

港湾施設のアセットマネジメントの試行例

INVESTIGATION ON MAINTENANCE STRATEGY OF PORT FACILITIES BASED ON ASSET MANAGEMENT

岩波光保¹・加藤絵万¹・川端雄一郎¹

Mitsuyasu IWANAMI, Ema KATO and Yuichiro KAWABATA

¹正会員 工博 (独) 港湾空港技術研究所 構造研究チーム (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

Recently, severe deterioration of structures due to aging has often been observed in port facilities, requiring rational and strategic maintenance of those structures. To reduce maintenance costs as much as possible and to enhance asset values of existing structures, it is one of the solutions to introduce the principle of asset management, utilized in the field of finance.

In this paper, as a fundamental study on introduction of asset management to maintenance work of port facilities, maintenance strategies were investigated to some berthing facilities in a port based on the asset management principle.

Key Words : Port structure, maintenance, asset management, life-cycle cost, repair priority

1. はじめに

港湾施設の老朽化に伴う劣化・変状の顕在化が進む中、これらに対する合理的な維持管理が望まれている。維持管理に要するコストを極力抑えけるとともに、施設の有効活用と資産価値の向上を図る1つの方法として、アセットマネジメント^{1), 2)}がある。そこで、港湾施設の維持管理にアセットマネジメントの考え方を導入するための基礎的な検討を行い、ある港湾の係留施設群に対してアセットマネジメントの試行を行うことで、港湾施設の長期的な維持管理戦略の策定に資することを目的とした。

2. 検討のフロー

本研究の内容は、以下のとおりである。

- 1) 検討対象施設の現況把握
点検診断結果等の収集整理および現地調査により、検討対象施設の劣化状況等を把握する。
- 2) 維持補修計画の検討
各施設の点検診断結果から保有性能を評価するとともに将来予測を行い、当該施設に対する維持補修計画を策定する。
- 3) 補修優先順位の決定方法の検討
施設の劣化度と資産価値を同時に考慮して、補修の優先順位を決定する方法を検討し、その具体的な方策を示す。
- 4) 維持管理戦略の策定方法の検討

補修の優先順位や予算の制約などを踏まえて、検討対象施設群に対するマクロ的な維持管理戦略を策定する方法について、費用の平準化に留意しながら検討を行う。

5) アセットマネジメントの試行

検討対象施設群を対象として、アセットマネジメントの試行を行い、その有効性を示す。

3. 検討対象施設の現況把握

港湾施設の維持管理にアセットマネジメントの考え方を導入するためには、まず施設の現況を把握する必要がある。ここで、施設の現況には、劣化や損傷などの変状の発生状況だけでなく、施設の資産価値を評価するための施設の利用状況も含まれている。本検討では、ある港湾にある係留施設のうち、以下に示す方針に基づいて検討対象施設を抽出した。

- 検討対象施設の利用形態については、一般貨物とコンテナを対象とし、外貿と内貿は問わない。
- 検討対象とする施設数については、施設数が少ない場合、検討内容が深くなり、補修の優先順位付けの根拠の信頼性が高くなる。一方、施設数が多い場合、劣化予測などの精度が低くならざるを得ない。そこで、10施設程度を選定する。
- 建設年次については、一般貨物あるいはコンテナを扱う施設であれば変状の発生傾向や利用形態に変化がないと考えられるので、特に問わない。

表-1 検討対象施設の総合評価

番号	利用形態	経過年数	構造形式	水深(m)	延長(m)	性能低下度	備 考
1	一般／内貿	38	栈橋式	-11	200	C	—
2	一般／内貿	38	栈橋式	-11	250	C	—
3	一般／内貿	38	栈橋式	-11	150	C	—
4	コンテナ／内貿	22	矢板式	-10	600	C	—
5	コンテナ／内貿	23	矢板式	-10	200	C	—
6	コンテナ／内貿	22	矢板式	-10	200	C	—
7	コンテナ／外貿	4	栈橋式	-15	390.5	D	耐震強化施設
8	コンテナ／外貿	22	矢板式	-14	200	C	耐震強化施設
9	一般／内貿	24	重力式	-10	190	D	—
10	一般／内貿	24	重力式	-10	190	C	—
11	一般／内貿	24	重力式	-10	190	C	—
12	コンテナ／外貿	8	重力式	-15	375.0	D	—

○施設の構造形式については、特に問わない。

持補修計画を検討した。

上記の方針に基づいて検討対象施設を抽出した結果を表-1に示す。施設数は、12施設である。このうち、内貿バースが9施設、外貿バースが3施設である。完成からの経過年数は、4～38年であり、建設後間もない施設から古い施設まで幅広く抽出した。構造形式については、栈橋式、矢板式、重力式の3種類であり、係留施設の代表的な構造形式を網羅している。水深は、-10mから-15mである。

過去の点検履歴としては、いずれの施設においても、2003～2004年度に一般定期点検診断³⁾が実施されている。そのときの結果に基づいて判定された施設の性能低下度³⁾は、C（施設の性能に関わる変状は認められないが、継続して観察する必要がある状態）またはD（異状は認められず、十分な性能を保持している状態）となっている。しかし、いずれの施設においても、詳細点検は今のところ予定されておらず、緊急的な補修等の対策も予定されていない。

また、検討対象施設の利用状況・形態として、コンテナ取扱量（2002年実績）および耐震強化岸壁としての指定の有無について調べた。

4. 維持補修計画の検討

3. で抽出した検討対象施設について、既往の点検診断結果および現地調査結果に基づく総合評価から、これらの施設に対する維持補修計画を策定した。本検討における検討対象施設には、緊急的に補修等の対策を行う必要のある施設は存在せず、詳細点検も実施されていないため、一般定期点検診断結果から判定された施設の性能低下度の将来推移をマルコフ連鎖モデルを用いて予測し、この予測結果から維

(1) 施設の性能低下度の将来予測

本検討では、既往の研究⁴⁾で示された手法により、施設の性能低下度の将来予測を行った。この手法では、マルコフ連鎖モデルに基づいて、施設の性能低下度（A, B, C, D）の分布割合の時間変化を遷移確率を用いて算出し、性能低下度ごとに定められた評点（A=80, B=95, C=99, D=100）と劣化度の分布割合から、構造性能指標（性能低下度の分布割合で重み付け平均した評点）を求めて、この構造性能指標によって性能低下度の将来予測を行っている。

実構造物を解体して得られた鉄筋コンクリート部材の劣化分析試験および載荷実験の結果⁵⁾、構造性能指標が60程度になると、部材の安全性が満たされなくなることが報告されている。よって、この構造性能指標を用いることで、構造種別を問わず、構造部材に対する補修の要否の判定を行うことができると考えた。本来であれば、鉄筋コンクリート部材の劣化による構造性能低下から検討した維持管理上の限界値を、矢板式や重力式の施設に直接的に適用すべきではなく、別途、構造種別ごとに劣化予測手法を検討すべきと考えられるが、これについては今後の課題である。

マルコフ連鎖モデルを用いた検討を行う場合、遷移確率の設定が重要となるが、既往の研究⁴⁾によれば、施設の性能低下度を得点化し（A=3, B=2, C=1, D=0）、これを経過年数で除すことで、遷移確率の暫定値を求めることができるとされている。そこで、本検討においても、3. で示した性能低下度の結果と経過年数から遷移確率を求めることとした。例えば、経過年数が20年の施設の性能低下度がCであったとすると、遷移確率は、 $1/20=0.05$ となる。

図-1に、例として、施設1の劣化予測結果（構造

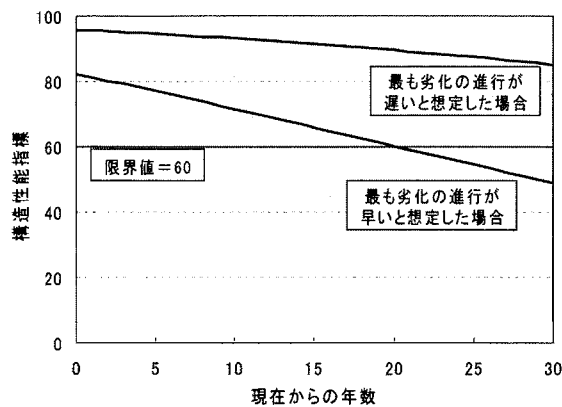


図-1 構造性能指標の経時変化（施設1）

性能指標の経時変化）を示す。これらによれば、建設から38年が経過した現在からの経過年数の増加とともに、構造性能指標が経時的に減少していることが分かる。現時点での構造性能指標は、最も劣化の進行が早いと想定した場合（検討年が当該劣化度の最終年である場合）には約80、最も劣化の進行が遅いと想定した場合（検討年に当該劣化度に至った場合）には約95となっている。構造性能指標が60に到達するのは、最も劣化の進行が早いと想定した場合、建設から約60年後であり、最も劣化の進行が遅いと想定した場合、建設から100年経っても構造性能指標は60を下回らないことになる。また、予防保全的な補修を構造性能指標が80の時点で実施することとすると、施設1では、最も早い劣化予測に従った場合、現時点での補修が必要であり、最も遅い劣化予測に従った場合、建設後約80年で補修を実施することになる。

(2) 維持補修計画の策定

以上の予測結果を踏まえて、今後30年間に予測される補修の実施内容と時期について、施設ごとに維持補修計画としてとりまとめた。例として、施設1の結果を以下に示す。

○栈橋上部工

補修内容：はりおよび床版の断面修復と表面被覆
実施時期：現在より2年後以降のできるだけ早い時期（遅くとも19年後）

○栈橋下部工

補修内容：電気防食の陽極取替えと被覆防食補修
実施時期：使用材料の耐用年数から判断

○土留護岸

当面は補修の予定なし

○その他部材・附帯設備

補修内容：エプロン舗装の補修・打換え、防舷材の更新、車止めの補修、係船柱の補修、など

実施時期：定期点検診断結果から判断

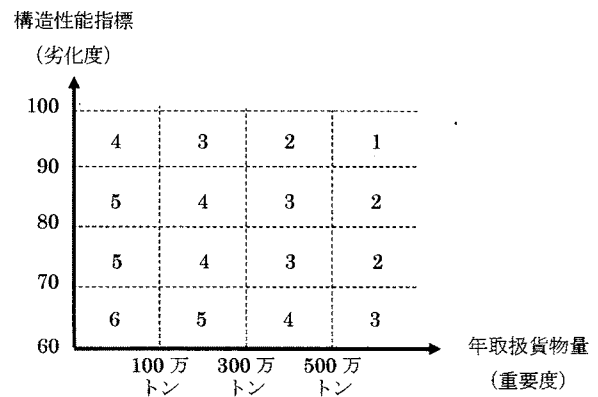


図-2 補修優先順位決定マトリックス

5. 補修優先順位の決定方法の検討

港湾施設、特に係留施設における補修の優先順位付けにあたっては、客観的な判断手法の構築が重要である。その判断の要素となる施設の状態（劣化度）を定量的に把握するとともに、施設の重要度を適切に評価し、優先順位付けの指標を設定することが必要である。このため、対象施設の重要度については、施設の資産価値（NPV、発生付加価値）および利用状況（立地、利用頻度、代替性）などを踏まえた評価が必要となる。

そこで、本検討における係留施設のアセットマネジメントでは、施設の劣化度に加えて、当該施設での取扱貨物量、防災上の位置付け、代替性などを考慮すべきと考えた。このような要素指標を定量化することで、複数施設間の補修の優先順位付けの客観的な判断材料を得ることが可能となると考えられる。

施設の状態（劣化度）については、4. に示したように、目視点検結果に基づく劣化度判定結果から、マルコフ連鎖モデルによる将来予測を行い、構造性能指標という数値を使って、施設の性能低下度を定量的に評価することとした。

また、施設の重要度に関する評価手法としては、ランク区分、貨幣価値化（利用便益額；地域で発生する付加価値額）などが考えられる。本検討では、取扱貨物量についての利用状況調査結果に基づいて評価することを第一の軸として、防災計画、特に重要な施設と考えられる耐震強化岸壁や荷役機械などの点で代替性のない施設については、重要度をさらに大きく見積もるものとした。

図-2に、本検討で用いた補修優先順位決定マトリックスを示す。図中の数字は、補修優先順位を示している。同一年度に複数の補修が重なった場合には、同図を用いて優先順位を決定するものとし、優先順位の高いものから補修に着手するものとした。優先順位が同点になってしまった場合には、構造性能指標が低いものから順に補修に着手することとした。これは、構造性能指標が低い施設では、補修が

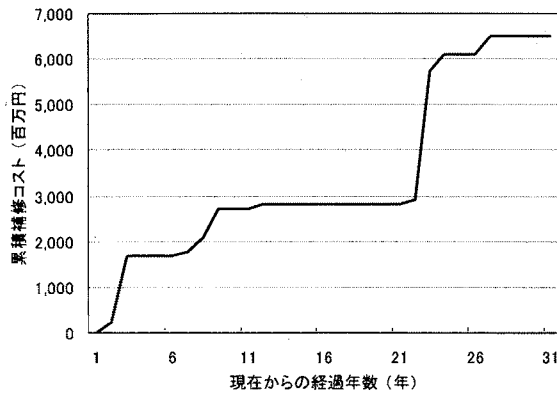


図-3 検討対象施設全体での補修コストの推移

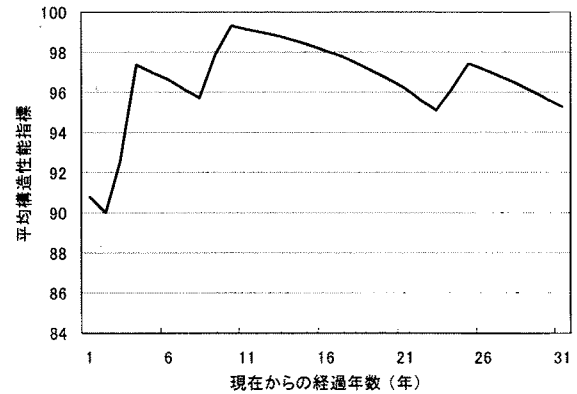


図-5 平均構造性能指標の推移

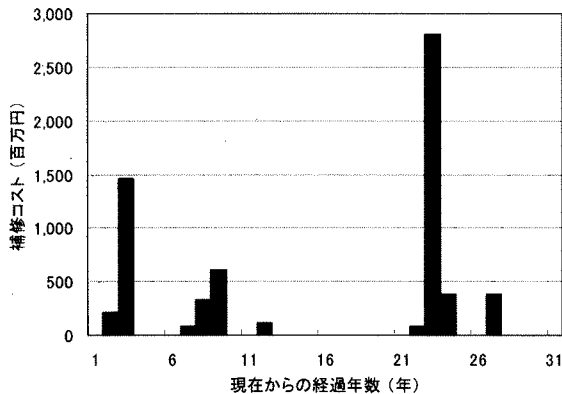


図-4 1年当たりの補修コストの推移

先送りされた場合に、構造性能指標が限界値と考えられる60を下回るような状態、すなわち、施設の安全性が著しく損なわれるためである。

なお、防災計画上、特に重要な施設と考えられる耐震強化岸壁や荷役機械等などの点で代替性のない施設については、同図の補修優先順位を1ランク上げることによって対処するものとした。別の対象方策としては、例えば、補修を検討する構造性能指標の値を高くして、予防保全的な維持管理の方針を一層鮮明に打ち出すことも可能である。

6. 維持管理戦略の策定方法の検討

(1) 施設ごとのライフサイクルコストの算定

検討対象としている12の係留施設について、4.に示した維持補修計画に基づいて、今後必要となる補修コストの算定を行った。ここでは、近年の補修実績調査から定めた補修コストの原単位（単価）^⑥を用いて、これに補修対象面積を乗じることで補修コストを算定した。この際、コストの算定期間は30年とした。この算定結果を踏まえて、補修の優先順位や予算の制約・平準化を踏まえた維持管理戦略を策定する方法について検討を行った。

(2) 維持管理戦略の策定方針

図-3に、各検討対象施設の維持補修計画に基づいて算定した補修コストを12施設分について合計した結果を示す。これによれば、検討対象施設である12施設を今後30年間にわたり補修していくためには、おおよそ65億円が必要であることがわかる。これを30年間の平均費用として算出すると、約2.2億円／年となる。また、必要な補修費用は、毎年一定の金額となっているわけではなく、特定の年度に集中して必要になっていることがわかる。そこで、1年あたりに必要な費用として整理した結果を図-4に示す。これによれば、現在からの経過年数で、2年目および22年目に多くの費用が必要になることがわかる。現在から2年目は、施設1～3の栈橋上部工の補修が同時に計上されているため補修コストが増大しており、現在から22年目には、施設7の栈橋上部工の補修がその年度の補修コストを著しく増大させている。なお、他の年度については、いずれも補修費用は5億円以下となっている。

また、維持補修計画どおりに補修を実施した場合の各施設の構造性能指標の全平均値を図-5に示す。これより、補修を計画どおり確実に実施した場合には、12施設の平均構造性能指標は、30年間にわたって常に90以上となっており、すべての施設が健全な状態を保っていることを示している。30年間の平均値では、構造性能指標は97となった。

(3) 施設の代替性に関する検討

図-6に、施設ごとの補修工事の実施予定の一覧を示す。ある施設で補修工事を実施しようとした場合、その施設が供用できなくなる可能性が高いため、その施設で扱っている貨物を他の施設で代替して取り扱う必要が生じてくる。代替先の施設も同様に、その年度に補修が予定されている場合、そこで扱う貨物は他の港湾に振り替えざるを得なくなり、当該港湾の資産価値や競争力を損ねることになることから、このような状況は避けなければならない。

例えば、現在からの経過年数が2年の時点で、施

経過 年数	施設番号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0												
1												
2	補修	補修	補修							補修	補修	
3												
4												
5												
6												
7	補修	補修	補修		補修	補修		補修				補修
8				補修								
9												
10												
11							補修					
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18				補修								
19												
20												
21												
22	補修	補修	補修		補修		補修		補修	補修	補修	補修
23				補修		補修		補修				
24												
25												
26							補修					
27												
28												
29												
30												
貨物種類	一般	一般	一般	コンテナ	コンテナ	コンテナ	コンテナ	コンテナ	一般	一般	一般	コンテナ
内貨／外貨	内貨	内貨	内貨	内貨	内貨	内貨	外貨	外貨	内貨	内貨	内貨	外貨

図-6 補修の実施予定の一覧

設1～施設3で補修が計画されている。この施設で扱っている内貨一般貨物は、施設9～施設11で取り扱うことになる。しかし、施設9～施設11の取扱貨物量は年間約100万トンとなっており、年間利用船舶隻数も300隻を超えている。よって、施設9～11に、施設1～3の貨物を振り替えることは難しい状況であると推測される。したがって、施設1～3の補修工事は同一年度に実施することは難しいと考えられることから、複数年にわたってこれらの施設の補修工事を実施せざるを得ないことになる。

以上のように、アセットマネジメントの概念に基づく係留施設の維持管理戦略を策定するためには、施設の劣化度の将来予測結果に基づいて、ライフサイクルコストの削減を目指した施設ごとの維持補修計画をベースとして、これを①費用の平準化、②予算の制約、③施設の代替の観点から適宜修正する必要がある。

7. アセットマネジメントの試行

ここでは、4. で示した12の検討対象施設の維持補修計画をベースに、予算などに制約条件を設定した場合に、補修の内容や順序がどのように変化し、取扱貨物をどのように振り替えるかを検討するため、アセットマネジメントの試行を行った。表-2に検討ケースを示す。ケース①の結果は、6. に示したものと同一である。

(1) アセットマネジメントの試行例①

4. で示した施設ごとにライフサイクルコストが最小となる維持補修計画を全12施設について合計し

表-2 アセットマネジメントの試行ケース一覧

ケース	条 件
①	予算の制約も、取扱貨物の制約もない場合
②	構造性能指標が60の時点で補修する場合
③	補修工事により供用停止された施設の取扱貨物の振替えを考慮する場合
④	ケース③に加えて、予算の平準化を図る場合（予算制約：10億円／年）
⑤	ケース③に加えて、予防保全的な対策を施す場合（施設7）

た場合であり、予算の制約も、取扱貨物の制約もない場合であり、理想的な維持管理のシナリオが描けた場合に相当する。実際の維持管理では、予算や取扱貨物に厳しい制約条件が課せられることから、実際には非常に考えにくいケースである。

(2) アセットマネジメントの試行例②

補修コストの削減を目的として、維持管理の水準を下げて、栈橋上部工コンクリートの構造性能指標が60の時点で、上部工全体の撤去・更新を行うものとした。この場合、断面修復による補修工事の期間を3ヵ年とし、その間、施設の利用はできないものとした。図-7に、1年あたりに必要な補修費用として整理した結果を示す。これによれば、現在からの経過年数で、19年目に多くの費用が必要になることがわかる。また、ここで示したとおりに補修を行った場合、12施設の平均構造性能指標は、ケース①よりも低下した。以上より、補修を行う構造性能指標の限界値を80から60に小さくしても、ライフサイクルコストの削減には寄与せず、早めの対策を施す事前対策型の維持管理が有効であることが改めて示された。

(3) アセットマネジメントの試行例③

供用が停止された施設の取扱貨物を他の施設に振り替えることを考えた。図-8に、1年あたりに必要な補修費用として整理した結果を示す。これによれば、補修工事により供用停止になる施設の取扱貨物を代替施設に振り替える検討を行ったとしても、本検討の範囲、制約条件内では、ライフサイクルコストに変化はなかった。また、今後30年間にわたる平均構造性能指標も97のままで、施設の健全性を低下させることなく、供用停止する施設の取扱貨物の振替え先を用意することが可能であった。

(4) アセットマネジメントの試行例④

補修コストのピークを平準化するために、特定の年度に集中した補修工事を複数年に分割することを考えた。この際、1年あたりの補修コストの限度額を10億円／年とした。図-9に、1年あたりに必要な

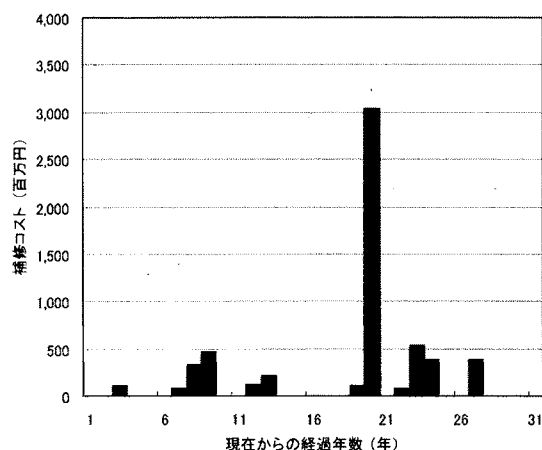


図-7 1年当たりの補修コストの推移（ケース②）

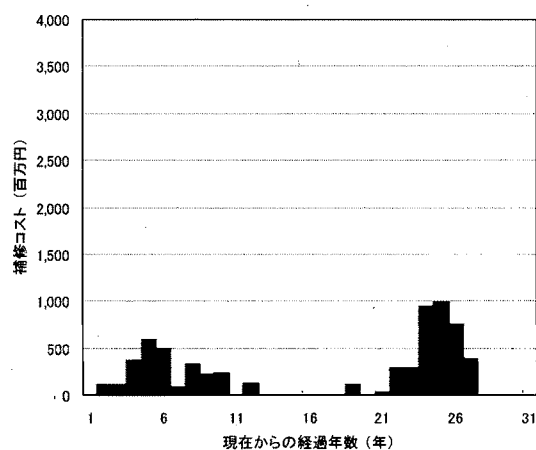


図-9 1年当たりの補修コストの推移（ケース④）

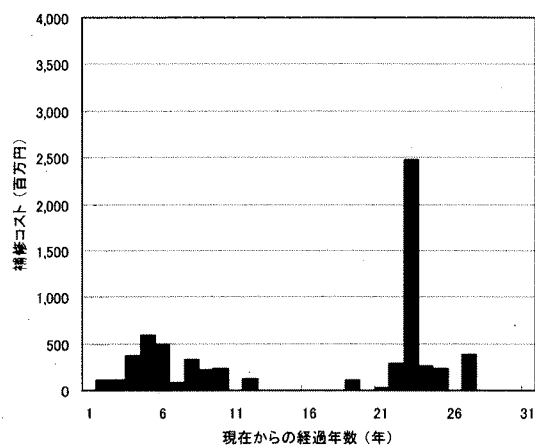


図-8 1年当たりの補修コストの推移（ケース③）

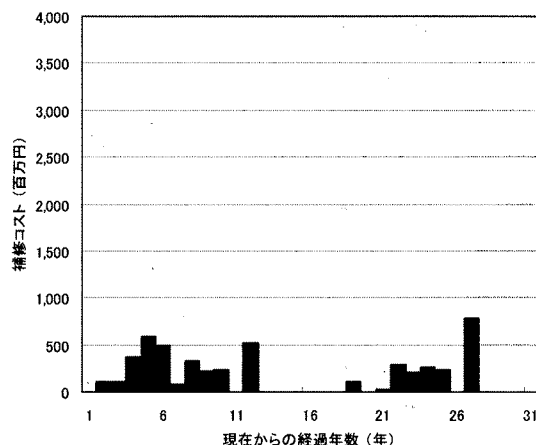


図-10 1年当たりの補修コストの推移（ケース⑤）

補修費用として整理した結果を示す。これによれば、ケース①で見られた2ヶ所の補修コストのピークは平準化されて、設定した予算の限度額の範囲に収めることができた。

(5) アセットマネジメントの試行例⑤

施設7の栈橋上部工コンクリートの断面修復による補修に要するコストの平準化のために、予防保全対策として、比較的早い段階で表面被覆工法による補修を実施することを考えた。1年あたりに必要な補修費用として整理した結果を図-10に示す。これによれば、試行例①で見られた2ヶ所の補修コストのピークは平準化されて、1年あたりに必要な補修コストは8億円以下となった。以上より、予防保全的な維持補修を実施した場合、今後30年間にわたる補修コストを約20%削減できた。

8. まとめ

本稿では、港湾施設の維持管理にアセットマネジメントの考え方を導入するための基礎的な検討として、補修優先順位の決定方法の検討、維持管理戦略

の策定方法の検討、アセットマネジメントの試行を行った結果を述べた。アセットマネジメントの導入により、戦略的な維持補修計画を策定することが可能となり、予算の平準化などの効果をもたらすことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 土木学会編：アセットマネジメント導入への挑戦，技報堂出版，2005。
- 2) 高橋宏直ら：栈橋上部工を対象としたアセットマネジメントの試行，コンクリート構造物のアセットマネジメントに関するシンポジウム論文報告集，2006。
- 3) 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，沿岸技術研究センター，2007。
- 4) 高橋宏直ら：港湾におけるアセットマネジメントに関する研究，国土技術政策総合研究所研究報告，No. 29，2006。
- 5) 加藤絵万ら：建設後30年以上経過した栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状と構造性能，港湾空港技術研究所資料，No. 1140，2006。
- 6) 加藤絵万ら：栈橋のライフサイクルマネジメントシステムの構築に関する研究，港湾空港技術研究所報告，Vol. 48，No. 2，pp. 3-35，2009。