

地球温暖化にも適応した海岸保全施設の 維持管理・更新計画の策定について

森本 徹¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 環境課 (〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

海岸保全施設は、伊勢湾台風被害を契機に、その多くが昭和30年代に整備が進められた。このため、供用後50年を越える施設が散見されるのが現状であり、地球温暖化に伴う台風の強大化や海面上昇の危険性も指摘される中、沿岸部の高潮災害や海岸侵食の深刻化への懸念と安全・安心に対する合理的な対策が喫緊の課題となっている。

海岸保全施設の維持管理・更新計画を策定する上では、施設の老朽化対策とともに、耐震性の向上が喫緊の課題となってきている。本検討では、これらの諸事情を踏まえ、地球温暖化にもある程度適応した海岸保全施設のLCM維持管理・更新計画の策定を、和歌山下津港海岸をモデルケースとして検討し、近畿地方整備局港湾空港部版『海岸保全施設のLCM維持管理・更新計画(案)』のプロトタイプとして取りまとめたので、その内容を報告するものである。

キーワード LCM (ライフサイクルマネジメント)、地球温暖化対策、老朽化対策、耐震対策

1. はじめに

海岸保全施設の多くは、昭和24、25年のキティ台風、ジェーン台風による被害に加え、昭和34年の伊勢湾台風により発生した甚大な被害の影響を鑑み、昭和30年代に相当数の施設が施工された。これらの施設は、既に整備から50年以上経過しており、老朽化が進んでいる状況にある。また、海岸法が施行される前に造られた施設が多いため、耐震性の低い施設も多く存在している。

今後、海岸保全施設の長寿命化を考える場合、老朽化に着目するだけではなく、耐震性能や地球温暖化に伴う海面上昇の影響を受けた高潮に対する防護性能を把握・評価し、適切な対策を着実に実施する必要がある。

以下本稿では、海岸保全施設の老朽化対策に加え、耐震対策及び地球温暖化に適応した高潮対策を適切に講じるため、海岸保全施設の長寿命化を目指した維持管理・更新計画(案)の策定に、ライフサイクルマネジメント(以下、LCMという)の手法を和歌山下津港海岸において導入した事例を報告する。

2. LCM導入の経緯

海岸保全施設の多くは程度の差はあるが老朽化が進行しており、今後数多くの海岸保全施設の補修や改良、更新が必要となる。そこで、限られた維持管理予算の中で効率的、効果的な維持管理・更新を実現するため、供用期間を通じた費用対効果の最大化を目途とする LCM 手

法に基づく維持管理・更新計画を立案することとした。また、既存の施設には耐震性の低い施設が数多く見受けられ、今後の地球温暖化に起因する潮位上昇、波力増大も想定されるため、耐震性の向上とともに地球温暖化への対応も重要な課題となる。このため、耐震性能や高潮防護性能の評価についても LCM 手法に加味した効率的・効果的な維持管理・更新計画について検討した。

3. LCM維持管理・更新計画(案)の策定手順

LCM維持管理・更新計画(案)は、図-1に示す手順

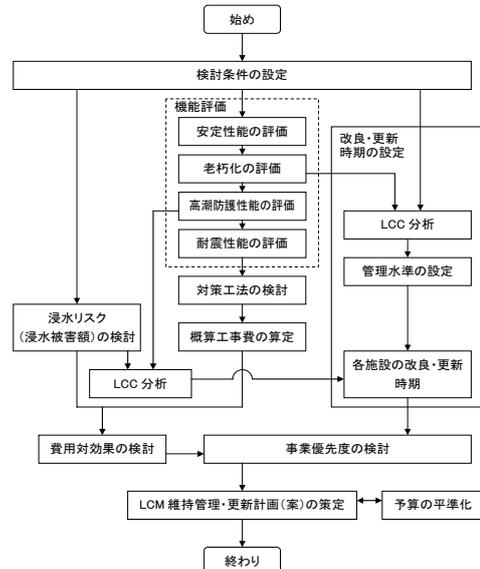


図-1 LCM維持管理・更新計画(案)の策定フロー

で策定した。すなわち、海岸保全施設の性能不足に対する最適な工法と対策時期を、施設の機能評価や LCC 分析、浸水リスクを踏まえた対策効率性等の評価手法を用いて客観的に検討した。また年次予算を踏まえ、事業優先度の評価結果に基づき対策時期を再調整することで、実行性の高い維持管理・更新計画を策定する手順とした。

4. 検討条件

(1) 検討期間

地球温暖化に伴う計画外力の変化の予測には不確実性が伴う。一方、施設の長寿命化技術についても、新しい技術の開発が期待される。このため、50年後、100年後の長期を想定した施設の補修、改良及び更新の計画は過剰投資になる恐れがある。したがって、整備がある程度進んだ段階で、状況を踏まえて整備計画を見直すことを前提に、10年後、30年後を計画年次として設定した。

(2) 温暖化後の設計高潮位、設計沖波波高

現在の和歌山下津港の設計高潮位は、第二室戸台風時の観測潮位に基づいている。このときの潮位を、天文潮位と潮位偏差に分割し、温暖化後における変化を推定し、温暖化後の設計高潮位を推定した。(図-2)

沖波波高は、(独)港湾空港技術研究所の確率台風モデルを用いて算定した、現在気候と温暖化後の波浪推算結果の差分を、平成19年度に実施した実台風を用いた波浪推算調査で得られた確率沖波に考慮して設定した。

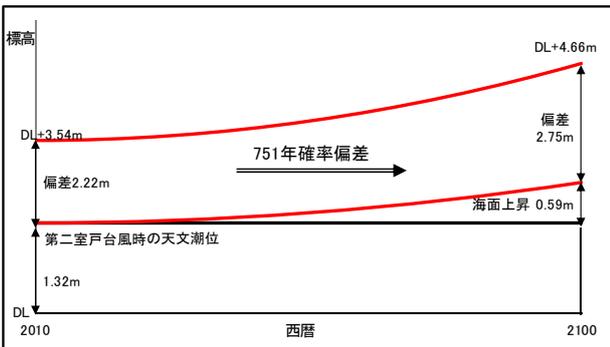


図-2 温暖化後の設計高潮位の設定方法

(3) 設計地震動の設定

設計地震動は、①レベル1地震動、②東南海・南海地震、③中央構造線帯地震の3地震動を想定した。

5. 海岸保全施設の機能評価

老朽化・耐震性能・高潮防護性能に関する海岸保全施設の機能評価(現行、10年後、30年後)は下記のとおりとした。

(1) 老朽化の評価

老朽化に対する評価方法は、「海岸保全施設維持管理マニュアル(案)」、「維持管理技術マニュアル」に準拠した。なお、海岸保全施設を使用材料で分類すると、主にコンクリート構造と鋼構造とに分けられる。このため、

10年後、30年後の劣化状況の予測は、材料別で実施することとした。

劣化予測手法は、(a)回帰式等による方法、(b)理論式による方法、(c)確率論的手法(マルコフ連鎖による方法)が一般的である。本検討段階では、点検データが不足していること、特にコンクリート部材の劣化は塩害・沈下など多様な原因で発生・進行していることを鑑みると、(a)及び(b)の手法の適用は困難であると判断した。このため、コンクリート部材に対しては劣化要因を特定しなくても適用可能となる(c)確率論的手法(マルコフ連鎖による方法)を用いて、劣化度分布の経年変化を推定する手法を採用することとした。その結果を用いて変状ごとに劣化度分布の経年変化を推定し、さらに卓越している変状の劣化度分布を指標としてケース設定・LCC分析を行い、補修時期を設定した。(図-3)

一方、鋼構造の場合、腐食調査により得られた腐食速度を用いて劣化状況を予測することが可能である。本検討においては、(a)設計耐力を下回るまでの残余年数、(b)溶接可能肉厚5mmに至るまでの残余年数を推定し、そこに至るまでに補強等の対策を計画することとした。

なお、LCCを算出する場合、補修後の再劣化費用を見込む必要がある。このため、再劣化に対する補修時期は、補修前の劣化速度を便宜的に適用し設定した。

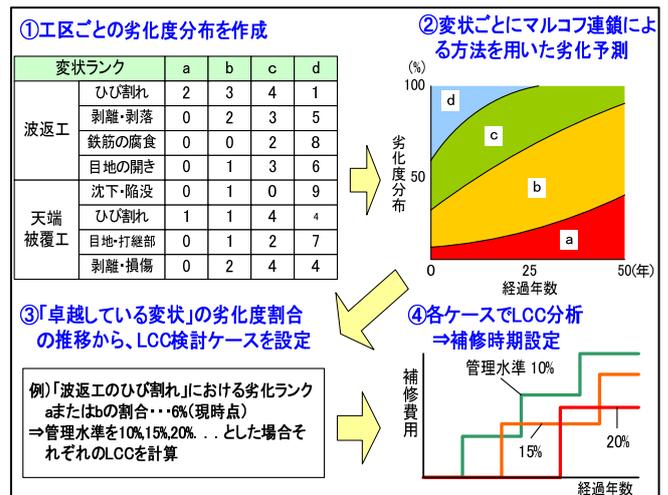


図-3 マルコフ連鎖モデルによる劣化予測

(2) 耐震性能の評価

耐震性能の評価は、レベル1地震時とレベル2地震時に対して「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月(海岸保全施設技術研究会)」(以下、「海岸基準」という)に準拠して評価を実施した。具体的な評価手法は、「チャート式耐震診断システム」と「FLIPによる二次元地震応答解析」とした。なお、検討の対象とする地震動は、10年後、30年後でも現在想定している地震と同様の地震が発生するものとした。

(3) 高潮防護性能の評価

10年後、30年後の波浪・潮位条件を用いて堤前波を算出し、越波流量により高潮防護性能を評価した。

6. 対策費用の算定

海岸保全施設の機能評価に基づいて、機能低下した海岸保全施設に対する対策工法を検討するにあたり、老朽化対策、高潮対策、耐震対策(静的・動的)として必要な補修・改修工法を抽出した上で、重複した対策案を組み合わせた対策案を設定し、各機能に対して総合的に満足する工法を抽出した。

抽出した工法に対して各海岸保全施設の補修や改良、更新に必要となる対策工事費を算定した。

7. 浸水被害額の算定

施設の高潮防護性能を評価するため、以下のケースについて高潮による浸水被害額を算定した。

- ① 現行(海面上昇なし+通常の台風)
- ② 10年後(海面上昇あり+通常の台風)における50年確率の海面上昇後の潮位、波浪条件
- ③ 30年後(海面上昇あり+大型台風)における50年確率の海面上昇後の潮位、台風大型化時の波浪条件

高潮による浸水リスクは、「海岸事業の費用便益分析指針(改訂版)平成16年6月(農林水産省、国土交通省)」に基づき検討した。なお、現況施設及び改良施設(天端嵩上げ後)の浸水被害額は、許容越波流量分の被害額を控除した浸水被害額を浸水リスクとして評価した。

8. 管理目標の設定

(1) 目標管理水準の設定

施設の老朽化に対する適切な補修実施時期を判断するために、施設の安全性(構造的安定性)が確保されている範囲でLCC最適となる目標管理水準を設定し、コンクリート部材等の管理水準(補修実施の判断基準)は、老朽度評価の指標である「変状ランク a (または a と b の合計) の割合」に基づき以下のとおり設定した。

- A) 高度な技術力を必要としない補修工法
- B) 経済的に有利となる補修時期・規模
- C) 現実的な費用規模(補修工事1回当たり費用規模)

なお鋼部材の管理水準は、前述のとおり、設定した肉厚に対する残存年数により確認することとした。(図-5)

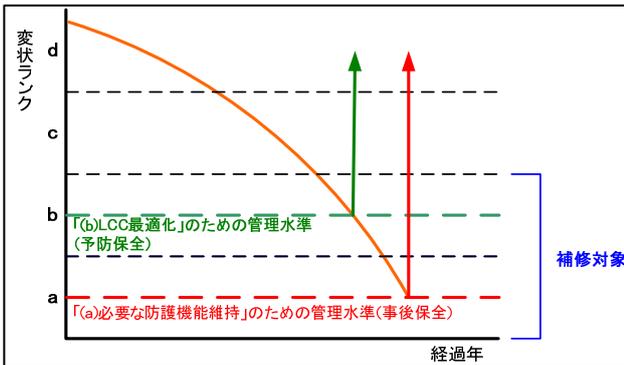


図-5 管理水準のイメージ

(2) 目標整備水準の設定

各施設について、想定される外力(①現行潮位・波浪、②海面上昇、③海面上昇及び台風巨大化)の高潮対策によって削減可能な年平均被害額(浸水リスク)を便益(B)として捉え、嵩上げ等による対策費(C)との関係を評価した。

その結果、最も対策効率性(B/C)が高い対策の水準を、その施設が最終的に目標とする目標整備水準(整備の際に目標とする天端高)として設定し、現行の外力に対する安全性を確保する水準を暫定整備水準として設定した。

(図-6)

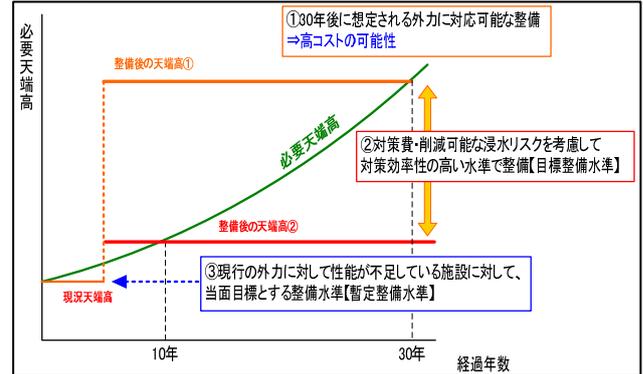


図-6 整備水準のイメージ

9. 対策実施時期の検討

(1) 対策実施時期の基本的な考え方

施設の長寿命化を考える上では、経年的に進行していくと考えられる老朽化を軸に、耐震性能・高潮防護性能を複合的に考慮した対策シナリオを作成する必要がある。一方、高潮対策の実施時期は、気候変動による潮位等の変化を踏まえて設定する必要がある。つまり、経年的に“必要天端高”は高くなるため、将来的に天端高が不足する可能性がある。したがって、“必要天端高>現況天端高”となる時期が“高潮対策が必要な時期”である。

しかしながら、高潮対策必要時期と前述した老朽化対策時期は一致しないため、補修・更新(耐震対策を含む)の実施時期を基本とし、年平均被害額(浸水リスク)を考慮したLCC分析の結果を踏まえて老朽化・耐震・高潮対策の実施時期を調整した。

(2) 対策実施時期の検討

対策実施時期は、老朽化対策時期と高潮対策必要時期の前後関係に着目した以下のルールに基づき設定し、高潮・老朽化対策を一度に実施することで事業の効率的な実施を図った。なお、耐震対策については、現時点で既存不適格の施設に対して最優先で対策を行うこととした。(図-7)

(図-7)

【調整方法①】

目標整備水準の設定年以前に補修・更新時期が来る場合：補修・更新の実施時期を基本とし、年平均被害額(浸水リスク)を考慮したLCC分析で事業実施時期を設定

【調整方法②】

目標整備水準の設定年以降に補修・更新時期が来る場合

：高潮防護性能（必要天端高）が満足出来なくなる時期を基本とし、年平均被害額（浸水リスク）を考慮したLCC分析で事業実施時期を設定（目標整備水準の設定年以前で事業実施時期を設定）

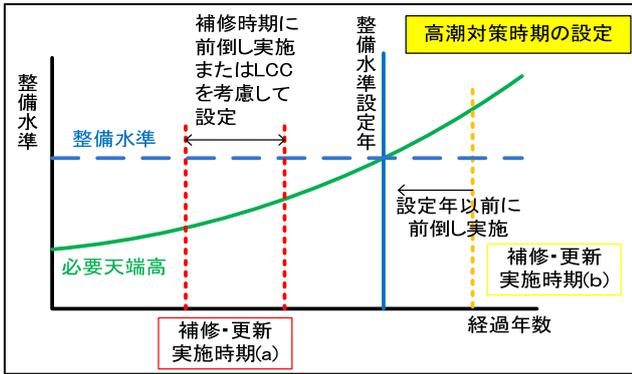


図-7 対策実施時期の考え方

低く、平準化前の計画年度以前に実施できない場合は、計画配置順位にかかわらず実施時期を調整（順位を前倒し）して対応することとした。（図-8）

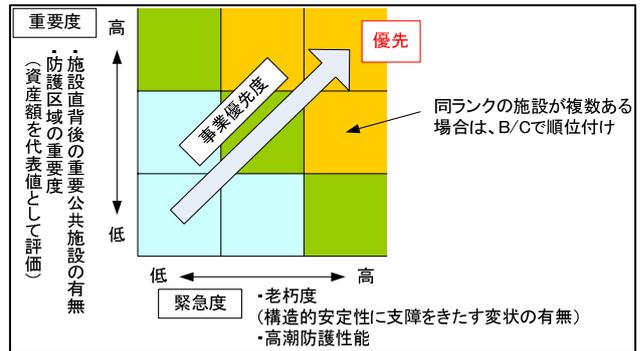


図-8 事業優先度の設定イメージ

10. LCM維持管理・更新計画（案）の策定

(1) 事業優先度の評価方法の検討

個別の施設毎に策定した投資計画を統合し、施設全体として投資計画の最適化を図るには、事業優先度を合理的に評価する必要がある。事業優先度の評価方法としては、評価項目を多く設定した場合、どの項目が要因となって優先度が高くなっているか不明確になる恐れがある。よって、評価項目としては、できるだけ少ない項目で明確な考え方にに基づき評価することが望ましい。そこで、本検討では対策工実施の緊急度と施設の重要度、対策効率性（B/C）を評価する「緊急度と重要度による評価方法」で事業優先度を設定することとした。

事業優先度は対策の緊急度及び施設の重要度によりマトリクス評価を行い（図-8）、緊急度が高い施設及び重要度の高い施設を事業優先度の高い施設として設定した。マトリクス上で同じ評価となった施設が複数ある場合は、対策効率性（B/C）の高い施設を優先して順位付けを行った。なお、事業優先度の設定にあたっては、マトリクス評価結果（対策効率性の評価を含む）に加え、現状施設の機能評価結果、背後地の重要度などを総合的に判断した。

(2) 予算の平準化の実施

LCC分析の検討結果をもとに、個別施設の投資計画を立案後、予算を意識し実行性を担保するため、全施設を統合した投資計画を立案する必要がある。ただし、施設毎の維持管理・更新計画の最適化ができて、全施設を合計した場合、厳しい財政制約下では必ずしも年次予算枠に収まるとは限らない。したがって、全施設を統合した調整を行い、年次間の予算の平準化、年間の予算枠に収める取組みが必要となる。合計して枠に収まらない場合は、個別施設の最適案の見直し（事業優先度評価に基づく対策実施時期の調整）が必要となるので、事業実施の優先度評価結果を用いて、予算制約下における予算の平準化を検討することとした。

ここで、平準化による実施時期の調整は、平準化前の実施年度に対する前倒しを原則とする。計画配置順位が

11. 今後の課題

(1) 劣化予測の精度向上

劣化予測は、健全度調査結果に基づいてコンクリート部材等の場合はマルコフ連鎖、鋼部材の場合は腐食速度で実施している。

効率的なLCM維持管理・更新計画（案）の策定のためには、今後実施される健全度調査結果（コンクリート部材の劣化状況や鋼部材の腐食状況等）に基づき劣化予測の精度を向上させ、LCCを見直す必要がある。

(2) 気候変動の不確実性への柔軟な対応

地球温暖化に伴う計画外力の変化の予測には不確実性が伴うため、以下に示す事項等については、将来的な気象変化・老朽化の状況をモニタリングしながら、地球温暖化対策の目標整備水準や実施時期を適宜見直していくことが必要である。

【目標整備水準について】

対策効率性を踏まえて目標整備水準を検討した結果、“30年後の外力に対応する必要天端高”ではなく、“10年後の外力に対応する必要天端高”が目標整備水準に設定された場合。

【事業実施時期について】

事業実施時期は、補修・更新の実施時期を基本とし、年平均被害額（浸水リスク）を考慮したLCC分析で設定しているが、補修・更新の実施時期が、計画策定期間の後半（15年程度から30年）にくる場合。

(3) 浸水リスクを考慮したLCC分析の省力化

本検討では、年平均被害額（浸水リスク）を考慮したLCC分析に基づき事業実施時期を設定している。ここで、年平均被害額（浸水リスク）が、対策費に比べてはるかに大きい場合、年平均被害額（浸水リスク）の比較結果のみで事業実施時期が決定されることになる。よって、上記のような場合には、事業実施時期の検討作業の省力化（代表的な施設についてLCC分析を実施する等）についても検討する必要がある。