

リプレイサブル床版に関する事後評価

小川 秀成*・田所 篤博**・志賀 守***・中村 俊之****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

**前 (一財) 沿岸技術研究センター 業務執行理事

*** 前 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 設計室 前任建設管理官

**** 前 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 設計室 施工技術係長

リプレイサブル栈橋は、個々の床版が取り外し可能で劣化した床版のみ交換修繕できる構造である。また、栈橋下面の点検を陸上から行うことができ、その費用や時間を削減できるとともに、その安全性の向上が可能となる。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、上部工の一部で現地実証試験が実施された。その結果を踏まえ、令和元年度に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) の性能評価が行われ、その概要は本センター論文集 No.20(2020)で報告されている。本稿では、その際に課題として残っていた耐久性に関し、その後のモニタリング結果を受け、検討した事後評価結果について報告する。

キーワード：リプレイサブル、栈橋、プレキャスト床版、耐久性評価、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。供用期間中に劣化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、(独) 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)}。

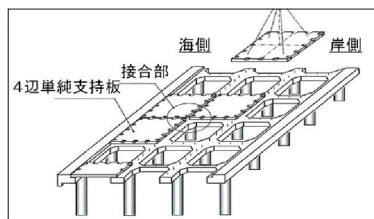


図-1 リプレイサブル栈橋のイメージ

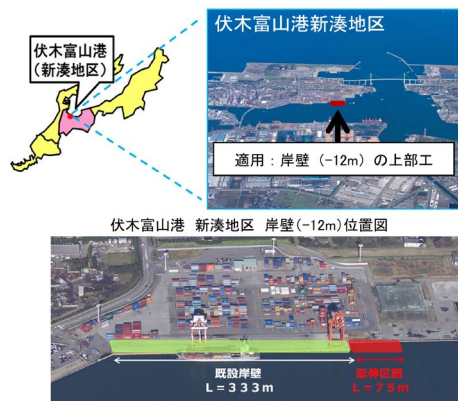


図-2 伏木富山港(新湊地区)岸壁(-12m)位置図

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 (平成 30 年 8 月～令和元年 10 月) された(図-2, 図-3)。本稿では、リプレイサブル床版の耐久性について、継続モニタリング (令和元年度～令和 4 年度) 結果を受けて検討した事後評価結果³⁾について報告するものである。

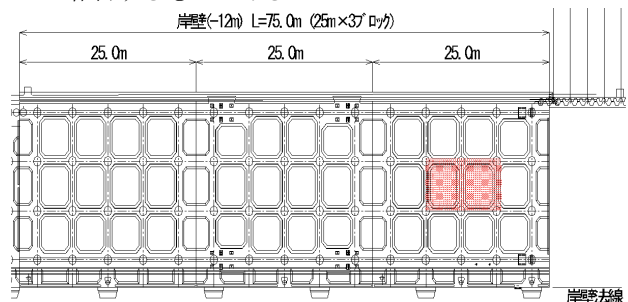


図-3 リプレイサブル床版施工位置図 (赤色箇所)

2. 現地実証試験

2.1 現地実証試験に採用された座金止め形式

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について、現地実証試験計画⁴⁾に基づき、現地実証試験が実施された。

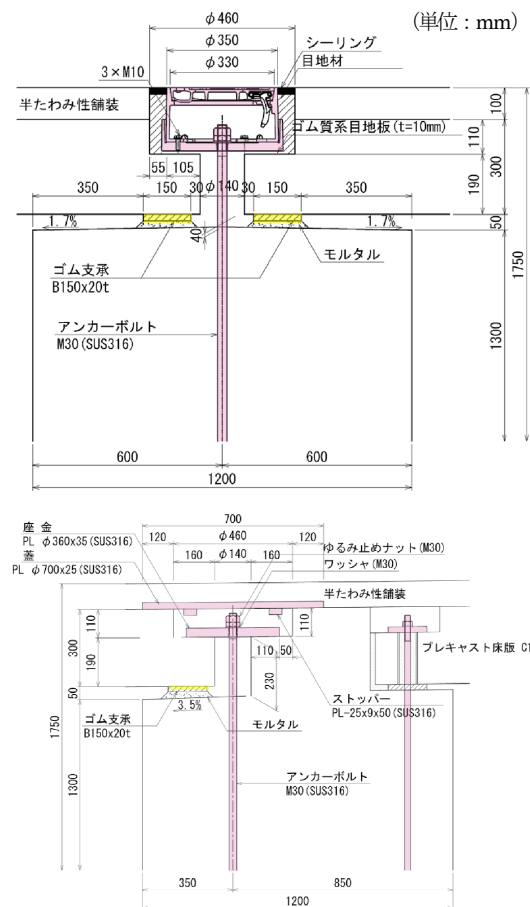


図-4 接合部(上：箱型座金, 下：舗装埋設型座金)

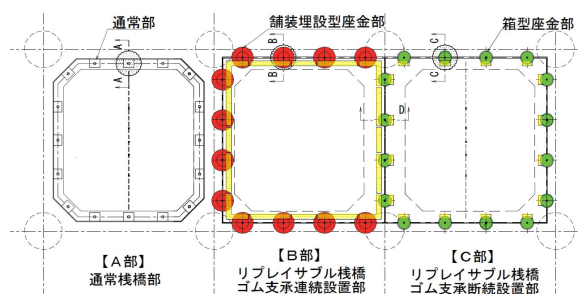


図-5 現地実証試験における座金の配置



写真-1 箱型座金(左：設置前, 右：設置後(舗装前))



写真-2 舗装埋設型座金(左：蓋掛け前, 右：蓋掛け後(舗装前))

2.2 過年度における現地実証試験による性能評価^{5), 6)}

(1) 現地実証試験

現地実証試験は、「耐久性」、「施工性」及び「経済性」に着目し、以下の4ステップで実施された。

①静的載荷試験

- ・70 t 吊ラフタークレーンにより静的載荷試験を実施し、アンカーボルトのひずみを計測。
- ・トレーラーを複数回走行させ、動的荷重によりどの程度のひずみが生じるか、舗装目地に変動はないかを確認。また、使用性(走行性)を確認。

②床版撤去・詳細模擬点検(リプレイサブル橋橋)

- ・床版の撤去を行い、床版撤去の施工歩掛を収集。
- ・撤去した床版は近傍に仮置きし、開口部を設けた状態で模擬点検(リプレイサブル橋橋)を実施。
- ・この工程内で、モルタルパネル(塩分浸透量を測定するために、梁縁端部・接合部に設置)の回収・分析、ゴム支承硬度測定を実施。

③床版入れ替え

- ・模擬点検完了後、床版を入れ替えて設置(円滑に入れ替え可能かどうかの確認)。
- ・この工程内で、床版撤去・再設置の施工歩掛を収集。

④詳細模擬点検(通常橋橋)

- ・床版を元の位置に戻した後、模擬点検(通常橋橋)の歩掛収集を実施し、比較整理。

(2) 性能評価

現地実証試験により、得られた性能評価結果を以下に示す。

①耐久性

- ・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。
- ・著しい腐食環境は確認されていない。
- ・腐食センサー(CS5)について、現状は塩化物イオンの到達を示す反応は確認されていないため、継続確認が望まれる。

②施工性

- ・実証試験工事を通じ、策定した出来型管理基準(案)の妥当性を確認。
- ・床版の据付・撤去・交換も問題なく実施できた。

③経済性

- ・通常のPC床版に座金の取付け・取外し作業が加わることで、3割～4割程度の作業能力の低下を確認。
- ・リプレイサブル床版による開口部があることで、詳細点検効率の2割向上を確認。

①の通り、リプレイサブル床版の「耐久性」については継続的な観察・計測が必要であると結論付けられた。

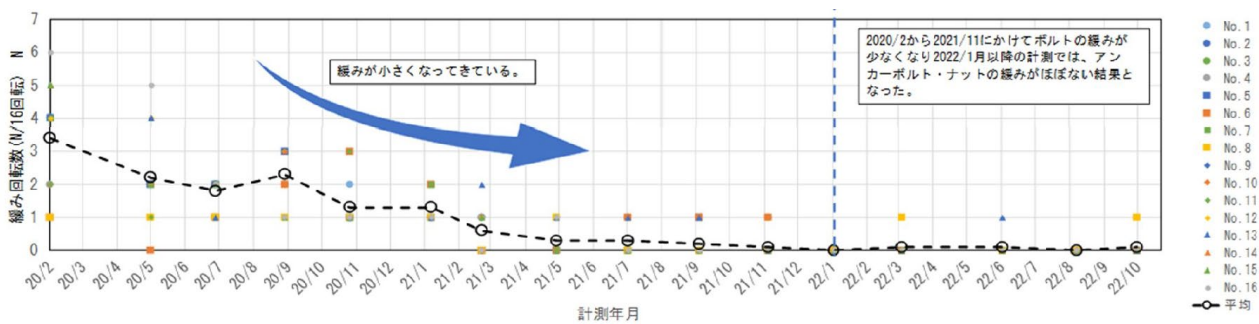


図-6 アンカーボルト・ナットの緩みの計測結果

3. リプレイサブル床版に関する各種モニタリング結果

3.1 アンカーボルト・ナットの緩み

アンカーボルト・ナットの緩みの計測結果を図-6 に示す。

継続モニタリング当初は、1/16～6/16 回転の緩みが確認されていたものが徐々に収束していき、2022 年 1 月の計測以降は全体的に緩みがほぼ確認されなくなった。ダブルナットの上下間で緩みは無いため、緩みの要因は、ゴム支承の圧縮により座金とナットの間に隙間が生じたことによるもので、供用後、概ね 2 年程度でゴム支承の圧縮は収まるものと判断される。ただし、舗装埋設型座金については、緩みが発生しているものと考えられるが、点検を実施していないため、どこかの時点で点検・締付を実施する必要がある。

3.2 舗装観察（ひび割れ調査）

リプレイサブル床版にひび割れが生じていないか目視で確認したところ、図-7 に示すとおり C 部の外側にひび割れ（ヘアクラック）が確認されたが、B 部、C 部ともに、リプレイサブル床版内へのひび割れは確認されなかった。ヘアクラックについては、現状では耐久性に影響しないが、今後の定期点検を通じて確認を行うのが望ましい。

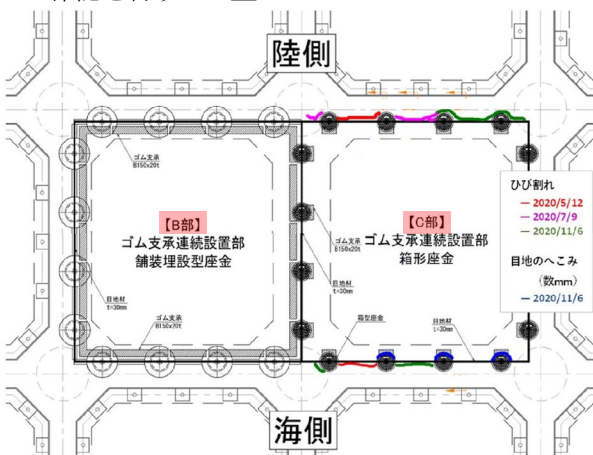


図-7 舗装観察結果

3.3 座金内部の腐食環境

(1) 腐食環境センサーによる計測

①腐食環境センサーの設置位置

腐食環境センサー(図-8)は、大気中の腐食環境を時々刻々計測することで腐食速度等を把握できる。

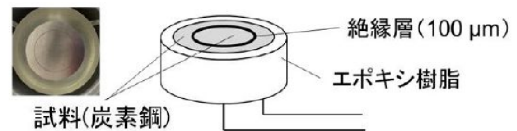


図-8 腐食環境センサー概要図

腐食環境センサーを舗装埋設型座金と箱型座金のそれぞれに 2 個ずつ設置した(写真-3)。

箱型座金は開閉可能で、雨水の座金内部への浸入等があるため、水抜き孔を有しており、外気の影響を受け易い。一方、舗装埋設型座金は、舗装によって埋設されてしまうために密閉空間となり、箱型座金と比較して外気の入替えがされにくい。



写真-3 腐食環境センサーの設置状況

②腐食環境センサーによる測定結果と考察

図-9 に測定開始から終了までの各 CH の腐食速度 $R_p^{-1}(\Omega^{-1})$ の経時変化を示す。座金内部の腐食環境は、概ね海水中 (10^{-3} レベル) に比べて鋼材が腐食しにくい環境であること、箱型座金内部は、舗装埋設型座金内部に比べて腐食しにくい環境であることが明らかとなった。

(2) 金属片による腐食減量調査

箱型座金内部に平成 31 年 1 月に設置した金属片を令和 4 年 11 月に回収し、腐食減量調査を行った結果を表-1 に示す。金属片の腐食速度は約 0.03mm/年(港湾基準における海底土中部の腐食環境のオーダー)であり、令和元年度の現地実証試験時に確認した腐食速度と同等であり、マイルドな腐食環境が継続していることが確認された。なお、舗装埋設型座金については、令和元年度に

において箱型座金と同等の腐食速度であることが確認されているが、令和4年11月には腐食減量調査は実施されていない。

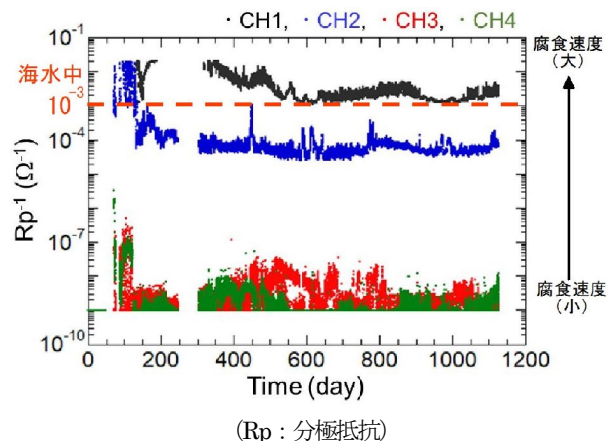


図-9 腐食環境センサーによる測定結果 (Rp^{-1})

表-1 腐食減量調査結果 (令和4年11月回収)

大きさ (mm)			重量 (g)	腐食量 (mm) ※46ヶ月間	腐食速度 (mm/年)
縦	横	厚さ			
100.45	99.45	11.65	886.619	0.12406	0.03236

(3) まとめ

箱型座金内部の腐食環境については、腐食減量調査により確認された金属片の腐食速度と腐食環境センサーの計測結果を総合的に判断し、海底土中部と同等の腐食環境が現在も継続されているものと判断できる。

3.4 アンカーボルトのひずみ量

ひずみ値は、再締付トルク (下段: 140N・m, 上段: 120N・m) によって生じるひずみ量 (再締付前と再締付後のひずみ計測値の差分) を算出することで評価した。

アンカーボルトのひずみ計測から算出した変形量とアンカーボルト・ナットの緩み量との関係を図-10に示す。

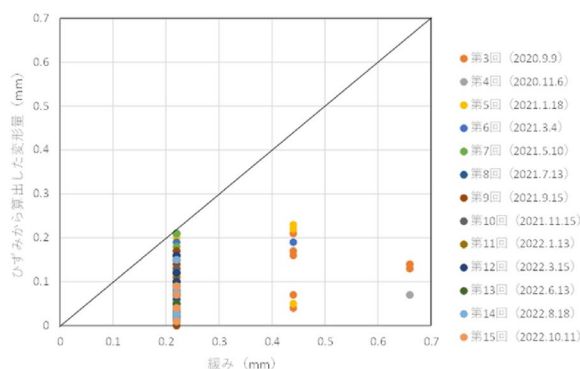


図-10 アンカーボルト・ナットの緩み量と再締付に伴う算出変形量の関係

図-10に示すように、緩み量と算出変形量に相関性を確認することはできないが、緩み量に対して算出変形量は小さいことが分かる。これは、再締付に伴いアンカーボルトに直接的に力が作用したためと考えられ、緩み量

に対して再締付時に発生したひずみは小さいため、想定外の外力では無いと判断される。

3.5 コンクリートの塩害に対する耐久性

腐食センサー (CS5) とコンクリート内部センサーを設置し、塩害に対する耐久性を確認した。

(1) 腐食センサー (CS5)

CS5 (写真-4) は、センサー内の鉄線 (鉄線の深度は、表面から 5mm, 15mm, 30mm, 45mm) が浸入してきた塩化物イオンにより腐食・切断された際の電気応答の違いから、1.2~2.4kg/m³ (コンクリート換算) の塩分の到達を判別するセンサーである。設置状況を図-11に示す。



写真-4 腐食センサー (CS5)

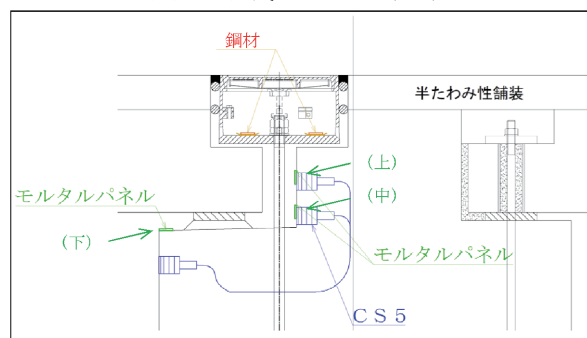
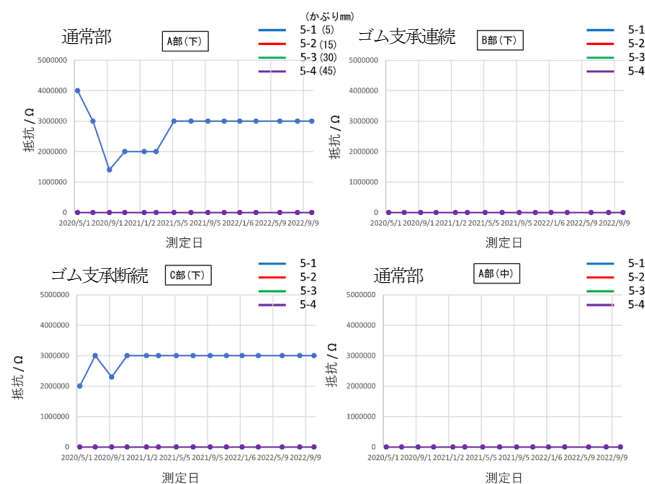


図-11 腐食センサー (CS5) 設置位置図

測定結果を図-12に示す。高い抵抗を示したA部(下)5-1及びC部(下)5-1 (それぞれ、かぶり 5mm に相当) では鉄線が切れたために高い抵抗を示し、塩分がある程度浸入したと判断される。その他の箇所に関しては、抵抗が低い状態であり、鉄線が切れておらず、CS5 が測定可能な塩分濃度に達していないと判断される。



(A部, B部, C部は図-5を参照)

図-12 CS5 測定結果

(2) コンクリート内部センサー

コンクリート内部センサー (図-13) は、Ag と AgCl の平衡電位が塩分濃度によって変化することを利用した電気化学センサーである。CS5 と比較して、塩分濃度の変化を電圧変化として測定できるため、経時的な情報を得られると期待された。なお、センサーの設置位置及び深度はCS5 の鉄線位置と合わせている。

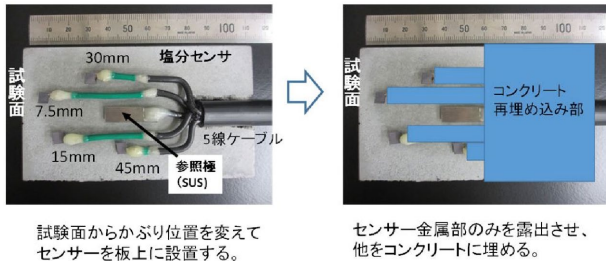


図-13 コンクリート内部センサー概要図

測定結果を図-14 に示す。測定日によって計測電位が変動していることが確認できるものの、各測定箇所においてかぶりの差異による計測電位に大きな違いは見られない。当該センサーの基準電極にはステンレス鋼が用いられており、ステンレス鋼は一般的にコンクリート中では比較的安定な電位を示すと考えられたが、ステンレス鋼の基準電位が変化したために正確な計測が行えなかったものと考えられる。

そのため、かぶり量での差異やCS5 計測結果との相関が認められず、結果の信頼性は低く、当初予定していた塩化物イオン濃度の深度毎の経時変化等のデータを得ることはできなかった。

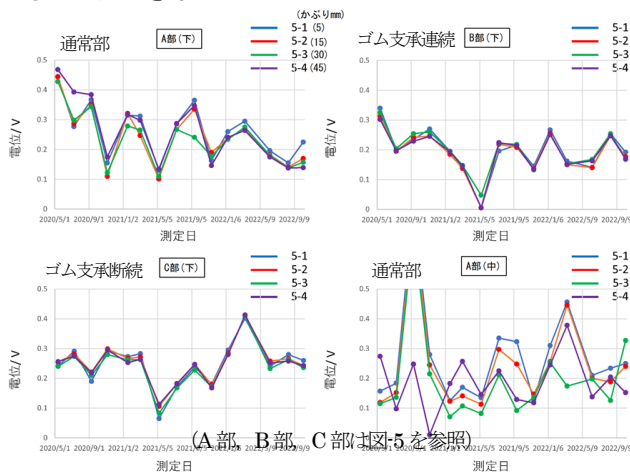


図-14 塩化物イオン濃度計測結果 (コンクリート内部センサー)

(3) まとめ

CS5 の計測は正常と判断でき、下段に設置したCS5 の表面から 5mm の位置を除く箇所については、塩分濃度が所定の状態まで達しておらず、コンクリートは健全な状態であると判断される。

なお、今回の計測では、ゴム支承の形式や座金形式の違いによる塩害環境の違いを確認することはできなかったため、塩害に対する耐久性の検証については、今後

の定期点検等を通じて確認することが望ましい。

4. モニタリング結果を踏まえた総合評価

リプレイサブル床版のモニタリング結果について、舗装埋設型座金と箱型座金、ゴム支承の連続と断続の形式を踏まえつつ、得られた結論を以下に示す。

(1) アンカーボルト・ナットの緩み

- アンカーボルト・ナットの緩み計測結果より、ゴム支承の圧縮によるリプレイサブル床版の沈下に伴い、座金とアンカーボルト・ナットに隙間が生じ、緩みの要因となっていることが確認された。
- アンカーボルト (M30) の締付トルク値として、上段を 120N・m、下段を 140N・m で締付を行う方法は適切であり、再締結したとしても、ひずみ計測結果からボルトに想定外の力が発生することは無いことが確認された。
- 供用から 2 年間程度の締付管理により、四辺単純支持版としての耐久性が確保できると判断された。

(2) ゴム支承の形式

- B 部において採用したゴム連続支承と C 部において採用したゴム断続支承について、腐食環境の違いは今回の調査では確認できなかった。
- ゴム支承の圧縮は供用から 2 年間程度で収束することが確認された。

(3) 床版のずれ

- 舗装観察の結果、床版のずれ及びひび割れは確認されなかった。
- 箱型座金周辺 (床版の外側) において、モニタリング調査期間内にヘアクラックの範囲は広がっていることは確認されたものの、耐久性に影響するひび割れでは無いと判断された。ただし、今後も定期的な目視点検により管理することが望まれる。

(4) 座金内部の腐食環境

- 箱型座金内部及び舗装埋設型座金内部はともに、腐食環境は 0.03mm/y のオーダーであり、現在も海底土中部と同等の腐食環境が継続されていると判断される。

(5) コンクリート内部の腐食環境

- CS5 の調査結果より、梁の下段 (図-11 参照) に設置したセンサーの表面から内側へ 5mm の位置以外については、塩化物イオン濃度は、設計で想定しているコンクリート中の鋼材の腐食発生限界塩化物イオン濃度には達しておらず、健全であることが確認された。
- ゴム支承の設置方法や座金形式の違いによる腐食環境の違いは確認することが出来なかったため、今後の定期点検等を通じて確認することが望ましい。

(6) 舗装埋設型座金

- 舗装埋設型座金については、今回は開放しての確

認が出来なかったため、アンカーボルト・ナットの緩みや腐食環境の確認が必要である。

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・空港施設の設計等に関する技術支援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、学識経験者、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る。

参考文献

- 1) 岩波 光保, 加藤 絵万, 横田 弘: リプレイサブル栈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: 高性能栈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4年度港湾・空港施設の設計等に関する技術支援業務, 令和5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: 令和元年度港湾施設技術検討業務, 令和2年3月
- 5) 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栈橋検討業務, 平成30年3月
- 6) (一財) 沿岸技術研究センター論文集, No. 20 (2020), p. 33-38