

# 防砂シートにおける引込軽減工法の実証実験

山本 浩二<sup>1</sup>・岸村 直登<sup>2</sup>・鈴木 高二朗<sup>3</sup>・椛澤 竜生<sup>4</sup>・  
岸村 尚<sup>5</sup>・藤城 裕也<sup>6</sup>・石金 達也<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 太陽工業 (株) 国土事業本部 国土技術部 (〒154-0001 東京都世田谷区池尻 2-33-16)  
E-mail: yk003478@mb.taiyokogyo.co.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>(有) キシムラ (〒234-0055 神奈川県横浜市港南区日野南 2-12-11)  
E-mail: n\_kishimura@kishimura.jp

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

<sup>4</sup>大嘉産業 (株) 産業資材事業部 技術部 (〒140-0004 東京都品川区南品川 2-2-13 南品川 JN ビル 4F)  
E-mail: kabasawa.ryusei@daika.co.jp

<sup>5</sup>(有) キシムラ (〒234-0055 神奈川県横浜市港南区日野南 2-12-11)

<sup>6</sup>太陽工業 (株) 国土事業本部 国土技術部 (〒154-0001 東京都世田谷区池尻 2-33-16)

<sup>7</sup>大嘉産業 (株) 産業資材事業部 技術部 (〒140-0004 東京都品川区南品川 2-2-13 南品川 JN ビル 4F)

ケーソン式護岸や岸壁等の港湾施設では、裏込石と埋立土砂の間に敷設される防砂シートは、埋立完了までに破損する事例が多く、吸い出しの要因となっている。その主な破損要因は、①波や風でのばたつき揺動による裏込石との接触摩耗、②波や潮位差による防砂シートの浮き上がり後の沈降等による引き込まれ(異常緊張)、③埋立土砂投入による防砂シートの引き込まれ(異常緊張)があげられる。

そこで本研究では、防砂シート敷設後の浮き上がり沈降や埋立土砂投入による引き込みが起因となる破損に対し、補助材による引き込み対策「防砂シート引込軽減工法」について、要素試験や荷重確認実験ならびに実証実験を実施し、引き込み抑制効果を明らかにした。

**Key Words :** seawalls, geotextile sheet, pull-in, abnormal tension

## 1. はじめに

ケーソン式護岸や岸壁等の港湾施設では、ケーソン背後に設置される裏込石を通した埋立土砂の吸い出しを防止するため、裏込石と埋立土砂の間に防砂シートが敷設される。しかし、埋立完了までに防砂シートが破損する事例が多く、菅原<sup>1</sup>や佐藤<sup>2</sup>の港湾施設へのアンケートや点検結果からも、吸い出し要因として防砂シートの損傷が多いことを挙げている。堀井<sup>3</sup>は波によるフラタリング(ばたつき、揺動)で防砂シートが裏込石の先鋭部との摩耗により損傷することを水理模型実験により示した。このほか破損要因としては、①波や潮位差による防砂シートの浮き上がり後の沈降や生物の付着による重量増加による沈降によって、裏込石上部の法肩部付近の防砂シートに異常緊張が発生すること、さらには②埋立土砂投入により、防砂シートが徐々に引き込まれ、累積引張力による異常緊張が発生することが挙げられる(図-1)。特に埋立土砂投入時は裏込石間の隙間や不陸にそって防砂シートがさらに伸び、防砂シート上部での異

常緊張が発生しやすくなる。しかし、このような防砂シートの引き込みによる異常緊張の発生についての検討および対策はこれまで行われていない。

そこで本研究では、防砂シート敷設後の浮き上がり沈降や埋立土砂投入による引き込みが起因となる破損に対し、陸上に護岸を模擬した捨石マウンドを造成し、防砂シートの引込現象を再現する確認実験を行った。また、防砂シートに補助材による引込対策を施し、防砂シートの引込軽減効果についても比較検証した。

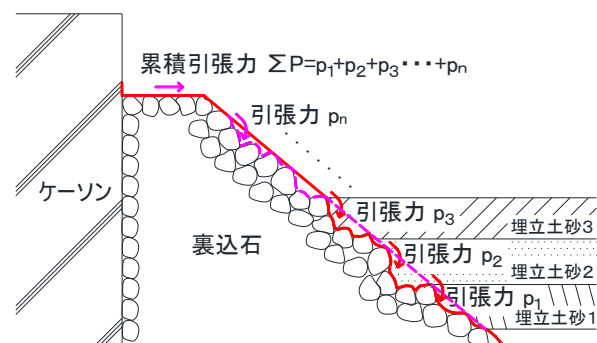


図-1 下方引込とシート上部の異常緊張(累積引張力)

表-1 防砂シートの諸元 (カタログ規格値)

防砂シート		材質	厚さ (mm)	質量 (g/m <sup>2</sup> )	引張強度 (N/5cm)	伸び率 タテ×ヨコ (%)
TYPE	種別					
港湾基準	不織布	—	≥4.2	≥500	≥880	≥60
1	長繊維不織布	ポリエステル	5.0	540	1175	60×60
4	高伸度短繊維不織布	ポリエステル	7.0	1000	900	140×140
港湾基準	織布	—	≥0.47	—	≥4080	≥15
2	多重布	ポリエステル	3.0	1000	10130	25×18
3	高伸度織布	ポリエステル	2.0	1300	5070	110×110
5	高強度多重布	ポリエステル	3.0	2000	17000	30×18

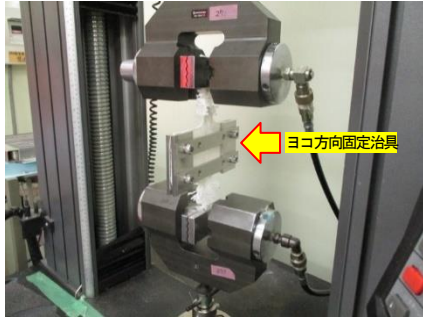


図-2 ヨコ方向拘束の一軸引張試験の状況

## 2. ヨコ方向拘束した時の引張強さと伸び率

土砂投入時の防砂シートがどのような引張強度、伸び特性をするのかを把握するため、要素試験を行った。

### (1) 防砂シートの種類と引張試験条件

表-1 に本研究に用いた防砂シートの諸元を示す。試験には港湾基準 (最小規格) <sup>4)</sup> と高伸度の織布と不織布ならびに高強度多重布を含む 5 種を用いた。引張試験は港湾基準 <sup>4)</sup> に示されている手法 (JIS L1908) に準拠して行った。通常の防砂シートの引張試験は試験片のヨコ方向を拘束しないためネッキング現象 (シートを引張ると平行部全体が均一に伸びずにくびれが生じる現象) が発生し伸びに影響すると考えられるが、実際の敷設箇所ではヨコ方向は拘束された状態で、タテ・ヨコ両方向から引張力が作用する。そこで、実際の現象を再現するため図-2 に示す拘束治具でヨコ方向を拘束して引張試験を行い、通常の引張試験と比較した。

### (2) 試験結果

図-3 は防砂シートのタテ方向に対する通常の引張試験による破断時の引張強度と伸び率に対して、ヨコ方向を拘束した引張試験結果を比較したものである。TYPE1 は 1 本の糸がタテ・ヨコ方向に絡み合う長繊維不織布の織構造特性から、拘束されているヨコ方向の糸が干渉し引張強度が増加した。TYPE2, TYPE5 の多重布は複数の縦糸と横糸が重なった多重織構造でありヨコ方向を拘束しても他方の糸への干渉は少ない。また、伸びは通常の引

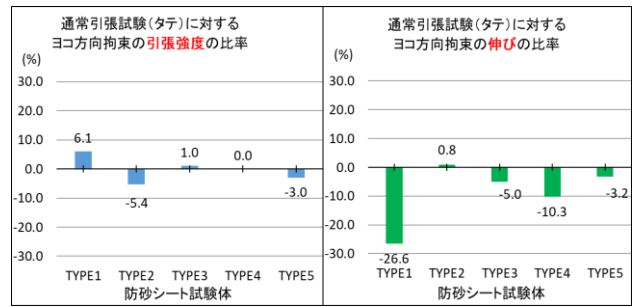


図-3 ヨコ方向拘束時の引張強度比率と伸び比率

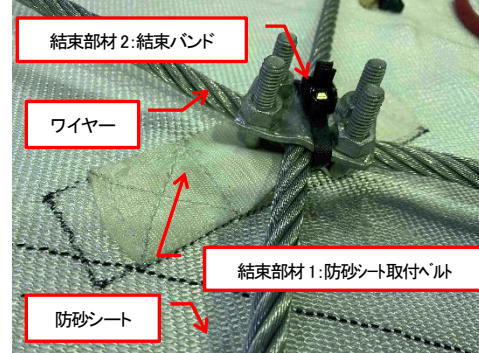


図-4 防砂シート引込軽減工法の構造

張試験値よりもヨコ方向の拘束により低下する傾向が確認された。このように実際の敷設箇所でもタテ (法長) 方向の伸びが抑制される傾向になると考えられ、防砂シートの種類によってはこれが引き込みによる異常緊張の増加等、防砂シートへの悪影響が懸念される。

## 3. 防砂シート引込軽減工法の結束部材検討

今回検討した「防砂シート引込軽減工法」(以下、本工法とよぶ) は、破損要因となるフラッターリングや引き込みを防止しようとするものである。具体的には裏込石から数 10 cm ほど離して斜面に沿うように設置した格子状のワイヤーとワイヤー節点とシートを結びつける「結束部材 1, 2」から構成される (図-4)。防砂シートがワイヤーに固定されることで、フラッターリングが防止されるとともに、波や生物付着、埋立土砂投入による下方引き込みが抑制される。なお、土砂投入後も防砂シートがワイヤー節点から外れないと、応力集中によって防砂シートが破損するため、本工法での結束部材 2 は土砂投入前までは結束を保持するのに対し、埋立土砂投入直後に破断することが要求される。そこで本研究は、要素試験と荷重確認実験ならびに実証実験により、本工法が上述の要求性能を満足しているのか確認することを目的とした。

### (1) 結束部材 1, 2 の引張試験概要

図-4 に示す本工法の要となる結束部材は、埋立土砂の荷重に対して防砂シートに縫製した結束部材 1 の強度よ

表-2 防砂シートと結束部材1の仕様と取付ベルト強度(結果)

CASE	防砂シート				結束部材1(取付ベルト)		取付ベルト強度(N)				
	TYPE	種別	母材強度(N/5cm)	伸び率(%)	種類	仕様(mm)					
1	1	長繊維不織布	1175	60×60	ベルト1	t1.2×W50×L200	3003				
2						t2.0×W50×L200	2871				
3						t1.2×W50×L200	2093				
4	2	多重布	10130	25×18	ベルト1	t2.0×W50×L200	2357				
5	1'	長繊維不織布	1470	60×60	ベルト2	W35×L150	3667				
6							3	高伸度繊維	5070	110×110	4349
7							4	高伸度短繊維不織布	900	140×140	4365
8							5	高伸度多重布	17000	30×18	3365

※ここでは「取付ベルト+縫製」の最大引張強度を取付ベルト強度と定義する。

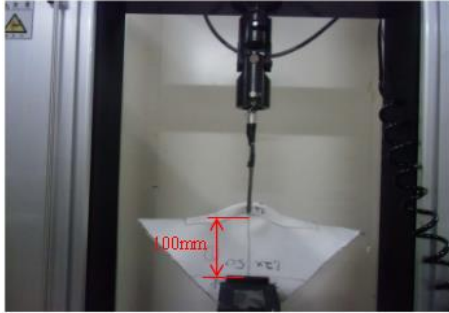


図-5 結束部材1の引張試験の状況

りも、ワイヤー節点と防砂シートを結束する結束部材2の強度が小さい必要がある。また、結束部材は埋立完了まで劣化して破断することがないように耐久性が要求される(防砂シートの強度>結束部材1強度>結束部材2強度)。

防砂シートに縫製する結束部材1については、表-2に示す2種類のベルトと防砂シートを組み合わせた8CASEに対して引張試験を行った(図-5)。また、結束部材2(結束バンド)は、リールストラップとロッキングヘッドで構成され、表-3に示すように7.6mm幅と12.7mm幅の2種類に対し、ロッキングヘッドの個数と取り付け向きを変えた8CASEの組み合わせに対して引張試験を行った(図-6)。

(2) 試験結果

結束部材1は表-2に示す結果より、取付ベルト強度は約2~4kNであること、ベルト2の取付ベルト強度はベルト1の約1.5倍の強度があることを確認した。なお、結束部材1の破断位置は縫製糸の切れや取付ベルトの切れで、防砂シートが破断することはなく、結束部材1は防砂シートの強度より小さいといえる。

結束部材2は表-3に示す結果より、ロッキングヘッドの個数差による結束バンド強度に差異はほとんどなく、ロッキングヘッドは1個で十分と考えられる。結束バンド強度はロッキングヘッド1個の時、リールストラップ幅7.6mmで約900N、12.7mmで約1200~1300Nであり、結束部材1の約22~65%となることを確認した。また、ロッキングヘッドの向きは、リールストラップ部で破断する横向き(中間部)の方が、結束部材2の強度管理上望ましいと考えられる。

表-3 結束部材2の部材の組合せと結束バンド強度(結果)

CASE	結束部材2(結束バンド)				結束バンド強度(N)
	リールストラップ	ロッキングヘッド	個数	位置	
1	1	7.6	1	横向き(中間)	912
2			2		—
3			1		1211
4			2		—
5	1	7.6	1	上向き(フック部)	943
6			2		876
7			1		1362
8			2		1465

※ここでは「リールストラップ+ロッキングヘッド」の最大引張強度を結束バンド強度と定義する。ロッキングヘッド中間はCASE1, 3共にリールストラップで破断したためCASE2, 4は実施せず。

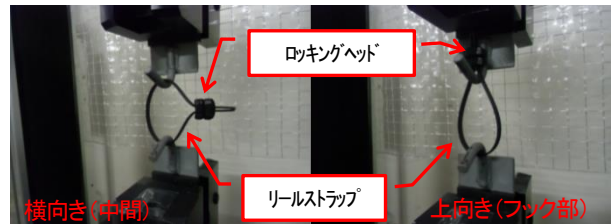


図-6 ロッキングヘッド位置(2個の場合の例)

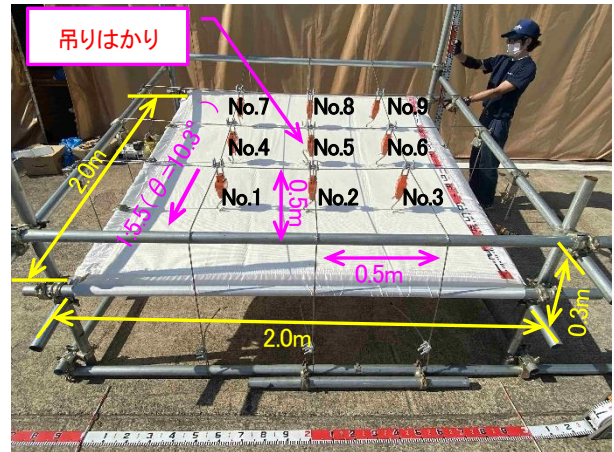


図-7 荷重確認実験構造

4. 防砂シート引込軽減工法に関する実証実験

(1) ワイヤー節点部に作用する荷重確認実験

埋立土砂投入時に本工法のワイヤー節点と結束部材2に作用する荷重(張力)等を確認し、結束部材に求められる必要強度を把握するための実験を行った。

a) 実験構造と本工法展張状況

護岸の捨石マウンドを模した実験用架台に本工法を施した防砂シートを展張した状況を図-7に示す。防砂シート寸法は幅2m×長さ2mで勾配1:5.5(θ=10.3°)の架台に防砂シートが弛まない程度に縦横方向に200~600Nの力で緊張させて固定した。また、φ6mmワイヤーを0.5m間隔で格子状に配置し、ワイヤー節点をワイヤークリップで固定した後、結束部材2に作用する荷重を計測するため、ワイヤー格子を防砂シートより0.3m上部に位置させ、9箇所の結束部材1とワイヤー節点間に吊

表-4 本工法防砂シート諸元 (荷重確認実験)

CASE	防砂シート		結束部材1		結束部材2			
	TYPE	種別	母材強度 (N/5cm)	伸び率 (タテヨコ%)	取付ベルト仕様	取付ベルト強度 (N)	結束バンド仕様	結束バンド強度 (N)
1	1'	長繊維不織布	1470	60×60	ベルト2	3667	W3.6 ×L250 mm	265
2	3	高伸度織布	5070	110×110		4349		
3	4	高伸度短繊維不織布	900	140×141	W35 ×L150 mm	4365		
4	5	高強度多重布	17000	30×18		3365	横向き	

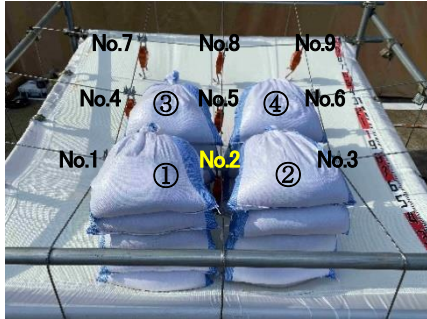


図-8 土のうの荷重位置 (No.2 節点周囲) と実験状況

りはかりを取り付けた。

b) 実験方法

表-4 に実験に用いた本工法防砂シートの諸元を示す。土のう (20kg/袋) を、図-8 に示すワイヤー節点 No.2 (下段中央) を中心に①→②→③→④の順にワイヤーに干渉しないようにゆっくりと荷重し、1 段 (合計 80 kg=785 N) 毎に 9 節点の荷重を 5 段 (合計 400 kg=3924 N) まで計測した。また、吊りはかりを外し、結束部材 2 でワイヤー節点と結束後、同様に土のうを荷重し節点 No.2 の結束バンドが破断する荷重についても確認した。

c) 実験結果

図-9 に CASE1~4 の節点 No.2 の周囲に土のうを荷重した際に節点に作用する実荷重を示し、図-10 に平均荷重比 % (節点荷重/上載荷重×100 の平均値と定義) を示す。節点 No.2 に作用する荷重は、CASE3 の防砂シートは引張強度が小さく、かつ伸びが大きいので、防砂シートのハンモック効果 (上載荷重をシートの引張力で分散させる効果) は小さく荷重が集中し易く、上載荷重の 19.5 % と最大であった。CASE2 は CASE3 同様に伸びが大きい高伸度織布であるが、引張強度が大きいので小さな荷重に対してはハンモック効果により 10.3 % となった。CASE4 は引張強度が最大で、ハンモック効果が大きく影響し比率は 7.3 % と最小となった。よって、ワイヤー節点と結束部材 2 に作用する実荷重は、防砂シートの種類 (特性) により異なるが荷重した土砂重量の 7.3%~19.5% 程度であることを確認した。残りの土砂重量は防砂シートとその他の結束部材に分散されるものと考えられる。なお、上段の節点 No.7~9 には荷重がほとんど作用しておらず、防砂シートの下方への引き込みの影響がないことが確認できる。また、表-4 に示す結束部材 2 で防砂シートをワイヤー節点と結束し、前述同様に節点 No.2 周囲に

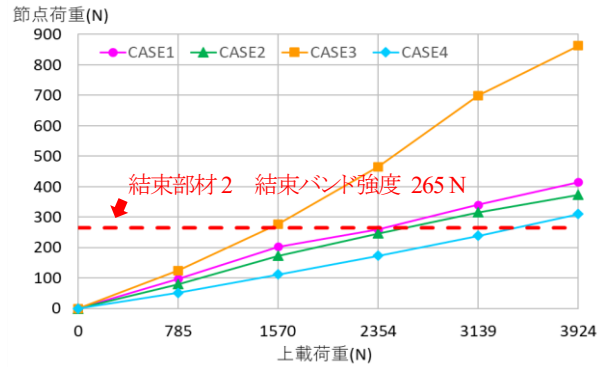


図-9 上載荷重と節点荷重 (節点 No.2)

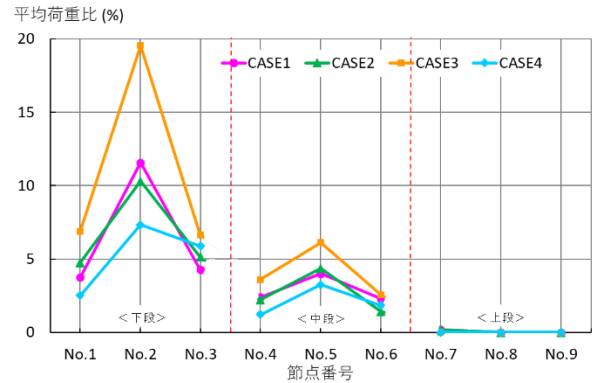


図-10 上載荷重に対する節点荷重の平均荷重比

土のうを荷重したところ、実際に全てのケースで図-9 に示す結束バンド強度 265 N と交差する荷重程度で節点 No.2 の結束部材 2 が破断し、他の節点は破断しなかった。

(2) 陸上での実物大による実証実験

防砂シートに発生する異常緊張 (累積引張力) の要因となる防砂シートの引込現象や本工法による対策効果を確認するため、陸上に捨石マウンドを造成し、防砂シートの引込現象の再現と本工法を施した防砂シートの要求性能の確認と引込軽減効果を比較検証した。

a) 実物大実験護岸構造と防砂シート仕様

実物大実証実験は図-11 に示す捨石マウンドを造成し実施した。法面勾配は 1:1.5 ( $\theta=33.7^\circ$ )、防砂シートの引込現象を再現するため、捨石マウンド表面の形状 (凹凸) 高低差が 700~900 mm となるように  $\phi 300\sim 500$  mm 程度の石材で法尻に凸部等を造り、法面両端にも凸部等を設けた。防砂シートは幅 6 m×長さ 6 m で、タテ・ヨコ方向の防砂シートの変位を計測できるように 1 m 間隔でマーキングした (図-12)。本工法用は、さらに 1 m 間隔の格子状にワイヤークリップで固定した  $\phi 12$  mm のワイヤーの節点と防砂シートを結束部材 2 で結束した。なお、結束部材 2 は前掲図-10 の結果を踏まえ高強度多重布でも投入土砂重量 17 kN (推定作用荷重=17×7.3%=1.2 kN, バックホウバケット容量:1.0 m<sup>3</sup>,  $\gamma$ :17 kN) で破断される引張強度 943 N の結束バンドを使用した。



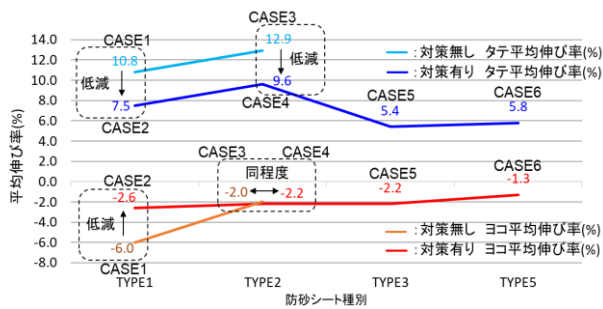


図-16 防砂シート種別の平均伸び率 (=伸び率の平均値)

ており、CASE2の引き込みが軽減されていることが分かる。タテ方向の平均伸び率は10.8%から7.5%まで低減できることが確認された。同様にCASE3, 4の平均伸び率を比較した結果12.9%から9.6%まで低減できることが確認された。CASE6は平均伸び率が最も小さく、かつ結束部材2の破断箇所は土砂投入箇所以外で1箇所のみだった。これは結束部材2の仕様選定時に想定した推定作用荷重と一致する結果である。なお、ヨコ方向の伸び率は引き込みによるネッキング現象が見られたが、最終的には土砂投入によりヨコ方向は引き戻され均衡すると推察される。

## 5. まとめ

本研究では、これまで検討されなかった防砂シートの引き込みによる異常緊張(累積引張力)の発生について実証実験を初めて実施した。実験では特性の異なる4種類の防砂シートを用いた。以下に主要な結論を示す。

- 1) ヨコ方向を拘束した引張試験は通常の引張試験に比べ、引張強度はシートによって増加したものと低下したものがあつたのに対し、伸びはいずれの防砂シートでもヨコ方向の拘束によって低下することが分かつた。

特に伸びの低下が大きいTYPE1(長繊維不織布)に関しては対策無しの場合、引き込みによる異常緊張に対しての注意が必要と考えられる。

- 2) 荷重確認実験では、結束部材に作用する荷重は防砂シートの種類により異なり、結束部材近くに投入した土砂重量の7.3~19.5%になることが分かつた。実物大実証実験では作用荷重は計測していないが、結束部材2の破断状況(推定作用荷重が結束バンドの引張強度程度のTYPE5「高強度多重布」は破断箇所数が最小)から同様の傾向になると考えられる。
- 3) 実物大実証実験では、実際に投入土砂による防砂シートの下方引込現象を確認した。また本工法の防砂シートに土砂を投入したところ、要求性能どおりに土砂を投入した近傍の結束部材だけが破断し、それ以外の箇所では破断しないことが確認された。
- 4) 対策工法の有無を比較すると、本実験条件では防砂シートの伸びを3%程度低減できることが明らかとなつた。実際には土砂投入が累積するため、本工法により大幅に伸びと張力を低減できるといえる。

## 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) 佐藤徹, 加藤絵万, 川端雄一郎, 岡慎一郎: 港湾施設の空洞化調査に関する報告, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, pp. I\_552- I\_557, 2014.
- 3) 堀井一樹・鈴木高二朗・西野好生: 埋立前の護岸における防砂シートの耐久性に関する検証, 土木学会論文集 B2(海洋工学), Vol.74, No.2, pp. I\_1117- I\_1122, 2018.
- 4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 公社)日本港湾協会, pp.516-517, 2018.

(Received February 3, 2022)

(Accepted May 9, 2022)

## EXPERIMENTS OF PULL-IN REDUCTION CONSTRUCTION METHOD IN GEOTEXTILE SHEET

Koji YAMAMOTO, Naoto KISHIMURA, Kojiro SUZUKI, Ryusei KABASAWA, Sho KISHIMURA, Naoya FUJISHIRO and Tatsuya ISHIKANE

In harbor facilities such as caisson type seawalls and quays, the geotextile sheet laid between the backfill stone and the sand is often damaged by the time the landfill is completed, which is a factor in sand leakage into backfill stones. The main causes of damage are as follows. 1) When it flutters or swings due to waves or wind, it comes into contact with the backfill stone and wears. 2) Abnormal tension is generated by being drawn in by the sinking of the geotextile sheet after it floats due to waves or tides. 3) Abnormal tension is generated because the geotextile sheet is pulled in by throwing in landfill sand.

Therefore in this study, we conducted elemental tests and load confirmation and demonstration experiments of the "geotextile sheet pull-in reduction method", which is a measure against pull-in using auxiliary materials, and clarified the pull-in suppression effect.