

栈橋式空港施設の超長期防食法

Corrosion Prevention Methods of Jacket Structures to Airport Facilities for Long Term Service

尾島啓介*・石田雅己**

OJIMA, Keisuke and ISHIDA, Masami

* (財)沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

** 防食・補修工法研究会 技術部会分科会長

The jacket structures have proposed the construction method of airports facilities. Jacket structures to airport facilities have advantages of (1) saving the construction cost and period, (2) mild influence on natural, (3) excellent resistance of earthquake and subsidence. It is important that the jacket structures to airport facilities apply reliable corrosion prevention methods because jacket structures are composed of steel. The combination methods of corrosion resistant metal wrapping and cathodic protection are applicable to marine airports that are required long-term durability for up to 50 to 100 years.

Key Words : jacket structures to airport facilities, corrosion prevention methods, long-term durability

1. はじめに

大都市圏においては空港利用客の増加に伴い、空港容量の拡大が望まれている。しかし、陸上での新たな空港や滑走路の建設は、用地確保や騒音の問題により著しく困難となっている。そのため、大都市圏では海上空間の有効利用による空港建設も一つの選択肢となる。海上空港の構造や建設工法についてはいくつか提案されているが、その選定にあたっては経済性、施工性、供用中の信頼性、メンテナンスの容易性、環境への影響等を十分に検討して決定する必要がある。

本報告では、海上空港建設工法の候補の1つとして挙げられている栈橋式海上空港について、その概要および鋼材の防食法について述べる。

2. ジャケット式栈橋工法の一般的な特徴

栈橋工法で建設された海上空港としては、海外ではラガーディア空港（米）、マデイラ空港（ポルトガル）、マカオ空港（中国）等で滑走路、誘導路の一部への適用が挙げられる。栈橋工法には直杭形式、斜杭形式、ジャケット形式、橋梁形式等があり、なかでもジャケット式栈橋工法は工期短縮が図れるという特長がある。

ジャケット式栈橋は、図-1 に示すように主に鋼管によってトラス構造に組み立てられたジャケット部材とそれを支える鋼管杭とから構成される。ジャケット部材は陸上の工場で作られた後に海上に輸送され、現地据付後に鋼管杭を打ち込むことで固定される。ジャケット式栈橋の特徴としては、①ジャケット部材は陸上で製作されるために現場での工期短縮減が図れる、②透過構造であるため潮流や河川への影響は少ない、③トラス構造のジャケットが岩盤部まで打ち込んだ杭とグラウトで一体化されているために地震や地盤沈下に比較的強い、等があ

げられる。

これらの特長により海洋構造物としての実績も多く、大型のプラットホーム等でもジャケット構造が採用される例が増えている。ただし、ジャケット部材および杭を構成する鋼材にとって海洋は厳しい腐食環境となるため、栈橋式海上空港では鋼材の腐食対策と適切な維持管理が不可欠となる。

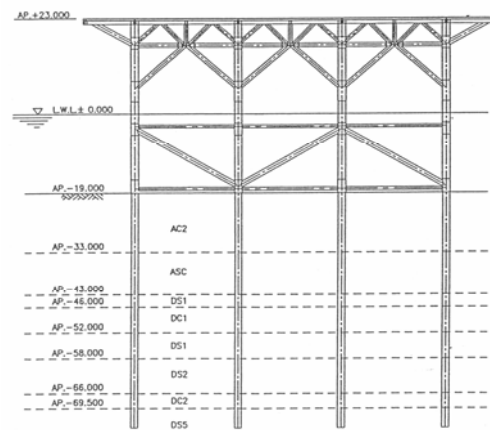


図-1 ジャケット式栈橋

3. 栈橋式空港の防食工法

空港は重要な社会インフラであり、空港として機能すべき設計供用年数も50年や100年といった超長期となるため、栈橋工法を適用する際には高い信頼性と超長期の耐久性を期待できる防食法を選定する必要がある。超長期の耐久性が期待できる防食法としては、これまでも東京湾横断道路ではチタンクラッドライニング、関西新空港連絡橋では複合防食工法が適用され、いずれも防食

効果の期待耐用年数は100年とされている。近年は、ライフサイクルコストが重要視される傾向にあり、栈橋式海上空港の防食設計も初期建設コストのみでなく建設後の維持・補修コストも含めたライフサイクルコストを考慮して行うことが重要である。

3.1 防食法の選定に必要な検討事項

防食法の選定に必要な検討事項をまとめると表-1のようになる。

表-1 栈橋式海上空港の防食法に必要な検討事項

検討事項	項目
対象構造物の状況	適用部位、構造物の種類、構造物の構造、腐食環境
防食工法に対する要求性能	防食性能、耐久性
防食施工上の要因	関連法規、作業能率
経済性	初期コスト、メンテナンスコスト、被災復旧コスト
維持管理	点検・調査の容易性、補修・更新の容易性

これらをもとに、栈橋式空港施設の超長期防食（100年防食）に向けた防食工法の検討を行った。

3.2 栈橋構造の腐食環境区分と防食設計

栈橋式海上空港の設置される環境は、図-2に示すように鉛直方向に、海上大気部、飛沫帯、干満帯、海中部、海底土中部と大きく5つに区分できる。それぞれの腐食環境の特徴は表-2のように整理できる。

栈橋式空港施設の適用防食工法については、重要な港湾・海洋鋼構造物で実績が最も多く信頼性も確認されている「塗覆装工法と電気防食工法の併用」を基本として検討を行った。この方法は、海上大気部、飛沫帯、干満

腐食環境区分

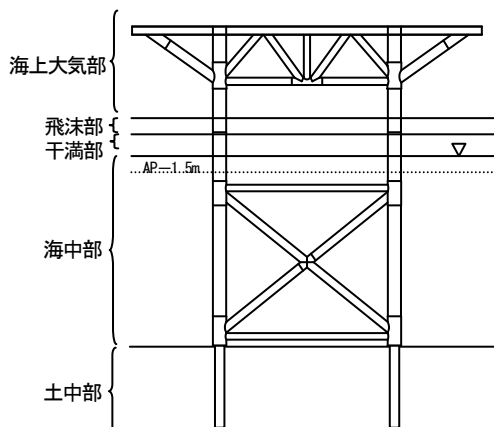


図-2 ジャケット式栈橋の腐食環境区分

表-2 栈橋式海上空港における腐食環境の特徴

区分	環境の特徴
海上大気部	風が微細な海塩粒子を運ぶ。桁下部は、一般的な海上大気部と比較して、腐食速度はかなり大きい。
飛沫帯	海水の飛沫により、十分に酸素を含む薄い水膜が形成され、腐食速度は大きい。生物付着はない。
干満帯	干満や波浪により乾湿が繰返され、腐食速度は大きい。船舶や漂流物が衝突する可能性がある。上層河川水が影響する場所もある。
海中部	腐食速度は水質や溶存酸素量に依存するが、飛沫帯よりは小さい。生物付着、流速などが腐食因子として作用する。上層河川水が影響する場所もある。
海底土中部	酸素供給が制限されるため、一般的には腐食速度は小さい。硫化物や硫酸塩還元バクテリアなどが存在する場合は、鋼の腐食や電気防食特性に影響を及ぼす。

帯には鋼材を腐食因子から遮断する塗覆装工法を適用し、海中部、土中部には鋼材の腐食を電氣的に抑制する電気防食工法を適用することで、信頼性の高い防食システムを構築するものである。環境ごとの防食法の考え方および適用防食工法の案をまとめて表-3に示すとともに、重防食塗装、超厚膜形エポキシライニング、耐食性金属ライニング、電気防食について簡単に説明する。

(1) 海上大気部の防食法について

海上大気部は、飛沫・干満帯と比較して点検・補修が比較的容易な部位であることから、重防食塗装や超厚膜形エポキシ樹脂塗装による防食が適用できる。設計供用年数が長期の場合は塗装では塗り替えが必要となり、相当の費用が発生する。そのため、ライフサイクルコストを考慮して耐食性金属ライニングも適用できる。

(2) 飛沫帯および干満帯の防食法について

漂流物の衝突等により防食材料が損傷を受ける可能性があり、鋼材の腐食速度が最も大きい。飛沫・干満帯の防食工法の補修や更新は困難であるため、最小限のメンテナンスとなるように信頼性の高い防食工法を選定する必要がある。耐食性、耐久性・耐衝撃性に優れ、期待耐用年数の長い耐食性金属ライニングは、その最有力候補である。

(3) 海中部および海底土中部の防食法について

電気防食法が経済性、信頼性ともに最適である。ただし、電気防食の適用にあたっては水質や潮流、河川の影

表-3 適用が考えられる防食工法

腐食環境区分	防食設計の考え方	適用防食工法 (案)			
		案1	案2	案3	案4
海上 大気部	点検・補修が比較的容易な部位である。各種塗覆装工法から LCC, 耐久性, 施工性, 工期, 景観性等を考慮して選定する。	重防食塗装	超厚膜形ライニング	耐食性金属ライニング	一般部： 耐食性金属ライニング 格点部： 超厚膜形ライニング
飛沫帯	流木などの衝突が懸念される。補修が困難であり、鋼材の腐食速度は大きい。耐食性・耐久性・耐衝撃性に優れ、期待耐用年数の長いライニング系を選定する。	耐食性金属ライニング			
干満帯					
	(上記ライニング系と電気防食の併用効果で高い防食性能を確保する。)	耐食性金属ライニング & 電気防食			
海中部	実績が豊富で、設計法が確立されており、維持管理も容易な流電陽極式電気防食工法とする。	流電陽極式電気防食工法			
海底 土中部					

響等を十分に調査して最適防食電流密度を決定する必要がある。なお、干満部から海中部の一部まで金属ライニングを適用した場合、ライニング下端と普通鋼の異種金属接触腐食が懸念されるが、海中部に電気防食を適用していれば、異種金属接触腐食は完全に防止される。

3.3 重防食塗装

重防食塗装は、初期コストが比較的安価であり、複雑形状部への適用も容易な優れた防食法である。ただし、供用年数が長期化すると、点検・補修・再塗装といったメンテナンスが必要となるため、できるだけ期待耐用年数が長い塗装仕様を選択する必要がある、現時点では

厚膜型無機ゾンクリッチペイント	75 μm
エポキシ樹脂塗料	60 μm × 2回
フッ素樹脂塗料用中塗	30 μm
フッ素樹脂塗料上塗	25 μm

<合計膜厚 250 μm>

を適用することにより 10~15 年の耐用年数が期待できる。耐用年数を過ぎた場合は塗り替えを実施する。

3.4 超厚膜形ライニング

複雑形状部への適用が容易で、海洋構造物での実績も多い超厚膜形エポキシ樹脂ライニング

有機ゾンクリッチプライマー	20 μm
超厚膜形エポキシ樹脂ライニング	2300 μm

を適用することで~40 年の耐用年数が期待できる。耐用年数を過ぎた場合は塗り替えを実施する。

3.5 耐食性金属ライニング

耐食性金属ライニングは、構造用鋼材の表面を耐食性に優れた金属で覆う防食方法である。耐食性金属としてはモネルメタル、キュプロニッケル、ステンレス鋼、チタン等が用いられる。これら高耐食性金属の被覆方法には、金属板ライニングと薄板クラッド鋼ライニングがある。重防食塗装と比較すると耐衝撃性や材料寿命が優れるため、長期の耐用年数と高い信頼性が得られる。耐食性金属ライニングを適用した場合、50 年、100 年の供用期間中に部分的な補修が必要になる可能性はあるが、ライニングの更新は不要と考えられる。実績があり、国内でもライニング方法が確立しているステンレス鋼とチタンのライニングについて検討を行った。表-4 にステンレス鋼ライニングおよびチタンライニングの適用可能部位をまとめて示す。

(1) 耐海水ステンレス鋼ライニング

近年、一般のステンレス鋼 (SUS304 系, SUS316 系) に対して耐食性を飛躍的に向上させたいいわゆるスーパーオーステナイトステンレス鋼 (高 Cr-高 Ni-高 Mo-高 N 系) の登場に伴い、耐海水ステンレス鋼を用いた耐食性金属ライニング法が開発されている。従来の金属ライニングは初期コストが高いため適用箇所が限られていたが、耐海水ステンレス鋼は比較的低コストでライニングに供することができるため、耐海水ステンレス鋼ライニングの適用実績が増えつつある。図-3 は、ジャケット式栈橋構造のコンテナバースにステンレス鋼ライニングが適用された事例である。耐海水ステンレス鋼は常温海水環境ではチタンに匹敵する耐食性を有しているため、耐海水ス

表-4 ステンレス鋼ライニングとチタンクラッド鋼ライニングの適用可能部位

耐食性金属ライニング		厚み	適用部位				初期コスト	実績	備考
			飛沫・干満部	海上大気部					
				鋼管	主桁・床組	格点部			
ステンレス鋼	耐海水ステンレス鋼ライニング	1.5mm程度	◎	○	○	△～○	○	耐海水ステンレス鋼ライニングは、施工技術の組合せにより、全面ライニングが可能	
	耐海水ステンレス鋼ライニング	0.5mm程度	○	◎	◎	×	◎		
	耐海水ステンレスクラッド鋼	1.5mm～3.0mm程度	◎	○	○	△～○	○		△
チタン	チタンクラッド鋼ライニング	1.0mm	◎	○	△	×	△	チタンライニングは格点部の対応困難	
	薄板チタンライニング	0.4mm	—	○	△	×	○		×

ステンレス鋼ライニングは栈橋式海上空港の防食工法としても信頼性の高い防食工法となる。ステンレス鋼の板厚については、飛沫・干満部は船舶及び漂流物の衝突を考慮して1.0mm程度以上が望ましい。



図-3 ステンレス鋼ライニングを適用したジャケット式栈橋構造物（大井埠頭新5コンテナバース）

(2) チタンライニング

東京湾横断道路の橋脚では、チタンクラッド鋼ライニングが適用されている。チタンは優れた耐海水性を有していて、チタンクラッドライニングの信頼性は高い。ただし、チタンは普通鋼に直接溶接できないため、平面や管状といった単純構造構造への適用は比較的容易であるが、継手構造部等の複雑構造部への適用は困難となる。

3. 6 電気防食工法

海中部、海底土中部の防食法としては流電陽極式電気防食が経済性、信頼性ともに最適である。電気防食の陽極はアルミニウム合金陽極を用い、陽極の取替え期間は50年もしくは100年で経済性を考慮して設計する。なお、陽極の寿命には十分な安全率が加えられているが、点検時に残存寿命推定を行い、取替え期間の最適化を図るの

が好ましい。

4. 維持管理について

設計供用年数が50年、100年といった超長期である海上空港では、防食工法の維持管理を確実にを行うことが重要である。一方で、大規模な点検・調査の頻繁な実施はメンテナンスコストの増大につながり、経済的とは言えない。合理的な考え方としては、防食工法が健全に機能していることを遠隔で常に監視する等が挙げられる。例えば、ライニングに対してはビデオカメラや変位センサーによる常時モニタリング、電気防食に対しては電位と陽極発生電流量の常時モニタリング等を実施する。

そして問題が生じた時は、速やかに適切な措置をとることで、大規模なメンテナンスを必要とすることなく、100年といった超長期の供用も可能であると考えている。

維持管理システムについては、より高度で信頼性の高いシステムの構築に向けて、今後の技術の向上によりさらなる合理化、省力化が図られると思われる。

本論文に示した内容は、海上空港設計技術調査の中の長期防食システムの検討（濱田秀則座長：（独）港湾空港技術研究所材料研究室長）で整理したものを抜粋したものである。ここに記して関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（改訂版），（財）沿岸開発技術研究センター，371p.，1997.
- 2) 港湾鋼構造物の維持・補修マニュアル，（財）沿岸開発技術研究センター，152p.，1999.
- 3) 港湾鋼構造物 調査診断・防食・補修工法 実務ハンドブック，防食・補修工法研究会，1999.
- 4) 東京港腐食対策手引書（改訂版），東京都港湾局，1998.
- 5) 鋼構造物の防食指針，東京湾横断道路（株），1989.