

# 論文 J-BMS RC 版による老朽化橋梁の余寿命推定に与える目視点検データのばらつき

江本 久雄\*1・高橋 順\*2・宮本 文徳\*3

**要旨**：RC 橋梁を対象とする維持管理支援システム J-BMS RC 版は、点検データを蓄積する J-BMS DB、橋梁の性能評価（健康診断）、余寿命推定を行う BREX および維持管理計画立案支援を行う MPOS という三つのサブシステムから構成されている。本システムによる対象橋梁の健康診断・余寿命推定では、目視点検結果を入力データとしているため、目視点検の質が非常に重要となる。本論文では、実際の老朽橋梁を対象として複数人の専門技術者によって現地で近接目視点検を実施し、作成した変状図のばらつきや種々の変状に対する評点を付けるアンケートを実施した。このような目視点検結果の質が J-BMS RC 版による老朽化橋梁の健康診断、余寿命推定に与える影響について種々の検討を行い、システム評価結果の特徴を明らかにした。

**キーワード**：老朽化橋梁、近接目視点検、BREX システム、健全度、余寿命推定、変状、アンケート評価

## 1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に社会基盤の大動脈を支える長大橋を始め、一般市民の生活基盤となる中小橋梁が大量に架設され、少子高齢化さらに人口減少という社会環境の下で既存橋梁の長寿命化および維持管理の効率化が重要となってきた<sup>1)2)</sup>。既存橋梁の維持管理に必要な性能評価（健康診断）、余寿命推定は、定期的に行われる目視点検結果に基づいて行われることが多い。また、これに引続く補修・補強などの対策工の選定はこれらの評価・推定結果を用いて実施される。しかしながら、目視点検結果(入力データ)には点検者の知識経験の程度などによって、熟練した専門技術者間においてさえも判断が分かれたり、変状図作成結果に差異がでたりすることが分かっている<sup>3)</sup>。

そのため、本論文では、著者らが従来より RC 橋を対象として開発してきた J-BMS RC 版<sup>4)</sup>（点検データを蓄積する J-BMS DB、健康診断、余寿命推定を行う BREX および維持管理計画立案支援を行う MPOS: Maintenance Plan Optimization System から構成）のサブシステムである BREX を利用して、撤去が予定されている老朽橋梁に対する近接目視点検から得られる変状図に基づいて入力データを作成し、そのばらつきが健康診断および余寿命推定に与える影響に関して種々検討した。その際、専門技術者に対してアンケート形式で実施した各種変状に対する評価点付けとの対応関係についても検討を加えた。

## 2. 対象橋梁の概要と目視点検の実施方法

対象橋梁（以下、SK 橋）は、山口県と広島県の県境の河川に架かる図-1 に示すような橋長（全長）168.29m

の 8 径間 RC-T ゲルバー桁橋(5 主桁)であり、目視点検を実施する径間は、図中のスパン 1 およびスパン 3 である。SK 橋は、主要国道で交通量が多くまた工業地帯に位置する。また、SK 橋は瀬戸内海の河口から 1km 上流に位置し、炭酸ガスや塩分といった厳しい環境条件下にある。

目視点検者は、計 8 名で点検業務の経験が短い方から 30 年を超えるような方まで多種多様な方に近接目視点検を依頼した。近接目視点検の実施方法としては、1 回目は事前打ち合わせのみとし、2 回目は実施前に 1 回目の結果を議論（ヒアリング会）して実施した。ヒアリング会では橋梁目視点検支援システムを活用して具体的な議論をした。なお、1 回目から 2 回目の点検までの間隔は、1 ヶ月程度である。

## 3. J-BMS RC 版における目視点検の位置づけ

### 3.1 J-BMS RC 版における健康診断

J-BMS RC 版による診断の仕組みは、「BREX による性能評価（健康診断）」および「余寿命推定」から構成される。また、データの流れとしては、図-2 に示すように入力として「近接目視点検」での変状データを BREX シス

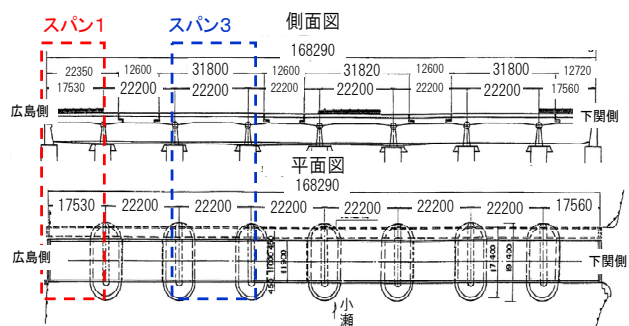


図-1 対象橋梁の一般図と調査スパン

\*1 山口大学大学院 理工学研究科 環境共生系専攻助教 博(工) (正会員)  
 \*2 電気化学工業 (株) 中央研究所 主幹研究員 博(工) (正会員)  
 \*3 山口大学大学院 理工学研究科 環境共生系専攻教授 工博 (正会員)

テムを入力して健全度評価を行う。その健全度から劣化曲線を用いた余寿命の推定を行い、将来の対策・維持管理計画の立案に利用する。「健全度評価(BREXシステム)」は、表-1に示すような近接目視点検結果である変状データの各点検データを入力することにより、耐荷性・耐久性に関して評価を行う。なお、ここでの耐荷性・耐久性の定義を表-1に併記して示す。ここで、重要な事項としては、目視点検データは局所的な変状データであるが、BREXシステムでは、橋梁全体(スパン単位)にて評価を行う点にある。また、図-2に示すように近接目視点検での「変状データ」とそれに対応した「アンケート形式による評価」データを入力しBREXシステムの学習により「学習済みデータ」を作成する。このような結合重みなどの学習済みデータと変状データを入力とし、BREXシステムにより健全度を出力する。つまり、BREXシステムでは、アンケート結果(教師データ)に基づいて、専門技術者に近い評価をすることができる。

### 3.2 目視点検結果のばらつきの影響

J-BMS RC版による健康診断では、入力データとして近接目視点検結果(変状データ)とアンケート結果(教師データ)を用いることから、目視点検結果の質の重要性が分かる。例えば、目視点検結果の例として図-3に示す。この指摘箇所は、複数人の点検技術者にて同一の主桁を目視点検した場合にひび割れを指摘した箇所を塗り潰

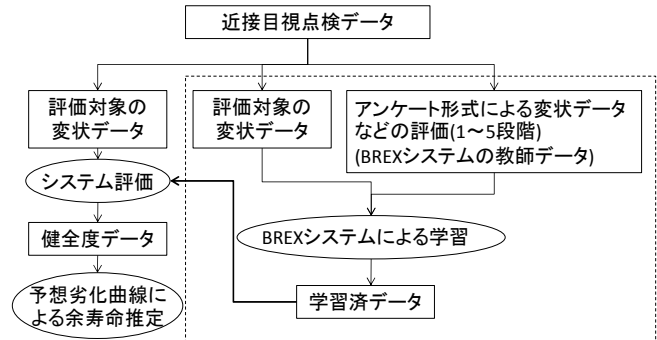


図-2 J-BMS RC版の健康診断における評価の流れ

表-1 点検項目と評価項目

変状	点検項目	評価の基準	
		耐荷性	耐久性
ひび割れ	・橋軸方向位置 ・幅(最大値)と本数	外界から受ける荷重(交通荷重等)に対して、橋梁の耐荷力がどの程度低下したかの状態を表すもの。また、対策として、補強を実施するか否かを判定する指標。	ひび割れ、コンクリートの中酸化、鉄筋の腐食などを原因とするコンクリート構造物の材料的劣化およびその変状状態を表すもの。対策として、補修を実施するか否かを判定する指標。
剥離	・橋軸方向位置 ・面積と深さ		
鉄筋腐食	・鉄筋の種類 ・錆汁、露出、断面欠損		

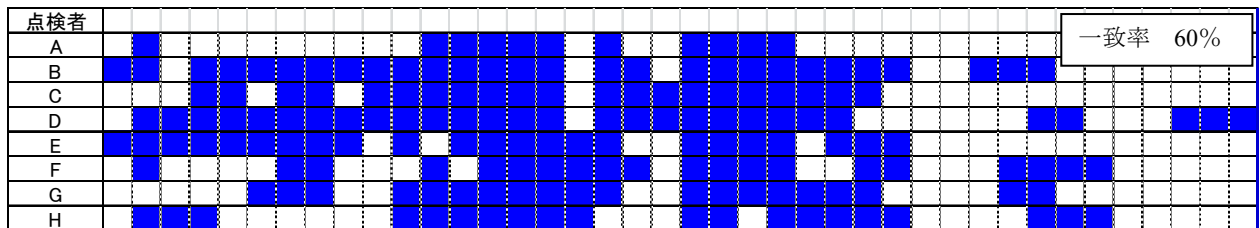
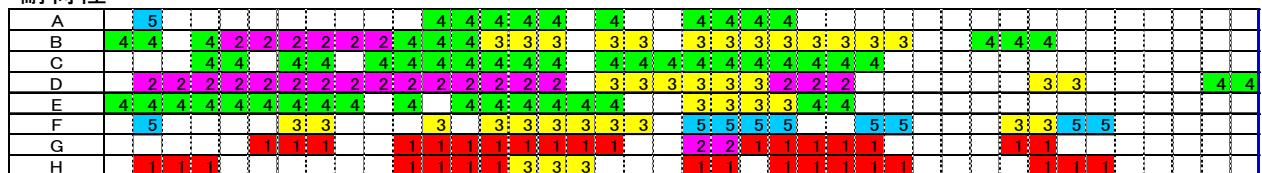


図-3 「ひび割れ」指摘箇所(スパン3 主桁1)の例

#### 耐荷性



#### 耐久性



\*図中の数値は、アンケート結果の評点を示す。

図-4 「ひび割れ」に関する評価(スパン3 主桁1 目視点検2回目)の例

している。指摘箇所のはらつきを評価するために一致率<sup>3)</sup>を計算すると60%であった。ここで、示した例は、ヒアリング会と称しているVirtual Reality技術を活用した目視点検の質<sup>5)8)</sup>に関する議論を行う会合を次の目視点検の実施前に行ったもので、指摘の「はらつき」が減ることが分かっている<sup>3)</sup>。なお、点検技術者の経歴は表-2に示す。ここで、点検者Gは、ヒアリング会前後で改善率(1回目は指摘できないが、2回目の点検時に指摘した割合)は3割を超えた。

次に、このような変状の指摘箇所の「はらつき」を軽減した状態で、BREXシステムによる評価基準となるアンケート形式の評価結果について、図-4にひび割れが耐荷性・耐久性に与える影響について各点検者が評価したランクの例について示す。この図に示すように、同一箇所を指摘しているにも係わらず、評価として1から5全てのランクがある箇所もあった。

ここで、評点のはらつきを評価するために、次式を定義する。

$$f = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^l \left( \sum_{i=1}^5 x_{ij} / 5 \right) \quad (1)$$

ここで、 $x_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{評価なし} \\ 1 & \text{評価あり} \end{cases}$

$i$ : 評点1から5,  $j$ : 点検者AからH,  $k$ : 橋軸方向の列数(分割数)となる。式(1)は、0から1の値をとり、評点全て異なる場合は1を、評点同じ場合は0.2となる。

式(1)の結果を表-3に示す。この結果から、ひび割れと剥離ともにはらつき指標は0.6前後を示し、評価点が3から4つ異なることが分かる。また、鉄筋に関しては、はらつき指標は0.4前後を示し、評価点が2から3つ異なることが分かる。

表-2 目視点検技術者の経歴一覧

点検者	経験年数	業種	構造物	業務内容
A	23	施工業者	鋼・コンクリート構造物	維持管理, 補修・補強施工
B	18	コンサル	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
H	35	コンサル	鋼・コンクリート構造物	維持管理, 構造解析

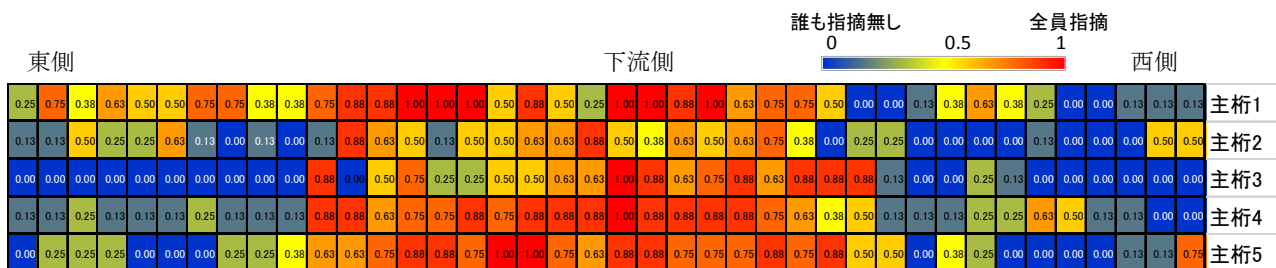


図-5 「ひび割れ」の指摘の割合

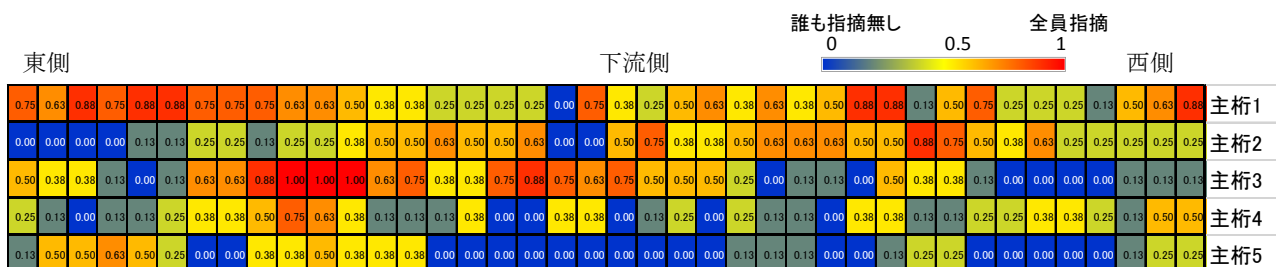


図-6 「剥離」の指摘の割合

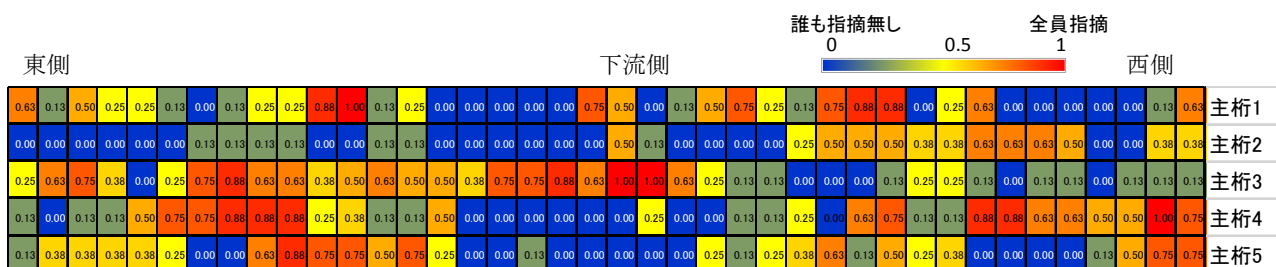


図-7 「鉄筋腐食」の指摘の割合

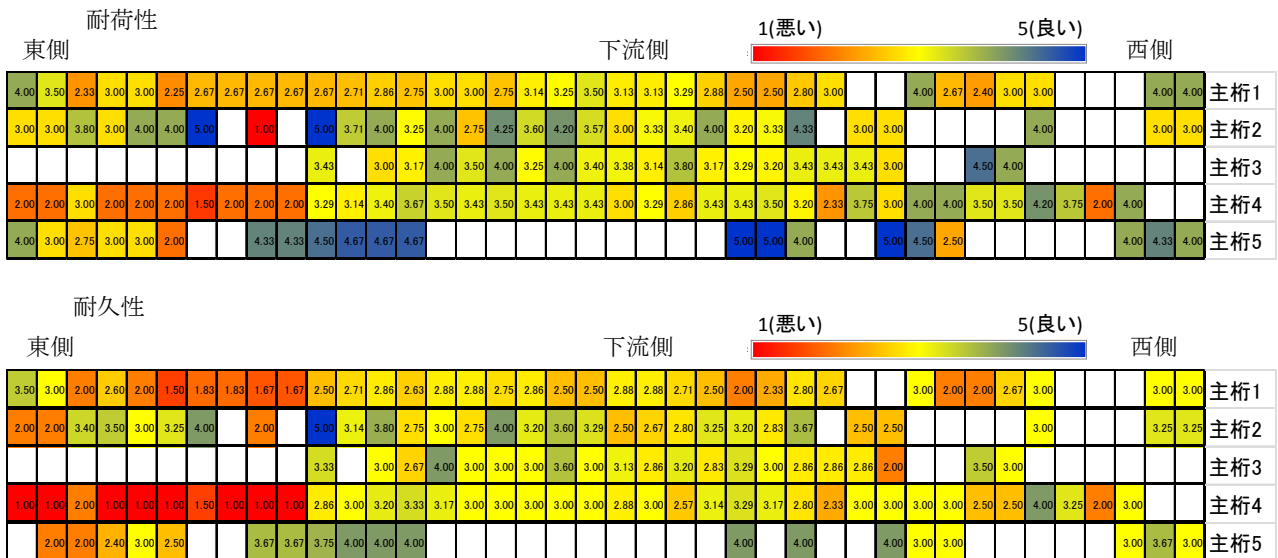


図-8 「ひび割れ」のアンケート結果（評価点）の平均

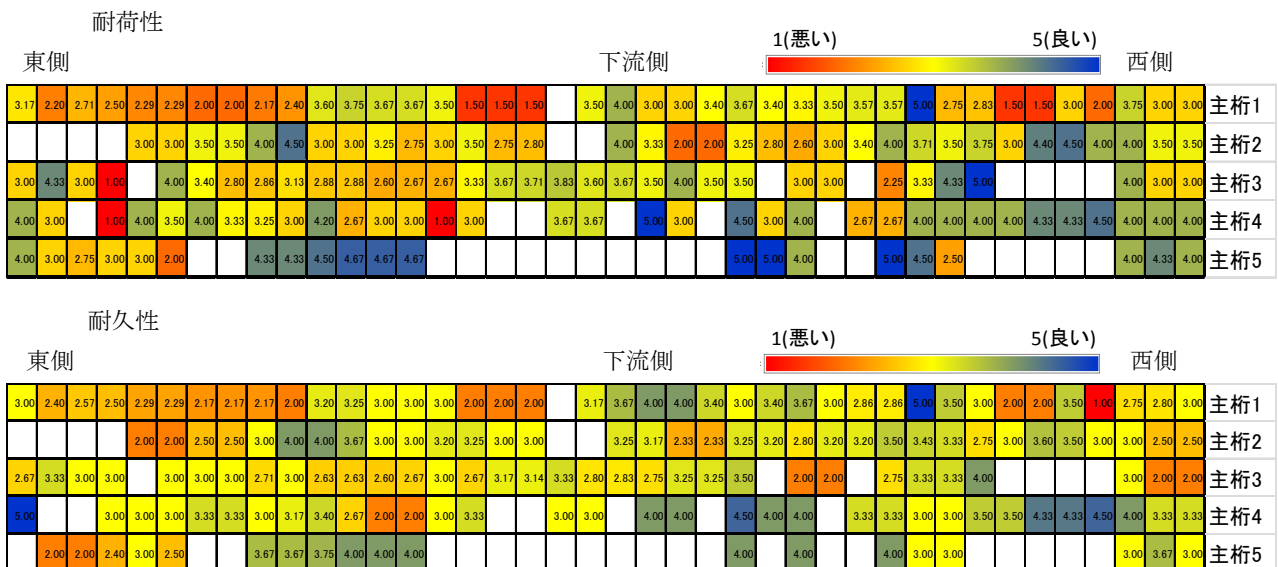


図-9 「剥離」のアンケート結果（評価点）の平均

表-3 評点（アンケート結果）のばらつき指標

変状	耐荷性	耐久性
ひび割れ(図-3)	0.62	0.62
剥離	0.63	0.58
鉄筋腐食	0.42	0.48

このようなアンケート結果の評価点の「ばらつき」があるような場合、J-BMS RC 版（BREX システム）の結果にどのような影響を与えるかについて検討を行う。

#### 4. 目視点検結果について

##### 4.1 スパン単位における変状の指摘

調査スパン全体での変状の指摘について、図-5 から図-7 に示す。これらの図は、複数人で点検した結果であるため、変状を全員指摘していれば 1、誰も指摘していな

ければ 0 とするように正規化した結果をグラデーションで各変状についてまとめたものである。図-5 からひび割れは桁中央に多く指摘されていることが分かる。図-6 から剥離は桁の下流側にも多く変状が確認できる。図-7 から鉄筋の変状は、剥離の変状と似た傾向を示していることが分かる。

##### 4.2 アンケート結果(評価点)のばらつき

調査スパン全体でのアンケート結果について、図-8 と図-9 に示す。これらの図は、アンケート結果の評点を平均したものであり、状態が悪いものから評点が 1 から 5 となる。図-8 からひび割れに関しては、耐荷性よりも耐久性の方が厳しく評価されていることが分かる。図-9 から剥離は、下流側の桁の方が厳しく評価され、さらに耐荷性の方が、厳しく評価されていることが分かる。

表-4 点検者ごとの健全度および余寿命

点検者	学習無し				学習後(教師データB)				学習後(教師データH)			
	健全度(点)		余寿命(年)		健全度(点)		余寿命(年)		健全度(点)		余寿命(年)	
	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性
A	31.5	62.9	6	27	23.8	45.3	4	15	20.9	39.3	4	12
B	29.1	58.2	6	23	25.4	45.3	5	15	20.9	41.1	4	13
C	31.5	62.9	6	27	25.4	45.3	5	15	23.3	41.1	4	13
D	26.8	53.5	5	20	25.4	45.3	5	15	23.3	39.3	4	12
E	31.5	62.9	6	27	20.9	42.5	4	14	20.9	36.5	4	11
F	29.1	58.2	6	23	25.4	45.3	5	15	20.0	41.1	4	13
G	26.8	53.5	5	20	25.4	45.3	5	15	18.6	39.3	3	12
H	31.5	62.9	6	27	25.4	45.3	5	15	20.9	41.1	4	13

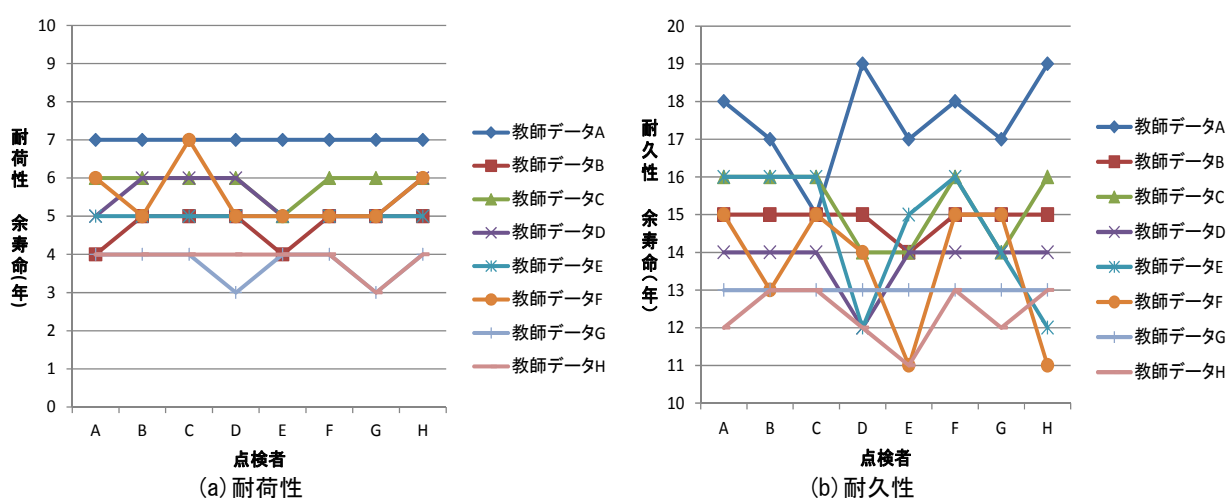


図-10 点検者ごとによる余寿命推定結果

## 5. J-BMS (BREX) による評価

これらの目視点検結果を入力データとして、J-BMS による評価を行った。J-BMS による健全度と余寿命推定を点検者ごとに表-4 と図-10 に示す。また、BREX システム(健全度評価部)の教師データを変更した場合の結果も示す。

### 5.1 健全度について

表-4 から健全度(点)は、教師データ(アンケート結果)による学習を行った方が、より低い値を示している。入力データとなる目視点検データは、ばらつきを有しているものの本検討の場合、BREX による評価を行うことでほぼ同様な健全度となった。また教師データの選択により健全度の値が、余寿命の値の変化に影響するほど、変化した。

### 5.2 余寿命推定について

余寿命の推定方法は、予想劣化曲線<sup>9)</sup><sup>10)</sup><sup>11)</sup>を用いて評価を行った。学習後の結果から余寿命をみると、耐荷性において3年から7年、耐久性において11年から19年という結果が得られた。

耐荷性の余寿命は、いずれの場合も耐久性の余寿命よ

りも短く推定される。これは、耐荷性の劣化曲線が橋齢  $t$  の4次関数であり、耐久性の場合は3次関数であるため、耐荷性の健全度は耐久性よりも急激に減少するため短くなる。

## 6. 考察

### 6.1 点検者による変状データのばらつきの影響

評価対象となる目視点検結果の変状データは、一致率としては60%程度(図-3の場合)で、図-5から図-7に示すような傾向であった。このデータにより評価した健全度は、同一の教師データの場合、表-4に示す点検者ごとに健全度が異なるものの、余寿命の年数への影響は数年程度であることが分かった。

このことから、本調査対象である老朽化橋梁の場合、既に健全度がかなり低い状態であるため、ある教師データのもとでは、余寿命に大きな影響を与えるほど差異がなかったと考えられる。

### 6.2 アンケート結果(評点)のばらつきの影響

アンケート結果(評点)には、表-3や図-8と図-9に示すように多くのばらつきがあることが分かる。このことは、

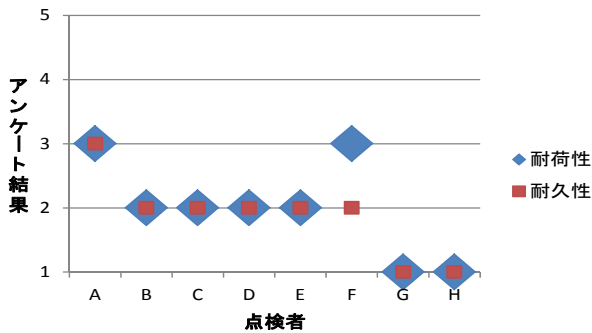


図-11 点検者ごとのアンケート結果

表-4 と図-10 に示すように余寿命評価が異なるほど、影響を与える。また図-10 に示すように、点検者 G と H を教師データとした場合（図中の教師データ G と H）は、耐荷性・耐久性ともに余寿命の評価に対して他の点検者よりも厳しい評価結果となっていることが分かる。点検者 H は維持管理・構造解析といった業務内容であり、さらに経験年数ながいためと考えられる。一方、点検者 G は、経験年数が 5 年と短い若手点検者であるが、点検者 H と同じ会社であることやヒアリング会の会合に参加した結果、厳しい評点となったと考えられる。

### 6.3 BREX システム評価とアンケート評価の比較

目視点検データの一つであるアンケート結果(評点)として、図-11 に耐荷性と耐久性について点検者ごとに示す。図-11 から点検者 G と H は、他の点検者よりも厳しい評価となっている。このことから相対的ではあるが、図-10 に示すように教師データとして点検者 G と H を用いた場合の結果は、システムによる評価である余寿命に関しても厳しく評価している。また、図-11 に示す点検者 A のアンケート結果(評点 3)とした点検者を教師データとした場合は、図-10 に示すように相対的に余寿命が長く出力されていることが分かる。このことより、教師データの選択によりシステム評価に与える影響が大きいことが分かる。

## 7. 結論

本研究は、老朽化橋梁の目視点検結果から J-BMS RC 版 (BREX) による健全度評価および余寿命推定を行った。また、入力データとなる目視点検結果の検討と J-BMS による結果を検討した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 目視点検結果が入力データとなる本システム(BREX)においては、変状データの指摘一致率が 60%程度であれば同程度の健全度を出力する。
- (2) 本システムで教師データとするアンケート結果(評価点)は、点検者による変状データの指摘のばらつきよりもシステム評価結果に大きく影響を与える。
- (3) 本システムによる余寿命推定結果は、特定の教師データによる学習後の評価であれば、ほぼ同じ結果が得られる。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり国土交通省中国地方整備局山口河川国道事務所の関係各位からの多くのご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 阿部雅人, 阿部允, 藤野陽三: 我国の維持管理の展開とその特徴—橋梁を中心として—, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.2, pp.190-199, 2007.6.
- 2) 古田均, 茅野牧夫, 渡邊英一: 橋梁の維持管理とブリッジマネジメントシステムの現状と将来展望, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.3, pp.287-294, 2007.7.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 江本久雄, 内村俊二, 澤村修司, 高橋順, 宮本文穂: 橋梁点検技術者のためのバーチャルリアリティ体験システムの開発, 社会基盤マネジメントシリーズ No.10, 山口大学, 2009.12.
- 6) 内村俊二, 江本久雄, 高橋順, 宮本文穂: 目視点検を対象とした既存 RC 橋の点検者教育システムの開発, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, VI.373, 2009.8.
- 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, 2010.6.
- 8) 澤村修司, 溝部和広, 内村俊二, 宮本文穂: 橋梁点検者のためのバーチャルリアリティ損傷体験システムの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.19, pp.227-238, 2010.10.
- 9) 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, 第 49 巻, 第 2 号, pp.267-282, 1999.3.
- 10) 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.
- 11) 宮本文穂: 道路橋鉄筋コンクリート床版の力学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.