

高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストRC床版の ジャケット式栈橋への適用について

中国地方整備局 宇野港湾事務所 特別会員 ○下釜 拓斗

1. はじめに

近年、高度経済成長期に整備された社会資本の供用年数が50年を超え、老朽化に伴う維持管理コストの増大が大きな懸念事項となっている。そのため、施設の長寿命化が検討され長期的な経済性に基づいた施設の計画・設計等が重要視されている¹⁾。このため、新規に港湾構造物を整備する場合、対象施設の最適な構造形式を選定することに加え、LCCの最適化が求められている。

こうした状況を踏まえ、水島港玉島地区岸壁（水深12m）を新規に整備するにあたって、最適な構造形式（ジャケット式栈橋）を選定した上で、対象施設の重要性を踏まえLCC低減方策について検討している。本報告は、その一例として、プレキャストRC床版について報告する。

2. 岸壁整備にあたっての背景

(1) 水島港の現状

水島港は、岡山県西部を流れる高梁川の河口に位置する国際拠点港湾である。穀物取扱企業が多数集積し食糧コンビナートを形成しており、西日本の穀物輸送拠点として機能している。水島港は企業間連携による大型船を活用した効率的な海上輸送網の形成を推進する「国際バルク戦略港湾」に平成23年5月に選定され、この施策を推進している。

水島港の穀物は、現状、水島地区、玉島地区の企業ごとに減載し喫水を調整したパナマックス船等で運搬されている。特に玉島地区では、既存港湾施設のうち穀物バルク対応可能な施設は、立地企業から約2km離れた岸壁（水

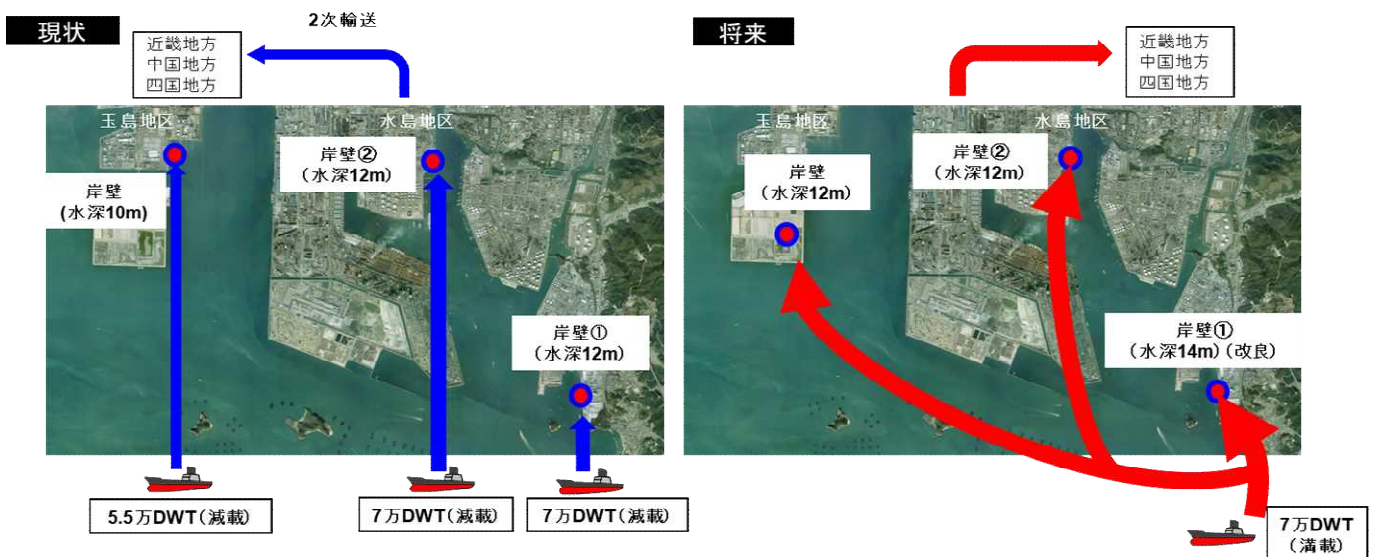


図-1 水島港 現状と将来（共同輸送への進展）

キーワード ジャケット，LCC（ライフサイクルコスト），高炉スラグ細骨材

連絡先 〒710-0253 倉敷市新倉敷駅前4丁目29番 中国地方整備局 宇野港湾事務所水島出張所
工務課長 太田 博 TEL 086-522-0507

深10m)のみであり、進出した企業にハンディマックス船(5.5万DWT(載貨重量トン)級、満載必要水深12m)やパナマックス船(7万DWT(載貨重量トン)級、満載必要水深14m)の減載による非効率な海上輸送、かつ岸壁から工場までの陸上二次輸送を強いている。

こうした課題を解決するため、水島地区と玉島地区の2地区における大型穀物船を活用した共同輸送に進展に対応する水島港国際物流ターミナル整備事業に、平成29年度より着手した。

その第一段階として、港湾ユーザーの要望が高い、本岸壁を整備している。

(2) 岸壁の概要

岸壁整備位置は、玉島ハーバーアイランド東側の既設護岸前面に計画(岸壁延長320m、計画水深14m(暫定水深12m))された。

本岸壁の荷役形態は、アンローダーを用いて、穀物をバルク船から背後のベルトコンベヤに投入しサイロまで運搬する方法である。そのため、コンテナヤードのように広いヤードは不要(背後地の埋立は不要)である。

また、岸壁計画位置背後には岸壁の整備に先立ち平成29年に穀物貯蔵サイロが建設され、これら企業から岸壁の早期供用開始が要望されていたことから、整備期間は平成29年から令和元年の3年間であり、短期間の施工を行う必要があった。

こうした本岸壁の荷役の特徴を活かし、整備期間が短く経済的にも優れる「RC栈橋構造(ジャケット式栈橋)+背後連絡橋」を採用している。

ジャケット式栈橋とは²⁾、工場で製作された鋼管トラスを鋼管杭で海底に固定する構造形式であり、鋼管トラスにより下部工の水平剛性を高めると共に、上部工の荷重をトラス骨組で合理的に基礎杭に分配できる。ジャケットは、主要な鋼構造部分を工場で製作し、一括で架設できるため、高品質の確保と、現地工期の短縮が可能である。ジャケット設置後、ジャケットと鋼管杭をグラウトにより結合した後、工場又はヤードで事前に製作した床版をジャケット上に設置することを基本としている。(ただし、経済性や施工性に優れる場合は、現場打ちを選定することがある。)床版据え付け後、上部コンクリートの打ち込み、舗装等を行い栈橋を構築する。



写真-1 岸壁完成後の供用状況(令和2年6月撮影)

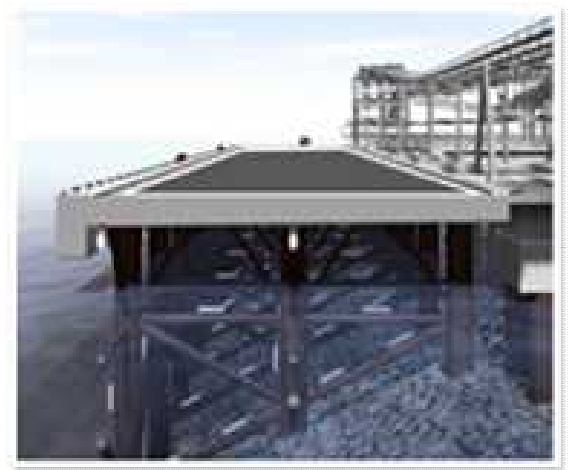


図-2 採用された構造形式(ジャケット式栈橋)

(3) ジャケット式栈橋を維持管理する上での課題

穀物を積載した船舶は、本岸壁に接岸し、アンローダーで荷役を行う。アンローダーを用いても荷役に数日を要し、係留時間が比較的長い。また、年間の接岸頻度が多く、稼働率が非常に高いうえに国際バルク戦略港湾のセカンドポートであるため、本岸壁の稼働を止めると連携輸送する別の施設にも影響を与えてしまう。このため、本岸壁は、供用停止を避ける必要があり、維持補修の頻度が少ない構造が求められる。

ジャケット式栈橋の維持管理上重要な部材を抽出すると、以下のとおりである。

①飛沫帯の床版部：コンクリート中への塩化物イオンの浸透等により、供用開始後30年がかぶりの劣化等が顕在化する傾向があり、その場合は大規模な補修が必要となる。

②干満帯のジャケット部：被覆防食を施すことで、重防食で30年程度、SUS被覆で50年以上の耐用年数が設定されており、劣化状況に応じて補修が必要となる。

③海水中のジャケット部：電気防食を施す。陽極は消耗するため、陽極の耐用年数での更新が必要となる。なお、本岸壁は高梁川河口に位置するため氾濫時に流木等の流下物が衝突して陽極が落下することで、必要な電流を確保できなくなり腐食が進行する可能性がある。定期的な点検（電位測定等）を行い、異常が生じた場合は補修が必要となる。

本報告では、このうち①飛沫帯の床版部分の課題解決について抽出し、詳細を記すものとする。

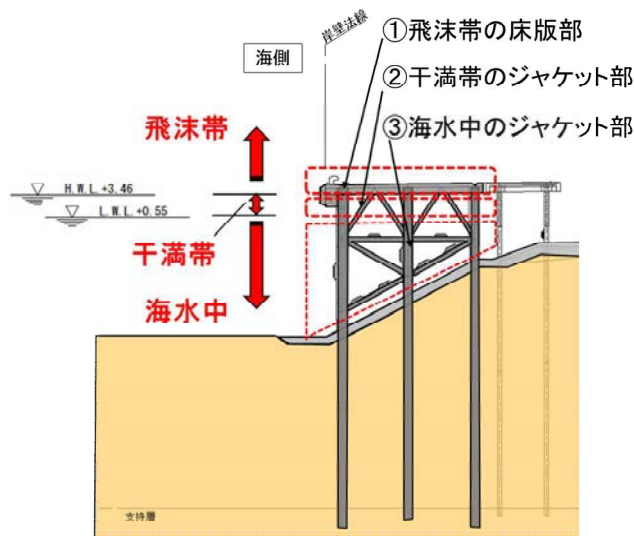


図-3 岸壁部材の腐食環境



図-4 栈橋上部工劣化イメージ（かぶり乖離）
※港湾施設点検診断ガイドラインより

3. 維持管理上の課題に関する解決策

床版の劣化は、多くの場合、塩害（コンクリート中への塩化物イオンの浸透等）が主な原因と考えられている。一般的に、床版コンクリート中の塩化物イオン濃度が 2.0kg/m^3 を越えると鉄筋腐食が進行するとされており、ひび割れが発生しさらに劣化の進行が進むと、腐食による膨張作用でかぶりの剥離が生じる。これにより、床版の補修が必要となるため補修費用の発生と補修工事中は利用者に不便を強いることになり、これが維持管理上の課題となっている。この課題に対するコンクリート中への塩化物イオンの浸透抑制策（床版の劣化対策工法）を表-1のとおり比較した。

ケース1の無対策は、事後対策型である。現場打ち或いは製作ヤードで製作するプレキャスト製のRC床版であり、一般的には供用開始後30年程度でかぶりの劣化等が顕在化する傾向のため、岸壁の供用を停止し床版の打ち替えする等の大規模な補修が求められる。

ケース2の表面処理工法はコンクリート構造物の表面に被覆を施す工法で、表面被覆材（樹脂系塗料等）を塗布することで塩化物イオンの浸透を抑制し、劣化の進行を抑制・耐久性を向上させるものである。予防保全型であり、一般的には、被覆性能が低下する30年程度毎に塗替等が必要であり岸壁の供用期間中に更新が求められる。

ケース3の高炉スラグ細骨材を用いて緻密化したコンクリートは、セメントの一部に高炉スラグ微粉末を使用し、細骨材の全量を普通細骨材（一般的な砂及び砕砂）に代え高炉スラグ細骨材とすることで、高強度と耐塩害性、耐凍害性等に優れるコンクリートの製造を可能としている。高炉スラグ細骨材を用いて緻密化したコンクリートの適

表-1 床版の劣化対策比較

	ケース1 (無対策)	ケース2 (表面処理工法)	ケース3 (床版コンクリートの緻密化)
概要	RC床版は、現場打ち、或いは製作ヤードで製作するプレキャスト製。	RC床版の表面に被覆材を塗布する。 (床版製作方法はケース3と同じ)	高炉スラグ細骨材を用いて緻密化したコンクリートによりRC床版を工場で製作し、ジャケット上に据え付ける。
材料等	一般的なRCコンクリート	一般的なRCコンクリートで、表面に塗布する材料は、ポリマーセメント系、樹脂系、ゴム系があり現場特性等により選択が可能。	セメントの一部に高炉スラグ微粉末を用い、細骨材の全量に高炉スラグ細骨材を用いて緻密化したコンクリート。
維持管理方針	事後保全型 床版の性能が損なわれた段階で打替を実施 (一般的に、30年程度を目処に打ち替えが必要)	予防保全型 岸壁の供用期間中に表面被覆補修を実施 (一般的に、30年毎に塗り替えが必要)	事前対策型 岸壁の供用期間より長い耐用年数の床版を採用 (設計上、補修(更新)が不要)
床版製作費(比率)	1.00(基準)	1.46	1.86
ライフサイクルコスト(50年間) (比率)	1.00(基準)	0.96	0.93
長所(メリット)	初期投資は安価である。	塩化物イオン等の侵入を抑制し、劣化の進行を抑えることで、コンクリート構造物の耐久性を向上させる。	高強度と耐塩害性、耐凍害性等に優れるコンクリート。 耐用期間50年以上が可能となり、更新・補修が不要となるため、LCCで優位である。 <u>加えて、岸壁の供用停止は生じない。</u>
短所(デメリット)	一般的に、30年程度を目処に打ち替えが必要であり、大規模な補修が必要となる。なお、補修時には、岸壁の供用停止が生じる。	一般的に、30年程度毎に塗り替えが必要であり、塗装更新時は、岸壁の利用制限もしくは供用停止が生じる。	粘性が高いコンクリートとなるため、品質管理が難しく、現場打ちは不可。 初期投資が他の案と比較し高価である。
評価	△	○	◎

用により、塩化物イオンの浸透経路となる高炉スラグ細骨材とセメントペーストとの界面が緻密化することによって、総空隙量の低下、空隙の連続性の低下等が生じ、高い塩害性能が確保される³⁾。これにより岸壁の供用期間である50年間において、鉄筋位置における塩化物イオン濃度は2.0kg/m³を越えることはなく、床版更新は不要となる事前対策型である。

この案は、供用期間50年間設計上床版の補修(更新)が不要となるため、岸壁利用ユーザーにとっては最も望ましい対策方法である。

加えて、高炉スラグ細骨材の製造所が、倉敷及び福山に立地しており、その活用において、材料の調達に係る費用が優位な状況(運搬費用等が安価等)であったことから、床版製作コストが抑えられ、ライフサイクルコスト(50年間)で最も安価なケースとなった。

上記3ケースを比較した結果、本岸壁では設計上補修(更新)が不要で、LCCに優れるケース3の高炉スラグ細骨材を用いて緻密化したコンクリート案を採用した。

4. まとめ

ジャケット式栈橋を採用することで、現場における作業期間が短縮され、早期に岸壁を竣工することができ、令和3年6月から供用を開始している。また、栈橋の床板は、一般的に供用開始30年後に劣化状況を踏まえ更新が必要とされているが、本岸壁では高炉スラグ細骨材を用いて緻密化したコンクリートの採用により、50年の耐用年数を確保し、先述のとおり岸壁の供用停止を伴わないことから、岸壁利用者に制限の負担を強いることなく荷役が維持出来る。加えて、その間における維持更新費が不要となったことにより、LCCの低減が可能となった。

イニシャルコストが高価・品質管理等の課題があるが、維持管理の観点からの有利性があることから、港湾分野においても、この新技術の積極的な活用がなされ、幅広く活用されていくことが期待される。

5. 参考文献

- 1) (社)日本港湾協会：港湾施設の技術上の基準・同解説 部分改訂，設計における維持への配慮，2014.6
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター：ジャケット工法技術マニュアル，2000.1
- 3) 土木学会：高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針(案)，コンクリートライブラリー155，2019.3