

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.523

March 2009

道路橋の計画的管理に関する調査研究 －橋梁マネジメントシステム (BMS)－

玉越 隆史・大久保 雅憲・渡辺 陽太

Research on highway bridges manegment
- Bridge Management System -

Takashi TAMAKOSHI, Masanori OKUBO, Youta WATANABE

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, Transport and Tourism, Japan

道路橋の計画的管理に関する調査研究 —橋梁マネジメントシステム(BMS)—

玉越隆史*

大久保雅憲**

渡辺陽太***

概要

我が国には、橋長15m以上の道路橋が約15万橋存在し、これらの橋梁に対する将来の維持管理、更新に要する費用の抑制は大きな課題となっている。また、現在供用されている橋梁は、1950年代半ばから高度経済成長期以降に集中的に建設されたものが大半を占めている。このため、今後、これらの橋梁が架替や大規模補修を必要とする時期を一斉に迎えることが危惧される。

このような状況を踏まえ、道路構造物管理研究室では、増大する道路橋資産の管理を計画的に行うため、アセットマネジメントシステムに用いる健全度（劣化）予測等の手法について提案を行った。

本資料は、この結果を取りまとめたものである。

キーワード：道路橋、管理、ライフサイクルコスト、BMS

* 道路構造物管理研究室室長

** 道路構造物管理研究室主任研究官

*** 元道路構造物管理研究室主任研究官

現在：東日本高速道路株式会社 関東支社横浜工事事務所 環境技術課長

Research on highway bridges management — Bridge Management System —

Takashi TAMAKOSHI *

Masanori OKUBO **

Youta WATANABE ***

Synopsis

Since the number of highway bridges over 15m is about 150,000 and an enormous number of bridges were constructed during the period of rapid economic growth from the middle of 1950s in Japan, it is expected that replacement and rehabilitation cost of highway bridges will rapidly increase in the near future. Therefore, promoting strategic bridge management is required to reduce life-cycle-cost of highway bridges and minimize expenditure management.

In view of this situation, Bridge and Structures Division proposed the method of predicting soundness, deterioration propagation, etc. used for the Asset Management System to manage the increasing highway bridge property rationally.

This report describes results of the study.

Key Words : highway bridge , maintenance, life cycle costs, BMS

* Head, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM

** Senior Researcher, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM

*** Group Manager, Environmental Engineering Group, Yokohama Construction Office, Kanto Regional Branch, East Nippon Expressway Company Limited

まえがき

我が国には、橋長15m を超える主要な橋梁だけでも約15万橋存在しており、これらの橋梁の大半は、1950年代中盤の高度経済成長期以降に集中的に建設されている。このため、これらの橋梁が架替や大規模な補修・補強を必要とする時期を一斉に迎えることになると危惧され、将来における道路橋の更新、維持管理費の抑制は重要な課題となっている。

こうした状況を踏まえ、本研究室ではデータに基づく科学的な道路資産のあり方について検討している。道路橋の将来の健全度等の予測は、将来の更新・維持管理に要する費用を予測し、それらを低減、平準化をするための検討において、重要な情報の一つである。ここでは、計画的管理に必要となるアセットマネジメントについて、現在直轄道路橋にて運用されている橋梁マネジメントシステム（BMS）のうち、健全度（劣化）予測等の手法を紹介するものである。

本資料のとりまとめに際しては、点検データの提供など各機関に多大なるご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

注：直轄道路橋の BMS は、道路局及び地方整備局から構成される検討委員会において開発されたものである（下表参照）。

橋梁マネジメントシステム開発の経緯

	検 討 内 容
H 1 3 年度	○基礎調査の実施 ○アセットマネジメント検討委員会発足
H 1 4 年度	○アセットマネジメントシステムの構築着手
H 1 5 年度	○健全度（劣化）予測モデルの検討 ○全国 1 1 事務所で試行
H 1 6 年度	○試行結果を踏まえた劣化予測モデルの見直し ○システム導入方法の検討
H 1 7 年度	○全事務所で試行運用開始

目 次

まえがき

1. アセットマネジメント手法	1
1. 1 概要	1
1. 2 アセットマネジメントの活用概念（方法）	2
1. 3 アセットマネジメントにおける留意事項	3
1. 3. 1 概要	3
1. 3. 2 橋梁の健全度予測手法	3
1. 3. 3 橋梁の健全度を予測する対象	8
1. 3. 4 橋梁の現状評価	8
2. 橋梁マネジメントシステム（BMS）の基本構成	14
2. 1 システム開発目標	14
2. 2 システムの基本構成と流れ	15
2. 3 データ入力	18
2. 4 健全度（劣化）予測（BMS本体機能）の概要	18
2. 4. 1 健全度予測の対象劣化要因	18
2. 4. 2 対象部材の選定	18
2. 4. 3 健全度の定義	19
2. 4. 4 劣化予測方法	19
2. 4. 5 将来健全度	20
2. 5 補修工事費の算出	21
2. 6 短期計画支援ツール	22
3. 健全度（劣化）予測：BMS本体機能	24
3. 1 コンクリートの塩害の劣化予測	24
3. 1. 1 健全度	24
3. 1. 2 劣化予測モデル	26
3. 1. 3 現状健全度に対する定量的な値の特定	31
3. 1. 4 将来健全度の評価フロー	32
3. 1. 5 劣化予測モデルの検証	38
3. 2 RC床版の疲労に対する劣化予測	44
3. 2. 1 健全度	44
3. 2. 2 劣化予測モデル	45
3. 2. 3 現状健全度に対する定量的な値の特定	48
3. 2. 4 将来健全度の評価フロー	49

3. 2. 5	劣化予測モデルの検証	50
3. 3	鋼部材の塗装劣化・腐食の劣化予測	59
3. 3. 1	健全度	59
3. 3. 2	劣化予測モデル	61
3. 3. 3	現状健全度に対する定量的な値の特定	62
3. 3. 4	将来健全度の評価フロー	64
3. 3. 5	劣化予測モデルの設定根拠	65
3. 4	定期対策・定期交換を行う部材	71
3. 4. 1	健全度	71
3. 4. 2	劣化予測	71
3. 4. 3	交換時期	72
	おわりに	75
	参考資料：定期点検における「損傷程度の評価」区分	77

1. アセットマネジメント手法

1. 1 概要

アセットマネジメントとは、その構造物の置かれている状態を適切に把握した上で個々の構造物に対して将来の健全度を予測し、必要な補修・補強等の措置の最適な時期と方法を判定して、ライフサイクルコストが最小となるような管理計画を実現させるものである。管理計画には、個々の構造物に対するものと、構造物群として捉えるものの2種類に大別できる。後者にあつては、予算制約や投資の平準化なども加味された計画である。図-1.1.1に、道路アセットマネジメントの考え方を示す。

アセットマネジメントシステムを構築するにあつては、構造物の現状を精度よく把握した上で、適切な健全度予測を行う必要がある。これらは、構造物の部材、損傷の種類毎に行われることが多く、評価、予測手法の適用にあつては、適用可能な部位・部材、手法といった適用範囲の基本的特性などを適切に把握しておかなければならない。

当研究室では、膨大となった道路構造物のストックを適切かつ効率的に管理するために、直轄道路橋が保持している橋梁の諸元、点検、補修履歴等のデータを用いて、必要かつ可能な範囲の健全度予測を実施する橋梁アセットマネジメントシステムに不可欠な健全度（劣化）予測手法等の提案を行った。

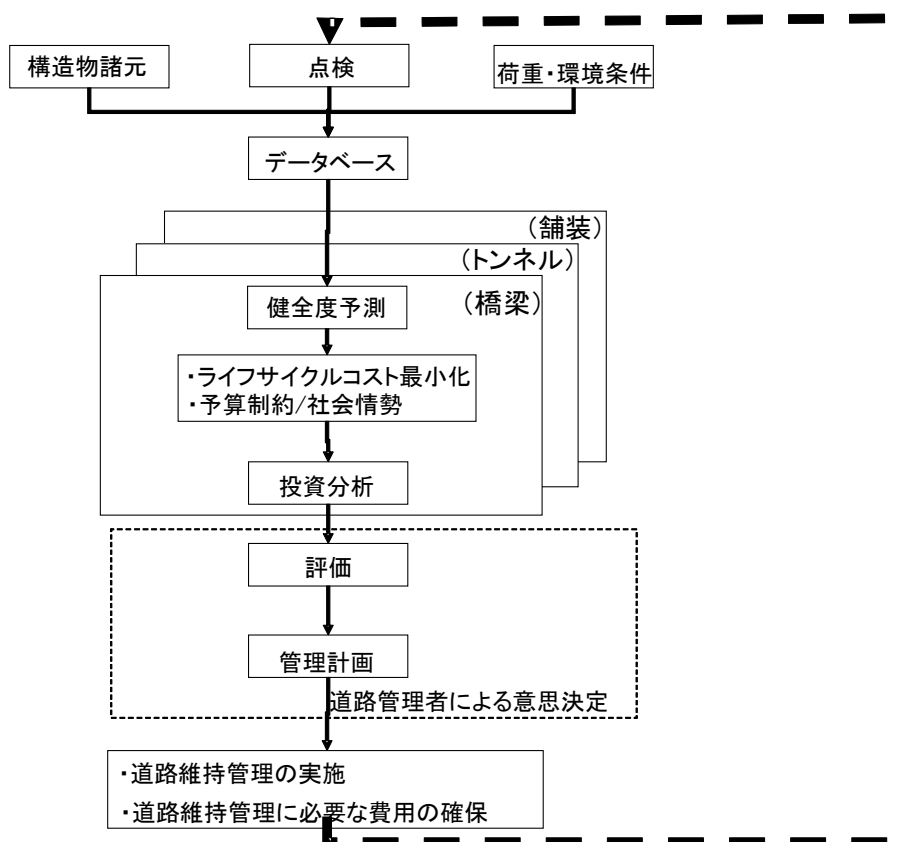


図-1.1.1 道路アセットマネジメントの考え方

1. 2 アセットマネジメント活用概念（方法）

アセットマネジメントには、マクロマネジメントとマイクロマネジメントの2つの概念がある。

マクロマネジメントとは、橋梁等の構造物を群として捉え、群全体としての最適な中・長期の維持管理計画の策定を目指すものである。例えば、管理している全ての橋梁を群として扱い、事後保全と予防保全の比較を行いライフサイクルコストの違い等を試算し、管理費用を最小化するとともに必要予算額を把握する、あるいは将来の投資の平準化を含めた投資予算の最適化を目指す、等である。その結果は、毎年の投資可能な予算制約が反映され、かつ行政上年度毎の予算の極端な増減は非現実的であることから毎年の予算の平準化も加味され、その上で群としてのライフサイクルコストを最小とするとした全体最適管理計画である。

マクロマネジメントの考え方は、同一グループの部材においてはある時期に一定割合の補修が必要になると仮定したもので、これは、特定の個々の橋梁においては環境条件から材料特性まで様々であることから一概にこういう仮定は成立しないものの、あるまとまりを持った母集団に対してはある程度の確からしさが生じてくるという、いわば、大数の法則的な考え方である。具体には、例えば5年後には全橋梁の〇%の橋梁において塗装の塗り替えに〇億円のコストが必要になるという計画を策定するもので、必要な費用を確保することにのみ意義があり、実際にどの橋梁の塗り替えを行うかはその時点での個々の橋梁の劣化状況を判断して決定することとなる。

マクロマネジメントにおける維持管理計画策定の方法としては、大きく2つに大別される。一つは、後述のマイクロマネジメントとして個々の橋梁の最適な維持管理計画を策定し、それを合算する方法である。もう一つは、各橋梁の部材（例えば床版）を群として捉え、例えば5年後には床版全体の〇%が補修が必要なまでに劣化すると予測（この際、個別橋梁は念頭に置かない。）するもので、米国の *pontis* が例として上げられる。両者とも、最終的には群としての将来予測であることから、厳密なまでの予測精度は求められない。

一方、マイクロマネジメントとは、個々の当該橋梁について、現状から将来の状態を予測し、いつ、どのような対策をすればよいか等、個別最適管理計画の策定を目指すものである。しかしながら、個々の橋梁は、架設環境、使用材料、交通量等がすべて様々であるとともにこれらの履歴も個々に異なっている。1橋1橋で異なる環境等を全てパラメータとして予測曲線を作成することは非現実的であり、また現在の知見での予測精度はかなりな幅を持ったものである。したがって、マイクロマネジメントとして、実際に行うべき補修時期と補修方法の将来予測を正確に行うのはほとんど不可能であると考えている。

1. 3 アセットマネジメントにおける留意事項

1. 3. 1 概要

アセットマネジメントは、将来の維持管理を効率よくかつ合理的に実施するために、補修時期、補修方法を適切に設定して維持管理費を最小とすることを目的としている。このためには、損傷に対する健全度を予測した上で適切な補修時期と補修方法を選定する必要があり、将来の健全度をいかに精度よく予測するかが課題となる。健全度予測については、各方面で研究が実施されているものの、精度等の課題が多いのが現状である。

以下に、健全度予測手法を構築するに際しての留意事項を概観する。

1. 3. 2 橋梁の健全度予測手法

橋梁の健全度予測手法には、表-1.3.1 に示すとおり、寿命を設定する方法、理論的な劣化予測式による方法、点検結果等の実績を統計的に分析する方法、遷移確率を用いた方法がある。これらには、同表に示す特徴及び課題があり、どの方法を採用するかは、これらを理解し、また、使用データ、使用目的を勘案した上で決定する必要がある。

表-1.3.1 健全度予測手法の比較

手法	概要	特徴及び課題
寿命設定 ^{注)}	橋梁各部材毎に寿命を設定し、建設時点あるいは補修時点を「健全」、寿命時点を「要補修」段階として、予測直線又は曲線を作成。	<ul style="list-style-type: none"> 個別橋梁の部材毎に補修時期が確定的に算定できる 寿命設定の根拠付けが課題 寿命に至るまでの劣化進行速度の設定が課題
劣化予測式 (理論式)	劣化メカニズムに応じた理論的予測式を使用。 (例：塩化物イオン量の浸透速度の予測、中性化速度の予測、RC床版の疲労損傷速度の予測)	<ul style="list-style-type: none"> 個別橋梁の部材毎に補修時期が確定的に算定できる 予測式の理論的根拠が明確である 現時点では、理論的予測式を適用できる劣化要因が限定される 劣化予測のための調査データが必要
点検結果の統計分析	点検結果に対応する健全度と経過年の関係を経年統計分析することで、予測直線又は曲線を作成。 部材毎、劣化要因毎に、環境条件、架設年次等でカテゴリー区分し、予測式を作成。	<ul style="list-style-type: none"> 個別橋梁の部材毎に補修時期が確定的に算定できる 点検結果に基づく分析であり、設定根拠が明確である 劣化要因や各橋梁の環境条件、交通条件等により、点検データを分類することで、予測精度の向上が可能 予測精度は点検データの性質に依存する
遷移確率	各健全度ランク間の遷移確率を用いて、各健全度ランクの比率の推移をマルコフ過程により計算。 遷移確率は、部材毎、劣化要因毎に複数年の点検結果を用いて算定。	<ul style="list-style-type: none"> 個別橋梁の部材毎には、補修時期、補修費用が算定できない 個別橋梁の短期計画への反映が困難 点検結果等により遷移確率を設定するため、根拠が明確である 橋梁群を対象とした管理に有効

注) ここでの寿命とは、建設後あるいは補修後から「要補修」の時期に至るまでの期間をいう。

(1) 寿命設定

対象とする部材の寿命（耐用年数）を設定し、建設時点あるいは補修時点を「健全」、耐用年数に達した時点「要補修」として、中間段階は直線や曲線の予測式とする方法である。なお、点検結果に応じて劣化予測を修正し、耐用年数以前に補修するという変更は可能である。耐用年数が設定でき、当初設計の段階から補修や交換を前提としている部材に対しては有効な方法である。しかし、主桁等の構造部材など橋梁の設計供用年数まで本来耐久性を有すべき部材には不向きである。

適用例として、定期的交換を前提とした部材である支承や伸縮装置が上げられ、本システムでも本方式を採用している。

(2) 劣化予測式（理論式）

劣化メカニズムに応じた理論的予測式を使用する方法であり、工学的説明性が明白である。しかし、個々の橋梁は架設環境や材料特性、現在までに受けてきた作用等の履歴も異なる中、これらを全てパラメータとして予測式に取り込むことは不可能であり、ここに適合性の限界がある。また、理論式とは言え、通常は統計処理した結果を一つの確定式としているものがほとんどである。すなわち、統計的にある程度の量が集まった平均としてはある確からしさを有しているものの、個々についてはばらつきがあり、このばらつきを考慮することは不可能である。

適用例として、劣化要因が比較的明白であるコンクリートの塩害やコンクリート床版の疲労が上げられ、本システムでも本方式を採用している。

確定式にばらつきがあることを、コンクリートの塩害による劣化予測式として、本システムで採用しているコンクリート中の塩化物イオン量を推計する際に用いている飛来塩分量を例として示す。文献1)の調査結果として、全国の沿岸部 266 地点における3年間の年平均飛来塩分量調査から図-1.3.1 が得られている。これを基礎資料の一つとして後述の3.1.2で記載の「飛来塩分量： $C_{air} = C_1 \cdot d^{-0.6}$ 」が導き出されており、傾きである「-0.6」は全地区での回帰式から、「1 km 換算飛来塩分量： C_1 」はこれらを3地域区分に包括して決められている。また、飛来塩分量と同時に調査された76地点でのコンクリートブロックの暴露試験結果から、図-1.3.2 が得られている。これを基礎資料の一つとして「コンクリート表面における塩化物イオン濃度： $C_o = 1.2 \cdot C_{air}^{0.4}$ 」が回帰式から導き出されている（同図中の表-3.2のaとb）。このように、本来はある幅を持ったものを平均的な一つの確定値に集約させた予測式であることを理解しておくことが重要である。

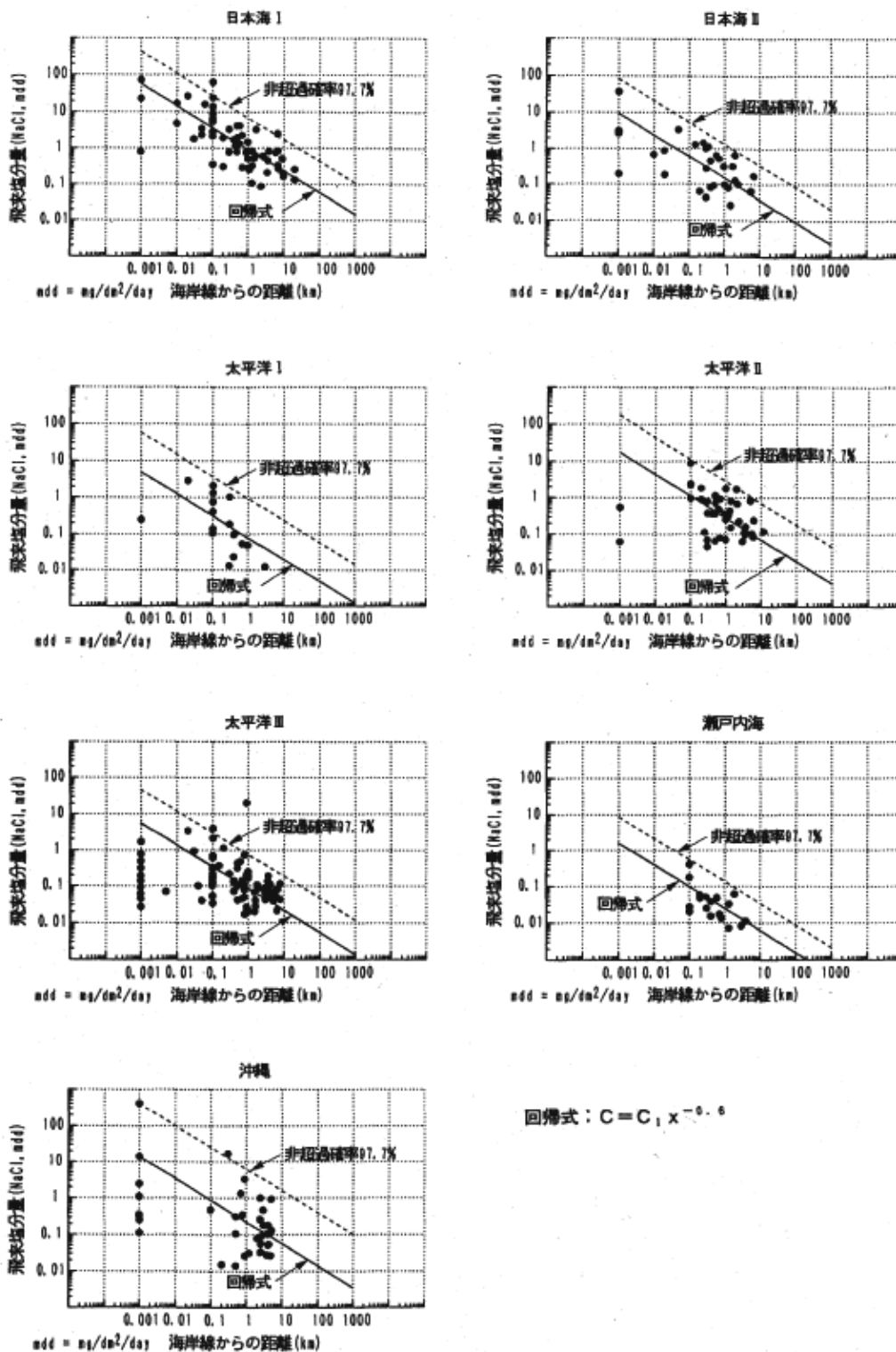


図-2.7 大区分での飛来塩分量と海岸線からの距離の関係

図-1.3.1 飛来塩分量と海岸線からの距離の関係 1)

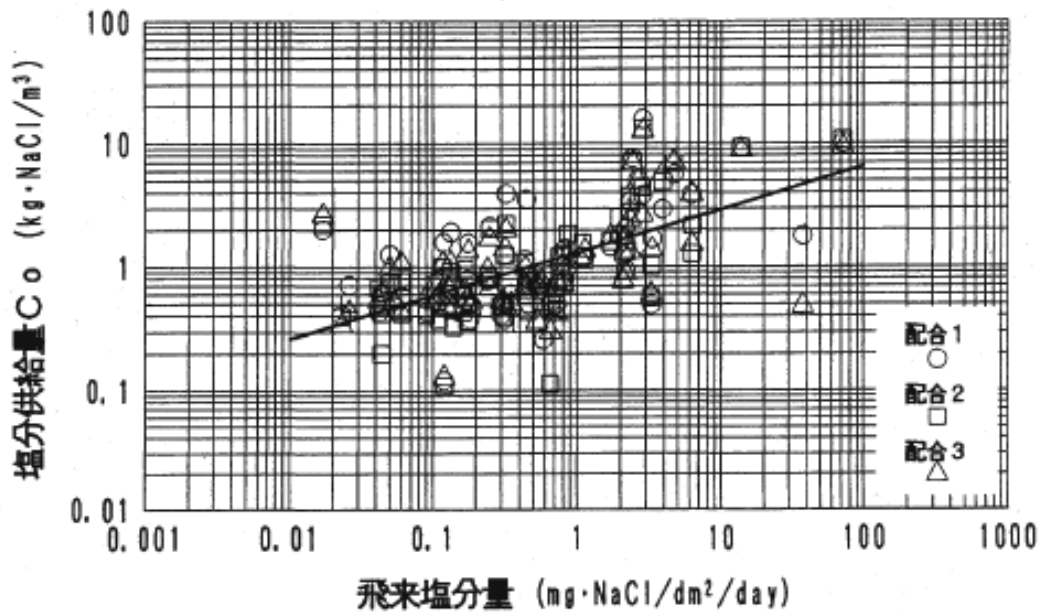


図-3.4 塩分供給量 C_o と飛来塩分量の関係

表-3.2 塩分供給量 C_o と飛来塩分量の相関

	a	b	相関係数	データ数
配合1	1.409	0.337	0.616	69
配合2	1.324	0.408	0.666	67
配合3	1.237	0.307	0.585	69
全データ	1.319	0.349	0.621	205

$$C_o = a x^b$$

C_o : 塩分供給量 (kg・NaCl/m³)

x : 飛来塩分量平均値 (NaCl, mdd)

図-1.3.2 塩分供給量と飛来塩分量の関係¹⁾

(3) 点検結果の統計分析

点検結果に対応する健全度と経過年の関係を統計分析した直線又は曲線の予測式を使用する方法であり、点検結果である実態に基づくという利点がある。しかし、上記(2)と同様、平均的な値であり、ばらつきは考慮できない。ばらつきの例としては、後述の図-3.3.3～図-3.3.5が上げられる。部材毎、劣化要因毎に、環境条件や架設年等でカテゴリー区分した予測式を作成することも可能ではあるものの、架設環境や材料特性、現在までに受けてきた作用等の履歴を厳密に区分することは至難であり、また細分するほどデータ数が減少して分析不可能となる。

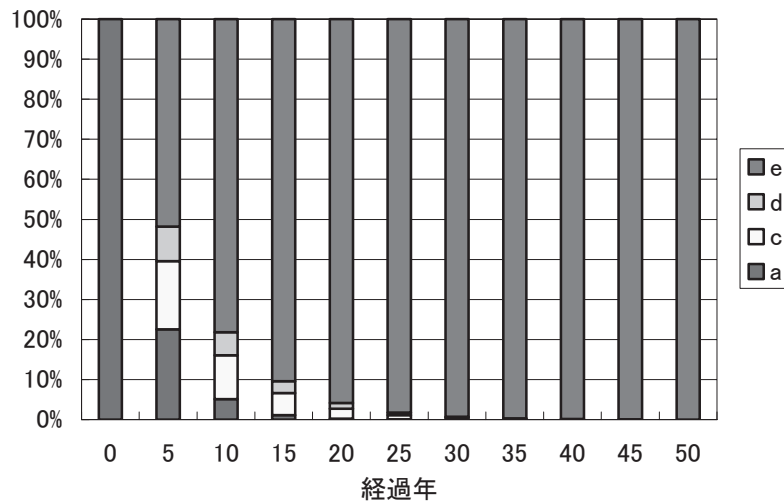
適用例として、点検結果が統計処理できるまでに揃っている鋼部材の防食機能の劣化や腐食が上げられ、本システムでも本方式を採用している。

(4) 遷移確率

各健全度ランク間の遷移確率を用いて、各健全度ランクの比率の推移をマルコフ過程により求める方法である。例として、直轄道路橋の2回の定期点検結果の分析から求めた塗装の劣化の遷移確率を図-1.3.3に示す。これは、最初の母集団のうち、ある時期にある健全度に低下するものの割合が0%になっているかを示すものであり、母集団の中での遷移割合を示すものであることから、個々の橋梁には適用できない。

適用例として、前述のマクロマネジメントの全体を推定する場合の例とした米国のpontisが上げられる。

鋼主桁、防食機能の劣化(A、B塗装系)



鋼主桁、防食機能の劣化(C塗装系)

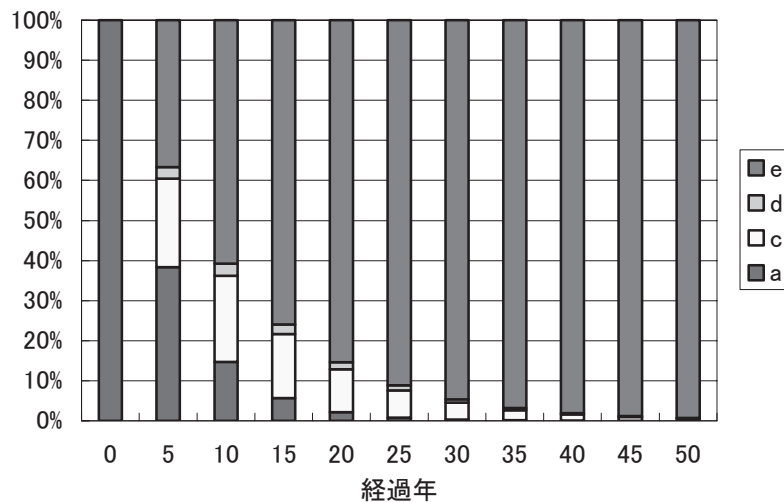


図-1.3.3 塗装の劣化の遷移確率

1. 3. 3 橋梁の健全度を予測する対象

橋梁の健全度予測では、橋梁の構成部材単位、損傷要因単位で行う方法が用いられることが多い。これは、損傷要因毎に劣化機能が異なることに加え、仮に橋梁全体の健全度として予測を行った場合、橋梁の更新といった橋梁単位の大規模な補修・補強の時期しか予測することができないためである。一方、単位をいたずらに細分したとしても、前述の予測精度の課題があり、予測コストも増大する。このように、目的に応じた必要な単位やレベルで健全度の予測を行う対象を設定する必要がある。

1. 3. 4 橋梁の現状評価

アセットマネジメントにおいて、劣化予測や補修・補強の実施時期を決定する上で最も基本となるのが、構造物の健全度の現状評価である。現状評価においては、定量的かつ詳細な構造物に関するデータが必要となる。

現状評価に際して最も基本的で重要であるのが、橋梁の点検結果である。点検は、その目的に応じて適切な方法で実施し記録しておく必要がある。

現在、国土交通省では、従前使用していた「橋梁点検要領(案)」²⁾ (以下「S63 定期点検」という。)を平成 16 年に改訂した「橋梁定期点検要領 (案)」³⁾ (以下「H16 定期点検」という。また、両者を区分しない場合は「定期点検」という。)に基づいて、表-1.3.2 に示すとおり、橋梁を構成する部位・部材に対して発生する損傷の種類を定め、5 年に 1 度の割合で定期点検を実施している。

通常、点検には損傷の有無やその程度などの現状に関する客観的事実としてのデータの取得以外に、それらを基にした橋の機能状態などの性能や健全性についての一次的な評価を行うことを含める場合が多い。

点検で把握される損傷や劣化などの客観的事実としてのデータは、損傷の原因推定や現在の性能評価に不可欠である以外に、継続的に把握することで将来予測や傾向分析等にも活用される。統計処理や定量的予測に用いるには、点検者の主観などに左右されず、経年的にも相对比较が可能な統一の基準に基づく客観的データであることも重要となる。

一方、橋の機能状態などの一次診断は、必ずしも全ての橋の状態を実際に確認することも、損傷等の事実関係から橋の性能への影響を適切に判断するだけの専門的な技術力をもたない管理者にとっては、通行規制や補修・補強等の措置に関する適切な意思決定を行うための行動を起こすために極めて重要な意味を持つ。すなわち、個々の損傷の種類や進行程度などの事実以外に、損傷が橋の機能状態に及ぼしている影響やそれを踏まえて実施すべき対応の考え方に関わる所見を得てはじめて、管理者はさらなる詳細調査を行うなどの対応をとることが可能となるのであり、一次診断で問題がないとされた場合、必ずしも専門的知見を有さない管理者にとって、その結果に疑いを持つことは極めて困難である。

このような考え方から、国総研では、既往の点検結果とその活用に関する課題などの分析を行い、損傷の大きさなどの客観的事実を「損傷程度の評価」として記録すると同時に、適当な技術者によって橋や構造の機能状態に関する一次的診断として「対策区分の判定」の評価を行うべきことを、さらにその評価体系は既往の点検データが無駄にならないよう新旧対応がとれることに配慮すべきことを提案した。図-1.3.4 に評価体系の改訂内容を示す。これにより、現在、直轄道路橋については、S63 定期点検にもとづく点検データを H16 定

期点検の評価体系に置き換えたデータと、平成 16 年度から H16 定期点検に基づいて取得されつつあるデータが、比較・分析可能な形でデータベースに蓄積されつつある。

点検データの取得単位については、今後点検の合理化の検討等に用いる基礎データともなるため、現在のところできるだけ細分化したものとなっている。すなわち、客観的事実としての損傷の程度についてのデータは、原則全部材を対象とし、一つの部材をその構造に応じて更に細分化した小さな要素単位で評価している。一方、健全性などの一次評価である対策区分の判定は、部材や橋の機能等の状態を評価する性質上、部材単位以上に細分化することは適切でない。一方、複数の部材を組み合わせた大きな構造単位や橋全体の機能状態を外観目視に頼る定期点検で得られている情報だけから総括することは、信頼性の点で問題があることが既往の点検結果の再評価によって明らかであった。そのための機能状態等の性能との関わりにおける対策等についての定性的評価による管理者への助言としての対策区分の判定では、主桁や橋脚といった部材単位での評価を行うことを基本とした。

本システムにおける劣化予測では、客観的評価である「損傷程度の評価」を用いている。これは、上述に加え、「対策区分の判定」には重要度等の部材の重みや橋梁検査員の知識に基づく今後の劣化見込みなどの技術的判断が加味されたものであり、既にある程度の将来予測も含んだ評価となっているためである。

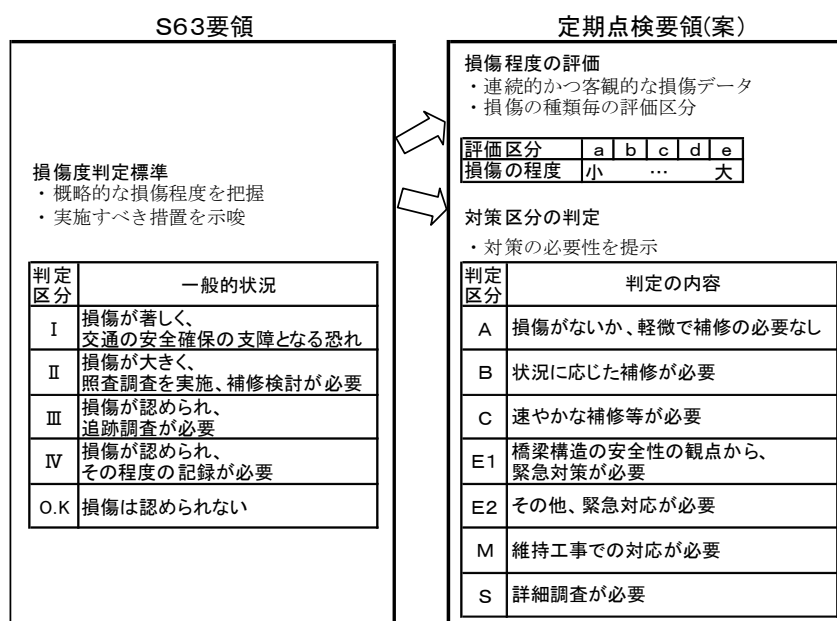


図-1.3.4 損傷の評価体系の改訂内容^{2), 3)}

表-1.3.2(a) 定期点検の対象部材及び損傷³⁾

部位・部材区分		損傷の種類			
		鋼	コンクリート	その他	
上部構造	主桁	腐食 亀裂	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 抜け落ち		
	横桁	ゆるみ・脱落 破断	コンクリート補強材の損傷 床版ひびわれ うき		
	縦桁	防食機能の劣化 遊間の異常	遊間の異常 定着部の異常 変色・劣化		
	床板	定着部の異常 漏水・滞水	漏水・滞水 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損		
	対傾構	異常な音・振動 異常なたわみ			
	横構	上横構	変形・欠損		-
		下横構			
	主構トラス	上・下弦材			-
		斜材、垂直材			
		橋門構			
	アーチ	アーチリブ		ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 抜け落ち コンクリート補強材の損傷 床版ひびわれ うき 遊間の異常 定着部の異常 変色・劣化 漏水・滞水 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	
		補剛桁			
		吊り材			
		支柱			
		橋門構			
	ラーメン	主構（主桁）		-	
		主構（脚）			
	斜張橋	斜材		-	
		塔柱			
		塔部水平材			
塔部斜材					
外ケーブル					

表-1.3.2(b) 定期点検の対象部材及び損傷³⁾

部位・部材区分			損傷の種類		
			鋼	コンクリート	その他
下部構造	橋脚	柱部・壁部	腐食 亀裂 ゆるみ、脱落 破断 防食機能の劣化 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 ^⑩ コン クリート補強材の 損傷 うき 定着部の異常 変色・劣化 漏水・滞水 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	-
		梁部			
		隅各部・接合部			
	橋台	胸壁	-	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 ^⑩ コン クリート補強材の 損傷 うき 定着部の異常 変色・劣化 漏水・滞水 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	-
		縦壁			
		翼壁			
基礎			-	沈下・移動・傾斜 洗掘	-
その他					
支承部	支承本体		腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 防食機能の劣化 支承の機能障害 漏水・滞水 変形・欠損 土砂詰り 沈下・移動・傾斜	-	破断 支承の機能 障害 変色・劣化 漏水・滞水 変形・欠損 土砂詰り
	アンカーボルト		腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 変形・欠損	-	-
	落橋防止システム		腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 防食機能の劣化 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 うき 変色・劣化 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損 土砂詰り	-
	沓座モルタル		-	ひびわれ うき 変形・欠損	-
	台座コンクリート				
その他					

表-1.3.2(c) 定期点検の対象部材及び損傷³⁾

部位・部材区分		損傷の種類		
		鋼	コンクリート	その他
路上	高欄			
	防護柵	腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 うき	-
	地覆	防食機能の劣化 変形・欠損	変色・劣化 変形・欠損	
	中央分離帯			
	伸縮装置	腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 防食機能の劣化 遊間の異常 路面の凹凸 変形・欠損 土砂詰り	-	遊間の異常 路面の凹凸 変色・劣化 漏水・滞水 異常な音・振動 変形・欠損 土砂詰り
	遮音施設	腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 防食機能の劣化 変色・劣化 変形・欠損	-	-
	縁石	-	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 うき 変色・劣化 変形・欠損	-
	舗装	-	-	路面の凹凸 舗装の異常
排水施設	排水ます	腐食 破断 防食機能の劣化 変色・劣化	-	破断 変色・劣化 漏水・滞水 変形・欠損 土砂詰り
	配水管	漏水・滞水 変形・欠損 土砂詰り		
	その他			
点検施設	腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 防食機能の劣化 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	-	-	
添架物	腐食 亀裂 ゆるみ・脱落 破断 防食機能の劣化 異常な音・振動 異常なたわみ 変形・欠損	-	-	
袖擁壁	-	ひびわれ 剥離・鉄筋露出 漏水・遊離石灰 変色・劣化 変形・欠損 沈下・移動・傾斜	-	

参考文献

- 1) 飛来塩分量全国調査 (IV) 一飛来塩分量の分布特性と風の関係一、土木研究所資料第 3175 号、平成 5 年 3 月
- 2) 橋梁点検要領(案)、土木研究所資料第 2651 号、昭和 63 年 7 月
- 3) 橋梁定期点検要領(案)、国道・防災課、平成 16 年 3 月

2. 橋梁マネジメントシステム（BMS）の基本構成

本章では、平成17年度から直轄道路橋で運用している橋梁マネジメントシステム（以下「BMS」という。）について、その基本構成を述べる。

2. 1 システム開発目標

投資計画の最適化や将来ネットワークの性能予測を支援するためには、管理する全橋梁の構造条件、環境条件、現況状態、劣化予測に応じた想定される補修・補強・更新パターンや費用等を適切に入力、設定し、長期における管理水準別の維持管理費用等を必要な精度で推計するシステムが必要となる。

こうした劣化予測に基づく将来状態予測や標準的な補修・補強計画を提案し、最適な管理計画の策定を支援するツールとして、BMSがある。直轄道路橋におけるBMSでは、ネットワークにおける最適管理計画の策定に加え個々の橋梁管理の合理化をも目標として、健全度を予測していくにあたっての現況の損傷状態の評価、理論式等による劣化予測に基づく健全度予測、そして将来予測を用いて部位・損傷毎に最適な補修時期・補修費用を算出して対策計画の提案を行うという、言い換えればマイクロ、マクロ双方のマネジメントへの活用を目標に開発が進められてきた。しかし、マクロな推計・予測には活用できるものの、前述のとおり、①橋のパフォーマンスを支配する損傷の多くが局部的なものであること、②劣化の進行程度にはマイクロな環境や構造の条件が支配的な影響をもつこと、③目視が主体の点検で得られているデータのみでは損傷の状態が正確に把握できていないことから、個別橋の適切なマイクロ管理に必要な精度は得られていない。このような限界を理解した上で、標準的な管理方針・計画等の参考としてシステムを活用することが重要となり、この前提ではマクロ管理に有効な手法である。

すなわち、ここで提案するシステムは、個々の橋梁について将来の状態を予測する方法を採用しているものの、マイクロ管理における使い方としては、既に劣化しているか近い将来に深刻な状態になる可能性の高い橋梁を抽出して、補修時期を検討するあるいは補修時期を見逃さないための一つの参考情報としての位置付けに過ぎないものと考えている。すなわち、管理計画の策定には、BMSで得られるデータに基づく定量的・客観的評価に加えて、専門家等の知見による定性的・総合評価が欠かせないことを十分に認識することが大切である。図-2.1.1に、維持管理実務へのBMSの導入位置付けを示す。

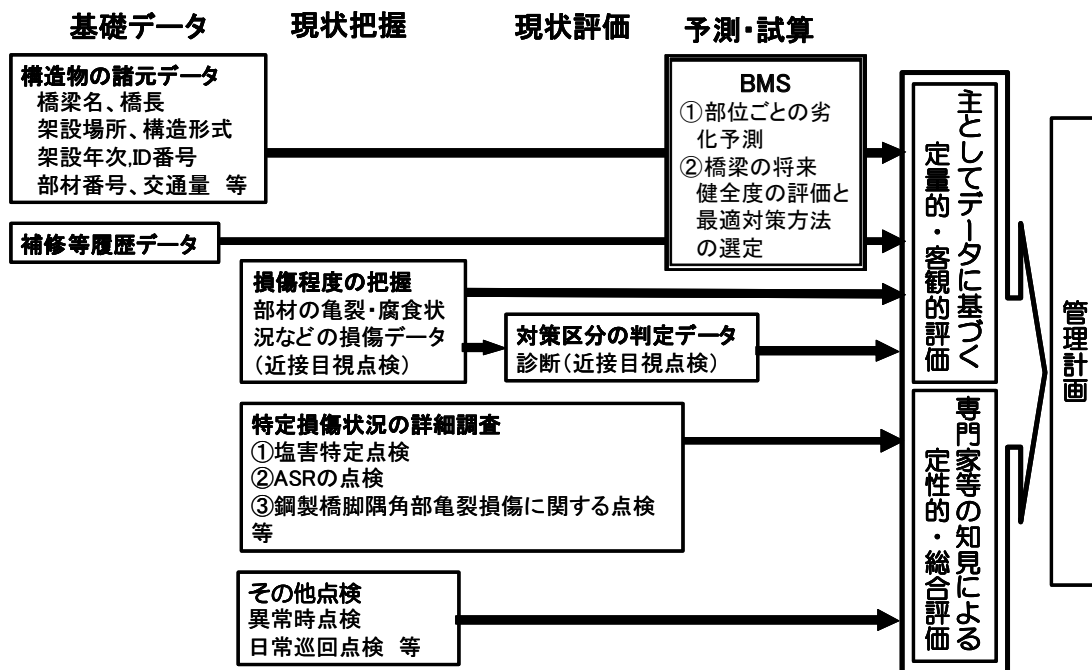


図-2.1.1 維持管理実務へのBMSの導入位置付け

2. 2 システムの基本構成と流れ

BMSの構成要素及び機能を表-2.2.1に、橋梁管理の流れとBMSの関係を図-2.2.1に示す。BMSは、大きく区分すると、

- ①橋梁の現状を把握するための橋梁の諸元、補修履歴、点検データ等の関連する入力データ
 - ②健全度(劣化)予測等を実施した結果から更新・補修の優先順位の高いもののリスト、定期対策・定期交換が必要なもののリスト、定期点検に基づく損傷箇所の抽出リスト、損傷管理リストに基づく未対策橋梁の抽出リストの出力を行うBMS本体機能
 - ③概算要求資料作成を支援する短期計画支援機能
 - ④未整備ではあるが、補修シナリオ等を基にライフサイクルコストを予測する中長期計画支援機能
- から構成される。

表 2.2.1 BMS の構成要素及び機能

BMS の構成要素		内容、機能等
入力 データ	道路管理 データベース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁諸元データ (MICHI) : 橋梁名、建設年、橋長、幅員、床版厚さ、塩害地域区分、大型車交通量等 ・ 補修履歴データ : 部材毎の補修年、補修内容等
	橋梁点検 データベース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定期点検データ : 点検年、損傷の種類、損傷程度等 ・ 橋梁管理カルテ : 橋梁名、劣化要因、対策区分の判定結果等
	進捗管理 データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 三大損傷管理リスト : 三大損傷 (塩害、疲労、ASR) の対策実施状況 ・ 耐震補強状況リスト : 耐震補強の実施状況
	塩害特定点検 データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塩害特定点検データ : かぶりの測定結果、塩化物イオン量試験結果等
BMS 本体機能	健全度評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 点検結果を用いて、部材毎、劣化要因毎に、損傷程度の評価区分を健全度ランク及び定量的な評価値に変換
	劣化予測	<ul style="list-style-type: none"> ・ 部材毎、劣化要因毎に、劣化予測モデルを用いて、現時点の健全度評価及び将来の劣化を予測
	補修時期・ 補修工事費の 計算	<ul style="list-style-type: none"> ・ 点検結果、劣化予測に基づく個別橋梁の補修時期・補修工事費を計算 ・ 補修時期・補修工事費の計算結果より、短期計画支援ツールに取り込む橋梁の補修時期、補修工法、補修数量、補修工事費等を出力
短期計画 支援機能	損傷箇所の 抽出	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全部材について、対象劣化要因以外で、損傷の対策区分が E1、E2、C、S、M (S63 定期点検では I、II) の部材をスパン毎に抽出
	短期計画支援 ツール	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補修優先橋梁の選定を支援 ・ 次年度予算要求資料作成を支援 ・ 予防保全率算定を支援
中長期計 画支援機 能 (未整備)	中長期計画支 援ツール	<ul style="list-style-type: none"> ・ 補修シナリオ (管理パターン) 毎の中長期の必要費用を計算

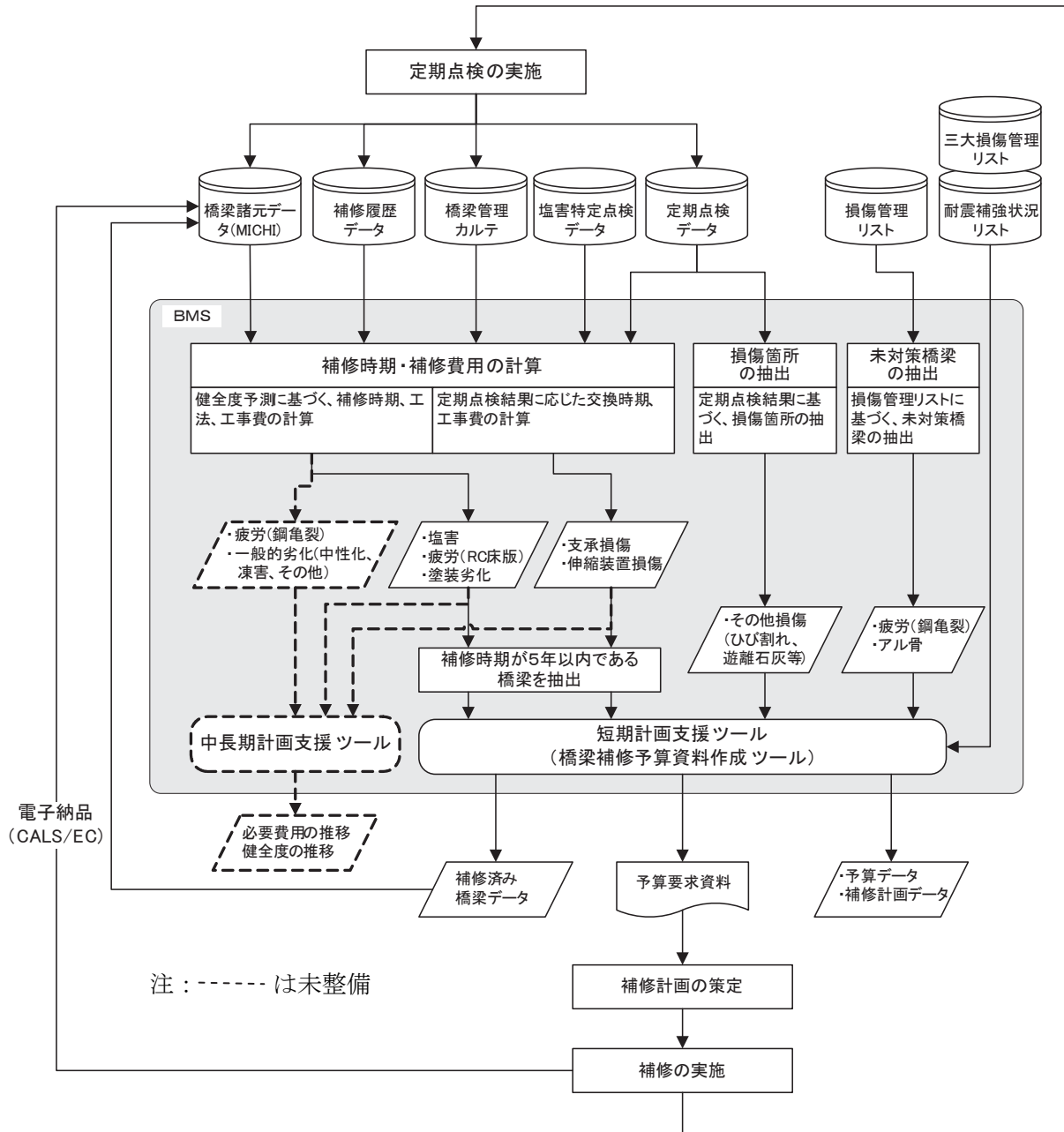


図-2.2.1 橋梁管理の流れと BMS の関係

2. 3 データ入力

データ入力は、現在国土交通省で整備されている別の関連データベースシステムとリンクさせるように構成されている。取り込むデータの概要は、表-2.2.1 に示した。

2. 4 健全度（劣化）予測（BMS本体機能）の概要

予防保全的管理が重要となる部材の劣化進行により、将来の補修工法及び補修費用に大きな差が生じるものについて、損傷毎に健全度（劣化）予測を実施し、補修工法・補修時期設定を支援するものである。

一方、部位・部材によっては、そもそも取り替えを前提としているものもあり、これらについては、厳密な劣化予測を実施しても補修工法及び補修費用に大きな違いは生じないと考えられるので、耐用年数前に取り替えが必要かどうかの簡易な劣化予測は行うものの、基本は、耐用年数等を設定し定期的に対策・交換を実施するとしている。

劣化予測の方法については、3章で詳述する。

2. 4. 1 健全度予測の対象劣化要因

健全度予測は劣化要因毎に行うこととし、対象とする劣化要因は、橋梁の寿命に対して大きく影響し、比較的損傷が多く発生し、かつ現在の技術的知見である程度の精度でもって予測が可能なものとして、表-2.4.1 に示すコンクリートの塩害、RC床版の疲労、鋼部材の塗装劣化・腐食とした。

なお、コンクリートの塩害に関しては、損傷が顕著になった時点では既にその進行を防止したり部材の耐荷力などの性能を回復するには手遅れの状態となる場合もあり、損傷が発生する前に損傷の進行度に関する予測を行って、ライフサイクルコスト最小化の観点から最も適切と考えられる時期に、例えばその時点ではまだ所要の性能が確保されていたり外観的な変状は軽微であったとしても、必要な対策を実施することが可能であれば、長寿命化とライフサイクルコストの減少に有効であることから、こういう使い方も想定される。

また、5年毎の定期点検ではカバーしきれない突然発生する損傷、例えば鋼部材の疲労によるき裂なども対象とすることが望ましく、知見の蓄積を進めつつ導入していく予定である。

表-2.4.1 健全度予測を行う損傷

健全度予測を行う損傷	<ul style="list-style-type: none">・コンクリートの塩害・RC床版の疲労・鋼部材の塗装劣化・腐食
------------	--

2. 4. 2 対象部材の選定

部材選定においては、構成部材すべてにおいて精度よく健全度予測を行うことが理想であるものの、現状の劣化予測技術及び必要性を勘案すると、すべてを対象とすることは困難である。そこで、本システムにおいては、橋梁の安全性確保に重要であり、さらには補

修・補強費用に大きく影響する主要部材のみを対象とした。表-2.4.2 に、対象部材及び部材別評価単位を示す。

表-2.4.2 健全度予測を行う対象部材、部材別評価単位

	対象部材	評価単位
上部工	主桁、横桁、縦桁、主構トラス（上・下弦材、斜材、垂直材、橋門構）、アーチ（アーチリブ、補剛桁、橋門構）、ラーメン主構桁	1 スパンかつ桁 1 本毎に評価
下部工	橋脚、橋台	1 基毎に評価
床版	床版	1 スパン毎に評価

2. 4. 3 健全度の定義

橋梁の現在あるいは将来の状態を表す健全度の定義を、表-2.4.3 に示す。本システムにおける健全度とは、損傷程度と損傷要因を基に橋梁の安全性と対策工法の規模に着目してランク付けしたものである。

表-2.4.3 健全度の定義

健全度ランク	状態（構造物の安全性と対策工法の規模）
I	<ul style="list-style-type: none"> 劣化や変状がほとんど認められない。 機能的に問題がない。
II	<ul style="list-style-type: none"> 軽微な劣化や変状が認められる。 部材の機能低下は見られず、利用者等への影響はない。
III	<ul style="list-style-type: none"> 劣化や変状が進行している。 部材の機能低下は小さく、利用者等への影響はほとんどない。 一般的に小規模な対策により機能の回復が図られる。
IV	<ul style="list-style-type: none"> 劣化や変状が広範囲に進行している。 部材の機能低下が進行し、利用者等への影響が危惧される。 比較的規模の大きな対策が必要となる。
V	<ul style="list-style-type: none"> 劣化や変状が著しく進行している。 部材の機能が大きく低下しており、利用者等に危険が及ぶ恐れがある。 大規模な対策、部材の更新又は架替の必要がある。

2. 4. 4 劣化予測方法

現状の健全度は、損傷毎に、定期点検結果に基づく劣化状態と対応付けてランクの当てはめを行う。一方、将来の健全度を推測するには、劣化の進行を予測することが必要となる。BMSにおいて劣化予測を行うには、劣化状態を損傷の大きさ又は損傷の原因等の定量的な値と関連付け、その値を何らかの劣化曲線に当てはめ将来の値を計算した上で、予測値がどのランクに相当するかを評価して行うこととなる。

本システムでは、表-2.4.4 の最右欄に示す定量的指標を劣化予測に用いることとし、この指標の現状の値は、定期点検の要素毎、損傷種類毎に目視点検で定性的な区分で判定している損傷の程度から変換して用いることとした。

表-2.4.4 損傷別の定量的指標

劣化要因	評価単位	損傷の種類	定量的指標
コンクリートの塩害	コンクリート部材： 主桁、横桁、縦桁、 アーチ、ラーメン主構 桁、床版、橋脚、橋台	ひびわれ	塩化物イオン濃 度(kg/m ³) 鋼材体積減少率 (%)
		剥離・鉄筋露出	
RC 床版の疲労	コンクリート部材： 床版	床版ひび割れ	疲労損傷度
		抜け落ち	
鋼部材の塗装劣 化・腐食	鋼部材： 主桁、横桁、縦桁、 主構トラス、アーチ、 ラーメン主構桁、 床版、橋脚	塗装劣化	さび発生面積(%)
		腐食	
支承の劣化	鋼部材、ゴム部材： 支承	腐食、亀裂、破断	健全度指標 (100 点満点)
		ゆるみ・脱落	
		支承の機能障害	
伸縮装置の劣化	鋼部材、ゴム部材： 伸縮装置	腐食、亀裂、破断	
		ゆるみ・脱落	
		路面の凹凸	
		変形・欠損	

2. 4. 5 将来健全度

将来の健全度を評価する基本的な方法は、次のとおりである。

- ① 損傷毎に、劣化予測モデル（一般形）を設定する。
- ② 現在（点検年）の状態が劣化予測モデル（一般形）のどの位置に相当するかを、点検結果等による損傷状態との対応から、特定する。
- ③ 劣化予測モデル（一般形）を、現在の損傷状態に適合するように補正を行う。
- ④ 直近の点検年以降に補修が行われていた場合は、補修により健全度は I に回復したと仮定し、劣化予測モデル（一般形）の補正を行う。
- ⑤ 補正した劣化予測モデルでもって、将来の劣化の状態を表す値を求める。
- ⑥ この値から、将来の健全度を求める。

図-2.4.1 に、補正方法のイメージ図を示す。

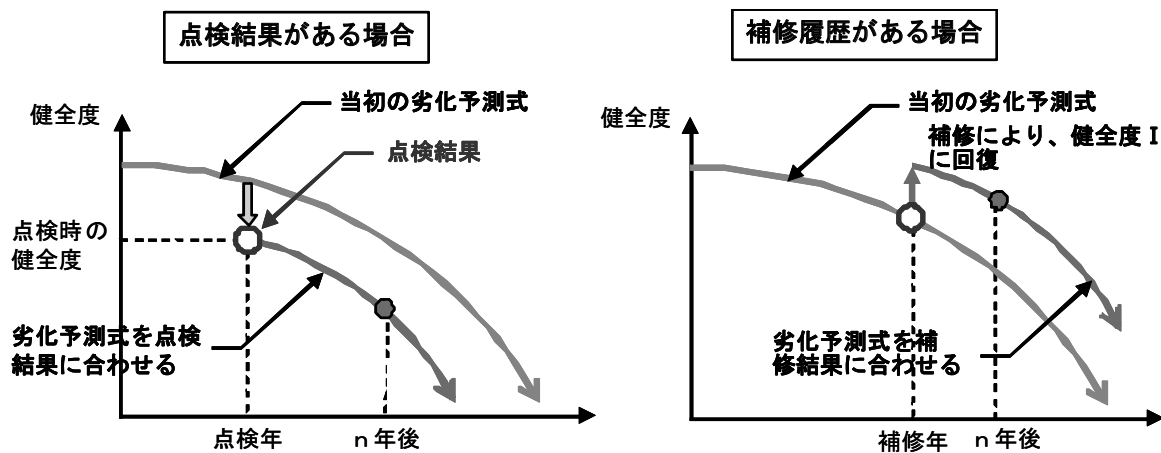


図-2.4.1 劣化予測モデルの補正方法のイメージ

2.5 補修工事費の算出

(1) 補修工法

補修工法は、健全度ランク毎に標準的な補修工法が設定されている。

(2) 補修数量

補修数量は、補修工法に応じて MICHI データベースより必要な情報（幅員、橋長、橋脚高さ等）を取得してスパン当たりで算出される。

(3) 補修工費

補修工費は、直接工事費×（1+諸経费率）により算出される。

直接工事費は、補修単価に補修数量を乗じた上、スパン毎に仮設費（足場工費）を加算して求められている。

(4) 工事調整

補修工事の実態を考慮して、足場が共用できる工事などについては、同一工事で補修を行うように工事調整をした補修工事が出力される。

2. 6 短期計画支援ツール

橋梁の管理計画策定を支援するため、直轄の事務所で使用するツール（表-2.5.1 参照。）と、整備局で使用するツール（表-2.5.2 参照。）の2つが用意されている。

表-2.5.1 橋梁補修予算資料作成ツール「事務所ツール」の機能概要

メニュー		機能概要
補修計画 入力	橋梁毎に以下の方法 で入力 ・ 径間単位入力 ・ 橋梁単位入力	<p>【橋梁リスト】</p> <ul style="list-style-type: none"> 管内全橋梁の点検結果、三大損傷対策実施状況、次年度予算要求、今後の補修計画等を橋梁単位で表示する。 橋梁諸元を表示する。 <p>【補修計画リスト】</p> <ul style="list-style-type: none"> 橋梁リストで選択した橋梁について、径間毎に、対策区分E1,E2,C,S,Mの部材及び劣化予測に基づく補修部材を表示する。 劣化予測に基づく補修部材については、補修時期、補修数量、補修工法、補修工事費を算出し表示する。 劣化要因が塩害、RC床版の疲労である補修部材については、劣化予測の条件、計算結果を表示する。 塩害、RC床版の疲労、塗装劣化・腐食に対する補修工事費の計算根拠を表示する。 部材毎に点検結果の詳細情報を表示する。 既に補修済みの場合等、補修計画に不採用の橋梁をチェックし、その理由を記入する。 補修数量、補修工法、補修工事費の修正入力及び補修実施時期の入力を行う。 リストに表示されていない部材の補修計画を追加入力する。 補修計画の修正・入力結果を基に、必要予算、予防保全率等の集計計算を行う。
結果一覧 表示	概算要求内訳表	<ul style="list-style-type: none"> 補修計画リスト修正・入力後の集計計算の結果、内訳表（作業枠）と内訳表（追加要望）を表示し、さらに橋梁単位での一覧表示をする。
	損傷管理リスト	<ul style="list-style-type: none"> 補修計画リスト修正・入力後の集計計算の結果、各損傷要因に対して、損傷管理リスト及び次年度予防保全率を表示する。 対策状況を表及びグラフ形式で表示する。 3箇年の予防保全率の推移を表及びグラフ形式で表示する。
	<ul style="list-style-type: none"> 補修予算集計表（様式-11） 三大損傷マネジメントシート（様式-2） 要求額調査表（様式-4） 	<ul style="list-style-type: none"> 補修計画リスト修正・入力後の集計計算の結果、補修予算集計表（様式-11）を表示する。 三大損傷マネジメントシート（様式-2）を表示する。 予算額調査票（様式-4）を表示する。

表・2.5.2 橋梁補修予算資料作成ツール「地整シート」の機能概要

メニュー		機能概要
事務所データの チェック	概算要求内訳表	<ul style="list-style-type: none"> 事務所にて作成した内訳表に対して、次年度補修橋梁を選択する。さらに、選択された「橋梁単位の全項目一覧」を表示する。
予算要求資料 出力	予算要求書資料表示	<ul style="list-style-type: none"> 内訳表から選択した結果を基に橋梁補修予算を集計し、補修予算集計表（様式・11）を表示する。 三大損傷マネジメントシート（様式・2）を表示する。 予算額調査票（様式・4）を表示する。
	次年度予防保全率	<ul style="list-style-type: none"> 内訳表から選択した結果を基に、次年度予防保全率を計算する。 次年度予防保全率を表及びグラフ形式で表示する。 地整管轄全事務所の予防保全率の3箇年推移を表及びグラフ形式で表示する。
事務所別橋梁数 表示	管内橋梁の現況橋梁数 を表示	<ul style="list-style-type: none"> 現況総括表、橋種別構造体数を表形式で表示する。
その他	各事務所データの取り 込み	<ul style="list-style-type: none"> 各事務所が修正・入力及び集計した「事務所シート」を取り込む。

3. 健全度（劣化）予測：BMS本体機能

3. 1 コンクリートの塩害の劣化予測

3. 1. 1 健全度

塩害の健全度ランクは、土木学会「2001年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]」¹⁾に示される塩害による劣化過程毎に、表-3.1.1に示すとおりに設定した。劣化過程の定義を、表-3.1.2に示す。

劣化予測に用いる定量的な値は、コンクリートに損傷が現れる前の「潜伏期～進展期」とコンクリートに変状が発生する「加速期～劣化期」の2つの期間に分けて設定した。

- ・潜伏期～進展期：「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）H16年3月」²⁾（以下「塩害特定点検」という。）を参考に、塩化物イオン濃度とした。
- ・加速期～劣化期：総プロ「塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」³⁾における外観調査、はつり調査による鋼材腐食の損傷状況と損傷写真を参考に、鋼材の体積減少率とした。

表-3.1.2 劣化過程の定義¹⁾

劣化過程	定 義
潜伏期	鋼材のかぶり位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひびわれ発生までの期間
加速期	腐食ひびわれ発生により腐食速度が増大する期間
劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間

表-3.1.1 塩害に対する健全度ランク

劣化過程	塩害特定 点検 判定区分	健全度 ランク	定量的な値による評価	劣化状態
潜伏期	A	I	塩化物イオン濃度微量*)	腐食ひび割れ無し
		II	塩化物イオン濃度 < 1.2 kg/m ³ 10年以内に 1.2kg/m ³ 以上 にならないと予測される	腐食ひび割れ無し
	B	III	塩化物イオン濃度 < 1.2 kg/m ³ 10年以内に 1.2kg/m ³ 以上 になると予測される	腐食ひび割れ無し
進展期	C	IV	塩化物イオン濃度 ≥ 1.2kg/m ³	腐食ひび割れ無し
鋼材の体積減少率 < 0.05			腐食ひび割れ発生 錆汁が見られる	
0.05 ≤ 鋼材の体積減少率 < 0.2**)			腐食ひび割れ多数発生 錆汁が見られる 部分的～連続的な剥離・鉄筋 露出が見られる 鉄筋腐食が広範囲に見られる PC 鋼線の腐食・破断が見られ る	
0.2 ≤ 鋼材の体積減少率			腐食ひび割れ多数発生 ひび割れ幅が大きい 錆汁が見られる 剥離・鉄筋露出が全域にわた り見られる 鉄筋断面の有意な減少が全域 にわたり見られる PC 鋼線の破断が全域にわた り見られる	
加速期 ～ 劣化期		V		

注 *) 下部構造の塩化物イオン試験の結果、上部構造のかぶりの代表値に相当する深さの試料で全塩化物イオン量の含有量が 1.0kg/m³ に達しておらず、上部構造でもすぐに塩害劣化は生じないと判断できる場合を意味する。

**) 鋼材の体積減少率が 0.2 (20%) に達した時点を耐久性上の限界、劣化期の終点と考えることとした。⁹⁾

3. 1. 2 劣化予測モデル

コンクリート部材の塩害に対する健全度は、統計分析を用いるまでのデータが揃っていないこともあり、塩害特定点検における予防保全的な考え方に準じて、理論式を用いて各劣化過程の経過年により予測するものとする。

(1) 潜伏期の予測

潜伏期の予測は、塩化物イオンの拡散予測式により、コンクリートの塩害による鉄筋腐食発生時期を鋼材位置における塩化物イオン濃度から求めるものとする。塩化物イオンの拡散予測式は、コンクリート標準示方書¹⁾を基本とし、鋼材の発錆限界値は、全塩化物イオン量 1.2kg/m^3 とする。

潜伏期の予測において必要なデータ及びデータの設定方法を、表-3.1.3 に示す。ここで、特定点検結果が無い場合のコンクリート表面における塩化物イオン濃度については、全国の飛来塩分量の調査結果に基づいて検討された土木研究所の共同研究報告書⁴⁾を用いて設定する。

以下に、塩化物イオンの拡散方程式（フィックの第2法則）^{1) 4) 5)}を示す。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) + C(x,0)$$

ここに、 $C(x,0)$ ：初期含有塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

塩害特定点検により塩化物イオン試験を実施した場合は、塩化物イオン濃度分布より設定する。

塩害特定点検結果がない場合は、 0.3kg/m^3 とする。

C_0 ：表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

塩害特定点検により塩化物イオン試験を実施した場合は、塩化物イオン濃度分布より設定する。

塩害特定点検結果がない場合は、次式を用いて設定する。

$$C_0 = 1.2 \cdot C_{\text{air}}^{0.4}$$

$$C_{\text{air}} = C_1 \cdot d^{-0.6}$$

C_1 ：1km 換算飛来塩分量 ($\text{mdd} \cdot \text{NaCl}$)

地域区分	C_1
A	0.62(1.0)
B	0.92
C	0.34

注：地域区分 A において、台風の頻度が高いことを考慮して 1σ を加えた値とする場合には、 C_1 は 1.0 を用いる。

d ：海岸線からの距離(km)

ただし、海上や海岸線上で 0km の場合は 0.001km とする。

x ：コンクリート表面からの距離(cm)

t ：供用開始からの時間 (年)

D_c ：塩化物イオンの見かけの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

塩害特定点検により塩化物イオン試験を実施した場合は、塩化物

イオン濃度分布より設定する。

塩害特定点検結果がない場合は、次式を用いて設定する。

$$\log D_c = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5 \text{ (普通ポルトランドセメント)}$$

$$\log D_c = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2 \text{ (高炉セメント)}$$

W/C : 水セメント比(%)

表-3.1.3 コンクリート部材の塩害（潜伏期）における必要データの設定方法

必要項目	設定方法	データがない場合の対応方法
塩化物イオンの見かけの拡散係数	塩害特定点検による、塩化物イオン濃度分布計算	水セメント比：架設年、構造形式より設定（表-3.1.4、表-3.1.5 参照） セメント種類：MICH I より設定
コンクリート表面における塩化物イオン濃度	塩害特定点検による、表面塩化物イオン濃度の測定結果	海岸からの距離：MICH I の塩害地域距離又は塩害地域区分より設定
かぶり	塩害特定点検による、かぶりの調査結果	かぶり：架設年、構造形式、塩害対策区分より設定（表-3.1.4、表-3.1.5 参照）

表-3.1.4 上部工における必要データの設定方法（特定点検がない場合）

架設年	項目	塩害対策区分	構造形式				備考
			RC 桁	プレテン PC	ポストテン PC	床版	
1983年度以前	かぶり (cm)	—	3.5	2.5	3.5	3.0	道路橋示方書 S.53 ⁸⁾ より
	W/C(%)	—	55	35	40	55	ミナムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(II) ⁴⁾ より
1984年度以降	かぶり (cm)	I	7.0	5.0	7.0	5.0	道路橋の塩害対策指針(案) ⁶⁾ より
		II	5.0	3.5	5.0	4.0	
		III	3.5	2.5	3.5	3.0	
	W/C(%)	—	50	35	40	50	道路橋の塩害対策指針(案) ⁶⁾ 道路橋示方書 H.14 ⁷⁾ より

表-3.1.5 下部工における必要データの設定方法（特定点検がない場合）

架設年	項目	塩害対策区分	橋脚	橋台	備考
1983年度以前	かぶり (cm)	—	7.0	7.0	道路橋示方書 S.53 ⁸⁾ より
	W/C(%)	—	60	60	道路構造物の今後の管理・更新等のあり方委員会第3回資料より
1984年度以降	かぶり (cm)	I	7.0	7.0	道路橋の塩害対策指針(案) ⁶⁾ より
		II	7.0	7.0	
		III	7.0	7.0	
	W/C(%)	—	55	55	

(2) 進展期の予測

進展期の期間を決定する主要因は、鋼材の腐食速度とコンクリートにひび割れが発生するときの腐食量である。このうち、鉄筋の腐食速度を決定する最も重要な要因は、鋼材表面への酸素供給量と考えられ、これを実構造物で定量的に評価することは極めて難しく、進展期の期間を予測することは困難とされている⁹⁾。また、既往の研究結果¹⁰⁾によれば、かぶり 5cm の場合、水セメント比に拘わらず腐食開始からひび割れ発生までの期間は 5 年以内と、進展期の期間は他の劣化期間に比べて非常に短期間であるとされている。

これらを踏まえ、本システムでは、進展期の期間をゼロと仮定し、鋼材腐食発生時点（鋼材位置での全塩化物イオン量が 1.2kg/m³に達した時点）から、加速期以降の腐食速度で劣化が進行するものとする。

(3) 加速期、劣化期の予測

加速期及び劣化期は、コンクリート表面に腐食ひび割れが発生した後の鋼材の腐食速度によって、その期間を予測する。腐食ひび割れ発生以降の鋼材腐食速度の予測式としては、以下の式が提案されている⁹⁾。

$$Vred = (4ac / (\Phi \times \gamma_{FE})) \times e^{(\alpha/a) \times t}$$

ここに、
 $Vred$: 体積減少率
 γ_{FE} : 鉄筋の単位体積質量 (mg/cm³) = 7,850
 a : 腐食量とひび割れ幅を関係付ける係数
 c : 腐食による初期ひび割れ幅 (cm)
 Φ : 鉄筋径 (cm)
 α : 腐食速度とひび割れ幅を関係付ける係数
 t : 鋼材位置での全塩化物イオン量が 1.2kg/m³に達してからの経過年数

この式を構成する係数については、塩害による損傷を受けた次の条件に該当する橋梁の調査結果をもとに回帰分析を行い、求めることとした。

- ・ 竣工後、塩害調査実施までの間に補修履歴がない
- ・ 竣工年度及び調査年度が既知である
- ・ 塩化物イオン濃度の測定結果がある
- ・ 塩害による損傷状況（外観状況及び鋼材の腐食状況）が把握されている
- ・ 帯鉄筋のかぶりが既知である

まず、腐食による初期ひび割れ幅を $c=0.001\text{cm}$ と仮定し、上記の腐食ひび割れ発生以降の鋼材腐食速度の予測式を次のように変換する。

$$Vred = (4a \times 0.001 / (\Phi \times 7850)) \times e^{(\alpha/a) \times t}$$

$$Vred \cdot \Phi = 5.10 \times 10^{-7} a \times e^{(\alpha/a) \times t}$$

次に、各対象橋梁の t と $Vred \cdot \Phi$ の値に対して、変換した関数をあてはめ、回帰分析により係数 α 、 a の値を求める。

表-3.1.6 に各対象橋梁の t 及び $Vred \cdot \Phi$ を示す。

回帰分析においては、既往の研究成果⁹⁾を参考に、 α 、 a の値に次の制約条件を設けて非線形最小二乗法を実施した。

・制約条件： $300 \text{ mg/cm}^3/\text{年} \leq \alpha \leq 1,000 \text{ mg/cm}^3/\text{年}$ 、 $700 \text{ mg/cm}^2 \leq a \leq 2,500 \text{ mg/cm}^2$
 回帰分析の結果は、次のとおりである。

$$\alpha = 430 \text{ mg/cm}^3/\text{年}$$

$$a = 2,100 \text{ mg/cm}^3$$

$$c = 0.001 \text{ cm} \quad (\text{仮定：前提条件})$$

$$\therefore V_{red} = (4ac / (\Phi \times \gamma_{FE})) \times e^{(\alpha/a) \times t} = 1.07 \times 10^{-3} / \Phi \times e^{0.205 \times t}$$

また、本システムでは、最外縁の鉄筋（帯鉄筋）の径は次のとおりに設定している。

$$\Phi = 1.3 \text{ cm}$$

表-3.1.6 各対象橋梁の t 及び $V_{red} \cdot \Phi$

	橋名	位置	潜伏 期間 T2 (年)	調査時 の経過 年数 T (年)	腐食ひび割 れ発生以降 の経過年数 t=T-T2	鉄筋径 Φ (mm)	鋼材体積 減少率 Vred	$V_{red} \cdot \Phi$
1	A橋	第2スパン、 G3 桁海側	8	32	24	D13	0.125	0.16
2	B橋	P1-P2、 G4 桁海側 P1 側	4	25	21	D10	0.0375	0.038
		P1-P2、 G4 桁海側 P2 側	7	25	18	D10	0.00	0.00
		P12-P13、 G4 桁海側 P12 側	3.5	25	21.5	D10	0.125	0.13
		P26-P27、 G4 桁海側	3.5	25	21.5	D10	0.125	0.13
3	C橋	第2スパン、 G1 桁海側	8.5	29	20.5	$\Phi 9$	0.0375	0.034
4	D橋	G3 桁海側	6.5	32	25.5	D13	0.125	0.16

(4) 劣化予測モデルの模式図

(1) ~ (3) による塩害における健全度予測モデルの模式図及び健全度ランクのしきい値を、図-3.1.1 及び表-3.1.7 に示す。

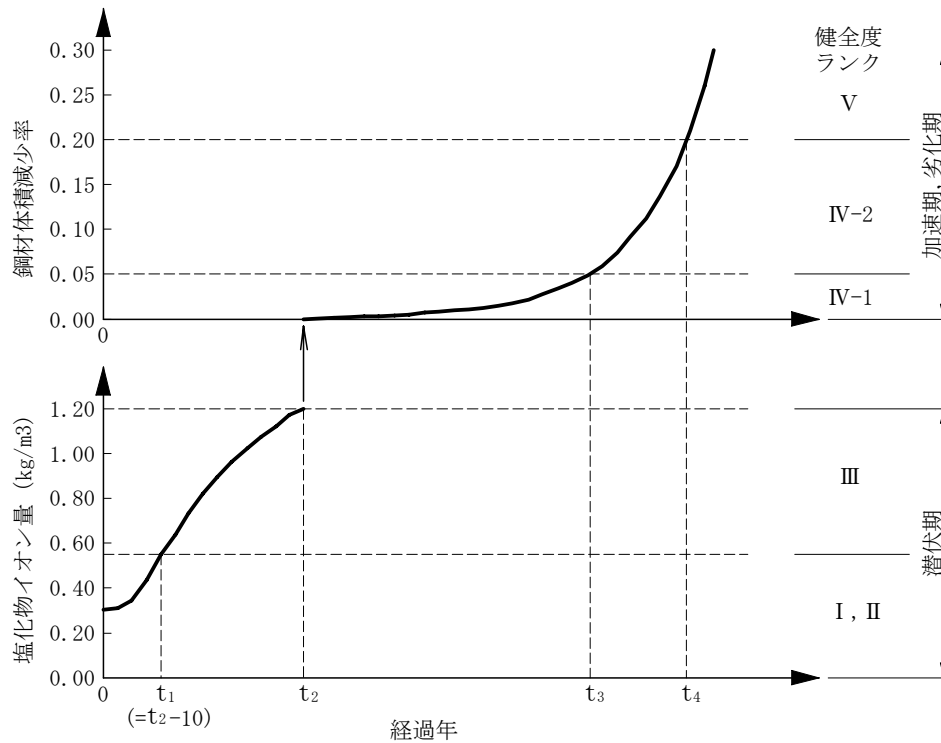


図-3.1.1 健全度（劣化）予測モデル

表-3.1.7 健全度ランクとしきい値の関係

健全度ランク	劣化過程	理論式による評価
I	潜伏期	全塩化物イオン量：微量
II		全塩化物イオン量 < 1.2 kg/m ³ 10年以内に 1.2kg/m ³ 以上にならないと予測される
III		全塩化物イオン量 < 1.2 kg/m ³ 10年以内に 1.2kg/m ³ 以上になると予測される
IV	IV-1	進展期 全塩化物イオン量 ≥ 1.2kg/m ³
	IV-2	加速期 劣化期 鋼材の体積減少率 < 0.05 0.05 ≤ 鋼材の体積減少率 < 0.2
V		0.2 ≤ 鋼材の体積減少率

3. 1. 3 現状健全度に対する定量的な値の特定

現状の健全度ランクは、表-3.1.1 の劣化状態から求めることができる。将来の劣化を予測するためには、現状における定量的な値を算出する必要があり、この算出方法は、次のとおりである。

- ・腐食ひび割れがない場合の定量的な値は塩化物イオン濃度であり、この値については、測定値がある場合はその値を用い、無い場合には経過年から設定する。
- ・腐食ひび割れ発生以降の定量的な値は鋼材の体積減少率であり、この値については、定期点検における「ひび割れ」及び「剥離・鉄筋露出」の損傷の程度を、表-3.1.8 により変換する。なお、「ひび割れ」及び「剥離・鉄筋露出」の両方の損傷がある場合は、健全度ランクの低い値を採用する。

表-3.1.8 定期点検結果の鋼材体積減少率への変換方法（塩害）

損傷の種類	区分	H16 定期点検における損傷程度の区分		鋼材体積減少率：Vred (健全度ランクへの対応)
		最大ひびわれ幅に着目した程度	最小ひびわれ間隔に着目した程度	
ひび割れ	b	小	小	Vred=0.00 (ランクIV-1)
	c	小	大	
	c	中	小	
	d	中	大	Vred=0.02 (ランクIV-1)
	d	大	小	
	e	大	大	
剥離・鉄筋露出	c	—	小	Vred=0.00 (ランクIV-1)
	d	—	小	Vred=0.02
	e	—	大	(ランクIV-1)

注：直近の点検が S63 定期点検の場合は、次に示す対応表を用い、H16 定期点検への変換を行う。

定期点検結果の対応表

S63 定期点検				H16 定期点検	
損傷の種類	X	Y	Z	判定	損傷程度の区分
ひび割れ	小	小	小	OK	b
	大	小	小	OK	b
	小	小	大	OK	c
	大	小	大	OK	c
	小	中	小	IV	c
	大	中	小	III	c
	小	中	大	IV	d
	大	中	大	III	d
	小	大	小	III	d
	大	大	小	II	d
	小	大	大	II	e
	大	大	大	II	e
剥離・鉄筋露出	—	小	小	IV	c
	—	小	大	III	c
	—	大	小	III	d
	—	大	大	II	e

3. 1. 4 将来健全度の評価フロー

塩害の影響を受ける地域の個々の橋梁について、図-3.1.2のフローにしたがい、将来健全度評価を行う。

まず、startのフローで、塩害特定点検の有無を確認し、<1>又は<2>のフローを選択する。なお、竣工時に塩害対策（塗装鉄筋使用、コンクリート表面塗装、その他）を実施した橋梁については、別途の方法で将来予測を行うこととし、本システムでは対応していない。

塩害特定点検無しの場合は<1>のフローとなり、表-3.1.4又は表-3.1.5に示す値を用いて劣化予測モデルに必要な値を算出して劣化予測モデルを作成する。そして、目視点検の有無を確認し、無しの場合（直轄では定期点検を実施しており、このケースは極稀である。）は（A）のフローに進む。有りの場合は、損傷の有無を確認し、損傷有りの場合は（C）のフローに、損傷無しの場合は、橋梁架設年から点検年までの経過年がT2（劣化予測モデルでの潜伏期の最終年）に達したかどうかで、（A）又は（B）のフローに進む。

塩害特定点検有りの場合は<2>のフローとなり、塩害特定点検結果の値を用いて劣化予測モデルを作成する。そして、損傷の有無を確認し、損傷有りの場合は（C）のフローに、損傷無しの場合は、鋼材位置での全塩化物イオン量（塩害特定点検結果の値を用いる。）が1.2kg/m³以上か未満かで、（B）又は（D）のフローに進む。

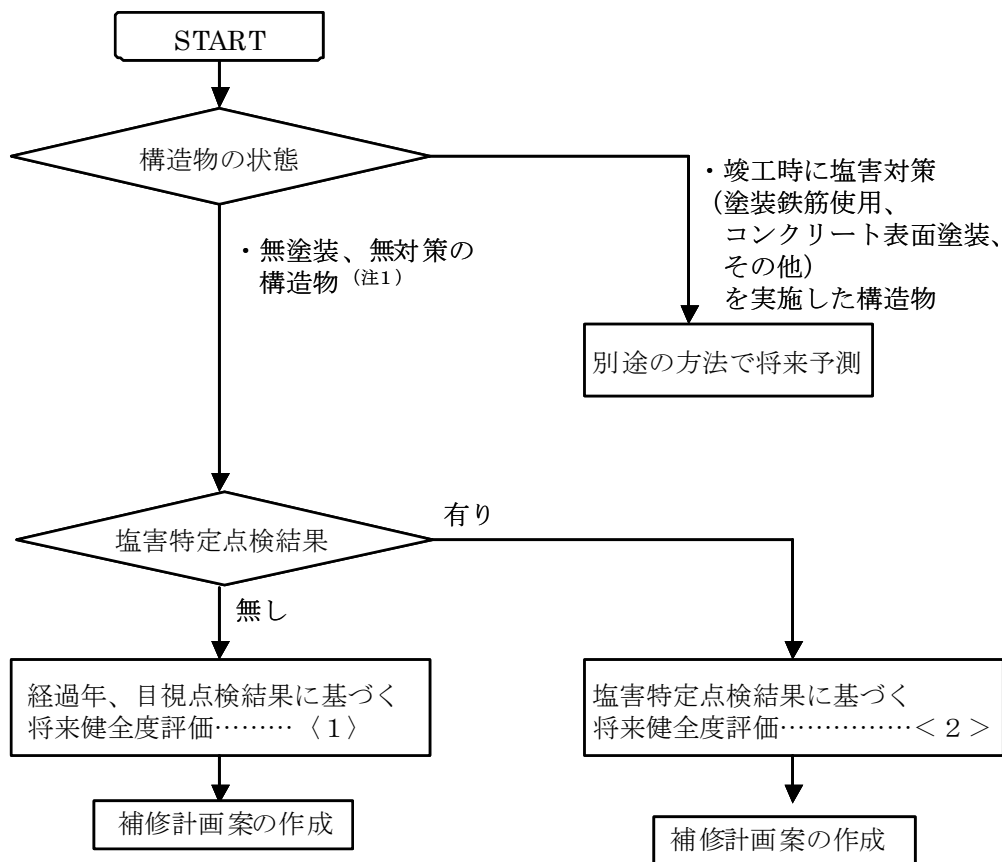
（A）のフローは、塩害特定点検がされておらず、点検結果がない又は点検により損傷

が見られない状態であることから、点検年における塩化物イオン量又は鋼材体積減少量を推測することができないので、劣化予測モデルをそのまま用いて将来予測を行うものである。

(B) のフローは、現状が加速期にある場合である。＜1＞のフローから飛んできた場合は、鋼材位置での全塩化物イオン量が測定されてなく、損傷も見られないことから、経過年のみで加速期の始めと仮定したものである。したがって、劣化予測モデルから求まるT2との間に生じた乖離分を、劣化予測モデルを平行移動させることにより解消させる。一方、＜2＞のフローから飛んできた場合は、鋼材位置での全塩化物イオン量が測定されており 1.2kg/m^3 以上と加速期にあることは明らかなものの損傷は見られないことから、鋼材体積減少率は0と推測し、これも加速期の始めと仮定したものである。

(C) のフローは、塩害による損傷が確認されており、加速期にあることが明らかな場合である。＜1＞のフローから飛んできた場合は、鋼材体積減少率を表-3.1.8 にしたがって0.00又は0.02と仮定し、劣化予測モデルから計算される値が一致するよう、劣化予測モデルを平行移動させる。＜2＞のフローから飛んできた場合も同様である。

(D) のフローは、塩害による損傷が確認されてなく、鋼材位置での全塩化物イオン量も 1.2kg/m^3 未満であり、潜伏期にあることが明らかな場合である。劣化予測モデルから求まる塩化物イオン量と塩害特定点検結果の塩化物イオン量を一致させるよう、劣化予測モデルを補正する。



(注1)

- ・過去に塩害による劣化を補修した構造物については、その補修材料、補修工法、補修規模によって健全度の回復度合いやその後の劣化速度が異なると考えられる。ここでは、過去に実施された補修工法をシステムで設定した代表的補修工法と補修後の健全度の関係に対応付け、その考え方を適用するものとする。

(注2)

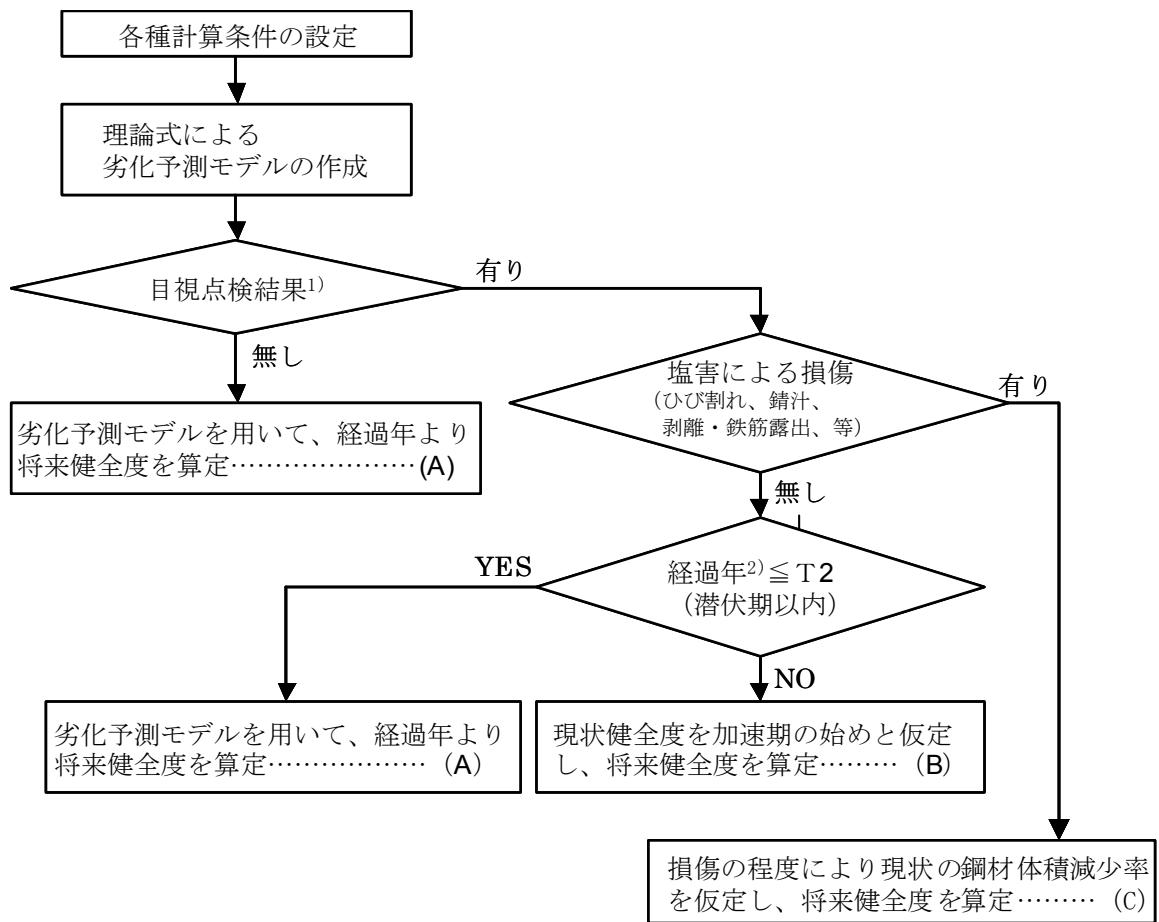
- ・コンクリート表面塗装など、竣工時に塩害対策が施されている構造物については、塩害による劣化の発生を防止することが可能であると考えられるため、表面塗装等の塩害対策工自体の健全性を別途管理するものとする。
- ・塗装鉄筋など、防錆効果の高い鋼材を使用している構造物については、塩害の影響を受けない地域にあるとみなす。

(注3)

- ・以下の図-3.1.2におけるグラフのT1、T2、T4の定義は、次のとおりである。
 T1：10年後に鋼材位置での全塩化物イオン量が1.2kg/m³に達する経過年数
 T2：鋼材位置での全塩化物イオン量が、1.2kg/m³に達する経過年数
 T4：鋼材の体積少率が限界値0.2に達する経過年数

図-3.1.2 塩害における将来健全度予測フロー (start)

< 1 > 経過年、目視点検結果に基づく将来健全度評価



1) 定期点検など、近接目視により損傷度を判定する点検

2) 橋梁架設年から点検年までの経過年数

図-3.1.2 塩害における将来健全度予測評価フロー< 1 >

< 2 > 特定点検結果に基づく将来健全度評価

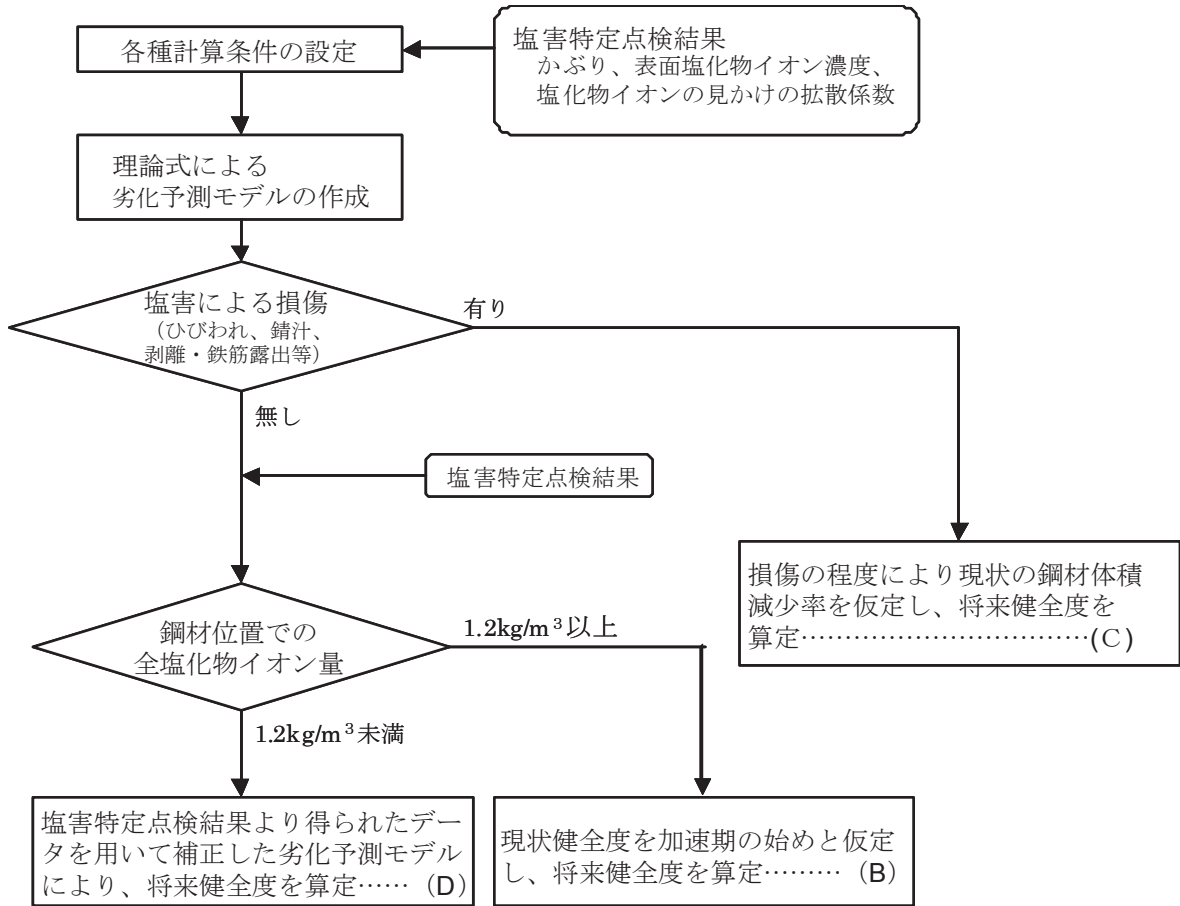


図-3.1.2 塩害における将来健全度予測評価フロー< 2 >

(A)劣化予測モデルをそのまま用いて、将来の塩化物イオン量又は鋼材体積減少率を算定

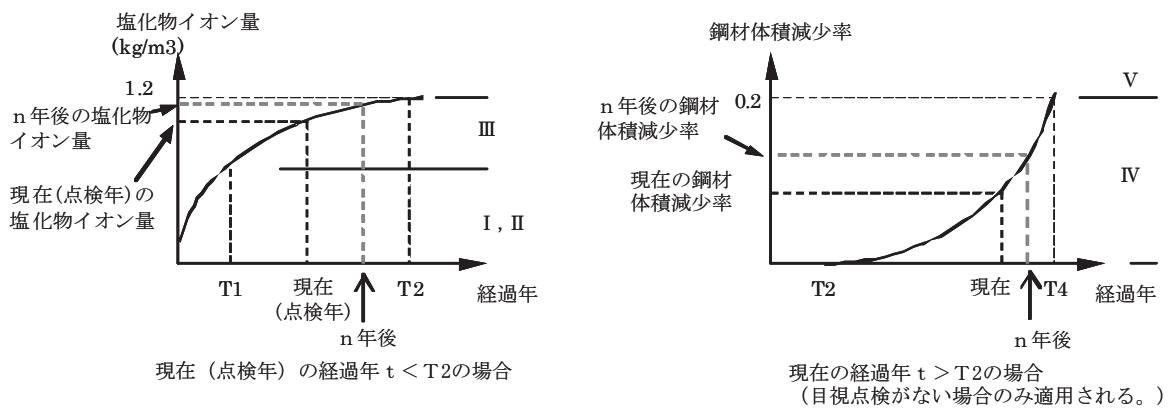


図-3.1.2 塩害における将来健全度予測評価フロー< A >

(B) 点検時の健全度を加速期の始めと仮定し、加速期以降の劣化予測モデルをシフトして、将来の鋼材体積減少率を算定

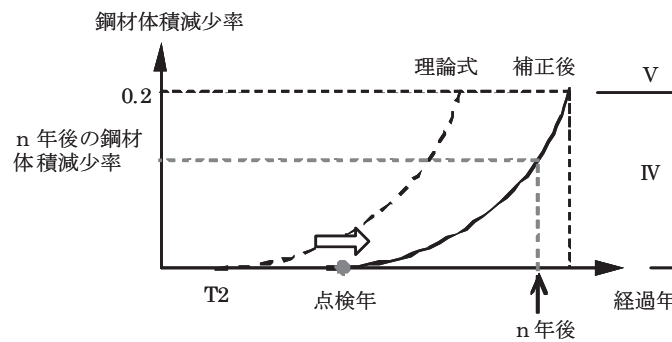


図-3.1.2 塩害における将来健全度予測評価フロー< B >

(C) 鋼材体積減少率を 0.00 又は 0.02 と仮定し、劣化予測モデルをシフトして、将来の鋼材体積減少率を算定

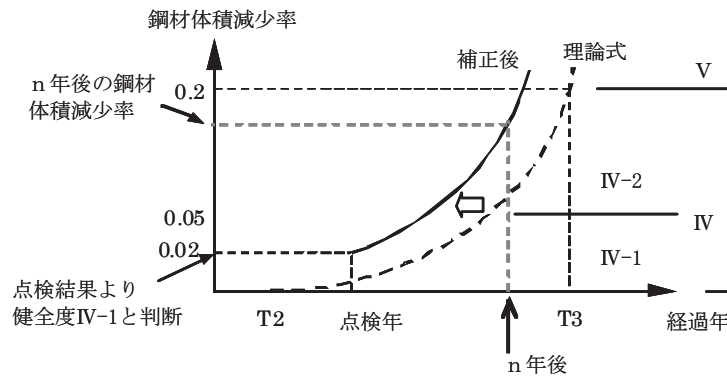


図-3.1.2 塩害における将来健全度予測評価フロー< C >

(D) < 2 > から：特定点検結果より得られたデータを用いて補正した劣化予測モデルにより、現状健全度を算定

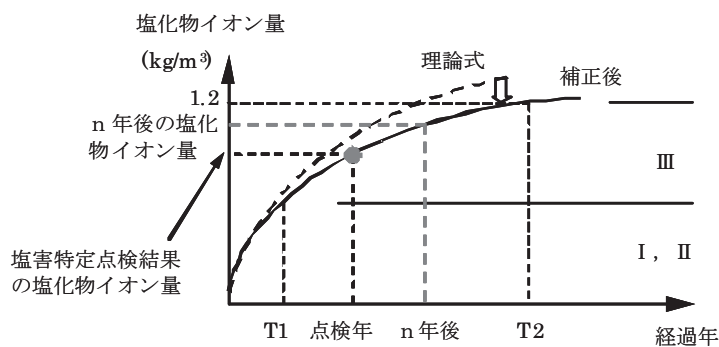


図-3.1.2 塩害における将来健全度予測評価フロー< D >

3. 1. 5 劣化予測モデルの検証

(1) 検証方法

塩害における健全度予測モデルの検証を、以下の2つの方法で実施した。図-3.1.3に検証方法のイメージ図を示す。また、検証に使用する鋼材体積減少率の設定は、表-3.1.9に示すとおりとした。

- ①塩害による損傷を受けた橋梁を対象に、点検時の経過年数と点検結果の損傷状態に至る予測年数を比較する。
- ②潜伏期についての検証として、点検年における塩化物イオン濃度が発錆限界値 1.2kg/m^3 を越えていれば発錆していると考え、点検時の経過年数から予測される損傷の有無と実際の損傷の有無を比較する。

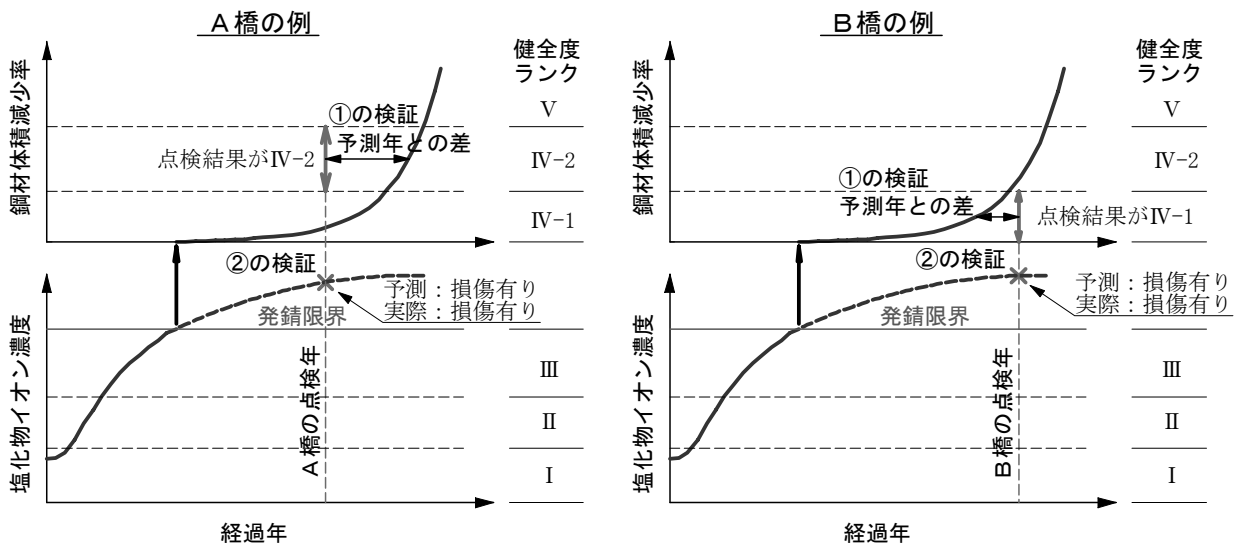


図-3.1.3 検証方法のイメージ図

表-3.1.9 鋼材体積減少率の設定

塩害調査結果		鋼材体積減少率 Vred	今回の検証に使用するVred
損傷状況	※損傷度		
ごく軽微なひび割れや、錆汁が認められる場合	IV	0.00~0.025	0.01
ひび割れ、錆汁、あるいは剥離が部分的に認められる場合	III		0.02
ひび割れ、錆汁、剥離、あるいは剥落が連続的に認められる場合	II	0.025~0.05	0.04
鋼材の露出や破断、またはコンクリートの断面欠損が認められる場合	I	0.05~0.20	0.125

※建設省 総合技術開発プロジェクト コンクリート橋の耐久性向上技術の開発 (財)土木研究センターによる

剥離・鉄筋露出の判定区分		今回の検証に使用するVred
損傷状況	※損傷度	
剥離・鉄筋露出の面積が 0.1m^2 以上である	II	0.04
剥離・鉄筋露出の面積が 0.1m^2 未満である	III	0.02
剥離のみが生じ、その面積が 0.1m^2 未満である	IV	0.01

※土木研究所資料「橋梁点検要領(案)における損傷度判定基準

(2) 検証対象橋梁

検証は、北陸地方と東北地方におけるコンクリート桁をサンプル抽出して行った。検証橋梁の諸元を表-3.1.10に示す。

表-3.1.10 塩害対象橋梁

表-1.1 北陸地方 A事務所

名称	構造形式	架設竣工年	供用年数	塩害地域区分	海岸からの距離(km)	補修あるいは調査年	経過年数	補修内容	調査結果	推定鋼材体積減少率
AA	プレキャスト桁	1971	33	B-I	0.1	2002	31		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AB	ボスキャスト桁(合成)	1962	42	B-I	0.0	2002	40		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AC	プレキャスト桁	1967	37	B-I	0.1	2002	35		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AD	プレキャスト桁	1972	32	B-I	0.0	2002	30		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AE	ボスキャスト桁	1966	38	B-I	0.1	1999	33		ひび割れ、鉄筋露出：Ⅱ	0.04
AF	プレキャスト桁	1966	38	B-I	0.0	1998	32		ひび割れ、鉄筋露出：Ⅱ	0.04
AG	プレキャスト桁	1964	40	B-II	0.2	2002	38		軽微なひび割れ：Ⅳ	0.01
AH	RC T桁	1965	39	B-I	0.1	2002	37		軽微なひび割れ：Ⅳ	0.01
AI	プレキャスト床版	1963	41	B-I	0.1	2002	39		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AJ	ボスキャスト桁	1970	34	B-I	0.1	2002	32		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AK	ラーメン橋	1987	17	B-I	0.0	1998	11		軽微なひび割れ：Ⅳ	0.01
AL	プレキャスト床版	1967	37	B-I	0.1	2002	35		軽微なひび割れ：Ⅳ	0.01
AM	プレキャスト床版	1966	38	B-I	0.1	2002	36		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AN	プレキャスト床版	1966	38	B-I	0.1	2002	36		ひび割れ、錆汁部分的：Ⅲ	0.02
AO	プレキャスト床版	1966	38	B-I	0.1	2002	36		ひび割れ、錆汁部分的：Ⅲ	0.02
AP	プレキャスト床版	1966	38	B-I	0.1	2002	36		軽微なひび割れ：Ⅳ	0.01
AQ	プレキャスト桁	1969	35	B-I	0.1	2002	33		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AR	プレキャスト桁	1966	38	B-I	0.1	2002	36		ひび割れ、錆汁部分的：Ⅲ	0.02
AS	プレキャスト桁	1974	30	B-I	0.1	2002	28		ひび割れ、錆汁部分的：Ⅲ	0.02
AT	プレキャスト桁	1937	67	B-I	0.1	2002	65		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AU	プレキャスト桁	1952	52	B-II	0.2	2002	50		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AV	単純桁	1967	37	B-I	0.1	2002	35		ひび割れ、錆汁部分的：Ⅲ	0.02
AW	単純桁	1979	25	B-I	0.1	2002	23		ひび割れ、錆汁部分的：Ⅲ	0.02
AX	単純桁	1975	29	B-I	0.0	2002	27		ひび割れ、錆汁多数：Ⅱ	0.04
AY	RC 中空床版	1990	14	B-I	0.1	2002	12		軽微なひび割れ：Ⅳ	0.01

表-1.2 東北地方 B事務所

名称	構造形式	架設竣工年	供用年数	塩害地域区分	海岸からの距離(km)	補修あるいは調査年	経過年数	補修内容	調査結果	推定鋼材体積減少率
BA	ボスキャスト桁	1988	16	B-III	0.40	1998	10		異常なし	※1
BB	ボスキャスト桁	1964	40	B-III	0.30	1998	34		橋軸方向ひび割れ：Ⅲ	0.02
BC	ボスキャスト桁	1966	38	B-I	0.10	1981	15	外ケーブル+鋼板被覆		0.125
BD	RC T桁	1969	35	B-III	0.30	1998	29		ひび割れ、錆汁：Ⅲ	0.02
BE	ボスキャスト桁	1967	37	B-III	0.40	1998	31		部分的ひび割れ：Ⅳ	0.01
BF	ボスキャスト桁	1965	39	B-II	0.20	1997	32		橋軸方向ひび割れ多数：Ⅰ	0.125
BG	ボスキャスト桁	1965	39	B-III	0.30	2002	37		ひび割れ、鉄筋露出：Ⅱ	0.04
BH	プレキャスト桁	1960	44	B-I	0.01	1998	38		間詰め部に錆汁：Ⅳ	0.01
BI	プレキャスト桁	1963	41	B-II	0.20	1998	35		異常なし	※1
BJ	ボスキャスト桁	1988	16	B-I	0.01	1998	10		異常なし	※1
BK	ボスキャスト桁	1986	18	B-I	0.01	1998	12		異常なし	※1
BL	ボスキャスト桁	1964	40	B-I	0.01	1981	17	外ケーブル+鋼板被覆		0.125
BM	ボスキャスト桁	1964	40	B-I	0.01	1982	18	外ケーブル+鋼板被覆		0.125

※1. 点検結果で異常なしの場合は、年数を特定できないため、予測年数との比較においては検証橋梁から除外する。

(3) 検証結果

① 実際の経過年数と予測年数の比較

図-3.1.4 に予測誤差率を、図-3.1.5 に誤差範囲を、表-3.1.11 に実経過年数と予測年数の比較を示す。予測年数と実際の経過年数との誤差は、53%が誤差率±20%以内となり、概ね妥当であることが確認された。

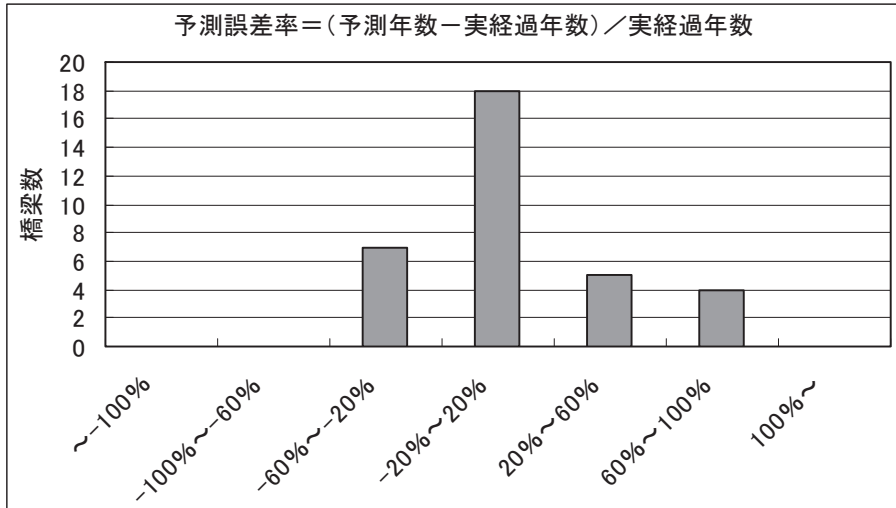


図-3.1.4 塩害の検証結果 (予測誤差率)

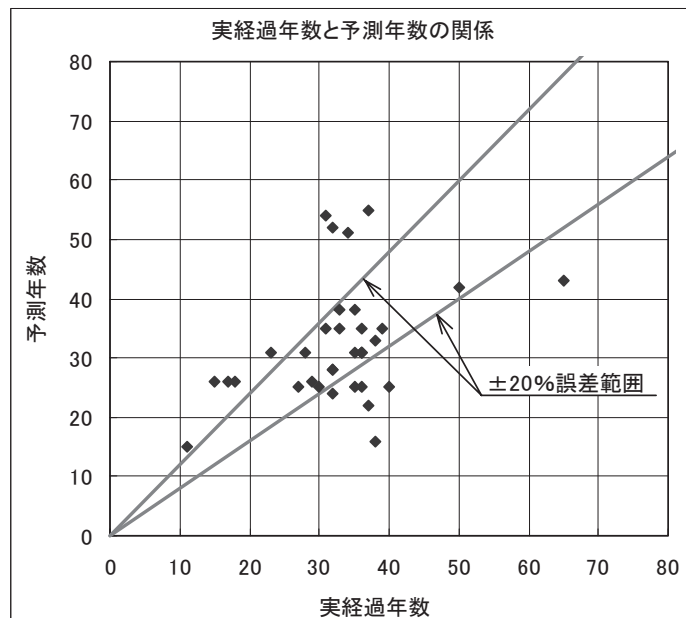


図-3.1.5 塩害の検証結果 (誤差範囲)

表-3.1.11 実経過年数と予測年数の比較

名称	A 実経過年	B 予測年数	C/A (%)	C=B-A	損傷度
AA	31	35	12.9	4	Ⅱ
AB	40	25	-37.5	-15	Ⅱ
AC	35	38	8.6	3	Ⅱ
AD	30	25	-16.7	-5	Ⅱ
AG	38	33	-13.2	-5	Ⅳ
AH	37	22	-40.5	-15	Ⅳ
AI	39	35	-10.3	-4	Ⅱ
AJ	32	28	-12.5	-4	Ⅱ
AL	35	25	-28.6	-10	Ⅳ
AM	36	35	-2.8	-1	Ⅱ
AN	36	31	-13.9	-5	Ⅲ
AO	36	31	-13.9	-5	Ⅲ
AP	36	25	-30.6	-11	Ⅳ
AQ	33	35	6.1	2	Ⅱ
AR	36	31	-13.9	-5	Ⅲ
AS	28	31	10.7	3	Ⅲ
AT	65	43	-33.8	-22	Ⅱ
AU	50	42	-16.0	-8	Ⅱ
AV	35	31	-11.4	-4	Ⅲ
AW	23	31	34.8	8	Ⅲ
AX	27	25	-7.4	-2	Ⅱ
AY	32	28	-12.5	-4	Ⅱ
BB	34	51	50.0	17	Ⅲ
BC	15	26	73.3	11	Ⅰ
BD	29	26	-10.3	-3	Ⅲ
BE	31	54	74.2	23	Ⅳ
BF	32	52	62.5	20	Ⅰ
BH	38	16	-57.9	-22	Ⅳ
BL	17	26	52.9	9	Ⅰ
BM	18	26	44.4	8	Ⅰ
BG	37	55	48.6	18	Ⅱ
AE	33	38	15.2	5	Ⅱ
AF	32	24	-25.0	-8	Ⅱ
AK	11	15	36.4	4	Ⅳ

②潜伏期における発錆有無の予測結果と実損傷の比較

図-3.1.6 に経過年数と発錆の有無の関係を、表-3.1.12 に対象橋梁における発錆状況を示す。潜伏期における発錆有無の整合率は89%となり、概ね妥当であることが確認された。

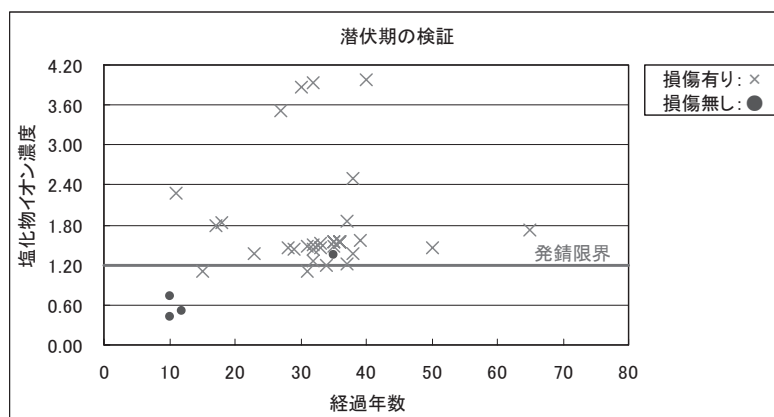


図-3.1.6 潜伏期の検証

③今後の課題

予測年数と実際の経過年数に関しては、今後さらに、健全度ランク別に予測誤差を分析することなどにより、予測精度の詳細検討を進める必要がある。

潜伏期における発錆有無の整合については、今後は、塩分量の予測結果と発錆状況との不整合、特に鉄筋位置での塩化物イオン濃度の予測値が $1.2\text{kg}/\text{cm}^3$ 以下にもかかわらず発錆しているケースの原因について詳細調査し、劣化予測モデルの改良検討を進める必要がある。

表-3.1.12 対象橋梁における発錆状況

(1) 実際に発錆している橋梁

	経過年数	塩化物イオン量	損傷度
1	31	1.49	II
2	40	3.98	II
3	35	1.49	II
4	30	3.86	II
5	38	1.37	IV
6	37	1.85	IV
7	39	1.57	II
8	32	1.43	II
9	35	1.54	IV
10	36	1.55	II
11	36	1.55	III
12	36	1.55	III
13	36	1.55	IV
14	33	1.52	II
15	36	1.55	III
16	28	1.45	III
17	65	1.73	II
18	50	1.45	II
19	35	1.54	III
20	23	1.37	III
21	27	3.52	I
22	29	1.44	III
23	32	1.26	I
24	38	2.50	IV
25	17	1.79	I
26	18	1.84	I
27	37	1.21	II
28	33	1.45	II
29	32	3.93	II
30	11	2.27	IV
31	32	1.50	IV
32	34	1.19	III
33	15	1.10	I
34	31	1.10	IV

(2) 損傷が無い橋梁

	経過年数	塩化物イオン量	損傷度
1	10	0.73	損傷なし
2	10	0.43	損傷なし
3	35	1.35	損傷なし
4	12	0.50	損傷なし

3. 2 RC床版の疲労に対する劣化予測

3. 2. 1 健全度

RC床版の疲労破壊実験結果に基づく研究成果¹⁾によると、疲労損傷度と床版の総たわみ率(総たわみ量/載荷荷重)の関係より表-3.2.1の劣化過程が考えられるとされ、疲労損傷度とひび割れ密度との関係を床版の設計年次で区分し、表-3.2.2の関係が導き出されている。

表-3.2.1 疲労損傷度と劣化過程の関係¹⁾

疲労損傷度	劣化過程
0.0 ~ 0.2	潜伏期 (初期段階)
0.2 ~ 0.5	進展期 (中間期)
0.5 ~ 0.8	加速期 (中間期)
0.8 ~ 1.0	劣化期 (最終段階)

表-3.2.2 疲労損傷度とひび割れ密度の関係¹⁾

疲労損傷度	ひび割れ密度
0.2	6m/m ² (S39 道示)
0.5	8m/m ² (S39 道示)
1.0	10m/m ² (S39 道示)

本システムではこれを参考に、健全度ランクは、表-3.2.3に示すとおりに設定した。

劣化予測に用いる定量的な値は、疲労損傷度とした。表には、ひび割れ密度との関係も参考に示した。

表-3.2.3 RC床版の疲労に対する健全度区分

劣化過程	健全度ランク	定量的な値による評価		劣化状態
		疲労損傷度 D=N/Nf	ひび割れ密度 Cd(m/m ²)	
潜伏期	I	D < 0.1	0 ≤ Cd < 3	ひび割れ無し~1方向ひび割れ
	II	0.1 ≤ D < 0.2	3 ≤ Cd < 6	1方向ひび割れ、格子状でない
進展期	III	0.2 ≤ D < 0.5	6 ≤ Cd < 8	格子状直前~格子状で網細化が進んでいる
加速期	IV	0.5 ≤ D < 0.8	8 ≤ Cd < 9	格子状で、幅0.2mm以上のひび割れがかなり目立ち、部分的角落ち、漏水、遊離石灰も見られる
劣化期	V	0.8 ≤ D < 1.0	9 ≤ Cd	格子状で、ひび割れが貫通し、連続的な角落ち、漏水、遊離石灰が見られる

3. 2. 2 劣化予測モデル

RC床版の疲労に対する健全度は、統計分析を用いるまでのデータが揃っていないこともあり、理論式による疲労損傷度により予測するものとする。

(1) 疲労損傷度の算出

疲労損傷度とは、疲労破壊に至る荷重の繰返し回数に対する、累積される荷重の繰返し回数の比率である。このとき、累積される荷重の繰返し回数は、大型車交通量を用いて算出する。

対象とする床版は「鋼橋」と「コンクリート桁橋」のRC床版のみとし、プレストレスが導入されている床版は対象外とする。

以下に疲労損傷度の算出式を示す。

$$D = \frac{N}{N_f}$$

ここに、 D ：疲労損傷度、 N ：繰返し回数、 N_f ：疲労破壊に至る繰返し回数

①疲労破壊に至る繰返し回数

N_f は、次式に示すマイナー12乗則（松井ら）を用いて算出する。

$$\log\left(\frac{P}{P_{SX}}\right) = -k \log N + \log C$$

ここに、 N ：繰返し回数 P ：基本輪荷重 (kgf)：98kN とする。

k ：0.07835

C ：1.2366 (湿潤状態と仮定)

P_{SX} ：はり状化した床版の静的せん断破壊強度 (kgf)

$$= 2B \cdot (\tau_{max} \cdot X_m + \sigma_{tmax} \cdot C_m)$$

B ：はりの有効幅 (cm) = $b + 2d_d$

b ：載荷版の配力筋方向の辺長 (20cm)

d_d ：引張側配力鉄筋方向の有効高さ (cm) (かぶり深さ、主鉄筋径、配力鉄筋径より計算)

$$= \text{床版厚} - \text{かぶり} - \text{主鉄筋径} - \text{配力鉄筋径}/2$$

τ_{max} ：コンクリートの最大せん断応力度 (kgf/cm²)

$$= 0.252f_{ck} - 0.000246f_{ck}^2$$

X_m ：主鉄筋断面の中立軸深さ (cm) (床版厚、鉄筋量より算出)

$$X_m = -n \frac{(As + As')}{b} + \sqrt{\left\{ \frac{n(As + As')}{b} \right\}^2 + \frac{2n}{b} (dAs + d'As')}$$

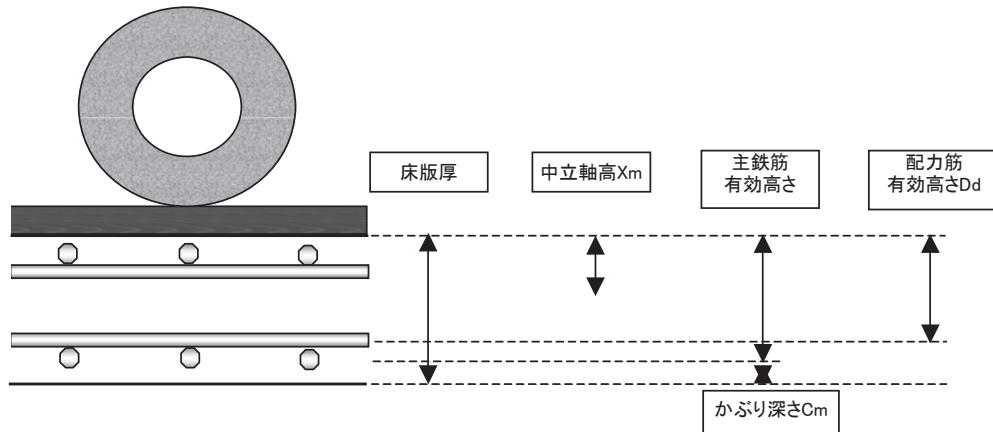
σ_{tmax} ：コンクリートの最大引張応力度 (kgf/cm²) = $0.583f_{ck}^{2/3}$

C_m ：主鉄筋のかぶり深さ (cm)

$$= \text{かぶり} + \text{主鉄筋径}/2$$

f_{ck} ：コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

[出典：2001年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]制定資料 土木学会]^{1,2)}



②繰返し回数

基本輪荷重の繰返し回数は1年単位で設定する。具体には、センサス年度を基準に、過去の交通量については平均伸び率 $\alpha=1.03$ を用いて任意の期間に対する基本荷重の累積繰返し回数 N (台)を算定する。劣化予測を行う将来については、一定($\alpha=1.00$)で推移するものとする。

疲労損傷度を計算する際に必要となる N の具体的な算定手順は、次のとおりである。

- ①交通センサスより、対象とする各橋梁位置での大型車交通量 A を設定
- ②センサス年度における基本輪荷重の繰返し回数 N_d (台/年)を算定

基本輪荷重(98kN)の1日当たり繰返し回数 N_d は、平成6年~12年に全国81箇所の車両重量調査結果を基に設定した次式を用いて(図-3.2.1、図-3.2.2参照。)、大型車交通量を基本輪加重に換算することにより算定する。

$$N_d = 4 \times 10^{-7} \times (A/2)^{2.29}$$

ここに、 N_d : 1日当たりの基本輪荷重の繰返し回数(台/日)

A : 大型車交通量(台/日)

- ③ $N_d \times 365$ 日を、年当たり繰返し回数とする。

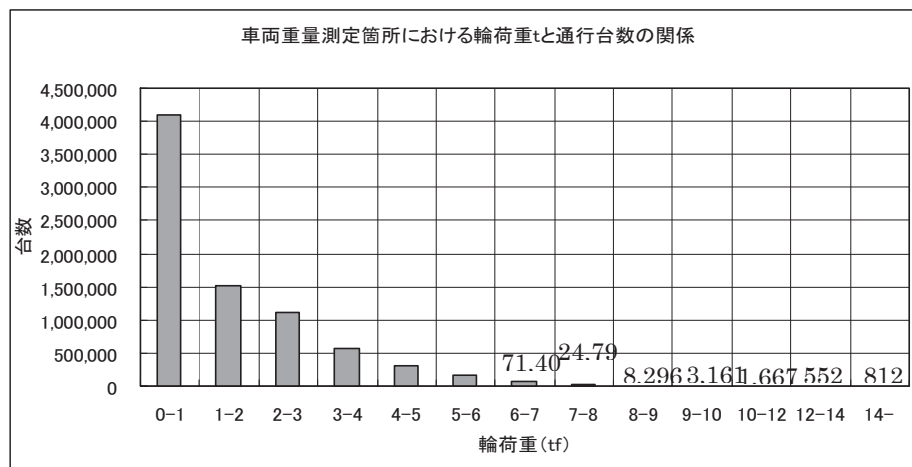


図-3.2.1 各輪荷重の総通行台数分布

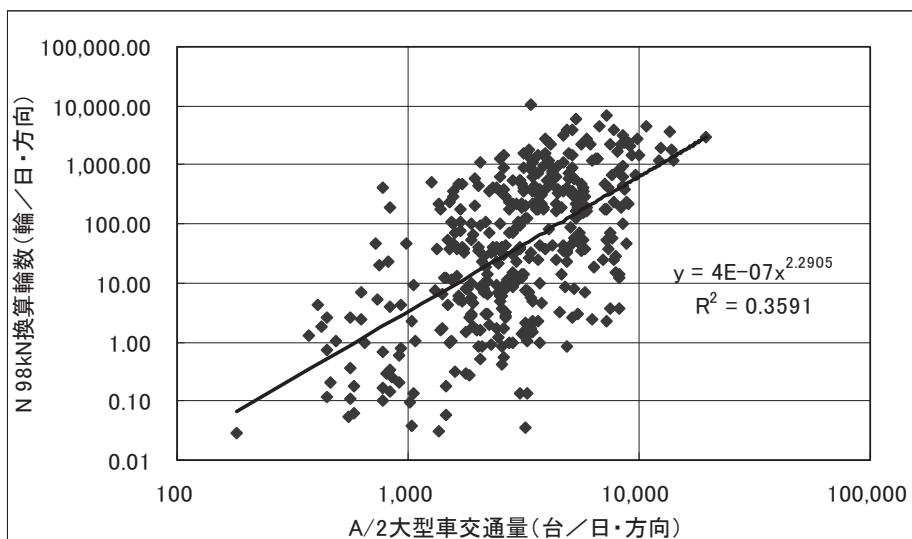


図-3.2.2 大型車交通量と 98kN 換算輪数の関係

(2) 劣化予測モデルの模式図

R C床版疲労の劣化予測モデルの模式図及び健全度ランクのしきい値を、図-3.2.3 及び表-3.2.4 に示す。

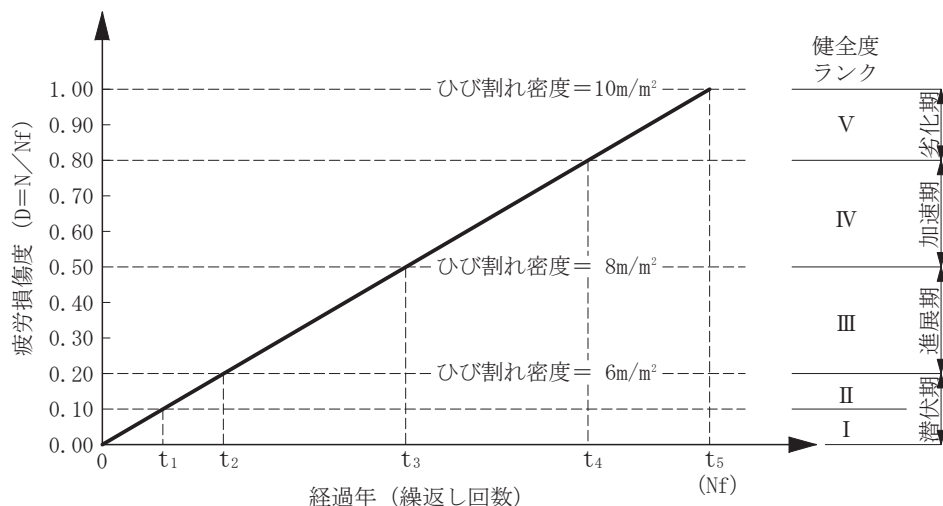


図-3.2.3 健全度（劣化）予測モデル

表-3.2.4 健全度ランクとしきい値の関係

健全度 ランク	劣化過程	疲労損傷度 D=N/Nf	ひび割れ密度 Cd(m/m ²)
I	潜伏期	D < 0.1	0 ≤ Cd < 3
II		0.1 ≤ D < 0.2	3 ≤ Cd < 6
III	進展期	0.2 ≤ D < 0.5	6 ≤ Cd < 8
IV	加速期	0.5 ≤ D < 0.65	8 ≤ Cd < 9
		0.65 ≤ D < 0.8	
V	劣化期	0.8 ≤ D < 1.0	9 ≤ Cd

※：床版防水工がなされていない場合に適用する。

3. 2. 3 現状健全度に対する定量的な値の特定

現状の健全度ランクは、表-3.2.3 の劣化状態から求めることができる。将来の劣化を予測するためには、現状における定量的な値を算出する必要があり、この算出方法は、次のとおりである。

- ・橋梁定期点検における「床版ひび割れ」及び「抜け落ち」の損傷の程度を、表-3.2.5により健全度ランクへ対応させる。なお、「床版ひび割れ」及び「抜け落ち」の両方の損傷がある場合は、「抜け落ち」を優先させる。

表-3.2.5 定期点検結果の健全度ランクへの変換方法（RC床版の疲労）

損傷の種類	H16 定期点検における 損傷程度の区分	疲労損傷度 D への変換	健全度ランク への対応
床版ひび割れ	a	$D = D_1 / 2$ = 0.05	I
	b	$D = (D_1 + D_2) / 2$ = 0.15	II
	c	$D = (D_2 + D_3) / 2$ = 0.35	III
	d	$D = (D_3 + D_4) / 2$ = 0.575	IV-1
	e	$D = (D_4 + D_5) / 2$ = 0.725	IV-2
抜け落ち	e	$D = (D_4 + D_5) / 2$ = 0.725	IV-2

※ $D_1=0.1$ 、 $D_2=0.2$ 、 $D_3=0.5$ 、 $D_4=0.65$ 、 $D_5=0.8$

注：直近の点検が S63 定期点検の場合は、次に示す対応表を用い、H16 定期点検への変換を行う。

定期点検結果の対応表

S63 定期点検					H16 定期点検
損傷の種類	X	Y	Z	判定	損傷程度の区分
床版ひび割れ	小	小	小	IV	a
	小	小	大	IV	b
	小	中	小	IV	c
	小	大	小	III	c
	小	中	大	III	c
	小	大	大	III	c
	大	小	小	IV	c
	大	小	大	III	d
	大	中	小	III	d
	大	大	小	II	d
	大	中	大	II	e
抜け落ち	—	大	—	II	e

3. 2. 4 将来健全度の評価フロー

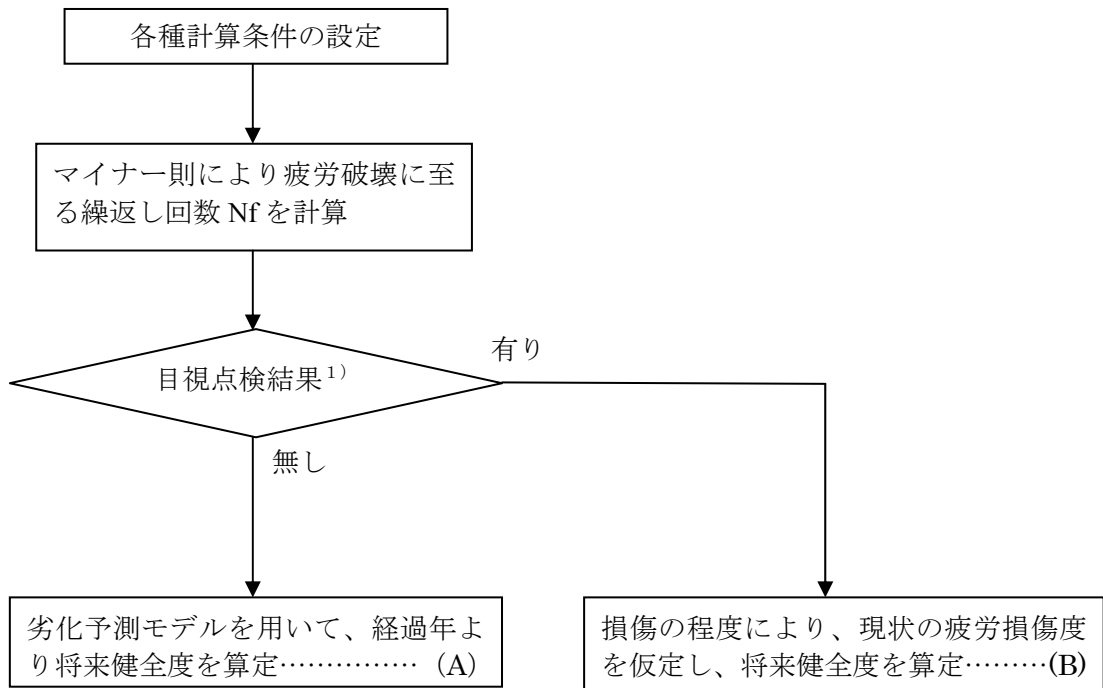
RC床版の疲労を受ける個々の橋梁について、図-3.2.4のフローにしたがい、将来健全度評価を行う。

まず、3. 2. 2によって疲労破壊に至る繰り返し回数 N_f を計算する。

そして、目視点検の有無を確認し、無しの場合（直轄では定期点検を実施しており、このケースは極稀である。）は（A）のフローに進む。有りの場合は、（B）のフローに進む。

（A）のフローは、点検結果がない場合であり、床版ひび割れ又は抜け落ちの状況から疲労損傷度を求めることができないことから、劣化予測モデルをそのまま用いて将来予測を行うものである。

（B）のフローは、床版ひび割れ又は抜け落ちの点検結果から、点検時の疲労損傷度を求め、その値と劣化予測モデルから計算される値が一致するよう、劣化モデルを修正する（ N_f を変更する。）。補正した劣化モデルにて、将来予測を行う。



1) 定期点検など、近接目視により損傷度を判定する点検

図-3.2.4 RC床版の健全度評価フロー(start)

(A) 劣化予測モデルをそのまま用いて、経過年より将来健全度を算定

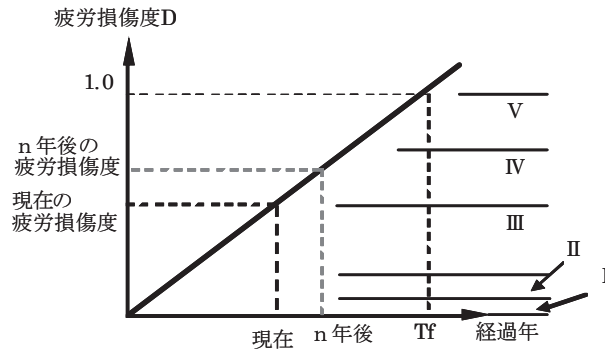


図-3.2.4 RC床版の健全度評価フロー(A)

(B) 定期点検結果から得られたデータを用いて点検時健全度を一致させた後、将来健全度を算定

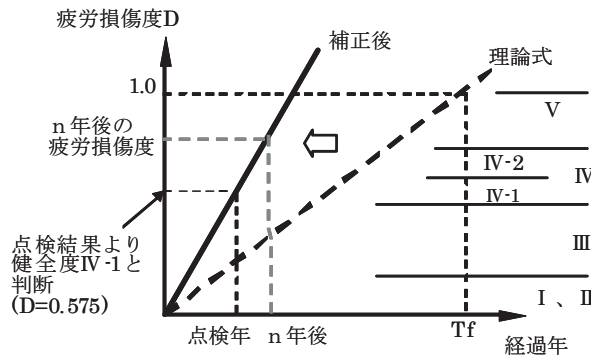


図-3.2.4 RC床版の健全度評価フロー(B)

3.2.5 劣化予測モデルの検証

(1) 検証方法

RC床版の劣化予測モデルについて、架設年、床版厚、床版支間長、大型車交通量による分析を行い、次の方法により検証した。

- ・ RC床版の点検結果(又は補修工法)から想定される疲労損傷に対し、点検時点の経過年数(補修時点の経過年数)と、その損傷状態に至る予測年数の差による検証を行う。
- ・ なお、床版は、常時湿潤状態と仮定とする。


(2) 分析パラメータの設定

① 架設年

1970年以前と1971年以降でRC床版の設計基準(曲げモーメント式、鉄筋の許容応力度、コンクリートの設計基準強度等)が変わっているため、旧基準(1970年以前)(以下「旧」という。)で設計された橋梁と新基準(1971年以降)(以下「新」という。)で設計された橋梁の分類を行う。


② 床版厚

床版厚については、次の3種類に分類する。

- ・ 床版厚 15、16、17cm・・・薄い
- ・ 床版厚 18、19cm 
- ・ 床版厚 20cm・・・厚い

③ 床版支間

床版支間については、次の3種類に分類する。

- ▲ 床版支間Lが短い・・・ $(L - L_a) < -0.2$ [単位：m]
- ・・・ $-0.2 \leq (L - L_a) \leq 0.2$
- ◆ 床版支間Lが長い・・・ $(L - L_a) > 0.2$

※床版支間の長短は、床版厚によって定めた想定床版支間長 L_a (表-3.2.6 参照) に対しての相対的長短を表している。 L_a は、旧・新での適用基準を元に床版の断面計算を参考に決定した。

表-3.2.6 想定床版支間長 L_a

床版厚	～S45	S46～
t=15	2.80	1.80
t=16	3.00	2.00
t=17	3.20	2.20
t=18	3.30	2.40
t=19	3.50	2.60
t=20	3.80	2.90

④ 大型車交通量

大型車交通量は、次の3種類に分類する。

- ・ 12,000 台未満・・・少ない
- ・ 12,000 台以上 30,000 台未満 
- ・ 30,000 台以上・・・多い

(3) 検証対象橋梁

検証対象の橋梁は、全国のRC床版を有する橋梁のうち、次の条件に当てはまる57橋とする。

- ① 大型車交通量(24時間)が9,000台以上の橋梁
- ② 点検前に補修履歴がない橋梁
- ③ 床版厚と床版支間が明確で、床版厚が15cm～20cmの橋梁
- ④ 点検前に補修履歴がある場合は、補修工法が明確な橋梁

この場合、次を仮定した。

- ・ 縦桁、床版桁増設が点検前に行われている場合は、点検年をその補修が行われた年とし、健全度ランクはIV-1(疲労損傷度0.50)に対応するものとする。
- ・ 全長打ち換えが点検前に行われている場合は、点検年をその補修が行われた年とし、健全度ランクはIV-2(疲労損傷度0.70)に対応するものとする。
- ・ 補修内容が「床版(その他)」の場合は軽微な補修であると判断し、補修歴があるとみなさず、点検結果をそのまま用いる。

検討対象橋梁の諸元を、表-3.2.7に示す。

表-3.2.7 R C床版検討対象橋梁の諸元

	名称	架設竣工年	点検年	経過年	大型車交通量	車線数	センサ年	床版厚さ (cm)	床版支間	床版主鉄筋	床版配力筋	疲労損傷度
1	A	1961	1996	35	13399	4	1997	18.0	2.30	D16 @ 25.0	D13 @ 15.0	0.70
2	B	1955	1996	41	14793	4	1997	16.0	1.60	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.70
3	C	1951	2002	51	15228	4	1997	17.0	2.80	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
4	D	1964	1994	30	16878	4	1997	19.0	3.00	D16 @ 20.0	D13 @ 24.0	0.35
5	E	1963	1991	28	16093	6	1997	18.0	3.45	D16 @ 15.0	D13 @ 30.0	0.50
6	F	1963	1991	28	23104	6	1997	19.0	3.20	D16 @ 26.8	D13 @ 10.0	0.50
7	G	1973	1999	26	52595	6	1997	20.0	2.90	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
8	H	1964	1983	19	39500	6	1997	20.0	4.00	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.70
9	I	1972	1987	15	33926	6	1997	20.0	3.45	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
10	J	1973	1987	14	52595	6	1997	20.0	3.45	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
11	K	1968	1994	26	52595	6	1997	18.0	2.90	D16 @ 10.0	D13 @ 22.0	0.50
12	L	1965	1988	23	42269	6	1997	19.0	2.10	D16 @ 15.0	D13 @ 21.0	0.50
13	M	1962	1984	22	38000	6	1997	17.0	2.90	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.70
14	N	1973	1999	26	33926	6	1997	20.0	2.90	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.35
15	N	1973	1999	26	33926	6	1997	20.0	2.90	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.35
16	O	1964	1985	21	39500	6	1997	17.0	2.80	D16 @ 10.0	D13 @ 20.0	0.50
17	P	1974	1988	14	39500	6	1997	20.0	2.90	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
18	Q	1961	1988	27	29629	4	1997	18.0	2.30	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
19	R	1974	1988	14	52595	6	1997	20.0	2.90	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
20	s	1972	1986	14	33926	6	1997	20.0	3.45	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
21	T	1964	1996	32	52595	6	1997	16.0	1.86	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
22	U	1968	1986	18	39500	6	1997	18.0	3.00	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
23	V	1966	1991	25	13287	6	1997	18.0	2.45	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
24	W	1973	1991	18	13287	6	1997	18.0	2.45	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
25	X	1964	1996	32	13876	6	1997	18.0	3.00	D16 @ 10.0	D13 @ 25.0	0.50
26	Y	1967	1991	24	11835	6	1997	19.0	3.20	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
27	Z	1978	1996	18	9800	4	1997	19.0	2.40	D16 @ 20.0	D16 @ 27.0	0.35
28	AA	1968	1996	28	13331	4	1997	18.0	3.25	D16 @ 10.0	D13 @ 25.0	0.50
29	AB	1969	1996	27	13331	4	1997	18.0	3.20	D16 @ 10.0	D13 @ 20.0	0.50
30	AC	1968	1995	27	10333	4	1999	16.0	3.10	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
31	AD	1974	1995	21	10333	4	1999	16.0	1.00	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.35
32	AE	1963	1996	33	10247	4	1999	15.0	1.52	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
33	AF	1970	1994	24	12843	4	1997	20.0	2.70	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
34	AG	1969	1998	29	18390	4	1997	17.0	2.60	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
35	AH	1976	2002	26	15315	4	1997	17.0	1.80	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
36	AI	1972	1998	26	15315	4	1997	20.0	2.75	D16 @ 25.0	D16 @ 10.0	0.35
37	AJ	1977	2002	25	20078	4	1999	19.0	3.60	D22 @ 25.0	D13 @ 12.5	0.15
38	AK	1970	1998	28	10370	4	1999	19.0	2.25	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
39	AL	1974	2002	28	18348	4	1999	19.0	2.30	D19 @ 12.5	D16 @ 25.0	0.35
40	AM	1968	1998	30	20426	4	1991	16.0	1.00	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
41	AN	1961	1998	37	23818	8	1994	19.0	1.70	D16 @ 12.5	D16 @ 30.0	0.35
42	AO	1961	1998	37	23818	8	1994	19.0	1.70	D16 @ 12.5	D16 @ 30.0	0.35
43	AP	1968	1997	29	11597	2	1994	19.0	2.49	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.35
44	AQ	1962	1995	33	10309	2	1994	17.0	3.00	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
45	AR	1977	2001	24	21135	4	1994	16.0	0.98	D16 @ 20.0	D13 @ 30.0	0.50
46	AS	1987	1997	10	10633	2	1994	16.0	1.00	D16 @ 15.0	D13 @ 30.0	0.35
47	AT	1949	1989	40	9279	6	1994	19.0	5.50	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
48	AU	1964	2001	37	11903	4	1994	18.0	9.70	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.50
49	AV	1974	1995	21	9244	4	1990	18.0	3.50	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.15
50	AW	1968	1997	29	11244	6	1997	18.0	3.25	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.70
51	AX	1975	1997	22	11244	6	1997	18.0	3.25	D19 @ 15.0	D19 @ 30.0	0.50
52	AY	1968	2002	34	42269	6	1997	18.0	2.10	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
53	AZ	1968	2002	34	42269	6	1997	18.0	2.10	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.70
54	CA	1972	1996	24	9800	4	1997	19.0	2.40	D16 @ 10.0	D16 @ 26.0	0.50
55	CB	1973	1996	23	9800	4	1997	17.0	2.00	D16 @ 10.0	D16 @ 22.0	0.50
56	CC	1969	1994	25	23513	4	1994	16.0	1.65	D16 @ 15.0	D16 @ 30.0	0.35
57	CD	1971	1996	25	10650	6	1994	19.0	2.60	D16 @ 20.0	D16 @ 30.0	0.50

(4) 分析結果

①架設年

架設年の新・旧で区分した実経過年と予測年数の関係を、図-3.2.5に示す。旧は予測年数が短く下側に分布する点が多く、一方、新の分布は全体に及んでおり特徴がないと言える。

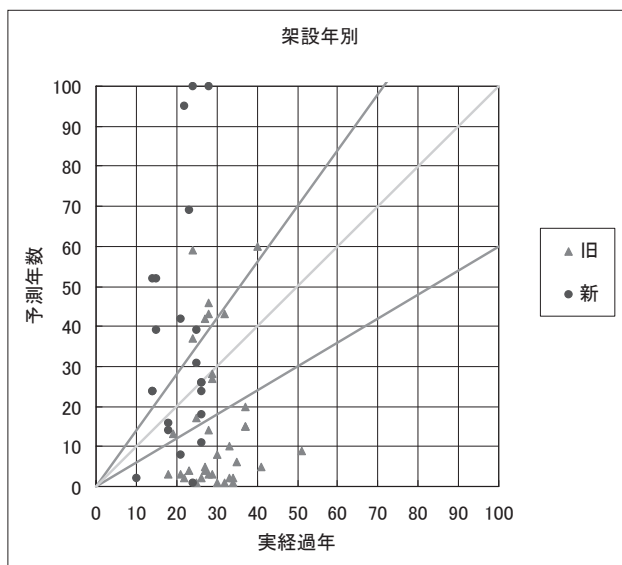


図-3.2.5 架設年別集計

②床版厚

床版厚で区分した実経過年と予測年数の関係を、図-3.2.6に示す。床版厚が「薄」い点は予測年数が小さく下側に分布しているのに対し、床版厚が「厚」い点は予測年数が大きく上側に分布している。床版厚が「並」の点は全体に及んでおり、特徴は見られない。

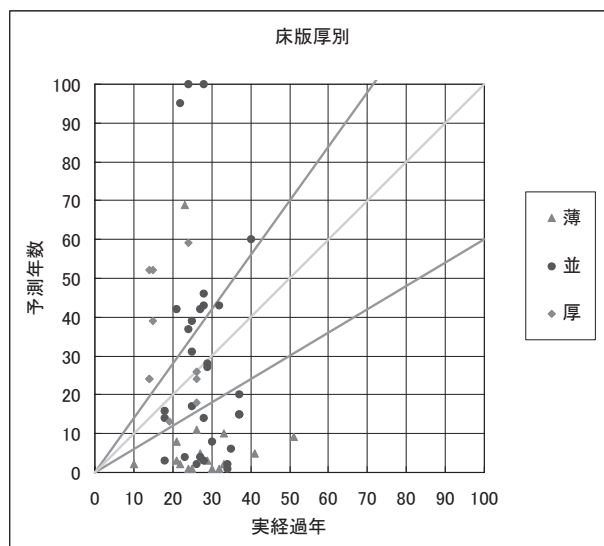


図-3.2.6 床版厚別集計

③大型車交通量

大型車交通量で区分した実経過年と予測年数の関係を、図-3.2.7に示す。交通量による分布に傾向は見られない。

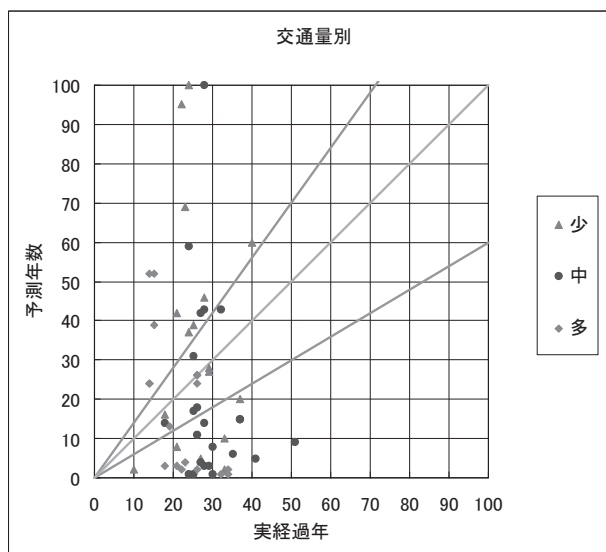


図-3.2.7 交通量別集計

④床版支間

架設年の新・旧別に、床版支間で区分した実経過年と予測年数の比較を、図-3.2.8、図-3.2.9にそれぞれ示す。

架設年が「旧」の場合、床版支間の短い▲は予測年数が小さい下側に分布している。

架設年が「新」の場合、床版支間の短い▲は予測年数が小さい下側に分布しており、床版支間の長い◆は予測年数の大きい上側に分布しているのがわかる。

「新」「旧」をまとめて、図-3.2.10、表-3.2.9に示す。図の上下の線以内（誤差40%以内）の橋梁は全体の22%である。

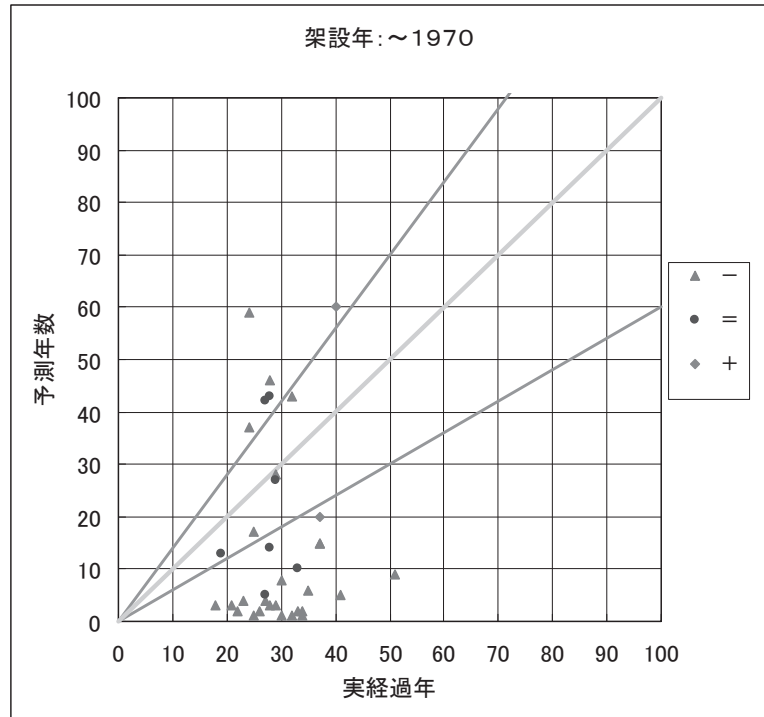


図-3.2.8 旧の床版支間別集計

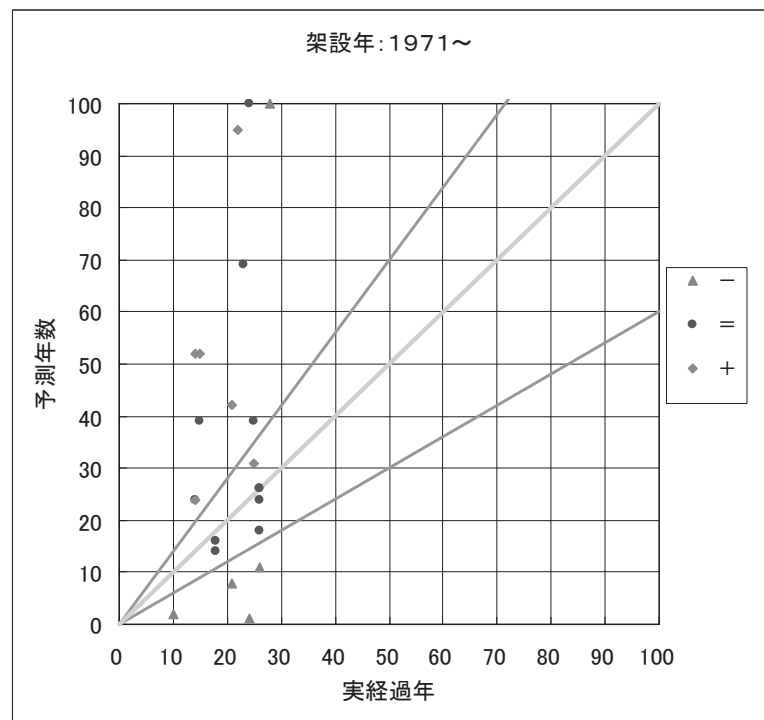


図-3.2.9 新の床版支間別集計

- ▲ : 支間短い
- : 支間中
- ◆ : 支間長い

(5) 今後の課題

今後さらに、予測精度を向上させるための検討を進める必要がある。
 参考に、検討状況を次に示す。

○補正係数の設定

(4) の分析はマイナー12乗則(松井ら)の式によって行っており、それには床版支間Lは考慮されていない。鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式(土木学会論文集第348号/V-1 1984年8月¹³⁾)の論文によれば、支持スパン長(L)の載荷板長(a)に対する比が4以下の場合、せん断耐荷力式に修正提案式を適用している。また、床版支間と床版厚との比(L/t)をパラメータにとると、L/tが小さくなると破壊形式がせん断圧縮破壊となり、破壊強度は大きくなる。一方、L/tが大きくなると曲げ破壊が卓越してくるため破壊強度は低下すると考えられる。そこで、床版支間と床版厚による補正を試みることにする。

補正の方法は、床版支間と床版厚による補正係数(表-3.2.8参照)をせん断破壊強度 P_{sx} に乗じることにより行うこととする。

この補正係数で補正したケースを図-3.2.11、表-3.2.10に示す。実経過年と予測年数の誤差が40%以内に入る橋梁は44%となり、床版支間長の補正により予測精度が向上したことが確認できる。

表-3.2.8 床版支間長による補正係数

架設年：S45以前

床版厚(cm)	$L-La < -0.2$	$-0.2 \leq L-La \leq 0.2$	$0.2 \leq L-La$
t=15	1.25	1.0	1.0
t=16			
t=17			
t=18	1.20		
t=19			
t=20			
t=21			

架設年：S46以降

床版厚(cm)	$L-La < -0.2$	$-0.2 \leq L-La \leq 0.2$	$0.2 \leq L-La$
t=15	1.05	1.0	1.0
t=16			
t=17		1.0	0.95
t=18			
t=19	1.00	1.0	0.9
t=20			
t=21			

注：Lは床版支間(m)。

Laは想定床版支間(m)であり、表-3.2.6から求める。

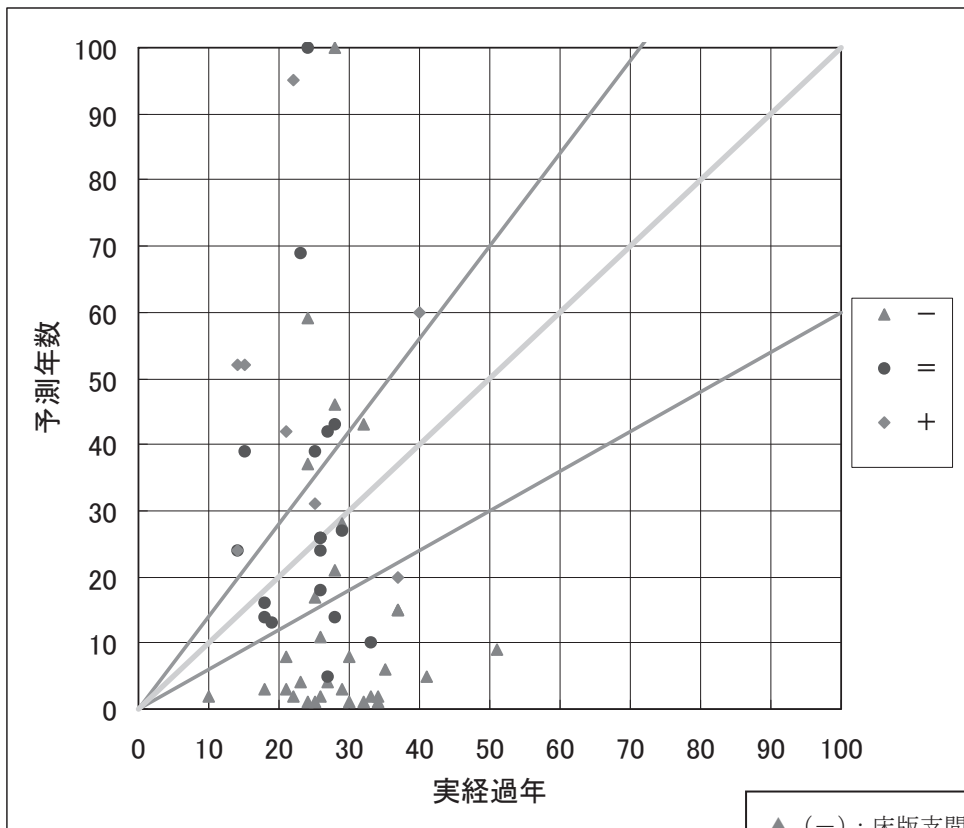


図-3.2.10 床版支間別集計

- ▲ (-) : 床版支間短い
- (=)
- ◆ (+) : 床版支間長い

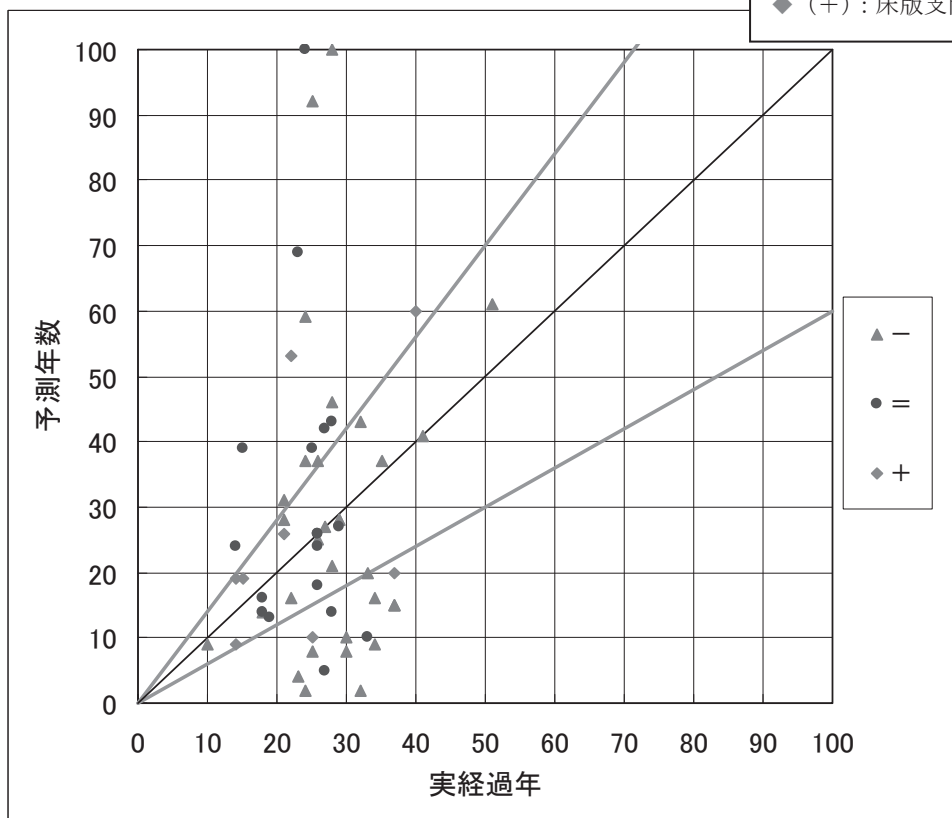


図-3.2.11 補正係数を設定した場合の床版支間別集計

表-3.2.9 補正無しの場合

	名称	実経過年	予測年数	誤差	床版厚さ (cm)	架設 竣工年	床版支間 L(m)	想定床版支間 La(m)	L-La	交通量
1	A	35	6	-29	18.0	1961	2.30	3.30	-1.00	13399
2	B	41	5	-36	16.0	1955	1.60	3.00	-1.40	14793
3	C	51	9	-42	17.0	1951	2.80	3.20	-0.40	15228
4	D	30	8	-22	19.0	1964	3.00	3.50	-0.50	16878
5	E	28	14	-14	18.0	1963	3.45	3.30	0.15	16093
6	F	28	21	-7	19.0	1963	3.20	3.50	-0.30	23104
7	G	26	24	-2	20.0	1973	2.90	2.90	0.00	52595
8	H	19	13	-6	20.0	1964	4.00	3.80	0.20	39500
9	I	15	52	37	20.0	1972	3.45	2.90	0.55	33926
10	J	14	24	10	20.0	1973	3.45	2.90	0.55	52595
11	K	26	2	-24	18.0	1968	2.90	3.30	-0.40	52595
12	L	23	4	-19	19.0	1965	2.10	3.50	-1.40	42269
13	M	22	2	-20	17.0	1962	2.90	3.20	-0.30	38000
14	N	26	26	0	20.0	1973	2.90	2.90	0.00	33926
15	N	26	26	0	20.0	1973	2.90	2.90	0.00	33926
16	O	21	3	-18	17.0	1964	2.80	3.20	-0.40	39500
17	P	15	39	24	20.0	1974	2.90	2.90	0.00	39500
18	Q	27	4	-23	18.0	1961	2.30	3.30	-1.00	29629
19	R	14	24	10	20.0	1974	2.90	2.90	0.00	52595
20	S	14	52	38	20.0	1972	3.45	2.90	0.55	33926
21	T	32	1	-31	16.0	1964	1.86	3.00	-1.14	52595
22	U	18	3	-15	18.0	1968	3.00	3.30	-0.30	39500
23	V	25	17	-8	18.0	1966	2.45	3.30	-0.85	13287
24	W	18	14	-4	18.0	1973	2.45	2.40	0.05	13287
25	X	32	43	11	18.0	1964	3.00	3.30	-0.30	13876
26	Y	24	37	13	19.0	1967	3.20	3.50	-0.30	11835
27	Z	18	16	-2	19.0	1978	2.40	2.60	-0.20	9800
28	AA	28	43	15	18.0	1968	3.25	3.30	-0.05	13331
29	AB	27	42	15	18.0	1969	3.20	3.30	-0.10	13331
30	AC	27	5	-22	16.0	1968	3.10	3.00	0.10	10333
31	AD	21	8	-13	16.0	1974	1.00	2.00	-1.00	10333
32	AE	33	2	-31	15.0	1963	1.52	2.80	-1.28	10247
33	AF	24	59	35	20.0	1970	2.70	3.80	-1.10	12843
34	AG	29	3	-26	17.0	1969	2.60	3.20	-0.60	18390
35	AH	26	11	-15	17.0	1976	1.80	2.20	-0.40	15315
36	AI	26	18	-8	20.0	1972	2.75	2.90	-0.15	15315
37	AJ	25	31	6	19.0	1977	3.60	2.60	1.00	20078
38	AK	28	46	18	19.0	1970	2.25	3.50	-1.25	10370
39	AL	28	100	72	19.0	1974	2.30	2.60	-0.30	18348
40	AM	30	1	-29	16.0	1968	1.00	3.00	-2.00	20426
41	AN	37	15	-22	19.0	1961	1.70	3.50	-1.80	23818
42	AO	37	15	-22	19.0	1961	1.70	3.50	-1.80	23818
43	AP	29	28	-1	19.0	1968	2.49	3.50	-1.01	11597
44	AQ	33	10	-23	17.0	1962	3.00	3.20	-0.20	10309
45	AR	24	1	-23	16.0	1977	0.98	2.00	-1.02	21135
46	AS	10	2	-8	16.0	1987	1.00	2.00	-1.00	10633
47	AT	40	60	20	19.0	1949	5.50	3.50	2.00	9279
48	AU	37	20	-17	18.0	1964	9.70	3.30	6.40	11903
49	AV	21	42	21	18.0	1974	3.50	2.40	1.10	9244
50	AW	29	27	-2	18.0	1968	3.25	3.30	-0.05	11244
51	AX	22	95	73	18.0	1975	3.25	2.40	0.85	11244
52	AY	34	1	-33	18.0	1968	2.10	3.30	-1.20	42269
53	AZ	34	2	-32	18.0	1968	2.10	3.30	-1.20	42269
54	CA	24	100	76	19.0	1972	2.40	2.60	-0.20	9800
55	CB	23	69	46	17.0	1973	2.00	2.20	-0.20	9800
56	CC	25	1	-24	16.0	1969	1.65	3.00	-1.35	23513
57	CD	25	39	14	19.0	1971	2.60	2.60	0.00	10650

表-3.2.10 補正係数を設定した場合

	名称	実経過年 A	予測年数 B	誤差 B/A	床版厚さ (cm)	架設 竣工年	床版支間 L(m)	想定床版支間 La(m)	L-La	交通量	疲労損傷度
1	A	35	37	1.0571	18.0	1961	2.30	3.30	-1.00	13399	0.70
2	B	41	41	1.0000	16.0	1955	1.60	3.00	-1.40	14793	0.70
3	C	51	61	1.1961	17.0	1951	2.80	3.20	-0.40	15228	0.50
4	D	30	8	0.2667	19.0	1964	3.00	3.50	-0.50	16878	0.35
5	E	28	14	0.5000	18.0	1963	3.45	3.30	0.15	16093	0.50
6	F	28	21	0.7500	19.0	1963	3.20	3.50	-0.30	23104	0.50
7	G	26	24	0.9231	20.0	1973	2.90	2.90	0.00	52595	0.50
8	H	19	13	0.6842	20.0	1964	4.00	3.80	0.20	39500	0.70
9	I	15	19	1.2667	20.0	1972	3.45	2.90	0.55	33926	0.50
10	J	14	9	0.6429	20.0	1973	3.45	2.90	0.55	52595	0.50
11	K	26	25	0.9615	18.0	1968	2.90	3.30	-0.40	52595	0.50
12	L	23	4	0.1739	19.0	1965	2.10	3.50	-1.40	42269	0.50
13	M	22	16	0.7273	17.0	1962	2.90	3.20	-0.30	38000	0.70
14	N	26	26	1.0000	20.0	1973	2.90	2.90	0.00	33926	0.35
15	N	26	26	1.0000	20.0	1973	2.90	2.90	0.00	33926	0.35
16	O	21	31	1.4762	17.0	1964	2.80	3.20	-0.40	39500	0.50
17	P	15	39	2.6000	20.0	1974	2.90	2.90	0.00	39500	0.50
18	Q	27	27	1.0000	18.0	1961	2.30	3.30	-1.00	29629	0.50
19	R	14	24	1.7143	20.0	1974	2.90	2.90	0.00	52595	0.50
20	S	14	19	1.3571	20.0	1972	3.45	2.90	0.55	33926	0.50
21	T	32	2	0.0625	16.0	1964	1.86	3.00	-1.14	52595	0.35
22	U	18	14	0.7778	18.0	1968	3.00	3.30	-0.30	39500	0.50
23	V	25	92	3.6800	18.0	1966	2.45	3.30	-0.85	13287	0.50
24	W	18	14	0.7778	18.0	1973	2.45	2.40	0.05	13287	0.50
25	X	32	43	1.3438	19.0	1964	3.00	3.30	-0.30	13876	0.50
26	Y	24	37	1.5417	19.0	1967	3.20	3.50	-0.30	11835	0.50
27	Z	18	16	0.8889	19.0	1978	2.40	2.60	-0.20	9800	0.35
28	AA	28	43	1.5357	18.0	1968	3.25	3.30	-0.05	13331	0.50
29	AB	27	42	1.5556	18.0	1969	3.20	3.30	-0.10	13331	0.50
30	AC	27	5	0.1852	16.0	1968	3.10	3.00	0.10	10333	0.50
31	AD	21	28	1.3333	16.0	1974	1.00	2.00	-1.00	10333	0.35
32	AE	33	20	0.6061	15.0	1963	1.52	2.80	-1.28	10247	0.35
33	AF	24	59	2.4583	20.0	1970	2.70	3.80	-1.10	12843	0.50
34	AG	29	28	0.9655	17.0	1969	2.60	3.20	-0.60	18390	0.35
35	AH	26	37	1.4231	17.0	1976	1.80	2.20	-0.40	15315	0.50
36	AI	26	18	0.6923	20.0	1972	2.75	2.90	-0.15	15315	0.35
37	AJ	25	10	0.4000	19.0	1977	3.60	2.60	1.00	20078	0.15
38	AK	28	46	1.6429	19.0	1970	2.25	3.50	-1.25	10370	0.50
39	AL	28	100	3.5714	19.0	1974	2.30	2.60	-0.30	18348	0.35
40	AM	30	10	0.3333	16.0	1968	1.00	3.00	-2.00	20426	0.35
41	AN	37	15	0.4054	19.0	1961	1.70	3.50	-1.80	23818	0.35
42	AO	37	15	0.4054	19.0	1961	1.70	3.50	-1.80	23818	0.35
43	AP	29	28	0.9655	19.0	1968	2.49	3.50	-1.01	11597	0.35
44	AQ	33	10	0.3030	17.0	1962	3.00	3.20	-0.20	10309	0.35
45	AR	24	2	0.0833	16.0	1977	0.98	2.00	-1.02	21135	0.50
46	AS	10	9	0.9000	16.0	1987	1.00	2.00	-1.00	10633	0.35
47	AT	40	60	1.5000	19.0	1949	5.50	3.50	2.00	9279	0.50
48	AU	37	20	0.5405	18.0	1964	9.70	3.30	6.40	11903	0.50
49	AV	21	26	1.2381	18.0	1974	3.50	2.40	1.10	9244	0.15
50	AW	29	27	0.9310	18.0	1968	3.25	3.30	-0.05	11244	0.70
51	AX	22	53	2.4091	18.0	1975	3.25	2.40	0.85	11244	0.50
52	AY	34	9	0.2647	18.0	1968	2.10	3.30	-1.20	42269	0.35
53	AZ	34	16	0.4706	18.0	1968	2.10	3.30	-1.20	42269	0.70
54	CA	24	100	4.1667	19.0	1972	2.40	2.60	-0.20	9800	0.50
55	CB	23	69	3.0000	17.0	1973	2.00	2.20	-0.20	9800	0.50
56	CC	25	8	0.3200	16.0	1969	1.65	3.00	-1.35	23513	0.35
57	CD	25	39	1.5600	19.0	1971	2.60	2.60	0.00	10650	0.50

3. 3 鋼部材の塗装劣化・腐食の劣化予測

3. 3. 1 健全度

鋼部材の塗装劣化・腐食の健全度を予測する対象は、鋼部材の塗膜劣化から腐食に至る一連の劣化過程のうち、部材全体に平均的に進行する劣化のみとした。漏水、滞水等により比較的厳しい腐食環境にある桁端部や支承部周辺に見られるような局部的な劣化については、本システムから離れて、個別に評価、対応を行う必要がある。

「鋼橋塗膜調査マニュアル、(社)日本鋼構造協会」¹⁴⁾によると、外観状態とさび発生面積との対応について表-3.3.1が示されている。

表-3.3.1 さび発生面積と塗膜劣化レベル¹⁴⁾

評価点 (RN)	発生状態		さび発生限界標準図
	発生面積(%)	外観状態	
3	$X < 0.03$	異常なし。 誰が見ても外観的にはさびが認められないか、さびらしきものがあったとしても無視し得る程度のも	
2	$0.03 \leq X < 0.3$	僅かにさびが見られる。 さびが観測される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。	
1	$0.3 \leq X < 5.0$	明らかにさびが見られる。 誰が見ても発錆部分が多く、何らかの処置をほどこさなければならない状態。	
0	$5.0 \leq X$	見かけ上ほぼ全面にわたってさびが見られる。早急に塗料を塗り直さなければならない状態。	

評価点 (RN) の内容

評価点	内容
3	異常又は劣化が全く認められないか、もしあったとしても極めて局部的でしかも微小なため、塗膜の機能から無視し得る程度のも。
2	異常又は劣化はやや見られるが、塗膜機能は維持している。
1	異常又は劣化は相当進み、塗膜は機能の極限に達しているか、すでに越えている。
0	異常又は劣化が進み、塗膜の存在価値を失っている。

本システムではこれを参考に、健全度ランクは、鋼部材の塗装の劣化過程毎に、表-3.3.2に示すとおりに設定した。

劣化予測に用いる定量的な値は、さび発生面積とした。

表-3.3.2 鋼部材の塗装劣化に対する健全度区分

劣化過程	健全度 ランク	定量的な値による評価	劣化状態
		さび発生面積 (%)	
1. 健全	I、II	$X < 0.03$	異常なし。 誰が見ても外観的にはさびが認められないか、さびらしきものがあっても無視し得る程度のもの
2. 点さび発生	III	$0.03 \leq X < 0.3$	僅かにさびが見られる。 さびが観測される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。
3. 全面点さび 4. 防錆効果の失効	IV	$0.3 \leq X < 5.0$	明らかにさびが見られる。 誰が見ても発錆部分が多く、何らかの処置を施さなければならない状態。
5. 全面さび	V	$5.0 \leq X$	見かけ上ほぼ全面にわたってさびが見られる。早急に塗料を塗り直さなければならない状態。

3. 3. 2 劣化予測モデル

鋼部材の塗装劣化・腐食に関する予測モデルは、統計データが比較的多く揃っていることから統計分析を用い、さび発生面積 0.03%、0.3%、5.0%となる経過年数を直線式で設定する。図-3.3.1 に劣化予測モデルを示す。

①さび発生面積が 0.03%に達する t1 年

後述の定期点検結果の分析結果から得られた、塩害地域以外で一般塗装系の平均経過年数を用い、次式にて設定する。

定期点検結果の分析結果

- ・さび発生面積が 0.03%に達する年数… 6 年
- ・さび発生面積が 0.3%に達する年数… 11 年

→ さび発生面積が 0.3%に達する年数 t2 年 (②) の 6/11 年目とする。

②さび発生面積が 0.3%に達する t2 年

塗装の塗替え時期と考えられるため、後述の定期点検結果の分析結果及び塗装に関する文献を参考に設定する。

③さび発生面積が 5.0%に達する t3 年

後述の定期点検結果の分析結果から得られた、塩害地域以外で一般塗装系の平均経過年数を用い、次式にて設定する。

定期点検結果の分析結果

- ・さび発生面積が 0.3%に達する年数… 11 年
- ・さび発生面積が 5.0%に達する年数… 15 年

→ さび発生面積が 0.3%に達する年数 t2 年 (②) の 15/11 年目とする。

以上の結果を、表-3.3.3 に示す。

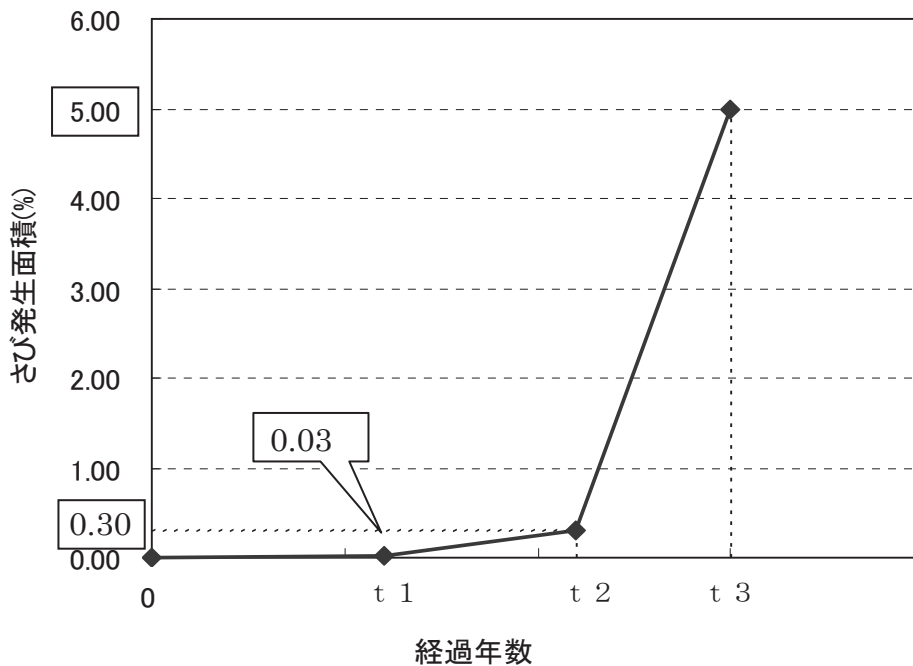


図-3.3.1 健全度（劣化）予測モデル

表-3.3.3 塗装系別塗替え間隔設定値

塗装仕様	t 1		t 2		t 3	
	塩害地域以外	塩害地域	塩害地域以外	塩害地域	塩害地域以外	塩害地域
一般塗装系（A,B 塗装系）	8年	適用外	15年	適用外	21年	適用外
重防食塗装系（C 塗装系、ふっ素樹脂塗装）	27年	16年	50年	30年	68年	41年

3. 3. 3 現状健全度に対する定量的な値の特定

現状の健全度ランクは、表-3.3.2の劣化状態から求めることができる。将来の劣化を予測するためには、現状における定量的な値を算出する必要があり、この算出方法は次のとおりとする。

- ・定期点検結果における「腐食」及び「防食機能の劣化」の損傷の程度を、表-3.3.4によりさび発生面積に変換する。なお、「腐食」及び「防食機能の劣化」の両方の損傷がある場合は、「腐食」を優先する。

表-3.3.4 定期点検結果のさび発生面積への変換方法(腐食・防食機能の劣化)

損傷の種類	区分	H16 定期点検における 損傷程度の区分		さび発生面積 への変換
		損傷の深さ	損傷の面積	
腐食	b	小	小	0.0%
	c	小	大	0.0%
	d	大	小	5.0%
	e	大	大	
防食機能の劣化	c	—	—	0.0%
	c	—	—	0.0%
	d	—	—	0.03%
	e	—	—	0.3%

注：直近の点検が S63 定期点検の場合は、次に示す対応表を用い、H16 定期点検への変換を行う。

定期点検結果の対応表

S63 定期点検				H16 定期点検
損傷の種類	Y	Z	判定	損傷程度の区分
腐食	小	小	III	b
	小	大	II	c
	大	小	II	d
	大	大	II	e
塗装劣化	小	小	OK	c
	小	大	IV	c
	大	小	IV	d
	大	大	III	e

3. 3. 4 将来健全度の評価フロー

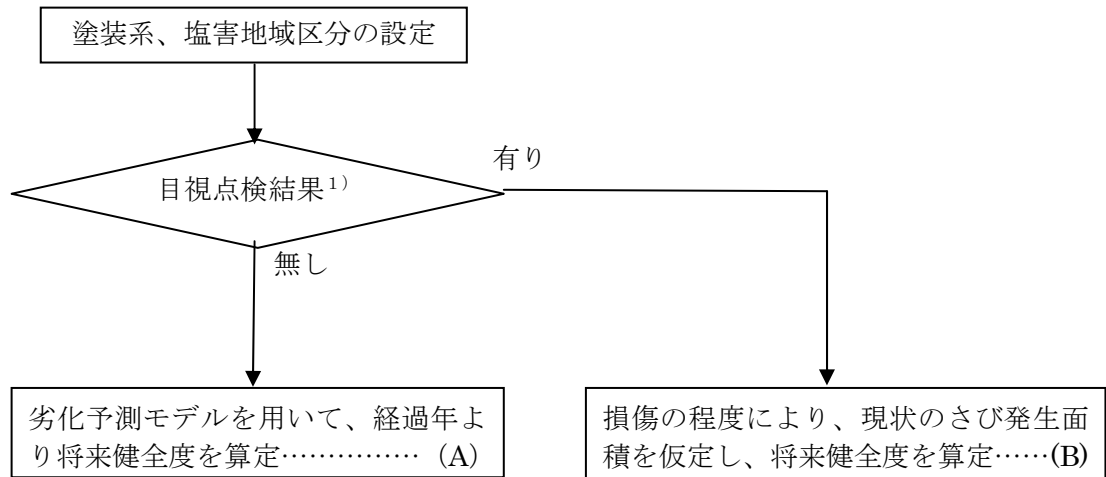
図-3.3.2 のフローにしたがい、将来健全度評価を行う。

まず、塗装系、塩害地域区分の確認を行う。

そして、目視点検の有無を確認し、無しの場合（直轄では定期点検を実施しており、このケースは極稀である。）は（A）のフローに進む。有りの場合は、（B）のフローに進む。

（A）のフローは、点検結果がない場合であり、塗装の劣化状況からさび発生面積を求めることができないことから、劣化予測モデルをそのまま用いて将来予測を行うものである。

（B）のフローは、防食機能の劣化及び腐食の点検結果から、点検時のさび発生面積を求め、その値と劣化予測モデルから計算される値が一致するよう、劣化モデルを修正する（傾きは変えず、平行移動する。）。補正した劣化モデルにて、将来予測を行う。



1) 定期点検など、近接目視により損傷度を判定する点検

図-3.3.2 塗装の劣化・腐食の健全度評価フロー(start)

(A) 劣化予測モデルをそのまま用いて、経過年より将来健全度を算定

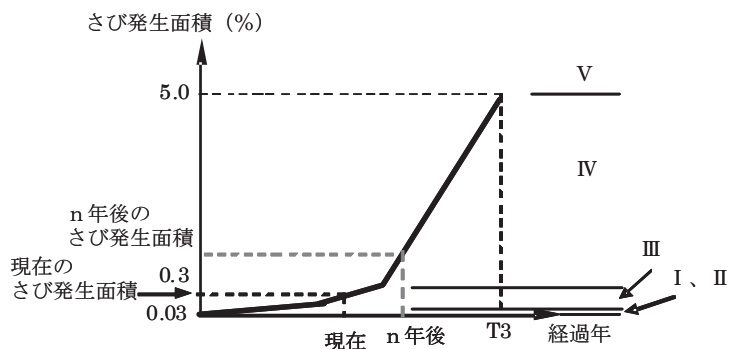


図-3.3.2 塗装の劣化・腐食の健全度評価フロー(A)

(B) 定期点検結果から得られたデータを用いて点検時健全度を一致させた後、将来健全度を算定

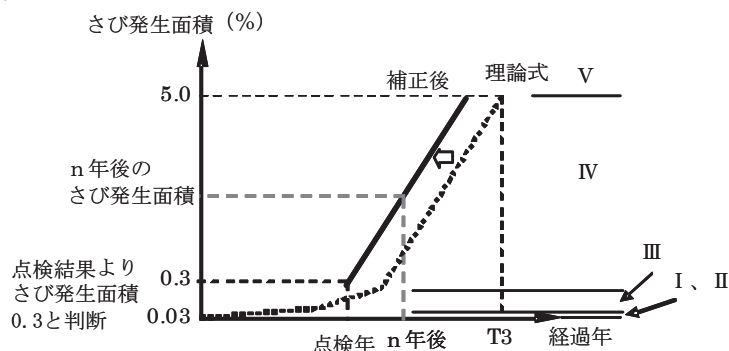


図-3.3.2 塗装の劣化・腐食の健全度評価フロー(B)

3.3.5 劣化モデルの設定根拠

(1) 定期点検結果の分析

分析は、定期点検結果の定性的評価をさび発生面積に変換して統計処理することにより行うこととした。なお、統計処理では、データの多い S63 定期点検結果を用いた。表-3.3.5 に点検結果をさび発生面積へ変換する関係を示す。

表-3.3.5 S63 定期点検結果のさび発生面積への変換

塗装劣化	(小 大)	→	さび発生面積 0.03%
〃	(大 大)	→	〃 0.3%
腐食	(小 大)	→	〃 5.0%
	(深さ 拡がり)		

①対象データの検討

統計処理の対象データは、以下のとおりとする。

ア)対象部材：主桁、横桁、縦桁

1)対象損傷：塗装劣化、腐食

2)塗装劣化あるいは腐食の損傷が確認されているデータ

3)塗装履歴のあるデータ

ただし、再塗装が実施されているにもかかわらずデータが未入力場合は塗装後の経過年数を過大評価する可能性があるため、塗装履歴の明確なデータのみを対象とした。

4)スパン単位の損傷データ（スパン内で最も損傷度の高い点検結果を代表値とする。）

表-3.3.6 に、塗装系と塩害地域区分の категорияで分類して、塗装劣化及び腐食それぞれの点検データ数（すべての判定区分について）を示す。

表-3.3.6 カテゴリー分類した点検データ数

評価部材	損傷の種類	塗装仕様	カテゴリー分類	点検データ数			
				総数	部材単位	スパン単位	
主桁、横桁、縦桁	塗装劣化	A	塩害地域	2,376	458	69	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	25,469	5,477	1,142
				凍結防止剤散布なし			
			小計	27,845	5,935	1,211	
		B	塩害地域	68	17	6	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	4,073	783	69
				凍結防止剤散布なし			
			小計	4,141	800	75	
		C	塩害地域	36	6	2	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	4	3	1
				凍結防止剤散布なし			
			小計	40	9	3	
	合計	32,026	6,744	1,289			
	腐食	A	塩害地域	3,367	737	104	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	28,194	7,245	1,677
				凍結防止剤散布なし			
			小計	31,561	7,982	1,781	
		B	塩害地域	1,117	207	18	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	3,252	927	160
				凍結防止剤散布なし			
			小計	4,369	1,134	178	
		C	塩害地域	69	15	3	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	88	14	2
				凍結防止剤散布なし			
小計			157	29	5		
合計	36,087	9,145	1,964				

さらに、これらのうち以下の判定区分に該当し、かつ塗装履歴のあるデータのみを集計した結果を表-3.3.7に示す。

- ・ 塗装劣化（大、大）
- ・ 腐食（小、大）

分析は、ある程度統計分析可能なデータ数のある、塩害地域以外、A、B塗装系で実施することとした。

表-3.3.7 カテゴリー分類した点検データ数（塗装履歴あり）

評価部材	損傷の種類	塗装仕様	カテゴリー分類	点検データ数		点検データ数 (塗装履歴あり)		
				部材単位	スパン単位	部材単位	スパン単位	
主桁、横桁、縦桁	塗装劣化 (大、大)	A	塩害地域	14	8	0	0	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	668	121	258	43
				凍結防止剤散布なし				
			小計	682	129	258	43	
		B	塩害地域	8	5	0	0	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	77	8	0	0
				凍結防止剤散布なし				
			小計	85	13	0	0	
		C	塩害地域	0	0	0	0	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	0	0	0	0
				凍結防止剤散布なし				
			小計	0	0	0	0	
	合計	767	142	258	43			
	腐食 (小、大)	A	塩害地域	22	3	19	1	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	351	83	110	15
				凍結防止剤散布なし				
			小計	373	86	129	16	
		B	塩害地域	22	5	0	0	
			塩害地域外	凍結防止剤散布あり	3	2	3	2
				凍結防止剤散布なし				
			小計	25	7	3	2	
C		塩害地域	0	0	0	0		
		塩害地域外	凍結防止剤散布あり	0	0	0	0	
	凍結防止剤散布なし							
	小計	0	0	0	0			
合計	398	93	132	18				

②点検データの分析結果

対象部材は主桁、塩害地域以外、一般塗装系（A、B塗装系）の分析結果を、図-3.3.3から図-3.3.5に示す。

各さび発生面積が発生する平均経過年数及び標準偏差は次のとおりとなった。

- ・さび発生面積 0.03%
平均経過年数=12.0年 標準偏差=5.6年
- ・さび発生面積 0.3%
平均経過年数=10.5年⇨11年 標準偏差=7.5年
- ・さび発生面積 5.0%
平均経過年数=14.9年⇨15年 標準偏差=8.3年

設定した $t_2=15$ 年に比べ、平均は 11 年と、やや短い期間という結果であった。

また、3.3.2において、さび発生面積 0.03%、5.0%に達する年数の推計に用いた「さび発生面積 0.03%」に達する年数は、次のとおりとした。

- ・平均経過年数 12 年は、0.3%となる平均経過年数 11 年より長く、整合がとれないため、1 標準偏差を差し引き、 $12 \text{年} - 5.6 \text{年} = 6.4 \text{年} \rightarrow 6 \text{年}$ とした。

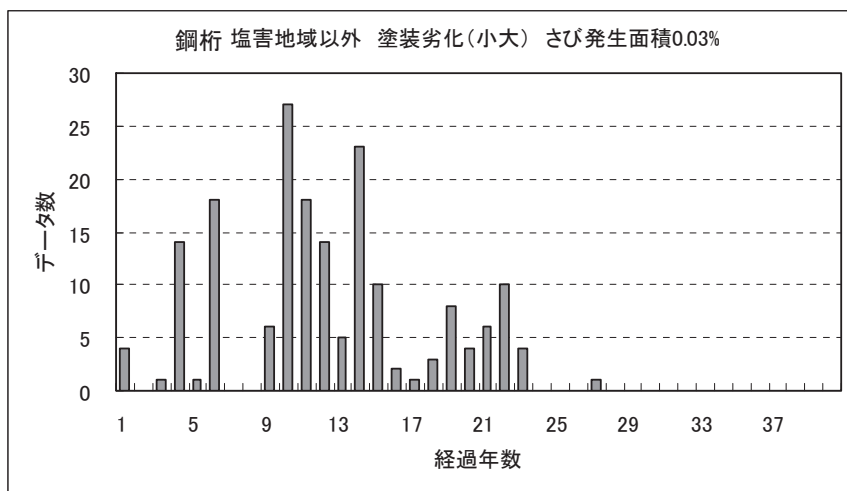


図-3.3.3 さび発生面積 0.03%の経過年数分布

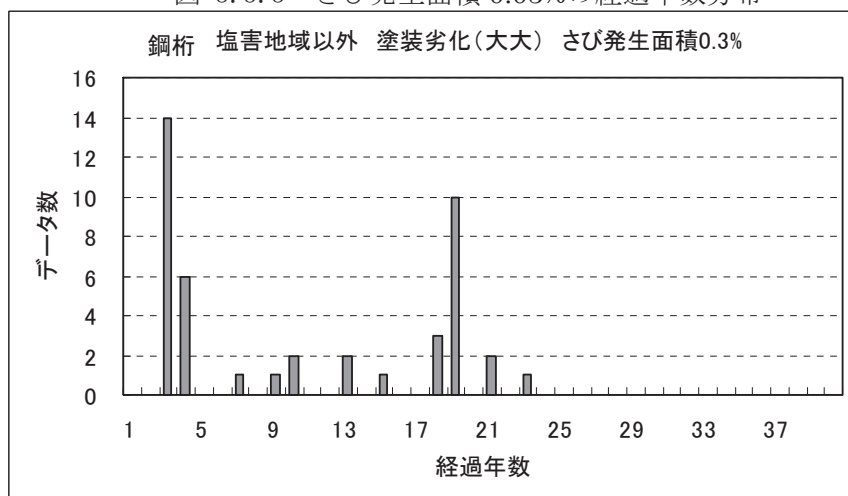


図-3.3.4 さび発生面積 0.3%の経過年数分布

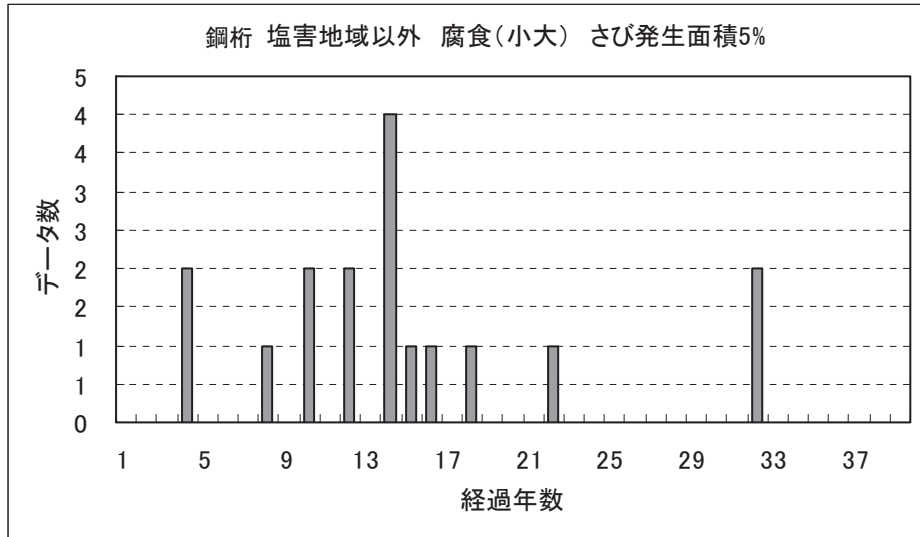


図-3.3.5 さび発生面積 5%の経過年数分布

(2) 推定耐久年数 ((社) 日本橋梁建設協会推定)

表-3.3.8 に塗装系別推定耐久年数を示す。設定した一般塗装系の t2 は、A系では一般環境に、B系塗装ではやや厳しい環境に、C系塗装の塩害地域以外では一般環境とやや厳しい環境の中間に、C系塗装の塩害地域では厳しい環境に相当する。

表-3.3.8 塗装系別推定耐久年数¹⁵⁾

初期仕様		A-1	B-1	C-1	C-2 (全工場塗装)	C-4 (全工場塗装)	I: 薄膜形重防食 (全工場塗装)
塗替え仕様		a-1	b-1	c-1	c-1	c-3	c-1
塗装名称		長油性フタル酸樹脂塗装	塩化ゴム系塗装	ポリウレタン樹脂塗装	ポリウレタン樹脂塗装	ふっ素樹脂塗装	ポリウレタン樹脂塗装
環境	一般環境 (山間部)	15年	20年	40年	40年	60年	30年
	やや厳しい環境 (市街地部)	10年	15年	30年	30年	45年	20年
	厳しい環境 (海岸部)	—	10年	20年	20年	30年	—

(3) 期待耐用年数 ((社) 日本鋼構造協会推定)

表-3.3.9 に塗装系の期待耐用年数を示す。設定した t2 は、一般塗装系では少し長い期間となっており、重防食塗装系では一致している。

表-3.3.9 塗装系の期待耐用年数¹⁶⁾

		一般環境	厳しい腐食環境
一般塗装系		10年	適用外
重防食塗装系	ポリウレタン樹脂塗装系	30年	20年
	LCC 低減重防食塗装系 (ふっ素樹脂塗料)	50年	30年

(4) 塗替え実績調査結果 ((社) 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会)

表-3.3.10 に環境、前回塗装系別塗替え周期を示す。設定した一般塗装系の t2=15 年に対する平均塗替え間隔は、13 年～14 年である。

5. 塗替え周期

平成11年度に会員が受注した塗装工事報告書より、前回の塗装履歴のあきらかなもの62件(表-50 発注者別有効件数)について、前回塗装からの年数を調べ、環境、前回塗装系別に整理したものを表-51に示す。

下表のとおり、有効件数62件と少なく統計値として満足できるものではないので参考程度として示す。

表-50 発注者別有効件数

	発注者	有効件数	発注者	有効件数
	国土交通省	東北地整	1	沖縄総合事務局
関東地整		4	日本道路公団	10
中部地整		2	首都高速道路公団	4
北陸地整		4	阪神高速道路公団	0
近畿地整		1	本州四国連絡橋公団	0
中国地整		10	名古屋高速道路公社	1
四国地整		2	福岡・北九州高速道路公社	2
九州地整		17		
北開発局		2		
合計		43	合計	19
		総合計		62

※地整→地方整備局、北開発局→北海道開発局

表-51 環境、前回塗装系別塗替え周期(年)

環境 塗装系	環境	環境1 (市街地)	環境2 (工場地帯)	環境3 (海岸)	環境4 (田園地帯)	環境5 (山間部)	環境6 (海上)	平均年数
	前回 塗装系 (件数)	A	14	—	1	6	10	—
B		10	—	11	3	2	1	14年5ヶ月
C		1	—	1	—	—	—	11年1ヶ月
平均年数		14年2ヶ月	—	13年4ヶ月	13年3ヶ月	14年11ヶ月	8年2ヶ月	13年11ヶ月

全国平均塗替え周期は13年11ヶ月であった。昨年は13年0ヶ月(有効件数47件)であり、若干延びている。

環境別に見ると、市街地は14年2ヶ月、海岸は13年4ヶ月、田園地帯は13年3ヶ月、山間部は14年11ヶ月、海上は8年2ヶ月であった。工場地帯のデータはなかった。

表-3.3.10 環境、前回塗装系別塗替え周期¹⁷⁾(上表では表-51)

3. 4 定期対策・定期交換を行う部材

本システムでは、定期対策・定期交換を実施する部材は、支承及び伸縮装置とした。

3. 4. 1 健全度

支承、伸縮装置の健全度は、定期点検結果より変換した定量的な健全度指標（100 点満点）と対応付け、表-3.4.1 に示すとおりとした。

劣化予測に用いる定量的な値は、この健全度指標とした。

表-3.4.1 支承・伸縮装置の劣化に対する健全度区分

健全度ランク	定量的指標 R
I	$80 \leq R \leq 100$
II	$60 \leq R < 80$
III	$40 \leq R < 60$
IV	$20 \leq R < 40$
V	$0 \leq R < 20$

3. 4. 2 劣化予測

支承・伸縮装置の劣化については、まず、定期点検結果に応じて表-3.4.2 に示す点数に換算する。なお、評価単位内において、複数の損傷が発生している場合は、最も低い結果を代表値として採用する。

表-3.4.2 支承、伸縮装置の定期点検結果による健全度評価

換算点数	鋼製支承、鋼製伸縮装置の損傷程度			
	破断	腐食	ゆるみ・脱落	亀裂
20	e			
60		e	e	e
80		d		
90		c	c	

換算点数	支承の機能障害
20	e : 支承が有すべき変位追随などの機能が損なわれている

換算点数	路面の凹凸（伸縮装置）
20	e : 路面に凹凸が生じており、段差量が 20mm 以上
90	c : 路面に凹凸が生じているが、段差量が 20mm 未満

次に、図-3.4.1 示す劣化予測モデルにより点検年での評価を行い、換算点数が 20 を下回る時期を算出する。

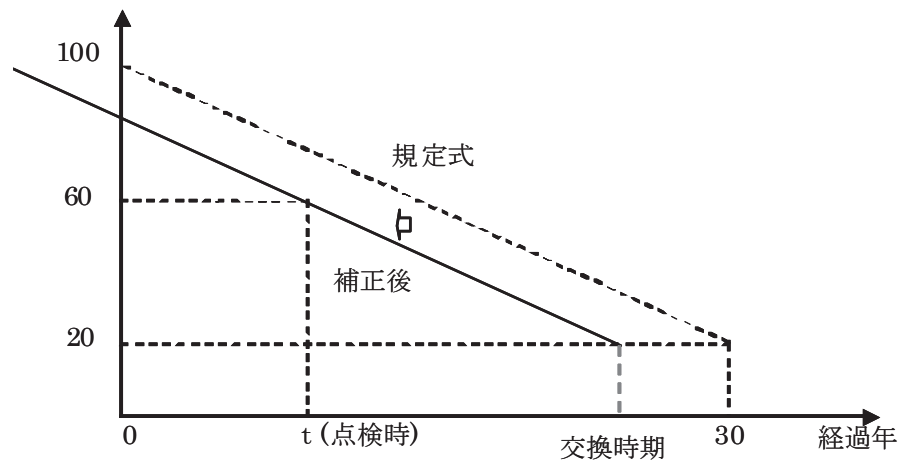


図-3.4.1 支承・伸縮装置の塩害の劣化予測モデル
(t 年で点検結果が腐食 e の場合の例)

3. 4. 3 交換時期

3. 4. 2 の換算点数が 20 を下回る時期に、交換する。

損傷がない場合の交換時期は、次のとおりとする。

① 支承

1995 年（平成 7 年）に発生した兵庫県南部地震以降に、

- ・「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説（案）」（平成 7 年 2 月）
- ・「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案）（平成 7 年 6 月）

の中で、支承については、「ゴム支承とすることが望ましく、可能な限り免震支承とすること」との記述がされた。

また、平成 8 年 12 月には、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編が上記復旧仕様を受け大幅に改訂された。その中で、ゴム支承については、橋梁の種類によりタイプ A、タイプ B に区分されている。タイプ A 及びタイプ B のゴム支承は、ともに地震時水平力に対しせん断ひずみをもって抵抗する支承であり、半永久的（150～200 年程度）な物性を有している（メーカーへのヒアリングによる。）。その結果、これらの支承は標準的な評価期間内には取替えることなく用いることができると考えられる。

以上より、本システムでは、支承の交換に関して次のように考えるものとする。

a) 1995 年以前に架設された橋梁について

- ・MICHI データ上、ゴム製の支承はすべてゴムパッド型の支承として取扱う。
→ 寿命を 100 年と仮定する。

b) 1996 年以降に架設された橋梁について

- ・すべての支承は、タイプ A 又はタイプ B として取り扱う。

→ 寿命を半永久的（150年）と仮定する。

支承の交換時期を表-3.4.4に示す。なお、鋼製支承の交換時期は、耐用年数をもとに設定している。

② 伸縮装置

伸縮装置の耐用年数は、（社）日本橋梁建設協会の推定値¹⁵⁾を参考に、表-3.4.4のとおり設定した。

表-3.4.4 支承、伸縮装置の点検時に損傷が無い場合の交換時期

部材		交換時期
鋼製支承		30年
ゴム支承	パッド型	100年
	タイプ A、B	150年
ゴム製伸縮装置		30年
鋼製伸縮装置		30年

参考文献

- 1) 【2001年制定】コンクリート標準示方書[維持管理編]、土木学会
- 2) コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)、平成16年3月、国道・防災課
- 3) 建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書<第二編>、昭和63年11月、建設省
- 4) ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ) —コンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討一、平成12年12月、建設省土木研究所共同研究報告書第258号
- 5) 【2002年制定】コンクリート標準示方書[施工編]、土木学会
- 6) 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、昭和59年2月、(社)日本道路協会
- 7) 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編、平成14年3月、(社)日本道路協会
- 8) 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編、昭和53年1月、(社)日本道路協会
- 9) 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、JCI、1998
- 10) 関博：コンクリート部材の寿命予測・鉄筋の腐食を中心として、コンクリート工学、Vol29, No.8, 1991.
- 11) 道路橋床版の疲労耐久性に関する検討業務報告書、平成15年、国土技術政策総合研究所
- 12) 【2001年制定】コンクリート標準示方書[維持管理編]制定資料、土木学会
- 13) 鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文集第348号/V-1、1984年8月
- 14) 鋼橋塗膜調査マニュアル、平成5年9月、(社)日本鋼構造協会
- 15) 鋼橋のライフサイクルコスト、平成13年10月、(社)日本橋梁建設協会
- 16) 鋼橋塗装 LCC 低減のために、平成14年8月、(社)日本鋼構造協会
- 17) 鋼道路橋塗装工事実態調査報告書(平成11年度)、平成13年3月、(社)日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

おわりに

本資料は、国土交通省が運用している橋梁マネジメントシステムのうち、劣化予測手法について取りまとめたものである。システムで用いられている劣化予測や劣化予測の対象については、現段階ではまだまだ改善の余地が大きいものであり、適用に際しては十分な注意が必要となる。

現在、H16 定期点検が概ね一巡しつつあるところであり、概ねの橋梁において S63 定期点検結果と H16 定期点検結果が揃い両者を対比することで損傷の進展状況等を分析することが可能となりつつある。これらのデータを詳細に分析し、例えば損傷が発生するまでの期間は理論式を、一旦損傷が発生した後は統計分析結果による式を適用するなどの劣化予測の精度向上、さらには予測可能な損傷の追加等の検討を行っているところである。

また、新設橋のコンクリートの塩害や RC 床版の疲労については、知見の蓄積を踏まえた対策が道路橋示方書で明記されており、各規定を遵守して造られていれば原則として損傷は生じないはずである。よって、点検により損傷の発生が認められない限り、劣化予測は不要とも考えられる。適用に際しての留意が必要である。

予防保全的な計画的維持管理を進めていくことが今後も求められている。BMS の予測結果を鵜呑みにすることなく、BMS の「できていること」と「できていないこと」の特徴をよくわきまえて便利なツールとして使いこなすことが求められ、当室としても今後とも改良を進めていく考えである。

参考資料：定期点検における「損傷程度の評価」区分

1. H16 定期点検

鋼部材の塗装劣化・腐食の劣化予測に使用

① 腐食

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況		備考
	損傷の深さ	損傷の面積	
a	損傷なし		
b	小	小	
c	小	大	
d	大	小	
e	大	大	

(2) 要因毎の一般的状況

a) 損傷の深さ

区分	一般的状況
大	鋼材表面に著しい膨張が生じているか、または明らかな板厚減少が視認できる。
中	—
小	錆は表面的であり、著しい板厚の減少は視認できない。

注) 錆の状態（層状、孔食など）に関わらず、板厚（断面）減少の有無によって評価する。

b) 損傷の面積

区分	一般的状況
大	着目部分の全体的に錆が生じている。または着目部分に拡がりのある発錆箇所が複数ある。
小	損傷箇所の面積が小さく局部的である。

② 亀裂

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	断面急変部，溶接接合部などに塗膜われが確認できる。 亀裂を生じているが，線状でないか，線状であってもその長さがきわめて短く，さらに数が少ない場合。
d	—
e	線状の亀裂が生じている。または，直下に亀裂が生じている疑いを否定できない塗膜われを生じている。

③ ゆるみ・脱落

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	ボルトのゆるみや脱落を生じているがその数が少ない。 (一群あたり本数の5%未満である)
d	—
e	ボルトのゆるみや脱落を生じているがその数が多い。 (一群あたり本数の5%以上である)

④ 破断

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	破断している

鋼部材の塗装劣化・腐食の劣化予測に使用

⑤ 防食機能の劣化

防食機能の分類は次による。

分類	防食機能
1	塗装
2	メッキ，金属溶射
3	耐候性鋼材

(1) 損傷程度の評価区分

分類1：塗装

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	最外層の防食皮膜に変色を生じたり，局所的なうきが生じている。
d	部分的に防食皮膜が剥離し，下塗りが露出する
e	防食皮膜の劣化範囲が広く，点錆が発生する

分類2：メッキ，金属溶射

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	局所的に防食皮膜が劣化し，点錆が発生する
d	—
e	防食皮膜の劣化範囲が広く，点錆が発生する

注) 白錆や”やけ”は，ただちに耐食性に影響を及ぼすものではないため損傷とはならないが，その状況は損傷図に記録する。

分類3：耐候性鋼材

区分	一般的状況
a	損傷なし（安定錆は粒子が細かく，一様に分布，黒褐色を呈す） （安定錆の形成過程では黄色，赤色，褐色を呈す）
b	—
c	錆の大きさは1～5mm程度で粗い
d	錆の大きさは5～25mm程度のうろこ状である
e	錆は層状の剥離がある

注) 一般に，錆の色は黄色・赤色から黒褐色へと変化して安定して行くが，錆色だけで安定錆かどうかを判断することはできない。

また，安定錆が形成される過程では，安定化処理を施した場合に，皮膜の残っている状態で錆むらが生じることもある。

コンクリートの塩害の劣化予測に使用

⑥ ひびわれ

(1) 損傷程度の評価区分

1) 損傷程度の区分

区分	最大ひびわれ幅に着目した程度	最小ひびわれ間隔に着目した程度
a	損傷なし	
b	小	小
c	小	大
	中	小
d	中	大
	大	小
e	大	大

2) 損傷の程度

a) 最大ひびわれ幅に着目した程度

程度	一般的状況
大	ひびわれ幅が大きい (RC構造物 0.3mm 以上, PC構造物 0.2mm 以上)
中	ひびわれ幅が中位 (RC構造物 0.2mm 以上 0.3mm 未満, PC構造物 0.1mm 以上 0.2mm 未満)
小	ひびわれ幅が小さい (RC構造物 0.2mm 未満, PC構造物 0.1mm 未満)

b) 最小ひびわれ間隔に着目した程度

程度	一般的状況
大	ひびわれ間隔が小さい (最小ひびわれ間隔が概ね 0.5m 未満)
小	ひびわれ間隔が大きい (最小ひびわれ間隔が概ね 0.5m 以上)

⑦ 剥離・鉄筋露出

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	剥離のみが生じている
d	鉄筋が露出しているが、鉄筋の腐食は軽微である。
e	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食している。

⑧ 漏水・遊離石灰

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	ひびわれから漏水が生じているが、錆汁や遊離石灰はほとんど見られない。
d	ひびわれからの遊離石灰が生じているが、錆汁はほとんど見られない。
e	ひびわれから著しい漏水や遊離石灰が生じている。あるいは漏水に著しい泥や錆汁の混入が認められる。

注) 打ち継ぎ目や目地部から生じる漏水・遊離石灰についても、ひびわれと同様の評価とする。

RC床版の疲労に対する劣化予測に使用

⑨ 抜け落ち

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	コンクリート塊の抜け落ちがある

⑩ コンクリート補強材の損傷

補強材の分類は次による。

分類	補強材料
1	鋼板
2	繊維
3	鉄筋コンクリート
4	塗装

(1) 損傷程度の評価区分

分類1：鋼板

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	補修部の鋼板のうきは発生していないが、シール部が一部剥離し、錆及び漏水が見られる
d	—
e	補修部の鋼板のうきが大きく発生している。シール部分がほとんど剥離し、一部にコンクリートアンカーのうきがみられ、錆及び漏水が著しい

分類2：繊維

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	補強材に軽微な変状がある 補強されたコンクリート部材から漏水や遊離石灰が生じている
d	—
e	補強材に著しい変状がある、断裂している あるいは、補強されたコンクリート部材から漏水や遊離石灰が大量に生じている

分類3：鉄筋コンクリート

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	補強されたコンクリート部材から漏水や遊離石灰が生じている
d	—
e	補強されたコンクリート部材から漏水や遊離石灰が大量に生じている

分類4：塗装

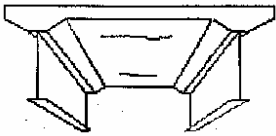
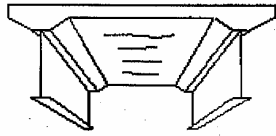
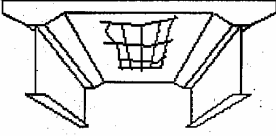
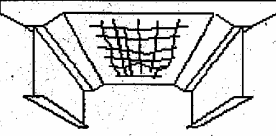
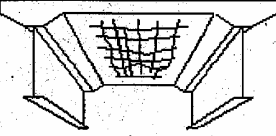
区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	塗装の剥離が見られる
d	—
e	塗装がはがれ、補強されたコンクリート部材から漏水や遊離石灰が大量に生じている

注) 分類が複数該当する場合には、すべての分類でそれぞれ評価して記録する。

RC床版の疲労による劣化予測に使用

① 床版ひびわれ

(1) 損傷程度の評価区分

区分	ひびわれ幅 に着目した程度	ひびわれ間隔 に着目した程度
a	<p>[ひびわれ間隔と性状] ひびわれは主として1方向のみで, 最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上</p> <p>[ひびわれ幅] 最大ひびわれ幅が0.05mm以下(ヘアークラック程度)</p>	
b	<p>[ひびわれ間隔と性状] 1.0m~0.5m, 1方向が主で直交方向は従, かつ格子状でない</p> <p>[ひびわれ幅] 0.1mm以下が主であるが, 一部に0.1mm以上も存在する</p>	
c	<p>[ひびわれ間隔と性状] 0.5m程度, 格子状直前のもの</p> <p>[ひびわれ幅] 0.2mm以下が主であるが, 一部に0.2mm以上も存在する</p>	
d	<p>[ひびわれ間隔と性状] 0.5m~0.2m, 格子状に発生</p> <p>[ひびわれ幅] 0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる</p>	
e	<p>[ひびわれ間隔と性状] 0.2m以下, 格子状に発生</p> <p>[ひびわれ幅] 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている</p>	

⑫ うき

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	うきがある。

⑬ 遊間の異常

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	左右の遊間が極端に異なる，または，遊間が直角方向にずれているなどの異常がある
d	—
e	遊間が異常に広く伸縮継手の櫛の歯が完全に離れている。または，桁とパラペットあるいは桁同士が接触している（接触した痕跡がある）

⑭ 路面の凹凸

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	橋軸方向の凹凸が生じているが段差量は小さい（20 mm未満）
d	—
e	橋軸方向の凹凸が生じており，段差量が大きい（20 mm以上）

⑮ 舗装の異常

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	舗装のひびわれ幅が5mm以上であり、舗装直下の床版上面のコンクリートが土砂化している、あるいは鋼床版の疲労亀裂により過度のたわみが発生している可能性がある

⑯ 支承の機能障害

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	支承の機能が損なわれているか、著しく阻害されている可能性のある変状が生じている。

⑰ その他

損傷内容の分類は次による。

分類	損傷内容
1	不法占拠
2	落書き
3	鳥のふん害
4	目地材などのずれ、脱落
5	火災による損傷
6	その他

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	損傷あり

⑱ 定着部の異常

定着部の分類は次による。

分類	防食機能
1	PC鋼材縦締め
2	PC鋼材横締め
3	その他

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	PC鋼材の定着部のコンクリート生じたひびわれから錆汁が認められる ケーブルの定着部に損傷が認められる
d	—
e	PC鋼材の定着部のコンクリートが剥離している ケーブルの定着部に著しい損傷がある

⑲ 変色・劣化

対象とする材料や材質による分類は次による。

分類	材料・材質
1	コンクリート
2	ゴム
3	プラスチック
4	その他

注) ここでの分類は部材本体の材料・材質によるものであり、被覆材料は対象としていない。部材本体が鋼の場合の被覆材料は「防食機能の劣化」、コンクリートの場合の被覆材料は「コンクリート補強材の損傷」として評価する。

(1) 損傷程度の評価区分

分類1：コンクリート

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	乳白色，黄色っぽく変色している

分類2：ゴム

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	硬化している、ひびわれが生じている

分類3：プラスチック

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	脆弱化している、ひびわれが生じている

㊫ 漏水・滞水

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	伸縮装置、排水柵取付位置などからの漏水、支承付近の滞水、箱桁内部の滞水がある

㊬ 異常な音・振動

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一般的状況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	落橋防止システム、伸縮装置、支承、遮音壁、桁、点検施設等から異常な音が聞こえる、あるいは異常な振動や揺れを確認することができる

㊦ 異常なたわみ

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	主桁，点検施設等に異常なたわみが確認できる

㊦ 変形・欠損

(1) 損傷程度の評価区分

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	部材が局部的に変形している その一部が欠損している
d	—
e	部材が局部的に著しく変形している その一部が著しく欠損している

㊦ 土砂詰り

(1) 損傷程度の評価区分

程度	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	排水柵，支承周辺等に土砂詰まりがある

㊦ 沈下・移動・傾斜

(1) 損傷程度の評価区分の記録

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	—
d	—
e	支点が沈下している 下部工が移動・傾斜している

㊦ 洗掘

(1) 損傷程度の評価区分の記録

区分	一 般 的 状 況
a	損傷なし
b	—
c	下部工基礎が流水のため洗掘されている
d	—
e	下部工基礎が流水のため著しく洗掘されている

2. S63 定期点検

劣化予測に用いるため、H16 定期点検に変換したもののみを示す。

鋼部材の塗装劣化・腐食の劣化予測に使用

①腐食

	損傷が耐荷力、耐久性に与える影響	
	大	小
深 さ (Y)	断面欠損がある	表面錆がある
	腐食により鋼材表面が膨張しているか、腐食部が消失して、部材断面が減少している。	表面錆が点在している。
拡がり (Z)	全体的	局部的
	腐食あるいは錆が部材全体に拡がっている。	腐食あるいは錆が漏水部等の局部的なものにとどまっている。

判定区分

Y	Z	2次部材	主部材
大	大	Ⅱ	Ⅱ
	小	Ⅲ	Ⅱ
小	大	Ⅲ	Ⅱ
	小	Ⅳ	Ⅲ

⑥塗装劣化

	損傷が耐荷力、耐久性に与える影響	
	大	小
深 さ (Y)	塗装がハガレている	表面錆がある
	桁、高欄等の塗装が剥離している。	桁、高欄等の塗装が劣化のため変色している。
拡がり (Z)	全体的	局部的
	鋼部材全体に塗装の劣化が及んでいる。	鋼部材の塗装の劣化が局部的である。

判定区分

Y	Z	全部材
大	大	Ⅲ
	小	Ⅳ
小	大	Ⅳ
	小	OK

コンクリートの塩害の劣化予測に使用

⑦ひびわれ

	損傷が耐荷力、耐久力に与える影響		
	大	中	小
位置あるいはパターン (X)	主要部位	—	左記以外の部位
深さ (Y)	ひびわれ幅：大 RC 構造物 0.3mm 以上 PC 構造物 0.2mm 以上	ひびわれ幅：中 RC 構造物 0.2mm 以上 0.3mm 未満 PC 構造物 0.1mm 以上 0.2mm 未満	ひびわれ幅：小 RC 構造物 0.2mm 未満 PC 構造物 0.1mm 未満
拡がり (Z)	ひびわれ最小間隔：小 50cm 未満	—	ひびわれ最小間隔：大 50cm 以上

判定区分

X	Y	Z	2次部材	主部材	X	Y	Z	2次部材	主部材	
大	大	大	Ⅱ	Ⅱ	大	大	大	Ⅱ	Ⅱ	
		小	Ⅲ	Ⅱ			小	Ⅲ	Ⅲ	
	中	大	Ⅳ	Ⅲ		中	大	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
		小	Ⅳ	Ⅲ			小	Ⅳ	Ⅳ	
	小	大	OK	OK		小	大	OK	OK	OK
		小	OK	OK			小	OK	OK	

⑧剥離・鉄筋露出

	損傷が耐荷力、耐久性に与える影響	
	大	小
深さ (Y)	鉄筋が露出している	剥離のみ
拡がり (Z)	損傷面積：小 上部工 0.1m ² 以上 下部工 1 m ² 以上	損傷面積：大 上部工 0.1m ² 未満 下部工 1 m ² 未満

判定区分

Y	Z	2次部材	主部材
大	大	Ⅱ	Ⅱ
	小	Ⅳ	Ⅲ
小	大	Ⅳ	Ⅲ
	小	Ⅳ	Ⅳ

R C床版の疲労による劣化予測に使用

⑫ 抜け落ち

判定区分

	全部材
コンクリート塊の抜け落ちがある	Ⅱ

⑭ 床版ひびわれ

	損傷が耐荷力、耐久力に与える影響		
	大	中	小
位置あるいはパターン (X)	二方向ひびわれ	—	一方向ひびわれ
深さ (Y)	錆汁を伴うひびわれ、又はひびわれ幅大	漏水を伴うひびわれ、又はひびわれ幅中	ひびわれのみで、ひびわれ幅小
	ひびわれに沿って鉄筋の錆汁が認められる。または幅 0.3mm 以上である。	ひびわれに沿って漏水や遊離石灰が発生。または幅 0.3mm 未満 0.2mm 以上である。	ひびわれのみ。または幅 0.2mm 未満である。
拡がり (Z)	ひびわれ最小間隔：小 最小間隔 50cm 未満である。	—	ひびわれ最小間隔：大 最小間隔 50cm 以上である。

判定区分

X	Y	Z	全部材	X	Y	Z	全部材
大	大	大	Ⅱ	大	大	大	Ⅲ
		小	Ⅱ			小	Ⅲ
	中	大	Ⅱ		中	大	Ⅲ
		小	Ⅲ			小	Ⅳ
	小	大	Ⅲ		小	大	Ⅳ
		小	Ⅳ			小	Ⅳ