

# 既存棧橋における維持管理工法の決定支援に関する一考察

## A Study on a Supporting System to Select Appropriate Maintenance Means for Existing Piers

禮田英一\*・深海正彦\*\*

REITA Eiichi and FUKAMI Masahiko

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\* (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼企画部長

The present paper proposes a supporting system to select appropriate maintenance means for existing piers in ports. This supporting system takes the concept of the life cycle cost into consideration, and will be effectively used for the investigation of superannuated pier maintenance works.

Key Words : pier, maintenance, supporting system, life cycle cost

### 1. はじめに

棧橋は、船と陸とを繋ぐ主要な係留施設であり、海上物流の要としてその地域の経済基盤を支える港・埠頭の重要な部分を担ってきた。しかし、高度経済成長期に建設されたこれらの港湾施設の多くは、建設後 30 年程度を経過しており(図-1 参照)、腐食や劣化が著しいことから、そのような劣化・腐食の状況を的確に診断し寿命等を評価する方法の出現とともに、より永くそれらの施設が使用可能になるような適切な維持管理方法の開発が期待されているところである。

また、近年は、公共事業のコスト削減が厳しく求められており、既存施設の劣化状況をより正確に把握し、それに適切に対処していくことで長寿命化を図るとともに、維持管理においても如何なる手法が最も低コストで効果的かが検討されているところである。

コンクリート構造物の腐食・劣化問題では、一般に“気象”、“地形”など構造物を取り巻く環境とともに、“材料・配合”などの施工時の初期条件が、その腐食・劣化に大きな影響を与えると言われる。特に港湾構造物は、沿岸域に設置されるため、常時塩害環境下に曝されており、劣化・腐食の重要な因子である塩化物イオンがコンクリート内に浸透し易い状況にある。このため、かねてより劣化・腐食メカニズムの解明、評価診断技術及び維持補修技術の進展が期待されていた。

しかしながら、現状では、このような地域的な環境特性を考慮した実務的な腐食・劣化評価ツールはなく、当該構造物が建設されたときの施工条件すら多くの場合曖昧なデータしか残っていないため、正確な腐食・劣化予測が行えない状況にある。

本稿は、その様な状況の港湾施設、特に棧橋について、清水港を例に取り、既存棧橋の劣化予測について検討するとともに、維持管理の手法及び補修工法の決定方法に関する考察を行ったものである。

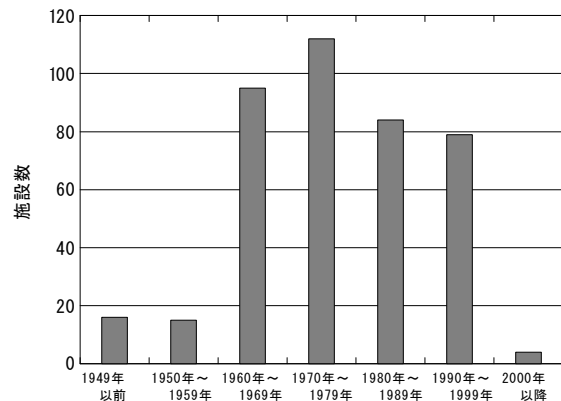


図-1 棧橋式係船岸整備の推移<sup>1)</sup>

### 2. 既存棧橋の維持管理評価手法の問題点

コンクリート構造物の腐食・劣化を正確に評価することは、そのメカニズムが明らかにされていないことから非常に難しい。塩害による劣化進行過程については、2001年度に制定されたコンクリート標準示方書(維持管理編)によれば、潜伏期、進展期、加速期及び劣化期の4過程に分類されている。そして、潜伏期の限界については、鉄筋の錆が発生する限界の塩化物イオン濃度(発錆限界量  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ )でその定義が補完されているが、その他の過程については定量的な記述はなく、目視等から判断される定性的な指標しか提示されていない。また、塩化物イオンの拡散予測では、コンクリート構造物の材質が均一的と仮定し拡散方程式を解くことが一般的に行われているが、同方程式が塩化物イオンの拡散過程や拡散に伴う劣化・腐食の進行過程を、どこまでの正確に予測し得るかについては、まだまだ研究の余地があるようである。

コンクリート構造物内部の塩化物イオン浸透過

程や、浸透による鉄筋の腐食過程を物理的に忠実に解明することは、コンクリートが材質的に不均一なことに加え、港湾構造物として曝される環境が余りにも場所的・時間的に多岐に亘り複雑なことから、現実的には難しい状況にある。しかしながら、劣化・腐食の現象に忠実な予測手法でなくても、必要な対策を講じるための概ねの状況を把握できるツールが必要であり、そのような簡易的な予測手法の開発が期待されているところである。

そこで、このように解明が不十分な腐食現象に対し、現存する方法や考え方を如何に取り扱えば、ある程度の劣化予測を行い、更にはその結果に基づくライフサイクルコスト(LCC)を概算可能かという観点で、手法の開発を念頭に今回は研究を行った。

### 3. 提案する手法

当該手法の概略を述べると、①現地での塩分実地調査等既存データを利用し従前の手法を踏まえた簡易的な手法で構造物の劣化予測を行い、②この結果に相応しい維持補修工法を挙げ、③当該工法で補修した結果の累積経年維持補修費用を算出してライフサイクルコストの比較・評価を行うものである。

#### 3.1 劣化予測手法

塩素イオン濃度の高い環境下では、構造物の鉄筋は腐食しやすい。つまり塩化物イオン濃度が大きい程、腐食する確率が高いことが一般に知られている。

塩化物イオンがコンクリート内を遷移して行く状況については、示方書にも記載されているように拡散方程式を用いて検討するのが基本である。拡散の年数の経過に伴って、コンクリート構造物の深さ方向にどの程度まで塩化物イオンが浸透して行くかについて予測する。そして、鉄筋が当該深さに位置した場合に鉄筋の腐食が実際に起こりうるか否かについては、閾値による評価を行うが、その値としては発錆限界量  $1.2\text{kg/m}^3$  を利用し、この濃度に達した領域(かぶり)に鉄筋が存在した場合に初めて腐食が起こる(逆に達していない場合は腐食が起こらない=腐食率 0%) こととする。また、森永ら<sup>4)</sup>は、「鉄筋腐食によりコンクリートにひび割れが生じるまでの期間」をコンクリートの寿命としているが、今回はこの考え方を適用し、寿命時期を 100%腐食が発生している時期と解して、この腐食発生率 0~100%までの間で正規分布的に腐食が発生していることとする(図-2,3 参照)。

また、構造物の各部材が曝される環境は均一ではないことから、曝される環境ごとで大まかなグループ分けを行う。塩化物イオンの拡散については、拡散方程

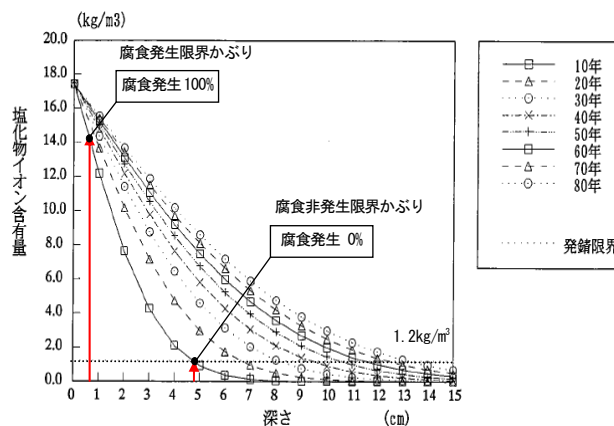


図-2 塩化物イオン拡散予測例

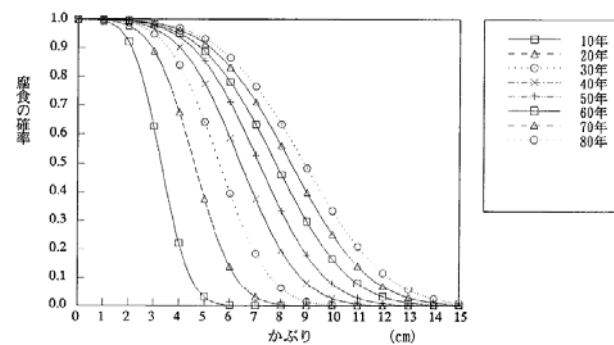


図-3 腐食確率分布関数の算定例

式モデルで現地調査データにより各グループ毎の代表的な拡散係数及び表面塩化物イオン濃度を同定して拡散の様子を推定し、それにより、塩化物イオン濃度に相関させた腐食発生率の算定を行う。

#### 3.2 維持補修工法

維持補修工法については、海面に近い領域では腐食・劣化が著しいという一般的な傾向を踏まえ、これらに対応する工法としては、電気防食工法や断面修復工法を主体とし、他方、海面から遠い陸地近傍では塩害を受ける可能性が海側よりは低いと考えられるところは、表面被覆工法を基本とする補修工法を対象とすることとする。

#### 3.3 LCCによる評価

LCCを算定するための流れを図-4に示す<sup>5)</sup>。実際のコンクリート構造物においては、上記のように環境の相違に基づきグループに分けて算出されたグループ毎の腐食発生率に、グループ化された部分の部材の面積を乗じて、補修面積を算出する。LCCの算定では、この補修面積に補修単価、足場単価などを乗じて算出し、補修材料が耐用年数を超えている場合には、これを再補修する。

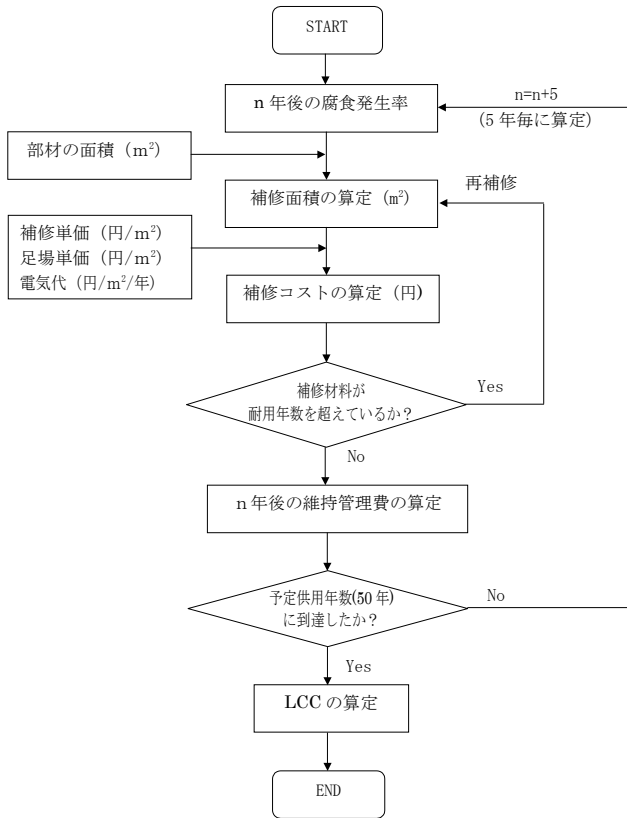


図-4 LCC算定の流れ

#### 4. 評価事例

上記手法で、静岡県清水港の棧橋を対象に当該評価を行った。評価を行う上での清水港における条件は、①建設後約15年以上経過しており、②今後50年間は供用する予定であることを念頭におき、劣化予測及びLCCの算定を行った。なお、塩害環境の相違からの部材のグループ分けでは、清水港では、通常の棧橋に比べ上部工下面と海面とのクリアランスが非常に小さいことから、海側部分が、土留めを含む陸側部分より明らかに厳しい環境となることを想定した(図-5)。

##### 4.1 劣化予測

まず、清水港岸壁各部の現地調査により表面塩化物イオン濃度及び拡散係数を求め<sup>6)</sup>、この濃度及び係数と拡散方程式の解から、表面からの任意の距離における塩化物イオン濃度を求めた。そしてグループ化領域は環境的に調査点に類似することから、当該調査点でのそれらの結果による拡散予測は当該領域全体にも同様に成り立つと仮定した。その仮定のもと腐食確率分布関数を各グループ(海側梁、陸側梁、海側床版、陸側床版の4領域)に対し求め、同岸壁の鉄筋位置(鉄筋かぶり; 梁9cm、床版7cm)での腐食発生率を求めた(図-6)。以上の検討から、腐食発生率は図-7のように、海側梁>陸側梁>海側床版>陸側床版の順となった。

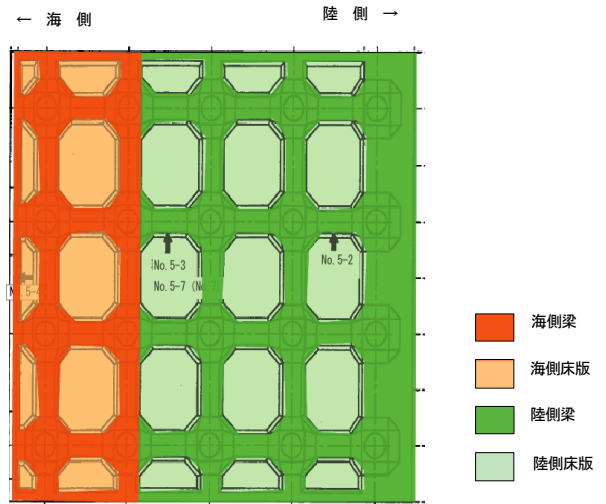


図-5 塩害環境の相違に基づくグループ化

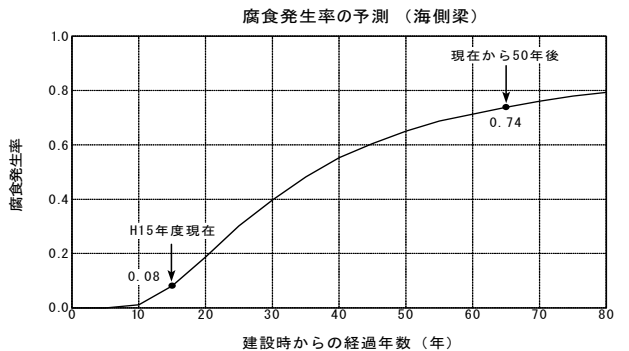
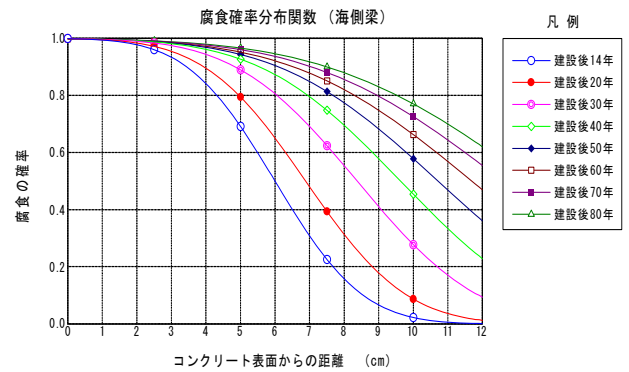
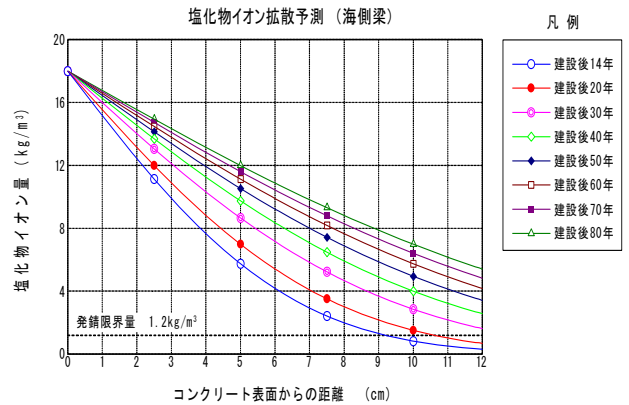
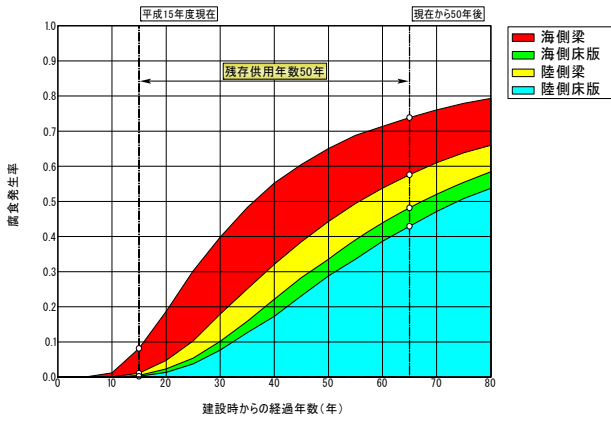


図-6 劣化予測結果 (海側梁)



注)ここで、腐食発生率は、構造物に配置されている全ての鉄筋のうち腐食している割合を示すものである。

図-7 各グループの腐食発生率

## 4.2 対策工法

上記の条件を満足する対策工法として下記の4通りを考えるとともに、解体撤去・新設の場合も比較のため併記する。(工法の内容の説明は省略)

- 対策A：電気防食工法 (パネル陽極)
- 対策B：電気防食工法 (チタンリボンメッシュ)
- 対策C：断面修復工法 (従来工法)
- 対策D：断面修復工法 (塩分吸着剤)
- 解体撤去・新設

## 4.3 LCC評価

上記のLCCフローチャートに基づき、劣化予測の結果からそれぞれの部材の面積に腐食発生率を乗じて工法毎に経年累積費用を推算し、図-8のような結果を得た(例示は海側梁と陸側梁のみ)。この結果から、腐食発生率が高いと推測される海側梁には対策A,B(電防)が有利であり、低いと推測される陸側梁には対策C,D(断面修復)が有利と言える。

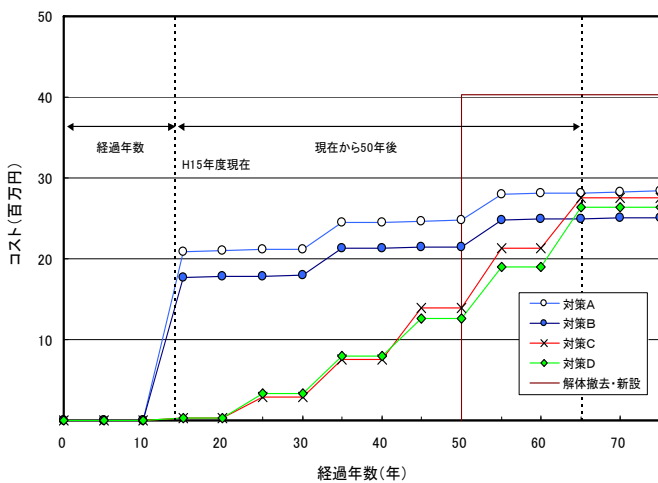


図-8(a) LCCによるコストの算定結果 (海側梁)

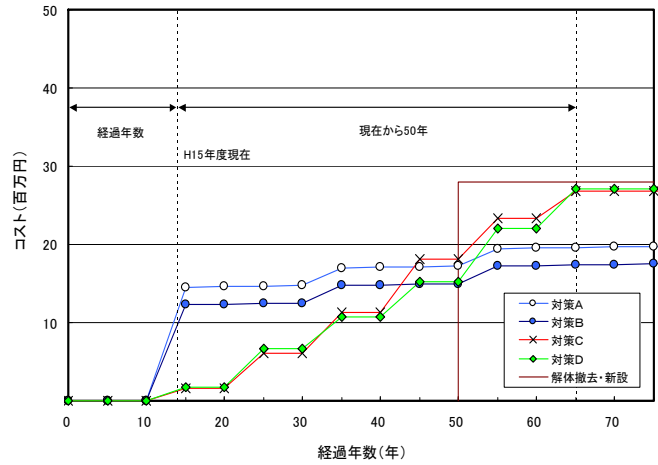


図-8(b) LCCによるコストの算定結果 (陸側梁)

ただ、初期コストが高くとも対策A,Bを選定する方が良いか否かは、予算等社会的情勢も考慮し総合的に判断する必要がある。

## 5. 結論

本手法により、LCCの観点から対策の優先順位や必要な対策検討の材料を抽出することが可能となる。そしてこの結果と、個々の管理者、ユーザーや構造物の事情を勘案し、適切な補修工法の選定に寄与できる。

## 6. 謝辞

本論文をまとめるにあたり、中部地方整備局清水港湾事務所様には、貴重なデータの提供等多大なご協力を賜った。ここに記して感謝致します。

## 参考文献

- 1) 小牟禮健一・濱田秀則・横田 弘・山路 徹：RC栈橋上部工の塩害による劣化モデルの開発，港湾技術研究所報告，第41巻，第4号，pp.3-34，1985。
- 2) 財団法人 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物の維持・補修マニュアル，152p.，1999年6月。
- 3) 大即信明・横井聡之・下沢 治：モルタル中鉄筋の不動態に及ぼす塩素の影響，土木学会論文集，第360号/V-3，pp.91-98，1985。
- 4) 森永 繁・入野一男・太田達見・土本凱士：腐食による鉄筋コンクリート構造物の寿命予測，コンクリート学会論文集，第1巻，第1号，pp.177-181，1990。
- 5) 前田敏也・野口恒久・和賀秀悦：塩害環境下にあるコンクリート構造物のLCC評価手法，土木学会第54回年次学術講演会，第6部，pp330-331，1999。
- 6) 松島 学・松井邦人・関 博・堤知 明：土木学会論文集，No.520/V-28，pp.269-272，1995。