

ライフサイクルマネジメントを考慮した栈橋式構造物の維持補修の検討

Examination of Maintenance and Repair of Pier type structures which considered Life Cycle Management

足立雅樹*・深海正彦**・宮島 正悟***

ADACHI Masaki, FUKAMI Masahiko and MIYAJIMA Shogo

* 前(財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** 前(財) 沿岸技術研究センター 主幹兼企画部長

*** 国土交通省 中部地方整備局 名古屋湾空港技術調査事務所 所長

The local corrosion was clarified right under the anti-corrosion measures part of steel piles of pier type structures by check and diagnosis of the national harbor facilities. In this paper, I performed that I examined of the actual situation of the local corrosion and investigated the cause. And I examined the effective maintenance method how I used general of life cycle management for.

Key Words: maintenance and repair, life cycle management

1. はじめに

国有港湾施設の点検・診断によって栈橋式構造物の鋼管杭の防食対策部直下において局部腐食が明らかになった。本論文では、その局部腐食について実態の把握、原因究明、ライフサイクルマネジメント(以下、LCM)概念に基づいた効果的な維持補修方法の検討結果について報告する。

2. 調査内容

(1) 局部腐食の実態

管内の栈橋の鋼管杭で局部腐食が報告された名古屋港金城ふ頭について、局部腐食の実態を整理した。局部腐食の実態は表-1に示す通りで、N.P. -1.0m直下で428本のうち10本で腐食による貫通孔(以下、腐食穴)が見られた。また、発生位置は、海側1列目杭で9本、2列目杭で1本であった。さらに、平均干潮面よりも上の部分

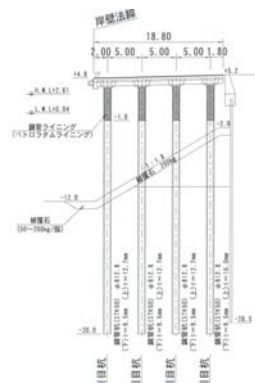
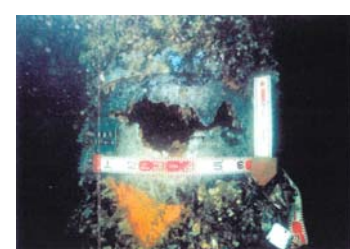
には塗覆装がなされているものの、海中部には電気防食が施されておらず、局部腐食は、この塗覆装下に発生していること等が確認された。

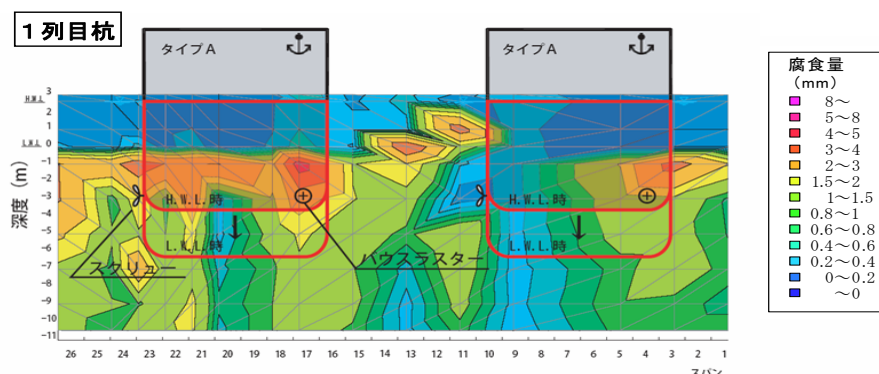
(2) 局部腐食に対する原因究明

一般的に、海洋環境における腐食因子としては、1)溶解成分、2)溶存酸素、3)流速、4)温度、および5) pHなどが挙げられる。そこで、当該エリアの腐食の原因を究明するため、既往の文献^{1),2)}から溶存酸素、塩分濃度、水温の変化を調べたが、これらの腐食因子がどの程度腐食に影響を及ぼしているかを確認することが出来なかった。そこで本論では、局部腐食はこれらの腐食因子が複合して生じたものと捉えて、腐食原因の推定は腐食傾向の平面的、断面的な傾向を踏まえて上で、岸壁の利用状況等をもとにその原因を究明するものとした。

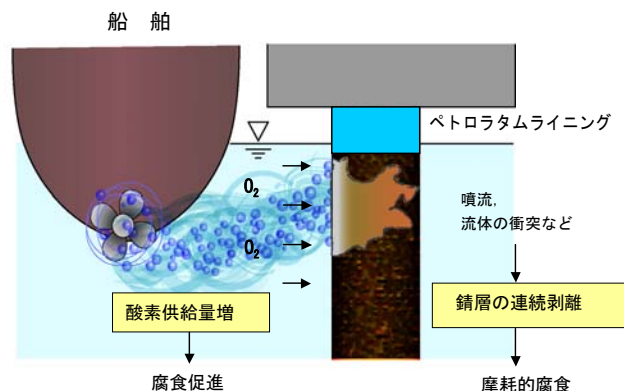
腐食傾向を把握する方法としては、既往の肉厚測定結果から平均腐食量をコンター図に示すものとした。その一例として、図-1に1列目杭について平均腐食量と着船

表-1 局部腐食の実態

標準断面	局 部 腐 食 の 実 態										
 水深: -12.0m 経過年数: 30年 電気防食: 無し <table border="1"> <thead> <tr> <th>杭 列</th> <th>腐 食 穴</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1列目杭</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2列目杭</td> <td>1=3.2mm</td> </tr> <tr> <td>3列目杭</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4列目杭</td> <td>1=3.2mm</td> </tr> </tbody> </table>	杭 列	腐 食 穴	1列目杭		2列目杭	1=3.2mm	3列目杭		4列目杭	1=3.2mm	- 鋼管杭の腐食による貫通孔(以下、腐食穴)が10本発生していた。 - 発生位置は、海側1列目杭で9本、2列目で1本であった。 - 発生深度は、ペトラタムライニング直下(-1.0m直下)であった。  
杭 列	腐 食 穴										
1列目杭											
2列目杭	1=3.2mm										
3列目杭											
4列目杭	1=3.2mm										



頻度の高い船を示す。コンター図と船舶の着船状況を照合した結果、船舶位置と腐食量の大きい箇所は一致している傾向が見られた。この結果から、局部腐食の発生原因のイメージを図-2に示す。局部腐食の原因は、船舶のスクリー、ハウスラスタ等の影響により酸素供給量が増えたこと、また、これらの噴流によって生じる流体の衝突によって、離着岸時に鋼材表面に付着している錆を除去し、船舶が着岸していないときに、再び錆が生じることを繰り返すことによって、局部腐食が発生したものと思われる。



(3) 局部腐食に対する補修工法

局部腐食に対する対策工法としては、塗覆装・電気防食工法など腐食を防ぐ防食工法と、耐力低下した鋼材に強度を付加する補強工法に大別することができる。本論文におけるLCC算定対象としては、塗覆装工法としては、「有機ライニング（水中施工型）」、電気防食については「流電陽極方式」を適用するものとした。また、補強工法については、「鋼板溶接工法」、「鉄筋コンクリート

表-2 局部腐食に対する補修工法

	鋼板溶接工法	R C被覆工法	有機ライニング工法 (水中施工型)	電気防食工法 流電陽極方式
工法概念				
工法の原理	鋼板を巻き直接溶接することにより補強する工法	R Cを鋼管杭に被覆することにより補強する工法	水中施工が可能な材料を被覆することにより鋼材の腐食を抑制する工法	A 1 陽極からの防食電流によって防食する工法
施工性	- 溶接部残存肉厚は5 mm以上³⁾必要。 - 水中溶接のため下地処理などが重要。	- 同左 - 同左 - 水中不分離コンクリートの本質管理が重要。	- 複雑な形状でも施工可能 - 湿潤部と水中部で材料を使い分ける必要がある。	- 水中溶接のため下地処理などが重要。 - 構造物の規模に関係なく適用でき、施工が容易
本検討での適用箇所	安全性の限界(断面減少率45%)を超過する箇所に適用	同 左	鋼板溶接箇所に適用(溶接部の腐食を抑制する)	全鋼管杭の防食に適用
耐用年数	30 年 ⁴⁾	30 年 ⁴⁾	15 年 ³⁾	20 年(陽極20 年を使用)
補 修 費 ^{*)} (施工費含)	100,000 円/m ²	150,000 円/m ²	58,000 円/m ²	1,900 円/m ²

*) 当該岸壁に対して算出

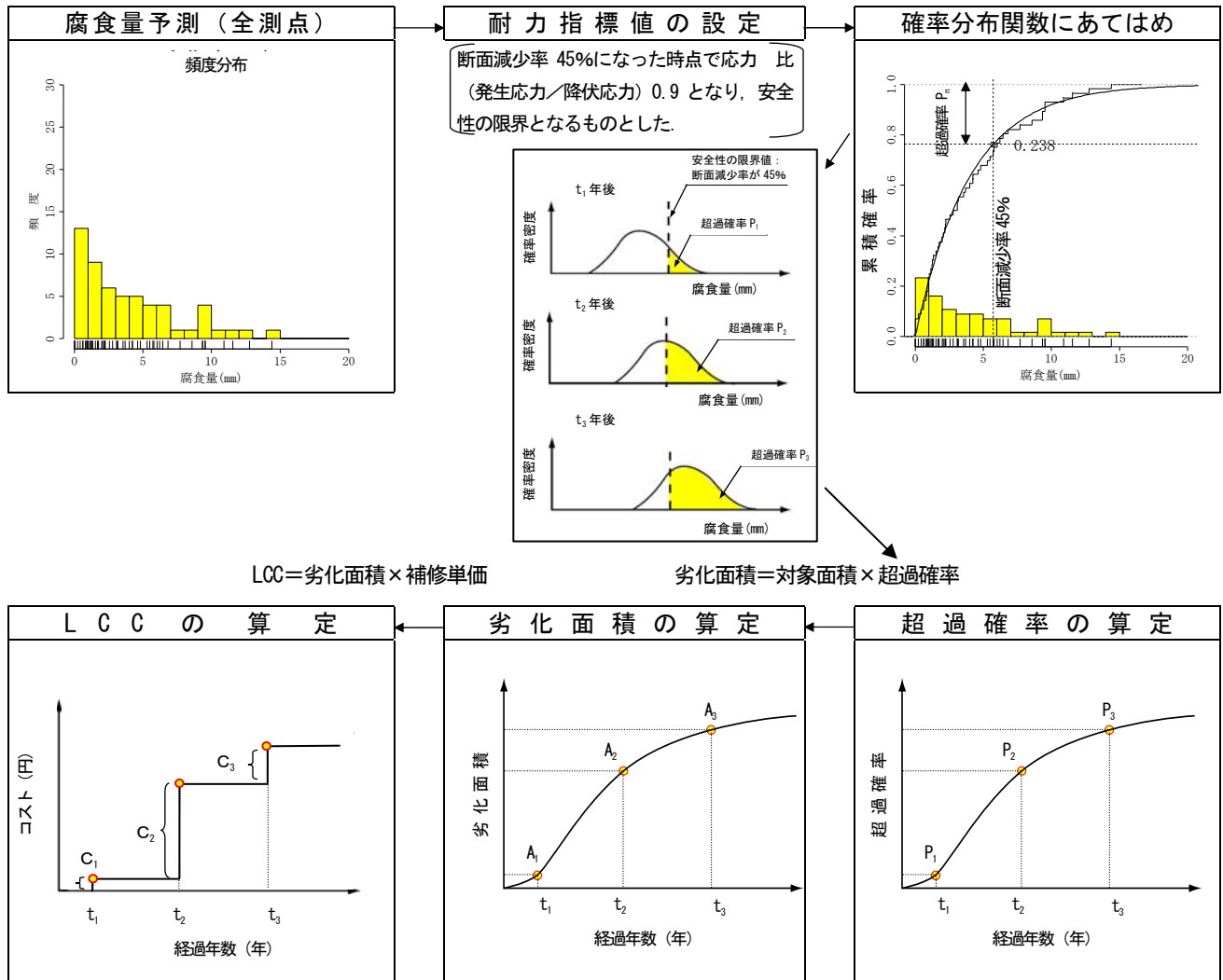
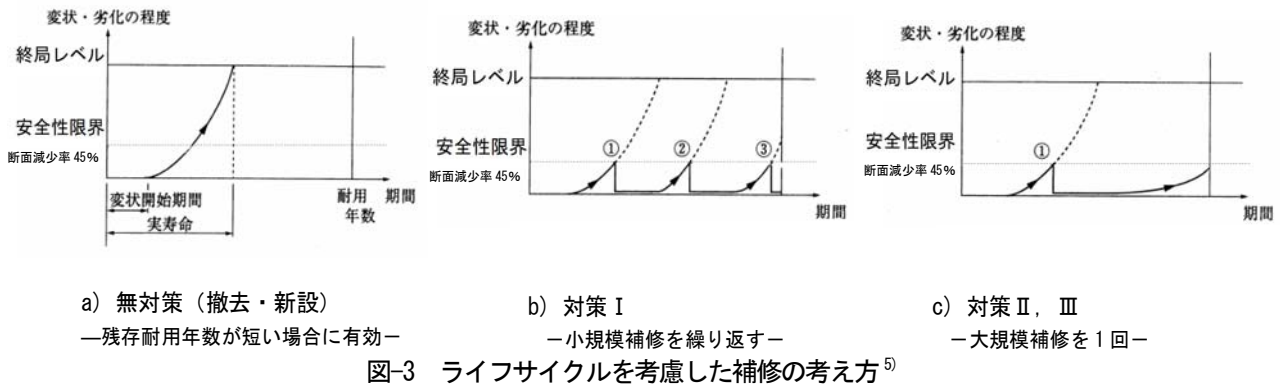


図-4 LCC算定フロー

被覆工法（以下、RC被覆）を対象とした。各工法の特徴を表-2に示した。LCCを検討する際の維持管理シナリオは、図-3に示すライフサイクルを考慮した補修の考え方⁵⁾および表-2の工法の特徴から以下のとおり設定した。

- a) 無対策 撤去・新設
- b) 対策Ⅰ 鋼板溶接+有機ライニング

- c) 対策Ⅱ 鋼板溶接+有機ライニング+流電陽極
- d) 対策Ⅲ RC被覆+流電陽極

(4) 維持補修を考慮した補修方策

本論文におけるLCCの算定フローを図-4に示した。本手法では、まず、全測点に対して腐食量を算定し、将来の腐食量の頻度分布を予測した。次に、断面

表-3 LCC 算定条件

予定供用年数	20 年, 40 年
維持管理シナリオ	無対策：撤去・新設 対策Ⅰ：鋼板溶接工法＋有機ライニング 対策Ⅱ：鋼板溶接工法＋有機ライニング＋流電陽極 対策Ⅲ：RC被覆工法＋流電陽極
対策時期	対策Ⅰ：10 年間隔 対策Ⅱ, Ⅲ：平成 16 年度に実施
対策箇所	補強：腐食により断面減少率 45% となった箇所 塗覆装：鋼板溶接箇所 電気防食：全鋼管杭
維持管理費	対策Ⅰ：対策前に肉厚測定 対策Ⅱ, Ⅲ：電位測定 (1 回/2 年)
防食効果	電気防食後の腐食の進行はない
リスク, 便益効果	考慮しない
現在価値換算	割引率, 物価上昇率は考慮しない

減少率 45% になった時点を実際の安全性の限界⁶⁾とした上で、将来の腐食量分布を確率分布関数にあてはめた。そして、断面減少率が 45% 超過する確率を算定した。なお、この超過確率は、安全性の限界を超える確率を意味する。この超過確率に対象面積を乗じることにより、安全性の限界を超えた劣化面積を算定することができる。最後に、この劣化面積に各対策工法の施工単価を乗じることによって、LCC の算定を行った。表-3 に LCC の算定条件を示す。図-4 および表-3 の LCC 算定フローにしたがって LCC を算定した。その結果を図-5 に示す。

図-5 から、20 年程度と予定供用期間が短ければ、経年的に劣化箇所を補修するという対策も有り得るが、長期になるにつれて、電気防食工法(流電陽極方式)を実施する方が経済的であることがわかった。現在、平均干潮面以下の防食対策は、電気防食が標準となっている。本事例では、LCC の観点からこれを再認識する結果となった。また、予定供用期間が長期の場合、わずかではあるが鋼板溶接工法併用の対策Ⅱよりも、RC 被覆工法併用の対策Ⅲの方が有利となった。ただし、これらの判断は、詳細な腐食状況、施工性などを考慮して判断する必要がある。

3. まとめ

- (1) 局部腐食を含めた腐食状況の実態の把握は、既往の腐食データをコンター図に示すことにより、栈橋固有の腐食状況を簡便かつ視覚的に把握することができた。
- (2) 海中中部における鋼材の腐食量は、環境によって大きくばらつくことが多く、腐食量の予測を行う際に“どの値を代表値とするか”という問題が生じる。本論文では、これを考慮するために確率論的手法により、

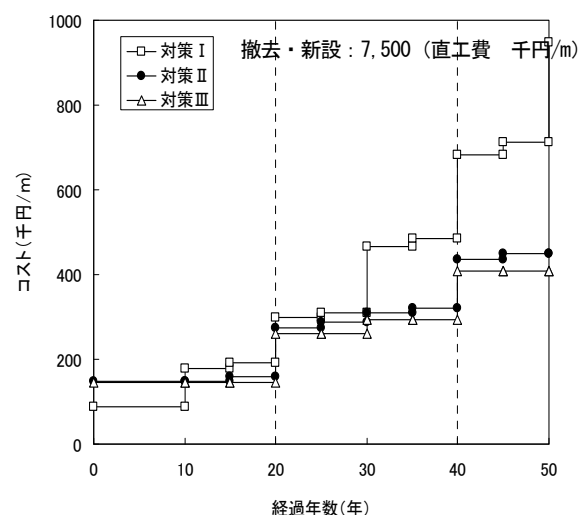


図-5 LCC の算定結果

劣化予測を実施する方法を考案した。本手法を用いることにより、現在のばらつきを将来も考慮することができ、今後データを蓄積することにより、手法の高度化が期待できる。

- (3) 20 年程度と予定供用期間が短ければ、経年的に劣化箇所を補修するという対策も有り得るが、長期になるにつれて、電気防食工法(流電陽極方式)を実施する方が経済的となることがわかった。

4. 今後の課題

- ① 本論文では、維持補修費に直接かかるコストのみを対象とした LCC の最小化について検討したが、実際、対策にあたる場合には、予算に制約があることから、複数の施設から対策の優先順位を策定する必要がある。その判断材料として、リスク回避効果、便益効果を考慮することも必要である。
- ② 技術的な課題のほかに、岸壁利用者の利用状況も重要な要素であり、これらを考慮することも必要である。

参考文献

- 1) 実用軟弱地盤対策技術総覧編集：実用軟弱地盤対策技術総覧，産業技術サービスセンター，1281p.，1993.
- 2) 杉山陽一・依田眞・原田一利：名古屋港の貧酸素水塊に関する現地調査，海岸工学論文集，第 48 巻，2001.
- 3) (財) 沿岸開発技術研究センター：財港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(改訂版)，1997. 4.
- 4) ヒアリングより
- 5) 千葉賢・杉山陽一・松尾直規：名古屋港の夏季の流況と貧酸素化に関する研究，海岸工学論文集，第 50 巻，2003
- 6) 古玉悟，田邊俊郎，横田弘，濱田秀則，岩波光保，日比智也：栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発，港湾技研資料 No. 1001，2001. 6.