

運輸省港湾技術研究所

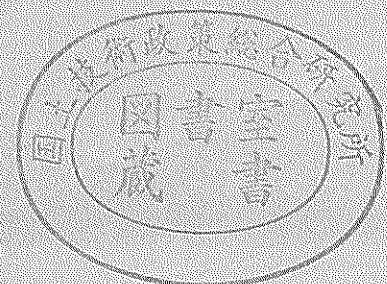
港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

VOL.38 NO.2 June 1999

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第38巻 第2号 (Vol.38, No.2), 1999年6月 (June 1999)

目次 (CONTENTS)

1. 潮位変動および密度の非一様性を考慮した砂浜海岸地下水の非定常過程に関する数値解析
.....内山雄介..... 3
(Numerical Analysis on Groundwater Flow in Sandy Beaches Considering Tidal Fluctuation and Density Distribution
.....Yusuke UCHIYAMA)
2. 久里浜湾の流れ特性と生態系に関する研究
.....日比野忠史・豊田政史・西守男雄・細川恭史・鶴谷広一..... 29
(Current Field Characteristics and Ecosystem Investigations in Kurihama Bay
...Tadashi HIBINO, Masashi TOYOTA, Dan-o NISHIMORI, Yasushi HOSOKAWA and Hiroichi TSURUYA)
3. 海水交換型防波堤の透過量評価手法の提案
.....西守男雄・日比野忠史・豊田政史・細川恭史・石原弘一・森下正志・鶴谷広一..... 63
(Estimation of Water Mass Exchanged through Water Exchangeable Breakwater
.....Dan-o NISHIMORI, Tadashi HIBINO, Masashi TOYOTA, Yasushi HOSOKAWA,
Hirokazu ISHIHARA, Masashi MORISHITA and Hiroichi TSURUYA)
4. 粘性土のセメンテーションによる強度発現メカニズム
.....土田 孝・湯 怡新..... 99
(Strength Mobilization due to Cementation of Clay
..... Takashi TSUCHIDA and Yi Xin Tang)
5. 港湾空港事業における軽量混合処理土工法の開発と適用事例
.....土田 孝..... 131
(Development and Use of Foamed Treated Soil in Port and Airport Project
..... Takashi TSUCHIDA)
6. 海洋環境 (酒田港20年) に暴露したコンクリート梁の材料劣化が梁の力学性能に及ぼす影響
.....横田 弘・秋山哲治・濱田秀則・三上 晃・福手 勤..... 169
(Effect of Degradation of Concrete on Mechanical Properties of Reinforced Concrete Beams
Exposed to Marine Environment (for 20 years in Sakata)
.....Hiroshi YOKOTA, Tetsuji AKIYAMA, Hidenori HAMADA, Akira MIKAMI and Tsutomu FUKUTE)
7. 鋼直杭式棧橋の地震時保有耐力に関する実験および解析
.....横田 弘・川崎 進・菅原 亮・Hazem El-Bakry・川端規之..... 223
(Ultimate Structural Performance of Steel-Pile Supported Wharves
... Hiroshi YOKOTA, Susumu KAWASAKI, Ryo SUGAWARA, Hazem El-Bakry and Noriyuki KAWABATA)
8. 防波堤ケーソンの自動設置システムの開発 (第二報) - アンカーワイヤ方式の水力模型実験による検討 -
.....米山治男・白石 悟・名里健吾・高橋英俊..... 257
(Development of Automatic Installation System of Breakwater Caisson (2nd Report)
- Evaluation of Anchor Wire System by Hydraulic Model Experiments -
..... Haruo YONEYAMA, Satoru SHIRAIISHI, Kengo NAZATO and Hidetoshi TAKAHASHI)
9. RC港湾構造物の塩害に係わる環境要因の定量的評価に関する研究
.....濱田秀則..... 299
(Quantitative Evaluation of Environmental Factors Related to Chloride Attack of RC Harbor Structures
.....Hidenori HAMADA)

10. 破壊確率を考慮した防波堤のライフサイクルコストと許容破壊確率
.....長尾 毅・松渕 知..... 395
(Studies on Life-Cycle Cost and Allowable Failure Probability of Breakwaters
..... Takashi NAGAO and Satoru MATSUBUCHI)
11. 係留施設のライフサイクルコスト発生と維持管理意志決定支援システムの構築に関する基礎的研究
.....松渕 知・横田 弘..... 423
(Life-Cycle Cost Analysis of Berthing Facilities and Development of A Decision Support System
during their Maintenance Work
..... Satoru MATSUBUCHI and Hiroshi YOKOTA)
12. 大規模地震時におけるコンテナクレーンの脚の浮き上がりに関する模型実験
.....江頭隆喜・山本俊介・田邊俊郎・中島 晋・菅野高弘・宮田正史・柏崎昭宏・金山維史..... 475
(Experiment on Uplifting of Legs of Container Cranes under Strong Earthquakes
..... Takaki ETOU, Shunsuke YAMAMOTO, Toshiro TANABE, Susumu NAKASHIMA・
Takahiro SUGANO, Masafumi MIYATA, Akihiro KASHIWAZAKI and Tadafumi KANAYAMA)

係留施設のライフサイクルコスト発生と維持管理 意志決定支援システムの構築に関する基礎的研究

松 潤 知*・横田 弘**

要 旨

わが国には、現在1100もの港湾があり、規模や機能の違いはあるがそれぞれ地域の要請に応え、社会経済や空間経営の大きな役割をになってきている。これら港湾の施設の多くは経済発展とともに急速に整備されてきたもので、現在では整備してから30年以上経過した施設が増加してきている。そのため、施設を良好な状態に維持し、長期にわたって機能させることは、経済性や安全性の確保といった観点、また限られた港湾空間の有効活用から極めて重要なこととなっている。より質の高い港湾の施設整備を進めるためのアプローチとして、さらには今後増大してくる維持管理の最小費用による最大効果を得るための手段として、港湾構造物のライフサイクルコストに着目し、発生費用の実態調査を基に効率的な維持・管理および改良更新の際の意志決定支援システム（マネジメント手法）構築のための基礎的検討を行った。

キーワード：ライフサイクルコスト，維持・管理，改良・更新，耐用年数，マネジメント，
最小費用化

* 計画設計基準部設計技術研究室

** 構造部構造強度研究室長

239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 Tel 0468-44-5031 Fax 0468-44-0255 Email: hiroy@cc.phri.go.jp

Life-Cycle Cost Analysis of Berthing Facilities and Development of A Decision Support System during their Maintenance Work

Satoru MATSUBUCHI*

Hiroshi YOKOTA**

Synopsis

The life of port facility is rather long and terminals designed today must be expected to meet demands during its lifetime that cannot be foreseen. While berthing facilities in Japan have been designed with 30 to 50 years of design life spans, approximately 15 or more facilities begin to be upgraded every year before reaching their intended life span. To understand the actual upgrading measures to such less valuable port facilities, a nationwide survey has been undertaken and 90 examples have been collected. These examples were analyzed with focus on timing, structural and design details, and reasons for upgrade analysis, maintenance and major repair costs before and after upgrading were also analyzed and estimated. It is getting more important to estimate the life-cycle cost to decide future maintenance strategy including repair, rehabilitation, upgrade, or demolition. This paper presents the development of berthing facilities management system of minimum maintenance cost.

Key Words: life-cycle cost, maintenance, repair, improvement, lifetime, management system,
minimum maintenance cost

* Research Engineer, Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

** Chief of Structural Mechanics Laboratory, Structural Engineering Division

1-1, Nagase 3-chome, Yokosuka 239-0826 Tel 0468-44-5031 Fax 0468-44-0255 E-mail: hiroy@cc.phri.go.jp

目 次

要 旨	423
1. まえがき	427
2. 港湾構造物のライフサイクル.....	427
2.1 ライフサイクルの定義	427
2.2 港湾構造物のライフサイクル	428
2.3 港湾構造物の耐用年数	430
3. 港湾の施設整備とライフサイクルコスト	432
3.1 港湾施設の社会資本ストックと維持管理	432
3.2 港湾構造物の維持管理, 改良・更新実態	432
3.3 港湾施設のライフサイクルコスト	435
3.4 ライフサイクルコストの試算	447
4. 港湾施設維持管理のマネジメントシステム	452
4.1 土木構造物の維持管理マネジメントの現状	452
4.2 マネジメントシステムの基本構成	459
4.3 入出力データおよびデータベース	460
5. パイロットシステムの検討	462
5.1 検討概要	462
5.2 検討条件	462
5.3 シミュレーション	465
6. まとめ	472
謝 辞	473
参考資料	473

1. まえがき

増大した港湾施設のストックを良好な状態に維持し、長期にわたって機能させることは、経済的観点や安全性の確保といった観点のみにとどまらず、限られた港湾空間の有効活用を図るうえでも極めて重要なことである。港湾社会資本は戦後の高度成長の過程でかなりの水準にまで引き上げられ、経済成長の低下に伴い今まで蓄積されたストックを良好な状態に維持するための維持管理費の急増が予測されている。その上、近年では公共事業コストの削減が求められ、港湾施設整備についても種々の視点から見つめ直さなければならない状況下にある。そこで、港湾を取り巻く諸情勢の変化に合わせた新たな施設整備に対応すべく、限られた費用の有効活用を図るための方策が必要となる。

本報告は、このような状況を踏まえ、港湾施設のライフサイクルに着目し、効率的な施設整備のあり方、維持・管理および改良・更新の効率的な実施方策を検討すべく、港湾施設の中の係留施設を対象としたマネジメントシステムの構築についての基礎的な検討をおこなった。

はじめに、アンケートとヒアリングにより港湾構造物のライフサイクルと機能評価、維持管理および改良・補修の実態調査を実施し、その傾向を把握した。

つぎに、現状の設計体系、港湾施設の維持管理の現状、周辺環境などを考慮しながら、ライフサイクルコストによる港湾構造物のマネジメントシステムの構成に必要な事項、条件および体制などについて検討した。また、システムの運用対象を絞り込み、パイロットモデルの骨組みを検討し整理するとともに、システム化に向けた問題点ならびに必要な事項などを明らかにした。

本資料における維持、補修、更新、改良およびマネジメントとは下記に示す行為を指す。

維持：物理的の老朽化、あるいは機能低下を許容限界以内にとどめる行為

補修：物理的に老朽化した構造物を部分的に作り替え、新設時に有していた機能まで回復させるか、もしくは機能が失われる時機を延伸するための行為

更新：物理的、機能的に老朽化した構造物、あるいは異常な外力によって破損した構造物を撤去（埋殺）し、全面的に取り替え、新設時に有していた機能まで回復させる行為

改良：既存の港湾施設を利用し、当所計画の機能よりもさらに施設の機能を向上、強化させるために行う行為

マネジメント：施設の供用開始後の部材などの劣化に対し、残存耐力と供用期間を十分に考慮し、最適な維持管理対策を定期的かつ計画的に施す行為

2. 港湾構造物のライフサイクル

2.1 ライフサイクルの定義

ライフサイクルという用語を辞書で調べると、「誕生から死までの、人の一生の過程、商品が市場に出たから陳腐化して発売中止になるまでの周期」¹⁾、「生活環、生物の発生から死までの全過程、ライフヒストリー、商品の寿命、人間の生活周期」²⁾などと定義されている。元々、ライフサイクル(LC)という用語は工学的な分野よりも、生物や経済の分野において主に用いられていた。それが1960年代のアメリカにおいて、バリューエンジニアリング(VE)、PPBS(企画計画予算制度)といった経済性を考慮する工学的手法の開発が進められる中、ライフサイクルコスト(LCC)という経済性を検討する一種の費用便益手法が検討されるようになり、ライフサイクルの考え方が工学的分野においても用いられるようになった。1964年にアメリカ国防省において航空機のタイヤ調達にLCC法が試行されたのを始めに、1970年代には国防省からLCCガイドブックが発行されるに至った。その後は、連邦政府の各省庁各州政府で公共設備、建築物等にライフサイクルの概念が用いられるようになり、ライフサイクルコストの算定条件として、施設等の全過程を表す概念としてのライフサイクルという用語が定義されたと考えられる。当たり前だが、ライフサイクルはライフサイクルコストと密接した概念である。

(1) 建築物におけるライフサイクル

日本では機械や建築といった分野で先駆的に取り上げられ導入された。建築物のライフサイクルは、図-1に示す、企画・基本設計・実施設計・建設・運用管理・運用および処分³⁾の6段階に分けられている。大別すると企画設計、建設整備、運用計画、解体処分の4つがライフサイクル上の主たる要素といえる。

① 企画設計では、いかなる建築物を建築していくかに関する考察が主たる作業内容であり、企画構想が基本設計、実施設計を経ることでより具体的なプランに詰められていく。

② 建設整備は施設を建設する過程であり、前段階にあたる企画設計において立案されたプランが具体化されるプロセスである。

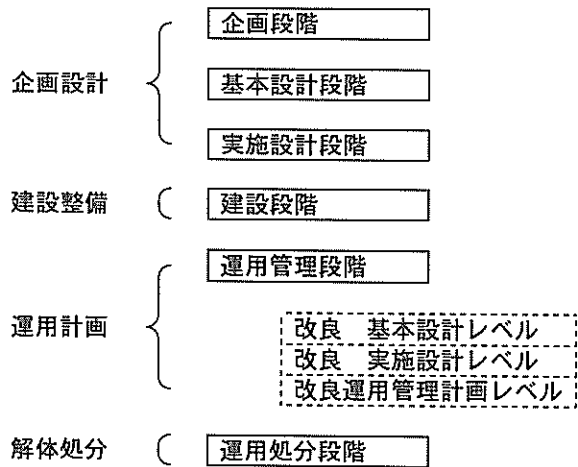


図-1 建築物のライフサイクル

③ 運用計画とは建設された施設が実際に使用される段階であり、ライフサイクル上は最も期間が長い段階である。この間においても修繕もしくは改良という作業が発生する。修繕とは施設の劣化を防ぐために実施されるメンテナンス工事であり、改良とはより高い機能の提供や外部の社会的変化に対応するべく実施される比較的規模の大きい工事である。

④ 解体処分は施設によるサービス供与が停止され、施設自体が解体、撤去される段階である。ビルなどの建築物では躯体部分などの基本部分の劣化により、施設維持が困難になる、あるいは、仮に改良により施設維持が可能であってもコスト的に見合わないような事態が最終的には到来する。従って、建築物は最終的には解体、撤去されることになる。通常、住宅、オフィス、工場などの建築構造物の場合、木造では約30年、非木造建築物では約50年のライフサイクルの終期を比較的容易に定義できる。それは、建築物が解体撤去されることにより当該建築物の終期が明確化されるからである。したがって、撤去後に同じ場所に別の建築物を新築することは、完全に別施設のライフサイクルが始まるとみなすことができる。

(2) 土木構造物のライフサイクル

土木構造物のライフサイクルは、構造形式が多種・多様であるため一律には定めにくい。それは、例えば防波堤、ダム、および橋梁のような安全性を重要視するような施設から、道路舗装のように補修を前提とした施設までと幅広いうえに、各々の施設の重要度も異なるためである。したがって、土木構造物のライフサイクルについての定義は明確にされていないものの、ほとんどの施設

が地域の自然・社会・経済等との関係が密接で、さらに公共性が高い構造物が多いという特徴があることもあって、実質的にはライフサイクルが、建築構造物より長いと考えられる。ちなみに、「土木施設のライフサイクル」³⁾では、このような土木構造物の特徴を踏まえ、土木施設のライフサイクルとは、「構造物が完成してから、利用が廃止されるまで」としている。

2.2 港湾構造物のライフサイクル

(1) 港湾施設のライフサイクル

港湾施設に関するライフサイクルも先の土木構造物と同様に明確に定義されていない。しかし、土木構造物の中でも港湾構造物の置かれた固有な状況として、港湾施設の場合には施設の完全なる解体撤去が不可能であることが多いこと、港湾構造物が形成するシステムとしての港湾が時代や社会からの要求に対し積極的に対応し絶えず変化していること、さらに、港湾が持つ物流機能と臨海部の空間が有する開発機能の存在を考慮しなければならないことなどがある。そのため、ある特定の時点をもってその施設のライフサイクルの終期が到来したと明示することが難しい。

そこで、本検討では前述の土木施設のライフサイクルと同様、港湾構造物のライフサイクルを機能面から捕らえることとし、供用機能の変化時点をもって、ライフサイクルの終焉とみなすものとする。

(2) 既往事例からみたライフサイクル終焉の理由

図-2に、既往係留施設の改良・更新に関する実態調査を行った結果⁴⁾を示す。

係留施設の改良理由は、施設老朽化、耐震・液状化対策、船舶大型化、施設用地の確保、取扱貨物、荷役形態の変化の5種類にほぼ集約できる、さらに「安全性の確保」および「機能性の確保」に大別できる。耐震・液状化対策を機能向上とするか、安全性上の問題と考えるかは、対策の目的によって異なるために判断が難しいが、仮に図中のように耐震・液状化対策を安全性の確保と判断し区分すると、安全性と機能性はほぼ同数となる。それとは反対に、液状化・耐震対策を構造の機能向上と考えると、約6割は何らかの機能上の変化により改良という行為に結びついているともいえる。いずれにしても、施設老朽化、耐震・液状化対策、船舶大型化、施設用地の確保、取扱貨物、荷役形態の変化といった理由の一つまたは複数が重なり、それが要因となりライフサイクルの終焉が訪れている。

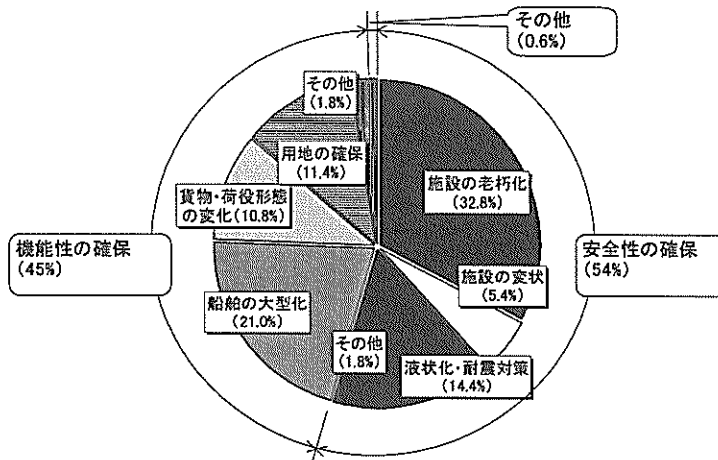


図-2 港湾構造物の改良理由

表-1 大蔵省令の港湾関連施設耐用年数表

種 類	構造又は用途	細 目	耐用年数(年)
建 物	鉄骨鉄筋コンクリート造又は鉄筋コンクリート造のもの	事務所用又は美術館用	65
		住宅用、寄宿舎用、宿泊所用、学校用又は体育館用	60
		飲食店用、貸席用、劇場用、演奏場用、映画館用又は舞踏場用	50
		旅館用又はホテル用	47
		店舗用	47
		病院用	47
		工場（作業場を含む。）用又は倉庫用	～45
	金属造のもの（骨格材の肉厚が4ミリメートルを超えるものに限る。）	事務所用又は美術館用	45
		店舗用、住宅用、寄宿舎用、宿泊所用、学校用又は体育館用	40
		飲食店用、貸席用、劇場用、演奏場用、映画館用又は舞踏場用	35
構造物	鉄骨鉄筋コンクリート造又は鉄筋コンクリート造のもの	水道用ダム	80
		トンネル	75
		橋	60
		岸壁、さん橋、防壁（爆発物用のものを除く。）、堤防、防波堤、塔、やぐら、上水道、水槽及び用水用ダム	50
		下水道、煙突及び焼却炉	35
		高架道路、製塩用ちんでん池、飼育場及びへい	30
		やぐら及び用水池	40
	コンクリート造又はコンクリートブロック造のもの	岸壁、さん橋、防壁（爆発物用のものを除く。）、堤防、防波堤、トンネル、上水道及び水槽	30
		下水道、飼育場及びへい	15
		岸壁、さん橋、防壁（爆発物用のものを除く。）、堤防、防波堤、上水道及び用水池	50
石造のもの	橋（はね上げ橋を除く。）	25	
	はね上げ橋及び鋼矢板岸壁		
	サイロ		
金属造のもの	送配管	25	
	鋳鉄製のもの 鋼鉄製のもの		
木造のもの	橋、塔、やぐら及びドック	15	
	岸壁、さん橋、防壁、堤防、防波堤、トンネル、水そう、引湯管及びへい	10	

表-2 部門別平均耐用年数(抜粋)⁶⁾

部門名	平均耐用年数(年)
1. 道路	45
2. 港湾	50
3. 航空	17
4. 国鉄	22 (S27以前は50)
5. 鉄建公団など	26
6. 地下鉄など	36
7. 電電公社	16
8. 下水道	34
9. 廃棄物処理	15
10. 水道	32
11. 都市公園	19
12. 文教施設	
1) 学校施設・学術施設	53 (S27以前は24)
2) 社会教育施設など	48
13. 治水	49
14. 治山	47
15. 海岸	50
16. 農林漁業	
1) 農業	32
2) 林業	27
3) 漁業	50
17. 郵便	27
18. 国有林	34
19. 工業用水道	40

2.3 港湾構造物の耐用年数

(1) 法規上の港湾構造物の耐用年数

a) 大蔵省令に基づく耐用年数

耐用年数の具体的な数値に関しては、大蔵省令⁵⁾で定められている。大蔵省令では、機械及び装置以外の有形減価償却資産の耐用年数表、機械及び装置の耐用年数表、無形減価償却資産の耐用年数表、生物の耐用年数表ほか合計8表の耐用年数表により、償却資産の耐用年数を定めている。大蔵省令は税法上の償却年数を定めたものであり、厳密には民間資本の償却資料である。したがって社会資本のうち公的資産については、この大蔵省令を基にした参考値である。

表-1に「減価償却資産の耐用年数等に関する省令」

(昭和40年大蔵省令第15号、改正平成7年)の中の「別表第一、機械及び装置以外の有形減価償却の耐用年数表」を示す。港湾関連施設としては、岸壁、さん橋、鋼矢板岸壁について具体的な耐用年数が定められている。

表-3 港湾関連施設の耐用年数抜粋表

種別	名称	規格	耐用年数
工作物	舗床	コンクリート、石	40
		れんが敷	20
		アスファルト舗装	15
		簡易舗装	5
	岸壁、防波堤	鉄筋及び無筋コンクリート石造	60
		鋼矢板	25
	橋りょう	鉄筋コンクリート造	60
鉄製		60	
木造		15	
栈橋	鉄筋コンクリート造、	50	
	鋳造		
船舶	ボンツ	鋼製	20
	ン	木製	15

岸壁、さん橋については、鉄骨鉄筋コンクリート造または鉄筋コンクリート造のものが50年、コンクリート造のものが30年、石造のものが50年、木造のものが10年となっている。鋼矢板岸壁については25年とされる。

b) 経済企画庁による耐用年数の推計

経済企画庁が推定した社会資本の部門別耐用年数を表-2⁶⁾に示す。この推定は、大蔵省令に基づき構築物別の耐用年数を設定し、減価償却費の発生状況や維持補修費をもとに耐用年数を逆算して平均耐用年数を推計している。これは物理的、経済的、機能的の3種の耐用年数を総合した実証的アプローチとみなせる。

推計結果によると耐用年数が長いものとして、港湾(50年)、海岸施設(50年)などが挙げられている。逆に廃棄物処理(15年)、航空(17年)などにおける耐用年数は短い。

c) 運輸省における耐用年数

表-3は、運輸省の「港湾関係補助金等交付規則実施要領について」⁷⁾のうち、耐用年数に関連した部分をまとめたものである。同表によると耐用年数が50年を越えるのは、鉄筋及び無筋コンクリート石造の岸壁・防波堤(60年)、鉄筋コンクリート造、鉄製の橋梁(60年)、栈橋(50年)などである。鋼矢板の岸壁・防波堤は25年、コンクリート舗床は40年とされている。

(2) 耐用年数の概念

建築物あるいは構築物のライフサイクルは、供用が停止され、撤去された時点で終了する。停止、撤去に至るまでの判断、どのような状態でライフサイクルを終了さ

せるかは、施設の耐用年数の概念に示される理由が要因となると考えられる。したがって、耐用年数が到来したと見なされることにより施設の使用停止や解体が実施され、ライフサイクルの終焉を迎えることとなる。

港湾構造物以外の土木構造物における耐用年数についての一般的な概念は以下に示す3概念であり、港湾構造物の耐用年数の概念と他の土木構造物の概念はほぼ等しい。ただし、港湾構造物では機能的耐用年数と社会的計画的耐用年数に各々別の概念を持たせているが、他の土木構造ではこれらをまとめて機能的耐用年数として整理している。

① 物理的耐用年数

構造物の安全性の見地から新設、更新が求められる年限。構造物の物理的な寿命。

② 経済的耐用年数

構築物の建設に要した費用の償却年数および維持費用の経済的な観点から施設更新を図るのが妥当とみなされた時点までの年限。

③ 機能的耐用年数

社会情勢の変化が施設の更新を求める場合までの年限。

港湾構造物のライフサイクルの終了時点の判断基準を示す物としては、「土木施設のライフサイクル」⁸⁾に以下の4つの耐用年数が示されている。

① 機能的耐用年数

船舶の大型化、取扱貨物量、種類の変化により、施設の機能に不都合が生じてその構造が使われなくなるまでの年数。

② 物理的耐用年数

構造物を構成する材料が腐食などの連続的な劣化により必要な材料強度を維持できなくなる年数。

地震、波浪などの非連続的な外力により構造物が破損し、その施設が機能を発揮できなくなる年数。

沈下、埋没などの物理的な要因により施設の機能が発揮できなくなる年数。

③ 経済的耐用年数

何らかの改良を施さねば新形式の他の施設との経済的競争に負ける状態となる年数。

④ 社会的計画的耐用年数

新規計画により当所目的とした機能が不必要になるか、または別の機能が要請されるまでの年数。

以上のように、港湾構造物の耐用年数には、機能的耐用年数、物理的耐用年数、経済的耐用年数、および社会的計画的耐用年数という4つの概念が存在し、これにより港湾構造物のライフサイクルの終焉を判断することが可能となる。

実際の構造物では、これらの耐用年数のいずれかが終わりを迎えた時点で、施設の維持補修、更新、改良などの行為が検討され、何らかの判断が下されることとなる。

(3) 港湾構造物設計上の耐用年数

港湾構造物の設計に用いる耐用年数は、重要と考えられる施設において50年、それ以外の施設について30年といった年数が一般的に用いられている。設計に用いる外力を検討する場合、例えば同じ港湾の防波堤と岸壁の設計でも、構造部材、使用材料の耐用年数が50年であるのに対し、防波堤の設計波は50年確率波高、設計対象地震動のレベル1では再現期間75年、レベル2では再現期間数百年の地震動を用いているように、施設および検討対象項目によって年数が異なる。

通常、設計に用いる耐用年数の概念は物理的耐用年数である。具体的に50年耐用の一般的な矢板式係船岸の設計を例として、地震力だけで断面が決定してしまうものと仮定し、設計対象地盤の改良が不要であれば、75年期待値の地震による総合的な作用合力に対して設計上の要求を満たす、鋼矢板、タイ材など部材の規格を選択し、長さ、深さおよび幅など寸法を決めることで基本設計のほとんどが終わってしまう。また、その段階で建設後50年の間に想定できる程度の部材の劣化が生じて、構造機能が維持できるように、鋼材であれば防食処理が施され、鉄筋コンクリートであれば最小かぶり厚を満たすような設計および施工がなされる。つまり、設計者の想定している程度の部材劣化が生じて、各々の構造材が所定の性能を有している限り、設計対象以下の作用外力に対しては維持補修を行わなくても機能を維持できると考えられる。言い換えると、耐用年数の50年の間は基本的にメンテナンスフリーであるといえる。当然これは、岸壁だけでなく防波堤、護岸など他の港湾構造物においても同様であって、設計の耐用年上では港湾構造物はメンテナンスフリーの構造物といえるわけである。しかし、現実の構造物では、物の衝突などの予想できない被害や、鋼材の集中腐食、コンクリートの中酸化、塩害および裏込め材の抜け出しなど、施設を設計する時点では予測されていなかった様々な問題の発生により、施設の耐用年数に到達する前に機能を維持するための補修を必要とする施設が多数存在することは周知のことである。また、構造物本体の耐用年数を考える場合、構成する複数の構造部材のなかの一つが設計耐用年数に満たないうちに必要性能を満たさなくなることで、構造物全体の機能も失われる場合もあることから、構造物本体の耐用年数は構成部材の耐用年数（性能）とイコールとなる。したがって、今後は構造物の改良更新・維持管理といった施設マ

ネジメントがますます重要となってゆくと考えられる。

3. 港湾の施設整備とライフサイクルコスト

3.1 港湾施設の社会資本ストックと維持管理

港湾に限らず、我が国の社会資本は戦後の高度成長の過程でかなりの水準まで引き上げられたが、経済成長が緩やかもしくは横這い状態にある状況で、蓄積された社会資本を良好な状態に維持するために必要な費用について、「日本の社会資本」21世紀へのストック⁹⁾に将来予測が示されている。

図-3に、公共投資に占める維持更新費の割合を示す。新設改良費、維持補修費および更新費は、公共社会資本ストックの総計を、公的固定資本形成の実質額を2004年度まで3%で伸ばし、2005年度以降は横ばいとした(ケース1)と一律3%で伸ばした(ケース2)の2ケースについて、2010年度までの投資系列と除却系列を算出し、1990年度、2000年度、2010年度の3時点における公的資本ストック総計額をPI法により計算している。さらに、1981年度から1993年度までの公的社會資本全体の実質維持補修費とストック額から、(d)年次に対する回帰式によりパラメータを推計し、新設改良費、維持補修費および更新費を求めている。

今後、新設改良費の伸びが3%で進むと、投資全体に占める維持更新費の割合は1990年度時点の14%に対して2000年度には18%、また2010年度には36%になる。また、新設改良費の伸びを2004年度まで3%、2005年度以降横

ばいとした場合の維持管理費の割合は、2000年度で18%、2010年度には31%になる。このように、2000年度以降は高度成長期に投下された社会資本ストックの更新期を迎えることで、維持管理、補修、改良および更新費用が増加することが予想される。

港湾の社会資本ストックも同様な傾向にあることは明白で、今後の維持管理、維持補修はますます重要となる。このことは、すでに1970年代後半から研究者によって問題提起されており、学会等においても対応が急務であるという報告がなされている^{10, 11, 12, 13)}。そこで、今後は最小費用で最大効果を得られるような維持管理、維持補修の方法を検討する方策を確立する事が重要となる。

3.2 港湾構造物の維持管理、改良・更新実態

港湾構造物の施設整備実態を把握するため、全国の港湾管理者を対象に「係留施設のライフサイクルと機能評価に関するアンケート調査」を実施した。同時に、ヒアリング調査によりコストの詳細な発生事例を整理した。

(1) 調査の概要

港湾構造物のライフサイクルの実態を把握し、維持管理、施設整備のあり方を検討するため、係留施設を対象にライフサイクルと機能評価に関する調査を実施した。

アンケート対象は改良・更新に関する既往研究¹⁴⁾の実態調査45施設の中から20施設を抽出し、ライフサイクルに関連した事項について再度アンケートを実施し、17件の回答を得た。

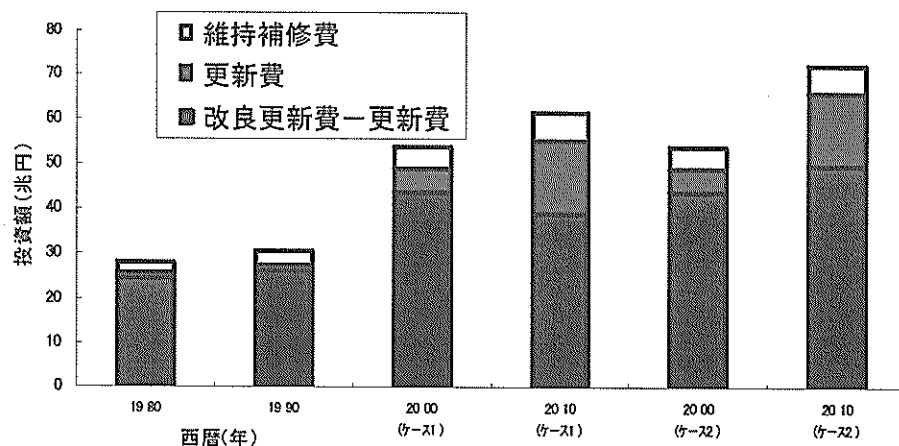


図-3 投資額に占める維持更新費の割合

ヒアリングはアンケートによる設問に対する回答の傾向を踏まえたうえで、比較的歴史のある港湾を選定し、北から小樽港、苫小牧港、新潟港、小名浜港、千葉港、東京港、横浜港、名古屋港、神戸港、広島港、北九州港、博多港の港湾管理者に対して実施した。

(2) アンケート調査

a) 調査内容

図-4にアンケート項目を示す。アンケートは大別して次の3つにより構成される。

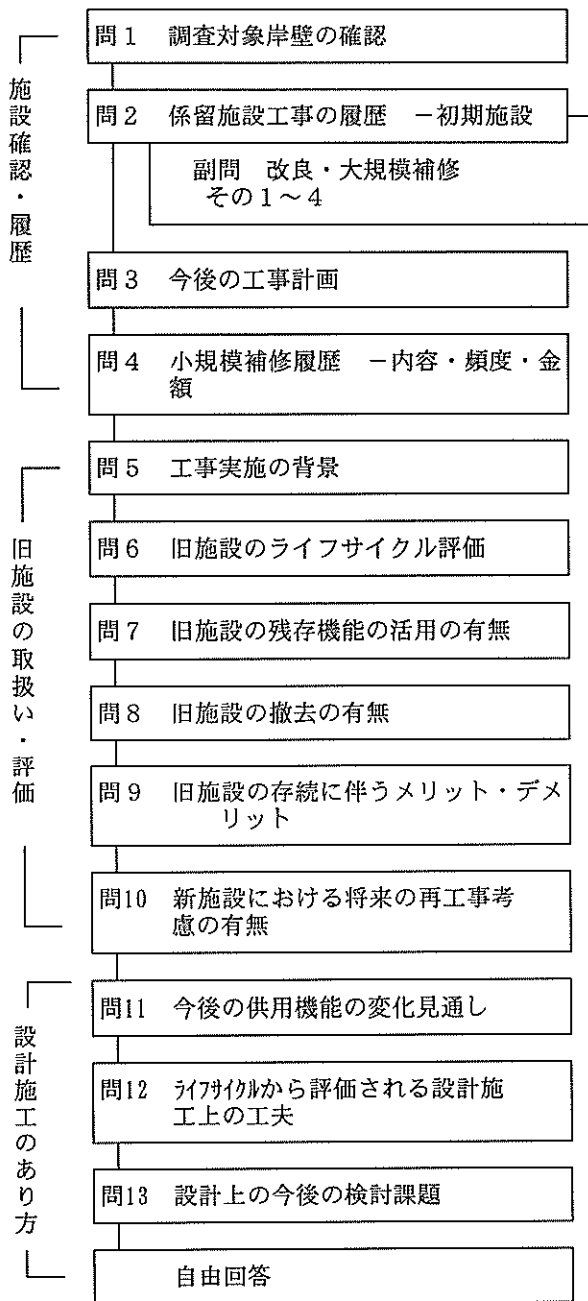


図-4 アンケートの内容

① 指定した係留施設に関して、施設確認、初期施設および工事事例の概要、今後の計画について。

② 今後の工事予定、それが無い場合には最も最近の工事に関して、工事の背景や改良・大規模補修における主として旧施設の取扱いについて。

③ 将来の港湾整備に際しての設計施工のあり方について。

b) アンケートの結果

① 維持管理・改良の履歴 (問2～問4)

問2では係留施設工事の履歴として、初期施設およびその後の改良・大規模補修における、完成年、構造形式、および対象船舶などについて。問3は、同様の質問を今後の計画施設について設問したものである。

詳細は後述のライフサイクルコストの費用化に統合し整理する。回答17港湾中、改良・大規模補修を最低1回実施もしくは予定中なのは15港湾であり、うち実施済みが10港湾、実施中が2港湾、予定3港湾という結果であった。問4では小規模補修履歴に関しては6港湾より回答を得た。アンケート対象の岸壁のみの履歴回答の困難性を考慮して、アンケートでは港湾全体の小規模補修費用から1岸壁当たりの費用を算出する設問を併用した。

詳細は後述のライフサイクルコストの費用化に統合し整理する。アンケート結果によると、年間1岸壁あたり的小規模補修費用は、百数十万円～6百万円程度であった。

② 施設の改良の検討手法および理由

問5～13では、今後の施設の改良の検討手法および理由などに関する選択式の設問を設定した。また、アンケート結果の検討には、ヒアリング時に得た7つの港湾管理者の意見も加えた。

③ 改良、補修および撤去の理由 (問5)

図-5には、施設改良、補修、撤去の理由を示す。アンケート回答中、施設老朽化や施設補強といった安全性の確保目的が約30%、船舶の大型化、用地確保などの機能性の確保のためが約55%、計画的な面からが約10%となった。

④ 施設のライフサイクル評価 (問6)

図-6に、施工対象となった旧施設に到来した耐用年数の種類について示す。物理的耐用年数が約35%、機能的耐用年数が約50%、経済的耐用年数が5%となった。

⑤ 旧施設の残存機能 (問7)

図-7(1)に示す施工対象の旧施設の残存機能の活用の有無では、約55%が活用、約30%が活用しないとなり、活用する方がやや多かった。

図-7(2)に示す、残存機能を活用した場合の具体的な活用方法では、旧施設の一部の供用を存続、部材の新

設・取り替え施工で構造上の変化無し、土圧などの荷重分担などがあげられる。

⑥ 旧施設撤去の有無（問8）

図-8に旧施設の撤去の有無について示す。一部撤去、全部撤去と何らかの形で施設撤去を実施したものが約40%、撤去しないものが約40%で、ほぼ同じ割合であった。

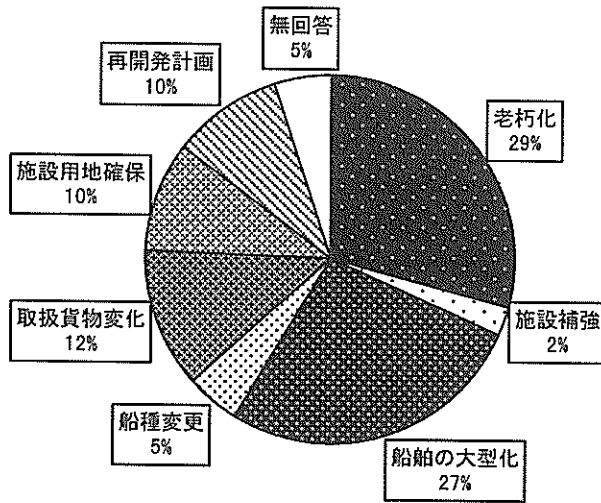


図-5 改良，補修および撤去の理由

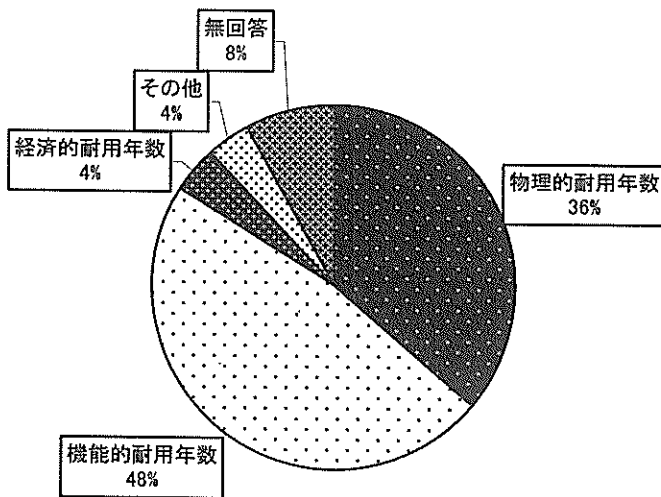


図-6 耐用年数のライフサイクル評価

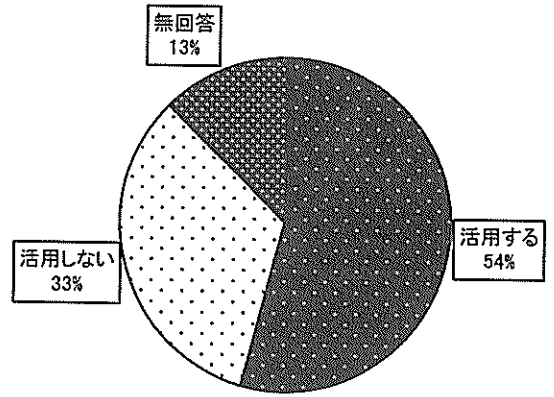


図-7(1) 残存機能の活用の有無

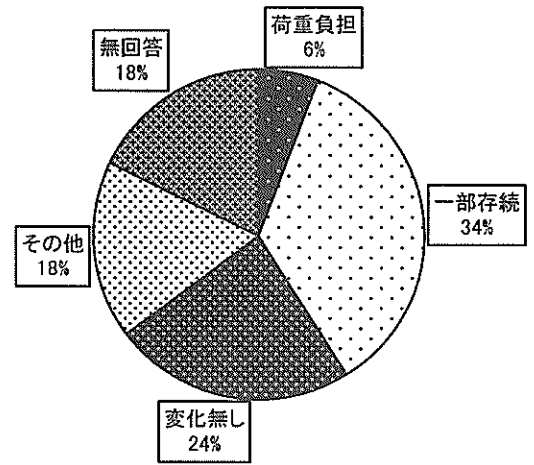


図-7(2) 活用方法

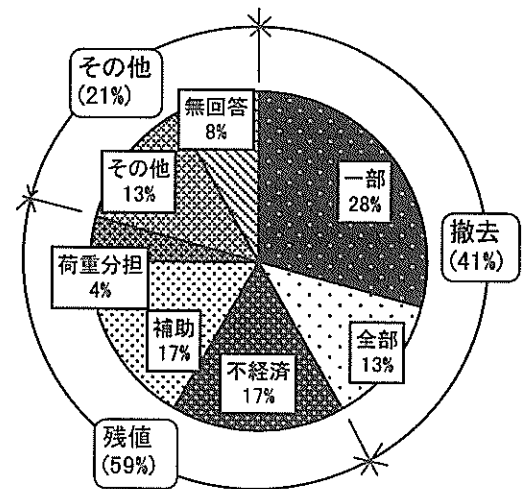


図-8 旧施設の撤去の有無

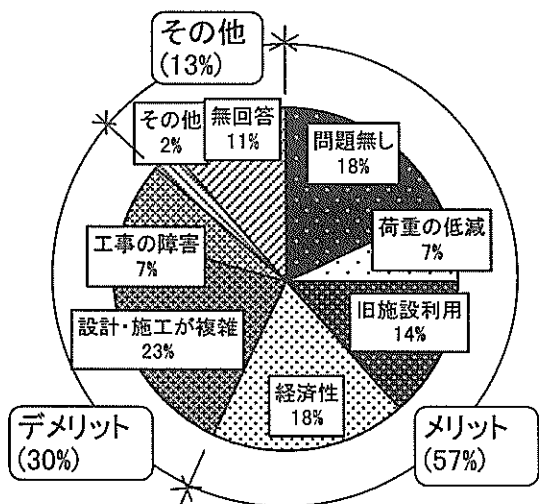


図-9 旧施設の存続に伴うメリット・デメリット

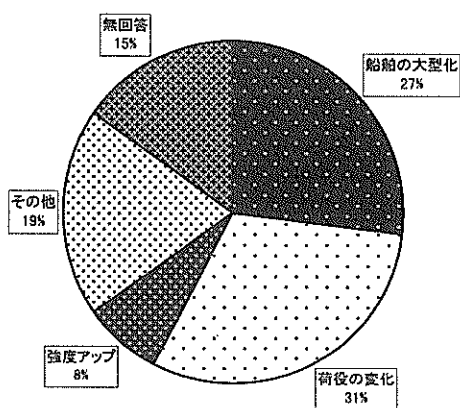


図-10 今後の供用機能の変化

⑦ 旧施設の存続に伴うメリット・デメリット (問9)

図-9に施設の存続に伴うメリット・デメリットを示す。メリットは、経済的であること、そのままでも問題が生じない旧施設を活用することでのコスト削減、設計荷重の低減などで約60%を占めた。一方、デメリットは、設計・施工の複雑化、既存の捨石などの工事進行上の障害化が挙げられ、約30%となった。

⑧ 新施設における再工事考慮の有無 (問10)

工事予定の新施設において、将来の改良もしくは大規模補修を見込んだ施設はなかった。

⑨ 供用機能における今後の変化 (問11)

当該係留施設において、今後、発生すると考えられる供用機能の変化について図-10に示す、荷役、貨物の変化、船舶の大型化・増深対応などが挙げられた。

⑩ ライフサイクルの観点からみた設計施工上の工夫の必要性 (問12)

アンケート回答結果によると、増深可能な係留施設の設計、液状化対策の実施・耐震施工、エプロン用地などの十分な確保、岸壁の構造型式などの工夫が求められていた。

⑪ 今後の設計課題 (問13)

今後の設計課題として、ライフサイクルを考慮した場合に設計上考慮されるべき点としては、トータルコストの低減化、経済的・社会的な港湾機能の変化と施設設計の整合性確保という意見が多かった。

(3) ヒアリング調査

ヒアリングは10港の港湾管理者に対し実施し、39件の係留施設についての情報を入手した。

ヒアリングの内容は係留施設の整備関連費用についての実態で、各管理者が保有している港湾施設台帳などの資料から対象施設の整備費用を直接拾い上げてデータの収集を行った。具体的には施設の初期整備費用、維持管理費用、改良・補修費用などである。調査結果および分析結果は後述のライフサイクルコストの費用化に示す。

(4) 施設の維持管理および施設関連記録データの実態

ヒアリングなどによる施設の維持管理の状態、施設台帳や補修記録などの施設関連データの管理実態から考えると、経年的かつ定期的に港湾施設の維持点検を実施し、施設の維持補修を行っている港湾管理者は多くはなく、その多くは構造上の問題が起こるか、計画および使用形態の変化から要求機能が変化しない限り点検活動は行われていないのが現状である。

3.3 港湾施設のライフサイクルコスト

(1) ライフサイクルコストの定義

ライフサイクルの定義でも示したように、ライフサイクルコストとライフサイクルは密接した関係にある。本資料では、港湾構造物のライフサイクルを機能面から捕らえるものとし、供用開始から機能の停止および変化時点までがライフサイクルであるとする。

ライフサイクルコストを検討する場合の3要素として、効果 (E: Effectiveness), イニシャルコスト (IC), ランニングコスト (RC) があり、これらの組み合わせから最適な状態を検討するが、検討に際しては資本金利と物価変動の影響を加味しなければならない。以下にライフサイクルの各段階における検討方法を示す。

a) 計画・設計段階での検討

・ ICを一定範囲に固定, E/RCを最大にし, RCの加減により, 使用効果を最大にする。

- ・ IC+RCを一定範囲に固定，Eを最大にし，総費用を固定した上で，ICとRCとの配分を操作することで効果の最大化を図る。
 - ・ EとICを一定の範囲に固定，RCを最小化し，予め想定した効果をRCの操作から最適化を図る。
- b) 設計・契約段階での検討
- ・ Eを一定の範囲に固定，IC+RCを最小にし，想定の使用効果を定め，費用最小化を図る。
- c) 運用管理段階での検討
- ・ Eを一定の範囲内で固定し，最小のRCを求める。
 - ・ RCを一定の範囲内に固定，Eを最大化し，RCの運用方法を検討する。

上記のとおり，費用とはイニシャルコストおよびランニングコストであり，効果とは使用効果であるとする。ライフサイクルコスト管理とは，費用最小化の概念に留まらず，使用効果（便益）の最大化，効率化も目指すべき概念であることがわかる。

つまり，ライフサイクルコスト分析は費用対効果分析と見なすことが可能である。費用対効果分析とは費用／効果の比を定義し，この最適化が図りうる費用および効果を求める手法である。ライフサイクルコスト管理も，一次的には一定の機能供与を前提として，そこでの費用最小化を図る考え方として定義されるが，さらに進んで

コスト制約下における最大機能の発揮方策，あるいはコスト／効果の比率分析などに基づいた望ましいコストと効果の組み合わせ方策の検討までを含めた検討手法としていくことが可能と考える。

上記a)～c)に示すように，ライフサイクルにおけるどの段階からでもライフサイクルコストの実践は可能と考えられるが，当然ライフサイクルにおける企画設計の早期からライフサイクルコストの検討を実践する方が，サイクルの後ろの段階で実施するよりも効果的な施設管理を実践できると考えられる。しかし，ライフサイクルコストによる検討は，新規施設にのみ適用するのではなく，対象施設のライフサイクルの各段階による最適な方法を選択することになる。

(2) 米国にみるライフサイクル算出法

具体的なライフサイクルコストの算出法が米国連邦調達庁から公表されている。表-4に算出法を示す。

連邦調達庁公共供給局モデルからは，維持管理費用の内訳である労務費用，故障修繕のための材料費，輸送費，保全要員の件費の算出方法が把握できる。これらは原単位法に基づいたものであり，従ってそれぞれの原単位，積算根拠を明確化することから維持管理費用の算定システムの構築が可能となる。

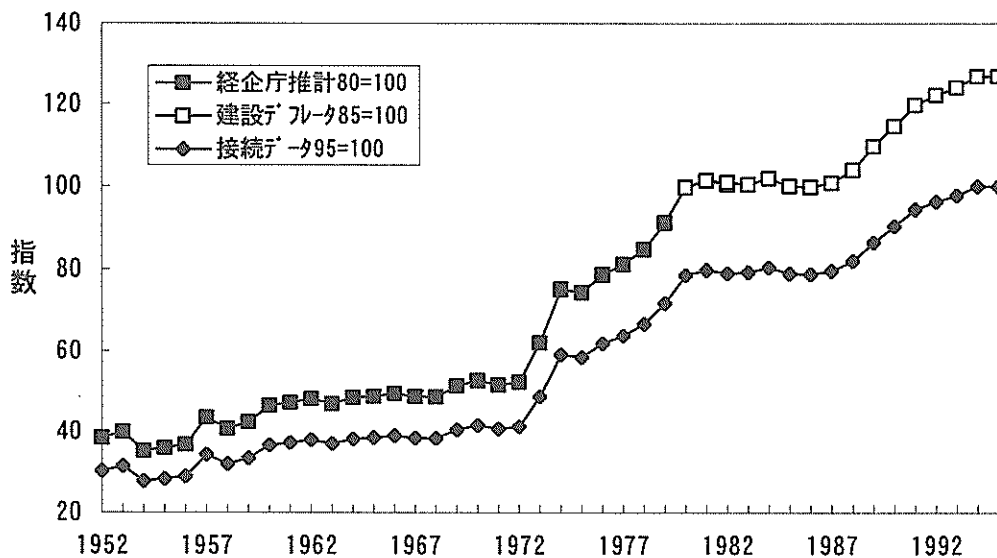


図-11 港湾関連の換算デフレタ

表-4 アメリカのライフサイクルコスト法

連邦調達庁 公共供給局におけるコスト算出法
<p> $LCC = \text{取得価格} + \text{イニシャル・ロジスティック・コスト} + \text{維持管理費用}$ (以下は維持管理費用の内訳) $RCL = \sum_{i=1}^n LTi \times LRi \times \% Ri$ $RCM = \sum_{i=1}^n MCSi \times \% Ri$ $TC = W \times LRP \times MRP + ASR \times PW / UW \times (1 - \%R)$ $PM = \sum_{i=1}^n Fi \times Ri$ $N = EU / MTBF$ </p> <p> RCL: 故障修繕の労務費用, LTi: i番目の保守労務時間 LRi: i番目の保守労務費用, $\% Ri$: i番目の保守修繕占有率 (%) RCM: 故障修繕の材料費用, $MCSi$: i番目の保守材料費用 TC: 輸送費用, W: 重量, LRP: 標準的な梱包労務比率 MRP: 標準的な梱包材料比率, ASR: 平均的な輸送費用 PW: 梱包した重量, UW: 梱包していない重量 PM: 予防保全の労務量 (人・日), Fi: i番目の予防保全の労務量 (人・日) Ri: i番目の予防保全回数 N: 故障率 (必要修繕回数), EU: 設定使用時間, $MTBF$: 平均故障間隔 *コストは現在価値で算出する </p>
連邦調達庁 公共建築局におけるコスト算出法
<p> $EUAC = FR \times [Ci \times Fp + \sum_{j=1}^n Fpj (CR + Coj \times Ioj (= Cmj) + S \times Fp)]$ </p> <p> $EUAC$: 等価均一年間費用 (FR に続く大かっこは、LCCの総計を求める。$EUAC$ は演算子 FR を使って、総計の年間当たりの割引価値を求める) FR: 資本回収係数、$i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$ i: 割引率 n: 設定寿命 Cp: 企画、設計、建設段階の初期コスト Fp: 現在価値率、$1/(1+i)^n$ $\sum_{j=1}^n$: 使用開始を1として建築物の寿命 n年までの jによる合計 CR: 建築物の設定寿命内の修繕費、改善費 Coj: j年次の年間維持費 Ioj: 連邦金利よりも金利が高くなる場合にコスト調整する差分調整率 Cmj: ベース年換算の j年次の年間維持費 S: 建築物の設定寿命終末期での建築物、敷地、廃材の残存価値 </p>

連邦調達庁公共建築局モデルでは、ライフサイクルコストを初期費用、維持費用、廃棄費用などに区別し、それらの合計値としてライフサイクルコストを評価するシステム構築を実施している。ここで注目されるのは、コストを現在価値に換算する方法である。

ライフサイクルは長期にわたるので、コスト算定において名目値を合計するだけでは、コストの正確な比較ができない。そのため上記モデルでも割引率（利子率）を基に定義した現在価値率を導入して、名目値を特定年次（多くは現在）の価値ベースに実質化している。モデルではさらに等価年間費用に換算しているが、この操作は年当たりの所要コストを算出することから、異なるプロジェクト間での比較を容易にする効果を狙ったものと考えられる。

(3) 現在価値への換算デフレータ

米国連邦調達庁のライフサイクルコスト分析でも採用されているが、コスト分析における各金額は、特定年次を基準とする実質額であることが必要である。これは、例えば1955年度の整備事業費10億円と、1996年度の事業費10億円とは、名目金額では同一であっても、この間における物価、賃金などの上昇分を勘案すると、実質ベースでは1996年度の事業費10億円の方が減価していることによる。このように、名目値を実質値に換算していくための係数を換算デフレータとよぶ。

代表的なデフレータとしては、消費者物価指数（CPI）、卸売物価指数（WPI）などがあるが、港湾施設の事業費は、原材料、機械用役および建設労働を主要な投入要素とするため、物価指数のような物財ベースのデフレータではなく、これらの投入要素を総合した指数の利用が求められる。そのため、公共土木工事用のデフレータとして建設省建設経済局では1980年4月より、建設工事費デフレータを「建設統計月報」¹⁵⁾に公表している。このデフレータは、名目工事額を基準年度の実質工事額に換算するものであり、作成方法は、基準年度における工事種類別の資材・労務費の工事費合計に占めるウエイトを用いて、それぞれに対応する物価指数（毎月勤労統計、卸売物価指数）を加重平均して算出している。

経済企画庁は昭和61年に「日本の社会資本」という資料を公刊したが、ここでは国内に存在する社会資本のストック額を1982年度までについて推計している。社会資本ストックは実質ベースで集計されたので、同資料では資本項目別にデフレータ系列を推計、設定している。港湾関連のデフレータは「漁港港湾」¹⁶⁾で区分され、これより1952～1982年度までのデフレータが示されている。資料のデフレータ系列の推計は、建設工事費デフレータ

の作成方法に準じている。

a) 換算デフレータの設定

図-11に示すようなデフレータを仮定する。

1952年度から1982年度までは経企庁データを、その後は建設工事費デフレータのうち1995年度までの公共事業データを接続することにより港湾工事のデフレータを仮定する。両データをそのまま接続するには無理があるが、1980年度から82年度までの3ヶ年データのみをみる限り、両系列の動きはほぼ一致しているのでシフトしても差し支えないと判断した。また、1995年度を基準年（1995=100）として変換した。

1970年代の前半までは、デフレータ指数は50以下なので、現在価値に直すと名目額の2倍以上と評価されることがわかる。

b) 割引率の考え方

社会的割引率の考え方は数々あるが、ここでは、現在のようにインフレ率がゼロないしマイナス傾向にある社会では、将来のインフレ率もゼロと考え、市場利子率が社会的割引率に一致すると仮定する。

(4) 港湾構造物の費用発生状況

ヒヤリング結果に基づいて、係留施設のコスト発生事例の分析を行い、費用発生状況を求める。

表-5に初期整備費用が把握された30事例に関して、初期整備費用および各維持・補修の内容と費用と初期整備費に対する比率を示す。これらのデータはすべて整備年における名目価格である。したがって、初期整備費用および維持・補修を、図-11に示したデフレータを用いて1995年価格に変換している。

維持費用に関しては、港湾管理者毎に整理手法および分類の定義がまちまちである。そこで、維持補修関連の費用を台帳などの記録から直接拾いあげ、維持補修の内容および金額をまとめた。その際、施設関連の台帳では、予算内容が初期建設費と通年の港湾事業費の配算額についての記入項目が主で、施設単位での正確な金額を把握するのが困難であった。そこで、明確にバース毎に金額が把握されていたものを除いて、本検討における整理としては、台帳記載額を埠頭全体のバースの延長距離（m）で按分し、整備費用とした。維持補修に係る費用については1995年費用に換算した。

表-5 発生費用一覧

港湾名	係留施設名		初期整備			維持・補修				備考
			整備年	整備価格 (百万円)	95年価格 (百万円)	内容	整備年	整備価格 (百万円)	95年価格 (百万円)	
A	A-1	棧橋	1971			車止め(6)	1983	1.50	1.89	
						液状化対策	1993			
	A-2	棧橋	1974			車止め(4)	1983	1.00	1.26	
						耐震化	1993	628.83	643.11	
	A-3	矢板	1963	80.2	217.2	防眩材(9)	1984	6.00	7.47	3.44%
	A-4	矢板	1978	1311.3	1967.4	液状化対策	1988	239.24	292.01	14.84%
B	B-1	重力	1969	175.3	433.8	防眩材	1991	4.95	5.24	1.21%
						車止め	1991	1.00	1.06	0.24%
						防眩材(12)	1992	6.79	7.05	1.63%
						車止め	1992	5.78	6.00	1.38%
	B-2	重力	1979	1833.0	2555.8	荷役機械 係船柱	1993 1994	14.04 0.34	14.36 0.34	0.56% 0.01%
	B-3	重力	1971	132.3	325.9	車止め(32)	1990	0.88	0.97	0.30%
	B-4	重力	1973	102.5	210.4	防眩材(5)	1990	0.97	1.07	0.51%
						防眩材(12)	1991	1.85	1.96	0.93%
					係船柱(2)	1991	0.19	0.20	0.09%	
					防眩材(5)	1992	1.17	1.21	0.58%	
					防眩材(6)	1993	1.29	1.32	0.63%	
C	C-1	矢板	1969	503.9	1247.0					
	C-2	矢板	1972	174.8	424.5					
	C-3	矢板	1972	181.5	440.7					
	C-4	矢板	1973	181.5	372.5					
	C-5	直杭	1990	1142.0	1263.7					
	C-6	矢板	1965	224.4	584.5	工 ^ノ の舗装	1995	42.7	42.7	7.30%
	C-7	矢板	1965	640.6	1668.7	上部工、車止 工 ^ノ の舗装	1995 1996	40.3 60.5	40.3 60.5	2.41% 3.63%
	C-8	矢板								
D	D-1	重力	1972	473.9	1150.801	防食補修	1991	4.20	4.45	0.39%
						防眩材(2)	1992	0.10	0.10	0.01%
						防眩材(3)	1993	0.21	0.22	0.02%
						上部工、舗装	1994	3.55	3.55	0.31%
						防眩材(8)	1994	0.24	0.24	0.02%
						車止め(4)	1995	0.11	0.11	0.01%
						安全施設	1995	0.13	0.13	0.01%
						工 ^ノ の舗装	1996	0.19	0.19	0.02%
	側溝	1996	0.40	0.40	0.03%					
	D-2	重力	1979	3639.2	5074.1	給水栓(4)	1993	0.44	0.45	0.01%
						工 ^ノ の舗装	1994	0.24	0.24	0.00%
						防眩材(1)	1994	0.43	0.43	0.01%
					区画線	1995	0.49	0.49	0.01%	
D-3	重力	1954 1966	10.0 315.8	36.3 812.1	ト ^ノ 蓋	1992	0.85	0.89	0.10%	
					防眩材(1)	1992	0.74	0.77	0.09%	
					棧橋補修	1993	0.54	0.55	0.07%	
					係船柱(2)	1993	0.21	0.22	0.03%	
					笠石補修	1993	0.20	0.21	0.02%	
					防眩材(3)	1993	0.47	0.48	0.06%	
					側溝	1993	0.48	0.49	0.06%	
					排水補修	1994	0.28	0.28	0.03%	
					駐車場	1996	0.18	0.18	0.02%	
D-4	重力	1954 1966	9.2 304.1	33.5 782.0	ト ^ノ 蓋	1992	0.85	0.89	0.11%	
					防眩材(1)	1992	0.74	0.77	0.09%	
					棧橋補修	1993	0.54	0.55	0.07%	
					係船柱(2)	1993	0.21	0.22	0.03%	
					笠石補修	1993	0.20	0.21	0.03%	
					防眩材(3)	1993	0.47	0.48	0.06%	
					側溝	1993	0.48	0.49	0.06%	
					排水補修	1994	0.28	0.28	0.03%	
					駐車場	1996	0.18	0.18	0.02%	
E	E-1	矢板	1972	288.0	699.4	補修	1988	2.43	2.97	0.42%
						番号表示	1990	0.57	0.63	0.09%
						番号表示	1993	0.12	0.13	0.02%
	E-2	矢板	1975	888.0	1520.0	標示補修	1988	2.43	2.97	0.20%
						番号表示	1990	1.13	1.25	0.08%
						番号表示	1991	0.12	0.13	0.01%
						災害復旧	1994	15.49	15.49	1.02%
	E-3	矢板	1973	407.0	835.2	標示補修	1988	2.43	2.97	0.36%
					番号表示	1990	0.38	0.42	0.05%	
					番号表示	1991	0.12	0.13	0.02%	
					バルブ	1992	0.61	0.63	0.08%	
E-4	柵式	1970	228.0	549.9	工 ^ノ の補修	1990	0.47	0.52	0.09%	
					舗装一式	1991	1.08	1.15	0.21%	
					防眩材	1991	0.71	0.75	0.14%	
					給水栓	1994	3.33	3.33	0.61%	
					防眩材	1994	1.33	1.33	0.24%	
					車止め	1995	0.56	0.56	0.10%	
F	F-1	七ル	1963	326.4	884.4	雷気防食	1996	24.84	24.84	2.81%

表-5 発生費用一覧(続)

港湾名	係留施設名	初期整備			維持・補修				備考	
		整備年	整備価格 (百万円)	95年価格 (百万円)	内容	整備年	整備価格 (百万円)	95年価格 (百万円)		対初期費用
	F-2	セル	1967	462.0	1206.1	電気防食	1986	18.78	23.86	1.98%
	F-3	重力				防眩材(25)	1989	6.25	7.23	
	F-4	栈橋	1972	150.8	366.1	防眩材	1995	4.50	4.50	0.30%
			1981	923.6	1158.4					
G	G-1		1953	1765.4	4774.6	防眩材(1)	1973	1.40	2.87	0.04%
			1982	2041.0	2138.0	踏掛鉄板補修	1974	0.46	0.77	0.01%
						舗装補修	1974	0.30	0.52	0.01%
						車止め(2)	1974	0.18	0.31	0.00%
						防眩材(8)	1975	1.52	2.60	0.04%
						踏掛鉄板補修	1975	0.21	0.37	0.01%
						水道補修	1976	1.23	1.99	0.03%
						防眩材	1976	0.82	1.33	0.02%
						踏掛鉄板補修	1976	1.13	1.82	0.03%
						防眩材・係船柱	1976	0.57	0.92	0.01%
						門扉(7)	1977	3.60	5.65	0.08%
						車止め、鉄板	1978	0.83	1.25	0.02%
						防眩材(2)	1978	2.13	3.20	0.05%
						防眩材(9)	1979	13.01	18.14	0.26%
						車止め、鉄板	1979	3.38	4.71	0.07%
						路盤工	1979	2.12	2.95	0.04%
						路盤工	1979	4.85	6.76	0.10%
						車止め(18)	1980	3.62	4.61	0.07%
						電気防食	1980	6.05	7.71	0.11%
						側溝補修	1980	1.52	1.93	0.03%
						舗装	1980	3.67	4.68	0.07%
						電気防食	1980	7.73	9.86	0.14%
						車止め(25)	1980	4.71	6.01	0.09%
						防護柵	1980	0.86	1.09	0.02%
						踏掛鉄板補修	1980	0.33	0.43	0.01%
						防眩材(6)	1982	16.20	20.51	0.30%
						電気防食	1982	8.75	11.08	0.16%
						照明灯(1)	1982	1.34	1.70	0.02%
						救命具保管庫	1982	0.34	0.43	0.01%
						舗装	1982	2.22	2.80	0.04%
						車止め(16)	1983	2.62	3.30	0.05%
						防眩材(4)	1983	10.88	13.74	0.20%
						電気防食	1983	4.69	5.93	0.09%
						舗装	1983	5.05	6.37	0.09%
						舗装	1984	1.20	1.49	0.02%
						防眩材(4)	1984	12.90	16.05	0.23%
						電気防食	1984	4.25	5.29	0.08%
						側溝補修	1985	2.96	3.76	0.05%
						電気防食	1985	3.40	4.31	0.06%
						電気防食	1986	35.00	44.47	0.64%
						防眩材(5)	1986	15.45	19.63	0.28%
						車止め(8)	1987	1.05	1.32	0.02%
						防眩材(2)	1988	6.86	8.37	0.12%
						エプロン舗装	1988	8.38	10.23	0.15%
						舗装	1989	3.50	4.05	0.06%
						舗装	1990	2.73	3.03	0.04%
						コンヤード舗装	1991	63.81	67.60	0.98%
						エプロン舗装	1991	0.40	0.43	0.01%
						防眩材(47)	1991	80.00	84.75	1.23%
						舗装	1991	0.68	0.72	0.01%
						踏掛鉄板補修	1991	0.98	1.04	0.02%
						コンヤード舗装	1991	1.55	1.64	0.02%
						防眩材、車止め	1992	15.88	16.49	0.24%
						排水工事	1992	1.34	1.39	0.02%
						照明灯(23)	1993	3.24	3.31	0.05%
						舗装	1994	1.76	1.76	0.03%
						側溝補修	1994	2.33	2.33	0.03%
	G-2		1970	830.2	1935.7	防眩材(7)	1983	4.50	5.68	0.29%
						係船環	1984	0.46	0.57	0.03%
						防眩材(5)	1985	2.10	2.66	0.14%
						車止め(5)	1989	0.64	0.74	0.04%
						給水施設	1989	0.67	0.78	0.04%
						舗装	1989	8.18	9.46	0.49%
						ホイスト修理	1990	0.78	0.86	0.04%
						車止め他	1990	1.59	1.76	0.09%
						歩道	1991	0.41	0.44	0.02%
						荷さばき地	1991	0.69	0.73	0.04%
						標識板(16)	1992	0.60	0.62	0.03%
	G-3		1970	334.6	815.2	舗装補修	1977	0.52	0.81	0.10%
						人道橋復旧	1977	1.15	1.80	0.22%
						車止め	1978	0.83	1.25	0.15%
						車止め、防眩材	1981	1.98	2.48	0.30%

表-5 発生費用一覧(続)

港湾名	係留施設名	初期整備			維持・補修					備考	
		整備年	整備価格 (百万円)	95年価格 (百万円)	内容	整備年	整備価格 (百万円)	95年価格 (百万円)	対初期費用		
					防絨材	1984	0.62	0.77	0.09%		
					防絨材	1990	4.37	4.83	0.59%		
					舗装補修	1990	2.29	2.53	0.31%		
					電気防食	1992	14.68	15.24	1.87%		
					舗装補修	1995	54.00	54.00	6.62%		
H	H-1		1972	722.5	1754.6	簡易防絨材	1987	0.27	0.34	0.02%	
					移動柵補修	1987	0.33	0.41	0.02%		
					簡易防絨材	1987	0.07	0.09	0.01%		
					簡易防絨材	1989	0.48	0.55	0.03%		
					車止め	1989	0.82	0.95	0.05%		
					舗装補修	1991	0.09	0.09	0.01%		
					簡易防絨材	1991	0.33	0.35	0.02%		
					エフロン陥没補修	1991	0.37	0.39	0.02%		
					エフロン舗装	1991	10.92	11.57	0.66%		
					救命梯子	1992	4.84	5.03	0.29%		
					標識灯	1992	0.37	0.39	0.02%		
					上部工	1992	4.19	4.35	0.25%		
					岸壁補修	1993	0.08	0.08	0.00%		
					防絨材	1993	5.56	5.69	0.32%		
					防絨材	1993	5.97	6.11	0.35%		
					防絨材	1994	0.96	0.96	0.05%		
					エフロン側溝	1994	0.50	0.50	0.03%		
					エフロン補修	1994	2.78	2.78	0.16%		
					エフロン補修	1995	12.26	12.26	0.70%		
					ケブル溝補修	1995	0.19	0.19	0.01%		
	H-2		1967	348.5	909.7	エフロン補修	1988	0.37	0.45	0.05%	
					防絨材	1989	0.70	0.81	0.09%		
					救命梯子	1990	0.35	0.39	0.04%		
					エフロン補修	1991	0.30	0.32	0.03%		
					車止め	1991	2.99	3.16	0.35%		
					エフロン陥没補修	1992	0.05	0.05	0.01%		
	H-3		1965	166.9	434.8	支承板補修	1989	0.13	0.15	0.03%	
					支承板補修	1991	0.03	0.03	0.01%		
					バルブ補修	1995	0.17	0.17	0.04%		
	H-4		1967	143.7	375.1	車止め	1990	2.58	2.85	0.76%	
					救命梯子	1992	3.30	3.42	0.91%		
					バルブ補修	1993	0.48	0.50	0.13%		
					車止め	1994	3.78	3.78	1.01%		
					エフロン補修	1994	13.21	13.21	3.52%		
					車止め	1995	8.84	8.84	2.36%		
I	I-1	重力	1974	450.5	763.6	防絨材	1991	5.82	6.17	0.81%	
					コンテナヤード拡張	1991	1.34	1.42	0.19%		
					係船柱	1991	3.68	3.90	0.51%		
					防絨材、係船柱	1992	9.42	9.79	1.28%		
					ヤード路面復旧	1992	4.02	4.17	0.55%		
					基礎補強	1992	3.34	3.47	0.45%		
					舗装	1992	0.70	0.72	0.09%		
					鋼管フロート取替	1993	0.57	0.58	0.08%		
					水道メーター	1993	0.15	0.15	0.02%		
					路面復旧	1993	5.00	5.11	0.67%		
					防絨材	1993	4.22	4.32	0.57%		
					防絨材	1993	6.83	6.98	0.91%		
					路面復旧	1994	5.41	5.41	0.71%		
					防絨材	1994	7.42	7.42	0.97%		
					路面復旧	1995	5.36	5.36	0.70%		
					防絨材	1995	3.91	3.91	0.51%		
					防絨材	1995	13.80	13.80	1.81%		
	I-2	重力	1973	344.5	707.0	防絨材	1991	5.82	6.17	0.87%	
					コンテナヤード拡張	1991	1.34	1.42	0.20%		
					係船柱	1991	3.68	3.90	0.55%		
					防絨材、係船柱	1992	9.42	9.79	1.38%		
					ヤード路面復旧	1992	4.02	4.17	0.59%		
					基礎補強	1992	3.34	3.47	0.49%		
					舗装	1992	0.70	0.72	0.10%		
					鋼管フロート取替	1993	0.57	0.58	0.08%		
					水道メーター	1993	0.15	0.15	0.02%		
					路面復旧	1993	5.00	5.11	0.72%		
					防絨材	1993	1.39	1.42	0.20%		
					路面復旧	1994	5.41	5.41	0.76%		
					路面復旧	1995	5.36	5.36	0.76%		
	I-3	重力	1965	249.2	649.2	車止め	1993	0.30	0.31	0.05%	
					フェンス設置	1993	0.14	0.15	0.02%		
					岸壁補修	1995	0.09	0.09	0.01%		
	I-4	棧橋	1967	606.1	1582.1	係船柱	1991	0.75	0.79	0.05%	
					防絨材、係船柱	1992	40.79	42.36	2.68%		
					改良舗装工	1993	24.40	24.96	1.58%		

a) 整備費用の代表的な発生事例

① 頻りに維持補修されている施設（鋼構造）

図-12にG港G-1岸壁の初期整備費用および維持補修費用と発生時期を示す。

初期整備後20年から維持・補修費用が発生し、以降継続的に実施されている。経過年の増加とともに単年度当たりの維持・補修費用がきわだって多い年度が生じる。改良は初期整備後30年経過時に一度実施されている。

② 長期間維持補修されない施設（重力式構造）

図-13にC港C-7岸壁の初期整備費用および維持補修費用と発生時期を示す。

初期整備後30年から維持・補修費用が発生している。改良等の大規模補修はされていない。

b) ライフサイクルコストの数値情報

ライフサイクルコストの解析方法として、整備額および維持補修関連費用が初期整備費用に占める割合から、費用別の発生状況を分析し、ライフサイクルコストに係わる数値情報を求める。

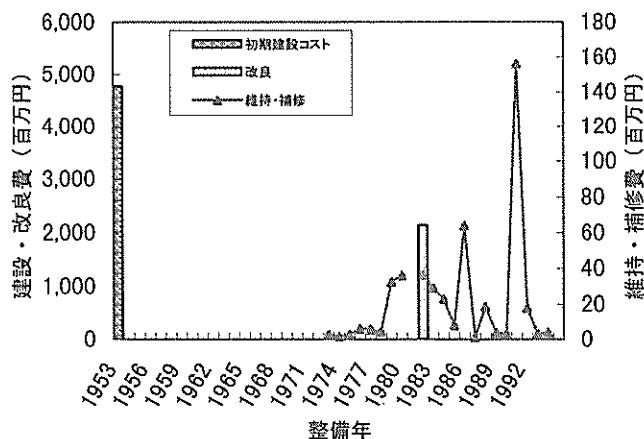


図-12 G港G-1岸壁

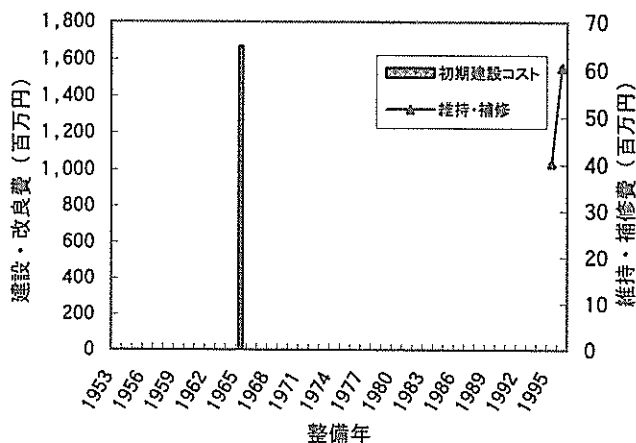


図-13 C港C-7岸壁

表-6 発生費用と維持補修比率

係留施設No	構造形式	初期整備			維持補修内容	維持補修				維持補修データ収集		初期整備から補修までの間隔
		整備年	整備価格(百万円)	95年価格(百万円)		整備年	整備価格(百万円)	95年価格(百万円)	対初期費比率	開始年	データ取得年数	
1	矢板	1963	80.2	217.2	防眩材(9)	1984	6.00	7.47	3.44%	1963	33	33
2	矢板	1978	1311.3	1967.4	液状化対策(複数)	1988	239.24	292.01	14.84%	1978	18	18
3	重力	1969	175.3	433.8	(複数)		18.52	19.35	4.46%	1989	7	27
4	重力	1979	1833.0	2555.8	(複数)		14.38	14.70	0.58%	1989	7	17
5	重力	1971	132.3	325.9	車止め(32)	1990	0.88	0.97	0.30%	1989	7	25
6	重力	1973	102.5	210.4	(複数)		5.46	5.75	2.74%	1989	7	23
7	矢板	1965	224.4	584.5	工場の舗装	1995	42.7	42.7	7.30%	1995	1	31
8	矢板	1965	640.6	1668.7	(複数)		100.8	100.8	6.04%	1995	1	31
9	重力	1972	473.9	1150.8	(複数)		9.13	9.39	0.82%	1991	5	24
10	重力	1979	3639.2	5074.1	(複数)		1.60	1.61	0.03%	1991	5	17
11	重力	1954	325.8	848.4	(複数)		3.96	4.06	0.48%	1991	5	30
12	重力	1966	313.4	815.5	(複数)		3.96	4.06	0.50%	1991	5	30
13	矢板	1972	288.0	699.4	(複数)		3.12	3.72	0.53%	1988	8	24
14	矢板	1975	888.0	1520.0	(複数)		19.18	19.84	1.31%	1988	8	21
15	矢板	1973	407.0	835.2	(複数)		3.54	4.14	0.50%	1988	8	23
16	棚式	1970	228.0	549.9	(複数)		7.48	7.64	1.39%	1988	8	26
17	セル	1963	326.4	884.4	電気防食	1996	24.84	24.84	2.81%	1963	33	33
18	セル	1967	462.0	1206.1	電気防食	1986	18.78	23.86	1.98%	1967	29	29
19	栈橋	1972	1074.4	1524.5	防眩材	1995	4.50	4.50	0.30%	1989	7	15
20		1953	3806.4	6912.6	(複数)		387.95	461.81	6.68%	1973	23	43
21		1970	830.2	1935.7	(複数)		20.62	24.31	1.26%	1983	13	26
22		1970	334.6	815.2	(複数)		80.42	83.71	10.27%	1977	19	26
23		1972	722.5	1754.6	(複数)		51.38	53.08	3.03%	1987	9	24
24		1967	348.5	909.7	(複数)		4.75	5.18	0.57%	1987	9	29
25		1965	166.9	434.8	(複数)		0.32	0.35	0.08%	1987	9	31
26		1967	143.7	375.1	(複数)		32.19	32.60	8.69%	1987	9	29
27	重力	1974	450.5	763.6	(複数)		80.97	82.68	10.83%	1991	5	22
28	重力	1973	344.5	707.0	(複数)		46.18	47.66	6.74%	1991	5	23
29	重力	1965	249.2	649.2	(複数)		0.53	0.54	0.08%	1991	5	31
30	栈橋	1967	606.1	1582.1	(複数)		65.94	68.11	4.31%	1991	5	29

① 費用発生状況と維持補修費比率

費用発生状況を表-6および図-14に示す。施設毎の初期整備費用は大きく変動するが、整備内容が事例ごとに大きく異なることから当然と言える。維持補修費用についても同様である（維持補修の平均は48.4百万円）。

図-15に各事例ごとの維持補修費用の初期建設費用に対する比率を示す。最大では14.8%、最小では1%にも満たない。

この原因としては、以下が挙げられる。ここでの費用は、いわば初期整備年以後のトータル費用である。そのため古い施設になるほど費用（従って比率）が高い傾向になる。また、データ制約の関係から、建設後40年経過していても全維持補修費用のうち過去5年程度しか収集できず、結果的に比率が低くなっている事例がある。No.2の14.8%は液状化対策が含まれているため、ひとつだけ数値が大きくなっている。

② 費目別の費用発生状況

表-7に示す15種類の費目区分で、費目別の発生状況を検討した。

表-8に、初期費用に対する各費目の比率を示す。費用発生に関しては、区分ごとに全事例において費用支出されることはなかった。比較的、数多くの事例において費用が支出されている費目は、防舷材、車止め、上部工などである。

(5) ライフサイクルコストの費用化

維持補修費用と改良費用を係数化し、ライフサイクルコストの費用化を検討する。

維持補修費用の具体的内容は各事例毎に異なるので、ほぼ毎年発生するとみなせる維持補修と、施設改良ほどではないが、数年に一度という比較的頻度が低く、発生金額が大きい大規模補修に区別する。

表-7の15区分の費目を表-9に示すとおり維持補修、大規模補修およびその他の3つに区分して分析する。維持補修に関しては、年当たり平均の費用率を算出する。

a) 維持補修費用

表-10に維持補修関連データの収集期間年数を示す。

収集期間は、維持補修関連のデータが把握された最初の年から1995年までの年数である。例えば、No.1岸壁の場合、維持補修データは1963年より把握されているので、データの収集期間は33年となる。維持補修データについては、総額（および比率）を収集期間で除することで年当たりデータに換算する。大規模補修に関しては、費目の内容からも毎年恒常的に発生するとは考えにくいので、年当たり費用比率でなく、対初期費用の比率で検討する。

表-7 維持補修費用の費目分類

費目区分	具体的な維持・補修項目
1 係船柱	係船柱, 係船環
2 防舷材	防舷材, 簡易防舷材
3 車止め	車止め
4 荷役機械	荷役機械
5 防食, 電気防食	防食補修, 電気防食, 陽極交換
6 舗装	エプロン舗装, 駐車場, 舗装一式, 舗装補修, 路盤工, コンクリート舗装, 荷さばき地
7 上部工等補修	上部工, トラフ蓋, 踏掛鉄板補修, エプロン補修, 支承板補修, ヤード路面復旧, 路面復旧
8 棧橋, 笠石	棧橋補修, 笠石補修, 岸壁補修, 基礎補強, 鋼管フロート取替
9 側溝, 排水	側溝, 排水補修, エプロン側溝
10 水道, 給水栓	給水栓, 水道補修, バルブ補修, 水道メーター
11 災害復旧	
12 液状化対策	液状化対策
13 安全施設, オイルフェンス	安全施設, オイルフェンス, 防護柵, 救命具保管庫, 救命梯子
14 照明, 標示標識	区画線, 番号表示, 標示補修, 照明灯, 標識板
15 その他	門扉, ホイスト修理, 歩道, 人道橋復旧, 移動柵補修, ケーブル溝補修

表-9 維持補修・大規模補修等の区分

区分	費目区分
1 維持補修	係船柱, 防舷材, 車止め, 荷役機械, 排水, 水道給水栓, 安全施設, 照明標識, その他
2 大規模補修	防食関係, 舗装など, 上部工, 棧橋など, 災害復旧(軽微)
3 その他	液状化対策

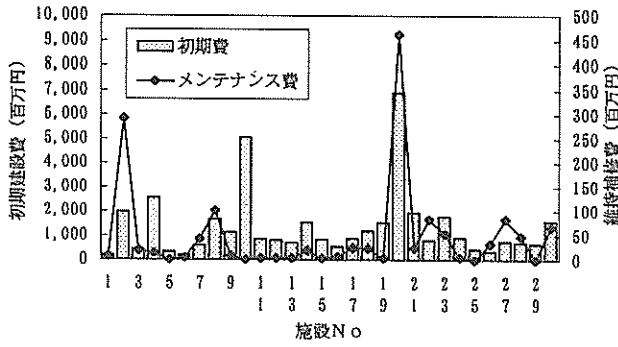


図-14 初期整備費用および維持補修費用の発生状況

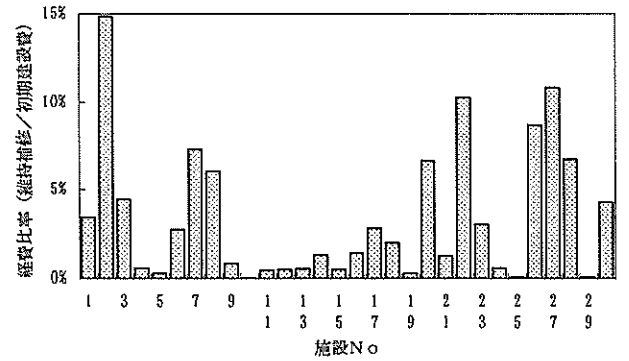


図-15 維持補修比率

表-8 費目別の維持補修費比率

係留施設No	初期整備費用合計(百万円)	維持・改良費用合計(百万円)	係留柱	防眩材	車止め	荷役機棚	電気防食	舗装	上部工	棧橋	排水処理	水道給水柱	災害復旧	液状化対策	安全施設	照明	その他
1	217.2	7.47	3.44%														
2	1967.4	292.01	14.84%	3.44%													
3	433.8	19.35	4.46%	0.01%	2.83%	1.63%		0.56%						14.84%			
4	2555.8	14.70	0.58%	0.10%	2.64%												
5	325.9	0.97	0.30%		0.30%												
6	210.4	5.76	2.74%														
7	584.5	42.70	7.31%														
8	1668.7	100.80	6.04%														
9	1150.8	9.39	0.82%		0.05%	0.01%		0.39%	0.02%	0.31%		0.03%			0.01%		
10	5074.1	1.61	0.03%	0.03%	0.01%			0.00%				0.01%				0.01%	
11	848.4	4.07	0.48%	0.03%	0.15%			0.02%	0.10%	0.09%	0.09%						
12	815.5	4.07	0.50%	0.03%	0.15%			0.02%	0.11%	0.09%	0.09%						
13	699.4	3.73	0.53%													0.11%	
14	1520.0	19.84	1.31%							0.42%						0.29%	
15	835.2	4.15	0.50%										1.02%			0.42%	
16	549.9	7.64	1.39%		0.38%	0.10%			0.21%	0.09%		0.61%					
17	884.4	24.84	2.81%					2.81%									
18	1206.1	23.86	1.98%					1.98%									
19	1524.5	4.50	0.30%		0.30%												
20	6912.6	461.80	6.68%		3.02%	0.31%		1.28%	1.66%	0.06%		0.14%	0.03%		0.02%	0.07%	0.08%
21	1935.7	24.30	1.26%	0.03%	0.43%			0.53%				0.04%				0.03%	0.07%
22	815.2	83.71	10.27%		0.69%	0.46%		1.87%	7.03%							0.22%	0.22%
23	1754.6	53.08	3.03%		0.80%	0.05%		0.66%	1.13%	0.09%					0.29%	0.02%	0.03%
24	909.7	5.18	0.57%		0.09%	0.35%			0.09%	0.00%	0.03%				0.04%		
25	434.8	0.35	0.08%						0.04%								
26	375.1	32.60	8.69%			4.12%			3.52%			0.04%			0.91%		
27	763.6	82.68	10.83%	0.51%	6.86%			0.28%	2.63%	0.53%		0.02%					
28	707.0	47.67	6.74%	0.55%	2.46%			0.30%	2.84%	0.57%		0.02%					
29	649.2	0.55	0.08%						2.84%	0.01%							0.02%
30	1582.1	68.11	4.30%	0.05%	2.68%			1.58%									

表-10 維持補修, 大規模補修の区分

係留施設No	初期整備費用合計(百万円)	維持・改良費用合計(百万円)	A 維持・補修		B 大規模補修		C 改良		初期整備年	維持・補修データ収集開始年	維持・補修データ収集年	初期整備からの期間年	年当り発生比率		
			費用	比率	費用	比率	費用	比率					A	B	C
1	217.2	7.50	7.47	3.44%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	1963	1963	33	33	0.10%	0.00%	
2	1967.4	292.01	0.00	0.00%	0.00	0.00%	292.01	14.84%	1963	1978	18	-18	0.00%	0.00%	0.82%
3	433.8	19.39	19.35	4.46%	0.00	0.00%	0.00		1969	1989	7	27	0.64%	0.00%	
4	2555.8	14.71	14.70	0.58%	0.00	0.00%	0.00		1979	1989	7	17	0.08%	0.00%	
5	325.9	0.97	0.97	0.30%	0.00	0.00%	0.00		1971	1989	7	25	0.04%	0.00%	
6	210.4	5.79	5.76	2.74%	0.00	0.00%	0.00		1973	1989	7	23	0.39%	0.00%	
7	584.5	42.77	0.00	0.00%	42.70	7.31%	0.00		1965	1995	1	31	0.00%	7.31%	
8	1668.7	100.86	0.00	0.00%	100.80	6.04%	0.00		1965	1995	1	31	0.00%	6.04%	
9	1150.8	9.40	1.20	0.10%	8.19	0.71%	0.00		1972	1991	5	24	0.02%	0.14%	
10	5074.1	1.61	1.37	0.03%	0.24	0.00%	0.00		1979	1991	5	17	0.01%	0.00%	
11	848.4	4.07	2.24	0.26%	1.83	0.22%	0.00		1966	1991	5	30	0.05%	0.04%	
12	815.5	4.07	2.24	0.27%	1.83	0.22%	0.00		1966	1991	5	30	0.05%	0.04%	
13	699.4	3.74	0.76	0.11%	2.97	0.42%	0.00		1972	1988	8	24	0.01%	0.05%	
14	1520.0	19.85	4.35	0.29%	15.49	1.02%	0.00		1975	1988	8	21	0.04%	0.13%	
15	835.2	4.15	4.15	0.50%	0.00	0.00%	0.00		1973	1988	8	23	0.06%	0.00%	
16	549.9	7.65	5.97	1.09%	1.67	0.30%	0.00		1970	1988	8	26	0.14%	0.04%	
17	884.4	24.87	0.00	0.00%	24.84	2.81%	0.00		1963	1963	33	33	0.00%	0.09%	
18	1206.1	23.88	0.00	0.00%	23.86	1.98%	0.00		1967	1967	29	29	0.00%	0.07%	
19	1524.5	4.50	4.50	0.30%	0.00	0.00%	0.00		1981	1989	7	15	0.04%	0.00%	
20	6912.6	461.87	253.69	3.67%	208.11	3.01%	0.00		1953	1973	23	43	0.16%	0.13%	
21	1935.7	24.31	14.11	0.73%	10.19	0.53%	0.00		1970	1983	13	26	0.06%	0.04%	
22	815.2	83.81	11.13	1.37%	72.58	8.90%	0.00		1970	1977	19	26	0.07%	0.47%	
23	1754.6	53.11	21.56	1.23%	31.52	1.80%	0.00		1972	1987	9	24	0.14%	0.20%	
24	909.7	5.19	4.36	0.48%	0.82	0.09%	0.00		1967	1987	9	29	0.05%	0.01%	
25	434.8	0.35	0.17	0.04%	0.18	0.04%	0.00		1965	1987	9	31	0.00%	0.00%	
26	375.1	32.69	19.39	5.17%	13.21	3.52%	0.00		1967	1987	9	29	0.57%	0.39%	
27	763.6	82.79	56.44	7.39%	26.24	3.44%	0.00		1974	1991	5	22	1.48%	0.69%	
28	707.0	47.74	21.43	3.03%	26.24	3.71%	0.00		1973	1991	5	23	0.61%	0.74%	
29	649.2	0.55	0.46	0.07%	0.09	0.01%	0.00		1965	1991	5	31	0.01%	0.00%	
30	1582.1	68.15	43.15	2.73%	24.96	1.58%	0.00		1967	1991	5	29	0.55%	0.32%	

表-10に示すように、初期費用、維持補修費用は施設ごとに大きく異なる。構造形式別の傾向、建設時期による傾向などを示すにしても、データの絶対数が少なく、解析により何らかの相関係数を明確にすることは難しい。

図-16に、表-10の初期整備年から維持補修が実施され始めるまでの経過年数と年当たり比率を示す。

年当たりの比率が0.2%以下と0.3%以上の集団があるため各々のグループの初期費用に対する比率を回帰式により示す。2つのグループに分かれた理由としては、防眩材および車止めの取替え修理が一括して実施された場合や短期間に集中的に維持補修が実施された場合には年当たり比率が高く、劣化が著しい箇所だけを修理するといった補修や長期に渡り継続的に維持補修を実施してい

る場合は比率が低いと考えられる。これは、維持補修の実施方法が少なくとも2つに分かれていることを示すと考えられる。当然のことではあるが、経過年数の増大は施設の老朽化が若干でも生じていることを意味する。年数が経過するほど維持補修関連の費用比率が上昇する傾向が読みとれる。費用の発生としては、建設後約15年が経過したところから発生している。

図-17に、表-10の初期整備年から大規模補修が実施され始めるまでの経過年数と対初期整備費比率を示す。維持補修と同様、年数が経過するほど大規模補修費用が上昇する傾向が読みとれる。費用の発生も維持補修と同様に建設後約15年が経過したところから発生している。

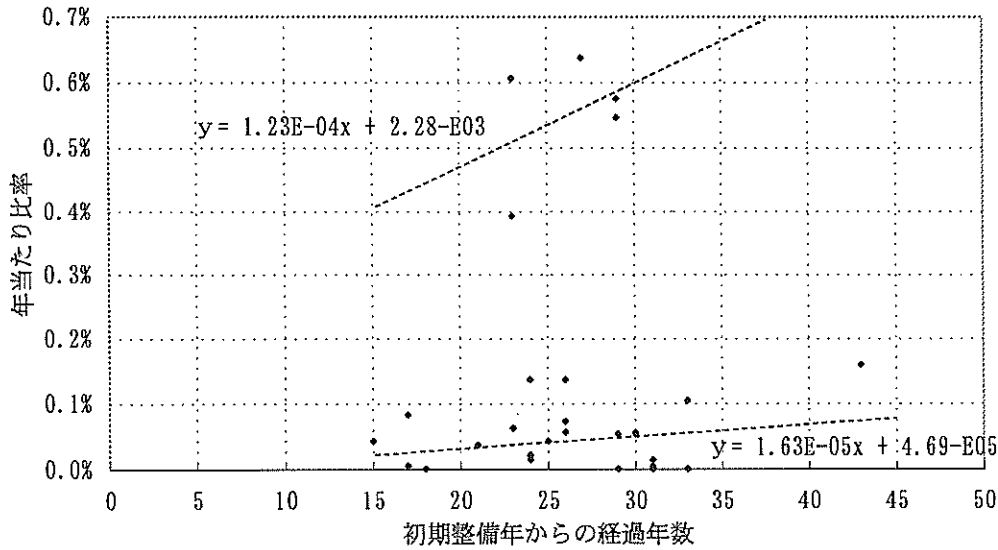


図-16 年当たり維持補修比率と経過年数

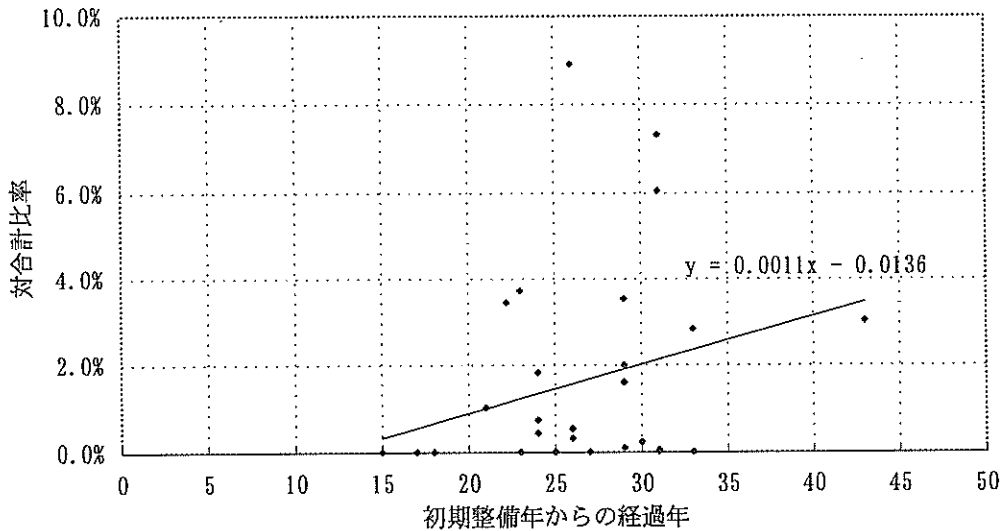


図-17 大規模補修の対初期整備費比率と経過年数

b) 改良費用

表-11に初期整備費用と改良費用の関係を示す。なお、コンテナ岸壁には同表中で○印をつけている。また、同表で最後列に改良費と初期費用の比率を示しているが、本検討では比率が1/100以下となる改良は機能増を含むにしても補修関連費用と考える。したがって初期費用に対する改良比率は0.4から3.5程度である。維持補修費用の対初期費用と同様に改良費用は施設ごとに大きく異なり、何らかの相関関係を明確にすることは難しい。

図-18に、経過年数と初期費用に対する改良費用の費用比率を示す。コンテナ岸壁（改良前もほとんどがコンテナ岸壁）の供用開始時から改良に至るまでの年数は、一般の岸壁に比べ短く、改良を行った施設の全てが20年未満で、短いものでは6年程度であった。この理由の1つとしては、対象施設の多くが1970年代初頭に建設されており、設計時点での対象船舶が図-19に示すコンテナ船就航隻数¹⁷⁾のように、2000TEU以下の割合が高かったのに対し、1985年以降は2000TEU以上の大型コンテナ船が増加し、それに対応するため岸壁の増深等の改良が行われたためであると考えられる。

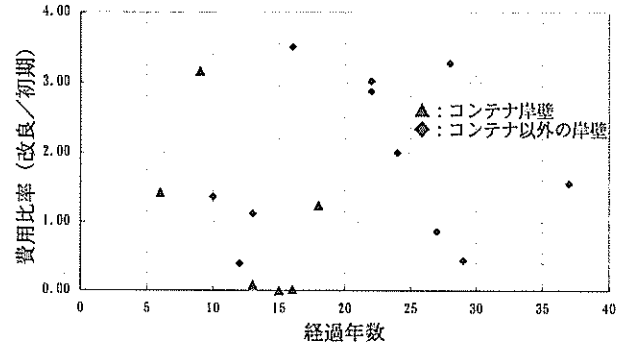


図-18 改良までの経過年数と費用比率

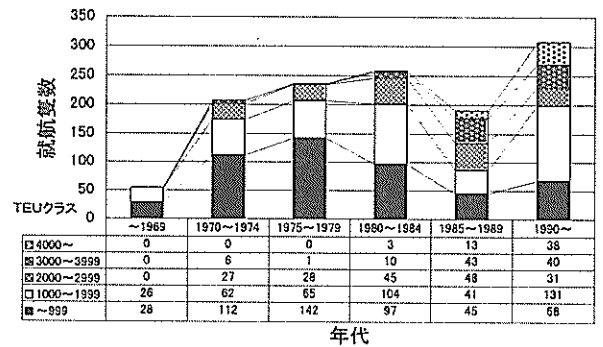


図-19 年代別コンテナ船就航隻数

表-11 改良費と初期建設費

No	コンテナ	初期整備年	初期整備費用(百万)	改良		間隔年	改良/初期
				第1回改良費用(百万)	第2回改良費用(百万)		
1		1978	1743.4	1991	1965.3	13	1.13
2		1963	377.4	1991	1237.4	28	3.28
3		1979	79.5	1995	278.9	16	3.51
4		1967	441.1	1989	1333	22	3.02
5		-	-	1986	524.3	10	1.37
6		1978	2433.6	1990	973.8	12	0.40
7		1963	376.6	1987	754.9	24	2.00
8		1952	597.4	1989	933.8	37	1.56
9	○	1986	5040.7	1992	7191.5	6	1.43
10		1973	671	1995	1930	22	2.88
11		1963	904.9	1990	786	27	0.87
12	○	1972	1391.5	1990	1728.4	18	1.24
13	○	1978	1515.4	1991	133.5	13	0.09
14	○	1974	9771	1990	166	16	0.02
15	○	1971	9857	1986	20.1	15	0.00
16	○	1972	366.1	1981	1158.4	9	3.16
17		1953	4774.6	1982	2138	29	0.45

3.4 ライフサイクルコストの試算

ヒアリング結果などを基に、ライフサイクルコストの試算を行う。収集データ数の絶対数が少ないこと、使用するデータが調査した全ての構造形式の平均値であり個々の構造から生じる特徴や変化を示せないこともあり、試算結果の絶対値はあまり重要ではないが、港湾構造物のライフサイクルコストの傾向を表現していると考える。

(1) ライフサイクルコストのケーススタディ

係留施設を対象として、維持補修および改良を考慮したライフサイクルコストの試算を行う。なお、撤去については十分な事例を得ることはできなかったため、ケーススタディでの対象とはしていない。

本検討において、維持補修関連に関するライフサイクルコストモデルのための費用化は、維持補修費用、大規模補修費用および改良費用の3項目に区分した。

a) 計算条件

- ・ 構造物のライフサイクル検討期間を50年と仮定する。
- ・ 初期工事費を100とする。(現在価格で初期費が発生)

図-16中の維持補修費用の年当たり比率、図-17中の大規模補修費用における対合計比率の回帰式を以下に示す。

維持管理年当たり費用比率 K_i

$$K_1 = 1.23 \times 10^{-4} N + 2.28 \times 10^{-3} \quad \dots (1)$$

$$K_2 = 1.63 \times 10^{-5} N + 4.69 \times 10^{-5} \quad \dots (2)$$

$i = 1 \dots$ 短期集中型, $i = 2 \dots$ 長期継続型

大規模補修対初期整備費率 K_d

$$K_d = 1.10 \times 10^{-3} N + 1.36 \times 10^{-2} \quad \dots (3)$$

ここに、

N : 経過年数

表-12に、図-18に示した改良費用の初期費用に対する平均比率を建設後の経過年数に応じて10年単位に区切った値で示す。

表-12 経年変化と改良費用比率

	10~19年	20~29年	30年以上
改良	160%	233%	-

維持補修費用はヒアリング調査の結果のとおり、初期整備後14年目まではゼロとし、以降を式(1)あるいは式(2)で求まる費用(年当たり)が発生するとする。途中

で改良を実施した場合は、改良時点より新たな発生経路を描くものとする。

大規模補修費用は19年目以降に発生するものとし、初期整備後20年目、25年目、30年目の5年毎に式(3)で求まる費用(対初期費)が発生する。

改良費用は表-12示したように、初期整備後10~19年目において実施した場合は160%、20~29年目に実施した場合は233%の費用が発生する。

b) 改良を行わない場合

物理的(設計)耐用期間中に改良を行わない場合について、ライフサイクルコストを維持補修費用の下記比率別に表-13および図-20に示す。

- ・ ケース1: 維持補修費用および大規模補修費用はそれぞれ式(1)および式(3)で求まる
- ・ ケース2: 維持補修費用および大規模補修費用はそれぞれ式(2)および式(3)で求まる

c) 改良を行う場合

物理的耐用年数を迎える前に機能的、社会的耐用年数に達し、施設の改良を実施する場合のライフサイクルコストを、3ケースに分けて表-14および図-21に示す。

- ・ ケース3: 維持補修費用および大規模補修費用はそれぞれ式(1)および式(3)
- ・ ケース4: 建設後10年で改良、改良費率は160%、維持補修費用および大規模補修費用はそれぞれ式(1)および式(3)
- ・ ケース5: 建設後20年で改良、改良費率は233%、維持補修費用および大規模補修費用はそれぞれ式(1)および式(3)

(2) ライフサイクルコストの費用構成

図-20に示したとおり、物理的(設計)耐用期間中に改良を行わない場合のライフサイクルコストは、経過年とともに増加し、維持補修費用の年当たりの率により総コストの大小が生じる。ケース1および2で生じたライフサイクルコストの差は、表-9に示す維持補修区分の項目の中で、防舷材および車止めなどの補修を一括して一時期に実施する場合と、ある程度長い期間をかけて少量ずつ補修する場合の維持補修の実施方法による差違であると考えられる。表-9に示す大規模補修は、鋼材の防食、コンクリートへの塩化物浸透防止対策、舗装の劣化対応および上部工の劣化対応などが供用開始後15年が経過した時点から対策が必要であり、仮に10~20年サイクルで実施されると考えると、少なくとも5年に1度は何らかの大規模補修が実施されると仮定した。

図-21に示したとおり、施設のライフサイクルを物理的耐用年数とし、物理的耐用年数を迎える前に機能的、

社会的耐用年数を迎えることにより、施設の改良を実施するような場合は、総コストに占める初期建設費および改良費の割合が増加するため、維持補修および大規模補修の費用比率が相対的に減少する。ケース3とケース4

および5の比較により、供用開始から改良までの経過年数が長いほどライフサイクルコストが増加する傾向にあると考えられる。

表-13 維持補修費用 (改良なし)

年数	ケース1 式(1), (3) : 0年目に100で建設、改良無し				ケース2 式(2), (3) : 0年目に100で建設、改良無し			
	初期費 改良費	維持補修	大規模 補修	ライフサイクル コスト	初期費 改良費	維持補修	大規模 補修	ライフサイクル コスト
0	100.00	0		100.00	100.00	0		100.00
1		0		100.00		0		100.00
2		0		100.00		0		100.00
3		0		100.00		0		100.00
4		0		100.00		0		100.00
5		0		100.00		0		100.00
6		0		100.00		0		100.00
7		0		100.00		0		100.00
8		0		100.00		0		100.00
9		0		100.00		0		100.00
10		0		100.00		0		100.00
11		0		100.00		0		100.00
12		0		100.00		0		100.00
13		0		100.00		0		100.00
14		0		100.00		0		100.00
15		0.4125		100.41		0.02673		100.03
16		0.4248		100.84		0.02836		100.06
17		0.4371		101.27		0.02999		100.09
18		0.4494		101.72		0.03162		100.12
19		0.4617		102.19		0.03325		100.15
20		0.474	0.84	103.50		0.03488	0.84	101.02
21		0.4863		103.99		0.03651		101.06
22		0.4986		104.48		0.03814		101.10
23		0.5109		105.00		0.03977		101.14
24		0.5232		105.52		0.0414		101.18
25		0.5355	1.39	107.44		0.04303	1.39	102.61
26		0.5478		107.99		0.04466		102.66
27		0.5601		108.55		0.04629		102.70
28		0.5724		109.12		0.04792		102.75
29		0.5847		109.71		0.04955		102.80
30		0.597	1.94	112.25		0.05118	1.94	104.79
31		0.6093		112.86		0.05281		104.85
32		0.6216		113.48		0.05444		104.90
33		0.6339		114.11		0.05607		104.96
34		0.6462		114.76		0.0577		105.01
35		0.6585	2.49	117.91		0.05933	2.49	107.56
36		0.6708		118.58		0.06096		107.62
37		0.6831		119.26		0.06259		107.69
38		0.6954		119.95		0.06422		107.75
39		0.7077		120.66		0.06585		107.82
40		0.72	3.04	124.42		0.06748	3.04	110.92
41		0.7323		125.15		0.06911		110.99
42		0.7446		125.90		0.07074		111.06
43		0.7569		126.66		0.07237		111.14
44		0.7692		127.43		0.074		111.21
45		0.7815	3.59	131.80		0.07563	3.59	114.88
46		0.7938		132.59		0.07726		114.95
47		0.8061		133.40		0.07889		115.03
48		0.8184		134.22		0.08052		115.11
49		0.8307		135.05		0.08215		115.20
50		0.843	4.14	140.03		0.08378	4.14	119.42
計	100.00	22.599	17.43	140.03	100.00	1.98918	17.43	119.42

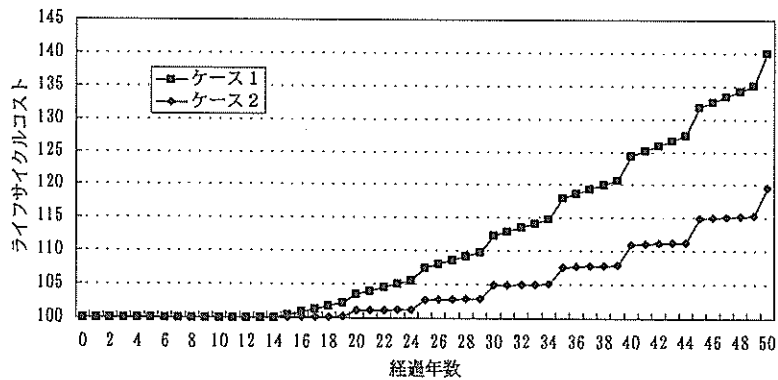


図-20 ライフサイクルコスト (改良なし)

表-14 維持補修費用 (改良あり)

年数	ケース1 : 0年目に100で建設、改良無し				ケース3 : 0年目に100で建設、10年目に改良				ケース4 : 0年目に100で建設、20年目に改良			
	初期費 改良費	維持補修	大規模 補修	ライフサイ クルコスト	初期費 改良費	維持補修	大規模 補修	ライフサイ クルコスト	初期費 改良費	維持補修	大規模 補修	ライフサイ クルコスト
0	100.00	0		100.00	100.00	0		100.00	100.00	0		100.00
1		0		100.00		0		100.00		0		100.00
2		0		100.00		0		100.00		0		100.00
3		0		100.00		0		100.00		0		100.00
4		0		100.00		0		100.00		0		100.00
5		0		100.00		0		100.00		0		100.00
6		0		100.00		0		100.00		0		100.00
7		0		100.00		0		100.00		0		100.00
8		0		100.00		0		100.00		0		100.00
9		0		100.00		0		100.00		0		100.00
10		0		100.00	160.00	0		260.00		0		100.00
11		0		100.00		0		260.00		0		100.00
12		0		100.00		0		260.00		0		100.00
13		0		100.00		0		260.00		0		100.00
14		0		100.00		0		260.00		0		100.00
15		0.4125		100.41		0		260.00	0	0.4125	0	100.41
16		0.4248		100.84		0		260.00		0.4248		100.84
17		0.4371		101.27		0		260.00		0.4371		101.27
18		0.4494		101.72		0		260.00		0.4494		101.72
19		0.4617		102.19		0		260.00		0.4617		102.19
20		0.474	0.84	103.50		0		260.00	233.00	0	0	335.19
21		0.4863		103.99		0		260.00		0		335.19
22		0.4986		104.48		0		260.00		0		335.19
23		0.5109		105.00		0		260.00		0		335.19
24		0.5232		105.52		0		260.00		0		335.19
25		0.5355	1.39	107.44		0.66	0	260.66		0	0	335.19
26		0.5478		107.99		0.67968		261.34		0		335.19
27		0.5601		108.55		0.69936		262.04		0		335.19
28		0.5724		109.12		0.71904		262.76		0		335.19
29		0.5847		109.71		0.73872		263.50		0		335.19
30		0.597	1.94	112.25		0.7584	1.344	265.60		0	0	335.19
31		0.6093		112.86		0.77808		266.38		0		335.19
32		0.6216		113.48		0.79776		267.18		0		335.19
33		0.6339		114.11		0.81744		267.99		0		335.19
34		0.6462		114.76		0.83712		268.83		0		335.19
35		0.6585	2.49	117.91		0.8568	2.224	271.91		0.96113	0	336.15
36		0.6708		118.58		0.87648		272.79		0.98978		337.14
37		0.6831		119.26		0.89616		273.68		1.01844		338.15
38		0.6954		119.95		0.91584		274.60		1.0471		339.20
39		0.7077		120.66		0.93552		275.53		1.07576		340.28
40		0.72	3.04	124.42		0.9552	3.104	279.59		1.10442	1.9572	343.34
41		0.7323		125.15		0.97488		280.57		1.13308		344.47
42		0.7446		125.90		0.99456		281.56		1.16174		345.63
43		0.7569		126.66		1.01424		282.58		1.1904		346.82
44		0.7692		127.43		1.03392		283.61		1.21906		348.04
45		0.7815	3.59	131.80		1.0536	3.984	288.65		1.24772	3.2387	352.53
46		0.7938		132.59		1.07328		289.72		1.27637		353.81
47		0.8061		133.40		1.09296		290.82		1.30503		355.11
48		0.8184		134.22		1.11264		291.93		1.33369		356.45
49		0.8307		135.05		1.13232		293.06		1.36235		357.81
50		0.843	4.14	140.03		1.152	4.864	299.08		1.39101	4.5202	363.72
計	100.00	22.599	17.43	140.03	260.00	23.556	15.52	299.08	333.00	21.0026	9.7161	363.72

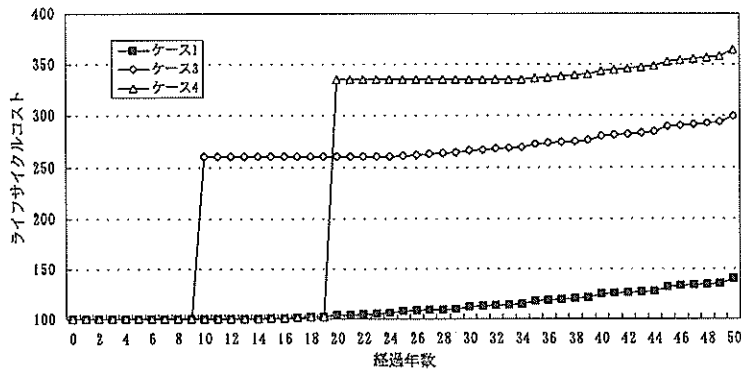


図-21 ライフサイクルコスト (改良あり)

表-13に示した港湾構造物のライフサイクルコストの経過年数と経費比率から、港湾構造物のライフサイクルコストに占める各段階の費用比率を求めた結果を図-22に示す。図-22には、比較のために建築構造物のライフサイクルコストに占める各段階の費用比率¹⁾も示している。

建築構造物のライフサイクルコストに占める初期建設費の割合に対し、港湾構造物の初期建設費の比率は非常に高く、年当たりの維持補修率が高いグループ「港湾構造物(1)」でもライフサイクルコストの7割以上、年当

たりの維持補修率が低いグループ「港湾構造物(2)」ではライフサイクルコストの8割以上を占めている。これは、建築構造物は、その構成が構造物本体、内外装等装飾、空調設備、上下水道、消化施設、電気設備、電話設備、昇降設備など複数の設備群の集合で機能している構造物であるのに対し、港湾構造物の場合、建築構造物ほど付帯設備が多くなく、構造がシンプルであることと、構造物の維持補修の対象が基本的に構造機能面に限定され、付帯施設等の維持などがあまり無いなどが割合の差となっていると考えられる。

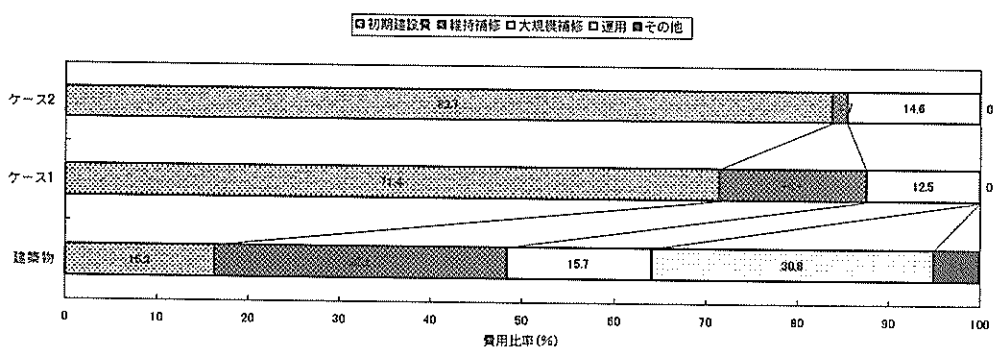


図-22 ライフサイクルコストの費用比率

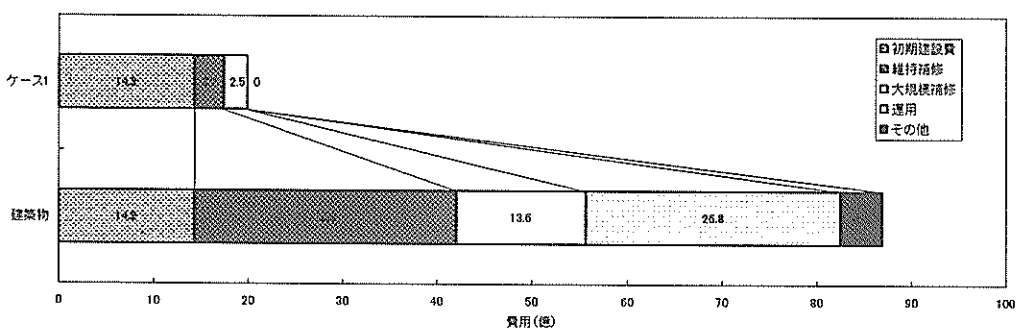


図-23 費用比較

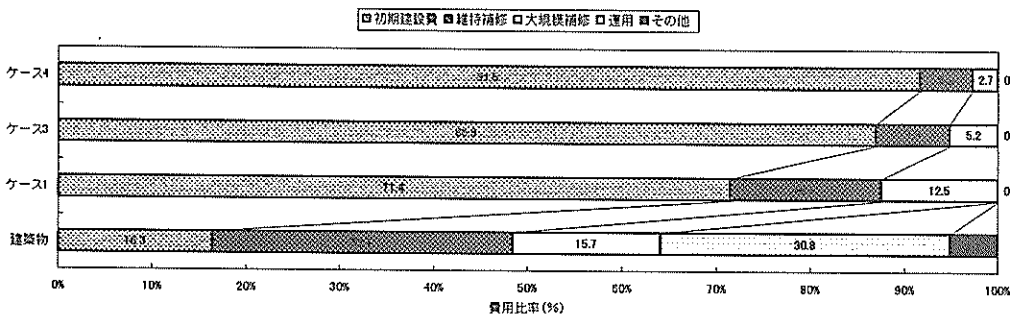


図-24 改良時のライフサイクルコストの費用比率

表-13に示したケース1の費用比率で建築構造物と港湾構造物総コストを比較した結果を図-23に示す。ライフサイクルコストの定義を、3.3(1)で効果(E)、イニシャルコスト(IC)、ランニングコスト(RC)という3要素で示したが、ここではイニシャルコストを同額とし、建築構造物と港湾構造物の総コストを比較する。

建築物の事例は、中規模事務所建物の試算例で総額約87億円、初期建設コスト(イニシャルコスト)が14.2億円である。それに対し、仮に初期建設費が14.2億円の係留施設の場合には総額が約20億円となり、単純にランニングコストを比較すると約67億円の差となっている。つまり、港湾構造物のライフサイクルコストにおける維持管理、補修費といったランニングコストの割合の低さから初期建設費以外の維持管理関連費用の最小化によるコスト低減の効果が建築構造物に比べ少ない。また、初期建設費を減らすことが、ライフサイクルコストの低減に比較的大きく、かつ直接的に効いてくると考えられ、維持補修費の最適化を計るよりもイニシャルコストの低減の方がライフサイクルコストにより大きく影響する。

(3) 港湾施設のライフサイクルコストへの影響因子

図-24に示すように、ケース1のように物理的(設計)耐用年数の間施設を維持管理する場合よりも、ケース3および4では物理的耐用年数の到達前に機能的・社会的理由で改良を行った施設のライフサイクルコストに占めるランニングコストが低い。つまり、維持関連費用の最小化によるコスト低減の効果がさらに低いと考えられる。

港湾構造物のような社会資本のライフサイクルコストを検討する場合は、有限の資本の最適活用が目的ではなく、毎年ある程度確実に確保される予算の存在を前提とし、その使用額を最小にしようとするのが目的となると考えられるが、施設によって検討方法が異なる。図-17に示したコンテナ岸壁の改良までの経過年数のように、現実的に供用開始から改良までの期間が短く、今後も係船対象となる船舶の大型化の速度が速いことや作業機械・岸壁構造に変化が生じるような荷役作業の急激な革新が生まれる可能性がある施設では、物理的耐用年数よりも機能的耐用年数が短いことが一般的で、短いライフサイクルでの改良を前提としたライフサイクルコストの検討手法が適用可能と考えられる。コンテナ岸壁以外の一般的な岸壁では、設計上では物理的耐用年数の期間に対してはメンテナンスフリーであることから、最小費用による超長期にわたる供用を見据えた維持管理を考慮したライフサイクルコストの検討を行うべきであると考えられる。

建築構造物に比べ港湾構造物(岸壁)では、ライフサイクルコストの検討によるRCの削減となる対象額が少ないことを述べた。しかし、事業の効果的な実施のためには費用削減は効果の大小に関係無く実施すべき問題であり、これからの港湾構造物の施設整備において費用最小化に関する検討は必須である。したがって、港湾の係留施設において、ライフサイクルコストによる費用便益の検討することで、効果の程度の大小はあるにしても効果的な事業実施を遂行すべきであると考えられる。

以上のような検討から、港湾構造物においてライフサイクルコストの最小化を検討する場合、以下の2項目を目的とする。

- ①物理的耐用期間の維持管理の最小費用化(効率化)
- ②最小費用による施設の延命化(超長期共用化)

4. 港湾施設維持管理のマネジメントシステム

具体的に個々の施設単位でライフサイクルコストを検討するためには、簡便にコスト計算するシステムおよびデータベースの構築が不可欠となる。そこで、港湾施設のマネジメントシステムの構築を最終的な目的とし、その前段の骨格となる維持管理の最小費用化のためのシステム開発を行う。

4.1 土木構造物の維持管理マネジメントの現状

土木関連の維持管理マネジメントシステムに関する代表的な事例として、橋梁分野における橋梁マネジメントシステムBMS (Bridge Management System) が先駆的

に実施されている。ここでは、橋梁マネジメントシステム、ライフサイクルコスト算出のシステム化に関して代表的な既存事例の解析を行なう。さらに、関連分野の実績および研究成果を参考に、マネジメントシステムの構成、フローなどについて整理する。

(1) 建設省「橋梁マネージメントシステム」¹⁹⁾

システム構築の最終的な目的は、道路橋の維持管理方針に係わる項目のシステム化と考えられる。このシステムでは、その第一歩として、評価と補修計画の一部のコンピュータ化を実現した。システムは健全度評価モジュールと補修計画作成モジュールから構成される。図-25にシステム全体のフローを、また図-26にシステムの具体的な処理行程を示す。

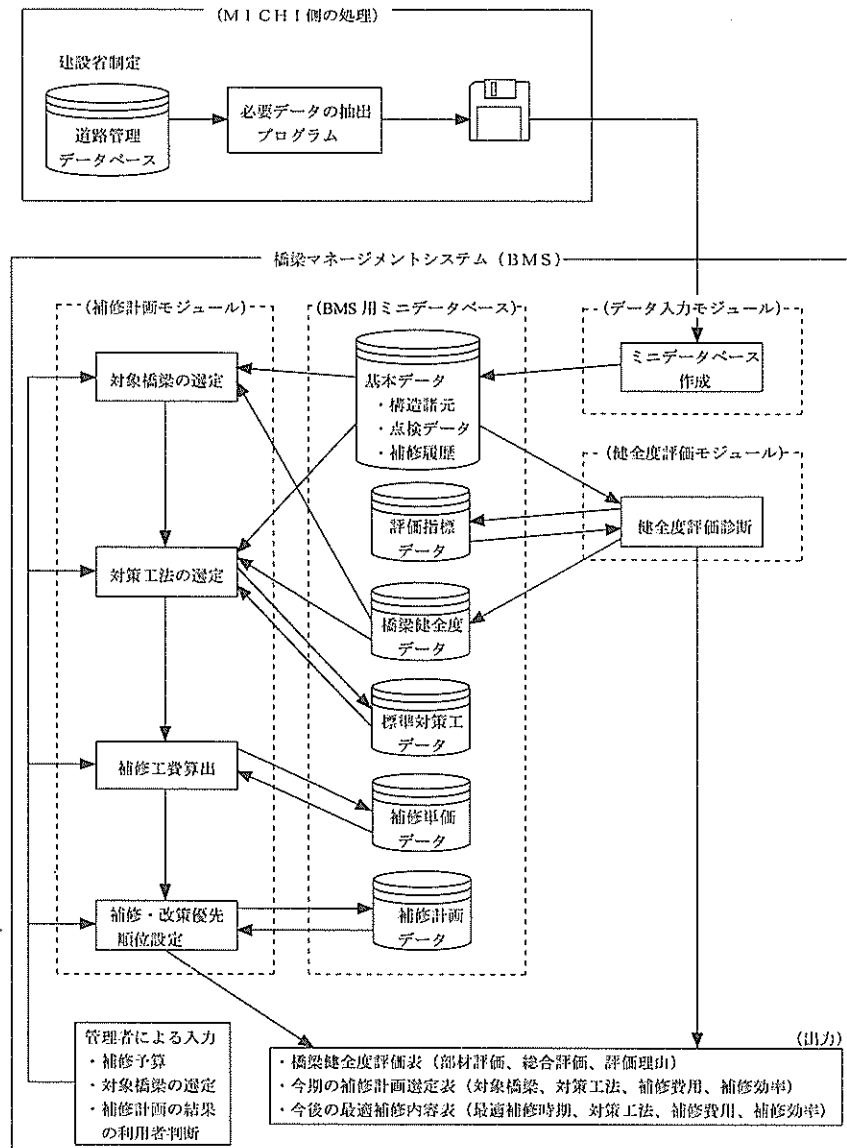


図-25 橋梁マネジメントシステムフロー²⁰⁾

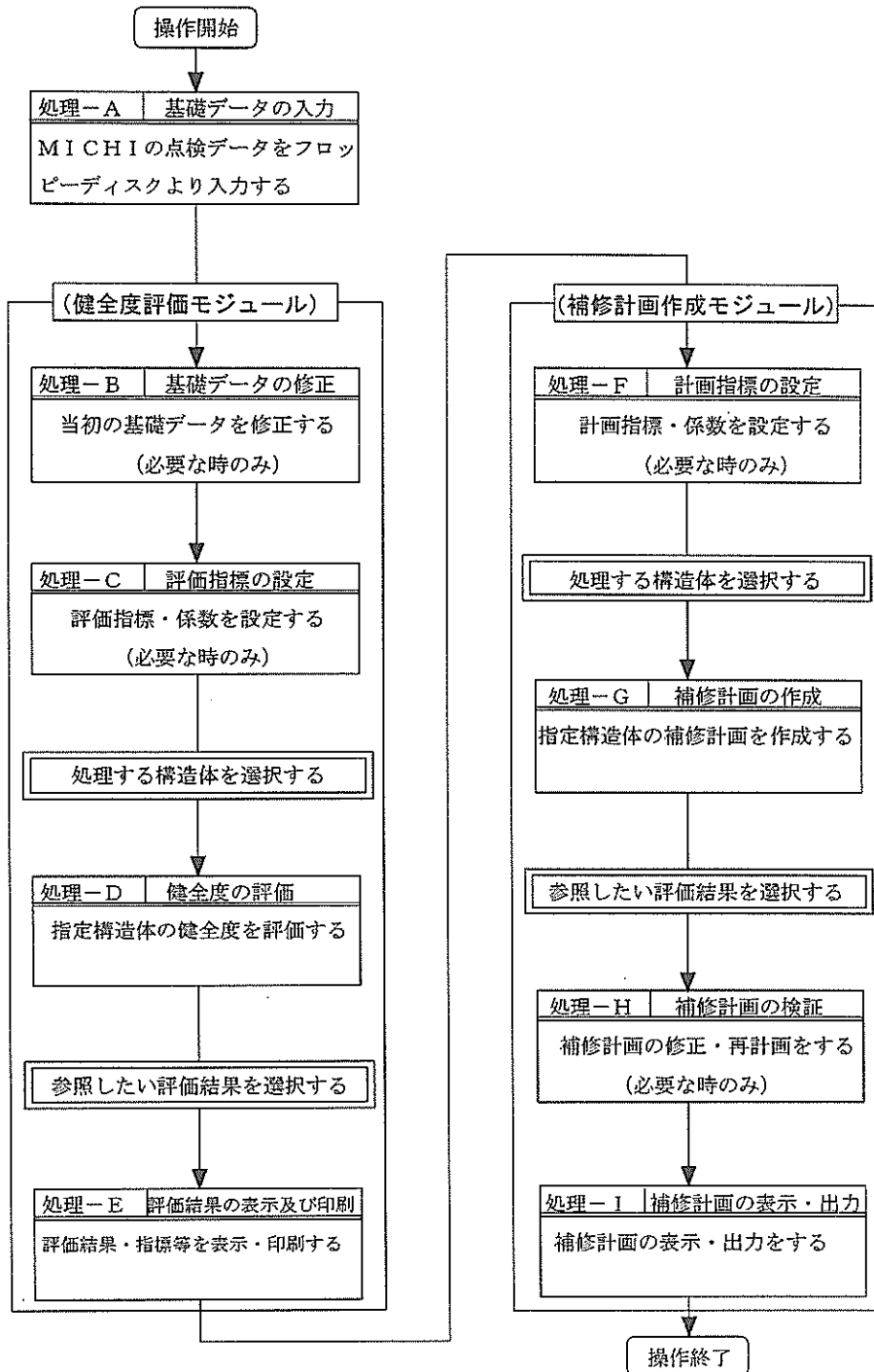


図-26 建設省BMSの機能ブロックチャート²¹⁾

a) 健全度評価モジュール

MICHI（建設省道路管理データベース）に蓄積収録されている各橋梁の諸元、履歴、点検データを使用して、検討対象となる橋梁の現況を評価する。MICHIにおいては、腐食、クラックなどの欠陥種類について、橋梁の部材ごとに損傷度として点検データが蓄積されており、これを活用する。それぞれの損傷度を減点数として変換し、この減点数を満点から差し引きすることにより健全度を計算する。その際、橋を床板、主桁、下部工の3種類に単純化する。損傷度に対して、減点数を与える。減点数の設定は専門家の評価と比較する。全く劣化のない状態を100点満点とし、減点数を引いたものを健全度とする。また、交換可能な部材、材料は健全度評価の対象から外す。物理的に使用可能な限り使い続け、物理的劣化が供用限界に達した時に交換すれば、最も経済的という考え方である。

損傷度の判断基準を表-15に示す。損傷度の判定は点

表-15 損傷度の判定基準

判定区分	損傷度判定基準
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある
OK	点検の結果から、損傷は認められない

検対象の部材別に、損傷の種類、損傷の状態、部材の重要度および損傷の進行状況を考慮して行われている。

b) 補修計画作成モジュール

橋梁群を対象とし、それぞれの橋梁の健全度とその他の情報から複数の補修計画を立案し、予算計画に合わせ、どの橋梁を補修するか、またどの程度補修かなどを最適化し、補修計画を作成する。ここで複数の補修計画が立案されるが、その中からの選択基準は補修効率である。

補修効率の算出に関しては、2つの方法を提案している。実際のBMSでは、このうちの②による評価方法を採用している。

① 補修の回復度による評価

図-27の斜線部に示す、現況の劣化曲線と補修後の新劣化曲線とに囲まれる面積を補修利得と定義し、この補修利得を補修費で割ったものを補修効率とする。複数の代替案、橋梁群から、補修効率の良い手法を選び出す。

② 補修の現在価値評価

補修による将来支出の減額分を考え補修の手法を検討する。途中で補修が行なわれると寿命が延び、費用の現在価値が補修なしの（将来の）架け替えに比べて低下する。低下価値を管理者利得(B)としこれと補修コスト(C)との比率を補修効率とする。補修順位の決定については、B/Cの値が大きい順になる。

図-28に補修案の選定イメージを示す。B-C関係が凹となる案を排除し、将来支出を考えて凸となる補修を行う。

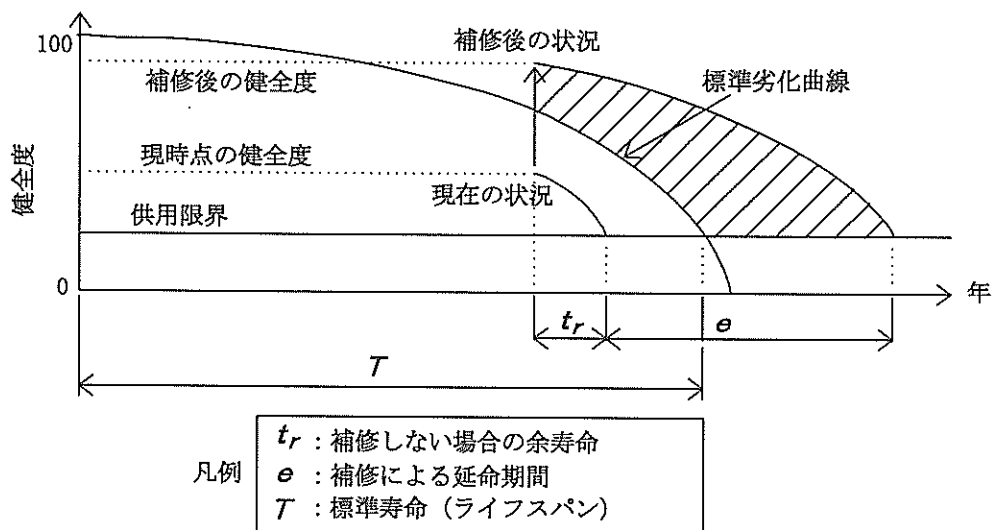


図-27 健全度・修復度・供用限界の関係

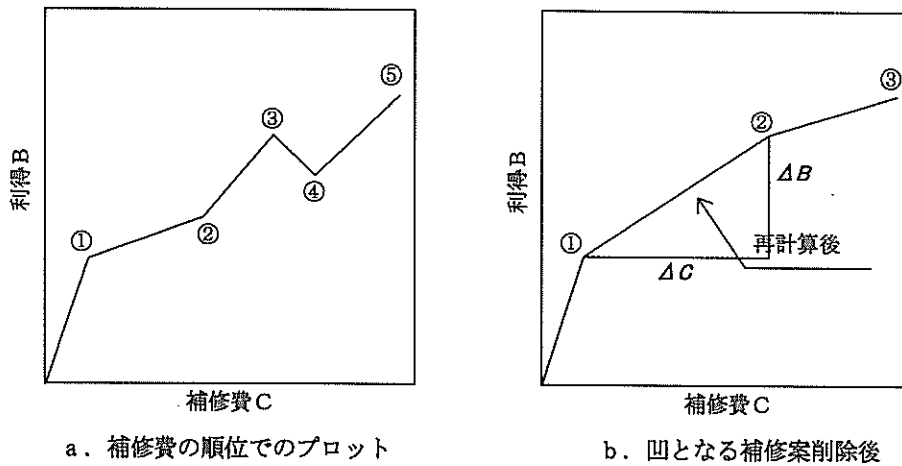


図-28 補修案の優先順位の決定法

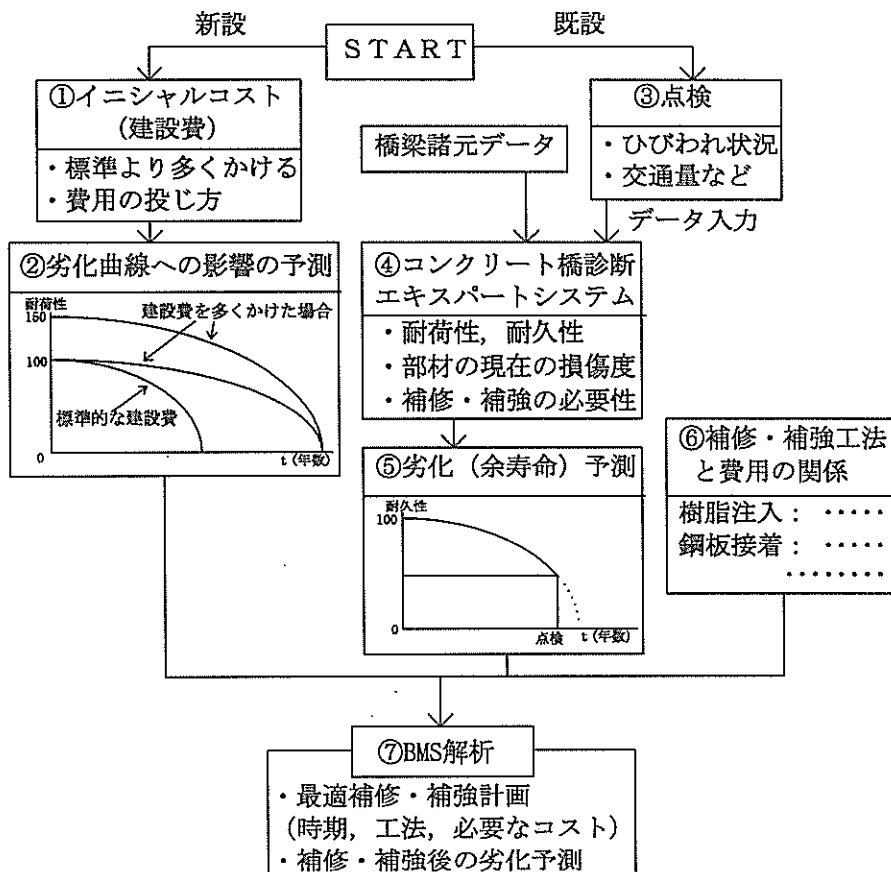


図-29 橋梁診断システムのフロー図

2) 山口大グループのBMS

山口大学の宮本らが各種の研究の成果^{2,2)}をシステム化しBMSについて検討している。

図-29にこのBMSの全体フローを示す。フローは新設橋梁と既設橋梁に区分されている。

新設橋梁ケースでは、イニシャルコストを算出し、建設費を標準的なものに比べて多くかける場合、それにより橋梁部材の劣化曲線に対する影響を予測する。そして、BMS解析を行いライフサイクルコストが最少になる建設計画を作成している。

既設橋梁ケースでは、簡便な目視点検程度の点検と、一部詳細点検に分類される点検を組み合わせた約50項目の点検を実施し、点検結果をエキスパートシステムに入力し、橋梁部材の点検時における健全度(損傷度)を評価する。また、劣化予測式に基づき、現在までの劣化の進行経路とこれからの余寿命の予測を行い、各種資料より補修・補強工法とその効果、費用の関係を求める。そして、BMS解析を行い劣化予想曲線への影響を考慮して解析を実施する。対象橋梁の予定供用年数を設定し、その年数を満足する維持管理対策の組み合わせを検索し、うち費用を最小化する方策を最適なものとして示す。

a) 概要

どのフローにおいても、

- ① 橋梁部材の性能を表わす指標として耐荷性、耐久性の2つを用い、補修、補強の区別を明確化する。
- ② 性能劣化の予測手法として、劣化曲線を提案し、種々の仮定を設けることで、補修、補強後の劣化予測を行なえるようにする。
- ③ BMSのプロトタイプを作成し、各種対策工法を実施する場合の余寿命に及ぼす対策効果の評価および経済性(費用)に着目した維持管理対策の最適化がある程度実現可能であることを確認している。

耐荷性については、橋梁部材の劣化は橋齢が長くなるに従い急速に進行するので時間(年数 t)に対して4次

関数、耐久性については耐荷性の経時変化の曲線の微分値として次の3次関数で示している。

$$S_L = f(t) = b_L - a_L t^4 \quad \dots (4)$$

$$S_D = g(t) = b_D - a_D t^3 \quad \dots (5)$$

ここに、 a_L, a_D, b_L, b_D は定数

ここで S_L が耐荷性の平均健全度、 S_D が耐久性の平均健全度となる。平均健全度を0~100の数値で無次元化し、0時点で健全度をゼロとする。上式のそれぞれにおいて、初期時点は時間0、健全度100であり、これに検査時点の情報が加わると、パラメータ値が確定するので、その後の劣化曲線を描くことが可能になる。

(3) OECDの「Bridge Management」

OECDが1992年に公表したシステム^{2,3)}である。ここでのBMSは単なる構築物のマネジメントではなく、交通体系全体、ネットワーク、複数橋の管理まで幅広く網羅するものである。

内容を下記に示す。

- ・都市間、都市内の道路輸送戦略の評価
- ・ネットワーク効果、サービス水準の向上のための、交通量管理、ドライバーコミュニケーションシステムの開発と管理
- ・統合化された交通安全プログラムの構築と評価
- ・道路インフラの建設、維持、更新
- ・道路のメンテナンス管理と交通安全の評価。

このレポートではBMSを構築している訳ではなく、各国でBMSを開発するが望ましいと紹介し、そのための指針を提示している。

マネジメントシステム関連の項目は、上記項目のうち主として「道路インフラの建設、維持、更新」についてである。

図-30にBMSの構造概要を示す。

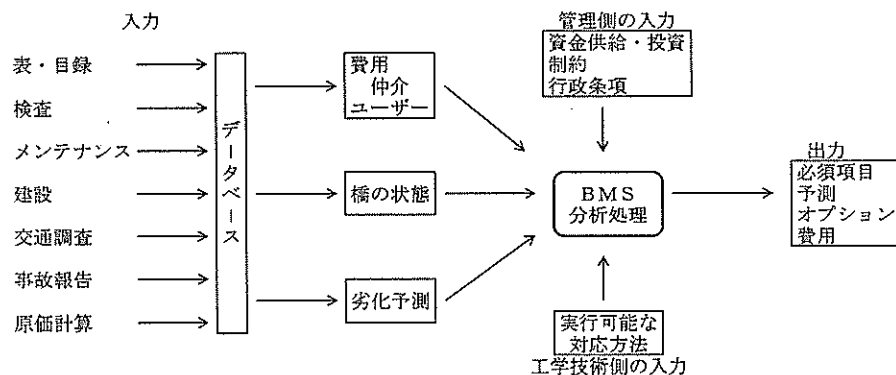


図-30 BMSのプロトタイプ^{2,3)}

① コアシステムは、数理プログラミングもしくは他の手法により、原データ、管理変数、工学条件、劣化予想、コスト推計を、政策決定者に資する情報に変換していく分析プロセスである。

② 管理変数

- ・ 輸送計画、工学的な意向などの政策目的
- ・ 制約条件：予算、環境、社会、行政、法制など

③ 工学条件は橋梁技術者の専門的判断を入力し、それから実現可能なメンテナンス、修繕のための方策を導く。

④ コスト推計

- ・ 維持補修費、更新費など
- ・ 自然災害リスク
- ・ 機能の一時停止により利用者が負担するコスト

⑤ 劣化予測

c) BMSの分析フロー

① ライフサイクルコスト・モデル

・ ライフサイクルコストは、構築物の全生涯に要した経費の合計、ディスカウント率などに左右される。

・ 劣化曲線と所要コスト予想を対応させ、よく予測する。
 ・ 代替案から最小コスト方策を選ぶのが望ましく、50年程度のスパンで考慮すべきだが、時間が長くなると経済的な確からしさが低下する。

・ コストばかりでなく、コストーベネフィット的な発想も重要

・ 修繕により期待されるサービス供用期間の延長を横軸に、縦軸には修繕費／更新費の比率をとる。20年程度の延長ならば、修繕の方が更新よりも有利である。曲線はディスカウント率に応じた、修繕と更新判断の境界線である。

② 最適化モデル

ネットワークレベルでの最適化の考慮の必要性を指摘

d) BMSの能力要件

- ・ 検査・点検を的確に管理できること
- ・ 情報システム、データベースを的確に管理すること
- ・ 最適方策を導くこと

e) BMSの構築手順

・ 必要資源・資金の確保
 ・ 担当要員の確保、目的の定義
 ・ 現状評価で実際作業はいかに遂行され、意思決定されているか

- ・ BMSにおける政策目標の定義
- ・ 入力条件、出力内容の記述・明確化
- ・ 情報の流れとフィードバックプロセスの定義
- ・ システム設計・構築
- ・ システム作動

・ フォローアップ

(4) マネジメントシステムの構成要素

前述の3事例および、アメリカ²⁴⁾、阪神高速道路公団²⁵⁾など橋梁の管理機関のBMSシステムでは、基本的要素および最終的な出力項目はほぼ共通である。そこで、港湾構造物のマネジメントシステムを検討する場合も同様のシステム構成で構築できると考え、構成要素を整理してみる。

構造物のマネジメントシステムの構築と効果的な運営のためには、下記項目を満たす必要がある。

a) データベース

- ・ 施設の構造設計データ（初期、改良）
- ・ 構造物の点検データ（定期点検、診断）
- ・ 予算データ（初期、維持、管理、改良）
- ・ 維持・補修、改良の工法および費用データ

b) 定期点検

- ・ 点検計画および項目の確立（定期点検、変状点検）
- ・ 点検・診断の手法の確立
- ・ 点検・診断の器具の整備、点検者の訓練・教育

c) 性能評価

- ・ 構造全体および部材毎の性能評価（健全度判定）手法の確立

d) 構造的、使用性の意志決定

- ・ 部材毎の劣化予測手法の確立（データの蓄積）
- ・ 予算を考慮した最適プロジェクトの選定手法の確立

(5) システム化の要点

コストの最小化に際し、以下2つの手法を考える。

① 総費用最小化原理に基づくもので、基本式は次式で示される。

$$C_T = C_i + P_i C_r \quad \dots (6)$$

ここで、 C_T ：総費用

C_i ：建設費用

P_i ：破壊確率

C_r ：破壊時の損失費用

一般に、安全性を高めると破壊費用の期待値は減少するが、建設費用は上昇する。両者の合計を総費用と定義し、 C_i 、 P_i 、 C_r の3者の関係が分かれば、最適な安全性レベルが求められる。 P_i という破壊確率を考慮している点が、費用最小化原理の特徴である。総費用の期待値の最小化から、最適な方策を求めるという考え方である。

② 事故・災害等では無く、経年的な使用に伴う劣化、故障および機能低下に着目し劣化予測を行い、劣化対応

の工法データ、費用データと組み合わせることで費用最小化を図る。

本検討は維持管理を対象とするため、事故および災害等による破壊確率を考慮した費用の最小化を検討対象とせず、②による手法を用いて検討を行う。

システムの構築は、対象範囲にいくつかの段階が存在する。初期整備、更新、劣化、費用などを全てを織り込んだ総合的なシステムと、メンテナンスなどについて補修か改良かといった、サブレベルで判断・検討するものがある。BMSは、多くのサブモデルから構成され、費用なども実際データの結合を目指すため、必然的にモデルは大規模になる。したがって、必然的にパソコンを活用したシステム作りが必要になる。

マネジメントシステムにおいては、コスト最小化がひとつの目的となるが、条件として力学的安全率などの条件も必要となる。安全率を荷重、強度の変動率から設定し、これとコストの兼ね合いから、最適安全率を設定する構造としている。モデル化のためには、安全率の変動要素（荷重、強度など）の設定、安全率（機能水準）の経年変化のモデル化の2点が必要と考えられる。

安全率自体の経年変化については、確率モデル、劣化曲線により想定する構造となる。

総費用最小化原理で破壊確率を想定する場合、事故・災害等の確率変数が組み込まれる。経年変化、劣化モデルでも将来の変化予測をするので、単純に考えれば確率的な要素が必要となるが、劣化状況が予め想定できれば、確率を考慮する必要はないと考えられる。

劣化評価システムの組み込みは不可欠である。評価システムの構成には2つの方法が考えられる。すなわち、劣化過程のモデル化、および劣化判定の程度分けによる点数化である。

ライフサイクル管理は、部材ごとの耐用年数を明確化して、その管理、組み合わせからコスト最小化を目指すという考え方である。構造物全体では機能的、経済的、社会的耐用年数などを考慮する必要があるが、モデル化は部材ごとの物理的耐用年数の組み合わせによる最適化の検討から始める。

実際のシステム構築に際しては、工法、整備内容および経費発生の対応表が必要となる。他には、鋼重、岸壁延長などで近似させる方法などが考えられる。

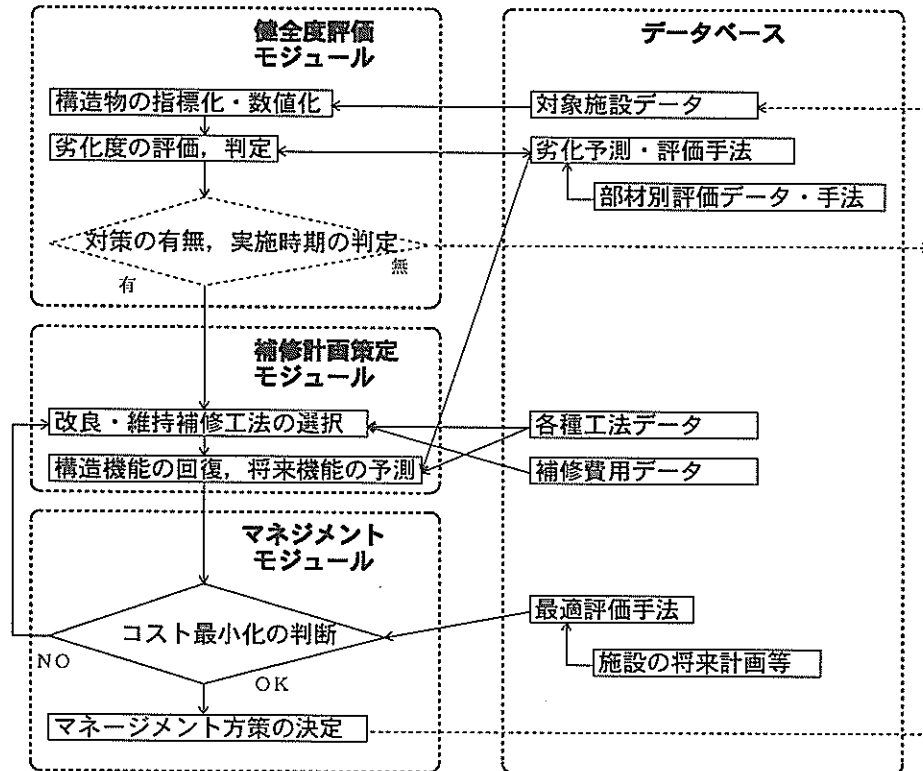


図-31 マネジメントシステムの全体フロー

4.2 マネジメントシステムの基本構成

3. までの検討に基づき、港湾構造物の維持管理の最小費用化に向け、ライフサイクルコストの検討によるマネジメントシステムの基本構造に関する検討を行う。

ここでのシステム検討では、破壊確率を考慮した費用最小化原理による最適なマネジメント方策は、現在まだ研究段階にあることから検討の対象としていない。したがって、経年的な使用に伴う施設劣化、故障および機能低下等に着目し劣化予測を行い、劣化対応の工法データ、費用データの組み合わせから費用最小化を検討する。

(1) マネジメントシステムの全体構成

マネジメントシステムは以下に示す3モジュールとデータベースにより構成される。

- ① 健全度評価モジュール
- ② 補修計画策定モジュール
- ③ マネジメントモジュール

これら3つのモジュールは、現状評価、工法選定・費用化および最適化の各段階にそれぞれ対応している。

図-31にシステムの基本的な考え方のフローを示す。既存対象施設（新設）の現状を劣化判断（予測）という形で評価し、続いてその機能回復のための補修工法を選定する。次に、補修工法を複数立案し、対応する補修費用も複数算出する。最後にこれらの情報を基に、最適マネジメント方策を立案する。つまり、現状を改善する補修工法と対応する費用を関連付け、これを一定の基準に基づいて評価することから、将来にわたるマネジメント方策の最適化を図るという流れである。

a) 健全度評価モジュール

- ・ 検討対象となる係留施設を選定し、その構造、材質を確定する。各種の諸元データを入力する。
- ・ 劣化評価のための点検調査を実施し、その結果を入力する。
- ・ 現状施設の劣化状況を数値化する。
- ・ 劣化状況が施設の機能水準に及ぼす影響（残存耐力など）が数値化される。
- ・ 対応策の是非について判断し、是の場合には実施時期を検討する。

b) 補修計画策定モジュール

- ・ 改良・補修工法が抽出、列挙される。劣化状況に応じて改良・補修工法を提案（選択）する。
- ・ 各工法に対応した機能の上昇分などを求める。また、改良後、補修後の施設の劣化予想を行なう。
- ・ データベースから、各々の工法に対応したコストを求める。

c) マネジメントモジュール

- ・ 施設の将来計画から採用工法を評価する。検討対象としている施設の将来計画により、求められる性能要件や使用期間が明示化される。そこで対応した将来の機能水準の発揮条件が得られる。この条件を満たす最適マネジメント方策を決定する。

- ・ ライフサイクルコストの最小化の検討は、計画面とコスト面との検討結果から最適マネジメント方策を決定する。

d) データベース

本システムが最適方策を決定するためには、データベースならびに劣化評価システムが不可欠であり、この整備が無くてはマネジメントシステムは機能しない。

評価手法として、劣化・健全度および最適化の2点の評価に関する検討方法が必要である。劣化・健全度判断については、現状把握のための劣化評価手法が挙げられるが、加えてマネジメント方策の立案のため将来の劣化状況を予想する手法も必要となる。

最適化に関しては、マネジメントシステムは、複数の代替案から最適方策を選定する作業を実施するため、そこでは何らかの評価基準が必要となる。費用最小化（ライフサイクルコストの低減）および将来利用計画の2点の検討が必要になる。

(2) 意思決定項目と評価手法

マネジメントシステムの意思決定項目には、改良補修の実施の是非、工法の抽出、および最適マネジメント方策の3項目がある。また、評価手法として劣化評価手法および最適化手法の2つの手法についての検討が必要になる。以下にシステム内の意思決定および評価について概要を示す。

a) 改良補修の是非および工法の抽出

健全度評価モジュールで改良補修の是非を、補修計画策定モジュールでは、改良補修工法を決定する。

健全度評価モジュールから得られた劣化診断結果と将来劣化予測をもとに改良補修の是非を定め、さらに検討対象とする施設の改良補修工法を選定するという意思決定プロセスである。

現段階では工法データベースに用意された整備内容、工法を参考にして意思決定するものの、工費以外の具体的な内容の決定（工法の選択）は評価する人間によるものとなる。

b) 最適マネジメント方策の決定

マネジメントシステムの最終段階では、最適マネジメント方策の選定という意思決定を下すことになる。前段階にあたる補修計画策定モジュールでは、複数の代替工法が採用候補として選定され、それぞれの所要コスト、

機能水準の上昇、新整備後の将来の劣化予想が提出される。マネジメントモジュールでは、この複数の代替案から最終工法を決定する作業を行うが、意思決定では2つの検討段階を行うことになる。

ひとつは将来計画などを基に、施設の将来の使用見込みを予測し、必要な機能水準を満たすための最適工法を評価（選択）するものである。ふたつめはライフサイクルコストの算定である。各工法によるライフサイクルコストが評価され、最小費用を可能とする工法を選択する。

c) 劣化診断・劣化の将来予想
ここで検討しているマネジメントシステムは、確率的な事故発生による機能水準の変化ではなく、物理的な劣化により機能が低下していくという考え方を採用している。そのため既存の劣化に関する各種の診断方法、評価手法を収集整理、あるいは新規に開発することにより、マネジメントシステムにおいて検討対象とする施設の現状評価と将来予想を可能とする方法を確立する必要がある。

① 劣化診断

港湾施設における劣化の診断対象となる部材、設備、および施設などは、通常、鉄筋コンクリート、鋼材、ゴム材がそのほとんどである。劣化の診断を行うためには各々の部材の設計（初期）の部材データと現在の部材の状態を示すデータが不可欠であるが、港湾構造物はその施設の機能目的から構造物本体が海水面付近と海中に存在することから、部材および部位によっては劣化診断を行うためのデータ収集にはかなりの手間のかかる調査が必要となる。

また、鋼材やゴムなど部材の状態が直接表面的に表れる材質の場合は（水中部を除く）日々の目視点検、簡易な計測により点検を実施できることから、材料の状態を把握しやすいのに対し、鉄筋コンクリート部材の場合は、クラックの発生、鉄筋の錆汁などの内部の劣化状態の判断材料はあるにしても、コンクリートの中酸化、塩化イオンの浸透程度など、コンクリートの材料そのものの劣化を判断し、さらに内部の鉄筋の状態を把握するためには専門的な技術を用いて調査を実施しなければならない。現状では鋼材以外の材料についての劣化診断に対する確立された手法は無く、一部実用化されつつある手法もあるがまだ研究されつつある状態である。

以上のような劣化調査（定期点検）を継続的に実施し構造形式別、部材別の劣化実態についてのデータを経年的に蓄積し、それをデータベース化することで始めて劣化診断に必要なデータを得ることができると考えられる。

実際の判断では、2つのステップを踏むと考えられる。

はじめのステップは施設の定期点検によって確認されるような、構造物表面に見え、比較的簡便でしかも安価な調査で得られる情報から何らかの判断基準の基に機械的に施設および部材の劣化度を階級別に判断する。次の段階で、判断におけるグレーな部分を無くし、よりの確かな判断が行えるよう重点的な調査を実施する。

②劣化予想

マネジメントシステムでは、対象施設の時間を通じた管理方策を検討するので、現状の劣化状況の把握のみならず、将来の劣化予想、さらには整備後の新施設の将来の劣化予想の設定が求められている。材質、経過時間、外界条件などと関連付けられた劣化曲線の導出が必要である。評価作業は、対象施設を劣化曲線群にあてはめることから、当該施設の劣化予想を実施することとなる。

d) ライフサイクルコストの最小化

マネジメントモジュールにおける最適マネジメント方策の決定では、将来の利用計画およびライフサイクルコスト最小化の2つの意思決定を通して、最終判断が下される。このうち将来の利用計画に関しては、外生的、定性的な判断に頼る面が大きいが、ライフサイクルコストの最小化については、費用評価に関する手法が用いられる。

具体的には、経年の費用（補修、改良、更新など）の発生曲線、係留施設のストック評価額の推移曲線、コストの現在価値への換算、発生コストの年当り換算（使用年数の想定が異なるため必要）が検討評価されることになる。

4.3 入出力データおよびデータベース

各モジュールごとに、入力、出力されるデータおよび整備すべきデータベースについての構造を把握するとともに、入手の可能性を検討する。

(1) 健全度評価モジュール

① 入出力データ

・対象施設データ（入力データ）

検討対象とする係留施設に関するデータ入力である。これは施設のファクトシート（施設名、建設年次、初期費用、補修履歴、設計条件、利用度、部材の強度）および計画要件（取り扱い貨物、利用頻度、荷役方法、利用年数）などから構成される。

・劣化診断結果データ（入力データ）

目視点検、塩化イオン量測定検査などの検査結果データが入力データとして、健全度評価モジュールに入力される。目視点検については、全体構造、部材ごとの検査結果が、点数化され、それが入力条件となる。

・劣化予想データ（入力データ・出力データ）

劣化予想データは健全度評価モジュールにおける入力データであると同時に出力データである。つまり、劣化評価手法において、劣化曲線等のが用意されており、これらのデータはモジュールにおいて平均（入力）データとして機能するが、対象施設に関する劣化予想の出力データでもある。

・診断結果データ（出力データ）

健全度評価モジュールにおける検討結果が、診断結果データとして出力される。これは対象施設および部材の安全性（あるいは健全度）、将来の劣化予想曲線などから構成される。

② データベース

・劣化データベース（データベース）

劣化データベースは、劣化診断および劣化予想のための参照データが収められたデータベースである。

劣化診断のための参照データは、検査結果に基づき構造物の強度低下を換算する係数表、対応表などから構成される。劣化予想のための参照データは、構造物における部材ごとの強度の経年変化を記載した数値表から構成される。

(2) 補修計画策定モジュール

① 入出力データ

・診断結果データ（入力データ）

健全度評価モジュールから受け取るデータ群であり、検討対象の係留施設に関する劣化診断結果である。

・工法データ（入力データ）

補修計画の策定における具体的な工法を記述したデータ群である。意思決定の方法については既に述べたとおり、劣化診断結果と参照データベースから、評価者が判断する。この入力データは、採用候補となった補修計画の工法内容を示す。

・費用データ（入力データ）

補修計画の策定において採用候補となった補修計画に対応する費用を算定したものである。補修計画は、工法と費用から構成され、費用に関しては各工法に対応する費用が算定され、これが入力データを構成する。

・改良補修計画（出力データ）

補修計画モジュールにおける結果出力である。工法、費用および整備後の新施設の劣化予想曲線が、改良補修計画として出力される。劣化予想の出力については、健全度評価モジュールにおける評価手法が用いられる。

② データベース

・工法データベース（データベース）

採用工法の策定に際して、評価者が参照するデータベ

ースである。データベースは、整備内容（増深、前出し、更新、修繕ほか）、工法（浚渫、本体工、控工、上部工ほか工事）、施工数量（数量、作業量ほか）から構成される。整備内容の大枠が決定されると、それに付随する工法と投入物が求められる構造となる。

・費用データベース（データベース）

採用工法に対応した費用を算定する（費用化）のためのデータベースである。一般的な積算フローを簡略化したものとする。

費用化の方法としては、工法に対応して作業内容ごとに、使用材料、作業量を基にコストを積算していく方法が一般的である。これは実際に費用算出の際に実施されている積算方法であるが、システムにおいては既存の積算システムを再現していく方向が望ましい。また、簡便法としては、施設規模や使用材料の総量に応じて費用概算を算定する方法、基準ケースのコストを1.0として指数化して、他は0.8、1.5といった指数で確定するといった方法が考えられる。

(3) マネジメント・モジュール

マネジメント・モジュールは入出力データのみから構成され、最適方策の決定をおこなう。

① 入出力データ

・改良補修計画（入力データ）

これは補修計画策定モジュールの出力データ（最適マネジメント方策の候補）である。

・将来計画（入力データ）

対象となる施設の将来の利用見込みである。計画的な情報（利用形態、見込み、全体計画）および、性能的な情報（使用見込み年数、要請される性能要件）から構成される。

マネジメントの考え方としては、検討対象の最適マネジメント方策として工学的な性能のみから、使用形態のあり方を検討する手法と、施設の将来計画を予め外生的な情報として与えることで、より実際的な最適方策を選び出すことが出来る構造とする。

・経済パラメータ（入力データ）

ライフサイクルコスト算出に用いられる数値群である。とくに現在割引率が重要な指数となる。これは既存の経済データから採録が可能である。

・最適マネジメント方策（出力データ）

マネジメント・モジュールの出力データである。出力内容は、補修計画策定モジュールにおける出力データと同じであり、工法、費用、劣化予想（将来の利用方策）が提示されるものである。

5. パイロットシステムの検討

5.1 検討概要

港湾構造マネジメントシステムのパイロットモデルとして、栈橋式の係留施設の維持管理費の最小化について検討する。システムを稼働させるために必要な、構造部材別の劣化診断・評価・予測など各判断項目について、確立された手法が無い場合、ここでは想定値を用いる。

システムの中の3段階のモジュールとデータベースを仮定しシステムフローに合わせ、想定年数における施設の最小維持管理コストについての検討を行う。

5.2 検討条件

(1) 検討対象構造物（部材）

図-32に示す鋼直杭式横栈橋をモデルとし、部材としては、鋼管杭および上部コンクリートについて検討する。また、検討条件としては、建設後30年が経過し、これまで維持補修、改良などは実施されていないものとする。

表-16にモデル栈橋の直接工事費の内訳を、表-17に検討対象部材の費用比率を示す。

b) 劣化評価モジュール

実際の構造物では、目視、非破壊検査、コンクリート中の塩化物イオン量測定などにより、部材別に劣化の程度を数値化する。同時に、強度低下および安全性について、何らかの評価基準に従って評価し、対策実施についての判断を行う。ここでは、モデルでの判断を容易にするため、劣化部材の設計時許容応力度に対する発生応力比が0.7以上になると対策が必要であると仮定する。

鋼管杭は、供用開始後20年間は電気防食が有効で腐食がないが、20年以降は0.2mm/年で腐食が進行すると仮定する。図-33に建設後の経過年数と腐食による鋼管杭の応力度変化を許容応力度と比較した比率を示す。

上部コンクリートは、施工後30年が経過した時点で、鉄筋位置においてコンクリートに浸透した塩化物が臨界値を越え、内部鉄筋の腐食が始まると仮定する。

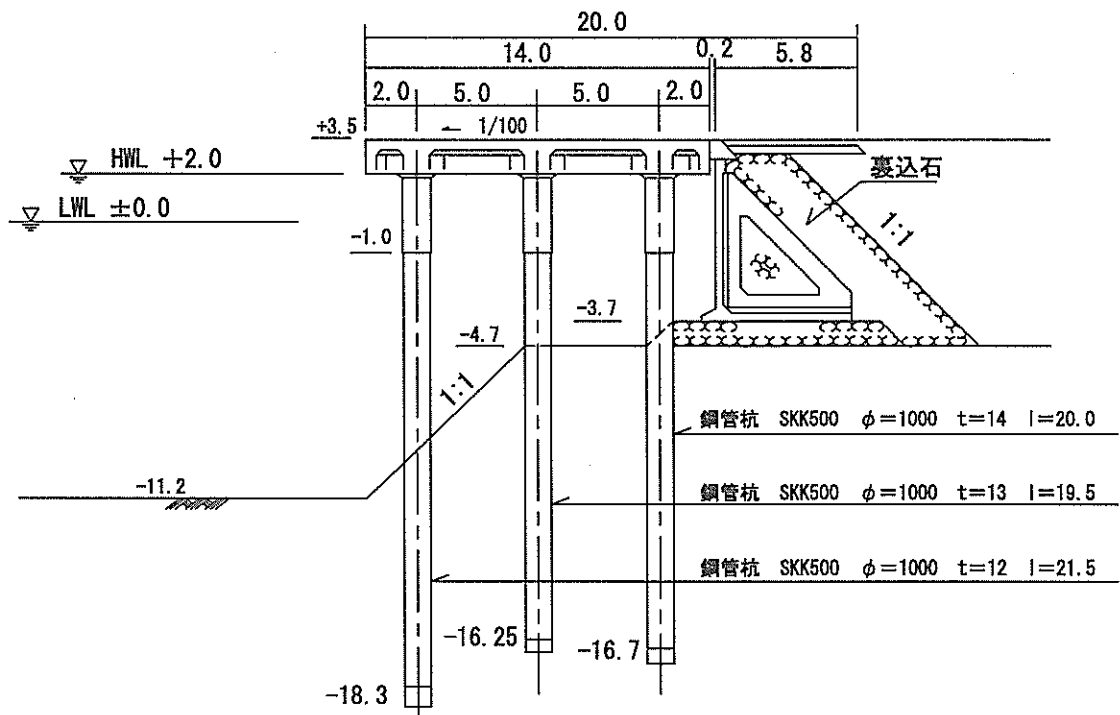


図-32 検討モデル断面

表-16 モデル栈橋の直接工事費内訳 (1ブロック20m当たり)

項目	数量	単位	単価(千円)	費用(千円)
I 栈橋部				
鋼管杭	1,000φ×14t×26,500ℓ×4本	t	134	4,824
	1,000φ×14t×25,000ℓ×4本	t	134	4,556
	1,000φ×15t×24,000ℓ×4本	t	134	4,677
鋼管杭打設	12.0	本	2,000	24,000
杭頭処理	12.0	本	150	1,800
上部コンクリート (支保工、型枠、鉄筋込)	240.0	m ³	100	24,000
モルタルライニング	13.0	m ³	30	390
防舷材 V-600H×1,000L	2.0	基	1,200	2,400
係船曲柱 25t型	1.5	基	300	450
車止め	16.4	m	25	410
渡版(グレーチング) 570B×1,000L	20.0	枚	20	400
電気防食 2.5A、20年耐用	16.0	個	150	2,400
II 護岸部				
基礎捨て石	162.0	m ³	7	1,134
同上荒均し ±30cm	60.0	m ³	6	360
〃本均し ±5cm	120.0	m ³	13	1,560
L型用壁 H=5,500	20.0	m ²	300	6,000
上部コンクリート	12.0	m ²	50	600
裏込石	760.0	m ³	4	3,040
裏込石均し	100.0	m ³	3	300
	170.0	m ³	2	340
直接工事費 (1mあたり4,182千円)				83,641

表-17 モデル栈橋の単位幅当たり直接工事費

	費用(千円/m)	構成比
本體工	2000	48%
上部工	1400	33%
電気防食	120	3%
護岸部	680	16%
計	4200	100%

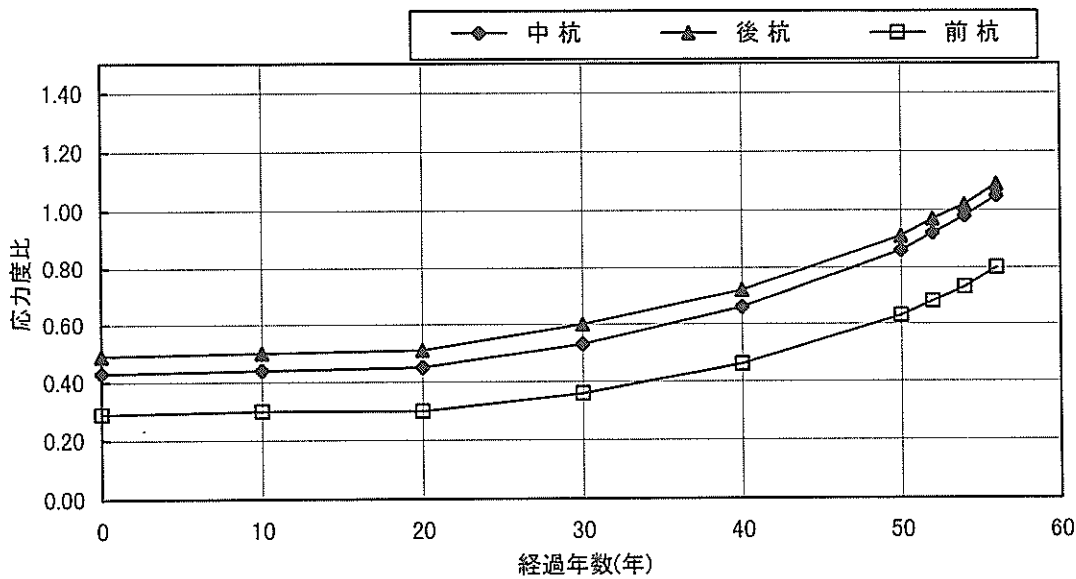


図-33 鋼管杭の応力比の変化

(3) 補修計画策定モジュール

構造物の劣化に対応した改良，補修工法を複数選定する。各工法の費用を求めると同時に，補修後の対象部材性能，補修工法そのものの劣化による検討対象の劣化予測を行う。本検討では鋼管杭の腐食進行防止および強度の確保と上部工のひび割れ，鉄筋の腐食防止および強度の確保が対象となる。表-18および表-19に鋼管杭と上部コンクリートの代表的な補修工法とその仕様，工費などを示す。本来，工法や使用材料によって補修材本体の耐用年数，補修などの目的の効果の耐用年数は異なる。各工法，材料の持つ実績などのデータを基に工法の耐用年数，補修効果の低下特性がシステムの入力値となる。本検討では工法の特質を明確にするため，同表に示すように少し極端な設定とし，設定した耐用期間は補修の効果の変化は無いと仮定する。

防眩材，車止めは10年毎に取り替えるものとし，防眩材は120千円/m，車止めは20千円/mの費用が発生するとする。

(4) マネジメントモジュール

本来ならば当該構造物の利用計画より，将来の施設の供用年数などを制約条件として入力しなければならないが，本検討においては，具体的な施設は未だ想定していないため，将来の供用年数も可変として，年平均費用が最小となる改良，補修計画を導出する考え方を示すこととする。

マネジメントモジュールでは，1年あたりの費用で比較するために，以下の指標を用いて費用を毎年等価に換算する。

$$\text{費用の現在価値 } NPC = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1+i)^i} \quad (7)$$

$$\text{毎年等価費用 } EC = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \times NPC \quad (8)$$

t : 年次 $0 < t \leq N$

N : 当該施設の現時点からの供用期間

C_i : t 年における改良費，補修費

i : 社会的割引率 (=0.04)

表-18 鋼管杭補修工法費用リスト (仮定)

工法	補修なし	鉄筋コンクリート被覆	鋼板溶接	モルタルライニング	ペトロラタムライニング	増し杭	撤去・新設
補修工法の耐用年と施工可能回数	— —	20年 1回限り	10年 2回まで	10年 1回限り	10年 2回まで	30年 —	50年 —
計算の仮定		3m幅 63000円/m ²	3m幅 40000円/m ²	3m幅 387000円/本	3m幅 51400円/m ²	上部工+ 1列3本を4本	新設と同等
単位幅当たり工費	0千円/m	356千円/m	226千円/m	232千円/m	291千円/m	2070千円/m	4200千円/m

表-19 上部コンクリート補修工法費用リスト (仮定)

工法	補修なし	エポキシライニング	一部撤去・打替	全面撤去・新設
補修工法の耐用年と施工可能回数	—	15年	30年	50年
計算の仮定	—	全面 20000円/m ²	全体の1/2 60000円/m ²	新設と同等
単位幅当たり工費	0千円/m	400千円/m	600千円/m	1400千円/m

5.3 シミュレーション

維持管理の最小費用化における実際の部材検討の流れを再現してみる。

(1) 鋼管杭

鋼管杭の維持管理シミュレーションの例を、図-34に示す。

① 劣化評価モジュールで腐食の程度が評価され、腐食があると判断されれば、補修計画策定モジュールにマネジメントフローが流れる。

② 対象鋼管の腐食が建設後経過年数 ($N_0=30$ 年)まで、設計腐食速度と同程度に進行すると仮定する。

③ 今後の利用年数 (N_1)を設定する。

④ 以降の劣化進行の予測として、鋼材の腐食による応力低下を図-33に示したように仮定する。

⑤ 対象費用を建設から利用を終えるまでの年数 N_T ($N_0 + N_1$)における改良・維持費とし、これを最小化するように検討する。

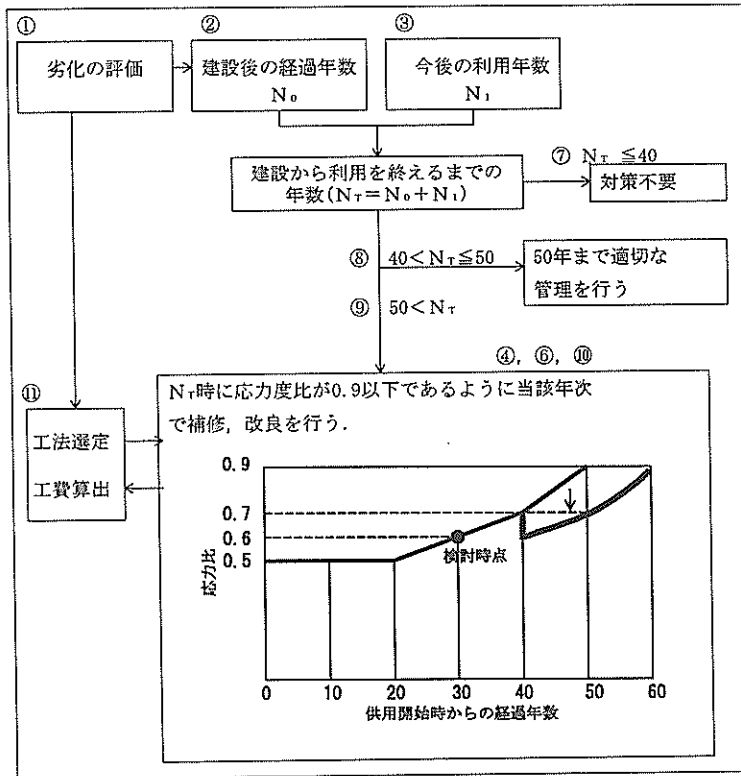


図-34 鋼管杭のシミュレーション

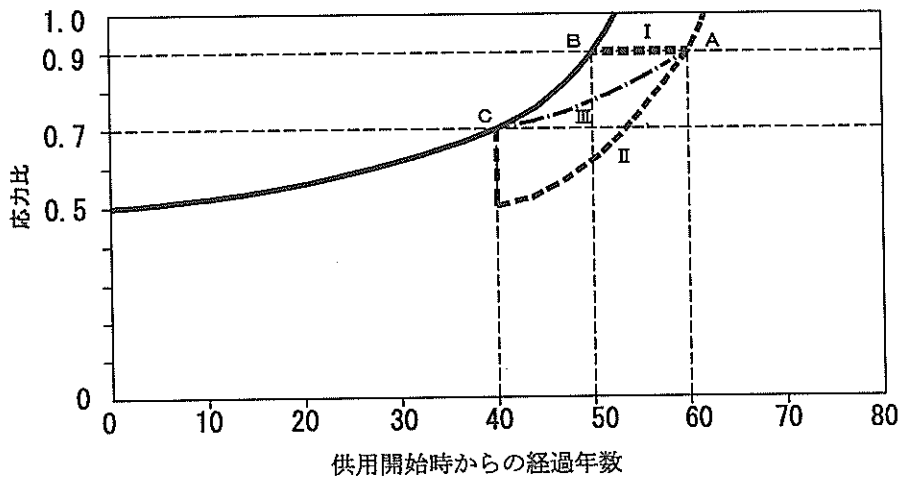


図-35 対策工別応力比の経時変化

- ⑥ 鋼材の補修対策についての実施基準として、ここでは簡単にするため、応力比が 0.7 に達すると対策工の是非について検討し、応力比が 0.9 になれば対策が必要とする。既に述べたように供用開始後 $N_0=40$ 年で応力比が 0.7 に達するものとする。
- ⑦ N_T が 40 年以下の場合、供用中は応力比が 0.7 以下であるので対策は不要である。
- ⑧ N_T が 40~50 年の場合、40 年が経過した時点で応力比の再評価を行い、劣化の進行速度が予測と同等の場合対策は実施しないが、継続した管理が必要である。
- ⑨ N_T が 50 年以上の場合、 N_T 時に応力比が 0.9 以下となるように何らかの対策が必要になる。対策の目的は N_T 時の応力比が 0.9 以下となるようにする。対策工法の機能や特性により、図-35 に示すように応力比が 0.9 の点 A に至る経路は様々であるが、ここでは応力変化の例として工法 I~III の形があると考え、
- ⑩ A 点を通過する対策工法の中から、年当たりの費用が最も少ない方法を選択する。
- ⑪ 本検討では簡単のため、工法別の機能効果を表-19 に示す工法を仮定し、検討する。

(2) 上部工

上部工のシミュレーション事例を、図-36 に示す。

- ① 劣化評価モジュールで劣化程度が評価され、例えばコンクリートへ浸透した塩化物が鋼材腐食発生の臨界値を越えている場合には、補修計画策定モジュールにマネ

ジメントフローが流れる。ひび割れの程度、表面の状況（はく離、はく落）も入力となり得る。

- ② 鋼管杭と同じように、供用開始後経過年数 ($N_0=30$ 年) において、応力度の評価を行う。
- ③ 今後の利用年数 (N_1) を設定する。
- ④ 以降の劣化の予測として、図-36 にイメージを示す。鉄筋の腐食による応力低下を想定し、 $N_0=30$ 年で鉄筋腐食が始まり（応力比が 0.7）、経過年数 50 年で応力比が 0.9 になるものと仮定する。
- ⑤ 対象費用を $N_T (=N_0 + N_1)$ 年における改良・維持費ついで、これを最小化が目的となる。
- ⑥ 鉄筋コンクリート上部工の補修対策の実施基準は、簡単のため鋼管と同じ応力比とする。
- ⑦ N_T が 30 年の場合、供用中は応力比が 0.7 以下であり対策は不要である。
- ⑧ N_T が 30~40 年の場合、劣化の進行速度が予測と同等の場合対策は実施しないが、継続した管理が必要である。
- ⑨ N_T が 50 年以上の場合、 N_T 時に応力比が 0.9 以下となるように、検討時点から応力比が 0.9 に達するまでの間に何らかの対策が必要になる。
- ⑩ 対策工法の中から、年当たりの費用が最も少ない方法を選択する。
- ⑪ 本検討では簡単のため、工法別の機能効果を表-20 に示すものと仮定し、検討する。

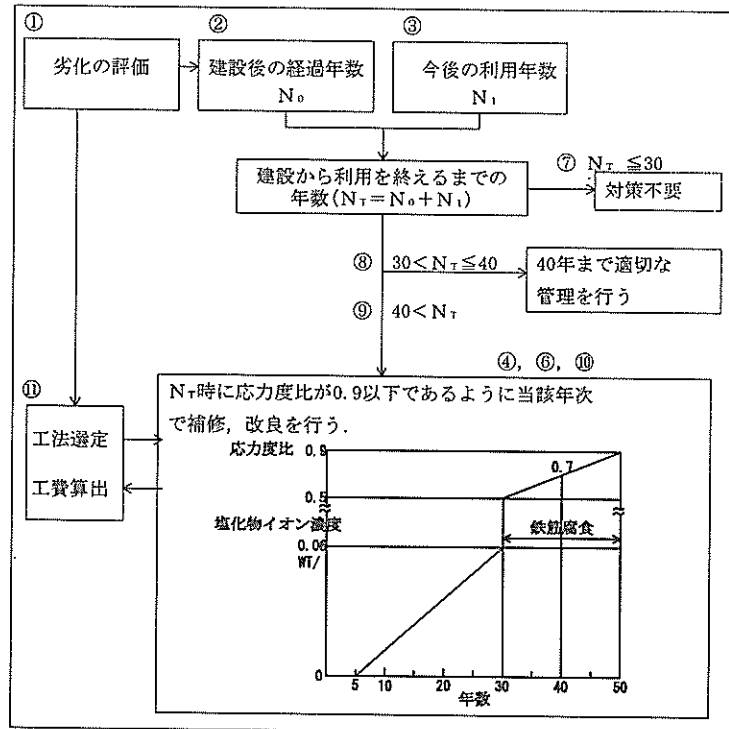


図-36 上部工のシミュレーション

(3) シミュレーション実施例

a) 部材別毎年等価費用

表-20~23に建設後経過年数(N₀)を30年とした場合、および40年とした場合のシミュレーション結果を示す。

その際、表-20および表-21に鋼管杭と上部工の補修および改良工法について、今後の利用年数に応じて採用する工法および費用を式(7)および式(8)により求めた。

表-20 設置後30年の改良・補修費用、部材別毎年等価費用

設置後 耐用年数		鋼管杭の改良・補修費用(万円/m)						
		1.補修無し	2.RC巻付	3.鋼板巻付	4.モルタル	5.ハトドラム	6.増杭	7.新設
費用原単位		0	35.6	22.6	23.2	29.1	207	420
今後の 利用年数	設置後からの 年数							
10	40	0	0	0	0	0	*	*
15	45	*	35.6	22.6	23.2	29.1	*	*
20	50	*	35.6	22.6	23.2	29.1	*	*
25	55	*	*	45.2	*	58.2	207	420
30	60	*	*	45.2	*	58.2	207	420
35	65	*	*	*	*	*	*	420
40	70	*	*	*	*	*	*	420
45	75	*	*	*	*	*	*	420
50	80	*	*	*	*	*	*	420

		上部工の改良・補修費用(万円/m)				維持補修費
		1.補修無し	2.ライニング	3.一部取替	4.全面取替	防塵材、車止
費用原単位		0	40	50	140	14
今後の 利用年数	設置後からの 年数					
10	40	0	40	50	140	0
15	45	*	40	50	140	14
20	50	*	80	50	140	14
25	55	*	80	50	140	28
30	60	*	80	50	140	28
35	65	*	*	*	140	42
40	70	*	*	*	140	42
45	75	*	*	*	140	56
50	80	*	*	*	140	56

社会的割引率	0.04	今後の 利用年数	設置後からの 年数	鋼管杭毎年等価費用(万円/年)						
				1.補修無し	2.RC巻付	3.鋼板巻付	4.モルタル	5.ハトドラム	6.増杭	7.新設
10	40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	*
15	45	*	3.20	2.03	2.09	2.62	*	*		
20	50	*	2.62	1.66	1.71	2.14	*	*		
25	55	*	*	2.89	*	3.73	13.25	26.89		
30	60	*	*	2.61	*	3.37	11.97	24.29		
35	65	*	*	*	*	*	*	22.50		
40	70	*	*	*	*	*	*	21.22		
45	75	*	*	*	*	*	*	20.27		
50	80	*	*	*	*	*	*	19.55		

今後の 利用年数	設置後からの 年数	上部工毎年等価費用(万円/年)				維持補修費
		1.補修無し	2.ライニング	3.一部打替え	4.新設	防塵材、車止
10	40	0.00	4.93	6.16	17.26	0.00
15	45	*	3.60	4.50	12.59	0.84
20	50	*	5.89	3.68	10.30	0.69
25	55	*	5.12	3.20	8.96	1.03
30	60	*	4.63	2.89	8.10	0.93
35	65	*	*	*	7.50	1.13
40	70	*	*	*	7.07	1.05
45	75	*	*	*	6.76	1.20
50	80	*	*	*	6.52	1.15

* : 設定条件を満たさない場合の表示

表-21 設置後40年の改良・補修費用，部材別毎年等価費用

設置後 耐用年数	40年 50年	鋼管杭の改良・補修費用(万円/m)							
		費用原単位	0	35.6	22.6	23.2	29.1	207	420
		1.補修無し	2.RC巻付	3.鋼板巻付	4.モルタル	5.ペトロラム	6.増杭	7.新設	
今後の 利用年数	設置後からの 年数								
10	50	*	35.6	22.6	23.2	29.1	*	*	
15	55	*	*	22.6	*	29.1	23	420	
20	60	*	*	22.6	*	29.1	23	420	
25	65	*	*	*	*	*	207	420	
30	70	*	*	*	*	*	207	420	
35	75	*	*	*	*	*	*	420	
40	80	*	*	*	*	*	*	420	
45	85	*	*	*	*	*	*	420	
50	90	*	*	*	*	*	*	420	

		上部工の改良・補修費用(万円/m)				維持補修費	
		費用原単位	0	40	50	140	14
		1.補修無し	2.ライニング	3.一部取替	4.全面取替	防眩材、車止	
今後の 利用年数	設置後からの 年数						
10	50	*	*	50	140	0	
15	55	*	*	50	140	14	
20	60	*	*	50	140	14	
25	65	*	*	50	140	28	
30	70	*	*	50	140	28	
35	75	*	*	*	140	42	
40	80	*	*	*	140	42	
45	85	*	*	*	140	56	
50	90	*	*	*	140	56	

社会的割引率	0.04	今後の 利用年数	設置後からの 年数	鋼管杭毎年等価費用(万円/年)						
				1.補修無し	2.RC巻付	3.鋼板巻付	4.モルタル	5.ペトロラム	6.増杭	7.新設
					4.39	2.79	2.86	3.59	*	*
10	50	*	*	*	2.03	*	*	2.09	37.78	
15	55	*	*	*	1.66	*	*	1.71	30.90	
20	60	*	*	*	*	*	*	13.25	26.89	
25	65	*	*	*	*	*	*	11.97	24.29	
30	70	*	*	*	*	*	*	*	22.50	
35	75	*	*	*	*	*	*	*	21.22	
40	80	*	*	*	*	*	*	*	20.27	
45	85	*	*	*	*	*	*	*	19.55	
50	90	*	*	*	*	*	*	*		

今後の 利用年数	設置後からの 年数	上部工毎年等価費用(万円/年)				維持補修費
		1.補修無し	2.ライニング	3.一部打替え	4.新設	防眩材、車止
10	50	*	*	6.16	17.26	0.00
15	55	*	*	4.50	12.59	0.84
20	60	*	*	3.68	10.30	0.69
25	65	*	*	3.20	8.96	1.03
30	70	*	*	2.89	8.10	0.93
35	75	*	*	*	7.50	1.13
40	80	*	*	*	7.07	1.06
45	85	*	*	*	6.76	1.20
50	90	*	*	*	6.52	1.15

b) 工法別毎年等価費用

表-20および表-21には、供用開始後30年および40年が経過し、前述の劣化が発生した鋼管杭と上部工のそれぞれの補修工法を組み合わせ毎年等価費用を求めた結果を示す。

c) 費用最小化

本システムによる費用の最小化は、表-20および表-21の各工法別の年当たり費用比較を用い、目的とする今後の利用年数(N_i)の最小費用を抽出することである。例えば、建設後30年が経過したとして求めた表-22にお

いて、今後30年の利用を予定（トータル60年供用）している場合、各工法20年の列に示す費用を比較すると、鋼管杭に鋼板巻付け、上部工は一部打替えを行う方法で毎年等価費用が6.44万円/m/年と、その年において最小となる。また、建設後40年が経過した表-23の今後20年の利用を予定（60年供用）している場合は、30年経過時の最も低い毎年等価費用よりも安価な6.03万円/m/年となり、対策の実施年により毎年等価費用が異なることが分かる。

表-22 供用開始後30年の工法別毎年等価費用（万円/m/年）

今後の 利用年数	設置後からの 年数	補修無し			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	0	4.93	6.16	17.26
15	45	*	*	*	*
20	50	*	*	*	*
25	55	*	*	*	*
30	60	*	*	*	*
35	65	*	*	*	*
40	70	*	*	*	*
45	75	*	*	*	*
50	80	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	ベトログラムライニング			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	0	4.93	6.16	17.26
15	45	*	7.06	7.96	16.05
20	50	*	8.72	6.51	13.13
25	55	*	9.68	7.96	13.72
30	60	*	8.92	7.19	12.39
35	65	*	*	*	*
40	70	*	*	*	*
45	75	*	*	*	*
50	80	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	RC巻付け			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	0	4.93	6.16	17.26
15	45	*	7.64	8.54	16.64
20	50	*	9.19	6.99	13.61
25	55	*	*	*	*
30	60	*	*	*	*
35	65	*	*	*	*
40	70	*	*	*	*
45	75	*	*	*	*
50	80	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	増杭			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	*	*	*	*
15	45	*	*	*	*
20	50	*	*	*	*
25	55	*	19.40	17.48	23.24
30	60	*	17.53	15.79	21.00
35	65	*	*	*	*
40	70	*	*	*	*
45	75	*	*	*	*
50	80	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	鋼板巻付け			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	0	4.93	6.16	17.26
15	45	*	6.47	7.37	15.47
20	50	*	8.24	6.03	12.65
25	55	*	9.04	7.12	12.88
30	60	*	8.17	6.44	11.64
35	65	*	*	*	*
40	70	*	*	*	*
45	75	*	*	*	*
50	80	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	新設			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	*	*	*	*
15	45	*	*	*	*
20	50	*	*	*	*
25	55	*	33.04	31.12	36.88
30	60	*	29.85	28.11	33.31
35	65	*	*	*	31.13
40	70	*	*	*	29.36
45	75	*	*	*	28.22
50	80	*	*	*	27.22

今後の 利用年数	設置後からの 年数	モルタルライニング			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	40	0	4.93	6.16	17.26
15	45	*	6.53	7.43	15.52
20	50	*	8.28	6.07	12.70
25	55	*	*	*	*
30	60	*	*	*	*
35	65	*	*	*	*
40	70	*	*	*	*
45	75	*	*	*	*
50	80	*	*	*	*

(4) 工法選定イメージ

実際の工法選定に当たっては、対策を実施する時期による費用変化があるため、図-37に示すように、供用開始後30年経過した時点での劣化に対する、対策工工法別

毎年等価費用のシートを今後の利用年数Nごとに作成し、重なったシート全体から最小費用となる工法を選択することとなる。

表-23 供用開始後40年の工法別毎年等価費用（万円/m/年）

今後の 利用年数	設置後からの 年数	補修無し			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	*	*
15	55	*	*	*	*
20	60	*	*	*	*
25	65	*	*	*	*
30	70	*	*	*	*
35	75	*	*	*	*
40	80	*	*	*	*
45	85	*	*	*	*
50	90	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	ペトロラタムライニング			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	9.75	20.85
15	55	*	*	7.95	16.05
20	60	*	*	6.51	13.13
25	65	*	*	*	*
30	70	*	*	*	*
35	75	*	*	*	*
40	80	*	*	*	*
45	85	*	*	*	*
50	90	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	R/C巻付け			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	10.55	21.65
15	55	*	*	*	*
20	60	*	*	*	*
25	65	*	*	*	*
30	70	*	*	*	*
35	75	*	*	*	*
40	80	*	*	*	*
45	85	*	*	*	*
50	90	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	増杭			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	*	*
15	55	*	*	7.43	15.52
20	60	*	*	6.07	12.70
25	65	*	*	17.48	23.24
30	70	*	*	15.79	21.00
35	75	*	*	*	*
40	80	*	*	*	*
45	85	*	*	*	*
50	90	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	鋼板巻付け			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	8.95	20.05
15	55	*	*	7.37	15.47
20	60	*	*	6.03	12.65
25	65	*	*	*	*
30	70	*	*	*	*
35	75	*	*	*	*
40	80	*	*	*	*
45	85	*	*	*	*
50	90	*	*	*	*

今後の 利用年数	設置後からの 年数	新設			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	*	*
15	55	*	*	43.11	51.21
20	60	*	*	35.27	41.89
25	65	*	*	31.12	36.88
30	70	*	*	28.11	33.31
35	75	*	*	*	31.13
40	80	*	*	*	29.36
45	85	*	*	*	28.22
50	90	*	*	*	27.22

今後の 利用年数	設置後からの 年数	モルタルライニング			
		補修無し	ライニング	一部打替え	新設
10	50	*	*	9.02	20.12
15	55	*	*	*	*
20	60	*	*	*	*
25	65	*	*	*	*
30	70	*	*	*	*
35	75	*	*	*	*
40	80	*	*	*	*
45	85	*	*	*	*
50	90	*	*	*	*

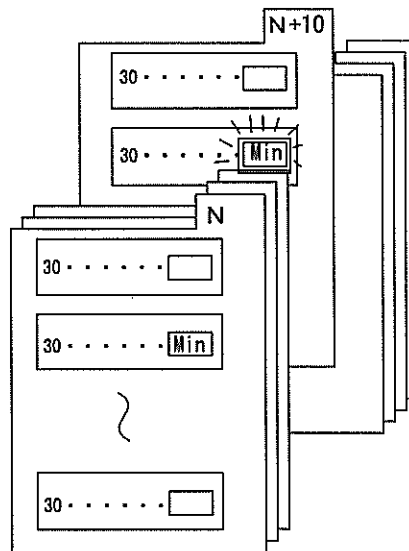


図-37 工法選定イメージ

(5) ライフサイクルコスト比較例

表-18および表-19から、図-35に示したケースⅠ～Ⅲに示す応力変化と近い考えられる工法を選択し、単純な比較計算を行った。比較を簡単にするため部材別の工法組合せはしない。また、費用は現在価格とし物価上昇率および社会的割引率などは考慮していない。

ケースⅠの鋼管杭の補修は供用開始後50年が経過した時点でペトロラタムライニングを実施し、電気防食は供用開始後20年および40年で交換する。上部工の補修は一部撤去しコンクリートを再打設する。

ケースⅡの鋼管杭の補修は供用開始後40年が経過した時点で鋼板を溶接し、電気防食はケースⅠと同様に交換

する。上部工の補修は全面撤去し再構築する。

ケースⅢの鋼管杭の補修は供用開始後40年が経過した時点でジベルを溶接し鉄筋コンクリートで巻き立てる。電気防食はケースⅠと同様に交換する。上部工の補修はエポキシライニングを供用開始後30年および45年に実施する。表-24および図-38にその結果を示す。

図-38にライフサイクルコスト算出例を示す。供用後の経過年数40年を境にして、ケースⅠおよびケースⅢのライフサイクルコストが逆転している。つまり、部材劣化が想定される施設の今後の使用予定年数によりコストが最小となる工法が変化することを示す。

表-24 ライフサイクルコスト計算例

単位：千円/年

経過年数	ケースⅠ 対策工実施以降は劣化無しと仮定					ケースⅡ 劣化した部材を補修することで所定の耐用年数まで性能を確保					ケースⅢ 劣化速度を緩やかにし所定の耐用年数まで性能を確保				
	初期費 改良費	維持補修	鋼管杭 補修	上部工 補修	ライフサイクル コスト	初期費 改良費	維持補修	鋼管杭 補修	上部工 補修	ライフサイクル コスト	初期費 改良費	維持補修	鋼管杭 補修	上部工 補修	ライフサイクル コスト
0	4182	0			4182	4182	0			4182	4182	0			4182
1		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
2		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
3		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
4		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
5		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
6		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
7		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
8		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
9		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
10		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
11		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
12		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
13		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
14		0.00			4182		0.00			4182		0.00			4182
15		1.22			4183		1.22			4183		1.22			4183
16		1.29			4185		1.29			4185		1.29			4185
17		1.36			4186		1.36			4186		1.36			4186
18		1.42			4187		1.42			4187		1.42			4187
19		1.49			4189		1.49			4189		1.49			4189
20		1.56	120		4310		1.56	120		4310		1.56	120		4310
21		1.63			4312		1.63			4312		1.63			4312
22		1.70			4314		1.70			4314		1.70			4314
23		1.76			4315		1.76			4315		1.76			4315
24		1.83			4317		1.83			4317		1.83			4317
25		1.90			4319		1.90			4319		1.90			4319
26		1.97			4321		1.97			4321		1.97			4321
27		2.04			4323		2.04			4323		2.04			4323
28		2.10			4325		2.10			4325		2.10			4325
29		2.17			4327		2.17			4327		2.17			4327
30		2.24		500	4930		2.24		1400	5730		2.24		400	4730
31		2.31			4932		2.31			5732		2.31			4732
32		2.38			4934		2.38			5734		2.38			4734
33		2.45			4937		2.45			5737		2.45			4737
34		2.51			4939		2.51			5739		2.51			4739
35		2.58			4942		2.58			5742		2.58			4742
36		2.65			4945		2.65			5745		2.65			4745
37		2.72			4947		2.72			5747		2.72			4747
38		2.79			4950		2.79			5750		2.79			4750
39		2.85			4953		2.85			5753		2.85			4753
40		2.92	120		5076		2.92	346		6102		2.92	476		5232
41		2.99			5079		2.99			6105		2.99			5235
42		3.06			5082		3.06			6108		3.06			5238
43		3.13			5085		3.13			6111		3.13			5241
44		3.20			5088		3.20			6114		3.20			5244
45		3.26			5091		3.26			6117		3.26	400		5647
46		3.33			5095		3.33			6121		3.33			5651
47		3.40			5098		3.40			6124		3.40			5654
48		3.47			5102		3.47			6128		3.47			5658
49		3.54			5105		3.54			6131		3.54			5661
50		3.60	291		5400		3.60			6135		3.60			5665
51		3.67			5403		3.67			6138		3.67			5668
52		3.74			5407		3.74			6142		3.74			5672
53		3.81			5411		3.81			6146		3.81			5676
54		3.88			5415		3.88			6150		3.88			5680
55		3.95			5419		3.95			6154		3.95			5684
56		4.01			5423		4.01			6158		4.01			5688
57		4.08			5427		4.08			6162		4.08			5692
58		4.15			5431		4.15			6166		4.15			5696
59		4.22			5435		4.22			6170		4.22			5700
60		4.29			5440		4.29			6175		4.29			5705
計	4182	126.61	531	600	5440	4182	126.61	465	1400	6175	4182	126.61	596	800	5705

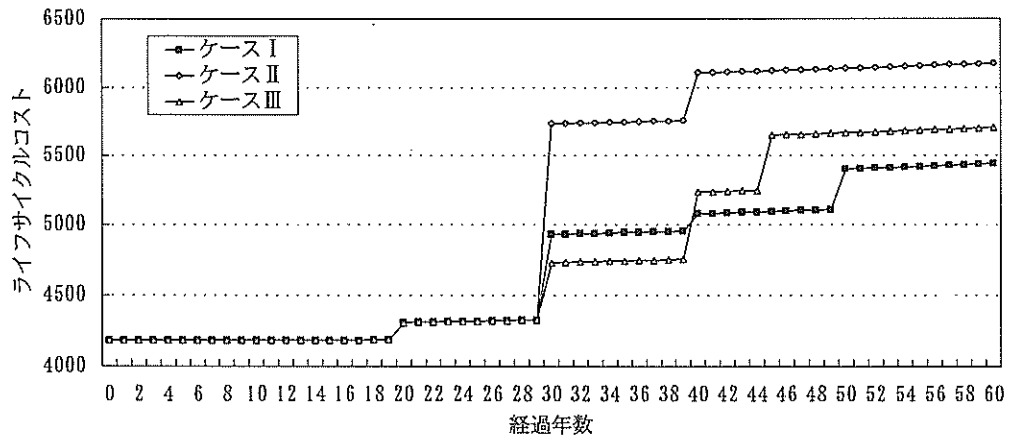


図-38 ライフサイクルコスト計算例

6. まとめ

本調査では、港湾構造物の係船岸に検討対象を絞り、維持管理費用の最小化に向けたマネジメントシステムの構築に向けての基本検討を行った。

(1) ライフサイクルコストの検討目的

はじめに、港湾構造物の係船岸に検討対象を絞り、事態調査による係船岸のライフサイクルおよびライフサイクルコストの実態把握を行い、係船岸という港湾構造物のライフサイクルの特徴、ライフサイクルコストにおけるイニシャルコスト、ランニングコストの比率の傾向を把握した。

まず、初めに確認したのは、係船岸のライフサイクルは機械や建物のように明確な終焉が無く、施設の終焉を考える場合、機能（規格）、物理的機能、社会的機能および経済的機能を考慮し、どれか一つでも機能を満たさなくなった場合が施設の終焉となるということである。

次に、係船岸のライフサイクルコストに占めるランニングコストの比率は、建築構造物などに比べかなり低いものとなっている。したがって、当然ライフサイクルコストを用いた検討による総費用の縮減の比率は建築構造物や機械製品などにおける効果よりも低くなる。

港湾構造物の中では最も使用者および管理者の目に触れ、維持補修が実施されている係船岸であってもその効果が比較的低いことが明らかであるということは、他の港湾構造物で通常は人間の生活および活動空間に入らな

い防波堤、護岸、導流堤、胸壁などの構造物ではさらにライフサイクルコストに占めるランニングコストの割合が低いことは容易に想像でき、ライフサイクルコストを検討することによる費用縮減効果はさらに低いものとなると考えられる。

そこで、港湾構造物においてライフサイクルコストを求めることで効率的に費用の最小化を行う場合、コンテナ専用岸壁のように、近年において短期間で求められる機能、性能が変化してきていて、今後しばらくは大きな変革が起きることが予想される施設を別にすると、以下の2項目を目的とした検討をすべきであると考えられる。

- ・ 供用期間の維持管理の最小費用化（効率化）
- ・ 最小費用による施設の延命化（永久構造物化）

(2) マネジメントシステムの構築に向けて

港湾構造物（係船岸）のマネジメントシステムの基本構成のモデル化、シミュレーションとマネジメント化に向けた基本検討を実施した。

システムの最終的な目的はライフサイクルコストの最小化であるが、ここで検討したシステムは計画設計段階から機能の終焉までの全てを対象としたトータルなマネジメントシステムでは無く、ライフサイクルコストの検討から、施設に求める供用期間内での維持管理費用の最小化を目的としたシステムの流れである。

マネジメントのシステム構築に向け、確立しなければならない課題が2点ある。

1点目は、構造物の劣化と機能低下についての相関を

レベル分けおよび数値化するのが難しく、現時点においてこの方法が最適であるといった手法が開発されない。特に、鉄筋コンクリートの劣化と機能低下についての関連については、現在まだ実用化に向けた数値化の研究がされているところで、この開発無くしてはシステムの重要なモジュールが機能しない。

2点目は、データベースの構築および充実である。

本検討を実施するうえで、大きな壁となったのは検討するための施設データ絶対量の不足である。これは、一般的に国が施設を構築し管理者が施設を管理するという行政上の分け方をしているために、一つの施設に関するデータの所在が分散されているうえ、施設に関しての記載事項のフォーマットが管理している場所毎に異なっていること。また、データに関する保存規定がばらばらで費用データに欠損が多いことなどの問題がある。したがって、港湾構造物のマネジメントシステムを構築するためには、その前段として施設のマネジメントに必要な情報を持つ全国規模の詳細なデータベースを構築しなければならない。同時に、日常の施設維持管理として、定期点検手法の確立、調査項目の整理（目視、計測）を行い、計測データを集積し、維持管理のための基礎データとしてデータベースに保存していかなければならない。データベースの活用には最低でも過去10年以上の蓄積が必要とされている。今後の作業における過去、現在、将来のデータ収集がシステム構築に向けて重要となる。

(1999年3月31日受付)

謝辞

本研究は特別研究「港湾基盤施設の機能変化とライフエクステンションに関する研究」の一環として実施したものである。本稿の取りまとめに際し、港湾管理者の方々に各種資料を提供していただきました。

また、資料の取りまとめに際して、ご助言・ご示唆をいただいた、福手勤計画設計基準部長、デルフト工科大学 A. C. W. M. Vrouwenvelder 教授、ロッテルダム港 Ad van der Toorn 氏、ならびにデフレータおよび社会的割引率など社会資本の検討についてご指導いただいた高橋宏直システム研究室長、渡部富博主任研究官に末尾ながらここに記して謝意を表します。

参考資料

1) 広辞苑, 1991, p. 2663

- 2) 情報・知識 imidas1998, p. 1421
- 3) 土木施設のライフサイクル, 土木計画学シンポジウム, 土木学会, NO. 12, 1978. 1, p. 130
- 4) 松瀨 知, 横田 弘: 港湾構造物の供用期間とライフサイクルコストの検討, 土木学会第53回年次学術講演会, VI-292, pp. 584~585, 1998. 10
- 5) 「減価償却資産の耐用年数などに関する省令」昭和40年大蔵省令第15号, 改正平成7年
- 6) 経企庁「日本の社会資本」昭和61年
- 7) 「港湾関係補助金等交付規則実施要領について」(港湾局長通達, 昭和43年5月港管第814号)
- 8) 土木施設のライフサイクル, 土木計画学シンポジウム, 土木学会, No. 12, 1978. 1, pp. 33-45
- 9) 経企庁「日本の社会資本」, 1998. 3, pp. 265~270
- 10) 土木施設の維持管理, 土木計画学シンポジウム, 土木学会, No. 17, 1983. 1
- 11) 土木施設のライフサイクル, 土木計画学シンポジウム, 土木学会, No. 12, 1978. 1
- 12) 特集. 土木構造物とメンテナンス, 土木学会誌, Vol. 64, 1979. 10
- 13) 特集. 土木構造物の耐用年数と維持管理, 土木学会誌, Vol. 68, 1983. 10
- 14) 片岡真二他: 港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討, 港湾技研資料, No. 781, 1994. 9
- 15) 建設統計月報, 建設物価調査会, 1981. 3~1995. 3
- 16) 経企庁「日本の社会資本」昭和61年, p. 180
- 17) Lloyd's Maritime Information, 1995. 7
- 18) 「建築物のライフサイクルコスト」, 建設大臣官房官庁営繕部, 1993. 10, p. 34
- 19) 橋梁マネジメントシステム利用マニュアル(案), 建設省, 1996. 10
- 20) 同上, p. 2
- 21) 同上, p. 9
- 22) 宮本文穂ら: Bridge Management System(BMS)の開発, 土木学会論文集, No. 560, IV-32, pp. 91~106, 1997. 3
- 23) OECD Scientific Group : Bridge Management, OECD Research Report, 1992. 12
- 24) P. D. Thompson : PONTIS- The Maturing of Bridge Management Systems in the USA, Bridge Management, Vol. 2, pp. 971~978, 1993. 4
- 25) 阪神高速道路公団: 道路橋の保守管理の最適化手法について, コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会資料, 1994. 8