

# 連携記事

## 港湾鋼構造物の腐食および防食工法 Corrosion and Prevention Method in Port Steel Structures

山路 徹  
Toru Yamaji

(独) 港湾空港技術研究所  
材料研究室 主任研究官

### 1 はじめに

港湾鋼構造物は海洋環境という厳しい腐食環境下に位置している。長期間にわたり機能を損なうことなく供用させるためには、その腐食メカニズムを知り、適切な防食工法を選択する必要がある。本稿では、海洋環境における鋼の腐食メカニズムおよび腐食傾向について説明した後、主な防食工法と最近の工事事例を紹介する。

### 2 無防食鋼材の腐食メカニズム および腐食傾向

海洋環境下に位置する無防食鋼材は、図1のような集中腐食を起こすことが知られている。この集中腐食が起こる場所は、M.L.W.L. (平均干潮面) 直下付近であることが多く、集中腐食が生じた箇所の腐食速度は、激しい場合は1mm/年を超えた事例も報告されている。その一方で、構造形式や環境条件によっては、このような集中腐食は起こらず、比較的均一に進行する場合もある。全国各地の港湾鋼構造物の調査

結果によると、鋼構造物(杭・矢板)の腐食パターンは図2に示す3通りに分類される。

構造物のM.L.W.L.直下付近に発生する集中腐食の原因は未だ明らかになっていない。原因の一つの説として「干満帯のさび」が起因しているという報告<sup>1)</sup>がある。鋼材の干満帯に塗装による被覆を行った場合と行わない場合で暴露を行った結果、干満帯に被覆を行った場合に集中腐食傾向が軽微で

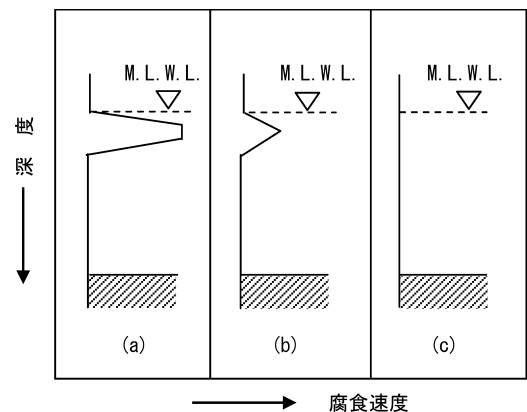


図2 鋼構造物の代表的な腐食パターン

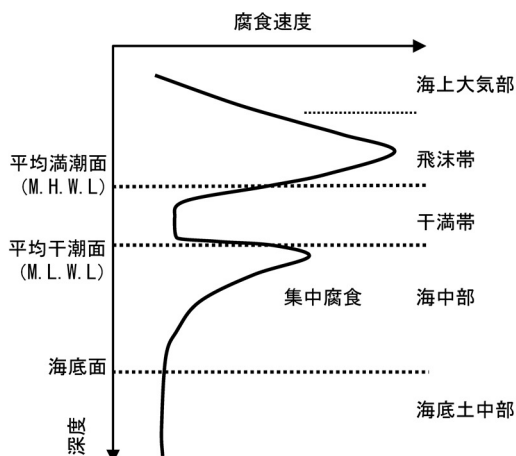


図1 無防食鋼構造物における腐食傾向



鋼矢板における集中腐食例

あったと報告されている。これは、満潮時には干満帯に生じたさびがカソード（還元反応が起こる箇所）、M.L.W.L.直下付近がアノード（酸化反応すなわち鉄の溶解が起こる箇所）となり、干潮時にはM.L.W.L.直下付近はアノードのままで、海中部がカソードとなり、M.L.W.L.直下付近が常時アノードとなった結果、集中腐食が進行すると考察している<sup>1)</sup>。

これを裏付ける現象の1つとして、M.L.W.L.直下付近における集中腐食の発生頻度には、上部コンクリートの下端深度が関係していることが挙げられる。図3に集中腐食の発生頻度に及ぼす上部コンクリート下端深度の影響を示す<sup>2)</sup>。コンクリートの下端深度がM.S.L.（平均水面）より上の場合、集中腐食が生じた例が多い。一方、M.S.L.より下の場合、集中腐食の発生頻度が少なくなっている。これは、上部工コンクリートの下端深度が下がるほど、無防食鋼の露出部すなわちさびが生じる面積が減るため、上述のカソード反応が減少する。結果として集中腐食が減少すると推測される。

このように、海洋環境下に位置する無防食鋼材における集中腐食は、水位や干満の影響を大きく受ける傾向が見られる。地球温暖化などで水位が上昇した際には、構造物の腐食環境が現在の状態から変化することとなる。

## 3 防食工法

### 3.1 防食工法の種類

港湾鋼構造物に適用する防食工法には、電気防食工法と被覆防食工法がある。電気防食工法は、給電の方法によって流電陽極方式と外部電源方式の2種類に大別される。両者の選択は、構造物の規模、環境、維持管理の容易性、経済性などを考慮して行われる。現在の港湾鋼構造物では、アルミニウム合金陽極を用いた流電陽極方式が、維持管理の容易さや経済性の面から主流である。

被覆防食工法は、鋼材表面を各種材料で覆うことにより腐

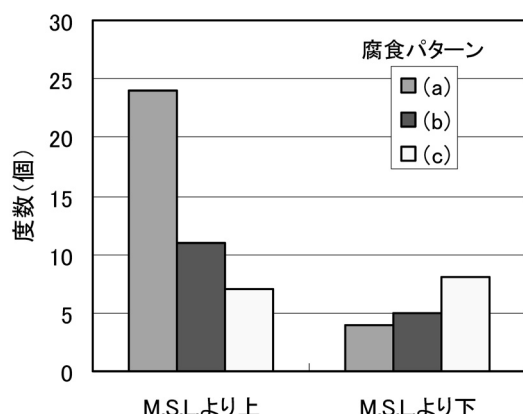


図3 集中腐食の発生頻度に及ぼすコンクリート下端深度の影響

食誘因物質の遮断効果を期待する防食方法である。港湾鋼構造物に適用されているのは、主に塗装、有機被覆、ペトロラタム被覆、モルタル被覆、金属被覆の5つの工法である。

塗装工法における代表的な塗装系としては、厚膜型ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料がある。

有機被覆工法は、塗装工法と比べて高価となるが、その分耐食性が優れている。港湾鋼構造物を対象としたものでは、ポリエチレン被覆、ウレタンエストラマー被覆、超厚膜形被覆、水中施工形被覆等がある。ポリエチレン被覆およびウレタンエストラマー被覆は、工場の専用設備で被覆されるため、安定した品質が得られることと、量産による低コスト化が図られることから実績は多い。

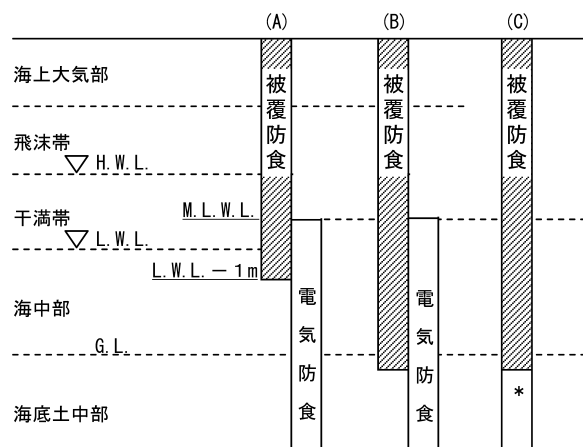
ペトロラタム被覆工法は、ペトロラタム系防食材を鋼材面に密着させ、これをFRPや耐食性金属等のカバーで保護するという工法である。この工法は、水中での施工が可能であること、素地調整が比較的簡単でかつ施工後の養生期間も必要としないなどの特長がある。

モルタル被覆工法（鉄筋コンクリート被覆工法も含む）は、被覆した鋼材表面を高いアルカリ性環境に保つことや、鋼材表面への酸素の供給を抑制することにより、鋼材腐食を抑制する方法である。モルタル被覆部にひび割れ等の損傷が生じると防食性が低下するため、通常、打設用型枠を兼ねたFRPや金属等の保護カバーが併用される。

金属被覆工法は、特に耐衝撃性、耐摩耗性が優れており、また防食性も高い。しかしながら、対象構造物との接続部で異種金属接触腐食が発生する可能性があるため、これを防止する対策が必要となる。使用される被覆材料としては、耐食性の高いステンレス鋼やチタンなどがある。

### 3.2 各腐食環境に適用される防食工法

港湾鋼構造物に適用される防食工法は、図4の3つの方式



\* 供用期間の腐食量に見合った鋼材の板厚を付与する。

図4 鋼構造物の代表的な腐食パターン

のうち、いずれかの方法を採用することを標準としている。

(A) はL.W.L.-1m以浅に被覆防食、M.L.W.L.以深に電気防食を適用する方法で、最も実績が多い。M.L.W.L.からL.W.L.-1mの間は集中腐食が最も発生しやすい部位であるため、被覆防食と電気防食を併用している。また、高波浪環境や河川水や多量の雨水(淡水)が混入する環境においても併用の効果がある。高波浪環境では、波が当たる干満帯での腐食速度が大きく、防食に大きな電流を要するため、海中部に取り付けられている流電陽極の消耗が速い。淡水が混入する環境では、淡水は海水に比較して比重が小さいため海面の表層部に滞留する。淡水は電気抵抗率が大きいのでその部分の鋼材に防食電流が流れにくくなり、電気防食の効果が低下することがある。そのため、両環境においては被覆防食を併用した方が経済的な場合がある。

(B) は、(A) の場合の被覆防食部分を海底面まで伸ばしたものである。外洋や高潮流海域などで電気防食の防食電流密度が大きな値を必要とする環境や、河口付近の水門や護岸などで季節により海水の電気抵抗率が大きく変動する環境において、効果的かつ経済的な場合が多い。この工法は、長大橋や水門などで実施例が多い。

(C) は、腐食の激しい飛沫帯、干満帯、海中部および海底土中部の一部に被覆防食を適用する工法である。この工法は一般に水深の浅い鋼矢板式護岸などに用いられる。被覆防食には、新設構造物の場合はポリエチレン被覆やウレタンエストラマー被覆、既設構造物の場合はペトロラタム被覆やモルタル被覆が用いられることが多い。被覆防食の下端深度はG.L.-1mとすることが多い。これは海底に腐食性の高い土(ヘドロ)が堆積している場合が多いことや海底面の変動などに配慮したものである。

### 3.3 最近の工事例

工事が現在実施されている羽田空港D滑走路栈橋部のジャケット式鋼構造物(以下「ジャケット式栈橋」)には、上記の各種防食工法に加え、新たな防食方法が適用されている。以下、ジャケット式栈橋に適用されている各種防食工法を紹介する。

図5にジャケット式栈橋の模式図を示す。1) 設計供用期間が100年と長期である、2) 海中から海上大気部という非常に厳しい腐食環境下に位置している、3) 点検や補修も陸上構造物に比べて容易でない、といった理由により、長期の耐久性が期待される防食工法が各環境・各部材ごとに適用されている。以下、適用されている主な防食工法について説明する。

#### (1) 電気防食

海中部～海底土中部においては、「アルミニウム合金陽極」

を用いた流電陽極方式による電気防食が適用されている。陽極設計寿命は35年で設定され、100年間の間に2回陽極の交換が実施される計画となっている。なお、設置個数は16,000個の予定である。

#### (2) 耐海水性ステンレス鋼被覆

耐海水性ステンレス鋼被覆は、鋼材の表面を海洋環境下での耐食性に優れた耐海水性ステンレス鋼製の薄板で被覆する工法である。ここで使用されているステンレス鋼はオーステナイト系耐海水性ステンレス鋼SUS312Lであり、一般のステンレス鋼に比べて、クロムやモリブデンの含有量が増えている。標準的な板厚は0.4mmと非常に薄いため、特殊な溶接方法が採用されている。

#### (3) カバープレート

ジャケット式栈橋の鋼桁部およびコンクリート製床版下面への飛来塩分の供給を防ぐことと、維持管理のための足場を兼ねることを目的として、鋼桁の下面全域にカバープレート(チタンパネル)が吊り下げられている。このチタンパネルは3層構造であり、外面に耐食性に優れるチタン(厚さ0.35mm)、芯材にポリイソシアヌレート(厚さ35mm)、内皮材に銅板(厚さ0.6mm)が用いられている。

#### (4) 桁内湿度管理

カバープレートによって覆われた桁内空間は、飛来塩分等の供給が遮断されており、腐食しにくい環境であるが、外気の侵入と気温の変化によって生じる結露によって、鋼材表面に適用されている塗装材が徐々に劣化する可能性がある。この結露を防ぐため、除湿機、循環ファン、送気ダクト等からなる除湿システムを用い、桁内空気の相対湿度を50%以下に制御する方法が採用されている。

羽田空港D滑走路のジャケット式栈橋は、上記のような最新技術で防食対策がなされており、腐食が生じる危険性は

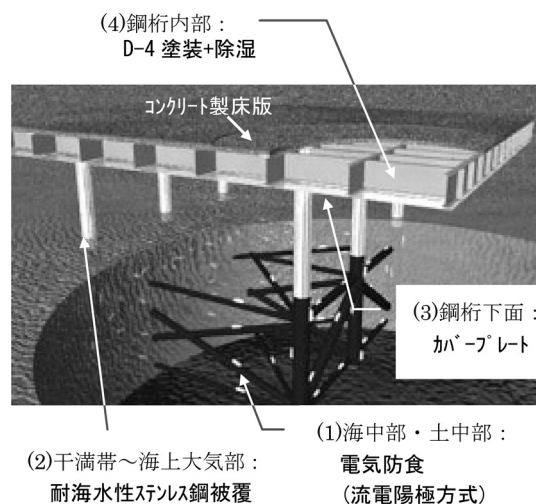


図5 ジャケット式栈橋模式図(文献3)を参考)

極めて低く抑えられている。維持管理を確実に行うことでその危険性は更に低く抑えられるため、100年間の長期を想定した維持管理計画も策定されている。

## 4 おわりに

港湾鋼構造物は厳しい腐食環境下に位置しているが、適切な防食対策を選択し、適切な維持管理を行うことで、長期間にわたり機能を損なうことなく供用することが可能である。今後、地球温暖化の影響を受け、使用される環境が大きく変化する可能性もあるが、その環境を把握し、適切な防食対策あるいは適切な維持管理対策を行うことで、十分対応可能と考えられる。

## 参考文献

- 1) 山本正弘，松岡和巳：第158回腐食防食シンポジウム資料，(2007)，17.
- 2) 阿部正美：海洋鋼構造物の腐食と防食対策，日本防錆技術協会，(2002)，14.
- 3) 石田雅己，佐藤弘隆，関口太郎，野口孝俊，鈴木紀慶：防錆管理，51 (2007) 11，13.

(2008年3月11日受付)