

灰捨場埋立護岸遮水シートの 越冬時養生の検討

黒滝 秀平¹・片山 裕之²・猪野 健吾³・林 俊夫⁴・
鵜飼 亮行⁵・加藤 広一⁶・寺山 大輔⁶

¹ 正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: shuuhei.kurotaki@mail.penta-ocean.co.jp

² 正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: hiroyuki.katayama@mail.penta-ocean.co.jp

³ 正会員 五洋建設株式会社 東北支店 (〒016-0807 秋田県能代市大森山 1-19-2)
E-mail: kengo.ino@mail.penta-ocean.co.jp

⁴ 正会員 五洋建設株式会社 東北支店 (〒016-0807 秋田県能代市大森山 1-19-2)
E-mail: toshio.hayashi@mail.penta-ocean.co.jp

⁵ 正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: akiyuki.ukai@mail.penta-ocean.co.jp

⁶ 秋田県 能代港湾事務所 (〒016-0807 秋田県能代市大森山 1-2)

灰捨場埋立護岸における遮水シートには、施工時最終締切り前の外洋からの透過波や潮位伝播または内外水位差による水圧が作用する。また海面上溶着作業や越冬時養生が必要な場合には、強風による流れに対する安定性も重要となる。本研究は、冬季風浪の影響が懸念される能代港第2灰捨護岸において、遮水シートの越冬時養生が必要となること、また表面遮水工全域への使用実績のない5層一体型遮水シートを用いることから、①処分場内水域の水位と流れの現地観測による越冬時遮水シート養生方法の検討、②5層一体型遮水シートの沈設時の基本性能確認、を行ったものである。

Key Words : 5-layer integrated type liner sheet, controlled sea-based disposal site, field observation, overwinter curing of liner sheet

1. はじめに

灰捨場埋立護岸における遮水シートには、施工時最終締切り前の外洋からの透過波や潮位変動または内外水位差による水圧が作用する。また海面上溶着作業や越冬時養生が必要な場合には、強風による表層流に対する安定性も重要となる。

冬季風浪の影響が懸念される能代港第2灰捨場埋立護岸(図-1)は、管理型処分場であることから遮水工の施工が必要になる。また当処分場では冬季風浪が激しく施工期間が限られることから敷設作業期間を短縮するため、法面では使用実績はあるが、底面も含めた表面遮水工全域での施工実績のない2層の遮水シートと3層の保護シートから成る5層一体型遮水シートを用いることになっている。また遮水シート施工に2年を要することから、越冬時養生が必要となる。

管理型海面処分場の遮水シートに関わる検討は過去にも行われており¹⁾²⁾、遮水シートに作用する外力特性や施工方法など基本的な研究は行われている。しかしながら、当然ではあるが5層一体型遮水シートに関する研究はほとんどなく、越冬時養生に向けて基本的な知見を得ることは必要不可欠である。

本研究は、能代工第2灰捨場埋立護岸を対象に、①処分場内水域の水位と流れの現地観測による越冬時遮水シート養生方法の検討、②5層一体型遮水シートの沈設時の基本性能確認、を行ったものである。



図-1 検討位置



図-2 灰捨場護岸全景

2. 現地観測

(1) 観測概要

越冬時の遮水シート養生に関する外力を把握するため、最終締切前の外洋との通水部である西護岸取付護岸部からの透過波，潮位伝播，および強風時の処分場内の吹送流を調べるために2018年12月から2019年1月の冬

季に現地観測を行った。取付護岸背後の P1 地点（水深6m）に水圧式波高計を，北側護岸中央部前面の P2 地点（水深4m）に水圧式波高計と ADCP をそれぞれ1台ずつ海底に設置した（図-2）。

観測期間中は，港外波浪は NOWPHAS 秋田（港湾局）と GPV（気象庁），潮位は能代港検潮データ（秋田県），風はアメダス能代（気象庁）と GPV を収集した。

(2) 波浪・潮位伝播特性

a) 観測結果

観測結果および収集気象データを図-3に示した。観測期間中には，港外有義波高4m程度の擾乱が数回観測され，当地点の冬季の特徴でもある西寄りの10m/sを超える強風も数回観測された。

観測された港外有義波高4m程度の時化において，場内側のP1，P2地点の有義波高は最大でも50cm程度であった。通水部である取付護岸から離れているP2地点の方が若干波高が大きいことから，通水部からの透過波は十分減衰し，同時に生じている西風による風波が支配的であると考えられる。

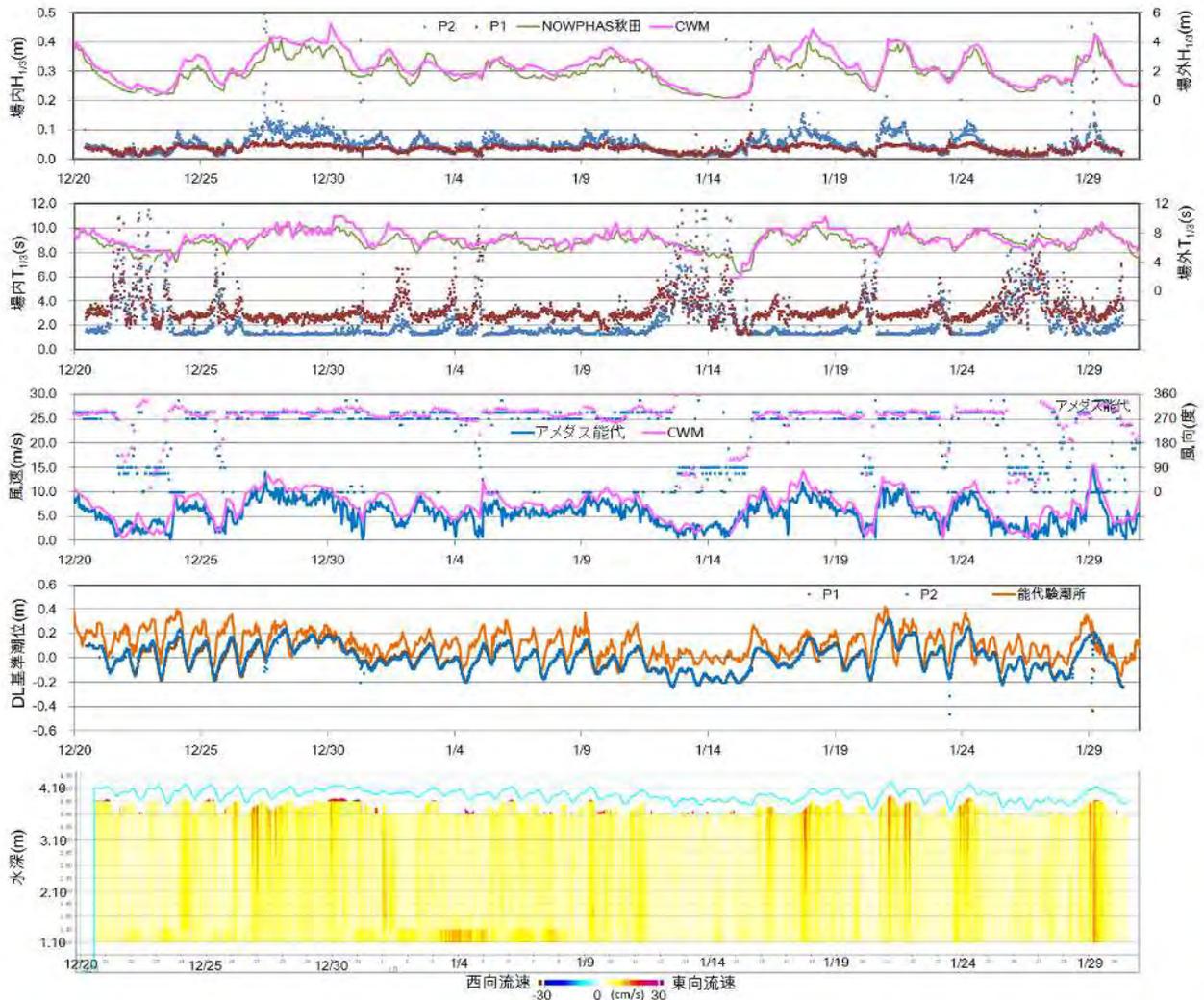


図-3 現地観測結果および収集気象データ

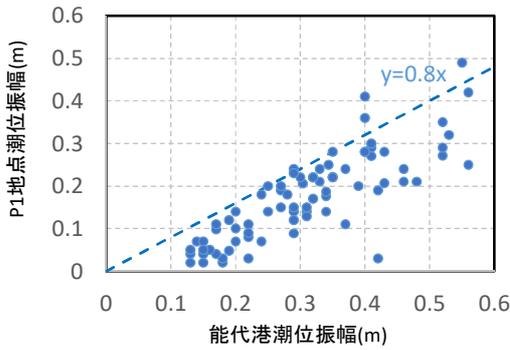


図-4 処分場内外の潮位振幅の比較

一方潮位成分については、場外とほぼ同位相であり、また静穏時に場内波の周期が長くなることから、潮位成分のような長周期変動は減衰せずに場内に圧力伝播していると思われる。

処分場内外の水位差について、観測期間中について能代工検潮データとの差を確認したところ、最大で±30cm程度となっていた。また振幅は場内側の方が若干小さくなっており振幅比で約8割であった(図-4)。

これらより、越冬時場内では通水部からの潮位を代表とする長周期水位変動の伝播、および強風により生じる風波を考えれば良いことが確認された。

b) 数値解析によるマウンド透過圧力特性の確認

図-5 に示す取付護岸部の捨石マウンドを通じて場内に侵入する透過波による圧力伝播特性の把握および伝播圧力に対する遮水シート押え材の検討を行うため、数値波動水路(CADMAS-SURF/2D)⁴⁾による解析を行った。対象港外波浪は年平均有義波と年最大有義波としたが、潮位変動のような長周期成分の伝播特性についても確認するため周期30sのケースも実施した。波浪条件を含め解析条件を表-4に示した。

表-4 解析条件

造波方法	造波境界、流れ関数19次
差分スキーム	VP-DONOR0.2
慣性力係数	1.2
抗力係数	1.0
空隙率	消波工：0.5, 捨石：0.43
オプション	表面セル流速：勾配ゼロ
	圧力計算：サブループ2回
波浪条件	平均有義波 (1.38m,6.0s) 最大有義波 (4.00m,11.0s) 長周期ケース (1.38m,30.0s)
潮位条件	H.W.L.
格子サイズ	X方向：0.5m, Z方向：0.5m

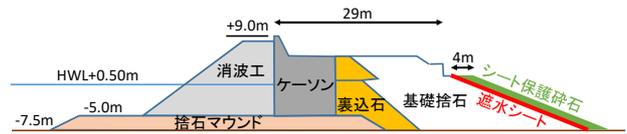


図-5 取付護岸断面図

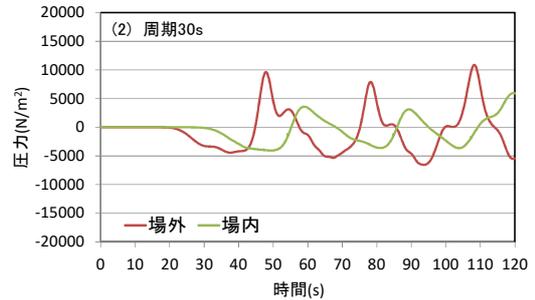
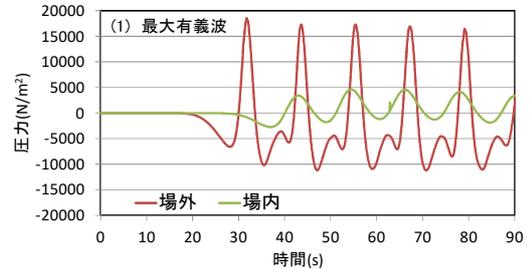


図-6 数値波動水路による場内外圧力変動

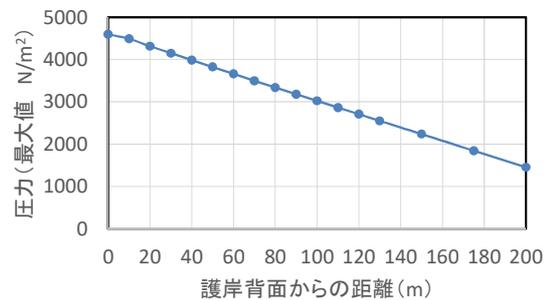


図-7 最大有義波時の最大圧力分布

解析結果のうち、最大有義波高と長周期30sのケースの場内外の遮水シート作用圧力時系列を図-6に示した。最大有義波では場内外の圧力変動振幅比が20%程度に減衰しているのに対して、周期30sのケースでは60%程度までしか減衰していない。最終的に遮水シートに作用する圧力値としては場外の圧力振幅に依存するが、長周期成分の減衰率が低く、現地観測結果と同様の傾向が確認された。

また遮水シート部に作用する圧力を算定し、取付護岸からの距離別に整理した一例を示す(図-7)。解析結果による透過波伝播による作用圧力と、設計内外水位差0.5mに対する減衰を考慮した作用圧力を考慮し、取付部からの圧力伝播に対する遮水シートの押え材必要重量および配置を設定した。

(3) 吹送流特性

a) 観測結果

観測期間中の鉛直流速プロファイル (図-3 最下段) から、10m/s 程度の西寄り強風時に P2 地点表層で 30cm/s を超える東向流れが発達していた。また鉛直方向に顕著な流向反転は見られなかった。支配的な風向が西から西西北西に近いことから処分場表層全体としては東向 (岸向き) の流れが生じていたと推定されるが、観測では流速の鉛直プロファイルは ADCP 設置の P2 地点のみだけのため、吹送流解析により補足した。

b) 吹送流解析による特性把握

解析には POM (Princeton Ocean model) ⁹⁾ を用い、取付護岸部を閉口した完全閉鎖水域とし、現地の特徴的な風況のみ再現することとして西風と南風を対象に解析を行った。解析条件を表-5 に示す。

解析結果のうち、西風、風速 10m/s のケースの 12 時間後の各レイヤーの東西中央断面の流速分布を示した (図-8)。東西中央断面においては、西側表層で最大 25cm/s

表-5 解析条件

風速条件	西・南からの定常風 風速: 5,10,15,20m/s
計算格子	平面: 20m 格子 格子数: 東西 37×南北 18×鉛直 6
解析時間	12 時間

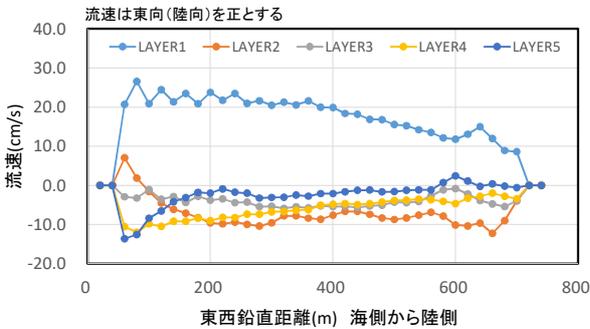


図-8 東西中央断面の流速分布 (西風, 風速 10m/s, 12 時間後)

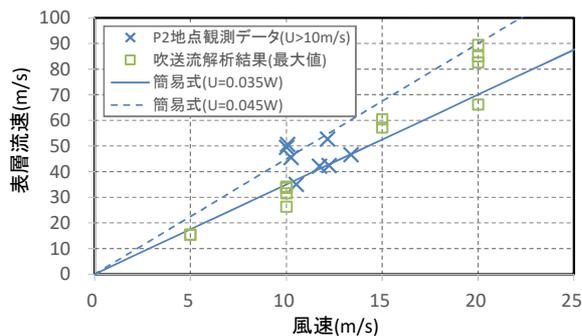


図-9 吹送流解析結果と簡易式の比較

程度の東向流速が生じるが、2 層目以深のレイヤーでは 10cm/s 程度以下の西向流れとなることがわかった。また図-9 には、各ケースの風速値と表層最大流速との関係を示した。図中には現地観測結果のうち GPV 風速 10m/s 以上の時の P2 地点表層流速、狭水域の吹送流簡易推定式 ⁹⁾ および係数を 0.045 とした場合の値も同時に示している。解析結果では、風速 10m/s 程度の風況時には表層で 30cm/s 程度の吹送流が生じる結果となっており、現地観測結果と整合していた。また簡易推定式は処分場内表層最大流速また観測結果の平均的な値を示しており、係数を 0.045 とすると最大値を包絡する傾向が見られた。

3. 遮水シート沈設挙動特性の検討

(1) 沈設試験

能代港第 2 灰捨護岸工事では、海底面部の最終締切りを遮水シートにより行う。しかし前述のように、従来使用されている 3 層型の遮水シートではなく、法面だけでなく海底面も含む表層遮水工全体への使用実績がない 5 層一体型の遮水シートを使用して締切りを行うという特徴がある。他工事においては、3 層の遮水シートの使用においても沈設後に浮上りやの発生、局所的な空気溜まりの発生など施工上の問題が生じた事例があり、空気溜まりが生じやすい中間保護層を持つ 5 層一体型の遮水シートでは 3 層シート以上の問題が生じる可能性が考えられる。

ここでは、5 層一体型遮水シートの試験片を使用して沈設実験を行った。実験では、外力を与えない状態での沈設時の空気溜まりの発生状況や、沈み方、沈設に要する時間などを確認し、実際の施工時に確実に沈設が行えるかの確認を行った。

沈設試験は幅 1m、長さ 5m および 10m の試験片に対し、遮水シート端部を水中に固定し、反対側端部をクレーンで吊上げ、気中の所定の位置へと移動させ、試験開始の合図と同時に着水させた。この時、着水から沈設までの時間を動画撮影により記録した。シートには 50cm ピッチでマーキングをしておき、水中 1m 毎にロッドを設置することでマーキング箇所の挙動を追えるようにした。シートは自重および中間保護層に水が満たされることによる沈設状況を確認することが目的であるため、毎回乾燥状態のものを使用した。実験概要図を図-10 に、試験で使用した遮水シート片を図-11 に示した。

沈設試験結果の一例を図-12 に示した。一般的に使用される遮水シートに比べ中間保護層内の残留空気による沈設施工性の低下が懸念されたが、経験的に把握されている 3 層遮水シート施工時の浮上りや空気溜まりの発生など同等の課題が確認された。3 層シートと同様に、シート内残留空気に配慮した施工が必要である。

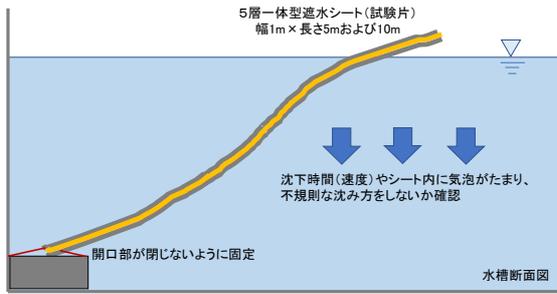


図-10 沈設試験概要



図-13 シート引上げ試験状況

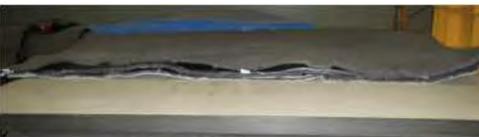


図-11 沈設試験用シート (幅 1m、延長 10m)

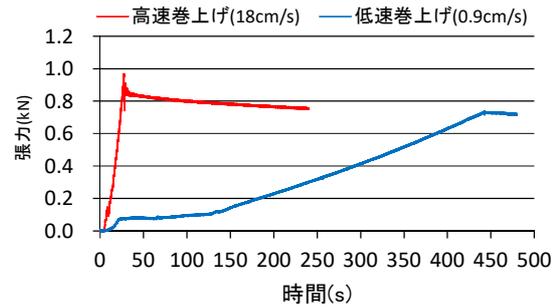


図-14 シート引上げ試験結果



(1) 0s



(2) 60s 後



(3) 120s 後

図-12 沈設試験結果例

(2) 遮水シート引上力確認試験

越冬時に遮水シートを沈設した場合、再びシートを浮上させシートの海面上溶着作業が必要になる。この場合、越冬中に中間保護層に充填された海水のシート引上時の挙動が施工性に影響する可能性がある。ここでは天井クレーンを用い、沈設後引上時のワイヤーに生じる張力の計測を行った。張力の計測は、クレーンの巻上げ速度(高速:0.180m/s、低速:0.009m/s)を変えて行い、水面より約3mの高さまで引上げるまで計測を行った(図-13)。

試験結果を図-14に示す。高速で巻き上げた場合、シート内中間保護層空隙に浸入した水が抜ける前に引上げるため張力が大きく作用することが分かった。また水面を切る瞬間に張力が大きく作用すると予想されたが、3m引上時の張力(最大値)に比べ、十分に小さい値であった。また低速で巻き上げた場合においては、水面まではかなり緩い勾配で張力が増加し、水面を切る瞬間にも張力が急激に増加することも無かった。実施工では、巻き上げ速度に応じて作用する張力が変化することが予想されるため、低速で水の抵抗を受けないように引上げる方が確実な施工が行えると考えられる。

(3) シート内不織布透水試験

遮水シートの沈設、引上げ時の中間保護層内の水の流入・流出を把握するため、シート間不織布浸水方向の透水試験を行った(図-15)。実験では、シート下端側に立ちあげたアクリル管に水を満たし(水位一定)、シート中間保護層内の不織布内に透水させ、上端側から溢水させ



図-15 シート内不織布透水試験設備

表-6 シート内不織布透水試験結果

水頭差 (cm)	平均流量 (cm ³ /s)	透水係数	
		面内方向 (cm/s)	厚さ方向 (カタログ値)
5	0.27	1.46	0.15
10	0.48	1.30	
平均値	0.38	1.38	

た。この時の溢水量と時間を記録し、換算した流量から透水係数を算出した。なお実験の作業確保のため、表面保護層は除去したシート片で実験を行った。

試験の結果、透水係数は遮水シートカタログ値の約10倍となった(表-6)。カタログ値は厚さ方向の透水係数を表しているものと考えられ、本試験で計測した透水係数は面内方向(シート延長方向)である。なお、この結果から越冬時養生が必要になる遮水シートの不織布に完全に水が浸透するまでの時間は5mあたり約6分と予想されることから、実際の沈設作業では5mあたり15分程度をかけて作業を行うこととした。

4. おわりに

能代港第2灰捨場埋立護岸で使用される5層一体型遮水シートの越冬時養生の施工性を確認するため、現地観測および遮水シートの沈設特性の確認を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ 締切前通水部からの透過波や強風時の風波の影響は小さく、遮水工作用外力は潮位と内外水位差を考えればよい。
- ・ 現地冬季特有の10m/sを超える西風時に処分場内表層で30cm/sを超える吹送流が生じるため、越冬時に遮水シートを沈設養生することとした。ただし、沈設用の大量のブイも吹送流の影響を受けるため挙動に注意が必要である。
- ・ 5層一体型シートは3層遮水シートと同様の沈設特性が確認された。またシート内不織布の沈設時シート内浸水方向透水係数は、カタログに示される厚さ方向に比べ大きいことを確認した。

参考文献

- 1) 小竹望・手塚隆・大槻貴志・徳永和幸福・守谷公一：透水性地盤に築造する管理型海面処分場のシート遮水工，ジオシンセティック論文集，Vol.18, pp.17-20, 2003.
- 2) 小竹望・北浦良樹・金子清美・手塚隆・佐藤清・徳永和幸福：管理型海面処分場の遮水工に作用する潮汐に起因する揚圧力の評価，第37回地盤工学研究発表会，pp.2431-2432, 2002.
- 3) 伊野同・鶴飼亮行・熊谷隆宏・前野詩朗：傾斜堤式管理型護岸の遮水シートに作用する波圧特性およびその評価方法，海岸工学論文集，第50巻，pp.701-705, 2003.
- 4) 沿岸開発技術研究センター編：数値波動水路(CADMAS-SURF)の研究・開発，沿岸開発技術ライブラリー，No.12, 296p., 2001.
- 5) Blumberg, A. F., and Mellor, G. L.: A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal Estuarine Sciences., Vol.4, N. S. Heaps, ed., pp.1-16, American Geophysical Union, Washington, D. C., 1987.
- 6) 土木学会：水理公式集[平成11年版]，p.498.

(Received February 6, 2020)

(Accepted May 1, 2020)

STUDY ABOUT CURING OVERWINTER OF LINER SHEET AT CONTROLLED SEA-BASED DISPOSAL SITE

Shuuhei KUROTAKE, Hiroyuki KATAYAMA, Kengo INO, Toshio HAYASHI, Akiyuki UKAI, Koichi KATO and Daisuke TERAYAMA

Water pressure due to penetrating waves from the open sea, tide level propagation, or water level differences between the inside and outside before the final deadline is applied to the liner sheet in the controlled sea-based disposal site. When welding on the sea surface or curing during wintering is necessary, stability against the flow due to strong winds is also important. The study site has severe winds and waves in the winter, so it is necessary to cure the liner sheet during winter, and use a five-layer integrated liner sheet that has not been used in the whole surface impermeable works.

The purpose of this study was to (1) examine the method of curing the liner sheet during wintering by observing the water level and flow in the water area in the disposal site, and (2) confirm the basic performance when the 5-layer integrated liner sheet was laid.