

海岸保全施設の維持管理へのライフサイクルマネジメントの 導入手法の提案と検討例

難波 喬 司* ・ 久米 秀 俊** ・ 横 田 弘***
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が増加してきており、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適切な維持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・点検から、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の LCM 実施指針（案）の提案を行う。

1. はじめに

我が国の海岸保全施設は、1956 年の海岸法制定から 1959 年の伊勢湾台風による大災害を契機に整備が促進され、高潮・高波や津波といった自然災害から背後の生命と財産を防護する目的で急速に整備が進められてきた。

しかしながら、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ており、ストック量は年々増加している。それと同時に建設後 30 年以上経過した施設の割合が増加してきており、全体の約 70% を占めることとなっている。

今後は、更に年齢が高い施設の割合が増加し、維持補修すべき施設の量が増加するとともに、一定の防護機能維持のための補修（更新を含む）の程度も大きくなると予想される。その結果、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を増加させることになる。

このため、今後はライフサイクルを通じて最小のコストで一定以上の防護機能を維持するというライフサイクルマネジメント（以下 LCM と呼ぶ）の導入が必要である。しかし、現在 LCM を行うための実施指針がないことも LCM が進まない一つの原因と考えられる。よって、本論文では LCM 実施指針の提案を行う。この際、提案する LCM 実施指針は、机上の空論であってはならない。いくら方法論として精緻であっても、現場で使えない（又は使われない）のでは意味がない。よって、指針は海岸保全施設の特性や海岸管理者の管理能力を踏まえたものでなければならない。

一般的には、図-1 の A 線に示すように変状の発見が速いうちに手当を実施することで、対策コストの軽減を図ることが可能であるとされている。海岸保全施設の管

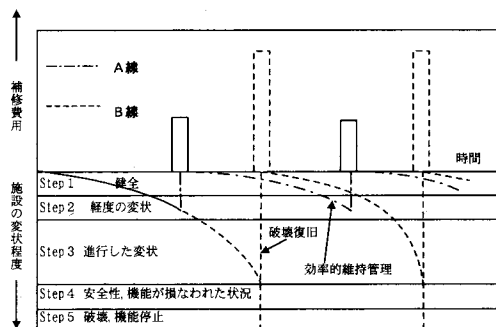


図-1 施設の変状段階と補修費用の関係

理にあたっても同様と考えられるが、特に海岸保全施設の以下の特徴に充分に注意する必要がある。

- ①波浪という厳しい外力を繰り返し受け、劣化や強度低下が生じやすい。
- ②老朽化や部材劣化による強度の低下が施設の最重要機能である防護機能の低下に直接つながりやすい。
- ③施設の延長あたりの単価が安く、維持管理に予算をかけにくい。
- ④しかし、長い延長の一箇所でも破堤すると他が健全でも背後地に大きな被害をもたらす可能性がある。

すなわち、海岸保全施設については、単にライフサイクルコスト（LCC）に注目するのではなく「ライフサイクルを通して一定の防護機能を維持する」ということがとりわけ重要である。よって施設の機能の定量的な評価が可能で、かつ、海岸管理者が継続的に実行可能な維持管理方法を構築する必要がある。

本文では、モデル海岸を設定し、実際に点検・評価を行うことでその管理方法の妥当性と実行可能性を検証し、それを踏まえた LCM 実施指針（案）を提案する。

2. 海岸保全施設の管理実態の分析

（1）海岸管理者へのアンケート調査の実施

海岸保全施設は、その置かれている環境の違いにより、損傷程度や変状連鎖の進行度合いが異なる。また、管理に携わる職員数や管理延長の違いにより管理精度が異なることも考えられる。そこで、全国の海岸管理者を対象

* 正 会 員 工修 国土交通省港湾局港湾保安対策室長

** 正 会 員 工修 国土交通省港湾局民間活力推進室長

*** 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 (株) オリエンタルコンサルタンツ 東京事業本部

***** フェロー 工博 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授

として、海岸保全施設に対する維持管理の実態調査の実施・分析を行い、LCM 実施指針（案）策定のための問題点を抽出した。アンケート内容は、以下の通りである。

- ①管理延長と専属の職員数
- ②点検実施の有無（方法、頻度、結果の蓄積等）
- ③損傷実態（点検を受けた補修実施の有無）
- ④維持管理マニュアルの必要性

上記の内容について、管理者に直接アンケートを実施した。なお、対象は国の直轄および自治体の管理者を対象とし、アンケートシートはチェック方式とした。

（2）アンケート結果からの管理実態の分析

アンケートは、国土交通省港湾局、河川局および農林水産省から全国に配布されたが有効回答数は、644 回答であった。アンケートの分析結果の概要を以下に示す。

①維持管理に携わっている職員数に関する回答

この結果から、約 1/3 は管理に関わる職員が 2 名以下と回答している。これは、純粋に維持管理に携わっている職員数であるが、対象施設全体の管理が充分であるか問題である。

②管理延長に関する回答

回答結果のうち、（不明）回答を除いた管理延長の平均値により分析を行う。

図-3 に示すように管理延長は平均約 3 km である。護岸と堤防に着目すると管理延長に対して、点検実施延長が平均で約 1 km 少なくなっている。この結果から、実際に管理している全ての海岸保全施設に対して点検を実施していないと考えられる。

③定期点検の実施に関する回答

②で点検延長の確認を行ったが、次に定期的な点検の実施の有無について確認を行う。

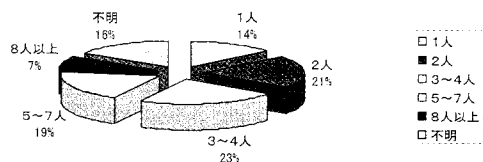


図-2 維持管理に携わる職員数（総数）

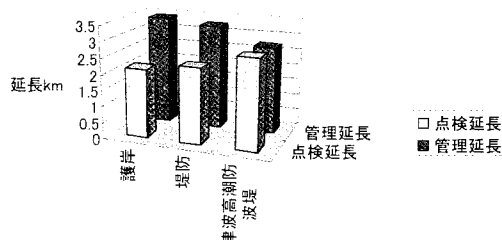


図-3 管理対象海岸と延長

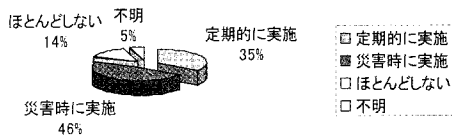


図-4 定期点検の実施状況

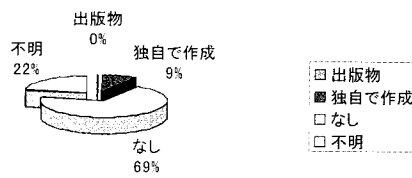


図-5 マニュアルの整備状況

図-4 からは、定期的実施しているとの回答は、全体の 35% であり、残りは管理者が災害後に実施していることが分かる。普段は何もせず災害後で壊れたら補修するという姿勢が伺える。これでは、一定の防護機能維持というあるべき管理はおろか、LCC の最小化のための損傷の進展、変状連鎖の早期発見も不可能と考えられる。

図-5 に示すように、点検マニュアルを持たないと答えた回答が全体の約 69% であった。また、不明との回答とあわせると 90% 以上が一定以上のレベル（点検結果の評価等）を確保した点検が行われていない可能性がある。

（3）アンケート結果の評価

一施設の管理延長は、平均約 3 km であり、施設の構造の単純性を考慮すると管理に関わる職員が 1~2 名であっても、日常点検や定期点検は可能な範囲であると考えられる。それでも十分な管理が行われていないのは、「人員が足りない」「マニュアルがない」からではなく、国、自治体、現場ともに防護施設（河川を除く）について機能維持が重要であることが十分認識されておらず、いわゆる災害待ち状態になっている可能性がある。

これを解決するためには、まずは LCM の重要性を技術者（専門家）が理解することが必要と考えられる。その上で、それを非専門家（県の財政部局等）にきっちり説明できる必要がある。

このためにも、LCM の概念整理、意義・目的・効果の明確化、具体的実施方法（マニュアル）の整備、予算制度および支援制度の構築が必要である。

3. ケーススタディの実施

（1）ケーススタディの目的

ケーススタディの目的は、現状評価の確実性（信頼性）と検査費用・労力がトレード・オフ関係にある中で、海岸管理者の実行能力（コスト負担力、人員、技術レベル）を踏まえ、提案する LCM 実施指針の実効性・有効性につ

いて検証するものである。このため、図-6 に示すよう実際に一次点検・二次点検・健全度評価の一連の流れを検査し、確実性及び実行可能性について見極めることとする。本検討では、気象・海象条件の違いや管理レベルの違いを考慮し、名古屋港海岸と福井港海岸の2海岸をケーススタディとして設定した。

ここで、名古屋港海岸は、太平洋側の内湾に位置し、波浪条件は厳しくない。名古屋港管理組合により定期的な点検が実施されている。一方の福井港海岸は日本海側に位置し、日本海特有の厳しい海象条件下にあり、対象施設の堤体背面の土砂が吸い出しによる陥没が頻発している。この陥没に対して、ほぼ毎年緊急補修が実施されている。以下は、福井港海岸の検討例を示す。

(2) ケーススタディの実施手順

図-6 に示すような一次点検から健全度評価に至る流れと項目で検証調査を実施した。

まず、満足させるべき機能水準を明確にする必要がある。これは、損傷の種類(規模と範囲)がその保有すべき機能低下にどの程度影響を与えるのかを明確にすることで、対策の優先度を明らかにするためである。これは、

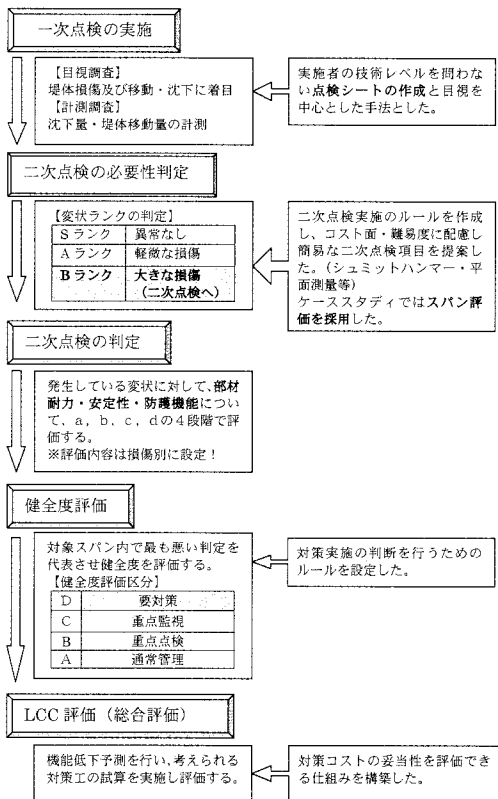


図-6 実施手順の概要

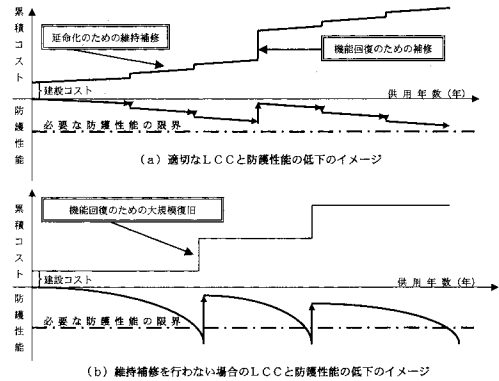


図-7 LCMを導入した維持管理

LCM実施が、保有する機能水準を維持するように適切な時期に適切な対策を行うことによってライフサイクルを通じて維持すべき防護水準を維持し、それを最小のライフサイクルコスト(LCC)によって実現すること(LCMの最適化)を目的としているためである(図-7参照)。福井港では50年確率波に対する堤体の安定と許容越波量の維持を維持すべき防護水準とする。

(3) ケーススタディの実施結果

①一次点検の結果

福井港海岸延長約4.5kmに対して目視点検および水準測量を実施した。対象の護岸は、ケーソン1スパンが15mであり、ケーソン毎の損傷をとらえるため、調査間隔もスパン長とした。調査結果を記録を残し、データベース化を図ることで、調査履歴を追跡できるようにする。これは、点検の実効性と確実性を向上させるためである。一次点検結果の一部を表-1に示す。

表-1に示すように一次点検の判定ランクがBランクと判断されるものについて、二次点検を実施する。福井港海岸では、吸い出しによる道路陥没が著しく、その影響が、堤体の高さについても設計高さを下回る傾向があった。ここで、図-8に福井港の護岸断面図を示し、図-9に一次点検結果の損傷図と写真-1にその地点の

表-1 一次点検結果(No. 99スパン)

項目	判定	内容
上部工パラペット	天端高(m)	B 設計値+9.00, 測量値+8.90($\Delta h=-0.10$)
	ずれ(mm)	S 目視でずれが確認できない 4mm(老番側), 5mm(若番側)
	ひび割れ, 損傷・剝離	B 縦方向ひび割れ2本($w_{max}=2.5$ mm) 打音試験で異常あり コンクリートの変色あり 遊離石灰が発生している
	鉄筋の露食	S 変状なし
	高さ(m)	海側 S 設計値+6.70, 測量値+6.76($\Delta h=+0.06$) 陸側 S 設計値+7.00, 測量値+7.00($\Delta h=+0.00$)
道路	陥没	B 陥没が1箇所発生 (NO. 99-NO. 100の目地部), 3m×3m
	消波ブロックの天端高(m)	B 目視で沈下が確認できる 設計値+7.00, 測量値+6.5($\Delta h=-0.5$ m)

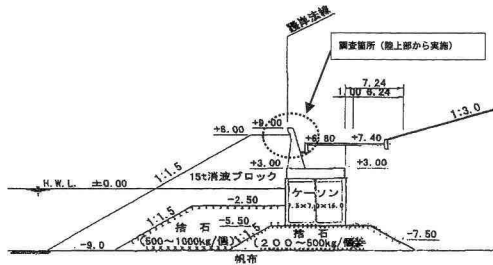


図-8 福井港海岸の標準断面図

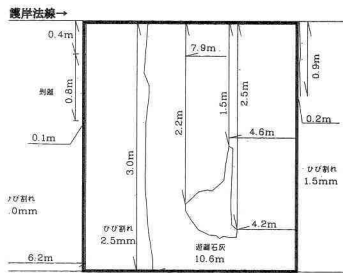


図-9 管理通路から見た本体工の損傷状況

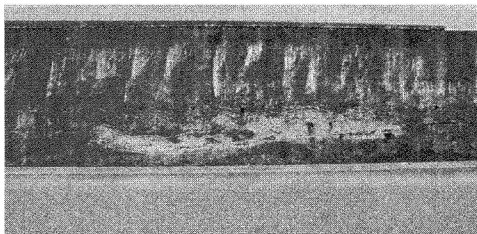


写真-1 本体工のひび割れ状況

状況写真を示す。

②二次点検の結果

写真-2に道路陥没の補修状況を示す。写真-2の道路陥没補修が実施された時と同時期に新たな陥没が発見されている。すなわち、頻繁に補修と陥没が繰り返されている状況を示している。

二次点検の項目としては、道路の陥没状況を確認する上で、平面測量を実施するとともに、部分的ではあるが

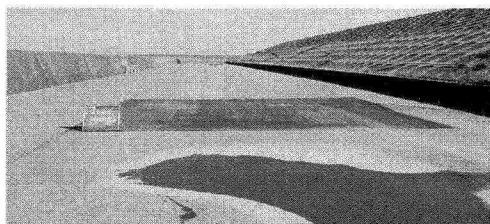


写真-2 道路陥没の補修状況

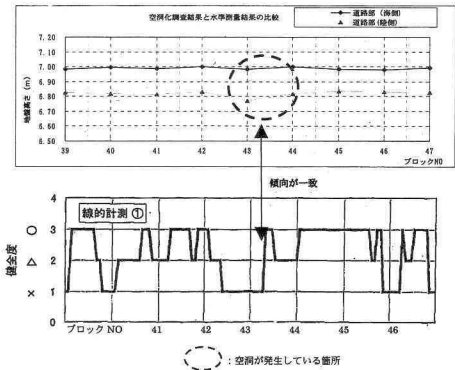


図-10 吸い出し調査結果比較

地中レーダーによる吸い出し状況の確認も行った。

また、本体工のコンクリート構造については、シュミットハンマーを用いたコンクリート強度の推測も実施した。シュミットハンマーについては、安価でかつ、簡易に調査が可能なうえに、精度上の問題はあるものの定量的な評価が行え、二次点検に活用できる可能性を試験的に試みた。その結果、コアによる圧縮試験結果と同等の値が得られ、かつ広範囲の調査ができ健全度調査には活用できると判断できた。

吸い出しの調査は、現在地中レーダーを用いた非破壊試験が採用されている。この問題点は、高価であることと判定が難しいことにある。そこで、本調査では平面測量により吸い出しの範囲の確認を行った。

平面測量の結果(グラフ上)と別途実施した地中レーダーの結果(グラフ下)の比較を図-10に示す。ここで、地中レーダーの健全度は、以下の通りである。

- 0: 確実に空洞が見られる。1: 空洞の可能性が高い。
- 2: 空洞の可能性もあるが、確実ではない。
- 3: 空洞の可能性は低い。4: 空洞の可能性はない。

この結果、吸い出しが進行し、路下に空洞が発生している箇所の特定は、平面測量よりある程度可能と思われるが空洞の規模により判断できない場合がある。吸い出し調査については、今後の安価な診断技術の開発が望まれる。

表-2に二次点検の判定結果の例を示す。この二次点

表-2 二次点検の判定結果

調査項目	損傷内容	判定
損傷	ひび割れ	c
	損傷	a
シュミットハンマー試験	設計基準強度を満足している $\sigma = 217 \text{ kgf/cm}^2$ (95%正規分布)	a
地中レーダー探査	陥没箇所空洞化が進行していると推定される	d

表—3 健全度判定区分

健全度区分	変状の範囲	想定される変状の程度と進行速度
要対策 D ランク	施設の主要部を含め、対象のスペン以外の広範囲に對しても変状が発生している。	①堤本体の安全性が非常に低下している。変状が急激に進行し、破壊につながる恐れがある。異常時再破の場合、急速に破壊する可能性がある。 ②変状規模が拡大する恐れがあり、そのまま放置すれば大きな破壊に至る可能性がある。
重点監視 C ランク	施設の主要部に微小な変状あるいは主要部以外の部分や付帯施設に中～小規模の変状が発生。	①堤本体の安定性に問題は無いが、施設機能に支障が生ずる。これ以上の変状進行の恐れは少ない。 ②堤本体の安定面および施設の機能上もあり問題なし。これ以上の変状進行の恐れは少ない。
重点点検 B ランク	施設の主要部以外で軽微な変状発生が認められる。	①変状は軽微で、変状進行の恐れはないが、外観上や変状が目立つ。 ②変状は軽微で、変状進行の恐れはない。また、外観上も特に問題なし。
通常 A ランク	構造・防護に問題なし	構造・防護に問題なし

検査対象スパンの健全度判定は、D 区分となった。福井
 港海岸においては、ほとんどの調査対象スパンで吸い出
 しの可能性が大きい。なお、健全度判定は、表-3 に示す
 区分とし、区分に応じた対応を行う。

今回実施した点検手法は目視調査を中心とし、一次点検の判定を3段階とすることで、二次点検の実施判断が簡単になり、かつ、二次点検は、スパン評価を行うことで、補強総数の把握、履歴の蓄積が容易となる。

また、本調査は実務者の技術レベルに左右されにくく、実効性は高いと判断される。

4. LCM 指針の必要性和有効性

(1) LCM 指針の必要性

当初設計時に比べて前面の砂浜幅が減少したため、堤体への波力が大きくなり、毎年消波工ブロックの追加や背後の陥没箇所復旧が必要であり、そのために建設後 28 年間で 19 億円の費用が投入された（図-11 参照）。

早期に変状の要因，進行速度の推定，変状範囲を特定しておけば，抜本的な対策により管理コストの低減が図られた可能性がある。

このままの管理を継続した場合は、さらに数十億円を要する結果となり、かつ、防護に関する機能は年々低下し必要な防護水準を確保できなくなることが予想される。最終的には、背後地に対する被害も考えられ膨大な補修・更新費用が必要となると予想される。

そこで、今後は LCM の考えを導入した管理を検討することとなった。これは、抜本策を講じることにより現状の問題（洗堀からの吸い出し）を排除するとともに、以降定期的に点検をしていく方法である。その結果、維持管理コストの最適化だけでなく、機能水準を一定以上に確保することが可能となり、結果的に将来の管理コストが低減できる（図-12 参照）。

(2) 総合評価手法の検討

福井港海岸は、324 スパンあり、そのうち 200 スパンは

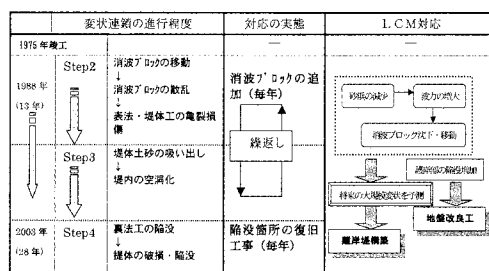
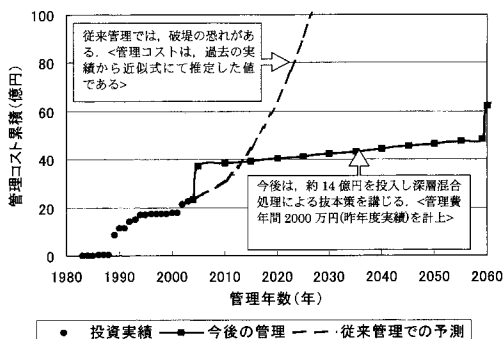


図-11 福井港海岸の維持管理履歴



図一12 福井港における LCC の試算結果

D 区分評価となる。この場合、どのスパンから対策を講じるかが問題点となる。予算を考慮し、複数の施設を同等に評価し補修の優先順位付けを行う必要がある。今後は、機能を維持すべき施設の優先度を考慮した総合的な評価方法の構築が必要なることがわかった。

5. おわりに

本文では、福井港に対する LCM 実施指針(案)の提案が行えた。このように、管理が十分にされていない海岸保全施設は他にも考えられ、全国的に LCM が実施された場合は、機能水準が確保されかつ、管理コストの最適化が図られることが期待される。しかしながら、全国的に普及するためには、LCM の意義・効果を数値的説明により明確化させるとともに保有すべき機能水準や設置環境の違いに応じ個別海岸へのカスタマイズが必要となる。

今後は、他の環境条件や機能条件の違いを考慮したケーススタディを行い、海岸保全施設のモニタリングや実際の定期点検のデータ蓄積・分析等を通じて、より実用的な維持管理指針(案)を完成させていく予定である。

参考文献

- 土木学会 (2000): 海岸施設設計便覧, pp. 515-542.
難波喬司・横田 弘・橘 義規・田中樹由・岩田好一朗 (2003):
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, 海工論文集, 第 50 巻, pp. 916-920.