

沿岸構造物の調査・点検および 診断技術の現状と課題

A CURRENT STATE AND ENGINEERING SUBJECTS ON INVESTIGATION,
MEASUREMENT, DIAGNOSIS AND DETERIORATION FORECAST OF
PORT&HARBOR STRUCTURE

伊庭智生¹・嶋田宏¹・黒川一志¹・佐々木信和¹・杉山雄二²・杉本文和³

Tomoo IBA, Hiroshi SHIMADA, Kazushi KUROKAWA, Nobukazu SASAKI

Yuji SUGIYAMA and Fumikazu SUGIMOTO

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ（株）水工事業本部 港湾部 （〒206-8550 東京都多摩市関戸1丁目7番地5）

²静岡県土木部 港湾整備室 （〒420-8601 静岡県葵区追手町9番6号）

³正会員 静岡県土木部 港湾整備室 （〒420-8601 静岡県葵区追手町9番6号）

After damage occurs in facilities, the control of maintenance to the infrastructure like the Port and harbor facilities has been executed. Latest information of the investigation, the measurement, and the examination, etc. to understand the current state of the facilities is necessary to execute the control of maintenance of facilities efficiently. Obtained information becomes basic information on the diagnosis of the facilities situation based on the proper procedure. The forecast of the superannuation of facilities becomes extremely important for explaining validity and the priority level of the facilities maintenance. In this paper, a current state of the investigation of the Port and harbor facilities, the measurement, the diagnosis, and the deterioration forecast and technological problems were arranged.

Key Words ,Investigation, Measurement, Diagnosis, Deterioration forecast, Caisson type structure, Sheet pile Structure, Pier

1. はじめに

港湾構造物や海岸保全施設は、波浪や塩害などの条件下に設置されることから、鋼材や鉄筋コンクリート部材について極めて厳しい劣化環境にあると言える。このような構造物に対して「調査・点検、診断」は、構造物の現状評価および将来の劣化予測を的確に行う上での判断根拠となるものであり、アセットマネジメントの実施にあたって極めて重要な要素であると言える。ここでは、そうした環境に位置する構造物についての維持管理にかかる調査・点検、診断および劣化予測手法の現状と今後の課題や問題点等についての整理を行うものである。

2. 港湾施設および海岸保全施設の劣化要因

港湾や海岸保全施設には種々の構造形式があり、施設の維持管理にあたっては、対象となる構造形式によって異なる調査・点検および評価方法が採用されている。

そのため、ここでは港湾施設及び海岸保全施設を対象

とし一般的に用いられる構造形式を抽出し、各構造形式別の機能維持の要件と主要な劣化要因について整理した。その結果は、表-1示すとおりであり、それぞれ異なる劣化要因により構造物の機能を左右していることが分かる。

表-1 構造物の機能要件と劣化の要因

構造	機能維持の要件	主要な劣化要因
重力式構造	施設本体の重量	R C部材のひび割れ、鉄筋の腐食、中詰め流出
控え式矢板構造	控え工の安定性 矢板部材の強度	控え索の劣化、控え工の安定不足、前面矢板の腐食
自立式矢板構造	矢板部材の強度	矢板の腐食
栈橋構造	杭と上部工の強度	基礎杭の腐食、上部工のひび割れ、鉄筋の腐食
セル構造	部材の強度	セル部材（矢板）の腐食、基礎杭の腐食
三面張り構造	形状の安定性	表面コンクリートのひび割れによる空洞化、基礎地盤の変形
突堤	部材の安定性	矢板の腐食、欠損 R C部材の劣化

構造物の劣化とは、その構造体を構成している中心的な部材の材料劣化（強度低下）により、施設全体の機能や安全性が低下する状況にあるといえる。

なお、土留め構造においては、部材の空洞化や目地の開きによって背後地盤が吸出され、施設としての機能が低下するといったものも劣化要因として整理ができる。このような状況を把握するために現在行われている調査・点検方法を以下に整理する。

3. 調査・点検の現状

(1) 調査・点検の準拠基準等

港湾構造物や海岸保全施設は水中部に主要部材があり、陸上部からの点検や調査が難しいため、こうした施設を調査・点検する場合には、国等の基準¹⁾²⁾や財団の発行するマニュアル等^{3) 4) 5) 6)}が用いられている。また、自治体等によっては独自のマニュアルや点検実施要領等を整備し運用する、あるいはしようとする兆しもある。

(2) 調査・点検項目

既存資料に示された構造物毎の調査・点検方法はa)～e)に示すとおりであり構造形式により劣化要因が異なるため、計測方法やピッチも多様である。

a) 重力式構造物の点検項目と点検ピッチ

重力式構造物のうち、ケーソン式係船岸を対象として整理された点検項目と点検ピッチ³⁾は表-2に示すとおりである。

表-2 ケーソン式係船岸の点検項目（1次点検）

位置	項目	方法	ピッチ
上部工	沈下	測量（レベル）	2カ所/バース
	傾斜	傾斜計による計測	2カ所/バース
	法線の凹凸	上部工両端距離計測	2カ所/バース
エプロン	沈下（段差）	目視	全延長
		測量（レベル）	2カ所/バース
	勾配	目視	全延長
		測量（レベル）	2カ所/バース
	ひび割れ	目視	全延長
裏込材	目地部破損	測量（位置、幅、長さ）	2カ所/バース
	沈下	エプロン沈下に同じ（アスファルト舗装）	全延長
付帯施設	吸出し	空洞化の打音検査（コンクリート舗装）	2カ所/バース
	損傷状況	防舷材、車止め、係船柱の目視損傷観察	全体

なお、防波堤や護岸においてはケーソン前面に消波ブロック等が設置されていることが多く、波浪によってブロックが揺動し、ケーソン側壁へ損傷を与え、ひいては中詰めが流出するといった状況も考慮すべき劣化状況である。

b) 矢板式構造物・セル構造の点検項目と点検ピッチ

矢板式構造には、控え構造により安定確保する控え式と、矢板本体の部材剛性による自立式とがある。同構造物に対する点検項目と点検ピッチ³⁾は表-3、4に示すとおりである。また、矢板の腐食による欠損事例は写真-1に示すとおりであり、矢板部の欠損によりエプロン部の陥没も発生する。



写真-1 矢板の腐食劣化事例とエプロン部の陥没

表-3 矢板式係船岸の点検項目（1次点検）

位置	項目	方法	ピッチ
本体 矢板	法線の凹凸	上部工両端距離計測	1カ所/ブロック
	腐食状況	水中目視（潜水土）	全延長
エプロン	沈下	測量（法線方向）	3カ所
	表面勾配	測量（法線直角方向）	2.5mピッチ
	ひび割れ	目視	
付帯施設	損傷状況	防舷材、車止めの目視損傷観察	

表-4 矢板式係船岸の点検項目（2次点検）

位置	項目	方法	ピッチ
矢板 本体	腐食 状況	肉厚測定（潜水土）	法線方向20mピッチ 鉛直方向3地点 （MWL付近、LWL付近、最大モーメント発生点付近）

なお、控え式矢板構造において、前面矢板の変状が大きい場合や、施設の耐用年数を定量的に把握することが必要な場合等は、構造物背後を掘削し、控え索や控え工の状況を調査することも状況に応じて必要となる。

c) 栈橋式構造物の点検項目と点検ピッチ

栈橋式構造物の点検項目と点検ピッチ³⁾は以下に示すとおりである。

表-5 栈橋式係船岸の点検項目（1次点検）

位置	項目	方法	ピッチ
杭	腐食 状況	目視（電気防食施設の異常観察、塗覆装の損傷状況観察を含む）	全延長
上部工	ひび割れ 状況	目視（床版上下面、梁のひび割れ状況目視） 測定（ひび割れ幅、剥離厚） テストハンマーによる浮き状態の把握	全延長
渡版	沈下 移動 損傷	目視	全数

表-6 栈橋式係船岸の点検項目（2次点検）

位置	項目	方法	ピッチ
杭	腐食 状況	肉厚測定（潜水土）	目視によって腐食の著しい箇所



写真-2 栈橋上部工の劣化事例

栈橋上部工の劣化事例を写真-2に示す。鉄筋が露出し錆が出ていた状況が確認できる。

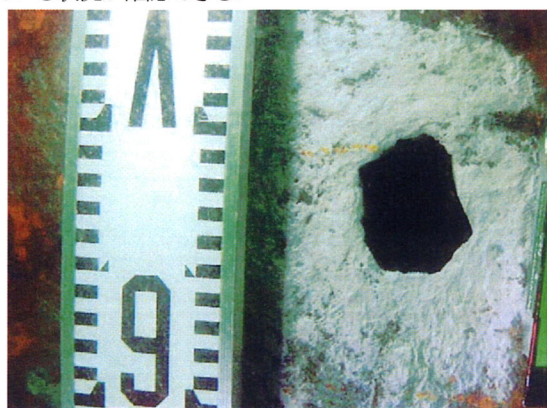


写真-3 栈橋基礎杭の劣化事例（孔食）

栈橋基礎杭の劣化事例（孔食）を写真-3に示す。一旦孔食が発生すると、杭の表面・内部の両面から腐食が進行する状況となるが、潜水調査でしかこうした劣化形態は通常確認できないことから適切な調査時期と調査場所の指示を与えられる技術者が必要である。

d) 三面張り構造物の点検項目と点検

海岸保全施設として多く見られる三面張り構造の点検項目と点検ピッチ²⁾は以下に示すとおりである。

表-7 三面張り矢板式係船岸の点検項目（1次点検）

位置	項目	方法
天端コンクリート（水叩き）	表面コンクリートの磨り減り	目視
	沈下、傾斜の位置と程度	目視
	ひび割れの長さ、幅、方向	目視
	段差、ずれの移動量と方向	目視
パラペット	表面コンクリートの磨り減り	目視
	破損、損傷の位置、程度	目視
	ひび割れの長さ、幅、方向	目視
目地	目地材の有無、隙間幅	目視
	植生の有無	目視
裏法コンクリート	表面コンクリートの磨り減り	目視
	ひび割れの長さ、幅、方向	目視
	漏水の有無	目視
	植生の有無	目視

海岸保全施設の点検は、履歴調査、一次点検および二次点検からなり、目視による外観調査を主とする一次点検結果から二次点検の必要性等を評価する体系となっている。

点検の時期としては、施工後の経過年数に応じて、施工後約3年間は半年～1年おきに、その後は2～3年間隔程度とするのが一般的とされている⁷⁾。

また、一次点検における点検ピッチは100m程度とすること⁸⁾もある。

e) 突堤の点検項目と点検ピッチ

突堤の点検項目と点検ピッチについては、先に示した各構造形式に対する点検項目と点検ピッチが適用可能である。

f) 点検方法の一般的傾向

ここで取り上げた港湾構造物や海岸保全施設の調査・点検方法は、殆どの施設について、施設全体を外観目視する一次点検と機材を用いた計測を行なう二次点検に分けられており、一次点検においても単純な目視だけにとどまらず、測量や簡単な計測を伴うものもある。

また、1次点検においては陸上踏査だけでは目視することができないため、船上からの調査も含まれているが、足場の不安定さや潮待ちなどの制約を受ける調査となる。

2次点検での水中部調査に関しては潜水士による調査に依らねばならず、効率の良い調査とはならないという特徴を有している。

4. 劣化の評価方法

点検結果をもとに構造物の劣化を評価する方法は、構造物に応じて次に示すとおりである。

a) 重力式構造物の評価方法

ケーソン式係船岸にかかる機能上の変状許容限界（参考値）は次に示すとおりである³⁾。

表-8 ケーソン式係船岸の機能上の変状許容限界

位置	項目	変状許容限界
上部工	全体の沈下	20～30cm
	全体の傾斜	順勾配 3～5°，逆勾配 0
	法線の凹凸	20～30cm
エプロン	沈下（段差）	エプロン上 3～10cm エプロンと背後地 30～70cm
	傾斜	順勾配 3～5°，逆勾配 0
	ひび割れ	コンクリート舗装 ひび割れ率0.5～2.0m/m ² アスファルト舗装 ひび割れ率20～30%
裏込材	沈下	コンクリート舗装 空洞の発生
	吸出し	アスファルト舗装 エプロンの変状に準じる
付帯施設	損傷状況	係船柱、車止め 破損
		防舷材 ボルトのゆるみ、破損

b) 矢板式構造の評価方法

矢板式係船岸の変状の評価については、機能上の観点と安全性の観点からの評価となる。³⁾

機能上の観点からの許容限界は、ケーソン式係船岸に準じることとし、安全性の観点からの許容限界は、基本

的に矢板の腐食が安定性の低下につながることから、矢板の腐食の進行に伴い構造計算上の所要安全率が満足しなくなった段階としている。

一方、矢板式構造にかかる劣化判定方法としては表-9に示すように整理される⁴⁾。なお、表-9における判定基準は次に示すとおりである。

判定A：緊急な補修・補強

判定B：補修を計画

判定C：経過観察

判定D：供用を継続

表-9 矢板式構造の補修の要否判定

項目	判定	判定の目安
法線変位量	A	矢板の変形・崩壊している場合。変状は法線基線より30cm以上のせり出し
	B	局所的な法線の変形。変状は法線基線より20～30cm以上のせり出し。前回測定時より10～30cmのせり出し
	C	上記以外の場合で変状限界が10cm未満。前回測定時より5cm未満の変形時
	D	変形状態が見られない
	Q	以上の程度が判断できない場合
法線の凹凸	A	変形・崩壊が確認される。法線の凹凸差が30cm以上
	B	局所的に凹凸、変形が見られる。法線の凹凸差が20～30cm
	C	法線の凹凸差が20cm未満
	D	せり出しが確認されない
控え索	A	破断
	B	発錆・腐食が見られる
	C	――
	D	異常が見られない
控え索の腐食	A	腐食速度が0.03mm/年を超過かつ設計以上の腐食量
	B	腐食速度が0.03mm/年を超過しているが設計値以下の腐食量
	C	――
	D	異常が見られない
控え工	A	移動が確認された
	B	――
	C	――
	D	移動が確認されない

矢板の腐食に関する評価は、当該マニュアル⁴⁾の栈橋下部工に対する評価を採用している。

c) 栈橋構造の評価方法

栈橋構造の劣化評価は、使用材料の劣化に基づき判定されている。多くの栈橋構造は基礎杭として鋼管が用いられており、また、海中に設置されることから防食対策が施されている。したがって表10～12に示す評価方法は、海中に位置する鋼製部材の使用材料にかかる共通の評価方法として用いることができる。

表-10 塗覆装の健全度³⁾

劣化度	調査結果	対応
0	全く健全な状態	定期点検を継続
1	損傷や劣化が認められるが、防食機能は維持	点検時期を早める等配慮する
2	部分的損傷や劣化があり、防食機能が一部損傷	部分的に劣化した場所を補修
3	全面的に劣化が進行、防食機能が喪失	全面的な補修

塗覆装は、材料として種々のものがあり、それぞれの材料特性に応じて劣化度判定の内容が異なる。

表-11 電気防食工の評価⁴⁾

項目	判定	内容
電位測定	A	海水塩化銀電極より貴の値
	D	海水塩化銀電極より卑の値
陽極取付状況	A	陽極の欠落が見られる
	D	陽極の欠落等の異常がみられない
陽極消耗量	A	既に多数が消耗。脱落がある。
	B	一部の陽極が異常に消耗。陽極の残存寿命が5年未満
	C	一部の陽極に消耗の激しい場所があるが、残存寿命が5年以上
	D	異常が見られない
	Q	異常の程度が判定できない
電流	A	発生電流が前回点検と変動
	D	発生電流が前回点検と変化なし

なお、表中の判定A～Dは、表-9に用いた判定内容と同じ。

表-12 鋼管杭の損傷の判定⁴⁾

判定	判定内容
A	開孔や広範囲な変形、損傷が見られる
B	平均干潮面付近～LWL付近あるいは全体的に赤橙色の発錆が著しい
C	部分的に黒または赤橙色の軽微な発錆が見られるが、開孔や損傷は見られない
D	付着物が見られるが、発錆、開孔、損傷は見られない
Q	異常の程度を判断できない

表-12に示した損傷の判定は、主として一次点検による目視結果に対する評価である。判定のA～Dは表-9に示したのと同じである。

鋼製部材の劣化において最も重要な要因である腐食による構造の劣化評価は、栈橋構造（鋼管杭構造）の場合も鋼矢板構造と同様に、肉厚測定結果に基づく材料の腐食速度を算出した上で構造計算を実施し、現況および腐食速度にもとづく部材の将来的な剛性の低下を考慮した安全性の検討に基づいて行われる。

5. 劣化の予測手法

施設の劣化予測手法にかかる考え方については、概ね次のように整理されるものと思われる。

(1) 対象施設の調査結果に基づく方法

対象施設の劣化にかかる調査結果を蓄積し、時間的な劣化傾向を統計的处理（例えば回帰分析）に基づいて整理し、劣化の程度を定量的に推定する方法。

劣化を予測判定するための情報が十分に集まれば、対象施設の環境を踏まえた劣化状況の資料に基づく予測であるため、精度の高い予測が可能な手法と考えられる。

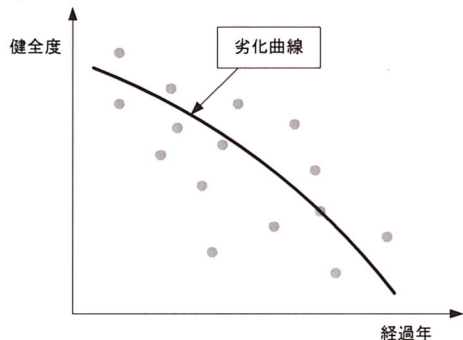


図-1 施設の経年劣化のイメージ

(2) 理論式による方法

理論式による劣化の推定については、材料の劣化要因を予測する方法と、構造物の性能低下を予測する方法とがある。

前者については、Fickの拡散方程式によってコンクリート内部の塩化物イオン濃度を算出して、定量的な塩害劣化の進行状況を予測する方法⁵⁾等が挙げられる。

Fickの式を用いる場合、対象となる海域での初期塩分濃度や拡散係数の値を施設毎に設定する必要があるため、実用にあたっては事前の調査が必要である。

なお、同方法に関しては、部材をコアサンプリングし、室内試験によって実態を把握することが可能である。

後者に関しては、マルコフ連鎖という確率論的な考え方をを用いて、施設の時間経過による変状の進行を予測する方法⁶⁾がある。

マルコフ連鎖によって施設変状の推移を予測する場合にも、適切な遷移確率を設定するためには、ある一定以上の蓄積された施設の点検診断結果が必要となる。

(3) 対象施設の補修履歴から推定する方法

既往の補修履歴から、時間的なトレンドに基づき劣化の程度を推定する方法である。劣化を予測判定するための情報取得の頻度が一定していないことが多く、また、補修の背景や内容等の評価も一部となるため、予測の精度についての説明が難しい部分もある。

6. 維持管理の考え方と今後の方向性および課題

(1) これまでの維持管理の考え方

これまでの港湾施設や海岸保全施設における施設補修は、施設の変状が顕在化し、対象施設の機能や安全性が損なわれた状態を元の状態に戻したり、延命したりする

事後保全が主体であった。

施設設計においては、耐用年数を設定し、鋼材については基準等に定められた腐食速度に基づく将来的な部材の劣化状況も反映させた設計が行われており、基本的に耐用年数内はメンテナンスフリーであり、耐用年数経過後には、施設の更新を図るとの認識による施設整備が行われてきたと言える。

(2) 今後の方向性

経済・社会状況の現状を踏まえ、既存の社会資本ストックとしての港湾施設や海岸保全施設をより有効に活用するためには、施設の利用状況や機能転換にかかる将来計画等を踏まえた施設重要度を整理する必要がある。

また、施設の現況における劣化の程度を的確に把握し、重要度と老朽度とに基づいて施設の優先順位を適切に定め、これまでの事後保全に予防保全の概念を加えたトータルでのコストミニマムが実現出来るような方向性が必要になるものと考えられる。

そのためにも施設の優先順位に応じた調査・点検、維持および改良等を総合的かつ計画的に実行するための維持管理計画に基づく整備が望ましく、また、供用中の施設に対しては、維持管理を円滑に実施するための点検・診断等の事後チェックが必要である。

こうしたことに具体的に対応するためには、施設の性能や維持管理状況等に関する情報をデータベース化し、継続的な更新により随時最新の情報が把握できるようにすべきと考える。

なお、港湾施設については現在設計基準が改訂中であり、改訂後は新設構造物について維持管理計画を策定することが義務付けられる。（ライフサイクルコストミニマム）。また、環境性等の性能項目の規定方法や、それらへの対応のあり方、持続性の確保等が今後とも必要である。

(3) 課題の整理

維持管理に係る現状を踏まえ、今後の方向性に即した維持管理を実施する上での課題を以下に示す。

a) 既存施設の性能情報にかかる課題

既存施設の性能情報にかかる資料が充実していないことが課題。

既存施設の現地調査結果を踏まえ、施設の耐久性を定量的に把握するためには、構造物の安定性や部材の安全性にかかる構造計算を行う必要がある。この時、検討を行う施設が、整備当時にどのような要求性能を有した施設であったかを判断することも含め、検討対象施設の設計条件等にかかる資料（荷重条件、土質条件、設計震度、腐食速度等）を整備しておく必要がある。

また、既に維持補修工事が実施されているのであれば、経年劣化の期間に反映させる必要がある。

したがって、既存資料の性能情報は、維持管理を実施する上で、最も基本的な情報であると言える。

港湾施設や海岸保全施設の情報としては、管理者が作

成した施設台帳等があるが、標準断面、施設延長、竣工年度等の基礎情報に加え、設計や施工にかかる施設の性能情報も追加していく必要がある。

b) 調査・点検にかかる課題

調査・点検が高コストであることが課題。

施設の維持管理を計画的に実施するためには、変状に応じた劣化評価や劣化予測に基づくことが必要となる。

港湾施設や海岸保全施設の調査は、**3. 調査・点検の現状**に示したとおり、通常、一次点検と二次点検とに分類され、二次点検は一次点検の結果を受けてその内容・規模が決められる。また、調査自体も専門技術者による水中での作業を伴うことが多いことから、時間とコストがかかる調査となる。

一方、施設の維持管理を計画的に実施する場合、定期的な施設の調査・点検結果を効率的に蓄積し、劣化予測に反映させることが望ましい。しかしながら、現状においては定期的に施設の調査・点検が行なわれていることは少なく、背景として、専門技術者が必要なこと、また、調査に時間がかかること、ひいては調査・点検が高コストであることに起因していると考えられる。

c) 劣化予測にかかる課題

予測手法を確立させるための基礎情報が不足していることが課題。

劣化予測の手法としては、統計的な、あるいは確率論的な解析を用いる手法等があるが、施設の劣化現象が基本的に不規則な現象であり、かつ、多くの要因が混在して発生する結果であることから、劣化予測の精度を向上させるためには、多くの現地調査結果等の基礎情報の蓄積が必要である。

一方、施設が時間的に劣化する場合の変化は緩やかな場合が多く、同じ施設を毎年調査・点検しても、それらが全て顕著な変動が見せるとは限らない。

すなわち、劣化予測手法を確立させるためには、ある一定期間、連続的あるいは定まったインターバルで継続的に実施された調査結果が必要となる。

(4) 課題の対応

a) 既存施設の性能情報にかかる課題の対応

対象施設にかかる既存の設計資料、工事資料等を体系的に整理する必要がある。整理が必要と考えられる資料としては、次のものが考えられる。

- ・施設関係資料
 - 平面図（施設延長、位置）
 - 標準断面図（基本構造形式）
 - 施設整備年次
- ・設計資料
 - 設計条件（荷重条件、土質条件、構造計算結果）
- ・工事資料
 - 施設の補修工事にかかる履歴
- ・計画条件
 - 既定計画における施設の位置付け等の情報

以上に示した資料は、検討対象施設の施設老朽度を定量的に把握するために必要となる情報である。これらの情報は、施設に何らかの維持補修工事が入る都度に更新される必要がある。

b) 調査・点検にかかる課題の対応

調査のインハウス化が可能となる技術を開発する必要がある。調査・点検における課題は、調査を実施するために専門技術者を調達したり、コストが高いことにある。管理者が日々に業務の一環として、容易に水中部が観察できる技術開発が可能となれば、いわゆる一次点検に対する調査の負担が軽減され、定期的な調査に向けての第一関門がクリアされることとなる。

上記にかかる技術開発として、水中での調査や補修工事を半無人化できる機械の開発や非接触型の鋼材の肉厚計測技術の開発、ケレンを必要としない鋼材の肉厚計測技術の開発、ROVを用いた基礎杭の自動点検機の開発等、研究段階の事例も出始めてきており、早期の完成が待たれる。また、調査・計測方法について先進的な陸上構造物の調査方法を応用して、水中での調査を簡易にすませる方法等についても技術開発の対象として捉えられるものとする。

7. 結論

以上に、沿岸構造物に関する調査・点検、評価および予測にかかる現状と課題について整理した。

今後の社会資本の整備においては、LCCの考え方を導入し、施設のライフサイクルでのコストミニマムを睨んだ継続的な維持管理を行うことが大前提となる。

しかしながら、施設の状況を把握するためには、ハード面の調査・点検から得られる基礎情報が不可欠であり、如何に効率良く、経済的に点検・調査が実施され、また、精度の高い予測が可能かが大きな課題であり、今後の新たな技術開発が待たれるものとする。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1999.
- 2) 海岸保全施設技術研究会編、海岸保全施設の技術上の基準・同解説、(社)日本港湾協会、2004.
- 3) 運輸省港湾技術研究所編著、港湾構造物の維持・補修マニュアル、(財)沿岸開発技術研究センター、1999.
- 4) 土木施設維持管理マニュアル、(財)東京港埠頭公社、2004.
- 5) コンクリート標準示方書〔維持管理編〕、(社)土木学会、2001.
- 6) 海岸保全施設設計便覧、(社)土木学会、2000.
- 7) 安間 清、石渡友夫:海岸保全施設の維持管理手法、港湾技術資料、No.557、1986.
- 8) 横田 弘、宮崎正治、西園勝秀:港湾施設のライフサイクルマネジメントに関する研究、平成16年度 国土交通省国土技術研究会、2005.