

リプレイサブル栈橋の現地実証試験結果の技術的評価

加辺 圭太郎*・田所 篤博*・後藤 洋之**・鈴木 雄太**・高橋 享***・泉田 裕***・大井 栄二郎***

* (一財) 沿岸技術研究センター

** 日本海洋コンサルタント 技術本部

*** 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所

リプレイサブル栈橋は、個々の床版が取り外し可能な構造であり、栈橋下面の点検を陸上から行うことができ、点検作業に要する費用を削減するとともに、点検作業の安全性を向上することが可能となる。そのため、平成 28 年 11 月に港湾技術パイロット事業として選定され、伏木富山港(新湊地区)岸壁(-12m)の 75m 延伸事業において、上部工の一部で試験導入された。本稿では、リプレイサブル栈橋において実施された現地実証試験結果とその技術的評価について報告する。

キーワード：リプレイサブル、栈橋、プレキャスト床版、実証試験、維持管理

1. はじめに

リプレイサブル栈橋は、栈橋の上部工の床版をプレキャスト床版とし、これを座金により固定し、取り外しを可能としたものである。供用期間中に損傷が想定される床版の更新費等を LCC (ライフサイクルコスト) の観点から低減させることを目的に、港湾空港技術研究所及び(一社)日本埋立浚渫協会による「高性能栈橋上部工の構築に関する共同研究(平成 20 年 3 月)」により基礎技術が確立された(図-1)^{1), 2)}。

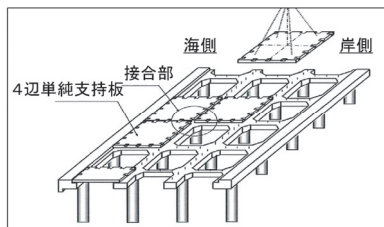


図-1 リプレイサブル栈橋のイメージ

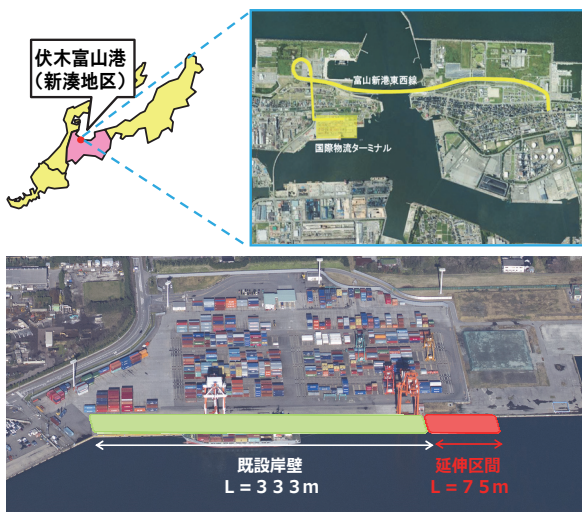


図-2 伏木富山港(新湊地区)岸壁(-12m)位置図
伏木富山港(新湊地区)岸壁(-12m)75m延伸事業は、プレキャスト RC 床版として施工されたが、このうちの 2 枚の床版をリプレイサブル床版(リプレイサブル栈橋としてのプレキャスト床版)として試験導入・現地実証試験が実施された(図-2, 図-3)。本稿は、この現地実証試験結果の技術的評価³⁾について報告するものである。

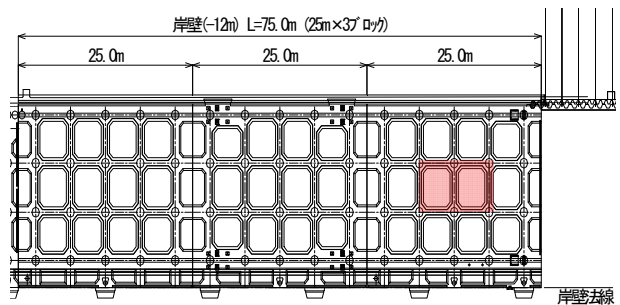


図-3 リプレイサブル床版施工位置図

2. 現地実証試験の目的

2.1 現地実証試験に採用した座金止め形式

リプレイサブル床版は、梁の中に埋め込まれたアンカーボルトと座金により床版を接合する「座金止め形式」と呼ばれる構造である。この形式には、舗装面上にマンホールの蓋を設ける「箱型座金」と舗装の中に座金を埋め込む「舗装埋設型座金」の 2 種類がある(図-4, 図-5, 写真-1, 写真-2)。

施工性と維持管理性を確認し、比較するために、この 2 種類の座金止め形式が採用され、現地実証試験計画⁴⁾に基づき、令和元年 9 月から 10 月にかけて現地実証試験が実施された。

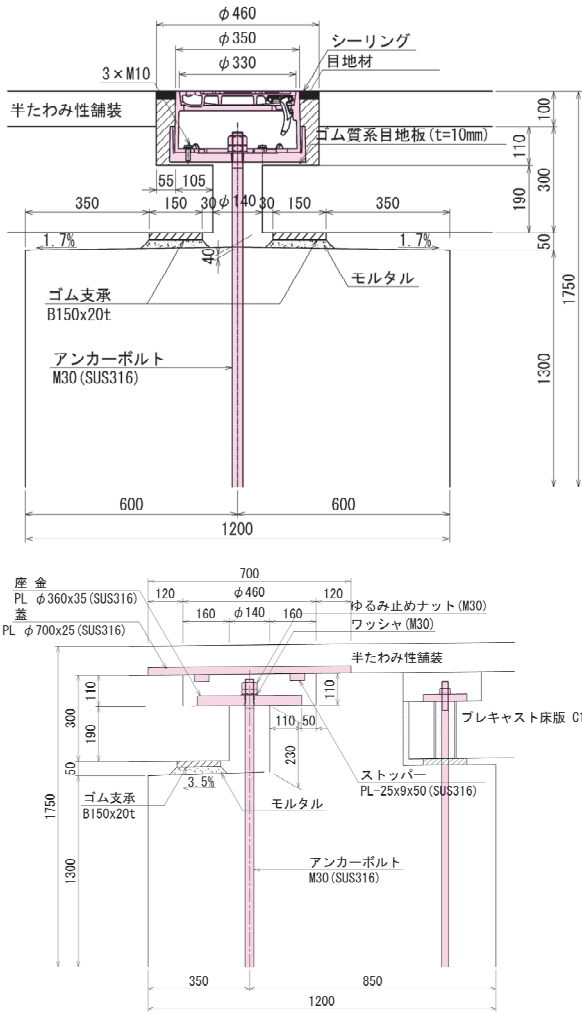


図-4 接合部(上: 箱型座金, 下: 舗装埋設型座金)

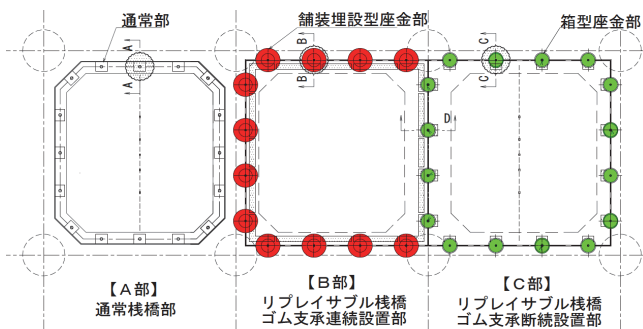


図-5 現地実証試験における座金の配置



写真-1 箱型座金(左: 設置前, 右: 設置後)



写真-2 舗装埋設型座金(左: 蓋掛け前, 右: 蓋掛け後)

2.2 現地実証試験における技術的な確認項目

現地実証試験計画では、「耐久性」、「施工性」及び「経済性」に着目し、以下の観点から確認の試験を行い、技術的な評価を行うこととされている。

(1) 耐久性

構造特性については、リプレイサブル床版の設計支持条件は四辺単純支持であることから、載荷試験を行いリプレイサブル床版のひずみ特性が隣接のプレキャストRC床版と同等か、座金を固定するアンカーボルトに想定外の応力が発生しないかを確認する。また、塩害による腐食については、箱型座金と舗装埋設型座金の違いにより、腐食環境が想定外に悪くないかを確認するとともに、ゴム支承の設置方法、すなわち「連続支承」、「断続支承」の違いによる腐食環境の違いを確認する。

(2) 施工性

リプレイサブル床版の施工精度については、リプレイサブル床版の製作、設置、交換の施工事例がないため、築造工事及び現地実証試験を通じ、事前に策定した出来形管理基準(案)に基づき問題なく施工が可能かを確認する。

(3) 経済性

施工歩掛については、施工事例がないため、現地実証試験を通じて今後の基準化に向けての歩掛を収集し、プレキャストRC床版の設置に対する施工歩掛の増加率を確認する。また、詳細点検歩掛については、床版を取り外し開口部があるため、コスト削減が見込まれる。床版の有無による模擬詳細点検を行い、コスト削減効果を確認する。

3. 耐久性に関する技術的評価

3.1 静的載荷試験の実施結果

静的載荷試験は、220t 吊トラッククレーンを使用してリプレイサブル床版及びプレキャストRC床版のそれぞれで実施した。最大荷重 55tf (≒539kN) のアウトリガー反力を床版中央に作用させ、床版下側鉄筋でひずみを計測した(写真-3)。計測結果を図-6 に示す。

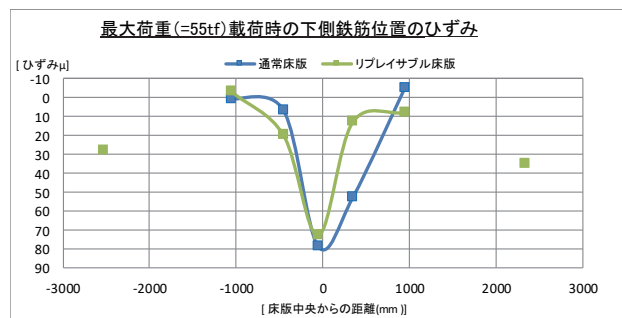


図-6 最大荷重積載時の下側鉄筋位置でのひずみ

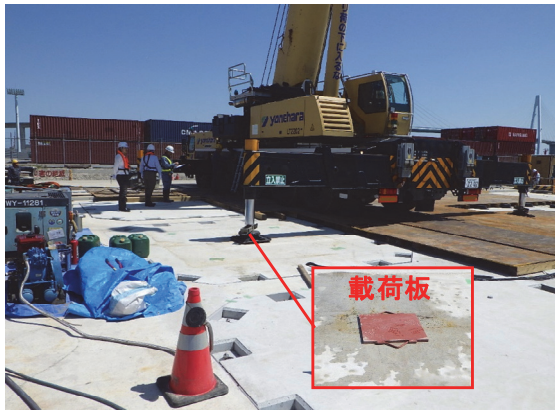


写真-3 静的載荷試験実施状況

リプレイサブル床版及びプレキャストRC床版はともに四辺単純支持版として設計されており、計測したひずみはほぼ同等であり、有意な差は確認されない。リプレイサブル床版の四辺単純支持版としての設計法について、現地実証試験においても妥当性を確認した。

3.2 動的載荷試験の実施結果

動的載荷試験は、40ft コンテナ(空コンテナ)を積載したトレーラー車を用いて行った。トレーラー車が通過する際の動的荷重に対して、床版のずれ等の計測とトータルステーションによる動態観測を実施するとともに、アンカーボルトのひずみを計測した(写真-4)。



写真-4 計測状況(法線直角方向)

試験実施前後での床版のずれや車両通過時及び停止時における床版の変動は確認されなかった。また、アンカーボルトには±50 μ 程度のひずみが確認されたが、想定外の応力が発生していないことを確認した。

3.3 塩分計測結果(塩害による腐食)

塩分測定は、2種類の座金内に設置した鋼材片の腐食減量試験と梁側面及び支承部前面に設置したモルタルパネル及びCS5(腐食センサー)により塩化物イオン含有量試験を行った(図-7)。

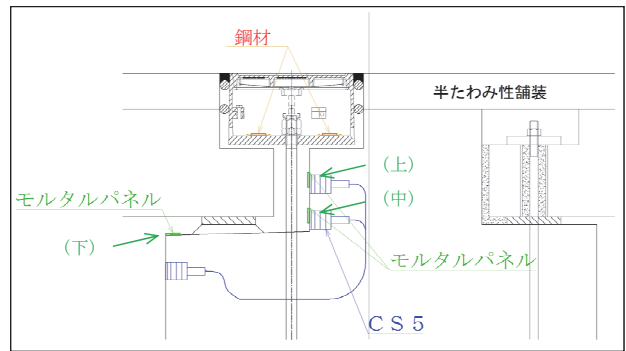


図-7 金属片, モルタルパネル等の設置状況

箱型座金と舗装埋設型座金の鋼材腐食量はほぼ等しい結果であった。塩化物イオン濃度は、0.26～1.05kg/m³の範囲で計測され、連続支承に比べ断続支承の方が影響範囲は上部まで及ぶことを確認した(図-8)。これらについては、計測期間が短いため、継続的な観測と評価が必要である。

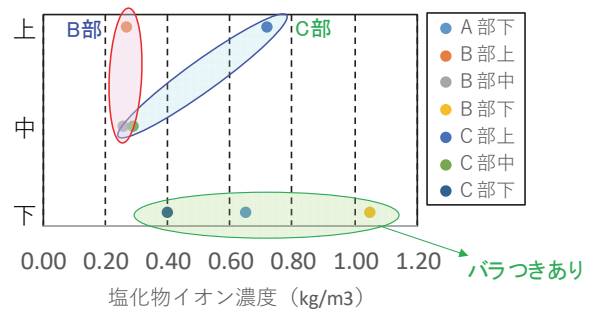
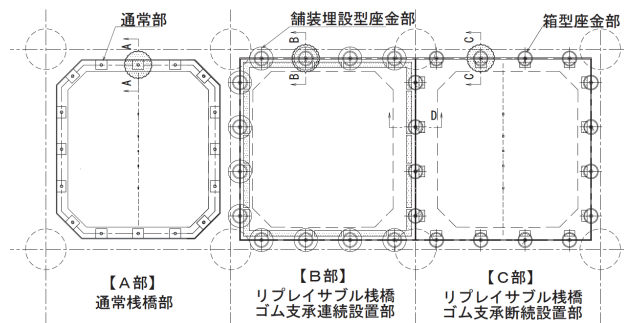


図-8 塩化物イオン濃度の分析試験結果

3.4 アンカーボルトの緩みに関する検証

現地実証試験における床版撤去時に、アンカーボルトの緩みが確認されたため、築造工事における設置時のトルク値(=80N・m)に対し、1.5倍のトルク値(=120N・m)で2019年10月に再締結した。2019年11月の点検で再度緩みが確認されたため、下段ボルトを140N・m、上段ボルトを120N・mで再締結した。さらに2020年1月に上下ボルト間の緩みを把握する目的でマーキングを行った。2020年2月に再度トルクの確認を行った結果、1/16回転～1/4回転分の緩みが確認されたが、上下ボルトのマーキング位置に変化は確認されていない。このため、ボルトの緩みではなく、ゴム支承材の圧縮などの要因が想定される。マーキング及びトルク値の確認を継続するとともに、緩みの要因の把握と適切なトルク値の設定を検討することが必要である。

4. 施工性に関する技術的評価

4.1 施工精度と出来形管理基準 (案)

リプレイサブル栈橋の出来形管理基準(案)は、港湾工事出来形管理基準に示されている管理項目及び基準の確保に加え、リプレイサブル栈橋の特性を反映し、リプレイサブル栈橋特有の管理基準及び項目(表-1)とした。

表-1 リプレイサブル栈橋特有の管理項目

工種	リプレイサブル栈橋特有の管理項目
床版製作	対角線, 箱抜き位置(接合部)
床版据付	据付位置
梁	切欠き部天端幅(接合部)
アンカーボルト	設置位置, 設置高さ
箱型座金	設置高さ

築造工事等では、出来形管理基準(案)内で施工できたことを確認した。また、施工会社へのヒアリングでは、出来形管理基準(案)の管理項目及び基準で十分に管理が実施できたとの回答を得た。

4.2 床版の設置・撤去

現地実証試験によりリプレイサブル床版の撤去、入替作業(図-5のB部⇒C部, C部⇒B部)を実施したが、問題なく施工できることを確認した(写真-5)。



写真-5 床版入替状況

4.3 目地部の施工

リプレイサブル床版の目地部に目地板やシーリング材を設置する作業は労力と時間を要した。特に、箱型座金は座金周りが曲線形状で延長が長いことから多大の手間を要した(写真-6, 写真-7)。



写真-6 目地板設置状況(箱型座金部)



写真-7 目地板設置状況(シーリング材)

4.4 座金部の仕様による特徴

箱型座金は、アンカーボルト等を継続的に確認する場合や舗装撤去を最小限に抑えたい場合には有利になるが、箱型座金周りや床版目地部における目地板やシーリング材の設置に多大な労力が必要なこと、2段構造で形状が複雑かつ重量があることから、施工性の観点では舗装埋設型が有利となる(写真-8)。



写真-8 鋼製蓋設置状況(舗装埋設型)

4.5 座金部及び目地部の改善方策 (案)

座金の設置個数を減らすことで座金部(座金・アンカーボルト)の設置・締結や床版切り欠き)及び目地部(目地板, シーリング材の設置)の施工性向上が期待できる。座金の個数は, リプレisable床版のずれの懸念やアンカーボルトの必要定着長確保の制約から試験導入では4個/辺で設計された。リプレisable床版に作用する揚圧力に抵抗できるアンカーボルト形状とすることで, 座金個数の削減は可能である。究極的には, 1個/辺(四辺の隅)の座金個数が望ましいと考えられるが, 今後の設計や施工等の実証を通じて検証する必要がある。(表-2, 図-9)

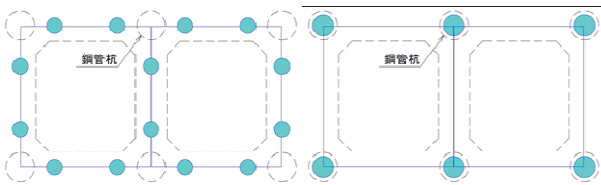


図-9 座金の設置イメージ(左:2個/辺, 右:1個/辺)

5. 経済性に関する技術的評価

5.1 床版の設置・撤去の歩掛り

リプレisable床版設置の施工歩掛は, 「港湾新技術・新工法積算基準ライブラリー」に示されている「PC床版工PC桁据付」を参考とした。これに含まれない「接合部に座金を設置し, アンカーボルトで固定する作業」を付加した(図-10)。実証試験計画策定時の机上検討では, 「PC床版工PC桁据付」歩掛の作業能力(=11枚/日)に比べ4割低下し, 7枚/日の作業能力となることを想定していた。また, リプレisable床版の撤去は, 設置と撤去の作業能力の比率が0.8:1となると考え,

9枚/日の作業能力になることを想定していた。現地実証試験において計測した作業時間と従事した人員を「PC床版工PC桁据付」の標準歩掛と比較した結果, リプレisable床版の設置は7枚/日, 撤去は8枚/日を標準歩掛として運用し, 今後の施工実績等を踏まえ適宜見直すことを提案した。なお, 目地工(目地板・シーリング材の設置作業)はこの標準歩掛りに含まれないことから, 目地工の新たな施工歩掛りを策定することが必要である。

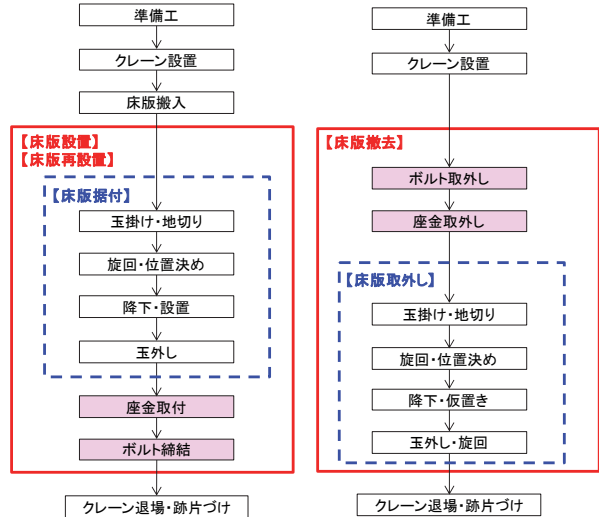


図-10 リプレisable床版の設置・撤去の施工サイクル

5.2 維持管理の詳細点検の歩掛り

リプレisable床版を撤去して開口部を設けた状態と通常の栈橋のように開口部が無い状態のそれぞれで模擬詳細点検を実施した(図-11)。今回は建設から期間が経過してなく, 変状が殆ど無い施設であることから, 梁・床版・鋼管杭ごとに一般的な詳細点検作業を模擬し, それに要する時間を計測した。

表-2 座金の設置個数に関する改善 (案)

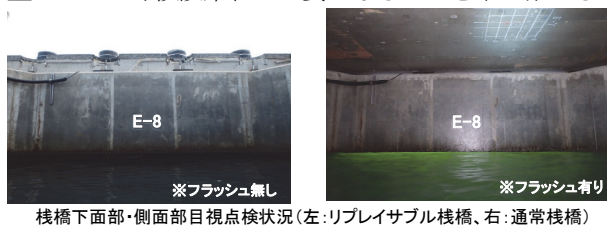
	4個/辺	1個/辺
現地適用性	・現地実証試験を通じ, 座金止め形式により四辺単純支持版としての挙動を示すことが確認され, 床版と梁は剛結しなくても構造体として成立することを確認した。	・アンカーボルトの形状, ボルト径及び埋込長の見直し(付着力の確保等)を行うことで対応は可能と考えられる。 ・杭頭コンクリートの中にアンカーボルトを入れる場合, 溶接やボルト接合により鋼管杭との一体化を図る方法も考えられる。
利用性	・動的載荷試験を通じ, 車両走行時や制動荷重作用時の床版のガタツキやずれ等は確認されていなく, 利用上問題は無いものと考えられる。	・栈橋ブロック全体をリプレisable床版とした場合, 4隅(杭芯位置)に座金を置くことで, 安定性を確保できると考えられる。
施工性 経済性	・通常のPC床版に座金の取付作業が加わることで, 3割~4割程度作業能力が低下する。座金の設置個数が多いほど, 目地工や舗装敷設時における手間が掛かると考えられる。	・舗装埋設型を基本とすることで, 目地工や舗装敷設時の手間が大幅に減ることが期待される。 ・座金やアンカーボルトの径が大きくなるのが考えられるため, 座金をクレーンで吊り易い加工をする等の工夫が必要である。
評価	・アンカーボルトの緩みの課題はあるものの, 現地実証試験を通じ, 実地レベルでの実用性が確認された。	・アンカーボルトの緩みの問題が解消できれば, 実用性としては最も期待できる。 ・今後設計や施工等を通じた実証により検証を行っていくことが望まれる。

表-3 模擬詳細点検結果

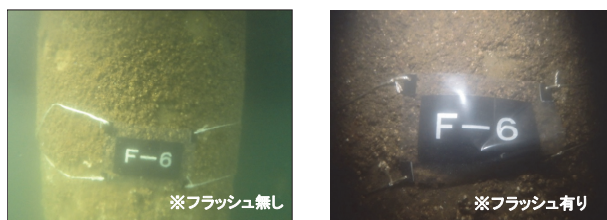
番号	作業項目	施工数量	作業時間		
			A 【通常棧橋】	B 【リプレイサブル棧橋】	(1-B/A) ×100(%)
①	床版・梁の下面部・側面部の点検(目視)	505m ²	1.48	1.32	11
②	鋼管杭本体・重防食点検(目視)	483m ²	1.07	0.92	14
③	床版・梁の下面部・側面部詳細点検(7採取)	2箇所	2.78	2.05	26
④	足場設置	1箇所	1.82	1.17	36
⑤	足場撤去	1箇所	0.58	0.55	5
⑥	陽極電位測定	2箇所	0.30	0.15	50
⑦	陽極詳細点検	2箇所	1.37	1.25	9
⑧	鋼管杭詳細点検(肉厚調査)	32箇所	3.77	3.18	16
合計作業時間			13.17	10.59	20

調査結果は、リプレイサブル床版を撤去して開口部を設けた状態の方が、2割程度短い時間で詳細点検を行うことができた。開口部を設けることで、作業照度の向上・潜水移動距離の短縮・点検作業の一部陸上化等が図られ、点検効率が向上することが確認できた(表-3)。さらに、作業環境の安全性や点検品質が向上することも確認された。

なお、リプレイサブル床版の撤去・再設置には、大型クレーンや仮設架台が必要となることを申し添える。



棧橋下面部・側面部目視点検状況(左:リプレイサブル棧橋、右:通常棧橋)



作業照度比較(左:リプレイサブル棧橋、右:通常棧橋)

図-11 模擬詳細点検実施状況

・座金やアンカーボルトについては、設置個数を見直すこと、材質や形状を工夫することで施工性の向上が可能である。

・施工性を比較した場合、箱型座金より舗装埋設型座金の方が優位であった。

(3) 経済性に関する技術的評価のまとめ

・通常のプレキャスト床版の設置に対し、リプレイサブル床版(座金個数:4個/辺)の設置・撤去の作業能力は、3~4割低下する。

・開口部があることで、作業照度の向上・潜水移動距離の短縮・点検作業の一部陸上化等が図られ、詳細点検全体で2割程度は効率が向上する。

・開口部により作業照度が高まることで、潜水作業の安全性や点検品質の向上が図れる。

謝辞

本稿は、国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所発注の港湾施設技術検討業務の成果の一部を報告するものである。検討にあたっては、リプレイサブル棧橋の技術的評価に係る検討会(座長:横田弘北海道大学大学院教授)の各委員、北陸地方整備局の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岩波 光保, 加藤 絵万, 横田 弘:リプレイサブル棧橋上部工の構造性能評価手法に関する研究, 港湾空港技術研究所報告, 第48巻, 第1号, 2009年3月
- 2) 独立行政法人港湾空港技術研究所, 社団法人日本埋立浚渫協会:高性能棧橋上部工の構築に関する共同研究報告書, 平成20年3月
- 3) 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所:令和元年度港湾施設技術検討業務, 令和2年3月
- 4) 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所:平成29年度リプレイサブル棧橋検討業務, 平成30年3月

6. まとめ

(1) 耐久性に関する技術的評価のまとめ

- ・リプレイサブル床版は、四辺単純支持版としての挙動を示すこと、床版と梁は剛結しなくても構造体として成立することを確認した。
- ・座金及びコンクリート内部について、著しい腐食環境は確認されていない。しかし建設から間もないことから、今後も継続してモニタリングし、評価することが必要である。

(2) 施工性に関する技術的評価のまとめ

- ・出来形管理基準(案)に基づいた施工が可能であること、供用期間中の撤去・入替えも問題無くできることを確認した。