

一巡目点検結果を用いた福井県管理橋梁の最適長寿化修繕計画について*

谷脇 一弘^{*1}

Optimal Maintenance Strategy for Bridges in Fukui Prefecture using the Data of the First Round Inspection

Kazuhiro TANIWAKI^{*1}^{*1} Faculty of Engineering, Department of Architecture and Civil Engineering

The author presented the deterioration transfer curves of bridge member elements in Fukui prefecture by using the data of the first round inspection. In this study, the most economical repair plan is determined by modifying the bridge management system (BMS) developed in earlier work to be able to apply it to the new deterioration transfer curves for all bridges in Fukui Prefecture. The accuracy and effectiveness of the BMS are demonstrated in the numerical example. The useful maintenance repair plans and maintenance expenses for all bridges are also presented for the next seventy-five years.

Key Words : Bridge Management System (BMS), Optimum Bridge Maintenance Plan in Fukui Prefecture

1. 緒 言

福井県は福井県独自の点検マニュアル¹⁾を作成して 2014 年から橋長 2m 以上の橋梁の法定点検を開始し、2018 年に一巡目の点検を終了した。著者は、この点検結果を用いて、ボックスカルバート、トラス橋、アーチ橋等の特殊な橋梁を除いた橋梁を対象として、RC 床版橋、PC 床版橋、RC 桁橋、PC 桁橋、鋼橋、鋼床版鋼橋の橋梁形式に分類し、長寿命化修繕計画²⁾により維持管理を行うために必要なこれらの橋梁の床版、主桁、横桁、下部工の劣化曲線を導入した³⁾。

一方、著者はこれまでに実用的な橋梁アセットマネジメントシステム(BMS)⁴⁾を開発し、その有効性を示している。本研究では、この BMS において最新の劣化曲線を考慮し、福井県管理のすべての橋梁を対象として最適な長寿命化修繕計画が行えるように改良を行い、種々の検討を行った結果について報告するものである。検討例において、補修予算を年間 25 億円、30 億円、35 億円、40 億円および無制限とした場合の結果について比較検討し、年間 30 億円以上の補修予算により 5 年以内で 1 巡目の補修が完了し、以降予防保全の政策へと転換できることを明らかにしている。また、本システムは健全度が 2.0 以上であるすべての径間の部位を同時に補修しているため、多径間で異なる形式で構成される橋梁においても、できる限り少ない補修回数で補修を行う修繕計画案を作成することができることを明らかにしている。

2. 一般環境下、塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁の各部位の劣化曲線

本研究で対象とした一般環境下の長寿命化修繕計画により維持管理を行う RC 床版橋、PC 床版橋、RC 桁橋、PC 桁橋、鋼桁橋、鋼床版鋼桁橋の橋数を Table 1 に示す。また、塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁数を Table 2, 3 および 4 に示す。一般環境下では 1245 橋、塩害の影響を受ける橋梁は 90 橋、ASR の影響を受ける橋梁は 56 橋、凍害の影響を受ける橋梁は 83 橋となっている。なお、塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁に鋼床版鋼桁橋

* 原稿受付 2022 年 5 月 6 日

^{*1} 工学部 建築土木工学科

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

は存在していない。著者は、これらの橋梁の床版、主桁、横桁、下部工の劣化曲線を最小二乗法を用いて導入した結果を報告している³⁾。一般環境の場合の床版、主桁、横桁および下部工の劣化曲線式の係数 a および健全度 IV(4.0)に至る年数を Table5 に示す。

Table 1 Bridge number under condition of general environment

Bridge type	number
RC slab bridge	501
PC slab bridge	30
RC girder bridge	93
PC girder bridge	360
Steel girder bridge	251
Steel slab girder bridge	10
Total	1245

Table 2 Bridge number subjected to salt damage

Bridge type	number
RC slab bridge	38
PC slab bridge	3
RC girder bridge	4
PC girder bridge	41
Steel girder bridge	4
Total	90

Table 3 Bridge number subjected to ASR

Bridge type	number
RC slab bridge	7
PC slab bridge	0
RC girder bridge	2
PC girder bridge	28
Steel girder bridge	19
Total	56

Table 4 Bridge number subjected to freezing damage

Bridge type	number
RC slab bridge	33
PC slab bridge	1
RC girder bridge	9
PC girder bridge	19
Steel girder bridge	21
Total	83

Table 5 Coefficient a in deterioration transfer curves and time reaching at the stage IV for each bridge type under condition of general environment

Bridge type	Feature	Coefficient a			Time reaching at the stage IV (year)		
RC slab bridge	Slow	7.692E-07			157		
	Standard	3.775E-06			93		
	Fast	1.019E-05			67		
	Rapid	2.070E-05			53		
PC slab bridge	Slow	4.074E-06			90		
	Standard	2.532E-05			49		
	Fast	7.715E-05			34		
		Slab	Main girder	Crossbeam	Slab	Main girder	Crossbeam
RC girder bridge	Slow	4.822E-07	5.788E-07	3.542E-07	184	173	204
	Standard	3.671E-06	4.432E-06	3.612E-06	93	88	94
	Fast	1.047E-05	1.128E-05	9.550E-06	66	64	68
	Rapid	4.317E-05	3.242E-05	2.096E-05	41	45	52
PC girder bridge	Slow	1.162E-06	1.049E-06	2.302E-07	137	142	235
	Standard	7.174E-06	8.577E-06	9.517E-06	75	70	68
	Fast	2.401E-05	2.406E-05	3.340E-05	50	50	45
	Rapid	6.858E-05	6.112E-05	9.954E-05	35	37	31
Steel girder bridge	Slow	9.021E-07	2.027E-06	1.080E-06	149	114	141
	Standard	6.490E-06	8.589E-06	6.610E-06	77	70	77
	Fast	1.710E-05	2.169E-05	1.840E-05	56	52	55
	Rapid	5.055E-05	5.528E-05	4.786E-05	39	38	40
Steel slab girder bridge	Slow						
	Standard	1.174E-06	7.693E-06	2.885E-06	137	73	101
	Fast						
Substructure	Slow	3.890E-07			198		
	Standard	4.505E-06			87		
	Fast	1.329E-05			61		
	Rapid	3.701E-05			43		

3. 橋梁アセットマネジメントシステム(BMS)

3.1 最適補修時期決定のための仮定

本研究では、2.で述べた劣化曲線を用いて最適な福井県の橋梁長寿命化修繕計画を行うことを目的として既に発表しているBMS⁴⁾の改良を行っている。改良したBMSの適用において、各部位の補修工法、点検費用、架け替え費用について仮定を行っている。各部位の補修工法は、点検結果よりその劣化状況から補修工法が選択されるべきであるが、点検結果において劣化状況の整理が十分に行われていない現状を考慮して、以下の代表的な工法を選択し、最初の補修および再劣化時の補修に適用することとした。健全度Ⅱ(2.0)の場合の補修工法と単価をTable 6に、健全度Ⅲ(3.0)の場合の補修工法と単価をTable 7に示す。

Table 6 Repair works and unit prices in condition rating Ⅱ(2.0)

Member element	Bridge type	Condition rating 2.0		
		Repair work	Assumption of repair range	Unit price
Slab	Concrete slab	Section repair method	25% of area of slab	7x10 ⁴ yen/m ²
	Filling concrete	Filling processing method	50% of {span length×(number of girder + 1)}	0.5x10 ⁴ yen/m
	Steel floor slab	Repainting work	Whole of slab area	0.5x10 ⁴ yen/m ²
Girder	RC girder	Section repair method	25% of (2m×span length×number of girder)	7x10 ⁴ yen/m ²
	PC girder	Crack injection method	25% of (2m×span length×number of girder)	2x10 ⁴ yen/m ²
	Steel girder	Repainting work	2m×span length×number of girder	0.5x10 ⁴ yen/m ²
Cross beam	RC girder	Section repair method	25% of (1m×span length×number of cross beam)	7x10 ⁴ yen/m ²
	PC girder	Crack injection method	25% of (1m×span length×number of cross beam)	2x10 ⁴ yen/m ²
	Steel girder	Repainting work	1m×span length×number of cross beam	0.5x10 ⁴ yen/m ²
Substructure	All types	Section repair method	50% of (5m×width)	7x10 ⁴ yen/m ²

Table 7 Repair works and unit prices in condition rating Ⅲ(3.0)

Member element	Bridge type	Condition rating 3.0		
		Repair work	Assumption of repair range	Unit price
Slab	Concrete slab	Section repair method	25% of area of slab	7x10 ⁴ yen/m ²
	Filling concrete	Filling processing method	50% of {span length×(number of girder + 1)}	0.5x10 ⁴ yen/m
	Steel floor slab	Repainting work	Whole of slab area	0.5x10 ⁴ yen/m ²
Girder	RC girder	Section repair method	50% of (2m×span length×number of girder)	7x10 ⁴ yen/m ²
	PC girder	Crack injection method	50% of (2m×span length×number of girder)	2x10 ⁴ yen/m ²
	Steel girder	Repainting work	2m×span length×number of girder	0.5x10 ⁴ yen/m ²
Cross beam	RC girder	Section repair method	50% of (1m×span length×number of cross beam)	7x10 ⁴ yen/m ²
	PC girder	Crack injection method	50% of (1m×span length×number of cross beam)	2x10 ⁴ yen/m ²
	Steel girder	Repainting work	1m×span length×number of cross beam	0.5x10 ⁴ yen/m ²
Substructure	All types	Section repair method	50% of (5m×width)	7x10 ⁴ yen/m ²

健全度が 2.0～3.0 の間の値の場合の補修費の算定は、健全度 2.0 および 3.0 の補修費を用いて直線補間により計算している。なお、主桁の本数、横桁の本数、スパン長が明確に点検結果に記述されていないため、以下の仮定に従い算出することとした。

① 主桁本数の仮定

コンクリート橋：(幅員-1.6)/1.2 ただし、2以上の整数

鋼桁橋：(幅員-1.6)/2.0 ただし、2以上の整数

② 横桁本数の仮定

スパン長 / 6 + 0.9 ただし、2以上の整数

③ 径間長（スパン長）の仮定

橋長 / 径間数

足場費用は以下のように設定している.

④ 足場費用の仮定

床版, 主桁, 横桁の補修の場合: 橋面積 $\times 10,000$ 円

下部工の補修の場合: 幅員 $\times 10\text{m} \times 10,000$ 円

点検費用は, Table 8 のように仮定し, 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. 架け替えは橋齢が 100 年に達した場合に行うものとし, 架け替え費用については, 技術者とのヒアリングを行い, Table 9 に示すように現存の橋梁の撤去費用として新設費用の 40%を見積り, 新設費用と撤去費用の和として計算している. なお, 架け替える橋梁形式は, 現存の橋梁形式と同一と仮定している.

Table 8 Inspection expense of bridge

Span length	Inspection expense (yen)
less than 5m	72,000 \times width
5m \sim 15m	75,000 \times width
15m \sim 20m	76,000 \times width
20m \sim 30m	79,000 \times width
over 30m	80,000 \times width

Table 9 Unit price for replacement of bridge

Bridge type	Superstructure yen/m ²	Substructure yen/m ²
Concrete slab	80,000	450,000
PC slab	100,000	450,000
RC girder	100,000	600,000
PC girder	130,000	1,000,000
Steel girder	150,000	1,000,000
Steel floor slab	170,000	1,000,000

年齢不明の橋梁については, 各部位の年齢を標準の劣化曲線から推定し, 劣化曲線により算出される床版, 主桁, 横桁, 下部工の年齢のなかで最も若い年齢とすることとした. ただし, 年齢の下限值 t_{min} および上限値 t_{max} を考慮して, 橋齢 t は $t_{min} \leq t \leq t_{max}$ としている.

t 年目のライフサイクルコスト $LCC(t)$ は以下により計算される.

$$LCC(t) = \sum_{i=1}^n (\text{t 年目の橋梁 } i \text{ の補修費用} + \text{t 年目の橋梁 } i \text{ の点検費用}) + \text{t 年目の架け替え費用}$$

ここに, n は橋梁数

最適な補修時期を決定する問題は, 以下のように予算制約の条件のもとで修繕計画の策定を行う期間の総ライフサイクルコスト TLCC を最小化する問題として設定される.

$$\min \quad \text{TLCC} = \sum_{t=1}^T LCC(t)$$

subject to

$$LCC(t) \leq 1 \text{ 年間の予算制限値}$$

$$i \text{ 番目橋梁の各部位の健全度} \leq 3.0$$

ここに, T は修繕計画を行う期間である.

各地方自治体では各年の補修予算は限られており, 損傷した全橋梁を 1 年で補修することは困難な場合が生じるため, 各地方自治体の 1 年間に費やすことができる予算制約を考慮している.

3.2 補修時期の決定方法

本研究で改良した BMS では, 健全度が 2.0 \sim 3.0 の間に補修を行い, 健全度が 3.0 以上となることは認めないものとしている. また, 足場設置費用の削減や通行止めの回数の削減のために, 補修する場合には 1 つの着目部位のみならず, 健全度が 2.0 以上の部位はすべて同時に補修を行うこととした. なお, 横桁の劣化の進行速度は, 劣化曲線から明らかごとく, 主桁の劣化の進行速度以下であることを考慮して, 補修は, 横桁を除く各部位の健全度がそれぞれ 2.0, 2.5, 3.0 以上の条件となった場合, もしくは着目以外の部位の健全度が 3.0 以上の条件と

なった場合に実施するものとした。1つの橋梁に着目し、予算制約を考慮しない場合のそれぞれの条件の場合のLCCの比較を行い最も経済的となる条件を最適な補修戦略とした。なお、着目部位の健全度が3.0以上の条件の場合は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9ケースとなる。

- ① 床版の健全度が2.0以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ② 主桁の健全度が2.0以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ③ 下部工 A1 の健全度が2.0以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ④ 下部工 A2 の健全度が2.0以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑤ 床版の健全度が2.5以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑥ 主桁の健全度が2.5以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑦ 下部工 A1 の健全度が2.5以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑧ 下部工 A2 の健全度が2.5以上、もしくはその他の部位が3.0以上で補修
- ⑨ いずれかの部位の健全度が3.0以上で補修

なお、①～⑨のいずれかの条件により各径間を補修する場合には、その橋梁の他の径間の健全度が2.0以上の部位はすべて同時に補修するものとする。上記の①～⑧は予防保全の補修であり、⑨は事後保全の補修とみなすことができる。

各地方自治体の予算制約を満足させる方法として、まず予算制約を考慮しない場合のすべての橋梁の最適な補修時期を上で述べた方法により決定する。各年の各橋梁の補修費を足し合わせ各年の補修費を算出し、予算制約が違反している場合には、違反している年の中で最も若い年の各橋梁の損傷度 D_P を次式により計算する。

$$D_P = \sum_{i=1}^{SPN} \{(D_S^i - 1.0) + (D_G^i - 1.0) + (D_C^i - 1.0) + (D_{A1}^i - 1.0) + (D_{A2}^i - 1.0)\} + W$$

ここに、 $D_S^i, D_G^i, D_C^i, D_{A1}^i, D_{A2}^i$ はそれぞれ i 番目の径間の床版、主桁、横桁および下部工 A1, A2 の健全度を示す。SPN は径間の数、 W は橋梁の重みを示す。

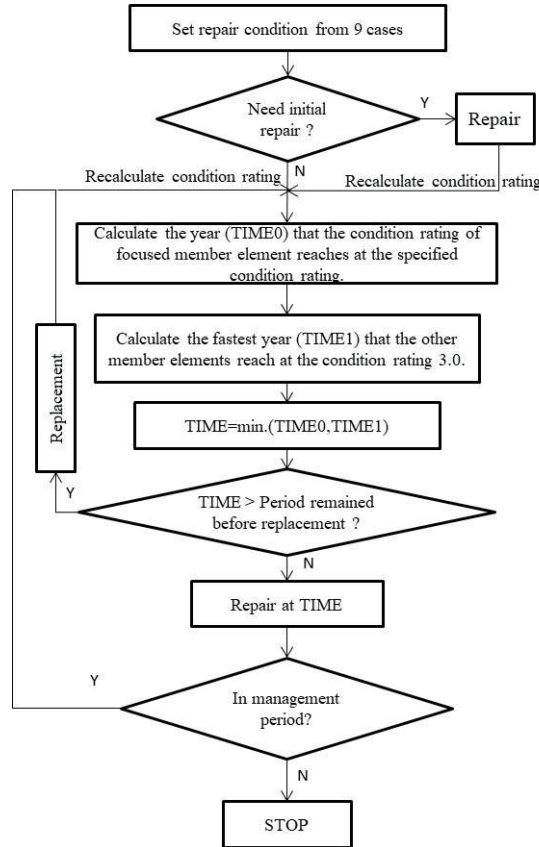


Fig.1 Bridge management system proposed in this study

損傷度 D_p は、床版、主桁、横桁および下部工の損傷が大きいほど大きな値を示し、径間数が多く橋長の長い橋ほど大きな値を示す。従って、損傷度 D_p が大きな値の橋梁ほど補修の優先度を高くする必要があることを示している。また、単径間の橋梁や、実際の損傷が比較的少ない橋梁において、緊急輸送道路や避難道路に指定されているルート上の橋梁や迂回路が存在しないルート上の橋梁では、 W の値にある程度大きな値を入力することにより、補修の優先度を高く設定できるようにしている。なお、本研究の計算例では W の値は 0 としている。本研究の補修時期決定プロセスのフローチャートを Fig.1 に示す。

予算制約を満足するために、補修予定のすべての橋梁について損傷度 D_p が小さくなる順序に並びかえ、補修費が予算内となるまで損傷度が小さい橋梁から順に補修を翌年に延期する。予算内となった場合、補修予算限度額丁度となるように最後に補修を翌年に延期した橋梁の補修費を 2 年間に分けて補修を行う。補修を延期した橋梁の補修時期が、その橋梁の一連の補修回数の最初の補修である場合、2 回目以降の補修時期を順に翌年に延期した場合には 3.0 以下の健全度の制約条件を満足しない場合が生じるため、本研究では、予算制約を考慮しない場合に LCC が最小となったケース①～⑨の条件を固定し、2 回目以降の補修時期を再度決定し直すこととした。補修を翌年に延期した橋梁の補修時期が、その橋梁の一連の補修回数の 2 回目以降の補修である場合、それ以降の補修時期を順に翌年に延期しても問題は見られなかった。予算制約を違反している若い年から順にこれらの操作を行うことにより、予算制約を若い年から順に満足させ、すべての年の予算制約を満足した場合に終了とした。

4. 福井県管理橋梁の最適補修時期決定例

4.1 異なる補修予算制約に対する補修費用の比較

3 章で述べた福井県管理橋梁 1859 橋について、さまざまな条件により最適な補修時期を決定した結果について考察を述べる。修繕計画の対象期間は 75 年間とし、1 年間の補修費用の予算制限を制限なしとした場合、年間補修予算を 40 億円、35 億円、25 億円、20 億円と設定した場合の最適な補修時期を決定した結果の比較を行った。年間補修費用、累積補修費用、累積点検費用、累積架け替え費用のグラフをそれぞれ Figs.2, 3, 4, 5 および 6 に示す。

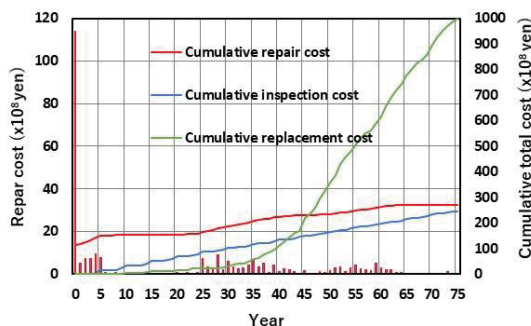


Fig. 2 Cumulative repair, inspection and replacement costs (without limit of repair cost in a year)

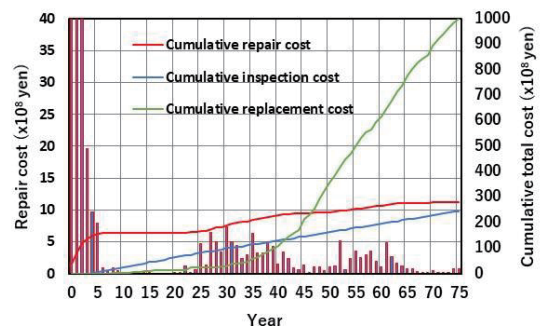


Fig. 3 Cumulative repair, inspection and replacement costs (repair cost of 40 x10⁸ yen in a year)

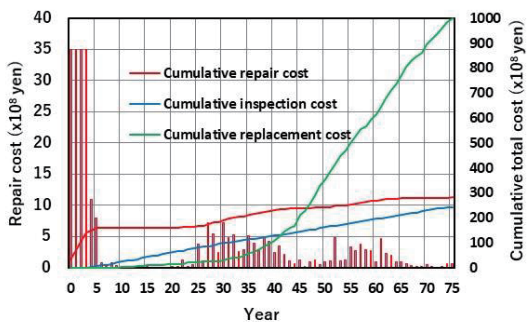


Fig. 4 Cumulative repair, inspection and replacement costs (repair cost of 35 x10⁸ yen in a year)

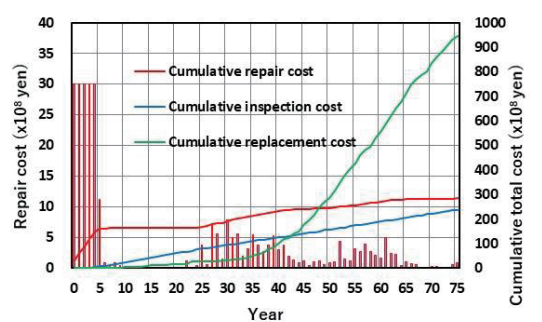


Fig. 5 Cumulative repair, inspection and replacement costs (repair cost of 30 x10⁸ yen in a year)

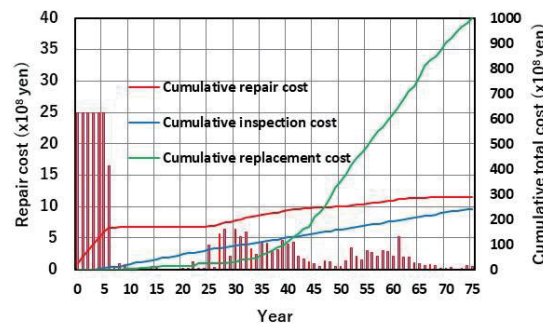


Fig. 6 Cumulative repair, inspection and replacement costs
(repair cost of 25×10^8 yen in a year)

点検は5年に1度、架け替えは100年に1度行われるため、累積点検費用および累積架け替え費用はいずれも同じ値を示している。補修費用の比較では、年間補修予算の制限なしの場合、初年度に110億円以上必要となるのに対して、年間補修予算を40億円とした場合には、3年間40億円の制限限度で補修が行われている。さらに35億円、30億円、25億円と制限した場合には、それぞれ4年、5年および6年間予算制限限度で補修が行われている。予算制限なしの場合では、初年度から6年で大半の橋梁の第1回目の補修が行われると、20年後に2回目の補修の時期となっている。その際の年間補修最大費用は7億円程度以内で補修が行われている。同様な傾向は、年間補修予算を40億円以下とした場合にも見られる。

4.2 補修時期決定方法の違いによる補修費の検討

年間の補修予算を35億円と設定し、Fig.4に示した最適なケース、3章で述べた9ケースの中のケース⑥に固定した場合、ケース⑨に固定した場合の年間補修費用、累積補修費用、累積点検費用、累積架け替え費用の比較をそれぞれFigs.7および8に示す。

最適なケースは4.1で述べたごとく4年間予算制限限度で補修が行われ、6年間で大半の橋梁の第1回目の補修が行われている。ケース⑥で補修時期を決定した場合は、2年間予算制限限度で補修が行われ、第1回目の補修は12年間程度かけて行われている。2回目の補修は、最適なケースと同じく25年ぐらいから行われている。また、2回目の補修費用の最大値は10億円程度と多くなっている。ケース⑨で補修時期を決定した場合は、初年度のみ予算制限限度で補修されている。第1回目の補修は15年間程度かけて行われている。2回目の補修は、同様に25年ぐらいから行われており、2回目の補修費用の最大値は9億円程度となっている。このことより、最適なケースは、健全度2.0で予防保全的に補修を行うことが経済的であると判断されている。主桁の健全度が2.5で補修されるケース⑥では初年度に補修が行うべき橋梁数が少なくなり、3.0で補修するケース⑨ではさらに1回目の補修時期の到来が遅くなっている。

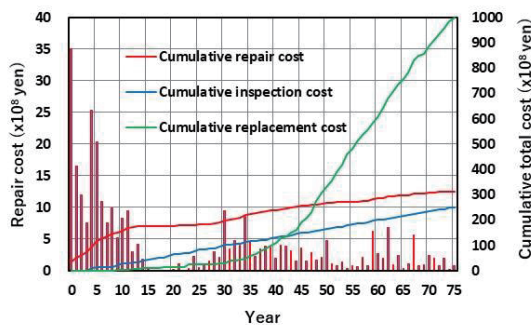


Fig. 7 Cumulative repair, inspection and replacement costs
in case ⑥ (repair cost of 35×10^8 yen in a year)

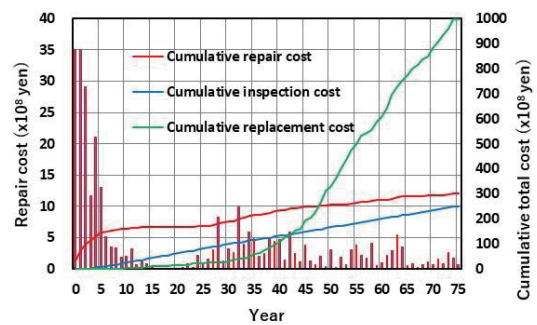


Fig. 8 Cumulative repair, inspection and replacement costs
in case ⑨ (repair cost of 35×10^8 yen in a year)

Table 10 Comparison of cumulative repair costs between optimal case, case ⑥ and case ⑨ for several upper limits of repair cost in a year

Upper limit of repair cost in a year	Optimal case	Case⑥	Increment rate of case ⑥ (%)*	Case⑨	Increment rate of case ⑨ (%)*
25 x10 ⁸ yen	288.9x10 ⁸ yen	302.8x10 ⁸ yen	4.8	313.5x10 ⁸ yen	8.5
30 x10 ⁸ yen	283.8x10 ⁸ yen	301.3x10 ⁸ yen	6.2	313.4x10 ⁸ yen	10.4
35 x10 ⁸ yen	281.9x10 ⁸ yen	300.3x10 ⁸ yen	6.5	313.4x10 ⁸ yen	11.2
40 x10 ⁸ yen	280.5x10 ⁸ yen	299.9x10 ⁸ yen	6.9	313.3x10 ⁸ yen	11.7
no limit	272.2x10 ⁸ yen	299.2x10 ⁸ yen	9.9	313.0x10 ⁸ yen	15.0

*Increment rate of cost with respect to optimal case

最適なケース、ケース⑥で補修時期を決定した場合、ケース⑨で補修時期を決定した場合で年間補修予算を種々変化させた場合の75年間の累積補修費用の比較をTable 10に示す。表より明らかなごとく、最適なケースが最も経済的となっており、予算制約を緩くするほど経済的となっており、開発したシステムにより確実にかつ正確にLCC最小となる補修時期が決定されている。年間補修予算を25億円とした場合、最適なケースに対して、ケース⑥では4.8%、ケース⑨では8.5%増大している。30億とした場合では、最適なケースに対して、ケース⑥では6.2%、ケース⑨では10.4%増大している。35億とした場合では、ケース⑥で6.5%、ケース⑨では11.2%増大している。40億とした場合では、ケース⑥で約6.9%、ケース⑨で11.7%増大している。無制限とした場合は、ケース⑥では9.9%、ケース⑨で15.0%増大している。このように、予算制約を緩くするに従い最適なケースに対して、その他のケースの累積補修費用は増大する傾向にある。

4.3 最適なケースの補修履歴

12径間のRC桁橋の2径間目、5径間目、8径間目、10径間目の補修履歴をFig. 9に示す。2径間目は25年で健全度が2.5を超えた横桁を補修し、50年にまとめてすべての部位を補修している。5径間目は、4年に床版と主桁を補修、25年に横桁を補修、50年に床版、主桁、横桁を補修している。8径間目は4年に下部工(A2)を補修、25年に横桁を補修、50年にすべての部位を補修している。10径間では4年に主桁と横桁を補修、25年に横桁を補修、50年にすべての部位を補修している。この結果から多径間の場合でも1度の補修により、すべての径間の補修を同時にまとめて行い、橋の補修回数が削減された最適な修繕計画がなされている。

5径間でPC床版橋と鋼桁橋で構成される橋梁の補修履歴をFig.10に示す。3年に1径間目のPC床版橋の下部工(A1)、4径間目の鋼橋の床版と主桁および5径間目の鋼橋の床版、主桁および下部工(A1, A2)を同時期に補修している。60年～65年の間に上部工と下部工に分けて2度補修が行われている。下部工の劣化が遅れて訪れるが75年になるまでに健全度が3.0以上となるために下部工の補修が追加されている。上部工の補修では、足場を共通に用いることができるため、足場の費用を削減するために上部工の部位の補修（例えば、床版と主桁）を同時に行うように決定されるが、上部工と下部工の補修を同時に行うことのメリットがデータとして表現されていないため、上部工と下部工の補修が同時に行われていない結果となっている。構成される橋梁の種類が異なる場合においても、確実に一つの橋として補修回数を減らし、まとめて補修するような効率的な修繕計画が行われている。

5径間PC桁橋の1径間目、2径間目、3径間目、5径間目の補修履歴をFig.11に示す。この橋梁では劣化の速度が速く、7回の補修および架け替えを行っている。上部工、下部工はまとめて補修が行われており、73年には100年による架け替えとなっている。

10径間でPC桁橋および鋼桁橋で構成される橋梁の補修履歴をFig.12に示す。この場合は、劣化の速度が遅く、初年度に補修を行った後、37年に架け替えを行っている。

9径間の鋼桁橋の1径間目、4径間目、7径間目、9径間目の補修履歴をFig.13に示す。すべての径間が同じ劣化を示しており36年に主桁、下部工の補修を行い、41年に床版、横桁の補修を行い、62年に架け替えを行っている。

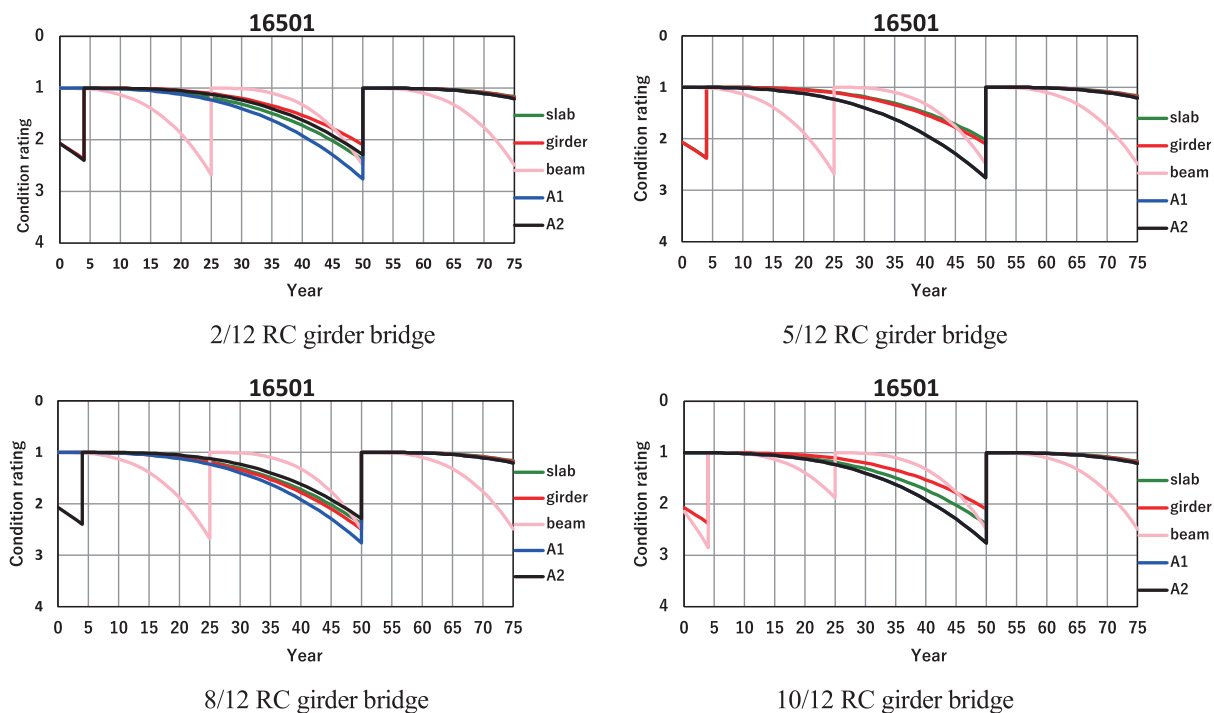


Fig. 9 Repair history of 12 span RC girder bridge (16501)

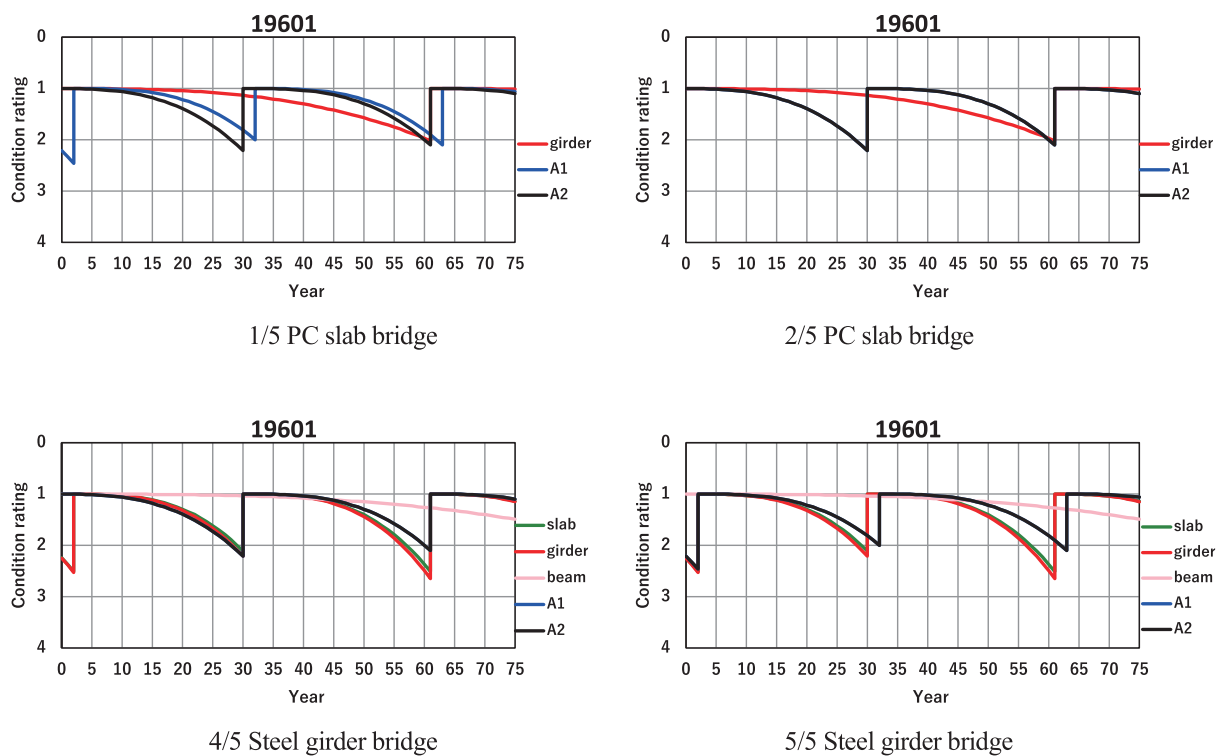


Fig. 10 Repair history of 5 span bridge composed of PC slab bridge and steel girder bridge (19601)

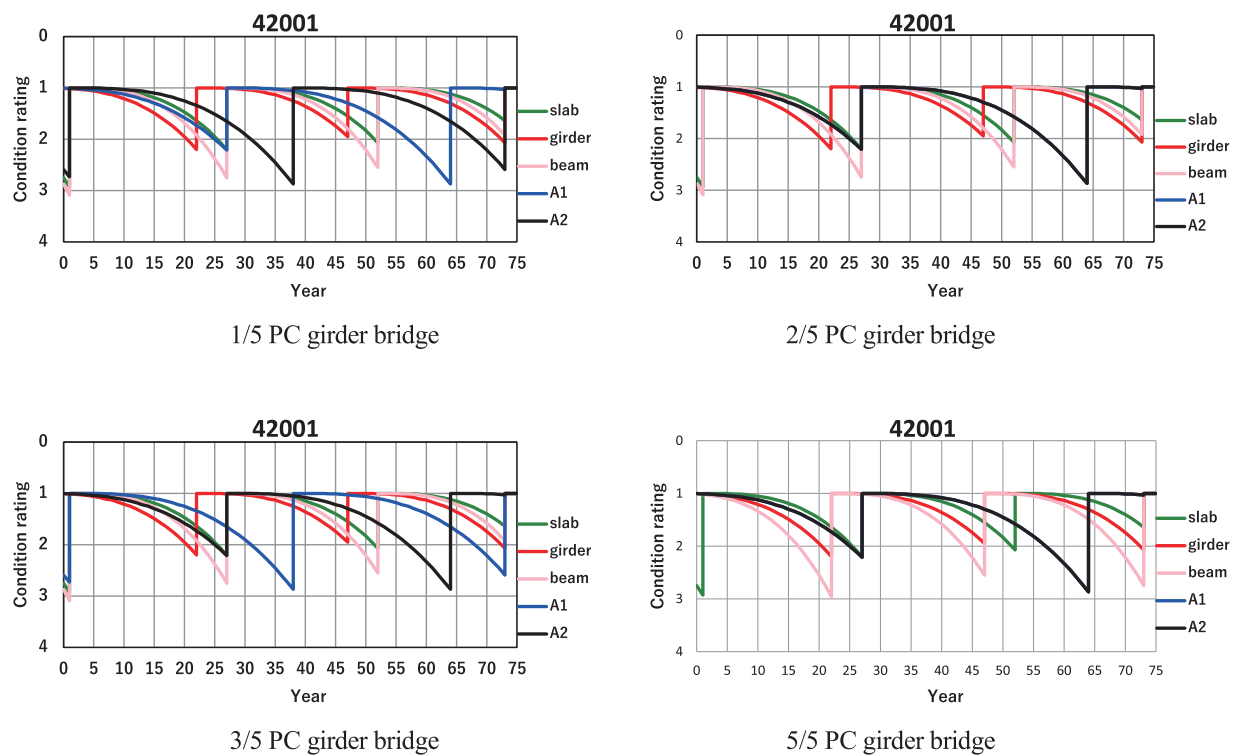


Fig. 11 Repair history of 5 span PC girder bridge (42001)

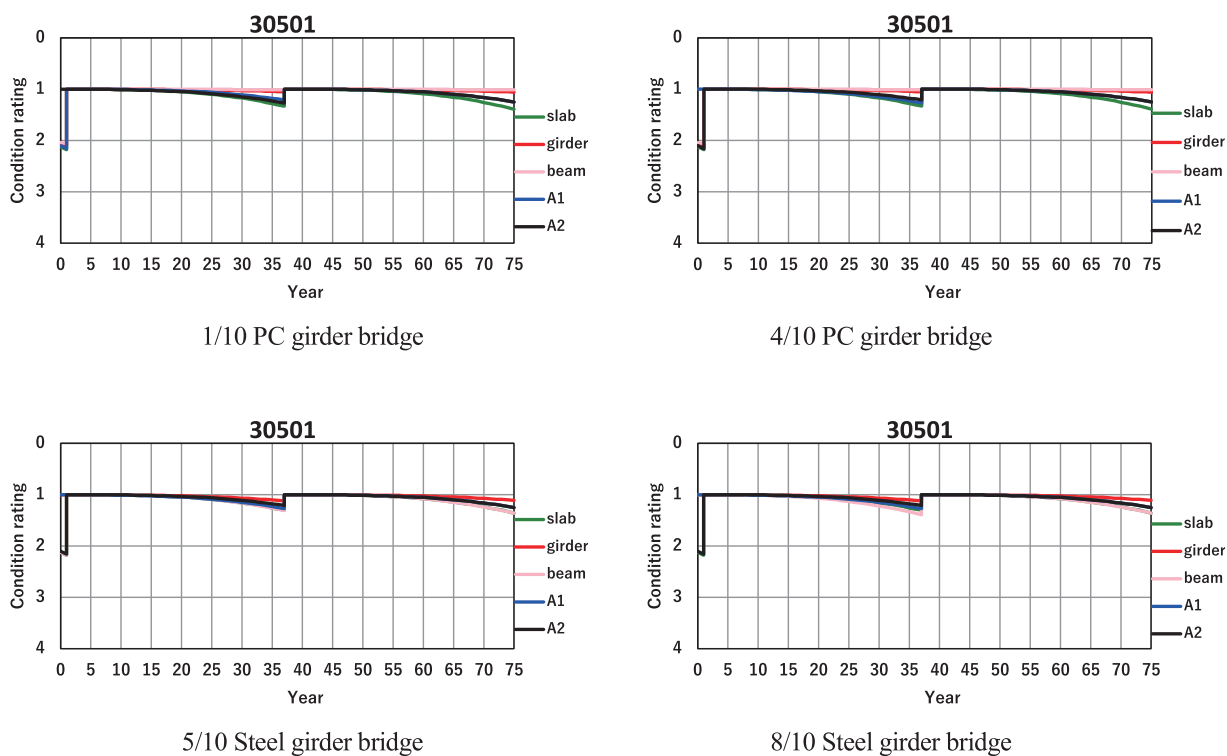


Fig. 12 Repair history of 10 span bridge composed of PC girder bridge and steel girder bridge (30501)

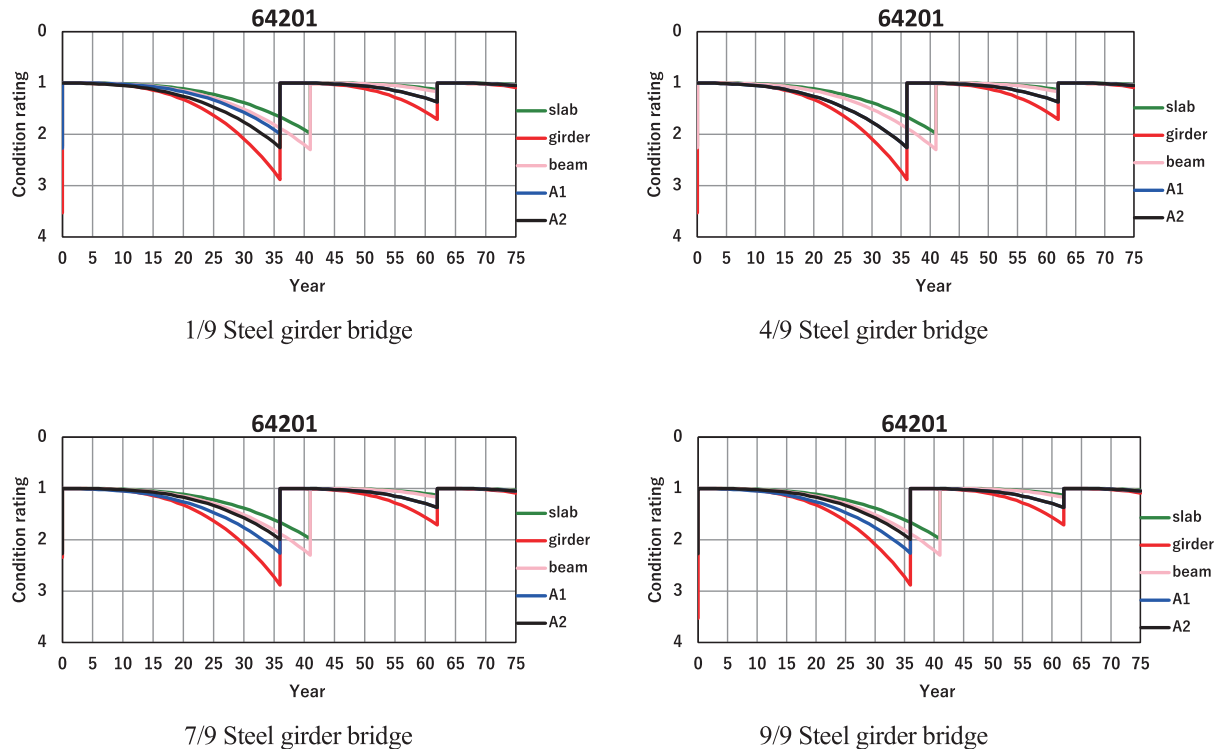


Fig. 13 Repair history of 9 span steel girder bridge (64201)

以上の検討結果より、各スパンの劣化曲線の特性が異なる形式より構成される一つの橋梁について、本システムを用いることにより、できるだけ補修回数を減らし、まとめて補修するような効率的な修繕計画を行えることが明らかとなった。

5. 結 論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 本研究で改良した BMS を用いて種々の予算制約のもとでの累積ライフサイクルコストを比較することにより、最適な修繕計画が行えることが明らかとなった。
- (2) 補修の優先度を決定するために損傷度を導入することにより、予算制約のもとで劣化の進行した多径間の橋梁から優先的に補修することができ、実用的な補修計画を行えることが明らかとなった。
- (3) 本システムでは、健全度が 2.0 以上であるすべての径間の部位を同時に補修しているため、多径間で異なる形式で構成される橋梁においても、できる限り少ない補修回数で補修を行う修繕計画案を作成することができた。
- (4) 補修予算を年間 25 億円、30 億円、35 億円、40 億円および無制限とした場合の結果について比較検討することにより、本研究で仮定した条件下においては、年間 30 億円以上の補修予算により 5 年以内に 1 巡目の補修が完了し、以降予防保全の政策へと転換できることが明らかとなった。
- (5) 本研究の計算例では、健全度が 2.0 となる部位から予防保全的に補修を行った方がより経済的となることが確認できた。ただし、実際には健全度が 2.0 の場合でも補修が不要な場合も多数存在するので、健全度が 2.0 と 3.0 の間で補修を行う政策がより現実的となる場合も考えられる。

参考文献

- 1) (財)福井県建設技術公社, 福井県橋梁定期点検マニュアル 平成 19 年(2007)

- 2) 福井県土木部道路保全課, 福井県橋梁長寿命化修繕計画 平成31年3月(2019)
- 3) 谷脇一弘, 福井県の一般環境下, 塩害, ASR, 凍害の影響を受ける橋梁の劣化特性, 福井工業大学研究紀要, 第51号(2021), pp. 21-32
- 4) 谷脇一弘, 大西秀明, 橋梁長寿命化のための実用的な最適補修時期決定法について, 福井工業大学研究紀要 第46号(2016), pp. 122-131

(2022年8月4日受理)