

9. 橋梁の維持管理調査

平成 13～15 年度の橋梁WGの検討は、橋梁管理の高度化を目指して、現存するデータベースの調査および利用実態の調査、国内外の BMS (Bridge Management System) の調査およびテストランによる使用性および既存データベースの実態等を踏まえた課題の調査および、北海道の損傷の特徴を踏まえ、劣化を促進させる要因について分析を行った。

9. 1 橋梁データベース

9. 1. 1 データベースの利用実態調査

既存の橋梁に関するデータベースの主なものは以下のデータが書類あるいは電子データとして管理されている。

①書類として管理されているデータベース

- ・橋梁カルテ点検
- ・橋梁防錆台帳
- ・平成 8 年度 道路防災総点検 橋梁「基礎の洗掘」点検データベース
- ・平成 8 年度 道路防災総点検 橋梁「地震」点検データベース
- ・平成 8 年度以後の橋梁「基礎の洗掘」防災カルテ点検
- ・平成 13 年度 第三者被害予防橋梁点検
- ・一部の橋梁点検調書
- ・橋梁構造計算データ

②電子データとして管理されているデータベース

- ・道路管理データベース「MICH」
- ・橋梁マイクロ写真電子図
- ・橋梁点検調書

上記データベースは、管理主体が異なるほか、それぞれのデータ間での関連付けはなされていない。これらのデータベースについて、現場担当者の利用実態を聞き取り調査した。その結果、以下の理由によって利用率が低い状況であった。

①複数の異なった形式のデータが多数あり、欲しい情報がどこにあるか明確でない。

②最大のデータバンクである「道路管理データベース(MICH)」は

- ・設計施工当時の資料不足が起因するデータの空白が多い
- ・作業に関わる費用の軽減のために入力を保留している項目も数多くある
- ・コンクリート材料に関するデータの不備が目立っている
- ・データ更新期間の差異などで他の資料とのデータの矛盾もあり精度に疑問もある

一方、「橋梁防錆台帳」や「橋梁、トンネル、立体横断施設、覆道等現況調書」並びに「橋梁マイクロ引伸図」のペーパーデータは、閲覧が容易であるため利用頻度が高い状況であった。各事務所レベルでは、管内の全ての物件の正確なデータを、担当者のパソコンで容易に閲覧、印刷が可能なシステムが望まれている。

今後、増大する維持管理のニーズに対応して、現存するデータベースの有効活用が不可欠となることから、全ての電子化を進めるとともに、データベースを一元的に閲覧できるシステムの開発が望まれる。

9.1.2 国内のデータベース開発状況

国内におけるデータベースの開発状況を調査した。その結果を表-1.1 に示す。現在のところ、データベースとしてではなく、台帳として整備されているものが多い。

表-1.1 国内のデータベース開発状況

システム名	管理者	内 容	利用形態	運用状況	適 用
①道路管理データベースシステム	国土交通省	道路構造物全般	C S	稼働中	M I C H I
②道路防災総点検データベース	保全センター	「豪雨・豪雪」データ、「地震」データ	C D	稼働中	
③橋梁保全支援システム	保全センター	橋梁基本情報、点検、診断、写真データ	C S	稼働中	
④橋梁データベースシステム	北海道庁	橋梁基本情報、点検、写真データ	C D	開発中	
⑤橋梁管理情報システム	東京都庁	橋梁点検、調査、補修対策支援	C S	稼働中	
⑥維持管理システム	J H	点検、補修、技術情報、分析予測	C S	稼働中	
⑦橋梁管理システム（橋梁台帳）	大阪市	台帳管理、集計業務	C S	稼働中	
⑧橋梁管理システム（管理情報）	大阪市	点検、補修、業務支援	C S	稼働中	
⑨道路施設情報管理システム	広島県	事業計画対策支援	C S	開発中	
⑩舗装管理システム	茨城県	舗装構成、路面性状データ	C D	稼働中	
⑪防錆台帳	国土交通省	塗装履歴	C D	稼働中	

9.2 既存BMSの調査

9.2.1 概要

橋梁マネジメントシステム（以下BMSと言う）の最終的な目標は、道路網を構成する橋梁全体をネットワークとしてとらえ、限られた予算の中で最大の効果を得るための最適維持管理計画の作成を支援するシステムと位置付けられる。

すなわち、道路網の現状把握、将来予測、補修対策、補修予算計画の立案などを通して橋梁の保全・管理に関する様々な情報を整理し、合理的な保全・管理計画の立案と実施を支援する体系的なツールとなるものである。

海外においては、米国などで維持管理不足により橋梁の老朽化が社会問題となり、その経験をもとに早くからBMSの開発が行われている。

一方我が国においても近年、適切な維持管理の実施により既存ストックの有効活用が重要視されており、土木研究所の提案しているBMSを代表として、各研究機関や大学などで研究開発が推進されている。本章では PWRI・BMS（土木研究所）、J-BMS(山口大学)、北海道 BMS（北見工大・開発土木研究所）、Pontis（AASHTO）の各BMSの調査結果の概要を示す。

9.2.2 既存BMSの調査

9.2.2.1 PWRI・BMS（土木研究所）

（1）概要

PWRI・BMSは、昭和63年制定の「橋梁点検要領（案）」に基づく点検結果データと道路管理データベースシステム（MICH I）の橋梁諸元、履歴データ等を取り出して、「健全度評価」と「補修計画作成」を行うことが可能な支援システムである。システムの特徴としては、①MICH Iの橋梁に関するデータ（橋梁諸元、履歴、橋梁点検データ）などを用いる。

②健全度評価は、代表要素（主桁、床版、床組、支承、下部工）から構成される。損傷に応じて減点

数を評価し、健全度診断結果が算出される。この場合、部位別、上下部別、橋全体としての減点数

の上限を設定し、各部位のレーティング別減点数を与える必要がある。

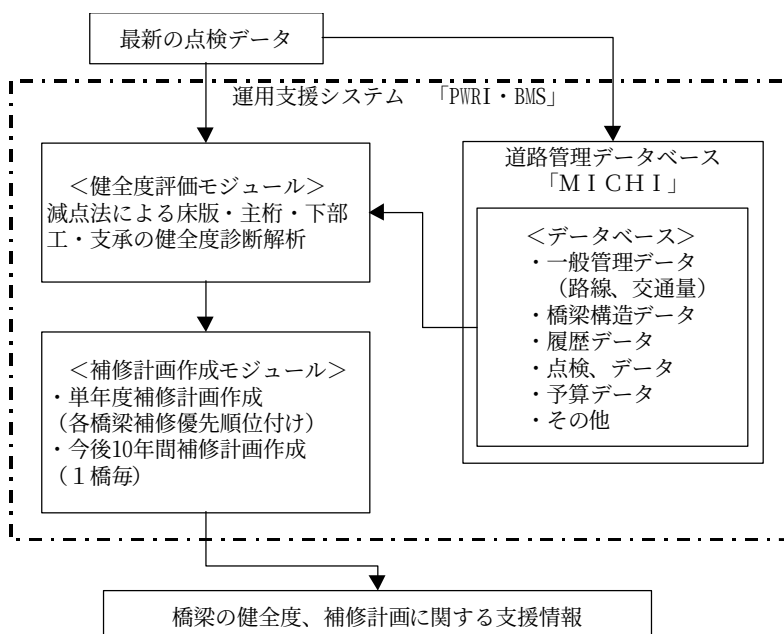


図-2.1 BMS基本構成

れる。この場合、部位別、上下部別、橋全体としての減点数

の上限を設定し、各部位のレイチング別減点数を与える必要がある。

③補修計画作成モジュールは、補修単価、取替え単価、架け替え単価などの入力により、最適な補修方法と時期が出力される。また、数橋を同時に評価した場合には、投資効率の高い順に優先順位を決定する。

以下に、PWR I・BMSを実際に試行した結果を基に、重要検討項目である「健全度評価手法」および「補修計画作成手法」について詳述する。

(2) PWR I・BMSにおける健全度評価

PWR I・BMSの健全度評価手法は、「減点法」を用いて橋梁全体の健全度を算出している。M I C H Iに蓄積されている各部材の損傷度から、各部材の減点数を計算する。

ここで各部材の損傷度は、橋梁点検要領（案）に基づいた橋梁定期点検の損傷判定の結果である。点検要領による損傷度の判定を表-2.1に示す。

表-2.1 損傷度判定基準

点検要領による部材の損傷度の判定は、I、II、III、IV、OKの5段階になっている。損傷度Iが損傷が大きい状態で、OKでは全く損傷が無いことを示す。点検結果はM I C H Iに蓄積することとなっている。PWR I・BMSは上記の点検データを利用したマネジメントシステムである。健全度の評価手法については、加重平均法と減点法を比較し、「減点法」を採用している。

その理由として、加重平均法は一部に著しい損傷を受けていても欠陥の評価がかなり過小になる傾向があるが、減点法は不健全な部材の点数は最後まで健全度に反映されるため、この方法を採用している。表-2.2に減点法の算出例、表-2.3に加重平均法の算出例を示す。

判定区分	一般的状況
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
OK	点検の結果から、損傷は認められない。

表-2.2 減点法算出例

部位	上部工				下部工		
	主桁	支承	床組		床版	躯体	基礎
			縦桁	横桁		橋台	橋脚
減点数	50	15	0	0	0	0	3
第1統合 (上限値)	65 (100)		0 (50)		0 (70)	3 (60)	0 (90)
第2統合 (上限値)	65 (100)		0 (70)			3 (90)	
上下部工統合 (上限値)	65 (100)					3 (90)	
橋全体統合 (上限値)	68 (100)						
橋全体の健全度	100-68 = 32						

表-2.3 加重平均法算出例

部位	上部工				下部工		
	主桁	支承	床組		床版	躯体	基礎
			縦桁	横桁		橋台	橋脚
減点数	50	15	0	0	0	0	3
減点数の上限	100	30	50	50	70	60	90
ウェイト	30	6	5	4	15	8	8
損傷度評価値	$\frac{50}{100} \times 30 + \frac{15}{30} \times 6 + \frac{0}{50} \times 5 + \frac{0}{50} \times 4 + \frac{0}{70} \times 15 + \frac{0}{60} \times 8 + \frac{3}{90} \times 8 = 18.4$						
橋全体の健全度	100-18.4 = 81.6						

また、減点数は橋梁構成部材の損傷度に応じて与えることとしており、その値は専門家の評価と比較しながら決定している。図-2.2 にシステム内における各部材の損傷種類別減点値の設定画面を示す。

図-2.2 損傷種類別減点値の設定

9.2.2.2 J-BMS（山口大学）

（１）概 要

本システムは、コンクリート上部工のみを対象としたBMSである。劣化診断機能は、コンクリート橋専門技術者の橋梁診断における経験的な知識を、コンピュータ上に移植し、橋梁台帳や目視点検結果等から得られたデータを入力することにより、橋梁の総合的な診断を行うエキスパートシステムである。

システムの大きな特徴は、ニューラルネットと呼ばれる人間の脳の構造と類似した情報処理技術が用いられており、システム内の知識の学習も容易に可能としている。その反面、解析結果を理解しづらいという面も持ち合わせている。システム構成は、図-2.3 に示すとおり、記録部（データベース）、診断・評価部（劣化診断機能、劣化要因推定機能）、判定・対策部（劣化予測機能、維持管理対策選定機能、維持管理計画最適化機能）から成っている。記録部であるデータベース中には、橋梁台帳データ、調査・点検データ、解析データなどに大別される各種データが保存されるが、全て手入力により行う必要がある。

維持管理計画最適化機能は、補修総費用を最小とする場合と、品質を最大とする場合の２種類の補修計画が算出でき、対象橋梁に発生している損傷から、その損傷の原因となっている劣化要因、また今後新たに発生することが予想される新たな損傷の推定ができる。

現在は、実用化に向けてインターネットなどを活用し、積極的に公開している。

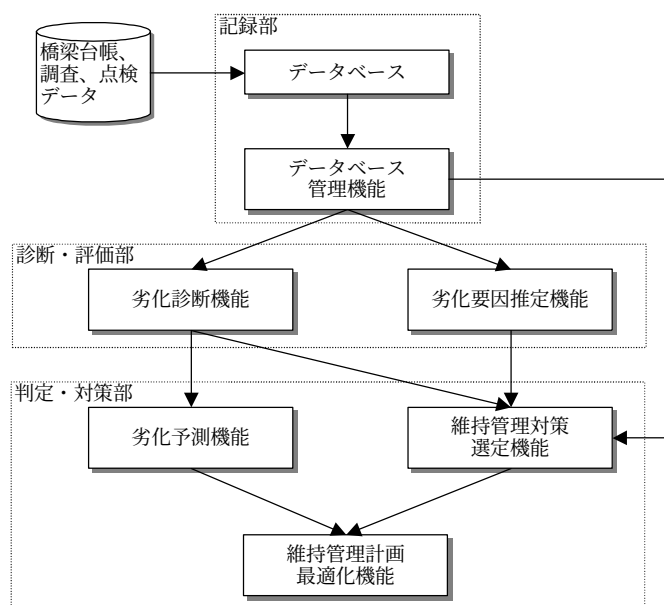


図-2.3 システム構成概要

健全度評価の指標は表-2.4 に示す基準表を基準としている。この基準のベースとなるものは専門技術者へのアンケート調査結果である。アンケート調査は、独自の診断プロセスに従って実際に専門技術者に橋梁の診断をしてもらい、0から100の5点刻みの評価を元としている。

評価は、床版と主桁の状態（ランク）に5段階で分類され、エキスパートのアンケートと調査時にも同じ基準で利用されている。

表-2.4 基準表

点		評価点数(p)		点	状態	状態内容
0.0	≦	P	<	12.5	danger	供用すべきでない状態
12.5	≦	P	<	37.5	slightly danger	補修・補強が不可欠になる状態
37.5	≦	P	≦	62.5	moderate	劣化は見られるが、特に補修・補強を考慮すべき状態ではなく、良くも悪くもない普通の状態
62.5	<	P	≦	87.5	slightl safe	僅かに劣化しているがなんら憂慮も無く健全な状態
87.5	<	P	≦	100.0	safe	全く問題のない状態

1) 健全度評価手法

本システムにおける健全度評価方法は、表-2.5 に示す幾つかの情報工学的な数値理論から解析される。

表-2.5 手法一覧表

項 目	手 法	備 考
知識表現	ファジィ命題を含むif-thenルール	入力条件に対する判断
推論方法	ファジィ推論	あいまいな知識を定量的に扱う
推論機構	階層構造ニューラルネットワーク	学習能力
学習機能	誤差逆伝播法	推論機能の学習

2) if then ルール

if then ルールとは、ファジィ理論を用いて学習を繰り返すことによる重みの変化をルール化する時に用いられている。

例：

If ([ひび割れ幅(mm)] =かなり大きい) and([ひび割れ状況(本数など)]=かなり多い)

Then([ひび割れ状況]=0.0)



学習後に重みに変化

If ([ひび割れ幅(mm)] =かなり大きい) and([ひび割れ状況(本数など)]=かなり多い)

Then([ひび割れ状況]=10.0)

3) 階層型ニューラルネットワーク

階層型ニューラルネットワークでは、図-2.4 のようにひび割れ幅と、その本数から推論された数値を平均値化することによって、平均健全度として評価している。

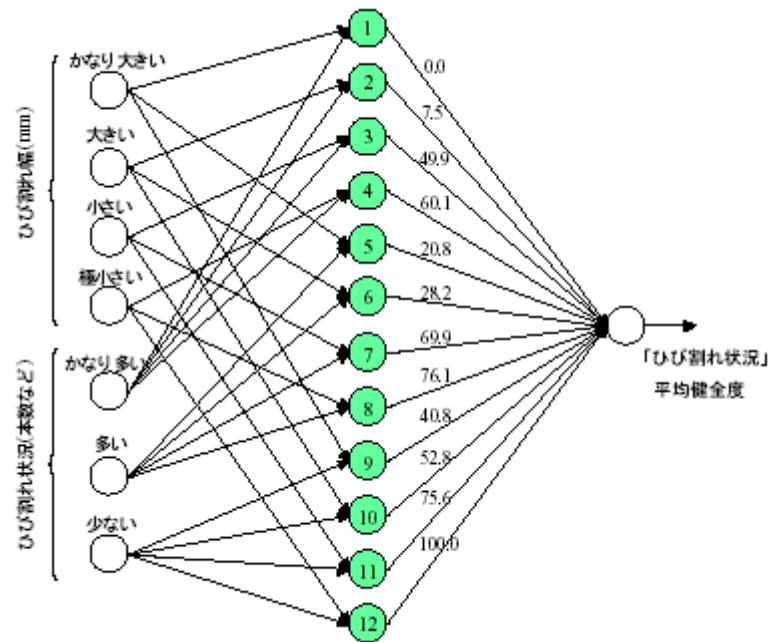


図-2.4 階層型ニューラルネットワーク概念

診断結果の一覧表では、図の主桁 3 項目、床版 3 項目、計 6 項目から主桁と、床版についての評価と、対策を提案する。評価過程は、表-2.6 に示す 25 項目に対して先に述べた評価手法の過程を経て評価され、最終的には、主桁と床版に対する耐荷性と耐久性から判断され平均健全度として現される。提案内容は、図-2.6 に示す対策分類により決定される。推奨対策は、境界値は基準表の値に準じながらも図-2.7 のように耐久性と耐荷性の 2 軸での判断を行っている。

表-2.6 評価過程手法

評価過程			健全度診断時	
No.	部材分類		No.	部材分類
1	主桁	主桁設計	1	主桁
2		主桁施工		
3		主桁供用状態		
4		主桁材料劣化		
5		曲げひび割れ		
6		せん断ひび割れ		
7		鉄筋腐食ひび割れ		
8		付着ひび割れ		
9		主桁の全体的損傷		
10		主桁耐荷性		
11		主桁耐久性		
12		主桁耐用性		
13	床版	床版設計	2	床版
14		床版施工		
15		路面状態		
16		床版供用状態		
17		床版材料劣化		
18		ハンチ沿いのひび割れ		
19		支点付近のひび割れ		
20		床版中央のひび割れ		
21		床版の全体的損傷		
22		床版耐荷性		
23		床版耐久性		
24		床版耐用性		
25	張出床版	床版張り出し部ひび割れ		

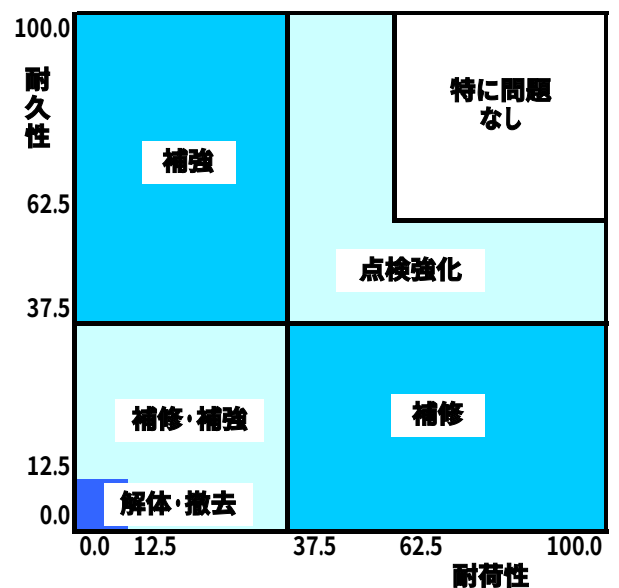


図-2.7 対策分類法

9.2.2.3 北海道BMS（北見工大・開発土木研究所）

（１）概要

国土交通省北海道開発局では、約 3,500 の国道橋梁を管理しており、「橋梁点検要領（案）」（S63 建設省土木研究所、以下、要領案）により毎年約 300 橋の点検を実施している。これらのデータを活用して、長期的視点に立った維持管理計画の立案や、国民に対し説明責任を果たすべく事業の透明性を高めることを目的として、道路管理者が維持補修の意思決定の支援システムとして独立行政法人北海道開発土木研究所と北見工業大学により開発されたシステムである。

システム構築においては以下の4項目を重点目標としている。

a) 橋梁点検結果の有効活用

橋梁点検から、健全性を分かりやすく評価する

b) 重大事故の発生防止

重大事故に至る可能性のある損傷の確実な抽出

c) 全ての管理階層で活用可能なシステム

管理事務所レベルでは個々の橋を、部局では路線、地域といった群で健全性や管理レベルを検討するため、これに対応できるアウトプット

d) 補修による効果の検証

補修の有無による健全性の推移や管理者が意思決定した事業計画の評価が可能であること

（２）北海道 BMS の基本フロー

北海道BMSは図-2.8に示すような流れでシステムが構築されている。

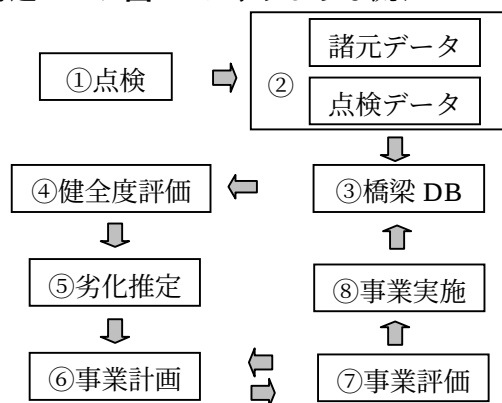


図-2.8 北海道 BMS のフロー

a) 橋梁の点検とデータベース

基本となる橋梁点検は、要領案により実施している。要領案では20の橋梁部材と32の損傷を規定し、損傷の種類(X)、深さ(Y)、拡がり(Z)によりOK、IV、III、II、Iの5段階の損傷ランクに評価する。損傷判定例を表-2.7に示す。

表－１ 損傷判定例（床版）

		大	中	小
パターン	X	2方向ひび割れ	—	1方向ひび割れ
深さ	Y	錆び汁を伴う またはひび割れ 幅0.3mm以上	漏水を伴うまた はひび割れ幅 0.3～0.2mm	ひび割れ幅 0.2mm以下
拡がり	Z	ひび割れ間隔 50cm未満	—	ひび割れ間隔 50cm以上

X	Y	Z	ランク	X	Y	Z	ランク
大	大	大	II	小	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

橋梁DBは、道路管理データベース（MICHIシステム、Ministry of Construction Highway Information Data Base System）から抽出した橋梁諸元に、点検により得られた損傷ランクを部材ごとに割り当てて作成したものである。橋梁DBは健全度評価、劣化推定、事業計画までの一連の検討に使用されるほか、システム上では各種検索により必要データの抽出が可能である。

b) 健全度評価

本 BMS では部材レベルの損傷評価(EHI)と橋あるいは橋梁群の健全度(BHI)を用いて検討を行っている。表-2.8 に健全度評価例を示している。

EHI は個々の部材の補修の必要性を判断するもので、5 段階の損傷ランクごとの数量と損傷による減少率：Wf を用いて以下のように表している。

$$EHI = \sum (\text{損傷 } i \text{ ランクの数量} \times Wf_i)$$

ここで、i は OK～I

損傷による減少率 Wf は損傷ランクに応じて 1.0～0.0 の値を均等配分して用いている。減少率は損傷のランクごとに均等配分ではないことも考えられるが、現在の研究レベルではこれを定量的に表せるほどのデータが取得できていないため均等としている。

個々の橋梁の健全度 BHI は、

（部材健全度×部材数量×部材単価の総和:CEV）と（部材数量×部材単価の総和:TEV）の比としている。

表-2.8 健全度評価例

ランク	OK	IV	III	II	I	部材の健全度	全数量	部材単価	総価格 TEV	現在価格 CEV
Wf	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00					
床版	75.0	0.0	0.0	16.7	8.3	79.2	330	50	16,500	13,063
主桁	0.0	33.3	8.3	25.0	0.0	35.4	60	500	30,000	10,625
舗装	0.0	50.0	50.0			62.5	300	4	1,200	750
伸縮装置			50	50		37.5	20	50	1,000	375
排水装置	100					100.0	10	20	200	200
支 承		50	50			62.5	8	1000	8,000	5,000
防護柵		80	20			70.0	60	30	1,800	1,260
橋 台		50	50			62.5	700	60	42,000	26,250
橋 脚						0.0	0	60	0	0
合 計									100,700	57,523

$$\text{橋梁健全度} = \frac{\text{CEV}}{\text{TEV}} = \frac{57,523}{100,700} = 57.1 \%$$

BHI 算出において、荷重を支持する重要な部材と、形状を保持するための 2 次的な部材を同一に扱うことはできないので、部材の重み係数が必要となる。多種多様な部材や材料で構成される橋梁では部材の重み係数を決定するのは難しいため、本 BMS では、主桁や床版等のように部材の重要度が高いほど建設費が高く、重要度が低い部材は建設費も安価と考え、部材の建設費を重み係数として用いている。尚、橋梁個々の部材建設費を重み係数として用いることにより、橋梁規模を考慮した路線、地域などの橋梁群の健全度を以下のように算出している。

$$\text{橋梁群の健全度} = \sum \text{CEV} / \sum \text{TEV}$$

ここに、

$\sum \text{CEV}$ ；対象とする橋梁群の現在価値の総和

$$= \sum (\text{建設費} \times \text{健全度 BHI})$$

$\sum \text{TEV}$ ；対象とする橋梁群の建設費の総和

図-2.9～図-2.11 には算出した健全度の活用事例を示す。図-2.9 は地区や路線別に比較して管理

状態を示しており、管理部局間の相対的な比較により全体的な管理状態と今後の予算配分の計画が可能となる。また、図-2.10 に示すように部材ごと健全度を示すことで、地区や路線の損傷の特徴や管理状態を把握でき、例えば今後数年間で床版の健全度を上げる、地震多発地帯では特に支承の管理状態を注視するなどといった長期的な維持管理の目標や方針の設定が可能となる。

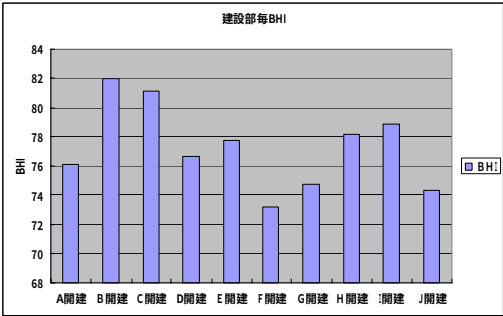


図-2.9 地区別管理状態

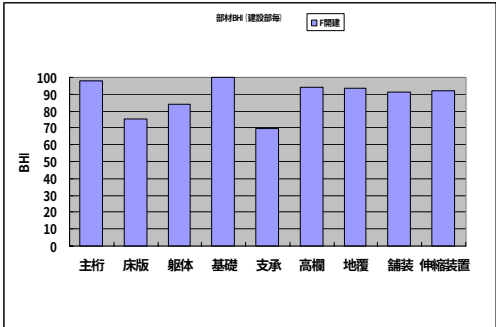


図-2.10 部材別管理状態

図-2.11 は、部材ごとの管理状態を示すもので、良い管理状態にあるもの、そうでないものを集約した結果で、EHI の管理目標を設定することにより、どれだけの量の補修が必要か、あるいは今後補修が必要となる橋梁がどれだけあるかを把握することができる。

c) 劣化推定

橋梁に限らず土木構造物には建築分野における設備等で用いられる原価償却や耐用年数といった考えを持たないため事業実施時期を検討するため、今後の劣化の推移を推定する必要がある。

本システムでは、マルコフの遷移確率理論を用いて劣化を推定している。マルコフの遷移確率を用いる手法は、劣化推移をランク毎に予測可能なことから平均化された健全度の推移だけではなく、損傷の大きさ、範囲などを考慮した予測が可能である。

劣化の進行を表す遷移確率行列には、これまでに得られている点検データを用いて、同一箇所における損傷ランクの推移を平均化した値を用いている。

このようにして求めた平均的なランクの推移は表-2.9に示すとおりであった。ここで、表に示す推移年は、例えばOKからIVに推移する年数は16.7年であることを示している。

表-2.9 床版の推移年

ランク	推移年	累積年
OK	0.00	0.00
IV	16.67	16.67
III	5.96	22.63
II	5.71	28.34

d) 事業計画

本BMSにおいて検討する事業計画は、劣化推定をもとに部材が補修を必要とするレベル（ランクⅡ）で事業計画を立案する方法と、損傷の早い段階で、例えばランクⅢの段階で予防的に新技術を適用した補修を行い長寿命化を図るといった2つの事業計画を立案する。これらの2方法のライフサイクルコストを比較すると、これまでの各種研究成果として報告されているように、ほとんどの部材で損傷の早い段階で補修を行うことがライフサイクルコストを低減することができる。

これらの事業計画案をベースに、例えば限られた予算条件の下で路線のBHIを平準化するという目的を与えた場合、どの橋梁にいくらの予算を配分して補修すべきかを計画案を修正して、事業の効果を評価しながら最終的な事業の計画を行うこととなる。

図-2.12はそのアウトプット例であり、補修を行わない場合の健全度の推移と補修を行った場合の健全度の推移を示している。

これまでのBMSの検討例では予算の平準化のため優先順位が重要と考えられているが、優先順位決定にはネットワーク、路線、交通量等と合わせて経年劣化による損傷を扱うこととなり、現在の研究レベルでこれらを合わせて評価するのは難しいと考えられ、悪い橋梁から補修するといった方法を基本に考えている。その中で、予算の平準化を行う必要がある場合には事業を前倒し（損傷の早い段階で補修する）で対応することと考えている。なお、ここでは補修を推奨する年と、その年に必要な概算補修費用を算出するが、緊急対応が必要な損傷、劣化が経年的に推移しない部材の損傷および日常的なメンテナンスで対応可能な項目については、シミュレーションの対象とはしていない。

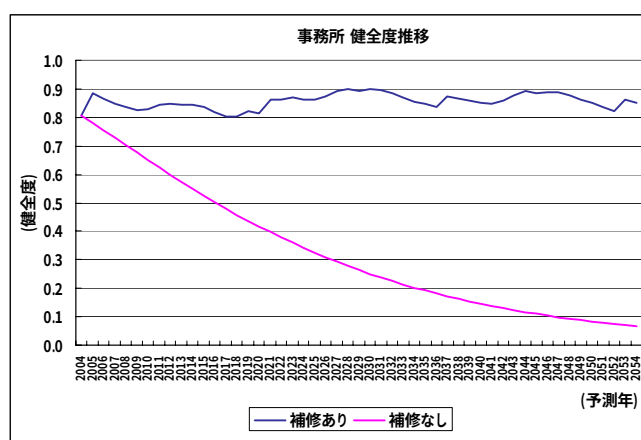


図-2.12 橋梁群の健全度の推移例

9.2.3.3 PONTIS (Ver4.0) 調査結果

(1) システムの概要

Pontis は、「損傷状態にある多数の橋梁のうち、限られた予算内で、どの橋梁から優先的に対策を行うかを投資と効果から判断する」ことを支援するマネジメントシステムである。米国では 40 州以上、カナダ、クエート、ハンガリー、ロシアがシステムを導入しており全世界的に有名な BMS である。

本 BMS の特徴は、

- ① 橋梁点検システムと連動し、橋梁点検レポートの作成が可能
- ② 健全度評価方法が容易で、誰にでも理解し易い
- ③ 機能的性能不足（幅員が狭い、建築限界違反）による改築提案も可能
- ④ 1 橋単位から路線、ネットワークレベルまでの事業計画が可能
- ⑤ 長期（最大 30 年）補修事業計画、予算計画の作成が可能
- ⑥ 劣化予測では 4 つの環境条件が用意され、橋ごと、部材ごとに設定可能

一方で、

- ・橋梁の損傷状態から健全度評価を行っており、耐荷性や耐久性の評価をするものではない
- ・状態評価により安全性を確保するため、2 年ごとの橋梁点検が必要
- ・具体的な補修対策は立案しない

などが挙げられる。図-2.13 にシステムフローを示す。

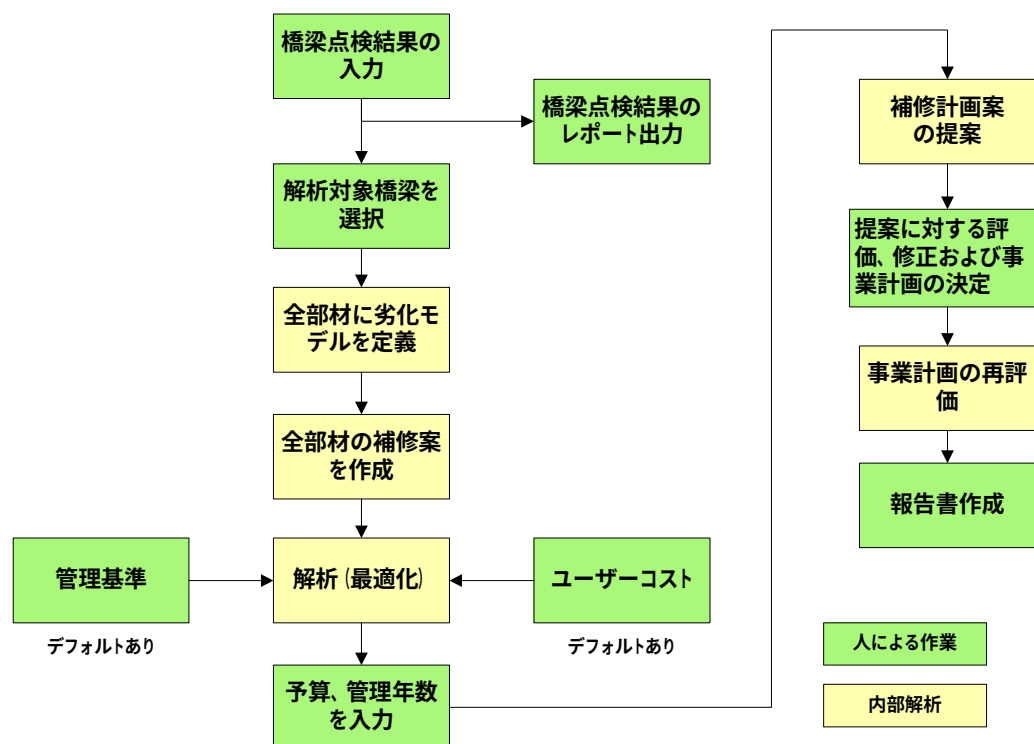


図-2.13 システムフロー

1) 健全度評価

米国 Pontis の健全度評価は、BHI (Bridge Health Index: 以下 HI) で行われている。NBI (National Bridge Inventory: 橋梁目録) には橋梁の状態表す数値 Sufficiency Rating (SR) が入力されている。しかし、SR は橋梁の健全性と機能的満足度を組み合わせた数値であるため、橋梁の損傷度を正しく評価できない。このことから、橋の状態を表す数値として HI を導き出し、橋梁点検結果のみを用いた健全度評価手法を採用している。HI 算出にあたって橋梁点検結果と連動させるため、Element Level Inspection Process (点検項目と損傷の評価基準を部材ごとに示したもの) に基づき、点検、評価が行われ、直ちに結果はデータベースに登録される。点検結果を入力すると、直ちに部材、橋およびネットワークの健全度が計算される。健全度評価例を図-2.14 に示す。

Active 40 - Version Data 4.0.0.1

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help

File Edit View Window Help</

図-2.14 健全度結果

2) 劣化予測

Pontis の劣化予測にはマルコフ連鎖モデルが利用されている。これは、現在の状態が n 年後にその状態の変化を確率で表したものである。遷移確率は理論的な解析によるものでなく、エキスパートシステムが用いられており、2 回以上の点検結果が入力されると、その部材独自の劣化予測を行うシステムとなっている。Pontis では 2 年ごとの点検が必須であること、利用者が作成する長期事業計画は 5~10 年程度であることから、正確な劣化予測システムを必要としていない。

9.3 橋梁点検結果と各種劣化要因との関連について

(1) 目 的

本項では、既往の橋梁点検の損傷データの分析から、橋梁構造物の維持管理における北海道特有の問題を抽出することを目的としている。特にこれらの分析は、

- ①点検時の重点項目の抽出
- ②劣化推定における環境区分の特定
- ③LCC 分析などへの応用

などに有効活用され、今後の北海道における維持管理システムを構築する上でも重要なデータになる。

(2) 分析の元になるデータの現状

(1) 損傷項目の整理

昭和 63 年に土木研究所より出された橋梁点検要領（案）（以下要領(案)）における損傷項目は以下のとおりになっている。

表-3.1 要領(案)における損傷の分類

材 料	番 号	損 傷 種 類	材 料	番 号	損 傷 種 類
鋼	1	腐 食	そ の 他	15	遊間の異常
	2	亀 裂		16	段差・コルゲーション
	3	ゆるみ		17	ポットホール
	4	脱 落		18	舗装ひびわれ
	5	破 断		19	わだち掘れ
	6	塗装劣化		20	その他
コンクリート	7	ひびわれ	共 通	21	変色・劣化
	8	剥離・鉄筋露出		22	漏水・滞水
	9	遊離石灰		23	異常音
	10	豆板・空洞		24	異常振動
	11	すりへり・浸食		25	異常たわみ
	12	抜け落ち		26	変 形
	13	鋼板接着部の損傷		27	土砂詰り
	14	床版ひびわれ		28	沈 下
				29	移 動
				30	傾 斜
				31	洗 掘
				32	欠 損

図-3.1 は、北海道の国道橋における要領(案)にのっとりて点検された過去の損傷項目の度数分布である。

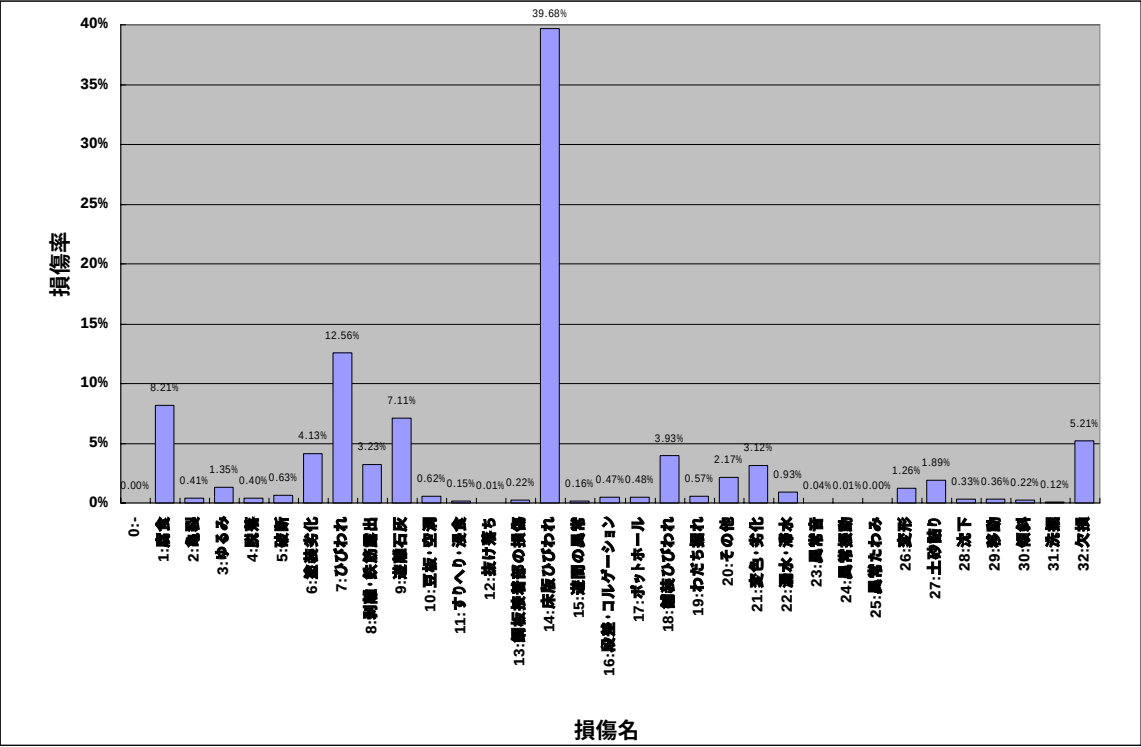


図-3.1 橋梁点検の損傷数比較

上記の結果より、主構造部材における損傷としては、下記の損傷が多いことがわかる。

表-3.2 損傷の分類

	損 傷 種 類
鋼 橋	腐 食
	(塗装劣化)
コンクリート橋	床版ひびわれ
	ひびわれ (遊離石灰、剥離鉄筋露出を含む)

よって、今後の分析においては、主に上記の損傷に注目することとする。

(2) 劣化要因について

次に、橋梁部材の損傷に影響を及ぼす要因を整理する。これらの要因は、大きく外的要因および内的要因に分けられ、項目を列挙して下表に示す。

表-3.3 部材損傷に影響を及ぼす要因

外 的 要 因		内 的 要 因		
外 的 作 用	環 境	材 料 劣 化	製 作 ・ 施 工	構 造
・ 交通荷重 繰返し荷重 持続荷重 衝突 ・ 偏土圧・圧密沈下 洗掘・浸食 地震	塩 害 凍 害 乾燥収縮・温度変化 化学的腐食	アルカリ骨材反応 中 性 化 品 質 不 良	製作・施工不良 防水・排水工不良	構造形式・形状不良

当初の目的を考えると、これらの損傷を引き起こした要因を明確にし、分析をしなければならない。しかし、橋梁点検は、これらの要因によって引き起こされる部材の損傷（腐食、ひびわれ、亀裂・・・・・・）が明らかになるのみで、複雑に影響するであろう各種要因を直接的に分析することは難しい。よってここでは、劣化要因に対する支配的な条件（環境条件、地域、起こりうる損傷）を想定して、以下の項目を選び、先に分析した主要案損傷項目に注目し、それらの傾向を明らかにする事を考えた。

表-3.4 今回の分析対象

分析対象となる要因	注目する損傷種別
交通荷重（交通量）、塩害、凍害	腐食、塗装劣化、ひびわれ、床版ひびわれ

(3) 各劣化要因と橋梁点検結果による傾向分析

(1) 塩害

まず、道路橋示方書にある塩害地域区分を以下に示す。



表-3.5 塩害地域区分

地域区分	海岸線からの距離	対策区分	影響度合い
B	海上部および海岸から 100m まで	S	影響が激しい
	100m をこえて 300m まで	I	影響を受ける
	300m をこえて 500m まで	II	
	500m をこえて 700m まで	III	

損傷の傾向を、北海道全体と、上記の B 地域と比較し、塩害による傾向分析を行った結果が以下の図である。

a) 損傷度数分布の比較

まず、下図のように、ほぼ全道平均と同様であるが、床版ひびわれと腐食の比率が高い結果となっている。

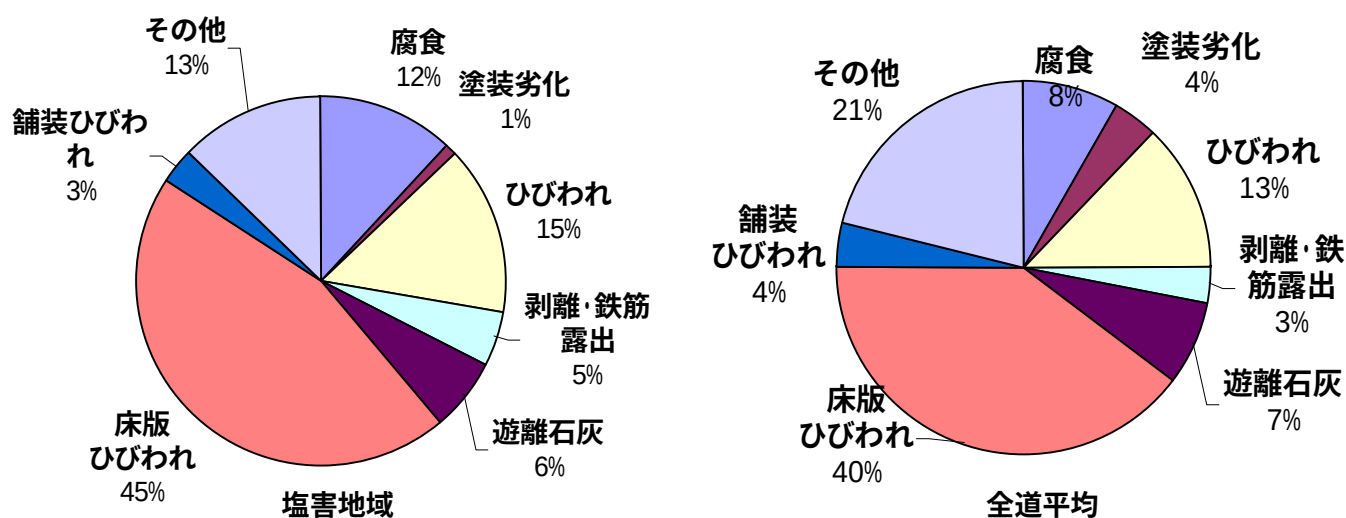


図-3.2 塩害地域(左のグラフ)と全道傾向(右のグラフ)との比較

b) 損傷度数分布の比較（ランクⅡのみ）

次に、要注意ランクであるⅡの損傷の度数分布の比較を行う。

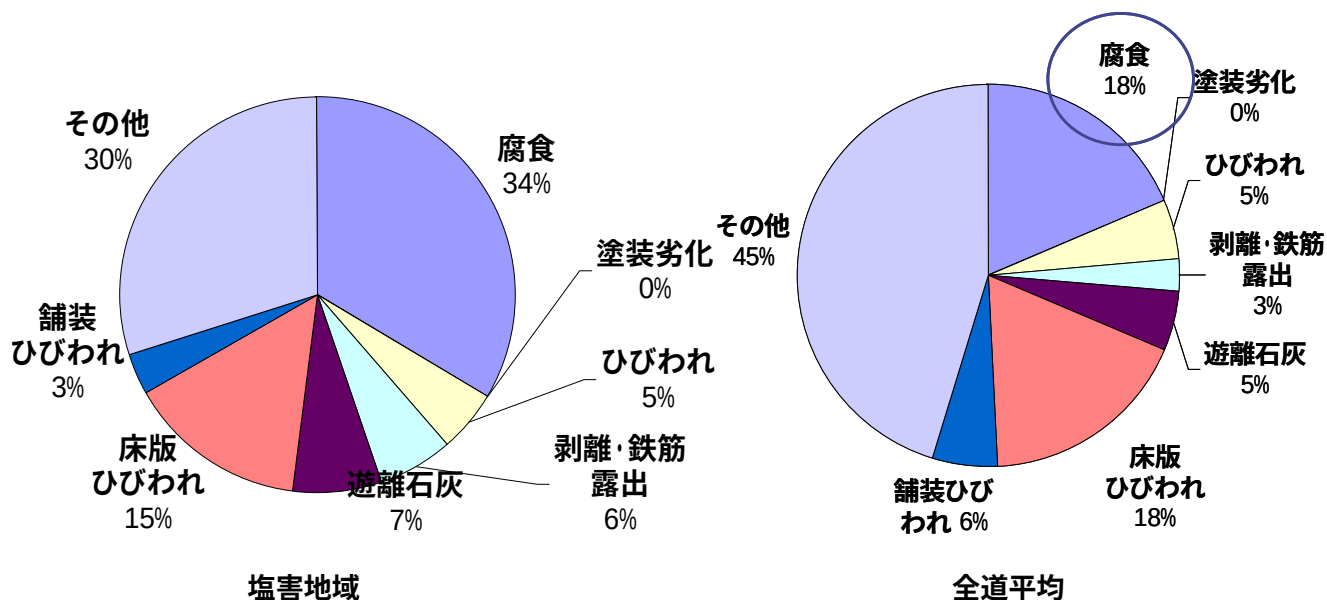


図-3.3 塩害地域(左のグラフ)と全道傾向(右のグラフ)との比較（ランクⅡのみ）

c) 結果の考察

他地域に比較して、塩害地域においては、鋼部材の腐食劣化の割合が高い。特にランクⅡの比較ではこの傾向が明らかであり、これらの地域で塩害による影響が大きいことがわかる。一方で塩害におけるコンクリート部材への影響については、結果としてあらわれるひびわれにかかわる要因が複数あり、塩害による影響を評価するためには、コンクリート内部に浸入した塩分量の測定等、詳細な検討が必要である。

a) 分析結果

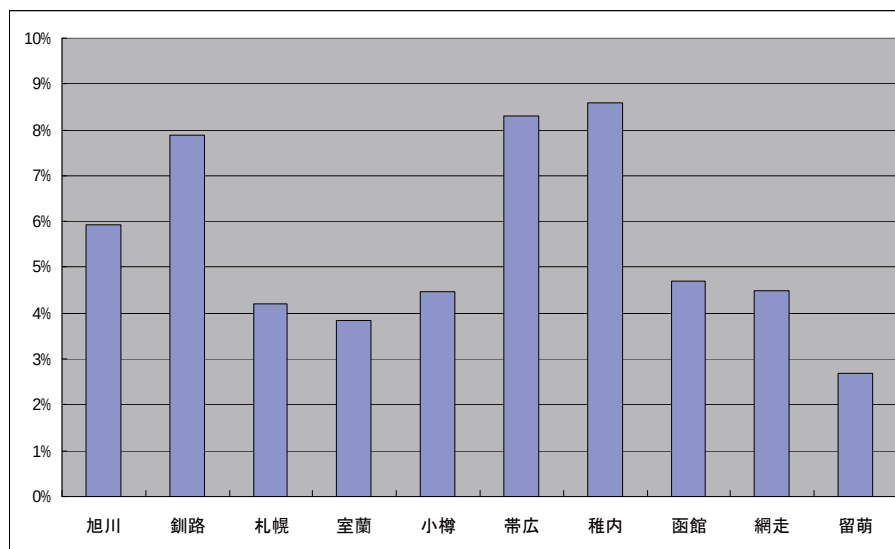


図-3.5 着目部材の度数分布

上記は、各開発建設部の地覆、縁石の損傷度数である。これによると、着目した地域においては、他地域に比較して度数が多い傾向にある。

b) 結果の考察

地覆、縁石については、地域による傾向が確認できた。しかし、点検の結果から得られた地覆、縁石の損傷から判断しているもので、必ずしも凍害による損傷とは限らない。したがって、より詳細に凍害による影響を切り分けるためには、損傷の原因も含めた点検を行う必要がある。

(3) 交通量

以下はセンサスデータによる交通量を表したものである。

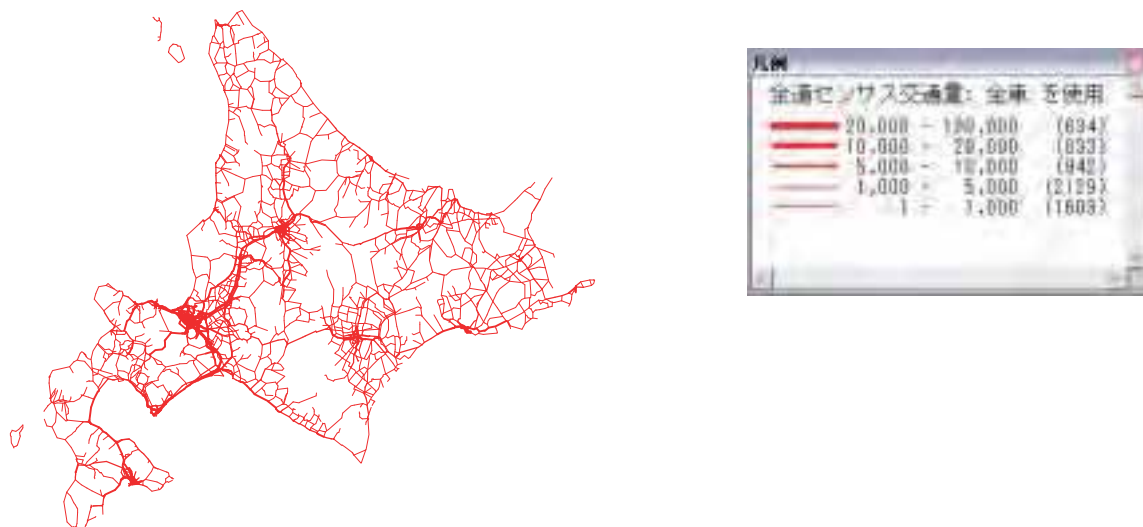


図-3.6 センサスデータによる交通量の表示

a) 着目地域

本分析においては、他の要因（塩害など）が関係しない交通量の多い路線を選定（12号、36号、275号）した。なお、対象路線の交通量は全道平均台数 7,359 台に対して、15,196 台となっている。

b) 損傷度数分布の比較

損傷の度数分布を以下に示す。着目地域においては、全体とほぼ同じ傾向になっている。

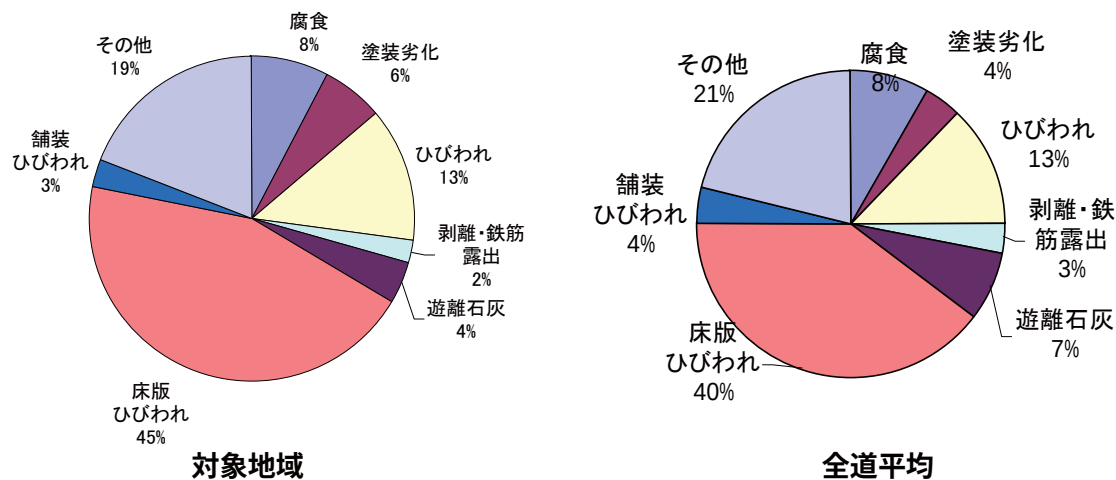


図-3.7 交通量による比較

c) 損傷度数分布の比較（ランクⅡのみ）

ランクⅡのみでの比較を以下に示す。これについてもほぼ同じ傾向にある。

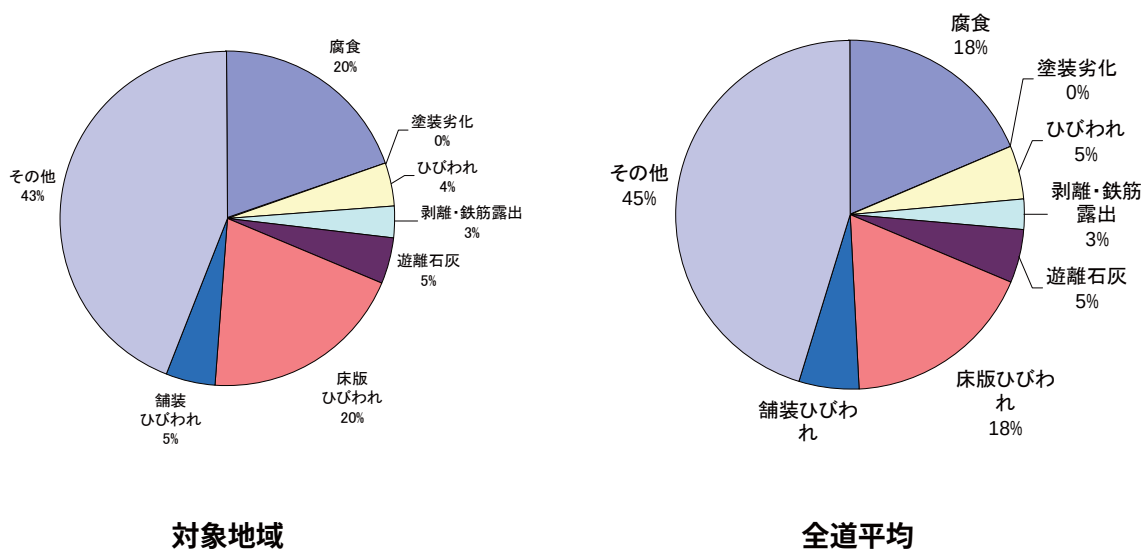


図-3.8 交通量による比較（ランクⅡのみ）

d) 損傷度数分布の比較

交通量の大小による損傷の違いは、様々な要因が関わるために、さらに詳細な検討が必要である。

(4) まとめ

以上の分析により、塩害、凍害、交通量による影響は若干生じていると推定される。しかし、実際には様々な要因が複合的に劣化を促進させていると考えられる。特に、交通量にかかわる影響は、関連する部材、損傷などが多いために、詳細な構造データを基にした分析が必要である。しかし、現状の橋梁諸元データ（MICHI）には架橋位置データ、交通データ、補修データなどが十分整備されているとはいえず、今後 BMS を構築することを考えると、これら必要なデータは充実していく必要がある。

9.4 橋梁点検・診断技術に関する調査

橋梁の定期点検（近傍）は、現在 10 年 1 度の頻度でⅡ～OK の 4 段階の損傷度評価が実施されている。

供用年数 30 年以上となる橋梁が増加する今後において、橋梁点検における見落とし、あるいは損傷度評価の個人差が将来的に大きな問題を引き起こす可能性が考えられる。また、橋梁ストックの増大に伴い、BMS 等のデジタル評価とならざる得なく、橋梁点検における損傷度評価の精度が益々重要となって来ている。

一方、橋梁点検に関しては、測定機器等の開発が進められているが、経費、操作時間等の問題から点検技術者の目視によらざる得ないのが現状であり、橋梁点検に係る技術者の育成が従来より指摘されている。

目視点検によって損傷が確認された場合、その損傷が耐荷力や耐久性に影響のある損傷であるかが判断できない場合には、定量的に評価するため測定機器を用いた診断技術が重要となる。

本章ではこれまでに開発された診断・モニタリング技術について調査を行い、用途別に特質等を整理して取りまとめた。これらの技術は、実用化されているもの、開発途上にあるものも含まれ、費用も高価なものから安価なものまであり、点検・診断を行う場合にこれらの技術を利用する場合には、コスト面、期間、データの管理方法等の検討も行う必要がある。

			・定量的・客観的な判断ができる。 ・得られた結果をデータベース化し、再利用が可能。 などの長所がある。所定の精度を得るためには、高い解像度が必要になるが、現場での撮影に手間がかかる事から、留意が必要である。
食面積	赤外線サーモグラフィ	赤外線サーモグラフィにより対象部位を撮影し、冷却時の周囲との温度差で腐食面積を算出する。赤外線サーモグラフィによる測定は、CCDカメラによる利点と同様に ・検査用の足場が不要 ・経験・知識を必要としない。 ・定量的・客観的な判断ができる。 ・得られた結果をデータベース化し、再利用が可能。 などの長所がある。一方で、実際の計測においては、冷却時間が早く現象をとらえにくい事から、何らかの工夫が必要になる。	
食減肉厚さ	超音波厚さ計	鋼材表面に探触子を当て、超音波を入射し、鋼材の終端における反射エコーを受信し、エコーの位置から厚さを推定する方法。同じ原理である超音波探傷試験による欠陥の検出と比較して、厚さは測定しやすいが熟練を要する。	
食減肉厚さ	電気抵抗法	腐食減肉厚さを電気抵抗の増大から求める。環境や温度、材料によって種々のプローブが用意されている。また、エレメントの形状や寸法により測定感度、プローブの寿命が異なるので環境に合わせた適切なプローブと取り付け位置の選定が重要である。	
食減肉厚さ	電気化学ノイズを利用したモニタリング	金属の腐食の発生の、原位置測定方法として、近年研究が行われている手法。電極表面での微小な酸化還元反応の発生メカニズムを、精密な電圧と電流測定によりこの解明し、腐食現象とノイズ形態の対応付けを行うことにより、極めて感度の高いモニタリング手法として利用しようとする方法である。現在多くが研究段階であり、橋梁への適用はこれからといえる。	
食減肉厚さ	パルス過流法	保温材などを介して減肉測定を行うために、直流・パルス電流を流したコイルを用いて、渦電流を隆起させる。隆起された電流は、母材中に拡散しながら減衰し、裏面に達した時点でさらに減衰する。ある一定範囲内のこれらの電流の状況をモニタリングして、腐食減肉厚さを求める。測定対象物表面が被覆材によりコーティングされている場合でも、被覆剤を除去せずに測定が可能である。	
		測定値は測定範囲内の平均肉厚であるので、測定最小値が必ずしも肉厚の最小値とは限らず、ピッド、孔食などが単体で存在している場合は検出不可能である。	
食外力	ACM型腐食センサ	大気中の腐食影響因子をセンサにより測定、母材の腐食速度などを推定する。適用上の留意点としては、センサによる値が鋼材における値と全く一致する訳ではないことを念頭に置いて、過去の事例などから各種腐食環境値を推定する必要がある。	
食量	全磁束法	主にケーブルロープの腐食をモニタリングする方法で、ロープ内を通る磁束（全磁束）の測定値で腐食などによる欠損断面積を評価する方法。腐食によって発生した赤錆は非磁性体のため、腐食部は断面積欠損とみなすことができる。	
食度合	塗膜下金属腐食診断装置	カレントランラブ法により、塗膜下の腐食などによる変状を推定可能で、高抵抗塗膜についても適用可能である。現状では研究段階であるが、今後製品化される予定となっている。	
然電位	自然電位法	コンクリート中の鉄筋腐食状況を異なる電気化学的方法を複合的に用いて分類評価する方法。ポリマー系セメントが使用されている場合は測定できないと言う留意点はあるが、鉄筋の腐食度の推定精度は高い。	
裂形状	磁粉探傷試験	亀裂部分に磁粉を吹き付け磁石により磁化させ、亀裂部分に滞留した蛍光磁粉に紫外線を照射して検出する方法。表面の凹凸が著しい場合、結果の判定を謝りやすいが、微細な亀裂寸法の測定精度に優れる。	
裂形状	浸透探傷試験	亀裂部分に浸透液を染みこませ、毛細管現象により浸透液が現象孔の微粉未中に吸い出される原理を利用して検出する方法。正確な寸法検出は困難であり、亀裂の表面形状の目視確認に利用される。	
裂形状	過流探傷試験	交流を流したコイルに発生する渦電流の、鋼材表面の亀裂の発生による変化を電氣的信号として探知し、信号の振幅および位相から損傷部の程度を把握する方法。表面亀裂の検出および、亀裂の深さの情報も得られる。塗膜の除去が必要。正確な寸法検出は困難である。	
裂形状	放射線透過過試験	放射線の透過により、溶接内部の欠陥をフィルムに投影して発見する方法。使用上の制限が多く、作業の安全管理が必要になる。	
裂形状	超音波探傷試験	鋼材表面に探触子を当て、超音波を入射し、欠陥表面からの反射エコーを受信し、エコーの位置と大きさから亀裂を発見する方法。同時にその原理を使用して、部材の厚さを調べることが可能である。最近ではコンパクトで簡便な測定機器が数多く販売されており、利用しやすくなっている。	
裂進展	断線ゲージ	疲労亀裂が断線ゲージ貼付位置に到達し、ゲージのセンサ部を断線させることにより亀裂の発生、進展状況を監視する。疲労亀裂の進展をある程度定量的に把握が可能であるが、亀裂発生前に使用する場合、亀裂発生地点をあらかじめ想定しなければならぬため、困難である。	
裂進展	犠牲試験片による方法	中央に人工亀裂を有する犠牲試験片と呼ばれる薄板の試験片を使用する方法で、鋼材表面に接合し、構造物の変動応力の負荷過程を試験片に蓄積させ、試験片の人工亀裂の進展状況より部材の応力状態や疲労損傷の可能性を推定する方法。現状では、試験片が大型なため、応力集中部の局部応力測定には適さない。一般に各社から提案されている疲労センサなどと同じ考えからきている。	
裂進展	AE法	疲労亀裂の発生、進展に伴い発生する弾性波(AE)を材料表面で検出し、増幅、信号処理することで変形や破壊現象を捉える方法。しかし、実橋の部材に発生する各種のノイズと、計測対象から発生するA Eを区分する事が必要で、絶えず	

面積		CCDカメラ	対象部位をCCDカメラで撮影し、対象部位のみを切り抜き画像を2値化する。そして、濃淡の区別をしながら、劣化部をグレースケール別面積を集計する。あらかじめ決めた判断基準により、劣化度をランク付けする。よって判断基準の設定が重要となる。腐食面積の測定と比較して、劣化部を抜き出す事は非常に難しい。
われ形状		CCDカメラ	床版下面を高解像度のデジタルカメラで撮影、パソコン上で画像処理を行うことにより、ひびわれの諸量（幅、長さ、密度）を推定する。認識できるひびわれ幅が、撮影面積に依存するので、調査したいひびわれ幅と撮影面角との関係をあらかじめ認識しておく必要がある。但し、撮影面積を大きくすることは、認識できるひびわれ幅を多くすることになるが、現場での撮影に手間がかかりすぎるため、その点に留意する必要がある。
われ深さ		超音波法	コンクリート部材において、健全部とひびわれ部の超音波伝播時間を同じ距離で測定し、両者のデータの比較によりひびわれ深さを算出する。
測定		放射線法	X線によりコンクリート内部を撮影し、空洞を検出する。使用上の制限が多く、作業の安全管理が必要になる。
測定		電磁波法	コンクリート表面上にアンテナを走査させて空洞からの反射波を得る。反射波の画像から深さおよび大きさを得る。空洞の状況を2次元画像として得られる事ができるが、作業には熟練を要する。
測定		赤外線サーモグラフィー	主に、健全部分と損傷部分との温度差が生ずるという特性を利用して、赤外線カメラによる撮影を用いて、損傷を把握する方法である。特に床版においては、剥落の恐れのあるコンクリート内部のうきを発見する目的で、国土交通省の第3者被害予防点検にも採用された。留意点としては、測定精度および適用限界が気象条件に左右される（人工加熱を併用する場合を除く）、表面の光沢や、汚れによる温度差を損傷と誤認する場合がある、異種材料部の境界部において認識が困難である、測定対象物の立地条件などによつては、適切な距離や角度などからの測定が困難な場合がある、などがある。概要はゆるみ、破断の検査と同じであるが、広範な範囲のコンクリート表面に対して試験を行うために、表面処理、打撃の均一性確保などに対する留意する事と、たたきに関する作業の効率化が今後の検討課題である。
測定		打音法	
		振動測定法	橋梁部材の振動応答を、加速度計等を用いて測定し、損傷による橋梁部材の固有振動数の変化、減衰定数の変化等を捉え部材の健全度を評価する方法。橋梁全体の評価が可能になるが、検出の精度確保、客観的な評価方法の確立が望まれる。
		簡易センサー	部材間を、センサーを設けたワイヤロープで接続し、部材間変位に対してセンサーに設けた弱点部が破断することにより異常変位を検知する。異常変位が起こる事が考えられる部位での利用が有効である。あらかじめ簡易センサーに作用する破断強度と変位の関係を明確にすれば、所定の異常変位量に対して検知可能である。
		レーザードップラー速度計	レーザ光が移動体によって反射散乱されるときドップラ効果による光周波数の変化を利用した速度の測定方法である。特徴としては、計測対象に対して、反射レープなどの特別な表面処理を施すことなく非接触で距離計測が行うことができる。計測可能な周波数帯域が広い。センサー内部に取り付けた反射鏡を可動させレーザ照射角を制御することにより空間的に多点の計測が可能になる。
		磁歪法	鋼材などの強磁性体にひずみが作用すると、ひずみの大きさと方向に応じて磁化特性が変化することを利用した応力測定法である。測定する鋼材自体の磁気ひずみ特性を利用しているため鋼材が受けている全応力に対応した出力が得られ、応力変化だけでなく、初期値なしで残留応力や死荷重応力が測定できる可能性があり、以下の特徴を有する。 ・塗膜の上から計測ができる。 ・前処理（塗膜の除却、ゲージ取付面の研磨等）が不要。 ・後処理（塗装）が不要。 ・面の計測ができる。 ・任意の点での計測ができる。 などの特徴がある。ただし、これによって得られた応力についての評価手法はまだ、検討段階であり、今後の発展が望まれる。
み		光ファイバー（OSMOS）	両端を構造物に固定した光ファイバーの撚り線（工学ストランド）に赤外線を通し、光の強度の変化を計測・比較する事で構造物の変形や動きを検知する。本システムは、特に大型構造物の全体挙動の把握や、非均質材料（ひびわれなどのあるコンクリート部材）の挙動測定に適している。
み		光ファイバー（BOTDR）	光ファイバー内に生じるブルリアン散乱光の周波数が光ファイバのひずみに依存性がある事を利用して、そのシフト量を測定する事によって、光ファイバに生じるひずみを測定する事ができる。本システムは、大型構造物の面的計測、長距離計測、異常箇所の特定に適している。但し、信号処理に時間がかかるため、振動などの動的計測は不可能である。
み		光ファイバー（FBG）	光ファイバ“のコアの一部に一定の間隔で形成した回折格子冊G）を設け、回折格子により反射する光（ブラッグ’波）の波長の変化を利用してひずみを計測する方式。ひずみ発生位置は、センサー部（回折格子）の固定位置で特定される。1カ所あたりのゲージ長が10cm以下と短く、局所的な計測に適している。
み		光ファイバー（SOF0）	あらかじめデレンションを与えられ、測定間の距離に応じて伸び縮みする測定用のファイバーと、測定間の距離には左右されない参考用のファイバーの両者の差により、長さを測定する。特に大型構造物の全体挙動の把握や、非均質材料（ひびわれなどのあるコンクリート部材）の挙動測定、および局所的な測定に適している。但し、振動などの動的測定には適していない。
み		ひずみゲージ	ひずみゲージは、薄い電気絶縁物のベースの上に格子上の抵抗線またはフォトエッチング加工した抵抗箔を形成し、引出し線を付けたものである。これを測定対象物（供試体）の表面に専用接着剤で接着して測定する。主な特徴として・構造が簡単で、質量・容積が小さく、測定対象物の応力状態を乱さない。・標点距離を短くでき、局所的な評価ができる。・周波数応答性が良く、応力の急激な変化に追従できる。・多点の同時測定、遠隔測定ができ、