

# 空港インフラの効率的な維持管理を目指した 橋梁定期点検データの分析

那須瑞生\*・山口浩平\*・山本裕\*\*・尾関将克\*\*・宮根正和\*\*・嘉賀郁弥\*

## Analysis of Periodic Bridge Inspection Data for Efficient Maintenance of Airport Infrastructure

by

Mizuki NASU\*, Kohei YAMAGUCHI\*\*, Yutaka YAMAMOTO\*\*\*, Masakatsu OZEKI\*\*\*,  
Masakazu MIYANE\*\*\* and Fumiya KAGA\*

In this study, the periodic inspection data of the bridges in Narita International Airport, including structural characteristics, are analyzed. The purpose is to clarify the causal relationship between fragile members of each bridge and damage, and to organize the focus points of each bridge. Currently, "diagnosis", which determines the necessity of countermeasures based on inspection results such as the degree of damage, is largely due to the technology and experience of bridge inspectors, despite the enormous inspection data. It also requires a great deal of effort and skills. Therefore, if the diagnosis can be evaluated uniquely from the inspection results, it will be possible to improve the efficiency of periodic inspections. Therefore, it is one of the purposes of this study to find out the relationship that can uniquely evaluate the judgment of the countermeasure category from the damaged member and the degree of damage. In addition, analysis of periodic inspection data of bridges is performed based on the structural features of each bridge, and the characteristics of each bridge are clarified to create an inspection manual in line with each bridge for more efficient inspection work. Is also one of the purposes.

**Key words:** bridge maintenance, periodic bridge inspection data, airport infrastructure

### 1. はじめに

現在, 1950年代後半から始まった高度経済成長期に建設された橋梁の急速な老朽化が見られ, 十数年後の2030年には, 供用期間が50年を超過する橋梁が国内の全橋梁数の半数を超える事態となるため, 橋梁の長寿命化や維持管理に注目が集まっている。

橋梁の定期点検は, 国土交通省の橋梁定期点検要領に基づき実施されているが, 点検項目が多く費用が掛かるとともに, 定期点検および点検データ分析の効率化が求められている。

インフラを維持管理するにあたって, 厳しい財政状況や熟練技術者の減少という問題がある中, 事故を未然に防ぎ, メンテナンスサイクルコストの最小化を図るためには, 新技術を活用しシステム化されたマネジ

メントが必要になる。

Photo 1 は成田国際空港の鳥瞰写真(写真提供: 成田国際空港株式会社)である。空港内には様々な橋梁があり, 5年に1回の定期点検では膨大な点検データが毎年積み上げられていくが, その保管は紙資料がベースとなっており, 点検データの分析はこれからの維持管理に有用であると考えられる。



Photo 1 成田国際空港の鳥瞰写真

平成\*\*年\*\*月\*\*日受理

\* 大学院工学研究科総合工学専攻 (Graduate Student, Department of Advanced Engineering)

\*\* 大学院工学研究科システム科学部門 (Division of System Science)

\*\*\* 成田国際空港株式会社 (NARITA INTERNATIONAL AIRPORT CORPORATION)

2. 研究目的

本研究では、定期点検データを各橋梁の構造的特性と合わせて分析を行うことで、各橋梁の傷みやすい部材や損傷の因果関係を明らかにし、各橋梁における重点着目点を整理することを目的とする。橋梁定期点検結果を用いた研究はこれまでに数多く行われている。例えば、構造的特性や部材、環境要因などに着目したもの<sup>1)</sup>、市区町村などが管理する橋梁について独自に分析・整理したもの<sup>2)</sup>、定期点検データの分析方法について着目したもの<sup>3)</sup>などもある。これらの関連研究の中に点検結果と診断結果の相関に着目したものはほとんどないのが現状である。

また、分析結果の地震時臨時点検の高質化への活用や、橋梁維持管理の新たな手法（新技術）に結び付く可能性が見出された場合には本研究で更なる検討を行う。

現在、点検結果（損傷の程度）から対策の必要性（対策区分の判定）を決定するという、いわゆる「診断」の行為は、膨大な点検データであるにも関わらず橋梁検査員の技術や経験によるところが大きく、大変な労力や技能を必要とする。点検結果から診断を一意的に評価できれば、定期点検の効率化となる。よって、損傷部材と損傷の程度から、対策区分の判定を一意的に評価できる関係性を見出すことを本研究の目的の1つとする。

また、橋梁の定期点検データの分析を各橋の構造的特徴を踏まえて行い、1橋ごとの特性を明らかにすることで、点検作業の効率化に向けた各橋に即した点検マニュアルの作成も研究目的とする。

3. 研究概要

定期点検により橋梁各部材の劣化度、各橋の健全度など膨大なデータが積み上げられていることから、各橋で異なる構造的特性と定期点検データを合わせて分析し、各橋梁の損傷の要因、因果関係を明らかにする。点検調書を元に必要なデータのみを抽出し、1つのExcelファイルにまとめる。その際Excel VBAを用

いてデータ抽出を行う。また、Excel VBAではデータ抽出が困難な項目などは手入力にてデータを抽出する。データ抽出後、諸元を整理するとともに損傷の程度、対策区分の判定、健全度等に注目し、どの橋梁にどのような損傷が発生しており、どのような損傷の特徴があるのかなどを検討し、点検時の重点着目部材を明らかにすることで、今後の点検の効率化につなげる。また、損傷の発生および進行状況を追跡・整理することにより橋齢や橋長、構造形式等の各種特性と対策区分の判定や健全度等の損傷に関するデータの関係性を把握することは、今後の維持管理を行う上で有用なものになると考える。対策区分の判定と健全度との関係性は、橋梁定期点検要領に定められているが、特に、点検および診断結果の関係性についての研究はほとんど見られないことから、この関係性を見出すことを優先する。

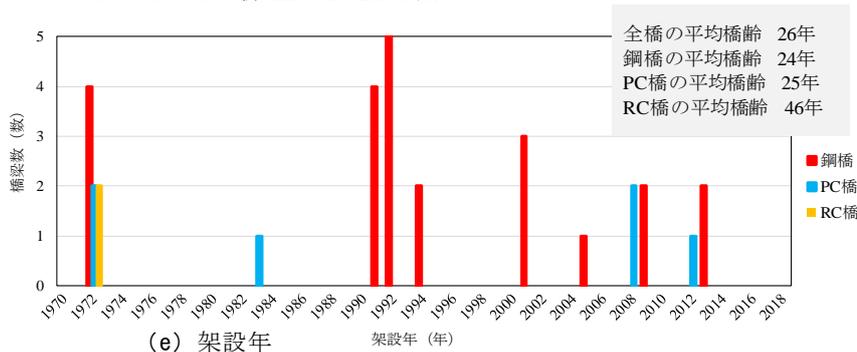
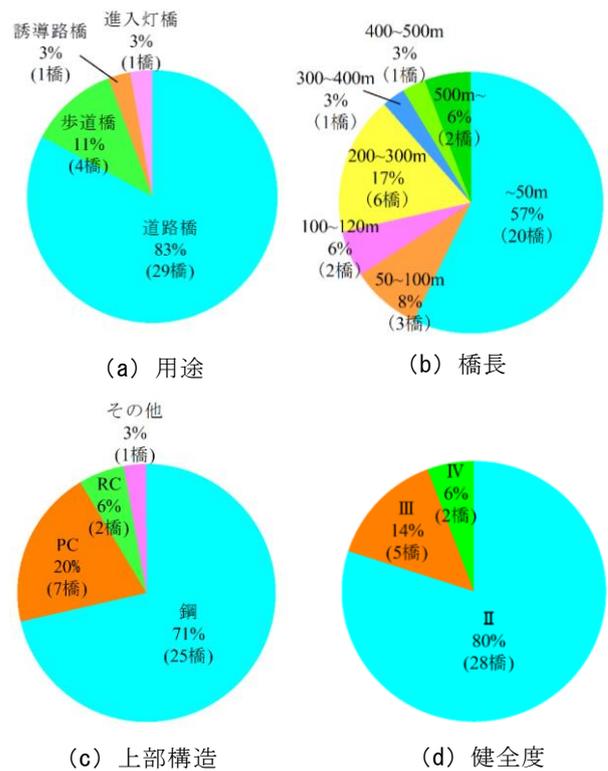


Fig. 1 研究対象橋梁の諸元

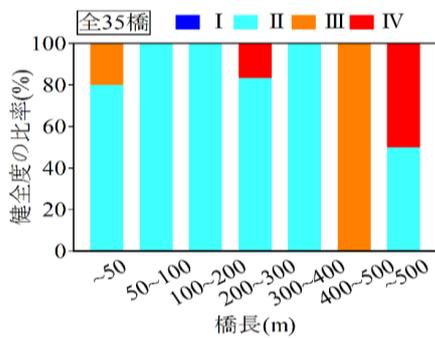


Fig. 2 橋長と健全度の関係

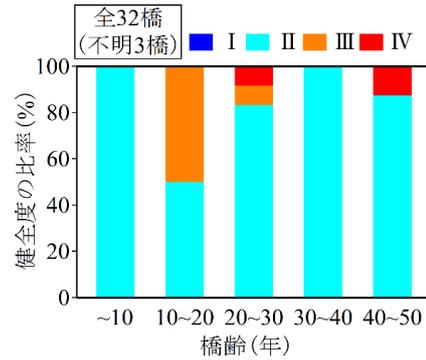


Fig. 3 橋齢と健全度の関係

#### 4. 対象橋梁の概要

本研究の対象橋梁には、大小さまざまな橋梁が存在するだけでなく、設置箇所、用途、材料、形式も多様である。そこで、定期点検結果の分析を行うにあたり、まず、各橋梁の諸元の整理を行った（平成 26～29 年度に定期点検を行った 35 橋について）。Fig. 1 に本研究対象橋梁の諸元についてまとめたものを示す。(a) より、道路橋が 29 橋と 8 割以上を占めているが、空港ならではの誘導路橋や進入灯橋もあり、これらの橋梁も本研究の対象である。(b)、(c) より、50m 未満の橋梁から 500m 以上の橋梁が存在しており、鋼橋が多くを占めている。(d) より、成田国際空港には、健全度 II の橋梁が多く、その要因の 1 つとして、(e) に示すように、全橋梁の平均橋齢が 26 年と比較的若いことが挙げられる。

これらの橋梁について、橋梁毎に異なる構造的特性と定期点検データを合わせて分析し、橋梁毎の損傷の要因、因果関係を明らかにする。

#### 5. 分析結果

##### 5.1 橋長・橋齢と健全度の関係

全 35 橋について、橋長および橋齢が健全度に与える影響について検討を行った。

Fig. 2 に、橋長と健全度の関係を示す。Fig. 2 より、橋長 50m 未満の橋梁に健全度 III の橋梁があるのに対し、橋長 50～200m の橋梁には健全度 III、IV の橋梁は存在しない。しかし、橋長 400m 以上になると、健全度 III、IV の割合が大きくなっている。よって、橋長 400m 以上になると健全度 III、IV の橋梁の割合は大きくなるが、橋長が長くなるにつれ、健全度 III、IV の割合は大きくなっていないため、橋長以外の要因が健全度に影響していると考えられる。

Fig. 3 に、架設年不明の 3 橋を除いた 32 橋について橋齢と健全度の関係を示す。Fig. 3 より、橋齢 20

～30 年の橋梁には健全度 III、IV の橋梁は存在するが、橋梁 10 年未満、40～50 年の橋梁には健全度 III、IV の橋梁は存在しない。よって、橋齢が長くなるにつれ、健全度 III、IV の橋梁の割合は大きくなっていないため、橋長同様、橋齢以外の要因が健全度に影響していると考えられる。以上より、成田国際空港内橋梁 35 橋は、橋長および橋齢以外の要因が健全度に影響を与えていると考えられる。

##### 5.2 点検と診断の関係性

橋梁の定期点検では、対策区分の判定と健全度の関係性については、橋梁定期点検要領に定められているが、点検結果（損傷の程度）から対策の必要性（対策区分の判定）を決定するという、いわゆる「診断」の行為の両者の関係性については、橋梁定期点検要領には記載はなく、検査員の技術や経験によるところが多い。そのため、損傷部材と損傷の程度から、対策区分の判定を一意的に評価できる関係性を見出すことができれば、定期点検の効率化につながると考え、点検と診断の関係性について検討した。

分析手法としては、橋単位の健全度から部材単位の健全度、損傷部材、対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度までの各内訳を示し、それらから損傷の程度と対策区分の判定の関係性がないかを検討するものである。

Fig. 4～Fig. 6 には、橋単位の健全度 III かつ部材単位の健全度 III である床版、ボルト、支承本体の 3 部材について対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度にそれぞれ着目したものを示す。橋梁の健全度が III と診断される要因となった部材単位の健全度が III の部材は 28 部材あり、その部材としては床版、ボルト、支承本体である。対策区分の判定はすべて C2 であり、対策区分の判定が C2 であれば健全度が III という、橋梁定期点検要領に記載されている対応になっている。床版には腐食、防食機能の劣化、漏水・滞水が発生し、

腐食の損傷の程度は d, 防食機能の劣化の損傷の程度は e, 漏水・滞水の損傷の程度は e である。また、ボルト、支承本体についても、ボルトには腐食と防食機能の劣化が発生し、腐食の損傷の程度は d, 防食機能の劣化の損傷の程度は e であり、支承本体には腐食、防食機能の劣化、ゆるみ・脱落、支承部の機能障害が発生し、腐食の損傷の程度は d, 防食機能の劣化の損傷の程度は e, ゆるみ・脱落の損傷の程度は e, 支承部の機能障害の損傷の程度は e である。

同様に、橋単位の健全度Ⅲかつ部材単位の健全度Ⅱで損傷部材が主桁、堅壁、ボルトの対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度にそれぞれ着目したものも分析した。また、同様の分析において、橋単位の健全度Ⅳかつ部材単位の健全度Ⅳで損傷部材が床版と梁部の対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度に着目したものについては、橋梁の健全度がⅣと診断される要因となった部材単位の健全度がⅣの部材は4部材あり、その部材としては床版、梁部である。対策区分の判定はすべてE2であり、対策区分の判定がE1, E2であれば健全度がⅣという、橋梁定期点検要領に記載されている対応になっている。床版と梁部にはうきが発生し、うきの損傷の程度は e である。

さらに、橋単位の健全度Ⅳかつ部材単位の健全度Ⅲで損傷部材が化粧板、支承本体、梁部の対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度にそれぞれ着目したもの、橋単位の健全度Ⅳかつ部材単位の健全度Ⅱで損傷部材が化粧板、伸縮装置、防護柵の対策区分の判定、損

傷の種類、損傷の程度にそれぞれ着目したもの、橋単位の健全度Ⅱかつ部材単位の健全度Ⅱで損傷部材が主桁、床版、支承本体の対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度にそれぞれ着目したものについても同様に分析した。一方、橋梁の健全度がⅡと診断される要因となった部材単位の健全度がⅡの部材は663部材あり、健全度Ⅲ, Ⅳの部材数と比較して膨大な数となる。よって、各損傷の程度の内訳も比較的複雑となる。また、橋単位の健全度Ⅲかつ部材単位の健全度Ⅱの部材のように、その橋梁の損傷における最悪値（各損傷の対策区分の判定がその橋梁内で最も重いもの）となるような損傷を含まない部材においても、各損傷の程度の内訳が複雑となる傾向がある。そのため健全度Ⅱの部材やその橋梁の損傷における最悪値となるような損傷を含まない部材において、診断結果である健全度や対策区分の判定と点検結果である損傷の種類や損傷の程度との関係性を見出すための適切な分析を行っていくことが今後の課題となる。

このように様々な要因の組合せにおいて分析を行うことで診断結果である健全度や対策区分の判定と点検結果である損傷の種類や損傷の程度との関係性を見出すことが可能である。なお、ここでの部材数とは、点検調書その10, その11に記載されている損傷の数のことである。例を挙げると、1部材に腐食と防食機能の劣化の2つの損傷があった場合は2部材とカウントする。

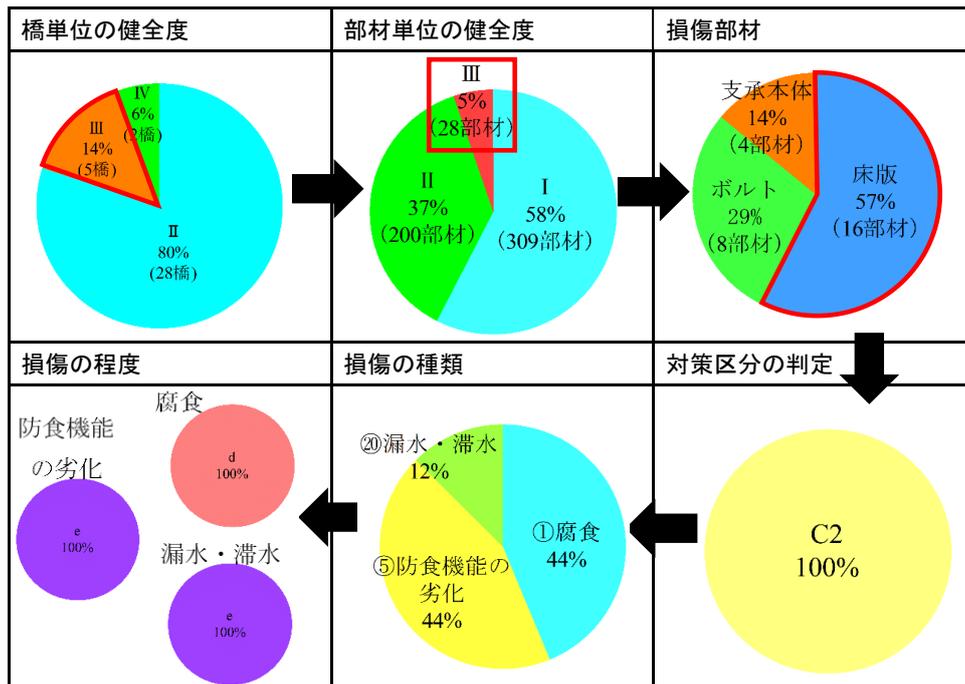


Fig. 4 橋単位および部材単位の健全度がⅢの床版の内訳

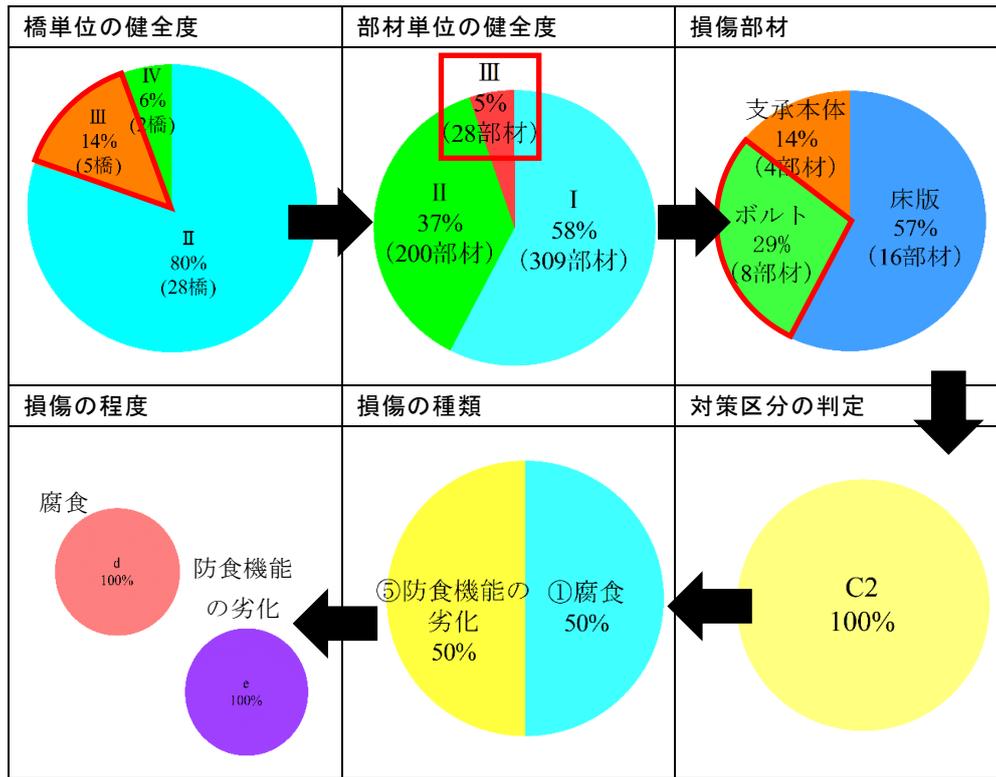


Fig. 5 橋単位および部材単位の健全度がⅢのボルトの内訳

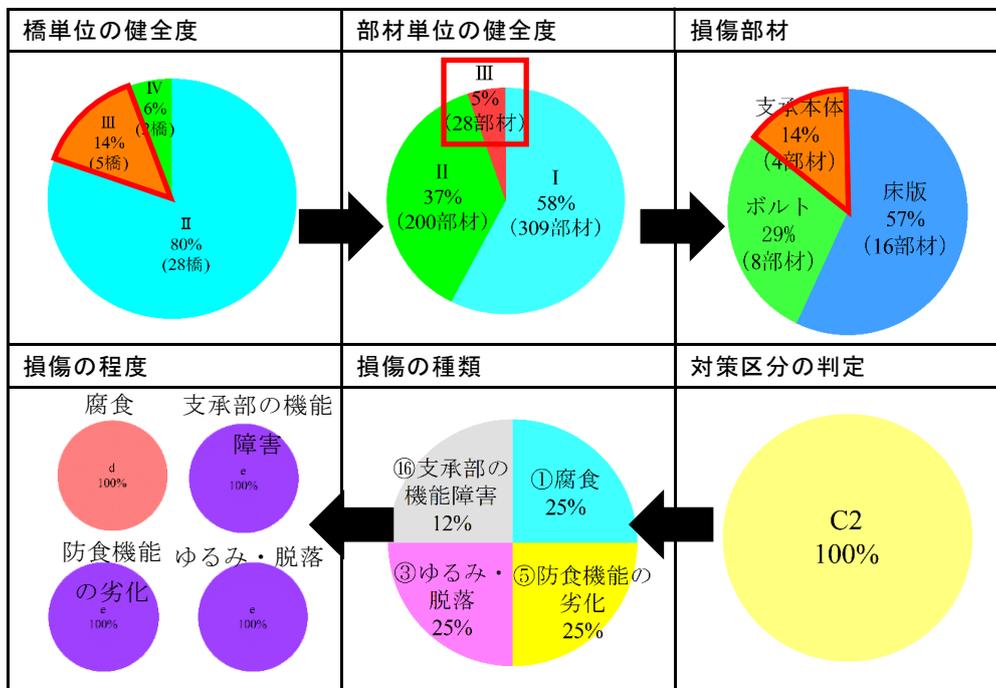


Fig. 6 橋単位および部材単位の健全度がⅢの支承本体の内訳

5.3 橋単位の健全度Ⅲ、Ⅳの橋梁

Fig. 1 (d)に示す橋単位の健全度がⅢと診断された5橋、Ⅳと診断された2橋の計7橋について着目し、さらに7橋に存在する部材単位の健全度がⅢ、Ⅳの部材について分析を行った。Table 1に7橋の諸元を示す。分析手法としては、7橋の点検調書その10および11から、部材毎の健全度がⅢ、Ⅳの部材を抽出する。次に、抽出した部材の種類、発生した損傷の種類、損傷の発生箇所について、各橋梁の構造形式や径間数なども考慮した。

(1) 損傷部材

早期および緊急で補修を行う必要があると診断された橋単位の健全度がⅢ、Ⅳの橋梁に着目し、その要因となった部材が何であるかを把握し、重要点検部材を明らかにするため、損傷部材について検討を行った。

Fig. 7に全橋の損傷部材4117部材の割合を、Fig. 8に部材単位の健全度がⅢ、Ⅳの損傷部材45部材の割合を示す。Fig. 7、Fig. 8より、床版の損傷部材数については両者とも割合が大きいが、ボルトや化粧板、

支承本体の損傷部材数の割合は、全橋での割合が小さいにも関わらず、部材単位の健全度がⅢ、Ⅳ以上の部材のみに着目すると、その割合が非常に大きくなる。よって、部材単位の健全度Ⅲ、Ⅳの部材で高い割合を占めているボルト、支承本体、化粧板に致命的な損傷が発生しやすいと考えられる。

特に、ボルトという損傷部材に関しては本来、橋梁の定期点検要領には点検部材として挙げられていない。しかし、分析対象とした7橋の内3橋がボルトを点検部材として点検されている。このことは3橋の構造形式に関係していると考えられる。ボルトが点検部材として点検されていた3橋は、すべて仮設橋であり上部構造形式が覆工板であるため、道路橋等に比べボルトの損傷が橋梁に及ぼす影響が大きいことから、ボルトを点検部材として扱っていると考えられる。よって、研究目的の1つである、各橋に即した点検マニュアルの作成の際に取入れる項目の1つとして、仮設橋という特殊な橋梁に関してはボルトも点検部材として扱う必要があるということである。

Table 1 7橋の諸元

橋梁名	上部構造形式	径間数	健全度
B滑走路東側仮設橋	覆工板	3	Ⅲ
B滑走路西側仮設橋①	覆工板	2	Ⅲ
B滑走路西側仮設橋②	覆工板	2	Ⅲ
7号橋	2径間・3径間連続非合成箱桁	23	Ⅳ
ランプ北橋(OUT)	PTB車路取付部, 単純桁, 3径間連続桁, 2径間連続桁	7	Ⅳ
11号橋	鋼2径間・3径間連続非合成箱桁	11	Ⅲ
A滑走路西側滞水池ゲート管理橋	鋼単純鉄桁橋	1	Ⅲ

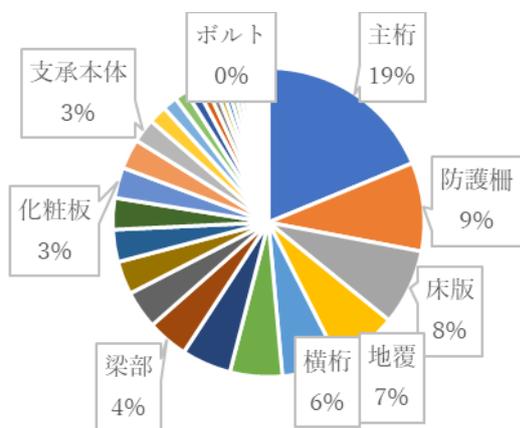


Fig. 7 全橋の損傷部材割合

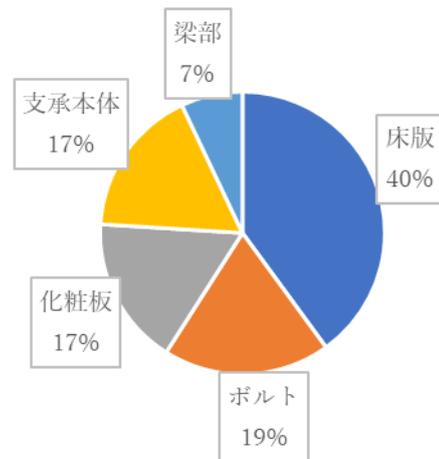


Fig. 8 部材単位の健全度Ⅲ、Ⅳの部材割合

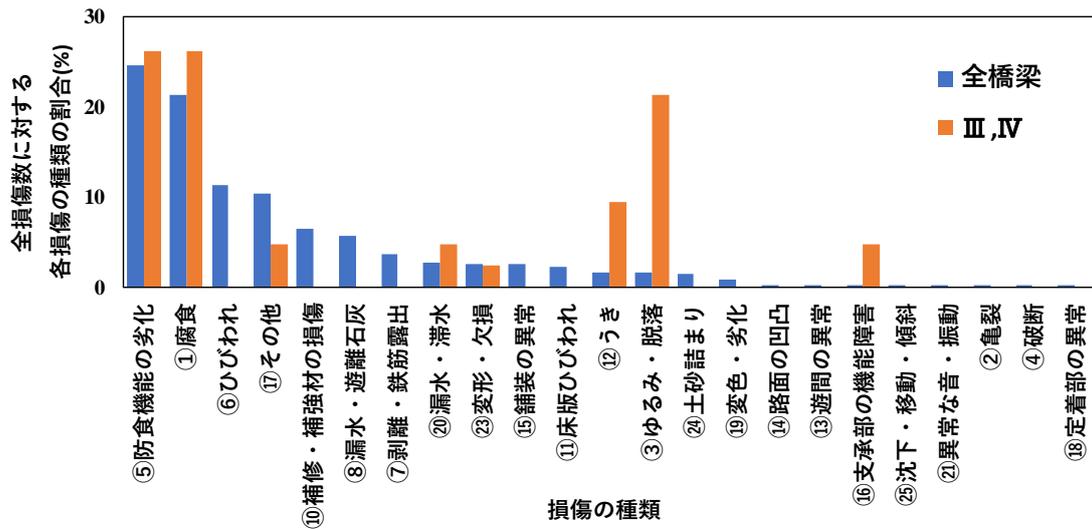


Fig. 9 全損傷部材数に対する各損傷の種類割合

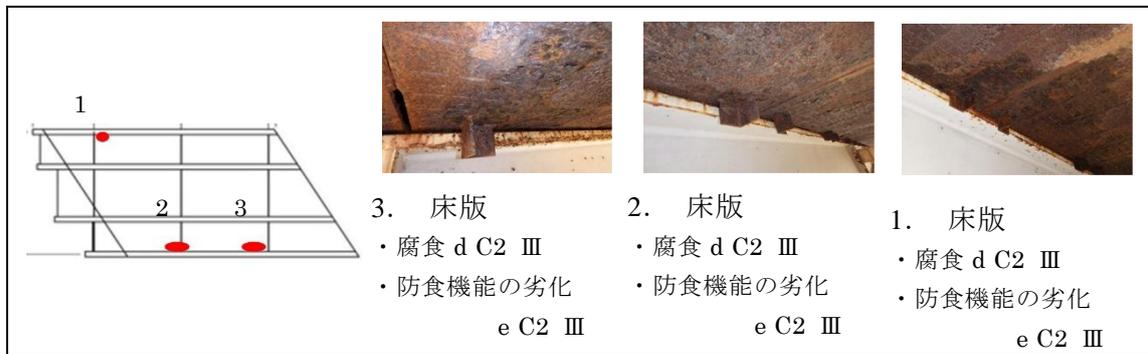


Fig. 10 A橋第1径間損傷箇所

(2) 損傷の種類

次に、重点着目損傷について検討を行った。

Fig. 9に全橋梁の各損傷の割合と、部材単位の健全度がⅢ、Ⅳと診断された各損傷の割合についてそれぞれ示す。同図より、③ゆるみ・脱落、⑫うき、⑩支承部の機能障害の3種類の損傷は、全橋梁を対象とした割合は小さいのに対して、健全度がⅢ、Ⅳと診断された部材の各損傷の割合が大きくなっていることがわかる。よって、③ゆるみ・脱落、⑫うき、⑩支承部の機能障害の3つの損傷は、橋梁にとって致命的な損傷になりやすいと考えられる。つまり、この3つの損傷は重点着目損傷であると言える。

(3) 致命的損傷の発生箇所

損傷部材と損傷の種類について分析を行い、重点着目部材および損傷について明らかにできた。それらの損傷について発生箇所との関連を把握するため、損傷を平面図に書き出し検討した。今回抽出した45部材

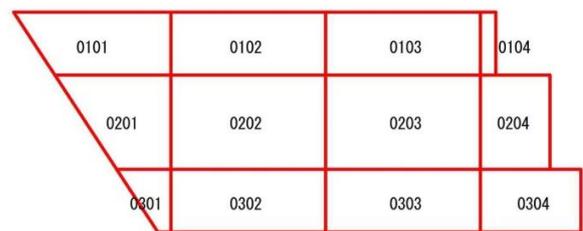


Fig. 11 A橋の床版の要素番号図

の中で上部構造に含まれる部材 39 部材に発生した損傷の内、健全度がⅢ、Ⅳと診断された計 71 個の損傷の発生箇所を各径間の平面図にプロットした。例として、A橋第1径間損傷箇所のものをFig. 10に示す。

これらの図の内、床版に①腐食、⑤防食機能の劣化が発生したFig. 10に注目すると、床版の腐食、防食機能の劣化の発生箇所は各径間の端部に発生するこ

とが多い。

Fig. 11にA橋第1径間の床版の要素番号図を示す。床版の損傷箇所は橋梁定期点検要領に基づいて、同図に示すように、各径間に割り振られた要素番号により判断される。よって、各径間の端部とは同図を例にとると、要素番号 0101, 0102, 0103, 0104, 0201, 0204, 0301, 0302, 0303, 0304 の 10 箇所に生じた損傷を端部に生じた損傷と定義した。

床版の腐食、防食機能の劣化の発生した 16 の損傷の内 14 の損傷は各径間の端部に発生していた。つまり割合にして約 88%の腐食、防食機能の劣化が各径間の端部に発生していた。よって、床版の腐食、防食機能の劣化の発生箇所は各径間の端部に発生することが多いと言える。

## 6. まとめ

平成 26 年度より実施されている橋梁の定期点検は、橋梁定期点検要領に基づいて実施しているが、点検項目が多いことや人手不足であることなどが課題として挙げられる。これらの課題を解決するため、橋梁の定期点検より得られた情報を元に、整理・分析を行うことで、橋梁の構造的特性、損傷が発生しやすい部材、損傷の因果関係等を明らかにし、効率的な維持管理手法を構築することが必要である。

本研究対象の 49 橋の内 35 橋について定期点検データの分析を行い、点検と診断の関係性、重点着目部材・損傷、致命的損傷の発生箇所を明らかにした。得られた知見を以下に示す。

① 床版、ボルト、化粧板、支承本体、梁部の部材には致命的損傷が発生しやすい部材であり、重点着目部材である。

- ② 腐食、うき、ゆるみ・脱落、支承部の機能障害等の損傷は致命的損傷になりやすく、重点着目損傷である。
- ③ 致命的損傷は各径間の端部に発生しやすい。
- ④ 点検データの分析においては、点検時と異なり診断結果から点検結果へ、すなわち対策区分の判定、損傷の種類、損傷の程度の順で分析を行うことで、関係性を見出すための 1 つの判断材料となる。
- ⑤ 対策区分の判定においては、同じ損傷の種類、損傷の程度でも損傷が発生している部材やその他の要因により対策区分の判定が異なる場合が多くある。それらの異なる対策区分の判定がなされる要因について明らかにすることが今後の重要な課題となる。
- ⑥ 橋梁の定期点検の課題として挙げた点検と診断には、現在、一意的に評価できる評価手法は記載されていないが、様々な要因を組合せて分析を行うことで点検結果と診断結果の関係性を見出すことが可能である。

## 参考文献

- 1) 村越潤，遠山直樹，木ノ本剛，澤田守：既設鋼道路橋における疲労損傷の調査・診断・対策技術に関する研究，橋梁構造研究グループ論文，2013
- 2) 大泉町橋梁長寿命化修繕計画，大泉町都市建設部土木課，2014
- 3) 仲野悌弘：橋梁損傷の発生傾向に関する分析，近畿地方整備局論文，2013