

ISSN 1346-7301

国総研研究報告 第29号

平成 18 年 9 月

国土技術政策総合研究所 研究報告

RESEARCH REPORT of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.29

September 2006

港湾施設のアセットマネジメントに関する研究
- 構造性能の低下予測とアセットマネジメントの試行例 -

高橋宏直・横田弘・岩波光保

Formulation of Asset Management for Port Facilities

-Determination of Structural Performance Degradation and Trial Application-

Hironao TAKAHASHI, Hiroshi YOKOTA and Mitsuyasu IWANAMI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

港湾施設のアセットマネジメントに関する研究 ー構造性能の低下予測とアセットマネジメントの試行例ー

高橋宏直*
横田 弘**
岩波光保***

要 旨

本研究では、第1に社会資本全体に対するマネジメントの必要性を整理したうえで、既往のマネジメント手法を分析することでアセットマネジメントの現状について整理している。

第2に港湾LCM(ライフサイクルマネジメント)を基本として、港湾アセットマネジメントのあり方をまとめた。特に、ここでは、これまでは明確ではなかった構造性能曲線の構築手法について提案をしている。

第3に実際に維持補修・更新計画を策定する場合に重要となる優先度の設定方法に関して、時間軸および空間軸の観点から体系化している。

第4に、具体的な地区を想定してアセットマネジメントの試行を行い、優先順位の設定、一定の予算制約下での事業計画を策定している。

最後に今後の課題を整理することで、これまでになかった港湾におけるアセットマネジメントの体系化を行っている。

キーワード： アセットマネジメント、港湾LCM、構造性能曲線、ライフサイクルコスト

* 工博 港湾研究部 港湾計画研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5027 FAX：046-844-5027 Email: takahashi-h92y2@ysk.nilim.go.jp

** 独立行政法人 港湾空港技術研究所 LCM研究センター長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 電話：046-844-5089 FAX：046-844-0255 Email：hiroy@pari.go.jp

*** 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 主任研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 電話：046-844-5059 FAX：046-844-0255 Email：iwanami@pari.go.jp

Formulation of Asset Management for Port Facilities **— Determination of Structural Performance Degradation and Trial Application —**

Hironao TAKAHASHI*

Hiroshi YOKOTA**

Mitsuyasu IWANAMI***

Synopsis

It is necessary to maintain structural performance of port facilities above their required levels based on the appropriate management philosophy. As the management philosophy, the applicability of asset management has recently been widely discussed for rational maintenance and minimization of life-cycle costs.

In this study, the system of asset management for port facilities was examined based on the principles of life-cycle management developed by the authors. First of all, the method was proposed to evaluate the change in structural performance with deterioration of materials during the life time, which had not ever been made clear so far.

To realize the asset management, the service conditions of a target facility should be taken into account as well as the structural performance degradation. Therefore, the evaluation method was proposed how to determine the priority for remedial action such as repair or renewal, considering both structural performance degradation and service conditions.

Finally, the asset management was applied on a trial basis to a group of port facilities consisting of five berths to conclude the best solution for repairing based on the life-cycle cost.

Key Words: Asset management, Life-cycle management, Structural performance degradation, Life-cycle cost

* Head of Port Planning Division, National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT
3-1-1, Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan, Tel: +81-(0)46-844-5027, Fax: +81-(0)46-844-5027,
Email: takahashi-h92y2@ysk.nilim.go.jp

** Director General of LCM Research Center for Coastal Infrastructures, Port and Airport Research Institute
3-1-1, Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan, Tel: +81-(0)46-844-5089, Fax: +81-(0)46-844-0255,
Email: hiroy@pari.go.jp

*** Senior Researcher of Geotechnical and Structural Engineering Department, Port and Airport Research Institute
3-1-1, Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan, Tel: +81-(0)46-844-5059, Fax: +81-(0)46-844-0255,
Email: iwanami@pari.go.jp

目 次

1. アセットマネジメントの現状	1
1.1 社会資本に対するマネジメントの必要性	1
1.2 効果的・効率的な維持補修・更新投資のためのマネジメント手法	8
1.3 アセットマネジメントの動向	10
2. 港湾におけるアセットマネジメントの構築	17
2.1 港湾施設の劣化状態	17
2.2 港湾におけるアセットマネジメントの現況	21
2.3 港湾におけるアセットマネジメント構築に向けての課題と対応方策	29
2.4 構造性能曲線の構築手法	35
3. 維持補修・更新計画における優先度の設定法	43
3.1 優先度設定に際しての検討課題	43
3.2 ライフサイクルコストの算定	48
3.3 時間軸での優先度の設定法	56
3.4 空間軸での優先度の設定法	67
4. アセットマネジメントの試行	72
4.1 想定対象地区の概要	72
4.2 想定対象地区におけるアセットマネジメントの試行	79
5. まとめと今後の課題	83
参考文献	83

1. アセットマネジメントの現状

1.1 社会資本に対するマネジメントの必要性

(1) 社会資本全体における将来動向¹⁾

国土交通白書（平成 15 年版）では、社会資本のストック量（国土交通省所管）は、1950 年の約 8 兆円から 2001 年には 405 兆円に達していると推計されている。すなわち、20 世紀後半の 50 年間にストック量は 20 世紀前半と比べて約 50 倍に増加している（図 1-1）。

わが国の社会経済が持続的に発展するためには、この大量の社会資本の機能を保持することが必要である。しかしながら、社会資本は物理的な耐用年数を有しており、一定期間の経過後には補修、改良、更新等が必要となる。この耐用年数を平均的に 50 年とすると、先に示したように 20 世紀後半、特に高度成長期において整備された大量の社会資本は、21 世紀前半に急激に更新の時期を迎えることになる。このため、今後は維持補修・更新投資が急激に増大することが想定される。

しかしながら、一方で、今後のわが国の経済社会動向を考えると、21 世紀当初の公共投資水準は引き続き厳しい財政制約を受けると考えられる。国土交通白書（平成 15 年版）では国土交通省所管のストック量を基本として、具体的に今後 25 年間の維持管理・更新投資の需要推計を実施している。推計に際しては、今後の厳しい財政制約状況を想定して、社会資本の伸び率を 0%（ケース 1）、-1%（ケース 2）、-2%（ケース 3）に設定している（図 1-2）。

その結果、2001 年の現状では社会資本への投資全体に対して維持管理・更新投資の占める比率が 21%であるのに対して、2025 年では、ケース 1 で約 51%、ケース 2 で約 62%、ケース 3 で 76%に達すると推計されている。なお、白書ではこの推計は一定の仮定の下に機械的に行ったものであり、その結果は幅を持って解釈することが必要であるとしている。特に、維持管理に関する将来のコスト縮減などを見込んでおらず、それらの要因の変動によって、一定のストック量に対する維持管理投資の需要や施設の更新サイクル等についても大きな変動が生じることに白書では注意している。

これらの状況を踏まえて、社会資本全体に対する効果的・効率的な維持管理・更新投資を実施するための方策を早急に構築することが緊急の課題とされている。

(2) 港湾施設における将来動向

わが国における近代での港湾整備は、明治維新以降から行われ、今日までに大規模な港湾施設が形成されてきている。現在では年間 30 億トンもの貨物が港湾で取り扱われ

るなど、これらの港湾施設は有効に活用され、経済的、社会的にも重要な役割を担っている。

一方で、社会資本全体の動向と同様に、これらの多くは戦後から高度経済成長期に整備されたことから、当然、港湾施設においても維持補修・更新投資が急激に増大することが予想される。このような状況を踏まえて、高橋・横田らは港湾施設全体に対する維持補修・更新費の具体的な将来推計を 2002 年²⁾ および 2005 年³⁾ に実施している。ここで、2005 年に再推計を実施した理由として、最近の港湾整備事業費の減少を挙げている。すなわち、2002 年での推計基準とした 1995 年度の港湾整備事業費は 9,850 億円であったのに対して、2005 年での推計基準とした 2003 年度ではその 53%の 5,030 億円まで減少している。1985 年度以降の港湾整備事業費（名目値ベース）の推移を図 1-3 に示す。1995 年度以降では 1998 年度に 9,850 億円まで増大したものの、その後は急激に減少している。

ここで示されている推計の考え方を図 1-4 に示す。また、将来動向については国土交通白書（平成 15 年度版）との整合を図るために、2003 年度以降の年間伸び率を 0%（ケース 1）、-1%（ケース 2）、-2%（ケース 3）と設定している。

推計に際しては、高橋・横田⁴⁾による係留施設を対象とした維持補修費率関数を基本としている。すなわち、港湾整備事業では道路整備事業等と異なり、維持補修事業が明確に位置づけられていない。このため、1998 年度に旧運輸省港湾局が全国港湾を対象に実施した係留施設の維持補修に関するアンケート結果等から、経過年数ごとの初期建設費に対する維持補修費の比率を示す維持補修費率関数を構築している。式 (1) および図 1-5 に、この維持補修費率関数を示す。この維持補修費率関数から求められる値は、維持補修のための毎年の積立金あるいは引当金に相当するとしている。これにより初期建設費（新規・維持補修費）が設定されれば、経過年数ごとの維持補修費を推計することが可能となる。

$$Y = k / (1 + a e^{-bX}) \quad (1)$$

ここで、 Y : 初期建設費に対する X 年後の維持補修費率

X : 建設後の経過年数（年）

$$k = 1.2702 \times 10^{-2}$$

$$a = 53.159$$

$$b = 0.11865$$

なお、 $X=0$ （建設年次）では $Y=0$ とする

ただし、この関数は係留施設を対象としているために他の施設への適用に際しては、施設毎に式(2)のように修正係数 α を設定する。なお、施設は水域施設（開発保全航路を含む）、外郭施設、係留施設、臨港交通施設、環境整備施設、その他施設の6分類に区分している。

$$Y_a = \alpha k / (1 + a e^{-bx}) \quad (2)$$

ここで、 $\alpha=0.6$ ：水域施設

$\alpha=1.0$ ：係留施設，外郭施設，臨港交通施設，
環境整備施設，その他施設

この結果、1875年度からの建設年次の各年度に応じて式(1)により毎年の維持補修費を算定する。例えば、1875年度以降の T_i 年度に総事業費 A_{Ti} （実質価格）で建設された係留施設の T 年度の維持補修費（実質価格）を Y_T とすると、 Y_T は式(3)により算定される。

$$Y_T = A_{Ti} \alpha k / (1 + a e^{-b(T-T_i)}) \quad (3)$$

したがって、 T 年度におけるわが国の係留施設全体の維持補修費（実質価格）は、 $\alpha=1.0$ として1875年度以降の毎年度の事業費に応じた T 年度の維持補修費を算定し、 T 年度におけるこれらの値を累積することで算定される。

具体的な算定方法を、表計算ソフトによる係留施設に関する具体的な計算結果のイメージとして図1-6に示す。ここで、A列目に建設年度、B列目に実質事業費が示されている。1行目でのC-1のセルから右には、式(3)により算定された1875年度に建設された係留施設全体の各年度の維持補修費値が示されている。R列目には1875～1890年度までに建設された係留施設の1890年度における各年度の維持補修費（1890年度値は0.0）が示されている。その最下列には合計値として0.05088億円が示されている。すなわち、1890年度でのわが国の係留施設全体の維持補修費（実質価格）は、0.05088億円と推計される。なお、最終的な維持補修費としては更に補正等²⁾³⁾が必要である。

ここで推計される維持補修費に加え、更新費、災害復旧費を合わせて推計した結果を図1-7～1-9に示す。さらに、2003年度、2015年度、2025年度、2030年度における維持補修費率および更新費率を表1-1に、この文献3)での2025年度の推計結果と国土交通白書(平成15年度版)での2025年度での両者の比較結果を表1-2に整理する。維持補修費率については、維持補修費率の高い道路整備事業が主体である国土交通白書の結果の方が高くなっているものの、更

新費率については両者の推計結果はほぼ同じとなっている。

このような状況であることから、港湾施設に対しても効果的・効率的な維持管理・更新投資を実施するための方策を早急に構築することが緊急の課題である。

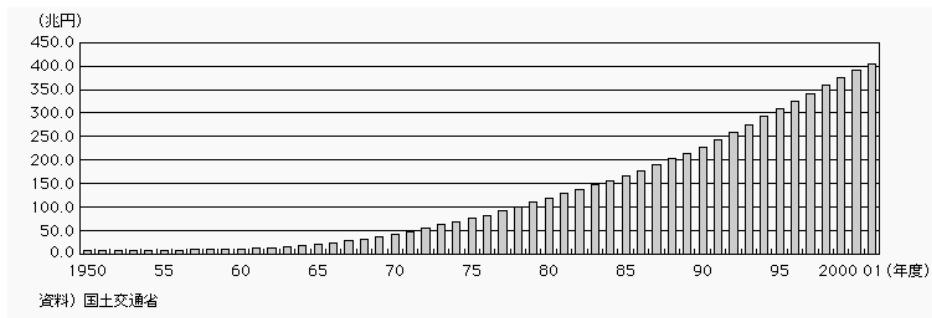


図 1-1 ストック量の推移¹⁾

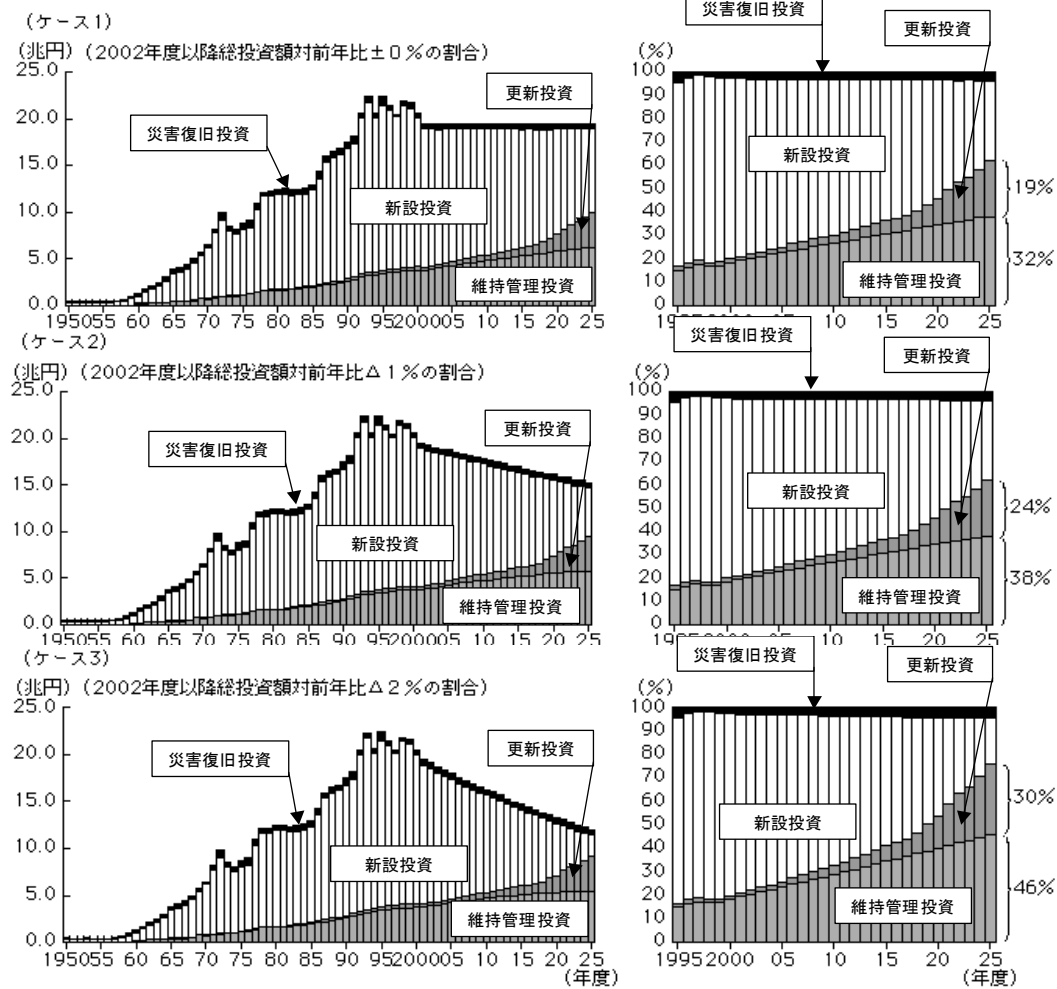


図 1-2 維持管理・更新投資需要の推計¹⁾

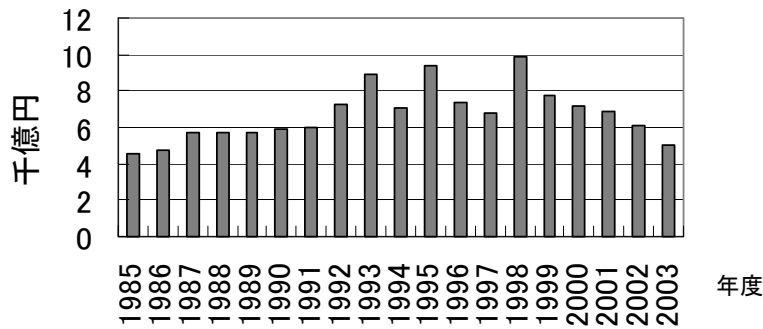


図 1-3 港湾整備事業費（名目値ベース）の推移

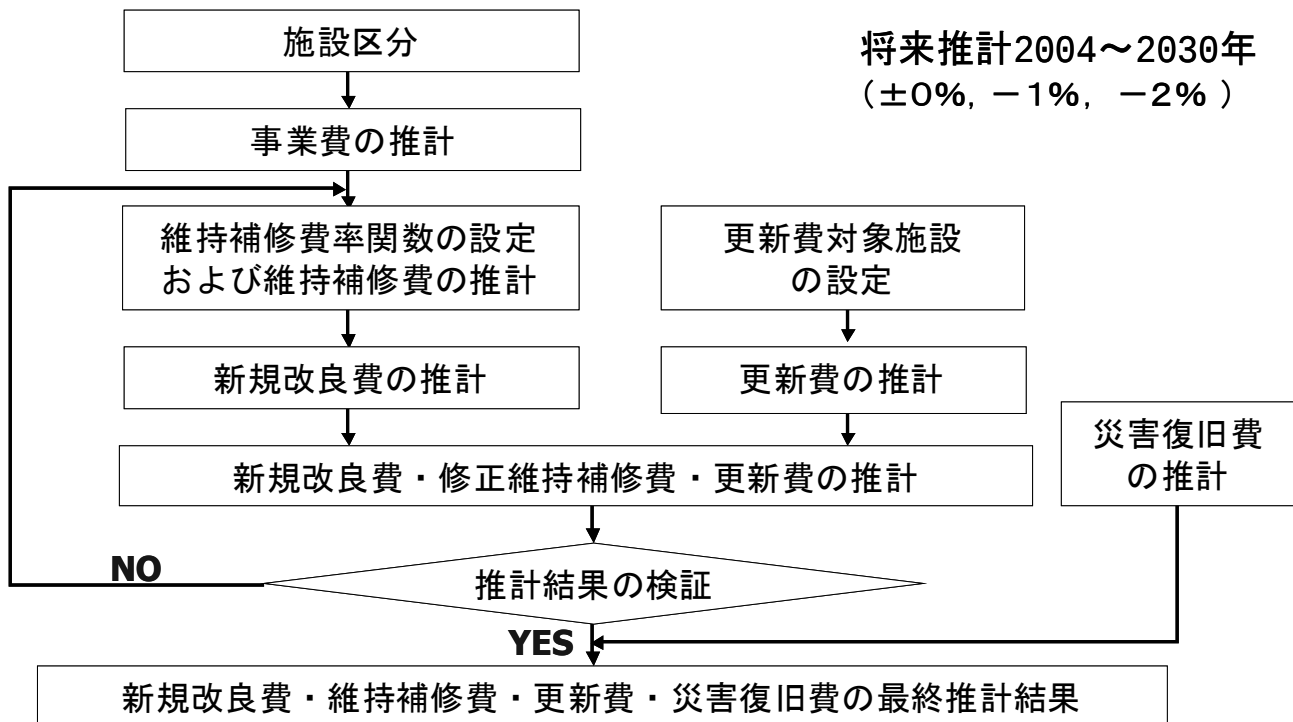


図 1-4 推計のフロー

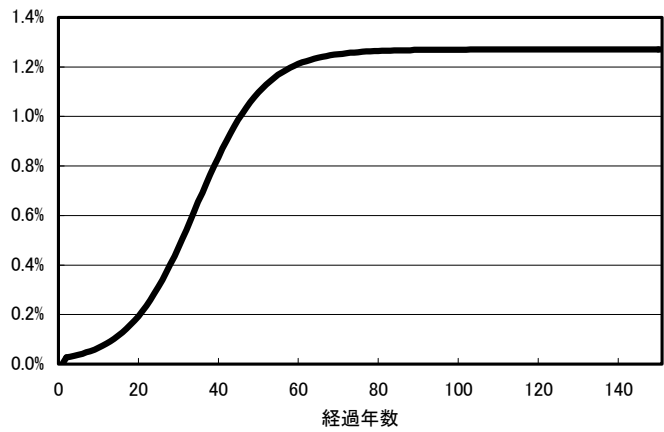


図 1-5 維持補修費率関数

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	西暦	実質事業費 (億円)	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890
1	1875	0.76	0.00000	0.00020	0.00023	0.00025	0.00028	0.00032	0.00036	0.00040	0.00045	0.00050	0.00056	0.00063	0.00070	0.00078	0.00087	0.00097
2	1876	1.56		0.00000	0.00041	0.00046	0.00052	0.00058	0.00065	0.00073	0.00082	0.00092	0.00103	0.00115	0.00128	0.00143	0.00160	0.00178
3	1877	0.22			0.00000	0.00006	0.00007	0.00007	0.00008	0.00009	0.00010	0.00012	0.00013	0.00015	0.00016	0.00018	0.00020	0.00023
4	1878	5.57				0.00000	0.00147	0.00165	0.00185	0.00208	0.00233	0.00261	0.00293	0.00328	0.00367	0.00410	0.00459	0.00512
5	1879	8.74					0.00000	0.00230	0.00258	0.00290	0.00326	0.00365	0.00410	0.00459	0.00514	0.00576	0.00644	0.00720
6	1880	5.25						0.00000	0.00138	0.00155	0.00174	0.00196	0.00220	0.00246	0.00276	0.00309	0.00346	0.00387
7	1881	5.66							0.00000	0.00149	0.00168	0.00188	0.00211	0.00237	0.00265	0.00298	0.00333	0.00373
8	1882	10.43								0.00000	0.00275	0.00309	0.00347	0.00389	0.00436	0.00489	0.00548	0.00614
9	1883	7.27									0.00000	0.00191	0.00215	0.00241	0.00271	0.00304	0.00341	0.00382
10	1884	12.49										0.00000	0.00329	0.00369	0.00415	0.00465	0.00522	0.00586
11	1885	3.85											0.00000	0.00101	0.00114	0.00128	0.00143	0.00161
12	1886	9.20												0.00000	0.00242	0.00272	0.00305	0.00343
13	1887	7.03													0.00000	0.00185	0.00208	0.00234
14	1888	6.61														0.00000	0.00174	0.00196
15	1889	10.75															0.00000	0.00283
16	1890	21.68																0.00000
17	1891	17.59																
18	1892	19.92																
19	1893	18.62																
20	1894	9.94																
21	1895	11.42																
22	1896	4.93																
23	1897	9.04																
24	1898	7.69																

維持補修費率モデル

維持補修費の合計	0	0.0002	0.00064	0.00077	0.00233	0.00492	0.00691	0.00925	0.01312	0.01664	0.02195	0.02563	0.03115	0.03676	0.04292	0.05088
----------	---	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

図 1-6 計算結果のイメージ

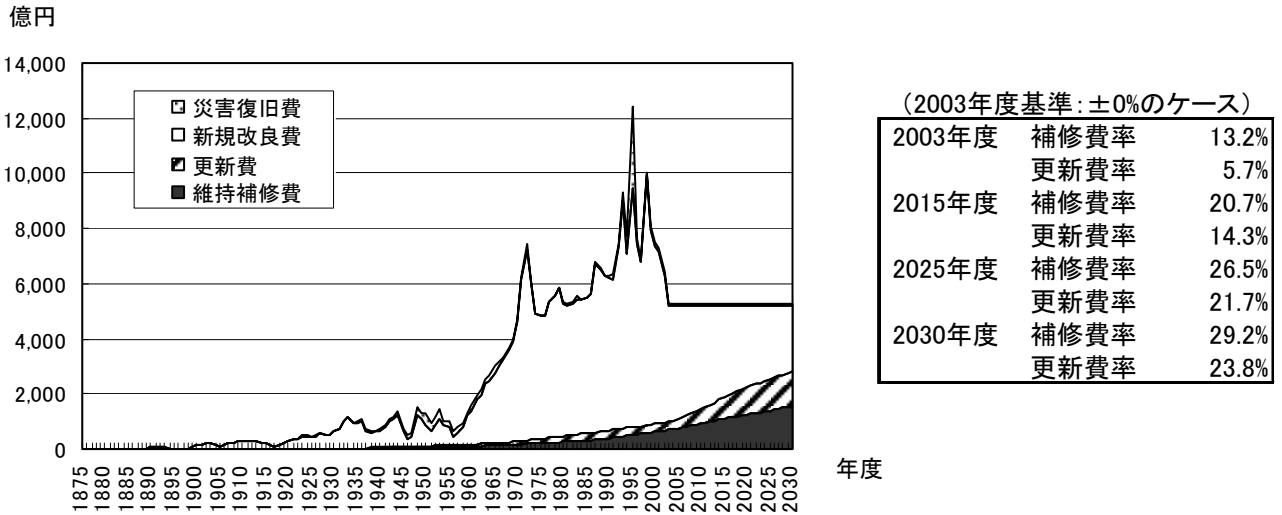


図 1-7 新規改良費，維持補修費，更新費，災害復旧費の推計結果（±0%のケース）

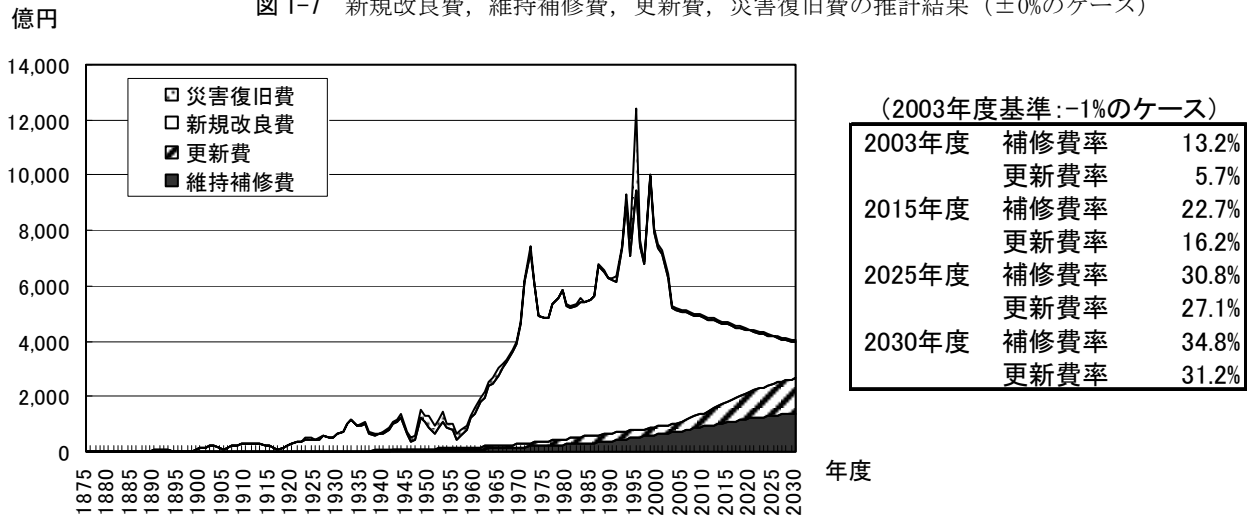


図 1-8 新規改良費，維持補修費，更新費，災害復旧費の推計結果（-1%のケース）

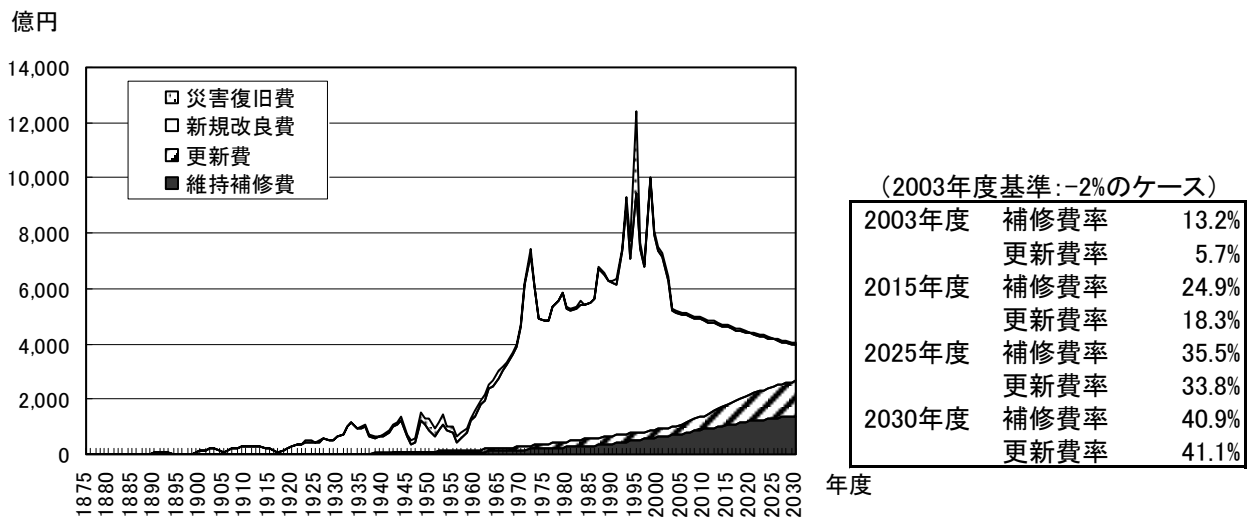


図 1-9 新規改良費，維持補修費，更新費，災害復旧費の推計結果（-2%のケース）

表 1-1 港湾整備事業における維持補修費率，更新費率の将来推計結果

	2003年度			2015年度			2025年度			2030年度		
	維持 補修費率	更新費率	合計	維持 補修費率	更新費率	合計	維持 補修費率	更新費率	合計	維持 補修費率	更新費率	合計
ケース1(±0%)	13.2%	5.7%	18.9%	20.7%	14.3%	35.1%	26.5%	21.7%	48.2%	29.2%	23.8%	53.0%
ケース2(-1%)	13.2%	5.7%	18.9%	22.7%	16.2%	38.9%	30.8%	27.1%	57.8%	34.8%	31.2%	66.0%
ケース3(-2%)	13.2%	5.7%	18.9%	24.9%	18.3%	43.1%	35.5%	33.8%	69.4%	40.9%	41.1%	82.0%

表 1-2 「国土交通白書（平成 15 年度版）」の推計結果との比較

	2025年度					
	文献(3)の推計			「国土交通白書」の推計		
	維持 補修費率	更新費率	合計	維持 補修費率	更新費率	合計
ケース1(0%)	26.5%	21.7%	48.2%	32.0%	18.9%	50.9%
ケース2(-1%)	30.8%	27.1%	57.8%	38.1%	23.9%	62.0%
ケース3(-2%)	35.5%	33.8%	69.4%	45.8%	30.2%	76.0%

1.2 効果的・効率的な維持補修・更新投資のためのマネジメント手法

(1) マネジメントの概念

社会資本に対して効果的・効率的な維持補修・更新投資を実施するために，社会資本を「資産」としてみなし，企業経営において用いられているマネジメント手法の適用が期待されている。このマネジメント手法としては，預金，株式，債券等の金融資産を，リスク，収益性を考慮して適切に運用する手法，土地，建築物等の不動産を効率的に運用する手法等がある。これらの手法は，一般的に次の4種類に整理されることが多い⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

① ファシリティマネジメント

ファシリティマネジメントは，企業・団体等が組織活動のために施設とその環境を総合的に企画，管理，活用する経営活動とされ，実在する施設の運用や設置（効率的な施設運用）に係わる手法である。

② プロパティマネジメント

プロパティマネジメントは，所有者等から委託を受けて，個別の不動産の経営を通じて，対象とする物件からの収益および資産価値の最大化を図る手法とされ，従来の保守管理から進展して，資産の保守・運用の総合的な管理を目指す新たな不動産業務である。

すなわち，プロパティは広義に「土地，建物，金銭，権利など人が合法的に所有するもの」であるが，プロパティマネジメントにおいては主に「不動産」が対象とされている。

③ アセットマネジメント

アセットマネジメントは，物理的施設・不動産のみならず，資本，人材，技術，知的財産等を含む「資産」を対象として，リスクを踏まえたうえで資産の全体価値の向上を図る手法とされ，利潤を追求する民間分野で使用されている。このアセットマネジメントのうち，主に不動産を対象とする場合がプロパティマネジメントと考えられる。

④ スtockマネジメント

ストックマネジメントは，膨大な既存建築物（ストック）を効率的・効果的に活用するための体系的な手法として，国土交通省大臣官房官庁営繕部により用いられている。

(2) 港湾に対するマネジメント手法としてのアセットマネジメント

(1)で整理したように，マネジメント手法としてのさまざまな用語が提示されているものの，その差異は明確ではなく，また実施主体においても厳密に定義しているものではない。

このため，本研究では土木学会における定義⁵⁾等を踏ま

えて，港湾におけるアセットマネジメントを次のように定義する。

国民の共有財産である港湾資本を，国民の利益向上のために，時間軸および空間軸の観点から，機能を維持し，資産価値を向上させて，効果的かつ効率的に運用することを目的として体系化されたプロセス

なお，いうまでもなくこの定義は厳密なものではなく，今後の検討・議論を踏まえて修正されるべきものとする。

また，アセットマネジメント自体において図 1-10 に示すように広義のアセットマネジメントと狭義のアセットマネジメントが考えられる⁵⁾が，本報告書では狭義のアセットマネジメントを対象とする。

(3) 港湾におけるアセットマネジメントの階層性⁶⁾

港湾のアセットマネジメントの定義における「時間軸」は「時間の階層性」，また「空間軸」は「規模の階層性」と言い換えることができ，それぞれの具体的な内容は次のように整理される。

① 時間の階層性

港湾におけるアセットマネジメントは，単年度の予算制約下での最大効果を目指すレベル（戦術）から，経済社会動向・産業政策・財政政策等を踏まえて長期間を対象として最大効果を目指すレベル（戦略）まで，幅広い領域での時間の階層を同時にマネジメントすることが必要である。

② 規模の階層性

港湾におけるアセットマネジメントは，ある地区での複数の係留施設などを対象とする小規模なレベルから，県の全港湾あるいは地方整備局の全港湾，更には日本の全港湾を対象とする大規模なレベルまで，幅広い領域での空間の階層を同時にマネジメントすることが必要である。

これらの概念は，先の「広義」と「狭義」との区分とは異なり，対象とする資産の領域に応じて個別資産マネジメントと資産群マネジメント，あるいは図 1-11 に示すようにミクロマネジメントとマクロマネジメントとして整理される。

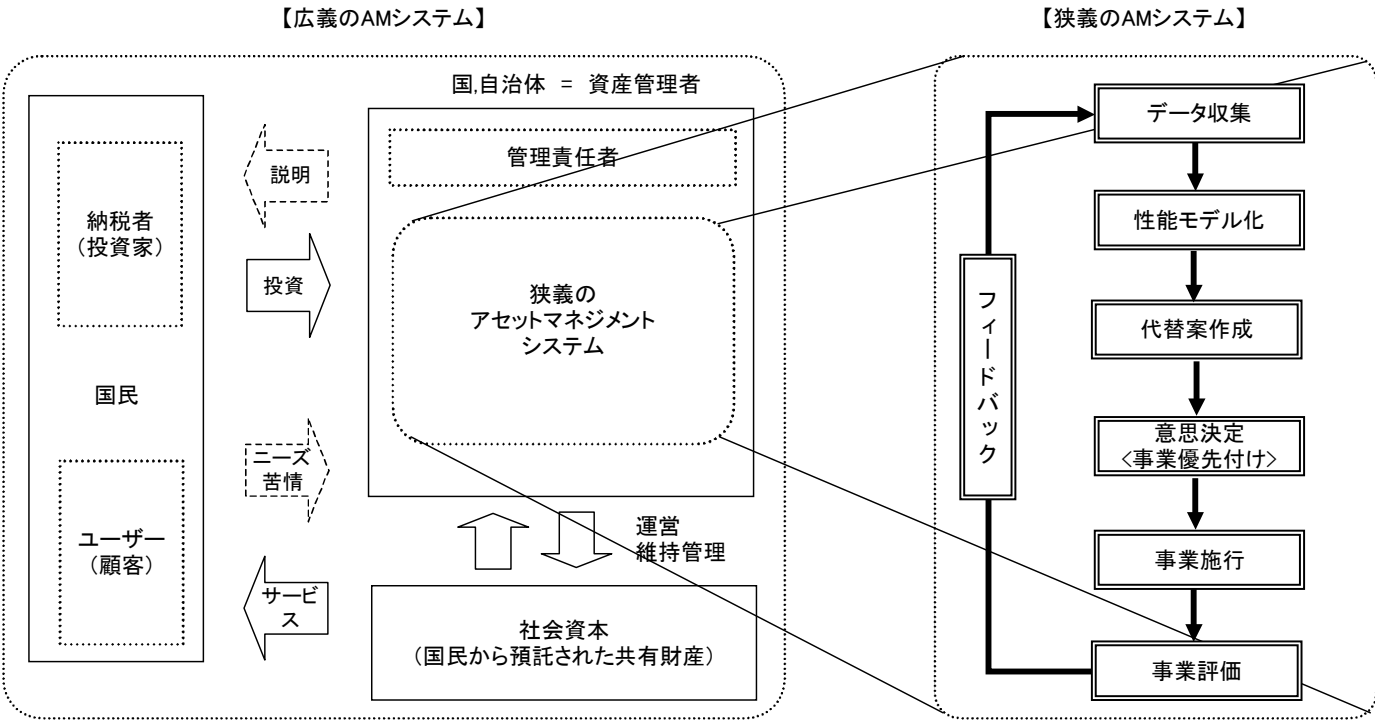


図 1-10 広義のアセットマネジメントと狭義のアセットマネジメント⁵⁾

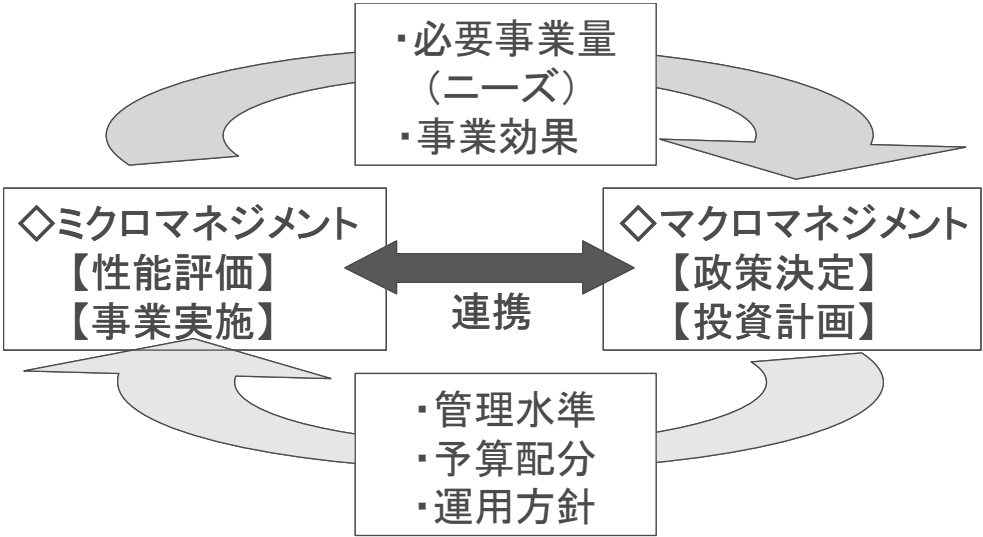


図 1-11 ミクロマネジメントとマクロマネジメント⁶⁾

1.3 アセットマネジメントの動向

(1) わが国のアセットマネジメントの動向

アセットマネジメントの概念を広義に解釈すれば、わが国では道路舗装や橋梁の分野では早くからアセットマネジメントは導入されてきた。文献 6) では、わが国の住宅・社会資本分野におけるストックマネジメントの現況を整理している（表 1-3）。

また、アセットマネジメントの導入が進展している道路分野に関して、文献 5) では国土交通省道路局、東京都、日本道路公団における事例を以下のように紹介している。

①国土交通省道路局

道路におけるアセットマネジメントを「道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算制約の中で、いつ・どのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路構造物を計画的かつ効率的に管理すること」としている。

2002 年度の重点施策において「トータルコストの縮減などを旨として、道路管理手法にアセットマネジメントの考え方を導入し、効率的・計画的な維持管理を行うこと」を提示し、2003 年 4 月には「道路構造物の今後の管理・更新のあり方に関する委員会」の提言を公表、アセットマネジメント導入による管理の効率化のイメージを提示している（図 1-12）。

②東京都

東京都では、道路におけるアセットマネジメントを「各種の道路施設を資産ととらえ、最適な対策を行うことで、都民に最大の道路サービスを提供するマネジメント」と定義し、将来を的確に把握した計画的な管理、コストの縮減、都民や利用者へのアカウントビリティ向上を導入効果としている。

2004 年度に道路アセットマネジメントの取組みを開始し、道路施設の現況調査、劣化速度算定、社会的便益算定、長寿命化工法調査を実施中である（図 1-13）。

③日本道路公団

日本道路公団が管理する高速道路については、2003 年度に道路構造物の延命化や維持管理費用の平準化、トータルコストの縮減を目指して、道路構造物のより効率的な管理手法を構築している。

さらには、保全事業の計画策定、実施、事業評価に至る業務サイクルに顧客満足度や費用便益などを取り入れ、各保全事業の優先度を総合的に決定するマネジメントシステムを構築して、より効率的で効果的な事業を実施することとしている（図 1-14）。

(2) 海外のアセットマネジメントの動向

このアセットマネジメントの必要性が最初に着目されたのは 1970 年代の米国であると考えられる。

米国では 1930 年代のニューディール政策により大量に建設された社会資本の老朽化が、1970 年代半ばから顕在化してきた。当時は、構造的欠陥のある橋梁の比率が約 45% を占めている状況（図 1-15）であった。この結果、経済的・社会的に多大な損失が発生しており、特に道路・橋梁では、以下に示すような人命が奪われる事故が発生していた。

- ・ 1967 年 橋梁の崩落により 46 名死亡
（ウェスト・バージニア州）
- ・ 1974 年 ハイウェイの崩落
（ニューヨーク州）
- ・ 1983 年 橋梁の崩落により 3 名死亡
（コネティカット州）

こうした社会資本が荒廃した原因は、1973 年のオイルショック以降の緊縮財政やインフレより社会資本整備への財源が不足し、十分な維持補修・更新のための投資が実施されなかったこととされている。その後、米国連邦政府は 1982 年に陸上交通支援法を制定し、1959 年以降では一定となっていたガソリン税率を引き上げることで財源を確保して道路投資を拡充した。さらに、1991 年の総合陸上輸送効率化法（1992-1997）により、橋梁の架替え・補修に対する補助が大幅に増額された。さらに、その後継法である 21 世紀陸上交通最適化法（1998-2003）では、道路整備のための財源確保が強化された。また、同時期にマネジメント手法が確立されてきたこともあり、構造的欠陥のある橋梁の比率が約 30% にまで急激に減少した（図 1-16）。

ここで、文献 5) では海外での道路分野について、米国、オーストラリア・ニュージーランドの事例を紹介している。

①米国の Federal Highway Administration (FHWA)

米国の FHWA では、高速道路を対象としたアセットマネジメントを、「効率的に運営・維持管理および改修するための体系的なプロセスとして、工学的・数学的分析としての最善の実践手法と経済学理論を組み合わせることで改修に関する意思決定を補助するとともに、長期および短期を包括した施設改良案を提案する手段」と定義し、一連のプロセスを提示している（図 1-17）。

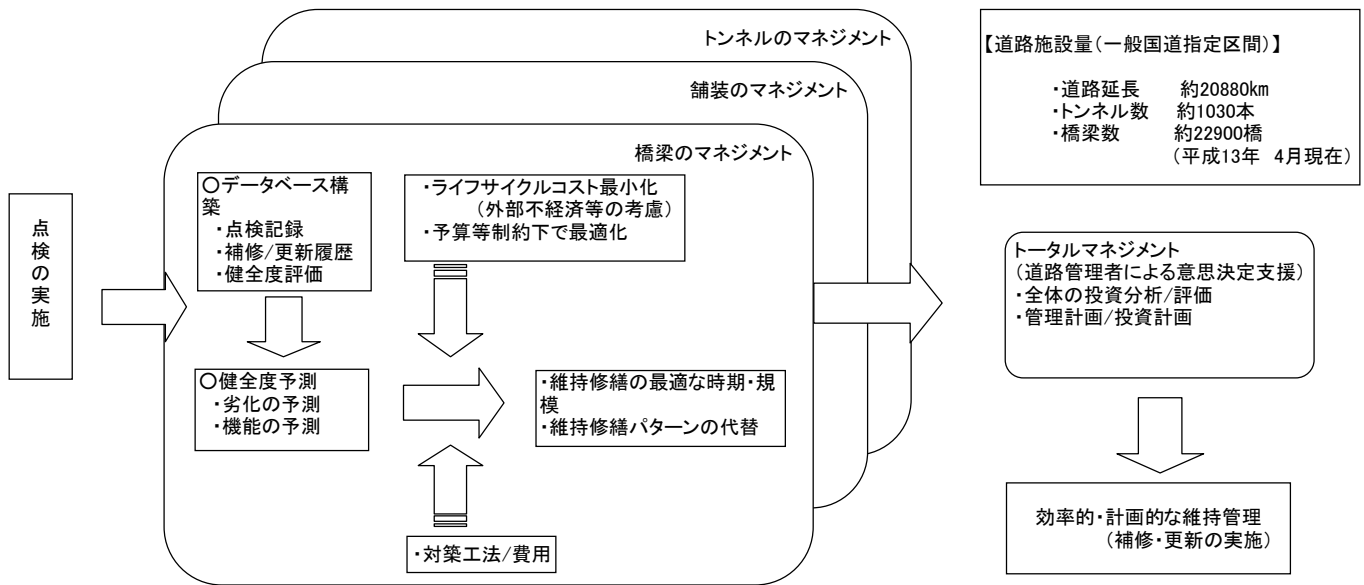
②オーストラリア・ニュージーランドの Austroads

Austroads はオーストラリア・ニュージーランドの運輸・交通関連の行政機関から構成される組織であり、道路に関する政策の企画から実施までのマネジメント活動の戦略的指針となる統合アセットマネジメントの考え方を導入している（図 1-18, 1-19）。

表 1-3 わが国の住宅・社会資本のストックマネジメントの現況⁶⁾

分野	対象施設	維持管理の内容	現 状	維持管理の観点		指 標
				利用者	管理者	
道路 構造物	舗装	パトロール、路面性状調査、舗装診断、修繕	調査実施(一部区間)によるMCI測定、劣化曲線の設定、LCC算出方法等が提案	交通の確保、通行の快適性、安全性	路面状態、安全性	MCI、IRI、RN、構造物保全率
	橋梁 (道路橋)	橋梁点検 補修・更新	1回/5年定期点検実施 劣化予測、健全度、LCC算出手法が研究段階	健全性の維持	通行の快適性	構造物保全率
	その他 (トンネル等)	パトロール、清掃等	点検	交通の確保、安全性	安全性、第三者被害の防止	構造物保全率
下水道 施設	管渠 (下水道管)	清掃、点検(テレビカメラ調査)、修繕・改築、不明水対策	健全度評価手法、評価指標が研究段階 無人点検、清掃システムの開発効率的な改築・更新技術開発	サービス確保(快適性)、環境衛生	機能維持、環境衛生、コスト縮減	法定耐用年数 経済的耐用年数
	その他 (下水処理場等)	運転、維持修繕、水質維持、汚泥処理	PFI等実施による費用負担軽減化 業務委託、作業の効率化によるコスト縮減汚泥リサイクルの促進			汚泥リサイクル率
河川 構造物	堤防・護岸	河川パトロール・構造物点検、除草、清掃、補修・修繕	LCC検討はまだ本格化されていない	災害時の安全、環境	機能維持、環境	指標設定に至っていない
	その他 (河川敷・水門・樋門等)	河床浚渫 河川除草、清掃	LCC低減のための市民ボランティアやNPOとの連携、PFI等の実施による費用負担軽減化	美観 災害時の安全性、環境	機能維持、環境	指標設定に至っていない
ダム	堤体	点検、維持補修	LCCの検討は本格化されていない	災害時の安全性、環境	機能維持、環境	指標設定に至っていない
	貯水池	浚渫、清掃	構造物や設備機器毎の検査実施健全度評価手法が研究段階			
	機械設備	運転、維持修繕				
建築物	公共建築 官庁建築	維持補修、改修建替、増改築転用、用途廃止	マニュアル類の整備 データベースシステムの構築 PFI等実施による費用負担軽減化	居住・執務の快適性、バリアフリー、災害時の安全性、美観	機能維持、耐震補強、環境	耐用年数
	公営住宅		公営住宅ストック総合活用計画の制度化		耐震補強、環境家賃徴収	法定建替え年限 住戸面積

道路の管理手法の全体構想イメージ



出典：国土交通省 平成14年度道路政策のポイント

図 1-12 国土交通省の道路アセットマネジメント⁵⁾

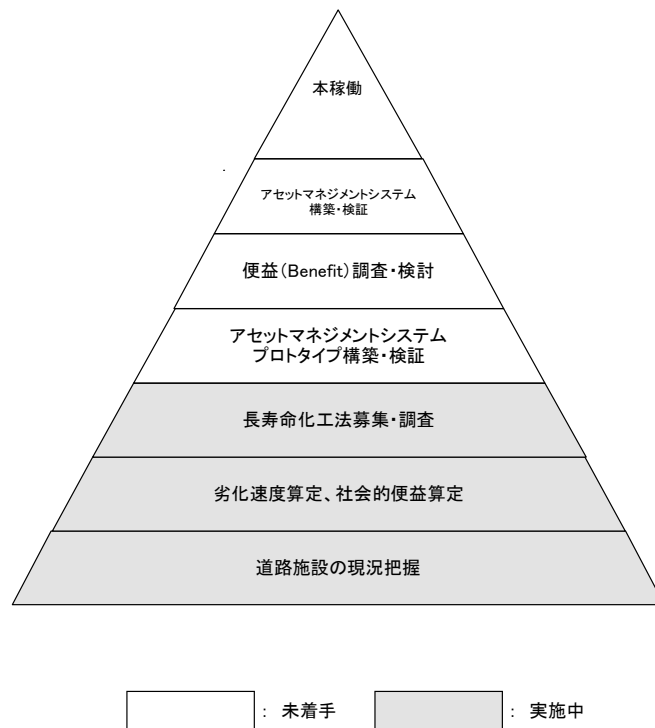


図 1-13 東京都の道路アセットマネジメントの取り組み⁵⁾

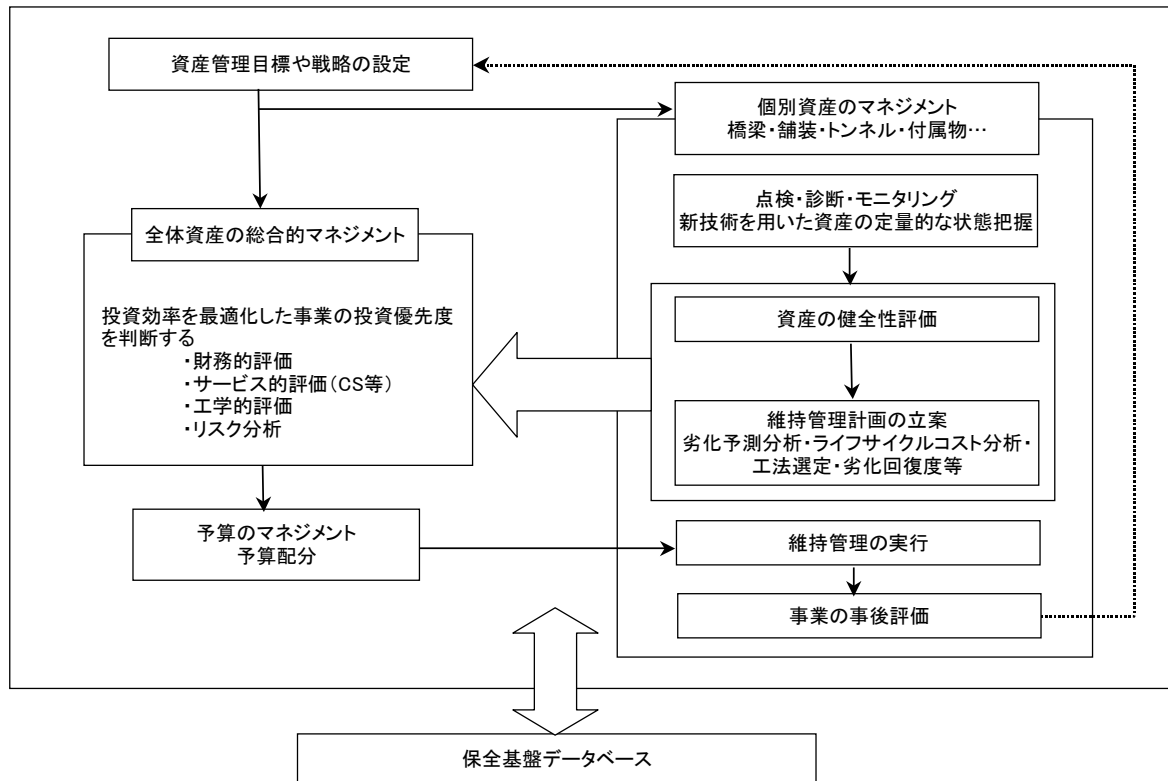


図 1-14 日本道路公団のアセットマネジメント⁵⁾

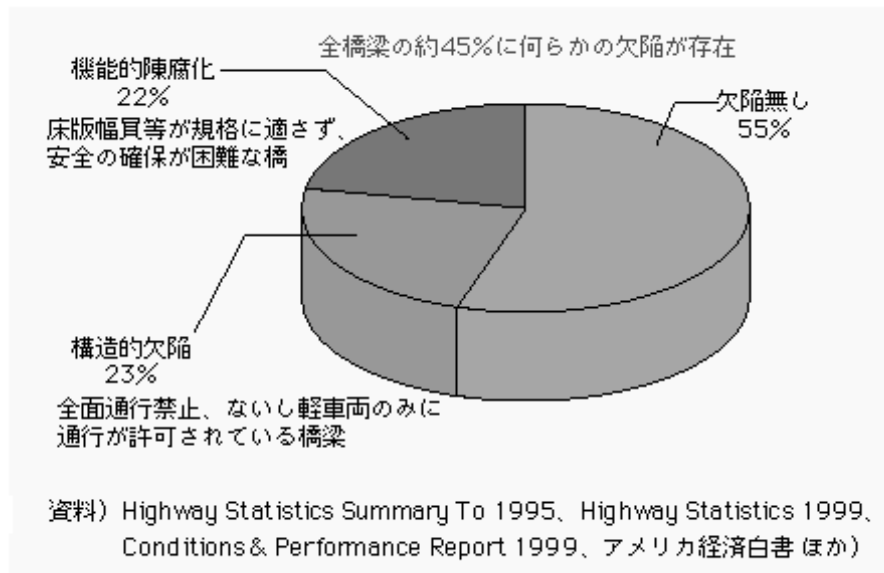


図 1-15 米国における欠陥橋の実態(1983年)¹⁾

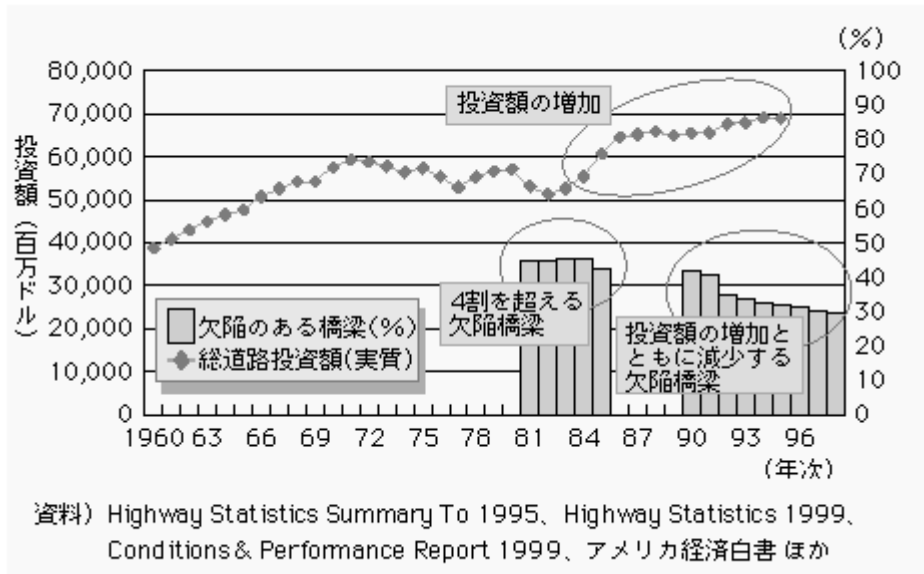
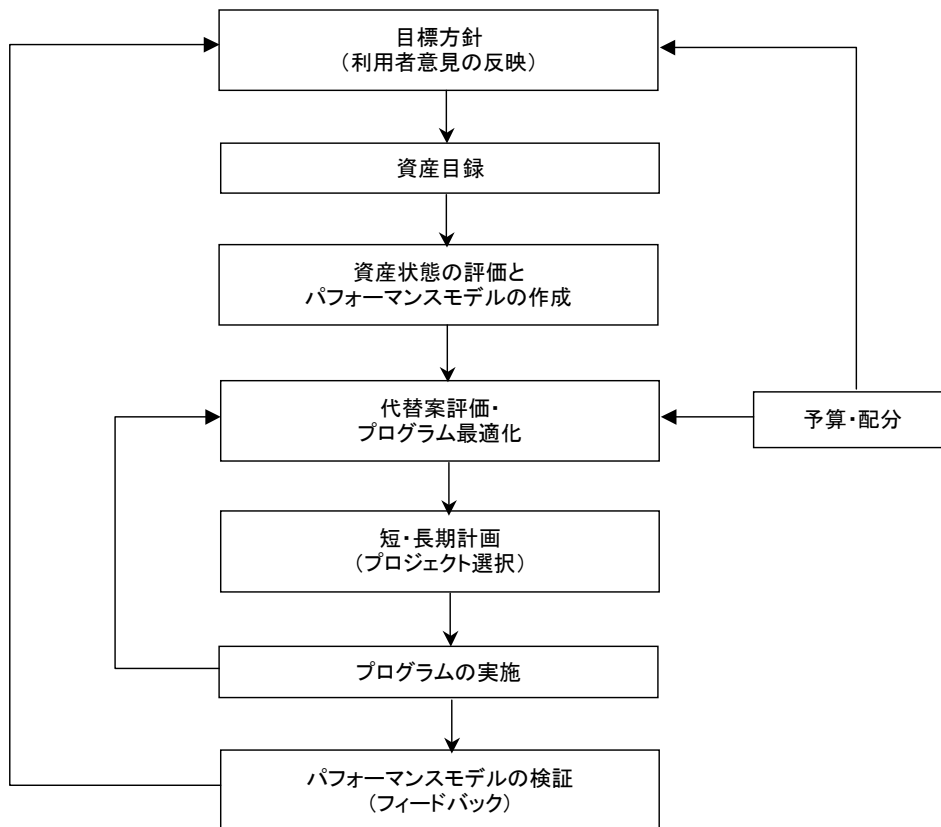


図 1-16 米国における欠陥橋比率の減少と総投資額推移との関係 ¹⁾



出典: Asset Management Primer, 1999

図 1-17 FHWA のアセットマネジメント ⁵⁾

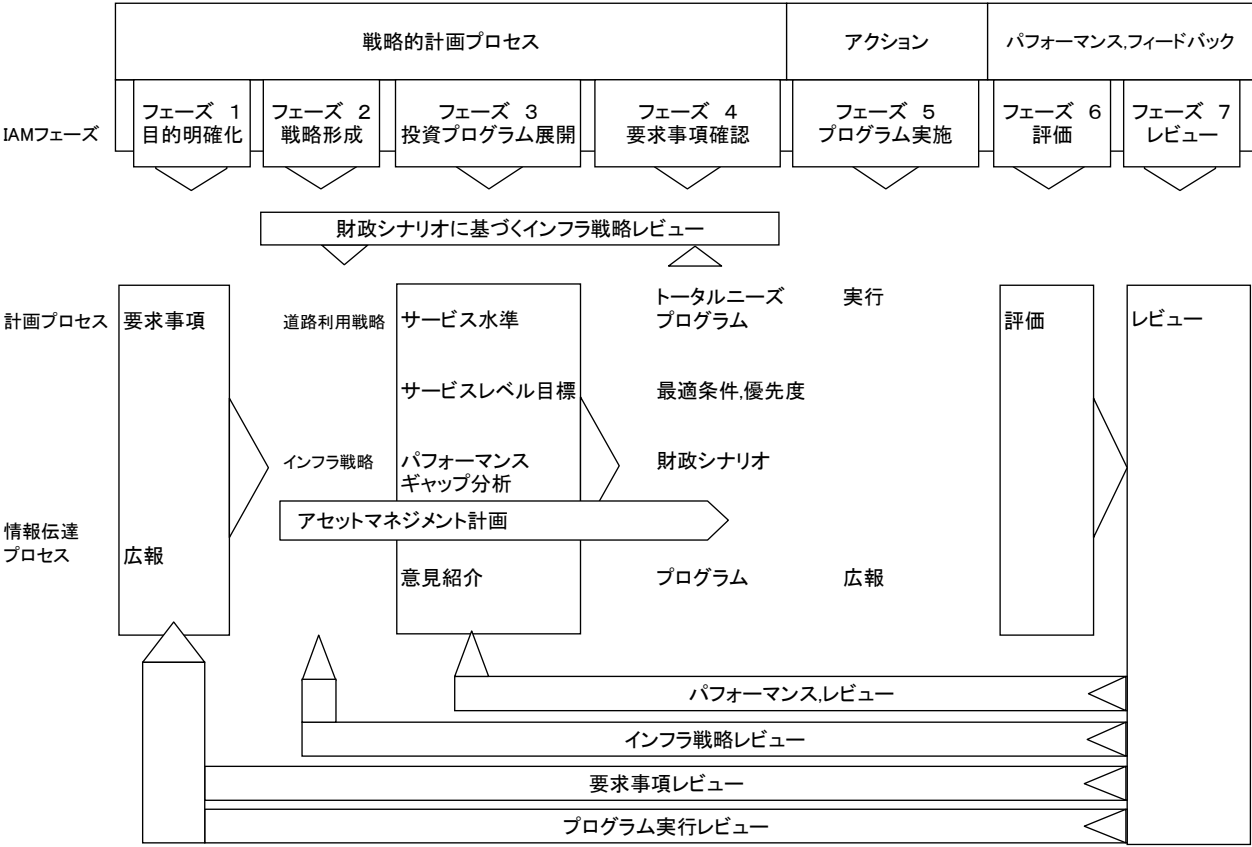


図 1-18 Austroads における統合アセットマネジメントのマネジメントサイクル⁵⁾

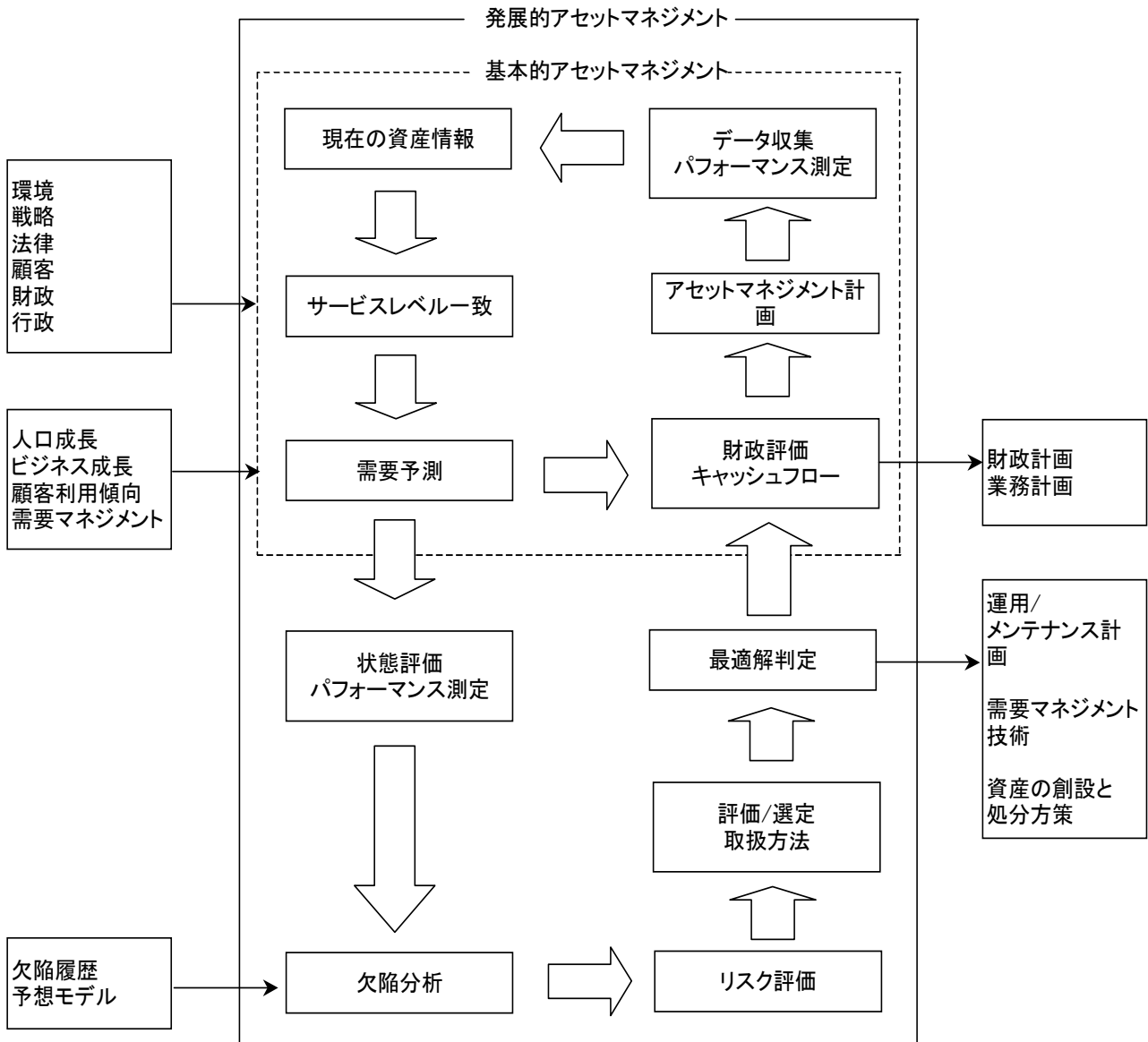


図 1-19 オーストラリア/ニュージーランドのアセットマネジメント⁵⁾

2. 港湾におけるアセットマネジメントの構築

2.1 港湾施設の劣化状態

港湾施設の劣化状態については、目視による調査により様々な状況がある程度把握することができる。図 2-1～2-5 に港湾施設の劣化状態の事例を示す。

ここで示したように、陸上から容易に目視で劣化状態を把握できる一方で、特別な調査により初めて劣化状態を把握できる場合がある。特に、本研究で主な対象とする栈橋式係船岸施設は、後者に該当する。図 2-6 に栈橋式係船岸施設の概要を示す。大きくは床版と梁を主体とする上部工と、鋼管杭を主体とする下部工に区分される。

上部工の上面は、図 2-1 で示すように陸上からの調査で劣化状態を把握することができる。しかしながら、上部工の下面は陸上からの調査が困難であることから、一般的には図 2-7 に示すように潮位の状況を踏まえた上で、小型船舶に乗船するか、点検用の足場を設けて調査を実施する。図 2-7 でも梁のかぶりが剥落し、鉄筋が露出している状況を把握でき、図 2-8 でも床版と梁の劣化状況を示している。

下部工の鋼管杭は、大半は海中にあるために図 2-7 のように船上からでも調査を実施することができない。このため、ダイバーによる潜水調査が必要になる。この潜水調査により図 2-9 右に示すように腐食の著しい進展により、完全に切断されている状況を確認することもできる。

矢板式係船岸施設についても栈橋の下部工と同様に潜水調査が必要であるが、干満帯付近を目視で調査することで主要な点検を実施することが可能である。その結果、例えば図 2-10 に示すようにHWL～MLWLの間が著しく劣化している状況を確認することができる。



図 2-1 エプロンの沈下・ひび割れ



図 2-2 護岸胸壁の損傷



図 2-3 防舷材の損傷



図 2-4 護岸の移動



図 2-5 防波堤の沈下

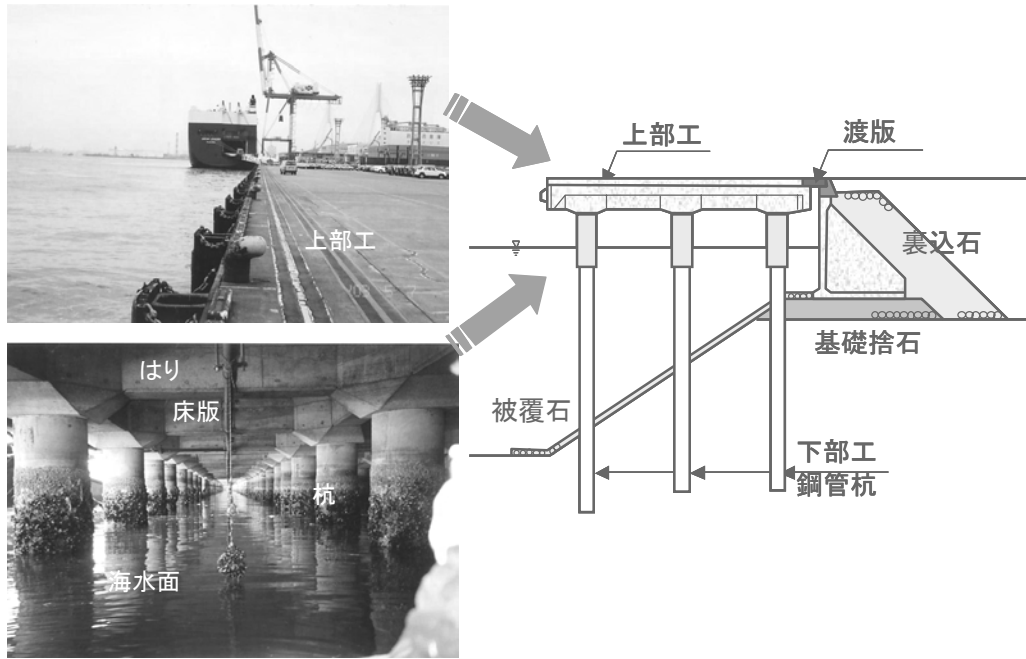


図 2-6 栈橋式係留施設の概要

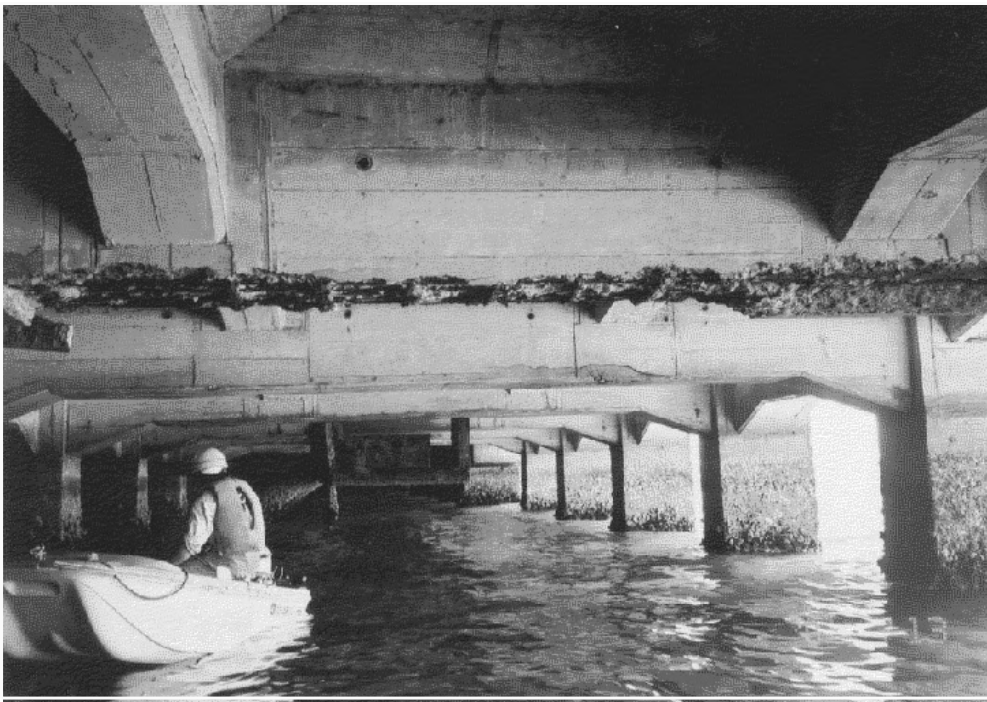


図 2-7 栈橋上部工下面の調査状況



図 2-8① 上部工 床版下面の劣化状況



図 2-8② 上部工 梁下面の劣化状況

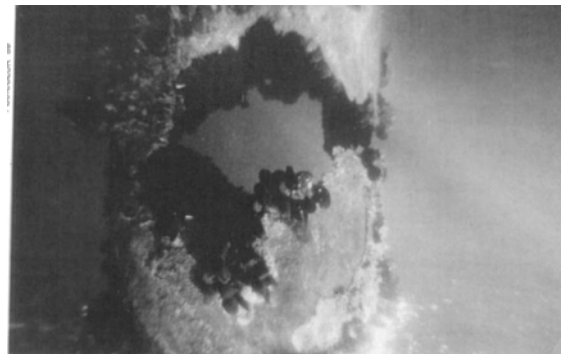


図 2-9 下部工 鋼管杭の劣化状況

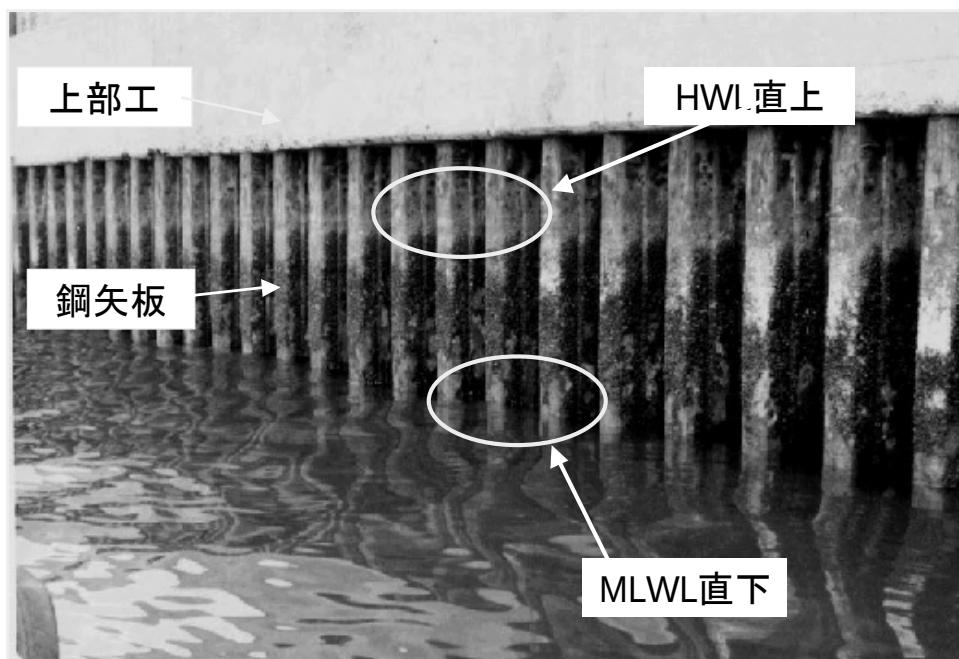


図 2-10 矢板式係船岸施設の劣化状況

2.2 港湾におけるアセットマネジメントの現況⁸⁾⁹⁾

港湾におけるアセットマネジメントは、現在、港湾空港技術研究所を中心に構造物に着目したマネジメントとしての港湾LCM（ライフサイクルマネジメント）として推進されている。

(1) 港湾LCMの概念

港湾LCMの概念は、図2-11に示すとおりである。目視を主体とする一次点検により、施設、構造物、あるいは構造物を構成する構造要素の状態を「劣化度」により区分する。一次点検は、点検実施の複雑化を避けるために、目視を主としており、主観的な判断になりがちである。

一次点検、あるいはそれが十分でない場合に実施する二次点検の結果から、施設全体（係留施設1バース、防波堤の1単位等）の劣化度を評価する。劣化度はA、B、C、Dの4段階で、施設の機能・性能を総合的に評価するものである。その流れを図2-12に示す。総合評価の結果に基づいて必要な対策を検討することとなる。その際に、今後の劣化度（機能・性能）の経時変化を予測することが港湾LCMの特徴の一つである。

性能低下の予測結果に基づいて、当該施設が必要な性能を維持する場合に最も合理的な対策工およびその実施時期を提案する。対策工は、適用可能な劣化度に応じて複数案を提案し、それらに必要なライフサイクルコストを算定する。要求性能に応じてライフサイクルコストを最小にする方法を選択する場合と、予算制約下で最大の性能改善が得られる方法を選択する場合がある。

港湾施設に限らず、一般の構造物では、過度の劣化や変状が生じてから対策を講じているのは、コストもかかる上に、工事大規模になる。そのため、劣化や変状の進行を事前に予測し、最適なタイミングで最適な対策工をとる、いわゆる予防保全的維持管理を行うことが理想であり、結果的にライフサイクルコストも低減することになる。

したがって、港湾LCMは港湾アセットマネジメントにおいて主に時間軸の観点から体系化されたプロセスといえる。

(2) 港湾LCMにおける点検・診断

点検・診断は、構造物の現況を知る上で不可欠の作業であり、港湾LCMにおいても入力データの重要な項目である。港湾施設は、常時海水の作用を受ける塩害環境下に位置し、構成材料にとってたいへん過酷な状況にある。加えて、施設の大部分が海水中に没していることや、防波堤などでは作業を妨げる規模の波浪が常時作用することなどにより、日常点検などが十分に行えない状態になる。

また、港湾施設はそれを構成する構造物や構造要素が複

雑かつ相互に関連し合っているうえに、作用する外的要因が多様であり、変状の発生機構が極めて複雑になっている。そのため、効率的な点検・診断を行うには、維持補修の実施判断に適切な項目の選定が必要である。

すなわち、原因による変状の発生、変状の結果生ずる影響、そして機能の低下へとさらに変状が進行していく過程を変状連鎖として捉え、変状連鎖上における主要な変状項目を対象として維持補修を実施することが効率的である¹⁰⁾。つまり、変状が独立して進行していく変状と、互いに関連性を持ち、一つの構成要素の変状が次々と他の要素へと波及していく変状とに大別し、これらの性質を踏まえた点検を行うこととなる。

点検・診断では、このような変状の性質や発生の傾向を十分に理解して、標準的な点検指標、点検頻度、点検箇所などを定めることとなる。構造形式毎に重要な変状を確実に捕捉することで、重大な変状に達する以前に、比較的軽微に対処可能な段階で留めることができると考えられる。

これらを踏まえて、前述のように点検を定期的に行う目視による一次点検とより詳細な二次点検に大別し、それぞれ着目すべき点検部材とその項目を整理して提供している。栈橋の一次点検における点検・診断表（案）を表2-1に示す。

一次点検は、目視調査等を主体に構造物の部材毎に点検・診断するものであり、同表に示すように、点検結果をa～dの劣化度で判定する。aは重度の変状、dは変状のない場合である。同表に示す上部工コンクリートのひび割れのように、定量的な指標で劣化度を判断できる項目がある一方、鋼管杭の損傷のように定性的な基準で劣化度を判断せざるを得ないものもある。一次点検は、変状の経時変化を把握するために、定期的に行う必要があるが、1～2年に1回程度実施することが必要であると考えられる。

二次点検は、潜水土・機器等を活用して目視困難な部材の劣化の進行等を詳細に点検・診断するものである。一次点検と比較してより客観的かつ数値指標で構造物や構造要素の状態が把握できる。例えば、栈橋の上部工は、特に塩害を受けやすい構造様式であるため、劣化事例が極めて多い。コンクリート構造物において、コンクリート中の鋼材に腐食が生じると劣化が急速に進行する。したがって、所定の機能を保持するためには、二次点検により表面に変化が生じる段階以前で劣化を発見し、劣化の程度に応じた適切な対策を施す必要がある。そのため、表2-2に示すような二次点検の項目および点検方法が考えられる。

(3) 港湾LCMにおける総合評価

点検・診断から得られた部材毎の評価結果（a～d）を基

に、施設や構造物全体の機能・安全性を総合的に評価する。この結果は（A～D）のランクで区分する。部材毎の評価結果から施設や構造物全体の性能評価をいかに行うかについては、現在検討が進められている。

2003年度より実施された国有港湾施設の点検・診断においては、主に以下に示す定性的な判断基準が用いられている。

- A：性能上問題があり、緊急の対策が必要
- B：計画的な対策が必要
- C：軽微な劣化・変状が見られ、継続して観察が必要
- D：劣化・変状が認められない。

ここでの総合評価結果について、栈橋を事例に施設が建設されてからの年数と劣化度との関係を整理すると、図2-13に示すようになる。

これは我が国における252栈橋の評価結果を表したもので、主に上部工の変状を対象として判定している。必ずしも時間の経過に伴って施設の変状が進行する訳ではないことが分かる。このような傾向は他の施設についても同様の傾向がみられる。

この原因として、担当者による判断誤差なども含まれるが、最大の要因は施設ごとに変状の進行速度が大きく異なるためである。

(4) 港湾LCMにおける劣化度の進行予測

施設や構造物に生じる変状の進行を予測することは港湾LCMにおいて重要な項目となるが、同時に非常に困難な課題でもある。コンクリート構造物の塩害劣化に対しては、Fickの拡散則に基づいて鉄筋位置での塩化物イオンの蓄積量を予測し、これがある量を超えると鉄筋に腐食が生じるという考え方がある。この方法はコンクリート構造物では一般的に用いられているものの、鉄筋腐食発生時の塩化物イオン量の設定、外部から供給される塩化物イオン量（表面塩化物イオン量）の設定、コンクリートの塩化物浸入・拡散への抵抗性（拡散係数）の設定などに不明な点が多く、既存構造物の変状予測に適用するには未だ説明すべき課題が多い。一方、鋼構造では、腐食速度が劣化度の進行予測のために用いられているが、集中腐食への対応が難しいなどの点が課題である。

構造物の性能低下の進行は、概念的に図2-14のように表すことができる。つまり、初期欠陥の値を初期値として、変状や劣化が時間と共に進行する。また、台風や地震等の大きな荷重作用により損傷が短時間で進行する。そのため、このような荷重作用時の点検（異常時点検）も重要となる。ただし、ここでは簡素化のため、初期欠陥および荷重作用

による損傷の進行は無視し、経時的な変状に関する進行速度と時間とにより表現する。

図2-15は、マルコフ連鎖という確率論を用いて変状の進行を再現するモデルの概念を示すものである¹¹⁾。これは、ある施設における変状は、A、B、C、Dの独立する劣化度のいずれかに存在し、1年経過すると遷移確率（ P_x ）で劣化度が1ランク進行し、残りの施設は確率（ $1-P_x$ ）で同じ劣化度に留まるというものである。この仮定が成立するかどうかは各劣化度間の遷移確率が等しいかどうかによる。ただし、劣化度によっては定性的な判断によっているものがあるものの、現時点では各劣化度間の遷移確率をすべて等しいと考えることに大きな誤りはないと判断している。

この仮定に基づく予測に際しては、適切な遷移確率の設定が重要である。そこで、既往の点検診断結果を最も精度良く再現できるような遷移確率を逆算する。その結果を図2-16に示す。同図は再現性が非常に高かった鋼矢板岸壁と再現性が中程度の栈橋の結果である。また、ここでは個別の施設ではなく、国有港湾施設の点検・診断を実施した施設全体を対象としてマルコフ連鎖モデルの適用を実施していることから、わが国での各施設の特徴を把握することができる。

図2-16での「実際」は、点検・診断の結果から得られた劣化度の分布を表している。また、「予測」は、マルコフ連鎖モデルに各施設の供用年数と劣化度を入力して得られた解析結果である。両者が最もよく合致する遷移確率は、鋼矢板岸壁では $P_A=0.036$ 、栈橋では $P_A=0.047$ となる。両施設の遷移確率の大小関係は、栈橋が鋼矢板岸壁より変状の進行が速いというこれまでの一般的な認識と一致している。

ここでのマルコフ連鎖モデルにより得られた変状の分布は、実際の点検・診断結果から得た分布を近似させることで得られたものである。したがって、この遷移確率は各施設の変状進行速度の全国的なレベルでの平均値を示す。実際には施設や構造物の置かれた環境条件や用いられた建設材料の品質条件等によって遷移確率は異なる。

この結果に基づいて、構造性能の低下曲線を求める。そのためには、劣化度と数値的な構造性能とを結びつける必要がある。栈橋上部工を構成する梁の暴露試験体での劣化度と耐力との試験結果¹²⁾を図2-17に示す。おおむねの傾向として、栈橋の上部工では、劣化度がBからAになると耐力の低下、すなわち構造性能の低下が顕著になることが明らかになった。

(5) 港湾 L C Mにおける劣化予測とライフサイクルコスト評価

構造物のライフサイクルは、構造物が計画・建設されてからその役割を終えて撤去されるまでの過程と定義され、この間に生じた費用、あるいは生じると予想される費用の総計がライフサイクルコストと言われるものである。これまで、港湾施設の建設では、ライフサイクルコストについて十分に検討されていなかった。これは、そもそも構造物の供用期間が明示されていないことや、供用中の機能変化を考慮する手段がなかったことなどがその理由であると思われる。

しかしながら、効率的な港湾整備のためには、初期建設費のみではなく、供用中に係る費用や解体撤去に係る費用を評価することが重要である。同時に、当然ではあるが、新規に建設される施設だけでなく、既に供用されている施設の運用管理段階でのライフサイクルコスト（狭義のライフサイクルコストであり、本研究ではこの意味で用いる）を算出し、最適な維持管理戦略を検討することが、ライフサイクルコストを低減するために重要である。これまでの事例分析によれば、供用開始後25年程度経過した係留施設では、初期建設費に対し約13%程度の維持補修費用が必要であると試算できる。

(4)で述べたような手法で、港湾施設の将来的な変状の分布が予測されると、将来AあるいはBの劣化度と判定されて、対策を必要とする施設数およびそれに要する費用が推定できる。一例として、表2-3に示す計算の仮定を設定して、以後30年間に予想される対策費用を算出すると、施設の種類によっても若干異なるが、すべての施設を更新する場合に比べて、計画的な維持補修で対応する場合、防波堤では約40%、岸壁では20～60%程度のコスト低減が見込まれている¹³⁾。すなわち、問題が生じてから対応する事後保全に比較して、変状の軽微な段階から計画的に実施する予防保全を行う効果が明らかになっている。

さらに、栈橋上部工の梁を対象として、(4)で示したマルコフ連鎖モデルを利用して対策法の検討を行っている。対策を行うことにより、劣化度が小さくなる効果あるいは変状の進行速度、すなわち遷移確率が低減する効果が期待できる。断面修復、電気防食、部分更新のそれぞれの対策を行った場合のライフサイクルコストを比較している¹⁴⁾。

ここで、断面修復では、塩化物イオンを多く含むコンクリートを除去し、鉄筋に発生した錆をある程度除去することによって、劣化度の回復を可能とし、さらに、遷移確率を50%に低減できると仮定している。電気防食では、各劣化度のいずれの変状にも適用でき、断面修復と同様に劣化度の回復を可能とし、さらに、遷移確率を10%に低減でき

ると過程している。部分的更新では、対策を行った全ての部材は健全な状態に戻るものの、特に耐腐食性の高い鉄筋や防錆材などを使用しない限り、遷移確率は変化しないとしている。

このようにして得られたライフサイクルコストの算定結果を図2-18に示す。この算定結果では工法ごとに大きな差が見られる。対策のための初期コストは、安い順に部分的更新、断面修復、電気防食となるが、供用開始から50年目までのL C Cでは、安い順に電気防食、断面修復、部分的更新となり、その費用は電気防食を基準に、断面修復が1.7倍、部分的更新が5倍強となっている。また、対策を行う回数を見てみると、電気防食1回に対し、断面修復4回、部分的更新7回となっており、非常に劣化速度の速い梁では、劣化速度を効果的に抑制する工法が有効である結果となっている。

この結果から、変状の進行速度を示す遷移確率や今後の供用年数によって最小のライフサイクルコストを与える対策工法が異なることを示唆している。また、設計供用年数の長短によって、最小となるライフサイクルコストを与える工法が異なることも示している。このような解析を行うことによって、効果的な対策が実現できることが明らかになる。

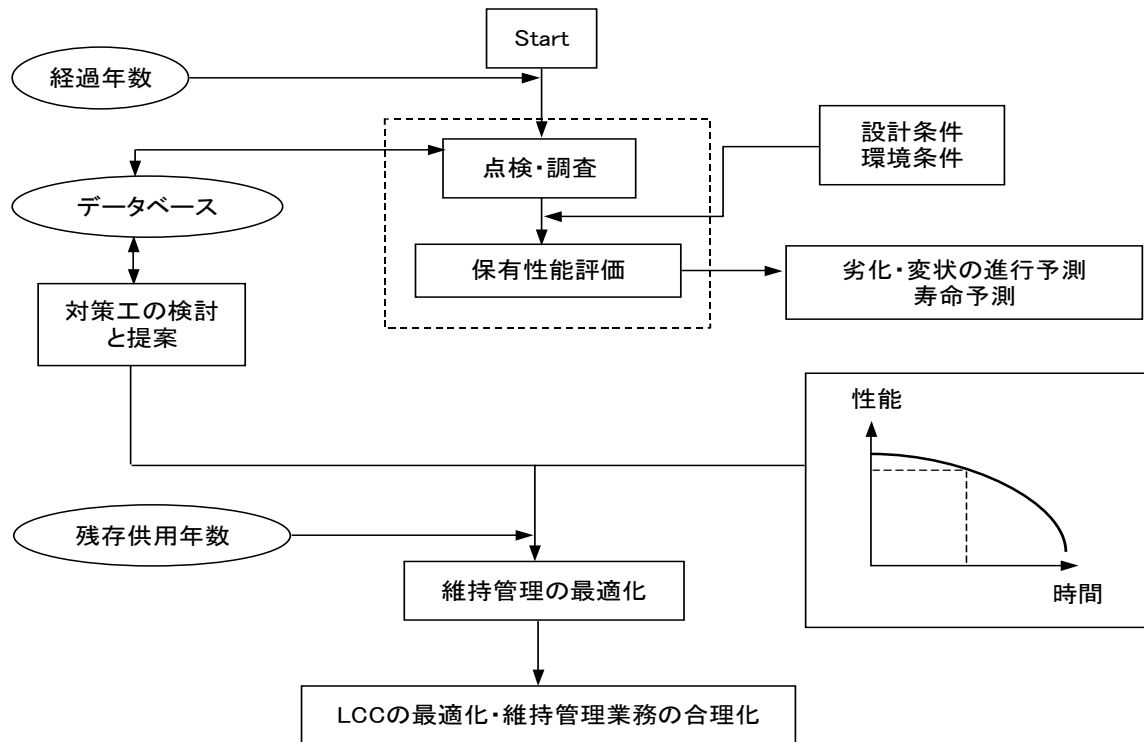


図 2-11 港湾 LCM の概念

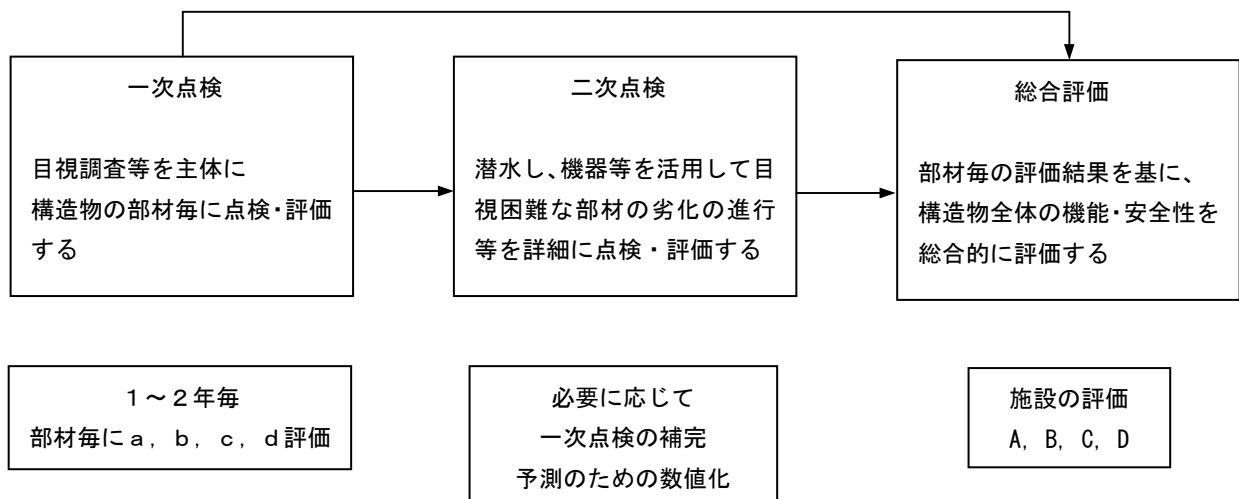


図 2-12 総合評価に至るフロー

表 2-1 栈橋の一次点検・診断表（案）

点検項目		点検方法	判定基準	
上部工	コンクリートのひび割れ（下面）	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数・長さ と幅		スラブ： ☐ 網目状のひび割れが部材表面の50%以上見られる ☐ かぶりのはく落がある ☐ 鉄筋が破断している はり： a ☐ 軸方向の幅3mm以上のひび割れが見られる ☐ かぶりのはく落がある ハンチ： ☐ 蜘蛛の巣状または鉛直方向の幅2mm以上のひび割れが見られる ☐ かぶりのはく落がある
			b	☐ スラブ：網目状のひび割れが部材表面の50%未満で見られる ☐ はり：軸方向の幅3mm未満のひび割れがある ☐ ハンチ：幅2mm未満のひび割れが全体的に広がっている
			c	☐ スラブ：一方向のひび割れもしくは帯状または線状のゲル吐出物が見られる ☐ はり：軸と直角な方向のひび割れのみが見られる ☐ ハンチ：幅2mm未満のひび割れが部分的に見られる
			d	☐ 変状なし
鋼管杭	鋼材の腐食、亀裂、損傷	目視 ・穴あきの有無 ・水面上の鋼材の腐食 ・表面の傷の有無	a	☐ 腐食による開孔や変形、損傷が見られる
			b	☐ MSLW 付近～LWL 付近、あるいは全体的に赤橙色の発錆が著しい
			c	☐ 部分的に黒または赤褐色の発錆が見られる
			d	☐ 付着物は見られるが、発錆、開孔、損傷は見られない

表 2-2 栈橋上部工の二次点検項目および点検方法(案)

点検項目	点検方法
コンクリート強度	コアサンプリング，反発度法
コンクリートのひび割れ深さ	超音波法等
かぶり厚さ	電磁波法，はつり試験等
鉄筋の腐食状況	自然電位測定，分極抵抗測定等
コンクリートの分析	塩化物イオン含有量測定，中性化深さ測定等

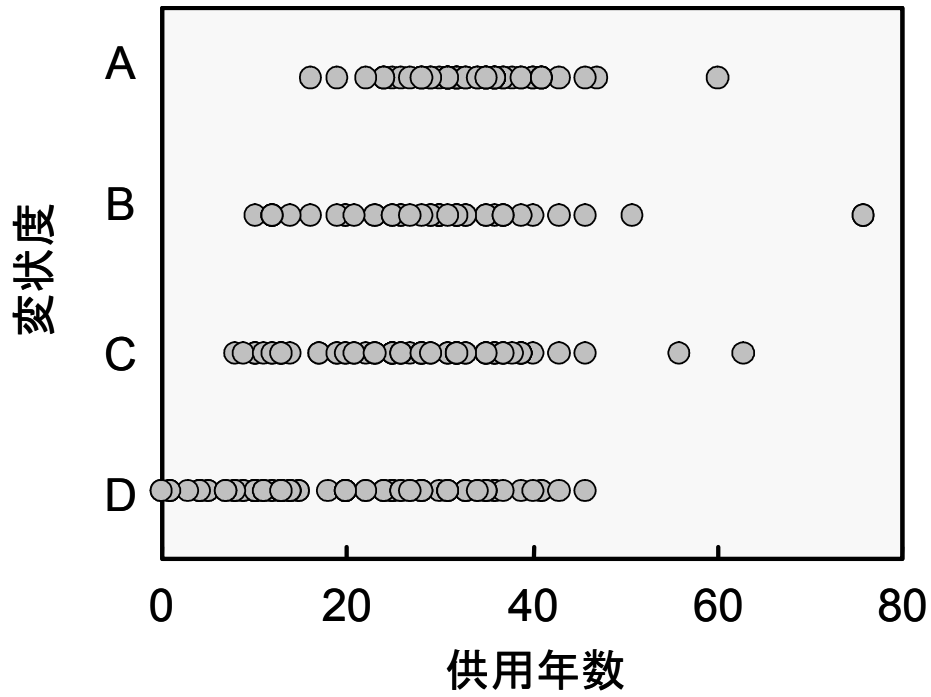


図 2-13 栈橋の劣化度の分布状況

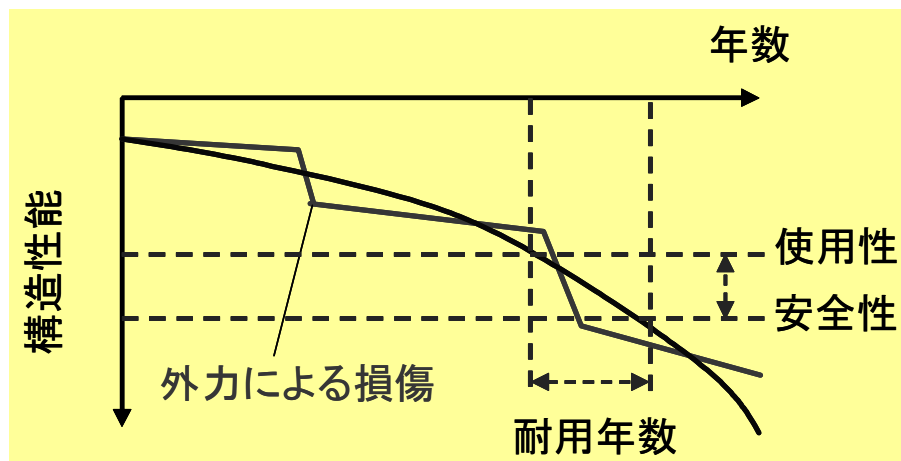


図 2-14 供用後の構造物の性能低下

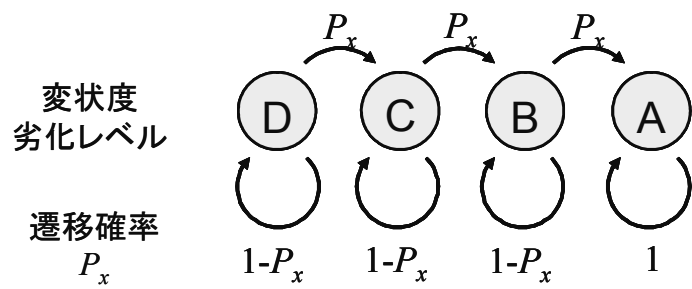


図 2-15 マルコフ連鎖モデル¹¹⁾

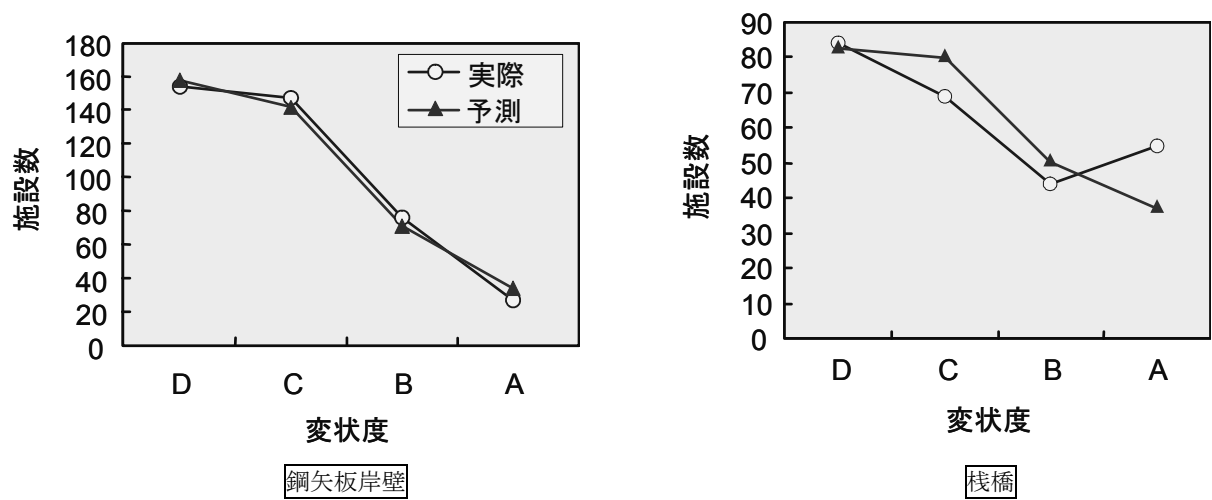


図 2-16 マルコフ連鎖モデルによる劣化度の再現性¹¹⁾

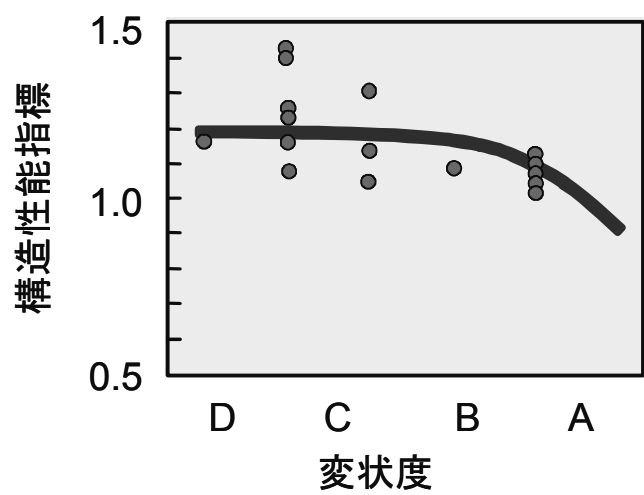


図 2-17 栈橋上部工 梁 での構造性能と劣化度との関係¹²⁾

表 2-3 予防保全によるコスト削減効果試算の仮定¹³⁾

- 1) 劣化度B判定：優先度の高いものから5年ごとに30%を補修。
- 2) 劣化度A判定：優先度の高いものから毎年30%を補修。
- 3) 更新：A判定後5年を経過すると，補修では対応できず，更新を要する。
- 4) 対策済み施設：補修や更新を行った施設は，劣化度がD判定に戻る。
- 5) 対策費用：過去の実績等を参考に，平均的な構造物の補修費用と更新費用を設定する。

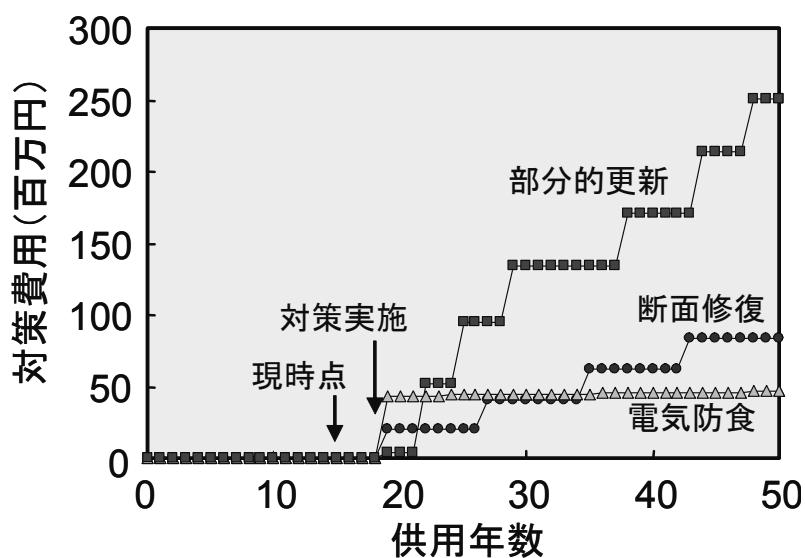


図 2-18 栈橋上部工 梁 の対策費用効果¹⁴⁾

2.3 港湾におけるアセットマネジメント構築に向けての 課題と対応方策

(1) 港湾の特性に対応したアセットマネジメントの構築

港湾施設は、他の社会資本の施設とは異なる次のような特徴を有する。

① 多種多様な施設の存在

道路等に代表される他の社会資本と異なり、港湾においては水域施設、外郭施設、係留施設、臨港交通施設等の様々な施設があり、また、その一つとして例えば係留施設では、栈橋式係船岸、重力式係船岸、矢板式係船岸等とさらに細分化される。これらは各々に個別の特性を有しており、アセットマネジメントの適用の考え方も大きく異なる。

② 点検・診断の困難性

道路等に代表される社会資本の大半は陸上に存在していることから、点検・診断の基本である「目視」を容易に実施することができる。しかしながら、港湾施設の大半は海中に存在しており、接近することはもちろん「目視」を実施することさえ容易ではない。

この「多種多様な施設の存在」および「点検・診断の困難性」等から他の社会資本に同様のアセットマネジメントを港湾において構築することはできない。さらに、港湾施設として一括したアセットマネジメントの構築も困難である。

したがって、現場の状況と現場からの要請に応じて主要な施設ごとにアセットマネジメントを順次構築し、最終的にこれを一体化することが必要である。

(2) アセットマネジメントに対応した技術基準等の整備⁹⁾

港湾の施設の技術に関する基準¹⁵⁾（以下 技術基準）は、港湾施設に求められる基本的な要件を規定した「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」（昭和49年運輸省令第30号）およびその細部を規定した「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」（平成11年運輸省告示第30号）（以下「告示」という）からなり、港湾の施設を建設し、改良し、または維持する際の基準として運用している。

国際的には、ISO2394 General principles on reliability of structures¹⁶⁾を始めとする国際標準において、設計の自由度を向上させる観点から「構造物に求められる性能のみを規定し、性能を満足させるための設計法は自由とする」として、いわゆる性能規定化の動きが進んでいる。こうした国際的な動きに合わせ、2001年3月には、行政での各分野の全ての基準類を原則として性能規定化することを明記した「規制改革推進3か年計画」が閣議決定された。さらに、2003年3月には、「国土交通省公共事業コスト構造改革プログラム」（目標期間：2003年度から2007

年度までの5年間）において、「土木・建築にかかる設計の基本」（国土交通省）に沿った基準類の改定の動向に対応して、「港湾の施設の技術上の基準」の性能規定化の方向性が示されたことから、当該技術基準の性能規定化を図る必要が生じた。

これらを踏まえ、施設に求められる性能の明確化、コストの一層の縮減、新たな技術的知見の反映、その他の行政ニーズへの対応を図ることを目的に、2007年度からの施行を目途として、技術基準の改訂が進められている。その際、当然のことながら、新規施設の整備のみならず、既存施設の有効活用や施設の的確な維持管理の実施について、新たな知見の導入が図られることとなる。その一つが、アセットマネジメントの導入を推進するとともに、ライフサイクルコストを考慮した維持管理レベルの設定である。

ここで新たに導入する維持管理レベルの設定は、港湾LCMの導入を前提として実現されるものであり、具体的には以下の3レベルの導入が予定されている。

【維持管理レベルA】 高い水準の損傷劣化対策を行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。

【維持管理レベルB】 損傷劣化が軽微な段階で、繰り返し対策を行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能低下を予防する。

【維持管理レベルC】 要求性能が満たされる範囲内である程度の損傷劣化を許容し、設計供用期間に1～2回程度の対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

また、この技術基準の改訂にあわせて「港湾構造物の維持・補修マニュアル」¹⁰⁾の全面改訂も進められている。

(3) 港湾LCMの構成要素の高度化

時間軸の観点からのプロセスは、港湾LCMとして体系化が進展しているものの、さらに以下の要素に関しての高度化が必要である。

① 判定基準の設定に対する考え方の明確化

先に示したように、港湾LCMでは一次点検、あるいはそれが十分でない場合に実施する二次点検の結果から、施設全体（係留施設1バース、防波堤の1単位等）の劣化度をA、B、C、Dの4段階で評価することとしている。

この4段階評価は、定性的な判断基準として次のように整理されていた。

A：性能上問題があり、緊急の対策が必要

B：計画的な対策が必要

C：軽微な劣化・変状が見られ、継続して観察が必要

D：劣化・変状が認められない。

さらに、部材毎の評価結果から施設や構造物全体の総合

評価を行う手法が検討されている．しかしながら，この手法では多種多様な施設を統一的な判断基準として考えた場合には十分ではない．

このため，岩波・横田は，栈橋上部工を事例にA判定の基準として「安全しろ＝0」を提案（参考-1）している．この考え方は，栈橋上部工を構成する梁の暴露試験体および実栈橋から切り出した供試体の劣化度に応じた載荷試験結果に基づいている．

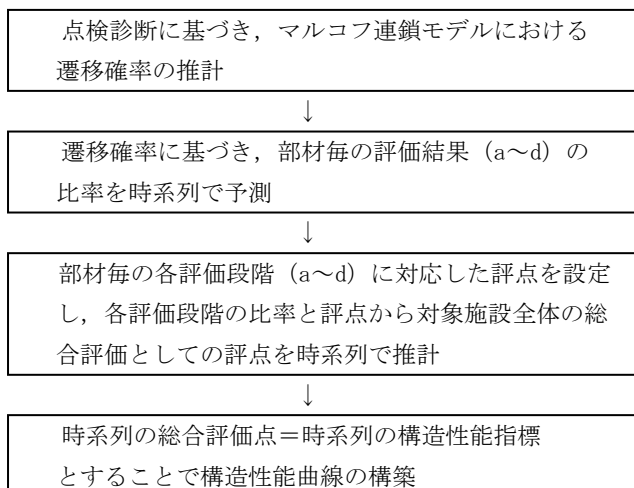
したがって，この考え方をさらに整理するとともに，栈橋上部工以外に対しての展開の妥当性が確認し，港湾施設全体に対する統一的な判断基準の設定等により考え方の明確化が必要である．

ただし，この場合にはこの判断基準に基づいた点検診断の実施要綱を見直すことも必要となる．

②構造性能曲線の構築の推進¹⁷⁾

アセットマネジメントの有効性を示す代表的な図の一例として，図 2-19 がある．縦軸に構造性能（健全度），横軸に経過時間として構造物の性能が低減する曲線（構造性能曲線）を示している．ここでは，使用限界に達してから対策を講じる場合にはコストもかかる上に，工事も大規模になるのに対して，劣化・変状の進行を事前に予測し，予防保全的維持管理を行う場合には，結果的にライフサイクルコストが低減することを示している．道路，橋梁等の様々な分野において，これと同様のイメージが示されているものの，文字通り「イメージ」であり，この構造性能曲線を定量的に示している分野はほとんど無く，「定式化が困難である」と明言している分野さえある．しかしながら，アセットマネジメントの必要性・有効性に対する説明責任の点から，構造性能曲線の定式化は非常に重要である．

このため，A判定の基準を「安全しろ＝0」とすることを前提として，本研究では以下の手法を提案する．なお，この手法の詳細は 2.4 に示す．



ここで，前述した「安全しろ＝0」の考え方に基づき，総合評価「A」判定の評点が（60）になるように，事前に部材毎の各評価結果（a～d）に評点を設定しておくことで，総合評価の評点を構造性能指標として意味付けすることが可能になる．具体的には，栈橋上部工では【d=100, c=99, b=95, a=80】が考えられる．なお，実際の構造性能曲線の構築においては，評価段階として部材毎の各評価段階として【aa=0】を追加設定することが必要である．

この構造性能曲線を施設ごとに設定することで，その施設の残寿命年数（A判定に達するまでの年数）を推計することが可能となる．例えば，図 2-20 で現時点までの経過年数が同じ 20 年の 2 つ施設を示している．ここで，「施設①」は経過年数 20 年時点での点検・診断の結果により遷移確率=0.1，「施設②」は遷移確率=0.05 と推計された状況を示している．当然に遷移確率の高い（同時点であれば a 判定の部材の比率が高い）「施設①」の方が，構造性能指標が低くなる．図 2-20 で示したように，上記で提案された構造性能曲線を描くことにより現時点（経過年数 20 年）から構造性能指標が 60（総合評価「A」を意味する）になるまでの残寿命年数を推計することができる．

したがって，今後はさらに，「安全しろ＝0」の考え方を精査するとともにこの考え方に基づき，他の港湾施設に対しても統一的な判断基準の下での構造性能曲線の構築を推進することが必要である．

(4)空間軸の観点からのプロセス構築

本研究では，港湾におけるアセットマネジメントを以下のように定義した．

国民の共有財産である港湾資本を，国民の利益向上のために，時間軸および空間軸の観点から，機能を維持し，資産価値を向上させて，効果的かつ効率的に運用することを目的として体系化されたプロセス

ここで，時間軸の観点からのプロセスは，2.1 で示したように港湾 LCM として体系化が進展している．これに対して，空間軸の観点からのプロセスは部分的に検討されているものの，港湾 LCM と比較すれば全く不十分である．

このため，空間軸の観点からのプロセスを早急に構築することが必要である．

表 2-4 港湾の施設の維持管理上の重要度（難易度）

重要度の分類	維持管理性能	
	損傷劣化に対する考え方	対策の必要性
維持管理レベル A	損傷劣化をさせない	対策を必要としない
維持管理レベル B	損傷劣化を予防保全する	頻繁な対策を計画する
維持管理レベル C	損傷劣化を事後保全する	数回の対策を計画する

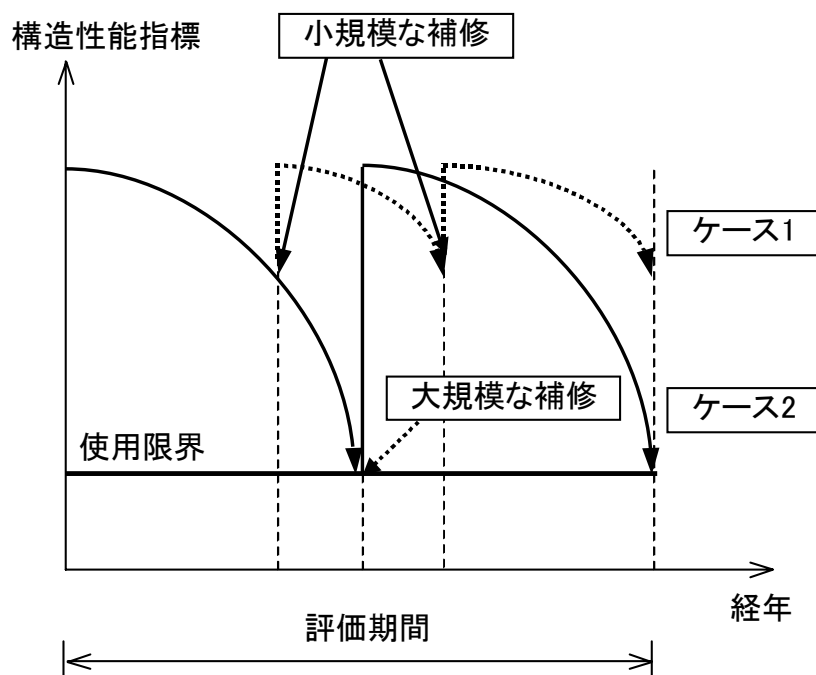


図 2-19 構造性能曲線のイメージ

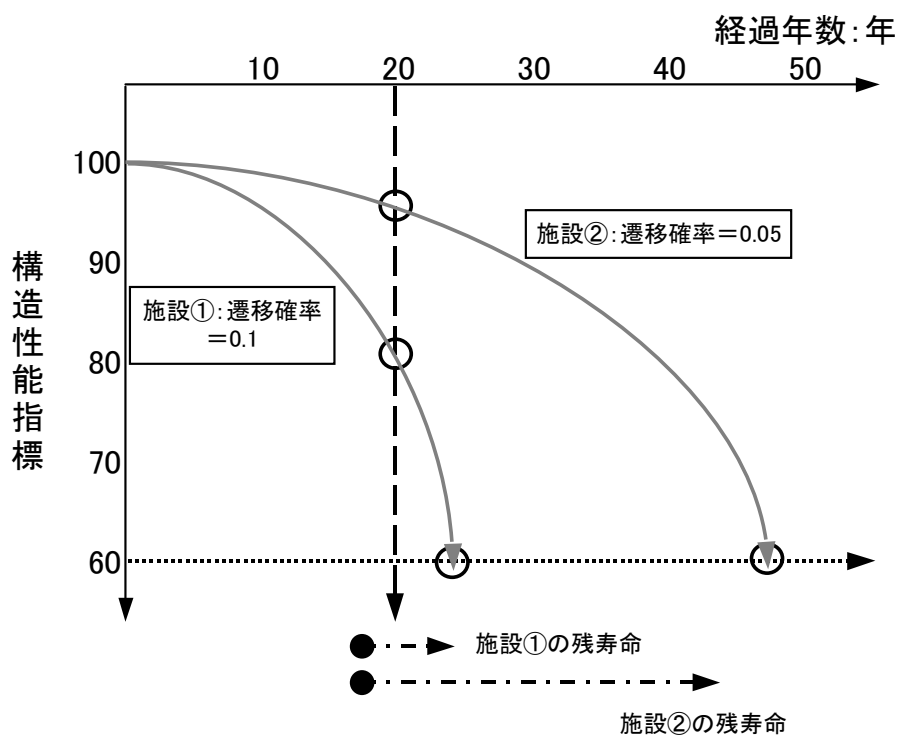
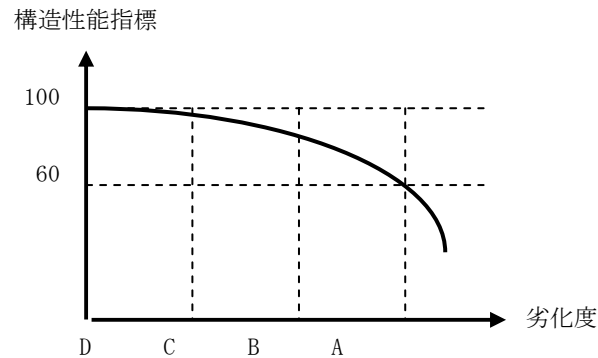


図 2-20 構造性能曲線の設定に基づく残寿命の推計

栈橋上部工における総合評価「A」の考え方について

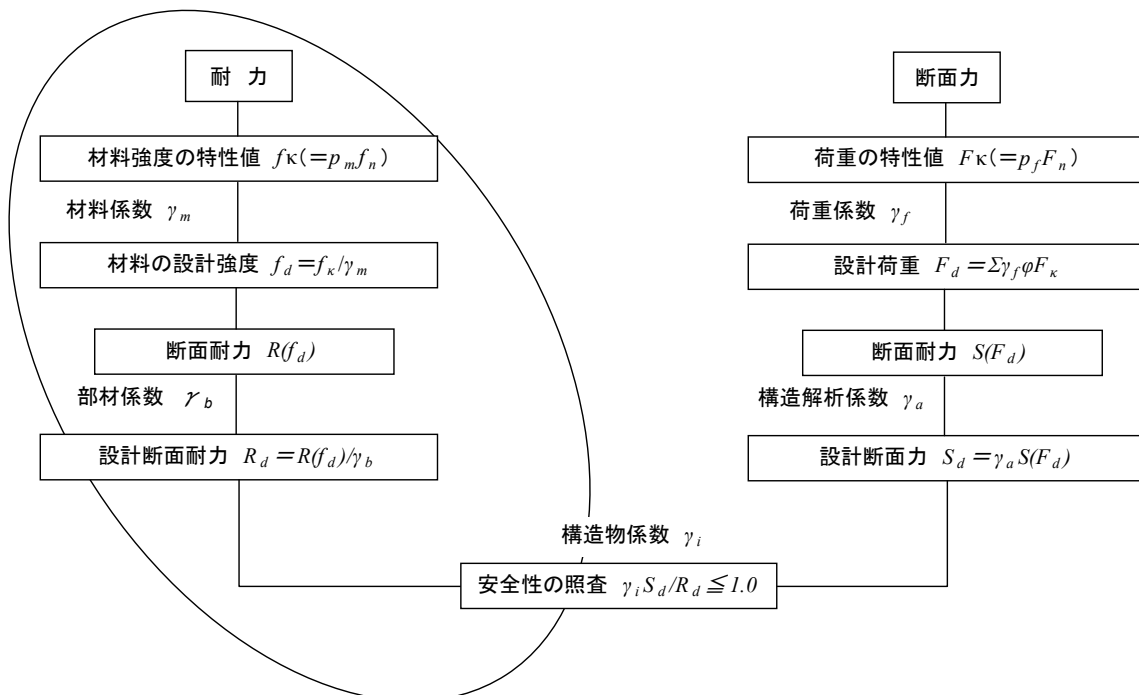
1. 劣化度と構造性能指標の関係

ある施設の劣化状態が総合評価に基づく劣化度「A」まで進行すると、構造性能指標は建設当初の100から、60まで低下するとして検討を進めている。その根拠について、栈橋上部工を対象として以下に整理する。栈橋上部工の場合、構造性能指標として、鉄筋コンクリート梁の部材耐力（部材の断面破壊に対する限界断面力）を考えることにする。



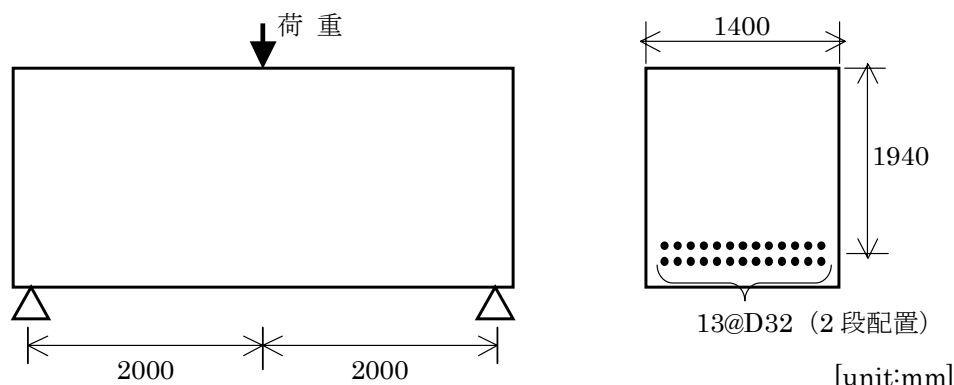
2. 限界状態設計法（部材の断面破壊に対して）の考え方

断面破壊に対する安全性が確保できなくなる設計上の限界は、 $\gamma_i \cdot S_d / R_d = 1.0$ のときである。よって、設計上では断面破壊を生じさせる設計断面力（ $\equiv$ 荷重）は $S_d = R_d / \gamma_i$ となる。



3. 試算

下図に示す鉄筋コンクリート梁の曲げ耐力を算定する。この諸元は、土木学会コンクリートライブラリーNo.116「土木学会コンクリート標準示方書に基づく設計計算例[栈橋上部工編]」に掲載されている栈橋上部工梁の諸元を参考に定めたものである。



＜使用材料＞ コンクリート 圧縮強度の特性値＝24 N/mm²
鉄筋 引張降伏強度の特性値＝345 N/mm²

① 部分係数として、以下の標準的な値を用いた場合

材料係数 $\gamma_m = 1.3$ (コンクリート)、1.0 (鋼材)

部材係数 $\gamma_b = 1.1$

構造物係数 $\gamma_i = 1.2$

$$S_d = R_d / \gamma_i = R (f_d) / \gamma_b / \gamma_i = R (f_k / \gamma_m) / \gamma_b / \gamma_i = 9595 \text{ (kN)}$$

これより、上図の鉄筋コンクリート梁は 9595kN の曲げ荷重が作用すると、設計上は断面破壊を生じて終局限界状態に至ると言える。

しかしながら、実際には上図の鉄筋コンクリート梁は、この値 (9595kN) よりも大きい断面力に耐えることができる。これは、コンクリートや鉄筋の実強度は設計強度よりも大きいこと、この値 (9595kN) は部分係数で処理されていることによる。そこで、この鉄筋コンクリート梁が実際に断面破壊する際の断面力を算定してみる。

② 材料の設計強度に実強度を用いた場合

コンクリートの圧縮強度＝35 N/mm² (実績値として代表的な値)

鉄筋の降伏点＝388 N/mm² (実績値として代表的な値)

部分係数はすべて 1.0 とする。

実際の曲げ耐力＝14772 (kN)

	設計上 (①)	実際 (②)
断面破壊を生じさせる断面力	9595 kN	14772 kN
①を 100 とした比	100	154
②を 100 とした比	65	100

以上より、ある荷重 (or 断面力) に対して設計された鉄筋コンクリート梁は、設計上は 100 という構造性能を有していることになるが、実際には、154 という、より高い構造性能を有している。この差 (154－100＝54) が、設計上で見込まれている「安全しろ」(厳密な意味では、安全率ではないので、あえて「安全しろ」と呼ぶ) となる。

逆に言えば、建設当初に 100 という構造性能を有していた鉄筋コンクリート梁が、劣化の進行によって構造性能が 65 まで低下したとすると、設計時点で見込んでいた「安全しろ」がなくなってしまうと考えることができる。すなわち、この状態で、設計上の断面破壊を生じさせる断面力 (≒ 荷重) が作用すると、断面破壊してしまうことになる。

ただし、ここで想定している荷重は栈橋上部工の上載荷重などであり、地震荷重に対しては別途検討が必要である。また、実際には作用 (荷重) 側にも部分係数がかかっていることから、「安全しろ」がなくなった状態ですぐに断面破壊が生じるわけではないことも付記しておく。

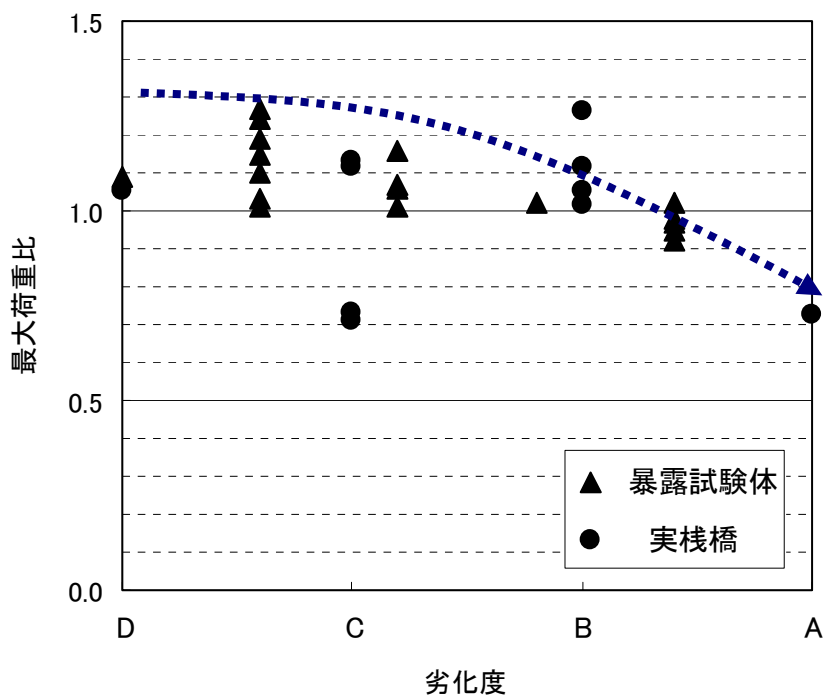
したがって、栈橋上部工の構造性能指標が建設時点 を 100 とし、60 (上の計算では 65) まで低下した状態は、ある意味で設計上の限界点と考えることができるため、この状態を劣化度「A」と定義した。

4. 載荷実験での検証

3. で設定した劣化度「A」の構造性能指標を 60 としたことを下記の写真で示す載荷実験により検証した。具体的には，暴露試験体および実際の栈橋の床版を現場で切断して実験室に搬入した試験体を用いた載荷実験を実施した。その結果，下図に示すようにD判定の部材耐力に対してA判定の部材耐力は 60%程度であることが確認された。検証の詳細は，下記文献を参照にされたい。



実験室での載荷実験の状況



- 横田弘・秋山哲治・濱田秀則・三上晃・福手勤：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，港湾技術研究所報告，Vol. 38, No. 2, 1999. 6, pp. 169-222
- 加藤絵万・岩波光保・山路徹・横田弘：建設後 30 年以上を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. 9

2.4 構造性能曲線の構築手法

(1) 遷移確率の推計法

遷移確率を用いたマルコフ連鎖モデルにより港湾施設の劣化進行状況を予測する手法は、著者らが中心に構築し、その成果を文献 18)に取りまとめている。ここでは、文献 18)をもとに栈橋式係留施設の上部工を対象として遷移確率の推計法を整理する。

劣化度の判定段階について、劣化の進展状況に応じて 0 ～ V 段階の全体としての 6 段階に区分していた。文献 10)に基づき、ここでは劣化度Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ段階の状況を図 2-21 に示す。このような劣化度に対する 6 段階の定義をもとに、上部工の下面を対象に床版・梁の部材ごとの判定を 2.1 の図 2-7 で示したように船上から目視等により実施する。その結果の一例を図 2-22 に示す。

この判定結果から、全部材を対象にして各劣化度の段階に対する比率が算定される。各劣化度の判定段階の比率と施設の経過年数と合わせた事例の幾つかを図 2-23 に示す。例えば、図 2-23 での中央の図では 31 年経過した状態において劣化度Ⅱの比率が 60%程度に達している。この分布形状とマルコフ連鎖モデルによる解析結果との統合を図る。マルコフ連鎖の結果例として図 2-24 を示す。図 2-24 左では遷移確率 0.10 の場合に $t=2 \sim 60$ 年に変化させた場合、右側では $t=10$ 年の場合に遷移確率を 0.01 ～ 0.30 に変化させた状況を示している。例えば、図 2-23 で見られるように時間経過と共にピークが 0 段階から V 段階に変遷する状況と図 2-24 の左図とは全く同様の傾向が確認することができる。

これらの成果をもとに個別の施設ごとに、施設の経過年数で最も適合する遷移確率を繰返し計算により求める。図 2-25 では、図 2-23 で示した結果に最も適合した遷移確率の解析結果を示している。ここでは、図 2-23 での結果を実測として示し、推計した遷移確率に基づいた解析結果を予測として示している。

したがって、個別の施設の部材単位での劣化度を判定し、その判定段階ごとの比率と経過年数から遷移確率を推計することができる。

なお、この 6 段階での判定段階は、その後に実務的および行政的な判断のもとに部材単位での劣化度の判定結果は d ～ a の 4 段階として整理された。ただし、マルコフ連鎖モデルの考え方は図 2-26 に示すとおり基本的に同じである。さらに、図 2-27 では遷移確率が 0.10 の場合における部材単位での 4 段階の劣化度判定結果比率の経過年数に応じた変遷を示している。また、本研究では 6 段階で確認されたマルコフ連鎖モデルの適用性は、4 段階においても同様であるとしている。

(2) 構造性能曲線の構築

遷移確率を得ることができれば、マルコフ連鎖モデルにより、部材毎の評価結果 (d ～ a) の比率を時系列で推計することができる。

一方で、2.3 で整理したように「安全しろ = 0」の考え方にに基づき、総合評価「A」判定の評点が (60) になるように、事前に部材毎の各評価結果 (d ～ a) に評点を設定しておくことで、総合評価の評点を構造性能指標として意味付けすることが可能になる。具体的には、栈橋上部工では【d=100, c=99, b=95, a=80】を用いた。この部材毎の評点の設定は、これまでの経験、知見に基づくとともに、総合評価「A」判定の時点での評点が (60) となり、さらにその時点までに描かれる構造性能曲線の連続性等の妥当性が確保されるように設定している。

ただし、この設定【d=100, c=99, b=95, a=80】に基づく解析結果では最終的に劣化度 a 段階に集約することから総合評価の評点は a 段階の (80) となり、劣化度「A」判定の総合評価としての評点は (60) にはならない。このため、実用的な構造性能曲線を構築するために、d ～ a の 4 段階での a 段階の下に更に aa 段階を設定し、その評点を【aa=0】とする。すなわち、a 段階に達した部材が次の劣化度の aa 段階に達した場合には、部材耐力を期待できない状況であると判断して【aa=0】を設定する。

ここで示した考え方に基づき、遷移確率が 0.05 ～ 0.20 における構造性能指標の算定結果を表 2-5①～④に示す。遷移確率が 0.1 の表 2-5②を対象として説明を加える。まず、年次が 0 では当然に d 判定が 100%となっている。次に、年数が 1 では遷移確率を 0.1 としていることから年次が 0 での d 判定の 100%のうち 10%が c 判定となり、90%が d 判定として残留している。同様に、年次の進展とともに $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow aa$ への段階的に変遷の状況を同表左半分の列で示している。これに対して、右半分の列では部材単位での各評点【d=100, c=99, b=95, a=80, aa=0】に比率を乗じた値、さらにその合計値としての構造性能指標値を示している。

したがって、遷移確率の推計結果に基づき、ここで示した手法により構造性能曲線を構築することが可能となる。図 2-28 では、この考え方に基づいて遷移確率を 0.025 ～ 0.20 とした場合の構造性能曲線を示している。

また、総合評価としての劣化度「A」判定の評点を (60) とすることに合わせて、総合評価の劣化度「B」、「C」、「D」判定の評点は、それぞれの劣化度部材に対する耐力試験結果 (p.34) および今回のモデル設定の結果から次のように設定している。

総合評価結果劣化度の評点 (構造性能指標値)

【D=100 C=95 B=80 A=60】

この構造性能曲線の構築手法は，これまで実施されてきた実験結果や分析結果等の知見から，マクロ的な視点からの検討および個別施設としての栈橋式係留施設の上部工への適用性は高いと考えられるものの，栈橋式係留施設の下部工（鋼管杭）あるいは矢板式係留施設等の他の個別施設への適用については十分に検討することが必要である．

ただし，本研究での 3. 以降では主にマクロ的な視点からの検討であることから，栈橋式係留施設の上部工以外への施設に対しても適用可能としている．

なお，遷移確率の推計に際しては，先に示した図 2-22 ように部材ごとの詳細な点検・診断を実施し，図 2-25 に示す手法で，実測データに最も近似するような遷移確率を繰り返し計算によりもとめることが望ましい．

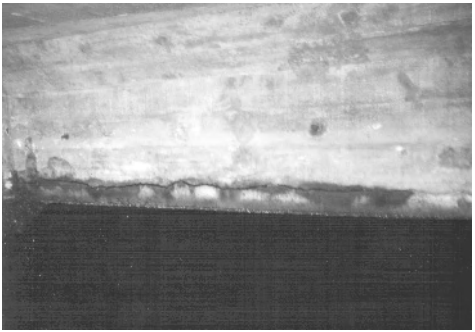
しかしながら，現実的に実施される点検・診断では，より簡易な点検・診断により総合評価の判定が実施されており，図 2-25 に示す手法を適用することは困難な状況となる．この場合には，総合評価の各判定に達するまでの経過年数に対応した劣化速度は遷移確率に近似できるという考え方¹⁸⁾を適用することが考えられる．具体的には，総合評価の評点を【D=0，C=1，B=2，A=3】として，これを各判定に達した年数で除した値が劣化速度となり，これを遷移確率の近似値として適用することになる．例えば，建設後 10 年で総合評価B判定となった場合には $2/10=0.2$ が，建設後 30 年で総合評価A判定となった場合には $3/30=0.1$ が劣化速度となり，これを遷移確率の近似値とする．

ただし，この手法に基づく遷移確率の推計精度は低いことから，マクロ的な視点からの検討以外への適用には十分に注意することが必要である．

劣化度Ⅲ
錆汁を伴うひび割れ



劣化度Ⅳ
幅 3 mm を超えるひび割れ



劣化度Ⅴ
かぶりコンクリートの広範囲の剥落



図 2-21 劣化度Ⅲ～Ⅴの状況

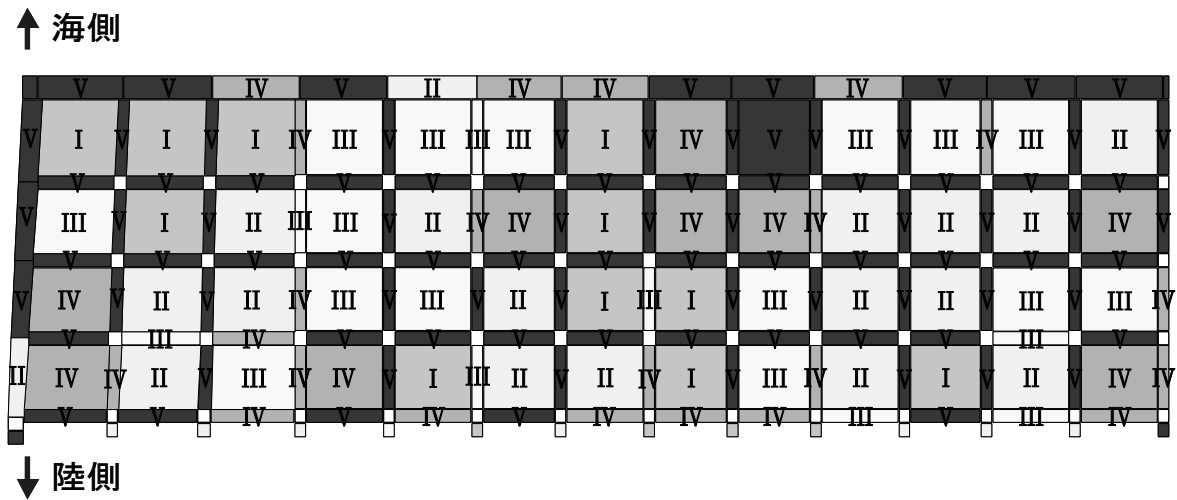


図 2-22 栈橋 上部工下面の劣化度判定結果の一例

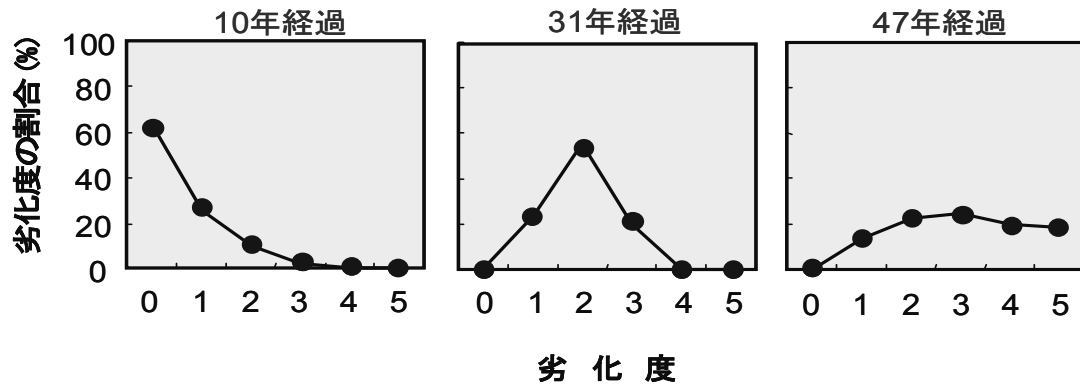


図 2-23 栈橋の劣化判定による各段階の比率

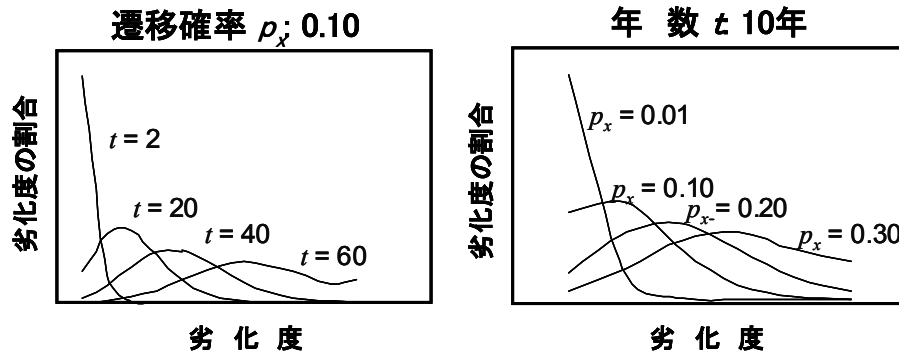


図 2-24 マルコフ連鎖モデルによる解析結果例

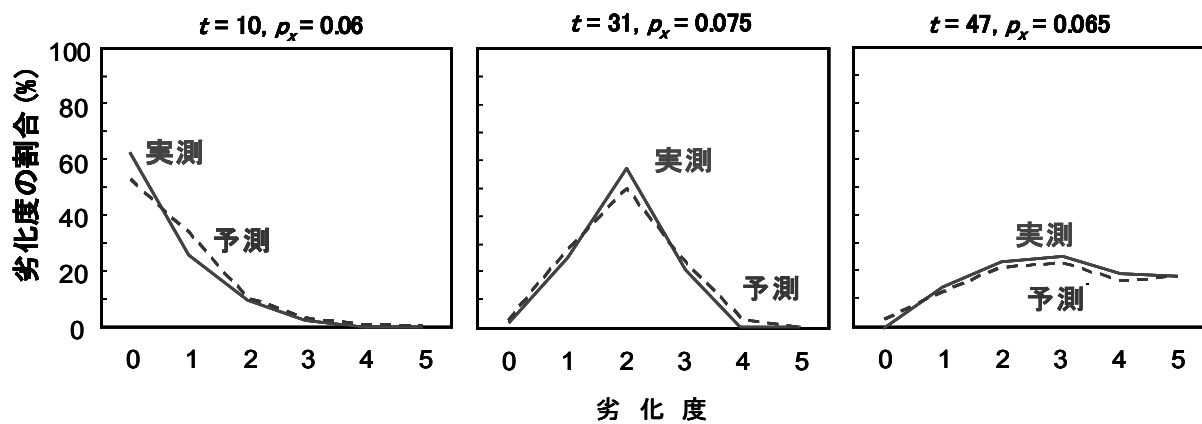


図 2-25 劣化実態調査結果とマルコフ連鎖モデル解析結果との比較

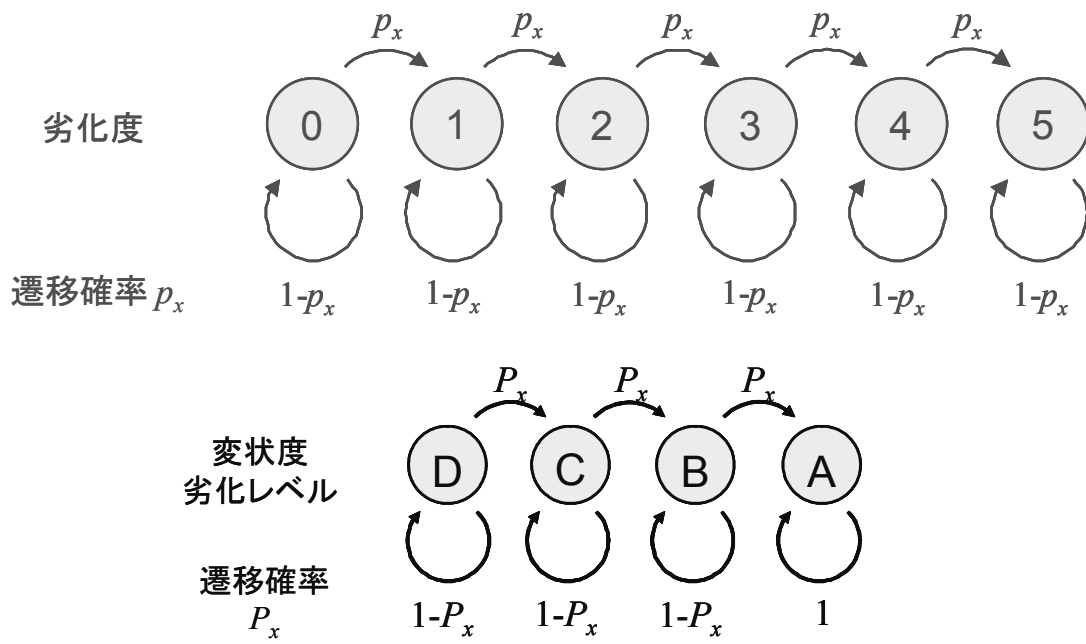


図 2-26 劣化度 6段階と4段階とのマルコフ連鎖モデルの比較

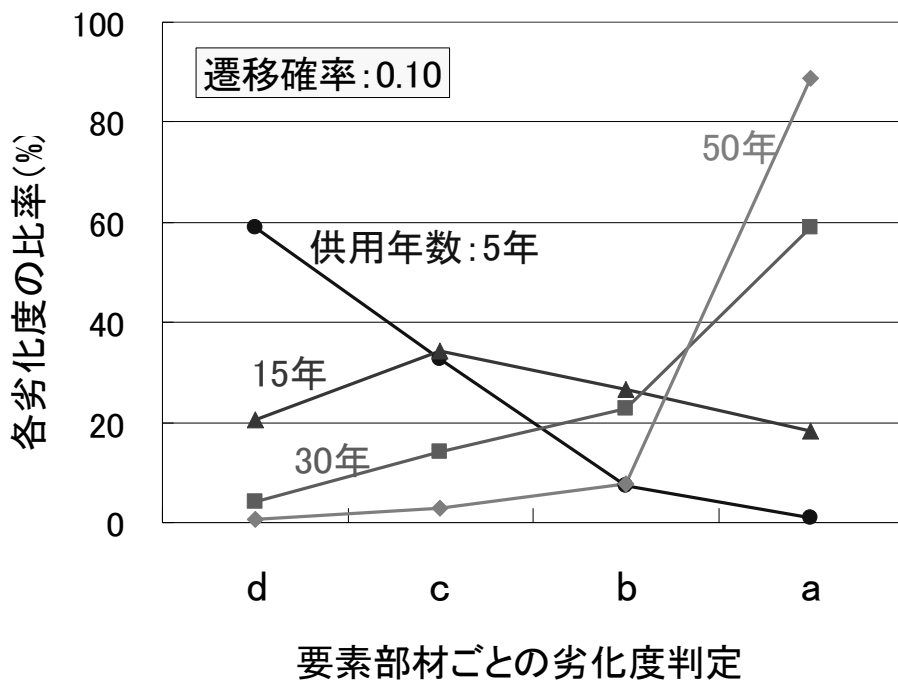


図 2-27 部材別劣化度判定 4段階 遷移確率: 0.10 での推計結果

表 2-5① 遷移確率=0.05 構造性能指標の算定結果

遷移確率= 0.05

年数	部材単位での判定比率					部材単位での評点					構造性能指標
						d	c	b	a	aa	
	d	c	b	a	aa	100	99	95	80	0	
0	100%	0%	0%	0%	0%	100.00	0.00	0.00	0.00	0	100.0
1	95%	5%	0%	0%	0%	95.00	4.95	0.00	0.00	0	100.0
2	90%	10%	0%	0%	0%	90.25	9.41	0.24	0.00	0	99.9
3	86%	14%	1%	0%	0%	85.74	13.40	0.68	0.01	0	99.8
4	81%	17%	1%	0%	0%	81.45	16.98	1.29	0.04	0	99.8
5	77%	20%	2%	0%	0%	77.38	20.16	2.04	0.09	0	99.7
6	74%	23%	3%	0%	0%	73.51	22.98	2.90	0.17	0	99.6
7	70%	26%	4%	0%	0%	69.83	25.47	3.86	0.29	0	99.4
8	66%	28%	5%	1%	0%	66.34	27.65	4.89	0.43	0	99.3
9	63%	30%	6%	1%	0%	63.02	29.56	5.97	0.62	0	99.2
10	60%	32%	7%	1%	0%	59.87	31.20	7.09	0.84	0	99.0
11	57%	33%	9%	1%	0%	56.88	32.60	8.23	1.09	0	98.8
12	54%	34%	10%	2%	0%	54.04	33.79	9.39	1.39	0	98.6
13	51%	35%	11%	2%	0%	51.33	34.77	10.54	1.78	0	98.4
14	49%	36%	12%	3%	0%	48.77	35.57	11.68	2.14	0	98.2
15	46%	37%	13%	3%	1%	46.33	36.21	12.80	2.52	0	97.9
16	44%	37%	15%	4%	1%	44.01	36.69	13.90	2.93	0	97.5
17	42%	37%	16%	4%	1%	41.81	37.04	14.96	3.37	0	97.2
18	40%	38%	17%	5%	1%	39.72	37.25	15.99	3.83	0	96.8
19	38%	38%	18%	5%	1%	37.74	37.36	16.98	4.32	0	96.4
20	36%	38%	19%	6%	2%	35.85	37.36	17.92	4.81	0	95.9

表 2-5② 遷移確率=0.10 構造性能指標の算定結果

遷移確率= 0.10

年数	部材単位での判定比率					部材単位での評点					構造性能指標
						d	c	b	a	aa	
	d	c	b	a	aa	100	99	95	80	0	
0	100%	0%	0%	0%	0%	100.00	0.00	0.00	0.00	0	100.0
1	90%	10%	0%	0%	0%	90.00	9.90	0.00	0.00	0	99.9
2	81%	18%	1%	0%	0%	81.00	17.82	0.95	0.00	0	99.8
3	73%	24%	3%	0%	0%	72.90	24.06	2.57	0.08	0	99.6
4	66%	29%	5%	0%	0%	65.61	28.87	4.62	0.29	0	99.4
5	59%	33%	7%	1%	0%	59.05	32.48	6.93	0.65	0	99.1
6	53%	35%	10%	1%	0%	53.14	35.08	9.35	1.17	0	98.7
7	48%	37%	12%	2%	0%	47.83	36.83	11.78	1.84	0	98.3
8	43%	38%	15%	3%	1%	43.05	37.88	14.14	2.65	0	97.7
9	39%	39%	17%	4%	1%	38.74	38.35	16.36	3.57	0	97.0
10	35%	39%	19%	6%	1%	34.87	38.35	18.40	4.59	0	96.2
11	31%	38%	21%	7%	2%	31.38	37.97	20.24	5.68	0	95.3
12	28%	38%	23%	9%	3%	28.24	37.28	21.86	6.82	0	94.2
13	25%	37%	24%	11%	3%	25.42	36.35	23.25	8.66	0	93.7
14	23%	36%	26%	12%	4%	22.88	35.23	24.42	9.75	0	92.3
15	21%	34%	27%	14%	6%	20.59	33.97	25.36	10.83	0	90.7
16	19%	33%	27%	15%	7%	18.53	32.61	26.08	11.88	0	89.1
17	17%	32%	28%	16%	9%	16.68	31.19	26.60	12.89	0	87.4
18	15%	30%	28%	17%	10%	15.01	29.72	26.93	13.84	0	85.5
19	14%	29%	29%	18%	12%	13.51	28.23	27.09	14.73	0	83.6
20	12%	27%	29%	19%	14%	12.16	26.75	27.09	15.54	0	81.5

表 2-5③ 遷移確率=0.15 構造性能指標の算定結果

年数	部材単位での判定比率					部材単位での評点					構造性能指標
						d	c	b	a	aa	
	d	c	b	a	aa	100	99	95	80	0	
0	100%	0%	0%	0%	0%	100.00	0.00	0.00	0.00	0	100.0
1	85%	15%	0%	0%	0%	85.00	14.85	0.00	0.00	0	99.9
2	72%	26%	2%	0%	0%	72.25	25.25	2.14	0.00	0	99.6
3	61%	33%	6%	0%	0%	61.41	32.19	5.45	0.27	0	99.3
4	52%	37%	10%	1%	0%	52.20	36.48	9.27	0.92	0	98.9
5	44%	39%	14%	2%	0%	44.37	38.76	13.13	1.95	0	98.2
6	38%	40%	18%	4%	1%	37.71	39.53	16.74	3.32	0	97.3
7	32%	40%	21%	6%	1%	32.06	39.20	19.92	4.93	0	96.1
8	27%	38%	24%	8%	2%	27.25	38.08	22.57	6.71	0	94.6
9	23%	37%	26%	11%	3%	23.16	36.42	24.67	8.55	0	92.8
10	20%	35%	28%	13%	5%	19.69	34.40	26.21	10.39	0	90.7
11	17%	32%	29%	15%	7%	16.73	32.16	27.23	12.14	0	88.3
12	14%	30%	29%	17%	9%	14.22	29.82	27.77	13.76	0	85.6
13	12%	28%	29%	22%	12%	12.09	27.46	27.90	17.27	0	84.7
14	10%	25%	29%	23%	15%	10.28	25.14	27.67	18.20	0	81.3
15	9%	23%	29%	24%	18%	8.74	22.89	27.14	18.97	0	77.7
16	7%	21%	28%	24%	22%	7.43	20.76	26.36	19.55	0	74.1
17	6%	19%	27%	25%	26%	6.31	18.74	25.39	19.95	0	70.4
18	5%	17%	26%	25%	29%	5.36	16.87	24.28	20.16	0	66.7
19	5%	15%	24%	25%	33%	4.56	15.14	23.07	20.20	0	63.0
20	4%	14%	23%	25%	37%	3.88	13.54	21.79	20.09	0	59.3

表 2-5④ 遷移確率=0.20 構造性能指標の算定結果

年数	部材単位での判定比率					部材単位での評点					構造性能指標
						d	c	b	a	aa	
	d	c	b	a	aa	100	99	95	80	0	
0	100%	0%	0%	0%	0%	100.00	0.00	0.00	0.00	0	100.0
1	80%	20%	0%	0%	0%	80.00	19.80	0.00	0.00	0	99.8
2	64%	32%	4%	0%	0%	64.00	31.68	3.80	0.00	0	99.5
3	51%	38%	10%	1%	0%	51.20	38.02	9.12	0.64	0	99.0
4	41%	41%	15%	3%	0%	40.96	40.55	14.59	2.05	0	98.2
5	33%	41%	20%	5%	1%	32.77	40.55	19.46	4.10	0	96.9
6	26%	39%	25%	8%	2%	26.21	38.93	23.35	6.55	0	95.0
7	21%	37%	28%	11%	3%	20.97	36.33	26.15	9.18	0	92.6
8	17%	34%	29%	15%	6%	16.78	33.22	27.89	11.74	0	89.6
9	13%	30%	30%	18%	9%	13.42	29.90	28.69	14.09	0	86.1
10	11%	27%	30%	20%	12%	10.74	26.58	28.69	16.11	0	82.1
11	9%	24%	30%	22%	16%	8.59	23.39	28.05	17.72	0	77.7
12	7%	21%	28%	24%	21%	6.87	20.41	26.93	18.90	0	73.1
13	5%	18%	27%	29%	25%	5.50	17.69	25.46	23.43	0	72.1
14	4%	15%	25%	29%	31%	4.40	15.24	23.76	23.03	0	66.4
15	4%	13%	23%	28%	37%	3.52	13.06	21.94	22.43	0	60.9
16	3%	11%	21%	27%	42%	2.81	11.15	20.06	21.64	0	55.7
17	2%	10%	19%	26%	48%	2.25	9.47	18.18	20.69	0	50.6
18	2%	8%	17%	25%	53%	1.80	8.03	16.36	19.61	0	45.8
19	1%	7%	15%	23%	58%	1.44	6.78	14.63	18.45	0	41.3
20	1%	6%	14%	22%	63%	1.15	5.71	13.01	17.22	0	37.1

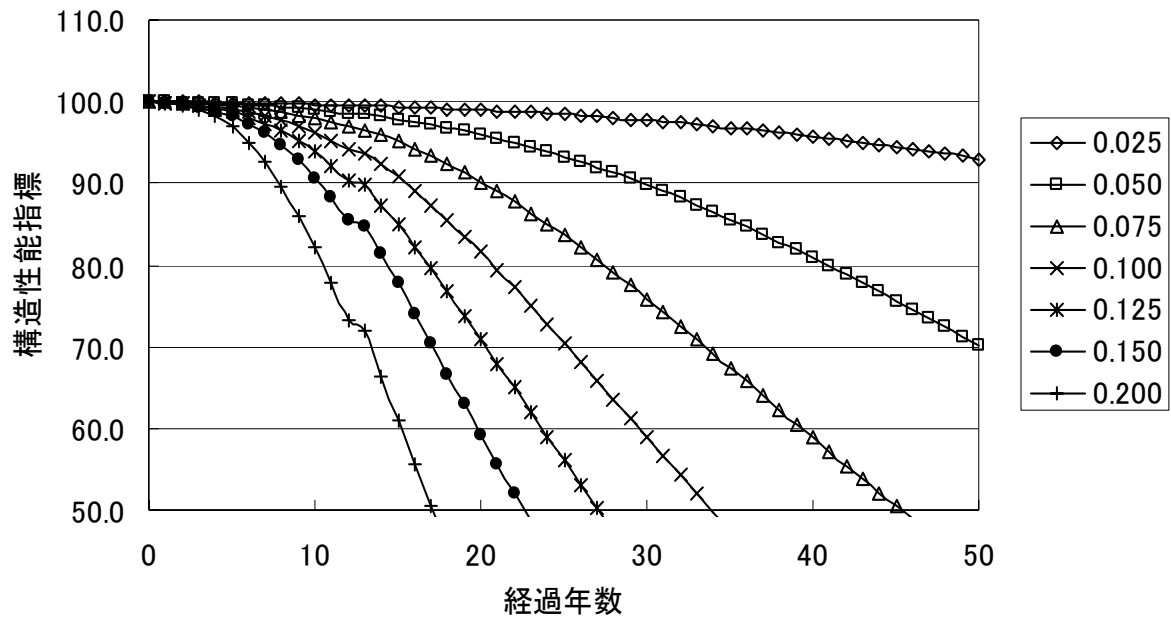


図 2-28 構造性能曲線 (遷移確率 0.025～0.20)

3. 維持補修・更新計画における優先度の設定法

3.1 優先度設定に際しての検討課題

港湾におけるアセットマネジメントでの維持補修・更新計画では、各施設の優先度を設定することが非常に重要となる。この設定における課題を以下に整理する。

(1) 劣化度判定におけるAA判定の設定

2. で示したように、現在の港湾LCMでの総合評価は、A～Dの4段階の設定を行っている。

さらに、A判定の考え方を、栈橋上部工を構成する梁の暴露試験体の劣化度に応じた耐力の試験結果に基づき「安全しろ＝0」として提案している。ただし、このA判定は必ずしも即時に補修工事を要求されない。

しかしながら、現実の優先度を設定する場合に補修工事を即時に実施すべき状況としてのA判定よりも厳しい判定段階としてのAA判定（直ち構造耐力が危険な状況に達する可能性が大きい状況）を設定することが必要である。

この概念を図3-1に示す。この図では、40年目に構造性能指標が60のA判定に達している状況を示している。AA判定に相当する構造性能指標値については、今後さらに検討・研究を進める必要があるが、本研究ではA＝60に対して仮にAA＝50としている。この場合にはA判定後に数年で構造性能指標が50に達することを示している。

(2) 評価期間の設定

2.1(5)において港湾LCMにおける劣化予測とライフサイクルコスト評価を実施し、各種の補修工法に基づく対策費用の比較を実施した。そこで得られたライフサイクルコスト算定結果から、ライフサイクルコストは選択した工法により大きな差異が生じることが確認された。

具体的には、図3-2（図2-18の再掲）で示すように評価期間を当初に想定した50年までとすると、対策のための初期コストは部分的更新、断面修復、電気防食の順で安価であるものの、対策後50年目までの最終的なコストでは、電気防食、断面修復、部分的更新の順であり、その費用は電気防食を基準に、断面修復が1.7倍、部分的更新が5倍強となっている。

しかしながら、図3-2で示すような評価期間の設定次第で、評価結果は大きく異なる。例えば、評価期間①の場合では部分的更新が、評価期間②の場合では断面修復が、評価期間③の場合では電気防食が最も安価な対策工法となる。

この評価期間の設定は、統一的に設定されるものではなく、個別具体の施設ごとに、その施設の状況に応じて設定

される。ただし、本研究では建設後50年までの残存期間を評価期間とする。具体的には、建設後経過年数15年の施設の評価期間は35年、建設後経過年数30年の施設の評価期間は20年としている。

(3) 最適時期を選択するための現在価値の算定

特定の施設について、現状での劣化度判定とその場合の費用および将来での劣化度予測結果とその場合の費用が示された場合に、補修を実施するために最適な時期（現在あるいは将来）を選択することは維持補修・更新計画での優先度設定には非常に重要となる。

例えば、現時点での劣化度判定と補修費用10億円および将来時点での劣化度判定される時期と補修費用15億円が想定されている場合を考えてみる。この将来時点が2年後あれば、明らかに現時点で実施することが妥当であると考えられる。しかしながら、この将来時点が20年後の場合には、現時点での価格に割り引いて評価することが妥当であると考えられる。具体的に、社会的割引率を4%とすると、

$$15 \div (1.04)^{20} = 6.8$$

となることから、現時点で10億円を投資するよりも、20年後に投資する方が妥当であると考えられる。このイメージを図3-3に示す。

この点は、現時点での補修費用と将来時点での補修費用が共に同一額の場合を想定すると理解されやすい。具体的には、現時点での補修費用が10億円であるとして、10年後の補修費用も10億円であるとするならば、現時点での補修よりも将来での補修の方が有利であることは理解され易い。

ただし、ここでの検討で最も重要であるのは将来時点での補修費用が、将来時点における最も確からしい（名目値ではない実質値としての）期待値であることである。補修費用のための工事費が実質的に年率2%で上昇するならば、先に想定した20年後の補修費用15億円の期待値は次のように22.3億円として算定される。

$$15 \times (1.02)^{20} = 22.3$$

さらに、この場合にも社会的割引率を4%として、次式に示すように現在価格に割り引くと10.2億円となり、現時点で想定される補修費用10億円と同等になる。

$$22.3 \div (1.04)^{20} = 10.2$$

すなわち、工事費の実質的な上昇（材料費等の高騰、想定外の地盤条件等による）あるいは下落（材料・施工に関する技術革新等による）と想定する社会的割引率との相対関係により、現在価値が大きく変動する。

したがって、現時点での補修費用と比較すべき将来時点（20年後を想定）での補修費用の現在価値は、以下の式で示される。

$$\begin{aligned} & \text{20 年後の補修費用の現在価値} \\ & = \text{現時点補修費用} * (1 + \text{工費の期待上昇 or 下落率})^{20} \\ & \quad \div (1 + \text{社会的割引率})^{20} \end{aligned}$$

将来の工費は現実的には上昇も下落もあり得るので、本研究では期待上昇率および下落率はともに±0として、

現時点の補修費用＝将来の補修費用の期待値
としている。

この考え方は、当然に将来の複数の時点への適用も可能である。例えば、図 3-4 で示すような現時点（20 年後）で C 判定とされ、また、それまでの劣化状況から想定される遷移確率から 40 年目に A 判定となることが予測される施設を想定する。さらに、この施設の構造形式が特定されれば各劣化度判定に応じた補修工法が設定されることでそのコストも特定される。その結果、図 3-4 の下段ではそれぞれの時期でのコストおよび社会的割引率による現在価格としての現時点での比較評価の結果を示している。ここでのイメージでは、現時点の C 判定に基づく補修工法の実施よりも、また、40 年目に A 判定が示された段階よりも、30 年目の段階での補修工法の実施が最適であると判断される。

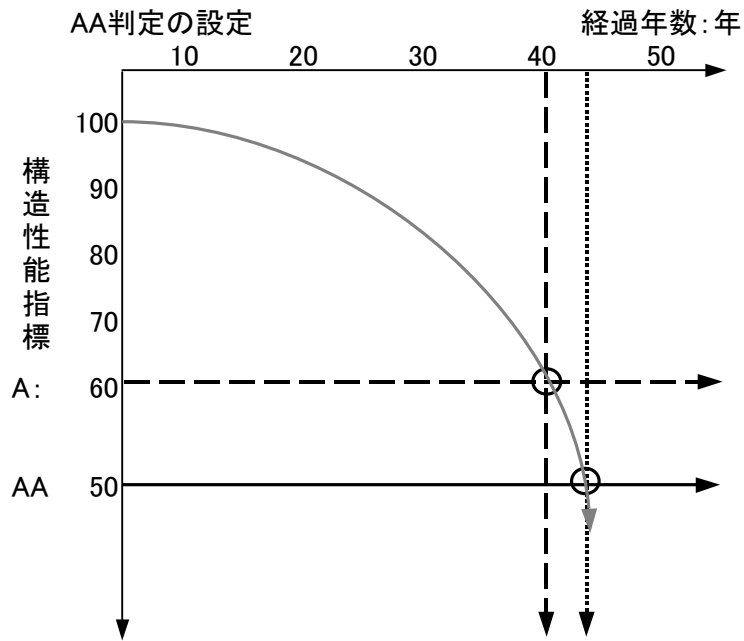
したがって、補修実施の最適時期を選択するためには、社会的割引率により換算した同一時点での価格を用いて比較評価することが必要である。

(4) 更新コストとの比較

維持補修の目指すのは施設本体ではなく、対象とする施設の機能を確保することである。施設の劣化の進展が著しい場合には、複雑な補修で対応するよりも、既存の施設を撤去して新たな施設として更新した方の費用が安くなることは十分に想定される。例えば、図 3-5 のイメージに示すように、劣化度 A 判定での補修費用よりも劣化度 AA 判定における更新費用の方が低いのであれば、補修するよりも更新することが妥当と判断される。

したがって、本研究では補修工法の比較においては劣化度 AA 判定段階で実施される更新を合わせて検討する。

なお、現実的には A 判定の状態では想定される地震等に対して、非常にリスクが高い状況になっているが、ここではこのリスクについては特に考慮していない。



AA判定: 短期間で耐力に基づいた性能が失われる可能性が高い

図 3-1 AA 判定の設定

評価期間の設定

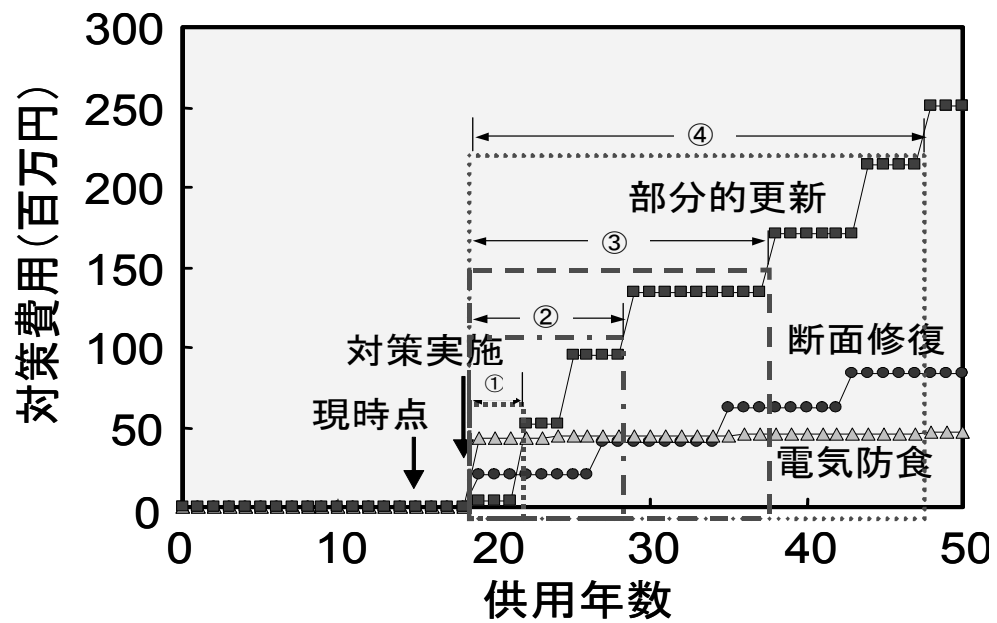


図 3-2 評価期間の設定

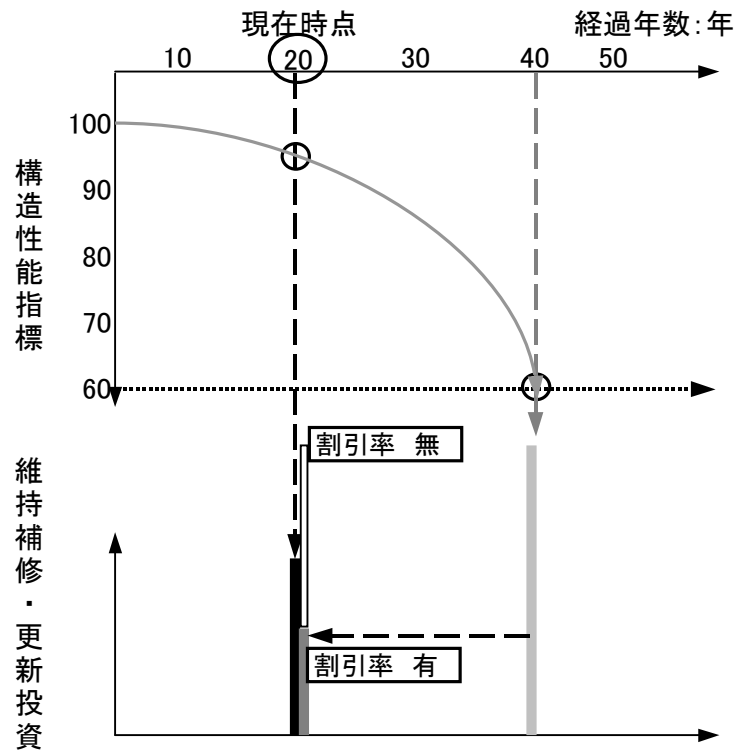


図 3-3 社会的割引率による現在時点での比較評価①

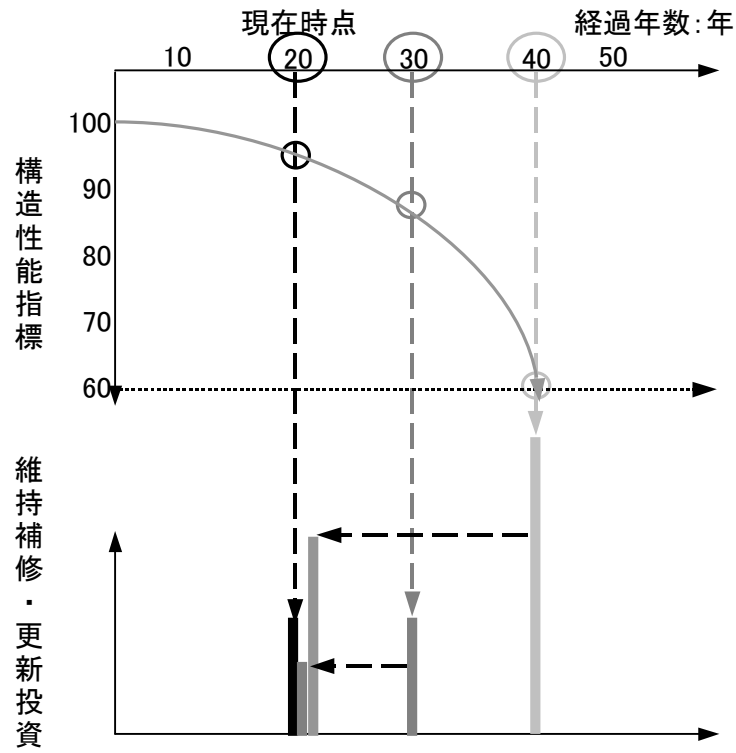


図 3-4 社会的割引率による現在時点での比較評価②

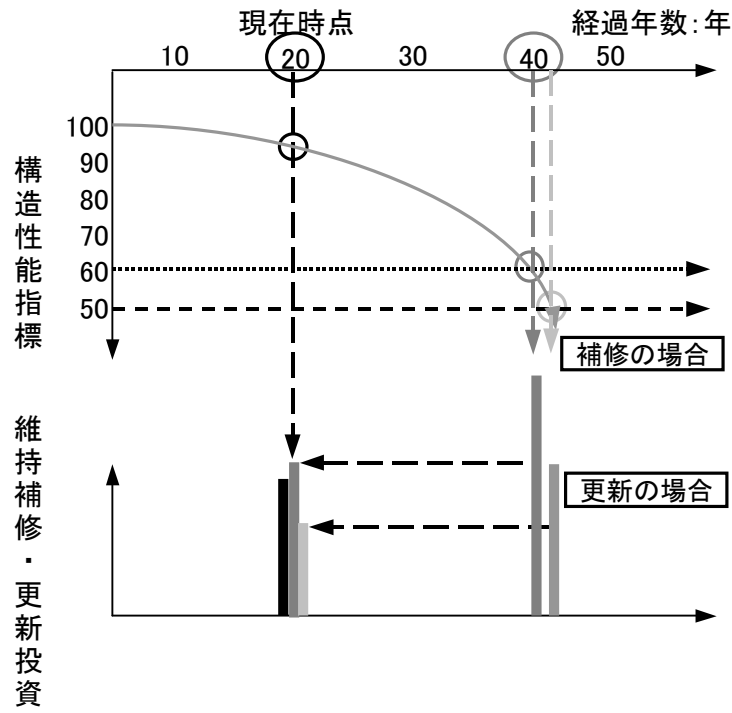


図 3-5 更新ケースの想定

3.2 ライフサイクルコストの算定

港湾におけるアセットマネジメントとしての維持補修・更新計画を検討するためには、各劣化度判定に応じた対策工法の選定およびそれぞれのライフサイクルコストを事前に想定しておく必要がある。

このため、表 3-1 では栈橋式係留施設の上部工・下部工を対象として劣化度に応じた対策工法として、ここでは仮に 9 ケースを整理している。また、それ以降に各ケースでのライフサイクルコストの結果を図 3-6～14 に示す。

なお、各ケースともに以下のように設定している。また、対策工法による費用算定のために設定した数量、単価、耐用年数について、上部工は表 3-2①、下部工は表 3-2②に表示している。

- ①対象の係留施設はバース水深 12m、バース延長 240m とする。
- ②施設全体を対象として補修を実施する。
- ③社会的割引率は特に想定しない。
- ④維持補修のための評価期間は全て 50 年間とする。

ここで、②の設定は実態との乖離は大きいものの計算を容易にするために設定している。なお、全て一定比率（例えば、全体の 20%）とした場合には、それぞれの結果に対してこの比率を乗じることでその結果が得られる。

例えば、ケース 1 の結果では初期コストとして 10 億円以上のメンテナンスのために投資がなされた後に電気防食のためのコストが継続的に計上されている。また、20 年目および 40 年目に電気防食の更新コストが計上されることでコストが段階的に増加している。

表 3-1 栈橋式・係船岸施設 補修対策工法のケース設定 (): 耐用年数

	形式	部位	劣化度	対策工法
ケース 1	栈橋	上部工	A	① 電気防食(20) + 断面修復(大)(50)
ケース 2				② 表面塗装(10) + 断面修復(大)(50)
ケース 3			B	① 電気防食(20) + 断面修復(小)(50)
ケース 4				② 表面塗装(10) + 断面修復(小)(50)
ケース 5			C	表面塗装(10) + ひび割れ注入(10)
ケース 6			D	表面塗装(10)
ケース 7		下部工	A	鉄筋コンクリート補強(35) (上側:LWL-2.5m以上) + 電気防食(20) (下側:LWL-2.5m以深)
ケース 8			B	ヘトロタムライニング(20) (上側:LWL-1.0m以上) + 電気防食(20) (下側:LWL-1.0m以深)
ケース 9			C	有機ライニング工法(15) (上側:LWL-1.0m以上) + 電気防食(20) (下側:LWL-1.0m以深)

表 3-2① 栈橋式係船岸施設 (上部工) L C C 算定のための原単位 (): 耐用年数

数量

部位	項目	単位	数量
栈橋上部工	延長	m	240.0
	幅	m	16.0
	面積(=延長×幅)	m ²	3,840.0

単価

部位	工法名	規格	単位	想定単価(円)	耐用年数(年)
栈橋上部工	ひび割れ注入工法	劣化度A判定:ひび割れ注入	円/m	10,000	10
		劣化度B判定:ひび割れ注入	円/m	10,000	10
		劣化度C判定:ひび割れ注入	円/m	10,000	10
	表面塗装	表面塗装(初期コスト)	円/m ²	17,500	50
		表面塗装(更新コスト)	円/m ²	19,500	10
	断面修復工法	断面修復(大) はつり深さ100mm	円/m ²	150,000	50
		断面修復(小) はつり深さ50mm	円/m ²	97,000	50
	電気防食工法	電防・初期コスト(外部電源タイプ)	円/m ²	120,000	50
		電防・更新コスト(外部電源タイプ)	円/m ²	18,000	20
		電防・管理費(外部電源タイプ)	円/m ² /年	600	1
	仮設	仮設(栈橋式)	円/m ²	11,000	

出典:港湾技研資料 No.1001 栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発

表 3-2② 栈橋式係留施設（下部工） L C C 算定のための原単位

数量等

（一般：鉄筋コンクリート補強以外）

部位	項目	単位	数量
栈橋下部工	工法境界面より上側	要補修鋼管杭 長さ	m
		要補修鋼管杭 本数	本
		要補修鋼管杭 表面積	m ²
	工法境界面より下側	要補修鋼管杭 長さ	m
		要補修鋼管杭 本数	本
		要補修鋼管杭 表面積	m ²

（鉄筋コンクリート補強のみ）

部位	項目	単位	数量
栈橋下部工	工法境界面より上側	要補修鋼管杭 長さ	m
		要補修鋼管杭 本数	本
		要補修鋼管杭 表面積	m ²
	工法境界面より下側	要補修鋼管杭 長さ	m
		要補修鋼管杭 本数	本
		要補修鋼管杭 表面積	m ²

項目	標高(m)
補修を要する鋼管杭最上面	2.0
工法境界面	-1.0
工法境界面(鉄筋コンクリート補強)	-2.5
補修を要する鋼管杭最下面	-8.0

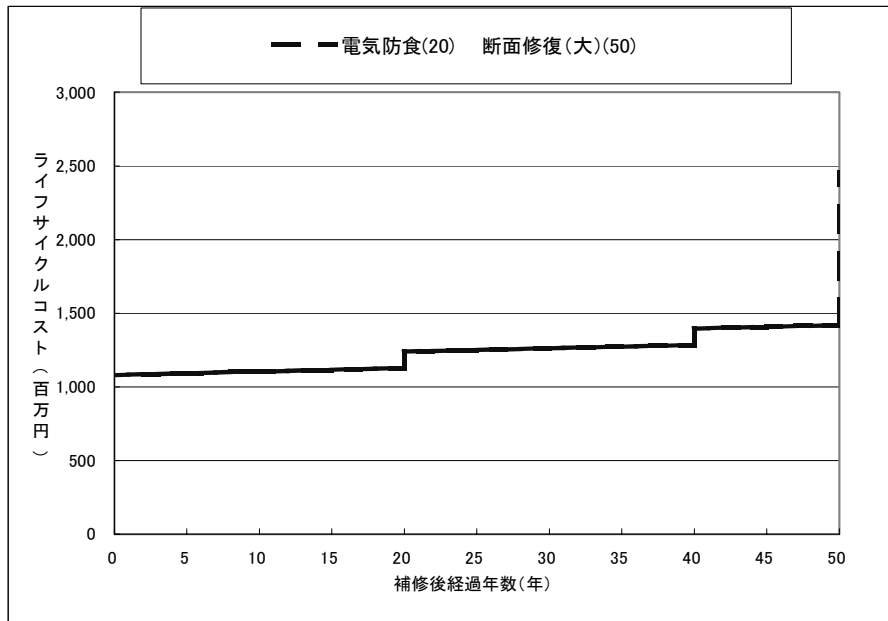
項目	単位	数量
杭径	m	1.0

単価

部位	工法名	規格	単位	想定単価(円)	想定耐用年数(年)
栈橋下部工	鉄筋コンクリート補強	鉄筋コンクリート補強(初期コスト)	円/m ²	120,000	50
		鉄筋コンクリート補強(更新コスト)	円/m ²	166,000	35
	ペトロラタムライニング	ペトロラタムライニング(初期コスト)	円/m ²	65,000	50
		ペトロラタムライニング(更新コスト)	円/m ²	70,000	20
	有機ライニング工法	有機ライニング工法(初期コスト)	円/m ²	55,000	50
		有機ライニング工法(更新コスト)	円/m ²	62,000	15
	電気防食工法	電防・初期コスト(流電陽極型)	円/m ²	4,500	50
		電防・更新コスト(流電陽極型)	円/m ²	4,500	20

出典：港湾技研資料 No.1001 栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発

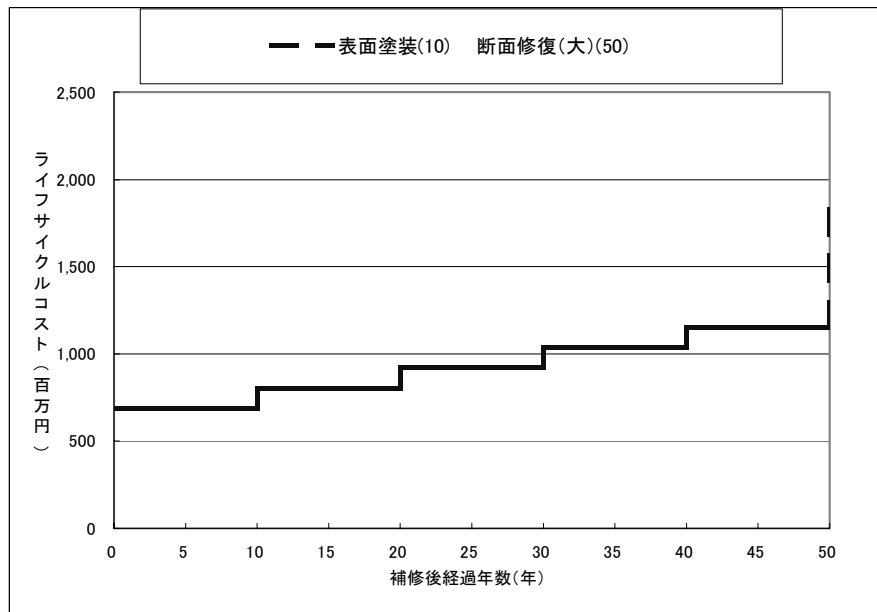
ケース1 (栈橋-上部工) 電気防食(20) 断面修復(大)(50)
劣化度: A



注記:
・LCC費用:直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

図 3-6 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 1)

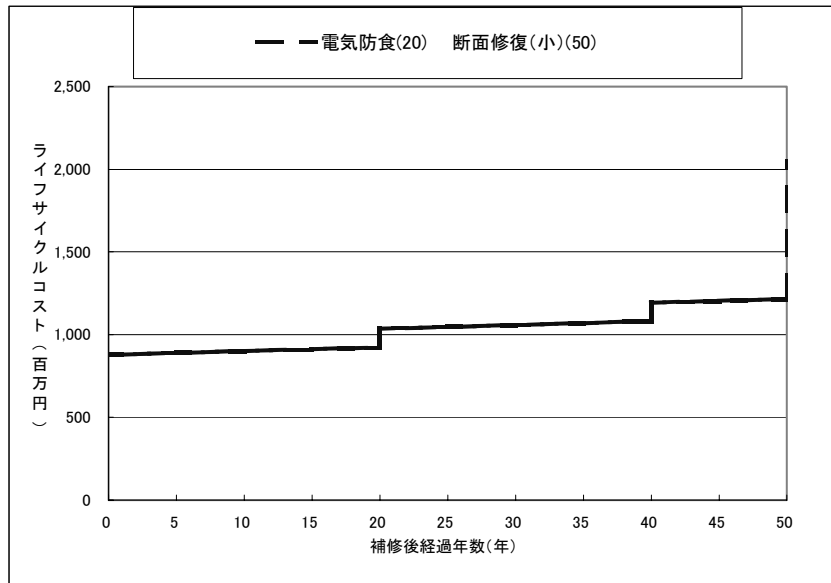
ケース2 (栈橋-上部工) 表面塗装(10) 断面修復(大)(50)
劣化度: A



注記:
・LCC費用:直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

図 3-7 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 2)

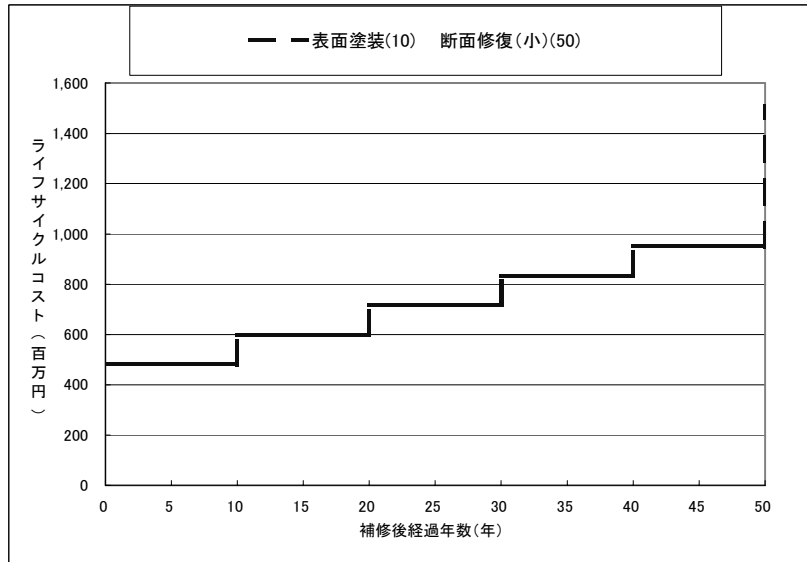
ケース3 (栈橋-上部工) 電気防食(20) 断面修復(小)(50)
劣化度: B



注記:
・LCC費用: 直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

図 3-8 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 3)

ケース4 (栈橋-上部工) 表面塗装(10) 断面修復(小)(50)
劣化度: B



注記:
・LCC費用: 直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

図 3-9 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 4)

ケース5 (栈橋-上部工) 表面塗装(10) ひび割れ注入(10)
劣化度: C

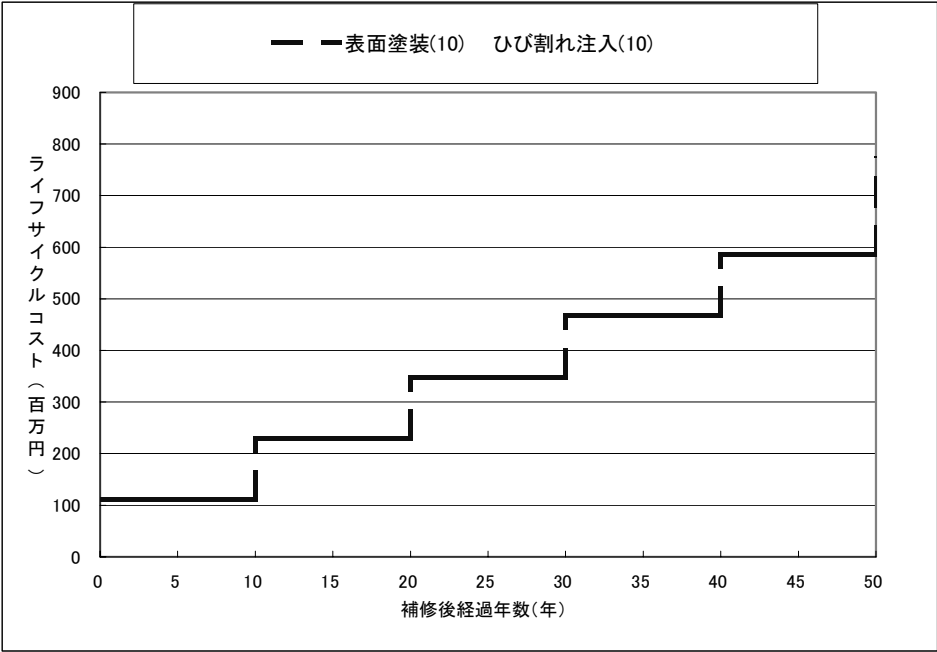


図 3-10 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 5)

注記:
・LCC費用:直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

ケース6 (栈橋-上部工) 表面塗装(10)
劣化度: D

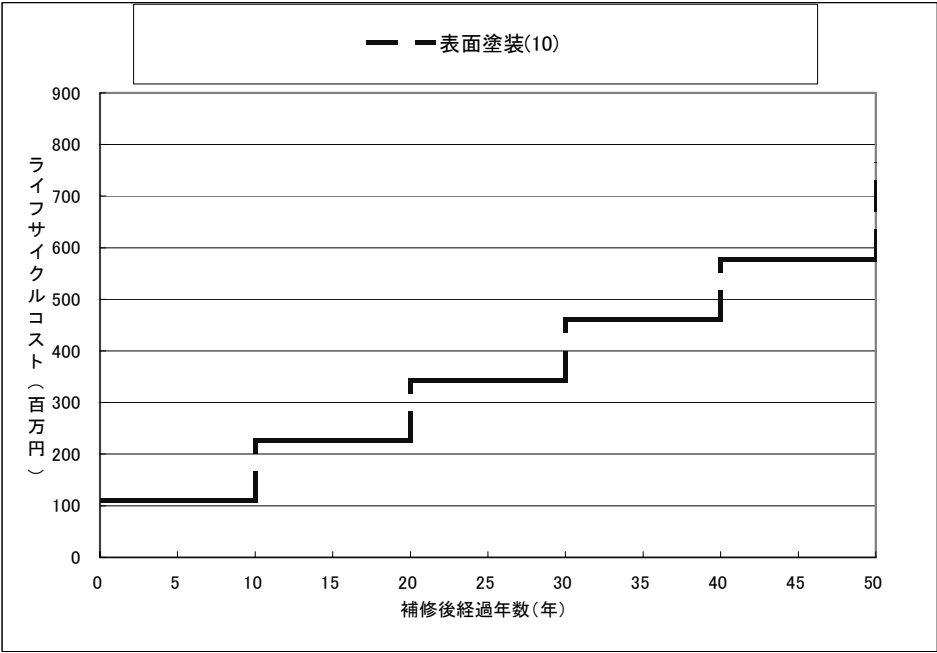
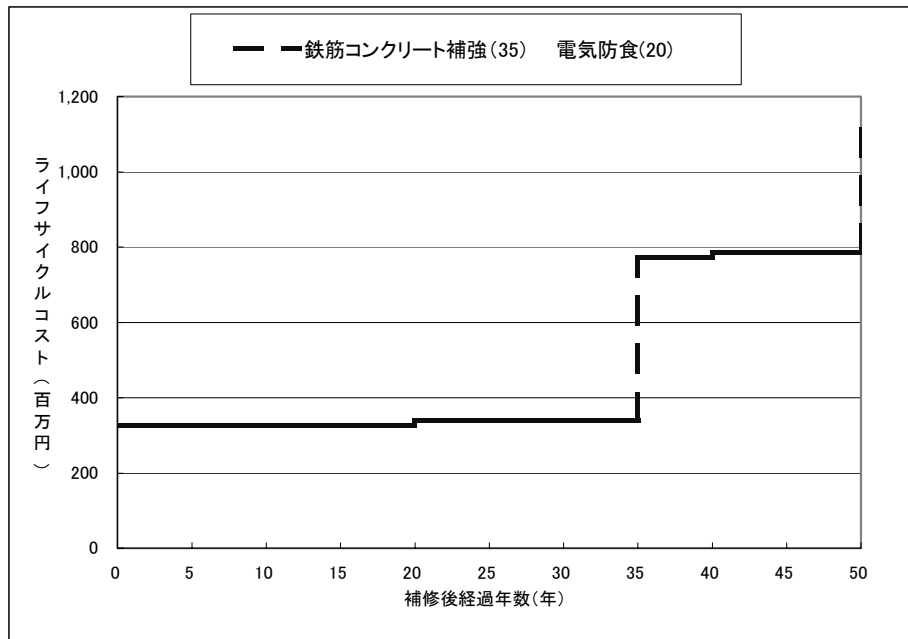


図 3-11 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 6)

注記:
・LCC費用:直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

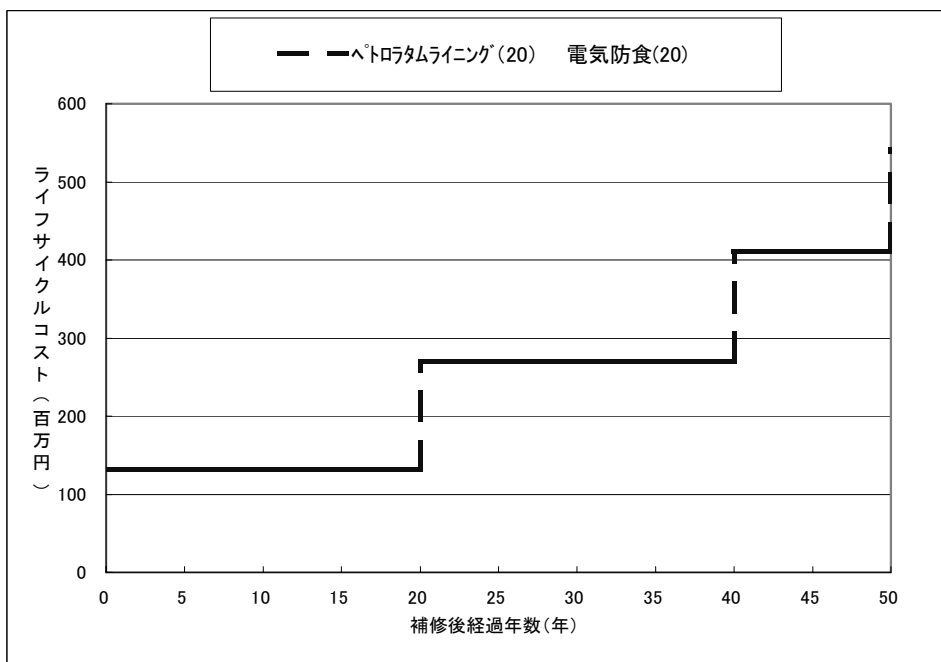
ケース7 (栈橋-下部工) 鉄筋コンクリート補強(35) 電気防食(20)
劣化度: A



注記:
・LCC費用: 直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

図 3-12 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 7)

ケース8 (栈橋-下部工) ペトラタムライニング(20) 電気防食(20)
劣化度: B



注記:
・LCC費用: 直接工事費
・電気防食工法は、毎年の管理費を含む

図 3-13 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 8)

ケース9 (栈橋-下部工) 有機ライニング(15) 電気防食(20)
劣化度: C

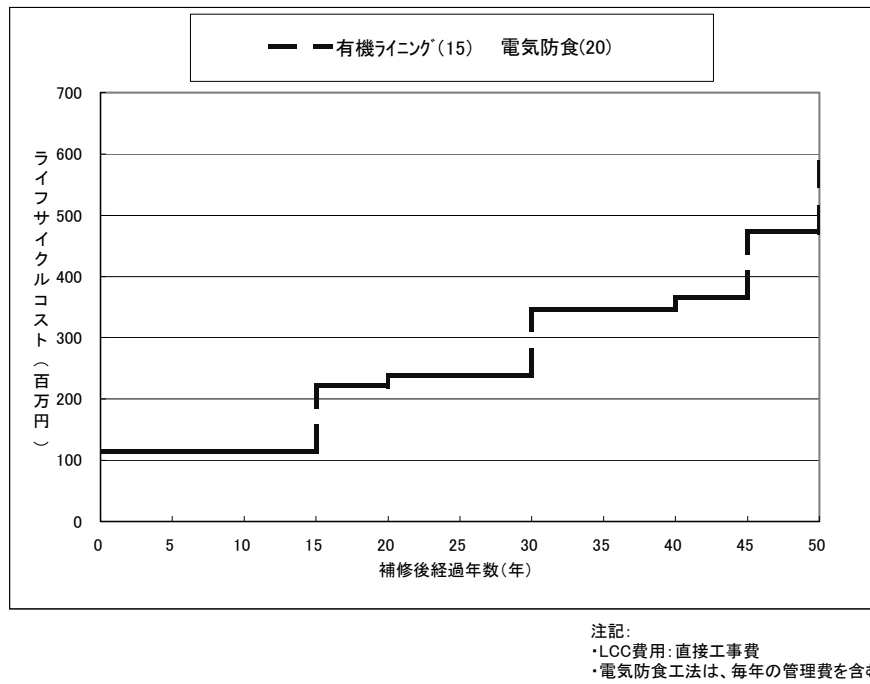


図 3-14 ライフサイクルコスト算定例 (ケース 9)

3.3 時間軸での優先度の設定法

維持補修・更新計画における時間軸での優先度は，2. で検討した遷移確率により推計された構造性能曲線に基づき，3.2 で算定したライフサイクルコストを指標として検討することができる。

このため，以下に示すように栈橋式係留施設（上部工＋下部工）を対象としたⅠ，Ⅱの2ケースに応じたライフサイクルコストを算定した．ケースⅠでは社会的割引率を想定してない場合で遷移確率を4段階に変化させ，ケースⅡでは2段階の遷移確率に対して社会的割引率を各2段階に変化させている。

なお，それぞれの更新費（単位延長あたりのコスト）として想定した値も示している。

ケースⅠ：栈橋式係留施設（上部工＋下部工）

	遷移確率	社会的割引率	
Ⅰ-1：	0.05	0.00	(図 3-15)
Ⅰ-2：	0.10	0.00	(図 3-16)
Ⅰ-3：	0.15	0.00	(図 3-17)
Ⅰ-4：	0.20	0.00	(図 3-18)

* 更新費 1000 万円/m（直接工事費ベース）

ケースⅡ：栈橋式係留施設（上部工＋下部工）

	遷移確率	社会的割引率	
Ⅱ-1：	0.10	0.04	(図 3-19)
Ⅱ-2：	0.10	0.02	(図 3-20)
Ⅱ-3：	0.20	0.04	(図 3-21)
Ⅱ-4：	0.20	0.02	(図 3-22)

* 更新費 1000 万円/m（直接工事費ベース）

(1) 構造性能曲線に基づくライフサイクルコスト比較評価

具体的な解析結果についてケースⅠ-2を対象として説明する．なお，各ケースでは上段に設定した遷移確率に基づく構造性能曲線および各劣化度（C，B，A，AA）が判定される段階を白抜き矢印で示している。

ここで，現時点は11年目とする．具体的には，供用開始後11年目の現時点での点検・診断の結果，劣化度の総合評価はC判定となり，さらに二次点検等の詳細な調査により，遷移確率が0.10と推計された栈橋式係留施設を想定している。

遷移確率が0.10と推計された結果，施設全体の構造性能曲線を描くことができ，その結果，将来的には21年目に劣化度B，29年目に劣化度A，34年目に劣化度AAとなることが予測される。

この11年目の現時点での劣化度C判定に基づいて，補修を実施した場合の評価期間内（供用開始後50年までの残存期間）での累積コストの変遷を劣化度C判定対応の線として示している．この場合には，50年目までの累積コストは8.1億円と推計される。

しかしながら，11年目において補修を実施せずに，21年目で劣化度がBと判定された段階で補修を実施した場合の評価期間内での累積コストの変遷を劣化度B判定対応の線として示している．この場合には，50年目までの累積コストは13.3億円と推計される。

さらに，21年目以降の劣化度B判定の状況では補修を実施せずに，29年目での劣化度A判定された段階で補修を実施した場合の評価期間内での累積コストの変遷を劣化度A判定対応の線で示している．この場合には，50年目までの累積コストは15.8億円と推計される．また，補修を全く実施せずに34年目に劣化度AA判定された段階で，現状施設を撤去して新たに更新した場合のコストの変遷を劣化度AA判定対応の線で示している．ここでは34年目に24億円が投資されることとなる．なお，更新後には新たな追加投資は生じないとしている。

この結果，11年目の現時点での段階では，この劣化度C判定が示された段階で補修を実施することが最適な維持補修・補修計画になる。

(2) 遷移確率の相違による比較評価

遷移確率が0.05と最も低いケースⅠ-1では，22年目に劣化度C判定，40年目に劣化度B判定となるものの供用期間内で劣化度A判定にはならない．劣化度C判定段階で補修を実施した場合の評価期間内での累積コストは5.9億円，劣化度B判定段階の場合には10.3億円と推計される。

遷移確率が0.15のケースⅠ-3では，8年目に劣化度C判定，14年目に劣化度B判定，20年目に劣化度A判定，23年目に劣化度AA判定となると想定される．劣化度C判定段階で補修を実施した場合の評価期間内での累積コストは9.5億円，劣化度B判定段階の場合には13.5億円，劣化度A判定段階の場合には16.0億円，劣化度AA判定段階の場合での更新費は24.0億円と推計される。

遷移確率が0.20と最も高いケースⅠ-4では，6年目に劣化度C判定，10年目に劣化度B判定，15年目に劣化度A判定，17年目に劣化度AA判定となると想定される．劣化度C判定段階で補修を実施した場合の評価期間内での累積コストは9.5億円，劣化度B判定段階の場合には16.0億円，劣化度A判定段階の場合には20.5億円，劣化度AA判定段階の場合での更新費は24.0億円と推計される。

これらの結果から、各ケースともに定期的な点検・診断を実施することで劣化度C判定を早期に発見して、その段階で補修を実施することが評価期間内の累積コストは最小になることが想定される。

(3)社会的割引率の設定による比較評価

ケースⅠ-2（遷移確率 0.1 社会的割引率 0.00）に対応したケースⅡ-1（遷移確率 0.1 社会的割引率 0.04）を対象として、解析結果を分析する。

ここでは、現時点は建設年次の0年目において次の様々な選択肢（オプション）の中から、供用期間中での現在価格としての累積コストが最も低い選択肢を抽出することを検討している状況を想定している。

選択肢①：遷移確率 0.1 劣化度C判定段階で補修実施
 選択肢②：遷移確率 0.1 劣化度B判定段階で補修実施
 選択肢③：遷移確率 0.1 劣化度A判定段階で補修実施
 選択肢④：遷移確率 0.1 劣化度AA判定段階で更新実施

具体的な推計結果から、現在価格の累積コストが大きい値の選択肢から並べると次のようになる。

ケースⅡ-1

選択肢④：6.3 億円
 選択肢②：5.1 億円
 選択肢③：4.8 億円
 選択肢①：3.4 億円

ケースⅠ-2の結果と比較すると、劣化度C判定の段階で補修を実施することがコスト最小となることは同じであるものの、劣化度B判定の段階と劣化度A判定の段階での結果は逆転している。劣化度AA判定の段階での補修実施がコスト最大は同じである。

また、ケースⅡ-1では現在価格としているので、当然にケースⅠ-2と比較して累積コストは低くなっている。

次に、ケースⅡ-2（遷移確率 0.1 社会的割引率 0.02）の結果を分析する。

ケースⅡ-2

選択肢④：12.2 億円
 選択肢③：8.6 億円
 選択肢②：8.1 億円
 選択肢①：5.5 億円

ここでの結果は、ケースⅡ-1と異なり劣化度B判定の段階と劣化度A判定の段階での結果の逆転は無く、ケースⅠ-2の結果と同じとなっている。Ⅱ-1と同様に現在価格としているので、当然にⅠ-2と比較して累積コストは

低くなっている。

次に、ケースⅡ-3、4では遷移確率 0.2 としている。ここでは0.2と高い遷移確率としていることから、Ⅱ-1、2で設定した選択肢に、新たに事前対策の選択肢を加えて全部で5つの選択肢について検討を行う。

選択肢①：将来の劣化の進行が速い、あるいは事前段階での予測は困難であるとして、当初から劣化に対する事前対策（補修工法のケース6+9）を実施

選択肢②：遷移確率 0.2 劣化度C判定段階で補修実施
 選択肢③：遷移確率 0.2 劣化度B判定段階で補修実施
 選択肢④：遷移確率 0.2 劣化度A判定段階で補修実施
 選択肢⑤：遷移確率 0.2 劣化度AA判定段階で更新実施

ここでは、選択は1回しかできない、あるいは1回で十分であるとしている。すなわち、①を選択して供用期間中に必要な対応を実施すれば、常に劣化度D判定の状況が継続する。この①を選択することは、事前対策を実施しなければ0.2と非常に高い遷移確率になる施設の遷移確率を非常に低くすることができる。もちろん、現時点で①を選択せずに将来的に②～⑤を選択することもできる。それぞれの結果を以下に示す。

ケースⅡ-3

選択肢⑤：12.3 億円
 選択肢④：9.0 億円
 選択肢①：8.3 億円
 選択肢③：5.8 億円
 選択肢②：4.3 億円

ケースⅡ-4

選択肢⑤：17.1 億円
 選択肢④：13.1 億円
 選択肢③：11.1 億円
 選択肢①：8.3 億円
 選択肢②：6.4 億円

ここでの結果では、選択肢①としての事前での劣化度対策に対する水準を非常に高くしたこともあり、選択肢①が必ずしも優位とはなっていない。

栈橋式係留施設に関するケースⅠ-1～4およびⅡ-1～4の解析結果から、維持補修・更新計画における優先度の設定に関しては以下の点が整理される。

①遷移確率が想定されれば、その後の維持補修に関して最適な時期・最適な工法の選択が可能になる。

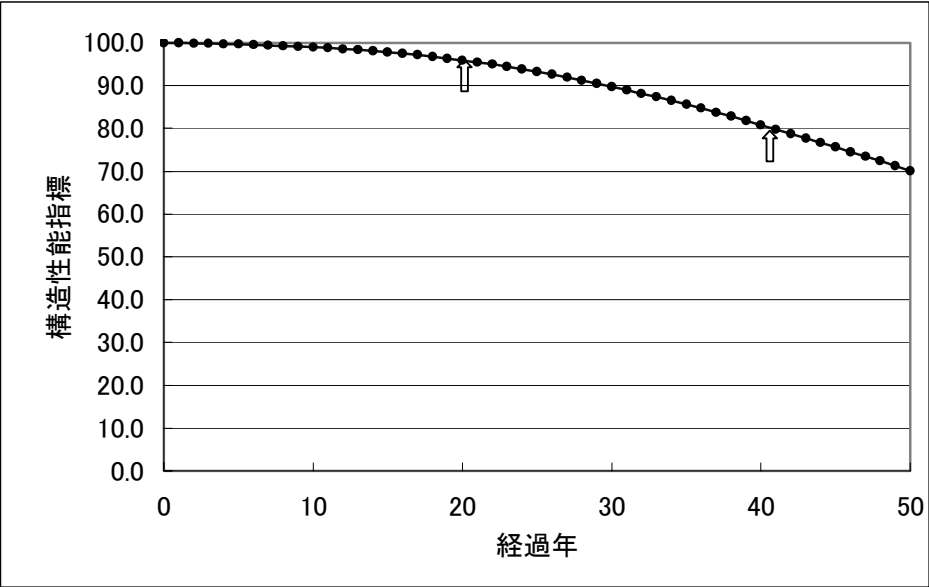
②しかしながら、現実的には、遷移確率は事前には未知で

ある。したがって、適切な時期および間隔において点検・診断を実施することで、できるだけ早く対象とする施設の遷移確率を把握することが重要となる。なお、今回の解析結果では、劣化度C判定となる段階を把握し、早期に補修を実施することが評価期間内での維持補修に関連する累積コストが最小となっている。

③また、ケースⅠ-1のように、初期段階において十分に配慮して建設されたり、また、環境条件が良かったことから、結果的に劣化が進展しない施設の場合には、特段の維持補修が不要となるために関連するコストは格段に低くなる。

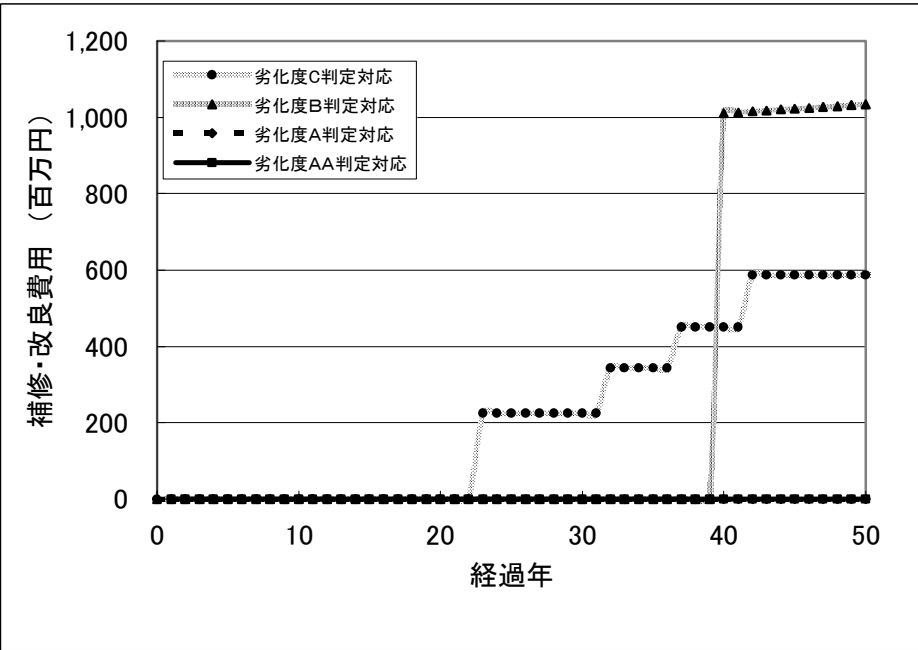
④社会的割引率により、想定される累積コストの結果が大きく変動することから、この社会的割引率を適切に設定することが重要である。

遷移確率=0.05における 構造性能曲線



構造性能指標

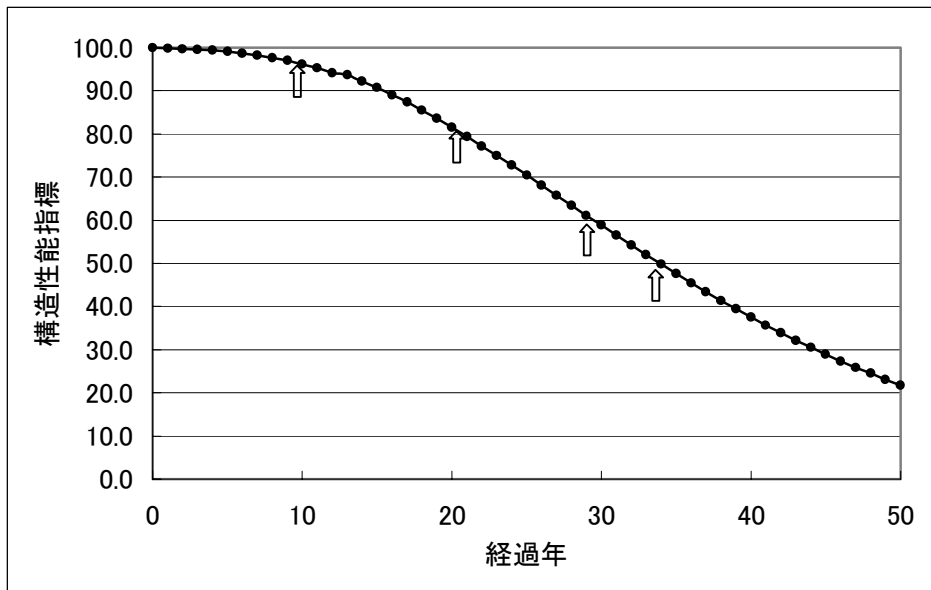
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	22年
B	80	40年
A	60	**年
AA	50	**年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.05
社会的割引率	0.00
①AAの場合には全体を撤去・新設	
②上部工 Aの場合 ケース1を選択	
③上部工 Bの場合 ケース3を選択	

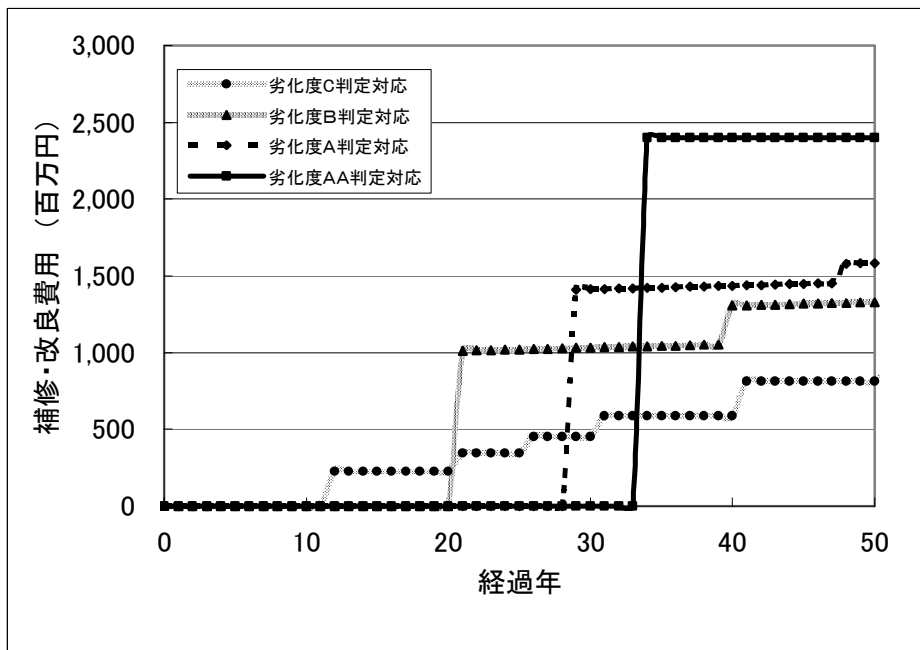
図 3-15 ケース I-1

遷移確率=0.1における 構造性能曲線



構造性能指標

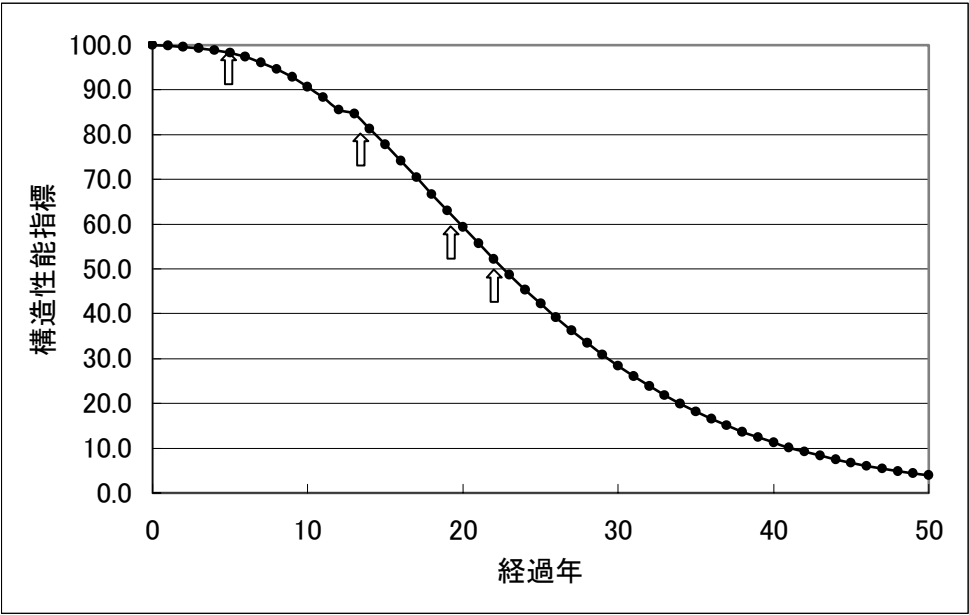
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	11年
B	80	21年
A	60	29年
AA	50	34年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.1
社会的割引率	0.00
①AAの場合には全体を撤去・新設	
②上部工 Aの場合 ケース1を選択	
③上部工 Bの場合 ケース3を選択	

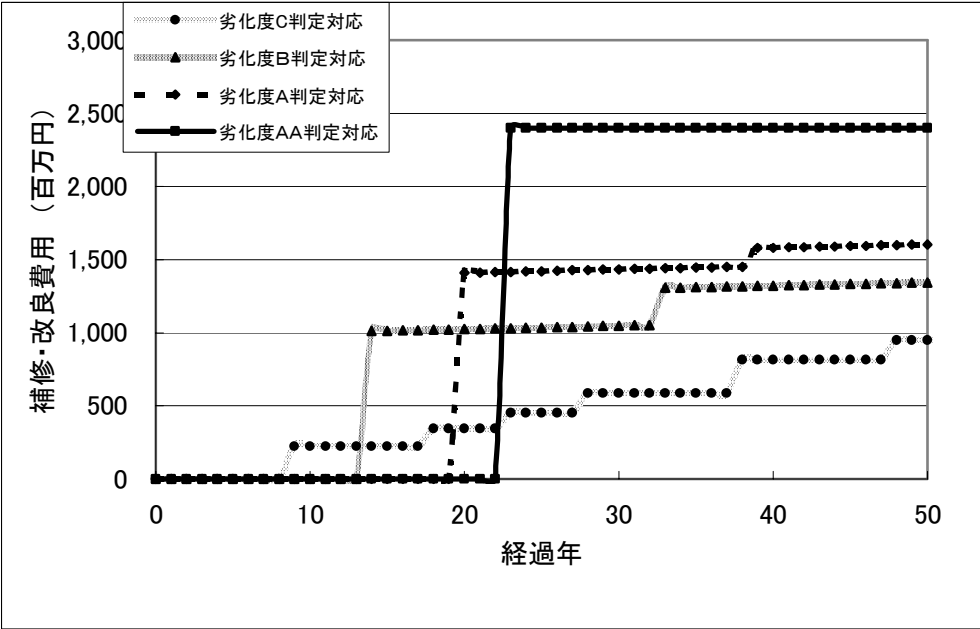
図 3-16 ケース I-2

遷移確率=0.15における 構造性能曲線



構造性能指標

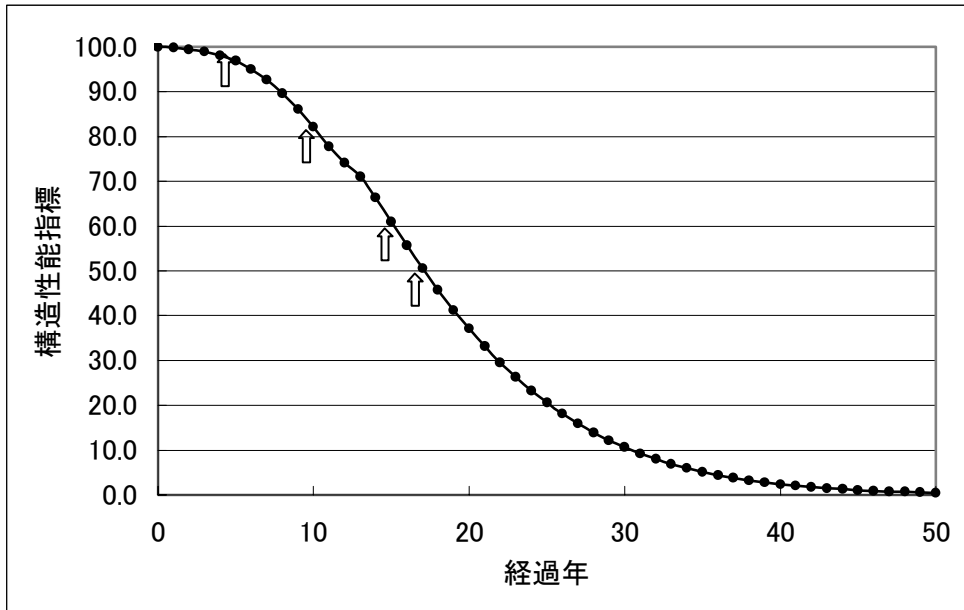
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	8年
B	80	14年
A	60	20年
AA	50	23年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.15
社会的割引率	0.00
①AAの場合には全体を撤去・新設	
②上部工 Aの場合 ケース1を選択	
③上部工 Bの場合 ケース3を選択	

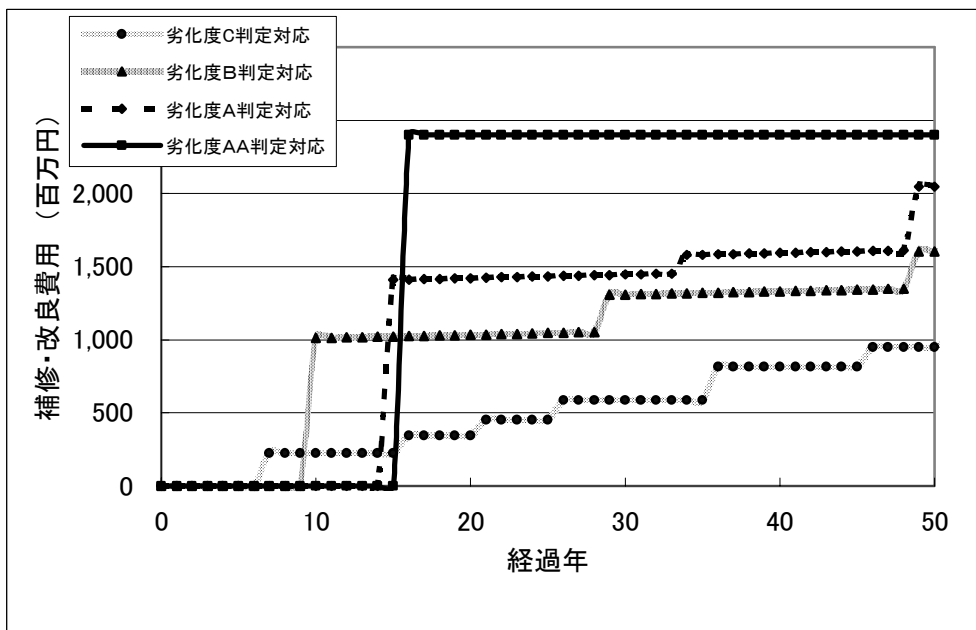
図 3-17 ケース I-3

遷移確率=0.2における 構造性能曲線



構造性能指標

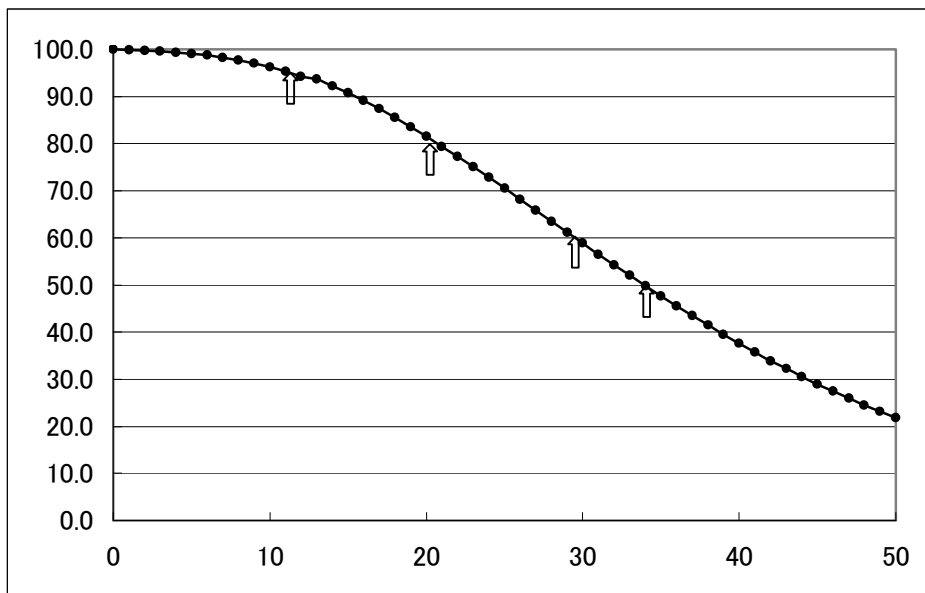
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	6年
B	80	10年
A	60	15年
AA	50	17年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.2
社会的割引率	0.00
①AAの場合には全体を撤去・新設	
②上部工 Aの場合 ケース1を選択	
③上部工 Bの場合 ケース3を選択	

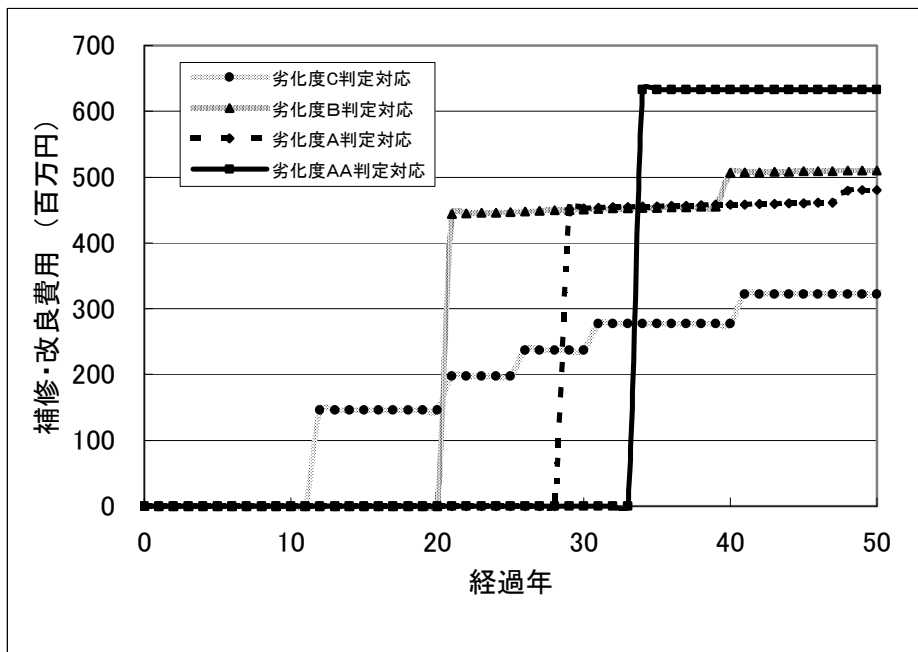
図 3-18 ケース I-4

遷移確率=0.1における 構造性能曲線



構造性能指標

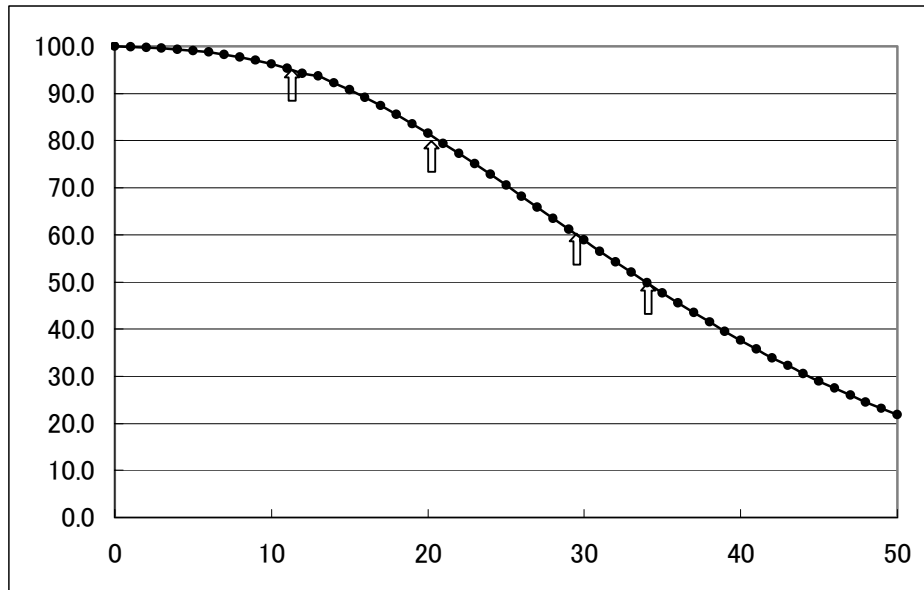
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	11年
B	80	21年
A	60	29年
AA	50	34年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.1
社会的割引率	0.04
①AAの場合には全体を撤去・新設	
②上部工 Aの場合 ケース1を選択	
③上部工 Bの場合 ケース3を選択	

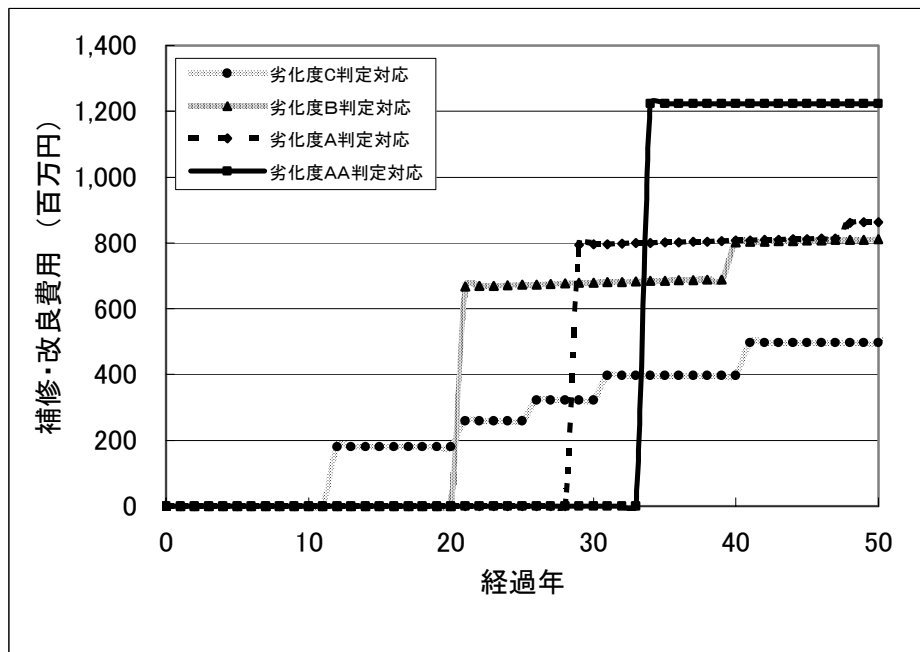
図 3-19 ケースⅡ-1

遷移確率=0.1における 構造性能曲線



構造性能指標

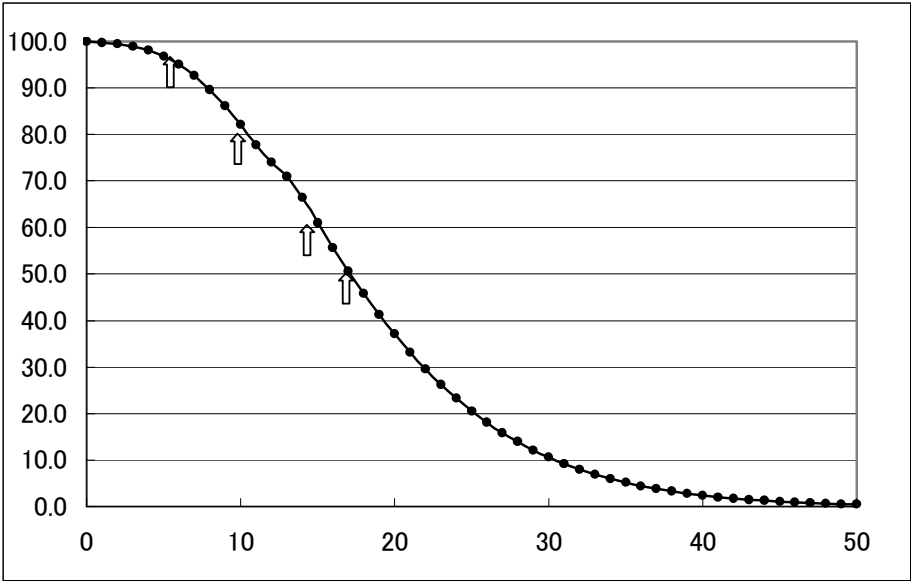
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	11年
B	80	21年
A	60	29年
AA	50	34年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.1
社会的割引率	0.02
①AAの場合には全体を撤去・新設	
②上部工 Aの場合 ケース1を選択	
③上部工 Bの場合 ケース3を選択	

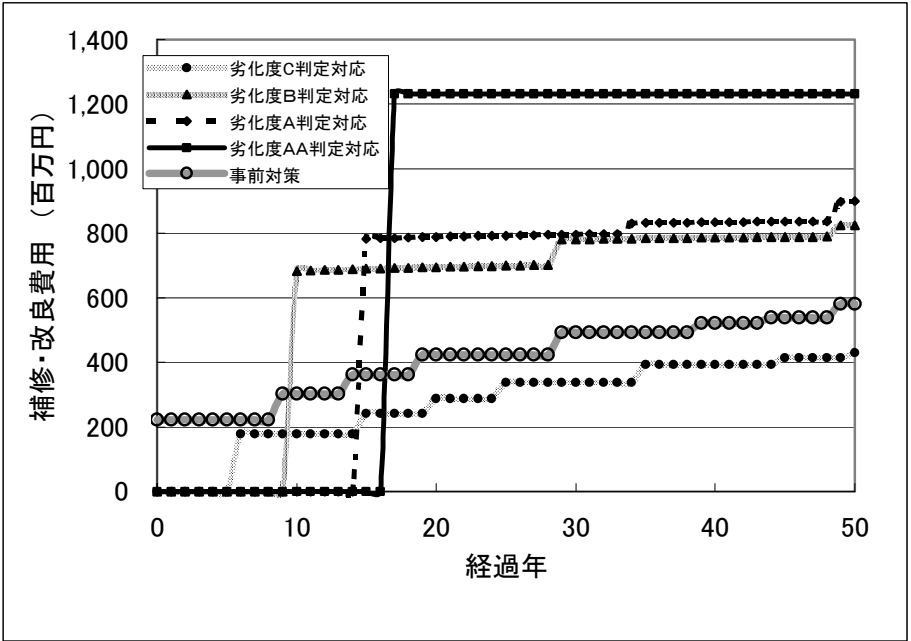
図 3-20 ケースⅡ-2

遷移確率=0.2における 構造性能曲線



構造性能指標

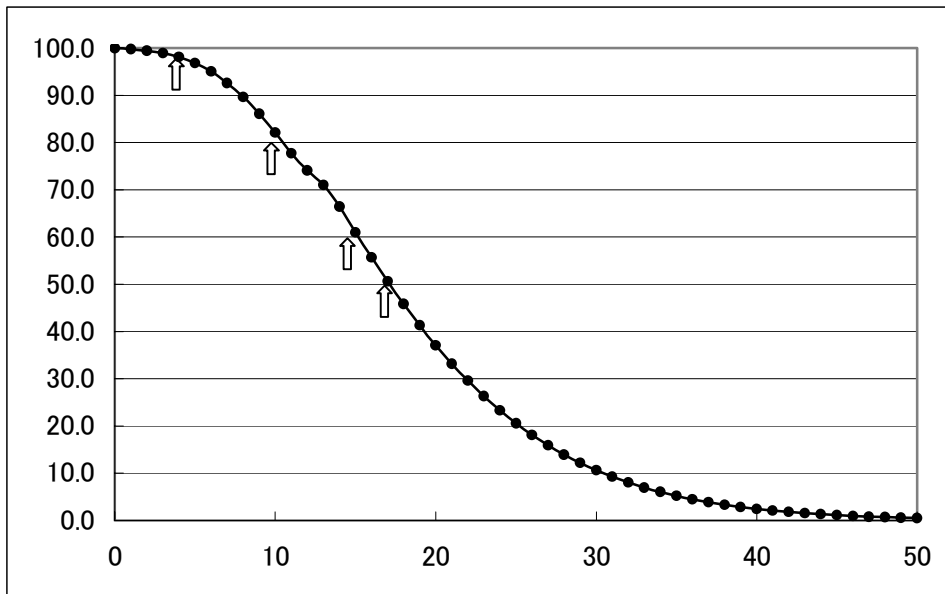
判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	6年
B	80	10年
A	60	15年
AA	50	17年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.2
社会的割引率	0.04
①事前対策は ケース6+ケース9	
②AAの場合には全体を撤去・新設	
③上部工 Aの場合 ケース1を選択	
④上部工 Bの場合 ケース3を選択	

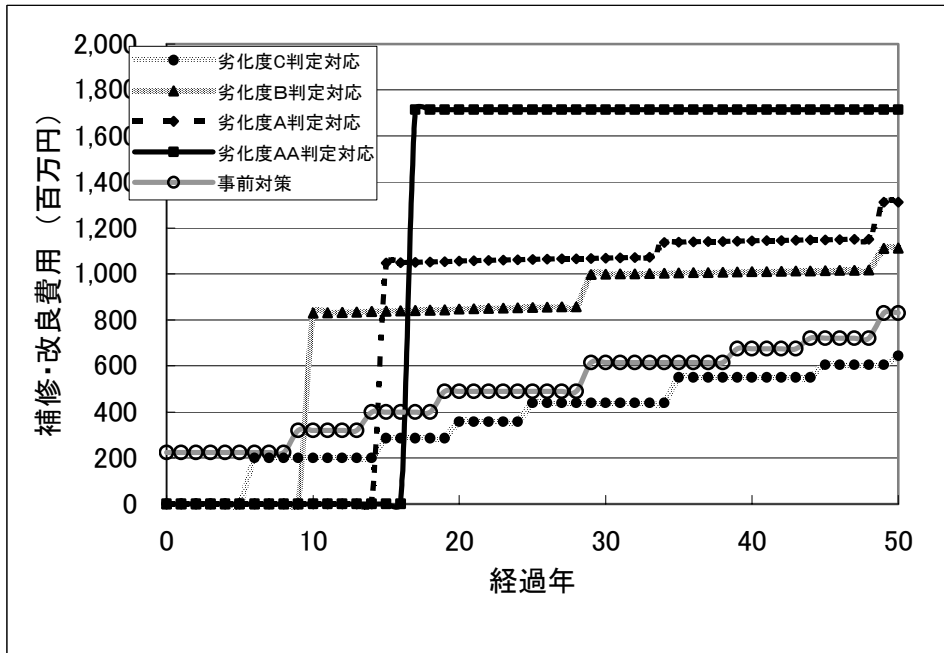
図 3-21 ケースⅡ-3

遷移確率=0.2における 構造性能曲線



構造性能指標

判定劣化度	性能指標値	到達年次
C	95	6年
B	80	10年
A	60	15年
AA	50	17年



対象施設	栈橋上部工+下部工
遷移確率	0.2
社会的割引率	0.02
①事前対策は	ケース6+ケース9
②AAの場合には全体を撤去・新設	
③上部工 Aの場合	ケース1を選択
④上部工 Bの場合	ケース3を選択

図 3-22 ケースⅡ-4

3.4 空間軸での優先度の設定法

3.3 では、維持補修・更新計画における時間軸での優先度を設定するための検討を実施した。ここでは、さらに空間軸での優先度の設定について検討する。

(1) 空間軸での考え方

空間軸での優先度の検討では、個々の港湾施設を対象とするのではなく港湾全体を、さらには地域全体を対象とすることが重要となる。言い替えれば、個別の港湾施設を有効活用するためには、港湾空間全体あるいは地域全体の中での各施設の役割や特性を踏まえたうえでの判断が重要である。

具体的なイメージを図 3-23、および図 3-24 に示す。従来での個別の施設単位での評価から港湾空間全体を、さらには個別港湾単位から地域全体を対象として比較評価を実施することが必要となる。その港湾空間全体を対象とした具体的な手法としては、表 3-3 に示すように個別施設ごとの様々な維持管理方策の組み合わせを設定し、複数の評価項目に基づくことにより最適な組み合わせを選択することが想定される。

(2) 評価のための定量化手法

表 3-3 で示したような空間軸での検討を実現するためには、それぞれの評価のための数量化が大きな課題となる。特に、異なる状況下、異なる場所、異なる施設を対象とした場合における相対的な評価数値の算定は容易ではない。

しかしながら、例えば道路関係 4 公団民営化推進委員会での様々な検討の中で、中村委員から提案された「新規および着工路線の相対的評価手法」（表 3-4 参照）、あるいは 2003 年度から示された「道路行政の業績計画書」等においてみられるように、評価のための定量化手法の実用化は著しく進展している。

したがって、これらの事例を参考にして港湾空間を対象とした空間軸での評価のための定量化手法を検討する。ただし、本研究では特定の地区における複数の係留施設を対象とする。

まずは、評価項目の選定が重要であり、その選定に際しては次の点に配慮することが必要である。

- ①現場の感覚、国民の実感にあった指標を構成する項目を選定する。
- ②全国的に同一精度を有する公開あるいは客観的データに基づく項目を選定する。

例えば、②の観点からは係留施設単位での取扱貨物量、寄港船舶隻数、寄港船舶総トン数、寄港船舶係留時間が挙げられる。

さらに、それぞれを外貿・内貿あるいは外航船と内航船に区分して設定することも考えられる。

次に、これらの評価項目値の基準化を行う。例えば、平均値を 100 として各施設の値を基準化することで、それぞれが平均よりどの程度上位なのか、あるいは下位なのか明確になる。具体的な計算例を 4. に示す。また、単純な基準化のみでなく、偏差値とすることで評価項目間でのデータの分散状況を調整することが考えられる。

さらに、各評価項目での指標値の合計を算定することで、各施設の総合評価点に相当する値を得ることができる。ここでの合計値の算定に際しては、評価項目の特性に差異をつけるために重み度を設定することが重要である。例えば、評価項目として①、②、③があった場合に、重み度として①:②:③=3:2:1 のような設定が考えられる。表 3-4 では、各評価項目に応じた評点と重み度の設定し、総合評点の算定方法が示されている。

(3) 劣化度判定との一体的なマトリックス評価

何度も示しているように、現在の港湾 LCM での総合評価では A～D の 4 段階の設定を行っている。

今、対象としている係留施設に関しても、(2)での定量化により利用状況の観点からの相対的な段階評価を行うことが可能となる。例えば、港湾 LCM での総合評価に合わせて次のように整理することができる。

A：対象とする地区での利用度が相対的に非常に高い

B：対象とする地区での利用度が相対的に高い

C：対象とする地区での利用度が相対的に低い

D：対象とする地区での利用度が相対的に非常に低い

ここで、「非常に高い」、「高い」、「低い」、「非常に低い」という概念での区分は明確ではないことから、現実的には相対的な指標値あるいはそれを偏差値として処理した値に対しての閾値による区分が考えられる。

この劣化度での 4 段階区分、利用度での 4 段階区分を例えば図 3-25①～③で示すようにマトリックスで整理し、優先度を評価することが可能となる。ここで、優先度が最も高いレベルⅠから低いレベルⅦを設定している。具体的には図 3-25①～③で見られるように劣化度判定が A かつ利用度判定が A の施設が補修対象としての優先度が最も高いと判断される。図 3-25 では 3 パターンを示しているが、どのパターンが妥当であるか、あるいはこれ以外のパターンの設定については今後さらに検討する必要がある。

(4) 空間軸での優先度の設定法

以上をまとめると空間軸での優先度の設定法は次のよ

うに整理することができる．

①対象地区・対象施設の設定

②対象施設に応じた評価項目の選定

③各評価項目の指標値および総合評価点の算定

（総合評価点の算定に際しては，重み度の設定，偏差値化等を必要に応じて実施する．）

④総合評価点に応じた利用度判定の段階区分化

⑤対象施設全体に対して，劣化度判定と利用度判定の結果でのマトリックス評価結果に基づき，空間軸からの優先度の設定

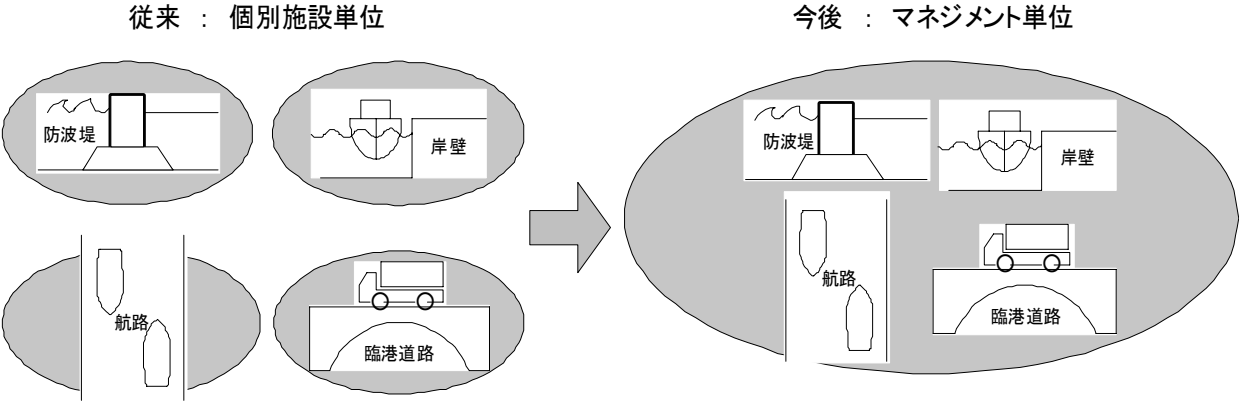


図 3-23 対象とする空間軸の考え方（港湾単位）

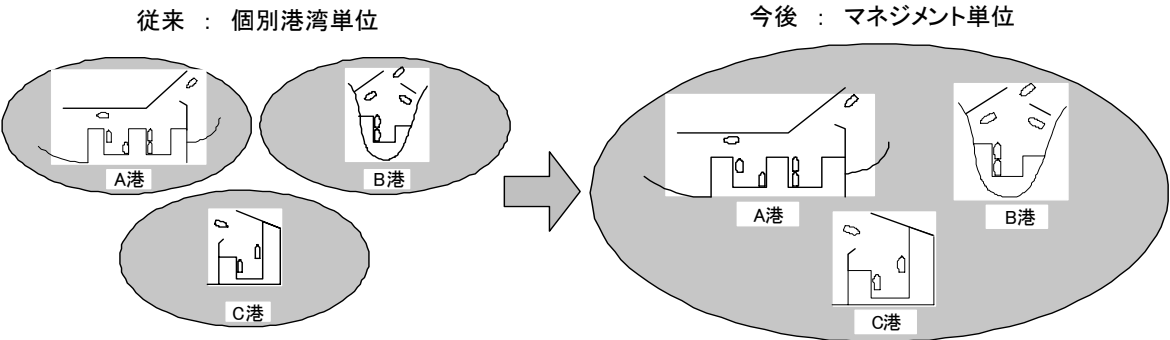


図 3-24 対象とする空間軸の考え方（港湾群単位）

表 3-3 空間軸での評価手法のイメージ

計画案		実施方策	便益	費用	環境影響		総合評価
計画案1	防波堤	A	15	20	0		△
	水域施設	B	6	10	5	.....	
	係留施設	C	9	5	2	.....	
	臨港道路	C	3	3	3	.....	
			33	38	10	.....	
計画案2	防波堤	C	3	4	0		◎
	水域施設	C	3	4	2	.....	
	係留施設	A	27	15	6	.....	
	臨港道路	A	15	15	15	.....	
			48	38	23	.....	
計画案3	防波堤						○
	水域施設	.....	.....	.....	.....	.....	
	係留施設	.....	.....	.....	.....	.....	
	臨港道路	.....	.....	.....	.....	.....	

実施方策	記号
改良工事(効用の向上を目的)	A
改良工事(効用の復旧・維持を目的)	B
維持工事	C

表 3-4 中村委員提案による評価手法

大項目	中項目	評価項目例	評点	重み
事業効率	社会的効率性	利用者便益／残事業費	X_1	W_1
採算性	建設費の回収	料金収入－管理費 建設費	X_2	W_2
外部効果	広域連携への効果	都市連携 空港・新幹線アクセス 高速バス	X_{31}	W_{31}
	住民生活や安全への効果	高度医療へのアクセス 異常気象時の輸送 国道閉鎖時の代替	X_{32}	W_{32}
	地域経済への効果	物流拠点アクセス 観光振興 工業開発	X_{33}	W_{33}
				総合評価点 = $\sum W_i X_i$

		劣化状況判定			
		A	B	C	D
利用状況判定	A	I	II	III	IV
	B	II	III	IV	V
	C	III	IV	V	VI
	D	IV	V	VI	VII

図 3-25① 劣化度判定と利用度判定のマトリックス評価法

		劣化状況判定			
		A	B	C	D
利用状況判定	A	I	II	II	III
	B	II	II	III	III
	C	II	III	III	IV
	D	III	III	IV	V

図 3-25② 劣化度判定と利用度判定のマトリックス評価法

		劣化状況判定			
		A	B	C	D
利用状況判定	A	I	II	III	IV
	B	II	II	III	IV
	C	III	III	III	IV
	D	IV	IV	IV	IV

図 3-25③ 劣化度判定と利用度判定のマトリックス評価法

4. アセットマネジメントの試行

1～3.までの成果を踏まえてアセットマネジメントの試行を行う。試行を行うために対象地区を具体的に想定し、その地区での予算制約に関する条件の下で維持補修・更新に関する事業計画の立案を行う。

4.1 想定対象地区の概要

(1) 施設概況

複数の港湾から得られたデータから、図 4-1 に示すような水深 12m，延長 240m 岸壁が連続 7 バース存在している地区を想定対象とする。構造形式，建設年次，劣化度判定，利用度判定等を図 4-1 に示す。1 号岸壁から順に 7 号岸壁まで建設されている。1 号岸壁・2 号岸壁は矢板式で，3 号岸壁以降は栈橋式で建設されている。一番古い 1 号岸壁の経過年数が 33 年であり，最も新しい 7 号岸壁が 15 年となっている。また，各岸壁の背後を利用している企業を合わせて示している。特に，具体的な状況は，以下のとおりである。

- ① 2005 年末に 7 バース全てに関して二次点検レベルを超える詳細な点検・診断を実施した。
- ② 調査の結果，劣化度判定（総合評価）では，経過年数の長い 1 号岸壁の劣化度が高いのではなく，3 号岸壁が劣化度 A 判定の状況（複数の鋼管杭に穴が空いている状況）であることが判明した。このため，3 号岸壁については即時に供用停止することとした。
- ③ さらに，4 号岸壁が劣化度 A 判定，2 号岸壁・5 号岸壁が劣化度 C 判定とされた。
- ④ 一方で，利用度では劣化度 A 判定とされた 3 号岸壁が最も高い利用度 A 判定とされた。また，2 号岸壁は利用度 C 判定とされたものの，それ以外は利用度 B 判定とされた。
- ⑤ こうした状況下で，港湾管理者は 3 号岸壁を供用停止した後，次の 3 点の対応策を検討している。
 - a. 3 号岸壁の利用者を何処にシフトするか？
 - b. 3 号岸壁の更新，2 号岸壁・4 号岸壁・5 号岸壁の補修に関してどの程度のコストが必要であり，また，事業実施のための優先順位はどうすべきか？
 - c. 一定の予算制約化の場合における事業計画をどのように策定すべきか？

(2) 利用度判定の根拠

図 4-1 では 1 号岸壁から 7 号岸壁に関して利用度判定を実施している。なお，ここでは実際のデータ（7 バース分）に基づいて以下の項目について解析した結果を示してい

る。また，それぞれの値は 7 バースごとの 4 年間（2001～2004 年）の平均値を基本としている。さらに 7 バース全体の平均値を 100 として指標化することで相対評価を実施している。したがって，各図の縦軸の単位は指標値となっている。

- ① 寄港船舶総隻数 （図 4-2）
- ② 寄港船舶総トン数 （図 4-3）
- ③ 係留時間 （図 4-4）
- ④ 取扱貨物量 （図 4-5）

一方で，4 年間の平均値を用いる場合には最近の傾向（上昇傾向あるいは下降傾向）が把握できないことから，各岸壁について 2001=100 とすることで 4 年間の傾向を分析した結果を図 4-6 に示す。この結果，例えば 2 号岸壁，7 号岸壁では多くの指標が下降傾向を示している一方で，4 号岸壁では増加傾向を示している。

本来であれば，3.4 で示したようにこれらの指標値を用いて総合評価点を算定することが望ましいが，本研究では，ここで示された結果および傾向のみから図 4-1 の評価を実施した。

背後利用	AA埠頭	BB冷蔵	CC物流総合センター		DD水産	EE運輸	FF臨港倉庫
係留施設	1号 岸壁	2号 岸壁	3号 岸壁	4号 岸壁	5号 岸壁	6号 岸壁	7号 岸壁
バース延長	240m	240m	240m	240m	240m	240m	240m
バース水深	12m	12m	12m	12m	12m	12m	12m
構造形式	矢板式	矢板式	棧橋式	棧橋式	棧橋式	棧橋式	棧橋式
建設年次	1972	1976	1980	1985	1985	1987	1990
経過年数(2005時点)	33年	29年	25年	20年	20年	18年	15年
劣化度判定(総合評価)	D	C	AA	A	C	D	D
遷移確率(詳細点検結果)	0.01	0.05	0.15	0.15	0.05	0.01	0.01
利用度判定(相対評価)	B	C	A	B	B	B	B

図 4-1 想定対象地区の施設概況

寄港船舶総隻数実績の相対比較(H13～H16 年の平均値:100)

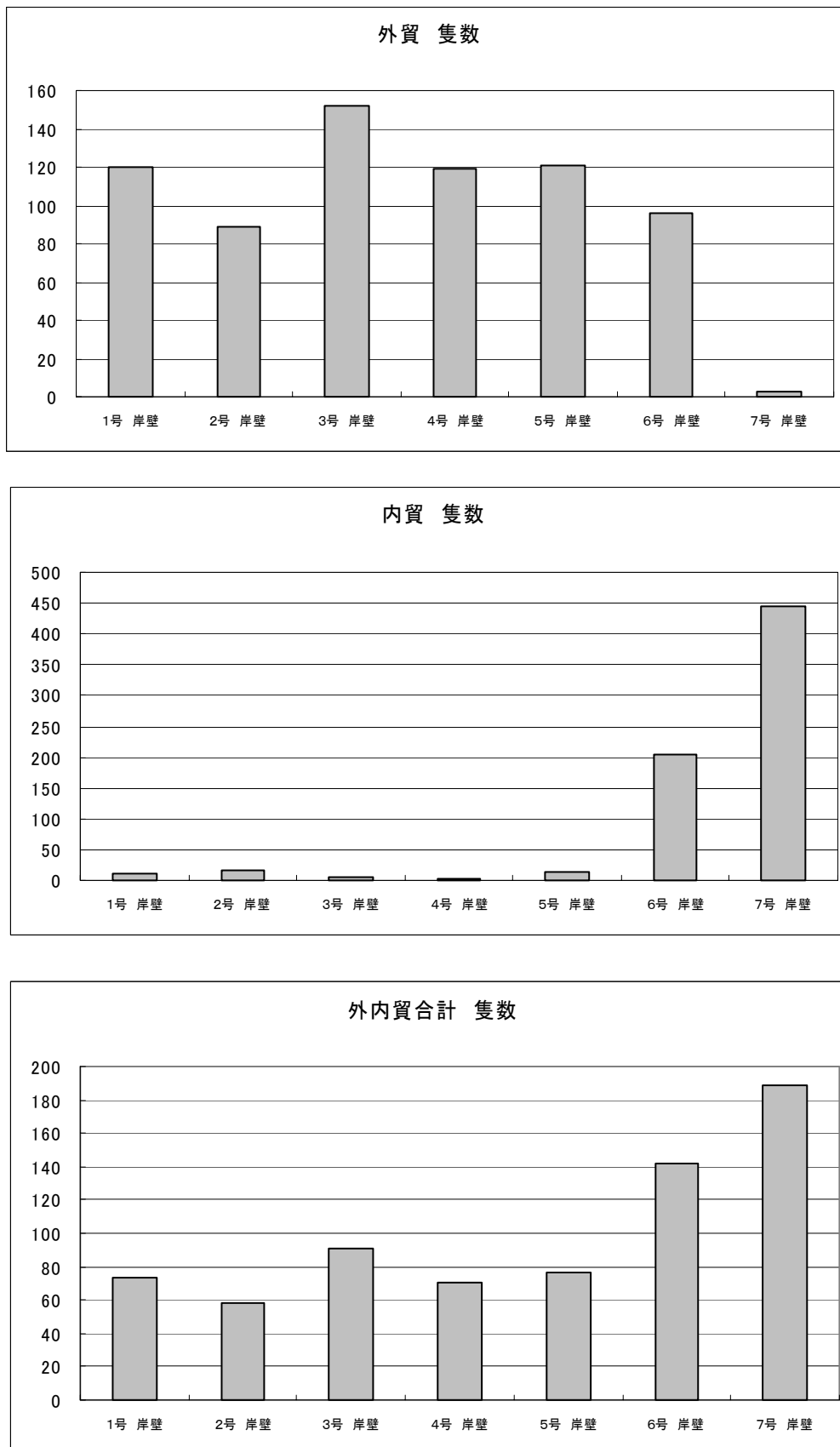


図 4-2 寄港船舶総隻数 (全体 7 バースの平均=100)

寄港船舶総トン数実績の相対比較(H13～H16 年の平均値:100)

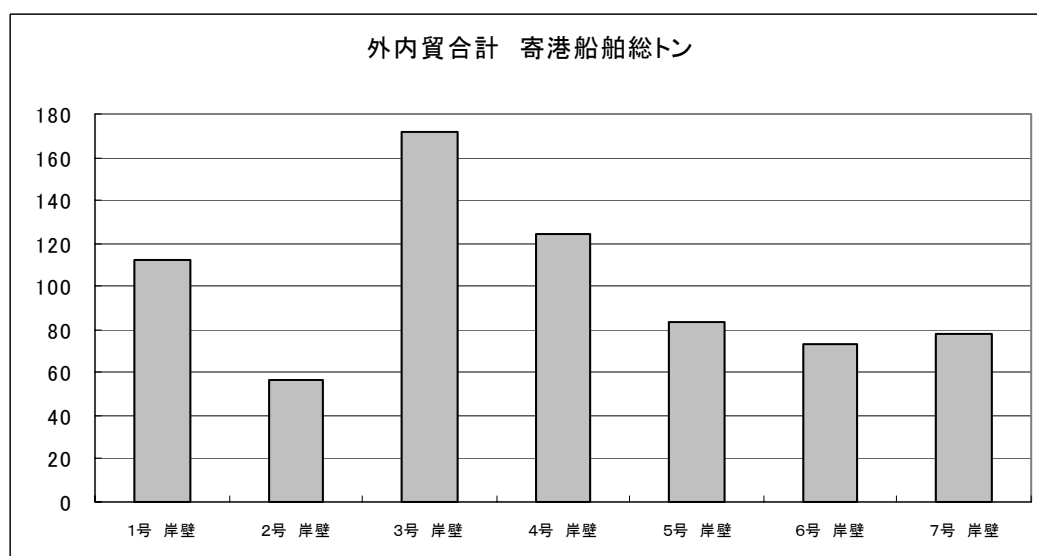
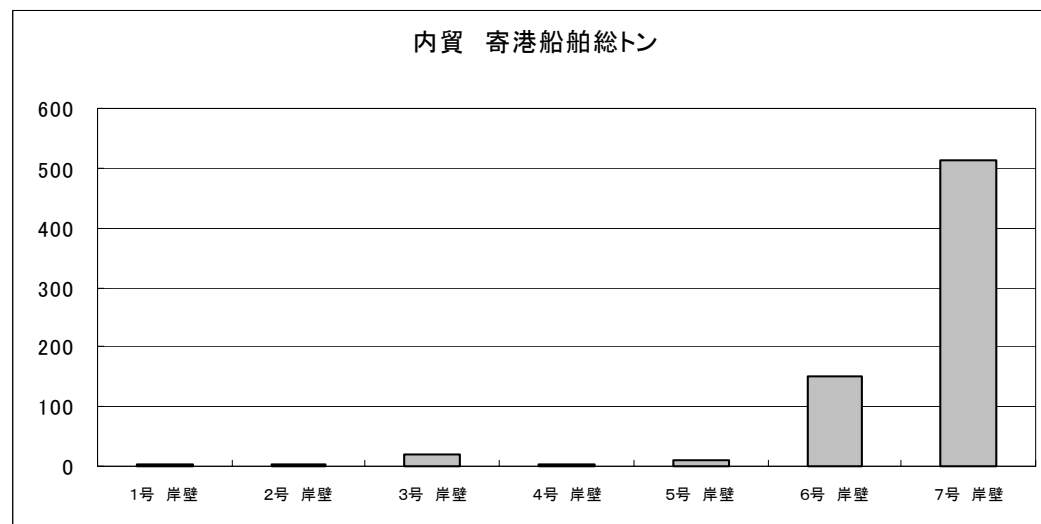
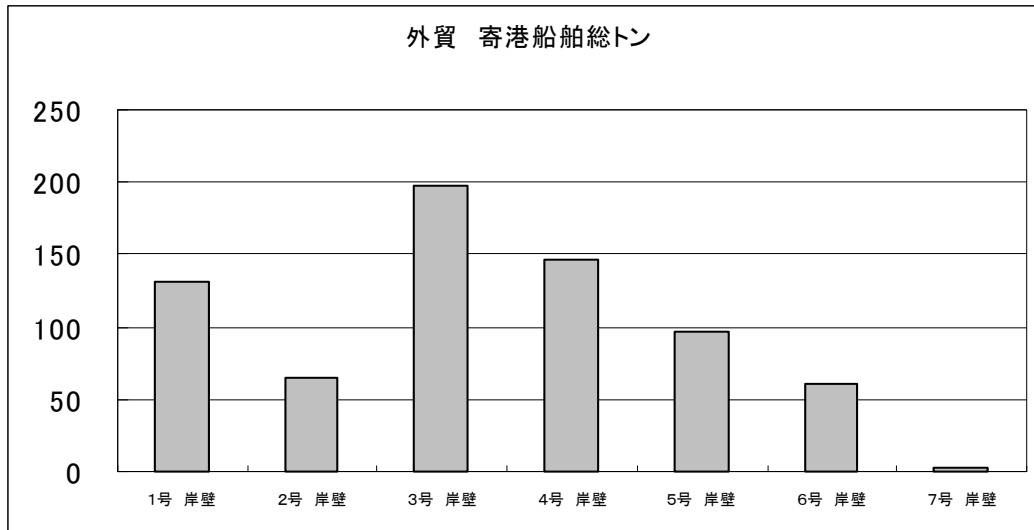


図 4-3 寄港船舶総トン数 (全体 7 バースの平均=100)

係留時間実績の相对比较(H13～H16 年の平均値:100)

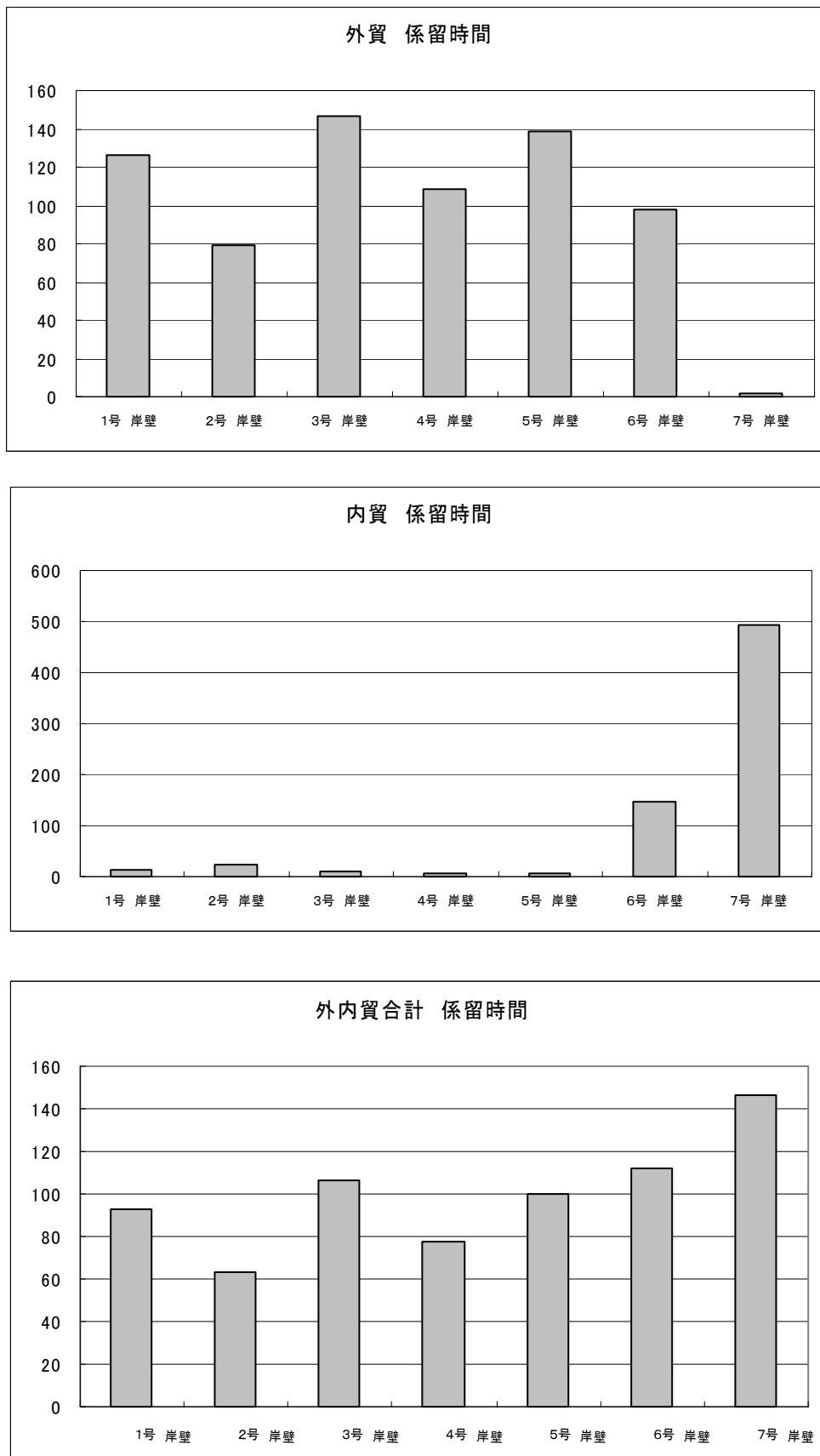


図 4-4 寄港船舶係留時間 (全体 7 パースの平均=100)

取扱貨物量実績の相対比較(H13～H16 年の平均値:100)

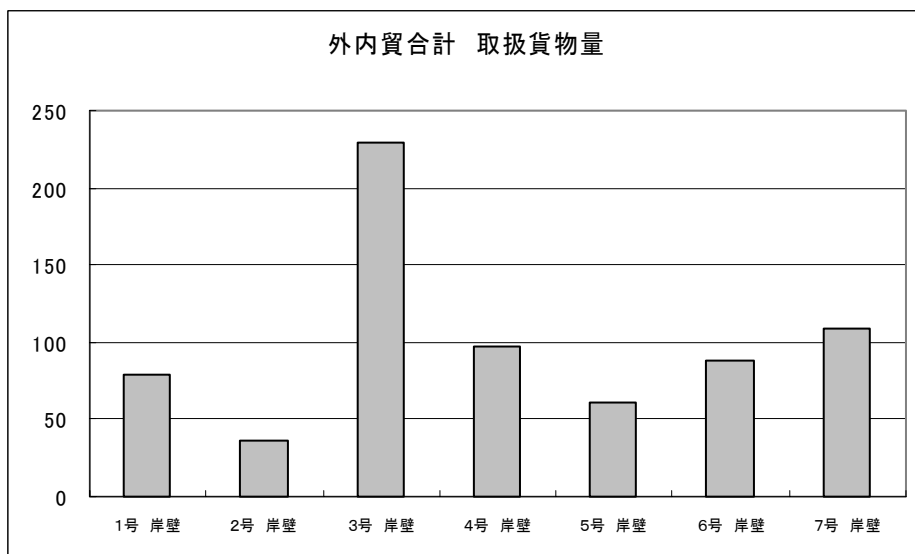
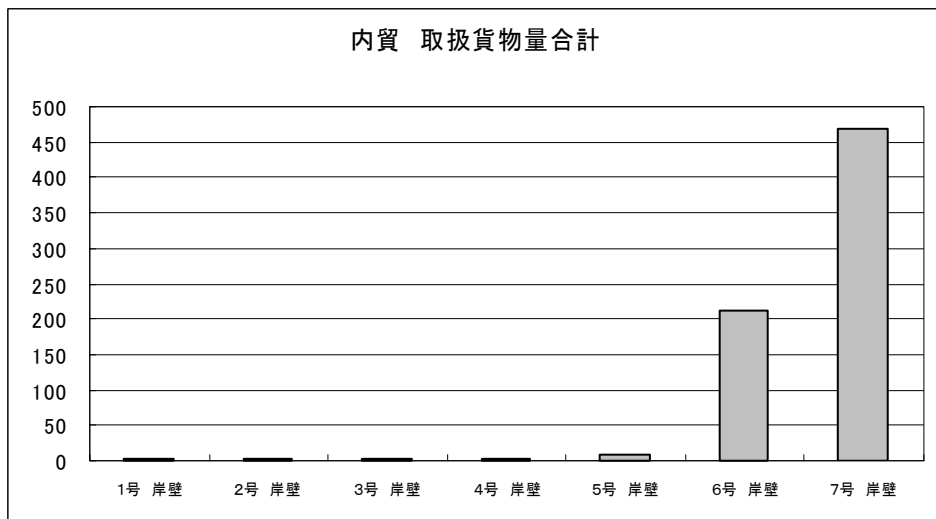
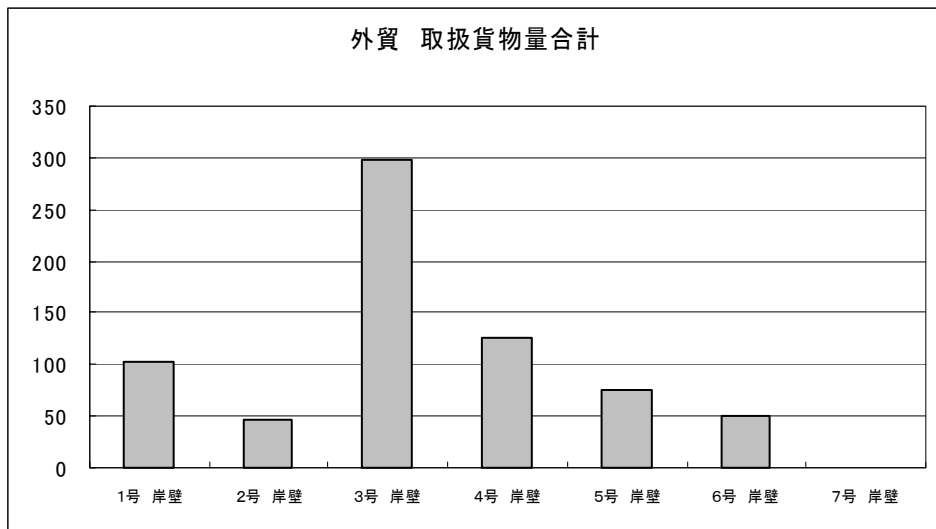


図 4-5 取扱貨物量 (全体 7 バースの平均=100)

岸壁別の利用実績推移(H13～H16 年:H13=100)

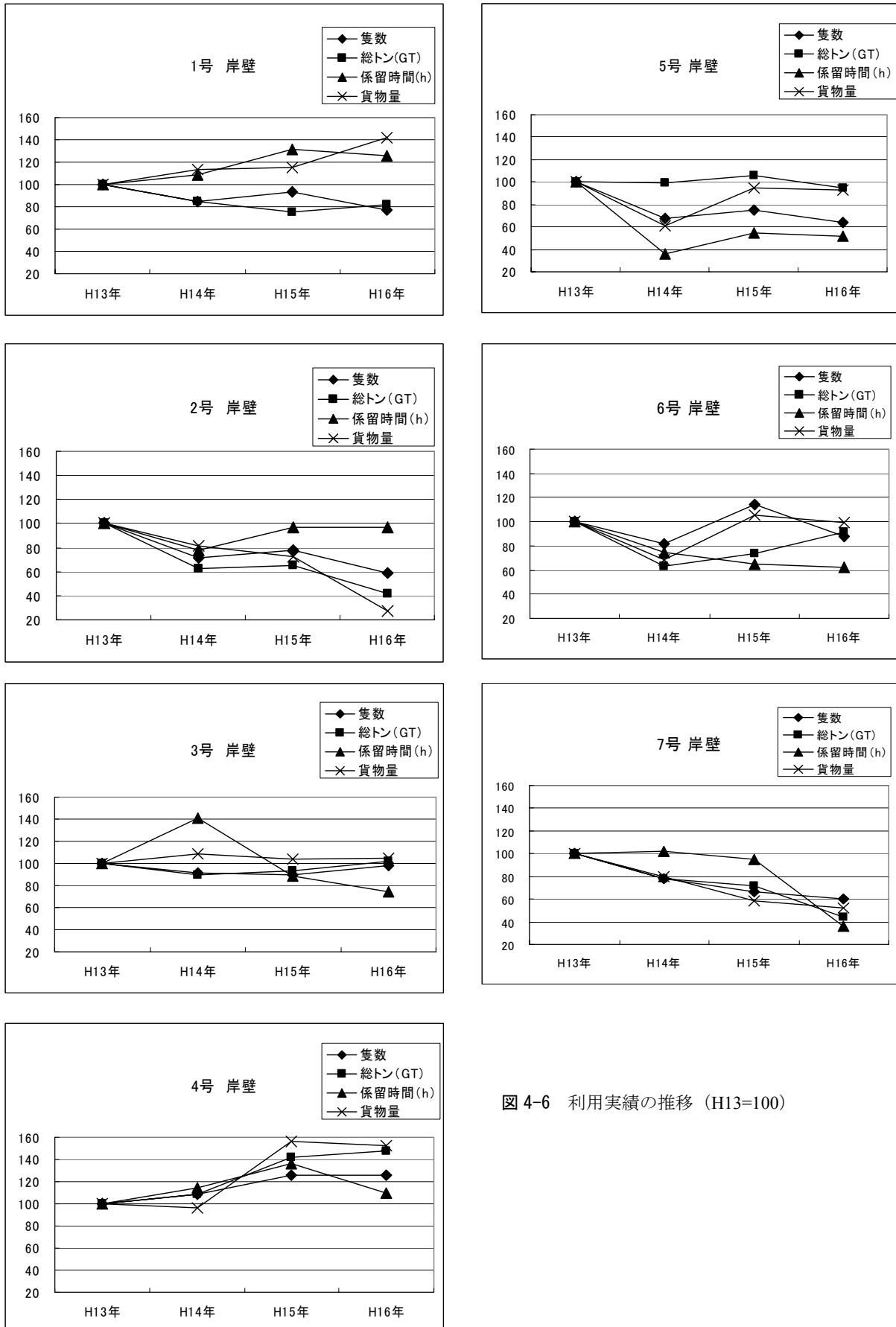


図 4-6 利用実績の推移 (H13=100)

4.2 想定対象地区におけるアセットマネジメントの試行

想定対象地区において、具体的なアセットマネジメント試行のための具体的な課題を考えた場合、まさに 4.1 で整理した以下の 3 点の課題がこれに相当する。

- a. 3 号岸壁の利用者を何処にシフトするか？
- b. 3 号岸壁の更新、2 号岸壁・4 号岸壁・5 号岸壁の補修に関してどの程度のコストが必要であり、また、事業実施のための優先順位はどうすべきか？
- c. 一定の予算制約化の場合における事業計画をどのように策定すべきか？

すなわち、港湾施設のアセットマネジメントの実施を考えた場合に、対象となる汎用的な課題というものは無く、対象とする地区、施設における個別・固有の課題を明確にして、その課題への具体的な対応策を明確にすることが必要とされる。

以下にそれぞれの課題への対応を検討する。

- (1) 供用停止にともなう 3 号岸壁の利用者のシフトへの対応

3 号岸壁の最大の利用者は直背後の C C 物流総合センターであり、4 号岸壁をより占有的に使用できることが望ましい。

しかしながら、4 号岸壁は劣化度 A 判定であり、かつ遷移確率も 0.15 と高く 3 年後程度には劣化度 A A 判定の状況に達することが想定される。このため、4 号岸壁において 3 号岸壁の利用者を緊急的に受け入れるの妥当ではない。

一方で、反対側の 2 号岸壁は、利用度 C 判定であり、かつ劣化度 C 判定で遷移確率も 0.05 と低く、劣化度 B 判定に達するまでには 10 年以上を要することが想定される。

したがって、供用停止にともなう 3 号岸壁の利用者は先ず 2 号岸壁へシフトし、3 号岸壁の更新および 4 号岸壁の補修完了後に、最大の利用者である C C 物流総合センターと再度調整することが最適であると考えられる。

- (2) 評価期間、補修費用、現状劣化度の残存期間等

評価期間、現状で事業を実施した場合の費用および現状の劣化度判定段階が継続する期間を 3. で分析から以下に整理する。

ここで、各施設の供用期間を建設後 50 年までとして、それまでの残存期間を評価期間とし、初期費用および評価期間内に必要となる段階的な補修費用の合計値を累積費用として算定している。また、矢板式の 2 号岸壁について

は、3. での栈橋式と同様の検討を行うことで累積費用を算定している。なお、社会的割引率は考慮していない。

【更新費用】

3 号岸壁 24 億円

【補修費用】

	評価期間	累積費用	残存期間	劣化度
		(初期費用)		
2 号岸壁	21 年間	1.6 億円	11 年間	C 判定
		(0.7 億円)		
4 号岸壁	30 年間	16.0 億円	3 年間	A 判定
		(14.1 億円)		
5 号岸壁	30 年間	8.1 億円	20 年間	C 判定
		(2.2 億円)		

- (3) 予算制約が無い場合での事業計画の立案

執行できる予算に限度額が無ければ、上記の更新・補修工事はできるだけ早期に実現することが適切である。従って、この場合には図 4-7 に示すように、初年度に 41 億円 (=24+0.7+14.1+2.2) の投資が必要となる。その後は、補修に関しての段階的なコストが必要になる。また、図 4-8 では累積投資額の推移を示している。

- (4) 一定の予算制約下での事業計画の立案

しかしながら、近年の厳しい財政状況では、現実的には予算に関する一定の制約下での最適な工程計画を立案することが求められる。

このため、この対象地区で実施可能な予算として、上限を年間 5 億円とした場合において、更新および補修費用の合計値を最小とすることを目的とした最適な工程計画の検討を行う。

具体的には、4 施設（2～5 号岸壁）の順番の組み合わせとして想定される 24 ケースについて、それぞれの更新・補修費を算定し、その中で最も安価となるケースを選択することが必要である。しかしながら、本研究では、最適な工程計画の策定に際して以下の前提条件を設定する。

- ① 各年度では、上限額の 5 億円までを対象とする。
- ② 現時点の劣化度の残存期間内では、必要な初期費用に変化は無く一定とする。
- ③ 補修の実施が遅れた結果、次の劣化度の進行した場合には新たな劣化度に対応した補修費用を対象とする。
- ④ 最適性の比較では、初期費用の合計のみを対象とする。

これにより、既に供用停止をしている 3 号岸壁に関しては、順位の優位性はなく、どの順位の場合でも必要な予算は 24 億円となる。

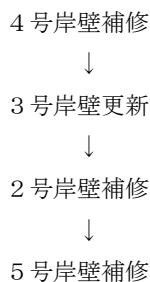
一方で，補修対象の2，4，5号岸壁については，先の前提条件③から，補修工事遅延にともなう費用増大の可能性を検討する必要がある。

まず2号岸壁に関しては，最後に実施するとした場合の9年目でも残存期間の11年内であることから，順位の優位性はない。

次の4号岸壁については，3年以内に補修工事に着工しなければ，劣化度がAA判定に進展し，初期費用はA段階での14.1億円からAA段階での24億円に増大する。このため，4号岸壁の実施順位は，3年以内に着工可能な1番目，2号岸壁または5号岸壁の次ぐ2番目（どちらでも1年目に着工可能），2号岸壁および5号岸壁の両方を実施後の3番目（2号，5号の実施順位に関係なく1年目に着工可能）とすることが必要となる。

最後の5号岸壁については，2号岸壁と同様に最後に実施するとした場合の8年目でも残存期間の20年内であることから，順位の優位性はない。

この検討結果を踏まえて，具体的に以下の優先順位の設定を行う。



この設定根拠は次のとおりである

①2号岸壁，5号岸壁は初期費用が小さいことから，早期の段階での実施も考えられるが，現状の劣化度がC判定であること，また残存期間も長いことから3号岸壁，4号岸壁よりも後にした。

②3号岸壁は，ここでの前提条件下では先に整理したように順位の優位性はない。しかしながら，現実的には供用停止にともなう利用者の損失が発生しているとして，優先順位は高いと判断した。ただし，1番目にすると，先に示したように4号岸壁の補修工事の着工が5年目となり，費用が10億円も増大するために2番目とした。

③4号岸壁は，ここでの予算制約下では3号岸壁よりも後に事業を実施できないことから1番目とした。

ここで設定した毎年度5億円の予算制約下での事業計画案の結果を図4-9に示す。なお，この図での8年目では3号岸壁の更新，2号岸壁および5号岸壁の補修が同時に実施されることになるため，実際には現実的な工程の調整が必要となる。

また，今回の事例をふまえて，優先順位設定における基本的な考え方として次のように整理することができる。

「劣化度判定のレベルが高く，現状劣化度の残存期間が短い施設を優先する。」

ただし，これは一つの考え方であり，今後，より多くの事例を分析したうえで，さらに体系化することが必要である。

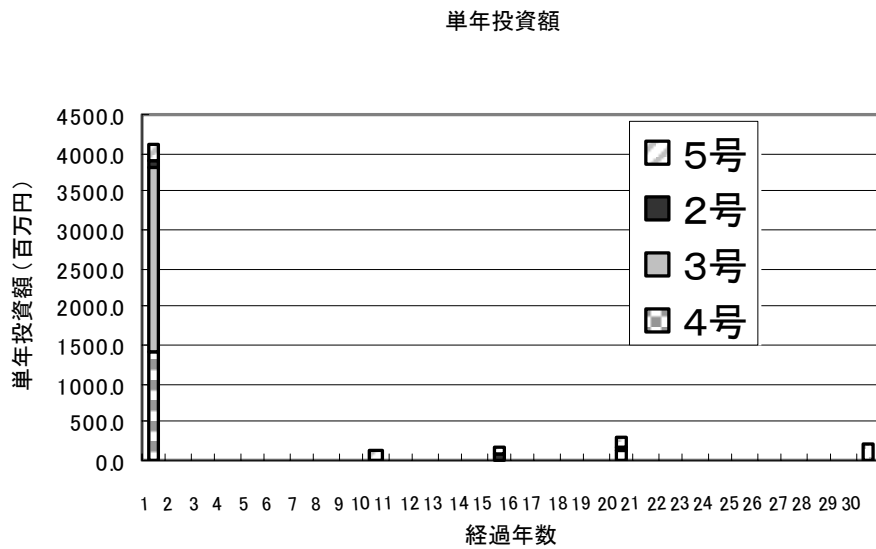


図 4-7 予算制約のない場合での単年投資額

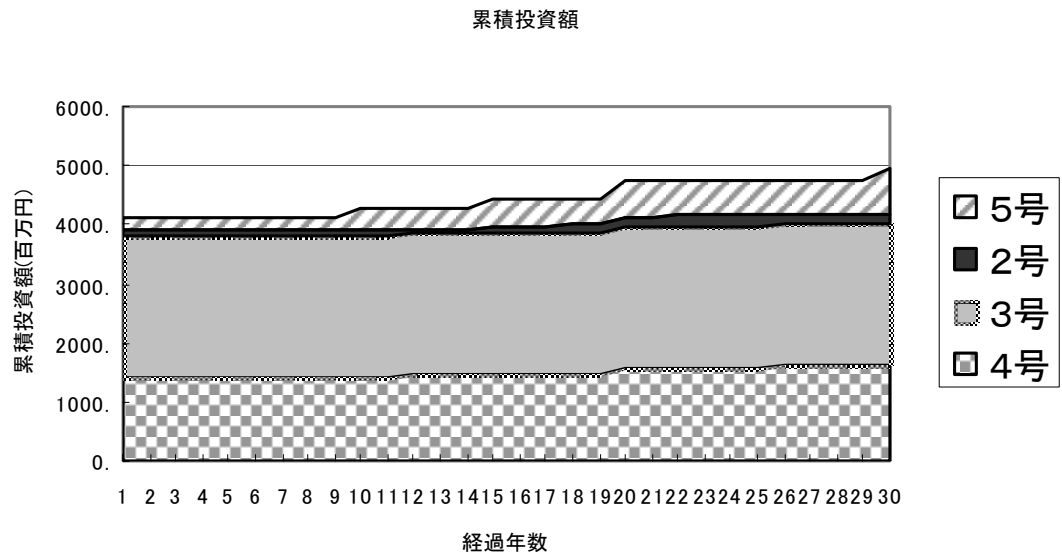


図 4-8 予算制約のない場合での累積投資額

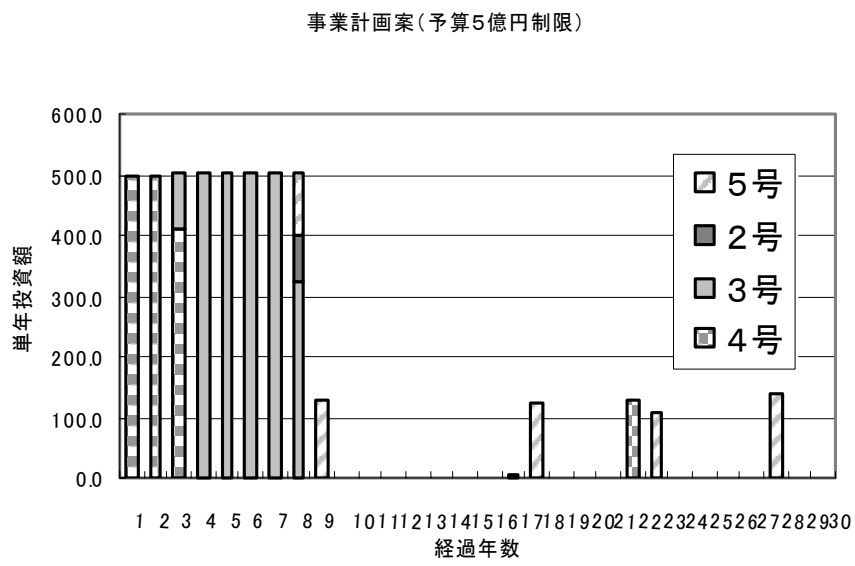


図 4-9 予算制約下での事業計画案

5. まとめと今後の課題

本研究では、以下の4項目について分析および検討を行った。

- ①アセットマネジメントの現状
- ②港湾におけるアセットマネジメントの構築
- ③維持補修・更新計画における優先度の設定方法
- ④アセットマネジメントの試行

しかしながら、未だ机上での検討のみや、多くの仮定や前提に基づいている部分が多く、実際の現場での適用に向けての課題として、次の点が挙げられる。

(1)点検・診断方法の見直し

本報告では対象施設、特に栈橋上部工では「遷移確率」が非常に重要な要素となる。このため、例えば、栈橋上部工では「遷移確率」を把握できる点検・診断方法を構築することが必要である。また、他の施設に関しても、今後の分析を踏まえて「栈橋上部工での遷移確率」に相当する「劣化度予測の鍵となる要素」を把握できる点検・診断方法を構築することが必要である。

(2)補修コスト推計手法の確立

最適な補修工法の選択に際しては、各工法を実施した場合での概算コストが重要であり、本研究でも幾つかの仮定に基づいて推計を実施した。しかしながら、現状での推計手法は不十分であることから、より精度の高い推計手法を確立することが必要である。

(3)劣化要因の分析

4. の事例では、劣化度と経過年数は相関しておらず、またこのような事例は、一般的である。本来であれば、3号岸壁の劣化度が著しい原因を究明し、それも踏まえて補修工法を検討することが必要であり、個別の劣化要因分析をより推進することが必要である。

(4)アセットマネジメント事例の集約

港湾施設のアセットマネジメントとしての課題は個別ごとに異なり、また、対処方法も多種多様である。しかしながら、他の実施例は非常に参考になるとともに、上記の(1)～(3)に対処するためにも、今後様々な港湾で実施されるアセットマネジメント例を集約し、体系化しておくことが必要である。

(18年6月22日受付)

参考文献

- 1)国土交通省編：平成15年版国土交通白書，ぎょうせい，2003.4
- 2)高橋宏直・舟橋香・横田弘：港湾施設の維持補修・更新費の将来推計に関する研究，国総研資料 No. 44，2002
- 3)高橋宏直・後藤文子・横田弘：港湾施設の維持補修・更新費の将来推計に関する研究(2005)，国総研資料 No. 257，2005
- 4)高橋宏直・横田弘：港湾施設の維持補修費の推計モデル構築および将来動向の推計，土木学会論文集，No. 679/VI-51，2001
- 5)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
- 6)国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト「社会資本ストックの管理運営技術の開発」報告書，2005
- 7)木内望：社会資本ストックの維持管理と有効活用ーアセットマネジメントの考え方と方法ー，平成17年度建設マネジメント研修テキスト，2005.12
- 8)横田弘・宮崎正治・西園勝秀：港湾施設のライフサイクルマネジメントに関する研究，平成16年度国土交通省国土技術研究会 指定課題報告，2004
- 9)横田弘・高橋宏直・西園勝秀：港湾施設のライフサイクルマネジメントに関する研究，平成17年度国土交通省国土技術研究会 指定課題報告，2005
- 10)運輸省港湾技術研究所編：港湾構造物の維持・補修マニュアル，沿岸開発技術研究センター，1999
- 11)小牟禮建一他：RC栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発，コンクリート工学論文集，Vol. 15，No. 1，pp. 13-22，2004.1.
- 12)横田弘他：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，港湾技術研究所報告，Vol. 38，No. 2，1999.6.
- 13)横田弘，小牟禮建一：計画的な維持修繕によるライフサイクルコストの低減，港湾，Vol. 79，No. 8，pp. 14-17，2002.8.
- 14)小牟禮建一，浜田秀則，横田弘，山路徹：塩害を受ける栈橋上部工のマルコフ連鎖モデルを用いた劣化予測に基づくLCC算定に関する考察，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26，No. 1，pp. 2061-2066，2004.7.
- 15)運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，1999.4.
- 16)International Standardization Organization：ISO2394 - General principles on reliability of structures，June 1998.

- 17) 高橋宏直・横田弘・後藤文子：港湾施設の構造性能曲線および寿命に関する研究－港湾施設のアセットマネジメントの実用化に向けて－，第 23 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会，2005
- 18) 小牟禮建一，浜田秀則，横田弘，山路徹：RC 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発，港湾空港技術研究所報告，Vol. 41，No. 2，2002. 12.

国土技術政策総合研究所研究報告

RESEARCH REPORT of NILIM

No. 29 September 2006

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〔 7239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5018 〕