

防波護岸における防砂シートの耐久性と対策工に関する現地実験

A Field Experiment concerning the Durabilities and Measures to Erosion Control Sheets on Seawalls

(独)	土木研究所	寒地土木研究所	○正 員	菅原 吉浩	(Yoshihiro Sugawara)
(独)	土木研究所	寒地土木研究所	正 員	上久保 勝美	(Katsumi Kamikubo)
(独)	土木研究所	寒地土木研究所	正 員	山本 泰司	(Yasuji Yamamoto)
北海道開発局港湾空港部				岩田 真	(Makoto Iwata)

1. はじめに

港湾を整備する際、波当たりの強い場所には防波護岸が作られる場合が多い。防波護岸は岸壁に比べて前面波高が大きいため、必然的に護岸内部に作用する水圧や流速も大きくなる。著者ら¹⁾は既往の陥没被災事例から、防砂シート被災が発生しやすい外力および構造諸元や、護岸では岸壁に比べて被災発生までの期間が短い傾向があることを確認している。

陥没被害の要因は様々考えられるが、防砂シート敷設完了後、早期に埋め立てを行わない場合には、施工途中の波によりシートが損傷する事が経験的に知られている。このため、波当たりの強い防波護岸では岸壁に比べてシート損傷の危険性が高いと考えられる。

防波護岸は一般的に、本体背後に裏込石を設置し、その上にポリエステル製の不織布（以下、防砂シート）を敷設することにより土砂の落下を防止しているため、施工中にシートが損傷した状態で埋立を行うと、陥没被害を引き起こすことになる。しかし、施工現場では工程上から、シート敷設後早期に埋め立てを行うことが困難な場合も多く、その場合の効果的な対策が求められている。

本研究では、防波護岸における現行規格の防砂シートの耐久性を現地実証実験により確認するとともに、シート損傷対策工として、質量や伸び率が大きいシートや、粒径の小さい碎石によりフィルター層（以下 F 層と略す）を形成することによる効果を検討する。

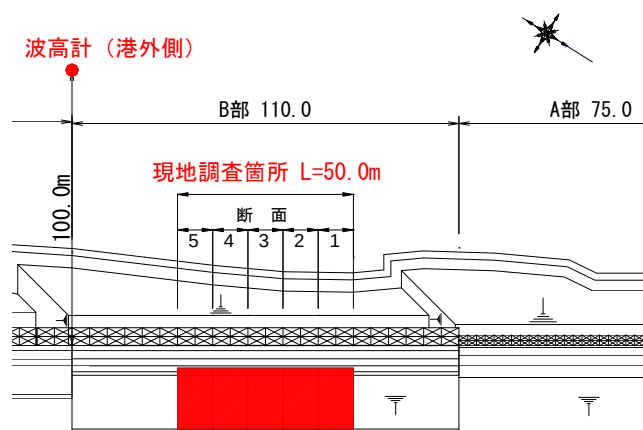


図-2 比較断面の平面配置

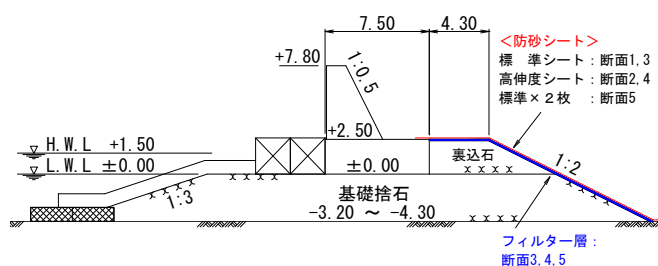


図-3 現地実験断面

2. 現地実験の概要

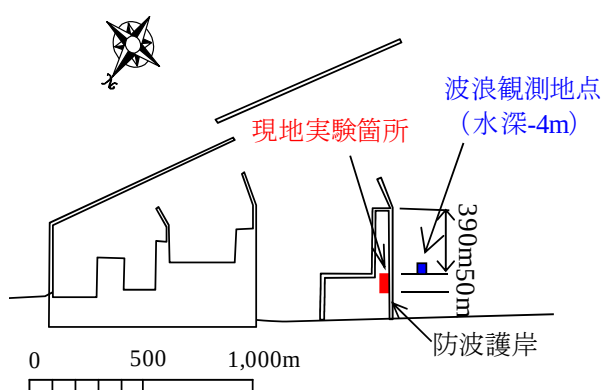


図-1 現地実験箇所

現地実験は、図-1 に示す白老港第3商工区の施工中

表-1 現地実験断面の防砂シート仕様

断面	種別	防砂シート仕様						F層 (φ 6~15cm)
		厚さ (mm)	引張強度 (N/5cm)		伸び率 (%)		質量 (g/m2)	
			タテ	ヨコ	タテ	ヨコ		
	工事仕様	4.2	880	880	60	60	500	無し
1	標準	4.2	1765	1471	60	60	500	無し
2	高伸度	4.5	1100	1450	200	200	1000	無し
3	標準	4.2	1765	1471	60	60	500	有り
4	高伸度	4.5	1100	1450	200	200	1000	有り
5	標準×2	4.2	1765	1471	60	60	500	有り

の防波護岸（試験区間 50m）で裏込石の上に防砂シートを試験的に敷設し、約 4 ヶ月放置し、その間護岸前面において来襲波高を観測し、また、シートの損傷状況を潜水調査した。現地実験箇所の背後は岸壁と護岸で囲まれており、回折波の影響が無い条件である。図-2 は、現地実験箇所における比較断面の平面配置である。現地実験箇所 50m 区間については 10m ずつ 5 断面に分け、

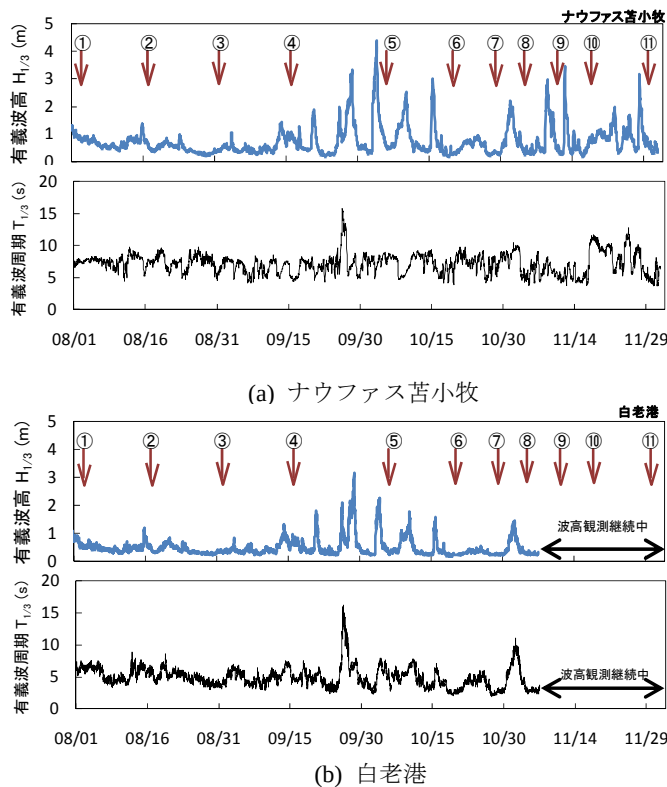


図-4 波浪データと潜水調査日

図-3 および表-1 に示すようにシートの種別や F 層の有無の比較を行った。なお、断面 5 は標準のシートを 2 枚重ねた断面である。

表-1 中のシート種別「標準」とは一般的に使用しているポリエステル製長繊維不織布で、「高伸度」は質量と伸び率が大きいポリエステル製短繊維不織布である。F 層の粒径は、裏込石 ($\phi 5 \sim 50\text{cm}$) より小さい $\phi 6 \sim 15\text{cm}$ とし、F 層の厚さは裏込石の均し精度が $\pm 20\text{cm}$ であることから、その不陸を修正するように最低限必要な厚さとして $t = 20\text{cm}$ としている。

防砂シートは 2010 年の 7 月 31 日に敷設し 12 月 1 日にシートを引き上げるまでの 123 日間で、11 回の潜水調査によりシート全域の損傷状況を確認するとともに、12 月 2 日にはシートを陸揚げし、陸上において断面 1～5 のシートの損傷個数および損傷孔径の計測を行った。

3. 現地実験結果

3.1 波浪状況

図-4 は、白老港から 10km 東に位置するナウファス苦小牧の波浪データ（以下、沖波）と現地調査箇所（白老港）港外の水深 4m 地点に設置した波浪データである。図中の矢印は潜水調査を行った日である。なお、白老港では 11 月以降も波浪観測を継続中であるが、荒天によりデータの回収が終わっていない状況である。

白老港調査期間中の沖波の最大波は 10 月 4 ($H_{1/3} = 4.4\text{m}$, $T_{1/3} = 8.0\text{s}$) に発生しており、後述するように、この直後の 10 月 6 日の潜水調査でシートに損傷が発見された。また、10 月～11 月は荒天日が多く、沖波が 3m を超える波は 4 回発生しているが、本施設的设计上の 10 年確

表-2 潜水調査によるシート損傷状況

調査回	調査日	断面1	断面2	断面3	断面4	断面5
①	8/3	無し	無し	無し	無し	無し
②	8/17	〃	〃	〃	〃	〃
③	9/1	〃	〃	〃	〃	〃
④	9/16	〃	〃	〃	〃	〃
⑤	10/6	$\phi 2\text{cm} \times 1$	〃	〃	〃	〃
⑥	10/20	〃	〃	〃	〃	〃
⑦	10/29	〃	〃	〃	〃	〃
⑧	11/4	〃	〃	〃	〃	〃
⑨	11/11	〃	〃	〃	〃	〃
⑩	11/18	〃	〃	〃	〃	〃
⑪	11/30	$\phi 1\text{cm} \times 1$	〃	〃	〃	〃



写真-1 断面 1 シート損傷状況

率沖波 ($H_0 = 6.9\text{m}$, $T_0 = 11.0\text{s}$) に相当する波は発生していない。なお、白老港では沖波とは異なり、10 月 4 日の波高に比べて 9 月 28 日の方が高波浪となっているが、これは波向きの違いによるもので、9 月 28 日の方が現地調査箇所を高波浪が来襲しやすい波向きとなっていた。

3.2 シート損傷状況

(1) 潜水調査結果

全 11 回の潜水調査によるシート損傷状況を表-2 に示す。断面 3, 5 の標準型の防砂シートについては、陸上部分において裏込石の尖鋭部において若干の毛羽立ちがみられたが、損傷には至らなかった。また、断面 2, 4 の高伸度シート区間においては、外観の変化すら無くシートに損傷も発生しなかった。

一方、断面 1 においては、10 月 6 日の調査時に直径約 2cm の損傷孔が確認され、さらに 11 月 30 日の調査時には直径約 1cm の損傷孔が確認された。写真-1 に 10 月 6 日の損傷状況を示す。損傷位置は D.L. 上 0.9m であり、白老港の M.S.L. に概ね一致するが、経験的に水面付近のシートが損傷しやすい事と整合する。

(2) 陸上調査結果

表-3 に陸揚げ調査によるシート損傷状況を示す。断面 1 と断面 3 を比較すると、F 層を施工した断面 3 では損傷個数が少なく、損傷径も大部分は 5mm 以下である。なお、断面 3 で 5cm 以上の損傷が 1 個発生しているが、損傷状況としては写真-2a) に示すように長径が 6.9cm、短径が 1.9cm で裂けた状態となっていることから、局所的

に鋭利な石が存在していたことが原因と推測される。

次に、断面 5 (F 層と 2 枚のシートを重ね合わせた場合) では、石に接する下側のシートでは損傷が 13 個発生しているが、上側では損傷が発生していない。また、高伸度シートを使用した断面 2 と 4 では損傷が発生せず、F 層が無い断面 2 においても損傷が発生していない。

以上より、高波浪が来襲するような波高条件では、現行規格の防砂シートには損傷が発生する危険性が高いことが確認された。一方で、現行規格の防砂シートでも F 層を施工した断面 3 の場合には損傷が発生していない。このことから、簡易な対策として F 層が有効であると考えられる。ただし、陸揚げ後の調査では損傷が発生していたことから、F 層を施工したとしても早期 (今回の実績では 2 ヶ月以内) に埋立を行う必要がある。

また、高伸度シートについては、F 層が無い場合にも損傷が発生していないことから、高波浪が来襲し F 層の安定性に問題があるような施工条件においても、有効な対策であると考えられる。シートを 2 重にした断面 5 についても、上側のシートには損傷が全く発生していないので、陥没被害を防ぐ目的からは十分効果的である。

ただし、著者ら²⁾が指摘しているように、堤体背後からの回折波の影響は相当大きく、0.1m 程度の小さな回折波でもシートには損傷が発生していることから、シートの損傷を防止するためには、施工時の回折波の影響を排除することが前提となる。

3.3 シート損傷時の波浪条件

損傷要因となる波については、損傷発生日とその前後の波浪条件から、10 月 6 日の損傷孔については 9 月 28 日の波浪 (沖波 $H_{1/3}=3.33\text{m}$, $T_{1/3}=8.0\text{sec}$, 以下、ケース 1) と推測される。また、11 月 30 日に確認された損傷については 11 月 28 日の波浪 (沖波 $H_{1/3}=3.16\text{m}$, $T_{1/3}=6.4\text{sec}$, 以下、ケース 2) と推測される。

一方、現地実験区間は $L=50\text{m}$ と広範囲であり、各断面で波高条件が異なることが考えられる。このため、上記 2 つの波浪条件を対象に、数値計算により波高分布を求め、各断面の有義波高の違いを検討する。

波高分布計算は Madsen 型 Boussinesq モデル (NOWT-PARI Ver.4.6) を使用した。格子間隔 Δx および Δy は 10m とし、エネルギー吸収層は波長の 2 倍以上として 300m とした。計算時間間隔 Δt は 0.05s とした。方向集中度パラメータは、計算沖波の波形勾配から、全ての計算ケースで $S_{max}=10$ とした。

数値計算結果の妥当性については、沖側の波高条件については、著者ら²⁾が確認しているように、ナウファス苫小牧 (波高計水深-50m) と白老港沖水深 25m 地点の波浪データの相関関係を用いた。また、現地実験箇所周辺については水深 4m 地点の波浪データを用い、この 2 地点の波高が再現できるように入力波高条件を設定した。

図-5 に波高分布計算結果の一例を示す。ケース 1 の断面 1~5 の波高分布は 2.0~2.5m、ケース 2 では 1.9~2.4m となり、汀線付近に設置されている離岸堤からの反射波の影響により断面 1 の方が波高が高くなっていた。なお、別途、護岸が無い港形で計算を行ったところ、断

表-3 陸揚げ調査によるシート損傷状況

損傷径	断面1 (標準)	断面2 (高伸度)	断面3 (標準) F層	断面4 (高伸度) F層	断面5 F層	
					上	下
5mm以下	1	0	3	0	0	0
5mm~1cm以下	4	0	1	0	0	2
1~3cm以下	5	0	0	0	0	8
3~5cm以下	3	0	0	0	0	3
5cm以上	0	0	1	0	0	0
合計	13	0	5	0	0	13

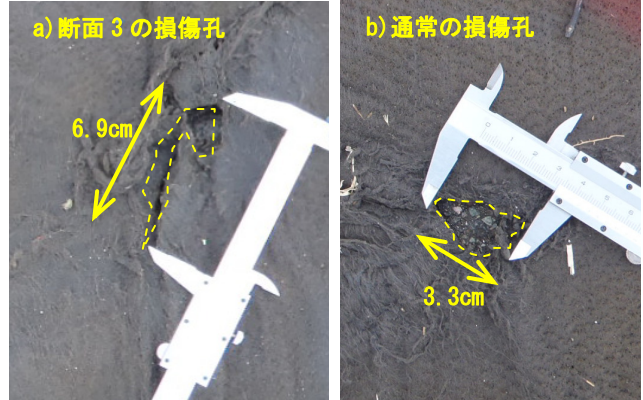


写真-2 断面3 シート損傷状況

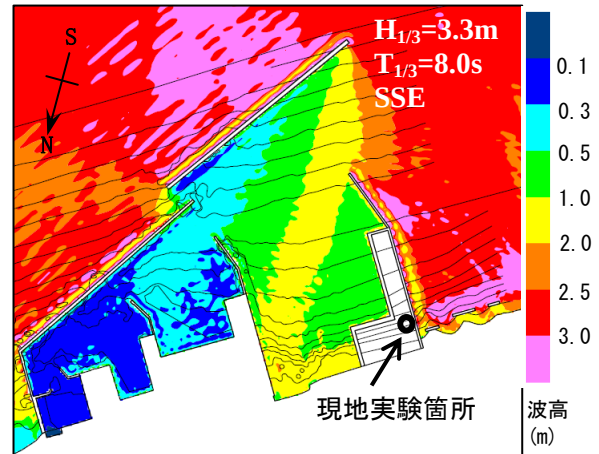


図-5 波高分布計算結果 (H22.9.28)

面 1~5 の波高分布は 2.8~3.0m となり、護岸が有る場合に比べて現地実験箇所の波高は大きくなった。これは、護岸が有る場合には、沖側への反射波により堤体前の波高が減少したためと考えられる。

以上より、施工途中の防波護岸に 3m 程度の有義波高が作用するような波浪条件では、防砂シートに損傷が発生するため、3m の有義波高がシート損傷対策検討の目安になると考えられる。ただし、3m 以下の波高条件においても、シート敷設~埋立迄の期間が長期間になる場合には別途対策が必要である。

4. フィルター層の物理量低減効果

次に、ケース 1 のシート損傷時における断面 1 と 3 のシート付近の流れを CADMAS-SURF Ver.5.1³⁾で検討し、F 層による流速などの物理量の低減効果を検討する。

計算断面は図-3 に示す現地と同様な断面を再現した。

各断面の水深は、断面1が3.2m、断面3が3.6mである。波高条件については規則波とし、図-5で護岸が無い港形による計算結果から、断面1では波高 $H=3.0\text{m}$ 、断面3では $H=2.9\text{m}$ 、周期 T は断面1,3ともに $T=8.0\text{sec}$ として通過波を作成した。

計算領域や格子間隔は図-6のとおりとし、潮位は観測結果から1.5mとした。また、多孔質体（透過構造物）の抵抗力の計算方法としては、Dupuit-Forheimer則を適用した。計算パラメーターである、材料による係数 α_0, β_0 は近藤ら⁴⁾の提案した値を用いている。

図-7に断面1の裏込石法面上の水粒子速度を示す。水粒子の軌跡は概ね楕円運動となっており、 $D.L.=1.5\text{m}$ での流速が最大となっている。ただし、損傷箇所が $D.L.=0.9\text{m}$ であり流速最大箇所と整合していない。シートの損傷は、裏込法面平行方向の流れでシートと石が擦れる事により発生すると考えられるが、流速値とシートの動きが対応していないためと推測される。

図-8に、裏込法面上 ($D.L.=1.5\text{m}$) の断面1 (F層無し) に対する断面3 (F層=0.2m) の各物理量の割合を示す。Pは水圧振幅、U、Wは水平および鉛直方向の流速振幅、Eは水圧と流速から算出したエネルギーであり、それぞれ5波分の平均値を用いている。断面3では断面1に比べて、水圧Pについては変化が無いが、流速UWおよびエネルギーEが小さい。また、図中には、断面3で仮にF層無しとした場合も示しているが、F層=0.2m場合に比べて全ての物理量が大きく、P、W、Eについては断面1を上回っている。

このことから、今回の現地実験において断面3でシートに損傷が発生しなかったのは、F層によりシート部分に作用する流速やエネルギーが低減されたこと、加えてF層により表面の凹凸が少なくなり、局所的な石の尖鋭部が緩和されたことが考えられる。ただし、周期が長くなる場合およびマウンド厚さが大きい時には、流速や水圧も増大するため、護岸の設置水深や波の諸元に応じたF層の必要厚さの算定については今後の課題である。

5. まとめ

本研究の主要な結論を以下に示す。

- 1) 水深が浅い場所に施工されることが多い、陸上から捨石を捲き出して施工するタイプの防波護岸において、施工中に堤体前面から3m程度の有義波が作用する場合には、現行規格の防砂シートは十分な耐久性を有しておらず、シート損傷の危険性がある。
- 2) 質量と伸び率が大きい防砂シートは、防波護岸のような高波浪が来襲する条件でも損傷が発生せず、十分な耐久性を有していると考えられる。また、シートを2枚重ねた対策も効果的である。
- 3) 数値計算と現地実験から、フィルター層によるシート部分に作用する水圧および流速低減効果とシート損傷防止効果が確認された。

謝 辞

本研究を行うに当たり、室蘭開発建設部苫小牧港湾事務所には、現地調査の実施や波浪データの提供など多大

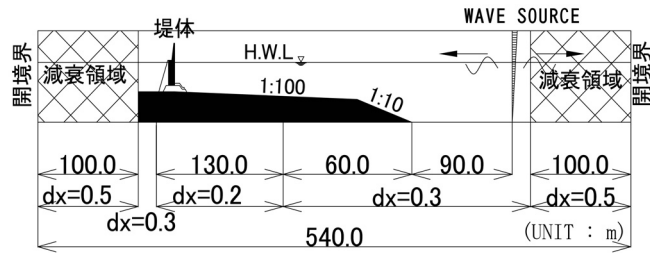


図-6 数値計算領域

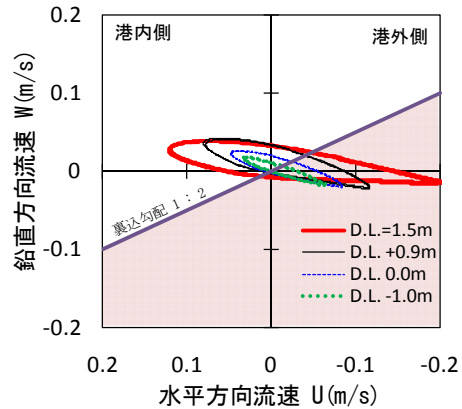


図-7 断面1の裏込法面上の水粒子速度

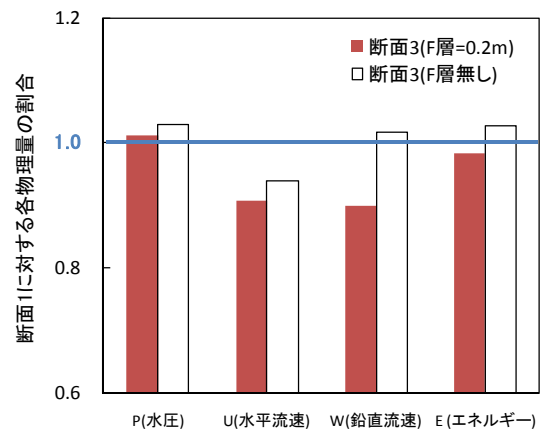


図-8 断面1に対する断面3の物理量の割合

なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 菅原吉浩・山本泰司・上久保勝美・大井啓司・時田恵生：護岸の吸い出し被災事例調査と被災要因の検討，海洋開発論文集，第26巻，pp.867-872，2010。
- 2) 菅原吉浩・上久保勝美・山本泰司・時田恵生・岸哲也・西村智美：防波護岸における防砂シートの損傷要因と対策に関する現地実験，海岸工学論文集，第57巻，pp.856-860，2010。
- 3) 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会：数値波動水路の研究開発，（財）沿岸開発技術研究センター，pp.246-255，2001。
- 4) 近藤俊郎・竹田英章：消波構造物，森北出版株式会社，1983。