

コンクリート橋維持管理支援システム (J-BMS) の  
再構築と実橋への適用

Reappraisal and Practical Applications  
of a Lifetime Management System (J-BMS)  
for Concrete Bridges

2015 年 3 月

浅野 寛元

Hiroyoshi ASANO

山口大学大学院理工学研究科

---

## 学位論文の要旨

---

わが国ではこれまで、1950年代半ばから1970年代初頭の高度経済成長とともに、橋梁を含む多数の社会基盤構造物が建設されてきた。これらの社会基盤構造物は、人々の生活や経済活動などの人間社会の発展を支え、その数は年々増加し、今日に至るまで継続的な投資がなされ、膨大かつ複雑なネットワークをなすストックが形成されてきた。これらの膨大な数の社会基盤構造物の多くは、既に30年～50年の期間を経過しており高齢化している。高齢化した社会基盤構造物を社会資本として効率的に運営するためには、今後維持管理費の増大が見込まれる中で財源が有限なことから、これまでの新設投資中心の方針を大きく転換しなければならない。維持管理費や専門技術者の不足により、適切な維持管理が行われない事態となれば、事故や災害等を引き起こし、人々の生活に影響を与える可能性が懸念される。既存の社会資本を適切に維持管理していくには、「予防保全的管理」を図り長寿命化させることが重要である。よって、社会資本として効率的に運営するためには、その状態を的確に分析、正しく評価し、適切な対策を実施する診断技術の整備が急務である。

このような背景のなか、維持管理業務の合理化や効率化を支援するシステムとして、橋梁維持管理支援システム(BMS : Bridge Management System)の実用化が強く求められている。BMSとは、橋梁の維持管理に関わる行為である「調査・点検」、「評価・診断」、「計画・対策(補修・補強・架け替え)」を、品質・経済性・安全性・機能性などの観点から、橋梁管理者が適切に実行するための支援システムである。山口大学大学院理工学研究科にて長年に渡り、コンクリート橋の橋梁維持管理支援業務の効率化を支援する橋梁維持管理支援システム(J-BMS : Japanese-Bridge Management System)の研究・開発が進められている。J-BMSは橋梁の諸元データや点検データなどを効率的に管理する橋梁維持管理データベースシステム(J-BMS DB : J-BMS Data Base system)、橋梁の劣化診断を行う性能評価システム(BREX : Bridge Rating Expert System)、最適維持管理計画の立案を行うメンテナンスプラン最適化システム(MPOS : Maintenance Plan Optimization System)の各サブシステムから構成される。

J-BMS 開発途上において、上記各サブシステムが個別に作成され、連携がとれていない問題があった。本研究では、これらの問題を解決するために各サブシステムの統合化を図り、鉄筋コンクリート橋(RC橋)のためのJ-BMS RC版の再構築と、新たにプレストレストコンクリート橋(PC橋)のためのJ-BMSとしてJ-BMS PC版の開発を行った。また、橋梁の維持管理フローにおいて、「評価・診断」に該当する性能評価システムのBREXを主対象として、実際に維持管理業務を行う立場から「評価・診断」の検証を行った。その方法として、新たに複数の実橋梁点検データを採取しBREXに入力、BREXの中で学習可能なシステムについては学習を行い、その診断結果を詳細に整理するとともに、入力方法や点検者(専門家)、学習方法による差異を明確にし、改良点や問題点を整理することによって、J-BMSの有用性を示した。また、MPOSを活用することにより、橋梁の長寿命化計画作成の支援も可能となった。

---

---

## 学位論文の要旨

---

本論文は計7章構成であり、各章の主な内容は以下のとおりである。

**第1章 結論**では、まず、J-BMS 開発の社会的な背景として日本やアメリカ、山口県の橋梁の現状を示すとともに、J-BMS の必要性について述べている。さらに、前述した社会的背景などから研究の目的、構成と概要について述べている。

**第2章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要**では、まず、国内外の道路管理機関ですでに開発されている代表的な BMS の事例をまとめた。続いて、研究対象としたコンクリート橋についての概要を述べたのち、これまで、主として山口大学が研究を進めてきた J-BMS の変遷やシステムの概要を述べている。

**第3章 性能評価システム (BREX)**では、J-BMS の中心的なシステムである BREX (性能評価システム) について述べている。まず、BREX に存在する定性システムと定量システムの2つの評価システムの共通事項について述べる。続いて、J-BMS の中心になるシステムであるので、システムの機能構成、評価方法、学習方法について例題を用いて簡単に紹介を行っている。

**第4章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証**では、橋梁の架け替えに伴い取り壊される RC 橋を用いて、データ収集のための詳細な点検を行い、再構築した J-BMS RC 版(RC-BREX)の診断結果をまとめ、実用性の検証を行っている。

**第5章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実況への適用および検証**では、供用されている PC 橋を用いて、データ収集のための点検を行い、開発した J-BMS PC 版(PC-BREX)の診断結果をまとめ、実用性の検証を行っている。

**第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証**では、BREX により評価された健全度が記録された XML ファイルを MPOS に読み込み、維持管理計画の立案の検証を行った。また、コンクリートコア採取による試験結果の客観的情報から、BREX による健全度の信頼性評価を行っている。

**第7章 結論**では、本論文の研究成果を総括するとともに、今後の課題と改善事項について記述している。

---

## ABSTRACT

---

In Japan, starting from the rapid economic growth period, many economic and social infrastructures, bridges inclusive, have been built. These infrastructures sustain economic and social development of the country. And are a fruitful and continuous investment up to date, this has greatly aided in the formation of a large infrastructural network. This network, consists mostly of aging infrastructures that have existed for 30~50years. For efficient operation of these aging infrastructures: it is necessary to establish diagnostic techniques which accurately analyze, evaluate and implement appropriate countermeasures to the aging of the infrastructures. Therefore the maintenance costs are expected to be very high. And due limited finances; reasonable and cost effective maintenance systems are a paramount necessity. Lack of appropriate maintenance works due to insufficient maintenance funds and shortage of technical experts, may lead to the occurrence of disasters, accidents etc. Hence, greatly affecting the livelihood of the people, and arising great concern. For continuous and proper maintenance of existing infrastructure, invention of a "preventative maintenance management-system" to achieve long-life service bridges is of paramount importance. Therefore, provision of diagnostic techniques, for accurate analysis, evaluation and implementation of appropriate countermeasures to the aging of the infrastructures is a grave matter of urgency.

Considering the above facts, there is a high demand for the practical implementation of the Bridge Management System (BMS). A system that aids in rationalization and improvement of the efficiency of maintenance works. This system also aids bridge management agencies in carrying out bridge maintenance works in relation to quality, economic efficiency, safety and functionality. These works include; "Survey and inspection", "Evaluation and diagnosis", "Planning and countermeasures". Over the years, in Yamaguchi University Graduate School of Science and Engineering, research in and development of Japanese-Bridge Management System (J-BMS) has been advanced, to support and improve the efficiency of maintenance works of concrete bridges. J-BMS is comprised of J-BMS Data Base system (J-BMS DB), Bridge Rating Expert System (BREX), the three systems, are subsystems of the Maintenance Plan Optimization System (MPOS).

In this study, for easy usability I integrated the aforementioned three systems into one, so as to reappraise the J-BMS RC version for reinforced concrete bridges and developed J-BMS PC version for prestressed concrete bridges. In the bridge maintenance flow; the "evaluation and diagnosis" acquired through performance evaluation using BREX, was compared to the "evaluation and diagnosis" obtained by bridge maintenance experts for verification. Using this verification method, new data obtained from multiple bridges was analyzed by inputting the data into the BREX with learning capabilities, to carry out system learning and output of diagnostic results. And the J-BMS's usability is shown by: the detailed

---

## ABSTRACT

---

organization of the output diagnostic results and arrangement of the areas of improvement. In addition, the utilization of MPOS, aids and enables the planning for long-life duration of bridges.

This paper comprised of a total of seven Chapters, the main contents of each chapter are as follows:

**[Chapter 1]** In the introduction, I mentioned the following: the background of this study; the current condition of bridges in Japan, United States of America and Yamaguchi prefecture, the purpose, structure and outline of the research.

**[Chapter 2]** The existing BMS, the transition and outline of the J-BMS. In this chapter; Firstly, I gave a summary of cases of existing typical BMS's developed by domestic and foreign road management agencies. Secondly, I gave a summary of the concrete bridges, a subject of this study. And lastly, the J-BMS's transition and outline, a system that has been developed by Yamaguchi University.

**[Chapter 3]** BREX, here I described the common terms in the qualitative system and the quantitative system; the two systems are a subsystems of the BREX. Since J-BMS is a BREX-centered system, using examples, I gave a brief description of the BREX system's; functional configuration, evaluation method and learning method.

**[Chapter 4]** The practical application of J-BMS RC version to the bridge; data was collected by conducting a detailed inspection of the reinforced concrete bridge that was due to be demolished for reconstruction. This data was analyzed by the reappraised J-BMS RC version (RC-BREX) and the obtained results were used to verify the practical application of the RC-BREX.

**[Chapter 5]** The practical application of J-BMS PC version to the bridge; data was collected by conducting an inspection of an in service prestressed concrete bridge. The data was analyzed by the developed J-BMS PC version (PC-BREX) and the obtained results were used to verify the practical application of the PC-BREX.

**[Chapter 6]** The verification of the Maintenance Plan Optimization System (MPOS); The drafted maintenance plan was verified using the MPOS. And I confirmed that; by using the results from RC & PC BREX, I was able to; obtain an output of the bridge's deterioration curve and draft a maintenance plan for long-life duration of bridges. In addition, the remaining life estimation obtain using the MPOS was compared to objective results obtain for tests carried out on the concrete cores obtained from the target bridges, to evaluate the practical application of the BREX.

**[Chapter 7]** The conclusion, this chapter contains; a summary of the results obtained from the research, Future research tasks and areas of improvement.

---

# 目 次

<b>第1章 緒 論</b> .....	1
1.1 本論文の背景 .....	1
1.2 本論文の目的 .....	8
1.3 本論文の構成と概要 .....	10
参考文献 .....	13
<b>第2章 既存のBMSとJ-BMSの変遷・概要</b> .....	15
2.1 既存の橋梁維持管理支援システム（BMS） .....	15
2.2 研究対象橋梁 .....	18
2.3 J-BMSの変遷 .....	21
2.4 J-BMSの概要 .....	24
2.5 まとめ .....	33
参考文献 .....	34
<b>第3章 性能評価システム（BREX）</b> .....	38
3.1 点検の種類 .....	38
3.2 定性システムと定量システムについて .....	39
3.3 BREXの健全度評価（診断）フロー .....	42
3.4 機能構成 .....	56
3.5 知識表現方法 .....	60
3.6 評価方法 .....	70
3.7 学習方法 .....	73
3.8 まとめ .....	77
参考文献 .....	78
<b>第4章 J-BMS RC版（RC-BREX）の実橋への適用および検証</b> .....	79
4.1 J-BMS RC版（RC-BREX）の検証概要 .....	79
4.2 点検調査の目的 .....	79
4.3 検証対象撤去橋梁および現地調査 .....	79
4.4 RC-BREXによる健全度評価 .....	91
4.5 結言 .....	111
参考文献 .....	113

<b>第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証</b> .....	114
5.1 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の検証概要.....	114
5.2 点検調査の目的.....	114
5.3 検証対象橋梁および現地調査.....	114
5.4 PC-BREX による健全度評価.....	125
5.5 結言.....	147
参考文献.....	149
<b>第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証</b> .....	150
6.1 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS).....	150
6.2 余寿命予測.....	164
6.3 結言.....	172
参考文献.....	174
<b>第 7 章 結 論</b> .....	175
7.1 各章のまとめ.....	175
7.2 J-BMS の課題と改善事項.....	179
参考文献.....	183

第1章 緒論

1.1 本論文の背景

わが国ではこれまで、1950年代半ばから1970年代初頭の高度経済成長とともに、橋梁を含む多数の社会基盤構造物が建設されてきた。これらの社会基盤構造物は、人々の生活や経済活動などの人間社会の発展を支え、その数は年々増加し、今日に至るまで継続的な投資がなされ、膨大かつ複雑なネットワークをなすストックが形成されてきた。これらの膨大な数の社会基盤構造物の多くは、既に30年～50年の期間を経過しており高齢化している。表1.1.1には、2012年現在の全国の架設橋梁数<sup>1)</sup>を示し、図1.1.1には、道路ネットワークや橋梁規模から、重要度が高いと判断された橋長15m以上の橋梁の経年分布<sup>1)</sup>を示す。

次に、ここ約40年の建設投資と就業者数の推移<sup>2),3)</sup>を図1.1.2に示す。平成9年以降、建設投資は減少しており、土木に関する投資額は、平成18年からのここ約10年は20兆円で推移しており、ピーク時の平成7年から比べると約47%減となっている。なお、建設業の就業者数もピーク時の平成9年平均の685万人から平成25年平均では約27%減の499万人となり、今後も少子高齢化により就業者数もさらに減少していく傾向にある。また、道路を管理する自治体においても、自治体職員の採用減に伴い土木技術者全体が減少しており、定期的な人事異動により専門家が育ちにくい現状がある。よって、高齢化した社会基盤構造物を社会資本として効率的に運営するためには、その状態を的確に分析、正しく評価し、適切な対策を実施する診断技術の整備が必要である。

表 1.1.1 架設橋梁数

道路種別	単位(橋)	
	橋梁数 橋長2.0m以上	左のうち、 橋長15m以上
高速自動車国道	7,175	6,991
一般国道(指定区間)	20,985	12,608
一般国道(指定区間外)	30,312	13,416
都道府県道(主要地方道)	47,715	17,275
都道府県道(一般都道府県道)	52,999	16,964
市町村道	521,542	91,643
<b>一般道路計</b>	<b>680,728</b>	<b>158,897</b>

国土交通省道路局監修「道路統計年報2012」より



# 第1章 緒論

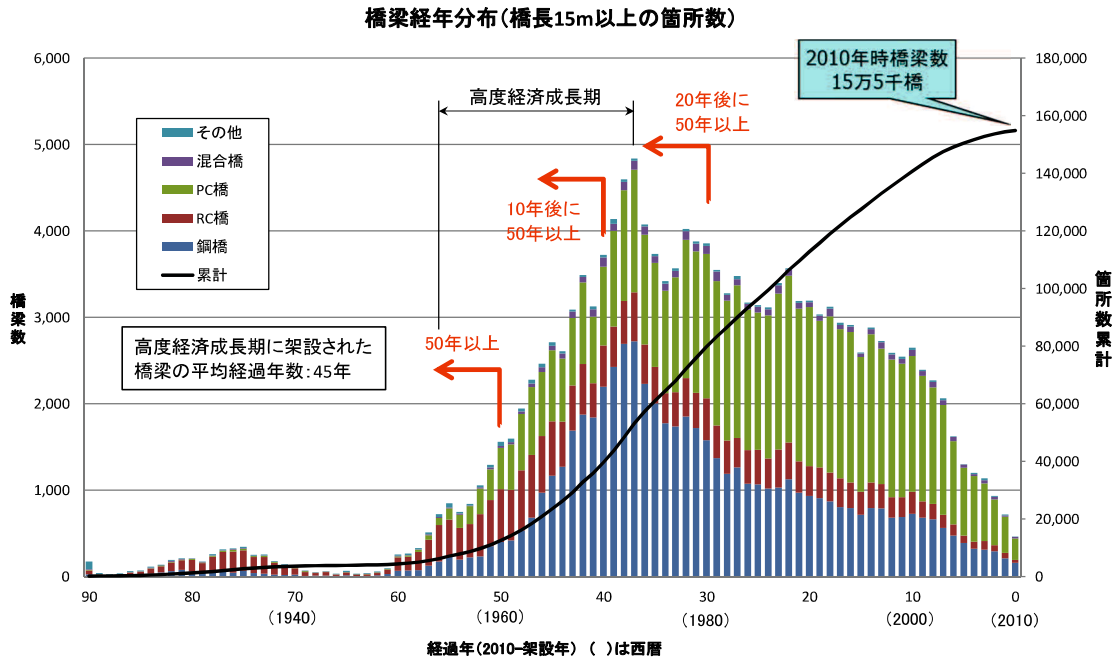


図 1.1.1 橋梁経年分布 (橋長 15m 以上の箇所数)

『国土交通省 道路施設現況調査 第5号様式 橋梁 (H23.4 時点)』

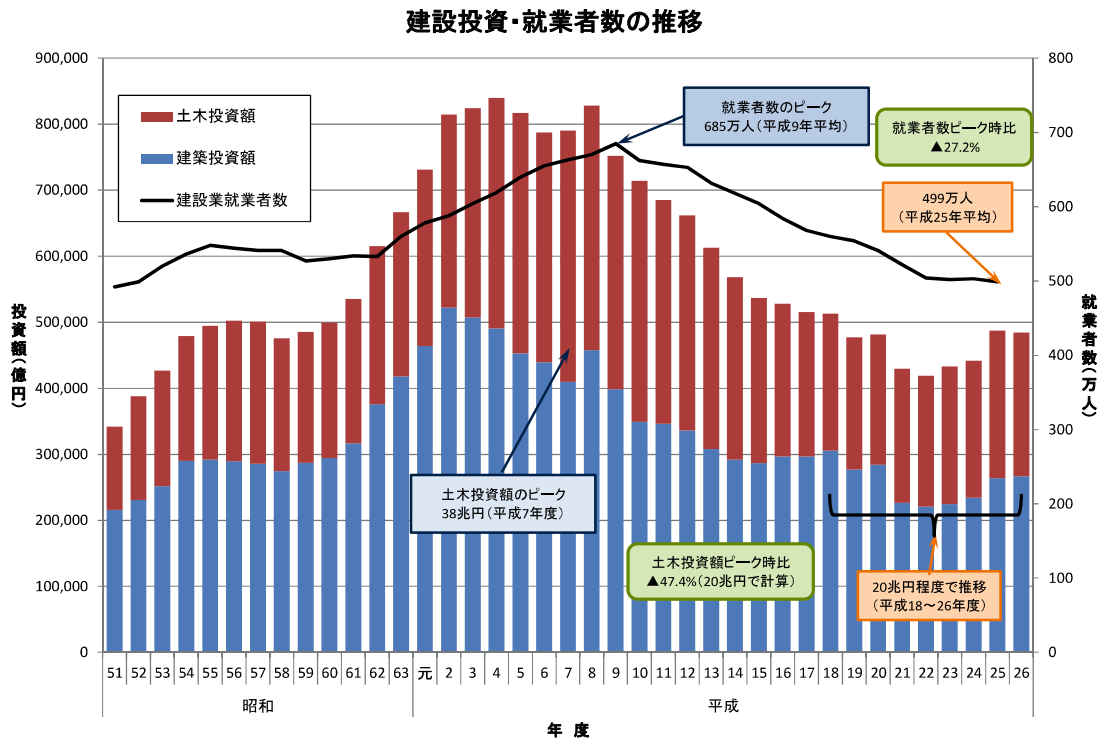


図 1.1.2 建設投資・就業者数の推移

『国土交通省 建設投資見通し』, 『総務省 労働力調査』

投資額については平成23年度まで実績, 平成24・25年度は見込み, 平成26年度は見通し  
就業者数は年平均 (平成24年度は東日本大震災の影響により, 保守的に推計した値)

## 第1章 緒論

このような状況から、今後維持管理費の増大が見込まれるが、財源が有限なことから、これまでの新設投資中心の方針を大きく転換しなければならない。維持管理費や専門技術者の不足により、適切な維持管理が行われない事態となれば、事故や災害等を引き起こし、人々の生活に影響を与える可能性が懸念される。2012年12月、山梨県内の中央自動車道で発生した笹子トンネル天井板の落下事故は、天井板吊り構造部の老朽化により引き起こされ、維持管理方法の問題が指摘された<sup>4)</sup>。このような社会基盤構造物の高齢化問題について、図1.1.3に示すように、国民がどの程度認知しているかという国民意識調査では、「聞いたことがあるが、よく知らない」が36.7%、「知らなかった」が33.5%と、約7割の回答者が十分な認識をしていなかった結果となった<sup>5)</sup>。また、図1.1.4に示すように更新に当たっては、費用負担が増えないようにという前提があるものの、約6割の回答者が「すべての施設の更新」を進めることを希望する旨を回答している<sup>5)</sup>。前述したとおり財源が有限であることから、すぐにすべての施設の更新は難しいので、今後既存の社会資本を適切に維持管理していくには、「予防保全的管理」を図り長寿命化させることが重要である。しかし、少子高齢化による人口減少も見据える必要があり、今後予防保全により長寿命化しても周辺住民が使用しない事態が起これ、投資が無駄になる場合も出てくる。よって、既存の社会資本を効率的に運営し維持することが重要となり、そのための適切な対策を支援する診断技術の整備が急務となっている。

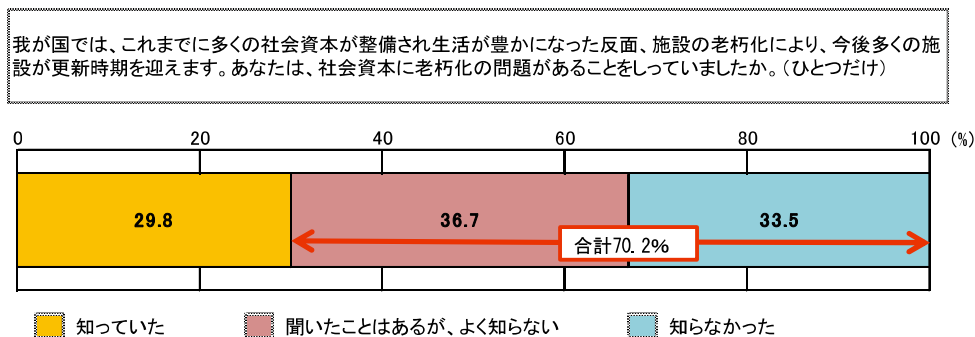


図 1.1.3 社会資本の老朽化の問題と認知度

『国土交通省 国土交通白書 2012 P100』

# 第1章 緒論

老朽化した社会資本の全てを更新するには、国民の費用負担が増加することも考えられます。その費用負担について、あなたの考えに近いものをお知らせください。(ひとつだけ)

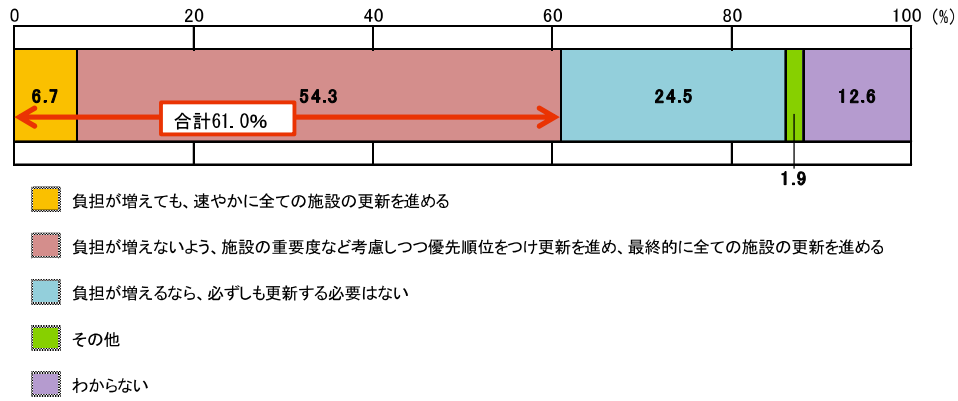


図 1.1.4 社会資本更新の費用負担について

『国土交通省 国土交通白書 2012 P100』

# 第1章 緒論

## 1.1.1 わが国の橋梁の現状

わが国における橋梁の現状について、以下に概要を述べる。

これまで、橋梁の寿命は一般的には50年程度<sup>6)</sup>とされてきており、橋齢50年以上の橋梁を高齢化橋梁としている。現在、平成14年3月に改訂された「道路橋示方書・同解説」<sup>7)</sup>からは、所要の性能が確保できる設計上の目標期間として100年を目安にされている。既設橋梁において寿命として考えられている建設後50年以上経過した橋長15m以上の高齢化橋梁の割合は、平成22年度に約8%であるのに対して、20年後の平成42年には約53%と急増する<sup>5)</sup>。表1.1.2に建設後50年以上経過したインフラの割合を示す。さらに、自動車交通量の増加や大型車両の増加に伴い、架橋位置の周辺環境が変化し、設計時より過酷な条件のもとで供用され、著しく損傷が発生している橋梁も多くあり、所要の性能を延ばすための施策が重要となっている。

表 1.1.2 建設後50年以上経過したインフラの割合

	平成22年度	平成32年度	平成42年度
道路橋 ※約15万5千橋 (橋長15m以上)	約8%	約26%	約53%
排水機場、水門等 ※約1万施設	約23%	約37%	約60%
下水道管きよ ※総延長:約43万km(注)	約2%	約7%	約19%
港湾岸壁 ※約5千施設	約5%	約25%	約53%

注) 岩手県、宮城県、福島県は調査対象外

『国土交通省 国土交通白書 2012 P98』

## 第 1 章 緒 論

### 1.1.2 アメリカの橋梁の現状

アメリカでは橋梁の高齢化が、日本より早く問題となった。これは、アメリカの社会資本整備が本格的に開始されたのが 1920 年代で、前述した日本の 1950 年代と、約 30 年の差があるためである。このときアメリカでは、道路等の維持管理に十分な費用が投入されておらず、適切な維持管理を怠ったがために、1980 年代初頭には多くの道路施設が高齢化し、「荒廃するアメリカ」<sup>8)</sup>と呼ばれるほど劣悪な状態に至った。1983 年にはコネチカット州にあった日交通量約 90,000 台という交通量を有する幹線道路上にあったマイアナス橋が、高齢化による鋼桁の疲労ひび割れが原因で突然落橋し、多数の死傷者を出し、また、経済的にも大きな損失を生んだ。マイアナス橋落橋時の状況を写真 1.1.1 に示す。これと同様に、規模の大小はあれ、1980 年代のアメリカでは道路施設の高齢化が原因と見られる事故が多発した。この事態から維持管理費を増額し、維持修繕に移行することにより、欠陥のある道路施設数は減少している。しかし、近年においても、2005 年のペンシルバニア州の跨道橋や 2007 年のミネソタ州のミシシッピ川橋の落橋事故など、まだ多数の欠陥橋梁が存在しており、「荒廃するアメリカ」の解決には至っていない状況である。

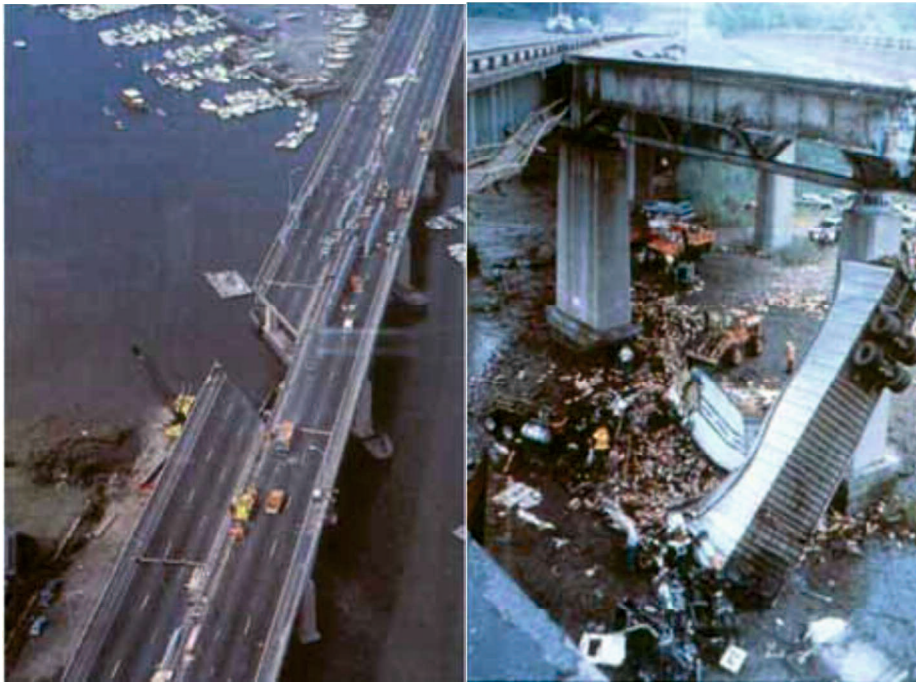


写真 1.1.1 マイアナス橋落橋写真

『Federal Highway Administration HP』

## 第 1 章 緒 論

### 1.1.3 山口県の橋梁の現状

地方公共団体の一つである山口県では、2013 年 3 月現在総計 3,176 橋（2m 以上の全橋梁）の道路橋を管理している<sup>9)</sup>。このうち、建設後 50 年以上経過している高齢化橋梁は全体の約 30%であり、高度経済成長期に建設された建設後 30～49 年経過した橋梁が全体の約 38%を占めている。そのため、20 年後にはこれらの橋梁の高齢化が急速に進展し、高齢化橋梁の割合が 67%へと急速に進展することになる。図 1.1.5 に高齢化橋梁の割合の推移を示す。山口県も国と同様に、橋梁の損傷が大きくなった後に補修を実施する事後保全的な維持管理を行っていたが、今後もこれを継続した場合、大規模補修や橋梁の架け替えが一時期に集中することとなり、限られた予算の中で適切に管理できなくなる恐れがある。そのため、山口県においても計画的かつ予防保全的な修繕対策を実施することにより、橋梁の維持管理費用の平準化・縮減を図ることを目的として、橋梁長寿命化修繕計画を策定している。

### 1.1.4 BMS 実用化の必要性

このような背景のなか、維持管理業務の合理化や効率化を支援するシステムとして、橋梁維持管理支援システム(BMS : Bridge Management System)の実用化が強く求められている<sup>10),11)</sup>。BMS とは、橋梁の維持管理に関わる行為である「点検・調査」、「評価・診断」、「計画・対策（補修・補強・架け替え）」を、品質・経済性・安全性・機能性などの観点から、橋梁管理者が適切に実行するための支援システムである。BMS には現状把握・計画立案・実行・評価・現状把握といったマネジメントサイクルを反映したものが望まれている<sup>12)</sup>。

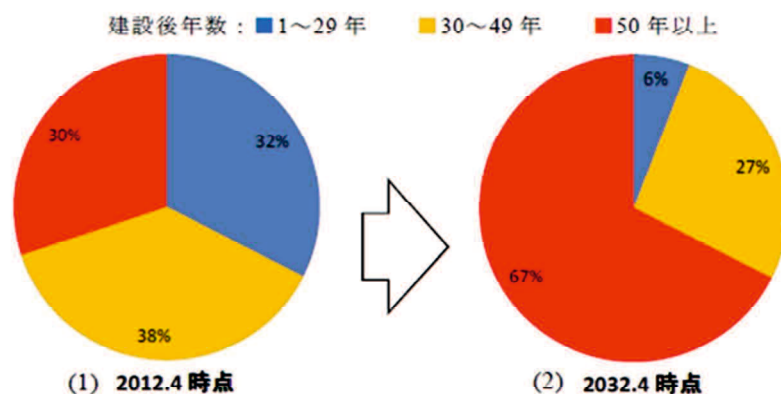


図 1.1.5 山口県における今後 20 年間の橋梁全体に占める高齢化橋梁の割合の推移  
『山口県 橋梁長寿命化修繕計画 平成 26 年 3 月 山口県土木建築部道路整備課 P12』

### 1.2 本論文の目的

1.1 節で述べたとおり，橋梁は人々の生活や経済活動の発展などを支えている社会資本であり，その社会資本を効率的に運営するためには，その状態を的確に分析，正しく評価し，適切な対策を実施する診断技術として図 1.2.1 に示す研究が必要である．これらの橋梁を実際に管理している国土交通省国土技術政策総合研究所<sup>13)</sup>や阪神高速道路株式会社<sup>14)</sup>，北海道などの地方公共団体，その他地方公共団体から橋梁の維持管理業務（橋梁点検や劣化診断，補修・補強工法の選定）を委託された設計コンサルタント会社などが BMS の研究開発もしくは運用をしており，山口大学大学院理工学研究科 環境共生系専攻 社会基盤メンテナンス工学研究室（宮本研究室）においても主としてコンクリート橋の橋梁維持管理業務の効率化を支援する橋梁維持管理支援システム（J-BMS：Japanese Bridge Management System）の研究・開発を進めてきている<sup>15),16)</sup>．開発当初，J-BMS は鉄筋コンクリート橋(RC 橋)のみを対象とするシステムであり，橋梁の諸元データや点検データなどを効率的に管理する橋梁維持管理データベースシステム(J-BMS DB：J-BMS Data Base system)<sup>17),18)</sup>，橋梁の劣化診断を行う性能評価システム(BREX：Bridge Rating EXpert system)，最適維持管理計画の立案を行うメンテナンスプラン最適化システム(MPOS：Maintenance Plan Optimization System)の各サブシステムから構成された．J-BMS を構成する各サブシステムは作成年代や作成者の違い，Microsoft Window のオペレーティングシステム(OS)との互換性などにより各サブシステム間の連携がとれていないなどの問題点があった．問題解決への取り組みとして，各サブシステムを Microsoft Windows Vista 以降の OS と互換性のあるシステムへの再開発までが行われていた．

本研究では，これらの問題を解決するために各サブシステムの統合化を図り，RC 橋のための J-BMS RC 版の再構築と，新たにプレストレストコンクリート橋(PC 橋)のための J-BMS として J-BMS PC 版の開発を行った．また，橋梁の維持管理フローにおいて「評価・診断」に該当する性能評価システムの BREX を主対象として，実際に維持管理業務を行う立場から「評価・診断」の検証を行った．その方法として，新たに複数の実橋梁点検データを採取し BREX に入力，BREX の中で学習可能なシステムについては学習を行い，その診断結果を詳細に整理するとともに，入力方法や点検者（専門家），学習方法による差異を明確にし，改良点や問題点を整理することによって，J-BMS の有用性を示した．また，MPOS を活用することにより，橋梁の長寿命化計画作成の支援も可能となった．

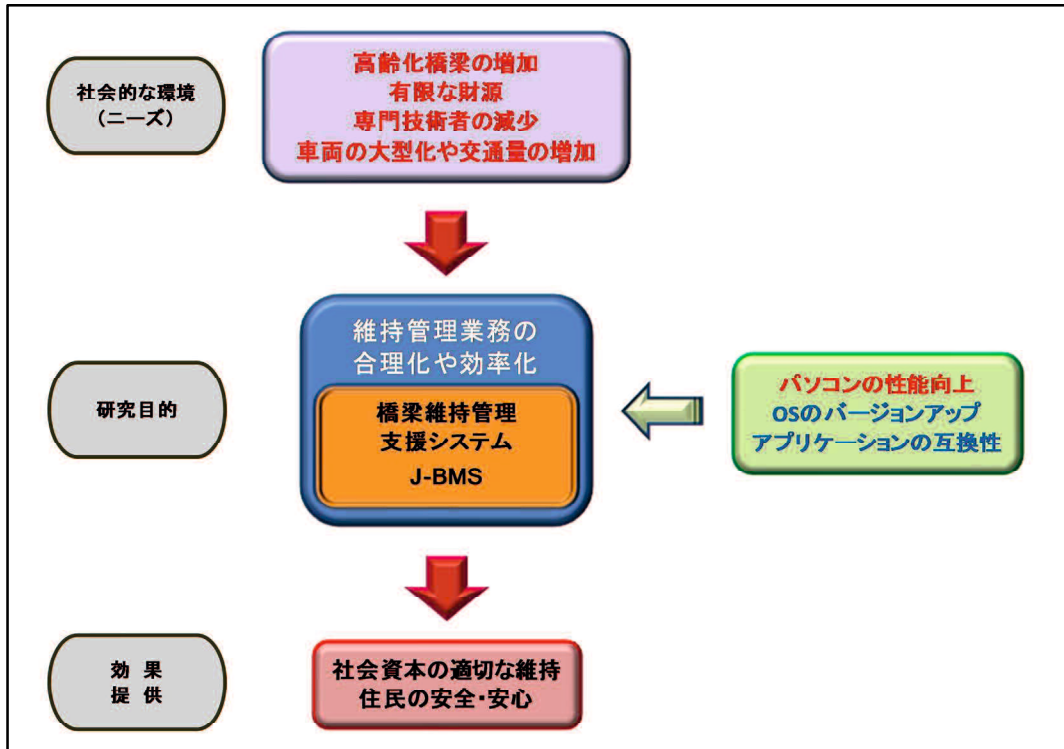


図 1.2.1 本研究の背景と目的



# 第1章 緒論

## 1.3 本論文の構成と概要

本論文は、前節で述べたように BREX の再構築を行い、今回個々に開発が進められてきた J-BMS の各サブシステムの統合化を図り、実際に維持管理業務を行う専門家の立場から、J-BMS を実用化させるために多方面からの検証を行いその有用性を示したもので、全編を7つの章で構成した。各章の概要を以下に示すとともに、構成を図 1.3.1 に示す。

また、本研究で用いる主要な用語を表 1.3.1 に定義する<sup>19)</sup>。

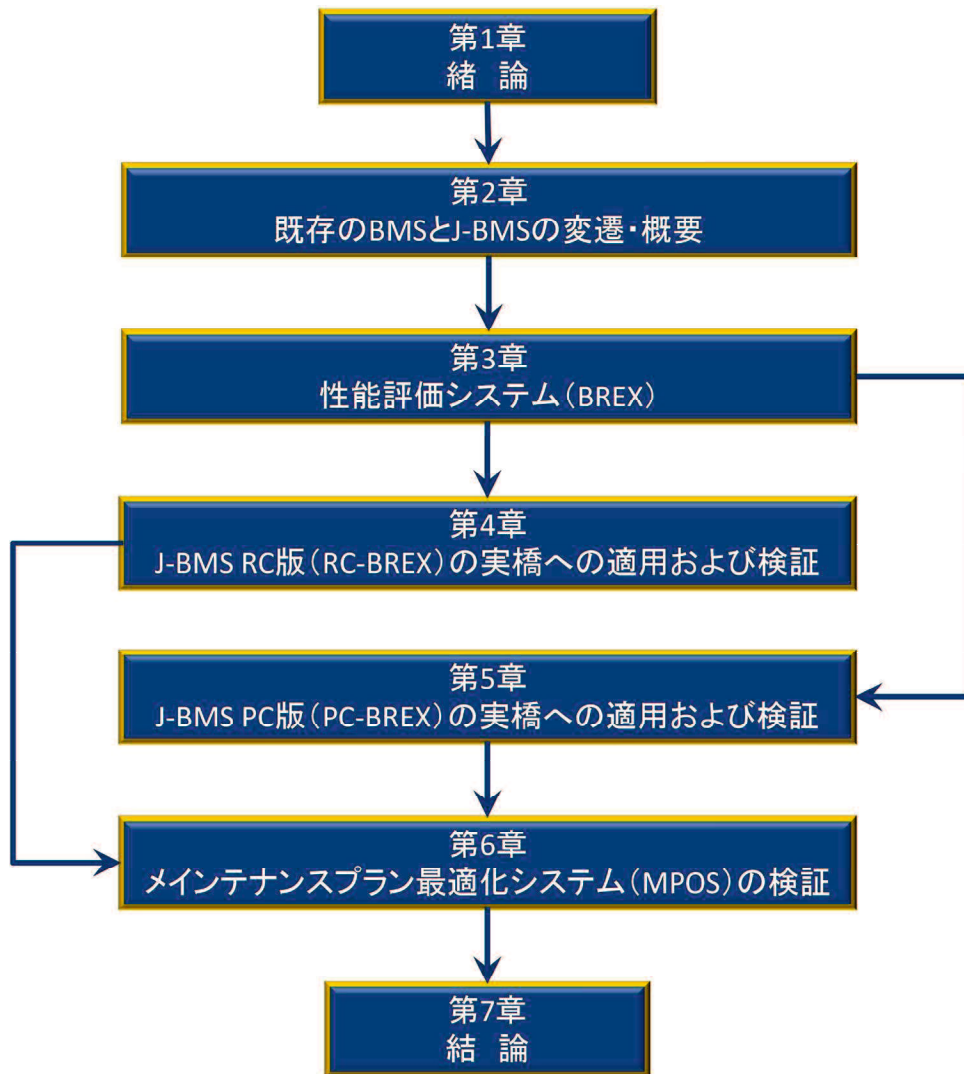


図 1.3.1 本論文の構成

---

## 第 1 章 緒 論

---

### 【第 1 章 緒論】

本研究の背景として、日本やアメリカ、山口県の社会基盤構造物である橋梁の現状を示すとともに、研究の目的、構成と概要について述べた。

### 【第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要】

本章では、まず、国内外の道路管理機関ですでに開発されている代表的な BMS の事例をまとめた。次に、研究対象としたコンクリート橋についての概要を述べたのち、これまで、主として山口大学が研究を進めてきた J-BMS の変遷やシステムの概要を述べる。

### 【第 3 章 性能評価システム (BREX)】

本章では、BREX に存在する定性システムと定量システムの 2 つの評価システムの共通事項について述べる。J-BMS の中心になるシステムであるので、システムの機能構成、評価方法、学習方法について例題を用いて簡単に紹介を行う。

### 【第 4 章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証】

本章では、橋梁の架け替えに伴い取り壊される鉄筋コンクリート橋を用いて、データ収集のための詳細な点検を行い、再構築した J-BMS RC 版(RC-BREX)の診断結果をまとめ、実用性の検証を行う。

### 【第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証】

本章では、供用されているプレストレストコンクリート橋を用いて、データ収集のための点検を行い、開発した J-BMS PC 版(PC-BREX)の診断結果をまとめ、実用性の検証を行う。

### 【第 6 章 メインテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証】

本章では、BREX により評価された健全度が記録された XML ファイルを MPOS に読み込み、維持管理計画の立案の検証を行う。また、コンクリートコア採取による試験結果の客観的情報から、BREX による健全度の信頼性評価 (余寿命予測) を行う。

### 【第 7 章 結論】

本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の研究課題と改善事項について述べる。

## 第1章 緒論

表 1.3.1 用語の定義

用語	定義・説明
橋梁維持管理システム (BMS)	橋梁管理者や点検などを委託された専門家が、対象橋梁に対して適切な維持管理手法の選択を行うことを支援するシステム
橋梁の維持管理 (Bridge Management)	橋梁のライフサイクルを通じてその性能および機能のある水準以上に保持させることに関連したすべての行為 点検、調査、劣化予測、診断、補修・補強など
ライフタイム (Life Time)	橋梁の計画、設計段階あるいは架設時から架け替えまでの期間
ライフサイクルコスト (Lifecycle Cost)	橋梁のインシヤルコストおよび設計耐用年数の間に、橋梁に期待される性能を保持するために要するすべての費用の合計
橋梁のインシヤルコスト (Initial Cost)	橋梁の建設当初の建設費（初期費用） 建設されるまでにかかる経費で、調査、設計、架設など
設計耐用年数 (Design Service Life)	設計時において、橋梁全体が期待される性能および機能を保持しなければならないと規定された期間（年数）
点検 (Inspection)	橋梁の部材ごとの劣化度（健全度）を把握するためのデータ収集するための行為の総称
通常点検 (Normal Inspection)	橋梁の損傷を早期に発見するとともに、橋梁の状態を適切に把握するための点検 通常、2～5年サイクルで実施される
詳細点検 (Detailed Inspection)	補修設計等を行うための点検・調査および材料試験 各部材の全ての損傷を記録し、損傷データは補修設計等に用いる
機能 (Function)	設計時に橋梁に与えられた構造的な能力 設計活荷重、耐用性、耐荷性、耐久性など
健全度 (Soundness)	診断によって求められる現時点での橋梁の劣化程度の余事象で、橋梁架設時の劣化が進行していない健全な状態から、劣化の程度を差し引くことにより求められる
診断 (Rating or Diagnosis)	点検結果をもとに、点検結果に対する特性値を求め、橋梁全体あるいは橋梁部材の損傷や劣化要因に対する健全度を評価判定する行為
劣化 (Deterioration)	橋梁に生じる経年劣化の中の「性能の低下」
劣化予測 (Prediction of Deterioration)	橋梁の新設、点検あるいは補修・補強の時点で橋梁全体あるいは橋梁部材の今後の劣化予測をすること
耐荷性 (Load Carrying Capability)	橋梁部材の耐荷力に基づいて評価される橋梁の性能 0～100の数値で表せる
耐久性 (Durability)	橋梁部材の劣化速度からみた現時点における部材の劣化に対する抵抗性 0～100の数値で表せる
耐用性 (Tolerability)	耐荷性と耐久性を総合して評価する部材の全体的性能(PC-BREXのみ) 0～100の数値で表せる
維持管理対策 (Maintenance Action)	点検によって得られたデータを基に、橋梁を維持管理していくために行われる行為の総称 詳細調査、補修、補強など
補修 (Repair)	劣化した橋梁部材の今後の性能低下を抑制し、耐久性の回復を目的とする維持管理対策 ひび割れに対して樹脂注入、表面被服など
補強 (Strengthening)	耐荷性が劣化した橋梁部材の性能を増すための維持管理対策 主桁への鋼板接着、橋脚の脚柱コンクリート巻き立てなど
余寿命 (Remaining Life)	点検結果に基づく診断によって予測される必要な性能や機能が満足しなくなる状態（限界状態）に達するまでの残りの期間

## 第1章 緒論

---

### 参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所:平成24年度道路構造物に関する基本データ集, 国土技術政策総合研究所資料 第776号, 2014.1.
- 2) 国土交通省:平成26年度 建設投資見通しの公表について, 報道発表資料, [http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04\\_hh\\_000463.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000463.html) (2014.11.アクセス)
- 3) 総務省:労働力調査, <http://www.stat.go.jp/data/roudou/index.htm> (2014.11 アクセス)
- 4) 国土交通省 トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会:トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会, 報告書, 2013.6.
- 5) 国土交通省:国土交通白書2012 平成23年度年次報告, 2012.7.
- 6) 西川和廣:道路橋の寿命と維持管理, 土木学会論文集, No.501/I-29, pp.1-10, 1994.10.
- 7) 日本道路協会:道路橋示方書(I共通編)・同解説, 2002.3.
- 8) Pat Choate,Susan Walter/社会資本研究会(訳):荒廃するアメリカ, 開発問題研究所, 1982.9.
- 9) 山口県土木建築部道路整備課:山口県橋梁長寿命化修繕計画(平成26年3月版), <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/6/d/c/6dc9557d208c28012e6cd5e066a4315e.pdf> (2014.11 アクセス)
- 10) Thompson,P.D., Small,E.P.,Johnson,M. and Marshall, A.R., "The PONTIS Bridge Management System,"Structural Engineering International,Journal of the IABSE, 8(4),pp.303-308,1998.
- 11) Yanev,B.,"Bridge Management",John Wiley & Sons,Inc.,New Jersey,2007.
- 12) 新都市社会技術融合創造研究会:インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究プロジェクト, [http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/pdf/data10\\_01.pdf](http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/pdf/data10_01.pdf) (2014.10.アクセス)
- 13) 玉越隆史, 大久保雅憲, 渡辺陽太: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)—, 国総研資料, 第523号, 2009.3.
- 14) 坂井康人, 荒川貴之, 井上裕司, 小林潔司:阪神高速道路橋梁マネジメントシステムの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.63-70, 2008.
- 15) 宮本文穂, 河村圭, 中村秀明:Bridge Management System(BMS)を利用した既存橋梁の最適維持管理計画の策定, 土木学会論文集, No588/VI-38, pp.191-208, 1998.3.
- 16) 宮本文穂, 河村圭, 中村秀明, 山本秀夫:階層構造ニューラルネットを用いたコンクリート橋診断エキスパートシステムの開発, 土木学会論文集, No.644/VI-46, pp.67-86, 2000.3.
- 17) 河村圭, 宮本文穂, 中村秀明(編):橋梁維持管理データベースシステム(J-BMS DB)の開発, 社会基盤マネジメントシリーズ No.2, 山口大学工学部システム設計工学研究室, 2006.8.

## 第 1 章 緒 論

---

- 18) 宮本文穂, 伊藤大恭, 一木秋浩 : 橋梁維持管理データベースシステム(J・BMS DB)の開発～J・BMS DB'09 (完成版)～, 山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.11, 2009.12.
- 19) 河村圭 : Bridge Management System(BMS)の開発および実用化に関する研究, 山口大学大学院理工学研究科博士論文, 2000.3.

## 第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要

### 2.1 既存の橋梁維持管理支援システム (BMS)

本節では、諸外国や国内で開発されている BMS の概要を示す。

BMS は近年研究開発が進んでいるが、各管理者により BMS に必要としている事柄が異なることから、仕様が基準化されていない状況でもある。

諸外国や国内の BMS については、委託開発などのため詳細に紹介されていない場合もあるので、代表的な BMS の紹介をすることとし、その中で早くから実用化されているアメリカの BMS について、システムの特徴を以下に述べる。

#### 2.1.1 アメリカで開発・運用されているシステム BrM (旧 PONTIS) <sup>1)~5)</sup>

現在アメリカ合衆国には、約 610 万 km の道路網と約 56 万橋もの橋梁が存在する。これらの約 70% が 1935 年以前に建設されたものであるため、橋梁全体の約 40% が何らかの維持管理対策が必要とされている橋梁である。このように、わが国より 30 年以上も早い時期から道路網整備が進んできたアメリカ合衆国では、有効な費用効果をもたらす適切な資金配分という面で問題を抱えており、1980 年代初期にはすでに、それぞれの橋梁を評価することのできる橋梁維持管理支援システム(BMS)の必要性が叫ばれ始めた。このような背景のもと、橋梁維持管理システムの PONTIS が連邦高速道路局(FHWA : Federal Highway Administration)によって 1991 年に開発された。PONTIS とは、ラテン語の「Pons」に由来し、橋を意味する。現在では、PONTIS の開発やサポートが FHWA からアメリカ全州道路交通運輸行政官協会(AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials)に移り、名称も PONTIS から BrM(Bridge Management software)になっている。現在もなお改良・更新が続けられ、2014 年 5 月現在、BrM(Ver5.2.1) がリリースされている。

なお、アメリカの橋梁点検は、全国橋梁点検基準(NBIS : National Bridge Inspection Standards)に基づいて実施されている。

以下に、BrM の特徴を示す。

- ① 維持・補修・修繕(MR&R : Maintenance, Rehabilitation, and Repair)と改良工事(Improvement)の明解な区別

「維持・補修・修繕」は、損傷した橋梁部材の修復であり、もとの状態への復帰を目的とした維持管理である。

「改良工事」は、耐荷力の向上、幅員の拡幅などの橋梁機能の向上を目的としている。この区別により、各橋梁における維持管理対策の必要性に応じて柔軟な改良工事計画と財政計画を検討することができる。

## 第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要

---

- ② 橋梁の情報にかんする専門技術者の判断の導入  
収集されるデータの信頼性を高めるために、客観的データに加えて必要なときに専門技術者の工学的な判断を導入できる。
- ③ 将来の交通量の予測  
将来の交通量の増加を推定し、橋梁の改良工事の必要性および予算制限による利用者のコスト増加を計算する。
- ④ 損傷度の評価  
BrM では、各橋梁の損傷度を 5 段階で評価されている。各損傷ランクは年数を重ねるごとに損傷度の大きいランクに徐々に移行していく。その移行する速度をある期間での状態  $i$  から状態  $j$  に移行する確率  $P_{ij}$  (遷移確率) を用いて表現している。なお、 $P_{ij}$  は、点検データなどが追加されるたびに更新される。
- ⑤ データベースの更新  
従来アメリカの各州で用いられてきたデータベース NBI(National Bridge Inventory)がそのまま使用できるため、どの州においてもすぐに導入することができる。
- ⑥ レポート作成能力  
データベース内にある情報を様々な形での抽出や加工をして維持管理に関する情報のレポート作成を可能とする。また、橋梁管理者など幅広い人たちに理解しやすい経済学用語(コスト比など)を用い、橋梁の劣化と構造的性能の工学的重要度を表現する機能がある。

### 2.1.2 諸外国の BMS

橋梁維持管理支援システムの開発は、前項のアメリカ合衆国以外の諸外国でも進められており、代表的なものとして、イギリス、ドイツ、フランスなどの共同開発プロジェクト「BRIME(Bridge Management in Europe)」<sup>6,7)</sup>、デンマークの「Danbro」<sup>8)</sup>、ベトナムでは日本の JICA による「VBMS」などを挙げることができる<sup>9)</sup>。

### 2.1.3 国内のBMS

国内の橋梁管理者などが研究もしくは開発され実際に利用されている代表的なBMSを紹介する。

いずれのBMSも、高度経済成長期に架設された橋梁が更新時期を迎えようとしていることから、長期の維持管理計画の策定を支援するシステムを構築することを目的としている。

#### (1) 国土交通省などのBMS

国土交通省や旧公団で研究・開発されているBMSを以下に示す。

- ① 国土交通省 国土技術政策総合研究所  
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)—<sup>10)</sup>  
経過年と点検結果から劣化曲線を設定して劣化予測を行うシステム
- ② (株)高速道路総合技術研究所  
NEXCO-BMS<sup>11)</sup>  
中性化や塩害などの劣化機構ごとによる劣化予測を行うシステム
- ③ 阪神高速道路(株), 阪神高速技術(株)  
橋梁マネジメントシステム H-BMS<sup>12)~14)</sup>  
点検時の損傷ランクがT年後に悪い状態に遷移する確率を求めて劣化予測を行うシステム

#### (2) 都道府県のBMS

都道府県では、各自治体が独自にBMSの開発を行っており、その代表的なBMSを以下に示す。

- ① 財団法人北海道建設技術センター  
北海道市町村橋梁維持管理システム HOCTEC<sup>15)</sup>
- ② 青森県県土整備部 道路課  
青森県橋梁維持管理支援システム BMStar<sup>16),17)</sup>

#### (3) 市町村のBMS

市町村では、県のシステムを利用する県補助型や独自でBMSを開発する独自開発型、市販のソフトを利用する方法などで対応している。



## 2.2 研究対象橋梁

### 2.2.1 研究対象橋梁

橋梁の種類としては、大別すると石橋、木橋、コンクリート橋、および鋼橋の 4 種類に分けられる。

全国にて橋長 15m 以上の橋種別橋梁箇所数比率は、橋梁箇所数 160,884 橋に対し、鋼橋が 38.1%、PC(Prestressed Concrete)橋が 42.6%、RC(Reinforced Concrete)橋が 15.9%で混合橋や木橋等が 3.4%である<sup>18)</sup>。このうち、PC 橋と RC 橋を合わせたコンクリート橋が 58.5%と約 6 割を占めている。また、山口県の 2m 以上の全管理橋 3,176 橋においては、鋼橋が約 10%、PC 橋が 36%、RC 橋が 53%で、PC 橋と RC 橋を合わせたコンクリート橋が約 90%を占めている<sup>19)</sup>。図 2.2.1 に全国の橋種別の割合、図 2.2.2 に山口県の橋種別の割合を示す。このことから、本研究では、架設橋梁の大多数を占めるコンクリート橋に着目した。

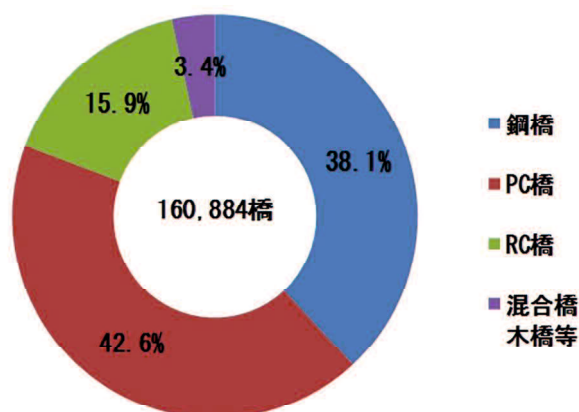


図 2.2.1 全国の橋梁橋種別割合 (平成 24 年 4 月 1 日現在)

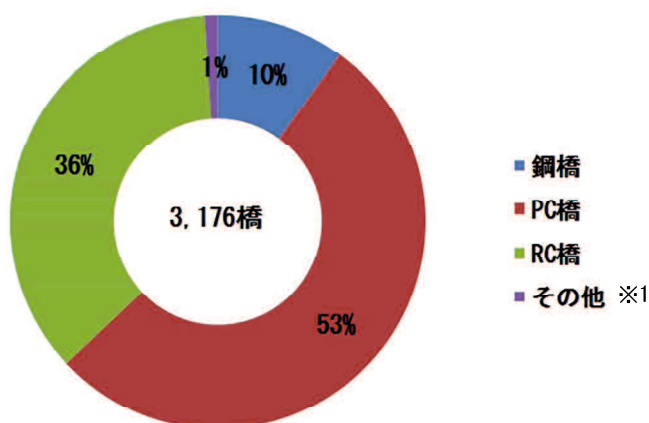


図 2.2.2 山口県の橋梁橋種別割合 (平成 25 年 3 月現在)

※1: 1 橋の中で鋼橋、RC 橋、PC 橋が混在する混合橋や石橋、木橋等を含む

## 第2章 既存のBMSとJ-BMSの変遷・概要

図2.2.3には、1.1節の図1.1.1より橋長15m以上のコンクリート橋を抜粋した経年分布<sup>20)</sup>を示す。図2.2.3に示すように、2010年時点では、橋齢50年以上の高齢化橋梁の大部分がRC橋である。今後は、コンクリート橋の大多数を占めるPC橋が高齢化橋梁となっていく時代がやってくる。

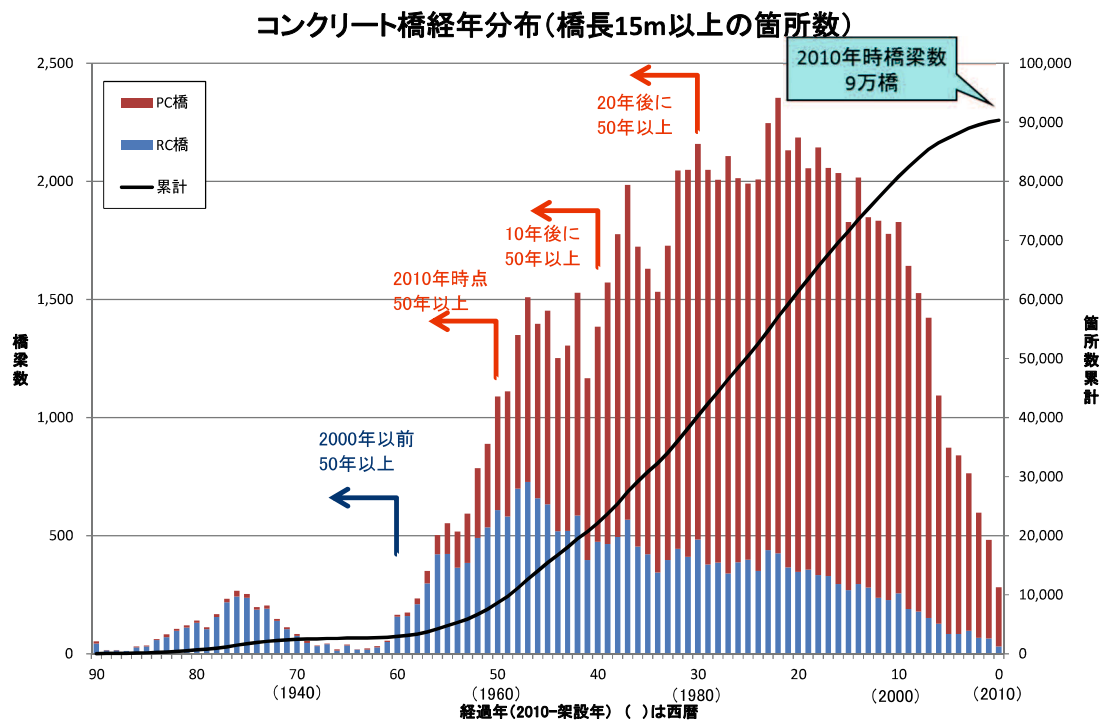


図2.2.3 コンクリート橋経年分布(橋長15m以上の箇所数)

『国土交通省 道路施設現況調査 第5号様式 橋梁 (H23.4時点)』

### 2.2.2 コンクリート橋の歴史

研究を対象としたコンクリート橋の歴史について概略を述べる<sup>21)</sup>。

#### (1) RC (鉄筋コンクリート) 橋

わが国における最初の RC 橋の架設は、明治 36 年(1903 年)の神戸市の若狭橋である。その後架設数、構造形式を増やしながら、全国的に架設されるようになったのは大正時代末期のことである。これらのほとんどは、径間長が 10m 程度の単純 T 桁橋である。

昭和に入ると、以前の一般的な RC 桁橋の径間長 2 倍以上となる RC 橋も架設されるようになった。一般的桁橋においても、RC 橋の標準設計案や標準設計図などの充実が図られた。昭和 24 年(1949 年)には、土木学会の「コンクリート標準示方書」が改定され、木橋の RC 橋化に拍車がかかり架設数が増加した。昭和 30 年代になると、プレストレストコンクリート橋の技術が発達したことにより、鉄筋コンクリート橋の架設数は減少していった。しかし、現在においても、短支間の床版橋、アーチ橋などで広く用いられている。

#### (2) PC (プレストレストコンクリート) 橋

わが国における最初の PC 橋の架設はプレテンション方式の橋梁で、昭和 27 年(1952 年)の石川県七尾市の長生橋である。ポストテンション方式では、昭和 28 年(1953 年)の現在の福井県坂井市の東十郷橋である。

昭和 30 年代中盤までの PC 橋の多くは支間 40m 程度以下の単純桁橋であった。昭和 30 年代後半になると高度経済成長期と重なり架設数も増加し、様々な構造形式の PC 橋が架設させるようになった。

プレストレストコンクリート技術は比較的新しい戦後の技術でありながら、構造特性と合理性から急速に普及し、橋梁構造物を中心に多くの構造物に適用されてきた。また、PC 構造物は RC 構造物と比較すると、耐久性が高く維持管理コストも低くなる<sup>22)</sup>という特徴を有している。

### 2.3 J-BMSの変遷

山口大学ではJ-BMSを開発してきており、その各年代におけるJ-BMSの構成する各サブシステムの開発の変遷概要と代表的な論文名などを記述する。

#### 2.3.1 1980年代後半

##### (1) 概要

橋梁の損傷の進行が社会問題化しつつある中、比較的調査事例の多いRC床版橋の診断と評価に関する基礎的研究がされた。

##### (2) 代表的な論文

1980年代後半に発表された代表的な論文を以下に示す。

「道路橋RC床版の診断と評価に関する基礎的研究」<sup>23)</sup>

「構造物の健全度診断へのファジー集合論の適用に関する基礎的研究」<sup>24)</sup>

#### 2.3.2 1990年代

##### (1) 概要

1990年代に入ると、今後、橋梁の老朽化が重大な社会問題となることが叫ばれはじめた。そのような中、データベースシステムと診断エキスパートシステム、補修・補強工法選定支援機能が構築されたことにより、J-BMSは1998年に開発された。開発当初はRC橋のみを対象とするJ-BMS RC版であった。これは、RC橋は、高度経済成長期に急速に普及したPC橋よりも古い橋梁が多いことから先行して開発されたからである。その後の研究により、RC橋版に様々な改良や機能も追加されて、RC橋版を基にPC橋の診断エキスパートシステムの開発が進められていった。

##### (2) 代表的な論文

1990年代に発表された代表的な論文を以下に示す。

「知識更新機能を有するコンクリート橋診断エキスパートシステムの開発」<sup>25)</sup>

「コンクリート橋診断ニューロ・ファジィエキスパートシステムの開発と信頼性の向上」<sup>26)</sup>

「Bridge Management System(BMS)の開発」<sup>27)</sup>

「既存橋梁の最適補修・補強計画への遺伝的アルゴリズムの適用」<sup>28)</sup>

「BMSにおける補修・補強工法選定支援機能の構築」<sup>29)</sup>

「橋梁維持管理のための戦略的橋梁データベースの開発」<sup>30)</sup>

「Bridge Management System(BMS)の実橋への適用に関する研究」<sup>31)</sup>

### 2.3.3 2000 年代から現在

#### (1) 概要

1990 年代後半からのパソコンの急速な発達に伴い、2000 年代に入ると、システムの互換性がなくなり使用できない事態となった。このことから、当時主流となっていた Windows との互換性のあるシステムへの再開発が必要となった。その際、橋梁の性能を評価する機能や対策を選定する機能などのサブシステムが単体で開発されたことから、機能間での連結が失われてしまった。

2000 年代の中盤以降、実用化へ向けシステム開発者による実橋梁での検証が行われていった。RC 橋に関しては、老朽化した撤去橋梁を用い現地調査および RC 橋診断エキスパートシステムの検証が行われた。また同時期に、山口県橋梁通常点検業務支援システムの開発がされた。PC 橋版の J-BMS PC 版については、本研究にて、2012 年に実橋での検証を行いその有用性を検証した。

#### (2) 代表的な論文

2000 年代から現在にかけ発表された代表的な論文をシステム別に示す。

##### 1) RC 橋版の代表的な論文

RC-BREX の実用化へ向け検証された代表的な論文を以下に示す。

- 「コンクリート橋診断エキスパートシステムにおける知識獲得手法の改良」<sup>32)</sup>
- 「Bridge Management System における劣化要因推定システムの推定精度向上」<sup>33)</sup>
- 「旧厚東川大橋の果たした役割と撤去時健康診断」<sup>34)</sup>
- 「Advanced Performance Evaluation System for Existing Concrete Bridges」<sup>35)</sup>
- 「RC 橋維持管理支援システム(J-BMS RC 版)の開発と実橋への適用」<sup>36)</sup>

##### 2) PC 橋版の代表的な論文

PC-BREX の開発から実用化へ向け提案や検証された代表的な論文を以下に示す。

- 「評価型エキスパートシステム開発を目的とした評価プロセス作成手法の提案」<sup>37)</sup>
- 「PC 橋診断エキスパートシステムの開発」<sup>38)</sup>
- 「橋梁通常点検結果を用いた劣化予測式の作成と橋梁補修優先順位の検討」<sup>39)</sup>
- 「PC 橋維持管理支援システム(J-BMS PC 版)の開発と実橋への適用」<sup>40)</sup>
- 「Development of Practical Bridge Management System for Prestressed Concrete Bridges」<sup>41)</sup>

##### 3) J-BMS の代表的な論文

J-BMS を実橋で検証した修士論文を以下に示す。

- 「J-BMS 開発の変遷と実橋梁での検証法」<sup>42)</sup>

### 4) 山口県橋梁維持管理支援システムに関する論文

山口大学と山口県との官学共同研究により開発されたシステムの論文を以下に示す.

「山口県橋梁維持管理データベースの開発」<sup>43)</sup>

「山口県橋梁通常点検業務支援システムの開発」<sup>44)</sup>

「山口県橋梁長寿命化のための戦略的データベースの開発」<sup>45)</sup>

2.4 J-BMS の概要

2.4.1 J-BMS の構成と機能

著者らが開発を進めてきた、主としてコンクリート橋を対象とした J-BMS の各機能の概要とその特徴などについて整理する。

J-BMS は橋梁の維持管理による長寿命化を目的に開発され、橋梁の維持管理フローである「点検・調査」、「評価・診断」、「計画・対策」の各ステップにおいて、維持管理機関の業務や意思決定を支援する統合型橋梁維持管理支援システムである。評価対象としている部材は、コンクリート橋の主桁と床版に限定している。その理由は、橋梁の劣化診断に大きく影響する部材を対象とし、評価を明確かつ簡潔にするためである。

J-BMS のサブシステムを図 2.4.1 に、構成図を図 2.4.2 に示す。図 2.4.2 の内容は、① J-BMS DB から橋齢・橋格などの諸元データとひび割れなどの点検データを抽出する (J-BMS DB)、②抽出したデータをもとに対象橋梁の性能評価や健全度診断を行う (BREX)、③診断結果から劣化曲線を利用し対象橋梁の劣化予測を行う (MPOS)、④劣化予測結果を考慮して対策の費用やその効果を検証する (MPOS)、⑤検証結果から最適な工法、時期およびコストを提案し最適維持管理計画の立案を行う (MPOS) という橋梁の維持管理における一連の流れに対応した J-BMS 各機能の構成となっている。以下に、J-BMS の各機能 (サブシステム) を詳述し、これらが有する特徴・課題などを整理する。

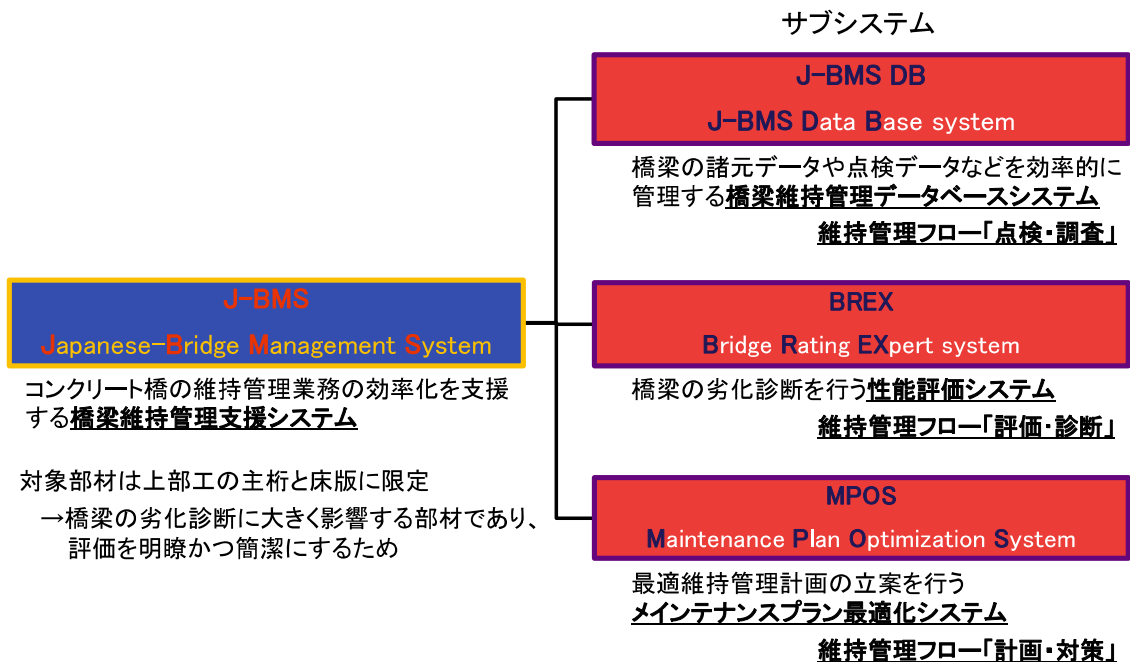


図 2.4.1 J-BMS のサブシステム

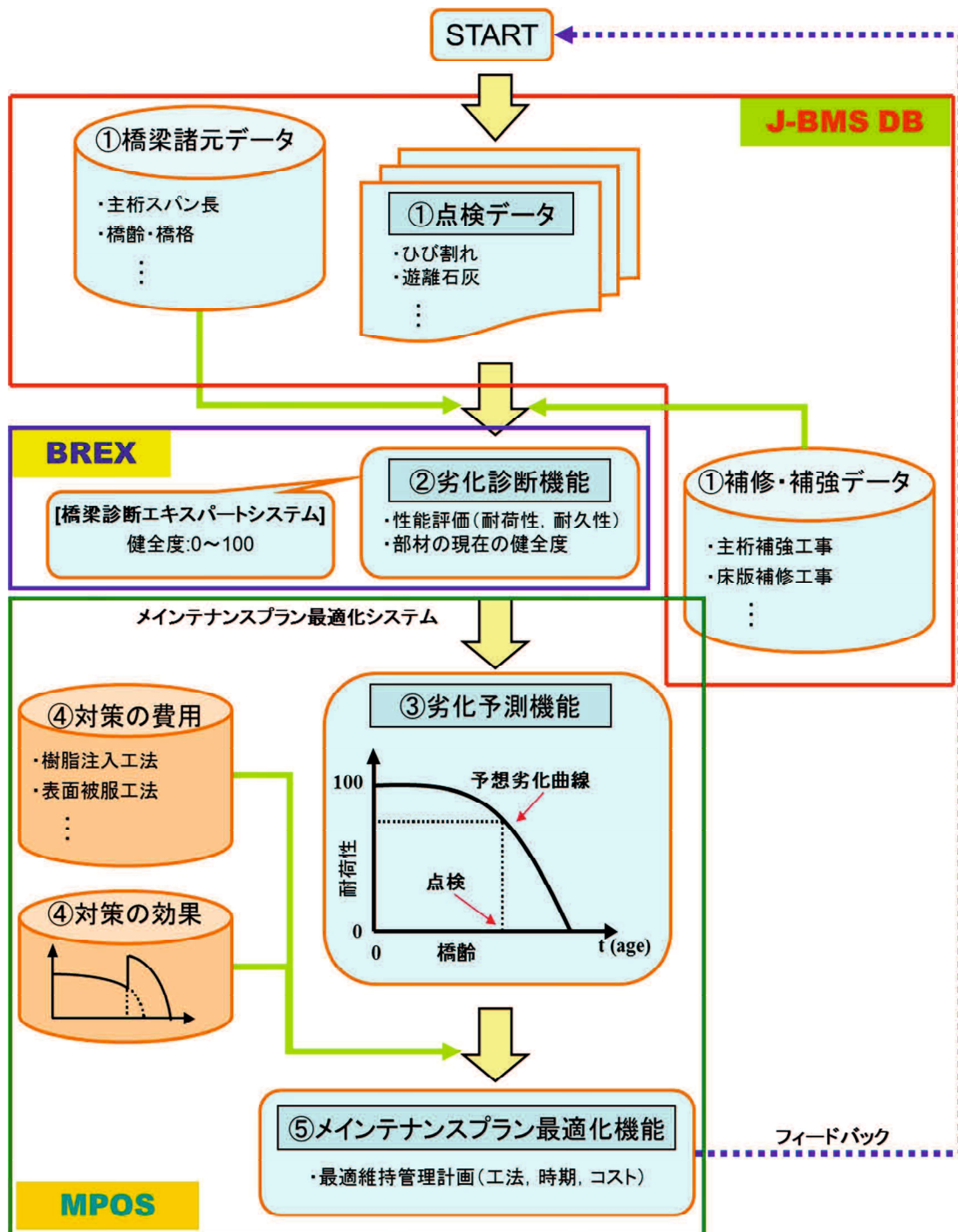


図 2.4.2 J-BMS 構成図



### 2.4.2 橋梁維持管理データベースシステム (J-BMS DB) について

橋梁維持管理データベースシステム(J-BMS DB)とは、J-BMS 内で橋梁の各種データを効率的に管理する機能を有するサブシステムである。本サブシステムは、山口県土木建築部、山口県建設技術センターおよび山口大学の官学共同研究において、精力的に開発が進められた。平成 18 年度から平成 20 年度にかけて、山口県橋梁維持管理支援システムとして開発、実用化されている。図 2.4.2 の赤で囲んだ部分が J-BMS DB を示す。

J-BMS DB の全体構成と機能の流れを図 2.4.3 に示す。図中に示すように、J-BMS DB は、ユーザ認証のための「ログイン画面」、サポート機能へアクセスするための「メニュー画面」に加え、「橋梁諸元 DB」、「通常点検 DB」、「補修・補強 DB」、「その他(橋梁年報作成機能)」と、それらに付随する入力機能・検索機能・修正機能・出力機能により構成される。なお、橋梁諸元 DB および通常点検 DB は、山口県が策定した「橋梁データの整備方針(案)」<sup>46)</sup>および「橋梁通常点検マニュアル(案)」<sup>47)</sup>に準拠したデータ項目の蓄積を目的として設計・開発された。また、補修・補強 DB は、橋梁の補修・補強工事履歴、工事に即して行われる詳細点検の結果を格納しており、診断結果に基づいた補修・補強計画立案に利用することを目的に開発された。橋梁の管理者として山口県が運用した場合を例に、図 2.4.4 には橋梁諸元 DB の運用フロー図を、図 2.4.5 には通常点検 DB の運用フロー図を示す。

橋梁の維持管理フローにおいては、「点検・調査」に該当する。

最後に J-BMS DB については、山口県土木建築部にて運用実績があることから、本研究での検討対象から外している。

## 第2章 既存のBMSとJ-BMSの変遷・概要

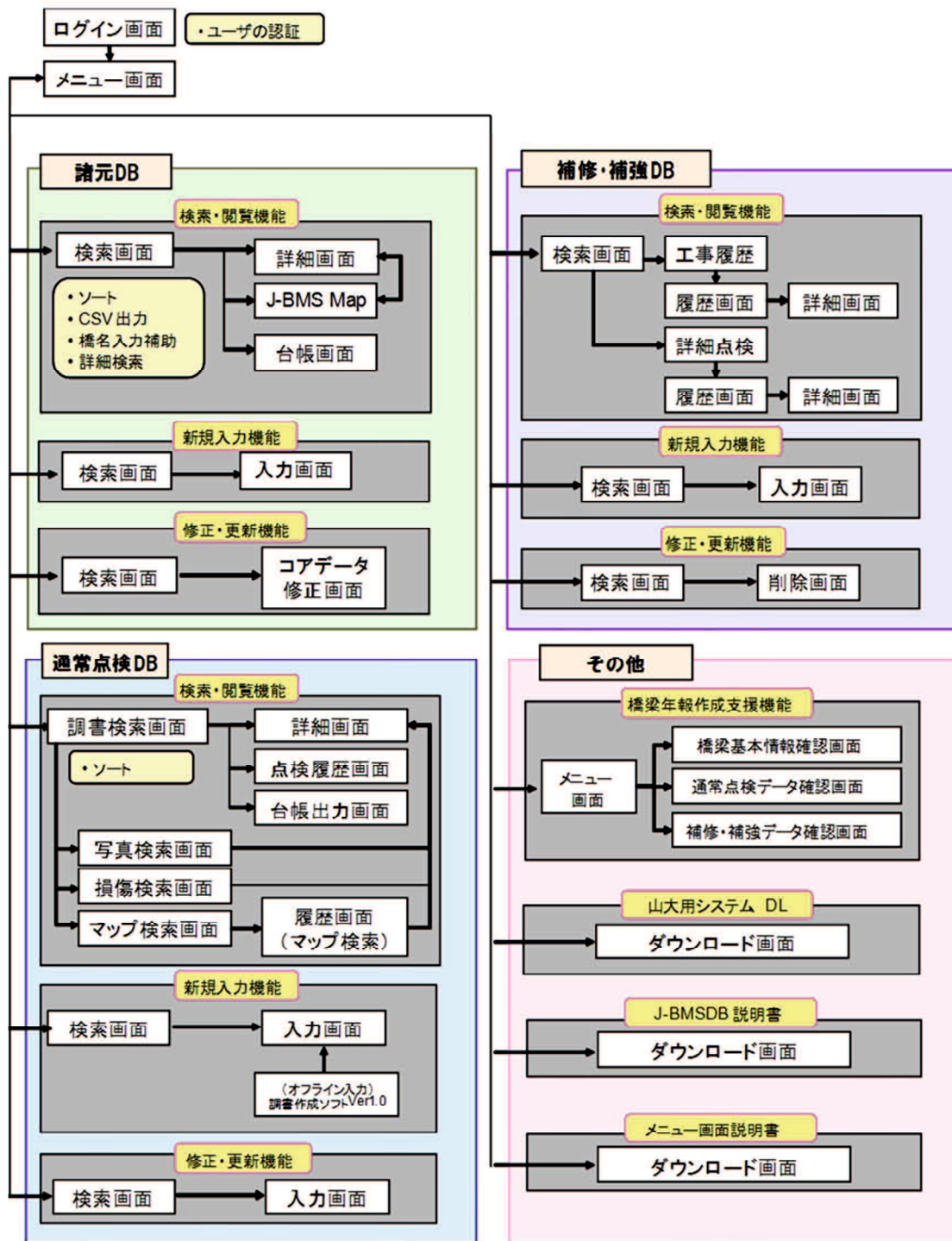


図 2.4.3 J-BMS DB 全体構成図

## 第2章 既存のBMSとJ-BMSの変遷・概要

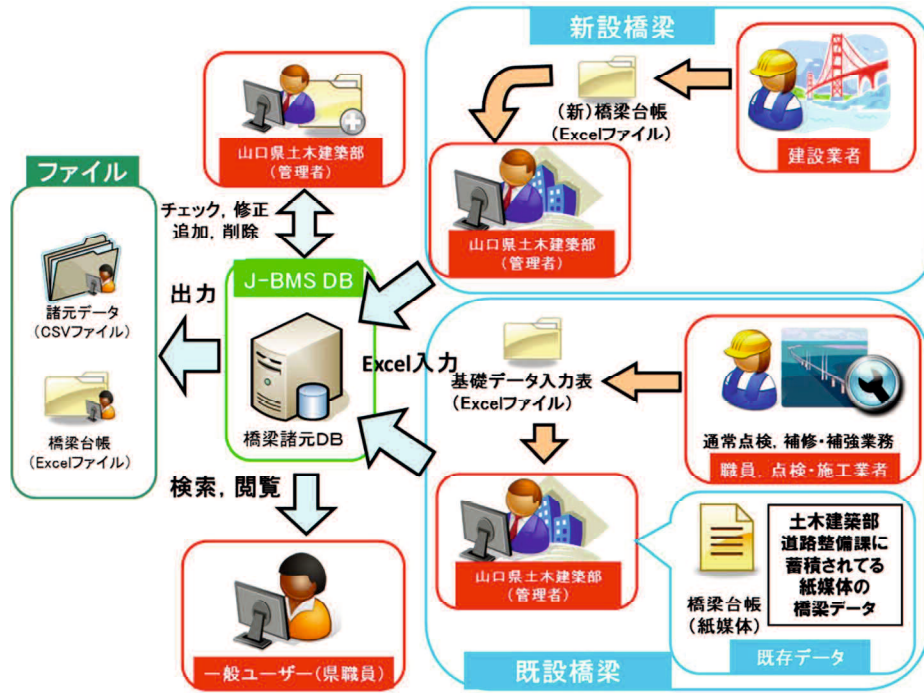


図 2.4.4 橋梁諸元 DB 運用フロー図

(山口県が運用した場合を例としている)

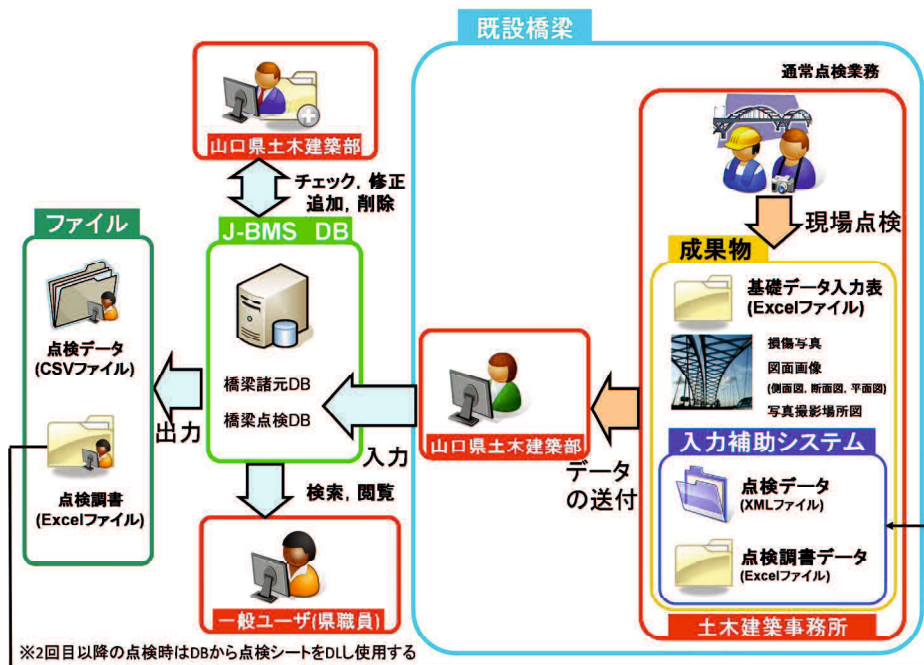


図 2.4.5 通常点検 DB 運用フロー図

(山口県が運用した場合を例としている)

### 2.4.3 性能評価システム (BREX) について

性能評価システム(BREX)とは、ニューラルネットワークとファジィ理論を用いて、J-BMS DB から提供される橋梁諸元データと各種点検データから、橋梁の健全度を診断するサブシステムである。図 2.4.2 の青で囲んだ部分が BREX を示す。

BREX は、鉄筋コンクリート橋を対象とした RC-BREX とプレストレストコンクリート橋を対象とした PC-BREX によって構成されている。参考として図 2.4.6 には PC-BREX への点検データ入力画面例を、図 2.4.7 には PC-BREX による主桁の評価結果の画面例を示す。RC-BREX も PC-BREX とほぼ同様の入力画面、評価結果の出力である。

橋梁の維持管理フローにおいては、「評価・診断」に該当する。

The screenshot shows a software window titled "橋梁諸元 - 入力画面" (Bridge Elements - Input Screen). It contains several input fields and sections:

- 入力対象のデータ** (Data for input): Includes a text field for "名称" (Name) and a date selector for "入力年月" (Input year/month) with a "(西暦)" (Gregorian) dropdown.
- 質問項目** (Question items): Includes a "ページの切り替え" (Page switching) section with "Page 1 / 2" and navigation arrows.
- 橋齢** (Bridge age): A text input field with the label "橋齢を入力してください。(年)" (Please input bridge age in years).
- 適用示方書** (Applicable design codes): A list of radio buttons for different design codes:
  - プレストレストコンクリート道路橋設計示方書・昭和43年以前
  - 道路橋示方書 I 共通編 III コンクリート橋編・昭和53年
  - 道路橋示方書 I 共通編 III コンクリート橋編・平成2年
  - 道路橋示方書 I 共通編 III コンクリート橋編・平成6年以降
- 橋格** (Bridge grade): Radio buttons for "二等橋" (Grade II) and "一等橋" (Grade I).
- 主桁本数** (Number of main girders): A text input field with the label "主桁の総本数を入力してください。(本)" (Please input the total number of main girders).
- 主桁スパン長** (Main girder span length): A text input field with the label "主桁スパン長を入力してください。(m)" (Please input main girder span length).

At the bottom right, there are "戻る" (Back) and "次へ" (Next) buttons.

図 2.4.6 PC-BREX への点検データ入力画面例

## 第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要



図 2.4.7 PC-BREX による主桁の評価結果画面の例

BREX は、主桁・床版の耐荷性や耐久性などの各項目において健全度を診断するサブシステムである。また、一般的なエキスパートシステムが提供すべき諸機能を有しており、推論機構が階層構造ニューラルネットワークで構築されている特徴を生かして、体系的な知識の学習を可能としている。

前述したとおり、BREX は、鉄筋コンクリート橋を対象とした RC-BREX とプレストレストコンクリート橋を対象とした PC-BREX によって構成されている。図 2.4.8 に RC-BREX、図 2.4.9 に PC-BREX の運用フロー図を示す。RC-BREX は橋梁の通常点検時の使用に適している定性的なシステム（以下、定性システム）である RC-BREX'99 と橋梁の詳細点検時の使用に適している定量的なシステム（以下、定量システム）である RC-BREX'2000 の 2 種類を有している。また、PC-BREX は、診断方法が限定的である理由から定性システムのみを開発して来たが、今後高齢化する PC 橋も多くなるので、定量システムの開発も急がれる。BREX の内容については、第 3 章にて説明する。

なお、本研究では定性システムの検証対象として PC-BREX の検証を行う。その理由は、PC-BREX が RC-BREX'99 をもとにして開発された経緯があること、また、今後高齢化する PC 橋が多くなることからシステムの有用性を詳細に検証するためであり、この検証結果を今後 RC-BREX'99 にフィードバックする計画である。

## 第2章 既存のBMSとJ-BMSの変遷・概要

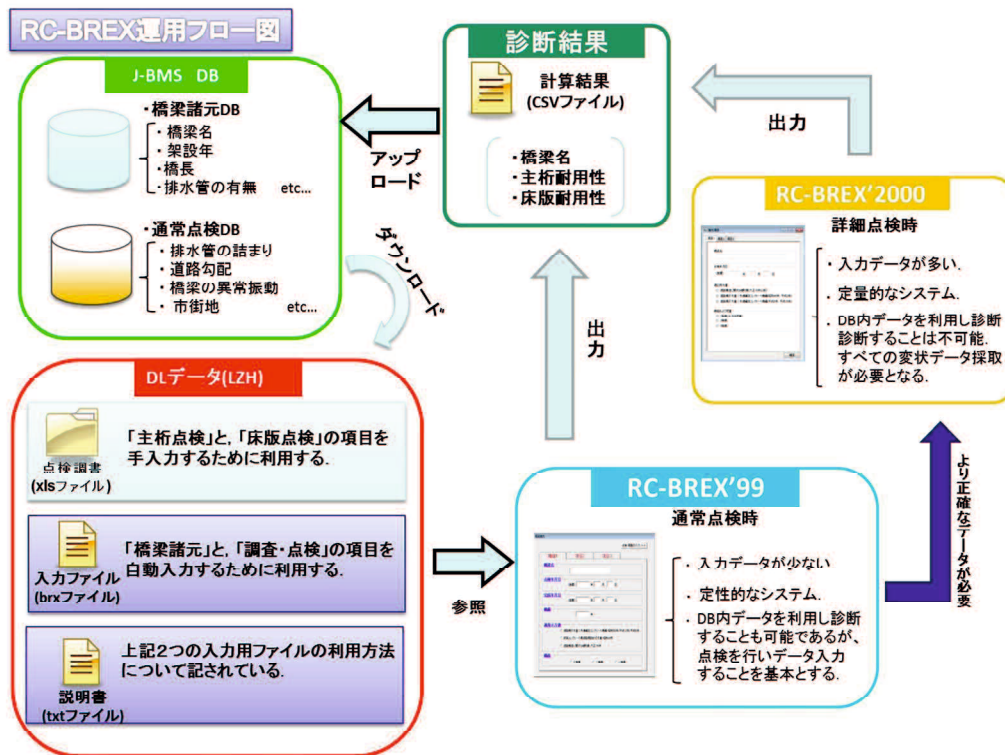


図 2.4.8 RC-BREX 運用フロー図

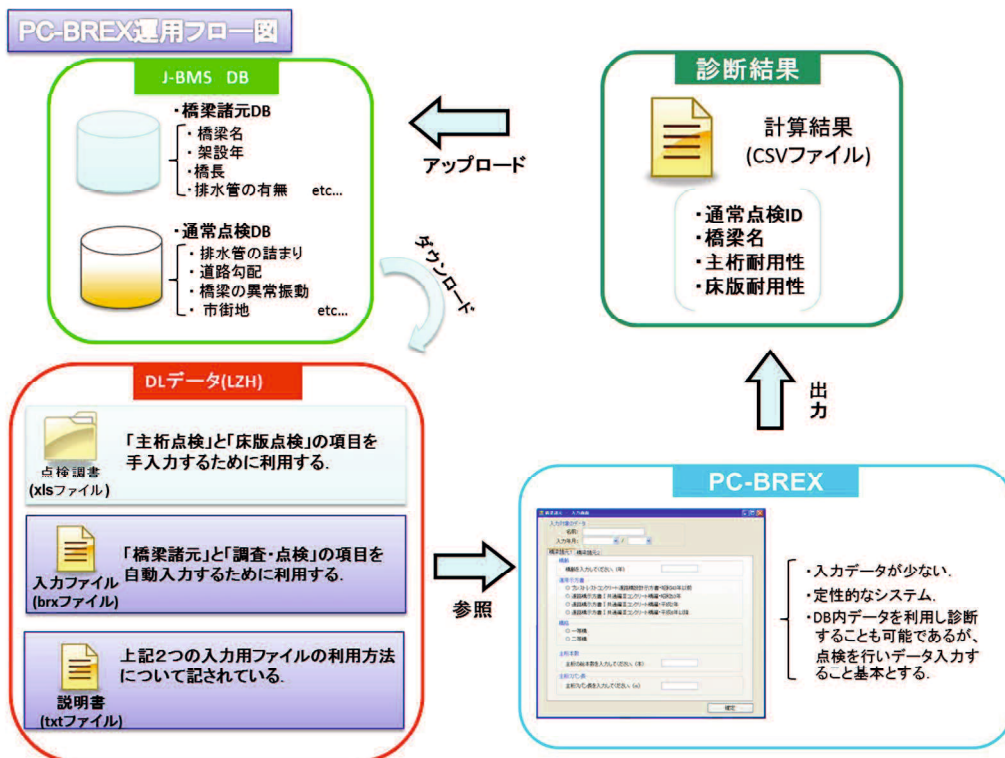


図 2.4.9 PC-BREX 運用フロー図

## 第2章 既存のBMSとJ-BMSの変遷・概要

### 2.4.4 メンテナンスプラン最適化システム（MPOS）について

メンテナンスプラン最適化システム(MPOS)とは、橋梁を効率的に管理するための最適維持管理計画の立案を支援するサブシステムである。図2.4.2の緑で囲んだ部分がMPOSを示す。

具体的には、J-BMS DB から出力される橋梁諸元データと通常点検データを入力し、利用者により「劣化予測式」、「保全対策、更新対策の費用」などを選定することで最適な維持管理計画を立案することができる<sup>48)</sup>。維持管理計画策定では、寿命最大化、年次更新費用平滑化、余寿命ライフサイクルコスト(RLCC: Remain Life Cycle Cost)最小化を考慮して対策実施要否の有無やタイミングの決定支援を行う。図2.4.10にはMPOSからの出力画面の例を、図2.4.11にはMPOSの運用フロー図を示す。

橋梁の維持管理フローにおいては、「計画・対策」に該当する。

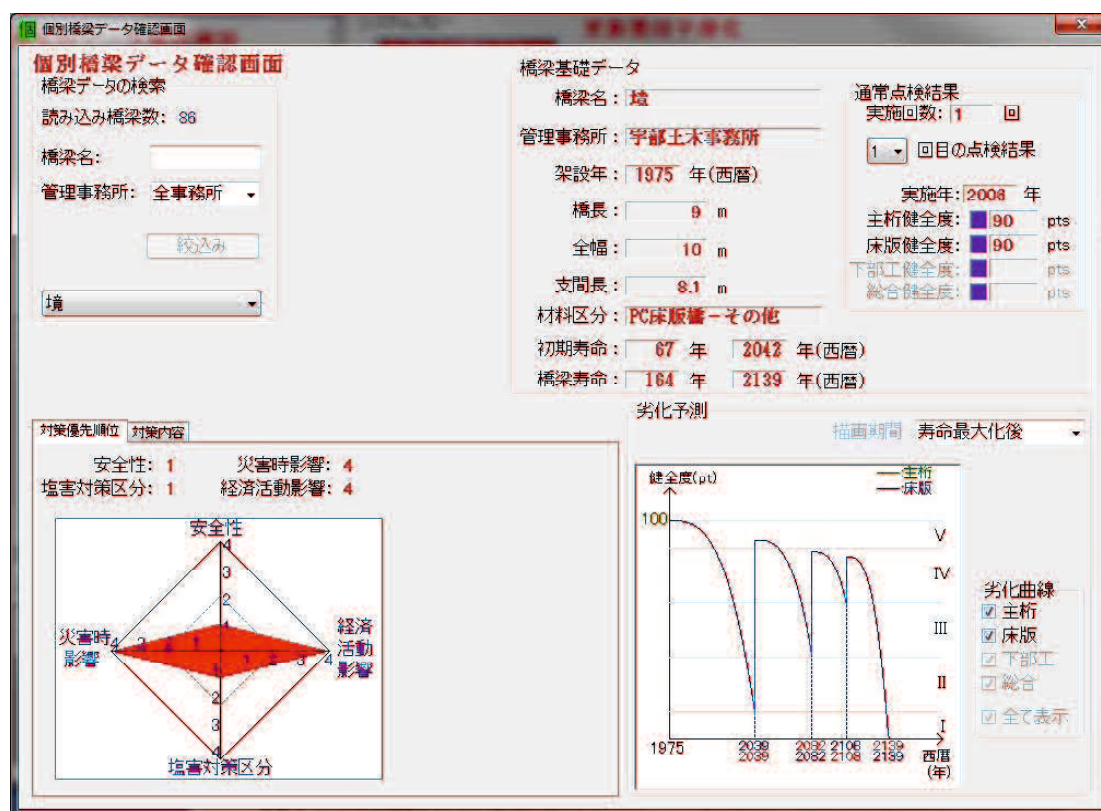


図 2.4.10 MPOS からの出力画面例

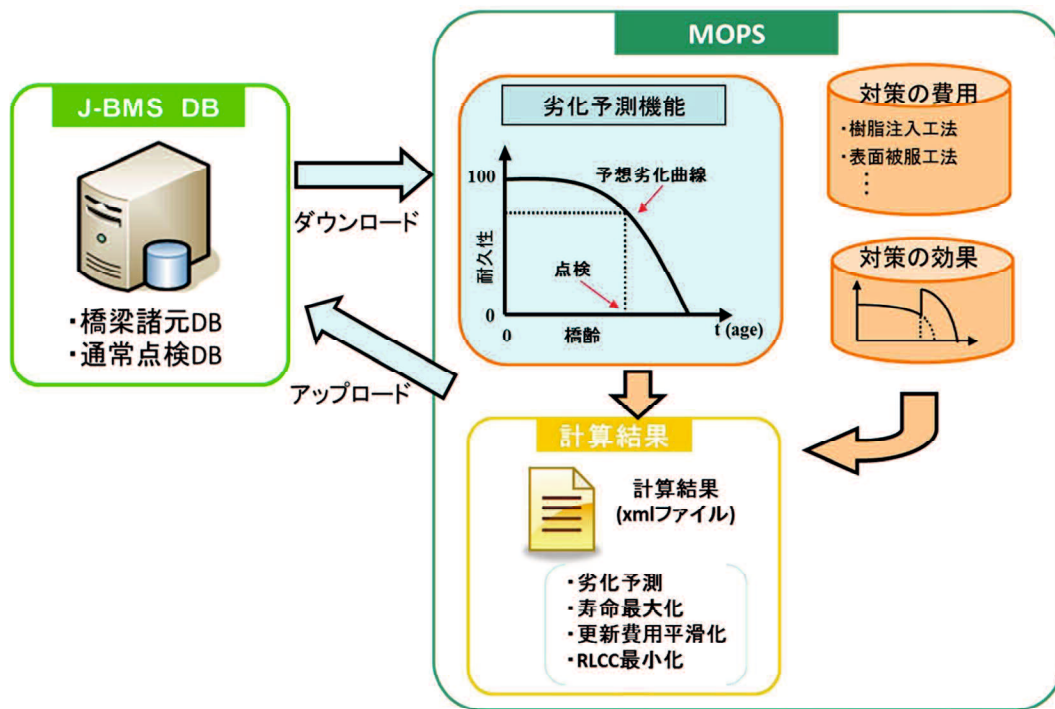


図 2.4.11 MPOS の運用フロー図

## 2.5 まとめ

本章では、諸外国やわが国内で実際に研究や実用化されているBMSの紹介を行った。次に、コンクリート橋を本研究対象橋梁とした根拠を明確にするために、架設数や歴史などの概要をまとめた。さらに、J-BMSの開発は長きにわたり行われてきているので、その変遷をまとめた。最後に、J-BMSの基本的な運用の流れを説明し、J-BMSが有する各サブシステムの概要とその特徴などを整理した。



### 参考文献

- 1) D.Thompson, P.Small, M.Johnson and R.Marshall:The Pontis Bridge Management System , Structural Engineering International , Journal of IABSE , Vol.8 , pp.303-308, 1998.4.
- 2) H.Hawk , P.small : The BRIDGIT Bridge Management System , Structural Engineering International, Journal of IABSE, Vol.8, pp.309-314, 1998.4.
- 3) アメリカ全州道路交通運輸行政官協会 HP : <http://www.transportation.org/> (2014.11.アクセス)
- 4) アメリカ全州道路交通運輸行政官協会 BrM ソフトウェア HP : <http://aashtowarebridge.com/> (2014.10.アクセス)
- 5) 河村圭 : Bridge Management System(BMS)の開発および実用化に関する研究, 山口大学大学院理工学研究科博士論文, 2000.3.
- 6) Dr R J Woodward,TRL,UK:BRIME,DELIVERABLE D14 FINAL REPORT,pp.1-217, 2001.3.
- 7) Transport Research & Innovation Portal(TRIP) プロジェクトの詳細ページ : [http://www.transport-research.info/web/projects/project\\_details.cfm?id=32](http://www.transport-research.info/web/projects/project_details.cfm?id=32) (2014.11.アクセス)
- 8) OECD Scientific Group : Bridge Management, OECD Research Report, 1992.12.
- 9) (株)COM-ONE・(株)日本海コンサルタント共同企業体 : 平成 25 年度外務省政府開発援助海外経済協力事業 (本邦技術活用等途上国支援推進事業) 委託費「案件化調査」ファイナル・レポート ベトナム国 社会資本整備の維持管理能力向上を目的とした橋梁長寿命化修繕計画策定システム導入及びノウハウ普及に関する案件化調査, (株)COM-ONE・(株)日本海コンサルタント, 2014.3.
- 10) 玉越隆史, 大久保雅憲, 渡辺陽太 : 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)—, 国総研資料 第 523 号, 2009.3.
- 11) 後藤昭彦, 大沢誠司 : 橋梁マネジメントシステム(NEXCO-BMS)を活用した維持管理計画検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会, VI-209, pp.417-418, 2011.9.
- 12) 中林正司, 西岡敬治, 小林潔司 : 阪神高速道路の維持管理の現状と課題, 土木学会論文集 F, Vol.63,No.4,pp.494-505, 2007.12.
- 13) 阪神高速道路(株) : 阪神高速におけるアセットマネジメントの取り組み, [http://www.hanshin-exp.co.jp/company/torikumi/torikumi\\_asset.pdf](http://www.hanshin-exp.co.jp/company/torikumi/torikumi_asset.pdf) (2014.10.アクセス)
- 14) 坂井康人 : 都市高速道路におけるデータベースの構築と今後の展開～戦略的なアセットマネジメントの取り組み～, <http://www.nilim.go.jp/lab/fag/data/seminar140227/1-file.pdf> (2014.10.アクセス)

## 第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要

---

- 15) 財団法人北海道建設技術センター：HOCTEC 北海道市町村橋梁管理システム BMS 操作説明書（利用者編），財団法人北海道技術センター，pp.1-36，2013.3.
- 16) 青森県県土整備部道路課：青森県橋梁長寿命化修繕計画 10 箇年計画 平成 24 年 5 月，<http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kendo/doro/files/2012-0525-1206.pdf> (2014.10.アクセス)
- 17) 川村宏行：青森県アセットマネジメントの取り組み，  
[http://kenmane.kensetsu-plaza.com/bookpdf/48/sgb\\_01.pdf](http://kenmane.kensetsu-plaza.com/bookpdf/48/sgb_01.pdf) (2014.10.アクセス)
- 18) 国土交通省：道路統計年報 2013，  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2013tokei-nen.html> (2014.10.アクセス)
- 19) 山口県土木建築部道路整備課：山口県橋梁長寿命化修繕計画（平成 26 年 3 月版），  
<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/6/d/c/6dc9557d208c28012e6cd5e066a4315e.pdf> (2014.10.アクセス)
- 20) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：平成 24 年度道路構造物に関する基本データ集，国土技術政策総合研究所資料 第 776 号，2014.1.
- 21) 多田宏行：橋梁技術の変遷—道路保全技術者のために，鹿島出版社 2000.12.
- 22) プレストレストコンクリート技術協会：コンクリート構造診断技術，社団法人プレストレストコンクリート技術協会，pp.1-40，2010.5.
- 23) 西村昭，藤井学，宮本文穂：道路橋 RC 床版の診断と評価に関する基礎的研究，「材料」第 34 巻 第 376 号，pp.40-46，1985.1.
- 24) 西村昭，藤井学，宮本文穂，小笠勝：構造物の健全度診断へのファジー集合論の適用に関する基礎研究，土木学会論文集 第 380 号/I-7，1987.4.
- 25) 宮本文穂，森川英典，古川正典：知識更新機能を有するコンクリート橋診断エキスパートシステムの開発，構造工学論文集 Vol.38A，1992.3.
- 26) 宮本文穂，串田守可，森川英典，木下和哉：コンクリート橋ニューロ・ファジィエキスパートシステムの開発と信頼性の向上，土木学会論文集 No.510/VI-26，pp.91-101，1995.3.
- 27) 宮本文穂，串田守可，足立幸郎，松本正人：Bridge Management System(BMS)の開発，土木学会論文集 No.560/VI-34，pp.91-106，1997.3.
- 28) 小野正樹，宮本文穂，中村秀明，河村圭：既存橋梁の最適補修・補強計画への遺伝的アルゴリズムの適用，土木情報システム論文集 Vol.6，pp.181-188，1997.
- 29) 小野正樹，宮本文穂，中村秀明，山岡健一：BMS における補修・補強工法選定支援機能の構築，土木情報システム論文集 Vol.7，pp.65-72，1998.
- 30) 神波修一郎，上村勝利，中村秀明，宮本文穂：橋梁維持管理のための戦略的橋梁データベースの開発，土木情報システム論文集 Vol.7，pp.57-64，1998.

## 第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要

---

- 31) 宮本文穂, 中村秀明, 山岡健一, 河村圭: Bridge Management System(BMS)の実橋への適用に関する研究, 山口大学工学部研究報告 No.49 No.2, pp.79-94, 1999.
- 32) 宮本文穂, 青木治道, 中村秀明, 河村圭: コンクリート橋診断エキスパートシステムにおける知識獲得手法の改良, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.1213-1218, 2001.
- 33) 中村秀明, 鬼丸浩幸, 河村圭, 宮本文穂: Bridge Management System における劣化要因推定システムの推定精度向上, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1641-1646, 2002.
- 34) 宮本文穂, 江本久雄, 高橋順: 旧厚東川大橋の果たした役割と撤去時健康診断～現地調査結果の最終報告集～, 山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.15, 2011.3.
- 35) Ayaho Miyamoto, Hisao Emoto, Hiroyoshi Asano: Advanced Performance Evaluation System for Existing Concrete Bridges, Computers & Concrete, Techno-Press (Impact Factor: 0.936), Vol.14, No.6, 2014.12.
- 36) 宮本文穂, 浅野寛元, 江本久雄, 勝島龍郎: RC 橋維持管理支援システム(J-BMS RC 版)の開発と実橋への適用, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), (投稿中)
- 37) 青木治道, 河村圭, 中村秀明, 宮本文穂: 評価型エキスパートシステム開発を目的とした評価プロセス作成手法の提案, 土木学会中国支部第 53 回研究発表会 (平成 13 年度), pp.885-886, 2001.
- 38) 宮本文穂, 横山博司, 中村秀明, 泉元昌彦: PC 橋診断エキスパートシステムの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.25 No.1, pp.1685-1960, 2003.
- 39) 石田純一, 森岡弘道, 河村圭, 宮本文穂: 橋梁通常点検結果を用いた劣化予測式の作成と橋梁補修優先順位の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1711-1716, 2008.
- 40) 宮本文穂, 浅野寛元, 勝島龍郎: PC 橋維持管理支援システム(J-BMS PC 版)の開発と実橋への適用, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.68(2012) No.2, pp.41-54, 2012.
- 41) Ayaho Miyamoto, Tatsuro Katsushima, Hiroyoshi Asano: Development of Practical Bridge Management System for Prestressed Concrete Bridges, Second Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures (SMAR2013), pp.1-9, 2013.9.
- 42) 勝島龍郎: J-BMS 開発の変遷と実橋梁での検証法, 山口大学大学院理工学研究科修士論文, 2014.3.
- 43) 宮本文穂, 河村圭, 石田純一, 永田信人: 山口県橋梁維持管理データベースの開発, 日本コンクリート工学協会, pp.275-284, 2006.12.
- 44) 河村圭, 杉本真, 石田純一, 宮本文穂: 山口県橋梁通常点検業務支援システムの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.185-194, 2007.

## 第 2 章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要

---

- 45) 宮本文穂, 一木秋浩, 伊藤大恭, 長岡克典: 山口県橋梁長寿命化のための戦略的データベースの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.19, pp.73-84, 2010.
- 46) 宮本文穂, 中村秀明, 河村圭, 他: データベースを利用した橋梁ネットワークの維持管理計画策定システムの開発 (山口県橋梁維持管理データベース'06, 更新および長寿命化を考慮した橋梁維持管理計画策定支援システムの開発), 平成 17 年度共同研究報告書, 山口県・山口大学土木・建築系学科官学勉強会, pp.87-96, 2006.8.
- 47) 山口県土木建築部道路整備課: 山口県橋梁通常点検マニュアル (案), 2005.10.
- 48) 森優太: 実橋データを用いた橋梁維持管理計画策定支援システムの実用化と検証, 山口大学大学院理工学研究科修士論文, 2009.3.

## 第3章 性能評価システム (BREX)

BREX は、ニューラルネットワークとファジィ理論を融合させたシステムである。ニューラルネットワークを用いることで専門家の知識を「学習」させることが可能となり、ファジィ理論を用いることで人間と同様に様々な経験や学習を通して知識が獲得され表現できるシステムとなっている。

### 3.1 点検の種類

BREX について記述する前に、橋梁点検の種類について述べる。図 3.1.1 に示すように、橋梁点検は概ね次の 4 種類がある<sup>1),2)</sup>。

- ①日常点検：主に路面上の変状を把握し、交通に支障を及ぼす影響を早期に発見するための点検
- ②通常点検：橋梁の損傷を早期に発見するとともに、橋梁の状態を適切に把握するための点検 概ね 5 年に 1 度
- ③緊急点検：地震発生後や異常気象時等に橋梁の状態を把握するための点検
- ④詳細点検：補修設計等を行うための点検・調査および材料試験を実施

日常点検や通常点検、緊急点検の結果、詳細な点検が必要とされる橋について、詳細点検が実施される。これらの点検が実施されることにより、安全性や耐久性に影響すると考えられる損傷を早期に発見し対策が行われることで、橋梁が健全な状態を維持できる。状況によっては、通行止めとなる橋梁もある。

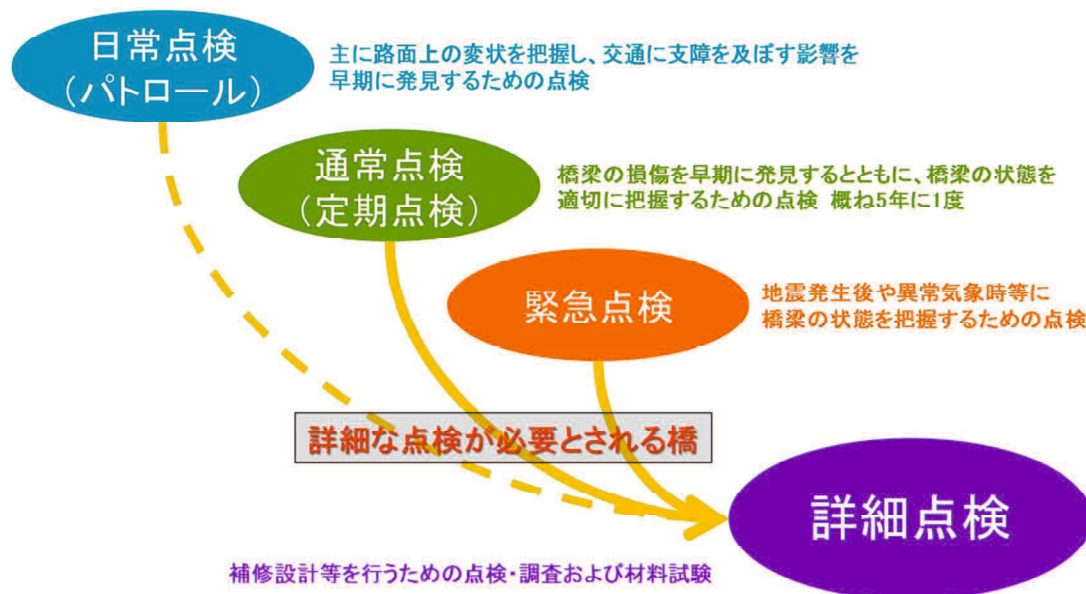


図 3.1.1 橋梁点検フロー図

参考：山口県 「山口県 橋梁点検要領(案) 平成 25 年 3 月」  
いなべ市 「いなべ市橋梁長寿命化修繕計画 平成 25 年 3 月」

3.2 定性システムと定量システムについて

3.2.1 BREX の構成

第2章で述べたとおり，BREX<sup>3)~6)</sup>には大別して定性的なシステムと定量的なシステムの2つの性能評価システムが存在する．図3.2.1のBREXの関係図に示すように，RC橋用のRC-BREXには，通常点検に適する定性システムと詳細点検に適する定量システムが備わっている．また，PC橋用のPC-BREXには，2014年現在，通常点検に適する定性システムしか備わっていない．今後，高齢化するPC橋が多くなるので，PC橋用の定量システムの開発が急がれる．

ここでは，定性システムと定量システムの2つのBREXについて述べる．この2つのBREXで最も大きく異なる点は，入力データを取得する点検方法およびデータ採取方法にある．点検方法に応じてBREXを選択可能な状態としておくことで，詳細点検の対象橋梁を絞り込むことができるため，効果的な維持管理が可能になると考える．

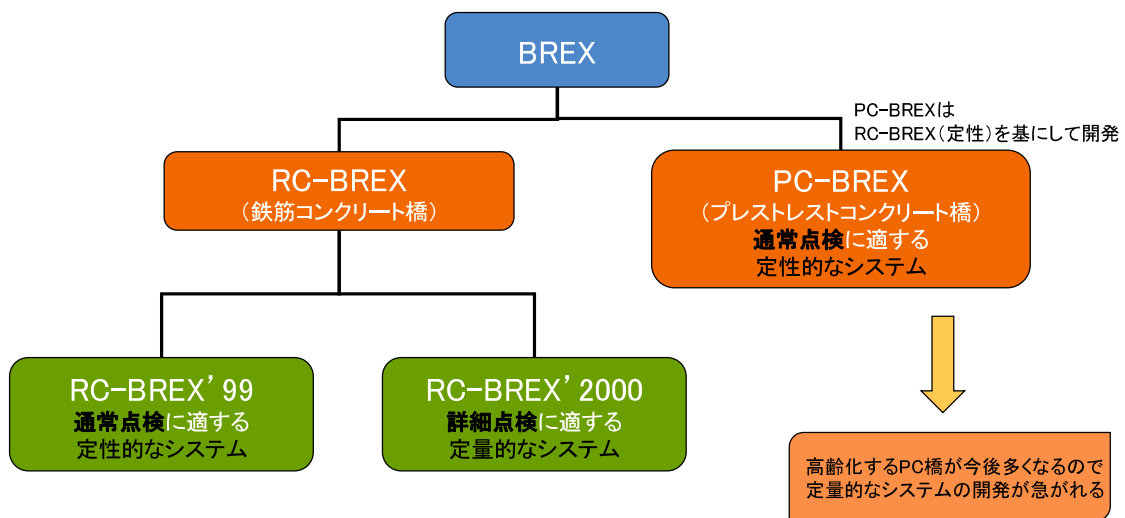


図 3.2.1 BREX の関係図

## 第3章 性能評価システム (BREX)

---

### 3.2.2 定性システム

定性システムの点検データシートの一部を図 3.2.2 に示す。主桁に発生しているひび割れを変状の一例として、定性システムについて述べる。

定性システムでは、あらかじめ特徴的なひび割れを列挙しておき、該当するパターンのひび割れが発生していれば、下位項目の「ひび割れ状況」や「ひび割れ幅」の項目を調査・記録する方法を採用している。鉄筋露出などその他の変状も同様に記録する。このため、点検自体は比較的簡易であると考え、定性システムは通常点検に適している BREX である。しかしながら、「ひび割れ状況」のように量や程度を扱う項目には、選択形式の回答項目として“かなり”や“わずか”など定性的で曖昧なものも含まれており、点検者による感覚の差異がシステム評価のばらつきを発生させる可能性もある。

### 3.2.3 定量システム

定量システムの点検データシートの一部を図 3.2.3 に示す。定性システムと同様に、主桁に発生しているひび割れを変状の一例として、定量システムについて述べる。

定性システムに対して、定量システムでは、代表的なひび割れのみを扱うのではなく、主桁に発生しているひび割れすべてについて、桁番号や橋軸方向位置、上下位置、方向などの 7 つの項目について調査し、これらすべてのひび割れを評価システムの点検データとして扱うことにより、点検者による曖昧な判断が行われないようにしている。鉄筋露出などその他の変状も同様に記録する。つまり、程度や量などのデータは、そのすべてを変状データとして扱うことで表現している。また、発生しているすべての変状についてデータを残すことが可能であるため、今後の点検時に有用なデータとして扱えるという利点も挙げられる。なお、すべての変状について点検調査をした上で利用するため、定量システムは詳細点検に適している BREX である。

性能評価システムである BREX については、2.3 節の J-BMS の変遷でも述べたが、今まで幾度かの改良や再構築がなされている。次節以降、それらの研究成果をとりまとめ BREX の紹介を行う。

### 第3章 性能評価システム (BREX)

G1	<b>支間中央部付近 (曲げひび割れ等)</b>	<input type="checkbox"/> ①発生している(次へ) <input type="checkbox"/> ②発生していない(G1-3へ)
G1-1	ひび割れ状況 (本数、箇所、数などを考慮し、幅は考えない)	<input type="checkbox"/> ①かなり多く発生している <input type="checkbox"/> ②多く発生している <input type="checkbox"/> ③わずかに発生している
G1-2	ひび割れ幅	mm
G1-3	支間中央部付近の遊離石灰の発生状況	<input type="checkbox"/> ①かなり多く発生している <input type="checkbox"/> ②発生している <input type="checkbox"/> ③全く発生していない
G1-4	支間中央部付近のコンクリートの欠落	<input type="checkbox"/> ①かなり多く欠落している <input type="checkbox"/> ②欠落している <input type="checkbox"/> ③全く欠落していない
G2	<b>支間1/4部付近 (せん断ひび割れ等)</b>	<input type="checkbox"/> ①発生している(次へ) <input type="checkbox"/> ②発生していない(G2-3へ)
G2-1	ひび割れ状況 (本数、箇所、数などを考慮し、幅は考えない)	<input type="checkbox"/> ①かなり多く発生している <input type="checkbox"/> ②多く発生している <input type="checkbox"/> ③わずかに発生している
G2-2	ひび割れ幅	mm
G2-3	支間1/4部付近の遊離石灰の発生状況	<input type="checkbox"/> ①かなり多く発生している <input type="checkbox"/> ②発生している <input type="checkbox"/> ③全く発生していない
G2-4	支間1/4部付近のコンクリートの欠落	<input type="checkbox"/> ①かなり多く欠落している <input type="checkbox"/> ②欠落している <input type="checkbox"/> ③全く欠落していない

図 3.2.2 定性システムのひび割れに関する点検データシートの一部

a. 桁番号

項目	桁番号	バチ桁番号	横桁番号	縦桁番号
コード	Mc0101	Gc0101	Cc0101	Sc0101

b. 橋軸方向位置

項目	支間中央	支間1/4	端支点部	中間支点部	ゲルバー支点部	全体
コード	1	2	3	4	5	6

c. 上下位置

項目	桁側面	桁下面
コード	1	2

d. 方向

項目	鉛直	ななめ	水平		亀甲状
			橋軸方向	直角方向	
コード	1	2	3	4	5

e. 本数  
同一パターンのひびわれ本数を記録する。

f. 幅 (着目部の最大を記入)  
同一パターンのひびわれにおいて、ひびわれ幅が最大のものを記録する。

g. 間隔  
同一パターンのひびわれにおいて、ひびわれ間隔が最小のものを記録する。

図 3.2.3 定量システムのひび割れに関する点検データシートの一部



### 第3章 性能評価システム (BREX)

#### 3.3 BREXの健全度評価(診断)フロー

2.4.3項で述べたとおり, BREXは橋梁の総合的な劣化診断を行う際に橋梁管理者および専門技術者を支援するシステムである。

ここでは, RC-BREX'2000を主として, 点検データの採取から健全度評価までの手法を解説する。図3.3.1には定量システムであるRC-BREX'2000の近接目視から診断に至るまでの流れを示す。

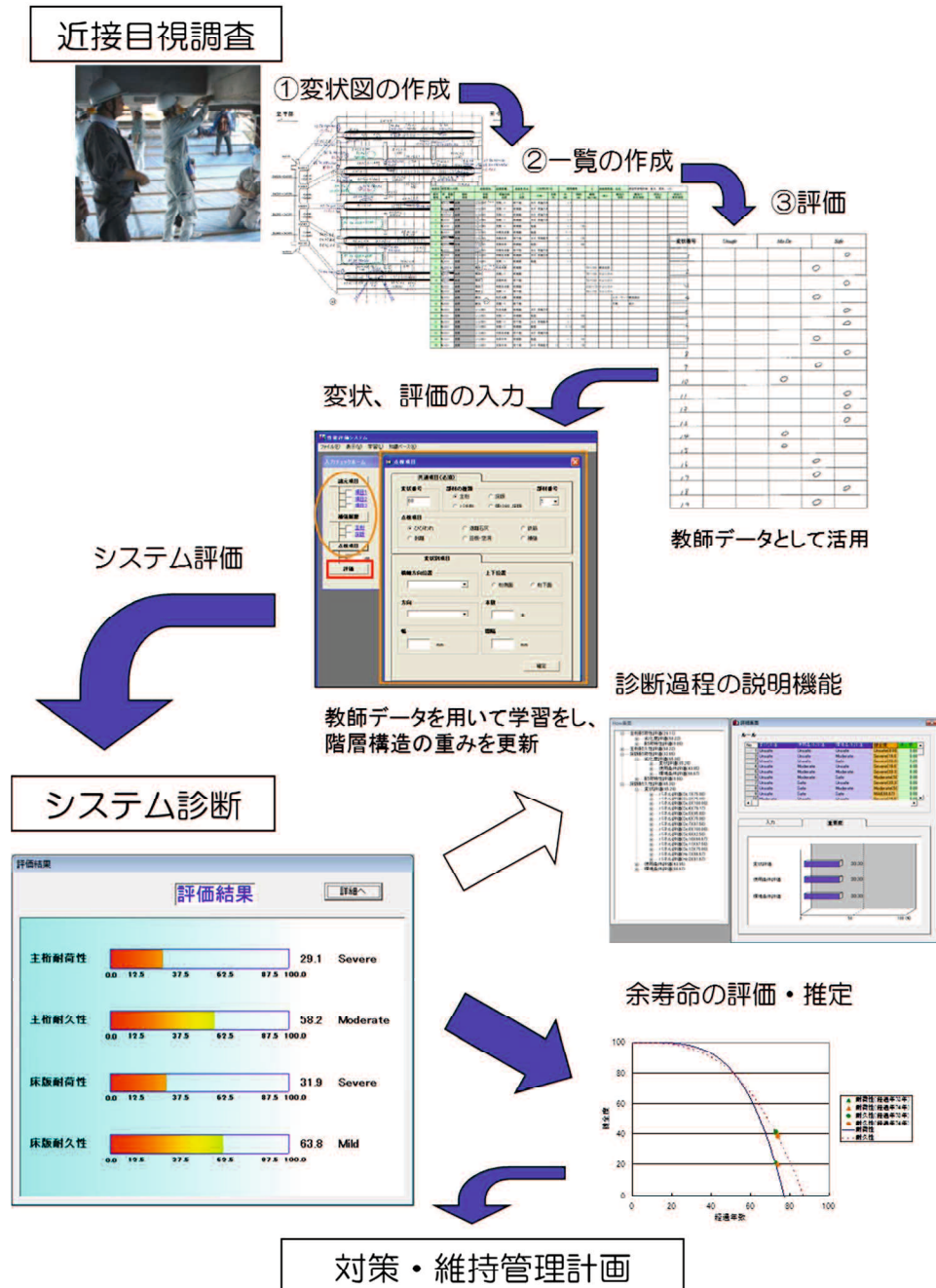


図 3.3.1 橋梁の診断フロー図

3.3.1 橋梁点検によるデータ採取

定量システムのための点検内容は、①変状図の作成、②変状記録一覧表の作成、③各変状から行う健全度評価の3つである。①は、点検スパンの展開図に発生している変状を記録し変状図を現地で作図する。図3.3.2に変状図の例を示す。その際、各変状の大きさや幅なども表3.3.1や表3.3.2の点検項目に準じ記録する。②は、点検後①の変状図をもとに図3.3.3に示すような変状記録一覧表を作成する。その変状データをBREXに入力する。橋梁諸元データと変状データとで得られる評価結果を「初期知識による評価」としている。③は、近接目視点検の結果である②に基づき「主桁の耐荷性、耐久性」、「床版の耐荷性、耐久性」をそれぞれアンケート形式にて専門家が5段階評価する（以下、アンケート評価と表す）。また、専門家とは、橋梁に関する専門知識を有する管理者や技術者としている。表3.3.3にBREX内における5段階評価の点数区分（以下、評価ランクとする）を示す。一例としてひび割れの場合、「個々のひび割れ」の評価や「ひびわれ全体」の評価などである。また、③のデータは、BREXの学習用（教師）データとなる。表3.3.4、図3.3.4にアンケート評価の記入例を示す（3.7.2項にも記述）。表3.3.4は各桁のひび割れの評価で前述したひび割れ全体の評価に当たり、図3.3.4は主桁の耐荷性を評価した記入例である。

RC-BREXに学習させる時には、表3.3.3の各評価ランクの最低点を入力する。これを学習用のデータとしてRC-BREXに学習させ、その評価結果を「学習後の評価」としている。

定性システムの場合、点検調査時には現地にて①～③の作成を行わず、図3.2.2の点検データシートに橋梁の状況を記録する。点検後、その記録したデータをBREXに入力し、診断を行う。

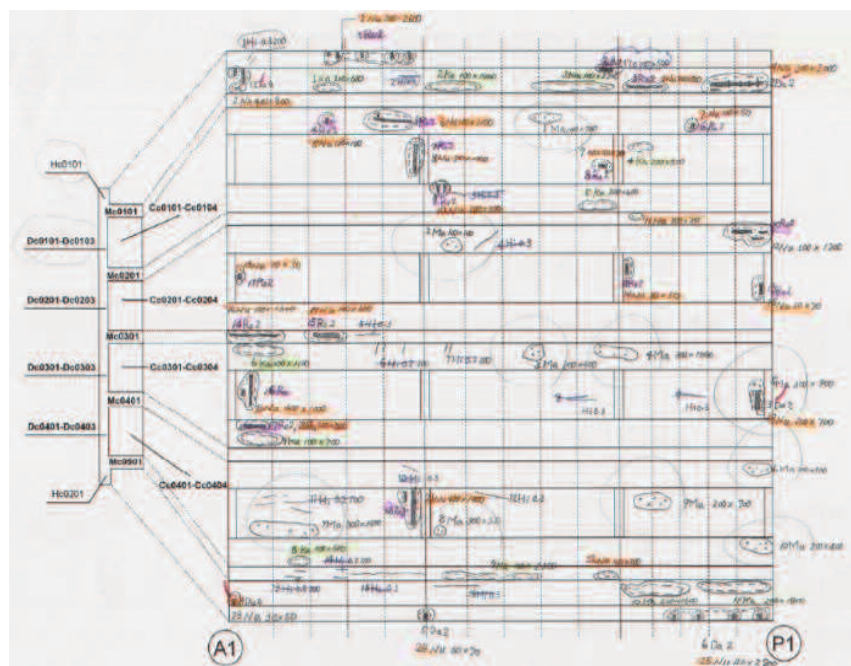


図 3.3.2 変状図の一例

### 第3章 性能評価システム (BREX)

表 3.3.1 主桁における各変状の点検項目一覧表

(a) ひび割れ

ひび割れ	
桁番号	
橋軸方向位置	1.支間中央 2.支間1/4 3.端支点部 4.中間支点部 5.ゲルバー支点部 6.全体
上下位置	1.桁側面 2.桁下面
方向	1.鉛直 2.ななめ 3.水平橋軸 4.水平直角 5.亀甲状
本数	本
幅	mm
間隔	mm

(b) 剥離

剥離	
桁番号	
橋軸方向位置	1.支間中央 2.支間1/4 3.端支点部 4.中間支点部 5.ゲルバー支点部 6.全体
上下位置	1.桁側面 2.桁下面
面積	縦(mm)×横(mm)
深さ	1.かぶりのみ 2.鉄筋位置

(c) 遊離石灰／豆板・空洞

遊離石灰／豆板・空洞	
桁番号	
橋軸方向位置	1.支間中央 2.支間1/4 3.端支点部 4.中間支点部 5.ゲルバー支点部 6.全体
上下位置	1.桁側面 2.桁下面
面積	縦(mm)×横(mm)

(d) 鉄筋

鉄筋	
桁番号	
橋軸方向位置	1.支間中央 2.支間1/4 3.端支点部 4.中間支点部 5.ゲルバー支点部 6.全体
上下位置	1.桁側面 2.桁下面
鉄筋の種類	1.主鉄筋 2.スターラップ筋 3.不明
変状の種類	1.錆汁 2.鉄筋露出 3.鉄筋の断面欠損

(e) 補強

補強	
桁番号	
補強工種別	1.鋼板接着工 2.シート工 3.ガラス繊維シート工 4.断面増厚工(RC) 5.断面増厚工 (PPモルタル) 6.アウトケーブル工 7.上面増厚工 (主桁補強兼用) 8.その他の工法

### 第3章 性能評価システム (BREX)

表 3.3.2 床版における各変状の点検項目一覧表

(a) ひび割れ

ひび割れ	
床版番号	
方向	1.ななめ 2.水平橋軸 3.水平橋軸直角 4.亀甲状
本数	本
幅	mm
間隔	mm

(b) 剥離

剥離	
床版番号	
面積	縦(mm)×横(mm)
深さ	1.かぶりのみ 2.鉄筋位置

(c) 遊離石灰／豆板・空洞

遊離石灰／豆板・空洞	
床版番号	
面積	縦(mm)×横(mm)

(d) 鉄筋

鉄筋	
床版番号	
鉄筋の種類	1.主鉄筋 2.スターラップ筋 3.不明
変状の種類	1.錆汁 2.鉄筋露出 3.鉄筋の断面欠損

(e) 補強

補強	
床版番号	
補強工種別	1.鋼板接着工 2.シート工 3.ガラス繊維シート工 4.断面増厚工(RC) 5.断面増厚工 (PPモルタル) 6.アウトケーブル工 7.上面増厚工 (主桁補強兼用) 8.その他の工法

### 第 3 章 性能評価システム (BREX)

調査名	変状番号	部材種別	点検項目	近接目視	点検年月日	2012年11月20日					点検者所属・氏名	* 1-5 (Unsafe - Safe)							
						径間番号	1	巾 (mm)	間隔 (mm)	重積 (mm×mm)		深さ	鉄筋の種類	鉄筋の変状種別	補修工種別	補修の変状種別	主桁耐荷性	主桁耐久性	床版耐荷性
	Mc0101	床版	ひび割れ				水平 軸角	1	0,1							-	-	5	5
	Mc0101	床版	遊離石灰							300×200						-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							300×300	かぶりのみ					-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							150×300	鉄筋位置					-	-	5	5
	Mc0101	床版	鉄筋								スターラップ	鉄筋の断面欠損				-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							100×100	鉄筋位置					-	-	5	5
	Mc0101	床版	鉄筋								スターラップ	鉄筋の断面欠損				-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							100×100	鉄筋位置					-	-	5	5
	Mc0101	床版	鉄筋								スターラップ	鉄筋の断面欠損				-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							200×200	鉄筋位置					-	-	5	5
	Mc0101	床版	鉄筋								スターラップ	鉄筋の断面欠損				-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							100×200	鉄筋位置					-	-	5	5
	Mc0101	床版	鉄筋								スターラップ	鉄筋の断面欠損				-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							400×300	鉄筋位置					-	-	5	5
	Mc0101	床版	鉄筋								スターラップ	鉄筋の断面欠損				-	-	5	5
	Mc0101	床版	剥離							300×300	かぶりのみ					-	-	5	5

図 3.3.3 変状記録一覧表の例

表 3.3.3 評価点数 (健全度) のランク表

<p><b>Unsafe</b> : <math>0.0 \leq p &lt; 12.5</math> (点)</p> <p>交通の安全確保等の為に、早急に何らかの対策が必要である。 特に、0.0点は供用すべきでない状態(管理限界)である。</p> <p><b>Severe Deterioration</b> : <math>12.5 \leq p &lt; 37.5</math> (点)</p> <p>補修が必要不可欠になる状態である。詳細点検の必要がある。</p> <p><b>Moderate Deterioration</b> : <math>37.5 \leq p &lt; 62.5</math> (点)</p> <p>劣化が見られ、定期点検の時期を早める必要がある。 今後の追跡調査が必要である。</p> <p><b>Mild Deterioration</b> : <math>62.5 \leq p &lt; 87.5</math> (点)</p> <p>劣化が見られ、その程度を記録する必要があるが、 特に補修を考慮すべき状態ではない。</p> <p><b>Safe</b> : <math>87.5 \leq p \leq 100.0</math> (点)</p> <p>わずかに劣化しているが、健全な状態である。 特に100.0点は全く問題のない状態である。</p>
--

表 3.3.4 アンケート評価例 (桁ごとの評価例)

桁番号	Unsafe	Mo-De	Safe
Mc0101		○	
Mc0201			○
Mc0301			○
Mc0401			○
Mc0501		○	

### 第3章 性能評価システム (BREX)

<耐荷性評価>

【主桁耐荷性】

(定義)  
力学的要因(荷重など)に対して、主桁の耐荷力がどの程度低下したか、その状態を表し、補強の必要性を判定する項目。

(判断項目)  
劣化度評価、耐荷特性評価

(判断基準)

**Unsafe :**  
交通の安全確保等のために、早急に何らかの対策が必要であり、あまり、供用すべきでない状態である。

**Severe Deterioration (Se-De) :**  
補強が必要不可欠になる状態であり、詳細点検を行う必要がある。

**Moderate Deterioration (Mo-De) :**  
劣化が見られ、定期点検の時期を早める必要があり、今後の追跡調査も行う必要がある。

**Mild Deterioration (Mi-De) :**  
劣化が見られ、その程度を記録するべき必要はあるが、特に補強を考慮すべき状態ではない。

**Safe :**  
わずかに劣化しているが、健全な状態である。

回答記入欄

	<i>Unsafe</i>	<i>Se-De</i>	<i>Mo-De</i>	<i>Mi-De</i>	<i>Safe</i>
チェック欄		○			

図 3.3.4 アンケート評価例 (主桁耐荷性評価例)

## 第3章 性能評価システム (BREX)

### 3.3.2 データ入力方法

図 3.3.5 に示すように、BREX には、橋梁名や適用示方書、大型車交通量、環境条件などの橋梁諸元データと目視点検結果である変状一覧表やアンケート評価の点検データを入力する機能がある。変状一覧表やアンケート評価の点検データと BREX の入力項目が一致しているので、BREX へのデータ入力は、点検データを参照しながら BREX 上の該当する項目にチェックまたは数値の入力を行うのみと比較的容易である。定量システムである RC-BREX'2000 の橋梁諸元入力画面の一例を図 3.3.5 に、点検項目入力画面の一例を図 3.3.6 に示す。定性システムである PC-BREX の橋梁諸元入力画面の一例を図 3.3.7 に、点検項目の入力画面の一例を図 3.3.8 に示す。入力の対象としては、コンクリート橋の 1 スパンごとの主部材（主桁・床版）である。

定量システムである RC-BREX'2000 は、J-BMS DB から橋梁諸元データなどのデータを読み込む機能が備わっていないが、現在改良中である。

また、定性システムである RC-BREX'99 と PC-BREX には、J-BMS DB から橋梁諸元データなどの入力ファイルである BREX データを読み込む機能が備わっている。図 3.3.9 には BREX データ入力画面例として、J-BMS DB からダウンロードした BREX データと PC-BREX に入力された画面例を示す。

図 3.3.5 定量システム (RC-BREX'2000) の橋梁諸元入力画面の一例

### 第3章 性能評価システム (BREX)

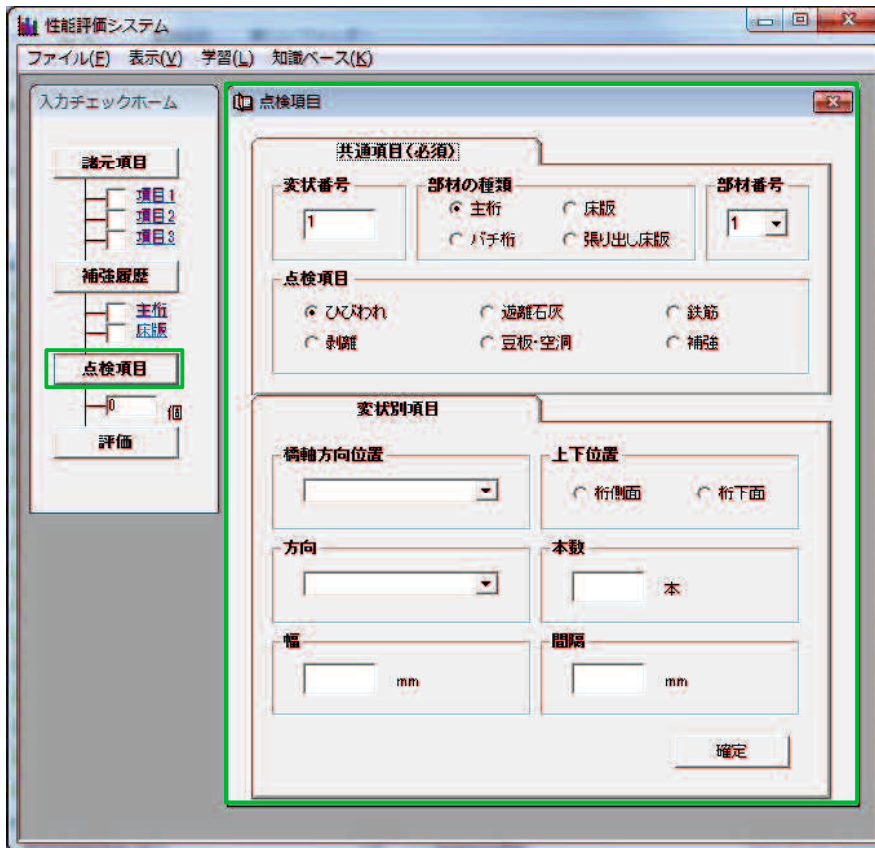


図 3.3.6 定量システム (RC-BREX'2000) の点検項目入力画面の一例

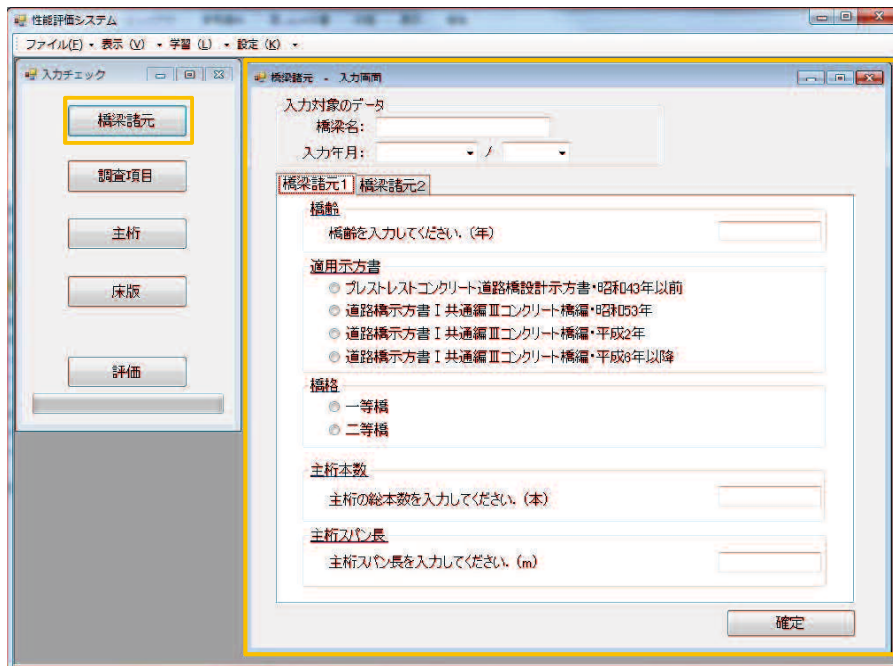


図 3.3.7 定性システム (PC-BREX) の橋梁諸元入力画面の一例



### 第3章 性能評価システム (BREX)

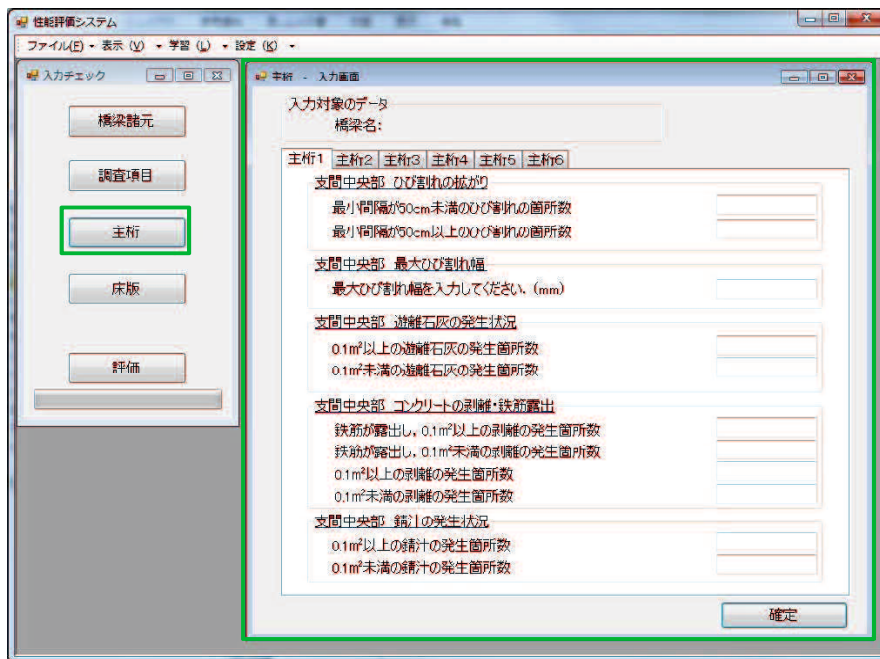
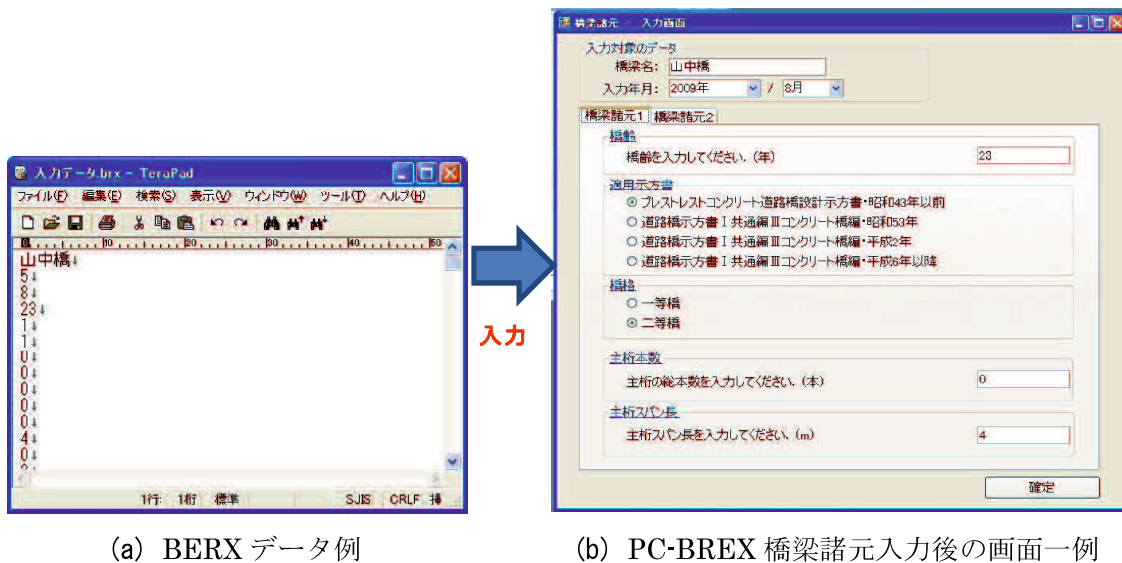


図 3.3.8 定性システム(PC-BREX)の点検項目入力画面の一例



(a) BERX データ例

(b) PC-BREX 橋梁諸元入力後の画面一例

図 3.3.9 BREX データ入力画面例

図 3.3.9 に示しているとおおり、「橋梁諸元」と「点検・調査」の入力データは、「.brx」ファイル形式で保存されている。

### 第3章 性能評価システム (BREX)

#### 3.3.3 現有性能評価出力

BREX は、点検を実施した時の橋梁の現有性能を主桁と床版ごとに「耐荷性」および「耐久性」として評価をする。「耐荷性」とは橋梁部材の耐荷力に基づき評価される橋梁の性能、「耐久性」とは橋梁部材の架設直後からの劣化要因に応じた橋梁部材の劣化に対する抵抗性能である。これら橋梁の現有性能を健全度として 0.0～100.0 点の定量的な尺度で表すことが可能である。このため、BREX を用いることにより定量的な尺度を用いた維持管理が可能となる。得られた健全度は、表 3.3.3 に示すようにランク区分され、健全度に従って適切な対策が決定される。つまり、橋梁の現有性能を定量的な尺度を用いて表すことにより、補修・補強などの対策を行う優先順位付けが簡単に行え、効率の良い維持管理に繋がる。

図 3.3.10 に、定量システムによって出力された評価結果の例を示す。

評価としては、点検データをもとに BREX が健全度評価を行う場合と、点検調査を行った橋梁管理者や専門技術書が別途アンケートシートにより評価した結果（アンケート評価）を BREX に学習させ評価を行う場合の選択が可能である。

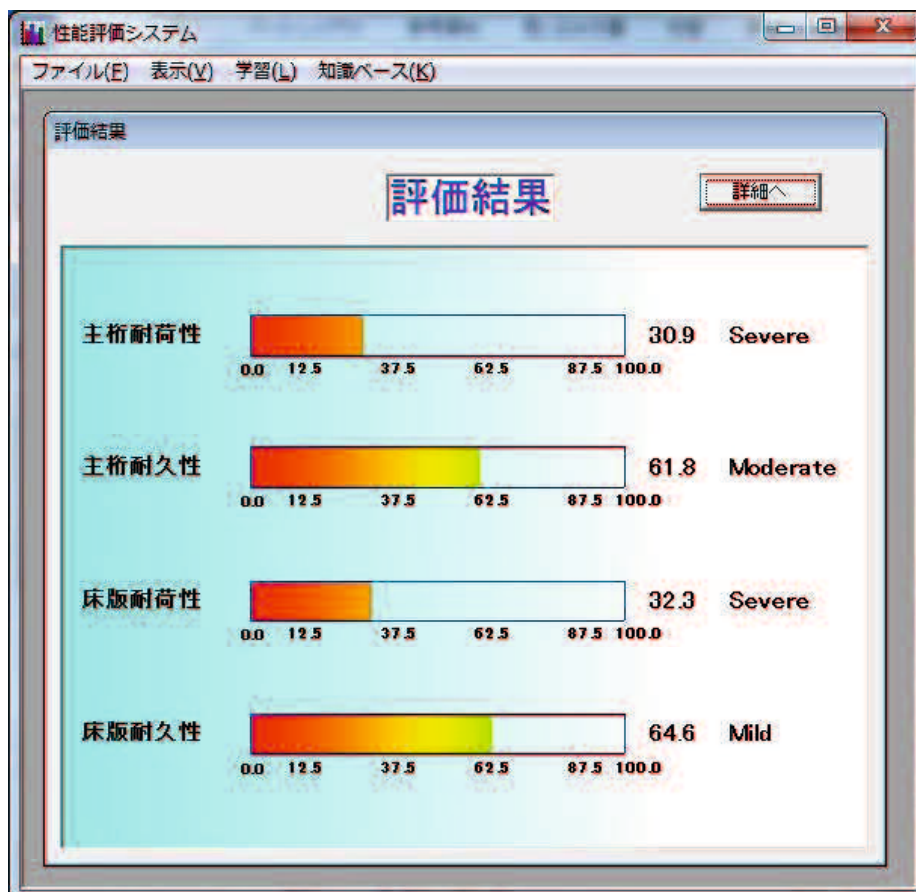


図 3.3.10 評価結果出力例 (定量システム)

### 第3章 性能評価システム (BREX)

また、2014年現在、定性システムである RC-BREX'99 と PC-BREX には、評価結果である「主桁耐用性」と「床版耐荷性」を J-BMS DB に登録するための CSV ファイルの出力が可能となっている。図 3.3.11 には J-BMS DB 登録データ例として評価結果出力例と出力された評価結果の CSV ファイルの画面例を示す。



(a) 評価結果出力例 (定性システム)

(b) CSV ファイルの画面例

図 3.3.11 J-BMS DB 登録データ例

3.3.4 評価の種類

3.3.1 項や 3.3.3 項で述べたとおり, BREX はいくつかの健全度評価を出力することが可能なシステムである.

定量システムである RC-BREX'2000 には, 初期知識による評価やアンケート評価, 学習後の評価の 3 種類の評価がある. また, 定性システムである RC-BREX'99 や PC-BREX には, 現状学習機能が備わっていないため, 定量システムの「初期知識による評価」に該当する BREX による評価とアンケート評価の 2 種類の評価となっている. 図 3.3.12 には BREX の各システムによる評価の構成を示す.

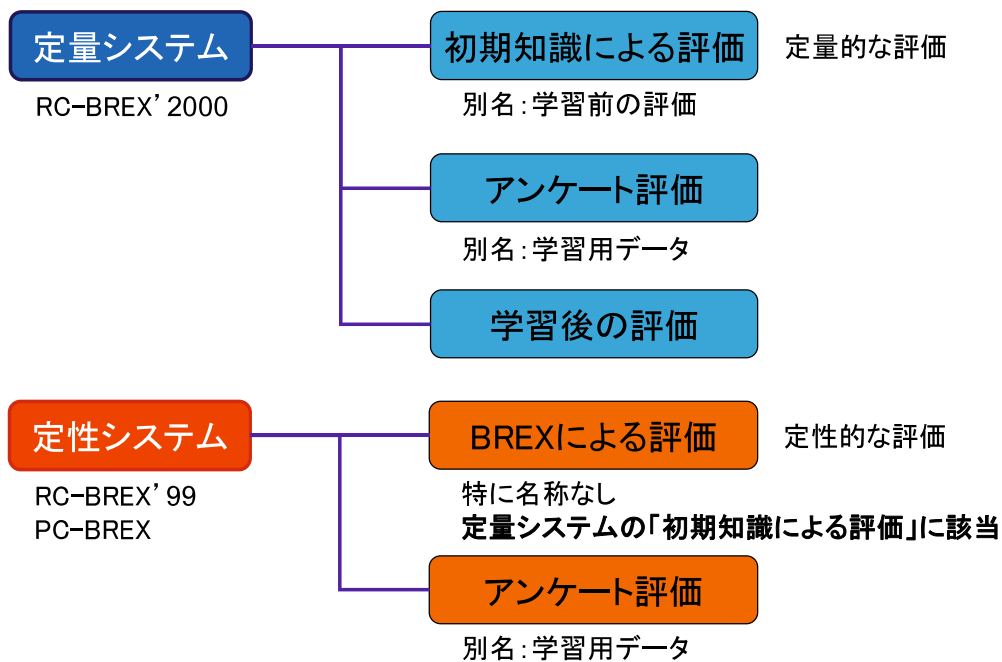


図 3.3.12 BREX の評価構成

### 第3章 性能評価システム (BREX)

#### (1) 初期知識による評価

初期知識による評価は、橋梁諸元データと点検調査により得られた点検データ（変状データ）を BREX に入力して、出力された健全度評価である。変状データ（点検データ）のみの初期の知識だけで BREX が評価を行っているので、「初期知識による評価」としている。これは、定量システムでは定量的な評価、定性システムでは定性的な評価となる。なお、定性システムでは、「BREX による評価」がこの「初期知識による評価」に該当する。図 3.3.13 に初期知識による評価フロー図を示す。

#### (2) アンケート評価

アンケート評価は、専門家が J-BMS に付属する点検マニュアル<sup>7)</sup>に準じ、点検調査により得られた変状データ（点検データ）をもとに、主桁・床版の「耐荷性・耐久性」をアンケート形式にて、5段階評価を行う評価である。アンケート評価は BREX に学習させるデータとなるため、「学習用データ」とも呼ばれる。図 3.3.14 にアンケート評価フロー図を示す。また、3.7.2 項でもアンケート評価について記述する。

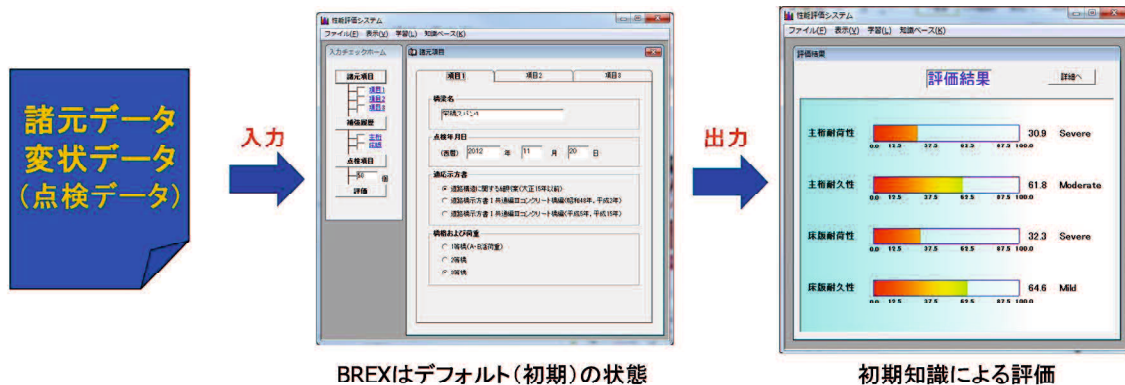


図 3.3.13 初期知識による評価フロー図

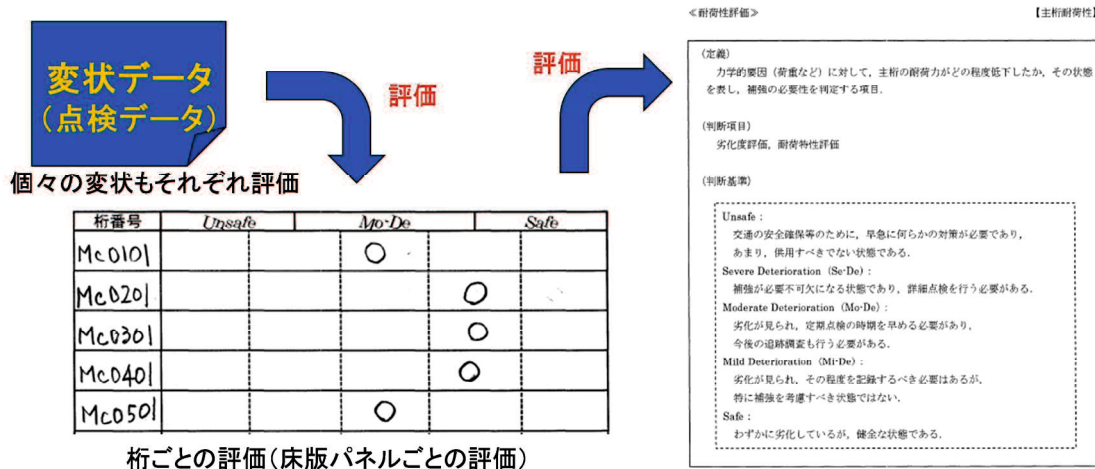


図 3.3.14 アンケート評価フロー図

回答記入欄

	Unsafe	Se-De	Mo-De	Mi-De	Safe
チェック欄		○			

### 第3章 性能評価システム (BREX)

#### (3) 学習後の評価

学習後の評価とは、アンケート評価を学習用データとして用い、BREXの知識更新機能(「学習」)により出力された健全度評価である。これは、初期知識の評価にアンケート評価である知識を学習させ評価の修正が行われることで、専門家の有する主観および経験的な知識を反映させた評価結果が出力される。図3.3.15に学習後の評価フロー図を示す。また、3.7.1項でもBREXの学習について記述する。



図 3.3.15 学習後の評価フロー図

3.4 機能構成

BREX は、アカウントビリティ (説明責任) のサポートを可能とし、かつ知識更新可能であるシステムとするために5つの機能により構成されている。図3.4.1にBREXのシステム構成図を示す。以下に、それぞれの機能の詳細を説明する。

① 知識ベース

知識ベースとは、専門家の有している知識や知識更新時の制約条件などをまとめたものである。なお、BREXでは、専門家の有する知識を3.5.2項に示すIF-THEN形式のルールを用いて表現している。

② 推論機構

推論機構とは、知識ベース内の知識を効率よく処理し、さまざまな問題解決を行うための機構である。なお、BREXでは、各層にそれぞれ意味を持たせた意味付けニューラルネットワークを用いることで、アカウントビリティの遂行および知識の更新を可能としている。図3.4.2にはA~E層からなる意味付けニューラルネットワークの構成例を示す。

本研究では、メンバーシップ関数値を計算する際、メンバーシップ関数値そのものを用いるのではなく、入力に対する各集合の相対量 (適合度) を用いる。これにより、ファジィ理論を用いた計算方法から確率論を用いた計算方法へと変更を行った。従来の方法では、説明が困難であったD層におけるルールの適合度の規格化の処理を省略することが可能となり、D層では、 $\Pi$  演算 (共通事象) の計算のみとなる。つまり、本研究による評価の流れは、以下ようになる：①入力に従ってA-B-C層 (入力が選択式の場合はC層のみ) により各集合の適合度を計算する。②C-D層の結合

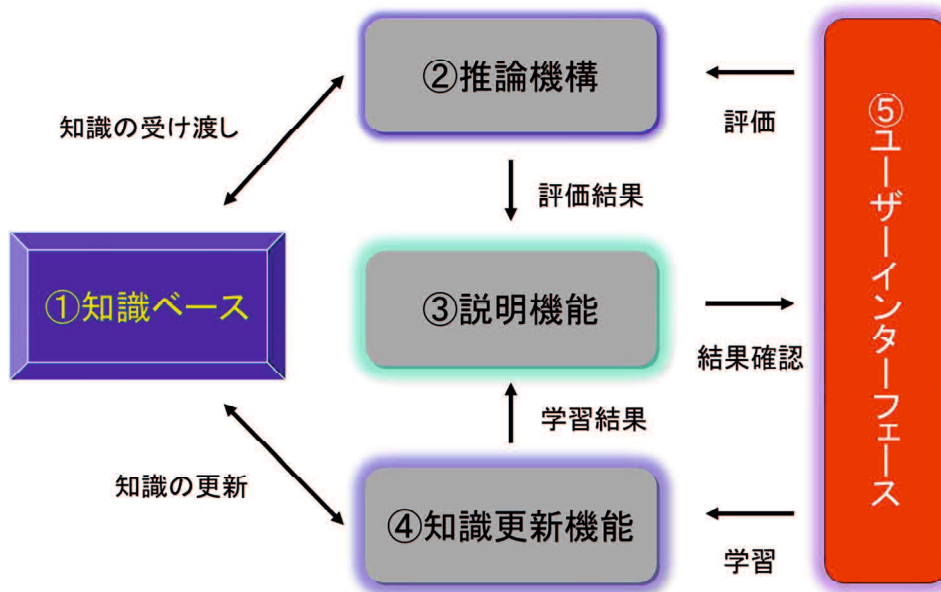


図3.4.1 BREXの機能構成図

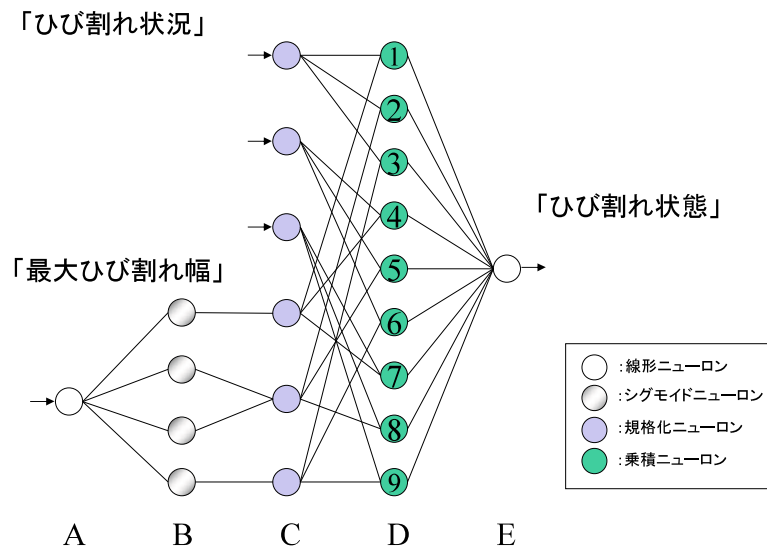


図 3.4.2 意味付けニューラルネットワークの構成例

規則に従って各ルール of 適合度 (共通事象) を  $\Pi$  演算により計算する. ③評価結果として, 各ルールの後件部の値と適合度の重み付け平均を行う.

③ 説明機能

説明機能とは, システム結果 (評価結果・学習結果) に対する信憑性を向上させるための機能である. なお, BREX では, 以下の 2 つの説明機能を有している.

a) 評価過程説明機能

評価過程説明機能とは, どのようにして評価結果に至ったのかを説明する機能であり, BREX の特徴であるアカウントビリティの遂行の役割を担っている. なお, 評価過程説明時には, 使用した評価プロセス, ルール, 入力データおよび本研究によって新たに提案した項目の重要度を確認することが可能である. 図 3.4.3 に評価過程説明機能の画面例を示す.

b) 学習結果説明機能

学習結果説明機能とは, どのように学習したかを説明する機能であり, 知識の更新をするか否かを判断する際のユーザーの判断をサポートする機能である. なお, BREX では, 判断材料として誤差の推移および学習前後の知識による評価結果の相違を確認することが可能である. 図 3.4.4 に学習結果説明機能を示す.



### 第3章 性能評価システム (BREX)



図 3.4.3 評価過程説明機能

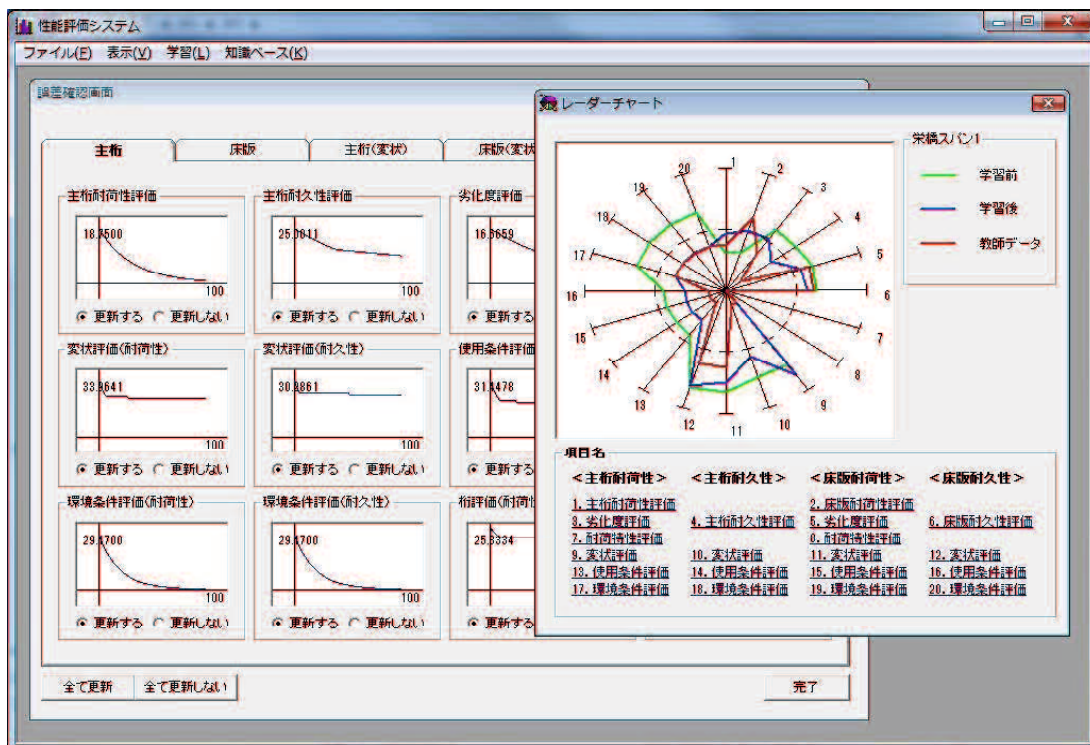


図 3.4.4 学習結果説明機能

### 第3章 性能評価システム (BREX)

#### ④ 知識更新機能

知識更新機能とは、知識ベース内の知識を更新する機能であり、システム評価の精度を向上させるための機能である。一般に専門家の有している知識は、経験的かつ主観的なものであり、知識の抽出は大変困難な作業である。

#### ⑤ ユーザーインターフェース

ユーザーインターフェースとは、システムユーザーがシステムをより利用しやすいようにするためのシステムとユーザーの仲介役を担うものである。ユーザーインターフェースでは、点検結果の入力のサポートの他、評価結果の確認、学習結果の確認などを行うことが可能である。図3.4.5は診断結果画面を一例として示している。

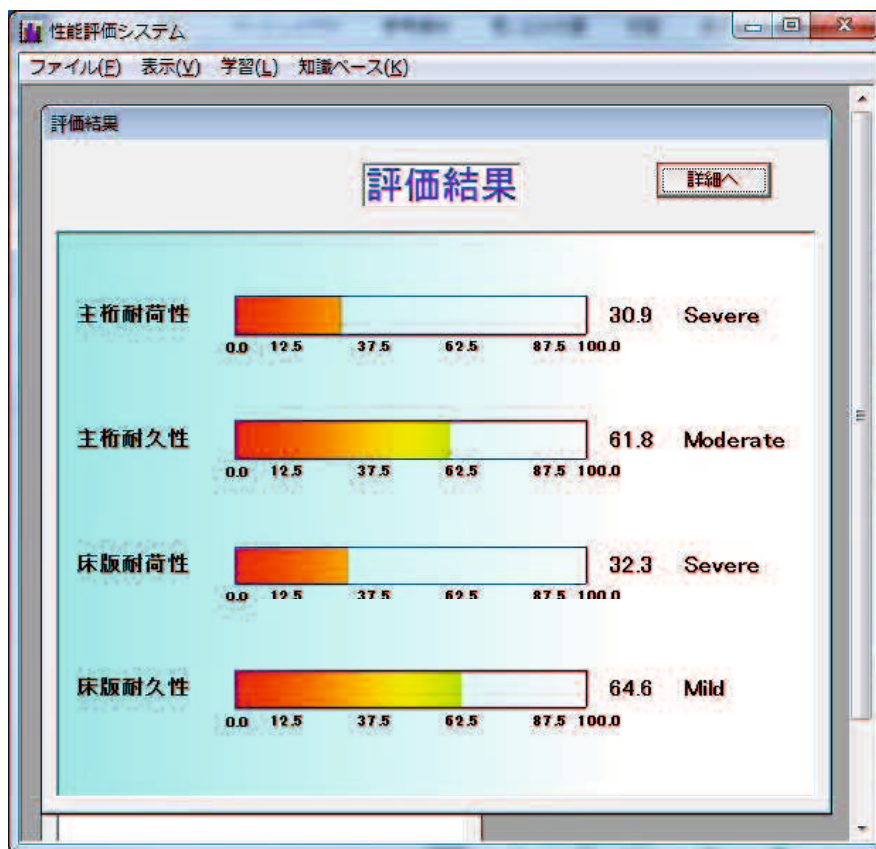


図 3.4.5 診断結果の出力例

3.5 知識表現方法

図 3.3.1 内に示すシステム評価において、専門家が行う橋梁の現有性能に関する評価の過程は、階層構造で表した評価プロセスを用いて診断している。また、個々の項目の評価においては、IF-THEN 形式のルールを用いている。さらに、人間の持つ曖昧さを扱うために連続値データを扱う際には、メンバーシップ関数を用いて数値から言語への変換（各集合の適合度の計算）を行っている。以下には、評価プロセス、知識表現ルールおよびメンバーシップ関数の説明を述べる。

3.5.1 評価プロセス

評価プロセスとは、専門家が行う橋梁の現有性能に関する評価の過程を階層構造的に表現したものである。図 3.5.1 には評価プロセスの一例を示す。なお、図中の点線で囲まれた部分は図 3.4.2 に示すような意味付けニューラルネットワークの構成であり、他の部分も同様に、各項目に意味付けニューラルネットワークによって構成される。そして、下位層から上位層へと結果を伝播することにより、主部材（主桁・床版）の耐荷性および耐久性を評価することが可能となる。

3.5.2 知識表現ルール

一般に人間の持つ知識や経験は「少し(if)“熱”があり、しかもかなり(and)“のどが痛い”のできっと(then)“風邪”である」のように言語で表されたものが多い<sup>8),9)</sup>。そこで、BREX では、専門家の持つ経験的かつ主観的な知識を IF-THEN 形式の知識表現ルールを用いて表現している。式(3.1)には、知識表現ルールを用いた式を示す。

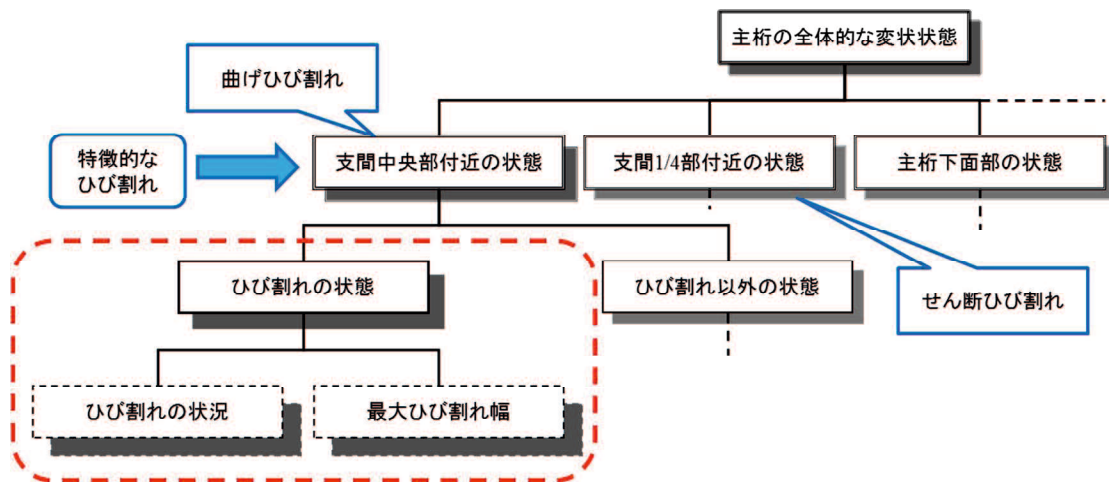


図 3.5.1 主桁の評価プロセス例

### 第3章 性能評価システム (BREX)

$$IF \ x_1 \text{ is } A_1 \text{ and} \cdots \text{and } x_m \text{ is } A_m \text{ THEN } y \text{ is } B \quad (3.1)$$

ここで,

$x_1 \cdots x_m$  : 入力変数 (条件)

点検項目, 橋梁諸元, 環境条件

$y$  : 出力 (結論)

評価項目

$A_1 \cdots A_m$  : 入力変数

$B$  : クリップス変数 (後件部の値)

なお, IF-THEN までを前件部といい, THEN 以下を後件部という. 表 3.5.1 には例として「ひび割れの状態」の評価におけるルールを示す. なお, 後件部の初期設定の値は, 以下に示す手順に沿って設定される<sup>10)</sup>.

#### 《手順①》 前件部の各命題に配点を設定

各項目の悪い状態を示す集合から良い状態を示す集合に対して, 0.0~100.0 点を等間隔に配点する. 例として, 「ひび割れ状況」の場合であれば, 悪い状態を示す集合から良い状態を示す集合の数が {かなり多く発生している, 多く発生している, わずかに発生している} の3つであるので, 各集合の配点は {0.0, 50.0, 100.0 点} となる.

#### 《手順②》 前件部命題の平均点を後件部の値とする

手順①により設定された配点を用いて, 各ルールに対して配点の平均を計算し, 平均点を後件部の値とする. 例として, 「ひび割れ状態」の評価におけるルール番号1の後件部の値の算出方法について考える. 手順①により「ひび割れ状況」における“かなり多く発生している”は0.0点であり, 「最大ひび割れ幅」における“小さい”は100.0点となる. つまり, 後件部の値はその平均点の50.0点となる.

表 3.5.1 「ひび割れの状態」の評価ルール

ルール番号	前件部		後件部
	ひび割れ状況	最大ひび割れ幅	ひび割れの状態
1	かなり多く発生している	小さい	50.0 (0+100)/2
2	かなり多く発生している	大きい	25.0 (0+50)/2
3	かなり多く発生している	かなり大きい	0.0 (0+0)/2
4	多く発生している	小さい	75.0 (50+100)/2
5	多く発生している	大きい	50.0 (50+50)/2
6	多く発生している	かなり大きい	25.0 (50+0)/2
7	わずかに発生している	小さい	100.0 (100+100)/2
8	わずかに発生している	大きい	75.0 (100+50)/2
9	わずかに発生している	かなり大きい	50.0 (100+0)/2

#### 3.5.3 メンバースhip関数

BREXでは、入力データとして最大ひび割れ幅(mm)などの連続値データを扱うこともあり、どのルールをどれだけ採用するかを決定する際に数値から言語への変換を必要とするものもある。ここで、数値から言語へ変換させる際には、閾値を定めてクリプス的に決定する方法もあるが、本研究では、人間の持つ曖昧さを扱うためにメンバースhip関数を用いて数値から言語への変換（各集合の適合度の算出）を行う。ただし、前述したように、本研究では、各集合のメンバースhip関数値そのものを扱うことはなく、縦軸には、各集合の相対量を表す適合度を用いており、以下に示す2つのメンバースhip関数を使い分けるものとする。

##### (1) 曲線型メンバースhip関数

曲線型メンバースhip関数とは、システムユーザーが直接入力するような最大ひび割れ幅や大型車交通量など、各集合間の境界値（適合度が50.0%付近での2つの集合の接点）が明確でないものに用いるメンバースhip関数である。一例として、図3.5.2には「最大ひび割れ幅」のメンバースhip関数を示し、図3.5.3には意味付けニューラルネットワークによる構成を示す。なお、単調減少型および単調増加型のメンバースhip関数は、1つのシグモイド関数により同定し、山型のメンバースhip関数は、2つのシグモイド関数を結合させることにより同定する。また、曲線型メンバースhip関数における各集合の形状を同定するための結合重み $W$ および閾値 $\theta$ は、次式によって導出される<sup>10)</sup>。

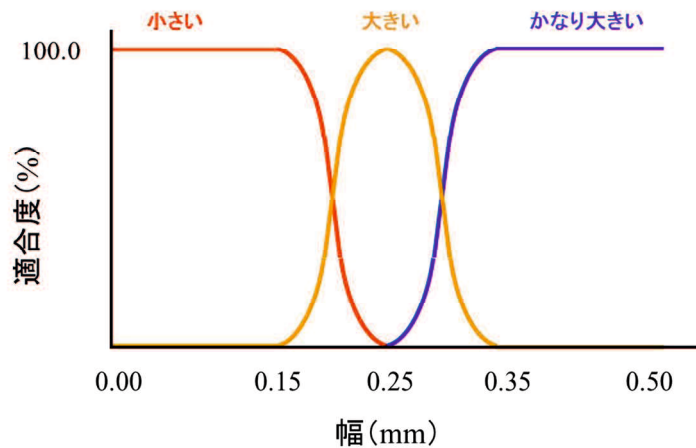


図 3.5.2 「最大ひび割れ幅」のメンバースhip関数

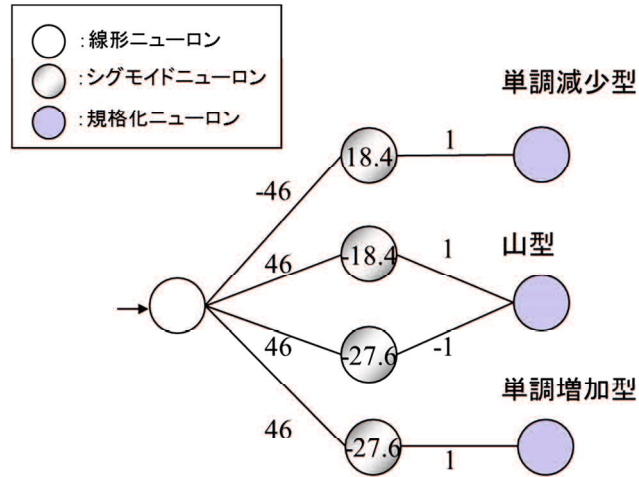


図 3.5.3 「最大ひび割れ幅」のニューラルネットワークによる構成

1) シグモイド関数

図3.5.1でも示したように、下位層から上位層に沿って順に評価結果を受け渡すことで最上位の評価が可能となっている。これらデータには、定性データと定量データの両方が存在するので、そこから推論を行うために式(3.2)のシグモイド関数を利用する<sup>11)</sup>。

ここで、 $\omega$ はシグモイド関数の傾きであり、 $\theta$ はシグモイド関数のx軸方向への移動量となる。シグモイド関数は定性データの項目分必要となるが、グラフの形はすべて単調増加型か単調減少型、釣鐘型の三つに分類される。それぞれの重みや閾値を決定するための計算式を、式(3.3)、式(3.4)および式(3.5)にそれぞれ示す。そして、それらの計算式により決定される3種類のメンバーシップ関数の形状について、その例を図3.5.4～図3.5.6に示す。

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\omega x + \theta)\}} \quad (3.2)$$

(a) 単調減少型の場合

$$\begin{cases} W = -h / A \\ \theta = hB / A \\ x_2 = B - A, \mu(x_2) = 1.0 \\ x_3 = B + A, \mu(x_3) = 0.0 \\ x_2, x_3 \in X \end{cases} \quad (3.3)$$

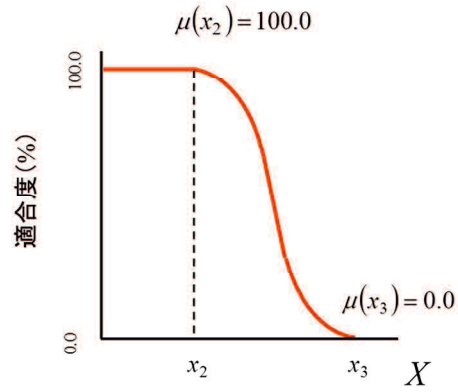


図 3.5.4 シグモイド曲線 (単調減少型)

(b) 単調増加型の場合

$$\begin{cases} W = -h / A \\ \theta = -hB / A \\ x_1 = B - A, \mu(x_1) = 0.0 \\ x_2 = B + A, \mu(x_2) = 1.0 \\ x_1, x_2 \in X \end{cases} \quad (3.4)$$

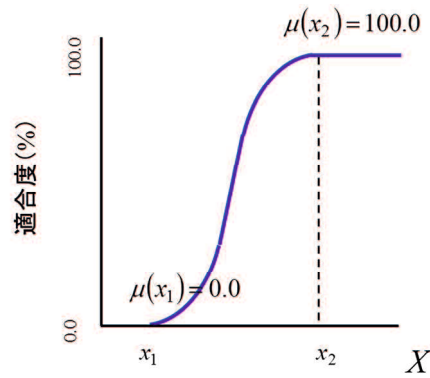


図 3.5.5 シグモイド曲線 (単調増加型)

(c) 釣鐘型の場合

$$\left\{ \begin{array}{l} W_1 = h/A \\ W_2 = h/C \\ \theta_1 = -h(B - A)/A \\ \theta_2 = -h(B + C)/C \\ x_1 = B - 2A, \mu(x_1) = 0.0 \\ x_2 = B, \mu(x_2) = 1.0 \\ x_3 = B + 2C, \mu(x_3) = 0.0 \\ x_1, x_2, x_3 \in X, x_2 < x_3 \end{array} \right. \quad (3.5)$$

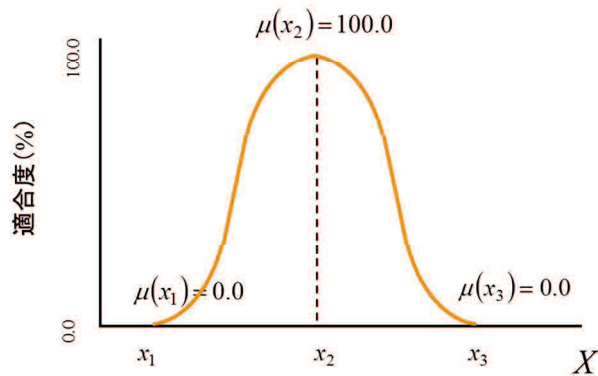


図 3.5.6 シグモイド曲線 (釣鐘型)

ここで、 $h$ はメンバーシップ関数の適合度を限りなく 100.0% (0.0%) にする実数であり、試行錯誤した結果、本研究では  $h=4.6$  としている 4)。

## (2) 直線型メンバーシップ関数

直線型メンバーシップ関数とは、本研究によって境界値の定義を行っている（評価結果を入力データとする）沿道状況やひび割れ状態など、各集合間の境界値が明確なものに用いるメンバーシップ関数である。一例として、図 3.5.7 には「沿道状況」のメンバーシップ関数を示し、図 3.5.8 には意味付けニューラルネットワークによる構成を示す。なお、単調減少型および単調増加型のメンバーシップ関数は、1つの1次関数により同定し、山型のメンバーシップ関数は、2つの1次関数を結合することにより同定する。ただし、1次関数の出力値  $f(x)$  が、 $f(x) > 1$  もしくは  $f(x) < 0$  の場合は、 $f(x) = 0$  とする。



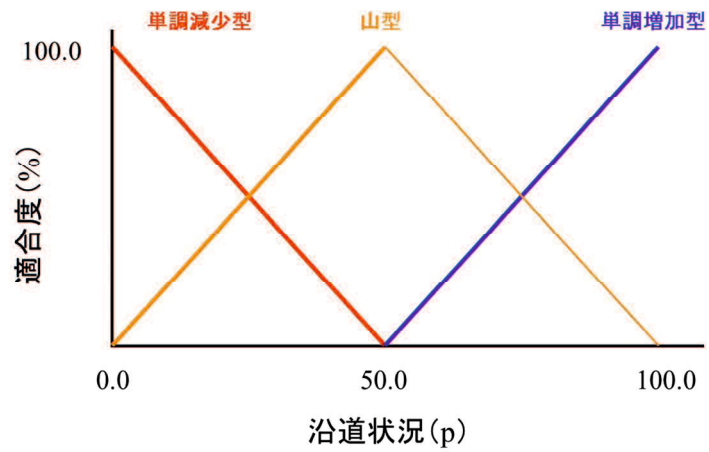


図 3.5.7 「沿道状況」のメンバーシップ関数

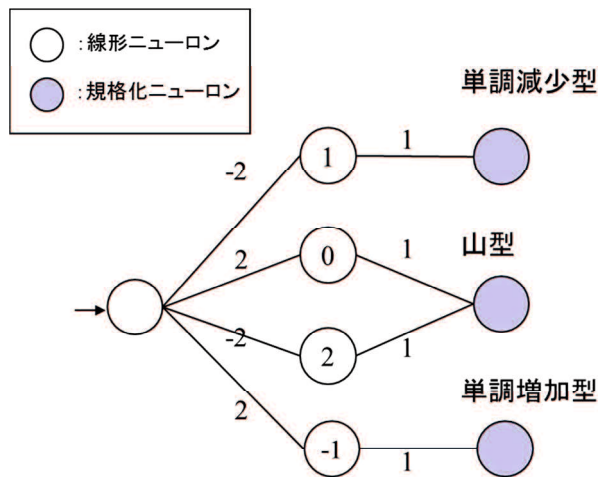


図 3.5.8 「沿道状況」のニューラルネットワークによる構成

3.5.4 重要度算出方法

専門家が幾つかの項目を総合してある評価項目の評価を行う場合、特定の項目を重要視して評価することが考えられる。どの項目を重要視し評価結果が決定したかが分かれば、アカウントビリティの遂行がより容易になると考えられる。

ここでは、「使用条件評価」を例として重要度の算出方法を示す。図 3.5.9 には「使用条件評価」の評価プロセスを、表 3.5.2 には「使用条件評価」における学習前後の後件部の値を示したルールを示す。表 3.5.2 に示すとおり、学習を行うことによって、ルール（後件部の値）は更新される。つまり、専門家が有する知識が正確に抽出可能であれば、更新後のルールには、専門家が有する重要度が反映された形となる。

本研究では、更新後のルールを解析することにより重要度を算出する方法を提案し、重要度を各項目の集合間の変化量で計算することとした。これは、重要度の高い項目ほど1つの集合の差異で大きく結果が異なることを考慮したからである。

① 各項目の重要値計算

次式を用いて各項目の重要値を計算する。

$$IMP_A^* = \frac{\sum A_{good} - \sum A_{bad}}{N} \tag{3.6}$$

ここで、

- $A_{good}$  : 項目 A の最も良い状態を示す集合を含むルールの健全度
- $A_{bad}$  : 項目 A の最も悪い状態を示す集合を含むルールの健全度
- $N$  :  $A_{good}$  ( $A_{bad}$ ) の状態を含むルール数

表 3.5.3 にはそれぞれの集合対応表を、表 3.5.4 には各項目の重要値を示す。また、表 3.5.5 には各項目の重要度を示す。

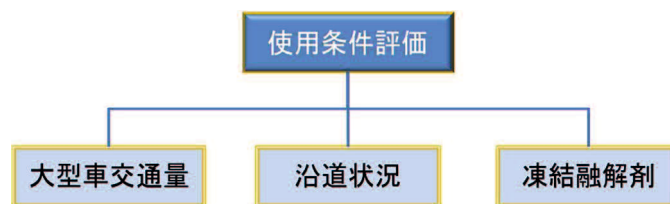


図 3.5.9 「使用条件評価」の評価プロセス

### 第3章 性能評価システム (BREX)

表 3.5.2 「使用条件評価」における学習前後のルール

ルール番号	前件部			後件部	
	大型車交通量	沿道状況	凍結融解剤	学習前	学習後
1	少ない	Unsafe	有	33.3	90.5
2	少ない	Unsafe	無	66.7	100.0
3	少ない	Moderate	有	50.0	91.9
4	少ない	Moderate	無	83.3	100.0
5	少ない	Safe	有	66.7	97.4
6	少ない	Safe	無	100.0	100.0
7	やや少ない	Unsafe	有	22.2	31.7
8	やや少ない	Unsafe	無	55.6	76.4
9	やや少ない	Moderate	有	38.9	31.7
10	やや少ない	Moderate	無	72.2	76.4
11	やや少ない	Safe	有	55.6	96.4
12	やや少ない	Safe	無	88.9	100.0
13	多い	Unsafe	有	11.1	21.7
14	多い	Unsafe	無	44.4	43.4
15	多い	Moderate	有	27.8	28.0
16	多い	Moderate	無	61.1	52.4
17	多い	Safe	有	44.4	28.7
18	多い	Safe	無	77.8	73.0
19	かなり多い	Unsafe	有	0.0	0.0
20	かなり多い	Unsafe	無	33.3	0.1
21	かなり多い	Moderate	有	16.7	1.7
22	かなり多い	Moderate	無	50.0	11.1
23	かなり多い	Safe	有	33.3	2.6
24	かなり多い	Safe	無	66.7	11.8

表 3.5.3 前件部の集合対応表

項目	最も良い状態を示す集合 (該当するルール番号)	最も悪い状態を示す集合 (該当するルール番号)
大型車交通量	少ない (1~6)	かなり多い (19~24)
沿道状況	Safe (1~3, 7~9, 13~15, 19~21)	Unsafe (4~6, 10~12, 16~18, 22~24)
凍結融解剤	無 (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24)	有 (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23)

### 第3章 性能評価システム (BREX)

表 3.5.4 各項目の重要値

項目	重要値	
	学習前	学習後
大型車交通量	33.3	92.1
沿道状況	33.3	14.0
凍結融解剤	33.3	18.1

表 3.5.5 各項目の重要度

項目	重要度	
	学習前	学習後
大型車交通量	33.3	74.2
沿道状況	33.3	11.3
凍結融解剤	33.3	14.6

計算例) 大型車交通量 (学習後)

$IMP_{\text{大型車交通量}}^*$

$$= \frac{(90.5 + 100.0 + 91.9 + 100.0 + 97.4 + 100.0) - (0.0 + 0.1 + 1.7 + 11.1 + 2.6 + 11.8)}{6}$$

$$= 92.1$$

#### ② 各項目の重要度 (IMP) の算出

次式を用いて各項目の重要度を計算する.

$$IMP_A = \frac{IMP_A^*}{\sum_{i=A}^n IMP_i^*} \times 100 \quad (3.7)$$

ここで,

$n$  : 項目の個数

計算例) 大型車交通量 (学習後)

$$IMP_{\text{大型車交通量}} = \frac{92.1}{(92.1 + 18.1 + 14.0)} \times 100 = 74.2$$

### 3.6 評価方法

本研究では、従来のファジィ理論を用いた評価方法から確率論を用いた評価方法に変更を行った。これは評価の流れをより簡易に説明可能にし、既存の評価方法の特徴であった人間の有する曖昧さを扱う点を残すためである。なお、評価方法は、図 3.6.1 に示すように 4 段階のステップによって評価される。評価方法を図 3.6.1 の評価フロー図に沿って説明を行う。ここでは、評価方法の説明として、「ひび割れの状態」を例として用いる。

#### (1)ステップ①：データ入力

ステップ①として、データ入力を行う。ここでいうデータとは、点検調査により得られた損傷状況である。例として以下のような損傷があり、それを入力データとして与えられたとする。

「ひび割れ状況」：多く発生している

「最大ひび割れ幅」：0.3mm

#### (2)ステップ②：ファジィ集合の適合度計算

ステップ②として、各集合の適合度を計算する。各集合の適合度を計算する場合には、入力データにより 2 パターンの異なる方法が用いられる。なお、表 3.6.1 にはステップ①において与えられた入力に対する各集合の適合度を示す。

< 離散値データの場合（ひび割れ状況） >

「ひび割れ状況」のように {かなり多く発生している, 多く発生している, わずかに発生している} のような選択形式の入力の場合、言語変換する必要がないため、各集合の適合度は、選択されたものを 100.0%とし、選択されなかったものを 0.0%とする。つまり、この場合、選択されたものを 100.0%信頼し、曖昧さを考慮に入れたメンバーシップ関数は用いないものとする。

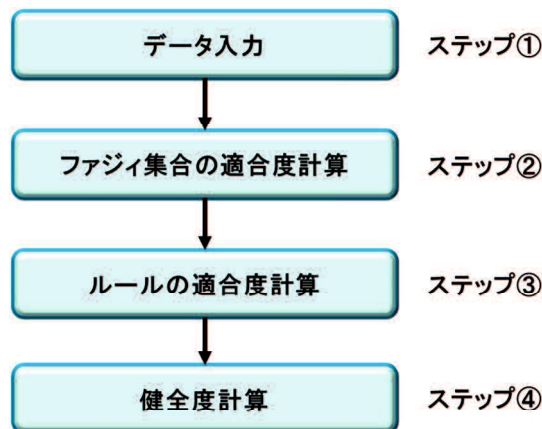


図 3.6.1 評価フロー図

表 3.6.1 各集合の適合度

項目名	集合名	適合度(%)
ひび割れ状況	かなり多く発生している	0.0
	多く発生している	100.0
	わずかに発生している	0.0
最大ひび割れ幅	小さい	0.0
	大きい	50.0
	かなり大きい	50.0

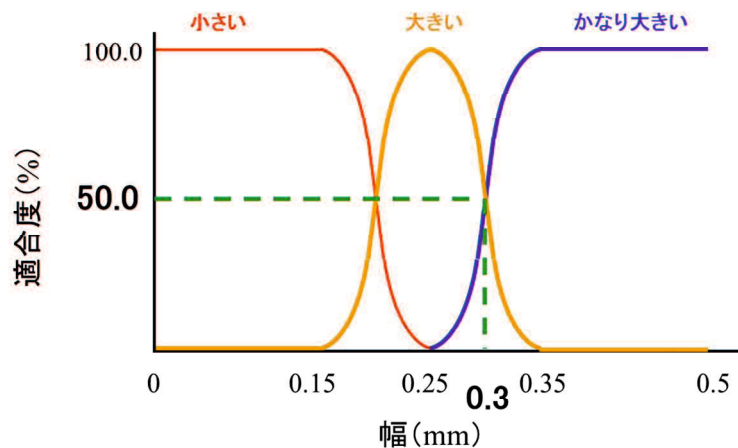


図 3.6.2 「最大ひび割れ幅」のメンバーシップ関数

<連続値データの場合 (最大ひび割れ幅) >

「最大ひび割れ幅」のように直接数値を入力する場合、ルールに適用させるためには、言語に変換する必要がある。また、連続値から言語への変換には、曖昧さを含んでいることが多いため、図 3.6.2 に示すようなメンバーシップ関数を用いて数値から言語への変換を行う。

### (3) ステップ③：ルールの適合度計算

ステップ③として、ルールの適合度を計算する。各ルールにおける前件部の命題に記述されている各集合の適合度の積を次式により行う。なお、表 3.6.2 には①のステップで与えられた入力に対するルールの適合度を示す。

$$\mu_i = \prod_{k=1}^n \hat{\mu}_{ik}(x_k) \quad (3.8)$$

ここで、 $\mu_i$  : ルール番号  $i$  におけるルールの適合度

$n$  : 入力項目の数

### 第3章 性能評価システム (BREX)

表 3.6.2 ルールの適合度

ルール番号	前件部		後件部		適合度 (%)
	ひび割れ状況	最大ひび割れ幅	ひび割れの状態		
1	かなり多く発生している	小さい	50.0	(0+100)/2	0.0 (=0.0% × 0.0%)
2	かなり多く発生している	大きい	25.0	(0+50)/2	0.0 (=0.0% × 50.0%)
3	かなり多く発生している	かなり大きい	0.0	(0+0)/2	0.0 (=0.0% × 50.0%)
4	多く発生している	小さい	75.0	(50+100)/2	0.0 (=100.0% × 0.0%)
5	多く発生している	大きい	50.0	(50+50)/2	50.0 (=100.0% × 50.0%)
6	多く発生している	かなり大きい	25.0	(50+0)/2	50.0 (=100.0% × 50.0%)
7	わずかに発生している	小さい	100.0	(100+100)/2	0.0 (=0.0% × 0.0%)
8	わずかに発生している	大きい	75.0	(100+50)/2	0.0 (=0.0% × 50.0%)
9	わずかに発生している	かなり大きい	50.0	(100+0)/2	0.0 (=0.0% × 50.0%)

#### (4) ステップ④：健全度計算

ステップ④として、健全度を計算する。次式を用いて入力データに対するそれぞれのルールの適合度と後件部の重み付け平均を計算する。

$$y = \sum_{i=1}^n \mu_k \cdot \omega_k \quad (3.9)$$

ここで、 $y$ ：健全度

$\omega_k$ ：ルール番号  $k$  の後件部の値

$n$ ：ルールの総数

本例題において、「ひび割れの状態」の健全度は、以下のように求まる。

$$y = \underbrace{50.0 \times 50\%}_{\text{ルール5}} + \underbrace{25.0 \times 50\%}_{\text{ルール6}} = 37.5 \text{点}$$

3.7 学習方法

BREX における学習は、点検結果などの入力データおよび点検時に実施する学習アンケートの結果（アンケート評価）の最適解を求めるために誤差逆伝播法により知識の更新を行う。誤差逆伝播法とは、多層階層型ニューラルネットワークの学習手順の一つで、初期値と望ましい出力との誤差をなくし、望む出力に収束（近づける）させことである。つまり、誤差逆伝播法により、初期知識の評価値をアンケート評価値に近づけるようにして評価を出力する。図 3.7.1 には学習フロー図を示す。本節では、図 3.7.1 に沿った学習方法の概要について説明する。

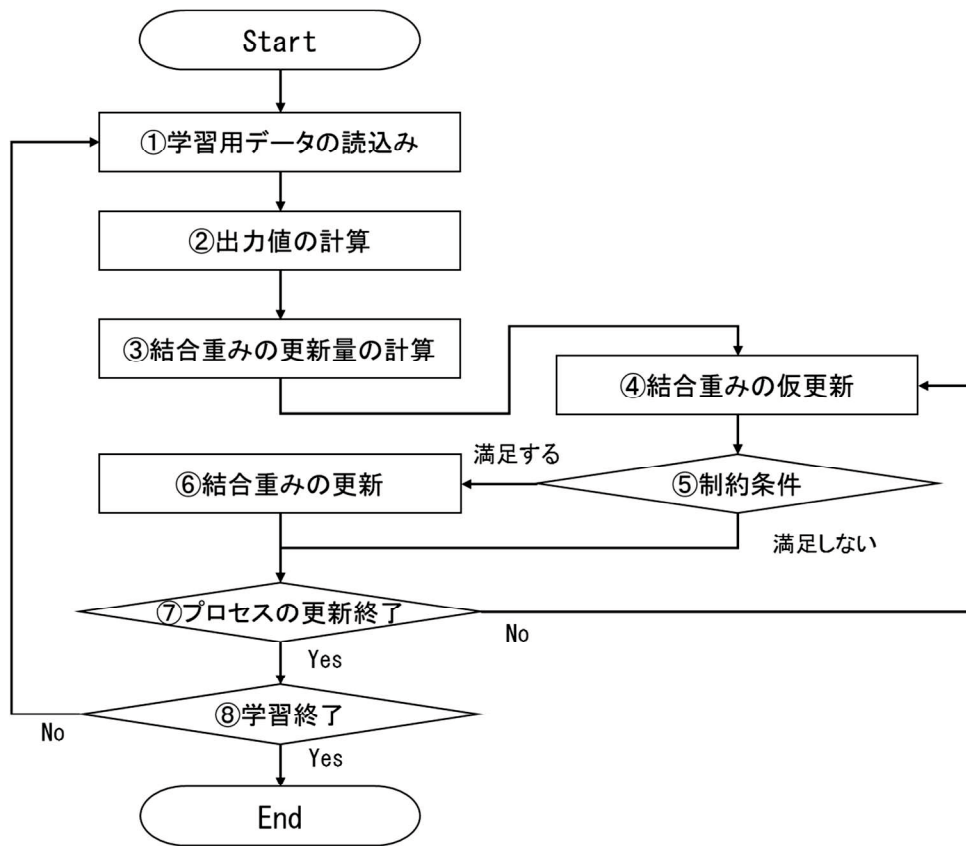


図 3.7.1 BREX 学習フロー図



3.7.1 学習フロー

BREX の学習方法は、通常のニューラルネットワークにおける学習方法とは異なっている。評価システムにおける学習の特徴は、制約条件を加えていることにある。制約条件を加えることにより、評価システムでは、学習後においても知識（ルール）の無矛盾化、つまり、意味付けニューラルネットワークのブラックボックス化を解消することが可能となる。以下、学習フロー図に沿って評価システムの学習方法の概要について説明する。なお、評価システムで更新される結合重みおよび閾値は、各ルールの後件部の値を表す D-E 層の結合重み、メンバーシップ関数の形状を表す A-B 層の結合重みおよび閾値である(図 3.7.2, 図 3.7.3 参照)。ただし、直線型メンバーシップ関数に関しては、本研究において境界値を設定しているが、その境界値の変更を禁止しているため学習による結合重みの更新は行わせないものとする。

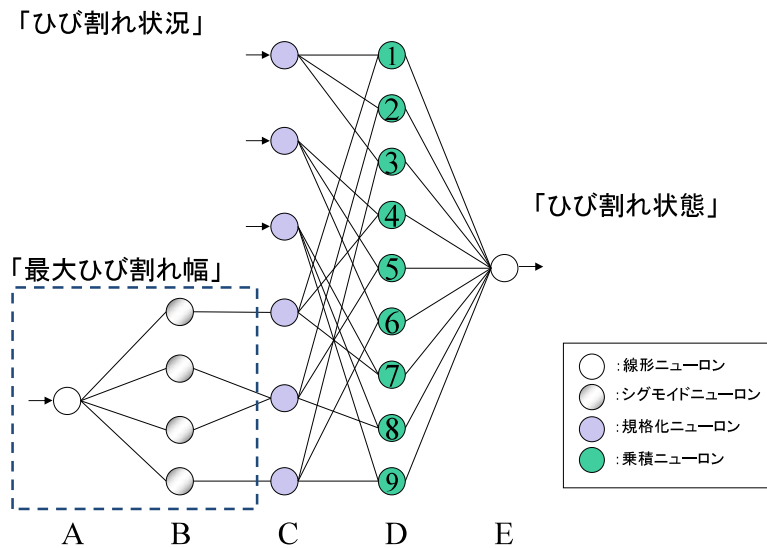


図 3.7.2 意味付けニューラルネットワークの構成

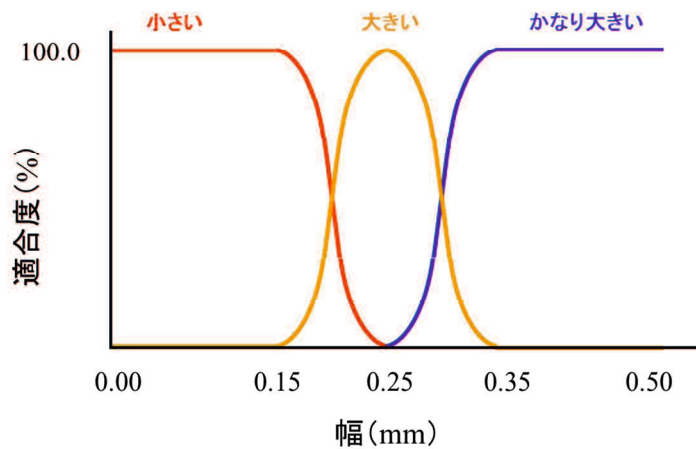


図 3.7.3 「最大ひび割れ幅」のメンバーシップ関数

### 第3章 性能評価システム (BREX)

---

- ① 学習用データの読み込み  
選択した学習用データ（教師データ）を読み込む。
- ② 出力値の計算  
読込んだ入力データに従って出力値を計算する。
- ③ 結合重みの更新量の計算  
②の結果と教師データを比較し結合重みの更新量を計算する。なお、結合重みの更新量は、誤差逆伝播法により計算される。
- ④ 結合重みの仮更新  
結合重みの仮更新を行う。BREXでは、学習後における知識の無矛盾化を図るため制約条件を考慮した学習フローにより知識の更新を行っている。そのため、④では、実際には、結合重みの更新を行わず、仮にルール  $n$  番目あるいはメンバーシップ関数  $A$  を表す結合重みを更新したと仮定して次のステップに移る。
- ⑤ 制約条件  
ステップ④で仮更新された結合重みが制約条件を満足するか否かの判定を行う。満足する場合はステップ⑥へ移り、満足しない場合はステップ⑦へ移り、ルール  $n$  番目あるいはメンバーシップ関数  $A$  を表す結合重みの更新は行わないものとする。
- ⑥ 結合重みの更新  
ステップ⑥は、制約条件を満足した場合のみ処理（結合重みの更新処理）を行う。
- ⑦ プロセスの更新終了  
すべてのルールおよびメンバーシップ関数について結合重みの更新処理を行ったかどうかの判定を行う。行っていれば、ステップ⑧へ移り、行っていなければ、ステップ④に戻り、再び結合重みの更新作業へ移る。
- ⑧ 学習終了  
学習終了条件(学習回数および学習パターン)を満足しているかどうかの判定を行う。満足していなければ、学習回数あるいは学習パターンの更新を行い、ステップ①に戻り、学習処理を続ける。条件を満足していれば、学習終了とする。

### 第3章 性能評価システム (BREX)

#### 3.7.2 アンケート評価

3.3.4項で述べたとおり，J-BMS に付属する点検マニュアル<sup>7)</sup>に準じ，アンケート評価を行っている．図3.7.4には定量システムの学習アンケートの一例を，図3.7.5には定性システムの学習アンケートの一例を示す．専門家が行うアンケート評価の流れは，①点検調査により採取された個々の変状について評価したのち，②主桁や床版ごとに発生している変状から主桁や床版ごとに評価，③3.5.1項の図3.5.1に示されているような診断プロセス順に図3.7.4や図3.7.5に示すような項目の評価を記録，④主桁・床版の耐荷性・耐久性といった橋梁の現有性能を評価することである．これにより，BREXが各項目で評価しているものと同じ項目を専門家が評価することによって，専門家の知識をBREXに学習させ評価させることが可能となる．

《耐荷性評価》

(定義)  
力学的要因(荷重など)に対して，主桁の耐荷力がどの程度低下したか，その状態を表し，補強の必要性を判定する項目．

(判断項目)  
劣化度評価，耐荷特性評価

(判定基準)

Unsafe:  
交通の安全確保等のために，早急に対策が必要であり，あまり供用すべきでない状態である．

Severe Deterioration (Se-De):  
補強が必要不可欠になる状態であり，詳細点検を行う必要がある．

Moderate Deterioration (Mo-De):  
劣化が見られ，定期点検の時期を早める必要があり，今後の追跡調査も必要である．

Mild Deterioration (Mi-De):  
劣化が見られ，その程度を記録すべき必要はあるが，特に補強を考慮すべき状態ではない．

Safe:  
わずかに劣化しているが健全な状態

回答記入欄

	<i>Unsafe</i>	<i>Se-De</i>	<i>Mo-De</i>	<i>Mi-De</i>	<i>Safe</i>
チェック欄					

図3.7.4 定量システムの学習アンケートシートの一例

### 第3章 性能評価システム (BREX)

⑧『主桁設計』と『主桁の全体的損傷』の採点結果および「高欄の影響」, 「拡幅による影響」, 「交通条件による活荷重」をもとに, 『主桁耐荷性』(付録2.)を100点満点で評価して下の升目にチェックを入れてください.

**主桁耐荷性**

(供用すべきでない) (補強が必要不可欠) (劣化がみられる) (特に補強が必要でない) (全く低下していない)

↓ ↓ ↓ ↓ ↓

Unsafe			Severe_Deterioration					Moderate_Deterioration					Mild_Deterioration					Safe		
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

図 3.7.5 定性システムの学習アンケートシートの一例

アンケート評価をもとに BREX に入力された学習用データは, 「.brk」ファイル形式で保存される.

### 3.8 まとめ

本章では, J-BMS の中心的なシステムである BREX (性能評価システム) について述べた. BREX には, 定量システムと定性システムが存在し点検方法によって使い分けが可能である. また, 定量システムと定性システムの共通部分である知識表現方法や評価方法, 学習方法などについて述べた. ニューラルネットワークやメンバーシップ関数などは, 知識表現方法などの計算例を示すことにより具体的に表現した.

#### 参考文献

- 1) 山口県土木建築部道路整備課：山口県 橋梁点検要領（案）（平成25年3月版），  
<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/7/0/c/70cc0e25935d57f9ba837be35755b10d.pdf#search='%E5%B1%B1%E5%8F%A3%E7%9C%8C+%E6%A9%8B%E6%A2%81%E9%80%9A%E5%B8%B8%E7%82%B9%E6%A4%9C'>（2014.11.アクセス）
- 2) いなべ市建設部建設課：いなべ市橋梁長寿命化修繕計画，2013.3.
- 3) 河村圭：Bridge Management System(BMS)の開発および実用化に関する研究，山口大学大学院理工学研究科博士論文，2000.3.
- 4) 泉本昌彦：アカウタビルティを有するRC橋梁性能評価システムの開発と知識更新方法の提案，山口大学大学院修士論文，2004.2.
- 5) 宮本文穂，江本久雄，高橋順：旧厚東川大橋の果たした役割と撤去時健康診断～現地調査結果の最終報告集～，山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.15，2011.3.
- 6) 勝島龍郎：J-BMS 開発の変遷と実橋梁での検証法，山口大学大学院理工学研究科修士論文，2014.3.
- 7) 山口県土木建築部道路整備課，山口大学工学部知能情報システム工学科システム設計工学研究室：J-BMS のための点検マニュアルとその利用一定期点検，結果検証，データベースシステムー，2003.8.
- 8) 平尾隆行：エキスパートシステム入門，オーム社，1989.1.
- 9) 秦勝範：エキスパート・システムとシステム・エンジニア，スペック，1991.4.
- 10) 三輪宅弘：評価型エキスパートシステム構築ツールの開発とPC橋への適用，山口大学修士論文，2001.2.
- 11) 宮本文穂，河村圭，中村秀明，山本秀夫：階層構造ニューラルネットを用いたコンクリート橋診断エキスパートシステムの開発，土木学会論文集，No.644/VI-46，pp.67-86，2000.3.

## 第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

### 4.1 J-BMS RC版 (RC-BREX) の検証概要

本章では、橋梁の架け替えに伴い取り壊される RC 橋を用いて、データ採取のために詳細な点検を行い、採取した点検データを RC-BREX'2000 (以下、RC-BREX とする) に入力して得た診断結果をまとめ、様々な観点から RC-BREX の検証を行った。

### 4.2 点検調査の目的

当該橋梁は、主要な道路である国道に架けられていた橋梁であり、建設当初に考慮された設計荷重以上の車両交通を上部工が受けていた。幾度かの補修工事等を経て、橋梁の高齢化や機能面の問題が主要な理由で解体撤去され新橋が架設されることになった。

現地点検調査は、その取り壊しに際して、今後増えることが予想される高齢化した橋梁の架け替えを含む維持管理業務に活かせるように実施したものである。

### 4.3 検証対象撤去橋梁および現地調査

#### 4.3.1 検証対象撤去橋梁

RC-BREXの検証対象とした撤去橋梁は、山口県内の一般国道上（県境の橋梁も含む）に架かっていた「旧KT橋」<sup>1),2)</sup>と「旧SK橋」<sup>3),4)</sup>の2橋である。旧KT橋は昭和10年(1935年)架設の橋長364.1m、全幅員11.7m、28径間を有する鉄筋コンクリート単純T桁橋であり、2003年度から6カ年かけて撤去された。また、旧SK橋は昭和17年(1942年)架設の橋長168.3m、全幅員11.0m、8径間を有する単純ゲルバー式鉄筋コンクリートT桁橋であり、2011年度から2カ年かけて撤去された。表4.3.1に橋梁諸元を、写真4.3.1に旧KT橋、写真4.3.2に旧SK橋の撤去前の全体写真を示す。

ここで、RC-BREXは鉄筋コンクリート単純T桁橋を上部工形式として推奨している。

表 4.3.1 撤去橋梁諸元一覧表

橋梁名	旧KT橋	旧SK橋
路線名	一般国道190号	一般国道2号
交差施設	河川(二級河川厚東川)	河川(一級河川小瀬川)
架設年月日	昭和10年8月(1935年)	昭和17年3月(1942年)
橋長	364.108m	168.290m
全幅員	11.680m	11.000m
径間数	28径間	8径間
主桁構造形式	RC-T桁橋	RCゲルバーT桁橋
主桁本数	5本	5本
床板構造形式	RC床版	RC床版
供用終了年	1998年(63年目)	2012年(70年目)
点検調査年	2009年(74年目)	2012年(70年目)
大型車交通量	1500台/24h	6900台/24h



写真 4.3.1 旧 KT 橋の撤去前状況



写真 4.3.2 旧 SK 橋の撤去前状況

4.3.2 点検調査概要

対象橋梁に対する現地調査方法としては、近接目視点検を実施した。近接目視点検は、解体・撤去工事の際に橋梁上部工の桁下面に設置された作業足場を利用した。点検調査箇所は、図4.3.1と図4.3.2に示すように各橋梁とも解体・撤去作業に支障のない2スパンずつとし、可能な限り同一の専門技術者(以下、専門家)6~8名によって実施した。なお、両橋梁を点検調査した専門家は、旧KT橋と旧SK橋の点検調査年度が異なるため、異なるメンバーである。近接目視点検に参加したのは、主として複数の民間コンサルタント会社などにて、橋梁の設計もしくは点検を含む維持管理業務に携わって10年以上の専門家である。

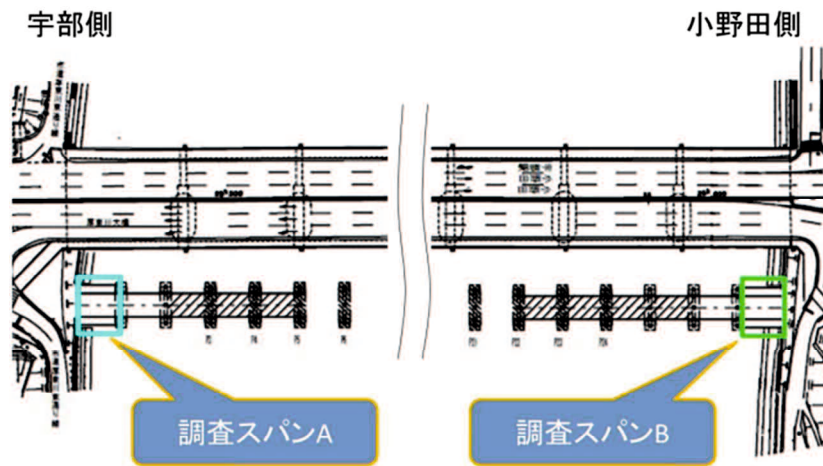


図4.3.1 旧KT橋の点検調査箇所

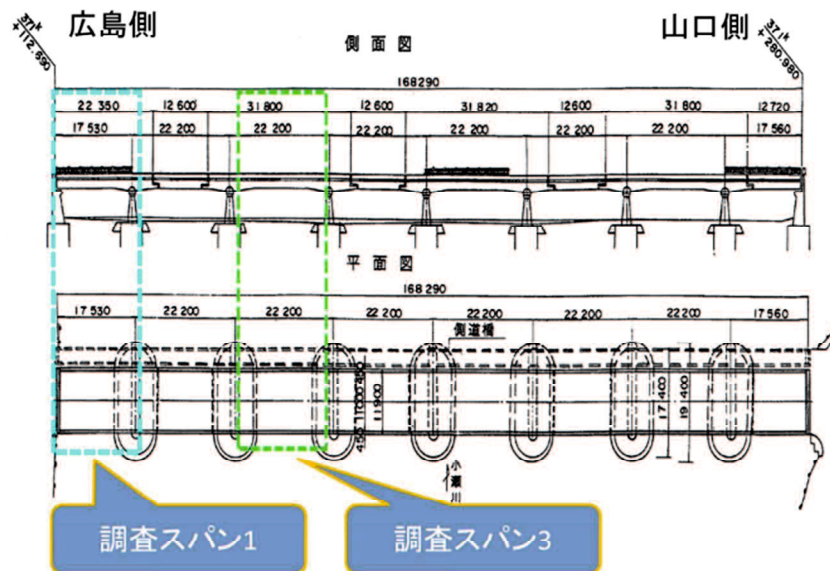


図4.3.2 旧SK橋の点検調査箇所



## 第4章 J-BMS RC版（RC-BREX）の実橋への適用および検証

### 4.3.3 専門家の経歴

4.3.2項で述べたとおり，点検調査は6～8名の専門家により実施してもらった．その内訳としては，旧KT橋では6名，旧SK橋では8名の専門家である．表4.3.2には旧KT橋，表4.3.3には旧SK橋の点検調査における経歴を簡単にまとめたものを示す．表4.3.2と表4.3.3をみると点検業務の経験年数や年齢，業種はさまざまである．点検業務の経験年数，業種などに違いがあれば，点検結果にも違いが生じるのではないかと思われる．

表4.3.2と表4.3.3の経歴一覧表の内容が異なるのは，点検調査前に行った専門家に対する経歴を問うアンケートが異なっていたからである．また，専門家の年齢を記述していないが，30代から60代以上の方が参加されていた．

表4.3.2 旧KT橋の専門家（点検者）経歴一覧表

専門家	点検箇所	橋梁の経験年数	扱っている橋梁の種類	橋梁に接する（接した）時の立場
A	SpanA	21～30年	鋼・コンクリート橋	設計者・管理者
	SpanB	11～20年	コンクリート橋	設計者・管理者
B	SpanA	31年以上	鋼・コンクリート橋	設計者
	SpanB			
C	SpanA	11～20年	鋼・コンクリート橋	施工者
	SpanB			
D	SpanA	11～20年	鋼・コンクリート橋	設計者
	SpanB			
E	SpanA	11～20年	鋼・コンクリート橋	設計者
	SpanB			
F	SpanA	21～30年	鋼・コンクリート橋	設計者
	SpanB			

表4.3.3 旧SK橋の専門家（点検者）経歴一覧表

専門家	設計・点検業務の経験年数	業種	構造物	業務内容
A	23	施工業者	コンクリート構造物	補修・補強施工
B	18	コンサル	鋼・コンクリート構造物	補修・補強，維持管理，構造解析
C	10	施工業者	コンクリート構造物	補修・補強施工
D	10	施工業者	コンクリート構造物	補修・補強施工
E	5	施工業者	コンクリート構造物	補修・補強施工
F	32	コンサル	鋼・コンクリート構造物	補修・補強設計
G	5	コンサル	鋼・コンクリート構造物	構造解析
H1	1	コンサル	鋼・コンクリート構造物	構造解析
H2	35	コンサル	鋼・コンクリート構造物	維持管理，構造解析

### 4.3.4 現地調査および点検データ採取

4.3.1項で述べたとおり，旧KT橋は2003年から6年かけ撤去されており，その合間に点検調査が行われ，点検データが採取されている．旧SK橋に関しては，本研究を含めいくつかの研究のために点検や調査，実験が行われており，今回新たに点検データを採取した．

旧KT橋の既往の点検データと旧SK橋の新点検データを用いて，RC-BREXの検証を行った．

#### (1) 近接目視点検

詳細点検は，補修や補強工事の実施を前提として橋梁の状態を把握するために実施されるため，近接による目視点検が原則とされている．

旧KT橋，旧SK橋の損傷状況を点検調査するため，撤去工事用の作業足場を利用して，専門家による近接目視点検を行った．また，近接目視点検は「J-BMSのための点検マニュアルその利用」<sup>5)</sup>に準拠して実施した．写真4.3.3～写真4.3.5に近接目視点検の様子を示す．



写真 4.3.3 変状調査状況



写真 4.3.4 テストハンマーによる打音検査状況



写真 4.3.5 変状図へ記録状況

### (2) 点検データ採取

3.3.1項で述べたとおり、RC-BREXのための点検内容は、①変状図の作成、②変状記録一覧表の作成、③各変状から行う健全度評価の3つである。

#### ①変状図作成

3.3.1項の表3.3.1、表3.3.2に示す、主桁・床版における各変状の点検項目をもとに、近接目視点検によって得られた情報を、現地で図4.3.3に示すような変状図を作成した。変状図とは、橋梁上部工主桁および床版下面の展開図に変状を記録したものである。

#### ②変状記録一覧表の作成

変状図をもとに、表4.3.4に示す変状記録の凡例に従い、表4.3.5に示すような変状記録一覧表を作成した。

#### ③健全度評価

近接目視点検結果に基づき、「主桁の耐荷性、耐久性」、「床版の耐荷性、耐久性」に至るまでをそれぞれアンケート形式にて5段階評価した。一例として、表4.3.5には各変状の評価を、表4.3.6には桁ごと評価を、図4.3.4には主桁耐荷性の評価を示す。

図4.3.3～図4.3.4や表4.3.5～表4.3.6には、旧SK橋の点検調査時に採取したある専門家のデータの一部を示す。他の専門家も同様のデータを記録している。

# 第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

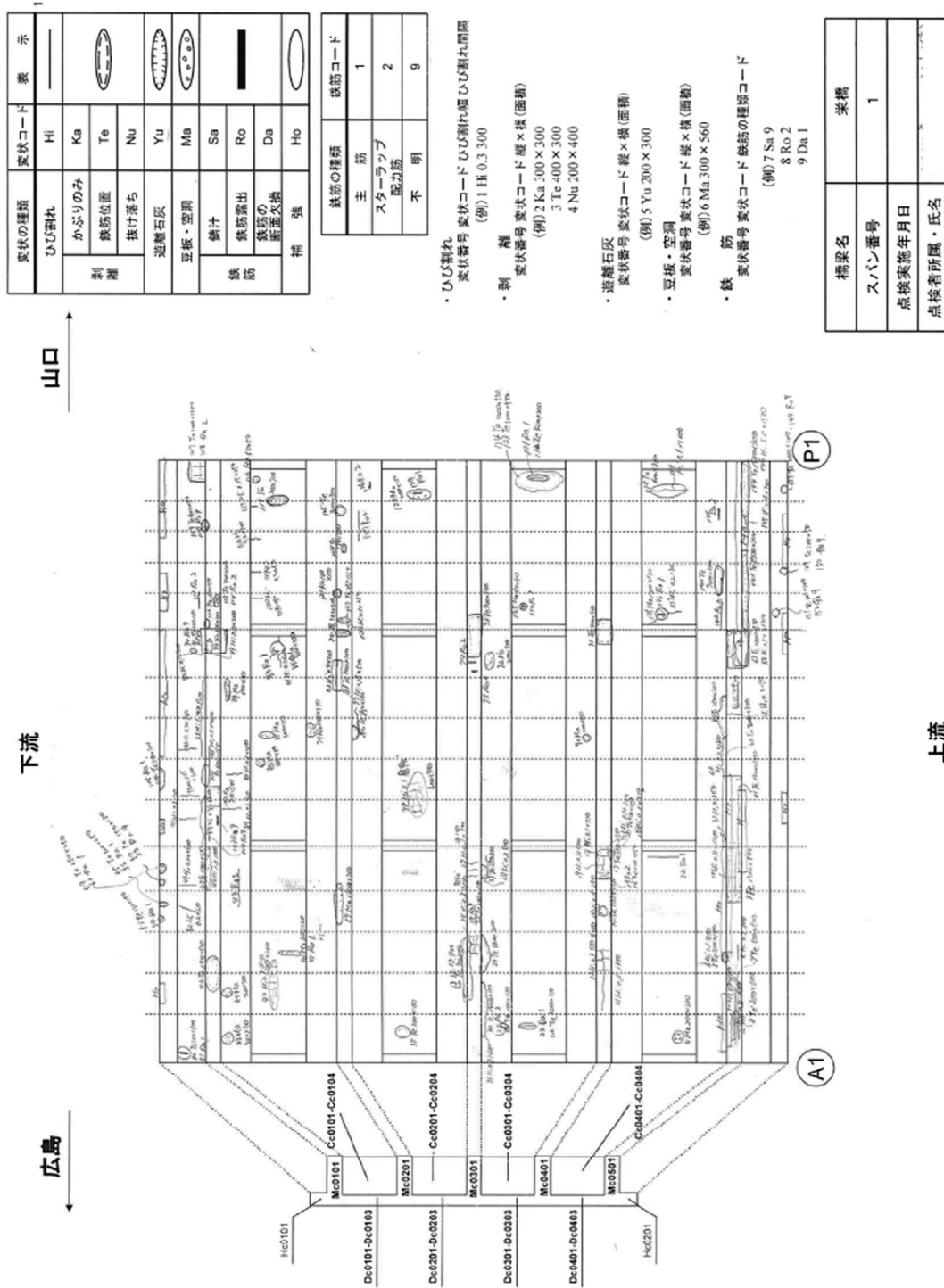


図 4.3.3 変状図の一例

表 4.3.4 変状記録の凡例

橋梁名 変状 番号	橋・床版 番号	部材 種類	点検種別 点検 項目	橋軸方向 位置	点検年月日 上下 位置	方向	本数 (本)	径間番号		面積 (mm <sup>2</sup> )	深さ	鉄筋の 種類	鉄筋の 変状種類	補強工 種別	補強の 変状種類
								巾 (mm)	間隔 (mm)						
1	変状参照	・主桁	・ひび割れ	・1=支間中央 ・2=支間1/4 ・3=端支点部 ・4=中間支点部 ・5=ゲルハ・支点部 ・6=全体	・1=桁側面 ・2=桁下面	1=鉛直 2=ななめ 3=水平 橋軸方向 4=水平 橋軸直角方向 5=亀甲状	本数	最大の幅	最小の間隔	縦×横 縦=水平橋軸方向 横=水平直角方向 または鉛直	1=かぶりのみ 2=鉄筋位置	-	-	-	-
			・剥離			-	-	-	-						
			・遊離石灰 ・豆板・空洞			-	-	-	-						
			・鉄筋			-	-	-	-			1=主鉄筋 2=「 $\chi$ 」-「 $\chi$ 」・配力筋 9=不明	1=錆 2=鉄筋露出 3=鉄筋の断面欠損	-	-
			・補強			-	-	-	-						
			・ひび割れ	-	-	1=ななめ 2=水平 橋軸方向 3=水平 橋軸直角方向 4=亀甲状	本数	最大の幅	最小の間隔						
			・剥離			-	-	-	-						
			・遊離石灰 ・豆板・空洞			-	-	-	-						
			・鉄筋			-	-	-	-						
			・補強			-	-	-	-						
記入例															
1	MC0107	主桁	ひびわれ	2	1	2	2	0.3	200	-	-	-	-	-	-
2	DC0119	床版	剥離	-	-	-	-	-	-	200×500	2	-	-	-	-
3	MC0207	主桁	鉄筋	4	2	-	-	-	-	-	-	2	3	-	-
4															
5															
6															
7															
8															
9															

第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

表 4.3.5 変状記録一覧表の一例

橋梁名 変状 番号	架橋		点検年月日	近接目視		2012年11月20日		1		点検者所属・氏名		* 1-5 (Unsafe - Safe)		床版耐久性					
	桁・床版 番号	部材 種別		点検 項目	橋軸方向 位置	上下 位置	方向	本数 (本)	巾 (mm)	間隔 (mm)	面積 (mm <sup>2</sup> )	深さ	鉄筋の 種類		鉄筋の 変状種類	補強工 種別	補強の 変状種類	主桁耐荷性	主桁耐久性
1	Me0501	主桁	ひび割れ	支間1/4	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.7			-					5	4		
2	Me0501	主桁	ひび割れ	支間1/4	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.8			-					5	4		
3	Me0501	主桁	剥離	支間1/4	桁下面	-			300×300	鉄筋位置	-					3	4		
4	Dc0401	床版	豆莢・空洞	支間1/4	-	-			200×200	-	-					-	5	5	5
5	Me0501	主桁	剥離	支間1/4	桁側面	-			100×400	鉄筋位置	-					4	4		
6	Me0501	主桁	ひび割れ	支間1/4	桁側面	水平 橋軸方向	1	1.1			-					4	4		
7	Me0501	主桁	剥離	支間1/4	桁下面	-			500×500	鉄筋位置	-					3	3		
8	Me0501	主桁	ひび割れ	支間1/4	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.7			-					5	4		
9	Me0501	主桁	剥離	支間中央	桁下面	-			500×1700	鉄筋位置	-					1	1		
10	Me0501	主桁	ひび割れ	支間中央	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.8			-					4	4		
11	Me0401	主桁	ひび割れ	支間1/4	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.3			-					4	4		
12	Me0401	主桁	ひび割れ	支間1/4	桁下面	水平 橋軸直交	3	0.3			-					4	4		
13	Me0401	主桁	剥離	支間中央	桁下面	-			200×300	鉄筋位置	-					4	4		
14	Me0401	主桁	ひび割れ	支間中央	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.15			-					5	5		
15	Me0401	主桁	鉄筋	支間中央	桁下面	-					スターラップ					5	4		
16	Me0401	主桁	剥離	支間中央	桁下面	-			150×100	鉄筋位置	-					5	4		
17	Me0401	主桁	剥離	支間中央	桁下面	-			500×800	鉄筋位置	-					1	2		
18	Me0401	主桁	ひび割れ	支間中央	桁下面	水平 橋軸直交	1	0.1			-					4	5		
19	Me0401	主桁	ひび割れ	支間中央	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.4			-					4	4		
20	Me0401	主桁	剥離	支間中央	桁下面	-			100×300	鉄筋位置	-					4	4		
21	Me0401	主桁	ひび割れ	支間中央	桁下面	水平 橋軸方向	1	0.4			-					4	4		
22	Dc0401	床版	鉄筋	支間中央	-	-					主鉄筋					-	5	4	4
23	Dc0301	床版	鉄筋	支間1/4	-	-					主鉄筋					-	4	4	3
24	Dc0301	床版	剥離	支間1/4	-	-			100×400	鉄筋位置	-					-	4	4	4
25	Me0301	主桁	鉄筋	支間1/4	桁側面	-					スターラップ					4	4		
26	Me0301	主桁	剥離	支間1/4	桁側面	-			100×100	鉄筋位置	-					4	4		
27	Me0301	主桁	剥離	支間中央	桁側面	-			200×250	鉄筋位置	-					4	4		
28	Me0301	主桁	ひび割れ	支間中央	桁側面	水平 橋軸方向	1	0.2			-					4	4		
29	Me0301	主桁	剥離	支間1/4	桁側面	-			200×1200	鉄筋位置	-					1	3		
30	Me0301	主桁	剥離	支間1/4	桁側面	-			100×1400	鉄筋位置	-					1	3		

表 4.3.6 桁ごとの評価の一例

桁番号	<i>Unsafe</i>		<i>Mo-De</i>		<i>Safe</i>
Mc0101				○	
ノ 0201					○
ノ 0301			○		
ノ 0401					○
ノ 0501		○			



## 第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

◀耐荷性評価▶

【主桁耐荷性】

(定義)  
力学的要因(荷重など)に対して、主桁の耐荷力がどの程度低下したか、その状態を表し、補強の必要性を判定する項目。

(判断項目)  
劣化度評価、耐荷特性評価

(判断基準)

**Unsafe :**  
交通の安全確保等のために、早急に何らかの対策が必要であり、あまり、供用すべきでない状態である。

**Severe Deterioration (Se-De) :**  
補強が必要不可欠になる状態であり、詳細点検を行う必要がある。

**Moderate Deterioration (Mo-De) :**  
劣化が見られ、定期点検の時期を早める必要があり、今後の追跡調査も行う必要がある。

**Mild Deterioration (Mi-De) :**  
劣化が見られ、その程度を記録すべき必要はあるが、特に補強を考慮すべき状態ではない。

**Safe :**  
わずかに劣化しているが、健全な状態である。

回答記入欄

	<i>Unsafe</i>	<i>Se-De</i>	<i>Mo-De</i>	<i>Mi-De</i>	<i>Safe</i>
チェック欄			○		

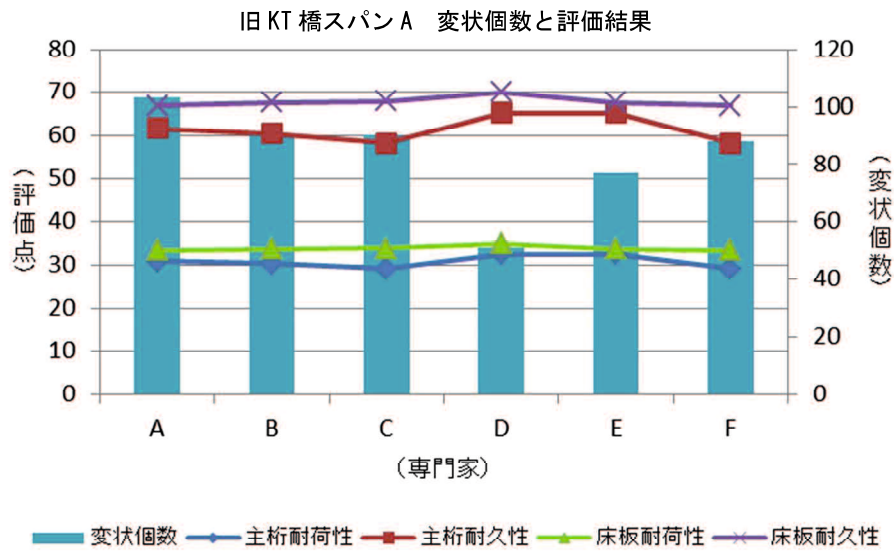
図 4.3.4 主桁耐荷性の評価の一例

### 4.4 RC-BREX による健全度評価

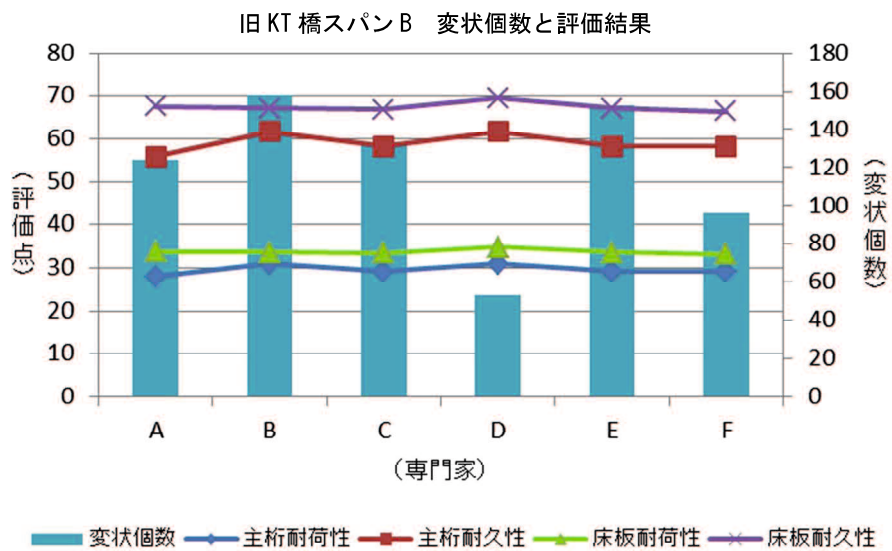
#### 4.4.1 初期知識による評価と分析

第 3 章で述べたとおり，表 4.3.5 に示すような点検調査により得られた点検データを RC-BREX に入力し，最初に出力された結果を初期知識による評価としている．つまり，初期知識とは，橋梁諸元などの諸条件や変状データをもとに RC-BREX が最初に評価する結果であり，このときの RC-BREX はデフォルトの状態である．

図 4.4.1 には旧 KT 橋，図 4.4.2 には旧 SK 橋の各点検調査スパンの専門家別変状個数と RC-BREX による主桁，床版それぞれの耐荷性，耐久性の評価結果を示す．各橋梁の各点検調査スパンの評価点数に関しては，表 4.4.4～表 4.4.17 に示す．旧 KT 橋の専門家 A に関しては，表 4.3.2 に示すように 2 名の専門家がいる．同様に旧 SK 橋の専門家 H に関しては，表 4.3.3 に示すように H1 と H2 と 2 名の専門家がいる．これは，点検調査時，点検時間の関係上，異なるスパンをそれぞれの専門家が点検調査を行ったからである．よって，旧 KT 橋のスパン B と旧 SK 橋のスパン 3 に関する上記該当専門家の評価結果は，参考評価としている．

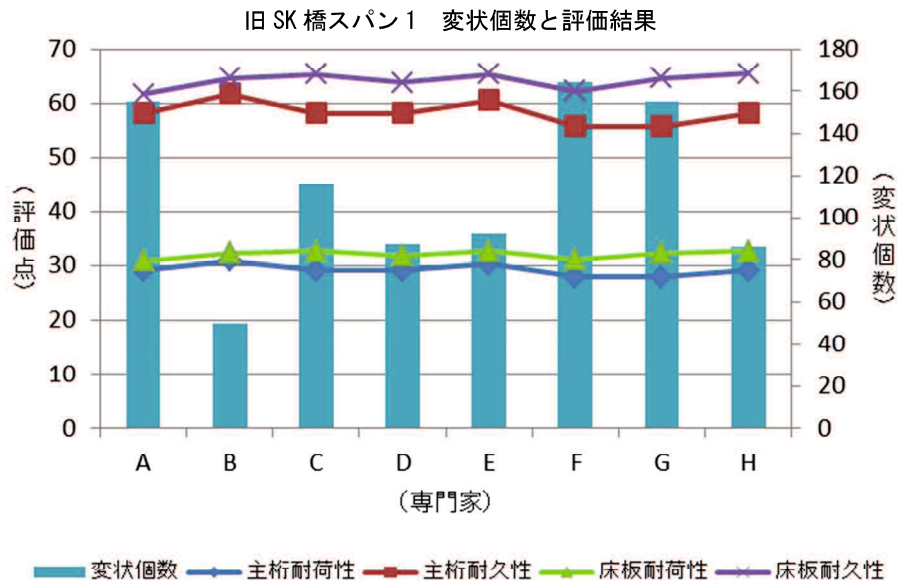


(a) スパン A

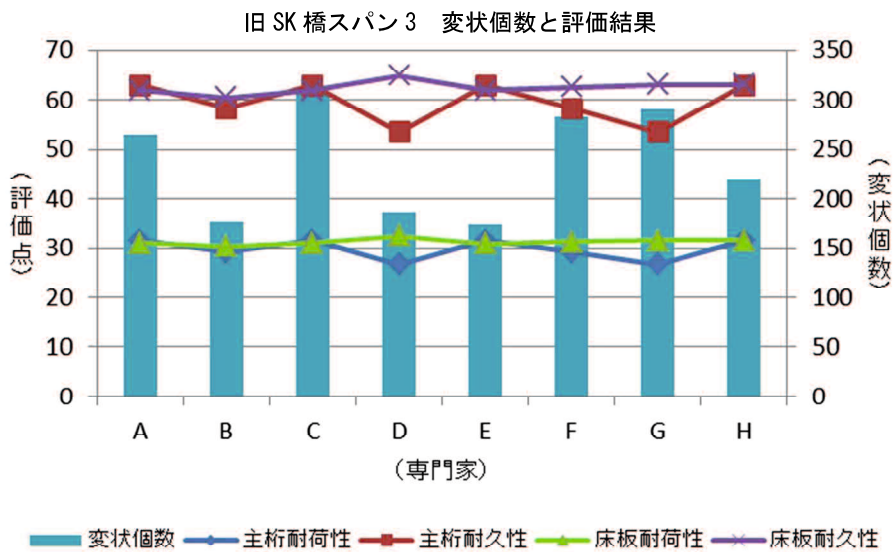


(b) スパン B

図 4.4.1 旧 KT 橋における変状個数と評価結果



(a) スパン1



(b) スパン3

図4.4.2 旧SK橋における変状個数と評価結果

### (1) 変状個数について

各橋梁にて各専門家が変状を採取した個数について注目すると、専門家により変状個数にばらつきが生じている。これは、限られた時間の中の点検調査であったため、点検経験の豊富な方とそうでない方、また、専門家の業種によっても変状の認識が異なっているのではないかとと思われる。

また、旧SK橋を例にしてみると、補修・補強施工を業務とされている専門家は比較的変状個数が少ないように思われる。これは補修時の調査において、進行性や緊急性の高い変状を補修し、補修費を抑えようとしている結果だと思われる。これに対して、コンサルタントなど点検業務をされている専門家は、すべての変状を記録するので変状数が多い結果となるように思われる。

### (2) 初期知識による評価結果について

RC-BREXの評価結果に注目すると、全てのグラフにおいて、主桁、床版ともに耐荷性の項目に関しては30点程と低い評価となった。これは、竣工から74年（旧KT橋）と70年（旧SK橋）を経た老朽化橋梁であることから、設計基準である適用示方書が古く設計時の活荷重が小さく、国道190号線や2号線上に位置してきたことから自動車交通量の増加や大型車両の増加による使用条件の悪化で耐荷性能が低下したと考えられ、さらに、補強も施されていないため、妥当な出力結果であるといえる。

また、耐久性の項目に注目すると、主桁、床版ともに60～70点の評価となっている。これは、ある程度の補修がなされ、個々の変状も比較的小さいものであったことが、耐荷性に比べ高い評価となった要因と考えられる。

したがって、初期知識によるRC-BREXの評価結果は妥当であるといえる。

### (3) 変状個数と評価結果の関係性について

変状個数と評価結果の関係性に注目すると、変状個数の差があるにも関わらず評価結果には差がほぼ生じていないことがわかる。これは、RC-BREXが単に変状の個数だけで評価しているのではなく、各変状の損傷程度をもとに評価しているといえる。その一方で、入力した変状データに大差があるにも関わらず、評価結果にあまり差が生じないことには矛盾が残る。デフォルト時のRC-BREXが、入力された多くの変状が比較的小さかったところから高評価したと思うが、高評価の変状であっても、変状数が多くあれば変状数に伴い評価点が下がるのでないかと考える。

次項では、各変状について主観による評価をして頂いたアンケート評価を学習用データとして用い、評価システムの機能である知識更新機能により知識の更新を行い、その学習後の知識を用いて、初期知識による評価結果との比較をした。

### 4.4.2 学習前後による評価と分析

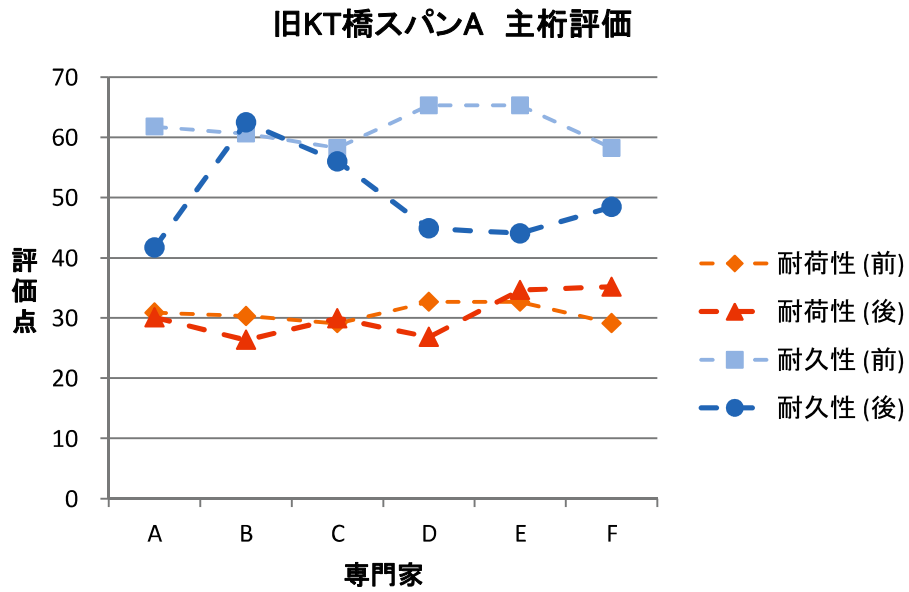
ここでは、アンケート評価を専門家別に学習させ、その学習前後の評価結果を比較した。

第3章で述べたとおり、アンケート評価とは、先述したようにRC-BREXの評価と同様の項目に関して、ひび割れなどの個別の変状評価や桁、床板ごとの評価を各専門家が5段階評価したものである。これを学習用教師データとしてRC-BREXに学習させ、その評価結果を学習後の評価としている。例えば専門家Aであれば専門家A自身のアンケート評価を学習させて評価を出している。

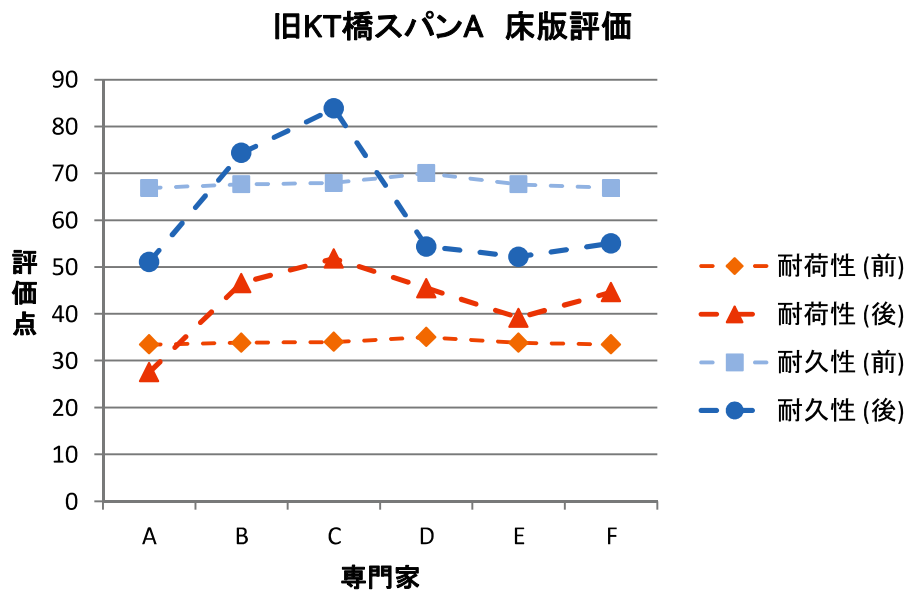
図4.4.3と図4.4.4には旧KT橋、図4.4.5と図4.4.6には旧SK橋の各点検調査スパンの専門家別学習前後の評価を示す。図中の耐荷性（前）、耐久性（前）は「初期知識の評価結果」を、耐荷性（後）、耐久性（後）は「学習後の評価結果」を示している。各橋梁の各点検調査スパンの評価点数に関しては、表4.4.4～表4.4.17に示す。

表 4.4.1 評価点数（健全度）のランク表

<b>Unsafe</b> : $0.0 \leq p < 12.5$ (点) 交通の安全確保等の為に、早急に何らかの対策が必要である。 特に、0.0点は供用すべきでない状態(管理限界)である。
<b>Severe Deterioration</b> : $12.5 \leq p < 37.5$ (点) 補修が必要不可欠になる状態である。詳細点検の必要がある。
<b>Moderate Deterioration</b> : $37.5 \leq p < 62.5$ (点) 劣化が見られ、定期点検の時期を早める必要がある。 今後の追跡調査が必要である。
<b>Mild Deterioration</b> : $62.5 \leq p < 87.5$ (点) 劣化が見られ、その程度を記録する必要があるが、 特に補修を考慮すべき状態ではない。
<b>Safe</b> : $87.5 \leq p \leq 100.0$ (点) わずかに劣化しているが、健全な状態である。 特に100.0点は全く問題のない状態である。

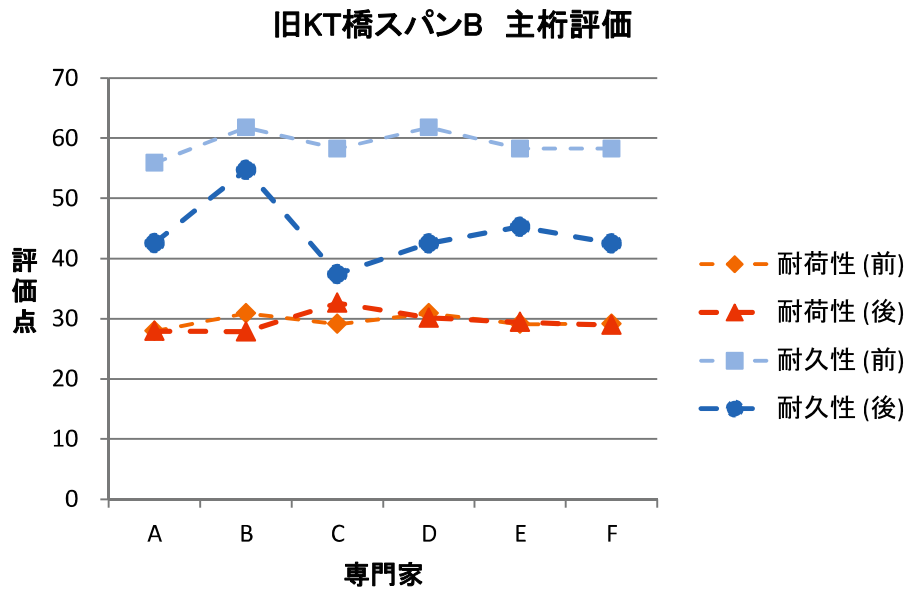


(a) 主桁の評価結果

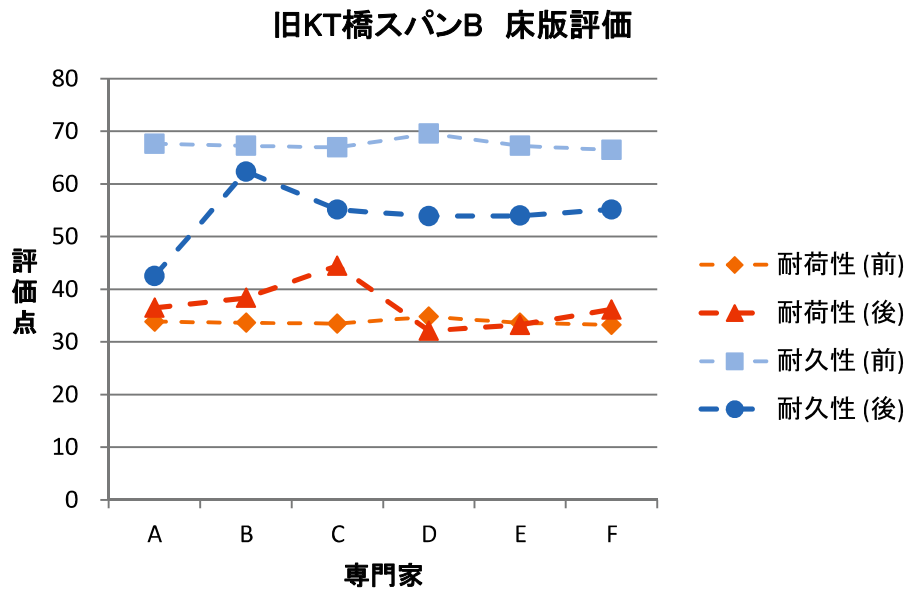


(b) 床版の評価結果

図4.4.3 旧KT橋スパンAの学習前後の評価結果



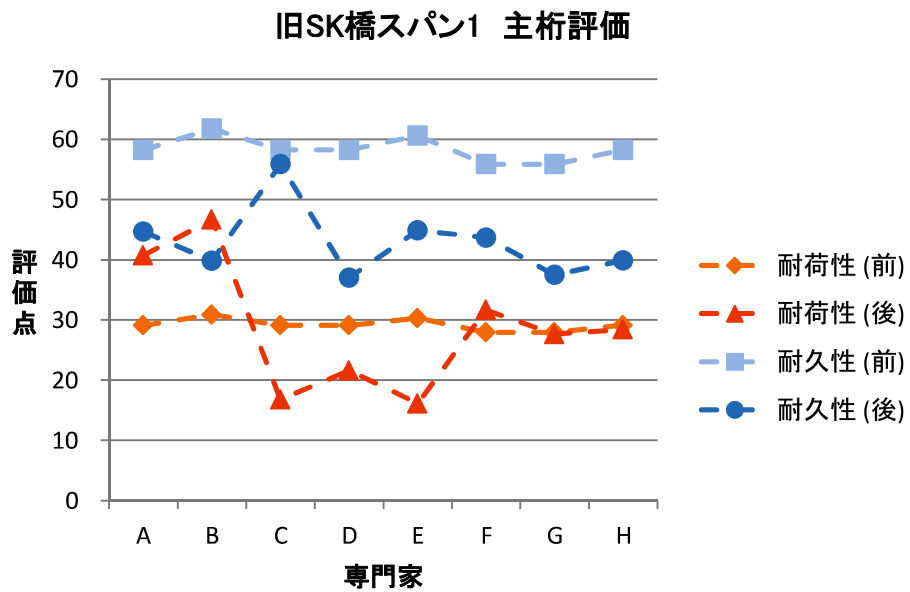
(a) 主桁の評価結果



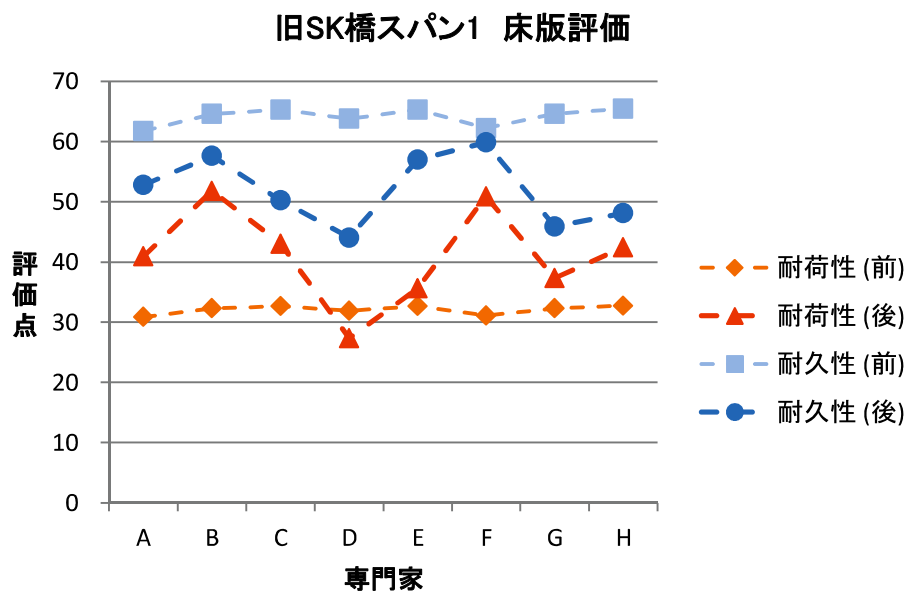
(b) 床版の評価結果

図4.4.4 旧KT橋スパンBの学習前後の評価結果



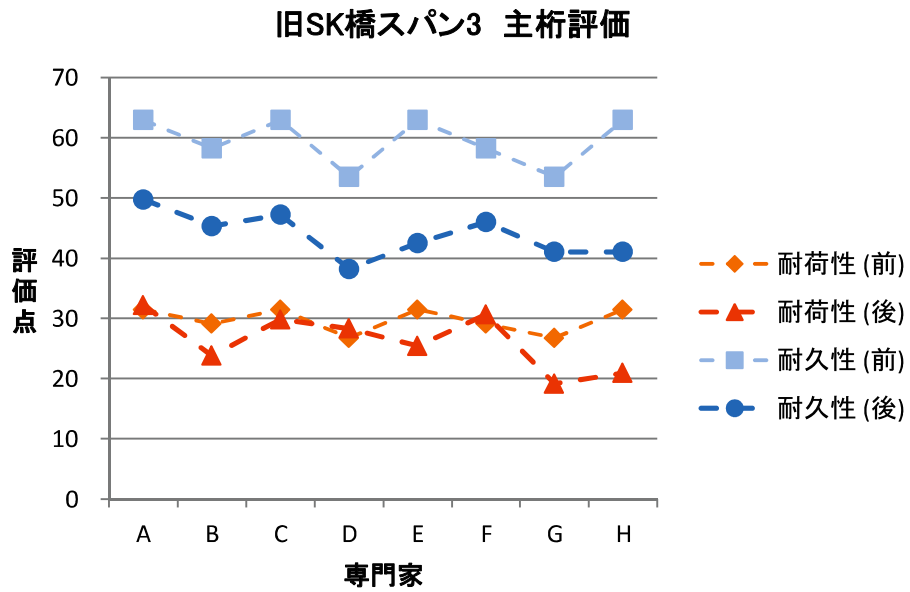


(a) 主桁の評価結果

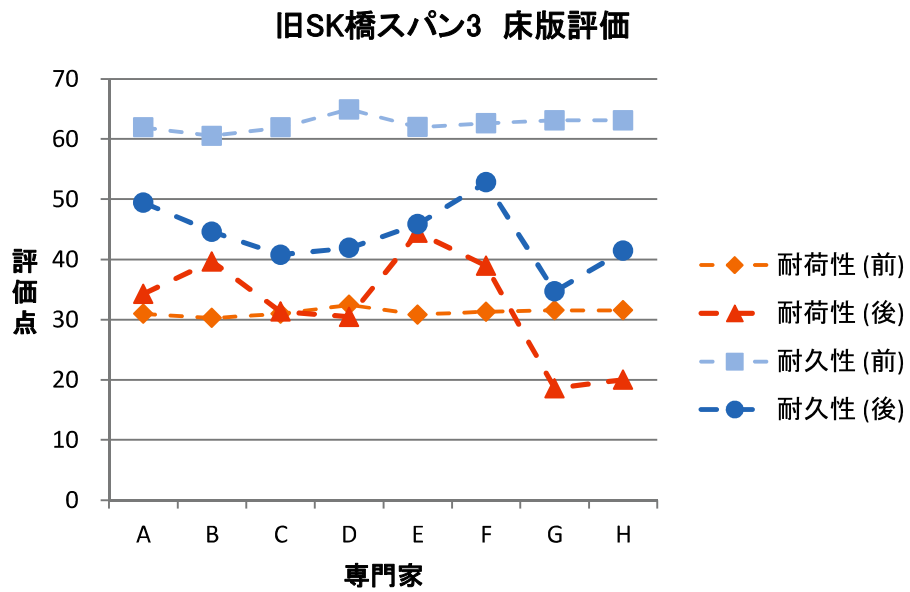


(b) 床版の評価結果

図4.4.5 旧SK橋スパン1の学習前後の評価結果



(a) 主桁の評価結果



(b) 床版の評価結果

図4.4.6 旧SK橋スパン3の学習前後の評価結果

### (1) 学習後の耐久性評価について

図 4.4.3～図 4.4.6 より、主桁と床版の耐久性の値に関しては、多くの専門家の評価は学習後の方が低くなっている。これは、表 4.4.1 に示すように、主観による評価ランクが概ね **Unsafe～Moderate-Deterioration** であり、専門家とはいえ撤去橋梁ということで無意識のうちに全体的な評価を低く見積もった可能性もある。さらに学習時には各評価ランクの最低点の 0, 12.5, 37.5 点を入力することから、初期知識によるシステム評価よりも低くなったことを表している。

各専門家における学習後の耐久性評価の違いが大きかった旧 KT 橋に注目する。図 4.4.3 に示すように、旧 KT 橋のスパン A に関しては、専門家 B と C の 2 名の学習後の評価が高くなっている。これは、専門家 B と C の学習用データが、全体的に表 4.4.1 に示す評価ランク **Mild-Deterioration～Safe** の安全側に評価されていたことから、学習時この評価に影響され学習後の評価が高くなったと思われる。また、その高評価された耐久性評価下層には、図 4.4.7 に示すように「環境条件評価」があり、この評価点が他の専門家に比べ高くなっているのも大きな要因の一つであると考えられる。環境条件評価は橋梁の立地条件を評価する項目で、判断項目として塩害や凍害、化学的浸食の影響を受けやすい海岸や凍害、温泉地域があげられている。旧 KT 橋は海岸から 1km 程度と塩害影響を受ける場所に立地している。このような場所に立地している橋梁なので、塩害の影響を受け易い。よって、立地（環境）条件として性能低下が考えられるような環境にあるので、評価点は低くなるはずである。しかし、床版にはさほど損傷がなかったことから、専門家 B と C は塩害の影響をほとんど受けてないので立地（環境）条件としても問題ないと判断し高評価になっていると思われる。



図 4.4.7 耐久性診断フロー（主桁）

### (2) 学習後の耐荷性評価について

図 4.4.3～図 4.4.6 より、床版の耐荷性の値に関しては、多くの専門家の評価は学習後の方が高くなっている。これは、床版の変状が主桁に比べ少なかったことから、アンケート評価が高評価となり、学習後の評価が向上した結果である。

主桁の耐荷性の値に関しては、学習後の評価が学習前より高い場合もあれば低い場合もある。図 4.4.5 に示すように、特に旧 SK 橋のスパン 1 に関しては、主桁、床版ともに各専門家における耐荷性評価の差が大きかった。この原因としては、アンケート評価の主桁、床版の耐荷性評価と劣化度評価の下層にある環境条件評価において、高評価している専門家と低評価している専門家があり、その評価ランクにおいて最高で 2 ランクの差があったことである。環境条件評価については、(1)と同様の判断による評価である。これにより、RC-BREX に学習させる際、学習時の重要度算出により IF-THEN 形式の後件部の値にも影響を与え、学習後の評価結果に差が生じている。

### (3) 比較の結果

(1)、(2)より、学習をしていない初期知識による評価は専門家の知識を完全に抽出できていない評価結果であり、この値をもって橋梁の詳細な性能評価をするのは十分ではない。ただ、詳細点検に適している RC-BREX なので本来の用途とは異なるが、4.4.1 項で述べたとおり、橋梁の使用状況や変状の状態などから通常点検レベルの評価ができていているといえる。

RC-BREX は評価プロセスが多層階層型なので、アンケート評価のすべての評価項目に近似させることは不可能であるが、各専門家のアンケート評価結果に近似させようと繰り返し学習を行っている。よって、各専門家のアンケート評価による学習後の評価は、専門家による定量的な評価と主観的な知識を併せ持った有用なデータであるといえる。しかし、各専門家によりアンケート評価結果にばらつきがあるので、学習後の評価結果にかなりの差が生じている。専門家によるアンケート評価がほぼ同じであることが望ましいとは思いますが、アンケート評価結果によって、RC-BREX は多様な評価結果を出力できるシステムであることが確認できた。

## 第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

### 4.4.3 全標本学習法による評価と分析

RC-BREXによる評価結果である，初期知識による評価とアンケート評価，全標本学習法による評価，学習後の評価の4種類の平均値を，表4.4.2と表4.4.3に比較表として示す．表4.4.2および図4.4.8は旧KT橋のスパンA，表4.4.3および図4.4.9は旧SK橋のスパン1の評価を比較表と折れ線グラフにしたものである．評価の欄には，表4.4.1に示す各ランクの頭文字を表示している．図4.4.8と図4.4.9は，耐荷性と耐久性のみを示したものである．全標本学習法とは，旧KT橋では専門家数6データ，旧SK橋では専門家数8データのアンケート評価を学習用データとして用いる方法である．全標本学習法の学習方法としては，各橋梁の専門家のアルファベット順の一つずつ学習をさせた．その積み重ねた学習データと各専門家の初期知識による評価を用い，各専門家別の全標本学習法による評価とした．

両橋梁は撤去橋梁なので，今後追跡調査が不可能なこともあり，各橋梁の点検時期は同じではあるが，各専門家の評価にばらつきがあったことから，今後，RC-BREXが同一の橋梁の点検データとしてアンケート評価を蓄積していった場合に，どのような評価結果になるかということ想定し，その評価を確認したものである．

表 4.4.2 旧 KT 橋における全標本学習法による評価結果比較

スパンA		初期知識 (平均値)	評価ランク	アンケート 結果 (平均値)	評価ランク	全標本 学習法 (平均値)	評価ランク	学習後 (平均値)	評価ランク
主桁	耐荷性	耐荷性評価	30.78	S-D	29.17	S-D	33.49	30.49	S-D
		劣化度評価	61.57	Mo-D	25.00	S-D	42.85	45.80	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	31.25	S-D	19.27	14.82	S-D
	耐久性	耐久性評価	61.57	Mo-D	16.67	S-D	36.14	49.58	Mo-D
		変状評価	74.08	Mi-D	25.00	S-D	68.84	73.34	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	37.50	43.17	Mo-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	20.83	S-D	33.34	38.77	Mo-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	33.93	S-D	54.17	Mo-D	51.35	42.54	Mo-D
		劣化度評価	67.84	Mi-D	45.83	Mo-D	72.03	64.42	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	47.92	Mo-D	19.66	14.80	S-D
	耐久性	耐久性評価	67.84	Mi-D	41.67	Mo-D	55.34	61.82	Mo-D
		変状評価	92.91	S	41.67	Mo-D	90.04	92.63	S
		使用条件評価	43.95	Mo-D	41.67	Mo-D	37.50	44.57	Mo-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	35.42	S-D	37.48	48.30	Mo-D	

表 4.4.3 旧 SK 橋における全標本学習法による評価結果比較

スパン1		初期知識 (平均値)	評価ランク	アンケート 結果 (平均値)	評価ランク	全標本 学習法 (平均値)	評価ランク	学習 (平均値)	評価ランク
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.19	S-D	23.44	S-D	24.62	28.75	S-D
		劣化度評価	58.37	Mo-D	26.56	S-D	35.06	47.41	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	23.44	S-D	19.15	10.38	U
	耐久性	耐久性評価	58.37	Mo-D	20.31	S-D	32.12	43.18	Mo-D
		変状評価	64.49	Mi-D	20.31	S-D	54.34	59.69	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	23.44	S-D	14.36	37.91	Mo-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	17.19	S-D	33.94	34.96	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	32.06	S-D	54.69	Mo-D	52.96	41.14	Mo-D
		劣化度評価	64.12	Mi-D	60.94	Mo-D	60.98	57.57	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.85	12.81	S-D
	耐久性	耐久性評価	64.12	Mi-D	48.78	Mo-D	55.61	51.40	Mo-D
		変状評価	81.73	Mi-D	53.13	Mo-D	70.25	74.23	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	20.31	S-D	12.69	34.83	S-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	23.44	S-D	33.93	35.87	S-D	

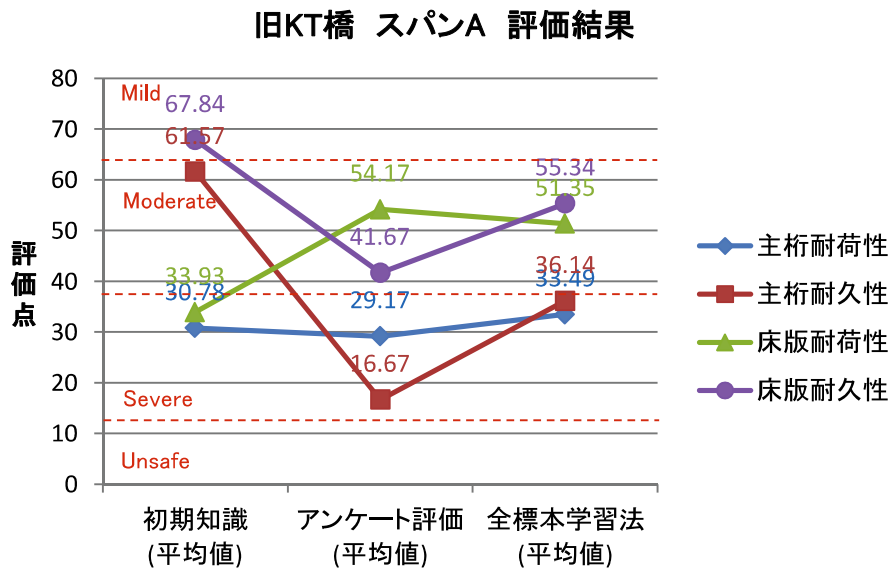


図 4.4.8 旧 KT 橋の評価結果比較

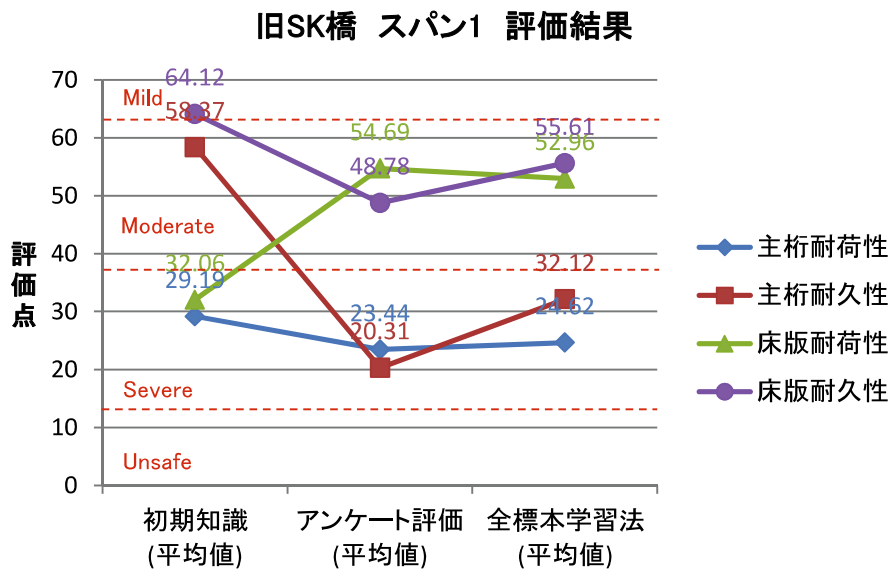


図 4.4.9 旧 SK 橋の評価結果比較

図 4.4.8 と図 4.4.9 を比較すると、点検調査橋梁や点検時期、点検を行った専門家が異なるにもかかわらず、各評価点が似たような傾向を示す結果を得た。

### (1) アンケート評価の評価点傾向

図 4.4.8 と図 4.4.9 より、床版の耐荷性を除き、初期知識による評価に比べアンケート評価の値が低い値を示している。これは 4.4.2 項でも述べたとおり、基本的には、専門家の主観による評価は各評価ランクの最低点を入力する厳しい評価となるからである。その他の要因としては、次に示す要因が挙げられる。

- ① 耐荷性と耐久性の評価として、両橋梁ともその直下にある階層の複数の評価項目の最低評価ランクをつけている専門家が多かった。
- ② 主桁と床版ともに耐久性に比べ耐荷性が高いのは、両橋梁とも 1~2 名の割合で、設計荷重が小さいのに現状の交通量に橋梁が耐えていることから、使用条件評価を高評価していると思われる専門家がいた。
- ③ ②とは反対に主桁と床版ともに耐荷性に比べ耐久性が低いのは、両橋梁とも高齢化橋梁（ここでは撤去橋梁）なので、コンクリートの劣化を考慮して低い評価をしていると思われる専門家がかった。
- ④ 他のアンケート評価とは異なり床版の耐荷性の平均値が高くなっているのは、耐荷特性評価の初期知識の値が低く、また、両橋梁の半数近くの専門家が、床版の変状が少なかったことを考慮して床版の構造上の耐荷力を評価する耐荷特性評価を高評価とすることで、平均点が上昇している。

### (2) 全標本学習法による評価点傾向

(1)と同様に図 4.4.8 と図 4.4.9 より、初期知識の評価とアンケート評価を結ぶ線に比べアンケート評価と全標本学習法による評価を結ぶ線の方が緩やかなので、全標本学習法による評価結果はアンケート評価の値に近づいていることがわかる。これは、多数の主観によるアンケート評価を学習することにより、RC-BREX が専門家の知識を抽出し、健全度評価に良い影響を与えた結果といえる。表 4.4.2 と表 4.4.3 に示すとおり、全標本学習法による評価と専門家のそれぞれの学習後の評価平均値を比べてみても、全標本学習法による評価の値がアンケート評価の値に概ね近い結果となっている。これからも主観によるアンケート評価の学習を重ねることで、RC-BREX が専門家の知識を抽出していることがわかる。

### (3) 初期知識による評価と学習後の評価比較

最後に、表 4.4.2 と表 4.4.3 の学習後の評価の平均値と初期知識による評価を比べると、主桁と床版の耐荷性の評価に関しては、同ランクの評価であり 10 点以内の評価差しかない。しかし、主桁と床版の耐久性の評価に関しては、1 ランク上もしくは同ランクでも平均で 20 点近い評価差がある。これは、4.4.2 項で述べた耐久性評価の下層にある環境条件評価が影響している。また、この点を環境条件評価の評価方法を明確に表現することにより、4.4.2 項でも述べたが、本項においても通常点検レベルの評価として用いるのであれば、初期知識の評価結果も活用できるものであるといえる。

### (4) 実際の点検業務での活用について

今回の検証では、同一時期に複数人の専門家により得られた点検データを用いることによって、専門家の知識を反映した評価システムが構築できていることが判明した。しかし、実業務にて本 RC-BREX を用いる場合には、同時期に複数人の専門家から得られることは難しく、点検調査時期が数年おきと異なり、補修等を施さなければ橋梁は劣化していくので、一般的に考えればアンケート評価は悪い方に評価されていく傾向にあるはずである。実際の点検業務では、2～3人の少人数で行う点検調査が主であり、現状の RC-BREX においても少人数の点検データを用いて評価を行っても有用であるかどうか検証する必要がある。また、本 RC-BREX は詳細点検に適するシステムであるので、詳細点検が行われ RC-BREX で評価したのちに橋梁の補修等が施されることもある。その場合には、橋梁の健全度である評価点は回復し、次回の詳細点検時に過去のアンケート評価を用いるか否かという課題もある。

また、現状の RC-BREX はアンケート評価の際に、ひび割れなどの個々の変状評価を行い入力していくシステムである。実橋梁への RC-BREX の適用を行う時の点検データ採取の際、個々の変状の評価を行うと、その評価に多くの時間を費やすことになる。本研究においても多くの変状を評価してもらっているが、変状数が多くなると専門家でもその評価が「雑」になっている可能性もある。そこで、専門家によるひび割れなどの個々の変状とその変状評価を RC-BREX 内に蓄積し、新たな変状を入力すると蓄積された変状評価をもとに RC-BREX が評価するシステムへ再構築することが考えられる。これにより、専門家は耐荷性や耐久性などの評価プロセスの上位階層の評価だけを行えば済む評価システムとなり、実際の点検業務においても活用しやすいのではないかと考える。そのためには、RC-BREX を再構築したのちに、既設橋梁を用いて多くの変状データの採取やシステムの検証を行う必要がある。



## 第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

### 4.4.4 各専門家の評価結果

ここでは、4.4節で用いた各橋梁の各専門家の評価結果を示す。表4.4.4～表4.4.9は旧KT橋、表4.4.10～表4.4.17は旧SK橋の各専門家による評価結果の比較表である。

表 4.4.4 旧 KT 橋の専門家 A による評価結果比較

専門家A		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	30.88	S-D	12.50	S-D	33.29	S-D	30.09	S-D
		劣化度評価	61.77	Mo-D	12.50	S-D	42.17	Mo-D	47.76	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	12.50	S-D	19.27	S-D	12.43	U
	耐久性	耐久性評価	61.77	Mo-D	12.50	S-D	37.05	S-D	41.68	Mo-D
		変状評価	74.68	Mi-D	62.50	Mi-D	70.86	Mi-D	74.66	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	37.50	Mo-D	29.46	S-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.34	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	33.44	S-D	12.50	S-D	51.28	Mo-D	27.52	S-D
		劣化度評価	66.87	Mi-D	12.50	S-D	71.75	Mi-D	50.27	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.66	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	66.87	Mi-D	12.50	S-D	55.36	Mo-D	51.08	Mo-D
		変状評価	89.99	S	12.50	S-D	90.11	S	89.77	S
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	37.50	Mo-D	29.46	S-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	37.48	S-D	34.02	S-D	

表 4.4.5 旧 KT 橋の専門家 B による評価結果比較

専門家B		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	30.29	S-D	37.50	Mo-D	33.53	S-D	26.33	S-D
		劣化度評価	60.58	Mo-D	37.50	Mo-D	42.98	Mo-D	44.66	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	62.50	Mi-D	19.27	S-D	18.85	S-D
	耐久性	耐久性評価	60.58	Mo-D	37.50	Mo-D	23.57	S-D	62.46	Mo-D
		変状評価	71.11	Mi-D	37.50	Mo-D	45.76	Mo-D	78.18	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	62.50	Mi-D	37.50	Mo-D	62.49	Mo-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	62.50	Mi-D	33.34	S-D	62.52	Mi-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	33.83	S-D	62.50	Mi-D	51.59	Mo-D	46.61	Mo-D
		劣化度評価	67.65	Mi-D	62.50	Mi-D	72.98	Mi-D	74.36	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	62.50	Mi-D	19.66	S-D	18.85	S-D
	耐久性	耐久性評価	67.65	Mi-D	62.50	Mi-D	56.34	Mo-D	74.36	Mi-D
		変状評価	92.33	S	62.50	Mi-D	93.39	S	98.06	S
		使用条件評価	43.95	Mo-D	62.50	Mi-D	37.50	Mo-D	62.49	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	62.50	Mi-D	37.48	S-D	62.50	Mi-D	

表 4.4.6 旧 KT 橋の専門家 C による評価結果比較

専門家C		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.11	S-D	37.50	Mo-D	33.53	S-D	29.93	S-D
		劣化度評価	58.22	Mo-D	37.50	Mo-D	42.98	Mo-D	40.65	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.27	S-D	19.21	S-D
	耐久性	耐久性評価	58.22	Mo-D	12.50	S-D	39.05	Mo-D	55.99	Mo-D
		変状評価	64.04	Mi-D	12.50	S-D	74.10	Mi-D	76.01	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	62.50	Mi-D	37.50	Mo-D	62.49	Mo-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.34	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	33.99	S-D	87.50	S	51.59	Mo-D	51.82	Mo-D
		劣化度評価	67.97	Mi-D	87.50	S	72.98	Mi-D	83.85	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	87.50	S	19.66	S-D	19.79	S-D
	耐久性	耐久性評価	67.97	Mi-D	87.50	S	56.34	Mo-D	83.85	Mi-D
		変状評価	93.30	S	87.50	S	93.39	S	93.30	S
		使用条件評価	43.95	Mo-D	87.50	S	37.50	Mo-D	70.86	Mi-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	87.50	S	37.48	S-D	87.38	Mi-D	

## 第 4 章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

表 4.4.7 旧 KT 橋の専門家 D による評価結果比較

専門家D			初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク
主桁	耐荷性	耐荷性評価	32.65	S-D	12.50	S-D	33.53	S-D	26.81	S-D
		劣化度評価	65.30	Mi-D	12.50	S-D	42.98	Mo-D	48.56	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.27	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	65.30	Mi-D	12.50	S-D	39.05	Mo-D	44.86	Mo-D
		変状評価	85.29	Mi-D	12.50	S-D	74.10	Mi-D	71.11	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	37.50	Mo-D	29.46	S-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.34	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	35.02	S-D	37.50	Mo-D	52.14	Mo-D	45.49	Mo-D
		劣化度評価	70.04	Mi-D	37.50	Mo-D	75.16	Mi-D	55.60	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	12.50	S-D	19.66	S-D	12.43	U
	耐久性	耐久性評価	70.04	Mi-D	37.50	Mo-D	58.21	Mo-D	54.39	Mo-D
		変状評価	99.50	S	37.50	Mo-D	99.61	S	99.51	S
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	37.50	Mo-D	29.46	S-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	37.48	S-D	34.02	S-D	

表 4.4.8 旧 KT 橋の専門家 E による評価結果比較

専門家E			初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク
主桁	耐荷性	耐荷性評価	32.65	S-D	37.50	Mo-D	33.53	S-D	34.63	S-D
		劣化度評価	65.30	Mi-D	12.50	S-D	42.98	Mo-D	42.01	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.27	S-D	19.21	S-D
	耐久性	耐久性評価	65.30	Mi-D	12.50	S-D	39.05	Mo-D	44.05	Mo-D
		変状評価	85.29	Mi-D	12.50	S-D	74.10	Mi-D	64.04	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	37.50	Mo-D	37.56	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.34	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	33.83	S-D	62.50	Mi-D	50.76	Mo-D	39.16	Mo-D
		劣化度評価	67.65	Mi-D	12.50	S-D	69.66	Mi-D	51.98	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	62.50	Mi-D	19.66	S-D	18.85	S-D
	耐久性	耐久性評価	67.65	Mi-D	12.50	S-D	52.89	Mo-D	52.19	Mo-D
		変状評価	92.33	S	12.50	S-D	81.88	Mi-D	85.20	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	37.50	Mo-D	37.56	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	0.00	U	37.48	S-D	34.22	S-D	

表 4.4.9 旧 KT 橋の専門家 F による評価結果比較

専門家F			初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.12	S-D	37.50	Mo-D	33.53	S-D	35.17	S-D
		劣化度評価	58.23	Mo-D	37.50	Mo-D	42.98	Mo-D	51.14	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.27	S-D	19.21	S-D
	耐久性	耐久性評価	58.23	Mo-D	12.50	S-D	39.05	Mo-D	48.42	Mo-D
		変状評価	64.07	Mi-D	12.50	S-D	74.10	Mi-D	76.01	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	37.50	Mo-D	37.56	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.34	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	33.44	S-D	62.50	Mi-D	50.76	Mo-D	44.66	Mo-D
		劣化度評価	66.87	Mi-D	62.50	Mi-D	69.66	Mi-D	70.46	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	62.50	Mi-D	19.66	S-D	18.85	S-D
	耐久性	耐久性評価	66.87	Mi-D	37.50	Mo-D	52.89	Mo-D	55.06	Mo-D
		変状評価	89.99	S	37.50	Mo-D	81.88	Mi-D	89.94	S
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	37.50	Mo-D	37.56	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	37.48	S-D	37.67	Mo-D	

## 第 4 章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

表 4.4.10 旧 SK 橋の専門家 A による評価結果比較

専門家A		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.11	S-D	62.50	Mi-D	23.28	S-D	40.73	Mo-D
		劣化度評価	58.22	Mo-D	62.50	Mi-D	32.65	S-D	64.94	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	87.50	S	19.15	S-D	19.79	S-D
	耐久性	耐久性評価	58.22	Mo-D	37.50	Mo-D	30.57	S-D	44.67	Mo-D
		変状評価	64.04	Mi-D	62.50	Mi-D	49.83	Mo-D	64.07	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	62.50	Mi-D	14.36	S-D	62.49	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	33.94	S-D	37.67	Mo-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	30.86	S-D	62.50	Mi-D	51.20	Mo-D	40.94	Mo-D
		劣化度評価	61.72	Mo-D	62.50	Mi-D	56.59	Mo-D	63.03	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	62.50	Mi-D	19.85	S-D	18.85	S-D
	耐久性	耐久性評価	61.72	Mo-D	37.50	Mo-D	54.91	Mo-D	52.79	Mo-D
		変状評価	74.53	Mi-D	37.50	Mo-D	67.50	Mi-D	83.13	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	12.69	S-D	37.56	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	33.93	S-D	37.67	Mo-D	

表 4.4.11 旧 SK 橋の専門家 B による評価結果比較

専門家B		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	30.88	S-D	37.50	Mo-D	24.82	S-D	46.69	Mo-D
		劣化度評価	61.77	Mo-D	37.50	Mo-D	35.98	S-D	51.85	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.15	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	61.77	Mo-D	12.50	S-D	32.69	S-D	39.82	Mo-D
		変状評価	74.68	Mi-D	12.50	S-D	56.00	Mo-D	56.97	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	14.36	S-D	29.46	S-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	33.94	S-D	37.67	Mo-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	32.29	S-D	62.50	Mi-D	53.16	Mo-D	51.79	Mo-D
		劣化度評価	64.58	Mi-D	62.50	Mi-D	61.49	Mo-D	56.18	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.85	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	64.58	Mi-D	62.50	Mi-D	55.73	Mo-D	57.49	Mo-D
		変状評価	83.13	Mi-D	62.50	Mi-D	70.74	Mi-D	80.81	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	12.69	S-D	29.46	S-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	33.93	S-D	37.67	Mo-D	

表 4.4.12 旧 SK 橋の専門家 C による評価結果比較

専門家C		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.11	S-D	12.50	S-D	23.28	S-D	17.11	S-D
		劣化度評価	58.22	Mo-D	37.50	Mo-D	32.65	S-D	48.54	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	12.50	S-D	19.15	S-D	12.43	U
	耐久性	耐久性評価	58.22	Mo-D	37.50	Mo-D	30.57	S-D	55.87	Mo-D
		変状評価	64.04	Mi-D	37.50	Mo-D	49.83	Mo-D	71.10	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	62.50	Mi-D	14.36	S-D	62.49	Mo-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.94	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	32.65	S-D	37.50	Mo-D	53.16	Mo-D	43.05	Mo-D
		劣化度評価	65.30	Mi-D	37.50	Mo-D	61.49	Mo-D	48.37	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	12.50	S-D	19.85	S-D	12.43	U
	耐久性	耐久性評価	65.30	Mi-D	37.50	Mo-D	55.73	Mo-D	45.60	Mo-D
		変状評価	85.29	Mi-D	37.50	Mo-D	70.74	Mi-D	56.83	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	12.69	S-D	29.46	S-D
	環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.93	S-D	34.02	S-D	

## 第 4 章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

表 4.4.13 旧 SK 橋の専門家 D による評価結果比較

専門家D		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.11	S-D	0.00	U	25.53	S-D	21.60	S-D
		劣化度評価	58.22	Mo-D	0.00	U	37.53	Mo-D	43.19	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.15	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	58.22	Mo-D	0.00	U	30.59	S-D	37.04	S-D
		変状評価	64.04	Mi-D	0.00	U	49.88	Mo-D	49.86	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	0.00	U	14.36	S-D	27.27	S-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.94	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	31.88	S-D	0.00	U	53.16	Mo-D	27.31	S-D
		劣化度評価	63.77	Mi-D	0.00	U	61.50	Mo-D	42.69	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	12.50	S-D	19.85	S-D	12.43	U
	耐久性	耐久性評価	63.77	Mi-D	0.00	U	55.73	Mo-D	44.04	Mo-D
		変状評価	80.69	Mi-D	37.50	Mo-D	70.74	Mi-D	77.46	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	0.00	U	12.69	S-D	27.27	S-D
環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.93	S-D	34.02	S-D		

表 4.4.14 旧 SK 橋の専門家 E による評価結果比較

専門家E		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	30.29	S-D	12.50	S-D	23.28	S-D	16.19	S-D
		劣化度評価	60.58	Mo-D	37.50	Mo-D	32.66	S-D	47.20	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.15	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	60.58	Mo-D	12.50	S-D	30.59	S-D	45.06	Mo-D
		変状評価	71.11	Mi-D	12.50	S-D	49.88	Mo-D	71.69	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	14.36	S-D	29.46	S-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.94	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	32.65	S-D	37.50	Mo-D	53.16	Mo-D	35.62	S-D
		劣化度評価	65.30	Mi-D	62.50	Mi-D	61.49	Mo-D	58.51	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	0.00	U	19.85	S-D	0.00	U
	耐久性	耐久性評価	65.30	Mi-D	62.50	Mi-D	55.73	Mo-D	57.78	Mo-D
		変状評価	85.29	Mi-D	62.50	Mi-D	70.74	Mi-D	82.20	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	12.50	S-D	12.69	S-D	29.46	S-D
環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	33.93	S-D	37.67	Mo-D		

表 4.4.15 旧 SK 橋の専門家 F による評価結果比較

専門家F		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	27.93	S-D	37.50	Mo-D	25.53	S-D	31.63	S-D
		劣化度評価	55.86	Mo-D	37.50	Mo-D	37.53	Mo-D	44.05	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.15	S-D	19.21	S-D
	耐久性	耐久性評価	55.86	Mo-D	37.50	Mo-D	32.69	S-D	45.58	Mo-D
		変状評価	56.97	Mo-D	12.50	S-D	56.00	Mo-D	56.97	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	37.50	Mo-D	14.36	S-D	37.56	Mo-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.94	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	31.10	S-D	87.50	S	53.16	Mo-D	50.85	Mo-D
		劣化度評価	62.20	Mo-D	87.50	S	61.49	Mo-D	81.91	Mi-D
		耐荷特性評価	0.00	U	87.50	S	19.85	S-D	19.79	S-D
	耐久性	耐久性評価	62.20	Mo-D	65.20	Mi-D	55.73	Mo-D	59.86	Mo-D
		変状評価	75.98	Mi-D	62.50	Mi-D	70.74	Mi-D	71.06	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	87.50	S	12.69	S-D	70.86	Mi-D
環境条件評価	66.67	Mi-D	37.50	Mo-D	33.93	S-D	37.67	Mo-D		

## 第 4 章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

表 4. 4. 16 旧 SK 橋の専門家 G による評価結果比較

専門家G		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	27.93	S-D	12.50	S-D	25.74	S-D	27.64	S-D
		劣化度評価	55.86	Mo-D	0.00	U	33.97	S-D	40.60	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	12.50	S-D	19.15	S-D	12.43	U
	耐久性	耐久性評価	55.86	Mo-D	12.50	S-D	33.83	S-D	37.49	S-D
		変状評価	56.97	Mo-D	12.50	S-D	59.31	Mo-D	49.89	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	0.00	U	14.36	S-D	27.27	S-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.94	S-D	34.02	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	32.29	S-D	62.50	Mi-D	53.46	Mo-D	37.08	S-D
		劣化度評価	64.59	Mi-D	87.50	S	62.23	Mo-D	57.95	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	87.50	S	19.85	S-D	19.79	S-D
	耐久性	耐久性評価	64.59	Mi-D	37.50	Mo-D	55.55	Mo-D	45.91	Mo-D
		変状評価	83.14	Mi-D	62.50	Mi-D	70.02	Mi-D	67.61	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	0.00	U	12.69	S-D	27.27	S-D
環境条件評価	66.67	Mi-D	12.50	S-D	33.93	S-D	34.02	S-D		

表 4. 4. 17 旧 SK 橋の専門家 H による評価結果比較

専門家H		初期知識	評価ランク	アンケート結果	評価ランク	全標本学習法	評価ランク	学習後	評価ランク	
主桁	耐荷性	耐荷性評価	29.12	S-D	12.50	S-D	25.53	S-D	28.41	S-D
		劣化度評価	58.23	Mo-D	0.00	U	37.53	Mo-D	38.93	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.15	S-D	19.21	S-D
	耐久性	耐久性評価	58.23	Mo-D	12.50	S-D	35.45	S-D	39.88	Mo-D
		変状評価	64.07	Mi-D	12.50	S-D	64.02	Mi-D	56.97	Mo-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	0.00	U	14.36	S-D	27.27	S-D
環境条件評価		66.67	Mi-D	0.00	U	33.94	S-D	34.22	S-D	
床版	耐荷性	耐荷性評価	32.73	S-D	87.50	S	53.20	Mo-D	42.44	Mo-D
		劣化度評価	65.46	Mi-D	87.50	S	61.57	Mo-D	51.93	Mo-D
		耐荷特性評価	0.00	U	37.50	Mo-D	19.85	S-D	19.21	S-D
	耐久性	耐久性評価	65.46	Mi-D	87.50	S	55.75	Mo-D	47.72	Mo-D
		変状評価	85.77	Mi-D	62.50	Mi-D	70.80	Mi-D	74.70	Mi-D
		使用条件評価	43.95	Mo-D	0.00	U	12.69	S-D	27.27	S-D
環境条件評価	66.67	Mi-D	0.00	U	33.93	S-D	34.22	S-D		

### 4.5 結言

本章では、橋梁の架け替えに伴い取り壊される RC 橋を用いて、データ収集のための詳細な点検を行い、定量的なデータを入力して、様々な観点から RC-BREX の検証を行ってきた。その結果、定量的な専門家の知識を反映したシステムが構築できたものと考えられる。

以下に、本研究で得られた検証結果をまとめる。

- ① 専門家の業種によって変状の認識が異なっていると思われる結果を得た。補修・補強施工を業務とされている専門家は比較的確認した変状が少なく、これに対して、コンサルタントなど点検業務をされている専門家は確認した変状が多かった。これは、発生している変状を管理者に報告する専門家とその結果をもとに進行性や緊急性の高い変状を補修する専門家とで“見る目”が異なっているためであると考えられる。
- ② 上述①にも関連するが、各専門家にて変状個数の差があるにも関わらず評価結果には差がほとんど生じていない。これは、RC-BREXが単に変状の個数だけで評価しているのではなく、各変状の損傷程度をもとに評価しているためであるといえる。
- ③ 専門家別に学習させた評価は、定量的な評価と主観的な知識を併せ持った有用なデータである。
- ④ 全標本学習後の評価結果はアンケート評価の値に近い結果となっており、主観によるアンケート評価の学習を重ねることで、RC-BREXが専門家の知識を抽出して評価に反映させていることが確認できた。
- ⑤ 多少の改良点は必要であるが、通常点検レベルの評価として用いるのであれば、初期知識の評価結果も活用できるものであるといえる。

また、最後に既存や新規の点検データより RC-BREX の検証を行い、RC-BREX を今後より有効に利用していくために必要な課題などをまとめた。

- ① 経験豊富な専門家が利用することを想定しているRC-BREXであるため、RC-BREXに備わっている利用者を補助する「What機能」<sup>6)</sup>と「Why機能」<sup>6)</sup>が装備されていない。誰でも利用しやすいシステムとするためにはこのような補助機能を装備する必要がある。
- ② 専門家個人の知識や経験、現在の業種などの差異により点検データに“ばらつき”が生じていた。このばらつきの解消策として、点検前に専門家間での変状確認に関する情報交換や点検練習用の橋梁3次元CGモデル<sup>7)</sup>などを活用することで専門家各人の損傷の共通認識化を図ることが必要である。
- ③ 橋梁の損傷度合いによっては、多くの変状データをRC-BREXに入力することになる。現状のRC-BREXでは、変状図から変状一覧表を作成し、その後システム上にデータを直接入力している。本研究でもいくつか見られたが、システムへの入力の際に入力間違いが発生する可能性がある。「.xlsx」や「.csv」などのファイルをインポートできるようにすることで、一段階作業手間が省け、入力間違いもなくなるので、早期に改

## 第4章 J-BMS RC版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証

---

良を必要とする箇所である。

- ④ ひび割れの変状点検項目の中に、ひび割れの長さを入力する項目がない。補修時のひび割れ注入剤の注入量算出時には、ひび割れの長さが必要になってくるので変状点検項目に追加する必要がある。
- ⑤ 今回、特にアンケート評価の「環境条件評価」において、専門家間に評価の違いが生じていたので、アンケートの内容を細分化するなど再考する必要があると思われる。
- ⑥ 全標本学習法はアンケート評価を一つずつ学習させることから、専門家の知識を抽出して評価に反映させているが、最後に学習させたアンケート評価に影響を受けて評価をしている傾向もみられる。また、アンケート評価の値が非常に低い値の場合には、学習を重ねる際に、学習に十分反映されていない可能性もある。アンケート評価の値を変えるなどして検証してみる必要がある。また、同時期に採取された複数のアンケート評価を用いる場合には、そのアンケート評価の平均値を学習させる方法もあり、学習させた評価の値がアンケート評価の値に近づくか検証する必要がある。
- ⑦ 東日本大震災以降、多くの橋梁で耐震補強工事などが実施されていることから、道路管理者には多くの橋梁の詳細点検データがあると思われる。今後それらの補強や補修が行われる橋梁の詳細点検データを用いるなどして、多くの点検データや教師データを収集しRC-BREXの信頼性の向上を図る。
- ⑧ 個々の変状の評価を行うと、その評価に多くの時間を費やすことになる。そこで、専門家によるひび割れなどの個々の変状とその変状評価をRC-BREX内に蓄積し、新たな変状を入力すると蓄積された変状評価をもとにRC-BREXが評価するシステムへ再構築することが考えられる。これにより、専門家は耐荷性や耐久性などの評価プロセスの上位階層の評価を行えば済む評価システムとなり、実際の点検業務においても活用しやすいのではないかと考える。

### 参考文献

- 1) 宮本文穂, 江本久雄, 高橋順: 旧厚東川大橋の果たした役割と撤去時健康診断～現地調査結果の最終報告集～, 山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.15, 2011.3.
- 2) Ayaho Miyamoto, Hisao Emoto, Hiroyoshi Asano: Advanced Performance Evaluation System for Existing Concrete Bridges, Computers & Concrete, Techno-Press (Impact Factor: 0.936), Vol.14, No.6, 2014.12.
- 3) 勝島龍郎: J-BMS 開発の変遷と実橋梁での検証法, 山口大学大学院理工学研究科修士論文, 2014.3.
- 4) 宮本文穂, 浅野寛元, 江本久雄, 勝島龍郎: RC 橋維持管理支援システム(J-BMS RC版)の開発と実橋への適用, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), (投稿中)
- 5) 山口県土木建築部道路整備課, 山口大学工学部知能情報システム工学科システム設計工学研究室: J-BMS のための点検マニュアルとその利用一定期点検, 結果検証, データベースシステム一, 2003.8.
- 6) 浅野寛元, 住居孝紀, 勝島龍郎, 宮本文穂: J-BMS PC 版の開発と実橋梁への適用, 山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.18, 2012.6.
- 7) 内村俊二, 澤村修司, 宮本文穂: バーチャルリアリティを活用した橋梁目視点検支援システムの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1399-1404, 2010.



## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

### 5.1 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の検証概要

本章では、現在供用中の PC 橋を用いて、データ採取のために通常点検時と同程度の目視点検を行い、採取した点検データを PC-BREX に入力して得た診断結果をまとめ、様々な観点から PC-BREX の検証を行った<sup>1)~3)</sup>。3.3.4 項で述べたとおり、PC-BREX には現状学習機能が備わっていないため、定量システムの「初期知識による評価」に該当する評価が基本となっている。

### 5.2 点検調査の目的

約 50 年前から架設されたコンクリート橋の多くは、RC 橋から PC 橋へと代わってきている。これにより、今後はコンクリート橋の大多数を占める PC 橋が高齢化橋梁となっていく時代がやってくる。点検調査は、こうした PC 橋の維持管理業務に活かせるような知見を得る目的で実施したものである。PC 橋は RC 橋に比べ比較的新しい橋梁であることから、前述したとおり、RC-BREX のような定量的な点検調査を行わず、通常点検程度の定性的な点検調査とした。

### 5.3 検証対象橋梁および現地調査

#### 5.3.1 検証対象橋梁

PC-BREX の検証対象とした橋梁は、美祢市の管理橋梁 1 橋と山口県の管理橋梁 6 橋である。PC-BREX の検証における点検調査には、山口大学の学生にも参加してもらっており、点検調査に不慣れな学生の安全性を第一に考慮して検証対象橋梁を選定した。

表 5.3.1 に示すように、PC-BREX はポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋を上部工形式として推奨している。検証対象とした美祢市の管理橋梁は、PC-BREX が推奨するポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋（以下、PCT 桁橋）である。同様に山口県の管理橋梁 6 橋では、PCT 桁橋の上部工形式だけでなく、プレテンション方式 PC 単純床版橋（以下、PCI 桁）や PC 単純中空床版橋であり、このような橋梁形式においても PC-BREX で健全度評価が可能か検証を行った。

表 5.3.1 PC-BREX 評価推奨橋梁

	PC-BREX 推奨橋梁
上部工形式	ポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋
橋 齢	30～50年
スパン長	20～30m
主桁本数	8～10本
全幅員	10～15m
大型交通量	10,000台/12h

## 第5章 J-BMS PC版(PC-BREX)の実橋への適用および検証

### (1) 美祢市の管理橋梁

点検対象とした橋梁は、美祢市の中央付近に架かっている MH 橋である。表 5.3.2 に MH 橋の諸元と PC-BREX の推奨橋梁を、写真 5.3.1 には MH 橋の現況写真を示す。また、点検橋梁の選定理由を以下に示す。

- ① 橋梁の下が歩道となっているため、目視点検の経験のない学生でも安全に点検を行うことができる。
- ② 桁下高が低いため目視点検を行いやすい。
- ③ 小さな損傷がいくつも点在しており、点検者による損傷の認識の違いを得るには最適である。

表 5.3.2 MH 橋諸元と推奨橋梁一覧表

	検証対象橋梁	PC-BREX推奨橋梁
橋梁名	MH橋	—
形式	PCT桁橋	ポストテンション方式PC単純T桁橋
スパン長	25.0m	20～30m
主桁本数	4本	8～10本
全幅員	6.3m	10～15m
橋 齢	41年	30～50年
橋 格	一等橋（推定）	—
道路種別	市町村道	—
大型車交通量	0台/12h	10,000台/12h



写真 5.3.1 MH 橋の現況写真（2011 年現在）

## 第5章 J-BMS PC版（PC-BREX）の実橋への適用および検証

### (2) 山口県の管理橋梁

平成19年度に山口県土木建築部の2つの出先機関である土木建築事務所管内（平成22年度に実施された山口県の組織再編整備で対象とした2つの出先機関は統合された）にて実施された、通常橋梁点検の橋梁点検調書データを山口県土木建築部より借用し、このデータをもとに検証対象橋梁の選定を行った。

#### 1) 選定方法

選定方法を以下に示す。

- ① 橋梁点検調書データの中からPC橋を抽出
- ② ①のPC橋の内、主としてT桁橋とPC床版橋の172橋を抽出  
PC床版橋の架設数も多く、PC-BREXがどのような評価をするか確認するために抽出
- ③ ②の172橋の内、損傷のひどかった（多い）橋梁の20橋を抽出  
架橋数の少ないPC単純中空床版橋に関しては、無条件で抽出  
PC単純中空床版橋についても、PC-BREXがどのような評価をするか確認のため抽出
- ④ ③の20橋と中空床版橋（3橋）について現地踏査を行い、点検時の安全性や点検の容易さ、駐車スペースの有無などを考慮し、点検対象橋梁を選定

#### 2) 選定橋梁

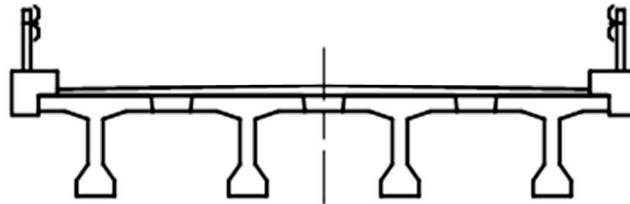
点検時の安全性や点検の容易さなどから選定した結果、表5.3.3に示す上部工形式が選定された。PCI桁橋は、プレテンション方式PC単純床版橋で桁断面がI型をしており、昭和末期くらいまで架設されていた古い形式の桁橋である。

表 5.3.3 検証橋梁一覧表

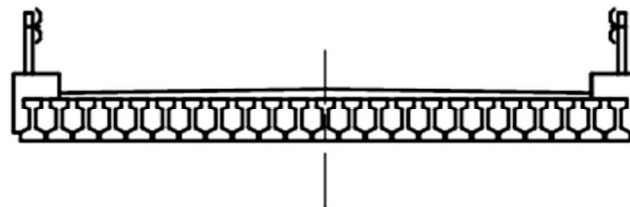
上部工形式	管理事務所	橋梁名
PCT桁橋	旧U土木建築事務所	KS橋
	旧U土木建築事務所	NS跨線橋
	旧U土木建築事務所	DZ橋
PCI桁橋	旧M土木事務所	OT橋
	旧U土木建築事務所	KF橋
PC中空床版橋	旧M土木事務所	SK橋

3) 標準断面図

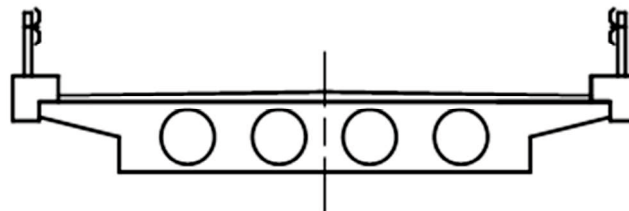
選定された PCT 桁橋や PCI 桁橋，PC 中空床版桁橋の標準的な断面図を，図 5.3.1 に示す．PCT 桁橋に関しては，(1)の MH 橋も同様の断面である．



(a) PCT 桁橋



(b) PCI 桁橋



(c) PC 中空床版橋

図 5.3.1 標準断面図

## 第5章 J-BMS PC版（PC-BREX）の実橋への適用および検証

### 4) 橋梁諸元

表 5.3.4 に PCT 桁橋, 表 5.3.5 に PCI 桁橋と PC 中空床版橋の検証対象橋梁の諸元を示す. また, 写真 5.3.2~写真 5.3.7 にはそれぞれの橋梁の現況写真を示す. なお, 写真 5.3.6 と写真 5.3.7 に関しては, 点検調査データに既存する写真を掲載している.

表 5.3.4 PCT 桁橋の橋梁諸元一覧表

橋梁名	点検橋梁			PC-BREX推奨橋梁
	KS橋	NS跨線橋	DZ橋	—
形式	PCT桁橋	←	←	ホーステンション方式PC単純T桁橋
スパン長	20.9m	15.5m	15.6m	20~30m
主桁本数	9	10	8	8~10本
全幅員	12.8m	12.5m	7.0m	10~15m
橋 齡	46年	38年	37年	30~50年
橋 格	一等橋	二等橋	二等橋	—
道路種別	都道府県道	←	←	—
大型車交通量	844台/12h	1087台/12h	520台/12h	10,000台/12h

表 5.3.5 PCI 桁橋と PC 中空床版橋の橋梁諸元一覧表

橋梁名	点検橋梁			PC-BREX推奨橋梁
	OT橋	KF橋	SKT橋	—
形式	PCI桁橋	←	PC中空床版橋	ホーステンション方式PC単純T桁橋
スパン長	13.1m	8.0m	28.2	20~30m
主桁本数	33	12	8	8~10本
全幅員	11.4m	3.8m	11.5m	10~15m
橋 齡	49年	31年	13年	30~50年
橋 格	一等橋	二等橋	B活荷重(一等橋)	—
道路種別	一般国道	都道府県道	←	—
大型車交通量	826台/12h	19台/12h	83台/12h	10,000台/12h



(a) 側 下



(b) 桁 下

写真 5.3.2 KS 橋の現況写真 (2011 年現在)



(a) 側 下

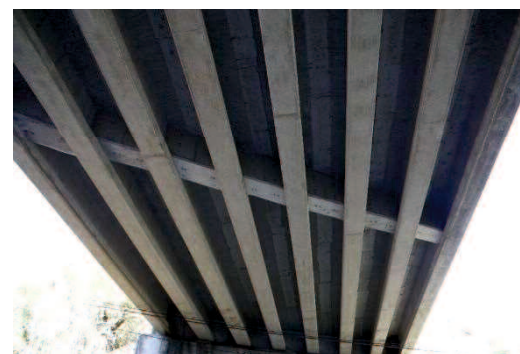


(b) 桁 下

写真 5.3.3 NS 跨線橋の現況写真 (2011 年現在)



(a) 側 下

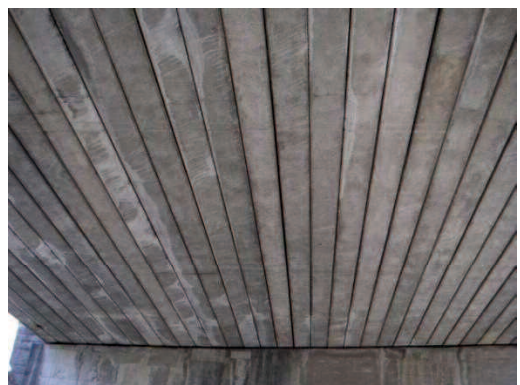


(b) 桁 下

写真 5.3.4 DZ 橋の現況写真 (2011 年現在)



(a) 側 下



(b) 桁 下

写真 5.3.5 OT 橋の現況写真 (2011 年現在)



写真 5.3.6 KF 橋の側面写真



写真 5.3.7 SKT 橋の桁下写真

### 5.3.2 点検調査概要

検証対象橋梁に対する現地調査方法としては、通常点検時と同程度の目視点検を実施した。検証対象橋梁選定の際に、点検に不慣れな学生でも容易に点検調査可能な橋梁を選定しているため、特に足場等の仮設工は必要なく、双眼鏡等を用い点検調査を実施した。また、NS 跨線橋は多径間の橋梁であるが、点検調査実施した箇所は歩道と交差している 1 径間である。

美祢市の管理橋梁では、前述したとおり点検調査が容易に可能ということで、学生 5 名と専門家 4 名によって点検調査を実施した。但し、点検日は異なる。また、山口県の管理橋梁では、学生 2 名と専門家 1 名の計 3 名を 1 グループ（以下、研究グループ）として点検調査を実施した。これは、実業務では通常 2～3 人で橋梁点検を実施することが多く、実態に合わせるためであり、研究グループでは学生と専門家の区別を設けず点検者として表記している。

### 5.3.3 点検者の経歴

本検証においては、橋梁の構造や維持管理に関する基礎的事項を学んだ山口大学（理工学研究科と社会建設学科）の学生と、民間コンサルタント会社に勤務する橋梁の設計や維持管理に携わって 10 年以上の経験を有する専門家に協力を仰ぎ、橋梁の目視点検を行った。PC-BREX は定性的なシステムなので、点検調査時の点検項目の多くは定性的な質問であることから、橋梁の点検経験が少ない自治体職員や民間コンサルタント会社の専門家を想定して山口大学の学生に点検を実施してもらい検証を行った。

### 5.3.4 現地調査および点検データ採取

J-BMS PC版の実橋への適用のために、美祢市および山口県の管理橋梁にて通常点検と同程度の点検を実施し、新たに点検データを採取した。その点検データを用いて、PC-BREXの検証を行った。

#### (1) 目視点検

通常点検は、橋梁の損傷を早期に発見するとともに、橋梁の状態を適切に把握するための点検であるため、基本的には近接による目視点検が基本とされている。ただし、状況によっては遠望目視点検も可とされている。

学生にも点検調査が行いやすいように桁下高の低い橋梁を多く選定しているため、脚立等を用い、基本的には近接目視を行った。ただし、脚立を用いても近接できない橋梁では双眼鏡を用い点検を行った。目視点検は、PC-BREXの検証用アンケートとして作成した「PC 橋梁の耐用性評価アンケート ―システム検証のために―」<sup>4)</sup>（以下、点検アンケートとする）に準拠して実施した。写真 5.3.8 に目視点検の様子を示す。



写真 5.3.8 目視点検状況



(2) 点検データ採取

PC-BREXの定性システムでは、第4章のRC-BREXのように変状図の作成や変状記録一覧表、健全度評価などは実施せず、点検アンケートに橋梁の状況を記入していくのみである。

1) 点検アンケート

点検アンケートは、現地にて目視点検を行いPC-BREXへ入力するデータを採取するものである。

橋梁点検アンケートの一部を図5.3.2に示す。図5.3.2は、「間詰め部の遊離石灰の発生状況」を質問する項目を例として示している。損傷に関する質問項目は、「主観的な質問（発生の拡がりを問う質問）」および「客観的な質問（発生の個数を問う質問）」に分けられる。具体的な記入方法は以下のとおりである。

a) 発生箇所

目視点検において、各損傷の発生箇所数を記入する。図5.3.2の場合では、0.1m<sup>2</sup>以上の遊離石灰が2箇所あったことから、下段の①にチェックを入れて箇所数の2を記入している。もし、損傷が発生しなければ定性的な質問である図5.3.2の上段にある③の「発生していない」にチェックする。

b) 発生状況

各損傷の発生分布状況とその箇所数から、図5.3.2の上段にある①の損傷が「かなり発生している」もしくは、②の「発生している」にチェックする。この項目は回答者の主観によるものである。

図5.3.3と図5.3.4には、点検調査時に採取したある専門家のデータの一部を示す。他の専門家および学生も、同様のデータを記録している。

S1-4	間詰め部の遊離石灰の発生状況	<input checked="" type="checkbox"/> ①間詰め部にかなり発生している <input type="checkbox"/> ②発生している <input type="checkbox"/> ③発生していない
		<input checked="" type="checkbox"/> ①0.1m <sup>2</sup> 以上の遊離石灰が、[2]箇所以上発生している <input type="checkbox"/> ②0.1m <sup>2</sup> 未満の遊離石灰が、[ ]箇所以上発生している

図 5.3.2 点検アンケートの一部

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

### 調査項目

損傷番号	点検項目	点検内容
B13	大型車通行位置	<input type="checkbox"/> 両輪が床版の中央を通行する <input checked="" type="checkbox"/> 片輪が主桁の上を通行する <input type="checkbox"/> 両輪が主桁の上を通行する
B14	道路勾配	<input type="checkbox"/> 車両の制動に影響を与えるほど道路勾配がかなりきつい <input checked="" type="checkbox"/> 道路勾配はほとんどない
B15	信号機	<input type="checkbox"/> ある <input checked="" type="checkbox"/> ない
B16	工場地区	<input type="checkbox"/> 該当する <input checked="" type="checkbox"/> 該当しない
B17	港湾・湾岸地区	<input type="checkbox"/> 該当する <input checked="" type="checkbox"/> 該当しない
B18	寒冷地区	<input type="checkbox"/> 該当する <input checked="" type="checkbox"/> 該当しない
B19	排水管の詰まり	<input checked="" type="checkbox"/> ①全ての排水管が詰まっている もしくは、排水管が設置されていない <input type="checkbox"/> ②一部の排水管に詰まりがある <input type="checkbox"/> ③排水管は全く詰まっていない 詰まっている排水管数 ( 4 ) 全排水管数 ( 4 )
B20	段差、コルゲーション	<input type="checkbox"/> ①路面の至る所で凹凸、段差が著しい <input type="checkbox"/> ②路面の一部で凹凸、段差がある <input checked="" type="checkbox"/> ③見られない <input type="checkbox"/> ①20mm以上の橋軸直角方向への凸凹が[ ]箇所以上ある <input type="checkbox"/> ②10~20mmの橋軸直角方向への凸凹が[ ]箇所以上ある
B21	わだち削れ	<input type="checkbox"/> ①路面の至るところで見られる <input type="checkbox"/> ②路面の一部で見られる <input checked="" type="checkbox"/> ③見られない <input type="checkbox"/> ①橋軸直角方向に30mm以上の凸凹が[ ]箇所以上ある <input type="checkbox"/> ②橋軸直角方向に30mm~20mmの凸凹が[ ]箇所以上ある
B22	橋梁の異常なたわみ	<input type="checkbox"/> ①垂れ下がりが感じられる <input checked="" type="checkbox"/> ②そりが見られる <input type="checkbox"/> ③そりが見られない

図 5.3.3 調査項目記録の一例

### 主桁

主桁のひび割れは、土木研究所資料点検要領(案)のひび割れパターンと対応させて考えて下さい。支間中央部のひび割れパターン①(曲げひび割れ)、支間1/4部のひび割れパターン④(せん断ひび割れ)、シーースに沿ったひび割れパターン⑥、PC鋼材定着部のひび割れパターン⑦、パターン⑧と⑨は、PCのみのひび割れパターンです。

損傷番号	点検項目	点検内容
G1	支間中央部の損傷	
G1-1	支間中央部 ひび割れの拡がり	<input type="checkbox"/> ①支間中央部にかなり発生している <input checked="" type="checkbox"/> ②発生している <input type="checkbox"/> ③発生していない <input type="checkbox"/> ①最小間隔が50cm未満のひび割れが[ ]箇所以上発生している <input checked="" type="checkbox"/> ②最小間隔が50cm以上のひび割れが[2]箇所以上発生している
G1-2	支間中央部 最大ひび割れ幅	2.5 mm
G1-3	支間中央部 遊離石灰の発生状況	<input type="checkbox"/> ①支間中央部にかなり発生している <input checked="" type="checkbox"/> ②発生している <input type="checkbox"/> ③発生していない <input type="checkbox"/> ①0.1m <sup>2</sup> 以上の遊離石灰が、[ ]箇所以上発生している <input checked="" type="checkbox"/> ②0.1m <sup>2</sup> 未満の遊離石灰が、[4]箇所以上発生している
G1-4	支間中央部 コンクリートの剥離・鉄筋露出	<input type="checkbox"/> ①支間中央部にかなり発生している <input checked="" type="checkbox"/> ②発生している <input type="checkbox"/> ③発生していない <input type="checkbox"/> ①鉄筋が露出し、0.1m <sup>2</sup> 以上の剥離が、[ ]箇所以上発生している <input type="checkbox"/> ②鉄筋が露出し、0.1m <sup>2</sup> 未満の剥離が、[ ]箇所以上発生している <input type="checkbox"/> ③0.1m <sup>2</sup> 以上の剥離が、[ ]箇所以上発生している <input type="checkbox"/> ④0.1m <sup>2</sup> 未満の剥離が、[ ]箇所以上発生している
G1-5	支間中央部 錆汁の発生状況	<input type="checkbox"/> ①支間中央部にかなり発生している <input type="checkbox"/> ②発生している <input checked="" type="checkbox"/> ③発生していない <input type="checkbox"/> ①0.1m <sup>2</sup> 以上の錆汁が、[ ]箇所以上発生している <input type="checkbox"/> ②0.1m <sup>2</sup> 未満の錆汁が、[ ]箇所以上発生している
G2	支間1/4部の損傷	
G2-1	支間1/4部 ひび割れの拡がり	<input type="checkbox"/> ①支間1/4部にかなり発生している <input type="checkbox"/> ②発生している <input checked="" type="checkbox"/> ③発生していない <input type="checkbox"/> ①最小間隔が50cm未満のひび割れが[ ]箇所以上発生している <input type="checkbox"/> ②最小間隔が50cm以上のひび割れが[ ]箇所以上発生している
G2-2	支間1/4部 最大ひび割れ幅	✓ mm

図 5.3.4 主桁の損傷状況記録の一例

## 第5章 J-BMS PC版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

PC-BREXでは変状図作成を実施しないと述べたが、山口県の管理橋梁を点検調査する際には、各橋梁の簡易図に損傷状況を記した損傷位置図の作図を行った。これにより、点検後の損傷の確認や他の点検者との損傷の認識の違いなどを比較することが出来る。図5.3.5に作成した損傷位置図の一例を示す。

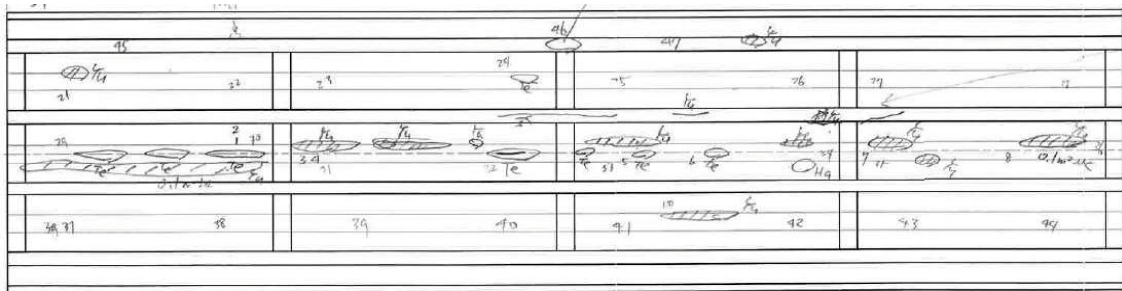


図 5.3.5 損傷位置図の一例

5.4 PC-BREXによる健全度評価

5.4.1 美祢市の管理橋梁

本項では、美祢市が管理しているMH橋の健全度評価を行う。表5.4.1にMH橋の諸元とPC-BREXの推奨橋梁を、写真5.4.1にはMH橋の現況写真を示す。

表 5.4.1 MH 橋諸元と推奨橋梁一覧表

	検証対象橋梁	PC-BREX推奨橋梁
橋梁名	MH橋	—
形式	PCT桁橋	ホーステンション方式PC単純T桁橋
スパン長	25.0m	20～30m
主桁本数	4本	8～10本
全幅員	6.3m	10～15m
橋 齢	41年	30～50年
橋 格	一等橋（推定）	—
道路種別	市町村道	—
大型車交通量	0台/12h	10,000台/12h



写真 5.4.1 MH 橋の現況写真（2011 年現在）

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

### (1) 主桁・床板の設計と供用状態

PC-BREX に MH 橋の点検データを入力し、各点検者の評価結果や耐用性など項目ごとの標準偏差の値を表 5.4.2 と表 5.4.3 に示す。

表 5.4.2 と表 5.4.3 より、主桁と床版ともに「設計」や「供用状態」の項目の点数が概ね低い値を示している。これは、以下のことが要因と考えられる。図 5.4.1 と図 5.4.2 に主桁・床版の設計に関する階層構造をそれぞれ示す。

- ① 表 5.4.1 に示すように、橋齢 41 年の高齢化している橋梁であり、設計時の適用示方書が古い。
- ② 主桁本数が PC-BREX の推奨値の 8~10 本に比べ、MH 橋の主桁本数は 4 本と少ないことから過小評価している。
- ③ 道路種別が市町村道であることから、国道等に比べ評価が低い。

なお、橋格、スパン長などは点検者によって入力値が変化しない諸元値である。

表 5.4.2 PC-BREX による MH 橋主桁の評価結果一覧表

主桁 判定項目	学生A	学生B	学生C	学生D	学生E	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D	標準偏差
<b>主桁耐用性</b>	<b>75.5</b>	<b>69.8</b>	<b>75.5</b>	<b>78.3</b>	<b>70.9</b>	<b>63.6</b>	<b>63.8</b>	<b>79.7</b>	<b>70.8</b>	5.46
主桁耐荷性	71.1	73.1	71.1	72.8	73.7	73.2	73.4	73.6	73.9	1.00
<b>主桁設計</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>46.2</b>	<b>0.00</b>
主桁の全体的損傷	85.0	90.2	85.0	89.1	93.4	91.0	91.7	93.0	95.3	3.36
主桁耐久性	80.0	72.8	80.0	81.1	73.2	65.2	65.3	81.6	72.8	6.08
<b>主桁施工</b>	99.0	74.5	99.0	99.0	74.5	<b>52.8</b>	<b>52.8</b>	<b>98.3</b>	<b>73.8</b>	18.24
<b>主桁供用状態</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>41.8</b>	<b>0.00</b>
主桁の全体的損傷	85.0	90.2	85.0	89.1	93.4	91.0	91.7	93.0	95.3	3.36

表 5.4.3 PC-BREX による MH 橋床版の評価結果一覧表

床版 判定項目	学生A	学生B	学生C	学生D	学生E	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D	標準偏差
<b>床版耐用性</b>	<b>74.6</b>	<b>64.7</b>	<b>74.6</b>	<b>77.4</b>	<b>78.0</b>	<b>64.1</b>	<b>71.1</b>	<b>57.3</b>	<b>79.1</b>	<b>7.12</b>
床版耐荷性	70.0	69.5	70.0	71.8	72.1	66.6	70.7	58.0	68.4	4.06
<b>床版設計</b>	<b>51.1</b>	<b>47.0</b>	<b>51.1</b>	<b>51.1</b>	<b>51.1</b>	<b>48.6</b>	<b>52.2</b>	<b>26.7</b>	<b>53.4</b>	<b>7.75</b>
床版の全体的損傷	82.8	82.4	82.8	85.8	86.5	79.0	83.7	80.7	80.6	2.29
床版耐久性	80.1	71.4	80.1	81.3	81.5	73.0	76.2	69.5	91.5	6.30
<b>床版施工</b>	99.0	74.5	99.0	99.0	99.0	<b>73.8</b>	<b>74.5</b>	<b>28.3</b>	<b>99.0</b>	22.36
<b>床版供用状態</b>	<b>58.0</b>	<b>58.0</b>	<b>58.0</b>	<b>58.0</b>	<b>57.7</b>	<b>70.1</b>	<b>70.2</b>	<b>82.5</b>	<b>82.5</b>	<b>10.02</b>
床版の全体的損傷	82.8	82.4	82.8	85.8	86.5	79.0	83.7	80.7	80.6	2.29

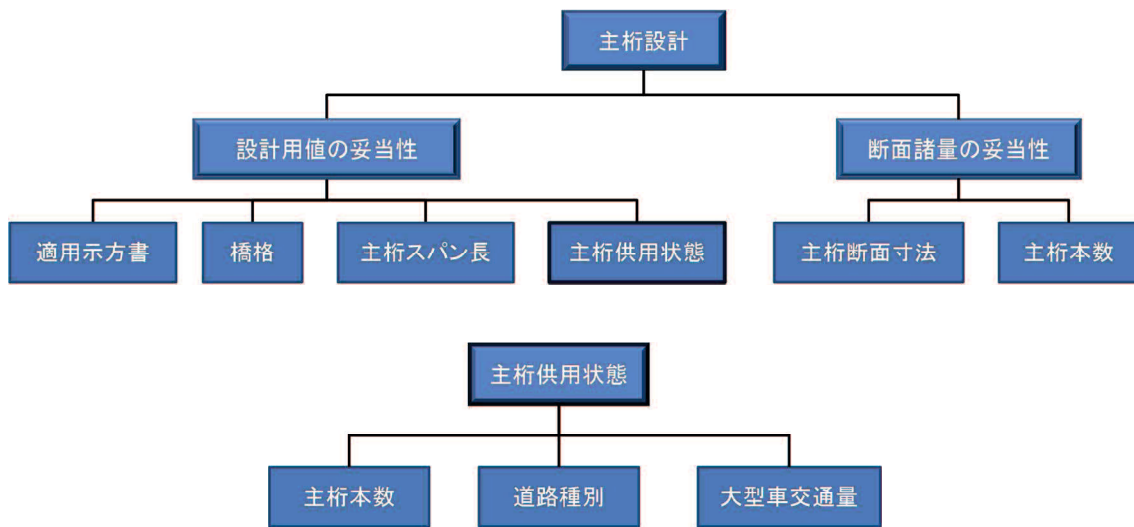


図 5.4.1 主桁設計に関する階層構造

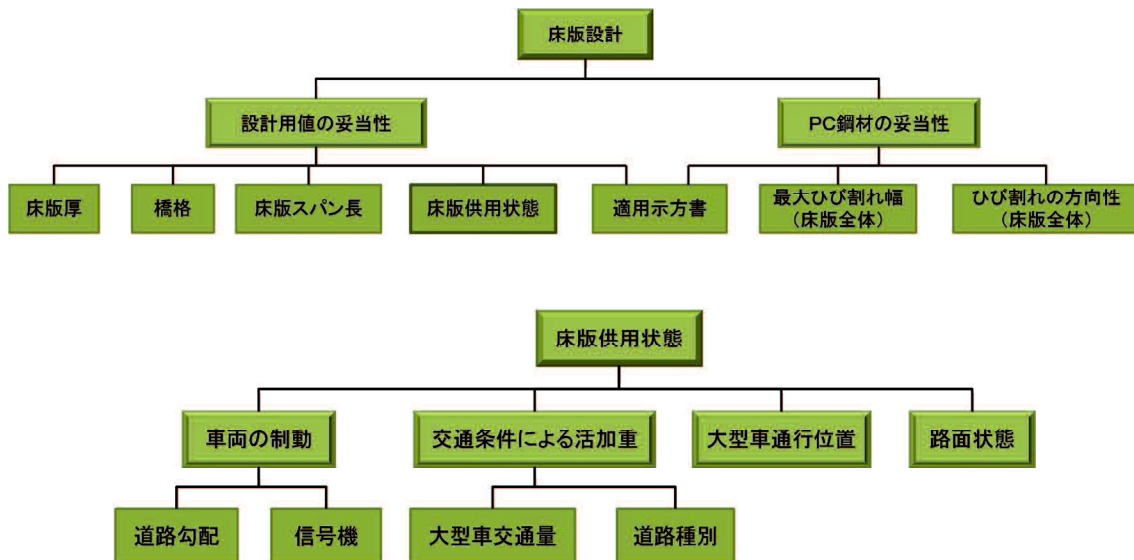


図 5.4.2 床版設計に関する階層構造

床版設計に関しては、『PC 鋼材の妥当性』の下位層に「最大ひび割れ幅」や「ひび割れの方向性」といった項目があり、点検者によって差異が生じる箇所である。特に専門家 C の床版設計の評価点が低いのは、前述したひび割れに関する評価が影響している。これは、他の専門家が記録していない間詰め部に 2 方向の 5mm 程度のひびわれを専門家 C は記録していたので、他の点検者と比べ評価点が低くなっている。

しかし、主桁・床版の設計と供用状態の評価点が低いにも関わらず、主桁・床版の耐用性が 100 点満点中 70 点程度（一部は 60 点以下である）と高い値を示しているのは、高齢化橋梁でありながら主桁・床版の各部材に大きな損傷が見られないことが要因と考えられる。

(2) 主桁・床版の施工および間詰部の損傷

表5.4.2と表5.4.3より、主桁および床版施工で各点検者の評価が大きく異なっている。ここでは特に、評価の異なっていた専門家A～Dの4名の評価について検討を行う。

図5.4.3と図5.4.4に示す主桁施工・床版施工それぞれの階層構造からわかるように、「変色・劣化状況」と「豆板の発生状況」の2項目の評価差異が施工の最終的な評価点数に大きく影響している。

代表として主桁の「変色，劣化状況」の入力項目を図5.4.5に、同様に主桁の「豆板の発生状況」の入力項目を図5.4.6に示す。床版についても同様の入力項目で構成されている。図5.4.6の「豆板の発生状況」は具体的な数値を入力する「客観的な質問」であり、多少の発生個数の入力の違いで評価結果に影響を与えない。しかし、図5.4.5の「変色，劣化状況」はチェックボックスによる項目の「主観的な質問」であるので、点検者の損傷程度を判断する小さな差が評価結果に影響を与えてしまうことがわかる。

専門家 A～D それぞれの点検調査時の評価一覧 (PC-BREX 入力項目) を表 5.4.4 と表 5.4.5 に示す。表 5.4.4 と表 5.4.5 より、橋梁に関して知識のある専門家であっても、損傷の判断には各人で差が生じていることがわかる。この損傷の判断の差により、主桁・床版の施工評価の違いが生じた。

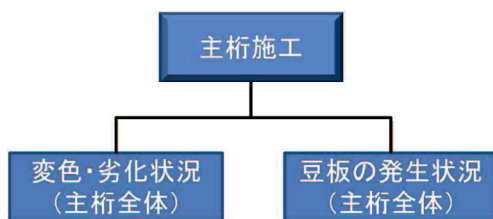


図 5.4.3 主桁施工の階層構造

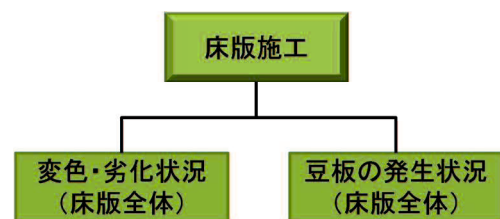


図 5.4.4 床版施工の階層構造

主桁全体 変色・劣化状況

- 主桁全体でコンクリートが変色している
- 局所的にコンクリートが変色している
- 変色が見られない

図5.4.5 変色・劣化状況の入力項目

主桁全体 豆板の発生状況

0.1m<sup>2</sup>以上の豆板の発生箇所数

0.1m<sup>2</sup>未満の豆板の発生箇所数

図5.4.6 豆板の発生状況の入力項目

## 第5章 J-BMS PC版（PC-BREX）の実橋への適用および検証

表5.4.4 「変色・劣化状況」評価一覧表

	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D
主桁全体 変色・劣化状況	局部的にコンクリートが変色している	局部的にコンクリートが変色している	変色がみられない	局部的にコンクリートが変色している
床版全体 変色・劣化状況	局部的にコンクリートが変色している	局部的にコンクリートが変色している	局部的にコンクリートが変色している	変色がみられない

表5.4.5 「豆板の発生状況」評価一覧表

主桁全体 豆板の発生状況	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D
0.1m <sup>2</sup> 以上の豆板の発生箇所数	0	0	0	0
0.1m <sup>2</sup> 未満の豆板の発生箇所数	5	5	1	1
床版全体 豆板の発生状況	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D
0.1m <sup>2</sup> 以上の豆板の発生箇所数	0	0	4	0
0.1m <sup>2</sup> 未満の豆板の発生箇所数	1	0	0	0

表5.4.6 PC-BREXによるMH橋床版の全体的損傷評価結果一覧表

床版 判定項目	学生A	学生B	学生C	学生D	学生E	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D	標準偏差
床版耐用性	74.6	64.7	74.6	77.4	78.0	64.1	71.1	57.3	79.1	7.12
床版耐荷性	70.0	69.5	70.0	71.8	72.1	66.6	70.7	58.0	68.4	4.06
床版耐久性	80.1	71.4	80.1	81.3	81.5	73.0	76.2	69.5	91.5	6.30
床版の全体的損傷	82.8	82.4	82.8	85.8	86.5	79.0	83.7	80.7	80.6	2.29
中央部の損傷	82.1	77.5	82.1	94.3	92.5	72.3	93.2	75.5	74.3	8.16
間詰部の損傷	70.8	64.8	70.8	82.7	80.5	37.2	81.2	60.9	48.0	14.71
間詰部以外の損傷	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	94.2	98.9	1.48
路面状態	78.4	78.4	78.4	78.4	77.8	78.1	78.4	78.4	78.3	0.20

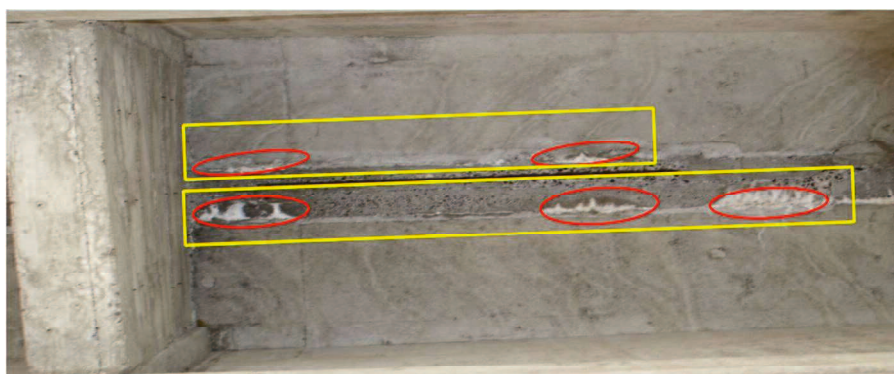


写真 5.4.2 遊離石灰の損傷写真の一部



## 第5章 J-BMS PC版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

---

また、表5.4.3の床版の「間詰め部の損傷」の項目にも差が生じていることがわかる。間詰め部の損傷を評価する入力項目は損傷の個数や大きさなど、具体的な数値を入力する「客観的な質問」になっている。専門家同士であっても個数の入力に十数個以上の差が生じている項目もあり、その中で特に、個数の判断に差が生じやすいと思われるのは遊離石灰の損傷である。写真5.4.2に遊離石灰の損傷写真の一部を示す。このような損傷を見て遊離石灰の個数を黄色い囲みの「2」と判断する人もいれば赤色の囲みの「5」と判断する人もいる。遊離石灰はどの部分を一つの損傷の塊として見るのか判断が難しい損傷の一つであるため、専門家であっても大きく差が生じてしまったと考えられる。

(3) 専門家と学生の評価比較

専門家と学生の評価点を平均して、専門家と学生との間に評価の違いがあるか比較してみた。図 5.4.7 に主桁の評価点を比較したグラフ、図 5.4.8 に床版の評価点を比較したグラフを示す。

図 5.4.7 と図 5.4.8 より、橋梁に関して多くの知識をもった専門家と橋梁に関する最低限の知識のある学生とでは、専門家の方が 1 割程度点数の低い、厳しい評価がされていることがわかる。施工の項目に差が生じている理由は、5.4.1 項(2)で述べたとおりである。この評価の差は、点検経験の少ない学生では確認出来ていない小さな損傷を専門家は見逃していないからであると思われる。しかし、その差はあまり大きくないことから、橋梁に関してある程度の知識をもっていれば、この PC-BREX を用いることで橋梁の現有性能の評価を行うことができるといえる。

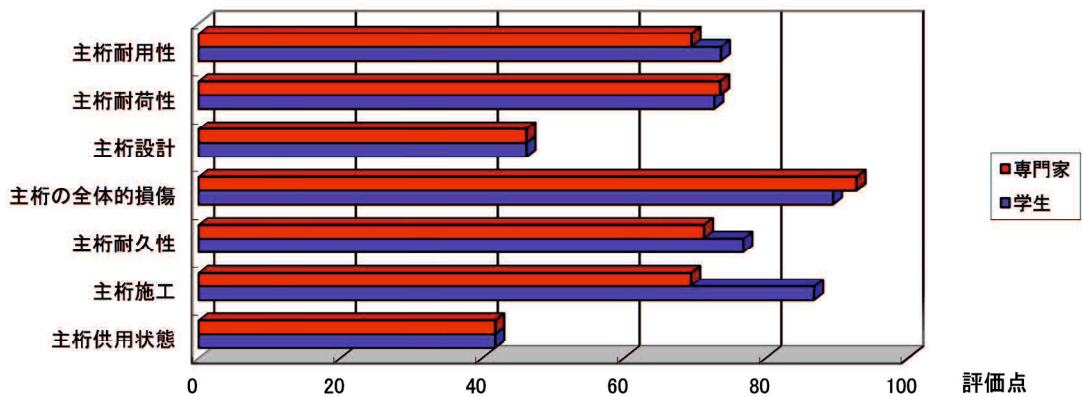


図 5.4.7 専門家と学生との主桁の評価比較

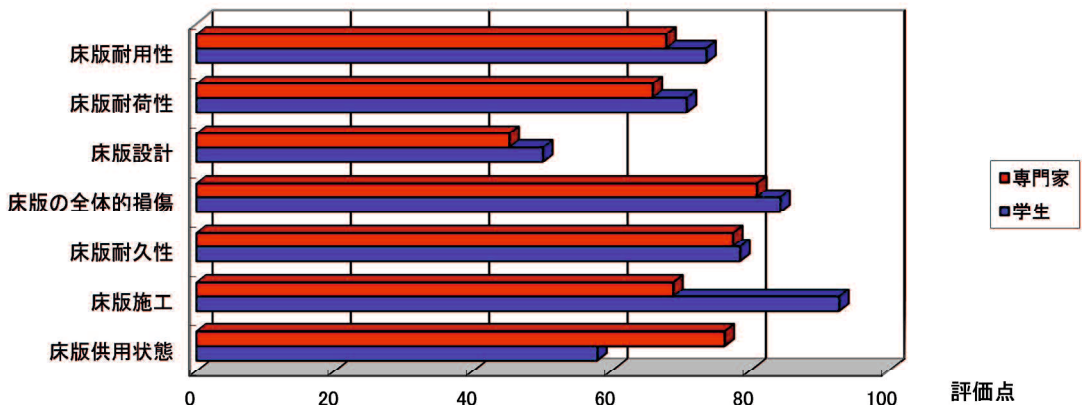


図 5.4.8 専門家と学生との床版の評価比較

(4) 再点検による評価比較

同一点検者が同一橋梁について再度点検をした際に、どのような点検の差が生じるかについて検証を行った。ここでは学生 E と専門家 D の 2 名に初回点検時から 4 カ月ほどの期間をおいて 2 回目の点検を行った。図 5.4.9 に学生 E の初回点検時と 2 回目点検時の床版の PC-BREX 評価結果を比較したグラフ、図 5.4.10 に専門家 D の初回点検時と 2 回目点検時の床版の PC-BREX 評価結果を比較したグラフを示す。なお、学生 E、専門家 D ともに、2 回目点検時の評価点は、表 5.4.2 と表 5.4.3 には掲載していない。

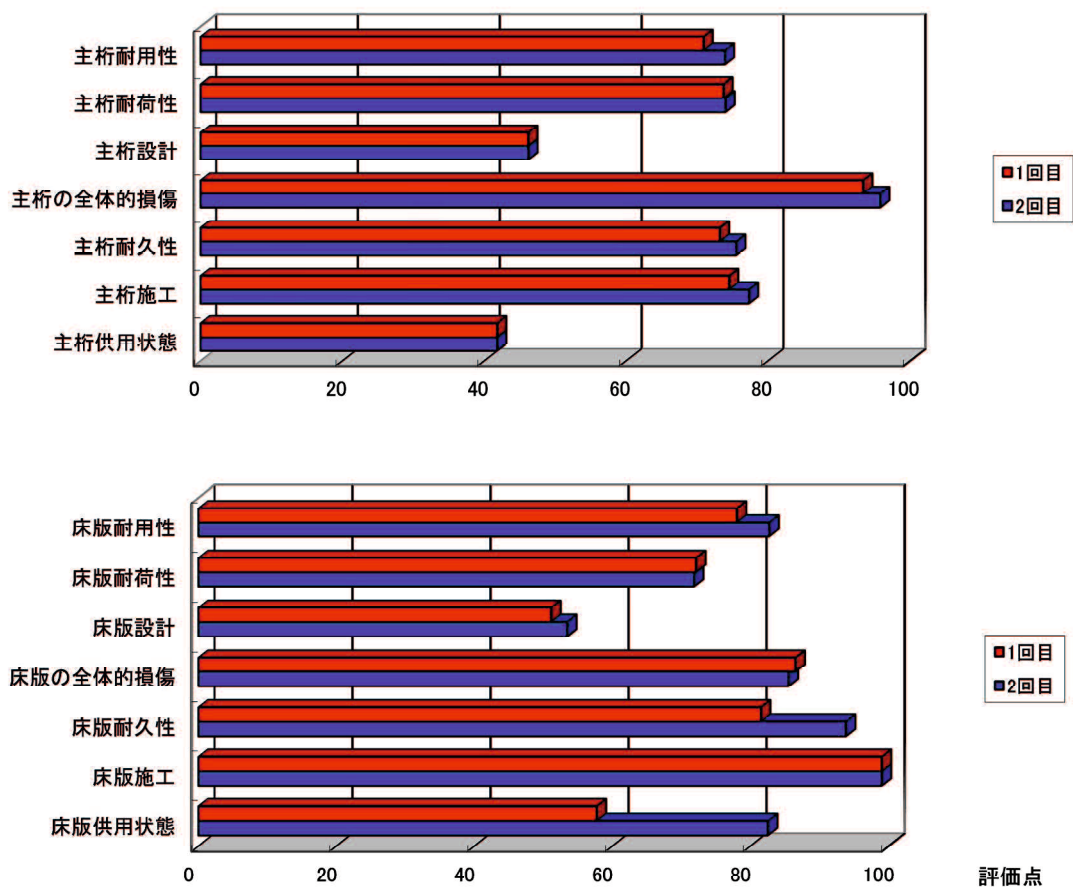


図 5.4.9 学生 E の点検評価比較 (上段：主桁, 下段：床版)

## 第5章 J-BMS PC版(PC-BREX)の実橋への適用および検証

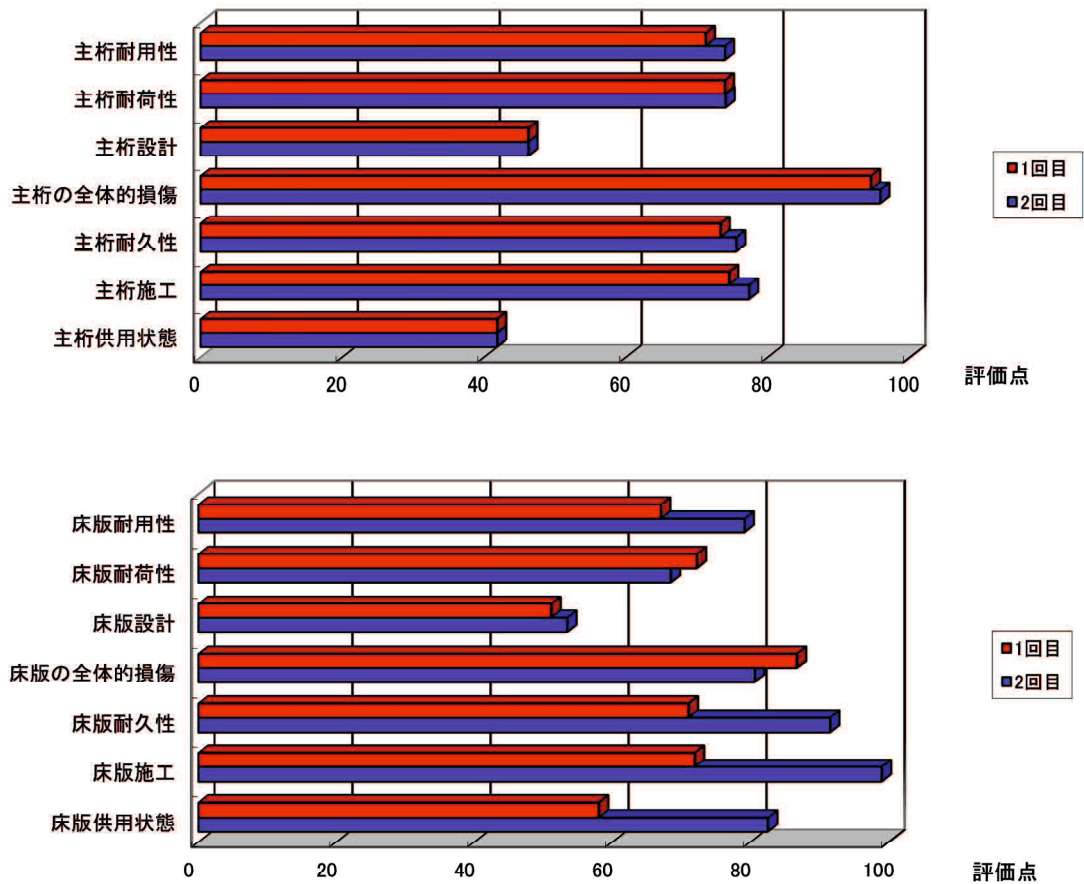


図 5.4.10 専門家 D の点検評価比較 (上段：主桁，下段：床版)

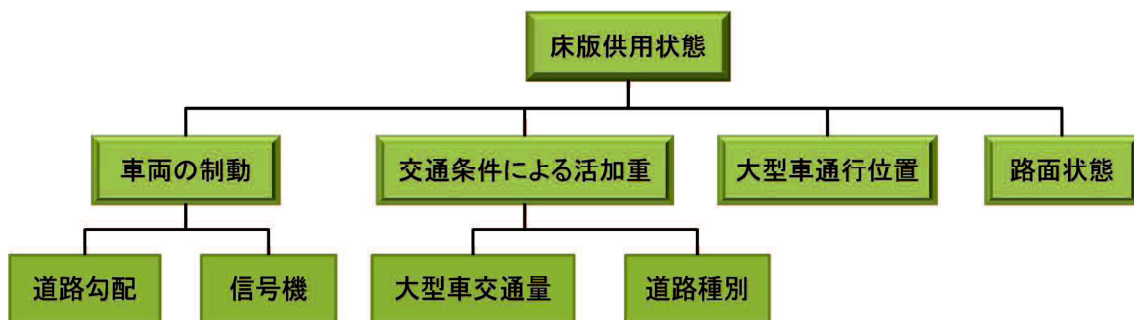


図 5.4.11 床版供用状態の階層構造

学生E, 専門家Dともに初回と2回目の点検で主桁の項目に関しては大きな差は見られなかったが, 床版の「耐久性」, 「供用状態」の項目に共通して差が見られた。これは, 床版耐久性の下層階層にある床版供用状態が影響していると思われる。その理由を床版供用状態の階層構造と入力項目に着目し述べる。図5.4.11に床版供用状態の階層構造を示す。

図 5.4.11 の階層構造内にある車両の制動や交通条件による活荷重についての入力項目は、それぞれの下層にある道路勾配や大型車交通量など点検橋梁の諸元値により評価される。よって、点検者により入力値が異なることはなく、評価結果に差は生じない。また、路面の状態も差ほど変化が生じておらず、評価結果にほぼ差はない。残る大型車通行位置の項目により大きな評価結果の差が生じたと考えられる。大型車通行位置の入力項目を図 5.4.12 に示す。

図 5.4.12 に示すように、大型車通行位置は、点検者が路面と桁下より主桁や床版を確認し、大型車の車輪がどの部材上を通過するか想像・想定を行い、チェックして評価される。同一の点検者でありながら異なった箇所にチェックしたことにより、床版供用状態の評価結果に大きな違いが生じた。

しかし、今回の再点検による評価結果の比較では、床版供用状態に大きな差が生じて上層の床版耐久性に影響をおよぼしたが、その他の項目に関しては評価結果に大きな差は生じていない。これにより、点検者自身の損傷に対する認識（損傷の評価）の変化はあまりないことがいえる。

大型車通行位置

- 両輪が床版の中央を通行する
- 片輪が主桁の上を通行する
- 両輪が主桁の上を通行する

図 5.4.12 大型車通行位置の入力項目

(5) 経験者と未経験者の比較

ここでは、専門家でも橋梁点検を今回初めて行ったものを未経験者、学生でも橋梁点検を行った事があるものを経験者として比較、検証を行った。表 5.4.7 に経験者、未経験者の平均点数と偏差、差を出したものを示す。表 5.4.7 を見ると床版施工の項目に大きな差が生じている。これについては(2)で述べたとおり、この損傷の判断の差により床版の施工評価の違いが生じた。

施工の項目については、学生や専門家、経験者、未経験者問わず、人によって異なった評価結果が生じやすい項目であるといえる。また、表5.4.7の評価結果を見ると、偏差が小さいのに経験者、未経験者の差が極端に大きい項目はない。しかし、偏差が大きいのに経験者、未経験者の差が小さい項目はある。その項目が床版供用状態である。これは経験者、未経験者問わず差が生じてしまう項目であることを表わしているのではないかと考えられる。(2)で述べたとおり、チェックボックスによる項目なので差が生じやすく、尚且つイメージしにくい項目であるため経験者、未経験者関係なく差が生じてしまうと考えられる。

表 5.4.7 経験者と未経験者の偏差と差

項目	経験者	未経験者	偏差	差
<b>主桁耐用性</b>	71.4	72.4	5.3	1.5
主桁耐荷性	73.7	73.0	0.8	0.9
主桁設計	46.0	46.2	0.3	0.2
主桁の全体的損傷	93.6	90.9	3.2	3.3
主桁耐久性	73.3	75.0	5.8	2.2
<b>主桁施工</b>	<b>74.9</b>	<b>80.5</b>	<b>17.0</b>	<b>7.2</b>
主桁供用状態	41.8	41.8	0.1	0.0
主桁の全体的損傷	93.6	90.9	3.2	3.3
<b>床版耐用性</b>	69.5	75.4	8.2	3.5
床版耐荷性	68.2	70.5	4.4	1.1
床版設計	45.9	51.1	7.9	4.2
床版の全体的損傷	84.2	83.9	2.6	1.3
床版耐久性	77.4	81.9	8.5	3.8
<b>床版施工</b>	<b>68.4</b>	<b>94.0</b>	<b>22.5</b>	<b>18.2</b>
<b>床版供用状態</b>	73.3	65.3	<b>10.7</b>	<b>3.0</b>
床版の全体的損傷	84.2	83.9	2.6	1.3

(6) 評価項目アンケートとの比較

PC-BREX には点検者自身が 3.5.1 項の評価プロセスに従い評価出来るよう、点検アンケートに評価項目アンケートシートが付録して備えられている。これは、PC-BREX に学習させるための「アンケート評価」である。なお、PC-BREX に学習機能が備わっていない状況なので、検証用に実施した点検の点検者は、このアンケート評価を行っていない。PC-BREX の初期知識による評価の妥当性を確認するために専門家 A によるアンケート評価を行った。まずは、評価項目アンケートの概要を示し、システム評価とアンケート評価の比較を行う。

1) 評価項目アンケート

図 5.4.13 の評価項目アンケートの記入例に示すように、判断項目に書かれている項目の状態から判断して、評価項目の点数について、Safe~Danger のカテゴリーを参考に 0 ~100 点で評価する。図 5.4.13 は「間詰め部の陥没ひび割れ」の採点例を示す。

点検結果から、以下の結果が得られたとする。

- ①間詰め部の舗装ひび割れ状況：5mm 以上の舗装ひび割れが 5 箇所
- ②間詰め部のポットホール状況：30mm 以上の深さで  
直径が 20cm 以上の窪みが 2 箇所

この 2 つの項目から判断して、それがどの損傷ランクになるのか、そして 100 点満点で考えると何点となるのかをチェックする。この例では、「詳細点検 (対策としては補修) が必要である」と判断し、それは 100 点満点で考えると 25 点くらいだと評価している。

<b>判断項目：</b> 間詰め部の舗装ひび割れ状況(S1-8)，間詰め部のポットホール状況(S1-7)																				
(要緊急な対策)			(詳細点検必要)				(定期点検必要)					(補修補強の考慮なし)				(問題なし)				
↓			↓				↓					↓				↓				
<b>Danger</b>			<b>S_danger</b>				<b>Moderate</b>					<b>F_safe</b>				<b>Safe</b>				
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

図 5.4.13 評価項目アンケートの記入例

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

### 2) PC-BREX による評価とアンケート評価比較

専門家 A における MH 橋での PC-BREX による評価とアンケート評価の比較を行う。評価結果を表 5.4.8 に示す。

専門家Aは、PC-BREXによる評価に比べ低いアンケート評価を行う傾向を示している。これは、RC-BREXの時でもアンケート評価のほうが概ね低い評価をする傾向がみられており、それと一致する。主桁における評価ランクは概ね一致しており、評価ランクの異なる項目も評価ランク境界に近い評価がされている。床版については、アンケート評価にて、間詰め部の損傷の進行を確認するために定期的に点検が必要と判断した結果、全体的に評価が低くなったと考えられる。

以上より、多くの専門家によるアンケート評価が必要ではあるが、橋梁の状態を把握する通常点検に適するPC-BREXは、この評価によりある程度の妥当性を示したものと考える。

表 5.4.8 システムと評価項目アンケートの評価比較

		PC-BREXによる評価		アンケート評価	
主桁	主桁耐用性	70.8	Mi-D	65.0	Mi-D
	主桁耐荷性	73.9	Mi-D	70.0	Mi-D
	主桁設計	46.2	Mo-D	65.0	Mi-D
	主桁の全体的損傷	95.3	S	80.0	Mi-D
	主桁耐久性	72.8	Mi-D	60.0	Mo-D
	主桁施工	73.8	Mi-D	65.0	Mi-D
	主桁供用状態	41.8	Mo-D	45.0	Mo-D
	主桁の全体的損傷	95.3	S	80.0	Mi-D
床版	床版耐用性	79.1	Mi-D	60.0	Mo-D
	床版耐荷性	68.4	Mi-D	60.0	Mo-D
	床版設計	53.4	Mo-D	65.0	Mi-D
	床版の全体的損傷	80.6	Mi-D	55.0	Mo-D
	床版耐久性	91.5	S	60.0	Mo-D
	床版施工	99.0	S	100.0	S
	床版供用状態	82.5	Mi-D	90.0	S
	床版の全体的損傷	80.6	Mi-D	55.0	Mo-D

評価ランク 凡例

- 87.5 < p ≤ 100.0 : Safe
- 62.5 < p ≤ 87.5 : Mild Deterioration
- 37.5 < p ≤ 62.5 : Moderate Deterioration
- 12.5 < p ≤ 37.5 : Severe Deterioration
- 0.0 < p ≤ 12.5 : Unsafe



## 第5章 J-BMS PC版（PC-BREX）の実橋への適用および検証

### 5.4.2 山口県の管理橋梁

本項では、山口県が管理する橋梁 6 橋の健全度評価を行う。表 5.4.9 に PCT 桁橋，表 5.4.10 に PCI 桁橋と PC 中空床版橋の検証対象橋梁の諸元を示す。

表 5.4.9 PCT 桁橋の橋梁諸元一覧表

橋梁名	点検橋梁			PC-BREX推奨橋梁
	KS橋	NS跨線橋	DZ橋	—
形式	PCT桁橋	←	←	ポストテンション方式PC単純T桁橋
スパン長	20.9m	15.5m	15.6m	20～30m
主桁本数	9	10	8	8～10本
全幅員	12.8m	12.5m	7.0m	10～15m
橋 齢	46年	38年	37年	30～50年
橋 格	一等橋	二等橋	二等橋	—
道路種別	都道府県道	←	←	—
大型車交通量	844台/12h	1087台/12h	520台/12h	10,000台/12h

表 5.4.10 PCI 桁橋と PC 中空床版橋の橋梁諸元一覧表

橋梁名	点検橋梁			PC-BREX推奨橋梁
	OT橋	KF橋	SKT橋	—
形式	PCI桁橋	←	PC中空床板橋	ポストテンション方式PC単純T桁橋
スパン長	13.1m	8.0m	28.2	20～30m
主桁本数	33	12	8	8～10本
全幅員	11.4m	3.8m	11.5m	10～15m
橋 齢	49年	31年	13年	30～50年
橋 格	一等橋	二等橋	B活荷重(一等橋)	—
道路種別	一般国道	都道府県道	←	—
大型車交通量	826台/12h	19台/12h	83台/12h	10,000台/12h

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

### (1) T 桁橋における PC-BREX の評価

ここでは、表 5.4.9 に示す PC-BREX 推奨形式の PCT 桁橋について検証を行う。

#### 1) PC-BREX の評価結果

表 5.4.9 に示す 3 橋の点検を研究グループにて行った。PCT 桁橋 3 橋の PC-BREX による評価結果を表 5.4.11～表 5.4.13 に示す。

表 5.4.11 KS 橋 (PCT 桁橋) の評価結果一覧表

		点検者A	点検者B	点検者C
主桁	主桁耐用性	71.0	81.9	73.2
	主桁耐荷性	72.8	74.2	68.6
	主桁設計	52.2	52.2	52.2
	主桁の全体的損傷	88.0	94.6	81.0
	主桁耐久性	74.2	83.7	80.0
	主桁施工	74.5	99.0	99.0
	主桁供用状態	62.3	62.3	62.3
	主桁の全体的損傷	88.0	94.6	81.0
床版	床版耐用性	80.7	81.5	82.3
	床版耐荷性	73.7	74.4	74.3
	床版設計	54.4	54.0	54.0
	床版の全体的損傷	90.5	95.0	93.8
	床版耐久性	82.8	82.9	84.2
	床版施工	74.5	99.0	99.0
	床版供用状態	76.6	57.4	64.4
	床版の全体的損傷	90.5	95.0	93.8

表 5.4.12 NS 跨線橋（PCT 桁橋）の評価結果一覧表

		点検者A	点検者B	点検者C
主桁	<b>主桁耐用性</b>	<b>69.3</b>	<b>76.0</b>	<b>78.8</b>
	主桁耐荷性	72.7	71.0	72.7
	<b>主桁設計</b>	<b>49.7</b>	<b>49.7</b>	<b>49.7</b>
	主桁の全体的損傷	88.3	84.5	88.3
	主桁耐久性	72.7	80.5	81.7
	<b>主桁施工</b>	<b>73.8</b>	<b>98.3</b>	<b>99.0</b>
	<b>主桁供用状態</b>	<b>54.7</b>	<b>54.7</b>	<b>54.7</b>
	主桁の全体的損傷	88.3	84.5	88.3
床版	<b>床版耐用性</b>	<b>75.5</b>	<b>83.0</b>	<b>75.5</b>
	床版耐荷性	75.9	75.5	75.6
	<b>床版設計</b>	<b>63.0</b>	<b>63.0</b>	<b>63.0</b>
	床版の全体的損傷	92.0	90.3	90.5
	床版耐久性	75.0	83.1	75.3
	<b>床版施工</b>	<b>73.8</b>	<b>90.7</b>	<b>74.5</b>
	床版供用状態	64.4	64.4	64.4
	床版の全体的損傷	92.0	90.3	90.5

表 5.4.13 DZ 橋（PCT 桁橋）の評価結果一覧表

		点検者A	点検者B	点検者C
主桁	<b>主桁耐用性</b>	<b>69.7</b>	<b>69.7</b>	<b>71.7</b>
	主桁耐荷性	72.4	72.4	73.5
	<b>主桁設計</b>	<b>47.8</b>	<b>47.8</b>	<b>47.8</b>
	主桁の全体的損傷	87.7	87.6	91.4
	主桁耐久性	73.4	73.3	74.1
	<b>主桁施工</b>	<b>74.5</b>	<b>74.5</b>	<b>74.5</b>
	<b>主桁供用状態</b>	<b>58.3</b>	<b>58.3</b>	<b>58.3</b>
	主桁の全体的損傷	87.7	87.6	91.4
床版	<b>床版耐用性</b>	<b>86.4</b>	<b>76.7</b>	<b>86.4</b>
	床版耐荷性	76.9	71.8	77.0
	<b>床版設計</b>	<b>64.3</b>	<b>49.5</b>	<b>64.3</b>
	床版の全体的損傷	94.9	86.0	95.0
	床版耐久性	86.1	80.4	81.6
	<b>床版施工</b>	<b>74.5</b>	<b>74.5</b>	<b>74.5</b>
	床版供用状態	80.9	74.9	80.9
	床版の全体的損傷	94.9	86.0	95.0

2) 主桁・床版設計と供用状態

表 5.4.11～表 5.4.13 によると、前項の MH 橋と同様で、特に「主桁設計」にて低い値を示している。MH 橋とほぼ同様の要因と考えられる。

- ① 3 橋とも橋齢 40 年程度の高齢化橋梁である。  
 K S 橋：橋齢 46 年（適用示方書：鉄筋コンクリート道路橋設計示方書 S39 年）  
 NS 跨線橋：橋齢 38 年（適用示方書：道路橋示方書 S47 年）  
 D Z 橋：橋齢 37 年（適用示方書：道路橋示方書 S47 年）
- ② 主桁本数は PC-BREX の推奨値の 8～10 本程度である。
- ③ 各主桁供用状態も低い値を示している。

ここでは、③の主桁供用状態に着目する。図 5.4.14 に主桁供用状態の階層構造、表 5.4.14 に主桁供用状態を評価する入力値の一覧を示す。

NS 跨線橋の大型車交通量が 1087 台/12h では、「多い」が 7 割程度、「普通」が 3 割程度に分類されている。大型車交通量の分類が悪い「多い」になると、この「多い」が健全度に影響して評価がさがるので、主桁供用状態の NS 跨線橋が 3 橋中最も低い値となる。次に、KS 橋と DZ 橋を比べた場合、大型車交通量が多い KS 橋の主桁供用状態の評価点が高くなっており、大型車交通量の分類が同じであれば主桁本数が多い方が評価点の良いことを示している。これは、主桁本数が増えると 1 本当たりの荷重負担が低減されることから裏付けられる。

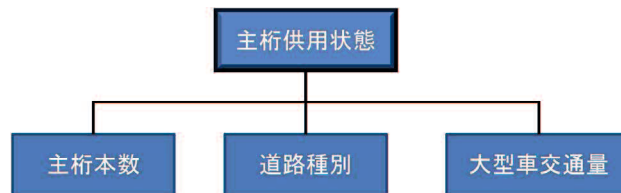


図 5.4.14 主桁供用状態の階層構造

表 5.4.14 主桁供用状態評価入力値（最適適合）

	主桁本数(本)	道路種別	大型車交通量(台)	供用状態の評価点
KS橋	9	県道橋	844	62.3
	普通1～多い9		普通8～多い2	
NS跨線橋	10	県道橋	1087	54.7
	多い10		普通3～多い7	
DZ橋	8	県道橋	520	58.3
	普通5～多い5		普通10	

主桁本数、大型車交通表の上段は各橋梁の諸元値、

下段は PC-BREX 内の計算過程の分類(数値は推定値)である

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

---

しかし、3 橋梁とも PC-BREX の推奨している主桁本数程度であり、また幅員も概ね推奨範囲であるにもかかわらず、主桁本数が PC-BREX 内のプロダクションルールでは「多い」と判定されている。通常、橋長と幅員により主桁配置（本数）がおおよそ決まってくるので、単に本数だけで「多い」、「普通」、「少ない」と判断するのはおかしいと思われるので、例えば桁 1 本当たりの荷重負担幅を数値化して挿入するなど、PC-BREX 内の機能を確認し改善が必要な項目となる。

また、NS 跨線橋と DZ 橋は幅員が異なるだけで、諸元値上ほぼ似た橋梁とみることができる。この両橋梁の主桁供用状態について着目してみた。DZ 橋の主桁供用状態の評価点が NS 跨線橋より高いが、DZ 橋の主桁設計の評価点が NS 跨線橋より低いのは、図 5.4.13 から主桁本数が影響していると思われる。ただし、評価点の差が大きくないので、同程度の橋梁であれば、「主桁設計」と「主桁供用状態」は概ね近い評価が可能となることが裏付けたられた。

3) 主桁・床版施工

表 5.4.11 と表 5.4.12 で示した KS 橋と NS 跨線橋の主桁・床版施工の評価結果を見ると、各点検者の評価が大きく異なっている。これは、5.4.1 項(3)の「主桁・床版の施工および間詰部の損傷」と同様に、損傷の判断による違いが評価点に影響を与えている。再度、主桁施工、床版施工の階層構造を図 5.4.15 と図 5.4.16 に示す。

ここでは、評価に影響を与えている入力項目に着目する。図 5.4.15 と図 5.4.16 の階層構造を見ると、施工の項目はともに「変色・劣化状況」、「豆板の発生状況」の 2 つの項目から評価が行われていることがわかる。このことから最下部層に位置する 2 つの評価の違いが、上位層である施工の評価結果に大きな差を与えていると推測できる。主桁における「変色・劣化状況」、「豆板の発生状況」の入力項目を図 5.4.17 と図 5.4.18 に示す。床版についても同様な入力項目で構成されている。

図 5.4.18 の「豆板の発生状況」は具体的な数値を入力する「客観的な質問」であり、多少の発生個数の入力の違いで評価結果に影響を与えない。しかし、「変色・劣化状況」はチェックボックスによる項目の「主観的な質問」であるので、各点検者の損傷程度の判断の小さな差が評価結果に影響を与えてしまうことがわかる。

コンクリート表面の付着物などによる変色とコンクリートがアルカリシリカ反応、科学的浸食、火災などの劣化を受けた変色は構造物の性能に及ぼす影響が異なることを理解しておかなければならない。前者は美化の低下のみを考慮すれば良いが、後者はコンクリート自体の力学特性が大きく変化、低下することがあるので注意が必要となる<sup>5),6)</sup>。図 5.4.17 では、後者の状況を入力しなければならないが、点検者の判断にばらつきが生じた (P128 の MH 橋でも同様の理由が考えられる)。この改善点として、点検アンケートや PC-BREX に備わる疑問説明機能である「Why 機能」に説明を組み込み、事前説明することが必要であると考える。

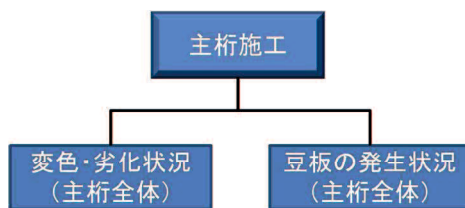


図 5.4.15 主桁施工の階層構造

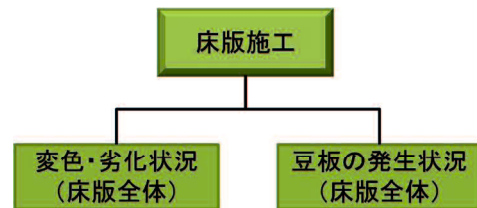


図 5.4.16 床版施工の階層構造

主桁全体 変色・劣化状況

- 主桁全体でコンクリートが変色している
- 局所的にコンクリートが変色している
- 変色が見られない

図 5.4.17 変色・劣化状況

主桁全体 豆板の発生状況

0.1㎡以上の豆板の発生箇所数	<input type="text"/>
0.1㎡未満の豆板の発生箇所数	<input type="text"/>

図 5.4.18 豆板の発生状況

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

### (2) スラブ桁および PC 中空床版橋における PC-BREX の評価

ここでは、表 5.4.10 に示す PC-BREX 推奨構造形式以外の PCI 桁橋と PC 中空床版橋について検証を行う。

#### 1) PC-BREX の評価結果

PCT 桁橋同様に、表 5.4.10 に示す 3 橋の点検を研究グループにて行った。PCI 桁橋 2 橋と PC 中空床版橋の PC-BREX による評価結果を表 5.4.15～表 5.4.17 に示す。

表 5.4.15 OT 橋 (PCI 桁橋) の評価結果一覧表

		点検者A	点検者B	点検者C
主桁	主桁耐用性	69.4	64.1	70.8
	主桁耐荷性	72.6	69.5	73.4
	主桁設計	48.0	48.0	48.0
	主桁の全体的損傷	88.3	82.4	91.0
	主桁耐久性	72.9	70.8	73.4
	主桁施工	74.5	74.5	74.5
	主桁供用状態	47.8	47.8	47.8
	主桁の全体的損傷	88.3	82.4	91.0
床版	床版耐用性	83.5	83.3	81.2
	床版耐荷性	74.1	74.1	74.0
	床版設計	49.7	49.6	47.8
	床版の全体的損傷	94.5	94.5	95.2
	床版耐久性	87.1	86.8	82.9
	床版施工	99.0	99.0	99.0
	床版供用状態	70.3	69.7	58.0
	床版の全体的損傷	94.5	94.5	95.2

表 5.4.16 KF 橋 (PCI 桁橋) の評価結果一覧表

		点検者A	点検者B	点検者C
主桁	主桁耐用性	79.7	79.1	84.1
	主桁耐荷性	72.5	72.2	75.4
	主桁設計	59.3	59.3	59.3
	主桁の全体的損傷	85.3	84.6	96.9
	主桁耐久性	83.2	83.0	85.1
	主桁施工	99.0	99.0	99.0
	主桁供用状態	66.3	66.3	66.3
	主桁の全体的損傷	85.3	84.6	96.9
床版	床版耐用性	84.8	83.4	84.9
	床版耐荷性	74.4	74.3	74.4
	床版設計	53.1	52.5	53.1
	床版の全体的損傷	95.5	95.5	95.7
	床版耐久性	90.2	86.2	90.2
	床版施工	99.0	99.0	99.0
	床版供用状態	74.4	68.6	74.4
	床版の全体的損傷	95.5	95.5	95.7

表 5.4.17 SKT 橋 (PC 中空床版橋) の評価結果一覧表

		点検者A	点検者B	点検者C
主桁	主桁耐用性	68.9	68.9	68.9
	主桁耐荷性	71.6	71.6	71.6
	主桁設計	37.9	37.9	37.9
	主桁の全体的損傷	90.7	90.7	90.7
	主桁耐久性	73.4	73.4	73.4
	主桁施工	74.5	74.5	74.5
	主桁供用状態	49.5	49.5	49.5
	主桁の全体的損傷	90.7	90.7	90.7
床版	床版耐用性	94.2	92.5	96.3
	床版耐荷性	86.9	86.6	86.9
	床版設計	75.1	74.9	75.1
	床版の全体的損傷	98.9	98.9	98.9
	床版耐久性	86.3	83.5	94.9
	床版施工	74.5	74.5	99.0
	床版供用状態	80.9	76.6	80.9
	床版の全体的損傷	98.9	98.9	98.9



### 2) 主桁・床版設計

表 5. 4. 15 と表 5. 4. 16 より OT 橋と KF 橋の PCI 桁橋では、主桁・床版設計の評価点が低くなっており、T 桁橋の評価結果と同様の傾向が見られる。

表 5. 4. 17 の PC 中空床版橋である SKT 橋で PCI 桁橋と同様の傾向がみられなかったのは、比較的新しくまた大型車交通量も少ない地域に架橋している橋梁であることから全体的に高い評価結果となっている。また、主桁設計の評価が低いのは中空床版橋の構造上の主桁本数が 1 となるため、主桁本数を 1 本と PC-BREX に入力したことにより、PC-BREX では主桁本数が少ないと判断されて評価点が低くなっている。

### 3) 主桁・床版設計

PCI 桁橋、PC 中空床版橋は、間詰め部の確認が困難か間詰め部が存在しないために、間詰め部の損傷が記入できない。これにより、表 5. 4. 15～表 5. 4. 17 に示す床版耐用性が、表 5. 4. 11～表 5. 4. 13 に示す T 桁橋の評価結果より全体的に高評価になっている傾向が見られる。

### 4) PCI 桁橋や PC 中空床版橋の適用について

表 5. 4. 15～表 5. 4. 17 に示す評価結果からは特に異常な値もみられないことから、PCI 桁橋においては PC-BREX の適用は可能ではないかと考える。PC 中空床版橋に関しても、諸元入力時に主桁本数や床版間詰め部に関する項目を入力する、新たなチェック項目を設けるなどの PC-BREX の改良を行えば、PC-BREX の適用は可能と考える。

### 5.5 結言

本章では、山口県内に架かる PC 橋を用いて、データ収集のための通常点検レベルの点検を行い、定性的なデータを入力し、様々な観点から PC-BREX の検証を行ってきた。その結果、今後、高齢化した PC 橋も増加していくなかで、定性的な点検調査にて橋梁の健全度評価が可能なシステムが構築できたといえる。

以下に、本研究で得られた検証結果をまとめる。

- ① PCT 桁橋における PC-BREX の診断結果で各点検者の顕著な差が見られた項目は、主桁・床版ともに施工に関する項目であった。
- ② 学生と専門家との診断結果の比較を行ってみたところ、点検時に着目する箇所の違いなどはあったが、PC-BREX の診断結果には大きな差は見られなかった。このことから、点検を行う技術者が橋梁に関してある程度の知識があれば、PC-BREX を用いることで橋梁の現有性能の評価を行うことができる。
- ③ 同一点検者による同一橋梁の再点検した診断結果の比較を行ってみたところ、主観的な質問の答えに違いがあったが、階層上位の診断結果にはほとんど差は見られなかった。このことから、点検者自身の損傷に対する認識（損傷の評価）の変化はあまりないことがいえる。
- ④ PC-BREX が推奨する PCT 桁以外の PCI 桁橋についても同様の点検を行い診断した。その結果、PCI 桁橋についても①に示す PCT 桁橋と同様の傾向が見られ、PC-BREX が適用できるといえる。
- ⑤ 多くの専門家によるアンケート評価が必要ではあるが、橋梁の状態を把握する通常点検に適する PC-BREX は、この評価によりある程度の妥当性を示したものと考えられる。

また、最後に新たに点検データを採取し PC-BREX の検証を行い、PC-BREX を今後より実用性を高めていくために必要な課題などをまとめた。

- ① J-BMS PC 版用に再開発した PC-BREX には学習機能が備わっていない。よって、多くの専門家に点検と各評価項目の採点を行ってもらい、その採点結果を学習データとして対応付け、PC-BREX の信頼性の向上を図る必要がある。計算過程を再度確認して、状況によっては見直しを行うことも必要となる。また、専門家による点検結果にコメント欄を設け、そのコメントを劣化診断に組み込むことにすれば、より精度の高い診断が可能となる。
- ② 点検調査時に専門家でさえ点検アンケートについて点検項目の記述がわかりにくいので記入しにくいとの意見が聞かれた。PC-BREX には、PC-BREX の稼働中に利用者が疑問を持った場合に、これらの疑問を解決する「What 機能」、「Why 機能」が備わっている。PC-BREX 上で疑問が生じた場合にはこの機能を使用すればそれぞれの点検項目の内容がわかるので、点検者には点検前に PC-BREX をあらかじめ稼働してもらった必要があった。しかし、現地で点検アンケートに疑問が生じて PC-BREX を稼

## 第 5 章 J-BMS PC 版 (PC-BREX) の実橋への適用および検証

---

働させることは難しいので、よりよいデータを収集するためには、疑問が生じない点検アンケートに修正する必要がある。

- ③ PC-BREX が推奨している PC 橋以外を評価しようとする、PC-BREX は過小評価する可能性がある。橋長、幅員により標準的な桁配置があるので、PC-BREX をもう少し柔軟性のあるシステムにする必要がある。
- ④ ②に関連するが、現在備わっている **What** および **Why** 機能の充実を行う。What 機能はシステム利用者の項目の意味や定義を示し、Why 機能はシステム利用者の疑問の解消を目的に実装されているが、現状、説明不足の項目も見られ、利用し易いように内容の充実を図る必要がある。
- ⑤ PC-BREX の評価結果出力の見直しも必要と考える。一番求めたいものは何かを強調させるため、耐用性、耐荷性、耐久性の結果のみを表示させるなど、表示方法に工夫が必要である。

### 参考文献

- 1) 浅野寛元, 住居孝紀, 勝島龍郎, 宮本文穂 : J-BMS PC版の開発と実橋梁への適用, 山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.18, 2012.6.
- 2) 宮本文穂, 浅野寛元, 勝島龍郎 : PC橋維持管理支援システム(J-BMS PC版)の開発と実橋への適用, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.68(2012) No.2, pp.41-54, 2012.
- 3) Ayaho Miyamoto, Tatsuro Katsushima, Hiroyoshi Asano : Development of Practical Bridge Management System for Prestressed Concrete Bridges, Second Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures(SMAR2013), pp.1-9, 2013.9.
- 4) 山口大学 BMS開発グループ : PC橋梁の耐用性評価アンケートーシステム検証のためにー, 2010.12.
- 5) 日本コンクリート工学協会編 : コンクリート便覧, 第二版, p.272, 1996.2.
- 6) 日本コンクリート工学協会 : コンクリート診断技術'02, 2002.

## 第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

MPOS は、維持管理計画の立案を行うことが可能なシステムであり、現時点では耐久性の健全度より RLCC 最小化による保全費用算出が可能となっている。なお、耐荷性の健全度による余寿命予測から想定される補強については、健全度の評価と対策工法の関連付けが未達であり、計画の立案ができない。よって、本章では、MPOS の設定条件や各機能について説明を行い、第 4 章と第 5 章の撤去橋梁を含む既設橋梁 9 橋の点検データから、RLCC 最小化までの機能の検証を行った。さらに、MPOS から算出された耐久性の余寿命と別途作成した耐荷性の余寿命予測を比較し、客観的情報にもとづく BREX による健全度の評価検証を行った。また、本章では RC-BREX と PC-BREX の区別をせずに BREX と表記する。

### 6.1 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS)

MPOS とは、橋梁を効率的に管理するための最適維持管理計画の立案を支援するサブシステムである<sup>1),2)</sup>。

橋梁諸元データと主桁および床版の耐久性の健全度が記録された XML ファイルを J-BMS DS から読み込み、MPOS に入力することで、利用者により「劣化予測式」、「保全対策、更新対策の費用」などを設定することで維持管理計画を立案することができる。図 6.1.1 には、J-BMS DS から読み込む XML ファイルの一例を示す。維持管理計画策定では、寿命最大化、年次更新費用平滑化、余寿命ライフサイクルコスト(RLCC: Remain Life Cycle Cost)最小化を考慮して対策実施要否の有無やタイミングの決定支援を行う。

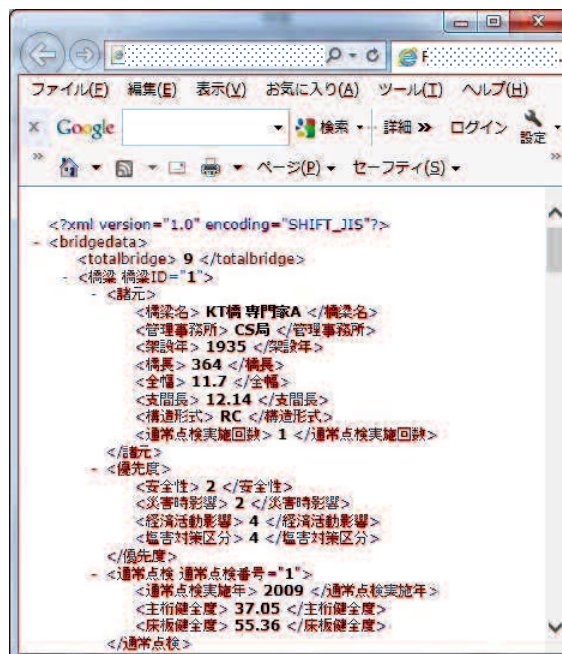


図 6.1.1 MPOS 入力用 XML ファイルの一例

### 6.1.1 MPOS の設定条件

本項では、MPOS における橋梁の劣化状態、維持管理対策の効果・費用、通常点検結果の反映方法、通常点検結果のシステムへの適用方法、優先順位項目といった、MPOS の基本的な考え方である設定条件について述べる。2.4 節に示す図 2.4.2 の緑色で囲んだ部分が MPOS を示す。

#### (1) 橋梁の健全度

1.3 節の表 1.3.1 に示す用語の定義によると、健全度は診断によって求められる現時点での橋梁の劣化程度の余事象であり、橋梁架設時の劣化が進行していない健全な状態から劣化の程度を差し引くことにより求められ、0~100 の数値で表している。架設時の健全な状態を健全度 100、供用不能となった状態を健全度 0 としている。つまり健全度とは、主桁と床版の耐荷性および耐久性の評価点を示す。

維持管理対策において、橋梁の劣化程度によって、橋梁に施す保全対策工法は異なる。MPOS では、健全度ごとに橋梁の状態を示す状態区分に分類し、状態区分ごとに対策工法を設定した。本章の最初で述べたとおり、現在の MPOS は耐久性による評価となるので、状態区分が II 以下になると耐荷力に影響するように設定されている。状態区分の分類を表 6.1.1 に示す。また、健全度の変化基本式を式(6.1)で示し、図 6.1.2 を例とする劣化曲線を描く。

$$h(t)_n = b_n - a_n(t - t_n)^c \quad (6.1)$$

ここで、 $t$  : 点検を行った西暦 (年)

$n$  : 点検を行った回数

$h(t)_n$  :  $n$  回目の点検を行った  $t$  年の健全度

$t_0$  : 架設時の西暦 (年)

$t_n$  :  $n$  回目の点検を実施した西暦 (年)

$a_0$  : 架設時の劣化曲線の係数

$a_n$  :  $n$  回目の点検を実施した時点での劣化曲線の係数

$b_0$  : 架設時の健全度 (100)

$b_n$  :  $n$  回目の点検を実施した時の健全度

$c$  :  $(t - t_n)$  の累乗 (初期設定 3)

表 6.1.1 状態区分と健全度の対応

状態区分	健全度	説明
V	87.5 以上100.0 以内	状態劣化の程度：小
IV	62.5 以上87.5 未満	状態劣化の程度：中
III	37.5 以上62.5 未満	状態劣化の程度：大
II	12.5 以上37.5 未満	耐荷力に影響：小
I	0.0 以上12.5 未満	耐荷力に影響：大

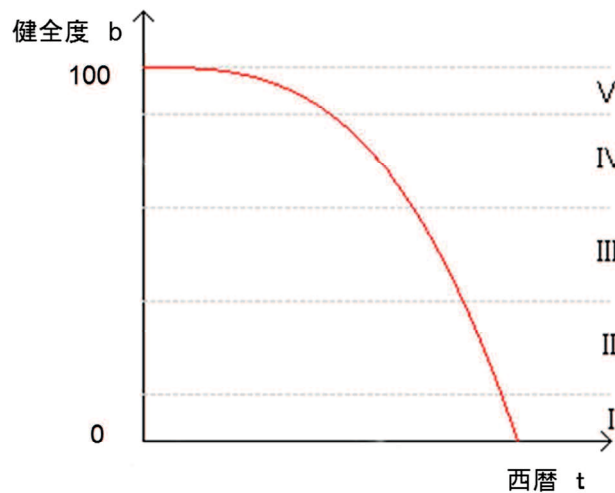


図 6.1.2 劣化曲線の例

MPOS では、初期状態での健全度  $b_0$  を 100、 $(t-t_a)$  の累乗  $c$  を 3 としている。但し、累乗  $c$  は 1 もしくは 2 の選択も可能となっている。また、劣化曲線の係数  $a_0$  の値は、橋梁点検結果をもとに BREX により評価された耐久性の健全度と  $b_0$  の値を用いて算出を行う。以下に、MPOS における劣化曲線の係数  $a_0$  の算出方法について説明する。劣化曲線の係数  $a_0$  の算出には、橋梁点検実施の回数により算出方法が異なる。橋梁点検が 1 回の場合と複数回の場合に分けられ、それぞれの健全度数も橋梁点検回数に準じてくる。図 6.1.3 に MPOS による劣化曲線出力例（健全度が 1 つの場合）を示す。

1) 健全度が 1 つの場合

橋梁点検が 1 回しか実施されていなく健全度が 1 つの場合、式(6.1)をもちいて式(6.2)より劣化曲線の係数  $a_0$  を求める。

$$a_0 = \frac{b_0 - h(t_M)}{(t_M - t_0)^c} \quad (6.2)$$

ここで、 $t_M$  : 橋梁点検を行った年 (西暦)

$h(t_M)$  :  $t_M$  年時の健全度

2) 健全度が複数ある場合

最小二乗法を用いて、橋梁の劣化曲線と各点検結果の距離の合計が最小となるようにする。距離の合計は式(6.3)から求めることができる。

$$S = \sum_{i=1}^n (h(t_{Mi}) - (b_0 - a_0(t - t_0)^c))^2 \quad (6.3)$$

ここで、 $S$  : 各健全度と劣化曲線の距離の合計

$t_{Mi}$  :  $i$  番目の橋梁点検を行った年 (西暦)

$h(t_{Mi})$  :  $t_{Mi}$  年時の健全度

式(6.3)から、 $a_0$  を微分することで、式(6.4)を求める。式(6.4)を式(6.5)、式(6.6)に変形し、 $S$  が最小となる  $a_0$  の値を求める。

$$2 \sum_{i=1}^n (h(t_{Mi}) - (b_0 - a_0(t - t_0)^c))(t - t_0)^c = 0 \quad (6.4)$$

$$\sum_{i=1}^n (a_0(t - t_0)^{2c}) = \sum_{i=1}^n (b_0(t - t_0)^c) - \sum_{i=1}^n (h(t_{Mi})(t - t_0)^c) \quad (6.5)$$

$$a_0 = \frac{b_0 \sum_{i=1}^n (t - t_0)^c - \sum_{i=1}^n (h(t_{Mi})(t - t_0)^c)}{\sum_{i=1}^n (t - t_0)^{2c}} \quad (6.6)$$



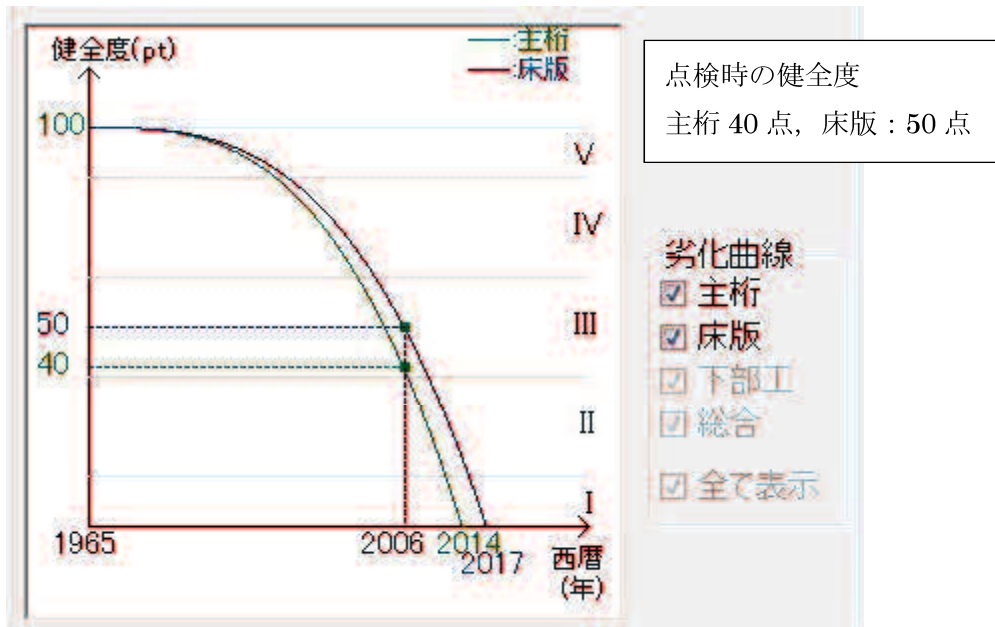


図 6.1.3 劣化曲線の出力例 (劣化曲線部拡大)

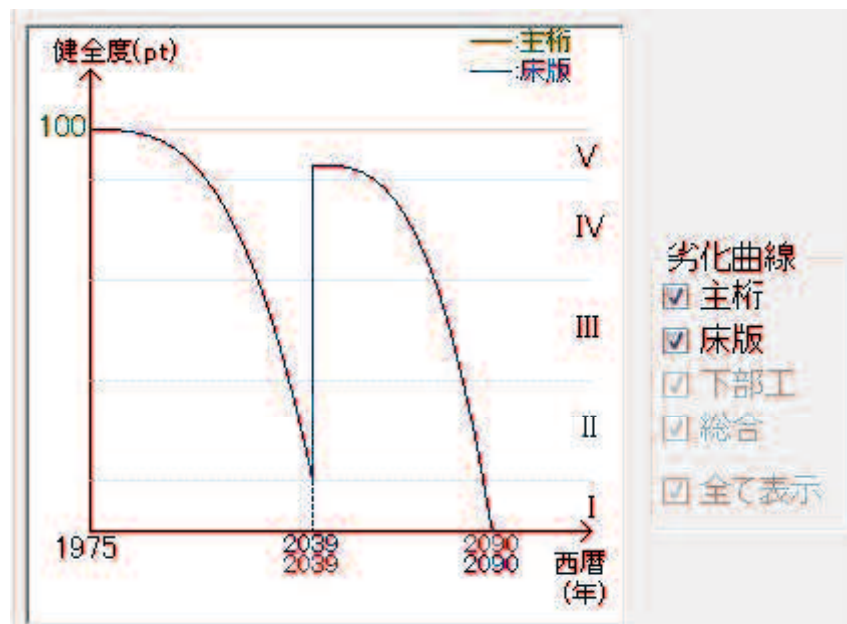


図 6.1.4 健全度を回復したときの出力例 (劣化曲線部拡大)

※主桁と床版の劣化曲線が重なっている

(2) 維持管理対策の効果

橋梁（主桁・床版）の健全度は，図 6.1.5 に示すように，保全（補修）対策を行うことで回復するが，本 MPOS では保全（補修）対策について，以下の 3 つの制限を設けている．

- ① 対策を行うごとに対策効果が減少する
- ② 対策を行うごとに橋梁の劣化速度が上昇する
- ③ 維持管理対策回数には上限がある

これらの制限は，橋梁に対して保全（補修）対策を繰り返し，供用し続けることには限界があるという考えから設定した．対策効果の減少と劣化速度の上昇については，式(6.7)，式(6.8)，および式(6.9)で表される．

$$b_n = h_n(t_n) = h_{n-1}(t_n) + R \cdot \rho \quad (6.7)$$

$$R = h_{n-1}(t_{n-1}) - h_{n-1}(t_n) \quad (6.8)$$

$$a_n = a_{n-1} \cdot \eta \quad (6.9)$$

ここで， $a_0$ ：初期の劣化曲線の傾き

$a_n$ ：対策回数  $n$  回目の劣化曲線の傾き

$b_n$ ：対策回数  $n$  回目の健全度

$R$ ： $n-1$  回目の対策直後から  $n$  回目の対策直前の健全度減少量

$\eta$ ：劣化速度を速める係数

$\rho$ ：健全度の回復量を減少させる係数

MPOS の初期設定では， $\eta=2.0$ ， $\rho=0.9$  としている．これらは，利用者が任意に変更可能としている．図 6.1.4 に MPOS による健全度回復劣化曲線出力例（対策 1 回）を示す．

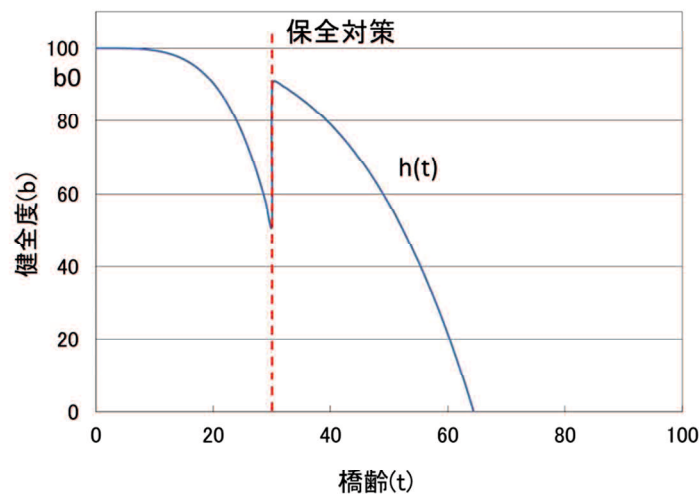


図 6.1.5 保全（補修）対策による健全度の回復

## 第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

### (3) 対策費用について

橋梁の維持管理対策を行なうためには、橋梁の規模や維持管理対策工法に応じた費用が必要となる。また、保全（補修）対策を行なう場合は、仮設工である足場架設をする必要があり、橋梁本体への補修費用と仮設費用を合わせた費用が対策総費用（直接工事費）となる。対策費用を予想することは、予算の算出のために必要である。保全対策費用、補修原価、仮設（足場架設）費用について式(6.10)～式(6.12)に示す。また、仮設足場架設費用の算出において、全幅に対して左右 1m ずつの計 2m 分の余裕幅が追加されている。これは、対策実施の際には橋梁の面積よりも広く足場を架設するためである。本研究では足場架設単価に 9.6(千円/m<sup>2</sup>)を初期値として設定しているが、利用者によって任意に設定可能である。

$$\text{repairCost}(t) = \text{repairUnitCost}(t) + \text{repairScaffoldingCost} \quad (6.10)$$

$$\text{repairUnitCost}(t) = \text{対策単価} \times \text{橋長}(m) \times \text{全幅員}(m) \times \text{保全面積率} \quad (6.11)$$

$$\text{repairScaffoldingCost} = \text{足場架設単価} \times \text{橋長}(m) \times (\text{全幅員}(m) + 2(m)) \quad (6.12)$$

ここで、  $\text{repairCost}(t)$  : t 年における保全対策費用（直接工事費）（円）

$\text{repairUnitCost}(t)$  : t 年における補修費単価（円）

$\text{repairScaffoldingCost}$  : 仮設（足場架設）費（円）

単価と保全面積率は、利用者により任意に入力可能である。

### (4) 対策工法について

対策（補修）工法については、橋梁の損傷状態や周辺の環境状況等に応じて様々な対策工法がある。表 6.1.2 に示すように、MPOS では状態区分により対策工法を決めている。これは、現状、橋梁それぞれに対応した対策工法を選定するのは、点検時では困難であることから、一般的に行われる工法を選定し MPOS の対策工法としている。

表 6.1.2 対策工法一覧

状態区分	対策工法	単価 (千円/m <sup>2</sup> )	対策実施 面積(%)	対策 上限
V	表面被覆	7.5	5.0	1回
IV	表面被覆+ひび割れ注入(補修率20%)	17.0	10.0	1回
III	断面修復+表面被覆+ひび割れ注入(補修率20%)	31.5	20.0	1回
II	断面修復+表面被覆+ひび割れ注入(補修率40%)	41.0	50.0	1回
I	更新	640	100.0	1回

対策実施面積は、橋面積に対する対策を行う割合を示す。（橋面積＝橋長×幅員）

対策上限は、各状態区分で対策可能な回数を示す。

### 6.1.2 MPOS における計画策定

本項では、MPOS の流れについて説明する。MPOS における維持管理計画策定の流れを図 6.1.6 に示す。RLCC 最小化機能までが本システムには実装されている。

- ① 初期設定機能において計画全体の前提条件について設定を行う。
- ② 寿命最大化機能で、個々の橋梁毎に制約条件の範囲内で寿命を最大化する。
- ③ 更新費用平滑化機能において、予算制約と寿命最大化機能によって出力された寿命から、更新を行う年である供用予定年数を出力し、予算を平滑化する。
- ④ RLCC 最小化機能では、供用予定年数を満たす範囲で保全費用を最小化する。
- ⑤ 保全費用平滑化機能、予算内の計画立案機能は前 Step までの計画策定を踏まえた上で、保全費用を調整する機能である。現在未実装である。
- ⑥ ユーザによる対策年の設定は、橋梁ごとに対策年を設定する機能である。現在未実装である。

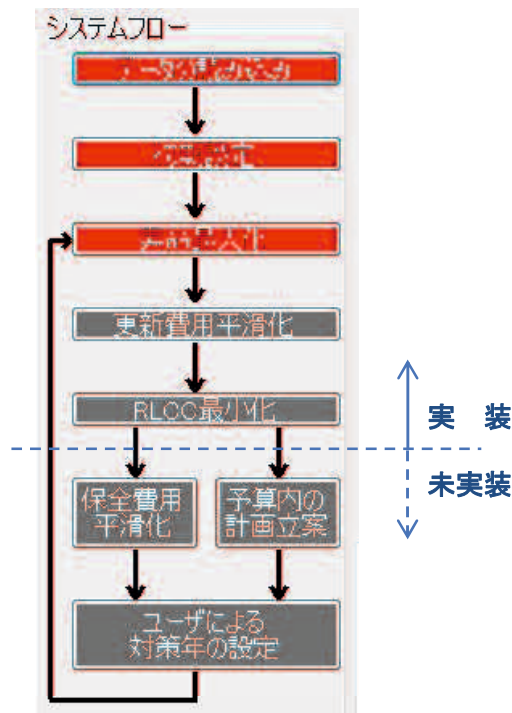


図 6.1.6 維持管理計画策定の流れ

## 第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

### (1) 初期設定機能

初期設定機能は、維持管理計画に関する初期設定を行う。6.1.1 項で述べた健全度の初期値  $b_0$  や劣化曲線の累乗  $c$  の設定などを行う。対策部材としては、現時点（2014 年 10 月時点）では、主桁と床版のみである。図 6.1.7 に MPOS の初期設定画面を示す。

橋梁維持管理計画策定支援システム

システムフロー

劣化曲線・対策の設定

主桁対策を実行  床版対策を実行

主桁 床版 下部工 調橋

初期設定 終了

主桁劣化予測式:  $h(t)_G = b_G - a_G t^c$

主桁劣化予測式の設定

傾き係数  $a$  の設定

通常点検結果から設定  通常点検結果がない場合、初期寿命 60 年から求める

健全度の初期値  $b$  の設定

100   $0 < b \leq 100$

劣化曲線の次数  $c$  の設定

一次式(直線)  二次式(曲線)  三次式(曲線)  その他(未定)

主桁への対策効果の設定

区分	状態	対策工法	単価*	保全面積率	対策上限 <input checked="" type="checkbox"/>	対策効果
V	材料劣化の程度 小	表面被覆	7.5	橋面積の 5.00 %	1 <input type="checkbox"/>	直前の係数に a: <input type="text"/> 2 <input type="text"/> 掛け
IV	材料劣化の程度 中	表面被覆+注入(20%)	17	橋面積の 10.0 %	1 <input type="checkbox"/>	
III	材料劣化の程度 大	断面+被覆+注入(20%)	31.5	橋面積の 20.0 %	1 <input type="checkbox"/>	回復量に b: <input type="text"/> 0.9 <input type="text"/> 掛け
II	耐荷力に影響 小	断面+被覆+注入(40%)	41	橋面積の 50.0 %	1 <input type="checkbox"/>	
I	耐荷力に影響 大	更新	640	橋面積の 100 %	1 <input type="checkbox"/>	a: 係数の初期値に戻る b: 初期健全度に戻る

共通設定

足場架設単価 \*1: 9.6   状態区分全体での対策回数: 5  \*1: 単価(千円/m<sup>2</sup>)

図 6.1.7 初期設定画面

## 第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

### (2) 寿命最大化機能

寿命最大化機能は、初期設定機能で設定した初期条件を用い、読み込んだデータファイル内にあるすべての橋梁（以下、橋梁群とする）に対して、それぞれの橋梁の寿命を最も延長する保全対策年の組み合わせを求める（以下、単に対策と述べた場合は、保全対策とする）。なお、本機能では予算制約は考慮されない。図 6.1.8 には MPOS による個別橋梁の寿命最大化画面を示す。

### (3) 更新費用平滑化機能

更新費用平滑化機能は、橋梁群での更新費用について、各橋梁の更新時期を最大化した寿命から更新時期を前倒し更新費用の平滑化を行う目的で、各橋梁の供用可能年数を決定する。橋梁の維持管理に用いる各年の更新予算については、急な増減が難しく、更新費用を均等化することで、更新予算を平滑化することができる。

ここで、更新に必要な費用を更新費用とし、更新に用いることのできる予算を更新予算とする。図 6.1.9 に MPOS による更新費用平滑化された際の供用可能年が記された劣化曲線出力例を示す。

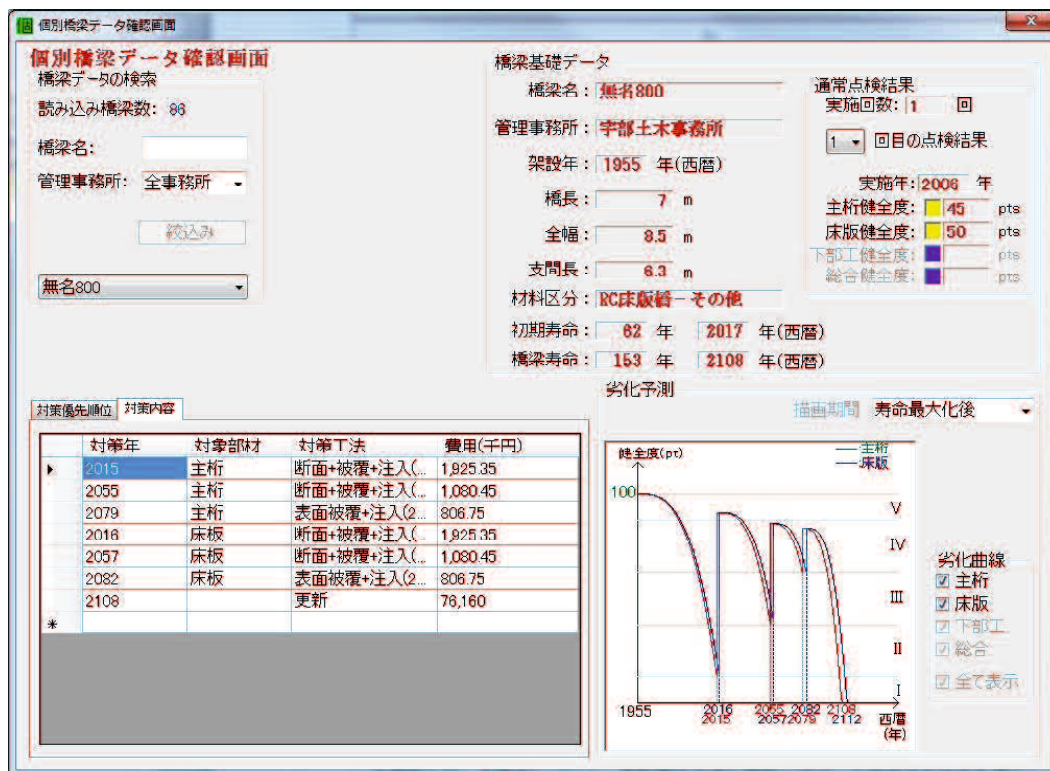


図 6.1.8 個別橋梁の寿命最大化画面

## 第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

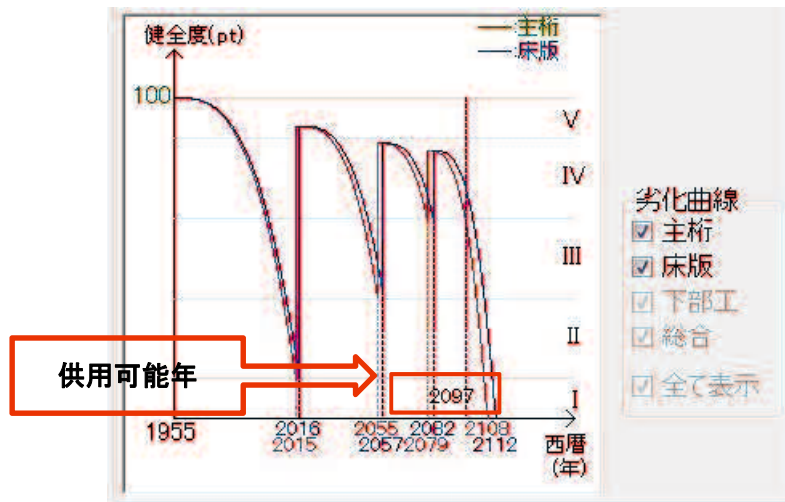


図 6.1.9 供用可能年を記録した劣化曲線出力例 (劣化曲線部拡大)

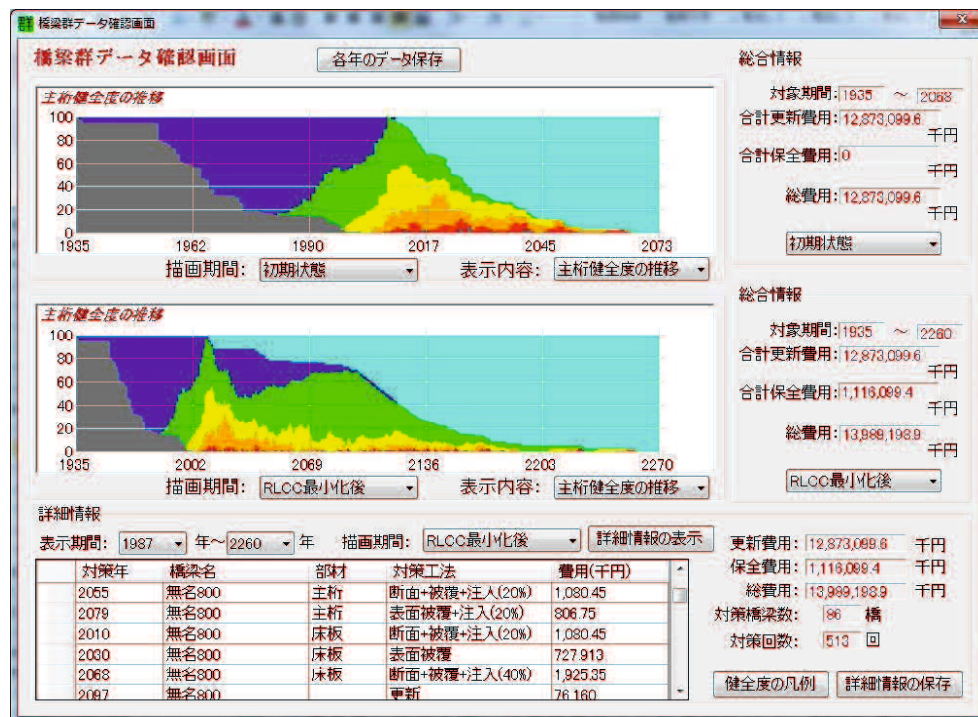


図 6.1.10 RLCC 最小化した橋梁群の出力画面

### (4) RLCC 最小化機能

RLCC 最小化機能は、各橋梁について、更新費用平滑化機能で決定した供用予定年数を満たし、その上で RLCC を最小化する対策の組み合わせを求める。RLCC とは、既設橋梁の場合は、初回の橋梁点検以降を維持管理計画検討開始として、新設費用および維持管理計画を検討する以前の費用は考慮せず、検討時から更新対策を行うまでの総費用である。

図 6.1.10 には MPOS による RLCC 最小化した橋梁群の出力画面を示す。

## 第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

### 6.1.3 MPOS の検証

6.1.2 項で述べたとおり, 本検証は現時点において MPOS の稼働可能な範囲にて行った。

#### (1) 検証橋梁

MPOS の検証としては, 第 4 章, 第 5 章の各 BREX により評価した 9 つの橋梁を 1 つの橋梁群とし, また, 各橋梁に複数いる専門家や点検者から無作為に抽出した 1 人の健全度にて実施した。橋梁 (道路) 管理者が路線ごとに維持管理計画を立案できるかを想定し, 9 橋梁を 1 つの橋梁群としている。検証対象とした橋梁 (橋梁群) の一覧表を表 6.1.3 に示す。検証対象の架設年は 1960 年～1970 年代が中心ではあるが, 比較的ばらつきがある。また, 各橋梁点検実施年まで無補修・無補強と仮定している。

#### (2) 検証結果

##### 1) 寿命最大化の検証

維持管理計画開始年を 2014 年として, また, 表 6.1.2 に示す MPOS のデフォルト値の条件のもと, 橋梁ごとの寿命が最大となる維持管理計画を策定した。図 6.1.11 には例として旧 KT 橋の劣化曲線図, 図 6.1.12 には橋梁ごとの寿命を最大化したときの更新費用の推移を示す。橋梁群の橋梁を現状のまま無対策とすると, 2020 年～2040 年にかけて更新時期が集中している。寿命最大化することで, 更新時期が 2111 年～2151 年と約 100 年更新時期が移動し分散している。これは, 旧 KT 橋と旧 SK 橋の主桁の健全度が橋齢の割に高かったことが劣化曲線の勾配を緩やかにし, その結果, 更新後の劣化曲線にも影響したからである。

表 6.1.2 に示す対策回数を変更させるとさらなる長寿命化も可能となる。例えば, 山口県 橋梁長寿命化修繕計画<sup>3)</sup>によると, 架け替え判断橋齢を最大で 100 年を目安としている。橋齢が 100 年を越えると全ての橋梁を架け替えることはできないので, 健全場橋梁はそれ以上の寿命を必要とされる。本検証では, 全ての橋梁において 100 年を超える長寿命化が可能であることを確認した。

表 6.1.3 検証対象橋梁 (橋梁群) 一覧表

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
橋梁名	旧KT橋	旧SK橋	MH橋	KS橋	NS跨線橋	DZ橋	OT橋	KF橋	SK橋
評価者	専門家A	専門家B	専門家A	点検者A	点検者B	点検者C	点検者B	点検者A	点検者C
架設年	1935	1942	1971	1966	1974	1975	1963	1981	1999
橋長	364.1	168.3	25.0	20.9	15.5	15.6	13.1	8.0	28.2
幅員	11.7	11.0	6.3	12.8	12.5	7.0	11.4	3.8	11.5
支間	12.1	22.2	24.3	20.2	14.9	15.0	12.5	7.4	27.5
上部工形式	RC	RC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC
点検実施年	2009	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
主桁耐久性	37.1	32.7	62.5	74.2	80.5	74.1	70.8	83.2	75.9
床版耐久性	55.4	55.7	73.0	82.8	83.1	81.6	86.8	90.2	90.4



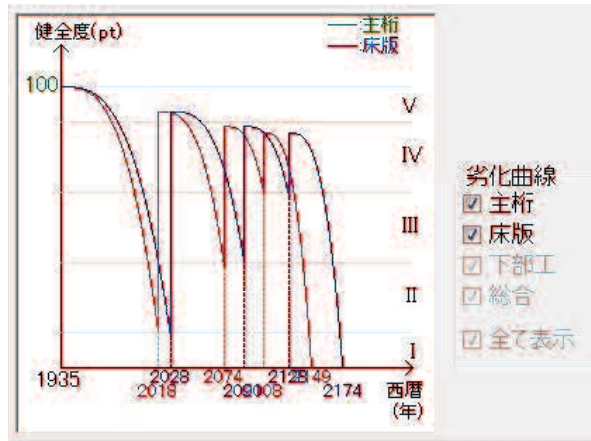


図 6.1.11 旧 KT 橋の劣化曲線図 (例)



図 6.1.12 寿命最大化更新費の推移

## 2) 更新費用平滑化機能の検証

検証に用いた 9 橋という少数の橋梁群にて寿命最大化で得られた結果は、更新時期がばらついていたので、更新費用の平滑化が行われない結果となった。更新時期にばらつきがあると平滑化する必要がないという、一つの答えを出している。図 6.1.13 には上段に寿命最大化後の更新数(更新時期)を、下段に更新費用平滑化後の更新数(更新時期)を示す。平準化する必要がないことから、図 6.1.13 の上下段のグラフには変化がない。

また、通常、同一路線であれば、その路線上の橋梁架設年は近くなることが多いと思われる。既往の研究<sup>2)</sup>によれば、100 橋近い橋梁で更新費用の平滑化がされているので、今後、架設年の近い少数の橋梁で検証してみる必要があると思われる。

## 第 6 章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証



図 6.1.13 寿命最大化後と更新費用平滑化後の更新橋梁数

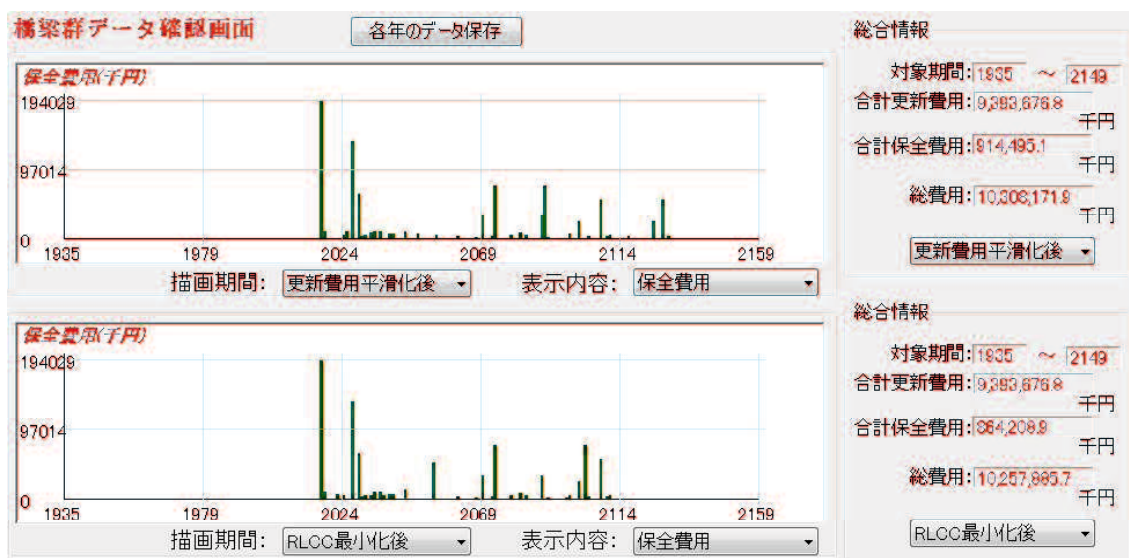


図 6.1.14 RLCC 最小化後の保全費用

### 3) RLCC 最小化機能の検証

RLCC 最小化機能を実行した結果を図 6.1.14 に示す。図 6.1.14 では、2020 年代に保全費用が集中していることには変化はない。しかし、RLCC 最小化することにより保全する期間が約 20 年短くなり、更新費用平滑化後の合計保全費 914,500 千円に対し、RLCC 最小化後の合計保全費用が 864,200 千円に減少し、約 6% の RLCC の削減が出来ている。

### 6.2 余寿命予測

ここでは、MPOS などから算出された耐久性と耐荷性の余寿命予測を比較し、客観的情報にもとづく BREX による健全度の評価検証を行う。評価対象としては、第4章の旧 KT 橋と旧 SK 橋の2橋であり、撤去する際に主桁や床版などからコンクリートコアを採取し、試験がされているので、このデータを採用した<sup>4)~7)</sup>。

過去に行われた実橋梁を用いた主桁および床版に関する実験データ<sup>8),9)</sup>などから、耐荷性の劣化曲線はおおよそ4次関数に近い形のカーブを描くことから4次関数と仮定した。一方、耐久性に関しては、耐荷力などの橋梁の性能や機能などの経年変化に対する抵抗性と定義されていることから<sup>10)</sup>、耐荷性の微分係数（次数が1つ少ない）であると考え、耐久性の劣化曲線を3次関数と仮定しMPOSの劣化曲線に採用した。それぞれの劣化曲線式を式(6.13)、式(6.14)に示す。

$$S_L = f(t) = b_L - a_L t^4 \quad (6.13)$$

$$S_D = g(t) = b_D - a_D t^3 \quad (6.14)$$

ここで、  
S<sub>L</sub> : 耐荷性の健全度、  
S<sub>D</sub> : 耐久性の健全度  
t : 橋齢 (供用年数)  
a<sub>L</sub>, b<sub>L</sub>, a<sub>D</sub>, b<sub>D</sub> : 定数

供用開始時の b<sub>L</sub>, b<sub>D</sub> の値を 100 とし、点検時の耐荷性と耐久性の健全度の S<sub>L</sub>, S<sub>D</sub> と橋齢の t を式(6.13)、式(6.14)に代入して a<sub>L</sub>, a<sub>D</sub> の値を算出する。S<sub>L</sub>, S<sub>D</sub> の値が 0 となった時点で供用不能となる。余寿命予測とは、点検時の耐荷性と耐久性の健全度 S<sub>L</sub>, S<sub>D</sub> より求めた供用不能となる橋齢から点検時の橋齢を差し引いた余寿命を予測することである。

図 6.2.1 に予想劣化曲線のイメージ図を示す。

また、本項では、表 6.2.1 の評価ランクより管理レベルとして 37.5 を設定している。これは、経年劣化によって健全度が 37.5 未満となった時に補修・補強が必要不可欠となる状態にあるからである。

## 第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

表 6.2.1 健全度の評価ランク表 (耐久性)

<b>Unsafe</b> : $0.0 \leq p < 12.5$ (点)	管理レベル
交通の安全確保等の為に、早急に何らかの対策が必要である。 特に、0.0点は供用すべきでない状態(管理限界)である。	
<b>Severe Deterioration</b> : $12.5 \leq p < 37.5$ (点)	
補修が必要不可欠になる状態である。詳細点検の必要がある。	
<b>Moderate Deterioration</b> : $37.5 \leq p < 62.5$ (点)	
劣化が見られ、定期点検の時期を早める必要がある。 今後の追跡調査が必要である。	
<b>Mild Deterioration</b> : $62.5 \leq p < 87.5$ (点)	
劣化が見られ、その程度を記録する必要があるが、 特に補修を考慮すべき状態ではない。	
<b>Safe</b> : $87.5 \leq p \leq 100.0$ (点)	
わずかに劣化しているが、健全な状態である。 特に100.0点は全く問題のない状態である。	

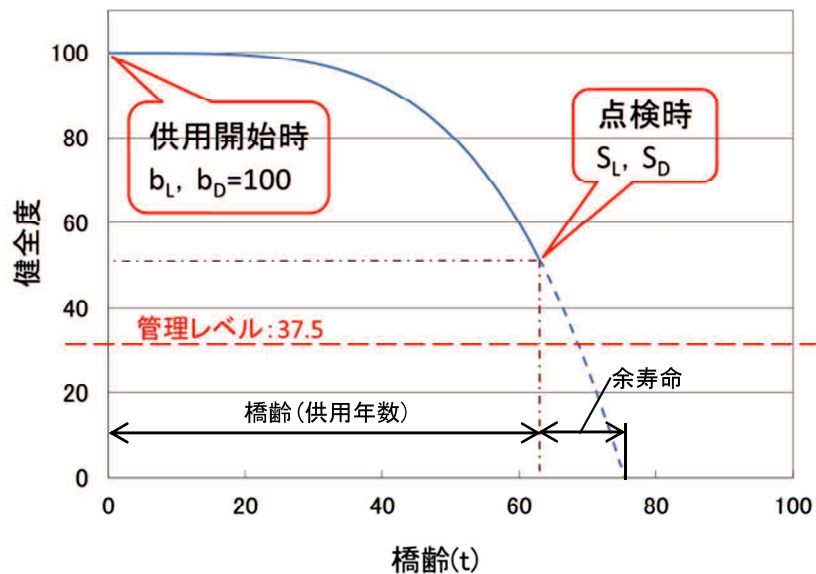


図 6.2.1 予想劣化曲線のイメージ図

## 第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

### 6.2.1 BREXの健全度による余寿命予測

BREXの健全度から、MPOSの劣化曲線式である式(6.1), 式(6.2)と旧KT橋と旧SK橋の両橋梁の「耐荷性評価値」, 「耐久性評価値」である健全度を用いて余寿命が何年であるか予測する。余寿命予測を行う健全度は、4.4.3項の表4.4.2と表4.4.3に示す全標本学習法の健全度を用いる。その全標本学習法の健全度を表6.2.2にまとめた。しかし、6.1.1項で述べたとおり、現在のMPOSは耐久性の健全度による評価しか出来ないのので、式(6.13), 式(6.14)を用いて旧KT橋と旧SK橋の余寿命予測を行った<sup>11)</sup>。式(6.14)より求めた耐久性による余寿命予測は、MPOSの算出した余寿命予測の検証も兼ねている。表6.2.2の全標本学習法の健全度を式(6.13), 式(6.14)に代入すると、両橋梁の余寿命の値は表6.2.3のようになる。また、図6.2.2には旧KT橋、図6.2.3には旧SK橋のそれぞれの主桁および床版の劣化予測曲線を示す。

BREXによる耐荷性および耐久性の健全度から推定される余寿命は、両橋梁とも主桁、床版いずれも耐久性から予測される余寿命の方が長くなる傾向がみられる。これは、耐久性から予測される劣化曲線は橋齢(t)に関する3次関数であり、式(6.14)から求まる $a_D$ 値が式(6.13)から求まる $a_L$ 値よりも大きくなることからである。また、一例として表6.2.2からもBREXによる耐久性の健全度が、耐荷性の健全度より大きい値を示す傾向にあることも影響していると思われる。

表6.2.2 全標本学習法の健全度 (専門家平均)

		旧KT橋 スパンA		旧SK橋 スパンI	
		全標本学習法	評価ランク	全標本学習法	評価ランク
主桁	耐荷性評価	33.49	S-D	24.62	S-D
	耐久性評価	36.14	S-D	32.12	S-D
床版	耐荷性評価	51.35	Mo-D	52.96	Mo-D
	耐久性評価	55.34	Mo-D	55.61	Mo-D

表6.2.3 劣化曲線式による余寿命

		耐荷性		耐久性		橋齢(年)
		健全度	余寿命(年)	健全度	余寿命(年)	
旧KT橋	主桁	33.49	6	36.14	10	74
	床版	51.35	14	55.34	22	
旧SK橋	主桁	24.62	5	32.12	9	70
	床版	52.96	14	55.61	21	

第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

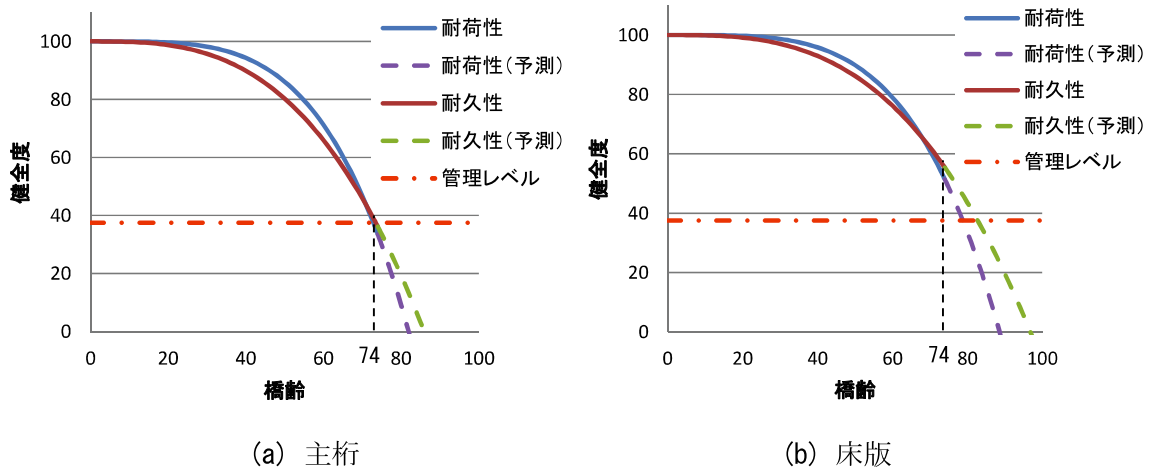


図 6.2.2 旧 KT 橋 劣化予測曲線

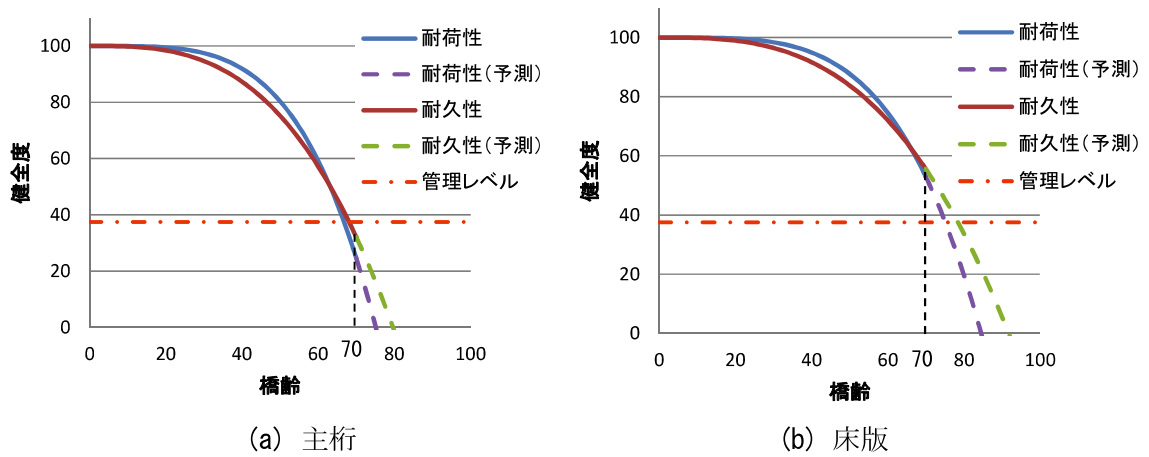


図 6.2.3 旧 SK 橋 劣化予測曲線

### 6.2.2 コア試験による余寿命予測

実測による客観的情報や橋梁内部の劣化情報を取得すること、実測値に基づいた将来予測を行うことなどを目的に、旧KT橋と旧SK橋からコンクリートコアを採取した。既往の研究では、これらの情報がBREXの健全度による余寿命予測の信頼性向上につながると考え、採取したコンクリートコアを用いて、塩化物イオン濃度計測などの試験を行い、余寿命の予測を行っている<sup>4)~7)</sup>。

#### (1) 余寿命の推定手法

コンクリート構造物における寿命予測は、「鉄筋腐食による断面欠損を放置した場合における構造物の余寿命を予測するもの」<sup>12)</sup>で、「放っておいたら、あと何年持つか」という年数の推定になる。コンクリートコア調査による余寿命推定において、旧KT橋、旧SK橋とも海岸近くに架設されていた橋梁であることから、劣化因子が塩化物イオンである場合を対象として、「主桁」から採取したコンクリートコアの劣化状況をもとにした推定を行っている<sup>4),5)</sup>。その余寿命の推定手法としては、(A)鉄筋腐食の進行モデルに着目して潜伏期から算出する簡易的な方法、(B)寿命を仮定する累積鉄筋腐食量に着目して設定量に至るまでの余寿命を算出する方法、(C)鉄筋腐食による鉄筋質量減少率に着目して付着性や耐荷性の低下を推定して判定を行う手法の3つの方法である。旧KT橋の既往の研究によると、手法(B)の累積鉄筋腐食量において余寿命を仮定する場合は、BREXの健全度による余寿命評価に近似する結果より、旧SK橋においても同様の手法で余寿命予測がされている<sup>6),7)</sup>。

#### (2) 累積鉄筋腐食量による余寿命予測

##### 1) 旧KT橋主桁の余寿命予測

旧KT橋主桁に関して、既往の研究によるコンクリートコアを用いた局部評価による余寿命予測とBREXによる全体評価による余寿命予測の比較検証結果を示す。

ここで、寿命を仮定するための鉄筋腐食量に関する研究報告では、腐食量の評価基準 $W_0$ は $1\sim 576\text{mg/cm}^2$ と幅のある値となっている<sup>13)</sup>。そこで、中性化によるひび割れ発生腐食限界量とされている鉄筋腐食量 $10\text{mg/cm}^2$ を参考に、その評価基準の1倍の $10\text{mg/cm}^2$ 、5倍の $50\text{mg/cm}^2$ 、10倍の $100\text{mg/cm}^2$ の値<sup>13)</sup>を腐食量の評価基準 $W_0$ として検討した。

旧KT橋主桁のコンクリートコア15本の平均による余寿命予測とBREXの健全度による余寿命予測の結果一例を表6.2.4に示す。中性化によるひび割れ発生腐食限界量とされている $10\text{mg/cm}^2$ では、既に寿命を越えている結果となっていたので除外している。BREXの「耐久性」健全度による余寿命予測とコンクリートコアの劣化による余寿命予測を比較した結果、累積鉄筋腐食量を $75\text{mg/cm}^2$ 程度とするとBREXによる余寿命予測に近似する結果を得た。

## 第6章 メンテナンスプラン最適化システム（MPOS）の検証

表6.2.4 旧KT橋主桁の余寿命予測結果の一例

旧KT橋	コアによる 余寿命予測(年)			BREXによる 余寿命予測(年)	
	50mg/cm <sup>2</sup>	75mg/cm <sup>2</sup>	100mg/cm <sup>2</sup>	耐久性	耐荷性
スパンA 主桁	4	12 (4+21)/2	21	10	6

これにより、コンクリートの寿命を仮定する累積鉄筋腐食量を  $75\text{mg}/\text{cm}^2$  程度とすることで、コンクリートコアによる寿命予測と BREX による余寿命予測とに対応関係があることを示した。単純計算で累積鉄筋腐食量を  $75\text{mg}/\text{cm}^2$  とした場合、累積鉄筋腐食量  $75\text{mg}/\text{cm}^2$  は、 $50\text{mg}/\text{cm}^2$  と  $100\text{mg}/\text{cm}^2$  の中間に当たるので  $(4+21) \div 2 = 12$  年となり、BREX による耐久性余寿命の 10 年に近似する。なお、BREX による余寿命予測は、表 6.2.3 に示す余寿命である。

### 2) 旧SK橋主桁の余寿命予測

旧KT橋主桁におけるコンクリートコア試験と目視点検によるBREXの健全度との対応関係が示されているので、旧SK橋主桁においてもその対応関係より、コンクリートコアによる余寿命予測を累積鉄筋腐食量 $75\text{mg}/\text{cm}^2$ にて検討している。

旧SK橋主桁では、1経間の5つの主桁にて合計12本のコンクリートコアが採取されており、そのうちの8本にて余寿命予測のための塩化物イオン濃度分析が行われている。塩化物イオン濃度分析用のコンクリートコア採取位置を、図6.2.4に示す。その分析結果をもとに、旧SK橋の既往の研究<sup>6),7)</sup>では、累積鉄筋腐食量 $75\text{mg}/\text{cm}^2$ に至る各コンクリートコアにおける余寿命予測が行われている。ここでは、それに加え、旧KT橋主桁で設定されていた累積鉄筋腐食量 $50\text{mg}/\text{cm}^2$ 、 $100\text{mg}/\text{cm}^2$ による余寿命予測も行ってみた。これは、旧SK橋のBREXによる余寿命予測も累積鉄筋腐食量 $75\text{mg}/\text{cm}^2$ 時に近似し対応関係があるのか検証したものである。旧SK橋主桁のコンクリートコアによる余寿命予測結果の一例を表6.2.5に示す。



第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

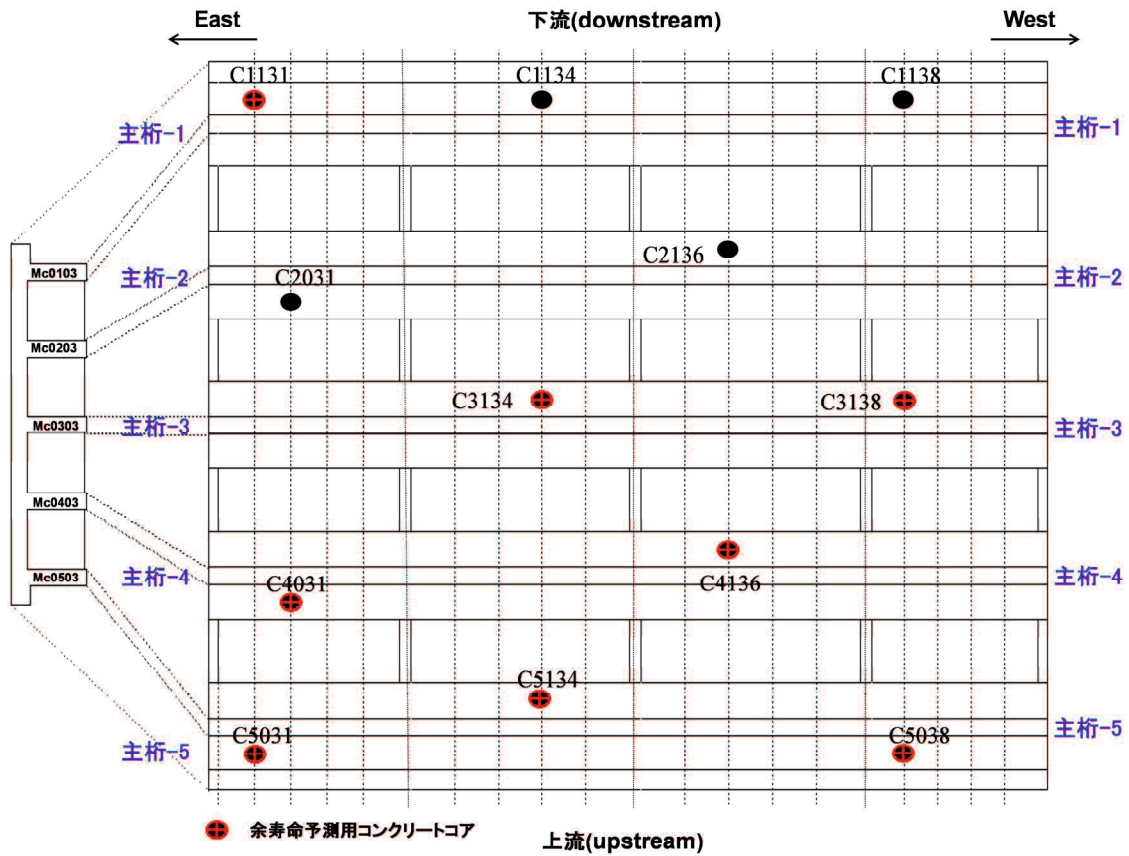


図6.2.4 旧SK橋 コンクリートコア採取位置図

表6.2.5 旧SK橋主桁の余寿命予測結果の一例

主桁	コアNo.	旧SK橋 橋齢(年)	コアによる寿命・余寿命予測(年)						BREXによる 余寿命予測(年)	
			50mg/cm <sup>2</sup>		75mg/cm <sup>2</sup>		100mg/cm <sup>2</sup>		耐久性	耐荷性
			寿命	余寿命	寿命	余寿命	寿命	余寿命		
G1	C1134	70	52	-18	62	-8	71	1	9	5
G3	C3134		60	-10	69	-1	77	7		
	C3138		78	8	92	22	103	33		
G4	C4031		45	-25	53	-17	60	-10		
	C4136		80	10	95	25	107	37		
G5	C5031		52	-18	64	-6	74	4		
	C5134		93	23	110	40	124	54		
	C5038		63	-7	76	6	88	18		
平均値(年)				65.4	-4.6	77.6	7.6	88.0		

## 第6章 メンテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証

表 6.2.6 余寿命予測の比較表

	採取コアによる 余寿命予測 <sup>※1</sup> (年)	BREXによる余寿命予測 (年)						橋齢 (年)
		初期知識		アンケート結果		学習後		
		耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	
旧KT橋 主桁	12	7	27	6	4	7	18	74
旧SK橋 主桁	7	5	21	4	4	5	13	70

※1: 累積鉄筋腐食量75mg/cm<sup>2</sup>時

表6.2.5に示すように、旧SK橋主桁においても旧KT橋主桁同様、BREXの健全度による余寿命予測の結果とコンクリートコア試験を用いて定量的に検証した累積鉄筋腐食量75mg/cm<sup>2</sup>時の結果との差が、2年程度とほぼ同様の余寿命を予測する結果となった。これにより、累積鉄筋腐食量を75mg/cm<sup>2</sup>として耐久性の観点から余寿命を予測すると、BREXの健全度による余寿命に近似することが裏付けられた。なお、BREXによる余寿命予測は、表6.2.3に示す余寿命である。

また、初期知識などBREXの健全度による余寿命予測の比較表を表6.2.6に示す。学習後の耐久性健全度による余寿命予測とコンクリートコア試験による余寿命予測との差が、概ね5年程度であった。学習後の耐荷性健全度についても、ほぼ同様の結果を得た。これらの結果より、全標本学習法による健全度から算出された余寿命予測と同様、学習後のBREXの健全度による余寿命予測も、ある程度信頼できる評価であることが確認できた。

よって、BREXの健全度は信頼できる評価であるといえる。

### 3) コンクリートコア採取について

コンクリートコア試験から得られる評価は、橋梁の局所的な評価での余寿命予測である。表6.2.5に示すように、コンクリートコアの採取位置でそれぞれの余寿命にばらつきがあるのは、塩分が飛散しやすい河口から1km以内に旧SK橋は架設されており、飛散した塩分がコンクリートに一樣に付着していないからである。また、表6.2.5からも、下流側の方が塩害の影響を受けて余寿命が短くなる傾向がある。このような、塩害の影響を受けやすい位置にある橋梁の場合には、コンクリートコアを多く採取し試験が行えれば、信頼性の高い余寿命予測が可能となる。しかし、実業務においてコンクリートコアを採取できるのは多くて3本程度で、その採取場所は塩害の影響を受けやすい下流側が多い。環境が悪く、局所的なコンクリートコア試験による予測となるので、橋梁全体的な評価をしているBREXによる余寿命予測より、かなり厳しい結果となることが考えられる。そこで、BREXによる余寿命予測の精度を補完するために、コンクリートコアの採取場所によって設定する累積鉄筋腐食量を変化させることも検討していく必要があると思われる。

### 6.3 結言

本章では、耐久性が記録された J-BMS DB 内の XML ファイルを MPOS で取り込み、維持管理計画の立案の検証を行ってきた。また、MPOS から算出された耐久性の余寿命と別途作成した耐荷性の余寿命予測を比較し、コンクリートコア採取による試験結果の客観的情報にもとづく BREX による健全度の信頼性評価と検証を行った。その結果、MPOS については、構築や修正をしなければならない機能があるが、BREX のデータ読み取り、そのデータにもとづいた維持管理計画の策定が可能なシステムとなっていることがいえる。

以下に、本研究で得られた検証結果をまとめる。

- ① BREX にて得られた耐久性の健全度を用いて、劣化曲線の出力や長寿命化などを考慮した維持管理計画の立案が現時点でのシステムでも可能である。
- ② ①より、J-BMS はコンクリート橋の一連の維持管理業務の効率化を図れるシステムであるといえる。
- ③ BREX の健全度による余寿命予測結果と劣化因子が塩化物イオンであるコンクリートコアを用いて定量的に検証した余寿命予測の結果の差が、数年以内とほぼ同様の余寿命を予測する結果となった。この結果より、累積鉄筋腐食量を  $75\text{mg}/\text{cm}^2$  とした場合、BREX の健全度による余寿命予測は、信頼できる評価であることが裏付けられた。
- ④ また、③からBREXの健全度についても信頼できるものであるといえる。

また、MPOS を今後より有効に利用していくために必要な課題などをまとめた。

- ① MPOS には耐久性の劣化予測を行う 3 次劣化曲線式しか備わっていない。BREX にて評価された耐荷性による劣化曲線の出力などを可能とするために 4 次劣化曲線式も装備する必要がある。
- ② 更新費用などを描画できる機能が備わっているが、棒グラフなどが細くわかりにくいので表示方法を再考する必要がある。
- ③ 長寿命化した際、橋梁の寿命が 200 年以上になるものも多くある。維持管理計画策定期間が長期となっているので、閾値を設ける等により策定期間を短くしより現実的な MPOS にする必要がある。
- ④ 供用中の橋梁でコンクリートコアを採取できる本数は限られている。コンクリートコア採取位置により設定する累積鉄筋腐食量を変化させるなどして、コンクリートコア試験による余寿命予測を行うことにより、BREX による余寿命予測の精度を補完できるようになる。また、劣化因子が塩化物イオンの場合だけでなく、他の劣化因子についても同様に検討する必要がある。
- ⑤ 橋梁の架け替えは上部工損傷状況等のみで判断されたのではなく、下部工や河川、交通量などの社会情勢により総合的に架け替えが経済的であると判断される。よって、

## 第6章 メンテナンスプラン最適化システム（MPOS）の検証

---

社会情勢をシステム化することは不可能であるが、少なくとも下部工も維持管理計画可能なシステムにする必要がある。

### 参考文献

- 1) 石田純一：山口県における計画的な橋梁維持管理手法の導入に関する基礎的研究，山口大学大学院理工学研究科博士論文，2008.3.
- 2) 森優太：実橋データを用いた橋梁維持管理計画策定支援システムの実用化と検証，山口大学大学院理工学研究科修士論文，2009.3.
- 3) 山口県土木建築部道路整備課：山口県橋梁長寿命化修繕計画（平成26年3月版），  
<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/6/d/c/6dc9557d208c28012e6cd5e066a4315e.pdf>（2014.10.アクセス）
- 4) 宮本文穂，江本久雄，高橋順，平西邦裕：現地調査に基づく撤去橋梁の健康診断と余寿命推定およびその検証法，コンクリート工学論文集，Vol.23,No.3, pp.119-132, 2012.9.
- 5) 宮本文穂，江本久雄，高橋順：旧厚東川大橋の果たした役割と撤去時健康診断～現地調査結果の最終報告集～，山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.15, 2011.3.
- 6) 高橋順，江本久雄，Ratna Widyawati, 宮本文穂：コンクリートコア試験に老朽化橋梁の余寿命推定に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36,No.2,2014
- 7) Ratna Widyawati, Jun Takahashi, Hisao Emoto and Ayaho Miyamoto : Remaining Life Prediction of an Aged Bridge based on Concrete Core Test, Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials (SCESCM 2014), Yogyakarta, Indonesia, pp.1-10, Sept, 2014.
- 8) 宮本文穂：道路橋鉄筋コンクリート床版の力学的特性とその耐用性判定に関する基礎的研究，京都大学学位論文，1984.9.
- 9) 森川英典：既存コンクリート橋の安全性および寿命評価に関する基礎的研究，神戸大学学位論文，1994.8.
- 10) 土木学会：コンクリート構造物の維持管理指針（案），コンクリートライブラリー81, 1995.10.
- 11) 宮本文穂，浅野寛元，江本久雄，勝島龍郎：RC橋維持管理支援システム(J-BMS RC版)の開発と実橋への適用，土木学会論文集F4（建設マネジメント），（投稿中）
- 12) 土木学会：材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ No.71, 2006.
- 13) 土木学会：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会（338委員会）委員会報告書，2009.

### 第7章 結 論

社会基盤構造物の高齢化や有限な財源、専門技術者不足が叫ばれるなかで、既存の社会基盤構造物の合理的かつ効率的な維持管理が求められている。橋梁は人々の生活や経済活動の発展などを支えている社会資本であり、その社会資本を効率的に運営するためには、その状態を的確に分析、正しく評価し、適切な対策を実施する診断技術の整備が必要である。そのため、山口大学大学院理工学研究科にて長年に渡り、コンクリート橋の橋梁維持管理業務の効率化を支援する J-BMS の研究・開発が進められている。J-BMS は橋梁の諸元データや点検データなどを効率的に管理する J-BMS DB, 橋梁の劣化診断を行う BREX, 最適維持管理計画の立案を行う MPOS の各サブシステムから構成される。J-BMS は橋梁の維持管理による長寿命化を目的に開発され、橋梁の維持管理フローである「点検・調査」、「評価・診断」、「計画・対策」の各ステップにおいて、維持管理機関の業務や意思決定を支援する統合型橋梁維持管理支援システムである。

再構築を行った J-BMS RC 版と新たに開発した J-BMS PC 版を実用化させるには、多方面からの検証が必要となる。本研究は、橋梁の維持管理フローにおいて「評価・診断」に該当する性能評価システムの BREX を主対象として、新たに複数の実橋梁点検データを採取し、実際に維持管理業務を行う立場から「評価・診断」の検証を行い、J-BMS の有用性を示した。

#### 7.1 各章のまとめ

**第1章 結論**では、まず、J-BMS 開発の社会的な背景と日本、アメリカそして山口県の橋梁の現状、J-BMS 実用化の必要性について述べた。さらに、前述した社会的背景などから研究の目的を明らかにし、本論文の構成と概要を述べた。

**第2章 既存の BMS と J-BMS の変遷・概要**では、まず、国内外の道路管理機関ですでに開発されている代表的な BMS の事例をまとめた。続いて、研究対象としたコンクリート橋についての概要を述べた。さらに、J-BMS の開発は長きにわたり行われてきているので、その変遷をまとめた。最後に、J-BMS の基本的な運用の流れを説明し、J-BMS が有する各サブシステムの概要とその特徴などを整理した。

**第3章 性能評価システム (BREX)** では、J-BMS の中心的なシステムである BREX (性能評価システム) について述べている。まずは、BREX には定量システムと定性システムの2つの性能評価システムが存在し、両システムの共通事項である知識表現方法や評価方法、学習方法などについて述べた。両システムが存在することにより、詳細点検と通常点検の点検方法によって使い分けが可能である。また、ニューラルネットワークやメンバー

## 第7章 結 論

---

シップ関数などの知識表現方法について、計算例を用い簡単に紹介した。

J-BMS の中心的なシステムであるので、主要な箇所の概要を述べる。

### (1) 知識表現方法

評価プロセス、知識表現ルール、メンバーシップ関数そして重要度算出を説明しており、要点を以下に列挙する。

- i) 評 価 プ ロ セ ス: 専門家が行う橋梁の現有性能に関する評価過程を階層構造的に表現
- ii) 知 識 表 現 ル ー ル: 専門家の持つ経験的かつ主観的な知識を IF-THEN 形式の知識表現ルールを用いて表現
- iii) メンバーシップ関数: 最大ひびわれ幅(mm)などの数値は連続性のあるデータであり、それを扱うためには、そのデータをどれだけ採用するかを決定する必要がある  
この方法として、人間は曖昧な表現をするので、その曖昧さを扱うためにメンバーシップ関数を用いて、数値から言語への変換を行っている
- iv) 重 要 度 算 出: 専門家がある評価項目を幾つかの項目を総合して評価を行う場合、特定の項目を重要視して評価する  
その専門家が有する重要度判定を算出する方法を提案し実装している

### (2) 評価方法

人間の曖昧さを扱うようにしているため、①データ入力→②ファジィ集合の適合度計算→③ルールの適合度計算→④健全度計算を行い、健全度を算出し評価する。

### (3) 学習方法

専門家の有する知識に近づけるように繰り返し計算をする学習用のプログラムにて学習する。

**第4章 J-BMS RC 版 (RC-BREX) の実橋への適用および検証**では、J-BMS RC 版を実用化させるために、橋梁の架替えに伴い撤去される RC 橋を用いて、新たにデータ収集のための詳細な点検を行い、定量的なデータ入力して、様々な観点から RC-BREX の検証について述べた。

橋梁の維持管理の中で重要となる「評価・診断」部として機能する RC-BREX は、建設コンサルタント会社や施工業者など橋梁に関する業務に長年携わってきた専門技術者によって詳細点検から得られた定量的なデータを入力することにより、橋梁、特に上部工の診

## 第7章 結 論

---

断を行う定量システムである。今まで幾度か検証されてきてはいるが、実際に維持管理業務を行う立場から、RC-BREXの「評価・診断」の検証を行っている。そこで得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① 専門家の業種によって変状の認識が異なっていると思われる結果を得た。補修・補強施工を業務とされている専門家は比較的確認した変状が少なく、これに対して、コンサルタントなど点検業務をされている専門家は確認した変状が多かった。これは、発生している変状を管理者に報告する専門家とその結果をもとに進行性や緊急性の高い変状を補修する専門家とで“見る目”が異なっているためであると考えられる。
- ② 上述①にも関連するが、各専門家にて変状個数の差があるにも関わらず評価結果には差がほとんど生じていない。これは、RC-BREXが単に変状の個数だけで評価しているのではなく、各変状の損傷程度をもとに評価しているためであるといえる。
- ③ 専門家別に学習させた評価は、定量的な評価と主観的な知識を併せ持った有用なデータである。
- ④ 全標本学習後の評価結果はアンケート評価の値に近い結果となっており、主観によるアンケート評価の学習を重ねることで、RC-BREXが専門家の知識を抽出して評価に反映させていることが確認できた。
- ⑤ 多少の改良点は必要であるが、通常点検レベルの評価として用いるのであれば、初期知識の評価結果も活用できるものであるといえる。

**第5章 J-BMS PC版(PC-BREX)の実況への適用および検証**では、J-BMS PC版を実用化させるために、山口県内に架かるPC橋を用いて、新たにデータ収集のための通常点検レベルの点検を行い、様々な観点からPC-BREXの検証について述べた。

PC-BREXは、RC-BREXと同様に橋梁の維持管理の中で重要となる「評価・診断」部として機能し、定性的なデータを入力することにより、橋梁、特に上部工の診断を行う定性システムである。RC-BREXの検証時のように多くの経験豊かな専門家に調査協力を仰がず、橋梁の維持管理に関する基礎的事項を学んだ山口大学の学生と橋梁の設計や維持管理に携わって10年以上の経験をもつ少数の専門家らによって、通常点検の点検から得られた定性的なデータを入力することにより、PC-BREXの「評価・診断」の検証を行っている。これは、今後高齢化したPC橋が増大していくなか、橋梁の点検経験が少ない自治体職員や民間コンサルタント会社の専門家を想定して、ある程度橋梁の維持管理に関する知識があればPC-BREXにて診断が可能であるかを検証したものである。そこで得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① PCT桁橋におけるPC-BREXの診断結果で各点検者の顕著な差が見られた項目は、主桁・床版ともに施工に関する項目であった。
- ② 学生と専門家との診断結果の比較を行ってみたところ、点検時に着目する箇所の違いなどはあったが、PC-BREXの診断結果には大きな差は見られなかった。このことか



## 第7章 結 論

---

ら、点検を行う技術者が橋梁に関してある程度の知識があれば、PC-BREX を用いることで橋梁の現有性能の評価を行うことができる。

- ③ 同一点検者による同一橋梁の再点検した診断結果の比較を行ってみたところ、主観的な質問の答えに違いがあったが、階層上位の診断結果にはほとんど差は見られなかった。このことから、点検者自身の損傷に対する認識（損傷の評価）の変化はあまりないことがいえる。
- ④ PC-BREX が推奨する PCT 桁以外の PCI 桁橋についても同様の点検を行い診断した。その結果、PCI 桁橋についても①に示す PCT 桁橋と同様の傾向が見られ、PC-BREX が適用できるといえる。
- ⑤ 多くの専門家によるアンケート評価が必要ではあるが、橋梁の状態を把握する通常点検に適する PC-BREX は、この評価によりある程度の妥当性を示したものとする。

**第6章 メインテナンスプラン最適化システム (MPOS) の検証**では、耐久性が記録された J-BMS DB内の XML ファイルを MPOS で取り込み、維持管理計画の立案の検証を行った。また、MPOS から算出された耐久性の余寿命と別途作成した耐荷性の余寿命予測を比較し、コンクリートコア採取による試験結果の客観的情報にもとづく BREX による健全度の信頼性評価と検証を行った。そこで得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① BREX にて得られた耐久性の健全度を用いて、劣化曲線の出力や長寿命化などを考慮した維持管理計画の立案が現時点でのシステムでも可能である。
- ② ①より、J-BMS はコンクリート橋の一連の維持管理業務の効率化を図れるシステムであるといえる。
- ③ BREX の健全度による余寿命予測結果と劣化因子が塩化物イオンであるコンクリートコアを用いて定量的に検証した余寿命予測の結果の差が、数年以内とほぼ同様の余寿命を予測する結果となった。この結果より、累積鉄筋腐食量を  $75\text{mg/cm}^2$  とした場合、BREX の健全度による余寿命予測は、信頼できる評価であることが裏付けられた。
- ④ また、③からBREXの健全度評価についても信頼できるものであるといえる。

以上より、橋梁維持管理支援システムである J-BMS は、橋梁の維持管理に関わる行為である「点検・調査」、「評価・診断」、「計画・対策」を行えるシステムとして構築されている。しかし、本研究においていくつかの課題や改善事項もあり、今後より実用性を高めていくために、次節にて必要な課題などをまとめた。

### 7.2 J-BMS の課題と改善事項

#### 7.2.1 RC-BREX

RC-BREX の検証は、同一時期に複数人の専門家により得られた点検データを用い、専門家の知識を反映した評価システムとなっている。しかし、実業務にて RC-BREX を用いるような詳細点検時には、現場での点検調査人数は3~4人程度の少人数が主である。さらに、その中でも劣化診断を行うのは1~2人である。少人数のデータでも有用と考えるが、今後検証する必要がある。また、専門家による耐荷性や耐久性など評価プロセス上層の評価は、過去の評価を蓄積するのではなく詳細点検時の最新のものをを用いることが必要と思われる。さらに、診断プロセス下層のひび割れなどの個々の変状評価は、データを蓄積しそれらをもとに RC-BREX が評価するシステムへ再構築するなど、既設橋梁を用いて検証する必要があると考える。

以下に、本研究における課題と改善事項を列挙する。

- ① 経験豊富な専門家が利用することを想定している RC-BREX であるため、PC-BREX に備わっている利用者を補助する「What機能」と「Why機能」が装備されていない。誰でも利用しやすいシステムとするためには、このような補助機能を装備する必要がある。
- ② 専門家個人の知識や経験、現在の業種などの差異により点検データに“ばらつき”が生じていた。このばらつきの解消策として、点検前に専門家間での変状確認に関する情報交換や点検練習用の橋梁3次元CGモデル<sup>2)</sup>などを活用することで専門家各人の損傷の共通認識化を図ることが必要である。
- ③ 橋梁の損傷度合いによっては、多くの変状データを RC-BREX に入力することになる。現状の RC-BREX では、変状図から変状一覧表を作成し、その後システム上にデータを直接入力している。本研究でもいくつか見られたが、システムへの入力の際に入力間違いが発生する可能性がある。「.xlsx」や「.csv」などのファイルをインポートできるようにすることで、一段階作業手間が省け、入力間違いもなくなるので、早期に改良を必要とする箇所である。
- ④ ひび割れの変状点検項目の中に、ひび割れの長さを入力する項目がない。補修時のひび割れ注入剤の注入量算出時には、ひび割れの長さが必要になってくるので変状点検項目に追加する必要がある。
- ⑤ 今回、特にアンケート評価の「環境条件評価」において、専門家間に評価の違いが生じていたので、アンケートの内容を細分化するなど再考する必要があると思われる。
- ⑥ 全標本学習法はアンケート評価を一つずつ学習させることから、専門家の知識を抽出して評価に反映させているが、最後に学習させたアンケート評価に影響を受けて評価をしている傾向もみられる。また、アンケート評価の値が非常に低い値の場合には、学習を重ねる際に、学習に十分反映されていない可能性もある。アンケート評価の値を変えるなどして検証してみる必要がある。また、同時期に採取された複数のアンケ

## 第7章 結 論

ート評価を用いる場合には、そのアンケート評価の平均値を学習させる方法もあり、学習させた評価の値がアンケート評価の値に近づくか検証する必要がある。

- ⑦ 東日本大震災以降、多くの橋梁で耐震補強工事などが実施されていることから、道路管理者には多くの橋梁の詳細点検データがあると思われる。今後それらの補強や補修が行われる橋梁の詳細点検データを用いるなどして、多くの点検データや教師データを収集しRC-BREXの信頼性の向上を図る。
- ⑧ 個々の変状の評価を行うと、その評価に多くの時間を費やすことになる。そこで、専門家によるひび割れなどの個々の変状とその変状評価をRC-BREX内に蓄積し、新たな変状を入力すると蓄積された変状評価をもとにRC-BREXが評価するシステムへ再構築することが考えられる。これにより、専門家は耐荷性や耐久性などの評価プロセスの上位階層の評価を行えば済む評価システムとなり、実際の点検業務においても活用しやすいのではないかと考える。

### 7.2.2 PC-BREX

PC-BREX は、現状では定量システムが備わっていない。しかし、既存の PC 橋には塩害により PC 鋼線が腐食し、コンクリートに断面欠損が生じているものもある。今後、高齢化した PC 橋も増加していくなかで、早急に定量的な点検調査によって PC 橋の健全度評価が可能なシステムの構築が急がれる。また、定性システムの PC-BREX にも学習機能を追加する必要がある。

以下に、本研究における課題と改善事項を列挙する。

- ① J-BMS PC 版用に再開発した PC-BREX には学習機能が備わっていない。よって、多くの専門家に点検と各評価項目の採点を行ってもらい、その採点結果を学習データとして対応付け、PC-BREX の信頼性の向上を図る必要がある。計算過程を再度確認して、状況によっては見直しを行うことも必要となる。また、専門家による点検結果にコメント欄を設け、そのコメントを劣化診断に組み込むことにすれば、より精度の高い診断が可能となる。
- ② 点検調査時に専門家でさえ点検アンケートについて点検項目の記述がわかりにくいので記入しにくいとの意見が聞かれた。PC-BREX には、PC-BREX の稼働中に利用者が疑問を持った場合に、これらの疑問を解決する「What 機能」、「Why 機能」が備わっている。PC-BREX 上で疑問が生じた場合にはこの機能を使用すればそれぞれの点検項目の内容がわかるので、点検者には点検前に PC-BREX をあらかじめ稼働してもらう必要があった。しかし、現地で点検アンケートに疑問が生じても PC-BREX を稼働させることは難しいので、よりよいデータを収集するためには、疑問が生じない点検アンケートに修正する必要がある。
- ③ PC-BREX が推奨している PC 橋以外を評価しようとする、PC-BREX は過小評価する可能性がある。橋長、幅員により標準的な桁配置があるので、PC-BREX をもう少し

柔軟性のあるシステムにする必要がある。

- ④ ②に関連するが、現在備わっている **What** および **Why** 機能の充実を行う。 **What** 機能はシステム利用者の項目の意味や定義を示し、 **Why** 機能はシステム利用者の疑問の解消を目的に実装されているが、現状、説明不足の項目も見られ、利用し易いように内容の充実を図る必要がある。
- ⑤ **PC-BREX** の評価結果出力の見直しも必要と考える。一番求めたいものは何かを強調させるため、耐用性、耐荷性、耐久性の結果のみを表示させるなど、表示方法に工夫が必要である。

### 7.2.3 MPOS

**MPOS** は、現状ある程度の計画策定は行えるシステムである。しかし、本研究において、**MPOS** はまだ幾つかの機能を追加し一つのサブシステムとして形にする必要がある。

以下に、本研究における課題と改善事項を列挙する。

- ① **MPOS** には耐久性の劣化予測を行う 3 次の劣化曲線式しか備わっていない。 **BREX** にて評価された耐荷性による劣化曲線の出力などを可能とするために 4 次式の劣化曲線式も装備する必要がある。
- ② 更新費用などを描画できる機能が備わっているが、棒グラフなどが細くわかりにくいので表示方法を再考する必要がある。
- ③ 長寿命化した際、橋梁の寿命が 200 年以上になるものも多くある。維持管理計画策定期間が長期となっているので、閾値を設ける等により策定期間を短くしより現実的な **MPOS** にする必要がある。
- ④ 供用中の橋梁でコンクリートコアを採取できる本数は限られている。コンクリートコア採取位置により設定する累積鉄筋腐食量を変化させるなどして、コンクリートコア試験による余寿命予測を行うことにより、 **BREX** による余寿命予測の精度を補完できるようにする。また、劣化因子が塩化物イオンの場合だけでなく、他の劣化因子についても同様に検討する必要がある。
- ⑤ 橋梁の架け替えは上部工損傷状況等のみで判断されたのではなく、下部工や河川、交通量などの社会情勢により総合的に架け替えが経済的であると判断される。よって、社会情勢をシステム化することが不可能であるが、少なくとも下部工も維持管理計画可能なシステムにする必要がある。

## 第7章 結 論

---

最後に、本研究は、**J-BMS** の再構築を行い、利用者側の立場からこの **J-BMS** を検証したものである。システム開発者の想いと実際の利用者側の想いが初めから一致することはとても難しく、本研究で検証を行っても「入力項目のチェック項目が不足していないか？」など利用者側としての気づきがあった。利用者側の要求をすべて飲み込むことはシステム開発上難しいと思うが、橋梁の高齢化は急速に進行しており、それに反比例して専門技術者は不足していく状況にある中で、橋梁の維持管理支援の役割を果たせる **J-BMS** のさらなる開発は急務である。**J-BMS** は、現時点においても維持管理業務を支援できるシステムであるが、積極的な運用を行い、本節で述べた **RC-BREX** や **PC-BREX**、**MPOS** のそれぞれの改善事項をシステムに反映し、実績を積むことにより、早期に実用化できるシステムになると考える。

### 参考文献

- 1) 浅野寛元, 住居孝紀, 勝島龍郎, 宮本文穂 : J-BMS PC 版の開発と実橋梁への適用, 山口大学社会基盤マネジメントシリーズ No.18, 2012.6.
- 2) 内村俊二, 澤村修司, 宮本文穂 : バーチャルリアリティを活用した橋梁目視点検支援システムの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1399-1404, 2010.

---

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、本学入学以前より本研究に取り組むきっかけを与えてくださり、また、懇切丁寧なご指導をいただきました山口大学大学院理工学研究科 宮本文穂教授に心から感謝の意を表しますとともに、厚くお礼申し上げます。

本研究に着手する約 10 年前に、宮本教授のもとで研究を行うチャンスがあったのですが、そのときには筆者自身が未熟であったことから、入学するに至らなかった経緯があります。それから時は流れ、J-BMS を援用するためのデータ収集として開催された橋梁点検に、筆者は「代理」で出席しました。その橋梁点検以降、宮本教授の方から、「J-BMS の研究をやってみないか」とお誘いをいただくようになりました。そのような話をいただくとは想ってもみなかったことから、本格的に研究を行おうと決断するまでには時間を要しました。それは、宮本教授が長年研究されてきた橋梁維持管理支援システムのさらなる発展が出来るだろうかと不安が先行していたからです。その間も熱心に誘っていただき、考え抜いた結果、このようなチャンスを逃してはもったいないと、本格的に研究に着手しました。社会人学生として仕事の関係でなかなか研究室に足が向かない筆者に対して、時には暖かく、時には厳しく激励をいただきました。また、土木学会 土木情報学委員会における「土木情報学システム開発賞」を受賞できたのもひとえに宮本教授のご指導の賜物であり、多くの技術者と交流できたことも、今日に至る糧となりました。ここに、深甚なる感謝と敬意を表します。

山口大学大学院理工学研究科 喜多英敏教授、同 中村秀明教授、同 江本久雄助教、山口大学大学院医学系研究科 市原清志教授には、本論文をまとめるにあたり、ご多忙な公務中にもかかわらず、非常に有益なご教示をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。中村教授、江本助教には、両氏の BMS に関する既往研究成果などより、多くの助言をいただきました。また、江本助教には、システム系が弱い筆者に研究の幅を広げる多くの示唆をいただきました。

また、長崎大学大学院工学研究科 松田 浩教授、同 森田千尋准教授、同 修行 稔元教授には、山口大学大学院への入学のきっかけを作っていただきました。ここに、深く感謝致します。

本研究の実橋点検調査において、国土交通省中国地方整備局や山口県土木建築部、美祢市役所の関係者の方々には、現地点検調査のために多大なる援助を受けました。ならびに、実橋解体業者や点検調査に参加していただいた建設コンサルタント会社、施工業者の関係者の方々の協力は、本研究成果は得られなかったものであります。ここに、改めて感謝の意を表します。

---

---

次に、宮本研究室にて本研究の関連研究をされてきた諸先輩方々や多くの刺激を筆者に与えてくれた宮本研究室の多く学生諸氏、事務手続きなどでお世話になった宮本研究室秘書の河内美由紀氏に、深く感謝致します。

太平工業株式会社の一木秋浩氏、阪神高速技術株式会社の勝島龍郎氏の両氏なくしては「土木情報学システム開発賞」の受賞はなかったものであります。心から感謝致します。勝島氏とは一番長く本研究をともにを行い、データ整理や解析作業をしていただきました。勝島氏の協力なくしては、本論文をまとめることができなかつたと思います。また、ともに本研究をおこなった、西日本旅客鉄道株式会社の清水一史氏、山口大学大学院の村田征也氏、宮本研究室の山本大道氏にも深く感謝致します。

さらに、平成 26 年度宮本研究室最終メンバーである田中英哲氏、平野晋太郎氏、**Mr.HUGO DA COSTA XIMENES, Mr.NABENDE INNOCENT and Mr.KAIGWA TWELI GICHUHI** にも、ともに机を並べられたことを感謝しています。I am very grateful.

そして、宮本研究室の博士後期課程に在籍された三井共同建設コンサルタント株式会社の吉武俊章氏、協和設計株式会社の本下 稔氏、株式会社構造計画研究所の矢部明人氏、山口県土木建築部の澤村修司氏、山根 智氏、滋慶医療科学大学院大学の山下哲平氏、留学生の **Mrs.Ratna Widyawati**、株式会社エスイーの大石裕介氏には、研究の良き理解者として、応援していただきました。ともに時間を共有できたことを深く感謝致します。

なお、社会人学生として、また本研究に深いご理解とご支援、ご激励をいただきました宇部興産コンサルタント株式会社の社員の方々に、心から感謝致します。

また、学生時代の友人の助けや励ましなど、これまで多くの方々にお世話になり現在に至ることが出来ました。全ての方々のお名前をここに記することはできませんが、皆様に、心より感謝致します。

最後に、大学進学、そして大学院進学と勉学に対して常に励ましてくれた両親と親族に感謝するとともに、末永く健康であることを節に願っております。

---