

## 橋梁の維持管理のための最適補修計画について

谷脇 一弘<sup>\*1</sup>, 大西 秀明<sup>\*2</sup>

### An Optimum Repair Plan for Maintenance of Existing Bridges

Kazuhiro TANIWAKI<sup>\*1</sup> and Hideaki OONISHI<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>Department of Architecture and Environmental Engineering

Recently, the guideline for periodic bridge inspection was re-established with 4 rating evaluation for maintenance immediacy of action by MLIT. The plan extending bridge service life, which has been formulated with 5 rating evaluation since 2007 in Fukui prefecture, needs to re-formulate in accordance with the guideline. Development of effective evaluation system for bridge management corresponding to the guideline is awaited for this purpose expectantly. In this study, a decision-making system for bridge repair plan is developed by using the bridge inspection data of Echizen city. The revised deterioration transfer curves for slab and abutment are introduced for three classifications of rapid, standard and slow deterioration members. The most economical repair plan is determined by comparing the life cycle costs for nine repair conditions, in which the rating limits for preventive repair are assumed as 2.0, 2.5 and 3.0 for slab, girder and abutment, respectively. The effectiveness and practical usefulness of the system are illustrated by discussing the numerical results.

**Key Words** : Repair Plan of Bridges, Deterioration Transfer Curve, Maintenance of Bridges

## 1. 緒 言

戦後の急激なモータリゼーションに対応し、道路網の急速な整備が行われ、これまでに大量の橋が建設されている。全国的に供用開始後 50 年以上の橋梁が、2001 年時点では約 1100 橋程度であるのに対し、2021 年には、20000 橋を超えることとなり、老朽化する橋梁が加速度的に増加していく傾向にある。これらの橋梁を安全に維持管理するためにシステムを構築し、来るべき橋梁の高齢化時代に対応する橋梁の維持管理を効率的に機能させていく橋梁管理システムの運用が必要となっている。また、社会資本整備のための資源が極めて限られた状況にあり、各地方自治体においては、十分な維持管理を行うための財源に乏しいため、維持管理の方策として、今後適切な時期に補修を行い、できるだけ延命化を計ることによりライフサイクルコストを最小化する長寿命化修繕計画の策定が義務付けられている。

福井県内には、約 9000 橋の橋梁が存在し、15m以上の橋梁はその約 13%程度である。この 15m 以上の橋梁については、平成 25 年度で県内のすべての橋梁の長寿命化修繕計画の策定が終了した。しかし、全体の約 87%と大半をしめる 15m 未満の橋梁については、今後点検を行い長寿命化修繕計画の策定を行わなければならない段階である。しかし、福井県内の市町においては、橋梁の維持管理を行うための組織に十分な人員が配置されているとはいえず、さらに土木の専門知識を有していない職員が点検を行わざるを得ない状況も生じている。そこで、平成 25 年に谷脇研究室では、学生の橋梁点検への参加を企画し、越前市の小規模橋梁について学官協働による点検を試み、その成果を卒業研究にまとめている<sup>(1)</sup>。

ところで、国土交通省は平成 26 年 6 月に道路橋定期点検要領を改訂し、橋梁の健全度の診断をこれまでの 5 段階から 4 段階で評価するものとした<sup>(2)</sup>。それに伴い、福井県で平成 19 年より行ってきた橋梁の長寿命化計画策定における 5 段階評価による橋梁の診断結果および劣化曲線を見直し、今後、4 段階評価による点検、劣化曲線の導入、

\* 原稿受付 2015 年 2 月 24 日

<sup>\*1</sup> 建築生活環境学科

<sup>\*2</sup> 大学院 社会システム学専攻 土木環境工学コース 1 年

E-mail: taniwaki@fukui-ut.ac.jp

長寿命化計画の再策定を行うことが急務となっている。

そこで本研究では、昨年度試みた越前市の小規模橋梁の点検結果を用いて、道路橋定期点検要領に従い4段階評価での健全度の見直しを行い、劣化曲線を導入し、この劣化曲線に基づいた最適な補修時期を決定できる長寿命化計画策定のための支援システムの開発を行ったものである。最適な補修戦略については、各部位の健全度がそれぞれ2.0、2.5、3.0以上となった場合、または着目以外の部位の健全度が3.0以上となった場合に補修するものとし、それぞれの場合のライフサイクルコストを比較し、最も経済的となる補修時期を用いることとした。その方法の有効性、実用性について計算例を通じて明らかにしている。

## 2. 点検要領及び劣化曲線の導入

### 2.1 越前市の点検データの概要

越前市では、675橋の橋長2m以上の橋梁を管理している。その内、15m以上の橋梁80橋については、平成24年に長寿命化修繕計画の策定を行っている。平成25年には、学官協働により、橋長6m以上15m未満の202橋のうち橋梁台帳が存在する98橋を対象として点検を行った。橋種別では、RC橋52橋、PC橋35橋、ボックスカルバート3橋、鋼橋8橋であり、橋齢は13年から57年であった。点検を行った折、5橋については桁下への侵入が困難と判断し、床版、主桁、支承、橋台の点検は行えなかった。本研究では、この98橋の内、点検可能であり、かつ橋齢が明らかとなっている75橋を対象として、劣化曲線の導入、最適な補修時期の決定を行った。

### 2.2 点検要領

福井県の点検方針では、職員によるレベル1点検、レベル2点検を行い、重度の損傷を有する橋梁については専門の技術者による詳細点検を実施することとなっている。平成25年の点検においては、職員によるレベル1および2までの点検を福井県の橋梁定期点検マニュアル<sup>6)</sup>に従って目視およびハンマーによる打音検査による点検作業を谷脇研究室で行い、所定の点検台帳にまとめて報告を行った。ここに、レベル1点検、レベル2点検、詳細点検は以下のように定義付けされている。

レベル1点検：所要時間30分～60分の職員の目視による概略点検。橋梁点検の経験がなくても容易に実施可能  
 レベル2点検：レベル1点検にて進行性の損傷が見られた場合に、その損傷範囲を把握するための職員による目視  
 点検

詳細点検：レベル2点検にて損傷度が重度と判断された場合に、橋梁定期点検要領に準じて専門技術者が行う点検  
 学官協働による点検は、平成25年の7月から9月の2ヶ月間の主に週末に行い、安全性を考慮して1日8橋程度を目安に作業を行った。また、点検結果の信頼度を検証する目的で、専門の技術者との合同点検を実施し、谷脇研究室での点検結果の判断の妥当性を確認した。また、以下の点について産学官で意見交換を行い、点検シートの記入方法の統一を図った。

- ① 伸縮装置より外側の舗装は、橋台のパラペットとして評価する。
- ② ボックスカルバートは頂板、側板として評価し、橋として評価せず、レベル2点検は行わない。
- ③ 拡幅している橋梁は2橋分として記入する。
- ④ RC床版橋は、床版として評価するか、桁として評価するか、今後、県全体で調整する。
- ⑤ エラストイトの伸縮装置は、ほとんど劣化しているが、橋梁の重要な部位ではないのでレベル2の点検は行わない。
- ⑥ 小規模橋梁の支承は、エラストイトなどの簡易な構造となっている場合が多いが、交通に影響がない限り詳細点検へは進まない。

平成25年の点検では、軽度、中度、重度の3段階の評価結果を5段階評価の5、3、1に割り当てていたが、本研究では4段階で評価するため、軽度を1、中度を2または3、重度を4に割り当てた。なお、改訂された道路橋定期点検要領<sup>2)</sup>の4段階の健全度評価についてはTable 1に示す。

### 2.3 劣化曲線の導入

床版および橋台の劣化曲線は次の3次式を想定し、4段階の健全度評価の結果より係数(a)を求めた。

$$y(a) = at^3 + 1 \quad (1)$$

ここに、 $y(a)$  は健全度、 $t$  は橋齢を示す。

係数  $a$  は、最小二乗法により点検結果と予測値の誤差の二乗和  $f(a)$  を最小にする式(2)の極値条件より、式(3)より求められる。

$$f(a) = \sum_{i=1}^n \{\bar{y}_i - y_i(a)\}^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i \cdot t_i^3 - t_i^3)}{\sum_{i=1}^n t_i^6} \quad (3)$$

ここに、 $n$  は橋梁数、 $\bar{y}_i$  は橋梁  $i$  の点検結果を示す。

ところで、床版および橋台の健全度は Fig.1 および Fig.2 に示すように幅広く分布している。単相関係数は、床版では 0.13、橋台では 0.14 となり、式(1)の 1 つの劣化曲線のみですべての橋梁の劣化を予測することは困難となる。そこで本研究では、式(4)と(5)の範囲に位置する橋梁群を標準の劣化を示すグループとし、その劣化曲線はすべての橋梁を対象として求めた劣化曲線を用いることとした。式(4)の境界より外側に位置する橋梁群を劣化が速いグループ、式(5)の境界より外側に位置する橋梁群を劣化が遅いグループとして、それぞれのグループの橋梁を対象として劣化曲線を導入した。なお、本研究では係数  $\beta$  として 1.8 を用いることとした。

$$y^R(a) = \beta a t^3 + 1 \quad (4)$$

$$y^S(a) = \frac{1}{\beta} a t^3 + 1 \quad (5)$$

床版および橋台の劣化曲線をそれぞれ Fig.1 および Fig.2 に示す。図中に斜線で示した範囲が式(4)および(5)の境界内に位置する標準のグループを示している。

桁の劣化曲線については、今回用いた健全度のデータにおいて、桁橋のデータが少なく、適切な劣化曲線を導入できなかったため、これまで福井県の橋梁長寿命化計画策定<sup>(4)</sup>に暫定的に用いてきた 5 段階評価の直線の式を、劣化の最終状態に至る年数が同一となるように変換して 4 段階評価に適用することとした。本研究で用いた各部位の劣化式を Table 2 に示す。

Table 1 4 stages in condition rating

Condition rating		Maintenance immediacy of action
I (1.0)	Good condition	No structural defects
II (2.0)	Preventive maintenance	Minor structural defects without failure of function of structure, but special attention from viewpoint of preventive maintenance
III (3.0)	Early repair	Structural defects with need of early repair in order to prevent failure of function of structure
IV (4.0)	Urgent repair	Serious structural damage with need of urgent repair in order to restore function of structure

### 3. 床版、桁、橋台の補修工法および単価

床版、桁、橋台の各部位の補修工法は、RC 床版橋、鋼橋、RC 桁橋、PC 桁橋の橋種ごとに、実際の損傷状態を分析し、健全度 2, 3, 4 の状態に対してそれぞれ Table 3, Table 4 および Table 5 に示すように仮定している。これらの工法の単価は、福井県の橋梁長寿命化計画策定で設定している値を用いている。以下に各部位毎の補修工法について述べる。

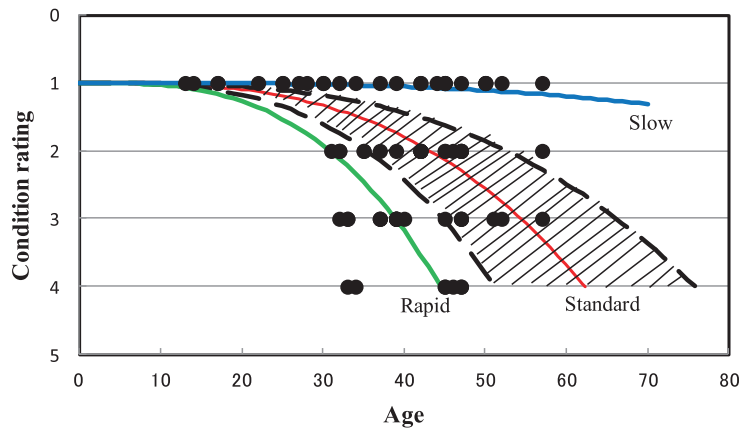


Fig.1 Modified deterioration transfer curves for slab

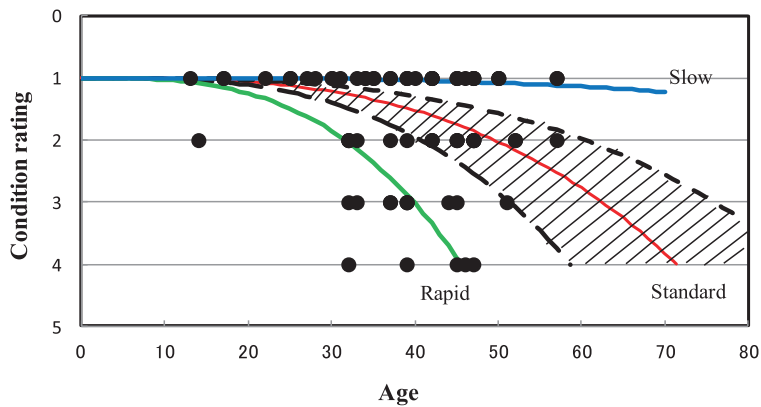


Fig.2 Modified deterioration transfer curves for abutment

Table 2 Coefficient  $a$  in the expression of deterioration transfer curves

Member element	Deterioration speed	Equation	Coefficient $a$
Slab	Rapid	$y = at^3 + 1$	$3.39352 \times 10^{-5}$
	Standard	$y = at^3 + 1$	$1.24079 \times 10^{-5}$
	Slow	$y = at^3 + 1$	$9.22019 \times 10^{-7}$
Abutment	Rapid	$y = at^3 + 1$	$3.16493 \times 10^{-5}$
	Standard	$y = at^3 + 1$	$8.21420 \times 10^{-6}$
	Slow	$y = at^3 + 1$	$6.59205 \times 10^{-7}$
RC girder	-	$y = at + 1$	$4.05 \times 10^{-2}$
PC Hollow girder	-	$y = at + 1$	$2.47 \times 10^{-2}$
PC T girder	-	$y = at + 1$	$2.88 \times 10^{-2}$
Steel girder	-	$y = at + 1$	$1.20 \times 10^{-2}$

### 3.1 床版の補修工法

RC床版橋，鋼橋，RC桁橋の床版の補修工法は，健全度2においては，Table 3に示すようにひび割れ注入工法 (Crack injection method) もしくは断面修復工法 (Section repair method) を用い，修復面積は床版面積の 25%を仮定した．PC桁橋の床版損傷のほとんどは，間詰めコンクリートのエフロレンスであったため，その補修工法として充填工法 (Filling processing method) を採用し，健全度 2 においては，間詰コンクリート部の 50%を補修するものと仮定した．

橋梁の維持管理のための最適補修計画について

Table 3 Repair works and unit prices in condition rating II (2.0)

Member element	Bridge type	Condition rating II (2.0)		
		Repair method	Assumption of area of repair	Unit price
Slab	RC slab bridge	Crack injection method	25% of area of slab	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	25% of area of slab	50000 yen/m <sup>2</sup>
	Steel bridge	Crack injection method	25% of area of slab	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	25% of area of slab	50000 yen/m <sup>2</sup>
	RC girder bridge	Crack injection method	25% of area of slab	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	25% of area of slab	50000 yen/m <sup>2</sup>
PC girder bridge	Filling processing method	50% of {bridge length × (number of girder +1)}	5000 yen/m	
Girder	Steel bridge	Painting method	2m×bridge length×number of girder	3735 yen/m <sup>2</sup>
	RC girder bridge	Crack injection method	25% of (2m×bridge length×number of girder)	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	25% of (2m×bridge length×number of girder)	50000 yen/m <sup>2</sup>
	PC girder bridge	Crack injection method	25% of (2m×bridge length×number of girder)	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	25% of (2m×bridge length×number of girder)	50000 yen/m <sup>2</sup>
Abutment	All bridges	Crack injection method	50% of (2m×Width)	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	50% of (2m×Width)	50000 yen/m <sup>2</sup>

Table 4 Repair works and unit prices in condition rating III (3.0)

Member element	Bridge type	Condition rating III (3.0)		
		Repair method	Assumption of area of repair	Unit price
Slab	RC slab bridge	Crack injection method	50% of area of slab	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	50% of area of slab	50000 yen/m <sup>2</sup>
		Steel sheet adhesion method	Area of slab	80000 yen/m <sup>2</sup>
	Steel bridge	Crack injection method	50% of area of slab	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	50% of area of slab	50000 yen/m <sup>2</sup>
	RC girder bridge	Crack injection method	50% of area of slab	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	50% of area of slab	50000 yen/m <sup>2</sup>
PC girder bridge	Filling processing method	Bridge length × (number of girder +1)	5000 yen/m	
Girder	Steel bridge	Painting method	2m×bridge length×number of girder	3735 yen/m <sup>2</sup>
	RC girder bridge	Crack injection method	50% of (2m×bridge length×number of girder)	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	50% of (2m×bridge length×number of girder)	50000 yen/m <sup>2</sup>
	PC girder bridge	Crack injection method	50% of (2m×bridge length×number of girder)	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	50% of (2m×bridge length×number of girder)	50000 yen/m <sup>2</sup>
Abutment	All bridges	Crack injection method	2m×Width	17000 yen/m <sup>2</sup>
		Section repair method	2m×Width	50000 yen/m <sup>2</sup>

Table 5 Repair works and unit prices in condition rating IV (4.0)

Member element	Bridge type	Condition rating IV (4.0)		
		Repair method	Assumption of area of repair	Unit price
Slab	RC slab bridge	Replacing method	Area of slab	135000 yen/m <sup>2</sup>
		Steel sheet adhesion method	Area of slab	80000 yen/m <sup>2</sup>
	Steel bridge	Replacing method	Area of slab	135000 yen/m <sup>2</sup>
		RC girder bridge	Replacing method	Area of slab
	PC girder bridge	Filling processing method	Bridge length × (number of girder +1)	5000 yen/m
Girder	Steel bridge	Painting method	2m×bridge length×number of girder	3735 yen/m <sup>2</sup>
	RC girder bridge	Section repair method	2m×bridge length×number of girder	50000 yen/m <sup>2</sup>
	PC girder bridge	Section repair method	2m×bridge length×number of girder	50000 yen/m <sup>2</sup>
Abutment	All bridges	Section repair method	2m×Width	50000 yen/m <sup>2</sup>

Table 6 Unit price for replacement of bridge

Bridge type	Super structure (unit price)	Abutment (unit price)	Pier (unit price)
RC slab bridge	80000 yen/m <sup>2</sup>	450000 yen/m	0 yen/m
Steel bridge	150000 yen/m <sup>2</sup>	1000000 yen/m	1000000 yen/m
RC girder bridge	100000 yen/m <sup>2</sup>	600000 yen/m	0 yen/m
PC girder bridge	130000 yen/m <sup>2</sup>	1000000 yen/m	1000000 yen/m



健全度 3 においては、RC 床版橋、鋼橋、RC 桁橋の床版は、Table 4 に示すようにひび割れ注入工法および断面修復工法の補修工法を用い、その修復面積は床版面積の 50%を仮定した。PC 桁橋の充填工法では、全面補修と仮定した。また、RC 床版橋においては、全面の補強が望ましい場合もあり、鋼板接着工法(Steel sheet adhesion method)の採用も考慮することとした。

健全度 4 の場合には、RC 床版橋、鋼橋、RC 桁橋については、全面の補強が必要な状態であるため、Table 5 に示すように打替え工法(Replacing method)または鋼板接着工法を用いることとした。PC 桁橋の充填工法では、健全度 3 の場合と同様に全面補修と仮定した。

### 3.2 桁の補修工法

鋼橋の桁の損傷は腐食のみであったので、補修工法は Table 3～Table 5 に示すように塗装塗替工法(Painting method)により、健全度とは関係なく桁の全面を塗り替えることとした。この場合の桁断面の周長は 2m を仮定した。RC、PC 桁橋においては、健全度 2 および 3 の修復工法として、Table 3 および Table 4 に示すようにひび割れ注入工法または断面修復工法を用いるものとし、桁断面の周長は 2m を仮定して、健全度 2 の場合にはすべての桁の 25%、健全度 3 の場合には 50%を補修するものとした。健全度 4 の場合には、Table 5 に示すように断面修復工法のみとし、桁全面を修復するものとした。

### 3.3 橋台の健全度

橋台は全ての橋種において、健全度 2 および 3 の場合には、Table 3 および Table 4 に示すようにひび割れ注入工法または断面修復工法を用いるものとし、橋台の補修する高さは 2m、幅は健全度 2 の場合には幅員の 50%、健全度 3 の場合には全幅員を補修するものとした。健全度 4 の場合には、Table 5 に示すように断面修復工法のみとし、健全度 3 と同様の面積を修復するものとした。

### 3.4 点検費用および再劣化時の補修工法

橋梁の点検は 5 年に 1 回必ず行うものとし、補修を行った年は点検も同時に行ったものとした。点検費用は技術者とのヒアリングを行い、1 橋当たり 20000 円と仮定した。

再劣化時の補修は、劣化の原因を特定することが困難なため、床版の補修工法として、RC 床版橋、鋼橋および RC 桁橋はひび割れ注入工法を、PC 桁橋は充填工法を用いるものと仮定した。桁の補修工法としては、RC 桁橋および PC 桁橋はひび割れ注入工法を仮定し、鋼橋は塗装塗替工法を用いた。橋台は、すべての橋梁において、ひび割れ注入工法を用いるものとした。補修費の計算は、Table 3 および Table 4 に示した健全度別の補修範囲および単価に従うものとし、健全度が 2.0～3.0 の中間に位置した場合の補修費の算定は、健全度 2 および 3 の補修費を用いて直線補間により計算している。

床版に鋼板接着工法もしくは打替え工法を用いた場合には、それ以上の補修が困難となるため定期点検のみにとどめ、架け替えまで補修は考慮しないこととした。

### 3.5 架け替え費用

本研究では、4. 補修シナリオで言及しているように補修した橋梁の寿命を設定し、架け替え費用も考慮して補修時期を決定している。寿命により架け替える場合の橋梁形式は、現存の橋梁形式と同一と仮定し、新設の単価は技術者とのヒアリングを行い、Table 6 に示す通りに仮定した。ここに、橋体(Super structure)とは床版、桁および付属物を含めた新設の単価を示しており、橋体の新設費用は単価×面積、橋台と橋脚の新設費用は単価×全幅員で求めるものとした。現存の橋梁の撤去費用として、新設費用の 40%を見積り、架け替え費用は、新設費用と撤去費用の和として計算している。

## 4. 補修シナリオ

本研究では、平成 25 年に点検を行った越前市の橋長 6m 以上 15m 未満の 98 橋の内、建設年次が明らかとなっており、床版、桁、橋台の健全状態が観察可能であった 75 橋を対象としている<sup>(1)</sup>。

補修時期の決定プロセスにおいて、橋梁の耐用年数による架け替え時期は、福井県でこれまでの長寿命化計画策定に用いてきた Table 7 の寿命年数を設定し、橋種ごとに異なる年を用いている。ただし、補修から 5 年以内に架け替えを行う場合には、架け替え時期を直前の補修時期に前倒しすることとした。また、予防保全において健全度が

Ⅲ(3.0)以上となることは認めないものとし、足場設置費用の削減や通行規制の回数の削減を考慮して、補修する場合には1つの着目部位のみならず、健全度がⅡ(2.0)以上の部位はすべて同時に補修を行うこととした。

補修時期の決定については、床版、桁、橋台(A1, A2)の4つの主要な部位に着目し、Table 1に示した4段階評価の区分のみならず、1.0~4.0の連続な数値で表される状態を考える。最適な補修戦略については、各部位の健全度がそれぞれ2.0, 2.5, 3.0以上となった場合、または着目以外の部位の健全度が3.0以上となった場合に補修するものとし、それぞれの場合のLCC(ライフサイクルコスト)を比較し、最も経済的となる補修時期を用いることとした。着目部位の健全度が3.0以上の条件の場合ほどの部位に着目しても結果は同一となるため、比較したケースは、以下の合計9ケースとなる。

- ① 床版の健全度が2.0以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ② 桁の健全度が2.0以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ③ 橋台A1の健全度が2.0以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ④ 橋台A2の健全度が2.0以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑤ 床版の健全度が2.5以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑥ 桁の健全度が2.5以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑦ 橋台A1の健全度が2.5以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑧ 橋台A2の健全度が2.5以上、またはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑨ どれかの部位の健全度が3.0以上で補修

なお、①~⑨の条件により補修する場合には、健全度が2.0以上の部位はすべて同時に補修するものとする。また、補修時期の決定プロセスのフローチャートをFig.3に示す。

Table 7 Assumption of bridge life due to preventive maintenance

Bridge type and conditions of construction site	Year of preventive maintenance after bridge construction	Period remained before replacement	Extension of bridge life
Steel bridge	In case of no preventive maintenance	60 years	—
	In case of preventive maintenance in 41 to 59 years after bridge construction	70 years	+10 years
	In case of preventive maintenance within 40 years after bridge construction	100 years	+40 years
Concrete bridge locate in the salt damage region	In case of no preventive maintenance	50 years	—
	In case of preventive maintenance in 31 to 49 years after bridge construction	60 years	+10 years
	In case of preventive maintenance within 30 years after bridge construction	100 years	+50 years
Concrete bridge locate out of the salt damage region	In case of no preventive maintenance	75 years	—
	In case of preventive maintenance in 41 to 74 years after bridge construction	85 years	+10 years
	In case of preventive maintenance within 40 years after bridge construction	100 years	+25 years

## 5 最適補修戦略の考察

4.で述べた補修シナリオにより75橋の最適な補修時期を決定したが、ここでは、PC桁橋(No.15橋)、RC桁橋(No.46橋)および鋼橋(No.60橋)の補修時期の決定例を示す。橋梁のLCCを算定する管理期間はすべての橋梁の架け替えが終わると考えられる75年間を想定した。

Fig.4に示したPC桁橋においては、9ケースの比較の結果、③、④のケースにより最適な補修時期が決定されている。初年度に、床版および橋台A2の補修を行い、32年および64年後に再劣化のため床版および橋台の健全度が2.0を越すために補修を行う計画となっている。この橋梁の橋齢は現在32年であり、Table 7に示した通り初年度に補修を行うことにより100年まで延命が可能であるが、64年後に補修した後、4年後に架け替えとなるため、架け替えは64年後に前倒しされている。

Fig.5 に示した RC 桁橋においては、9 ケースの比較の結果、③、④のケースにより最適な補修時期が決定されている。この場合は、初年度に床版および橋台 A1 および A2 の補修を行い、32 年後に桁および橋台の健全度が 2.0 を超すために補修を行う計画となっている。54 年後には、床版の健全度が 3.0 近くとなったため床版のみの補修を行い、橋齢 100 年となる 61 年後には架け替えとなっている。

Fig.6 に示した鋼橋の場合は、9 ケースの比較の結果、①、③、④のケースにより最適な補修時期が決定されている。初年度に、すべての部位の補修を行い、16 年の間隔で桁の健全度が 3.0 近くとなるため桁の再塗装を行う計画と、31 年の間隔で床版の健全度が 2.0 を超えるため床版の補修を行う計画を繰り返す結果となっている。62 年後には、橋齢が 99 年となり翌年には架け替えとなるため、前倒しをして 62 年後に架け替えとなっている。

その他の橋梁の最適な補修時期は、着目部位の健全度が 2.0 以上もしくは 2.5 以上で補修を行う条件で決定されており、どれかの部位の健全度が 3.0 以上で補修を行う条件⑨では決定されていない。

年毎の補修費用と架け替え費用のグラフを Fig.7 に示す。35 年～45 年後、58 年～65 年後に架け替え時期が集中しており、架け替えのための計画を慎重に行う必要がある。また、多くの橋梁が初年度に補修が必要となり、初年度の補修費用が突出しているため、次年度以降へ補修を先延ばしする橋梁の選定が重要となる。

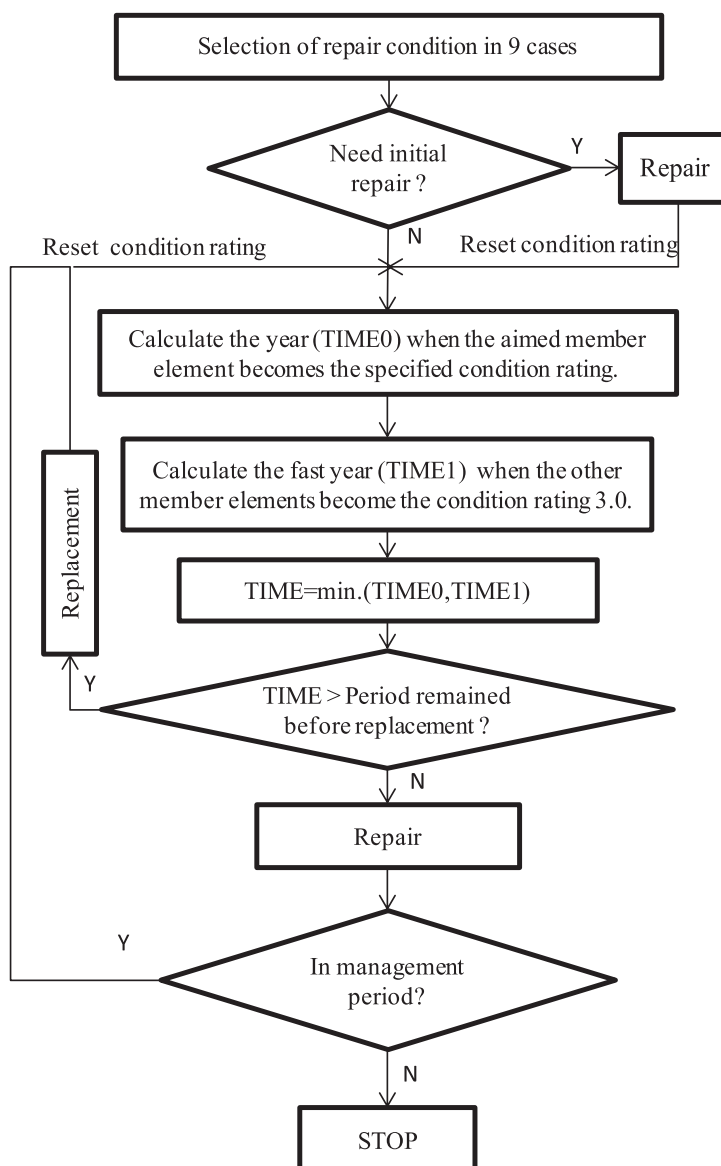


Fig.3 Flowchart of determination of repair time



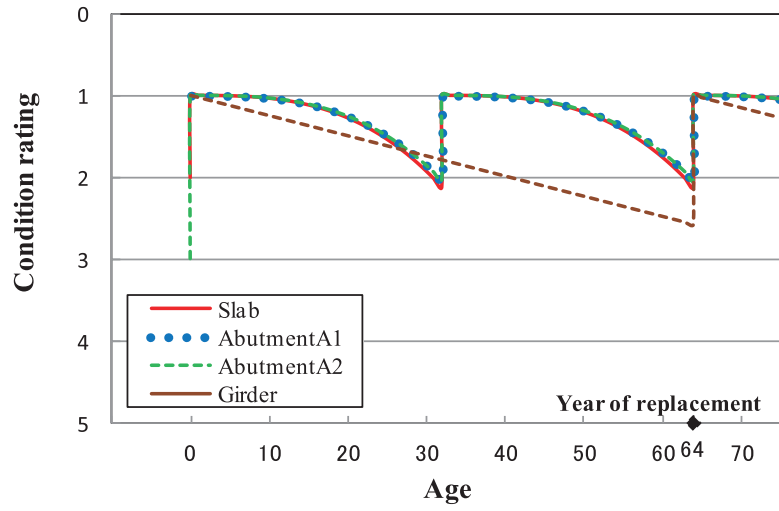


Fig.4 Repair history of PC girder bridge (No.15)

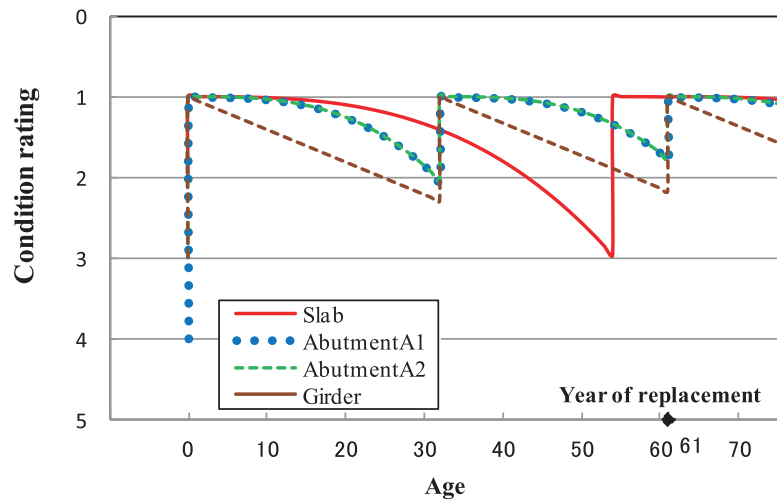


Fig.5 Repair history of RC girder bridge (No.46)

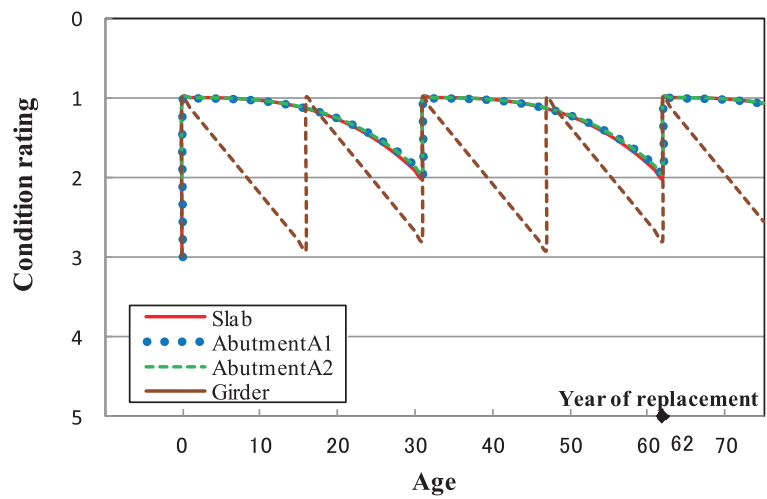


Fig.6 Repair history of steel bridge (No.60)

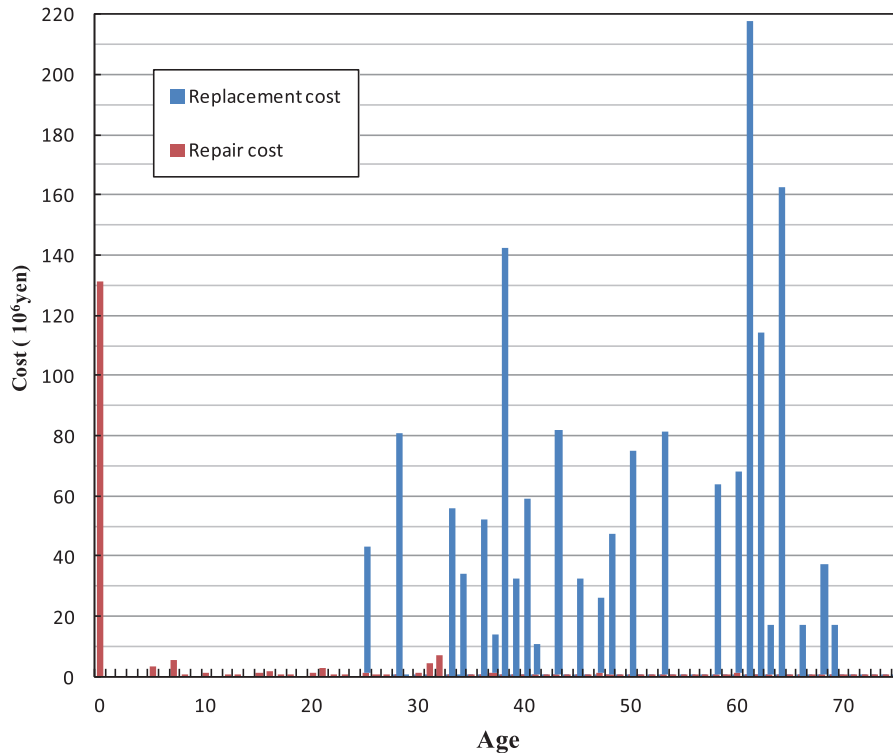


Fig.7 Costs for repair and replacement

## 6. 結 論

本研究の方法により, 道路橋定期点検要領に従った 4 段階評価の健全度の診断による橋梁の最適な補修時期を決定できることを示した. これまで, 福井県で行ってきた橋梁長寿命化計画策定においては, 各部位毎の最適な補修時期を決定し, その結果を用いて橋梁としての補修時期を調整するわずらわしい作業を行っていたが, 本研究の方法は, 橋梁単位で最適な補修時期を決定できるため, 実用的かつ有効な方法であるといえる.

今後の課題として, 初年度に多額の補修費と, 架け替え時期が重なった年に多額の架け替え費用が必要となるため, 地方自治体の予算制約を考慮した最適な補修時期を決定できるようにプログラムの改良を行う必要がある.

## 謝 辞

本論文を作成するにあたり, 図面の整理, 作表には卒業論文を通じて 4 回生の中田将太郎君, 中尾亮君の助力を得た<sup>5)</sup>. ここに, 感謝の意を表します.

## 参考文献

- (1) 谷野友哉, 鹿沼一晃, “学官協働による越前市の小規模橋梁の点検の試み”, 福井工業大学平成 25 年度卒業論文
- (2) 国土交通省道路局, 道路橋定期点検要領, 平成 26 年(2014)6 月
- (3) (財) 福井県建設技術公社, 橋梁定期点検マニュアル (案), (2011)
- (4) 福井県 HP, 福井県橋梁の長寿命化に向けて  
[http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/hozen/kyouryou\\_d/fil/003.pdf](http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/hozen/kyouryou_d/fil/003.pdf), (2013 年, 12 月 15 日閲覧)
- (5) 中尾亮, 中田将太郎, “越前市の小規模橋梁の最適補修戦略に関する基礎的研究”, 福井工業大学平成 26 年度卒業論文

(平成 27 年 3 月 31 日受理)