

予防保全の概念を導入した 港湾施設の維持管理の進め方に関する事例解析

PREVENTIVE MAINTENANCE APPROACH FOR PORT FACILITIES AND ITS CASE STUDIES

渡邊 寛¹・浅井 正²・宮地陽輔²・鈴木 徹³・富田幸晴⁴・岩波光保⁵

Hiroshi WATANABE・Tadashi ASAI・Yousuke MIYACHI・

Tooru SUZUKI・Yukiharu TOMITA・Mitsuyasu IWANAMI

¹正会員 (財)港湾空港建設技術サービスセンター (〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-3-1)

²正会員 工修 (財)港湾空港建設技術サービスセンター (〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-3-1)

³正会員 工修 国土交通省港湾局技術企画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

⁴正会員 国土交通省港湾局技術企画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

⁵正会員 工博 (独) 港湾空港技術研究所地盤・構造部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Many of port facilities in Japan were constructed in 1960s, so most of them will be renewed or repaired in 10-20 years. To carry out these renewals and repairs with budgetary limit, reduction of life-cycle cost and/or extension of life for each of these facilities shall be required. Therefore the preventive approach is to be put into the manner of maintenance for port facilities.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport updated the ordinance on the technical standards for port and harbour facilities in Japan in 2007. The updated ordinance requires that owners of port facilities shall establish a maintenance plan for each of them, and manage it adaptively according to the plan.

This report shows a practical procedure of the preventive maintenance approach according to the updated ordinance, and gives some examples of the preventive maintenance. Also in this report, issues in carrying out the preventive maintenance and their measures are discussed.

Key Words : Port facility, asset management, preventive maintenance, life-cycle cost, extension of life, technical standards of port and harbour facilities, case study

1. はじめに

2005年12月に交通政策審議会¹⁾で「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」が答申され、維持更新コストの抑制や既存社会資本の有効活用、構造物の安全性の確保と言った観点から港湾施設の適切な維持管理が重要とされた。2007年3月の「港湾の施設の技術上の基準」²⁾の改正では、技術基準対象施設は供用期間にわたって要求性能を満足するよう維持管理計画等にもとづき適切に維持されるものとされた。

上記の背景から、維持管理計画等を検討するに際して、予防保全の概念を導入した計画的な維持管理手法を確立することを目的として実施した調査研究の成果を報告するものである。

本研究では、維持管理に関する基本的考え方を取りまとめる手法を確立するために、代表的な構造形式の施設に対して事例解析を行い、取りまとめる際

の配慮事項及び課題を抽出して類型化を試みた結果を報告する。

2. 予防保全型の維持管理における配慮事項

(1) 予防保全型の維持管理と総合評価について

国土交通省港湾局³⁾では、予防保全型の維持管理を推進している。予防保全型の維持管理とは、設計時点における部材の劣化予測において設計供用期間中に構造物・部材の性能に影響を及ぼす劣化・変状の発生が予測されるが、維持管理段階において対策を実施することを設計時点から計画しておくことで、維持管理上の限界状態に至る前に維持補修を行うよう配慮するものである。

このため、予防保全型の維持管理では、図-1に示すようなPDCAサイクルに沿って順応的に行うことが重要である。ここで、PDCAの各ステップに示

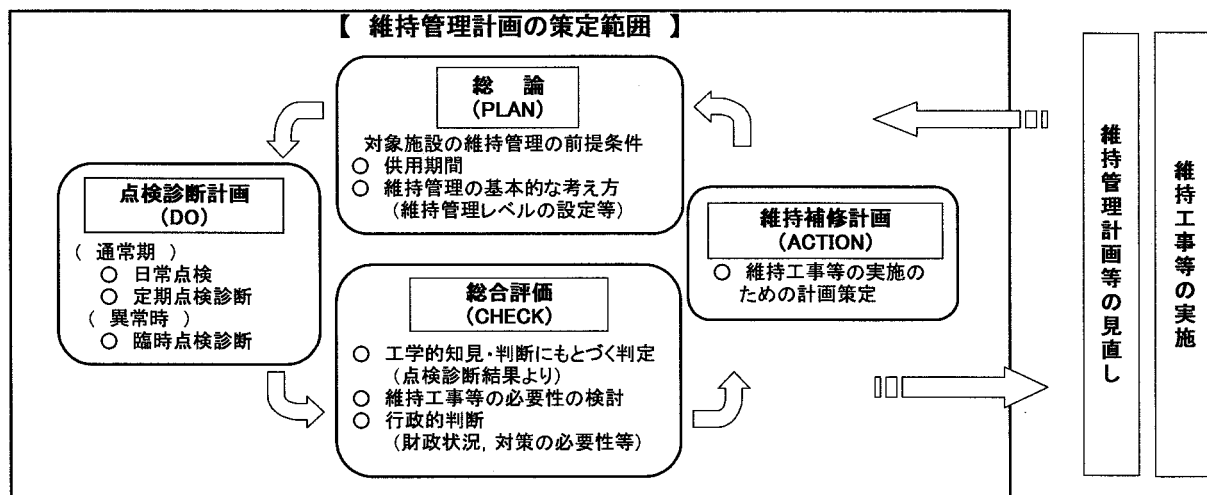


図-1 維持管理計画書の構成と予防保全型の維持管理のイメージ³⁾

す実施項目は、維持管理計画書の標準的な構成³⁾による。対象とする施設の設計時点で「総論」(PLAN)として対象施設の維持管理のための前提条件・配慮事項等を整理し、維持管理の基本的な考え方を取りまとめた後、維持管理の段階では適切な「点検診断計画」(DO)にもとづき施設の劣化・損傷の状況を把握し、施設の重要度等を勘案して点検診断結果の「総合評価」(CHECK)を行った結果、必要に応じて「維持補修工事の実施」や「点検診断計画等の見直し」(ACTION)を実施することにより、施設に要求される性能を供用期間にわたって確保する。

ここで、PDCA サイクルを適切に構築するためには、「総論」で取りまとめる維持管理の基本的考え方に対して、目標が達成されているか否かを適切に判断して、適切な時期に対策を行うようにする必要がある。このためには、「総合評価」において、目標の達成を判断する指標が定量的であり、計測可能であることが重要である。

このため、維持管理計画書の作成事例をとおして予防保全型の維持管理の基本的考え方を策定するプロセスのうち、総合評価における目標設定の方法とその際の留意事項について整理する。

(2) 供用中の施設の維持管理

供用中の施設では、すでに供用後一定期間が経過している。このため、この間の施設の劣化・損傷について点検診断結果にもとづき総合評価を行って、今後の維持管理の基本的な考え方に反映することが重要である。また、劣化予測等に用いる種々のパラメータを施設の設置される場所の条件に沿って設定することは現状の技術レベルでは難しいため、新規施設の場合は代表値を用いて設定することが多いが、既存施設では、総合評価の結果をもとに、精査することができる。

(3) 供用中の施設の維持管理計画書の作成手順

供用中の施設の維持管理計画書の標準的な作成手順は図-2のとおりである。④で維持管理計画書を作成するためには、①より設計時・施工時・これまでの維持管理に関する情報、②より損傷・劣化等の変状に関する現時点の情報を整理して、③で総合評価を行い基本的な考え方を適切に設定することが重要である。

- ①既存資料の整理：供用期間や維持管理についての基本的考え方を取りまとめるのに必要な配慮事項を、設計図書、竣工時の記録及び調査測量結果等から整理する。なお、配慮事項には、自然状況、利用状況その他の施設が置かれる諸条件、構造特性、材料特性並びに点検診断の難易度、当該施設の重要度等がある。
- ②現地調査：施設の劣化・損傷について現況を把握するために現地調査を行う。既存資料の整理で不足する資料があればあわせて収集する。
- ③分析・検討：既存資料の整理結果及び現地調査結果にもとづき総合評価を行い、維持管理の基本的な考え方を取りまとめる。必要に応じて追加調査を行う。
- ④維持管理計画書の作成：基本的な考え方に基づき、維持管理計画書を作成する。維持管理レベルを設定し、点検診断計画、維持補修計画を作成する。

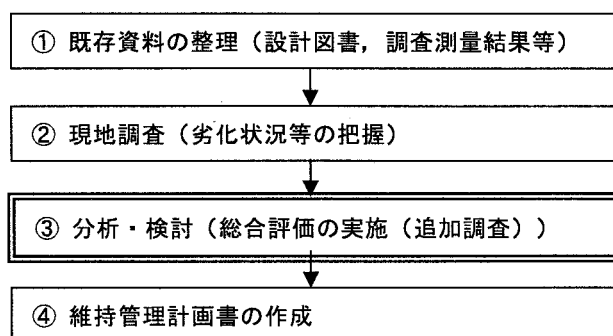


図-2 供用中の施設の維持管理計画書の作成手順

3. 構造物形式毎の事例解析

(1) 係留施設（棧橋）

a) 対象施設の概要

対象施設の構造の概要を図-3 に示し、維持管理についての配慮事項を表-1 に示す。対象施設は7,000GT級のフェリーの利用を想定して建設された係留施設である。対象施設を設計供用期間50年間にわたり予防保全的に維持するにあたり、構造形式は自然状況等から大水深の係留施設の構築に最適であると判断された横棧橋とした。

棧橋の構造上の主要部材には、上部工（この場合RC構造の床版）、下部工（鋼管杭）および背後の土留め護岸がある。構造上2次的に重要なその他部材はエプロン、海底地盤、渡版等がある。これら以外に防舷材、係船柱、車止め等の附帯設備がある。

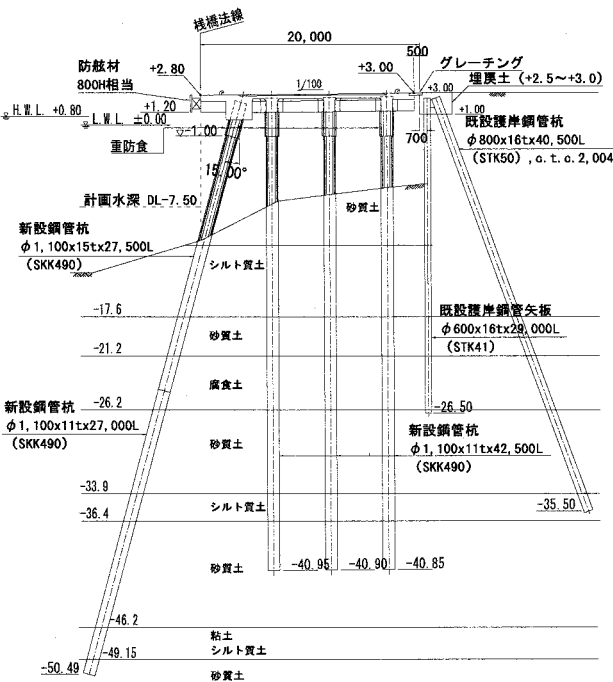


図-3 対象施設の概要

表-1 対象施設の維持管理についての配慮事項

設計供用期間	50年間
自然状況	潮位 HWL = DL + 0.8 m 設計震度 Kh = 0.22 気温 年平均 10.2℃
利用状況	7,000GT級フェリー
構造形式	横棧橋 (計画水深7.5m, 延長185m)

b) 計画書作成における維持管理の基本的考え方

総合評価①：損傷・劣化等の変状に対する評価

表-2 は、点検診断結果をもとに損傷・劣化等の変状に対する評価を行った結果を抜粋したものである。点検診断結果の評価指標は「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」⁴⁾による。

このうち、棧橋の主要部材である上部工の RC 床

版は、現時点で直ちに対策が必要のない場合でも、マルコフ連鎖モデルによる劣化予測を行う。劣化予測にあたっては、削孔・コア採取により得られたコンクリート粉末を用いて塩分濃度を測定し、測定結果から拡散係数の妥当性を検証するものとする。劣化予測の結果をもとに次回の点検診断時期までの間の劣化の進行状況を解析し、補修の必要性について総合的に判断を行うものとする。また、劣化の状況や原因について詳細な調査が必要な場合には、必要な項目について臨時詳細点検診断を行う。

棧橋のもう一つの主要部材である下部工（杭構造）は、防食工を適切に維持補修を行うことにより維持管理を行う。電気防食工は、陽極の重量を計測し、その年間平均消耗量を算定する。この値をもとに陽極の残存寿命を推定し、必要があれば維持補修の考え方の見直しを行う。年間平均消耗量が当初の計画より著しく大きいまたは小さい場合には、追加で現地調査を行って原因を確認する。

エプロン等のその他部材は、変状が著しくなった時点で補修や交換を行う事後保全型の維持管理を行うことを基本とする。ただし、施設の利用状況や重要度、予算制約等の条件から総合的に判断する。防舷材等の附帯設備は、その他部材と同様に対処する。

予防保全型の維持管理では、損傷・劣化が軽微な段階でその状況を点検診断により容易かつ正確に把握する必要があるが、適切な手法を選定することは難しい。また、これらのデータは統一的なフォーマットで蓄積を図ることが重要である。

総合評価②：現場的・行政的判断からの評価

総合評価①より対象施設の損傷・劣化等の変状に対する評価より、維持補修の必要性が認められた場合には優先順位を決めて計画的に実施する必要がある。優先順位の検討にあたっては、利用状況等から対象施設の港湾内、地区内での重要度を配慮するとともに、予算の制約等についても考慮する必要がある。重要度の検討にあたっての配慮事項としては、以下のような例がある。

- ・ 取扱い貨物／目標貨物量／定期航路
- ・ 利用者／後背地企業
- ・ 主な代替港
- ・ 便益／費用
- ・ その他（NO_x削減量、CO₂削減量など）等

維持補修の箇所が複数ある場合の優先順位を決定する場合等、総合評価②の結果を配慮する必要があるが、定量的な指標を用いて評価することは難しい。

維持管理の基本的考え方

総合評価①および②にもとづき取りまとめた対象施設の維持管理の基本的考え方を表-3 に示す。対象施設は損傷・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ならないように性能の低下を防止する。

表-2 損傷・劣化等の変状に対する評価（一部抜粋）

ブロック番号	区分	部材	維持管理レベル	点検項目	変状および劣化の状態に関する評価			…
					発生状況	進行状況 10年後	施設の性能低下度	
ブロック No.1	主要部材	上部工	Ⅱ	塩化物イオン	照査:0.66	照査:0.80	△	…
				下面の劣化	a-8%	a-58%	×	…
		下部工	Ⅱ	塗装	a-31%	a-56%	×	…
				電気防食	b-11%	a-10%	△	…
	その他部材	土留護岸	Ⅱ	塗装	d-100%	b-11%	○	…
				電気防食	d-100%	b-5%	○	…
		エプロン	Ⅲ		d-100%	—	○	…
		海底地盤	Ⅲ		d-100%	—	○	…
附属設備		渡版	Ⅲ		d-100%	—	○	…
					d-100%	—	○	…

表-3 維持管理の基本的考え方の取りまとめ（一部抜粋）

ブロック番号	区分	部材	維持管理レベル	点検項目	基本方針	適用	維持補修工法等の設定		
							工法等	実施時期	コスト
ブロック No.1	主要部材	上部工	Ⅱ	塩化物イオン	緊急に維持補修（△年に実施）	緊急に補修が必要。工法は施設の性能低下度に応じて設定。	断面修復ほか	△年後	〇〇〇万円
				下面の劣化	緊急に維持補修（△年に実施）	緊急に塗替が必要。上部工と同時期に実施。	塗替	△年後	〇〇〇万円
		下部工	Ⅱ	塗装	点検診断計画変更（5年毎に）	予測より摩耗が早い。次回点検を5年間前倒し。	取替	〇年後	〇〇〇万円
				電気防食	当面経過の観察が必要	軽微な劣化。次回定期補修時に塗替。	塗替	〇年後	〇〇〇万円
	その他部材	土留護岸	Ⅱ	塗装	当面経過の観察が必要	予測範囲内。次回点検結果で取替前倒し検討。	取替	〇年後	〇〇〇万円
				電気防食	当面経過の観察が必要	異常見られず。引き続き点検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇万円
		エプロン	Ⅲ		当面経過の観察が必要	異常見られず。引き続き点検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇万円
		海底地盤	Ⅲ		当面経過の観察が必要	異常見られず。引き続き点検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇万円
	附属設備	渡版	Ⅲ		当面経過の観察が必要	錆があるが予測範囲内。次回点検時に取替予定。	取替	〇年後	〇〇〇万円
					当面経過の観察が必要	異常はないが耐用年数を超える部品は取替。	取替	〇年後	〇〇〇万円

(2) 係留施設（重力式係船岸）

a) 対象施設の概要

対象施設の構造の概要を図-4 に示し、維持管理についての配慮事項を表-4 に示す。対象施設は55,000DWT 級コンテナ船および重量物積載船の利用を想定して建設された係留施設である。対象施設を設計供用期間 50 年間にわたり予防的・維持するにあたり、構造形式は自然状況等から大水深の係留施設の構築に最適であると判断された重力式係船岸とし、壁体形式はケーソン式とした。

重力式係船岸の主要部材には、ケーソン本体である。構造上 2 次的に重要なその他部材はエプロン、海底地盤等がある。これら以外に防舷材、係船柱、車止め等の附属設備がある。

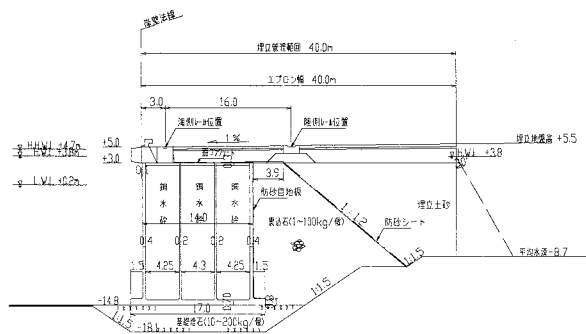


図-4 対象施設の概要

表-4 対象施設の維持管理についての配慮事項の例

設計供用期間	50年間
自然状況	潮位 HWL = DL + 3.8 m 設計震度 Kh = 0.17 気温 年平均 16.1℃
利用状況	55,000DWT級コンテナ船
構造形式	重力式係船岸 (計画水深14m, 延長280m)

b) 計画書作成における維持管理の基本的考え方

総合評価①：損傷・劣化等の変状に対する評価

重力式係船岸の主要部材はケーソン本体である。コンクリートに対しては、一般的に塩害、凍害、アルカリ骨材反応による劣化が想定される。ただし、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」²⁾において、入念な施工が行われたケーソンではこれらの要因により所要の性能の低下は生じないとしている。したがって、一般的なケーソンでは特段の対策を図らなくても、設計供用期間中の要求性能は満たされると判断し、損傷等がないか点検診断により把握する。また、たとえばケーソンに損傷等が見られる場合、前面への裏埋土の吸い出し等によるエプロンの陥没等の危険性についても、エプロンの沈下状況やハンマによる打撃等によって入念に点検を行う必要がある。このように、直接見えない部分について広範囲の中から変状の部位を特定する場合には、非破壊に

表-5 維持管理の基本的考え方の取りまとめの例

[illegible]

※ コスト＝補修費用＋維持管理に必要な費用（点検診断の費用を含む）

より容易に変状の状況を把握できる点検診断手法の開発が望まれる。

なお、このように一般的なケースンでは所要の性能の低下は生じないことから、特に劣化予測項目を設定しての劣化予測は実施しない。

総合評価②：現場的・行政的判断からの評価

重力式係船岸においても維持補修の優先順位の検討にあたっては、対象施設の重要度や予算の制約等から判断する。重要度の検討にあたっての配慮事項には、横桟橋式の係留施設と同様である。

維持管理の基本的考え方

総合評価①および②にもとづき取りまとめた対象施設の維持管理の基本的考え方を表-5に示す。対象施設では、施工時に十分に考慮することにより、大規模な維持補修を行うことなく、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ことができる。

(3) 外郭施設（重力式防波堤）

a) 対象施設の概要

対象施設の構造の概要を図-5 に示し、維持管理についての配慮事項を表-6 に示す。対象施設は主航路および背後の航路・泊地の静穏度を確保することを目的として建設された外郭施設である。対象施設を設計供用期間 50 年間にわたり予防穂算的に維持するにあたり、構造形式は自然状況等から消波ブロック被覆堤とし、壁体形式はケーソン式とした。

重力式防波堤の構造上の主要部材は、ケーソン本体である。構造上2次的に重要なその他部材は上部工、消波工、海底地盤等である。これ以外に附帯設備として標識灯やはしご等が設置される場合もあるが、今回の事例ではとくに対象となるものはなかった。

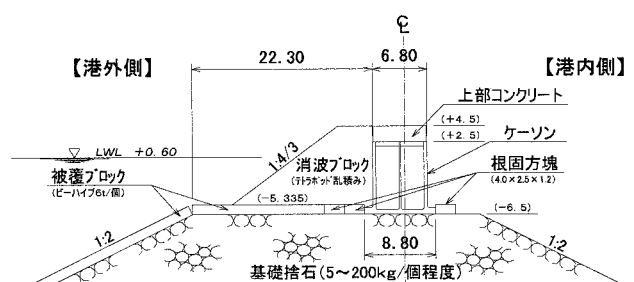


図-5 対象施設の概要

表-6 対象施設の維持管理についての配慮事項の例

設計供用期間	50年間
自然状況	潮位 HHWL = DL + 3.1 m 設計波 $H_{1/3}=4.1\text{ m}$ $T_{1/3}=6.7\text{ s}$ 水深 8.5 m ~ 16 m 気温 年平均 24℃
構造形式	重力式防波堤 (延長1,000m)

b) 計画書作成における維持管理の基本的考え方

総合評価①：損傷・劣化等の変状に対する評価

防波堤の主要部材はケーソン本体であり、重力式係船岸と同じであるが、被覆された消波ブロックによりケーソン本体に作用する波力を低減させることにより防波堤の安定性を確保している。また、ケーソン本体が損傷した場合の維持補修にくらべて、消波ブロックの方が維持補修の容易さでも、費用の面でも優位である。

このため、消波ブロックの沈下・散乱をこまめに点検診断することにより、ケーソン本体の安定性に大きな影響を与える前に維持補修が行えるように点検診断結果を評価する必要がある。

総合評価②：現場的・行政的判断からの評価

重力式防波堤においても維持補修の優先順位の検討にあたっては、対象施設の重要度や予算の制約等から判断する。ただし、防波堤の重要度は、背後の

表-7 維持管理の基本的考え方の取りまとめの例

ブロック No.	区分	部材	維持 管理 レベル	点検 項目	基本方針	適 用	維持補修工法等の設定		
							工法等	実施 時期	コスト
1	主要 部材	ケーソン	I	コンクリートの 劣化、損傷	当面経過の 観察が必要	異状見られず。引き続き点 検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇 万円
	その他 部材	上部工	III	コンクリートの 劣化、損傷	当面経過の 観察が必要	異状見られず。引き続き点 検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇 万円
		消波工	III	移動、散乱、沈 下	補修が必要	消波ブロックの一部が散乱 しており、補充が必要。	補充	〇年後	〇〇〇 万円
				損傷、亀裂	当面経過の 観察が必要	異状見られず。引き続き点 検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇 万円
		海底地盤	III	洗掘、土砂の 堆積	当面経過の 観察が必要	異状見られず。引き続き点 検を実施し経過観察。	---	---	〇〇〇 万円
	附帯 設備	---	---	---	---	---	---	---	---
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

※ コスト = 補修費用 + 維持管理に必要な費用 (点検診断の費用を含む)

静穏度を確保する水面の利用状況により決まるものであり、航路の先にある係留施設の重要度を複合的に勘案して決定される。

維持管理の基本的考え方

総合評価①および②にもとづき取りまとめた対象施設の維持管理の基本的考え方を表-7 に示す。対象施設では、施工時に十分に考慮することにより、大規模な維持補修を行うことなしに、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・劣化を留めることができる。ただし、波浪等による外力が大きいので、ケーソン本体の損傷・劣化がないように、消波ブロックをこまめに維持補修するものとする。

重力式防波堤における検討課題は重力式係船岸とほぼ同じである。しかし、異常時の外力が大きいので、重力式係船岸よりさらに異常時の損傷・劣化に対する維持補修の度合いが大きい。ケーソン本体の性能を損なわない範囲に損傷・劣化を抑えながら、適切に維持補修を行う方法の検討が必要である。

4. 結論

本研究の主要な結論は以下のとおりである。今後はよりよい維持管理手法の確立に向けて、本研究で明らかになった課題の解決のために、さらに検討を進めて参りたい。

- ① 維持管理の基本的考え方を取りまとめる際に必要な手順を整理した。維持管理計画書を作成するためには、設計時・施工時・これまでの維持管理に関する情報、損傷・劣化等の変状に関する現時点の情報を整理して、総合評価を行い、維持管理の基本的な考え方を適切に設定することが重要である。

- ② 取りまとめ全体及びその各手順における配慮事項を抽出し、その解決のための方策を明らかにした。このうち取りまとめ全体に関する主な配慮事項に対する解決方策は以下のとおりである。
 - ・点検診断結果にもとづき総合評価を行うにあたり、定量的な指標で評価すること
 - ・現地において容易かつ正確に施設の劣化状況を把握できる点検診断手法を選定すること
 - ・総合評価の結果から適切な維持補修工法を選定すること
 - ・維持補修後の施設の性能の回復を定量的な指標で評価すること
 - ・維持補修後の施設の性能低下を定量的な指標で評価すること
 - ・総合評価に必要な資料・データを統一的なフォーマットで蓄積すること

謝辞：港湾の施設の維持管理計画書作成の手引きの編集にあたり、行政経験者、学識経験者及び港湾関係の調査設計・施工に関する有識者からご意見をいただき、本論文にその検討の成果を一部反映させた。検討の間、熱心なご意見をいただいた関係者の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省交通政策審議会：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 答申，2005。
- 2) 国土交通省港湾局監修：改訂新版 港湾の施設の技術上の基準・同解説，(社)日本港湾協会，2007。
- 3) 国土交通省港湾局監修，国土技術政策総合研究所・(独)港湾空港技術研究所編集：港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き，(財)港湾空港建設技術サービスセンター，2007。
- 4) 国土交通省港湾局監修，(独)港湾空港技術研究所編著：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，(財)沿岸技術研究センター，2007。