

津松阪港海岸保全施設長寿命化計画について

平義 章* ・ 由木 誠**

* 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
 ** 前 (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹

津松阪港の海岸保全施設は、建設後 30～50 年を経過し、施設の老朽化や機能の低下が懸念されている。このため、海岸保全施設の必要な防護水準を確保するとともに、地球温暖化による海面上昇に対応した施設の延命化を図るため、定期的な点検及び計画的・予防的な維持補修を実施するために長寿命化計画を策定した。

キーワード：長寿命化，維持管理，地球温暖化，老朽化対策

1. はじめに

長寿命化計画は、老朽化対策に資するための維持管理・更新計画，耐震化計画及び地球温暖化適応策を考慮した海岸保全施設の LCM 維持管理・更新計画である。長寿命化計画の全体構成を図-1 に示す。

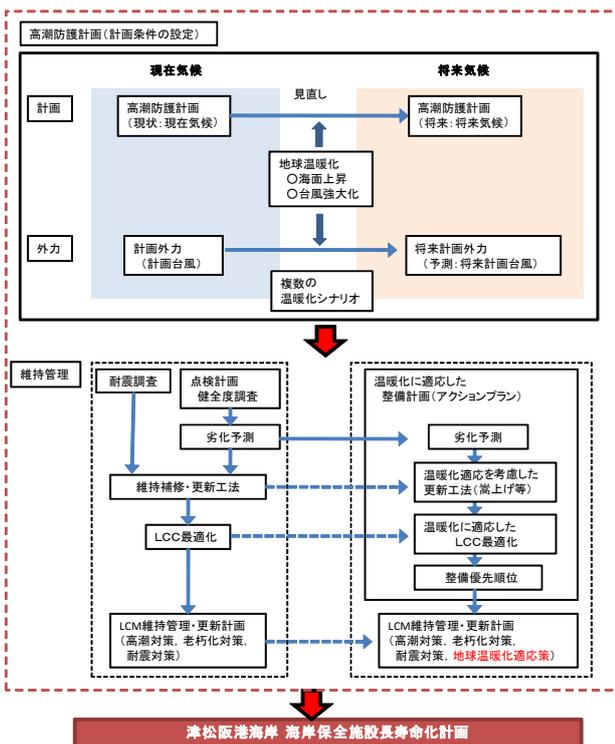


図-1 長寿命化計画実施概念図

2. 長寿命化計画の対象範囲・期間

長寿命化計画が対象とする範囲は、津松阪港海岸保全施設の防護ライン及びその防護区域とする。図-2 に津松阪港海岸の対象地区を示す。

また、長寿命化計画における海岸保全施設の補修・更新は、中期 2040 年 (30 年後)、2060 年 (50 年後) と長期 100 年後の各地点における将来の計画外力に対応したものとす。



図-2 津松阪港海岸対象範囲図

3. 地球温暖化適応戦略

地球温暖化適応策として、海岸保全施設の計画条件の再評価を行うあたり、設計高潮位に地球温暖化に伴う海面上昇量を考慮する必要がある。

3.1 平均潮位等のトレンド解析

当該地域における平均海面の変動傾向を把握するために、過去 50 年間の潮位データ及び地盤沈下データ等必要なデータを収集・整理し、潮位のトレンド解析を行う。

3.2 平均海面の予測

観測潮位データを用いた年平均潮位の解析結果をもとに、潮位の長期予測を行う。ただし、将来の潮位変動のトレンドがどのようになるかは不明な部分が多い。ここでは、USACE (U.S. Army Corps of Engineers) 論文に記載された NRC-I モデルの方法に倣い、潮位データ解析で求まる現在気候の潮位変動と、IPCC 4 次報告の潮位上昇量の予測値 0.59m (最悪シナリオ A1FI の上限値) を曲線 (曲線式は 2 次式を仮定) で結ぶ方法 (図-3) を採用する。

3.3 将来気候の計画条件の予測

将来の潮位偏差及び設計波は、長期的には地球温暖化に伴う台風等の強大化を考慮して設定する。ただし、当分の間は海面の上昇量のみ考慮するものとし、想定した

外力が過大に設定されたために施設の補修・更新の費用が多大となることがないように、慎重にこれらの値を設定する必要がある。

3.4 地球温暖化に伴う外力の推定

外力条件の考え方としては、以下の通りである。

- ・潮位偏差：伊勢湾台風（現計画条件）及び将来気候の伊勢湾台風
- ・海面上昇量：IPCC 4次報告（A1FI シナリオの 2100 年予測値 0.59m を採用）
- ・波浪：現在の設計沖波との整合性を鑑み、現在気候の沖波としては 50 年確率波を用いる。将来気候（地球温暖化後）の設計沖波は 50 年確率波相当を基本とする。50 年確率波相当の波浪条件を算定するにあたり、伊勢湾台風時の発生波浪が、地球温暖化による台風の強大化によって増大する率を求め、この値を変換値として、現在気候の設計沖波（50 年確率波）に乗じる。

上記考え方をもとに、施設整備年次毎の推定される強大化した台風条件を用いて、高潮推算及び波浪推算を行うことにより、図-4 のように将来気候の外力条件を推定する。

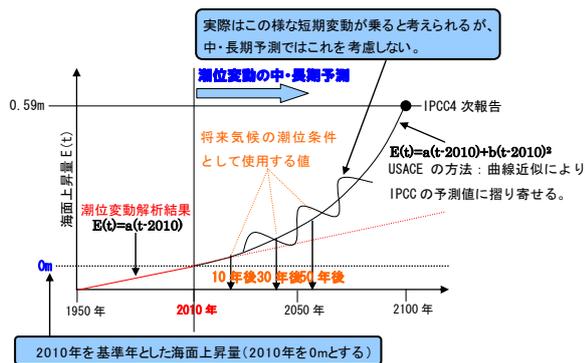


図-3 潮位変動の予測方法概略図（平均海面上昇量）

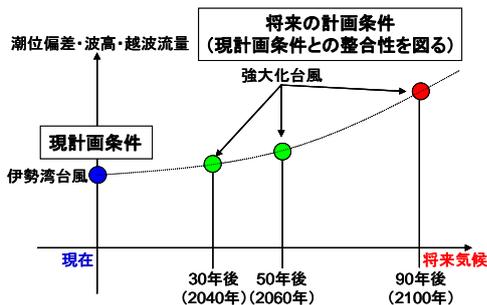


図-4 中長期の高潮防護計画外力推定の概念図

4. 耐震対策計画

堤防、護岸、胸壁については、背後地の重要度及び地盤高に応じて、レベル1地震動及びレベル2地震動を適切に選定し防護機能を評価するものとする。ただし、レベル2地震動を適用する場合の判断基準については明示

されていないため、「海岸保全施設設計便覧 [2000年版]（土木学会）」を参考に設定するものとする。さらに、海溝型の地震動の発生により、津松阪周辺では広域に渡って地殻変動が発生することが予測されている。耐震性を評価する際には、これらの地殻の変動量も考慮する必要がある。

4.1 耐震対策工法

未整備地区の耐震対策工法としては、標準的な液状化対策工法をベースとして地域特性に合った適切な対策工法を用いることとする。

また、耐震対策の優先順位としては、地区の重要度と整備の緊急性を評価することで、地球温暖化対策および老朽化対策を含めた総合的評価により順位付けを行うものとする。

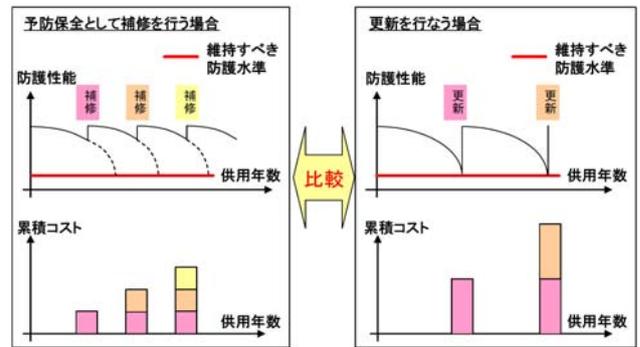


図-5 維持管理のイメージ図

5. 維持管理・更新計画

計画立案の基本的な考え方は、海岸保全施設の健全度評価に基づき、ライフサイクルコスト（以下、LCC という）を必要な防護機能を維持しつつ最小化することを目標にすることとする。図-5 に維持管理のイメージ図を示す。本計画の適用の範囲としては、海岸保全施設のうち、コンクリート構造の堤防に適用し、LCC の算出は、変状の段階に応じた対策工法を組み合わせ比較することで行うものとする。

5.1 海岸保全施設の点検診断計画

海岸保全施設の性能を維持するためには、施設の健全度を評価し適切な対策を講じることが必要であり、そのためには、変状の有無やその程度を把握する点検が重要である。本計画では、原則として一次点検と二次点検に分けて実施するものとする。点検の実施にあたっては、過去の点検結果の履歴調査を行い、変状の進展状況を把握するものとする。対象施設である護岸・堤防における一次点検、二次点検の点検位置を表-1 に示す。なお、堤体の変状は、天端被覆工、表法被覆工、裏法被覆工、波返工における沈下・陥没、ひび割れ等により確認する。

表-1 一次点検, 二次点検の実施位置

点検位置	一次点検での対象 (対象: ○, 対象外: -)	二次点検での対象 (対象: ○, 対象外: -)
波返工 (および胸壁の埴体工)	○	○
天端被覆工	○	○
排水工	○	○
消波工	○	○
表法被覆工	○	○
裏法被覆工	○	○
砂浜	○	○
前面海底地盤	-	○
根固工	○	○
基礎工	-	○

5.2 健全度評価

堤防の変状は、進行性変状（コンクリートの劣化、鉄筋腐食、地盤の圧密沈下によるもの）と突発型変状（波浪によるひび割れ、沈下、吸出しなど）に大別される。それらの変状現象に対する健全度評価は、目視点検による判定と、コンクリートの劣化（強度、中性化、塩害）と吸出し・空洞化など各種試験・計測結果による判定から、最悪値を以って健全度として評価する。また、健全度評価の評価単位は、補修方法や補修数量など LCC に与える影響も考慮し、ブロック・部位ごととする。表-2 に健全度判定ランクの目安、表-3 に部位ごとの変状・変位に対する健全度評価を示す。

表-2 健全度判定ランク (目安)

健全度の判定ランク	変状の程度
要対策 A (1)	施設の主要部に大きな変状が発生しており、施設の性能低下が生じている。(変状ランクが a と評価される場合)
重点監視 B (2)	施設の主要部に変状が生じており、施設の性能低下や変状連鎖の進行が懸念される。(変状ランクが 8 割程度 b と評価される場合)
重点点検 C (3)	施設の性能低下には至っていない。A、B、D 以外と評価される場合。(A、B、D 以外と評価される場合)
問題なし D (4)	軽微な変状が発生しているが、施設の性能低下には当面至らない。(変状ランクが全体で d と評価される場合)

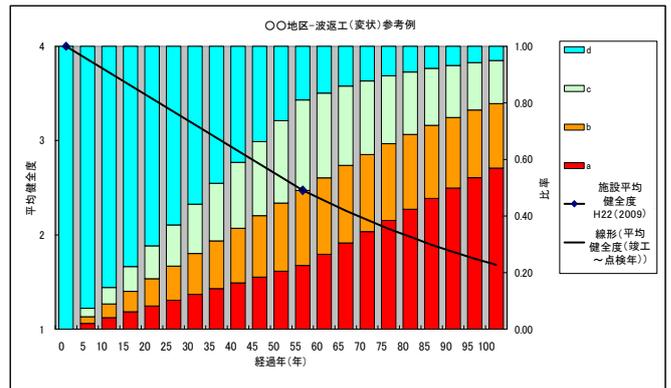
表-3 部位ごとの変状・変位に対する健全度評価

部位	変状原因	変状種類	変状現象	健全度
波返工	波力	変状	ひび割れ、剥離・損傷、鉄筋の腐食	1~4(a~d)
	劣化	変位	沈下、目地の開き相対移動量、	1~4(a~d)
天端被覆工	越波	変状	ひび割れ、剥離・損傷	1~4(a~d)
	劣化	変位	沈下・陥没、目地部、打雑ぎ部の状況	1~4(a~d)
表法被覆工	波力	変状	ひび割れ、剥離・損傷、鉄筋腐食	1~4(a~d)
	劣化	変位	沈下・陥没、目地部、打雑ぎ部の状況	1~4(a~d)
裏法被覆工	越波	変状	ひび割れ、剥離・損傷	1~4(a~d)
	劣化	変位	沈下・陥没、目地部、打雑ぎ部の状況	1~4(a~d)
消波工	波力	変状	ブロック破損	1~4(a~d)
	劣化	変位	移動・散乱及び沈下	1~4(a~d)

5.3 劣化予測

津松阪港海岸保全施設のうち、堤防の劣化予測モデルは、既往の点検結果から施工時の初期欠陥や波浪による劣化過程が複雑で理論的手法の適用が困難なことから、確率論的手法のうちマルコフ連鎖モデルを用いるものとする。

具体的には、図-6 に示すとおり、建設時に全て d 評価の施設が、点検年 (55 年) 時点での a~d 評価の割合に「推移」する「状態」から「推移確率」を求め、それにより、将来の a~d 評価の割合を予測することが可能となる。



劣化度	経過年										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
平均健全度	4.000	3.881	3.722	3.584	3.445	3.306	3.167	3.029	2.890	2.751	2.612
d	0.000	0.828	0.853	0.779	0.705	0.632	0.558	0.484	0.411	0.337	0.263
c	0.000	0.029	0.058	0.087	0.116	0.145	0.175	0.204	0.233	0.262	0.291
b	0.000	0.024	0.048	0.072	0.096	0.121	0.145	0.169	0.193	0.217	0.241
a	0.000	0.020	0.041	0.061	0.082	0.102	0.123	0.143	0.164	0.184	0.205
Σ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

劣化度	経過年										
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
平均健全度	2.474	2.365	2.257	2.161	2.064	1.979	1.894	1.821	1.747	1.683	
d	0.189	0.165	0.141	0.123	0.105	0.091	0.078	0.068	0.058	0.050	
c	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
b	0.285	0.270	0.275	0.273	0.271	0.265	0.258	0.249	0.239	0.228	
a	0.225	0.265	0.305	0.345	0.385	0.424	0.463	0.499	0.538	0.588	
Σ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

図-6 マルコフ連鎖モデルによる評価の推移

5.4 維持管理・更新計画の策定

維持管理マニュアルに準拠して、維持管理更新計画を策定する。その際、維持補修を行う施設については、緊急的に行うものと計画的に行うものと場合分けを行い、その対策工法についても維持管理マニュアルを参考に標準的なものを設定する。

補修サイクルについては、LCC を比較検討するうえで、最適なケースを算出するため、工区・部位・変状種類ごとの劣化予測モデルを基本とするが、予防保全と事後保全のシナリオごとに補修の適用健全度と回復健全度に違いを設けることとした。ここでは、予防保全シナリオにおける補修の適用健全度をランク 2 とし、補修後の回復健全度は 3.5 とした。事後保全シナリオにおいては、補修の適用健全度をランク 1 とし、回復健全度は 4 とした。

6. 長寿命化計画

6.1 地球温暖化を考慮した維持管理・更新計画

地球温暖化に伴う海面上昇及び台風等の巨大化に対しては、施設の更新時期と必要な天端高の関係を考慮して、図-7 に示す漸近的適応策を考慮する。

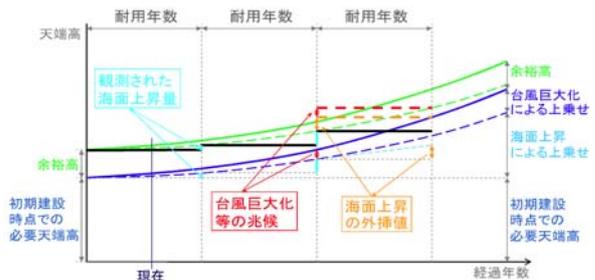


図-7 地球温暖化に対する漸近的適応策

図-7をもとに作成した段階施工計画案(アクションプラン)の参考例を図-8に示す。

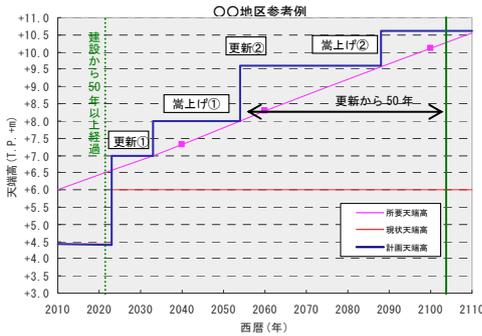


図-8 段階施工計画図(参考例)

これまでのLCCの最適化を行った「維持管理計画」, 「地球温暖化に適応したアクションプラン」に対し, 更に総合的な検討を加え, LCM維持管理・更新計画案を策定する。温暖化, 老朽化, 耐震化による更新計画を重ね合わせて同期化する。更新により, 補修計画における維持管理レベルを事後保全へ見直す施設や, 健全度が回復することによるシナリオの見直しを, 最終的な LCM 維持管理・更新計画案に反映する。図-9に更新計画と維持補修計画の重ね合わせ方法を示す。

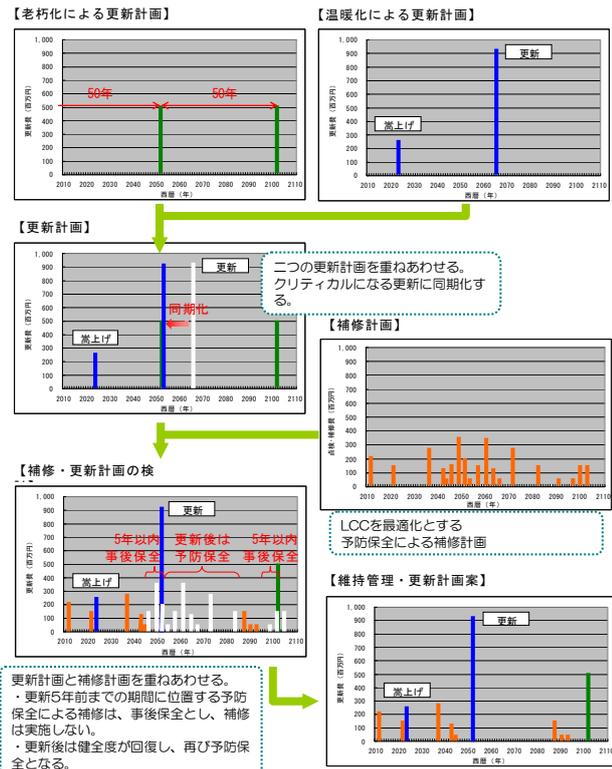


図-9 更新計画と維持補修計画の重ね合わせ方法

6.2 海岸保全施設の整備の優先順位

海岸保全施設老朽化診断調査の結果と防護機能の関係を整理し, 補修・更新の優先順位を設定する。整備優先順位の設定にあたっては, 防護区域の重要度を表す指標を定め, これをもとに防護区域の判定を行い, 防護区域の重要度, 補修・更新の優先順位, B/C, 整備費用, 住民

の避難の難易度等を総合的に判断して決定する。優先度評価の考え方を図-10に示す。

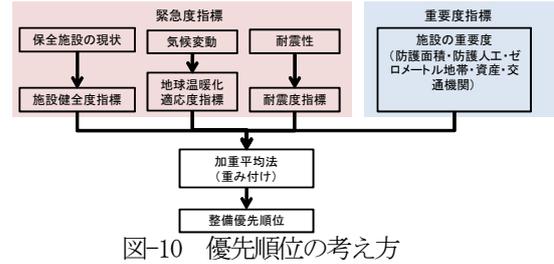


図-10 優先順位の考え方

6.3 投資効果の評価

高潮対策事業(高潮防護便益)について分析を行うこととする。その想定シナリオでは, 温暖化に伴い将来の外力が増加することから, 対策を講じない場合の想定被害額(円/年)が年々増加することとなる。そこで, 以下の手順により便益算定を行う。

- ・便益計測期間は, 次年度から100年間とする。
- ・将来(30年後, 50年後, 90年後)の外力に対し, 現況天端高のまま対策が行われなかった場合の年平均浸水被害額(億円/年)を算出, 中間年次は線形補間を行う。
- ・同様に各年次における所要天端高も算出し, 対策によりその年の必要天端高が確保されている場合(With)には, その年の想定被害額を便益とする。
- ・外力が増大するため, 将来の想定被害額(便益)は一定ではなく年々増大する。

図-11に便益のイメージ図を示す。

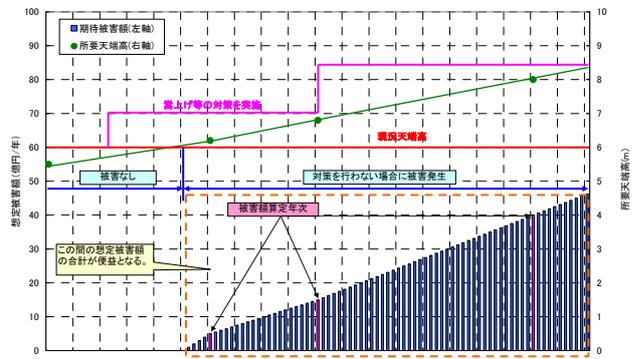


図-11 便益のイメージ図

6.4 長寿命化計画の定期的見直し・更新

現在の長寿命化計画策定においては, 将来外力および劣化に関する予測値については不確定な部分が多い。したがって, 潮位や波浪のモニタリングは継続的に実施して定期的な見直しに向けてのデータ蓄積が重要である。

7. おわりに

本報告は, 四日市港湾事務所発注の平成21年津松阪港海岸保全施設長寿命化計画策定業務の成果をまとめたものであり, 検討の実施にあたっては, 「津松阪港海岸保全施設長寿命化計画策定委員会」(委員長: 岩田好一郎中部大学教授)を設置し, 委員, 関係者各位のご指導, 助言を踏まえて取り纏めた。ここに記して, 厚く御礼申し上げます。