

港湾施設のライフサイクル関連技術の動向

港湾研究部長

小泉 哲也

港湾施設のライフサイクル関連技術の動向

港湾研究部長 小泉 哲也

1. はじめに

我が国の社会インフラの点検・維持管理について社会的関心が高まり、今後の更新時期を迎える施設の対策費の増大など、これまで以上に維持管理に関する取り組みが問われている。港湾施設は施設量の増加とともに、今後急速な老朽化の進展が見込まれていて、本年6月の港湾法一部改正により技術基準対象施設について定期的に点検を行うこと、点検の方法の詳細を省令で規定することとされる等、高齢化する港湾資産の増大への対応が一層重要課題となっている。

老朽化施設を長期にわたって有効に活用するためには、維持管理費用の最小化を図りつつ、実行可能な点検手法の検討が必要であるが、実態は、点検診断を実施するためのリソースの不足により、十分な点検が実施されず、安全性・機能性の確保ができなくなること、維持管理コストが増大することなどが懸念される。そこで、港湾施設の点検診断・補修等対策技術、ライフサイクルコスト(LCC)縮減等に関する研究、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など、港湾施設の維持管理の技術のあり方・今後の課題等について港湾政策との関連を踏まえつつ紹介する。

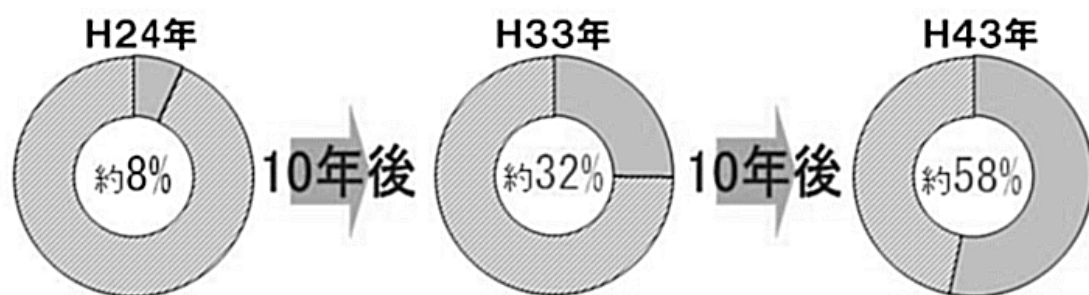


図-1. 1 建設後50年以上経過する岸壁の割合〔国土交通省港湾局調べ〕

母数：岸壁約5,000施設 ※※国際戦略港湾、国際拠点港湾、重要港湾、地方港湾の公共岸壁数（水深4.5m以深）



図－１．２ 栈橋上部工下面の状況
鉄筋の腐食によるコンクリートの剥離（提供：港空研）

２．港湾の施設の点検診断・維持管理に関する取り組み状況

２．１ 技術基準類の整備

（１）港湾施設の計画的かつ適切な維持管理の重要性の高まりを受け、港湾施設の維持管理については、交通政策審議会港湾分科会答申「安全で経済的な港湾施設の整備・維持管理システムのあり方について」（平成17年12月26日）の中で、

- ・維持・改良費用の最小化
- ・施設の安全性の確保（事故防止）
- ・既存の港湾施設の点検診断の強化，計画的な維持修繕の実施による施設のライフサイクルの延命化が必要
- ・港湾施設の計画的な維持補修を実施するための点検診断計画及び維持補修計画の策定，これらに基づく港湾施設の適切な維持管理の推進等の方針が示された。

（２）これを受け、国土交通省港湾局では、港湾施設の計画的かつ適切な維持管理を推進するため、平成19年4月に「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」（技術基準省令）を改正し、「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）を整備し、以下のように規定した。

- ・技術基準対象施設は、定期点検診断，補修方法などを示した維持管理計画に基づき適切に維持されるものとする。（省令）
- ・技術基準対象施設の維持に当たっては，施設の損傷，劣化その他の変状についての点検及び診断並びにその結果に基づく施設全体の維持にかかる総合的な評価を適切に行った上で，必要な維持工事を適切に行うものとする。（省令）
- ・維持管理計画等は設置者が定めることを標準とする。（告示）

- ・維持管理計画等に定める事項，その他の基本的事項．（告示）
- ・専門技術者の適切な関与の下で維持管理を計画，実施すること．（告示）
- ・施設の建設等の許可申請・届け出に当たって，維持管理の方法を明示すること．（告示）

（「技術基準対象施設」は，水域施設（航路等），外郭施設（防波堤等），係留施設（岸壁）等11施設が規定されている．）

（3）維持管理計画書の作成や維持管理業務に当たっての技術的支援として，平成19年10月に「港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き」（以下単に「手引き」．）及び「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」（以下単に「維持管理マニュアル」．）を作成している．

手引きでは，技術基準対象施設のうち，港湾の代表的な6種類の構造形式（横桟橋，矢板式係船岸，重力式係船岸，重力式防波堤，泊地，P C箱桁橋）と，小規模施設を対象に，維持管理計画書の作成例とその作成に当たっての留意点として，対象施設の維持管理の前提条件を設定（維持管理レベルの設定等），点検診断計画（日常点検，一般定期点検診断，詳細定期点検診断，一般臨時点検診断等），異常時における点検診断（過大な外力が作用した場合や施設に突発型の変状が発生した可能性がある場合に実施する臨時の点検診断），や総合評価，補修・経過観察等の維持管理に関する方針，維持工事等の必要性の検討，維持補修計画等の実施方針がまとめられている．

維持管理マニュアルは，予防保全の考えを導入した港湾の施設のライフサイクルマネジメントを実現するため，施設別あるいは構造形式別にその必要な点検診断技術，評価技術，変状の進行予測技術，対策技術について取りまとめたものである．

（4）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（CDIT）の創設等研修・資格制度を整え専門技術者の育成を促進している．

（5）平成20年度に，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し，既存の国有港湾施設について，国による長寿命化計画の策定，港湾管理者が所有する既存の港湾施設について，港湾管理者による長寿命化計画の策定に対する支援等を行ってきた．

その他，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，国有港湾施設の実地監査の実施（国有港湾施設の維持管理状況のチェック），選択と集中による維持・改良投資の重点化を行っている．

2. 2 定期点検の規定化

昨今の維持管理への社会的要請を受けて，本年港湾法の一部改正（6月5日公布）を行った．

第56条の2の2 技術基準対象施設の維持は，定期的に点検を行うこと

- ・定期点検の方法等は省令で規定（6ヶ月以内）
- ・点検の方法等の詳細についてはガイドラインで規定

これを受け、港湾施設の点検内容や頻度等の考え方を示す新たな基準(点検ガイドライン)及び民間事業者の港湾施設の維持管理状況の確認方法の検討を行う検討会を設置している。

また、東日本大震災では、地震により被災した港湾施設から隣接する航路に土砂が流出し、船舶の航行が制限されたことから、大規模地震時にも緊急物資輸送が可能となるように、港湾施設の適切な維持管理が必要であることから、今回の一部改正で、特定技術基準対象施設の維持管理の状況に関する勧告・命令、報告徴収・立入検査を規定した。

第 56 条の 2 の 21 民間事業者の施設の維持管理状況に関する勧告・命令

第 56 条の 5 民間事業者の施設の維持管理に関する報告徴収・立入検査

- ・ 特定技術基準対象施設は省令で規定（一年以内）

- ・ 検査の方法等の詳細についてはガイドラインで規定

（特定技術基準対象施設：技術基準対象施設であって、外郭施設のその他の非常災害により損壊した場合において船舶の交通に支障を及ぼすおそれのあるものとして国土交通省令で定めるもの。）

3. 維持管理に関連する技術開発のあり方

3.1 検討の視点

構造物の維持管理・長寿命化は、その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）で考慮されるものである。港湾施設の設計供用期間は、50年間を設定することを標準としているが、施設の性能の観点から決定されるライフサイクル（物理的耐用年数）だけでなく、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（機能的耐用年数）の考え方もある。

各フェーズにおける視点は以下の通りである。

(1) 計画・設計段階における維持管理の費用削減・効率化

計画・設計段階から点検診断の効率性向上や劣化抑制の工夫を施すことで、LCCの低減を図ることが可能となる。

(2) 点検診断の信頼性向上・効率化

継続的な状態把握は維持管理の根幹であり、点検の信頼性向上や、継続性確保のための低コスト化などの取り組みが必要である。

(3) 維持管理計画の現実性・具体性の向上

維持管理計画策定の基本的考え方については、「港湾の施設の維持管理計画作成の手引き」等の資料があるが、今後はさらに内容の精度向上や具体的な運用を実現するための取り組みが必要である。

(4) 劣化対策・長寿命化を図るための補修・補強

既往のマニュアル類で紹介されている一般的な工法のほか、現在開発・導入が進め

られている工法も増加している。これらの技術を積極的に活用し、より低コストかつ確実性の高い補修・補強に取り組む必要がある。

(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

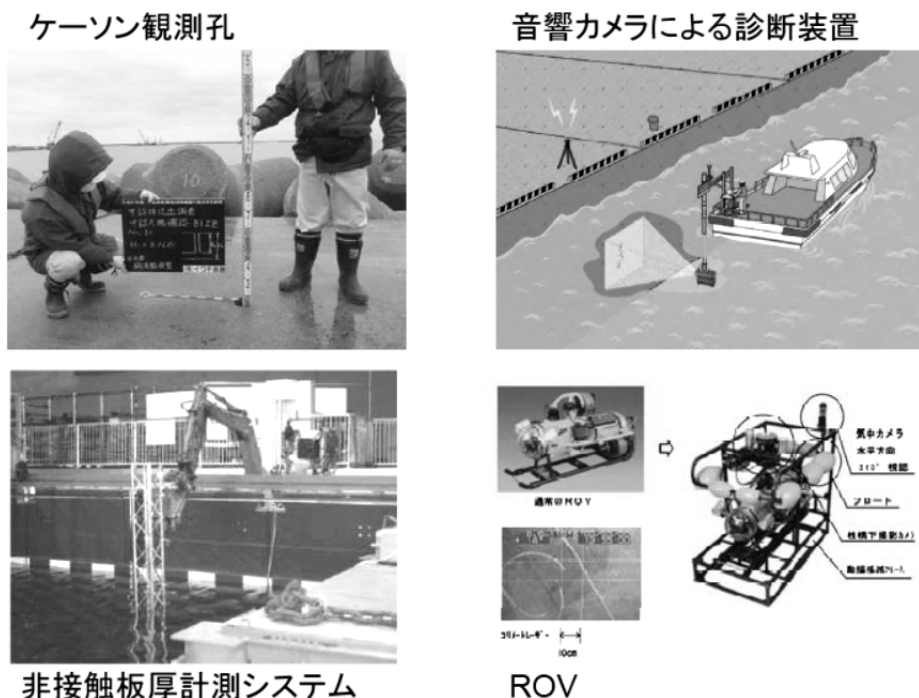
建設からの期間が経過し、物理的または社会的に耐用年数を迎えた施設について、既存施設を活かした機能維持・向上を図る視点が今後一層必要となる。

3. 2 港湾におけるこれまでの取り組み

港湾関連の新たな技術開発・導入の取り組みとしては、ケーソン式防波堤の上部コンクリート、蓋コンクリートに削孔を行って、隔室内の中詰砂の観測孔を設置し、空洞の有無を調査（棒等でケーソンの中詰砂の高さを計測）（※なお、事業中の施設は発注時にさや管を挿入済である。）の実施を行っている。外郭施設、係留施設に対しては音響カメラを用いた港湾構造物水中部劣化診断装置を開発して、矢板本体の水中部点検は潜士による目視監察が主であるが、濁りなどにより必ずしも効率的な作業となっていない為、濁りなどの影響を受けない音響カメラを用いた点検診断を行える装置を開発した。

鋼矢板岸壁の板厚測定は、潜士が付着海生物を除去し、測定表面を磨いて超音波探触子を測定部位に密着させて行っている。また、除去した付着海生物は産業廃棄物として回収処分が義務付けられている。このため、海水中の鋼構造物の表面に付着しているカキや海草等の海生生物を除去することなく、非接触で板厚計測ができる計測システムを開発中である。

港湾構造物の水中部の点検におけるROV（自航式ロボット）の活用について開発・検討が進められている。



図－3. 1 推計手法のイメージ

3. 3 点検診断に代替する技術

現在一般的に実施されている点検診断手法（「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」において提示されている標準的な定期点検診断手法）を効率化・高質化する技術が多数開発されている。

特に多い技術はコンクリート部材に対する調査技術であり、橋梁等における実績も持ち合わせている。コンクリートの調査技術は大きくは、(1)画像データによる変状の記録、(2)外観では確認が困難な変状の内部確認 及び(3)コンクリート試験 に関する技術に分類できる。

(1)画像データによる変状の記録では、ひび割れ等の変状の位置及び規模をカメラ画像等により取得するものであり、現地におけるスケッチ作業の簡略化や直接の寸法計測が困難な位置にある部材の記録に有効である。

(2)外観では確認が困難な変状の内部確認については、ひび割れ深さや内部への水の浸透状況などを確認することが可能であり、はつり調査などと比較して短工期かつ部材への影響を最小限とした調査が可能となる。

(3)コンクリート試験に関する技術は、現地で分析を行うことが可能な方法や、通常の方法では試料採取に手間がかかる位置におけるサンプリングや継続的な状態監視に関するものがある。

しかし、それらの活用については、例えば栈橋上部工の調査のように港湾施設特有の条件下における適用可能性及び必要性、経済性を勘案すると現時点においては特殊な条件での部分的活用に限られるものと考えられる。

ただし、海底地盤の調査に適用可能なナローマルチビームはすでに多くの適用事例があり、潜水調査と組み合わせることによる大きな成果が期待できる。ナローマルチビームを使用した場合、海底形状を三次元データとして取得することで設計断面に対する変化や変状箇所を視覚的に確認することが可能である。潜水調査に先駆けてナローマルチビームによる調査を実施することで、潜水調査における重点調査範囲を明確にすることができる。特に、第一線防波堤の前面など海象条件が比較的厳しい範囲の調査においては潜水作業の安全性を高めることにもつながる。

また、鋼材の調査方法については一般的な調査に代替する技術は現時点ではほとんど無いが、港空研等が研究中の技術として、非接触型肉厚測定装置やROV（遠隔操作無人探査機）がある。これらの技術は、現在一般的に適用されている潜水調査や肉厚調査を効率化するものであり、点検費用の削減効果を期待することができる。しかし、鋼材については局部腐食の兆候や矢板の開き等、潜水土による詳細な目視が必要な変状もあるため、両者を効果的に組み合わせた調査計画が必要となる。

3. 4 補修に関する技術

補修に関する技術としては、コンクリートの塩害劣化抑制に関するものが多い。特に電気防食工法や表面被覆材・表面含浸材について多様である。

電気防食については、工法ごとに設置方法や陽極材等が異なり、設置条件や規模に

応じた比較検討が必要である。また、被覆防食及び表面含浸材についても、所定の品質規格値にプラスアルファした性能が各製品に付与されており、現場条件を踏まえた施工性・経済性・耐久性等について比較検討を行う必要がある。

また、車止め等の製品や鋼材被覆防食の耐久性を向上させた製品が開発されている。

コスト面では、電気防食のように比較的イニシャルコストが高いもののLCCにおける他の工法に対する優位性を強調しているもの、他の製品に対して耐久性を向上させることによりLCCを優位としているものなどがある。

また、電気防食については、施工規模により単位数量当たりの単価が異なることから、施工条件によっては従来工法に対して経済性が不利となる場合がある。

ただし、これらの技術は、今も技術開発が継続されており、材料・施工コストは絶えず変化している状況にある。たとえば、コンクリート部材の電気防食については、陽極材の品質や取付方法の改善や流電陽極方式の開発など、次々と新しい製品が登場している。また、これらの取組によって施工コストや工期・耐久性も向上している。このため、新技術を活用した補修工法の検討にあたっては、最新の施工事例調査やヒアリング等により費用・特徴について把握する必要がある。

特に、港湾分野においては、コストインパクトの大きな土木構造物、特にコンクリート部材の補修費用の削減が特に求められるものであり、電気防食や表面被覆材など塩害対策については、引き続き研究開発を進めるべき分野であると考えられる。

3. 5 新技術開発・普及の課題及び今後の方向性

開発中の技術を含む新技術について、ライフサイクルの各フェーズにおいて様々な新技術の開発・適用が進められている中、港湾施設の現況や今後の見通しを踏まえ、新技術の実用化及び更なる普及に向けた主な課題及び今後の方向性は以下のように考えられる。

(1) 汎用性の高い技術の開発

地方の港湾においては、水深－4.5m程度の栈橋など、比較的小規模な岸壁が地域の漁業・産業と密接に関連した高頻度の利用をされている場合がある。これらの施設は、老朽化が進んでいるものの利用頻度が高く、補修工事の施工が困難となっている場合がある。

このような施設に対しては、劣化抑制対策や非破壊調査技術等の新技術に対する要請が高いものと考えられる。しかし、現在の新技術は、大規模施設に対してスケールメリットを活かして経済性を有利としている場合が多い。また、地方部には新技術を取り扱うことのできる技術者も少ない。

今後はこのような地方部の小規模構造物に対しても適用できる汎用性の高い技術の開発が必要である。

(2) 点検診断の精度向上

老朽化リスクの低減や維持管理計画・予算計画の精度向上を図るためには、点検診断の精度を向上させ、危険個所の早期発見・補修範囲の正確な把握を可能とする点検

診断技術の開発・導入が望まれる。港湾構造物の場合、利用面や設置環境の面から調査における制約事項が多いため、迅速かつ正確・客観的な診断が可能な非破壊検査技術に対する要請は大きいものと考えられる。

(3) 未利用施設の維持管理手法

今後、国内の企業活動の再編等により、未利用岸壁が発生する可能性がある。岸壁の場合、廃止となった場合でも継続的に維持する必要があるため、最小限の費用で長期供用を図るための工法の検討が必要である。

3. 6 新技術の開発・普及を促進するための方向性

(1) 新技術の実証フィールドの積極的提供

新たな技術を育成するためには、実際の施工・調査条件における検証が不可欠である。老朽化が進行しており、かつ利用頻度の少ない岸壁などをフィールドとして提供する等、施設管理者側からの積極的な取り組みが必要である。

(2) 優良な技術を適切に選択するための仕組みの構築

新技術には類似した技術が多く存在する分野があるが、その性能にはバラつきがある場合がある。その中でも優良な技術を選択し、品質の向上を促すような発注の仕組みを構築する必要がある。

(3) 技術情報の共有

新技術の性能・信頼性を向上するために実証実験や実際の構造物への適用を積み重ねることが必要である。また、設計・施工に関する事例についても集積・共有することで新技術に関する設計・積算の効率化を進めることができる。

新技術が積極的に適用されるためには、一般的な技術や工法と同程度の技術情報・積算情報が公開されている必要がある。このような基本情報や、新技術の導入事例を点検診断技術者、設計・積算技術者間で共有できるようなデータベース等の仕組みづくりが必要である。

3. 7 技術開発のあり方

① 設計・診断・補修方法の改善

計画的かつ低コストで維持管理を進めるためには、設定した性能に対して適切な製品・工法を適用する必要がある。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。

- ・電気防食等の設計手法の再チェック
- ・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

将来的な港湾施設情報管理システムは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スィングルウィンドウ化により、維持管理情報の確実な登録・蓄積を実現すること、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共有可能とすること、国交省や港湾管理者など多様な階層の利用があるため、それぞれの利用目的に対応したデータ提供を可能とすること等の点が重要であると考えられる。

4. 港湾施設のライフサイクルコスト（LCC）推計プログラムの開発

港湾施設が有する機能・性能を満足するための適切な維持管理を目的に、将来の改良・更新コストを適切に把握するため、港湾施設のライフサイクルコスト推計に関するプログラムの開発及びライフサイクルコスト平準化技術の検討を行った。

4. 1 複合施設一括計算プログラムの検討

ライフサイクルコスト計算プログラムを、構造形式の異なる施設（栈橋、矢板式係船岸、重力式防波堤、航路・泊地、臨港道路橋の6施設）の一括計算が可能となるよう改良するため、データの出入力方法やプログラム機能付加などの改良手法について検討する。

b)劣化予測・LCC計算・・・「統合すべき処理」

劣化予測（マルコフ連鎖モデルによる方法）及びLCC計算については、施設種別・構造形式でその方法はおおむね同じである。

このため、各施設の計算処理機能を統合し、複数の種類の施設を一連で計算できるような統合プログラムを作成・搭載する。

4. 2 ライフサイクルコスト平準化技術の検討

(1)平準化手法の検討

検討期間内（最大50年）における港湾施設のライフサイクルコストの平準化（平準化とは、港湾、管理者、整備局等の広範囲を対象とし、検討期間内のライフサイクルコストのばらつきを年度ごとに均すことを指す）を行うための平準化手法を構築した。

1)平準化を実施する際に定める事項

補修費用の平準化を実施する際に定める事項として「(A)検討期間」「(B)事業優先順位」の2点がある。

ここで、「(A)検討期間」については、実施時期の調整は施設の状態が概ね変わらない範囲で行うことが望ましいことや、事業計画の見直し間隔などを考慮すると計画期間を5～10年ごとに区切って設定することが適切である。また、平準化の目安とする「計画予算」（投資可能な予算規模）は、「(A)検討期間」ごとに設定するものとした。

「(B)事業優先順位」については、優先度の高い施設としては以下(a)～(c)が考えら

れ、これらの施設が選択される方法を検討した。

- (a) 性能が低下し、安全性・使用性に支障がある施設
- (b) 性能低下による港湾活動への影響が大きな施設
- (c) 早期対策によりLCC削減を図ることができる施設

2) 平準化の検討規模

平準化手法は、平準化に必要なデータの収集・入力や処理等を簡潔かつ効率的に実施できるような手法を適用する必要がある。

3) 幅広い視点から平準化・優先度評価手法を検討

「経済性分析による方法」は、事業の優先度を貨幣価値（経済的指標）で定量的に評価する方法である。また、社会資本のアセットマネジメントにおいて目指すところは、最終的には「便益の最大化」、その前段階として「LCCの最小化」がある。優先度評価項目・評価手法、平準化手法に関する分析を行った。

このことから、補修事業の集中がみられた場合には、これらの目的実現に関する効果が高い事業を優先すべきであると考えられる。すなわち、事業の優先度は「便益の規模」や「LCCの削減効果」を指標として評価することが望ましい。

4. 3 港湾施設の優先度評価において考慮すべき事項

平準化を実施する際、優先して実施する事業を適切に選択する必要がある。ここで、港湾施設においては主に以下に示すような施設を優先する必要があるものと考えられる。

- ・現時点で施設の安全性が低下している施設（老朽化リスク低減）
- ・老朽化等により施設の供用が制限された場合、港湾活動に多大な影響を及ぼす施設（老朽化リスク低減）
- ・放置した場合、莫大な補修コストとなるおそれがある施設（ライフサイクルコスト最小化）

港湾施設の優先度評価手法を検討する場合、港湾施設特有の問題について考慮する必要がある。港湾施設の優先度評価において考慮すべき事項を以下に示す。

① 港湾施設の社会的耐用年数

港湾施設は、社会情勢・背後産業の動向などに応じて、部材の物理的耐用年数に到達する前に陳腐化したり、港湾計画に基づく廃止転用により供用期間に変更が加えられる場合がある。このように、社会的耐用年数を考慮した施設の評価を行う必要がある。

② 港湾施設のネットワーク

港湾施設はその機能を単体で発揮するのではなく、岸壁・上屋・ヤード・荷役機械及び臨港交通施設を含めたネットワークで機能する。このため、事業実施のタイミングは関連施設の事業実施時期全体を考慮して設定する必要がある。

③ 多様な管理主体への対応

港湾施設の補修事業に関与するのは、各港・地域の事務所、地方整備局、本省のよ

うに階層的に存在している。このため、港湾・地域・国内どの検討規模においても整合のとれた、かつ効率的に運用可能な手法・アウトプットとする必要がある。

4. 4 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のもと、現時点で入手可能なデータを用いた推計手法を検討した。ここで、マクロレベルでの補修費用推計方法として、以下に示す2通りが考えられる。

- A) 年平均費用を設定し、経常的な費用として（計算期間内の一定額として）計上する。
- B) 建設後一定期間が経過するごとに、設定した費用を計上する。

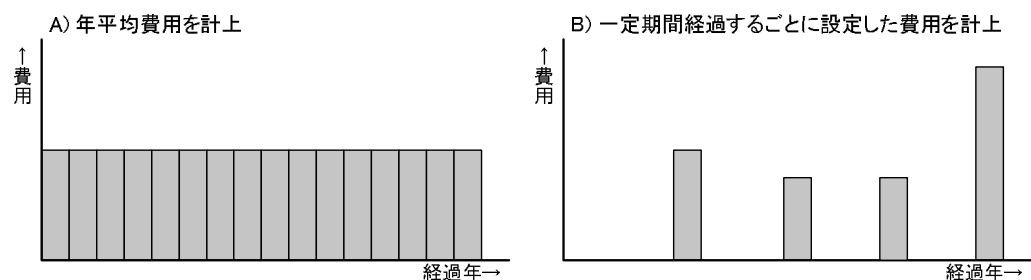


図-4. 1 推計手法のイメージ

A)の方法は、事後保全中心で各施設に対して適宜対策を行う道路舗装などの施設に対して適用する。これらの施設は、補修時期や費用も大きくばらつき、それらの費用を合算すると結果的に計画期間内で概ね一定額となることから、推計時は年平均費用を便宜的に定めたとしても、全体から見れば大きな差は生じないものとみなすものである。

B)の方法は、計画期間内に何回かの大規模な補修を行う岸壁や荷役機械などの施設に対して適用する。この場合、計画期間内に費用の大きな「ヤマ」ができ、建設年や施設の諸元、対象部材の劣化特性に応じてその時期も異なる。そしてこの「ヤマ」が集中した場合、補修費用全体の「ヤマ」となる場合もある。

ただし、各施設についてこれらの補修時期を設定することは効率的でないため、構造形式などに基づいて一律の補修シナリオを設定して計算することとした。

なお、本LCC計算プログラムについては、国土技術政策総合研究所港湾研究部のホームページにて、公開している。

4. 5 技術基準対象施設の維持補修費用の推計結果

推計対象施設の維持管理費用の推計結果を図-4. 2に示す。特にコストインパクトが大きな施設は防波堤、岸壁・栈橋に代表される土木施設と、荷役機械である。これらの施設のLCC低減の可能性は、以下のように考えられる。

1) 防波堤

防波堤の場合、現状では波浪等の比較的大きな外力の作用による中間型・突発型の

変状に対する補修が中心であり，これらに対して予防保全的にLCCを低減するといった対応は難しい．ただ，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し，一定の管理水準を確保するための検討が必要である．

2) 岸壁・栈橋

岸壁・栈橋の場合，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である．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も進めるとともに，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である．

3) 荷役機械

電気・機械設備の場合，関連装置等の耐用年数やメーカーの在庫所有期間などの理由から，あらかじめ定めた周期での更新を中心とした維持管理を行う．特に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である．

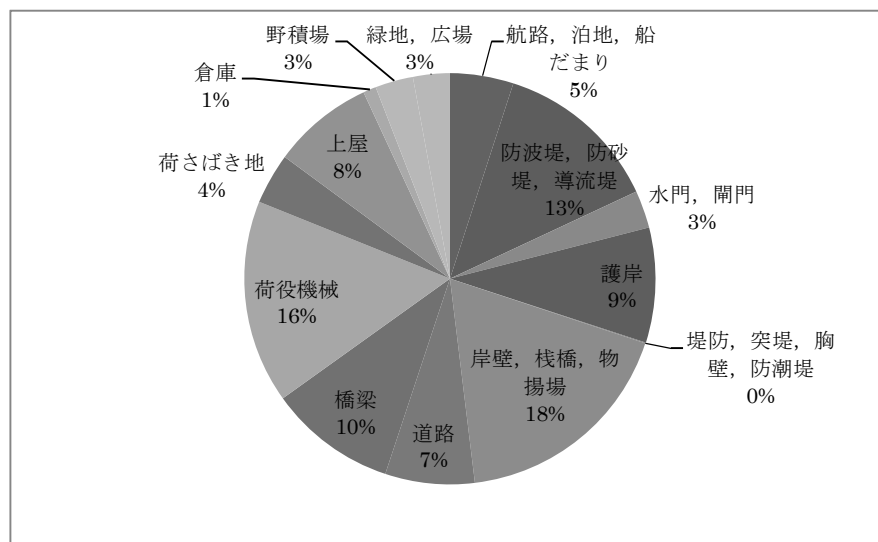


図-4.2 平準化の実施イメージ

しかし，特に費用の大きなクレーン本体の更新費用の削減に向けては，こまめに塗装の修繕を行い本体の腐食を抑制し耐用年数の延伸を図ることや，高耐久性の塗装を使用して，供用期間中の塗装の塗り替え回数を削減する等の方策が考えられる．

5. 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

5.1 研究の目的

消波ブロック被覆堤の維持管理において，経年的に進行する消波ブロック天端の沈下は波力の増大を招き，大規模被災の発生につながるので，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。

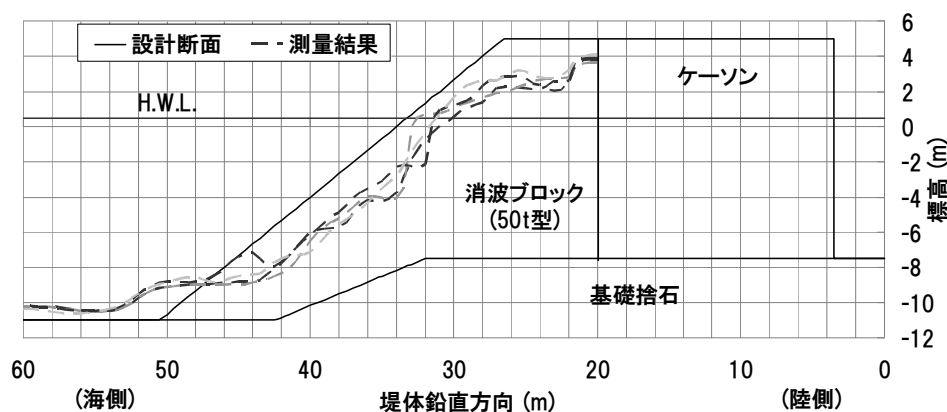
しかしながら、消波ブロックの定量的な補修基準が定められておらず、ブロックの沈下等の軽微な補修への対応は積極的に為されていない。

消波ブロック被覆堤の補修基準について、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とともに、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し、定量的に評価できる手法を提案するものである。

5. 2 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程度沈下すると、波がケーソンに直接作用することによる波力の増大や、部分被覆状態となり、衝撃砕波力が発生する可能性の増大等のリスクが生じる。

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。



図－5. 1 消波ブロック被覆堤の変状調査結果の一例

5. 3 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、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の2つを設定する。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ため、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。

相対滑動量が0.7程度を越えるとケーソンの据直しが急増し、工費も急激に増大するという調査結果に基づいて、近年15年間の消波ブロック被覆堤の大規模被災時におけるケーソンの滑動量と復旧工費の調査結果よりモデル化を行った。

ブロック補充費

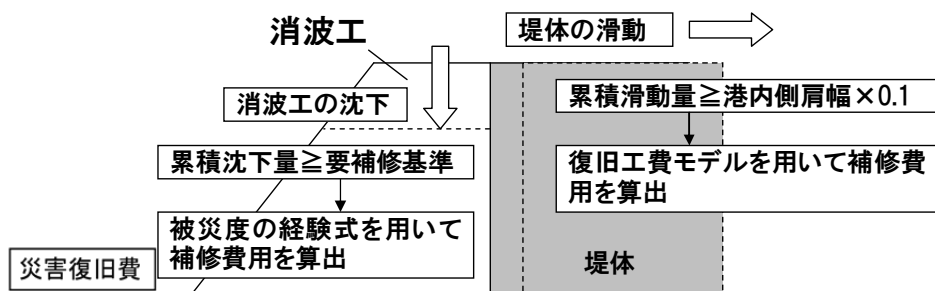
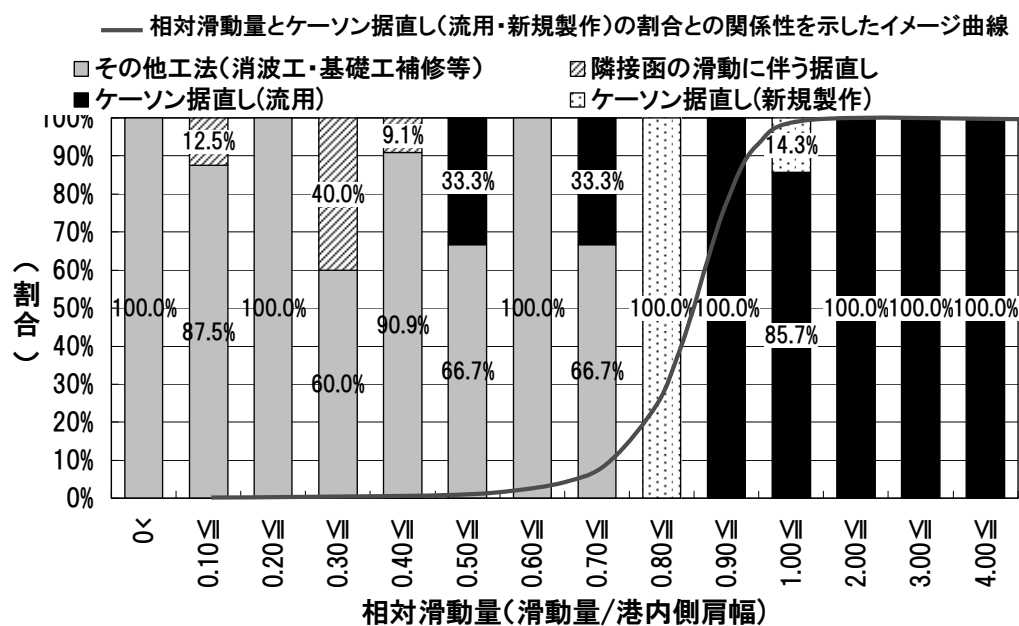


図-5. 2 設定した消波ブロック被覆堤の補修費



(相対滑動量とは 相対滑動量 = 滑動量 / 港内側肩幅)

図-5. 3 相対活動量とケ平準化のーソン据直しの関係

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。

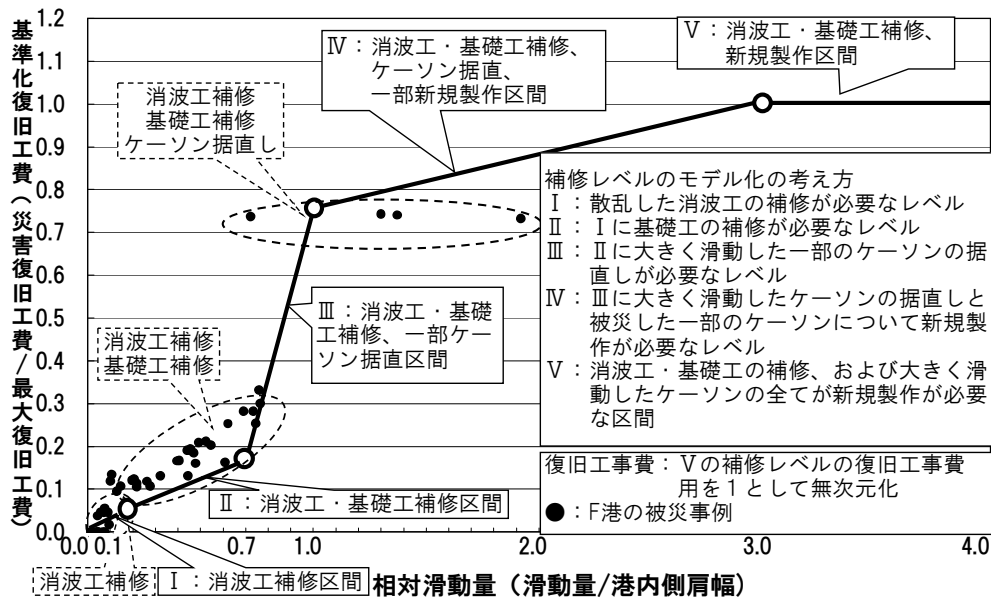


図-5. 4 補修レベルのモデル化

ブロック補充費の算出は、相対滑動量が0.1未満の場合に発生するものを、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

②堤体の滑動によるブロック沈下量を算出

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の算出については、相対累積滑動量が0.1を超える場合は、災害復旧費を累積補修費に計上し、累積沈下量が補修基準を上回る場合はブロック補充費を累積補修費に計上する。

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、標準偏差を算出する。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。

5. 4 解析条件

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。

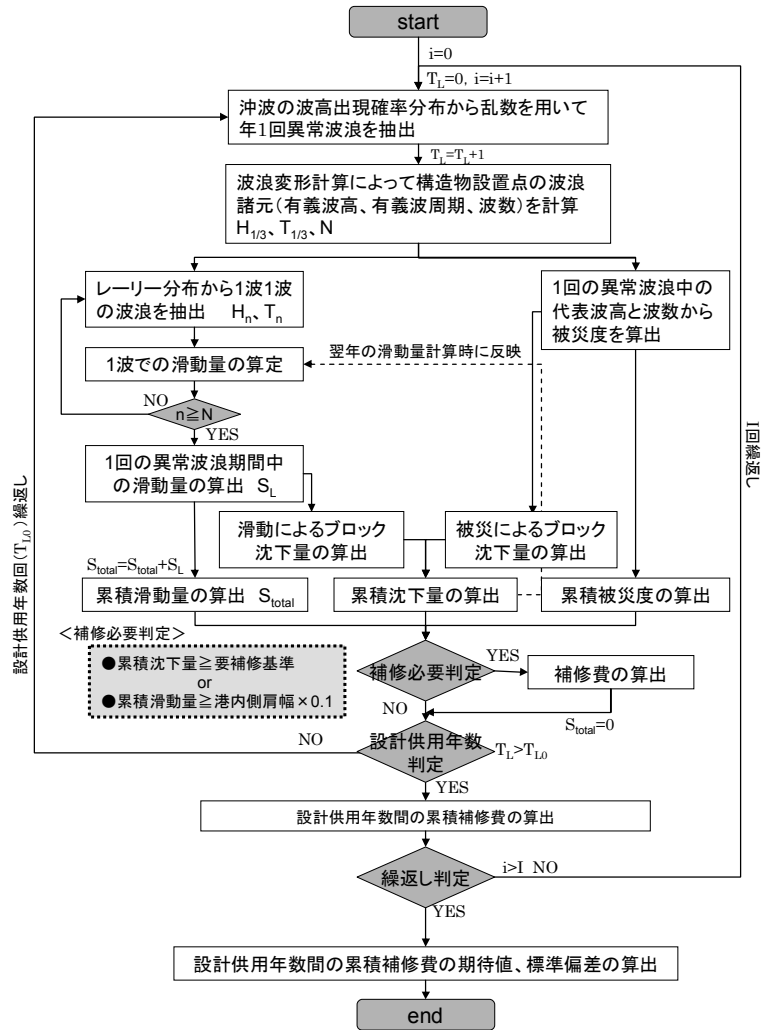


図-5. 5 補修費の算出フロー

5. 5 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。また、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。

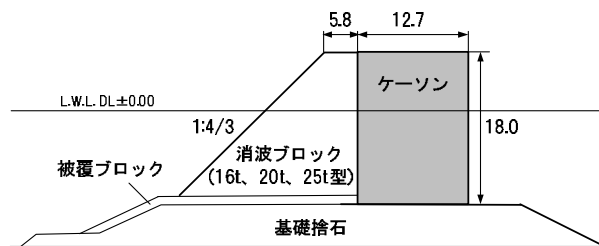


図-5. 6 解析対象断面（A港）

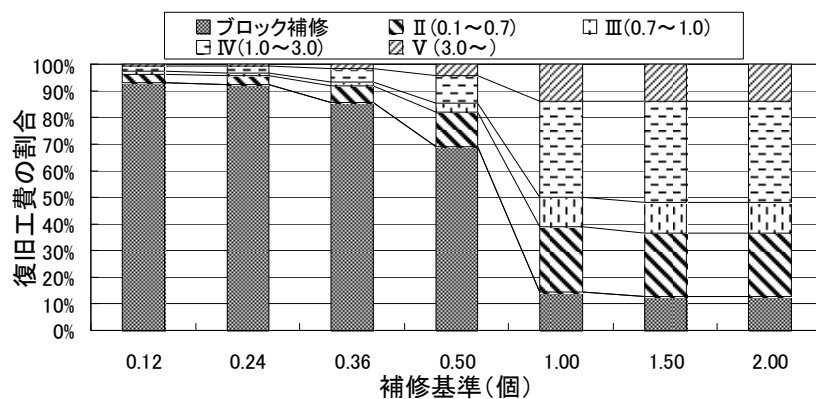


図-5. 7 偶発波浪の解析結果(A港)①

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ことも分かった。

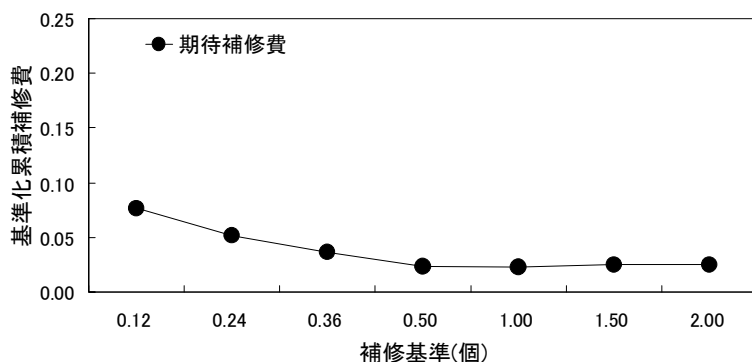


図-5. 8 偶発波浪の解析結果(A港)②

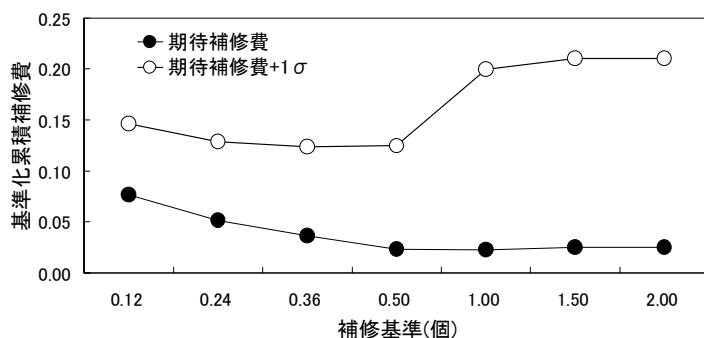


図-5. 9 偶発波浪の解析結果(A港)③

ブロック0.5～1個分より大きい補修基準を設定すると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し、標準偏差（ σ ）が急増する。

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

偶発波浪以外の波浪条件においては、補修基準を1個程度にすることが、期待値の低減、および災害復旧費の抑制の面から合理的である。

偶発波浪を考慮した場合には、補修基準0.5個を超えると災害復旧費が増大する危険性が著しく大きくなるため、より厳しい補修基準0.5個の選択が合理的となる。

5. 6 解析結果及び考察（S港）

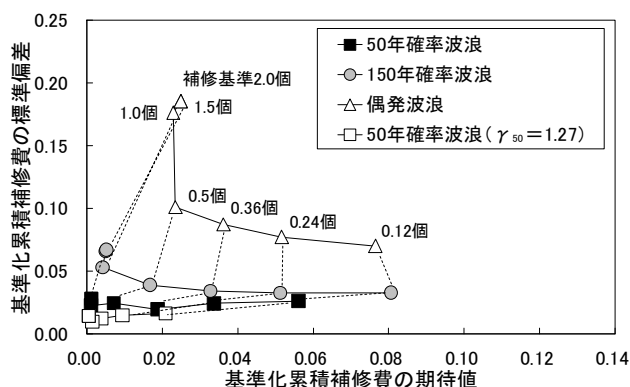


図-5. 10 偶発波浪の解析結果(S港)①

どの補修基準においても、ブロック重量の増加に伴い、累積補修費の期待値および標準偏差が小さくなる。

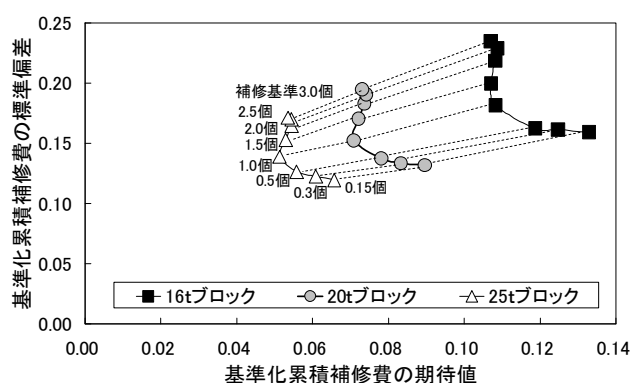


図-5. 11 偶発波浪の解析結果(S港)②

本断面の場合、ブロック重量の規格を2段階上げることにより、初期工費を約1%程度低減させることができる。必要最小重量よりも大きな規格を採用することは、被災リスク及び初期工費の低減の両者に寄与することから、非常に合理的な選択といえる。

5. 7 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。設計段階の選択としては、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。

今後の研究課題は、防波堤の平面的な被災を考慮したモデル開発、間接被害費（物流迂回コスト）を考慮したモデル開発や、現状、耐力作用比は1.0として設定しているが、LCCミニマムとなる耐力作用比は、必ずしも1.0とはならないので、LCCミニマムと

なる防波堤の耐力作用比の設定方法等がある。さらに、ある特定の港（防波堤の被災が多い港）を例題として、過去数十年間の防波堤の延伸状況や海象計での観測記録、被災履歴・復旧工費等を用いて、被災モデルの妥当性を検証。必要に応じて、港毎にモデルを修正すること、その上で、LCCミニマムを達成するような各港の今後の防波堤の維持管理水準や合理的な補強レベルを試検討する予定である。

6. 終わりに

(1) 緊急点検調査の取りまとめ

社会資本の安全性についての実情を明らかにするために、命に関わる重大な事故につながる恐れのある施設または部位について緊急的に点検が行われた（係留施設、臨港交通施設）。また、各施設の特性に応じて、築年数、社会的影響度などの観点から、必要性の高い施設についても安全性、健全性に関する緊急的な点検を実施された（外郭施設）。これらの点検の結果について以下の整理分析を行うこととしている。

- ① 緊急調査結果の使用目的に応じた分類及びデータベース整理
- ② 港湾施設の変状傾向・要因の分析に使用するデータの整理
- ③ 部材別の劣化特性の分類
 - ・施設種類毎に、「施設健全性」と「施設重要性」との関係から高リスクの施設を抽出し、変状を以下の観点で整理する（経年的な劣化、経年的な劣化に起因した変状連鎖による劣化、偶発的な要因による劣化）。
- ④ 港湾施設の変状傾向・要因の分析に使用するデータの定量化
 - ・劣化度判定結果と経年変化
 - ・施設の変状状態を定量的把握する方法の検討
- ⑤ 劣化の進行状態の分かる写真及び図面等を用いた視覚的なデータ整理
- ⑥ 劣化度の評価の妥当性検証

(2) 新たな維持管理等のあり方

現在、港湾分野においては、平成24年度までの5年間で全国大半の施設において維持管理計画書が作成された状況である。また、港湾施設の需要の変化、港湾管理の民営化や災害対策への要請の高まりなど、社会条件も変化している。

こうした中における新たな維持管理のあり方を以下のように考える。

1) 維持管理計画書の現実性・有効性を高める視点

既存の維持管理計画書の大半は、既存の手引き等を参照して作成されているが、より現実性・有効性を高めるための方策としては、戦略的な維持管理計画の運用が必要である。

既存の維持管理計画をベースとし、以下の事項に取り組む。これにより、維持管理計画の現実性・有効性が高まり、事業実施に関する意思決定の精度を向上することが可能となる。

① 現実性・有効性の高い維持管理計画の作成・運用

- ・総合評価の視点を明確化することによる評価の妥当性の向上

- ・施設の特性や劣化環境に見合った、網羅的かつ的確な点検診断計画の立案
- ・より具体的な補修工法・補修費用の追記により計画の具体性の向上
- ・施設の設置条件の特殊性（位置、気候等）を踏まえた維持管理手法の検討

② 維持管理計画の統合・調整・運用のための視点

- ・施設ごとに検討されてきた維持管理計画書を，財政的制約や港湾経営の方向性に対応して全体最適化を図り，運営するための手法が必要である．
- ・計画の優先順位評価手法など，意思決定プロセスの明確化
- ・土木・建築・設備分野の横断的な計画の調整

2) 港湾事業を取り巻く情勢に対応した維持管理の視点

社会情勢・公共事業を取り巻く情勢に柔軟に対応し，維持管理等を円滑かつ効果的に行うため以下の事項に取り組む．これにより，社会的要請に応えつつ，積極的に維持管理の合理性・効率性を向上することが可能となる．

- ・港湾に対する需要の変化に対して柔軟に対応した施設運営
- ・効率化の中にも的確な維持管理を行うための技術・情報の共有
- ・補修・改良の合理性の追求（アカウンタビリティ、マネジメント）
- ・大規模災害等有事の際にも活用できる技術の習得・開発
- ・情報・技術の共有など官民連携による取組み

参考文献

- 1) 国土交通省成長戦略：国土交通省成長戦略会議（平成22年5月17日）
- 2) 「港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き」
監修：国土交通省港湾局，編集：国土交通省国土技術政策総合研究所，
(独)港湾空港技術研究所，発行：(財)港湾空港建設技術サービスセンター
- 3) 「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」 監修：国土交通省港湾局，編著：
(独)港湾空港技術研究所，発行：(財)沿岸技術研究センター
- 4) 宮田正史：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