

海岸保全施設における LCM (ライフサイクルマネジメント) の導入検討

難波 喬司* ・横田 弘**・橘 義規***
田中 樹由****・岩田好一朗*****

我が国の海岸保全施設は、建設後 30～40 年を経過し、老朽化が進行した施設の量は増加しており、効率的な維持管理のため施設のライフサイクルを通じて最小のコストで所要の防護性能を確保するライフサイクルマネジメントの考えを導入した管理の実施が必要となっている。本文は、海岸保全施設の現状把握に始まり、現有性能の評価、管理方法の選定、管理の実施に至る一連の手順からなる海岸保全施設に対するライフサイクルマネジメントシステムを提案する。

1. はじめに

我が国の海岸保全施設の防護水準は未だ十分ではないため、施設の建設や改良が進められストック量は年々増加している。それにも増して建設後 30～40 年を経過した施設の割合が増大しており、その多くが厳しい気象・海象・地盤条件下にあることから老朽化が懸念される。今後は、更に維持補修すべき施設の量が増加し、国や地方自治体（海岸管理者）の海岸事業予算に占める更新や維持補修のための費用の割合の増加が予想される。

海岸保全施設の機能は、波浪等の外力から背後地を防護することであり、老朽化による施設の強度低下が、施設の防護機能（性能）の低下に直接つながることが考えられる。従って、施設のライフサイクルを通して、老朽化の実態と老朽化による機能低下を把握しておく必要がある。

特に、国は海岸行政の政策目標を「防護水準の向上」から「被害の軽減」へ変えたが、その実現のためには、海岸保全施設の現状（危険度情報）を常に把握し、住民に情報公開しつつ、一定水準の防護機能を維持していくことが必要である。

このような背景から常に海岸保全施設の老朽化実態と性能低下の把握を行い、適切に維持管理を行うことにより、ライフサイクルを通じて最小のコストで所要の性能を確保していくこと（ライフサイクルマネジメント、以下「LCM」という）が求められている。

この際、海岸保全施設の管理における特徴として、以下の点に注意する必要がある。

- ①老朽化や部材の劣化による強度の低下が（施設の最も重要な機能である）防護機能の低下に直接つながりやすい。

②長い延長の一箇所でも破堤すると他が健全でも大きな被害をもたらす可能性がある。

③構造物の破壊に至る変状連鎖の第一段階が洗掘による堤体材料の吸い出しにある場合が多いが、海面下に没していることが多く変状を発見しにくい。

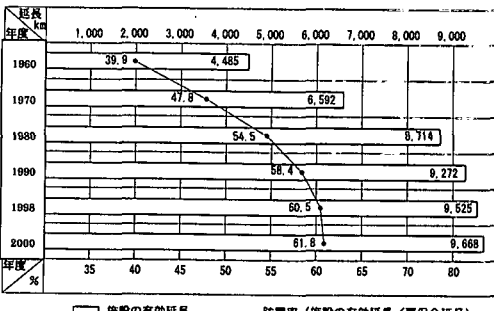
本文では、海岸保全施設における LCM の概念を提示し、海岸保全施設の点検・性能評価手法等の LCM のシステムを提案する。

2. 海岸保全施設における LCM 導入の必要性

（1）海岸保全施設の整備状況から見た LCM の必要性

我が国の海岸保全施設は、1956 年の海岸法の制定、1959 年の伊勢湾台風による大災害を契機として整備が促進され、高潮・高波や津波といった自然災害から背後の生命と資産を防護する目的で整備を進められてきた。

図-1 に示すように、海岸統計資料(2000 年度)によると 1960 年から 1980 年代に急速に整備された結果、1970 年以前に整備された建設後 30 年以上が経過した海岸保全施設が 68.2% (6592 km/9668 km) を占めている。それに関わらず、図-2 に示すように 2000 年度における国の海岸事業費の内訳では、予算制度上の問題（補修事業は海岸管理者である地方自治体負担となる場合が多い）もあるが、補修事業に予算の配分がほとんどない。



出典：海岸統計（2000 年度）

図-1 海岸保全施設整備状況
注) 延長は累積整備延長である。

* 正 会 員 工 修 国土交通省港湾局海岸・防災課海岸企画官
** 正 会 員 工 博 (独法) 港湾空港技術研究所地盤・構造部 構造強度研究室長
*** 正 会 員 工 修 (株) オリエンタルコンサルタンツ 総合マネジメント事業部
**** 正 会 員 (株) オリエンタルコンサルタンツ 総合マネジメント事業部
***** フェロー 工 博 名古屋大学教授大学院工学研究科土木工学専攻

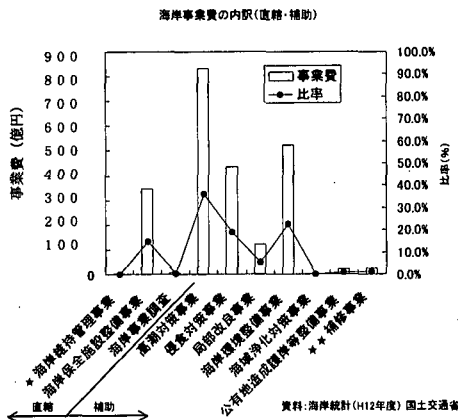


図-2 海岸事業費の内訳（2000年度）

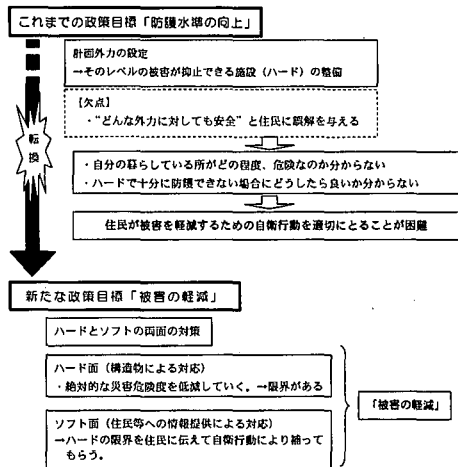


図-3 政策目標の転換

また、地方自治体も補修に予算配分をほとんど行っておらず、十分な維持補修が行われていないことが懸念される。

このため、現状の状態が続いた場合は、10 数年後には老朽化した施設の更新投資や維持補修費が急激に増大することが予測される。よって、現時点から LCM の考えを導入し、計画的かつ効果的な維持補修を行っていく必要がある。

（2）海岸保全の進め方の転換による LCM の必要性

2003 年に国土交通省等海岸関係省庁は、「防護」に関する海岸行政において、政策目標を図-3 に示すように「防護水準の向上」から「被害の軽減」へ転換することを明確にした。

これは、「適切なハード投資により絶対的な災害危険度を低減」しつつ、「危険度情報の共有等のソフト施策による住民の自衛」を通じて、「被害の最小化」を図るというものである。これを可能とするためには、常に現時点での構造物の現状を把握し、ハザードマップ等を通じて住民に情報を提供するとともに、施設を健全な状態（一定水準以上の防護機能）に維持していくことが必要になる。

このためには、施設のライフサイクルを通じて常に構造物の性能維持を行うという LCM の考えを導入した維持管理への転換が求められる。

3. 海岸保全施設に適用する LCM 体系の構築

LCM の導入においては、全海岸保全施設延長に占める割合が約 79% と大きい護岸と堤防（護岸延長：6,207 km, 堤防延長：3,184 km）を対象に検討する。また、対象とする護岸・堤防のうち大半がコンクリート造であることからまず護岸・堤防のコンクリート構造物に対応した LCM について、概念整理および導入方法について提案する。

（1）LCM の概念整理

構造物の生涯は、調査を含めた企画・設計といった準備段階に始まり、完成した後維持管理され、最後に老朽度の判断により解体・処分され、終わる。

このような構造物の生涯を通じて必要となる費用がライフサイクルコストと定義されている。コスト縮減が叫ばれる現在においては、このライフサイクルコストの概念を取り入れることが必要である。

図-4 に海岸保全施設における変状段階と補修費用の関係を示す。施設の変状程度が軽微なうちに対策を講じることによってその費用は低く抑えることができるという概念である。このように、施設の変状を早期に発見し適切な維持補修を行うことにより、ライフサイクルコストを最小化していくことも LCM の一つと考えられる。

しかし、海岸保全施設におけるマネジメントで重要なことはコスト（C）と同時に防護効果（B）を考慮する必要があることである。図-4 の Step3 に進出した変状の状態は、防護水準が設計時よりも相当程度下がったことを意味し、効果（B）も下がっている。高度な LCM では

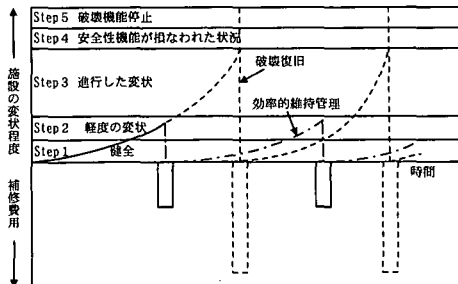


図-4 施設の変状段階と補修費用の関係

（出典：海岸施設設計便覧（2000 年度，土木学会）p 516）

住民に対し保証する防護水準(海岸行政のサービス水準)を設定し、ライフサイクルを通しての費用対効果(B/C)の最大化を図るマネジメントが必要となる。この点の認識が、海岸保全施設の管理に LCM を導入する際に重要である。

(2) LCM の段階的導入

現在の海岸保全施設に対する維持管理は、問題が発生した後に対応を図る「事後的な対応」になりがちであるが、LCM を導入した管理では、問題が発生する前に予測して対応を図る「予防保全」が基本となる。

まず、維持すべき防護(機能)水準を設定する。それをハザードマップ等で住民に伝え、その結果、地域住民は自衛行動を適切にとることができる。

次に、定期的な点検等により施設の現況を把握し、機能低下予測を行い、ライフサイクルの最小化を考慮し防護水準を維持していく。この際には異なる施設間の B/C を考慮し、緊急性の高い問題を優先的に処理できるようにする。

しかし、海岸保全施設への LCM 導入に際しては、解決すべき技術的課題があり、また、海岸管理者の体制整備などが必要である。短期的な目標と長期的な目標を定めて、まずできることから導入を図る。その後、海岸保全施設に関する変状連鎖や機能の低下予測、補修効果に関する情報や知見を蓄積し LCM を高度化していく。

短期的な目標は、図-6 に示すようにライフサイクルコストの最小化に重点をおかず、ライフサイクルを通じて防護水準を一定以上に保証する体系を構築する。

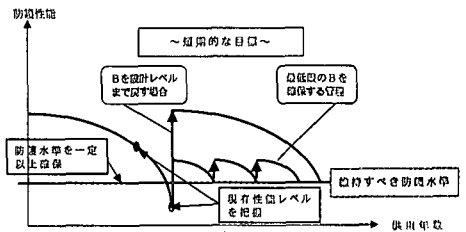


図-6 短期的目標の LCM 体系

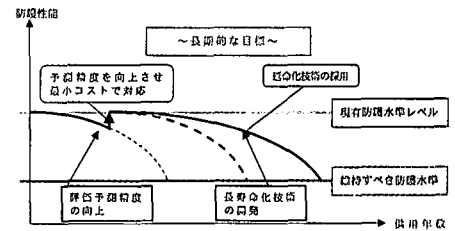


図-7 長期的目標の LCM 体系

また、長期的には図-7 に示すように、点検技術と機能低下の予測評価技術の精度を向上させ、ライフサイクルを通じて維持すべき防護水準を最小のコストで対応できる仕組みを構築する。同時に延命化技術の開発により、ライフサイクルコストの縮減を図る。

4. 現場に配慮した LCM 実施指針の提案

(1) 点検方法の提案

現場で使える LCM のシステムとしなければ導入の意味がない。

厳しい海洋環境下と長大な海岸保全施設延長、特に都市部においては施設が入り組んでいることなどを考慮すると詳細な点検を行うための時間とコストが不足する。したがって、LCM を導入した維持管理は、点検手法をなるべく効率的かつ簡易なものとするのが望ましい。そこで、本提案では、まず目視点検を中心とした一次点検としてスクリーニングを中心とした初期評価を行う。この一次点検の結果、維持すべき機能水準を下回る施設や機能低下を招く恐れがある事象に対して、現有性能(健全度)や安定性の評価のために二次点検(詳細点検)を行うという多段階評価手法の体系を提案する。表-1 に点検の種類とその項目(案)を示す。

(2) 点検の手順

海岸保全施設の一次点検は、目視を中心に行えることを前提とする。点検は、海岸管理者のみではなく地元の住民などの協力を得ながら進めていくことも想定され、また、定期的な一次点検は点検延長が長大となることから、技術レベルが低い点検実施者でも短時間で対応できる手法とし、二次点検は一定のスキルを持った上級技術

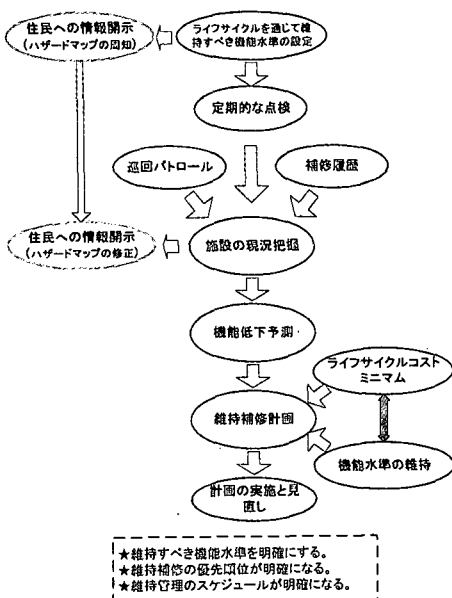


図-5 LCM 導入による維持管理

表一 点検の種類と項目（案）

	履歴調査	一次点検		二次点検
		定期点検	異常時点検	詳細点検
目的	施設全体の劣化の把握 維持管理計画策定	施設の健全度	異常時作後の劣化の点検	劣化の詳細の把握
内容	履歴調査 目視 簡単な調査・計測	目視 簡単な調査・計測	目視 簡単な調査・計測	近接目視 詳細な調査 測定・試験
間隔	—	1年 (異常時点検実施には省略可)	—	—
実施時期	新規建設 大規模補修後	地域特性を考慮して 実施時期を設定 (冬季風浪後、台風期後)	台風、大地震、高潮等来襲後	必要に応じて
実施範囲	施設全延長	施設全延長 重点点検箇所	施設全延長	一次点検で必要と 判断された箇所

者が対応する。

そのために、まず一次点検を実施した後で点検結果を評価基準と比較し、二次点検が必要か否かについて機械的に選別する。その結果、二次点検が必要と判断されたものについて、上級技術者が評価を行い劣化連鎖に基づく劣化予測を充分に行った上で、本当に二次点検が必要か否かを判断する。この結果、二次点検の必要性が生じた場合は、詳細な点検を実施する。

これらを基に、海岸管理者は、管理する海岸保全施設の健全度レベルと補修の優先度を決定し、維持補修計画を策定する。このとき、評価に用いた点検結果や検討結果が履歴として蓄積されることが必要である。

(3) 点検時の着目点

このように点検においては、詳細調査である二次点検を実施するか否かを誤らないように如何にスクリーニングするかが重要である。このため、構造物の種類や目的に応じた点検項目や着目点を的確に設定する必要がある。表一に一次点検項目及び点検方法の例を示す。防潮堤については、基本的な防護機能は天端高の維持であるため、天端高については水準測量により沈下の状況を確認する。それ以外の項目については、目視を中心とする。

このように対象とする海岸保全施設の防護の目的を明確にした上で、発見された劣化が単なる部分的な強度の問題なのか、構造物全体の防護機能を低下させる問題なのかを見極めることが重要となる。例えば、護岸構造のように背後の地盤高が高いものとそれが低い堤防型では、表面のクラックが堤体の安定性に与える影響が大きく異なる。このため、表一の着目点について点検した結果を評価する基準を例えば4段階で策定しておく。これをもとに、劣化の程度が軽微な場合（A 評価）は機械的に二次点検は必要ないとし、劣化が進んだ B 評価の場合は上級技術者が判断、それ以上の C、D の場合は直ちに表一に示す二次点検を行うといった体系とする。

評価を行う上級技術者は、例えば図一に示すような劣化連鎖の理解、すなわち「堤体全面の地盤洗掘（また

は、浸食）が進行し、土砂の吸い出しが生じ、空洞化へと発展する。」という点を理解し、小さな劣化が構造物全体の安定に影響を与えないか否かを見極めることが重要である。このため、技術者の資格認定制度の導入も必要となりうる。

5. 長期的な取り組み事項

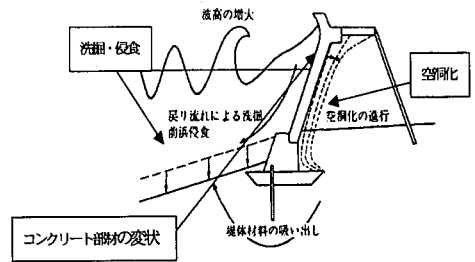
高度な LCM の実施のためには、技術的知見の向上が不可欠である。一方で、LCM の考え方は直ちに導入していく必要がある。このため、現時点で導入が可能な範囲内の LCM を行いつつ、中期・長期に向けた高度な LCM による維持管理システムの構築を視野に、国、研究機関、海岸管理者、地域住民、民間会社が相互に連携していく必要がある。図一にその考えの一例を示す。

表二 一次点検項目および方法

点検位置	点検項目	点検方法	着目点
消波工	移動・散乱及び沈下	目視	ブロックの移動・散乱、沈下の程度、範囲
	ブロック破損	目視	ひび割れ、損傷の程度、範囲
	ひび割れ	目視	ひび割れの深さ、範囲
表の被覆工及び堤体工	剥離・損傷	簡単な計測	はく離・損傷の深さ、範囲
	鉄筋の腐食	目視	かぶり、鉄筋露出、錆、断面欠損
	沈下・陥没	目視	沈下や陥没の程度、範囲、目地のずれ幅
波返し工	ひび割れ	目視	ひび割れの深さ、範囲
	剥離・損傷	簡単な計測	はく離・損傷の深さ、範囲
	移動・沈下	目視	他ブロックとの相対的な数値、目地のずれ幅
天端被覆工及び裏のり被覆工	天端高	測高	圧密沈下の生じる地盤条件の場合
	ひび割れ	目視	ひび割れの深さ、範囲
	剥離・損傷	簡単な計測	はく離・損傷の深さ、範囲
	沈下・陥没	目視	沈下の程度、範囲、目地のずれ幅

表三 二次点検項目および方法

点検位置	点検項目	点検方法	着目点
前面海底地盤掘削工基礎工	洗掘、侵食	潜水調査	海底地盤の洗掘、侵食状況の把握 侵食性か堆積性か
	吸い出し	潜水調査	石やブロックの移動、散乱状況 基礎工の沈下、目地のずれ
空洞化調査	空洞化	レーダー探査等 探孔	前面海底地盤の洗掘、基礎工の露出部や被覆コンクリートの劣化箇所について必要な箇所を選定し実施する。
コンクリートの劣化部（必要により実施）	コンクリート圧縮強度	シュミットハンマー コア採取	劣化箇所のコンクリート強度
	鉄筋の腐食	はつり試験	腐食量調査
	塩害	コア採取 塩化物イオン含有量	塩化物イオン量、塩化物イオン浸透深さ



<消波工無しの場合>

出典：海岸施設設計便覧 2000 年版 土木学会 p204

図一 劣化連鎖を踏まえた点検の着目点

