港湾構造物のライフサイクル管理—II

善 一 章*

* 国際航路協会 WG31 メンバー

Life Cycle Management of Port Structures—II

Kazuaki Zen*

* PIANC PTC-II WG31 Member

Broad and practical guidelines are necessary on how an LCM system for a port structure can be set up and run from the beginning until the system is phased out at the end of the service life of the structure.

The owner particularly needs a comprehensive database recording the history of the establishment and life of the port structures up to the present date, as well as of the works and developments carried out over the years by the application of LCM. And where a large number of structures are included in the inspection program, application of the contemporary database computer software offers numerous advantages over traditional ways of collecting and storing inspection data.

In accordance with the LCM report by WG31, the outline of the guidelines for the establishment and operation of the LCM system and an example of computerized database in Los Angeles Port are presented.

Key words : guidelines for LCM system, inspection, maintenance, repair, analysis of data, computerized database.

1. は じ め に

第1報¹⁾では、PIANC PTC-II WG31のLCM報告²⁾を参照して、LCMの必要性、LCMサイクル、経済性の比較手法であるWLCの概要、LCMの適用例などを紹介した。LCMの実施には、更に、LCMシステムの運用指針が必要となる。またデータベースはLCMサイクルの中心に位置し、収集した情報と実施した行動はすべてデータベースに記録され、LCMの分析・決定作業はデータベースの情報に基づく。小規模港では手動によるデータの記録が行われるが、大規模港ではデータベースのコンピュータ化が望まれる。

本報は、LCM報告を参照して、2章にLCMの設定と運用に関する指針(概要)、3章にコンピュータ化したデータベースで埠頭を管理しているロスアンゼルス港の例を示す。

2. LCMシステムの設定と運用に関する指針(概要)

LCMの設定と運用に関する指針(概要)として、本報では、(1) LCM実施の概説、(2) データベース、(3) 点検、(4) データの解析・計画・報告、(5) オーナーの再吟味と決定、(6) メンテナンス・補修・特別点検、(7) LCMシステムの運用手順を示す。

(1) LCM実施の概説

オーナーは、港湾構造物のLCM実施の手段として、点検プログラムとメンテナンス・復旧・補修・取替え・撤去に対する作業プログラムを必要とする。オーナーは、特に、現在までの港湾構造物の設置と経緯(LCMに関する作業の経緯も含む)を記録する包括的なデータベース

を必要とする。

LCMは、理想的にはLCMサイクルの計画・設計の段階で始めるべきであるが、どの段階からでも導入できる(注1: LCMサイクルは第1報4.1を参照)。LCMサイクルの標準作業を行うには永続するLCM組織が必要である(注2: LCM組織は第1報6(1)2を参照)。

LCMシステムの要素と作業は次の通りである。

- ・データベースと点検の計画
- ・データ収集と点検
- ・データベースヘデータの記録
- ・データの解析
- ・オーナーへの勧告
- ・設定された作業の実施
- ・作業の監督と記録
- ・品質管理

LCMの総合的メンテナンス計画には、損傷・点検・防食のオプションがあり、当該構造物に対するメンテナンス法の選定は、実施する点検の方法・範囲・頻度に影響を及ぼす。

(2) データベース

データベースの複雑さやデータの収集レベルは、施設の重要性和必要性、劣化のもたらす技術上、経済上、安全上の結果と低下した運用効率、施設の期待寿命など多くの要因による。複雑なデータベースには、コンピュータ化が適する。(注3: LCM報告のケーススタディによれば、小規模港のカムサール港では単純なデータ記録法が行われている。一方、大規模港のロスアンゼルス港では、3章に示すように、データベースはコンピュータ化された。)インプット情報は、テナントや管理者との協定・契約、設計図と設計データ、環境と地理的データ、運用データ、各種点検・測定・試験から収集する。

LCM実施に必要な情報項目は以下の通り：

主データ(施設位置、港のタイプ、所有と運用者、構造物の位置、関連構造物)；環境(気象・海象・水理のデ

* 〒213-0011 川崎市高津区久本3-6-1-401 (3-6-1-401, Hisamoto, Takatsu-ku, Kawasaki, 213-0011 Japan)

ータ、地質、地震の影響、その他：水質・塩分・化学物質・生物、環境規制)；構造物/施設に関するデータ(構造物タイプ、設計・建設・更新データ、材料、耐久性)；稼働パラメータ(船舶タイプ、貨物タイプと梱包システム、荷役、公益利用設備：電気、水道、下水処理、陸上輸送)；財政データ(財政データはWLCに必要な基本的要素として蓄積する。データは、全施設に対する全般的な数字として、また各構造物または各部分に対する特定の数字、特にメンテナンスコストとして記録する。なお適正単価は、最近のメンテナンス・補修プロジェクト・技術雑誌・文献・他のデータを参照して得られる。データには、計画・設計・建設局面、メンテナンスと稼働段階、撤去と移転段階がある。注4：WLCは第1報4.2と5を参照)；メンテナンスデータ(メンテナンスデータは、データベース設定時から収集し、その後の点検とメンテナンス実施時に更新する。各構造物部材の特性データは、部材のメンテナンスのランク付けと、材料劣化と建設・稼働・環境に起因する特別な損傷の両者である。標準的損傷例と構造物点検時に関する重要項目は、技術マニュアルを参考して各構造物に応じて選定する)；撤去データ(施設全体または一部の撤去作業の全データ)。

(3) 点 検

点検の主目的は、構造物の状態の判定・記録とすべての変状の検出である。点検のタイプと範囲、頻度、情報の記録と報告の方法は、施設の規模やコストのほか、構造物のタイプ、メンテナンス計画、環境と安全状態による。点検の理由がなんであっても、正しい点検方法を選択することと最も費用対効果のある方法で計画することが重要である。点検には定期点検と特別点検がある。(注5：防食・補修マニュアル³⁾では、定期点検：一般点検・詳細点検と臨時点検があり、臨時点検は事故の直後に行う。)

(a) 定期点検

定期点検の目的は、各構造物に関する状況をできるだけ知するためと防食・補修工の変状を精度よく確認するためである。点検プログラムは長期の連続作業であり、定期点検が計画通りに行われ、点検報告書が定期的に再吟味される時、最も有効である。各タイプの構造物に対して、適正な点検プログラムは経験を積んだ技術者によって作成され、定期的に更新される。プログラムには、点検開始時期、実施責任者、結果の照査者、作業決定者をはっきりと記述する。点検の評価は点検職員の専門技術に左右され、作業者とは別に、訓練された職員が矛盾のない点検結果を確認する。品質保証と品質管理は、実施・報告のほか、職員の資格・装置・手順にも使用する。点検の方法・範囲・頻度は、当該構造物用に選定されたメンテナンス計画に影響される。商業港における点検頻度は、普通、3～12か月ごとである。水中点検は、一般に、3～5年ごとに行われる。定期点検を前提としていない既設構造物では、点検プログラム立案用の詳細試験を行う。(注6：防食・補修マニュアル³⁾では、定期点検の一般点検は1～2年ごと、定期点検の詳細点検は5年ごとである。)

(b) 特別点検

特別点検は、一般に、予期しない損傷の検出後に行

う。損傷は構造物の安全また機能を損なうか、または補修の必要性を示唆する。また特別点検は、臨時または突然の出来事、例えば積み過ぎ、船舶の衝突、有毒化学薬品のこぼれ、台風や地震、または特別補修作業などの影響を立証するために行う。必要ならば、専門家が点検の方法と範囲の決定、監督・点検を行う。

(4) データの解析・計画・報告

点検結果に基づいてデータベースを更新するたびに、各港湾構造物に対する中長期の観点からメンテナンスと補修作業に関する決定をするために、データを入念に解析する。解析は技術上、運用上、財政上、安全上の局面(環境上の影響も含む)に精通した経験のある専門家が行う。コンピュータによる解析は、複雑な構造物に最適で必要なソフトウェアが利用できる。解析の範囲と細部は、構造物のメンテナンス計画による。点検計画を決める時、構造物の全寿命を考慮して、メンテナンスと補修調査の時期、方法、範囲を経済的に選定する。この目的のため、竣工から解析までの構造物の変状を測定し、推定残存寿命末までの構造物状態の変化は、種々のメンテナンスと補修のオプションから推定する。各オプションはWLCの手法で評価する。防食計画を適用する場合、防食工の維持管理を行う。(注7：防食とは、初期投資するだけでなく、維持管理を伴うことを意味する。)データ解析の目的は、維持管理が適当な頻度で行われているか、管理が有効であるかのチェックである。LCMシステムは、港の全寿命間で消費するメンテナンスコストを、構造物の総額と仕様ごとに毎年示す。既往の作業と必要なメンテナンス活動の単価から、LCMシステムは将来のメンテナンス予算を予測する。

データ解析結果は次の目的を持つ。

- ・(とるべき行動決定のため)オーナーへの報告
- ・データベースへのフィードバック
- ・将来の点検プログラムの調整
- ・港湾構造物使用における全変化の提示

データ解析は、既往の構造物メンテナンス方法を継続するか、他の方法が技術的・経済的に妥当であるかを決めるために行う。また、データ解析は、定期点検プログラムにおいて、どの活動が必要かと、例えばどこに変状があるかを明らかにする。

(5) オーナーの再吟味と決定

定期的に、例えば、毎年または変状が発生した時、LCM組織はオーナーに報告書を提出する。前報告書提出以降観察された新事実との比較、メンテナンスと補修予算の更新、作業と資金の両面から更なる活動推奨のため、報告書は最新の点検と解析の結果を要約する。

オーナーが報告書を吟味し、提案されたメンテナンスと補修作業を認可して報告書に基づいて行動することは、LCMの永続と港湾施設の補修状態に重要である。オーナーがメンテナンスと補修案に同意しない場合、更に点検または措置が必要となる。

(6) メンテナンス・補修・特別点検

特別点検と同じく、メンテナンス及び補修作業は、LCM組織による確認・提出後、オーナーの承認を得て行う。メンテナンス作業は、浚渫；既存材に発生した有害な欠陥の定期的復旧；既存材の容認できない劣化を阻止するための被覆法、電気防食法、他のメンテナンスシ

検：Principal Inspection) はプログラムによる。(注 10：2 章の定期点検と特別点検に相当する。図 1 では、この外に技術部が決定する特別点検：Special Inspection と埠頭法線点検：Pierhead line Inspection がある。) 損傷の全体範囲を把握するため埠頭の目視点検を早急に行うのが主目的か、主要点検を必要とするかで、定期点検の範囲は異なる。定期点検は、各埠頭ごとに水面上は毎年、水中は 3 年ごとに行う。定期点検の一覧表は、所要の特定作業に関する情報と構造物に対する総合的状態評価を含み、後者は主要点検の優先度を決めるために行う。

プログラムは、図 1 に示すように、定期点検(水面上)から始まる。点検マニュアルは、点検作業の範囲と手順を示す。点検結果は AIRIS に記録する。点検マニュアルは、定期点検で検出した損傷が主要点検を必要とするかどうかを判定するためにも使用する。主要点検が必要ないならば、今後の作業は定期点検サイクルに含める。主要点検が必要ならば、点検マニュアルは点検範囲と手順に関するすべての情報を提供する。点検終了後、主要点検で検出した欠陥に関する情報は標準フォーマットで AIRIS に入れる。補修マニュアルは、補修の必要性を決めるための指針である。補修が必要ない場合、点検活動は、定期点検、検出された損傷のモニタリングを可能にする将来の主要点検、補修の将来検討に戻る。補修が必要な場合、補修マニュアルは、補修順位、補修方法を設定するための基準に関する情報、各損傷量を推定する方法に関する情報を提供する。補修完了後、補修した各損傷の記録(補修の寸法と方法を含む)を標準フォーマットで AIRIS に入れる。

(3) データの記録

構造タイプ、埠頭配置、構成成分の形状などすべてをカバーする多数の記号、名称、短縮された記述が、記録のコンピュータ化に求められる。データは、臨海部の点検単位ごとに収集、記録する。点検単位は、膨張目地で仕切られる埠頭部分、または異なる構造断面タイプの埠頭部分である(図 2 参照)。埠頭設計や配置は多様であるにもかかわらず、図 3 に示すように、モデルとしては杭、杭頭と桁、床版下面、擁壁の 4 構成成分タイプですむ。損傷位置を示すために、これらの構成成分タイプを、更に、構成成分に細分化する。例えば、7 本の杭(A, B, C, D, E, F, G)で支持される杭頭(構成成分タイプ)は 6 区分(構成成分)に細分化する。杭頭の各構成成分は、隣接杭 2 本の中心線で仕切り、各部材は英数字で特定する。図 3 に、一般的な埠頭構成成分同定システムを示す。(注 11：図 3 の杭ペント 15 では、杭頭(PC)は、PC-15-

図2 トラパック コンテナターミナル

図3 埠頭構成成分の識別一般システム

A/B, PC-15-B/C, PC-15-C/D, PC-15-D/E, PC-15-E/F, PC-15-F/G の 6 区分に分ける。))

基本的野外データ収集用紙はすべての構成成分に対して同じであり、そのレイアウトはデータベースに記録データのインプットを容易にするために開発された。データ収集とコード化に対する詳細な説明は、各用紙の裏に

図4 非プレストレスト部材用補修の基準と順位

記してある。野外点検は、補修の必要性と順位、損傷タイプに関する決定を含む。(注12：損傷タイプは、破損、物理的損傷、腐食ひび割れ、腐食剥離、組立てひび割れ、エロージョン、水面下ひび割れなど。)補修マニュアルは、図4に示す意思決定のフローチャート(または指針)を含む。損傷を補修する場合、追加データは補修完成後に野外用紙に記録してAIRISに入れる。追加データは、補修した損傷の寸法、補修方法、補修年月日、補修順位及びすべての関連するコメントである。

(4) AIRIS データベース

データは、AIRISによって容易に処理・報告される。これは、プログラムとスクリーン使用が容易なウィンドウズを基本とするインターフェイスを用いて達成できる。AIRISの使用は、以下に示す相互に関係する6個のモジュールで構成される。

(a) 一般埠頭情報：このモジュールは、設計・建設時の構造物に関する情報を蓄積、表示する。点検単位は、クレーン、貨物置場のほか、バース範囲内に限る。最後に、バース範囲の経年変化も記録する。

(b) 点検と補修：点検と補修は、AIRIS適用の基本モジュールである。それは、必要な点検を可能にし、点検時の構造物の状態に関する定期点検データと主要点検で検出した損傷に関する特定データを蓄積する。これらの損傷記録は、各種報告に使用する。

(c) 自動データ収集・移転：このモジュールは、主AIRISネットワークシステムと主要点検に用いる自動データ収集(ADC)装置間のデータ移転を容易にする。ADC装置は、主要点検期間に特定の損傷情報を記録するために使用する(注13：野外点検者は、データを記録するために携帯用コンピュータを使用する)。

(d) 報告：このモジュールは、AIRIS適用時の中央報告装置である。報告は、点検または報告基準に合致する特定の損傷に基づいて作成する。損傷はひび割れ幅によって分類し、ひび割れ幅は構成成分タイプと共に補修順位用規準として用いる(図4参照)。

報告書で示す略号は、次の通りである。

損傷 寸法：面[A](SF)、深さ[D](IN)、長さ[L](FT)、最大値[M](FT)、幅[W](IN)

位置：側面[s]、角[c]または象限[q]、杭からの距離[p](FT)

方向[o]：縦方向[LONG]、横方向[CROSS]、斜め方向[DIAG]、全方向[XX]

その他：露出鉄筋なし[N]、ひび割れ幅[W](IN)、点検寸法[INSP.SIZE]

補修 水中損傷[UW]、補修推定寸法(野外において点検者が決める)[EST.SIZE]

補修順位：緊急[EM]、優先[PR]

補修タイプ[R]：線形[LN]、面[AREAL]、エンケイメント[EN]、メンテナンス[MT]、要点検[IN]

(e) 室内データ：このモジュールは、室内の分析・作業に関するデータを蓄積・記録する。

(f) システム管理：このモジュールは、適用機能に関する管理目的に使用する。

(5) プログラムの利点と適用

プログラムは、点検・メンテナンスのデータの収集と蓄積の従来法に多くの利点を提供する。第1の利点は、整合されたシステムであること、第2の利点は、コンピュータ化されたデータベースを用いて大量のデータを能率的に蓄積・更新する能力にある。結局、AIRISは、事実上、ほとんどすべての組合せのデータをチェック・報告する手段である。1995年以来、AIRISは、POLAにおける定期点検と主要点検の大規模プログラムの実施に日々使用されている(コンピュータによる補修入札プログラムの準備を含む)。

4. おわりに

腐食損傷により施設の閉鎖を余儀なくされる場合、補修費よりも補修期間の施設閉鎖に伴う経済的損失が非常

に大きい（例えば、後者は前者の約 75 倍）。腐食損傷は、構造物の維持管理が継続されなかったことに起因して発生するので、維持管理を継続して行う LCM の導入が必要となる。LCM の必要性は各国共通であるから、国際航路協会の WG31 は港湾構造物の LCM を検討した。その成果（LCM 報告）は LCM の手引きであるから、対象構造物に対しては、第 1 報¹⁾と本報（第 2 報）（正確には、LCM 報告²⁾）を参照して、各国の技術マニュアルと対象構造物の条件を考慮した LCM システムの設定・運用が望まれる。

最後に、ロスアンゼルス港資料の本報への使用を快諾

された WG31 の米国委員 Dr. Valey Buslov に感謝します。また、WG31 で活躍され、特に、WLC 案作成に貢献された英国委員故 Dr. Ronald West（平成 16 年 7 月逝去）のご冥福をお祈りします。

参 考 文 献

- 1) K. Zen, *Zairyo-to-Kankyo*, **52**, 574 (2003).
- 2) PIANC PTC-II WG31, Life cycle management of port structures-General principles, International Navigation Association, Supplement to Bulletin no.99, pp.1-47 (1998).
- 3) 沿岸開発技術研究センター, 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル (改訂版), pp.1-371 (1997).

(2004年10月19日受理)