

JFE エンジニアリングの鉄構インフラ商品

Steel Infrastructure Structures of JFE Engineering

吉川 貴志 YOSHIKAWA Takashi JFE エンジニアリング 社会インフラ本部 鉄構インフラ事業部 技術部 部長代理
奈良 正 NARA Tadashi JFE エンジニアリング 社会インフラ本部 鉄構インフラ事業部 技術部 部長
鈴木 隆雄 SUZUKI Takao JFE エンジニアリング 社会インフラ本部 鉄構インフラ事業部 技術部

要旨

近年、わが国では、各地で頻発している災害（地震や水害）を受け土木インフラ設備の重要性に対する意識が高まるとともに、防災・環境・施工性・工期・維持管理・コスト等、設備に対するニーズの多様化も進んでいる。今後の土木構造設計においては、いかにそれらのニーズに対応していくかが重要となることが予想される。そこで、本稿ではJFE エンジニアリングが港湾分野において開発した独自商品について紹介し、これまでに集積してきた鋼構造技術を活用及び発展させることで新たなニーズに対応した事例について説明する。

Abstract:

In recent years, the awareness of the importance of civil infrastructure equipment has increased due to frequent occurrence of disasters (earthquakes and floods) in various places in Japan. And diversification of needs for facilities is also progressing, such as disaster prevention, environment, constructability, construction period, maintenance, and cost. It is expected that importance will be placed on how to respond to these needs in civil engineering design in the future. In this paper, we introduce the unique products developed by JFE Engineering in the port field, and explain examples that respond to new needs by utilizing and developing the steel structure technology.

1. はじめに

JFE エンジニアリングが港湾分野で独自商品として開発した3つの商品、①プレキャスト部材を多用し現地工事がシンプルな「ハイブリッド防潮堤[®]」、②杭同士の連結による簡便な既設栈橋の補強工法「深梁工法」、③土留め構造と一体化した栈橋で経済性と施工性を追求した「アーク矢板ジャケット」の特長、性能、施工実績を紹介する。

2. ハイブリッド防潮堤[®]

2.1 開発背景

2011年に発生した東日本大震災において、東北地方は壊滅的な被害を受けた。これを受けて、短期間で集中的に被災地復興を実現すべく、多数の復興工事が同時進行で進められてきた。その中で、「現地工程の短縮」、「現場作業員の削減」、「供給が不安定な現地生産資材の使用量の削減」といったニーズが生じた。これらのニーズに応える解決策として開発されたのがプレキャスト構造のハイブリッド防潮堤[®]である。

2.2 構造概要

本構造の概要図を図1に示す。ハイブリッド防潮堤[®]とは鋼とコンクリートのハイブリッド構造のプレキャスト部材（底版、防波版）と基礎杭（鋼管杭）から構成された防潮堤のことであり、5m～10m程度を1施工ユニットとして両端に打設された基礎杭により、防波版に作用する津波荷重に抵抗する構造体である。

図2に示すように、海側と陸側の基礎杭を結ぶ底版はSRC構造で、その両端はさや管となっており、基礎杭に被

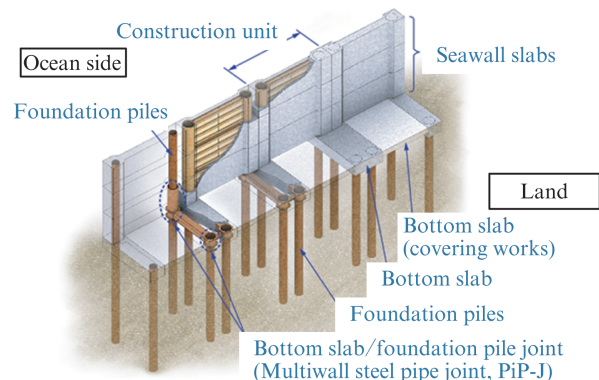


図1 ハイブリッド防潮堤[®]概要図

Fig. 1 Perspective view of hybrid sea wall

2018年9月10日受付

せることで二重鋼管を構築している。基礎杭とさや管の間は、グラウトを注入することで一体化されている。

図3に、津波荷重が作用した際の、横断方向の2次元骨組み解析により得られた曲げモーメント図を示す。曲げモーメントが最大になり最も応力が厳しくなる防波版の基部においては、基礎杭と底版さや管の二重鋼管構造が構成されているため、鋼管径を合理的に設計し、杭径を小さくすることが可能である。また、底版はSRC構造であるため、その曲げスパンを長くすることで、両端の偶力として生じる基礎杭の押し抜き力、引き抜き力を小さくすることができ、この面からも、杭径を小さくすることや、杭長を短くすることが可能である。

2.3 施工概要

ハイブリッド防潮堤®の標準的な施工フローを図4に示す。鋼構造工場にて内部鋼部材を製作後、プレキャスト工場に運搬し、配筋、コンクリート打設、養生を経て完成したブロックを現地へ搬入する。現地では、あらかじめ打設した基礎杭に、工場から搬入した底版ブロック及び防波版ブロックを順に基礎杭に差し込んだ後(写真1)、グラウトを充填し完成となる。

このシンプルな防潮堤構築が本工法の最大の特長であり、従前の現場打ち防潮堤と比較して、現地生コンの使用量を約80%、型枠を約95%削減することができる。また、一般的な現場打ちコンクリート構造物の現地作業(鉄筋組立、型枠組立、コンクリート打設、脱型、養生)も省略でき、現

地工程を約60%、現地作業(工数)を約80%削減することができるため、作業員が不足しているという環境下においても、省力化という面で有効な工法である。

2.4 施工実績

本工法の施工実績を図5に示す。

図内の数値は、整備延長、基礎杭(鋼管杭)重量およびブロック内部鋼材の重量である。本工法は、東北地方にお

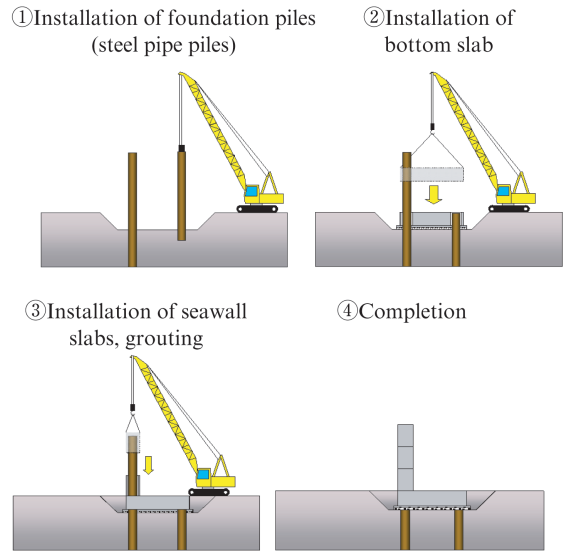


図4 ハイブリッド防潮堤®施工フロー
Fig. 4 Construction flow of hybrid sea wall

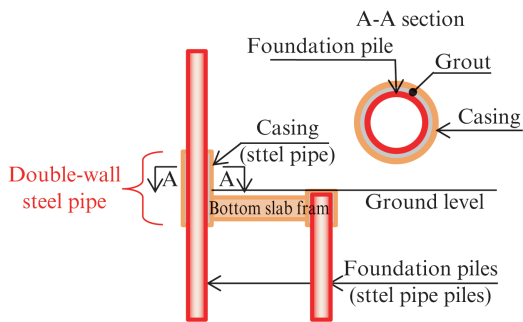


図2 ハイブリッド防潮堤®断面構成図
Fig. 2 Cross section of hybrid sea wall

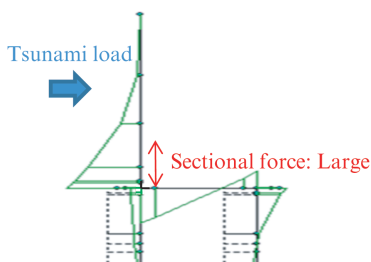


図3 曲げモーメント図
Fig. 3 Bending moment of frame analysis



写真1 ブロック据付状況(左:底版 右:防波版)
Photo 1 Installation of block
(left: bottom block, right: sea wall block)

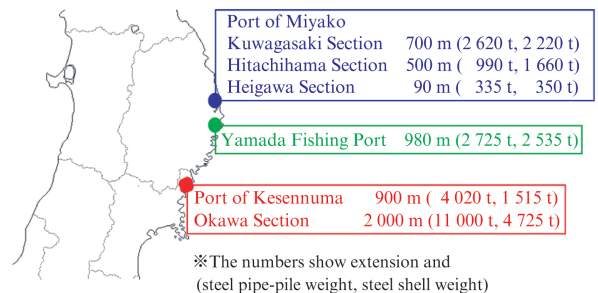


図5 施工実績
Fig. 5 Construction results

けるプレキャスト防潮堤の約70%のシェアを占めている。これらの地域では、防潮堤設置箇所付近に既設の建物があることや、現地資材の不足、現地工期の短縮化という課題があったが、本工法の特長が活かされ採用に至っている。

本工法は、2015年に第17回国土技術開発賞の優秀賞を受賞、2016年に新技術情報提供システム（NETIS）に登録されており、公的機関から技術的な評価を得ている。

3. 深梁工法

3.1 開発背景

港湾岸壁として多数用いられている杭式栈橋は、その多くで老朽化が進んでいる。さらに近年では船舶（主にクルーズ船）の大型化への対応、大規模地震に備えた耐震強化が求められるため、所定の性能を満足できないケースが増加し、補強対策を要することが喫緊な課題となっている。従来の杭式栈橋の補強工法として、杭の増設（増杭）などの対策が実施されてきたが、上部工を撤去し、増杭後、再度上部工を構築するなど、大掛かりな工事を必要とする。そのため、現地工期が長くなり、船舶の停泊など岸壁の利用が制限されるという問題をかかえている。

そこで、それらの課題を解決する簡便な栈橋補強工法である深梁工法を開発した。深梁工法は、図6に示すように既設杭の間に鋼製の箱型梁（深梁）を設置する工法で、杭や上部工などの既設部材を最大限活用（リユース）し、船舶大型化への対応、および耐震強化を実現しながら、栈橋を延命化することができる。さらに、既設部材に対し大掛かりな工事を伴わないことから、現地工事期間の大幅な短縮と岸壁を運用しながらの施工が可能である。

3.2 構造概要

深梁工法は、図7に示すように既設杭の間に、深梁を設置することで、栈橋を多層ラーメン構造へと変換させる。

それにより、栈橋の主荷重である地震力、船舶接岸力や牽引力等の横方向荷重作用時に杭頭に発生する曲げモーメントを、深梁が結合した杭の中間部へ分散させることができ、

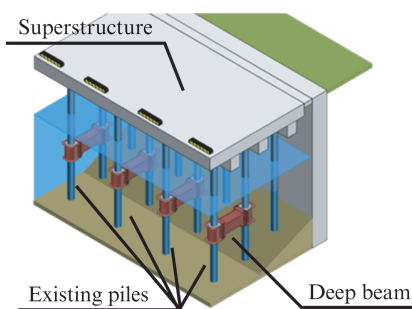


図6 深梁工法概要図

Fig. 6 Perspective view of deep beam construction method

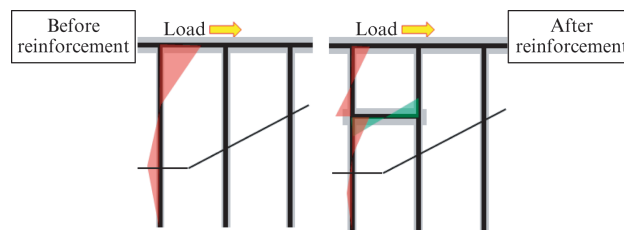


図7 曲げモーメント図（左：補強前 右：補強後）

Fig. 7 Bending moment of reinforcement method (left: before, right: after)

その結果、杭頭の曲げモーメントが減少し、杭や上部工などの既設部材を活かしながら栈橋の補強が可能となる。

深梁の構造を図8に示す。両端は「扉部」、中央部は「箱梁部」の鋼製部材で構成されており、扉部は可動して既設杭を囲い込むことができるようヒンジ構造となっており、閉扉後に箱梁部とボルトで締結する構造となっている。また、既設杭と深梁との一体化のために、既設杭と扉部内側にはスタッドを打ち、鉄筋を配置、間詰め材としてグラウトを水中打設する。この構造により、杭に発生した断面力は、スタッドとグラウトによって結合した深梁へ伝達する機構となっている。

3.3 設計・実験概要

深梁工法の設計は、栈橋構造全体系で骨組み計算を行い、既設杭上部工、及び仮定した深梁の部材を照査し、深梁の断面諸元を決定する。その後、全体系での計算より得られた断面力を用いて、深梁と既設杭との結合部の照査を行う。結合部の照査項目は、杭の周方向応力の照査、杭のせん断照査、グラウトの照査、鉄筋の照査、扉部鋼材の照査および杭とグラウトのずれせん断力に対する照査となっている。

深梁の構造上、結合部は特に重要箇所といえるため、これらの設計法の妥当性を検証するために実施している¹⁾、実大実験およびFEM解析を紹介する。

実大実験の状況を写真2に示す。

試験体は図9に示すように杭の曲げモーメント0位置から上部工までとした杭部と、深梁の曲げモーメント0位置か

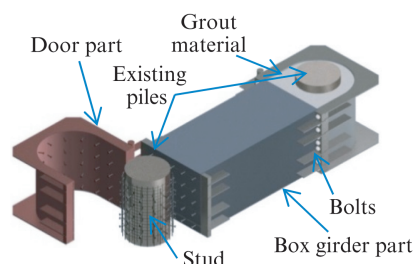


図8 深梁構造図

Fig. 8 Structure of deep beam

ら結合部までとした深梁部（端部のみ）から構成されている。この試験体は施工実績で紹介する大阪南港を想定した1/1縮尺となっている。なお、荷重として深梁端部に322 kN（設計荷重）を载荷した。

FEM解析では、実大実験と同じ荷重条件にて解析を行った。解析モデルを図10に示す。

これら実大実験結果、FEM解析結果および設計法で求めた結合部の照査値との比較を表1に示す。実験結果（計測値）と解析結果に乖離が見受けられるものの、設計により求めた値は、いずれの項目もそれら双方の値を包括しており、安全側の設計となるよう設定されている。

3.4 施工概要

深梁工法の施工フローを写真3に示す。

まず、既設杭に深梁の位置決めとなる架台を設置し（フロー①）、鋼構造工場で作製し現地搬入した深梁をクレーン

にて海面へ吊り下ろす（フロー②）。箱梁部は内部が中空となっているため、深梁自身とフローターの浮力を活用して据付位置付近まで浮遊運搬し（フロー③）、その後、沈設する（フロー④）ことが可能な構造となっている。所定の位置（フロー①で設置した架台位置）に引き込まれた深梁の扉部を杭を抱き込むように閉扉し、ボルトにより扉部と箱梁部を連結する。その後、深梁と杭とを一体化するためにグラウトを注入し（フロー⑤）、グラウト硬化をもって完了となる（フロー⑥）。深梁工法を従来の栈橋補強工法である増杭工法と比較すると、現地施工期間は60%（10ヶ月→6ヶ月）、供用停止期間は90%（9ヶ月→1ヶ月）の短縮が可能であり、ユーザーの補強・補修の際の最大の懸念と言える栈橋の供用停止期間をミニマム化できる工法である。

表1 実験結果と解析結果の比較

Table 1 Comparison between laboratory finding and analysis result

Verification item	(Unit: N/mm ²)		
	Test	FEM	Design
1) Grout stress	-2.7	-7.0	-8.0
2) Reinforcing steel stress	17.0	-	40.5
3) Pile shear stress	-	11.7	29.6
4) Pile circumferential stress	-90.0	-48.6	-95.6
5) Door (hoop tension) stress	32.0	69.8	86.7



写真2 実大実験

Photo 2 Full scale model experiment

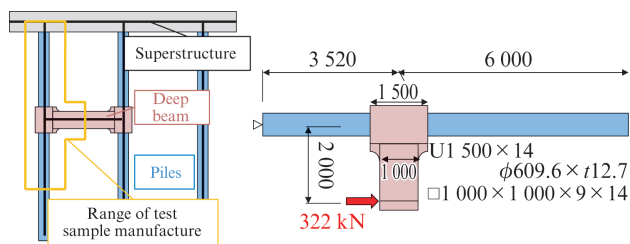


図9 試験体概要（左：構成 右：諸元）

Fig. 9 Experiment model (left: component parts, right: scale)

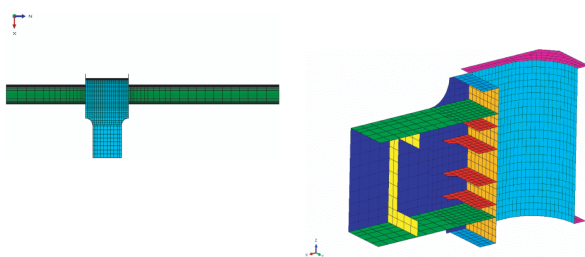


図10 FEM解析モデル

Fig. 10 FEM analysis model

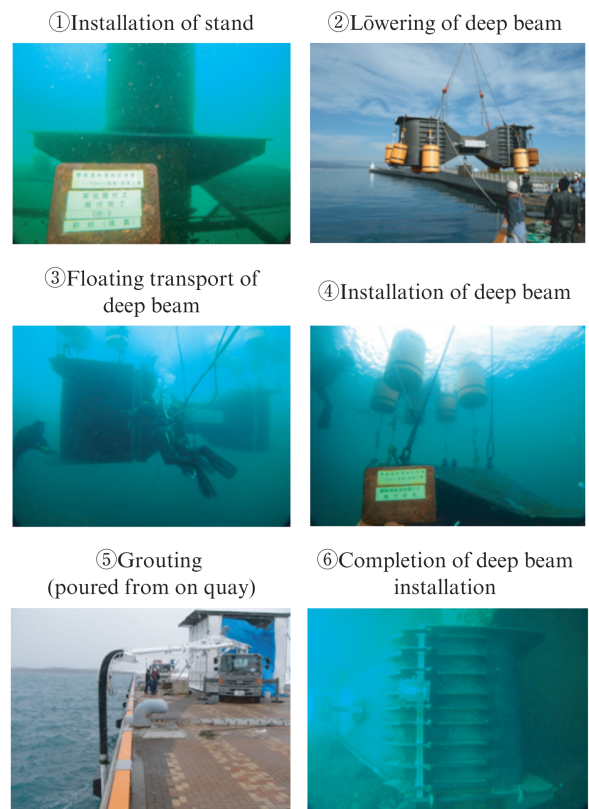


写真3 深梁工法施工フロー

Photo 3 Construction flow of deep beam construction method

3.5 施工実績

本工法の施工実績を下記に示す。いずれも現地施工期間は数ヶ月となっており、岸壁の供用停止を極力抑えて施工した。

①青森港本稿地区岸壁

基数: 35 基

現地施工期間: 2014 年 10 月～2015 年 2 月(供用停止なし)

②大阪南港フェリー埠頭(第一, 第二栈橋)(写真4)

基数: 第一栈橋 64 基, 第二栈橋 52 基

(第一) 現地施工期間: 2015 年 5 月～8 月(供用停止なし)

(第二) 現地施工期間: 2017 年 5 月～7 月(供用停止 10 日間)

③福島松川浦漁港

基数: 5 基

現地施工期間: 2016 年 9 月(供用停止なし)

また, 本工法は, 新技術情報提供システム (NETIS) に登録されているとともに, その優れた施工性および既存施設の延命化への寄与が評価され, 2018 年第 2 回インフラメンテナンス大賞の優秀賞を受賞した。

4. アーク矢板ジャケット

4.1 開発背景

港湾施設の栈橋は, 近年の船舶の大型化に伴う増深, 耐震性能の向上のために, より大型化が求められており, これらに適したジャケット工法が採用される機会が増えている。

また, 一般的な栈橋式の岸壁は, 背後に埋立土の土留めとして機能する矢板構造や L 型擁壁と, 前面の係船岸として機能する杭式栈橋から構成されており, それぞれ荷重伝達されない独立した構造となっている。

そこで, 土留め構造とジャケット構造を一体化し, 合理的で経済性に優れたアーク矢板ジャケットを開発した²⁾。土留め壁としての鋼矢板がジャケットと一体化されており, 背面土圧はジャケット構造が受け持つことで, 栈橋+土留めの機能を有した構造となっている。また, ジャケットの据付と矢板工が連続して施工できることで, 現地工期の短縮につながっている。



写真4 深梁 (大阪南港)

Photo 4 Deep beam (Osaka South Port)

4.2 構造概要

アーク矢板ジャケットの概要を図 11 に示す。

前面のジャケット式栈橋, 背面の鋼矢板セルのアーク矢板壁を一体化した構造となっている。アーク矢板壁は, 直線型鋼矢板を円弧状に配置するため, 背面の土圧は円内周方向の引張力(フープテンション)となり, 鋼材の引張強度を有効に利用することができる。

アーク矢板壁とジャケットとの取合いを図 12 に示す。

サドル部と呼ぶ鉛直方向に線支持する取合い構造としており, 鋼板とジャケットレグの間にはグラウトを現場にて充填する。背面の土圧は, アーク矢板壁のフープテンションからサドル部のグラウトを介して支圧で前面のジャケットに伝達される。

したがって, アーク矢板ジャケットは, 土留め壁として鋼

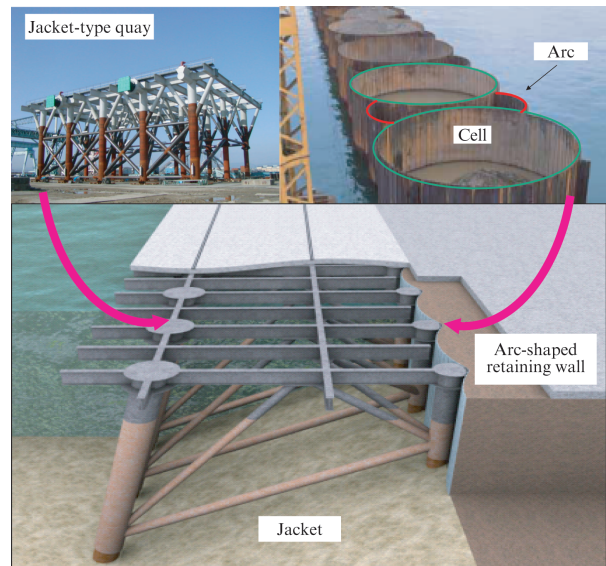


図 11 アーク矢板ジャケット概要図

Fig. 11 Jacket type quay with arc-shaped retaining wall

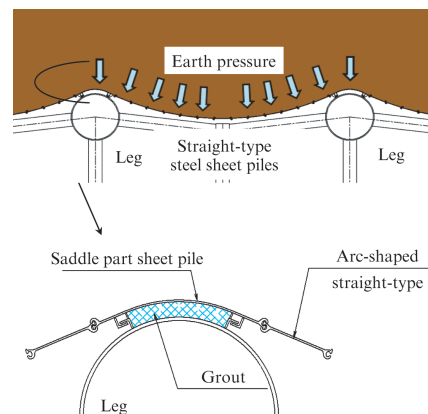


図 12 アーク矢板壁とジャケットの連結

Fig. 12 Connection between arc-shaped wall and jacket leg

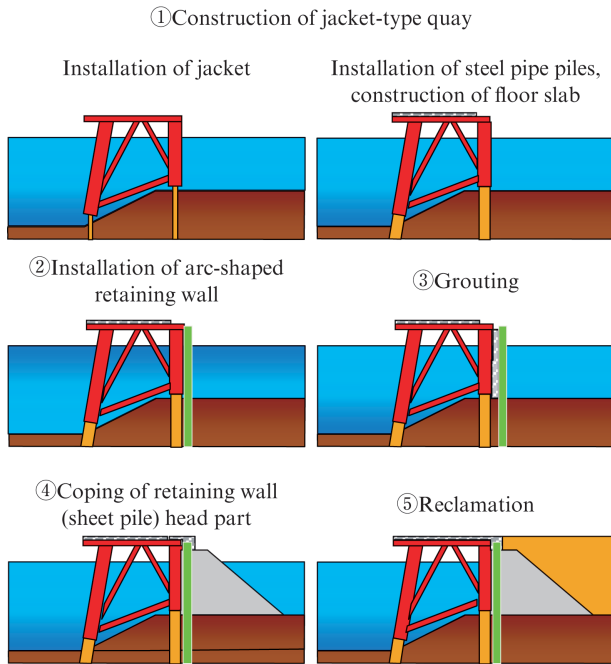


図 13 アーク矢板ジャケット施工フロー

Fig. 13 Construction flow of jacket type quay with arc-shaped retaining wall

矢板を用いること、従来独立していた土留めと栈橋を一体化することで、従来工法よりも鋼材重量の低減を図った構造となっている。

4.3 施工概要

図 13 に本工法の施工フローを示す。まず、通常のジャケット式栈橋の構築と同様に、鋼管杭を打設し、ジャケットを据付け、床版を施工する (①)。次に導材をジャケットの陸側に設置して、直線形鋼矢板をジャケットレグ間にアーク状に打設する (②)。その後、サドル部の鋼板-レグ間にグラウトを充填し (③)、矢板頭部にコンクリートをコーピングして土留め壁を構築する。最後に、背後の裏込め、埋立を行い岸壁を完成させる。

本工法は現地土留め工種が少ないので、従来工法より約 30% の工期短縮が可能である。

4.4 施工実績

アーク矢板ジャケットの施工実績を下記に示す。

① 仙台塩釜港 仙台港区中野地区 (写真 5)

岸壁水深 : -14 m

ジャケット : $L=37.5\text{ m} \times 8$ 基

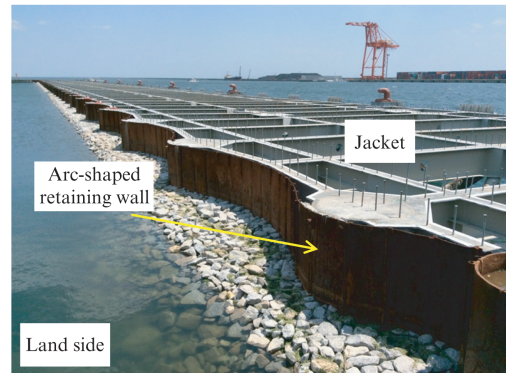


写真 5 仙台塩釜港

Photo 5 Sendai Shioigama Port

② 八代港外港地区

岸壁水深 : -12 m

ジャケット : $L=60.0\text{ m} \times 3$ 基

仙台塩釜港での工事実績を基に従来技術と比較すると、経済性に優れていることや、急速施工が可能なのが評価され、NETIS の活用効果調査において B 評価 (従来技術より優れる) を取得しており、2018 年には第 20 回国土技術開発賞の入賞を受賞した。

5. おわりに

JFE エンジニアリング鉄構インフラ事業部では、これら 3 商品を中心に、港湾機能の強化、コスト削減、インフラ施設の延命化、および沿岸域の安全安心につながるサービス展開を強化していく。

参考文献

- 1) 鈴木隆雄. 橋補強工法 (深梁工法) における設計法の妥当性検証. JFE エンジニアリング論文誌. 2018, vol. 2, p. 94-100.
- 2) 田中祐人, 塩崎禎郎, 末田明. アーク矢板土留め付きジャケット岸壁の開発. JFE 技報. 2010, no. 25, p. 51-59.



吉川 貴志



奈良 正



鈴木 隆雄