

05 (02) 遮水工 (遮水シート等)

◆ 提示資料の要点

埋立地からの浸出水による公共用水域及び地下水の汚染を防止するため、埋立地内に遮水工を敷設する。

◆ 設計基準、関連基準

基準省令	第2条第1項第4号 (第1条第1項第5号イ)
県指針	4-3-2 遮水工
全都清要領	5章 遮水工 (pp.237-312)
その他	・「廃棄物最終処分場技術システムハンドブック 平成11年2月」 (最終処分場技術システム研究会) ・「廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領 平成13年11月」 (社団法人全国都市清掃会議) ・「廃棄物最終処分場新技術ハンドブック 平成18年12月」 (NPO 最終処分場技術システム研究協会) ・「廃棄物最終処分場遮水システムハンドブック 平成20年1月」 (NPO 最終処分場技術システム研究協会)

◆ 概要・ポイント

- 埋立部には、表面遮水工を敷設する。
- 底面部は、三重の遮水材 (遮水シート+ベントナイト混合土+遮水シート) を敷設し、埋立地内法面部及び法面用土えん堤には、二重の遮水材 (遮水シート+遮水シート) を敷設する。また、各層の表面及び間には、遮光マット、保護マット等を敷設し、それら一体構造で適正かつ耐久性のある遮水工構造とする。
- 最下段法面部及び貯留構造物部には、自己修復性能を持つジオシンセティッククレイライナー (ベントナイトマット) を敷設する。
- 第I期区画ののり面用土えん堤には、区画の外への浸出水の浸出防止及び集水機能を向上させるため、二重の遮水シートを敷設する。
- 用いる遮水シートは、十分な性能・耐久性を有するメタロセン系LLDPE素材とする。
- 遮水工の下部は、角礫・岩片・突起物など遮水シート損傷の要因を排除し、不陸整正・締固めを十分に行い、平滑に仕上げる。
- 遮水工の設置後、埋立作業が実施されるまでの期間が長期にわたるような場合は、遮水工の劣化、埋立地への雨水流入量の増加が生じるおそれがあるため、期別埋立計画 (第I期埋立中に第II期埋立区を別に造成) とすることで、埋立地を区画分けして段階的に施工する。
- 埋立地底面部及び最下段法面部 (小段一段目まで) の上部遮水シート破損時に対する対処として電氣的漏えい検知システムを導入する。(詳細は05(03)章で説明)

◆ 図面類

図面番号	図面名
177、178	第Ⅰ期／遮水工計画平面図（1）、（2）
180、181	第Ⅰ期／遮水構造一般図（1/2）、（2/2）
157	第Ⅰ期／1-1 区画シート貫通部一般図
158	第Ⅰ期／1-2 区画シート貫通部一般図
179	第Ⅰ期／遮水シート固定工平面図
345、346	第Ⅱ期／遮水工計画平面図（1）、（2）
348、349	第Ⅱ期／遮水構造一般図（1/2）、（2/2）
339	第Ⅱ期／2-1 区画シート貫通部一般図
337、338	第Ⅱ期／2-2 区画シート貫通部一般図（1）、（2）
347	第Ⅱ期／遮水シート固定工平面図

◆ 根拠資料

資料名	備考
遮水工の固定工設計の根拠資料	P27 ・固定工の大きさ・重量の検討根拠
遮水シートの選定理由	P38 ・遮水シートの選定理由 ・採用する遮水シートが長期間の耐用年数をもつ根拠

1. 遮水工設計

(1) 県指針基準

遮水工の基本構造の県指針基準は、以下のとおりである。

【県指針より】

4-3-2 遮水工

埋立地からの浸出液による公共の水域及び地下水の汚染を防止するための措置が講じられていること。

① 遮水工の種類等

最終処分場における遮水工は、表面遮水工と鉛直遮水工に大別される。(図-4.3.2-1 参照) 本項は最終処分基準省令に規定されている最低限の基準を解説したものであり、遮水工の安全性、信頼性向上のため損傷確率と損傷した場合の拡散確率を低減させることが重要であり以下のような方策を講じることが望ましい。

ア 損傷確率を低減する方策

- ・下地基盤の整形、遮水シート上下面の保護マット施工、保護土の施工、遮水シートと自己修復材(ベントナイト系遮水材など)の併用等

イ 拡散確率を低減する方策

- ・埋立地内貯水の防止
- ・損傷検知(漏水検知)システムの設置
- ・漏水が地下水に到達するまでの時間を稼ぐ地下水位低下
- ・二重遮水シート間の中間保護層の透水性の低下

② 表面遮水工

埋立地の地下の全面に不透水性地層がない場合は、廃棄物の保有水及び雨水等に起因する浸出液が埋立地から漏出することを防止するための遮水層、基礎地盤及び遮光のための不織布等で構成される表面遮水工が設けられていること。(図-4.3.1 参照)

(ただし埋立地の側面又は底面に不透水性地層(厚さ 5.0m 以上、透水係数が $100\text{nm/s} (=1 \times 10^{-5} \text{cm/s})$ 以下の地層若しくは、ルジオン値 1 以下の岩盤又はこれと同等以上の遮水の効力を有する地層)がある部分については、この限りでない。(図-4.3.2 参照))



図-4.3.1 表面遮水工の構成

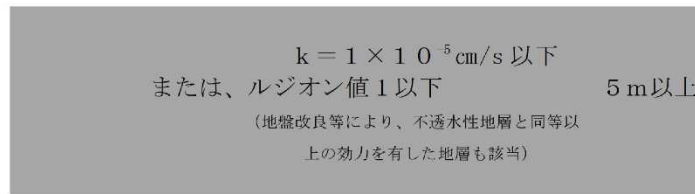
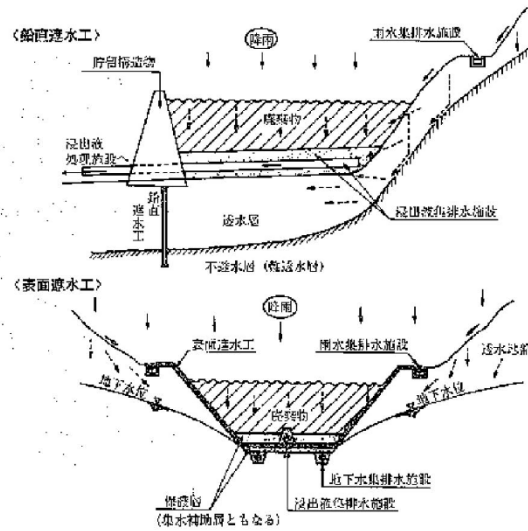


図-4.3.2 不透水性地層(遮水工不要の条件)



出典：廃棄物最終処分指針解説（社全国都市清掃会議，1989）を一部修正

図3.18 遮水工の概念図

表3.5 鉛直遮水工と表面遮水工の比較

項目	鉛直遮水工	表面遮水工
採用条件	地中に水平方向の遮水層が存在すること。	埋立地の必要な範囲に遮水材料で覆える下地があること。
地下水集排水施設	不要	一般に必要
遮水層の確認	地下に埋設されるので効果の確認が難しい。	施工時には目で確認できるが埋立が行われた後は難しい。
経済性	遮水工の単位面積当たりの工費は高いが総工事費としては安い。	遮水工の単位面積当たりの工費は安いが埋立地全体に施工する場合は多く総工事費としては高い。
補修	地中なので難しい面もあるが、遮水工としての補強施工は可能である。	廃棄物の埋立前ならば容易であるが、埋立後は難しい。

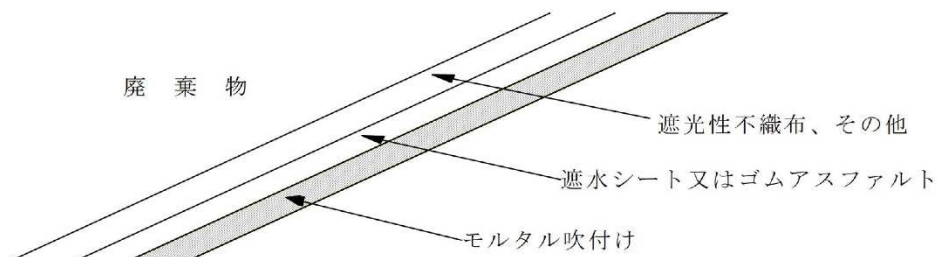
出典：廃棄物最終処分指針解説（社全国都市清掃会議，1989）

図-4.3.2-1 遮水工の概念図及び比較

ア 表面遮水工の構造

表面遮水工を設ける場合は、原則としてシート工法によるものとし、次のaからcまでのいずれかの要件を備えた遮水層とすること。また、埋立地の法面勾配は、遮水工の施工性、滑り、盛土の安定性の観点から50%未満（緩い勾配）を原則とすること。

ただし、地形の制約からやむを得ずのり面の勾配を50%以上とする場合には、aからcまでに規定する遮水層を設けることが困難なことがあるため、予想される保有水等の水位よりも高い位置にあるのり面に限り、モルタル吹付に遮水シートまたはゴムアスファルトを敷設した構造でもよい。（図-4.3.3 参照）



- ①基礎地盤の勾配 50%以上 (急)
- ②浸出水が達しない (内部貯留水位以下)

図-4.3.3 例外規定による表面遮水工 (法面部)

a 厚さ 50cm 以上であり、かつ透水係数 10nm/s ($=1 \times 10^{-6}\text{cm/s}$) 以下である粘土等の層に遮水シートが敷設されていること。(図-4.3.4 参照)

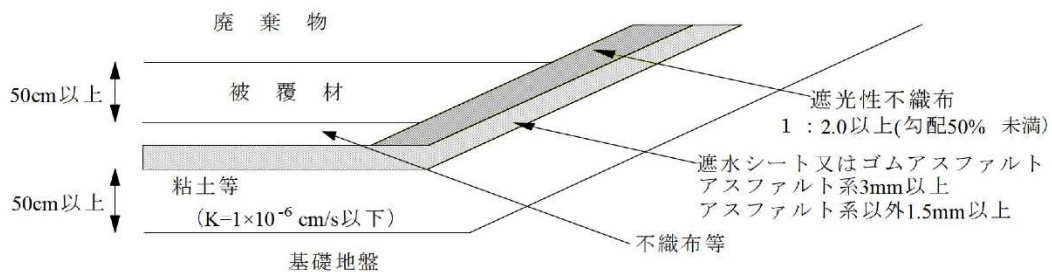


図-4.3.4 表面遮水工 (底面部) (1)

b 厚さが 5 cm 以上であり、かつ透水係数が 1nm/s ($=1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$) 以下である水密アスファルト・コンクリートの層に遮水シートが敷設されていること。(図-4.3.5 参照)

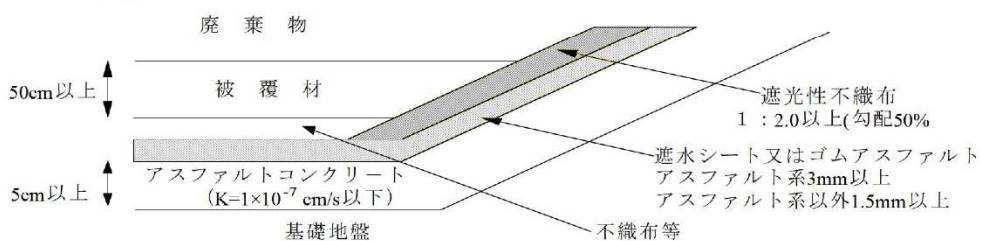
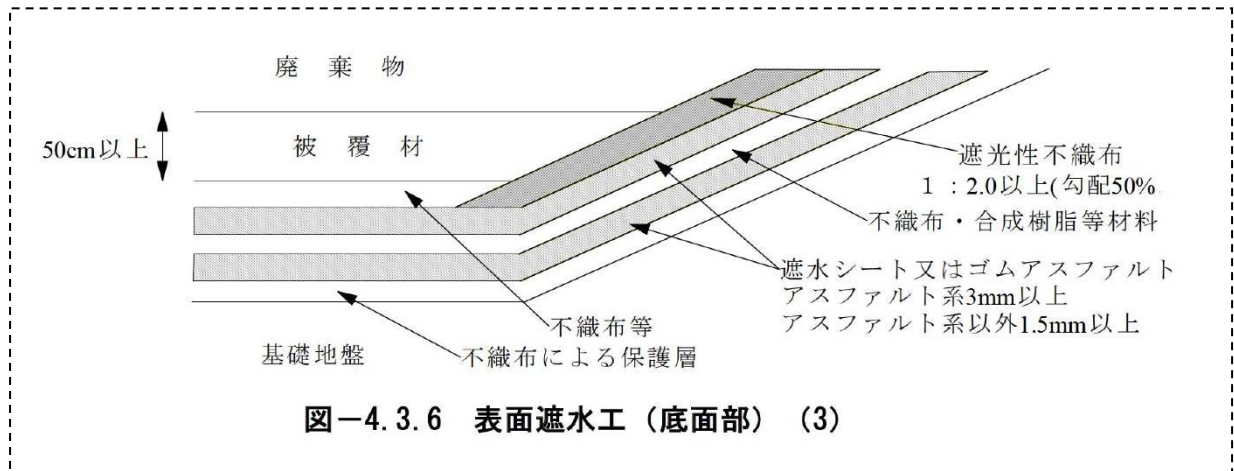


図-4.3.5 表面遮水工 (底面部) (2)

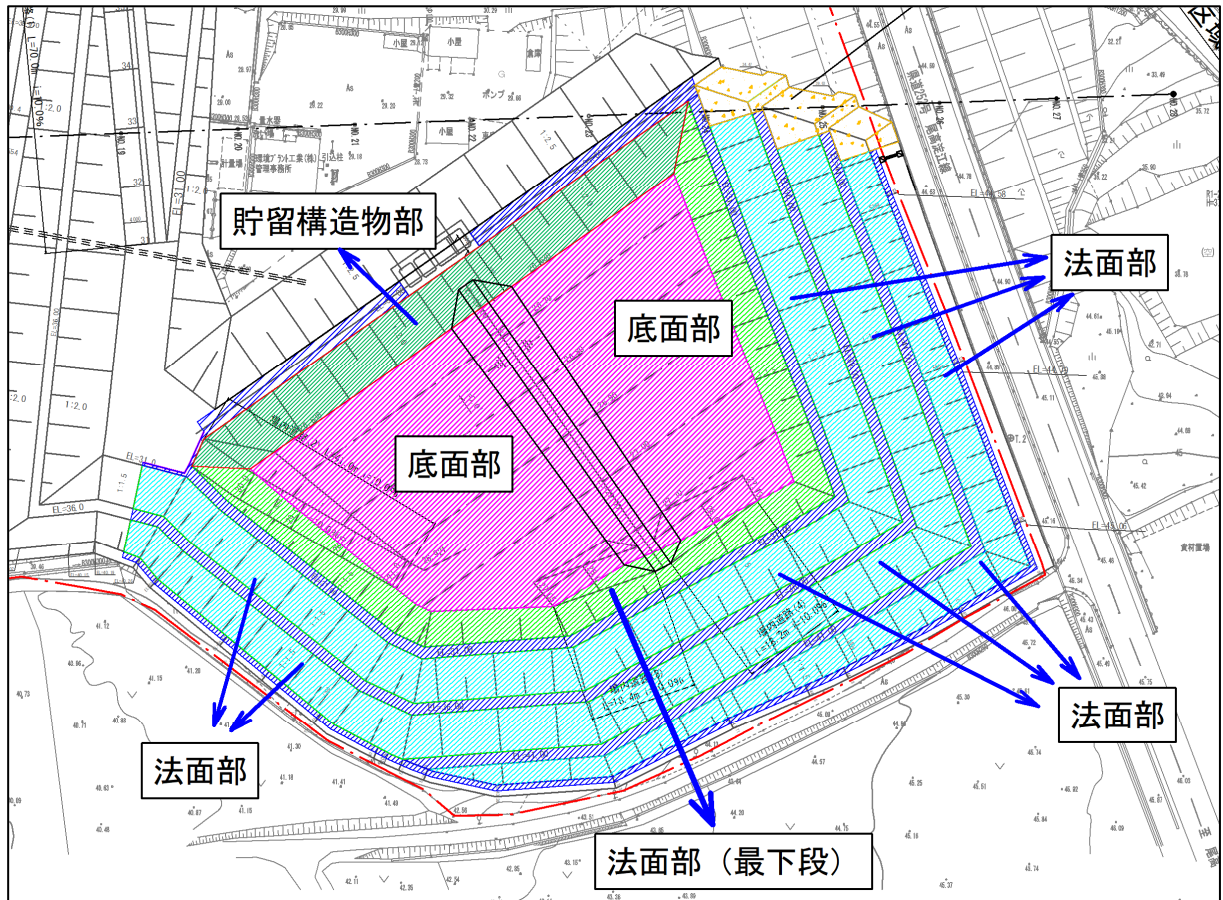
c 不織布その他の物 (二重の遮水シートが基礎地盤と接することによる損傷を防止することができるものに限る。)の表面に二重の遮水シートを敷設し、当該遮水シートの間には、埋立作業又は埋立作業用の車両の走行による衝撃その他の負荷により双方の遮水シートが同時に損傷することを防止することができる十分な厚さと強度を有する不織布、合成樹脂等の材料による保護層を敷設した構造とすること。(図-4.3.6 参照)

【県指針より】



(2) 敷設計画

遮水工の敷設箇所は、次図のとおりである。



色別凡例






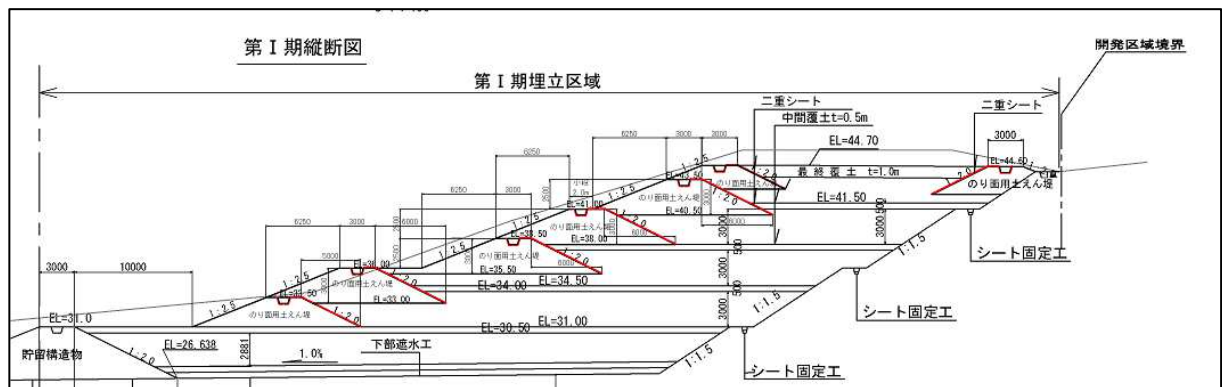
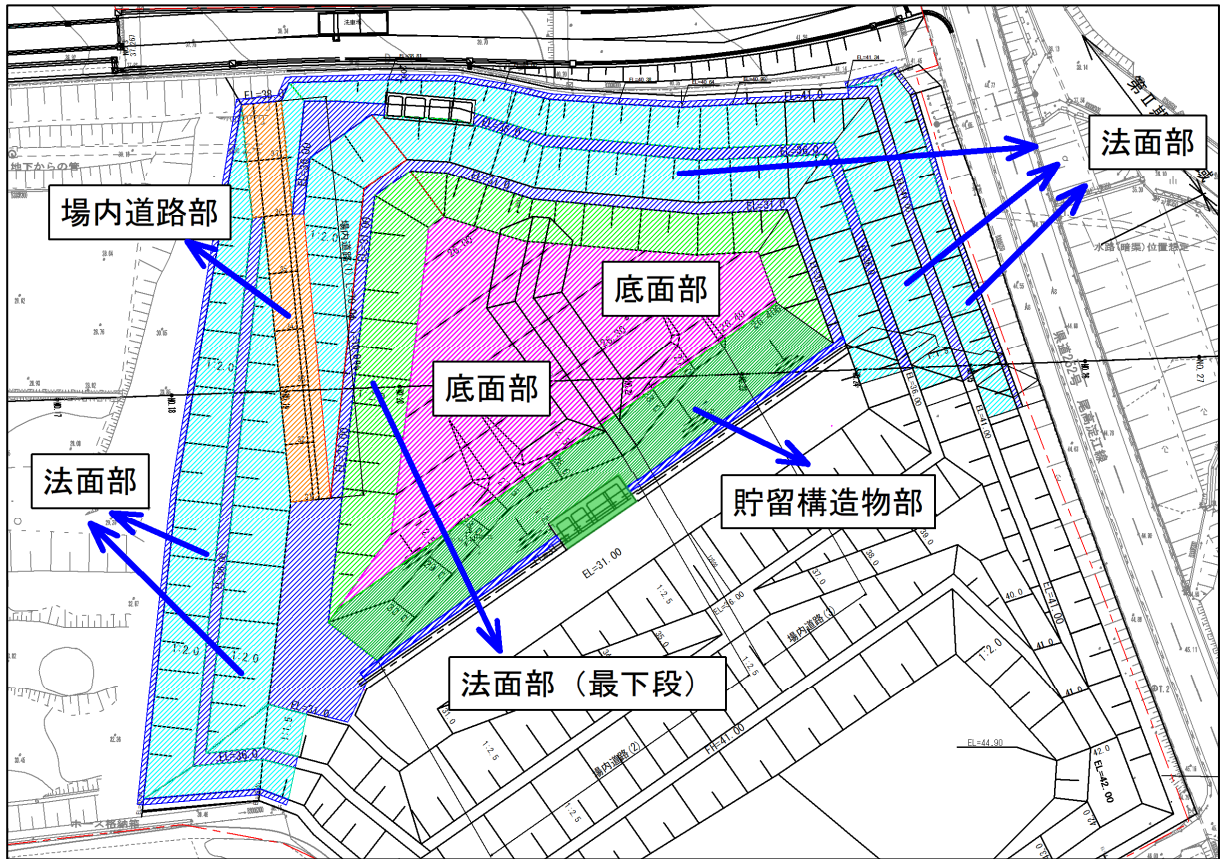
- | | | | |
|---|----------------|---|----------|
|  | 1) 底面部 |  | 4) 貯留構造物 |
|  | 2) 最下段法面部 |  | 5) 場内道路部 |
|  | 3) 法面部 (小段を含む) | | |

図02-1 第I期 遮水工敷設箇所 (平面図)



※標準断面図より (赤線部にも遮水シートを設置する)

図02-2 遮水工敷設箇所 (のり面用土えん堤の法面部)



色別凡例






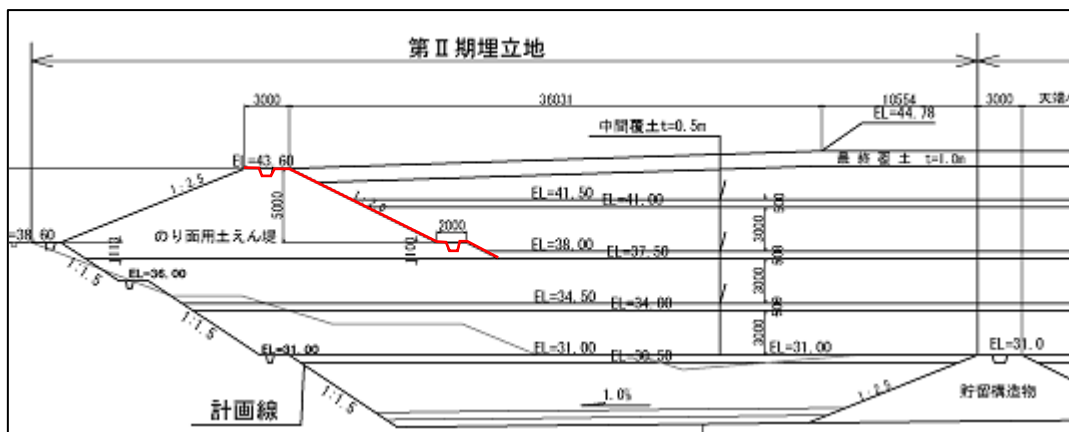
- | | | | |
|---|----------------|---|----------|
|  | 1) 底面部 |  | 4) 貯留構造物 |
|  | 2) 最下段法面部 |  | 5) 場内道路部 |
|  | 3) 法面部 (小段を含む) | | |

図02-3 第Ⅱ期 遮水工敷設箇所 (平面図)

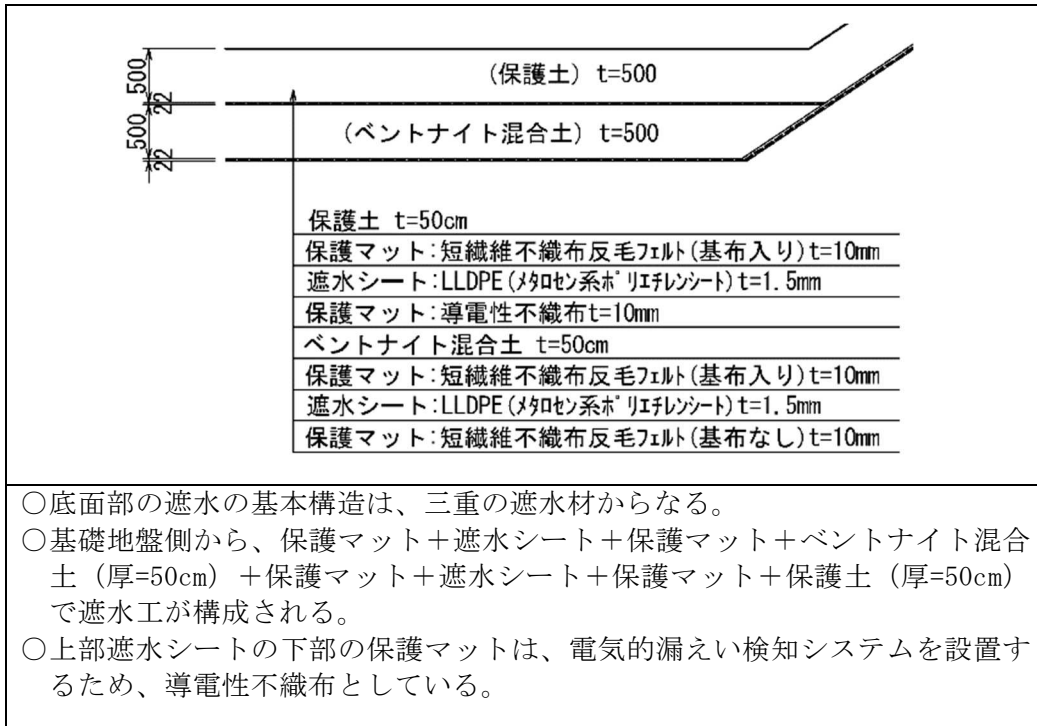


※標準断面図より (赤線部にも遮水シートを設置する)

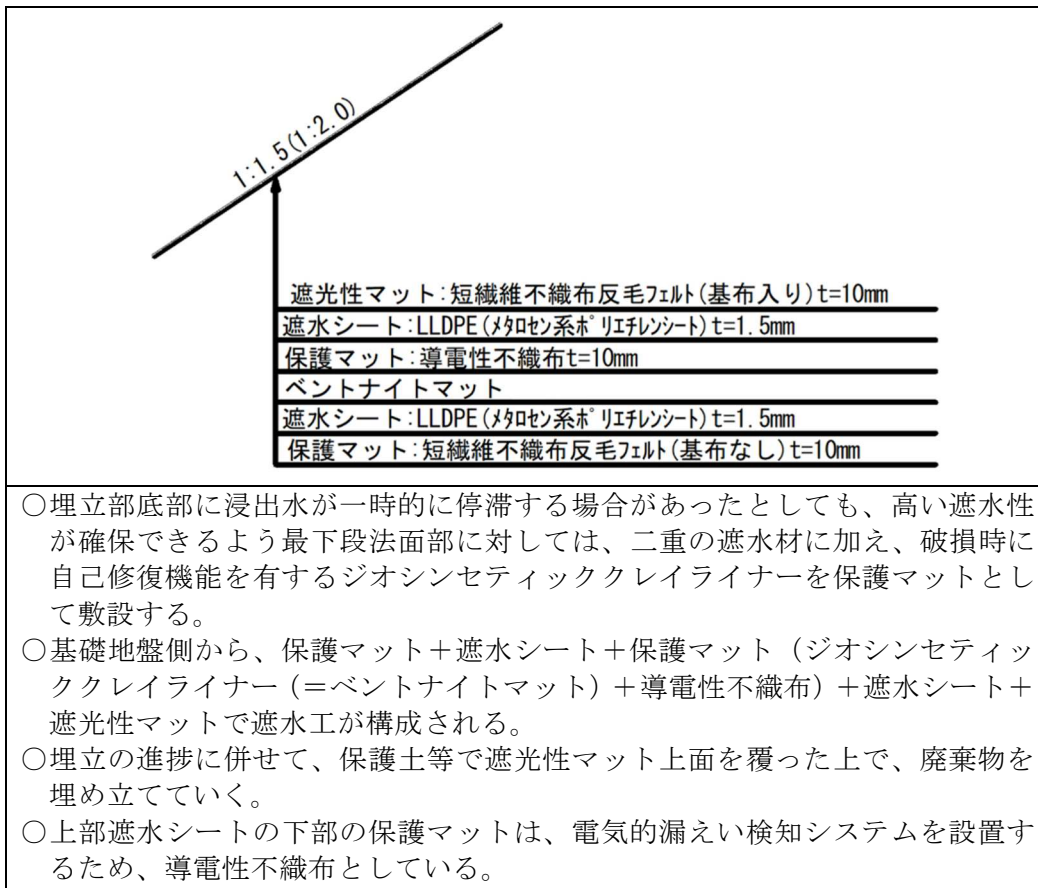
図02-4 第Ⅱ期 遮水工敷設箇所 (のり面用土えん堤の法面部)

(3) 基本構造

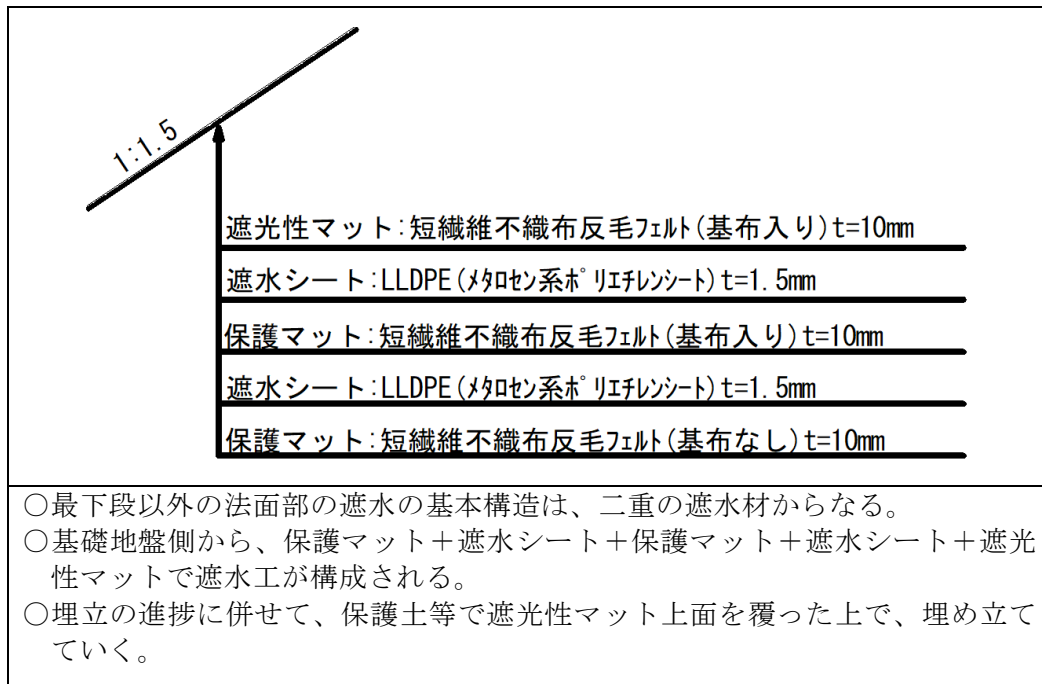
1) 底面部の遮水構造



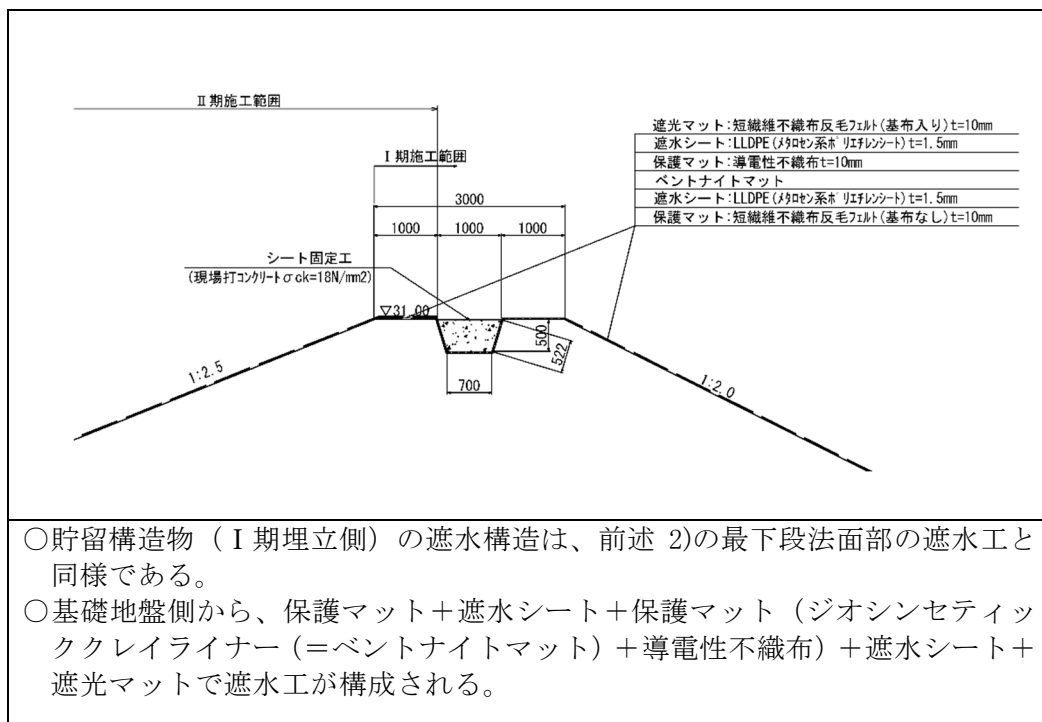
2) 法面部の遮水構造 (最下段法面部)



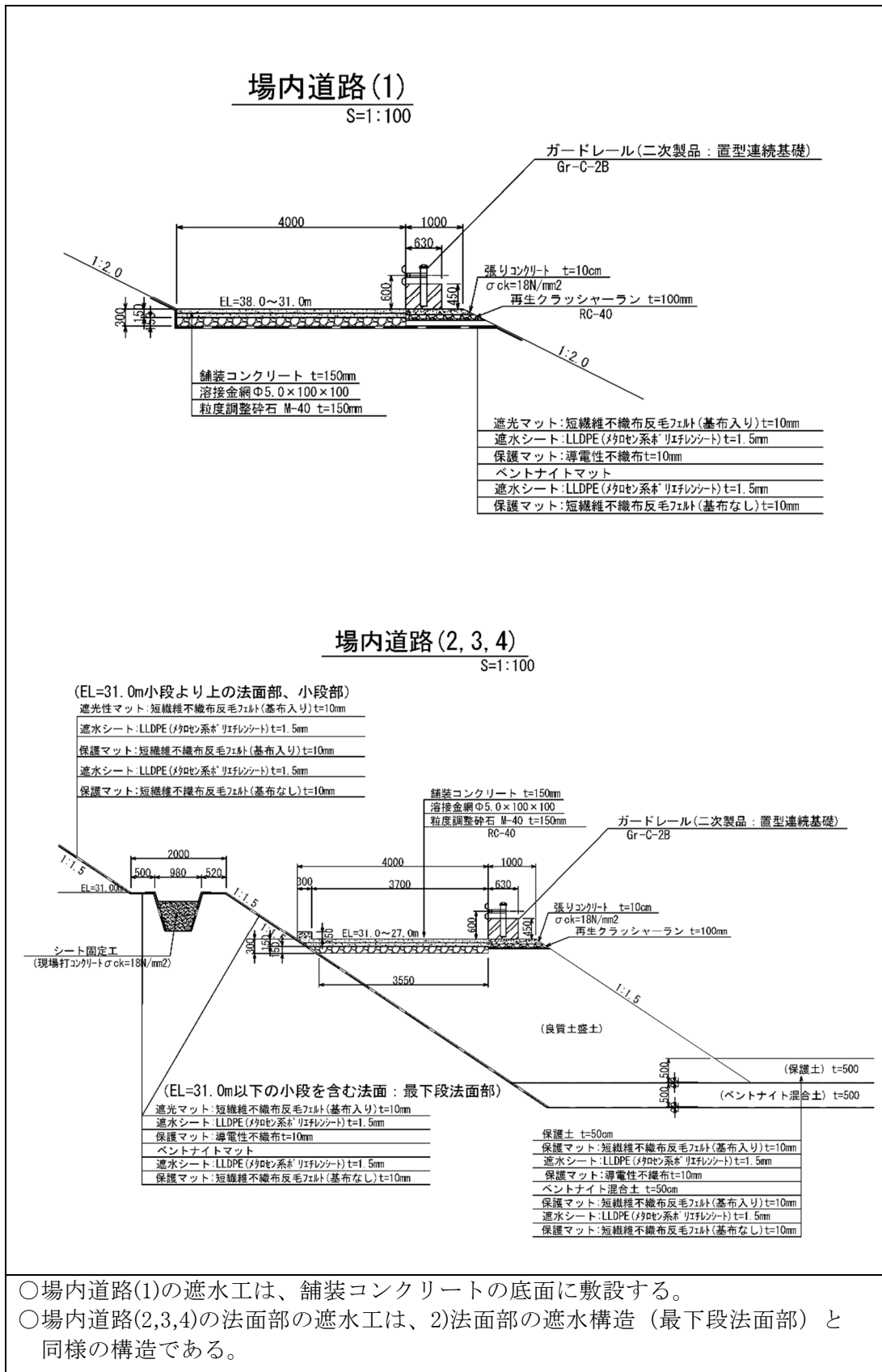
3) 法面部の遮水構造（最下段以外の法面部）



4) 貯留構造物部の遮水構造

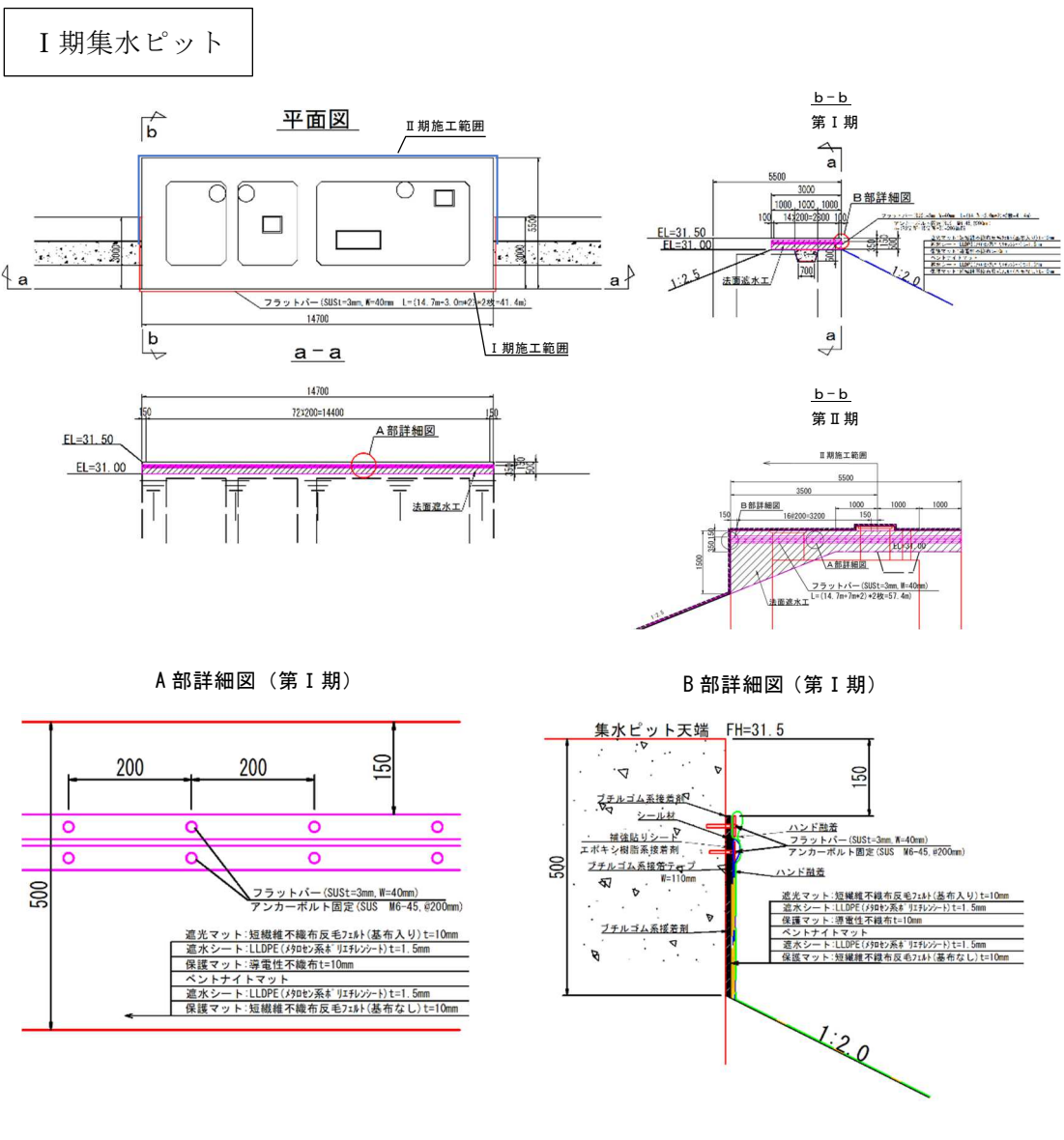
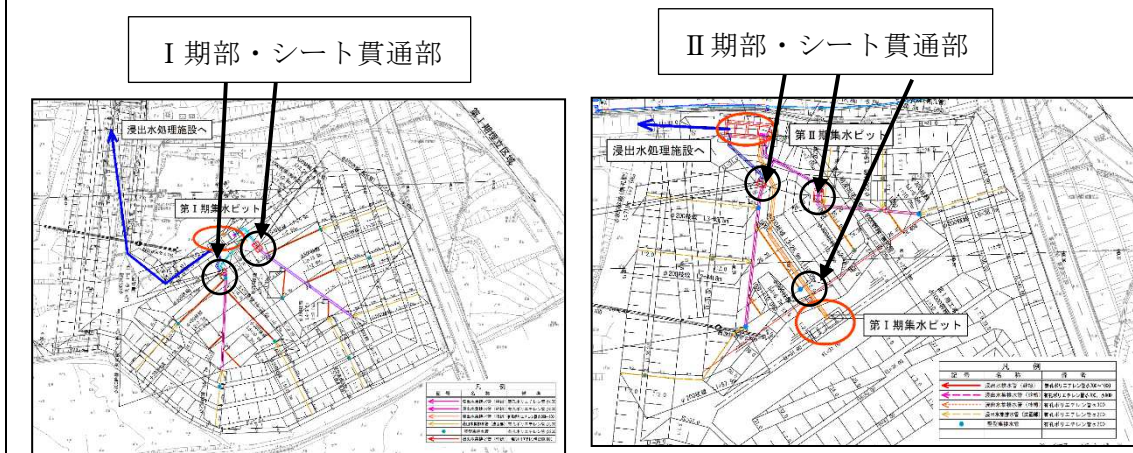


5) 場内道路部の遮水構造

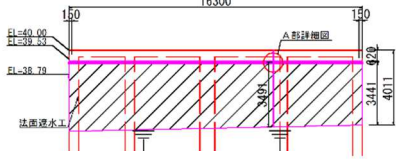
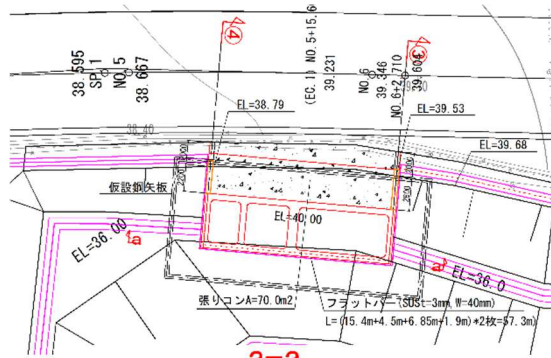


6) その他の遮水構造（特異的な遮水工箇所）

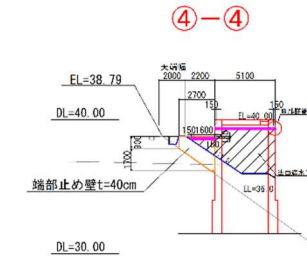
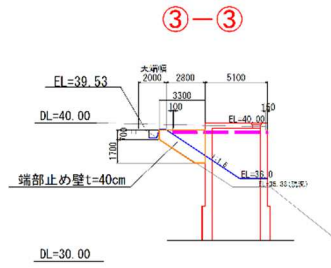
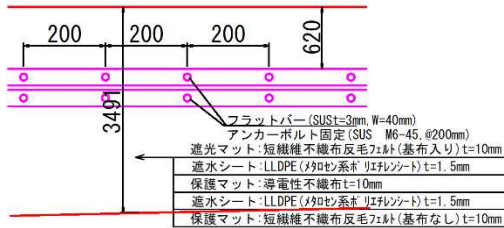
埋立部から集水ピットに至る管路部（シート貫通部）



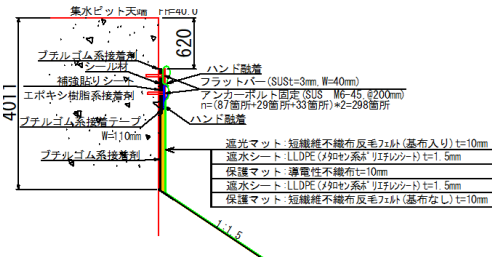
Ⅱ期集水ピット



A部詳細図

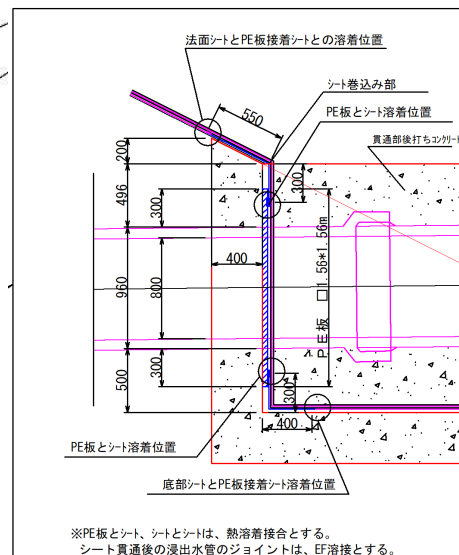
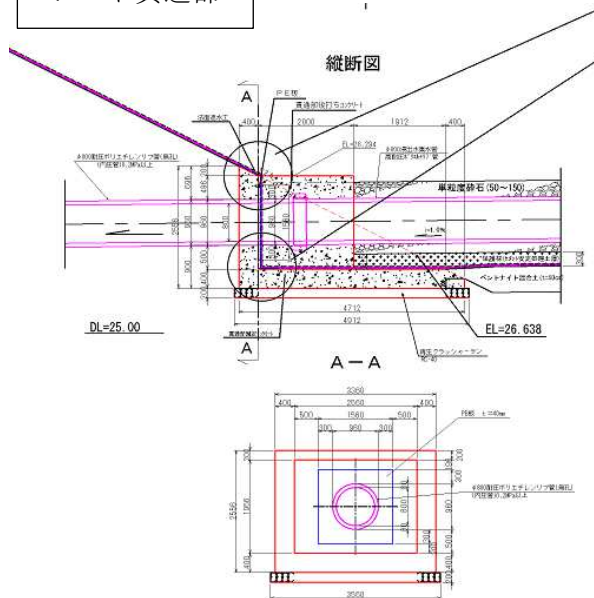


B部詳細図



PE板取付詳細図

シート貫通部



※PE板とシート、シートとシートは、熱溶着接合とする。
シート貫通後の浸出水管のジョイントは、EF溶接とする。

- 特異的な遮水工箇所は、集水ピット設置箇所及び集水ピットに至る管路部である。
- 集水ピット設置箇所のシート貫通部は、フラットバーで固定する。
- 浸出水集排水管のシート貫通部は、シートを巻き込み PE 板と溶着し固定する。
- Ⅰ期集水ピットの部分は、Ⅱ期施工時に、Ⅰ期埋立部のシートとⅡ期埋立部のシートを溶着し接続する。(フラットバーの設置部を含め、全体をシートで覆う)

2. 遮水工の使用材料に求める品質等について

(1) 県指針基準

遮水工の使用材料に求める品質等の県指針基準は、以下のとおりである。

【県指針より】

イ 遮水シートの設計

原則として合成ゴム系、合成樹脂系及びアスファルト系あるいは、これらと同等又は、それ以上の性能を有するものとし、アスファルト系以外の遮水シートは厚さ 1.5 mm以上、アスファルト系の遮水シートは 3 mm以上とすること。

なお、遮水シートの接合部についても同様の性質又は性能を有する必要があること。

a 材料

1) 遮水の効力

遮水シートの材質について埋立地内部の保有水等を浸出させない十分な遮水性を有すること。また、遮水シートの表面に穴、亀裂等が認められないこと。

2) 強度

廃棄物又は保有水等により想定される荷重、埋立作業用の車両等による衝撃力、これらにより生じる安定計算上許容しうる基礎地盤の変位並びに想定される温度応力に対し、強度及び伸びにより対応できる性能を有すること。

3) 耐久力

i) 耐候性

紫外線に長期間暴露したとしても引っ張りに対する遮水シートの強度や伸びの率が、暴露前と比較して大きく劣化しない性質を有すること。

ii) 熱安定性

遮水シートの表面温度は直射日光により夏期には摂氏約 60 度から 70 度まで上昇する一方、冬期は摂氏氷点下約 20 度まで低下する可能性があり、また、廃棄物の分解反応により埋立地の層の内部の温度が上昇することがあるため、これらの温度変化に対する耐性を有すること。

iii) 耐酸性、耐アルカリ性等

埋立地の保有水等の水素イオン濃度を想定して、酸性及びアルカリ性に耐えうる性質を有すること。

このほか、耐バクテリア性、耐油性その他の埋め立てられる廃棄物の化学的な性状に対する耐性を有すること。

iv) その他

大気中のオゾンの影響による品質劣化や、曲げによる応力が継続した場合に発生するひび割れに対する耐性を有すること。

4) その他

遮水シートの敷設、接合等において不具合が生じないよう、施工性の良いものであること。

【県指針より】

表-4.3.2 保護マット（不織布）の要求機能

項目	要求性能	のり面部			中間層	底面部	
		上面		下層		上面	下層
		遮光性 保護マ ット	遮光性 マ ット				
引張強さ	廃棄物荷重などに耐えること	○	○	○	○	○	○
貫入抵抗	遮水シートを外傷から十分に保護できること	○		○	○	○	○
耐久性	耐候性 使用期間を通じて維持できる耐候性を有すること	○	○				
	遮光性 遮水シートの紫外線による物性低下を緩和できる遮光性を有すること	○	○				
二重シート 同時損傷防止	埋立作業または埋立用作業車両により遮水シートの同時損傷を防止すること				○		
溶出性	環境を汚染する物質を溶出しないこと			○			○

(注) ○：必要項目

出典：廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領（(公社)全国都市清掃会議、2010）を一部修正

(2) 遮水シート材料に求める性能等

本件の遮水シート材料に求める性能は、以下のとおりである。

- 遮水材の意義・役割を考慮し、遮水効力、強度、耐候性、熱安定性、耐薬品性等が一定以上の水準を有している遮水シートを選定し使用する。
- 遮水シートの材質は、「低密度ポリエチレン/LLDPE（メタロセン系ポリエチレン）」とし、その他の仕様、規格等は下表のとおりとする。
- 原則として、日本遮水工協会の製品認定制度に基づく製品群の中から選定する。

(<http://www.nisshakyo.gr.jp/nintei.html>)

遮水シートの性能・規格等を次表に示す。

表02-1 遮水シートの性能・規格等

項目		試験方法	規格値等	
基本性能	外観	JIS A 6008	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	
	厚さ	JIS K 6250	1.5 mm以上 平均値が公称厚さの-0～+15%但し、測定値は-10%～+15%以内	
	透水係数	JIS K 6250	1×10^{-9} cm/sec 相当以下	
	引張性能	引張強さ	JIS L 1099	140 N/cm 以上
		伸び率	JIS K 6251	400 %以上
	引裂性能	引裂強さ	JIS K 6252	70 N 以上
接合部強度性能	せん断強度	JIS K 6850	80 N/cm 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	JIS A 1415 80 %以上 = 112 N/cm 以上	
		伸び率比	JIS A 1415 70 %以上 = 280 %以上	
	熱安定性※	引張強さ比	JIS K 6257 80 %以上 = 112 N/cm 以上	
		伸び率比	JIS K 6257 70 %以上 = 280 %以上	
	耐ストレスクラッキング性	JIS K 6760	-	
	耐薬品性 (耐酸性※)	引張強さ比	JIS K 7114 80 %以上 = 112 N/cm 以上	
		伸び率比	JIS K 7114 80 %以上 = 320 %以上	
	耐薬品性 (耐アルカリ性※)	引張強さ比	JIS K 7114 80 %以上 = 112 N/cm 以上	
		伸び率比	JIS K 7114 80 %以上 = 320 %以上	
	安全性 (溶出濃度)	昭和 48 年環告 13 号 昭和 46 年環告 59 号	溶出試験において、地下水環境基準項目、水質環境基準要監視項目が基準値以下	

※ 耐久性規格値 = 基本性能規格値 × ○○%

(3) 遮水シートの選定

本件で用いる遮水シートは、以下のとおり選定した。

1) 上部遮水シートの材質選定：

⇒底面部及び法面部での上部遮水シートは、引張強伸度・施工性に優れている LLDPE (メタロセン系ポリエチレン) シートを採用する。

2) 下部遮水シートの材質選定：

⇒底面部及び法面部での下部遮水シートは、下地追従性・接合性・引張強伸度に優れている LLDPE (メタロセン系ポリエチレン) シートを採用する。

なお、LLDPE (メタロセン系ポリエチレン) シートを選定した理由等は、根拠資料にて示す。(引張強伸度、接合性、施工性、下地追従性等)

(4) 保護マット・遮光性マット材料に求める性能等

本件の保護マット・遮光性マット材料に求める性能は、以下のとおりである。

- 保護マット・遮光性マットの意義・役割を考慮し、材質、強度、耐候性等が一定以上の水準を有している保護マットを選定し使用する。
- 保護マットの材質は、「反毛フェルト（JIS L 3204 の 3 種 4 号相当以上）」、厚さ 10 mm 以上で、基本性能等は下表の基準を満足するものとする。
- 遮光性マットの材質は、「反毛フェルト（JIS L 3204 の 3 種 4 号相当以上）」、厚さ 10 mm 以上で、基本性能等は下表の基準を満足するものとする。
- 保護マット・遮光性マットは、日本遮水工協会の製品認定制度に基づく製品群の中から選定する。<http://www.nisshakyo.gr.jp/nintei.html>

保護マット・遮光性マットの性能・規格等を次表に示す。

表02-2 保護マット・遮光性マットの性能・規格等

項目		試験方法	規格値等
材質		-	合成繊維および合成樹脂
単位面積質量（目付量）		-	1,000 g/m ² 以上
強度	引張強さ	JIS L 1908	100 N/5cm 以上
	貫入抵抗	ASTM D 4833	500 N 以上
遮光性		JIS L 1055	95% 以上
耐久性	耐候性	JIS A 1415	WS 形促進暴露試験 1000hr 暴露後の貫入抵抗試験で 500 N 以上
	遮光性	JIS L 1055	95 % 以上
安全性（溶出試験）		昭和 48 年環告 13 号 昭和 46 年総理府令 35 号	溶出試験において水質汚濁防止法に基づく排水基準の基準値以下であること

※ 耐久性は遮光性マットのみに適用する。

(5) 保護マット・遮光性マットの選定

本件で用いる保護マット・遮光性マットは、以下のとおり選定した。

1) 遮光性マット（法面に限る）の材質選定

⇒ 「反毛フェルト（基布入り）」を採用する。

（理由）法面部の遮光性マットは、埋立ての進捗に併せて施す保護土の敷均し作業による重機走行による負荷や、埋立廃棄物に含まれる鋭利な物などから遮水シートを保護するために、ある程度の厚みやクッション性が求められる。また、遮水シートの紫外線による劣化を防止する機能が必要となる。これらより、厚みがあり目付量が大きくクッション性の高い当該材料を採用する。

2) 二重遮水シート間の保護材の材質選定

⇒「反毛フェルト（厚さ 10 mm 基布入り）」を採用する。

（理由）二重遮水シート間の保護材は、埋立物搬入車輛や埋立重機の走行による衝撃、その他何らかの負荷により、二重遮水シート双方が同時に破損することを防止することが目的である。また、不織布の貫入抵抗は、不織布の目付量に比例することより、材料の厚み及び目付量が大きい材料が求められる。これらより、厚みがあり目付量が大きくクッション性の高い当該材料を採用する。

3) 上部遮水シートと保護土の間の保護材の材質選定

⇒「反毛フェルト（厚さ 10 mm 基布入り）」を採用する。

（理由）埋立地底面部の上部遮水シートと保護土間の保護材は、埋立廃棄物に含まれる鋭利なもの、埋立作業や埋立重機の走行による衝撃等により遮水シートが破損することを防止するのが目的である。このため、物性強度に加えて、クッション性が重要になる。これらより、2)と同じく当該材料を採用する。

4) 下部遮水シートと基礎地盤の間の保護材の材質選定

⇒「反毛フェルト（基布なし）」を採用する。

（理由）基礎地盤に接する保護材は、基礎地盤の不陸整正不足による凹凸などにより下部遮水シートが損傷を受けることを防止するのが目的である。このため、他の保護材と同様の抵抗力が求められる。これらより当該材料を採用する。

※1)～4)に関して、不織布の基布入りと基布なしの適用は、次のとおりである。

- ・基布入り：埋立物等の耐衝撃に優れるため、下層部以外に適用。
- ・基布なし：地盤への追従性に優れるため、下層部に適用。

(6) ジオシンセティッククレイライナー

万一の上部遮水シート破損時の止水効果を高めるため、自己修復機能を持つ、ジオシンセティッククレイライナー（ベントナイト素材の保護マット）を最下段法面部及び貯留構造物部に敷設する。

敷設の目的については、最下段法面部までの遮水シートに損傷が生じ、加えて埋立地内底部に浸出水が一時的に停滞する場合があったとしても、浸出水の漏洩リスクに対して高い遮水性を確保できるよう、最下段法面部及び貯留構造物部の遮水機能を強化することを意図したものである。

使用するジオシンセティッククレイライナーは、下表基準を満たす日本遮水工協会の製品認定制度に基づく製品群の中から選定する。<http://www.nisshakyo.gr.jp/nintei.html>

表02-3 ジオシンセティッククレイライナーの性能・規格等

項目	試験方法	規格値等
ベントナイト量	ASTM D 5993	4.0kg/m ² 以上
ベントナイト膨潤力	JBAS-104-77	20ml/2g 以上
透水係数	JIS A 1218	5.0×10 ⁻¹¹ m/sec 以下
引張強度	JIS 1908	縦 9.5kN/m 以上、横 9.0kN/m 以上
貫入抵抗	ASTM D 4833	500N 以上
安全性（溶出試験）	昭和 48 年環告 13 号 昭和 46 年総理府令 35 号	溶出試験において水質汚濁防止法に基づく排水基準の基準値以下であること

(7) ベントナイト混合土に求める品質等

ベントナイト混合土は、「基準省令」で定められている遮水構造の一層として、基準省令に示されている土質系遮水層の厚みおよび透水係数の基準を満足した仕様とする。

基準省令第一条第五項イ（1）

（イ）厚さが五十センチメートル以上であり、かつ、透水係数が毎秒十ナノメートル以下である粘土その他の材料の層の表面に遮水シートが敷設されていること

○ベントナイト混合土の厚さ 50cm 以上、透水係数 1×10⁻⁶cm/s 以下とする。

なお、ベントナイト混合土は、ベントナイトと混合母材である土砂から形成されるが、ベントナイト混合土の特性は、この 2 種類の材料によるところが大きいため、以下のよう仕様を設定する。

1) ベントナイト

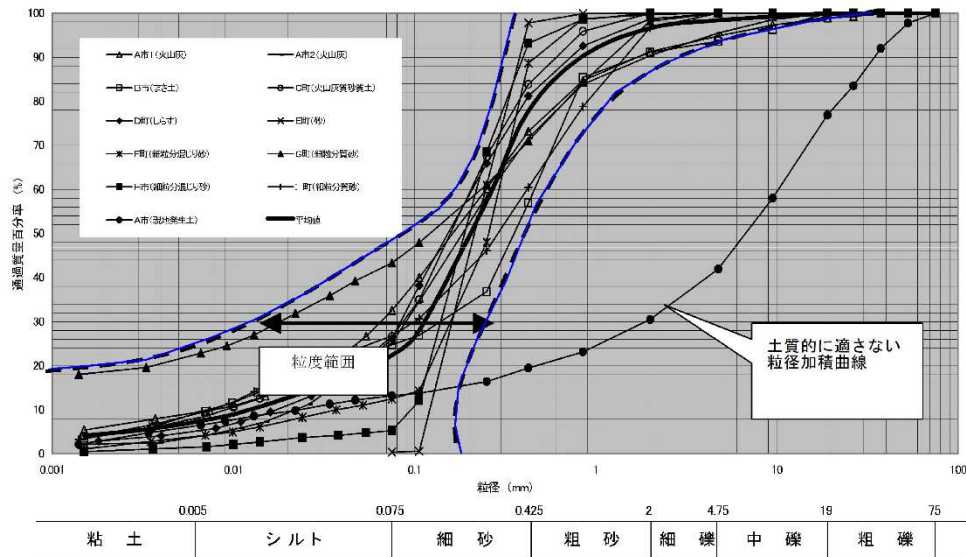
ベントナイトは、ナトリウム型とカルシウム型に大きく分類され、ナトリウム型は膨潤性、増粘性、懸濁安定性に特に優れ、カルシウム型は粘結性に特に優れている。

ベントナイト混合土に用いるベントナイトに必要な特性は、膨潤性であることから、ナトリウム型ベントナイトを使用する。

また、ベントナイトには様々な種類があるが、使用実績の多い「メッシュ 250」と規定する。

2) 混合土砂

ベントナイト混合土の母材は、ベントナイト混合土の品質を均質に確保するために購入土を使用する。なお、母材は、これまでの施工実績等から、次図に示す粒度範囲（青線で挟まれた範囲）内に入る砂質系の土砂が適している。



出典:環境地盤工学シンポジウム発表論文集 ベントナイト混合土を用いた複合ライナーの品質管理とデザインに関する研究

図02-5 母材粒径加積曲線

3) 添加量

ベントナイトの添加量は、全都清要領より、砂 90%密度で基本仕様となる透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下を満足する 7~10%とされている。また、「一般には経験的に 10~15%の配合量が適当であると考えられる。」とされている。

一方、隣接する一般廃棄物最終処分場では、ベントナイト混合土を利用しており、高膨潤タイプのベントナイトを 13%~15%の添加量としている。

本件では、隣接する一般廃棄物最終処分場と同様に、ベントナイト添加量は 15%程度（施工前に配合試験を実施し、所定の透水係数が満足していることを確認した上で添加量を決定する）とし、高膨潤性であるナトリウム型ベントナイトとする。

(8) 保護土に求める品質等

保護土には、砂、真砂土、現場発生土等を使用し、遮水シートを破損させるような礫や鋭利な異物が混入していないことを事前に確認する。なお、法面部等で保護土で覆うことが困難な場合には、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の資材を活用する。

(9) 遮水工施工時の留意点

遮水工の施工時には次の点に留意する。

1) 遮水シート

- ・遮水シートの接続方法は、熱溶着法を基本とする。(シート同士の溶着によってシート接合部の性能は維持される)
- ・遮水シートの接合部は、全数全長に対し検査(検査棒挿入検査、加圧検査、負圧検査など)を実施する。
- ・施工は、遮水シートの伸びが少ない気温の低い間の施工に努める。

2) 遮光マット、保護マット

- ・重ね代は10 cmを目安に敷設する。
- ・風等で巻き上がらないよう、マット同士をきちんと結合接着する。
- ・極端なしわがないことを確認する。

3) 有資格者の配置

日本遮水工協会の「遮水工資格制度」に基づき、施工時には、この制度に基づく有資格者を現場配置し、遮水施工全体における材料管理、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する。

3. 基礎地盤等

1) 勾配 50% (1 : 2.0) 以上の法面について

埋立地内の法面で敷設する表面遮水工の構造は、県指針等では「埋立地の法面勾配は、遮水工の施工性、滑り、盛土の安定性の観点から 50%未満を原則とすること」とある。

当処分場の事業計画地は、隣接する一般廃棄物最終処分場、一般県道尾高淀江線に挟まれ、敷地境界条件を含め地形の制約が厳しい場所である等の理由及び以下に示す施工性等の観点整理から、遮水工計画平面図に示すとおり、埋立部法面の多くを勾配 1 : 1.5 としている。

① 施工性の観点

- ・遮水工の割付計画や接合等を考慮すれば、埋立地内の法面勾配を統一することが望ましい。
- ・他事例の施工事例を踏まえれば、施工は十分可能と考える。

② 滑りの観点

- ・遮水工の自重、重機等の応力を考慮し、後述するシート固定工を各小段に設ける。
- ・法面に対しては、不陸整正を行うとともに、面状排水材による適切な排水を促す方策を行い、遮水工の滑りに対し、十分な安全性の確保を図る。

③ 盛土の安定性

- ・ 05 (01) 章で説明する盛土の安定計算により、十分な安全性の確保を図る。

2) 基礎地盤の造成時の留意点等

- ・ 遮水工の下部は、角礫・岩片・突起物など遮水シート損傷の要因を排除し、不陸整正・締固めを十分に行い、平滑に仕上げる。特に溝口凝灰角礫岩部は留意して仕上げる。
- ・ 埋立部の一部には竹林が存在する。造成する際は、それらを伐根する必要があるが、竹の根が残存しないよう（伸長して遮水工を破損しないように）に、念入りに施工し、確認する。
- ・ 法面部については、盛土の安定性を図るため、面状排水材による適切に排水を促す方策や改良盛土による腹付け盛土を行う。なお、建設時の状況によっては、必要に応じてモルタル吹付による改良を実施する。

4. 固定工

遮水工の固定工は、以下の図書に基づいて検討を行い、決定した。詳細は別記・根拠資料のとおり。

- 「廃棄物最終処分場技術システムハンドブック（平成 11 年 2 月 最終処分場技術システム研究会）」
- 「廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領（平成 13 年 11 月 社団法人全国都市清掃会議）」
- 「廃棄物最終処分場新技術ハンドブック（平成 18 年 12 月 NPO 最終処分場技術システム研究協会）」
- 「廃棄物最終処分場遮水システムハンドブック（平成 20 年 1 月 NGO 最終処分場技術システム研究協会）」

遮水工の固定工に働く張力の算出結果は、次表のとおりである。

表02-4 固定工に働く張力の算出結果

(単位:N/m)

張力が発生する要因	最下段法面部				最下段以外の法面部			
	固定工に作用する張力				固定工に作用する張力			
	1:1.5の場合		1:2.0の場合		1:1.5の場合		1:2.0の場合	
1. 遮水シート、不織布の自重	485		448		242		224	
2. 遮水シートの温度低下による収縮力(熱応力)	890		890		890		890	
3. 風による負圧揚力	0		0		0		0	
4. 埋立廃棄物の荷重や圧縮による引込み張力	6,597	昼間	6,597	昼間	6,597	昼間	6,597	昼間
	1,412	夜間	1,412	夜間	1,412	夜間	1,412	夜間
5. 積雪等による荷重	1,960		1,570		1,960		1,570	

(単位:N/m) (単位:N/m)

時期	時間帯	固定工に作用する張力		固定工に作用する張力	
		1:1.5の場合	1:2.0の場合	1:1.5の場合	1:2.0の場合
冬季	昼間の張力 1+3+5=	2,445	2,018	2,202	1,794
	夜間の張力 1+2+3+5=	3,335	2,908	3,092	2,684
冬季以外	昼間の張力 1+3+4(昼間)=	7,082	7,045	6,839	6,821
	夜間の張力 1+2+3+4(夜間)=	2,787	2,750	2,544	2,526

上表より、冬季以外の昼間が、法面勾配 1 : 1.5 の箇所で 7,082N/m、法面勾配 1 : 2.0 の箇所で 7,045N/m と最も大きくなる。

また、上表は、その算出根拠がフィールド実験におけるデータ等を採用しているため、安全率を 1.2 として固定工断面を決定した。

○法面勾配 1 : 1.5 の箇所 : $7,082 \text{ N/m} \times 1.2 = 8,499 \text{ N/m}$ 以上

○法面勾配 1 : 2.0 の箇所 : $7,045 \text{ N/m} \times 1.2 = 8,454 \text{ N/m}$ 以上

固定工の材料を無筋コンクリートとすると、単位体積重量が $23.0\text{kN}/\text{m}^3$ であることから、 $8,499\text{N}/\text{m} \div 23.0\text{kN}/\text{m}^3 \div 1,000 \div 0.370\text{m}^2$ となり、固定工の断面積を 0.37m^2 以上確保する基本形状とした。

なお、固定工の遮水シートへの接触による破損を防止するために、シートに接触する部分の固定工形状に鋭角な部分を作らないように留意した。(最大でも直角 90 度まで)

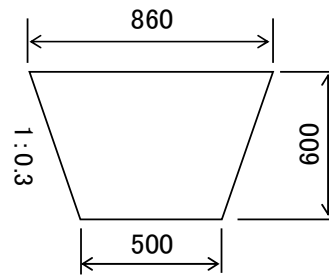
小段固定工

勾配(1:□)	0.30
高さ(mm)	600
上部長さ(mm)	860
底部長さ(mm)	500
単位体積重量(kgf/m ³)	2,350

容積(m ³ /m)	0.408
重量(kgf/m)	959
重量(kN/m)	9,398

$$\text{容積} = (860 + 500) \times 600 \times 0.5 / 1000000 = 0.408\text{m}^3$$

小段固定工



天端固定工

勾配(1:□)	0.30
高さ(mm)	600
上部長さ(mm)	730
底部長さ(mm)	550
単位体積重量(kgf/m ³)	2,350

容積(m ³ /m)	0.384
重量(kgf/m)	902
重量(kN/m)	8,840

$$\text{容積} = (730 + 550) \times 600 \times 0.5 / 1000000 = 0.384\text{m}^3$$

天端固定工

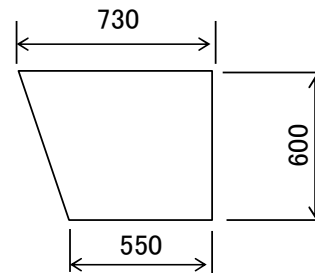


図02-6 固定工の基本形状

※法面施工端部の固定工は、遮水シートの両端部に設置するものであり、引込み張力等を考慮する部分ではないことから、固定工能力(断面積 0.37m^2)の評価の対象外とした。

5. 小段雨水排水

本処分場は、雨水を積極的に地下水へ排水し浸出水量の削減を図るため、小段雨水排水口（排水先は地下水集排水管）を設けることとした。小段雨水排水口は、小段部に設置するシート固定工を利用して設置することとし、その位置図及び一般構造図は次のとおりである。

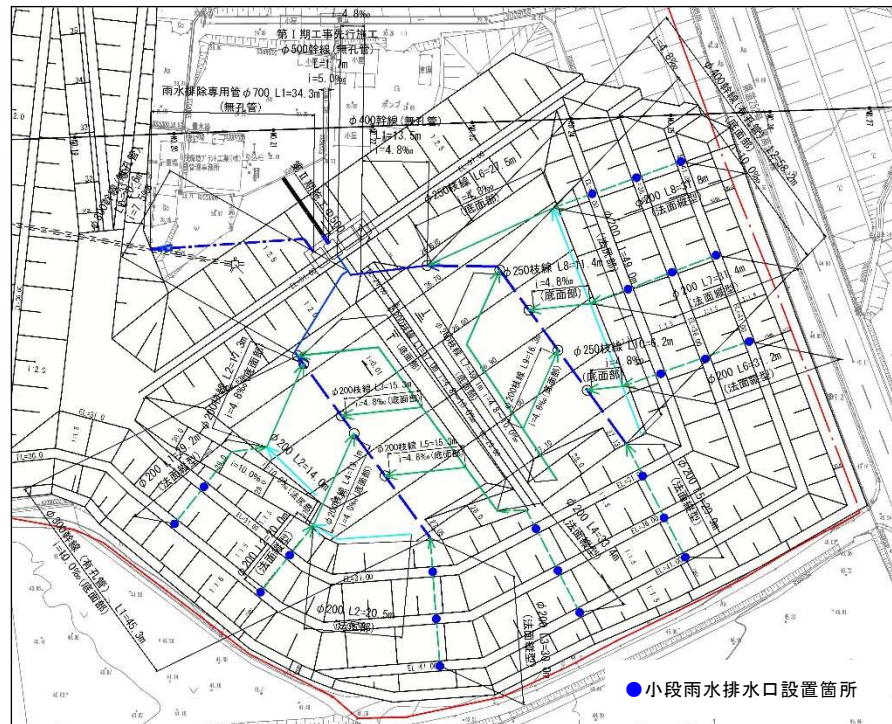


図02-7 小段雨水排水口設置箇所（第Ⅰ期）



図02-8 小段雨水排水口設置箇所（第Ⅱ期）

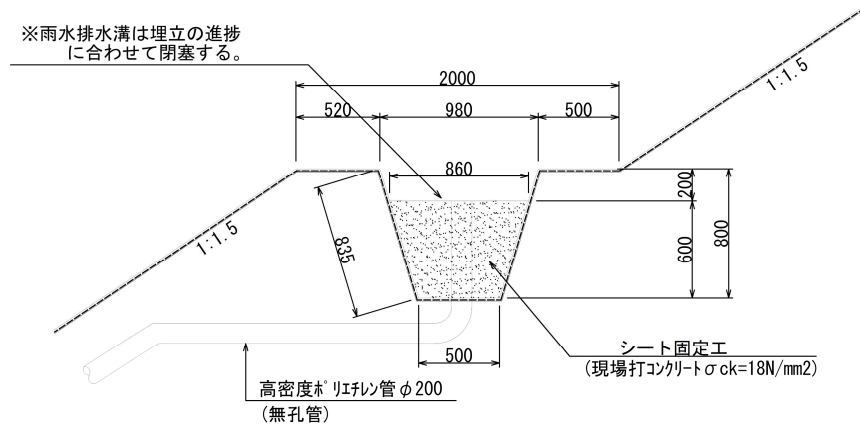


図02-9 小段雨水排水の一般構造図

小段雨水排水口は、浸出水が小段雨水排水口から流出することがないように、未閉塞の小段雨水排水口の高さ（外周のり面、区画堤で囲まれた区域ごと）を超えて廃棄物を埋め立てるまでに、埋立の進行に合わせて確実に閉塞する必要がある。その閉塞の考え方・方法は、次のとおりとする。

（小段雨水排水口の閉塞の考え方）

- ・小段雨水排水口の閉塞は、技術上の基準を満足する連続した二重遮水シートによる遮水構造を形成する。

（小段雨水排水口の閉塞の方法）

- ①小段雨水排水口設置部にシート固定工を設けた場合には、閉塞時に固定工を撤去する必要が生じ、遮水シートの破損リスクが生じるため、小段雨水排水口の両側1m区間の固定工は容易に撤去可能な構造とする。
- ②小段雨水排水口の先端部は、開口部を塞ぐためにキャップ等で閉塞する。
- ③小段雨水排水口を確実に閉塞するため、同材質の下部遮水シート、上部遮水シートをそれぞれ十分な重ねしろを確保した上で、熱溶着する方法等で閉塞する。
- ④確実な閉塞を確認するため、加圧検査等により全ての小段雨水排水口閉塞部で試験を実施し、記録を保存する。
- ⑤具体的な閉塞構造は、工事施工時の仕様の中で決定する。

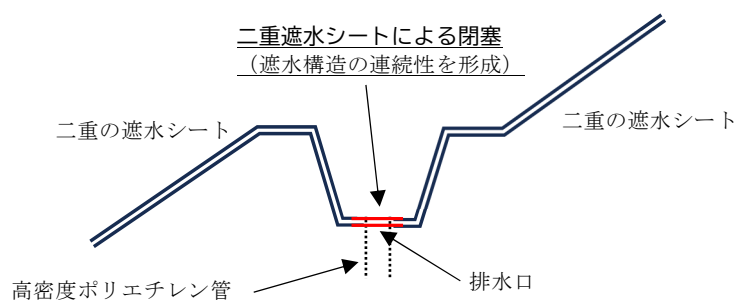


図02-10 小段排水の閉塞方法の考え方

根拠資料：遮水シートの選定について

(1) 遮水シートの選定理由

県指針 4-3-2 遮水工には、遮水シートの設計に求められる事項が次のとおり整理されている。これらを勘案して、本処分場で使用する遮水シートの性能を前述のとおり決定した。その選定理由等は、次表にて整理する。

【県指針より】

イ 遮水シートの設計

原則として合成ゴム系、合成樹脂系及びアスファルト系あるいは、これらと同等又は、それ以上の性能を有するものとし、アスファルト系以外の遮水シートは厚さ 1.5 mm 以上、アスファルト系の遮水シートは 3 mm 以上とすること。

なお、遮水シートの接合部についても同様の性質又は性能を有する必要があること。

a 材料

1) 遮水の効力

遮水シートの材質について埋立地内部の保有水等を浸出させない十分な遮水性を有すること。また、遮水シートの表面に穴、亀裂等が認められないこと。

2) 強度

廃棄物又は保有水等により想定される荷重、埋立作業用の車両等による衝撃力、これらにより生じる安定計算上許容しうる基礎地盤の変位並びに想定される温度応力に対し、強度及び伸びにより対応できる性能を有すること。

3) 耐久力

i) 耐候性

紫外線に長期間暴露したとしても引っ張りに対する遮水シートの強度や伸びの率が、暴露前と比較して大きく劣化しない性質を有すること。

ii) 熱安定性

遮水シートの表面温度は直射日光により夏期には摂氏約 60 度から 70 度まで上昇する一方、冬期は摂氏氷点下約 20 度まで低下する可能性があり、また、廃棄物の分解反応により埋立地の層の内部の温度が上昇することがあるため、これらの温度変化に対する耐性を有すること。

iii) 耐酸性、耐アルカリ性等

埋立地の保有水等の水素イオン濃度を想定して、酸性及びアルカリ性に耐える性質を有すること。

このほか、耐バクテリア性、耐油性その他の埋め立てられる廃棄物の化学的な性状に対する耐性を有すること。

iv) その他

大気中のオゾンの影響による品質劣化や、曲げによる応力が継続した場合に発生するひび割れに対する耐性を有すること。

4) その他

遮水シートの敷設、接合等において不具合が生じないよう、施工性の良いものであること。

表02-13 遮水シートの選定理由

求められる機能	選定の考え方（基準は、全都清要領が提示する性能目安以上としている）
遮水の効力	必要十分な遮水性を有し、シート同士の接合も熱溶着でしっかりと密着できる合成樹脂系のLLDPEを選定した。厚さは県指針にあるとおり、1.5mm以上とした。
強度	廃棄物や保有水等により想定される荷重や埋立作業用の車両等の衝撃力、これらにより生じる安定計算上許容しうる基礎地盤の変位等を勘案し、シートの敷設・固定工に直結する「引張性能」「引裂き性能」「接合部強度性能」に着目して、十分な性能を持つLLDPEを選定した。
耐候性	遮水シートの劣化の主要因である紫外線（耐候性）に着目し、遮光性マットによる遮光が無い状態でも長期間の耐久性があるLLDPE製品を選定した。性能評価指標は、耐候試験後の引張り強さ、伸び率の保持率の程度とした。
熱安定性	埋立地内の温度変化に着目し、温度変化に対する耐性があるLLDPE製品を選定した。性能評価指標は、張り強さ、伸び率の保持率の程度とした。
耐酸性 耐アルカリ性	埋立廃棄物によって浸出水の酸性・アルカリ性が変動することに着目し、耐酸性・耐アルカリ性の性能を有するLLDPE製品を選定した。性能評価指標は、引張り強さ、伸び率の保持率の程度とした。
その他 耐バクテリア性 耐油性 耐オゾン性 耐ひび割れ	一般的に生物分解されにくいことが既知である合成樹脂系のLLDPE製品を選定した。当該処分場へは廃油系の廃棄物は埋立しないが、LLDPEは、比較的、耐油性には優れているとされている。耐オゾン性については、耐候性試験における促進暴露試験がオゾン発生状態での試験となるので、そちらの選定基準に任せることとした。選定した中弾性・LLDPEは耐ストレスクラッキング能があり、曲げによる応力が継続した場合に発生するひび割れには強いとされている。
施工性 採用実績	現場施工が適切に行われることに配慮するため、一般的に施工が容易（取扱い性、接合性、補修性）である中弾性・LLDPEを採用した。この材料は、現在の処分場建設で多くの採用実績があることが知られている。

※「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／国際ジオシンセティックス学会日本支部」「廃棄物最終処分場遮水システムハンドブック／NPO法人最終処分場技術システム研究協会」「全都清要領」等を参考図書として上記内容を整理した。

(2) 採用する遮水シートが長期間の耐用年数をもつ根拠

1) 性能を満足する製品の実際の耐用性試験結果（根拠その1）

前述した性能・規格を満足する某 LLDPE 製遮水シート製品の耐用性試験結果（メーカー提供データ）を以下に示す。

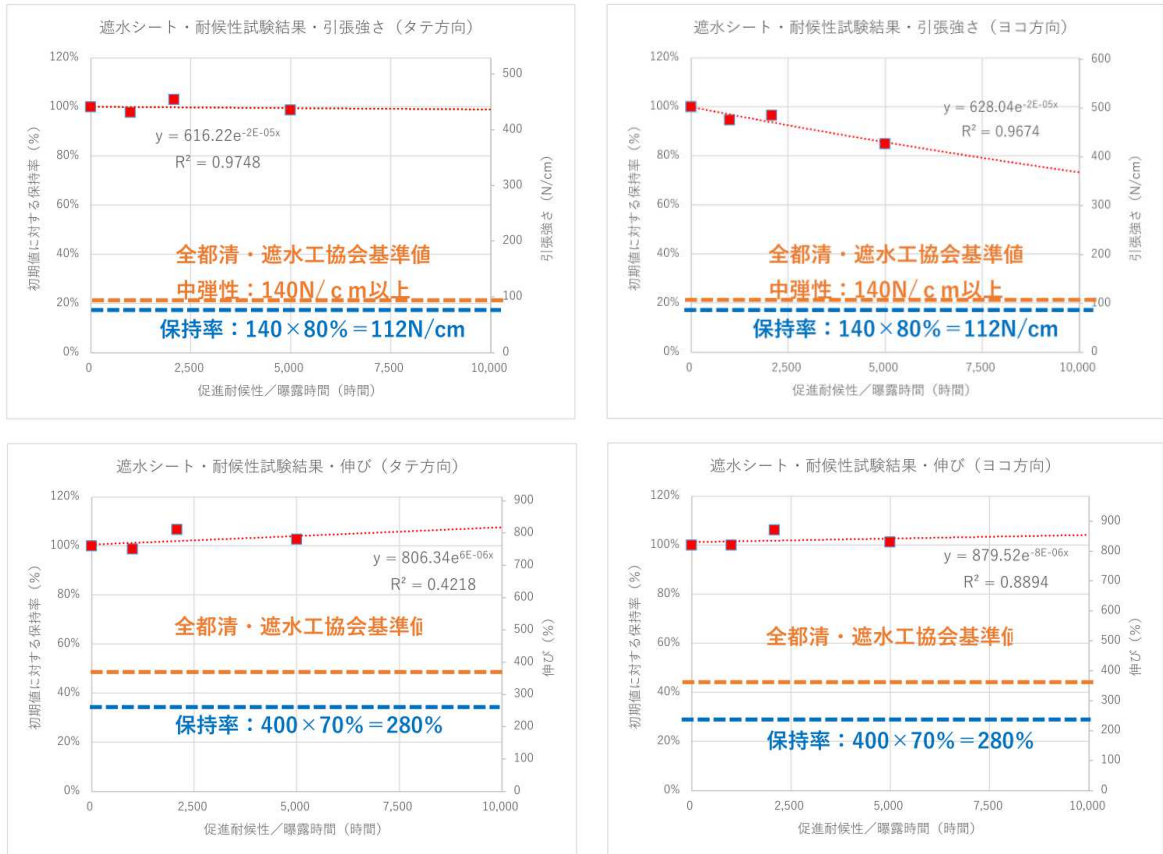


図02-15 LLDPE 製の遮水シートの耐候性試験結果（引張強さ・伸び×タテ・ヨコ方向別）

WS-A 型促進暴露 5,000 時間（自然暴露の 15 年分に相当）でも、仕様基準を十分満足し、6,000 時間、7,000 時間を超えても、基準は十分満足している。これらの結果から得られる相関式より 10,000 時間（自然暴露の 30 年分に相当）に達しても、仕様基準は満足されると考えられる。

実際に現場に敷設される遮水シートは、遮光マットの敷設により紫外線劣化等を大幅に抑制できるため、長期間（計画内最長暴露期間となる 27 年程度は十分維持可能）の耐候性を有すると考えられる。

表02-14 LLDPE 製の遮水シートの熱安定性、耐酸性、耐アルカリ性試験結果

項目	①初期	②熱安定性		③耐酸性		④耐アルカリ	
	①初期値	②結果	②保持率 (%)	③結果	③保持率 (%)	④結果	④保持率 (%)
引張性能・タテ (N/cm)	613	599	98%	613	100%	605	99%
引張性能・ヨコ (N/cm)	612	608	99%	610	100%	617	101%
遮水工協会基準	140以上	112	←基準の80%以上	112	←基準の80%以上	112	←基準の80%以上
伸び率・タテ (%)	860	880	102%	870	101%	870	101%
伸び率・ヨコ (%)	890	900	101%	880	99%	890	100%
遮水工協会基準	400以上	280	←基準の70%以上	320	←基準の80%以上	320	←基準の80%以上
引裂き性能・タテ (N)	151						
引裂き性能・ヨコ (N)	150						
遮水工協会基準	70以上						

当該試験結果より、この LLDPE 製遮水シートは熱安定性・耐酸性・耐アルカリ性に優れ、劣化はほぼ見られず、性能基準を十分に満足する結果が得られている。この結果から、この製品は熱・酸性・アルカリ性による劣化が想定されず、計画埋立期間内においてこれらの要因により必要な機能が維持できなくなることはないと考えられる。(前述のとおり、電氣的漏えい検知システムを導入することとしており、遮水シートの機能が維持されていることが確認可能な体制を計画している。)

使用製品の決定に当たっては、維持管理期間を含む計画埋立期間 47 年間（計画内最長曝露期間 27 年）を踏まえ、実際に採用するシートの性能データ等によって、グラフ相関上で 10,000 時間相当の曝露期間を経ても遮水工協会基準値を十分満たすことが見込まれること、熱安定性・耐酸性・耐アルカリ性に対して、ほとんど劣化が見られないこと等が確認できる製品から選定するものとする。

2) 遮水工協会が提示するモデル式による耐久性予測（根拠その2）

日本遮水工協会資料「遮水シートの耐久性について」

<http://www.nisshakyo.gr.jp/topix/20130403durability.pdf>

当該資料には次の知見がまとめられている。

- 埋立地の底部やそれに近い法面に敷設された遮水シートは、処分場稼働後早期に覆土等によって埋設され、浸出水に常時さらされる。一方、上部に敷設された遮水シートは供用期間中に日光に常時暴露されることになる。
- 遮水シートを構成する高分子材料は、浸出水や酸性雨、コンクリート由来のアルカリ水等に対しては比較的安定しており、微生物反応に対してもその化学構造より侵されにくく丈夫である。したがって、遮水シートの耐久性を論じるには、遮水シートの「耐候安定性（太陽光・紫外線の暴露に対する耐性）」が一般的となっている。すなわち、法面上部に敷設された遮水シートが最も厳しい条件下に置かれているとの判断より、同状態を評価するのが基準となる。
- 遮水シートの「特性変化率（引張り強さや伸び等のシート性能の劣化の度合い）」に及ぼす最も大きな因子は、「シート施工後の経過時間」と「日射量」である。
- 供用稼働している処分場法面に実際に敷設されているシートをサンプルに用いて性能試験を実施したところ、次の影響因子から算出される「総日射量」と「シートの特性変化率」には線形相関があることが分かった。これをシートの特性変化の評価（＝耐久性）に関するモデル式として提言する。
- モデル式で着目した影響因子は、施工後経過時間、全天日射量、平均気温、法面の向き（方角）、暴露条件である。その数値から「総日射量」という指標を算出する。
- このモデル式を使うと、一番影響を受ける法面上部の遮水シートの耐久年数を予測することができる。

○モデル式説明／日本遮水工協会資料「遮水シートの耐久性について」より

特性変化率と提案した指標（総日射量と呼ぶ）との関係は、次式で表される。

$$\Delta p' = \frac{|p - p_0|}{p_0} = A \sum S$$

ここで、 $\Delta p'$ ：特性変化率（ある特性値の変化率）

p ：現地でサンプリングした供用後の遮水シートの特性値

p_0 ：使用前の遮水シートの特性値

A ：比例定数（材料定数）

$\sum S$ ：累積日射量に気温、向き及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。

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

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} ：サンプリング地域の年平均全天水平面日射量(MJ/m²/day)

※サンプリング地域での過去 30 年データの平均値

α_1 ：年平均気温を考慮した補正係数

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

T ：サンプリング地域の年平均温度(°)

※サンプリング地域での過去 30 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向き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

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

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。

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

このモデル式を用いて、米子の気象データをインプットして計算・評価した。（米子 48 年分の気象庁公開データを用いて試算した）

表02-15 試算結果

項目	数値など	備考
全天日射量 (g)	12.5 MJ/m ² /日	1961～2008年(48年間分の 平均値)
年平均気温 (T) 気温補正值 (α_1) = $2^{(T-15/10)}$	14.7 °C 気温補正值 α_1 : 0.979	〃
向き (α_2)	1.26	影響最大の「南向き」法面 で計算する。
暴露条件 (α_3)	0.2	「遮光マットあり」として 計算する

↓この数値を用いて試算すると…

経過時間 (t)	50年 (18,250日) の場合で試算	365日×50年=18,250日
累積日射量 (g・t)	18,250×12.5	
総日射量 $\Sigma S = (\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3) g \cdot t$	$0.979 \times 1.26 \times 0.2 \times (18,250 \times 12.5) = \text{約 } 56,280$	
特性変化率 $\Delta p = A \times \Sigma S$ 比例定数 $A = 7.38 \times 10^{-6}$	$7.38 \times 10^{-6} \times 56,280 = \text{約 } 0.41$	許容される特性変化率が 0.6以下とされている。そ れ以下なら耐久性あり。

許容される特性変化率が「0.6以下」とされており、計算で得られた0.41はそれを下回るため、50年以上は十分対応可能（耐久性あり）と評価できる。

また、特性変化率が0.6となる経過年数（=Y年）を逆算すると「Y=72年」が求められる。つまり、米子の気象環境では70年近い耐久性が見込めると考えられる。