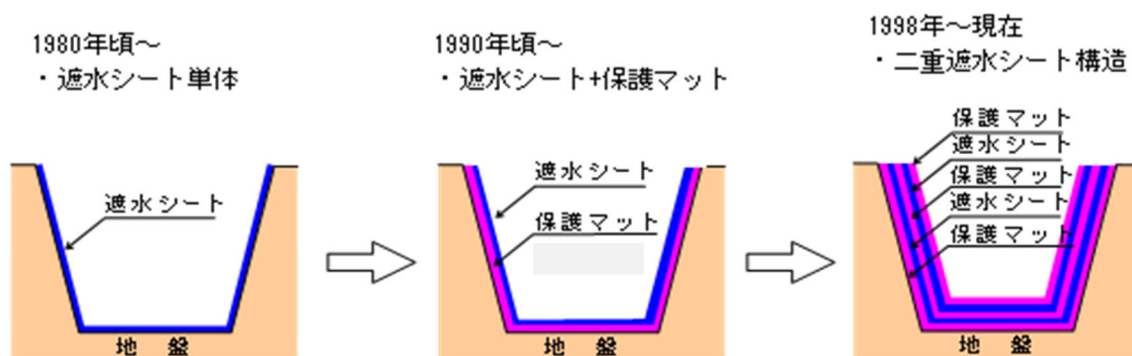


図 3.2-1 遮水工構造の変遷

地下水浸入の抑制に用いられる表面遮水材料として遮水シートや低透水土質材料等がある。

図 3.2-2 に示すように、用いられる材料により土質系遮水工法、アスファルト系遮水工法、遮水シート系遮水工法に大別される。また、遮水シート系遮水工法の遮水シートの種類は図 2.1-1 に示すように大きく合成ゴム・合成樹脂系、アスファルト系、ベントナイト系等に分けられる。

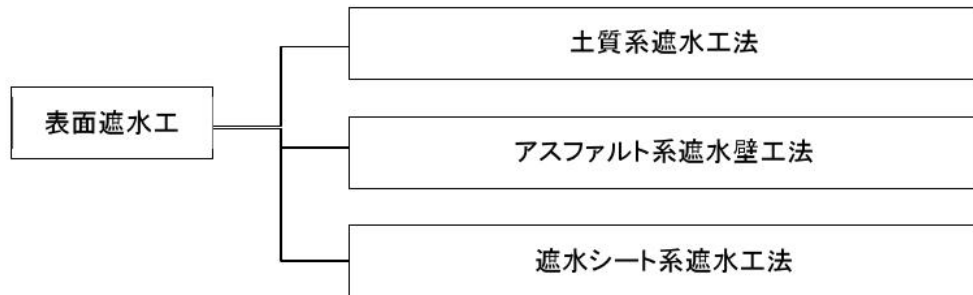


図 3.2-2 管理型処分場最終処分場での地下水浸入抑制の工法例

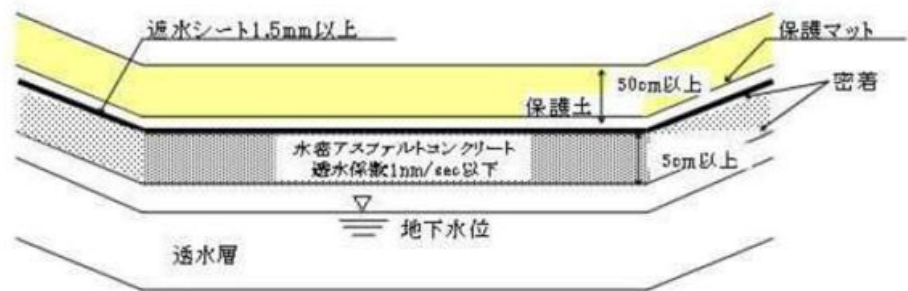
これらの材料は単体で用いるのではなく複数を組み合わせて用いるなど、サイト条件に合わせて必要な安全性を確保した構造を選定することが重要である。管理型最終処分場での表面遮水工の遮水構造を図 3.2-3 に示す。管理型最終処分場の構造基準に適した表面遮水工の遮水構造として、粘性土+遮水シート、水密アスファルトコンクリート+遮水シート、中間保護層の上下を遮水シートで挟んだ構造（二重遮水シート）がある。

これら遮水構造はそれぞれ長所・短所があるため（表 3.2-1）、これらを踏まえた上で遮水構造を適用する必要がある。

- ・タイプ1：粘性土+遮水シート



- ・タイプ2：水密アスファルトコンクリート+遮水シート



- ・タイプ3：中間保護層の上下を遮水シートで挟んだ構造（二重遮水シート）



図 3.2-3 表面遮水工（処分場底部）の構造

表 3.2-1 表面遮水工のタイプ別比較

| 種類 | タイプ 1 (粘性土層+遮水シート) | タイプ 2 (アスファルトコンクリート+遮水シート) | タイプ 3 (二重遮水シート) |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 長所 | <ul style="list-style-type: none"> ・粘性土層の厚みが 50cm と大きいいためダブルライナーの同時破壊のリスクが小さい。 ・粘性土層への汚染物質の付着による汚染の浄化作用が期待できる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・強度が高く、鋭利なものに対しての貫通抵抗がある。 ・地盤への追随性に優れる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・法面の勾配への対応性がある。 ・材料の調達が容易であり、品質管理の方法が確立されている。 |
| 短所 | <ul style="list-style-type: none"> ・1:2.0 の勾配まで施工可能である。 ・現場発生土だけでは、必要な透水係数以下にすることが困難であり、ベントナイト等を混合する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・法面の勾配が緩くないと施工が困難である。擁壁などで全面密着の場合はこの限りでない。 ・地盤の不等沈下に対して追随性が悪い。 | <ul style="list-style-type: none"> ・厚さが薄いため、営利な石等に対して弱い。保護材との併用が原則である。 |

3.3 漏水検知システム

遮水シート損傷検知設備は、遮水シートの健全性を監視するためのもので、一般・産業廃棄物最終処分場の環境監視設備としてモニタリング井戸と共に重要な設備である。

この設備は、施工時の底部遮水シートの損傷検知と、埋立開始から終了までの期間のいずれかに適用されている。これらのいずれかにするかは、遮水構造、供用方法等によって決定されるが、トレンチ処分場の場合は、仮設建屋内での埋設処分となるため、施工時の底部遮水シートの損傷検知が主となる。

しかしながら、最終覆土に遮水シートを適用する場合にもこの検知システムの適用は可能であり、処分場管理期間の遮水シートの健全性確認に適用できるものと考えられる。

これは遮水シートの構造にも影響するため、適用する可能性がある場合は計画初期段階から検討する事が推奨される。

3.3.1 種類と必要機能

遮水シート損傷検知設備の必要機能とその検査内容を示す。

① 遮水シート損傷検知設備の種類

遮水シート損傷検知設備には、大別して電気式検知設備と物理式検知設備とがあるが、その多くは、電気式検知設備方向になっているので、本方式で進めていく。

② 遮水シート損傷検知設備に求められる機能

遮水シート損傷検知設備に求められる機能は、以下のものがある。

安定性、正確性、信頼性、機能維持の確実性、操作性・検査結果の視認性

【解 説】

基準省令によると最終処分場の遮水機能が適正に機能して（維持されて）いるかどうかを監視する目的で観測井を最終処分場外に上流側及び下流側で 2 か所以上設けることになっている。ここで遮水機能の健全性は、観測井の連続的な水質変化を把握して評価する。これに加え、さらなる安全性確保と万一遮水シートに異常が発生した時に、損傷位置を知り遮水工復旧作業等の迅速な対応を行うため、「性能指針」には遮水シートの損傷を監視する「遮水工破損（漏水）検知設備」の性能に関する事項とその確認方法が示されている。

このように、最終処分場の遮水機能が適正に維持されているかどうかの評価は、観測井による水質変化を把握することで行い、この機能を強化・補助するために設けられている設備が、遮水シート損傷検知設備である。この設備についての法的な技術基準は特に存在せず、施設ごとに、測定精度や測定頻度などが設定されている。本機能検査では、遮水シート施工後の、遮水シート損傷検知設備であるため、その必要機能を項目ごとにその内容のまとめを表 3.3-1 に示した。

表 3.3-1 遮水シート損傷検知設備の必要機能と主な検査項目

| 必要機能 | 内容 | 主な検査項目 |
|----------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| ① 安定性 | 測定結果の安定性 | 損傷を判定する管理値等と比較して、測定結果が安定していること。極端に大きな増減が少ないこと |
| ② 正確性 | 正確に損傷を検知できる（損傷位置の測定精度） | 精度劣化などが生じていないこと |
| ③ 信頼性 | 測定エラーや故障発生頻度が少ない | 故障などは原因を明確にし、対策が講じられていること |
| | 過去のデータ（記録）が確実に保存されている | データ（記録）の欠落がないこと |
| ④ 機能維持の確実性 | 経年変化が少ない | 機能低下が生じていないこと |
| | 適切なメンテナンスの実施 | 適切なメンテナンスが実施されていること |
| | メンテナンス性 | メンテナンスが容易であること。項目に増減がある等煩雑でないこと |
| ⑤ 操作性・検査結果の視認性 | 画面など表示が見やすい 操作が容易である | 見やすさ、操作性が維持されていること |

電気式検知設備は、遮水シートが電気絶縁体であることを利用したもので、遮水シートが損傷し、損傷部に浸出水などが入る箇所の絶縁性が破壊される。この変化を電位変化や電流変化、抵抗（インピーダンス）変化として捉えることで、遮水シートの損傷（漏水）とその位置を検知するものである。便宜的に「電位法」、「電流法」、「漏洩電流法」、「インピーダンス法」などと呼ばれているが、測定信号波形の形状として、＋－などが時間的に交互に替わ

る「交替直流法」と Sin 波として+-が変化する「交流法」に大別できる。いずれの場合もこのような波形を信号波形に用いることで、地中に存在する自然電位（地電流）や容量性抵抗、誘導性抵抗などの影響を削除している(図 3.3-1、図 3.3-2)。

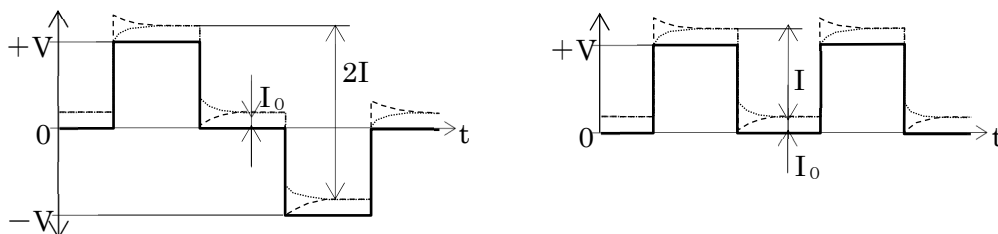
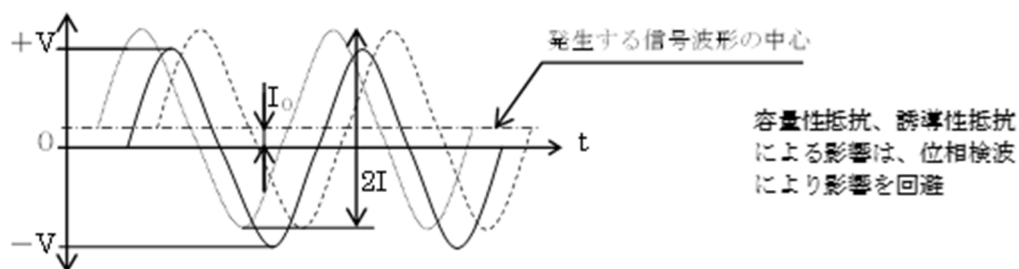


図 3.3-1 交替直流波形①電圧を±V に交互に替える波形②電圧を+V、0 に交互に替える波形（図 3.3-2 容量性抵抗、誘導性抵抗による影響は、信号波形が安定してから読み取ることで影響を回避）



- : 印加電圧波形
 - : 発生する信号（電流）波形 [容量性抵抗が優位な場合]
 - : 発生する信号（電流）波形 [誘導性抵抗が優位な場合]
 - ±V : 印加電圧
 - I : 発生電流（信号成分）
 - I₀ : 地電流などにより発生する電流（直流分）
- 何れも信号の上下を取ることでこの影響を回避

図 3.3-2 交流波形（図は途中で波形が切れているが実際は何れも連続波形である）

3.3.2 検査時期と方法

① 検査時期

遮水シート損傷検知設備の機能検査は、施工完了後とするが、供用期間中も可能である。ただし、施工完了後の使用については事前に検討しておく必要がある。

② 検査方法

検査は各システムの取扱説明書、竣工検査要領書および維持管理マニュアルに準拠して行う。

【解 説】

埋立期間が長くなった場合、遮水シート損傷検知設備における電極・ケーブルなど更新が難しい部品に機能が低下する事が考えられるので、協議の上、可搬型システムなどの他の方法に切り替えて継続監視するなど、柔軟性を持たせて対応することが望ましい。

電気式検知設備の検査は、基本的に施工マニュアル、竣工検査要領書および維持管理マニュアルに準拠して行う。この検査時期と必要項目を表 3.3-2 に示す。

ここでは5年ごとの点検、センサーやソフトウェア等の更新が推奨されている。

表 3.3-2 電気式検知設備の検査時期と検査項目

| 必要機能 | 検査項目 | 判定値 | 施工完了後 | 瑕疵担保終了後 | 施工完了後5年ごと | 埋立終了時 | 臨時・必要時 | 備考 |
|--------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|---------|-----------|-------|--------|-----------------------|
| 安定性 | 測定結果 | 判定値等と比較して、測定結果が安定していること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 正確性 | 損傷位置測定精度の確認 | 仕様を満足していること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 損傷を模擬できる場合に限られる |
| 信頼性 | 機器類の作動確認 | 各機器類が正常に作動すること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 電極の導通性 | 電極の接地抵抗など導通性が適正であること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 電圧/電流の印加、測定 | 所定の電圧や電流を印加でき、測定できること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 接続ボックスや計測装置への接続状況 | 端子台などの接続などで緩みや著しい腐食がないこと | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 計測データや運転状況 | 記録データの異常な欠落や、機器異常がないこと | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 記録データ・責任者へのヒアリングなどにより調査し、故障や診断エラーなどの発生頻度を確認 | 故障や診断エラーなどの発生頻度が高くないこと 特に故障などの発生があった場合は、その原因究明と確実な対策が講じられていること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 原因究明と確実な対策の実施が特に重要である |
| 機能維持の確実性 | 維持管理マニュアルの確認 | 部品や機器類の交換時期・交換条件が明記されていること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 維持管理マニュアルがある場合 |
| | 記録資料などからメンテナンスの実施状況を確認 | 計画通りにメンテナンスが実施されていること 部品交換が適切に実施されていること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | メンテナンス性 | メンテナンスが容易であること、煩雑でないこと | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 操作性・検査結果の視認性 | 画面など表示状況の視認性 | 画面等表示装置は充分視認できる状態であること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 操作パネルなどの操作性の確認 | 操作パネルなどからの操作が適正に行えること | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

注) ○：検査対象項目 瑕疵担保終了後から、臨時又は必要時までは参考とする。

3.3.3 検知設備の機能検査の判定

遮水シート損傷検知設備の機能検査結果の判定は、各システムの取扱説明書、竣工検査要領書および維持管理マニュアルを参考に行う。

【解説】

遮水シート損傷測定の対象範囲(LSA 令和2年度調査研究報告書より抜粋)

二重遮水シート構造では、一方の遮水シートが健全であれば漏水は発生しないが、その検知対象は上面遮水シートか下面遮水シート、あるいは両方検知するというケースが考えられる。

二重遮水シート構造において、下面遮水シートのみ損傷している場合、この損傷を唯一多くの実績を有している増し張りにより補修するためには、健全な上面遮水シートを切り裂く必要があり、埋立が開始された埋立地では、補修作業中の漏水発生が懸念される。このため、埋立が開始された埋立地でこのような補修作業を実施することは現実的には難しいと考えられる。

漏水検知設備は、検知した時には補修することを前提としているため、補修が可能な上面遮水シートの漏水発生を確実に捉え、速やかに補修することで、埋立地の健全性は担保できると考えられる。

このことから、遮水シート施工後の検査は、上面及び下面遮水シートとし、維持管理においては、上面遮水シートを基本とする。

適用範囲はトレンチ処分場を対象施設とし、遮水工は二重遮水シート構造とする(表 3.3-3)。

表 3.3-3 適用範囲の条件

| No | 項目 | 内容 | 備考 |
|-----|------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| (1) | 検知対象遮水シートの体積固有抵抗 (比抵抗) | 10 ¹⁰ Ωm以上が望ましい (厚さ 1.5 mmに対して) | |
| (2) | 浸出水の電気伝導度 (EC) | 300mS/m以上 | 暫定値 |
| (3) | 上面、下面遮水シート間の導電マット | 表 2.3-1 に準ずる 法面については、維持管理にも実施する場合は、適用する。 | |

3.3.4 測定項目と判定基準

遮水シート損傷（漏水）検知設備の自主基準を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 遮水シート損傷（漏水）検知設備の自主基準

| No | 項目 | 内容 | 備考 |
|----|------------------------|--------------------|----|
| ① | 検知すべき損傷の大きさ | 直径 3 cm以上 | |
| ② | 検知すべき位置精度 | ±2m以内（4×4m以内） | |
| ③ | 検知範囲 | 底面及び法面（埋立地全面）が望ましい | |
| ④ | 二重遮水シート構造の時の検知対象の遮水シート | 上面、下面遮水シート | |
| ⑤ | 検知時期 | 遮水シート施工後 | |

遮水シート損傷（漏水）検知設備による計測は、廃棄物処分場の法肩に設置した分電盤でデータを採取し、PCで解析する簡易型とする。

経年的に遮水シート損傷（漏水）検知設備による計測をする場合は、耐久性等を考慮した検討が必要である。

3.3.5 遮水シート漏水検知装置の例

(1) 装置例

遮水シート漏水検知システムは、遮水工全面（上面の遮水シートを対象）の水密性について、底面部は保護土施工後に「遮水工施工時管理システム」により、それ以外の箇所は遮水シート施工後に電気的検査（スパーク検査等）により検査する(図 3.3-3)。

電気的検査（スパーク検査等）の実施にあたり、必要により遮水シートの下層に導電性マットを設置、または導電層と一体化した遮水シートを使用する。

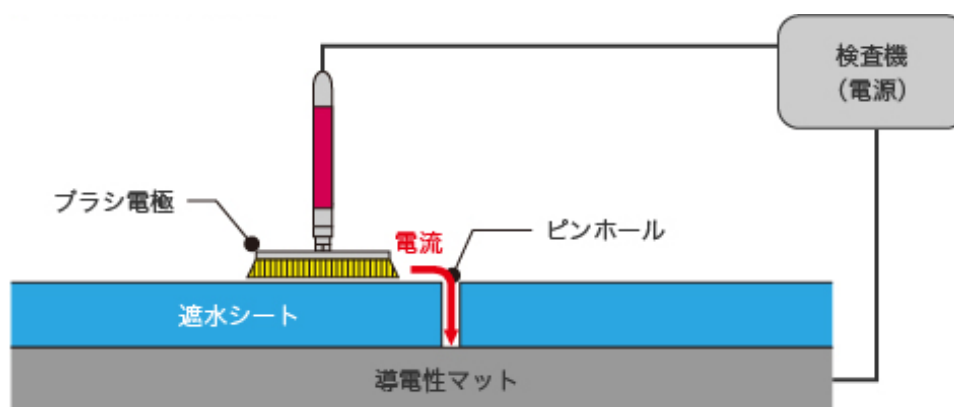


図 3.3-3 スパーク検査イメージ図

(2) 竣工後の検知システムの継続使用

施工後の漏水検知システムを継続使用する例を以下に示す。

a. 竣工検査と供用開始初期の希望日だけ損傷検査をする場合(図 3.3-4)

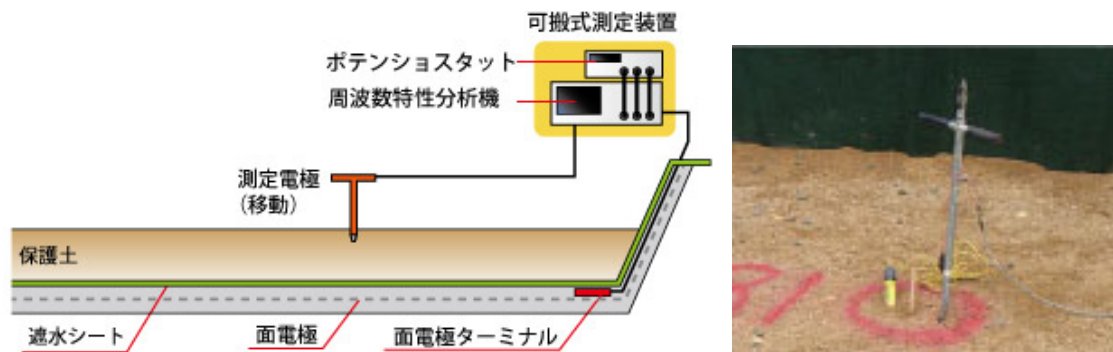


図 3.3-4 運用初期タイプ例

遮水シートの損傷は、底面施工時に重機が遮水シートに接近した直上で、浸出水集排水管の敷設工事や保護土施工を行う際に遮水シート損傷リスクが最も高いと考えられ、この段階で損傷が無ければ、その後損傷が発生する確率はかなり低減すると思われる。

b. 供用開始後の希望日だけ損傷検査をする場合(図 3.3-5)

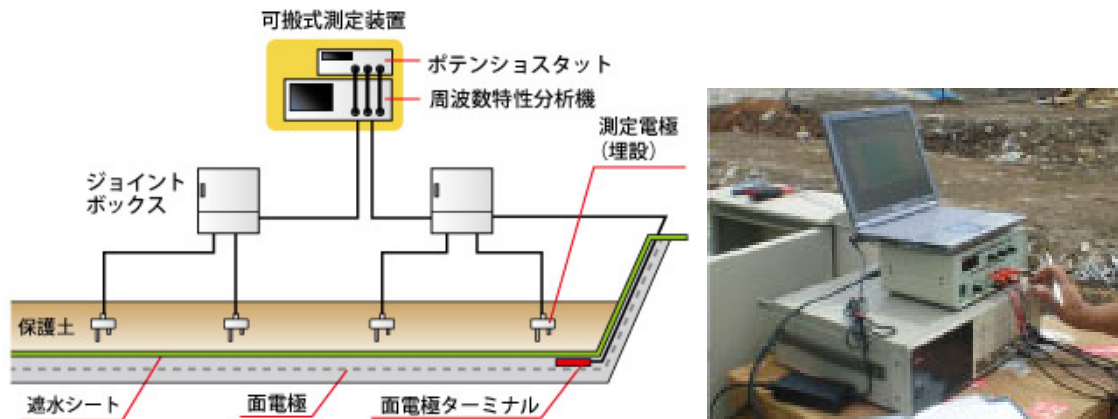


図 3.3-5 簡易タイプ例

3.4 製品認定

3.4.1 製品認定制度

遮水システムの保証は、設計及び施工の品質確保がなされて初めて機能するものである。材料品質については製品認定制度、施工品質については施工管理及び施工技能の資格制度を日本遮水工協会で確立されている。

材料品質については、

- ①有害物質を含まない材料で
- ②品質管理された製造工程で生産し、
- ③品質規格に合格した製品を、

日本遮水工協会認定・登録し、環境対策（廃棄物最終処分場、汚染土壌対策等）にふさわしい遮水工材料の提供を推進されている。

なお、認定品は上記のほか現場納入品に認定品マーク入りシールを貼ることもある。

3.4.2 製品認定品の定義

製品認定は、下記に示す事項が最低条件であり、特に性能指針に記載されている有害物質の溶出試験（安全性試験）を必須としている。

(1) 日本遮水工協会自主基準に合格していること。

日本遮水工協会自主基準を表 2.3-2 及び表 2.3-3 に示す。

(2) 品質管理された製造工程で製造されていること。

製品認定品については、下記に示すものが対象となっている。

- ① 合成ゴムおよび合成樹脂系遮水シート
- ② アスファルト系遮水シート
- ③ 保護マット
- ④ ジオシンセティッククレイライナー(GCL)

3.5 施工及び維持管理に必要な資格

3.5.1 遮水工資格制度

廃棄物最終処分場の遮水システムの機能保証（品質保証）は設計、遮水材料及び施工の品質の確保にある。特に施工品質の確保は、優れた施工管理技術者や施工技能者がいなければ、適切な材料や施工仕様であっても十分とは言えない。

日本遮水工協会ではこの施工技術の標準化を行い、いかに施工品質を確保するかという観点から、遮水施工に係る資格制度を導入することにより、遮水施工における材料管理、施工管理、工程管理、安全管理等一連の管理が出来る仕組みを構築している(表 3.5-1)。

資格制度の内容は、遮水工のレベルアップならびに資質の向上を目指し、遮水工管理技術者・施工技能者技術検定・実技試験および更新講習を実施している。

表 3.5-1 資格者の役割及び要件

| 資格 | 種別 | 役割 | 能力要件 |
|----------|----|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 遮水工管理技術者 | 1級 | 遮水工管理技術者は、遮水工の施工実施段階で、施工計画から施工完了・引渡しまでの施工管理に係る役割を担うものとする | 遮水工事における施工計画・施工図の作成、工事の工程・品質・安全衛生管理等を的確に行うための高度な技術力・判断力並びに指導等の総合的な能力を有し、遮水シート工事全体の把握を行い、対外的な技術交渉力を有する者 |
| | 2級 | | |
| 遮水工施工技能者 | 1級 | 遮水工施工技能者は、遮水工の施工実施段階で下地の状態が施工出来る状態かどうかの確認を行い、確実な施工による施工品質を確保し、安全作業に徹する役割を担う | 現場において施工技能に関して指導的立場にある者で、遮水シート工事全体の一般的な知識・工程管理・安全作業管理・使用する機材の取扱い及び接合部の自主管理に関して十分な知識を有し、いかなる現場状況においても的確に判断・指導が出来る能力を有する者 |
| | 2級 | | 遮水シートの接合作業に係る業務の一般的知識と使用する接合機の取扱いに関しての施工実務能力を有し、現場において単独で安全かつ確実に遮水シート及び保護材の接合作業が円滑に出来る者 |

※各資格の等級基準は経験年数と施工面積又は施工件数により別途定める。

3.5.2 最終処分場機能検査者資格制度

平成 22 年 5 月 19 日に公布された「廃棄物の処理及び清掃に関する法律の一部を改正する法律」の中で、最終処分場への維持管理対策の強化として、最終処分場の設置者に対し、都道府県知事による当該施設の定期検査が義務付けられた。

当該最終処分場の安全性の向上と関係市町村をはじめ周辺住民への信頼性の向上のためにも都道府県知事の検査を受ける前に機能検査登録団体による機能診断を受けて対応することが望ましい。

最終処分場は埋立開始後、おおむね 15 年間、廃棄物の受け入れ供用期間として使用している。埋立が終了すると閉鎖し、廃止まで維持管理が行われる。埋立開始から廃止までの長期

にわたり安全で安心できるように最終処分場を維持していくことが社会から求められている。

しかし、この間に計画時と異なる条件・環境で維持管理しなければならない場合、予期できない種々の問題が発生する。定期的に機能検査を行うことで、これらの問題を早期に発見し対応することが、最終処分場の機能を保全し、その能力を十分に発揮させるために必要である。そして最終処分場の健全性が保たれば、将来的には延命化や早期安定化に寄与することもでき、維持管理費用も安くなると考えられる。維持管理のポイントは、異常を早くキャッチして、確実に修復することにある。

最終処分場の機能検査は、特定非営利活動法人最終処分場技術システム研究協会（NPO・LSA）で構成される最終処分場機能検査資格認定委員会による資格認定試験合格者の所属する登録検査団体（NPO・LSAも登録検査団体）が実施することになっている。

（資格の種類）

オープン型最終処分場機能検査者、被覆型（クローズドシステム型）最終処分場機能検査者、浸出水処理施設機能検査者

4. 各種遮水材料の耐久性の検討

4.1 遮水シートの劣化要因

「2 各種遮水材料、2.1 遮水シートの現状、2.1.2 遮水シートの耐久性」で示したように、高分子材料を素材とする遮水シートの耐久性に関連の強い項目は、紫外線、温度（熱）および水（薬品の溶液を含む）が劣化の主な因子になると考えられる。ここでは、紫外線と熱による劣化を中心に、提案されている特性変化（耐久性）を表現する「数式モデル・評価方法」をいくつか紹介し、IGS で提案している以下の項目整理項目に従い、その適用性について述べる。

- ・経過時間による整理
- ・紫外線照射量による整理
- ・熱(温度)による整理・・・アレニウスの式による整理※
- ・紫外線と熱(温度)の相乗作用による整理
- ・累積(積算)温度などを指標とした劣化特性値の特性曲線

また、参考として実際の処分場で 20 年使用された遮水シートを採取し、表面から各深さ方向に表面から 5、10、15、20、30 μm の深さの面が露出するよう水平に切削したサンプルについて、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて総合倍率 100 倍で撮影した画像を図 4.1-1 に示す。詳細については「廃棄物処分場における遮水シートの耐久性評価方法」を参照されたい。

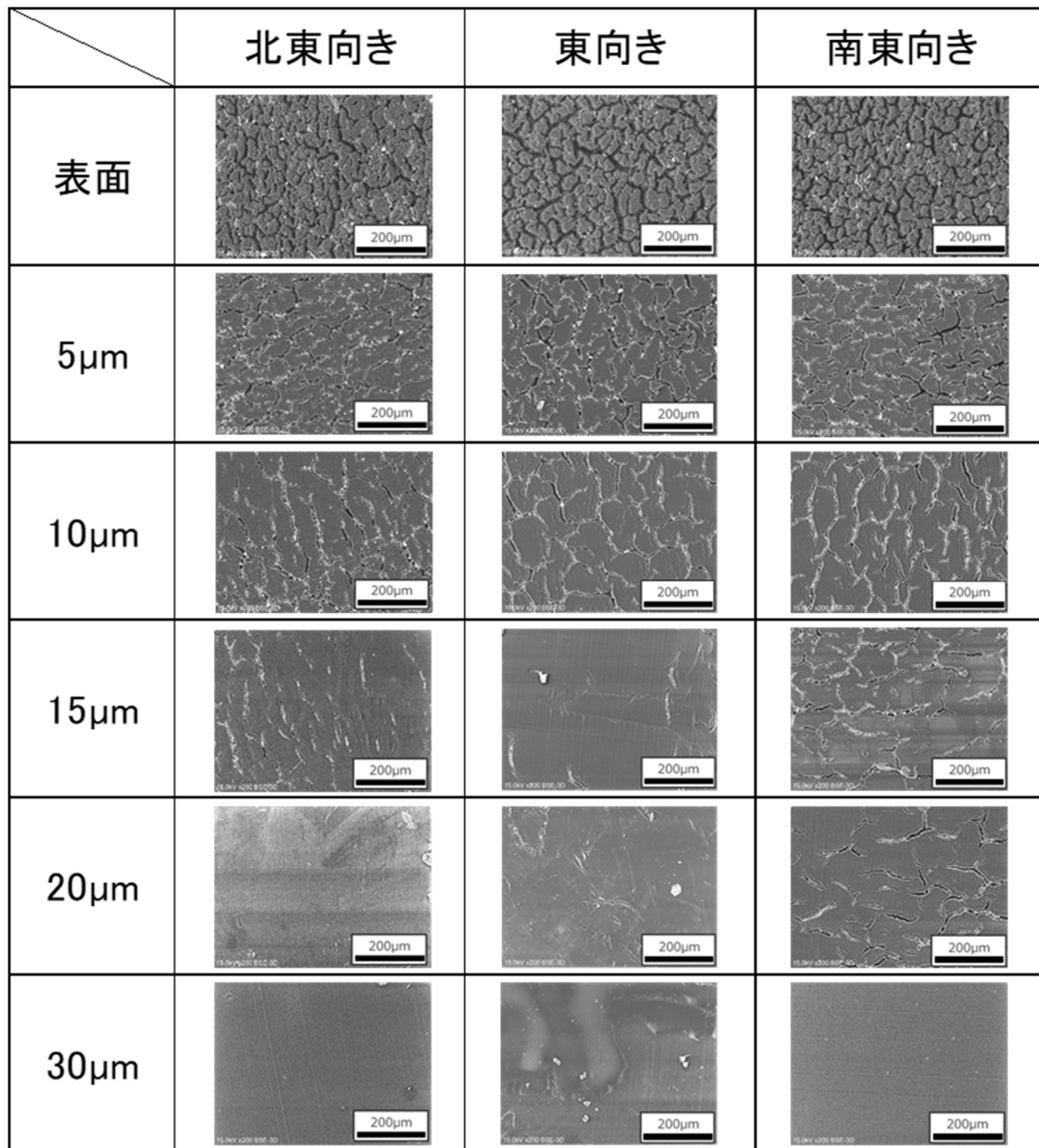


図 4.1-1 20年経過後の各断面のSEM画像

4.1.1 経過時間による整理

屋外暴露試験の結果の何年が、促進暴露試験のt時間に相当するという表現で評価する。普遍化するためには、屋外環境条件（地域/場所、気候、周辺環境）の各因子の定量的測定が必要である。

4.1.2 紫外線照射量による整理

特性変化量 Δp を、累積（積算）紫外線照射量 ΣU に比例するものと仮定して式(4.1)を用いて評価する。

$$\Delta p = A \Sigma U \quad (4.1)$$

ここで、 Δp : 特性変化量
 A : 材料定数
 ΣU : 累積紫外線照射量

この式は、特性変化に係るメカニズムが時間の進行とともに変わらず一律な場合や劣化初期の段階では有効である。さらに、式(4.2)のようにベキ乗数を導入する提案もある。

$$\Delta p = A \sum (U^\beta) \quad (4.2)$$

4.1.3 熱（温度）による整理

(1) アレニウス・プロット（反応速度論）式

一般の化学反応、拡散現象、亀裂の成長など温度が支配因子となる現象に用いられる。

$$\Delta p = k \cdot t = A \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \cdot t \quad (4.3)$$

ここで、 k : 特性変化速度
 t : 経過時間
 E_a : 見かけの活性化エネルギー
 R : 気体定数
 T : 絶対温度

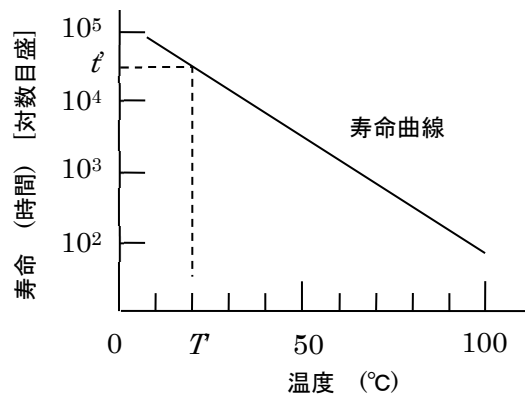


図 4.1-2 アレニウス・プロットによる評価

一般には、ギヤ式老化試験により、試験温度 T_n の水準をいくつか変えて、ある限界の特性 p になるまでの時間 t_n を測定する。 $T_1 \cdot t_1$, $T_2 \cdot t_2$, $T_3 \cdot t_3$, ... 左辺の値は一定より、 T_n と $\log t_n$ をプロットすると直線で表される。(図 4.1-2 アレニウス・プロット参照)。

実際に材料が使用される温度 T' を仮定すると、耐用年数（時間） t' が得られる。ただし、屋外で使用される条件では、一定の温度ではないので、経験的に妥当な値を設定しているのが実状である。

(2) 温度－時間変換則

式(4.3)の経過時間にベキ乗数を導入する。

$$\Delta p = A \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \cdot t^\beta \quad (4.4)$$

β の値は、一定温度でのギヤー式老化試験で、特性変化量（あるいは変化率）と、経過時間を両対数グラフにプロットして直線関係が得られたとき、その勾配として求められる。温度条件を変えても、勾配 β が同じとみなすことができれば、温度-時間・変換則が成立する(図 4.1-3)。

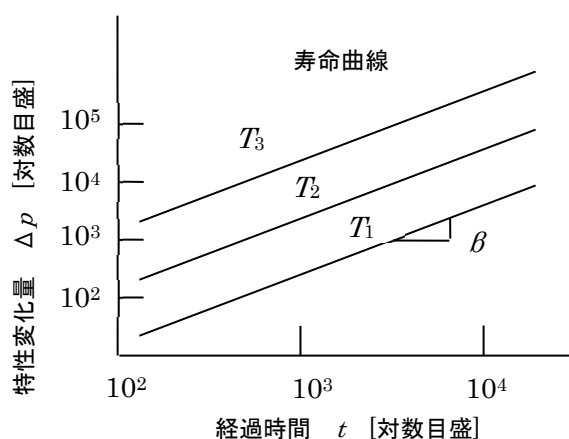


図 4.1-3 温度-時間変換則

4.1.4 紫外線と熱（温度）の相乗作用による整理

上述の数式モデルを組み合わせ、

$$\Delta p = A \cdot U \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \cdot t \quad (4.5)$$

ここで、U：紫外線量

べき乗数 α を導入して、

$$\Delta p = A \cdot U^\alpha \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \cdot t \quad (4.6)$$

一般には、紫外線が作用するとき温度上昇を伴う。そこで、熱のみによる特性変化を区別したモデルが提案されており、小池・田中モデルと呼ばれている。

$$\Delta p = A_U \cdot U^\alpha \cdot \exp\left(\frac{-E_{aU}}{R \cdot T}\right) \cdot t + A_T \cdot \exp\left(\frac{-E_{aT}}{R \cdot T}\right) \cdot t \quad (4.7)$$

特性に係る作用因子の項の添え字は紫外線が U、温度が T で区別する。

4.1.5 累積（積算）温度などを指標とした劣化特性値の特性曲線

各地で行った現地サンプリングによる引張強さ保持率などの特性値変化と試験地域での温度(月平均温度の積算)、降水量、日射時間、年平均日射量などについての単回帰分析による相関を求めて、優位となる相関を求め、それ以降の特性値変化について推定する。

一般的な高分子材料では、温度と日射量が特性値変化への影響について有意となることが報告されている。

4.2 調査方法

既存の処分場から採取した試料とその試料を劣化促進試験機に供した試料の引張強度と伸び率の2つの特性値を比較し、長期劣化を予測した。

4.2.1 現地シートサンプリング調査

表 4.2-1 に、IGS「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」に記載され、「2 各種遮水材料 2.1 遮水シートの現状 2.1.2 遮水シートの耐久性」で示した 2008 年の 1 次サンプリング(5～27 年経過した現場の 66 サンプル)と 2019 年の 2 次サンプリング (17～35 年経過した現場の 60 サンプル)を合わせた今回調査検討を行ったサンプル内容を示す。

特に、2019 年のサンプリング試料に対しては、保護マット有及び埋設部からの試料に注目して、解析を実施した。

表 4.2-1 サンプリング前後のサンプル内容

| 種類 | 2008 年サンプリング (経年 5～27 年) | | | | | | 2019 年サンプリング (経年 17～35 年) | | | | | |
|------|--------------------------|---------|-----|----|----|-----|---------------------------|---------|-----|----|----|-----|
| | 地区数 | サンプリング数 | | | | | 地区数 | サンプリング数 | | | | |
| | | 暴露 | 保護有 | 水中 | 埋設 | その他 | | 暴露 | 保護有 | 水中 | 埋設 | その他 |
| EPDM | 5 | 11 | 9 | 1 | 0 | 0 | 3 | 5 | 3 | 11 | 0 | 0 |
| TPO | 4 | 14 | 3 | 1 | 0 | 1 | 6 | 11 | 8 | 0 | 6 | 0 |
| HDPE | 2 | 2 | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 11 | 0 | 4 | 1 |
| PVC | 2 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合計 | 13 | 66 | | | | | 12 | 60 | | | | |

保護マット有は、最初から施されたものと最終処分場供用途中から施されたものを示す。
水中は喫水線からのサンプリングも含む。

4.2.2 メタルウェザー促進試験

既設最終処分場からの遮水シートサンプリング試料をさらに超促進暴露試験にかけることにより、遮水シートの耐久性(寿命予測推定)を評価する。

(1) 試験方法

1)試験装置

超促進耐候性試験機：ダイプラウインテス社 メタルウェザーKW-R5TP-A により以下の条件で暴露した (図 4.2-1、図 4.2-2)。



| メタルウェザー暴露条件(1 サイクル) | | | |
|-----------------------------|------|-----|------|
| | 温度 | 湿度 | 暴露時間 |
| L(照射) | 63°C | 30% | 16h |
| R(暗黒) | 63°C | 70% | 6h |
| D(結露) | 30°C | 98% | 2h |
| 光エネルギー130mW/cm ² | | | |

図 4.2-1 メタルウェザー超促進耐候性試験機

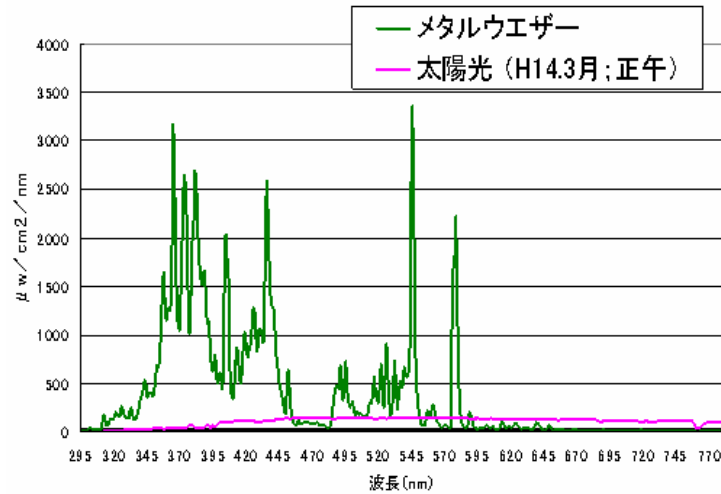


図 4.2-2 メタルウェザーと太陽光の放射照度分布比較

(2) 試験試料

現存最終処分場からの抜取りサンプルを試料とした(表 4.2-2)。

表 4.2-2 サンプルング試料種類

| 種類 | 経年 | サンプルング条件 | 遮水シート厚さ |
|---------|------|--------------------|---------|
| 福島 TPO | 26 年 | 保護マット有、土中サンプルング | 2.0mm |
| 群馬 TPO | 28 年 | ウレタン発泡保護有、土中サンプルング | 1.5mm |
| 岩手 EPDM | 35 年 | 東向暴露サンプルング | 1.5mm |

4.3 遮水シート材質別の長期耐久性評価式の提案

4.3.1 遮水シートの材質別の耐久性評価式

「2 各種遮水材料 2.1 遮水シートの現状 2.1.2 遮水シートの耐久性」で示した耐久性評価式は、2008 年当時に採取した遮水シートサンプルを用いて導出した結果に基づくものである。その後、さらに長期間経過した遮水シートサンプルを採取して特性を評価した結果、材質によって変化の傾向が異なるものがあることが判明した。さらに、最近の遮水シートの中には、技術革新により耐久性が格段に向上したものもある。したがって、評価を行う際には各遮水シートについて、材質別の屋外暴露試験や促進暴露試験のデータを基に、累積日射量を補正した総日射量と破断時の伸び率の特性変化率との関係を確認しておくことが不可欠となる。そこで、「2.1.2 遮水シートの耐久性」で示した分析後から 10 年後に新たに採取したサンプルに基づくデータを用いた分析を行い、遮水シートの材質別に耐久性評価式を提案することとする。

全ての材質の遮水シートのデータを一本の直線回帰式に当てはめて耐久性を評価していたが、ここでは、遮水シートの材質別に異なる耐久性評価式を、指数関数モデルを用いて評価することとした。評価式を(4.8)に示す。この式において、 Y_i は遮水シート*i*の初期強度に対する試料の強度との比率である引張強さ保持率または、初期伸び率に対する試料の伸び率との比率である伸び保持率であり、その値は遮水シートへの入力エネルギー*X*により影響を受けるものとして定式化している。遮水シートのエネルギーバランスの概念を図 4.3-1 に示す。

$$Y_i = a_i + b_i \cdot c_i^x \quad \dots (4.8)$$

i : 遮水シート材質 (TPO、EPDM、PVC)

Y_i : 遮水シート材質 i の引張強さ保持率または伸び保持率(%)

X : 入力エネルギー (GJ/m²)

a_i, b_i, c_i : 回帰係数

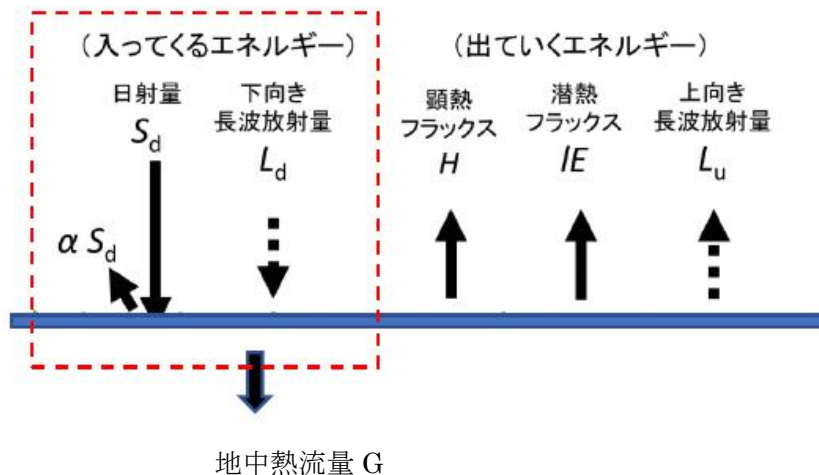


図 4.3-1 遮水シートのエネルギーバランス

4.3.2 遮水シートの材質別の耐久性評価式の検討ケース

ここでは遮水シートへの入力エネルギーXの算定方法として、2つのケースを検討した。

- (1) ケース 1 : X が気温による補正係数 α_T 、法面方位係数 α_d 、暴露常態による紫外線補正係数 α_{UV} 、全天日射量 S_d 、遮水シート施工後の経過 t を用いて評価する方法を検討した式が次式(4.9)である。

$$X = \alpha_T \cdot \alpha_d \cdot \alpha_{UV} \cdot S_d \cdot t \quad \dots (4.9)$$

α_T : 気温による補正係数 ($\alpha 1$)

α_d : 法面方位係数 ($\alpha 2$)

α_{UV} : 暴露状態による紫外線補正係数 ($\alpha 3$) (今回は暴露試料を用いたのですべて 1)

S_d : 全天日射量 ($GJ/m^2/日$)

t (日) : 時間

- (2) ケース 2 : 遮水シートへの入力エネルギーX は、日射によるエネルギー E_1 と、気温と相関の強い下向き赤外線放射エネルギー E_2 の和で表した式で計算する式(4.10)を用いる方法についても検討した。

$$X = E_1 + E_2 \quad \dots (4.10)$$

E_1 : 日射によるエネルギー (GJ/m^2)

E_2 : 下向き赤外線放射によるエネルギー (GJ/m^2)

$$E_1 = \alpha_d \cdot \alpha_{uv} \cdot S_d \cdot t$$

$$E_2 = L_d \cdot t$$

α_d : 法面方位係数($\alpha 2$)

α_{uv} : 暴露状態による紫外線補正係数 ($\alpha 3$)

S_d : 全天日射量($GJ/m^2/日$)

t : 時間 (日)

L_d : 下向き赤外線放射量(GJ/m^2)

※下向赤外線放射とは、天空の全方向から地表面に入射する赤外線放射である。

下向赤外線放射は、大気中の雲・水蒸気・二酸化炭素等からその絶対温度(K)の 4 乗に比例して放射されるため、気温との相関が高い。下向赤外線放射量は日本では数か所でしか測定されていないため、次式により推定する。

$$L_d \text{ (GJ/m}^2\text{/day)} = \text{定数 } \beta \times \text{ステファンボルツマン定数 } \sigma \times \text{気温 } T^4 \text{ (K)} \times 10^{-9}$$

定数 β : 0.869(気象庁データと計算値の比)

ステファンボルツマン定数 σ : $5.67 \times 10^{-8} \text{ (Wm}^2\text{K}^{-4})$

4.3.3 遮水シートの材質別の耐久性評価の結果

実際の最終処分場から、保護マットに覆われていない遮水シートを採取し、その一部にメタルハイドランプを用いて促進劣化を施した試料を作成した。これらの試料で引張試験を行い、遮水シートの材質別の引張特性保持率（引張強さ保持率と伸び保持率）のデータを取得した。表 4.3-1 に、遮水シートの材質別の引張強さ保持率および伸び保持率を遮水シートに入力されたエネルギー量を基に推定するための推定式とその統計的評価値を示す。この表を見ると、ほぼすべての推定式の p 値が 1%以下となっており、推定式が統計的に有意であることが示された。さらに、推定式のデータへの当てはまりの良さを評価する決定係数 R² の値が良好であることから、これらの推定式が遮水シートの引張特性保持率を評価するのに適していることが統計的に確認された。

表 4.3-1 遮水シートの材質別の引張強さ保持率および伸び保持率の推定式

| シート種 | 項目 (Y) | ケース | モデル式 (X:入力エネルギー) | サンプル数 | R ² | p値 |
|------|--------|-----|------------------------------------|-------|----------------|----------|
| EPDM | 引張強さ | 1 | $y = 74.43 + 25.57 \cdot 0.9928^x$ | 34 | 0.551 | 2.51E-07 |
| | | 2 | $y = 79.84 + 20.16 \cdot 0.9962^x$ | 34 | 0.442 | 9.05E-06 |
| | 伸び | 1 | $y = 25.27 + 74.73 \cdot 0.9841^x$ | 34 | 0.865 | 9.13E-16 |
| | | 2 | $y = 26.82 + 73.18 \cdot 0.9941^x$ | 34 | 0.922 | 1.51E-19 |
| TPO | 引張強さ | 1 | $y = 58.00 + 42.00 \cdot 0.9929^x$ | 35 | 0.530 | 3.58E-07 |
| | | 2 | $y = 67.26 + 32.74 \cdot 0.9967^x$ | 35 | 0.479 | 2.05E-06 |
| | 伸び | 1 | $y = 49.71 + 50.29 \cdot 0.9979^x$ | 35 | 0.448 | 5.57E-06 |
| | | 2 | $y = 52.12 + 47.88 \cdot 0.9995^x$ | 35 | 0.383 | 3.71E-05 |

ケース 1 およびケース 2 のモデル式で耐久性を評価した結果を図 4.3-2～図 4.3-9 に示す。

(1) ケース 1 の評価結果

① EPDM (引張強さ保持率)

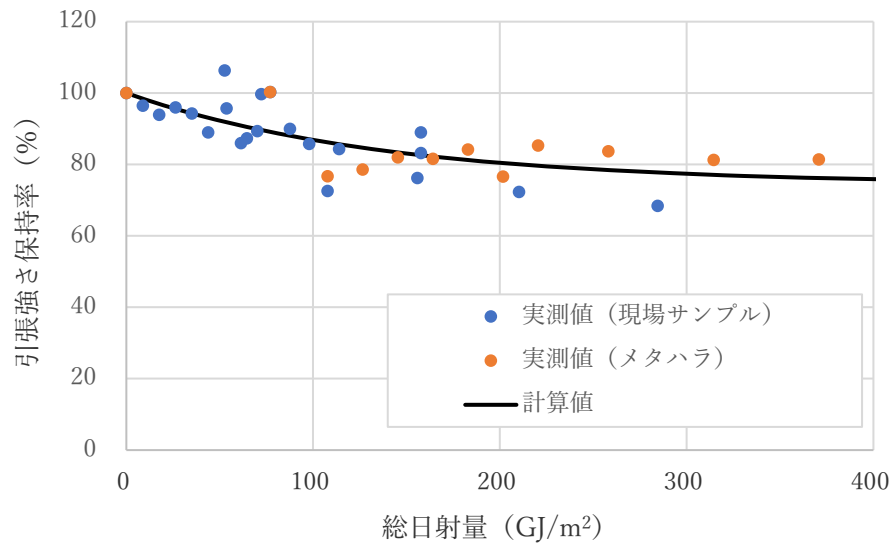


図 4.3-2 引張強さ保持率と総日射量の関係 (EPDM)

② EPDM (伸び保持率)

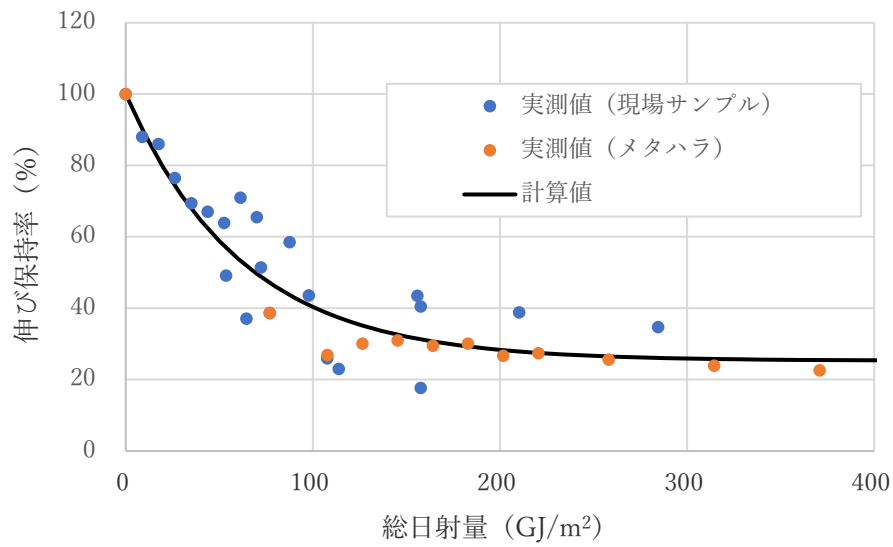


図 4.3-3 伸び保持率と総日射量の関係 (EPDM)

③ TPO (引張強さ保持率)

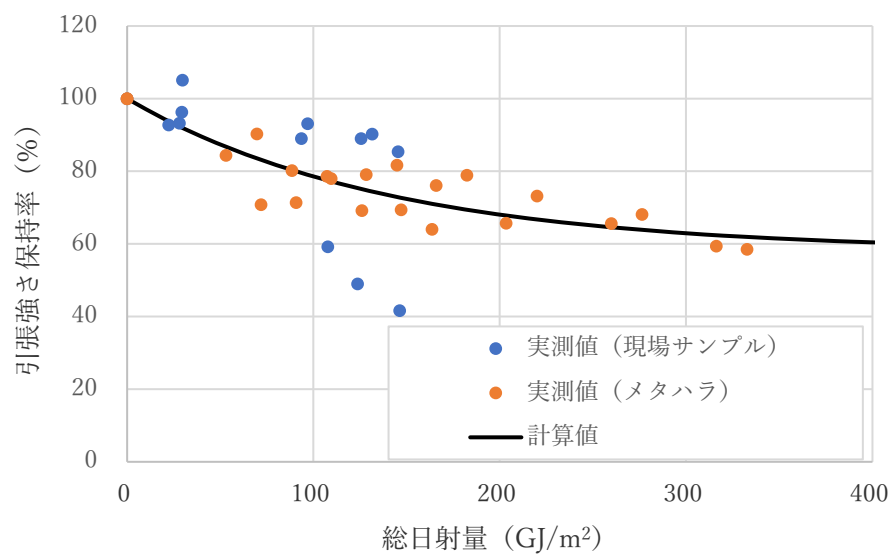


図 4.3-4 引張強さ保持率と総日射量の関係 (TPO)

④ TPO (伸び保持率)

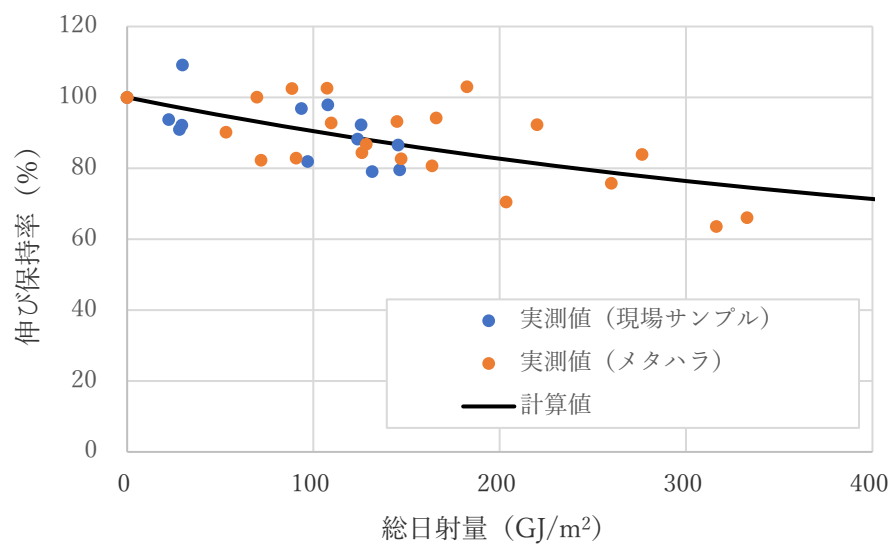


図 4.3-5 伸び保持率と総日射量の関係 (TPO)

(2) ケース 2 の評価結果

① EPDM (引張強さ保持率)

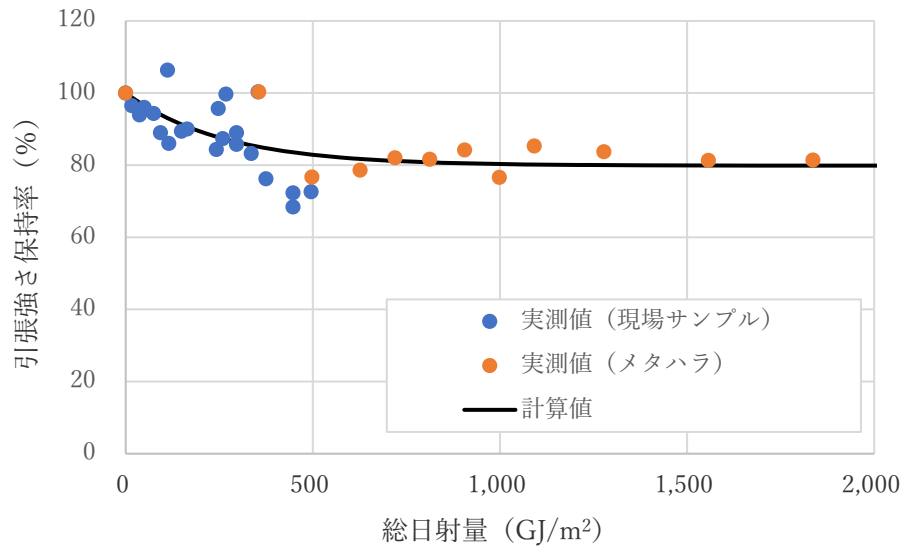


図 4.3-6 引張強さ保持率と総日射量の関係 (EPDM)

② EPDM (伸び保持率)

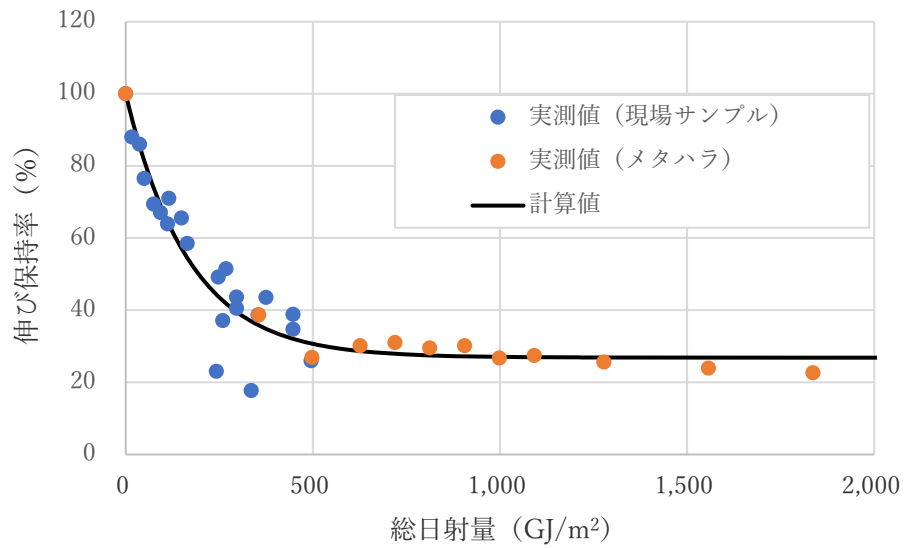


図 4.3-7 伸び保持率と総日射量の関係 (EPDM)

③ TPO (引張強さ保持率)

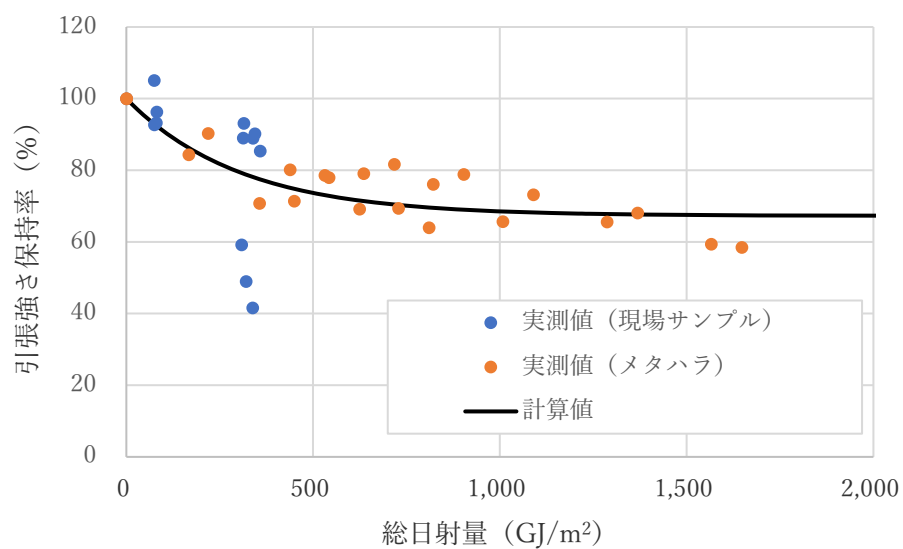


図 4.3-8 引張強さ保持率と総日射量の関係 (TPO)

④ TPO (伸び保持率)

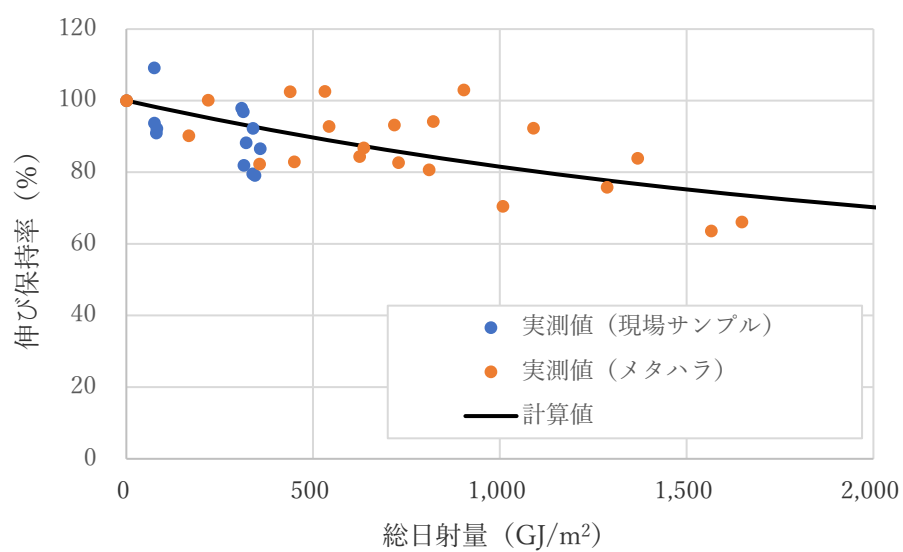


図 4.3-9 伸び保持率と総日射量の関係 (TPO)

4.3.4 耐用年数の推定

ケース 1 では、日本における年平均日射量 $5,011\text{MJ/m}^2$ (2012~2021 年)及び年平均気温 15.4°C (1991~2020 年)で補正し、 $E_1=5,152\text{MJ/m}^2$ となる。

$$\alpha_1=2^{(15.4-15)/10}=1.0281$$

$$E_1: 5,011\text{MJ/m}^2 \times \alpha_1=5,152\text{MJ/m}^2$$

ケース 2 では、年平均日射量 $E_1=5,011\text{MJ/m}^2$ に下向赤外放射量 $E_2=10,750\text{MJ/m}^2$ を加えた総エネルギー量は $15,761\text{MJ/m}^2$ となる。

$$E_2: \sigma T_4=5.67 \times 10^{-8} \times 3600 \times 24 \times (273+15.4)^4$$

$$=0.004899 \times (273+15.4)^4$$

$$=0.004899 \times 6,918=33.891\text{MJ/m}^2/\text{日}$$

$$E_2=33.891\text{MJ/m}^2/\text{日} \times 365\text{日} \times 0.869(\text{補正係数})=10,750\text{MJ/m}^2/\text{年}$$

E_2 : 下向赤外放射量($\text{MJ/m}^2/\text{年}$)

σ : ステファン・ボルツマン定数 $5.67 \times 10^{-8}(\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4})$

T : 絶対温度(K)

ケース 1 では、日本の年平均日射量は 5.152GJ/m^2 、総エネルギー量 15.761GJ/m^2 より、50年換算するとそれぞれ約 258GJ/m^2 及び 788GJ/m^2 となる。表 4.3-1 の式から 50年後の引張特性保持率(表 4.3-2)を求め、屋外暴露における耐用年数を推定する。

表 4.3-2 50年後の推定引張特性保持率

| モデル | 材料種類 | 50年後の推定引張特性保持率(%) | |
|-------|------|-------------------|------|
| ケース 1 | EPDM | 引張強さ | 78.4 |
| | | 伸び率 | 26.5 |
| | TPO | 引張強さ | 64.7 |
| | | 伸び率 | 78.9 |
| ケース 2 | EPDM | 引張強さ | 80.8 |
| | | 伸び率 | 27.5 |
| | TPO | 引張強さ | 69.7 |
| | | 伸び率 | 84.4 |

EPDM の伸び保持率を除いて 40%以上の保持率を示し、50年以上の耐久性はあるものと推定される。EPDM の場合、耐久性尺度が実現場からの保持率 20%と考えられる。

また、遮水シートの上部は保護マット被覆もしくは土中埋没されことにより遮水シートの劣化は大きく軽減(暴露係数 1 が 0.4 以下になる)されることも GRI Report #42 より報告されている。

現在、遮水シートには敷設当初より遮光性保護マットで被覆することにより、日射による紫外線劣化等が軽減され、50年以上の耐久性はあるものと判断される。

4.4 被覆下の遮水シートの暴露係数に関する検討

4.4.1 指数関数モデル式の直線回帰

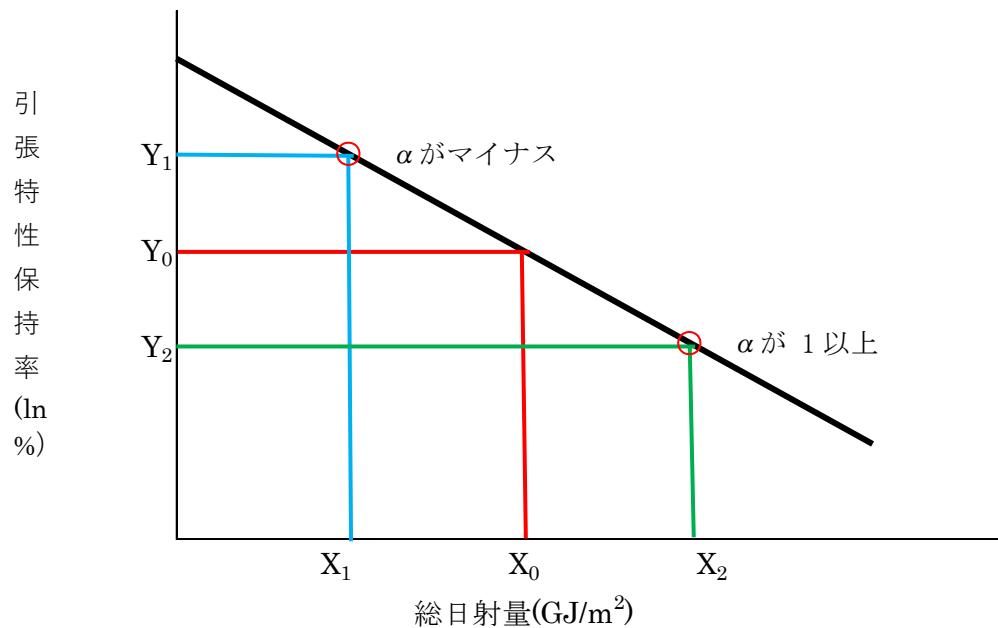
表 4.3-の指数関数より直線回帰式(4.11)を求め。被覆による暴露係数(α_3)を推定する。

X_1 は被覆材を施した時点、 X_0 はサンプリング時点を示し、 X_2 は被覆材を施さないで、サンプリング時点の年数を経過した時点と仮定した。 X_1 から X_2 までのエネルギーが被覆材を施すことによって、 X_1 から X_0 に軽減されたものとみなし、4.11 式を提案する。

$$Y_i = a_i + b_i \cdot c_i^x \quad \dots (4.8)$$

$$X_i = \{ \ln(Y_i - a_i) - \ln(b_i) \} / \ln(c_i) \quad \dots (4.8)'$$

$$\alpha_3 = (X_0 - X_1) / (X_2 - X_1) \quad \dots (4.11)$$



Y_0 : (暴露+被覆)期間の保持率(%)から式(4.8)'により求めた対数

Y_1 : 被覆前暴露期間の保持率(%)から式(4.8)'より求めた対数

Y_2 : 全暴露後の保持率(%)から式(5.11)'より求めた対数

X_0 : (暴露+被覆)期間の総日射量(GJ/m^2)

X_1 : 被覆前暴露期間の総日射量(GJ/m^2)

X_2 : 全暴露後の総日射量(GJ/m^2)

α_3 : 被覆材料の暴露係数

図 4.4-1 指数関数の直線回帰モデル

註) $Y_0 > Y_1$ の場合 α_3 はマイナスとなり、 $Y_2 > Y_0$ の場合 α_3 は 1 以上となるため、以降の解

析対象から外すこととする。

4.4.2 被覆状態のサンプリングデータ

被覆状態(保護マット有、土中埋没)のサンプリングによる遮水シート引張特性を表 4.4-1 に示す。ただし、水中浸漬の場合は季節変動にかかわらず水中に存在しているものか、特に喫水線付近は判断できないので、解析対象外とする。

表 4.4-1 被覆状態での遮水シート引張特性

| 試料番号 | 所在地 | シート材質 | 向き | 保護マットの有無 | | 引張強さ保持率【%】 | | | 伸び保持率【%】 | | |
|-------|-----|--------|----|-----------|----|------------|-------|-------|----------|------|-------|
| | | | | | | 長手 | 幅 | 平均 | 長手 | 幅 | 平均 |
| 48,49 | 静岡 | EPDM | 北西 | 無11, 有5年 | 16 | 87.2 | 93.4 | 90.3 | 66.3 | 68.9 | 67.6 |
| 50,51 | 静岡 | EPDM | 東 | 無11, 有5年 | 16 | 76.7 | 84.0 | 80.4 | 53.4 | 57.8 | 55.6 |
| 52 | 静岡 | EPDM | 南東 | 無11, 有5年 | 16 | 76.5 | 87.6 | 82.1 | 46.7 | 50.6 | 48.7 |
| 66 | 福岡 | EPDM | 北 | 無12, 有6年 | 18 | 90.8 | 93.1 | 92.0 | 56.5 | 57.8 | 57.2 |
| 64 | 福岡 | EPDM | 西 | 無12, 有6年 | 18 | 85.7 | 85.5 | 85.6 | 54.5 | 53.7 | 54.1 |
| 63 | 福岡 | EPDM | 東 | 無12, 有6年 | 18 | 69.4 | 86.0 | 77.7 | 60.6 | 48.0 | 54.3 |
| 65 | 福岡 | EPDM | 南 | 無12, 有6年 | 18 | 78.1 | 79.8 | 79.0 | 43.5 | 45.5 | 44.5 |
| 79 | 静岡 | EPDM | 北西 | 無11, 有18年 | 29 | 89.4 | 92.3 | 90.8 | 67.5 | 68.6 | 68.0 |
| 80 | 静岡 | EPDM | 東 | 無11, 有18年 | 29 | 83.5 | 89.0 | 86.3 | 52.7 | 52.4 | 52.5 |
| 81 | 静岡 | EPDM | 南東 | 無11, 有18年 | 29 | 83.5 | 85.2 | 84.3 | 55.8 | 55.5 | 55.7 |
| 53~55 | 福岡 | TPO | 南 | 無8, 有3年 | 11 | 79.9 | 81.2 | 80.6 | 92.9 | 87.5 | 90.2 |
| 77 | 神奈川 | TPO-PP | 南 | 有 | 17 | 84.8 | 106.5 | 95.6 | 88.9 | 80.5 | 84.7 |
| 78 | 神奈川 | TPO-PP | 西 | 有 | 17 | 93.8 | 112.6 | 103.2 | 98.3 | 87.4 | 92.8 |
| 89 | 福岡 | TPO | 北東 | 有 | 21 | 120.5 | 90.2 | 105.4 | 101.0 | 94.8 | 97.9 |
| 93 | 福岡 | TPO | 南西 | 有 | 21 | 102.2 | 83.6 | 92.9 | 86.4 | 82.8 | 84.6 |
| 73,74 | 福島 | TPO | 南 | 埋没26年 | 26 | 92.3 | 96.0 | 94.1 | 85.4 | 98.6 | 92.0 |
| 75,76 | 群馬 | TPO | 南 | 埋没28年 | 28 | 99.4 | 98.0 | 98.7 | 101.5 | 96.4 | 98.9 |
| 88 | 福岡 | TPO | 北東 | 無7, 埋没14年 | 21 | 108.6 | 88.1 | 98.4 | 87.0 | 80.8 | 83.9 |
| 91 | 福岡 | TPO | 南東 | 無7, 埋没14年 | 21 | 105.6 | 85.4 | 95.5 | 86.5 | 81.9 | 84.2 |
| 100 | 佐賀 | TPO | 南 | 無6, 埋没15年 | 21 | 98.1 | 87.9 | 93.0 | 87.2 | 93.0 | 90.1 |
| 102 | 鹿児島 | TPO | 北東 | 無6, 埋没14年 | 20 | 65.4 | 66.1 | 65.8 | 105.2 | 99.0 | 102.1 |
| 104 | 鹿児島 | TPO | 東 | 無6, 埋没14年 | 20 | 53.6 | 49.3 | 51.5 | 78.7 | 81.3 | 80.0 |
| 106 | 鹿児島 | TPO | 南東 | 無8, 埋没12年 | 20 | 59.7 | 56.0 | 57.8 | 100.4 | 96.8 | 98.6 |

① EPDM(保護マット被覆)

サンプリングによる保護マット被覆遮水シートの暴露係数推定値を表 4.4-2 に示す。

表 4.4-2 保護マット被覆 EPDM の暴露係数推定値

| 試料 番号 | 所在地 | シート 材質 | 向き | 保護マットの有無 | | 引張強さ 保持率(%) | 暴露係数 | | 伸び 保持率 (%) | 暴露係数 | |
|----------|-----|-----------|----|----------|------|----------------|-------|---------|------------------|--------|--------|
| | | | | 無(年) | 有(年) | | ケース1 | ケース2 | | ケース1 | ケース2 |
| 48,49 | 静岡 | EPDM | 北西 | 11 | 5 | 90.3 | 0.748 | 0.115 | 67.6 | -0.619 | -0.871 |
| 50,51 | 静岡 | EPDM | 東 | 11 | 5 | 80.4 | 5.191 | 10.052 | 55.6 | -0.150 | -0.197 |
| 52 | 静岡 | EPDM | 南東 | 11 | 5 | 82.1 | 2.971 | 4.777 | 48.7 | 0.033 | 0.259 |
| 66 | 福岡 | EPDM | 北 | 12 | 6 | 92.0 | 0.228 | -0.446 | 57.2 | 0.259 | -0.270 |
| 64 | 福岡 | EPDM | 西 | 12 | 6 | 85.6 | 2.057 | 1.647 | 54.1 | 0.100 | -0.150 |
| 63 | 福岡 | EPDM | 東 | 12 | 6 | 77.7 | 6.991 | 79.8より小 | 54.3 | -0.140 | -0.221 |
| 65 | 福岡 | EPDM | 南 | 12 | 6 | 79.0 | 3.592 | 79.8より小 | 44.5 | -0.029 | 0.339 |
| 79 | 静岡 | EPDM | 北西 | 11 | 18 | 90.8 | 0.151 | -0.017 | 68.0 | -0.180 | -0.249 |
| 80 | 静岡 | EPDM | 東 | 11 | 18 | 86.3 | 0.468 | 0.445 | 52.5 | 0.026 | 0.013 |
| 81 | 静岡 | EPDM | 南東 | 11 | 18 | 84.3 | 0.513 | 0.703 | 55.7 | -0.131 | -0.085 |

表中の網掛け部はマイナスデータ及び1以上のデータのため解析対象外とする。

② TPO(保護マット被覆)

サンプリングによる保護マット被覆遮水シートの暴露係数推定値を表 4.4-3 に示す。

表 4.4-3 保護マット被覆 TPO の暴露係数推定値

| 試料 番号 | 所在地 | シート材質 | 向き | マットの有無 | | 引張強さ 保持率(%) | 暴露係数 | | 伸び 保持率(%) | 暴露係数 | |
|----------|-----|--------|----|--------|------|----------------|--------|--------|--------------|-------|-------|
| | | | | 無(年) | 有(年) | | ケース1 | ケース2 | | ケース1 | ケース2 |
| 53~55 | 福岡 | TPO | 南 | 8 | 3 | 80.6 | 1.644 | 2.710 | 90.2 | 2.413 | 6.347 |
| 77 | 神奈川 | TPO-PP | 南 | 0 | 17 | 95.6 | 0.138 | 0.151 | 84.7 | 1.543 | 2.679 |
| 78 | 神奈川 | TPO-PP | 西 | 0 | 17 | 103.2 | -0.140 | -0.112 | 92.8 | 0.994 | 1.287 |
| 89 | 福岡 | TPO | 北東 | 0 | 21 | 105.4 | -0.174 | -0.146 | 97.9 | 0.210 | 0.285 |
| 93 | 福岡 | TPO | 南西 | 0 | 21 | 92.9 | 0.208 | 0.219 | 84.6 | 1.387 | 2.291 |

表中の網掛け部はマイナスデータ及び1以上のデータのため解析対象外とする。

③ TPO(土中埋没)

サンプリングによる土中埋没遮水シートの暴露係数推定値を表 4.4-4 に示す。

表 4.4-4 土中埋没 TPO の暴露係数推定値

| 試料 番号 | 所在地 | シート 材質 | 向き | 埋設状態 | | 引張強さ 保持率(%) | 暴露係数 | | 伸び 保持率(%) | 暴露係数 | |
|----------|-----|-----------|----|-------|-------|----------------|----------|----------|--------------|--------|--------|
| | | | | 暴露(年) | 埋没(年) | | ケース1 | ケース2 | | ケース1 | ケース2 |
| 73,74 | 福島 | TPO | 南 | 0 | 26 | 94.1 | 1.141 | 0.142 | 92.0 | 4.438 | 0.870 |
| 75.76 | 群馬 | TPO | 南 | 0 | 28 | 98.7 | 0.186 | 0.026 | 98.9 | 0.414 | 0.094 |
| 88 | 福岡 | TPO | 北東 | 7 | 14 | 95.5 | -0.413 | -0.425 | 83.9 | 2.346 | 3.412 |
| 91 | 福岡 | TPO | 南東 | 7 | 14 | 95.5 | -0.076 | -0.305 | 84.2 | 1.548 | 2.994 |
| 100 | 佐賀 | TPO | 南 | 6 | 15 | 93.0 | -0.152 | -0.115 | 90.1 | 0.600 | 1.403 |
| 102 | 鹿児島 | TPO | 北東 | 6 | 14 | 65.8 | 2.723 | 67.3よりも小 | 102.1 | -0.688 | -0.828 |
| 104 | 鹿児島 | TPO | 東 | 6 | 14 | 51.5 | 58.0よりも小 | 67.3よりも小 | 80.0 | 2.364 | 4.401 |
| 106 | 鹿児島 | TPO | 南東 | 8 | 12 | 57.8 | 58.0よりも小 | 67.3よりも小 | 98.6 | 0.939 | -0.376 |

表中の網掛け部はマイナスデータ及び 1 以上のデータのため解析対象外とする。

埋没データのうち、埋立前より保護マット有の資料番号(73,74)及び吹付ウレタン保護材有の資料番号(75,76)が施されており、暴露係数は他の数値に比較して非常に低い値となった。その他は被覆材がなく途中から埋立物で被覆されたとのことであった。

4.4.3 被覆遮水シートの暴露係数

被覆遮水シートの暴露係数を表 4.4-5 にまとめた。

表 4.4-5 被覆遮水シートの暴露係数

| 種 類 | | | ケース 1 | | | ケース 2 | | |
|-------------------|------|------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|
| | | | n | α | 平均 | n | α | 平均 |
| 保 護 マ ット | EPDM | 引張強さ | 5 | 0.422 | 0.281 | 3 | 0.421 | 0.312 |
| | | 伸び率 | 4 | 0.102 | | 3 | 0.204 | |
| | TPO | 引張強さ | 2 | 0.178 | 0.388 | 2 | 0.185 | 0.218 |
| | | 伸び率 | 2 | 0.602 | | 1 | 0.285 | |
| 埋 没 | TPO | 引張強さ | 1 | 0.186 | 0.535 | 2 | 0.084 | 0.283 |
| | | 伸び率 | 3 | 0.651 | | 2 | 0.482 | |

以上の結果は、被覆遮水シートの日光への完全暴露状態に対する実際の暴露状態の日を示す暴露係数で、処分場での暴露途中で保護マットを施したり、覆土されたりしている時期の不確かさが影響しているものと考えられる。

①EPDM は伸びの保持率の経年変化が大きいことより、暴露係数は低い値となった。

②TPO はもともとバラツキが大きく、解析精度は低かった。

この結果、被覆材として保護マットを使用した場合と覆土があった場合とでは同様に 0.3 程度の暴露係数となり、大きな差異は認められず、遮水シートの外部環境からの保護に有効であることが示された。本検討では暴露係数は 0.3 と比較的に大きいですが、海外の調査事例では覆土した場合、暴露係数が 0.1 程度（完全暴露の 1/10 程度の暴露率）になると発表されたものがある。本データは限られたデータでの算出であるため、今後の国内での経過観察・検討が期待される。

4.4.4 遮水シートの推定耐久性

「4.3.4 耐用年数の推定」で記述されているようにケース 1 では、日本の年平均日射量は 5.152 GJ/m²、ケース 2 では総エネルギー量 15.761 GJ/m² より、50 年換算するとそれぞれ約 258 GJ/m² および 788 GJ/m² となる。

遮水シートの耐久性の目安を IGS「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」で評価されている引張特性保持率（初期強度からの性能の減少率）がバラツキを見せる変曲点 40% をベースに考えると、前項の表 4.3.2 より、遮水シートの耐久性の解析結果は一部遮水シートの特性を除き保持率が 40% 以上を保持していることとなる。また、遮水シート上部に保護マットもしくは覆土されることにより暴露条件が緩和され、遮水シートの劣化は大きく軽減されることとなる。

現在、遮水シートには敷設当初より遮光性保護マットで被覆することになっており、試験結果から完全暴露条件の 3 倍程度の耐久性は認められるものと考えられる。したがってどの材質の遮水シートでも条件を整えば、50 年以上の耐久性はあるものと判断される。

IGS では現在モデル式の再改良および計算結果からの各種シートへの展開について検討を継続している。

4.5 保護マットの耐久性

保護マットは遮水工材料の一部として重要であり、その耐久性を確認しておく必要がある。以下に検討過程と結果を示す。

4.5.1 調査方法と評価指標

長繊維不織布の調査方法は、遮光性保護マットとしての日本遮水工協会認定品の初期物性と促進暴露試験 1,000 時間実施後の物性および、実暴露された長繊維不織布を抜き取った供試体の物性を調査した。

短繊維不織布（反毛フェルト含む）は初期物性と促進暴露試験 1,000 時間実施後、3,000 時間実施後の物性および、実暴露された短繊維不織布（反毛フェルト含む）を抜き取った供試体の物性を調査した。

評価指標は特性変化により遮水シートの保護機能として重要な貫入抵抗 500N を保持している時点とした。

尚、「表 2.2-1 保護マットの種類と特性目安値」に記載されているジオコンポジットについては、データも充分ではないことより記載していない。

4.5.2 促進暴露試験による特性変化

ウエザオメーター試験時間と屋外暴露期間の関係より、サンシャインウエザオメーター(WOM)の照射時間と総日射量(ケース 1)と総エネルギー量(ケース 2)の関係を表 4.5-1 に示す。

※各ケースについては、4.3.2 遮水シートの材質別の耐久性評価式の検討ケース参照

表 4.5-1 促進暴露試験時間と屋外暴露期間の関係

| 区分 | WOM 照射時間(hr) | 0 | 500 | 1,000 | 2,000 |
|-------|-----------------------------|---|--------|--------|---------|
| | 経年(年) | 0 | 1.485 | 2.97 | 5.94 |
| ケース 1 | 総日射量(MJ/m ²) | 0 | 7,651 | 15,301 | 30,603 |
| ケース 2 | 総エネルギー量(GJ/m ²) | 0 | 29.029 | 58,058 | 116.115 |

4.5.3 促進暴露試験による特性変化

① 長繊維不織布

サンシャインウエザオメーターによる促進暴露試験の貫入抵抗の結果および目付量と貫入抵抗 500N になるまでの推定年数を、表 4.5-2、図 4.5-1 に示す。

表 4.5-2 促進暴露試験による目付(g/m²)別変化率と推定耐用年数

| | | 貫入抵抗(N) | | 1,000 H 後 | 貫入抵抗 500N 時 | |
|----------------------------|-----|---------|-----------|-----------|-------------|--------|
| | | 初期値 | 1,000 H 後 | 変化率(%) | 変化率(%) | 推定年数 |
| 目付量 (g/m ²) | 450 | 952 | 801 | 15.86 | 47.48 | 8.89 |
| | 550 | 950 | 737 | 22.42 | 47.37 | (6.28) |
| | 578 | 1,020 | 876 | 14.12 | 50.98 | 10.72 |
| | 620 | 1,160 | 1,010 | 12.93 | 56.90 | 13.07 |
| | 662 | 1,020 | 823 | 19.31 | 50.98 | (7.84) |
| | 713 | 1,010 | 923 | 8.61 | 50.50 | 17.42 |
| | 769 | 962 | 784 | 18.50 | 48.02 | (7.71) |
| | 840 | 1,590 | 1,430 | 10.06 | 68.55 | 20.24 |
| | 平均 | | | 15.23 | | |

()は特異点として解析から除外した。

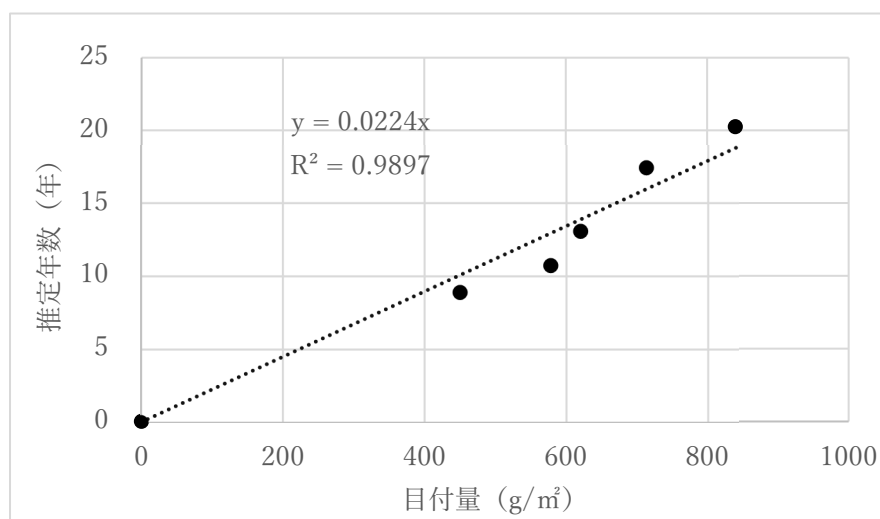


図 4.5-1 目付量(g/m²)と推定年数(年)

表 4.5-2 より、促進暴露 1,000 時間で平均約 15 %の変化が認められた。促進暴露 1,000 時間は屋外暴露約 3 年に相当するといわれていることより、保持率 40%に相当する年数は約 12 年と推察される。

また、図 4.5-1 から貫入抵抗が 500N になる年数は、目付量 400g/m² の場合で約 9 年、目付量 600g/m² の場合で約 13 年と推定できる。

② 短繊維不織布 (反毛フェルト含む)

日本遮水工協会認定品の認定品であっても、促進暴露試験 1,000 時間では製品のバラツキの方が大きく規則性を確認できるデータとなっていないことより、参考製品として 3,000 時間の促進暴露試験と、屋外暴露 15 年*経過後のサンプリングでの試験結果を表 4.5-3、表 4.5-4 及び図 4.5-1 に示す。初期の引張強さは 1,100N/5cm で、目付量は 1,782g/m²(厚みは 10.4mm)である。

表 4.5-3 K 県最終処分場の総日射量

| 種類 | 経過時間 | | 全天日射量 g (MJ/m ² /day) | 累積日射量 g* t | 平均気温 | | 向き (向きによる日射量の比) | | 暴露状態 α3 | 総日射量 α*g* t |
|-----------|------|-------------|-------------------------------------|---------------|-------|----------------|-----------------|------|------------|----------------|
| | 年 | 日 d(day) | | | T(°C) | α1=2*(T-15/10) | 向き | α2 | | |
| K 県反毛フェルト | 15 | 5,475 | 14.5 | 79,388 | 17.8 | 1.21 | 南 | 1.26 | 1.00 | 121,454 |

総日射量の考え方をベースに総日射量 121,454MJ/m²とする。

表 4.5-4 促進暴露時間(hr)と引張強さ保持率(%)

| 時間 | h | 0 | 500 | 1,000 | 1,500 | 2,000 | 3,000 | 7,938* |
|-----------|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 総日射量 | GJ/m ² | 0 | 7.651 | 15.301 | 22.952 | 30.603 | 45.904 | 121.454 |
| 引張強さ保持率 | (%) | 100.0 | 100.9 | 102.7 | 99.1 | 100.9 | 94.5 | 89.5 |
| 補正引張強さ保持率 | (%) | 100.0 | 95.9 | 94.9 | 94.1 | 93.6 | 92.6 | 89.8** |

*1,000hr×121.454 GJ/m²/15.301 GJ/m²=7,938hr

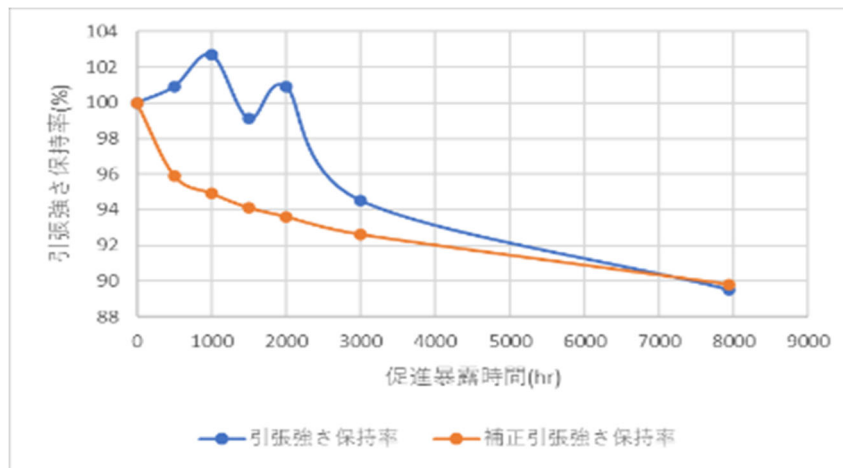


図 4.5-2 促進暴露時間と引張強さ保持率の劣化曲線

上記の結果より、合成繊維を用いた短繊維不織布では、15 年相当(76.5GJ/m²)以上の使用においても十分な強度を有していると考えられる。

表 4.5-5 及び図 4.5-3 に示す反毛フェルト一般品(目付量 1,200g/m²初期貫入抵抗 600N)のモデルケースによる推定結果では、3,000 時間(約 9 年相当)で 500N を下回る(図 4.5-3 中×印)ことが予測される。従って、遮光性保護マットでは、貫入抵抗 700N 以上のものを採用することが望ましい。

表 4.5-5 モデルケースにおける補正強度の時間推移

| 促進暴露時間 | 項目 | 単位 | 0 | 500 | 1,000 | 2,000 | 3,000 | 5,000 | 7,500 |
|--------------------|---------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 短繊維不織布 (市販品最小値) | 引張強さ保持率 | % | 100 | 91.4 | 89.2 | 86.3 | 84.3 | 81.4 | 78.8 |
| | 最小貫入抵抗 | N | 1,000 | 914 | 892 | 863 | 843 | 814 | 788 |
| 短繊維不織布 (補正值) | 引張強さ保持率 | % | 100 | 91.4 | 89.2 | 86.3 | 84.3 | 81.4 | 78.8 |
| | 貫入抵抗 | N | 1,200 | 1,097 | 1,070 | 1,036 | 1,012 | 977 | 946 |
| 反毛フェルト (市販品最小値) | 引張強さ保持率 | % | 100 | 91.4 | 89.2 | 86.3 | 84.3 | 81.4 | 78.8 |
| | 最小貫入抵抗 | N | 700 | 640 | 624 | 604 | 590 | 570 | 552 |
| 反毛フェルト (補正值) | 引張強さ保持率 | % | 100 | 91.4 | 89.2 | 86.3 | 84.3 | 81.4 | 78.8 |
| | 貫入抵抗 | N | 600 | 548 | 535 | 518 | 506 | 489 | 473 |

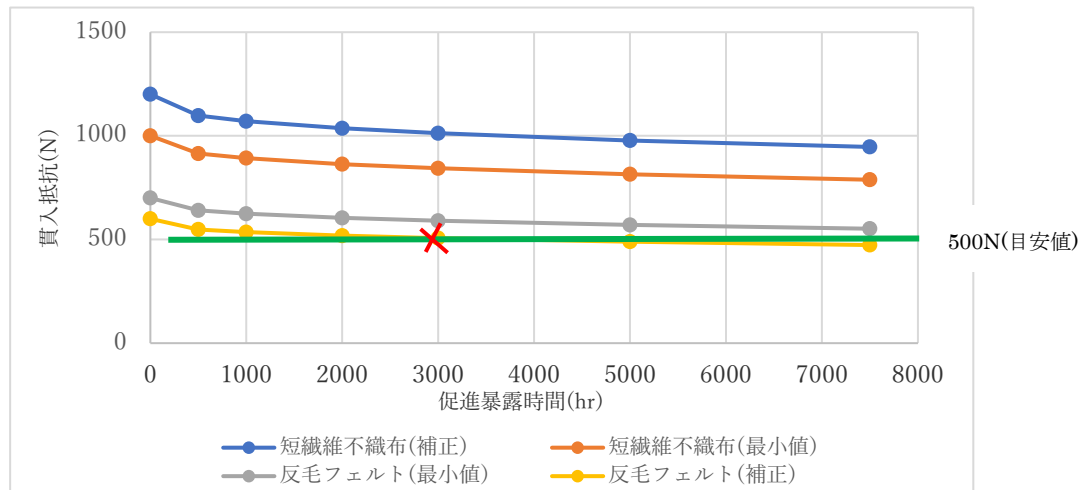


図 4.5-3 短繊維不織布と反毛フェルトの促進暴露補正值

4.5.4 現場サンプリングによる耐久性評価

1.6～21 年経過現場サンプリングによる試料を総日射量(MJ/m²)と物理特性(引張強さ、貫入抵抗)を関連付けて耐久性評価を実施した。

① 長繊維不織布

(1) 長繊維不織布の引張強さ保持率とエネルギー量との関係

長繊維不織布400 g タイプの引張強さ保持率(%)とエネルギー量(GJ/m²)の関係を、表4.5-6 及び図4.5-4 (ケース1)、図4.5-5 (ケース2) に示す。

表4.5-6 引張強さ保持率 (%)とエネルギー量(GJ/m²)

| 試料番号 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M9 |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 総日射量(GJ/m ²) | 21.577 | 24.176 | 17.937 | 11.157 | 7.35 | 8.235 | 6.11 | 8.646 |
| 総 E 量(GJ/m ²) | 86.528 | 89.353 | 82.573 | 27.298 | 23.983 | 24.754 | 22.904 | 29.799 |
| 引張強さ保持率(%) | 46.25 [※] | 61.47 | 68.55 | 79.23 | 80.6 | 79.69 | 83.62 | 79.81 |

※は特異点として解析から除外した

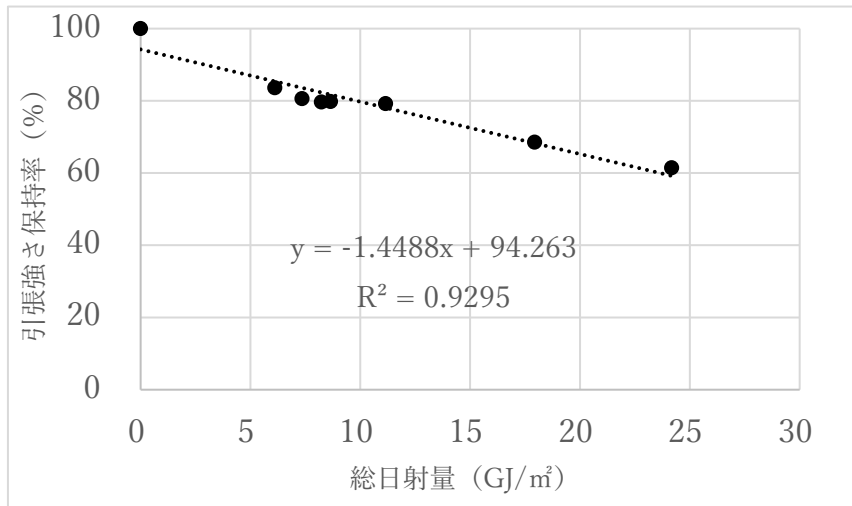


図4.5-4 引張強さ保持率(%)と総日射量(GJ/m²)の関係

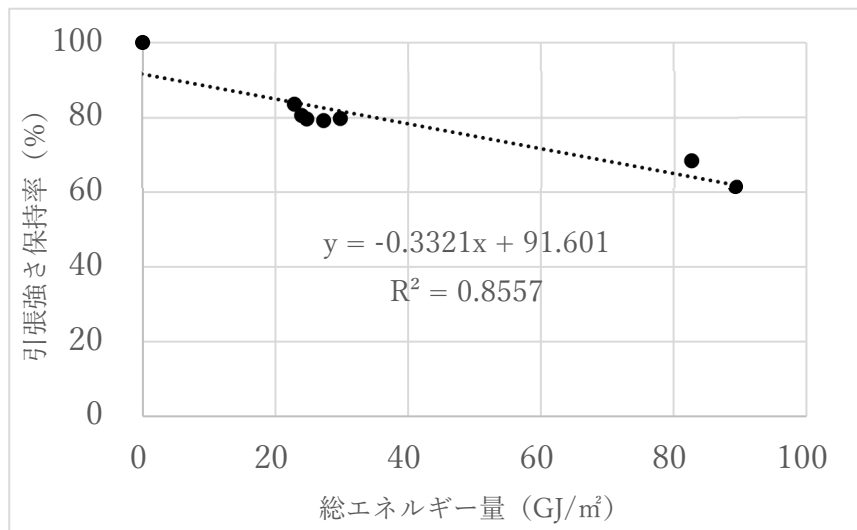


図4.5-5 引張強さ保持率(%)と総エネルギー量(GJ/m²)の関係

目付量400 g/m²の長繊維不織布の引張強さ保持率40%を耐久性の目安とした場合、図4.5-4より相当総日射量は37.454 GJ/m²、図4.5-5より総エネルギー量155.378 GJ/m²となる。

日本の年平均日射量は5.152GJ/m² *(総エネルギー量15.761 GJ/m²)より約7～10年の耐久性があると推定される。(表4.5-7より)

*2012～2021年の平均日射量、平均気温15.4℃補正有

表4.5-7 長繊維不織布引張特性による寿命推定

| 最低値 | R ² | 回帰式 | 相当エネルギー量 (GJ/m ²) | 相当年数(年) |
|-------|----------------|-------------------|-------------------------------|---------|
| ケース 1 | 0.9295 | y=-1.4488x+94.263 | 37.454 | 7.3 |
| ケース 2 | 0.8557 | y=-0.3321x+91.601 | 155.378 | 9.9 |

(2) 長繊維不織布高耐候性処理品の総日射量と貫入抵抗及び引張強さとの関係

長繊維不織布高耐候性処理品における総日射量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/5cm)の関係を表4.5-8及び図4.5-6 (ケース1)、図4.5-7 (ケース2) に示す。

表 4.5-8 エネルギー量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/5cm)

| 試料番号 | M10 | M11 | M12 | M13 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 総日射量(GJ/m ²) | 87.979 | 96.493 | 104.061 | 111.629 |
| 総 E 量(GJ/m ²) | 252.726 | 260.190 | 266.824 | 273.458 |
| 貫入抵抗(N) | 616 | 436 | 274 | 117 |
| 引張強さ(N/5cm) | 733 | 334 | 240 | 56 |

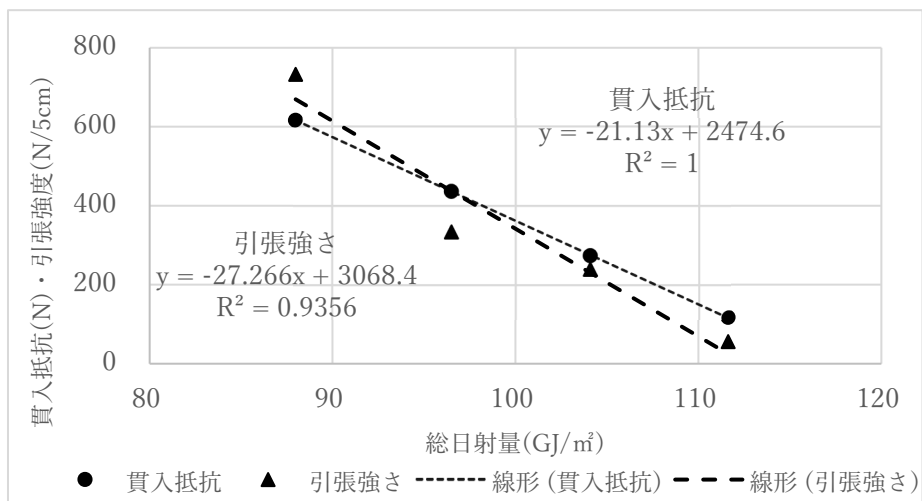


図 4.5-6 総日射量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/5cm)の関係

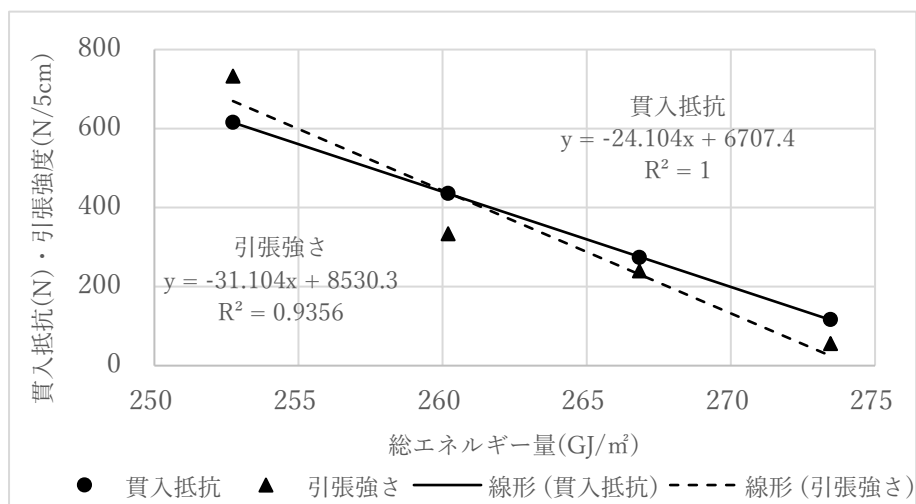


図 4.5-7 総エネルギー量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/5cm)の関係

貫入抵抗 500N 及び引張強さ 508N/5cm*になるまでの屋外暴露年数を推定すると、相当総日射量は図 4.5-6 の回帰式より約 90 GJ/m²、相当総エネルギー量は 4.5-7 の回帰式より約 250 GJ/m²となる。日本の年平均日射量は 5.152GJ/m²(総エネルギー量 15.761GJ/m²)であることから、表 4.5-9 より約 16~18 年以上の耐久性があると推定される。

表 4.5-9 長繊維不織布高耐候性処理品の寿命推定

| 項目 | | 最低値 | R ² | 回帰式 | 相当総日射量 (GJ/m ²) | 相当年数 (年) |
|-------|------|-----------|----------------|-------------------|-----------------------------|----------|
| ケース 1 | 貫入抵抗 | 500N | 1 | y=-21.13x+2474.6 | 93.450 | 18.1 |
| | 引張強さ | 508N/5cm* | 0.9356 | y=-27.266x+3068.4 | 93.904 | 18.2 |
| ケース 2 | 貫入抵抗 | 500N | 1 | y=-24.104x+6707.4 | 257.526 | 16.3 |
| | 引張強さ | 508N/5cm* | 0.9356 | y=-31.104x+8530.3 | 257.919 | 16.4 |

*引張強さと貫入抵抗の相関関係(図 4.5-8)より求めた。

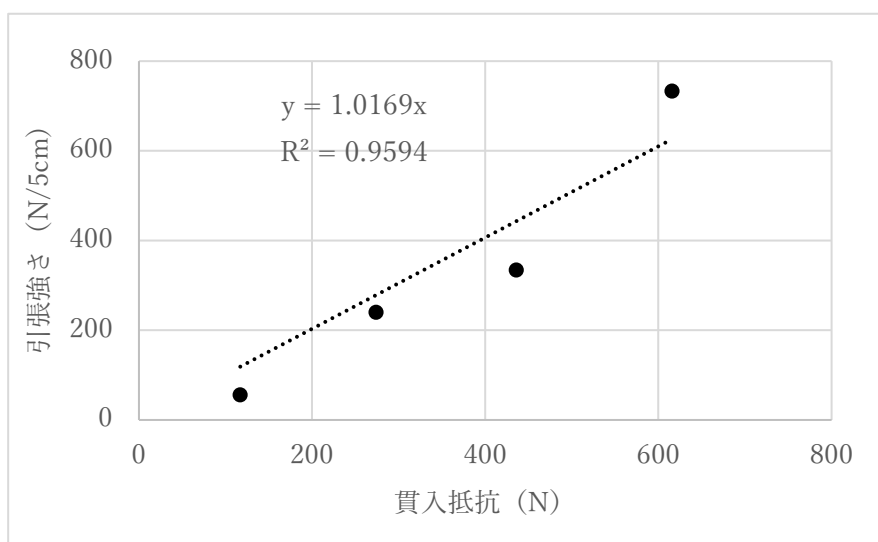


図 4.5-8 総日射量と引張強さ(N/5cm)及び貫入抵抗(N)の関係

上記結果より、特性目安値までの耐用年数を表 4.5-10 に示す。

表 4.5-10 長繊維不織布の寿命推定

| 種類 | 特性目安値 | 相当年数(年) |
|----------------------------------|-------------|---------|
| 長繊維不織布(目付量 400g/m ²) | 引張特性保持率)40% | 7~10 |
| 長繊維不織布高耐候性処理品* | 貫入抵抗 500N | 16~18 |

*長繊維不織布高耐候性処理品については初期データが不明なため引張特性保持率は算出していません。

② 短繊維不織布

短繊維不織布の引張強さ(N/5cm)と貫入抵抗(N)の総日射量(ケース 1)と総エネルギー量(ケース 2)に対する関係を表 4.5-11 及び、図 4.5-9、図 4.5-10 に示す。

尚、引張強さは、タテ・ヨコを区分しても意味がないので、タテ・ヨコの平均値を引張強さとした。

表 4.5-11 総日射量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/cm)の関係

| 試料番号 | 67,68 | 69,70 | 71 | 89 | 93 | 83 | 85 | 86 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|-----|
| 総日射量(GJ/m ²) | 65.525 | 62.547 | 47.357 | 96.847 | 125.542 | --- | --- | --- |
| 総 E 量(GJ/m ²) | 269.825 | 265.784 | 245.178 | 314.329 | 338.796 | --- | --- | --- |
| 厚さ(mm) | 9.2 | 9.0 | 11.7 | 9.1 | 9.3 | 8.6 | 5.8 | 8.0 |
| 貫入抵抗(N) | 1,345 | 954 | 1,620 | 1,262 | 1,206 | 1,056 | 498 | 966 |
| 引張強さ(N/5cm) | 1151 | 842 | 1,433 | 1,165 | 903 | 742 | 399 | 701 |

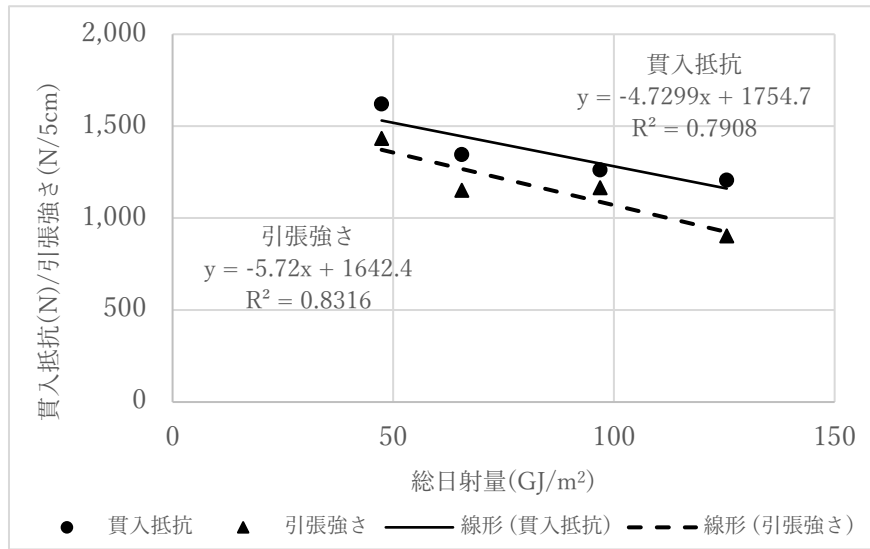


図 4.5-9 総日射量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/cm)の関係

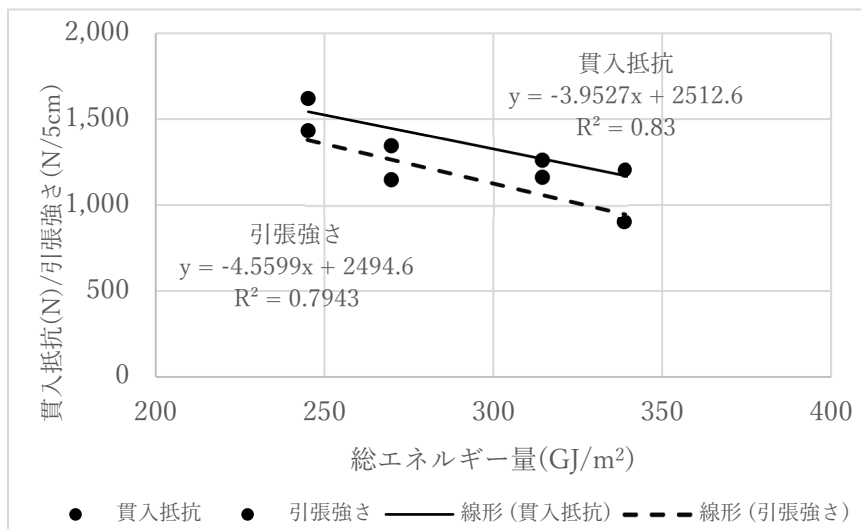


図 4.5-10 総エネルギー量と貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/cm)の関係

総日射量における貫入抵抗(N)及び引張強さ(N/cm)の関係を図 4.5-11 に示す。

図 4.5-11 の回帰式より、貫入抵抗 500N 及び引張強さ 416N/5cm になるまでの屋外暴露年数

を推定すると相当総日射量は、約 200 GJ/m²(総エネルギー量約 450 GJ/m²)となる。日本の年平均日射量は 5.152GJ/m²(総エネルギー量 15.761 GJ/m²)より約 30 年以上の耐久性があると計算上は推定されるが、実現現場での実績はない。短繊維不織布は厚さが 10mm 以上あり、材料劣化は表面層より起こることによる材料そのものの劣化年数で、機能としては接合部の耐久性を加味する必要がある。

表 4.5-12 短繊維不織布の寿命推定

| 項目 | | 最低値 | R ² | 回帰式 | 相当総日射量 (GJ/m ²) | 相当年数 (年) |
|-------|------|-----------|----------------|-------------------------|-----------------------------|----------|
| ケース 1 | 貫入抵抗 | 500N | 0.7908 | $y = -4.7299x + 1754.7$ | 265.270 | 51.5 |
| | 引張強さ | 416N/5cm* | 0.8316 | $y = -5.72x + 1642.4$ | 214.406 | 41.6 |
| ケース 2 | 貫入抵抗 | 500N | 0.83 | $y = -3.9527x + 2512.6$ | 509.171 | 32.3 |
| | 引張強さ | 416N/5cm* | 0.7943 | $y = -4.5599x + 2494.6$ | 455.843 | 28.9 |

*貫入抵抗 500N を保持できる引張強さは、相関関係(図 4.5-8)より 416N/5cm となる。

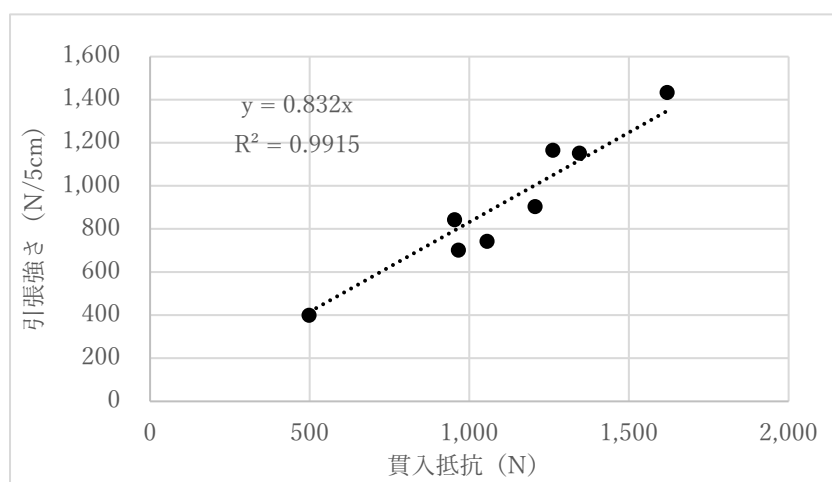


図 4.5-11 貫入抵抗 (N) と引張強さ (N/5cm) の関係

4.5.5 現場の状況を踏まえた耐久性

以上の結果を整理してみると、保護マットの耐久性は表 4.5-13 のように考えることができる。

表 4.5-13 保護マットの耐久性

| 種類 | 長繊維不織布 | 短繊維不織布 | 反毛フェルト |
|------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| 促進耐候性試験 | 9 年以上 (400 g/m ² 品) | 15 年以上 (1,200 g/m ² 品) | 9 年以上 (1,200 g/m ² 品) |
| 屋外暴露サンプリング | 7~10 年以上 (高耐候性処理品) 16~18 年以上 | --- | --- |
| 総合耐用年数 | 製品は安定しており、10 年程度は期待できる。目付量に影響する。 | 100%合成繊維であればかなり期待できる。厚みがかため、接合部の安定性が懸念される。 | 製品そのもののバラツキが大きく、10 年程度とみなされる。 |

現場での保護マットの適用場所において、下層や中間層、底部等では、遮水シートの下や保護土の下に配置されるので、直接日射の影響や、降雨、降雪、温度等の影響も受けにくい。現場での設置状況で保護マットの耐久性で一番影響を受けやすい部位は、法面部や擁壁部等の廃棄物の埋立前に直接暴露される遮光性保護マットに限定できる。

実暴露データから保護マットの母材は、15～20年程度の耐久性を有しているものと考えられるが、実際の現場では上記年数に到達するまでに劣化、破損が散見されている。特に表面に暴露された部位は、気象条件（日射、温度、降雨・降雪）、乾湿収縮、埋立引き込み荷重、鳥獣類などの影響もある。特に保護マットの接合部の剥がれなどの事例があるように、日常管理に加え、定期的な専門家による機能検査を実施し、状況により、遮光性保護マットの補修や取り換えなど実施し、適切な維持管理により遮水工の機能を維持することが肝要である。

(参考文献)

日本遮水工協会 令和2年度技術部会報告書 遮光性保護マットの耐久性評価(案)

5. 覆土工、キャッピング

前節での耐久性の検討から、最終覆土にシート系材料を使用した場合、覆土後 50 年以上耐久性が維持される事が示された。

一般廃棄物処分場では遮水シートは廃棄物層底部に配置され、周囲の地下水からの廃棄物の隔離と廃棄物層内に浸透する降雨浸透水の集水と外部環境との隔離に使用されている。一時、周辺住民から外部環境の悪化に対して反対運動などがあったが、遮水シートを含む遮水工システムの敷設と多重安全システム等の開発から最近ではこうしたトラブルは殆ど見受けられない。

こうしたトレンチ処分場の最終覆土に適用する事は降雨浸透抑制を殆ど完璧なものにすることであり、有効と考えられる。もちろん、地下水位が非常に高い場合には底部遮水工としての適用もあり得るが、万が一修復作業などが必要な場合も最終覆土は通常の方法で修復作業が行えるので管理面でも有利である。

この耐久性検討の結果からシート系遮水材を用いた覆土工の検討をし、以下に示す。

一般廃棄物最終処分場の場合、焼却灰が主体となるため、廃棄物の飛散・流出防止、悪臭の発散防止、衛生害虫獣の繁殖等の防止対策、火災の発生・延燃防止ならびに景観の向上などの周辺環境保全の対策として実施されている。

覆土は、目的により即日覆土、中間覆土および最終覆土に分けられ、主に土質系材料が使用されているが、即日覆土、中間覆土の覆土量は埋立容量の約 25%も占める事になる。また、覆土材そのものの飛散に対する住民の不安もあり、同対策として最終処分場に散水車が常時配備されているケースもある。これらの課題に対し、延命化および飛散防止効果の高い、生分解・崩壊性材料による即日覆土・中間覆土の覆土代替材工法が提案され実用化されている。

5.1 最終覆土構造

一般廃棄物最終処分場の維持管理技術上の基準の概要によれば、「埋立処分が終了した埋立地は、おおむね 50cm 以上の土砂等の多いその他これに類する覆いにより開口部を閉鎖すること」となっている(一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令、第一条 2 項 17 図 7.3-3)。

トレンチ処分場の最終覆土は下記項目に留意した最終覆土構造(遮水シートキャッピング)を提案する。

5.1.1 通常の遮水シートを用いた最終覆土構造

通常の遮水シートを使用した場合の最終覆土構造を以下に示す。

- ① 埋立物からの発生ガス量がほとんどなく、ガス圧等による覆土の異常が発生しないと想定されることより、キャッピングシートとして通常使用の遮水シートを採用するものとする。
- ② 遮水シートの上下に排水層・ガス排除層を敷設し、上部からの降雨浸透水と内部の圧密などによる空気を廃棄物層の最終覆土端部から排出するものとする。

- ② 保護土は巻き出し後、十分に締固め、不陸の発生を抑えることとする。
 通常の遮水シートを用いた最終覆土構造の案を図 5.1-1 に示す。

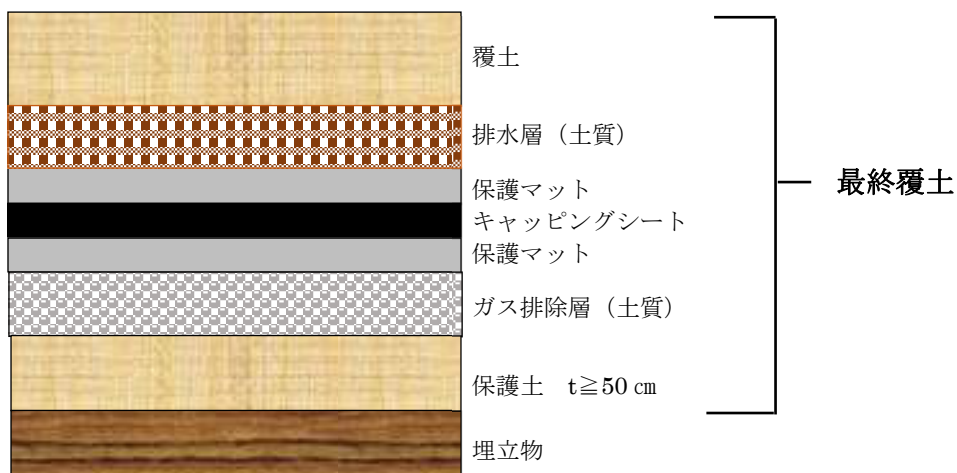


図 5.1-1 最終覆土キャッピング構想(案)

5.1.2 ジオコンポジット構造の遮水シートを用いた場合

排水層と保護マットの要件を満足している複合材料であるジオコンポジット構造の保護マットを使用した場合の構造を図 5.1-2 に示す。

- ① 埋立物からの発生ガス量がほとんどなく、ガス圧等による覆土の異常が発生しないと想定されることより、キャッピングシートとして通常使用の遮水シートを採用するものとする。
- ② 廃棄物上部に保護土を巻き出し後、十分に締固め、不陸の発生を抑えることが必要
- ③ 遮水シートの上下に排水層・ガス排除層を敷設し、上部からの降雨浸透水と内部の圧密などによる空気を廃棄物層の最終覆土端部から排出するものとする。
- ④ 排水層に負荷を極力与えないように、覆土の表面排水対策を十分に行う。

ジオコンポジット構造の遮水シートを用いた場合最終覆土キャッピング構想の案を図 5.1-2 に示す。

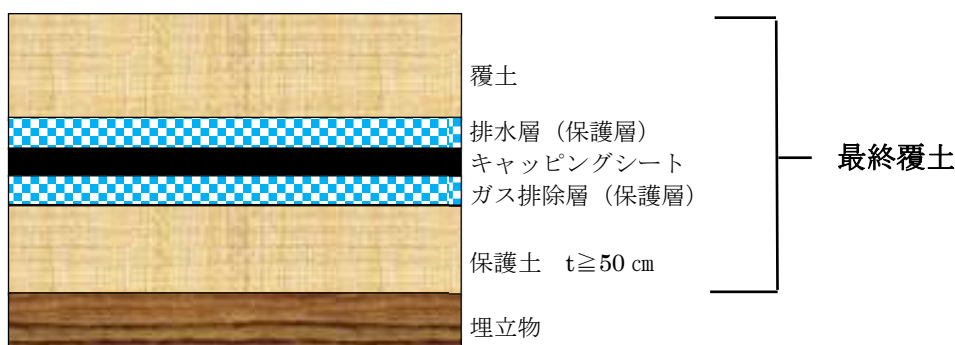


図 5.1-2 最終覆土キャッピング構想(案2)

※保護マットの目安を満足しているジオコンポジットを排水層・ガス排除層として使用する
場合。

5.1.3 二重遮水シート構造としジオコンポジットを採用した場合

二重遮水シート構造とし、排水層と保護マットの要件を満足しているジオコンポジットを
使用した構造を以下に示す。

①～④は 5.1.2 と同様



図 5.1-3 最終覆土キャッピング構想(案3)

5.1.4 遮水シートと土質遮水を用いジオコンポジットを採用した場合

5.3.2 の構造を遮水シートと土質遮水を用いた二重遮水シートとし、モニタリングとして検
知システムを採用した構造を以下に示す。

①～④は 5.1.2 と同様

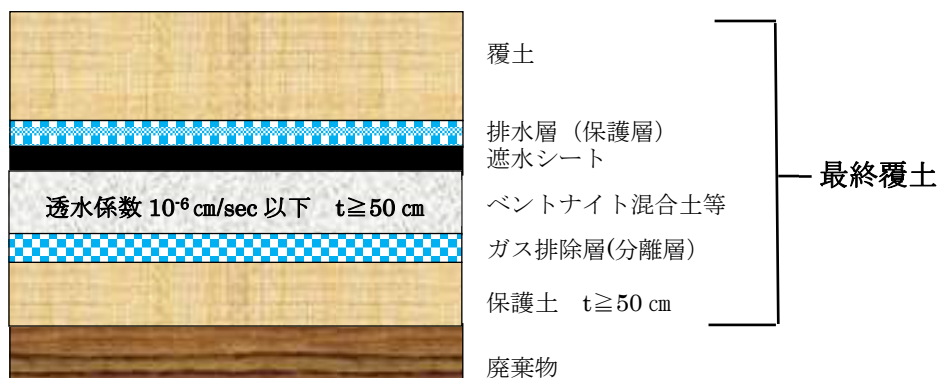


図 5.1-4 最終覆土キャッピング構想(案4)

5.1.5 検知システムを採用する場合

キャッピングシートの損傷を検知したい場合は、底面遮水工と同様の検知システムを検討
する。

5.2 被覆施設の構造

5.2.1 被覆施設の特徴

被覆施設を備えたクローズドシステム処分場は、従来型最終処分場の環境保全上の問題により、最終処分場に対する地域住民の不信感が高まり、新規の最終処分場の設置に支障を来している。このような社会情勢を反映して、住民との情報コミュニケーション等の向上と、安全性の向上、排水の処理設備の合理化と排水のコントロール（※）を目的に地域社会に受け入れられやすい処分場の形態として被覆施設を備えたクローズドシステム処分場（CS 処分場。以後、「CS 処分場」という）が提案され、現在、施工実績を積み上げている。

※コントロール；コントロールとは、閉鎖空間内で管理する廃棄物の性状、品質ならびにこれらの変化を把握して、安全に保管し、かつ最適な状態に改質するように制御することを言う。最終処分場の管理型処分場では、廃棄物を雨水での洗い出しと時間経過に伴う無害化を促進しており、この廃棄物に触れた排水は収集、処理して無害化して放流している。この無害化の過程で適切な水量の供給と、流出した排水の処理をコントロールするために CS 処分場では雨水の浸入を制限し、必要な水量を散水して管理している。

CS 処分場は覆蓋と遮水工により外部環境と遮断されており、次のような特徴がある。また、CS 処分場と従来型最終処分場の特徴比較を表 5.2-1 に示す。

- ① 外部からは最終処分場のイメージが薄く、クリーンなイメージの施設である。
- ② 閉鎖空間の埋立地であるため廃棄物の飛散、臭気の拡散などを防ぐことができる。
- ③ 発生する浸出水の量は降水（降雨、降雪）などの自然現象に左右されない。内部で散水を行うが、浸出水発生量は少なく、またその制御が容易であるため、万が一遮水工が破損した場合でも地下水への影響を最小限に制御できる。
- ④ 埋立作業が天候に左右されない。豪雪地域でも冬期の埋立作業が可能である。
- ⑤ 最終処分場のほか、資源の保管・貯蔵施設としても利用できる。
- ⑥ 自然地盤等で覆蓋した場合、埋立中も上部地盤の有効利用ができる。

表 5.2-1 CS 処分場と従来型処分場の特徴比較

| 項 | 目 | クローズドシステム処分場 | 従来型処分場 |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 自然環境の制御 | 降雨など | 屋根などの被覆構造により、埋立地を降雨などの気象条件からコントロールすることが可能である。 | 気象条件をまともに受け、埋立地のコントロールは困難である。 |
| 生活環境への影響 (外部生活環境への影響) | ごみの飛散、悪臭、害虫・獣、公共水域水質、地下水水質 | 閉鎖空間内で人工的に制御できるため、外部の生活環境への影響は大幅に軽減できる。 | 気象条件のコントロールが困難なため、生活環境影響が生じる可能性がある。 |
| 埋立施設内部環境 | 害虫・獣、悪臭、ガス・温度、災害 | 中間覆土、最終覆土で対処する（即日覆土は原則的に行わない、焼却灰単独埋立は中間覆土は行わない）。閉鎖空間であるため、内部作業環境維持のため換気などの必要な対策を講じる。 | 即日覆土、中間覆土、最終覆土などで対処する。 |
| 埋立地の安定化と廃止時期 | | 基本的には、人工的に安定化促進を行う。人工散水、好気埋立（または準好氣的埋立）による安定化促進が可能である。従来型に比べて閉鎖までの期間は短くなると予想される。 | 基本的には、自然的に安定化される。自然降雨、準好氣的埋立により、安定化の速度は自然まかせである。 |
| 埋立地の主要施設の特徴 | 貯留構造物（覆蓋を含む） | 貯留構造物は従来型と同様であるほか、堀り込みタイプが主体である。覆蓋の種類は数種類ある。 | ダム（土堰堤、コンクリートダム）タイプが主体であるほか、平地は堀り込みタイプが主体。 |
| | 遮水工 | 従来型と同様 | 二重遮水工 |
| | 浸出水処理施設 | 施設規模は人工散水量により決まる。基本的には、従来型と大差はないが、埋立区画の管理により施設規模は小さくできる可能性が大きい。 | 施設規模は大雨時の降雨規模で決まる。 |
| | 浸出水調整槽 | 人工散水であり、散水量の変動が少なく、調整槽の規模は小さい。 | 大雨時に対応できる調整槽の規模が必要であり、規模は大きくなる。 |
| | 浸出水集排水施設 | 従来型と同様 | 底部集排水管、堅集排水管を配置 |
| | 地下水集排水施設 | 従来型と同様 | 底部に地下水集排水管を配置 |
| 工事費 | | 従来型に対して、覆蓋が工事費増の要素、浸出水処理施設関係（処理設備、調整槽）が工事費減少の要素。トータルコストはケースバイケースである。 | 大きく分類すると土木工事と浸出水処理施設工事に分けられる。 |
| 維持管理費 | | 埋立地の安定化が早まり、廃止の時期が早まれば維持管理費が安くなる。 | 主として、浸出水処理施設の運転費であるが、廃止の時期まで継続運転する必要がある。 |
| 地域社会との合意形成 | | 生活環境影響が解消され、外見からは埋立地のイメージがないため地域社会に受け入れられやすい。 | 基準省令に則った安全性が高く、環境保全に配慮したモデル的な処分場のイメージを地域社会に根気よくPRし、合意形成を図る必要がある。 |

5.2.2 被覆施設の構造

上屋の構造形状を選択するに当たっては規模（スパン）、形状、強度、施工性、経済性などを考慮する必要がある。CS 処分場が大規模の場合は、屋根スパンを小さくするため複数に分割した方法や、単体で移動装置を付けて分割利用する方法等が考えられる。このような場合にも、それぞれの構造の比較検討を行い、最適化を図る必要がある。構造形式の分類を図 5.2-1 に示し、上屋の主な構造形式の特徴と躯体構造に対応した使用材料を表 5.2-2 を示す。

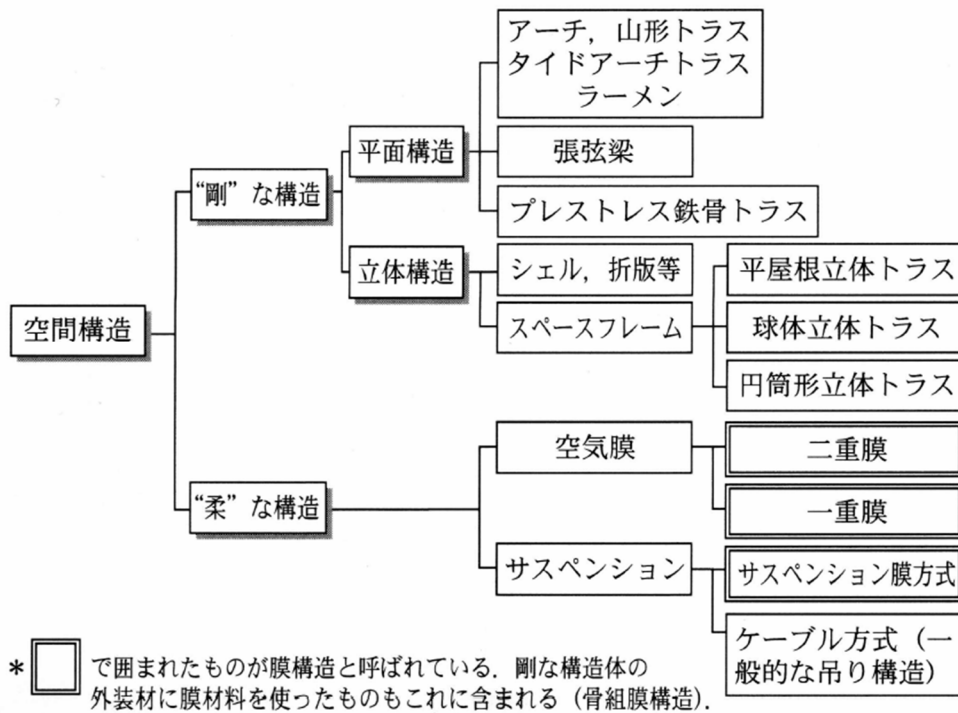


図 5.2-1 構造形式の分類

花嶋他監修、クローズドシステム処分場開発研究会編、クローズドシステム処分場—被覆型最終処分場の計画と事例、2002、オーム社

表 5.2-2 構造形式と使用材料

| 躯体構造 材料 構造形式 | 鉄骨 (ステンレス含む) | 鉄筋コンクリート | 木質系材料 (集成材含む) | 繊維 (CFRP など) | 膜 |
|--------------------|-----------------|----------|------------------|-----------------|---|
| アーチ | ○ | ○ | ○ | | |
| トラス | ○ | | ○ | | |
| ラーメン | ○ | ○ | | | |
| スペースフレーム | ○ | | ○ | ○ | |
| シェル | ○ | ○ | ○ | | |
| サスペンション | ○ | | ○ | | ○ |
| 空気支持 | * | | | | ○ |
| ハイブリッド | ○ | | ○ | | ○ |

○：躯体構造，*：特殊例がある

花嶋他監修、クローズドシステム処分場開発研究会編、クローズドシステム処分場—被覆型最終処分場の計画と事例、2002、オーム社

各皮膜設備の構造形式の例を以下と表 5.2-3、表 5.2-4 に示し、クローズドシステム貯留構造物例を表 5.2-5 と表 5.2-6 に示す。

- ①ラーメン構造：各接合部が剛接合で、一般に門形を構成するような構造である。各部材は軸力、剪断力、曲げモーメントで抵抗する。一般的な構造形式で実施例も多い。
- ②アーチ：自重および外力に対し、主に軸力で抵抗する構造。フレームの形状により外見的に美しさを表現できる。
- ③平面トラス構造：各接点ピン結合で、一般的に各部材が三角形を含めて構成するような構造。各部材は軸力のみで抵抗するため曲げを受ける部材に対しては変形が小さい。一般的に経済的で実施例も多い。
- ④張弦梁構造（ハイブリッド）構造：張弦梁構造は、梁と引張材を組み合わせた、軽快で安全性の高いハイブリット構造で大屋根等を実現できる。
- ⑤スペースフレーム構造：スペースフレームは、大空間をつくる立体的な骨組みで線部材が、三角形を基本に単層で平面的に連続配置したシングルレイヤ構造と、線部材を三角錐や四角錐のユニットで連続配置したダブルレイヤがある。軽量で剛性が高く大スパン構造に適している。
- ⑥シェル構造：貝殻のような曲面を持った建築構造のこと。曲面状の薄い板を用いており、球体や局面が持っている外圧に対する力を逃す構造を利用している。荷重は全般に分散できるため、軽くても強い構造物を作り上げることが可能。
- ⑦空気支持構造：空気で支えられた（または空気で膨らませた）構造で内部の加圧空気を使用して柔軟な材料（構造ファブリック）のエンベロープを膨らませる構造。
- ⑧サスペンション構造：膜材料を吊り構造（サスペンション構造）とした構造方法をいう。サスペンション膜構造は引張力のみで抵抗することのできる部材から構成されており、曲面を安定させる復元力は同一面内に含まれる吊り成分と押さえ成分との緊結によって得られる初期張力によって与えられる。

国内の被覆施設の事例と最終処分場への適応事例について参考資料として「8 参考資料 国内の被覆施設の事例」として示した。

表 5.2-3 被覆設備の構造形式例(その1)




| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | ラーメン | アーチ | 平面トラス | ハイブリッド |
| 模式図 |  |  |  |  |
| 構造体 | 剛 | 剛 | 剛 | 剛 |
| 構造 | 平面 | 平面 | 平面 | 平面/立体 |
| 構造形式の特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 門型のビーム材で構成 ・ 各部材は、軸力、せん断力、曲げモーメントで抵抗 ・ アーチ構造に比べ構造断面が大きい | <ul style="list-style-type: none"> ・ 曲線のビーム材で構成 ・ 各部材は主に軸力で抵抗し、トラスよりも構造が軽微 ・ アーチ反力を支持する堅固な基礎構造が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 各部材はピン結合で三角形を構成し、軸力のみで抵抗 ・ ビーム材に比べ構造断面が大きい ・ 平屋根、アーチ屋根構造も構築可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 高い剛性を持つ曲げ材(鉄骨など)と大きな引張強度を持つ引張材(ケーブルなど)を組み合わせる自己釣合型の複合構造 |
| 主架工材 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄骨 ・ 鉄筋コンクリート ・ 鋼管 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄骨 ・ 鉄筋コンクリート ・ 木質系材料、鋼管 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄骨 ・ 木質系材料 ・ 鋼管 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄骨 ・ 木質系材料 ・ 膜 |
| ルーフ材 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 金属(折板など) ・ 膜材 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 膜材 ・ 金属(折板など) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 膜材 ・ 金属(折板など) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 金属(折板など) |
| スパン | 100m 未満 | 150m 未満 | 150m 未満(木質系は 100m 未満) | 150m 未満 |

表 5.2-4 被覆設備の構造形式例(その2)

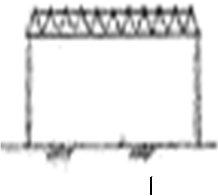
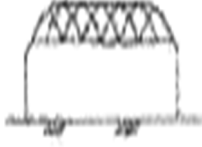

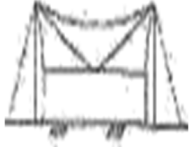
| | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | スペースフレーム | シェル | 空気支持 | サスペンション |
| 模式図 |  |  |  |  |
| 構造体 | 剛 | 剛 | 柔 | 柔 |
| 構造 | 立体 | 立体 | 立体 | 立体 |
| 構造形式の特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ・シングルレイヤとダブルレイヤがある ・軽量で剛性が高いため、大スパン構造に適している ・システムトラス化が可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・単材または集成材を格子状に組み、曲面を構成する ・複雑な構造が可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・屋内側に空気を送り、膜材料を引張状態にして荷重などに抵抗 ・屋根構造は軽量 ・屋根の耐久性が低くメンテナンスが必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・膜材とケーブルで引張を受け持つ ・構造は軽量 ・大きな内空断面を確保できる ・膜張工程が煩雑、広い施工スペースが必要となる |
| 主架工材 | <ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨 ・木質系材料 ・繊維補強材、鋼管 | <ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨 ・鉄筋コンクリート ・木質系材料 | <ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨 ・膜 | <ul style="list-style-type: none"> ・鉄骨 ・木質系材料 ・鋼線肘、膜 |
| ルーフ材 | <ul style="list-style-type: none"> ・金属(折板など) | <ul style="list-style-type: none"> ・金属(折板など) | <ul style="list-style-type: none"> ・膜材 | <ul style="list-style-type: none"> ・膜材 |
| スパン | 100m 以上対応可能 | 100m 未満 | 100m 以上対応可能 | 100m 未満 (鉄骨 100m 以上) |

表 5.2-5 クローズドシステム貯留構造物例(その1)

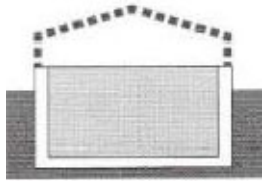
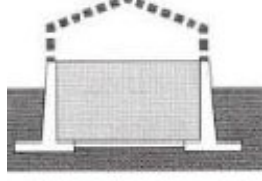
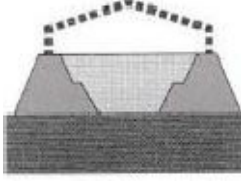
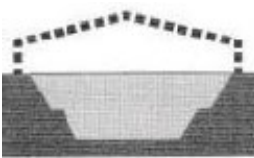
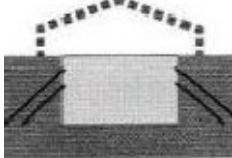
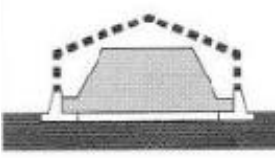
| | 1 | 2 | 3 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | コンクリートピット | コンクリート擁壁 | 盛土構造 |
| 模式図 |  |  |  |
| 構造概要 | <ul style="list-style-type: none"> ・側壁と底盤が一体となったコンクリート構造 ・CS 処分場では、最も一般的な構造で矩形が多い ・基本的に躯体は遮水工ではないが遮水性を求める場合もある ・覆蓋の基礎とすることも可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・側壁と底盤を別構造としたコンクリート構造、プレキャストによる構築も可能 ・躯体の遮水性を確保するには、構造目地に可撓性が必要 ・覆蓋の基礎とすることも可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・側面部が土構造であり、現地の地形に合わせた形状にできる・法面勾配は土質により異なり、必要に応じて地盤改良を施す ・OP 処分場と同様に、法面には深さ 5m 程度毎に小段を設置 |
| 遮水工 | <ul style="list-style-type: none"> ・遮水シート例が多い ・突起付きシートやアスファルト系の特殊な遮水材利用もある | <ul style="list-style-type: none"> ・側壁と底盤を別構造としたコンクリート構造、プレキャストによる構築も可能 ・躯体の遮水性を確保するには、構造目地に可撓性が必要 ・覆蓋の基礎とすることも可能 <p>コンクリートピットの遮水工と基本的に同様</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・OP 処分場と同様な様式で遮水シート等が使用される |
| 留意事項 | <ul style="list-style-type: none"> ・地下水位が貯留構造物底部より上部に位置しても対応が可能 ただし、浮き上がりなどに対する安全確保が必要 ・大深度の場合は、側壁部遮水工の構造などに留意が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・地下水位が貯留構造物底部より上部に位置しても対応が可能 ただし、浮き上がりなどに対する安全確保が必要 ・側壁と底盤との接合部が遮水工に影響を与えないような構造が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・基本的に地下水位が埋立面以下の場合に適用可能 |

表 5.2-6 クローズドシステム貯留構造物例(その 2)

| | 4 | 5 | 6 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 掘削構造 | 土留壁構造 | トレー方式 |
| 模式図 |  |  |  |
| 構造概要 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 現地の地形を有効に活用し、掘削することにより貯留空間を確保する ・ 砕石跡地などの利用実績あり ・ 盛土構造と同様に、必要に応じて地盤改良を施し、小段も設ける必要がある | <ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼(管)矢板の継ぎ手部に遮水対策を施す ・ 底部には遮水シート等を用いる | <ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物を盛土構造とすることで容量を確保 ・ 貯留構造はコンクリート製、プレキャストの利用が可能 ・ 建設期間が短く、災害廃棄物対応に有効 |
| 遮水工 | <ul style="list-style-type: none"> ・ OP 処分場と同様な様式で遮水シート等が使用される | <ul style="list-style-type: none"> ・ 側面部を鋼(管)矢板等により構築する ・ アンカーによる土留構造 ・ 底部には遮水シート等を用いる | <ul style="list-style-type: none"> ・ 遮水シートを用いる |
| 留意事項 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位が貯留構造物底部より上部に位置しても対応が可能 ただし、湧水が生じる可能性がある場合、その排水対策が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位が貯留構造物底部より上部に位置しても対応が可能だが、側面、底面部の安定性確保が必要 ・ 側壁部と底面部の遮水材料の接合方法に注意が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位より上位にある現地盤上に設置することを原則とする ただし、地下水位がトレー底部より上昇する恐れのある立地では、浮き上がりに対する安全確認が必要 |

6. 維持管理

6.1 最終処分場の機能検査

平成 10 年 6 月 16 日に、一般廃棄物最終処分場及び産業廃棄物最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部を改正する命令（以下、共同命令）により、最終処分場の構造及び維持管理基準が強化されるとともに、最終処分場の廃止についての基準も新たに定められた。

一般廃棄物最終処分場と産業廃棄物の最終処分場では遮断型最終処分場、安定型最終処分場、管理型最終処分場のそれぞれについて、構造基準及び維持管理基準が強化され、明確化された。

一般廃棄物の最終処分場の維持管理基準（第 1 条第 2 項）より抜粋したものを以下に示す。

(8) 遮水工の砂等による被覆（第8号）

遮水シート、ゴムアスファルト等を用いる遮水工にあつては、埋め立てられた廃棄物の荷重や埋立作業用の機材による負荷が原因で遮水工が損傷しないよう、廃棄物を埋め立てる前に遮水工の表面に砂等を敷き、保護する必要があること。被覆に用いる物の材料は原則として砂等の粒径の小さいものを用いることとし、厚さを50cm以上とすることを目安とすること。

ただし、遮水工が急斜面に設けられ、これを砂で覆うことが難しい場合には、遮水工の損傷を防ぐことができる十分な厚さと強度を有する不織布等を用いても差し支えないこと。

(9) 遮水工の点検（第9号）

遮水工の大部分は廃棄物により覆われることとなるため、遮水工の点検は、地上に現れている部分について、視認等により、遮水シート及びその上部に敷設された不織布等の劣化や破壊の有無、接合部の状況等を点検し、破損又はそのおそれがある場合には修復等を行うこと。

定期点検の頻度は、遮水工の状況を勘案して適宜設定すること。なお、地震、台風等の異常事態の直後には、臨時点検を行うこと。

(16) 被覆型埋立地における雨水流入防止（第12号）

被覆型埋立地にあつては、屋根、シート等が破損しないよう適切に維持管理を行うこと。また、屋根、シート等が破損した場合には、直ちに補修、復旧を行うこと。

【解 説】

一般廃棄物最終処分場は埋立開始後、概ね 15 年間操業されているが、廃棄物の排出量が減少し、更に延命化の方向にある。埋立が終了すると最終覆土を行って閉鎖するが、浸出水処理施設は廃止まで運転、維持管理を行わなければならない。したがって、埋立開始から廃止までの長期にわたり安全で安心できるように、最終処分場を維持管理していくことが社会から求められている。

しかし、この間に計画時と異なる条件・環境となることもある。このような場合、予期できない種々の問題が発生することがある。

機能検査を行うことによって、これらの問題を早期に発見し対応することで、最終処分

場の機能を保全し、その能力を十分に発揮させることが可能になる。

また、最終処分場の健全性が保たれば、将来的には延命化や早期安定化に寄与することもでき、維持管理費用も安くすることができる。

維持管理のポイントは、異常を早くキャッチして、確実に修復することにある。

NPO・LSAでは、最終処分場の運営・維持管理の状況についての調査・研究の結果、埋立・閉鎖・廃止の段階での問題や事故の発生を抑止する方策のひとつとして、

- ① 最終処分場の運営・維持管理において機能検査を導入すること
- ② その検査を行う最終処分場機能検査者の育成

が重要であるとの結論に至り、2005年10月に、最終処分場の施設・設備について経年的にその機能が健全であるかを第三者の立場で検査し、維持管理的に発生しているトラブルを未然に防止することを目的とした最終処分場機能検査者資格認定制度が提案されている。

一方、2010年5月には「廃棄物処理法の一部改正」において、最終処分場の定期検査が義務づけられ、2013年11月には「廃棄物処理施設の発注仕様書の手引き」への定期検査資格の明記及び2014年5月にはNPO・LSAの「環境省人材認定等事業への登録」により、NPO・LSAが進められ、「最終処分場機能検査者資格認定制度」の必要性和期待が一層高まっている。

最終処分場の機能の健全性と安全性の確保のため、定期検査を行う側、受ける側どちらにとっても、NPO・LSAが進められている最終処分場機能検査者資格認定制度は、定期検査の計画及び実施を行う際に十分に応えることができる制度であると考えられる。各機能検査者が実施する機能検査により、現在の最終処分場の状態を正しく把握し、必要な措置を講じることが、最終処分場の安全性の担保及び住民の信頼性確保に大きな貢献ができるとしている。

6.1.1 定期検査制度

(1) 廃棄物処理施設の定期検査制度の創設

焼却施設や最終処分場等の廃棄物処理施設について、設置の許可を受けた者は、当該施設について、定期的(環境省令で定める期間ごと)に都道府県知事の検査(技術上の基準に適合しているかどうかについて行う)を受けなければならないこと。

(2) 廃棄物処理施設の維持管理に関する情報の公開

焼却施設や最終処分場等の廃棄物処理施設の設置者又は管理者は、当該施設の維持管理に関する計画及び維持管理の状況に関する情報について、インターネットの利用その他の適切な方法により公表しなければならないこと。

(3) 最終処分場の適正な維持管理の確保

最終処分場の将来の維持管理に確実に必要となる維持管理積立金を確保し、最終処分場から生ずる生活環境保全上の支障等の発生防止を徹底していくため、廃棄物処理施設の設置者が維持管理積立金を積み立てていないときは、都道府県知事は当該者の廃棄物処理施設の設置の許可を取り消すことができること。

【解説】

廃棄物処理施設を設置し、又は変更する際には、使用前検査が義務付けられているが、技術上の基準に適合しているかどうかについて都道府県知事が定期的に確認する制度がなかったため、廃棄物処理施設の老朽化等に伴って、生活環境保全上の支障の発生を未然防止又は拡大防止することができないおそれがあり、定期検査が義務付けられた。

廃棄物処理施設の定期検査ガイドライン（第1版）2011年4月（環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課 産業廃棄物課）によれば、定期検査の対象となる廃棄物処理施設は以下の通りとなっている。

- ① 一般廃棄物の最終処分場(市町村の設置に係る最終処分場を除く)(令第5条第2項)
- ② 産業廃棄物の最終処分場(令第7条第1項第14号)

なお、休止中の廃棄物処理施設及び埋立処分が終了した廃棄物の最終処分場についても定期検査の対象となっている。

定期検査は、施設の使用前検査(変更の許可に係るものを含む)を受けた日又は直近において行われた定期検査を受けた日のうちいずれか遅い日から5年3月以内ごとに廃棄物処理施設が構造基準に適合しているかどうかについて検査することになっている。

6.1.2 維持管理の考え方

廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き(標準発注仕様書及びその解説)2013年11月最終処分場編 最終処分場(環境省大臣官房 廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課)によれば、発注仕様書は、最終処分場の設計・施工に関する内容を記したものであるが、最終処分場の設置から廃止、跡地利用までの全体サイクルで考えた場合、仕様書の思想は、廃止までの維持管理を反映したものであるべきであるとされている。

廃止に至るまでの期間は、最終処分場の維持管理基準を満たすとともに、早期の廃止を目指した適正な維持管理（埋立廃棄物の管理、埋立方法、適正な水処理・埋立ガス排除、日常の点検）を行っていくことが重要である。

また、長期的な維持管理を行う上で、耐用年数を超える場合には、管理者の責任において、適切な交換、補修等を適宜行う必要がある（例えば、未埋立区画において長期間露出した状態の遮水シートの交換など）とされている。

最終処分場の施設整備を行うに当たり、運営・維持管理までを含む発注とする場合においては、これらの内容を維持管理項目として明記する必要があるとされている。

特に維持管理方法として、第三者の立場で機能検査の出来る技術者による定期、不定期の機能検査が、各トラブルを未然に防止する方法として重要としている。

第三者機関による検査者（推奨事項）として、設計・施工が問題ないものであることを確認するため、専門の NPO など、信頼のおける第三者機関の検査を実施することが望ましいとされている。

6.1.3 機能検査の実施

1) 検査時期

遮水工の機能検査は、施工完了時、瑕疵担保終了時、5年目、10年目に行う。
また、使用期間が15年を超える場合には15年目およびその後も5年ごとに実施する。
災害などによる遮水工の損傷が発生した場合は、適宜臨時検査を実施する。

2) 検査方法

検査の方法としては、次のような方法がある。

(1) 遮水シート

- ① 施工完了時の遮水シートの検査は、引き渡し検査結果を利用することができる。
- ② 遮水シートの経年的変化については、最終処分場内にセットした遮水シートサンプルで評価する。

(2) 保護マット

- ① 一般保護マットは、施工後目視できないので施工時検査データをチェックする。
- ② 遮光性保護マット（または遮光性マット）は、損傷の有無、接合部剥れの有無、異常な伸びおよび膨らみなどを外観検査する。
- ③ 抜取り物理性能検査は、貫入抵抗および遮光性試験を実施する。
- ④ 抜取り物理性能検査の実施は、機能検査者の指示のもと専門組織にて実施する。

【解 説】

機能検査としては5年毎に、定期検査を計画的・継続的に実施する管理体制のある施設の検査であり以下に示すものは臨時検査となる。

- ① 埋立休止中で、再埋立開始のための機能検査
- ② 自然災害(特に震災)等後の機能検査
- ③ トラブル発生後の機能検査
- ④ 閉鎖処分場の機能検査

被覆型最終処分場の機能検査内容は次の項目が重要である。

- ① 最終処分場施設間の設備機能維持
貯留構造物、遮水工等の施設構成の安定性
- ② 被覆設備の雨水排除機能と生活環境影響防止機能の継続的検査
- ③ 地下水質などによる遮水機能の検査と損傷位置検知設備によるモニタリング
- ④ 適正な埋立中の場内環境の維持

6.2 遮水工の維持管理

6.2.1 維持管理の目的

廃棄物最終処分場は単に廃棄物を投棄する場所ではなく、長期にわたり廃棄物を安全に大地に還元する施設であるため、その遮水機能や埋立地全体の維持が重要となる。したがって、完成した廃棄物最終処分場が本来の機能を発揮し、環境汚染を未然に防ぐ安全で信頼性の高いものにするためには、廃棄物最終処分場性能指針にも記されているように適正

なる維持管理を実施することが必要である。また、最近では、土木構造物に対しても、ライフサイクルコスト（以降 LCC）の考えが取り入れられている。LCC とは、企画・設計から、解体・撤去されるまでの総費用、すなわちその施設建設の一生分の価格である。LCC でみると初期投資費用、すなわち設計費用・建設費用というのは、全体の支出の一部でしかなく、工事完成後の維持管理についての費用面も重要な位置づけとなる。その他、廃棄物最終処分場機能検査（NPO・LSA）、IGS の遮水シート耐久性評価ハンドブックなどの参考文献を考慮し、維持管理を進めていくことが重要である。

6.2.2 維持管理の対象・範囲

維持管理は遮水工完了後の最終処分場における遮水材料（遮水シート、保護マット、ガス抜き材、排水材等）の埋立作業における留意事項、点検方法、補修方法を対象とする。

但し、遮光性保護マット、保護マット等は遮水シートの耐用年数を延長する機能を備えたもの、つまり遮水シートを補完するものであって、異常が発生した場合には速やかに補修等の対応をしなければならない。

6.2.3 遮水材料の損傷状況と損傷させる原因

遮水シートの補修に当たっては、損傷の原因を究明することが重要であり、損傷の原因を知ることは損傷の原因を取り除いて再発を防止することを可能とすると共に、補修の方法を検討する上での重要な情報となる。遮水シートの損傷は埋立処分場の建設工事期間中からのあらゆる場面で発生する可能性があり、突起のない下地地盤の整備や遮水シートの施工・保護土の施工等の十分な施工管理を行うことが重要である。

遮水シートの損傷の発生時期を大きく分けると

- | | |
|-----------------|-------------------|
| ①遮水シート施工中 | ④保護土施工時 |
| ②浸出水集排水管敷設時 | ⑤埋立作業開始時(法面保護作業時) |
| ③浸出水集排水管の被覆材施工時 | ⑥埋立供用中 |

等であり、様々な外的原因によって損傷を起こす場合がある。

遮水シートの想定される損傷原因を表 6.2-1 と表 6.2-2 に示し、施工時期による遮水シートの想定される損傷原因を表 6.2-3、遮水シートの異常状態と想定される損傷原因を表 6.2-4 に示す。以上のような原因で損傷が起こるが、その中には人為的作業ミスによるものも多く、注意深い日常作業により大半の損傷を防ぐことができるといえる。

表 6.2-1 遮水シートの想定される損傷原因(その1)

| 損傷要素 | 想定される損傷原因 | 法面 | 底面 | 構造物 |
|----------------|-----------------------|----|----|-----|
| 1.地盤に係るもの | ①圧密沈下、陥没 | ○ | ○ | ○ |
| | ②法面滑落、法面崩壊 | ○ | — | ○ |
| | ③構造物に接続する付近の圧密沈下 | — | — | ○ |
| | ④地盤の整形不備 | ○ | ○ | ○ |
| | ⑤湧水による地盤の流出 | ○ | ○ | — |
| | ⑥地耐力の不足 | ○ | ○ | ○ |
| 2.気象、自然現象に係るもの | ①凍結、融解の繰り返し | ○ | ○ | ○ |
| | ②湿潤、乾燥の繰り返し | ○ | ○ | ○ |
| | ③積雪の崩落・滑落 | ○ | — | — |
| | ④積雪・凍結による載荷重の増加 | ○ | — | — |
| | ⑤熱応力による余裕代の不足 | ○ | — | — |
| | ⑥大雨などによる埋立地内の滞水位上昇 | ○ | ○ | ○ |
| | ⑦地震による地盤の陥没、亀裂の発生 | ○ | ○ | ○ |
| 3.物理的な力に係るもの | ①埋立廃棄物の沈下 | ○ | ○ | ○ |
| | ②埋立地内の水位の上昇 | ○ | ○ | ○ |
| | ③地下水位の上昇 | ○ | ○ | ○ |
| | ④ガスの噴出 | ○ | ○ | ○ |
| | ⑤強風による飛散物の衝突 | ○ | — | ○ |
| | ⑥風の揚圧力によるめくれ | ○ | — | — |
| | ⑦廃棄物の性状変化による載荷重の増加 | ○ | ○ | ○ |
| 4.化学作用に係るもの | ①長期に亘る露出(紫外線、オゾン) | ○ | — | — |
| | ②接合部(融着部、接着)の劣化 | ○ | ○ | ○ |
| | ③廃棄物性状の変化による浸出水の変化 | ○ | ○ | ○ |
| | ④不許可廃棄物(有機溶剤・油類)による軟化 | ○ | ○ | ○ |
| 5.生物に係るもの | ①鳥、小動物による損傷 | ○ | ○ | ○ |
| | ②雑草、木等の根の成長 | ○ | ○ | — |
| | ③地中植物の成長による突き破り | ○ | ○ | ○ |
| 6.工事車両・作業に係るもの | ①工事車両の衝突、接触、飛び石 | ○ | — | ○ |
| | ②工事車両の急旋回、異常な走行 | ○ | ○ | ○ |

表 6.2-2 遮水シートの想定される損傷原因(その2)

| 損傷要素 | 想定される損傷原因 | 法面 | 底面 | 構造物 |
|----------------|---------------------|----|----|-----|
| 7.埋立機材・作業に係るもの | ①埋立機材の衝突、接触 | ○ | — | ○ |
| | ②埋立機材、車両による飛び石 | ○ | — | ○ |
| | ③埋立機材の急旋回、異常な走行 | ○ | ○ | ○ |
| | ④埋立廃棄物の火災(野火、焚き火等) | ○ | — | ○ |
| 8.埋立廃棄物に係るもの | ①廃棄物中の突起物、塊状廃棄物 | ○ | ○ | ○ |
| | ②埋立廃棄物に積荷重の増加、偏圧 | ○ | ○ | ○ |
| | ③埋立工法変更による積荷重の増加、偏圧 | ○ | ○ | ○ |

※表中の構造物とは構造物に接続する箇所の略

表 6.2-3 施工時期による遮水シートの想定される損傷原因

| 施工時期 | 想定される損傷原因 |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.遮水シート施工中 | ①施工ミスによる損傷 ②他工種による損傷 |
| 2. 遮水シート施工完了後 | ①浸出水集排水管の荷下ろし、敷設時の遮水シートの損傷 ②保護土の荷下ろし、撒き出し、転圧作業時の遮水シートの損傷 ③浸出水集排水管の被覆材の荷下ろし、敷設時の遮水シートの損傷 ④保護材の運搬車両の走行、旋回 ⑤保護土(砂、土)を撒き出し時の遮水シート損傷 ⑥法面への保護土施工による遮水シートの損傷 ⑦保護土(砂、土)設置時の重機の走行による遮水シートの損傷 |
| 3. 埋立作業開始時 | ①廃棄物投入時の遮水シートの損傷 ②接合部の剥がれ ③穴あき ④引裂き ⑤異常な伸び |
| 4. 埋立中 | ①地盤沈下 ②法面崩壊 ③火災 ④重機による損傷 ⑤保護不足 |
| 5.供用中(供用してからある期間経過後) | (1) 保護マットで覆われている状態 保護マットに変状が認められたら、保護マットを剥ぎ取って遮水シートを調査する。 ①ごみ、土砂等の堆積 ②法面の滑落、崩壊 ③雑草の発芽 ④異常な伸び⑤表面のひび割れ、亀裂 ⑥ガス噴出による膨れ ⑦下地の洗掘(雨流れの発生、粘土分の流出) ⑧湧水による膨れ ⑨穴あき、引裂け ⑩膨らみ ⑪押し出し(浮き上がり) ⑫軟化 ⑬硬化 ⑭接合部の剥がれ ⑮へこみ ⑯その他 (2) 保護土等(覆土、埋立廃棄物層含む)で覆われている状態 保護土等に以下の様な変状が認められ、地下水水質に異常が確認できた場合には保護土等を取り除いて保護マット、遮水シートを調査する。 ①表面の亀裂 ②陥没 ③湧水 ④ガス噴出 ⑤押し出し(浮き上がり) ⑥滑落 ⑦崩壊 ⑧その他 |

表 6.2-4 遮水シートの異常状態と想定される損傷原因(例)

| 異常状態 | 想定される損傷原因（～による） |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 接合部の剥がれ | ①風の揚圧力 ②接合部の清掃不足 ③接合不良による剥がれ ④構造物まわりの局部沈下 ⑤経年変化 |
| 2. 穴、引裂き傷、裂け目 | ①埋立車両の走行、旋回および衝突 ②廃棄物の投入時の衝撃 ③ごみ中の突起物 ④小動物の巣穴、通り道 ⑤構造物まわりの局部沈下 ⑥地盤の陥没 ⑦雪崩の衝撃 ⑧台風による倒木の衝突 ⑨伏溜水の湧出 ⑩地下水（地下水位の上昇、埋立地滞水位の上昇） |
| 3. ひび割れ | ①紫外線、オゾン劣化 ②クリープ疲労 ③温度低下による収縮 ④応力集中 ⑤载荷重による引張り |
| 4. 異常な突っ張り | ①地盤の不同沈下・陥没 ②埋立ごみ層の沈下 ③応力集中 ④温度低下による収縮 ⑤地中ガスの湧出 ⑥遮水シート余裕代不足 ⑦下地の流流失による陥没 ⑧固定工の持ち上がり |
| 5. 硬化 | ①オゾン、紫外線による ②酸化雰囲気 ③微生物による ④浸出水との接触による ⑤酸、アルカリの接触 |
| 6. 軟化、膨潤 | ①未冷却焼却残渣 ②ごみ発酵熱 ③気温上昇 ④油類、有機溶剤、有機酸との接触 |
| 7. 膨らみ | ①法面の滑落、崩壊 ②地中ガスの湧出 ③伏溜水が溜まったこと ④地下水位の上昇 ⑤下地流失による土砂の堆積 ⑥地盤の地耐力不足（不同沈下） |
| 8. へこみ | ①地盤の滑落、崩壊 ②不同沈下、陥没 ③水流による洗掘、陥没 |
| 9. 焼失 | ①火災（焚火、野火、ごみの発火） |
| 10. 引抜け | ①地盤の滑落、崩壊 ②地中ガスの湧出 ③地下水位の上昇 ④伏溜水による膨らみ ⑤下地流失による土砂の堆積 ⑥固定工の不適切、重量不足 ⑦不同沈下 ⑧遮水シート余裕代不足 |
| 11. しわ | 保護土の撤出し時による片押し ②地盤沈下による引き込み |

6.2.4 遮水工の点検

(1) 点検の種類と目的

点検は遮水工の損傷防止及び損傷の早期発見を目的とし、日常点検、定期点検及び臨時点検に区分される。必要に応じ詳細点検を実施しなければならない。

a. 日常点検

日常点検とは周辺の環境に影響を及ぼさず埋立てを行なうために、主として目視で行う点検のことをいう。

埋立前の日常点検は埋立が進行して法面部等これから廃棄物を埋立てる区域について点検を実施し、遮水工及び遮水シートの最終チェックを行ない、異常の無いことを確認してから法尻部に保護土を施工し、埋立作業を開始する。

この点検が遮水工(遮水シートまたは保護マット)の露出している最後のチャンスである。また、当日の埋立て完了後にも点検し、異常のないことも確認する必要がある。異常が認められた場合は引続き点検を続けることによって、異常の原因や補修の対策方法等の情報が得られることが多い。

b. 定期点検

日常点検の対象区域が主に廃棄物投入部周辺となるのに対し、定期点検は最終処分場内全域及びその周辺部が対象となる。したがって、遮水工のみならず、各種構造物と遮水シートとの取合い部、最終処分場内各施設、周辺の地勢にも注意を施す必要がある。埋立処分地の全域を一度に実施することはできないため点検区域を定めて計画的に行うことが必要となる。NPO・LSA 機能検査では、①施工完了時 ②瑕疵担保終了時（1～2年） ③5、10、15年目と5年目ごとに実施していくことを設定している。

c. 臨時点検

臨時点検とは地震、大雨、台風、凍結等(異常な状況の後)があった時に、遮水工に異常が無いかどうかを調べるために行なう点検で、定期点検に準じた方法で行う。

d. 詳細点検

詳細点検とは遮水工の変状に対する原因が不明な場合や補修の対策方法を判断する場合、あるいは補修計画を検討する場合に行う点検で、ある程度埋立箇所について区画を限定して試験器具や試験機器を使用して行う点検である。法面部の場合は状況によって保護マットを剥がして、底面部の場合は埋立廃棄物層や保護土層を掘削して遮水シートを露出させることが必要になる。

(2) 点検の頻度

点検に当たってあらかじめ埋立の進行状況を勘案し、遮水工の種類に応じた点検方法や頻度等を定めた点検計画を策定し、実施することが効果的である。

埋め立ての進行状況と遮水工の関係は次の様に分けられる。

- ① 遮水シートが保護マットに覆われた状態
- ② 遮水シートが保護土等で覆われた状態
- ③ 遮水シートが埋立廃棄物層の下に埋まっている状態

遮光性保護マットや保護マットを取り除いた場合に、表 6.2-4 遮水シートの異常状態が想定される損傷原因（例）を参考にして、原因究明の手掛かりとすることができる。遮水シートの主機能は遮水であり、その健全性が管理により維持されていることが最終処分場の機能を確保することになる。

埋立状況による埋立前点検は、表 6.2-5 に示す頻度で点検を実施する。遮水シートは埋立廃棄物層の下に埋まっている状態の期間が長く、実際にはこの様に保護土や廃棄物の中にある遮水シートが損傷することは考えにくいだが、万が一損傷があった場合は、保護土や廃棄物の中にある状態で損傷箇所を探さなければならない。

その方法として区間埋立等を実施し、区間毎に浸出水量・水質を把握できるようにしておくと共に、日常でも浸出水や地下水量等の変化の状況を把握しておくことが大切となる。

遮水工損傷検知設備を有する場合は、この設備を利用して行うことができる。

表 6.2-5 点検の頻度（例）

| | |
|----------------------------------------------------------|--------------|
| (1) 保護マットで覆われている状態（保護マットの状態を主体に） | |
| a.保護土作業に着手する区域（埋立前の日常点検） | 施工直前に1回以上 |
| b.埋立作業、保護土作業区域及びその周辺（日常点検） | 作業中は1日1回 |
| c.その他の区域（定期点検） | 計画的に随時実施 |
| (2) 保護土等（覆土含む）で覆われた状態 | |
| a.埋立に着手する区域（埋立前の日常点検） | 施工直前に1回以上 |
| b.埋立作業区域（日常点検） | 作業中は1日1回 |
| c.その他の区域（定期点検） | 計画的に随時実施 |
| (3) 埋立廃棄物の下に埋まっている状態、または地盤中に施工されている状態 | |
| a.地下水や浸出水の量、水質の測定をチェックする（定期点検） b.遮水工損傷検知設備で点検する（定期点検） | 少なくとも月1回以上実施 |

点検に準備するものには巻尺、検査棒（先端を丸めたマイナスドライバー、パレットナイフ等の工具）、水性カラースプレー（変状箇所のマーキング）、ハンマーなどの補助器具がある。さらに、カメラ（損傷の位置や範囲を記録するために写真撮影は有効）、埋立地の図面（損傷の位置や範囲を記録するための平面図）、点検記録表（点検状況、損傷状態などを記録する）なども準備するとよい。

点検時に埋立地に入る場合は、滑らかな靴底の長靴またはゴム靴とし、損傷を与える恐れのある器具の使用及び火気には十分注意しなければならない。

(3) 点検項目

点検で必要な項目と方法を保護マット等で覆われている状態について表 6.2-6、保護土で覆われている状態について表 6.2-7、廃棄物層に埋まっている状態について表 6.2-8 にそれぞれ示す。

点検は目視を主体とし、遮水シートの突っ張り、遮水シート下地地盤の崩壊の有無等の確認を行う。

特に、搬入路の両サイドの遮水工、廃棄物投入場所の遮水工との接触部、廃棄物撒き出しの先端と法面部の遮水工との接触部、ガス抜きパイプの取付け部、法面部全体、コンクリート構造物周囲、応力が集中しやすい法肩部及び比較的新しい埋立場所などが弱部となりやすい。

日常点検で遮水シート等に異常や損傷を発見した場合、水性カラースプレーでマーキングしておくことにより詳細点検、再発防止、修復等を忘れずに実施することができる。

a. 保護マットなどで覆われている状態

表 6.2-6 点検項目と点検方法例（保護マットなどで覆われている状態）

| 点検項目 | 点検内容 | 点検方法 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1.ごみ、土砂、礫等の保護マットへの食い込みの有無 | 保護マットにみ等が貫通している現象が認められた場合は、ごみ等を取り除いた後、保護マットを剥がし、遮水シートを点検する。 | 目視検査 ※容器方式負圧検査 |
| 2.土砂等の堆積物の有無 | 将来草が生育する可能性があるため、保護マットに堆積物がある場合は、取り除く。 | 目視検査 |
| 3.保護マットに穴あき、引き裂き、引っ掻き傷の有無 | 保護マットに穴あき等の損傷が確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 ※容器方式負圧検査 ※負圧検査 |
| 4.保護マットに異常な伸びの有無 | 保護マット等に異常な伸びが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |
| 5.下地変形、湧水による保護マットの膨らみ、凹みの有無 | 保護マットに膨らみ、凹みが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |
| 6.保護マットの接合部の剥がれ、口開けの有無 | 保護マット接合部の剥がれが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 ※検査棒検査 |
| 7.異常な保護マットの突っ張りの有無 | 保護マットに異常な張りが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |
| 8.植物の芽、根の貫通、草の生育による保護マットの損傷の有無 | 保護マットが植物等により傷付けられたことが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 ※容器方式負圧検査 |
| 9.固定工の割れ、持ち上がりによる保護マットの損傷の有無 | 保護マットが固定工の割れ等により傷付けられたことが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 ※容器方式負圧検査 |
| 10.保護マットと構造物接合部の剥がれの有無 | 保護マットと構造物の接合部が剥がれていることが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |
| 11.保護マットの浮きの有無 | 保護マットの浮きが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |
| 12.保護マットが常時濡れているかの確認 | 保護マットが常時濡れていることが確認された場合は、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |
| 13.降雨後の湛水状況 | 降雨後の浸出水の減り具合が多い場合は、状況を継続的に観察する。状況により、保護マットを剥がし、遮水シートも点検する。 | 目視検査 |

※上記表中詳細点検の場合には検査棒検査、容器方式負圧検査等機器を用いて実施する。

保護マットで覆われている状態では遮水シートを直接目視することができないため、遮水シートの変状を発見しがたくなる。そこで保護マットの状況から間接的に推定する方法をとることとなる。保護マットの膨らみ、凹み、擦り傷などを見つけた場合、その周辺の保護マットを剥がし遮水シートの詳細点検を行い、原因究明及び処置を講じた後に、再び保護マットを元に復旧する。特に、遮水工を施工してから埋立てまで長い期間を経過している時には、埋立てを開始する区域の保護マットを剥いで詳細点検するなどして、遮水シートの安全性を確認の上、埋立てに取りかかることが望ましい。

場合によっては、遮水材料の健全度を確認するため、10年に1回遮水シートを切り出し、基本性能や耐久性能の状況を専門組織により確認することなども行われている。

また、コンクリート構造物周囲や応力が集中しやすい法肩部、保護土上部、被覆材（砕石等）の接触部及び比較的新しい埋立場所などは弱部となりやすいため、このような場所も注意して詳細点検する必要がある。

b. 保護土等で覆われている状態

表 6.2-7 点検項目と点検方法例（保護土等で覆われている状態）

| 点検項目 | 点検内容 | 点検方法 |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 保護土の変形、亀裂、陥没の有無 | 保護土に亀裂や陥没が確認された場合は、地盤の陥没等が想定され、遮水シートだけの問題だけでなく、大規模な補修工事を必要とすることもある。 | 目視検査 |
| 保護土の滑落、崩落の有無 | 保護土の滑落や崩落が確認された場合は、保護土を掘削し遮水シートを露出させて点検する。地盤から崩落などを起こしている場合は、上記に準じる。 | 目視検査 ※検査棒挿入 |
| 地下茎植物の生育の有無 | 保護土に地下茎植物等の生育が確認された場合は、植物の周囲を掘削する。もし、遮水シートに到達している可能性があれば、保護土を掘削し遮水シートを露出させ点検する。 | 目視検査 ※検査棒挿入 ※負圧検査 |
| 地盤からのガス噴出、湧水等による保護土の膨らみの有無 | 保護土が膨らんでいることが確認された場合は、保護土を掘削し遮水シートを露出させ点検する。 | 目視検査 ※検査棒挿入 ※負圧検査 |

※ 上記表中詳細点検の場合には検査棒挿入、容器方式負圧検査等機器を用いて実施する。

保護土で覆われている状態では遮水工を直接目視することができないため、保護土の状態に変状が認められた場合、その周辺の保護土を掘削して保護マットや遮水シートを詳細点検する必要がある。特に、埋立用の重機などが旋回・往復などを繰り返した場所は、保護土を掘削し詳細点検を実施する。

c. 廃棄物層の下に埋まっている状態

表 6.2-8 点検項目と点検方法例（廃棄物層の下に埋まっている状態）

| 点検項目 | 点検方法 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 地下水集排水施設の水量、水質に異常の有無 | 遮水工損傷検知システム等により検査 |
| 観測井戸による水質検査に異常の有無 | 遮水工損傷検知システム等により検査 |
| 地表面の亀裂、陥没の有無 | 廃棄物層に亀裂や陥没が確認された場合は地盤の陥没等が想定されるため、遮水シートだけの問題だけでなく大規模な補修工事を必要とすることもある。 |

廃棄物層の下に埋まっている状態では遮水工を直接目視することができないため、遮水工損傷検知法や浸出水・地下水の状況を総合的に判断して損傷の有無を推定することになる。遮水シートに損傷のあることが判明した場合は、その損傷箇所を探す必要がある。損傷箇所が分からない場合には既埋立地表面を遮水シートなどで覆い浸出水量の制限措置の実施や、水質異常の地下水を処理などの別途対策を検討することが必要となる。

(4) 点検の判定基準

点検によって遮水工に変状のあることが判明した場合は、点検結果を十分検討して以下の事項を検討する必要がある。

- ① 応急対策の必要性 ② 再発防止対策
- ③ 詳細点検の必要性と点検計画 ④ 補修の必要性 ⑤ 補修方法など

遮水シートが露出している状態では損傷の有無の判定も容易であるが、保護マット及び廃棄物層の下にある場合には損傷箇所を確定することが大変困難な作業となる。専門的な技術や知識経験を要するため、必要に応じて専門組織に委託することも一つの方法である。

点検における判定の目安を表 6.2-9 に示す。

表 6.2-9 点検の判定基準

| 点 検 結 果 | 判 定 |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 保護マット等保護材料、埋立廃棄物に覆われている状態 | |
| ①地下水の汚染物質濃度が高くなった | このような現象が顕著になると、遮水シートに損傷があると考えられる。但し、土質材料では回復することがあるため継続観察により判定する。 |
| ②浸出水の水量が減少、または増加した | 損傷であると確実視された場合、損傷箇所の確定に、周辺の埋立廃棄物を掘り出して遮水シートを露出させることも必要となる。 |
| ③浸出水の汚染物質濃度が低下した | |
| ④地下水の出水量が増加、又は減少した | 降水量、水質調査等継続観察により判定する。 |
| ⑤埋立廃棄物層の地表が陥没した | 廃棄物の安定化に伴い発生することがあり、地下水質等継続観察にて判定する。 |
| ①～④の変化は、降水量、水量、水質の経時的記録を統計的に解析し、遮水シートの損傷可能性の有無を検討する必要がある。 | |

(5) 再発防止対策と補修計画

日常点検、定期点検、臨時点検及び詳細点検の結果、補修を必要とする場合には、損傷の原因、損傷の範囲等を十分検討した上で、再発防止と補修方法を検討し補修計画を策定することが必要である。補修計画の策定に当たっては、周辺の環境への影響、他の構造物への影響、埋立作業への影響、費用等を検討する。

6.2.5 補修計画及び補修方法

(1) 補修計画

以上で述べたような設計・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、極めて稀であると思われるが、補修に至った場合の実際の方法について以下に述べる(表 6.2-10)。

遮水シートの補修を行う場合には、損傷の原因や損傷の範囲等を十分検討した上で、補修方法を検討し補修計画を策定することが必要である。

損傷箇所等が廃棄物埋立工区(部位)ではなく上流側であるなど、緊急性を要しない場合には、埋立進捗に合わせて補修するなど効率、費用面なども協議しながら検討することが肝要である。

また、一般的に遮光性保護マットはタイプが様々であるが、その耐用年数から埋立期間 10 年を超える場合には、張替えすることが前提であり、補修計画に盛り込んでおくことが重要である。

遮水シート以外に損傷の原因がある場合には、その原因の除去・再発防止に努めなければならない。補修に先立ち、その際の補修の分担、費用の分担等を事前に打ち合わせる必要がある。

表 6.2-10 補修計画内容

| 項 目 | 内 容 |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|
| (1) 補修計画での考慮事項 | ①周辺の環境への影響 ②他の構造物への影響 ③埋立作業への影響 ④必要な経費 |
| (2) 補修における把握情報 | ①損傷の有無 ②損傷の原因 ③補修の必要性、緊急度 ④補修方法 等 |
| (3) 補修時期 | ①遮水シート施工中 ②遮水シート施工完了後 ③埋立開始時 ④埋立供用中（供用開始からの期間） |
| (4) 補修方法 | 遮水工が露出、又は損傷箇所のごみを掘り出せる場合 ①損傷部分の取替え ②接合部の剥がれの接合直し ③地盤の改修、改良 |
| (5) 補修対策（計画）の立案 | ①損傷の原因調査（原因、範囲） ②補修の緊急度 ③補修の必要性 ④補修方法の検討（方法、範囲） |
| (6) 損傷原因の除去 | ①損壊、損傷の原因調査 ②損壊、損傷の原因を除去 ③再発防止策の検討 |
| (7) 補修後の検査方法 | |
| (8) 補修の信頼性、再発防止策の検討 | |
| (9) 補修責任と費用負担 | |

(2) 遮水工の補修

遮水シートの補修は遮水シートの損傷部を露出させて補修箇所の汚れを取り、水が流入しないように遮断し、十分乾燥させる。

使用されている遮水シートと同一の材質の補修用シートを接合（増張り）する方法が一般的である。また、遮水シートと同一材質の溶接棒を熔融状態にし、これを補修シート溶着端部に充填密着させる方法や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。

損傷位置が特定できる場合は、オープン掘削工法やケーシング工法により廃棄物を掘削して遮水シートを露出させ、損傷個所に同じ材質の遮水シートを増張りするなど、直接補修することが可能である。

(3) 遮水材料(遮水シート、保護マット等)の補修

a. 補修方法

遮水シートの補修は遮水シートの種類、損傷部の形状、遮水シートの状態（表面状態、内部応力発生有無）、遮水シート周辺の環境状況により適切な方法を採用することが重要である。遮水シートの補修作業には作業スペースを少し大きめに確保する必要がある、また、遮水シート面に水等がある場合は補修箇所の遮水シート面を乾燥するなど補修部表面の濡れや汚れは除去し、清浄な状態を確保しなければならない。

補修時には元の遮水シートが変形している場合も多いため慎重に作業し、損傷を広げない様、工夫する必要がある。変形がひどい場合には元に戻すことは困難なため、遮水シートメーカーまたは専門組織に相談することが望ましい。

b. 主な遮水材料の種類別補修方法

主な遮水材料の種類別補修方法を表 6.2-11 に示す。

表 6.2-11 主な遮水材料の種類別補修方法

| 遮水材料の種類 | 補修箇所及び方法 | | | 備 考 |
|----------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------|----------------------------------|
| | 穴 | 裂け目 | 接合部 | |
| 高弾性タイプ (HDPE等) | 直径 1 cm程度以内の穴は押出溶接機により直 接ロッドを塗付ける | 補修用シートを当て、押出 し溶接機で接合する | | 溶接部の遮水シート表 面にサンダーをかける |
| 中・低弾性タイプ (TPO等) | LDPE、TPO等はHDPE同様に押出溶接を使用する が、PVCは手動式熱風溶着を使用する | | | TPUは溶接部を溶剤で 拭き活性化させる |
| 合成ゴム (EPDM) | 補修用シートを接着材で貼り付ける。 | | | 風による砂埃に注意 |
| アスファルトシート | 各辺が15 cm以上大きな補修用シート を当て、バーナーで溶着する | | 剥がして再 溶着する | |
| 吹付け アスファルトシ ート | 基層損傷の場合は、ゴムアスファル トシートを当て、バーナーで溶着す る | | 適用外 | 表層だけの場合には、 広めにトップコート を吹付ける |
| ベントナイトシート | 30 cm以上大きな補修シートを当て、 粘着テープを周囲に貼付ける | | | |
| 遮光性保護マット | 補修用遮光性保護マットを溶着、カラ スが突いた穴は表面材を溶着する | | 剥がして再 溶着する | |

※補修箇所の処理：補修箇所は汚れを取り補修箇所に水が流入しないように遮断し、補修箇所を十分乾燥させる。

補修用材料および機器については、別途用意しておく必要がある。補修についての詳細は遮水材料ごとに各遮水シートメーカーが作成した点検・補修要領に従って行うか、メーカーまたは専門組織に委託して行うこととする。

6.3 遮水工の施工管理

遮水シート接合部の検査は、熱画像リモートセンシングによるものとし、遮水工の施工完了時（保護土の施工完了時）に遮水工全体の水密性については、電氣的漏水検知検査するものとする。

以下に各遮水材料の施工における最低限の遵守事項について列記する。

6.3.1 遮水シート

- ① 施工・検査は、「廃棄物最終処分場 遮水工技術・施工管理マニュアル（日本遮水工協会）」に基づいて行うこと。
- ② 接合部は、熱融着により接合すること。
- ③ 施工は、日本遮水工協会が認定する遮水工管理技術者・遮水工施工技能者が行うこと。
- ④ 接合部について、重ね幅、接合幅、水密性、接合部強度の検査を行うこと。接合水密性については接合部の全数を検査すること。
- ⑤ 水密性は、容器方式負圧検査、加圧式検査、熱画像リモートセンシング検査による遮水シート検査部は、水密性検査を省略することができる。

6.3.2 保護マット

- ① 接合部は、熱溶着により接合することを原則とする。
- ② 重ね幅は 100mm 以上、接合幅は 50mm 以上を目安とする。
- ③ 施工・検査は、「廃棄物最終処分場遮水工技術・施工管理マニュアル（日本遮水工協会）」に基づいて行うこと。

6.3.3 GCL (ベントナイトマット)

- ① 重ね幅は、200mm 以上とすること。
- ② 施工・検査は、「廃棄物最終処分場 遮水工技術・施工管理マニュアル（日本遮水工協会）」に基づいて行うこと。
- ③ 重ね部は、副資材である粉状（粒状）ベントナイトや、ベントナイトペースト等により止水することを基本とし、重ね部を含めて所定の透水係数を満足すること。
副資材ベントナイトが粉状の場合は、重ね幅全幅 (W=200mm) に散布量 200g/m(1kg/m²) を散布する。
副資材ベントナイトが粒状の場合は、重ね幅半幅 (W=100mm) に散布量 400g/m(4kg/m²) を散布する。
なお、勾配 1:2.0 より急な斜面は副資材ベントナイトの代わりにベントナイトペーストを塗布する。ベントナイトペーストは途切れないように塗布する（塗布厚の目安は繊維、シートが隠れる程度）。

6.3.4 漏水検知の施工管理技術の例

遮水工の施工完了時（保護土の施工完了時）に遮水工全体の水密性については、以下に示す方法によるものとする。

- ① 検知方法の種類は電氣的検知法（スパーク検査も含む）とすること。
- ② 検知範囲は貯蔵地の底面部とし、検知対象遮水シートは上面及び下面遮水シートとすること。
- ③ 異常箇所を検知範囲の精度は、25 m²以下とすること。

なお、維持管理として漏水検知システムを必要と判断される場合は、施工後の漏水検知システムを継続使用となる。この場合耐久性等の関係よりコストは大きくなることが予想されるので設計段階で事前に十分なる検討が必要である。

廃棄物最終処分場が安全・安心な施設として住民に認知され、社会に受容されるために最も重要な事項は、汚染事故を未然防止できる技術を導入することである。廃棄物最終処分場において、土壌汚染、地下水汚染を防止する役割を担っているのは、遮水工であり、その施工では、高度な技術に熟練した施工者が十分に注意しながら遮水シート接合作業を行っている。それにも関わらず過去には遮水シートの接合不良等に起因する地下水の汚染事故が発生している。遮水シート接合作業には資格制度が導入され、接合部の施工品質の確保が進められているが、さらなる信頼性向上のため、新たな熱画像リモートセンシングによる遮水シート接合部の検査技術を提案する。本方法は、施工と同時に検査が並行してなされるシステムである。

6.3.5 遮水シート接合部の検査法の例

従来の接合部検査方法には、目視による外観検査、接合部にドライバー等の検査棒を挿入する検査棒挿入法、検査孔からコンプレッサ等により空気圧をかける加圧検査法、バキュームボックスを用いた負圧検査法などがある。従来の検査法は、合否判定結果を合格、または不合格として記録として残すのみであり、加圧検査では接合不良部の位置を特定できないことや、定量的・客観的なデータが残らないという問題点がある。また、従来検査は全数検査をすることになっているものの、実質上不可能であり、抜き取り検査となっているケースもある等の多くの課題があった。

そこで、遮水シート接合部の新たな検査方法として「熱画像リモートセンシングによる遮水シート接合部の検査法」（土木学会環境賞受賞、2021年6月）が提案され、日本全国の立地条件の異なる最終処分場に適用されている。本検査方法は、遮水シートを熱融着接合する際の接合部の温度と、品質を保証する接合部の引張強度との間に相関があることを利用して、温度を指標とする接合部の品質を客観的に評価する検査技術である。

遮水シートの接合方法には熱融着と接着があり、材質によって選択される。近年、多く用いられているのは熱融着である。熱融着接合は、数百度に加熱された融着機の熱コテに2枚の遮水シートを接触させ、融解、圧着する方法である。この過程で遮水シート接合面

は高温となり、接合面からの伝熱により直上部の表面温度が周囲より高くなる。ここで、遮水シート融着機の設定ミスや故障等による接合部への熱供給不足等が発生すると、接合部の強度が低下し接合不良が発生する。(図 6.3-1) このときの接合部表面温度は、正常に接合された場合と比較して低温になる。また、接合部に、粉塵、土砂、枝葉等の異物が付着した場合も接合部の温度分布の不均一性を熱画像から検知できるため、遮水シート接合部の温度を熱画像リモートセンシングにより把握することで、接合不良箇所を簡便かつ迅速に検出することが可能となる。これが本技術による接合部検査の原理である。図 6.3-2 に自走式熱融着機に搭載した熱画像リモセン検査装置と遮水シートの接合と同時に検査を実施する状況を示す。

本検査法を用いることで、廃棄物最終処分場の遮水シートの全ての接合ラインについて、温度(数値)と熱画像の検査結果を客観的なデータとして保存することが可能であり、遮水シート施工の信頼性の向上につながっている。また、遮水シート接合作業と検査を同時に実施できることから、工期の短縮、コストの削減も期待できる。さらに、本検査法のシステムはスマートフォン等による遠隔操作、データ取得が可能であり、ICT*にも対応している。以上の点から、本技術は既存検査に対して優位性を有すると言える。

*ICT(Information and Communication Technology)は「情報通信技術」

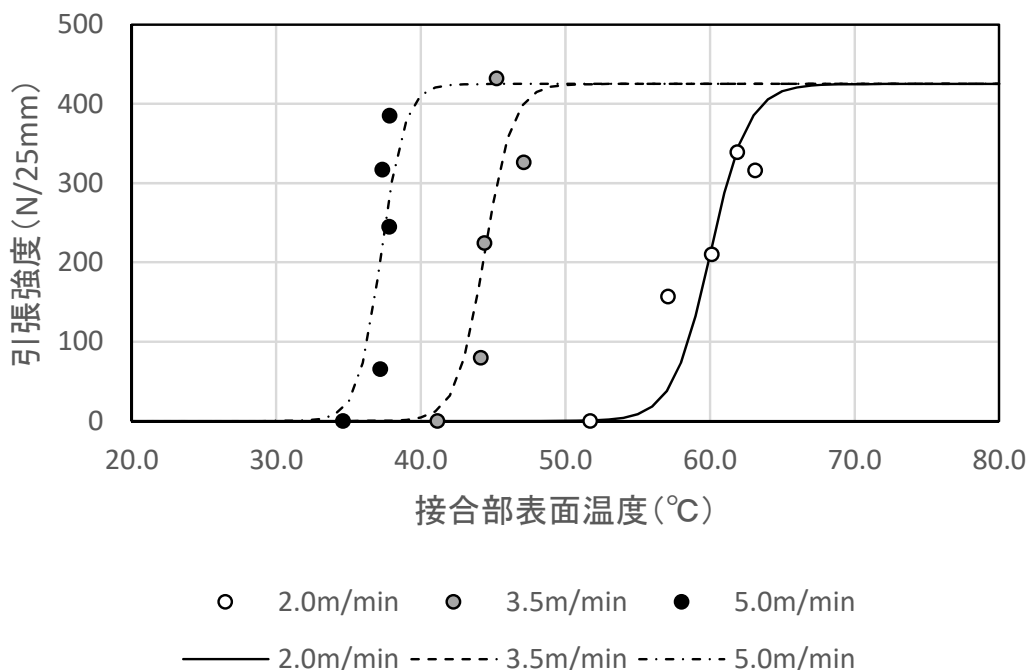
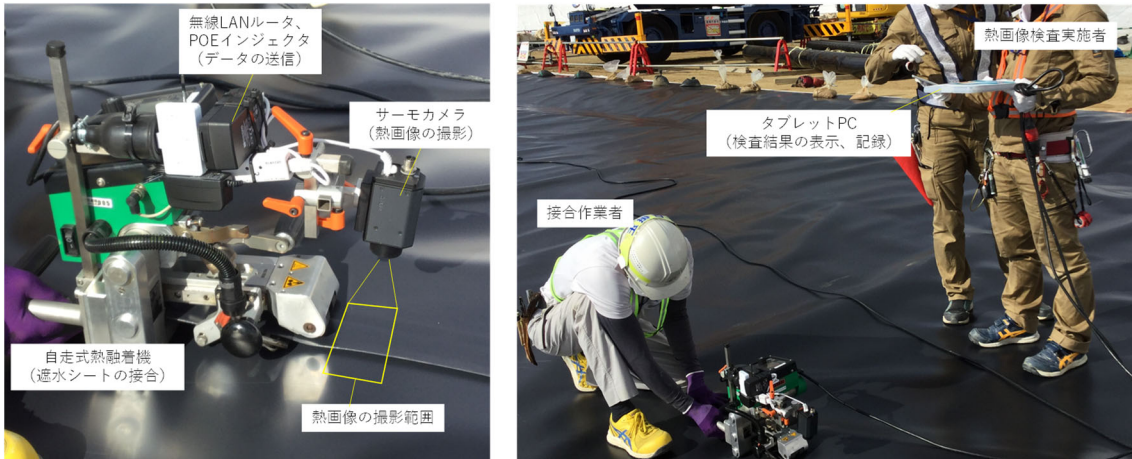


図 6.3-1 引張強度と接合部表面温度の関係 (LLDPE,室温 25°C)



(右：自走式熱融着機に搭載した熱画像リモセン検査装置、左：遮水シートの接合と同時に検査を実施する様子)

図 6.3-2 遮水シート接合部の熱画像リモートセンシング検査の実施状況

熱画像検査における合否判定は、サーモカメラで、遮水シートの融着直後の接合部表面温度と非融着部の表面温度（環境温度）を、連続的に測定する（図 6.3-3）。接合部表面温度、環境温度、および融着作業開始からの作業時間のデータは、PC に転送され、CSV**形式で PC のハードディスクに保存される(図 6.3-4)。閾値温度とは、上下、2 枚の遮水シートが融着して、一体化するときの遮水シートの基準表面温度で、接合部の引張強度と温度の関係式から求められる。接合部の遮水シートの接合部表面温度が閾値温度を上回っていれば、合格と判定される。図 6.3-5 に熱画像検査における合否判定フローを示す。

** CSV(Comma Separated Value)「カンマで値を区切ったものが入っているファイル」

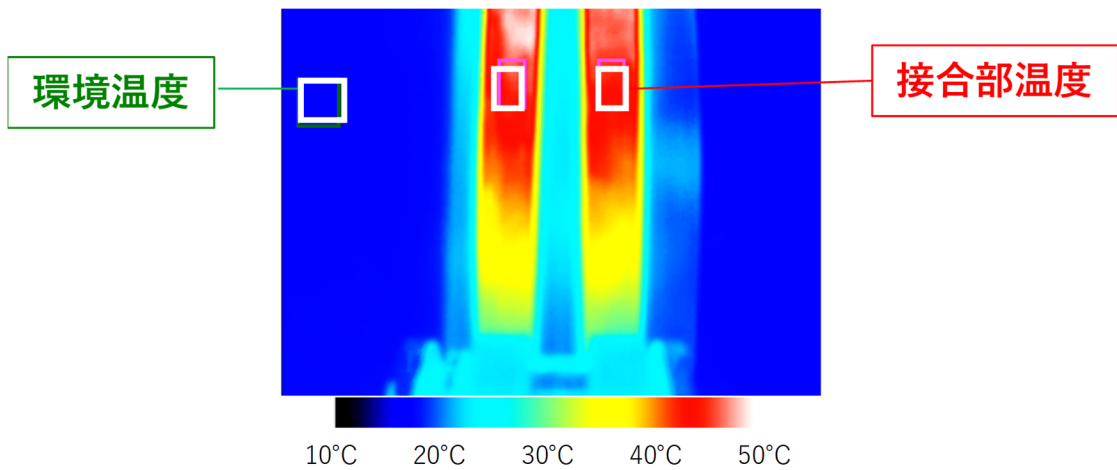


図 6.3-3 遮水シート接合部の熱画像の表示例

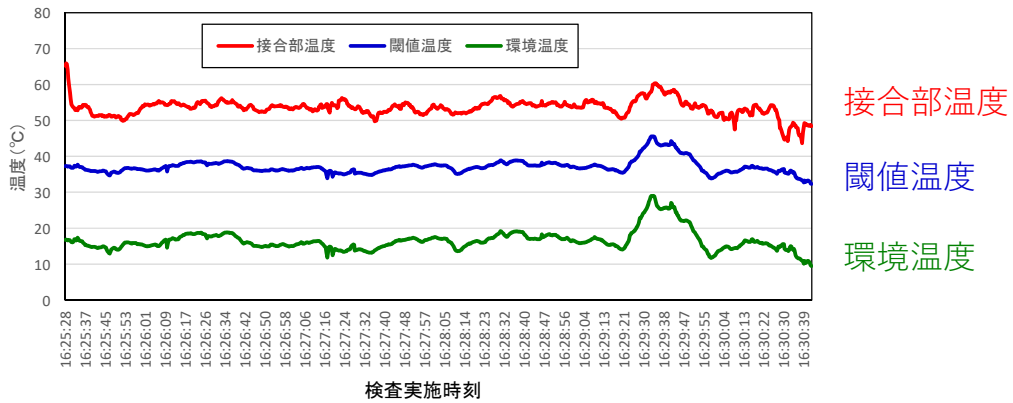


図 6.3-4 接合部温度、閾値温度、環境温度の連続測定結果

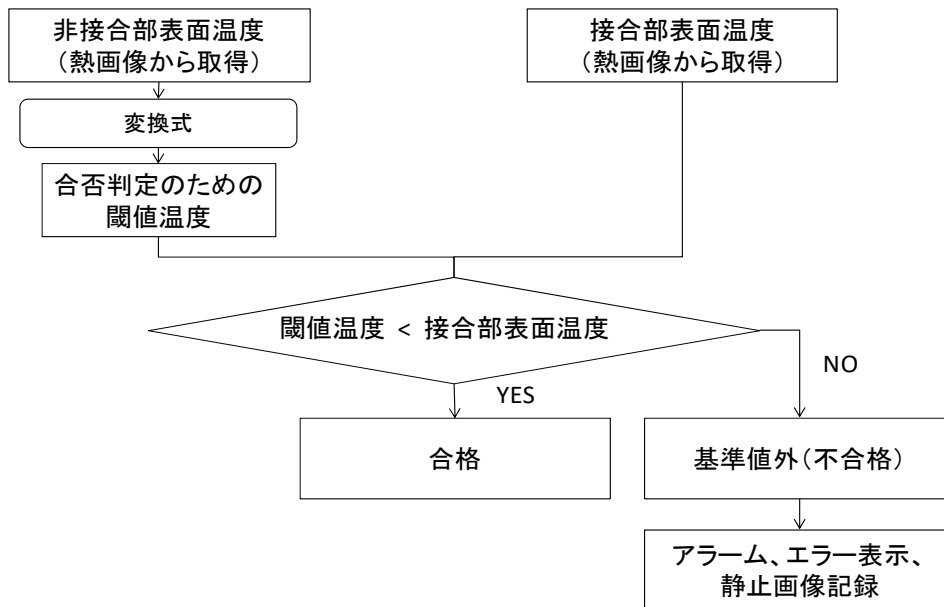


図 6.3-5 熱画像検査における合否判定フロー

7. トレンチ処分場への適用

7.1 廃棄物処分場の形態

7.1.1 地形条件と処分場形態

処分概念を選定するにあたり、候補地の地形条件を考慮して選定する必要がある。ここでは、候補地の立地地形を考慮したトレンチ処分場の施設構造の適用例を示す。

①地形条件の類型化

まず、候補地の立地地形がどのような地形なのかを把握する必要がある。ここでは、想定される地形を類似化した例を示す。想定される地形として、国内のトレンチ処分場の実績および検討例として挙げられる平地の他に、国土の狭い我が国においては、平地以外の丘陵地斜面への設置についても考慮することが必要と考えられる。これにより、検討対象とすべきトレンチ処分場の立地パターンとして平地、丘陵地斜面、沢地形、急峻地形の4種類類型化した。考慮すべきトレンチ処分場の立地地形パターン例を図7.1-1に示す。

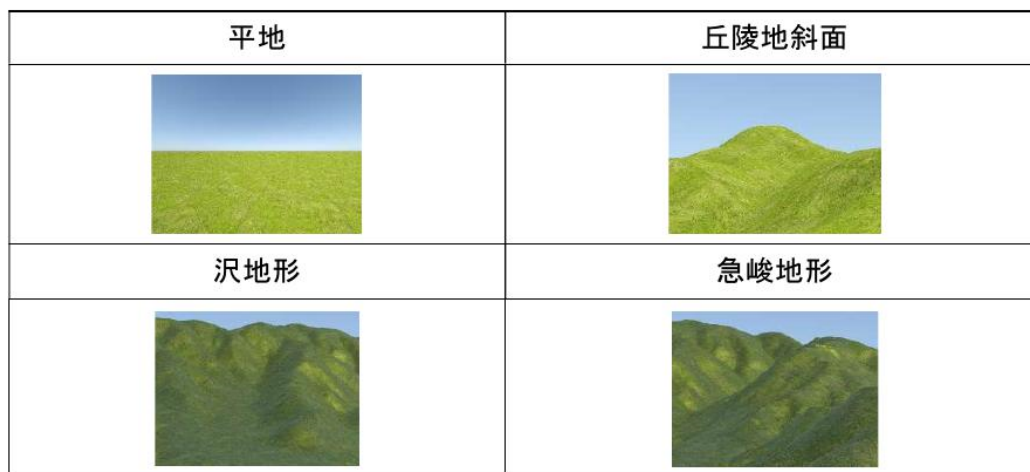


図 7.1-1 考慮すべきトレンチ処分場の立地地形パターン例

③ 地形に対する埋設施設構造例

上述した地形分類に対して、それぞれの地形に適したトレンチ処分場の適用例を示す。トレンチ処分場の構造として、堀下型トレンチ処分場、盛土型トレンチ処分場、盛土+堀下型トレンチ(半地下型)処分場、トンネル型トレンチ処分場が考えられる。図7.1-2にトレンチ処分場施設概念と設計の例を示す。考慮すべき地形分類に対してトレンチ処分場の構造の適用を検討した。

平地に処分施設を設置する場合、地質や後述する廃棄物底面と地下水位の関係も考慮し、堀下型トレンチ処分場、盛土型トレンチ処分場、盛土+堀下型トレンチ(半地下型)処分場の適用が考えられる。

丘陵地斜面に処分施設を設置する場合は、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て堀下型トレンチ処分場や、斜面部分を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盛土型トレンチ処分場の適用が考えられる。

沢地形に処分施設を設置する場合は、後述する廃棄物と地下水位の関係も考慮し、沢を埋め立てて整地した盛土+掘下型トレンチ(半地下型)処分場の適用が考えられる。

急峻地形に処分施設を設置する場合は、切土や盛土が困難な急傾斜のある地形のため、急峻な斜面部に坑口を設けるトンネル型トレンチ処分場の適用が考えられる。


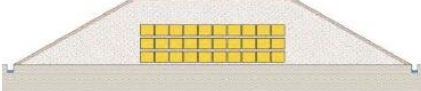

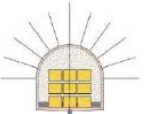
| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>掘下型トレンチ [適用地形：平地，丘陵地斜面（掘削整地）]</p> | <p>盛土型 [適用地形：平地，丘陵地斜面（掘削整地）]</p> |
|  |  |
| <p>盛土+掘下型トレンチ（半地下型） [適用地形：平地，丘陵地斜面（掘削整地） 沢地形]</p> | <p>トンネル型 [適用地形：急峻地形]</p> |
|  |  |

図 7.1-2 トレンチ処分場施設概念と設計の例

7.1.2 地下水の水位

廃棄物埋設施設に不測の事態が生じた場合においても周辺に汚染が拡散しないよう、地下水の水位を十分に考慮する必要がある。そのため、トレンチ処分場への地下水の浸入を極力抑制するために、埋設地（廃棄物）と地下水の水位の考え方が重要となる。ここでは、地下水位に対するトレンチ処分場の適用例を示す。図 7.1-3 に廃棄物と地下水の水位の位置関係の例を示す。

平地や丘陵地斜面の場合、廃棄物底面が地下水の水位より上の場合は、地下水と廃棄物が接触しにくいことが想定されるため、掘下型トレンチ処分場の適用が検討される。しかし、廃棄物底面が地下水の水位より下の場合は、不測の事態が生じた場合に廃棄物と地下水が接触する恐れがあるため、廃棄物底面が地下水の水位より上になるように盛土型トレンチ処分場または盛土+掘下型トレンチ(半地下型)処分場の適用が検討される。

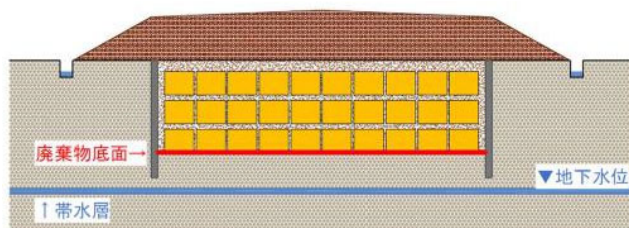


図 7.1-3 廃棄物と地下水位の位置関係の例

7.1.3 廃棄物設置位置

上述した地形条件や地下水位等の条件から廃棄物を埋設する位置を設定する。ここでは廃棄物設置位置の適用例を示す。図 7.1-4 に廃棄物設置位置の例を示す。

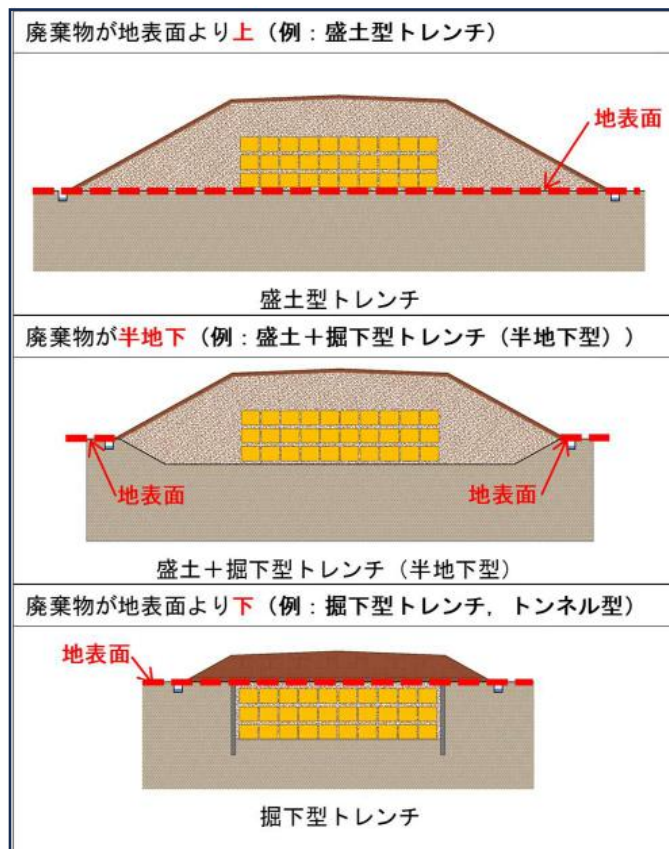


図 7.1-4 廃棄物設置位置の例

廃棄物底面が地下水位より下であるなどの条件により廃棄物を埋設する位置を地表面より上に設置する場合は盛土型トレンチ処分場の適用が考えられる。沢地形の利用が検討される場合等の条件により廃棄物を半地下で埋設する場合は盛土+掘下型トレンチ(半地下型)処分場の適用が考えられる。廃棄物底面が地下水位より上であるなどの条件により廃棄物を埋設する位置を地表面より下に設置する場合は掘下型トレンチ処分場の適用が考えられる。

7.2 遮水シートの長期耐久性

7.2.1 遮水シートの長期耐久性の評価方法

遮水シートの長期耐久性を示す場合、前述した遮水シート耐久性の目安値では15年とされている。この目安値などから長期の耐久性を推定する事は困難なため、遮水シートに期待する長期の機能維持期間の妥当性を示す必要がある。

ここでは、遮水シートに期待する長期の機能維持期間の妥当性を示す方法の案を以下に示す。ただし、ここで示す方法は一つの案であり、期待する遮水シートの機能維持期間、実際の処分場の設計構造、使用する遮水シートの種類、環境(日照時間、温度)、処分場供用期間の運用方法などを考慮して、想定する条件に対応して検討が必要である点に注意すること。

遮水シートの長期耐久性の評価方法案の基本的な考え方は、まず、国内の実際の環境下で長期間にわたり使用された遮水シートのデータより検討された本書の「4 各種遮水材料の耐久性の検討」で提示している「遮水シートの材質別の耐久性評価式(4.8)」を用い、トレンチ処分場の設置を予定している地点の年平均日射量により推定年数を算定する(①)。

詳細については「4.3 遮水シート材質別の長期耐久性評価式の提案」を参照のこと。

$$Y_i = a_i + b_i \cdot c_i^X \quad \dots (4.8)$$

i : 遮水シート材質(TPO、EPDM、PVC)

Y_i : 遮水シート材質 i の引張強さ保持率または伸び保持率(%)

X : 入力エネルギー (GJ/m²)

a_i, b_i, c_i : 回帰係数

次にトレンチ処分場構造と供用時の運用形態を考慮して、クローズドシステムや遮水シート上部に保護マットもしくは覆土されることにより暴露条件が緩和された条件を想定した機能維持期間を推定する(②)。

詳細については「4.4 被覆下の遮水シートの暴露係数に関する検討」を参照のこと。

また、保護マットによる暴露条件が緩和を想定する場合には、保護マット自体の耐久性についても考慮する必要がある。詳細については「4.5 保護マットの耐久性」を参照のこと。

さらに参考情報として、「7.2.2 国内外の遮水シートの耐久性検討状況」で示す文献情報を用いる(③)。これにより、国内の実際の環境下で長期間にわたり使用された遮水シートの長期耐久性の推定式から得られる機能維持期間の推定に加えて、国内外を含めた現状の研究成果を用いて、遮水シートが長期にわたり機能を維持する論拠を補強する。

一般に、上記の方法で長期の耐久性を説明する場合、遮水シートが機能を維持する期間の推定結果は①<②<③の順となる。これより、①の状態が要求を満足することを確認し、さらに②、③の推定結果より、検討するトレンチ処分場に用いる遮水シートがより長期にわたり機能を発揮することを提示することで技術的論拠の補強を行う。

7.2.2 国内外の遮水シートの耐久性検討状況

前節では国内の気象、日射環境下に暴露され、採取された遮水工材料の試料に基づく検討結果により、遮水シートには50年程度の耐久性がある事が示された。

一方、日本で使用される以前から遮水シートを使用した実績のある海外では、アムステルダムに本部を置く GRI (Global Reporting Initiative)、アメリカに本部を置く GSI (Geosynthetic Institute)、パリに本部を置く IGS (International Geosynthetics Society) などでも、耐久性の検討がなされている。わが国の環境条件とは異なるが、こうした海外の研究結果には数百年間にわたり機能が維持される可能性が示唆されていることより、これらの情報を参考情報として利用することは、技術的論拠の補強のためには有用である。

以下にこれらの文献情報の概要を示す。

(1) 遮水シート等の劣化機構

GRI Report #47 では、遮水シート及びその保護シートの劣化機構として、以下の要素を検討し、その一般環境での主要劣化要因を温度、紫外線、酸化としている。

- ・ 紫外線照射（主としてすべての樹脂で暴露された時のみ関与）
- ・ 酸化（全ての樹脂に係るが程度は異なる）
- ・ 加水分解（PET を除き水は樹脂には関与しない）
- ・ 化学物質（すべての樹脂に炭化水素が関与する）
- ・ 放射線（高レベル放射性廃棄物についてのみ関与する）
- ・ 生物（細菌、コケ類も関与しない）
- ・ (イオンの)移転（硬化剤を除き関与しない）
- ・ 温度（温度は上記すべての劣化要因を促進する）

これによれば、紫外線に当たらず、温度が低温で一定し、酸化環境が乏しい土中での劣化は地表面に置かれた遮水シートに比べ非常に長いものと考えられる。しかし、処分場の底部に遮水工を配置した場合、廃棄物処分の作業期間は暴露される事になるため、その期間の劣化は考慮する必要がある。このため、海外でも同様に遮水シートを日射に暴露し、劣化促進機で一定の温度を設定し紫外線を照射する事により遮水シートの耐久性を検討している。

その他の劣化要因についてはここに示されていないが、湿度も表面劣化に寄与する要因と考えられている。さらに添加剤を遮水シートに配合する事で使用開始当初に比べ、遮水シートの耐久性が増している事も報告されている。

(2) HDPE の耐用年数

a. 遮水シートの劣化過程

HDPE 遮水シートの耐用年数は通常、図 7.2-1 に示す 3 段階の劣化モデル (Hsuan and Koerner, 1998) を使用し、各段階の時間を合計したもので評価されている。

ステージⅠ：酸化防止剤(0.5～1%添加)の失効期間

ステージⅡ：ポリマー分解の開始期間

ステージⅢ：力学的性能の保持率 50%に至るまでの期間

ステージⅠ、Ⅱ、およびⅢの間の境界は、実際には、図 7.2-1 で示されるほど明確ではなく、ステージⅡおよびⅢの終了は、パラメータ (例えば、破断時の強度、破断時の伸び、ストレスクラックなど) に応じて変化する。ここでは、力学的性能が当初の 50% まで落ちる時点を通り半寿命 (Half-life) と称して性能限界として検討している。

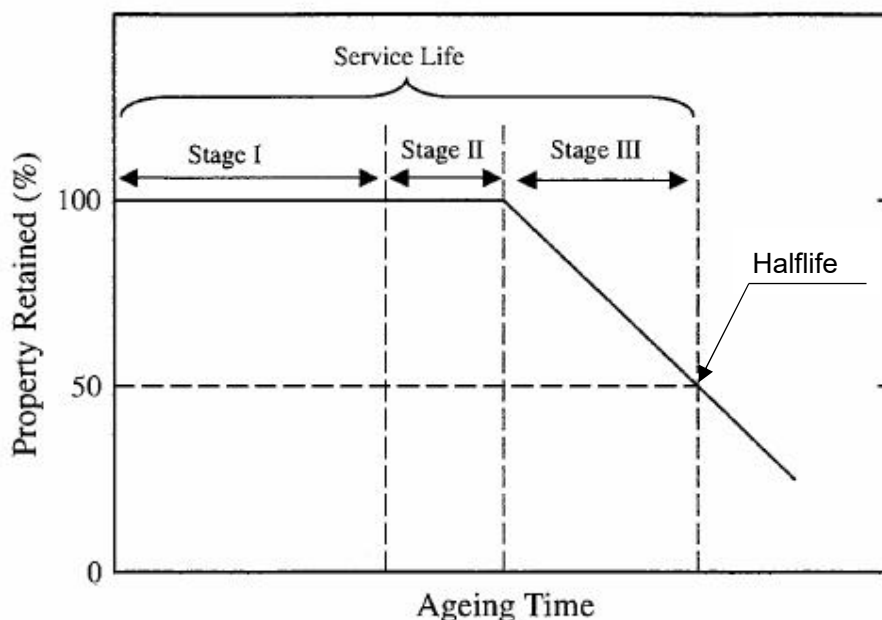


図 7.2-1 HDPE の劣化モデル図¹⁾

b. 遮水シートの劣化評価の試験項目

遮水シートの劣化評価尺度には下記に示すように種々あるが、遮水シートの特性に合わせた評価をする必要がある。

① OIT 試験(酸化誘導時間：Oxidation Induction Time)

酸化防止剤が失効するまでの時間を測定。

② 結晶化度

ポリマー中の結晶化領域の量を測定。

③ MI (メルトインデックス：melt index)

熔融状態のポリマーの流動特性を測定。

④ SCR(耐応力亀裂：Stress Cracking Resistance 又は ESC: Environmental Stress Cracking)

ポリマーに生じる内部、外部応力によるストレスクラックの測定。

⑤ 引張特性

⑥ 表面観察

X線光電子光法、エネルギー分散型 X線分光法、走査型電子顕微鏡により観察。ステージ I における酸化防止剤失効年数を表 7.2-1 に示す。

表 7.2-1 ステージ I における酸化防止剤失効年数例²⁾

| 条件 | 20℃ | 35℃ | 50℃ |
|------------|---------|-------|-------|
| 気中暴露(年) | 165～190 | 55～65 | 20～25 |
| 水中浸漬(年) | 85～95 | 30～35 | 15 |
| 合成浸出水浸漬(年) | 20～25 | 10 | 4～5 |

表 7.2-1 より、HDPE 遮水シートの場合、浸出水浸漬による影響が高いと言える。

HDPE 遮水シート(厚さ 2mm)は、約 2.5%のカーボンブラックと微量の酸化防止剤が配合されているものを使用している。引張特性及び SCR (Stress Crack Resistance) における耐用年数推定値を表 7.2-2 に示す。

表 7.2-2 試験項目別 HDPE 遮水シートの耐用年数の推定²⁾

| 試験項目 | 合成浸出水に浸漬された遮水シートの耐用年数 | | |
|---------------|-----------------------|--------------|------------|
| 破断時の引張強さ | 335～380 年 | | |
| 破断時の伸び | 190～250 年 | | |
| ストレスクラック(SCR) | 20℃ | 35℃ | 50℃ |
| | 700～1000 年 | 50～225-375 年 | 40～50-90 年 |

表 7.2-2 より、HDPE 遮水シートの場合 SCR による特性が大きいと言える。SCR は、HDPE 固有の特性で、評価項目の一つとなっている。

各温度における SCR の変化率による耐用年数の推定値を表 7.2-3 に示す。

表 7.2-3 SCR による温度別浸出水浸漬 HDPE 遮水シートの耐用年数推定²⁾

| 温度 (℃) | Stage II における SCR の変化 | | |
|-----------|-----------------------|---------|---------|
| | 25% (年) | 50% (年) | 75% (年) |
| 20 | 1,180-1,055 | 855-830 | 695-685 |
| 35 | 225-215 | 180-180 | 150-150 |
| 50 | 50-50 | 45-45 | 40-40 |

(3) 各種遮水シートの耐用年数

a. 遮水シートの配合

遮水シートの一般的な配合組成を表 7.2-4 に示す。

表 7.2-4 遮水シートの種類と配合処方(重量%)³⁾

| 種類 | 樹脂量 | 可塑剤 | 充填剤 | カーボンブラック | 添加剤 |
|-------|-------|-------|-------|----------|--------|
| HDPE | 95-98 | 0 | 0 | 2-3 | 0.25-1 |
| LLDPE | 94-96 | 0 | 0 | 2-3 | 0.25-3 |
| fPP | 85-98 | 0 | 0-13 | 2-4 | 0.25-2 |
| PVC | 50-70 | 25-35 | 0-10 | 2-5 | 2-5 |
| CSPE | 40-60 | 0 | 40-50 | 5-10 | 5-15 |
| EPDM | 25-30 | 0 | 20-40 | 20-40 | 1-5 |

HDPE = high density polyethylene LLDPE = linear low density polyethylene
 fPP(TPO-PP) = flexible polypropylene PVC = polyvinyl chloride (plasticized)軟質塩ビ
 CSPE = chlorsulfonated polyethylene EPDM = ethylene propylene diene terpolymer

カーボンブラックは紫外線による損傷を受けないため、カーボンブラックの含有は、ポリマーの柔軟性、機械的強度、および隠蔽性に悪影響を及ぼす紫外線の破壊的吸収を遅くする、あるいは阻止する効果がある。特に樹脂製品については、スペックにカーボンブラック量が規定されている場合があり、製品が黒色なのはこのためである。また、製品に白色のものがあるが、これはカーボンブラックの代わりに高い屈折率を持ち紫外線を物理的に反射・散乱させることによって紫外線防御剤として機能する無機粉体・白色顔料(酸化チタンおよび酸化亜鉛)が使用されている。添加剤には酸化防止剤や劣化防止剤等が配合されている。

b. 遮水シートの一般的性能

遮水シートの一般的性能例を表 7.2-5 に示す。

表 7.2-5 遮水シートの一般的性能例⁵⁾

| 種類 | GRI | 厚さ(mm) | OIT(min.) | 引張強さ(kN/m) | 伸び率(%) |
|-----------|------|--------|-----------|------------|--------|
| HDPE | GM13 | 1.5 | 67 | 56.6 | 750 |
| LLDPE | GM17 | 1 | 21.1 | 38.7 | 760 |
| fPP | GM18 | 1 | 7.2 | 14.3 | 600 |
| EPDM | GM21 | 1 | 0 | 10 | 640 |
| PVC(Euro) | 独自 | 2.5 | 5.9 | 47.2 | 400 |

厚さが異なるので、耐久性を評価するときには、劣化現象は表面層より起こることより、厚さの影響を考慮する必要がある。

c. 遮水シートの耐用年数の推定

GRI Report #42 (Part I, 2012) の「室内紫外線照射による遮水シートの耐用年数推定」には、引張強さ又は伸び率の 50%低下時の遮水シートの耐用年数推定が報告されている(表 7.2-6)。

遮水シートは実暴露状態で引張特性保持率が 50%になるポイントで 30~50 年以上(ただし、PVC を除く)の耐久性が推定されている。

遮水シートの厚さが HDPE を除いて 1mm 程度であるが、実際に使用される遮水シートの厚さは 1.5mm 以上なので、表面劣化を考慮すれば約 1.5 倍(ただし、HDPE を除く)の耐久性が見込まれると考えられる。

表 7.2-6 引張強さ又は伸び率 50%低下時の遮水シートの耐用年数推定⁴⁾

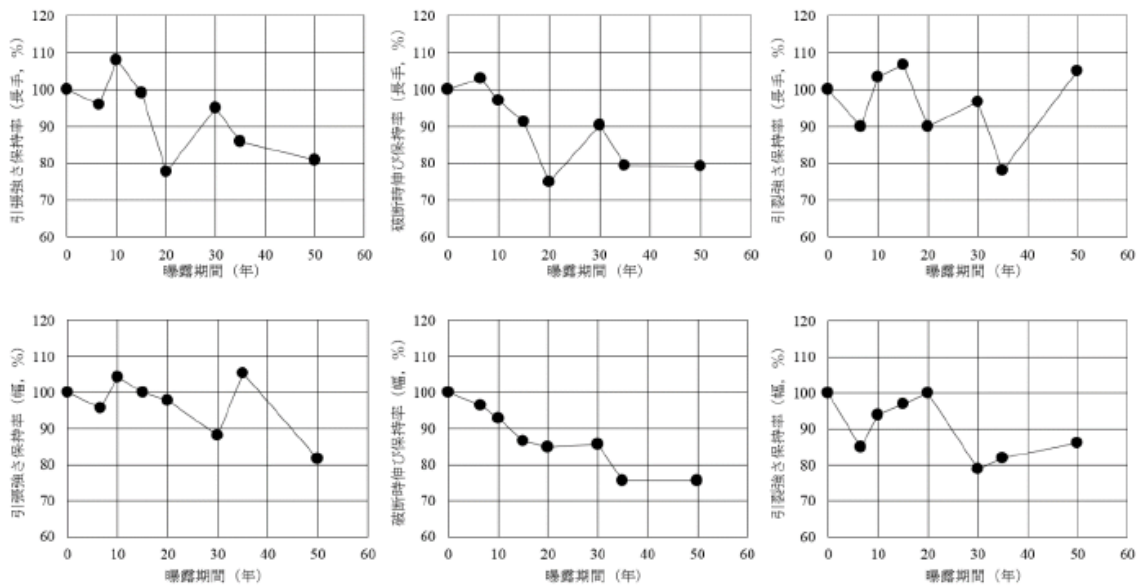
| 遮水シート種類 | 呼称厚さ (mm) | 適用仕様 | 50% 保持率* (照射時間) | 耐用年数推定 | 1.5mm 換算推定年数 |
|-------------|-----------|-------------|-----------------|--------|--------------|
| fPP(TPO-PP) | 1.00 | GRI-GM18 | 40,000 | 33 | 49.5 |
| HDPE | 1.50 | GRI-GM13 | ~ 60,000 | 約 50 | 約 50 |
| LLDPE | 1.00 | GRI-GM17 | 40,000 | 33 | 49.5 |
| EPDM | 1.14 | GRI-GM21 | 37,000 | 30 | 39.5 |
| PVC-N.A. | 0.75 | ASTM D7171 | 8,000 | 7** | 14 |
| PVC-Euro | 2.50 | proprietary | 38,000 | 32 | 19.2 |

*紫外線蛍光試験機使用(光源波長 350 nm, 70°C、20 時間照射/日)

**土中埋没にのみ適用

IGS では、遮水シートの引張特性保持率 40%を一つの目安としており、遮水シート材料の耐久性は 50 年以上あり、被覆状態であれば劣化はさらに緩慢になると言える。

また、「50 年暴露された合成ゴム系遮水シートの物性変化⁶⁾」によれば、遮水シートの引張特性は、水中に存在していれば、50 年を経過しても図 7.2-2 に示すように初期値の約 8 割程度を保持していることを明らかにしている。最終処分場では遮水シート上下に保護マットがあるが、池では遮水シート下は土壌、上は水(水深約 1m)となっている。水深は浅いので若干なりとも日射の影響は受けていると推定され使用条件は異なるが、被覆状態であれば遮水シートの耐久性はあがるものと推察される。



(初期値を 100%)

(左から引張強さ、伸び率、引裂き強さ、上段が長手方向、下段が幅方向を示す。)

図 7.2-2 経年後の引張特性保持率

(文献)

- 1) 最終処分場における時間-温度履歴が HDPE 遮水シートの耐用年数に与える影響
R.K. Rowe, M.Z. Islam : Impact of landfill liner time-temperature history on the service life of HDPE geomembranes/Waste Management 29 (2009) 2689-2699
- 2) 「各温度における空気、水、合成浸出水に曝された HDPE 遮水シートの劣化」
R.K.Rowe , S.Rimal , H.Sangam : Ageing of HDPE geomembrane exposed to air , water , and leachate at different temperatures/Geotextiles and Geomembranes 27 (2009) 137-151
- 3) 非暴露及び暴露条件での遮水シートの耐久性推定
Robert M. Koerner, Y. Grace Hsuan and George R. Koerner : GRI White Paper #6 - on - Geomembrane Lifetime Prediction: Unexposed and Exposed Conditions,2011
- 4) 室内紫外線照射による遮水シートの耐用年数推定
Robert M. Koerner, George R. Koerner, Y. (Grace) Hsuan and W. K. (Connie) Wong : GRI Report #42 /Lifetime Prediction of Laboratory UV Exposed Geomembranes: Part I - Using a Correlation Factor ,2012
- 5) 室内紫外線照射による繊維材料および遮水シートの耐用年数推定
Robert M. Koerner, George R. Koerner, Y. (Grace) Hsuan : GRI Report #47/Lifetime Prediction of Laboratory UV Exposed Textile & Geomembranes: Part II - Using UV Fluorescent Laboratory Devices,2019
- 6) 森充広、浅野勇、川邊翔平、川上昭彦：50年曝露された合成ゴム系遮水シートの物性変化、農業農村工学会誌、86(6)、pp.493～496(2018)

7.3 トレンチ処分場を考慮した場合の処分場構造案

トレンチ処分場の構造案を、現状の一般・産業廃棄物処分場の状況と本書で示した個別事案の検討結果より、50年長寿命化遮水システムの案として以下を提案する。

7.3.1 遮水構造（覆土構造、クローズドシステム）

雨水を入れない事を前提に処分を進める必要があり、廃棄物の受け作業時には事前に屋根構造等により埋立地への雨水の浸入を防止しなければならない。また、廃棄物設置後、雨水及び地下水を抑制する必要がある。

トレンチを設ける場合、土留めと同時に掘削部側方からの浸透水の流入を防ぐための鉛直遮水が求められる場合がある。こうした知見も処分場設計には必要である。

最終覆土は降雨浸透を抑制する構造が求められている。一般廃棄物処分場と同様、廃棄物に接触する水分は覆土が健全であれば降雨浸透水のみである。したがって、廃棄物から漏出する放射性物質は降雨浸透水を抑制すれば抑制することができる。

一般廃棄物と違い分解や洗い出す成分もないため、廃棄物安定化のために浸透水をある程度取り込む必要はない。このため、L3廃棄物であっても覆土が難透水性を持つことは有利である。また、沢地のような場所を選択せざるを得ない場合は一般廃棄物処分場同様な遮水構造を設ける必要がある。

こうした機能は廃棄物の埋設後の管理期間中も維持される必要があり、機能が維持されている事を確認できることが求められる。

遮水シート等により雨水及び地下水の浸入を抑制する構造としては以下が考えられ。

「L3廃棄物（放射能レベルの極めて低い廃棄物）処分の概要と浸透抑制機能検討の前提条件」として以下のようにまとめることができる。

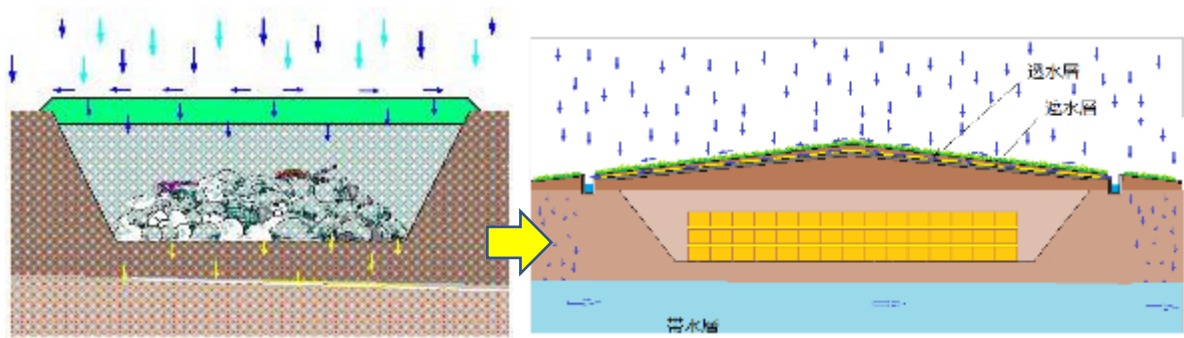
①廃棄物受け入れ時

埋設作業期間はトレンチもしくは廃棄物定置場所はテント等で覆い降雨浸入を防止すると共に周囲の排水溝などの排水設備を完備し、表流水の作業場所への浸入を防止すると同時にトレンチ底部には仮設排水溝及びポンプを設けるなどし、表流水が侵入した場合でも速やかに排水できるように対策を取る。テント等の被覆構造については「5.2 被覆施設の構造」を参照のこと。

②廃棄物埋設作業終了後

- ・最終覆土の遮水・浸透抑制方法に有効な遮水システムの構造。安全評価上十分な降雨浸透抑制ができる最終覆土で埋設地を覆う(図 7.3-1)。
- ・地下水位が高い、もしくは上昇が予想される場合に対応する最終覆土と底部の遮水システムを組み合わせた構造

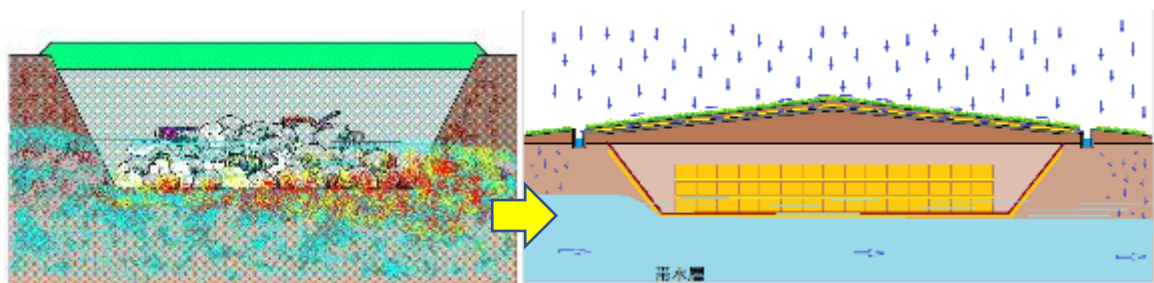
地下水が高い場所に処分する場合や津波や地下水面及び海水面の上昇により処分地底部に地下水が流入する事が予測される場所では、底部に難透水層及び地下水を排除する透水層を設け廃棄物に地下水が接触し難い構造とする(図 7.3-2)。



地下水位より廃棄物層が上にある場合
放射性物質の地下水への漏出

同条件で人工バリアによる浸透抑制した場合
浸透水制限により放射性物質の漏出が制限

図 7.3-1 トレンチ処分場が遮水工に期待する効果(廃棄物上部の最終覆土)



地下水位が高く廃棄物層に接触する場合
放射性物質の流出

同条件で底部遮水層がある場合。
地下水流入制限で放射性物質の流出制限

図 7.3-2 トレンチ処分場が遮水工に期待する効果

トレンチ処分場については有機物の埋め立がないため、即日覆土、中間覆土についてはここでは考慮しないものとするが、廃棄物埋立てにおける作業性のため、レベル調整土層を設けるものとして以下の提案とする。

尚、最終覆土の構造については「5.覆土工・キャッピング」を参照のこと。

処分地に廃棄物を梱包し埋立てる場合、ある程度の段数を積み重ねていくと不陸が大きくなり、重機による搬入が困難となることが想定される。

そこで、重機による搬入が可能となる段数を設置した後、ジオテキスタイル（織布、不織布）を敷設し、その上部に中間覆土を巻き出し、重機の走行が可能となるようにする。従って、容器を安定的に定置するため、容器各層間には 300mm 厚さの中間覆土を施す事を提案する(図 7.3-8)。

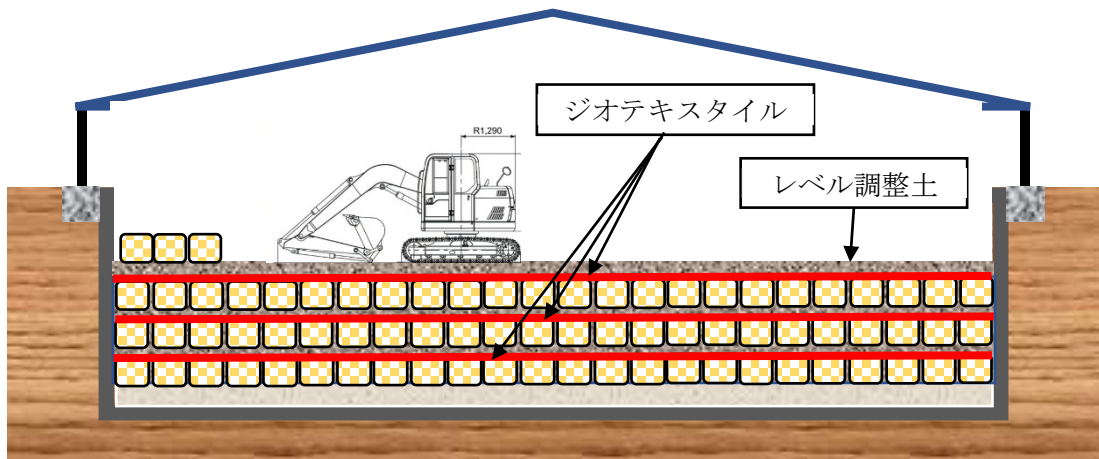


図 7.3-3 クローズドシステム型廃棄物埋め立て参考図

クローズドシステムの具体例については、「5.2 被覆施設の構造」を参照のこと。

7.3.2 遮水形態

トレンチ処分場の立地条件を考慮した場合、海岸縁に位置するため、塩害に留意する必要がある。また、地下水位が高く、地下水の影響を受けやすい。

下地は岩盤であることが多く、掘り込みは難しい等の制約条件より、広い平地は望めない。表 7.3-1 に示す過去の実績より、トレンチ処分場規模は、1 区画が 120m²(8m×15m)で総面積 10 千 m²弱程度と考えられる。したがって、貯留構造物としては、下地コンクリート堰堤又は盛土堰堤と考えられる。

貯留構造物として、下地コンクリート堰堤又は盛土堰堤とした例を図 7.3-4 に示す。

表 7.3-1 トレンチ処分場規模例

| トレンチ処分場規模 | F 電力 | | | G 電力 | H 電力 | I 電力 | | J 電力 | | K 電力 | 平均 |
|-------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | |
| 容器のみの必要面積(m ²)※1 | 2,681 | 6,196 | 4,623 | 4,491 | 2,681 | 4,623 | 2,311 | 6,670 | 3,622 | 4,145 | 4,204 |
| トレンチ合計必要面積(m ²)※2 | 6,313 | 12,186 | 9,619 | 9,400 | 6,313 | 9,619 | 5,656 | 12,947 | 7,940 | 8,823 | 8,882 |

※1：容器のみの面積を示す(容器ごとの隙間は考慮しない)

※2：容器の隙間、盛土、作業用道路等を考慮した際の面積

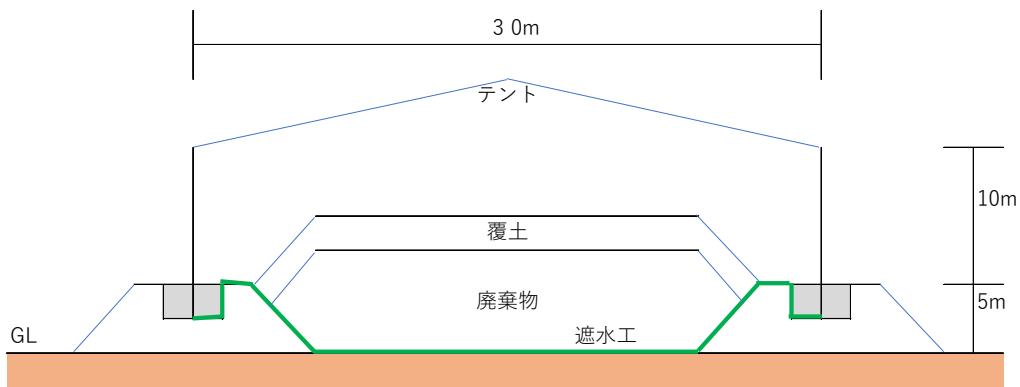


図 7.3-4 トレンチ処分場向け被覆施設案

遮水工の耐久性は、50 年を考慮する事になっているが、テント・膜構造の建屋は、廃棄物の覆土が 5～10 年と推定されるため、現在一般廃棄物最終処分場で使用されている仕様で対応できるものと考えられる。

屋根の撤去は、覆土完了時を原則とするが、必要により覆土完了後も継続して使用する。ただし、その場合には適切な補修管理が必要となる。

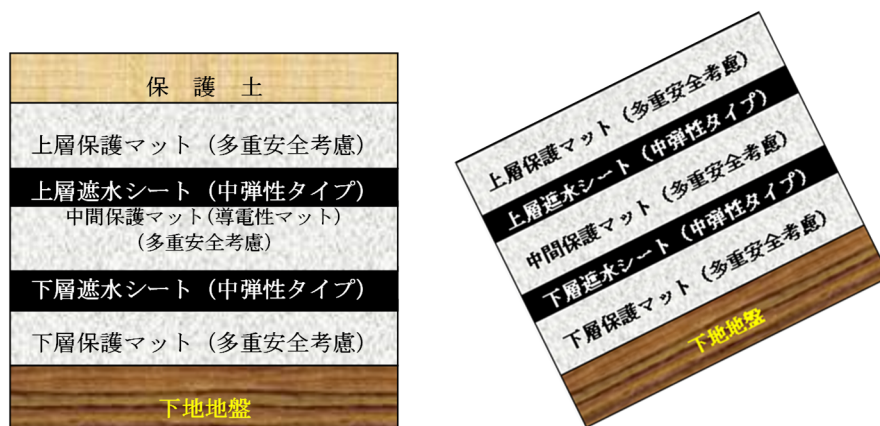
7.3.3 遮水工構造

トレンチ処分場の遮水工の構成は図 7.3-5（貯留構造物が盛土堰堤の例）に示すものが推奨される。

上層保護マットには、多重安全を考慮して核種吸着マットを併用させることにより、溶出核種イオンの流出を抑えることができる。

中間保護マットには、多重安全として遮水シート損傷検知システム用導電性マットを併用させることにより、ピンポイントで遮水シートの損傷を検知させることができる。

また、多重安全として、底面部中間層に GCL、法面部中間層に高吸水性マットを併用させることにより、万一の漏水を抑えることができる。



【底面部提案図】

【法面部提案図】

図 7.3-5 トレンチ処分場の遮水構造提案例

上層保護マットには、多重安全を考慮して核種吸着マットを併用させることにより、溶出核種イオンの流出を抑えることができる。

中間保護マットには、多重安全として遮水シート損傷検知システム用導電性マットを併用させることにより、ピンポイントで遮水シートの損傷を検知させることができる。

また、多重安全として、底面部中間層に GCL、法面部中間層に高吸水性マットを併用させることにより、万一の漏水を抑えることができる。

ベントナイト系遮水シートの膨潤特性により漏水の面的拡散を防いで漏水量を最小限に抑える効果および小さな損傷個所に対しては自己修復性により損傷部を塞ぐ効果がある。

ベントナイト系遮水シートは単独の遮水材として使用されている池等の例があるが、廃棄物最終処分場においては単独で用いられることはなく、ベントナイト系遮水シートと他の遮水シートを組み合わせた複合遮水システムとして使用される。遮水材として使用する他にも粘土遮水層と遮水シートの間や二重遮水シート間に自己修復性保護マットとして中間層に使用される例がある。

欧米においては、複合遮水構造の中の1次遮水層を構成する粘土層の代替品としてベントナイト系遮水シートが採用されている例がある。多重安全構造例を表 7.3-2 に示す。

表 7.3-2 多重安全構造例

| | 基本構造 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| 覆土 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 上層保護マット | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 上層遮水シート | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 中間層 | 保護マット | ベントナイト系遮水シート | | | |
| | | 保護マット | 保護マット | | |
| | | | 保護土 | | |
| | | | 保護マット | | |
| 下層遮水シート | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 下層保護マット | ○ | ○ | ○ | ベントナイト系遮水シート | 粘土遮水層 |
| | | | | 保護マット | 遮水シート |
| 保護土 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

最終処分場建設工事標準発注仕様書(土木建築編)¹⁾によれば、多重安全構造の一機能として漏水通過時間確保機能は、遮水シートが損傷した場合に修復までに必要な時間を確保するためのものであり、遮水シート下部層（第二層）の透水係数と厚さが重要となる。汚染軽減機能は、単位時間当りの漏水量を一定以下に抑制し、許容限度以上の地下水汚染を生じさせないための機能であり、透水係数と埋立地内浸出水の水位が重要である。

表 7.3-3 に各遮水層の透水係数と漏水到達時間の関係を示す

表 7.3-3 各遮水層の透水係数と漏水到達時間の関係

| 水位基準 | 下部遮水層構造 | 厚さ | 透水係数 | 水位 | 漏水速度 | 漏水到達時間 |
|-----------|----------------|------|-----------|------|-----------|--------|
| 遮水工 上面 | 粘性土 | 5m | 100nm/sec | 1m | 20nm/sec | 7.9 年 |
| | シート+粘性土 | 50cm | 10nm/sec | | | 289 日 |
| | シート+水密 アスコン | 5cm | 1nm/sec | | | 29 日 |
| 遮水工 下面 | 粘性土 | 5m | 100nm/sec | 5m | 100nm/sec | 1.6 年 |
| | シート+粘性土 | 50cm | 10nm/sec | 0.5m | 10nm/sec | 1.6 年 |
| | シート+水密 アスコン | 5cm | 1nm/sec | 5cm | 1nm/sec | 1.6 年 |

※遮水工上面または遮水工下面を基準面としてダルシー式で計算

1) 特定非営利活動法人最終処分場技術システム研究協会/一般社団法人持続可能社会推進
コンサルタント協会：最終処分場建設工事標準発注仕様書(土木建築編) 2020

(多重安全構造の留意点)

- ① 保護土は、遮水工の保護を目的としているので、材料は砂等の粒径の小さいものを用いることになっている。従って、現地発生土を流用する場合には礫等の混在がないものを使用すること。
- ② ベントナイト系遮水シートを使用する場合は、止水効果が付加されていることから遮水シートと密着して使用される。従って、ベントナイト粉塵等により遮水シートの敷や接合に支障をきたさないよう配慮する必要がある。
- ③ 粘性土を用いる場合は、施工中の降雨による含水により粘性土の強度低下が発生し、遮水シート施工に支障をきたす恐れもあるので、施工管理に配慮が必要である。
- ④ 中間保護層には、機能性材料を併用することがあり、各機能が損なわれないように配慮する必要がある。

7.3.4 遮水材料

(1) 遮水シート

- ① 「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領」に示されている合成ゴム系・合成樹脂系(中弾性タイプ)と同等以上(表 2.1-1)の材料とし、日本遮水工協会の認定品とすること。
- ② 基本特性及び耐久性等に係る特性は、「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領」の目安値を満足する材料とすること。
- ④ 遮水シートの厚さは 1.5mm 以上とすること。

(2) 不織布

- ① 不織布の材質は、100%合成樹脂繊維とし、目付量 400g/m²以上、貫入抵抗 500N 以上を満足する材料とすること。

基本特性及び耐久性等に係る特性は、使用する不織布の種類に応じた「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領」に示される目安値(表 2.2-1)を満足する材料とすること。

(3) ベントナイトマット(GCL)

GCL(ベントナイトマット)は、表 2.3-2 GCL 自主基準を満足する材料とすること。

7.3.5 遮水工法による遮水材料選定

下地構造により、遮水シート及び遮水工法が選定される。

(1) 下地コンクリート堰堤の場合

電磁融着式ディスク固定遮水シート(TPO)または躯体埋込式アンカー付き遮水シート(HDPE)が適用される(図 7.3-6、図 7.3-7)

(2) 盛土堰堤の場合

敷地は矩形であるため、熱融着できる HDPE、LDPE、TPO 系遮水シートが適用できる。

(3) 掘り込み型の場合

立地的に掘り込み型は湧水の発生が懸念されるため、施設構造としては不適であるが、建設可能であれば、遮水工は盛土堰堤の場合と同様に熱融着できる HDPE、LDPE、TPO 系遮水シートが適用できる。

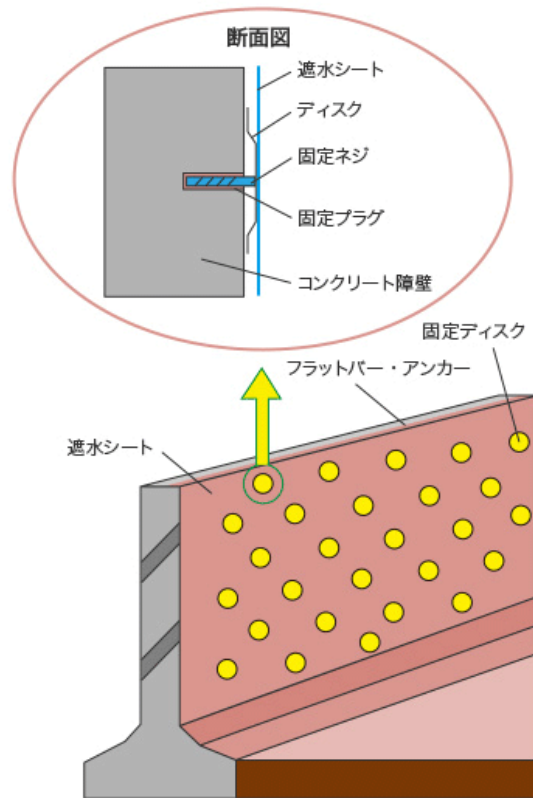


図 7.3-6 ディスク固定イメージ図(M 社)



図 7.3-7 アンカー付きシート断面イメージ図(T 社)

7.3.6 維持管理

維持管理していく上において、機能検査は、第三者の立場の公正な目で検査を行う対外活動に限定されるものでなく、自社の最終処分場に関しても自社処分場の管理が客観的に、かつ、適正に行われていることを示すことにもなり、自社最終処分場の運営に関する企業の信用度を一段と高めることになる。機能検査は、以下のことが達成されることが、最終処分場の維持管理のあるべき姿であると考えられる。

- ① 機能検査をすることにより、地域住民に趣旨を理解してもらい、安全・安心の信頼を得ていく。
- ② 廃棄物処理施設の発注仕様書作成の手引き(2013年11月)によれば、発注仕様書は、最終処分場の設計・施工に関する内容を記したものであるが、「最終処分場の設置から廃止、跡地利用までの全体サイクルで考えた場合、仕様書の思想は、廃止までの維持管理を反映したものであるべきである」とされている。各計画、設計者の方にも、積極的に機能検査者の資格を取得していただき、機能検査の実力をつけていただくことが大切である。
- ③ 各自治体あるいは企業に理解を頂き、施設管理者の方に機能検査者の資格を取得していただくことにより、維持管理の監視を強化していただくことが大切である。

トレンチ処分場の維持管理として、5年単位の定期検査として機能検査を励行することが、トレンチ処分場の耐久性を維持するうえでの必要条件である。

遮水シートは、施工後に触れることや目視することができない場合が多く、間接的な検査方法も含めて実施する。そのため、トレンチ処分場内にあらかじめセットした遮水シートサンプルを10年単位で評価することにより、遮水材料の耐久性(経年的変化)を検証することが大切である。

検査は、遮水シート施工部(遮水シートサンプルをとるのは上層遮水シートのみで、下層遮水シートは紫外線および薬品などの影響を受けないため、対象外とする)、遮水シートサンプル部の両面から実施する。なお、最終覆土で通気防水・雨水撤去シートを採用した場合には、遮水シートサンプルと同様にサンプルを設置し、経年変化の検証をすることを提案する。

遮水シートサンプルの設置方法を以下に示す。

遮水シートサンプルは、現場接合部が少なくとも一箇所抜き取りができるように天端から法尻まで、現場施工と同様の仕様で設置することが基本である。しかし、トレンチ処分場の場合、埋立期間5~10年で閉鎖され、その後50年間保管されることが計画されている。したがって、最終覆土層に設置するものとする。

遮水シートサンプルは立地条件から日射のある南面急勾配箇所などの劣化が一番激しいと予測される場所に設置する。検査用遮水シートサンプルの構造の案を図7.3-8に示し、検査用遮水シートサンプルの寸法の案を図7.3-9に示す。

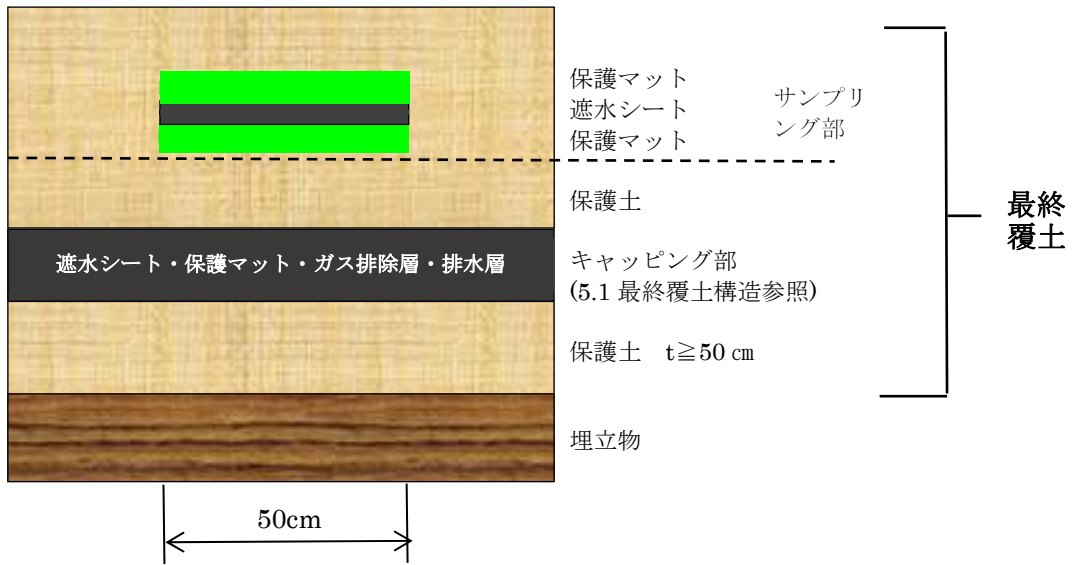


図 7.3-8 検査用遮水シートサンプルの構造(案)

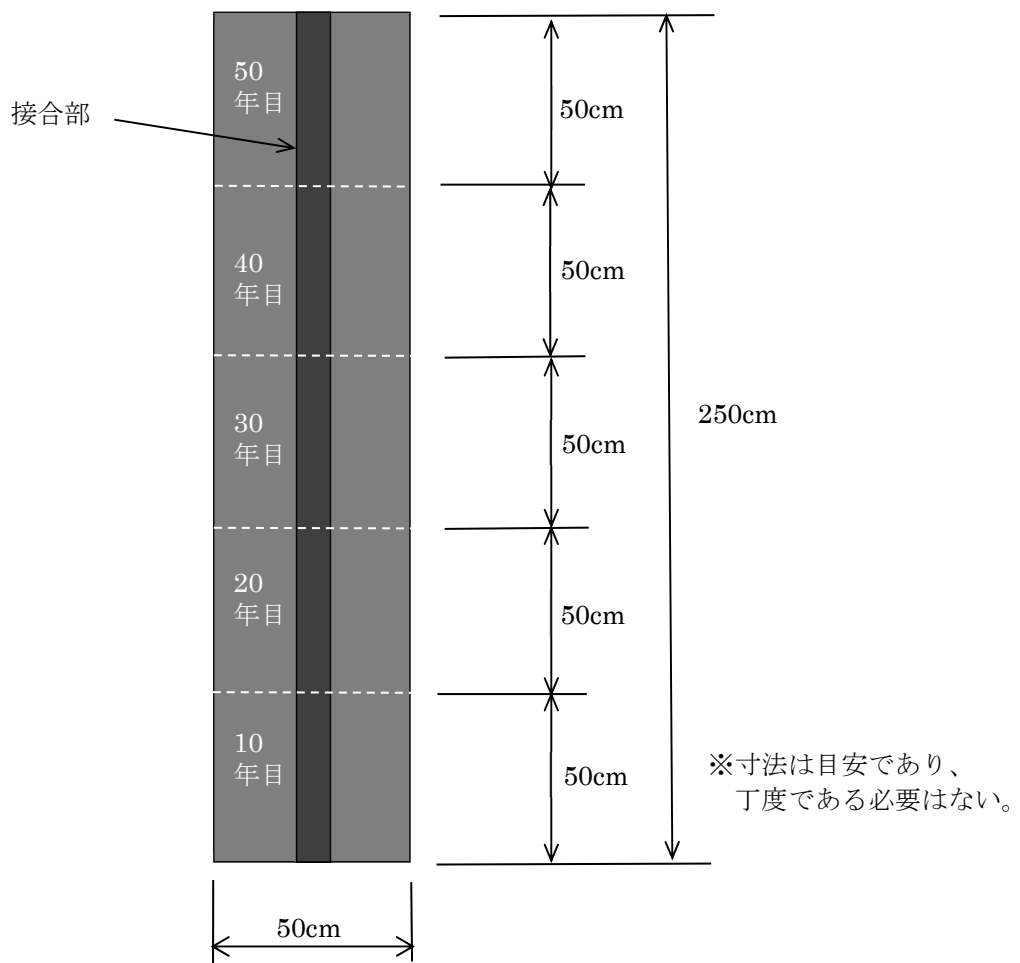


図 7.3-9 検査用遮水シートサンプルの寸法

(参考文献)

- 1)一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部を改訂する命令(平成10年6月16日公布、総理府、厚生省令第2号)
- 2)廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010 改訂版((公社)全国都市清掃会議、2010)
- 3)廃棄物最終処分場遮水シート取扱いマニュアル(日本遮水工協会、2016年)
- 4)廃棄物処分場における遮水シートの耐久性ハンドブック(IGS 日本支部ジオメンブレン技術委員会、2010年)
- 5)最終処分場機能検査者資格認定試験テキスト(NPO・LSA、2019年)
- 6)クローズドシステム処分場技術ハンドブック(NPO・LSA、2012年12月)
- 7)最終処分場発注仕様書の手引き(環境省、2014年改訂版)
- 8)環境・遮水管理センシング技術研究会の諸資料
- 9)通気防水シートキャッピング工法研究会の諸資料
- 10)漏水検知自主基準(NPO・LSA、2021年)
- 11)特定非営利活動法人最終処分場技術システム研究協会/一般社団法人持続可能社会推進コンサルタント協会発刊の「最終処分場建設工事要求仕様書」

8. 参考資料 国内の被覆施設の事例

8.1 被覆施設の構造形式

- ①アーチ：自重および外力に対し、主に軸力で抵抗する構造。フレームの形状により外見的に美しさを表現できる。
- ②平面トラス構造：各接点がピン結合で、一般的に各部材が三角形を含めて構成するような構造。各部材は軸力のみで抵抗するため曲げを受ける部材に対しては変形が小さい。一般的に経済的で実施例も多い。平面トラス構造の例を図 8.1-1 に示す。



図 8.1-1 平面トラス構造例

T社 HP

- ③ラーメン構造：各接合部が剛接合で、一般に門形を構成するような構造である。各部材は軸力、剪断力、曲げモーメントで抵抗する。一般的な構造形式で実施例も多い。
ラーメン構造の例を図 8.1-2 に示す。

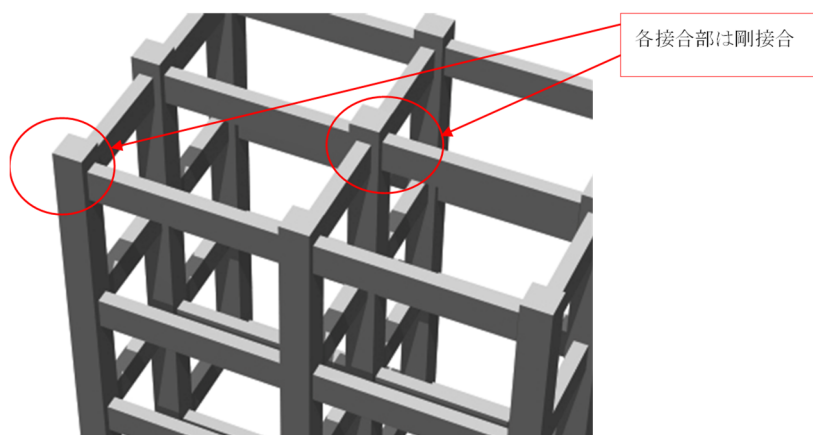


図 8.1-2 平面ラーメン構造例

- ④張弦梁構造（ハイブリッド）構造：張弦梁構造は、梁と引張材を組み合わせた、軽量で安全性の高いハイブリッド構造で大屋根等を実現できる。張弦梁構造の例を図 8.1-3 に示す。



図 8.1-3 張弦梁構造（ハイブリッド）構造例、金沢駅東広場もてなしドーム

金沢市 HP

- ⑤シェル構造：貝殻のような曲面を持った建築構造のこと。曲面状の薄い板を用いており、球体や曲面が持っている外圧に対する力を逃す構造を利用している。荷重は全般に分散できるため、軽くても強い構造物を作り上げることが可能。シェル構造の例を図 8.1-4 に示す。



図 8.1-4 シェル構造例：アイランドシティ中央公園のセンター施設ぐりんぐりん

福岡市 HP

- ⑥スペースフレーム構造：スペースフレームは、大空間をつくる立体的な骨組みで線部材が、三角形を基本に単層で平面的に連続配置したシングルレイヤ構造と、

線部材を三角錐や四角錐のユニットで連続配置したダブルレイヤがある。軽量で剛性が高く大スパン構造に適している。スペースフレーム構造の例を図 8.1-5 に示す。



図 8.1-5 スペースフレーム構造例：大阪万博会場お祭り広場大屋根

⑦空気支持構造：空気で支えられた（または空気で膨らませた）構造で内部の加圧空気を使用して柔軟な材料（構造ファブリック）のエンベロープを膨らませる構造。空気支持構造の例を図 8.1-6 に示す。

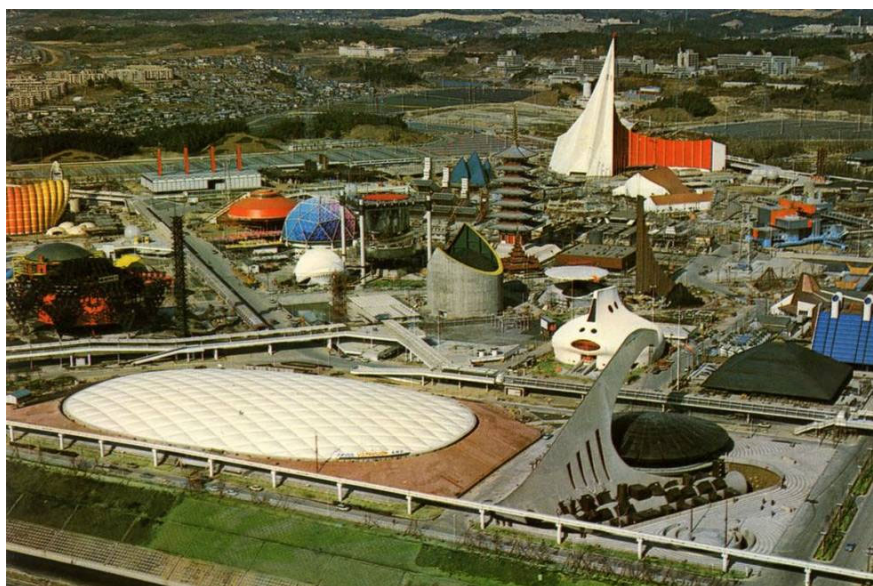


図 8.1-6 空気支持構造例

NASA HP: [50 Years Ago: Moon Sample Rocks Osaka Expo '70 | NASA](#)

8.2 最終処分場の被覆施設の事例

最終処分場の被覆施設は約 70 施設が供用中である。被覆型最終処分場の例としては屋根付きタイプと最終処分場の上部を利用するタイプがあり、また、上部利用タイプには人工地盤と盛立てタイプがある(図 8.2-1)。

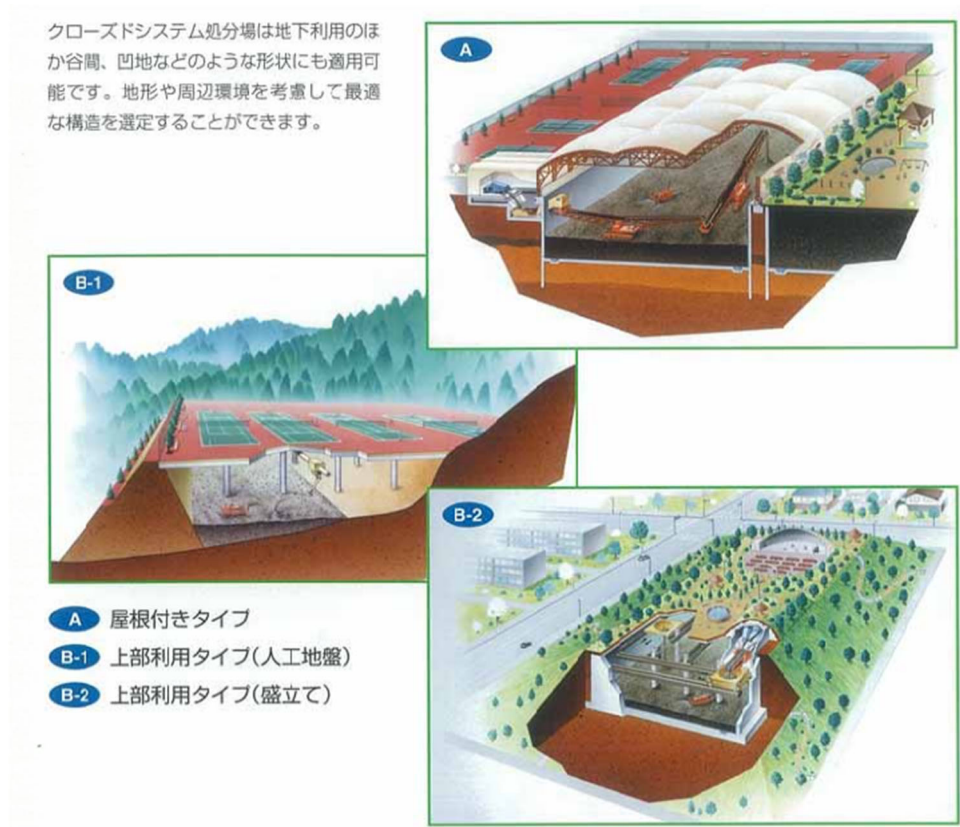
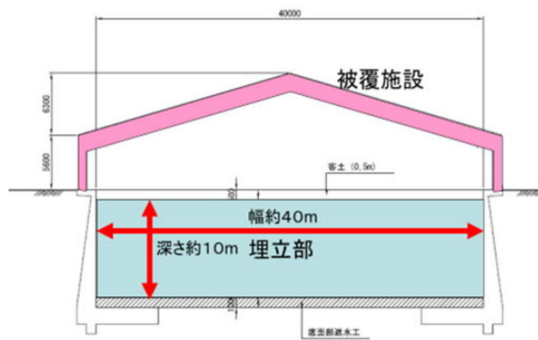


図 8.2-1 被覆型最終処分場の例

クローズドシステム処分場開発研究会

わが国最初の公共関与による産業廃棄物の被覆型最終処分場は平成 23 年 10 月開業の「エコサイクルセンター」で総面積 約 7.0ha (埋立地面積 約 1.2ha)、埋立容量 111,550m³の浸出水処理方式の施設である。最終処分場建屋は奥行き 40m、奥行き 300m、深さ 10m の貯留構造である(図 8.2-2、図 8.2-3)。

遮水構造の底面部はベントナイト(t=50cm)+遮水シート(t=1.5mm)+中間保護層(保護マット)+遮水シート(t=1.5mm)+保護マット。直壁部はコンクリート壁+遮水シート+保護マット構造で被覆施設により雨水の浸入を抑制し、底面部と側壁部の遮水構造で浸出水の流出を抑制している(図 8.2-4)。



(a)最終処分場建屋標準断面図

(b)被覆施設(屋根)外観

図 8.2-2 エコサイクル高知、最終処分場被覆施設の例

公益財団法人 エコサイクル高知 HP

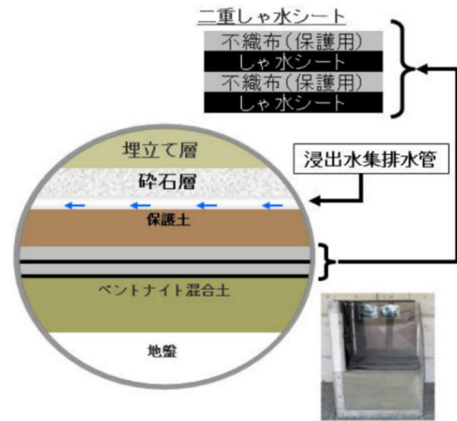


図 8.2-3 敷地内配置図

公益財団法人 エコサイクル高知 HP



(a)被覆施設内、底部遮水設備敷設状況



(b) 底部3重の遮水構造

図 8.2-4 エコサイクル高知、底部遮水設備

公益財団法人 エコサイクル高知 HP

被覆施設の施工例を以下に示す。

【北海道、士別市環境センター】(図 8.2-5)

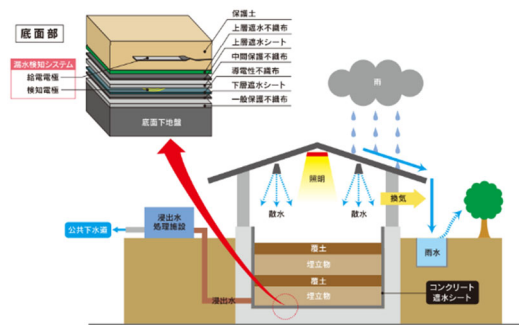
- ・埋立地面積：8,756m²
- ・埋立容量：80,510m³
- ・構造形式：クローズドシステム型処分場（屋根付処分場）
- ・遮水構造：二重遮水シート



(a) 外観



(b) 施設内景観



(b) 遮水工・漏水検知システム

図 8.2-5 北海道、士別市環境センター外観

北海道、士別市環境センターHP

【三重県津市最終処分場】(図 8.2-6)

- ・埋立地面積：約 1.2 ヘクタール

- ・埋立容量：約 18 万立方メートル（第 1 期：約 9 万立方メートル）
- ・構造形式：屋根付き鉄筋コンクリート製の埋立槽



(a) 外観



(b) 施設内景観

図 8.2-6 三重県津市最終処分場

津市新最終処分場整備事業 HP

【長野県山形村サックス BB(Big Box の意)】(図 8.2-7)

- | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第 1 棟埋立地 | <ul style="list-style-type: none"> ・埋立地面積：800 平方メートル ・埋立容量：2,660 立方メートル ・構造形式：鉄骨造 |
| 第 2 棟埋立地 | <ul style="list-style-type: none"> ・埋立地面積：692 平方メートル ・埋立容量：3,460 立方メートル ・構造形式：鉄骨造 |



図 8.2-7 長野県山形村サックス BB 施設内供用状況

長野県山形村 HP

【広島県加茂環境センター】(図 8.2-8、図 8.2-9)

- ・埋立地面積：約 12,000m²(3,000m²×4 槽)
- ・埋立容量：約 195,000m³(48,750m³×4 槽)
- ・構造形式：コンクリートピット・被覆型最終処分場。トラス構造。
- ・遮水構造：コンクリート+プライマー+アスファルトシート+不織布(1 槽)
コンクリート+プライマー+アスファルトシート+トップコート(2-4

槽)



図 8.2-8 広島県加茂環境センター外観及び施設内景観

広島県加茂環境センターHP

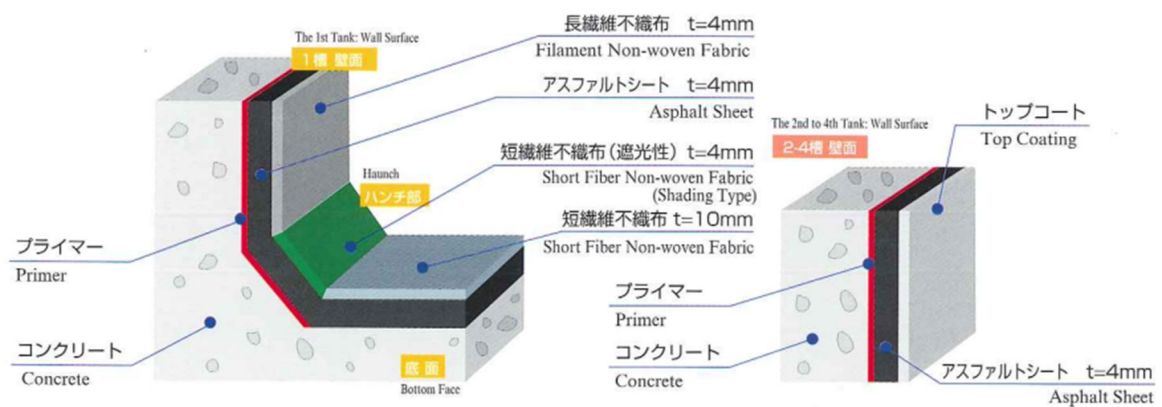


図 8.2-9 遮水シート構造

広島県加茂環境センターHP

【鹿児島県 環境整備公社 エコパークかごしま】(図 8.2-10、図 8.2-11)

- ・埋立地面積：約 40,700m²
- ・埋立容量：約 840,000m³(廃棄物の埋立容量：約 600,000m³)
- ・構造形式：覆蓋施設。5本の直径 1.2m の充填鋼管構造支柱(1.5m コルゲート管で保護)にキールトラス(327m、幅 176m)
- ・遮水構造：ベントナイト混合土+2重遮水シート+水密アスファルトコンクリート

ト



図 8.2-10 鹿児島県 環境整備公社 エコパークかごしま外観

鹿児島県環境整備公社 HP



図 8.2-11 鹿児島県 環境整備公社 エコパークかごしま施設内景観
鹿児島県環境整備公社 HP

【熊本県 環境整備事業団 エコアくまもと】(図 8.2-12)

- ・埋立地面積：31,121m²
- ・埋立容量：423,395m³
- ・構造形式：トラス構造。太陽光パネル設置。
- ・遮水構造：セメント改良土+2重遮水+ベントナイト混合土+コンクリート基盤

層



全景



埋立地内部

図 8.2-12 熊本県 環境整備事業団 エコアくまもと

熊本県 HP