
廃棄物最終処分場における 遮水工材料の 耐久性評価ハンドブック

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 編

技報堂出版

書籍のコピー、スキャン、デジタル化等による複製は、
著作権法上での例外を除き禁じられています。

はじめに

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では、2009年に「廃棄物最終処分場における遮水シートの耐久性評価ハンドブック」を発刊し、遮水シートの耐久性の評価方法を提案しています。廃棄物最終処分場は、一般的に埋立期間15年を目安に設計されていますが、循環型社会の構築が進捗するとともに廃棄物埋立量が顕著に減少し、供用開始後15年を経過しても残余容量を多く残した廃棄物最終処分場が多数見受けられます。このような背景を受けて、遮水シートの長期耐久性を考慮したハンドブックに改訂することにしました。2019年から2020年にわたり、遮水シートが施工されて約20年以上が経過した埋立地より、大気に暴露されていた遮水シートのみならず保護マットで遮光されていた遮水シートや廃棄物に埋没していた遮水シートをも採取し、長期間の耐久性を評価できる推定方法について検討しました。50年間にも及ぶ長期間の耐久性予測を目的として、埋立地より採取した遮水シートの促進暴露試験を実施し耐久性を評価しました。また、耐久性評価の方法として従来の引張試験等の物理試験や表面観察に加え、遮水シートの劣化メカニズム解明のため遮水シートの表面から深度方向にFT-IRを用いて官能基の判別等の解析を行いました。さらに、遮水工の信頼性向上に関する技術動向として熱画像リモートセンシングとICTを活用した高度な管理技術、光ファイバ技術による新たな埋立地のモニタリング技術等、耐久性評価システムおよび施工に係る信頼性向上のための取り組みの最新の技術を紹介しています。

最後になりましたが、本書が廃棄物最終処分場の設置主体の自治体をはじめとする関係者の方々にとって、有益なハンドブックになることを願っております。現地調査において、ご理解と多大なご協力をいただきました電源開発（株）、自治体および廃棄物処理業者の皆様方に心から感謝の意を表します。

令和6年9月

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

委員長 島岡 隆行

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名簿

(2024年9月現在)

委員長	島岡	隆行	(一財)九州環境管理協会, 九州大学名誉教授
副委員長	熊谷	浩二	八戸工業大学名誉教授
副委員長	勝見	武	京都大学大学院 地球環境学堂 地球親和技術学廊
顧問	堀口	隆司	堀口技術士事務所, 東京理科大学 理工学部 (非常勤)
事務局	井場	道夫	三ツ星ベルト (株) 建設資材本部 土木部 土木技術課
委員	井上	和徳	前田工織 (株) インフラ事業営業本部 水環境保全推進部
委員	浦門	亮太	三ツ星ベルト (株) 建設資材本部 土木部 土木技術課
委員	浦部	朋子	(株) ボルクレイ・ジャパン 環境・建設資材部
委員	大野	文良	(株) 東北構造社 東京支店 環境・造成部
委員	加島	史浩	五洋建設 (株) 土木部門 環境事業部
委員	加納	光	(株) フィットオン
委員	瀬瀬	卓也	(株) エイト日本技術開発 国際支社 都市環境・資源・マネジメント部
委員	迫尾	英次	三ツ星ベルト (株) 建設資材本部 土木部 土木技術課
委員	下田	宏治	東洋紡エムシー (株) スパンボンド営業ユニット
委員	中山	裕文	九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門
委員	日野林	譲二	タキロンシーアイシビル (株) 事業本部
委員	平井	貴雄	三井化学産資 (株) 環境ソリューション事業部
委員	弘中	淳市	三井化学産資 (株) 環境ソリューション事業部 技術開発部
委員	堀江	一志	(株) ダイフレックス 事業開発グループ
委員	松崎	達也	飛鳥建設 (株) 土木事業本部 グリーンインフラ開発部環境ソリューション G
委員	宮脇	健太郎	明星大学 理工学部 総合理工学科
委員	山本	浩二	太陽工業 (株) 建設事業統括本部 国土事業本部 国土技術部 技術課
委員	若林	秀樹	鹿島建設 (株) 環境本部 プロジェクト開発グループ

編集委員会名簿

主査	島岡	隆行	前 同
副主査	井場	道夫	前 同
副主査	浦門	亮太	前 同
委員	青山	克己	太陽工業 (株) 建設資材事業統括本部 国土事業本部 土壌環境営業部
委員	加納	光	前 同
委員	下田	宏治	前 同
委員	中山	裕文	前 同
委員	日野林	譲二	前 同
委員	若林	秀樹	前 同

目的と概説

廃棄物最終処分場は、一般的に埋立期間 15 年を目安に設計されるが、3R が促進されて廃棄物の量が減少し、供用開始後 15 年経過してもまだ残余容量を多く残した廃棄物最終処分場が多数見受けられる。IGS ジオメンブレン技術委員会では、2009 年に「廃棄物最終処分場における遮水シートの耐久性評価ハンドブック」(以下、耐久性ハンドブック)を発刊し、遮水シートの耐久性評価方法を提案している。本ハンドブックでは、2019 年および 2020 年に、遮水シートが施工されて約 20 年以上が経過した埋立地よりサンプルを採取し、さらなる長期間の性能を評価できる予測式について検討した。これらの検討から得られた知見を紹介し、遮水シートの信頼性向上のための新しい評価式の提案を行った。

本ハンドブックは、6つの章から構成されている。

第 1 章では、遮水工材料の概説として遮水シートの設置条件や損傷事例を紹介し、耐久性に係わる主な要因を整理した。

第 2 章では、遮水工の概要として技術的変遷、遮水シート、液状材料および保護マットの種類と製造方法、遮水工の構造について紹介した。

第 3 章では、耐久性評価試験方法と評価データとして既存の耐久性評価への取り組み、諸外国の動向を紹介し、室内促進試験、屋外暴露試験、耐薬品促進試験、耐ストレスクラッキング性について整理した。

第 4 章では、現地遮水工の耐久性評価として、耐久性ハンドブック発刊後さらなる長期の耐久性予測を目的として、追加で採取したサンプル、保護マットおよび一部の遮水シートサンプルを用いて実施した促進暴露試験結果を示した。また、耐久性評価の方法として従来の引張試験や表面観察に加え、遮水シートの断面方向の劣化メカニズム解明のため遮水シートの薄膜材を採取して FT-IR 等の試験も実施し遮水シートの耐久性に及ぼす諸要因や劣化のメカニズム等の解明に寄与する情報を整理した。

第 5 章では、耐久性の評価と推定方法として第 4 章で得た情報を基に遮水シートおよび保護マットの耐久性評価の推定方法について提案した。

第 6 章では、遮水工の信頼性向上に関する技術動向として熱画像リモートセンシングと ICT を活用した高度な管理技術、環境変化に対応した遮水工システムの構築、光ファイバ技術による新たな埋立地のモニタリング技術耐久性評価システムおよび施工に係る信頼性向上のための取り組みの最新の技術を紹介した。

用語の解説

本ハンドブックにおいて使用する用語を次のように定義する。

1) 廃棄物最終処分場

生活環境の保全上支障の生じない方法で廃棄物を適切に貯留し、かつ生物的、物理的、化学的に安定な状態にすることができる埋立地とその主要施設、管理施設、関連施設を併せた総体の施設

2) 埋立地

最終処分場のうち、廃棄物を埋立処分する場所

3) 安定化

廃棄物の中間処理、処分プロセスにおいて、廃棄物が生物的、物理化学的に安定な状態になること、またはその状態

4) 主要施設

最終処分場を適切に機能させるための中心的施設をいい、貯留構造物、地下水集排水施設、遮水工、雨水集排水施設、浸出水集排水施設、浸出水処理施設、埋立ガス処理施設などからなる。

5) 貯留構造物

廃棄物層の流出や崩壊を防ぎ、埋立てられた廃棄物を安全に貯留するための構造物であり、コンクリートダム形式、盛土ダム形式、擁壁構造などがある。

6) 地下水集排水施設

地下水や湧水を有効に集め、速やかに排除するための施設

7) 遮水工

浸出水による水質汚濁を防止するための一連の施設である。表面遮水工と鉛直遮水工に大別される。表層遮水工には、遮水シート工、土質遮水工および水密アスファルトコンクリート遮水工などがある。鉛直遮水工には、注入固化工、連続地中壁工および鋼製矢板工などがある。

8) 浸出水集排水施設

埋立てられた廃棄物が保有する水分や埋立地内の廃棄物層を通過した保有水を速やかに集排水し、浸出水処理施設に送るための施設

9) 浸出水処理施設

埋立地内の浸出水集排水施設により集められた保有水を処理する浸出水処理設備のほかに、浸出水取水設備、浸出水調整設備、浸出水導水設備、処理水放流設備などからなる。

10) 浸出水処理設備

浸出水を放流先の公共の水域や地下水を汚染しないように、生物的、物理化学的に処理するための施設

11) 浸出水調整設備

浸出水処理施設に流入する浸出水の水量や水質を調整し均一化するための設備

12) 埋立ガス処理施設

埋立地から発生するガスを排除するために埋立地内部に設置される堅型あるいは法面上に設置される通気設備をいい、その多くは浸出水集排水施設を兼用している。

13) 管理施設

最終処分場を適切に管理するための施設をいい、搬入管理施設、モニタリング施設、管理棟、管理道路、洗車場などからなる。

14) 搬入管理施設

最終処分場に搬入される廃棄物の計量、質の分析や展開検査と記録管理などを行なうための施設

15) 管理道路

最終処分場の諸施設の日常管理や保守・点検、防火・安全管理などのほかに資材などを搬出入するための道路

16) 関連施設

主要施設や管理施設とともに最終処分場の運営・管理を効率よく安全に実施するための施設をいい、埋立前処理施設、搬入道路、飛散防止設備、立札・門扉・囲障設備、防火設備、防災設備などからなる。

17) 埋立前処理施設

埋立処分を行う前処理のための施設。廃棄物の破碎・選定処理、溶融処理、廃棄物の洗浄処理などの施設

18) 搬入道路

廃棄物や覆土材を最終処分場へ搬入するための道路である。一般車両も利用する公共道路と公共道路と最終処分場にいたるまでの範囲とし、埋立地内に設置される場内道路とは区別する。

19) 飛散防止設備

廃棄物が強風や鳥類などによって飛散し、埋立地周辺の環境を汚染することを防止するための設備である。一般に覆土の励行、散水などの日常管理と併せて飛散を防止する。

20) 防災設備

最終処分場で発生するおそれのある災害を未然に防止するための設備で、防災調整池、砂防施設・地すべり防止施設などがある。

21) 雨水集排水施設

埋立地外に降った雨水が埋立地内に流入しないように、また埋立前の区画に降った雨水が廃棄物層に流入しないように雨水を集排水するための施設

22) 維持保全

対象物の初期性能および機能を維持するために行う保全

23) ジオコンポジット

狭義のジオテキスタイル、ジオグリッド、ジオネット、ジオメンブレンなどを任意に組み合わせることで一体とした資材

24) ジオシンセティックス

地盤に土以外の人工材料を組み合わせることにより、土構造物の機能を高めたり付け加えたりする工法で使用される主に高分子材料からなる面状、棒状、帯状、パイプ状などの資材で、広義のジオテキスタイル、ジオメンブレンおよびジオコンポジットの総称

25) ジオシンセティッククレイライナー

顆粒状あるいは粉末状のベントナイトを2枚のジオテキスタイルに挟み込んだり、ジオメンブレンに貼り付けたりした資材

26) ジオテキスタイル

土構造物の強化、安定、保護のために用いられる合成高分子素材からなる繊維シート、ネット、グリッドなどの面状補強材とこれらの複合資材

27) 遮光性不織布

遮水層の表面を日射による劣化を防止するために必要な遮光の効力を有する繊維で作った布状の資材およびそれと同等の機能を有する資材

28) 遮水工破損（漏水）検知設備

遮水工の破損、漏水を検知する設備

29) 遮水工材料

遮水シート、液状材料、保護マットなどの総称

30) 遮水システム

遮水工、地下水集排水施設、雨水集排水施設、浸出水集排水施設、モニタリング施設の総称

31) 遮水シート

合成ゴム・合成樹脂系などを材質とし、透水性の極めて小さい、または不透水性の膜状構造で、土木などの用途に使用される資材である。保有水などの浸出を防止するために必要な遮水の効力、強度および耐久力を有し、埋立地内の底部および斜面などに設けられる不透水性の遮水材料のうち、シート状の資材で、ジオメンブレンともいう。

32) 遮水層

浸出水に含まれる汚染物質の埋立地外部への流出を防止するために埋立地内の底部および斜面などに設けられる必要な数の不透水性の資材などによる構造物

33) 準好気性埋立構造

埋立地内への空気の侵入を促進させる埋立地の構造

34) 修復

対象物の性能または機能を現状あるいは使用上支障のない状態まで回復させる行為

35) 浸出水

埋立地の外に排出された保有水など。本書では、49) 保有水等を含め、浸出水として表記している部分もある。

36) シングルシーム

遮水シート同士の接合部における一重融着接合

37) 耐久性

施設またはその構成要素（材料）の劣化に対する抵抗性

38) 耐久性能

施設またはその構成要素（材料）の性能をある水準以上の状態で継続して維持する能力

39) 耐用年数

施設またはその部分が使用に耐えられなくなるまでの年数

40) ダブルシーム

遮水シート同士の接合部における二重融着接合

41) 調整池

保有水等集排水設備により集められ、浸出水処理設備に流入する浸出水の水量および水質を調整できる耐水性のある貯留設備

42) 点検

対象物が機能を果たす状態および対象物の劣化程度を調べること。

43) 発生ガス排除設備

埋立地から発生するガスを排除するために埋立地内部に設置される堅型通気設備（堅型保有水等集排水設備を兼用するものを含む）または法面に設置される通気設備

44) 覆土

廃棄物を埋立後に廃棄物の飛散防止、臭気軽減として使用される土（砂を含む）

45) 保護土

底面部の表面保護として遮水シート上に保護マットと共に約 50 cm 程度の厚さで敷設される土（砂を含む）

46) 保護マット

一般的には合成繊維不織布で、法面には遮水シート上の遮光性不織布、二重遮水シート中間の不織布、底面には遮水シート下の不織布および遮水シート上の不織布など、遮水シートを保護する目的で使用される資材

47) 保守

対象物の初期性能および機能を維持する目的で周期的または継続的な軽微行為

48) 保全

対象物の全体または一部の機能および性能を使用目的に適合するように維持または改良する諸行為

49) 保有水等

埋立てられた廃棄物が保有する水分および埋立地内に浸透した地表水

50) 目標耐用年数

使用上の要求から設定された計画耐用年数

51) モリタリング施設

最終処分場の埋立中、埋立終了後を通じて、水質、埋立ガス、搬入廃棄物の量と質、地下水質、

騒音・振動，廃棄物の飛散などを監視するための施設

52) 有害物質

排水基準を定める総理府令（昭和 46 年総令第 35 号．以下，「排水基準令」という）別表第 1 の上段に掲げる物質

目 次

第 1 章 遮水工材料の概説	1
1.1 遮水工材料の種類	2
1.1.1 遮水シート	4
1.1.2 液状材料	4
1.1.3 保護マット	4
1.2 遮水工の設置環境	5
1.3 遮水工材料耐久性の概説	7
1.3.1 遮水工材料の損傷事例	7
1.3.2 劣化・耐久性に係わる主な要因	9
第 2 章 遮水工の概要	17
2.1 遮水工の歴史と経緯	18
2.1.1 遮水シート	18
2.1.2 液状材料	19
2.1.3 保護マット	19
2.2 遮水工の構造	20
2.2.1 遮水システム	20
2.2.2 遮水工の構造基準	20
2.2.3 遮水工の断面構造	23
2.3 遮水シートの接合部構造	24
2.3.1 接着工法	25
2.3.2 熱盤プレス工法	25
2.3.3 熱融着工法	26
2.3.4 押出溶接工法	26
2.3.5 バーナー熔着工法（アスファルト系）	27
2.3.6 液状材料吹付け工法	27
2.4 遮水シートの種類と製造方法	28
2.4.1 遮水シートの種類	28
2.4.2 遮水シートの材質とその特徴	28
2.4.3 遮水シートの製造方法	31

2.5	液状遮水材の種類と製造方法	34
2.5.1	液状遮水材の種類	34
2.5.2	液状遮水材の材質とその特徴	34
2.5.3	液状遮水材の製造方法	35
2.6	保護マットの種類と製造方法	37
2.6.1	保護マットの種類	37
2.6.2	保護マットの材質とその特徴	38
2.6.3	保護マットの製造方法	39
2.6.4	保護マットの適用	40
第3章 耐久性評価試験方法と評価データ		43
3.1	耐久性評価の現状	44
3.2	耐候性試験法の種類と諸外国の動向	45
3.3	室内促進試験法と評価データ	47
3.3.1	室内促進試験法	47
3.3.2	促進試験データ	50
3.4	屋外暴露試験評価データ	53
3.4.1	屋外暴露試験法	53
3.4.2	評価データ	54
3.5	耐薬品促進試験法と評価データ	56
3.6	耐ストレスクラッキング試験法 (ESCR)	56
第4章 現地遮水工の耐久性評価		59
4.1	現地調査の概要	60
4.2	遮水シート抜取りサンプルおよび補修	62
4.2.1	抜取りサンプル	62
4.2.2	補修	62
4.3	耐久性評価方法	66
4.3.1	遮水シート	66
4.3.2	保護マット	69
4.4	遮水工材料の耐久性に関する試験結果と評価	70
4.4.1	遮水シート	70
4.4.2	保護マット	78
第5章 耐久性の評価と推定方法		81
5.1	遮水工材料の耐久性の考え方	82

5.2	遮水工材料の耐久性評価システム	82
5.3	耐久性の評価方法	82
5.3.1	耐久性に影響を及ぼす因子	82
5.3.2	耐久性の評価方法	83
5.3.3	遮水シートの耐久性の評価方法	85
5.4	保護マットの耐久性	101
5.4.1	調査方法と評価指標	101
5.4.2	現地調査データによる保護マットの耐久性評価	105
5.5	遮水シート耐久性に係る文献	109
5.5.1	HDPE の耐用年数	109
5.5.2	各種遮水シートの耐用年数	111
5.6	耐久性（耐用年数）の推定	113
第 6 章	遮水工の信頼性向上に関する技術動向	115
6.1	遮水工の信頼性向上に向けた取り組み	116
6.1.1	熱画像リモートセンシングと ICT を活用した高度な遮水工の管理技術	116
6.1.2	環境変化に対応した遮水工システムの構築	119
6.1.3	光ファイバ技術による新たな埋立地のモニタリング技術	123
6.2	施工に係る信頼性向上のための取り組み	130
6.2.1	製品材料の認定	130
6.2.2	施工管理に必要な資格	134
6.2.3	維持管理に必要な資格	135

第1章

遮水工材料の概説

1.1 遮水工材料の種類

廃棄物最終処分場の遮水構造は、二重の遮水シート構造、遮水シートと土質系遮水材との組合せ、遮水シートとアスファルトコンクリートとの組合せなどがあり、廃棄物に最も近い場所に遮水シートが敷設される構造となっている。本ハンドブックで対象とする遮水工材料の種類を図-1.1.1に示す。これらの特性は、要求機能を評価するための必要特性によって評価される。必要特性には、遮水シートおよび保護マットそのものの固有特性を評価する材料特性とこれらが設置された環境条件での特性を評価する機能特性がある。IGS ジオメンブレン技術委員会で取りまとめた遮水シートおよび保護マットの要求機能と必要特性を表-1.1.1に示す。なお、表中の◎、○、△は、

◎：法律等で示されている最重要性能評価項目^{1),2)}

○：上記以外の一般的に示されている重要な性能評価項目³⁾

△：公的に発表された資料に示されている性能評価項目⁴⁾

で分類している。

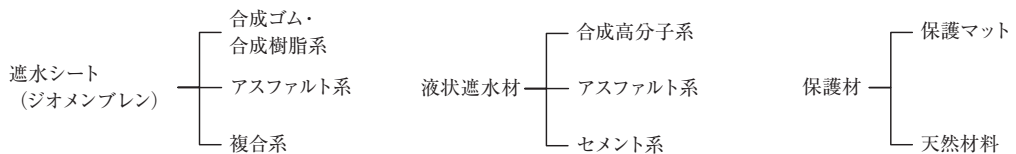


図-1.1.1 本ハンドブックで対象とする遮水工材料の種類

表 -1.1.1 要求機能と必要特性^{1)~4)}

○遮水シート						
	要求機能	必要特性		設定条件		
		材料特性	機能特性			
浸出水の漏水防止	環境条件	屋外暴露	耐候性	◎	暴露期間	
			耐熱老化性	◎		
			温度依存性	◎		
		埋立荷重	耐圧縮性		△	不陸, 埋立荷重
			貫入抵抗性		○	貫入抵抗値
			ストレスクラッキング	◎	○	折り曲げ荷重
	外傷	耐衝撃性		△		
	クリープ	素材伸縮	△		勾配, 埋立方	
		埋立荷重		△	法, 敷設時期	
	浸出水	地盤沈下		△	沈下量	
			耐薬品性	◎	薬品	
			耐水性	◎		
	耐菌性	△				
	施工条件	車両走行	耐車両走行性 (引きずり, 外傷性)		◎	遮水構造
			接合部	接合性	○	発生応力
		構造物取り合い部固定工	耐クリープ性		△	
			水密性		△	固定形状, 固定材料
			引抜強度		△	
	立地条件	施工性		◎	立地条件	
システム付帯条件	ガス抜処理	通気性		△		
	湧水処理	排水性		△		
環境安全条件	有害物質	溶出性		◎	総理府令 35 号	
○保護マット						
	要求機能	必要特性		設置条件		
		材料特性	機能特性			
遮水シートの保護	環境条件	屋外暴露	耐候性	◎	曝露期間	
			遮光性	◎		
		埋立荷重	耐圧縮性		△	不陸, 埋立荷重
			貫入抵抗性		○	貫入抵抗値
		外傷	耐衝撃性		△	
		クリープ	埋立荷重		△	勾配, 埋立方法
	地盤沈下			△	沈下量	
	浸出水	耐薬品性	耐薬品性	△	薬品	
			耐水性	△		
			耐菌性耐バクテリア性	△		
	施工条件	車両走行	耐車両走行性		◎	遮水構造
			接合部	接合性	△	発生応力
		構造物取り合い部固定工	耐クリープ性		△	
			耐風性		△	環境条件
			引抜強度		△	
	立地条件	施工性		△	立地条件	
	システム付帯条件	湧水処理	排水性		△	
	環境安全条件	有害物質	溶出性		◎	総理府令 35 号
		火	耐火性		△	構造

◎：法律等で示されている最重要性能評価項目¹⁾²⁾
 ○：上記以外の一般的に示されている重要な性能評価項目³⁾
 △：公的に発表された資料に示されている性能評価項目⁴⁾

1.1.1 遮水シート

遮水シートは、合成ゴム系および合成樹脂系の高分子系材料を用いたものとアスファルトやベントナイトを加工したものに大別される。その概要を図-1.1.2に示す。

なお、アスファルト系吹付タイプは次節1.1.2液状材料と重複するが、ここでは、参考文献の通りに記載する。

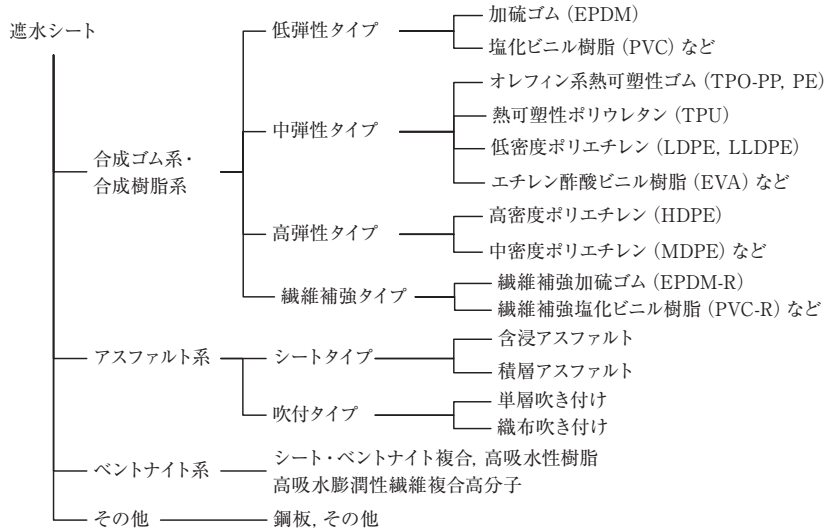


図-1.1.2 遮水シートの分類⁵⁾

1.1.2 液状材料

液状材料の分類を図-1.1.3に示す。

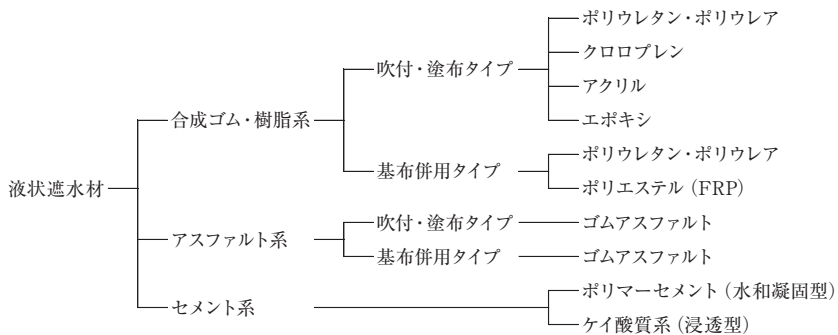


図-1.1.3 液状材料の分類⁵⁾

1.1.3 保護マット

保護材料には、天然保護材と人工保護材があり、保護マットは人工保護材に位置付けられる。図-1.1.4に保護材料の種類を示す。

廃棄物最終処分場における

遮水工材料の耐久性評価ハンドブック

定価はカバーに表示してあります。

2024年11月1日 1版1刷発行

ISBN 978-4-7655-3483-3 C3051

編 者 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

発 行 者 長 滋 彦

発 行 所 技 報 堂 出 版 株 式 会 社

日本書籍出版協会会員
自然科学書協会会員
土木・建築書協会会員

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-2-5
電 話 営 業 (03)(5217)0885
編 集 (03)(5217)0881
F A X (03)(5217)0886

Printed in Japan

振替口座 00140-4-10
<http://gihodobooks.jp/>

©Japan Chapter of International Geosynthetics Society, 2024

装幀 ジンキッズ 印刷・製本 三美印刷

落丁・乱丁はお取り替えいたします。

JCOPY <(社)出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつと事前に、出版者著作権管理機構(電話：03-3513-6969、FAX：03-3513-6979、E-mail：info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。