

栈橋上部工の塩害劣化補修工事

Repair Work of RC Superstructure of Piled Pier against the Re-bar Corrosion due to Chloride Ion Attack

長谷川 耕一* 山本 省吾**
Koichi Hasegawa Shogo Yamamoto

要 約

本工事は塩害を受けて劣化した栈橋上部工に対する補修工事である。本報告では事前調査から補修方法の検討、および今回主要梁部材に採用した電気防食工法の計画概要と施工を中心に報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 補修計画全体フロー
- § 4. 調査と診断
- § 5. 補修工法の検討
- § 6. 補修工法の施工
- § 7. 維持管理
- § 8. おわりに

§ 1. はじめに

本栈橋は茨城県鹿島港の中央航路最奥部に位置し、昭和49年に当社が設計・施工した65,000t級栈橋である。供用を開始してから今年で27年経過し、栈橋上部工（RC構造）について一部目視により劣化が認められた。そこで、栈橋全体についての調査を行った結果、かぶりコンクリートが剥離、剥落し、鉄筋が露出している箇所も認められ、塩害による劣化がかなり進んでいることが判明した。調査結果をもとに、今後の供用期間と企業先の要求（補修工事中の荷役作業を継続すること、今後20年以上の供用期間を考慮すること）を満たす補修方法を検討し、補修工事を行った。

§ 2. 工事概要

工事件名：65,000DWT 栈橋補修工事
企 業 先：昭和産業株式会社

工事場所：茨城県鹿島郡神栖町東深芝6番地 昭和産業(株)鹿島事業所内

工 期：平成12年11月20日～平成13年6月30日

栈橋仕様：構造形式 直杭式横栈橋

平面形状 206m×15m

対象最大船舶 65,000t 貨物船

供用年数 27年（昭和49年竣工）

工事内容：

【調 査】 ・外観目視調査 : 栈橋全体
・詳細調査

【補修工事】 1)電気防食工 : 1,100m²
2)断面修復工 : 360m²
3)脱塩工（SSI工法）: 153m²
4)表面塗装工 : 4,218m²
5)クラック注工 : 500m
6)水中塗装工 : 265m²

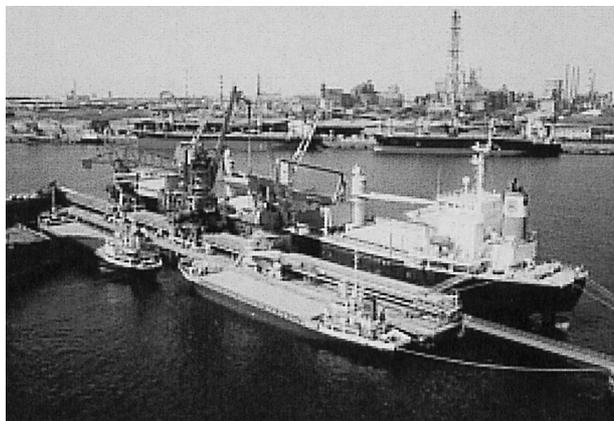


写真-1 65,000DWT 栈橋全景

* 東関東（支）千葉（出）

** 土木設計部設計課

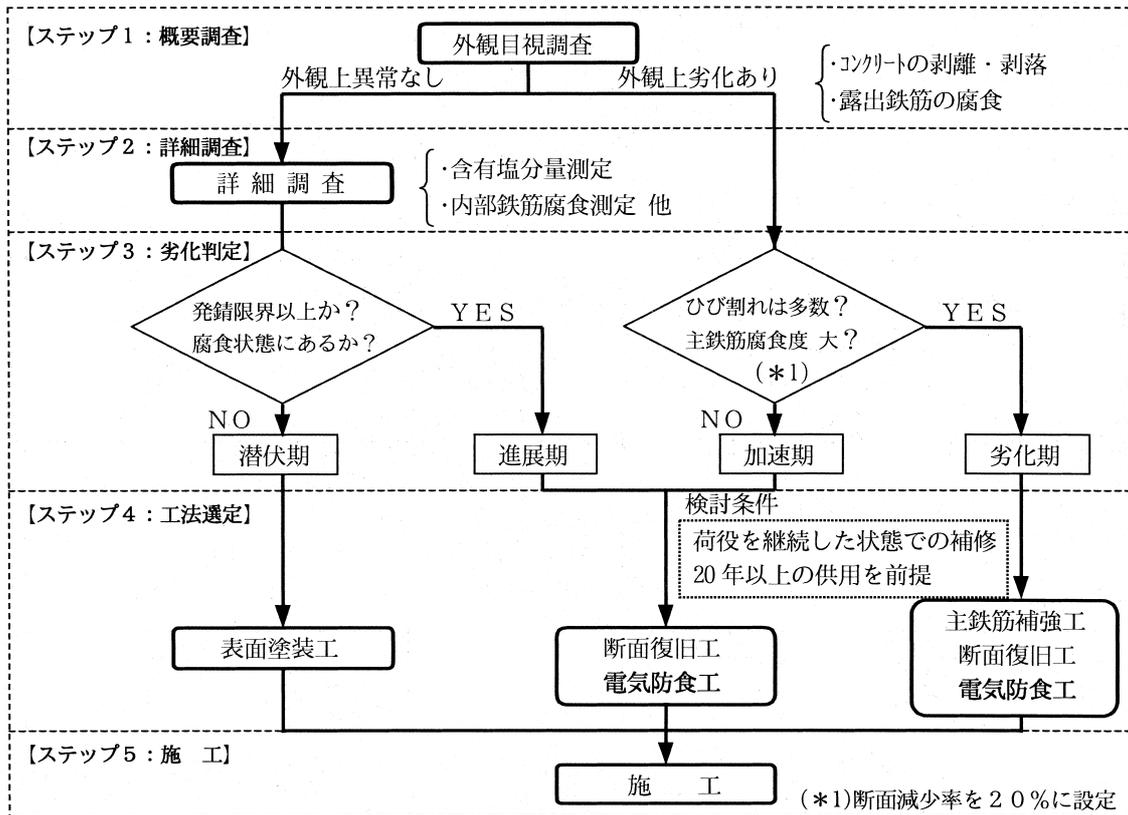


図-1 補修計画全体フロー

§ 3. 補修計画全体フロー

調査から施工までの補修計画全体フローを図-1に示す。調査は目視調査による概略調査と測定を主体とする詳細調査の2段階で行う。調査結果をもとに劣化度を判定し、各個所にもっとも適した補修工法を計画する。

§ 4. 調査と診断

4-1 目視調査

(1)調査目的

補修計画の第一段階として船上からの外観目視調査を行い、コンクリートの表面ひび割れ、剥離、剥落などの状況を調べた。

(2)調査結果

劣化状況を全体的に捕えたときの特徴は次の様であった。

- ①長手方向（アンローダークレーンのレール方向）の梁中央下面に剥離、剥落、鉄筋の露出が多く発生していた。（上載荷重による引張り曲げ応力が最大となる位置）
- ②梁側面の下方に梁軸方向のひび割れが多く発生していた。
- ③短手方向（レールと直角方向）の防舷材取付位置の梁にひび割れが多く発生していた。（防舷材反力による応力が作用する位置）

(3)劣化原因

調査結果から判断して劣化の原因は基本的に塩害であり、クレーン走行および防舷材反力による繰返し荷重が劣化を助長したと考えられる。

本栈橋のように供用を開始してから27年も経過しているRC構造物は、繰返し荷重の影響によりコンクリートにひび割れが発生し、そこから飛来塩分がコンクリート内部に浸透している。そして鉄筋の位置まで塩分が達すると、鉄筋表面を覆っている不動態被膜を破壊し、鉄筋を腐食させる。さらに、腐食が進むと鋼材表面に錆層が形成され、錆びの膨張圧によりコンクリートに大きなひび割れが発生し、最終的にはコンクリートの剥離、剥落に到ったものと考えられる。

4-2 詳細調査

(1)調査目的

外観目視調査では外観上健全と見受けられる範囲にも潜在的な劣化を有する可能性があり、その状況により補修仕様・範囲が大きく変わることになる。そこで、目視調査で異常が見られなかった部材を中心に詳細調査を行った。各ブロック毎（栈橋全体を7ブロックに分割して評価）に代表的な測定箇所を選定し、より適切な補修方法および補修範囲を計画することを目的として、含有塩分量の測定など表-1の①～③までの調査を行った。

(2)含有塩分量の評価

含有塩分量の評価にあたっては、発錆限界を設定する必要がある。コンクリート中の鉄筋腐食に関しては、塩

表-1 詳細調査一覧

詳細	調査内容
① 含有塩分量	はつり取ったコンクリート粉を溶液に溶かして塩分濃度計により測定する。
② 内部鉄筋腐食度	コンクリート中における鋼材の腐食は通常電気化学反応によって生じており、鋼材は腐食分布に応じた電位分布を示すため、これを利用して測定する。
③ 鉄筋かぶり	磁界の変化を利用することにより、鉄筋径やかぶりを推定する。

分量以外にさまざまな要因があるため一概には決められないが、ここでは、「大井埠頭栈橋劣化調査・補修マニュアル（案）—東京港埠頭公社」で設定されている0.082%（1.88kg/m³）を採用して評価を行った。深さごとの含有塩分量と鉄筋かぶり測定結果との関係を図-2に示す。

(3)調査結果

①含有塩分量測定

- ・ 長手方向と短手方向の梁とを比較すると、アンローダークレーンの上載荷重を受ける長手方向の梁の方が塩分の浸透量が多い傾向がみられた。
- ・ 内港側と外港側の梁とを比較すると、潮風の影響を受ける外港側の梁の方が塩分の浸透量が多い傾向がみられた。
- ・ 目視調査の結果と同様、A、Bブロックに比較してC～Gブロックの塩分の浸透量が多い傾向がみられた。

②内部鉄筋腐食度測定（自然電位測定）

- ・ 含有塩分量測定と同様に、短手方向よりも長手方向、内港側よりも外港側の梁の方が鉄筋腐食度が進んでいた。
- ・ 外港側の梁に着目すると、梁側面については内港側と比較し、鉄筋腐食度が進んでいた。
- ・ 目視調査の結果と同様、A、Bブロックに比較してC～Gブロックの鉄筋腐食度が進んでいた。

4-3 劣化度の判定

各ブロックの劣化程度を比較すると、A、BブロックおよびC～Gブロックとに大別されるため、各々について以下にまとめる。

含有塩分量と鉄筋位置の関係（はり番号G18の例）

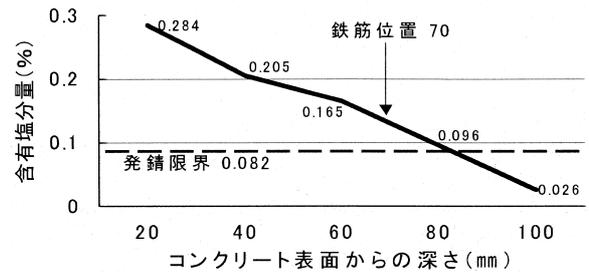


図-2 含有塩分量と鉄筋位置の関係

(1)A, Bブロック

A, Bブロックにおける詳細調査の結果、鉄筋腐食度判定、含有塩分量とも良好な結果が得られた。Aブロックの長手梁にて、ごく一部で自然電位が「不確定」である範囲に入っていたものの、鉄筋の腐食に関しては問題ないものと判断された。この結果を図-3に示した劣化の進行過程に当てはめると、外観上健全であると評価した箇所については「潜伏期」に、また、劣化が表面化している箇所及びその付近については「進展期」～「加速期前期」に位置すると考えられる。

(2)C～Gブロック

C～Gブロックの梁部材は、ほとんどが目視により劣化が認められ、図-3に示した劣化の進行過程に当てはめると、「加速期後期」～「劣化期」に位置すると考えられる。また、外観上健全である梁部材に関しては、詳細調査の結果、鉄筋腐食度判定または含有塩分量のどちらかで劣化が認められているものが大半であり、潜在的な劣化を有する部材であることが確認された。これは図-3より、「進展期」に位置すると考えられる。

§ 5. 補修工法の検討

5-1 補修に関する基本方針

劣化状況を把握した上で、企業先の要求として補修方法の検討を行った。工法の選定にあたっては、以下の2つの条件を満たさなければならなかった。

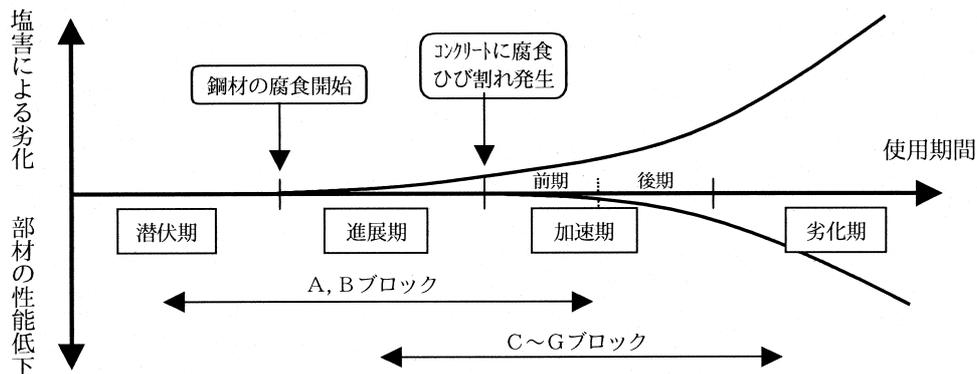


図-3 塩害による劣化の進行過程

1. 船舶の離着棧及びアンローダークレーンの荷役作業（年間280日以上稼働）に対して、補修作業が支障を及ぼさないことを基本とする。
2. 本栈橋においては、すでに竣工後27年経過しているが、今後20年以上の供用を前提とした補修を行う。

5-2 はりの補修工法

当工事では複数の補修工法の比較検討を行なった結果、鉄筋の腐食が既にはじまっている進展期以上と判断されたはり部材には「電気防食工法」を中心に補修提案を行ない、最終的に採用されることとなった。表-2に「電気防食工法」と従来工法である「断面修復工法」との比較を示す。

5-3 スラブの補修工法

はりと比べてスラブは劣化度が低いこと、及び部材としての重要度がはり程高くないことから、基本的には従来工法の断面補修と表面塗装の併用工法とした。一部、脱塩工法の一つであるSSI工法を採用している。

§ 6. 補修工法の施工

6-1 電気防食工の施工

(1) 排流端子・照合電極設置工

排流端子は防食対象鉄筋と電極を直流電源装置を介して電気回路を構成するものである。設置方法としては、コンクリート表面をはつり取り、一部鉄筋を露出させ、溶接にて取り付ける。照合電極は、防食効果を確認するための基準となる電極であり、ケーブルタイを用いて鉄筋に締め付け固定した。

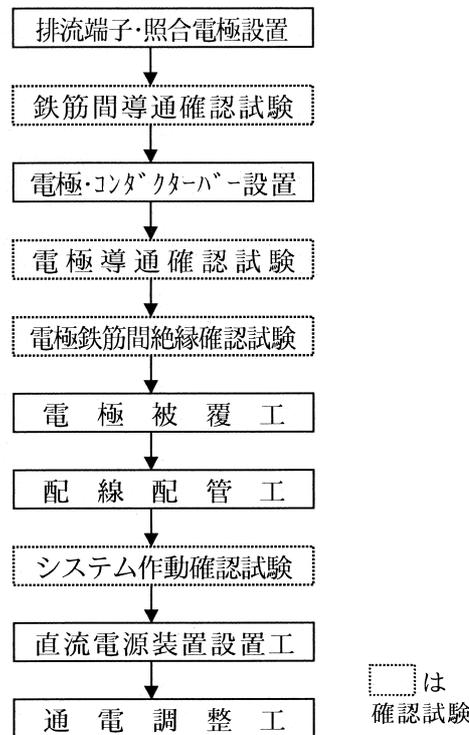


図-4 施工フロー

表-2 工法比較表

補修工法	電気防食工法	断面修復工法（従来工法） （表面塗装工法併用）
補修概要	鉄筋表面まではつり出し、ブラスト処理（鏝除去処理）後に断面を復旧する。その後、コンクリート中の鉄筋の表面に微弱な直流電流を供給し、鉄筋の腐食反応を電気化学的に直接制御抑制する。	コンクリート中に含まれる塩化物イオン量が発錆限界を超えていると推測される部分は全て取り除き、新しいコンクリートで置き換え、更にコンクリートへの有害物質（塩化物イオン、他）の侵入を塗装の被膜により遮断する。
概略図		
特長	1) 劣化部のはつり、復旧が鉄筋表面までで良い。 2) コンクリート中に多少塩分が存在しても鉄筋の腐食を防止でき、長期耐用型の劣化防止対策である。 3) モニタリング装置（照合電極）を設置することにより、防食効果が常に確認できる。	1) 劣化コンクリートの補修工法としては、施工実績が多い。 2) 初期コストが他工法に比べて安価である。
	1) 初期コストが他工法に比べて高価である。 2) 電源装置や配線・配管の保守点検が必要となる。 3) 常に電気を流し続けるため、電気代がかかる。（年間あたり：数十円/m ² ）	1) 劣化部のコンクリートは、鉄筋の裏側まではつり取る必要があるため、施工上の制約を受けやすい。（上載荷重の制限） 2) 部分的に補修する場合、補修部と未補修部との間の鉄筋でマクロセル腐食が生じ、鉄筋が局部的に腐食し、再劣化する。
耐用年数	20年程度（配線・配管は除く）	5年～7年程度

(2)鉄筋間導通確認試験

電気防食対象の部材内鉄筋は全て電氣的な導通が必要であるため、排流端子取付後、鉄筋相互の電位差を測定した。全ての対象部材において鉄筋間の導通が得られた。

(3)電極・コンダクターバー設置工

リボンメッシュ電極およびコンダクターバー設置用溝をコンクリートカッターおよびエアーチッパーによって切削した。電極を設置する際に溝内に金属などがあると、電極と接触し、防食電流が金属体中を流れ、電流が流出した個所で金属が腐食する。よって、電極およびコンダクターバー設置部全てにおいて目視およびセンサー（電氣的探査器）を使用して金属類等が無いことを確認した。溝内に金属が露出している場合は撤去するか、またはエポキシ樹脂にて絶縁処理を施した。リボンメッシュ電極を完全にモルタル（エマコ S88C）の中に埋め込むために溝内に薄くモルタルを充填し、電極をコテで押えながらモルタル内に固定した。（図-5、写真-2）

(4)電極導通確認試験

各部材毎のリボンメッシュ電極相互は、コンダクターバーを通じて一体とならなければならない。したがって、リボンメッシュ電極とコンダクターバー間との電位差を直流電圧計で測定し、導通が確保されていることを確認した。判定基準は電位差が1mV未満であることとした。

(5)電極鉄筋間絶縁確認試験

防食回路を構成する上で、リボンメッシュ電極と鉄筋とは電氣的に絶縁されていなければならない。したがって、リボンメッシュ電極と排流端子間との電位差を直流電圧計で測定し、絶縁が確保されているか確認した。判定基準は電位差が1mV以上あることとした。



図-5 溝切削図



写真-2 電極設置

(6)電極被覆工

リボンメッシュ電極およびコンダクターバーをモルタルで埋め戻し、表面をコテで平滑に仕上げた。

(7)配線配管工

各ブロック内の電極、排流端子および照合電極の各リード線をプルボックスを経由し、直流電源装置内に配線・配管した。ケーブルは全て一重波付 PF 管および厚鋼電線管に収納し、接続用プルボックスを用いて直流電源装置まで配線・配管した。（写真-3）

(8)システム作動確認試験

各ブロック毎の配線・配管完了後、システムが確実に作動することを確認するため仮通電試験を実施した。仮通電試験は15mA/m²程度の電流密度で通電し、各照合電極で測定した鉄筋電位が卑(-)方向に分極することを確認した。

(9)直流電源装置設置工

陸上に直流電源装置（800×600×1200H）を設置した。本装置内にはモニタリング端子が内蔵されており、防食効果の確認を行った。

(10)通電調整工

電気防食工事完了後、通電量を決定するための通電調整試験を行った。通電調整方法は、埋設されている全ての照合電極位置における鉄筋の自然電位を測定し、直流電源装置から徐々に電圧を上昇させ、全ての照合電極位置の鉄筋の分極量が概ね200mV程度分極する通電電圧値を特定し、通電を開始した。通電開始1週間経過した後、復極量を測定し、100mV以上の復極量が確認できれば防食効果があるものとした。

6-2 表面塗装工の施工

(1)下地処理

コンクリート表面に付着している粉化物、その他異物等をディスクサンダーにてケレンし、プロアーにてコンクリート粉を吹き飛ばす。また、直径2mm以上の巣穴に関しては、ポリマーセメントモルタルにて下地調整を行った。

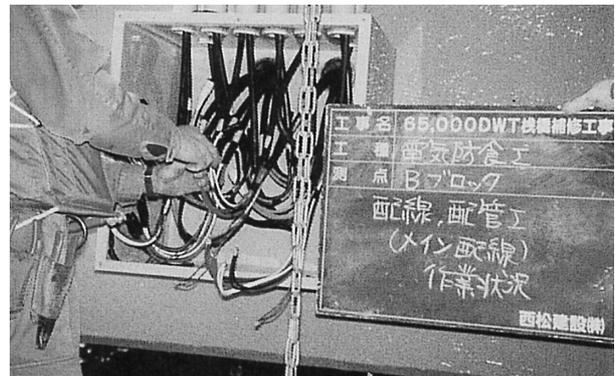


写真-3 配線配管

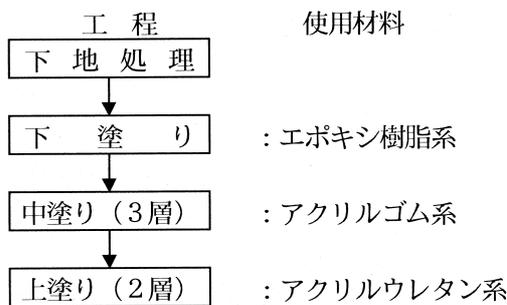


図-6 施工フロー



写真-4 上塗り工

(2)下塗り

下塗り材を所定の塗布量 (0.2kg/m²) を満足するまでウールローラーにて均一に塗布した。

(3)中塗り (3層塗り)

中塗り材を3回に分けてウールローラーで均一に塗布した。各層の塗布量は、1層目：0.5kg/m²、2層目：0.8kg/m²、3層目：0.7kg/m²で、ウエット状態における膜厚にて管理を行った。(ウエットゲージ使用)

(4)上塗り (2層塗り)

上塗り剤を2回に分けてウールローラーで均一に塗布

した。各層の塗布量は、1層目：0.15kg/m²、2層目：0.15kg/m²で、中塗り同様にウエット状態における膜厚にて管理を行った。(写真-4)

§ 7. 維持管理

今回の補修工事においては、20年間の長期保証を前提とした。長期の耐久性を維持するためには日常の管理が大事であるが、特に電気防食工に関しては通電の確認が重要である。このため、維持管理マニュアルを作成して今後の管理徹底を企業先に依頼した。

§ 8. おわりに

当工事の最大の特徴であり苦勞した点は、栈橋上の荷役作業を継続した状態で補修を行ったところにある。栈橋上には、3基のアンローダークレーン (300~400t/基) が稼動しており、梁下面の劣化したかぶりコンクリートをはつり落とす時は、はつり深さ (主鉄筋表面まで) の管理及び主鉄筋に損傷を与えないことに細心の注意を払った。しかし、鉄筋の腐食が全周に及んでいた箇所では、はつり作業により鉄筋が完全に露出する状態とせざるを得なくなった。このときだけは、クレーンの稼動を制限し、早期復旧に努めた。

今後の課題としては、調査の段階で劣化の激しい箇所について部分的なはつりを行い、鉄筋の腐食範囲 (腐食鉄筋の裏側まで) を充分に確認し、場合によっては栈橋上の荷役作業の制限を行うか否かを事前に企業先と協議しておく必要がある。

本工事は、平成13年6月に無事竣工を迎えることができた。今後、増えることが予想される同様のリニューアル工事に、本報告が少しでも役立てば幸いである。