

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1393 December 2021

吸い出し・陥没抑止に向けたケーソン目地透過波低減法

佐々 真志, 石坂 修

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. ケーソン目地透過波低減法の開発	4
2.1 防砂板の損傷現象と緩衝材による波力低減法	4
2.2 緩衝材の選定と設置方法	5
2.3 実海域試験とメカニズムの考察	6
3. 目地透過波低減法の適用範囲の拡大と検証	9
3.1 老朽化施設への適用と分析	9
3.2 有効適用範囲と陥没抑止効果	11
4. 目地透過波低減法の波力低減効果の継続性と陥没抑止効果の実証	12
4.1 波力低減効果の持続性の検証	12
4.2 陥没抑止効果の検証	13
5. おわりに	13
謝辞	14
参考文献	14
付録A 目地透過波低減法(ネットバッファ工法)の施工手順と品質の確保	
付録B 主な施工事例集	

Caisson Joint Wave Reduction Method for Suppressing Internal Erosion and Collapse of Seawalls and Quaywalls

Shinji SASSA*

Osamu ISHIZAKA**

Synopsis

Collapse at the back sides of seawalls and quaywalls has occurred all over the world. This often stems from defects in caisson joints due to continued wave impacts causing internal erosion in the backfill sands. This study presents a new wave reduction method, called the Net Buffer Method, to reduce caisson joint waves for suppressing internal erosion and collapse of seawalls and quaywalls. Caisson joints may fail or widen due to the repeated action of waves that transmit through the joints. The new method, in which a net fiber material is installed within the joints, is capable of reducing such caisson joint waves by more than 80% in terms of the maximum and average wave pressures. Unlike previous countermeasures, it is applicable to joints of variable width and can autonomically adjust to changes in the configuration and surrounding environment due to continued wave impacts and other dynamic forcing such as earthquakes. Based on a three-year follow-up survey of its application, the proposed method has proven itself effective in suppressing the occurrence of re-collapse behind seawalls that repeatedly collapsed under severer wave loading. The proposed method is applicable to new, existing and aging caisson structures with joints of variable widths, and has indeed been adopted at seawalls/quaywalls designated as Major Ports and Strategic International Ports in Japan. It is therefore hoped that this new method will be utilized for disaster prevention/mitigation, a long service life and sustainable management of caisson-type seawalls, quaywalls and other such facilities.

Key Words: net buffer, caisson joint, collapse, internal erosion, wave

* Head, Soil Dynamics Group, Geotechnical Engineering Department
** MAEDAKOSEN CO., LTD.
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5054 Fax : +81-46-844-4577 e-mail:sassa@p.mpat.go.jp

吸い出し・陥没抑止に向けたケーソン目地透過波低減法

佐々 真志*
石坂 修**

要 旨

吸い出しによる護岸・岸壁の陥没は全国各地で発生してきており、近年も数多くの被災事例が報告されている。これらの陥没は、防砂板・防砂シートの損傷などの防砂機能の喪失によって吸い出しが生じ、これに伴う空洞が、地中で生成・発達することによって、突然発生する。ケーソン間では、透過してくる波の繰り返し作用を主要因とした防砂板損傷によって当該事象に至る。本研究では、吸い出し・陥没を引き起こすケーソン間の透過波力を繊維製網状の緩衝材により効果的に低減させることによって、吸い出し・陥没リスクを大幅に抑制しうるケーソン目地透過波低減法を開発した。実海域試験と各種の現地調査・観測およびメカニズムの分析を通じて、防砂板の損傷を引き起こす目地透過波を継続的に80%以上低減するとともに、高波浪の影響や目地間の形状変更を始めとする通年の周囲環境の変化後も、高い陥没抑止効果を維持発揮することを実証した。本低減法は、全国の老朽化施設を含む護岸・岸壁背後のケーソン目地部に容易に設置が可能であり、繊維製緩衝材として追随性に優れることから、港湾・海岸構造物の防災減災および長期的維持管理に今後幅広く活用されることが期待される。本資料では、上述の目地透過波低減法の詳しい施工手順や品質確保、ならびに、重要港湾および国際戦略港湾における主な施工事例についても合わせて付記している。

キーワード：護岸・岸壁，吸い出し，陥没対策，ケーソン，透過波，ネットパッファ

* 地盤研究領域動土質研究グループ長

** 前田工織株式会社

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 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

電話：046-844-5054 Fax：046-844-4577 e-mail:sassa@p.mpat.go.jp

1. まえがき

吸い出しによる護岸・岸壁の陥没（写真-1.1）はかねてから全国各地で発生しており、近年も数多くの被災事例が報告されている。これらの陥没は、防砂板・防砂シート等の損傷などの防砂機能の喪失によって吸い出しが生じ、これに伴う空洞が、地下水面上のサクシヨンの発生・発達と相まって地中で生成・発達することによって、突然発生する^{1) 2)}。ケーソン間では、透過してくる波の繰り返し作用を主要因とした防砂板損傷によって当該事象に至る^{3) 6)}。

従来、透過波対策として、透過波の遮断を目的として種々の遮断材の目地部設置が検討・施工され、被災部においては、裏込め、裏埋め部の再設置が検討・施工されてきた^{7) 9)}。しかし、高波浪等によるケーソン移動により遮断材が安定性を失い機能損失を生じることに加え、再設置では施工困難な状況も多く、時間・費用的制約も少なくない課題があった。

本資料では、吸い出し・陥没を引き起こす透過外力自体を繊維製網状の緩衝材をケーソン間目地部に挿入することによって効率的に80%以上減衰させて構造物の長寿命化を図る「ケーソン目地透過波低減法（ネットバッファ工法）」^{10) 13)}についてこれまでに得られた知見を体系化し新たな知見とともに記載する。特に従来工法では高波浪の衝撃や地震によるケーソンの移動が抑止工の安定性を阻み、破壊等の機能損失が生じるなどの課題があったが、本技術では使用する繊維製緩衝材の柔軟性や追随性がそれらの課題を解決するだけでなく設置安定性も発揮している。さらに、多様なケーソン目地間隔、水底堆積物、既存抑止工に対応し、老朽化施設を含む全国のケーソン護岸・岸壁への適応が可能であることが特徴である。

以下では、上述の吸い出し・陥没抑止に向けて筆者ら



写真-1.1 ケーソン護岸における陥没の発生状況



写真-2.1 護岸背後の陥没発生箇所



写真-2.2 陥没箇所の損傷防砂板

が開発したケーソン目地透過波低減法について記すと共に、本低減法の適用範囲の拡大と検証ならびに波力低減効果の継続性と陥没抑止効果の実証について詳しく述べる。最後に、目地透過波低減法の特徴・意義や発展性についてまとめる。また、付録として、目地透過波低減法の施工手順と品質の確保、ならびに、重要港湾および国際戦略港湾における主な施工事例についても合わせて示す。

2. ケーソン目地透過波低減法の開発

2.1 防砂板の損傷現象と緩衝材による波力低減法

(1) 防砂板の損傷現象

護岸背後の陥没発生と当該陥没箇所において経年的な目地透過波により著しく損傷した防砂板の調査結果を写真-2.1、2.2に示す。損傷した防砂板を介した吸い出し・空洞形成過程を通じて陥没が発生したものである。このことは、ケーソン間目地透過波を低減することが、防砂板の長寿命化ひいては吸い出しリスクを抑制し、当該構造物の長期維持管理を実現する上で重要となることを示している。

(2) 緩衝材による波力低減法

上述のような護岸目地背後の陥没を抑止しうる緩衝材

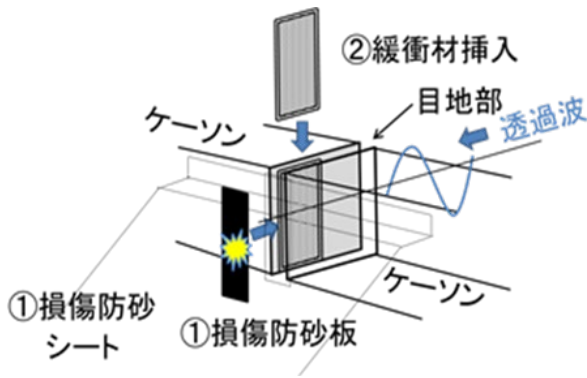


図-2.1 ケーソン目地透過波低減法の概念図

による波力低減法を新たに考案・構築した。当該概念図を図-2.1に示す。ケーソン間目地部に次節で示す緩衝材を所定の設置方法で挿入し、目地透過波を減衰させることによって防砂板の長寿命化を図る工法である。防砂板の損傷リスクを抑えることによって、その背後の防砂シートへの波の伝播も抑制することが可能となる。構築した手法は、全国の護岸・岸壁背後の様々なケーソン間形状に適応可能であること、容易に設置が可能なこと、材料の劣化が生じにくく追従性に優れるうえメンテナンスフリーであることを念頭に置いたものである。

2.2 緩衝材の選定と設置方法

(1) 緩衝材の要求性能と選定

本研究において目的とする機能は、ケーソン目地部に侵入する透過波の波力を、緩衝材を設置することで低減し、防砂板に及ぼす影響を長期的に抑えることである。そこで、これを達成するための緩衝材の要求性能として、次の6項目の内容について考慮した。

- ① 波力による破壊が無い(耐衝撃性)
- ② 腐食による機能喪失が無い(耐腐食性)
- ③ 剛性が低い(緩衝効果)
- ④ 自己劣化が少ない(引き波等でばらけない、経年劣化が少ない)
- ⑤ 地震時等のケーソン移動に追従する(追従性)
- ⑥ 設置の容易性(様々な現場形状に適応可能)

この6つの性能について、波力のみでなく他の経年的に作用しうる外力や素材の適用性を含めて検討を行った。

緩衝材の対象として、従来土木資材として基本的に使用されるコンクリート(袋詰めコンクリート含む)、鋼製材(H型鋼、コンクリートとの複合材料含む)、防砂板などにも使用されるゴム板(ゴム製加工品含む)、ジオテキスタイルなどに使用される繊維材料から、ロープ、ネットを取り上げ、以下のように比較検討した。

表-2.1 本研究における緩衝材の要求性能と選定

緩衝材に求められる性能	コンクリート	鋼製材	ロープ	ネット	ゴム板
①波力による破壊が無い(耐衝撃性)	×	△	○	○	△
②腐食による機能喪失が無い(耐腐食性)	○	×	○	○	×
③剛性が低い(緩衝効果)	×	×	○	○	△
④自己劣化が少ない(引き波等でばらけない)	-	-	×	○	-
(経年劣化が少ない)	○	○	○	○	○
⑤地震時等のケーソン移動に追従する(追従性)	×	×	○	○	×
⑥設置の容易性(様々な現場形状に適応可能)	×	×	○	○	×

コンクリート材料は腐食や経年変化に対して優位性を持つが、自身の剛性から緩衝効果が期待できず、ケーソンの移動による設置個所の形状変化に対して追従性能を持たないため、作用外力に対して有害な空隙ができる可能性を持つ。また、鋼製材料においても自身の経年変化には優位性があるが、コンクリート同様に自身の剛性から緩衝材として機能しないデメリットがある。ゴム板、ゴム製加工品は、耐衝撃性や緩衝効果にも期待できるが、ケーソンの移動に対する追従性能に期待できないことや、現場毎に異なるケーソン間の形状への適応に際して材料的に時間、コストを有する。ロープ、ネット材に関しては、各々を集約した固体とした場合に緩衝効果を持ち、係留ロープ、漁網といった機能材としての寿命はあるが素材の耐腐食の面で寿命は長く、ケーソン移動に対する追従性も有する。ネット材の中には、海洋土木資材としての実績、耐摩耗性などの公的試験データを有する編地の太いものもある。設置方法においてネット材は鋼製パイプなどのガイドを伴うことでケーソン間に固定が可能である一方、ロープは引き波等でばらける可能性をもつ。その他プラスチック等の樹脂系材料があるが、経年劣化が機能保持に影響し、衝撃に弱いなどの点から除外した。

(2) 材料

上述の検討結果を表-2.1にまとめている。同表に示される要求性能の検討結果から、海洋土木資材としての実績、耐摩耗性などの公的試験データ¹⁴⁾を有する編地の太いネット材(写真-2.3)を緩衝材として選定した。本材料は海岸・港湾向け袋詰め根固め工法用のネット材として開発された経緯があり、海域での使用に際して素材の安全性、耐摩耗性、耐久性等が担保されている¹⁴⁾。

(3) 設置方法の検討

ネット製の緩衝材の設置に際して、ネット材を設置するケーソン間の形状は様々である為、予め一定形状に製作したものを各現場に設置する方法は困難であり現実的ではない。そこで、本緩衝材の設置方法を検討した結果、



写真-2.3 ネット製緩衝材（目と編地）

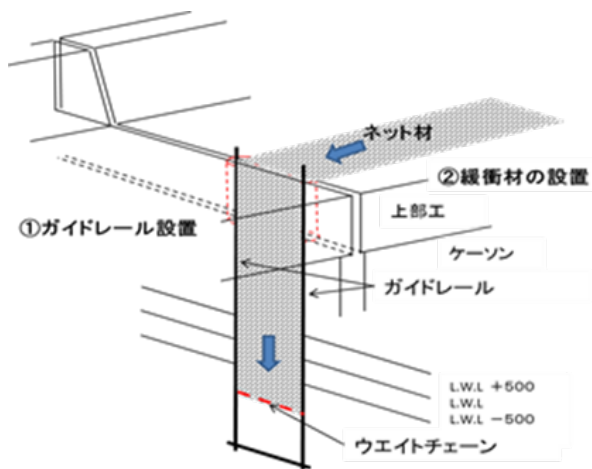


図-2.2 ネット製緩衝材の設置

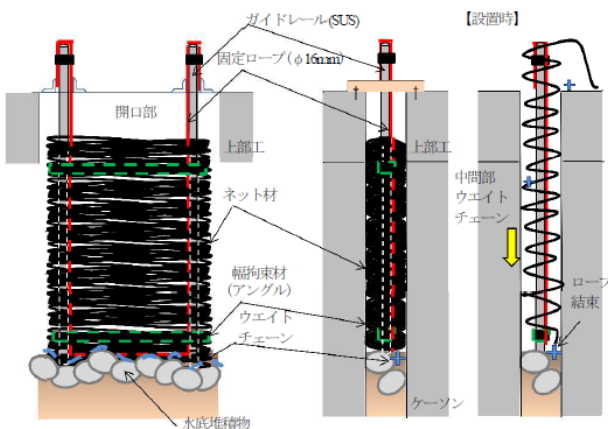


図-2.3 ネット製緩衝材の設置状況

予めケーソン上部工にコア抜きにて開口部を設け、ケーソン間の清掃後、同敷設範囲（緩衝材の幅）の両端部にガイドレール（パイプ等）を設置し、図-2.2、2.3に示すように、緩衝材にウェイトチェーンをロープ結束し、網目をガイドレールに通しつつケーソン間に落とし込み、つづら折り状に詰め込むことにより、現場によって海



図-2.4 鹿島港外港地区位置図



写真-2.4 高波浪時のケーソン目地部透過波：鹿島港

側・陸側・上方・下方に隙間幅が一定ではない任意のケーソン間形状に適応可能な敷設方法を実現した。

2.3 実海域試験とメカニズムの考察

(1) 現地実証試験の概要

ネット製緩衝材による目地透過波低減法の現地実証試験及び施工を茨城県鹿島港外港地区（図-2.4、写真-2.4）で行った。現場断面図を図-2.5に示す。ケーソン目地部の諸元はケーソン幅15m、高さ15m(本体+上部工)、ケーソン隙間120mm~200mm、上部工厚み1.5mである。この目地部を透過する波力に対してネット製緩衝材の波力低減効果を定量的に把握するために、同日地部に対してネット製緩衝材の設置有り無しの双方において、沖側・陸側双方において波力を計測した（図-2.6）。現地試験期間

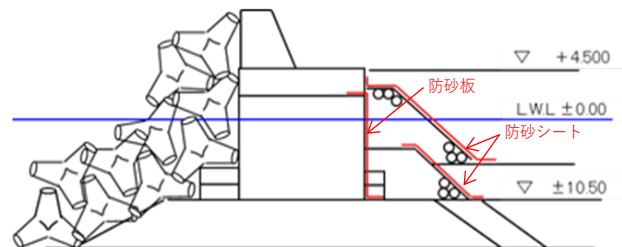


図-2.5 現場断面図

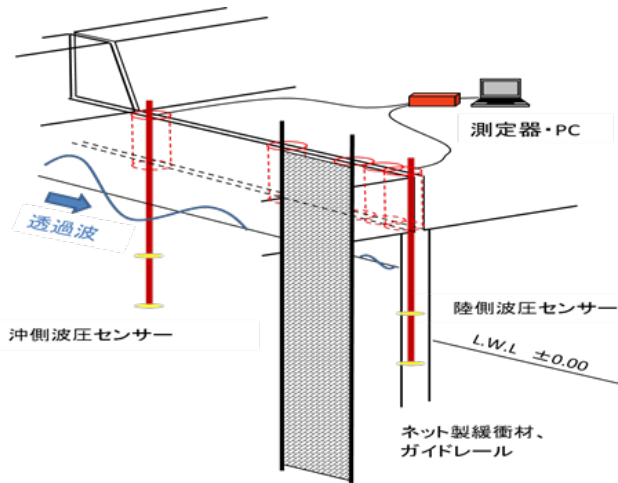


図-2.6 現地実証試験の計測概要図



図-2.7 試験箇所（左）と緩衝材投入部（右）

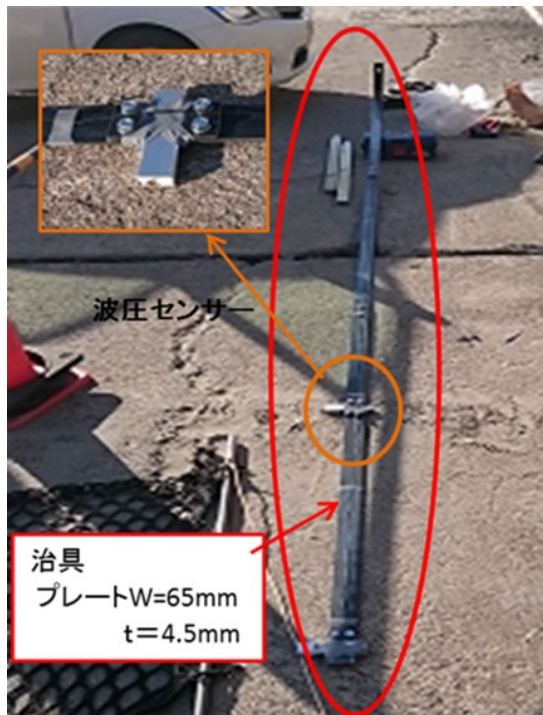


図-2.8 治具に取付けた波圧計



図-2.9 緩衝材の設置状況とウエイトチェーン・ネット材の接続



図-2.10 ガイドレールの固定とネット材

の有義波高は1.80m，有義波周期は6.9秒であった．この際，用いた波浪データは，国土交通省港湾局によって観測され，港湾空港技術研究所で処理されたものである．

(2) 現地実証試験の状況

(a) 緩衝材・波圧計の設置準備

緩衝材・波圧計を設置するために，ケーソン上端より厚さ1.5m，目地間2cm～5cm施工されていた上部工にコア抜き，ワイヤーソーによるカットを施し，ネット緩衝材の投入部を設けた（図-2.7）．さらに，目地部のケーソン側面部に付着したフジツボ等生物による引掛かりが懸念されるため，鉄板などを用いて予め清掃を行った．

(b) 計測器

ネット製緩衝材設置個所の沖側・陸側双方に波圧計を設置した（図-2.6）．計測機器は，波圧センサー，測定器，PC，設置用治具から構成される．波圧センサーはアルミ製角形パイプに埋め込み，鋼製プレートに取り付けた．この際，波圧計は，埋め込み式の鋼製プレートを使用し，薄手方向を波の進行方向に向けることで，透過波力への影響を極力少なくなるよう配慮し（図-2.8），これを上部工にアンカー固定した．

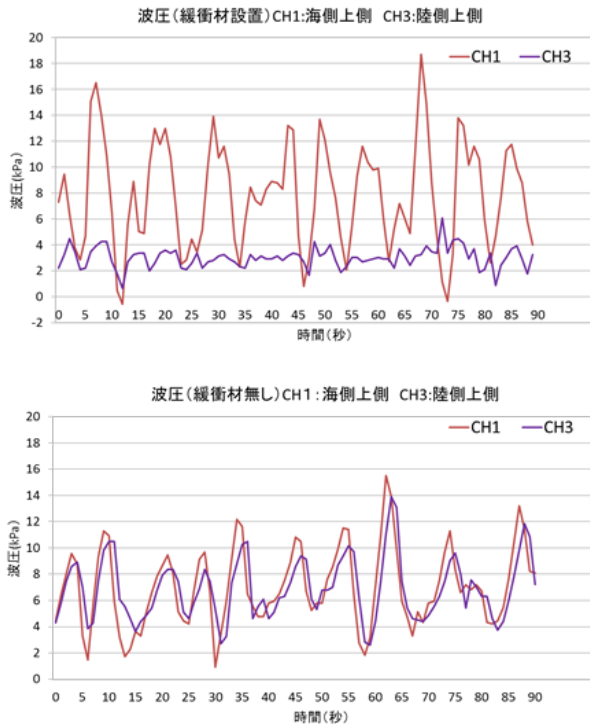


図-2.11 ケーソン間波圧変動の実測結果：(上:緩衝材有, 下:同無)

(c) ネット製緩衝材の設置

上部工の一部をカットして設けた投入部に沿って帯状のネット製緩衝材を投入した。予め2m間隔に設置したガイドレール（鋼管、15m長さ）にネット材の端部網目を通しながら設置した（図-2.9）。この際、ガイドレールの下端部は2mの間隔の維持の為に梁材を取付けた。ネット材端部にはウエイトチェーン（3kg/m）を施し、以後10m～15mピッチにて行った。また、25mのネット材同士はクレモノロープにてしっかりと繋ぎ合わせた。この作業を繰り返し行い、ネット材をケーソン再下端部より上部工の下端（ケーソン天端部）まで敷設した。ネット材は（幅2m、長さ25m程度）を2mの間隔に予め設置したガイドレールにネット端部を通してケーソン最下部より上部工の下端まで敷設した。最後にガイドレールを上部工に

表-2.2 目地透過波低減法による透過率の変化：実測結果

単位:kpa

		最大振幅	平均振幅
緩衝材 無	海側	13.68	5.93
	陸側	11.30	4.93
	透過率	82.6%	83.1%
↓ 緩衝材 有	海側	19.04	6.85
	陸側	3.62	1.30
	透過率	19.0%	19.0%

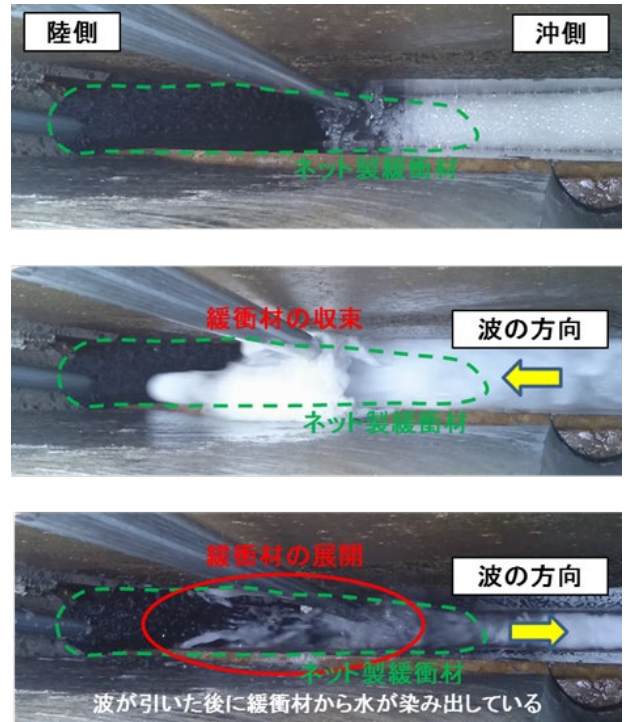


図-2.12 ケーソン間ビデオ撮影による緩衝材の作用状況

固定して完了とした（図-2.10）。

(3) 計測結果

上述のネット製緩衝材の敷設前の通常時および当該緩衝材敷設後に波圧計測を継続的に行った。本現地試験におけるケーソン間波圧変動の実測結果と緩衝材の有無による目地透過波の透過率の変化を図-2.11と表-2.2にまとめている。本結果から、当目地透過波低減法によって、ケーソン間の波圧変動が大幅に抑制され、その最大・平均両振幅とも、約8割の波力低減を実現していることがわかる。

(4) メカニズムの分析

ケーソン間のビデオ画像の分析結果を図-2.12に示す。本来防砂板を直撃する目地透過波は、緩衝材の存在によって防砂板へ届かずに緩衝材に侵入する。この際、波が直ちに反射的に返されず、緩衝材の収束によって透過波が緩衝材に吸収されていたことが判った。さらに、波が引いた後には緩衝材の展開とともに緩衝材から水が緩やかにしみだしているのが確認された。このように緩衝材が収束・展開を繰り返すことにより効果的に目地透過波力を吸収・緩衝していることが明らかとなった（図-2.13参照）。

上述の緩衝効果によって、透過波の長期直撃で劣化していたまたは劣化が予期される防砂板は、作用外力の大幅な低下により延命化が実現できる。さらに、すでに損

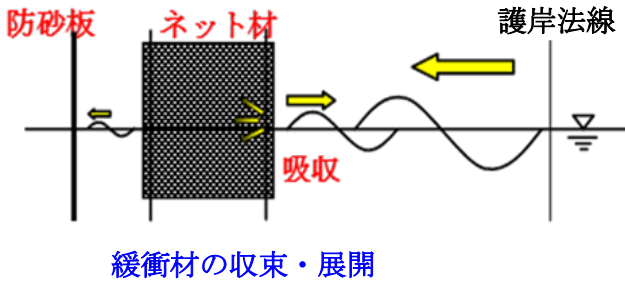


図-2.13 目地透過波緩衝のメカニズム

傷していた防砂板に関しても、ネット製緩衝材の性質特有の詰まった繊維材料の観点から、緩衝材自体に防砂機能を期待することが可能であり、防砂板修復のための大掛かりな裏埋め・裏込め石等の掘り起こし工事の不要や当該工事までの応急対応にも適用しうる。

3. 目地透過波低減法の適用範囲の拡大と検証

本章では、上述の目地透過波低減法を、多様な吸い出し防止工および堆積物の影響下にある老朽化護岸に適用しその特性及び効果を詳しく検証している。

3.1 老朽化施設への適用と分析

陥没課題を抱える護岸・岸壁の多くは昭和40年代築造

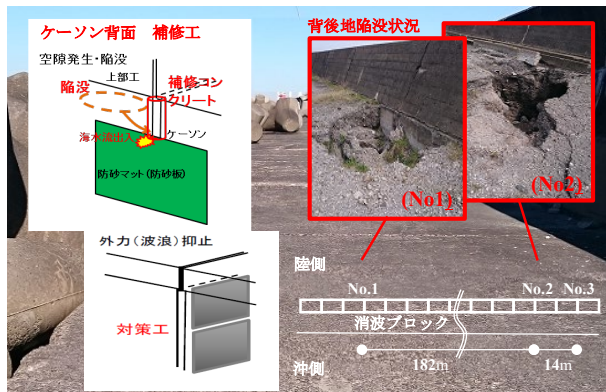


図-3.1 老朽化護岸の陥没状況とケーソン周辺対策工

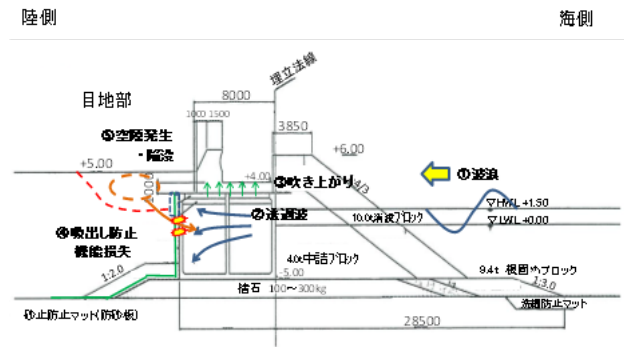


図-3.2 老朽化護岸の構造・断面

など大きく時間が経過したものが多く、築造当時の護岸構造、防砂板の経年劣化、地震や高波浪時の衝撃によるケーソン移動が及ぼす隙間の形状変化、さらに気候変動による波力の増大が、護岸・岸壁の吸い出し・陥没リスクに大きく影響している。

以下では、このような喫緊の状況にあるケーソン護岸の内部構造や既存吸い出し防止工の水中ソナー分析から、現行基準以前の護岸構造、吸い出し状況を調査・分析するとともに、当該老朽化施設への本手法の適用範囲を詳しく検証している。さらに、本研究では、陥没対策工から次の陥没が起こるまでの陥没サイクルが想定可能という希少な現場に対して本手法を適用し、陥没が想定される時期の地盤変状の調査と共に、陥没サイクル抑止における本手法の有効性を分析・検証している。

(1) 現場概要

昭和47年築造で老朽化し、陥没が生じた又は陥没の危機にある多様な状況下のケーソン護岸(図-3.1)の目地部3箇所(No.1~No.3)に本手法を適用した。本調査・観測期間(2017年9月~2018年2月)の有義波高は5.0mである。当該現場の護岸構造を(図-3.2)に示す。消波護岸でありパラペットが陸側に位置している。さらにケーソン目地部の隙間が310~350mmと現行の港湾基準適用以前の構造で、裏込め石、防砂シートは施工されておらず、背後地の掘削調査では各箇所ともに防砂板が損傷しており、防砂板の損傷が裏埋めの吸い出しに直結していた。また損傷した防砂板の隣接部または目地部に様々な補修工が介在した。具体的には、目地部調査では対象3箇所の内2箇所に過去の陥没対策工として袋詰めコンクリートが段積みで施工されており、対象3箇所とも水底部には過去の対策工のものと考えられる石及び砂の堆積物が存在していた。これらの状況について水中カメラによる空洞撮影調査と3Dスキャニングソナーによる水中形状調査を行った。さらに、対象3箇所は、背後地掘削調査後に、鉄板、コンクリート被覆、防砂シートによる吸い出し防止工が実施されたが、3か月後に当初陥没のあった2箇所で陥没が再び発生した。その後本手法を適用しその効果を検証した。

(2) 箇所別調査

(a) ケーソン背後部

3つのケーソン目地部・背後部の調査結果を表-3.1にまとめている。同調査結果から、吸い出し要因は、ケーソン目地部の透過波によって防砂板が破損し、破損部より背面土砂が吸い出されたことが判明した。No.1はケーソン間目地の背後地側にコンクリート(高さ1.2m程度)が打設されていたが、その一部は損壊しており当該部で

表-3.1 ケーソン目地部周辺箇所別調査結果

状況・調査\目地No		No1	No2	No3
陥没発生		有り	有り	無し
ケーソン背後部	防砂シート	無し		
	裏込め工	無し		
	防砂板	損傷	損傷	損傷
	補修工	補修コンクリート	無し	無し
ケーソン目地部	目地間隔	350mm	310mm	340mm
	波浪対策工	無し	袋詰コンクリート	袋詰コンクリート
	空洞内部撮影	障害物無し	対策工(袋詰コン)	対策工(袋詰コン)
	3Dソナー	堆積物(石)	堆積物(石)	堆積物(砂)

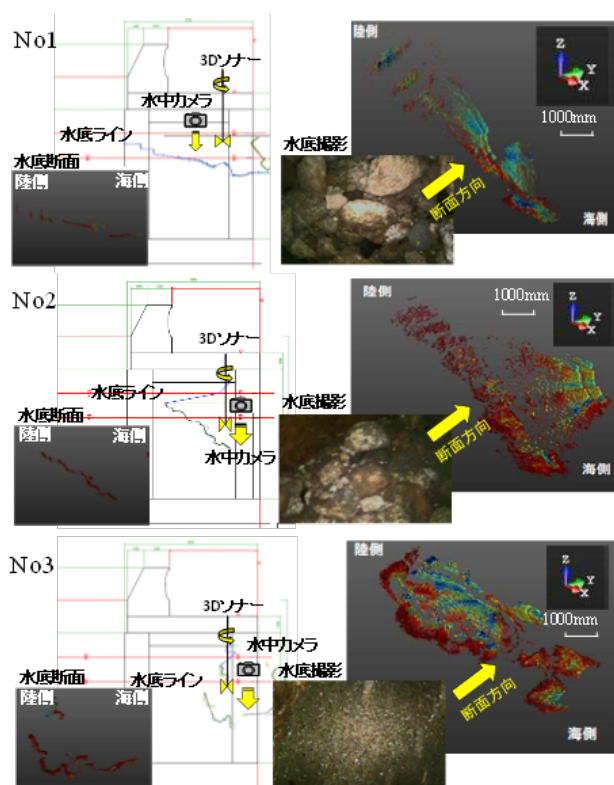


図-3.3 水底状況と 3D ソナー計測結果
(上: No.1, 中: No.2, 下: No.3)

海水の顕著な流入が確認された。

(b) ケーソン目地内部

ケーソン目地内部に空洞内部状況撮影装置 (1/6 インチ CCD カメラ) を挿入し、ビデオ撮影を行い空洞 360 度全方向の調査・分析を実施した。また 3D スキャニングソナーを用いて、ケーソン目地内部の状況を三次元計測し、その調査結果から目地透過波低減法の本現場への適用性を No.1~No.3 について検討した。

陥没発生箇所の No.1 の調査結果を表-3.1 及び図-3.3 に示す。袋詰めコンクリートの様な補修工は存在せず、ケーソンの陸側端部まで空間は広がっており水底の堆積物以外は確認されなかった。ケーソン目地部の水底部に

は石材がある傾斜を持って堆積していた (図-3.3)。水底部の堆積物は海側の中詰めブロックによって外海への流出が抑えられており、同堆積物以外は、ケーソン間に障害物はなく、基本的に入力波はケーソン間陸側正面を直撃する構造となっていた。従って、目地透過波低減法による波圧低減の効果は大きいと考えられる。

No.2 の調査結果を表-3.1 及び図-3.3 に示す。目地間には袋詰めコンクリートが有り、深さ 3m 程度まで続いていると推測される。しかし水底が粒径の大きな石堆積物で構成されていることや、背面の陥没状況からも、目地透過波により袋詰めコンクリートの破損や移動が起こり、波力の伝播経路が確立されてしまっていると考えられる。当該状況を継続した際には目地透過波が伝播しやすく大きな吸い出しが懸念されることから、袋詰めコンクリートの海側全面を覆う目地透過波低減法が有用であるといえる。

No.3 の調査結果を表-3.1 及び図-3.3 に示す。目地間には袋詰めコンクリートが有り、深さ 6m 程度まで続いていると推測される。水底には砂が堆積しているが、将来的に高波浪や消波ブロックの移動など外的条件が変わることで水底砂が取られ、目地開きも同等であることから隣接する No.2 箇所と同じ状況になる可能性がある。従って、袋詰めコンクリートの海側全面を覆うことができる目地透過波低減法が有用となりうる。また、本手法のネット材が沈下した場合でも上方からネット材を継ぎ足すことで安定に向けた対応が可能である。

(3) 実施工

目地透過波低減法の対象3箇所について、繊維製緩衝材であるネットを設置した。特にケーソン背面の防砂板の復旧は通常海水面程度までしか行えないため、ケーソン目地全面に対応し得ることと上述の様々な既設工・堆積物の影響下でも効果が発揮されるか否かを詳しく分析・検証した。この際、昭和40年代に築造され様々な対策工が行われた老朽化護岸の特徴として、

- ①目地部の間隔が350mmで基準より広い
- ②袋詰めコンクリートの様な想定外の既設波力低減工がある(目地部、背後部)
- ③既設波力低減工が機能を失い陥没が発生している
- ④ケーソン目地部に堆積物(石、砂)が存在する
- ⑤裏込め石、防砂シートが介在しない

があげられる。これらを課題として、ケーソン目地部に設置する透過波低減法の適用範囲の拡大検証を行った。

(a) ネット材の設置

ネット材の設置では特に築造後の経過時間が長く吸い出し対策工の影響を含め水底部に均一性が無い為、ガイ

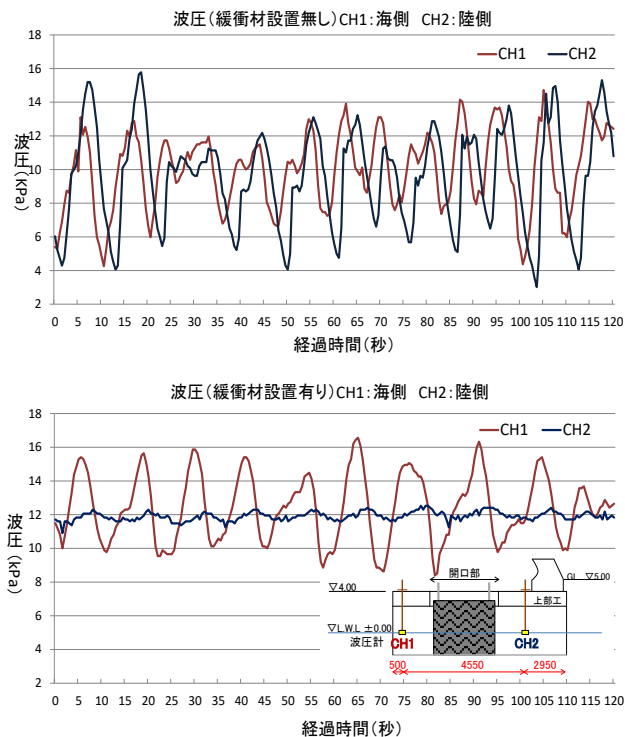


図-3.4 ケーソン間波圧変動の実測結果(上:設置前 下:設置後)

表-3.2 目地透過波低減法による透過率の変化: 実測結果

		単位: kpa	
		最大振幅	平均振幅
緩衝材 無	海側波圧 P1	9.32	2.96
	陸側波圧 P2	11.72	4.52
	透過率 P2/P1	125.8%	153.0%
↓ 緩衝材 有	海側波圧 P1	7.94	3.19
	陸側波圧 P2	0.93	0.33
	透過率 P2/P1	11.7%	10.2%



写真-3.1 緩衝材の設置及び緩衝状況

ドパイプの安定と波浪による開き等を防ぐため2本のパイプ間に拘束材を使用することでスムーズなネット材敷設を実現し、波浪及びケーソンの動きに追従可能とした。

(b) 緩衝効果の検証

緩衝効果の検証として、目地部の沖側・陸側双方で波圧 (CH1: P1, CH2: P2) を測定した。本実測結果を図-3.4 及び表-3.2 にまとめている。緩衝材なしの通常時には、広い目地間の防砂板からの反射波の影響で透過率 (P2/P1) は100%を超過しているのに対し、本手法の適用により、最大・平均波圧変動振幅ともに9割以上の透過波圧の減衰が実現された。これにより様々な特徴を有する既設老朽化施設に本手法の適用範囲が大きく拡大された。緩衝材の設置および緩衝状況を写真-3.1 に示している。

(c) 陥没現象の推移と目地透過波低減法の適用・検証

本現場の対象3箇所では、陥没箇所の背後地掘削調査後に、海水面以上の掘削可能高さにおいて、鉄板、コンクリート被覆、防砂シートによる吸い出し防止工を行っている。しかし3か月後に当初陥没のあった2箇所で陥没が再発生しており、そのまま埋め戻した際には、同様の時間サイクルで陥没が再発生することが想定された。このような陥没対策工から次の陥没が生じるまでの陥没サイクルが想定可能という希少な現場において本手法の有効性を検証した結果、陥没対策3箇所の内、3か月後に陥没事象が想定された No.1, No.2 では同期間が経過しても地盤に変状は無く、陥没の可能性があった箇所 No.3 でも変状が無いことを合わせて確認した。本結果を踏まえ、次章では、より詳しい3年間の追跡調査の結果を示している。

3.2 有効適用範囲と陥没抑止効果

2章記載の実海域試験時の標準的な既設護岸に加えて、老朽化護岸に対して、本手法を適用した結果、ケーソン目地透過波の大幅な低減効果が得られると共に、陥没サイクル抑止の有効性が実証されたことで、多様な目地間隔を有する既存施設への適用性が大きく拡大したといえる。さらに水底に堆積物がある場合でも有効であることが分かった。また袋詰めコンクリートをはじめとする既設波圧低減工が存在した場合も併用的に使用することが可能である。特に背後に設置された対策工は水位以下の部分の施工が困難なため、目地部からケーソン高さ全体を対象とできることに有用性がある。さらに既設対策工が損傷し、ケーソン移動により隙間が生成・拡大した場合においても、上述のようにケーソン高さ全体で対応でき有効性が高いといえる。供用期間の長い護岸でケーソン目地部に砂や石等の堆積物がある場合でも本手法は施工が可能であり効果が実証された。また、現行基準以前の構造で裏込め石や防砂シートが無い箇所⁹⁾においても、損傷防砂板の対策工法として有効であることが認められた。

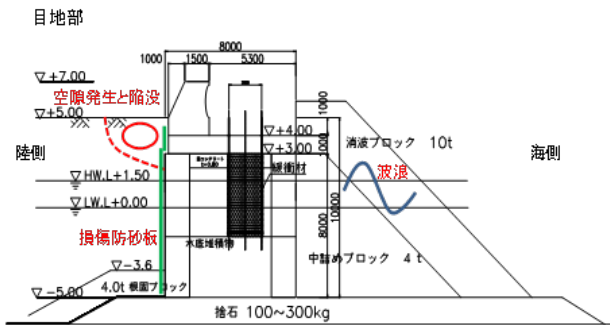


図-4.1 護岸構造と施工断面

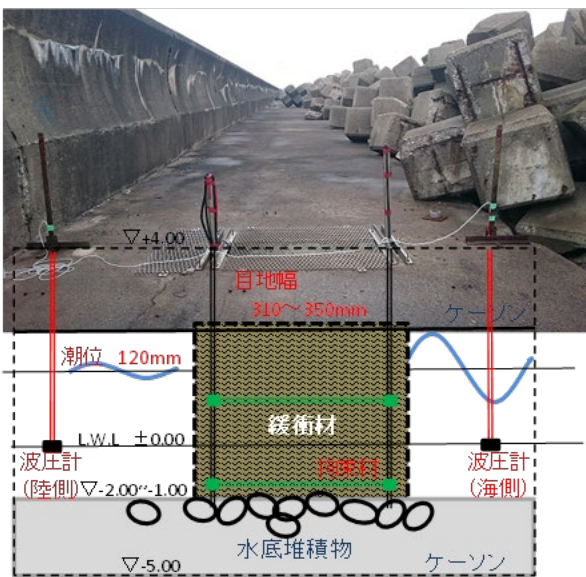


図-4.2 計測状況

以上の結果により、経年的なケーソン移動による目地幅拡大や過去の吸い出し対策・補修工などの特徴を持つ老朽化護岸・岸壁についても本手法の有効適用範囲とその施工性が実証された。

4. 目地透過波低減法の波力低減効果の継続性と陥没抑止効果の実証

本章では、上述の目地透過波低減法の波力低減効果の継続性と陥没抑止効果について、本手法が実施されたケーソン護岸における現地測定及び比較と現場適用後の継続的な追跡調査を通じて詳しく検証している。

4.1 波力低減効果の持続性の検証

緩衝材設置後1年間が経過した老朽化護岸の代表箇所にて波力計測を行い（図-4.1, 4.2）、設置直後の計測結果と比較した。現場では、緩衝材設置後の1年間に、高波浪の衝撃によるケーソン移動が及ぼす隙間の形状変化や前

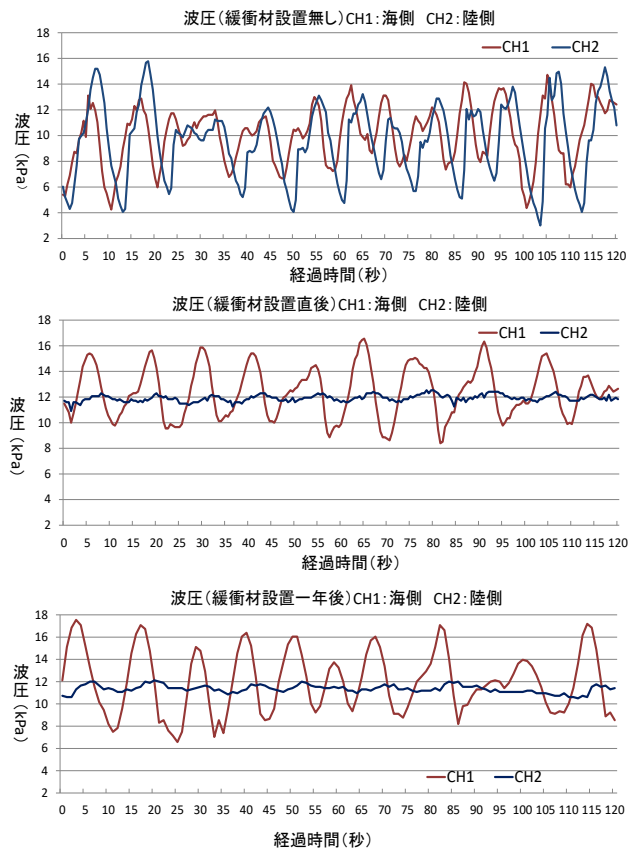


図-4.3 ケーソン間波圧変動の実測結果

表-4.1 透過波圧の低減効果：実測結果

		単位: kPa	
		最大振幅	平均振幅
緩衝材 無	海側波圧P1	9.32	2.96
	陸側波圧P2	11.72	4.52
	透過率P2/P1	125.8%	152.7%
緩衝材 有	海側波圧P1	7.94	3.19
	陸側波圧P2	0.93	0.33
	透過率P2/P1	11.7%	10.2%
緩衝材 有 (1年後)	海側波圧P1	11.20	7.10
	陸側波圧P2	1.39	0.38
	透過率P2/P1	12.4%	5.4%

面の消波ブロックの移動等の周辺環境の変化が生じていた。当該状況下で提案手法の波力低減効果の継続性を検証すべく、施工当時と同じ測定方法にて緩衝材の海側、陸側について波圧計測を行った結果を図-4.3に示す。緩衝材なしの通常時には、広い目地間の防砂板からの反射波の影響で透過率 (P2/P1) は100%を超過しているのに対し、本手法の適用により、最大振幅で約88%、平均振幅で約95%の波圧低減効果が得られており、設置直後の波圧低減効果が持続的に発揮されていることがわかる（表-4.1, 図-4.3）。

陥没発生箇所 No.1					
	陥没現象	陥没箇所の補修	陥没再発生 (2m x 5m)	目地透過波低減法適用 埋戻し	変状無し
	時期	2017.09	2017.12	2018.02	2021.10
陥没発生箇所 No.2					
	陥没現象	陥没箇所の補修	陥没再発生	目地透過波低減法適用 埋戻し	変状無し
	時期	2017.09	2017.12	2018.02	2021.10
陥没想定箇所 No.3					
	陥没無し・目地開き有り	目地開き箇所の補修	陥没無し	目地透過波低減法適用 埋戻し	変状無し
	時期	2017.09	2017.12	2018.02	2021.10
	将来的な陥没可能性	鉄板+コンクリート被覆 防砂シート設置 埋戻し	補修後3か月 最大有義波高5.4m 有義波周期 16sec	ネット材設置 埋戻し	ネット設置44か月 最大有義波高6.61m 有義波周期 18.5sec

図-4.4 陥没現象の推移と目地透過波低減法の適用・検証

4.2 陥没抑止効果の検証

陥没抑止効果の継続的な追跡調査対象 3 箇所では、3 章記載の通り、初期の陥没に対して背後地からの海水面以上の掘削可能高さにおいて吸い出し防止工が行われたが、図-4.4 に示すように 3 か月後に 2 箇所で陥没が再発生した。従って、そのまま埋戻した際には、同様の時間サイクルで陥没の再発生が懸念された。このような次の陥没が生じるまでの陥没サイクルが想定可能な現場で本手法を採用し、3 年間を通じて継続的な追跡調査を行った。特に、本手法の効果を直接検証する上で、当該調査期間の最大有義波高 (6.61m) が、陥没再発生に至った同波高 (5.4m) を上回る事実は重要である (図-4.4)。本調査結果より、陥没再発生が想定された No.1, No.2 及び将来の陥没の可能性があった No.3 の全ての箇所を上記陥没サイクルを 10 倍以上に上回る期間かつ従前の陥没に至った有義波高を上回る外力作用下でも、変状がなく陥没再発生が抑止されており、本技術の継続的な目地透過波低減効果と陥没抑止効果が実証された。

5. おわりに

本資料では、護岸・岸壁の吸い出し・陥没リスク抑制に向けて筆者らが新たに考案・構築した緩衝材によるケーソン目地透過波低減法の波力低減効果と陥没抑止効果について記載した。本手法は、防砂板損傷の主因であるケーソン目地透過波を大幅に低減することによって防砂板および当該構造物の長寿命化を図ると共に、護岸・岸壁の陥没リスクを大幅に抑制することを可能にした新技術である。

本技術の重要な特徴として、

- ① 陥没を引き起こすケーソン目地透過波力を 80% 以上低減することで、護岸・岸壁の吸い出し・陥没を抑止しうること、
- ② 従来工法では、高波浪等によるケーソンの移動により遮断材が機能を失うなどの課題があったが、本技術では当該問題を解決し、設置安定性も発揮していること、

- ③ 多様なケーソン目地間隔，水底堆積物，既存抑止工等に対応し，老朽化施設を含む全国の護岸・岸壁へ適応可能なこと，
- ④ 大掛かりな工事の不要，従前に比べて大幅なコスト・工期の縮減，及び，耐久性，耐候性，安全性の担保が挙げられる。

また，本技術の社会的意義及び発展性として，人命の安全性および施設の信頼性の向上，全国の老朽化施設を含むケーソン護岸・岸壁の長寿命化が期待できること，ならびに，発展途上国・先進国を含む同様の問題を有する現場への適用・展開が挙げられる。

一方，防砂シート損傷に起因する吸い出し・陥没リスク抑制においては，フィルター層^{15)~18)}の敷設が有効であり，今後の基準化が見込まれる。吸い出し・陥没抑止に向けて，これらの技術が幅広く活用されることが期待される。

本資料の付録として，ケーソン目地透過波低減法（ネットバッファ工法）の施工手順と品質の確保ならびに重要港湾および国際戦略港湾における主な施工事例集をまとめており，今後の一層の普及の一助となれば幸いである。

(2021年11月5日受付)

謝辞

本資料に記載した実海域試験に際し，国土交通省関東地方整備局鹿島港湾・空港整備事務所，茨城県鹿島港湾事務所の多大な協力を得た。施工に際しては三国屋建設株式会社の皆様，東洋機械株式会社の皆様に多大な協力を頂いた。ここに併せて深甚なる謝意を表す。また，本資料に記載した老朽化護岸の実施工現場で協力頂いた関係各位，施工事例資料を提供頂いた国土交通省関東地方整備局京浜港湾事務所，福島県相馬港湾建設事務所の多大な協力に深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 大蔵海岸陥没事故調査委員会報告書，土木学会海岸工学委員会，2002。
- 2) Sassa, S., Li, F. and Sekiguchi, H.: Response of saturated/unsaturated gravelly sand to tidal fluctuations, ASCE Geotechnical Special Publications, Vol. 143, pp. 174-186, 2005.
- 3) 高橋重雄，鈴木高二朗，徳淵克正，岡村知光，下迫健一郎，善功企，山崎浩之：護岸の吸い出しに関する水理模型実験，港湾空港技術研究所報告，第35巻，第2号，pp. 3-63, 1996。
- 4) 菅原吉浩，山本泰司，上久保勝美，岡村知光，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。

- 5) 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, Vol. 70, No. 2, pp. 552-557, 2014。
- 6) 武部悠一郎，鈴木高二朗，西野好生，西本安志：防砂板の変形モデルと設計手法に関する検証，土木学会論文集 B2, Vol. 71, No. 2, pp. 1177-1182, 2015。
- 7) 伊部知徳，小谷野喜二，吉永宙司：福井港海岸(福井地区)における護岸の裏埋め土砂の吸出し防止対策の検討，沿岸技術研究センター論文集，No. 7, 2007。
- 8) 玉木基夫，白井正生，大下善幸，伊部知徳：護岸の吸出し防止効果を検証する実証実験について。土木学会第63回年次学術講演会講演集，pp. 335-336, 2008。
- 9) 国土交通省・農林水産省：海岸保全施設維持管理マニュアル，2014。
- 10) 石坂修，佐々真志：吸い出し・陥没リスク抑制に向けた緩衝材によるケーソン目地透過波低減法と現地試験による実証，土木学会論文集 B2, Vol. 73, No.2, pp. 1477-1482. 2017。
- 11) 石坂修，佐々真志：吸い出し・陥没リスク抑制に向けた緩衝材によるケーソン目地透過波低減法の適用範囲の拡大と検証，土木学会論文集 B2, Vol. 74, No.2, pp. 1081-1086. 2018。
- 12) 石坂修，佐々真志：ケーソン目地透過波低減法の波力低減効果の継続性と陥没抑止効果の実証，土木学会論文集 B3, Vol. 75, No.2, pp. 421-425. 2019。
- 13) Sassa, S. and Ishizaka, O.: Net buffer method for suppressing internal erosion and collapse behind seawalls and quaywalls through caisson joint wave reduction, Coastal Engineering, 104061. doi:10.1016/j.coastaleng.2021.104061. 2021。
- 14) 沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書：13003, 2014。
- 15) 小林孝彰，佐々真志，鈴木高二朗，渡辺啓太，具志良太，前里尚，平野年洋：フィルター層による吸い出し防止と防砂シート損傷リスク低減効果に関する検討，土木学会論文集 B3, Vol. 73, No. 2, pp. 354-359. 2017。
- 16) 小林孝彰，佐々真志，梁順普，後藤翔矢：吸い出しと空洞形成及び陥没過程の可視化と防止対策としてのフィルター層の有効性，土木学会論文集 B3, Vol. 74, No. 2, pp. 264-269. 2018。
- 17) 工代健太，佐々真志，梁順普，後藤翔矢：様々な水理外力下における地盤内の空洞形成・陥没の進行過程および吸い出し抑止法の研究，土木学会論文集 B2, Vol. 75, No.2, pp. 937-942. 2019。
- 18) 工代健太，佐々真志，梁順普，高田康平，鈴木高二朗：地盤及び水理外力の特性を考慮した吸い出し・空洞形成・陥没機構とフィルター材による抑止法の研究，港湾空港技術研究所報告，Vol. 59, No. 3, pp. 1-20. 2020。

付録A 目地透過波低減法(ネットバッファ工法)の施工手順と品質の確保

A.1 ネットバッファ工法の施工手順

① 開口部の設置

上部工を開削してケーソン目地部を露出する

② ケーソン壁面部の清掃

ネットバッファの設置に際して、障害物や壁面付着物を除去する

③ 繊維製緩衝材(ネットバッファ)の設置

開口部より設置個所の形状を計測し、算出される所定数量以上の繊維製緩衝材(ネットバッファ)を設置する。

④ 開口部の処理

(1) 適用範囲と確認方法

(適用範囲)

本工法は一般的な護岸・岸壁のケーソン目地部に適用する。本工法に適用可能なケーソン目地隙間幅は60mm以上である。これ以下の狭小目地も場合によっては可能である。目地間に土質系の水底堆積物が存在する場合でも透過波低減効果を確認している。

(確認方法)

使用数量はケーソン間壁面部の清掃後に隙間幅、高さの測定を行い、所定の方法で確定する。

壁面の清掃後は、鋼管等を用いて壁面の突起物やケーソン間の障害物について確認を行う。出来る範囲で水中カメラなどによる確認を併用するのが望ましい。

繊維製緩衝材(ネットバッファ)の設置に関しても施工時・施工後に水中カメラによる確認が望ましい。

(2) 材料

目地透過波低減法(ネットバッファ工法)に使用する材料は、繊維製網状体として、後述の仕様を満足とするものとし、耐久性や安全性について一般財団法人沿岸技術研究センター等の公的機関による評価を有するものとしている。

補助材として使用される鋼製のガイドレール、中間拘束材については、亜鉛メッキ等を標準とするが、必要に応じてステンレス製を用いることも可能である。

A.2 ネットバッファの施工

(1) 施工前

写真-A.1は、ネットバッファ工法を採用した護岸工事の施工前状況である。



写真-A.1 ネットバッファ工法の施工前状況

(2) 開口部設置

ケーソン上に上部工が存在するときには、上部工を開削してケーソン目地部を露出させる必要がある。上部工の開削は次の3方法で行われている。

- ・連続したコアドリリングによって、上部工の一部を大きくラインカットする方法。
- ・目地幅をコア径に合わせて、連続したコアドリリングによって最低限の開口部を設置する方法。
- ・一部コアドリリングとワイヤーソーで上部工の一部を撤去する方法。

いずれの場合も切削機によるケーソンの損傷に留意し、切削に伴って発生する汚濁水の処理方法についても事前に計画する必要がある。上述の各手法の内容を以下に記す。

① 連続コアドリリング(上部工開口部をラインカット)

ネットバッファを設置後、コンクリートを打設して上部工を復旧するため、型枠工などの施工性を考慮して大きく上部工を開削している(写真-A.2, 写真-A.3)。切削機の冷却に伴う汚濁水の海上流出を考慮して、乾式コアドリリングを採用している。



写真-A.2 連続コアドリリングによる削孔状況

② 連続コアドリリング(コア径を開口部幅とする)

ネットバッファを挿入するための最低限のスペースを開削する方法(写真-A. 4).

③ ワイヤソーによる開削

開削の幅が大きいとき、又は切削する上部工が厚いときに使用する。施工に際して大量の水を使用するため、必要に応じて濁水対策が必要である(写真-A. 5)。

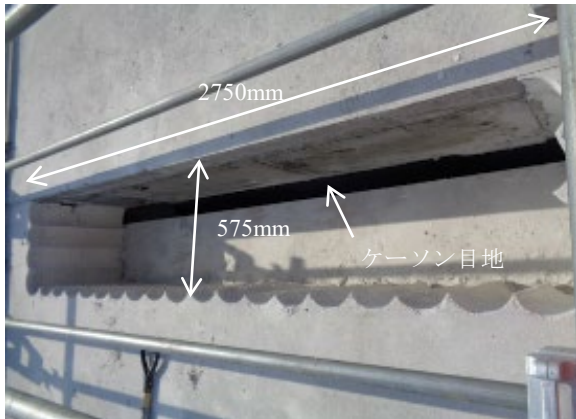


写真-A. 3 上部工の部分撤去完了

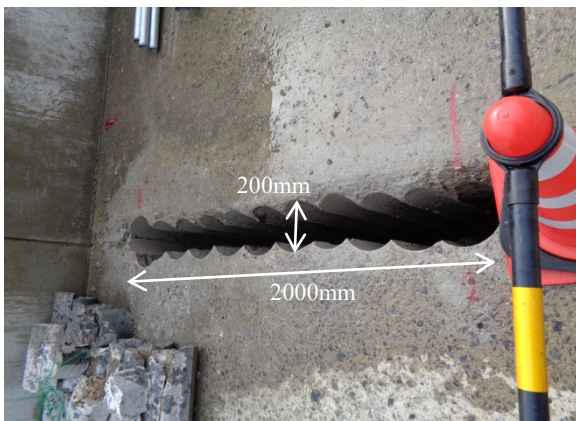


写真-A. 4 連続コアドリリングによる開口部

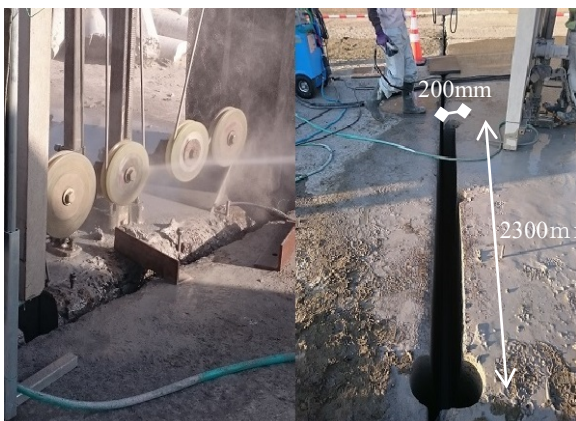


写真-A. 5 ワイヤソーによる開削

(3) 目地部清掃

開削して露出されたケーソン目地部の清掃は、ネットバッファの正しい設置のために、入念に行う必要がある。特にケーソン壁面の藤壺などの付着物は、施工を困難にして施工性を低下させる要因となる。また、ケーソン間の隙間に挟まったブイやコアドリリング時に割れて落下したコンクリート塊は施工の妨げになる。以下は鉄板を利用したケーソン壁面清掃状況(写真-A. 6, 写真-A. 7)、撤去する障害物(写真-A. 8)の例である。

① 鉄板による壁面清掃

クレーンを使用して開口部から鉄板をケーソン目地間に挿入し、上下に吊り上げ吊り降ろしを繰り返すことで壁面の清掃を行う。清掃に際して、鉄板の中間部を吊り上げることで、鉄板の上下端部をケーソン壁面と強く接触させ、効果的な付着物の除去を行っている。また、下端部にアングルを取り付けるなど、除去した付着物の回収に努めることも必要である。

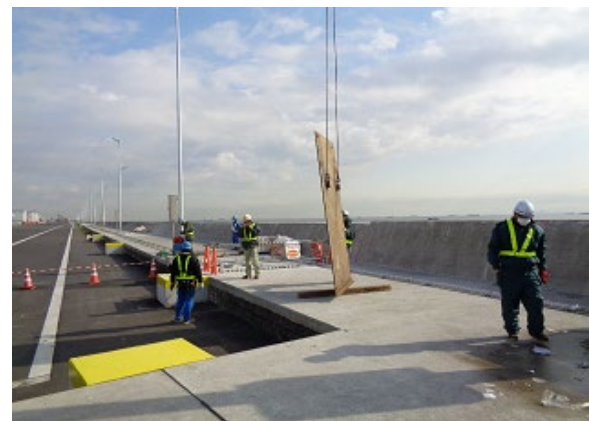


写真-A. 6 鉄板によるケーソン壁面の清掃

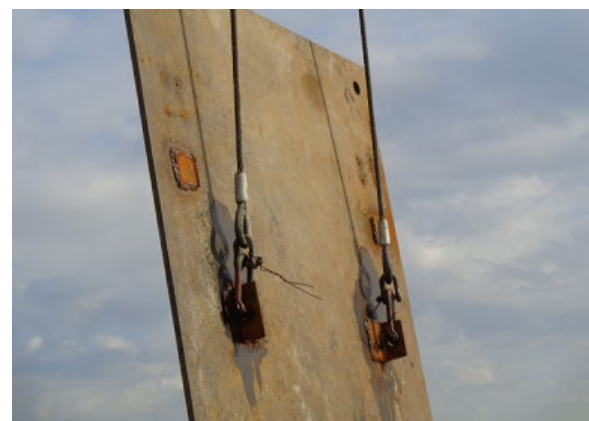


写真-A. 7 清掃に用いた鉄板



写真-A.8 ケーソン目地間に存在する障害物



写真-A.10 ケーソン目地部計測（高さ）



写真-A.9 水中カメラ（清掃確認用）



写真-A.11 ケーソン目地部計測（目地幅）

② 障害物撤去

ケーソン目地間に挟まれたブイ、流木等の障害物を撤去する。ケーソン目地は間隔が一定ではないため、撤去の際にはケーソン目地部の開く方向に留意する。

(4) 清掃後確認（水中カメラ）

清掃後の壁面状況の確認は、清掃で用いた鉄板を使用した感覚的な確認である程度可能だが、水中カメラの使用が可能であれば利用が望ましい（写真-A.9）。

(5) 目地空間の測定（高さ・目地幅）

ケーソン目地部の清掃後は、ケーソン目地空間の形状を測定する。水底までの高さ、天端、中間、下端での目地幅（沖川、陸側）、中間、下端での目地幅を測定する（図-A.1）。センサー等を用いる方法もあるが、一定の長さの棒状材を定規にした測定（写真-A.10）、水平振れ角度から目地幅を算出することもできる（写真-A.11）。

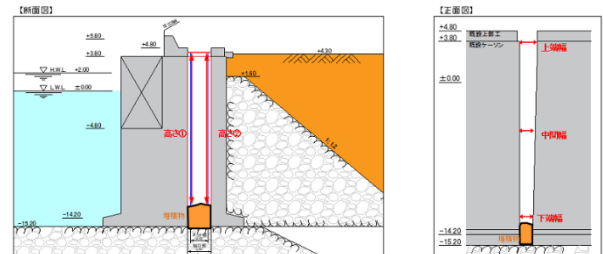


図-A.1 計測調査図の例

(6) 使用数量の確定

ケーソン目地部の形状測定結果からネットバッファの使用量を確定する。ネット材は強く詰めれば詰めるほど、高密度にて隙間に入り込む特性を有する。現場に応じた使用数量の算定については、これまでの実績箇所において目地透過波の低減率80%を確認済みの箇所のネット材密度から逆算し、回帰的にネットバッファの使用量を確定することができる（図-A.2）。

現場データ	過去データ		
設置高(m)	8	目地幅(m)	高さ当りNB(m)
目地幅(m)	0.2	0.15	12.00
		0.35	35.00
		0.31	31.11
		0.34	28.57
		0.10	8.00
		0.18	13.85
		0.40	32.31
回帰式	Y= 93.90619 X + -1.57		
想定使用数量	X= 0.2	Y= 17.2	
ケーソン高さ	8	NB(m)	137
		NB(枚数)	7

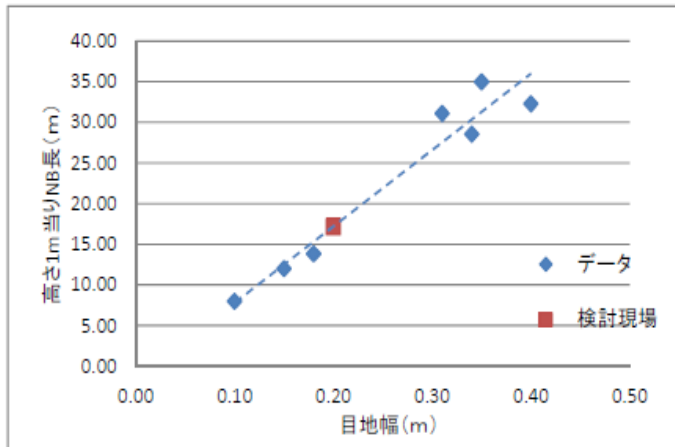


図-A.2 ネットバッファ数量の確定例（設置高さ 8m, 目地幅平均 20cm の場合）

(7) ネットバッファ施工

① ガイドパイプの設置

ネットバッファを効率的かつ均等に挿入するために、ガイドとなる鋼材（ガイドパイプ）を沖側，陸側にそれぞれ1本ずつ2本立てて使用する（写真-A.12）。ガイドパイプは、40A～50Aの亜鉛メッキのSGP管やステンレス鋼管を使用し、下端部には鋼管間を一定に拘束するための下端部拘束材を取り付けてコの字形に加工する（図-A.3）。そのため、ネットバッファ工では溶接工を必ず必要としており、鋼管の幅継ぎ溶接には特に留意が必要である。また、挿入時はガイドパイプにネットバッファの網目を通すため、鋼管接合部のバリは必ずサンダー等にて削り落として滑らかにしておく必要がある。

設置するケーソン目地部の海底高さは、現場堆積物によって沖側，陸側で高さが異なることが多い。ガイドパイプを安定的に設置するために、下端部拘束材より突き出す2本の鋼材の長さで調整を図る（写真-A.13）。留意点として、沖側，陸側の2本のパイプの間の海底面が隆起していた場合は、ガイドパイプ2本または1本が着底せずに全体が不安定になるため、隆起部を跨ぐ形でガイドパイプの長さを調整して、ガイドパイプをセットする。

② ロープの取り付け

ネットバッファを一つの塊としてケーソン目地部に存在させるために、設置前のガイドパイプに予めロープを添わせて固定する。これは、ガイドパイプが将来的に腐食したとしても、性能を保持することを念頭においたものである（写真-A.13）。



写真-A.12 ガイドパイプの設置

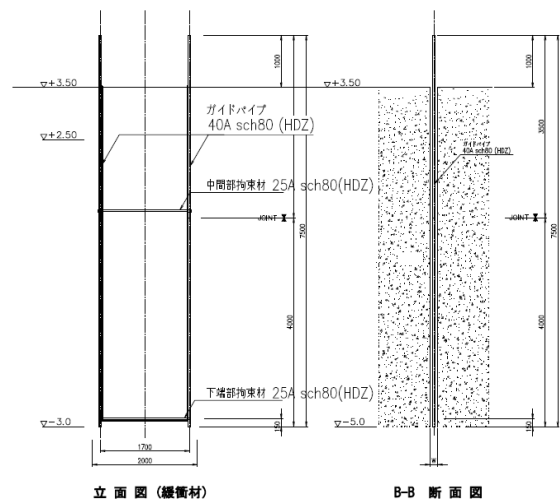


図-A.3 ガイドパイプ参考図

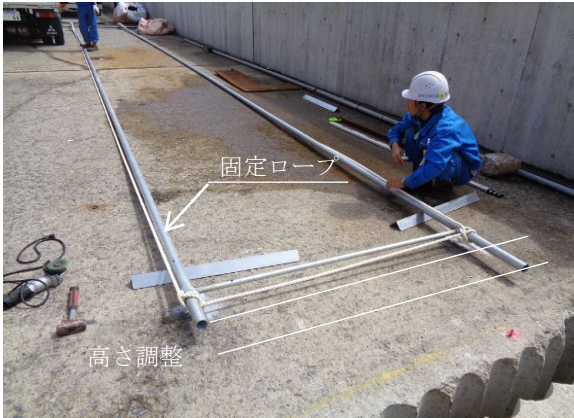


写真-A.13 固定用ロープの取り付け



写真-A.14 ネットバッファの挿入

③ 繊維製緩衝材の設置

ケーソン目地間に設置したガイドパイプでネットバッファを縫い込むようにつづらに網目を差して設置する(写真-A.14)。挿入するネットバッファ先端部には、海中に沈みこみやすいように予めウエイトチェーンを取り付けておく。チェーンは3kg/m以上のチェーンが望ましい。取付け方法は、ネットバッファの幅2mに、又は1m×2本に分割して両端部に短冊のように、ロープやインシュロックにて固定する。ネットバッファの網目をガイドパイプに30cm～100cmのピッチで差し込む。この時、両端部の網目の位置と差し込む方向が同じになるように注意する。

ネットバッファの規格は2.0m幅×20.0m長であり、20m毎に幅継ぎをする必要がある。幅継ぎはネットバッファの端部同士をロープまたはインシュロックによる結束で行う。この時、予め取り付けたウエイトチェーンは海底部にほぼ着底しているので、さらに沈み込みやすいようにウエイトチェーンを取り付ける。この後、ウエイトチェーンは接続部毎に取り付ける。

ネットバッファは、ケーソン高さが高いほど中間で引っ掛かりやすい為、ネットバッファ挿入の途中で詰め込み作業を行う。深さ、目地幅によって容易さが異なるが、鉄板による方法、または鋼管による詰め込みでネットバッファの挿入作業を進捗させる。この時、詰め込みの目安として、最初の目地幅測定時のデータから高さ毎の挿入量を算出して、残りの高さを確認しながらネットバッファが余らない様に設置する。

ネットバッファは、基本的に上部工より+50cmの高さまで設置する。すなわち、上部工がある場合、上部工と50cmオーバーラップする位置まで設置する。所定の高さまで設置が終了次第、ガイドパイプに添わしたロープ2本(沖側、陸側)を硬く固定する。

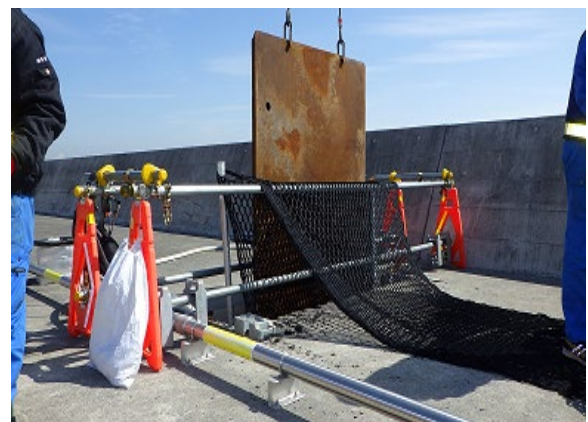


写真-A.15 鉄板による詰め込み作業



写真-A.16 鋼管等による詰め込み作業

④ 鉄板による詰め込み作業

ネットバッファをある程度挿入した段階で、クレーン車による鉄板の吊り上げ吊り降ろしでネットバッファをケーソン間目地部に詰め込む(写真-A.15)。この際、ネットバッファと鉄板の引っ掛かりに気を配り、ネットバッファの損傷を避ける。

⑤ 鋼管等による詰め込み作業

ネットバッファの詰め込み作業において、鉄板によらない場合は、鋼管等の棒状物を用いて、人力で突きながらネットバッファをケーソン間目地部に詰め込む(写真-A.16)。この際、棒状物がケーソン間目地部に落下しないように、棒状物にはリカバリーできるような工夫をしておく。又、棒状物が障害物にならないように留意する。

⑥ ネットバッファの接続

ネットバッファは陸上で取り扱いを容易にするため、単一長さを20mとしている。挿入に際してはこれを接続しながら設置する(写真-A.17)。この際、ネットバッファの端部はネット材の特性で丸まりやすく、丸まった状態で同士を結束すると大きな塊が出来てしまい、ケーソン目地部に詰まる恐れがある。従って、極力塊にならないよう注意が必要である。

(8) 水中設置状況の確認

ケーソン目地に設置されたネットバッファの出来高数量は、先に確定した使用数量に対する挿入量の対比で確



写真-A.17 接合部

認することができる。設置後の状況について、可能であればネットバッファの沖側または陸側から水中カメラで確認することが望ましい。また、ネットバッファの挿入途中でも、水中カメラによって状況を視認できることで、確実な施工が可能となる。写真-A.18,19に水中カメラの事例をあげている。いずれもWifi機能によってその場で水中画像の確認が出来、撮影・録画が可能である(写真-A.20)。

(9) 開口部復旧

ネットバッファの設置後は、開口部設置の為に開削した上部工を復旧するのが望ましい(写真-A.21)。これは、波浪がケーソン目地部に侵入した際のネットバッファによる波力低減効果を最大に機能させるためである。

復旧にはコンクリートを打設するが、ネットバッファがケーソン天端部から500mm立ち上がるため、開口部を大きく開削した場合には立ち上がり形状に型枠を予め設置し、いずれの開削方法でもネットバッファにコンクリートが入り込まないように養生する。



写真-A.19 水中カメラ2 (出来形確認用)



写真-A.18 水中カメラ (出来形確認用)



写真-A.20 ネットバッファ水中設置状況



写真-A.21 復旧完了

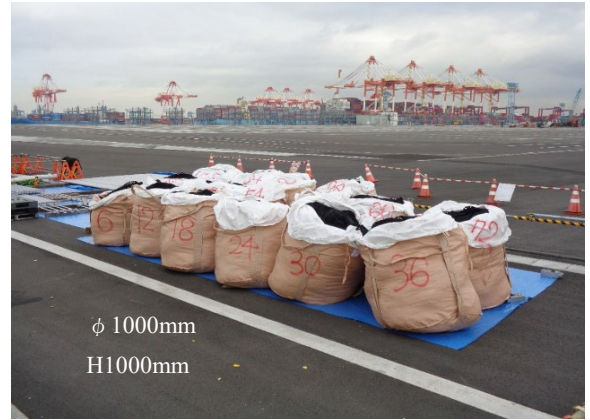


写真-A.23 荷姿 (6枚/梱包)



写真-A.22 ネットバッファ全景

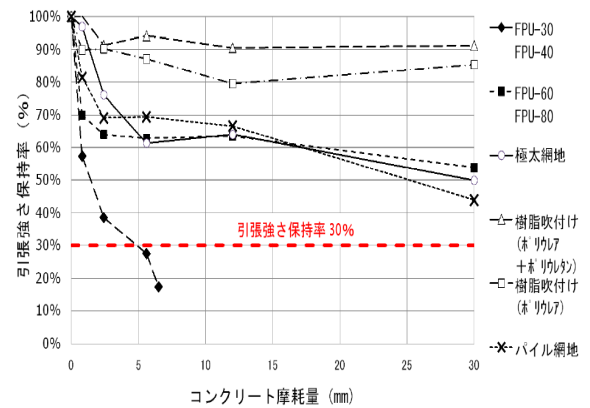


図-A.4 編地の耐摩耗性

A.3 材料

(1) 繊維製ネット緩衝材 (ネットバッファ)

① ネットバッファの規格

標準サイズ 2.0m幅 × 20m長さ (写真-A.22)

編地の仕様

材質 ポリエステル製ラッシュェル網 (黒原着)

網構成 1670dtex × 80本

網目 50mm

強度 引張強さ 2700N/本 以上

伸び率 30%以上 50%以下

(試験方法 JIS A 8960 準拠)

荷姿 φ1.0m × H1.0m (6枚/梱包) 約 300kg

(写真-A.23)

② 編地の耐久性

ネットバッファに使用される編地は、本資料2章記載の通り、その耐久性 (耐摩耗性・耐薬品性) が担保されている¹³⁾(図-A.4, 表-A.1).

表-A.1 素材編地の耐薬品性

試験薬品	タイプ 浸漬時間 (h)	A		B	
		引張強さ (N)	引張強さ 保持率 (%)	引張強さ (N)	引張強さ 保持率 (%)
—	0時間	525	100	757	100
塩化ナトリウム (3%)	500時間	542	103.2	783	103.4
	1000時間	535	102.0	758	100.2
水酸化ナトリウム (pH=11)	500時間	526	100.2	748	98.8
	1000時間	520	99.1	745	98.4
塩酸 (pH=3)	500時間	533	101.5	757	100.0
	1000時間	527	100.3	752	99.3
水酸化ナトリウム (pH=12)	500時間	506	96.3	754	99.7
	1000時間	485	92.4	684	90.4
塩酸 (pH=2)	500時間	540	102.9	782	103.3
	1000時間	531	101.2	778	102.8

(2) ガイドパイプ・中間拘束材

ガイドパイプは10m以上の長さが多いため定尺材を現場で溶接加工する。この際、中間拘束材を含めて亜鉛メッキ鋼材またはステンレス鋼材を使用する(写真-A.24, 25, 26)。



写真-A.24 ガイドパイプ

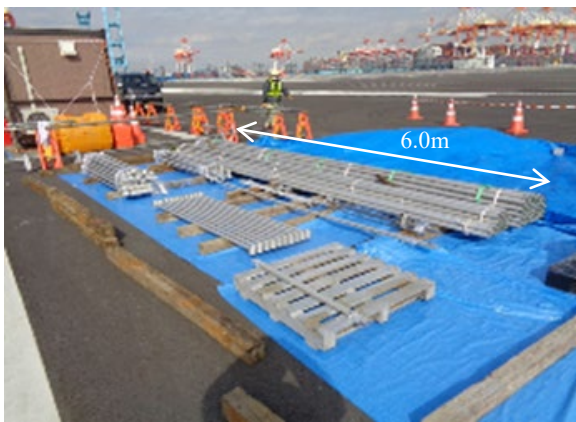


写真-A.25 ステンレス鋼材（定尺6m SUS316L）



写真-A.26 中間拘束材（SUS316）

付録B 主な施工事例集

B.1 横浜港 南本牧地区（神奈川県）

(1) 施工概要

- ・場 所 神奈川県横浜市中区南本牧地先
- ・時 期 令和2年12月～令和3年3月
- ・概 要

横浜港南本牧地区護岸の吸い出し防止対策として、ケーソン目地透過波低減法を採用し、ケーソン護岸上部工に開口部設置、繊維製緩衝材の敷設後、上部工が復旧された。

- ・施工断面 写真-B.1, 図-B.1に示す。

※尚、以下の写真-B.1～B.24は、関東地方整備局港湾空港部より提供されたものである。

(2) 施工状況

ネットバッファ工法を施工するにあたり、ケーソン目地部上部工を開削して開口部を作り、目地部空間形状を測定してネットバッファの使用数量を確定した。



写真-B.1 施工前

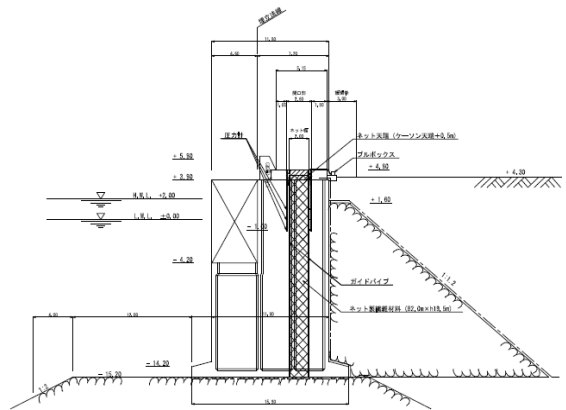


図-B.1 施工断面

① 開口部の設置

ケーソン目地部を露出するために、連続コアドリリングにより上部工をラインカットした(写真-B.2)。コアドリリングによる施工に際して、冷却水が汚濁水としてケーソン目地部から海上に流出する恐れがあるため、切削粉の集塵機能を持つ乾式のコアドリリングを採用した(

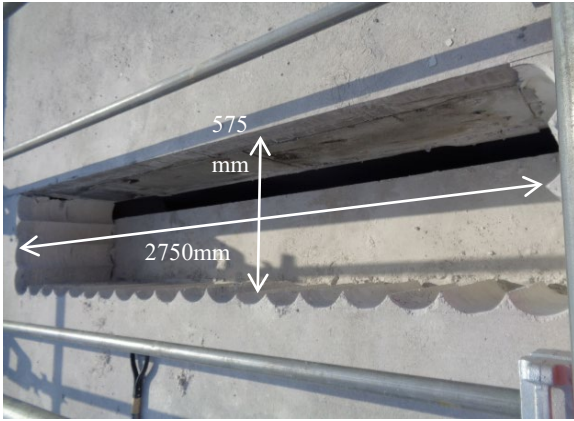


写真-B.2 開口部



写真-B.3 乾式コアドリリング



写真-B.4 乾式用バキュームタンク(左)と撤去された上部工の一部(右)

写真-B.3,4)。開口部の大きさは、復旧時の型枠分を計算して、目地方向 2750mm、目地幅方向 575mm とした。

② ケーソン目地間の清掃

ケーソン目地部にネットバッファを設置するにあたり、挿入に障害となるケーソン壁面の付着物やケーソン目地間に挟まる浮遊物等の撤去を行った。清掃には鉄板(1500mm×3000mm)を活用し(写真-B.5)、その吊り降ろしにより付着物を除去した。この際、ケーソン壁面への密着性を良くするために敷き鉄板の垂直方向のバランスを変化させている。また、削ぎ取られた付着物を回収するために、鉄板端部にアングルを取り付けて海底への落下防止を図った。本工事ではケーソン目地部に挟まった障害物は見られなかった。

③ 清掃状況確認(水中カメラ)

清掃後の壁面状況の確認は、清掃に使用した鉄板での感覚的な確認に合わせて、水中カメラによる確認を行った(写真-B.6)。

④ ネットバッファ数量の確定

清掃終了後にケーソン目地部の空間形状を測定した。



写真-B.5 清掃用鉄板



写真-B.6 水中カメラによる清掃面確認

測点は、ケーソンの高さ方向でケーソン天端部と中間部及び水底部、ケーソン目地方向で沖側、陸側の2点で6箇所を測定した(図-B.2)。ケーソンの高さ方向には、接続可能な2m長さの20Aの鋼管で専用治具を作成して測定した(写真-B.7 左写真)。また、ケーソン幅の測定は、先端に20cm~40cmのロッドを取り付け(写真-B.7 右下写真)、その振れ幅(角度)を測定して算出した(写真-B.7 右上写真)。この測定データより、海底から海面、海面から設置高さ(ケーソン天端+500mm)までの、ネットバッファの使用量を過去のデータより回帰的に算出した(図-B.3)。この過去のデータは、波力低減効果を実際に計

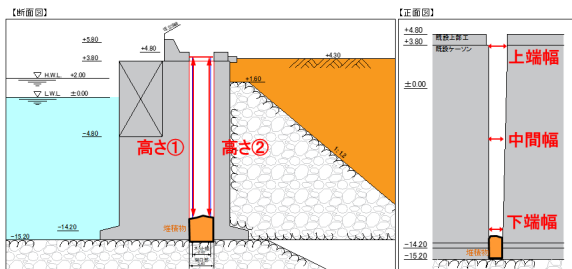


図-B.2 施工断面

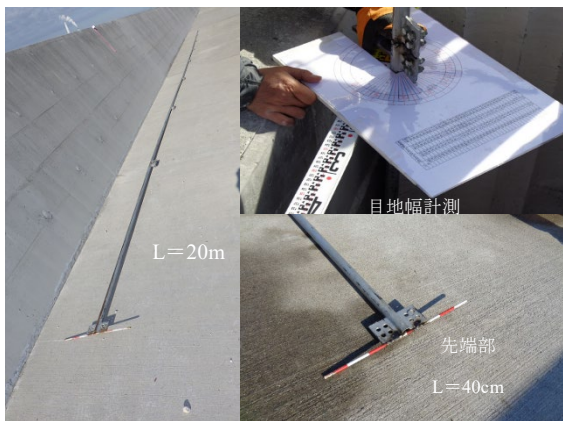


写真-B.7 測定用治具

測・実証した現場データを採用している。また、ケーソン目地幅の高さ毎の測定を通じた中間時点での挿入量の確認により、効果的な施工管理を実現した。続いて、ネットバッファの敷設を行う。この際、波浪の繰り返し作用のあるケーソン目地間に均一に施工するために、2本の鋼管をガイドとして使用する。鋼管にポリエステルロープを添わせ、ネットバッファを鋼管で網目を縫い込むように挿入した。

⑤ 材料

・ネットバッファ

仕様を図-B.4に示す。ネットバッファ工に使用する繊維製網状緩衝材は、幅2.0m、長さ20.0m(写真-B.8)でポリエステル製ラッシュル網構造、50mm目合いのものを使用する(写真-B.9)。素材は土木用繊維資材として公的機関の評価書を有しており、耐久性についての性能が実証されている¹³⁾。

・ガイドパイプ、中間・端部拘束材

ネットバッファの均一な挿入のためにガイドパイプを使用する(図-B.5)。ガイドパイプはステンレス鋼管(SUS316L 40A)を採用し、定尺6m(写真-B.10)を現場に



写真-B.8 ネットバッファの全体寸法

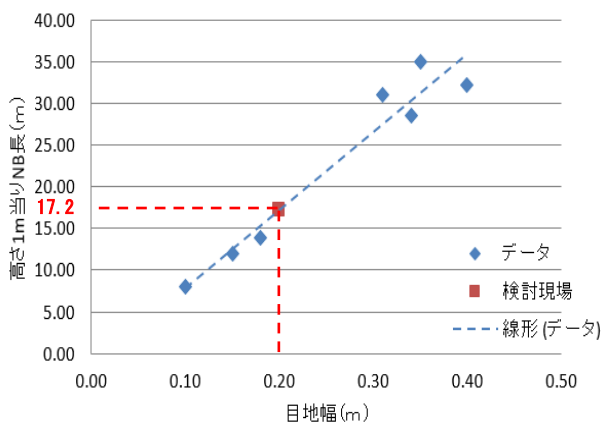


図-B.3 ネットバッファ必要数量(目地幅 20cm)



写真-B.9 ネットバッファの目合い

ネット製繊維材料 製品仕様		
仕 様	網地	ポリエステル製ラッシュェル網（黒原着糸 ¹⁾ ）
	網構成	1670dtex ²⁾ × 80本
	網目	50mm目
	網地	引張強さ ³⁾ 2700N（約270kgf）/本以上 伸び率 30%以上かつ50%以下

1) 黒原着糸：原料にカーボンブラックを練り込み、紡糸、延伸することで繊維を製造する。
2) dtex：「デシテックス」。繊維の長さ10,000m当りの質量をグラム数で表す織度の単位である。
3) 引張強さ：JIS A 8960に準ずる。

図-B.4 ネットバッファ仕様

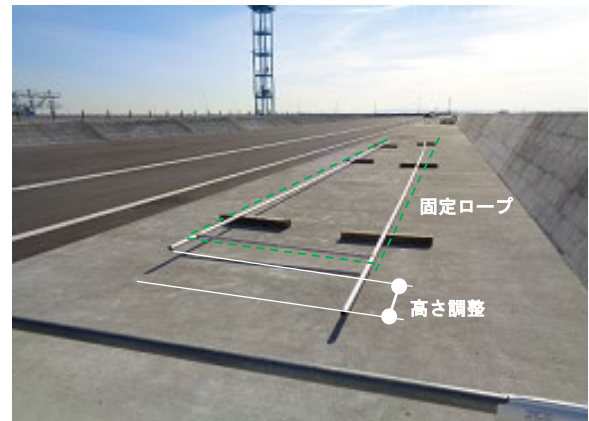


写真-B.11 加工後のガイドパイプ

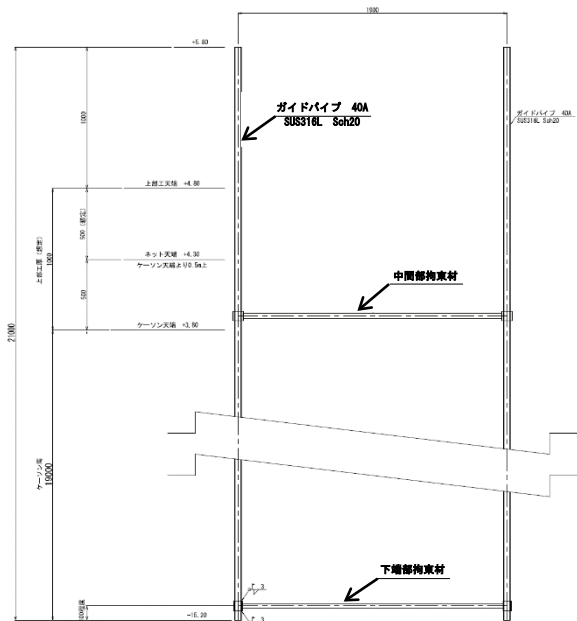


図-B.5 ガイドパイプ詳細図

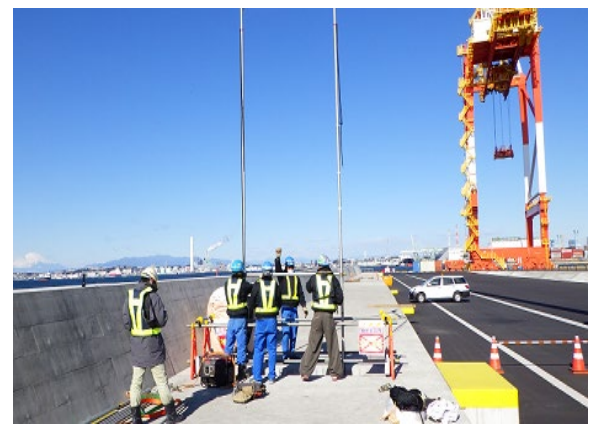


写真-B.12 ガイドパイプ設置状況

て施工の必要長に接続加工した。鋼管の必要長は、海底から上部工高さに挿入する上で必要な1mを加えた長さとしている。これを沖側と陸側で2本用意し海底側の端部を端部拘束材(写真-B.10)で固定し、コの字型にして設置した。また、ガイドパイプの中間部には施工中の安定を図るために中間部拘束材を(写真-B.10)を設置した。

⑥ ガイドパイプの設置

ガイドパイプには予めポリエステル製の固定ロープを添わせて取付け(写真-B.11)、コの字型のガイドパイプを清掃後のケーソン目地部に設置した(写真-B.12)。沖側と陸側で水底高さに差がある際は、ガイドパイプ設置時の安定を図り、ガイドパイプの下端長さで高さ調整を行う(写真-B.11)。また、沖側と陸側の中間が堆積物等で高い場合は、ガイドパイプが滑動をする恐れがあるため、堆積物を跨ぐ形で鋼管長さを調整する。

⑦ ネットバッファの挿入

ネットバッファは、2m幅で長さ20mを標準としている(写真-B.8)。この先端にウエイトとなるチェーン(3kg/m程度)を取り付け(写真-B.13)、本体編地の網目を鋼管に通



写真-B.10 ガイドパイプ用ステンレス鋼管(上段) 端部拘束材(左下)と中間拘束材(右下)



写真-B.13 ネットバッファの敷設



写真-B.15 ネットバッファの接続



写真-B.14 ネットバッファ設置状況

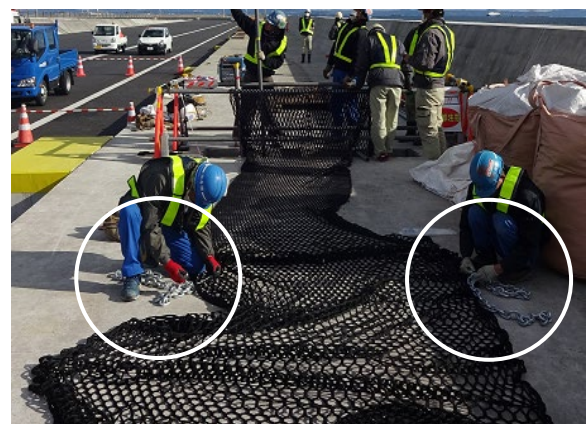


写真-B.16 中間ウエイトチェーン取付け

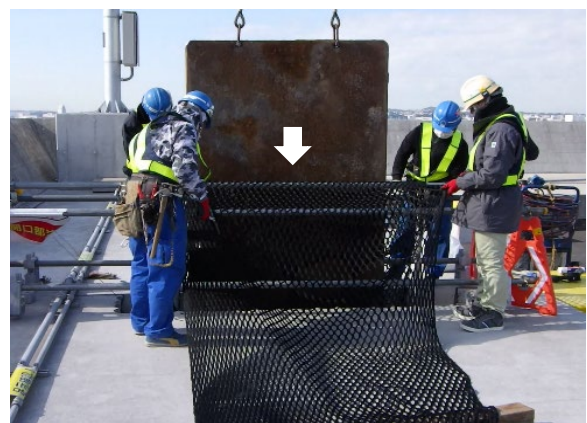


写真-B.17 鉄板による詰め込み作業

し、鋼管の芯でネットバッファの網目を縫い込むように挿入する(写真-B.14)。20mのネットバッファのもう一方の端部が開口部付近まで来た際に、次のネットバッファと端部同士をロープまたはインシュロック等で接続(写真-B.15)をし、以後所定高さになるまで同様に挿入を続ける。接続部の周辺には必要に応じてウエイトチェーンを取り付ける(写真-B.16)。ネットバッファがある程度挿入されたところで、クレーン車と鉄板を使用し、ケーソン

目地部のネットバッファを鉄板の重量で詰め込む(写真-B.17)。または、鋼管等棒状材を使用して人力にてネット材を詰め込む(写真-B.18)。これを繰り返しながら、当該箇所の所定数量のネットバッファを挿入する。ケーソン目地の空間形状は測量済みであり、海底からの立ち上がり高さ毎の予定数量を算出し、実際の挿入数量と比較



写真-B.18 鋼管等棒状材による詰め込み作業



写真-B.21 型枠に詰まったネットバッファ

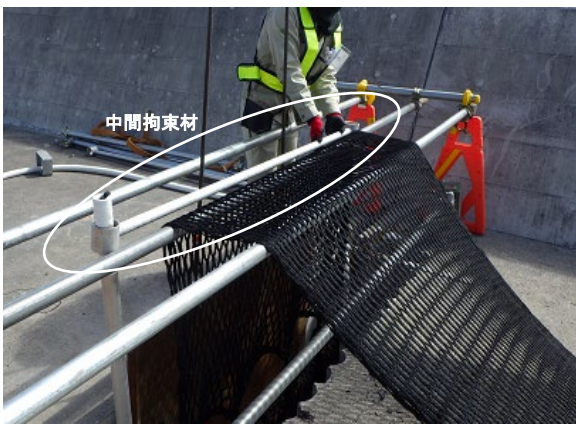


写真-B.19 中間拘束材の挿入

項目	位置	単位	施工箇所1			施工箇所2		
			設計 想定	事前 調査	実績	設計 想定	事前 調査	実績
目地開き	総平均	mm	225	208	-	185	199	-
ネットバッファ設置高さ	海側	m	19.5	16.5	-	19.5	12.8	-
	陸側	m	19.5	16.6	-	19.5	12.5	-
	平均	m	19.5	16.6	-	19.5	12.7	-
ネットバッファ数量		枚	20	16	17.0	16	12	13.0

図-B.6 管理表の例



写真-B.20 ネットバッファと上部工の取合い



写真-B.22 ケーソン目地に設置したネットバッファ

しつつ挿入を行う。鋼管等棒状材は詰まり具合を確認する定規の役割も果たしている(写真-B.18)。ネットバッファが挿入されて立ち上がってくる際、沖側の鋼管が受ける波力によって2本の鋼管間が狭まろうとする。この安定を図るために、中間で梁となる中間拘束材を設置する(写真-B.19)。ネットバッファはケーソン天端高さより+

500mm まで設置するため、上部工の開口部に予め 500mm 高さの型枠を設置してネットバッファを詰める(写真-B.20, 21)。さらに、ガイドパイプに沿って取り付けられた固定ロープでネットバッファを抑え込むように緊結する。

⑧ ネットバッファ出来高の確認

ネットバッファの出来高は、事前調査から得た数量に対する実績数量で判断する(図-B.6)。また、挿入状況については、水中カメラを用いて確認できる(写真-B.22)。

⑨ 上部工の復旧

写真-B.21 の状態から、ネットバッファ内にコンクリートが流れ込まないように型枠の上面に蓋をし、上部工の開



写真-B.23 上部工の復旧



写真-B.24 施工後

口部にコンクリートを流し込む。予め余分なガイドパイプは切断しておく。復旧施工後の状況を写真-B.23, 24に示す。

(3) 施工結果

本工事の結果、今後、気候変動により厳しさが増すことが想定されている波浪、高潮等の襲来に対して、外力が既設防砂板に直接作用することがなくなるため、背後地の健全度が向上し、陥没リスクが低減した。陥没リスクの低減により、当該現場における陥没復旧の懸念も減少した。これらを通じて、背後施設の人的安全性・信頼性が大きく向上したといえる。

B.2 鹿島港 外港地区（茨城県）

(1) 施工概要

- ・場 所 茨城県鹿嶋市平井地内
- ・時 期 平成30年9月～令和元年10月
- ・概 要
鹿島港外港地区の護岸では、高波浪の繰り返し作用による防砂板損傷により陥没が多数発生していた。防砂板への負荷を低減し、陥没リスクの低減を図る目的で、ネットバッファ工法が採用された。
- ・施工断面 写真-B.25、図-B.7に示す。

(2) 施工状況

ネットバッファ工法を施工するにあたり、ケーソン目地部上部工を開削して開口部を作り、目地部空間形状を測定した後、ネットバッファの使用数量を確定した。

① 開口部の設置

ケーソン目地部を露出するために、連続コアドリリングにより上部工を開削した(写真-B.26)。開口部はコア径200mmで目地方向2300mmに設置した(写真-B.27)。



写真-B.25 施工前

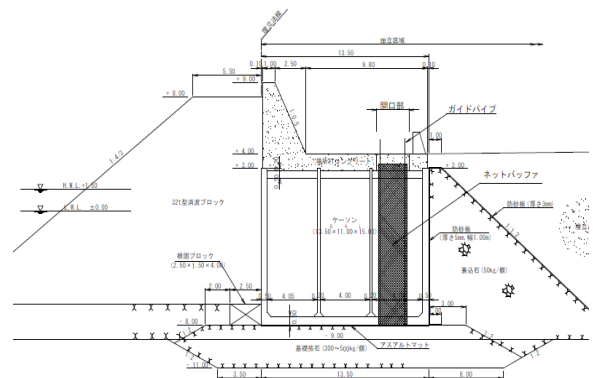


図-B.7 施工断面

② ケーソン目地間の清掃

開削後のケーソン間を確認した結果、かなりの築年数を経ていることと外海からの波浪が厳しいことから、ケーソン目地部にはブイなどの浮遊ゴミ、流木等が多くみられた。L字型に加工した鉄板(写真-B.28)を使用し、ネットバッファ敷設の障害となる目地部に挟まるゴミや浮遊ゴミ、流木の撤去を先ず行い、続いて 1500mm×



写真-B.26 コアドリリング

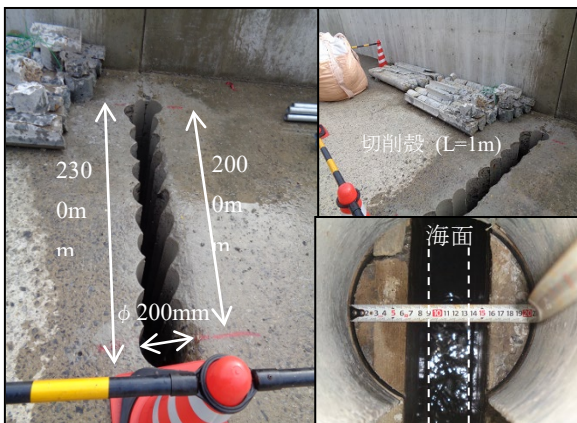


写真-B.27 開口部の形状と切削殻 (右上)



写真-B.28 目地間の障害物撤去



写真-B.29 清掃用鉄板



写真-B.30 目地部付着物清掃状況

6000mm の平鉄板(写真-B.29)を使用してケーソン壁面の付着物の除去を行った(写真-B.30)。除去は、鉄板をケーソン壁面に押し付け、その吊り上げ吊り降ろしの繰り返しにより行った。この際、ケーソン壁面への密着性を良くするために敷き鉄板の垂直方向のバランスを変化させた。また、削ぎ取られた付着物を回収するために、鉄板端部にアングルを取り付け海底への落下防止を図った(写真-B.29)。

③ 清掃状況確認

清掃に使用した鉄板を介して清掃後の壁面状況の確認を合せて行った。

④ ネットバッファ数量の確定

清掃終了後にケーソン目地部の空間形状を測定した。ケーソン高さを沖側から陸側に向かって6点、目地幅を沖側と陸側の2点計測した。ケーソン高さ方向の計測には、長尺に溶接した鋼管を使用した(写真-B.31)。この測定データより、海底から設置高さ(ケーソン天端+500mm)までのネットバッファの使用数量を、当該現場での試験施工や過去のデータより回帰的に算出した(図-B.8)。

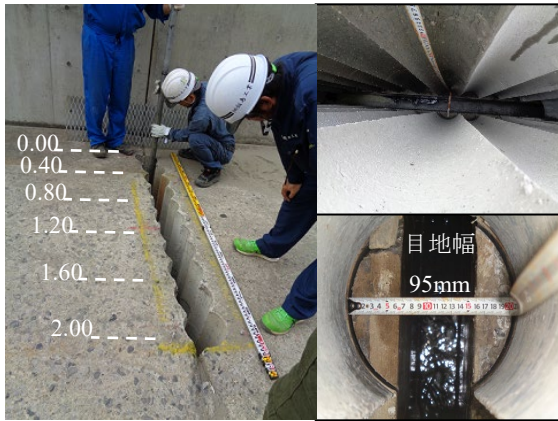


写真-B.31 目地部の計測状況

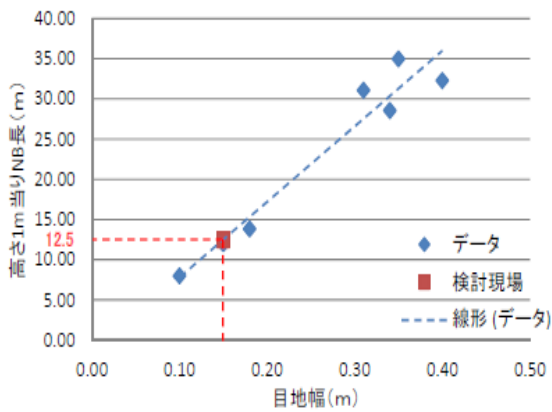


図-B.8 ネットバッファ必要数量(目地幅 15cm)

続いて、ネットバッファ工を行った。ネットバッファは、波浪の繰り返し作用があるケーソン目地間に均一に施工するために、2本の鋼管をガイドとして使用した。鋼管にはネットバッファと同素材のポリエステルロープを添わせ、ネットバッファは鋼管で網目を縫い込むように挿入した。

⑤ 材料

・ネットバッファ

ネットバッファ工に使用する繊維製網状緩衝材の規格を図-B.9に示す。規格寸法長さ20.0m、幅2.0mのポリエステル製ラッシュェル網構造(写真-B.32)であり、50mm目合いのシート状のネットを繋ぎ使用する。素材は、上述のとおり、土木用繊維資材として公的機関の評価書を有しており、耐久性能が担保されている。

・ガイドパイプ、中間・端部拘束材

ネットバッファの均一な挿入のためのガイドとして用いる鋼管は、亜鉛メッキ製SGP管を採用し、定尺品(写真-B.33)を現場にて施工の必要長に接続加工した。鋼管の必要長は、海底から上部工の高さに挿入するために必

要な1mを加えた長さとしている。これを、沖側と陸側で2本用意して海底側の端部を端部拘束材(写真-B.33)で固定シコの字型(写真-B.34)で設置した。

⑥ ガイドパイプの設置

ガイドパイプには予めポリエステル製の固定ロープを添わせて取付け(写真-B.34)、コの字型のガイドパイプを清掃後のケーソン目地部に設置した(図-B.35)。沖側と陸側で水底高さに差がある際は、ガイドパイプ設置時の安定性確保のため、ガイドパイプの下端長さで調整を行う(写真-B.34)。また、沖側と陸側の中間が堆積物等により高い場合は、ガイドパイプが滑動する恐れがあるため、堆積物を跨ぐ形で鋼管長さを調整した。

⑦ ネットバッファの挿入

ネットバッファは、2m幅、長さ20mを標準規格としている(図-B.9)。この先端にウエイトとなるチェーン(3kg/m程度)を2列取り付け(写真-B.36)、本体編地の網目を鋼管に通して、鋼管の芯でネットバッファの網目を縫い込むように挿入した(写真-B.37,38)。20mのネットバッファのもう一方の端部が開口部付近まで来た際、次のネットバッファと端部同士をロープで接続(写真-B.39)

項目		規格
寸法	幅 W (mm)	1,000 ±10%
		2,000 ±10%
	長さ L (m)	20 $\begin{smallmatrix} +3 \\ -0 \end{smallmatrix}$
網地	引張強さ N/本	2,700以上
	伸び率 (%)	30以上かつ50以下

図-B.9 ネットバッファの規格

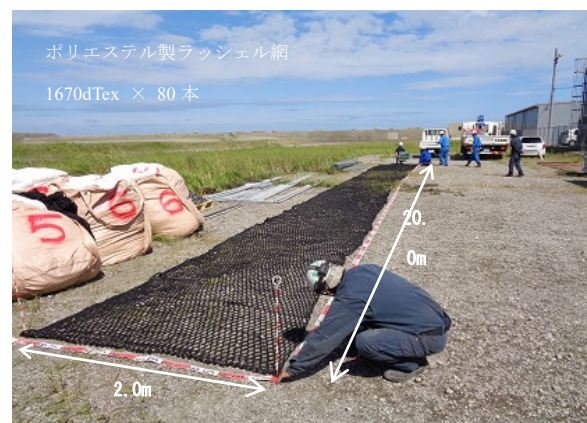


写真-B.32 ネットバッファの全体寸法

し、以後所定高さになるまで同様に挿入を続けた。さらに、接続部毎にウエイトチェーン(写真-B.39)を取り付けてネットバッファの挿入を確実にした。ネットバッファがある程度挿入された段階で、ケーソン目地部のネットバッファを、鋼管等棒状材を使用し人力にてネット材を詰め込む作業を行う(写真-B.40)。これを繰り返して、当該箇所在所定数量のネットバッファを挿入した。



写真-B.33 ガイドパイプ鋼管(上)・中間・端部拘束材(下)

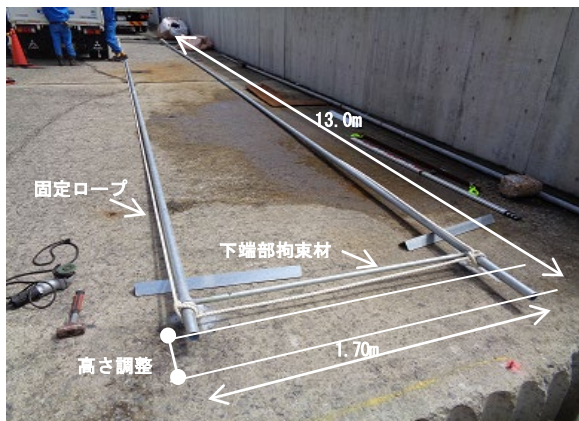


写真-B.34 加工したガイドパイプ



写真-B.35 ガイドパイプ設置状況



写真-B.36 ネットバッファ設置前(1枚目)



写真-B.37 ネットバッファ設置状況(1)



写真-B.38 ネットバッファ設置状況(2)

ケーソン目地の空間形状は測量済みであり、海底からの立ち上がり高さ毎に予定数量と挿入数量を確認し挿入を行った。ネットバッファが挿入され立ち上がってくると、沖側の鋼管が受ける波力により2本の鋼管間が狭まる傾向にあるため、安定を図る目的で、中間に梁となる中間拘束材を設置した(写真-B.41)。ネットバッファはケーソン



写真-B. 39 ネットバッファ接続状況



写真-B. 42 ガイドパイプの施工後固定状況

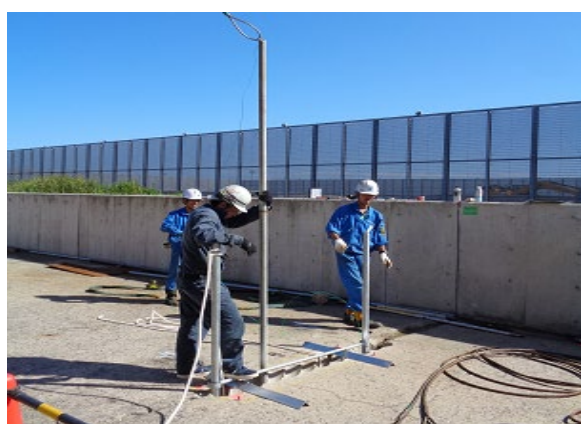


写真-B. 40 鋼管等棒状材による詰め込み作業



写真-B. 43 仮固定中のネットバッファ工



写真-B. 41 中間拘束材の挿入



写真-B. 44 ネットバッファ設置後全景

ン天端高さより+500mm まで設置するが、ネットバッファの将来の沈み込みを想定し、上部工の高さまで挿入した。ガイドパイプを固定用のアングルで仮固定(写真-B. 42, 43)して、すべての施工ケーソン目地について、ネットバッファの沈み込みの確認のため2週間程度の期間を置いた(写真-B. 44)。その後、ガイドパイプを切断して、

ケーソンに同パイプ素材にて固定した。開口部は設置後の可視化と車両通行の安全性を目的としてグレーチングによる復旧を行った(写真-B. 45)。グレーチングは、施工2年後の現在でも問題なく機能している。最終的には、コンクリートにより復旧予定である。



写真-B. 45 グレーチングによる復旧工



写真-B. 46 これまで慢性的に発生していた陥没

⑧ ネットバッファ出来高

ネットバッファの出来高は、当初測定から得た予定数量に対する使用数量で確認した。

(3) 施工結果

本工事後の結果、当該港でこれまで補修施工に関わらず慢性的に発生していた陥没(写真-B. 46)の再発が抑止され、当目地透過波低減法(ネットバッファ工法)の有効性が実証された。現在、当該現場の背後地には、貯炭場が供用され、さらに洋上風力発電設備の基地港の建設が進捗している。これまで陥没が発生していた箇所には、関連する道路建設が計画されており、本工法による陥没リスクの低減により、施設の安全性が大きく向上したといえる。

B.3 相馬港(福島県)

(1) 施工概要

- ・場 所 福島県相馬市
- ・時 期 令和2年2月
- ・概 要

相馬港において、高波浪に起因して陥没が発生した。当該護岸は過去にも被災した経緯があり、防砂板補修後に波浪抑止目的で抑止工が施されていた。それゆえ、今回の陥没は、既存抑止工ならびに防砂板損傷に伴う吸い出しによる陥没と推察された。復旧工事は防砂板及び既存抑止工の補修とともに、陥没を引き起こす目地透過波の低減を目的として、ネットバッファ工を設置することとなった。また、護岸上は釣り公園となっており、来園者の関係から長期的かつ大掛かりな工事が出来ない状態にあった。本現場はケーソンの上部工に覆土があり、土砂掘削・埋め戻しの必要がある。さらに設置後のネットバッファ工は、上部工の復旧に合わせてコンクリートで固定した。

- ・施工断面 図-B. 10, 写真-B. 47に示す。



写真-B. 47 施工前

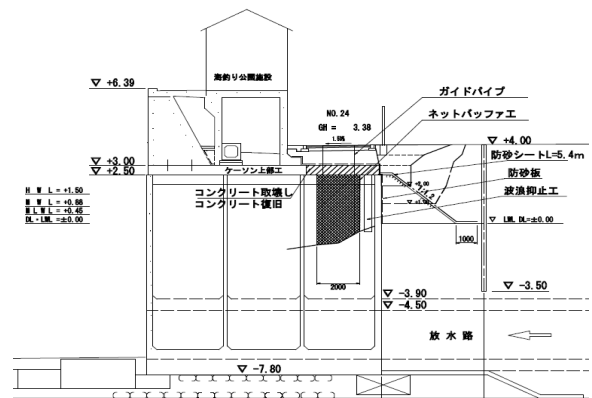


図-B. 10 施工断面

(2) 施工状況

本現場では、ケーソンの上部工に 1.0m の覆土と舗装があり、上部工の目地部上面にまで防砂板が取り付けられている(図-B.10)。これらを一時撤去して、上部工に連続コアドリリングで開削して開口部を設けた。開口部より露出したケーソン目地空間の清掃を行い、空間形状を測定してネットバッファの使用数量を確定した。

① 開口部の設置

ケーソン目地部を露出するために、舗装の撤去(既撤去)、覆土の掘削(写真-B.48)、上部工上側目地部の防砂板をめくり、上部工の目地部を連続コアドリリングにより開削した(写真-B.49)。事前調査の為に開けたφ300mmの削孔部をつなぎ合わせるようにφ150mmのコアドリリングでラインカットした。開口部の大きさは、コア径の150mm幅、目地方向には波浪抑止工を含む3700mmとした(写真-B.50)。

② ケーソン目地間の清掃

ケーソン壁面の清掃には鉄板(1500mm×6000mm)を使用し、その吊り上げ吊り降ろしより付着物を除去した(写真-B.51右)。その際、ケーソン壁面への密着性を良くするために敷き鉄板の垂直方向のバランスを変化させて使



写真-B.48 覆土の掘削状況



写真-B.49 コアドリリングによる削孔状況

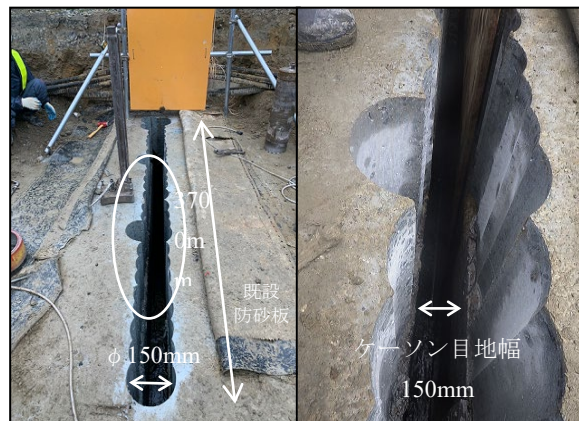


写真-B.50 開口部の形状と目地幅



写真-B.51 目地部付着物清掃状況

用した。また、削ぎ取られた付着物を回収するため、鉄板端部にアングルを取り付け海底への落下防止を図った(写真-B.51左)。清掃後の壁面状況について、目視と清掃に使用した鉄板を介して付着の確認を行った。

③ ネットバッファ数量の確定

清掃終了後にケーソン目地部の空間形状を測定した(写真-B.52)。ケーソン高さを沖側から陸側の3点、目地幅を沖側と陸側、中間点の3点計測した。ケーソン目地内には防砂板損傷によって背後地から流出したと推測される堆積物が存在した。ケーソンの高さ方向の計測は、コンクリート打設による上部工(t=500mm)の復旧を考慮して、現況の海底地盤からケーソン天端高さまでとした。この測定データより、設置に必要なネットバッファの数量を過去のデータより回帰的に算出した(図-B.11)。

続いて、ネットバッファ工を行った。ネットバッファは、波浪の繰り返し作用があるケーソン目地間に均一に施工するため、鋼管2本をガイドとして使用する。鋼管にはネットバッファと同素材のポリエステルロープを添わせ、ネットバッファを鋼管で網目を縫い込むように挿入した。

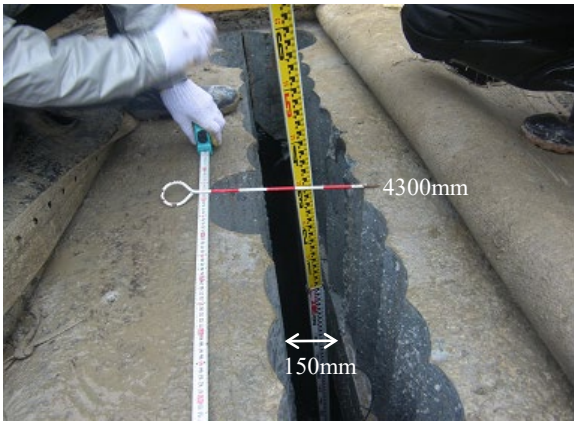


写真-B.52 目地部の計測状況

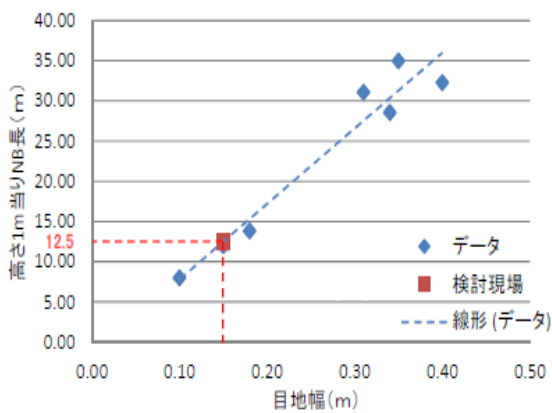


図-B.11 ネットバッファ必要数量(目地幅 15cm)

項目	規格	
寸法	幅 W (mm)	1,000 ±10%
	長さ L (m)	20 ⁺³ / ₋₀
網地	引張強さ N/本	2,700以上
	伸び率 (%)	30以上かつ50以下

図-B.12 ネットバッファの規格

④ 材料

- ・ネットバッファ

ネットバッファ工に使用する繊維製網状緩衝材(図-B.12)は、寸法長さ20.0m、幅2.0mを繋ぎながら使用する(写真-B.53)。素材は土木用繊維資材で公的機関の評価書を有しており、上述のとおり、耐久性能が担保されている。

- ・ガイドパイプ、中間・端部拘束材

ネットバッファの均一な挿入に使用するガイドパイプは、定尺品の鋼管を現場にて接続加工して使用する(写真-B.54右)。2本の鋼管は海底から上部工の高さに挿入する上で必要な1.0mを加えた長さとしている。これを、沖側と陸側で2本用意し、海底側の端部を端部拘束材(写真-B.54左)で固定してコの字型(写真-B.55)にして設置した。

⑤ ガイドパイプの設置

ガイドパイプには予めポリエステル製の固定ロープを添わせて取付け(写真-B.55)、コの字型のガイドパイプを清掃後のケーソン目地部に設置した(写真-B.56)。沖側と陸側で水底高さに差がある際は、ガイドパイプ設置時の安定を図る目的で、ガイドパイプの下端長さを調整する(写真-B.55)。また、沖側と陸側の中間が堆積物などで高い場合は、ガイドパイプが滑動をする恐れがあるため、堆積物を跨ぐ形に鋼管長さを調整した。

⑥ ネットバッファの挿入

ネットバッファは、2m幅で長さ20mを標準としている。この先端にウエイトとなるチェーン(3kg/m程度)を



写真-B.53 ネットバッファ寸法

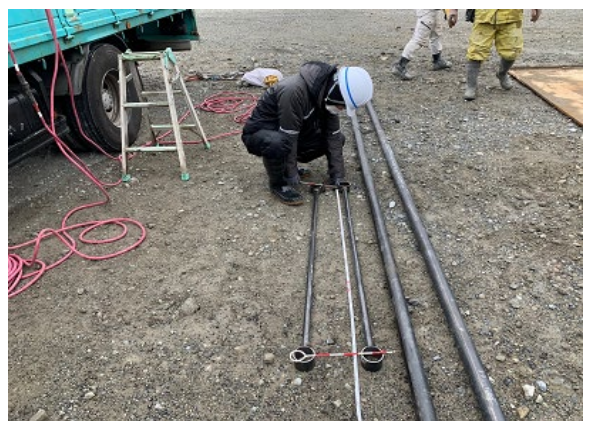


写真-B.54 ガイドパイプ用鋼管(右)
中間拘束材・端部拘束材(左)

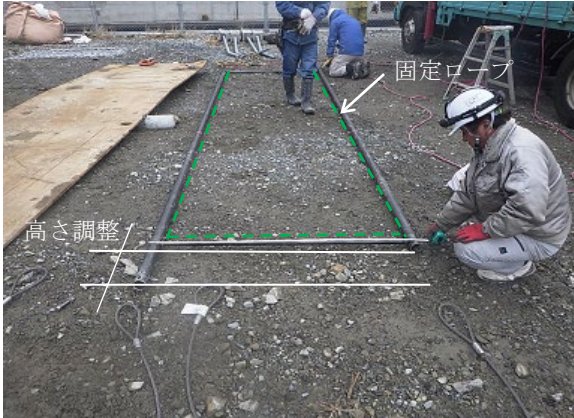


写真-B.55 ガイドパイプ



写真-B.58 ネットバッファ設置状況



写真-B.56 ガイドパイプ目地部設置状況



写真-B.59 ネットバッファの挿入高さ確認



写真-B.57 ネットバッファ設置(1枚目)

取り付け(写真-B.57), 本体編地の網目を鋼管に通して、鋼管の芯でネットバッファの網目を縫い込むように挿入した。ネットバッファがある程度挿入された段階(写真-B.58)で、ケーソン目地部のネットバッファを、鋼管等棒状材を使用して詰め込み、設置高さ当たりのネットバッファ挿入数量に留意しつつ所定高さまでネットバッ

ファを挿入した。長さ 20m のネットバッファはロープ接続をして挿入した。ネットバッファが挿入され立ち上がってくると、沖側の鋼管が受ける波力が 2 本の鋼管間を狭めようとするため、安定性確保のために中間で梁となる中間拘束材を設置した。ネットバッファはケーソン天端まで設置するが、上部工の厚さが 500mm のため、上部工天端高さから 500mm 下がりネットでネットバッファの上端を確認した(写真-B.59)。挿入した数量が予定数量と一致したことを確認し、ネットバッファの挿入を完了し、アングルにてガイドパイプの仮固定を行った(写真-B.60)。ネットバッファはガイドパイプと共に差し込まれている固定ロープでまとめるように固定した。

⑦ 上部工の復旧

本工事では、ネットバッファを挿入した数日後に上部工の開口部にコンクリートを打設して復旧した。コンクリート打設までにネットバッファの沈下はない。復旧はネットバッファ上に鉄板による簡易型枠を設置しコンクリートを打設した(写真-B.61)。コンクリートの硬化後、一時撤去した覆土を戻し、別途工事にて防砂板、波浪抑



写真-B.60 ネットバッファ設置完了

実現し、将来の陥没リスクを抑制・回避するとともに、当該護岸の長期安定性が大きく向上したといえる。この際、背後地掘削などの大掛かりな工事が不要であり、被災した波浪抑止工の残骸の影響を受けることなく、かつ、周辺施設の供用を止めることなく完工したことが重要である。



写真-B.61 上部工復旧コンクリート打設



写真-B.62 施工後

止工を含む現況復旧がなされた(写真-B.62)。

(3) 施工結果

目地透過波低減法を採用した本工事の結果、防砂板及び波浪抑止工の損傷に伴い発生した陥没災害に対して、吸い出し・陥没を引き起こす目地透過波の大幅な低減を

港湾空港技術研究所資料 No.1393

2021. 12

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

Copyright © (2021) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。