

港湾施設のライフサイクル関連技術の動向

国土技術政策総合研究所 港湾研究部

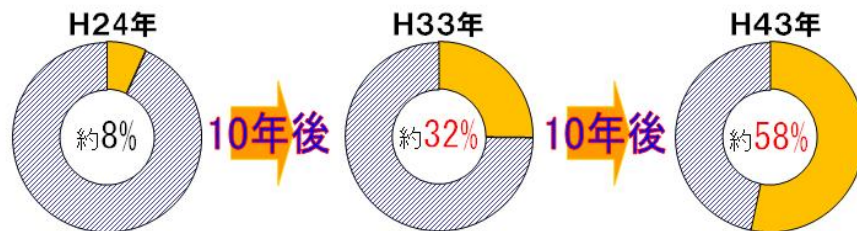
小泉哲也

I. 港湾施設の老朽化対策の推進

高度成長期等に集中的に整備された港湾施設の急速な老朽化の進展に対して、効率的・効果的な維持管理・更新に資する研究を重点的に実施

研究の背景

- 着実なストック整備の一方で、高度経済成長期に集中的に整備した施設の老朽化が進行。
- 港湾施設を適正に維持管理するためには、適切な点検実施が必要。
- 平成25年の港湾法改正を受け、同年度内に港湾施設の定期点検等の方法が省令により規定されることとなっている。
- 各港湾では多数の港湾施設の点検が必要となる中、効率的かつ効果的な点検実施と点検コストの平準化を可能とするための手法を開発することで、確実な点検の実施、点検コストの平準化が可能となり、港湾サービスの確保及び向上を実現する。



建設後50年以上経過する岸壁の割合 [国土交通省港湾局調べ]

港湾施設のライフサイクルと損傷劣化

- **物理的耐用年数**: 施設の性能の観点から決定されるライフサイクル
 - 材料
 - 性能・作用
- **機能的耐用年数**: 港湾という社会資本の特性から船舶の大型化等による施設の機能の観点から決定されるライフサイクル
 - 船舶の大型化
 - 物流環境(貨物・荷役形態)の変化

機能の低下

- 岸壁・護岸等からの裏埋土の吸出し
- エプロンの沈下, 舗装のひび割れ・破損
- 附帯設備等の損傷・破損(係船柱, 車止め, 防舷材等)

安定性の低下

- コンクリート(栈橋上部工, ケーソン等)の劣化・剥離等
- 栈橋, 矢板構造の構成材の鋼材(鉄筋, 杭等)の腐食

技術基準対象施設の維持管理レベル

- 維持管理計画を定める際には、当該施設の設置目的、供用期間、要求性能、設計の考え方、施設の代替性を考慮の上、維持管理の基本的な考え方として、**維持管理レベル**を適切に定める。

分類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベルⅠ (予防保全(事前対策)型)	高い水準の損傷劣化対策を行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベルⅡ (予防保全型)	損傷劣化が軽微な段階で、小規模な対策を頻繁に行うことにより、供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を 予防 する。
維持管理レベルⅢ (事後保全型)	要求性能が満たされる範囲で、損傷劣化に起因する性能低下をある程度許容し、供用期間中に1～2回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化を事後的に対処する。

港湾の施設の点検診断・維持管理の取り組み

1 技術基準類の整備 平成19年4月

- － 「技術基準の維持に関し必要な事項を定める告示」(維持基準告示)
- － 平成19年10月：
 - 「港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き」
 - 「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」
- 平成21年11月： 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル

2 定期点検の規定化

- － 港湾法の一部改正(本年6月5日公布)
- － 点検の方法等の詳細についてはガイドラインで規定

3 点検診断・維持管理に対する支援

- － 研修・資格制度を整え専門技術者を育成
 - ・ 専門技術者の適切な配置をはかるため、「港湾施設維持管理コース」研修の実施
 - ・ 「海洋・港湾構造物維持管理士の資格制度」(民間)の創設等
- － 維持管理計画を策定するための費用を支援する制度を創設
- － 適切な資産管理のためのデータベース構築に向けた検討

II. 維持管理に関連する技術開発のあり方

構造物のライフサイクル全体(計画・設計から供用期間終了まで)の視点から検討を実施

- 1.計画・設計段階における維持管理の費用削減・効率化
- 2.点検診断の信頼性向上・効率化
- 3.維持管理計画の現実性・具体性の向上
- 4.劣化対策・長寿命化を図るための補修・補強
- 5.供用期間終盤を迎えた施設や機能的に陳腐化した施設の更新・改良

■ 現在すでに普及している技術の動向・課題

項目	概要
鋼材の電気防食工法	品質は25年前から10%向上
鋼材の被覆防食工法	カバーの材質の種類が増加
コンクリート構造物の電気防食工法	流電陽極・外部電源方式の使い分け

■ 今後活用が期待できる技術の調査

技術の概要(代表的なもの)
電磁波レーダを用いた空洞調査
電磁波レーダを用いた床版調査
空洞の補修材
接着接合型RC床版増厚工法
鋼製函体を用いた仮締切工法
表面含浸剤

新技術開発・普及の課題及び今後の方向性

新技術の実用化・普及に向けた課題

- 適用事例の蓄積・共有
- 評価基準値の明確化

既存技術の低コスト化・適正な活用のための課題

- 設計方法の見直しの検討
- 知見の蓄積と技術マニュアル等の改良

今後必要となる技術の方向性

- 汎用性の高い技術の開発
- 点検診断の精度向上
- 未利用施設の維持管理手法

今後の技術開発のあり方

1. 設計・診断・補修方法の改善

これまでの維持管理に関する知見を活かし、設計・診断及び補修方法をより高度化・効率化する。

- 診断・補修設計の精度を向上するための調査方法の研究
- 供用中の岸壁に対する施工に対応した(省スペース化、工期の短縮)補修工法の研究
- 汎用性の高い調査・補修技術の研究

2. これまで十分に確認できなかった変状への対応

港湾構造物に対して一般的に適用されてきた点検項目では不足する項目を中心に、調査方法を検討する。

- エプロン・ヤード等の空洞化調査技術の高度化
- 小規模構造物の水中部調査などに対する効率的手法の開発
- 調査の効率化による測定密度の向上

3. 港湾施設情報管理システムの将来イメージ

ワークフローを改善し、港湾管理者を含めた維持管理情報の入力のシングルウィンドウ化が必要である。

- 維持管理情報の確実な登録・蓄積を実現
- 港湾施設維持管理に関する他の地方整備局や港湾管理者等の技術情報を相互にデータ提供・共有可能とする

III. 港湾施設のライフサイクルコスト推計の取組み

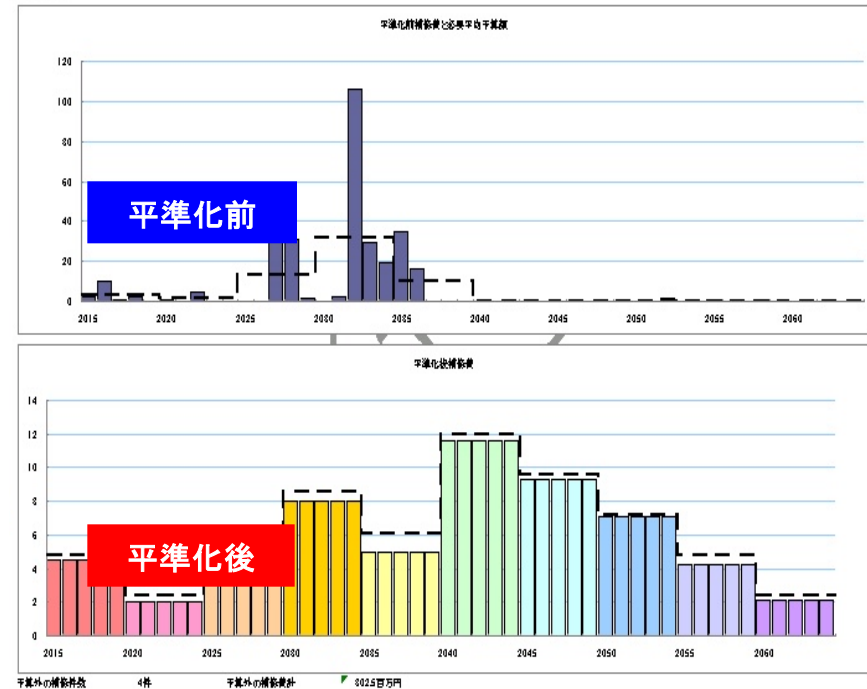
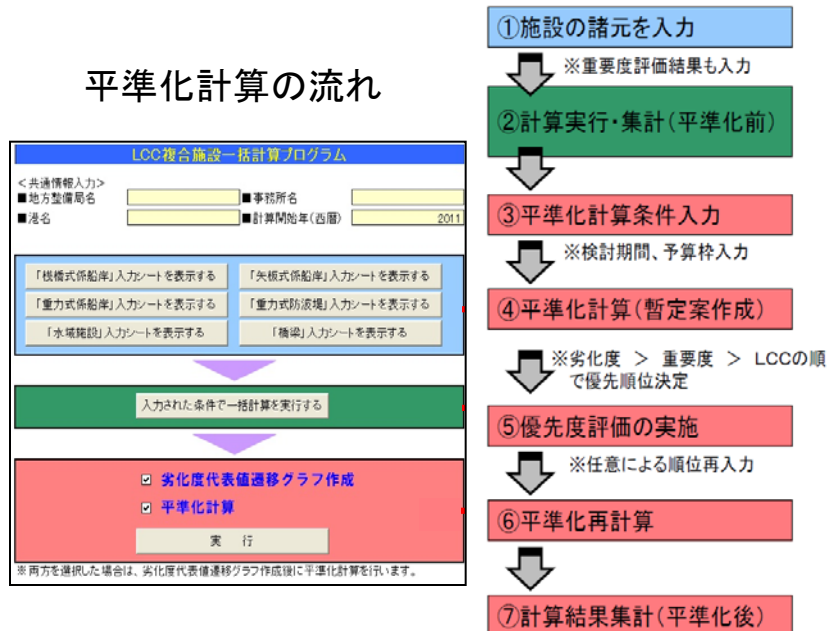
■ 背景

高度経済成長期に集中投資された港湾施設は、老朽化が進行し、耐用年数を超える施設の急激な増加が予測されている中で、必要な機能を維持しつつ将来の維持補修コストを縮減することが求められている。

■ 港湾施設のライフサイクルコスト計算プログラムの開発

主要な6施設(①棧橋②矢板式岸壁③重力式岸壁④防波堤 ⑤航路・泊地⑥臨港道路橋)の単独計算・一括計算および費用の平準化が可能！

平準化計算の流れ



■ LCC計算プログラムダウンロード

<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sekou/lcc.htm>

LCC計算プログラムのダウンロードサイトを公開

推計対象施設

- 技術基準対象施設のうち、比較的成本インパクトの大きい施設を中心に推計を実施。

施設の区分	推計対象	推計対象外
水域施設	航路、泊地、船だまり	—
外郭施設	防波堤等、水門等、護岸、堤防等	—
係留施設	岸壁・棧橋・物揚場	浮棧橋、係船浮標、係船くい、船揚場
臨港交通施設	道路、橋梁	駐車場等、軌道、運河
荷さばき施設	荷役機械、荷さばき地、上屋	
保管施設	倉庫、野積場	貯木場等、危険物置き場等
船舶役務用施設	—	船舶給水施設、給油施設等、船舶修理施設等
旅客施設	—	旅客乗降用固定施設等
廃棄物処理施設	—	廃棄物埋立護岸
港湾環境整備施設	緑地・広場	海浜

推計方法の検討

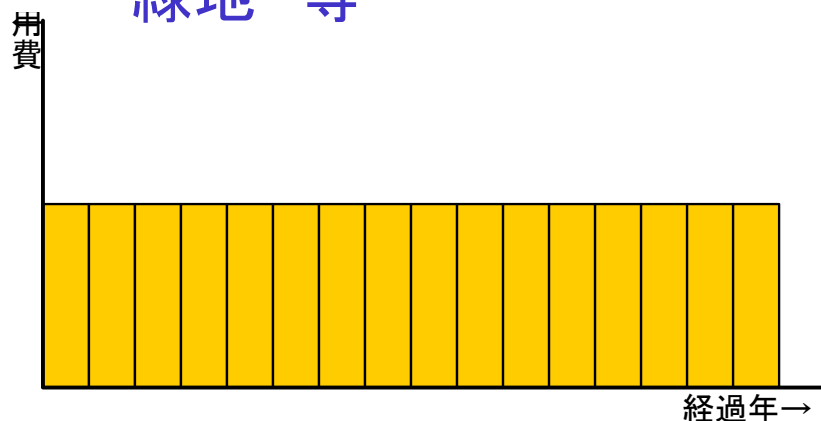
- 全国レベルのマクロ推計であるという前提
- 現時点で入手可能なデータを用いた推計方法

【推計方法A】

年平均費用を設定し、一定額を計上。

- 事後保全中心で、適宜対策を行う施設
- 計画期間内に費用の大きな変動が無い施設 等

例) 航路・泊地、道路、上屋、緑地 等

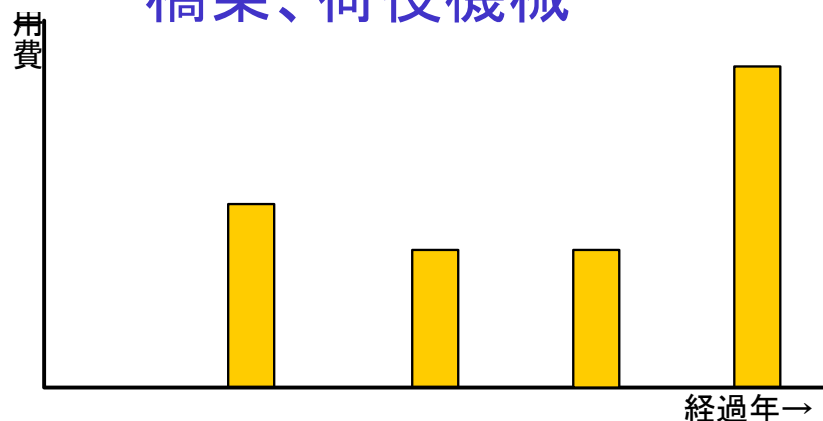


【推計方法B】

建設後一定期間が経過するごとに、設定費用を計上。

- 全体に対するコストインパクトの大きい、大規模な補修が発生する施設(費用のヤマができる施設)

例) 防波堤、護岸、岸壁・栈橋、橋梁、荷役機械



コストインパクトの大きな施設のLCC低減の可能性

防波堤

- ・ 中間型・突発型の変状に対する補修が中心である。防波堤の変状を放置した場合、港湾全体の運営に支障をきたす可能性があるため、必要な補修を適切に実施する等の適切な対応が必要。

岸壁・栈橋

- ・ 特に費用の割合が大きい**栈橋の上部工の対策費用を低減**することが課題。
- ・ 塩害劣化の抑制等を中心とした**補修工法のコスト低減**に向けた技術開発を今後進める必要がある。
- ・ 現時点で老朽化が進行している施設に対して、将来的な需要を見極め、応急処置による簡易的対応や、施設の廃止を検討するなど、**維持補修対象施設のボリューム自体を削減する等の方策**も今後必要。

荷役機械

- ・ 荷役機械はその機能停止による影響が大きいため、**コスト縮減を理由としてその期間を調整することは困難**。
- ・ クレーン本体の老朽化は疲労による影響もあり、予防保全的な対策は困難であると考えられる。このため、LCC削減に向けてはワイヤロープ等消耗品の適切なタイミングでの交換や、高耐久性の塗装の適用などの方策が考えられる。

IV. 消波ブロック被覆堤の期待補修費を考慮した維持管理手法に関する研究

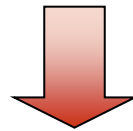
◆消波ブロック被覆堤の維持管理

経年的に進行する消波ブロック天端の沈下



波力の増大を招き、大規模被災の発生につながる

消波ブロックの補修時期を適切に定め、一定の管理水準を確保するように維持管理を行う必要がある。



しかしながら、

消波ブロックの定量的な補修基準が定められておらず、ブロックの沈下等の軽微な補修への対応は積極的に為されていない。

研究の目的

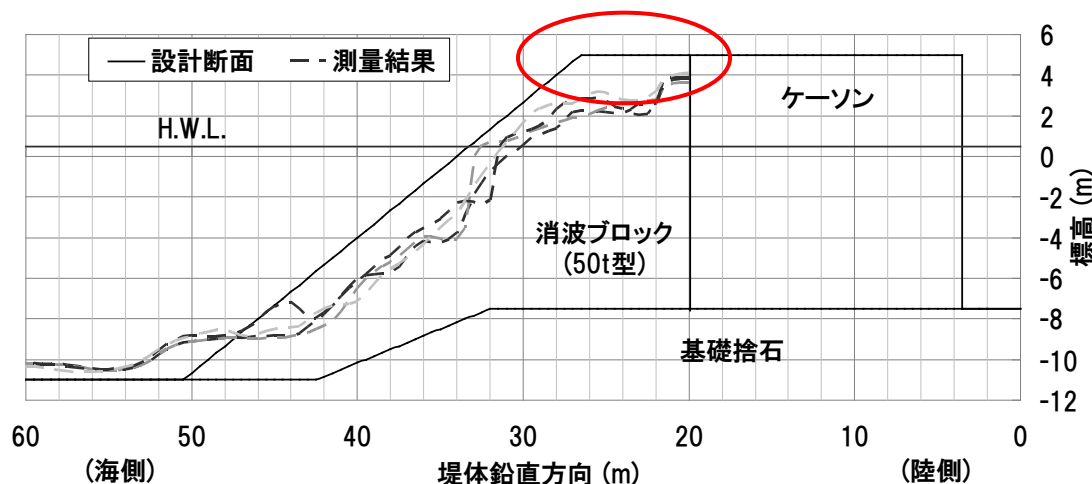
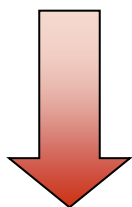
本研究では

消波ブロック被覆堤の補修基準について
定量的に評価できる手法を提案する

- ①消波ブロック被覆堤の建設後におけるブロック変状調査の結果より，現況把握および維持管理上の問題や今後の方向性を示す．
- ②モンテカルロ法を用いて，ブロック天端の沈下に対する補修基準毎の供用期間中における累積補修費を算出し，適切な補修基準について検討する．

消波ブロック被覆堤の変状調査結果

消波ブロック部の断面が大きく欠損し、水面上の消波ブロックが2～4m程度沈下している。



消波ブロックの天端が下がると、以下のリスクが生じる。

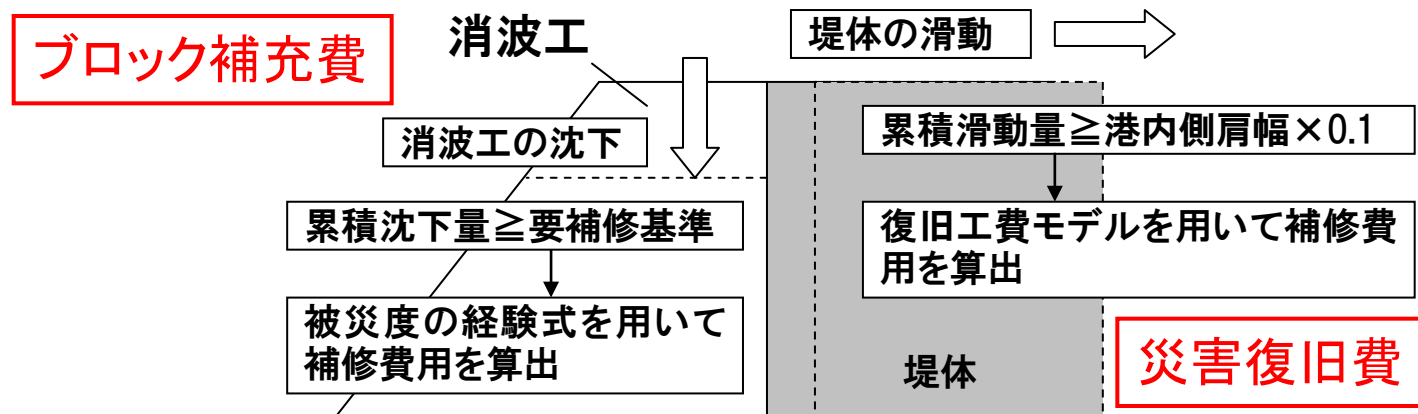
- ✓波がケーソンに直接作用することによる波力の増大
- ✓部分被覆状態となり、衝撃碎波力が発生する可能性の増大

本研究では、消波ブロック被覆堤の経年的な変状のうち、消波ブロック天端の沈下を維持補修の対象とする。

モンテカルロ法による累積補修費の評価方法

消波ブロック被覆堤における補修費として以下の2つを設定する。

- ✓維持管理で定期的に発生するブロック補充費
- ✓大規模被災が発生した場合の災害復旧費

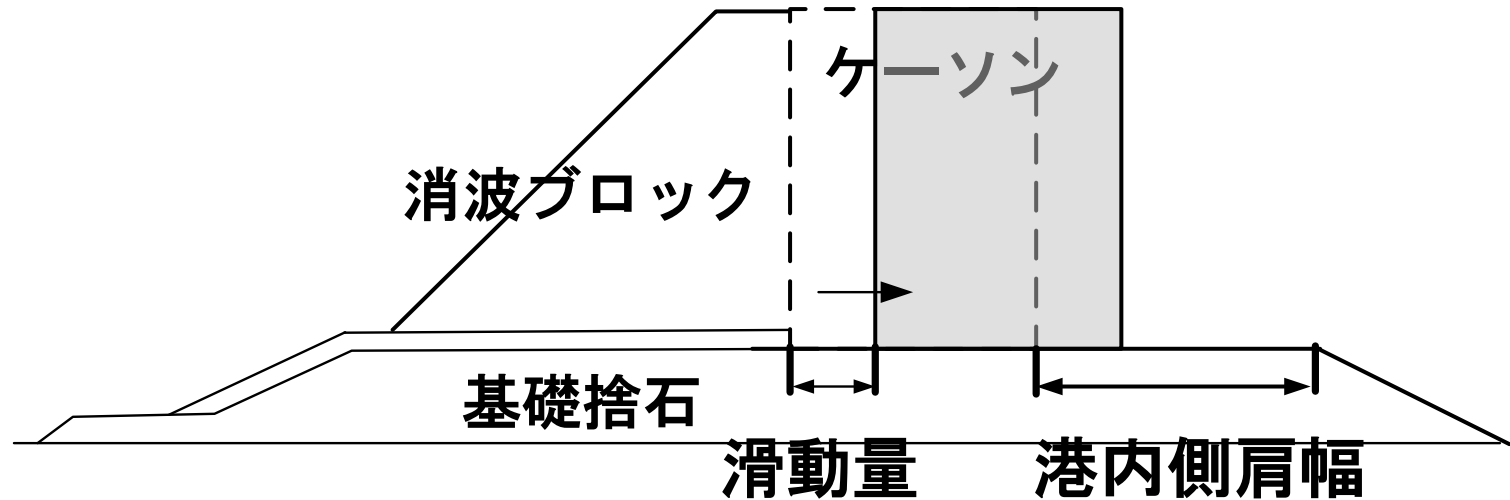


各補修基準における供用期間中の累積補修費を算出し、補修基準の違いによる累積補修費への影響を評価する。

本検討では、消波ブロック被覆堤の堤体の滑動変形量をモンテカルロ法により確率的に評価する手法を用いた。

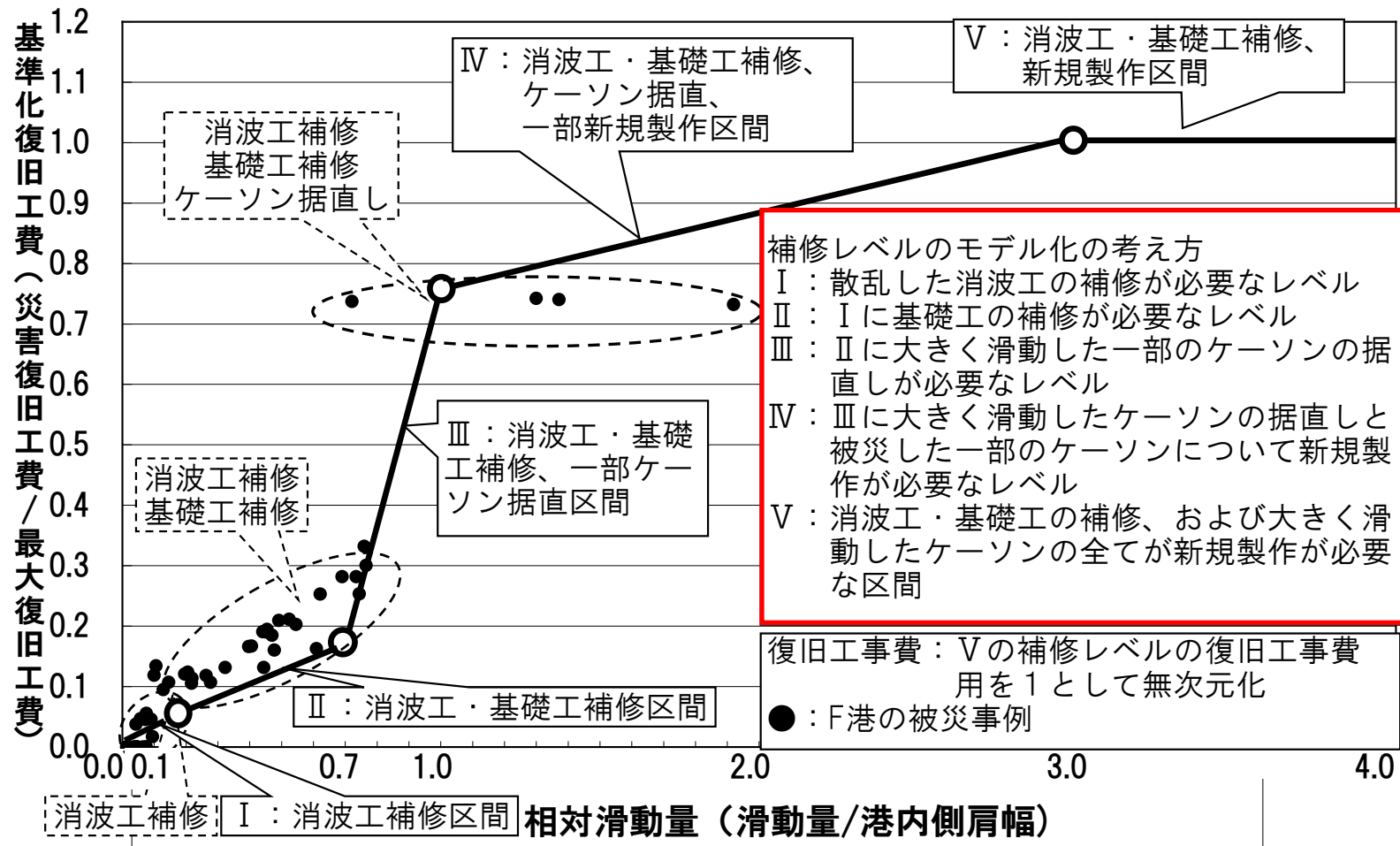
モンテカルロ法による累積補修費の評価方法

◆相対滑動量とは



$$\text{相対滑動量} = \text{滑動量} / \text{港内側肩幅}$$

モンテカルロ法による累積補修費の評価方法



◆災害復旧費は被災時の堤体滑動量の関数として定義し、5つの補修レベルを設定した。

モンテカルロ法による累積補修費の評価方法

◆ブロック補充費の算出

相対滑動量が0.1未満の場合に発生

①, ②より算出される累積沈下量が補修基準を上回る場合に、消波ブロックの新規製作・据付費を補修費として計上する。

①下記の式より算定される被災度より、消波ブロックの沈下量を算出

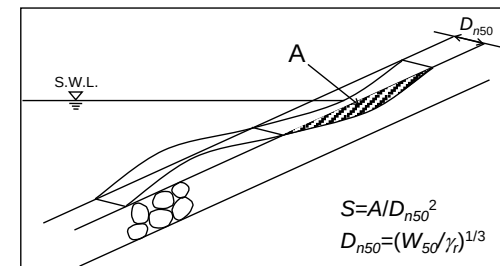
高橋ら(1998)が提案する安定数算定式

$$N_s = \frac{H_{1/3}}{(S_r - 1)D_n} = C_H \cdot \{a(N_0 / N^{0.5})^c + b\}$$

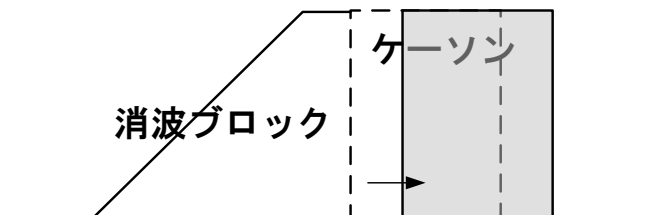
N_s : 安定数 N_0 : 被災度 D_n : 代表径(体積の3乗根)

C_H : 碎波効果係数 N : 波の数 a, b : 定数

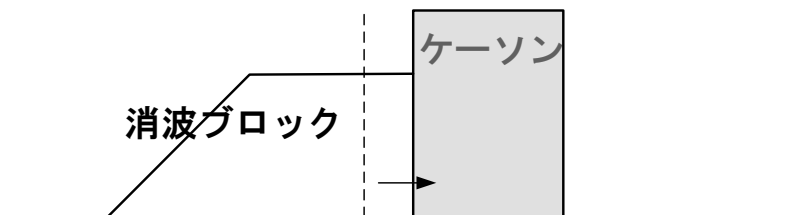
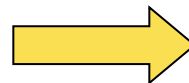
参考(被覆石の被災度)



②堤体の滑動によるブロック沈下量を算出



ケーソンの滑動

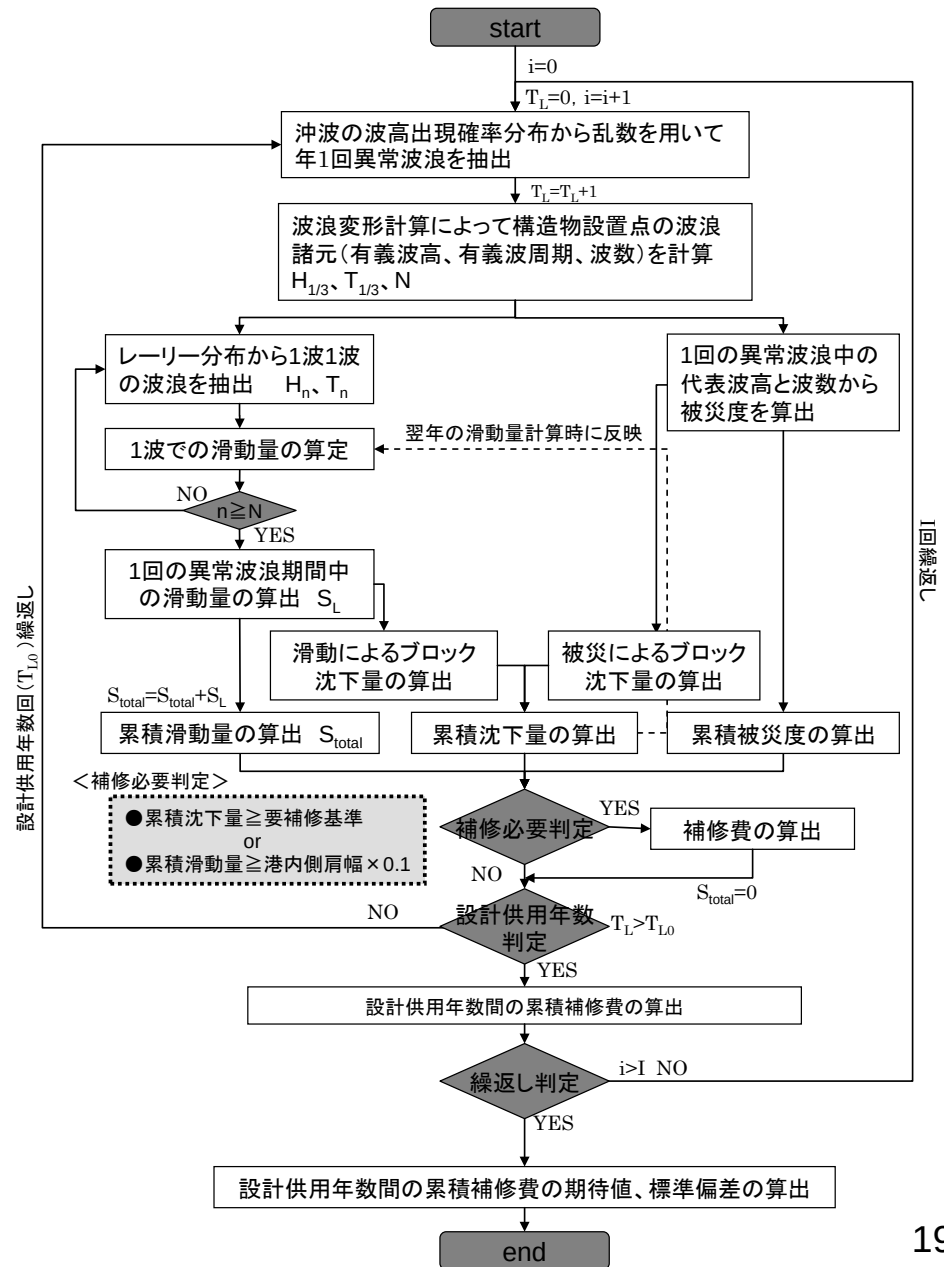


消波ブロックの沈下

モンテカルロ法による累積補修費の評価方法

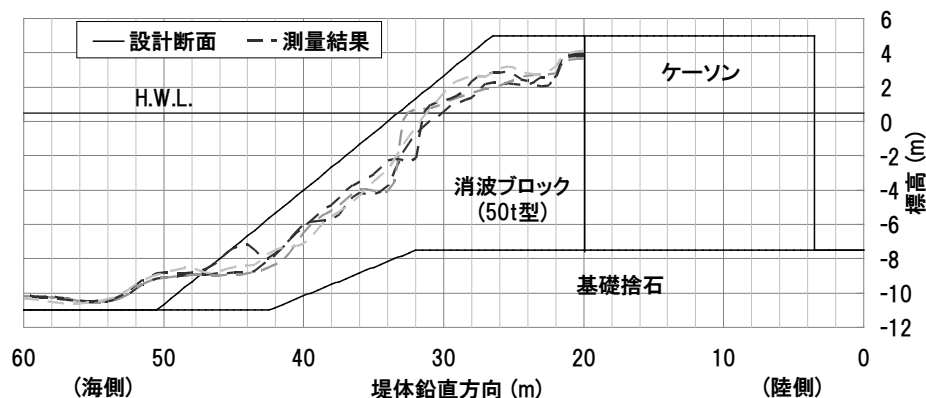
- ✓年1回の異常波浪に対する堤体の滑動量・消波ブロックの沈下量を算出
- ✓相対累積滑動量が0.1を超える場合
→災害復旧費を累積補修費に計上
- ✓累積沈下量が補修基準を上回る場合
→ブロック補充費を累積補修費に計上
- ✓設計供用年数間(50年間)繰返し, 50,000回の試行を繰返し, 累積補修費の期待値, 標準偏差を算出

消波ブロックの補修基準として, ブロック0.5個・1個・1.5個・2個の沈下量を設定した.

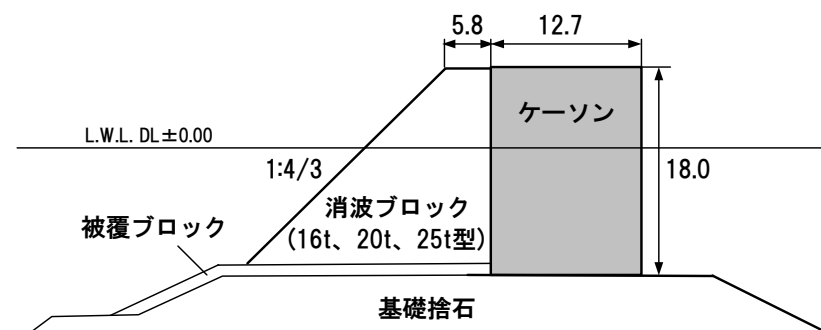


解析条件

解析ケース及び解析条件



解析対象断面(A港)

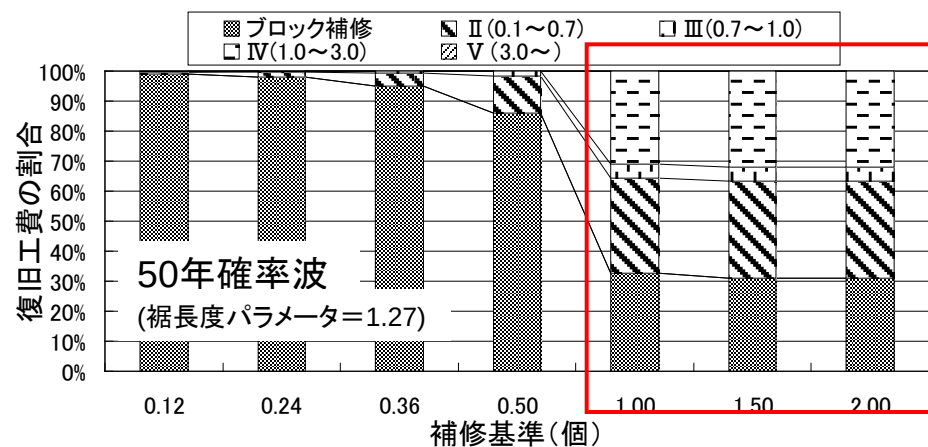
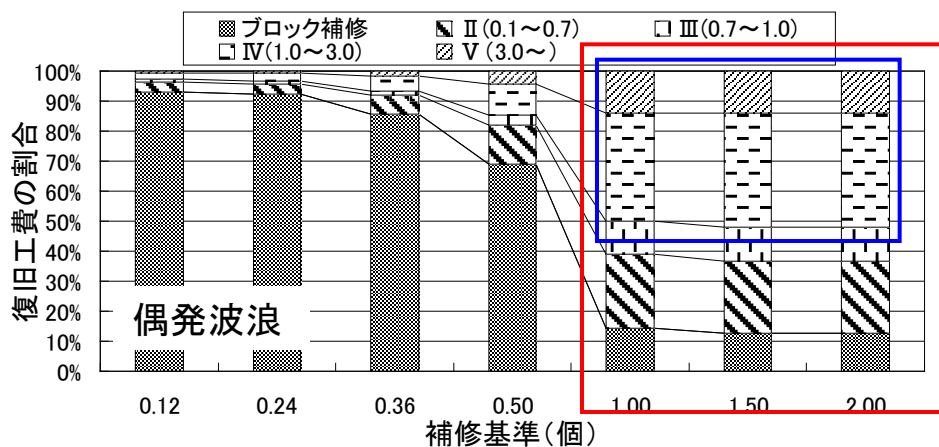
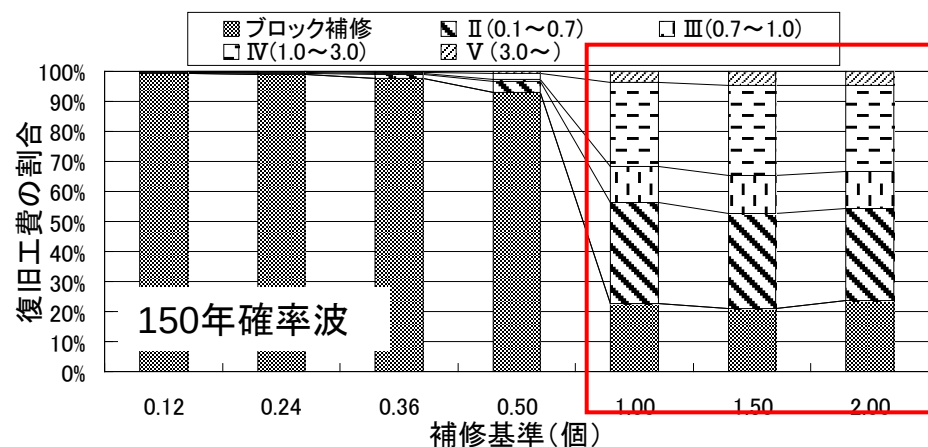
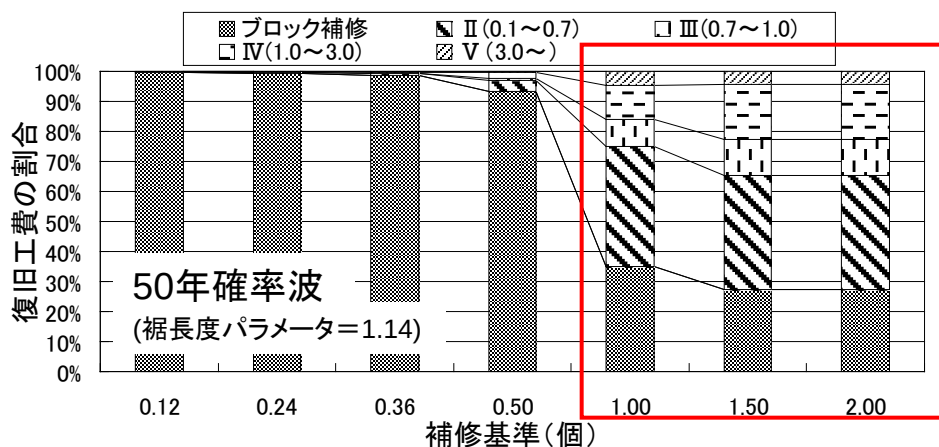


解析対象断面(S港)

✓A港については、確率波浪の再現年数、偶発波浪による周期の増大および確率分布の裾野形状の相違が累積補修費に及ぼす影響を評価する。

✓S港については、消波ブロックの規格を3種類変化させたケースを解析することで、ブロック重量が累積補修費に及ぼす影響を評価する。

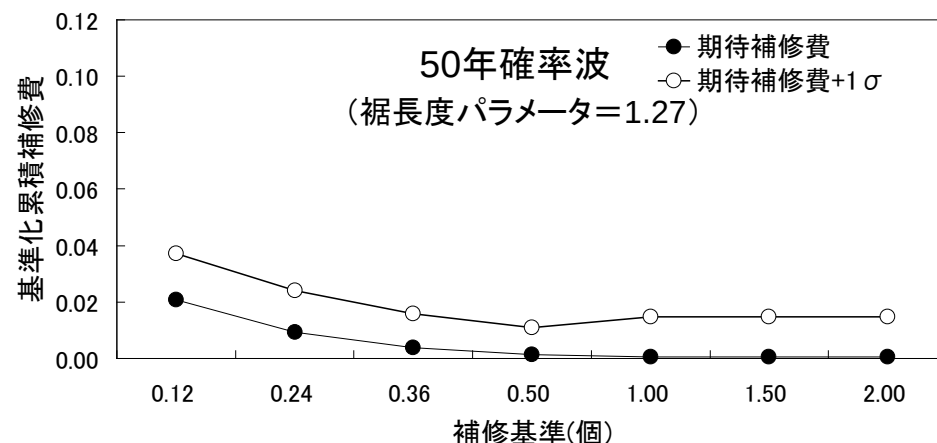
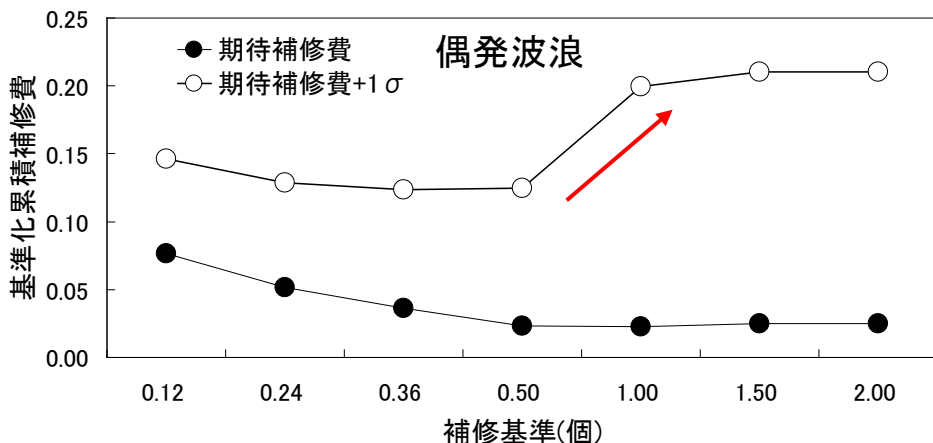
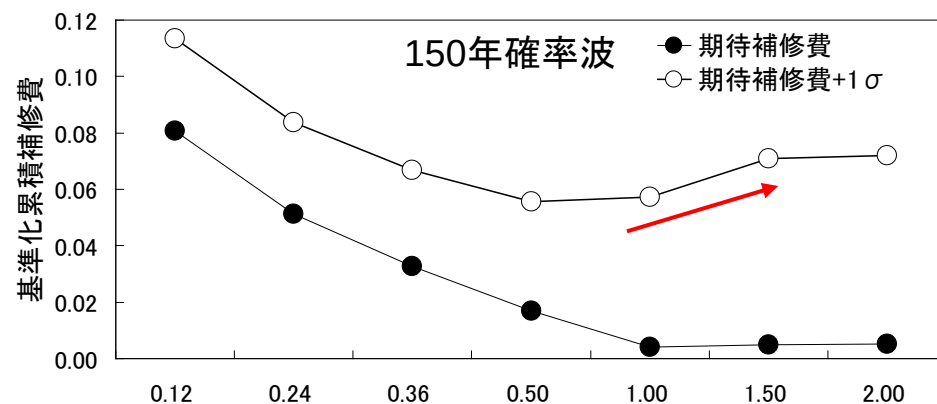
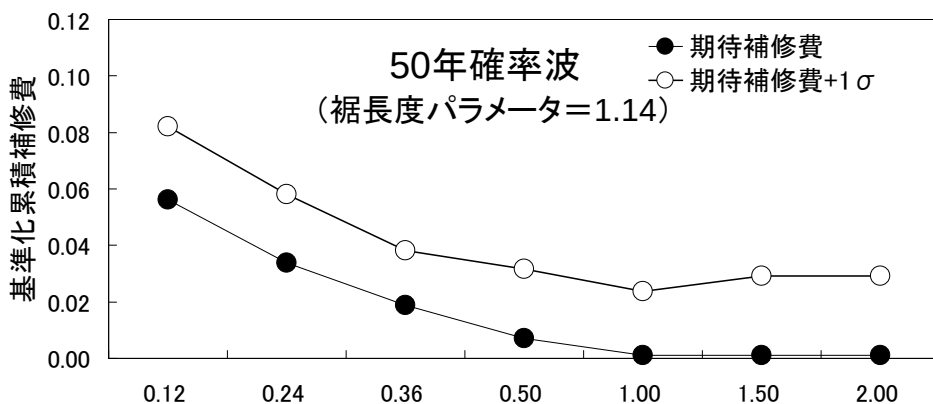
解析結果及び考察（A港）



✓補修基準が1.0個以上になると、期待補修費における災害復旧費の割合が急増する。

✓偶発波浪時には、他のケースよりも大規模被災（被災レベルIV以上）が生じる確率が高くなる。

解析結果及び考察（A港）



✓ブロック0.5個～1個分で継続的に補修する場合に期待補修費が最小となる。

✓過度のブロック補修(0.5個未満)は合理的でないことがわかる。

✓波浪周期の増加は著しい被災工費の増大を招く。

✓ブロック0.5～1個分より大きい補修基準を設定すると標準偏差(σ)が急増
→防波堤が大規模被災に至り、災害復旧費が著しく大きくなるケースが増加

大規模被災のリスクを低減するためには、こまめに消波ブロックの補修を行うことが有効的である

結 論

- 消波ブロック被覆堤を対象として，大規模被災時の復旧工費増大のリスクを考慮した上での適切な維持管理上の補修基準を評価できる手法を提案した．
- 今回の検討事例の解析結果からは，こまめにブロックの沈下補修（ブロック半個～1個程度）を行うことが期待補修費の最小化及び大規模被災時のリスク低減の観点から有効であることがわかった．
- 設計段階の選択として，ブロックを設計上必要とされる最小重量より重い規格とすることが合理的であることがわかった．