

一体型複合遮水シート工法の開発

－海面最終処分場への適応性－

Development of Triple Liner System

- Application to Coastal Landfill Site -

紀藤千佳* 三吉純男* 中木秀一*

要 旨

陸上最終処分場、海面最終処分場の遮水工として用いる一体型複合遮水シート工法の開発に参画し、海面最終処分場への適用実績を作るために海面実証実験を行い、その成果を基に(財)沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価証を得た。工法の特長としては、最終処分場の容量の増加、工法の簡素化、工期の短縮、優れた遮水性・耐久性、施工性の良さなどがあげられる。

キーワード：海面最終処分場、遮水工、遮水性、耐久性

1. まえがき

近年、廃棄物の発生抑制やリサイクルを推進する循環型社会が指向されているが、リサイクルが進んでも最終的に埋立処分せざるを得ない廃棄物は残り、安全性の高い最終処分場構造が強く求められている。また、総理府、厚生省から発せられた「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」(以下、基準省令と称す)が平成10年に改訂され、二重に遮水シートを敷設する方法や、粘土やアスファルトコンクリート等の遮水層を構築し、その上に一重遮水シートの敷設する方法が義務付けられた。

このような背景のもと、当社が参画しているジオシンセティックス技術研究会は遮水シートを用いて、より確実に遮水性能を確保するため、二重遮水シート間に中間保護材として可とう性(地盤変形追随性)が大きく、かつ遮水性能の高い高分子材料(ポリウレタン)を注入し、三重構造とした一体型複合遮水シート(以下、複合シートと称す)による遮水工法を開発した。

このたび、実績評価に相当する工法の確認審査・評価を得ることを目的として実海域での本工法の実証実験を行ったので報告する。

2. 複合シートについて

2.1 複合シートの構造

複合シートは、二重遮水シート間に遮水性を有する中間保護層として二液常温硬化型ポリウレタンを注入して

製作する(図-1)。ポリウレタン硬化後は、二重遮水シートと遮水性を有する中間保護層が一体となった三重構造の複合シートとなる。ポリウレタンは遮水性と変形追随性に優れた高分子材料であり、仮に遮水シートに欠陥部があっても注入時にその欠陥部にも充填されるため、遮水シートに不可避に存在する欠陥(ピンホール等)を修復できる利点を有している。

2.2 複合シートの特徴

複合シートは次に示す特徴を有する。

- i. 二重遮水シート間に遮水性中間保護層を有する三重遮水構造である
- ii. 遮水性中間保護層と二重遮水シートは強固に一体化されている
- iii. ポリウレタンの良好な充填性により、遮水シート等に不可避に存在する欠陥を修復できる
- iv. 十分な可とう性を有し、地盤変形に追随して遮水性を保持できる
- v. 遮水性中間保護層は優れた遮水性能(透水係数： 1×10^{-12} cm/s 以下)および材料強度を有しているため、複合シートは、上・下面の遮水シートと

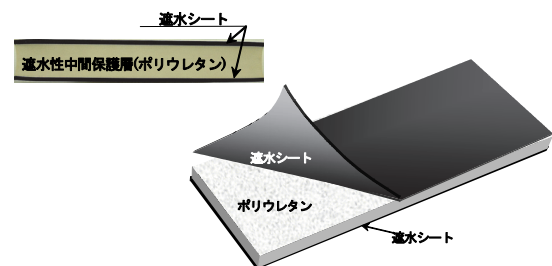


図-1 複合シート構造図

*関西支社環境プロジェクト部

中間保護層（ポリウレタン）から成る三重構造であるが、不測の事態で万が一遮水シートの一部が破損しても十分な遮水性を保持できる

- vi. 耐久性、耐薬品性に優れる
- vii. 遮水性中間保護層は打ち継ぎが可能で、打ち継ぎ部は一般部と同等の性能を有する

2.3 複合シートを用いた遮水工の適用方法

一体型複合遮水シート工法は陸上や海面の最終処分場表面・斜面遮水工や鉛直遮水工等に適用できる。海面での主な適用例を図-2に示す。

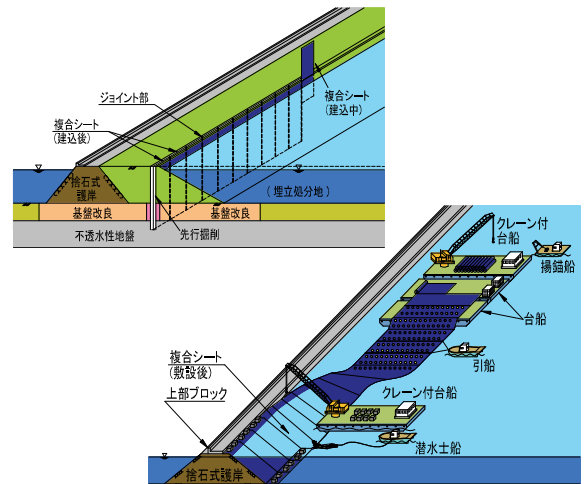


図-2 複合シート適用例

3. 開発の目標

3.1 開発の目標

本工法の開発目標として以下の4項目が挙げられる。

- i. 本工法は、従来の二重遮水シート工法に比べて海面処分場の容量が増えること（以下、開発目標①と称す）
- ii. 本工法は、従来の二重遮水シート工法に比べ、二枚の遮水シートと中間保護層が一体化していることから、現場での敷設が一回で済み、工程ならびに工期の短縮が図ることができる工法であること（以下、開発目標②と称す）
- iii. 複合シートは、変形追随性のある三重の遮水構造を有した材料であり、かつ遮水性、耐久性などに係る特性が、従来の二重遮水シートに比べて同等以上であること（以下、開発目標③と称す）
- iv. 複合シートは、海上での接合が可能であり、かつ通常の施工方法で引き出し、敷設が可能であること（以下、開発目標④と称す）

3.2 開発成果の評価方法

開発成果の評価方法は表-1に示すように、机上の試設計および室内実験、現場実験（陸上・海面）とした。また、評価項目と判定方法を表-2に示す。

4. 開発成果の評価

4.1 開発目標①

従来の二重遮水シート工法と一体型複合遮水シート工法との廃棄物可処分容量を机上で試算し、両者の比較から開発目標①の成果の評価を行った。

表-1 開発成果の評価方法

評価項目	試設計	室内試験	現場実験 (陸上)	現場実験 (海面)
開発目標①	○			
開発目標②	○			○
開発目標③		○		
開発目標④			○	○

表-2 評価項目と判定方法

	目標	項目	判定方法
開発目標①	従来の二重遮水シート工法より処分容量が増えること	処分容量	仮定した断面について、処分場の容量を従来の二重遮水シート工法と比較する
開発目標②	従来の二重遮水シート工法より工程・工期が短縮されること	工程・工期	仮定した規模について、工程・工期を従来の二重遮水シート工法と比較する
開発目標③	全都清が定める遮水シートの特性の目安値を満足すること	遮水シートの特性	各種試験
	複合シートの透水係数が 1×10^{-12} cm/s 以下であること	遮水性	透水係数(透水試験)
	複合シートの変形ひずみが一般の遮水シートと同程度であること	変形追随性	変形追随性(剥離試験、引張試験)
	複合シートの耐薬品性が確認できること	耐薬品性	耐薬品性(基本物性試験)
	複合シートに損傷が起きないこと	耐破損性	耐破損性(不陸地盤上の載荷試験)
異物が複合シートを貫通した際に漏水がないこと	耐漏水性	耐漏水性(耐圧試験)	
開発目標④	台船上で複合シートの接合ができること	接合部の施工	接合部の施工(室内・海上実験)
	複合シートの引き出しと敷設ができること	引き出し・敷設の施工	引き出し・敷設の施工(海上実験)

a. 検討条件

施工事例を参考に、管理型廃棄物埋立護岸の形状寸法を図-3のように設定した。設定した規模は一般的なものである。海底面以深の地盤は粘性土(遮水基盤)とした。

b. 廃棄物処分量の増加割合の算定

平均断面法により、廃棄物可処分容量を算定した。算定結果を表-3に示す。一体型複合遮水シート工法による処分量の増加分は、設定した処分場の規模や形状の範囲で、概ね5~20%程度になることが確認された。

4.2 開発目標②

a. 作業時間の比較

海面実証実験で得られた作業速度をもとに、図-4および図-5に示す断面について、一体型複合遮水シート工法と従来の二重遮水シート工法の作業時間の比較を行った(図-6)。

1,000m²当りの一体型複合遮水シート工法の加工日数は1.07日、敷設日数は1.08日となり、加工から敷設までの施工日数は合計すると2.15日となる。ただし、加工と敷設はラップして施工できるためこれより短くなる。一方、従来の二重遮水シート工法の加工から敷設までの施工日数は3.11日となっている。これにより、一体型複合遮水シート工法は、中間保護層の敷設が無いため工程が少なくなると共に、従来の二重遮水シート工法より工期が短縮することが確認された。

b. ケーススタディ

実証実験により得られた施工能力を参考に、1辺の護岸延長300mの平面形状が矩形の処分場について遮水工の工期を試算した。結果を表-4に示す。工期の検討に用いた施工能力は、海面実証実験結果および従来工法の実績の1,000m²当りの値から換算した。この結果より、一体型複合遮水シート工法による工期は、従来の二重遮水シート工法に比べて67日/158日=0.42より、約1/2に短縮できることが確認された。

表-4 一体型複合遮水シート工法(本工法)と従来の二重遮水シート工法との工程比較表

区分	工 種	数 量	1000m ² 当りの歩掛	施工能力	日数	1	2	3	4	5	6	7
二重遮水シート工法	下層シート広幅加工	50,000m ²	3.82hr	1,571m ² /日	32		32					
	同 上 敷設	50,000m ²	5.50hr	1091m ² /日	46			46	68			
	中間保護層投入	112,900m ³	2.10hr	3,400m ³ /日	33				40	109		
	上層シート広幅加工	50,000m ²	3.82hr	1,571m ² /日	32					3	121	
本工法	一体型複合遮水シート加工	50,000m ²	6.41hr	936m ² /日	53			53				
	同 上 敷設	50,000m ²	6.50hr	823m ² /日	54				67			

所要日数比 = 67/158 = 0.42

上層保護層の厚さ 1m

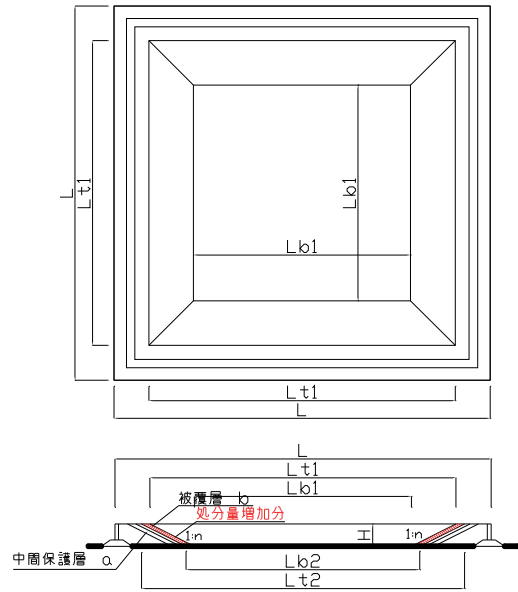


図-3 管理型廃棄物埋立護岸の形状寸法

表-3 施工規模による可処分容量増加割合試算事例

	A	B	C	D	E	
矩形換算1辺長 L(m)	300	250	350	150	400	
埋立総高さ H(m)	10	18	25	15	20	
斜面勾配 n	3	2	2	2	1.5	
斜面勾配から求めた係数√k	3.2	2.2	2.2	2.2	1.8	
中間保護層の厚さ a(m)	1.0	3.0	3.0	2.0	4.0	
被覆層の厚さ b(m)	1.0	5.0	3.0	1.5	5.0	
従来の二重遮水シート工法	Lt1(m)	267.2	194.8	303.6	114.6	347.6
	Lb1(m)	207.2	122.8	203.6	54.6	287.6
	V1(万m ³)	57.2	47.7	167.0	12.1	203.5
一体型複合遮水シート工法	Lt2(m)	273.6	208.0	316.8	123.4	362.0
	Lb2(m)	213.6	136.0	216.8	63.4	302.0
	V2(万m ³)	60.2	55.6	184.2	14.4	222.2
可処分容量増加割合 α=V2/V1	1.05	1.16	1.10	1.19	1.09	

注) 従来の二重遮水シート工法 Lt1: 法肩幅 Lb1: 法裾幅
一体型複合遮水シート工法 Lt2: 法肩幅 Lb2: 法裾幅

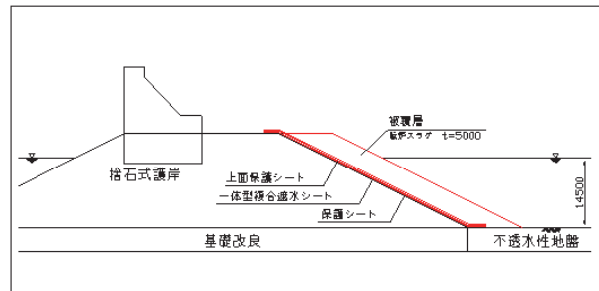


図-4 一体型複合遮水シート工法

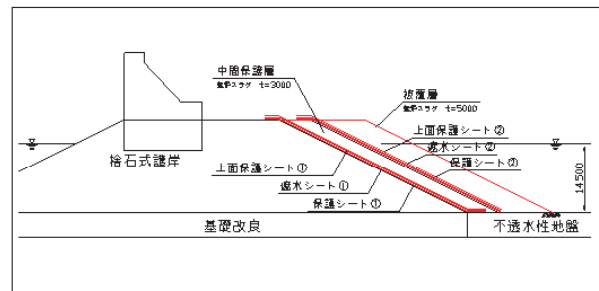


図-5 従来の二重遮水シート工法

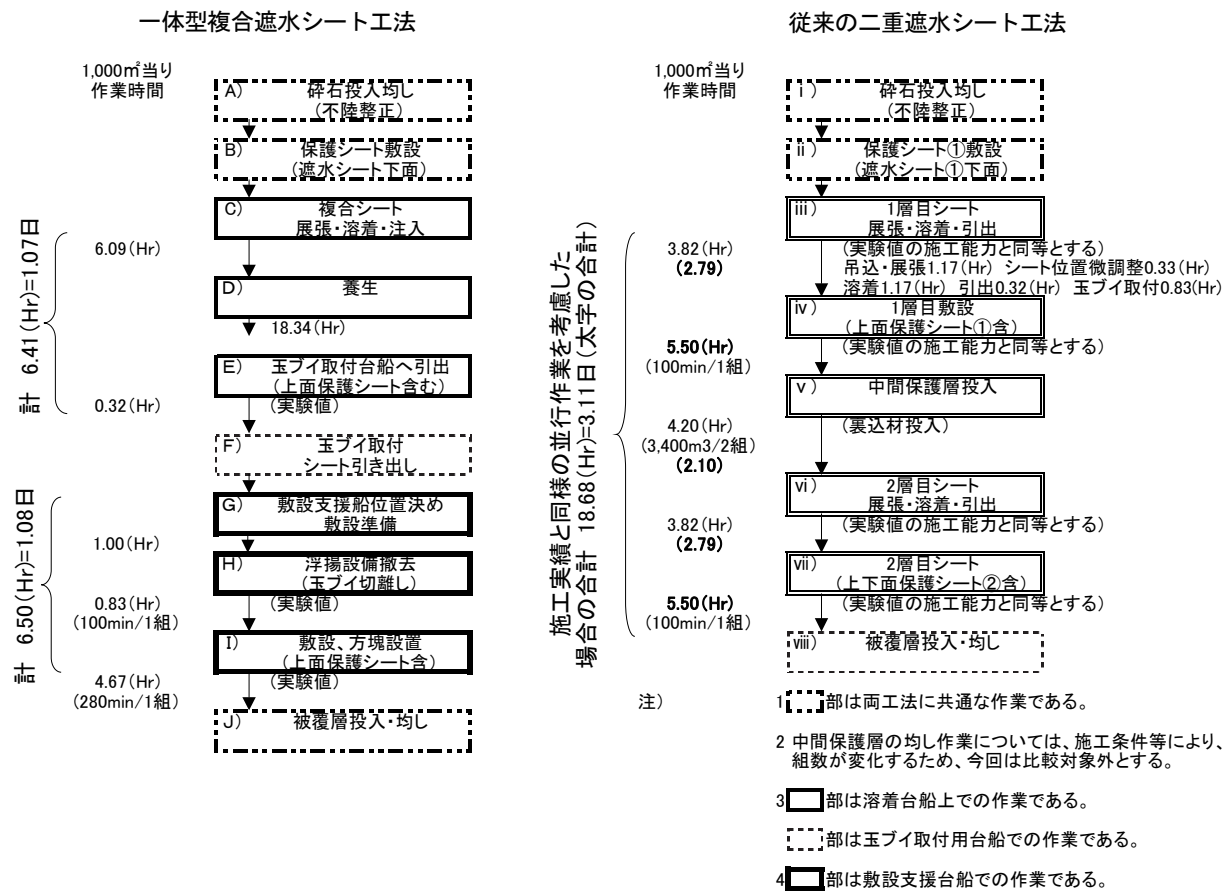


図-6 作業時間の比較

4.3 開発目標③

遮水シートの規格および複合シートの基本特性、耐久性などについて検証を行った。その結果、複合シートは変形追従性、遮水性、耐久性などに係る特性が、従来の二重遮水シートに比べて同等以上であることが確認できた。

a. 遮水シートの規格

複合シートは、上下の遮水シートは基準省令による二重の遮水シートに相当し、ポリウレタンが中間保護層に相当する。よって、一体型複合遮水シート工法では、複合シートに使用する遮水シートの特性が、「廃棄物最終処分場の計画・設計要領」¹⁾に示された規格値を満足する必要がある。この要領に定められている品質項目を表-5に示す。

複合シートに使用する遮水シートは、塩化ビニル(PVC)シートおよび直鎖低密度ポリエチレン(LLDPE)シートの2種類が標準である。各遮水シートを試験した結果、基本特性および耐久性などに係る特性とも基準値を満足していることが確認された。

b. 透水性

複合シートに対して、遮水性試験装置を用いて、

表-5 計画・設計要領¹⁾に定められる遮水シートの品質項目

項目			
基本特性	厚さ(mm)		
	遮水性		
	引張性能	引張強さ(N/cm)	
		伸び率比(%)	
	引裂性能	引裂強さ(N)	
接合部強度性能	せん断強度(N/cm)		
耐久性などに係る特性	耐候性紫外線変化性能	引張強さ比(%)	
		伸び率比(%)	
	熱安定性	引張強さ比(%)	
		伸び率比(%)	
	耐薬品性	耐酸性	引張強さ比(%)
		耐アルカリ性	引張強さ比(%)
	安全性(溶出試験)		

0.3MPa の水圧を 12 日間連続で作用させて試験を実施した。その結果、複合シート本体部、接合部とも漏水は認められなかった。したがって、透水係数は規格値である 10^{-12} cm/s 以下であると判断した。

c. 変形追随性

(a) 剥離試験

遮水シートとポリウレタンの一体性を評価するため、剥離試験を実施した。試験の結果、PVC（塩化ビニル；厚さ 3 mm）、LLDPE とも遮水シートとポリウレタンとの界面では剥離せず、遮水シートに付着した状態でポリウレタンが破断した。このことから、遮水シートとポリウレタンの一体性と、界面においても十分な遮水性を有することを確認した。

(b) 引張試験

複合シートの引張性能を確認するため、ダンベル型試験片について引張試験を実施した。試験の結果、複合シートの引張強さおよび伸び率は自主基準値を満足することが確認された。

d. 耐薬品性

複合シートを構成する遮水シートおよびポリウレタンについて、耐薬品性試験（JIS K 7114 に準拠）を実施した。浸漬液に浸漬前後の供試体の引張強さおよび伸び率を比較し、耐久性を評価した。試験の結果、浸漬前後の引張強さおよび伸び率の変化はほとんど無く、遮水シートとポリウレタンは十分な耐薬品性を有することが確認された。

e. 耐破損性

礫材等で形成された海面処分場の斜面に複合シートを敷設する場合を想定して遮水シートの耐破損性を室内試験により検討した。実験は、遮水シートが礫材と廃棄物に挟まれた条件を再現した載荷試験により行った。試験結果の評価は、供試体上面に設置した圧カフィルムにより測定された碎石の接地圧とシートの破損状況を用いて行った。試験の結果、複合シートは設定したすべての条件において損傷がなく、単体で碎石地盤に敷設しても損傷がないことが確認された。

f. 耐漏水性

複合シートに異物が貫入して破損した場合を想定し、貫入棒を貫入させた複合シートについて耐水圧実験を実施した。供試体として、複合シート（LLDPE；1.5 mm 厚）+（中間保護層；10 mm 厚）および単体シート（LLDPE；1.5 mm 厚）を使用した。実験は、最大 0.3MPa までの水圧を作用させ、漏水発生時の水圧と漏水量を測定した。最大水圧に対して漏水のない場合は、3 日間 0.3MPa の一定圧力を作用させ、漏水の有無を確認した。なお、シートには引張荷重は作用させていない。試験の結果、複合シートについては漏水が発生しないことが確認された。

4.4 開発目標④

本工法に使用する複合シートは海面廃棄物最終処分場の斜面遮水工の遮水材料として確実に海上でシート接合・敷設ができる必要がある。このため、まず接合部の断面形状や接合方法を決定する目的で、接合実験を陸上で実施し、その後海上で接合および敷設が確実に施工できるか、および施工した複合シートの品質に問題がないかを海面実証実験から検証した。

a. シート接合部

(a) 陸上実証実験における接合部の施工性

陸上実証実験で確認したのは以下の 3 項目である。

- i. 接合部の上下側シートの溶着機械と溶着工法
- ii. 接合部のポリウレタン充填の方法と幅
- iii. 接合部の強さ

実験では、溶着機械として上側シートは自走式熱風溶着機を用い、下側シートは手動式熱風溶着機を用いた。接合部は、上側シートを先行して溶着した後に 1 m 程度遅れて端から順次ポリウレタンを充填する方法とし、接合と充填を同時平行作業とした。その結果、接合部の幅 5 cm×長さ 5 m について、確実に施工できることが確認された。また、接合部の強さについては、充填後にサンプリングした試料について引張試験を行い、目標強度 35kN/m に対して 61kN/m 以上となり、必要な強度が確保されていることを確認した。

(b) 海面実証実験における接合部の施工性

台船上での複合シートの接合部が確実に施工できることを確認するために、複合シート 4 枚、ダミーシート 6 枚を溶着する実験を実施した。接合台船の艀装状況を写真-1 に、台船配置平面を図-7 に、複合シート接合部断面を図-8 に示す。

複合シートの接合は、以下の要領で行った。

- i. 台船の溶着架台上に広げた 2 枚の遮水シートの下側シートを人力にてつき合わせる
- ii. それら 2 枚の下側遮水シートを接合用のベルト状のシートで熱溶着する
- iii. 上側遮水シートの片側を透明の接合用シートで熱溶着した後、もう片方の上面シートを溶着して封筒状になった接合部の空隙部にポリウレタンを注入する（写真-2）

上記に基づく施工を行った結果、接合部が確実に施工できることが確認された。

(c) 接合部の出来形

海上実証実験において、接合部のポリウレタンの厚さの出来形を測定した。測定の結果、ポリウレタン注入部の厚さは、複合シート本体標準部の厚さ（15 mm）以上が確保されていることが確認された。

(d) 接合部の引張強さ

海上実証実験において作成したシート接合部から採取した供試体について、引張試験を行った結果、接合部の

引張強さは、目標引張強度（自主基準値）35kN/m に対して 49.7~59.6kN/m であり、目標値を満足していることが確認された。

b. シート敷設

(a) 引き出し・敷設の施工性

海面実証実験で、台船上で接合した複合シートを台船から引き出し（写真-3）、確実に敷設できることを確認した。

(b) 水中での目視確認

複合シート敷設後、潜水士による目視観察の結果、複合シートの斜面からの浮き上がり、しわ等は見られず、敷設方法に問題がないことが確認された。

以上のことから、複合シートは、海上での接合が可能であり、かつ通常の施工方法で引き出し、敷設が可能であることが確認された。

5. まとめ

本開発では、管理型廃棄物埋立護岸遮水工に適用する場合の一体型複合遮水シート工法の特長となる、優れた遮水性・耐久性、処分場の容量の増加、工程の簡素化、工期短縮、施工性の良さなどについて性能を実証し、今後、複合シートを用いた工法を管理型廃棄物埋立護岸遮水工への適用を図る中で、実績ができた。

また、海面実証実験の結果について、(財) 沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価を受け、適正な技術であることの評価が得られた。



写真-1 接合台船の艀装状況



写真-2 複合シート接合状況



写真-3 引き出し状況

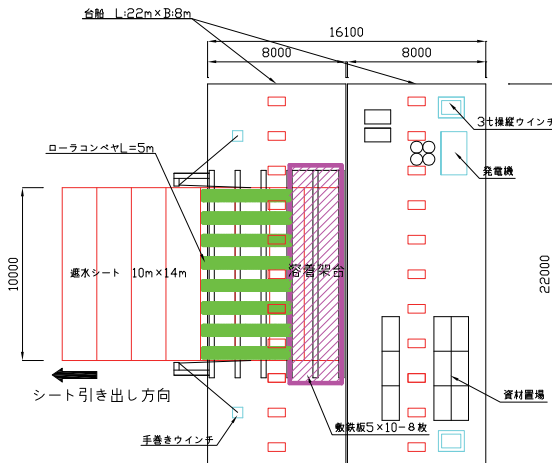


図-7 複合シート接合台船配置

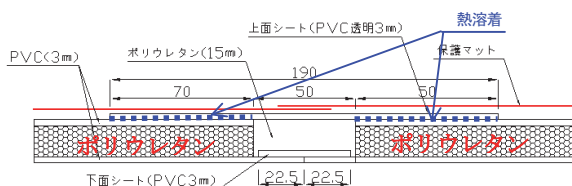


図-8 複合シート接合部断面図

6. あとがき

本実証実験は東洋建設(株)、東亜建設工業(株)、五洋建設(株)、(株)奥村組、太陽工業(株)、錦城護謨(株)、シーアイ化成(株)、横浜ゴム(株)、(株)田中、ユニチカ(株)の10社が共同で行ったものである。

「港湾の施設の技術上の基準」が性能規定型の基準（平成19年4月より施行）に改定され、安全で信頼性の高い最終処分場構造が強く求められている中で、性能の優れた本工法が各地で採用されることが期待される。

【参考文献】

1) (社) 全国都市清掃会議、「廃棄物最終処分場の計画・設計要領」、pp. 446-447、2001. 11