

棧橋式係船岸の老朽化対策について

吉富 健¹・安田 敏雄¹

¹九州地方整備局 博多港湾・空港整備事務所 第三工務課（〒810-0074 福岡県福岡市中央区大手門2-5-33）

博多港は、物流から旅客まで対応する九州最大級の国際港で、九州のほぼ全量の食用小麦を扱っている港である。その博多港の中でも、本岸壁（箱崎ふ頭地区-12m岸壁）は、食用小麦をはじめとする穀物のバラ貨物を積載する大型貨物船が頻繁に接岸している施設であり、築造後34年が経過し老朽化しているため、離接岸する船舶と荷役作業の安全確保のため、適切な維持管理を行い施設の延命化を図る必要がある。今回、老朽化調査、調査結果を踏まえた工法選定及び企業活動を継続させながら施工を行う工夫について報告する。

キーワード 延命化、電気防食、企業活動、老朽化

1. はじめに

(1) 博多港の概要

博多港は、海の中道、博多平野及び糸島半島により囲まれた博多湾の湾奥に位置した好立地な場所であり、古くより日宋貿易、日明貿易など国際港として大いに栄えた。現代では、港湾法上は国際拠点港湾、港則法上の特定港に指定され、物流から旅客まで対応する九州最大級の国際港である。



図-1 博多港（箱崎ふ頭地区）

(2) 箱崎ふ頭の概要

箱崎ふ頭は、約263.5haと博多港最大の面積を有し、岸壁後背地に、製粉工場をはじめとする食品工業団地及び大規模な流通センターなどが整備されている。埠頭内に福岡高速道路のランプが2箇所あり、背後圏への陸上輸送との連携も重要な拠点である。箱崎ふ頭地区の中でも、大型貨物船が頻繁に接岸する箱崎ふ頭地区岸壁（-12m）は、築造後34年が経過しており、老朽化が進ん

でいる。離接岸する船舶と荷役作業の安全確保及び、将来に向けての物流機能を維持するため、早急な対応が必要と考えられる。

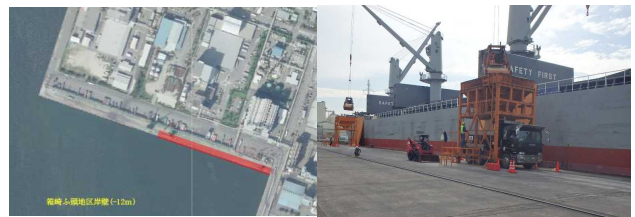


図-2 箱崎ふ頭地区(岸壁(-12m))

2. 現況調査

(1) 調査対象

今後、老朽化による劣化損傷が進行することで、岸壁の円滑な利用を脅かす事態も考えられるため、適切な維持管理を実施する。

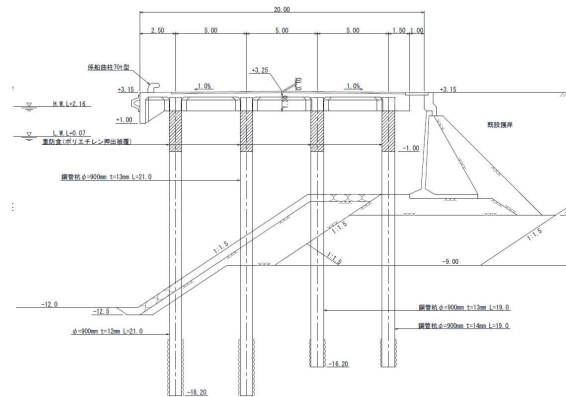


図-3 箱崎ふ頭地区(岸壁(-12m))断面図（棧橋式係船岸）

(2) 調査概要

2013年度に鋼矢板セル・鋼管杭の目視・肉厚調査を全スパン実施。2016年度に上部工の詳細調査として、一軸圧縮強度試験・中性化試験・塩化物含有量試験・はつり調査を実施（4・8・10BLの海側梁・陸側梁・海側床版の9箇所）。2020年度に施設全体の目視調査及び鋼管杭の肉厚調査を一部実施。

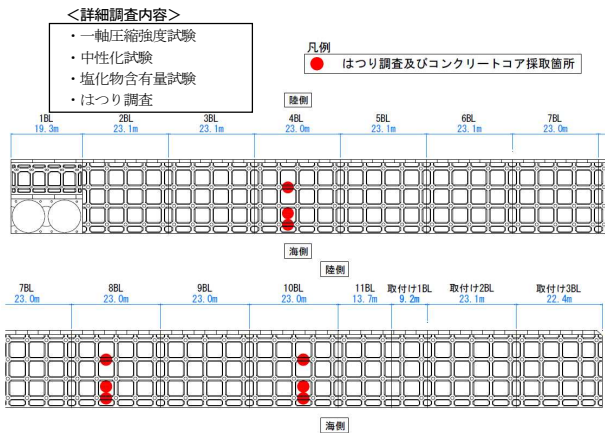


図-4 上部工詳細調査（はつり調査及びコア採取平面位置）

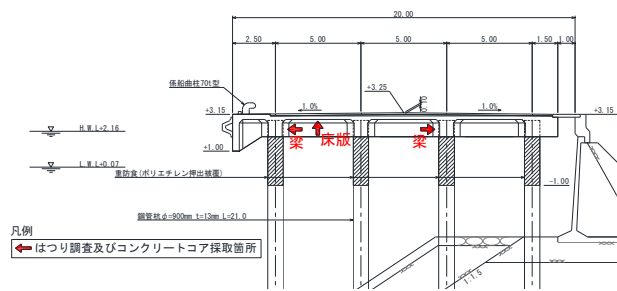


図-5 上部工詳細調査（はつり調査及びコア採取断面位置）

(3) 鋼管杭・鋼矢板

岸壁の構造上重要な基礎部分である鋼管杭及び鋼矢板について、施設全体の平均干潮面下の鋼管杭全体及び土留め部全体を、潜水土により目視確認と超音波による肉厚測定を行った。目視確認による調査結果においては、鋼管杭の1箇所が開孔が確認されたが、その他に変状は確認されなかった。肉厚測定では、腐食速度がセル部の海側杭で0.12mmと水中部での設計腐食速度0.1mm/年を上回っていたが、その他の箇所では、0.07~0.03mm/年と設計腐食速度を下回っていた。全体の傾向としては一般的な腐食速度より比較的遅い結果であった。しかし、施設全体で肉厚の減少が確認されており、防食も施されていないことから、今後の供用期間を考慮すると性能低下が予測される。従って、早期に腐食進行抑制策が必要と思われる。

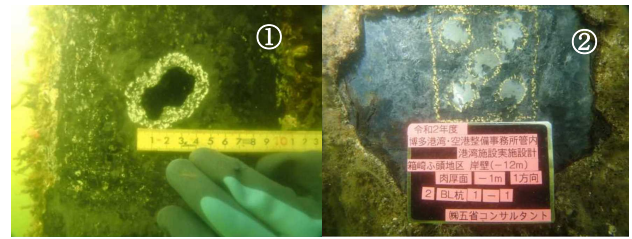


図-6 目視調査（①鋼管杭に開孔、②鋼管杭の肉厚減少）

(4) 上部コンクリート

各部材のコンクリートの劣化状況を調べるため、コンクリート内部の塩化分含有量試験を実施した。結果として、ほとんどの部材で鉄筋腐食発生限界量である2.0kg/m³を超過していた。また、かぶり位置での鉄筋腐食量到達時期についても、試験を行ったほとんどの部材で、現時点において鉄筋腐食発生限界量を超過している推定結果となっている。コンクリート部材の劣化は、塩害（塩化物イオンの侵入による内部鉄筋の腐食）の進行が主要因であり、今後施設の機能が急激に低下することが予測される。従って、機能が低下する前に補修が必要と判断される。

表-1 塩化物含有量試験結果

経過年数 (H28時点)	部材位置	表面からの距離 (mm)	含有塩化物イオン量 (%)	含有塩化物イオン量 (kg/m ³)
30年	4BL 海側梁	表面~20	0.624	14.80
		20~40	0.443	10.37
		40~60	0.241	5.84
		60~80	0.025	0.59
		80~100	0.011	0.26
		表面~20	0.554	13.30
	4BL 陸側梁	表面~20	0.385	9.24
		20~40	0.195	4.58
		40~60	0.019	0.46
		60~80	0.009	0.22
		表面~20	0.304	7.20
		20~40	0.377	8.93
	4BL 床版	表面~20	0.137	3.25
		20~40	0.013	0.31
		40~60	0.009	0.21
		表面~20	0.584	13.20
		20~40	0.472	10.87
		40~60	0.287	6.49
8BL 海側梁	表面~20	0.154	3.48	
	20~40	0.030	0.88	
	40~60	0.045	10.83	
	表面~20	0.475	10.83	
	20~40	0.513	11.70	
	40~60	0.380	8.66	
8BL 陸側梁	表面~20	0.281	6.41	
	20~40	0.142	3.24	
	表面~20	0.566	13.02	
	20~40	0.417	9.59	
	40~60	0.195	4.49	
	60~80	0.059	1.36	
8BL 床版	表面~20	0.017	0.39	
	表面~20	0.623	13.89	
	20~40	0.538	12.00	
	40~60	0.401	8.94	
	60~80	0.315	7.02	
	80~100	0.164	3.66	
10BL 海側梁	表面~20	0.423	9.46	
	20~40	0.442	9.90	
	40~60	0.310	6.94	
	60~80	0.187	4.19	
	80~100	0.057	1.28	
	表面~20	0.396	9.19	
10BL 陸側梁	表面~20	0.327	7.58	
	20~40	0.168	3.90	
	40~60	0.078	1.81	
	80~100	0.045	1.04	
	表面~20	0.396	9.19	
	20~40	0.327	7.58	
10BL 床版	表面~20	0.423	9.46	
	20~40	0.442	9.90	
	40~60	0.310	6.94	
	60~80	0.187	4.19	
	80~100	0.057	1.28	
	表面~20	0.396	9.19	

かぶり位置での鉄筋腐食発生限界量以上の試験結果

表-2 かぶり位置での鉄筋腐食発生限界量(2.0kg/m³)を超える時期

BLNo	4BL			8BL			10BL		
部材	海側梁	陸側梁	床版	海側梁	陸側梁	床版	海側梁	陸側梁	床版
鉄筋腐食発生限界量を超える予測時期	2012年	2019年	2033年	2006年	1998年	2016年	1995年	2004年	2014年



図-7 目視調査（①上部工(梁)劣化、②上部工(床版)劣化）

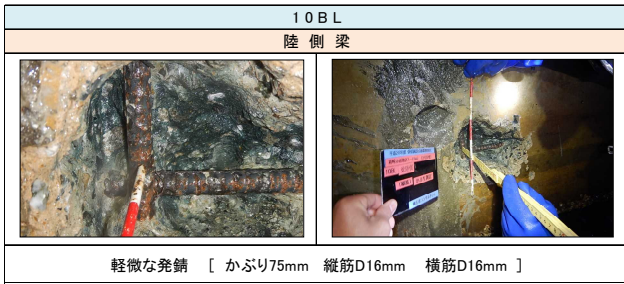


図-8 はつり調査結果

3. 改良方針の検討

(1) 補修の考え方

耐用年数：築造時点から50年を目標とする(2037年まで)

(2) 鋼管杭・鋼矢板対策工法の決定

目視にて確認された開孔については、鋼板を開孔箇所表面に被せ、全周溶接することにより補修する。現況調査結果より、早期に腐食進行抑制策が必要と思われる。港湾の施設の維持管理技術マニュアル(2018年7月)及び港湾の施設の技術上の基準・同解説(2018年5月)による防食対策の考え方に準拠し、鋼管杭に電気防食を行った場合の応力度照査結果を下表(表-3)に示す。電気防食を行う事により応力度を満足する結果となった。現時点で鋼管杭に電気防食を施しておくことにより、供用期間中の杭性能確保が可能であると共に、将来、栈橋上部工の撤去・更新を行う場合にも既設杭を利用できる可能性も期待できる。

表-3 応力度照査結果(電気防食有)

鋼管杭	残存肉厚(mm)	必要肉厚(mm)	健全度	参考計算			
				作用モーメント(kN・m)	断面係数(mm ³)	応力度(N/mm ²)	許容値(N/mm ²)
1列目	9.82	7.00	OK	594.969	5986906	99.4	184.4
2列目	10.80	8.00	OK	724.719	6562062	110.4	191.5
3列目	11.08	8.00	OK	880.118	6732561	130.7	198.2
4列目	12.08	9.00	OK	1004.899	7315670	137.4	197.5

(3) 上部工対策工法の決定

調査結果より上部工の補修が重要と考えた。補修工法の選定は「港湾コンクリート構造物補修マニュアル」に従い、栈橋上部工(RC)に適用される工法から行った。断面修復工法については、現時点で鉄筋位置での塩化物含有量が多く、採用にあたっては鉄筋位置まではつり出しを行う必要があり、施工性、経済性に劣る結果であった。従って、「電気防食工法」「打換え工法」の2工法について比較を行った。「全体を電気防食」する工法は、上部コンクリートに対して、劣化進行の著しい部位を断面修復やひび割れ注入により機能回復させ、躯体の表面に設置した電極より鉄筋に向けて電流を流すことにより鉄筋腐食進行の抑制・施設延命化を図るものである。本工法は、栈橋を全面的に撤去して打ち換える工法に比べ、

貨物船の接岸や荷役作業を継続しながらの施工が可能で、既に塩化物イオンが進入している部材においても効果が高い。経済性・施工性に優れる結果となることから、電気防食工法を補修工法に採用した。

鉄筋の防食	
CASE 1-1: 全体を電気防食	
概要	上部コンクリートに対して、劣化進行の著しい部位を断面修復やひび割れ注入により機能回復させ、梁およびスラブ全ての表面に対して電気防食により延命化を図る。
適用性	隣接施設で実績があり適用性は高い。
概算工費	初期費用 1,061,000千円 電気代・配線更新費 240,000千円 合計 1,301,000千円
評価	○
撤去・復旧	
CASE 2-1: 現場打ちコンクリート	
概要	上部コンクリートに対して全面的に撤去し、場所打ちコンクリートにて復旧する。
適用性	施工が大規模となるが適用は可能。
概算工費	初期費用 1,390,000千円
評価	△

図-9 上部工補修工法の比較

(4) 電気防食工法の決定

電気防食工法は、外部電源方式と流電陽極方式(電気代が不要)の2方式があり、それぞれについて面状陽極方式、線状陽極方式の比較検討を行った。各方式の適用性・経済性等を検討した結果、外部電源方式における「線状陽極方式：チタンリボンメッシュ」が総合的に最も優れた評価となった。「線状陽極方式：チタンリボンメッシュ」は、金属酸化物をコーティングしたリボンメッシュ陽極をコンクリート表面に一定間隔で切削した溝に設置し、セメントモルタルにより充填する工法である。死荷重の増加がなく、外的要因への耐久性も高いことが特徴である。ライフサイクルコスト等を踏まえ、経済性で有利になる工法である。

面状陽極方式 チタンメッシュ	
概要	金属酸化物をコーティングしたメッシュ状のチタン陽極をコンクリート表面に設置し、これをモルタル(オーバーレイ材)で被覆する。
適用性	梁部材は干満部となるため、オーバーレイモルタルの硬化時間を十分確保できるか確認が必要。
単価	114,000円/m ²
評価	○
線状陽極方式 チタンリボンメッシュ	
概要	金属酸化物をコーティングしたリボンメッシュ陽極をコンクリート表面に一定間隔で切削した溝に設置し、セメントモルタルにより充填する。
適用性	外的要因への耐久性も高く、栈橋への実績も多い方式である。チタンメッシュ方式と同様に干満部では、埋戻しモルタルの硬化時間を十分確保できるかの確認が必要。
単価	111,000円/m ²
評価	◎
面状陽極方式 ICユニット	
概要	保護カバーで覆われた亜鉛シート、特殊バックフィルからなる亜鉛防食板をアンカーボルトでコンクリート表面に設置する。
適用性	電源が不要のため、落雷等による停電や定期的な電流の調整もなく、維持管理は容易である。配線が破損しやすく、点検が容易ではない様機には敵しているが、経済性には劣る。
単価	146,000円/m ²
評価	○
線状陽極方式 チタンリボンメッシュ	
概要	保護カバーで覆われた犠牲陽極材、特殊バックフィルからなる陽極を、チタンビスでコンクリート表面に一定間隔で設置する。
適用性	陽極材がコンクリート表面の突起となり、波浪や流下物の影響を受けやすいこと、ビス固定のため大きな力が作用すると脱落する恐れもあることから、海面に近い様機等には適さない。
単価	適用不可
評価	×

図-10 電気防食工法における比較

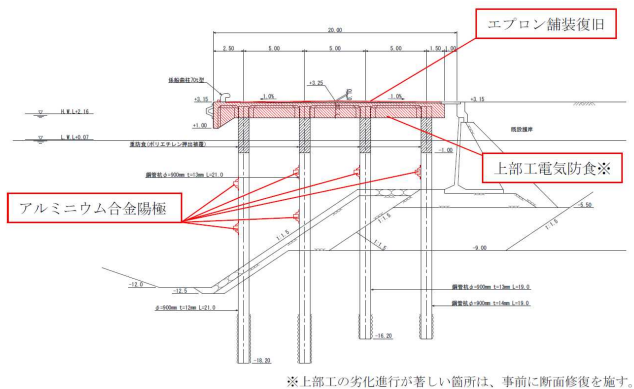


図-11 老朽化対策工概要図

4. 企業活動を継続させながら施工を行う工夫

(1) 入場制限区域内での施工

施工場所は、狭隘な入場制限区域内である。荷役作業時は大型トラックの往来に加え、荷役機械のアンローダ、荷下ろし用大型ホッパー等が稼働するため、老朽化対策工事と荷役作業の輻輳による施設使用障害が懸念された。そのため、老朽化対策工の事前説明が重要と判断し、関係企業（アンローダ組合、荷役業者、港湾運送業者、船舶代理店、製粉会社等）や港湾管理者（福岡市）の参集のもとに説明会を行った。現地打合せ等を幾度も実施し、入場制限区域内で予測される問題点を事前に確認し解決することで、企業活動に支障をきたすことなく、工事に着手したところである。



図-12 説明会



図-13 現場打合せ

(2) 船舶接岸時の施工方法

貨物船が下図(図-14)の通り頻繁に接岸している状況である。接岸している間の昼間は荷役作業が行われており、敷地の大半を占有する為、船舶の接岸時でも施工ができる方法を検討した。船舶が接岸していない時は、通常通り岸壁前面からの作業を行う。船舶が接岸している時は、既設護岸と栈橋部を連結する渡版を一部撤去し、上部工下への出入口を確保する事で、船舶が接岸している時でも作業可能とした。この2通りの施工方法を実施することで、スムーズな工事の進捗と企業活動の継続が可能となった。

船番	金	土	日	月	火	水	木
1							
2							
3							

図-14 船舶接岸状況(例)

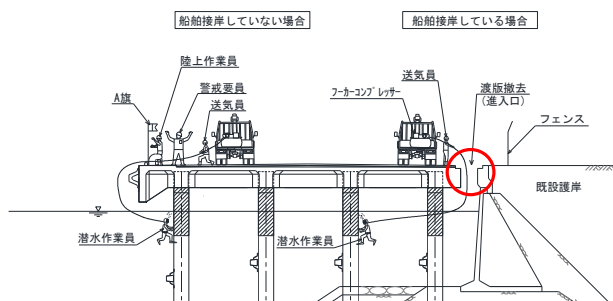


図-15 船舶接岸時の施工方法(1)

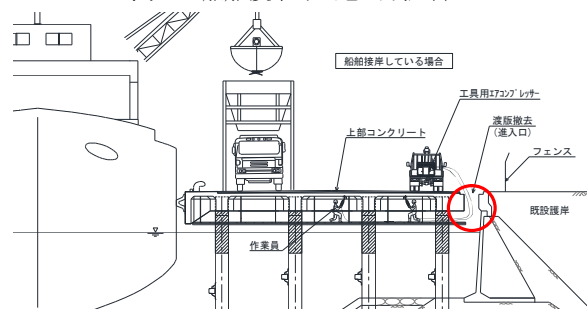


図-16 船舶接岸時の施工方法(2)

5. おわりに

老朽化が進行した施設に電気防食工法を施すことで、岸壁の円滑な利用を脅かす事態を防止することが可能となり、施設の延命化を図ることに繋がる。又、企業活動に支障の無いような対策の検討を行い、アンローダ組合などの関係企業や港湾管理者（福岡市）と協議を重ね、大型貨物船が接岸している際でも作業可能とする対策を講じて、工事を着手したところであり、現在、荷役業者と良好な関係を構築している。

今後、4年間程度で栈橋下に上部コンクリートの外部電源陽極方式、鋼管杭へのアルミニウム合金陽極を行った後、大型貨物船の接岸・荷役に影響を与える工事（舗装等）を行うこととなるが、引き続き、企業活動に支障が無いように配慮して施工を行っていきたい。