

# 新旧橋梁点検実績データの統一化のための換算手法に関する検討

Investigation about the conversion for the unification of New and Old bridge inspection code data

北見工業大学 学生会員 ○樺山哲也  
 北見工業大学 フェロー会員 大島俊之  
 北見工業大学 正会員 三上修一  
 北見工業大学 正会員 宮森保紀

## 1.1 はじめに

昭和 30～40 年代の高度経済成長期に膨大な数の橋梁が建設されてきた。今後、多くの橋梁が架け換え時期を迎えることになるため、補修や更新に必要となる費用は爆発的に増加する。そのため、工事コストや維持管理費の縮減など総合的なコスト縮減への取組が進められてきている。このような背景から、維持管理により橋梁の延命化を図ることが急務となっている。

LCCの削減、橋梁の延命化を図ためには、適切な補修・補強工事を行わなければならない。現実的かつ最善の補修事業計画案を作成するためには、正確な橋梁の劣化予測が必要となり、その手法は様々な機関で研究されている。

しかし、橋梁点検において平成16年から新点検要領案が実施されており、長年蓄積されてきたデータを基に劣化予測を行うにあたって、旧点検要領による点検データとの統一化が課題となる。(以下、新点検要領による点検データを“新点検データ” 旧点検要領による点検データを“旧点検データ”と記載する)

本研究では、新点検データから旧点検データへの換算手法について検討を行っている。

## 2.点検実績データの換算

### 2.1.概要

前章で述べたように、今回使用する点検実績データは新点検データと旧点検データの二種類に分かれている。新点検要領による点検は、まだ期間が短く、これまで蓄積されている点検データは旧点検要領によるものがほとんどであることから、新点検データを旧点検データに換算することとした。

損傷の程度について新点検は(a,b,c,d,e)旧点検は(OK,IV,III,II,I)と共に5段階で評価されているが、新点検と旧点検では損傷の評価基準に様々な違いがあり、d⇒II, b⇒II, というようにランク毎に単純に置き換えることができない。したがって本研究では、新点検データから旧点検データへの換算について検討した。

### 2.2 換算表を用いた換算

腐食、防食機能の劣化、ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、床版ひびわれ、舗装ひびわれの7種類の損傷については、換算表を用いて換算した。(表2-1)

| 区分 | 新要領案 |    | 旧要領案 |     |
|----|------|----|------|-----|
|    | 損傷   |    | 部材   |     |
|    | 深さ   | 面積 | 主    | 2次  |
| a  | 損傷なし |    | OK   |     |
| b  | 小    | 小  | III  | IV  |
| c  | 小    | 大  | II   | III |
| d  | 大    | 小  | II   | III |
| e  | 大    | 大  | II   |     |

### 2.3 換算表に載っていない換算

換算表に載っている7種類の以外の損傷について考える。まず、新点検要領と旧点検要領では扱う損傷の種類が違い、新点検では26種類、旧点検では36種類あり、内容にも違いがある。

よって、換算表のない損傷については以下のように対応することとした。

- ①旧点検と新点検の両方で扱っている損傷  
→点検調書を基に旧点検要領で評価し直す。
- ②新点検から新しく追加された損傷  
→独自の換算表を作成する

以下に換算例を示す。

### ①の例



### ②の例

損傷名：うき

新点検において、a(損傷あり),e(損傷なし)の2段階で評価される。剥離・鉄筋露出になる手前の段階であると考え e はIVに換算する。(表2-3)

| 新要領<br>ランク | 換算後<br>ランク     |
|------------|----------------|
| a          | OK             |
| -          | -              |
| -          | -              |
| -          | -              |
| e          | 剥離・鉄筋<br>露出のIV |

## 3.劣化予測

### 3.1 概要

2章で換算したデータを基に、橋梁の劣化予測を行う。本研究ではマルコフ遷移の概念を用いて、劣化予測を行う。北海道内の国道橋のコンクリート床版を対象部材とし劣化予測を行った。以下にその手順を示す。

### 3.2 健全度ランク推移表の作成

2章で換算したデータを基に、橋梁の劣化予測を行うために、パネル毎のランクの推移を表にまとめた。ある床版のランク推移イメージを下図に示す(図3-1)。

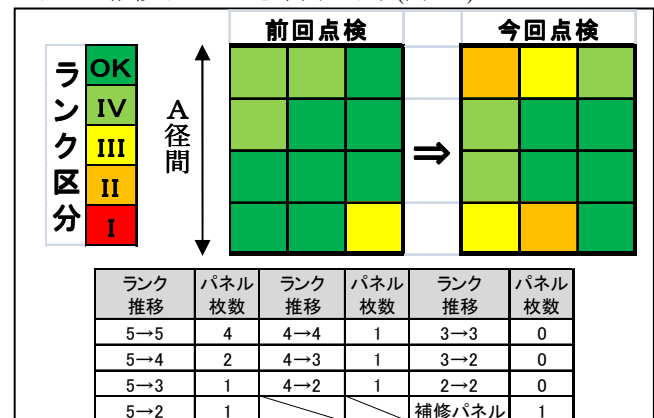


図3-1 床版のランク推移イメージ

## 3.3 劣化推移パネル集計ルール

推移表を作成するときの留意点を以下に示す、

## (1) 同一パネルに複数の損傷が存在した場合

パネル内の損傷数を基にランクごとの比率により算出する。例えば、あるパネル内にランク II の損傷が 2 つと、ランク III の損傷が 3 つあった場合のランクは  $II=0.4$  パネル、 $III=0.6$  パネルとなる。(図 3-2)

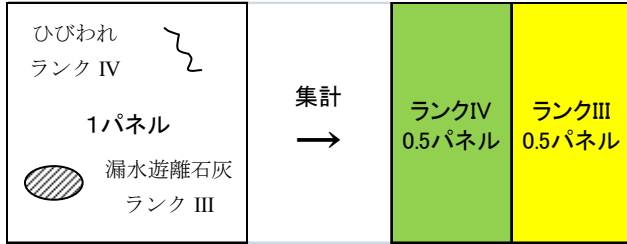


図 3-2 床版のパネルランク集計例

## (2) ランクが上昇している場合(III→OK など)

補修・補強の効果と考え、検討から除外する。

## (3) 点検間隔が 4～11 年のものを取り扱う

旧点検要領では 10 年サイクルの点検、新点検要領では 5 年サイクルの点検が示されていることから、点検が 1 年前倒しになった場合と 1 年先送りになった場合を考慮した。

## (3) 劣化は段階的に進行するものとする

劣化は OK→IV、III→II のように段階的に進行し、OK→II や IV→II のようにランクをスキップして劣化しないものとする。例えば、同じようにパネルが劣化していても様々なランクの推移パターンが考えられる(図 3-3)、原則として最も近いランクに段階的に推移するパターン②(劣化パネル優先)を採用することとする。

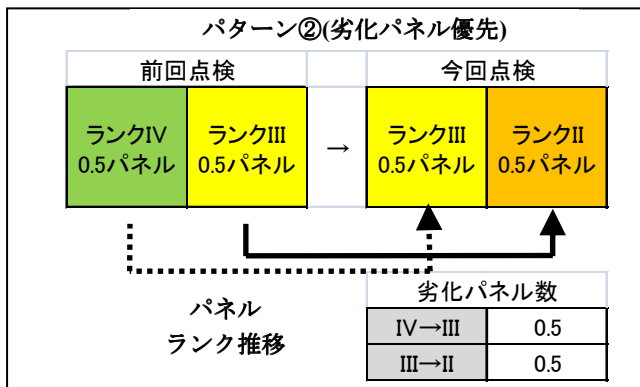
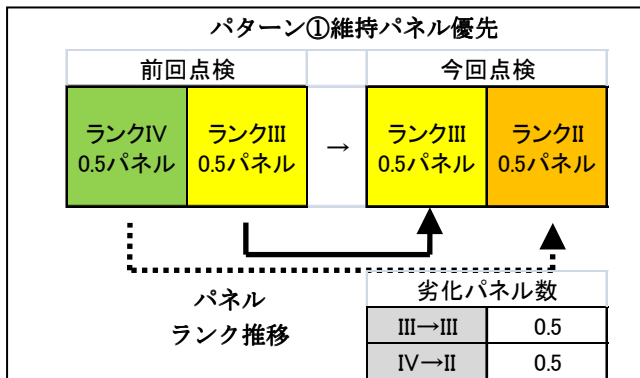


図 3-3 パネルランク推移パターン

以上の点に留意して、データを整理した。(表 3-1)

表 3-1 劣化推移表

| 点検年<br>間隔 | ランク推移 |      |      |     |      |     |     | 部材   |     |     | 建設部   | 全開建 |
|-----------|-------|------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|
|           | 5-5   | 5-4  | 5-3  | 5-2 | 4-4  | 4-3 | 4-2 | 3-3  | 3-2 | 2-2 |       |     |
| 4         | 1686  | 27   | 25   | 25  | 119  | 16  | 3   | 220  | 8   | 101 | 543   |     |
| 5         | 7790  | 216  | 141  | 28  | 800  | 72  | 23  | 727  | 102 | 227 | 2336  |     |
| 6         | 9690  | 254  | 276  | 90  | 973  | 98  | 34  | 836  | 88  | 177 | 2826  |     |
| 7         | 7273  | 223  | 130  | 124 | 590  | 138 | 34  | 312  | 66  | 108 | 1725  |     |
| 8         | 8127  | 309  | 283  | 85  | 730  | 84  | 29  | 435  | 98  | 108 | 2162  |     |
| 9         | 5068  | 183  | 84   | 32  | 358  | 20  | 5   | 240  | 27  | 53  | 1001  |     |
| 10        | 2486  | 74   | 52   | 20  | 251  | 36  | 5   | 119  | 20  | 3   | 578   |     |
| 11        | 1749  | 179  | 376  | 29  | 114  | 43  | 1   | 83   | 10  | 6   | 841   |     |
| 総計        | 43869 | 1464 | 1366 | 433 | 3935 | 507 | 134 | 2973 | 420 | 782 | 12013 |     |

## 3.4 マルコフ理論を用いた遷移確率の算出

推移表を用いてマルコフの遷移確率を算出する。最初に OK→OK, IV→IV, III→III, II→II となっているパネルを状態を維持しているパネル、その他のパネルを状態が変化するパネルとし、点検間隔ごとに、その割合を算出していく、次に点検間隔のバラツキを考慮し遷移確率の統一をはかるため、1 年毎の遷移確率 P を求めた。最後に点検間隔年ごとのパネル総数を考慮した重み付き平均を求めた(表 3-2)

以上より得られた遷移確率を用いて、マルコフの確率変数表を作成した(表 3-3)

表 3-2 遷移確率平均

| 点検間隔   | パネル数  | 1年の遷移確率P |       |       |
|--------|-------|----------|-------|-------|
|        |       | 5→5      | 4→4   | 3→3   |
| 4      | 3225  | 0.986    | 0.961 | 0.989 |
| 5      | 11284 | 0.988    | 0.980 | 0.976 |
| 6      | 8787  | 0.990    | 0.981 | 0.984 |
| 7      | 8900  | 0.991    | 0.966 | 0.975 |
| 8      | 10273 | 0.990    | 0.986 | 0.977 |
| 9      | 6038  | 0.994    | 0.994 | 0.989 |
| 10     | 3079  | 0.994    | 0.986 | 0.985 |
| 11     | 2595  | 0.974    | 0.972 | 0.990 |
| 総計     | 54180 | 0.988    | 0.978 | 0.983 |
| 重み付き平均 |       | 0.989    | 0.979 | 0.981 |

表 3-3 遷移確率平均

|     | OK    | IV    | III   | II    | I     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| OK  | 0.989 | 0.011 |       |       |       |
| IV  |       | 0.979 | 0.021 |       |       |
| III |       |       | 0.981 | 0.019 |       |
| II  |       |       |       | 0.500 | 0.500 |
| I   |       |       |       |       | 1.000 |

## 3.5 マルコフ遷移を用いた橋梁部材の劣化予測

前項より得られた確率変数表を用いて、各部材の劣化予測を行う。(EHI=OK のパネル数×1.0+IVのパネル数×0.75+IIIのパネル数×0.5+IIのパネル数×0.25+Iのパネル数×0.0) (図 3-4、図 3-5、表 3-4)

表 3-4 使用データ説明

| 表記   | 概要                            | 備考                           |
|------|-------------------------------|------------------------------|
| 旧→旧  | 旧点検データのみを用いた劣化予測              | 換算を行っていない生のデータであり信頼できるデータである |
| 旧→新  | 旧点検データと新点検データ(換算データ)を混合した劣化予測 | ※旧→旧は含まない                    |
| 新→新  | 新点検データ(換算データ)のみを用いた劣化予測       | データ数が少ないため単独では劣化予測を行っていない    |
| 全データ | 旧→旧、旧→新、新→新をすべて含んだ劣化予測        |                              |

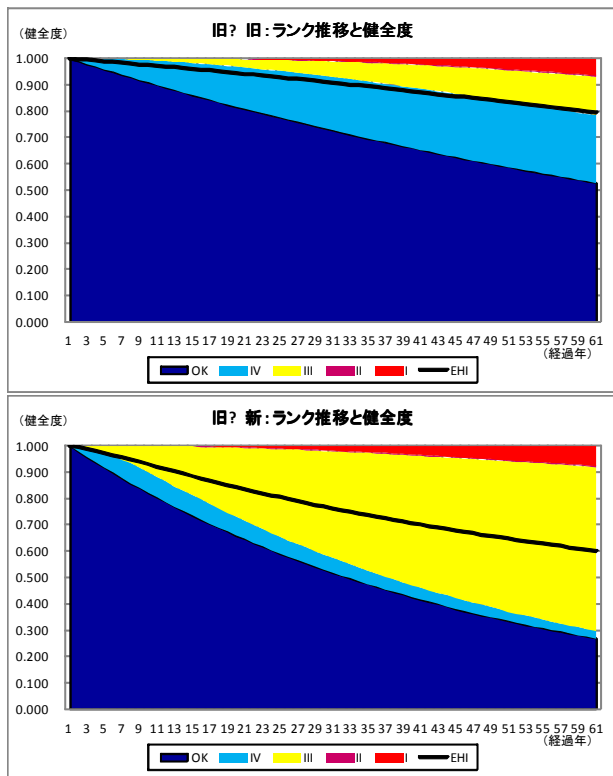


図 3-4 C床版データ別劣化曲線

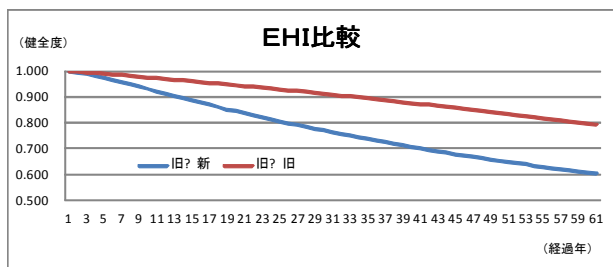


図 3-5 「旧→旧」, 「旧→新」 EHI 比較

#### 4. 損傷ランクの分布を考慮した換算手法の再検討

##### 4.1 概要

前章までの換算データを用いた劣化曲線は旧→旧データと旧→新データで勾配に大きな違いが見られた。

本章では旧点検データと新点検データの損傷の分布を比較し換算表を見直して、旧→新の劣化曲線を旧→旧に近づけることを目指す。

表 4-1 主要3損傷の換算表

| 床版ひびわれ |        | 剥離・鉄筋露出 |        | 漏水・遊離石灰 |        |
|--------|--------|---------|--------|---------|--------|
| ランク    | 換算後ランク | ランク     | 換算後ランク | ランク     | 換算後ランク |
| a      | OK     | a       | -      | a       | -      |
| b      | IV     | b       | -      | b       | -      |
| c      | III    | c       | III    | c       | III    |
| d      | II     | d       | II     | d       | III    |
| e      | II     | e       | II     | e       | II     |

表 4-2 主要3損傷のランク分布(旧点検データ)

| 床版ひびわれ |       |     | 剥離・鉄筋露出 |      |     | 遊離石灰 |      |     |
|--------|-------|-----|---------|------|-----|------|------|-----|
| ランク    | 損傷数   | 比率  | ランク     | 損傷数  | 比率  | ランク  | 損傷数  | 比率  |
| OK     | 0     | 0%  | OK      | 0    | 0%  | OK   | 0    | 0%  |
| IV     | 37816 | 57% | IV      | 457  | 20% | IV   | 0    | 0%  |
| III    | 22064 | 33% | III     | 1345 | 60% | III  | 7984 | 79% |
| II     | 6488  | 10% | II      | 447  | 20% | II   | 2097 | 21% |
| I      | 0     | 0%  | I       | 0    | 0%  | I    | 0    | 0%  |

表 4-3 主要3損傷のランク分布(新点検データ)

| 床版ひびわれ |       |     | 剥離・鉄筋露出 |      |     | 漏水・遊離石灰 |       |     |
|--------|-------|-----|---------|------|-----|---------|-------|-----|
| ランク    | 損傷数   | 比率  | ランク     | 損傷数  | 比率  | ランク     | 損傷数   | 比率  |
| a      | 1     | 0%  | a       | 0    | 0%  | a       | 0     | 0%  |
| b      | 19597 | 78% | b       | 0    | 0%  | b       | 0     | 0%  |
| c      | 5243  | 21% | c       | 1955 | 47% | c       | 361   | 1%  |
| d      | 418   | 2%  | d       | 1912 | 46% | d       | 27215 | 97% |
| e      | 19    | 0%  | e       | 299  | 7%  | e       | 511   | 2%  |

#### 4.2 コンクリート床版

コンクリート床版の主な損傷は、床版ひびわれ、漏水・遊離石灰、剥離・鉄筋露出の3つである。

旧点検データのコンクリート床版の全損傷数は 82929 数であり、前述した3つの損傷が要因となっている損傷数は 78698 数で全体の 95%を占めている。

新点検データにおいても全損傷数が 59953 数の内 57531 が3損傷の原因のものであり全体の 96%をしめている。

よってこの3損傷の換算表について検討を行う必要がある。(表 4-1, 表 4-2, 表 4-3)

##### (1) 床版ひびわれ

床版ひびわれについては、既存の換算表を用いたランク分布が最も旧点検の範囲に近くなることから、修正はしないものとする。(表 4-4)

表 4-4 床版ひびわれの損傷数比較(修正前)

| 新点検(換算データ) |       |     |    | 旧点検    |       |     |
|------------|-------|-----|----|--------|-------|-----|
| 床版ひびわれ     |       |     |    | 床版ひびわれ |       |     |
| ランク        | 損傷数   | 比率  |    | ランク    | 損傷数   | 比率  |
| OK         | 1     | 0%  | 比較 | OK     | 0     | 0%  |
| IV         | 19597 | 78% |    | IV     | 37816 | 57% |
| III        | 5243  | 21% | ⇔  | III    | 22064 | 33% |
| II         | 418   | 2%  |    | II     | 6488  | 10% |
| I          | 0     | 0%  |    | I      | 0     | 0%  |

##### (2) 剥離・鉄筋露出

既存の換算表を用いた結果ランク IV に換算される損傷が無くなってしまった。ここで、換算後のランク分布を旧点検のランク分布に近づけるために、ランク c をランク IV, ランク d をランク III に換算するように換算表を修正した。(表 4-5, 表 4-6)

表 4-5 剥離鉄筋露出の損傷数比較(修正前)

| 新点検(換算データ) |      |     |             | 旧点検     |      |     |
|------------|------|-----|-------------|---------|------|-----|
| 剥離・鉄筋露出    |      |     |             | 剥離・鉄筋露出 |      |     |
| ランク        | 損傷数  | 比率  | 比較<br><br>⇔ | ランク     | 損傷数  | 比率  |
| OK         | 0    | 0%  |             | OK      | 0    | 0%  |
| IV         | 457  | 20% |             | IV      | 0    | 0%  |
| III        | 1345 | 60% |             | III     | 1802 | 80% |
| II         | 447  | 20% |             | II      | 447  | 20% |
| I          | 0    | 0%  |             | I       | 0    | 0%  |

表 4-6 剥離鉄筋露出の損傷数比較(修正後)

| 新点検(換算データ) |      |     |             | 旧点検     |      |     |
|------------|------|-----|-------------|---------|------|-----|
| 剥離・鉄筋露出    |      |     |             | 剥離・鉄筋露出 |      |     |
| ランク        | 損傷数  | 比率  | 比較<br><br>⇔ | ランク     | 損傷数  | 比率  |
| OK         | 0    | 0%  |             | OK      | 0    | 0%  |
| IV         | 1955 | 54% |             | IV      | 1955 | 47% |
| III        | 1345 | 37% |             | III     | 1912 | 46% |
| II         | 299  | 8%  |             | II      | 299  | 7%  |
| I          | 0    | 0%  |             | I       | 0    | 0%  |

##### (3) 漏水・遊離石灰

既存の換算表を用いた所そのほとんどがランク III に

換算された。しかし、旧点検データにランク分布の比率を近づけようとしても既存の換算表を単純に修正するだけではかけ離れた分布になってしまう。次項より「漏水・遊離石灰」について検討を行う。(表 4-7)

表 4-7 漏水・遊離石灰の損傷数比較(修正前)

| 新点検(換算データ) |       |     | 旧点検  |      |     |
|------------|-------|-----|------|------|-----|
| 漏水・遊離石灰    |       |     | 遊離石灰 |      |     |
| ランク        | 損傷数   | 比率  | ランク  | 損傷数  | 比率  |
| OK         | 0     | 0%  | OK   | 0    | 0%  |
| IV         | 0     | 0%  | IV   | 0    | 0%  |
| III        | 27576 | 98% | III  | 7984 | 79% |
| II         | 511   | 2%  | II   | 2097 | 21% |
| I          | 0     | 0%  | I    | 0    | 0%  |

#### 4.3 漏水・遊離石灰

前述した通り漏水・遊離石灰のランク分布において、ランク d が大きな割合を占めるため、結果的にランク III が多くなってしまった。実際に劣化予測を行ったところ IV→III へ推移するパネルが多くなり 3.5 で作成した劣化曲線とあまり変化が見られなかった。

よって漏水・遊離石灰 d を IV と III に区分して換算必がある。そこで、他の損傷との併発を考慮した新たな換算表を作成することとした。

##### (1) 新点検要領案と旧点検要領案の違い

旧点検→遊離石灰の拡がりでランクを判定(表 4-8)

新点検→損傷の進行程度でランクを判定(表 4-9)

新点検では損傷の進行度で判定されているものを、なんらかの方法で拡がり(面積)に判定し直す必要がある。

表 4-8 旧点検評価項目

|            |       |                                                          |                                                          | 判定区分 |      |     |
|------------|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------|------|-----|
|            |       |                                                          |                                                          | Z    | 二次部材 | 主部材 |
|            |       |                                                          |                                                          | 大    | II   | II  |
| 拡がり<br>(Z) | 区分    | 発生面積:大                                                   | 発生面積:小                                                   | 小    | IV   | III |
|            | 具体的事例 | 上部工<br>0.1m <sup>2</sup> 以上<br>下部工<br>1m <sup>2</sup> 以上 | 上部工<br>0.1m <sup>2</sup> 未満<br>下部工<br>1m <sup>2</sup> 未満 |      |      |     |

表 4-9 新点検評価項目

| 区分 | 一般的状況                                           |
|----|-------------------------------------------------|
| a  | 損傷なし                                            |
| b  | -                                               |
| c  | ひびわれから漏水が生じているが、錆汁や遊離石灰はほとんど見られない。              |
| d  | ひびわれから遊離石灰が生じているが、錆汁はほとんど見られない。                 |
| e  | ひびわれから著しい漏水や遊離石灰が生じている。あるいは漏水に著しい泥や錆汁の混入が認められる。 |

##### (2) 「床版ひびわれ」との併発

新点検では損傷の進行度で判定されているものを、なんらかの方法で拡がり(面積)に判定し直す必要がある。そこで損傷「床版ひびわれ」との併発に注目した。「床版ひびわれ」が原因で「漏水・遊離石灰」が発生しているケースを考慮し、格子状になったひびわれ(ランク c 以下)と併発している遊離石灰は、拡がり 0.1m<sup>2</sup>以上になっているものとして、換算表を作成した。(表 4-10)

また、主部材を旧点検では存在しないランク IV に換算しても良いのかという問題があるが、

①旧点検と新点検で評価項目が大きく異なっていること

②ランク推移の算出ではすべての損傷を複合すること

以上の理由より主部材でもランク IV に換算する。

表 4-10 「漏水遊離石灰」の併発を考慮した換算表

|     | 漏遊  | c  | d   | e  |
|-----|-----|----|-----|----|
|     | 床ひび |    |     |    |
| ↑   | a   | IV | IV  | II |
| 一方向 | b   | IV | IV  | II |
| 格子状 | c   | IV | III | II |
| ↓   | d   | IV | III | II |
|     | e   | IV | III | II |

#### 4.4 C床版の劣化予測結果(修正版)

ここまで作成した換算表を基に劣化予測を行った結果旧→旧と旧→新の EHI の推移曲線が近くなった。(表 4-11, 図 4-1)

表 4-11 主要 3 損傷の修正後の換算表

| 床版ひびわれ |        | 剥離・鉄筋露出 |        | 漏水・遊離石灰 |           |
|--------|--------|---------|--------|---------|-----------|
| ランク    | 換算後ランク | ランク     | 換算後ランク | ランク     | 換算後ランク    |
| a      | OK     | a       | -      | a       | -         |
| b      | IV     | b       | -      | b       | -         |
| c      | III    | c       | IV     | c       | IV        |
| d      | II     | d       | III    | d       | IV or III |
| e      | II     | e       | II     | e       | II        |

修正なし

ランクc,dを修正

ランクc,dを修正(併発考慮)

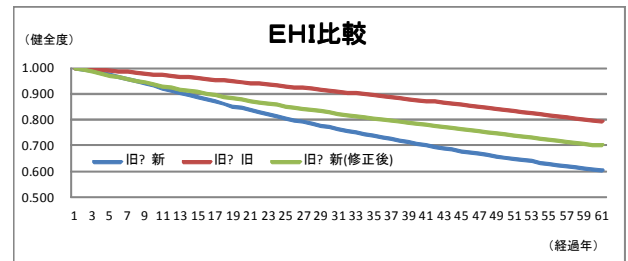
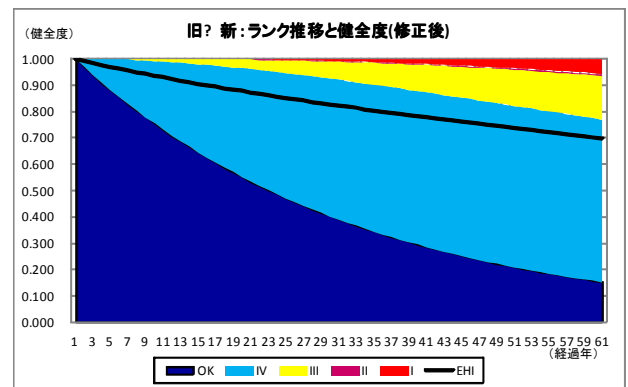


図 4-1 換算表修正後の旧→新の劣化推移と EHI 比較

#### 5.まとめ

・損傷ランクの分布を考慮することで換算を見直し、損傷の併発を考えることでより詳細な換算表を作成することができた。

・今後はC床版以外の部材についても換算方法を見直していきたい。

#### (謝辞)

本研究を行うにあたり、(株)ドーコンの加藤静雄様、丹波郁恵様、寒地土木研究所の佐藤京様には貴重な意見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

#### (参考文献)

竹田俊明, 実績データに基づく橋梁の劣化予測とマネジメントに関する研究 p36-p92  
大島俊之, 建設系アセットマネジメント, 森北出版