

港湾施設のLCMをめぐる技術の進展と研究課題



横田 弘

一般財団法人沿岸技術研究センター 参与

1. はじめに

港湾施設は、長期間にわたり供用され、その供用期間中に様々な外的作用によって劣化や損傷が生じ、保有していた性能が失われていく。また、たとえ変状が顕在化しなくても、施設の設置目的が変化することや、必要な機能あるいは性能（要求性能）が当初設計から見直されることもある。したがって、設計において時間経過に伴う性能の変化を考慮した照査を行い、必要な性能を発揮するために施工を確実にし、そして、供用中に、要求性能等の変化にも対応して、その港湾施設が果たすべき目的や保有すべき性能が要求水準を満たすように、適切な維持管理を行うことが不可欠となる。港湾施設の供用期間（ライフサイクル）にわたり常に最善解を求めていくための枠組みがライフサイクルマネジメント（LCM）である。

港湾施設の一般的なLCMは、図1に示すような流れで行われる。LCMは、計画段階（ここで言う計画段階は構造計画段階を意味し、基本設計を含む概念である）で想定した性能確保の考え方をシナリオとして明記し、これを設計、施工および維持管理に継承し、それぞれの段階で必要に応じて適切にシナリオを修正しつつ対応を進めていく。このシナリオは、計画的な修繕等の性能確保の戦略を示した港湾施設の維持管理計画に類するものと考えられる。シナリオは予測や種々の仮定に基づいて作成されているものであるため、当然適宜適切な見直しが必要である。そのためにも、定期的に行う点検診断を起点とする一連の維持管理の作業は、必要不可欠なものとなる。

LCMの黎明期には、主に維持管理に着目したマネジメントに注力して研究・技術開発が行われてきた¹⁾。LCMに基づいた維持管理に求められる技術は、港湾施設の現況を把握するた

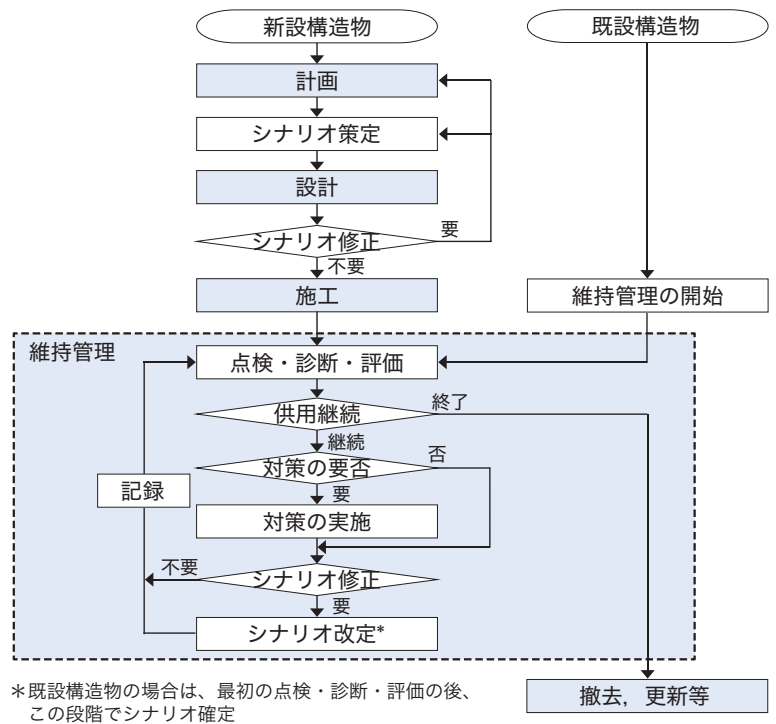


図1 一般的なLCMの流れ

めの点検診断技術、その結果から判断される構造物や部材が保有する性能の評価と将来予測のための技術、そして必要に応じて実施する修繕等の対策のための技術である。

ICTの飛躍的な進歩に伴って点検診断技術の高度化が様々な方々の努力により図られ、その一部は通常の点検診断業務において実装されている。一方、既存港湾施設の性能評価、予測、修繕等の対策技術はまだ開発途上にあると言える。本稿では、LCMのより着実な実施の観点から技術開発の現状と今後の動向について考えてみる。

2. 点検診断のための技術

国土交通省港湾局は、利用者の参考となるように、開発者が

ら提出された仕様等を取りまとめ、2021年3月に港湾の施設の新しい点検技術カタログ(案)²⁾を公表している。そこには、表1に示す8技術が掲載されており、今後も適宜追加や見直しが行われていく。

港湾施設に発生している変状を発見するための定期的な点検診断は、その後の保有性能評価や修繕等の対策の要否判定、対策の設計等に大きく関わるため、点検診断技術の高度化はLCMに基づく維持管理の推進のために極めて重要な要素技術である。しかし、港湾施設は、一般に大規模であること、アクセス困難な部位・部材が多く詳細な調査や測定が実施しにくい環境にあることなどにより、必ずしも客観的で信頼性の高い点検診断が行われているとは言いがたい。そのため、海洋環境下でも適用可能で、作業効率が高く、信頼性のあるデータが取得できる点検診断技術が開発されてきている。表1に紹介した技術は、大水深や狭隘な海中部で点検する、水中部の施設の状態を高精度・高密度な点群データとして計測する、空中から広範囲に施設の状態を把握することなどを可能とするものや、多くの点検データの整理・解析を行って点検記録簿を作成するもの、タブレットやスマートフォンを活用した現場作業の効率化を目指すものである。このような技術の活用により、施設の外観目視点検をより効率的に行えるようになりつつある。これらの技術を活用して、予防保全に基づく港湾施設の維持管理の流れが形成されてきつつあると言える。

表1 国土交通省/港湾の施設の新しい点検技術 カタログ(案)に掲載されている技術²⁾

機械点検技術

- ・水中ドローンを使用した海洋構造物の点検
- ・水中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム
- ・自律型無人潜水機AUVを使用した外郭施設(防波堤・護岸)の水中部可視化技術
- ・パノラマカメラを用いた構造物調査点検システム
- ・i-Boat(無線LANポート)を用いた港湾構造物の点検・診断システム
- ・AIや三次元点群モデルを活用した、港湾施設の定期点検支援技術

システム技術

- ・港湾施設の維持管理支援システム(CASPort)
- ・スマートフォンによる港湾施設の維持管理システム

3. 現状分析から見えてくる今後必要となる技術

港湾施設では、2013年6月に港湾法が、技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示が2014年3月に改正され、5年または3年以内ごとに定期点検診断を実施すべきことが規定された。その結果、2020年度末にはおおむねすべての施設で一巡目の定期点検診断が行われている。

港湾施設のみならずほぼすべての我が国のインフラの健康度をAからEの5段階で評価したインフラ健康診断書が土木学会から公表されている³⁾。最新の2020年版では、港湾施設は係留施設も外郭施設も「C→」との評価である。ここで、「C」は「要注意(少なくとも数施設の劣化が進行し、早めの補修が必要な状況)」の状態であり、「→」は「現状の管理体制が続けば、現状の健康状態が継続すると考えられる状況」である。これは、定期点検診断の実施およびその結果を用いた維持管理計画の作成についての取組みは向上したものの、修繕等の措置が必要な施設が多く存在している状態にあることを意味する。したがって、今後は問題のある施設への修繕等の対策を行うことが必要であり、それを効率的かつ効果的に行うための研究・技術開発が強く求められていると言える。港湾施設の置かれた環境と変状の程度に応じて求める効果を所要の期間維持できるような材料・施工法等のハード面の技術だけでなく、的確な修繕が行えるようなソフト面の技術開発や制度の構築も求められている。加えて、単に修繕を行うのではなく、性能向上や延命化といった改良の実施や更新の実施までも視野に入れた取組みが必要であると言える。

4. 港湾施設の改良

設計供用期間内に施設の全体あるいは一部を引き続き活用した既存港湾施設の改良が行われることがあり、このような改良は今後ますます増えてくると予想できる。改良には、用途変更、要求性能の見直し、当初の設計供用期間を超えた供用期間の延長があり、2018年版港湾技術基準において記述が充実された項目である⁴⁾。用途変更は、既存港湾施設の設置目的や基本的な機能などのように施設の用途を変更させるもので、防波堤から岸壁、岸壁から護岸への変更等、施設の設置目的または用途の変更を行うものである。要求性能の変更は、用途は同じで要求性能を見直し、あるいは要求性能のレベルを上げるもので、設計波の見直し、設計地震動の見直し、近年懸念の高まっている地球温暖化による海面上昇への対応等が該当する。供用期間の延長は、港湾施設が設計供用期間に達した時点あるいは設計供用期間に至らないまでもその途中で、新たな設計供用期間

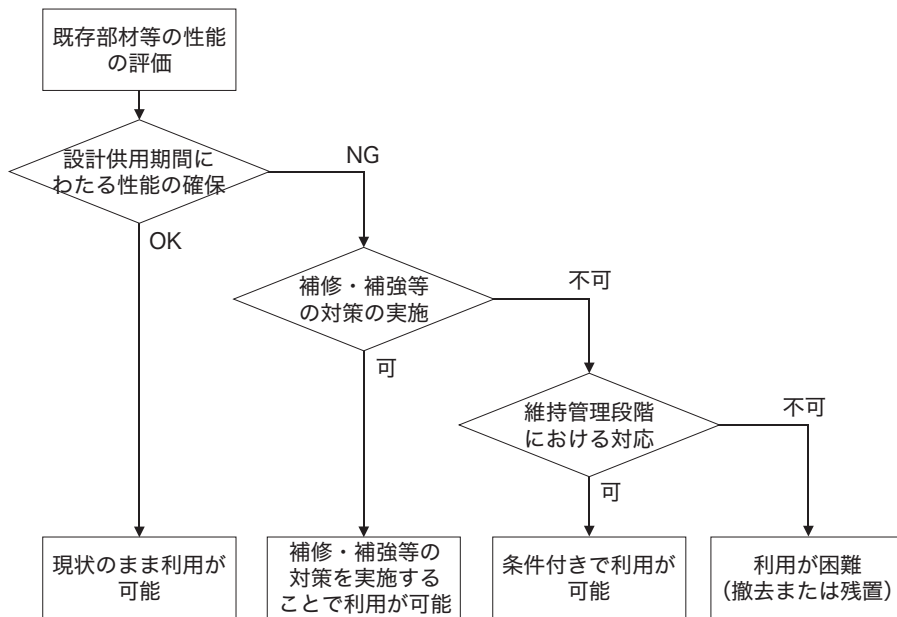


図2 利用可否等の判断フロー⁴⁾

を設定して供用期間を延長すること等が該当する。

いずれの場合でも、既存港湾施設がその時点保有している性能の評価が必要となる。そして、今後の設計供用期間中の性能の低下を予測し、今後の設計供用期間にわたって期待する性能が確保されるかを適切に予測した上で、図2⁴⁾を参考に利用可否等の判断を行う。性能が確保される場合は既存部材等を現状のまま利用可能であるが、確保されない場合は既存部材等に対して必要な補修・補強等の対策を実施する。しかしながら、既存港湾施設において、前述のように、水中部や土中部の部材等の点検診断の実施が困難なことが多く直接的な性能評価は困難であることが多いので、このような場合には工学的判断に頼った性能評価を行わざるを得ない。今後はこういった直接的な性能評価ができない箇所でもより精度の高い性能評価が行えるようなハードあるいはソフト的な技術の開発が求められる。そのような場合も含めて、将来の不確定な作用に対して性能が低下するリスクを評価する必要があり、リスクアセスメントの技術の高度化も必要となってくると考えられる。

5. LCMの本格的な展開のために必要な技術

LCMをより効果的に行う際に必要となる技術について述べる(図3)。施設の設計段階では、設計供用期間中の性能予測が重要である。施設の耐用期間は、変状等の物理的要因のみならず、社会的要因や経済的要因によっても定まる。物理的要因は環境作用による材料の劣化や物理作用による損傷に対するもので、設計供用期間中のこれらに対する予測における高精度化が

必須である。材料劣化に対しては、コンクリートの塩害や鋼の腐食については、設計においてある程度の予測が可能となっているが、ばらつきの考慮に対して確率的なアプローチが必要である。一方、凍害やASRなど、予測モデルが確立されていない劣化現象もあるので、これらへの対応も必要である。物理作用による損傷については、設計で想定する作用の大きさとの関係の中で、構造ロバスト性(Robustness)を定量化できるような手法の開発が必要である。

施工段階では、設計段階で想定されていないような状態が生じないように、確実な作業が行われる必要がある。供用早期に見られる不具合のほとんどは、

設計ミスか施工の不具合によるものである。したがって、BIM/CIM等をベースとした施工管理のシステムの構築と、その施工データを維持管理に確実に引き継ぐための仕組みが求められる。BIM/CIMもその一つとして有用であると言える。設計-施工-維持管理の情報・データを共有し、蓄積された情報やデータを基にした維持管理が行えるようになれば、より戦略的なインフラの維持管理が達成でき、LCMの展開に有効である。

供用中では、定期的な点検診断により施設の状態が確認され、合わせてその時点での保有性能が定量的に把握できるよう技術が必要である。保有性能評価においては設計で用いた照査式を用いる方法や数値解析による方法などが考えられる。どちらの方法にせよ、評価方法に見合うような精度のデータを所定の量入手する必要があり、性能評価の手法に応じた点検診断の方法が選択できるような多様なメニューを用意する必要がある。つまり、点検診断において得られるデータの質と量に応じて適切に採用できるような性能評価技術および予測技術が求められる。現在、AIを活用した性能評価およびこのための点検診断技術の開発も進められており、より確実な進展が期待できる。点検診断のための新たな技術開発も進められている一方で、点検診断の結果から施設の評価(総合評価)をどう行うのか、また修繕等の対策の必要性をどう判定するのか、効果的に修繕するにはどうすればいいのかについてはまだ十分な対応ができていない。

このようなことから、施設の供用中においては、供用期間を通して考えられる全ての作用下において必要な性能を確保する

こと、供用期間に想定される被害と損傷・破壊に対する安全性と信頼性を確保すること、予期できない事象によって深刻な損傷や信用的な破壊が生じないようなロバスト性を確保することのための研究・技術開発に期待したい。

廃止段階では、施設の解体または施設全体または部材のリユース、材料のリサイクルの可能性を検討し、廃棄物の量を減らすなどの環境負荷低減を検討する。本来ならばインフラの計画・設計段階において廃棄のシナリオを検討しておくべきであるが、現段階ではそこまでには至っていない。リユースやリサイクルを念頭に入れた設計や施工の方法についても技術開発が求められる。

上記のように、LCMは施設のライフサイクルに亘り設置目的、用途、必要な機能、性能をどのように確保していくかの戦略を示すものである。当然その際には、複数の選択肢の中から適切なものを選択していく必要がある。その際、従来のコストのみならず、サステナビリティの視点からの評価指標を設定して、複数の代替案から最適案を選定する。現在検討しているLCMでは、社会的、環境的、経済的な側面から考えられるサステナビリティの指標を用いることが有望である。これらのサステナビリティ指標については文献⁵⁾に委ねるが、SDGsが注目されている現在において、港湾施設自体のサステナビリティをどのように達成するか技術も必要ではないかと考えている。

これらをまとめると、LCMをめぐる展望として、まずは以下の研究・技術開発に注目したい。

・修繕等の対策の効率化、省力化、合理化に資する技術

- ・既存施設の用途転換、更新など有効活用に資するための施設の改良技術
- ・BIM/CIM等のツールを活用したLCMのためのデータ・情報共有システムの構築
- ・既存施設の保有性能評価と将来の性能低下予測手法
- ・サステナビリティ達成のためのLCMシナリオ評価技術と港湾施設群においてサステナビリティ指標を元にした最適なLCMのための優先順位の決め方

6. まとめ

本稿では、港湾施設のLCMをより確実なものとするために必要な研究・技術開発について私見を述べた。LCMは、設計における性能照査と維持管理における性能評価を含んでいるが、両者は似ているようで大きく異なるものである。港湾施設の研究・技術開発は、これまで新設の施設に対する設計技術の視点から行われてきたと言っても過言ではないが、今後は供用中の維持管理における性能照査の視点も求められる。これらを早期に研究・技術開発して、現場にて実装することが必要である。

一方、LCMはあくまでも施設のマネジメントを支援するための枠組みである。施設の構造詳細、施工品質、置かれた環境、使われ方は多種多様であり、現れる不具合には空間的かつ時間的に大きなばらつきがある。そのような中で、どういう設計、施工、点検診断を行えばいいのか、どのような修繕をすればよいかを技術者は探る必要がある。高度化された技術がこれからも多く生み出されていくと思われるが、技術のユーザである技術者もこれに合わせて高度化されていかねばならない。

【参考文献】

- 1) 岩波光保：港湾施設のライフサイクルマネジメントをめぐる技術開発の動向と展望, CDIT, 47, pp.16-18, 2017.
- 2) 港湾の施設の新しい点検技術カタログ(案), 国土交通省港湾局, 2021.
- 3) 土木学会：インフラ健康診断書, 2020 (https://committees.jsce.or.jp/reportcard/system/files/2020インフラ健康診断書_1.pdf).
- 4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, p.52, 2018.
- 5) 横田弘：インフラのライフサイクルマネジメントとサステナビリティ, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 34, 2021 (<https://www.hokkaido-nds.org/pdf/vol.34/34kouen1.pdf>).

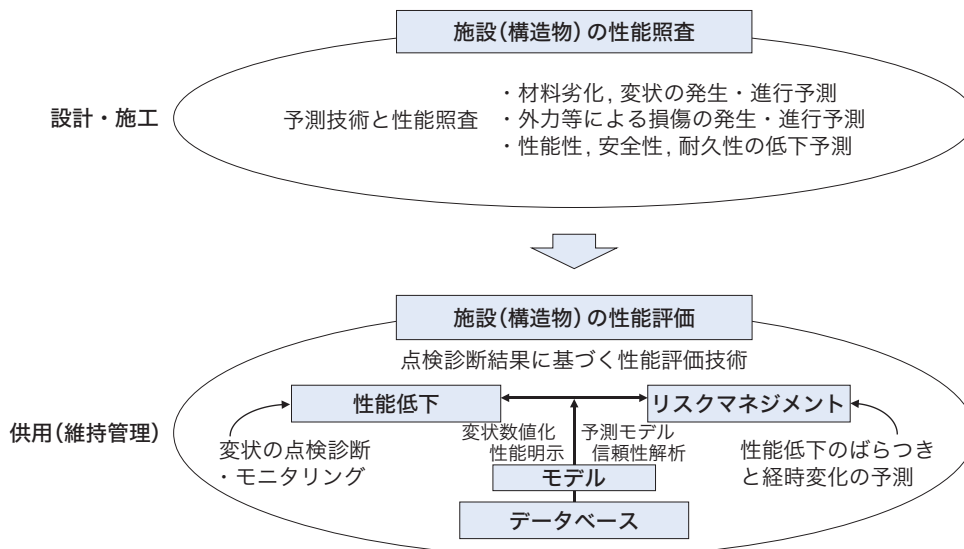


図3 設計での性能照査と維持管理での性能評価