岸壁の構造形式の選定とLCC低減策について

中国地方整備局　港湾空港部　特別会員　　○岡　祥司

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)]．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，供用後の維持管理コストも含めたライフサイクルコスト（以下LCC）の低減が求められている．

こうした状況を踏まえ，本検討は，水島港玉島地区岸壁（-12m）を新規に整備するにあたって，最適な構造形式（ジャケット式桟橋）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たものである．

２．水島港の現状・課題

(1)　水島港の現状

図2.1に示す水島港は，高梁川河口に位置し瀬戸内海のほぼ中央部で年間を通じて静穏な海域にある．1960年に重要港湾に指定され，2003年に特定重要港湾（現国際拠点港湾）に昇格した．鉄鋼，石油精製，石油化学，穀物などの多様な産業が立地する我が国屈指の水島港臨海工業地帯の一角を成し，中国・四国一位の港湾取扱貨物量を誇る我が国有数の工業港として地域の経済，産業に大きな役割を果たしている．また，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．2011年には，国際バルク戦略港湾に選定され，2017年度より水島港国際物流ターミナル整備事業に着手している．

図 2.1　水島港位置図

(2)　水島港の課題

水島港の穀物は，現状，水島地区，玉島地区の企業ごとに運搬されている．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（-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級，満載必要水深12m）やパナマックス級船舶（7万DWT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．こうした問題を解決するためにも，水島港国際物流ターミナル整備事業の第一歩として，早期に岸壁を整備することが求められている．

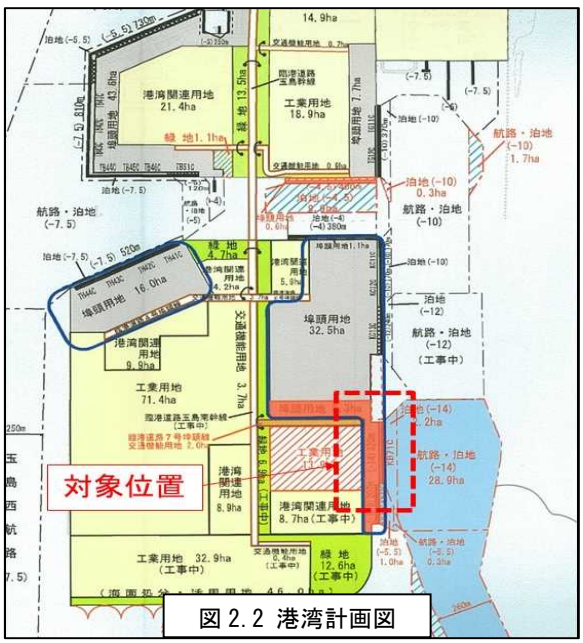


図 2.2 港湾計画図

キーワード　ジャケット，ＬＣＣ（ライフサイクルコスト），部材

連絡先　〒730-0004 広島市中区東白島町14-15 中国地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課 松下 憲司
ＴＥＬ　082-511-3908

(3)　岸壁整備位置の概要

岸壁整備位置は，図2.2に示す玉島ハーバー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))されている．また，岸壁計画位置の背後には既に穀物貯蔵サイロが建設され，企業から岸壁の早期供用開始が望まれている．

３．水島港玉島地区岸壁(-12m)築造工事　工事状況

現在の工事現場全域の状況は図3.1のとおりである．

本施設は，背後企業に施設の早期完成を求められていること及び，アンローダーとベルトコンベアを用いた穀物の荷役形態に着目し，ジャケットを用いた桟橋形式となっており，断面は図3.2のとおりである．次節以降では施設の構造形式を踏まえたLCC低減策について述べる．

図 3.1 工事現場の状況(平成 31 年 1 月)

４．ジャケット式桟橋を維持管理する上での課題

ジャケットは，鋼構造物であるため，腐食対策などの適切な維持管理が重要となる．このため，維持管理に関する課題を整理した上で，その解決策について整理する．

(1) 荷役の特徴

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，係留時間が長い．また，年間の接岸隻数が多く，稼働率が非常に高い施設である．

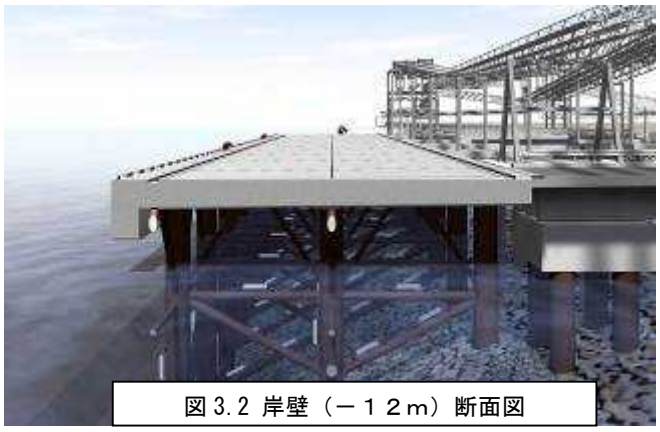


図 3.2 岸壁（－１２ｍ）断面図

(2) 維持管理上重要な部材

ジャケット式桟橋の維持管理上重要な部材は以下のとおりである．

①飛沫帯の床版部：供用開始後30年でかぶりの剥落等が顕在化し，大規模な補修が必要となる．

②干満帯のジャケット部：被覆防食で防食され，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,劣化の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：電気防食で防食され，50年耐用の場合,50年で消耗し更新が必要となる.また，陽極の落下が発生した場合，必要な防食電流を確保できなくなり，腐食が進行する可能性がある．

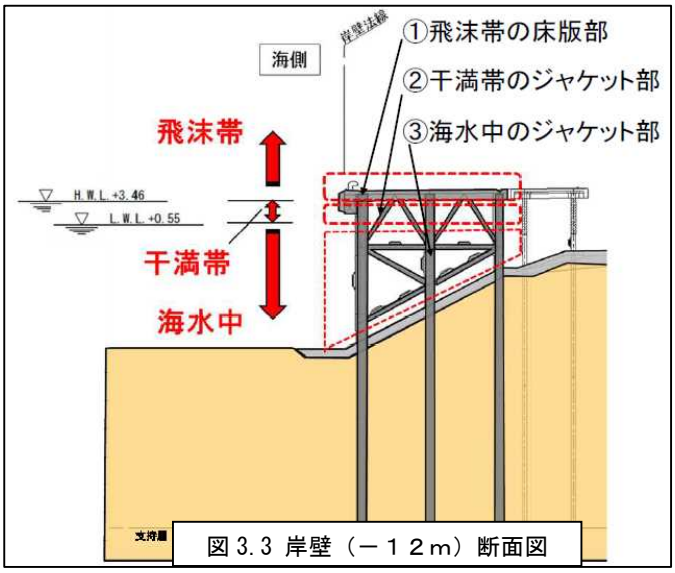


図 3.3 岸壁（－１２ｍ）断面図

(3)維持管理上の課題

以上より,本岸壁は稼働率が高く維持補修による長期の供用停止を回避することが必要条件であることから,維持管理上，経済的で効率良く施工できる維持補修の頻度が少ない構造が求められる．

今回は，このうち①飛沫帯の床版部と②干満帯のジャケット部について，新技術を活用した解決策を詳細に述べることとする．

５．　維持管理上の課題に対する新技術を活用した解決策

前述の重要な部材に対して，維持管理上の課題の解決策について検討した結果を示す．

(1)飛沫帯の床版部

床版の補修による供用停止を極力避ける必要があるため，床版には長期にわたり性能（耐久性）の維持が要求される．また，長期間性能が維持されれば，ライフサイクルコスト（LCC）の観点からも有利となる．

床版の劣化は，コンクリート中への塩化物イオンの浸透が主な原因と考えられている．床版コンクリート中の塩化物イオン濃度が2.0kg/m3を超えると，鉄筋腐食が進行する．更に劣化が進行すると，腐食による膨張作用でかぶりが剥落する．

こうした劣化を防ぐ方法として，ケース1（緻密コンクリートの採用により塩化物イオン濃度の浸透を遅延させる方法），ケース2（塩化物イオンの浸透を遮断する方法）の2案を本設計で選定し，ケース3（無対策案）とLCCを含めた比較検討を実施した．具体的には，ケース1の方法については，高炉スラグを用いた緻密コンクリート案を選定した．ケース2については，樹脂系塗料を塗布する案を選定した．比較した結果を表5.1に示す．検討の結果，耐用年数が永く，LCCに優れる高炉スラグを用いた緻密コンクリート案を採用した．

表 5.1 床版形式比較

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
工法概要	・高炉スラグを活用した緻密コンクリート ・設計耐用期間は通常コンクリートの 5 倍以上 ・品質管理上、工場製作となる	・一般的にはコンクリートの補修で使う材料を事前に塗布する工法 ・材料としては、ポリマーセメント系、樹脂系、ゴム系がある	・通常の RC 製床板であり、現場打ち或いは製作ヤードで製作するプレキャスト製となる
材料単価	プレキャストコンクリート(現場製作)の 5 割増	概ね 10,000 円/m² 前後 対象面積 1,152m²/基	－
ジャケット 1 基当り床板製作費(比率)	1.15	1.09	1.00 (基準)
維持管理	50 年耐用以上が可能となり、更新不要	30 年毎に更新が必要	30 年毎に床板打替え
ﾄｰﾀﾙｺｽﾄ(50 年間)(比率)	0.57	0.67	1.00 (基準)
実績	ジャケット式の床板は無いが、渡橋等のプレキャスト床板はあり	実績は少数	想定される工法
評価	◎	○	○

(2)被覆防食

一般的に飛沫帯の腐食環境は非常に厳しく特に防食に対して留意が必要となる．図5.2に示すジャケット構造は，床版の下面側が飛沫帯となり鋼材の防食が特に重要な部分である．

被覆防食についても，LCCを考慮して被覆材量を選定し比較を行い，最適な防食方法を選定する．比較の結果，表5.3に示すとおりLCCに優れるステンレス被覆(耐海水性ステンレス鋼ライニング)を採用した．

なお，ステンレス被覆は，近年のジャケット構造では一般的な被覆防食方法となっている．また，ステンレス被覆は，レグの一般部の鋼管に対して実施し，部材の接合部であるキャン部

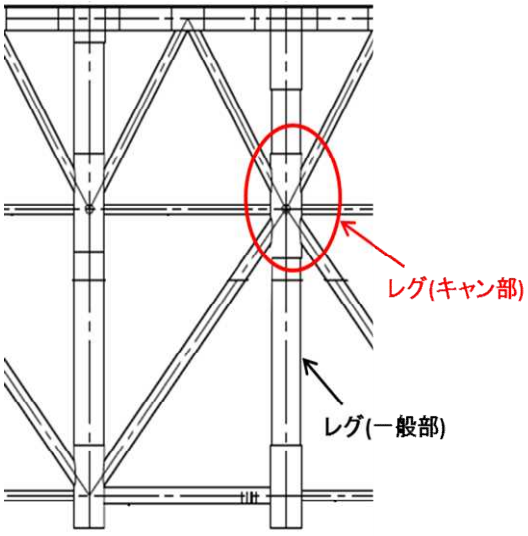
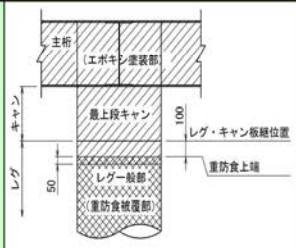
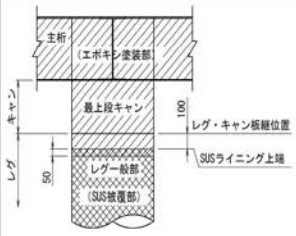
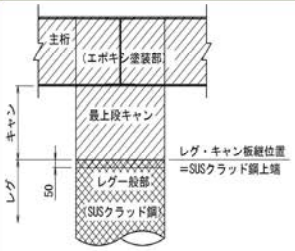
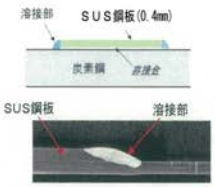
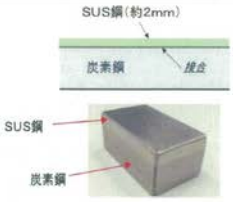


図 5.2 ジャケット構造図

や床版を支持する桁等の構造が複雑な箇所は，工事費が高価となるため重防食被覆とするのが一般的な方法となっている．本設計においても被覆防食は，ステンレス被覆と重防食被覆を併用し，LCCの低減を図っている．

表 5.3 被覆防食形式比較

	ｹｰｽ1 重防食塗装	ｹｰｽ2 耐海水性ｽﾃﾝﾚｽ鋼ﾗｲﾆﾝｸﾞ（SUS312L）	ｹｰｽ3 SUSｸﾗｯﾄﾞ鋼（母材＋JSL310Mo）	ｹｰｽ4 ﾁﾀﾝｶﾊﾞｰ・ﾍﾟﾄﾛﾗﾀﾑ被覆工法
適用イメージ				 写真：チタンカバー・ペトロラタム被覆工法
技術概要	1) 重防食を鋼管製作時にライニングしたもの。 2) 耐用年数は一般的に30年であるため、更新が必要である。	 SUS鋼をライニング材とし、TIG溶接または被覆アーク溶接で炭素鋼に貼り付ける方法。	 炭素鋼にSUS鋼板を組立圧延法により接合した複合鋼板。境界面が全面にわたり金属組織的に接合する。	1) ペトロラタム被覆をチタンカバーで覆ったもの 2) 取付けは製作時も可能であるが、鋼管杭打設時に脱落の恐れがあるため現地水中施工とする。 3) ペトロラタム被覆自体は耐用年数30年の為、維持管理、交換が必要。（チタンカバーは耐用年数長い）
腐食耐久性	○：30年程度	◎：50年程度	◎：100年程度	○：30年程度(ペトロラタム被覆)
耐衝撃性	△	○~△	◎	○~△
新規性	△（実績は多い）	△（近年実績が多い）	◎（沿岸部ジャケットとして初）	◎（沿岸部ジャケットとして初）
m2単価（比率）	1.00（基準）	1.25	2.50	3.75
JKT製作（比率）	1.00（基準）	1.02	1.10	1.16
維持補修費（50年間）	24,000 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 1回更新	0 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 更新なし	0 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 更新なし	36,000 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 1回更新
維持補修費（100年間）	72,000 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 3回更新	30,000 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 1回更新	0 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 更新なし	108,000 千円(ﾎﾞﾗｼﾞ塗装部除く) 3回更新
ﾄｰﾀﾙｺｽﾄ 上段 50年間	1.00（基準）	0.93	1.00	1.19
下段100年間	1.00（基準）	0.89	0.84	1.24
評価	△	◎	○	-

6． まとめ

(1)　技術活用後の評価

ジャケット式桟橋を採用することで，現場における作業期間を短縮し，できるだけ早期に岸壁を竣工する見込みである．また，桟橋の床版は従来の性能で供用開始30年後に何らかの変状が発生し，更新が必要となるが，本施設では50年の供用年数を確保でき，延長期間分の維持管理費を低減した．被覆防食については，SUSライニングを採用することで，供用期間を50年としたとき，トータルコストで有利となった．

(2)　今後の課題

今回，岸壁本体のLCCを低減する方策として，岸壁構造本体への新技術を活用した対策を施した．これら新技術への明確な点検基準が確立されていないため，新技術に対する定期点検基準の確立が必要となる．

供用後は港湾管理者が管理することとなり，将来，岸壁に設置される防舷材やフェンスなどの付属施設等との接合部からの劣化や錆による岸壁本体への影響が懸念される．付属施設等を含めた岸壁全体の点検業務が，適切に行われるよう維持管理計画書を策定し，点検結果に応じて随時見直すことが重要となる．

7． 参考文献

1) 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（平成26 年6 月(社)日本港湾協会）