

# 港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT, JAPAN

No. 1001 June 2001

栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発

古	玉	悟
田	邊	郎
横	田	弘
濱	田	則
岩	波	保
日	比	也

国土交通省港湾技術研究所



## 目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. マネジメントシステム構築の目的	4
3. 対象構造物と検討方法	4
4. 劣化調査項目	5
4.1 上部工の劣化調査	5
4.2 下部工の劣化調査	9
5. 劣化評価, 予測手法	10
5.1 上部工の劣化評価, 予測手法	10
5.2 下部工の劣化評価, 予測手法	12
6. 維持補修工法の検討	13
6.1 上部工の維持補修工法	13
6.2 下部工の維持補修工法	13
7. マネジメントシステムの構築	13
7.1 劣化評価・予測システム	14
7.2 維持補修工法データベース	16
7.3 維持補修工法選定システム	19
7.4 システム操作の流れ	22
8. マネジメントシステムの評価	27
8.1 評価方法	27
8.2 取得データの概要	27
8.3 劣化評価および劣化予測システムの評価	28
8.4 維持補修工法選定システムの評価	32
9. まとめ	32
10. 今後の課題	34
11. あとがき	34
参考文献	34
付録 マネジメントシステムの画面イメージ	35

# Development of Maintenance Management System for Existing Open-Piled Piers

**Satoru KODAMA\***  
**Toshiro TANABE\*\***  
**Hiroshi YOKOTA\*\*\***  
**Hidenori HAMADA\*\*\*\***  
**Mitsuyasu IWANAMI\*\*\*\*\***  
**Tomoya HIBI\***

## Synopsis

For considering effective and rational maintenance strategies for port and harbour infrastructures, it is important to establish a maintenance management system that will provide engineers with several alternatives for maintenance work. This study attempts to develop a decision-making support system for maintenance management of existing open-piled piers based on life cycle analysis. The durability and ultimate strength are taken as the main indexes of structural performance for a concrete deck and supporting steel piles. The maintenance management system will be able to predict the future deterioration process of structural members of the piers and to suggest a maintenance plan for repair based on a combination of maintenance cost minimization and quality maximization approach. This paper describes an outline of the proposed system including some assumptions to evaluate present and future deterioration and database of repair/maintenance techniques. Also the performance of the system is verified through practical application of an existing open-piled pier. This maintenance management system will be available on a personal computer program.

**Key Words:** Life extension, Maintenance, Rehabilitation, Management, Cost estimation

---

\* Research Engineer of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division  
\*\* Chief of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division  
\*\*\* Chief of Structural Mechanics Laboratory, Structural Engineering Division  
\*\*\*\* Chief of Materials Laboratory, Structural Engineering Division  
\*\*\*\*\* Research Engineer of Structural Mechanics Laboratory, Structural Engineering Division  
3-1-1, Nagase, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826, Japan  
Phone : +81-468-44-5038 Fax : +81-468-44-1145 E-mail : kodama@cc.phri.go.jp

# 栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発

古玉 悟\*  
田邊 俊郎\*\*  
横田 弘\*\*\*  
濱田 秀則\*\*\*\*  
岩波 光保\*\*\*\*\*  
日比 智也\*

## 要 旨

社会基盤施設は、その公共性の高さから、その性能を常に発揮できるように良好な状況に保っておく必要がある。一方、21世紀を迎え、我が国の社会情勢は高度成長期を過ぎて安定成長の時代に入り、社会基盤施設整備に対し従来のような投資の伸びを確保することは難しい状況にある。このような中で、現在における緊急の課題は、いかに現存する構造物を有効に維持管理し、その供用年数を伸ばすかということである。

そこで、本研究は、社会基盤施設の一つである栈橋が現時点で有する耐荷性能を適切に評価するとともに、その性能の低下を予測し、効果的な補修・補強等の延命化を行うための諸情報を与えるシステムを構築することを目的としている。その結果、効率的な維持管理費の投資を通して、公共工事のコスト縮減に資することが可能となる。本文では、マネジメントシステムの核となるべき構造物の劣化評価プロセス、劣化予測プロセス、補修工法選定プロセスについて検討を行い、マネジメントシステムを開発したのでこれを報告する。

キーワード：維持管理，ライフエクステンション，補修，補強，マネジメント，維持補修費

---

\* 計画設計基準部設計技術研究室

\*\* 計画設計基準部設計技術研究室長

\*\*\* 構造部構造強度研究室長

\*\*\*\* 構造部材料研究室長

\*\*\*\*\* 構造部構造強度研究室

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省港湾技術研究所

電話：0468-44-5038 Fax：0468-44-1145 e-mail:kodama@cc.phri.go.jp

## 1. まえがき

我が国の公共資本のストックは高度成長の過程でかなりの水準にまで引き上げられてきた。しかし、安定成長を迎え、以前のような投資の伸びを確保することが難しくなってきたことから、施設の新設・更新を頻繁に行うことが困難な状況に向かいつつあると思われる。また、先に整備を行ったストックの維持管理費が今後増大することが予測されている。

したがって今後は、限られた投資の中での維持管理費をどのようにして有効に配分するか、また、新規投資を抑制せざるを得ない状況で、既存構造物をその設計耐用期間後も使用を継続するといった構造物の延命化をいかに行うかが重要な課題となってきた。

このような状況を踏まえ、本研究では社会基盤施設の一つである栈橋について、最適な維持管理方策を提案するための「栈橋の維持補修マネジメントシステム」の構築を検討した。そして、その骨格部分の手法を整理検討し、マネジメントシステムを構築した。

## 2. マネジメントシステム構築の目的

港湾構造物の設計に用いられる耐用年数は、設計図書で明示されていないが、50年といった年数が採られていると想定されるものが多い。そして、この50年間に想定される劣化が生じてても、耐荷性能が維持できるように、鋼材であれば防食処理が行われ、鉄筋コンクリートであればコンクリートの品質確保や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。したがって、設計耐用年数の間、構造物はメンテナンスフリーであるということ想定している。

しかしながら、上述の仕様の規定の中には、構成材料を対象とした厳密なシミュレーションによって保証されているものではなく、従前の経験等から定まったものも多い。そのため、現実の構造物では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、塩害などにより、その構造物の耐用年数に到達する前にその耐荷性能を維持するための補修を必要とする構造物が多数存在することは周知のことである。このことから、今後は構造物の性能を保証するために維持管理、補修、補強といった施設マネジメントが重要となってくる。

また、構造物の耐用年数を考える際、構造形式によっては、構成する複数の構造部材のうち一つが必要性

能を満たさなくなることで、構造物全体の機能が失われる場合もある。その場合は構造物全体の耐用年数は構成部材の耐用年数と等しくなる。このことから、本研究では構造部材の性能の劣化に着目してマネジメントシステムを構築することにする。したがって、本研究では構造体全体の変状（構造体全体の傾斜、沈下、移動）は対象としないこととする。

このマネジメントシステムは、ある構造物（部材）の現況データ（劣化の程度等）を入力することにより、その構造物（部材）に起こっている耐荷性能低下の現況を適切に評価し、今後その部材に起こるであろう耐荷性能の推移を予測する。そして、その構造部材が耐荷性能を維持してゆくのに最も合理的な維持補修工法およびその実施時期を提案する。これらにより、港湾管理者による港湾の維持管理費の効率的な配分を促進し、公共事業のコスト縮減および効果的な事業の推進に資することが可能となる。

この目的のために本システムが有すべき機能は次のとおりである。

### (1) 情報の格納、整理

管理者（点検者）が点検により収集した港湾構造物の現況に関する情報（データ）を入力、整理する。

### (2) 構造物の現況（劣化）評価

収集した情報を基に実験式などから構造物の劣化の現状を評価する。

### (3) 構造物の劣化予測

構造物の現状評価結果および入力情報から対象構造物の劣化の推移について予測を行う。

### (4) 維持補修工法の候補選定

あらかじめ格納しておいた各種の維持補修工法に基づき、構造物の現状評価および劣化予測から、必要と考えられる維持補修工法およびその時期について表示する。

### (5) 最適な維持補修工法の決定支援

前項までの検討結果を基に、各工法毎にそれぞれに要する初期費用および施工後に発生する費用を計算して図化し、維持補修費の総額の最小化の観点から最適な維持補修工法の決定の根拠とする。

## 3. 対象施設と検討方法

港湾施設には様々な種類、構造様式が存在する。しかし、これらをすべて取り扱うシステムを構築することは煩雑であり、現段階においては合理的とはいえない

い、そこで、まず一つの構造様式について手法を検討してシステムを構築する。その後必要に応じてシステムを拡張し、他の構造物に対しても検討が可能にする。

今回の研究では「栈橋」を対象とした。栈橋は他の構造物に比べ、構造体自身の変状（波浪による移動、傾斜、または地盤の圧密現象による不同沈下等）の影響を受けにくく、部材の劣化が構造物の耐久性に与える影響が大きいと考えられるからである。また、コンクリート構造である上部工と鋼構造である下部工の複合した構造物であり、コンクリートおよび鋼材の双方について検討するので、今後他の構造様式について、展開が図り易いことも理由の一つである。

栈橋を次のように上部工と下部工に分けて劣化評価、予測および維持補修工法の選定の検討を行うこととする。

上部工：コンクリート構造

下部工：鋼構造

これは、コンクリート構造と鋼構造では材料および構造様式が異なるため、点検の際の着目点や劣化評価の基準などが異なるからである。

また、港湾施設維持補修マニュアル<sup>9)</sup>を参考に構造物のマネジメントフローを検討すると図-1のようになることから、このフローに従い検討を進めることとした。

なお、劣化評価および予測手法については既往文献の整理および実験により検討し、維持補修工法は既往文献の整理および施工実態のヒアリングにより検討した。これらの成果を統合してシステムを構築した。

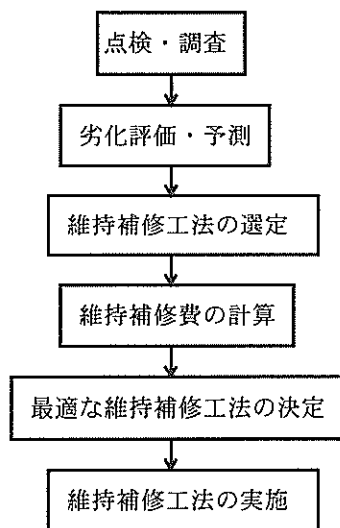


図-1 マネジメントの流れ

#### 4. 劣化調査項目

栈橋の施設マネジメントを行うには、まず対象とする施設が現在どのような状況にあるのかを把握する必要がある。そこで上部工および下部工のそれぞれについて現状把握に必要な調査項目および調査方法を示す。

##### 4.1 上部工の劣化調査

栈橋上部工の調査項目を、港湾構造物維持補修マニュアル<sup>9)</sup>を参考に次のように選定した。このうち目視による劣化度についてはコンクリート構造物の劣化を把握するための基本事項であり、その他の項目については栈橋上部工の劣化の主たる原因が塩害であることを考慮して選定した。

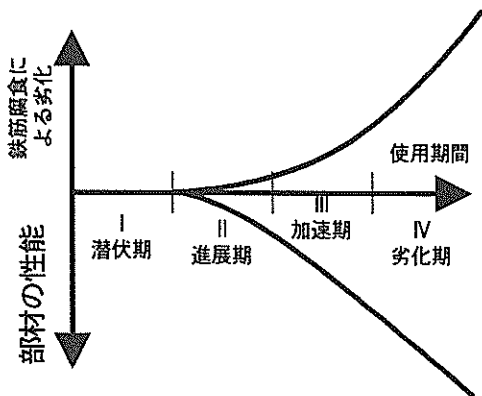
- (1) 目視による劣化度評価
  - (2) 鋼材腐食状況の把握、腐食速度の推定
  - (3) 鋼材位置、かぶり厚さ、配筋状況
  - (4) コンクリート中の塩化物含有量
  - (5) コンクリートの内部欠陥
- 次に、それぞれについて概要を述べる

##### (1) 目視による劣化度評価

コンクリート構造物は、劣化の程度にもよるが、かなり劣化が顕在化した段階でも力学特性の低下が大きい場合が多い。したがって、目視によってコンクリートの外観を調査・評価し、劣化の進行程度に合せて適切に対策を実施することができれば、構造物の要求性能を維持することができる。

目視調査は、人が判断するため必ずしも客観的な結果を与えることにはならないが、比較的簡便で広い範囲で短期間に実施することが可能であり、栈橋全体の状況を把握するうえで大変重要な調査である。栈橋上部工の劣化は、上部工の下面に現れる場合が多く、調査はボートなどを用いて栈橋下側から行うこととなる。この際、調査精度を上げるために、写真撮影等によって客観的データを収集すると共に、コンクリートに近づける場合にはテストハンマーなどによって浮き、剥離を確認することも大切となる。

外観目視調査の結果は、表-1および表-2によって判定するのが一般的である。一般に、鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化と性能の低下には、図-2の関係があると言われている<sup>9)</sup>。この図の上側は鉄筋腐食に伴う劣化を示しており、下側は鉄筋腐食に伴う部材の性能低下を示している。実際の部材にはさまざまな性能が求められており、鉄筋腐食による性能低下の曲線が図-3<sup>9)</sup>



- 状態Ⅰ:コンクリート中への外部塩化物イオンの侵入、および鉄筋近傍における腐食発生限界量までの塩化物イオンの蓄積段階(潜伏期)
- 状態Ⅱ:水と酸素の供給下における継続的な腐食の進行段階(進展期)
- 状態Ⅲ:軸方向ひび割れ発生以降の、急激な腐食段階(加速期)
- 状態Ⅳ:腐食減量が増大し、部材としての耐荷力に影響を及ぼす段階(劣化期)

図-2 塩害劣化の進行過程の概念図<sup>2)</sup>

のように複数存在することになる。

ここに示した栈橋上部工の劣化度と「潜伏期」, 「進展期」, 「加速期」, 「劣化期」は、以下のように対応付けられるものと考えた。

劣化度0：鉄筋腐食がまだ始まっていない段階で、

潜伏期に相当する。

劣化度Ⅰ：鉄筋の腐食が進行している段階で進展期の前期～中期に相当する。

劣化度Ⅱ：コンクリート表面に劣化が顕在化しているが、まだ腐食ひび割れは発生していない段階であり、進展期の後期に相当する。

劣化度Ⅲ：かぶり部分に腐食ひび割れが発生しており、加速期の前期に相当する。

劣化度Ⅳ：かぶりコンクリートの大部分に腐食ひび割れが発生しており、加速期の後期に相当する。

劣化度Ⅴ：鉄筋の断面欠損が顕著になる段階であり、劣化期に相当する。

栈橋上部工の場合、耐荷力が最も重要な性能と考えられる。劣化過程と耐荷力の関係は表-3<sup>2)</sup>のように示されている。耐荷力の低下は劣化期に入って顕著になるが、それまではほとんど変化がないと言われている。この例として、20年間海洋環境下に暴露した供試体の載荷試験結果が挙げられる<sup>3)</sup>。図-4<sup>3)</sup>から明らかなように、劣化度がⅣを越えるあたりから計算上期待される耐荷力よりも劣化した部材の耐荷力の方が小さくなっている。したがって、構造物の力学特性に大きな変化が無い段階で何らかの対策を講じようとする場合には、劣化度Ⅲあたりで対策工の実施について判断することが大切である。

### 補修工法の選定

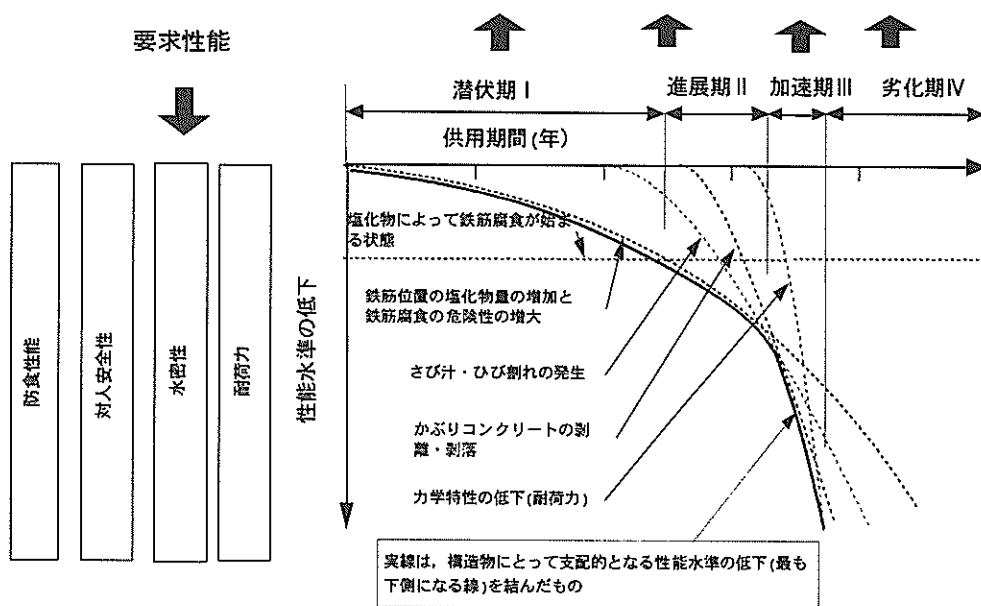


図-3 劣化進行に伴う性能低下と補修工法<sup>3)</sup>

表-1 目視による劣化度判定の標準<sup>1)</sup>

劣化度項目	0	I	II	III	IV	V
鉄筋の腐食	なし	コンクリート表面に点錆が見られる	一部に錆汁がみられる	錆汁多し	浮きさび多し	浮きさび著しい
ひび割れ	なし	一部にひび割れが見られる	ひび割れやや多し	ひび割れ多し (ひび割れ幅数mm以上のひび割れ含む)	ひび割れ幅数mm以上のひび割れ多数	
かぶりコンクリートの剥離・剥落	なし	なし	一部に浮きが見られる	一部に剥離・剥落がみられる	剥離・剥落多し	剥離・剥落が著しい
点検による調査要否の判定		調査の必要なし (点検継続)	必要に応じて調査			要補修

表-2 部材毎の劣化度判定<sup>1)</sup>

劣化度部材項目	0	I	II	III	IV	V
ス 鉄筋の腐食	なし	コンクリート表面に点錆がみられる。	一部に錆汁がみられる。	錆汁多し、鉄筋腐食が広範囲に認められる。	浮き錆多し、鉄筋表面の大部分あるいは全週にわたる腐食が広範囲に認められる。	浮き錆著しい、鉄筋断面積の有意な減少が全域にわたっている。
ラ ひびわれ	なし	一部にひび割れあるいは帯状または線状のゲル吐出物が2,3箇所みられる。	ひび割れ、あるいは帯状または線状のゲル吐出物が数箇所みられる。	ひび割れ多し、網目状あるいは錆汁をとまなうひび割れを含む。	網目状のひび割れ等が全域にわたり多数みられる。	
ブ 剥離・剥落	なし	なし	一部に浮きが見られる。	一部に剥落が見られる。	浮き・剥落多し。 (1区画面積の4割程度以下)	全域にわたる浮き・剥落。(1区画面積の4割程度以上)
は 鉄筋の腐食	なし	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ
り ひびわれ	なし	小さなひび割れ(ひび割れ幅1mm以下程度)が2,3箇所みられる。	ひび割れやや多し。軸方向に垂直なひび割れのみ。	ひび割れ多し、軸方向につながったひび割れ(ひび割れ幅3mm以上程度)を含む。	軸方向につながったひび割れが全域にわたり多数。	
り 剥離・剥落	なし	なし	一部に浮きが見られる。	浮き多し。	浮き多し。剥離・剥落が数箇所みられる。 (1区画面積の4割程度以下)	剥離・剥落多数。 (1区画面積の4割程度以上)
ハ 鉄筋の腐食	なし	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ
ン ひびわれ	なし	一部にひび割れが見られる。	ひび割れ幅2mm程度以下のひび割れが数箇所みられる。	ひび割れ幅2mm程度以下のひび割れが全体に広がっている。	ひび割れ幅2mm程度以上のくもの巣状あるいは鉛直方向のひび割れがみられる。	
チ 剥離・剥落	なし	なし	部分的に浮きが見られる。	一部に剥落がみられる。	剥離・剥落多し。 (1区画面積の4割程度以下)	全域にわたり多数剥離。 (1区画面積の4割程度以上)



表-3 劣化過程と耐荷性能の低下グレード対応表<sup>3)</sup>

劣化過程	性能低下グレード
潜伏期：塩化物イオンが鉄筋表面で腐食発生限界値に達するまでの期間	グレード0（低下なし～ほとんどなし）
進展期：鉄筋腐食発生からコンクリートに腐食ひび割れが発生するまでの期間	
加速期：腐食ひび割れの発生後の急激な腐食の進行	
劣化期：腐食量の増大により耐荷力などが低下	グレードⅠ（腐食の進行あるいは、腐食ひびわれ幅が大きくなると耐荷力が低下する。しかし、当初設計の耐荷力はまだ満足している）
	グレードⅡ（鉄筋の断面減少率が大きくなり、当初設計の耐荷力よりも低下する）

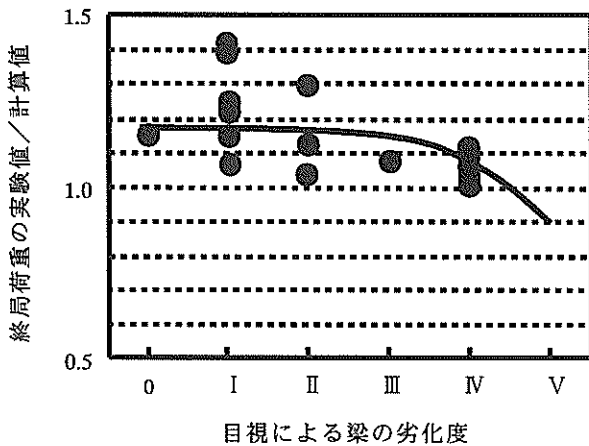


図-4 供試体の劣化度と強度比<sup>3)</sup>

(2) 鋼材の腐食状況の把握、腐食速度の推定

上部工の塩害劣化の予測は、耐荷性能の観点からは鋼材の腐食状況の把握と腐食速度の予測に関連づけられると考える。鋼材の腐食速度の評価には、かぶりコンクリートをはつり取って鉄筋を露出させ、鉄筋直径や断面の減少程度を直接観察するのが最も確実である。しかし、まだ劣化が顕在化していない段階で比較的広い範囲の腐食状況を確認したい場合などでは、コンクリート表面から鉄筋の電位を測定する方法（自然電位法）<sup>4)</sup>や、鋼材の電位を自然電位からわずかに強制変化させた際に生じる電流を計測し、ここから腐食速度を推定する方法（交流インピーダンス法）<sup>4)</sup>などが実用化されている。しかし、これらの非破壊検査法においては、コンクリートの含水率など測定条件によって値が変化する場合も多く、また、実際の構造物においては腐食が部分的に進行するマクロセル腐食も考えら

れることから、各点での計測データだけでなく部材全体としての鉄筋の腐食状況の評価が必要になる場合が多い。現状において、これらのデータを用いた解析手法は確立されておらず、鋼材の腐食速度を定量的に精度良く評価することは難しい。しかしながら、このような難しい点もあるが、現在のところ、劣化があまり激しくない段階（劣化度0～Ⅰ）における鋼材腐食の評価法としては、自然電位法や交流インピーダンス法を用いることが有効と考えられる。また、劣化が進行した段階（劣化度Ⅳ以降）では、鋼材をはつり出して残存断面積を測定し、部材の力学特性を評価するためのデータを得ることが最も確実であると考えられる。

いずれにしても、外観目視調査結果と併せて評価することが大切である。

(3) 鋼材位置、かぶり厚さ、配筋状況

これらのデータは、構造物の健全性評価に直接関係するものではない。しかし、耐荷性能の検討のためには重要なもので、設計時の想定と大幅に異なる場合には、現状の値を用いなければ適切な評価ができない。また、かぶりは鋼材を保護する性能に直接関与しているため、構造物が保有する耐久性を判定するための重要な指標となる。

(4) コンクリート中の塩化物含有量

コンクリート中の塩化物含有量は、塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の劣化進行の予測と確認を行う上で、大変重要な情報となる。コンクリート表面から浸透する塩化物は、一般的には Fick の拡散に関する第 2 法則<sup>5)</sup>に従うと言われており、以下に示す式が広く

用いられている。

$$C(x,t) = C_0 \times \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D \times t}} \right) \right] \quad (1)$$

ここに

$C(x,t)$  : コンクリート中の塩化物イオン量

$C_0$  : 表面塩化物イオン量

$x$  : コンクリート表面からの距離 (cm)

$t$  : 経過時間(s)

$D$  : 見かけの拡散係数

誤差関数は次の式で与えられる

$$\operatorname{erf}(s) = \frac{2}{\pi^{1/2}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \quad (2)$$

調査により得られた同一断面内での複数の塩化物含有量のデータから、拡散方程式を最小二乗法で近似させることによって、表面塩化物イオン量と見かけの拡散係数を求め、これらより鉄筋位置の塩化物量の経年変化を推測できる。その結果は、鋼材を腐食させる塩化物量として設定された値（発錆限界値）等と比較し、鉄筋腐食の予測をすることが可能となる。

#### (5) コンクリートの内部欠陥

コンクリートの内部欠陥は、構造物の劣化進行速度に大きな影響を及ぼすとともに、劣化の進行によって、浮きなどの内部欠陥を新たに形成し、これによって劣化速度がさらに速くなることが考えられる。このような欠陥探査には非破壊検査が適用される場合が多く、例えば超音波探査法やレーダー法などがある<sup>9)</sup>。塩害を受ける構造物の場合では、特に、まだ劣化が顕在化していない段階（劣化度0～I）における劣化予測と評価に有効と考えられる。

これらのデータを、外観目視調査結果と関連づけて評価する方法については現在多方面で検討されている。

## 4.2 下部工の劣化調査

栈橋下部工は鋼材が用いられることが多い、この場合、干満帯や海中部などの腐食速度の大きい箇所には防食工が施工され、また腐食速度を考慮に入れた設計（腐食代の考慮）が行われるなど、腐食に対する検討が当初から行われている、また供用開始当初から定期的な点検を行うことが計画されている場合が多い、そこで下部工の調査項目を設定する<sup>9)</sup>。

### (1) 防食工の調査

#### a) 塗覆装の調査<sup>9)</sup>

塗覆装はその種類毎に次の観点で調査を行う。

##### ① 塗装

塗装は、塗膜のふくれ、割れ、はがれに着目した概観の目視観察を行う。機器による調査が可能な部位では、塗膜の膜厚、付着力、インピーダンス等の測定を併用して定量的に行うことで総合的に判断できる。

##### ② 有機ライニング

有機ライニングは、塗装と同様に塗膜のふくれ、割れ、はがれ等の目視観察が中心である。

##### ③ ペโตรラタムライニング

ペโตรラタムライニングは、鋼表面のペโตรラタム系防食材と保護カバーで構成されているので、目視観察は保護カバーが主体となる。項目としては保護カバーの亀裂、変形および締め付けボルトの腐食、緩み、防食材との空隙とする。空隙についてはプラスチックハンマー等による打検によって行う。

##### ④ 無機ライニング（モルタルライニング）

無機ライニングは、モルタルの持つアルカリ性により腐食を防止しているため、その機能が阻害されない限り健全である。保護カバー付きと保護カバー無しの場合があるが、保護カバーが無い場合はモルタルの欠落やひび割れについて調査する。保護カバーがある場合はペโตรラタムライニングと同様に保護カバーの亀裂、変形、および締め付けボルトの腐食、緩み、防食材との空隙を調査する。

#### b) 電気防食工の調査<sup>9)</sup>

電気防食工の調査はその方式毎に次の点について調査する。

##### ① 流電陽極方式

流電陽極方式は、陽極の取り付け個数、取り付け位置、取り付け状態の観察および防食電位の測定を行う。また、陽極の寸法を測るか、陽極を秤量し陽極の消耗量を算出する。

##### ② 外部電源方式

外部電源方式は、電源装置の作動状況、防食電位の測定、配線路の絶縁抵抗について調査を行う。

### (2) 腐食調査<sup>9)</sup>

5年に1度程度の定期点検時に、または前述の防食工が調査の結果十分に機能していないと判断される場合には鋼材の腐食調査を行う。腐食調査は、目視観察および肉厚測定により実施する。

a)目視観察

目視観察は目視によりさびの有無，また腐食孔の観察を行う．必要に応じてプラスチックハンマーで鋼材をたたき，くぼみの発生および手応えを見る．

b)肉厚測定

肉厚測定は，超音波厚み計により鋼材の肉厚を測定する．集中的な腐食が発見された場合は局部腐食測定を実施し，現有最小肉厚を把握する．

5. 劣化評価，予測手法

劣化調査結果を用いて栈橋の現時点における劣化を評価，予測する手法について文献より検討を行った．

5.1 上部工の劣化評価，予測手法

劣化評価，予測手法の整合性をとるため劣化度に準じ予測期間を，鉄筋位置の塩化物イオン量が発錆限界値に達するまでの期間(劣化度0～Ⅰに相当)，鉄筋の腐食が始り，その腐食によってかぶりにひび割れが発生するまでの期間(劣化度Ⅱ～Ⅲに相当)，ひび割れが発生した後，鉄筋断面積が減少して，力学特性が限界に達するまでの期間(劣化度Ⅳ～Ⅴに相当)と分類した．なお，現状において，これらの期間を推測するための確立された方法は提案されていないが，これまでの研究成果の中から比較的妥当な方法として以下に示す方法が挙げられる<sup>9)</sup>．

(1) 鉄筋位置の塩化物イオン量が発錆限界値に達するまでの期間の予測<sup>9)</sup>

a)見かけの拡散係数を設定する．

塩化物イオンの見かけの拡散係数(D)は，コンクリートの密実性との関連が強く，コンクリート標準示方書〔維持管理編〕<sup>9)</sup>には，コンクリートの W/C (水セメント比)を用いる以下の式が示されている．

・普通ポルトランドセメントを使用する場合

$$\log D = [ 4.5(w\%)^2 + 0.14(w\%) - 8.47 ] + \log(3.15 \times 10^7) \quad (3)$$

・高炉セメントを使用する場合

$$\log D = [ 19.5(w\%)^2 - 13.8(w\%) - 5.74 ] + \log(3.15 \times 10^7) \quad (4)$$

しかし，これらの式はばらつきの大きい実験データや調査データを基に設定されたものであり，検討対象と

する実際構造物と異なる場合もある．実在する栈橋の調査データによると，図-5に示すようにばらつきが大きいことが確認されている．したがって，本来は調査データを用いることが評価精度の向上のためには基本であるが，そのようなデータが無い場合については先の式を用いることができるが，予測の精度が低下することを考慮に入れておかなければならない．

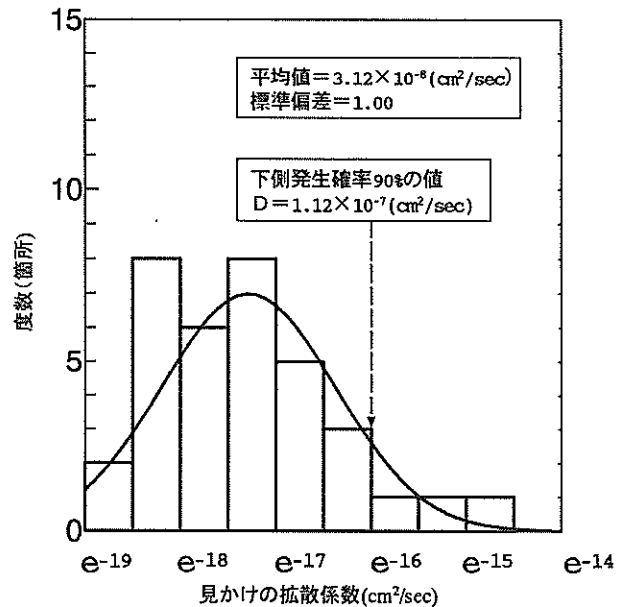


図-5 拡散係数のばらつきの例

b)標準的な表面塩化物イオン量 C<sub>0</sub> の設定

塩化物イオンの浸透予測においては，周辺環境から供給される塩化物イオン量を的確に予測することが大切である．外部から侵入する塩化物イオンの量は表面塩化物イオン量(C<sub>0</sub>)として評価されるが，表面塩化物イオン量は構造物の供用条件や環境条件などによって大きく異なり，明確な値が無いのが現状である．しかし，これまでのいくつかの調査事例を参考にその概略の値を推定すると，表-4のようになる．また，表面塩化物イオン量のばらつきは，過去のデータによると図-6に示すように変動係数として50%程度あり，かなりばらつくことがわかっている．したがって，C<sub>0</sub>の設定においては，適切な安全率を考慮に入れることも大切である．

一方，表面塩化物イオン量の調査結果が無い場合には，表-4を参考に適切な(安全側の)値を用いることとなるが，調査データがある場合に比較すると予測精度が低下することに注意しなければならない．

c)塩化物イオン量の計算 (Fickの拡散則)

先に設定した見かけの拡散係数および表面塩化物イオン量より、式(1)を用いてコンクリート中の塩化物イオン量の分布を推定する。

表-4 標準的な栈橋上部工の  $C_0$  の調査結果 (部材毎の平均値)

	栈橋	$C_0$ (%)	下面レベル (m)
スラブ	A	0.064~0.089	+5.75
	B	0.289~0.780	+4.20
	C	0.595	+4.20
	D	0.069	+3.55
	E	0.130~0.320	+5.10
梁	A	0.292~0.293	+4.80
	B	0.686~1.060	+2.00
	C	0.334~0.864	+1.80
	D	0.070~0.259	+2.10
	E	0.500~0.600	+3.50

%はコンクリートの単位体積質量に対する割合である

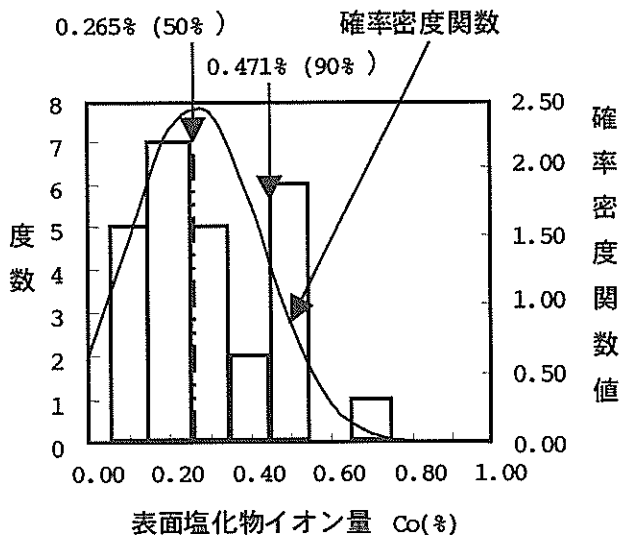


図-6 栈橋における  $C_0$  のばらつきの例

注) 上記%はコンクリートの単位体積質量に対する割合である。

d)鉄筋位置の塩化物イオン量が限界値に達するまでの期間の算出

鉄筋位置における塩化物イオン量の発錆限界値は、全塩化物イオン量として一般には $1.2\text{kg/m}^3$ とされている。この値は、本来コンクリートの配合によっても大きく異なると考えられるが、コンクリート標準示方書[維持管理編]<sup>9)</sup>にも同様な値が考慮されており、実用面で数多く用いられている数値であることから、ここではこの値を用いて計算を行う。

(2) 鉄筋の腐食が始まり、その腐食によってかぶりにひび割れが発生するまでの期間

一般に、鉄筋位置の塩化物イオン量が発錆限界値を超えた場合、鉄筋腐食は急速に進行し、腐食生成物の体積膨張により、比較的短い期間でかぶり部分にひび割れが発生することになる。栈橋上部工のように気中にある構造物では、酸素の供給が比較的容易に行えるため、「鉄筋位置の塩化物イオン量が発錆限界値に達した直後」から「鉄筋腐食が進行してかぶりにひび割れが発生する」までの期間は、構造物の供用年数に比較すれば無視できる程度に短いと想定される。

守分ら<sup>8)</sup>は鉄筋腐食によるかぶり部分のひび割れは、鉄筋位置の塩化物イオン量が $2.0\text{kg/m}^3$ 程度となっている場合が多いとしている。また、供試体による実験結果では、図-7に示すように塩化物イオン量と(鉄筋腐食に関連する)アノード電流密度とは塩化物イオン量の0.15乗で示される正の相関が見られる<sup>8)</sup>。塩化物イオン量が増加しても、それがすぐ鉄筋腐食の進行と結びつくとは考えにくい。この場合塩化物イオン量が増加すると腐食反応に関する面積が広がることなどが原因となって、鉄筋の腐食が増加したものと推測される。

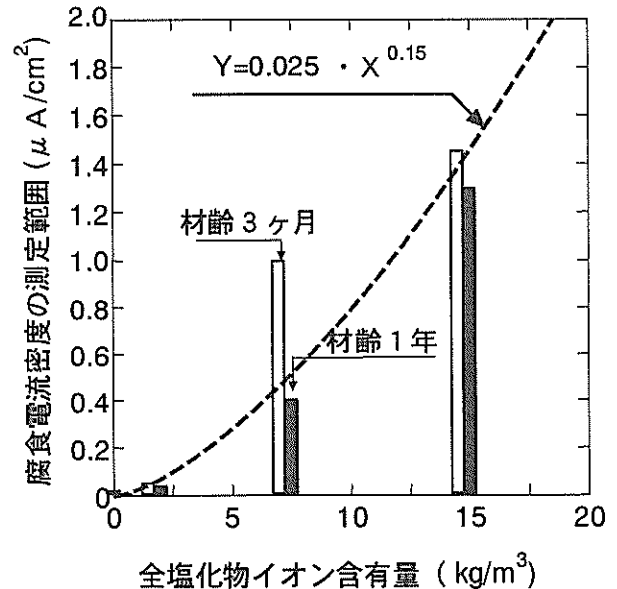


図-7 鉄筋位置の塩化物イオン量と腐食電流<sup>8)</sup>

このことから、塩化物イオン濃度の増加によって鉄筋の腐食が進行するとし、鉄筋位置のコンクリートに含まれる塩化物イオン量が $2.0\text{kg/m}^3$ となった段階で、鉄筋に沿うひび割れが発生すると想定し、これを用いて塩化物イオンの拡散予測によって、ひび割れ発生まで

の期間を予測することができる。ただし、実際にはひび割れが発生する塩化物イオン量は、環境条件（湿潤状態など）によって異なるため、予測を行う場合には腐食ひび割れが発生する塩化物イオン量を適切に設定する必要がある。たとえば、海面近くの部材では塩化物イオン量が多くても鉄筋の腐食が進行していない場合も多く、この場合には腐食ひび割れが発生する塩化物イオン量は比較的高めに設定しておくこととなる。

また、安全側の評価として進展期が無いと仮定する場合も考えられ、この場合には発錆限界塩化物イオン量とひび割れが発生する塩化物イオン量を同じに設定するものとする。

(3) 鉄筋断面積の減少により部材の力学特性が限界値を迎えるまでの期間

かぶりにひび割れが発生した後の鋼材の腐食速度は、次式で計算することができる<sup>3)</sup>。

$$V_{red} = \frac{4ac}{\Phi \gamma_{Fe}} \times e^{\frac{\alpha t}{a}} \quad (5)$$

$$= 3.8 \times 10^{-3} \frac{a}{\Phi} \times e^{0.15t}$$

ここに  $V_{red}$  : 体積減少率

$\gamma_{Fe}$  : 鉄筋の単位体積質量(mg/cm<sup>3</sup>)

$a$  : 腐食量とひび割れ幅を関係付ける係数  
(1500mg/cm<sup>2</sup>と仮定)

$c$  : 腐食による初期のひび割れ幅  
(0.005cmと仮定)

$\Phi$  : 鉄筋径(cm)

$\alpha$  : 腐食速度とひび割れ幅の関係付け係数  
(220mg/cm<sup>3</sup>/yと仮定)

$t$  : 時間 (y)

ここで構造的に危険と判断される鉄筋の体積減少率を  $X_{critical}$  とするとそれに至るまでの年数は次式によって計算できる。

$$t = \frac{1}{0.15} \times \log_e \left[ \frac{X_{critical}}{3.8 \times 10^{-3} \frac{a}{\Phi}} \right] \quad (6)$$

## 5.2 下部工の劣化評価、予測手法

### (1) 劣化判定および予測手法の概要

下部工は上部工と異なり、防食工（塗覆装および電気防食工）と鋼材のみで構成されていることから鋼材の腐食のみで劣化評価・予測が可能で、これは、鋼材の平均腐食速度を用いて行うことが可能と考える。一般に防食工が適用されていない鋼材の腐食速度は、表

-5のように標準値が設定されている<sup>3)</sup>。

したがって、防食工が適用されていない場合で、しかも調査データが無い場合には同表の値を採用することができる。このため、下部工の劣化評価、予測においては干満帯（L.W.L-1.0m以上）と海中部に分けてそれぞれ計算する必要がある。また、鋼材に集中腐食が発生している場合には表-5の値を大きく上回るのので、腐食速度の設定にあたっては注意する必要がある。鋼材の腐食速度が設定できた場合、その腐食速度を用いて鋼管杭の断面積の変化を計算する。断面積の減少は、鋼材に発生する応力の増大をまねき、最終的には安全性の低下につながるものとなる。

表-5 鋼材の腐食速度の標準値<sup>3)</sup>

腐食環境	腐食速度 (mm/y)
1)H.W.L以上	0.3
2)H.W.L~L.W.L-1.0	0.1~0.3
3)海中部	0.1~0.2
4)海底土中部	0.03

一般的には、常時において鋼材に発生する応力は降伏点応力の50%程度を超えないように設定される場合が多い。その一方で、下部工の腐食が進行した場合でも、地震時荷重等に対して十分安全でなければならない。そこで、下部工の評価においては、腐食が無い場合には応力比（腐食後の断面に発生する応力度/降伏点応力度）を常時（使用時）における許容応力度と降伏点応力度の関係を参考に0.5と想定する。腐食によって鋼材の断面積が減少したとするとそれに合わせて応力比が上昇し、降伏点応力に近づくことになる。応力比の限界値としては、「地震時荷重などに対して設計時に想定される値」あるいは地震時における許容応力度と降伏点応力度の関係を参考に「応力比0.9」を採用する。

### (2) 劣化評価、予測に用いるデータ

下部工の劣化予測は鋼材の腐食速度を用いて行うため、鋼材の腐食状態とその進行を的確に把握してそれを予測に反映させることが必要である。

肉厚測定の基本は、港湾構造物の維持・補修マニュアル<sup>4)</sup>に従って行えば良いが、その結果は以下の点を考慮に入れて評価する必要がある。

- ・腐食後の平均肉厚および平均腐食速度
- ・腐食パターンのモデル化（鉛直方向、断面方向の腐食プロフィール：鋼材の肉厚の測定結果を鉛直方

向、または断面方向で図化し模式化したもの)

・局部腐食の形態

本来は、これらの腐食進行状態を考慮に入れた解析を行い、構造物としての力学的健全性を検討する必要がある。しかし、これが難しいため、一般的には腐食後の平均肉厚を求めて現状の耐荷力の照査を行うと共に、経過年数から平均腐食速度を算出して将来の劣化予測を行うことが考えられる。なお、下部工の場合一般的には干満帯には被覆防食が、海中部には流電陽極による電気防食が施工されている場合が多いので、劣化評価を行おうとする下部工にすでにこれらの防食工が施されている場合には、これらの防食工はそのまま適用されていると仮定する（これらの防食工の存在を前提にしたうえで劣化予測を行う）。

6. 維持補修工法の検討

栈橋の維持、補修工法について文献を整理し、その特徴についてまとめた。

6.1 上部工の維持補修工法

上部工に対する維持補修工法は、現状では大きく分類すると「ひびわれ補修工法（ひびわれ注入）」、「表面塗装工法」、「断面修復工法」、「電気防食工法」、「脱塩工法」、「補強（FRP接着）」などが挙げられる。これらの工法は構造物の劣化進行に応じて適切に適用することが大切である。そこで各工法について JCI コンクリート構造物のリハビリテーション

研究委員会<sup>2)</sup>における検討結果を基にその特徴や、適用可能な時期について整理した。その結果を表-6に示す。

6.2 下部工の維持補修工法

下部工に対する維持補修工法は、「有機ライニング工法」、「ペトロラタムライニング工法」、「無機ライニング工法」、「電気防食工法」、「鉄筋コンクリート補強工法」が挙げられる。各工法について港湾鋼構造物防食・補修マニュアル<sup>3)</sup>をもとに特徴をとりまとめた。その結果を表-7に示す。

7. マネジメントシステムの構築

これまでの一般的事項の検討を基にマネジメントシステムを構成する以下の各システムについて構築を行った。

- (1) 劣化評価・予測システム
- (2) 維持補修工法データベース
- (3) 維持補修工法選定システム

上記システム構築に必要な事項の中には現在のところ、未解明な部分もあり、一般的事項の収集、検討だけではシステムを構築するには不十分である。そのため劣化判定事例、施工状況のヒアリングを基に、本マネジメントシステム独自の設定を行っている。以下に上記各システムの概要とともに設定（仮定）事項を記す。したがって本マネジメントシステムの適用にあたっては、仮定された値があることに留意するとともに、

表-6 上部工の維持補修工法

工 法 名		ひび割れ注入工法	表面塗装工法	断面修復工法
特 徴		樹脂系あるいは無機系の材料を注入しひび割れを塞ぐ。	部材の表面に塗料の膜を作り塩化物イオンを遮断する。	かぶりをはつり鉄筋に処理を施したのち再びかぶりを打設する。
適用可能と考えられる時期	主たる工法として	潜伏期	潜伏期	加速期～劣化期
	補助工法として	進展期	進展期～劣化期	
工 法 名		電気防食工法	脱塩工法	FRP接着工法
特 徴		鉄筋に防食電流を流すことで電気的に鉄筋腐食を抑える。	コンクリート中に浸透した塩化物イオンを電気化学的に除去する。	コンクリート表面に樹脂製の繊維を接着し補強する。
適用可能と考えられる時期	主たる工法として	進展期～劣化期	進展期	加速期～劣化期の前期
	補助工法として		加速期～劣化期	
工 法 名		改修（打ち換え）		
特 徴		上部工（床版、梁）を撤去し再施工する。		
適用可能と考えられる時期	主たる工法として	進展期～劣化期		
	補助工法として			

表-7 下部工の維持補修工法

補修工法

工 法 名	有機ライニング工法 (水中硬化樹脂)	ペトロラタムライニング工法	無機ライニング工法 (モルタルライニング)
特 徴	プラスト等によって下地処理の のち水中硬化型樹脂を人力によ り塗布し、鋼材と塩化物を遮断 する。	下地処理ののちペトロラタム ペーストの塗布やテープの巻付 け、防護カバーを設置し鋼材と 塩化物を遮断する。	FRPカバーなどを予め鋼管杭 に設置して、その中にモルタル を注入し、鋼材と塩化物を遮断 する。

その他工法

工 法 名	電気防食 (流電陽極型)	鉄筋コンクリート補強 (モルタル補強)	
特 徴	電極(流電陽極)を取り付け、こ れが酸化することで電池の原理 により防食電流を鋼材に流し鋼 材の腐食を防ぐ、水中部の鋼材 に対しては標準的工法。	鋼材の腐食が進行した箇所に入 スタッドを溶接し、鉄筋・型枠を 組んでモルタルを注入し、塩化 物を遮断すると共に鋼材の剛性 の補強も併せて行う。	

場合によっては適切な値を再設定する必要がある。

7.1 劣化評価・予測システム

(1) 上部工の劣化評価、予測

a)劣化評価結果と実際の劣化状態との関連づけ

構造物の劣化の現状を評価するには、それぞれの構造物において得られるデータを適切に用いて、構造物の置かれている環境条件や施工精度を反映させて行うことが基本である。しかし、多くの構造物においてはデータが十分に揃っておらず、想定した数値を用いて評価を行わなければならない場合も多い。このような場合には、評価した結果が構造物の劣化状態をうまく反映できているか確認することが大切である。

なぜならば、本システムでは上部工の劣化状況の評価および劣化進行の予測を「表面塩化物イオン量  $C_0$ 」、「拡散係数  $D$ 」、「かぶり厚さ」から行っているが、これらの値は構造物の置かれている環境条件、あるいは施工精度によってばらつくことがわかっており、現在のところ標準値は存在しない。したがって、これらの入力値を推定して劣化評価を行った場合に、その評価結果が実際の劣化状態を必ずしも反映しているとは言い難く、そのまま劣化の推移予測を行っても正しい予測結果は得られないと考えられるからである。この場合、非破壊検査結果、または詳細調査結果により、塩化物イオン量分布、かぶり、鉄筋腐食量などのデータが取得されていれば、これらのデータを用いて劣化評価・予測に必要な入力値を適切に設定することが可能であり、劣化評価・予測精度は大幅に向上する。しかし、詳細調査結果が得られていない場合は、比較的簡単に得られる外観目視調査結果として表-1および表-2を用いて得られる劣化度を用い、次のようにして入

力値を設定する。

- ①現状における目視による劣化度に至るとシステムが推定する年数を計算する（推定年数とする）
- ②推定年数と竣工から現在までの実年数（経過年数と数とする）を比較する
- ③上記の2つの年数は、ほぼ一致するはずなので（実際には目視による劣化度が定性的な値のため各劣化度にランクされる推定年数には幅があるが）、この値が一致しない場合は、劣化評価に用いた各入力値が現状を適切に反映していないと判断して、入力値を見直す。そしてこの値が一致するまで繰り返す。

ここで、目視による劣化度は定性的な値であるため、この値と推定年数をどのように結びつけるかを、酒田港における20年間の暴露実験結果<sup>3)</sup>を基に検討を加える。横田らは<sup>3)</sup>酒田港における暴露試験体の劣化評価を試み、その結果「劣化度Ⅲ以上の供試体については劣化度と鉄筋の腐食断面積に相関が見られ、外観の劣化度は内部の鉄筋の性状を表している」とした。また、同時に「目視観察で劣化が認められなくても、内部鉄筋の腐食は既に発生、あるいは進行している可能性があることが示唆された」<sup>3)</sup>とある。これらのことから、劣化度と鉄筋腐食に関する推定結果の関連付けを次のように設定する。そして各劣化度毎に関連付けられた推定年数と経過年数を比較して、これらが一致しない場合は劣化評価に用いた「表面塩化物イオン量  $C_0$ 」、「拡散係数  $D$ 」、「かぶり値」を見直すことにする。

①[劣化度0について] 暴露試験結果からは、劣化度0に対する実験データは得られなかったが、先の暴露試験体では劣化度Ⅰで既に鉄筋腐食が進んでおり、腐食面積率が50%を越えているものも認められる。し

たがって、外観上は劣化度Ⅰの場合でも内部鉄筋の腐食が進行していることも推定される。この場合には、非破壊検査などのデータがあればこれを基に設定するが、このようなデータが無い場合には安全側の想定として「劣化度Ⅰと判定された場合は、現在、劣化度Ⅰの期間が終了した時点にある」と考える。ただし、構造物の経過年数が短く、 $L_0$ 〔鉄筋位置の塩化物イオン量が発錆限界値に達すると推定される年数〕の1/2以下の場合には「現在、経過年数の分だけ劣化度Ⅰの期間が経過した時点にある」とする。非破壊検査結果のうち、特に鉄筋腐食に関するデータが得られている場合には、さらに詳細に劣化度Ⅰの期間を設定することが可能である。すなわち、非破壊検査によって鉄筋腐食が無く、かつ構造物の経過年数が  $L_0$  の1/2以下の場合には、「現在、経過年数の分だけ劣化度Ⅰの期間が経過した時点にある」とし、鉄筋腐食が無く、かつ構造物の経過年数が  $L_0$  の1/2を超えている場合は「現在、劣化度Ⅰの期間のうち2/3の年数が経過した時点にある」と仮定する。

②〔劣化度Ⅰ、Ⅱについて〕暴露試験体の判定結果では、外観上の劣化度Ⅱに関する情報はないが、内部鉄筋の腐食状況は、劣化度Ⅰと劣化度Ⅱでは大きく異なることはない想定される。そこで、劣化度ⅠおよびⅡと評価された場合、それぞれ次のように位置づける。ここで、鉄筋の腐食が始まってからコンクリートにひび割れが入るまでの推定年数を  $L_1$  として、劣化度Ⅰのときは「現在、 $L_0 + L_1 \times 1/2$ の年数が経過した時点にある」と考える。また劣化度Ⅱのときは「現在、 $L_0 + L_1$ の年数が経過した時点にある」と考える。

③〔劣化度Ⅲについて〕劣化度Ⅲでは、一部に断面欠損を生じる腐食が見られていることから、劣化の進行を鉄筋の腐食量によって区分する必要がある。この区分の方法は現在のところ明確ではないので次のように考える。まず、劣化度がⅢで限界腐食量（設計上必要な鉄筋量を下回らない範囲、初期値は断面減少率20%とする）とし、劣化度Ⅱでは鉄筋表面に腐食は生じているものの断面減少は無いとし減少率を0%とする。この間、劣化が加速度的に進行すると考え、劣化度Ⅲにおける断面減少率を1%と仮定してこの値になるまでの年数を計算し、「現在、 $L_0 + L_1 +$ 断面減少率が1%になるまでの期間が経過した時点にある」と考える。

④〔劣化度Ⅳについて〕劣化度Ⅳについても劣化度Ⅲの場合と同様に、年数が過ぎれば劣化が加速的に進むと考え、劣化度ⅢからⅣの進行と劣化度ⅣからⅤの

進行で進行度合いに差をつけて、推定年数と劣化度を結びつけることとし、劣化度Ⅳにおける断面減少率を5%と仮定した。そして劣化度Ⅲの場合と同様に「現在、 $L_0 + L_1 +$ 断面減少率が5%になるまでの期間が経過した時点にある」と考える。

⑤〔劣化度Ⅴについて〕劣化度Ⅴについては前述のとおり断面減少率を20%として「現在、 $L_0 + L_1 +$ 断面減少率が20%になるまでの期間が経過した時点にある」と考える。

#### b)劣化評価、予測に関する非破壊検査結果の扱い

劣化が顕在化しない段階における劣化評価、予測データの収集にあたっては非破壊検査が有効であることを述べた。しかし、現在この結果を適切に評価し、劣化予測に使用する方法については検討中の段階である。したがって、今回の評価・予測システムではこれらを腐食の有無、あるいはかぶりの欠陥の有無として入力することとしている。鉄筋腐食の有無については前述のとおりである。かぶりの欠陥については次のようなランク分けを設定し、その係数をかぶり厚さに乗じてかぶり厚さを低減し、劣化評価・予測計算に使用できるようにしている。

- ・欠陥多し  $\gamma=0.5$
- ・欠陥少ない  $\gamma=0.75$
- ・欠陥無し  $\gamma=1.0$

#### c)上部工の評価と劣化予測システムの流れ

これまでの検討結果を基に作成した上部工の評価と劣化予測の流れを図-8に示す。この図の最も左側にある劣化予測は、数値を仮定すれば予測計算をすることが可能である、しかし右側のフローに示した「調査データ」に基づく劣化度は、その構造物の現状を最も的確に示したものであり、これと劣化評価に基づく劣化度を比較し、劣化評価結果をできる限り対象構造物の劣化度に一致させることが大切である。すなわち、実際の構造物の「経過年数」が、劣化評価によって得られる「現状の劣化度に至るまでの推定年数」と大きく異なる場合には、現実の構造物の状態をうまく反映できるように「表面塩化物イオン量  $C_0$ 」, 「拡散係数  $D$ 」, 「かぶり厚さ」などの数値を再検討することが大切である。これらのデータは、潜伏期の期間に影響を及ぼすものであるが、計算による劣化予測と、現実の劣化状況が大きく異なる場合の最大の原因は、潜伏期の評価が適切でないことによると考えられる。しかし、予測の修正方法については、システムを運用しながらデータを積み重ねることが重要である。



## (2) 下部工の劣化評価・予測システム

下部工の劣化評価および劣化予測のフローを図-9に示す。鋼材の応力比を性能低下の指標に採用する。干満帯および海中部の鋼材に腐食が生ずることに伴って応力比が変化するが、ここでは0.5→0.7→0.9（または設計上の限界値）の3段階を着目点として、この状態に至る期間を予測する。なお、これらの予測に用いる数値としては、データが無い場合には一般に用いられている数値を用いることになるが、高い精度を得るためには構造物毎の調査データを用いることが大切である。

## 7.2 維持補修工法データベース

### (1) 維持補修工法データベース

維持補修工法の検討から選定された各工法の概算工費、工法の有効期間、再補修の考慮についてヒアリングおよび施工事例を用いて設定した。なお、個々の構造物への適応にあたってはその実状に応じた数値を設定する必要がある。上部工については表-8、下部工については表-9に示す。

### (2) 上部工の劣化進行に伴う維持補修面積の設定

維持管理のコストを算出するためには、劣化の進行に伴って変化する補修・補強の面積（数量）を設定する必要がある。本検討では、実在の栈橋（T港栈橋とする）の補修検討結果を基に、劣化度とその補修面積を関連づけてシステムに組み込むこととする。

T港栈橋は、建設後約30年経過しており、その劣化の進行は、部材によって大きく異なっており、梁の劣化が激しく床版は比較的健全な状態にある。このような劣化に対して各種の補修工法が適用されている。代表的な部材について、劣化進行と補修工法の数量の関係をまとめると表-10および表-11のようになる。両表は、補修対象面積に対する各工法の割合である。ただし、断面補修工法（大断面、小断面）あるいはひびわれ補修は、表面塗装あるいは電気防食と組み合わせて適用されている（したがって、表面塗装と電気防食を加えると100%になり、その中で大断面、小断面の修復割合が両表に示されている）。

梁の場合、劣化度が比較的大きいため、表-10に示した「表面塗装」は、劣化部の除去などの断面修復工法が併用される。この栈橋の場合、劣化が進行した段階で表面塗装のみ実施ということはない。表-6における各工法の特徴を見ると、電気防食工法が

適用される部材として「劣化が小さい場合（劣化度0）」（100%の適用）や「劣化が激しい場合（劣化度がⅣ、Ⅴ）」（100%あるいは82%の適用）が挙げられる。この栈橋では、電気防食工法が積極的に採用されており、「部材の劣化度が小さい場合」でも、塩化物イオン量の調査を実施し、鉄筋位置の塩化物イオン量が供用期間中の発錆限界値を越えると判断される場合には、表面塗装でなく電気防食が適用されている。

劣化が進んだ部材では、通常の断面修復ではマクロセル腐食等によって十分な補修効果が得られないと判断されたために、電気防食が適用されている。

断面修復工法は、劣化度が大きくなるにしたがって補修する面積が増大しており、最大で梁表面積の40%程度にまで至っている。これは、補修対象面積が梁底面と梁側面の両方考慮されているため、この数値から、梁底面はほとんど全て断面修復されていると言える。したがって劣化が進行した梁部材では断面修復工法が多用されていることがわかる。

床版については、劣化度の小さいものが多く、劣化度Ⅴは見られなかった。ただし、劣化が激しい部材については既に底面全体が断面修復されたものもあり、本検討ではすでに補修されて現状では健全な状態にある部材は考慮していない。また、床版の場合は、劣化度が小さいこともあり、劣化が見られた部分を断面修復し、その表面に塗装を実施する工法が大半を占めている。

さらに、栈橋上部工の数ブロック分の補修数量を集計し、各補修数量の割合を見ると補修数量の比率は、栈橋によって異なっており、劣化状態によっても大きく異なることがわかる。補修面積や適用される工法の割合は、劣化度に応じて（ある程度の規則性を持って）変化するものと考えられるが、それらは構造物ごとで異なることから、単純に数値化することが難しい。しかし、維持補修費の総額の試算にあたっては、十分な劣化データが無い中で、これを行うことが多いため、本検討ではこれらのデータを参考に、栈橋の補修数量の概略を推定し、表-12のようにまとめた。

この表では「栈橋全体としては劣化していても補修が必要無い部材がある」ことを考慮に入れている。すなわち、ここでは栈橋全体の面積に対する補修必要面積をまず考慮することになっている。補修必要面積の割合は、栈橋の劣化度の評価方法によって異なるが、例えば平均的な劣化度を入力した場合、約30%は対策を行わなくても良い部材が存在すると考えると、対策必



下部工（干満帯）の劣化評価と予測システム

下部工（海中部）の劣化評価と予測システム

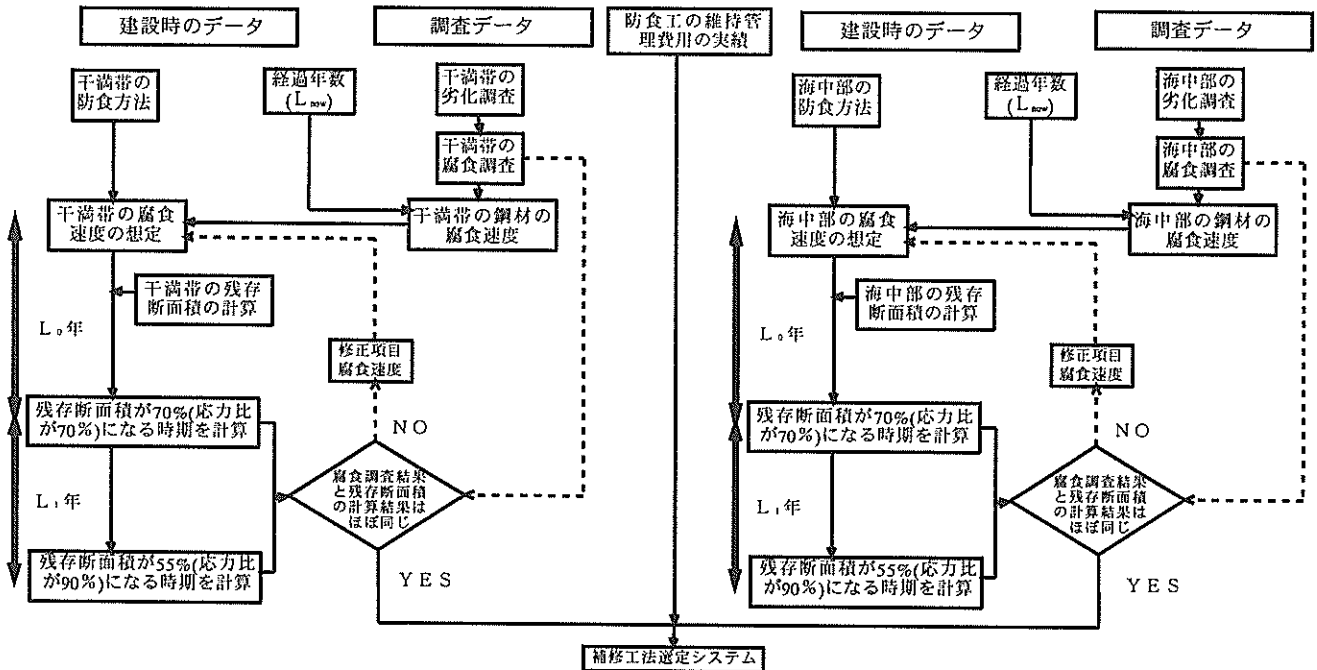


図-9 下部工の劣化評価、予測フロー

表-8 上部工の維持補修工法データベース

工法名	ひび割れ注工法	表面塗装工法	断面修復工法
概算工費	10,000円/m (幅0.5m以下で深さ200mm程度を想定)	17,500円/m <sup>2</sup> (プライマー、中塗り2回、上塗り1回) 膜厚1000μm程度	150,000円/m <sup>2</sup> (はつり深さ100mm程度) 97,000円/m <sup>2</sup> (はつり深さ50mm程度)
再補修の考慮	再補修できない。	再補修を考慮する。	再補修を考慮しない。
耐用年数	考慮しない。	15年	供用期間終了まで。
備考		再補修費14,500円/m <sup>2</sup> (塗装費)+5,000円/m <sup>2</sup> (前処理費)	必要に応じて表面塗装工法等を併用する。

工法名	電気防食工法	脱塩工法	FRP接着工法
概算工費	120,000円/m <sup>2</sup> + 管理費600円/m <sup>2</sup> /年 外部電源タイプの場合 (外部電源が一般的)	80,000円/m <sup>2</sup>	炭素繊維の場合 52,000円/m <sup>2</sup> アラミド繊維の場合 39,000円/m <sup>2</sup>
再補修の考慮	再補修(電線管および電源装置の取替え)を考慮。	再補修を考慮しない。	再補修を考慮。
耐用年数	20年 (電線管および電源装置)	供用期間終了まで。	30年
備考	再補修費18,000円/m <sup>2</sup> (電線管および電源装置の取り替え) 劣化度により断面修復が必要となる場合有り。	必要に応じて表面塗装工法等を併用する。	再補修費:炭素繊維 44,000円/m <sup>2</sup> (補修費)+ 10,000円/m <sup>2</sup> (前処理費) アラミド繊維 36,000円/m <sup>2</sup> (補修費)+ 10,000円/m <sup>2</sup> (前処理費) 劣化度により断面修復が必要となる場合有り。

表-9 下部工の維持補修工法データベース

工法名	無機ライニング工法 モルタルライニング	有機ライニング工法 水中硬化型樹脂	ペトロラタム ライニング工法
概算工費	75,000円/m <sup>2</sup>	55,000円/m <sup>2</sup>	65,000円/m <sup>2</sup>
再補修の考慮	再補修を考慮する.	再補修を考慮する.	再補修を考慮する.
耐用年数	30年	15年	20年
備考	再補修費用：75,000円/m <sup>2</sup> (補修費) + 15,000円/m <sup>2</sup> (撤去費)	再補修費用：55,000円/m <sup>2</sup> (補修費) + 7,000円/m <sup>2</sup> (撤去費)	再補修費用：65,000円/m <sup>2</sup> (補修費) + 5,000円/m <sup>2</sup> (撤去費)

工法名	電気防食 (流電陽極型)	鉄筋コンクリート補強 (モルタル補強)	
概算工費	4,500円/m <sup>2</sup>	120,000円/m <sup>2</sup> モルタル厚さ20cm程度	
再補修の考慮	再補修を考慮する.	再補修事例はないがモルタルライニングと同等として再補修を考慮する.	
耐用年数	20年	35年	
備考	再補修費用：4,500円/m <sup>2</sup>	再補修費用：120,000円/m <sup>2</sup> (補修費) + 46,000円/m <sup>2</sup> (撤去費)	

表-10 梁の劣化度と補修対象面積に対する各工法の割合

劣化度	部材数 (本)	表面塗装 (%)	電気防食 (%)	大断面修復 (%)	小断面修復 (%)	ひび割れ補修 (m/m <sup>2</sup> )
0	6	0	100	0	0	0.07
I	7	29	71	0	0	0.22
II	27	35	65	5.6	1.6	0.1
III	15	53	47	16.2	2	0.06
IV	4	0	100	24.5	0.49	0.13
V	22	18	82	36.2	4.5	0.04

表-11 床版の劣化度と補修対象面積に対する各工法の割合

劣化度	部材数 (枚)	表面塗装 (%)	電気防食 (%)	大断面修復 (%)	小断面修復 (%)	ひび割れ補修 (m/m <sup>2</sup> )
0	23	91	9	0	0	0
I	12	92	8	0	0.48	0.02
II	7	85	15	1.05	0.49	0.06
III	2	100	0	0	0	0.11
IV	1	100	0	0	0	0.15
V	0	0	0	0	0	0

要面積としては70%となる。ただし、これらの数値については、十分な情報が無いことから、今後のデータの集積が待たれる。

また、大規模な栈橋の補修工事では、複数の工法が適用されることがある。現状のシステムの流れでは、これには十分な対応はできていないが、補修範囲を適宜入力し、各工法の費用を合計することによって、組み合わせた場合の補修費用の概算は推測することができる。また、今後システムの精度を上げる過程で比較

的に簡単に修正することが可能である。

### 7.3 維持補修工法選定システム

これまでの検討を踏まえ、維持補修工法を選定するためのシステムを構築した。以下、上部工、下部工それぞれについて維持補修工法選定の流れを示す。

#### (1) 上部工の維持補修工法の選定システム

現状の劣化と劣化予測の関連、補修方法とその補修

効果の考え方等について、以下のように検討を行った。なお、横田ら<sup>3)</sup>の評価結果によれば、目視観察で劣化が認められなくても内部鉄筋の腐食が既に発生あるいは進行している可能性が考えられることから、現在の外見による劣化度が仮に0であったとしても維持補修工法を考慮する必要があると考え、劣化度0から維持補修工法の検討を行うこととした。以下にその手順を示す。なお、ここで  $L_0$ 、 $L_1$ 、 $L_2$  について次のように定義する。

$L_0$  : 劣化度0が終了するまでの予測年数

$L_1$  : 劣化度IIが終了するまでの予測年数

$L_2$  : 劣化度IVが終了するまでの予測年数

a)現在の劣化度が0の場合

工法検討の概略手順

①現状で放置した場合に劣化度がVになるまでの期間を予測する。

ただし、現在劣化度0と判定されていることから予測年数と実際の劣化度との間の関連が不明確なことを考え、補修時期を失することを防ぐ目的で、前述した  $L_0$  の期間について2/3が経過したと考えて、予測期間を次のようにする。

予測期間 =  $1/3 \times L_0 + L_1 + L_2$

②今後の供用期間(入力値)から①の期間を差し引く

③上記②の期間を保持するための工法を選定する。

劣化度0で候補となる補修工法

- ・表面塗装工法
- ・電気防食工法

この時期に施工される表面塗装工法は、塩化物イオンの浸透を抑えることが期待できる。しかし、既に塩化物イオンが多量に浸透している場合には十分な補修効果が期待できない。そこで施工実態から安全側の評価として、塗装を行った場合は「塗装を実施してから、もし塗装を施さなかった場合に鉄筋に腐食が始まると予測される年数の間(つまり劣化度0の残存期間)を2倍に延長できる」と考える。さらに、鉄筋周辺の環境も改善され(たとえば乾湿繰返しの影響が少ないなど)腐食が始まったとしても腐食速度は低減されると考えて、塗装された場合には「劣化度I・IIの期間も1.2倍になる」と考える。これらを足し合わせて延長させなければならない期間を満足できる場合には、この工法を採用するが、もし満足できない場合は「表面塗装の適用時期を逸しているために表面塗装の効果は無い」と考える。また、塗装を適用する場合には、施工実態のヒアリングから塗膜の耐用年数を15年と考え、

必要な回数だけ塗り直しを行うものとする。塗装においてはひび割れ注入などの処理が必要であり、これらのコストも計算に入れる。また、塗り直しには、塗膜除去費用も考慮に入れる。

電気防食工法を適用した場合、構造物の劣化度はそのまま維持できると考える。ただし20年毎に配管や電源装置の補修を考える。また、維持管理費として、ヒアリングにより初期投資費の0.005が毎年発生するものと設定し、その費用を計上する。

脱塩、断面修復工法は補修候補としてあげない。これは、コンクリート中のイオン量が少ないことや、劣化が顕在化していない部材をはつることは現実的でないと考えたからである。なお、この段階で補修を行わない場合は、次の段階で考えることとする。

b)現在の劣化度が(I・II)の場合

工法検討の概略手順

①現状のままで放置した場合劣化度がVとなるまでの期間を予測する。

ただし、劣化度0の場合と同様の理由から今回は前述した  $L_1$  の期間について

現在の劣化度がIのとき： $L_1$ の期間のうち1/3が経過したものとして  $L_1$ の期間を2/3に短縮し予測期間を次のように設定する。

予測期間 =  $2/3 \times L_1 + L_2$

現在の劣化度がIIのとき： $L_1$ の期間のうち2/3が経過したものとして  $L_1$ の期間を1/3に短縮し予測期間を次のように設定する。

予測期間 =  $1/3 \times L_1 + L_2$

②今後の供用期間(入力値)から①の期間を差し引く。

③上記②の期間を保持するための工法を選択する。

劣化度I、IIで候補となる維持補修工法

- ・表面塗装工法
- ・電気防食工法
- ・断面修復工法
- ・脱塩工法

この段階では、表面塗装工法単独では補修効果が期待できないので、必ず断面修復工法あるいは脱塩工法と併用する。断面修復工法は劣化度IIの場合に適用するものとする。電気防食は、必要な期間現状を維持できるものとする。脱塩工法は、この段階から適用できる工法である。脱塩後は、表面塗装を行うことを基本と考え、塗装の塗り直しを塗膜の耐用年数ごとに行うものとする。なお、前項と同様にこの段階で対策を行わない場合は次の段階で対策を考えるものとする。

表-12 劣化度による各工法別の補修数量の設定

補修面積の設定		劣化度						
		0	I	II	III	IV	V	
表面塗装工法								
表面塗装	総面積に対して(%)	70						
ひび割れ注入	表面塗装面積に対して (m/m <sup>2</sup> )	0.05						
断面修復工法								
断面修復	総面積に対して(%)		70	70	70	70	70	
表面塗装 (併用)	断面修復面積に対して(%)		100	100	100	100	100	
断面修復 (大)	断面修復面積に対して(%)		10	60	80	90	95	
断面修復 (小)	断面修復面積に対して(%)		90	40	20	10	5	
電気防食工法								
電気防食	総面積に対して(%)	70	70	70	70	70	70	
断面修復 (大)	電気防食面積に対して(%)	0	0	5	15	20	20	
断面修復 (小)	電気防食面積に対して(%)	0	0	0.5	1.5	5	15	
ひび割れ注入	電気防食面積に対して(m/m <sup>2</sup> )	0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
脱塩工法								
脱塩	総面積に対して(%)	0	70	70	70	70	70	
断面修復 (大)	脱塩面積に対して(%)	0	0	5	15	20	30	
断面修復 (小)	脱塩面積に対して(%)	0	0	0.5	1.5	5	15	
ひび割れ注入	脱塩面積に対して(m/m <sup>2</sup> )	0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	
補強面積の設定		劣化度						
		0	I	II	III	IV	V	
補強	総面積に対して(%)						70	
繊維の接着面積	補強面積に対して(%)						80	
断面修復 (大)	補強面積に対して(%)						30	
断面修復 (小)	補強面積に対して(m/m <sup>2</sup> )						15	
改修面積の設定		劣化度						
		0	I	II	III	IV	V	
改修	総面積に対して(%)					10	20	100

注) 総面積の70%を補修面積とした場合の値を示す

表中、補修面積が空白の部分はその工法を維持補修工法選定の対象としないことを表す。

c)現在の劣化度が(Ⅲ・Ⅳ)の場合

工法検討の概略手順

①現状のまま放置した場合に、劣化度Ⅴになるまでの期間を予測する。

ただし、前述と同様に  $L_2$  の期間を次のように短縮する。

現在の劣化度がⅢのとき： $L_2$  の期間のうち1/3が経過したものとして  $L_2$  の期間を2/3に短縮し、予測期間を次のように設定する。

$$\text{予測期間} = L_2 \times 2/3$$

現在の劣化度がⅣのとき： $L_2$  の期間のうち2/3が経過したものとして  $L_2$  の期間を1/3に短縮し、予測期間を次のように設定する。

$$\text{予測期間} = L_2 \times 1/3$$

②今後の供用期間(入力値)から①の期間を差引く。

③上記②の期間を保持するための工法を選定する。

候補となる補修工法

・断面修復工法、電気防食工法、脱塩工法を対象として検討する。この段階で対策を行わない場合は次の段階で対策を考える。

d)現在の劣化度がⅤの場合

・下部工はそのまま上部工を全面改修することにする。

これらの考えを基に上部工の補修工法選定フローを図-10および図-11に示す。

## (2) 下部工の維持補修工法選定システム

下部工(主に鋼管杭で構成)の劣化予測とその対策を示すと次のようになる。

### a)現在の応力比が0.7より小さい場合

①現状の腐食速度から、限界応力比(0.9あるいは別途入力した限界値)に達するまでの期間を予測する。

②今後の供用期間(入力値)から①で求めた期間を差し引く(この値が負の場合は何もしない)

③上記②の期間を保持するための工法を選択する  
・考えられる補修工法を適用し、維持補修工費の計算を行う。

・現状では補修せず、応力比が0.7に達するまで待つ(この期間を算定しておく)b)で対策を考える。

### b)現在の応力比が0.7以上0.9より小さい場合

①現状の腐食速度から、応力比が0.9に達するまでの期間を予測する。

②今後の供用期間(入力値)から①までの期間を差し引く(この値が負の場合は何もしない)

③上記②の期間を保持するために工法を選択する。  
・考えられる補修工法を適用し、維持補修工費の計算を行う。

・現状では補修せず、応力比が0.9に達するまで待つ(この期間を算定しておく)c)で対策を考える。

### c)現在の応力比が0.9を超えている場合

①現状で対策を考える。

・考えられる補修工法を適用し、維持補修工費の計算を行う。

・鉄筋コンクリートあるいは鋼材による補強などを適用する。

・下部工の安全性が大幅に低下したことの警告を出す。

これらの考え方に従って下部工の補修工法選定フローを表すと図-12のようになる。

## (3) 維持補修工費算定システム

栈橋の上部工および下部工の維持管理に必要なコストを、栈橋全体として図-13に示す流れで計算する。ここで、計算に用いる建設デフレータや社会的割引率は入力項目とする。なお、この段階においてコストの試算結果が出るが、実際に補修などが計画されている場合もあり、実状に応じて補修・補強時期を変更することが可能となるようにする。ただし、時期の変更は、さきに計算した時期よりも早くなるようにしなければ

ならない。遅くなると、補修時期を逸してしまい、十分な補修効果が得られなくなる可能性があるからである。なお、上部工と下部工では維持管理の手法が大幅に異なることから、それぞれ独立して計算する。

## 7.4 システム操作の流れ

システムの操作の大まかな流れは次のようになる。

①まず、表計算ソフトを開くと標準値を設定して処理を実施するか、設定しないで開始するかを選択を入力して開始する。標準値データベースは、その数値を変更しやすいようにワークシートにしておく。

②次に、構造物シートが開き、データ入力および上部工の計算をするか、下部工の計算をするか(または両方実施)の選択入力を行う。選択の結果に応じて上部工のシステムまたは下部工の処理に進む。

③各々のルーチン内部では入力データを基に、それぞれの劣化評価・劣化予測処理、維持補修工法の選定、維持補修工費と施工時期の算出を行う。劣化評価、予測処理では劣化年数(下部工の場合は残存断面積)が調査結果と一致するかを結果のワークシートを見ながらユーザが判定し、パラメータを変更して、一致するまで計算を繰り返す。

④維持補修工費の計算結果をもとにして各維持補修工法の実施時期におけるコスト推移計算を行い、結果をワークシートに出力する。結果はコスト最小の順番に出力する。

⑤これらの結果から、最適と判断される結果の図化処理を行い、グラフ表示する。さらに施工時期を調整して再計算を実施し、コストが最小となるような経路を判定する。

⑥上部工の各種の補修パターンについては保存しておき、下部工の結果を重ねあわせての比較検討が容易に行えるようにしておくものとする。

概略フローを図-14に示す。なお、本マネジメントシステムは、あくまで最適と判断される工法の案を提示するためのシステムであり、維持補修工法を選択する際の一つの情報を提供するものである。したがって、ユーザは、本マネジメントシステムの出力結果を、個々の現場の環境条件に応じて十分の検討し、最適な維持補修工法を決定する必要がある。

参考までに付録に画面イメージを示す。

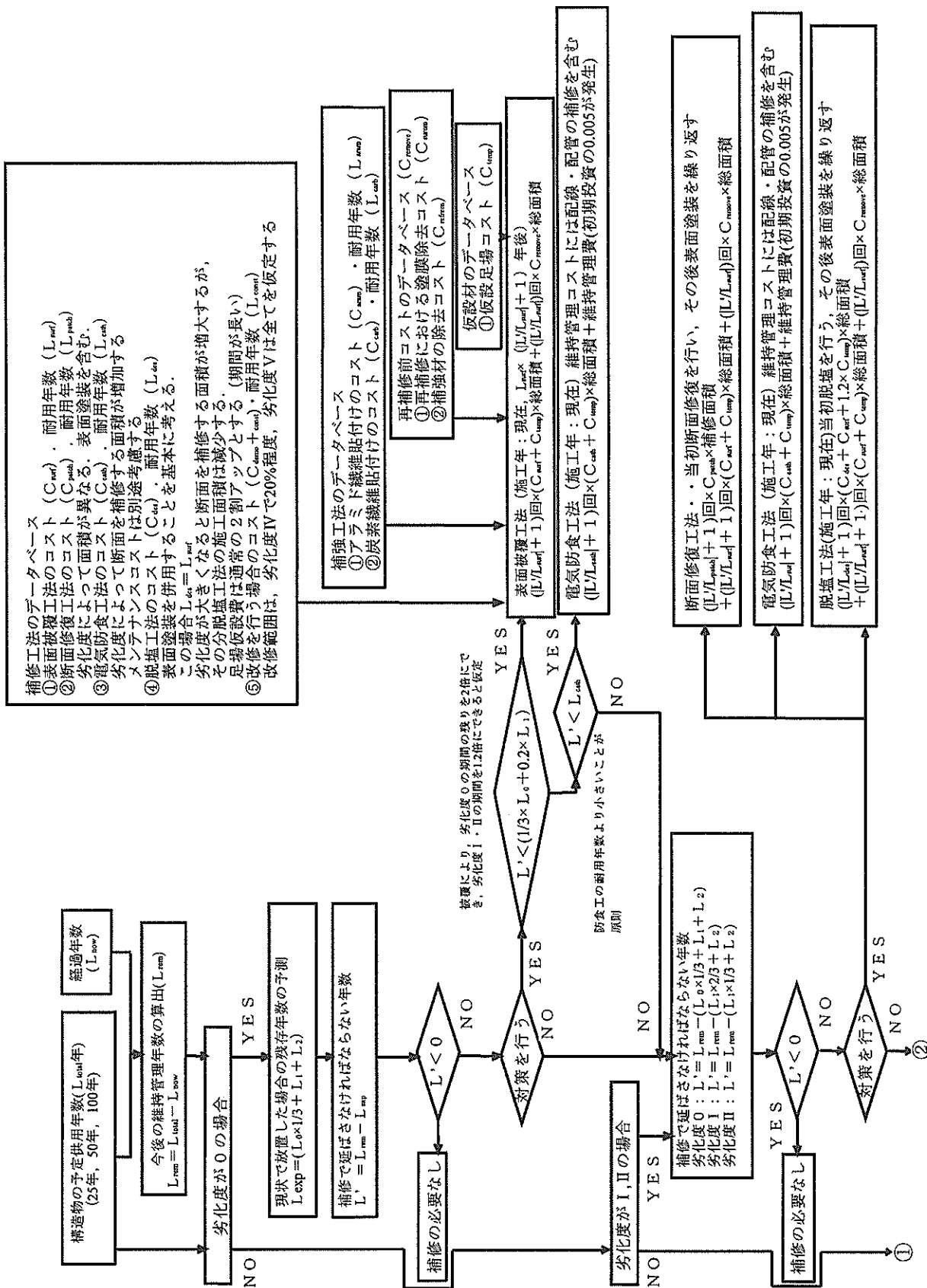


図-10 上部工の維持補修工法選定フロー(1)



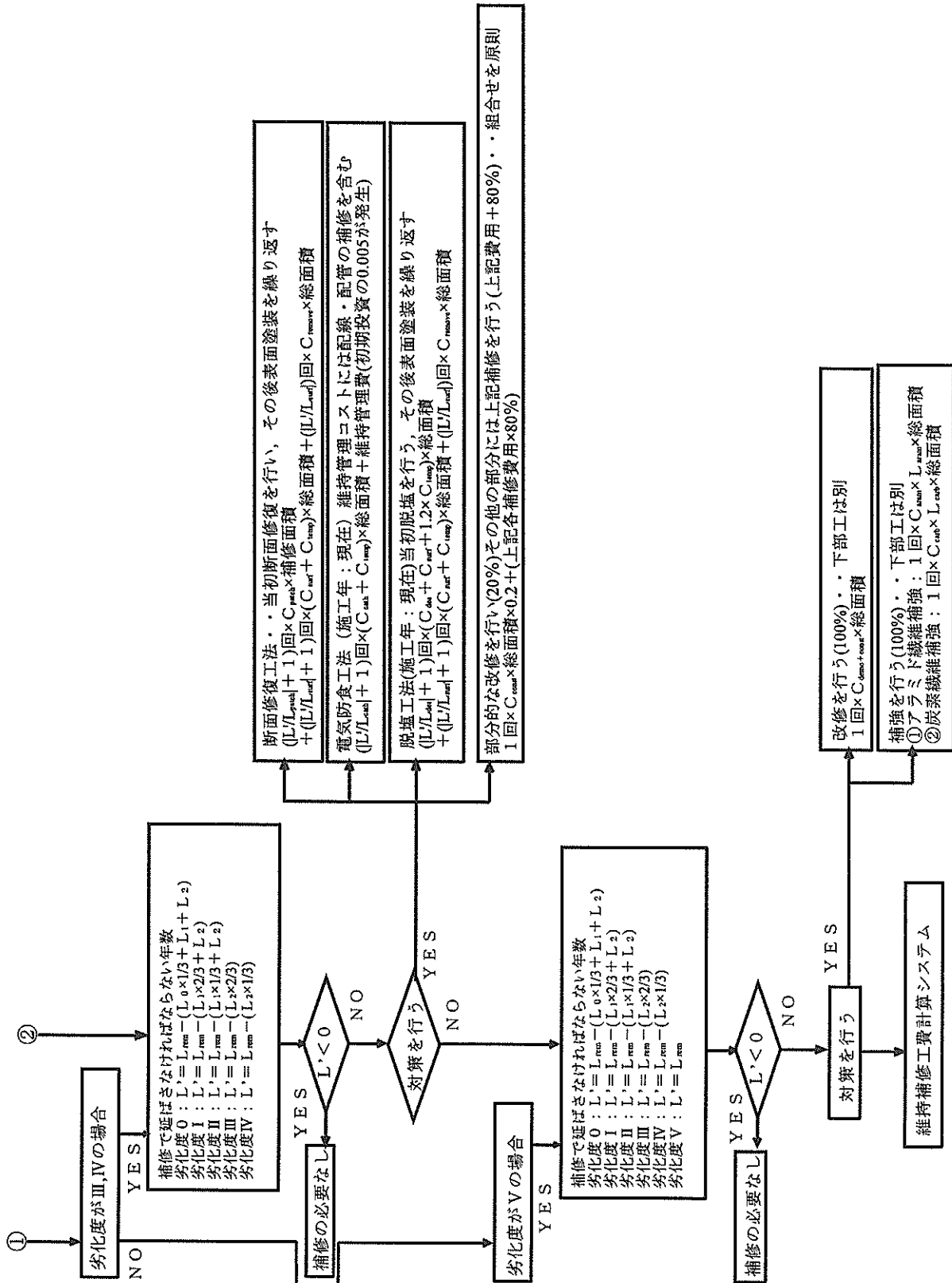


図-11 上部工の維持補修工法選定フロー(2)

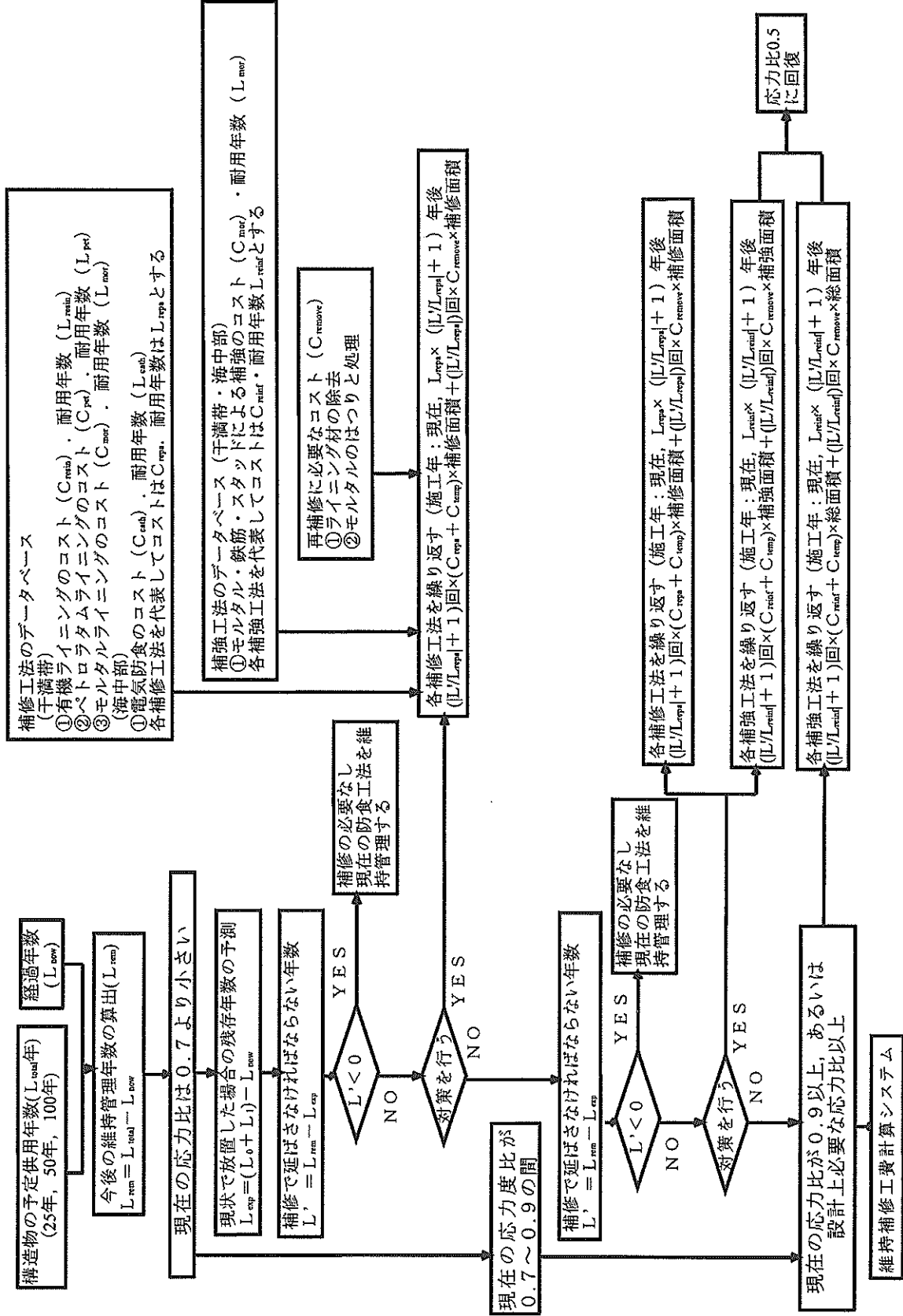


図-12 下部工の維持補修工法選定フロー

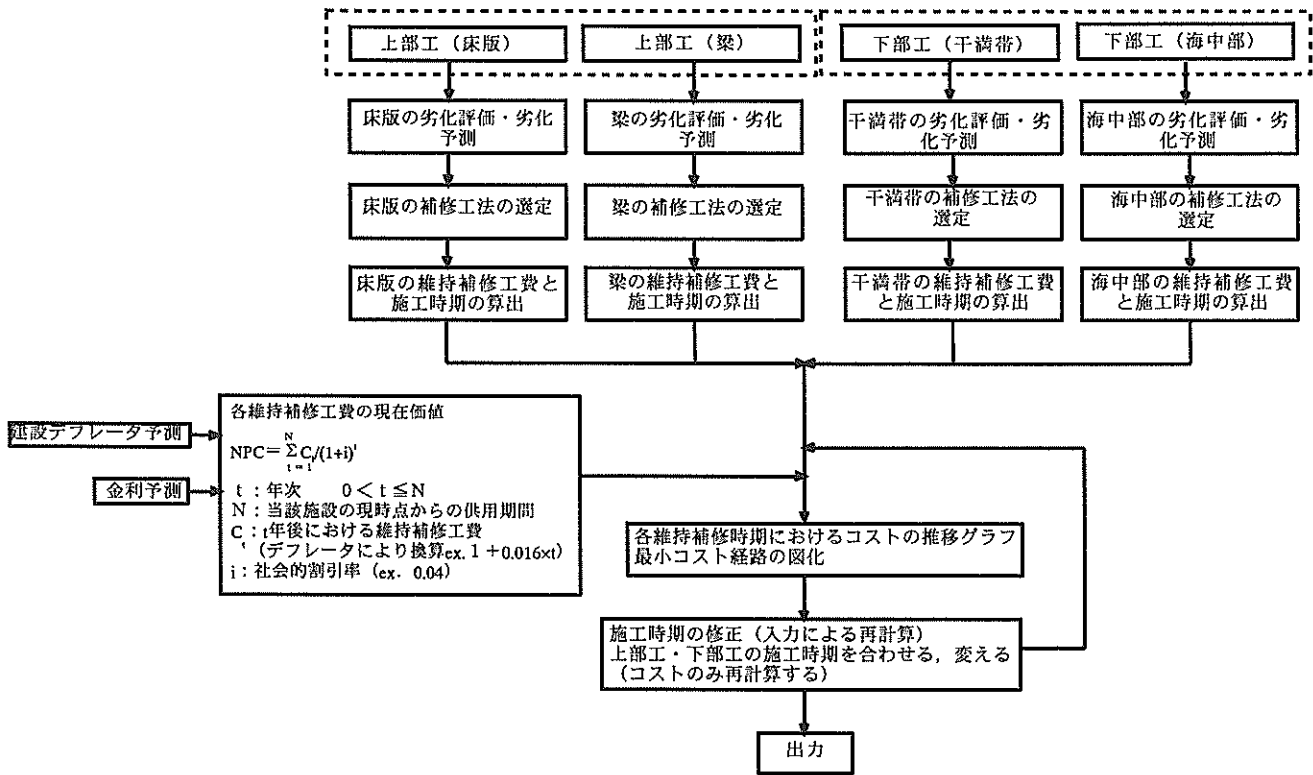


図-13 維持補修工費計算フロー

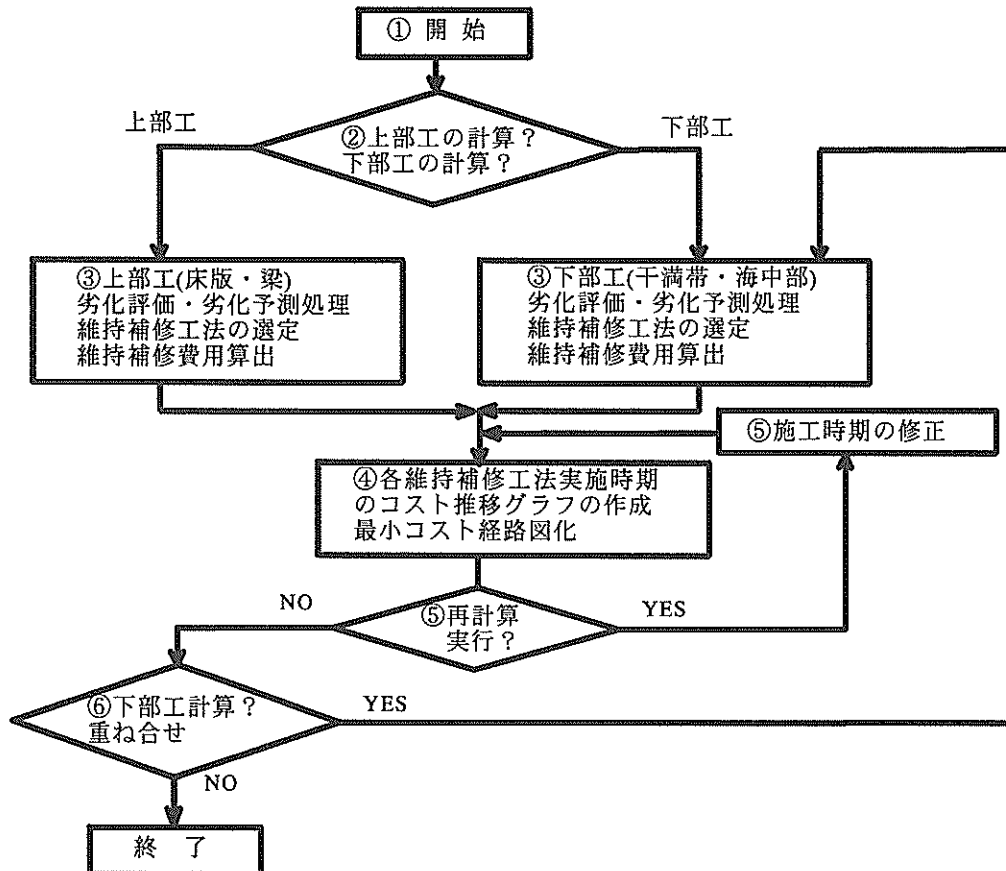


図-14 システムの概略フロー



梁部の劣化度別頻度分布

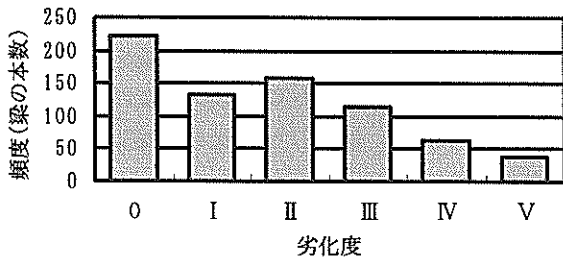


図-16 梁の劣化度の分布

床版部の劣化度別頻度分布

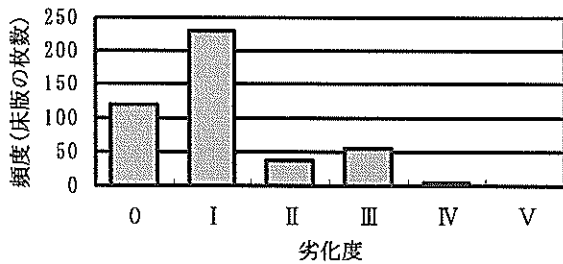


図-17 床版の劣化度の分布

(2) 劣化評価要因データ

次に部材の劣化判定に必要な表面塩化物イオン量 $C_o$ 、拡散係数 $D$ 、およびかぶり厚さについての調査データの分布を表-13に示す。

8.3 劣化評価および劣化予測システムの評価

現地調査により得られたデータを基に、表面塩化物イオン量 $C_o$ 、拡散係数 $D$ 、鉄筋のかぶりおよび目視に

よる劣化度評価結果から、現状の劣化度に到達するまでの推定年数の計算を行った。この場合、各値は、ばらつきを持った値のため、これらをどのように評価して入力値を決定するのが妥当であるかを検討する必要がある。そのため、各入力項目に対し複数の入力ケースを設定し、それらの組み合わせによって現在の目視による劣化度に到達するまでの推定年数を計算し経過年数との比較を行った。

(I) 検討ケース

入力値のケースは次のとおりである

a) 全測定データの平均値

b) 測定データの統計処理により安全側の評価を得られる値。つまり

表面塩化物イオン量 $C_o$  :  
 塩化物イオン拡散係数 $D$  : }  $P=90\%$   
 鉄筋のかぶり厚さ :  
 劣化度 :  $P=80\%$

ここで $P=90\%$ 値とは各データのばらつきを正規分布と仮定した場合に全データのうちその値以下となる確率が90%である値とする。 $P=80\%$ 値も同様に80%となる値である。劣化度の入力値を $P=80\%$ としたのは、 $P=90\%$ 値とすると劣化度が過大に評価されると判断したためである。また、設計値（設計図およびコンクリート標準示方書より得られる値）についてもシミュレーションを行い、実測値を入力した場合との推定年数を比較した。

c) 設計値

・表面塩化物イオン量 $C_o$  : 梁  $13\text{kg/m}^3$  (飛沫帯)  
 床版  $9\text{kg/m}^3$  (汀線付近)

表-13 各要因の計測値の分布

梁部分の測定値分布				床版部分の測定値分布					
$C_o$	平均	7.89	$\text{kg/m}^3$	データ数 12	$C_o$	平均	2.08	$\text{kg/m}^3$	データ数 4
	標準偏差	5.75				標準偏差	0.59		
	$P=70\%$	10.88				$P=70\%$	2.38		
	$P=80\%$	12.72				$P=80\%$	2.57		
	$P=90\%$	15.26				$P=90\%$	2.84		
$D$	平均	$2.19\text{E-}08$	$\text{cm}^2/\text{s}$	データ数 12	$D$	平均	$1.93\text{E-}08$	$\text{cm}^2/\text{s}$	データ数 4
	標準偏差	$1.17\text{E-}08$				標準偏差	$3.65\text{E-}08$		
	$P=70\%$	$2.80\text{E-}08$				$P=70\%$	$2.12\text{E-}08$		
	$P=80\%$	$3.17\text{E-}08$				$P=80\%$	$2.24\text{E-}08$		
	$P=90\%$	$3.68\text{E-}08$				$P=90\%$	$2.40\text{E-}08$		
かぶり厚さ	平均	58.83	$\text{mm}$	データ数 13	かぶり厚さ	平均	58.20	$\text{mm}$	データ数 10
	標準偏差	20.47				標準偏差	10.48		
	$P=70\%$	48.19				$P=70\%$	52.75		
	$P=80\%$	41.64				$P=80\%$	49.20		
	$P=90\%$	32.60				$P=90\%$	44.77		
	最小	20.00				最小	43.00		

表-14 評価検討における入力値一覧

	入力項目	平均値	P=90%	設計値×0.6	設計値
梁	劣化度	II	III*	—	—
	表面塩化物イオン量 $\text{kg/m}^3$	7.89	15.26	—	13.00
	塩化物イオン拡散係数 $\text{cm}^2/\text{s}$	$2.19\text{E}-08$	$3.68\text{E}-08$	—	$3.19\text{E}-08$
	かぶり厚さ $\text{cm}$	5.9	3.3	—	6.0
床版	劣化度	I	II*	—	—
	表面塩化物イオン量 $\text{kg/m}^3$	2.08	2.84	5.40	9.00
	塩化物イオン拡散係数 $\text{cm}^2/\text{s}$	$1.93\text{E}-08$	$2.40\text{E}-08$	—	$3.19\text{E}-08$
	かぶり厚さ $\text{cm}$	5.8	4.5	—	4.3

\*劣化度の入力値はP=90%値の代わりにP=80%値を入力した

- ・ 拡散係数  $D$ :  $3.19 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$   
(水セメント比45%, 普通ポルトランドセメント使用と仮定する.)

- ・ 鉄筋のかぶり: 梁 6.0cm 設計図より  
床版 4.3cm

これらのうち  $C_0$  および  $D$  の値についてはコンクリート標準示方書〔維持管理編〕<sup>9)</sup> によった。

なお、床版の表面塩化物イオン量の平均測定値が  $2.08 \text{ kg/m}^3$  と設計値に比べて小さな値となり、計算上劣化の進行が著しく遅く予測されることから、実測値と設計値を補完する意味で設計値  $\times 0.6$  のケース ( $5.4 \text{ kg/m}^3$ ) も試算した。入力値の一覧を表-14に示す。

(2) 検討結果

検討結果の一覧を表-15に示す。

a) 梁の場合

図-18に部材の代表的な劣化度をII(全部材の平均値)とし、拡散係数を平均値、かぶりを設計値とした場合の表面塩化物イオン量と劣化度がIIになるまでの推定年数の関係の例を示す。このように、劣化度をIIとした場合には、どのような諸元の入力値の場合にも推定年数は20年以下となり、推定値がかなり安全側となっている。

図-19に部材の代表的な劣化度を安全側であるIIIとした場合の結果を示す。ここで表面塩化物イオン量のデータに対し2つの推定年数があるのは劣化度がIIからIIIになったと推定される年数および劣化度がIIIからIVになると推定される年数を示す。この場合は劣化度IIの場合と比べ当然推定年数は経過年数(28年)に近づいている。今回の場合一番適切な推定値になったのは次の場合であった。

- ・ 表面塩化物イオン量  $C_0$ : 平均値
- ・ 拡散係数  $D$ : 平均値

- ・ 鉄筋かぶり: 平均値=設計値

また、劣化度をIIIとし、全ての入力値を設計値とした場合の計算結果を図-20に示す、この場合には実際の経過年数よりも4~18年程度短く推定され、安全側の評価を与えることがわかった。

b) 床版の場合

図-21に部材の代表的な劣化度をI(全部材の平均値)とした場合の入力値と劣化度Iに至るまでの推定年数の関係の例を示す。この場合推定年数は塩化物イオン拡散係数や、鉄筋のかぶりによらず、表面塩化物イオ

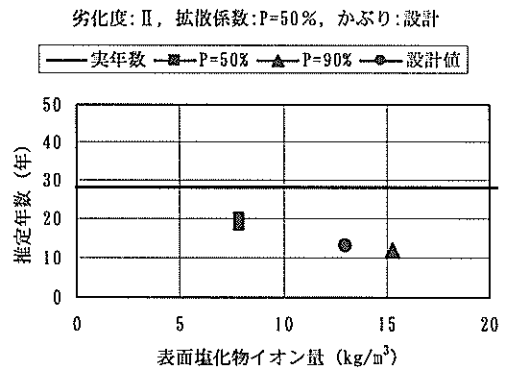


図-18 入力値と推定年数の関係 (劣化度IIの場合)

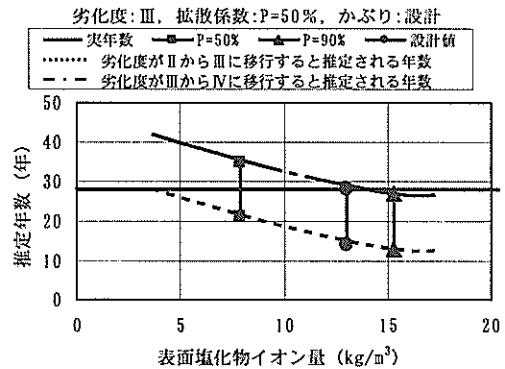


図-19 入力値と推定年数の関係 (劣化度IIIの場合)

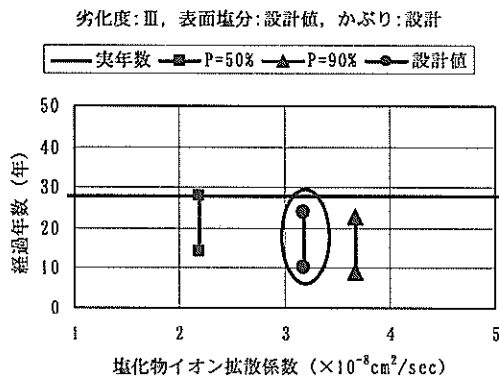


図-20 設計値による梁の劣化推定結果

ン量が $P=90\%$ から設計値 $\times 0.6$ の値の間で適切な値を与えることがわかった。ただし、表面塩化物イオン量が $5\text{kg/m}^3$ 程度を下回ると急激に予測期間が長くなることから、この入力値については予測値が敏感になっており、入力にあたっては注意が必要である。

一方、図-22に部材の代表的な劣化度を安全側であるⅡとした( $P=80\%$ )場合の結果を示す。この場合にも劣化度をⅠとした場合と同様の傾向が見られたが、以下のケースが適切と考えられる推定結果となった。

- ・鉄筋かぶり： $P=90\%$
- ・表面塩化物イオン量 $C_0$ ：設計値 $\times 0.6$
- ・拡散係数 $D$ ：平均値から $P=90\%$ 値の間

今回、表面塩化物イオン量 $C_0$ について実測値よりも設計値に近い値のケースが現状における劣化度を良く説明するという結果となった。これは、塩化物イオンの浸透と鉄筋の腐食速度の関係付けに未だ不明確な部分があるため、本マネジメントシステムでは鉄筋位置における塩化物イオン量が $1.2\text{kg/m}^3$ となった時点で鉄筋の腐食が始まり、鉄筋位置における塩化物イオン量が $2.0\text{kg/m}^3$ となった時に鉄筋腐食によるひび割れが発生するとしていることが理由の一つと考えられる。今後、劣化判定事例を重ねることで、塩化物イオンの浸透量と鉄筋腐食の進行の関係について検討する必要があると考える。

また、部材の標準的な劣化度を安全側の劣化度(劣化度Ⅱ)とし、全ての入力値を設計値とした場合を図-23に示す。この場合劣化度Ⅱに至る推定年数は、経過年数よりも20年程度短いという結果であった。

(3) 予測結果のまとめ

今回の検討の結果、梁及び床版の劣化予測に関して次

のように入力値を設定すると良好な推定結果を得られることがわかった。

- ・全体の劣化度： $P=80\%$ 値(平均劣化度より1ランク上の劣化度)
- ・表面塩化物イオン量 $C_0$ ：設計値 $\times 0.6$ 程度の値
- ・拡散係数 $D$ ：設計値 $\times 0.6\sim 0.75$ 程度の値
- ・鉄筋のかぶり：測定結果の平均値

このように今回の場合は表面塩化物イオン量や、拡

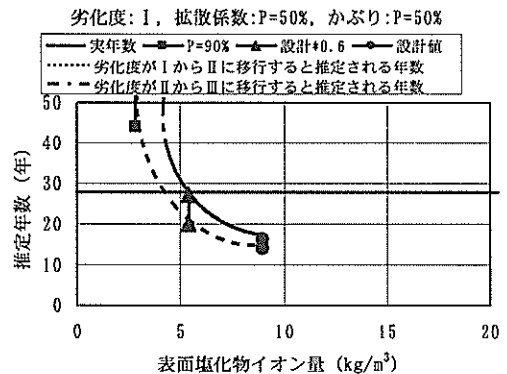


図-21 入力値と推定年数の関係(劣化度Ⅰの場合)

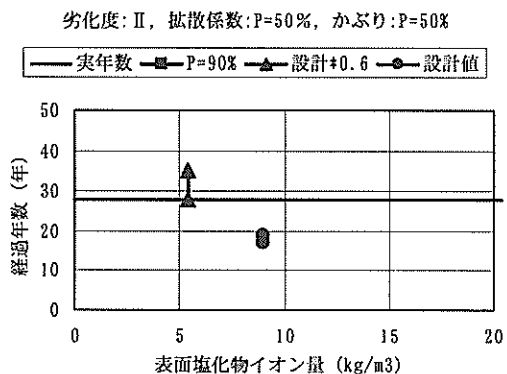


図-22 入力値と推定年数の関係(劣化度Ⅱの場合)

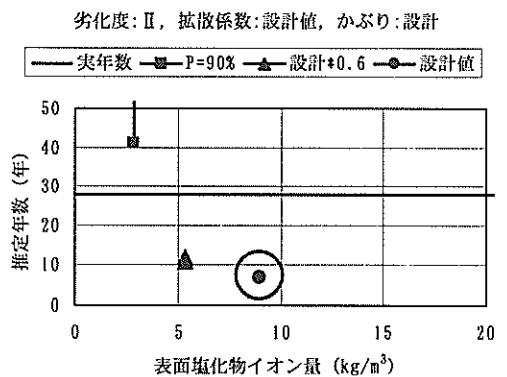


図-23 設計値による床版の劣化推定結果

表-15 検討結果一覧表

(建設後28年の調査データに対して)

ケース	かぶり厚さ (cm)			拡散係数 (cm <sup>2</sup> /s)			表面塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )				劣化度から予測される経過年数 (年)	
	測定値		設計値	測定値		設計値	測定値		設計値	設計値	(平均)	(P=80%)
	平均	P=90%		平均	P=90%		平均	P=90%			劣化度Ⅱ	劣化度Ⅲ
1	5.9			2.19E-08			7.89				18 ~ 20	21 ~ 35
2	5.9			2.19E-08				15.26			12 ~ 12	13 ~ 27
3	5.9			2.19E-08					13.00		12 ~ 13	14 ~ 28
4	5.9				3.68E-08		7.89				11 ~ 12	13 ~ 27
5	5.9				3.68E-08			15.26			7 ~ 7	8 ~ 22
6	5.9				3.68E-08				13.00		8 ~ 8	9 ~ 23
7	5.9					3.19E-08	7.89				13 ~ 14	15 ~ 29
8	5.9					3.19E-08		15.26			8 ~ 8	9 ~ 23
9	5.9					3.19E-08			13.00		9 ~ 9	10 ~ 24
10		3.3		2.19E-08			7.89				7 ~ 7	8 ~ 22
11		3.3		2.19E-08				15.26			4 ~ 4	5 ~ 19
12		3.3		2.19E-08					13.00		4 ~ 4	5 ~ 19
13		3.3			3.68E-08		7.89				4 ~ 4	5 ~ 19
14		3.3			3.68E-08			15.26			3 ~ 3	4 ~ 18
15		3.3			3.68E-08				13.00		3 ~ 3	4 ~ 18
16		3.3				3.19E-08	7.89				5 ~ 5	6 ~ 20
17		3.3				3.19E-08		15.26			3 ~ 3	4 ~ 18
18		3.3				3.19E-08			13.00		3 ~ 3	4 ~ 18
19			6.0	2.19E-08			7.89				18 ~ 20	21 ~ 35
20			6.0	2.19E-08				15.26			12 ~ 12	13 ~ 27
21			6.0	2.19E-08					13.00		13 ~ 13	14 ~ 28
22			6.0		3.68E-08		7.89				11 ~ 12	13 ~ 27
23			6.0		3.68E-08			15.26			7 ~ 7	8 ~ 22
24			6.0		3.68E-08				13.00		8 ~ 8	9 ~ 23
25			6.0			3.19E-08	7.89				13 ~ 14	15 ~ 29
26			6.0			3.19E-08		15.26			8 ~ 8	9 ~ 23
27			6.0			3.19E-08			13.00		9 ~ 9	10 ~ 24

(建設後28年の調査データに対して)

ケース	かぶり厚さ (cm)			拡散係数 (cm <sup>2</sup> /s)			表面塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )				劣化度から予測される経過年数 (年)	
	測定値		設計値	測定値		設計値	測定値		設計値 × 0.6	設計値	(平均)	(P=80%)
	平均	P=90%		平均	P=90%		平均	P=90%			劣化度Ⅰ	劣化度Ⅱ
1	5.8			1.93E-08			2.08				90 ~ -	- ~ -
2	5.8			1.93E-08				2.84			44 ~ 118	119 ~ 192
3	5.8			1.93E-08					5.40		20 ~ 27	28 ~ 35
4	5.8			1.93E-08						9.00	14 ~ 16	17 ~ 19
5	5.8				2.40E-08		2.08				73 ~ -	- ~ -
6	5.8				2.40E-08			2.84			36 ~ 95	96 ~ 155
7	5.8				2.40E-08				5.40		16 ~ 22	23 ~ 28
8	5.8				2.40E-08					9.00	11 ~ 13	14 ~ 15
9	5.8					3.19E-08	2.08				55 ~ -	- ~ -
10	5.8					3.19E-08		2.84			27 ~ 72	73 ~ 117
11	5.8					3.19E-08			5.40		13 ~ 17	18 ~ 21
12	5.8					3.19E-08				9.00	9 ~ 10	11 ~ 12
13		4.5		1.93E-08			2.08				55 ~ -	- ~ -
14		4.5		1.93E-08				2.84			27 ~ 71	72 ~ 116
15		4.5		1.93E-08					5.40		13 ~ 17	18 ~ 21
16		4.5		1.93E-08						9.00	9 ~ 10	11 ~ 12
17		4.5			2.40E-08		2.08				44 ~ -	- ~ -
18		4.5			2.40E-08			2.84			22 ~ 57	58 ~ 93
19		4.5			2.40E-08				5.40		10 ~ 13	14 ~ 17
20		4.5			2.40E-08					9.00	7 ~ 8	9 ~ 9
21		4.5				3.19E-08	2.08				34 ~ -	- ~ -
22		4.5				3.19E-08		2.84			17 ~ 43	44 ~ 70
23		4.5				3.19E-08			5.40		8 ~ 10	11 ~ 13
24		4.5				3.19E-08				9.00	6 ~ 6	7 ~ 7
25			4.3	1.93E-08			2.08				50 ~ -	- ~ -
26			4.3	1.93E-08				2.84			25 ~ 65	66 ~ 106
27			4.3	1.93E-08					5.40		12 ~ 15	16 ~ 19
28			4.3	1.93E-08						9.00	8 ~ 9	10 ~ 11
29			4.3		2.40E-08		2.08				41 ~ -	- ~ -
30			4.3		2.40E-08			2.84			20 ~ 52	53 ~ 85
31			4.3		2.40E-08				5.40		10 ~ 13	14 ~ 16
32			4.3		2.40E-08					9.00	7 ~ 8	9 ~ 9
33			4.3			3.19E-08	2.08				31 ~ -	- ~ -
34			4.3			3.19E-08		2.84			16 ~ 40	41 ~ 64
35			4.3			3.19E-08			5.40		8 ~ 10	11 ~ 12
36			4.3			3.19E-08				9.00	6 ~ 6	7 ~ 7



表-16 維持補修工費算定システム評価のための入力項目

部材の種類	梁	床版	備考
表面塩化物イオン量	7.8kg/m <sup>3</sup>	5.4kg/m <sup>3</sup>	設計値×0.60
塩化物イオン拡散係数	2.07×10 <sup>-8</sup> cm <sup>2</sup> /sec	2.07×10 <sup>-8</sup> cm <sup>2</sup> /sec	設計値×0.65
鉄筋かぶり	5.9cm	5.8cm	平均値
鉄筋径	1.6cm	1.6cm	設計値
予測される経過年数	劣化度Ⅰ：0～14（年） 劣化度Ⅱ：15～18（年） 劣化度Ⅲ：19～21（年） 劣化度Ⅳ：22～37（年） 劣化度Ⅴ：38～52（年） 劣化度Ⅵ：53（年）以降	劣化度Ⅰ：0～18（年） 劣化度Ⅱ：19～26（年） 劣化度Ⅲ：27～33（年） 劣化度Ⅳ：34～49（年） 劣化度Ⅴ：50～64（年） 劣化度Ⅵ：65（年）以降	
現在の経過年数	28（年）	28（年）	
対策をとる限界の劣化度	Ⅲ	Ⅲ	

散係数の実測データが無い場合でも、設計値を適切に設定することで劣化判定、予測を行える可能性があることが判明した。しかし、実際には構造物が置かれている環境によりこれらの値にはばらつきが大きいので、今後さらに検討が必要である。

#### 8.4 維持補修工選定システムの評価

前述の推定結果から、最適な維持補修計画の策定結果について妥当性を検討した。

##### (1) 入力データ

入力値は、先の検討を踏まえ、表-16に示す値とした。また、構造物の劣化を劣化度Ⅳまで先延ばした段階で補修対策をとることは、構造物の機能上（部分的な破壊など）、外観上、または対人安全上好ましいことではないと考え、今回は劣化度Ⅲまでで何らかの対策をとるものとして検討を行った。

##### (2) 検討結果

入力データを基に補修計画の策定結果を梁、床版ごとにそれぞれ図-24および図-25に示す。この結果次のことが確認できた。

得られた補修計画では、梁・床版に関わらず、維持補修費の最小化のためには電気防食工法、脱塩工法、断面修復工法の順に優先度が高いことが示された。また、床版のように劣化度が比較的小さい（劣化度Ⅱ）場合には、さらに劣化度が進行する（劣化度がⅢになる）前に対策を採る方が維持補修費の合計金額を小さくできる結果となった。これらの結果は各工法の施工コストの差や耐用年数などの特徴や、劣化進行による剥離、剥落の増大に伴う補助的な断面修復面積の増大

を考慮すると妥当な結果と考えられる。また、補修工法については、今回の場合、梁においては断面修復工法（劣化度Ⅲにて対応）、電気防食工法（劣化度Ⅲ）、脱塩工法（劣化度Ⅲ）、改修+断面修復工法（劣化度Ⅲ）、改修+電気防食工法（劣化度Ⅲ）、改修+脱塩工法（劣化度Ⅲ）の6工法が比較されており、床版においては断面修復工法（劣化度Ⅱにて対応）電気防食工法（劣化度Ⅱ）、脱塩工法（劣化度Ⅱ）、断面修復工法（劣化度Ⅲにて対応）、電気防食工法（劣化度Ⅲ）、脱塩工法（劣化度Ⅲ）、改修+断面修復工法（劣化度Ⅲ）、改修+電気防食工法（劣化度Ⅲ）、改修+脱塩工法（劣化度Ⅲ）などが対象となっており、実用的にも十分なものと考えられる。

#### 9. まとめ

本研究で得られた成果をまとめると次のとおりである。

- (1) 栈橋の保有性能の評価について、かぶり、表面塩化物イオン量、拡散係数等を用いて鉄筋、および鋼材の腐食と、構造物の劣化度を結びつけて構造物の現況評価および、劣化の予測を行うこととし、この手順について体系化を行った。
- (2) 維持補修工法の情報収集検討から、各工法の適切な実施時期、その耐用年数、工費についてデータベース化を行った。
- (3) 前項の結果から、栈橋における現有能力の判定、今後の機能劣化を予測、現時点で考え得る維持補修工法とその実施時期等、維持補修の基本指針を検討するためのマネジメントシステムを開発した。
- (4) 完成したシステムを用いて事例解析を行い、劣化

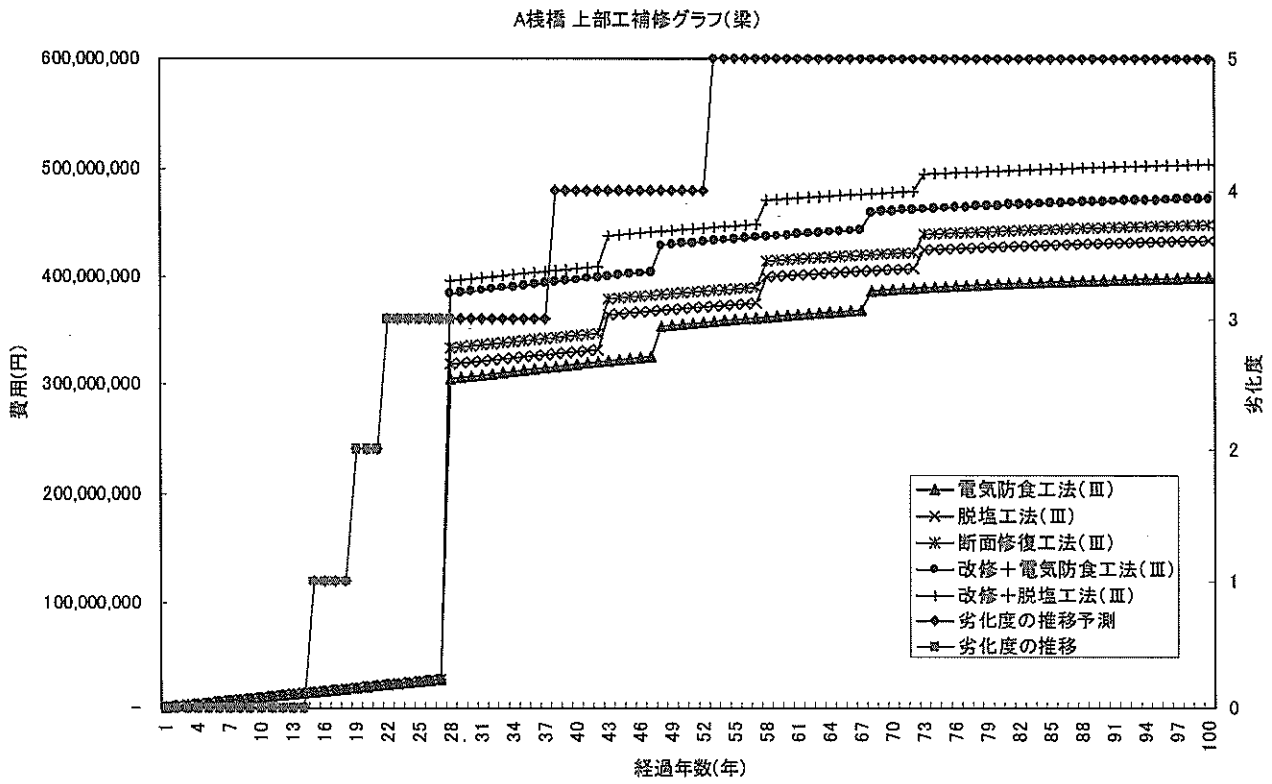


図-24. 維持補修工費の計算結果 (上部工梁)

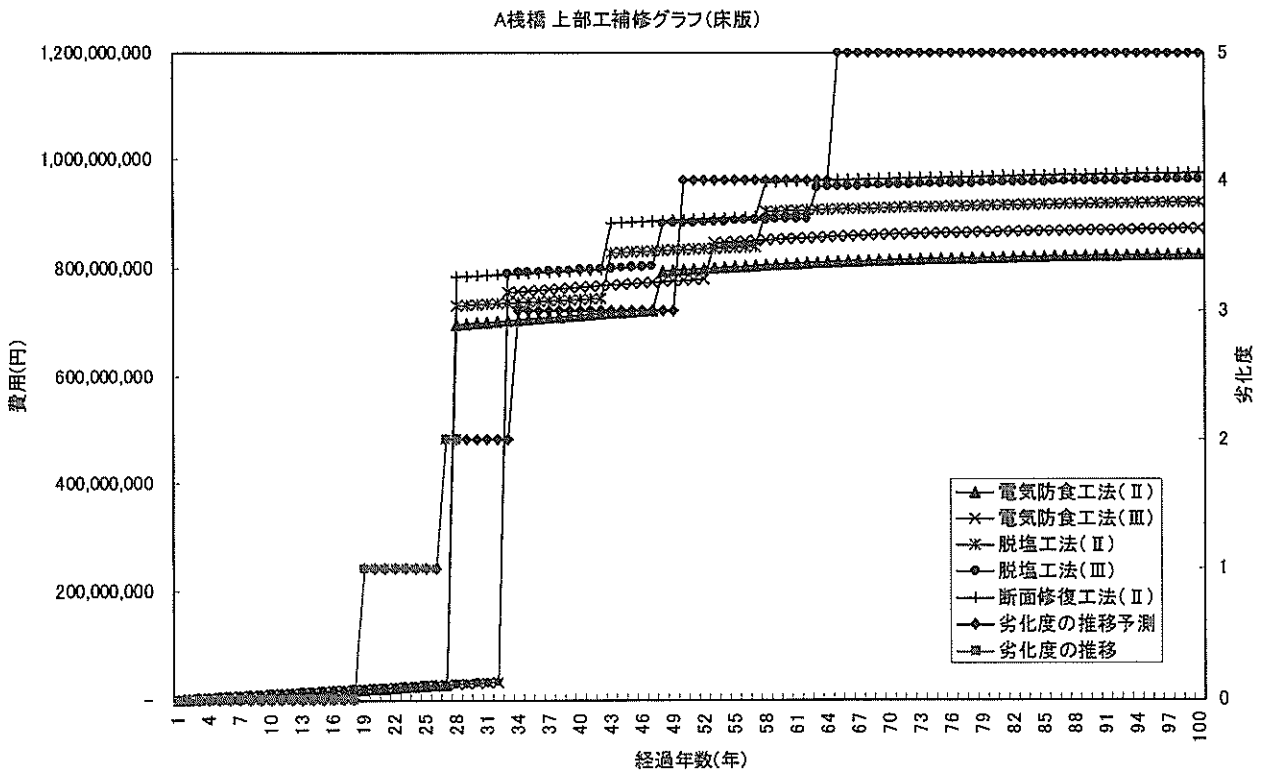


図-25 維持補修工費の計算結果 (上部工床版)

評価、予測および維持補修工法の提案システムについて、その有効性について検討した。そしてマネジメントシステムへの入力データの適切な設定方法について検討を試みた。

## 10. 今後の課題

本研究の成果により、栈橋の維持管理を体系的に行うための端緒についたと言える。今後、次のような観点に基づく検討を行う必要があると考える。

### (1) 予測精度の向上

本マネジメントシステムにおける予測結果は先に述べた通りで、実際の経過年数と異なる値を計算することもあり、現在は、この差を実測データにより補正を行っている。今後、本システムの評価を繰り返すことで、栈橋の置かれている環境条件と、劣化との関係が明らかになれば、予測精度のさらなる向上が期待でき、また、各種入力値の適切な設定方法を検討することで、現地の詳細な測定結果が無い栈橋や、新設の栈橋についても維持補修計画が策定できるようになる。また、現在いくつか開発されている非破壊検査の結果を適切に取り入れる方法を開発することでさらなる精度の向上を図る必要がある。

### (2) 他施設への適用

本システムは現在は栈橋を対象としたシステムであるが、港湾には、さまざまな形式の構造物がある。したがって、本システムで得た知見を他の構造物に適用し、他施設でもマネジメントが行えるようになれば、より合理的な維持補修費の配分が行えることから、今後はこれらにも取り組む必要がある。

## 11. あとがき

経済企画庁の試算によれば、2010年における我が国の公共資本投資に占める維持補修費の割合は、約30%にもなると予測されており、維持補修費の合理的な配分は緊急の課題となっている。本研究で開発したマネジメントシステムはその使用のための第一段階についたところであり、今後さらなる精度および、使い勝手の向上が求められる。近い将来本マネジメントシステムが管理者等に活用され港湾の管理に寄与することを願う。

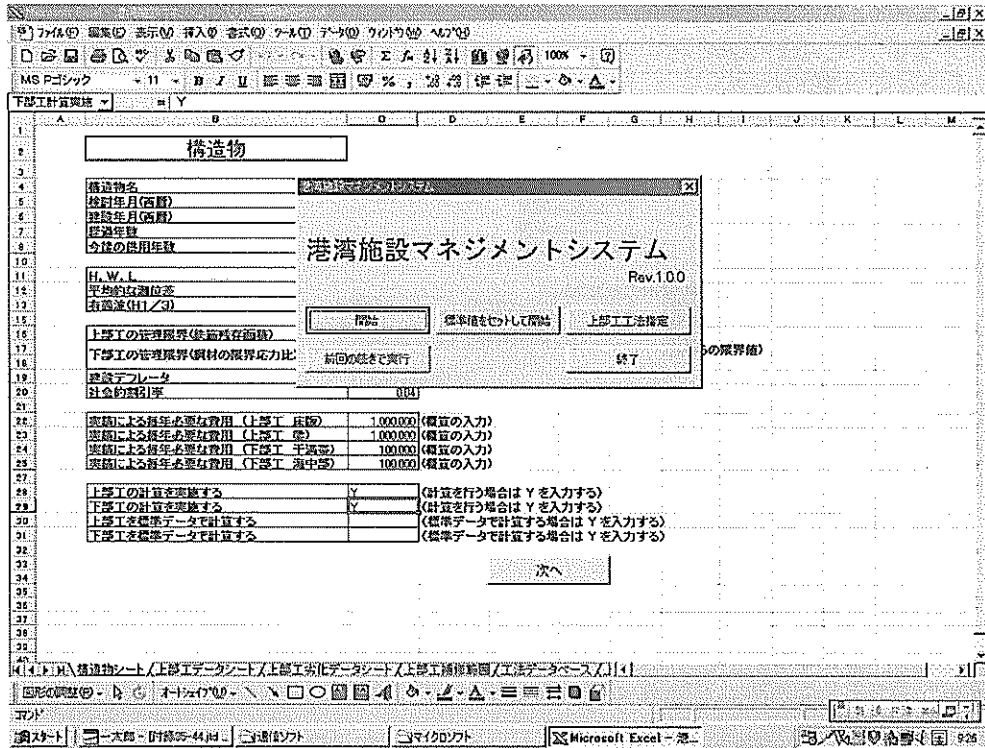
本研究は、特別研究「港湾基盤施設の機能変化とライフエクステンションに関する研究」の一環として行った。  
(2001年2月14日受付)

## 参考文献

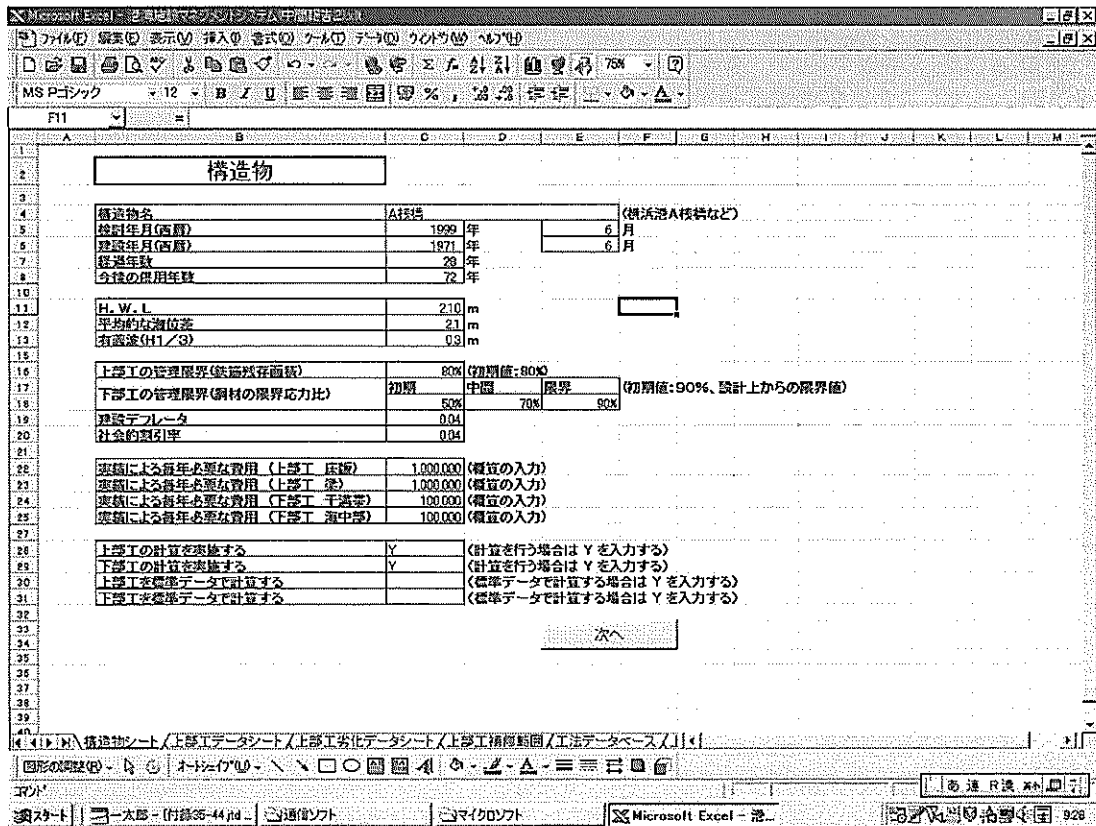
- 1) 運輸省港湾技術研究所編著：港湾構造物の維持・補修マニュアル，(財)沿岸開発技術研究センター，1999年。
- 2) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書，1998年。
- 3) 横田弘，秋山哲治，濱田秀則，三上晃，福手勤：海洋環境（酒田港20年）に暴露したコンクリート梁の材料劣化が梁の力学特性に及ぼす影響，港湾技術研究所報告，第38巻，第2号，pp.169-222，1999年。
- 4) コンクリート委員会腐食防食小委員会報告：鉄筋腐食・防食，および補修に関する研究の現状と今後の動向，(社)日本土木学会，1997年
- 5) コンクリート委員会コンクリート標準示方書改訂小委員会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，(社)日本土木学会，2001年。
- 6) 小林一輔編集，魚本・加藤・広野共著：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，1990年。
- 7) 守分敦郎，長滝重義，大即信明，関博，福手勤：塩害を受けた栈橋に対する表面処理工法の設計法に関する検討，土木学会論文集，No534/VI-30，pp.109-123，1996年。
- 8) 守分敦郎：鉄筋コンクリート栈橋上部工の塩害に対する耐久性評価と維持管理に関する研究，東亜建設工業（株）技術研究所材料・構造研究室論文集，第4集(その2)，1996年
- 9) (財)沿岸開発技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（改訂版），1997年。

付録 マネジメントシステムの画面イメージ

参考としてマネジメントシステムの入力及び出力イメージを添付する



付図-1 オープンメニュー画面



付図-2 構造物の一般データ入力画面



MS Excel 2003

MS Pゴシック 12 B / II

上部工補修範囲 70%

上部工補修範囲						
補修面積の規定						
補修工法	劣化度	0	I	II	III	IV
表面塗装工法	劣化度	0	I	II	III	IV
表面塗装工法	総面積に対して(%)	70.00%				
ひび割れ注入	劣化度	0	I	II	III	IV
断面修復工法	劣化度	0	I	II	III	IV
断面修復工法	総面積に対して(%)	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%
断面塗装工法(併用)	断面修復面積に対して(%)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
断面修復工法(大)	断面修復面積に対して(%)	10.00%	60.00%	80.00%	90.00%	95.00%
断面修復工法(小)	断面修復面積に対して(%)	90.00%	40.00%	20.00%	10.00%	5.00%
電気防食工法						
電気防食工法	劣化度	0	I	II	III	IV
電気防食工法	総面積に対して(%)	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%
断面修復工法(大)	電気防食面積に対して(%)	0.00%	5.00%	15.00%	20.00%	30.00%
断面修復工法(小)	電気防食面積に対して(%)	0.00%	0.50%	1.50%	5.00%	15.00%
ひび割れ注入	劣化度	0	I	II	III	IV
ひび割れ注入	劣化防食面積に対して(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
既設工法						
既設工法	劣化度	0	I	II	III	IV
既設工法	総面積に対して(%)	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%	70.00%
断面修復工法(大)	既設面積に対して(%)	0.00%	5.00%	15.00%	20.00%	30.00%
断面修復工法(小)	既設面積に対して(%)	0.00%	0.50%	1.50%	5.00%	15.00%
ひび割れ注入	既設面積に対して(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
補修面積の規定						
補修工法	劣化度	0	I	II	III	IV
補修工法	総面積に対して(%)					70.00%
鋼鉄の接着面積	補修面積に対して(%)					80.00%
断面修復工法(大)	補修面積に対して(%)					30.00%
断面修復工法(小)	補修面積に対して(%)					15.00%
改修面積の規定						
改修	劣化度	0	I	II	III	IV
改修	総面積に対して(%)			10.00%	20.00%	100.00%

戻る 次へ

付図-5 上部工補修面積データ入力画面

MS Excel 2003

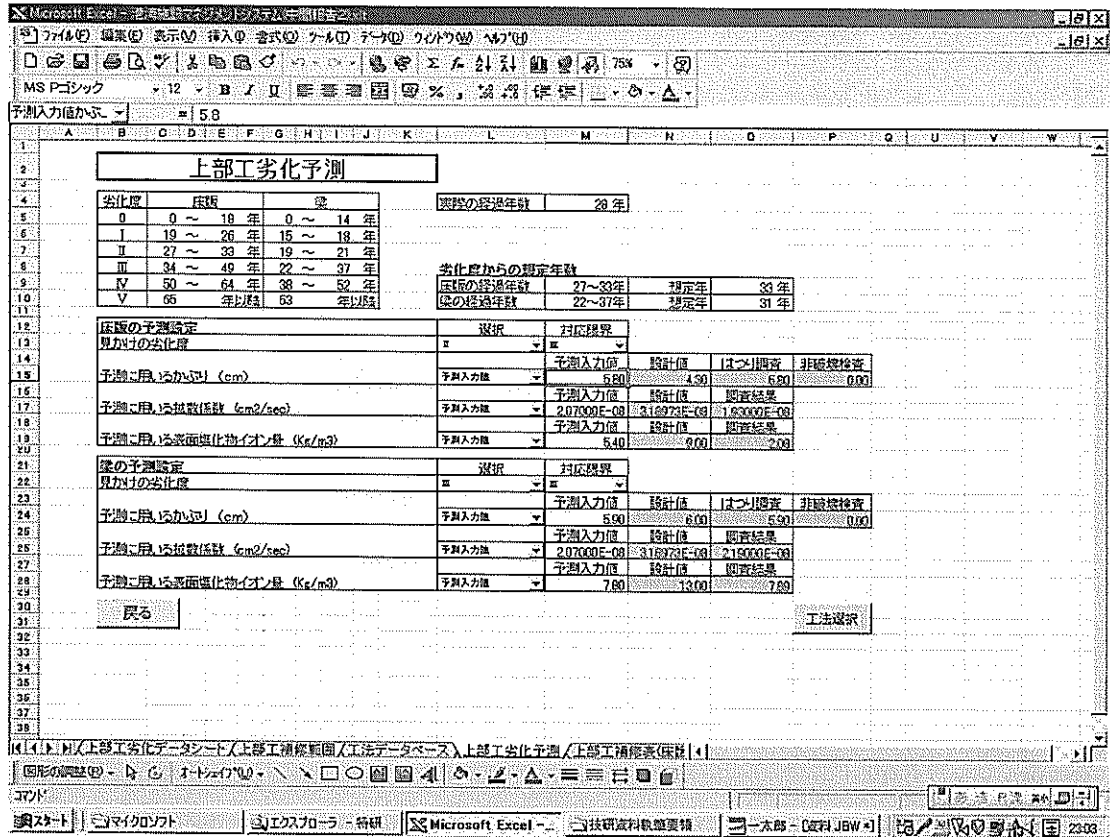
MS Pゴシック 12 B / II

工法データベース 10000

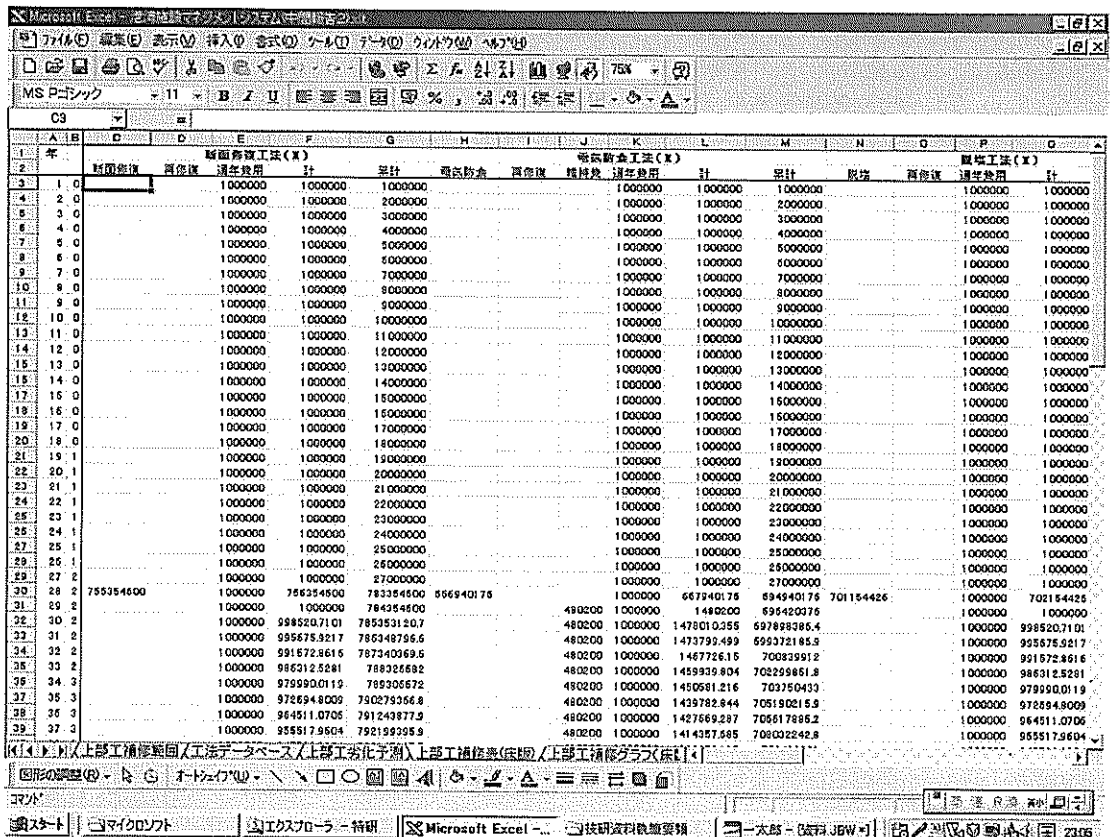
補修工法の種類	初期設置費用(円)	耐用年数	高補修総費用(円)	高補修設置費用(円)
ひび割れ注入工法 (l/m)	10,000	99		
表面塗装工法 (l/m <sup>2</sup> )	17,500	15	5,000	14,500
断面修復工法(大) (l/m <sup>2</sup> )	150,000	99		
断面修復工法(小) (l/m <sup>2</sup> )	97,000	99		
表面塗装工法(併用) (l/m <sup>2</sup> )	17,500	15	5,000	14,500
仮設費 (l/m <sup>2</sup> )	11,000		11,000	
電気防食工法(既設時) (l/m <sup>2</sup> )	120,000	20	0	18,000
電気防食の大断面修復 (l/m <sup>2</sup> )	120,000	99		
電気防食の小断面修復 (l/m <sup>2</sup> )	77,600	99		
維持管理費 (l/m <sup>2</sup> -year)	180			
ひび割れ注入工法 (l/m)	10,000	99		
仮設費 (l/m <sup>2</sup> )	11,000		11,000	
電気化学的既設工法 (l/m <sup>2</sup> )	97,500	99		
既設の大断面修復 (l/m <sup>2</sup> )	120,000	99		
既設の小断面修復 (l/m <sup>2</sup> )	77,600	99		
表面塗装工法(併用) (l/m <sup>2</sup> )	17,500	15	5,000	14,500
ひび割れ注入工法 (l/m)	10,000	99		
仮設費 (l/m <sup>2</sup> )	22,000		22,000	
補修工法の種類				
カーボン繊維貼付け (l/m <sup>2</sup> )	52,000	30	10,000	44,000
FRP繊維貼付け (l/m <sup>2</sup> )	39,000	30	10,000	36,000
補修用大断面修復 (l/m <sup>2</sup> )	150,000			
補修用小断面修復 (l/m <sup>2</sup> )	97,000			
仮設費 (l/m <sup>2</sup> )	11,000		11,000	
改修の種類				
改修 床版 (l/m <sup>2</sup> )	300,000			
改修 梁 (l/m <sup>2</sup> )	400,000			
仮設費 (l/m <sup>2</sup> )	11,000			

戻る 次へ

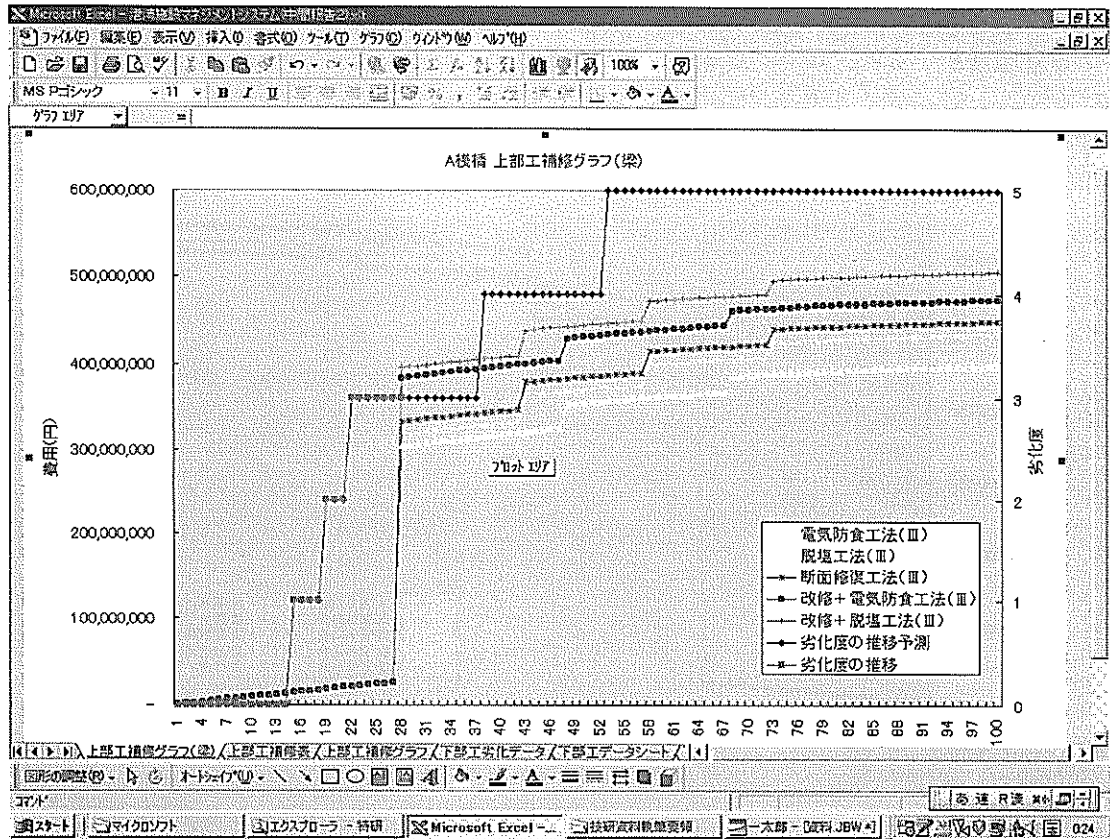
付図-6 上部工補修工法データベース入力画面



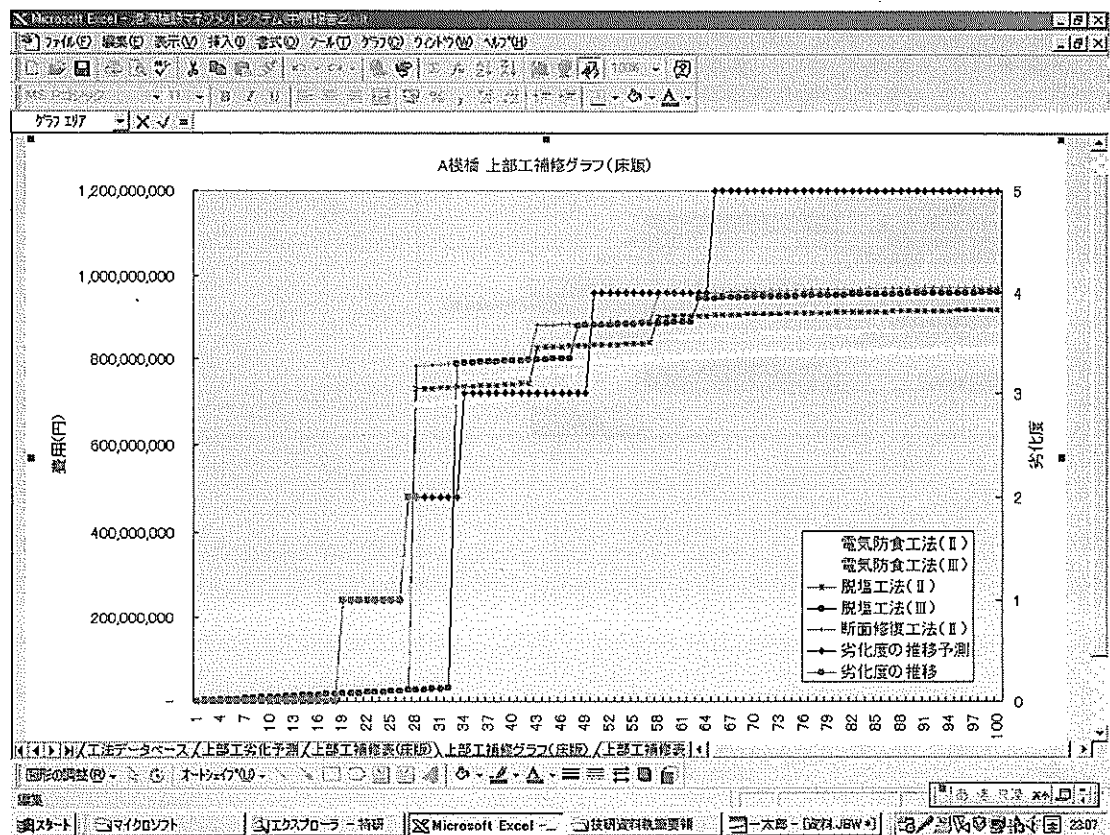
付図-7 上部工劣化評価、予測結果出力画面



付図-8 上部工維持補修工費計算テーブル

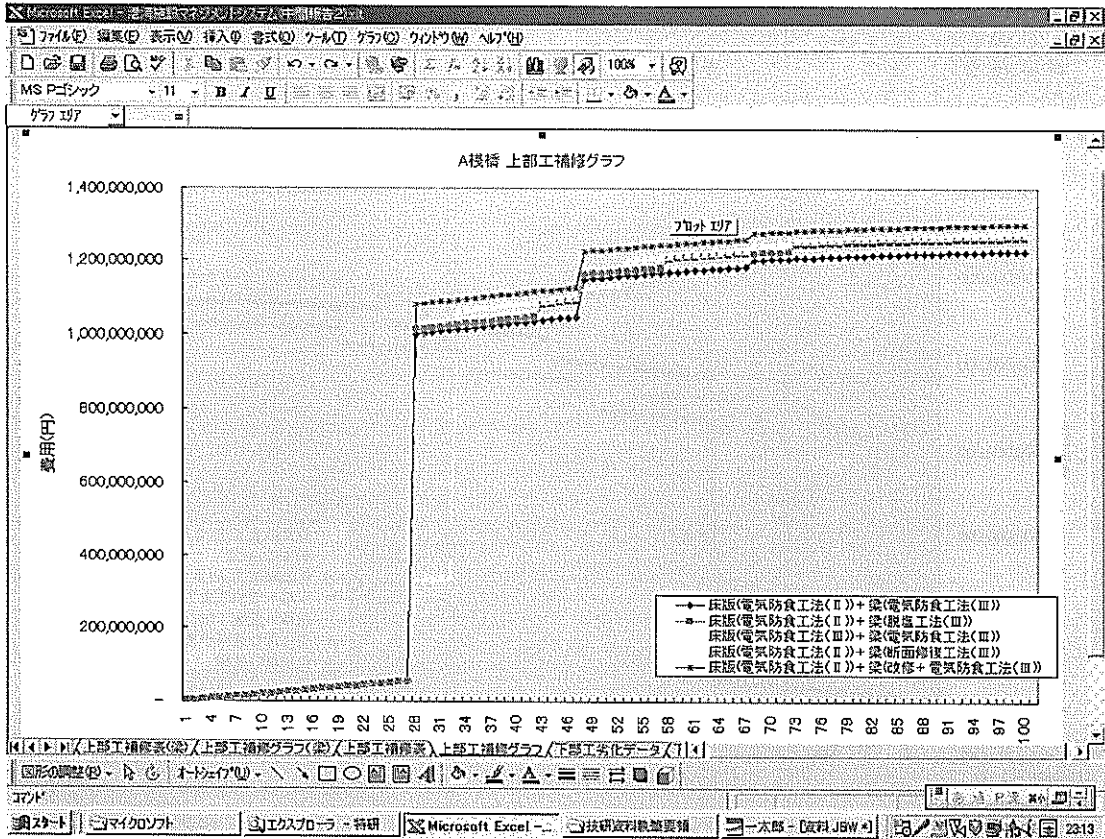


付図-9 上部工維持補修工費計算結果グラフ (梁)



付図-10 上部工維持補修工費計算結果グラフ (床版)

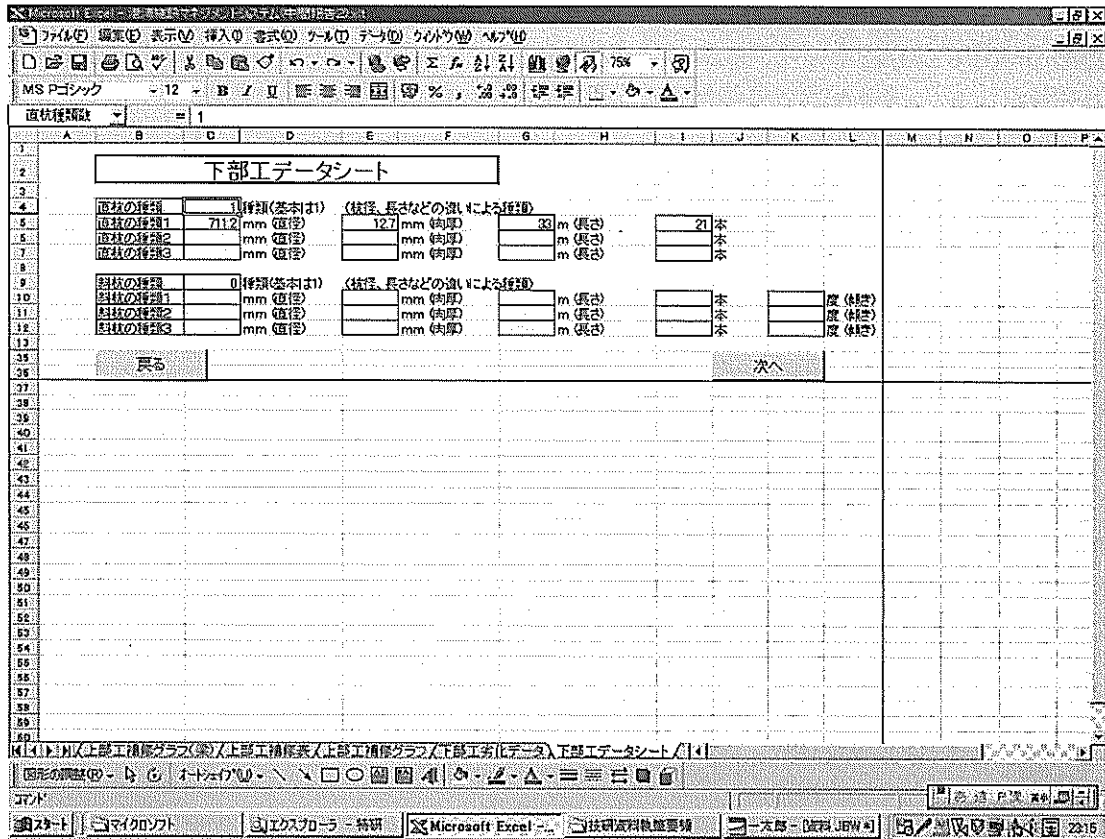




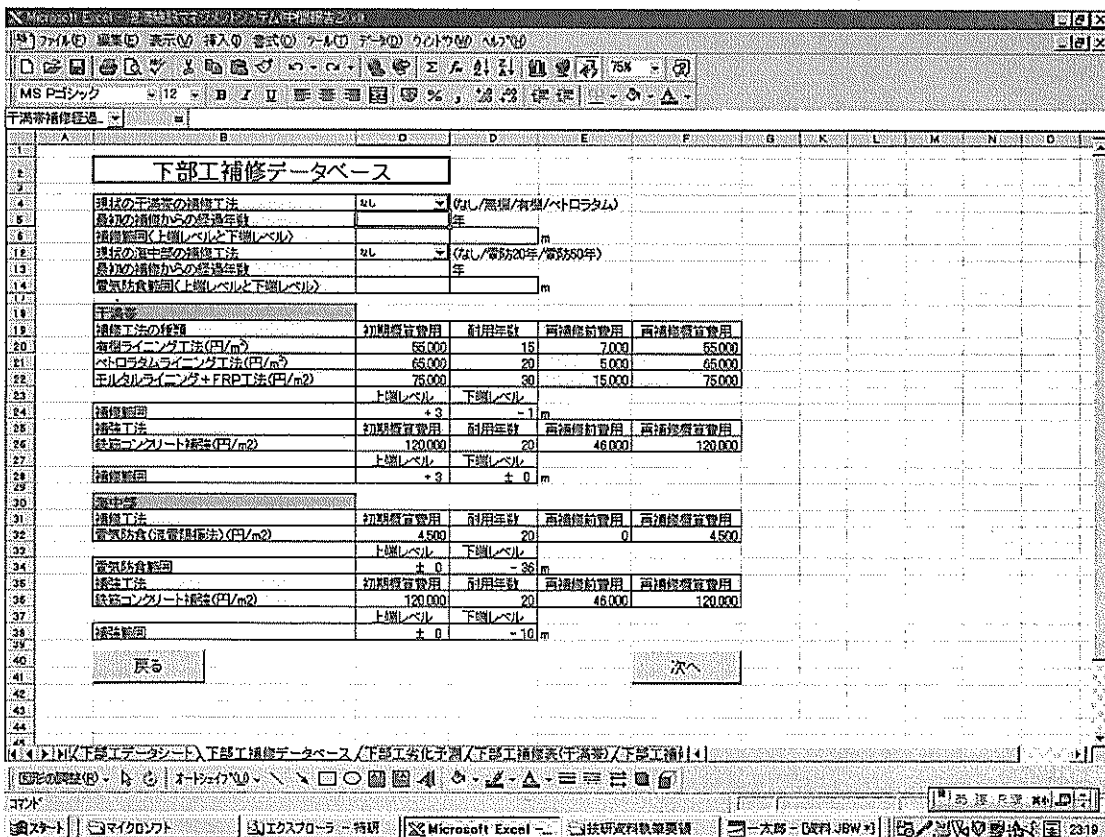
付図-11 上部工維持補修工費計算結果グラフ (梁および床版)

下部工劣化データ		
下部工の劣化データ		
干渉部のコンクリートの厚さ		
干渉部の筋筋の径	12.70	mm
干渉部の筋筋の腐食速度	0.18	mm/year
液中部の電気防食の効果		試験データ/設計の必要性
液中部の筋筋の径	12.70	mm
液中部の筋筋の腐食速度	0.10	mm/year
鋼筋の劣化率	別途必要な費用の算入(入力)	
	0	
次へ		

付図-12 下部工劣化データ入力画面



付図-13 下部工諸元データ入力画面



付図-14 下部工維持補修工法データベース入力画面

Microsoft Excel - 橋梁維持補修費計算テーブル画面

MS P-シック - 12 - B / II 橋梁維持補修費計算 % , 橋梁維持補修費

L17

下部工劣化予測									
応力比	干満帯	海中帯	実際の経過年数	28年					
0.7未満	0 ~ 20年	0 ~ 26年		干満帯	海中帯				
0.7~0.9	21 ~ 32年	37 ~ 66年		想定される応力比	0.8350 0.6440				
0.9以上	33年以降	67年以降		想定残存断面積率	59.9% 77.6%				
				実際の残存断面積率	59.9% 77.6%				
干満帯									
選択									
管径の直径 (mm)	入力値	直径最大	直径最小	斜径最大	斜径最小				
	711.20	711.20	711.20	0.00	0.00				
管径の内厚 (mm)	入力値	期許値	直径最大	直径最小	斜径最大	斜径最小			
	12.70	12.70	12.70	12.70	0.00	0.00			
管径の腐食速度 (mm/year)	入力値	期許値							
	0.18	0.18							
海中帯									
選択									
管径の直径 (mm)	入力値	直径最大	直径最小	斜径最大	斜径最小				
	711.20	711.20	711.20	0.00	0.00				
管径の内厚 (mm)	入力値	期許値	直径最大	直径最小	斜径最大	斜径最小			
	12.70	12.70	12.70	12.70	0.00	0.00			
管径の腐食速度 (mm/year)	入力値	期許値							
	0.10	0.10							
戻る									
劣化予測									

図形の調整 - 拡大縮小 - 印刷 - 印刷範囲指定 - 印刷範囲指定 - 印刷範囲指定

MS P-シック - 12 - B / II 橋梁維持補修費計算 % , 橋梁維持補修費

Microsoft Excel - 橋梁維持補修費計算テーブル画面

付図-15 下部工劣化評価、予測計算結果出力画面

Microsoft Excel - 橋梁維持補修費計算テーブル画面

MS P-シック - 11 - B / II 橋梁維持補修費計算 % , 橋梁維持補修費

B10

= 断面減少率(干満帯直径,干満帯内厚,干満帯腐食速度A1)×1.00

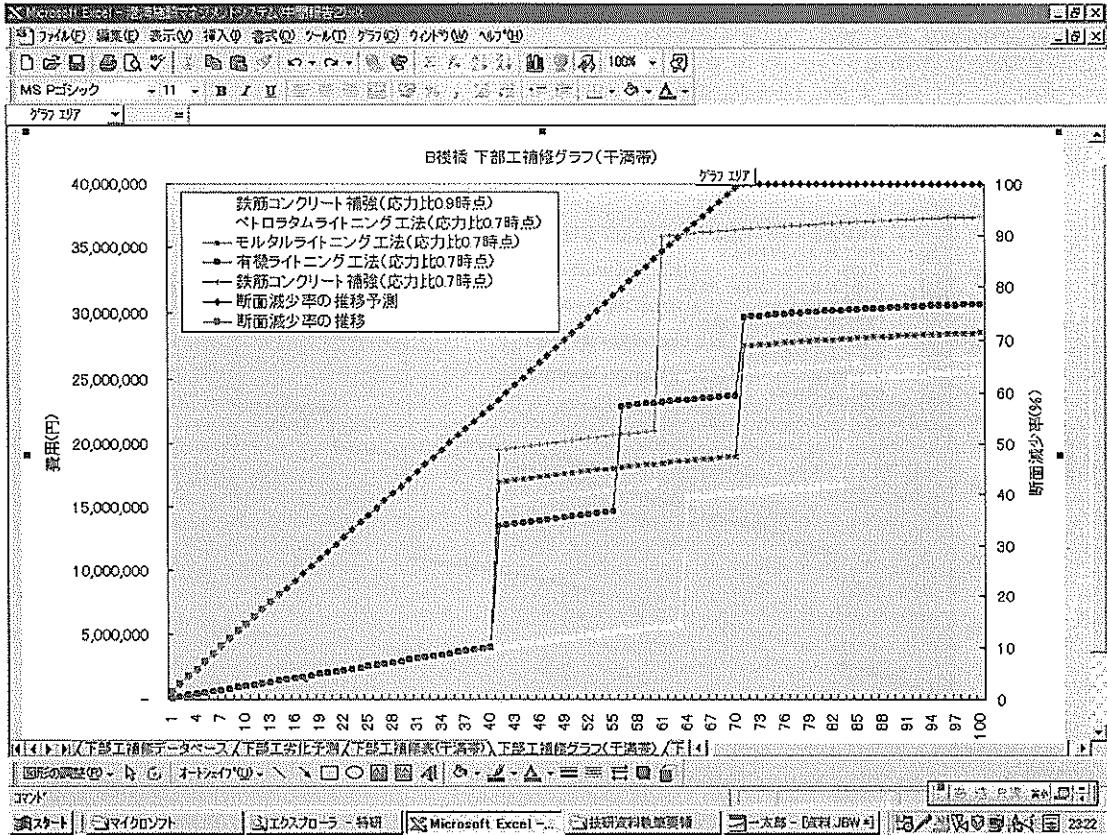
年	有線ライティング工費(概算)				付ロケムライティング工費(概算)			
	有線ライティング	直径	進捗	計	付ロケムライティング	直径	進捗	計
1	1,442,721.04	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000
2	2,884,237.33	100000	100000	200000	100000	100000	100000	200000
3	4,325,855.59	100000	100000	300000	100000	100000	100000	300000
4	5,767,473.85	100000	100000	400000	100000	100000	100000	400000
5	7,209,092.11	100000	100000	500000	100000	100000	100000	500000
6	8,650,710.37	100000	100000	600000	100000	100000	100000	600000
7	10,092,328.63	100000	100000	700000	100000	100000	100000	700000
8	11,533,946.89	100000	100000	800000	100000	100000	100000	800000
9	12,975,565.15	100000	100000	900000	100000	100000	100000	900000
10	14,417,183.41	100000	100000	1000000	100000	100000	100000	1000000
11	15,858,801.67	100000	100000	1100000	100000	100000	100000	1100000
12	17,300,419.93	100000	100000	1200000	100000	100000	100000	1200000
13	18,742,038.19	100000	100000	1300000	100000	100000	100000	1300000
14	20,183,656.45	100000	100000	1400000	100000	100000	100000	1400000
15	21,625,274.71	100000	100000	1500000	100000	100000	100000	1500000
16	23,066,892.97	100000	100000	1600000	100000	100000	100000	1600000
17	24,508,511.23	100000	100000	1700000	100000	100000	100000	1700000
18	25,950,129.49	100000	100000	1800000	100000	100000	100000	1800000
19	27,391,747.75	100000	100000	1900000	100000	100000	100000	1900000
20	28,833,366.01	100000	100000	2000000	100000	100000	100000	2000000
21	30,274,984.27	100000	100000	2100000	100000	100000	100000	2100000
22	31,716,602.53	100000	100000	2200000	100000	100000	100000	2200000
23	33,158,220.79	100000	100000	2300000	100000	100000	100000	2300000
24	34,600,839.05	100000	100000	2400000	100000	100000	100000	2400000
25	36,042,457.31	100000	100000	2500000	100000	100000	100000	2500000
26	37,484,075.57	100000	100000	2600000	100000	100000	100000	2600000
27	38,925,693.83	100000	100000	2700000	100000	100000	100000	2700000
28	40,367,312.09	100000	100000	2800000	100000	100000	100000	2800000
29	41,808,930.35	100000	100000	2900000	100000	100000	100000	2900000
30	43,250,548.61	100000	100000	3000000	100000	100000	100000	3000000
31	44,692,166.87	100000	100000	3100000	100000	100000	100000	3100000
32	46,133,785.13	100000	100000	3200000	100000	100000	100000	3200000
33	47,575,403.39	100000	100000	3300000	100000	100000	100000	3300000
34	49,017,021.65	100000	100000	3400000	100000	100000	100000	3400000
35	50,458,639.91	100000	100000	3500000	100000	100000	100000	3500000
36	51,900,258.17	100000	100000	3600000	100000	100000	100000	3600000
37	53,341,876.43	100000	100000	3700000	100000	100000	100000	3700000
38	54,783,494.69	100000	100000	3800000	100000	100000	100000	3800000
39	56,225,112.95	100000	100000	3900000	100000	100000	100000	3900000

図形の調整 - 拡大縮小 - 印刷 - 印刷範囲指定 - 印刷範囲指定 - 印刷範囲指定

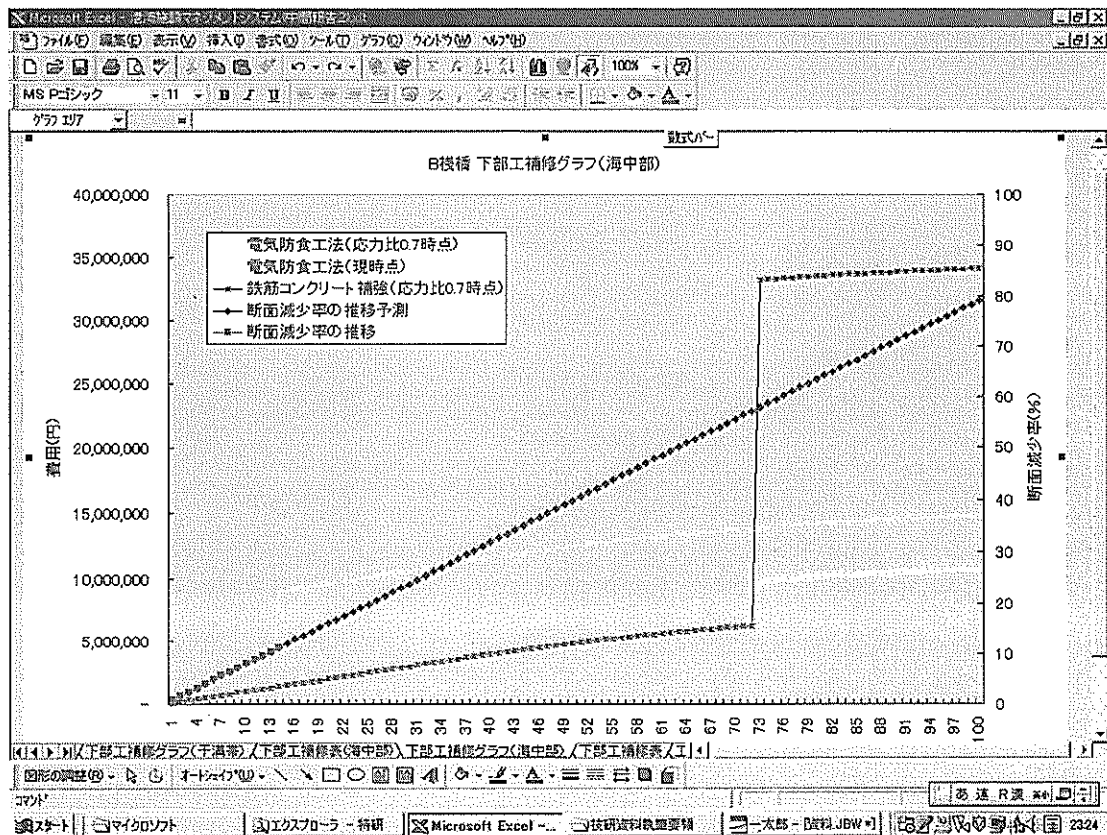
MS P-シック - 11 - B / II 橋梁維持補修費計算 % , 橋梁維持補修費

Microsoft Excel - 橋梁維持補修費計算テーブル画面

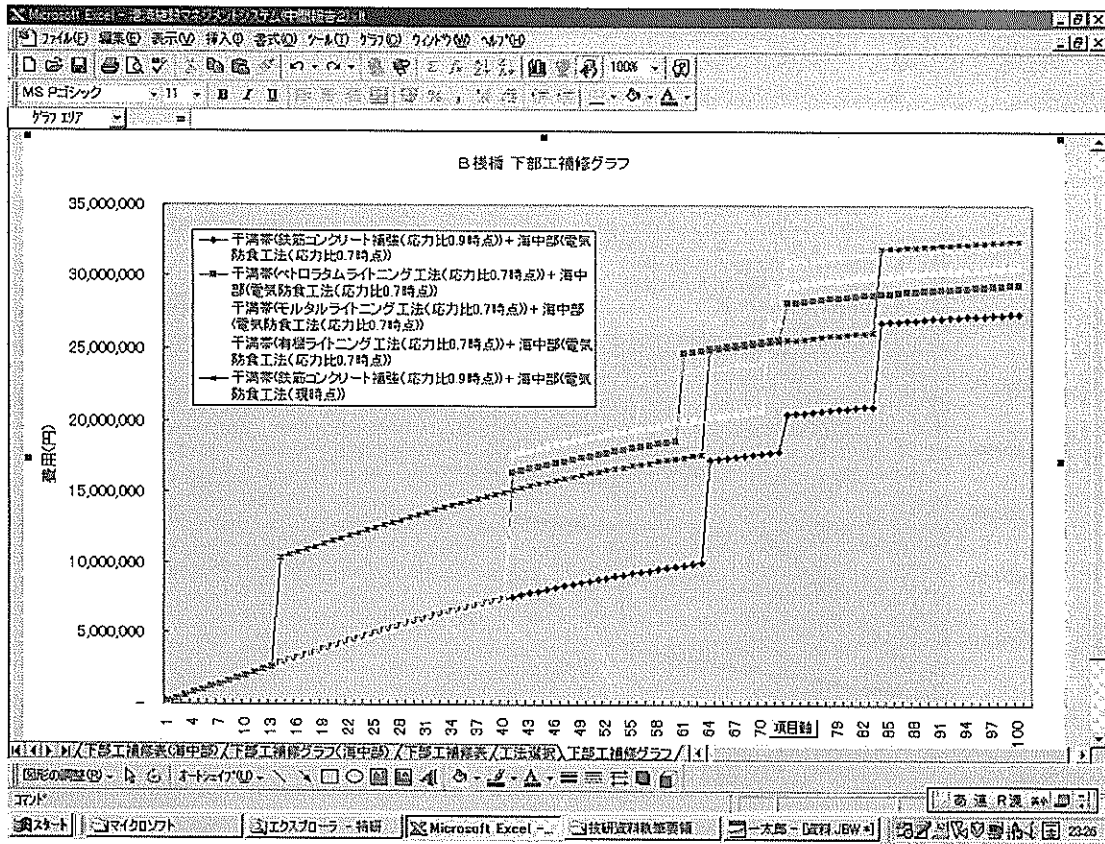
付図-16 下部工維持補修工費計算テーブル画面



付図-17 下部工維持補修工費計算結果グラフ(干満帯)



付図-18 下部工維持補修工費計算結果グラフ(海中部)



付図-19 下部工維持補修工費計算結果グラフ(干満帯および海中部)

港湾技研資料 No.1001

2001.6

編集発行人 国土交通省港湾技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 あんざい

Copyright © 独立行政法人港湾空港技術研究所 2001  
本報告書の転載・複写を希望される場合は、港湾空港技術研究所企画課へご連絡をお願いします。