

(61) 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

Development and Practical Applications of a Lifetime Management System for Prestressed Concrete Bridges

宮本文穂¹・浅野寛元²・勝島龍郎³

Miyamoto Ayaho, Asano Hiroyoshi and Katsushima Tatsuro

抄録:本研究は、著者らが開発してきた「橋梁維持管理支援システム(J-BMS)」の各サブシステムの統合を図り、既存 PC 橋のための J-BMS PC 版の開発を行ったものである。J-BMS PC 版は 3 つのサブシステムから構成されているが、各サブシステムを開発を進めた年代が異なるため、サブシステムの連携が取れていないなどの問題点があった。この問題点を解決し、各サブシステムを一つのシステムとして統合化を図った。しかし、システムの実用化には、多方面からの検証が必要となる。このため、実橋点検データをサブシステムのひとつである「橋梁劣化診断エキスパートシステム」(PC BREX)に入力して、その診断結果の検証を行った。その留意点として、構造形式、入力方法、点検者による差異を明確にし、改良点や問題点を整理した。

キーワード: 維持管理支援システム, PC 橋, 橋梁維持管理データベース, 橋梁劣化診断エキスパートシステム, 実橋適用

Keywords: Lifetime management system, prestressed concrete bridge, J-BMS DB, Bridge rating expert system (BREX), practical application

1. 目的

橋梁の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) の実用化が求められている。BMS とは、橋梁に関わる全ての行為である計画・設計・施工・点検・劣化診断・補修・補強・架替えを、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。本研究では、独自に、コンクリート (RC/PC) 橋を主対象とする橋梁維持管理支援システム (J-BMS: Japanese-Bridge Management System) の開発を行ってきた^{1)~2)}。J-BMS は、「橋梁維持管理データベースシステム (J-BMS DB: J-BMS Data Base System)³⁾」、「橋梁劣化診断エキスパートシステム (BREX: Bridge Rating Expert system)⁴⁾」および「橋梁維持管理計画策定支援システム (MPOS: Maintenance Plan Optimization System)」の 3 つのサブシステムから構成されている。しかし、各サブシステムを開発を進めた年代が異なるため、サブシステムの連携が取れていないなどの問題点があった。本研究では、これらの問題点を解決するため、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を図り、PC 橋のための J-BMS として J-BMS PC 版の開発を行った。しかし、システムの実用化には、多方面からの検証が必要となる。多数の実橋点検データを PC-BREX に入力して、その診断結果を詳細に検証した。その留意点として、構造形式、入力方法、

点検者による差異を明確にし、改良点や問題点を整理した。

2. J-BMS の概要

J-BMS の構成図を図-1 に示す。図-1 には①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劣化予測結果から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対策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 各機能の構成を示している。以下に、J-BMS 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。

(1) 橋梁維持管理データベースシステム (J-BMS DB)

J-BMS DB とは、「橋梁諸元 DB」、「通常点検 DB」、「補修・補強関連 DB」から構成されており、橋梁諸元データ、通常点検や詳細点検などによる点検データ、補修・補強履歴データなど橋梁にまつわるあらゆるデータを効率的に蓄積することを目的として開発されたサブシステムである。

(2) 橋梁劣化診断エキスパートシステム (BREX)

BREX とは、ニューラルネットワークとファジィ理論

1: フェロー会員 工博 山口大学 教授 理工学研究科環境共生系専攻

(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1, Tel:083-685-9530, E-mail: miya818@yamaguchi-u.ac.jp)

2: 非会員 学士(工学) 宇部興産コンサルタント株式会社 (〒100-0005 山口県宇部市大字東須恵 3897-2)

3: 学生会員 学士(工学) 山口大学大学院理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

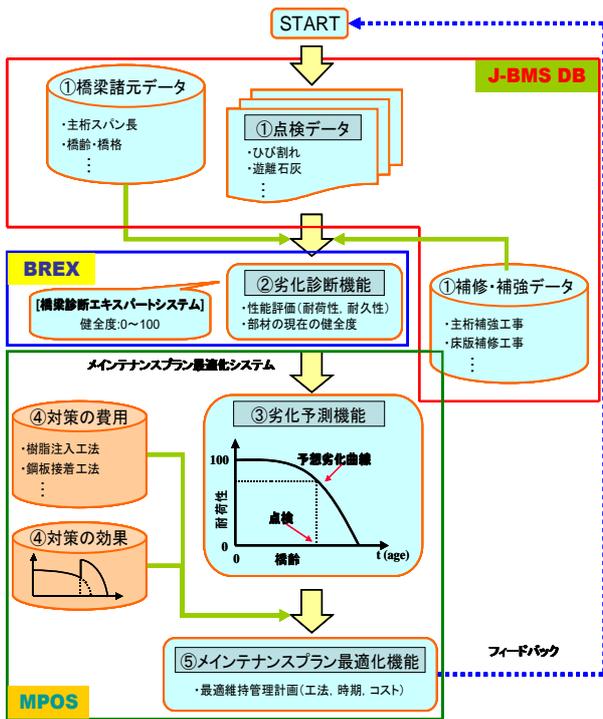


図-1 J-BMS 構成図

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、橋梁の現有性能（主桁・床版の耐荷性や耐久性など）を評価するサブシステムである。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。

(3) メンテナンスプラン最適化システム (MPOS)

MPOS とは、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（BREX にて評価された健全度）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」、「対策期間」、「更新予算」などを設定することで、橋梁を効率的に管理するための最適な維持管理計画立案を支援するサブシステムである。

3. J-BMS PC 版の開発

(1) PC-BREX の再構築

PC-BREX は、①Microsoft Windows Vista 以降の OS と互換性がとれていない、②説明機能が実装されていない、③指定したフォルダにデータがないとバグが出るなどの課題があったため、再構築を行った。PC-BREX は、主部材（主桁および床版）の耐用性評価を行うサブシステムである。ここで耐用性とは、耐荷性と耐久性を総合して評価する部材の全体的性能のことである。

本章では、新たに構築を行った PC-BREX の評価プロセスや評価機能について述べる。

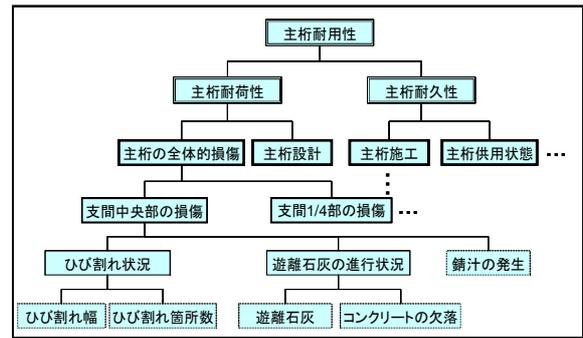


図-2 主桁耐用性の評価プロセスの一部

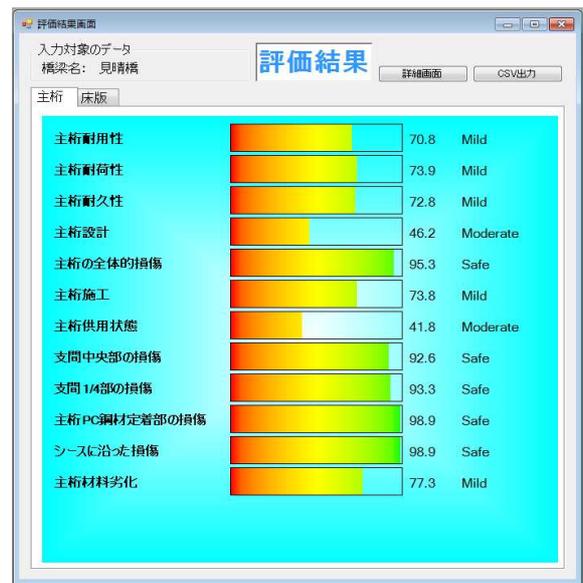


図-3 主桁項目の評価結果画面例

a) 評価プロセス

評価プロセスとは、PC-BREX において最も重要となる部分であり、専門家（山口県にて専門知識を有する橋梁管理者や橋梁に関して十分な基礎知識・経験を有するもの）が橋梁の主桁・床版それぞれの耐用性評価に至る過程を階層的に表現したものである⁵⁾。この評価プロセスは、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耐用性評価が可能となっている。図-2 に主桁耐用性の評価プロセスの一部を示す。

b) 評価機能

評価機能では、主部材（主桁および床板）の各種性能評価を行う。PC-BREX の利用者は対象橋梁に関する必要なデータを入力することで性能評価結果を求めることができる。PC-BREX は、PC 橋の特徴である各部位のひび割れ状況や遊離石灰などの状況により、評価結果を出力する。図-3 に、PC-BREX による主桁の評価結果画面の例を示す。評価結果画面では、主部材の「耐荷性」、「耐久性」の他に、「設計」や「全体的な損傷」、「施工」、「各部の損傷」など、「耐用性」に関する評価プ

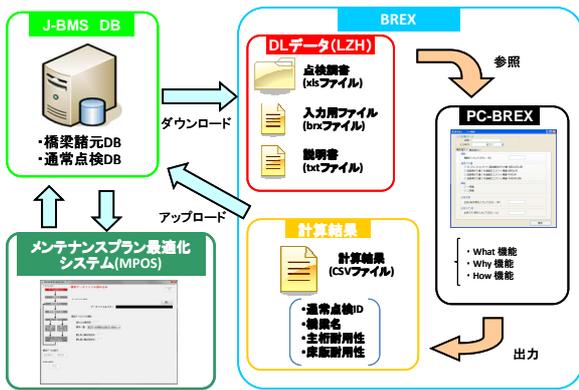


図-4 J-BMS PC 版全体フロー図

プロセスの点数を視覚的に確認することが可能となっている。

(2) J-BMS PC 版の開発

J-BMS を構成する各サブシステムは、開発を進めた年代が異なるため、開発環境やプログラミング技術に差が生じ、各サブシステム間の連携が十分でなかった。

本章では、J-BMS を構成する各サブシステムの統合化を図り、PC 橋の合理的な維持管理を目的とした J-BMS として J-BMS PC 版の開発を行った。J-BMS PC 版の全体フローを図-4 に示す。

また、以下に本研究で行った連結の流れを示す。

- ①J-BMS DB と PC-BREX の連結は、J-BMS DB から BREX データをダウンロード、PC-BREX による評価結果を CSV 出力して、CSV ファイルを J-BMS DB へのアップロードを行うことで可能とした。ここで、BREX データとは「点検調書」「入力用ファイル (brx ファイル)」、「説明書」のデータが圧縮されたファイルとなっており、それぞれダウンロードが可能である。
- ②J-BMS DB と MPOS の連結は、J-BMS DB に登録された諸元データおよび点検データを利用することで可能とした。ここで、点検データである対策区分は、J-BMS DB 内では 3 段階で格納されているが、PC-BREX によって診断することにより、健全度を 0~100 で評価し MPOS に入力するようになっている。

4. システムの検証

山口県内に架かる PC 橋を用いて、再構築を行った PC-BREX の実橋への適用結果と開発を行った J-BMS PC 版による最適維持管理計画策定に至る結果を示し、システムの検証を行った。

(1) PC-BREX の実橋への適用結果

MH 橋 (美祢市) の現地点検は、コンサルタント会社に勤務し橋梁に関する知識を有した専門家 4 名に協力を仰ぎ行った。表-1 に各点検者の点検データを PC-BREX

表-1 MH 橋の評価結果

判定項目	点検者				標準偏差
	専門家A	専門家B	専門家C	専門家D	
主桁耐用性	63.6	63.8	79.7	70.8	6.58
主桁耐荷性	73.2	73.4	73.6	73.9	0.26
主桁耐久性	65.2	65.3	81.6	72.8	6.74
主桁設計	46.2	46.2	46.2	46.2	0.00
主桁の全体的損傷	91.0	91.7	93.0	95.3	1.64
主桁施工	52.8	52.8	98.3	73.8	18.7
主桁供用状態	41.8	41.8	41.8	41.8	0.00
支間中央部の損傷	93.2	80.4	82.7	92.6	5.74
支間1/4部の損傷	81.9	98.9	98.9	93.3	6.94
主桁PC鋼材定着部の損傷	98.9	98.9	98.9	98.9	0.00
シースに沿った損傷	98.9	82.0	82.6	98.9	8.30
主桁材料劣化	69.4	76.8	78.4	77.3	3.55
床版耐用性	64.1	71.1	57.3	79.1	8.10
床版耐荷性	66.6	70.7	58.0	68.4	4.80
床版耐久性	73.0	76.2	69.5	91.5	8.40
床版設計	48.6	52.2	26.7	53.4	10.8
床版の全体的損傷	79.0	83.7	80.7	80.6	1.70
床版施工	73.8	74.5	28.3	99.0	25.5
床版供用状態	70.1	70.2	82.5	82.5	6.18
中央部の損傷	72.3	93.2	75.5	74.3	8.38
間詰部の損傷	37.2	81.2	60.9	48.0	16.4
間詰部以外の損傷	98.9	98.9	94.2	98.9	2.04
床版張り出し部の損傷	98.9	79.7	95.6	98.9	7.95
横方向PC鋼材定着部の損傷	98.6	99.0	99.0	99.0	0.17
床版材料劣化	48.8	61.3	49.7	58.1	5.36
路面状態	78.1	78.4	78.4	78.3	0.12

に入力して得られた各種評価結果や評価項目ごとの標準偏差の値を示す。これをみると、主桁、床版ともに、「設計」や「供用状態」の項目の点数が低い値を示している。MH 橋は橋齢 42 年の橋で設計時の適用示方書が古く、現在の設計荷重に比べ小さい設計荷重で設計されている点が必要であると考えられる。全体の評価結果をみると、BREX による耐用性の評価結果からも 100 点満点中 70 点程度であり MH 橋は緊急に補修が必要な橋梁ではないことがわかる。

また 4 名の各点検者の評価結果を比較すると、主桁、床版ともに「施工」の部分に大きな差が生じていることがわかる。図-5 に「主桁施工」の階層構造を示す。「床版施工」も同様の階層構造である。図-5 からわかるように施工の項目は「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おり、この 2 つの項目の点数の違いが最終的な評価点数に大きく影響を与えていると推測できる。実際の主桁における「変色、劣化状況」の入力項目を図-6 に、「豆板の発生状況」の入力項目を図-7 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-7 をみると、「豆板の発生状況」は具体的な数字を入れる項目であるので、多少の個数の入力の違いでは評価結果に影響を与えない。しかし、図-6 をみると、「変色、劣化状況」はチェックボックスによる主観的な入力項目であるので、各点検者の損傷を判断する小さな差が評価結果に影響を与えている。

これらを総合的に検討して得られた評価結果は、点検時の個人差を事前のヒアリングで調整することによって、有効に活用できると考える。

(2) 最適維持管理計画策定結果

J-BMS DB に格納されている YN 橋 (宇部市) の点検



図-5 主桁施工の階層構造

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-6 変色，劣化状況の入力項目

主桁全体 豆板の発生状況

0.1m ² 以上の豆板の発生箇所数	
0.1m ² 未満の豆板の発生箇所数	

図-7 豆板の発生状況の入力項目

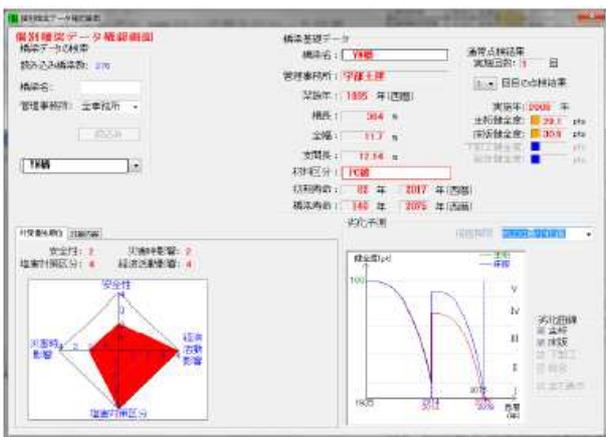


図-8 YN 橋の最適維持管理計画画面例

データを用いて、J-BMS PC 版による最適維持管理計画策定を行った。最適な対策策定のための条件入力を行った後、MPOS が出力した最適維持管理計画画面例を図-8 に示す。対象橋梁の補修・補強前後の劣化曲線および余寿命推定のみならず、最適な補修・補強の時期などが出力可能である。

今後は、各サブシステムの連結を再度検討して最終評価結果の向上を行う必要がある。

5. まとめ

著者らは、従来より PC 橋を対象とした橋梁劣化診断エキスパートとして PC-BREX の開発を行ってきた。しかし、PC 橋の合理的維持管理を実行可能な J-BMS において、J-BMS DB および MPOS という各サブシステムは

個別に開発、実装してきたため、サブシステム間の連携には種々の改良が必要となっていた。この問題を解決するために PC-BREX の再構築を行うとともに、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を図った。また、システムの実用化に向けて実橋点検データを PC-BREX に入力し、その診断結果の検証を行った。その結果、PC 橋のための J-BMS として総合的な維持管理を可能とする J-BMS PC 版が完成した。

以下に本研究の成果をまとめる。

- ① J-BMS DBとPC-BREXの連結によって、直接圧縮した BREXデータ(brx.ファイル)をダウンロードすることが可能となり、PC-BREXへ点検データの読み込みから性能評価まで流れを確実なものとした。
- ② J-BMS DBに登録された諸元データや点検データ、およびPC-BREXにて得られた「主桁耐用性」、「床版耐用性」から、MPOSにて劣化曲線の出力や最適維持管理計画の立案を可能とした。
- ③ 上述①、②の成果により、J-BMSの各サブシステムの連結を行ったことで、PC橋のためのJ-BMSであるJ-BMS PC版を開発し、PC橋の一連の維持管理業務の効率化を図れるようになった。
- ④ 専門家であっても差が生じる項目があることが明らかになった。差が生じた項目のほとんどは、下位層がチェックボックスによる入力項目で構成されているものであった。この問題の解決策として橋梁の3次元CGモデルの活用や、現地点検時に損傷位置図を使用することなどで損傷の共通認識を図ることができると考えられる。また、システムには説明機能と呼ばれる利用者を補助する機能が備わっている。この説明機能を今以上に充実させ、各損傷について詳細な説明を付加することで個人による点検結果の差を少なくできると考えられる。

参考文献

- 1) A. Miyamoto: Development of a Bridge Management System(J-BMS) in Japan, Proc. of the 1st US-Japan Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems(ASCE), pp.179-221, Hawaii, 2000.8.
- 2) 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 No.588/VI-38, pp.191-208, 1998.3.
- 3) 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, pp.1-44, 2009.12.
- 4) 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，山口大学大学院修士論文，2001.2
- 5) 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ワーク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.664/VI-46,pp.67-86,2000.3