

橋梁劣化診断エキスパートシステム(RC-BREX)を用いた RC 橋の健康診断およびその検証

山口大学大学院 学生会員○村田 征也 山口大学大学院 学生会員 浅野 寛元
山口大学大学院 正会員 江本 久雄 山口大学大学院 フェロー会員 宮本 文穂

1. はじめに

本研究室では、鉄筋コンクリート(RC)橋およびプレストレストコンクリート(PC)橋を対象とする橋梁維持管理支援システム(J-BMS: Japan-Bridge Management System)を開発してきた。J-BMS は、主としてコンクリート橋の合理的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」において、維持管理機関の業務や意思決定を支援するシステムである。J-BMS の構成は、橋梁データをデータベースに蓄積する J-BMS DB(J-BMS Date Base system)、橋梁の現有性能を評価する性能評価システム(BREX)、橋梁の維持管理計画策定を支援する維持管理計画策定支援システム(MPOS)の 3 つからなる。本研究では、J-BMS のサブシステムの 1 つである RC-BREX を用いて RC 橋梁の目視点検結果を入力し、その診断結果の検証を行った。

2. J-BMS: Japan-Bridge Management System

2.1 J-BMS の構成

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について整理する。J-BMS の構成図を図-1 に示す。J-BMS は、「J-BMS DB」、「性能評価システム(BREX)」、「維持管理計画策定支援システム(MPOS)」の 3 つのサブシステムから構成されている。以下に、J-BMS の各機能(サブシステム)を詳述する：

① J-BMS DB とは、「橋梁諸元 DB」、「通常点検 DB」、「補修・補強関連 DB」から構成されている。J-BMS DB は橋梁諸元データ、通常点検などの点検データ、補修・補強履歴データなどを蓄積するサブシステムである。この蓄積されたデータを、性能評価システム、維持管理計画策定支援システムに入力することで橋梁の診断および維持管理計画の策定を行うことが可能となるシステムである。

② 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 から得られる橋梁諸元データと点検データから、橋梁の現在の性能を評価するサブシステムである。性能評価システムである橋梁劣化診断エキスパートシステムは、鉄筋コンクリート橋を対象とする RC-BREX とプレストレストコンクリート橋を対象とする PC-BREX によって構成されている。

③ 橋梁維持管理策定支援システム(MPOS)とは、J-BMS DB から得られる橋梁諸元データ、補修・補強データと橋梁性能評価システムによる評価結果から、維持管理計画を策定するシステムである。このシステムは、劣化予測機能とメンテナンスプラン最適化機能の 2 つの機能より構成されていて、これらの機能により個別の劣化予測、複数橋梁を対象とした年度予算以内での維持管理計画の策定を行う。

これら 3 つのシステムより、評価システムの評価結果データを J-BMS DB に蓄積して、そのデータを橋梁維持管理計画策定支援システムに入力することで、橋梁維持管理計画の策定を行う¹⁾。

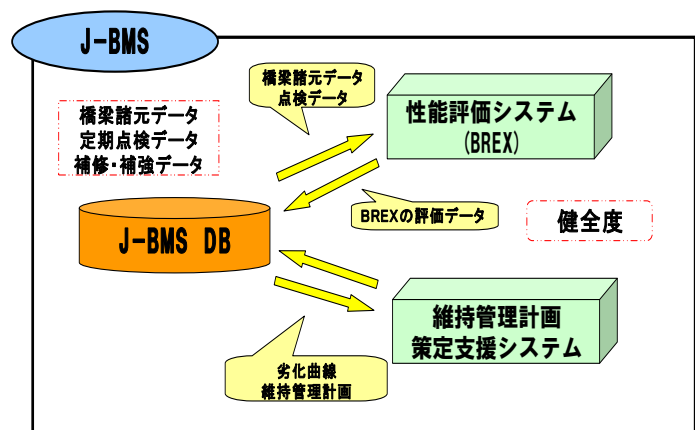


図-1 J-BMS 構成図

2.2 橋梁劣化診断エキスパートシステム(RC-BREX)の概要

RC-BREX とは、性能評価システムの 1 つであり橋梁諸元データと各種点検データから、橋梁の診断評価を行うシステムである。このシステムは、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、推論機構として階層構造ニューラルネットワークを用いている²⁾。図-2 に専門家が行う RC 橋診断の推論過程を診断プロセスとした一部を示す。図-2 より、主桁耐用性とは、主桁耐荷性と主桁耐久性を総合して評価（健康診断）する主部材の全体的性能であると言える。

図-3 に RC-BREX の入力画面を示す。図-3 より、RC-BREX への入力目は視点検から得られた点検結果および対象橋梁に関するアンケートに記載された橋梁諸元データを入力する。対象橋梁に関するアンケートには、本研究室で開発中の橋梁劣化診断エキスパートシステムの参考資料である「RC 橋梁の耐用性診断アンケート」を使用し、資料に沿ってひび割れ幅や遊離石灰の有無、環境条件などを点検した。

次に、RC-BREX を使用して得られた橋梁の評価データについて詳述する。評価データには、学習なし評価データと教師データ、学習付評価結果の 3 つがある。学習なし評価データとは、入力データのみが与えられそれに対し独自に入力して得られたデータである。本研究では、RC-BREX を使用し得られた評価データのことを指す。教師データとは、点検者が評価点数の例を見て対象橋梁の評価をしたデータである。学習付評価結果とは、評価結果のデータに教師データを与え回帰や判別を行って新しく得たデータである。評価データは 0～100 の評価数値で表される。0 点では danger と表記され損傷があまりにも著しく、共用すべきでない状態を表し、100 点では safe と表記されほとんど損傷が見られず、全く健全な状態を表す。

2.3 What 機能, Why 機能

RC-BREX の利用者の中には、橋梁に関する専門知識を有していない人も含まれることを考慮して“**What**”および“**Why**”機能という入力補助機能が実装されている。この機能は、RC-BREX にデータ入力を行う際、それぞれの項目に対してどのような項目か、あるいはプロセスではどの段階かをわかるように説明する機能である。

①**What** 機能とは、入力を行う際に各項目の意味や定義を正しく理解しておくことが前提となり、間違った解釈で入力してしまうと信頼性のない診断結果が出力される。そこで、橋梁諸元項目などに解説を記し入力項目の解釈を表示する機能である。図-4 に **What** 機能画面例を示す。

②**Why** 機能とは、橋梁諸元項目および点検項目に対して、システムがどのような診断プロセスをたどるのかを表示することによって、利用者が推論手順を把握できるとともに、入力項目の必要性も示すことができる。また、確認したい対象項目を点滅させ強調させることにより利用者にわかりやすい工夫も施されている。図-5 に **Why** 機能の画面例を示す。

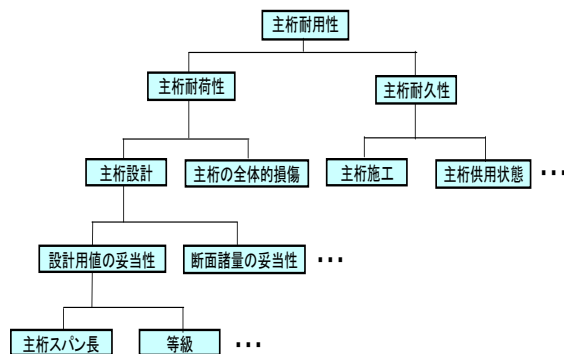


図-2 主桁の評価プロセスの一部

図-3 入力画面例

図-4 What 機能の画面例

図-5 Why 機能の画面例

3. RC-BREX を用いた実橋梁データによるシステム検証

本研究では、美祢市内にある“水無橋”という実橋梁に対して学生2名、専門家2名の計4名で点検マニュアル³⁾を使用し目視点検を行った。写真-1に“水無橋”の現況写真を表-1に“水無橋”の諸元データをそれぞれ示す。本橋は桁下が浅い河川であるため足場も比較的に安定しており、また、山間部に架かっているため交通量も少なく点検経験が浅い学生には目視点検が容易な実橋梁だったといえる。本橋の目視点検によって得られた点検データを RC-BREX に入力し、各種評価結果について検証を行った。図-6, 7 に学生の RC-BREX による評価結果、図-8 に付着ひび割れに関するアンケート調査例、表-2 に主桁に関するシステムによる評価結果一覧をそれぞれ示す。図-6, 7 より RC-BREX の評価結果の耐久性と耐荷性を見ると点検の強化は必要であるが、評価指数が moderate を示していたためすぐには補修・補強は必要ないと評価された。また、評価結果はほぼ moderate を示していたが、図-6 より付着ひび割れの項目が著しく悪いと評価されている。しかし、耐用性の評価結果より補修・補強は必要ないと診断された。ここでは付着ひび割れの数値の低さを検証した。調査項目のひび割れ発生状況の項目が「発生している」、「発生していない」と詳細な点検が必要なかったこと、また表-2 より、専門家の評価結果には極端に低い値がないことから、学生の専門知識不足による結果だと考えられる。

4. RC-BREX による健康診断結果の比較・考察

前節で得た評価結果をもとに、専門家と学生の評価比較などの観点から検証を行った。評価結果のデータは機械によって出力されており各点検者で似通った評価数値が存在したが、教師データは目視と点検者の判断、感覚による評価のため差異があると考えられる。

(1) 学習なし評価結果についての考察

主桁の比較結果は表-2 から判断して各点検者とも主桁設計と主桁施工の2点が低い値を示していた。これは、示方書が古いことで橋格が3等橋設定のため設計基準が高くない点が考えられる。また、このこと



写真-1 “水無橋”の現況

表-1 “水無橋”の諸元データ

	点検橋梁
橋梁名	水無橋
形式	RC単純T桁橋
橋齢(年)	50
スパン長(m)	6.0
主桁本数(本)	3.0
全幅員(m)	3.5
橋格	3等橋

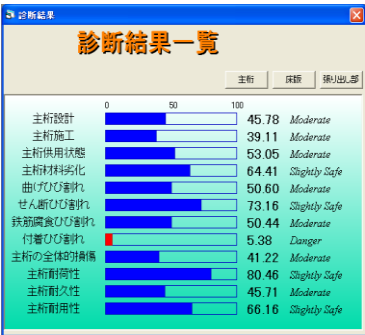


図-6 主桁評価結果例(学生)



図-7 評価結果一覧例(学生)

G4	支座位場付近(付着ひび割れ等)	☐ ①発生している(次へ) ☐ ②発生していない(G4-3へ)
G4-1	ひび割れ状況(本数、箇所、数などを考慮し、幅は考えない)	☐ ①かなり多く発生している ☐ ②多く発生している ☐ ③わずかに発生している
G4-2	ひび割れ幅	mm
G4-3	支座位場付近の遊離石灰の発生状況	☐ ①かなり多く発生している ☐ ②発生している ☐ ③全く発生していない
G4-4	支座位場付近のコンクリートの欠落	☐ ①かなり多く欠落している ☐ ②欠落している ☐ ③全く欠落していない

図-8 付着ひび割れに関するアンケート調査例

表-2 主桁に関するシステムによる評価結果一覧

		学生1	学生2	専門家1	専門家2
主桁	主桁設計	45.78	45.78	45.78	45.78
	主桁施行	39.11	39.11	25.00	49.96
	主桁共用状態	53.05	53.05	98.16	98.16
	主桁材料劣化	64.41	63.01	50.95	63.01
	曲げひび割れ	50.60	61.95	50.60	99.92
	せん断ひび割れ	73.16	6.41	73.16	74.67
	鉄筋腐食ひび割れ	50.44	5.46	50.44	50.52
	付着ひび割れ	5.38	61.24	61.24	57.54
	主桁の全体的損傷	41.22	33.38	45.11	50.98
	主桁耐荷性	80.46	77.08	81.34	82.07
	主桁耐久性	45.71	38.29	47.93	50.39
	主桁耐用性	66.16	61.08	67.29	68.30

から主桁設計は橋格，示方書，構造形式が橋梁固有の値のために点検者全員が低い値となったと考えられた．主桁施工では，かぶり状態の不十分な点と豆板が大部分で発生していたことが要因だと考えられる．

また大きく異なったのは供用状態で，倍近い値となっていた．供用状態は階層構造上，支承状態以外固有値となっているため，支承状態の点検評価が異なった要因とわかった．この結果，点検の上で重要項目だと考えられる．次に主桁耐荷性，床版耐荷性の評価が高さについて検証した．これは，高齢化橋梁であるが点検箇所には大きな損傷が見られないため高評価になったと考えられる．

(2) 学習付評価結果についての考察

学習付評価結果は，学習なし評価結果に比べて評価値が低く，かつ学生のほうが高い評価値を示していることがわかった．これは，学習付評価結果が教師データの値に近似するように算出するので，教師データの評価結果が低かったためにこの値となったと考えられる．教師データが低い値と評価した要因として，教師例の点数説明が曖昧な点や，橋梁の健全度判定基準が5段階表記であり，ひび割れの発生がある箇所の評価は低く設定してしまうと考えられる．また，橋梁に関して多くの知識を持った専門家と橋梁に関して最低限の知識の学生とでは，専門家の方が厳しい評価になったと考えられる．図-9に主桁の学習なし診断結果比較，図-10に主桁の学習付診断結果比較をそれぞれ示した．

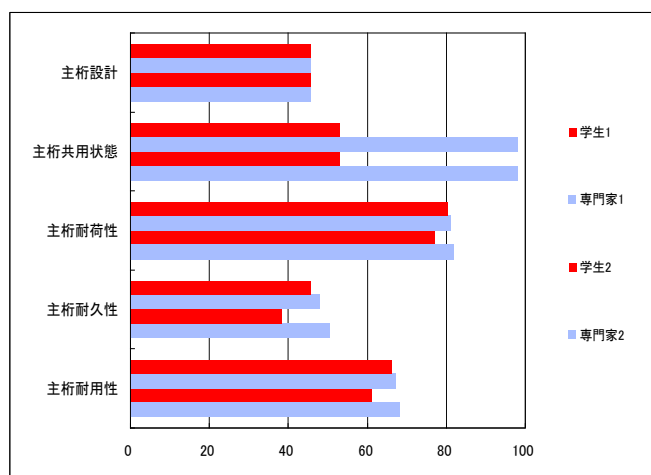


図-9 専門家と学生の評価結果(主桁)

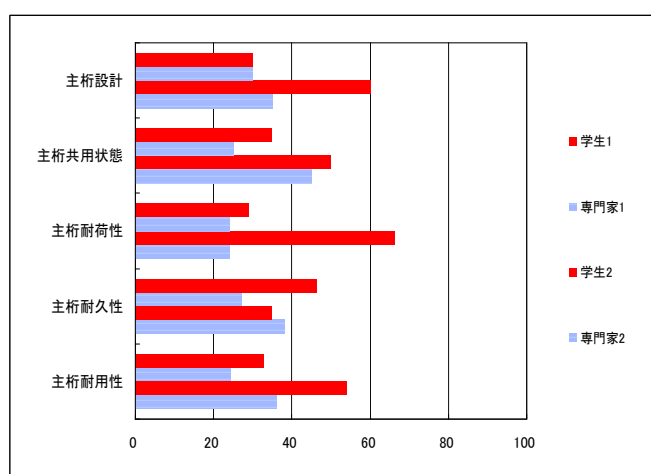


図-10 専門家と学生の学習付評価結果(主桁)

5. 結論

- ① 専門家と学生から得た目視点検データを用い RC-BREX の評価の比較，検証を行った．
- ② 検証結果より，主桁設計や主桁施工の評価数値の低い要因やひび割れなどの損傷の入力による評価数値の差，耐荷性の評価数値が高い要因，各項目の下位構造の重要項目などを明確にした．
- ③ 実橋データを用いた RC-BREX の検証結果より，入力項目の表記不備や結果の反映の不備，学習方法の不備が判明した．また，判明した入力画面の一部の不備を改善した．
- ④ 課題として，損傷度が類似している橋梁の点検を行い評価結果の比較，検証を行うことや道路橋示方書・同解説の改定などを反映させた RC-BREX の入力項目の改良を行う必要があると考えられる．

参考文献

- 1) 宮本文穂，浅野寛元，住居孝紀，勝島龍郎：J-BMS PC 版の開発と実橋梁への対応，社会基盤マネジメントシリーズ No. 18, pp. 3-16, 2012. 6.
- 2) 宮本文穂，中村秀明，川村圭，青木治道：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 回研究発表会概要集，OS-25, pp. 885-886, 2001. 5.
- 3) 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.