

## 特別報文

# 海洋コンクリート構造物の アセットマネジメントシステムの開発事例

前田 敏也

近年、昭和30～40年代の高度成長期に建設された社会資本が寿命を迎えるのに伴い、蓄積された膨大な社会資本ストックに対する効率的な維持管理手法の確立が望まれている。その手法の一つとして、空港・港湾施設の海洋構造物など、塩害による劣化を受けやすいコンクリート構造物を対象にしたアセットマネジメントシステムの開発事例を紹介する。すなわち、塩害に関する調査結果から鋼材の腐食や耐力の低下を定量的に予測し、供用期間中の補修・補強費用を算定する。これを複数の構造物、あるいは部材を対象に行うことによって統合管理するとともにデータベース化し、LCC（ライフサイクルコスト）の最小化や平準化を図るものである。

キーワード：アセットマネジメント、海洋コンクリート構造物、統合管理、劣化、LCC

## 1. はじめに

空港・港湾施設をはじめ、高度成長期に急速に整備された社会資本の供用年数が50年を迎えるのを目前に、蓄積された膨大な社会資本ストックの安全性や機能性を確保するための効率的な維持管理手法の確立が急務である。特に、1980年代のいわゆる“荒廃するアメリカ”や、昨今の諸外国における落橋事故など、わが国にとってもはや対岸の火事では済まされない時期に来ていると言っても過言ではない。

このような状況の下、塩害による劣化を受けやすい港湾構造物については、これまでに調査や補修に関するいくつかの指針類<sup>1)</sup>が制定されてきたことに加え、2007年には港湾施設の維持管理計画策定に関する考え方<sup>2)</sup>が新たに示されるなど、今後は維持管理がますます重視される動向にある。さらに、長期的な観点から、構造物の初期建設費に供用期間中の維持管理費等も含めたLCC（ライフサイクルコスト）の考えや、限られた財源で複数の構造物を効率的、計画的に維持管理しようとするアセットマネジメント手法の導入が各方面で検討され、橋梁など一部の道路構造物を対象として既に実用化されている例もある。

本報は、様々な構造物の劣化のうち、栈橋や護岸などの海洋コンクリート構造物を対象に、代表的な劣化現象である塩害および中性化による鋼材腐食を定量的に評価・予測し、その結果算定される構造物や部材ごとのLCCを集計することにより、複数の構造物、す

なわち施設全体を統合管理するLCC最適型のアセットマネジメントシステムの開発について述べるものである。

## 2. システムの概要

本報で紹介するアセットマネジメントシステムの概要を図1に示す。システムは、各構造物の諸元、設計図書や調査、補修・補強等の維持管理履歴を記録するデータベース、各部材や構造物のLCCを算定するLCC評価システムおよび複数の構造物のLCCを集計し、最適か否かを判定するLCC統合部の3つから構成される。

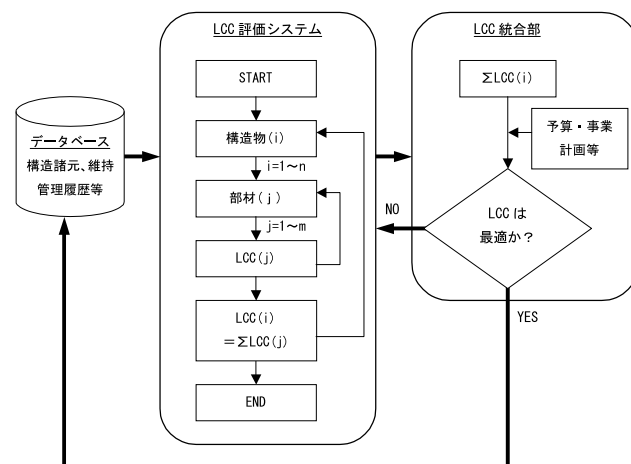


図1 アセットマネジメントシステムの概要



図—2 データベース画面の一例（調査写真）

このうち、LCC 評価システムは、鋼材腐食による供用期間中の耐久性および耐力の低下を定量的に評価することができ、その結果を基に LCC を算定する。ここで、LCC 算定に際しては、構造物の維持管理のシナリオに基づいた複数のケースについて検討する。たとえば、重要度が高く劣化を最小限に抑えなければならない場合には、予防保全や頻度の高い補修が考えられるが、耐力が確保できれば多少の劣化は許容するという場合もある。したがって、本システムでは耐久性の低下と耐力の低下にそれぞれ許容値を設定し、LCC が最適となるような維持管理計画を立案することも可能である。

また、LCC 統合部では、各部材および構造物ごとに算定された LCC を集計し、最小化や平準化、予算や事業計画に合っているか等の最適化がなされているかを判定する。LCC が最適化されていない場合には LCC 評価システムに戻って維持管理計画の再検討を行う。

### (1) データベース

本システムにおけるデータベースの特徴は、ASP 方式を採用していることである。ASP とは、Application Service Provider の略で、インターネットを介してデータセンターの支援ツール（ここではデータベースシステム）を利用する形態のことであり、ソフトやサーバーを購入する必要がないことから、低コストでシステムの導入が可能であるといった特徴がある。また、ユーザー ID やパスワードの設定により、複数の関係者が情報を共有することが可能である。さらに、ソフトの保守管理や更新、データのバックアップなどもユーザー側で行う必要がないため、システム

導入後のメンテナンスが省力化できる。本システムでは、対象とする各構造物の名称、建設年、設計条件などのほか、図面や計算書、写真などの資料を電子化して基本情報としている。また、点検結果や補修履歴などの結果も維持管理情報としてデータベースに保存される。これによってデータの一元化と共有化および検索の省力化が可能となるのみならず、データの逸散や紛失が防止できる。図—2 にデータベース画面の一例を示す。

### (2) 劣化予測

塩害による劣化予測は、塩害の劣化要因である塩化物イオンについて表面塩化物イオン量および拡散係数を設定して行う。ここで、既設構造物において塩化物イオンの分布に関する調査結果がある場合には、調査結果からこれらの値を近似して予測に用いる。調査結果がない場合は類似の事例を参考にするか、セメントの種類やコンクリートの W/C から拡散係数を算定し、表面塩化物イオン量は海岸からの距離などから設定する<sup>3)</sup>。

次に、設定された表面塩化物イオン量および拡散係数から Fick の拡散式により供用期間中の塩化物イオンの浸透予測を行う。また、供用期間中に表面被覆等により塩化物イオンの侵入を遮断する場合には差分法により予測を行う。鋼材の腐食はかぶりおよび塩化物イオン量に大きく影響されるが、同一のかぶりを有する鋼材でも種々の条件の違いによって腐食の進行が異なるため、ここでは鋼材の腐食発生を腐食確率で表す。同一のかぶりを有する鋼材の腐食確率は塩化物イオンの浸透によって時間の経過とともに高くなるため、塩化物イオンの浸透予測式により供用期間中の変化が予

測できる。一方、かぶりは施工上の理由等によりある程度のばらつきを有するため、一定値ではなく分布関数で表す。鋼材の腐食評価は、かぶりおよび腐食確率の分布から腐食発生率を指標として行う。ここで、腐食発生率とは、構造物に配置されているすべての鋼材のうち、腐食している鋼材の割合を表すものである<sup>4)</sup>。腐食発生率の予測例を図-3に示す。この例では、建設後20年で約20%、40年で約60%の鋼材が腐食する結果となる。なお、中性化による劣化予測は、表面塩化物イオン量と拡散係数を中性化速度係数に、塩化物イオンの浸透を中性化の進行に置き換えて同様の手法により行う。ただし、表面被覆によって二酸化炭素の侵入が遮断された後の中性化の進行はないものとする。

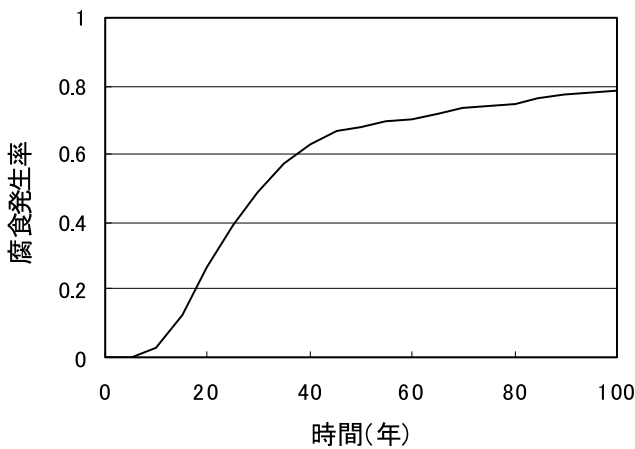


図-3 腐食発生率の予測例

鋼材腐食により耐力低下を生じる部材については、鋼材の腐食速度を設定して時間の経過に伴う腐食発生率と鋼材の断面減少量から鋼材の換算断面積を算定し、設計で用いる耐力算定式から耐力の低下予測を行う<sup>4)</sup>。耐力低下の予測例を図-4に示す。この例では、建設後約30年から鋼材腐食によって徐々に耐力が低

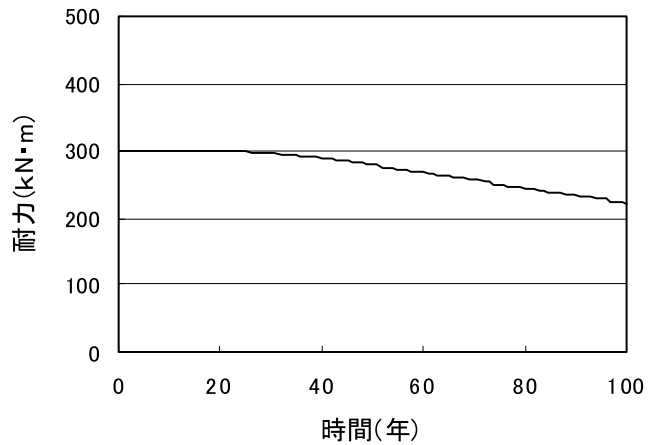


図-4 耐力低下の予測例

下する結果となる。

### (3) LCC 評価

劣化予測の結果から、構造物や部材の重要度や特異性を考慮して維持管理のシナリオを設定し、LCCを算定する。LCCは必要な補修あるいは補強数量に工事単価を乗じて算定する。ここで、必要な補修数量は図-3に示した腐食発生率、また、補強数量は図-4に示した耐力低下の予測結果からそれぞれ設定する。すなわち、補修数量は対象とする部材のコンクリート表面積に腐食発生率を乗じて算定し、補強数量は耐力の増分が可能な補強部材の仕様を決定して算定する。

LCCは、まず維持管理の最小単位である部材ごとに算定し、各部材のLCCを合算して構造物のLCCを算出する。さらに、構造物ごとのLCCを合算して施設全体のLCCを算出する。図-5にLCC最小化の流れの概念を示す。部材のLCCはいくつかの補修工法ごとに示され、その中からLCCが最小となる工法を部材ごとに合算したものが構造物の最小化LCCとなる。さらに、構造物ごとの最小化LCCを合算したものが施設全体の最小化LCCとなる。

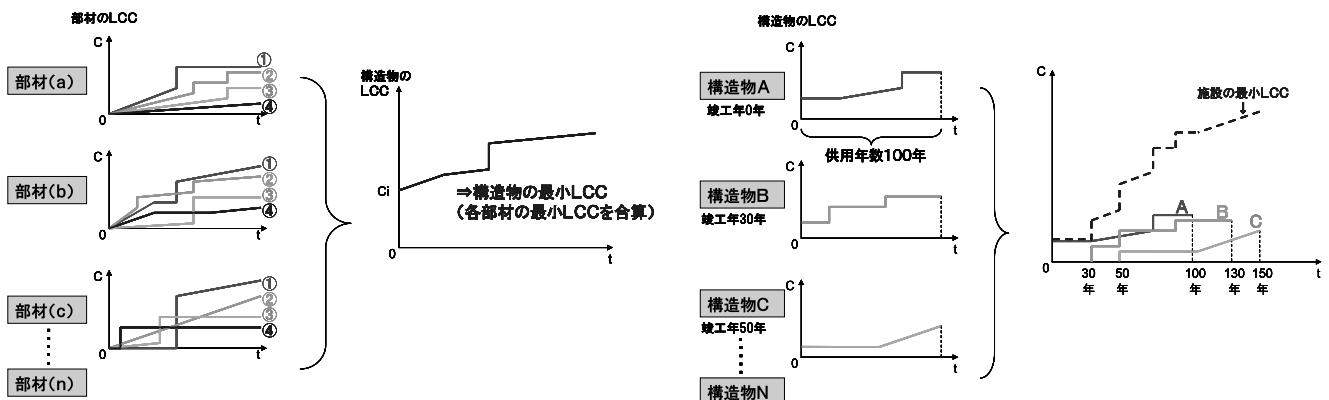
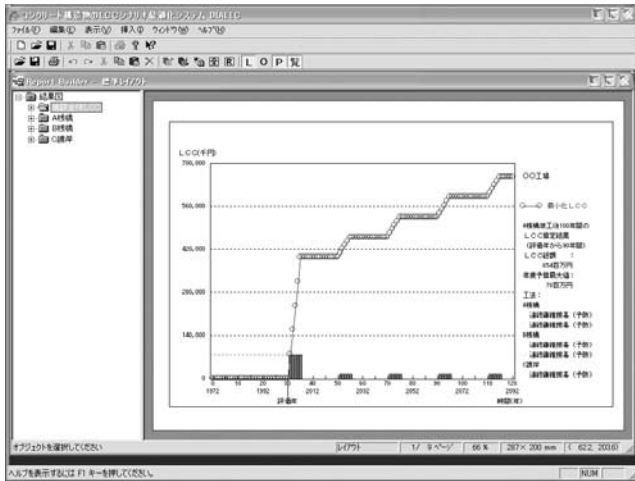


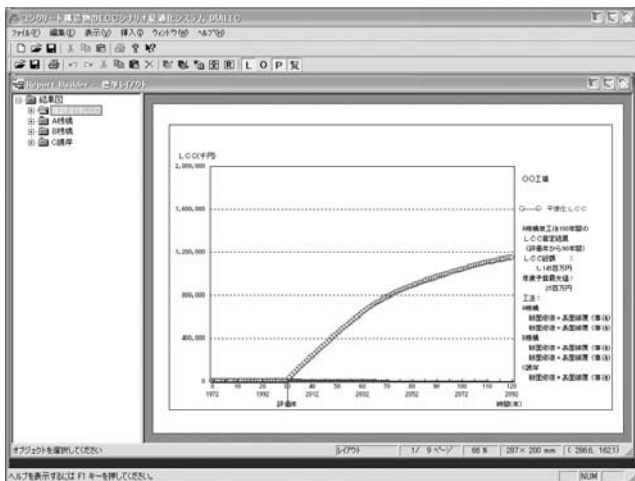
図-5 施設全体のLCC最小化の概念

(4) LCCの最適化

一般に、アセットマネジメントの導入に期待する効果の一つとしてLCCを最小化することが挙げられる。しかし、LCCを最小にするシナリオでは予防保全が有利となる場合が多く、管理する構造物が多い場合には初期の維持管理費が突出して多くなってしまいう可能性がある。このような場合、LCCが最小化されなくても予算計画や事業計画に合わせたシナリオが最適となることも考えられる。図—6, 7にLCC最適化の



図—6 LCCの最小化



図—7 LCCの平準化

例を示す。図—6はすべての構造物を早期に予防保全してLCCを最小化する場合の評価結果であり、初期の維持管理費が高くなっている。一方、図—7はすべての構造物を事後保全する場合のLCC評価結果であり、年度当りの維持管理費がほぼ一定となって平準化されている。この場合、長期的なLCCは高くなるが、毎年一定の予算を確保することによって施設の維持管理が可能となる。

本システムでは、定量的な劣化予測の結果からLCCを算定しているため、任意のシナリオに基づいたLCCのシミュレーションが可能であり、供用期間内にシナリオが変更になった場合でも、事業計画に合わせてLCCを最適化することができるという特徴がある。

3. おわりに

本報では、塩害および中性化を対象とした海洋コンクリート構造物のアセットマネジメントシステムの開発事例について述べた。アセットマネジメントをはじめ、構造物の本格的な維持管理に対する取り組みは始まったばかりであり、本報が今後の維持管理技術の展開のための一助となれば幸いである。 JICMA

《参考文献》

- 1) たとえば、(財)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 (1999.6)
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：港湾施設の維持管理計画策定に関する基本的考え方、国土技術政策総合研究所資料〔376〕(2007.3)
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕, pp.100-102 (2001)
- 4) 前田敏也・村上かおり・海野展靖・島田正文：コンクリート構造物のLCC最適型アセットマネジメントシステムの構築、コンクリート構造物のアセットマネジメントに関するシンポジウム論文集, pp.269-274 (2006.12)

〔筆者紹介〕

前田 敏也 (まえだ としや)  
清水建設株式会社  
土木技術本部  
ライフサイクルエンジニアリング部  
主査

