

四日市港霞ヶ浦地区国際物流ターミナル整備事業 ～安全第一！土留ケーソン据付工事～

伊藤 奏海

四日市港湾事務所 保全課（〒510-0064 三重県四日市市新正三丁目7番27号）

本事業は、供用中の施設に隣接する連続バースとして新たに水深14mの耐震強化岸壁を整備するものである。今回行った土留ケーソン据付工事では、隣接する岸壁の荷役予定や輻輳する工事との工程調整、現地調査結果に伴う据付方法の見直しなど複雑な現場条件に合わせた対応が求められた。このため、本工事ではICT等を活用し、施工効率の向上を図りながら課題解決に取り組み、安全第一で工事を進めた。本論文では、土留ケーソン据付工事の概要をはじめ、施工上の課題点、それに対する対応・工夫および得られた成果を紹介する。

キーワード 新規岸壁、ケーソン据付、ICT活用、隣接供用岸壁、土留ケーソン

1. はじめに

四日市港北部に位置する霞ヶ浦地区は、コンテナ貨物や完成自動車、エネルギー関連貨物を取扱う物流拠点として、背後圏の産業を支えている。近年四日市港を利用する東南アジア航路のコンテナ船の大型化が進展しているほか、背後圏に位置する自動車企業等において完成自動車の取り扱いが増加しており、それらに適した港湾機能の強化が必要である。今後、大型船が着岸可能である岸壁の不足が見込まれるため、水深14m岸壁の更なる整備が求められている。

このため、令和3年度より、既存の80号岸壁（W80）に連続する、延長330mの耐震強化岸壁「81号岸壁（W81、水深14m）」を新たに整備する「四日市港霞ヶ浦地区国際物流ターミナル整備事業」に着手した。



図-1 四日市港霞ヶ浦地区

本論文では、令和7年度に実施した81号岸壁の土留ケーソン据付工事について、概要をはじめ、施工上の課題点、それに対する対応・工夫および得られた成果を紹介する。

2. 概要

(1) 岸壁の構造

81号岸壁は、海上に鋼管杭を打設し、その上部に床版を構築する直杭式横桟橋構造を採用している。背面に土留ケーソンを据え付けることで、埋立造成に伴う地盤高の差によって生じる土圧が桟橋部へ直接作用しない構造としている。大規模地震発生後においても物流機能を維持できるよう、耐震強化岸壁として整備を進めている。

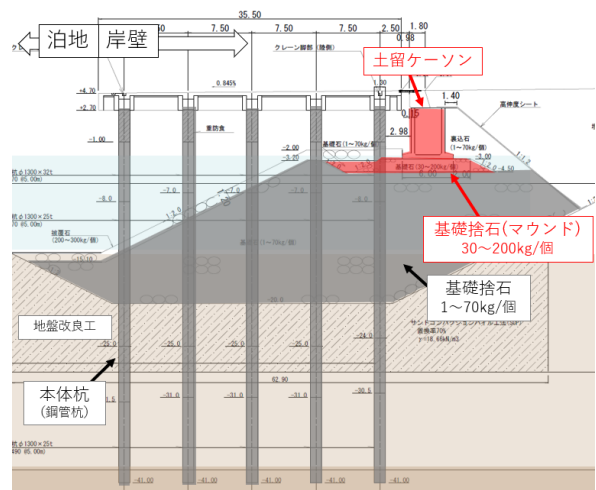


図-2 81号岸壁の施工断面図

(2) 土留ケーソン概要

本工事は土留ケーソンの標準函15函および異形函1函を据え付けるものである。

標準函 : L8.0m × B6.0m × H6.0m 195t/函

異形函* : L5.9m × B6.0m × H5.3m 142t/函

*異形函は背後の排水用ボックスカルバートを設置するための調整函。



図-3 土留ケーソン（標準函・異形函）

(3) 施工方法

a) 施工フロー

81号岸壁全体と土留ケーソン据付工の施工フローは図4のとおりである。

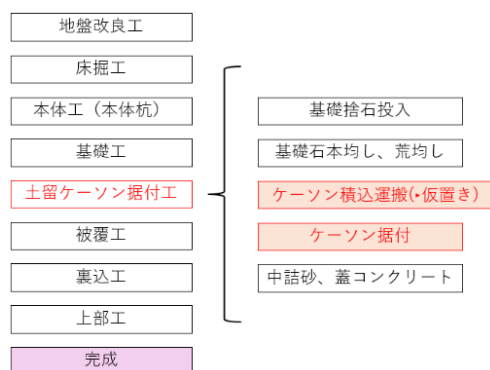


図-4 施工フロー

b) 当初想定の積込・据付の方法

土留ケーソンは過年度工事で石原地区で製作されており、据付場所である81号岸壁まで海上運搬する必要があった。石原地区と霞ヶ浦北ふ頭地区の位置関係は図-5のとおりである。当初は600t吊り起重機船を用いて、土留ケーソンを製作ヤードから81号岸壁まで海上運搬し、図-6に示す80号岸壁東側に水中仮置きしてから、より狭隘な水域に入航できる300t吊り起重機船を用いて81号岸壁背面から据え付ける方法を想定していた。



図-5 石原地区と霞ヶ浦北ふ頭地区の位置関係

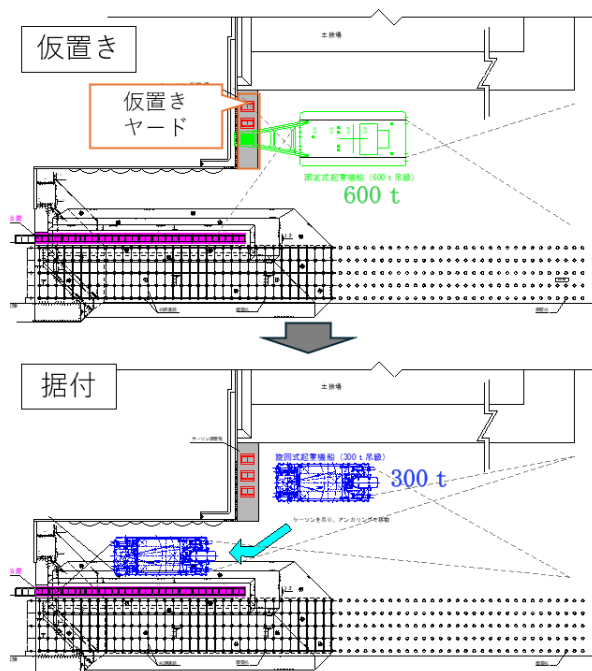


図-6 当初想定仮置き・据付方法

3. 本工事における課題

(1) 積込時の安全管理

ケーソン製作ヤードである石原地区は埋立造成地であり、港外に突出した防波堤のない位置に立地していることから、海象条件の影響を受けやすい地形にあった。そのため、ケーソン積込時はうねりによる船体動揺、これに伴う吊荷の揺れに対し、作業時には護岸との離隔距離を確実に確保する必要があった。また作業員の転倒や海中転落防止、吊荷との接触防止、船上と陸上の連絡体制も併せて管理する必要があり、高度な安全管理が求められる工種であった。

(2) 据付方法の見直しによる安全管理

土留ケーソンを仮置きするにあたり、陸側水域の入口部および仮置き護岸前面泊地において深浅測量を実施し

た。その結果、図-7のとおり仮置き護岸前面の水深が不足していることが確認された。600 t 吊級起重機船での作業には4m以上の喫水が必要であるが、実際的水深は4 m未満であり、さらに水域幅も狭隘であった。このため、満潮時を考慮したとしても600 t 吊級起重機船の入航は座礁等のリスクが高いと判断し、施工方法の見直しを行うこととした。

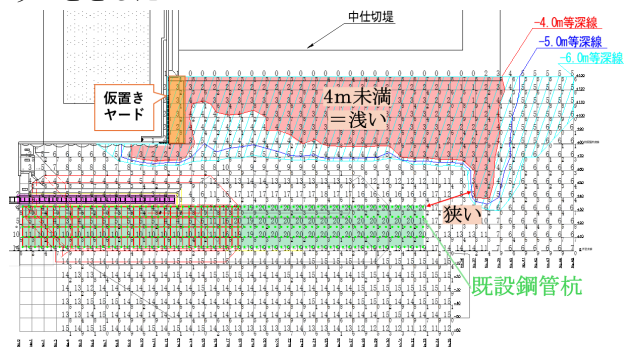


図-7 深浅測量結果

施工方法の見直しにあたっては、工程遅延が生じないこと、コストを抑えること、安全に工事を完成させることを条件に設定し、以下の3案について比較検討を行った。

案1：浅水部を浚渫し、当初想定通りの施工方法を採用

案2：別の仮置き場所を確保する

案3：仮置きをやめ、航路側から直接据え付ける

表-1 比較検討

	案1		案2		案3	
メリット	・当初想定方法通り ・陸側水域での作業 ⇒入出港船舶の影響少ない		・仮置き場所変更のみ ・陸側水域での作業 ⇒入出港船舶の影響少ない		・仮置きの工程短縮 ・600 t 級固定式起重機船でひととおり作業可	
デメリット	・浚渫の手配や作業に時間要する ・今後埋め立てる範囲を浚渫⇒非効率		・他にケーソンを置く場所がない ⇒実現性×		・既設鋼管杭を跨ぐ⇒施工箇所周辺の視界不良 ・入出港船舶⇒作業制限 ・事例少ない	
評価	工程	△	工程	—	工程	○
	コスト	△	コスト	—	コスト	○
	安全	○	安全	—	安全	△
	△		×		○	

表-1より、「案3：仮置きをやめ、航路側から直接据え付ける」方法を採用することとした。入出港船舶により据付作業に制限が生じるとともに、既設鋼管杭を跨ぐ

ため施工者（特に起重機船のオペレータ）にとって施工箇所周辺の視界が遮られることから、既設鋼管杭を損傷させない高度な安全管理が求められるが、仮置きの工程が省略できることから工程短縮やコスト低減が期待でき、工期内完了に向けて有効な施工方法であると判断した。

起重機船の規格について検討した結果、600 t 吊級固定式起重機船であれば鋼管杭を跨いだ状態でも必要な作業半径を確保でき、最も経済的であることが確認できたため、積込から据付の一連の作業にあたっては600 t 吊級固定式起重機船を採用することとした。

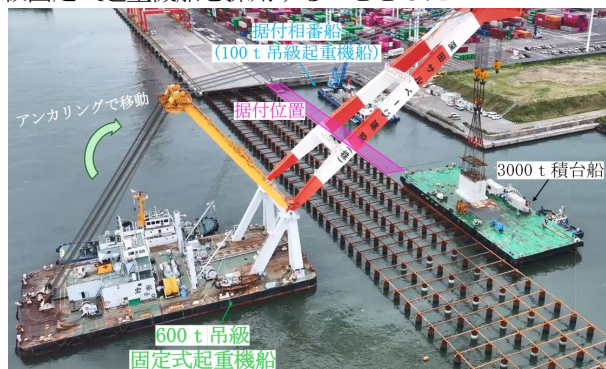


図-8 変更後の据付方法（吊上げ時）

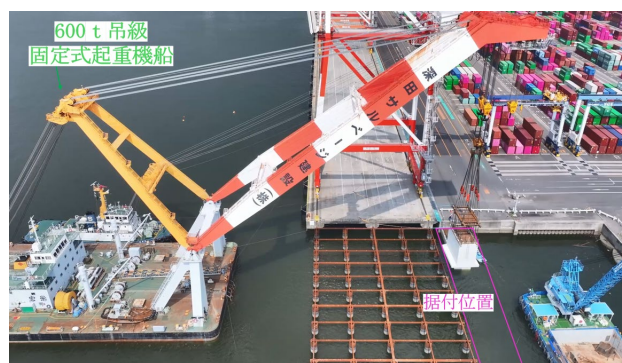


図-9 変更後の据付方法（据付時）

(3) 隣接供用岸壁の入出港予定や他工事との工程調整

隣接供用岸壁である 80 号岸壁は、四日市港において最大水深（14m）を有する、大型船舶が着岸可能な数少ない施設であり、入出港船舶への対応が最優先となる。そのため、本工事に限らず、入出港船舶がある際は、航路側に配置した作業船を入出港 30 分前までに退避させる必要がある。特に本工事は、隣接供用岸壁に最も近接する範囲の土留ケーソンの据付を対象としており、航路側に作業船を配置した状態で据付作業を行う必要があった。据付作業は一度開始すると途中で中断することが不可能であり、退避が必要となった場合に対応できないことから、作業日は据付作業時間（6 時間以上）が確保できる日のみに制限されることとなった。

また、入出港予定は直前でのキャンセルや急な入港予定の追加が発生する場合もあり、また気象・海象状況も変化するため、据付作業の可否判断は前日から当日にかけて行わざるを得ず、先行きが不透明な中での厳しい工程管理が求められた。

加えて、同施工範囲では新規岸壁整備に伴う他工種の工事が並行して実施されており、各工種がいずれもクリティカル工程となっていた。このため81号岸壁整備事業全体として工程遅延を生じさせないよう、関係工事間で綿密な工程調整を行いながら施工を進めた。



	工事名	工期
	土留本体据付工事（本工事）	R7.4.22～R7.10.31
	基礎工事(その1)	R7.5.19～R7.12.5
	被覆工事	R7.8.21～R8.3.6
	基礎工事(その2)	R7.9.26～R8.2.24
	基礎工事(その3)	R7.9.25～R8.2.24
	裏込工事	R7.10.10～R8.3.16
	土留本体据付工事(その2)	R7.10.21～R8.3.25

図-10 80号岸壁・81号岸壁他工事との位置関係

さらに、本工事で使用した600 t 吊級固定式起重機船は全国的にも配備数の少ない規格の作業船であり、本工事の後にも他機関工事の予定が既に組まれていた。そのため本工事の遅延は中部地方整備局管外を含む他工事へ影響を及ぼす可能性があり、より密な工程管理と効率的な施工運営が求められた。

4. 対応・解決策・工夫

(1) ICTを活用した安全管理

a) BIM/CIMを活用した施工計画の共有

本工事は全国的にも施工事例の少ない施工方法であったため、作業内容をより具体的かつ分かりやすく作業員へ共有することを目的として、BIM/CIMを活用した施工計画を実施した。具体的には、各種作業の施工フローについて3次元モデルを作成し、作業従事者を対象とした作業周知会や安全教育を開催した。これにより、各工程の作業イメージや危険箇所を事前に共有することが可能となった。また、従来の発注図面や口頭説明のみの場合と比較して、3次元モデルを用いながら説明を行うことで、作業従事者全員で施工手順や注意事項に対する共通認識をもち、認識のずれによる作業ミス防止に繋がった。

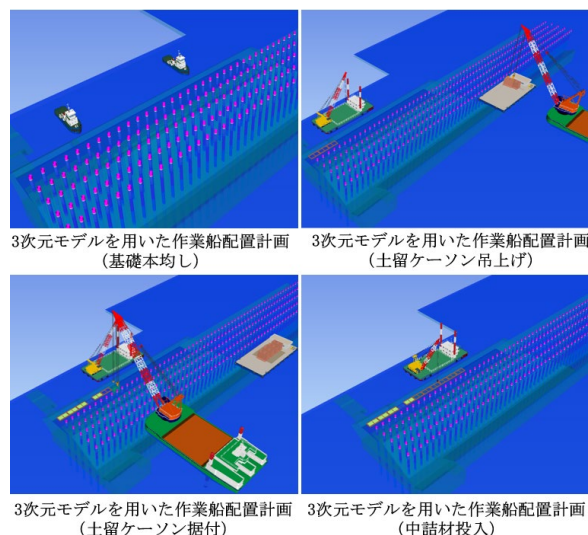


図-11 BIM/CIMによる施工時の作業船配置計画図



写真-1 3次元モデルを用いた作業周知会・安全教育

b) 船員位置管理システム

ケーソンの積込・据付時には、起重機船と台船が異なる周期で動揺することや、うねりの影響によって船体および吊荷が大きく揺れることから、作業員の転倒・転落や吊荷との接触が懸念された。そこで、GNSSを用いて事前に設定した立入禁止区域への作業員の侵入を検知する「船員位置管理システム」を活用した。警戒範囲として、①吊上げたケーソン周辺3mおよび②船体端部から1mの範囲を設定した。なお、①については、過去実績による波浪時の最大動揺幅1mに加え、安全余裕2mを考慮して設定した。②については、船体が急激に動揺した場合に作業員が転倒したとしても、船体端部から1m以上内側であれば海中への転落を防止できるという検証結果から設定した。

常に作業員に端末を携帯させ、警戒範囲に立ち入った際には自動的に警報通知による注意喚起が流れるほか、作業指揮者がタブレットで各船員の位置を把握できるため、作業員の心理的不安の解消に寄与し、吊荷との接触事故や作業員の海中転落事故の防止を図った。

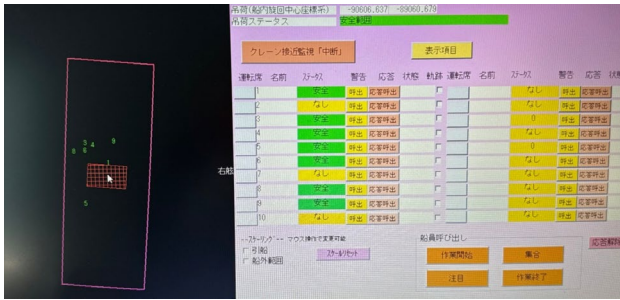


図-12 船員位置管理システム

c) AR離隔監視システム

本工事では、既設構造物に損傷を与えることなく土留ケーソンを据え付けることが安全管理上の重要な課題であった。そこで、図-13に示すピンク色の線のように、カメラ映像上にあらかじめ設定した警戒範囲をAR表示し、GNSSによる位置情報を基に警戒範囲との接近を把握・管理できる「AR離隔監視システム」を活用した。事前に監視カメラ、GNSS、管理モニタを起重機船へ設置し、使用する起重機船の作業半径を考慮した上で、既設構造物端部から2m以内を警戒範囲として設定した。なお、設定値は過去実績に基づく波浪による最大動揺幅1mに加え、安全余裕1mを考慮したものである。また、作業指揮者および操船者、元請職員にタブレットモニタを携帯させた。船体や吊荷が警戒範囲に接近した際は、モニタ表示および音声による自動注意喚起が作動するため、即時の対応が可能となり、既設構造物との接触や損傷事故の防止に寄与した。また、危険の見える化による安全意識の向上にも繋がった。

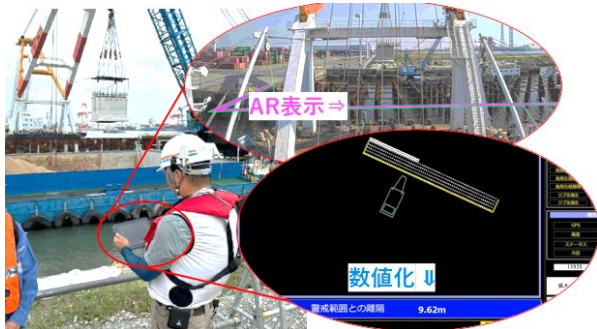


図-13 AR離隔監視システム

d) ケーソン据付位置誘導システム

既設鋼管杭を跨いで土留ケーソンを据え付ける際に、鋼管杭によって施工箇所の視界が遮られるため、起重機船側から正確な据付位置を把握しにくいという課題があった。そこで、自動追尾型トータルステーションを用いた「ケーソン据付位置誘導システム」を活用した。本システムにより、起重機船から離れた位置でもリアルタイムで施工位置までの距離や位置関係を画面上で確認でき、ケーソンを正確な据付位置へ誘導することが可能となった。画面上で据付ポイントを見える化したことで、ヒューマンエラーのリスク低減を図った。

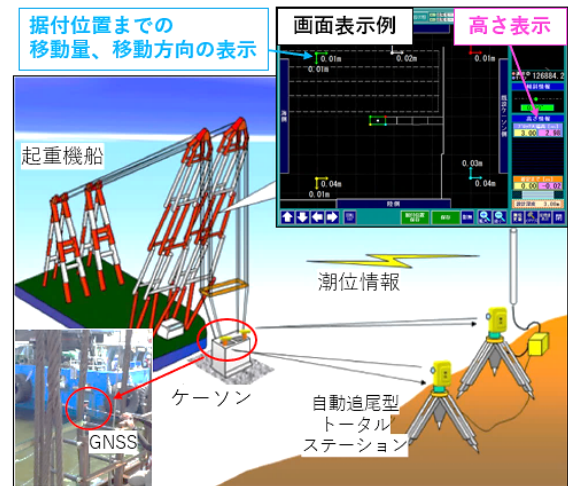


図-14 ケーソン据付位置誘導システム

(2) 円滑な施工を実現するための工程管理

a) 入出港予定を考慮した工程管理

80号岸壁での入出港予定を考慮し、ケーソンの据付作業時間を確保できない日には石原地区においてケーソンを台船に積み込みし、81号岸壁で作業が可能な日には据付作業を実施することとし、80号岸壁の入出港予定が変更になった場合でも積込から据付、あるいは据付から積込に作業内容を変更するなど、柔軟な対応をすることで工程遅延の回避を図った。また、据付作業日は作業開始時間を調整することで、81号岸壁他工事への影響を低減しつつ、1日あたり最大2回の据付ができた。



図-15 80号岸壁に船舶入港後の据付作業実施の様子

b) 関係者との情報共有・工程調整

施工期間中は、石原地区および霞ヶ浦北ふ頭地区における気象・海象条件を継続的にチェックし、日々の作業状況や80号岸壁の荷役予定を踏まえながら、今後の施工予定を毎日更新した。81号岸壁整備事業に関する各工事間においては、ケーソン据付作業を最優先で実施できるよう、受注者および港湾関係者と密に連携し、作業予定日、作業時間や作業船配置位置に関する情報共有および工程調整を継続的に実施した。

その結果、本工事は工期内に完了し、81号岸壁整備事業全体および中部地方整備局管外工事への影響を生じさせることなく施工を完了できた。

5. まとめ

本工事は、供用中の岸壁に隣接する環境下において、既設鋼管杭を跨いで据え付けるという全国的にも施工事例の少ない施工方法を採用することとなり、高度な安全管理と施工効率が求められた。発注者としては、気象・海象条件の影響および作業可能日の制約による日々の工程管理や、輻輳する工事の進捗も考慮した81号岸壁整備事業全体の工程調整に苦慮するとともに、既設鋼管杭との接触防止等の安全管理において終始緊張感を伴う工事であったが、ICTを活用したことで、危険の見える化による心理的不安の解消および大きな事故に繋がりがねな

いヒューマンエラー等の小さなミスを減らすことができた。また、関係者のご理解・ご協力により、無事故無災害で当初予定の工期内に工事を完了させることができた。

今後も、新規岸壁の完成に向けて、引き続き安全第一で施工を進めていく。

本報告の内容が、今後の各種事業の参考となれば幸いです。

謝辞：本報告の作成にあたり、情報提供いただいた東亜建設工業株式会社の皆様をはじめ、ご指導・ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝し、御礼を申し上げます。