

福井県の異なる環境下における橋梁の劣化特性について

谷脇 一弘^{*1}

Deterioration Characteristics of Bridges in Various Districts of Fukui Prefecture

Kazuhiro TANIWAKI^{*1}

^{*1} Department of Architecture and Civil Engineering

The deterioration characteristics of bridges have been clarified with progress of inspection of bridges in Fukui prefecture. In this study, the deterioration transfer curve of each member element of bridges in Sabae, Ono, Katsuyama, Fukui and Obama cities is introduced to compare the deterioration characteristics. The differences of characteristics are discussed for each bridge type. It is emphasized that the deterioration transfer curves of bridges should be introduced in each district considering the environmental difference. Furthermore, the causes of deteriorations for each member element are detected by classifying 4156 numbers of damages in bridges

Key Words : Deterioration of Bridges, Deterioration Transfer Curve, Maintenance of Bridges

1. 緒 言

各自治体の橋梁の維持管理においては、5年に1度の法定点検より得られた健全度を評価して将来の劣化予測を行い、補修コスト縮減と予防保全の考え方にに基づき長寿命化を戦略的に進めることになっている⁽¹⁾。そこで、橋梁の主要部位の劣化特性を明らかにする劣化曲線の導入は重要な作業となる。谷脇研究室では、一昨年から福井県および福井市の管理橋梁を対象とし、福井県橋梁点検マニュアル⁽²⁾に従った簡易点検（Lv1, Lv2点検）の結果を用いて、橋種ごとに床版、桁および下部工の劣化曲線を導入し、各部位の劣化特性を明らかにしてきた^{(3)・(5)}。この研究においては、3次関数式の劣化曲線を用いて劣化特性を検討している。劣化曲線の導入においては、劣化の速度が速い橋梁群、標準の速度の橋梁群および遅い橋梁群についてグルーピングを行い、それぞれの橋梁群について劣化特性を検討している。

本研究では、これまでの劣化曲線の導入方法に従い、鯖江市、福井県橋梁点検マニュアルで凍害地域と位置付けられている大野市および勝山市、福井市および福井県では比較的穏やかな気候の小浜市の4つの地区の橋梁点検データを用いて、床版、桁および下部工の劣化特性を明らかにするとともに、福井県内の異なる環境下における橋梁の劣化特性を明らかにすることを目的とするものである。なお、福井市、大野市、勝山市および小浜市においては、Lv1, Lv2点検結果を用い、法定点検が順調に進んでいる鯖江市においては最新の点検結果を用いて劣化曲線を導入している。結果の考察において、凍害環境下の橋梁では、劣化していないか、劣化が速いの2領域に偏っていること、福井市は全般に劣化なし、標準、劣化が速いの3領域に分布していること、小浜市は、床版および橋台において、劣化の速い橋梁が多くみられること、小浜市の鋼桁は最も緩やかな劣化となっていること、鯖江市の橋梁は全般に相関のある劣化曲線が得られていることを明らかにしている。これらの考察を通じて、各自治体の管理橋梁においては、周囲の環境が異なっているため独自に劣化曲線を導入する必要があることを強調している。さらに本研究では、4156個の損傷個所を部位別および健全度別に分類し、各部位毎の主な劣化原因をも明らかにしている。

* 原稿受付 2017年2月28日

^{*1} 工学部 建築土木工学科

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

2. 鯖江市、大野市・勝山市、福井市および小浜市の橋梁の主要部位の劣化曲線の導入

現在、法定点検においては、Table1 に示す 4 段階の健全度評価により点検を行っている。鯖江市の点検データは Table2 に示す 76 橋について最新の法定点検の結果を用いており、福井市、大野市・勝山市および小浜市については、法定点検のデータ数が少ないため Tables 3～5 に示す橋梁数について、これまでの Lv1, Lv2 点検（簡易点検）結果を利用し、4 段階で評価するため、これまでの点検結果の軽度（Lv1）を健全度Ⅰ（健全度 1）、中度（Lv2）を健全度Ⅱ（健全度 2）、重度（Lv2）を健全度Ⅲ（健全度 3）に割り当て劣化曲線を導入した。劣化曲線は 3 次関数式を想定し、主要部位ごとに最小二乗法を用いて曲線を決定している。劣化曲線の導入に際して、これまでの研究で妥当と考えられた標準の劣化曲線の 1.8 倍および 1/1.8 の勾配を有する境界線をすべての地区に統一的に採用し、劣化が遅い、標準、速いの 3 領域に対してそれぞれ 3 種類の曲線を導入して劣化の速度を表現した^{(3)・(5)}。4 つの地区においてデータ数が十分であると考えられる RC 床版、PC 桁、鋼桁および橋台の劣化状況の比較について以下に述べる。

Table 1 Four 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

Table 2 Bridge type in Sabae city

Bridge type	Number of bridges
RC slab bridge	23
PC slab bridge	1
RC girder bridge	4
PC girder bridge	27
Steel plate girder bridge	18
Steel floor plate girder bridge	3
Total number	76

Table 3 Bridge type in Fukui city

Bridge type	Lv.1 class bridge	Lv.2 class bridge	Number of bridges
RC slab bridge	9	23	32
PC slab bridge	0	2	2
RC girder bridge	0	3	3
PC girder bridge	55	126	181
Steel plate girder bridge	10	35	45
Steel floor plate girder bridge	0	21	21
Total number	74	210	284

Table 4 Bridge type in frost damage area (Ono and Katsuyama cities)

Bridge type	Lv.1 class bridge	Lv.2 class bridge
RC slab bridge	0	0
PC slab bridge	0	0
RC girder bridge	2	13
PC girder bridge	17	68
Steel plate girder bridge	2	37
Steel floor plate girder bridge	1	23
Total number	22	141

Table 5 Bridge type in Obama city

Bridge type	Lv.1 class bridge	Lv.2 class bridge
RC slab bridge	23	196
PC slab bridge	6	22
RC girder bridge	2	22
PC girder bridge	10	34
Steel plate girder bridge	4	33
Total number	45	307

2.1 RC 床版の劣化曲線の比較

RC 床版の 4 つの地区の劣化曲線の比較を Fig.1 に示す。鯖江市では比較的標準の領域に分布が集中しており、劣化曲線に相関性が見られる。これは、補修が適切に行われていること、および法定点検により点検の精度が上がっていることが考えられる。福井市は劣化しないか、速いの 2 領域に分布が偏っている。凍害環境下においては、さらに劣化が速い領域に多くの橋梁がシフトしている。小浜市の RC 床版の健全度は、全般に若い橋齢（橋の年齢）で健全度が 2 および 3 の橋梁が多く見られ、多くの橋梁が劣化が速い曲線となっている。これは、小浜市の橋梁に施工不良が多いこと、Lv1, Lv2 の点検の結果が過度に厳しい判定となっていることなどが予想される。法定点検を行う際に、これらの点を注視して点検を行う必要がある。

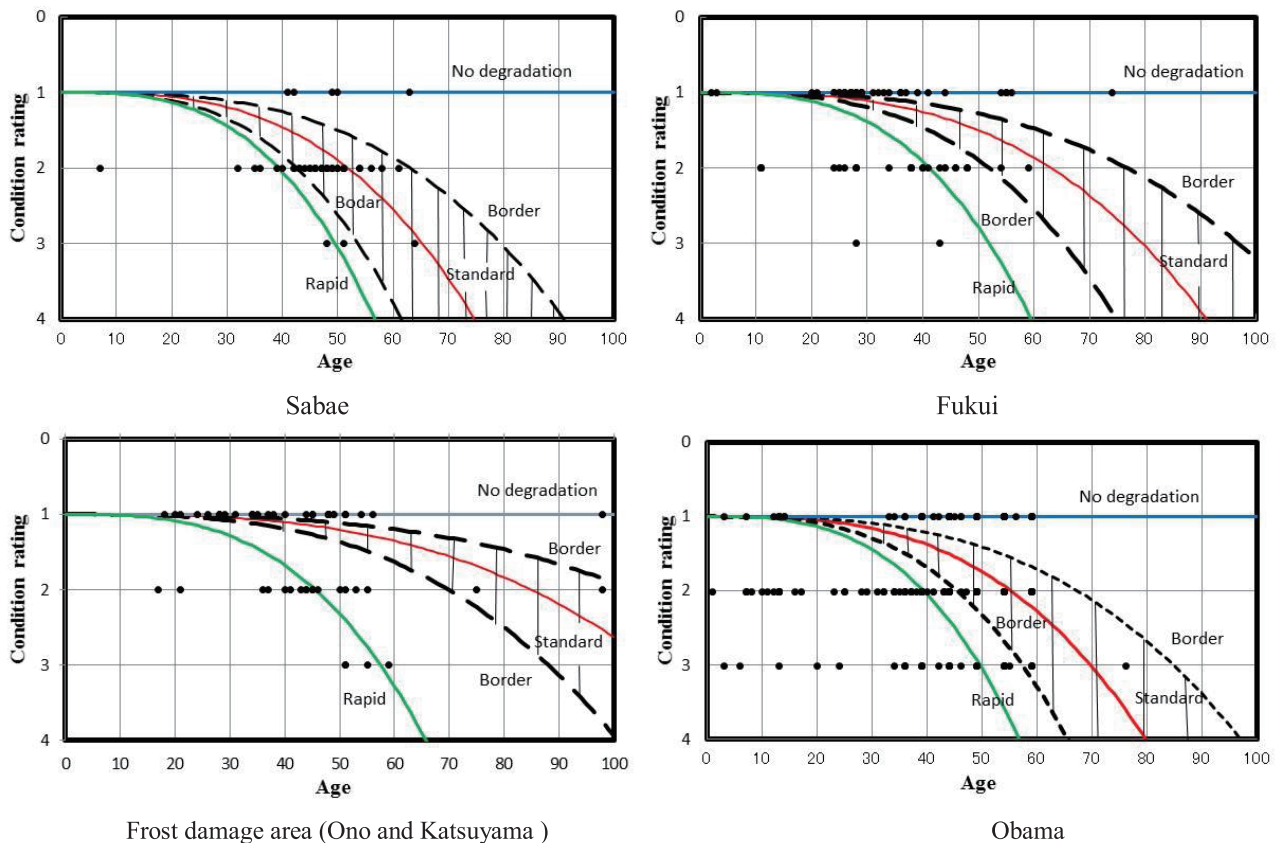


Fig.1 Comparison of deterioration transfer curves for RC slabs in four districts

2.2 PC 桁の劣化曲線の比較

PC 桁の 4 つの地区の劣化曲線の比較を Fig.2 に示す。鯖江市および福井市は劣化なし、標準、速いの 3 領域に偏りなく分布しているが、凍害環境下では標準の領域にほとんど分布がみられず、劣化が遅いおよび速いの 2 領域に分布が偏っている。小浜市では 7 橋ほど劣化の速い橋梁は見られるものの、その他の 37 橋は健全な状態である。

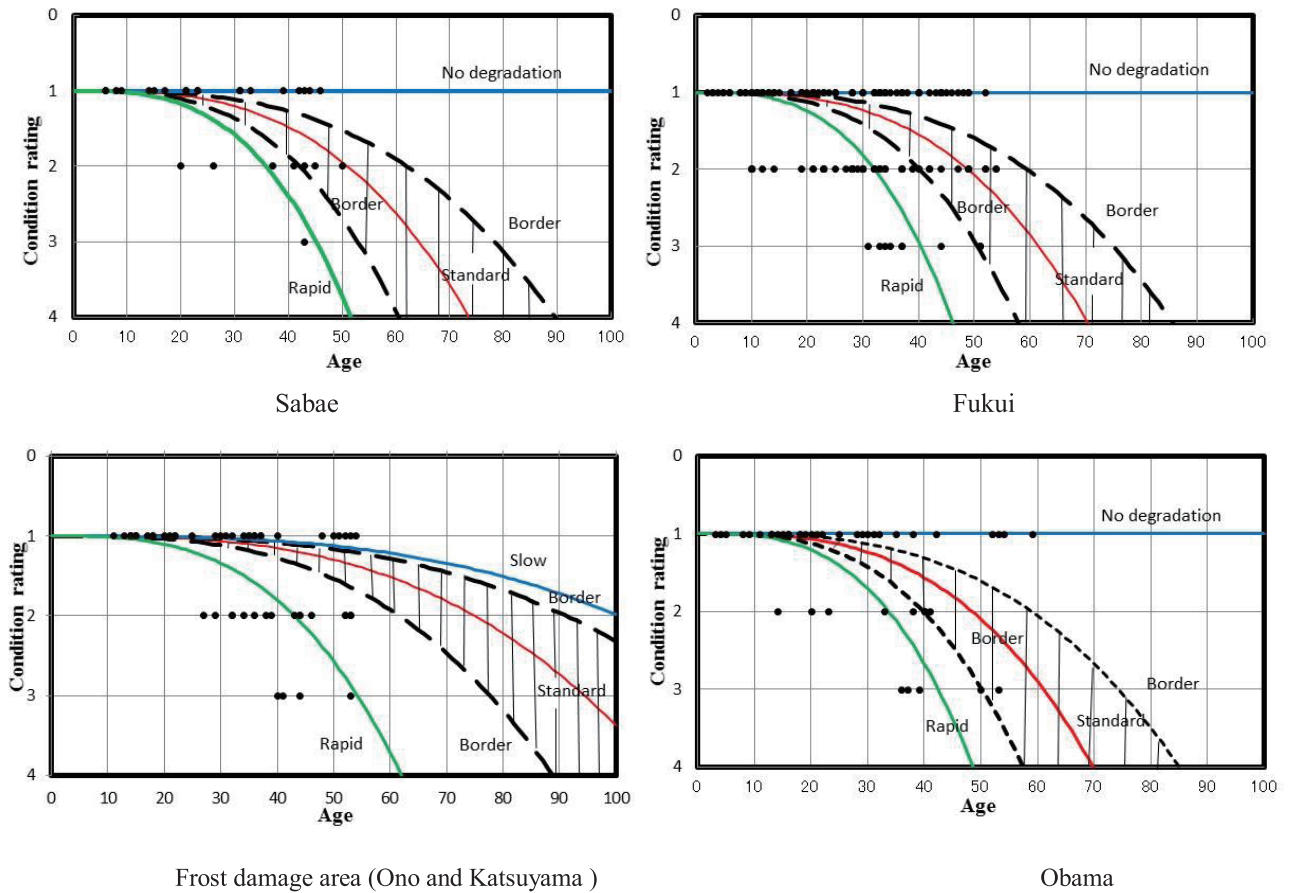
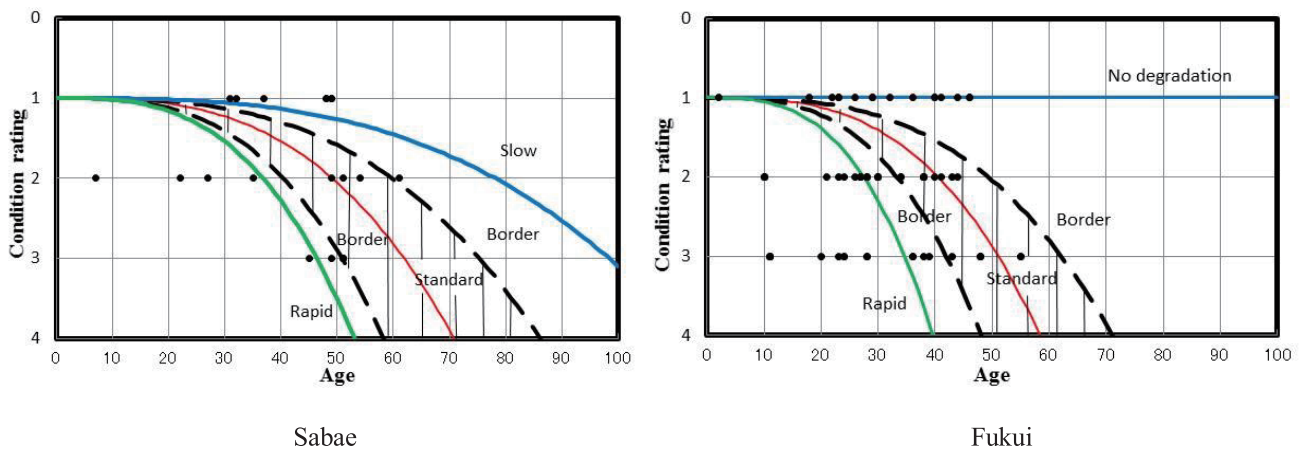


Fig.2 Comparison of deterioration transfer curves for PC girders in four districts

2.3 鋼桁の劣化曲線の比較

鋼桁の4つの地区の劣化曲線の比較を Fig.3 に示す。鯖江市および福井市は劣化が遅い（劣化なし）、標準、速いの3領域に偏りなく分布しているが、凍害環境下は標準の領域にほとんど分布がみられず、劣化が遅いおよび速いの2領域に分布が偏っており、劣化が速い領域により多くの橋梁が分布している。福井市および凍害環境下では、橋齢の若い時期から健全度3がみられた。小浜市は、鯖江市とよく似た劣化状況であるが、より多くの橋梁が劣化なしの状況である。このことより、小浜市が最も緩やかな劣化といえる。



福井県の異なる環境下における橋梁の劣化特性について

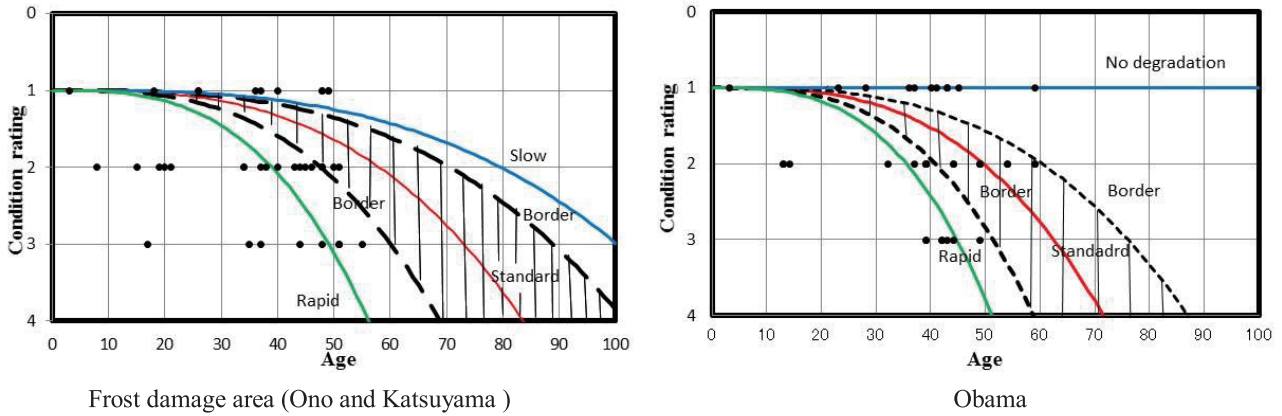


Fig.3 Comparison of deterioration transfer curves for steel girders in four districts

2.4 橋台の劣化曲線の比較

橋台の4つの地区の劣化曲線の比較を Fig.4 に示す。鯖江市および福井市は劣化なし、標準、速いの3領域に偏りなく分布しているが、凍害環境下は標準の領域にほとんど分布しておらず、劣化が遅いおよび速いの2領域に分布が偏っている。また、福井市および凍害環境下では橋齢の若い時期から健全度2および3がみられた。小浜市の橋台の健全度は、全般に若い橋齢で健全度が2および3の橋梁が多く見られ、多くの橋梁が劣化が速い曲線となっている。これは、RC床版の場合と同様に小浜市の橋梁に施工不良が多いこと、Lv1、Lv2の点検の判定が過度に厳しいことなどが予想される。

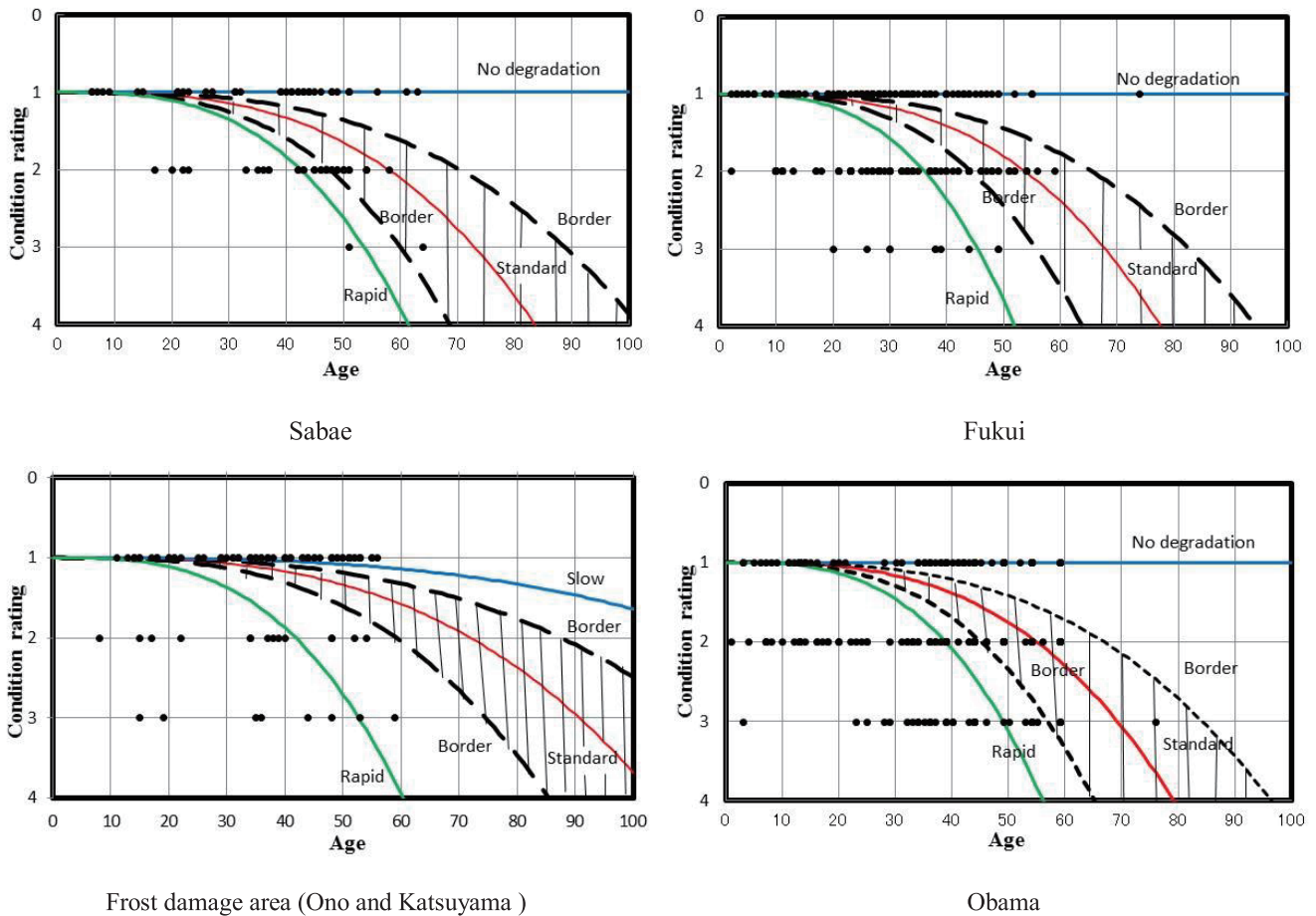


Fig.4 Comparison of deterioration transfer curves for abutments in four districts

3. 部位ごとの劣化要因と健全度分布について

本研究では、福井県、鯖江市、越前市の計585橋における4156個の劣化箇所に対して、その劣化の発生部位および健全度のランク毎に整理した結果を Table 6 に示す。

Table 6 Causes of deterioration and distribution in condition rating for each member element

Member	Cause of deterioration	Rating I	Rating II	Rating III	Total number
RC slab	Exposure of reinforcing bar	11	139	36	186
	Leaking water, Free lime	4	86	2	92
	Falling-out	0	2	0	2
	Cracking	6	136	6	148
	Flaking	3	58	11	72
	Deterioration in reinforcing material	0	6	0	6
	Discoloring deterioration	0	9	0	9
	Leaking water, Bearing water	0	38	0	38
	Large deflection	0	2	0	2
	Deformation, Sectional deficit	0	7	2	9
PC slab	Cracking	0	1	0	1
	Leaking water, Free lime	0	1	0	1
PC girder slab	Exposure of reinforcing bar	1	32	5	38
	Leaking water, Free lime	8	74	1	83
	Cracking	7	22	0	29
	Flaking	1	9	1	11
	Deterioration in reinforcing material	0	0	2	2
	Damage at anchorage	0	1	0	1
	Discoloring deterioration	0	1	0	1
	Leaking water, Bearing water	0	1	0	1
Steel floor	Deformation, Sectional deficit	1	1	0	2
	Corrosion	0	5	0	5
RC girder	Deterioration in reinforcing material	0	3	0	3
	Cracking	1	107	1	109
	Exposure of reinforcing bar	0	129	29	158
	Leaking water, Free lime	0	11	0	11
	Flaking	0	63	8	71
	Deterioration in reinforcing material	0	1	0	1
	Leaking water, Bearing water	0	2	0	2
PC girder	Deformation, Sectional deficit	0	11	0	11
	Cracking	16	166	8	190
	Exposure of reinforcing bar	32	256	12	300
	Leaking water, Free lime	34	138	3	175
	Flaking	1	44	16	61
	Deterioration in reinforcing material	0	0	22	22
	Damage at anchorage	0	8	0	8
	Discoloring deterioration	0	1	0	1
Steel girder	Leaking water, Bearing water	0	5	0	5
	Deformation, Sectional deficit	9	38	2	49
	Corrosion	2	377	22	401
	Cracking	0	2	6	8
	Loosening, Falling	0	16	0	16
	Fracture	0	0	1	1
	Deterioration in corrosion preventive	15	118	0	133
	Abnormal expansion gap	12	13	0	25
Abutment	Leaking water, Bearing water	0	3	0	3
	Deformation, Sectional deficit	0	20	1	21
	Corrosion	0	3	0	3
	Cracking	58	561	22	641
	Exposure of reinforcing bar	15	222	11	248
	Leaking water, Free lime	13	211	3	227
	Flaking	0	66	12	78
	Deterioration in reinforcing material	0	25	4	29
	Discoloring deterioration	2	5	1	8
	Leaking water, Bearing water	3	254	0	257
	Deformation, Sectional deficit	16	94	9	119
Total number	Accumulation of soil and sand	0	4	0	4
	Sinkage, Movement, Slant	0	1	0	1
	Scouring	0	15	2	17
		271	3624	261	4156

RC 床版の主な劣化要因は、鉄筋露出、ひびわれ、漏水・遊離石灰の順となっている。PC 桁を有する床版では、漏水・遊離石灰、鉄筋露出、ひびわれの順に劣化要因となっている。RC 桁では、鉄筋露出、ひびわれ、うきの順に、PC 桁では、鉄筋露出、ひびわれ、漏水・遊離石灰の順に、鋼桁では、腐食、防食機能の劣化の順にそれぞれ劣化要因となっている。橋台では、ひびわれが最も多く、漏水・滞水、鉄筋露出、遊離石灰が同じ割合で劣化要因となっている。

健全度の分布では、健全度Ⅳの劣化は存在せず、健全度Ⅰの劣化は全体の 6.5%、健全度Ⅱの劣化は 87.2%、健全度Ⅲは 6.3%と大半が健全度Ⅱに属した結果となっている。RC 床版、PC 桁および橋台の健全度Ⅰでのひびわれは、建設初期の乾燥収縮による進展しないひびわれと考えられる。RC 桁の場合、大きな幅のひびわれでも健全度Ⅱで許容されているものも見られた。鋼桁の腐食では、規模が小さくても桁端部の断面欠損を伴う場合、健全度Ⅲの評価となっているものも見られた。漏水・遊離石灰は、規模が大きくてもほとんどが健全度Ⅱの判定となっている。

4. 結 論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 福井県内の 4 つの地区の橋梁の劣化曲線の比較から、各自治体の管理橋梁の劣化特性は異なっており、各自治体は独自に劣化曲線を導入し、劣化の速度ごとに橋梁を分類する必要があることが明らかとなった。
- (2) 小浜市の橋梁においては、床版および橋台の劣化が最も速い特性を示している。これは、小浜市の橋梁に施工不良が多いこと、Lv1, Lv2 の点検の結果が過度に厳しい判定となっていることなどが予想される。今後、法定点検を行う際に、これらの点を注視して点検を行う必要がある。一方、鋼桁の劣化特性は最も穏やかな劣化を示している。
- (3) 福井市の橋梁の劣化特性は、相対的に劣化が遅い（劣化なし）、標準、劣化が速いの 3 領域に広く分布している。鋼桁の劣化は最も速い特性を示している。
- (4) 凍害地区の橋梁の劣化は、劣化しない場合と劣化が速い場合の 2 領域に分布が偏っており、多くの橋梁が劣化が速い領域に属している傾向にある。
- (5) 鯖江市の橋梁の劣化特性は、比較的標準の領域に分布が集中しており、劣化曲線に相関性が見られる。これは、補修が適切に行われていること、および法定点検により点検の精度が上がっていることが考えられる。
- (6) 橋梁の各部位において、コンクリート材料の部位の劣化要因は鉄筋露出、ひびわれ、漏水・遊離石灰が主な劣化要因となっており、鋼材の部位では、腐食、防食機能の劣化が主な劣化要因となっている。
- (7) 健全度の分布では、健全度Ⅳの劣化は存在せず、健全度Ⅱの劣化は全体の 87.2%と大半が健全度Ⅱに属した結果となっている。

謝 辞

本論文を作成するにあたり、福井県土木部道路保全課、鯖江市役所都市整備部土木課、小浜市役所産業部都市整備課、福井市役所建設部道路課および勝山市役所建設部建設課維持管理グループからは、橋梁点検データを快く提供していただきましたことに深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 国土交通省道路局,道路橋定期点検要領 (2014)
- (2) (財)福井県建設技術公社,橋梁定期点検マニュアル(案) (2011)
- (3) 谷脇一弘, 大西秀明, 福井市および福井県の管理橋梁の劣化特性について, 福井工業大学研究紀要第46 号 (2016), pp.112-121
- (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
- (5) 谷脇一弘, 大西秀明, 橋梁の維持管理のための最適補修計画について, 福井工業大学研究紀要第45号(2015), pp.119-128

(平成 29 年 3 月 31 日受理)